



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호  
(43) 공개일자

특2001-0014855  
2001년02월26일

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (51) 국제분류코드<br><b>G21C 3/32</b> (2006.01)              | (71) 출원인<br>아르헨틴 내셔널 아토믹 에너지 커미션<br>아르헨티나 공화국 (1429) 부에노스 아이레스 에이브이.텔 리베르타도르 8250, 아르헨티나                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| (21) 출원번호<br>10-2000-0023330                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| (22) 출원일자<br>2000년05월01일                               | (72) 발명자                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| (30) 우선권주장<br>P99-01-02054<br>1999년05월03일<br>아르헨티나(AR) | 플로리도,파블로카를로스<br>아르헨티나공화국(1429)부에노스아이레스에이브이.텔리베르타도르 8250, 아르헨티나<br>씨리멜로,로베르토오마르<br>아르헨티나공화국(1429)부에노스아이레스에이브이.텔리베르타도르 8250, 아르헨티나<br>베르갈로,주안에스테반<br>아르헨티나공화국(1429)부에노스아이레스에이브이.텔리베르타도르 8250, 아르헨티나<br>마리노,아르만도카를로스<br>아르헨티나공화국(1429)부에노스아이레스에이브이.텔리베르타도르 8250, 아르헨티나<br>브라스나로프,다니엘오스카<br>아르헨티나공화국(1429)부에노스아이레스에이브이.텔리베르타도르 8250, 아르헨티나<br>델마스트로,다리오파비안<br>아르헨티나공화국(1429)부에노스아이레스에이브이.텔리베르타도르 8250, 아르헨티나<br>곤잘레스,조세헤토르<br>아르헨티나공화국(1429)부에노스아이레스에이브이.텔리베르타도르 8250, 아르헨티나<br>주아니코,루이스에두아르도<br>아르헨티나공화국(1429)부에노스아이레스에이브이.텔리베르타도르 8250, 아르헨티나 |
|                                                        | (74) 대리인<br>방해철<br>김용인                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                                                        | (77) 심사관<br>없음                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

전체 청구항 수 : 총 14 항

(54)냉각채널을 구비한 상이한 핵발전 설비에 적용가능한모듈형 연료 부재

(57)요약

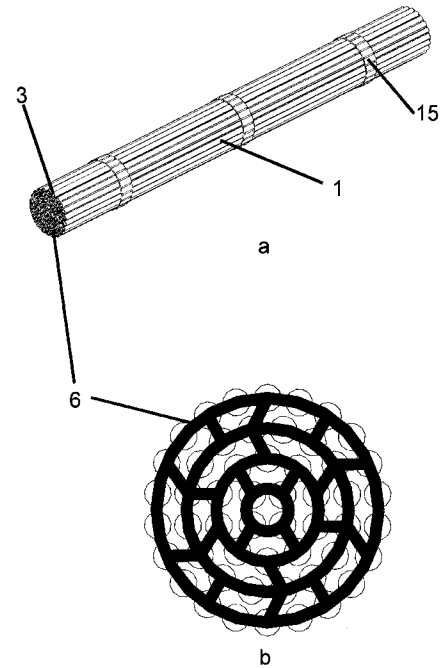
대표도 - 도 3

본 발명은 모듈형 핵 연료 부재에 관한 것으로, 수평 및 수직 냉각 채널을 구비하는 상이한 핵발전 설비에서 이용될 수 있도록 조립체 시스템에 의해 적용될 수 있다. 모듈은 원형의 동심 링으로 설치되어 구조적 시스템에 의해 지지되는 형행한 연료봉들의 집합체로 이루어진다. 상기 모듈은 열전달 영역과 연료봉 횡단영역과의 비율이 330 이상인 단일 직경의 연료봉 어레이이다. 또한, 모듈은 13개 이하의 용접된 끝단 스톱퍼로 그들에 부착되는 붕괴가능한 피복관인 자체 지지용의 연료부재 스페이스 그리드를 구비한다. 상기 연료봉의 수는 43개 이상이다. 모듈의 길이는 가장 큰 연료보급장치의 길이와 일치하여, 구조상의 끝단부에 의해 발생하는 수력학적 제한을 감소시키고, 더 큰 냉각 영역을 갖는 연료 부재를 제공함으로써 이 균형을 잡아줄 수 있다. 이것은 수력학적 제한과 채널에서의 현재 전체 연료량을 유지시킨다.

