

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2024년 6월 27일 (27.06.2024)

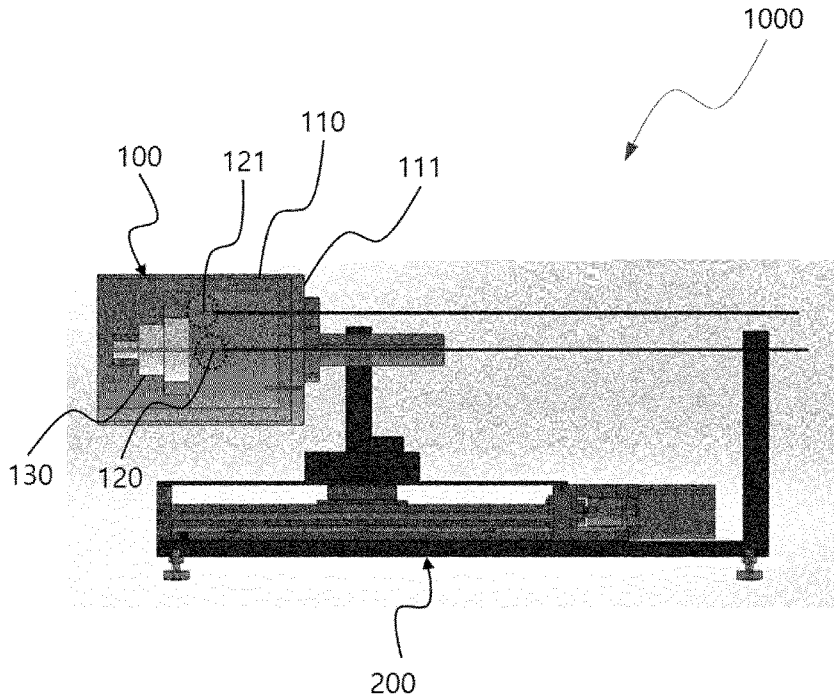


(10) 국제공개번호
WO 2024/136295 A1

- (51) 국제특허분류: *G01T 3/00* (2006.01) *G01T 3/06* (2006.01) (PARK, Hyeonsoo); 35263 대전광역시 서구 문정로 96, 1102, Daejeon (KR).
- (21) 국제출원번호: PCT/KR2023/020610 (74) 대리인: 특허법인 플러스 (PLUS INTERNATIONAL IP LAW FIRM); 35209 대전광역시 서구 한밭대로 809 10층, Daejeon (KR).
- (22) 국제출원일: 2023년 12월 14일 (14.12.2023)
- (25) 출원언어: 한국어
- (26) 공개언어: 한국어
- (30) 우선권정보: 10-2022-0179991 2022년 12월 21일 (21.12.2022) KR
- (71) 출원인: 한국표준과학연구원 (KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE) [KR/KR]; 34113 대전광역시 유성구 가정로 267, 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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.
- (72) 발명자: 김정호 (KIM, Jungho); 34071 대전광역시 유성구 지족로 343, 205-201, Daejeon (KR). 박현서
- (84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, CV, GH, GM,

(54) Title: NEUTRON DETECTOR FOR PERFORMANCE TEST OF BORON NEUTRON CAPTURE THERAPY

(54) 발명의 명칭: 붕소중성자포획치료법의 성능 시험을 위한 중성자 검출기



(57) Abstract: The present invention relates to a neutron detector. The neutron detector of the present invention is configured such that the relative position of a moderator with respect to a sensor is variable so that the position of the moderator or sensor can be moved and then measured, and includes a plurality of cylindrical structures concentrically stacked in the axial direction, the diameter of each cylindrical structure becoming smaller in the front direction from the rear direction along the axial direction, thereby detecting not only neutrons with high energy but also neutrons with low energy.



KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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,
ME, 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))

(57) 요약서: 본 발명은 중성자 검출기에 관한 것으로, 본 발명의 중성자 검출기는 센서에 대한 감속재의 상대적인 위치가 가변되도록 구성되어 감속재 또는 센서의 위치가 이동되며 측정될 수 있고, 다수의 원통 구조물이 동심을 이루어 축방향으로 적층된 형태이고, 축방향을 따라 후방에서 전방으로 갈수록 상기 각 원통 구조물의 직경이 작아지는 형태로 구성되어 높은 에너지를 갖는 중성자부터 낮은 에너지를 갖는 중성자까지 검출이 가능하다.

명세서

발명의 명칭: 붕소중성자포획치료법 의 성능 시험을 위한 중성자 검출기

기술분야

- [1] 본 발명은 중성자 검출기에 관한 것으로, 상세하게는, 붕소중성자포획치료법에서 발생하는 열중성자에서 속중성자에 이르는 넓은 에너지 범위에서 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하는 중성자 검출기에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 붕소중성자포획치료법 (Boron Neutron Capture Therapy, BNCT)은 약물처리된 붕소를 환자에게 주입한 후 주로 열외중성자로 암세포만 선택적으로 사멸시켜, 1회 치료만으로도 기존 방사선 치료 20 회 ~ 30 회와 비슷한 효과를 얻을 수 있는 새로운 방사선 치료법이다. BNCT 요구사항은 IAEA 23-01601 기술문서 (Advances in Boron Neutron Capture Therapy)에 기재되어 있으며, BNCT 치료시설의 열외중성자 (0.5 eV ~ 10 keV) 선속이 $5 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상일 것을 요구하며, 열중성자/열외중성자 비율이 0.05 이하일 것을 요구한다. 또한 치료 중 중성자 선속 및 에너지 분포의 변동이 없어야만 한다. 이러한 요구사항을 만족하기 위해서는 고선속 중성자 선속 측정이 가능하며 또한 실시간 중성자 선질변화 모니터링이 가능해야 한다. 기존 BNCT 중성자 선속 측정방법은 fission chamber 또는 Au foil을 사용하는 방법이다. 전자의 경우 고선속 측정이 불가능하며 후자의 경우는 수동적 (passive) 방법이라 실시간 모니터링이 불가능하다. 중성자 스펙트럼 측정 방법으로는 multi foil 방사화법 또는 비례계수기를 사용한 보너구 측정법이 있다. 이 두가지 방법은 각각 수동적 방법과 고선속 측정불가라는 어려움을 가지고 있다.
- [3] 도 1은 종래 다양한 크기를 가지는 보너구스펙트로미터 사진 및 중성자 에너지에 따른 반응함수를 도시한 것이다. 도 1(a)를 참조하면, 보너구 스펙트로미터는 다양한 크기의 감속재 (주로 구형 또는 원통형)와 열중성자 검출기 (주로 ^3He 비례계수기 또는 BF_3 비례계수기)로 구성된다. 열중성자 검출기는 각각의 감속재 내부에 삽입하며 이를 보너구라고 부른다. 이후 각각의 보너구를 에너지 스펙트럼을 측정하고자 하는 중성자장에 위치시켜 열중성자 검출기에 반응하는 계수율을 측정한다. 각각의 보너구의 중성자 에너지에 따른 반응 (response)을 몬테카를로 전산모사로 계산하여 도 1(b)와 같이 반응함수를 구한다. 여기에서, 측정한 중성자 계수율과 반응함수를 이용하여 중성자 에너지 스펙트럼을 구할 수 있으며 이를 언폴딩 (unfolding)이라고 한다.
- [4] 종래 일본등록특허 제5798724호(2015.08.28.)에는 보너구를 이용한 중성자 스펙트럼 측정 장치에 대하여 개시되어 있었다. 그러나, 도 1(a)에 도시된 바와 같이, 보너구 스펙트로미터는 통상 2인치에서 12인치까지의 폴리에틸렌 감속재로 구

성되어 있으며 대략 10여개의 폴리에틸렌 감속재를 사용할 경우 질량이 50 kg이 넘는다. 또한 하나의 동일한 열중성자 검출기를 사용하므로 다른 크기의 보너구를 측정할 경우 열중성자 검출기를 교체하여야 한다. 따라서 보너구를 교체하는 시간만큼 측정이 길어지게 된다. 또한 보너구 스펙트로메터의 경우 측정에 사용하는 가장 큰 보너구를 설치할 경우 보너구의 반경보다 좁은 공간에서의 측정은 불가능하다. BNCT에서 요구하는 열외중성자 선속은 통상 BNCT 치료실의 빔 출력 포트 면 (통상 직경 12 cm 내외의 원)에서 측정을 수행하므로 직경이 12 cm보다 큰 보너구는 보너구 스펙트로메터리에 사용할 수 없어 일반적인 측정과 달리 BNCT 중성자 선속 측정에 활용하기가 어렵다는 문제가 있었다.

- [5] 감속재를 이용하는 좋은 성능의 중성자 스펙트럼 측정장치를 설계할 때 고려해야 할 두 가지 사항이 있다. 첫째, 보통 측정하고자 하는 중성자 에너지는 아주 큰 에너지 범위에 걸쳐 있어 중성자 스펙트럼 측정장치는 meV ~ 수십 MeV 에서 동작해야하므로 중성자 에너지 스펙트럼을 정확히 측정할 수 있다. 둘째, 아주 큰 중성자 에너지 범위를 동시에 측정하는 검출기가 없기 때문에 다양한 크기의 감속재를 사용하여 중성자 계수율을 측정할 수 있어야 하고 에너지에 따른 반응도가 잘 계산되어야 한다.
- [6] 또한 감속재를 이용하는 중성자 스펙트럼 측정장치는 기본적으로 중성자를 감속시켜 열중성자로 변환한 후 내부에 삽입된 열중성자 검출기로 측정하는 구조이다. 중성자 에너지 1 MeV 이상의 중성자를 감속시키기 위해서는 열중성자 검출기까지의 감속재가 보통 10 cm 이상의 폴리에틸렌을 사용하기 때문에 감속재 기반 중성자 스펙트럼 측정장치의 질량은 약 50 kg 이상이 될 정도로 무겁다는 문제가 있었다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [7] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 열중성자에서 속중성자에 이르는 넓은 에너지 범위에서 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하는 중성자 검출기에 관한 것이다.

