



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0106188
(43) 공개일자 2019년09월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 3/335 (2006.01) G21C 1/08 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 3/335 (2013.01)
G21C 1/086 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0027313
(22) 출원일자 2018년03월08일
심사청구일자 2018년03월08일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
이덕중
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
정은
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
제일특허법인(유)

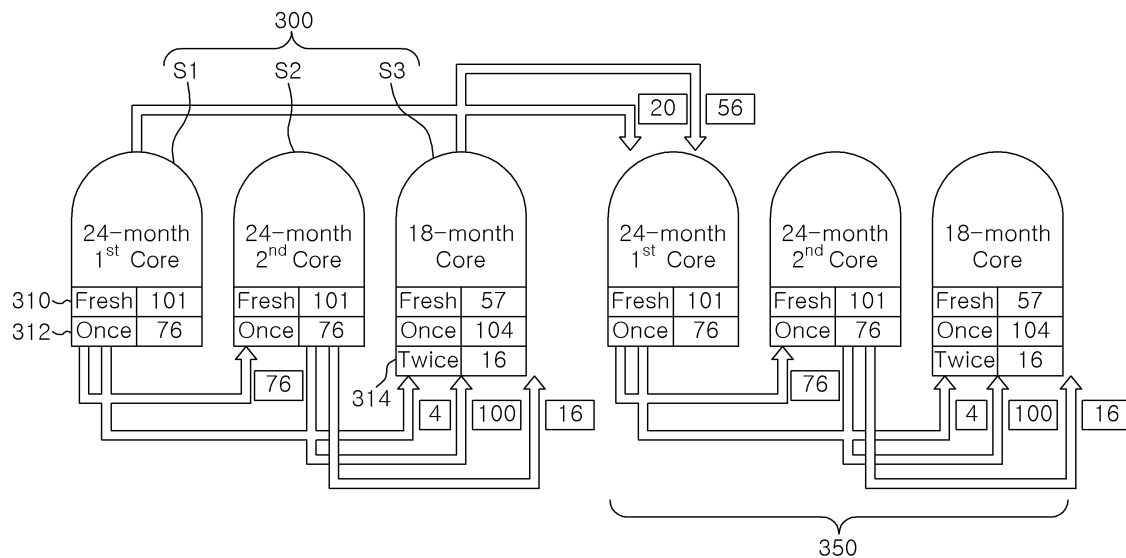
전체 청구항 수 : 총 16 항

(54) 발명의 명칭 가압 경수로 장주기 운전을 위한 핵연료 집합체 및 혼합주기 운전 방법

(57) 요약

본 발명에 따르면, 가압 경수로 장주기 운전을 위한 핵연료 집합체 및 장주기 운전 방법에 있어서, 핵연료 교체 시 필연적으로 발생하는 휴지기를 감안하여 원자로의 운전 주기를 추가적으로 확보하고, 추가 확보된 운전 주기를 수용할 수 있는 핵연료 배치 방식을 적용함으로써 원자로 운전 효율을 높일 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

Y02E 30/32 (2013.01)

(72) 발명자

최지원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

최수영

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

박진수

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

장재림

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

장평

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

명세서

청구범위

청구항 1

핵연료 집합체로서,

상기 핵연료 집합체는 가압 경수로 내부에 위치하고,

기설정된 제1 운전 시간 동안 운전이 가능한 제1 복수의 핵연료봉과 상기 제1 운전 시간보다 긴 제2 운전 시간 동안 운전이 가능한 제2 복수의 핵연료봉을 포함하며,

상기 가압 경수로는, 상기 제1 복수의 핵연료봉과 제2 복수의 핵연료봉의 상기 제1 운전 시간과 상기 제2 운전 시간이 복합적으로 고려되어 구성된 운전세트에 의해 운전되는

핵연료 집합체.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제1 복수의 핵연료봉 및 상기 제2 복수의 핵연료봉은,

사용되지 않은 제1 그룹의 핵연료봉과 1회 사용된 제2 그룹의 핵연료봉으로 구성되며,

기설정된 시간의 제1주기 동안 상기 가압 경수로가 운전된 후, 상기 제2 그룹의 핵연료봉은 상기 핵연료 집합체로부터 분리되어 상기 가압 경수로의 외부로 배출되며,

상기 제1 주기의 운전 종료 후, 상기 제1 그룹의 핵연료봉 중 일부인 제1 개수의 핵연료봉은 상기 핵연료 집합체내 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역으로 이동 배치되고, 상기 제1 그룹의 핵연료봉 중 나머지인 제 2 개수의 핵연료봉은 상기 핵연료 집합체로부터 분리되어 상기 가압 경수로의 외부로 배출되며,

상기 제1 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에 사용되지 않은 새로운 핵연료봉이 장전되어 기설정된 시간의 제2 주기 동안 상기 가압 경수로가 운전된 후, 상기 제2 주기의 운전 종료 시, 상기 제2 개수의 핵연료봉 중 일부의 핵연료봉과 상기 제1 그룹의 영역에 새로이 배치되었던 핵연료봉이 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역으로 이동 배치되고,

상기 제1 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에 사용되지 않은 새로운 핵연료봉이 장전되며, 기설정된 시간의 제3 주기 동안 운전되는

핵연료 집합체.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제2 복수의 핵연료봉은,

24개월의 장주기 운전이 가능한 우라늄 농축도를 가지는 핵연료 집합체.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 우라늄 농축도는,

4.7-4.95 w/o 범위인 핵연료 집합체.

청구항 5

제 2 항에 있어서,
상기 제1주기와 제2주기는 24개월이며,
상기 제3주기는 18개월인 핵연료 집합체.

청구항 6

제 5 항에 있어서,
상기 제1주기, 제2주기, 제3주기는,
상기 가압 경수로를 운전하는 하나의 운전세트를 구성하며, 상기 가압 경수로에 상기 운전세트가 반복적으로 적용되어 운전되는 핵연료 집합체.

청구항 7

제 6 항에 있어서,
상기 제2 개수의 핵연료봉 중 나머지 핵연료봉은,
상기 하나의 운전세트에 후속하는 다음 운전세트내 상기 제1주기 운전 전에 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에 장전되는 핵연료 집합체.