모듈형 연료 부재는 상이한 우라늄 및/또는 플루토늄 동위원소 농축물, 및/또는 임의의 다른 핵연료로(악티나이드(actinide), 뉴클리어 포이즌(nuclear poisons), 핵분열물 또는 다른 핵 반응로로부터 나온 핵물질 등의) 이루어진 핵연료 혼합체를 함유할 수 있다.

수평 채널을 구비한 가압 중수로에서 연료 모듈이 사용되는 것은 본 발명의 한 적용례이다. 다른 적용례로 수직 연료 채널을 구비한 핵 반응로에서 여러개의 연료 모듈을 조립하여 사용하는 것을 들 수 있다.

키워드 : 핵연료, 원자력, 연료 모듈



## 청구의 범위

### 청구항 1

원형의 동심 링으로 장착되고 수평 채널을 갖는 핵발전 설비에서 이용될 수 있는 구조적 시스템에 의해 지지되는 평행한 연료봉들의 집합체로 이루어지고, 단위 길이당으로 정의되는 열전달 영역과 연료봉 횡단영역과의 비율이 330 이상이 되도록 설치되는 원통형 바아 또는 연료봉 어레이로 구성되며, 상기 원통형의 연료봉은 단일한 직경을 갖도록 된, 냉각 채널을 구비한 상이한 핵발전 설비에 적용가능한 모듈형 연료 부재.

### 청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 열전달 영역과 연료봉 횡단영역과의 비율이 360 이상이 되도록 한 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

### 청구항 3

제 1항 또는 제 2항에 있어서, 연료 부재의 길이는 가장 긴 연료보급장치와 일치하도록 된 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

### 청구항 4

제 3항에 있어서, 연료 부재의 길이는 0.5m 보다는 크고 1.0m 와 같거나 작은 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

### 청구항 5

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 있어서, 모듈형 연료부재는 자체 지지용의 연료부재 스페이서 그리드들을 추가로 구비하고, 상기 스페이서 그리드들은 20개 이하의 용접된 끝단 스톱퍼에 의해 그들에 부착된 붕괴가능한 피복관이지만, 중간에 길이방향의 위치들은 피복관에 용접되지 않는 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

### 청구항 6

제 1항 내지 제 5항 중 어느 한 항에 있어서, 용접된 끝단 스톱퍼의 수는 13개 이하인 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

### 청구항 7

제 1항 내지 제 6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 연료봉의 수는 43개 이사이고, 그의 단일한 직경은 11mm이하인 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

## 청구항 8

제 7항에 있어서, 모듈형 연료 부재는 4개의 동심 링에 배열 설치되는 52개의 평행한 연료봉을 더 포함하고, 상기한 배열 설치에 있어서 상대적 위치를 조정하는 강체 연료봉 패드와 연질 연료봉 패드를 구비하는 3개의 자체 지지용 스페이서 그리드가 포함되는 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

## 청구항 9

제 1항 내지 제 8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 자체 지지용의 스페이서 그리드에 베어링패드가 용접되어, 수평 채널의 핵발전 설비에서 이용될 때, 연료 채널 상에 지지 기능을 제공하는 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

## 청구항 10

제 1항 내지 제 6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 모듈형 연료 부재는 중수 수직 채널을 구비한 핵발전 설비에 적용될 수 있고, 상기 연료 부재의 총 길이에 적용가능한 모듈들 사이에 해제가능한 커플링을 추가로 구비하는 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

## 청구항 11

제 10항에 있어서, 상기 커플링 시스템은 끝단 플레이트 사이에 설치매개물을 구비하여, 여러개의 연료 부재들이 서로 결합되어 하나의 긴 연료 부재를 이룰 수 있도록 된 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

## 청구항 12

제 10항에 있어서, 상기 커플링 시스템은 상기 여러개의 연료 모듈을 부착함으로써 하나의 긴 연료 부재를 형성하는 외부몸체인 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

## 청구항 13

제 10항에 있어서, 상기 커플링 시스템은 하나의 긴 연료 부재를 형성하도록 다른 연료 모듈에 적용가능하도록 된 내측 설치부재를 구비하는 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

## 청구항 14

제 1항 내지 제 13항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 연료부재는 상이한 우라늄, 및/또는 플루토늄 동위원소 농축물, 및/또는 악티나이드(actinide), 뉴클리어포이즌(nuclear poisons), 핵분열물 또는 다른 핵 반응로부터 나온 핵물질 등의 임의의 다른 핵연료로 이루어진 핵연료 혼합체를 함유하는 것을 특징으로 하는 모듈형 연료 부재.

