



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년06월12일
(11) 등록번호 10-1528220
(24) 등록일자 2015년06월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 3/04 (2006.01) G21C 1/02 (2006.01)
G21C 3/16 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0131805
(22) 출원일자 2013년10월31일
심사청구일자 2013년10월31일
(65) 공개번호 10-2015-0050247
(43) 공개일자 2015년05월08일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020080034320 A
KR1020120092636 A

(73) 특허권자
한국원자력연구원
대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)
(72) 발명자
윤성환
대전광역시 서구 둔산남로9번길 33, 203호 (둔산동)
김상지
대전광역시 유성구 노은서로210번길 32, 407동
1903호 (지족동, 열매마을4단지)
(74) 대리인
박장원

전체 청구항 수 : 총 12 항

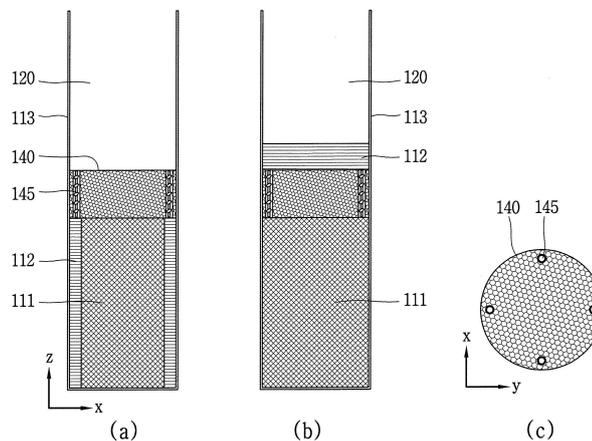
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 핵연료봉, 핵연료 집합체 및 이를 이용한 고속 원자로

(57) 요약

본 발명은 핵연료봉, 핵연료 집합체 및 이를 이용한 고속 원자로에 관한 것으로, 내부에 핵연료 슬러그(fuel slug)가 충전되고, 상기 핵연료 슬러그의 외주에 피복관(cladding tube)이 형성되며, 상기 핵연료 슬러그와 피복관의 열적 본딩(bonding)을 위해 상기 핵연료 슬러그와 피복관 사이에 액체 금속이 채워지는 핵연료 모듈, 상기 핵연료 모듈의 상부에 형성되어 핵분열시 생성된 기체 생성물이 유입되는 플레넘부, 상기 핵연료 모듈의 하부에 형성되어 고속 중성자가 조사될 때 상기 핵연료 모듈의 손상을 방지하도록 형성되는 차폐부 및 상기 핵연료 모듈의 상부에 배치되어 핵분열시 상기 액체 금속 및 핵분열시 생성된 기체 생성물의 통로를 구비하는 상부 반사체를 포함하고, 상기 상부 반사체는 상기 피복관의 내부에 형성되어 핵분열시 상기 액체 금속 및 생성된 기체 생성물이 이동하는 통로를 제공하는 핵연료봉을 이용한 핵연료 집합체 및 고속 원자로가 개시된다.

대표도 - 도6



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 2012M2A8A2025622
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 원자력연구개발사업
연구과제명 소듐냉각고속로 원자로설계
기여율 1/1
주관기관 한국원자력연구원
연구기간 2013.03.01 ~ 2014.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

내부에 핵연료 슬러그(fuel slug)가 충전되고, 상기 핵연료 슬러그의 외주에 피복관(cladding tube)이 형성되며, 상기 핵연료 슬러그와 피복관의 열적 본딩(bonding)을 위해 상기 핵연료 슬러그와 피복관 사이에 액체 금속이 채워지는 핵연료 모듈;

상기 핵연료 모듈의 상부에 형성되어 핵분열시 생성된 기체 생성물이 유입되는 플레넘부;

상기 핵연료 모듈의 하부에 형성되어 고속 중성자가 조사될 때 상기 핵연료 모듈의 손상을 방지하도록 형성되는 차폐부; 및

상기 핵연료 모듈과 상기 플레넘부 사이에 배치되어 핵분열시 상기 액체 금속 및 핵분열시 생성된 기체 생성물의 통로를 구비하는 상부 반사체를 포함하고,

상기 상부 반사체는 상기 피복관의 내부에 형성되어 핵분열시 상기 액체 금속이 상기 상부 반사체의 상부로 이동하여 상기 핵연료 슬러그 상에 위치하도록 하는 통로를 제공하는 핵연료봉.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 상부 반사체는,

상기 피복관에 내접하며, 상기 액체 금속과 연결되도록 축방향을 따라 관통홀이 형성되는 것을 특징으로 하는 핵연료봉.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 상부 반사체는,

상기 피복관의 내경보다 작은 직경을 가지는 것을 특징으로 하는 핵연료봉.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 상부 반사체는,

상기 피복관의 내경에 접하는 다각형인 것을 특징으로 하는 핵연료봉.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 액체 금속은 소듐 본드인 것을 특징으로 하는 핵연료봉.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 상부 반사체는 합금강, ZrH₂, MgO, CeO, C, BeO 및 SiC의 군으로부터 선택되는 하나 이상의 재질로 이루어지는 것을 특징으로 하는 핵연료봉.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 피복관은 스테인레스 스틸 재질(STS)로 이루어지는 것을 특징으로 하는 핵연료봉.

청구항 8

상부와 하부에 각각 형성되어 액체 금속이 유입되는 유입구와 액체 금속이 유출되는 유출구가 구비된 중공의 하우징; 및

상기 하우징에 구비되는 복수의 핵연료봉을 포함하고,

상기 핵연료봉은 내부에 핵연료 슬러그가 충전되고, 상기 핵연료 슬러그의 외주에 구비되어 상기 핵연료 슬러그를 냉각시키도록 상기 핵연료 슬러그와 피복관 사이에 액체 금속이 충전되고, 상기 핵연료 슬러그의 상부 및 상기 피복관의 내부에 형성되는 반사체가 구비되어 핵분열시 상기 액체 금속 및 생성된 기체 생성물이 이동하는 통로가 형성되고,

상기 액체 금속이 핵분열시 상기 통로를 통하여 상부 반사체의 상부로 이동하여 상기 핵연료 슬러그 상에 위치하는 것을 특징으로 하는 핵연료 집합체.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 액체 금속은 소듐 본드인 것을 특징으로 하는 핵연료 집합체.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 반사체는 상기 핵연료봉의 피복관 내부에 형성되는 것을 특징으로 하는 핵연료 집합체.

