



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0128433
(43) 공개일자 2019년11월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G21C 1/02 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G21C 1/02 (2013.01)

Y02E 30/34 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2018-0052628

(22) 출원일자 2018년05월08일

심사청구일자 2018년05월08일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

이덕중

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

응웬 동 동 카오

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

유미특허법인

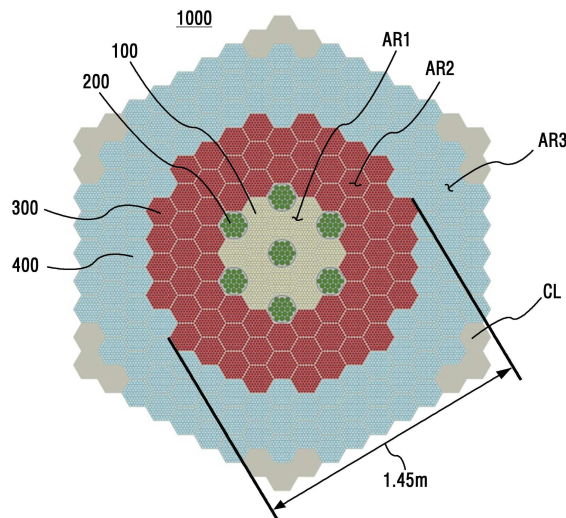
전체 청구항 수 : 총 17 항

(54) 발명의 명칭 고속로 코어

(57) 요약

고속로 코어는 중앙에 위치하며, 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들 및 복수의 컨트롤 로드들을 포함하는 제1 영역, 상기 제1 영역을 둘러싸며, 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들을 포함하는 제2 영역, 및 상기 제2 영역을 둘러싸며, 복수의 리플렉터들을 포함하는 제3 영역을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

Y02E 30/38 (2013.01)

(72) 발명자

최지원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

김기호

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

이용희

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2017M2A8A2018595

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 해당없음

연구사업명 원자력기술개발사업(대)- 원자력기술개발사업(중)-미래형원자로시스템(소)

연구과제명 납냉각 고속로 기술개발

기 여 율 1/1

주관기관 울산과학기술원

연구기간 2017.04.10~2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

중앙에 위치하며, 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들 및 복수의 컨트롤 로드들을 포함하는 제1 영역;
상기 제1 영역을 둘러싸며, 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들을 포함하는 제2 영역; 및
상기 제2 영역을 둘러싸며, 복수의 리플렉터들을 포함하는 제3 영역
을 포함하며,
상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들에 포함된 제1 질화우라늄 핵연료 및 상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들에 포함된 제2 질화우라늄 핵연료 각각의 U-235 농축도는 13.92% 내지 14%인 고속로 코어.

청구항 2

제1항에서,
상기 제1 질화우라늄 핵연료 및 상기 제2 질화우라늄 핵연료 각각의 U-235 농축도는 13.93%인 고속로 코어.

청구항 3

제1항에서,
상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 합친 너비는 1.45m이며,
상기 제1 질화우라늄 핵연료 및 제2 질화우라늄 핵연료 각각의 높이는 1m인 고속로 코어.

청구항 4

제1항에서,
상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들은 높이 방향으로 상기 제1 질화우라늄 핵연료 내부에 위치하는 제3 질화우라늄 핵연료를 포함하는 고속로 코어.

청구항 5

제4항에서,
상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들 각각은 상기 제1 질화우라늄 핵연료 및 상기 제3 질화우라늄 핵연료를 포함하는 복수의 제1 핵연료봉들을 포함하는 고속로 코어.

청구항 6

제5항에서,
상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들 중 하나에 포함된 상기 복수의 제1 핵연료봉들은 91개이며,
상기 복수의 제1 핵연료봉들 사이의 피치(pitch)는 1.47cm인 고속로 코어.

청구항 7

제4항에서,
상기 제3 질화우라늄 핵연료의 U-235 농축도는 0.72%인 고속로 코어.

청구항 8

제7항에서,

상기 제1 질화우라늄 핵연료의 높이는 1m이며, 제3 질화우라늄 핵연료의 높이는 0.5m인 고속로 코어.

청구항 9

제1항에서,

상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들 각각은 상기 제2 질화우라늄 핵연료를 포함하는 복수의 제2 핵연료봉들을 포함하는 고속로 코어.

청구항 10

제9항에서,

상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들 중 하나에 포함된 상기 복수의 제2 핵연료봉들은 91개이며,

상기 복수의 제2 핵연료봉들 사이의 피치(pitch)는 1.47cm인 고속로 코어.

청구항 11

제1항에서,

상기 복수의 컨트롤 로드들 각각은 보론 탄화물(B_4C)을 포함하는 복수의 컨트롤 핀들을 포함하는 고속로 코어.

청구항 12

제11항에서,

상기 복수의 컨트롤 로드들 중 하나에 포함된 상기 복수의 컨트롤 핀들은 19개이며,

상기 복수의 컨트롤 핀들 사이의 피치(pitch)는 2.8cm이며,

상기 복수의 컨트롤 로드들 각각의 너비는 14.3cm인 고속로 코어.

청구항 13

제1항에서,

상기 복수의 리플렉터들 각각은 이트리아 안정화 지르코니아(Yttria-stabilized zirconia, YSZ)를 포함하는 복수의 리플렉터 핀들을 포함하는 고속로 코어.

청구항 14

제1항에서,

상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들, 상기 복수의 컨트롤 로드들, 상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들, 및 상기 복수의 리플렉터들을 둘러싸는 쿨런트를 더 포함하는 고속로 코어.

청구항 15

제14항에서,

상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들, 상기 복수의 컨트롤 로드들, 상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들, 및 상기 복수의 리플렉터들 각각과 그 주변의 상기 쿨런트는 정육각형 형태이며,

상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들은 12개이며,

상기 복수의 컨트롤 로드들은 7개이며,

상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들은 66개이며,

상기 복수의 리플렉터들은 114개인 고속로 코어.

청구항 16

제15항에서,

상기 정육각형 형태는 14.5cm의 너비를 가지는 고속로 코어.

청구항 17

제16항에서,

상기 복수의 컨트롤 로드들은 중심에 위치하는 1개의 컨트롤 로드 및 주변에 위치하는 6개의 컨트롤 로드들을 포함하며,

상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들 중 6개의 블랭킷 핵연료 집합체들은 상기 1개의 컨트롤 로드를 둘러싸며, 나머지 6개의 블랭킷 핵연료 집합체들은 상기 6개의 컨트롤 로드들과 서로 교호적으로 상기 1개의 컨트롤 로드를 둘러싸는 상기 6개의 블랭킷 핵연료 집합체들을 둘러싸는 고속로 코어.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 기재는 고속로 코어에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로, 고속로 코어는 핵분열성 물질을 포함하는 복수의 핵연료 집합체들(fuels) 및 핵연료 집합체들의 열 제거를 위한 쿨런트(coolant)를 포함한다.

[0003] 최근, 선박 등에 탑재될 수 있도록, 전체 크기가 작으면서 설정된 구동 주기를 가지는 소형 고속로 코어가 요구되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 일 실시예는, 실질적으로 30년의 구동 주기를 가지는 소형 고속로 코어를 제공하고자 한다.

[0005] 또한, 30년 내지 35년의 구동 주기를 가지는 소형 고속로 코어를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0006] 일 측면은 중앙에 위치하며, 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들 및 복수의 컨트롤 로드들을 포함하는 제1 영역, 상기 제1 영역을 둘러싸며, 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들을 포함하는 제2 영역, 및 상기 제2 영역을 둘러싸며, 복수의 리플렉터들을 포함하는 제3 영역을 포함하며, 상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들에 포함된 제1 질화우라늄 핵연료 및 상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들에 포함된 제2 질화우라늄 핵연료 각각의 U-235 농축도는 13.92% 내지 14%인 고속로 코어를 제공한다.

[0007] 상기 제1 질화우라늄 핵연료 및 상기 제2 질화우라늄 핵연료 각각의 U-235 농축도는 13.93%일 수 있다.

[0008] 상기 제1 영역과 상기 제2 영역을 합친 너비는 1.45m이며, 상기 제1 질화우라늄 핵연료 및 제2 질화우라늄 핵연료 각각의 높이는 1m일 수 있다.

[0009] 상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들은 높이 방향으로 상기 제1 질화우라늄 핵연료 내부에 위치하는 제3 질화우라늄 핵연료를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들 각각은 상기 제1 질화우라늄 핵연료 및 상기 제3 질화우라늄 핵연료를 포함하는 복수의 제1 핵연료봉들을 포함할 수 있다.

[0011] 상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들 중 하나에 포함된 상기 복수의 제1 핵연료봉들은 91개이며, 상기 복수의 제1 핵연료봉들 사이의 피치(pitch)는 1.47cm일 수 있다.

[0012] 상기 제3 질화우라늄 핵연료의 U-235 농축도는 0.72%일 수 있다.

[0013] 상기 제1 질화우라늄 핵연료의 높이는 1m이며, 제3 질화우라늄 핵연료의 높이는 0.5m일 수 있다.

[0014] 상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들 각각은 상기 제2 질화우라늄 핵연료를 포함하는 복수의 제2 핵연료봉

들을 포함할 수 있다.

