(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2017-0104152
(43) 공개일자 2017년09월14일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 7/12 (2006.01) *G21C 1/02* (2006.01)
G21C 7/08 (2006.01) *G21C 7/18* (2006.01)
G21D 3/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 7/12 (2013.01)
G21C 1/026 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-7021392
(22) 출원일자(국제) 2015년12월30일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2017년07월28일
(86) 국제출원번호 PCT/US2015/068191
(87) 국제공개번호 WO 2016/109748
국제공개일자 2016년07월07일
(30) 우선권주장
62/098,963 2014년12월31일 미국(US)

(71) 출원인
테라파워, 엘엘씨
미국 워싱턴 (우편번호: 98005) 벨뷰 120쓰 노스 이스트 애비뉴 330 스위트 100
(72) 발명자
치텀 제시 알 삼세
미국 워싱턴주 98005 벨뷰 스윗 100 120티에치 애비뉴 엔이 330
(74) 대리인
김태홍, 김진희

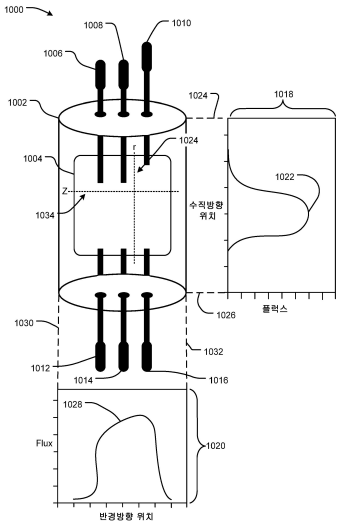
전체 청구항 수 : 총 37 항

(54) 발명의 명칭 **플럭스-이동 반응성 제어 시스템**

(57) 요 약

본 발명에 따른 원자로용 제어 어셈블리는, 제1 중성자 조절 물질을 갖는 제1 반응성 제어 어셈블리와, 제2 중성자 조절 물질을 갖는 제2 반응성 제어 어셈블리, 그리고 제1 중성자 조절 물질 및 제2 중성자 조절 물질에 결합된 적어도 하나의 구동 기구를 포함한다. 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 원자로의 연료 구역에 대해 선택적으로 재배치 가능하다. 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질을 서로 다른 방향으로 연료 구역을 통과하게 제공하여, 연료 구역 내에서 플럭스 분포를 제2 중성자 조절 물질로부터 멀어지게 이동시키도록 구성되어 있다.

대 표 도 - 도10



(52) CPC특허분류
G21C 7/08 (2013.01)
G21C 7/18 (2013.01)
G21D 3/08 (2013.01)
Y02E 30/34 (2013.01)
Y02E 30/39 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

노심(爐心)의 연료 구역 내에서 핵분열 반응을 유지하는 작업으로서, 상기 노심은, 상기 노심의 연료 구역의 제1측에 삽입 가능한 제1 이동식 제어 어셈블리와, 상기 노심의 연료 구역의 반대편에 있는 제2측에 삽입 가능한 제2 제어 어셈블리를 구비하는 것이고, 상기 유지 작업은,

상기 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 상기 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제1 삽입 구성부로 이동시키는 단계; 및

상기 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 상기 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키는 단계를 포함하며, 상기 제1 및 제2 삽입 구성부는 핵분열 반응을 유지하는 것인 방법.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 핵분열 반응이 상기 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제1 삽입 구성부에 따라 제1 중성자 플럭스 분포를 제공하는 구성; 및

상기 핵분열 반응이 상기 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부에 따라 제2 중성자 플럭스 분포를 제공하는 구성을 더 포함하는 것인 방법.

청구항 3

제2항에 있어서, 제2 비(非)제로 중성자 플럭스 분포는 정해진 기간 동안 목표 총 중성자 플럭스에 의해 충족되는 것인 방법.

청구항 4

제2항에 있어서, 상기 제1 플럭스 분포는 축방향에서 제2 비제로 플럭스 분포와 다른 것인 방법.

청구항 5

제2항에 있어서, 상기 제1 플럭스 분포는 반경방향에서 제2 비제로 플럭스 분포와 다른 것인 방법.

청구항 6

제1항에 있어서, 노심 섹션의 제3 측에 삽입 가능하며, 상기 제1 및 제2 제어 어셈블리와는 다른 각도로 노심 섹션에 삽입 가능한, 제3 이동식 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 이동시키는 작업을 더 포함하는 방법.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 이동 작업은, 제1 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리와 제2 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 적어도 제1 방향으로 이동시키는 단계를 더 포함하고, 제1 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리와, 제2 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리 사이의 축방향 거리는, 상기 이동 작업 동안에 실질적으로 일정하게 유지되는 것인 방법.

청구항 8

제1항에 있어서, 상기 이동 작업은, 제1 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리와 제2 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 이동시키는 단계를 더 포함하고, 제1 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리와, 제2 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리 사이의 거리는, 코어 대칭적인 것인 방법.

청구항 9

제1항에 있어서, 상기 이동 작업은, 제1 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리와 제2 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 이동시키는 단계를 더 포함하고, 제1 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리와, 제2 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리 사이의 축방향 거리는, 상기 이동 작업 동안에 변화되는 것인 방법.

청구항 10

제1항에 있어서, 상기 핵분열 반응은 정상파 반응인 것인 방법.

청구항 11

제10항에 있어서, 제1 제어 어셈블리와 제2 제어 어셈블리는 실질적으로 상기 정상파 반응의 양측에 배치되는 것인 방법.

청구항 12

제1항에 있어서, 제1 또는 제2 제어 어셈블리 중의 적어도 하나는 독성 물질을 포함하는 것인 방법.

청구항 13

제1항에 있어서, 제2 중성자 플럭스 분포는 노심 섹션 내의 정해진 연료 구역에서 정해진 기간 동안 목표 총 중성자 플럭스에 의해 충족되는 것인 방법.

청구항 14

연료 구역을 구비하는 노심;

상기 연료 구역의 제1측에 삽입 가능하고, 복수의 제1 삽입 구성부로 이동 가능한 것인 제1 제어 어셈블리; 및

상기 연료 구역의 반대편에 있는 제2측에 삽입 가능하고, 복수의 제2 삽입 구성부로 이동 가능한 것인 제2 제어 어셈블리

를 포함하고, 상기 제1 삽입 구성부 중의 적어도 하나와 상기 제2 삽입 구성부 중의 적어도 하나가 핵분열 반응을 유지하는 것인 시스템.

청구항 15

제14항에 있어서, 제1 제어 어셈블리 및 제2 제어 어셈블리에 작동 가능하게 결합되어 있고, 목표 비제로 중성자 플럭스 분포에 따라 연료 구역에서 핵분열 반응을 유지하도록, 제1 제어 어셈블리를 제1 삽입 구성부로 이동시키며 제2 제어 어셈블리를 제2 삽입 구성부로 이동시키도록 구성되어 있는 것인 하나 이상의 구동 기구를 더 포함하는 시스템.

청구항 16

제14항에 있어서, 제1 제어 어셈블리와 제2 제어 어셈블리에 결합되어 있고 선택적으로 제1 제어 어셈블리와 제2 제어 어셈블리를 연료 구역에 대해 재배치하도록 구성되어 있는 액추에이터를 구비하는 구동 기구를 더 포함하는 시스템.

청구항 17

제15항에 있어서, 목표 비제로 중성자 플럭스 분포는, 정해진 기간 동안의 총 중성자 플럭스인 것인 시스템.

청구항 18

제15항에 있어서, 목표 비제로 중성자 플럭스 분포는, 연료 구역의 정해진 부분에서, 정해진 기간 동안의 총 중성자 플럭스인 것인 시스템.

청구항 19

제15항에 있어서, 목표 중성자 플럭스 분포는, 노심에서의 중성자 플럭스 분포의 하나 이상의 축방향 비대칭을 교정하는 것인 시스템.

청구항 20

제15항에 있어서, 목표 플럭스 분포는, 노심에서의 중성자 플럭스와 축방향에서 다른 것인 시스템.

청구항 21

제15항에 있어서, 목표 플럭스 분포는, 노심에서의 중성자 플럭스와 반경방향에서 다른 것인 시스템.

청구항 22

핵분열 반응로로서:

노심의 연료 구역 내에서 핵분열 반응을 유지하기 위한 유지 수단으로서, 상기 노심은, 상기 노심의 연료 구역의 제1측에 삽입 가능한 제1 이동식 제어 어셈블리와, 상기 노심의 연료 구역의 반대편에 있는 제2측에 삽입 가능한 제2 제어 어셈블리를 구비하는 것인 유지 수단; 및

상기 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 상기 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제1 삽입 구성부로 이동시키고, 상기 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 상기 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키기 위한 이동 수단

을 포함하고, 상기 제1 및 제2 삽입 구성부는 핵분열 반응을 유지하는 것인 핵분열 반응로.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 이동 수단은, 선택적으로 제1 제어 어셈블리와 제2 제어 어셈블리를 연료 구역에 대해 재배치하기 위한 재배치 수단을 더 포함하는 것인 핵분열 반응로.

청구항 24

제22항에 있어서, 연료 구역 내의 현재 중성자 플럭스 분포를 검지하기 위한 검지 수단을 더 포함하는 핵분열 반응로.

청구항 25

제23항에 있어서, 현재 중성자 플럭스 분포를 검지하기 위한 검지 수단은, 중성자 플럭스 모니터를 포함하는 것인 핵분열 반응로.

청구항 26

제23항에 있어서, 현재 중성자 플럭스 분포를 검지하기 위한 검지 수단은, 온도 센서를 포함하는 것인 핵분열 반응로.

청구항 27

제23항에 있어서, 현재 중성자 플럭스 분포를 검지하기 위한 검지 수단은, 중성자 플럭스 모델을 포함하는 것인 핵분열 반응로.

청구항 28

제22항에 있어서, 제1, 제2 및 제3 제어 어셈블리의 제3 삽입 구성부에 따라, 제3 비제로 중성자 플럭스 분포를 제공하도록, 제3 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심 섹션 내에서 제1, 제2 및 제3 제어 어셈블리의 제3 삽입 구성부로 이동시키기 위한 이동 수단을 더 포함하는 핵분열 반응로.

청구항 29

제22항에 있어서, 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부에 따라, 제2 비제로 중성자 플럭스 분포를 제공하도록, 제1 및 제2 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심 섹션 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키기 위한 이동 수단은, 제1 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리에 결합된 제1

액추에이터와, 제2 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리에 결합된 제2 액추에이터를 포함하는 것인 핵분열 반응로.

청구항 30

제22항에 있어서, 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부에 따라, 제2 비제로 중성자 플럭스 분포를 제공하도록, 제1 및 제2 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심 섹션 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키기 위한 이동 수단을 제어하는 제어 수단을 더 포함하는 핵분열 반응로.

청구항 31

제30항에 있어서, 제2 비제로 중성자 플럭스 분포가 목표 중성자 플럭스 분포에 의해 충족되는 구성을 더 포함하는 핵분열 반응로.

청구항 32

제31항에 있어서, 목표 중성자 플럭스 분포는, 정해진 기간 동안의 총 중성자 플럭스인 것인 핵분열 반응로.

청구항 33

제31항에 있어서, 목표 중성자 플럭스 분포는, 연료 구역의 정해진 부분 내에서, 정해진 기간 동안의 총 중성자 플럭스인 것인 핵분열 반응로.

청구항 34

제31항에 있어서, 목표 비제로 플럭스 분포는, 중성자 플럭스 분포의 하나 이상의 축방향 비대칭을 교정하는 것인 핵분열 반응로.

청구항 35

제22항에 있어서, 상기 핵분열 반응은 정상파 반응인 것인 핵분열 반응로.

청구항 36

제35항에 있어서, 상기 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리는 실질적으로 정상파 반응의 양측에 배치되는 것인 핵분열 반응로.

청구항 37

제22항에 있어서, 상기 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리는 독성 물질을 포함하는 것인 핵분열 반응로.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] **관련 출원에 대한 상호 참조**

[0002] 본 출원은, 2014년 12월 31일자로 출원된 "플럭스-이동 반응성 제어 시스템"을 명칭으로 하는 미국 가특허출원 제62/098,963호에 대해, 미국 특허법 제119조에 의거하여 우선권 및 이익을 주장하는데, 이 관련 출원은 본 출원에 그 전체 내용이 참조로 인용되어 있다.

[0003] 본 발명은 일반적으로 원자로에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0004] 경수형 핵분열 반응로는, 반응성을 제어하기 위해 독성 물질의 생성에 치중하는 플럭스 성형을 이용할 수 있다. 예로서, 코어 내에서 제논 진동을 감쇠시키기 위해 플럭스를 축방향으로 성형하는 숏 앤드 롱 기법이 이용될 수 있다. 다른 예로서, 출력 분포를 제어하기 위해 성형 로드가 사용되었지만, 이러한 시스템은 증식 분포에 치중하고 있지 않다.

발명의 내용

과제의 해결 수단

[0005] 개시된 실시형태들은, 원자로용 제어 어셈블리와, 원자로와, 원자로용 노심과, 원자로를 제어하는 방법, 그리고 원자로용 제어 어셈블리를 제조하는 방법을 포함한다.

[0006] 전술한 내용은 요약이며, 이에 따라 세부 사항의 간략화, 일반화, 포함 및/또는 생략을 포괄할 수 있고; 결과적으로 당업자라면, 이 요약이 단지 예시적인 것이며 어떤 식으로든 제한하는 것으로 의도되어 있지 않다는 점을 인식할 것이다. 전술한 임의의 예시적인 양태들, 실시형태들 및 특징들 뿐만 아니라, 추가적인 양태들, 실시형태들 및 특징들은, 도면들과 이하의 상세한 설명을 참조함으로써 명백해질 것이다. 본원에 기술된 장치 및/또는 프로세스 및/또는 그 밖의 청구 대상의 다른 양태들, 특징들 및 이점들은 본원에 제시된 교시 내용에서 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0007] 임의의 특정 요소 또는 행위의 거론 내용을 용이하게 식별하도록, 참조 부호에 있어서 최상위 숫자 또는 숫자들은, 해당 요소가 처음 소개되어 있는 도면의 번호와 관련이 있다.

도 1a는 일 실시형태에 따른 핵분열 반응로의 부분 절취 사시도이고;

도 1b는 일 실시형태에 따른 핵분열 반응로의 부분 절취 사시도이며;

도 1c는 일 실시형태에 따른 핵분열 반응로의 부분 절취 사시도이고;

도 2는 일 실시형태에 따른 핵분열 반응로용 노심의 상측 단면도이며;

도 3은 일 실시형태에 따른 핵분열 반응로용 노심의 측방 단면도이고;

도 4는 핵분열 반응로에 대한 예시적인 출력 분포 도표이며;

도 5는 일 실시형태에 따른 핵분열 반응로용 제어 어셈블리의 개략도이고;

도 6은 일 실시형태에 따른 핵분열 반응로에 대한 예시적인 연소 분포 도표이며;

도 7은 일 실시형태에 따른 핵분열 반응로 내의 중성자 조절 물질에 대한 예시적인 가치 도표이고;

도 8a는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이며;

도 8b는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이고;

도 8c는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이며;

도 8d는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이고;

도 8e는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이며;

도 8f는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이고;

도 8g는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이며;

도 8h는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이고;

도 9a는 일 실시형태에 따른 원자로용 제어 어셈블리를 제조하는 방법의 개략도이며;

도 9b는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이고;

도 9c는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이며;

도 9d는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이고;

도 9e는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이며;

도 9f는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이고;

도 9g는 일 실시형태에 따른 원자로 제어 방법의 개략도이며;

도 10은 일 실시형태에 따른, 제어 어셈블리 및 중성자 플럭스 프로파일을 포함하는 핵분열 반응로용 노심의 개략도이고,

도 11은 일 실시형태에 따른, 제어 어셈블리 및 중성자 플럭스 프로파일을 포함하는 핵분열 반응로용 노심의 개략도이며,

도 12는 일 실시형태에 따른, 제어 어셈블리 및 중성자 플럭스 프로파일을 포함하는 핵분열 반응로용 노심의 개략도이고,

도 13은 본원에 개시된 구현예의 방법의 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0008] 진행파 원자로(TWR)는, 폭연파를 통해 핵원료성 연료를 핵분열성 연료로 증식하도록, 핵분열 가능한 연료를 연소하는 폭연파를 만들어내는 것으로, 즉 증식 및 연소형 반응로이다. 증식 및 연소형 반응로에서는, 핵분열에 의해 생성된 고속 중성자 스펙트럼은 중성자 포획으로 인하여 인접 핵원료성 물질에 의해 흡수되고, 이에 따라 핵원료성 물질이 핵분열성 물질로 증식된다. 번식 및 연소의 폭연파는 연료에 관하여 진행되고, 연료가 셔플링되거나 이동되면, 상기 파는 원자력 발전소에 관해서는 3D 공간에서 실질적으로 정지 상태이도록 유지될 수 있지만, 연료에 관해서는 여전히 이동할 수 있다(예컨대, 정상파). 정재파와 이동파 모두가 진행파 원자로의 형성에 참여된다.

[0009] 예로서, TWR에서는, 상기 파는 핵분열 반응로의 노심과 연관된 경계 또는 계면일 수 있다. 일 실시형태에서, 상기 파는 하나 이상의 구역을 포함하는데, 이 구역을 따라서 증식 및 연소(즉, 핵분열 등)가 노심 내에서 일어난다. 다른 실시형태에서, 상기 파는 비교적 높은 플럭스 레벨을 갖는 노심 내의 하나 이상의 구역을 갖는데; 다시 말하자면, 노심의 하나 이상의 구역은, 다른 핵분열 원자를 분열시키고 핵원료성 연료를 핵분열성 연료로 증식시키는 중성자의 수 또는 비율이 상대적으로 큰 구역이다. 상기 파의 위치는 해당 구역에 발생되어 있는 중성자의 수와 플럭스 레벨을 노심의 다른 구역과 비교하여 획정된다. 노심의 어느 한 구역에 있어서의 상대적으로 높은 플럭스 레벨은, 노심 내의 다른 구역에 관하여 측정될 수 있다. 제어 어셈블리는 상기 파의 위치를 제어하도록 하나 이상의 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치할 수 있다. 일 실시형태에서는, 하나 이상의 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치(예컨대, 활성화, 결합 등)하도록, 제어 어셈블리의 적어도 하나의 구동 기구가 배치되거나 또는 다른 방식으로 구성될 수 있다.

[0010] 노심은 핵분열성 핵연료 어셈블리(즉, 시동 연료 어셈블리의 세트 등) 및 핵원료성 핵연료 어셈블리(즉, 공급 연료 어셈블리의 세트 등), 및/또는 핵분열성 및 핵원료성 연료를 포함하는 연료 어셈블리를 포함할 수 있다. 이에 따라, 핵분열 반응로는 고증식률 반응로일 수 있다. 예로서, 핵분열 반응로는 증식 및 연소형 핵분열 반응로일 수 있다. 핵분열성 핵연료 어셈블리의 핵분열성 핵연료 물질은 노심에서 핵분열된다. 핵분열성 물질은 노심의 핵원료성 핵연료 어셈블리에서 증식된다. 증식 및 연소가 일어나고 있는 파는, 핵분열성 핵연료 어셈블리를 따라 배치될 수 있다. 증식 및 연소가 일어나고 있는 파는, 또한 핵원료성 핵연료 어셈블리를 따라 배치될 수 있다.

[0011] 일 실시형태에서, 노심은 취급 시스템을 포함한다. 상기 취급 시스템은 로내(爐內) 취급 시스템을 포함할 수 있다. 상기 취급 시스템은 연료 구역에서 핵분열성 핵연료 어셈블리를 선택적으로 재배치하도록 구성될 수 있다. 다른 실시형태에서, 상기 취급 시스템은 특정 핵원료성 핵연료 어셈블리를 선택적으로 재배치하도록 구성된다. 상기 취급 시스템은, 실질적으로 노심 내에서 움직이지 않는 파를 형성하는 방식으로, 특정 핵분열성 핵연료 어셈블리 및 특정 핵원료성 핵연료 어셈블리 중의 적어도 하나를 제공하도록 구성될 수 있다. 예로서, 실질적으로 움직이지 않는 파는, 핵분열성 핵연료 물질을 증식시키고 핵분열성 핵연료 물질을 핵분열시키는 정상파를 획정할 수 있다.

[0012] 본원에 포함된 개시 내용에 대한 소개 및 전후 사정을 제공하기 위해, 도 10 내지 도 12에 대한 설명을 도 1 내지 도 9에 대한 설명에 앞서 제공한다. 이후의 도 1 내지 도 9에 대한 설명은, 본 구현예의 추가적인 세부 사항을 제공한다. 도 10은 노심(1002)과 그 안에 배치된 연료 구역(1004)을 갖는 원자로(1000)를 도시한다. 연료 구역(1004)에는 핵분열성 및/또는 핵원료성 핵연료 물질이 들어 있을 수 있다. 핵분열 연쇄 반응은, 본원에 기술된 바와 같이 중성자 조절 물질이 들어 있을 수 있는 복수의 제어 어셈블리의 선택적 삽입에 따라 제어될 수 있다. 중성자 조절 물질은 하나 이상의 타입의 연료 및/또는 하나 이상의 타입의 중성자 흡수재를 포함할 수 있다. 제어 어셈블리는, 연료 구역(1004)에서의 핵연쇄 반응을 임의의 길이의 시간 동안, 예를 들어 제어 어셈블리의 구성에 따라, 수년의 기간에 걸쳐 또는 무기한으로 유지할 수 있다. 구현예에서는, 제1 이동식 제

어 어셈블리(1006, 1008, 1010)가 연료 구역(1004)의 위에 이동 가능하게 배치되어 있고, "하향식" 형태로 연료 구역 안으로 미끄럼 이동 가능하게 하향 연장될 수 있다. 이 구현예에서는, 제2 이동식 제어 어셈블리(1012, 1014, 1016)가 연료 구역(1004)의 아래에 이동 가능하게 배치되어 있고, "상향식" 형태로 연료 구역(1004) 안으로 미끄럼 이동 가능하게 상향 연장될 수 있다. 반경방향, 횡방향, 또는 다른 방향으로 배치되고 선택적으로 연료 구역(1004) 안으로 이동 가능한 하나 이상의 제어 어셈블리를 비롯한, 그 밖의 제어 어셈블리 형태들도 또한 개시되어 있는 것으로 이해되어야 한다.

[0013] 제1 이동식 제어 어셈블리(1006, 1008, 1010) 및 제2 이동식 제어 어셈블리(1012, 1014, 1016)의 위치는, 연료 구역(1004)에서의 중성자 플럭스를 조절한다. 제1 및 제2 이동식 제어 어셈블리의 위치를 선택함으로써, 소정 기간 동안의 순간적 중성자 플럭스 또는 총 중성자 플럭스(즉, 임의의 기간 동안의 시간-적분 중성자 플럭스)가 연료 구역(1004)의 일부분에 대하여 선택될 수 있다. 구현예에서는, 목표 중성자 플럭스를 확인하고, 감지 수단에 따른 현재의 중성자 플럭스와 비교할 수 있다. 감지 수단은 중성자 플럭스 센서를 통하는 것과 같이 직접적일 수 있거나, 또는 제어 어셈블리의 배치 이력에 기초하여 연료 구역(1004)에서의 중성자 플럭스를 모델링하기 위한 온도 센서 또는 플럭스 모델을 통하는 것과 같이 간접적일 수 있다.

[0014] 제1 및 제2 제어 어셈블리의 임의의 형태에 대해, 중성자 플럭스 프로파일은 연료 구역(1004)에 존재하는 대응 중성자 플럭스를 묘사하도록 표현될 수 있다. 중성자 플럭스 프로파일 도표(1018, 1020)가 도 10에 도시되어 있다. 중성자 플럭스 프로파일 도표(1018, 1020)는 중성자 플럭스 크기를 연료 구역(1004)에서의 수직방향 위치 및 반경방향 위치의 함수로서 각각 보여준다. 중성자 플럭스 프로파일 도표(1018)는 수직방향 y-축 상에서의 연료 구역(1004)의 수직방향 위치에 대하여 수평방향 x-축 상에서의 플럭스 강도(1022)를 나타낸다. 도표에 도시된 수직방향 위치가 연료 구역에서의 동일 수직방향 위치에 대응하도록, 중성자 플럭스 프로파일 도표(1018)는 연료 구역(1004) 및 노심(1002)의 모식도에 인접하게 배치되어 있다. 예를 들어, 상측 라인(1024)은 노심(1002)의 상단 또는 그 부근에 있고 연료 구역(1004)의 위에 있는 수직방향 위치를 나타낸다. 이 지점에서의 중성자 플럭스의 크기(1022)는 제로이거나 제로에 가까운 것으로 도시되어 있다. 중성자 플럭스 도표(1018)의 타단부에서, 하측 라인(1026)은 노심(1002)의 하단 또는 그 부근에 있고 연료 구역(1004)의 아래에 있는 수직방향 위치를 나타낸다. 또한, 중성자 플럭스 프로파일 도표(1018)에 있어서, 하측 라인(1026)에서의 중성자 플럭스(1022)의 크기는 제로이거나 제로에 가깝다.

[0015] 중성자 플럭스 프로파일 도표(1018, 1020)는 고정된 반경방향 위치와 수직방향 위치 변수에 따라 각각 도시되어 있다. 다시 말하자면, 중성자 플럭스 프로파일은 연료 구역(1004)의 단면 평면에서의 중성자 플럭스를 묘사한다. 단면 평면은 중성자 플럭스 도표(1018)에서와 같이 고정된 반경방향 위치에서의 수직방향 평면일 수 있고, 또는 단면 평면은 중성자 플럭스 도표(1020)에서와 같이 고정된 수직방향 위치에서의 수평방향 평면일 수 있고, 또는 단면 평면은 연료 구역(1004)과 교차하는 임의의 다른 평면일 수 있다. 중성자 플럭스 도표(1018)에서는, 선택된 반경방향 거리(r)가 라인(1024)으로 나타내어져 있다. 따라서, 중성자 플럭스 크기(1022)가 라인(1024)을 따라서의 수직방향 위치에 따라 도시되어 있다. 서로 다른 반경방향 위치(r)를 선택함으로써, 제1 제어 어셈블리(1006, 1008, 1010) 및 제2 제어 어셈블리(1012, 1014, 1016)의 상대 위치에 따라 플럭스 크기(1022)가 달라질 것이다.