청구항 11

복수의 핵연료 집합체가 장착되는 고속 원자로에 있어서,

상기 복수의 핵연료 집합체 중 적어도 하나의 핵연료 집합체는,

중공의 하우징; 및

상기 하우징에 구비되는 복수의 핵연료봉을 포함하고,

상기 핵연료봉은 피복관과, 상기 피복관 내부에 충전되는 액체 금속과, 상기 액체 금속의 내부에 충전되는 핵연료 슬러그와, 상기 핵연료 슬러그 상부 및 상기 피복관의 내부에 구비되어 핵분열시 상기 액체 금속 및 생성된 기체 생성물이 이동하는 통로를 구비하는 반사체를 포함하고,

상기 액체 금속이 핵분열시 상기 통로를 통하여 상부 반사체의 상부로 이동하여 상기 핵연료 슬러그 상에 위치하는 것을 특징으로 하는 고속 원자로.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 반사체는 상기 피복관의 단면적보다 작도록 형성되는 것을 특징으로 하는 고속 원자로.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 핵연료봉, 핵연료 집합체 및 이를 이용한 고속 원자로에 관한 것으로, 보다 상세하게는 상부 반사체를 갖는 핵연료봉, 핵연료 집합체 및 이를 이용한 고속 원자로에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원자로란 열 발생, 방사성 동위원소 생산, 강한 방사선 발생 이외의 유용한 목적에 사용하기 위해, 핵분열이 지속적으로 발생하고 제어 가능하도록 설계된 장치이다. 이러한 원자로 내부에서 발생하는 핵분열은 중성자가 핵

분열이 가능한 원자와 충돌하여 원자가 붕괴됨으로써, 2개의 서로 다른 원자를 생성함과 동시에 많은 양의 열이 발생하는 현상을 지칭한다.

- [0003] 상기 원자로 중 특히, 발전용 원자로의 경우, 핵분열에 사용되는 중성자의 에너지 준위에 따라서 열중성자로와 고속 중성자 즉, 고속로로 구분된다. 상기 열중성자로는 상대적으로 낮은 에너지를 가지는 중성자를 이용하여 핵분열 반응을 일으키며 고속중성자로(고속로)의 경우에는 상대적으로 높은 에너지의 중성자를 이용한다.
- [0004] 상기 고속로에는 다양한 개념들을 가지나, 그 중 액체 금속 냉각 고속로가 가장 활발히 연구되고 있다. 액체 금속 냉각 고속로의 일 예로, 소듐냉각고속로를 들 수 있다. 소듐냉각고속로는 핵연료봉에서 생성되는 열의 빠른 교환을 위하여 열전도도가 높은 소듐을 냉각재로 쓰는 고속로 구조이다.
- [0005] 액체 금속 냉각 고속로는 물을 냉각재로 사용하는 경수로와는 달리 높은 열전도도를 갖는 액체 금속을 사용할 뿐만 아니라 중성자를 감속할 필요가 없기 때문에 핵연료봉을 조밀하게 배치시킬수록 효율이 좋아지는 특징을 가지고 있다.
- [0006] 핵연료봉을 구성하는 핵연료 슬러그는 피복관에 의해 둘러싸여 있는데, 이러한 피복관은 방사성 물질의 누출을 막는 첫 번째 방벽이기 때문에 노내 장전 기간동안 가능한 파손이 없도록 해야한다. 피복관은 특정 온도 이상에서 그 특성이 나빠질 수 있다. 또한, 핵연료봉을 냉각시킴으로써, 피복관의 온도를 조절할 수 있는 냉각재는 그 위치에 따라 큰 온도차이를 보이게 된다.
- [0007] 종래의 고속로는 우라늄 자원의 효율 증대를 위해 핵연료 증식 및 중성자 누출을 최소화시키는 블랭킷을 유효 노심 주위에 위치시켰었다.
- [0008] 그러나, 감손우라늄 또는 천연우라늄으로 된 블랭킷이 장전될 경우 핵무기급의 플루토늄이 생성되어 핵확산 저항성을 크게 증가시키는 문제가 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 본 발명의 일 목적은 상부 반사체를 구비하는 핵연료봉, 핵연료 집합체 및 이를 이용한 고속 원자로를 제공하는 것이다.
- [0010] 본 발명의 다른 목적은, 핵연료 모듈 상부에 위치하는 상부 반사체를 다양한 형상으로 하는 핵연료 집합체를 갖는 고속 원자로를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0011] 이와 같은 본 발명의 해결 과제를 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르는 핵연료봉은 내부에 핵연료 슬러그(fuel slug)가 충전되고, 상기 핵연료 슬러그의 외주에 피복관(cladding tube)이 형성되며, 상기 핵연료 슬러그와 피복관의 열적 본딩(bonding)을 위해 상기 핵연료 슬러그와 피복관 사이에 액체 금속이 채워지는 핵연료 모듈, 상기 핵연료 모듈의 상부에 형성되어 핵분열시 생성된 기체 생성물이 유입되는 플레넘부, 상기 핵연료 모듈의 하부에 형성되어 고속 중성자가 조사될 때 상기 핵연료 모듈의 손상을 방지하도록 형성되는 차폐부 및 상기 핵연료 모듈의 상부에 배치되어 핵분열시 상기 액체 금속 및 핵분열시 생성된 기체 생성물의 통로를 구비하는 상부 반사체를 포함하고, 상기 상부 반사체는 상기 피복관의 내부에 형성되어 핵분열시 상기 액체 금속 및 생성된 기체 생성물이 이동하는 통로를 제공한다.
- [0012] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 상부 반사체는, 상기 피복관에 내접하며, 상기 액체 금속과 연결되도록 축방향을 따라 관통홀이 형성되는 것을 특징으로 한다.
- [0013] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 상부 반사체는, 상기 피복관의 내경보다 작은 직경을 가지는 것을 특징으로 한다.
- [0014] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 상부 반사체는, 상기 피복관의 내경에 접하는 다각형일 수 있다.
- [0015] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 액체 금속은 소듐 본드인 것을 특징으로 한다.