청구항 8

제 2 항에 있어서,
상기 제1 그룹의 핵연료봉과 상기 제2 그룹의 핵연료봉은 상기 핵연료 집합체의 중심부로부터 외부 방향으로 서로 교번적으로 배치되며, 상하좌우 방향으로 서로 연속하지 않도록 배치되는 핵연료 집합체.

청구항 9

제 2 항에 있어서,
상기 제1주기와 상기 제2주기에서,
상기 제1 그룹의 핵연료봉과 상기 제2 그룹의 핵연료봉은 각각 105개와 72개로 구성되고,
상기 제3주기에서,
상기 제1 그룹의 핵연료봉과 상기 제2 그룹의 핵연료봉은 각각 57개와 120개로 구성되는 핵연료 집합체.

청구항 10

가압 경수로 운전 방법으로서,
기설정된 제1 운전 시간 동안 운전이 가능한 제1 복수의 핵연료봉과 상기 제1 운전 시간보다 긴 제2 운전 시간 동안 운전이 가능한 제2 복수의 핵연료봉을 포함하는 핵연료 집합체를 구성하는 단계와,
상기 제1 복수의 핵연료봉과 제2 복수의 핵연료봉의 상기 제1 운전 시간과 상기 제2 운전 시간이 혼합된 혼합주

기로 상기 가압 경수로의 운전세트를 생성하는 단계와,
상기 운전세트를 반복적으로 적용하여 상기 가압 경수로를 운전시키는 단계
를 포함하는 가압 경수로 혼합주기 운전 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,
상기 운전시키는 단계는,
사용되지 않은 제1 그룹의 핵연료봉과 1회 사용된 제2 그룹의 핵연료봉을 포함하는 핵연료 집합체를 이용하여
기설정된 시간의 제1주기 동안 가압 경수로를 운전시키는 단계와,
상기 제1 주기의 운전이 종료되는 경우, 상기 제2 그룹의 핵연료봉을 상기 핵연료 집합체로부터 분리하여 상기
가압 경수로의 외부로 배출시키는 단계와,
상기 제1 주기의 운전 종료 후, 상기 제1 그룹의 핵연료봉 중 일부인 제1 개수의 핵연료봉을 상기 핵연료 집합
체내 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역으로 이동 배치시키는 단계와,
상기 제1 그룹의 핵연료봉 중 나머진 제2 개수의 핵연료봉을 상기 핵연료 집합체로부터 분리하여 상기 가압
경수로의 외부로 배출시키는 단계와,
상기 제1 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에는 사용되지 않은 새로운 핵연료봉을 장전시켜 기설정된 시간의 제
2주기 동안 상기 가압 경수로를 운전시키는 단계와,
상기 제2 주기의 운전 종료 후, 상기 제2 개수의 핵연료봉 중 일부의 핵연료봉과 상기 제1 그룹의 영역에 새로
이 배치되었던 핵연료봉을 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역으로 이동 배치하는 단계와,
상기 제1 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에는 사용되지 않은 기설정된 개수의 새로운 핵연료봉을 장전시켜 기
설정된 시간의 제3주기 동안 상기 가압 경수로를 운전시키는 단계
를 포함하는 가압 경수로 혼합주기 운전 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,
상기 제2 복수의 핵연료봉은,
24개월의 장주기 운전이 가능한 우라늄 농축도를 가지는 가압 경수로 혼합주기 운전 방법.

청구항 13

제 12 항에 있어서,
상기 우라늄 농축도는,
4.7-4.95 w/o 범위인 가압 경수로 혼합주기 운전 방법.

청구항 14

제 11 항에 있어서,
상기 제1주기와 제2주기는 24개월이며,

상기 제3주기는 18개월인 가압 경수로 혼합주기 운전 방법.

청구항 15

제 11 항에 있어서,

상기 제1주기, 제2주기, 제3주기는,

상기 가압 경수로를 운전하는 하나의 운전세트를 구성하며, 상기 가압 경수로에 상기 운전세트가 반복적으로 적용되어 운전되는 가압 경수로 혼합주기 운전 방법.