[0016] 중성자 플럭스 프로파일 도표(1020)는, 수평방향 x-축 상에 도시된 반경방향 위치에 따른, 수직방향 y-축 상에 도시된 중성자 플럭스 크기(1028)를 묘사한다. 도 10에서 중성자 플럭스 프로파일 도표(1020)는, 도표 상에 도시된 반경방향 위치가 연료 구역(1004)에서의 동일 반경방향 위치에 대응하도록, 노심(1002)의 아래에 배치되어 있다. 따라서, 좌측 라인(1030)은 노심(1002)의 제일 왼쪽의 반경방향 위치에 대응하고, 우측 라인(1032)은 노심(1002)의 제일 오른쪽의 반경방향 위치에 대응한다. 도표(1020)는, 전술한 바와 같이 연료 구역(1004)을 교차하는 평면을 따라서의 중성자 플럭스의 도표로서, 중성자 플럭스 프로파일을 보여준다. 도표(1020)는 중성자 플럭스를 반경방향 위치의 함수로서 나타내며, 이에 따라 라인(1034)에 의해 도시된 고정된 수직방향 위치(Z)에 대응한다. 다시 말하자면, 도표(1020)는 라인(1034)에 의해 도시된 수직방향 위치(Z)에서 연료 구역(1004)과 교차하는 수평방향 평면의 중성자 플럭스(1028)를 보여준다.

[0017] 도 11은 노심(1102)과 그 안에 배치된 연료 구역(1104)을 포함하는 원자로(1100)를 도시한다. 구현예에서는, 제1 이동식 제어 어셈블리(1106, 1108, 1110)가 연료 구역(1104)의 위에 이동 가능하게 배치되어 있고, "하향식" 형태로 연료 구역 안으로 미끄럼 이동 가능하게 하향 연장될 수 있다. 이 구현예에서는, 제2 이동식 제어 어셈블리(1112, 1114, 1116)가 연료 구역(1004)의 아래에 이동 가능하게 배치되어 있고, "상향식" 형태로 연료 구역(1104) 안으로 미끄럼 이동 가능하게 상향 연장될 수 있다. 반경방향, 횡방향, 또는 다른 방향으로 배치되고 선택적으로 연료 구역(1004) 안으로 이동 가능한 하나 이상의 제어 어셈블리를 비롯한, 그 밖의 제어

어셈블리 형태들도 또한 개시되어 있는 것으로 이해되어야 한다. 제1 이동식 제어 어셈블리(1106, 1108, 1110) 및 제2 이동식 제어 어셈블리(1112, 1114, 1116)의 위치는 도 10에 도시된 구성과는 다른 구성으로 배치된다. 도 11에서, 제1 이동식 제어 어셈블리들 중의 두 개의 제1 이동식 제어 어셈블리(1106, 1108)와, 제2 이동식 제어 어셈블리들 중의 두 개의 제2 이동식 제어 어셈블리(1112, 1114)는 각각 동일한 축방향 거리만큼 상방으로 병진 이동된다. 따라서, 도 11에 도시된 제어 어셈블리의 구성은 도 10에 도시된 제어 어셈블리의 구성과 그 절대적 가치가 동일하지만, 결과적으로 생성되는 연료 구역(1104)에서의 중성자 플럭스는 상방으로 병진 이동된다. 이와 같이, 도 11에서의 중성자 플럭스가 도 10에 관하여 상방으로 병진 이동되는 것이, 중성자 플럭스(1120)를 노심(1102) 내에서의 수직방향 위치의 함수로서 표시하는 중성자 플럭스 도표(1118)에 도시되어 있다. 도표(1118)에 도시된 수직방향 위치가 노심(1102)의 동일 수직방향 위치에 대응하도록, 중성자 플럭스 프로파일 도표(1118)는 노심(1102)에 인접하게 배치된다. 상측 라인(1122)과 하측 라인(1124)은 도표 및 노심(1102)의 높은 수직방향 위치와 낮은 수직방향 위치를 각각 나타낸다. 도 10에 도시된 구성과 비교하여, 도 11에서의 제1 이동식 제어 어셈블리(1106, 1108)와 제2 이동식 제어 어셈블리(1112, 1114)가 상대적으로 이동하므로, 중성자 플럭스 크기(1120)가 도 10에서의 도표(1018)와 비교하여 도표(1118)에서는 더 높은 수직방향 위치로 상방 이동된다. 이러한 상방 이동은 라인(1124)으로 나타내어진 선택된 반경방향 거리(r)에 의해 획정되는 수직방향 평면에 있어서 연료 구역(1004)의 중성자 플럭스의 상방 이동을 나타낸다.

[0018] 도 11의 중성자 플럭스 프로파일 도표(1126)는 중성자 플럭스를 연료 구역(1104)에서의 반경방향 위치의 함수로서 보여준다. 좌측 라인(1130)과 우측 라인(1132)에 의해 나타내어진 바와 같이, 도표(1126)는, 도표(1126) 상에서의 반경방향 위치가 노심(1102) 상에서의 동일 반경방향 위치에 대응하다는 것을 나타내도록, 노심(1102)의 아래에 위치해 있다. 도표(1126)는 중성자 플럭스 프로파일 도표이므로, 라인(1134)에 의해 도시되어 있는 선택된 수직방향 위치(Z)에서 연료 구역(1104)과 교차하는 수평방향 평면을 따라서 플럭스(1128)를 보여준다.

[0019] 도 12는 노심(1202)과 연료 구역(1204)을 포함하는 원자로(1200)를 도시한다. 제1 이동식 제어 어셈블리(1206, 1208, 1210)와 제2 이동식 제어 어셈블리(1212, 1214, 1216)는, 중성자 플럭스를 연료 구역(1204)에서 우측 방향으로 조절하는 사다리꼴 형태이다. 도 12의 형태에 대한 중성자 플럭스 프로파일 도표는, 도표(1218, 1220)에서의 수직방향 위치 및 반경방향 위치의 함수로서 각각 도시되어 있다. 중성자 플럭스 프로파일(1218)은 라인(1222)에 확인되는 고정된 반경방향 위치에 기초하여 도시되어 있고, 중성자 플럭스 프로파일(1220)은 라인(1224)에 확인되는 고정된 수직방향 위치에 기초하여 도시되어 있다.

[0020] 이하의 상세한 설명에서는, 본 명세서의 일부분을 형성하는 첨부 도면을 참조로 한다. 첨부 도면에서는, 서로 다른 도면들에서 유사하거나 동일한 부호를 사용하여, 문맥이 달리 지시하지 않는 한, 통상적으로 유사하거나 동일한 항목들을 나타낸다.

[0021] 상세한 설명, 도면 및 청구범위에 기술된 예시적인 실시형태는 제한하려는 의미가 아니다. 본원에 제시된 청구대상의 정신 또는 범위를 벗어나지 않고서도, 다른 실시형태들이 이용될 수 있고, 다른 변형들이 실시될 수 있다.

[0022] 당업자는, 본원에 기술된 구성요소(예컨대, 작업), 장치, 물체 및 이들에 동반되는 설명들이 개념적 명료성을 위한 예로서 사용된다는 것과, 다양한 구성의 변형들이 고려된다는 것을 인지할 것이다. 따라서, 본원에 사용된 바와 같이, 제시된 특정 표본들과 첨부 설명은 보다 일반적인 부류를 나타내는 것으로 의도되어 있다. 일반적으로, 임의의 특정 표본의 사용은 그 부류를 나타내는 것으로 의도되어 있고, 특정 구성요소(예컨대, 작업), 장치 및 물체는 제한하는 것으로 여겨져서는 안 된다.

[0023] 개요로서 주어진, 예시적인 실시형태는 원자력 제어 어셈블리; 노심; 핵분열 반응로; 핵분열 반응로를 제어하는 방법; 및 핵분열 반응로용 제어 어셈블리를 제조하는 방법을 포함한다.

[0024] 제어 어셈블리의 실시형태들은 선택적으로 제1 중성자 조절 물질을 제1 방향으로 재배치한다. 선택적으로 제1 중성자 조절 물질을 재배치하는 것은, 파의 변화(예컨대, 변동, 이동 등)를 초래할 수 있다. 제어 어셈블리는 선택적으로 제2 중성자 조절 물질을 제2 방향으로 재배치한다. 선택적으로 제2 중성자 조절 물질을 재배치하는 것은, 제1 중성자 조절 물질을 재배치하는 것과 관련된 파의 변화를 상쇄시킬 수 있다. 예로서, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 실질적으로 서로 반대편에 있는 파의 양측을 향해 선택적으로 재배치될 수 있다. 다른 실시형태들에서, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 다른 방식으로 파를 제어하도록 선택적으로 재배치된다.

[0025] 예로서, 중성자 조절 물질은 중성자를 흡수하는 독성 물질 또는 다른 물질을 포함할 수 있다. 다른 예로서, 중

성자 조절 물질은 중성자의 속도를 감소시키는 물 또는 다른 물질을 포함할 수 있다. 일 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 동일한 조성을 갖는다. 다른 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 서로 다른 조성을 갖는다.

[0026] 제어 어셈블리의 실시형태는, 핵분열 반응로의 노심을 제어하도록 하나 이상의 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치한다. 예시적인 증식 및 연소형 반응로(진행파 원자로)를 참조로 하여 제어 어셈블리에 대한 설명이 아래에 제공되지만, 아래의 예시적인 제어 어셈블리는 경수형 원자로, 중수형 원자로, 핵분열 원자로, 증식형 원자로, 고속로, 증식 및 연소형 반응로를 비롯한 (이들에 제한되는 것은 아님) 임의의 타입의 반응로에 사용될 수 있고, 반응성, 온도, 플럭스, 소정 시간 동안의 플럭스, 연소, 연소율 및 노심의 임의의 다른 특징을 비롯한 (이들에 제한되는 것은 아님) 노심의 하나 이상의 양태를 제어하는 데 사용될 수 있는 것으로 이해되어야 한다.

[0027] 제1 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치하는 것은, 노심의 연료 구역에 대한 이동을 포함할 수 있다. 제1 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치하는 것은, 제2 중성자 조절 물질에 대한 이동을 포함할 수 있다. 제1 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치하는 것은, 파를 향하는 이동 또는 파로부터 멀어지는 이동을 포함할 수 있다. 제2 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치하는 것은, 노심의 연료 구역에 대한 이동을 포함할 수 있다. 제2 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치하는 것은, 제1 중성자 조절 물질에 대한 이동을 포함할 수 있다. 제2 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치하는 것은, 파를 향하는 이동 또는 파로부터 멀어지는 이동을 포함할 수 있다.

[0028] 일 실시형태에서, 제어 어셈블리는 증식 및 연소형 핵분열 반응로의 플럭스의 축방향 비대칭에 대해 교정하도록 파를 제어한다. 플럭스의 축방향 비대칭에 대한 교정은, 하나 이상의 연료 어셈블리에서 피크 연소를 대폭 감소시킬 수 있다. 피크 연소는 핵분열성 연료에서 발생하는 핵분열의 백분율 또는 그 밖의 척도일 수 있고, 이에 따라 5%의 연소는, 5%의 연료가 핵분열 반응을 겪었다는 것을 나타낼 수 있다. 연소는 출력과 관련이 있을 수 있다. 출력은 플럭스 및 물성의 조합과 관련이 있을 수 있다. 이에 따라, 플럭스 분포는 소정의 물성의 세트에 의해 출력 분포와 관련될 수 있다.

[0029] 이러한 제어 어셈블리의 실시형태는, 증식 분포를 제어하는 데 협조하는 복수의 반응성 제어 어셈블리를 구비한다. 예로서, 다른 대안 중에서도, 반응성 제어 어셈블리는, 연료 어셈블리 내에서의 또는 노심 내에서의 증식 분포를 제어하는 데 협조할 수 있다. 복수의 반응성 제어 어셈블리의 협조를 통해 증식 분포를 제어함으로써, 노심 내에서의 출력 위치의 바람직하지 못한 실질적 이동의 감소(예컨대, 완화, 최소화, 제거 등), 노심의 필요 선량에 있어서의 바람직하지 못한 실질적 변화의 감소, 및 피크 연소의 감소 중 적어도 하나가 달성된다.

[0030] 경우에 따라서는, 제1 및 제2 중성자 조절 물질은 노심, 연료, 또는 노심의 연료 어셈블리의 축방향에 대해, 동일한 및/또는 상이한 (또는 복수의) 방향 또는 축에서 진행할 수 있다.

[0031] 일 실시형태에서, 노심에 대한 제1 및/또는 제2 중성자 조절 물질의 드라이버 이동에서, 중성자 조절 물질은 노심의 길이를 따라 진행할 수 있다. 다른 실시형태에서, 적어도 하나의 중성자 조절 물질은 노심의 길이를 가로지르는 횡방향으로 진행한다. 또 다른 실시형태에서, 적어도 하나의 중성자 조절 물질은 노심의 반경방향을 따라 진행한다. 또 다른 실시형태에서, 적어도 하나의 중성자 조절 물질은 노심의 방위각 방향을 따라 진행한다.

[0032] 몇몇 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 "하향" 중성자 조절 물질과 "상향" 중성자 조절 물질을 포함한다. 하향 중성자 조절 물질(제1 중성자 조절 물질)은 노심에서 그 상단으로부터 진행할 수 있고, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있고(이에 제한되는 것은 아님), 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 상향 중성자 조절 물질(제2 중성자 조절 물질)은 노심에서 그 한단으로부터 진행할 수 있고, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있고(이에 제한되는 것은 아님), 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 이 설명과 이하의 설명은 "하향" 및/또는 "상향"이라고 할 수 있지만, 이는 단지 여러 도면에 도시된 방위에 관한 것이다. 반경방향 방위(들), 또는 반경방향 방위(들), "하향", 및/또는 "상향" 방위의 조합을 비롯한, 임의의 적절한 방위가 사용될 수 있는 것으로 인식되어야 한다.

[0033] 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 제1측 중성자 조절 물질과 제2측 중성자 조절 물질을 포함한다. 제1측 중성자 조절 물질은 노심에서 제1측으로부터 진행할 수 있다. 제2측 중성자 조절 물질은 노심에서 제2측으로부터 진행할 수 있다. 예로서, 이와 같은 중성자 조절 물질의 조합을 갖는 제어 어셈블리가 횡방향 핵분열 반응로를 제어할 수 있다.

[0034] 추가적인 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 노심에서 노심의 길이방향을 가로지르는 횡방향으로

진행하는 적어도 하나의 중성자 조절 물질을 포함한다. 복수의 반응성 제어 어셈블리는 또한 하향 중성자 조절 물질을 포함할 수 있다. 하향 중성자 조절 물질은, 횡방향 중성자 조절 물질이 그 안에서 진행하는 평면에 대해 실질적으로 직각을 이루는 축을 따라서 진행할 수 있고, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있고(이에 제한되는 것은 아님), 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 또한 상향 중성자 조절 물질을 포함한다. 상향 중성자 조절 물질은, 횡방향 중성자 조절 물질이 그 안에서 진행하는 평면에 대해 실질적으로 직각을 이루는 축을 따라서 진행할 수 있고, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있고(이에 제한되는 것은 아님), 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 노심의 길이방향을 가로지르는 횡방향으로 노심을 통과해 진행하는 제2 중성자 조절 물질을 또한 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 또 다른 방식으로 노심을 통과해 이동하는 제2 중성자 조절 물질을 또한 포함한다.

[0035] 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 노심에서 노심의 반경방향을 따라 진행하는 적어도 하나의 중성자 조절 물질을 포함한다. 또한 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있는(이에 제한되는 것은 아님) 하향 중성자 조절 물질을 포함할 수 있고, 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 하향 중성자 조절 물질은, 반경방향 중성자 조절 물질이 그 안에서 진행하는 평면에 대해 실질적으로 직각을 이루는 축을 따라 진행할 수 있다. 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 또한 상향 중성자 조절 물질을 포함한다. 상향 중성자 조절 물질은, 반경방향 중성자 조절 물질이 그 안에서 진행하는 평면에 대해 실질적으로 직각을 이루는 축을 따라서 진행할 수 있고, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있고(이에 제한되는 것은 아님), 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 또한, 노심에서 노심의 반경방향을 따라 진행하는 제2 중성자 조절 물질을 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 또 다른 방식으로 노심에서 이동하는 제2 중성자 조절 물질을 또한 포함한다.

[0036] 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 노심에서 노심의 방위각 방향을 따라 진행하는 적어도 하나의 중성자 조절 물질을 포함한다. 또한 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있는(이에 제한되는 것은 아님) 하향 중성자 조절 물질을 포함할 수 있고, 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 또한, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있는(이에 제한되는 것은 아님) 상향 중성자 조절 물질을 포함하고, 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 또한, 노심에서 노심의 방위각 방향을 따라 진행하는 제2 중성자 조절 물질을 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 또 다른 방식으로 노심에서 이동하는 제2 중성자 조절 물질을 또한 포함한다.

[0037] 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 노심에서 노심의 길이방향에 대해 비스듬히 진행하는 적어도 하나의 중성자 조절 물질을 포함한다. 또한 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있는(이에 제한되는 것은 아님) 하향 중성자 조절 물질을 포함할 수 있고, 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 또한, 노심의 임의의 부분을 통과하여 연장될 수 있으며, 예를 들어 노심의 말단부를 통과하여 진행할 수 있는(이에 제한되는 것은 아님) 상향 중성자 조절 물질을 포함하고, 이에 따라 중성자 조절 물질의 일부분만이 노심 내에 배치된다. 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 또한, 노심에서 노심의 길이방향에 대해 비스듬히 진행하는 제2 중성자 조절 물질을 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 또 다른 방식으로 노심을 통과해 이동하는 제2 중성자 조절 물질을 또한 포함한다.

[0038] 또 다른 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는, 출력 사이클의 적어도 일부분 동안에 정지 상태로 유지되는 적어도 하나의 중성자 조절 물질을 포함한다. 제어 어셈블리는 구동 기구를 포함할 수 있다. 일 실시형태에서, 구동 기구는 적어도 하나의 중성자 조절 물질에 대해 노심의 연료를 선택적으로 재배치하도록 구성되어 있다. 구동 기구는 제1 또는 제2 중성자 조절 물질의 길이를 따라 정렬된 방향으로 연료를 병진 이동시키도록 구성될 수 있다. 대안적인 또는 추가적인 실시형태에서, 구동 기구는 다른 방식으로 연료를 중성자 조절 물질에 대해 이동시키도록 구성되어 있다. 또 다른 실시형태에서, 구동 기구는 연료와 적어도 하나의 중성자 조절 물질 모두를 선택적으로 재배치하도록 구성(예를 들어, 연료와 중성자 조절 물질 모두가 이동될 수 있는 등)되

어 있다.

[0039] 제어 어셈블리는, 노심의 축방향을 따른 플럭스의 위치를 제어하도록 작동할 수 있다. 추가적이고 대안적인 실시형태에서, 반응성 제어 어셈블리는 노심 내에서 플럭스 분포를 이동시키도록 작동한다. 복수의 제어 어셈블리는, 반응로 사이클 동안에 반경방향 출력 외란의 위험을 줄이도록 배치될 수 있다. 다른 실시형태들에서, 복수의 제어 어셈블리는 노심 내에서 플럭스 분포를 목표 분포 프로파일을 향해 이동시키도록 배치되어 있다. 제어 어셈블리를 사용함으로써, 바람직하지 못한 파의 움직임(예컨대, 파 이동, 파 스너핑 등)이 실질적으로 제거될 수 있다.

[0040] 도 1a~도 1c와 도 2를 참조로 하여, 비제한적인 개요로서 주어진 예시적인 핵분열 반응로(10)를 제한의 형태가 아닌 예시의 형태로 설명한다. 도 1a~도 1b에 도시된 바와 같이, 핵분열 반응로(10)는 원자로 용기(14) 내에 배치되는 노심(12)을 포함한다. 일 실시형태에 따르면, 노심(12)은 핵연료를 연료 구역(16) 내에 수용하도록 구성되어 있는 복수의 덕트를 구비한 복수의 핵연료 어셈블리를 포함한다. 복수의 핵연료 어셈블리는 원자로 용기(14) 내에 배치될 수 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 노심(12)은 핵분열성 핵연료 어셈블리(22)(예컨대, 시동 연료 어셈블리의 세트 등)와 핵원료성 핵연료 어셈블리(24)(예컨대, 공급 연료 어셈블리의 세트 등)를 포함한다. 핵분열성 핵연료 어셈블리(22)는 핵분열 반응을 일으키도록 U-235(또는 임의의 다른 적절한 핵분열성 연료)를 포함할 수 있다. 핵원료성 핵연료 어셈블리(24)는 U-238 또는 임의의 다른 적절한 핵원료성 핵연료를 포함할 수 있다. 일 실시형태에 따르면, 노심(10)은 취급 시스템을 포함한다. 상기 취급 시스템은 로내(爐內) 취급 시스템을 포함할 수 있다. 로내 취급 시스템은 적어도 하나의 핵분열성 핵연료 어셈블리(22)와 적어도 하나의 핵원료성 핵연료 어셈블리(24), 또는 이들의 조합을 제공하도록 구성될 수 있다. 핵분열 반응로(10)와 연관된 제어 어셈블리는 복수의 반응성 제어 어셈블리를 포함할 수 있다. 반응성 제어 어셈블리는 노심(12)의 반응성에 변화를 주도록 구성될 수 있다. 일 실시형태에서, 핵분열 반응로(10)는 도 1b~도 1c에 중성자 조절 물질 구동 어셈블리(40)로서 도시된, 하나 이상의 기구의 어셈블리를 포함한다. 중성자 조절 물질 구동 어셈블리(40)는 복수의 반응성 제어 어셈블리를 조작하도록 배치되어 있다. 도 1a~도 1c에 도시된 바와 같이, 핵분열 반응로(10)는 또한 원자로 냉각재 시스템(30)을 포함한다.

[0041] 도 1a~도 1c와 도 2를 또 참조해 보면, 핵분열 반응로(10)의 실시형태들은 임의의 용례에서 필요에 따라 크기가 설정될 수 있다. 예를 들어, 핵분열 반응로(10)의 여러 실시형태는 필요에 따라 저출력(약 300 MWT~약 500 MWT) 용례, 중출력(약 500 MWT~약 1000 MWT) 용례, 및 고출력(약 1000 MWT 이상) 용례에 사용될 수 있다.

[0042] 핵분열 반응로(10)의 실시형태는, 예전에 경수형 원자로("LWR")와 관련이 있던 물-유도 중성자 임피던스를 이용하지 않는, 액체 금속-냉각형 고속 원자로 기술의 요소들에 기초하고 있지만, 기술된 제어 어셈블리는 임의의 원자로에서 해당 원자로의 임의의 적절한 제어 용도로 사용될 수 있는 것으로 인식되어야 한다. 여러 실시형태에서, 원자로 냉각재 시스템(30)은 원자로 용기(14) 내에 배치된 액체 나트륨의 풀(pool)을 포함한다. 이러한 경우에, 도 1의 노심(12)은 원자로 용기(14) 내의 나트륨 냉각재의 풀에 침지된다. 원자로 용기(14)는, 예상치 못한 원자로 용기(14)로부터의 누출의 경우에, 나트륨 냉각재의 소실을 방지하는 데 기여하는 격납 용기(32)에 의해 둘러싸여 있다.

[0043] 여러 실시형태에서, 원자로 냉각재 시스템(30)은 펌프(34)로서 도시된 원자로 냉각재 펌프를 포함한다. 도 1a~도 1b에 도시된 바와 같이, 원자로 냉각재 시스템(30)은 2개의 펌프(34)를 포함한다. 펌프(34)는 필요에 따라 임의의 적절한 펌프(예컨대, 전기기계 펌프, 전자기 펌프 등)일 수 있다.

[0044] 도 1a~도 1b를 또 참조해 보면, 원자로 냉각재 시스템(30)은 또한 열교환기(36)를 포함한다. 열교환기(36)는 액체 나트륨의 풀 내에 배치되어 있다. 일 실시형태에 따르면, 열교환기(36)는 열교환기(36)의 타측에 비방사성 중간 나트륨 냉각재를 갖는다. 이를 위해, 열교환기(36)는 중간 열교환기로 고려될 수 있다. 일 실시형태에 따르면, 증기 발생기는 열교환기(36)와 열적으로 연통되어 있다. 임의의 수의 펌프(34), 열교환기(36) 및 증기 발생기가 필요에 따라 사용될 수 있는 것으로 인식될 것이다.

[0045] 펌프(34)는 1차 나트륨 냉각재를 노심(12)을 통해 순환시킨다. 펌핑된 1차 나트륨 냉각재는 노심(12)의 상측에서 노심(12)을 빠져나가고, 열교환기(36)의 일측을 통과한다. 일 실시형태에 따르면, 가열된 중간 나트륨 냉각재는 중간 나트륨 루프(38)를 경유하여 증기 발생기로 순환된다. 증기 발생기는 터빈과 전기 발전기를 구동시키도록 증기를 발생시킬 수 있다. 다른 실시형태들에 따르면, 가열된 중간 나트륨 냉각재는 또 다른 용도를 위해 열교환기에 순환된다.

[0046] 도 1a~도 3을 다시 참조해 보면, 예시적인 노심(12)은 핵분열성 핵연료 어셈블리(22)와, 핵원료성 핵연료 어셈

블리(24), 그리고 복수의 반응성 제어 어셈블리를 구비하는 제어 어셈블리를 포함한다. 일 실시형태에서, 복수의 반응성 제어 어셈블리는 제1 반응성 제어 어셈블리(50)와 제2 반응성 제어 어셈블리(60)를 포함한다. 제1 반응성 제어 어셈블리(50)는 제1 중성자 조절 물질(52)을 포함하고, 제2 반응성 제어 어셈블리(60)는 제2 중성자 조절 물질(62)을 포함한다. 제1 및 제2 중성자 조절 물질은 서로 동일한 것이거나 서로 다른 것일 수 있고, 경우에 따라서는 상기 두 중성자 조절 물질이 서로 다른 상태에서, 플럭스의 제어 및/또는 파의 형상을 향상시키도록 선택 및 조정될 수 있다. 일 실시형태에서, 제어 시스템은 SCRAM 이벤트 동안 핵분열 반응로(10)의 운전 정지를 관장하는 여러 기준들을 충족시키기에 충분한 수의 제1 중성자 조절 물질(52)을 포함한다. 이에 따라, 제2 중성자 조절 물질(62)은 SCRAM 이벤트 동안에 (만약에 있다면) 비교적 작은 역할을 할 수 있다. 예로서, 제2 중성자 조절 물질은 SCRAM 시스템과 연관되지 않을 수 있다.