과제 해결 수단

- [8] 중성자를 검출하기 위한 센서와, 상기 센서의 주변에 구비되는 감속재를 포함하는 검출부; 및 상기 검출부 또는 센서를 이동시키는 이동부; 를 포함하고, 상기 이동부는 상기 검출부의 감속재 또는 센서를 이동시키며, 그에 따라 상기 센서 또는 상기 감속재는 기설정된 위치에 고정되고, 상기 센서에 대한 상기 감속재의 상대적인 위치가 가변되도록 구성된다.

발명의 효과

- [9] 본 발명의 중성자 검출기는 센서가 감속재의 기설정된 위치에 고정되고, 감속재를 이동시키거나 고정된 감속재 내에서 센서를 이동시키도록 구성되어 센서에 대한 감속재의 상대적 위치가 가변되도록 구성되어 특정 방향에서 입사되는

0.025eV 이하의 에너지를 갖는 열중성자에서부터 1MeV보다 큰 에너지를 갖는 고속중성자까지 다양한 범위의 에너지를 가지는 중성자에 대한 검출이 가능한 효과가 있다.

- [10] 또한, 본 발명의 중성자 검출기는 다수의 원통 구조물이 동심을 이루어 축방향으로 적층된 형태이고, 축방향을 따라 후방에서 전방으로 갈수록 상기 각 원통 구조물의 직경이 작아지는 형태로 구성되어 높은 에너지를 갖는 중성자부터 낮은 에너지를 갖는 중성자까지 검출이 가능하다는 효과가 있다.
- [11] 또한, 본 발명의 중성자 검출기는 센서의 섬광체가 LiCAF로 구성되어 $1 \times 10^9 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ 이상의 선속 측정이 가능한 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [12] 도 1은 종래 다양한 크기를 가지는 보너구스펙트로미터 사진 및 중성자 에너지에 따른 반응함수
- [13] 도 2는 붕소중성자포획치료법(BNCT)의 개략도
- [14] 도 3은 감속재와 탄성산란을 일으켜 열중성자 검출기에 도달하는 열중성자 개념도
- [15] 도 4는 종래 보너구에 폴리에틸렌 감속재와 금속껍질을 구성한 사진
- [16] 도 5는 종래 톱카운터 측정장치의 모식도
- [17] 도 6은 본 발명의 중성자 검출기의 내부 모식도
- [18] 도 7은 본 발명의 중성자 검출기 모식도
- [19] 도 8은 본 발명의 감속재 모식도
- [20] 도 9는 본 발명의 감속재 내부 모식도
- [21] 도 10은 본 발명의 검출부의 내부 단면도
- [22] 도 11은 본 발명의 검출부에 구비되는 센서 모식도
- [23] 도 12는 본 발명의 검출부에 구비되는 센서 실제사진
- [24] 도 13은 본 발명의 감속재 내부에 구비되는 센서 위치에 따른 반응함수 그래프

발명의 실시를 위한 최선의 형태

- [25] 본 발명의 중성자 검출기는 중성자를 검출하기 위한 센서와, 상기 센서의 주변에 구비되는 감속재를 포함하는 검출부; 및 상기 검출부를 이동시키는 이동부;를 포함하고, 상기 이동부는 상기 검출부의 감속재 또는 상기 센서를 이동시키며, 그에 따라 상기 센서 또는 상기 감속재는 기설정된 위치에 고정되고, 상기 센서에 대한 상기 감속재의 상대적인 위치가 가변되도록 구성된다.
- [26] 또한, 상기 감속재는 상기 감속재의 중앙이 축방향으로 관통된 구조로 형성되고, 상기 감속재의 중공에 상기 센서가 배치된다.
- [27] 또한, 상기 감속재는 다수의 원통 구조물이 동심을 이루어 축방향으로 적층된 형태이고, 축방향을 따라 후방에서 전방으로 갈수록 상기 각 원통 구조물의 직경이 작아지는 형태로 구성된다.
- [28] 또한, 상기 검출부는 기준센서를 더 포함한다.

- [29] 또한, 상기 감속재는 상기 감속재의 중공을 차단하는 차단캡이 더 구비된다.
- [30] 또한, 상기 이동부는 상기 검출부를 전후진방향으로 이동시키도록 구성된다.
- [31] 또한, 상기 검출부는 상기 감속재의 외주면을 둘러싸는 내부감속재를 더 포함한다.
- [32] 또한, 상기 검출부는 상기 내부감속재의 외주면을 둘러싸는 커버를 더 포함한다.
- [33] 또한, 상기 감속재는 상기 감속재가 폴리스틸렌 또는 폴리에틸렌 또는 보론이 함유된 폴리에틸렌 중 어느 하나로 이루어진다.
- [34] 또한, 상기 센서는 $1 \times 10^9 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 이상의 선속 측정이 가능하도록 구성된다.

발명의 실시를 위한 형태

- [35] 본 발명은 붕소중성자포획치료법에서 발생하는 열중성자에서 속중성자에 이르는 넓은 에너지 범위에서 중성자 에너지 스펙트럼을 측정하는 중성자선속측정장치에 관한 것으로, 도 2는 붕소중성자포획치료법(BNCT)의 개략도를 도시한 것이다. 도 2를 참조하면, (1) 양성자 빔이 Be(Beryllium) 표적에 입사하여 (2) 중성자가 생성된다. 다음으로, (3) 약물 처리된 붕소가 주입된 암세포에 중성자가 입사하게 되고, (4) $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ 핵반응을 일으키며 이때 생성된 하전입자인 (5) α 입자와 ^7Li 의 운동에너지가 암세포에 전달되어 암세포를 사멸시키게 된다. 이때, BNCT는 세포를 치료하기 위해 중성자에너지가 암세포에 도달할 수 있도록 치료에 충분한 열외중성자(0.5 eV ~ 10 keV)가 생성되어야 한다.
- [36] 또한, 도 2를 참조하면, BNCT의 경우 중성자를 조사하고자 하는 환자의 치료 부위를 BNCT 치료실 빔 출력 포트에 밀착하므로 중성자의 입사방향이 정해져 있다. 모든 입사방향을 고려해야 하는 일반적인 보너구 스펙트로메터와 달리 BNCT 중성자 스펙트럼 측정장치는 한 방향에서 입사하는 중성자 선속을 대상으로 한다.
- [37] IAEAAL 23-01601 기술문서 (Advances in Boron Neutron Capture Therapy)에 기재된 BNCT 치료시설의 요구사항은 열외중성자 (0.5 eV ~ 10 keV) 선속이 $5 \times 10^8 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ 이상이어야 하며, 열중성자/열외중성자 비율이 0.05 이하여야 하며, 치료 중 중성자 선속 및 에너지 분포의 변동이 없어야 한다. 열중성자를 검출하기 위한 보너구 스펙트로메터는 열중성자부터 속중성자까지 다양한 에너지를 가지는 중성자를 측정할 수 있으며, 에너지가 낮은 열중성자는 측정이 가능하나, 도 3에 도시된 바와 같이 에너지가 높은 열중성자가 열중성자검출기에 도달하기 위해서는 보너구의 내부에 구성된 감속재(130)를 구성하는 수소와 탄성산란을 일으켜 에너지 분포의 파악이 가능하다.
- [38] 따라서, 에너지가 높은 열중성자의 감속을 위해 다양한 크기의 보너구가 필요하다. 100 MeV 이상의 중성자를 측정하고자 할 때는 도 4에 도시된 바와 같이, 폴리에틸렌 감속재와 금속껍질을 구성하여 측정범위의 확장이 1 GeV 이상까지 가능하여 1 GeV 이상의 에너지를 가지는 중성자의 측정이 가능하다. 따라서, 보너

구 스펙트로메터는 다양한 에너지 분포를 가지는 중성자를 측정하기 위해서는 다양한 크기의 보너구를 이용하여 측정을 진행하므로 측정시간이 길어지고 복잡하다는 문제가 있다.

- [39] 또한, 도 5는 종래 톱카운터 측정장치의 모식도를 도시한 것이다. 상기 설명한 보너구 스펙트로메터 이외에 중성자를 검출하는 방법은 톱카운터 측정장치를 이용하는 것이다. 톱카운터 측정장치는 한쪽 방향으로만 중성자 입사가 가능하므로 중성자의 위치와 암세포의 표적을 미리 알고 있는 경우에 중성자의 에너지 측정이 가능하다. 그러나, 중성자의 다양한 에너지 분포 측정이 불가능하다는 문제가 있다.
- [40] 앞서 설명한 바와 같이, BNCT 장비는 Beam port 에서 방출되는 중성자의 에너지를 측정하기 위해서는 보너구 스펙트로메터와 톱카운터 측정장치를 사용하여 측정할 수 있다. 그러나, 보너구 스펙트로메터는 중성자의 다양한 에너지를 측정하기 위해 보너구의 크기를 교체해가며 측정해야 하고, 톱카운터측정장치는 한쪽 방향에서만 입사되는 중성자의 에너지 측정만 가능하다.
- [41] 따라서 본 발명에서는 보너구 스펙트로메터와 톱카운터 측정장치를 결합하여 $1 \times 10^9 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 선속 측정이 가능하고, 전 에너지 영역의 동시 측정이 가능하도록 각각 다른 위치에서 중성자를 검출할 수 있는 중성자 검출기(1000)에 대하여 첨부된 도면들을 포함한 구체예 또는 실시예를 통해 더욱 상세히 설명한다. 다만 하기 구체예 또는 실시예는 본 발명을 상세히 설명하기 위한 하나의 참조일 뿐 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니며, 여러 형태로 구현될 수 있다.
- [42] 또한, 달리 정의되지 않는 한, 모든 기술적 용어 및 과학적 용어는 본 발명이 속하는 당업자 중 하나에 의해 일반적으로 이해되는 의미와 동일한 의미를 갖는다. 본 발명에서 설명을 위해 사용되는 용어는 단지 특정 구체예를 효과적으로 기술하기 위함이고 본 발명을 제한하는 것으로 의도되지 않는다.
- [43] 또한, 명세서 및 첨부된 특허청구범위에서 사용되는 단수 형태는 문맥에서 특별한 지시가 없는 한 복수 형태도 포함하는 것으로 의도할 수 있다.
- [44] 또한, 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.
- [45] 도 6은 본 발명의 중성자 검출기 내부 모식도를 도시한 것이다. 도 6을 참조하면, 본 발명의 중성자 검출기(1000)는 센서(120), 검출부(100), 이동부(200)를 포함한다. 상기 센서(120)는 중성자를 검출하기 위한 것이고, 상기 센서(120)는 상기 센서(120)의 주변에 구비되는 감속재(130)를 포함한다. 여기에서, 상기 감속재(130)는 중앙이 축방향으로 관통된 구조로 형성되고, 상기 감속재(130)의 중공에 상기 센서(120)가 배치된다. 상기 검출부(100)는 기준센서(121)를 더 포함한다.
- [46] 도 7은 본 발명의 중성자 검출기 모식도를 도시한 것이다. 도 7을 참조하면, 상기 검출부(100)는 상기 이동부(200)와 결합되어 있으며, 상기 이동부(200)는 상기 검출부(100) 또는 상기 센서(120)를 이동시킨다. 상세하게는, 상기 이동부(200)는