- [0016] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 상부 반사체는 합금강, ZrH_2 , MgO , CeO , C , BeO 및 SiC 의 군으로부터 선택되는 하나 이상의 재질로 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- [0017] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 피복관은 스테인레스 스틸 재질(STS)로 이루어지는 것을 특징으로 한다.
- [0018] 본 발명과 관련한 다른 일 예에 따르면, 상부와 하부에 각각 형성되어 액체 금속이 유입되는 유입구와 액체 금속이 유출되는 유출구가 구비된 중공의 하우징 및 상기 하우징에 구비되는 복수의 핵연료봉을 포함하고, 상기 핵연료봉은 내부에 핵연료 슬러그가 충전되고, 상기 핵연료 슬러그의 외주에 구비되어 상기 핵연료 슬러그를 냉각시키도록 상기 핵연료 슬러그와 피복관 사이에 액체 금속이 충전되고, 상기 핵연료 슬러그의 상부에는 반사체가 구비되어 핵분열시 상기 액체 금속 및 생성된 기체 생성물이 이동하는 통로가 형성되는 것을 특징으로 하는 핵연료 집합체가 제공될 수 있다.
- [0019] 본 발명과 관련한 또 다른 일 예에 따르면, 복수의 핵연료 집합체가 장착되는 고속 원자로에 있어서, 상기 복수의 핵연료 집합체 중 적어도 하나의 핵연료 집합체는, 중공의 하우징 및 상기 하우징에 구비되는 복수의 핵연료봉을 포함하고, 상기 핵연료봉을 냉각시키도록 상기 핵연료봉의 피복관 내부에 액체 금속이 충전되고, 상기 핵연료봉의 내부에 충전되는 핵연료 슬러그 상부에는 반사체가 구비되어 핵분열시 상기 액체 금속 및 생성된 기체 생성물이 이동하는 통로가 형성되는 것을 특징으로 하는 고속 원자로가 제공될 수 있다.

발명의 효과

- [0020] 상기와 같이 구성되는 본 발명의 적어도 하나의 실시예에 관련된 핵연료 집합체는 반사체를 도입한 고속로에서 전형적인 하부 및 반경 방향 반사체 뿐만 아니라, 상부 반사체 도입을 통해 중성자 누출을 최소화시킬 수 있다.
- [0021] 또한, 높은 핵연료 연소도 또는 높은 주기초 연소 임계 마진을 달성할 수 있으며, 최종적으로 고속로의 경제성을 획기적으로 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 관련된 고속로의 개념도.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 관련된 핵연료 집합체의 개념도.
- 도 3은 도 2의 라인 IV-IV를 따라 절단한 상태에서의 단면도.
- 도 4는 도 3의 BB'를 따라 절단한 상태에서의 핵연료봉의 단면도.
- 도 5는 도 4의 AA'를 따라 절단한 상태에서의 핵연료봉의 단면도.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 관련된 홀이 형성된 반사체 및 핵연료 모듈의 단면도.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 관련된 원형 반사체 및 핵연료 모듈의 단면도.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 관련된 다각형 형상의 반사체 및 핵연료 모듈의 단면도.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따르는 반사체 높이에 따른 주기초 임계도 증가량을 나타내는 그래프.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따르는 반사체 직경에 따른 주기초 임계도 증가량을 나타내는 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 본 발명에 관련된 핵연료 집합체 및 이를 구비하는 고속원자로에 대하여 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 이하의 설명에서 사용되는 구성요소에 대한 접미사 "모듈" 및 "부"는 명세서 작성의 용이함만이 고려되어 부여되거나 혼용되는 것으로서, 그 자체로 서로 구별되는 의미 또는 역할을 갖는 것은 아니다. 본 명세서에서는 서로 다른 실시예라도 동일·유사한 구성에 대해서는 동일·유사한 참조번호를 부여하고, 그 설명은 처음 설명으로 갈음한다. 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.

