



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년01월02일
(11) 등록번호 10-1100806
(24) 등록일자 2011년12월23일

(51) Int. Cl.

G21C 3/32 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0121336

(22) 출원일자 2009년12월08일

심사청구일자 2009년12월08일

(65) 공개번호 10-2011-0064650

(43) 공개일자 2011년06월15일

(56) 선행기술조사문헌

KR1019990085212 A

KR1020010014855 A

KR1020010028016 A

(73) 특허권자

한국원자력연구원

대전 유성구 덕진동 150-1

(72) 발명자

김용희

대전광역시 유성구 장대동 푸르지오아파트
103-304

노규홍

대전광역시 유성구 도룡동 390-2 세방빌라 304호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

이원희

전체 청구항 수 : 총 16 항

심사관 : 김용훈

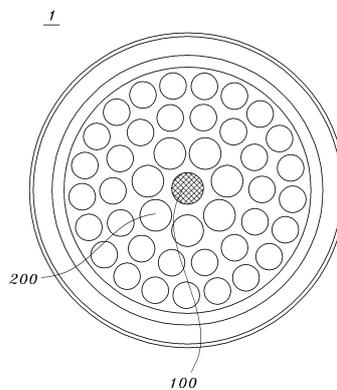
(54) 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발

(57) 요약

본 발명은 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발에 관한 것으로, 해결하고자 하는 기술적 과제는 0.7 wt%에서 3.0 wt%까지 농축된 핵연료가 장전된 중수로에 사용될 수 있는 중앙봉을 중심으로 한 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되는 핵연료다발의 출력계수가 음(-)의 값을 갖도록 핵연료다발에 가연성 흡수체를 장전함으로써 중수로의 고유 안전성을 향상시킨 중수로 핵연료다발을 제공하는데 있다.

이를 위해 본 발명에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발은 가연성 흡수체가 장전된 중앙봉이 핵연료 다발의 중심에 배치되고, 상기 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

박주환

대전광역시 유성구 용산동 우림아파트 1105-602

김원영

대전광역시 유성구 도룡동 현대아파트 103-301

배준호

대전광역시 서구 둔산동 둥지아파트 109-1401

조남진

대전광역시 유성구 어은동 한빛아파트 135-1004

특허청구의 범위

청구항 1

가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합된 중앙봉이 핵연료 다발의 중심에 배치되고,

상기 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되는 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 가연성 흡수체의 농도는 0 wt% 초과, 100 wt% 미만인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 4

가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합된 중앙봉이 핵연료 다발의 중심에 배치되고,

상기 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되되,

상기 핵연료봉 중 상기 중앙봉과 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉은 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합된 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 5

제 4항에 있어서,

상기 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 중앙봉에 혼합된 가연성 흡수체와, 상기 중앙봉과 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉에 혼합된 가연성 흡수체는 서로 같은 농도를 가지며 상기 핵연료와 혼합되는 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 가연성 흡수체의 농도는 0 wt% 초과, 100 wt% 미만인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 8

제 5항에 있어서,

상기 중앙봉에 혼합된 가연성 흡수체와, 상기 중앙봉과 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉에 혼합된 가연성 흡수체는 서로 다른 농도를 가지며 상기 핵연료와 혼합되는 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 9

제 8항에 있어서,

상기 중앙봉에 혼합된 가연성 흡수체의 농도는 0 wt% 초과, 100 wt% 미만이고, 상기 중앙봉과 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉에 혼합된 가연성 흡수체의 농도는 0 wt% 초과, 100 wt% 미만인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 10

중앙봉이 핵연료 다발의 중심에 배치되고,

상기 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되되,

상기 중앙봉은 중심부에 가연성 흡수체가 포함되고, 환형 형상의 테두리부에 핵연료가 포함되는 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 12

제 11항에 있어서,

상기 가연성 흡수체의 반경은 상기 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 13

중앙봉이 핵연료 다발의 중심에 배치되고,

상기 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되되,

상기 중앙봉은 중심부에 가연성 흡수체가 포함되고, 환형 형상의 테두리부에 상기 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합되는 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 14

제 13항에 있어서,

상기 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3) 중 어느 하나인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 가연성 흡수체의 농도는 0 wt% 초과, 100 wt% 미만인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로

핵연료다발.

청구항 16

제 14항에 있어서,

상기 가연성 흡수체의 반경은 핵연료봉과 동일하거나 그 이하인 것을 특징으로 하는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발.

명세서

발명의 상세한 설명

기술분야

[0001] 본 발명은 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발에 관한 것으로서, 0.7 wt%에서 3.0 wt%까지 농축된 핵연료가 장전된 중수로에 사용될 수 있는 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되는 핵연료 다발이 음(-)의 출력계수를 갖도록 구성함으로써, 원자로의 고유 안전성을 확보한 중수로용 핵연료다발에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 출력계수(Power Coefficient, PC)는 원자로에서 단위출력 증가에 따른 반응도의 변화를 나타내는 값으로서, 원자로의 고유 안전성을 지배하는 중요한 노물리 인자이다.

[0003] 출력계수는 주로 핵연료 온도계수(Fuel Temperature Coefficient, FTC)와 냉각재 온도계수(Coolant Temperature Coefficient, CTC)의 복합된 효과로 나타난다.

[0004] 출력계수가 음(-)의 값을 갖는다는 것은 출력이 증가함에 따라 반응도가 감소함을 나타내며, 양(+)의 값을 갖는다는 것은 출력이 증가함에 따라 반응도가 증가하여 불안정한 방향으로 진행됨을 나타낸다.

[0005] 따라서, 모든 원자로는 고유 안전성을 확보하기 위하여 출력계수가 적절한 음(-)의 값을 갖는 것이 바람직하다. 현재 사용되고 있는 중수로의 경우, 태생적으로 냉각재 온도계수는 양(+)의 값을 가지므로, 음(-)의 출력계수를 얻기 위해서는 냉각재 온도계수 감소와 함께 핵연료 온도계수가 음(-)의 값을 갖도록 해야 한다.

[0006] 도 10은 종래의 37봉 핵연료다발의 개략적인 구성도이고, 도 11은 종래의 43봉 핵연료다발의 개략적인 구성도이다.

[0007] 중수로에 사용되는 핵연료는 도 10에 도시된 바와 같이, 37봉 핵연료다발(2)이거나, 도 11에 도시된 바와 같이, 43봉 핵연료다발(3)일 수 있으며, 중앙봉을 중심으로 한 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되는 핵연료다발일 수 있다.

발명의 내용

해결하고자하는 과제

[0008] 본 발명은 상기한 바와 같은 문제를 해결하기 위해 안출된 것으로, 0.7 wt%에서 3.0 wt%까지 농축된 핵연료가 장전된 중수로에 사용될 수 있는 중앙봉을 중심으로 한 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되는 핵연료다발의 출력계수가 음(-)의 값을 갖도록 핵연료다발에 가연성 흡수체를 포함시킴으로써 중수로의 고유 안전성을 향상시킨 중수로 핵연료다발을 제공하는데 그 목적이 있다.

[0009] 본 발명의 다른 목적은, 초기 잉여반응도의 감소에 따라 가동 중 핵연료 교체시의 채널출력 리플(ripple)효과를 감소시키는 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발을 제공하는 것이다.

과제 해결수단

- [0010] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위해 본 발명에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발은 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합된 중앙봉이 핵연료 다발의 중심에 배치되고, 상기 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되는 것을 특징으로 한다.
- [0011] 또한, 상기 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er₂O₃) 또는 어븀카바이드(Er₂C₃)일 수 있다.
- [0012] 또한, 상기 가연성 흡수체의 농도는 100 wt% 이하일 수 있다.
- [0013] 또한, 본 발명에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발은 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합된 중앙봉이 핵연료 다발의 중심에 배치되고, 상기 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되되, 상기 핵연료봉 중 상기 중앙봉과 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉은 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합될 수 있다. 이때, 상기 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er₂O₃) 또는 어븀카바이드(Er₂C₃)일 수 있다.
- [0014] 또한, 상기 중앙봉에 혼합된 가연성 흡수체와, 상기 중앙봉과 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉에 혼합된 가연성 흡수체는 서로 같은 농도를 가지며 상기 핵연료와 혼합될 수 있다. 이때, 상기 가연성 흡수체의 농도는 100 wt% 이하일 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 중앙봉에 혼합된 가연성 흡수체와, 상기 중앙봉과 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉에 혼합된 가연성 흡수체는 서로 다른 농도를 가지며 상기 핵연료와 혼합될 수 있다. 이때, 상기 중앙봉에 혼합된 가연성 흡수체의 농도는 100 wt% 이하이고, 상기 중앙봉과 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉에 혼합된 가연성 흡수체의 농도는 100 wt% 이하일 수 있다.
- [0016] 또한, 본 발명에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발은 중앙봉이 핵연료 다발의 중심에 배치되고, 상기 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되되, 상기 중앙봉은 중심부에 가연성 흡수체가 포함되고, 환형 형상의 테두리부에 핵연료가 포함될 수 있다. 이때, 상기 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er₂O₃) 또는 어븀카바이드(Er₂C₃)일 수 있다.
- [0017] 또한, 상기 가연성 흡수체의 반경은 상기 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.
- [0018] 또한, 본 발명에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발은 중앙봉이 핵연료 다발의 중심에 배치되고, 상기 중앙봉을 중심으로 복수의 핵연료봉이 환형으로 배치되되, 상기 중앙봉은 중심부에 가연성 흡수체가 포함되고, 환형 형상의 테두리부에 상기 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합될 수 있다. 이때, 상기 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er₂O₃) 또는 어븀카바이드(Er₂C₃)일 수 있고, 상기 가연성 흡수체의 농도는 100 wt% 이하일 수 있으며, 상기 가연성 흡수체의 반경은 핵연료봉과 동일하거나 그 이하일 수 있다.