- [0015] 상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들 중 하나에 포함된 상기 복수의 제2 핵연료봉들은 91개이며, 상기 복수의 제2 핵연료봉들 사이의 피치(pitch)는 1.47cm일 수 있다.
- [0016] 상기 복수의 컨트롤 로드들 각각은 보론 탄화물(B_4C)을 포함하는 복수의 컨트롤 핀들을 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 복수의 컨트롤 로드들 중 하나에 포함된 상기 복수의 컨트롤 핀들은 19개이며, 상기 복수의 컨트롤 핀들 사이의 피치(pitch)는 2.8cm이며, 상기 복수의 컨트롤 로드들 각각의 너비는 14.3cm일 수 있다.
- [0018] 상기 복수의 리플렉터들 각각은 이트리아 안정화 지르코니아(Yttria-stabilized zirconia, YSZ)를 포함하는 복수의 리플렉터 핀들을 포함할 수 있다.
- [0019] 상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들, 상기 복수의 컨트롤 로드들, 상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들, 및 상기 복수의 리플렉터들을 둘러싸는 쿨런트를 더 포함할 수 있다.
- [0020] 상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들, 상기 복수의 컨트롤 로드들, 상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들, 및 상기 복수의 리플렉터들 각각과 그 주변의 상기 쿨런트는 정육각형 형태이며, 상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들은 12개이며, 상기 복수의 컨트롤 로드들은 7개이며, 상기 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들은 6개이며, 상기 복수의 리플렉터들은 114개일 수 있다.
- [0021] 상기 정육각형 형태는 14.5cm의 너비를 가질 수 있다.
- [0022] 상기 복수의 컨트롤 로드들은 중심에 위치하는 1개의 컨트롤 로드 및 주변에 위치하는 6개의 컨트롤 로드들을 포함하며, 상기 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들 중 6개의 블랭킷 핵연료 집합체들은 상기 1개의 컨트롤 로드들 둘러싸며, 나머지 6개의 블랭킷 핵연료 집합체들은 상기 6개의 컨트롤 로드들과 서로 교호적으로 상기 1개의 컨트롤 로드들 둘러싸는 상기 6개의 블랭킷 핵연료 집합체들을 둘러쌀 수 있다.

발명의 효과

- [0023] 일 실시예에 따르면, 실질적으로 30년의 구동 주기를 가지는 소형 고속로 코어가 제공된다.
- [0024] 또한, 30년 내지 35년의 구동 주기를 가지는 소형 고속로 코어가 제공된다.

도면의 간단한 설명

- [0025] 도 1은 일 실시예에 따른 고속로 코어의 평면도이다.
- 도 2는 일 실시예에 따른 고속로 코어의 종단면도이다.
- 도 3은 도 1에 도시된 블랭킷 핵연료 집합체의 평면도이다.
- 도 4는 도 3에 도시된 제1 핵연료봉의 평면도이다.
- 도 5는 도 1에 도시된 컨트롤 로드들의 평면도이다.
- 도 6은 도 5에 도시된 컨트롤 핀의 평면도이다.
- 도 7은 도 1에 도시된 이그나이터 핵연료 집합체의 평면도이다.
- 도 8은 도 7에 도시된 제2 핵연료봉의 평면도이다.
- 도 9는 일 실시예에 따른 고속로 코어에 포함된 구성들의 파라미터들(parameters)이다.
- 도 10은 일 실시예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)를 나타낸 그래프이다.
- 도 11은 일 실시예에 따른 고속로 코어의 성능을 나타낸 표이다.
- 도 12는 일 실시예에 따른 고속로 코어의 구동 주기에 따른 반경출력분포(radial power distribution)를 나타낸 도면이다.
- 도 13은 일 실시예에 따른 고속로 코어의 첫다운 마진(shutdown margin)을 설명하기 위한 평면도이다.
- 도 14는 일 실시예에 따른 고속로 코어의 첫다운 마진을 나타낸 표이다.

도 15는 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어의 일부를 나타낸 평면도이다.

도 16는 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)를 나타낸 그래프이다.

도 17은 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어의 구동 주기에 따른 유효증배계수(k-effective)를 나타낸 표이다.

도 18은 제4 대비예, 제5 대비예, 제1 실험예, 제2 실험예에 따른 고속로 코어의 일부를 나타낸 평면도이다.

도 19는 제4 대비예, 제5 대비예, 제1 실험예, 제2 실험예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)를 나타낸 그래프이다.

도 20은 제4 대비예, 제5 대비예, 제1 실험예, 제2 실험예에 따른 고속로 코어의 구동 주기에 따른 유효증배계수(k-effective)와 유효출력년의 구동 주기 길이를 나타낸 표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0026] 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.
- [0027] 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조 부호를 붙이도록 한다.
- [0028] 또한, 도면에서 나타난 각 구성의 크기 및 두께는 설명의 편의를 위해 임의로 나타내었으므로, 본 발명이 반드시 도시된 바에 한정되지 않는다. 도면에서 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 확대하여 나타내었다. 그리고 도면에서, 설명의 편의를 위해, 일부 층 및 영역의 두께를 과장되게 나타내었다.
- [0029] 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.
- [0030] 이하, 도 1 내지 도 8을 참조하여 일 실시예에 따른 고속로 코어를 설명한다.
- [0031] 도 1은 일 실시예에 따른 고속로 코어의 평면도이다. 도 2는 일 실시예에 따른 고속로 코어의 종단면도이다.
- [0032] 도 1 및 도 2를 참조하면, 일 실시예에 따른 고속로 코어(1000)는 제1 영역(AR1), 제2 영역(AR2), 제3 영역(AR3), 쿨런트(CL)를 포함한다.
- [0033] 제1 영역(AR1)은 중앙에 위치하며, 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들(blanket fuels)(100) 및 복수의 컨트롤 로드들(control rods)(200)을 포함한다.
- [0034] 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들(100) 각각은 복수의 제1 핵연료봉들(110)을 포함한다.
- [0035] 제1 핵연료봉들(110)은 제1 질화우라늄(UN) 핵연료(UN1) 및 제3 질화우라늄 핵연료(UN3)를 포함한다. 제3 질화우라늄 핵연료(UN3)는 높이 방향으로 제1 질화우라늄 핵연료(UN1)의 내부에 위치한다. 제3 질화우라늄 핵연료(UN3)는 높이 방향으로 제1 질화우라늄 핵연료(UN1)의 중앙 내부에 위치한다.
- [0036] 즉, 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들(100)은 제1 질화우라늄 핵연료(UN1) 및 높이 방향으로 제1 질화우라늄 핵연료(UN1) 내부에 위치하는 제3 질화우라늄 핵연료(UN3)를 포함한다.
- [0037] 제1 질화우라늄 핵연료(UN1)의 높이는 1m일 수 있으며, 제3 질화우라늄 핵연료(UN3)의 높이는 0.5m일 수 있다.
- [0038] 제1 질화우라늄 핵연료(UN1)의 U-235 농축도는 13.93%이다. 다른 예로, 제1 질화우라늄 핵연료(UN1)의 U-235 농축도는 13.92% 내지 14%일 수 있다.
- [0039] 제3 질화우라늄 핵연료(UN3)의 U-235 농축도는 천연 우라늄으로 0.72%일 수 있다.
- [0040] 도 3은 도 1에 도시된 블랭킷 핵연료 집합체의 평면도이다.
- [0041] 도 3을 참조하면, 블랭킷 핵연료 집합체(100)는 서로 설정된 간격을 가지고 이격된 복수의 제1 핵연료봉들(110)을 포함한다. 복수의 제1 핵연료봉들(110)은 91개이다. 복수의 제1 핵연료봉들(110) 사이의 피치(pitch)는 1.47cm이다.