- [0024] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 관련된 액체 금속 냉각 고속로의 개념도이다.
- [0025] 고속로의 노심(2)은 냉각제인 액체 금속(S)이 수용된 수조(3)의 내부에 잠겨짐으로써, 냉각제인 액체 금속(S)이 도 1의 화살표 도시와 같이 노심(2)의 아래에서 위로 흐른다. 또한, 상기 노심(2)의 증배계수를 조절하기 위한 제어봉(4)은 노심(2)의 상단에 위치하며, 제어봉 구동부(5)에 의해 제어봉(4)의 삽입정도가 조절된다.
- [0026] 한편, 일반적으로 노심(2)에 복수로 장전되는 핵연료 집합체의 경우, 중성자 사용 효율 증대를 위해, 가압경수로에 널리 사용되는 사각 기동형 집합체 구조 대신에 육각 기동 형태의 구조가 주로 채용될 수 있다. 이러한 육각형 구조의 핵연료 집합체 내부에 실린더 형태의 핵연료봉이 장전될 수 있다.
- [0027] 이러한 고속로의 경우, 경수로 대비 출력밀도가 높고 각 핵연료 집합체의 열출력이 상이한 액체 금속 냉각 고속로의 특성상 핵연료 집합체마다 다른 유량을 분배하여 냉각제인 액체 금속의 노심출구에서의 온도가 각 핵연료 집합체마다 유사하도록 조절할 수 있다. 그리고, 핵연료 집합체마다 배정된 유량을 유지시키고, 핵연료 집합체 간의 냉각제 이동을 방지하기 위하여 육각 기동 형상의 중공의 하우징 내에 핵연료봉들을 삽입 및 밀봉하여 핵연료 집합체 상부 및 하부에 형성된 액체 금속 유출입구로만 냉각제가 흐를 수 있도록 형성할 수 있다. 이하, 핵연료 집합체에 대해 도면을 참조하여 자세히 살펴보기로 한다.
- [0028] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 관련된 핵연료 집합체의 개념도이고, 도 3은 도 2의 IV-IV를 따라 절단한 상태에서의 단면도이고, 도 4는 도 3의 라인 BB'을 따라 절단한 상태에서의 핵연료봉의 단면도이다.
- [0029] 도 2를 참조하면, 핵연료 집합체(100)는 중공의 하우징(103)에 복수의 핵연료봉(105)이 구비되어 형성된다. 하우징(103)은 핵연료봉(105)들이 높은 조밀도를 가지고 배치되도록 핵연료봉(105)을 감싸는 부분이 육각 기동 형상으로 형성될 수 있다. 핵연료봉(105)들 사이 또는 핵연료봉(105)과 하우징(103) 사이에는 액체 금속이 충전되어 있다. 즉, 하우징(103) 내부에서 핵연료봉(105)들을 제외한 공간에 액체 금속이 충전될 수 있으며, 이하 액체 금속이 충전된 부분을 냉각부라고 하기로 한다. 본 발명의 일 실시예에서는 상기 액체 금속은 소듐(Na) 본드일 수 있다.
- [0030] 상기 핵연료 집합체(100)에는 하우징(103)의 상부와 하부에 각각 액체 금속이 유입되는 유입구(101)와 액체 금속이 유출되는 유출구(102)가 형성되어 있다. 액체 금속이 유입구(101)를 통해 유입되고 유출구(102)를 통해서 유출됨으로써, 하우징(103) 내부를 냉각시킬 수 있다.
- [0031] 이와 같이, 본 발명의 실시예에 따르는 액체 금속 냉각 고속로는 경수로나 중수를 냉각제로 사용하는 경수로 또는 중수로와 달리 높은 열전도도를 갖는 액체 금속을 사용할 뿐만 아니라 중성자를 감속할 필요가 없기 때문에 핵연료봉(105)을 조밀하게 배치시켜 발전효율을 높일 수 있다.
- [0032] 도 2를 참조하면, 핵연료봉(105)은 핵연료 모듈(110), 플레넘부(120) 및 차폐부(130)를 포함할 수 있다. 플레넘부(120)는 핵연료 모듈(110)의 상부에 위치하며, 기체 형태의 핵분열 생성물이 보관될 수 있다. 차폐부(130)는 고속 중성자의 조사로 인해 핵연료 모듈(110)이 손상되는 것을 방지하고자 핵연료 모듈(110)의 하부를 차폐가능하게 형성된다. 또한, 본 발명의 일 실시예에서는 상기 핵연료 모듈(110)의 상부에 반사체(170)가 배치될 수 있는데, 상기 반사체(170)는 플레넘부(120)와 동일한 공간상에 형성될 수 있다.
- [0033] 도 5는 도 4의 AA'를 따라 절단한 단면도인데, 도 5를 참조하면, 핵연료 모듈(110)은 핵연료 슬러그(fuel slug, 111), 피복관(113) 및 액체 금속(112)을 포함할 수 있다. 핵연료 슬러그(111)는 고농축의 산화물 연료 또는 고농축의 금속 연료가 사용될 수 있다. 피복관(113)은 스테인레스 스틸 계열의 합금이 사용될 수 있다. 그리고, 액체 금속(112)은 핵연료 슬러그(111)와 피복관(113) 사이를 채우도록 형성된다. 열전도도 향상을 위해 소듐과 같은 녹는점이 낮은 금속 물질을 이용하여 핵연료 슬러그(111)와 피복관(113)이 본딩될 수 있다.
- [0034] 핵연료 슬러그(111)를 둘러싼 피복관(113)은 방사성 물질의 누출을 막는 첫 번째 방벽이기 때문에 원자로내 핵연료 집합체(100)가 장전되는 기간 동안 가능한 파손이 없도록 해야한다. 하지만, 액체 금속 냉각 고속로에서 사용되는 피복관(113)은 주로 스테인레스 스틸 계열 합금이며, 고속중성자 조사라는 열악한 조건하에서 피복관(113)의 건전성은 특정 온도 이상에서 급격히 나빠지게 되는 특성을 갖고 있다.
- [0035] 도 6 내지 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 반사체 및 핵연료 모듈의 단면도인데, 도 6 내지 8을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에서의 핵연료 모듈은 내부에 핵연료 슬러그(111, fuel slug)가 충전되고, 상기 핵연료 슬러그(111)의 외주에 피복관(113, cladding tube)이 형성되며, 상기 핵연료 슬러그(111)와 피복관(113) 사이의 열적 본딩(bonding)을 위해 액체 금속(112)이 채워진다.
- [0036] 또한, 상기 핵연료봉(105)은 도 4에 도시된 바와 같이, 상부에 형성되어 핵분열시 생성된 기체 생성물이 유입되

는 플레넘부(120)와, 상기 핵연료 모듈(110)의 하부에 형성되어 고속 중성자가 조사될 때 상기 핵연료의 손상을 방지하도록 형성되는 차폐부(130) 및 상기 핵연료 모듈(110)의 상부에 배치되어 핵분열시 상기 액체 금속(112) 및 핵분열시 생성된 기체 생성물의 통로를 구비하는 상부 반사체(170)를 포함한다.

[0037] 이때, 본 발명의 일 실시예에 따른 상부 반사체(170)는 상기 피복관(113)의 내부에 형성되어 핵분열시 상기 액체 금속(112) 및 생성된 기체 생성물이 이동하는 통로를 제공한다.

[0038] 상기 통로를 제공하는 방식을 본 발명의 일 실시예에서는 도 6 내지 8에 예시하였으나, 이에 한정할 것은 아니며 핵분열시에 팽윤(swelling)하는 핵연료 슬러그(111)의 외주에 배치되는 액체 금속(112)이 상부 반사체(140, 150, 160)를 통하여 상부 반사체(140, 150, 160)의 상부로 이동할 수 있는 구조이면 본 발명의 권리범위에 포함된다 할 것이다. 이와 같이, 상기 액체 금속(112)이 상부 반사체(140, 150, 160)의 상부로 이동하여 핵연료 슬러그(111) 상에 위치함으로써, 중성자 누출을 최소화할 수 있게 된다.