효과

- [0019] 상기한 바와 같이 본 발명에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발을 장전함에 의해 중수로의 출력계수가 음(-)의 값을 갖도록 상기 핵연료다발에 가연성 흡수체를 포함시킴으로써 중수로의 고유 안전성을 향상시키는 효과가 있다.
- [0020] 본 발명의 다른 효과는, 초기 잉여반응도의 감소에 따라 가동 중 핵연료 교체시의 채널출력 리플(ripple)효과를 감소시킬 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0021] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다. 우선, 도면들 중 동일한 구성요소 또는 부품들은 가능한 한 동일한 참조부호를 나타내고 있음에 유의해야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명은 본 발명의 요지를 모호하게 하지 않기 위해 생략한다.
- [0022] 도 1은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발의 개략적인 구성도이다.
- [0023] 본 발명의 제 1 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발은 도 1에 도시된 바와 같이, 중앙봉(100)과, 상기 중앙봉(100)을 중심으로 환형으로 배치되는 복수의 핵연료봉(200)을 포함한다.
- [0024] 상기 중앙봉(100)은 상기 핵연료다발(1)의 중심에 배치되며, 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합되어 구성될 수 있다.
- [0025] 이때, 상기 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3) 일 수 있고, 상기 가연성 흡수체의 농도는 100 wt% 이하일 수 있다.
- [0026] 한편, 출력계수를 평가하는 방법에는 2차원 코드를 이용한 격자계산과 3차원 코드를 이용한 노심계산이 있다.
- [0027] 본 발명에서는 Studsvik Scanpower에서 개발한 HELIOS-1.8 코드를 이용한 격자계산을 수행하였고, 사용된 라이브러리는 ENDF/B-VI를 근간으로 한 중성자 190군 핵자료 단면적 라이브러리였다.
- [0028] 도 2a 내지 도 2f는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도이다.
- [0029] 각각 0.7 wt%, 1.0 wt% 및 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료가 장전된 중수로에 장전될 수 있는 핵연료 다발 형태중의 하나인 43봉 핵연료다발에서 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3) 및 어븀카바이드(Er_2C_3)를 각각 상기 중앙봉(100)에 핵연료와 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.
- [0030] <실험예 1-1>
- [0031] 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어비아(Er_2O_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 2a에 도시된 바와 같다.
- [0032] 구체적으로, 102.5%의 출력에서 가연성 흡수체를 포함하지 않은 경우의 출력계수는 0.0126 mk/% power 이고, 이때의 예상 방출연소도는 6,580 MWd/tU이다.
- [0033] 또한, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소되며, 약 1.0 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 0.0090 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 6,200 MWd/tU이다. 또한 약 2.0 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 0.0036 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,400 MWd/tU이다.
- [0034] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er_2O_3))의 농도는 0 wt%에서 2.0 wt% 일 수 있다.
- [0035] <실험예 1-2>

- [0036] 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀카바이드(Er_2C_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 2b에 도시된 바와 같다.
- [0037] 구체적으로, 102.5%의 출력에서 가연성 흡수체를 포함하지 않은 경우의 출력계수는 0.0126 mk/% power 이고, 이때의 예상 방출연소도는 6,580 MWd/tU이다.
- [0038] 또한, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 약 1.0 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 0.0090 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,780 MWd/tU이다. 또한, 약 2.0 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 0.0018 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 4,870 MWd/tU이다.
- [0039] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 농도는 0 wt%에서 2.0 wt% 일 수 있다.
- [0040] <실험예 1-3>
- [0041] 1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀아(Er_2O_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 2c에 도시된 바와 같다.
- [0042] 구체적으로, 102.5%의 출력에서 가연성 흡수체를 포함하지 않은 경우의 출력계수는 0.0200 mk/% power 이고, 이때의 예상 방출연소도는 16,350 MWd/tU이다.
- [0043] 또한, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 약 14 wt%의 어븀아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 -0.0018 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 12,040 MWd/tU이다. 또한 약 100 wt%의 어븀아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 -0.0344 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 4,440 MWd/tU이다.
- [0044] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀 또는 어븀아(Er_2O_3))의 농도는 0 wt%에서 100 wt% 일 수 있다.
- [0045] <실험예 1-4>
- [0046] 1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀카바이드(Er_2C_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 2d에 도시된 바와 같다.
- [0047] 구체적으로, 102.5%의 출력에서 가연성 흡수체를 포함하지 않은 경우의 출력계수는 0.0200 mk/% power 이고, 이때의 예상 방출연소도는 16,350 MWd/tU이다.
- [0048] 또한, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 약 14 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 -0.0018 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 11,900 MWd/tU이다. 또한 약 100 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 -0.0362 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 4,220 MWd/tU이다.
- [0049] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어

븀카바이드(Er_2C_3)의 농도는 0 wt%에서 100 wt% 일 수 있다.

- [0050] <실험예 1-5>
- [0051] 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어비아(Er_2O_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 2e에 도시된 바와 같다.
- [0052] 구체적으로, 102.5%의 출력에서 가연성 흡수체를 포함하지 않은 경우의 출력계수는 0.0053 mk/% power 이고, 이때의 예상 방출연소도는 55,450 MWd/tU이다.
- [0053] 또한, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 약 25 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 -0.0071 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 51,290 MWd/tU이다. 또한 약 100 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 -0.0190 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 45,590 MWd/tU이다.
- [0054] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er_2O_3))의 농도는 0 wt%에서 100 wt% 일 수 있다.
- [0055] <실험예 1-6>
- [0056] 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀카바이드(Er_2C_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 2f에 도시된 바와 같다.
- [0057] 구체적으로, 102.5%의 출력에서 가연성 흡수체를 포함하지 않은 경우의 출력계수는 0.0053 mk/% power 이고, 이때의 예상 방출연소도는 55,450 MWd/tU이다.
- [0058] 또한, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 약 25 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 -0.0071 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 51,120 MWd/tU이다. 또한 약 100 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우에 출력계수는 -0.0190 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 45,330 MWd/tU이다.
- [0059] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 농도는 0 wt%에서 100 wt% 일 수 있다.
- [0060] 이하, 본 발명의 제 2 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발을 상세히 설명한다.
- [0061] 도 3은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발의 개략적인 구성도이다.
- [0062] 본 발명의 제 2 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발은 도 3에 도시된 바와 같이, 중앙봉(100)과, 상기 중앙봉(100)을 중심으로 환형으로 배치되는 복수의 핵연료봉(200)을 포함한다.
- [0063] 상기 중앙봉(100)은 상기 핵연료다발(1)의 중심에 배치되되, 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합되어 구성

될 수 있다.

- [0064] 이때, 상기 중앙봉(100)에 혼합되는 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3)일 수 있다.
- [0065] 상기 핵연료봉(200) 중 상기 중앙봉(100)과 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉(200), 즉, 두 번째 링의 핵연료봉(200)은 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합되어 구성될 수 있다.
- [0066] 이때, 상기 핵연료봉(200)에 혼합되는 가연성 흡수체는 상기 중앙봉(100)에 혼합되는 가연성 흡수체와 동일하게 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3)일 수 있다.
- [0067] 또한, 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 혼합된 가연성 흡수체는 서로 같은 농도를 가지며 상기 핵연료와 혼합될 수 있고, 이때, 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 혼합된 가연성 흡수체의 농도는 100 wt% 이하일 수 있다.
- [0068] 도 4a 내지 도 4f는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발 중 같은 농도의 가연성 흡수체가 사용된 경우의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도이다.
- [0069] 각각 0.7 wt%, 1.0 wt% 및 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료가 장전된 중수로에 장전될 수 있는 핵연료다발 형태 중 하나인 43봉 핵연료다발에서 같은 농도의 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3) 및 어븀카바이드(Er_2C_3)를 각각 상기 중앙봉(100)과, 상기 중앙봉(100)에 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉(200), 즉, 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 핵연료와 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.
- [0070] <실험예 2-1>
- [0071] 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어비아(Er_2O_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 4a에 도시된 바와 같다.
- [0072] 즉, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 약 0.1 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 0.0108 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,950 MWd/tU이다. 또한, 약 0.2 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 0.0036 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,190 MWd/tU이다.
- [0073] 상기와 같이, 같은 농도의 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er_2O_3))의 농도는 0 wt%에서 0.2 wt% 일 수 있다.
- [0074] <실험예 2-2>
- [0075] 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀카바이드(Er_2C_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 4b에 도시된 바와 같다.
- [0076] 즉, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 약 0.1 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 0.0090 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,940 MWd/tU이다. 또한, 약 0.2 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 0.0036 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,140 MWd/tU이다.

- [0077] 상기와 같이, 같은 농도의 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 농도는 0 wt%에서 0.2 wt% 일 수 있다.
- [0078] <실험예 2-3>
- [0079] 1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어비아(Er_2O_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 4c에 도시된 바와 같다.
- [0080] 즉, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 약 1.4 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 $-0.0018 \text{ mk}/\% \text{ power}$ 이며, 이때의 예상 방출연소도는 12,120 MWd/tU이다. 또한, 약 2.5 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 $-0.0270 \text{ mk}/\% \text{ power}$ 이며, 이때의 예상 방출연소도는 7,370 MWd/tU이다.
- [0081] 상기와 같이, 같은 농도의 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er_2O_3))의 농도는 0 wt%에서 2.5 wt% 일 수 있다.
- [0082] <실험예 2-4>
- [0083] 1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀카바이드(Er_2C_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 4d에 도시된 바와 같다.
- [0084] 즉, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 약 1.4 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 $-0.0036 \text{ mk}/\% \text{ power}$ 이며, 이때의 예상 방출연소도는 11,960 MWd/tU이다. 또한, 약 2.6 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 $-0.0325 \text{ mk}/\% \text{ power}$ 이며, 이때의 예상 방출연소도는 6,190 MWd/tU이다.
- [0085] 상기와 같이, 같은 농도의 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 농도는 0 wt%에서 2.6 wt% 일 수 있다.
- [0086] <실험예 2-5>
- [0087] 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어비아(Er_2O_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 4e에 도시된 바와 같다.
- [0088] 즉, 약 20 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 $-0.0461 \text{ mk}/\% \text{ power}$ 이며, 이때의 예상 방출연소도는 28,820 MWd/tU이다. 또한, 약 40 wt%의 어비아(Er_2O_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 $-0.0500 \text{ mk}/\% \text{ power}$ 이며, 이때의 예상 방출연소도는 19,470 MWd/tU이다.
- [0089] 상기와 같이, 같은 농도의 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er_2O_3))의 농도는 0 wt%에서 100 wt% 일 수 있다.
- [0090] <실험예 2-6>
- [0091] 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀카바이드(Er_2C_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 4f에 도시된 바와 같다.

[0092] 즉, 약 20 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 -0.0443 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 28,090 MWd/tU이다. 또한, 약 40 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)가 첨가되었을 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 -0.0517 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 18,830 MWd/tU이다.

[0093] 상기와 같이, 같은 농도의 가연성 흡수체를 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 농도는 0 wt%에서 100 wt% 일 수 있다.

[0094] 한편, 상기 중앙봉(100)과 상기 중앙봉(100)에서 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉(200), 즉, 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 혼합된 가연성 흡수체는 서로 다른 농도를 가지며 상기 핵연료와 혼합될 수 있고, 이때, 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 혼합된 가연성 흡수체의 농도는 중앙봉(100)의 경우 100 wt% 이하일 수 있고, 두 번째 링의 핵연료봉(200)의 경우 100 wt% 이하일 수 있다.

[0095] 각각 0.7 wt%, 1.0 wt% 및 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료가 장전된 중수로에 장전될 수 있는 핵연료다발 형태 중 하나인 43봉 핵연료다발에서 다른 농도의 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3) 및 어븀카바이드(Er_2C_3)를 각각 상기 중앙봉(100)과, 상기 중앙봉(100)에 가장 근접한 동심원 상에 배치되는 핵연료봉(200), 즉, 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 핵연료와 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.

[0096] 도 5a 내지 도 5b는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발 중 다른 농도의 가연성 흡수체가 사용된 경우의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도이다.

[0097] <실험예 2-7>

[0098] 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어비아(Er_2O_3)의 첨가량에 따른 102.5% power에서의 출력계수와 예상방출연소도는 하기의 [표 1]에 나타난 바와 같다.

표 1

어비아(Er_2O_3) 혼합량		102.5% power에서의 출력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
중앙봉(100)	두 번째 링(200)		
0.0 wt%	0.0 wt%	0.0126	6,580
0.0 wt%	0.24 wt%	0.0036	5,100
0.1 wt%	0.2 wt%	0.0036	5,290
1.0 wt%	0.1 wt%	0.0036	5,140
2.0 wt%	0.0 wt%	0.0036	5,400

[0100] 즉, 상기 중앙봉(100)의 어비아(Er_2O_3) 농도가 0.1 wt%이고 두 번째 링의 핵연료봉(200)의 어비아(Er_2O_3) 농도가 0.2 wt%인 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 0.0036 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,290 MWd/tU이다.