[0047] 도 2에 도시된 바와 같이, 일 실시형태에서, 제어 어셈블리는 18개의 제1 반응성 제어 어셈블리(50)와 18개의 제2 반응성 제어 어셈블리(60)를 포함한다. 일 실시형태에서, 도 2는 TWR 도안을 개략적으로 나타낸다. 다른 실시형태들에서, 제어 어셈블리는 상이한 개수 및/또는 배치의 반응성 제어 어셈블리(50)와 상이한 개수 및/또는 배치의 반응성 제어 어셈블리(60) 중 적어도 하나를 포함한다. 도 2는 특정 배열으로 배향된 제1 반응성 제어 어셈블리(50)와 제2 반응성 제어 어셈블리(60)를 도시하지만, 반응성 제어 어셈블리(50)와 반응성 제어 어셈블리(60) 중의 적어도 하나가, 여러 다른 실시형태에 따라 노심(12) 내에 다른 방식으로 배치될 수 있다.

[0048] 도 1a~도 1b에 도시된 바와 같이, 연료 구역(16)은 일반적으로 원통형이고 축방향(70)을 따라 연장된다. 일 실시형태에서, 연료 구역(16)은 상단부(72)로서 도시된 제1 단부와, 하단부(74)로서 도시된 실질적으로 반대편에 있는 제2 단부를 포함한다. "상단부"와 "하단부"가 연료 구역(16)을 기술하기 위해 사용되고 있지만, 이들 어구는 단지 도면들에 도시된 방위에 관한 것이다. 임의의 적절한 연료 코어 셋업 및/또는 방위가, 실질적으로 서로 반대편에 있는 양단부(72, 74)의 범위 내에서 사용될 수 있는 데다가 동 범위 내에 있을 수 있는 것으로 인식되어야 한다. 도 2~도 3에 도시된 바와 같이, 노심(12)과 연료 구역(16)은 반경방향(76)[예컨대, 노심(12) 또는 연료 구역(16)의 중앙으로부터 바깥쪽에 있는 관심 위치까지의 거리가 상기 반경방향을 따라서 측정될 수 있는 등]과, 방위각 방향(78)[예컨대, 축방향(70) 주위의 위치 또는 노심(12) 혹은 연료 구역(16)의 주변이 상기 방위각 방향을 따라 획정될 수 있는 등]을 획정한다.

[0049] 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)은 연료 구역(16)에 대해 선택적으로 [예컨대, 축방향(70), 반경방향(76), 방위각 방향(78) 등 중의 하나 이상(또는 이들의 조합)을 따라] 재배치 가능할 수 있다. 다른 실시형태들에서, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)은 원자로 용기(14)에 대해 선택적으로 재배치 가능하다. 도 5에 도시된 바와 같이, 제어 어셈블리는 중성자 조절 물질 구동 어셈블리(40)를 포함한다. 중성자 조절 물질 구동 어셈블리(40)는, 일 실시형태에 따르면, 제1 중성자 조절 물질(52) 및 제2 중성자 조절 물질(62)에 결합된 적어도 하나의 구동 기구를 포함한다. 예로서, 적어도 하나의 구동 기구는, 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 이동시키기 위한, 예를 들어 액추에이터(예컨대, 모터 등)를 비롯한 (이에 제한되는 것은 아님) 수단을 포함할 수 있다. 액추에이터는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)에 (예를 들어, 제1 구동 라인, 제2 구동 라인, 제1 그래플, 제2 그래플을 통해, 제1 구동 라인, 제2 그래플을 통해, 등) 결합될 수 있다. 다른 예로서, 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질(52)에 (예를 들어, 제1 구동 라인, 제1 그래플을 통해, 등) 결합된 제1 액추에이터와, 제2 중성자 조절 물질(62)에 (예를 들어, 제2 구동 라인, 제2 그래플을 통해, 등) 결합된 제2 액추에이터를 포함할 수 있다.

[0050] 일 실시형태에서, 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 이동시키기 위한 수단은, 제1 중성자 조절 물질(52)을 연료 구역(16)에 대해 [예컨대, 축방향(70)을 따라 연료 구역(16)의 안과 밖으로, 등] 병진 이동시키도록 배치되어 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 적어도 하나의 액추에이터는 제2 중성자 조절 물질(62)을 연료 구역(16)에 대해 병진 이동시키도록 배치될 수 있다. 예로서, 액추에이터는 연료 구역(16)의 상단부(72)에 [예컨대, 연료 구역(16)의 위에, 등] 배치될 수 있다. 다른 실시형태에서, 원자로 용기(14)는 제1 단부(예컨대, 상단부 등)와 실질적으로 반대편에 있는 제2 단부(예컨대, 하단부 등)를 포함한다. 제1 액추에이터와 제2 액추에이터는 원자로 용기(14)의 제1 단부에 배치될 수 있다. 구동 라인은 액추에이터에 결합된 제1 단부와 중성자 조절 물질에 결합된 제2 단부의 사이에서 하향 연장될 수 있다. 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62) 중의 적어도 하나가 리셉터클 내에 배치될 수 있다. 예로서, 리셉터클은 관형 본체(예컨대, 중공형 부재, 덕트 등)를 포함할 수 있다. 하나 이상의 재배치 수단은, 리셉터클을 선택적으로 재배치하여, 제1 중성자 조절 물질(52) 및 제2 중성자 조절 물질(62)을 선택적으로 재배치하도록 배치될 수 있다.

[0051] 도 3에 도시된 실시형태에 따르면, 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)을, 연료 구역(16)의 상단부(72) 및 연료 구역(16)의 하단부(74)에, 각각 서로 다른 방향으로 제공(예

컨대, 노출, 병진 이동, 삽입, 도입, 후퇴 등)하도록 구성되어 있다. 도 3에 화살표들로 나타내어진 바와 같이, 제1 중성자 조절 물질(52)은 아래쪽으로 제공되고, 제2 중성자 조절 물질(62)은 위쪽으로 제공된다. 일 실시형태에서, 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)을 연료 구역(16)의 실질적으로 서로 반대편에 있는 양단부에 축방향(70)을 따라 제공하도록, 배치되어 있거나 또는 다른 방식으로 구성되어 있다. 이에 따라, 연료 구역(16) 내에서의 플럭스 분포는, 연료 구역(16)의 상단부(16)를 향해 (예컨대, 종래의 제어 어셈블리를 포함하는 노심에 대하여, 제2 중성자 조절 물질로부터 멀어지게, 등) 상향 이동될 수 있다.

[0052] 도 2에 도시된 바와 같이, 예시적인 노심(12)은 안전 중성자 조절 물질(82)을 포함한다. 안전 중성자 조절 물질(82)은 연료 구역(16)에 대해 선택적으로 재배치 가능하다. 예로서, 안전 중성자 조절 물질(82)은 [예컨대, 연료 구역(16)으로부터 후퇴된, 연료 구역(16)으로부터 이격된, 등] 작동 위치와 [예컨대, 적어도 부분적으로 연료 구역(16)을 따라 배치된, 등] 운전 정지 위치의 사이에서 선택적으로 재배치 가능할 수 있다.

[0053] 도 2에서는, 움직이지 않거나, 수동 제어되거나, 또는 능동 제어될 수 있는 제어봉 또는 심 제어봉(84)을 포함하는 노심(12)이 도시되어 있다. 제어봉 또는 심 제어봉(84)은 출력 사이클 동안에 고정된 채로 유지될 수 있다. 제어봉 또는 심 제어봉(84)은 하나 이상의 센서를 포함할 수 있다. 다른 실시형태에서, 제어봉 또는 심 제어봉(84)은 하나 이상의 제1 반응성 제어 어셈블리(50)로 대체된다. 또 다른 실시형태에서, 노심(12)은 제어봉 또는 심 제어봉(84)을 포함하지 않는다.

[0054] 도 2에 도시된 실시형태에 따르면, 노심(12)은 센서(86)를 포함한다. 센서(86)는 감지 신호(예컨대, 데이터 등)를 제공하도록 구성될 수 있다. 일 실시형태에서, 센서(86)는 플럭스 모니터를 포함한다. 노심(12)이 제어봉 또는 심 제어봉(84)을 포함하든지 혹은 포함하지 않든지, 센서(86)는 노심(12) 내에서의 플럭스 분포에 관한 감지 신호를 제공하도록 구성될 수 있다. 예로서, 센서(86)는 축방향 플럭스 모니터를 포함할 수 있다. 축방향 플럭스 모니터는, 노심(12) 내에서의 플럭스 분포의 축방향 프로파일에 관한 감지 신호를 제공하도록 구성될 수 있다.

[0055] 또 도 2를 참조해 보면, 예시적인 노심(12)은 6개의 안전 중성자 조절 물질(82)을 포함한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 예시적인 노심(12)은 4개의 PIROD(84)를 포함한다. 노심(12)은 1개의 센서(86)를 포함할 수 있다. 다른 실시형태에서, 노심(12)은 서로 다른 수의 안전 중성자 조절 물질(82)을 포함한다. 노심(12)은 서로 다른 수의 PIROD(84)를 구비할 수 있다. 또 다른 실시형태에서, 노심(12)은 더 많거나 더 적은 센서(86)를 포함한다. 여러 다른 실시형태에 따르면, 적어도 하나의 안전 중성자 조절 물질(82)과 PIROD(84)는 노심(12) 내에 다른 방식으로 배치될 수 있다. 도 2에 도시된 바와 같이, 센서(86)는 노심(12) 내에 배치되어 있다. 센서(86)는 노심(12)의 여러 구성요소에 장착되거나, 부착되거나, 또는 다른 방식으로 결합될 수 있다. 다른 실시형태들에서, 센서(86)는 노심(12)에 대해 원거리에 배치되어 있다. 노심(12)에 대해 원거리에 배치된 센서(86)는 노심(12)의 하나 이상의 구성요소에 결합될 수 있거나, 또 다른 방식으로 지지될 수 있다.

[0056] 도 2~도 3에 도시된 실시형태에 따르면, 제1 중성자 조절 물질(52)은 제2 중성자 조절 물질(62)로부터 이격되어 있다. 예로서, 제1 중성자 조절 물질(52)은 연료 구역(16)의 반경방향(76)을 따라서 제2 중성자 조절 물질(62)로부터 이격될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 제1 중성자 조절 물질(52)은 연료 구역(16)의 방위각 방향(78)을 따라서 제2 중성자 조절 물질(62)로부터 이격될 수 있다. 또 다른 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질(52)은 제2 중성자 조절 물질(62)로부터 각도 방향으로 오프셋되어 있다. 도 2~도 3에 도시된 바와 같이, 제어 어셈블리는 서로에 대해 이격되어 있는 복수의 중성자 조절 물질을 포함한다. 다른 실시형태들에서, 적어도 하나의 제1 중성자 조절 물질(52)은 노심(12) 내에서 [예컨대, 축방향(70)을 따라, 반경방향(76)을 따라, 등] 적어도 하나의 제2 중성자 조절 물질(62)과 축방향으로 정렬되어 있다.

[0057] 일 실시형태에서, 노심(12)과 연료 구역(16)은 제1 횡방향 측(92)과 실질적으로 반대편에 있는 제2 횡방향 측(94)을 구비한다. 제1 중성자 조절 물질(52)은 연료 구역(16)의 제1 횡방향 측(92)에 배치될 수 있다. 제2 중성자 조절 물질(62)은 연료 구역(16)의 실질적으로 반대편에 있는 제2 횡방향 측(94)에 배치될 수 있다. 제1 중성자 조절 물질(52) 및/또는 제2 중성자 조절 물질(62)은 노심(12)에서 연료 구역(16)의 양측에 진입하도록 배치될 수 있다. 또한, 제1 중성자 조절 물질(52) 및/또는 제2 중성자 조절 물질(62)은 축방향 측(예컨대, "상향" 및/또는 "하향") 및/또는 반경방향 측에 있을 뿐만 아니라, 연료 구역(16)의 제1 횡방향 측(92) 및/또는 제2 횡방향 측(94)에 배치되어 있는, 연료 구역(16)에 들어갈 수 있다. 제1 중성자 조절 물질(52) 및 제2 중성자 조절 물질(62)은 연료 구역(16)에 전술한 구성들의 조합으로, 예를 들어 (이에 제한되는 것은 아님) 제1 중성자 조절 물질(52)은 노심(12)의 위에 "하향" 구성으로 배치되며 제2 중성자 조절 물질(62)은 반경방향으로 배치되

는 식으로, 들어갈 수 있고, 연료 구역(16)의 하단부(74)에 상대적으로 더 가깝게 배치된 반경방향 측으로부터 연료 구역(16)을 향해 병진 이동할 수 있다. 연료 구역(16)의 하단부(74)와 상단부(82) 사이에 임의의 상대 거리를 두고 있는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 배향(축방향, 반경방향, 횡방향 등)의 임의의 조합이 본원의 범위 내에 있는 것으로 이해되어야 한다.

[0058] 제1 반응성 제어 어셈블리(50)는, 제1 중성자 조절 물질(52)이 그 안에 배치되는 리셉터클을 포함할 수 있다. 제2 반응성 제어 어셈블리(60)는, 제2 중성자 조절 물질(62)이 그 안에 배치되는 리셉터클을 포함할 수 있다. 이들 리셉터클은 연료 어셈블리와 유사한 관형 본체를 포함할 수 있다. 도 3에 도시된 실시형태에 따르면, 제1 반응성 제어 어셈블리(50)는, 제1 중성자 조절 물질(52)이 그 안에 이동 가능하게 배치되는 제1 리셉터클(54)을 포함한다. 도 3에 도시된 바와 같이, 제2 반응성 제어 어셈블리(60)는, 제2 중성자 조절 물질(62)이 그 안에 이동 가능하게 배치되는 제2 리셉터클(64)을 포함한다. 제1 리셉터클(54)과 제2 리셉터클(64)은 연료 구역(16)의 적어도 일부분을 통과하여 연장된다.

[0059] 다른 실시형태들에서, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)은 제1 반응성 제어 어셈블리(50) 및 제2 반응성 제어 어셈블리(60) 모두와 연관되어 있는 공동의 리셉터클 내에 배치되어 있다. 중성자 조절 물질 구동 어셈블리(40)는, 일 실시형태에 따르면, 공동의 리셉터클 내에 그리고 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 사이에 배치된 기구(예컨대, 나사 기구, 액추에이터, 밀봉 유체 챔버 등)를 포함한다. 기구의 작동 또는 관여는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 상대 위치를 변동시킬 수 있다. 예로서, 제1 중성자 조절 물질(52)에 연결된 나사가 제2 중성자 조절 물질(62)에 연결된 너트에 (예컨대, 액추에이터 등과 함께) 나사 결합될 수 있고, 이에 따라 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 상대 위치를 변동시킬(예컨대, 두 중성자 조절 물질을 함께 끌어당기는 등) 수 있다. 중성자 조절 물질 구동 어셈블리(40)의 액추에이터는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)을 함께 승강시킬 수 있다.

[0060] 고증식률 반응로에서는, 우선적으로 연료가 플럭스 레벨이 상대적으로 높은 구역에서 증식된다. 따라서, 출력(출력 분포 및/또는 파의 출력 플럭스)이 발생되고 있는 구역들로서, 핵원료성 연료가 잉여 중성자에 의해 증식되는 구역들로 이어지는 구역들에 의해, 파가 획정된다. 증식은 주로 파보다 앞서 일어난다. 예로서, 중성자 조절 물질은 파의 제1측에 접근할 수 있다. 증식은 주로, 핵원료성 연료를 증식시키고 추가적인 출력 파에 대한 새로운 연료 위치를 생성하도록, 파의 실질적으로 반대편에 있는 제2측에서 일어날 수 있다. 이에 따라, 상기 연료 위치도 또한 파와 함께 이동한다. 출력은 플럭스 및 물성과 관련이 있다. 증식된 연료가 출력이 됨에 따라, 핵분열 반응로 내에서의 출력 분포가 또한 파 이동의 방향으로 진행할 수 있다.

[0061] 본원에 개시된 실시형태들에 따르면, 파의 움직임(즉, 출력파 등의, 파 이동, 파 스너핑 등)이 제어 가능하고, 핵분열 반응로(10)의 연료와 중성자 조절 물질 사이의 상대 이동으로 인하여 일어난다. 중성자 조절 물질을 노심에 도입함으로써 파의 중성자들이 흡수되거나 둔화되므로, 이들 중성자는 다른 원자를 핵분열시키거나 핵원료성 원자를 핵분열성 연료로 증식시킬 가능성이 적다. 이와 같은 중성자 조절 물질을 이용한 중성자에 대한 제어 및 반응에서, 중성자 조절 물질과 연료 사이의 상대 이동시, 파는 중성자 조절 물질로부터 멀리 이동한다. 중성자 조절 물질에 상대적으로 가까운 연료 내의 구역들은 플럭스 레벨이 감소되어 있어, 인접 핵원료성 물질 내서의 증식률을 떨어뜨린다. 이에 따라, 중성자 조절 물질과 연료 사이의 상대 이동시, 파는 중성자 조절 물질로부터 멀리 밀려나게 된다. 제1, 제2, 및/또는 추가적인 제어 어셈블리의 위치를, 축방향으로 그리고 반경방향으로 노심(1002)을 따라서 선택적으로 배치함으로써, 노심에 대한 축방향 및/또는 반경방향을 따라서 파 운동과, 파 이동 그리고 파 성형이 허용된다. 축방향 및/또는 반경방향을 따라서 파를 변경함으로써, 핵분열 반응로(10) 내에서의 중성자 플럭스 레벨의 위치 및 크기의 선택이 허용되고, 보다 구체적으로는 축방향 및/또는 반경방향으로 파를 성형함으로써, 소정 기간 동안 노심(1002)의 섹션에서의 플럭스의 총량(본원에서는 시간-적분 플럭스라고도 함)을 선택하는 것이 허용된다. 축방향으로 및/또는 반경방향으로 노심을 따라 서로 대치하는 제어 어셈블리를 배치함으로써, 노심(1002)을 따라서 제어 어셈블리의 분포가 증가되므로, 주어진 절대적 제어 가치값에 대하여 중성자 플럭스 형상의 범위가 증가될 수 있다. 예를 들어, 일정한 절대 제어 가치값은, "하향" 제어 어셈블리를 연료 구역(1004)에 고정 길이 삽입함으로써, 또는 대안적으로는 "하향" 제어 어셈블리를 연료 구역(1004)에 상기 고정 길이의 1/2 삽입하고 "상향" 제어 어셈블리를 연료 구역(1004)에 상기 고정 길이의 1/2 삽입함으로써, 달성될 수 있다. 상기한 두 구성 모두가 동일한 절대 제어 가치값을 가질 수 있지만, 상기한 두 구성간에 중성자 플럭스의 형상에 차이가 있고, 이에 따라 연료 구역의 시간-적분 플럭스가 보다 정확하게 제어될 수 있다. 다른 구현예에서, 제어 어셈블리는 핵분열성 물질을, 예를 들어 (이에 제한되는 것은 아님) 시스템의 시간-적분 중성자 플럭스를 유지하고 이에 따라 파의 이동을 정지시키도록, 독성 물질 또는 다

른 연료 제어 물질과 조합하여, 핵분열성 물질을 포함할 수 있다.

[0062] 중성자 조절 물질과 연료 구역 사이의 추가적인 상대 이동은 다시 파를 중성자 조절 물질로부터 밀어낸다. 본원에 개시된 재배치 수단은, 파를 하나 이상의 원하는 위치에 선택적으로 재배치하도록 하나 이상의 중성자 조절 물질을 이용한다. 상기 하나 이상의 원하는 위치는 시간에 따라, 출력 사이클에 따라, 또는 또 다른 인자들에 의거하여 다를 수 있다.

[0063] 핵분열 반응로의 작동 중에, 새로운 공급 어셈블리가 연료 재분포 프로세스의 일부로서 도입될 수 있다. 그 후에, 새로운 공급 어셈블리는 노심 내에서 파(예컨대, 정상파)를 따라 증식되고 출력이 된다. 예전에는, 핵분열 반응로의 반응성은, 중성자 조절 물질을 연료 구역의 위에서부터 연료 구역의 하단부를 향해 병진 이동시킴으로써 제어된다. 이러한 중성자 조절 물질의 병진 이동에 의해, 파가 아래쪽으로 밀려날 수 있다.

[0064] 예전에는, 핵분열 반응로의 반응성은, 중성자 조절 물질을 연료 구역에 더 병진 이동시킴으로써 제어된다. 파의 움직임은, 연료 구역 내에 축방향-비대칭 플럭스 분포를 야기할 수 있다. 축방향-비대칭 플럭스 분포는 우선적으로 공급 어셈블리의 하반부에서 새로운 연료를 증식시킨다. 예로서, 축방향-비대칭 플럭스 분포는 우선적으로 유입 공급 어셈블리의 하반부에서 새로운 연료를 증식시킬 수 있다. 공급 어셈블리가 출력이 됨에 따라, 공급 어셈블리의 플루토늄 분포 및 반응성이 연료 칼럼의 하반부에서 최고조에 달한다.

[0065] 예전에는, 노심의 출력을 제어하기 위해 중성자 조절 물질을 연료 구역에 더 제공하여, 다음 세대의 공급 어셈블리에 대한 플럭스 분포를 더 낮춘다. 이에 따라, 후속 세대의 공급 어셈블리에서의 플루토늄 분포는 더 낮게 기울어질 수 있다. 이러한 파의 움직임은 노심의 수명 주기 동안에 계속된다. 파가 노심의 하단으로 움직일 때, 플럭스 분포는 평형을 이루게 될 수 있다. 중성자 누출(예를 들어, 노심의 하단을 통과해 밖으로, 등)이 증가되어 추가적인 파의 움직임이 정지됨에 따라, 평형에 이르게 될 수 있다.

[0066] 도 4에 도시된 바와 같이, 파의 움직임으로 인해 노심의 출력 분포가 이동된다. 예시적인 출력 분포 도표(100)는 열 플럭스(예를 들어, 평방미터당 와트, 등)를 위치(예를 들어, 미터 단위로 측정된 높이, 등)에 대해 결부시키는 다양한 프로파일을 제공한다. 예시적인 출력 분포 도표(100)는, 수명 프로파일(110)의 초기로서 도시된 제1 출력 분포 프로파일과, 수명 프로파일(120)의 말기로서 도시된 제2 출력 분포 프로파일을 포함한다. 수명 프로파일(120)의 말기와 수명 프로파일(110)의 초기 사이의 차이는, 출력이 노심의 하단을 향해 이동하는 것을 입증한다. 이동된 파가 새로운 평형을 이루게 됨으로써, 연료 어셈블리의 중간-평면 아래에서 출력과 연소가 최고조에 달하게 된다. 이와 같이 출력과 연소가 최고조에 달하게 됨으로써, TWR에 대하여 요구되는 연소 및 원자 변위("DPA")가 크게 증가될 수 있을 뿐만 아니라 그리드 플레이트의 DPA가 현저히 증가될 수 있다.

[0067] 출원인은, 바람직하지 못한 파의 움직임의 문제를 확인하였고, "통제되는" 수치 해석 사례들을 실시함으로써 혁신적인 컴퓨터를 이용한 기법을 실행하였다. 예전에는, 노심의 수치 해석은 "통제되지 않은" 상태로 실시되었는데, 여기서는 모든 중성자 조절 물질이 후퇴된 위치로 모델링되며 중성자 산출에서의 핵분열 소스는 유효 중성자 증배 인자("Keff")에 의해 축소된다. 진행파의 움직임은 상기한 컴퓨터를 이용한 예전의 기법으로는 드러나지 않는다. 통제되는 수치 해석 사례들을 실행한 경우에, 출원인은 중성자 조절 물질의 활성화 깊이를 반복하였고 중성자 조절 물질의 위치를 분명하게 모델링하였다. 원자로를 통제되지 않은 사례와 통제되는 사례로 모델링한 경우, 출원인은, 연료 어셈블리의 연소가 29%에서 33%로 증대되고 DPA가 540 DPA에서 640 DPA로 증대되었음을 확인하였다. 출원인은, 본원에 개시된 제어 시스템이 또한 사이클 동안 반응성 스윙에 변화를 줄 수 있고, 이에 따라 출력 사이클 동안 방출물의 수가 줄어들며 연료의 체류 시간이 늘어난다고 고려한다.

[0068] 중성자 조절 물질의 가치는, 노심 내에서의 반응성을 감쇠 또는 제어하는 데 중성자 조절 물질이 유용하는 것과 관련이 있다. 중성자 조절 물질의 가치는 노심 내에서의 위치와 시간에 따라 다를 수 있다. 파의 움직임은 중성자 조절 물질의 가치의 절대값을 감소시킬 수 있다. 상기 가치의 절대값의 감소는, 중성자 조절 물질이 반응성을 감쇠 또는 제어하는 능력이 줄어드는 것을 의미한다. 중성자 조절 물질은 반응성을 감쇠 또는 제어하는 능력이 줄어들었기 때문에, 파의 움직임이 중성자 조절 물질의 가치의 절대값을 감소시킬 수 있고, 파의 움직임은 중성자 조절 물질의 덩어리로부터 더 멀리 떨어지게 이동된다.

[0069] 제어 어셈블리는 노심의 연료와 하나 이상의 중성자 조절 물질 사이의 상대 운동을 제공한다. 이러한 상대 운동은, 노심(12) 내에서의 파의 움직임을 규제하는 데 사용된다. 일 실시형태에서, 제어 어셈블리는 출력 사이클의 적어도 일부분 동안에 정지 상태로 유지되는 연료에 대해 하나 이상의 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치한다. 다른 실시형태에서, 제어 어셈블리는 출력 사이클의 적어도 일부분 동안에 정지 상태로 유지되는 하나 이상의 중성자 조절 물질에 대해 연료를 선택적으로 재배치한다. 또 다른 실시형태에서, 제어 어셈블리는

출력 사이클 동안에 연료와 하나 이상의 중성자 조절 물질 모두를 선택적으로 재배치한다. 예로서, 제어 어셈블리는 출력 사이클 동안에 연료와 하나 이상의 중성자 조절 물질 모두를 동시에 재배치할 수 있다. 다른 예로서, 제어 어셈블리는 출력 사이클 동안에 연료와 하나 이상의 중성자 조절 물질을 순차적으로 재배치할 수 있다.

[0070] 도 2~도 3과 도 5에 도시된 예시적인 실시형태에 따르면, 제어 어셈블리는 컨트롤러(200)를 포함한다. 중성자 조절 물질 구동 어셈블리(40)의 복수의 구동 기구(210)가 제1 중성자 조절 물질(52)에 연결되어 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 중성자 조절 물질 구동 어셈블리(40)의 복수의 구동 기구(210)가 제2 중성자 조절 물질(62)에 연결될 수 있다. 일 실시형태에 따르면, 복수의 구동 기구(210)의 작동은, 제1 중성자 조절 물질(52)의 위치를 변동시킨다. 또한, 복수의 구동 기구(210)의 작동은, 제2 중성자 조절 물질(62)의 위치를 변동시킬 수 있다.