[0039] 한편, 본 발명의 일 실시예에 사용되는 금속 연료는 초기에 급격히 팽윤하여 연료심내에 기공들이 많이 발생하고 이 기공들에는 핵분열시에 발생하는 기체 생성물로 채워지게 된다. 이러한 기공에 의해 열전도도는 신연료 때보다 감소하게 된다. 이러한 초기의 자유팽윤 단계 동안 충전된 액체 금속은 방출되어 기체 플레넘부(120)으로 밀려나오거나, 열린 기포(open pore)속으로 침투되기도 한다. 연료 팽윤이 계속 진행되어 대부분의 기공들이 상호 연결하게 되면 연료심내의 핵분열기체는 플레넘부(120)로 빠져 나오게 된다. 결국 최대 팽윤점 근처에서 상호연결된 기포를 통해 충전된 액체 금속은 연료심 내부로 침투하게 된다. 액체 금속의 열전도도는 핵분열 생성 기체에 비해 매우 크기 때문에 연료심의 열전도도는 상당량 회복하게 된다. 본 발명의 일 실시예에서의 액체 금속은 소듐(Na)일 수 있다.

[0040] 도 6에서는 상부 반사체(140)가 소정의 두께를 가지며, 피복관(113)에 내접하며, 축방향을 따라 상기 액체 금속(112)과 접촉하는 부분까지 관통홀(145)이 형성되어 핵연료 슬러그(111)가 핵분열시에 팽윤되도록 한다.

[0041] 도 6의 a 및 b는 각각 핵연료가 팽윤하기 전과 후의 핵연료봉의 단면도를 도시한 것인데, 핵분열 전에는 핵연료 슬러그(111)의 외주에 액체 금속(112) 즉, 소듐 본드가 배치되어 있다가, 핵분열이 시작되고 핵연료 슬러그(111)가 팽윤하게 되면 핵연료 슬러그(111)가 피복관(113)에까지 확장된 다음, 더 이상 확장할 공간이 없게 되면 상기 상부 반사체(140)에 형성된 관통홀(145)을 따라 상부 반사체(140)를 관통하여 상부 반사체(140)의 상측으로 이동하게 된다. 이때, 핵분열시에 발생하는 기체 생성물도 상기 소듐 본드(112)와 함께 이동하게 된다. 도 6의 c는 상기 상부 반사체(140)의 평면도로, 반경 방향을 따라 관통홀(145)이 형성되어 있음을 알 수 있다. 도 6의 c에서는 관통홀(145)을 중심을 기준으로 원주 방향으로 90°가 되도록 형성되어 있으나, 반드시 이에 한정할 것은 아니고, 관통홀(145)의 개수는 필요에 따라 적절한 개소에 형성할 수 있다.

[0042] 도 7에서의 상부 반사체(150)는 상기 피복관(113)의 내경보다 작은 직경을 갖도록 한다. 즉, 상기 상부 반사체(150)는 소정의 두께를 가지며 형성되나, 도 6에서와는 달리 별도의 관통홀이 형성되어 있지 않고, 상부 반사체(150)의 직경을 피복관(113)의 내경보다 작도록 형성함으로써, 핵분열시에 팽윤되는 핵연료 슬러그(111)가 상기 상부 반사체(150)와 피복관(113) 사이의 공간을 따라 상부로 이동하도록 하였다. 이때, 도 7의 a, b는 각각 핵분열 전후의 핵연료봉의 단면도이고, 도 7의 c는 상부 반사체(150)의 평면도이다.

[0043] 한편, 도 8에서의 상부 반사체(160)는 상기 핵연료 슬러그(111)의 단면 형상과는 다른 다각 형상으로 되어 있으며, 소정의 두께를 가지고 있다. 도 8의 c는 상부 반사체(160)의 평면도를 도시한 것인데, 피복관(113)에 내접하도록 형성된 사각 형상의 상부 반사체(160)는 피복관(113)의 내부에 형성된다. 이때, 상기 상부 반사체(160)가 상기 피복관(113)의 내부에 접하거나 접하지 않을 수 있다.

[0044] 이때, 핵분열시에 핵연료 슬러그(111)가 팽윤됨에 따라 소듐 본드(112)가 상기 상부 반사체(160)와 피복관(113) 사이의 공간을 따라 상부로 이동하여 상부 반사체(160)의 상부에까지 이르게 된다. 상기에서는 사각 형상을 갖는 상부 반사체(160)를 예시하였으나 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것이 아니고, 다각 형상을 가져 상기 피복관(113) 사이에 공간을 형성할 수 있는 도형이면 본 발명의 권리범위에 속한다 할 것이다.

[0045] 상기 도 6 내지 8에서의 상부 반사체의 단면은 팽윤 전의 핵연료 슬러그(111)의 단면보다 작거나 같을 수 있고, 심지어는 클 수도 있다.

[0046] 이때, 상기 반사체(140, 150, 160)는 중성자 누출을 최소화하기 위한 것으로 반사체 물질로는 합금강(HT9, D9, SS316 등), ZrH₂, MgO, CeO, C, BeO, SiC 등 중성자 반사 특성을 가진 모든 물질이 사용하다.