명세서

발명의 명칭

냉각채널을 구비한 상이한 핵발전 설비에 적용가능한 모듈형 연료 부재{MODULAR FUEL ELEMENT ADAPTABLE TO DIFFERENT NUCLEAR POWER PLANTS WITH COOLING CHANNELS}

도면의 간단한 설명

도 1a와 도 1b는 종래의 연료 부재를 나타낸 것으로, 각각 엠발세 핵발전소의 연료 부재(수평형)의 측면도 및 사시도

도 2a와 도 2b는 종래의 다른 연료 부재를 나타낸 것으로, 각각 아투차 I 핵발전소의 연료 부재의 정면도 및 A-A선 단면도

도 3a와 도 3b는 각각 본 발명의 연료 부재의 사시도와 측면도

도 4a와 도 4b 및 도 4c는 하나의 스페이서 그리드의 측면도와 정면도를 나타낸다.

도 5는 본 발명의 연료 모듈의 외형을 도시한 사시도

도 6은 본 발명의 연료 부재의 한쪽 끝단부를 나타낸 부분 사시도

도 7은 본 발명의 연료 부재를 결합시키기 위한 윈도우 또는 개방부를 구비한 외측튜브를 구비하는 연료부재의 다른 실시예를 나타낸 사시도

도면의 주요 부분의 참조부호에 대한 설명

1 - 피복관      3 - 플러그

6 - 끝단 플레이트      15 - 스페이서 그리드

16 - 지지구조체      17 - 강체 스페이서

18 - 연질 스페이서      19 - 패드

20 - 외부 스트랩      21 - 스톱퍼

22 - 중간연결시스템      23 - 강체 또는 연질 스페이서

24 - 그리드      25 - 외측튜브

발명의 상세한 설명

본 발명은 모듈형 핵연료 부재에 관한 것으로, 특히 냉각채널을 구비하는 상이한 핵발전 설비에 이용될 수 있도록 하는 조립체 시스템에 의해 적용될 수 있는 것이다. 상기 모듈은 원형의 동심(同心) 링으로 장착되고 구조적 시스템에 의해 지지되는 평행한 연료봉 집합체이다. 또한, 이 조립체 시스템은 적용가능한 길이와 수압 손실을 갖는 연료 부재(fuel elements)의 그룹들을 설치하는 것을 가능케 한다.

상기 모듈형 연료 부재들이 수평 연료 채널을 구비한 가압 중수로에서 개별적으로 사용될 수 있음이 본 발명의 최초 적용으로서 언급되어야 한다. 이 경우, 연료 부재들은 채널에서 간단히 지지되고, 요구되는 길이를 만족하기 위해 차례로 놓여진다. 또한, 다른 적용례로서 여러개의 모듈을 조립하여 수직 연료 채널을 구비한 가압 중수로에서 사용하는 것이 가능하다.

아르헨티나 핵발전 설비들은 중수 냉각 연료 채널을 갖는 유사한(물리적으로) 개념으로 되어 있지만, 이들은 연료 부재에 대해 2개의 아주 다른 디자인을 갖고 있다. 현재 엠발세(Embalse)와 아투차 I(Atucha I) 핵발전소에서 사용되고 있는 연료 부재들의 디자인들은 아르헨티나 국립 원자력 에너지 위원회에 속하는 것들이다. 본 발명의 설명에 포함되는 이 디자인들은 바로 전의 선행기술이며 종래의 특허가 포함하고 있는 종래의 연료 부재들을 나타낸다. 상기 2개의 디자인에서 사용되는 연료는 천연 우라늄이며, 따라서 (대체) 연소 및 이에 따른 열역학적 요구량은 8000 Mwd/ton  $\text{UO}_2$ 보다 작다.

도 1a와 도 1b는 각각 엠발세 핵발전소의 연료 부재(수평형)의 측면도 및 사시도이다. 이 부재를 제 1 연료 부재(FE1)로 명한다. 도 2a와 도 2b는 각각 아투차 I 핵발전소의 연료 부재의 정면도 및 A-A선 단면도를 나타낸다. 이 부재들을 제 2 연료 부재(FE2)로 명한다.

상기 제 1 연료 부재(FE1)은 정상 작동중 이산화우라늄 펠릿(2; pellet) 상으로 붕괴될 얇은 벽체를 구비하는 37개의 원통형 튜브 또는 지르칼로이 피복관(1; zircaloy sheaths) 집합체이다. 각각의 피복관들은 플러그(3)에 의해 양단이 밀봉되어 연료봉을 형성한다. 또한, 상기 피복관에는 연료 채널에서 지지력을 제공하기 위한 베어링패드(4)라는 견고한 부속물과, 상대적인 횡방향 변위를 방지하기 위한 스페이서(5)라는 다른 패드들이 용접된다. 연료봉들의 집합체를 제자리에 고정하기 위하여 그리드(6; grid)가 연료봉 어레이의 각 끝단에 부착된다. 이들 3개의 부재들은 모듈을 함께 고정하는 구조적 시스템이다.