[0071] 일 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 동일한 출력 사이클 동안에 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 위치를 변경하기 위해, 복수의 구동 기구(210)를 연계시킨다. 예로서, 컨트롤러(200)는, 제1 중성자 조절 물질(52)의 하나 이상의 어셈블리의 위치를 동시에 변경하기 위해, 복수의 구동 기구를 연계시킬 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 컨트롤러(200)는 제2 중성자 조절 물질(62)의 하나 이상의 어셈블리의 위치를 동시에 [서로에 대해 또는 제1 중성자 조절 물질(52)에 대해] 변경하기 위해, 복수의 구동 기구를 연계시킬 수 있다. 다른 예로서, 컨트롤러(200)는, 제1 중성자 조절 물질(52) 및/또는 제2 중성자 조절 물질(62)의 위치를, 서로에 대해 또는 다른 제1 및/또는 제2 중성자 조절 물질의 어셈블리에 대해, 순차적으로 변경하기 위해, 복수의 구동 기구를 연계시킬 수 있다. 이러한 동시적인 또는 순차적인 움직임은, 제1 중성자 조절 물질(52) 각각과 제2 중성자 조절 물질(62) 각각을 포함할 수 있다. 다른 실시형태에서, 상기 동시적인 또는 순차적인 움직임은, 제1 중성자 조절 물질(52)의 부분 집합을 이동시키는 것을 수반한다. 또 다른 실시형태에서, 상기 동시적인 또는 순차적인 움직임은, 제2 중성자 조절 물질(62)의 부분 집합을 이동시키는 것을 수반한다.

[0072] 다른 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 제1 출력 사이클 동안에 제1 중성자 조절 물질(52)의 위치를 변경하기 위해, 복수의 구동 기구(210)를 연계시킨다. 컨트롤러(200)는, 제1 출력 사이클 동안에 또는 이후에, 제1 중성자 조절 물질(52)을 차후에 제거하기 위해, 복수의 구동 기구(210)를 연계시킨다. 컨트롤러(200)는, 제2 출력 사이클 동안에 제2 중성자 조절 물질(62)의 위치를 후속 변경하기 위해, 복수의 구동 기구(210)를 연계시킬 수 있다. 다른 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 출력 사이클 동안에 적어도 하나의 제1 중성자 조절 물질(52)의 위치를 고정하도록 구성되어 있다. 다른 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 출력 사이클 동안에 적어도 하나의 제2 중성자 조절 물질(62)의 위치를 고정하도록 구성되어 있다. 컨트롤러(200)는, 출력 사이클 동안에 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62) 중 적어도 하나의 위치를 변경하기 위해, 복수의 구동 기구(210)를 연계시킬 수 있다.

[0073] 일 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)은 양자 모두, 출력 사이클의 초기에, 연료 구역(16)의 상단부(72)에 또는 그 위에 처음 배치된다. 예로서, 노심(12)은 이와 같이 "완전히 후퇴된" 상태 내에서 1.001의 목표 Keff를 가질 수 있다. 목표 Keff는, 예상치 못한 우발적인 풀림의 경우에 도입될 수 있는, 가치의 절대값을 감소시키면서, 시동을 용이하게 하도록, 마진을 제공할 수 있다.

[0074] 컨트롤러(200)는, 출력 사이클의 초기 단계에서 제2 중성자 조절 물질(62)을 연료 구역(16)의 하단부(74)에 있는 또는 그보다 아래에 있는 중간 위치로 하강시키도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시킬 수 있다. 반응성이 시동하기에는 불충분한 경우, 제2 중성자 조절 물질(62)을 노심(12)으로부터 제거하거나, 또는 재배치 수단에 의해 상기 중간 위치로 선택적으로 재배치할 수 있다. 종래의 하향 전용 제어 기법은, 제2 중성자 조절 물질(62)을 선택적으로 재배치하기에 충분한 잉여 반응성이 존재할 때까지만, 사용될 수 있다.

[0075] 컨트롤러(200)는, 제1 중성자 조절 물질(52)을 선택적으로 재배치하도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시킬 수 있다. 이에 따라, 일 실시형태에서는, 컨트롤러(200)가, 노심(12) 내에서의 반응성을 제어하도록, 제1 중성자 조절 물질(52)을 선택적으로 재배치한다. 예로서, 컨트롤러(200)는, 출력 사이클 동안에 종래의 방법 및 기준에 따라 반응성을 제어하도록, 제1 중성자 조절 물질(52)을 선택적으로 재배치할 수 있다. 컨트롤러(200)는, 제2 중성자 조절 물질(62)을 선택적으로 재배치하여 파를 이동시키도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시킬 수 있다. 예로서, 컨트롤러(200)는, 제2 중성자 조절 물질(62)을 상기 중간 위치에서부터 선택적으로 재배치하도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시킬 수 있다. 일 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 제2 중성자 조절 물질(62)을 선택적으로 재배치하여 (예를 들어, 본원에 개시된 독특한 방법 및 기준 등에 따라) 출력 사이클 동안에 노심(12) 내에서 바람직하지 못한 파의 움직임을 줄이

도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시킬 수 있다. 일 실시형태에서, 제2 중성자 조절 물질(62)의 움직임은, 상대적으로 짧은 기간(예를 들어, 수 시간, 수 일, 등)보다는 상대적으로 긴 기간 동안 (예를 들어, 수 주의 규모의 운동, 수 달의 규모의 운동, 등) 일어난다. 예로서, 제2 중성자 조절 물질(62)의 움직임은 점진적일 수 있고, 일주일에 수 센티미터 정도의 속도로 일어날 수 있다. 다른 예로서, 제2 중성자 조절 물질(62)의 움직임은 점진적일 수 있고, 한 달에 수 센티미터 정도의 속도로 일어날 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 제2 중성자 조절 물질(62)의 움직임은 점진적일 수 있고, 예전에 안전 제어 시스템과 관련이 있던 중성자 조절 물질의 신속한 작동(예를 들어, 시간당 수 미터 정도의 속도, 1일당 수 미터 정도의 속도, 등)에 비해 느릴 수 있다.

[0076] 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 움직임은 대칭 관계[예를 들어, 제1 중성자 조절 물질(52)이 10 ㎝ 하향 이동하고 제2 중성자 조절 물질(62)이 10 ㎝ 상향 이동하는 등]이거나, 또는 비대칭 관계[예를 들어, 제2 중성자 조절 물질(62)의 움직임이 제1 중성자 조절 물질(52)의 움직임과 동등하지 않게 (그리고 제1 중성자 조절 물질의 움직임보다 크거나 작지 않을 수 있게) 되는 등]일 수 있다. 일 실시형태에서, 컨트롤러(200)는 균등한 가치를 갖는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)을 대칭 관계로 이동시킨다. 다른 실시형태에서, 컨트롤러(200)는 서로 다른 가치를 갖는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)을 비대칭 관계로 이동시킨다. 예로서, 가치의 절대값이 큰 제2 중성자 조절 물질(62)은 덜 움직이게 되거나 보다 얕은 노출 깊이로 이동될 수 있는 데다가 파의 움직임의 바람직한 이동 또는 방지를 제공할 수 있다.

[0077] 컨트롤러(200)는, 적어도 하나의 구동 기구(210)를 연계시켜, 노심(12)의 연료 구역(16) 내에서의 플럭스 분포를 변경하도록 (예를 들어, 파의 움직임에 대해 교정하도록, 등) 구성되어 있다. 도 1과 관련하여 앞서 언급한 바와 같이, 제어봉 구동 어셈블리(40)는 하나 이상의 구동 기구를 포함할 수 있는데, 그 중의 한 예가 구동 기구(210)이다. 컨트롤러(200)는, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 움직임을 조정하도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시킬 수 있다. 일 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 제1 중성자 조절 물질(52)이 [예를 들어, 연료 구역(16)의 위로부터, 등] 연료 구역(16) 안으로 하강되고 제2 중성자 조절 물질(62)이 [예를 들어, 연료 구역(16)의 아래로부터, 등] 연료 구역(16) 안으로 상승되도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시킬 수 있다. 다른 실시형태들에서, 컨트롤러(200)는, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)이 서로에 대해 선택적으로 재배치되고 실질적으로 서로 반대 방향으로 진행하도록[예를 들어, 노심(12)의 정상 작동 중에 연료 구역(16)을 실질적으로 서로 반대 방향으로 통과해 이동하도록, 등], 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시킬 수 있다. 또 다른 실시형태들에서, 컨트롤러(200)는, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)이 서로 조정되고 노심(12)의 연료 구역(16)을 "협지"하도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시킬 수 있다.

[0078] 도 5에서, 복수의 구동 기구(210)는 입력/출력 인터페이스(220)에서 컨트롤러(200)에 연결되어 있다. 도 5에 도시된 실시형태에 따르면, 센서(86)는 입력/출력 인터페이스(230)에서 컨트롤러(200)에 연결되어 있다. 컨트롤러(200)는, 또 다른 구성요소의 작동을 제어하는 명령 신호를 송신하고, 및/또는 상기 또 다른 구성요소로부터 데이터 신호를 수신하도록, 상기 또 다른 구성요소에 연결될 수 있다.

[0079] 도 5에서, 제어 어셈블리는 3개의 구동 기구(210)를 포함한다. 다른 실시형태에서는, 단일 구동 기구(210)가 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)에 연결되어 있어, 단일 구동 기구(210)의 작동을 통해, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 위치가 변경된다. 또 다른 실시형태에서, 제어 어셈블리는, 제1 중성자 조절 물질(52) 및/또는 제2 중성자 조절 물질(62)을 서로에 대해 또는 다른 제1 중성자 조절 물질(52) 및/또는 제2 중성자 조절 물질(62)에 대해 대칭 관계 및/또는 비대칭 관계로 이동시키기에 적합한 대로, 더 많거나 더 적은 구동 기구(210)를 포함한다.

[0080] 컨트롤러(200)는, 범용 프로세서, 주문형 집적 회로(ASIC), 하나 이상의 필드 프로그래머블 게이트 어레이(FPGA), 디지털 신호 프로세서(DSP), 하나 이상의 처리 컴포넌트를 포함하는 회로, 마이크로 프로세서를 지원하는 회로, 처리 컴포넌트들의 그룹, 또는 그 밖의 적절한 전자 처리 컴포넌트로서 실시될 수 있다. 도 5에 도시된 실시형태에 따르면, 컨트롤러(200)는 처리 회로(202)와 메모리(204)를 포함한다. 처리 회로는, ASIC, 하나 이상의 FPGA, DSP, 하나 이상의 처리 컴포넌트를 포함하는 회로, 마이크로 프로세서를 지원하는 회로, 처리 컴포넌트들의 그룹, 또는 그 밖의 적절한 전자 처리 컴포넌트를 포함할 수 있다.

[0081] 몇몇 실시형태에서, 처리 회로(202)는 메모리(204)에 저장된 컴퓨터 코드를 실행하여 본원에 기술된 움직임들을 가능하게 하도록 구성되어 있다. 메모리(204)는 본원에 기술된 움직임들에 관한 데이터 또는 컴퓨터 코드를 저

장할 수 있는 임의의 휘발성 또는 비휘발성 컴퓨터 판독 가능 저장 매체일 수 있다. 일 실시형태에서, 메모리(204)는 처리 회로(202)에 의한 실행을 위해 구성된 컴퓨터 코드 모듈(예컨대, 실행 코드, 목적 코드, 원시 코드, 스크립트 코드, 기계 코드, 등)을 갖는다. 몇몇 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 처리 장치의 집합(예를 들어, 서버, 데이터 센터 등)을 나타낸다. 이러한 경우에, 처리 회로(202)는 처리 장치의 집합 프로세서를 나타내고, 메모리(204)는 처리 장치의 집합 저장 장치를 나타낸다.

[0082] 일 실시형태에 따르면, 컨트롤러(200)는 연료 구역(16)과 연관된 목표 플럭스 분포에 기초하여 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 작동시키도록 구성되어 있다. 일 실시형태에서, 목표 플럭스 분포는 연료 구역(16)의 축방향 중간 지점에 중심을 두고 있다. 목표 플럭스 분포는, 연료 구역(16)에 대한 소기(所期)의 플럭스 분포를 포함할 수 있다. 예로서, 목표 플럭스 분포는, 적어도 하나의 축방향, 반경방향, 방위각 방향 변화를 갖는 소기의 플럭스 분포를 가질 수 있다. 다른 예로서, 목표 플럭스 분포는, 연료 구역(16)을 따라 있는 복수의 축방향 위치와 연관된 복수의 플럭스 값을 가질 수 있다. 정해진 기간 동안의 소기의 플럭스 분포는 소기의 형상(예컨대, 파워 로브, 파형 프로파일 등)을 가질 수 있다. 다른 실시형태들에서, 정해진 기간 동안의 소기의 플럭스 분포는 (예를 들어, 나선형의 파의 움직임을 제공하도록, 등) 하나 이상의 소기의 각도 방향 플럭스 경사도를 포함한다. 다른 실시형태에 따르면, 컨트롤러(200)는 목표 전력 생산에 기초하여 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 작동시키도록 구성되어 있다. 목표 전력 생산은, 연료 구역(16)에서 모델링되거나 감지된 플럭스의 양에 따른 목표 플럭스 분포와 연관될 수 있다.

[0083] 다른 실시형태에서, 목표 플럭스 분포는, 연료 구역(16)에 대한 소기의 출력 분포를 포함한다. 예로서, 목표 플럭스 분포는, 적어도 하나의 축방향, 반경방향, 방위각 방향 변화를 갖는 소기의 플럭스 분포를 포함할 수 있다. 또 다른 실시형태에서, 목표 플럭스 분포는, 연료 구역(16)에 대한 소기의 온도 분포를 포함한다. 또 다른 실시형태에서, 목표 플럭스 분포는, 연료 구역(16)의 중간-평면을 따라 배치된 최대 연소 위치를 포함한다. 다른 실시형태에서, 목표 플럭스 분포는, 노심(12) 내에서 사이클 마다, 위치(예를 들어, 축방향, 반경방향 위치, 등) 마다, 목표 연소를 달성할 수 있게 하는 플럭스 값의 조합을 포함한다.

[0084] 목표 플럭스 분포는, 노심(12)과 연관된 출력 사이클 동안에 고정된 채로 유지될 수 있다. 다른 실시형태들에서, 목표 플럭스 분포는 출력 사이클 동안에 달라진다. 예로서, 목표 플럭스 분포는 시간에 따라 달라질 수 있다. 다른 예로서, 목표 플럭스 분포는 연료 성능 특성에 따라 달라질 수 있다. 또 다른 예로서, 목표 플럭스 분포는 연료 구역(16) 내의 하나 이상의 조건에 따라 달라질 수 있다. 목표 플럭스 분포는 컨트롤러(200)의 메모리(204) 내에 저장될 수 있다.

[0085] 컨트롤러(200)는, 플럭스 분포[예를 들어, 연료 구역(16) 내의 현재 플럭스 분포, 등]와 목표 플럭스 분포 사이의 편차를 평가하도록 구성될 수 있다. 일 실시형태에서, 센서(86)는 출력 스캔을 수행하고 연료 구역(16) 내에서의 플럭스 분포에 관한 데이터를 컨트롤러(200)에 제공하도록 구성되어 있다. 센서(86)는 연료 구역(16) 내의 중성자 플럭스를 직접적으로 측정하도록 중성자 플럭스 센서를 포함할 수 있다. 다른 구현예에서, 센서(86)는, 예를 들어 연료 구역(16)의 또는 그 부근의 온도를 측정하는 것 등에 의해, 연료 구역 내의 중성자 플럭스를 간접적으로 측정한다. 직접적인 또는 간접적인 중성자 플럭스 측정을 소정 기간 동안 샘플링하여 해당 기간 동안의 평균 또는 전체 중성자 플럭스를 나타낼 수 있다. 컨트롤러(200)는 시간의 경과에 따른 연료 구역(16)에서의 중성자 플럭스의 예측을 생성할 수 있는데, 이 예측은 센서(86)로부터의 측정 데이터 및/또는 모델 데이터로 보충될 수 있다. 원자로 모델은, 연료 구역(16)과 연관된 기지의 양들, 예를 들어 초기의 연료 및 제어 조건, 경과 연소 시간, 연료 교체의 시기와 양, 이전 제어 어셈블리 구성, 및 중성자 플럭스를 좌우하는 그 밖의 인자 (이에 제한되는 것은 아님) 등에 기초하여, 모델 데이터를 출력할 수 있다. 연료 구역(16)의 플럭스 분포는 상기 예측에 기초하여 컨트롤러(200)에 의해 결정될 수 있다. 컨트롤러(200)는, 임계 범위를 넘어서는 플럭스 분포와 목표 플럭스 분포 사이의 편차(예를 들어, 0%보다 큰 편차, 불감대 범위의 밖에 있는 편차, 임계치를 넘어서는 편차, 등)에 대응하여, [예를 들어, 제2 중성자 조절 물질(62)의 위치를 변경하기 위해, 제1 중성자 조절 물질(52)의 위치를 변경하기 위해, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62) 양자 모두의 위치를 변경하기 위해, 등] 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 작동시키도록 구성될 수 있다. 다른 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 상기 편차에 따라 [예를 들어, 제2 중성자 조절 물질(62)의 위치를 변경하기 위해, 등] 복수의 구동 기구(210)를 작동시키도록 구성되어 있다.

[0086] 도 6은 본원에 기술된 구현예에 따른, 노심의 연료 구역에 삽입된 연료봉 어셈블리의 "연소"를 보여주는 도표(600)이다. 연료봉 상의 지점에서의 "연소"는, 연료봉의 듀티 사이클 동안에 연료 구역 내에서 연료봉 상의 해당 지점이 경험한 중성자 플럭스의 양과 관련이 있다. 통상적으로, 연료봉의 일부분은, 해당 일부분이 연료봉과 연관된 물질 변형률 파라미터를 초과하기 전에 얼마만큼의 중성자 플럭스를 견딜 수 있는가에 관하여 제한될

수 있다. 일단 연료봉의 일부분에 대한 물질 변형률 파라미터가 충족되거나 초과되면, 연료봉의 기계적 고장을 방지하기 위해, 연료봉을 연료 구역으로부터 후퇴시킬 필요가 있을 수 있다. 연료 구역에서의 중성자 플럭스가 연료 구역에 배치된 연료봉의 다른 영역들보다 어느 한 부분에 더 집중되는 경우, 집중된 플럭스에 노출된 연료봉의 해당 부분이 연료봉의 다른 부분들보다 더 빠르게 "연소"될 가능성이 있다. 따라서, 연료봉의 나머지 부분이 그 연소 한계에 도달하여 연료를 낭비하게 되기 전에, 연료봉을 고(高)연소에 기인하여 후퇴시킬 필요가 있을 수 있다. 본원에 기술된 구현예들에 따르면, 제1 이동식 제어 어셈블리와 제2 이동식 제어 어셈블리는, 연료봉의 축방향 길이를 따라서 시간-적분 플럭스를 균등화하는 형상으로, 연료 구역 내에서의 중성자 플럭스를 형성하도록 조정될 수 있다. 연료봉의 축방향 길이를 따라서 중성자 플럭스를 균등화함으로써, 연소 효과가 보다 균일하게 분포되며, 연소 실패의 위험 때문에 연소봉을 후퇴할 필요가 있기 전에, 연소봉의 가용 연료를 보다 더 소비하는 것이 허용된다. 이로써, 노심 내에서의 연료의 수명이 증대되고, 연료를 노심의 안으로 그리고 밖으로 이동시키는 데 필요한 정지 시간이 줄어들며, 연료 낭비가 감소된다. 어느 한 구현예에서는, 연료봉의 양단부를 보다 더 연소할 수 있게 하도록, 그리고 연료봉의 연소 한계를 넘어서는 일 없이, 가용 연료를 보다 더 사용하도록, 중성자 플럭스가 소정 기간 동안 연료봉의 근위 단부를 향해 일시적으로 이동된 후, 대응 기간 동안 연료봉의 원위 단부를 향해 이동될 수 있다.

[0087] 도표(600)는, 위치[연료 블록 번호, 연료 구역의 하측 경계에 대해 측정된 높이(미터 단위) 등]에 대한 연료 연소를, 예를 들어 중금속 원자당 핵분열 비율 등을 표시한다. 도표(600)는, 본원에 개시된 바와 같은 제1 및 제2 이동식 제어 어셈블리가 없는 연료 구역 내의 연료봉에 있어서의 참조 연소 분포(602)를 보여준다. 도표(600)는 또한, 참조 연소 분포(602)에 대하여 차이를 보여주는 제2 연소 분포(604)를 표시하여, 본원에 개시된 제1 및 제2 이동식 제어 어셈블리 때문에, 특히 연료봉의 근위 단부 및 원위 단부 부근에서, 연소의 분포가 더 균등해지는 것을 나타낸다. 몇몇 구현예에서는, 참조 연소 분포(602)에 따른 연소의 총량이, 본원에 개시된 제1 및 제2 이동식 제어 어셈블리에 기인하는 연소(604)의 총량과 동일하여, 중성자 플럭스의 총량이 변하지 않는 점을 반영한다. 다른 구현예에서는, 제2 연소 분포(604)의 더 균등한 분포로 인해, 연료봉을 제거하여야만 하기 전에, 연료봉의 연소 한계를 회피하여, 연료를 보다 많이 연소함으로써, 연료 효율의 향상이 허용되기 때문에, 제2 연소 분포(604)에서의 연소의 총량이 참조 연소 분포(602)에서의 연소의 총량보다 크다.

[0088] 일 실시형태에 따르면, 컨트롤러(200)는, 하나 이상의 제1 중성자 조절 물질(52)을 선택적으로 재배치하기 위하여, 적어도 하나의 구동 기구(210)를 연계시키도록 구성되어 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 컨트롤러(200)는, 하나 이상의 제2 중성자 조절 물질(62)을 서로에 대해 또는 하나 이상의 제1 중성자 조절 물질(52)에 대해 대칭 관계 또는 비대칭 관계로 선택적으로 재배치하기 위하여, 적어도 하나의 구동 기구(210)를 연계시키도록 구성될 수 있다. 예로서, 제1 중성자 조절 물질(52)은, 반응성을 제어하기 위해 연료 구역(16) 안으로 제1 집합으로서 하향 이동될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 제2 중성자 조절 물질(62)은, 바람직하지 못한 파의 움직임이 널리 퍼지는 것을 줄이기 위해 연료 구역(16) 안으로 제2 집합으로서 상향 이동될 수 있다. 다른 실시형태에 따르면, 컨트롤러(200)는, 제1 중성자 조절 물질(52)의 부분 집합을 나머지 제1 중성자 조절 물질(52)과는 별도로 이동시키기 위해 적어도 하나의 구동 기구(210)를 연계시키도록 구성되어 있다. 또 다른 실시형태에 따르면, 컨트롤러(200)는, 제2 중성자 조절 물질(62)의 부분 집합을 나머지 제2 중성자 조절 물질(62)과는 별도로 이동시키기 위해 적어도 하나의 구동 기구(210)를 연계시키도록 구성되어 있다. 이에 따라, 컨트롤러(200)는, 적어도 하나의 축방향, 반경방향, 방위각 방향 변화를 갖는 목표 플럭스 분포에 기초하여, 연료 구역(16) 내에서의 플럭스 분포를 제어하도록 구성될 수 있다. 일 실시형태에서, 컨트롤러(200)는 연료 구역(16) 내에서의 플럭스 분포를 연속적으로 제어한다. 예로서, 컨트롤러(200)는 시간 면에서 균일하게 또는 불균일하게 [예를 들어, 연속적으로, 하나 이상의 미리 정해놓은 시간 간격을 두고 반복적으로, 플럭스 분포 또는 연료 구역(16)과 연관된 다른 조건에 기초하여 달라지는 시간 간격을 두고 반복적으로, 등] 제2 중성자 조절 물질(62)을 점증적으로 활성화시킬 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 컨트롤러(200)는 공간 면에서 균일하게 또는 불균일하게 [예를 들어, 연속적으로, 하나 이상의 미리 정해놓은 움직임을 두고 반복적으로, 플럭스 분포 또는 연료 구역(16)과 연관된 다른 조건에 기초하여 달라지는 움직임을 두고 반복적으로, 등] 제2 중성자 조절 물질(62)을 점증적으로 활성화시킬 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 컨트롤러(200)는, 제2 중성자 조절 물질(62)의 활성화에 대하여 시간 또는 공간 면에서 대칭적 또는 비대칭적 관계로, 제1 중성자 조절 물질(52)을 점증적으로 활성화시킬 수 있다.

[0089] 이에 따라, 연료 구역(16) 내에서의 파의 움직임이 제어 어셈블리에 의해 규제될 수 있다. 일 실시형태에서, 제어 어셈블리는 목표 플럭스 분포를 제공하도록 파의 움직임을 규제한다. 예로서, 목표 플럭스 분포는 소기의 플럭스 분포를 포함할 수 있다. 상기 소기의 플럭스 분포는 여러 시간들에 대하여 하나 이상의 위치에서 소기

의 플럭스를 가질 수 있다.

[0090] 일 실시형태에서, 제어 어셈블리는, 노심 내의 플럭스가 소기의 연소를 초래하도록, 파의 움직임을 제어한다. 파의 움직임은 복수의 방향[예를 들어, 하나 이상의 방향, 상하, 좌우, 등]으로 이동될 수 있다. 파의 움직임을 복수의 방향으로 이동시킴으로써, 플럭스는 시간의 경과에 따라 이동될 수 있다. 플럭스를 시간의 경과에 따라 이동시킴으로써, 피크 연소의 분포가 제어 어셈블리에 의해 가능해질 수 있다. 일 실시형태에서, 제어 어셈블리는, 연료의 구역에 걸쳐서 (예를 들어, 연료의 체적에 걸쳐서, 연료의 길이를 따라서, 등) 피크 연소를 분포시키도록, 시간의 경과에 따라 플럭스를 이동시킨다. 예로서, 컨트롤러(200)는, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)을 선택적으로 재배치하기 위하여, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시키는 것에 의해, 연료 어셈블리 상에서 플럭스를 스위핑하고 연소를 안내하도록 구성될 수 있다.

[0091] 또 다른 실시형태에서, 제어 어셈블리는, 노심 내에 하나 이상의 소기의 온도를 제공하도록, 파의 움직임을 규제한다. 상기 소기의 온도는 노심 내에서의 위치에 따라 다를 수 있다. 상기 소기의 온도는 시간에 따라 다를 수 있고, 이에 따라 하나 이상의 출력 사이클 동안에 변화할 수 있다. 또 다른 실시형태에서, 제어 어셈블리는, 소기의 플럭스 분포, 소기의 연소, 및 하나 이상의 소기의 온도 중의 적어도 둘의 조합을 노심(12) 내에 제공하도록, 파의 움직임을 규제한다.