상기 검출부(100)의 감속재(130) 또는 센서(120)를 이동시킨다. 그에 따라 상기 센서(120) 또는 상기 감속재(130)는 기설정된 위치에 고정되고, 상기 센서(120)에 대한 상기 감속재(130)의 상대적인 위치가 가변되도록 구성된다. 상기 이동부(200)는 모터에 의해 구동될 수 있는 액추에이터로 구성될 수 있으며, 상기 액추에이터에 의해 상기 검출부(100)를 전후진방향으로 이동시킬 수 있다. 따라서, 상기 센서(120)가 고정된 상태에서 상기 이동부(200)에 의해 검출부(100) 내부의 감속재(130)의 위치가 이동되며 측정될 수 있어 특정 방향에서 입사되는 0.025eV 이하의 에너지를 갖는 열중성자에서부터 1MeV보다 큰 에너지를 갖는 고속중성자까지 다양한 범위의 에너지를 가지는 중성자에 대한 검출이 가능하다.

[47] 도 8은 본 발명의 감속재 모식도를 도시한 것이다. 도 8을 참조하면, 본 발명의 감속재(130)는 다수의 원통 구조물이 동심을 이루어 축방향으로 적층된 형태이고, 축방향을 따라 후방에서 전방으로 갈수록 상기 각 원통 구조물의 직경이 작아지는 형태로 구성된다. 상기 감속재(130)에 구비되는 원통 구조물이 다수개로 구비될 수 있으며, 후방에서 전방으로 갈수록 직경이 작아지는 형태로 구성됨에 따라 높은 에너지를 갖는 중성자부터 낮은 에너지를 갖는 중성자까지 검출이 가능하다. 상세하게는, 상기 감속재(130)는 원통 구조물로 구성되며, 원통형의 제1감속재(131), 상기 제1감속재(131)의 직경보다 작게 형성되며, 상기 제1감속재(131)의 일측 및 타측이 형성되는 측벽 내부에 형성되는 제2감속재(132), 상기 제2감속재(132)의 직경보다 작게 형성되며, 상기 제2감속재(132)의 일면에 형성되는 제3감속재(133), 상기 제3감속재(133)의 직경보다 작게 형성되며, 상기 제3감속재(133)의 일면에 형성되는 제4감속재(134)를 포함할 수 있다. 종래 보너구를 이용한 중성자 검출 방법은 높은 에너지를 갖는 중성자의 검출을 위해서는 중성자 반응도를 높이기 위해 직경이 큰 보너구를 사용해야 했으며, 낮은 에너지를 갖는 중성자의 검출을 위해서는 직경이 작은 보너구를 사용해야 하므로, 열중성자 영역에서 속중성자 영역까지 보너구를 사용하여 반응도를 측정하기 위해서 각각의 중성자 영역별로 반응도가 높은 보너구를 사용해야만 했다. 그러나 본 발명의 중성자 검출기(1000)는 중성자를 검출하는 센서(120)가 다양한 크기를 가지는 감속재(130)로 구성되는 검출부(100) 내에서 이동되도록 구성되어 본 발명의 중성자 검출기(1000)만으로 다양한 에너지의 중성자를 간단하고 빠르게 검출할 수 있다.

[48] 또한, 상기 원통 구조물은 축방향으로 제1감속재, 제2감속재, 제3감속재(133), 제4감속재(134)의 적층형으로 구성되고, 상기 감속재(130)는 폴리스틸렌 또는 폴리에틸렌 또는 보론이 함유된 폴리에틸렌 중 어느 하나로 이루어진다. 상기 감속재(130)는 입사된 중성자를 감속시켜 열중성자로 변환하는 역할을 한다. 여기에, 폴리에틸렌 및 폴리스틸렌, 보론이 함유된 폴리에틸렌은 중성자를 감속시키는 역할을 할 수 있다. 또한, 폴리스틸렌은 $(CH)_n$, 폴리에틸렌은 $(CH_2)_n$ 의 구조식을 가지며, 수소가 많을수록 중성자와 수소의 탄성산란에 의해 중성자가 에너지를 잃어 열중성자로 변환될 수 있다. 따라서, 중성자의 감속 효과는 폴리에틸렌

이 폴리스틸렌보다 더 높다. 따라서, 본 발명의 중성자 검출기(1000)의 상기 제1 감속재(131)는 폴리에틸렌(PE)으로 구성된다. 상기 제1감속재(131)가 중성자 감속 효율이 높은 폴리에틸렌으로 구성됨으로써 에너지가 높은 고속 중성자를 효과적으로 감속시킬 수 있다. 또한, 상기 제2감속재(132) 및 상기 제3감속재(133), 상기 제4감속재(134)는 폴리스틸렌(PS)으로 구성된다. 상기 제2감속재(132) 및 상기 제3감속재(133), 상기 제4감속재(134)가 폴리스틸렌으로 구성됨으로써 에너지가 낮은 저속 중성자를 감속시킬 수 있어 과도한 중성자 감속의 방지가 가능하다. 또한, 상기 제4감속재(134)는 상기 제4감속재(134) 외부의 둘레면이 보론을 함유한 폴리에틸렌으로 구성된다. 여기에서 보론은 열중성자를 포획하여 제거하는 역할을 할 수 있어, 상기 제4감속재(134)가 상기 제4감속재(134) 외부의 둘레면이 보론을 함유한 폴리에틸렌으로 구성됨으로써 열중성자가 중성자를 검출하는 센서(120) 내부로 직접 침투하는 것을 차단할 수 있다.

[49] 도 9는 본 발명의 감속재 내부 모식도를 도시한 것이다. 도 9를 참조하면, 상기 감속재(130)는 상기 감속재(130)의 외주면을 둘러싸는 내부감속재(111)를 포함하며, 상기 내부감속재(111)는 상기 내부감속재(111)의 외주면을 둘러싸는 커버(110)를 더 포함한다. 상기 내부감속재(111)는 제1감속재(131)와 맞닿은 둘레면이 보론을 함유한 폴리에틸렌으로 구성된다. 상기 내부감속재(111)가 보론을 함유한 폴리에틸렌으로 구성됨으로써 외부에서 유입되는 열중성자를 차단할 수 있다. 보론을 함유한 폴리에틸렌은 감속된 열중성자를 제거하는 특성이 있어 열중성자가 상기 감속재(130) 내부에 입사되는 것을 방지할 수 있어 중성자가 검출되는 영역을 중성자의 에너지별로 분리할 수 있다. 또한, 상기 커버(110)는 알루미늄으로 구성될 수 있다. 상기 커버(110)가 알루미늄으로 구성됨으로써 상기 내부감속재(111)를 보호할 수 있는 역할을 한다. 상세하게는, 외부에서 입사되는 중성자 중에 원하지 않는 방향에서 입사되는 중성자를 차단함으로써 정확하고 신뢰성 있는 결과를 얻기 위함이다.

[50] 도 10은 본 발명의 검출부(100)의 내부 단면도를 도시한 것이다. 도 10을 참조하면, 본 발명의 검출부(100)는 커버(110)와 내부감속재(111), 내부감속재에 구비되는 감속재(130)를 포함하며, 상기 감속재(130) 내부에는 중공이 형성되어 센서(120)가 관통되게 형성된다. 또한, 상기 감속재(130) 내부에는 기준센서(121)가 더 구비될 수 있으며, 상기 감속재(130) 내부에 형성된 중공을 차단하는 차단캡(135)이 더 구비될 수 있다. 상기 감속재(130)는 원통 구조물이 다수개로 구비되며, 후방에서 전방으로 갈수록 직경이 작아지는 형태로 구성된다. 또한, 제1감속재(131), 상기 제1감속재(131)의 직경보다 작게 형성되며, 상기 제1감속재(131)의 일측 및 타측이 형성되는 측벽 내부에 형성되는 제2감속재(132), 상기 제2감속재(132)의 직경보다 작게 형성되며, 상기 제2감속재(132)의 일면에 형성되는 제3감속재(133), 상기 제3감속재(133)의 직경보다 작게 형성되며, 상기 제3감속재(133)의 일면에 형성되는 제4감속재(134)로 구성된다. 상기 감속재(130)는 입사된 중성자를 감속시켜 열중성자로 변환하는 역할을 하며, 리스틸렌 또는 폴리에틸렌

또는 보론이 함유된 폴리에틸렌 중 어느 하나로 구성된다. 폴리스틸렌은 $(CH)_n$, 폴리에틸렌은 $(CH_2)_n$ 의 구조식을 가지므로 수서 원자를 포함하고 있어 중성자와 수소의 탄성산란에 의해 중성자가 에너지를 잃어 열중성자로 변환되므로 중성자를 감속시키는 역할을 한다.