청구항 16

제 11 항에 있어서,

상기 제2 개수의 연료봉 중 나머지 연료봉은,

상기 혼합세트 중 하나의 운전세트에 후속하는 다음 운전세트내 제1주기 운전 전에 상기 제2 그룹의 연료봉이 배치되는 영역에 장전되는 가압 경수로 혼합주기 운전 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 가압 경수로에 관한 것으로, 특히 핵연료 교체시 필연적으로 발생하는 휴지기를 감안하여 원자로의 운전 주기를 추가적으로 확보하고, 추가 확보된 운전 주기를 수용할 수 있는 핵연료 배치 방식을 적용함으로써 원자로 운전 효율을 높이도록 하는 가압 경수로 장주기 운전을 위한 핵연료 집합체 및 혼합주기 운전 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 일반적으로, 가압 경수형 원자로에 압력을 가한 물을 냉각재와 중성자 감속재로 쓰는 원자로를 말한다.
- [0003] 이러한 가압 경수로에서 쓰이는 연료는 통상 U-235가 3 ~ 5% 정도 농축된 이산화 우라늄(UO_2) 분말을 소결시켜 직경 약 8 ~ 9mm, 길이 약 10mm의 원통형으로 소결체를 만든다.
- [0004] 이 소결체를 직경 약 9.5 ~ 10.2mm의 피복관에 길이가 약 3600 ~ 3800mm 높이로 쌓아 소결체 더미를 만들고, 그 위에 핵분열 생성기체를 포집할 길이 약 200 ~ 300mm의 플래넘을 만들고 열전달을 돕기 위하여 봉 내부에 헬륨을 주입한 상태에서 봉 양단을 마개로 막고 용접 밀봉한다.
- [0005] 완성된 핵연료봉은 상단 고정체, 하단 고정체, 안내관, 계측관, 지지 격자, 등이 구비된 핵연료 골격체에 장입이 되어 핵연료 집합체로 완성이 되는데, 이것을 원자로의 노심에 장전하게 된다.
- [0006] 한편, 가압 경수로에서는 핵연료가 원자로에 한번 장전이 되면, 모든 핵연료가 운전주기 말까지 정 위치에 고정되어 연소가 된다. 원자로의 운전주기는 약 18개월이 소요되며, 장전된 핵연료가 모두 연소되는 주기 말에는 추가 연소 능력이 상실된 핵연료는 원자로 밖으로 꺼내고, 대신 새로운 핵연료로 교체하여 장전한다.
- [0007] 이때, 핵연료를 교체하고 원자로를 정비 점검하는 데는 보통 한 달이 소요되는데, 이 기간 동안에는 원전의 가동이 중지되어 더 이상 전기를 생산할 수가 없다.
- [0008] 즉, 종래에는 하나의 노심(reactor core)에 대해 18개월 단위로 일괄적으로 운전 주기를 적용(18개월마다 연료봉의 1/3씩 새로운 핵연료로 교체)함에 따라 핵연료의 운전 효율을 높이는데 한계가 있었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0009] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허번호 10-2005-0022413호(공개일자 2005년 03월 08일)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0010] 따라서, 본 발명에서는 핵연료 교체시 필연적으로 발생하는 휴지기를 감안하여 원자로의 운전 주기를 추가적으로 확보하고, 추가 확보된 운전 주기를 수용할 수 있는 핵연료 구성 및 핵연료 배치 방식을 적용함으로써 원자로 운전 효율을 높이도록 하는 가압 경수로 장주기 운전을 위한 핵연료 집합체 및 운전 방법을 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0011] 상술한 본 발명의 일실시예에 따른 핵연료 집합체로서, 상기 핵연료 집합체는 가압 경수로 내부에 위치하고, 기 설정된 제1 운전 시간 동안 운전이 가능한 제1 복수의 핵연료봉과 상기 제1 운전 시간보다 긴 제2 운전 시간 동안 운전이 가능한 제2 복수의 핵연료봉을 포함하며, 상기 가압 경수로에는, 상기 제1 복수의 핵연료봉과 제2 복수의 핵연료봉의 상기 제1 운전 시간과 상기 제2 운전 시간이 혼합된 혼합주기로 구성된 운전세트에 의해 운전되는 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한, 상기 제1 복수의 핵연료봉 및 상기 제2 복수의 핵연료봉은, 사용되지 않은 제1 그룹의 핵연료봉과 1회 사용된 제2 그룹의 핵연료봉으로 구성되되, 기 설정된 시간의 제1주기 동안 상기 가압 경수로가 운전된 후, 상기 제2 그룹의 핵연료봉은 상기 핵연료 집합체로부터 분리되어 상기 가압 경수로의 외부로 배출되며, 상기 제1 주기의 운전 종료 후, 상기 제1 그룹의 핵연료봉 중 일부인 제1 개수의 핵연료봉은 상기 핵연료 집합체내 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역으로 이동 배치되고, 상기 제1 그룹의 핵연료봉 중 나머지인 제2 개수의 핵연료봉은 상기 핵연료 집합체로부터 분리되어 상기 가압 경수로의 외부로 배출되며, 상기 제1 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에 사용되지 않은 새로운 핵연료봉이 장전되어 기 설정된 시간의 제2주기 동안 상기 가압 경수로가 운전된 후, 상기 제2 주기의 운전 종료 시, 상기 제2 개수의 핵연료봉 중 일부의 핵연료봉과 상기 제1 그룹의 영역에 새로이 배치되었던 핵연료봉이 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역으로 이동 배치되고, 상기 제1 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에 사용되지 않은 새로운 핵연료봉이 장전되며, 기 설정된 시간의 제3주기 동안 운전되는 것을 특징으로 한다.

[0013] 또한, 상기 제2 복수의 핵연료봉은, 24개월의 장주기 운전이 가능한 우라늄 농축도를 가지는 것을 특징으로 한다.

[0014] 또한, 상기 우라늄 농축도는, 4.7-4.95 w/o 범위인 것을 특징으로 한다.

[0015] 또한, 상기 제1주기와 제2주기는 24개월이며, 상기 제3주기는 18개월인 것을 특징으로 한다.

[0016] 또한, 상기 제1주기, 제2주기, 제3주기는, 상기 가압 경수로를 운전하는 하나의 운전세트를 구성하며, 상기 가압 경수로에는 상기 운전세트가 반복적으로 적용되어 운전되는 것을 특징으로 한다.

[0017] 또한, 상기 제2 개수의 핵연료봉 중 나머지 핵연료봉은, 상기 하나의 운전세트에 후속하는 다음 운전세트내 상기 제1주기 운전 전에 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에 장전되는 것을 특징으로 한다.

[0018] 또한, 상기 제1 그룹의 핵연료봉과 상기 제2 그룹의 핵연료봉은, 상기 핵연료 집합체의 중심부로부터 외부 방향으로 서로 교번적으로 배치되며, 상하좌우 방향으로 서로 연속하지 않도록 배치되는 것을 특징으로 한다.

[0019] 또한, 상기 제1주기와 상기 제2주기에서, 상기 제1 그룹의 핵연료봉과 상기 제2 그룹의 핵연료봉은 각각 105개와 72개로 구성되고, 상기 제3주기에서, 상기 제1 그룹의 핵연료봉과 상기 제2 그룹의 핵연료봉은 각각 57개와 120개로 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0020] 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 가압 경수로 운전 방법으로서, 기 설정된 제1 운전 시간 동안 운전이 가능한 제1 복수의 핵연료봉과 상기 제1 운전 시간보다 긴 제2 운전 시간 동안 운전이 가능한 제2 복수의 핵연료봉을 포함하는 핵연료 집합체를 구성하는 단계와, 상기 제1 복수의 핵연료봉과 제2 복수의 핵연료봉의 상기 제1 운전 시간과 상기 제2 운전 시간이 혼합된 혼합주기로 상기 가압 경수로의 운전세트를 생성하는 단계와, 상기 운전세트를 반복적으로 적용하여 상기 가압 경수로를 운전시키는 단계를 포함한다.