[0047] 도 9 및 10은 각각 본 발명의 일 실시예에 따른 상부 반사체를 적용한 고속로 모델에 대하여 상부 반사체의 높

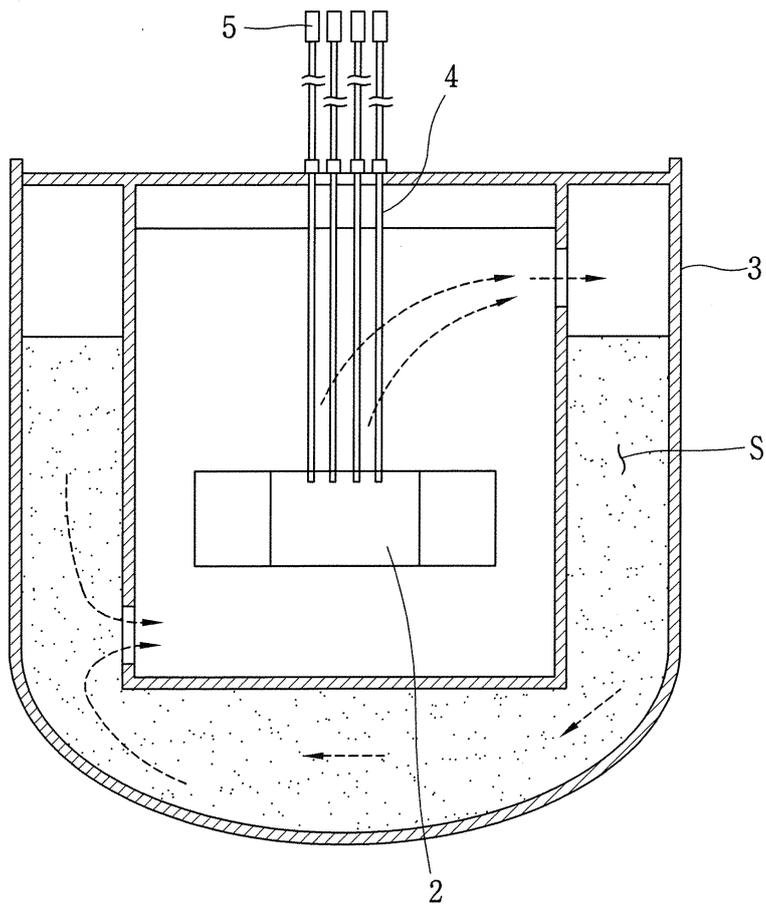
이에 따른 주기초 임계도 증가량 및 상부 반사체 직경에 따른 주기초 임계도 증가량을 측정한 그래프인데, 도 9 및 10을 참조하면, 상부 반사체를 도입함으로써 주기초 연소 임계도가 증가하는 것을 알 수 있다.

- [0048] 이상에서 설명된 핵연료봉은 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법이 한정되게 적용될 수 있는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.
- [0049] 본 발명의 일 실시예에서는 상부와 하부에 각각 형성되어 액체 금속이 유입되는 유입구(101)와 액체 금속이 유출되는 유출구(102)가 구비된 중공의 하우징(103), 및 상기 하우징(103)에 구비되는 복수의 핵연료봉(105)을 포함하고, 상기 핵연료봉(105)은 핵연료 슬러그(111)가 구비되고, 상기 핵연료 슬러그(111)의 외주에 구비되어 상기 핵연료 슬러그(111)를 냉각시키도록 상기 핵연료 슬러그(111)와 피복관(113) 사이에 액체 금속(112)이 충전되고, 상기 핵연료 슬러그(111) 상부에는 반사체(140, 150, 160)가 구비되어 핵분열시 상기 액체 금속(112) 및 생성된 기체 생성물이 이동하는 통로가 형성된다.
- [0050] 상기 하우징(103)의 내부에는 복수의 핵연료봉(105) 및 상기 핵연료봉(105)을 냉각시키도록 상기 하우징(103) 내부에 액체 금속이 충전되어 있다.
- [0051] 나아가, 본 발명의 일 실시예에 따르면 고속 원자로는 상기 핵연료 집합체(105)를 포함하는 고속 원자로가 제공된다. 즉, 본 발명의 일 실시예에 따르면 복수의 핵연료 집합체(100)가 장착되는 고속 원자로가 제공되는데, 상기 복수의 핵연료 집합체(100) 중 적어도 하나의 핵연료 집합체(100)는, 중공의 하우징(103) 및 상기 하우징(103)에 구비되는 복수의 핵연료봉(105)을 포함하고, 상기 핵연료봉(105)을 냉각시키도록 상기 핵연료봉(105)의 피복관(113) 내부에 액체 금속(112)이 충전되고, 상기 핵연료봉(105)의 내부에 충전되는 핵연료 슬러그(111) 상부에는 반사체(170)가 구비되어 핵분열시 상기 액체 금속(112) 및 생성된 기체 생성물이 이동하는 통로가 형성되어 있으며, 상기 반사체(170)는 상기 피복관(113)의 단면적보다 작도록 형성되어 있다. 즉, 상기 핵연료봉(105)은 앞서 설명한 핵연료봉(105)과 동일하다.
- [0052] 또한, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다.
- [0053] 그러므로 이상에서 기술한 실시예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다. 본 발명의 범위는 상기 상세한 설명보다는 후술하는 특허청구범위에 의하여 나타내어지며, 특허청구범위의 의미 및 범위 그리고 그 균등 개념으로부터 도출되는 모든 변경 또는 변경된 형태가 본 발명의 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 한다.