- [51] 도 11은 본 발명의 검출부(100)에 구비되는 센서 모식도이고, 도 12는 본 발명의 검출부에 구비되는 센서 실제사진이다. 도 11(a)를 참조하면, 본 발명의 중심센서(120)는 LiCA로 구성되는 섬광체, 보론카바이드로 구성되는 차단캡(20)을 포함한다. 또한, 도 11(b)를 참조하면, 본 발명의 기준센서(121)은 LiCA로 구성되는 섬광체, 보론카바이드로 구성되는 차단캡(30)을 포함한다.
- [52] 도 11의 상기 차단캡(20, 30)은 상기 감속재(130)의 중공을 차단하도록 구성될 수 있으며, 상기 차단캡(20, 30)에 포함된 보론에 의해 상기 감속재(130)에서 감속된 열중성자가 중심센서(120)와 기준센서(121)에 도달하지 못하도록 차단할 수 있다. 상기 차단캡(20, 30)을 사용하면 중심센서(120)와 기준센서(121)의 열중성자 반응도를 상기 차단캡(20, 30)을 사용하지 않을 때와 비교할 때 $1/10$ 이하로 낮출 수 있다. 따라서 본 발명은 열외중성자 ($10\text{ eV} \sim 10\text{ keV}$) 선속이 $1 \times 10^9\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상인 고선속 환경에서도 중성자 측정이 가능하다.
- [53] 도 11(a)의 상기 센서(120)의 섬광체는 LiCAF로 구성된다. 여기에서, BNCT 치료시설의 요구사항은 열외중성자 ($10\text{ eV} \sim 10\text{ keV}$) 선속이 $1 \times 10^9\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상이어야하기 때문에 상기 센서(120)의 섬광체가 LiCAF로 구성됨으로써 $1 \times 10^9\text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 이상의 선속 측정이 가능한 효과가 있다. 또한, 상기 센서(120)는 광섬유와 연결되도록 구성되어 센서(120)로부터 검출되는 중성자의 신호를 인출할 수 있으며, 인출된 신호는 외부의 신호처리장치로 출력될 수 있으며, 계수된 중성자 개수를 기초로 하여 중성자 에너지를 연산할 수 있다. 또한, 상기 검출기는 도 11(b)와 같이 센서(120) 이외에 기준센서(121)를 더 포함한다. 상기 기준센서(121)는 상기 감속재(130)의 상기 센서(120)가 기설정된 위치와 다른 위치에 고정되어 구성된다. 상기 기준센서(121)는 상기 센서(120)에서 검출되어 계수되는 중성자의 측정값을 모니터링하고 보정하는 역할을 한다. 따라서, 상기 기준센서(121)에 의해 상기 센서(120)로부터 검출되는 중성자의 계수값에 대한 보정이 실시간으로 가능하여 정확한 계수값을 획득할 수 있게 된다.
- [54] 도 13은 본 발명의 감속재 내부에 구비되는 센서 위치에 따른 반응함수 그래프를 도시한 것으로, 본 발명의 센서(120)를 감속재(130) 내부의 다양한 위치로 이동시켰을 때의 중성자 반응함수를 도시한 것이다. 도 12를 참조하면, 도 1(b)의 보너구 스펙트로메터와 같이 감속재 크기에 따른 반응도 차이를 만들 수 있다.
- [55] 본 발명은 상기한 실시예에 한정되지 아니하며, 적용범위가 다양함은 물론이고, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이다.

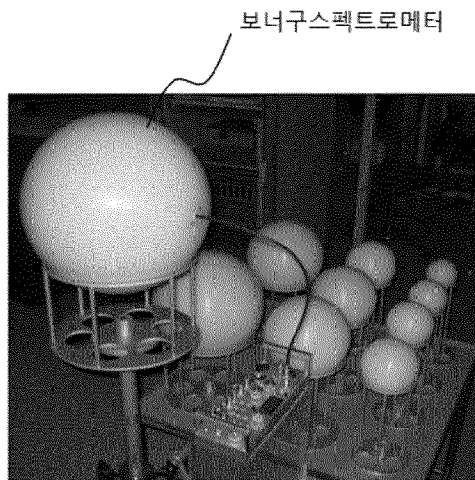
산업상 이용가능성

- [56] 본 발명은 중성자 검출기에 관한 것으로, 중성자에서 속중성자에 이르는 넓은 에너지 범위에서 중성자 에너지 스펙트럼을 측정할 수 있어 특정 방향에서 입사되는 0.025eV 이하의 에너지를 갖는 열중성자에서부터 1MeV보다 큰 에너지를 갖는 고속중성자까지 다양한 범위의 에너지를 가지는 중성자에 대한 검출이 가능하다.

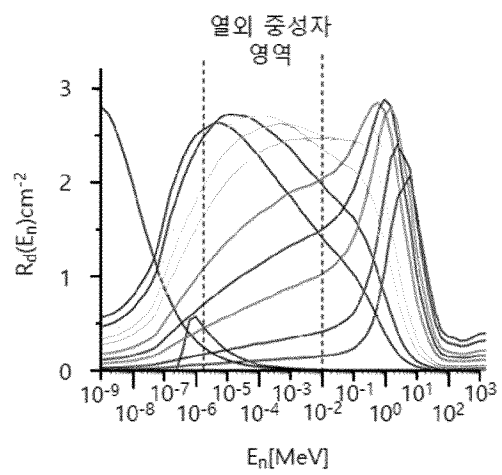
청구범위

- [청구항 1] 중성자를 검출하기 위한 센서와, 상기 센서의 주변에 구비되는 감속재를 포함하는 검출부; 및
상기 검출부 또는 센서를 이동시키는 이동부;
를 포함하고,
상기 이동부는 상기 검출부의 감속재 또는 센서를 이동시키며,
그에 따라 상기 센서에 대한 상기 감속재의 상대적인 위치가 가변되도록 구성되는 중성자 검출기.
- [청구항 2] 제1항에 있어서, 상기 감속재는,
상기 감속재의 중앙이 축방향으로 관통된 구조로 형성되고, 상기 감속재의 중공에 상기 센서가 배치되는 중성자 검출기.
- [청구항 3] 제2항에 있어서, 상기 감속재는,
다수의 원통 구조물이 동심을 이루어 축방향으로 적층된 형태이고, 축방향을 따라 후방에서 전방으로 갈수록 상기 각 원통 구조물의 직경이 작아지는 형태인 중성자 검출기.
- [청구항 4] 제1항에 있어서, 상기 검출부는,
기준센서를 더 포함하는 중성자 검출기.
- [청구항 5] 제2항에 있어서, 상기 감속재는,
상기 감속재의 중공을 차단하는 차단캡이 더 구비되는 중성자 검출기.
- [청구항 6] 제1항에 있어서, 상기 이동부는,
상기 검출부를 전후진방향으로 이동시키는 중성자검출기.
- [청구항 7] 제1항에 있어서, 상기 검출부는,
상기 감속재의 외주면을 둘러싸는 내부감속재를 더 포함하는 중성자 검출기.
- [청구항 8] 제7항에 있어서, 상기 검출부는,
상기 내부감속재의 외주면을 둘러싸는 커버를 더 포함하는 중성자 검출기.
- [청구항 9] 제3항에 있어서, 상기 감속재는,
상기 감속재가 폴리스틸렌 또는 폴리에틸렌 또는 보론이 함유된 폴리에틸렌 중 어느 하나로 이루어진 중성자 검출기.
- [청구항 10] 제1항에 있어서,
상기 센서는 $1 \times 10^9 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ 이상의 선속 측정이 가능한 중성자 검출기.

[도1]

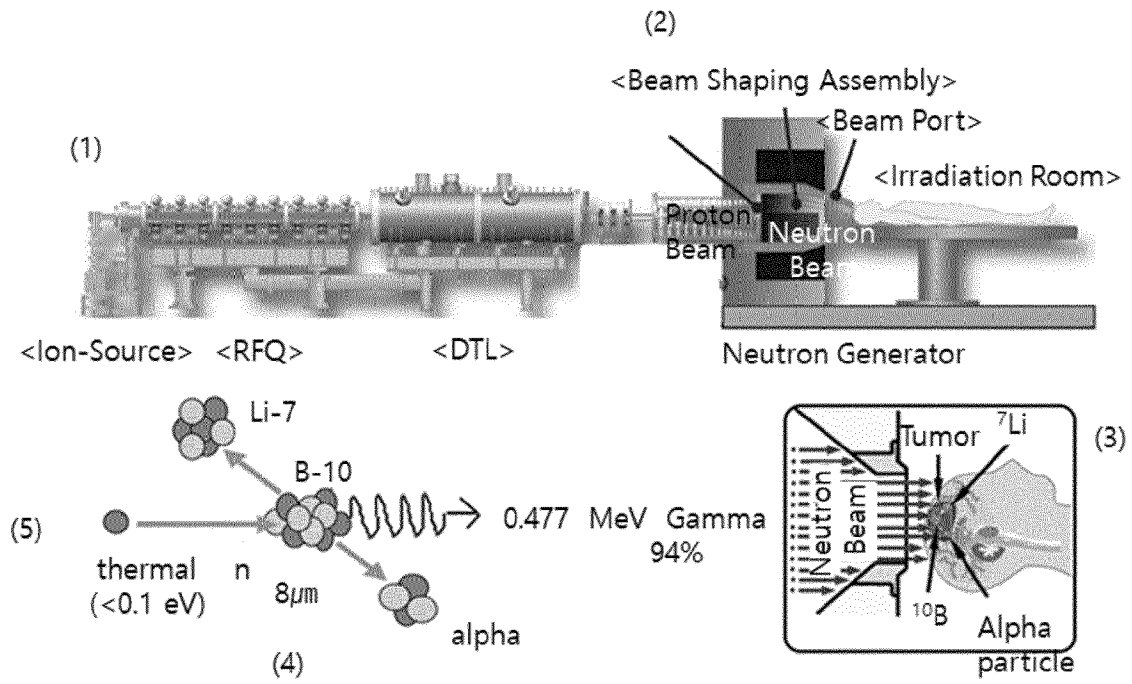


(a)