[0101] 상기와 같이, 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 다른 농도의 가연성 흡수체를 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er_2O_3))의 농도는 상기 중앙봉(100)에 대하여 0 wt%에서 2.0 wt%일 수 있으며, 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 대하여 0 wt%에서 0.24 wt%일 수 있다.

[0102] <실험예 2-8>

[0103] 0.7 wt% 의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀카바이드(Er_2C_3)의 첨가량에 따른 102.5% power에서의 출력계수와 예상방출연소도는 하기의 [표 2]에 나타난 바와 같다.

표 2

어븀카바이드(Er_2C_3) 혼합량		102.5% power에서의 출력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
중앙봉(100)	두 번째 링(200)		
0.0 wt%	0.0 wt%	0.0126	6,580
0.0 wt%	0.24 wt%	0.0036	5,050
0.1 wt%	0.2 wt%	0.0036	5,240
1.0 wt%	0.1 wt%	0.0036	5,080
2.0 wt%	0.0 wt%	0.0018	4,870

[0105] 즉, 상기 중앙봉(100)의 어븀카바이드(Er_2C_3) 농도가 0.1 wt%이고 두 번째 링의 핵연료봉(200)의 어븀카바이드(Er_2C_3) 농도가 0.2 wt%인 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 0.0036 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,240 MWd/tU이다.

[0106] 상기와 같이, 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 다른 농도의 가연성 흡수체를 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 농도는 상기 중앙봉(100)에 대하여 0 wt%에서 2.0 wt%일 수 있으며, 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 대하여 0 wt%에서 0.24 wt%일 수 있다.

[0107] <실험예 2-9>

[0108] 1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어비아(Er_2O_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 5a에 도시된 바와 같다.

[0109] 도 5a는 상기 중앙봉(100)의 어비아(Er_2O_3) 농도가 0.6 wt%인 경우, 두 번째 링의 핵연료봉(200)의 어비아(Er_2O_3) 농도변화에 따른 중간연소도에서의 출력계수를 보여준다.

[0110] 즉, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 상기 중앙봉(100)의 어비아(Er_2O_3) 농도가 0.6 wt%이고 두 번째 링의 어비아(Er_2O_3) 농도가 1.4 wt%인 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 -0.0018 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 12,460 MWd/tU이다.

[0111] 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3)를 균질하게 혼합하는 경우에 대한 102.5% power에서의 출력계수와 예상방출연소도는 하기의 [표 3]에 나타난 바와 같다.

표 3

[0112]

어비아(Er_2O_3) 혼합량		102.5% power에서의 출력 계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
중앙봉(100)	두 번째 링(200)		
0.0 wt%	0.0 wt%	0.0200	16,350
0.0 wt%	3.0 wt%	-0.0307	6,540
0.6 wt%	1.4 wt%	-0.0018	12,460
25.0 wt%	1.0 wt%	-0.0325	5,590
100.0 wt%	0.0 wt%	-0.0344	4,440

[0113]

상기와 같이, 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 다른 농도의 가연성 흡수체를 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er_2O_3))의 농도는 상기 중앙봉(100)에 대하여 0 wt%에서 100 wt%일 수 있으며, 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 대하여 0 wt%에서 3 wt%일 수 있다.

[0114]

<실험예 2-10>

[0115]

1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀카바이드(Er_2C_3)의 첨가량에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 5b에 도시된 바와 같다.

[0116]

도 5b는 상기 중앙봉(100)의 어븀카바이드(Er_2C_3) 농도가 0.6 wt%인 경우, 두 번째 링의 핵연료봉(200)의 어븀카바이드(Er_2C_3) 농도변화에 따른 중간연소도에서의 출력계수를 보여준다.

[0117]

즉, 첨가되는 가연성 흡수체의 농도가 증가할수록 출력계수는 감소하되, 상기 중앙봉(100)의 어븀카바이드(Er_2C_3) 농도가 0.6 wt%이고 두 번째 링의 어븀카바이드(Er_2C_3) 농도가 1.4 wt%인 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 0.00 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 12,310 MWd/tU이다.

[0118]

상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er_2C_3)를 균질하게 혼합하는 경우에 대한 102.5% power에서의 출력계수와 예상방출연소도는 하기의 [표 4] 나타난 바와 같다.

표 4

[0119]

어븀카바이드(Er_2C_3) 혼합량		102.5% power에서의 출력 계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
중앙봉(100)	두 번째 링(200)		
0.0 wt%	0.0 wt%	0.0200	16,350
0.0 wt%	3.0 wt%	-0.0343	5,910
0.6 wt%	1.4 wt%	0.0	12,310
25.0 wt%	1.0 wt%	-0.0344	5,110
100.0 wt%	0.0 wt%	-0.0362	4,220

[0120]

상기와 같이, 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 다른 농도의 가연성 흡수체를 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 농도는 상기 중앙봉(100)에 대하여 0 wt%에서

100 wt%일 수 있으며, 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 대하여 0 wt%에서 3 wt%일 수 있다.

[0121] <실험예 2-11>

[0122] 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어비아(Er_2O_3)의 첨가량에 따른 102.5% power에서의 출력계수와 예상방출연소도는 하기의 [표 5]에 나타난 바와 같다.

표 5

[0123]

어비아(Er_2O_3) 혼합량		102.5% power에서의 출력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
중앙봉(100)	두 번째 링(200)		
0.0 wt%	0.0 wt%	0.0053	55,450
0.0 wt%	100 wt%	-0.0486	13,370
20 wt%	80 wt%	-0.0522	14,210
40 wt%	60 wt%	-0.0503	15,950
60 wt%	40 wt%	-0.0499	19,150
80 wt%	20 wt%	-0.0433	26,800
100 wt%	0.0 wt%	-0.0190	45,590

[0124] 즉, 상기 중앙봉(100)의 어비아(Er_2O_3) 농도가 80 wt%이고 두 번째 링의 어비아(Er_2O_3) 농도가 20 wt%인 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 -0.0443 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 26,800 MWd/tU이다.

[0125] 상기와 같이, 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 다른 농도의 가연성 흡수체를 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어비아(Er_2O_3))의 농도는 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 대하여 각각 0 wt%에서 100 wt%일 수 있다.

[0126] <실험예 2-12>

[0127] 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료에 혼합되는 상기 어븀카바이드(Er_2C_3)의 첨가량에 따른 102.5% power에서의 출력계수와 예상방출연소도는 하기의 [표 6]에 나타난 바와 같다.

표 6

[0128]

어븀카바이드(Er_2C_3) 혼합량		102.5% power에서의 출력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
중앙봉(100)	두 번째 링(200)		
0.0 wt%	0.0 wt%	0.0053	55,450
0.0 wt%	100 wt%	-0.0505	12,720
20 wt%	80 wt%	-0.0504	13,600
40 wt%	60 wt%	-0.0520	15,330
60 wt%	40 wt%	-0.0517	18,600
80 wt%	10 wt%	-0.0461	26,210
100 wt%	0.0 wt%	-0.0190	45,330

- [0129] 즉, 상기 중앙봉(100)의 어븀카바이드(Er_2C_3) 농도가 80 wt%이고 두 번째 링의 어븀카바이드(Er_2C_3) 농도가 20 wt%인 경우, 102.5% power에서의 출력계수는 $-0.0461 \text{ mk}/\% \text{ power}$ 이며, 이때의 예상 방출연소도는 26,210 MWd/tU이다.
- [0130] 상기와 같이, 상기 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 다른 농도의 가연성 흡수체를 균질하게 혼합하는 경우, 첨가할 수 있는 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 농도는 중앙봉(100)과 두 번째 링의 핵연료봉(200)에 대하여 각각 0 wt%에서 100 wt%일 수 있다.
- [0131] 이하, 본 발명의 제 3 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발을 상세히 설명한다.
- [0132] 도 6은 본 발명의 제 3 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발의 개략적인 구성도이다.
- [0133] 본 발명의 제 3 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발은 도 6에 도시된 바와 같이, 중앙봉(100)과, 상기 중앙봉(100)을 중심으로 환형으로 배치되는 복수의 핵연료봉(200)을 포함한다.
- [0134] 상기 중앙봉(100)은 중심부(110)와 환형 형상의 테두리부(120)로 이루어지며, 상기 핵연료다발(1)의 중심에 배치될 수 있다.
- [0135] 상기 중앙봉(100)은 상기 중심부(110)에 가연성 흡수체가 포함될 수 있고, 상기 테두리부(120)에 핵연료가 포함될 수 있다.
- [0136] 이때, 상기 중심부(100)에 포함되는 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3)일 수 있고, 상기 가연성 흡수체의 반경은 핵연료봉과 동일하거나 그 이하일 수 있다.
- [0137] 도 7a 내지 도 7i는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 가연성 흡수체인 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3)가 장전된 중수로 핵연료다발의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도이다.
- [0138] 각각 0.7 wt%, 1.0 wt% 및 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료가 장전된 중수로에 장전될 수 있는 핵연료다발 형태 중 하나인 43봉 핵연료다발에서 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3)와 어븀 및 어븀카바이드(Er_2C_3)를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣고, 상기 중앙봉(100)의 환형 형상으로 이루어진 테두리부(120)에 핵연료를 넣은 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.
- [0139] <실험예 3-1>
- [0140] 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료를 넣은 경우, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어비아(Er_2O_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 7a에 도시된 바와 같다.
- [0141] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 가연성 흡수체의 반경이 증가할수록 출력계수는 감소하되, 가연성 흡수체의 반경이 0.10 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 $0.0054 \text{ mk}/\% \text{ power}$ 이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,370 MWd/tU이다. 또한, 가연성 흡수체의 반경이 0.13 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 $0.0 \text{ mk}/\% \text{ power}$ 이며, 이때의 예상 방출연소도는 2,270 MWd/tU이다.
- [0142] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣는 경우, 가연성 흡수체(어비아(Er_2O_3))의 반경은 0 cm에서 0.13 cm 이하일 수 있다.