[0021] 또한, 상기 운전시키는 단계는, 사용되지 않은 제1 그룹의 핵연료봉과 1회 사용된 제2 그룹의 핵연료봉을 포함하는 핵연료 집합체를 이용하여 기설정된 시간의 제1주기 동안 가압 경수로를 운전시키는 단계와, 상기 제1 주기의 운전이 종료되는 경우, 상기 제2 그룹의 핵연료봉을 상기 핵연료 집합체로부터 분리하여 상기 가압 경수로의 외부로 배출시키는 단계와, 상기 제1 주기의 운전 종료 후, 상기 제1 그룹의 핵연료봉 중 일부인 제1 개수의 핵연료봉을 상기 핵연료 집합체내 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역으로 이동 배치시키는 단계와, 상기 제1 그룹의 핵연료봉 중 나머지인 제2 개수의 핵연료봉을 상기 핵연료 집합체로부터 분리하여 상기 가압 경수로의 외부로 배출시키는 단계와, 상기 제1 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에는 사용되지 않은 새로운 핵연료봉을 장전시켜 기설정된 시간의 제2주기 동안 상기 가압 경수로를 운전시키는 단계와, 상기 제2 주기의 운전 종료 후, 상기 제2 개수의 핵연료봉 중 일부의 핵연료봉과 상기 제1 그룹의 영역에 새로이 배치되었던 핵연료봉을 상기 제2 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역으로 이동 배치하는 단계와, 상기 제1 그룹의 핵연료봉이 배치되는 영역에는 사용되지 않은 기설정된 개수의 새로운 핵연료봉을 장전시켜 기설정된 시간의 제3주기 동안 상기 가압 경수로를 운전시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0022] 또한, 상기 제2 복수의 핵연료봉은, 24개월의 장주기 운전이 가능한 우라늄 농축도를 가지는 것을 특징으로 한다.

[0023] 또한, 상기 우라늄 농축도는, 4.7-4.95 w/o 범위인 것을 특징으로 한다.

[0024] 또한, 상기 제1주기와 제2주기는 24개월이며, 상기 제3주기는 18개월인 것을 특징으로 한다.

[0025] 또한, 상기 제1주기, 제2주기, 제3주기는, 상기 가압 경수로를 운전하는 하나의 운전세트를 구성하며, 상기 가압 경수로에 상기 운전세트가 반복적으로 적용되어 운전되는 것을 특징으로 한다.

[0026] 또한, 상기 제2 개수의 연료봉 중 나머지 연료봉은, 상기 혼합세트 중 하나의 운전세트에 후속하는 다음 운전세트내 제1주기 운전 전에 상기 제2 그룹의 연료봉이 배치되는 영역에 장전되는 것을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0027] 본 발명에 따르면, 가압 경수로 장주기 운전을 위한 핵연료 집합체 및 혼합주기 운전 방법에 있어서, 핵연료 교체시 필연적으로 발생하는 휴지기를 감안하여 원자로의 운전 주기를 추가적으로 확보하고, 추가 확보된 운전 주기를 수용할 수 있는 핵연료 배치 방식을 적용함으로써 원자로 운전 효율을 높일 수 있는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 실시예가 적용되는 가압 경수로 원자로의 단면 구조도이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 핵연료 집합체의 상세 블록 구성도이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따라 가압 경수로 원자로에서 우라늄을 고농축시킨 핵연료 집합체를 이용하여 혼합주기 운전을 수행하는 방법 예시도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 핵연료 집합체의 장전 모형 예시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0029] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 동작 원리를 상세히 설명한다. 하기에서 본 발명을 설명함에 있어서 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 그리고 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 그 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다.

[0030] 도 1은 본 발명의 실시예가 적용되는 가압 경수로 원자로의 단면 구조를 도시한 것이다.

[0031] 이하, 위 도 1을 참조하여 본 발명의 실시예가 적용되는 가압 경수로 원자로의 각 구성요소에서의 동작을 보다 상세히 설명하기로 한다.

[0032] 먼저, 가압 경수로 원자로는 수직으로 형성되는 실린더형의 압력용기(pressure vessel)(100)를 포함한다.

[0033] 압력용기(100)의 내부에는 핵연료봉이 장전되는 핵연료 집합체(nuclear reactor core)(102)이 위치한다. 이때, 이러한 핵연료 집합체(102)는 복수의 핵연료봉(fissile material)으로 구성되며, 압력용기(100)의 하부에 위치

되어 일반적으로 경수(light water, H₂O) 등의 냉각수에 담겨지는 상태로 구현될 수 있다.