- [0042] 블랭킷 핵연료 집합체(100)에 포함된 복수의 제1 핵연료봉들(110)은 쿨런트(CL)에 의해 둘러싸여 있다. 쿨런트(CL)는 리드 비스무스 합금 유체인 리드 비스무스 유테틱(lead-bismuth eutectic, LBE)을 포함한다.
- [0043] 블랭킷 핵연료 집합체(100)와 그 주변의 쿨런트(CL)는 평면적으로 정육각형 형태를 가진다. 블랭킷 핵연료 집합체(100)와 그 주변의 쿨런트(CL)가 가지는 정육각형 형태는 14.5cm의 너비를 가진다.
- [0044] 도 4는 도 3에 도시된 제1 핵연료봉의 평면도이다.
- [0045] 도 4를 참조하면, 제1 핵연료봉(110)은 상술한 제1 질화우라늄 핵연료(UN1)와 제3 질화우라늄 핵연료(UN3), 그리고 헬륨 갭(He)과 HT-9 클래딩(HT-9)을 포함한다.
- [0046] 제1 질화우라늄 핵연료(UN1)와 제3 질화우라늄 핵연료(UN3) 각각의 너비는 12.22mm이고, 헬륨 갭(He)까지의 너비는 12.42mm이며, HT-9 클래딩(HT-9)까지의 너비는 13.42mm이다. 즉, 제1 핵연료봉(110)의 너비는 13.42mm이며, 제1 핵연료봉(110)의 너비인 13.42mm에 대한 제1 핵연료봉들(110) 사이의 피치인 1.41cm의 비율은 1.095이다.
- [0047] 다시, 도 1 및 2를 참조하면, 복수의 컨트롤 로드들(200) 각각은 복수의 컨트롤 핀들(210)을 포함한다.
- [0048] 컨트롤 핀들(210)은 보론 탄화물(B₄C)(BC)을 포함한다. 즉, 복수의 컨트롤 로드들(200)은 보론 탄화물(BC)을 포함한다.
- [0049] 보론 탄화물(BC)의 높이는 1m일 수 있다.
- [0050] 도 5는 도 1에 도시된 컨트롤 로드의 평면도이다.
- [0051] 도 5를 참조하면, 컨트롤 로드(200)는 서로 설정된 간격을 가지고 이격된 복수의 컨트롤 핀들(210), 컨트롤 핀들(210)을 둘러싸는 헬륨 갭(He)과 HT-9 클래딩(HT-9)을 포함한다. 복수의 컨트롤 핀들(210)은 19개이다. 복수의 컨트롤 핀들(210) 사이의 피치는 2.8cm이며, 컨트롤 로드(200)의 너비는 14.3cm이다.
- [0052] 컨트롤 로드(200)는 쿨런트(CL)에 의해 둘러싸여 있다. 쿨런트(CL)는 리드 비스무스 합금 유체인 리드 비스무스 유테틱(lead-bismuth eutectic, LBE)을 포함한다.
- [0053] 컨트롤 로드(200)와 그 주변의 쿨런트(CL)는 평면적으로 정육각형 형태를 가진다. 컨트롤 로드(200)와 그 주변의 쿨런트(CL)가 가지는 정육각형 형태는 14.5cm의 너비를 가진다.
- [0054] 도 6은 도 5에 도시된 컨트롤 핀의 평면도이다.
- [0055] 도 6을 참조하면, 컨트롤 핀(210)은 상술한 보론 탄화물(BC)과 HT-9 클래딩(HT-9)을 포함한다.
- [0056] 보론 탄화물(BC)의 너비는 24.6mm이며, HT-9 클래딩(HT-9)까지의 너비는 26mm이다. 즉, 컨트롤 핀(210)의 너비는 26mm이며, 컨트롤 핀(210)의 너비인 26mm에 대한 컨트롤 핀들(210) 사이의 피치인 2.8cm의 비율은 1.077이다.
- [0057] 다시, 도 1 및 2를 참조하면, 제2 영역(AR2)은 제1 영역(AR1)을 둘러싸며, 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들(igniter fuels)(300)을 포함한다.
- [0058] 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들(300) 각각은 복수의 제2 핵연료봉들(310)을 포함한다.
- [0059] 제2 핵연료봉들(310)은 제2 질화우라늄 핵연료(UN2)를 포함한다. 제2 질화우라늄 핵연료(UN2)의 높이는 1m일 수 있다.
- [0060] 제2 질화우라늄 핵연료(UN2)의 U-235 농축도는 13.93%이다. 다른 예로, 제2 질화우라늄 핵연료(UN2)의 U-235 농축도는 13.92% 내지 14%일 수 있다.
- [0061] 도 7은 도 1에 도시된 이그나이터 핵연료 집합체의 평면도이다.
- [0062] 도 7을 참조하면, 이그나이터 핵연료 집합체(300)는 서로 설정된 간격을 가지고 이격된 복수의 제2 핵연료봉들(310)을 포함한다. 복수의 제2 핵연료봉들(310)은 91개이다. 복수의 제2 핵연료봉들(310) 사이의 피치(pitch)는 1.47cm이다.
- [0063] 이그나이터 핵연료 집합체(300)에 포함된 복수의 제2 핵연료봉들(310)은 쿨런트(CL)에 의해 둘러싸여 있다. 쿨런트(CL)는 리드 비스무스 합금 유체인 리드 비스무스 유테틱(lead-bismuth eutectic, LBE)을 포함한다.

- [0064] 이그나이터 핵연료 집합체(300)와 그 주변의 쿨런트(CL)는 평면적으로 정육각형 형태를 가진다. 이그나이터 핵연료 집합체(300)와 그 주변의 쿨런트(CL)가 가지는 정육각형 형태는 14.5cm의 너비를 가진다.
- [0065] 도 8은 도 7에 도시된 제2 핵연료봉의 평면도이다.
- [0066] 도 8을 참조하면, 제2 핵연료봉(310)은 상술한 제2 질화우라늄 핵연료(UN2)와, 그리고 헬륨 갭(He)과 HT-9 클래딩(HT-9)을 포함한다.
- [0067] 제2 질화우라늄 핵연료(UN2)의 너비는 12.22mm이고, 헬륨 갭(He)까지의 너비는 12.42mm이며, HT-9 클래딩(HT-9)까지의 너비는 13.42mm이다. 즉, 제2 핵연료봉(310)의 너비는 13.42mm이며, 제2 핵연료봉(310)의 너비인 13.42mm에 대한 제2 핵연료봉들(310) 사이의 피치인 1.41cm의 비율은 1.095이다.
- [0068] 다시 도 1 및 2를 참조하면, 상술한 제1 영역(AR1)과 제2 영역(AR2)을 합친 드라이버(driver) 영역인 블랭킷 핵연료 집합체들(100), 이그나이터 핵연료 집합체들(300), 그리고 그 주변의 쿨런트(CL)를 합친 영역의 너비는 1.45m이다.
- [0069] 제3 영역(AR3)은 제2 영역(AR2)을 둘러싸며, 복수의 리플렉터들(reflectors)(400)을 포함한다.
- [0070] 복수의 리플렉터들(400) 각각은 복수의 리플렉터 핀들(410)을 포함한다.
- [0071] 리플렉터 핀들(410)은 제2 핵연료봉들(310)은 이트리아 안정화 지르코니아(Yttria-stabilized zirconia, YSZ)(YS)를 포함한다. 이트리아 안정화 지르코니아(YS)의 높이는 1m일 수 있다.
- [0072] 상술한 일 실시예에 따른 고속로 코어(1000)에 포함된 복수의 블랭킷 핵연료 집합체들(100), 복수의 컨트롤 로드들(200), 복수의 이그나이터 핵연료 집합체들(300), 복수의 리플렉터들(400) 각각과 그 주변의 쿨런트(CL)는 정육각형 형태이다.
- [0073] 컨트롤 로드들(200)은 중심에 위치하는 1개의 컨트롤 로드(200) 및 주변에 위치하는 6개의 컨트롤 로드들(200)을 포함하며, 블랭킷 핵연료 집합체들(100) 중 6개의 블랭킷 핵연료 집합체들(100)은 1개의 컨트롤 로드(200)를 둘러싸며, 나머지 6개의 블랭킷 핵연료 집합체들(100)은 6개의 컨트롤 로드들(200)과 서로 교호적으로 1개의 컨트롤 로드(200)를 둘러싸는 6개의 블랭킷 핵연료 집합체들(100)을 둘러싼다.
- [0074] 도 9는 일 실시예에 따른 고속로 코어에 포함된 구성들의 파라미터들(parameters)이다.
- [0075] 도 9를 참조하면, 드라이버(Driver)는 블랭킷 핵연료 집합체들과 이그나이터 핵연료 집합체들과 그 주변의 쿨런트를 의미하며, 리플렉터(Reflector)는 리플렉터들과 그 주변의 쿨런트를 의미하며, 컨트롤(Control)은 컨트롤 로드들과 그 주변의 쿨런트를 의미한다.
- [0076] 또한, 코어 데이터(Core data)의 어셈블리들의 개수(No. of assemblies)는 어셈블리들의 개수를 의미하며, 어셈블리 데이터(Assembly data)는 각 어셈블리의 데이터를 의미하며, 핀 데이터(Pin data)는 각 어셈블리에 포함된 핀들의 데이터를 의미하며, 조립 시 부피분율(Volume fraction at fabrication)은 드라이버(Driver), 리플렉터(Reflector), 및 컨트롤(Control) 각각을 구성하는 구성들의 부피 분율을 의미한다.
- [0077] 도 10은 일 실시예에 따른 고속로 코어의 유효출력년수(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)를 나타낸 그래프이다.
- [0078] 도 10은 미국 Argonne National Laboratory에서 개발한 노심 계산 코드인 MC2/REBUS 코드 시스템을 이용하여 나타낼 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [0079] 도 10을 참조하면, 일 실시예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)는 구동 시작한 0년에 1.00870으로부터 30년이 지나고 1에 근사치인 1.00014인것을 확인할 수 있다.
- [0080] 즉, 일 실시예에 따른 고속로 코어는 실질적으로 30년의 구동 주기를 가지는 소형 고속로 코어이다.
- [0081] 도 11은 일 실시예에 따른 고속로 코어의 성능을 나타낸 표이다.
- [0082] 도 11을 참조하면, 일 실시예에 따른 고속로 코어의 유효증배계수(k-eff)는 주기 초{Beginning-of-cycle (BOC)}로부터 주기 중{Middle-of-cycle (MOC)}을 지나 주기 말{End-of-cycle (EOC)}까지 30년이 지나고 1에 근사치인 것을 확인할 수 있다.
- [0083] 또한, 일 실시예에 따른 고속로 코어의 출력 특성(Power property) 및 쿨런트(Coolant)의 특성을 확인할 수 있

다.