도 2a와 도 2b에는 제 2 연료 부재(FE2)가 도시되어 있는데, 이 연료 부재는 그의 상단부가 지지플레이트에 부착되는 37개의 비붕괴 로드(7)를 구비하며, 상기 지지플레이트는 중간링(9)에 부착되는 6개의 튜브 또는 하부로드(8)의 집합체에 결합된다. 상기 링 상에는 3개의 스테인레스 스틸로 된 로드 또는 상부로드(10)가 장착되고, 이들은 상단부에서 전체 어레이를 지지하는 커플링부재(몸체)(11)에 결합된다. 이들을 연료 채널에 고정하기 위하여 견고한 패드(12)와 유연한 패드(13)가 구비된다. 연료봉 집합체는 중간 길이를 방향 위치에 설치된 인접한 동심 링에 의해 형성되는 자체 지지용의 스페이서 그리드(14)에 의해 서로 결합된다. 상기 스페이서 그리드는 상기 연료봉들을 횡방향으로 고정시키고 연료봉 집합체를 단단하게 고정시킴으로써, 수직 자세에 따른 기계적인 요구사항을 견딜 수 있는 기계적 강도를 증대시키게 된다.

상기와 같은 아투차 I과 엠발세의 핵발전 설비 모두에 있어서, 연료 채널 또한 상이하다. 첫번째 핵발전 설비의 연료 채널의 내경은 두번째 핵발전소의 연료 채널 내경보다 크다. 엠발세의 연료 채널은 수평이며, 연료 부재는 베어링패드에 의해 압력 반응 용기 상에서 지지되는 반면에, 아투차 I의 연료 채널은 수직이고, 연료 부재는 압력 반응 용기의 상부 덮개에서부터 매달려 있다.

상기 두 핵발전소 모두 온로드(on-load) 연료 보급을 이용하고 있지만, 이들은 보급된 부재의 수와 길이에서 서로 상이하다. 엠발세에서는 6m 길이의 채널을 형성하는 총 12 연료 부재 중 한 번에 2개의 연료 부재들이 연료 보급된다. 이는 축상의 변화를 일으킨다. 반면에, 이 축상의 변화(교체)는 아투차 I에서는 불가능한데, 아투차 I에서는 반응부분이 5.25m 길이를 갖는 단일한 연료 부재이다.

연료 부재의 디자인은 핵반응 설계에 있어서 기초적인 단계이며, 주로 중성자와 열수력학적(thermohydraulic) 및 열역학적 현상 사이의 절충의 결과이다. 요컨대, 연료 원자에서 생성되는 중성자들은 다른 것에서 핵분열을 일으킬 가능성보다 크기 때문에 중성자 반응성은 연료량이 증가하면 향상된다. 반대로, 열수력학적 및 열역학적 성능을 향상시키기 위해서는 연료량을 감소시키고 연료 부재를 확산시키는 것(즉, 냉각수 전달영역과 유동을 증가시키고, 연료봉 직경을 더 작게 하는 것)이 바람직하다. 연료 부재 집합체가 열전달 영역을 증대시키기 위해 더 확산시키고(더 작은 직경을 가

집) 이 때 연료량은 그대로 유지시키면(연료봉은 증가됨) 반대의 경향이 나타난다. 이는 수력학적 제한을 증가시키기 때문에 냉각수 유동을 감소시켜, 결과적으로 핵발전 설비의 열수력학적 안전 한계치를 감소시키게 된다.

현재 채널을 구비한 핵발전 설비에서 이용되도록 고안된 새로운 연료 부재는 상기 3가지 요구사항을 동시에 향상시켜야 한다. 그러나, 채널에서 연료량과 수력학적 손실은 반응로 코어에서 중성자 유량(flux)과 냉각수 유동의 분배가 방해받지 않도록 그대로 유지되어야 한다. 이는 코어 내에 여러가지 형태의 연료 부재들이 존재할 수 있도록 하고, 일상적인 교체 작업중 반응로의 작동시간과 작동을 악화시키지 않고 발전적인 변화를 가능케한다.

제 1연료부재(FE1)에서는 연료봉 횡단영역과 열전달 영역의 비율은 대략 300인 반면에, 제 2연료부재(FE2)에서는 313이며, 제 3연료부재에서는 327이다. 이로부터, 이전의 디자인으로 330 이상의 비율을 달성하는 것은 불가능하다는 것을 추정할 수 있다.