- [0034] 이러한 핵연료봉은 예를 들어 우라늄 235를 기설정된 비율로 농축하여 제작될 수 있다. 또한, 이러한 핵연료봉은 종래에는 일반적으로 우라늄 235를 2-3%로 농축하여 통상 18개월을 주기로 운전할 수 있도록 제작하고 있으나, 18개월로 운전을 하는 경우 핵연료 집합체(102)의 사용 효율을 높이는데 한계가 있었음은 전술한 바와 같다.
- [0035] 따라서, 본 발명의 실시예에서는 핵연료 집합체(102)의 운전 기간을 기존의 18개월 보다 장주기로 운전할 수 있도록 하기 위해 핵연료봉을 4.5%-4.95% 범위의 우라늄 농축도로 농축하여 24개월의 장주기 운전이 가능하도록 한다.
- [0036] 중앙 수직관(cylindrical central riser)(104)은 압력 용기(100) 내부에 동심원으로 배치되며, 핵연료 집합체(102)에 의해 가열된 냉각수를 압력 용기(100)의 상부로 이동될 수 있도록 한다.
- [0037] 증기 발생기(steam generator)(106)는 압력 용기(100) 내부의 하부 공간(110)과 상부 공간(112) 사이에 중앙 수직관(104)을 감싸도록 형성된다.
- [0038] 증기 발생기(106)는 복수의 튜브(108)를 포함하며, 각 튜브(108)는 압력 용기(100)상 상부 공간(112)으로부터 하부 공간(110)으로 냉각수를 이동시키도록 형성된다. 따라서 핵연료 집합체(102)에 대한 운전이 시작되는 경우 핵연료 집합체(102)에 의해 가열된 냉각수가 중앙 수직관(104)을 통해 압력 용기(100)의 상부로 이동되고, 압력 용기(100)의 상부로 이동된 냉각수는 다시 증기 발생기(106)의 튜브(108)를 통해 압력 용기(100)의 하부로 이동된다. 따라서, 가열된 냉각수가 튜브(108)를 통해 증기로 발생되어 경수로 외부의 터빈(도시되지 않음)으로 인가됨으로써 발전이 수행된다.
- [0039] 도 2는 상기 도 1의 핵연료 집합체의 상세 블록 구성을 도시한 것이다. 이하, 도 2를 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 핵연료 집합체의 각 구성요소의 동작을 상세히 설명하기로 한다.
- [0040] 먼저, 핵연료 집합체(102)는 수직 배열된 복수의 핵연료봉(202)을 포함하며, 핵연료 집합체(102) 내부의 각 핵연료봉(202)은 18개월 이상의 장주기 운전을 위해 우라늄 235를 4.5-4.95%까지 농축한 것일 수 있다.
- [0041] 각 핵연료봉(202) 사이에는 가이드 튜브(guide tube)(204)가 배치되며, 이러한 가이드 튜브(204)를 통해 제어 로드(control rod)(212)가 핵연료 집합체(102)의 내부로 삽입되거나 배출될 수 있다.
- [0042] 복수의 스페이서 그리드(spacer grid)(206)는 핵연료 집합체(102) 내부의 복수의 핵연료봉(202)을 고정시킨다.
- [0043] 제어 로드 어셈블리(220)는 요크 또는 스파이더(yoke or spider)(214)에 의해 연결 로드(connecting rod)(216)와 연결되는 제어 로드(212)를 포함하며, 이러한 제어 로드(212)는 소정 제어에 따라 핵연료 집합체(102)상 각각의 핵연료봉(202) 사이의 공간을 통해 내부로 삽입되거나 핵연료 집합체(102)상 각각의 핵연료봉(202) 사이의 공간으로부터 외부로 배출되는 것을 핵연료 집합체(102) 내부의 각 핵연료봉(202)의 핵분열 반응 속도를 제어한다. 이때, 연결 로드(216)는 CDRM(control rod drive mechanism)(도시되지 않음)에 연결되어 CDRM의 제어에 따라 상승 또는 하강되도록 제어됨으로써 제어 로드(212)가 핵연료 집합체(102)상 각각의 핵연료봉(202) 사이의 공간을 통해 내부로 삽입되거나 외부로 배출된다.
- [0044] 도 2에서는 제어 로드 어셈블리(220)가 핵연료 집합체(102)로부터 완전히 분리된 것을 예시한 것으로, 이와 같이 제어 로드 어셈블리(220)가 핵연료 집합체(102)로부터 완전히 분리된 상태에서는 핵연료 집합체(102) 내부의 핵연료봉(202)에서의 핵분열 반응이 최대로 일어나게 된다.
- [0045] 이때, 핵연료봉(202)에서의 반응 속도를 낮추는 것이 필요한 경우 CDRM은 제어 로드 어셈블리(220)를 하강시켜, 제어 로드 어셈블리(40)의 제어 로드(42)의 하부 끝단이 핵연료 집합체(102)상 형성된 가이드 튜브(204)를 통해 핵연료 집합체(102)상 각각의 핵연료봉(202) 사이의 공간을 통해 내부로 삽입될 수 있도록 한다.
- [0046] 이때, 제어 로드(212)는 중성자 포이즌(neutron poison)을 포함하고 있어서, 핵연료 집합체(102)의 내부로 삽입된 제어 로드(212)가 핵분열 반응에 따라 핵연료봉(202)으로부터 생성되는 중성자의 일부를 흡수함으로써 핵연료 집합체(102)의 핵분열 반응 속도를 낮출 수 있게 되는 것이다.
- [0047] 도 3은 본 발명의 실시예에 따라 가압 경수로 원자로에서 우라늄을 고농축시킨 핵연료 집합체를 이용하여 혼합주기 운전을 수행하는 방법을 도시한 것이다.
- [0048] 이하, 도 1 내지 도 3을 참조하여 본 발명의 실시예에 따른 혼합주기 운전 방법을 상세히 설명하기로 한다.