- [0143] <실험예 3-2>
- [0144] 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료를 넣은 경우, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 7b에 도시된 바와 같다.
- [0145] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 가연성 흡수체의 반경이 증가할수록 출력계수는 감소하되, 가연성 흡수체의 반경이 0.10 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 0.0054 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,160 MWd/tU이다. 또한, 가연성 흡수체의 반경이 0.12 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 0.0018 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 4,560 MWd/tU이다.
- [0146] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣는 경우, 가연성 흡수체(어븀)의 반경은 0 cm에서 0.12 cm 이하일 수 있다.
- [0147] <실험예 3-3>
- [0148] 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료를 넣은 경우, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀카바이드(Er_2C_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 7c에 도시된 바와 같다.
- [0149] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 가연성 흡수체의 반경이 증가할수록 출력계수는 감소하되, 가연성 흡수체의 반경이 0.10 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 0.0054 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,370 MWd/tU이다. 또한, 가연성 흡수체의 반경이 0.13 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 0.0 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 2,190 MWd/tU이다.
- [0150] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣는 경우, 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 반경은 0 cm에서 0.13 cm 이하일 수 있다.
- [0151] <실험예 3-4>
- [0152] 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료를 넣은 경우, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어비아(Er_2O_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 7d에 도시된 바와 같다.
- [0153] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 가연성 흡수체의 반경이 증가할수록 출력계수는 감소하되, 가연성 흡수체의 반경이 0.33 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0018 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 11,620 MWd/tU이다. 또한, 가연성 흡수체의 반경이 중앙봉(100)과 동일한 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0344 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 4,440 MWd/tU이다.
- [0154] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣는 경우, 가연성 흡수체(어비아(Er_2O_3))의 반경은 0 cm에서 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.
- [0155] <실험예 3-5>
- [0156] 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료를 넣은 경우, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 7e에 도시된 바와 같다.
- [0157] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 가연성 흡수체의 반경이 증가할수록 출력계수는 감소하되, 가연성 흡수체의 반경이 0.3 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 0.0 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 11,890 MWd/tU이다. 또한, 가연성 흡수체의 반경이 중앙봉(100)과 동일한 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0381 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 4,000 MWd/tU이다.
- [0158] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣는 경우, 가연성 흡수체(어븀)의 반경은 0 cm에서 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.
- [0159] <실험예 3-6>

- [0160] 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 1.0 wt% 의 농축도를 갖는 핵연료를 넣은 경우, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀카바이드(Er_2C_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 7f에 도시된 바와 같다.
- [0161] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 가연성 흡수체의 반경이 증가할수록 출력계수는 감소하되, 가연성 흡수체의 반경이 0.30 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 0.0018 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 12,080 MWd/tU이다. 또한, 가연성 흡수체의 반경이 중앙봉(100)과 동일한 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0362 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 4,220 MWd/tU이다.
- [0162] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣는 경우, 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 반경은 0 cm에서 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.
- [0163] <실험예 3-7>
- [0164] 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 3.0 wt% 의 농축도를 갖는 핵연료를 넣은 경우, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어비아(Er_2O_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 7g에 도시된 바와 같다.
- [0165] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 가연성 흡수체의 반경이 증가할수록 출력계수는 감소하되, 가연성 흡수체의 반경이 0.30 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0035 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 52,470 MWd/tU이다. 또한, 가연성 흡수체의 반경이 중앙봉(100)과 동일한 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0190 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 45,590 MWd/tU이다.
- [0166] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣는 경우, 가연성 흡수체(어비아(Er_2O_3))의 반경은 0 cm에서 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.
- [0167] <실험예 3-8>
- [0168] 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 3.0 wt% 의 농축도를 갖는 핵연료를 넣은 경우, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 7h에 도시된 바와 같다.
- [0169] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 가연성 흡수체의 반경이 증가할수록 출력계수는 감소하되, 가연성 흡수체의 반경이 0.3 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0053 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 52,010 MWd/tU이다. 또한, 가연성 흡수체의 반경이 중앙봉(100)과 동일한 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0172 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 45,030 MWd/tU이다.
- [0170] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣는 경우, 가연성 흡수체(어븀)의 반경은 0 cm에서 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.
- [0171] <실험예 3-9>
- [0172] 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 3.0 wt% 의 농축도를 갖는 핵연료를 넣은 경우, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀카바이드(Er_2C_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 7i에 도시된 바와 같다.
- [0173] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 가연성 흡수체의 반경이 증가할수록 출력계수는 감소하되, 가연성 흡수체의 반경이 0.30 cm인 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0053 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 52,260 MWd/tU이다. 또한, 가연성 흡수체의 반경이 중앙봉(100)과 동일한 경우, 102.5% 출력에서의 출력계수는 -0.0190 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 45,330 MWd/tU이다.
- [0174] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣는 경우, 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 반경은 0 cm에서 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.

- [0175] 이하, 본 발명의 제 4 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 증수로 핵연료다발을 상세히 설명한다.
- [0176] 도 8은 본 발명의 제 4 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 증수로 핵연료다발의 개략적인 구성도이다.
- [0177] 본 발명의 제 4 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 증수로 핵연료다발은 도 8에 도시된 바와 같이, 중앙봉(100)과, 상기 중앙봉(100)을 중심으로 환형으로 배치되는 복수의 핵연료봉(200)을 포함한다.
- [0178] 상기 중앙봉(100)은 중심부(110)와 환형 형상의 테두리부(120)로 이루어지며, 상기 핵연료다발(1)의 중심에 배치될 수 있다.
- [0179] 상기 중앙봉(100)은 상기 중심부(110)에 가연성 흡수체가 포함될 수 있고, 상기 테두리부(120)에 상기 가연성 흡수체와 핵연료가 균질하게 혼합될 수 있다.
- [0180] 이때, 상기 중심부(110)에 포함되고, 상기 테두리부(120)에 혼합되는 가연성 흡수체는 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3)일 수 있고, 상기 가연성 흡수체의 농도는 100 wt% 이하일 수 있으며, 상기 가연성 흡수체의 반경은 핵연료봉과 동일하거나 그 이하일 수 있다.
- [0181] 도 9a 및 도 9b는 본 발명의 제 4 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 증수로 핵연료다발의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도이다.
- [0182] 각각 0.7 wt%, 1.0 wt% 및 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료가 장전된 증수로에 장전될 수 있는 핵연료다발 형태 중 하나인 43봉 핵연료다발에서 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3)와 어븀 및 어븀카바이드(Er_2C_3)를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 넣고, 상기 중앙봉(100)의 환형 형상으로 이루어진 테두리부(120)에 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3)와 어븀 및 어븀카바이드(Er_2C_3)를 핵연료와 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.
- [0183] <실험예 4-1>
- [0184] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 가연성 흡수체인 어븀 또는 어비아(Er_2O_3)를 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료와 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3)를 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.
- [0185] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 균질하게 혼합된 핵연료의 농도와 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해 넣은 가연성 흡수체의 반경에 따라 출력계수는 변화한다.
- [0186] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀 및 어비아(Er_2O_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 [표 7]에 나타난 바와 같다.

표 7

[0187]

중심부(110) 가연성흡수체	중심부(110) 반경	테두리부(120) 어비아(Er ₂ O ₃) 혼합량	102.5% power에서의 출 력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
-	0.0 cm	0.0 wt%	0.0126	6,580
어비아(Er ₂ O ₃)	0.01 cm	2.0 wt%	0.0036	5,390
어비아(Er ₂ O ₃)	0.12 cm	0.1 wt%	0.0036	4,740
-	0.0 cm	0.24 wt%	0.0036	5,100
어비아(Er ₂ O ₃)	0.13 cm	-	0.0	4,540
어븀(Er)	0.01 cm	0.0 wt%	0.0054	5,160
어븀(Er)	0.01 cm	2.0 wt%	0.0036	5,380
어븀(Er)	0.12 cm	0.1 wt%	0.0	4,470
어븀(Er)	0.12 cm	-	0.0018	4,560

[0188]

즉, 상기 테두리부(120)에 2.0 wt%의 어비아(Er₂O₃)를 핵연료와 균질하게 혼합하되, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어비아(Er₂O₃))의 반경이 0.01 cm인 경우, 중간연소도에서의 102.5% 출력에 대한 출력계수는 0.0036 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,390 MWd/tU이다. 또한, 상기 테두리부(120)에 2.0 wt%의 어비아(Er₂O₃)를 핵연료와 균질하게 혼합하되, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀)의 반경이 0.01 cm인 경우, 중간연소도에서의 102.5% 출력에 대한 출력계수는 0.0036 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 5,380 MWd/tU이다.

[0189]

상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 가연성 흡수체인 어비아(Er₂O₃)를 핵연료와 균질하게 혼합하는 경우, 어비아(Er₂O₃)의 농도는 0 wt%에서 2.0 wt%일 수 있으며, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er₂O₃))의 반경은 0 cm에서 0.12 cm 일 수 있다.

[0190]

<실험예 4-2>

[0191]

상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er₂C₃)를 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 0.7 wt%의 농축도를 갖는 핵연료와 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er₂C₃)를 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.

[0192]

상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀카바이드(Er₂C₃)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 [표 8]에 나타난 바와 같다.

표 8

[0193]

중심부(110) 가연성흡수체	중심부(110) 반경	테두리부(120) 어븀카바이드 (Er ₂ C ₃) 혼합량	102.5% power에서 의 출력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
-	0.0 cm	0.0 wt%	0.0126	6,580

어븀카바이드(Er ₂ C ₃)	0.01 cm	2.0 wt%	0.0036	5,390
어븀카바이드(Er ₂ C ₃)	0.12 cm	0.1 wt%	0.0036	4,740
어븀카바이드(Er ₂ C ₃)	0.0 cm	0.24 wt%	0.0036	5,100
-	0.13 cm	-	0.0	4,540

[0194] 즉, 상기 테두리부(120)에 2.0 wt%의 어븀카바이드(Er₂C₃)를 핵연료와 균질하게 혼합하되, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체의 반경이 0.01 cm인 경우, 중간연소도에서의 102.5% 출력에 대한 출력계수는 0.0018 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 4,850 MWd/tU이다.

[0195] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er₂C₃)를 핵연료와 균질하게 혼합하는 경우, 어븀카바이드(Er₂C₃)의 농도는 0 wt%에서 2.0 wt%일 수 있으며, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er₂C₃))의 반경은 0 cm에서 0.12 cm일 수 있다.

[0196] <실험예 4-3>

[0197] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 가연성 흡수체인 어븀 또는 어비아(Er₂O₃)를 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료와 가연성 흡수체인 어비아(Er₂O₃)를 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.

[0198] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀 및 어비아(Er₂O₃)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 9a 및 [표 9]에 도시된 바와 같다.

표 9

중심부(110) 가연성흡수체	중심부(110) 반경	테두리부(120) 어비아(Er ₂ O ₃) 혼합량	102.5% power에서의 출 력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
-	0.0 cm	0.0 wt%	0.0200	16,350
어비아(Er ₂ O ₃)	0.29 cm	3.0 wt%	-0.0005	11,810
어비아(Er ₂ O ₃)	0.25 cm	5.0 wt%	-0.0007	12,080
-	0.0 cm	25.0 wt%	-0.0126	9,580
어비아(Er ₂ O ₃)	0.10 cm	25.0 wt%	-0.0119	9,370
어비아(Er ₂ O ₃)	0.30 cm	25.0 wt%	-0.0161	8,220
어비아(Er ₂ O ₃)	0.63325 cm	-	-0.0344	4,440
어븀(Er)	0.30 cm	0.0 wt%	0.0	11,890
어븀(Er)	0.30 cm	5.0 wt%	-0.0072	10,910
어븀(Er)	0.30 cm	25.0 wt%	-0.0181	8,050
어븀(Er)	0.12 cm	-	-0.0381	4,000

[0200] 구체적으로, 상기 테두리부(120)에 5.0 wt%의 어비아(Er₂O₃)를 핵연료와 균질하게 혼합하되, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어비아(Er₂O₃))의 반경이 0.25 cm인 경우, 중간연소도에서의 102.5% 출력에 대한 출력계수는 -0.0007 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 12,080 MWd/tU이다. 또한, 상기 테두리부(120)에 5.0 wt%

의 어비아(Er_2O_3)를 핵연료와 균질하게 혼합하되, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀)의 반경이 0.30 cm인 경우, 중간연소도에서의 102.5% 출력에 대한 출력계수는 -0.0072 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 10,910 MWd/tU이다.