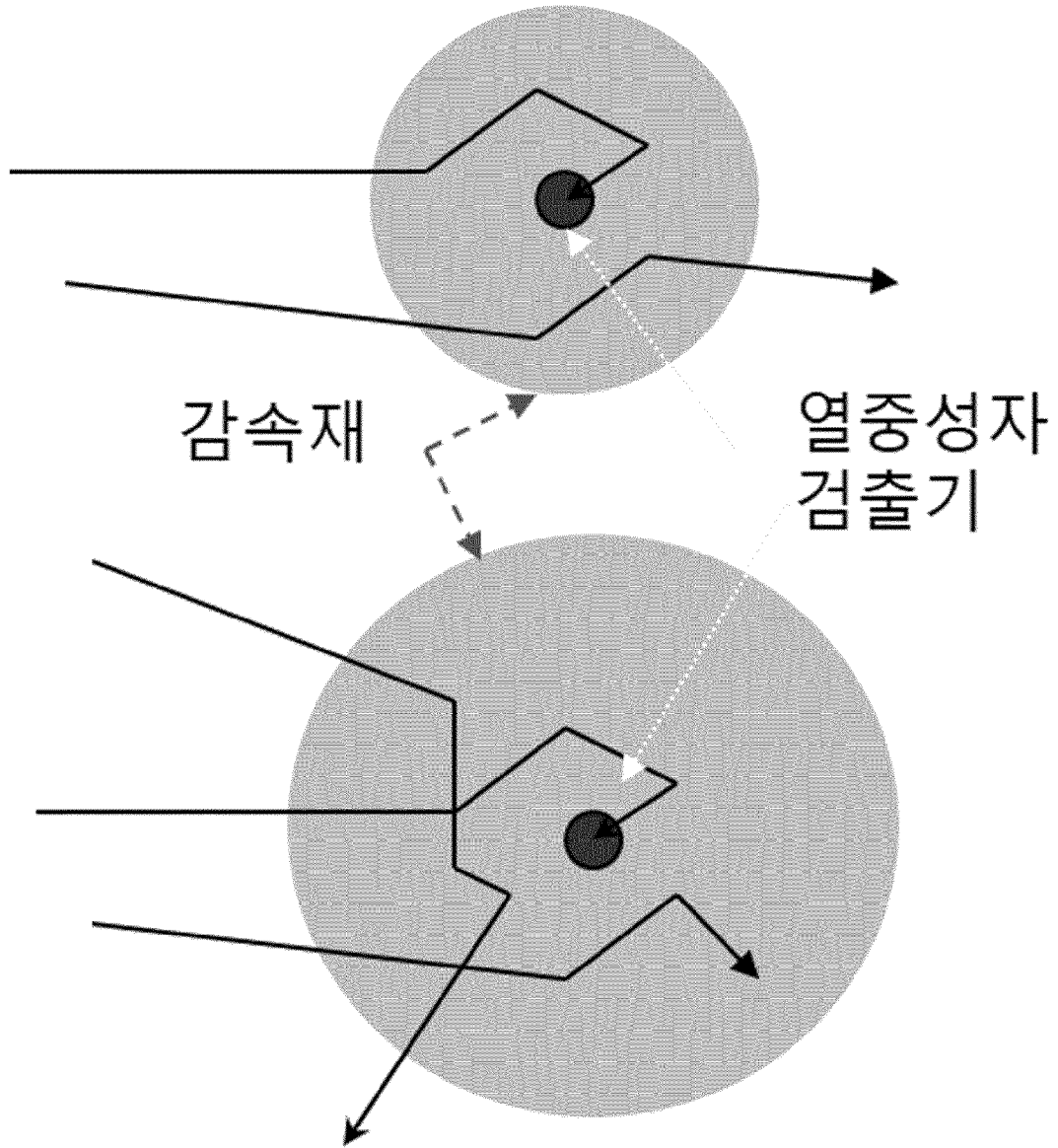


(b)

[도2]



[도3]



[도4]

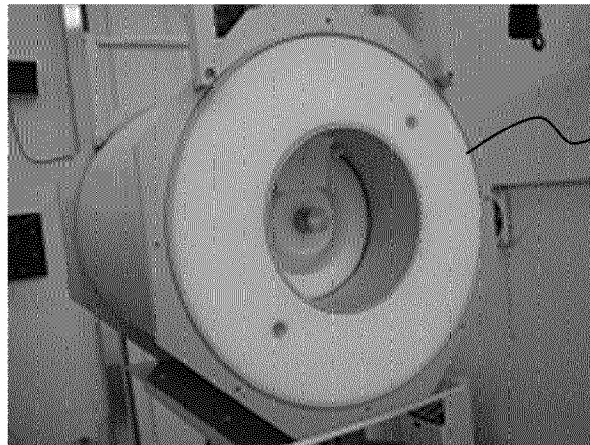
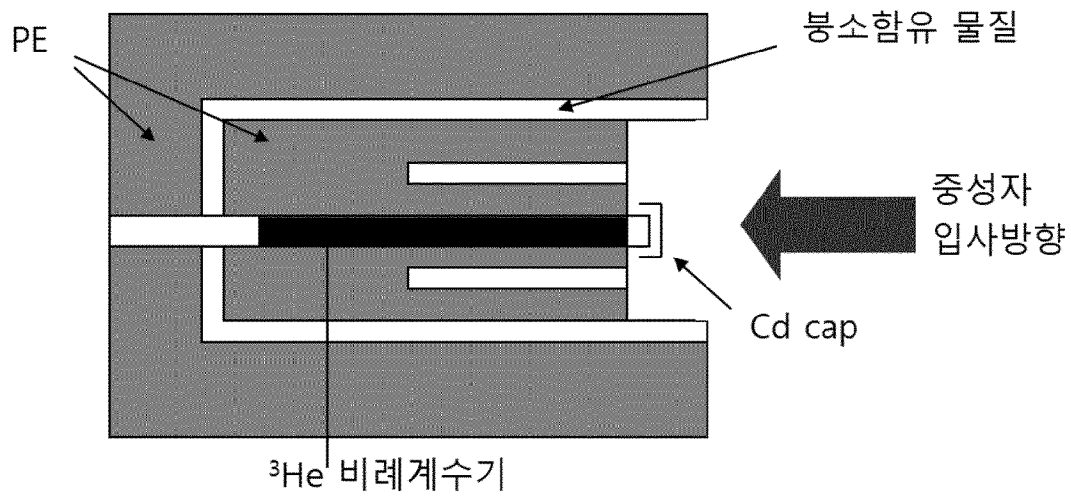
폴리에틸렌 감속재

금속갹질

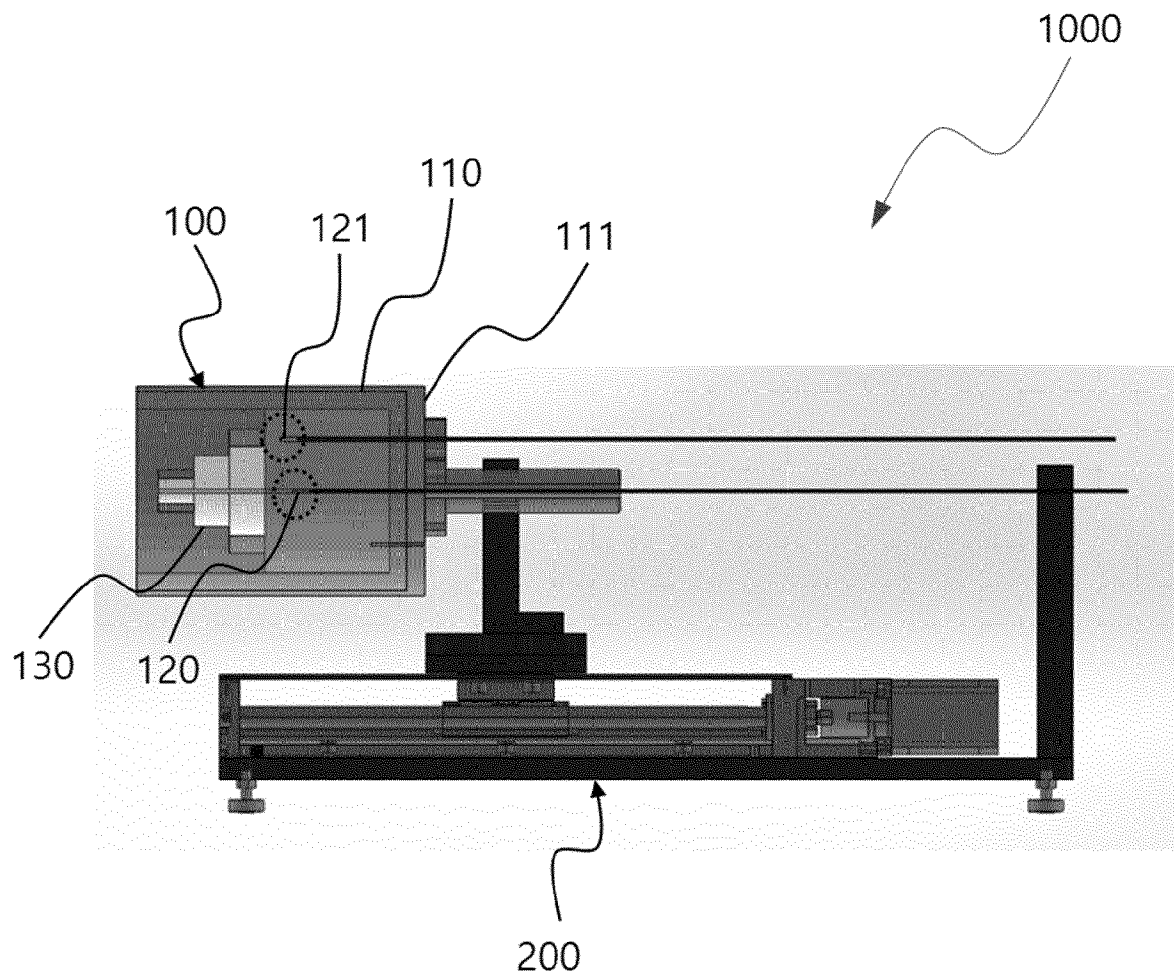


[도5]