하나의 디자인으로 현재의 상이한 핵발전 설비에 적용될 수 있는 고성능의 연료 부재를 해결하는 문제는 모든 설비에서 연료 보급장치와의 적합성 뿐만 아니라 중성자 및 수력학적 적합성을 동시에 유지하는 것이다. 그러나, 연료봉 횡단영역과 열전달영역의 비율은 330 이상의 수치를 얻도록 향상되어야 할 것이다. 동시에, 열수력학적 및 열역학적 안전 한계 또한 농축 우라늄으로 더 큰 연료 연소를 얻을 수 있도록 향상되어야 할 것이다.

현재 제 3연료부재(FE3)로 지시될 새로운 연료 부재는 수평 채널을 갖는 핵 반응로에서 사용되는 것으로 제안되어 왔다. 전술한 요구사항들을 만족시키기 위하여 제 1연료부재(FE1)와 동일한 길이를 유지하면서 2개의 상이한 연료봉 직경을 갖도록 되어 있다. 이 디자인은 제 1연료부재(FE1)에 비하여 연료와 냉각수 교환영역을 5.4% 증대시키지만, 채널에서의 수력학적 제한은 유지시킨다. 그럼에도 불구하고, 연료량은 제 1연료부재(FE1)의 연료량보다 더욱 감소된다. 결과적으로, 앞의 문제들이 모두 해결되지는 않는다. 피복관에 용접된 스페이서를 유지하면서 제 3연료부재(FE3)는 더 많은 붕괴가 가능한 연료봉을 가지게 되고, 따라서 피복관에 더 많은 용접이 이루어지고, 이는 기계적 강도를 감소시키게 된다. 한편, 이 연료 부재의 구성부품들은 이들이 다른 부재들보다도 2개의 상이한 종류의 피복관과 펠릿과 연료 부재 및 플러그를 필요로 하기 때문에 더 많이 변화된다.

여기에 기술된 본 발명의 연료 부재와 조립체 시스템으로 상기와 같은 결점들이 제거되며, 주요 개선점들은 종래의 연료 부재(FE1, FE2, FE3)와 비교할 때 중성자와 열수력학적 및 열역학적 성능에서 이루어진다. 냉각수 영역은 확대되지만 연료봉 직경은 감소하며, 이와 동시에 농축되는 연료 부재의 양(제 1연료부재;FE1)을 유지하는 것이 가능하다. 이 경우, 연료량은 제 1연료부재의 연료량과 동일하며, 제 2, 제 3연료부재의 연료량에 비해 각각 21% 및 1%가 높다. 냉각수와 접촉 영역에 관해서는 제 1연료부재(FE1)와 제 2연료부재(FE2)와 제 3연료부재(FE3)에 비해 각각 20%, 18%, 12%가 높다. 그러나, 이 값들은 작동중 양 반응로에서 그대로 유지되며 달성된다.

본 발명의 연료 부재들의 열역학적 요구사항들은 펠릿의 직경이 작아지고 연료봉의 수량이 증가하며, 이로 인한 작동 온도의 하강으로 인해서 감소된다. 게다가, 피복관에 용접되는 부속물 대신 자체 지지용의 스페이서 그리드를 사용함으로써 용접에 의해 발생하는 연료봉의 기계적 특성의 악화를 방지할 수 있다. 따라서, 피복관에 용접 횟수가 제 1연료부재와 비교하여 20번이 감소되며, 이는 어레이의 연료 연소를 증가시킬 수 있는 요소 중의 하나이다. 더구나, 붕괴가능한 연료봉에 자체 지지용의 스페이서 그리드를 혁신적으로 통합함으로써 전체 어레이를 고정시키는 것이 가능하다. 기계적인 관점에서 볼 때 이것은 매우 편리한 것인데, 그 이유는 제 2연료부재(FE2)에서와 같이 일단이 매달려 있는 수직 채널에 포함될 수 있기 때문이다.

이러한 특징은 본 발명의 연료 부재 조립 시스템에서, 모듈들 사이의 방위각의 비정렬 각도를 조절함으로써 더 긴 모듈형 연료 부재와 적용가능한 수압 손실을 제공하기 위해 이용된다. 따라서, 연료 부

재들의 그룹은 아투차 I의 경우에서와 같이 수직 채널 및 더욱 제한된 압력 손실을 갖는 핵 반응로에서 용이하게 이용될 수 있다.