- [0084] 도 12는 일 실시예에 따른 고속로 코어의 구동 주기에 따른 반경출력분포(radial power distribution)를 나타낸 도면이다.
- [0085] 도 12를 참조하면, 일 실시예에 따른 고속로 코어의 구동 주기에 따른 반경출력분포(radial power distribution)는 주기 초(BOC), 주기 중(MOC), 및 주기 말(EOC)까지 고르게 분포되는 것을 확인할 수 있다.
- [0086] 즉, 실질적으로 30년의 구동 주기를 가지는 소형 고속로 코어가 제공된다.
- [0087] 이하, 도 13 내지 14를 참조하여 일 실시예에 따른 고속로 코어의 셧다운 마진(shutdown margin)을 살펴본다.
- [0088] 도 13은 일 실시예에 따른 고속로 코어의 셧다운 마진(shutdown margin)을 설명하기 위한 평면도이다.
- [0089] 도 13을 참조하면, 일 실시예에 따른 고속로 코어의 셧다운 마진을 확인하기 위해 7개의 컨트롤 로드 중 6개의 컨트롤 로드만을 고속로 코어에 삽입하였다.
- [0090] 도 14는 일 실시예에 따른 고속로 코어의 셧다운 마진을 나타낸 표이다.
- [0091] 도 14를 참조하면, 고속로 코어의 고온영출력상태(Hot Zero Power, HZP)의 유효증배계수(k-eff)는 1.01801이고 반응도(Reactivity)는 1769pcm이며, 고속로 코어의 고온전출력상태(Hot Full Power, HFP)의 유효증배계수(k-eff)는 1.00870이고 반응도(Reactivity)는 862pcm이며, 6개의 컨트롤 로드만을 삽입한 고속로 코어의 고온전출력상태(6/7 CRs inserted at HFP)의 유효증배계수(k-eff)는 0.94142이고 반응도(Reactivity)는 -6222pcm이다.
- [0092] 즉, 7개 중 6개의 컨트롤 로드(6/7 Control rods worth) 자체의 반응도는 소수점을 더해서 7085pcm이고, 잉여 반응도(Excess reactivity)는 1769pcm이며, 온도 디펙트(Temperature defect (HFP-> HZP))의 반응도는 907pcm이다.
- [0093] 이로 인해, 일 실시예에 따른 고속로 코어의 셧다운 마진(Shutdown margin)은 6개의 컨트롤 로드(6/7 Control rods worth) 자체의 반응도 7085pcm에 온도 디펙트의 반응도 907pcm 및 잉여 반응도 1769pcm을 뺀 4409pcm임을 확인하였다.
- [0094] 즉, 일 실시예에 따른 고속로 코어의 셧다운 마진이 4409pcm임을 확인하였으므로, 만일을 사고가 발생하여 고속로 코어의 온도가 상승하더라도 고속로 코어를 안전하게 정지시킬 수 있다.
- [0095] 즉, 안전하게 정지시킬 수 있는 고속로 코어가 제공된다.
- [0096] 이하, 도 15 내지 도 20을 참조하여 일 실시예에 따른 고속로 코어의 구동 주기가 실질적으로 30년임을 확인한 실험을 설명한다.
- [0097] 도 15는 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어의 일부를 나타낸 평면도이다.
- [0098] 도 15를 참조하면, 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어는 블랭킷 핵연료 집합체를 12개, 이그나이터 핵연료 집합체를 42개로 구성하였으며, 블랭킷 핵연료 집합체와 이그나이터 핵연료 집합체를 포함하는 액티브 코어(Active core)의 너비를 1.305m로 설정하고 액티브 코어의 높이를 1m로 설정하였다.
- [0099] 제1 대비예는 블랭킷 핵연료 집합체에 포함된 제1 질화우라늄 핵연료 및 이그나이터 핵연료 집합체에 포함된 제2 질화우라늄 핵연료의 U-235 농축도를 15.50%로 설정하였다.
- [0100] 제2 대비예는 블랭킷 핵연료 집합체에 포함된 제1 질화우라늄 핵연료 및 이그나이터 핵연료 집합체에 포함된 제2 질화우라늄 핵연료의 U-235 농축도를 13.50%로 설정하였다.
- [0101] 제3 대비예는 블랭킷 핵연료 집합체에 포함된 제1 질화우라늄 핵연료 및 이그나이터 핵연료 집합체에 포함된 제2 질화우라늄 핵연료의 U-235 농축도를 14.50%로 설정하였다.
- [0102] 도 16는 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)를 나타낸 그래프이다. 도 17은 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어의 구동 주기에 따른 유효증배계수(k-effective)를 나타낸 표이다.
- [0103] 도 16 및 도 17을 참조하면, 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)는 주기 초(BOC)로부터 주기 중(MOC)을 지나 주기 말(EOC)까지 1미만인 것을 확인하였다.

- [0104] 즉, 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어는 구동 주기를 가지지 못하는 고속로 코어이다.
- [0105] 도 18은 제4 대비예, 제5 대비예, 제1 실험예, 제2 실험예에 따른 고속로 코어의 일부를 나타낸 평면도이다.
- [0106] 도 18을 참조하면, 제4 대비예, 제5 대비예, 제1 실험예, 제2 실험예에 따른 고속로 코어는 블랭킷 핵연료 집합체를 12개, 이그나이터 핵연료 집합체를 62개로 구성하였으며, 블랭킷 핵연료 집합체와 이그나이터 핵연료 집합체를 포함하는 액티브 코어(Active core)의 너비를 1.45m로 설정하고 액티브 코어의 높이를 1m로 설정하였다.
- [0107] 제4 대비예는 블랭킷 핵연료 집합체에 포함된 제1 질화우라늄 핵연료 및 이그나이터 핵연료 집합체에 포함된 제2 질화우라늄 핵연료의 U-235 농축도를 14.50%로 설정하였다.
- [0108] 제5 대비예는 블랭킷 핵연료 집합체에 포함된 제1 질화우라늄 핵연료 및 이그나이터 핵연료 집합체에 포함된 제2 질화우라늄 핵연료의 U-235 농축도를 14.30%로 설정하였다.
- [0109] 제1 실험예는 블랭킷 핵연료 집합체에 포함된 제1 질화우라늄 핵연료 및 이그나이터 핵연료 집합체에 포함된 제2 질화우라늄 핵연료의 U-235 농축도를 14.00%로 설정하였다.
- [0110] 제2 실험예는 블랭킷 핵연료 집합체에 포함된 제1 질화우라늄 핵연료 및 이그나이터 핵연료 집합체에 포함된 제2 질화우라늄 핵연료의 U-235 농축도를 13.92%로 설정하였다.
- [0111] 도 19는 제4 대비예, 제5 대비예, 제1 실험예, 제2 실험예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)를 나타낸 그래프이다. 도 20은 제4 대비예, 제5 대비예, 제1 실험예, 제2 실험예에 따른 고속로 코어의 구동 주기에 따른 유효증배계수(k-effective)와 유효출력년의 구동 주기 길이를 나타낸 표이다.
- [0112] 도 19 및 도 20을 참조하면, 제4 대비예 및 제5 대비예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)는 주기 초(BOC)로부터 주기 중(MOC)을 지나 주기 말(EOC)까지 1을 초과한 것을 확인하였다. 제4 대비예 및 제5 대비예에 따른 고속로 코어의 구동 주기 길이는 40년을 초과한다.
- [0113] 이와 대비하여, 제1 실험예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)는 주기 초(BOC)인 1.01082로부터 주기 중(MOC)을 지나 주기 말(EOC)까지 1.00170인 것을 확인하였다. 제1 실험예에 따른 고속로 코어의 구동 주기 길이는 실질적으로 35년이다.
- [0114] 또한, 제2 실험예에 따른 고속로 코어의 유효출력년(effective full power year, EFPY)에 따른 유효증배계수(k-effective)는 주기 초(BOC)인 1.00811로부터 주기 중(MOC)을 지나 주기 말(EOC)까지 0.99985인 것을 확인하였다. 제2 실험예에 따른 고속로 코어의 구동 주기 길이는 실질적으로 30년이다.
- [0115] 이상과 같이, 제1 대비예, 제2 대비예, 제3 대비예에 따른 고속로 코어는 일 실시예에 따른 고속로 코어 대비 이그나이터 핵연료 집합체의 개수가 작아 구동 주기를 가지지 못하는 것을 확인하였다.
- [0116] 또한, 제4 대비예 및 제5 대비예에 따른 고속로 코어는 일 실시예에 따른 고속로 코어 대비 블랭킷 핵연료 집합체 및 이그나이터 핵연료 집합체 각각에 포함된 질화우라늄 핵연료의 U-235의 농축도가 높아 구동 주기가 40년을 초과함을 확인하였다.
- [0117] 이와 대비하여, 제1 실험예에 따른 고속로 코어는 블랭킷 핵연료 집합체 및 이그나이터 핵연료 집합체 각각에 포함된 질화우라늄 핵연료의 U-235의 농축도가 14.00%이므로, 구동 주기가 실질적으로 35년임을 확인하였다.
- [0118] 또한, 제2 실험예에 따른 고속로 코어는 블랭킷 핵연료 집합체 및 이그나이터 핵연료 집합체 각각에 포함된 질화우라늄 핵연료의 U-235의 농축도가 13.92%이므로, 구동 주기가 실질적으로 30년임을 확인하였다.
- [0119] 이상과 같이, 일 실시예에 따른 고속로 코어는 블랭킷 핵연료 집합체 및 이그나이터 핵연료 집합체 각각에 포함된 질화우라늄 핵연료의 U-235의 농축도가 13.93%이므로, 구동 주기가 실질적으로 30년임을 확인하였다.
- [0120] 또한, 다른 실시예에 따른 고속로 코어는 블랭킷 핵연료 집합체 및 이그나이터 핵연료 집합체 각각에 포함된 질화우라늄 핵연료의 U-235의 농축도가 13.92% 내지 14%이므로, 구동 주기가 실질적으로 30년 내지 35년임을 확인하였다.
- [0121] 이상과 같이, 구동 주기가 실질적으로 30년인 고속로 코어가 제공되는 동시에 구동 주기가 30년 내지 35년인 고속로 코어가 제공된다.