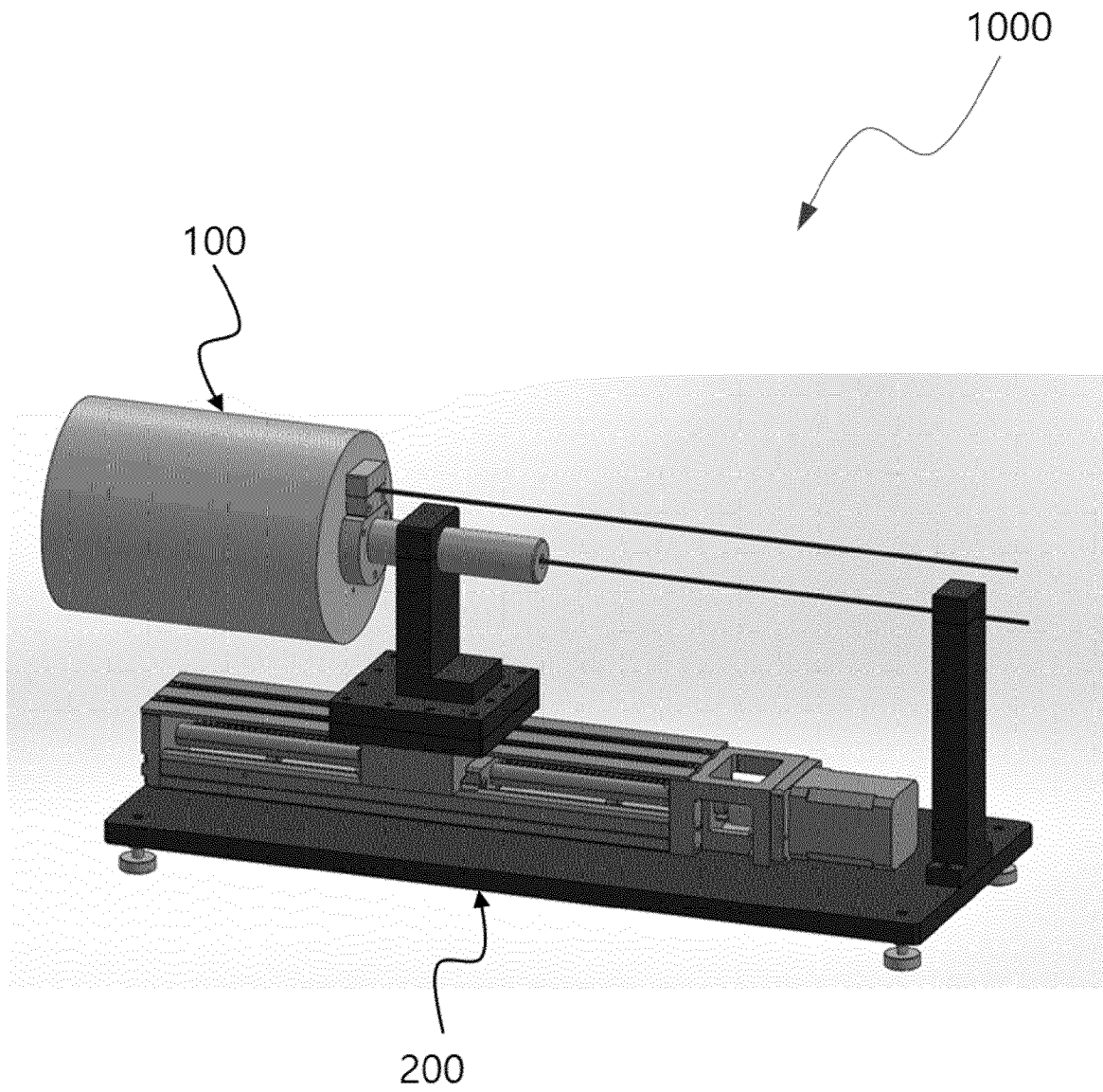
입사 중성자 에너지에 따른 측정효율 변화 최소화



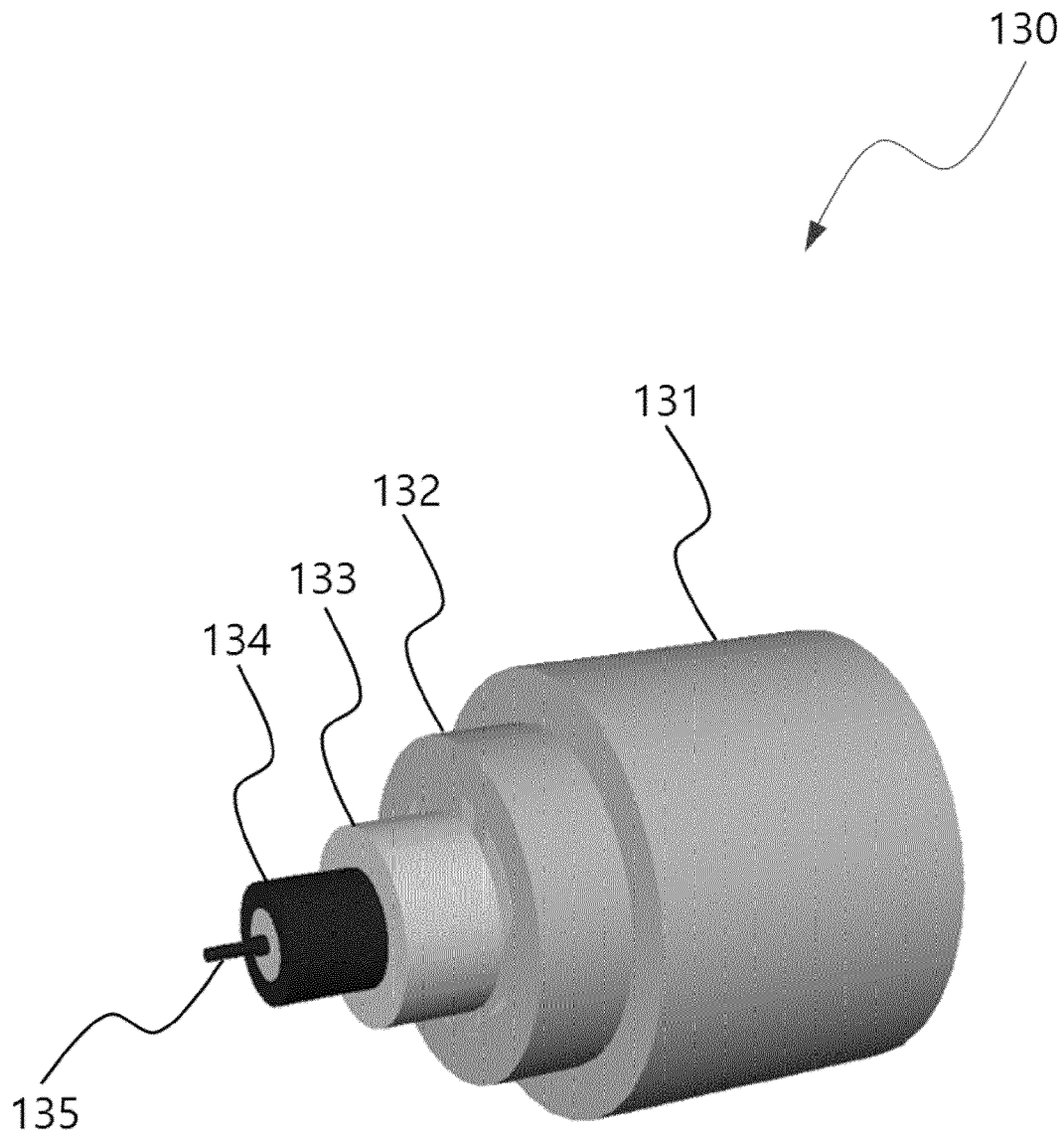
[도6]



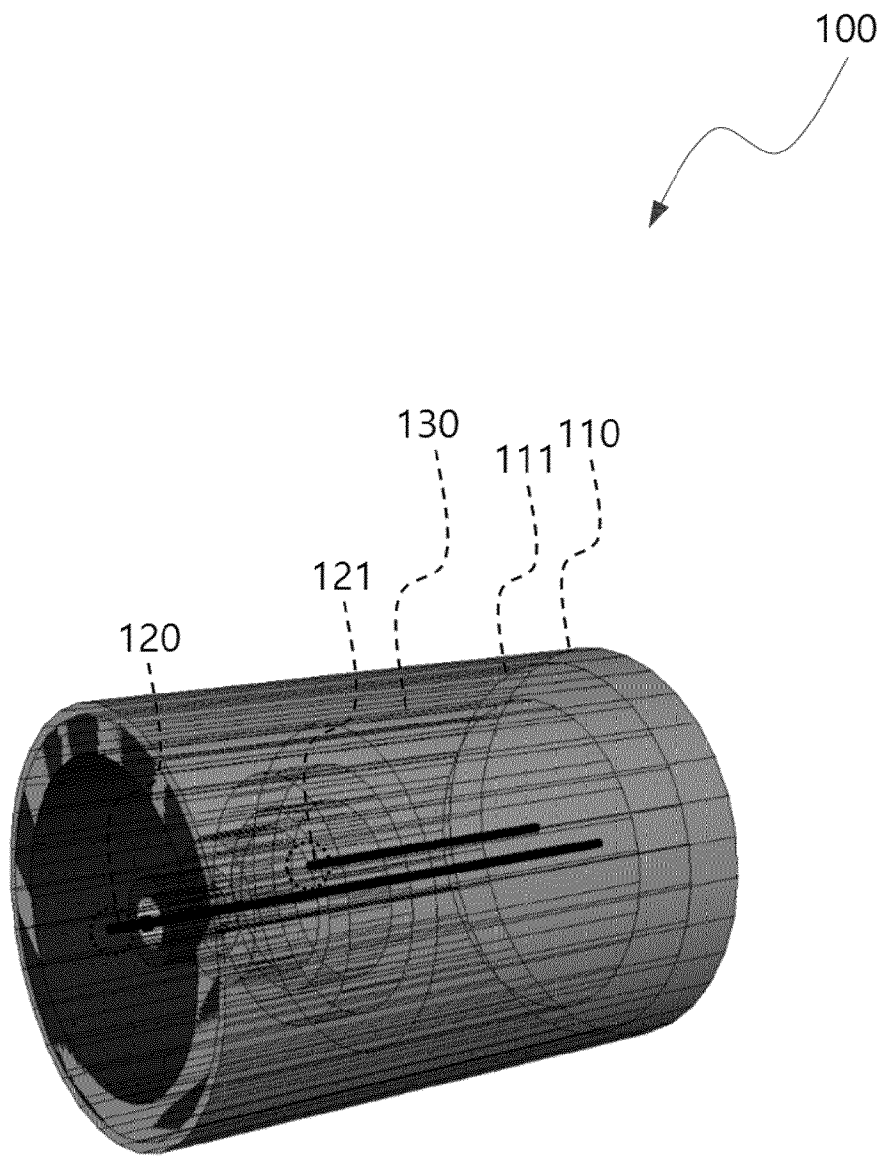
[도7]