[0092] 또 다른 실시형태에서, 목표 플럭스 분포는, 파를 하나 이상의 방향을 따라 이동시키는 플럭스 분포와 관련이 있다. 예로서, 노심(12)의 축방향(70)을 따라서의 파의 움직임의 이동을 제공하도록, 파의 움직임이 규제될 수 있다. 다른 예로서, 반경방향(76)을 따라서의 파의 움직임의 이동을 제공하도록, 파의 움직임이 규제될 수 있다. 또 다른 예로서, 방위각 방향(78)을 따라서의 파의 움직임의 이동을 제공하도록, 파의 움직임이 규제될 수 있다. 또 다른 실시형태에서는, 노심 내에서의 출력 프로파일 및 증식 프로파일이 축방향 및 반경방향에 있어서 선택적으로 균형을 이루게 된다.

[0093] 일 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 연료 구역(16)의 중앙 구역 내에 위치해 있는 제1 중성자 조절 물질(52) 및/또는 제2 중성자 조절 물질(62)을 처음 선택적으로 재배치하기 위해, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시키도록 구성되어 있다. 이에 따라, 상기한 연계는 플럭스 분포 또는 출력 프로파일을 바깥쪽으로 밀어내어 실질적으로 환형이 되게 할 수 있다. 다른 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 연료 구역(16)의 주변부 쪽으로 배치되어 있는 제1 중성자 조절 물질(52) 및 제2 중성자 조절 물질(62)을 처음 선택적으로 재배치하기 위해, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시키도록 구성되어 있다. 이에 따라, 상기한 연계는 플럭스 분포 또는 출력 프로파일을 안쪽으로 밀고 반경방향으로 로브형의 출력 분포를 생성한다. 일 실시형태에서는, 플럭스 분포와 출력 프로파일을 안쪽으로 미는 것에 의해, 연소가 증대된다.

[0094] 또 다른 실시형태에서, 컨트롤러(200)는, 안쪽에 [예를 들어, 연료 구역(16)의 중간 대역을 따라, 중성자 조절 물질의 중앙 집합과 중성자 조절 물질의 주변 집합의 사이에, 등] 배치되어 있는 제1 중성자 조절 물질(52) 및 제2 중성자 조절 물질(62)을 선택적으로 재배치하기 위해, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 연계시키도록 구성되어 있다. 이에 따라, 상기한 연계는 주요 방위각 로브를 갖는 외측 3-로브형 출력 분포를 제공할 수 있다.

[0095] 일 실시형태에서, 플럭스 분포는 출력 사이클 동안에 실질적으로 환형으로 유지된다. 이와 같은 실질적으로 환형인 플럭스 분포는, 컨트롤러(200)에 의해 조정되는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 제어를 통해 유지될 수 있다. 예로서, 컨트롤러(200)는 연료 구역(16)의 상단부(72)로부터 진행하도록 제1 중성자 조절 물질(52)을 제어할 수 있다. 또한, 컨트롤러(200)는 연료 구역(16)의 하단부(74)로부터 진행하도록 제2 중성자 조절 물질(62)을 제어할 수 있다.

[0096] 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)의 운동은 1/3 코어 대칭 관계[예를 들어, 제1 중성자 조절 물질(52)의 30 ㎝ 하향 이동이 제2 중성자 조절 물질(62)의 10 ㎝ 상향 이동과 매칭될 수 있고, 제1 중성자 조절 물질(52)의 10 ㎝ 하향 이동이 제2 중성자 조절 물질(62)의 30 ㎝ 상향 이동과 매칭될 수 있는, 등]일 수 있다. 이러한 운동은, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)에 의해 드리워지는 상대적으로 긴 중성자 섀도우를 고려해 볼 때, 매우 중요할 수 있다. 일 실시형태에서는, (예를 들어, 단일의 연료 어셈블리에서의 전력 생산이 출력 사이클 동안 거의 일정하게 유지되도록, 등) 출력 사이클 동안 단일의 연료 어셈블리의 전력 생산을 안정화하도록, 제어 어셈블리가 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)을 (예를 들어, 시간 및/또는 위치 등에 대하여, 번갈아 나오게 만들 수 있거나, 두 중성자 조절 물질의 움직임을 연관시키고, 조정하는 등) 뒤섞을 수 있다.

[0097] 몇몇 실시형태에서, 노심(12)의 제어 어셈블리는, 복수의 구동 어셈블리(210) 중 적어도 하나에 연결된 제3 중성자 조절 물질을 갖는 제3 반응성 제어 어셈블리를 포함한다. 컨트롤러(200)는, 제3 중성자 조절 물질을 제1 중성자 조절 물질(52)과 관련된 움직임의 방향으로 [예를 들어, 연료 구역(16)의 상단부(72)에 또는 그 위에 있는 초기 위치로부터 연료 구역(16) 안으로 하향] 이동시키도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 선택적으로 연계시킬 수 있다. 제3 중성자 조절 물질은 제1 중성자 조절 물질(52) 및/또는 제2 중성자 조절 물질(62)과 [예를 들어, 길이 면에서, 폭 면에서, 형상 면에서, 조성 면에서, 등] 동일하거나 다를 수 있다. 컨트롤러(200)는, 연료 구역(16)에 대한 목표 플럭스 분포에 기초하여 제3 중성자 조절 물질을 이동시키도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 선택적으로 연계시킬 수 있다. 제3 중성자 조절 물질을 갖는 제어 어셈블리가 연료 구역(16) 내의 플럭스 분포를 차등적으로 제어할 수 있다. 예로서, 컨트롤러(200)는, 적어도 하나의 제1 중성자 조절 물질(52)을 후퇴시키는 대신에 제3 중성자 조절 물질을 축방향(70)을 따라 연료 구역(16)의 안으로 선택적으로 재배치하도록, 복수의 구동 기구(210) 중의 적어도 하나를 선택적으로 연계시킬 수 있다. 또 다른 실시형태에 따르면, 연료 구역(16)의 상단부(72)를 향해 플럭스를 이동시키기 위해, 고정 중성자 조절 물질이 배치된다. 여러 실시형태들에 따르면, 고정 중성자 조절 물질은 제어 위치들에 배치되거나 또는 연료 구역(16)의 하단부(74)에 가연성의 독성 물질로서 배치될 수 있다.

[0098] 일 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질(52)은 모두 동일하다. 일 실시형태에서, 제2 중성자 조절 물질(62)은 모두 동일하다. 제1 중성자 조절 물질(52)은 제2 중성자 조절 물질(62)과 동일할 수 있다. 다른 실시형태들에서, 제1 중성자 조절 물질(52) 중의 적어도 하나는 다른 제1 중성자 조절 물질(52) 및 제2 중성자 조절 물질(62) 중의 적어도 하나와 다르다. 예로서, 제1 중성자 조절 물질(52) 중의 적어도 하나는 다른 제1 중성자 조절 물질(52) 또는 제2 중성자 조절 물질(62)과는 다른 길이, 폭, 형상, 조성, 및/또는 그 밖의 특징을 가질 수 있다. 작동과 작동으로 인해 달성된 결과는, 제1 중성자 조절 물질(52)이 제2 중성자 조절 물질(62)과 유사한 실시형태에서도, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)이 구별될 수 있다.

[0099] 일 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)은 양자 모두 고체 물질을 포함한다. 예로서, 노심(12)의 작동 중에, 그 물질들이 고체 상태로 유지될 수 있다. 일 실시형태에서, 적어도 하나의 제1 중성자 조절 물질(52)은 농축 붕소를 포함한다. 다른 실시형태에서, 적어도 하나의 제2 중성자 조절 물질(62)은 농축 붕소를 포함한다.

[0100] 다른 실시형태에 따르면, 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62) 중의 적어도 하나는 액체를 포함한다. 예로서, 상기 액체는 액체 독성 물질을 포함할 수 있다. 다른 예로서, 상기 액체는 중성자의 속도를 감소시키는 액체 물 또는 다른 물질을 포함할 수 있다.

[0101] 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62) 중의 적어도 하나가 액체를 포함하는 실시형태들에서, 구동 기구(210)는 이들 물질의 위치를 변경하도록 구성된 펌프를 포함할 수 있다. 다른 실시형태에서, 상기 액체는 모세관 작용을 이용하여 선택적으로 재배치될 수 있다. 또 다른 실시형태에서, 상기 액체는 상기 액체를 선택적으로 재배치하도록 배치된 탄성 부재와 연통 관계이다. 예로서, 상기 액체는 통로 내에 배치될 수 있다. 가스 스프링 또는 다른 탄성 부재가 상기 액체와 연통 관계일 수 있다. 상기 액체를 선택적으로 재배치하도록, 상기 가스 스프링의 압력을 변경할 수 있다. 일 실시형태에서, 상기 통로는 상단부(72)에서부터 연료 구역(16)을 지나 하단부(74)로 연장된다. 다른 실시형태에서, 상기 통로는 연료 구역(16)을 반경방향으로 통과해 연장되는 구성, 연료 구역(16)의 적어도 일부분의 주위에서 둘레방향으로 연장되는 구성, 축방향으로 연료 구역(16)의 길이를 따라 연장되는 구성 중의 적어도 하나를 갖는다. 상기 통로는, 액체 중성자 조절 물질을 연료 구역(16)의 여러 부분을 통과해 그 안으로 보내도록 다양한 형상을 가질 수 있다. 이러한 통로를 통해, 컨트롤러(200)에 의한 파의 움직임의 소기의 제어가 용이해질 수 있다.

[0102] 컨트롤러(200)는 구동 기구(210)를 연계시키고 가스 스프링 내의 유체의 압력을 선택적으로 변경하거나 또는 다른 방식으로 탄성 부재를 작동시킬 수 있다. 이러한 작동은 액체의 위치를 변경시킬 수 있다. 이러한 구동 기구(210)는 기압계와 유사하게 작동할 수 있다. 다른 실시형태들에서, 제어 어셈블리는, 본원에 개시된 프로파일 및 전략에 따라 액체 중성자 조절 물질을 선택적으로 재배치하기 위한 구성요소들의 다른 물리적 배열을 포함한다.

[0103] 도 3에 도시된 실시형태에 따르면, 제1 중성자 조절 물질(52)은 제1 길이를 갖고, 제2 중성자 조절 물질(62)은 제2 길이를 갖는다. 일 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질(52)의 길이는 제2 중성자 조절 물질(62)의 길이와 다르다. 예로서, 제2 중성자 조절 물질(62)이 제1 중성자 조절 물질(52)보다 짧도록, 상기 제1 길이가 상기 제2 길이보다 클 수 있다. 폭, 조성 등을 비롯한, 제1 및 제2 중성자 조절 물질(52, 62)의 그 밖의 측정치 및 특

성은, 동일하거나, 서로 다르거나, 또는 적절하게 균등화될 수 있다.

[0104] 도 7에 도시된 바와 같이, 예시적인 가치 도표(400)는 반응성의 가치(예를 들어, 센트 단위, 등)를 위치(예를 들어, 미터 단위로 측정, 등)에 대해 결부시키는 다양한 프로파일을 제공한다. 예시적인 가치 도표(400)는, 제1 가치 프로파일(410)과 제2 가치 프로파일(420)을 포함한다. 일 실시형태에서, 제1 가치 프로파일(410)은 제1 중성자 조절 물질(52)과 연관된 가치 프로파일을 예시한다. 제2 가치 프로파일(420)은 제2 중성자 조절 물질(62)과 연관된 가치 프로파일을 예시할 수 있다. 예로서, 제1 중성자 조절 물질(52)이 더 긴 길이를 가질 수 있고, 경우에 따라서는 제2 중성자 조절 물질(62)의 길이의 거의 1.5배 내지 2배일 수 있다. 예를 들어, 제1 중성자 조절 물질(52)은 1.7 미터의 길이를 가질 수 있고, 제2 중성자 조절 물질(62)은 1.0 미터의 길이를 가질 수 있다. 이러한 길이(예를 들어, 공통의 조성 및 그 밖의 치수 측정치를 갖는, 등)를 갖는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)은 각각 제1 가치 프로파일(410)과 제2 가지 프로파일(420)을 가질 수 있다. 더 긴 중성자 조절 물질은, 노심(12) 내에서의 증식 및 연소와 연관된 파와 서로 접하거나 정렬된 상태로 유지되도록 보다 쉽게 제어될 수 있다. 더 짧은 중성자 조절 물질은, 파를 향해, 파를 통과하여, 그리고 파로부터 멀어지게 이동할 수 있다. 일 실시형태에서, 중성자 조절 물질의 길이는, 하나 이상의 선택된 시간에 소기의 가치를 제공하도록 선택된다.

[0105] 도 7에 도시된 바와 같이, 더 긴 길이를 갖는 제1 중성자 조절 물질(52)은, 연료 구역(16)의 안으로 선택적으로 재배치될 때 증가되는, 가치의 절대값을 갖는다. 제1 중성자 조절 물질(52)은, 일단 SCRAM 위치에 도달하면, 값(412)에서 거의 일정하게 유지되는 가치를 갖는다. 가치의 절대값의 감소는, 중성자 조절 물질이 반응성을 감쇠 또는 제어하는 능력이 줄어드는 것을 의미한다. 상대적으로 더 짧은 길이를 갖는 제2 중성자 조절 물질(62)은, 초기 활성화시 절대값이 증가되는 가치를 갖는다. 이때, 제2 중성자 조절 물질의 가치의 절대값은, 최대 가치 값(422)(즉, 가치의 최대 절대값, 등)에 도달한 후 감소된다. 제2 가치 프로파일(420)은 뚜렷한 "U자 형상"을 갖는데, 이 프로파일에서 제2 중성자 조절 물질(62)은 고가치 구역에서 옮겨진 후에 노심을 떠난다. 이에 따라, 짧은 제2 중성자 조절 물질(62)은 긴 제1 중성자 조절 물질(52)과 동일한 가치를 가질 수 있다. 균등화된 가치를 갖는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)은, 컨트롤러(200)에 의한 제어의 조정을 용이하게 할 수 있다. 예로서, 균등화된 가치를 갖는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)은, 노심(12)의 상단과 하단에서의 제어를 실질적으로 균형을 이루게 하는 것을 용이하게 할 수 있다. 일 실시형태에서, 제2 중성자 조절 물질(62)은, 제1 중성자 조절 물질(52)의 가치와 균등화된 가치를 갖는다. 이러한 균등화는, 컨트롤러(200)에 의한 제어 조정을 가능하게 할 수 있다. 예로서, 컨트롤러(200)는 연료 구역(16)의 실질적으로 서로 반대편에 있는 양단부에서의 제어를 선택적으로 조정할 수 있다. 균등화된 가치를 갖는 제1 중성자 조절 물질(52)과 제2 중성자 조절 물질(62)은, 구조적으로 균등화된 (예를 들어, 공통의 제어 물질 분포, 등) 중성자 조절 물질, 연료 구역(16) 내에서의 위치를 통하여 가치가 균등화된 중성자 조절 물질, 또는 이들의 조합을 포함할 수 있다. 일 실시형태에서, 각 제2 중성자 조절 물질(62)의 가치의 최대 절대값은 상당히 낮다(예컨대, 약 20 센트 미만, 등). 이와 같이 상당히 낮은, 각 제2 중성자 조절 물질(62)의 가치의 최대 절대값은, 작동 유체(예컨대, 나트륨, 등)의 비등 없이 예상치 못한 우발적인 풀림이 일어난 경우에, 비보호 과출력을 수용할 수 있다.

[0106] 도 8a~도 9g는 구현예들을 도시하는 일련의 흐름도이다. 이해를 쉽게 하기 위해, 흐름도는, 초기 흐름도가 예시적인 구현예를 통해 구현예를 나타내고, 그 후에 다음 흐름도가, 하나 이상의 이전에 제시된 흐름도를 기반으로 하는 서브-컴포넌트 작동 또는 추가적인 컴포넌트 작동으로서, 초기 흐름도(들)의 확장 및/또는 다른 구현예를 나타내도록, 조직되어 있다. 당분야의 숙련자라면, 본원에 이용되는 제시 스타일(예를 들어, 예시적인 구현예를 제공하는 흐름도(들)의 제시로 시작되고 그 후에 후속 흐름도에서 추가 내용 및/또는 더 상세한 내용을 제공하는)은, 일반적으로 다양한 프로세스 구현예의 신속하고 용이한 이해를 가능하게 한다는 것을 인지할 것이다. 게다가, 당분야의 숙련자라면 또한, 본원에 사용되는 제시 스타일이 모듈형 및/또는 객체 지향형 프로그램 설계 패러다임에도 적합하다는 것을 인지할 것이다.

[0107] 도 8a~도 8h는 일 실시형태에 따른 방법(700)으로서 도시된, 원자로 제어 방법에 대한 예시적인 흐름도를 제공한다. 상기 방법은 예시를 목적으로 일련의 단계들로서 제시되어 있지만, 이러한 순서는 청구된 방법의 범위를 제한하지 않고, 당분야의 숙련자라면 이 순서에 대해 실시될 수 있는 수정 및 변형을 알고 있을 것이다.

[0108] 도 8a를 참조해 보면, 방법 700은 블록 702에서 시작된다. 블록 704에서는, 노심의 연료 구역 내에서 핵연료가 핵분열된다. 블록 706에서는, 적어도 하나의 구동 기구를 이용하여 제1 중성자 조절 물질이 연료 구역의 제1 단부에 제공된다. 블록 708에서는, 제2 중성자 조절 물질이 연료 구역의 실질적으로 반대편에 있는 제2 단부에 제공되게 함으로써, 노심 내에서의 플럭스 분포가, 연료 구역의 제1 단부를 향해 이동된다. 일 실시형태에서,

방법 700은 블록 710에서 중단된다. 다른 실시형태에서, 방법 700은 재개된다. 추가적인 방법 단계들이 비제한적인 예로서 이하에 제시되어 있다.

[0109] 도 8b를 참조해 보면, 블록 712에서는, 연료 구역의 예측이 생성되는데, 이는 컨트롤러를 이용하여 수행될 수 있는 것이다. 블록 714에서는, 센서를 이용하여 연료 구역이 모니터링된다. 블록 716에서는, 상기 센서로부터의 측정 데이터를 통해, 상기 연료 구역의 예측이 보충되는데, 이는 컨트롤러를 이용하여 수행될 수 있는 것이다. 추가적으로 또는 대안적으로, 연료 구역의 예측은 모델 데이터를 통해 보충될 수 있다. 블록 718에서는, 상기 예측에 기초하여 연료 구역의 플럭스 분포가 결정되는데, 이는 컨트롤러를 이용하여 수행될 수 있는 것이다. 도 8c를 참조해 보면, 블록 720에서는, 플럭스 분포와 목표 분포 프로파일 사이의 편차가 평가되는데, 이는 컨트롤러를 이용하여 수행될 수 있는 것이다. 도 8d를 참조해 보면, 블록 722에서는, 임계 범위를 넘어서는 편차에 대응하여, 제2 중성자 조절 물질을 제공하도록, 적어도 하나의 구동 기구가 작동된다. 도 8e를 참조해 보면, 몇몇 실시형태에서는, 블록 708에서, 노심 내에서의 플럭스 분포를 연료 구역의 제1 단부를 향해 이동시키는 것이, 블록 724에서, 제2 중성자 조절 물질을 상기 편차의 함수로서 작동시키도록 적어도 하나의 구동 기구를 선택적으로 작동시키는 것을 포함한다. 도 8f를 참조해 보면, 블록 726에서는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질의 활성화가, 컨트롤러를 통해 서로에 대해 조정된다. 도 8g를 참조해 보면, 블록 728에서는, 출력 사이클 동안에 제1 중성자 조절 물질이 고정된 위치에 유지된다. 도 8h를 참조해 보면, 몇몇 실시형태에서는, 블록 708에서, 노심 내에서의 플럭스 분포를 연료 구역의 제1 단부를 향해 이동시키는 것이, 블록 730에서, 출력 사이클 동안에 제2 중성자 조절 물질을, 연료 구역의 실질적으로 반대편에 있는 제2 단부를 포함하는, 연료 구역의 반대편에 있는 제2 단부에 제공하는 것을 포함한다.

[0110] 도 9a~도 9g는 일 실시형태에 따른 방법(800)으로서 도시된, 원자로용 제어 어셈블리의 제조 방법에 대한 예시적인 흐름도를 제공한다. 상기 방법은 예시를 목적으로 일련의 단계들로서 제시되어 있지만, 이러한 순서는 청구된 방법의 범위를 제한하지 않고, 당분야의 숙련자라면 이 순서에 대해 실시될 수 있는 수정 및 변형을 알고 있을 것이다.

[0111] 도 9a를 참조해 보면, 방법 800은 블록 802에서 시작된다. 블록 804에서는, 제1 중성자 조절 물질을 갖는 제1 반응성 제어 어셈블리가 제공된다. 블록 806에서는, 제2 중성자 조절 물질을 갖는 제2 반응성 제어 어셈블리가 제공된다. 블록 808에서는, 적어도 하나의 구동 기구가 제2 중성자 조절 물질에 연결되는데; 경우에 따라서는, 적어도 하나의 구동 기구가, 제2 중성자 조절 물질 이외에도 또는 그 대신에, 제1 중성자 조절 물질에 연결된다. 몇몇 실시형태에서는, 연료 구역 내에서의 플럭스 분포를 제2 중성자 조절 물질로부터 멀어지게 이동시키기 위하여, 제2 중성자 조절 물질을 연료 구역 안으로 선택적으로 재배치하도록, 상기 적어도 하나의 구동 기구가 구성되어 있다. 몇몇 실시형태에서는, 제1 중성자 조절 물질을 상기 제2 중성자 조절 물질의 재배치와는 다른 방향으로 선택적으로 재배치하도록, 상기 적어도 하나의 구동 기구가 구성되어 있다. 일 실시형태에서, 방법 800은 블록 810에서 중단된다. 다른 실시형태에서, 방법 800은 재개된다. 추가적인 방법 단계들이 비제한적인 예로서 이하에 제시되어 있다.

[0112] 도 9b를 참조해 보면, 몇몇 실시형태에서는, 블록 808에서, 적어도 하나의 구동 기구를 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질에 연결하는 것이, 블록 812에서, 적어도 하나의 구동 기구의 액추에이터를 제1 중성자 조절 물질 및 제2 중성자 조절 물질에 연결하는 것을 포함할 수 있다. 도 9c를 참조해 보면, 몇몇 실시형태에서는, 블록 808에서, 적어도 하나의 구동 기구를 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질에 연결하는 것이, 블록 814에서, 적어도 하나의 구동 기구의 제1 액추에이터를 제1 중성자 조절 물질에 연결하고 적어도 하나의 구동 기구의 제2 액추에이터를 제2 중성자 조절 물질에 연결하는 것을 포함할 수 있다. 도 9d를 참조해 보면, 블록 816에서는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질이 공동의 리셉터클 내에 배치된다. 도 9e를 참조해 보면, 블록 818에서는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질이 원자로 내에서 축방향으로 (예를 들어, 원자로의 축방향을 따라, 원자로의 반경방향을 따라, 등) 정렬된다. 도 9f를 참조해 보면, 블록 820에서는, 원자로의 반경방향을 따라 제1 중성자 조절 물질이 제2 중성자 조절 물질로부터 이격된다. 도 9g를 참조해 보면, 블록 822에서는, 추가적으로 또는 대안적으로, 원자로의 방위각 방향을 따라 제1 중성자 조절 물질이 제2 중성자 조절 물질로부터 이격될 수 있다.

[0113] 도 13은 본원에 개시된 구현예의 방법의 흐름도이다. 도 13의 방법은 단계 1302에서 시작된다. 단계 1304는, 노심의 연료 구역 내에서 핵분열 반응을 유지하기 위한 유지 단계로서, 상기 노심은, 상기 노심의 연료 구역의 제1측에 삽입 가능한 제1 이동식 제어 어셈블리와, 상기 노심의 연료 구역의 반대편에 있는 제2측에 삽입 가능한 제2 제어 어셈블리를 구비하는 것이다. 단계 1306은, 상기 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 상기 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키는 단계이다. 단

계 1308은, 상기 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 상기 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키는 단계로서, 제1 및 제2 삽입 구성부는 핵분열 반응을 유지하는 것이다. 방법 1300은 단계 1310에서 종료된다.

[0114] 일 실시형태에 따르면, 원자로용 제어 어셈블리는, 제1 중성자 조절 물질을 갖는 제1 반응성 제어 어셈블리와, 제2 중성자 조절 물질을 갖는 제2 반응성 제어 어셈블리, 그리고 제1 중성자 조절 물질 또는 제2 중성자 조절 물질 또는 이들의 조합에 결합된 적어도 하나의 구동 기구를 포함한다. 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 원자로의 연료 구역에 대해 선택적으로 재배치 가능하다. 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질을 서로 다른 방향으로 연료 구역을 통과하게 제공하여, 연료 구역 내에서 플럭스 분포를 제2 중성자 조절 물질로부터 멀어지게 이동시키도록 구성되어 있다.

[0115] 일 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질은 제2 중성자 조절 물질과 축방향으로 정렬되어 있다. 다른 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질은 제2 중성자 조절 물질로부터 횡방향으로 이격되어 있다.

[0116] 제1 중성자 조절 물질은 연료 구역의 제1 횡방향 측에 배치될 수 있다. 제2 중성자 조절 물질은 연료 구역의 실질적으로 반대편에 있는 제2 횡방향 측에 배치될 수 있다.

[0117] 상기 연료 구역은 축방향을 따라 연장될 수 있고, 상기 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질을 연료 구역의 실질적으로 서로 반대편에 있는 양단부에 축방향으로 삽입하도록 구성될 수 있다.

[0118] 일 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질은 제1 길이를 갖고, 제2 중성자 조절 물질은 상기 제1 길이와는 다른 제2 길이를 갖는다. 제1 길이는 제2 길이보다 클 수 있고, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 각각 제1 가치 프로파일과 제2 가치 프로파일을 갖는다.

[0119] 일 실시형태에서, 제2 중성자 조절 물질은, 제1 중성자 조절 물질의 선형 가치와 실질적으로 균등화된 선형 가치를 갖고, 이에 따라 연료 구역의 실질적으로 서로 반대편에 있는 양단부에서의 제어가 조정된다. 일 실시형태에서, 제2 중성자 조절 물질은, 제1 중성자 조절 물질의 가치와 실질적으로 균등화된 가치를 갖는다.