[0201] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3)를 핵연료와 균질하게 혼합하는 경우, 어비아(Er_2O_3)의 농도는 0 wt%에서 100 wt%일 수 있으며, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er_2O_3))의 반경은 0 cm에서 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.

[0202] <실험예 4-4>

[0203] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er_2C_3)를 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 1.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료와 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er_2C_3)를 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.

[0204] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀카바이드(Er_2C_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 도 9b 및 [표 10]에 도시된 바와 같다.

표 10

[0205]

중심부(110) 가연성흡수체	중심부(110) 반경	테두리부(120) 어븀카바이드 (Er_2C_3) 혼합량	102.5% power에서 의 출력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
-	0.0 cm	0.0 wt%	0.0200	16,350
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.30 cm	3.0 wt%	-0.0036	11,450
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.25 cm	5.0 wt%	0.0	11,900
-	0.0 cm	25.0 wt%	-0.0126	9,580
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.10 cm	25.0 wt%	-0.0145	9,150
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.30 cm	25.0 wt%	-0.0181	8,020
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.63325 cm	-	-0.0362	4,220

[0206] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 균질하게 혼합된 핵연료의 농도와 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해 넣은 가연성 흡수체의 반경에 따라 출력계수는 변화한다.

[0207] 즉, 상기 테두리부(120)에 5.0 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)를 핵연료와 균질하게 혼합하되, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 반경이 0.25 cm인 경우, 중간연소도에서의 102.5% 출력에 대한 출력계수는 0.0 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 11,900 MWd/tU이다.

[0208] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er_2C_3)를 핵연료와 균질하게 혼합하는 경우, 어븀카바이드(Er_2C_3)의 농도는 0 wt%에서 100 wt%일 수 있으며, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 반경은 0 cm에서 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.

[0209] <실험예 4-5>

[0210] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 가연성 흡수체인 어븀 또는 어비아(Er_2O_3)를 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료와 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3)를 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.

[0211] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀 및 어비아(Er_2O_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 [표 11]에 나타난 바와 같다.

표 11

중심부(110) 가연성흡수체	중심부(110) 반경	테두리부(120) 어비아(Er_2O_3) 혼합량	102.5% power에서의 출 력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
-	0.0 cm	0.0 wt%	0.0053	55,450
어비아(Er_2O_3)	0.30 cm	20 wt%	-0.0088	50,150
어비아(Er_2O_3)	0.30 cm	40 wt%	-0.0122	48,400
어비아(Er_2O_3)	0.30 cm	60 wt%	-0.0139	47,130
어비아(Er_2O_3)	0.30 cm	80 wt%	-0.0139	46,230
어비아(Er_2O_3)	0.63325 cm	-	-0.0190	45,990
어븀(Er)	0.30 cm	20 wt%	-0.0070	49,800
어븀(Er)	0.30 cm	40 wt%	-0.0122	48,160
어븀(Er)	0.30 cm	60 wt%	-0.0157	46,960
어븀(Er)	0.30 cm	80 wt%	-0.0138	46,130
어븀(Er)	0.63325 cm	-	-0.0172	45,030

[0213] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 균질하게 혼합된 핵연료의 농도와 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해 넣은 가연성 흡수체의 반경에 따라 출력계수는 변화한다.

[0214] 즉, 상기 테두리부(120)에 20 wt%의 어비아(Er_2O_3)를 핵연료와 균질하게 혼합하되, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어비아(Er_2O_3))의 반경이 0.30 cm인 경우, 중간연소도에서의 102.5% 출력에 대한 출력계수는 -0.0088 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 50,150 MWd/tU이다. 또한, 상기 테두리부(120)에 20 wt%의 어비아(Er_2O_3)를 핵연료와 균질하게 혼합하되, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀)의 반경이 0.30 cm인 경우, 중간연소도에서의 102.5% 출력에 대한 출력계수는 -0.0070 mk/% power 이며, 이때의 예상 방출연소도는 49,800 MWd/tU이다.

[0215] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 가연성 흡수체인 어비아(Er_2O_3)를 핵연료와 균질하게 혼합하는 경우, 어비아(Er_2O_3)의 농도는 0 wt%에서 100 wt%일 수 있으며, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀 또는 어비아(Er_2O_3))의 반경은 0 cm에서 핵연료 봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.

[0216] <실험예 4-6>

[0217] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er_2C_3)를 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉

(100)의 테두리부(120)에 3.0 wt%의 농축도를 갖는 핵연료와 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er_2C_3)를 균질하게 혼합한 경우에 대한 출력계수의 변화를 평가하였다.

[0218] 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 삽입한 어븀카바이드(Er_2C_3)의 반경에 따른 중간연소도에서의 출력계수는 [표 12]에 나타난 바와 같다.

표 12

[0219]

중심부(110) 가연성흡수체	중심부(110) 반경	테두리부(120) 어븀카바이드 (Er_2C_3) 혼합량	102.5% power에서 의 출력계수 (mk/% power)	예상 방출연소도 (MWd/tU)
-	0.0 cm	0.0 wt%	0.0053	55,450
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.30 cm	20 wt%	-0.0088	49,900
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.30 cm	40 wt%	-0.0122	48,130
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.30 cm	60 wt%	-0.0156	46,840
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.30 cm	80 wt%	-0.0173	45,960
어븀카바이드(Er_2C_3)	0.63325 cm	-	-0.0190	45,330

[0220] 구체적으로, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 균질하게 혼합된 핵연료의 농도와 상기 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해 넣은 가연성 흡수체의 반경에 따라 출력계수는 변화한다.

[0221] 즉, 상기 테두리부(120)에 20 wt%의 어븀카바이드(Er_2C_3)를 핵연료와 균질하게 혼합하되, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체의 반경이 0.30 cm인 경우, 중간연소도에서의 102.5% 출력에 대한 출력계수는 -0.0088 mk/% power이며, 이때의 예상 방출연소도는 49,900 MWd/tU이다.

[0222] 상기와 같이, 가연성 흡수체를 중앙봉(100)의 중심부(110)에 분리해서 삽입하되, 상기 중앙봉(100)의 테두리부(120)에 가연성 흡수체인 어븀카바이드(Er_2C_3)를 핵연료와 균질하게 혼합하는 경우, 어븀카바이드(Er_2C_3)의 농도는 0 wt%에서 100 wt%일 수 있으며, 상기 중심부(110)의 가연성 흡수체(어븀카바이드(Er_2C_3))의 반경은 0 cm에서 핵연료봉의 반경과 동일하거나 그 이하일 수 있다.

[0223] 이상과 같이 본 발명에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발을 예시한 도면을 참조로 하여 설명하였으나, 본 명세서에 개시된 실시예와 도면에 의해 본 발명이 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 기술사상 범위내에서 당업자에 의해 다양한 변형이 이루어질 수 있음은 물론이다.

도면의 간단한 설명

[0224] 도 1은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발의 개략적인 구성도.

[0225] 도 2a 내지 도 2f는 본 발명의 제 1 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도.

[0226] 도 3은 본 발명의 제 2 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발의 개략적인 구성도.

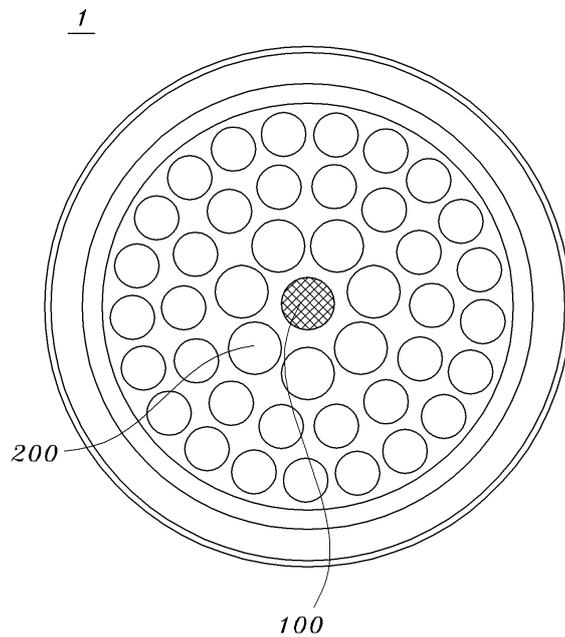
[0227] 도 4a 내지 도 4f는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발 중 같은 농도의 가연성 흡수체가 사용된 경우의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도.

[0228] 도 5a 내지 도 5b는 본 발명의 제 2 실시예에 따른 가연성 흡수체가 장전된 중수로 핵연료다발 중 다른 농도의 가연성 흡수체가 사용된 경우의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도.

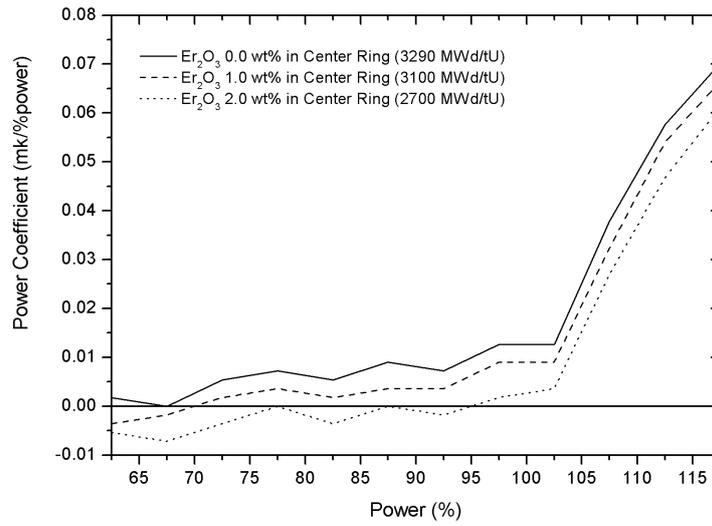
- [0229] 도 6은 본 발명의 제 3 실시예에 따른 가연성 흡수체가 충전된 중수로 핵연료다발의 개략적인 구성도.
- [0230] 도 7a 내지 도 7i는 본 발명의 제 3 실시예에 따른 가연성 흡수체인 어븀, 어비아(Er_2O_3) 또는 어븀카바이드(Er_2C_3)가 충전된 중수로 핵연료다발의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도.
- [0231] 도 8은 본 발명의 제 4 실시예에 따른 가연성 흡수체가 충전된 중수로 핵연료다발의 개략적인 구성도.
- [0232] 도 9a 및 도 9b는 본 발명의 제 4 실시예에 따른 가연성 흡수체가 충전된 중수로 핵연료다발의 중간연소도에서의 출력계수의 변화를 나타내는 도.
- [0233] 도 10은 종래의 천연우라늄이 충전된 37봉 핵연료다발의 개략적인 구성도.
- [0234] 도 11은 종래의 천연우라늄, 재순환 우라늄 및 저농축 우라늄이 충전된 43봉 핵연료다발의 개략적인 구성도.
- [0235] < 도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명 >
- [0236] 1:가연성 흡수체가 충전된 중수로 핵연료다발
- [0237] 2,3:종래의 핵연료다발
- [0238] 100,10:중심봉 110:중심부
- [0239] 120:테두리부 200,20:핵연료봉