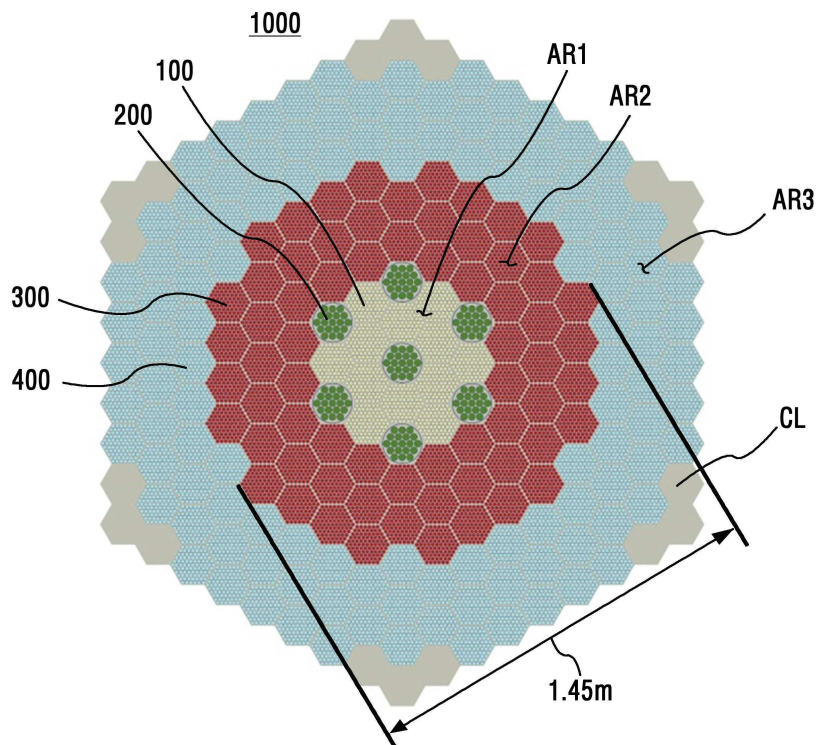
[0122] 본 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.

부호의 설명

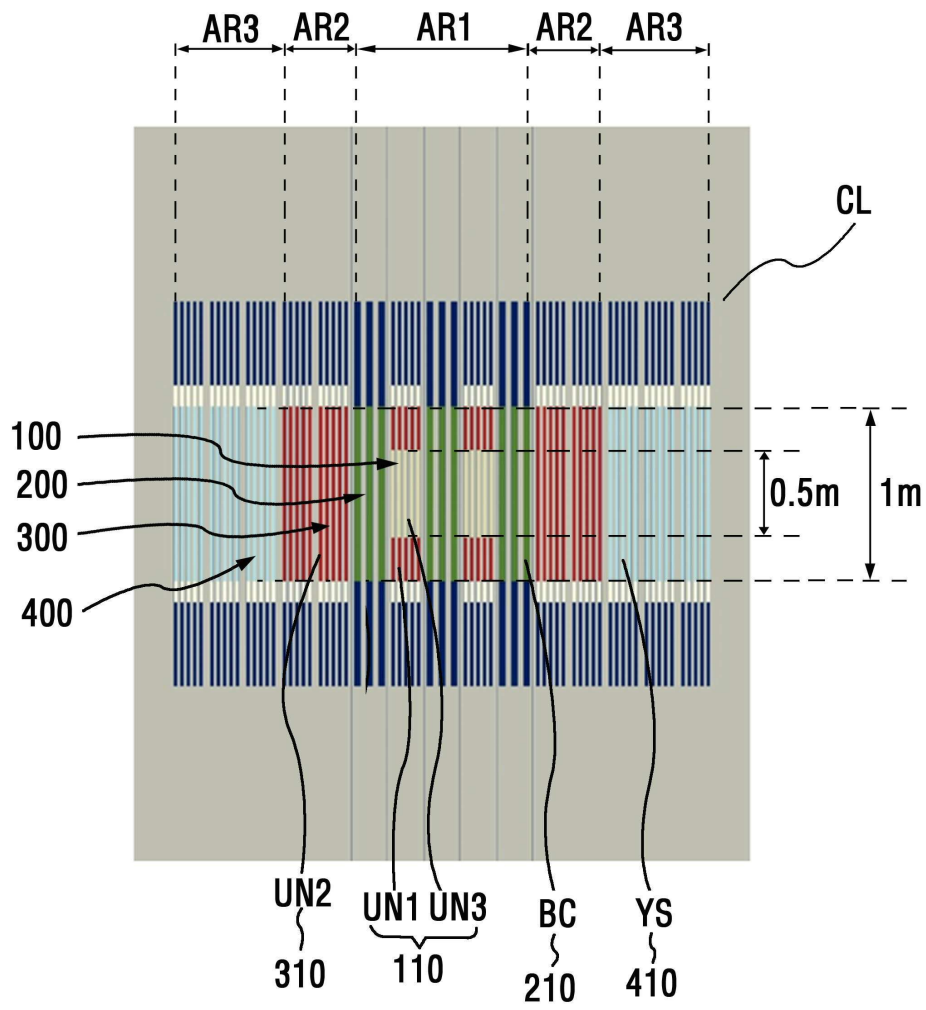
[0123] 블랭킷 핵연료 집합체(100), 컨트롤 로드(200), 이그나이터 핵연료 집합체(300), 리플렉터(400), 제1 질화우라늄 핵연료(UN1), 제2 질화우라늄 핵연료(UN2)