[0120] 일 실시형태에서, 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질에 연결된 액추에이터를 포함한다. 상기 액추에이터는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질을 연료 구역에 대해 병진 이동시키도록 배치될 수 있다.

[0121] 상기 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질에 연결된 제1 액추에이터와 제2 중성자 조절 물질에 연결된 제2 액추에이터를 포함할 수 있다. 제1 액추에이터와 제2 액추에이터는 양자 모두, 연료 구역의 제1 단부에 배치될 수 있다.

[0122] 제1 중성자 조절 물질은 제1 관형 본체 내에서 이동 가능하게 배치될 수 있고, 제2 중성자 조절 물질은 제2 관형 본체 내에서 이동 가능하게 배치될 수 있으며, 제1 관형 본체와 제2 관형 본체는 연료 구역의 적어도 일부분을 통과하여 연장될 수 있다.

[0123] 일 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 공동의 관형 본체 내에 배치된다. 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질에 연결된 액추에이터를 포함할 수 있다. 상기 액추에이터는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질을 연료 구역에 대해 병진 이동시키도록 배치될 수 있다.

[0124] 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질의 사이에 배치된 기구를 포함할 수 있고, 상기 기구의 작동은 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질의 상대 위치를 변동시킬 수 있다.

[0125] 일 실시형태에서, 제어 어셈블리는, 작동 위치와 운전 정지 위치 사이에서 연료 구역에 대해 선택적으로 재배치 가능한, 안전 중성자 조절 물질을 포함한다. 상기 안전 중성자 조절 물질은, 운전 정치 위치로 배향되었을 때, 적어도 부분적으로 연료 구역을 따라 배치될 수 있다. 상기 안전 중성자 조절 물질은, 작동 위치로 배향되었을 때, 연료 구역으로부터 이격될 수 있다.

[0126] 다른 실시형태에 따르면, 원자로는, 원자로 용기와, 상기 원자로 용기 내에 적어도 부분적으로 배치되어 있고 핵연료를 연료 구역 내에 수용하도록 구성되어 있는 복수의 연료 어셈블리와, 제1 중성자 조절 물질을 갖는 제1 반응성 제어 어셈블리와, 제2 중성자 조절 물질을 갖는 제2 반응성 제어 어셈블리와, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질을 연료 구역의 실질적으로 서로 반대편에 있는 양단부에 도입하도록 배치되어 있는 적어

도 하나의 구동 기구, 그리고 원자로의 작동 중에 연료 구역 내에서의 플럭스 분포를 변경하기 위하여 적어도 하나의 구동 기구를 작동시키도록 구성되어 있는 컨트롤러를 포함한다. 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 원자로 용기 내에서 선택적으로 재배치 가능하다.

[0127] 일 실시형태에서, 원자로는, 연료 구역 내에서의 플럭스 분포에 관한 데이터를 제공하도록 구성되어 있는 센서를 포함한다. 상기 센서는, 플럭스 분포의 축방향 방위에 관한 감지 신호를 제공하도록 구성되어 있는 축방향 플럭스 모니터를 포함할 수 있다.

[0128] 일 실시형태에서, 상기 컨트롤러는 처리 회로와 메모리를 포함한다. 상기 처리 회로는, 플럭스 분포와 목표 플럭스 분포 사이의 편차를 평가하도록 구성될 수 있고, 목표 플럭스 분포는 메모리에 저장될 수 있다.

[0129] 일 실시형태에서, 플럭스 분포와 목표 플럭스 분포는, 연료 구역을 따라 있는 복수의 축방향 위치와 연관된 복수의 플럭스 값을 포함한다. 목표 플럭스 분포는, 연료 구역을 따라 배치된 최대 연소 위치를 포함할 수 있다. 목표 플럭스 분포는 또한, 연료 성능을 향상시키기 위해, 조성, 변형률 한계, 선형 열소비율 한계 등을 비롯한 (이에 제한되는 것은 아님) 작동 연료 성능 파라미터를 포함할 수 있다.

[0130] 컨트롤러는, 임계 범위를 넘어서는 편차에 대응하여, 적어도 하나의 구동 기구를 작동시키도록 구성될 수 있다. 다른 실시형태에서, 컨트롤러는, 상기 편차의 함수로서 상기 적어도 하나의 구동 기구를 선택적으로 작동시키도록 구성되어 있다.

[0131] 일 실시형태에서, 원자로 용기는 제1 단부와 실질적으로 반대편에 있는 제2 단부를 포함한다. 제1 액추에이터와 제2 액추에이터는 양자 모두, 원자로 용기의 제1 단부에 배치될 수 있다.

[0132] 일 실시형태에서, 제1 중성자 조절 물질은 제1 관형 본체 내에서 이동 가능하게 배치되고, 제2 중성자 조절 물질은 제2 관형 본체 내에서 이동 가능하게 배치되며, 제1 관형 본체와 제2 관형 본체는 원자로 용기에 연결된다.

[0133] 일 실시형태에서, 복수의 연료 어셈블리는 시동 연료 어셈블리의 세트와 공급 연료 어셈블리의 세트를 포함한다. 시동 연료 어셈블리의 세트는 핵분열성 연료 물질을 포함할 수 있고, 공급 연료 어셈블리의 세트는 핵원료성 연료 물질을 포함할 수 있다.

[0134] 또 다른 실시형태에 따르면, 원자로 제어 방법은, 노심의 연료 구역 내에서 핵연료를 핵분열하는 단계와, 적어도 하나의 구동 기구를 이용하여 제1 중성자 조절 물질을 연료 구역의 제1 단부에 제공하는 단계, 그리고 제2 중성자 조절 물질이 연료 구역의 실질적으로 반대편에 있는 제2 단부에 제공되게 함으로써, 노심 내에서의 플럭스 분포를 연료 구역의 제1 단부를 향해 이동시키는 단계를 포함한다.

[0135] 일 실시형태에서, 원자로 제어 방법은, 센서를 이용하여 연료 구역 내에서의 플럭스 분포를 모니터링하는 것을 포함한다.

[0136] 일 실시형태에서, 원자로 제어 방법은, 플럭스 분포와 목표 플럭스 분포 사이의 편차, 및/또는 소정 시간 동안의 플럭스 분포와 목표 플럭스 분포 사이의 편차를, 처리 회로 및 메모리를 포함하는 컨트롤러를 이용하여, 평가하는 것을 포함한다. 목표 플럭스 분포는 메모리 내에 저장될 수 있다.

[0137] 일 실시형태에서, 노심 내에서의 플럭스 분포를 이동시키는 것은, 임계 범위를 넘어서는 편차에 대응하여, 제2 중성자 조절 물질을 삽입하도록, 적어도 하나의 구동 기구를 작동시키는 것을 포함한다.

[0138] 일 실시형태에서, 노심 내에서의 플럭스 분포를 이동시키는 것은, 상기 편차의 함수로서 제2 중성자 조절 물질을 삽입하도록, 적어도 하나의 구동 기구를 선택적으로 작동시키는 것을 포함한다.

[0139] 일 실시형태에서, 노심 내에서의 플럭스 분포를 이동시키는 것은, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질의 삽입을 컨트롤러를 통해 조정하는 것을 포함한다.

[0140] 일 실시형태에서, 원자로 제어 방법은, 출력 사이클 동안에 제1 중성자 조절 물질을 고정된 위치에 유지하는 것을 포함하고, 플럭스 분포를 이동시키는 것은, 출력 사이클 동안에 제2 중성자 조절 물질을, 연료 구역의 실질적으로 반대편에 있는 제2 단부에 삽입하는 것을 포함한다.

[0141] 다른 실시형태에 따르면, 원자로용 제어 어셈블리의 제조 방법은, 제1 중성자 조절 물질을 갖는 제1 반응성 제어 어셈블리를 제공하는 단계와, 제2 중성자 조절 물질을 갖는 제2 반응성 제어 어셈블리를 제공하는 단계, 그리고 적어도 하나의 구동 기구를 제1 중성자 조절 물질 및 제2 중성자 조절 물질에 연결하는 단계를 포함한다.

적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질을 서로 다른 방향으로 연료 구역에 제공하여, 연료 구역 내에서의 플럭스 분포가 제2 중성자 조절 물질로부터 멀어지게 이동되도록 구성되어 있다. 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질은 원자로의 연료 구역에 대해 선택적으로 재배치 가능하다.

[0142] 일 실시형태에서, 원자로용 제어 어셈블리의 제조 방법은, 적어도 하나의 구동 기구를 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질에 연결하는 단계와, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질을 연료 구역에 대해 병진 이동시키도록 액추에이터를 배치하는 단계를 포함한다.

[0143] 다른 실시형태에서, 원자로용 제어 어셈블리의 제조 방법은, 적어도 하나의 구동 기구의 제1 액추에이터를 제1 중성자 조절 물질에 연결하고 적어도 하나의 구동 기구의 제2 액추에이터를 제2 중성자 조절 물질에 연결하는 것을 포함한다.

[0144] 다른 실시형태에서, 원자로용 제어 어셈블리의 제조 방법은, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질을 공동의 관형 본체 내에 배치하는 것을 포함한다.

[0145] 다른 실시형태에서, 원자로용 제어 어셈블리의 제조 방법은, 제1 중성자 조절 물질을 제2 중성자 조절 물질과 축방향으로 정렬하는 것을 포함한다.

[0146] 다른 실시형태에서, 원자로용 제어 어셈블리의 제조 방법은, 제1 중성자 조절 물질을 제2 중성자 조절 물질로부터 횡방향으로 이격하는 것을 포함한다.

[0147] 다른 실시형태에서, 원자로용 제어 어셈블리의 제조 방법은, 제1 중성자 조절 물질을 연료 구역의 제1 횡방향 측에 배치하는 것과, 제2 중성자 조절 물질을 연료 구역의 실질적으로 반대편에 있는 제2 횡방향 측에 배치하는 것을 포함한다.

[0148] 일 실시형태에서, 적어도 하나의 구동 기구는, 제1 중성자 조절 물질과 제2 중성자 조절 물질의 삽입을 조정하도록 구성되어 있다.

[0149] 예시적인 방법은, 노심의 연료 구역 내에서 핵분열 반응을 유지하는 것을 포함한다. 상기 노심은, 노심의 연료 구역의 제1측에 삽입 가능한 제1 이동식 제어 어셈블리와, 노심의 연료 구역의 반대편에 있는 제2측에 삽입 가능한 제2 제어 어셈블리를 구비한다. 상기 유지 작업은, 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제1 삽입 구성부로 이동시키는 것과, 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키는 것을 포함한다. 상기 제1 및 제2 삽입 구성부는 핵분열 반응을 유지한다.

[0150] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 상기 핵분열 반응이 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제1 삽입 구성부에 따라 제1 중성자 플럭스 분포를 제공하고, 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부에 따라 제2 중성자 플럭스 분포를 제공하는 것을 더 포함한다.

[0151] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 제2 비제로 중성자 플럭스 분포가 미리 정해놓은 기간 동안 목표 총 중성자 플럭스에 의해 충족되는 것을 제공한다.

[0152] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 제1 플럭스 분포가 축방향에서 제2 비제로 플럭스 분포와 다른 것을 제공한다.

[0153] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 제1 플럭스 분포가 반경방향에서 제2 비제로 플럭스 분포와 다른 것을 제공한다.

[0154] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 노심 섹션의 제3 측에 삽입 가능하며, 상기 제1 및 제2 제어 어셈블리와는 다른 각도로 노심 섹션에 삽입 가능한, 제3 이동식 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 이동시키는 것을 제공한다.

[0155] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 제1 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리와, 제2 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리 사이의 축방향 거리가, 상기 이동 작업 동안에 실질적으로 일정하게 유지되도록, 제1 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리와 제2 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 적어도 제1 방향으로 이동시키는 것을 제공한다.

[0156] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 제1 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리와, 제2 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리 사이의 거리가 코어 대칭적이도록, 제1 제어 어셈

블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리와 제2 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 이동시키는 것을 포함한다.

[0157] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 제1 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리와, 제2 제어 어셈블리들 중에서 이동된 적어도 하나의 어셈블리 사이의 축방향 거리가 상기 이동 작업 동안에 변화되도록, 제1 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리와 제2 제어 어셈블리들 중의 적어도 하나의 어셈블리를 이동시키는 것을 포함한다.

[0158] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 상기 핵분열 반응은 정상파 반응인 것을 제공한다.

[0159] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 제1 제어 어셈블리와 제2 제어 어셈블리가 실질적으로 상기 정상파 반응의 양측에 배치되는 것을 제공한다.

[0160] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 제1 또는 제2 제어 어셈블리 중의 적어도 하나가 독성 물질을 포함하는 것을 제공한다.

[0161] 임의의 전술한 방법의 다른 예시적인 방법은, 제2 중성자 플럭스 분포는 노심 섹션 내의 미리 정해놓은 연료 구역에서 미리 정해놓은 기간 동안 목표 총 중성자 플럭스에 의해 충족되는 것을 제공한다.

[0162] 예시적인 시스템은, 연료 구역을 구비하는 노심을 포함한다. 상기 예시적인 시스템은 또한, 상기 연료 구역의 제1측에 삽입 가능하고 복수의 제1 삽입 구성부로 이동 가능한 것인 제1 제어 어셈블리를 포함한다. 상기 예시적인 시스템은 또한, 상기 연료 구역의 반대편에 있는 제2측에 삽입 가능하고 복수의 제2 삽입 구성부로 이동 가능한 것인 제2 제어 어셈블리를 포함한다. 상기 예시적인 시스템은 또한, 핵분열 반응을 유지하는 상기 제1 삽입 구성부 중의 적어도 하나와 상기 제2 삽입 구성부 중의 적어도 하나를 포함한다.

[0163] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 제1 제어 어셈블리 및 제2 제어 어셈블리에 작동 가능하게 결합되어 있고, 목표 비제로 중성자 플럭스 분포에 따라 연료 구역에서 핵분열 반응을 유지하도록, 제1 제어 어셈블리를 제1 삽입 구성부로 이동시키며 제2 제어 어셈블리를 제2 삽입 구성부로 이동시키도록 구성되어 있는 하나 이상의 구동 기구를 포함한다.

[0164] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 제1 제어 어셈블리와 제2 제어 어셈블리에 결합되어 있고 선택적으로 제1 제어 어셈블리와 제2 제어 어셈블리를 연료 구역에 대해 재배치하도록 구성되어 있는 액추에이터를 구비하는 구동 기구를 포함한다.

[0165] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 미리 정해놓은 기간 동안의 총 중성자 플럭스인, 목표 비제로 중성자 플럭스 분포를 포함한다.

[0166] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 연료 구역의 미리 정해놓은 부분에 있어서, 미리 정해놓은 기간 동안의 총 중성자 플럭스인, 목표 비제로 중성자 플럭스 분포를 포함한다.

[0167] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 노심에서의 중성자 플럭스 분포에 있어서 하나 이상의 축방향 비대칭을 교정하는, 목표 중성자 플럭스 분포를 포함한다.

[0168] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 노심에서의 중성자 플럭스와 축방향에서 다른, 목표 플럭스 분포를 포함한다.

[0169] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 노심에서의 중성자 플럭스와 반경방향에서 다른, 목표 플럭스 분포를 포함한다.

[0170] 예시적인 시스템은, 노심의 연료 구역 내에서 핵분열 반응을 유지하기 위한 유지 수단으로서, 상기 노심은, 상기 노심의 연료 구역의 제1 측에 삽입 가능한 제1 이동식 제어 어셈블리와, 상기 노심의 연료 구역의 반대편에 있는 제2 측에 삽입 가능한 제2 제어 어셈블리를 구비하는 것인 유지 수단을 구비하는 핵분열 반응로를 포함한다. 상기 예시적인 시스템은 또한, 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제1 삽입 구성부로 이동시키고, 제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키기 위한 이동 수단을 포함하고, 이에 따라 상기 제1 및 제2 삽입 구성부는 핵분열 반응을 유지한다.

[0171] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 선택적으로 제1 제어 어셈블리와 제2 제어 어셈블리를 연료 구역에 대해 재배치하기 위한 재배치 수단을 포함한다.

[0172] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 연료 구역 내의 현재 중성자 플럭스 분포를 검지하기 위한 검지 수단을 포함한다.

[0173] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 중성자 플럭스 모니터를 구비하는, 현재 중성자 플럭스 분포를 검지하기 위한 검지 수단을 포함한다.

[0174] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 온도 센서를 구비하는, 현재 중성자 플럭스 분포를 검지하기 위한 검지 수단을 포함한다.

[0175] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 중성자 플럭스 모델을 구비하는, 현재 중성자 플럭스 분포를 검지하기 위한 검지 수단을 포함한다.

[0176] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 제1, 제2 및 제3 제어 어셈블리의 제3 삽입 구성부에 따라, 제3 비제로 중성자 플럭스 분포를 제공하도록, 제3 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심 섹션 내에서 제1, 제2 및 제3 제어 어셈블리의 제3 삽입 구성부로 이동시키기 위한 이동 수단을 포함한다.

[0177] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부에 따라, 제2 비제로 중성자 플럭스 분포를 제공하도록, 제1 및 제2 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심 섹션 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키기 위한 이동 수단으로서, 제1 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리에 결합된 제1 액추에이터와, 제2 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리에 결합된 제2 액추에이터를 구비하는 것인 이동 수단을 포함한다.

[0178] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부에 따라, 제2 비제로 중성자 플럭스 분포를 제공하도록, 제1 및 제2 제어 어셈블리의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심 섹션 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키기 위한 이동 수단을 제어하는 제어 수단을 포함한다.

[0179] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 목표 중성자 플럭스 분포를 충족시키는 제2 비제로 중성자 플럭스 분포를 포함한다.

[0180] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 미리 정해놓은 기간 동안의 총 중성자 플럭스에 상당하는 목표 중성자 플럭스 분포를 포함한다.

[0181] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 연료 구역의 미리 정해놓은 부분 내에서, 미리 정해놓은 기간 동안의 총 중성자 플럭스에 상당하는 목표 중성자 플럭스 분포를 포함한다.

[0182] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 중성자 플럭스 분포에 있어서의 하나 이상의 축방향 비대칭을 교정하는 목표 비제로 플럭스 분포를 포함한다.

[0183] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 정상파 반응을 포함한다.

[0184] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 노심의 연료 구역 내에서, 실질적으로 정상파 반응의 양측에 배치되는, 제1 및 제2 제어 어셈블리를 포함한다.

[0185] 임의의 전술한 시스템의 다른 예시적인 시스템은, 독성 물질을 포함하는 제1 및 제2 제어 어셈블리를 노심의 연료 구역 내에 포함한다.

[0186] 본 명세서에서의 실질적으로 임의의 복수 및/또는 단수 용어의 사용과 관련하여, 당업자라면 문맥 및/또는 용례에 적합한 대로, 복수를 단수로 및/또는 단수를 복수로 해석할 수 있다. 명료성을 목적으로, 본 명세서에 다양한 단수/복수 치환은 명시적으로 제시되지 않는다.

[0187] 본 명세서에 설명된 청구 대상은 때때로 상이한 다른 구성요소 내에 수용된, 또는 상이한 다른 구성요소와 연결되는 상이한 구성요소를 예시한다. 이와 같이 서술된 구성은 단순히 예시적이고, 사실상 동일한 기능을 달성하는 많은 다른 구성이 구현될 수 있는 것으로 이해되어야 한다. 개념적인 관점에서, 동일한 기능을 달성하는 구성요소의 임의의 배열은, 소기의 기능이 달성되도록 유효하게 "연관"된다. 따라서, 특별한 기능을 달성하도록 결합되는 본원의 임의의 2개의 구성요소는, 구성 또는 중간 구성요소들에 상관없이, 소기의 기능이 달성되도록, 서로 "연관"된 것으로서 볼 수 있다. 마찬가지로, 이렇게 연관된 임의의 2개의 구성요소는 또한, 소기의 기능을 달성하도록 서로 "작동 가능하게 연결" 또는 "작동 가능하게 결합"되는 것으로 볼 수 있고, 이렇게 연관될 수 있는 임의의 2개의 구성요소는 또한, 소기의 기능을 달성하도록 서로 "작동 가능하게 결합 가능한" 것으로

볼 수 있다. 작동 가능하게 결합 가능한 것의 특정한 예로는, 물리적으로 상대 가능한 및/또는 물리적으로 상호 작용하는 구성요소, 및/또는 무선으로 상호 작용 가능한 및/또는 무선으로 상호 작용하는 구성요소, 및/또는 논리적으로 상호 작용하는 및/또는 논리적으로 상호 작용 가능한 구성요소 (이들에 국한되는 것은 아님) 등이 있다.

[0188] 몇몇 경우에, 하나 이상의 구성요소는 본 명세서에서 "~하도록 구성되는", "~에 의해 구성되는", "~하도록 구성 가능한", "~하도록 작동 가능한/작동하는", "~되는/될 수 있는", "~할 수 있는", "~에 준거 가능한/준거하는" 등으로 언급될 수 있다. 당업자라면, 이러한 용어(예컨대, "~하도록 구성되는")가, 문맥에서 달리 요구하지 않는다면, 일반적으로 작동-상태 구성요소 및/또는 비작동-상태 구성요소 및/또는 대기-상태 구성요소를 포괄할 수 있다는 것을 인지할 것이다.

[0189] 본 명세서에 설명된 본 발명의 청구 대상의 특정 양태가 도시되어 있고 설명되어 있지만, 본 명세서의 교시에 기초하여, 변화 및 수정이 본 명세서에 설명된 청구 대상 및 그 광범위한 양태로부터 벗어나는 일 없이 실시될 수 있고, 따라서 첨부된 청구범위는 본 명세서에 설명된 청구 대상의 진정한 정신 및 범위 내에 있는 바와 같은 모든 이러한 변경 및 수정을 청구범위의 범위 내에 포함한다는 것이, 당분야의 숙련자들에게 명백할 것이다. 일반적으로, 본 명세서에, 특히 첨부된 청구범위(예를 들어 첨부된 청구범위의 본문)에 사용된 용어는 일반적으로 "개방형" 용어로서 의도되어 있다(예를 들어, 용어 "포함하는"은 "포함하지만 이에 국한되는 것은 아닌"으로 해석되어야 하고, 용어 "갖는"은 "적어도 갖는"으로 해석되어야 하며, 용어 "구비한다"는 "구비하지만 이에 국한되는 것은 아니다"로 해석되어야 하는 등)는 것이 당분야의 숙련자들에 의해 이해될 것이다. 특정 수의 소개된 청구항 인용이 의도되면, 이러한 의도는 청구항 내에 명시적으로 인용될 것이고, 이러한 인용이 없으면 그러한 의도가 전혀 없다는 것이, 당분야의 숙련자들에 의해 또한 이해될 것이다. 예를 들어, 이해를 돕는 것으로서, 이하의 첨부된 청구범위는 청구항 인용을 소개하기 위해 소개 구문 "적어도 하나" 및 "하나 이상"의 사용을 포함할 수 있다. 그러나, 이러한 구문의 사용은, 동일한 청구항이 소개 구문 "하나 이상" 또는 "적어도 하나" 및 단수 표현(부정 관사)(예를 들어, 단수 표현은 통상적으로 "적어도 하나" 또는 "하나 이상"을 의미하는 것으로 해석되어야 함)을 포함할 때에도, 단수 표현에 의한 청구항 인용의 소개가, 단지 하나의 이러한 인용만을 포함하는 청구항에, 이러한 소개된 청구항 인용을 포함하는 임의의 특정 청구항을 한정하는 것을 시사하는 것으로 해석되어서는 안 되고; 이러한 것은 청구항 인용을 소개하는 데 사용된 단수 표현의 사용에 대해서도 해당된다. 게다가, 특정 수의 소개된 청구항 인용이 명시적으로 인용되면, 당분야의 숙련자들은 이러한 인용이 통상적으로 적어도 인용된 수를 의미하는 것으로 해석되어야 한다는 것을 인식할 것이다(예를 들어, 다른 수식어구가 없는 "2개의 인용"의 기본적인 인용은, 통상적으로 적어도 2개의 인용, 또는 2개 이상의 인용을 의미함). 또한, "A, B 및 C 중 적어도 하나 등"과 유사한 관용구가 사용되는 경우에, 일반적으로 이러한 구성은 당분야의 숙련자가 관용구를 이해할 것이라는 의미로 의도된다(예를 들어, "A, B 및 C 중 적어도 하나를 갖는 시스템"은 이들에 한정되는 것은 아니지만, A만, B만, C만, A 및 B를 함께, A 및 C를 함께, B 및 C를 함께, 및/또는 A, B 및 C를 함께 갖는 시스템을 포함할 수 있음 등). "A, B 또는 C 중 적어도 하나 등"과 유사한 관용구가 사용되는 경우에, 일반적으로 이러한 구성은 당분야의 숙련자가 관용구를 이해할 것이라는 의미로 의도된다(예를 들어, "A, B 또는 C 중 적어도 하나를 갖는 시스템"은 이들에 한정되는 것은 아니지만, A만, B만, C만, A 및 B를 함께, A 및 C를 함께, B 및 C를 함께, 및/또는 A, B 및 C를 함께 갖는 시스템을 포함할 수 있음 등). 통상적으로 상세한 설명에서든지, 청구범위에서든지, 또는 도면에서든지, 2개 이상의 대안적인 용어를 제시하는 이접적 단어 및/또는 구문은, 문맥상 달리 지시되지 않으면, 용어 중 하나, 용어 중 어느 하나, 또는 두 용어 모두를 포함하는 가능성을 고려하는 것으로 이해되어야 한다는 것을, 당분야의 숙련자들이라면 또한 이해할 것이다. 예를 들어, 구문 "A 또는 B"는 통상적으로 "A" 또는 "B" 또는 "A 및 B"의 가능성을 포함하는 것으로 이해될 것이다.