도면

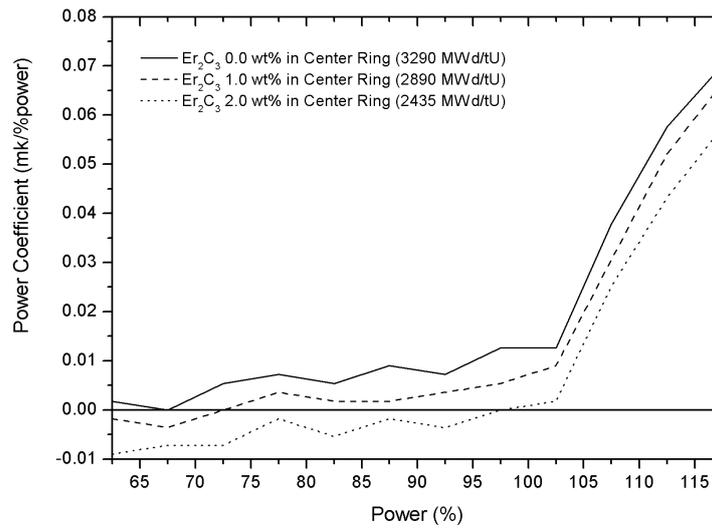
도면1



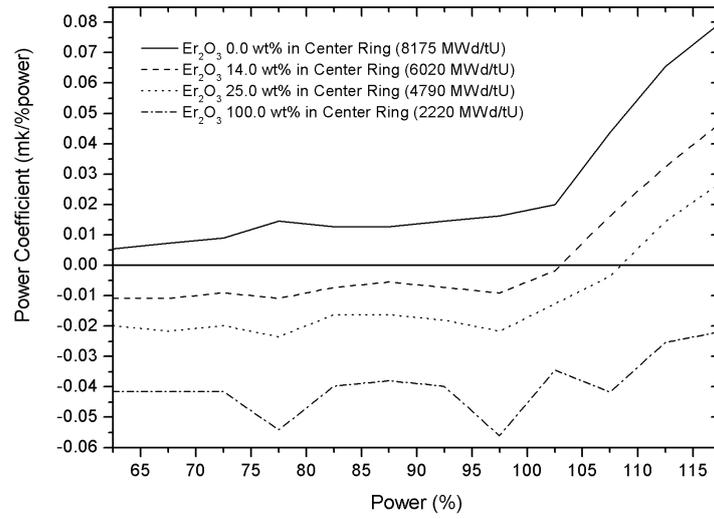
도면2a



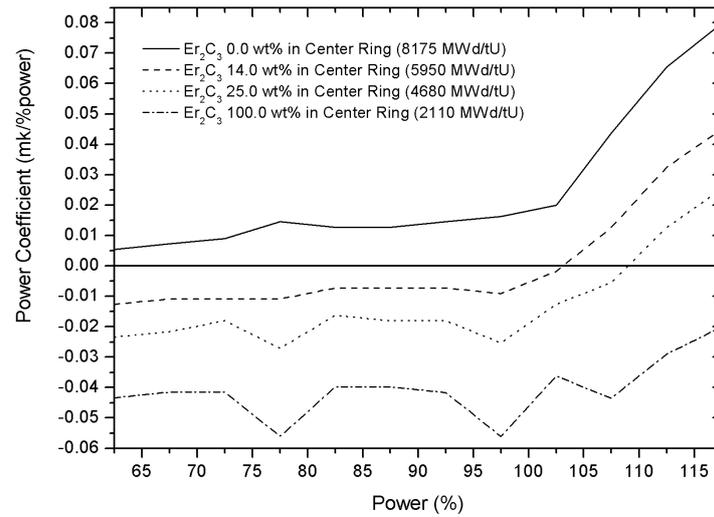
도면2b



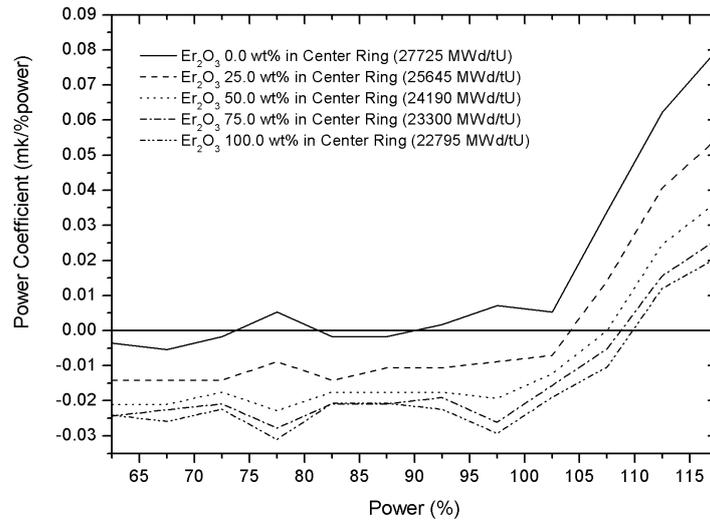
도면2c



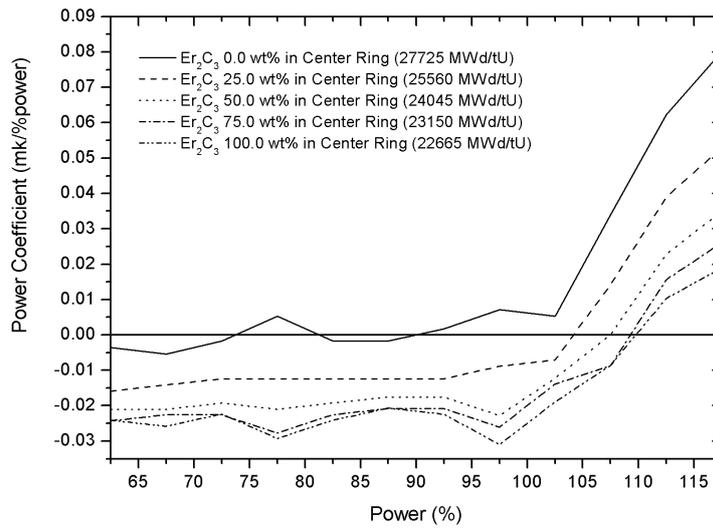
도면2d



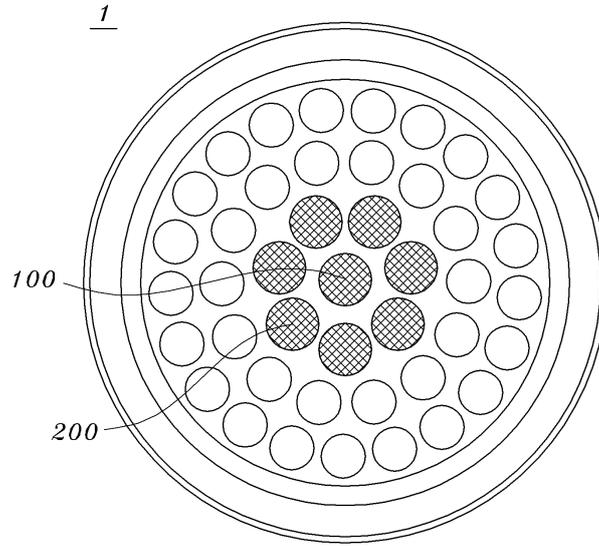
도면2e



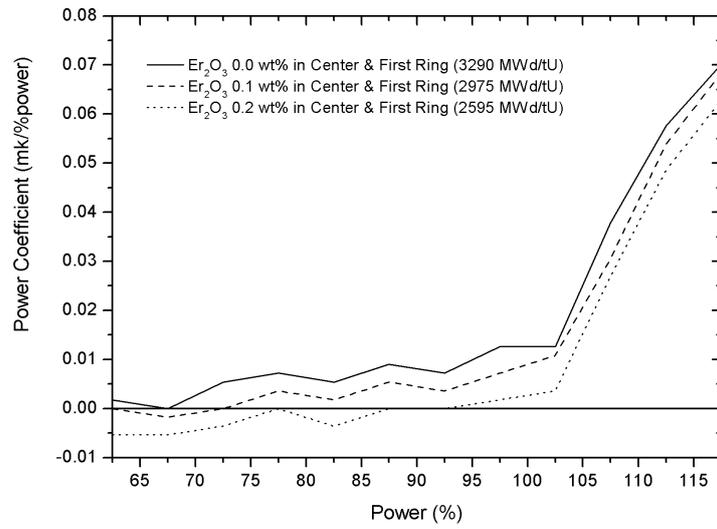
도면2f



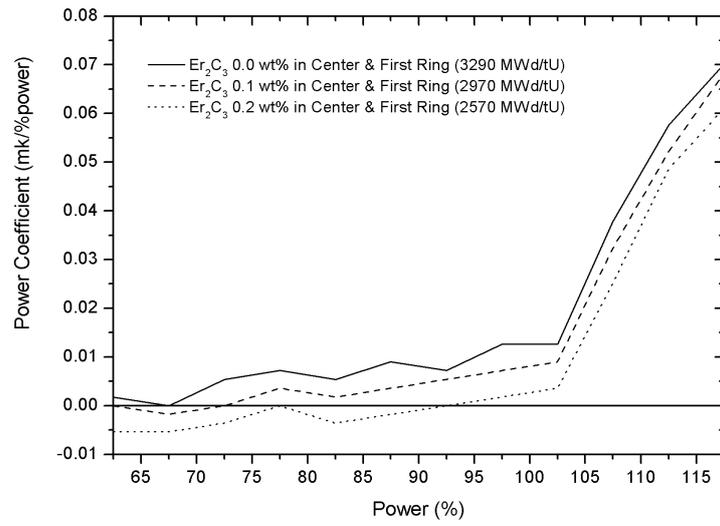
도면3



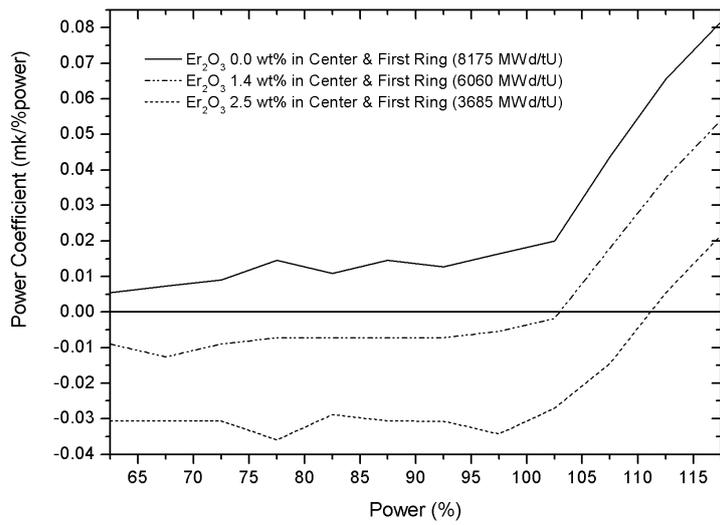
도면4a



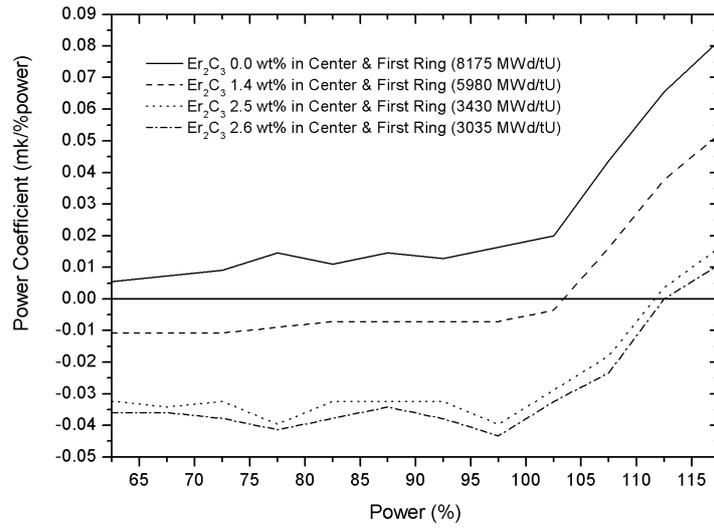