- [0049] 종래, A,B,C그룹으로 나누어서 노심을 3분의1씩 장전했다면, 본 발명에서는 A,B그룹으로 나누어서 핵연료 집합체의 2/3를 사용하게 하고, 다시 1/3을 사용하게 하는 방식으로 장전한다. 이때, C그룹을 버린다고 하면 낭비가 발생하므로, 핵연료봉의 연료를 좀더 효율적으로 사용하도록 하기 위해 24개월만 운전하는 것이 아니고, 중간에 18개월 주기를 혼합하여 좀더 짧은 주기가 남아 있는 핵연료봉을 장전해서 함께 사용할 수 있도록 함으로써 연료의 사용 효율을 보다 높일 수 있도록 한다.
- [0050] 즉, 도 3에서 보여지는 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 가압 경수로 원자로의 운전 방식에서는 제1주기(S1)인 24개월, 제2주기(S2)인 24개월, 제3주기(S3)인 18개월로 이루어지는 제1 혼합주기 운전세트(first set of mixed operation)(300)와 제2 혼합주기 운전세트(second set of mixed operation)(350)가 반복되도록 가압 경수로 원자로를 운전하게 된다.
- [0051] 이때, 복수의 핵연료봉(202)은, 사용되지 않은 제1 그룹의 핵연료봉(fresh)(310)과 1회 사용된 제2 그룹의 핵연료봉(once)(312)으로 구성될 수 있으며, 이러한 제1 그룹의 핵연료봉(fresh)(310)과 제2 그룹의 핵연료봉(once)(312)의 배치에 있어서는 본 발명의 실시예에 따른 핵연료 집합체의 장전 모형을 도시한 도 4에서 보여지는 바와 같이 핵연료 집합체(100)의 전체 영역 중 중심부로부터 외부 방향으로 제1 그룹의 핵연료봉(fresh)(310)과 제2 그룹의 핵연료봉(once)(312)이 교차적으로 배치되도록 할 수 있다. 또한, 제1 그룹의 핵연료봉(fresh)(310)과 제2 그룹의 핵연료봉(once)(312)이 중심부로부터 동심원 형태로 배치되도록 하되, 제1 그룹의 핵연료봉(fresh)(310) 또는 제2 그룹의 핵연료봉(once)(312)은 상하좌우 방향으로 서로 연속하여 배치되지 않도록 할 수 있다.
- [0052] 이하, 도 4를 참조하여 핵연료봉의 배치에 대하여 좀더 자세히 설명하기로 한다. 먼저 도 4에서는 제1 그룹의 핵연료봉(fresh)(310)과 제2 그룹의 핵연료봉(once)(312)을 포함하여 중심부를 중심으로 원형 형태로 배치되는 핵연료 집합체의 1/4 부분만을 예시적으로 도시한 것이다.
- [0053] 이때, 종래 18개월 운전에서는 핵연료 집합체의 배치에 있어서 신연료(fresh fuel), 1회 사용된 연료(once burned fuel), 2회 사용된 연료(twice burned fuel)를 배치하는 3배치 방식을 사용하고 있으나, 본 발명의 실시예에 따른 24개월 장주기 운전 방식에서는 신연료(fresh fuel) 즉, 제1 그룹의 핵연료봉(fresh)(310)과, 1회 사용된 연료(once burned fuel) 즉, 제2 그룹의 핵연료봉(once)(312)으로 구성되는 2배치 방식을 사용하도록 한다. 위와 같이 2배치 방식을 사용하는 이유는 24개월 장주기 운전을 위한 것으로 핵연료 사용 효율 또는 18개월에 비해 크게 차이가 없게 된다. 이때, 2배치 방식에서는 핵연료의 우라늄 농축도를 4.65 w/o(18개월 시 농축도)에 비해 상대적으로 높은 4.7 - 4.95 w/o로 하는 것이 바람직하다.
- [0054] 이하, 다시 혼합주기 운전 방법에 대해 설명을 계속하면, 제1 혼합주기 운전세트(300)의 제1 주기(S1)에서는 사용되지 않은 제1 그룹의 핵연료봉(310)과 1회 사용된 제2 그룹의 핵연료봉(312)을 포함하는 핵연료 집합체(100)를 이용하여 기설정된 시간의 제1주기 동안 가압 경수로 원자로를 운전시킨다.
- [0055] 이때, 제1 주기는 가압 경수로 원자로를 24개월 운전시키는 주기가 될 수 있고, 제1 그룹의 핵연료봉(310)은 새로운 핵연료봉으로서 예를 들어 101개를 장전시키며, 그 전 주기에서 한번 사용되고 나온 핵연료봉 76개를 제2 그룹의 핵연료봉(312)으로 장전시킨 후, 제1주기 동안 가압 경수로 원자로를 운전시키게 된다.
- [0056] 이어, 제1 주기의 운전이 종료되는 경우, 제2 그룹의 핵연료봉(312)을 핵연료 집합체(102)로부터 분리하여 가압 경수로 원자로의 외부로 배출시킨다. 그리고, 제1 주기의 운전 종료 후, 제1 그룹의 핵연료봉(310) 중 일부인 제1 개수의 핵연료봉을 핵연료 집합체(102)내 제2 그룹의 핵연료봉(312)이 배치되는 영역으로 이동 배치시킨다.
- [0057] 또한, 제1 그룹의 핵연료봉(310) 중 나머지인 제2 개수의 핵연료봉을 핵연료 집합체(102)로부터 분리하여 가압 경수로 원자로의 외부로 배출시키며, 제1 그룹의 핵연료봉(310)이 배치되는 영역에는 사용되지 않은 새로운 핵연료봉을 장전시켜 기설정된 시간의 제2주기(S2) 동안 가압 경수로를 운전시킨다.
- [0058] 이때, 예를 들어 제1 주기에서 제1 그룹의 핵연료봉(310)으로 장전된 새로운 핵연료봉이 1회 사용되고 나온 것이 101개 생긴다. 이러한 101개의 1회 사용된 핵연료봉중 76개를 선택해서 제2 그룹의 핵연료봉(312)으로 장전하게 되며, 나머지 25개는 제3주기(S3)에서 핵연료 집합체(102)로부터 분리하여 따로 보관하여 두었다가, 4개는 제3주기 운전 시 제2 그룹의 핵연료봉(312)으로 장전시키고, 20개는 제2 혼합주기 운전 세트(350)의 제1주기 운전 시 제2 그룹의 핵연료봉(312)으로 장전시키게 된다. 즉, 앞서 설명한 제1 개수의 핵연료봉은 예를 들어 76개가 될 수 있고, 제2 개수의 핵연료봉은 25개가 될 수 있는데, 이러한 25개의 1회 사용된 핵연료봉은 따로 보관하였다가 다음 주기에 나누어서 사용하게 되는 것이다.