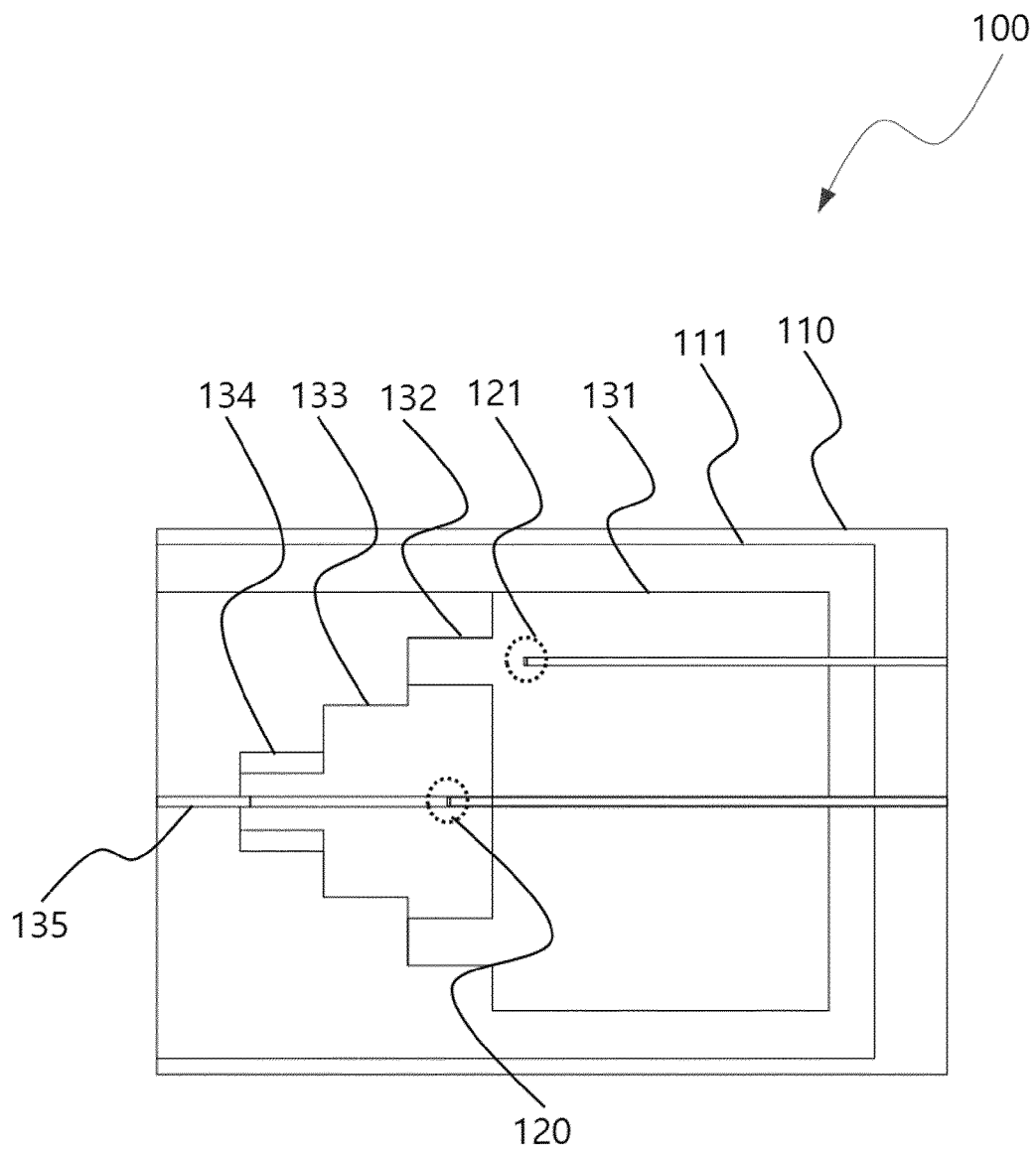
[도8]



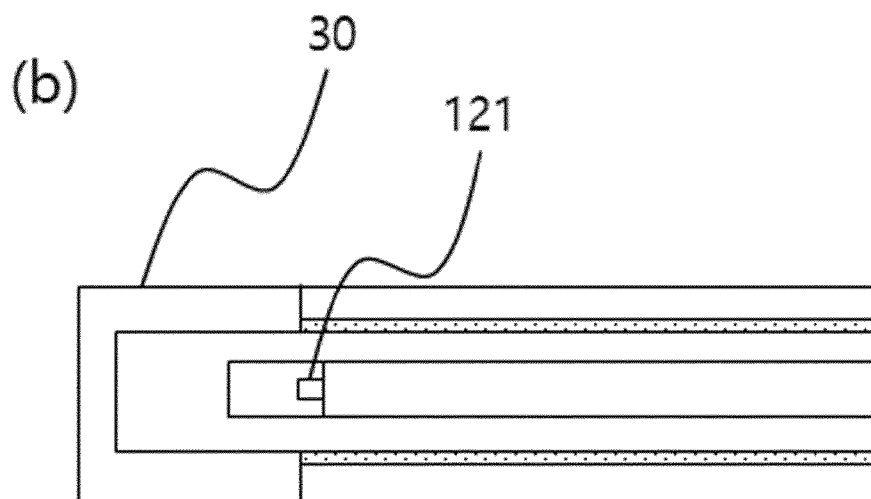
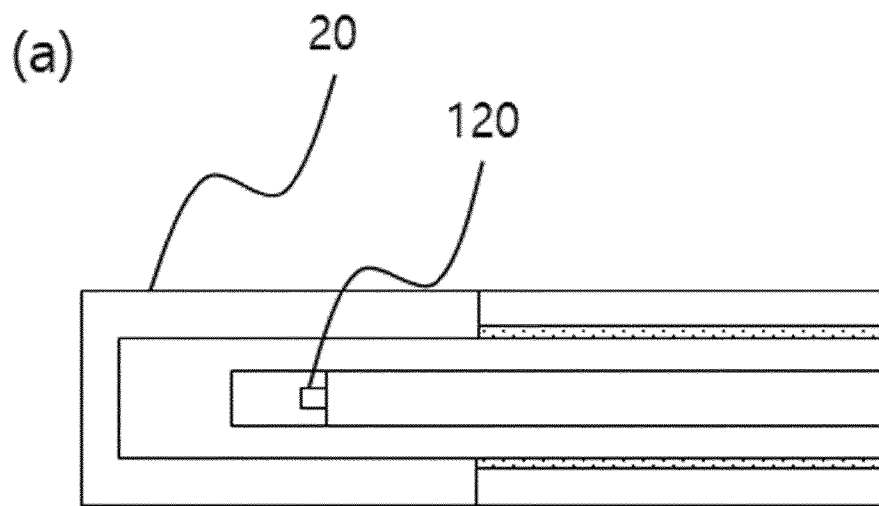
[도9]



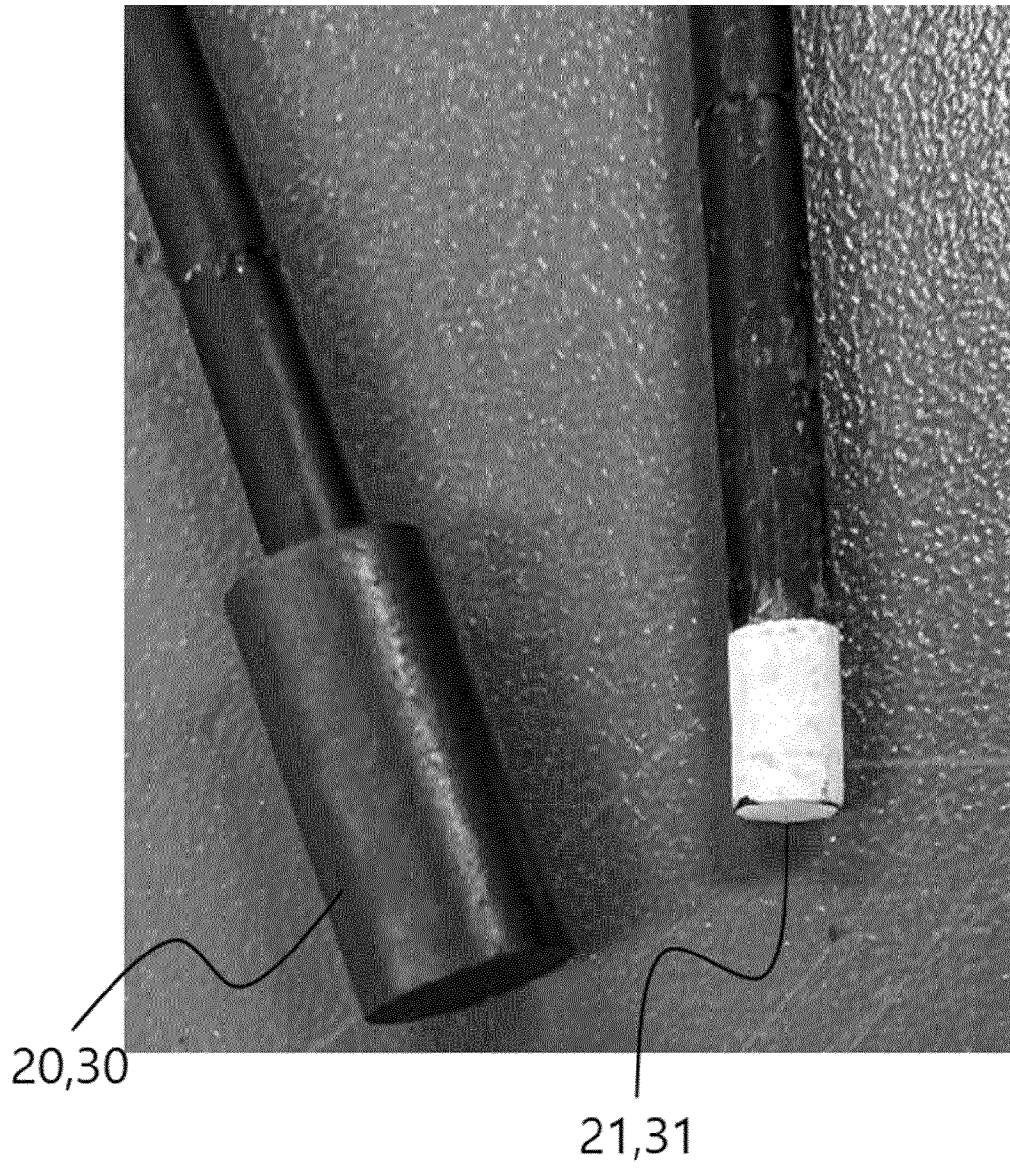
[도10]