도면

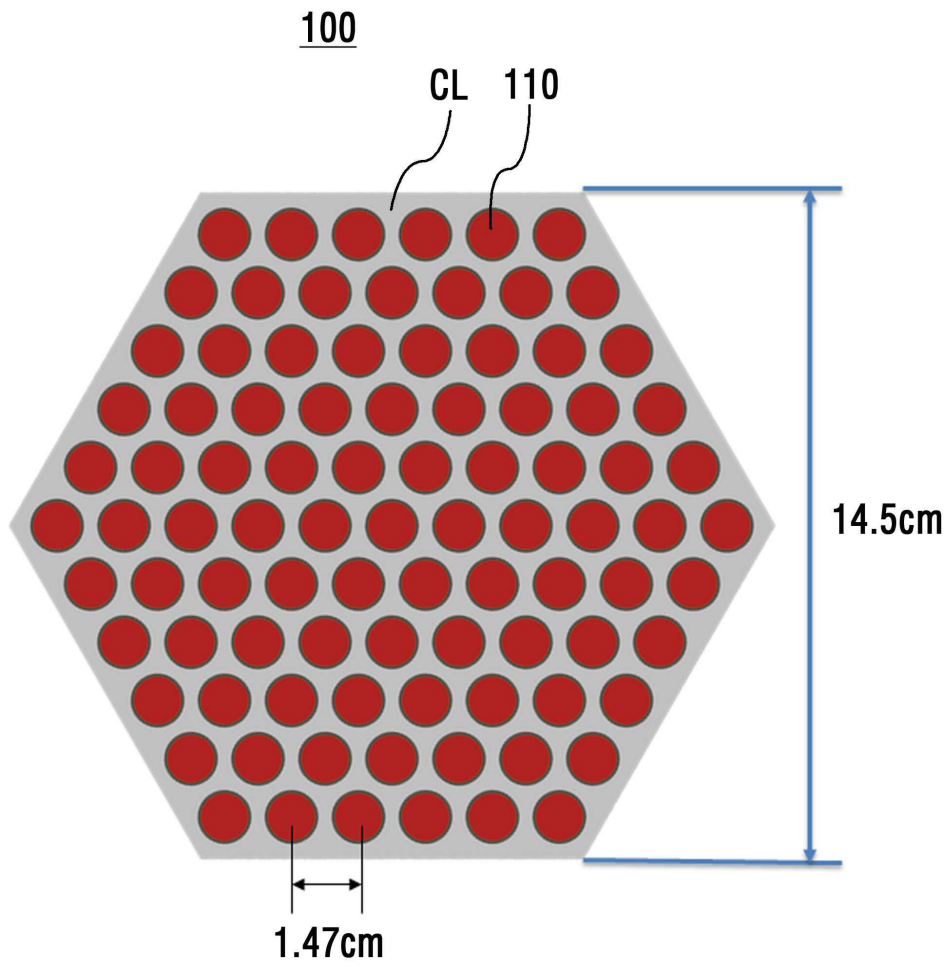
도면1



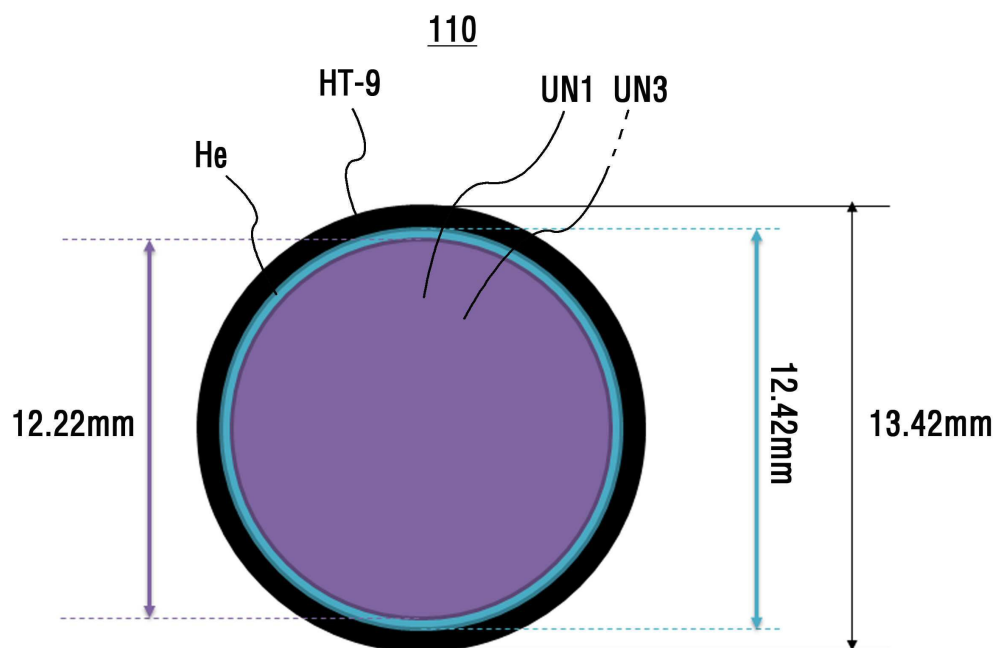
도면2



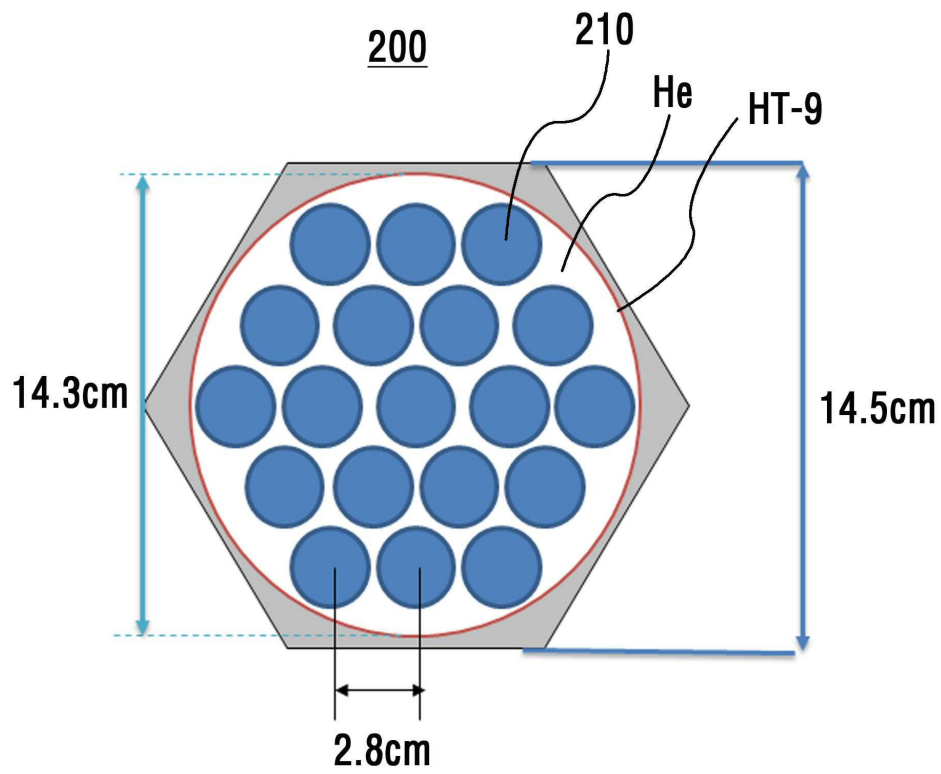
도면3



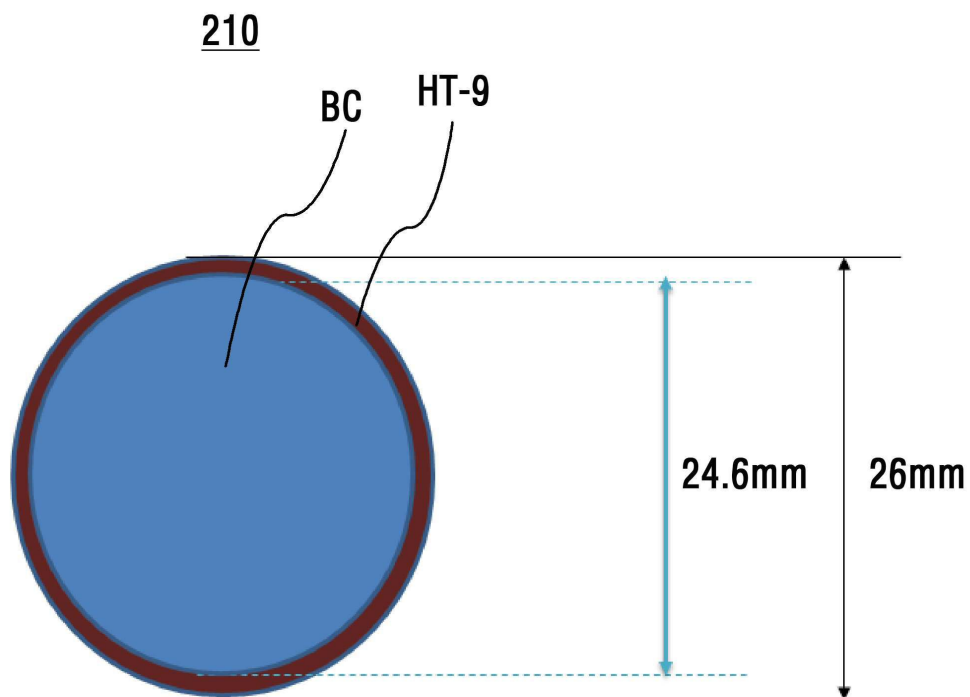
도면4



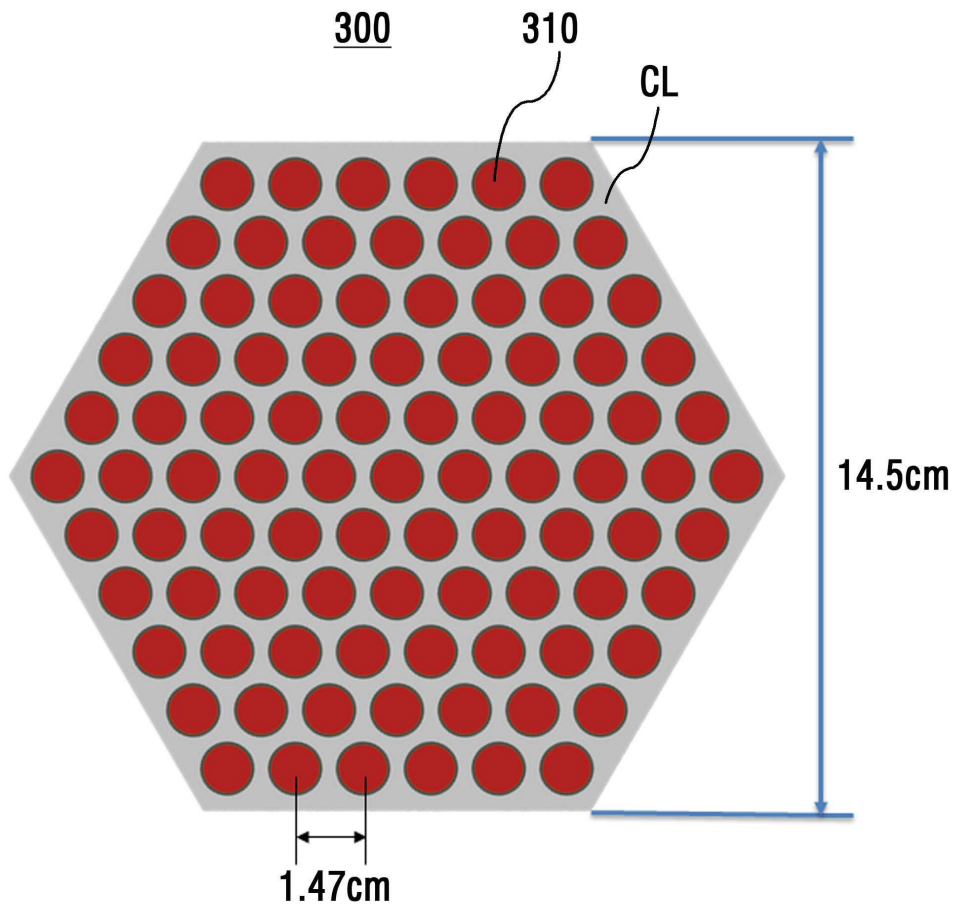
도면5



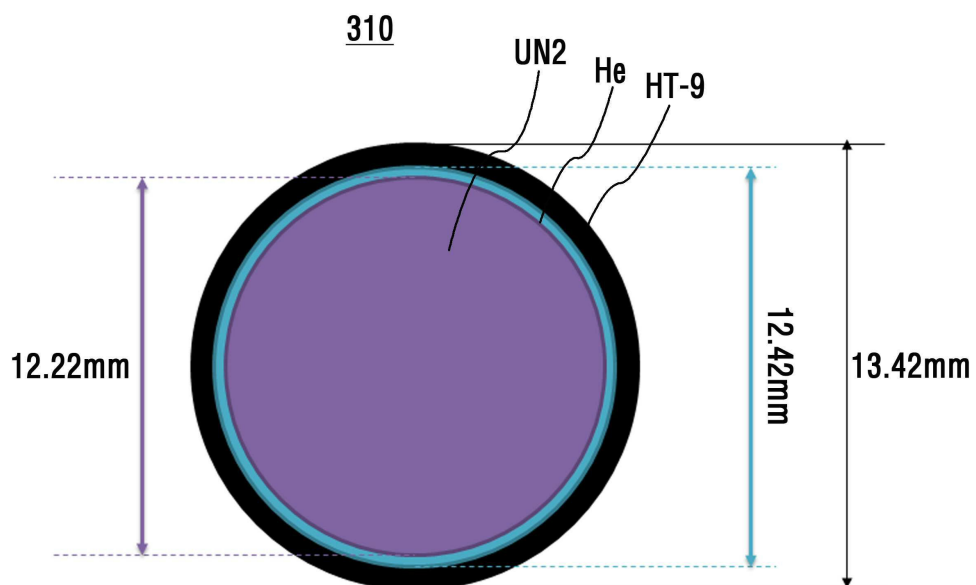
도면6



도면7



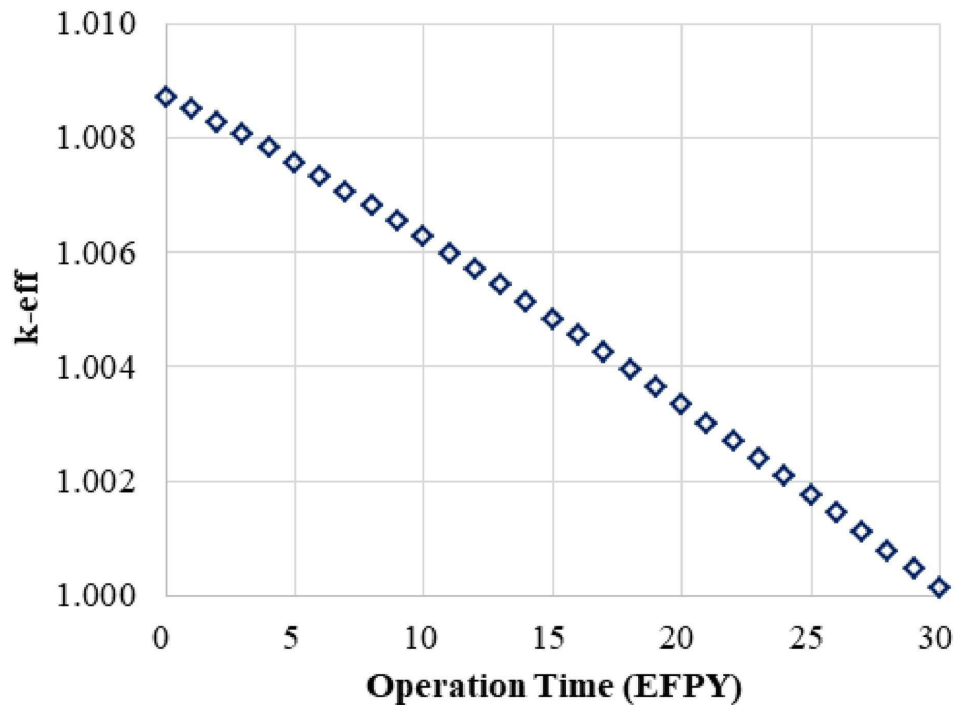
도면8



도면9

	Driver	Reflector	Control
Core data			
- No. of assemblies	78	114	7
Blanket region (nat. U)	12	-	-
Igniter region (13.93 w/o ²³⁵ U)	66	-	-
Assembly data			
- Number of pin	91	91	19
- Assembly pitch, cm	14.5	14.5	14.5
Pin data			
- Pin material and type	UN	YSZ	B ₄ C
- Active core height, cm	100	-	-
- Active core diameter, cm	145	-	-
- Smear density, %TD	95	-	-