본 발명의 주 목적은 연료봉 횡단영역과 열전달 영역의 비율이 330 이상이고 대략 364인 값을 갖는 모듈형 연료 부재를 얻는 것이다.

본 발명의 두번째 목적은 현재의 디자인에 비하여 열수력학적 및 열역학적 안전 한계치와 연료 연소를 증가시킬 수 있는 모듈형 연료 부재를 얻는 것이다. 이와 동시에, 붕괴가능한 단일 직경의 연료봉 어레이를 제공하면서 연료량과 특히 수평 채널을 갖는 핵발전 설비에서 채널에서의 전체 수력학적 제한은 유지시킬 것이다.

본 발명의 세번째 목적(다시 현재의 디자인을 참조로서 가진다)은 연료 피복관에서 뿐만 아니라 모든 구조적 요소에서 용접 횟수를 감소시켜 제작 공정을 단순화시키는 것이다.

본 발명의 또 다른 목적은 연료 부재를 더 긴 수직 채널과 더 낮은 수력학적 제한을 갖는 핵발전 설비에 적용하는 것이다. 연료 부재는 모듈형 연료 부재를 재사용할 수 있으며 연료의 연소를 향상시킬 수 있도록 된 모듈형 연료 부재의 조립체 시스템에 의해 일단에 부착될 것이다.

상기한 모든 목적을 달성하기 위하여, 몇가지 혁신적인 개선안들이 이용되었다. 그중 채널을 가진 모든 핵발전 설비에서 연료보급장치와의 적합성을 획득하기 위하여 연료 모듈의 길이를 최대화하도록 (따라서 2배가 됨) 인접한 부재들 간의 구조상의 끝단부를 감소시키는 것을 들 수 있다. 이러한 방식으로 채널의 구조적 부재에서 수압 손실을 감소시킬 수 있다. 이 개선안으로써 동일한 연료량과 더 많은 확산 설계를 갖는 새로운 연료봉의 구성이 가능하다. 또한, 이것은 구조적 부재들의 감소를 일으키면서 연료봉을 따라 일어나는 압력감소의 증가(더 큰 열교환영역에 기인함)에 균형을 잡아준다. 따라서, 냉각수 유동을 유지하고 그의 열전달 영역을 증가시킴으로써 단위면적당 열 유량(면적 열 유량)을 감소시키고 열수력학적 안전 한계를 증가시킬 수 있다. 더욱이, 직경이 작을수록, 연료봉이 많을수록 선형력 밀도와 연료 펠릿 내의 온도차가 감소한다. 결국 수력학적 성능이 향상된다(열팽창과 핵분열 가스 방출 및 연료 펠릿과 피복관 간의 기계적 상호작용/반응이 감소됨). 그리고, 연료 연소가 현저하게 연장된다. 또한, 작동중 붕괴가능한 연료봉(3.2% 하락한 두께/직경비를 갖는 봉)을 구비한 자체 지지용의 스페이서 그리드를 포함함으로써 피복관에서의 용접 횟수를 대폭적으로 줄이고(열역학적 안전 한계를 향상시킴), 수직 채널에서의 연료 부재 사용에 적합하게 된다. 또한, 구조적 부품들의 수와 양은 수평 채널에 대한 연료봉의 길이가 현재의 2배일 때 감소된다. 예컨대, 종래의 디자인과 비교했을 때, 끝단 플레이트에서의 단위 길이당 용접된 플러그의 수는 30% 감소하고 끝단 플레이트의 수는 50% 감소된다. 이들 마지막 두 특성들은 제작 공정을 단순화시키는데, 이는 연료봉 제조에 포함되는 몇가지 단계들이 포함되어 있기 때문이다.

따라서, 연료량과 수력학적 제한이 유지된다면, 연료 부재의 분산은 얻어졌던 디자인의 정의 파라미터가 되는 것이 포함될 수 있다. 이를 위해 연료와 냉각수 간의 열전달영역과 연료봉 어레이의 횡단영역과의 비율의 경우에서, 상기 두 영역은 채널에서 단위 길이에 대해 정의된다. 사실상, 캡슐에 싸여진 연료량을 유지하는 이들 연료 부재에서는, 열전달영역을 최대화하고 연료 어레이의 횡단영역을 최소화하는 것(붕괴가능한 얇은 피복관을 사용하고, 구조상의 끝단부의 수를 줄임으로써)이 바람직한데, 이는 열 유량이 감소되고 냉각수 영역이 증대되기 때문이다. 따라서, 채널에서의 수력학적 손실을 유지하는 한 이러한 영역 관계를 위한 더 높은 값을 갖는 연료 부재 디자인을 얻는 것이 매우 바람직할 것이다. 본 발명의 연료부재의 열전달 영역과 횡단영역의 비는 330 이상이며, 대략 364이다. 이 값들을 각각 300, 313, 327 인 제 1연료부재(FE1)와, 제 2연료부재(FE2) 와 제 3연료부재(FE3)에 대한 값들과 비교했을 때, 이전의 디자인으로는 이러한 영역 관계에 대해 330이상의 비율을 얻는 것은 불가능하다는 결론을 내릴 수 있다.