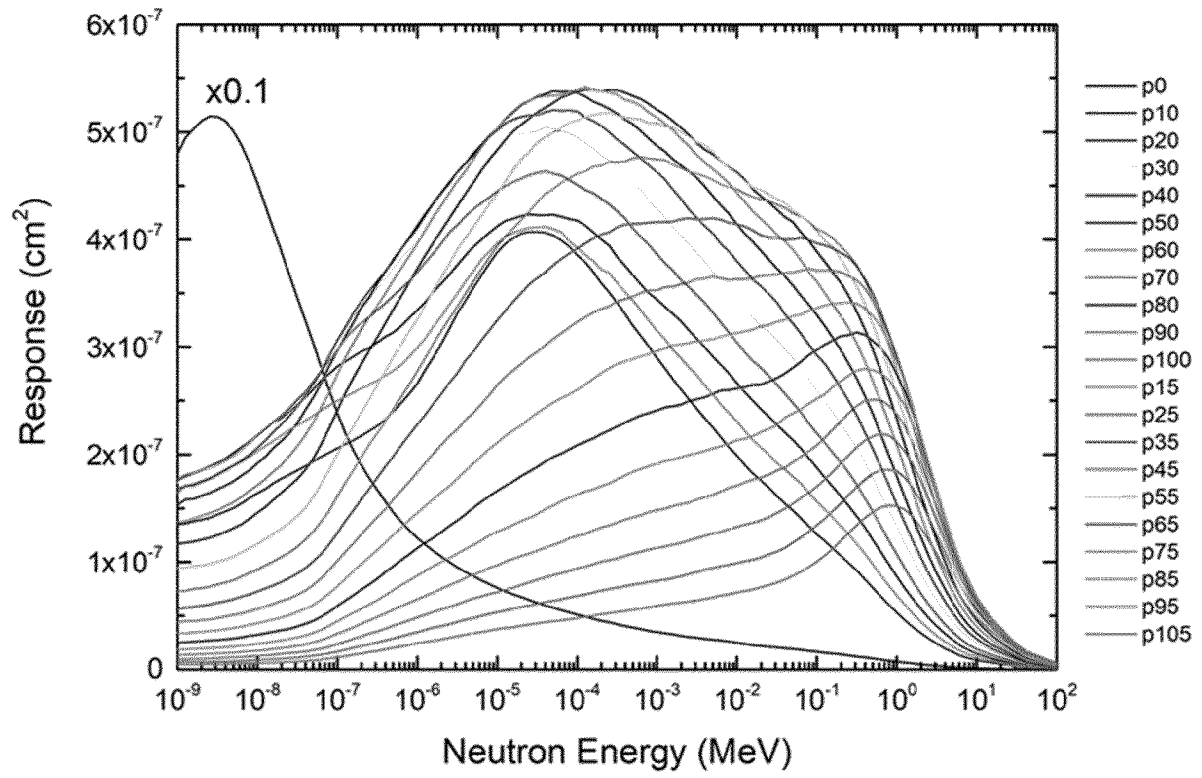
[도11]



[도12]



[도13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2023/020610

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01T 3/00(2006.01)i; G01T 3/06(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)

G01T 3/00(2006.01); G01T 3/06(2006.01); G01V 5/10(2006.01); G01V 5/14(2006.01); G21C 17/12(2006.01);
G21K 1/00(2006.01); G21K 5/08(2006.01); H05H 6/00(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: 중성자(neutron), 감속재(moderator), 센서(sensor), 검출(detector), 중공(hollow), 두께(thickness), 원통(cylinder)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 03-082985 A (TOSHIBA CORP.) 08 April 1991 (1991-04-08) See columns 1-2 and 5-8 and figures 2-3.	1-10
Y	KR 10-2064557 B1 (KOREA INSTITUTE OF GEOSCIENCE AND MINERAL RESOURCES(KIGAM)) 02 March 2020 (2020-03-02) See paragraphs [0037] and [0049]-[0050] and claim 1.	1-10
Y	JP 2001-042048 A (TOSHIBA CORP.) 16 February 2001 (2001-02-16) See paragraphs [0025] and [0028]-[0033] and figure 1.	4-5,7-9
A	KR 10-1039537 B1 (SUMITOMO HEAVY INDUSTRIES, LTD.) 09 June 2011 (2011-06-09) See claims 1-5 and figures 1-2.	1-10
A	WO 2007-043762 A1 (KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE et al.) 19 April 2007 (2007-04-19) See claims 1-8 and figure 1.	1-10



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

05 March 2024

Date of mailing of the international search report

05 March 2024

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

International application No.

PCT/KR2023/020610

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	KR 10-2557195 B1 (KOREA RESEARCH INSTITUTE OF STANDARDS AND SCIENCE) 21 July 2023 (2023-07-21) See claims 1-2, 4-5 and 7-10 and figure 6. *This document is a published earlier application that serves as a basis for claiming priority of the present international application.	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2023/020610

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	03-082985	A	08 April 1991	None			
KR	10-2064557	B1	02 March 2020	None			
JP	2001-042048	A	16 February 2001	None			
KR	10-1039537	B1	09 June 2011	CN	101521981	A	02 September 2009
				CN	101521981	B	07 December 2011
				JP	2009-204428	A	10 September 2009
				JP	5178238	B2	10 April 2013
				KR	10-2009-0092713	A	01 September 2009
				TW	200941505	A	01 October 2009
				TW	I407456	B	01 September 2013
WO	2007-043762	A1	19 April 2007	KR	10-0668908	B1	12 January 2007
				KR	10-0729035	B1	14 June 2007
				KR	10-2007-0039352	A	11 April 2007
				US	2009-0001294	A1	01 January 2009
KR	10-2557195	B1	21 July 2023	None			

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) G01T 3/00(2006.01)i; G01T 3/06(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G01T 3/00(2006.01); G01T 3/06(2006.01); G01V 5/10(2006.01); G01V 5/14(2006.01); G21C 17/12(2006.01); G21K 1/00(2006.01); G21K 5/08(2006.01); H05H 6/00(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: 중성자(neutron), 감속재(moderator), 센서(sensor), 검출(detector), 중공(hollow), 두께(thickness), 원통(cylinder)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
Y	JP 03-082985 A (TOSHIBA CORP.) 1991.04.08 컬럼 1-2, 5-8 및 도면 2-3	1-10
Y	KR 10-2064557 B1 (한국지질자원연구원) 2020.03.02 단락 [0037], [0049]-[0050] 및 청구항 1	1-10
Y	JP 2001-042048 A (TOSHIBA CORP.) 2001.02.16 단락 [0025], [0028]-[0033] 및 도면 1	4-5,7-9
A	KR 10-1039537 B1 (스미도모츠키가이교교 가부시키키가이사) 2011.06.09 청구항 1-5 및 도면 1-2	1-10
A	WO 2007-043762 A1 (KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE 등) 2007.04.19 청구항 1-8 및 도면 1	1-10
☒ 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 “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 2024년03월05일(05.03.2024)	국제조사보고서 발송일 2024년03월05일(05.03.2024)	
ISA/KR의 명칭 및 우편주소 대한민국 특허청 (35208) 대전광역시 서구 청사로 189, 4동 (둔산동, 정부대전청사) 팩스 번호 +82-42-481-8578	심사관 박태욱 전화번호 +82-42-481-3405	

C. 관련 문헌

카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
PX	KR 10-2557195 B1 (한국표준과학연구원) 2023.07.21 청구항 1-2, 4-5, 7-10 및 도면 6 *위 문헌은 본 국제출원의 우선권주장의 기초가 되는 선출원의 공개된 공보임	1-10

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
JP 03-082985 A	1991/04/08	없음	
KR 10-2064557 B1	2020/03/02	없음	
JP 2001-042048 A	2001/02/16	없음	
KR 10-1039537 B1	2011/06/09	CN 101521981 A	2009/09/02
		CN 101521981 B	2011/12/07
		JP 2009-204428 A	2009/09/10
		JP 5178238 B2	2013/04/10
		KR 10-2009-0092713 A	2009/09/01
		TW 200941505 A	2009/10/01
		TW I407456 B	2013/09/01
WO 2007-043762 A1	2007/04/19	KR 10-0668908 B1	2007/01/12
		KR 10-0729035 B1	2007/06/14
		KR 10-2007-0039352 A	2007/04/11
		US 2009-0001294 A1	2009/01/01
KR 10-2557195 B1	2023/07/21	없음	