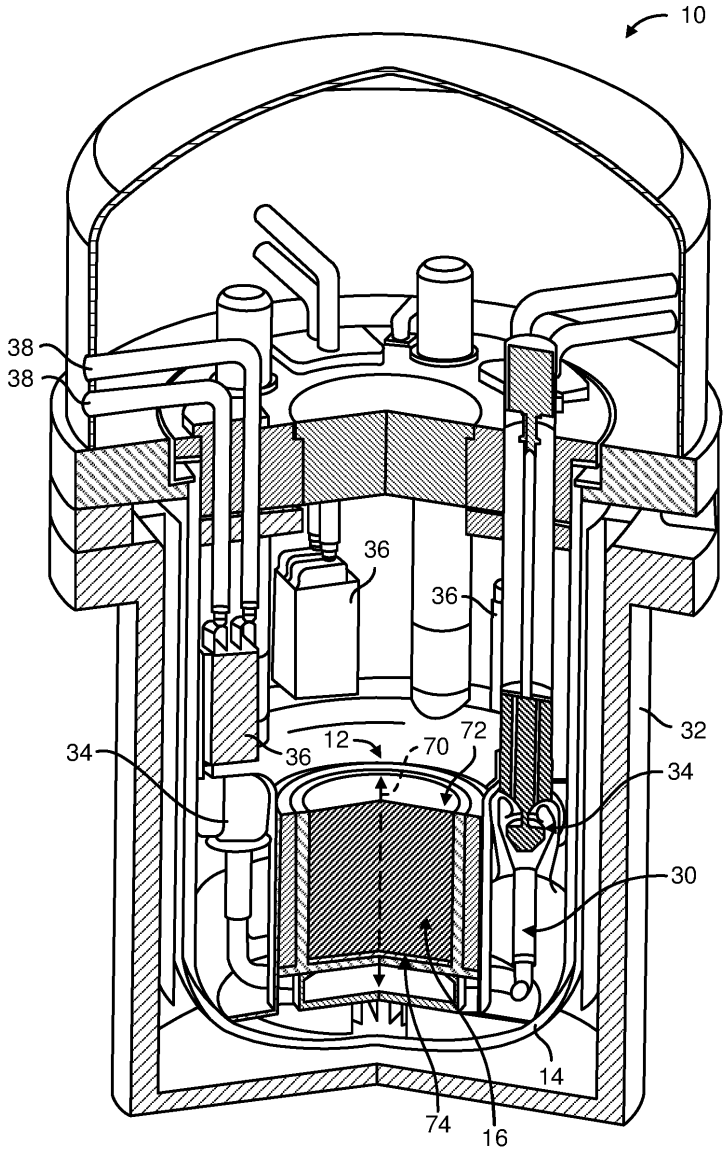
[0190] 첨부된 청구범위와 관련하여, 당분야의 숙련자들은 본 명세서에 언급된 작업들이 일반적으로 임의의 순서로 수행될 수 있다는 것을 이해할 것이다. 또한, 다양한 작동적 흐름이 소정 순서(들)로 제시되어 있지만, 다양한 작업들이 예시된 것과는 다른 순서로 수행될 수 있거나, 또는 동시에 수행될 수 있는 것으로 이해되어야 한다. 이러한 교호적인 순서의 예는, 문맥상 달리 지시되지 않으면, 중첩, 삽입, 중단, 순서 바꾸기, 증분, 준비, 보충, 동시, 역전, 또는 다른 변형 순서 지정을 포함할 수 있다. 또한, "~에 대응하는", "~에 관한"과 같은 용어, 또는 다른 과거 시제 형용사는, 문맥상 달리 지시되지 않으면, 일반적으로 상기한 변형예를 배제하도록 의도되어 있지 않다.

[0191] 당업자라면 전술한 특정한 예시적인 프로세스 및/또는 디바이스 및/또는 기술은, 본 명세서와 함께 제출되는 청구범위 및/또는 본 출원의 다른 곳 등과 같은, 본 명세서의 다른 곳에서 교시된 보다 일반적인 프로세스 및/또는 디바이스 및/또는 기술을 나타낸다는 것을 알 것이다.

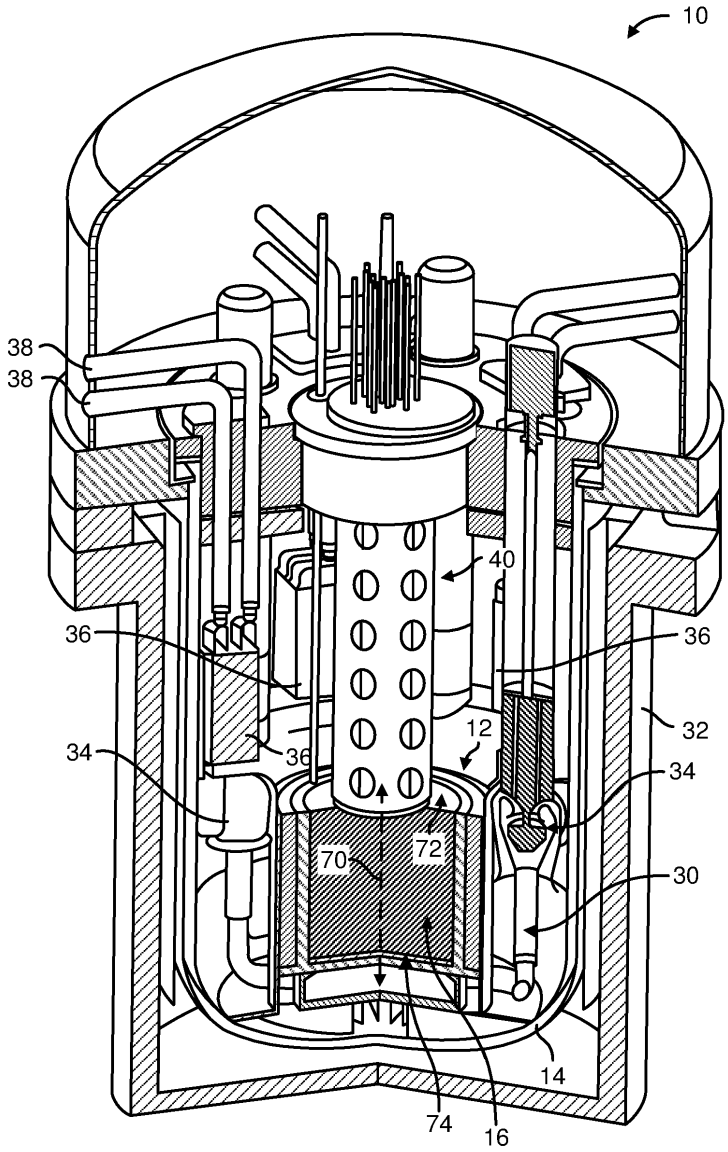
[0192] 다양한 양태 및 실시형태가 본원에 개시되었지만, 다른 양태 및 실시형태는 당업자에게 명백할 것이다. 본원에 개시된 다양한 양태 및 실시형태는 예시를 위한 것이고, 제한하려는 의도가 없으며, 진정한 범위 및 정신은 이하의 청구범위에 의해 나타내어진다.

도면

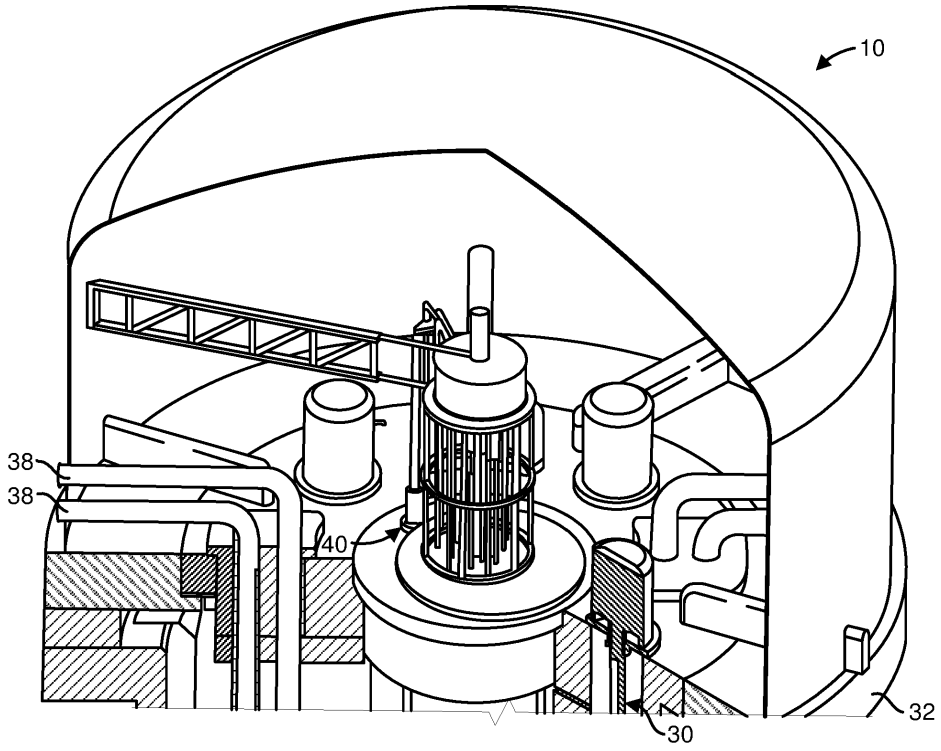
도면1a



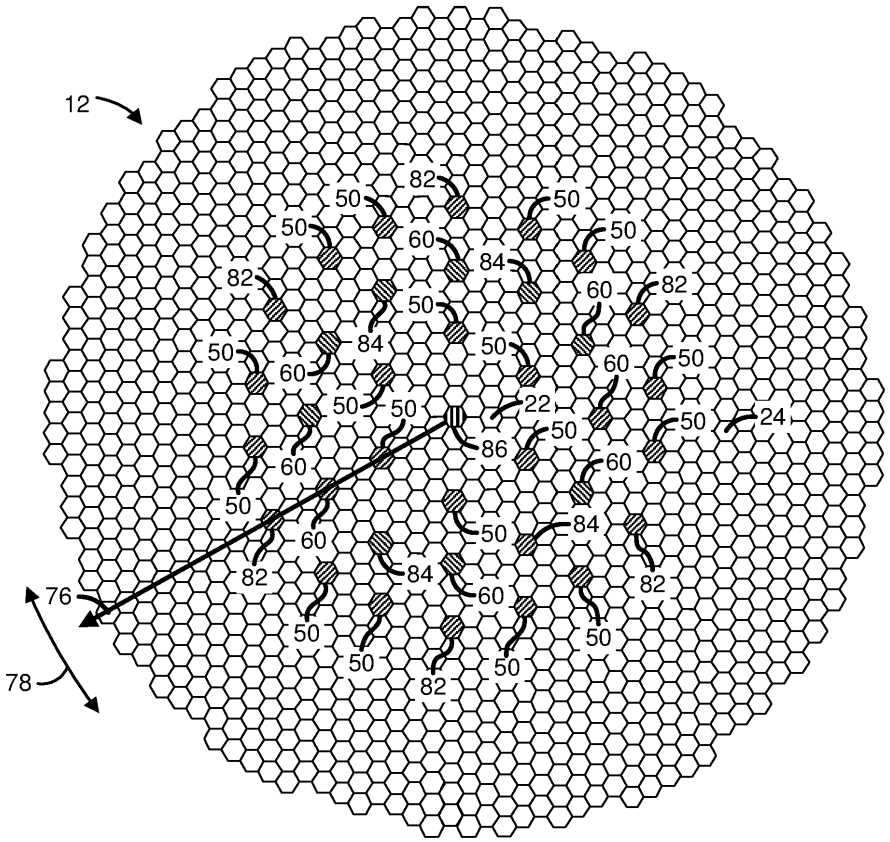
도면1b



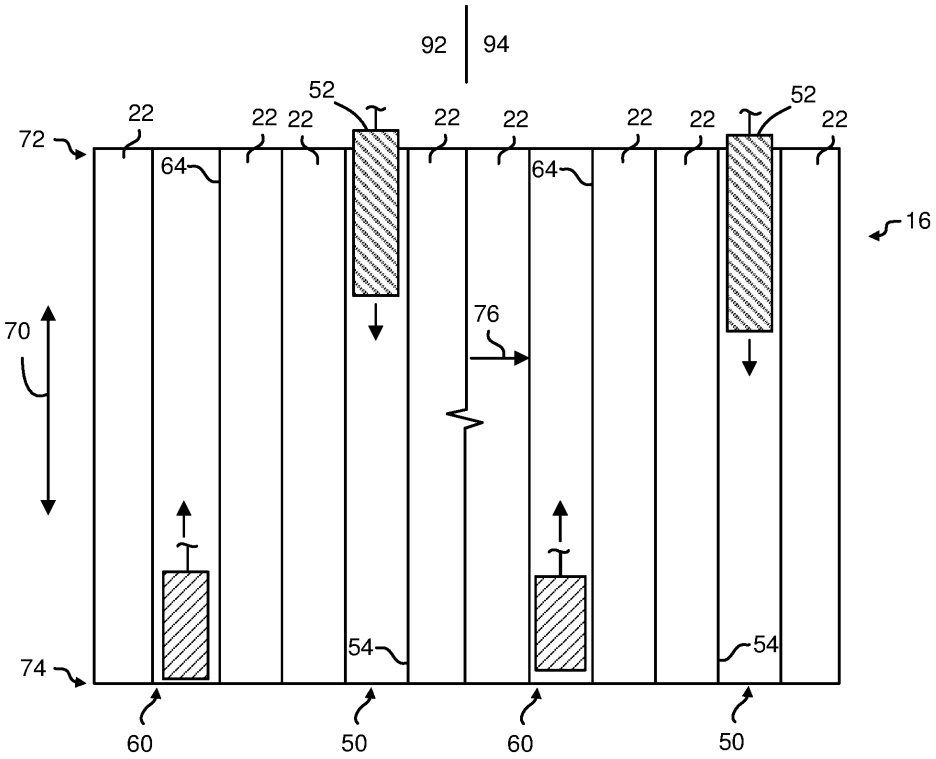
도면1c


10
38
38
40
32
30

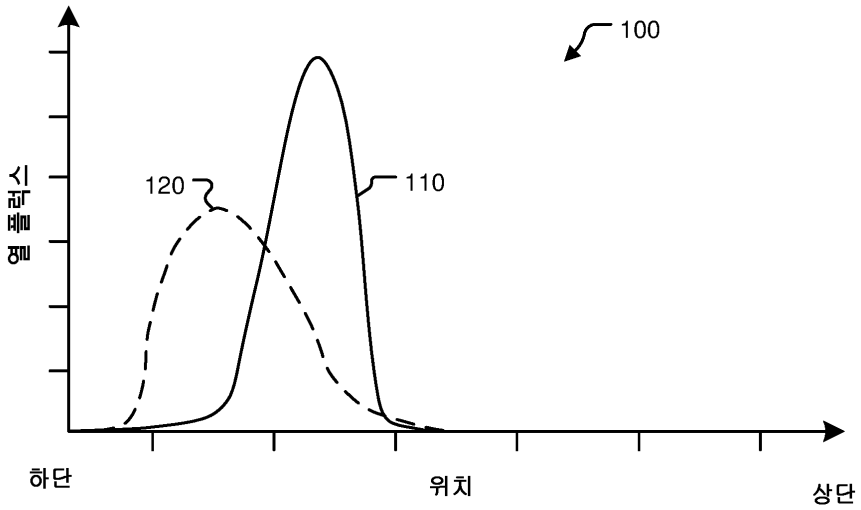
도면2


12
82
50
50
60
84
50
50
82
60
82
50
84
50
50
60
60
50
50
50
22
24
50
86
60
60
50
50
84
60
84
82
82
60
76
50
50
50
82
78

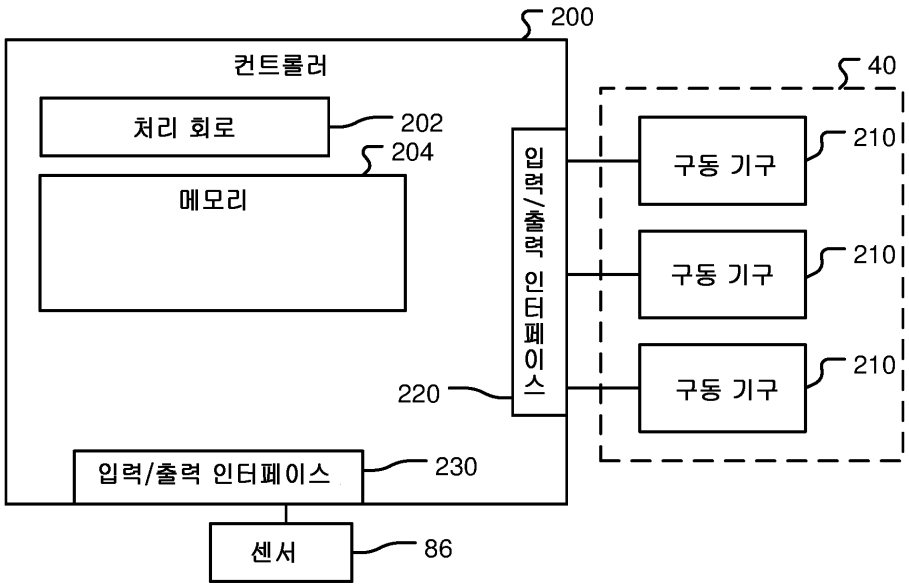
도면3


92
94
52
52
22
72
64
64
16
70
76
74
54
54
60
50
60
50

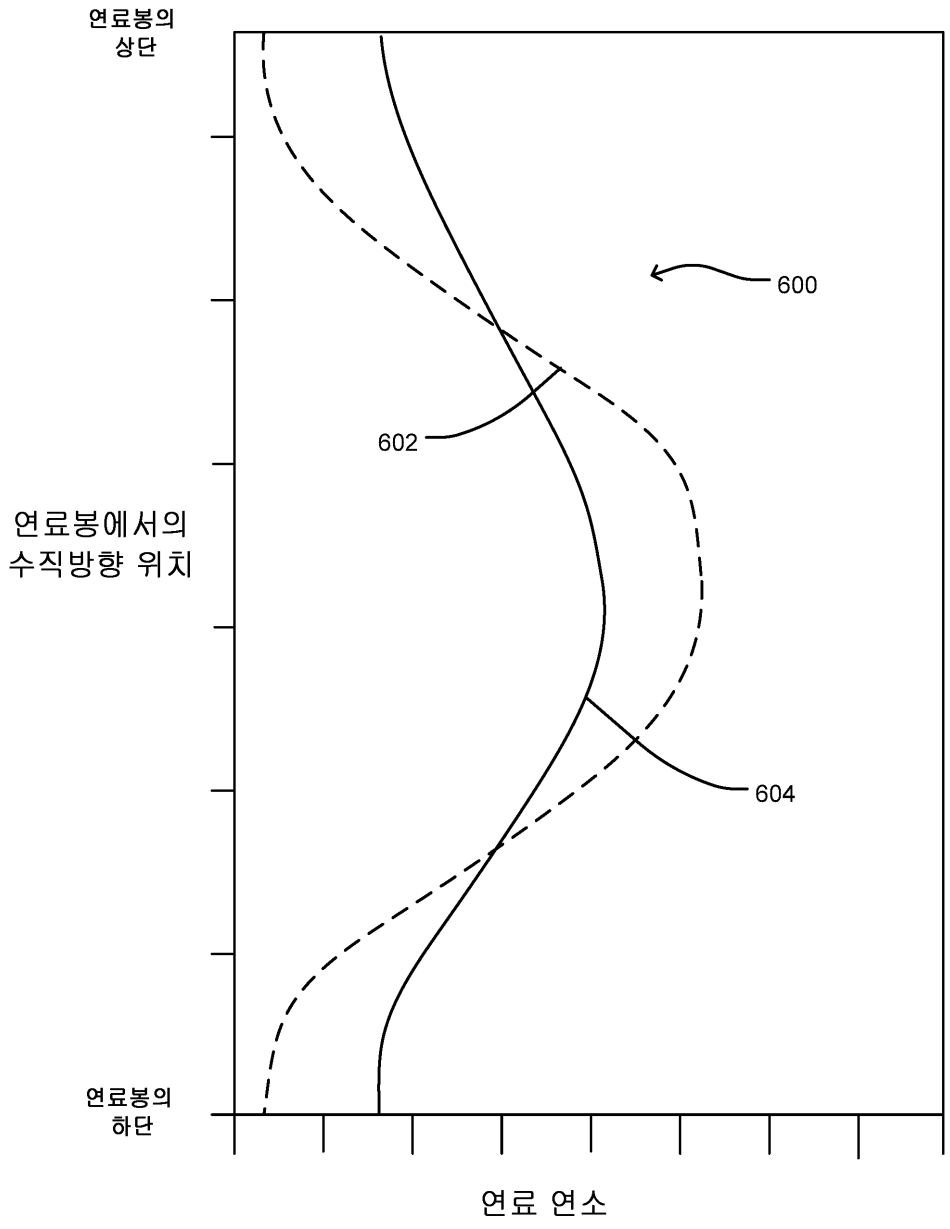
도면4


100
120
110
셀 폴럭신
하단
위치
상단

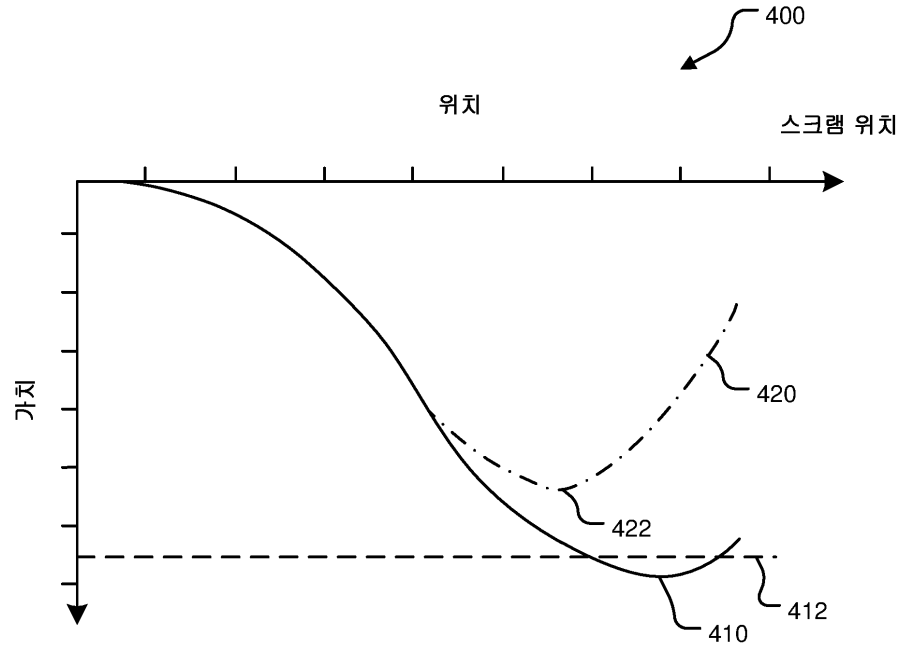
도면5


200
컨트롤러
처리 회로
202
204
메모리
입력/출력 인터페이스
220
입력/출력 인터페이스
230
센서
86
40
구동 기구
210
구동 기구
210
구동 기구
210

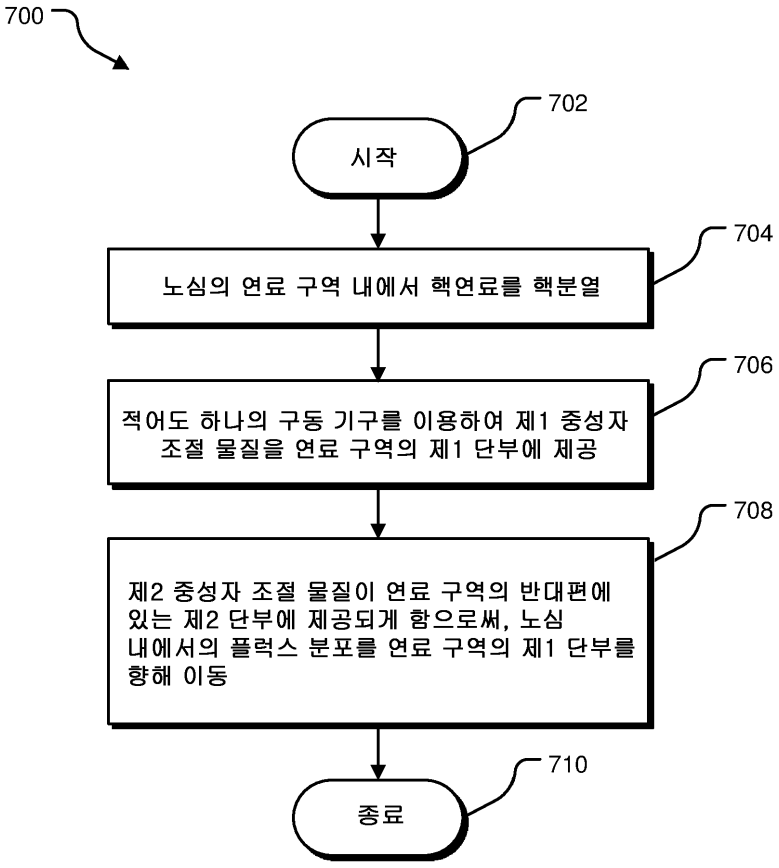
도면6



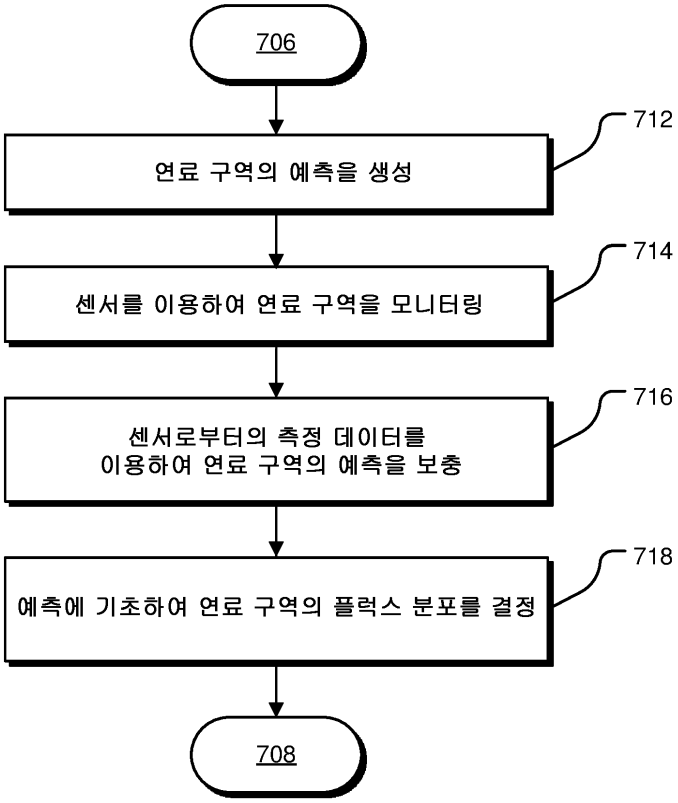
도면7


400
위치
스크램 위치
가치
420
422
412
410

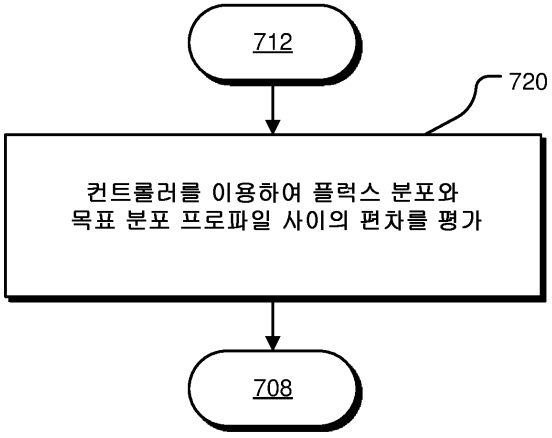
도면8a


700
702
시작
704
노심의 연료 구역 내에서 핵연료를 핵분열
706
적어도 하나의 구동 기구를 이용하여 제1 중성자 조절 물질을 연료 구역의 제1 단부에 제공
708
제2 중성자 조절 물질이 연료 구역의 반대편에 있는 제2 단부에 제공되게 함으로써, 노심 내에서의 플럭스 분포를 연료 구역의 제1 단부를 향해 이동
710
종료