도면4b



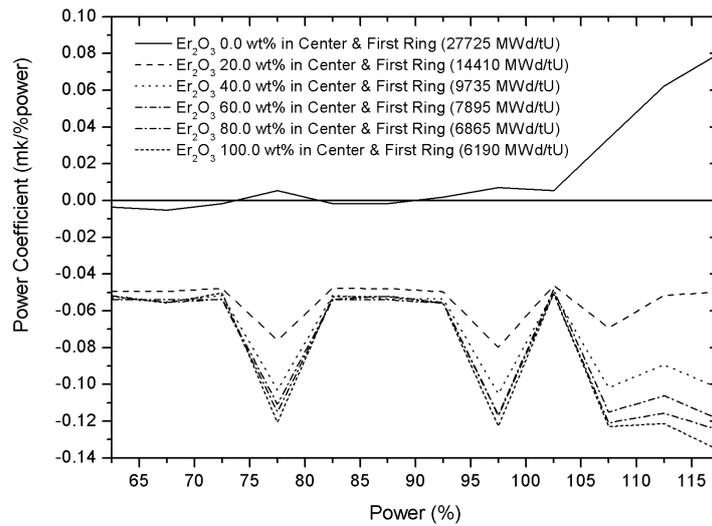
도면4c



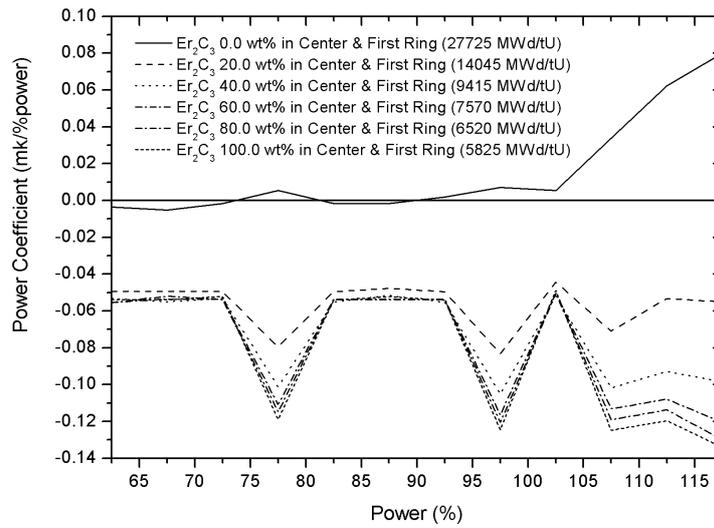
도면4d



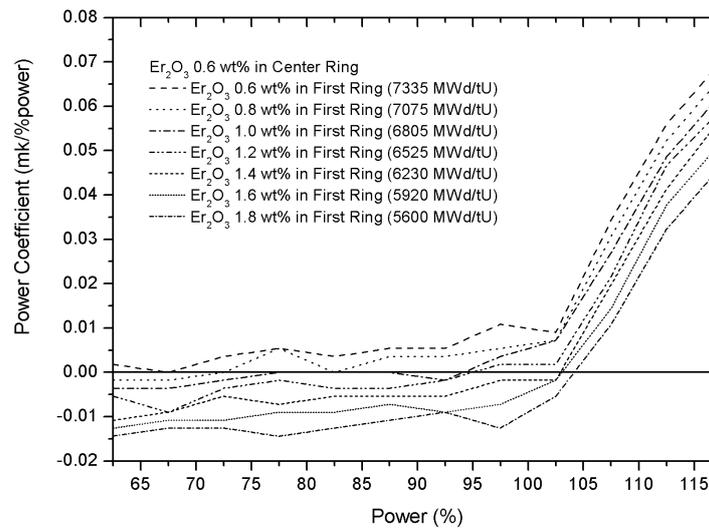
도면4e



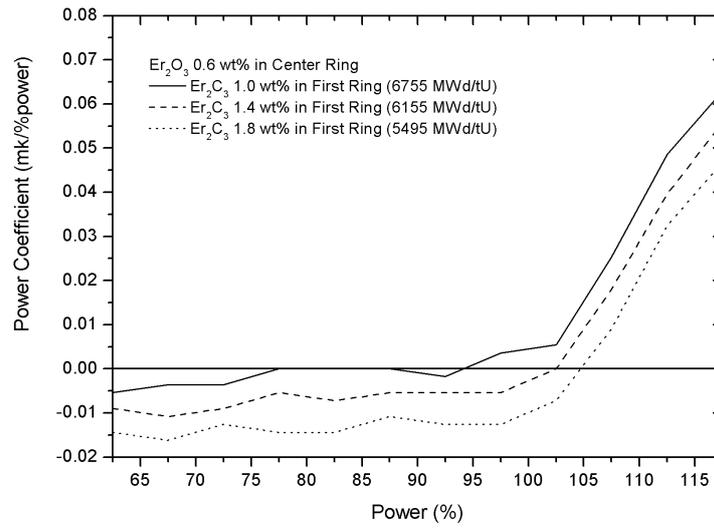
도면4f



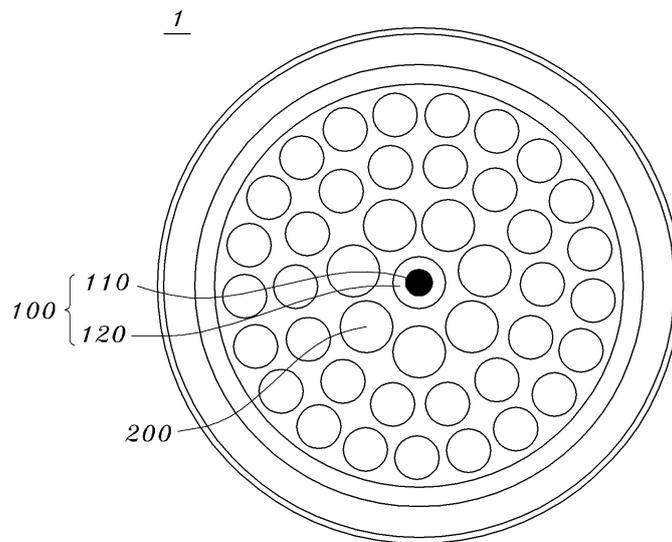
도면5a



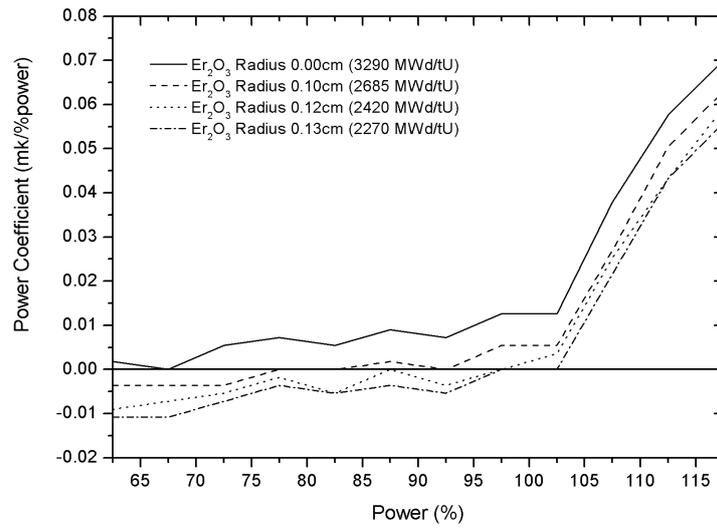
도면5b



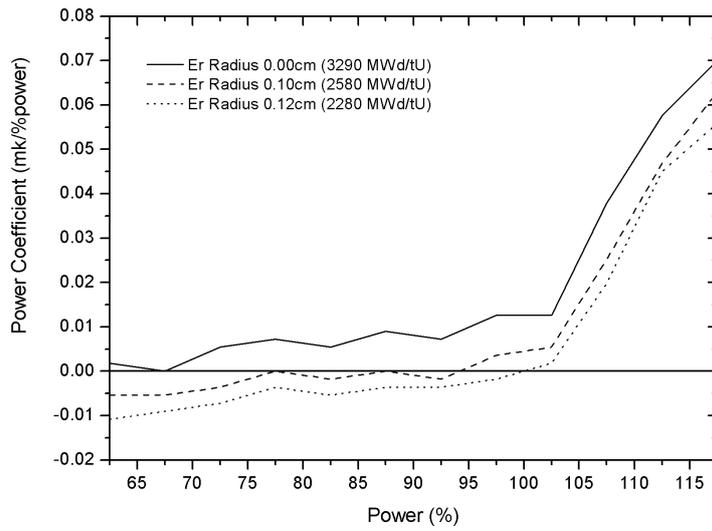
도면6



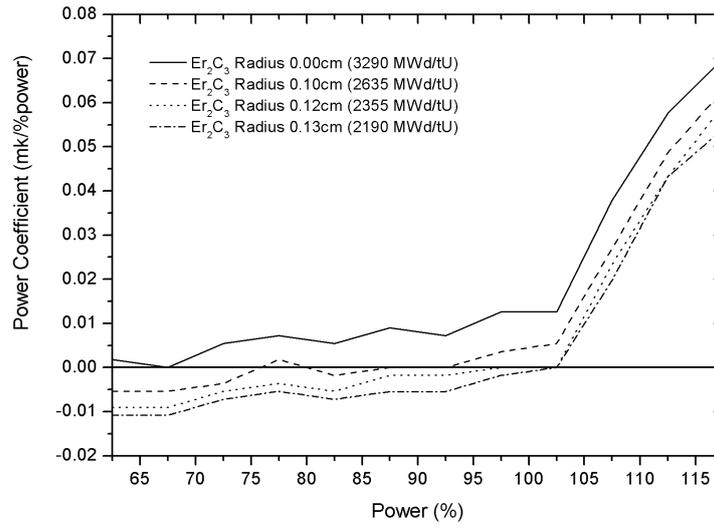
도면7a



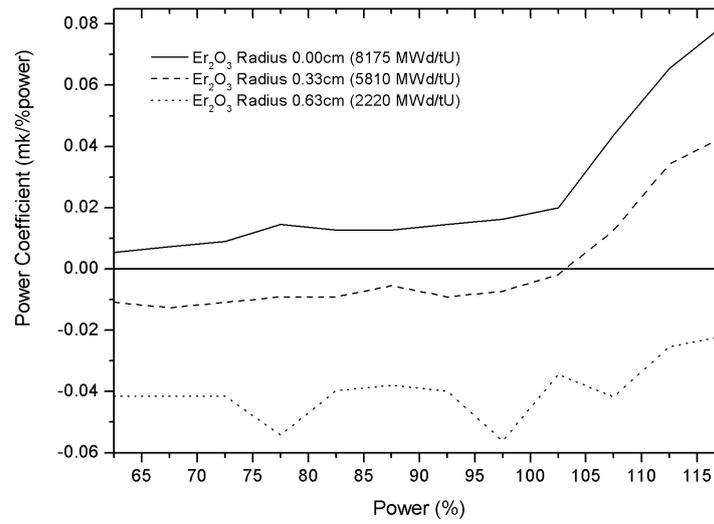
도면7b