- Cladding material	HT-9	HT-9	HT-9
- Pin pitch-to-diameter ratio	1.095	-	1.077
- Cladding thickness, cm	0.010	0.010	0.070
Volume fraction at fabrication, %			
- Fuel or absorber	58.6	58.6	49.6
- Helium gap	2.0	2.0	-
- Structure	10.1	10.1	9.5
- Coolant	29.3	29.3	43.9

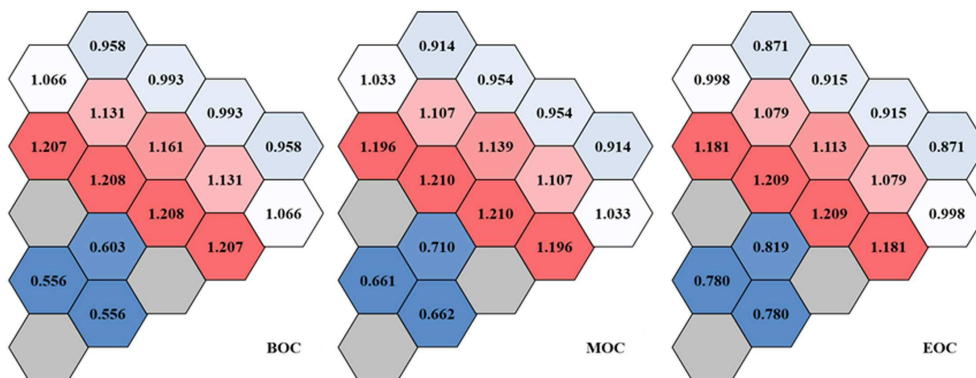
도면10



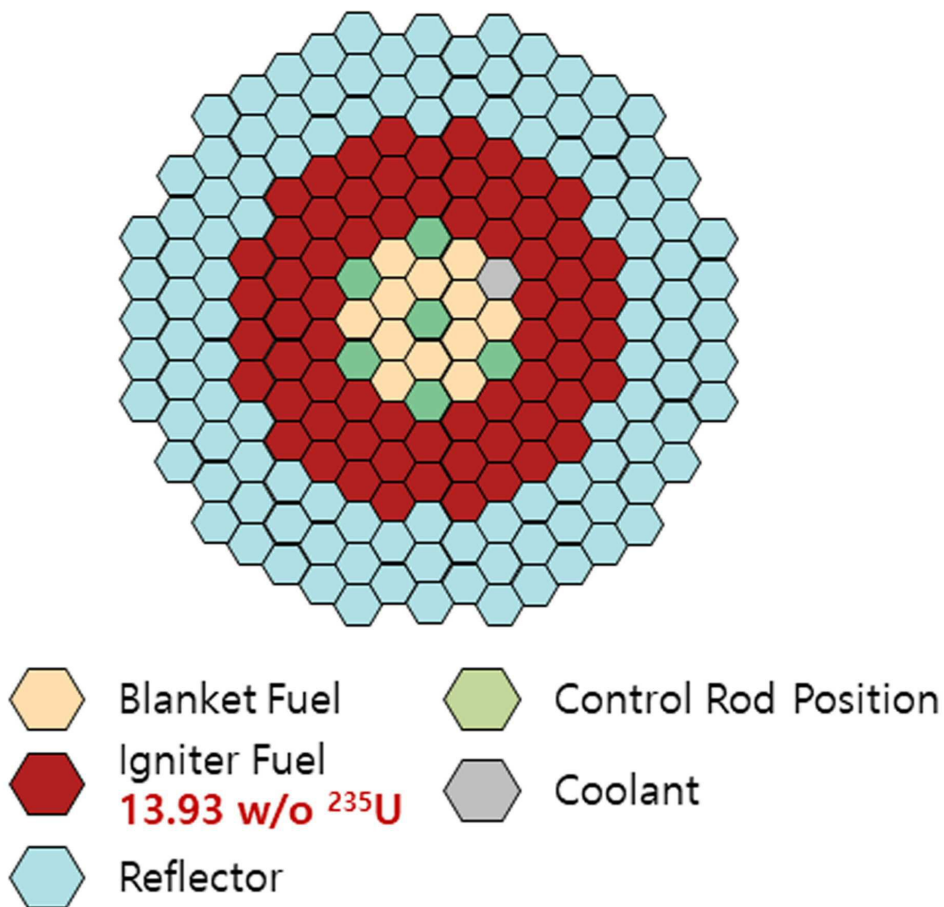
도면11

Parameter	Value
<i>k-eff</i>	
– Beginning-of-cycle (BOC)	1.00870
– Middle-of-cycle (MOC)	1.00484
– End-of-cycle (EOC)	1.00014
<i>Power property</i>	
– Power-to-weight ratio, W/g	3.50
– Power density, W/cm ³	24.23
– Linear power density, W/cm	52.83
<i>Coolant</i>	
– Material	LBE
– Total mass, kg	5584.5
– Fluid velocity, m/s	0.464
– Flow rate, kg/s	2589.5