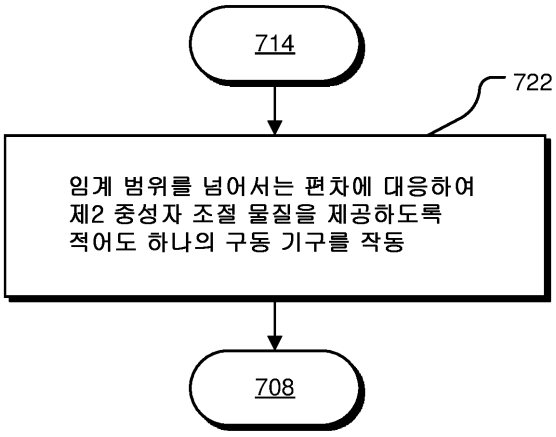
도면8b


706
712
연료 구역의 예측을 생성
714
센서를 이용하여 연료 구역을 모니터링
716
센서로부터의 측정 데이터를
이용하여 연료 구역의 예측을 보충
718
예측에 기초하여 연료 구역의 플럭스 분포를 결정
708

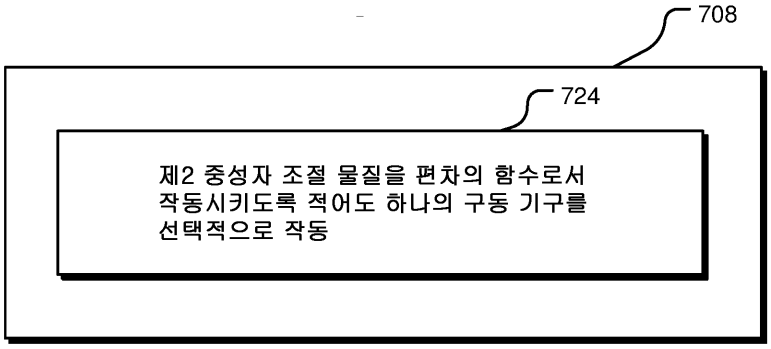
도면8c


712
720
컨트롤러를 이용하여 플럭스 분포와
목표 분포 프로파일 사이의 편차를 평가
708

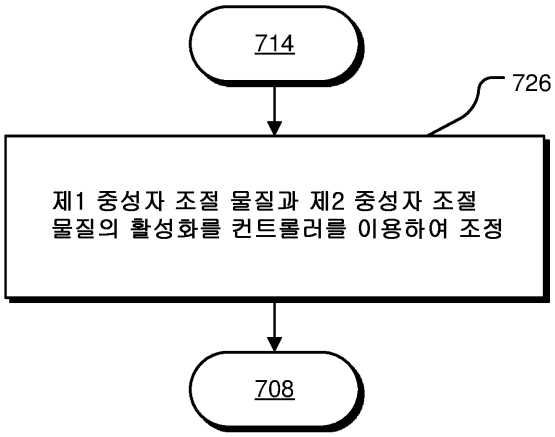
도면8d



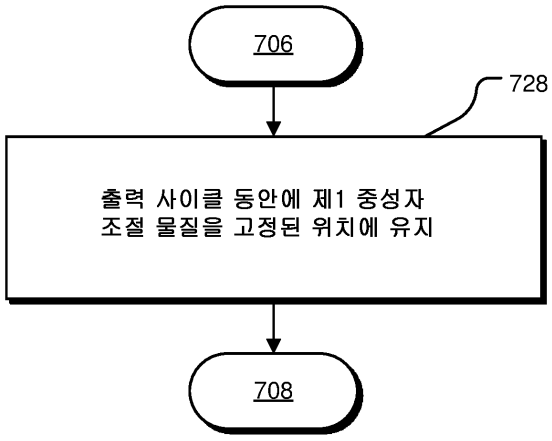
도면8e



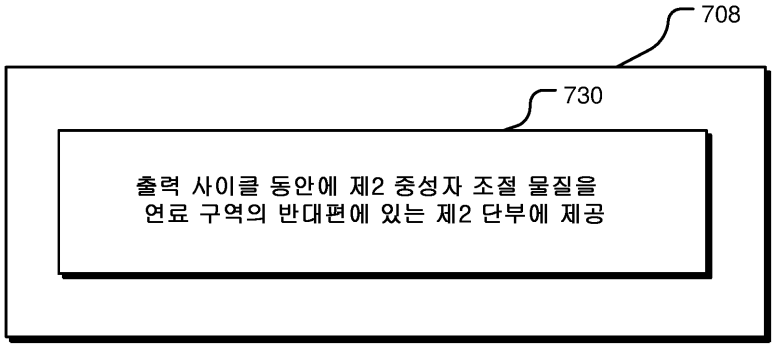
도면8f



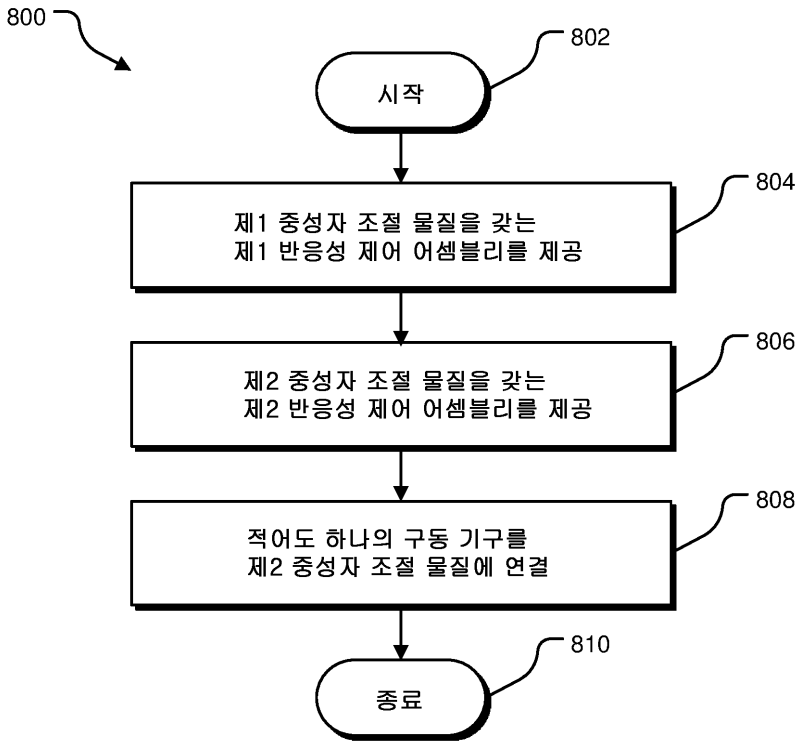
도면8g



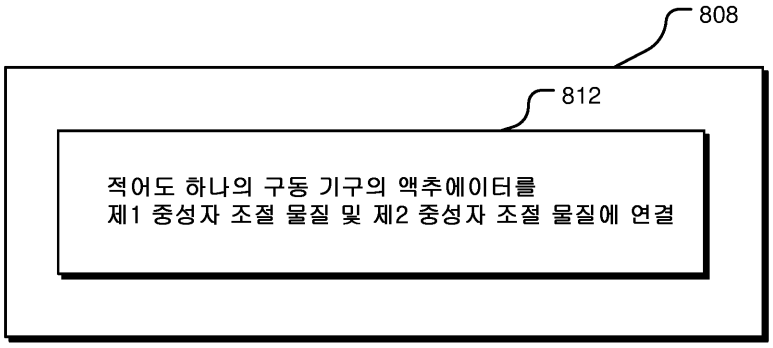
도면8h



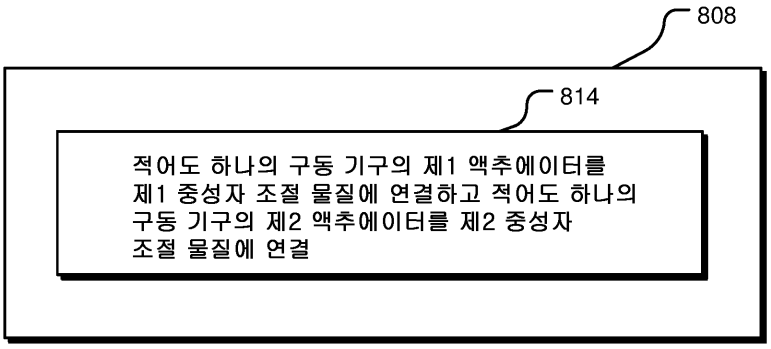
도면9a



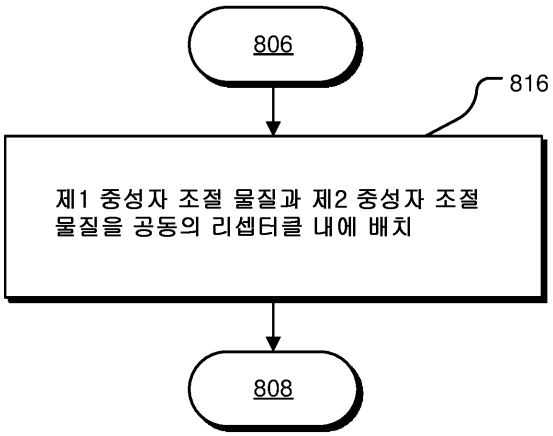
도면9b



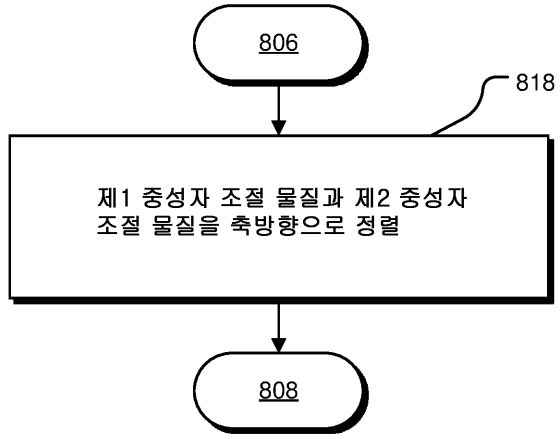
도면9c



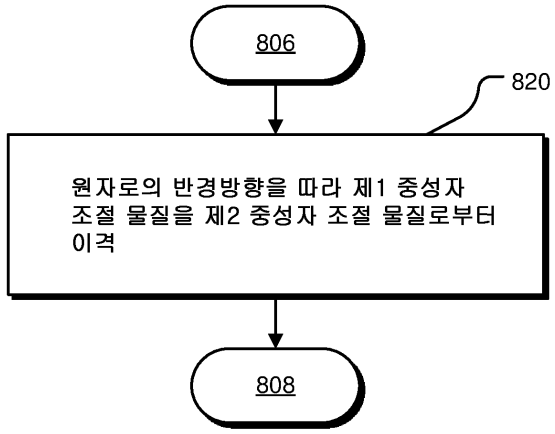
도면9d



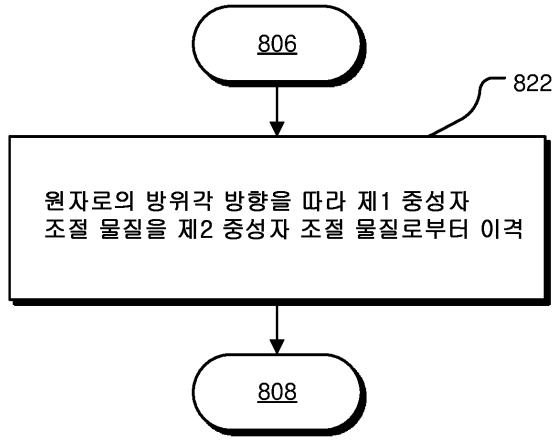
도면9e



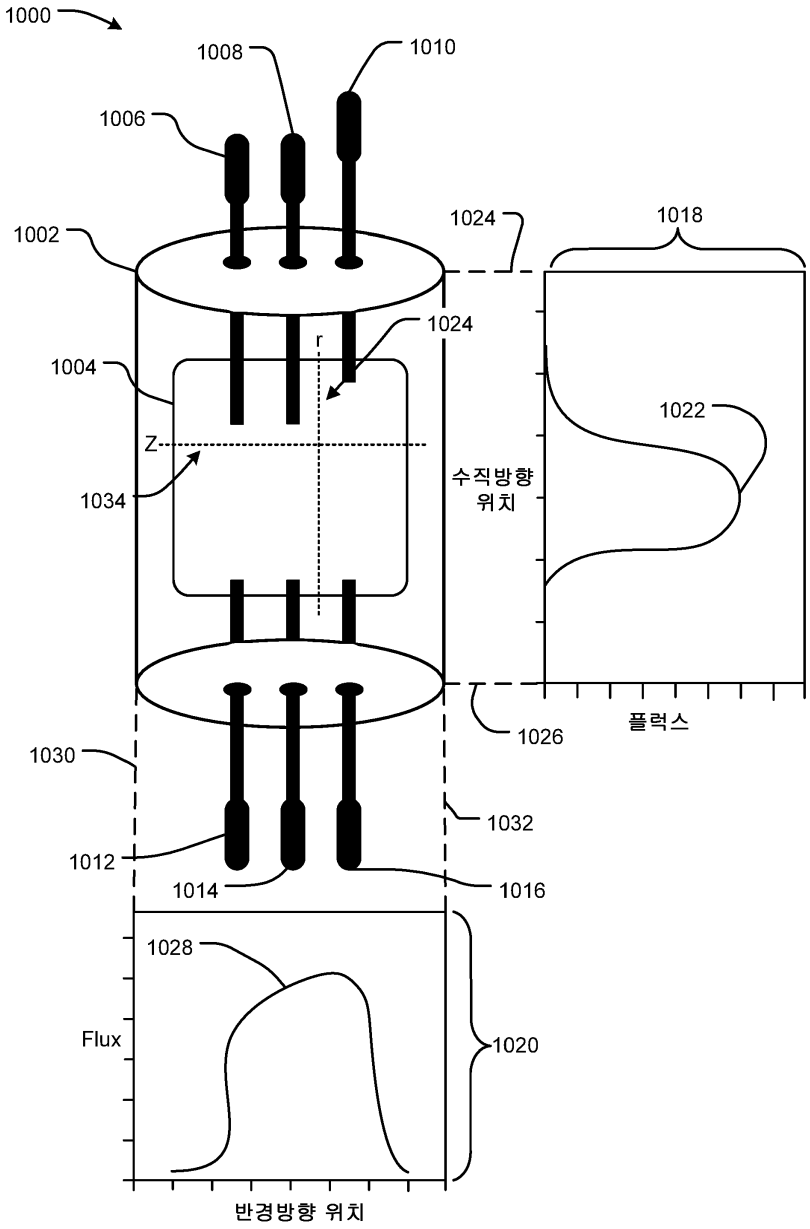
도면9f



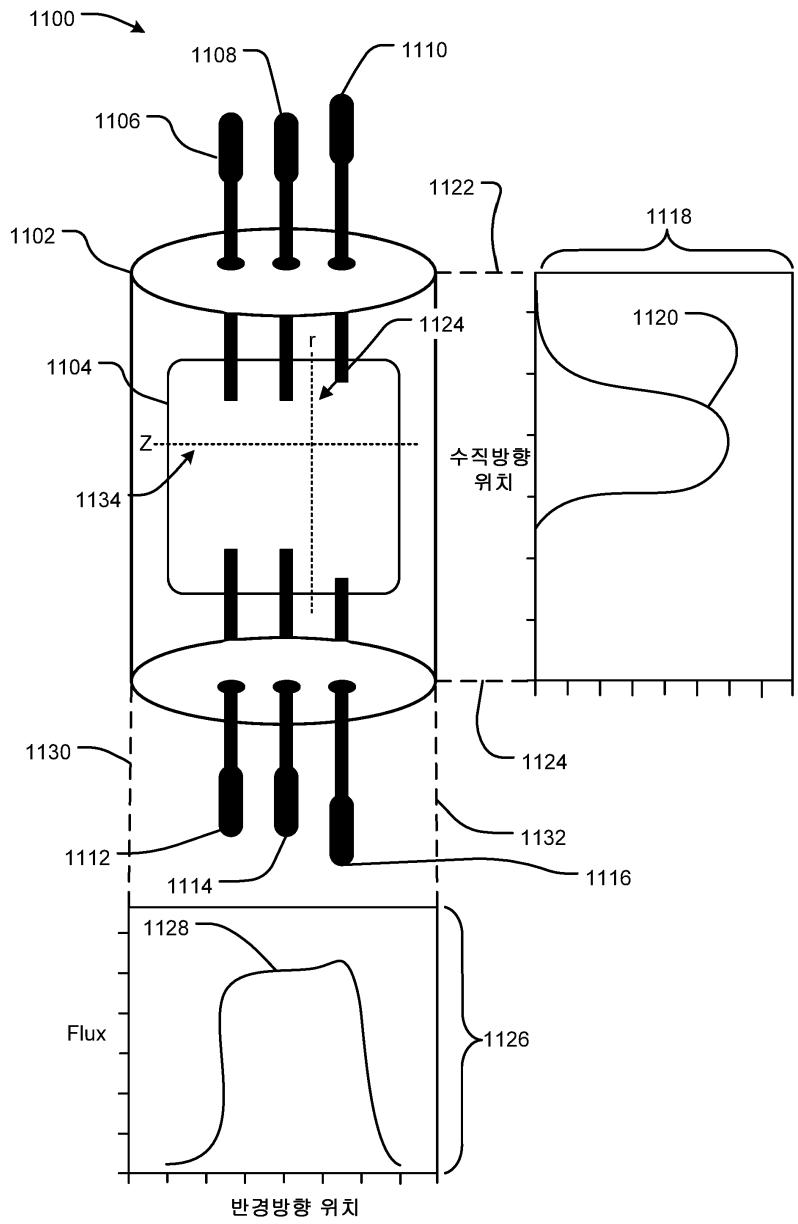
도면9g



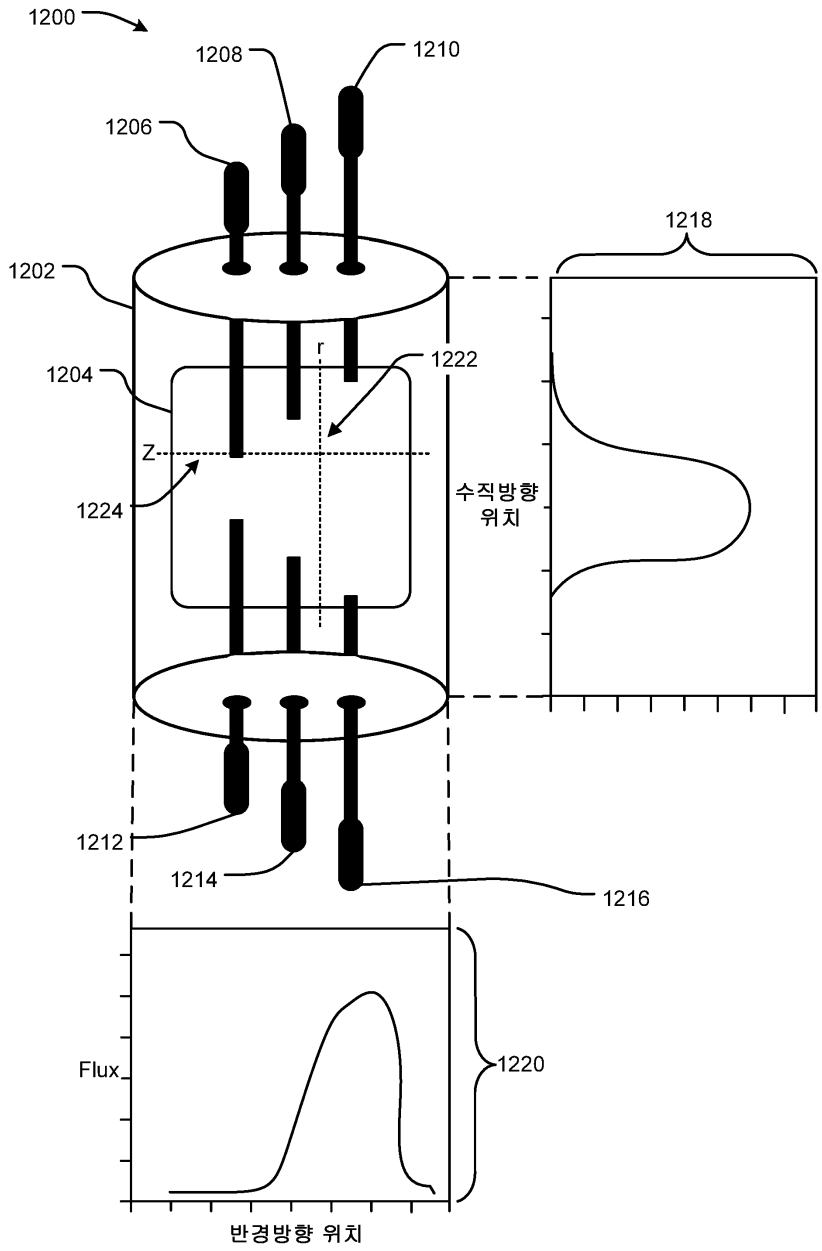
도면10


1000
1008
1010
1006
1002
1024
1018
1024
r
1004
1022
Z
수직방향
위치
1034
1026
플럭스
1030
1032
1012
1014
1016
1028
Flux
1020
반경방향 위치

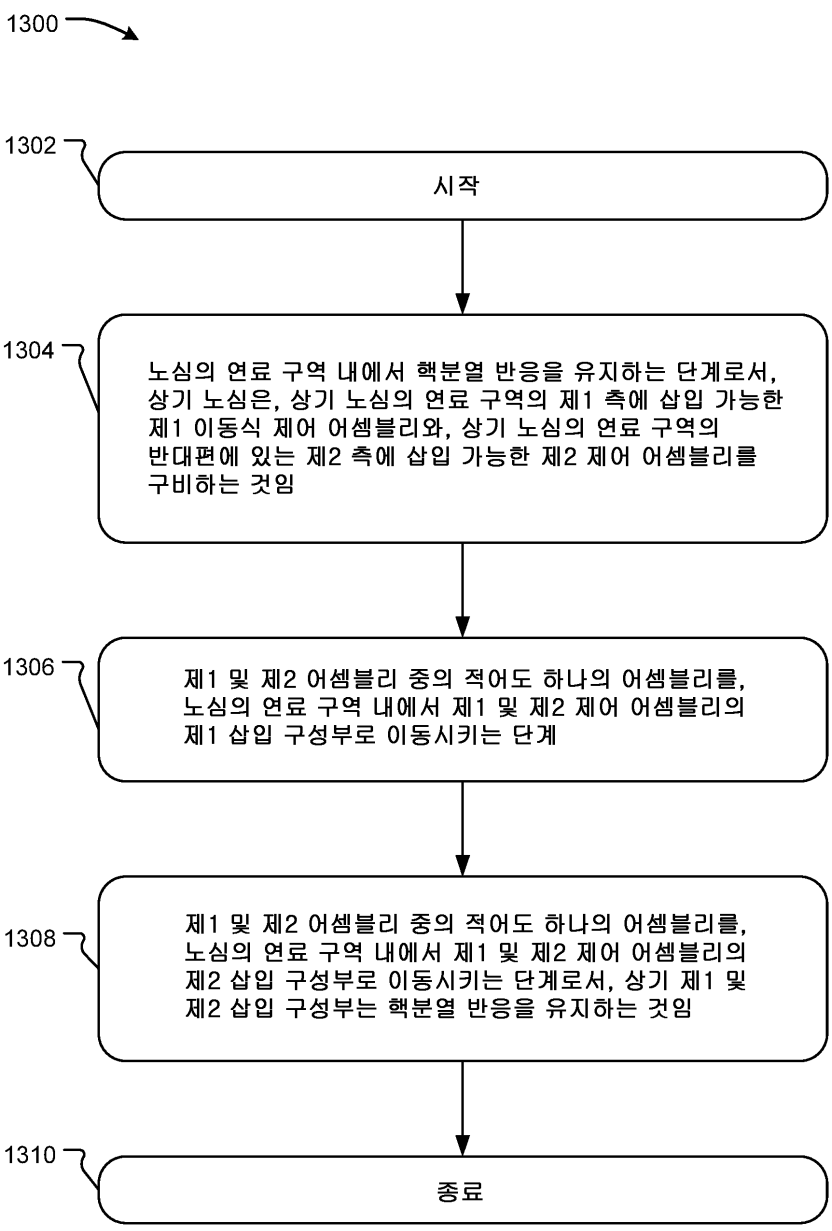
도면11


1100
1108
1110
1106
1122
1118
1102
1120
1124
r
1104
Z
수직방향
위치
1134
1124
1130
1132
1112
1116
1114
1128
Flux
1126
반경방향 위치

도면12


1200
1208
1210
1206
1218
1202
r
1222
1204
Z
수직방향
위치
1224
1212
1214
1216
Flux
1220
반경방향 위치

도면13


1300
1302
시작
1304
노심의 연료 구역 내에서 핵분열 반응을 유지하는 단계로서, 상기 노심은, 상기 노심의 연료 구역의 제1 측에 삽입 가능한 제1 이동식 제어 어셈블리와, 상기 노심의 연료 구역의 반대편에 있는 제2 측에 삽입 가능한 제2 제어 어셈블리를 구비하는 것임
1306
제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제1 삽입 구성부로 이동시키는 단계
1308
제1 및 제2 어셈블리 중의 적어도 하나의 어셈블리를, 노심의 연료 구역 내에서 제1 및 제2 제어 어셈블리의 제2 삽입 구성부로 이동시키는 단계로서, 상기 제1 및 제2 삽입 구성부는 핵분열 반응을 유지하는 것임
1310
종료