- [0059] 이때, 25개의 1회 사용된 핵연료봉 중 1개의 핵연료봉은 버려지게 된다. 그 이유는 중간에 새로운 핵연료를 장전하고 원자로를 운전할 때 1/4로 대칭으로 운전을 시키게 되는데 중간 부분에서 1회 사용된 1개의 핵연료봉을 중간에 넣기에는 안전장치에 맞게 설계하는데 어려움이 있기 때문이다.
- [0060] 또한, 제1 주기에서 제2 그룹의 핵연료봉(312)으로 사용되었던 76개의 핵연료봉은 핵연료 집합체(102)에서 분리하여 가압 경수로 원자로의 외부로 배출시킨다. 이때, 제2 주기 또한 가압 경수로 원자로를 24개월 운전시키는 주기가 될 수 있다.
- [0061] 이어, 제2 주기의 운전이 종료되는 경우, 제1 주기의 운전 후, 보관해 두었던 제2 개수의 핵연료봉 중 일부의 핵연료봉과 제2 주기의 운전 시, 제1 그룹의 영역에 새로이 배치되어 1회 사용된 핵연료봉(310)을 제2 그룹의 핵연료봉(312)이 배치되는 영역으로 이동 배치시킨다. 또한, 제1 그룹의 핵연료봉(310)이 배치되는 영역에는 사용되지 않은 기설정된 개수의 새로운 핵연료봉을 장전시켜 기설정된 시간의 제3주기 동안 가압 경수로를 운전시킨다.
- [0062] 이때, 예를 들어 제2 주기의 운전을 통해 제1 그룹의 핵연료봉(310)으로 장전된 새로운 핵연료봉이 1회 사용되고 나온 것이 101개 생긴다. 이러한 101개의 1회 사용된 핵연료봉 중 1개는 버리고 나머지 100개를 제2 그룹의 핵연료봉(312)으로 장전시킨다. 또한, 제1주기 운전 종료 후, 제1 그룹의 핵연료봉(310) 중 1회 사용하고 보관하였던 25개의 핵연료봉 중 4개를 제3주기에서 제2 그룹의 핵연료봉(312)으로 장전시켜 제2 그룹의 핵연료봉(312)은 총 104개가 장전된다.
- [0063] 또한, 제1 그룹의 핵연료봉(310)이 배치되는 영역에는 사용되지 않은 새로운 핵연료봉을 57개 장전시킨다. 또한, 제2주기에서 제2그룹의 핵연료봉으로 사용되었던 76개 핵연료봉 중 16개를 제3주기의 제3그룹의 핵연료봉(314)으로 장전시킨다. 이때, 제3 주기는 가압 경수로 원자로를 18개월 운전시키는 주기가 될 수 있다.
- [0064] 위와 같은 18개월의 제3주기의 운전 이후, 제2 혼합주기 운전세트의 제1주기에서는 제1 혼합주기 운전 세트의 제1주기에서 1회 사용되고 보관되었던 16개의 핵연료봉이 제2 그룹의 핵연료봉으로 장전되고, 제3주기에서 1회 사용된 56개의 핵연료봉이 제2 그룹의 핵연료봉으로 장전되어 총 72개의 핵연료봉이 장전된다. 또한, 제1 그룹의 핵연료봉으로는 105개의 새로운 핵연료봉이 장전되어 제2 혼합주기 운전세트의 제1주기 동안 가압 경수로 원자로를 운전시키게 되어, 제1 혼합주기 운전 세트와 동일한 형태로 가압 경수로 원자로에 대한 운전을 수행하게 된다. 즉, 제1 혼합주기 운전 세트와 제2 혼합주기 운전세트가 계속 반복되면서 가압 경수로 원자로에 대한 운전을 수행하게 되는 것이다.
- [0065] 한편, 핵연료봉의 우라늄 농축도를 높여서 원자로의 운전 주기를 늘림으로써 핵연료의 사용 효율을 높이는 운전 방식에 있어서, 24개월-24개월-24개월로 고정하여 운영하는 경우, 제1주기에서 1회 사용된 핵연료봉은 마지막 24개월 주기에서는 사용할 수 없기 때문에 한 주기에서만 사용되고 버려지게 되는 문제점이 있을 수 있다. 따라서, 본원 발명의 실시예에서와 같이 제3주기에서는 원자로의 운전 주기를 18개월로 설정하여 1회 사용된 핵연료봉이 다음 주기에서 한번 더 사용될 수 있도록 하는 경우 핵연료봉의 사용 효율을 높일 수 있게 된다. 또한, 원자로의 운전 주기를 18개월로 운전하는 경우, 1회 또는 2회 사용된 핵연료봉을 재사용하여 운전하되 1회 또는 2회 사용된 핵연료봉 중 상대적으로 원자로의 중심 부분에 위치하였던 연료봉을 18개월 운전시 재사용하도록 하여 핵연료봉의 사용 효율을 높일 수도 있다.
- [0066] 즉, 종래 일반적인 핵연료 집합체 하나가 18개월-18개월-18개월로 54개월 동안 탈 수 있도록 되어 있는데, 본원 발명에서와 같이 원자로의 운전 주기를 24개월로 고정하게 되는 경우 총 두 번의 주기밖에 사용할 수 없게 되어 핵연료봉의 사용주기가 24개월+24개월=48개월밖에 안된다. 그러면 핵연료봉 하나를 54개월 동안 사용할 수 있는 것과 비교하여 48개월밖에 사용하지 못하는 것은 오히려 손해가 나는 것이다.
- [0067] 그런데, 본 발명의 실시예에서와 같이 24개월로 운전하는 중간에 18개월 운전 주기를 넣음으로서, 24개월-24개월-18개월을 주기로 하는 경우 핵연료봉 하나를 66개월을 사용할 수 있는 것이다. 즉, 24개월을 운전을 계속하게 되면, 덜 타고 버려질 수 있는 핵연료 양이 많아지기 때문에 중간에 18개월 운전을 결합해서 24개월 까지 태울 수 있는 양은 안 되지만 18개월 정도를 태울 수 있는 핵연료를 적절하게 배치하여 가압 경수로를 혼합주기로 운전시킴으로써 핵연료가 보다 효율적으로 사용될 수 있도록 한다.
- [0068] 상술한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 가압 경수로 장주기 운전을 위한 핵연료 집합체 및 혼합주기 운전 방법에 있어서, 핵연료 교체시 필연적으로 발생하는 휴지기를 감안하여 원자로의 운전 주기를 추가적으로 확보하고, 추가 확보된 운전 주기를 수용할 수 있는 핵연료 배치 방식을 적용함으로써 원자로 운전 효율을 높일 수 있다.