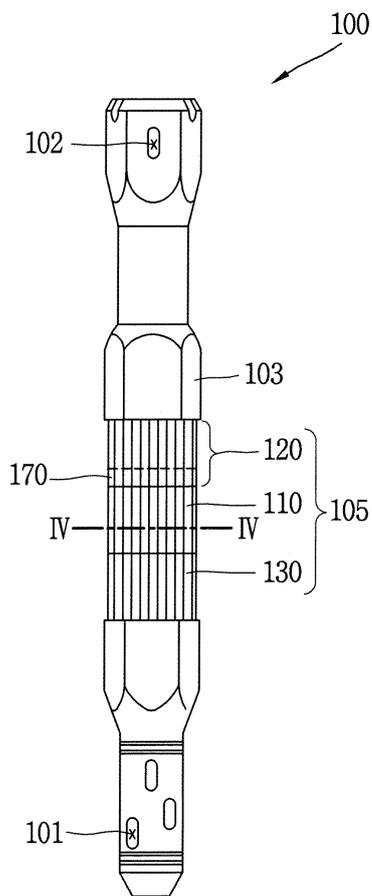
도면

도면1

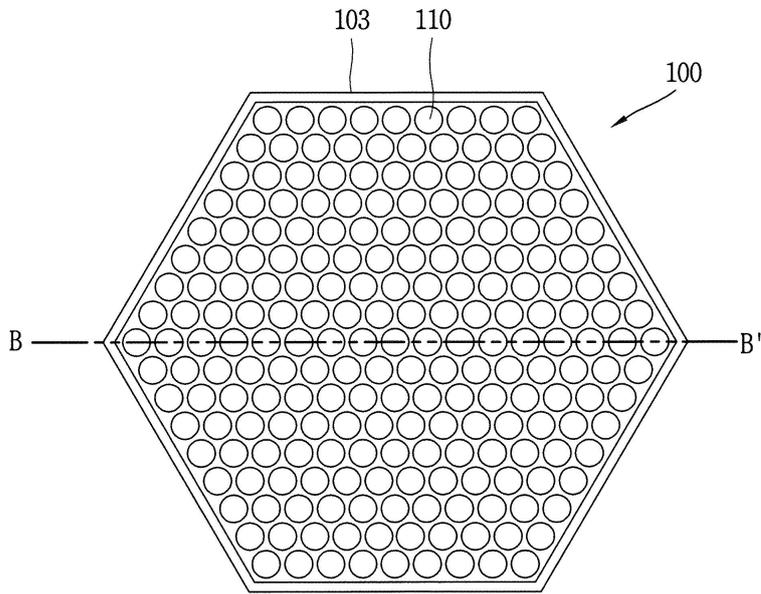
1



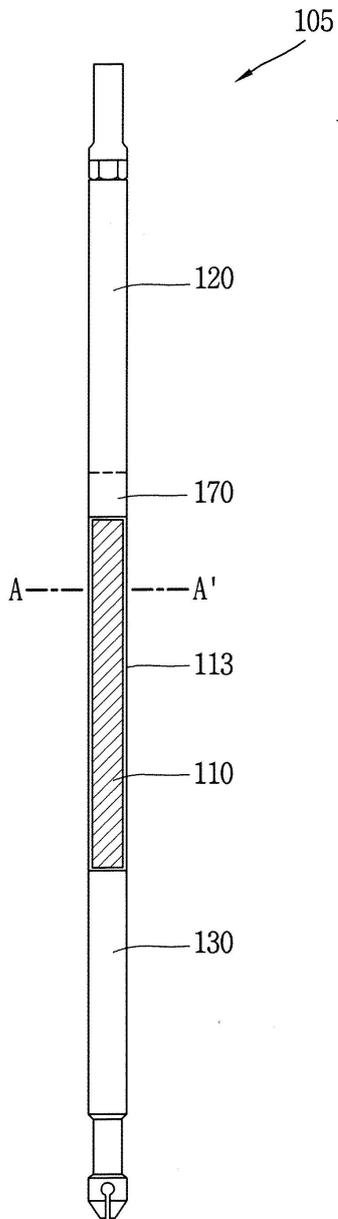
도면2



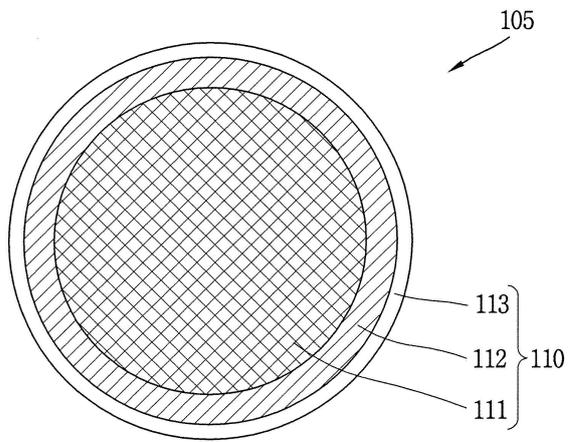
도면3