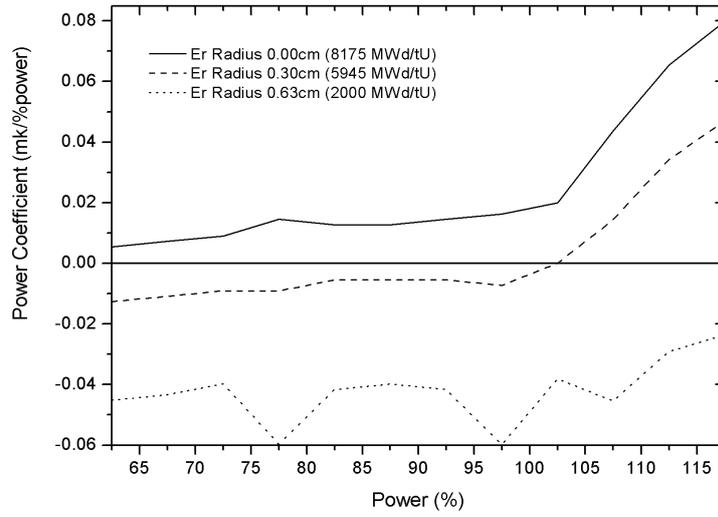
도면7c



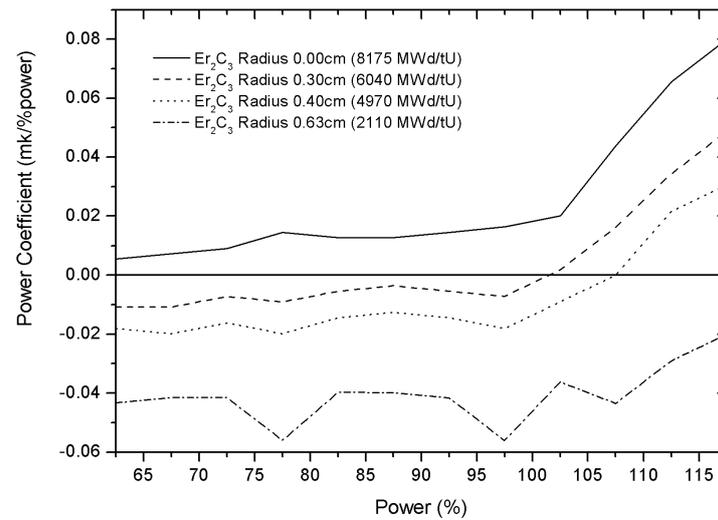
도면7d



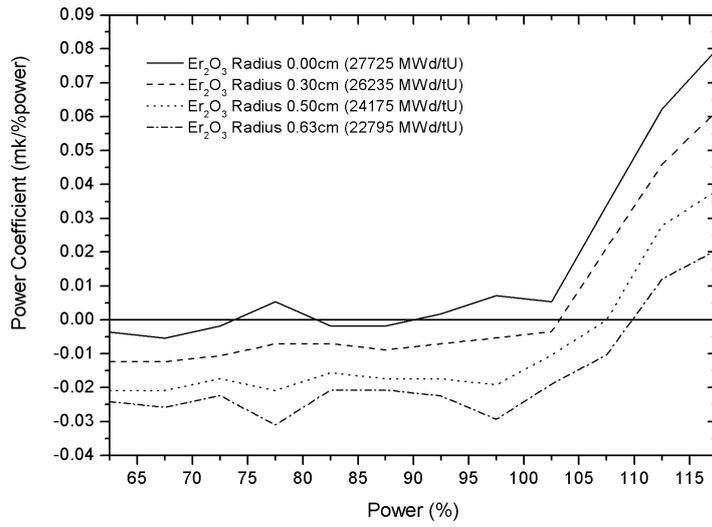
도면7e



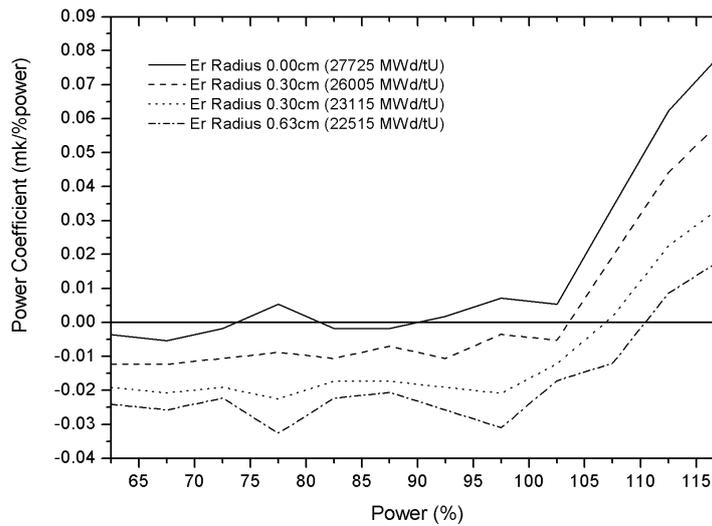
도면7f



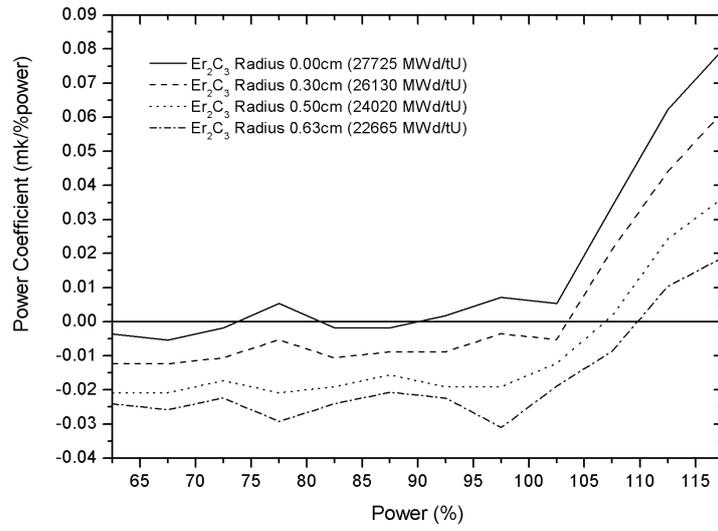
도면7g



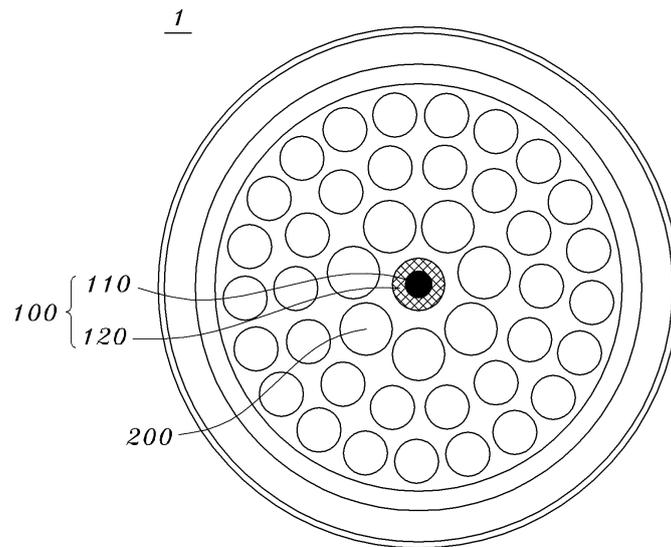
도면7h



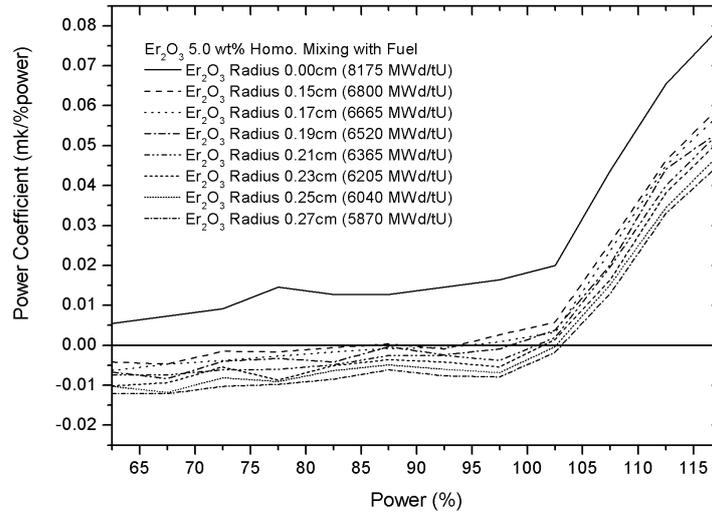
도면7i



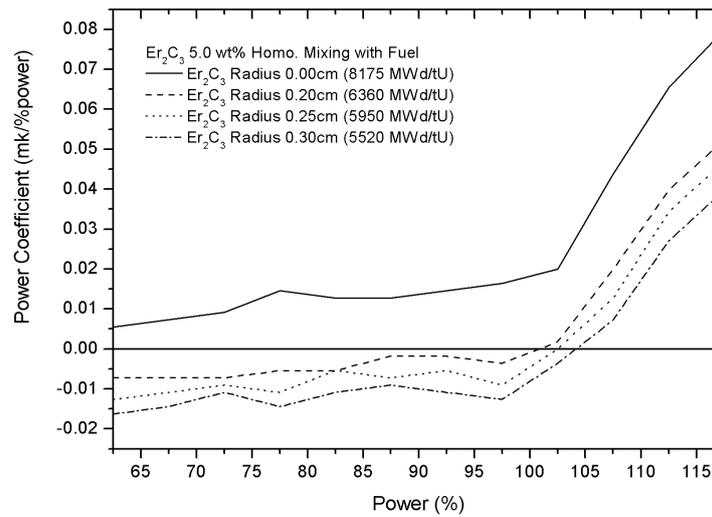
도면8



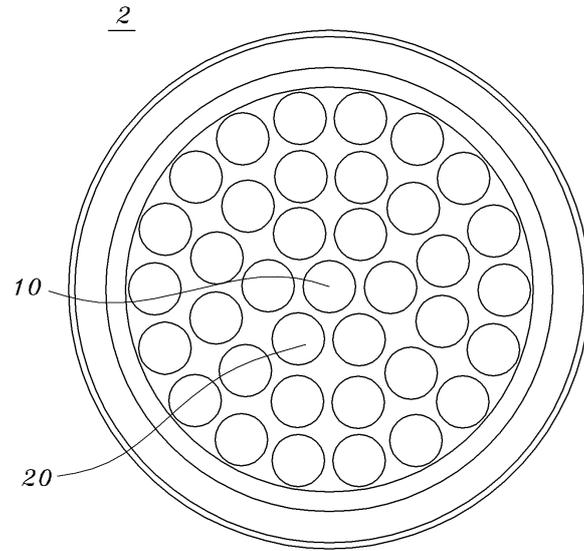
도면9a



도면9b



도면10



도면11