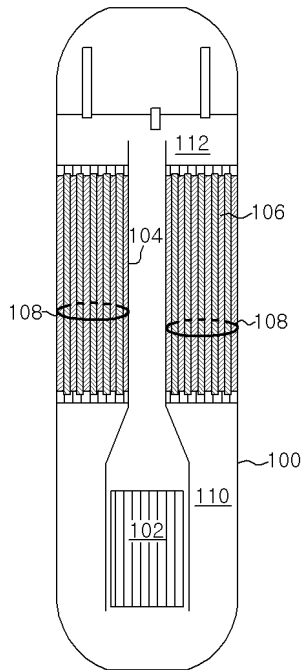
[0069] 한편 상술한 본 발명의 설명에서는 구체적인 실시예에 관해 설명하였으나, 여러 가지 변형이 본 발명의 범위에
서 벗어나지 않고 실시될 수 있다. 따라서 발명의 범위는 설명된 실시 예에 의하여 정할 것이 아니고 특허청구
범위에 의해 정하여져야 한다.

부호의 설명

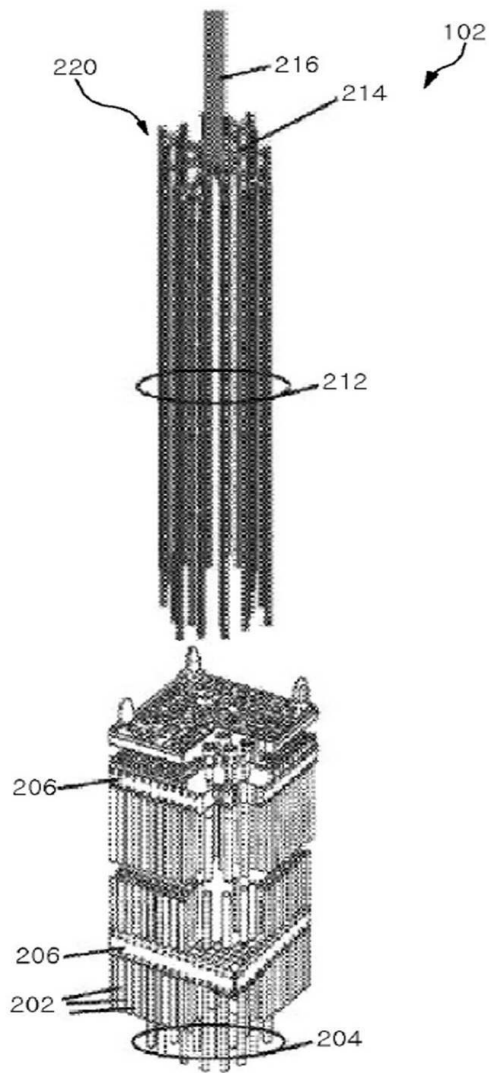
[0070]	100 : 압축 용기	102 : 핵연료 집합체
	104 : 중앙 수직관	106 : 증기 발생기
	108 : 튜브	110 : 하부 공간
	112 : 상부 공간	202 : 핵연료봉
	310 : 제1 그룹 핵연료봉	312 : 제2 그룹 핵연료봉
	314 : 제3 그룹 핵연료봉	

도면

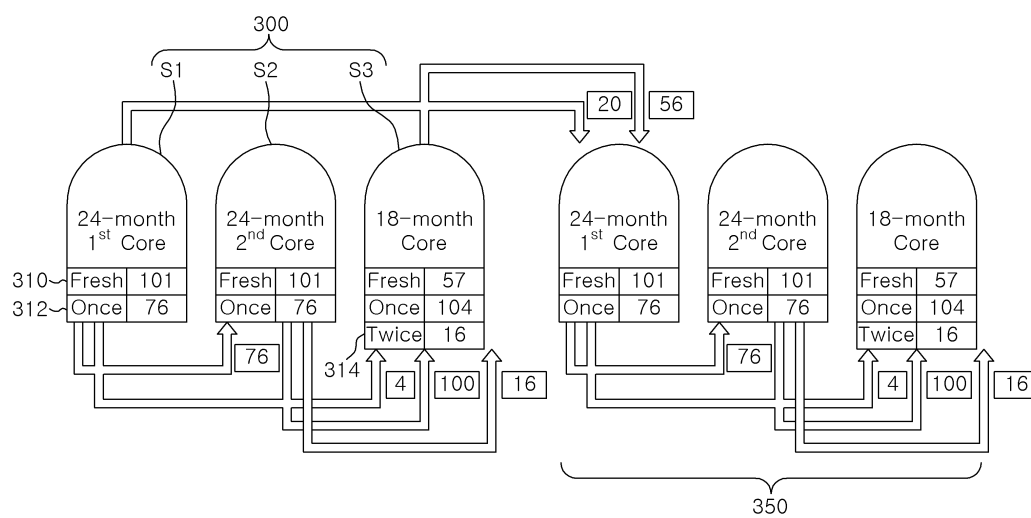
도면1



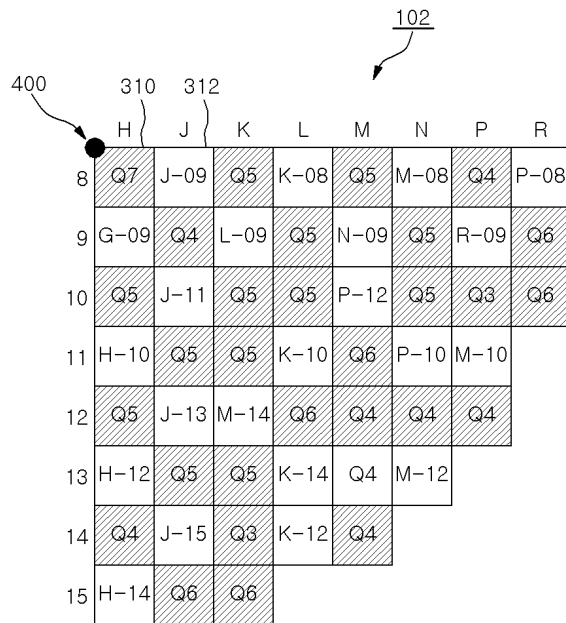
도면2



도면3



도면4



310 ~  Fresh fuel
 312 ~  Once burned fuel