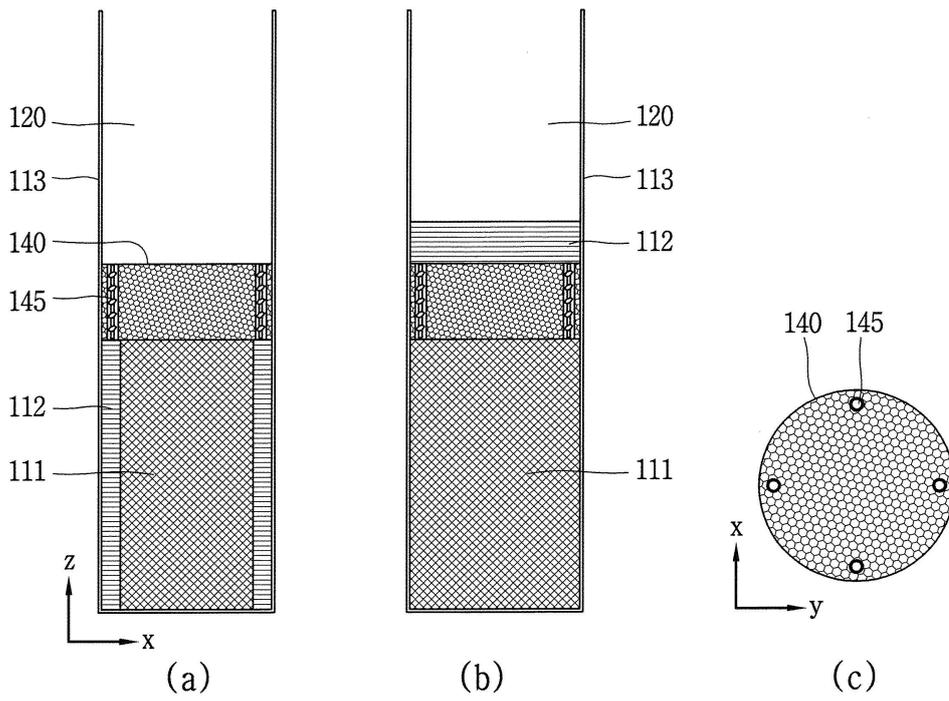
도면4



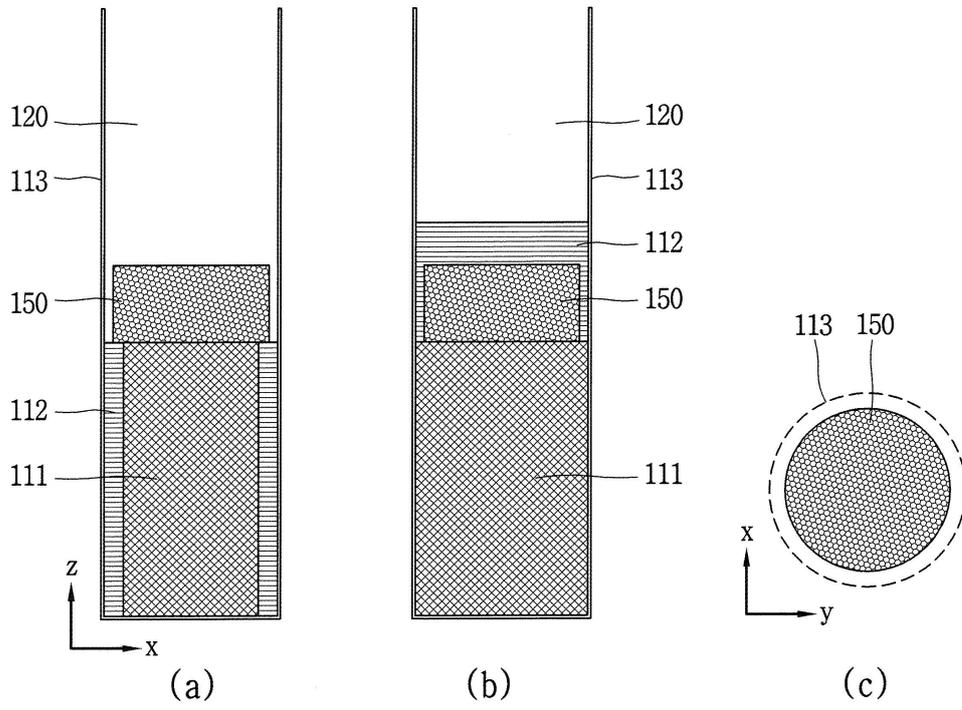
도면5



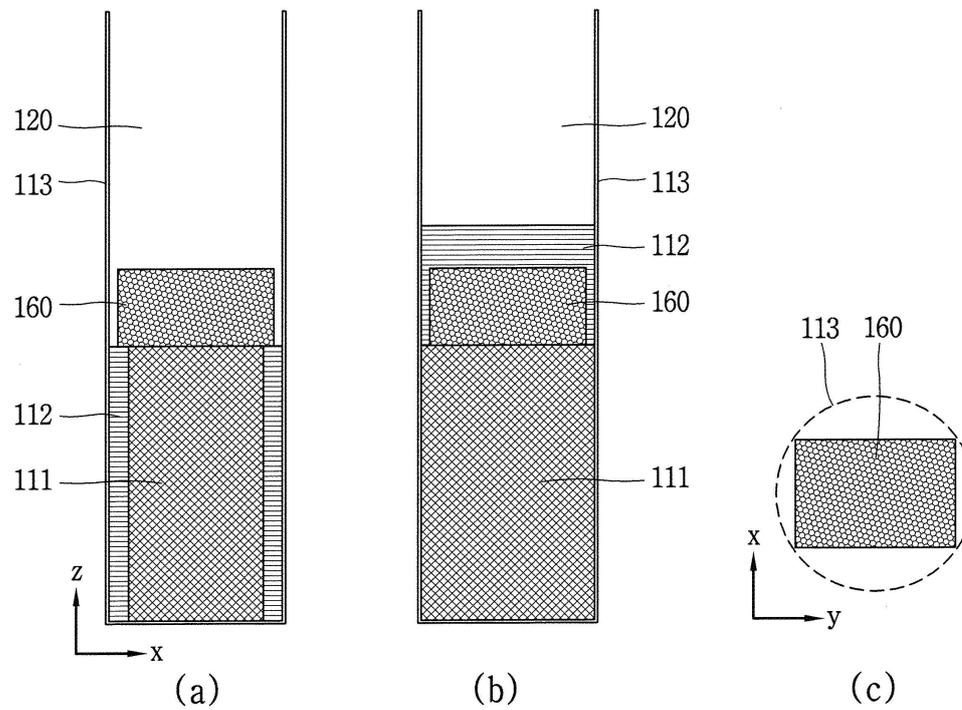
도면6



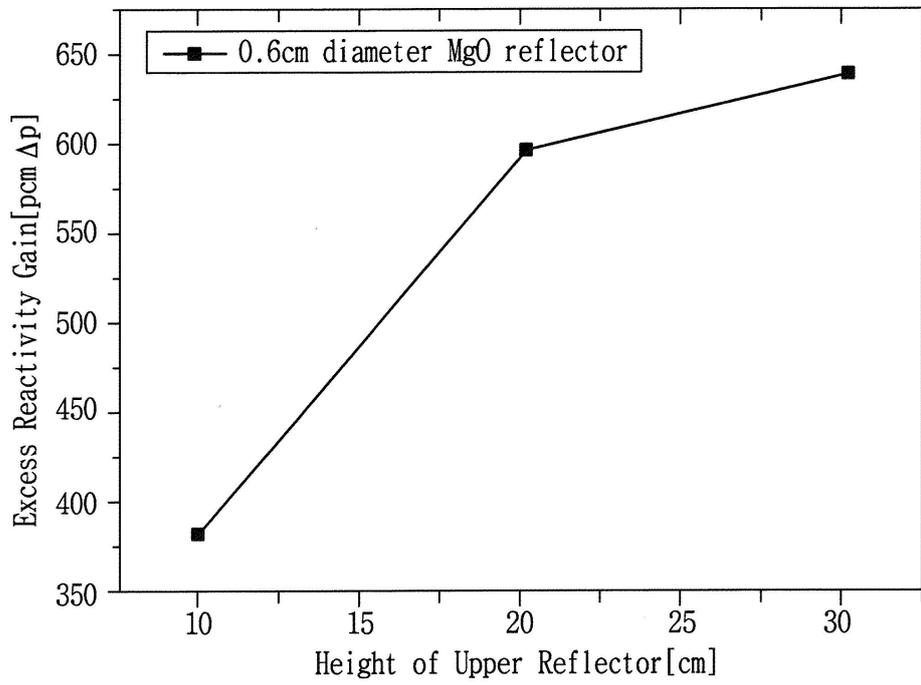
도면7



도면8



도면9



도면10