수직 채널을 갖는 핵발전 설비의 경우, 여러개의 모듈을 갖는 조립체 시스템이 이용된다면, 단일 끝단부에서 지지되는 연료 부재를 더 길게 할 수 있을 것이다. 또한, 개선된 조립체 시스템으로, 인접한

모듈 사이의 비정렬 방위각을 정리하는 것이 가능하며, 상이한 수압 손실로 연료를 냉각수 채널에 적용하는 것이 가능하다. 모듈들이 완전히 정렬되면, 채널에서의 수압 손실은 아투차 I에서 얻어진 값으로 감소될 것이다.

상기와 같은 모든 것들의 결과로, 종래의 디자인과 비교했을 때, 여기서 설명된 연료 부재와 조립체 시스템은 다음과 같은 이점을 갖는다.

- 열역학적 및 열수력학적 안전 한계가 증가될 수 있다;
- 연료 연소를 35000Mwd/TonUO<sub>2</sub>까지 확장할 수 있다;
- 압력 손실은 상이한 채널 반응로에 적용될 수 있다;
- 현재까지 가장 밀집된 연료 부재의 밀도가 유지될 수 있다(FE1);
- 수직 및 수평 채널 반응로의 연료보급장치에 적합성을 가지고 있다;
- 제작 공정 뿐만 아니라 구조적 부품의 수는 단일 직경의 연료 부재를 사용하고 피복관의 용접을 줄임으로써 감소된다.

본 발명으로 앞에서 설명되고 종래의 디자인에서 향상되지 못했던 모든 것들을 만족시키는 단일 직경의 연료봉 어레이가 개선된다. 모듈은 4개의 콤팩트한 동심 링으로 장착된 52개의 평행한 연료봉 집합체(이것은 다른 가능한 여러 어레이들중 하나이다)이다. 상기 모듈은 구조적 시스템에 의해 양단에 설치된 한 쌍의 그리드와, 축상의 중간에 위치한 강체 스페이서와 연질 스페이서를 갖는 자체 지지용 스페이서 그리드에 부착된다. 또한, 스페이서 또는 조립체 시스템에 용접된 유연한 패드와 단단한 패드들은 연료 부재의 위치를 채널에 고정시키기 위해 제공된다.

이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 일 실시예를 상세히 설명한다.

도 3a와 도 3b는 각각 본 발명의 연료 부재의 사시도와 측면도를 나타낸다. 연료 부재들은 끝단 플레이트(6)에 용접된 플러그(3)에 의해 그 끝단부가 밀폐된 붕괴가능한 지르칼로이 피복관(1) 집합체이다. 이 연료 부재의 총길이는 2개의 제 1연료부재(FE1) 또는 제 3연료부재(FE3)를 더한 것과 정확하게 일치한다. 저수압손실의 자체 지지용 스페이서 그리드(15)는 연료봉을 분리하기 위해 장착되었다.

도 4a와 도 4b 및 도 4c는 하나의 스페이서 그리드의 측면도와 정면도를 나타낸다. 스페이서 그리드는 피복관을 제자리에 고정시키는 강체 스페이서(17)와 연질 스페이서(18)가 부착되는 지지구조체(16)를 구비한다. 수평 채널을 구비한 핵발전 설비에서, 채널들은 외곽의 지지구조체에 용접되었던 여러 개의 패드(19)에 놓여 있는데 반하여, 각 스페이서의 축상의 위치는 연료봉 상에 13 스토퍼 이하의 용접에 의해 고정되었다.

제 2연료부재(FE2)의 반응부분(연료 펠릿을 포함하는 부분)은 발명된 연료 모듈의 반응부분보다 길다. 이 또한 수직 채널을 가지고 있기 때문에 엠발세 핵발전 설비와는 다르다. 아투차 I에서는 연료 부재를 조립하기 위하여 코아 내에 유입되기 전에 전술된 것과 같은 연료모듈이 5개가 축상으로 결합된다.