도면12



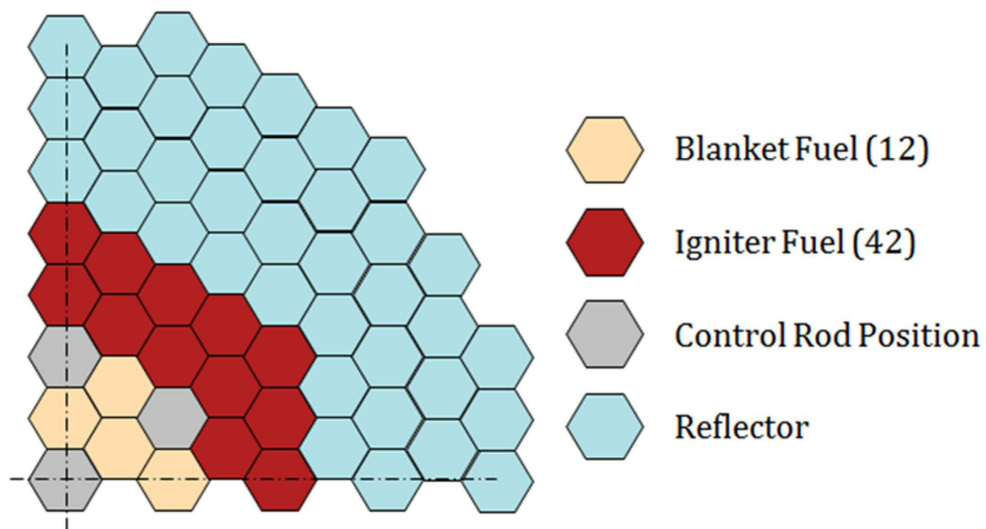
도면13



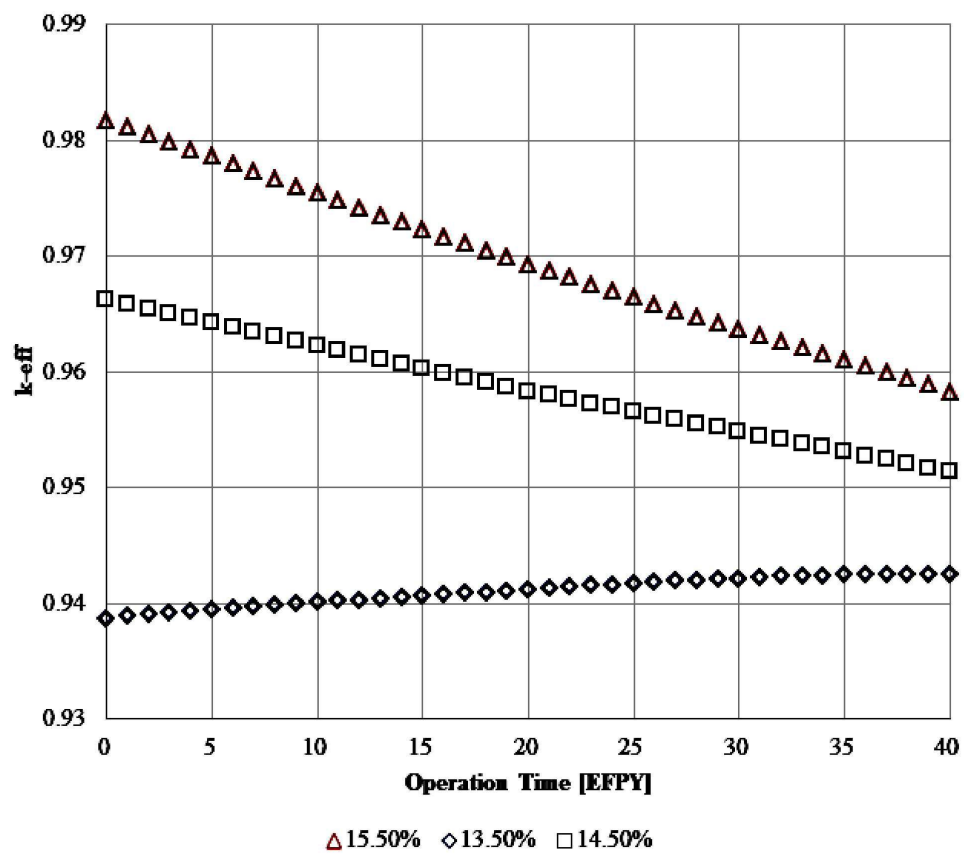
도면14

Condition	Core w/ Blanket Region	
	K-eff	Reactivity [pcm]
HZP	1.01801	1769
HFP	1.00870	862
6/7 CRs inserted at HFP	0.94142	-6222
Parameters		Reactivity [pcm]
6/7 Control rods worth		7085
Excess reactivity		1769
Temperature defect (HFP → HZP)		907
Shutdown margin		4409

도면15



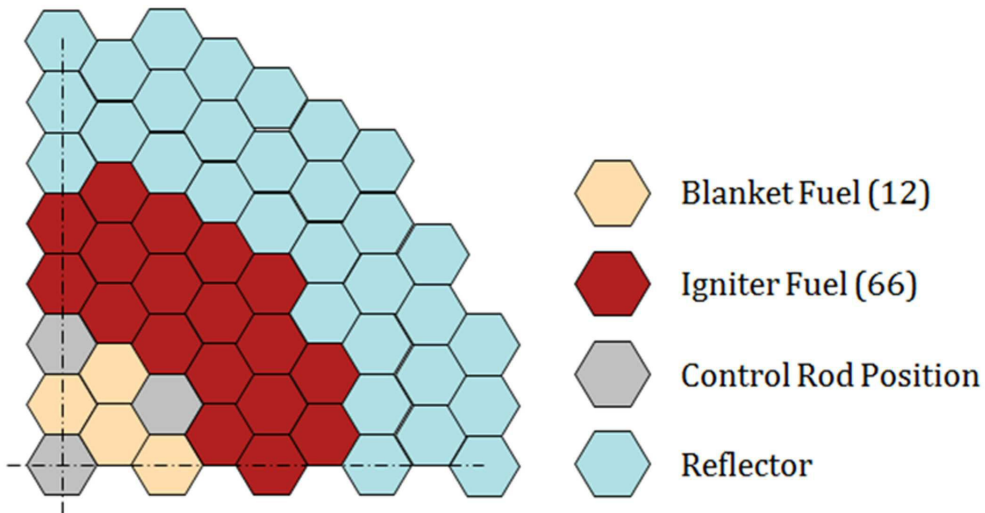
도면16



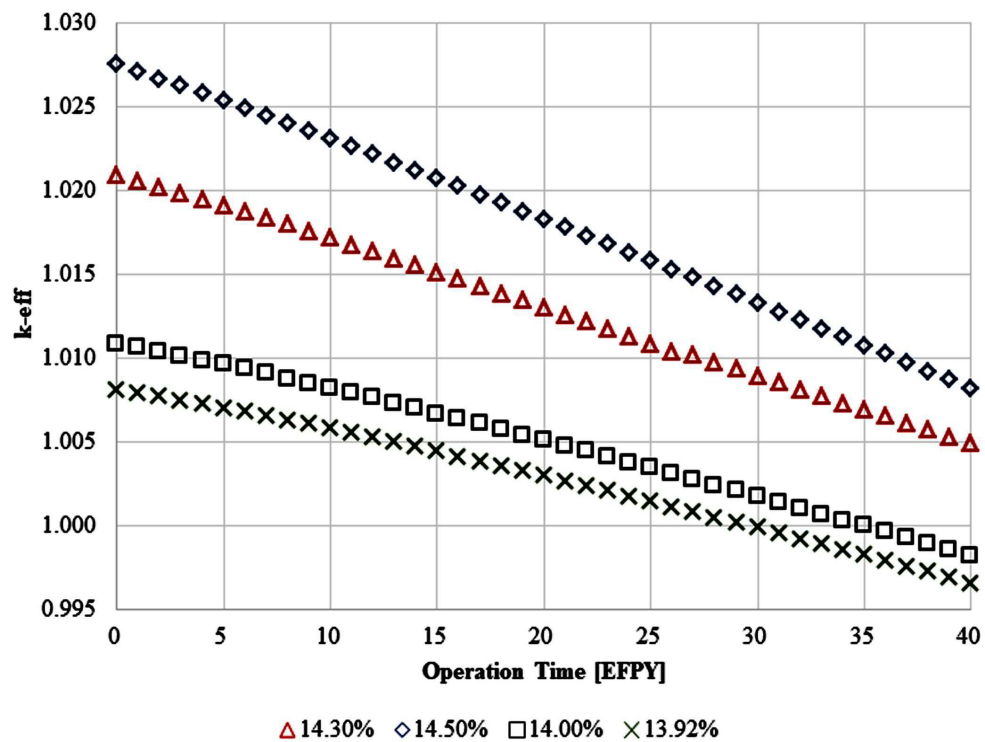
도면17

Time	Case A – 15.5%	Case B – 13.5%	Case C – 14.5%
BOC	0.98168	0.93866	0.96614
MOC	0.97226	0.94062	0.96017
EOC	0.96366	0.94215	0.95479

도면18



도면19



도면20

Time	Case A - 14.50%	Case B - 14.30%	Case C - 14.00%	Case D - 13.92%
BOC	1.02751	1.02089	1.01082	1.00811
MOC	1.02071	1.01511	1.00667	1.00441
EOC	1.01327	1.00893	1.00170	0.99985
Cycle length (EPY)	>40	>40	~35	~30