이들 5개의 연료 모듈을 조립하기 위해서는 여러가지의 가능한 방법들이 있다.

도 5에 도시된 바와 같이 연료 모듈은 외부 스트랩(20)으로 고정될 수 있다. 이 경우, 총길이는 5개의 연료부재를 서로 더하고 그 하단부에 저수압손실 스토퍼(21)를 부착하여 구한다. 반대편 끝단에는 모듈을 서로 결합시키는 스프링을 포함한 중간연결시스템(22)이 있다. 또한, 종래의 제 2연료부재(FE2) 디자인의 연결부재와 유사한 연결부재(몸체)가 구비되어, 채널의 상부에 결합하는 중간몸체와 견고하

게 결합된다. 중간 연결부는 저수압 손실을 가지는 것으로 특징지어질 수 있다. 또한 혼합 핀(fin)이 외부 스트랩에 추가될 수 있다. 이러한 형태의 조립체는 코어 외곽의 저수조(pool)에서 모두 연소되지 않은 연료 부재를 축상으로 위치 재설정을 할 수 있다. 강제 또는 연질 스페이서(23)는 스트랩 또는 아투차 I의 채널의 스페이서 그리드에 부착될 수 있다. 도 5에서 연료 모듈의 외형이 도시되어 있다. 이 도면에서는 외부 스트랩과, 하단부의 스톱퍼 및, 중간연결시스템과 연결몸체가 나타나 있다.

연료 모듈들을 고정시키기 위한 다른 방법은 끝단 플레이트 그리드들 사이 또는 그 주변에 저수압손실 부품 또는 몸체를 설치함으로써 이루어진다. 도 6에서는 연료 부재의 한쪽 끝단부와 그리드(24)들 사이에 설치된 부품몸체를 도시하고 있다. 이 경우, 연료 부재의 피복관들은 그리드에 용접되기 때문에 전체 조립체의 지지부재들이 될 것이다. 부품몸체는 제 2연료부재(FE2)에서와 같이 한 쪽 끝단에 부품몸체를 가지는 중간 저수압손실 커플링과 그리드 사이에서 조립체의 반대쪽 끝단에 장착된다.

도 7에 도시된 바와 같이, 연료부재를 결합시키기 위하여 윈도우 또는 개방부를 구비한 외측튜브(25)가 세번째 실시예로 될 수 있다. 이것은 모든 연료 부재를 함께 지지하기 위한 디자인이며, 냉각수를 연료 부재와 채널을 통해 용이하게 순환시킬 수 있다. 이와 동시에, 이것은 평균 냉각수 유동률을 감소시키고, 그 결과 압력 손실의 균형을 맞춘다. 상기 윈도우 또는 개방부는 튜브와 채널 사이의 틈새가 고정 및 유연한 패드 몸체들에 불충분하게 되는 거의 발생하지 않는 경우에서도 고정 및 유연한 패드를 설치할 수 있을 정도로 충분한 크기의 물리적 공간을 제공한다. 장착시스템 및 연결몸체를 구비한 중간 연결 메카니즘과 스톱퍼가 상기 외부 스트랩에 대해 전술했던 것과 유사한 방식으로 튜브의 양단에 장착된다.

또 다른 방법으로 하나 또는 여러개의 내측 연료봉을 사용하는 것을 들 수 있는데, 상기 내측 연료봉은 최소로 생성된 전력 부분으로부터 이익을 얻고 하나 이상의 연료봉을 교체함으로써 전체 조립체에 더 큰 강성을 제공한다. 이 경우, 최선의 선택은 최소의 선형력 밀도를 가진 모듈의 조립체의 중심에 놓는 것이며, 따라서 그의 냉각성능은 과도하게 되지 않는다. 이와 같은 연료봉은 한 쪽 끝단에 스톱퍼가 장착되고, 다른 쪽 끝단에 저수압 손실 조절메카니즘이 구비되어 조립체를 함께 고정시킨다. 종래의 제 2연료부재(FE2) 디자인에서와 같이 연결몸체가 상기 메카니즘에 장착된다.

이상에서와 같이 본원 발명에 따르면, 다음과 같은 이점이 있다.

- 열역학적 및 열수력학적 안전 한계가 증가될 수 있다;
- 연료 연소를 35000Mwd/TonUO<sub>2</sub>까지 확장할 수 있다;
- 압력 손실은 상이한 채널 반응로에 적용될 수 있다;
- 현재까지 가장 밀집된 연료 부재의 밀도가 유지될 수 있다(FE1);
- 수직 및 수평 채널 반응로의 연료보급장치에 적합성을 가지고 있다;

