



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년10월06일  
(11) 등록번호 10-1557780  
(24) 등록일자 2015년09월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G21C 3/33 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-0103852

(22) 출원일자 2014년08월11일

심사청구일자 2014년08월11일

(56) 선행기술조사문헌

KR100727503 B1\*

US3941654 A

KR1020080085405 A

US5493590 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국원자력연구원

대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)

(72) 발명자

배준호

대전광역시 서구 청사로 254, 110동 902호 (둔산동, 동지아파트)

정중엽

대전광역시 유성구 전민로 71, 101동 602호 (전민동, 삼성푸른아파트)

(74) 대리인

박장원

전체 청구항 수 : 총 5 항

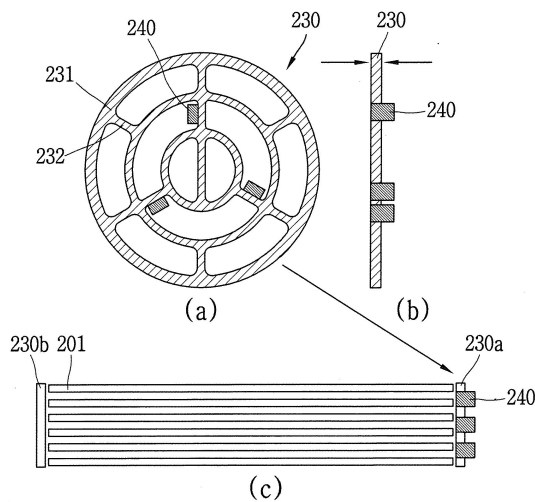
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 핵연료 다발 집합체

(57) 요약

본 발명은 중수형 원자로의 채널에 일렬로 장착되는 핵연료 다발 집합체에 관한 것으로, 연료 펠렛이 채워진 복수의 핵연료봉이 인접하게 묶여있는 핵연료 다발, 내부에 상기 핵연료 다발이 배치되고, 상기 핵연료봉 사이에 냉각재를 순환시키는 공간을 구비한 압력관, 상기 핵연료 다발의 단부에 접합되고, 상기 핵연료봉을 고정시키는 엔드 플레이트, 및 상기 엔드 플레이트에 형성되고, 상기 핵연료봉과 반대방향으로 돌출되며, 상기 핵연료 다발과 인접하여 배치되는 다른 핵연료 다발에 구비되는 엔드 플레이트에 걸림되어 회전시 인접한 핵연료 다발과 같이 회전하도록 형성되는 돌출부를 포함하는 핵연료 다발 집합체를 개시한다.

대표도 - 도8



이 발명을 지원한 국가연구개발사업  
과제고유번호 53241-14  
부처명 미래창조과학부  
연구관리전문기관 한국원자력연구원  
연구사업명 원자력연구개발사업  
연구과제명 중수로 주요부품 안전성 평가기술 개발  
기 여 율 1/1  
주관기관 한국원자력연구원  
연구기간 2012.03.01 ~ 2017.02.28

---

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

연료 펠렛이 채워진 복수의 핵연료봉이 인접하게 묶여있는 핵연료 다발;

내부에 상기 핵연료 다발이 배치되고, 상기 핵연료봉 사이에 냉각재를 순환시키는 공간을 구비한 압력관;

상기 핵연료 다발의 단부에 접합되고, 상기 핵연료봉을 고정시킬 수 있도록, 원형의 테두리부와, 상기 테두리부 내부에 복수의 개구부를 형성하는 창살부를 포함하는 엔드 플레이트; 및

상기 냉각재가 인접한 상기 압력관 사이에서 원활하게 흐를 수 있고, 인접한 핵연료 다발끼리 동일한 위상을 가지며 회전되도록, 상기 엔드 플레이트에 형성되고, 상기 핵연료봉과 반대 방향으로 돌출되며, 상기 핵연료 다발과 인접하여 배치되는 다른 핵연료 다발에 구비되는 엔드 플레이트에 형성된 창살부의 적어도 일부를 양측으로 감싸서 걸림되어, 회전시 인접한 핵연료 다발과 같이 회전하도록 형성되는 돌출부를 포함하는 핵연료 다발 집합체.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 핵연료 다발은 상기 복수의 핵연료봉이 서로 기설정된 거리를 유지하도록 상기 핵연료봉 사이에 배치되는 복수의 스페이서를 더 포함하고,

상기 핵연료봉들은 상기 스페이서들에 의해 배치에 따른 방위각 방향의 위상을 갖도록 형성되는 것을 특징으로 하는 핵연료 다발 집합체.

#### 청구항 3

삭제

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

제2항에 있어서,

상기 돌출부는 상기 창살부의 적어도 일부를 감싸도록 하나의 돌출된 부위에서 두 부분으로 갈라져 형성되는 제1부분 및 제2부분을 포함하는 것을 특징으로 하는 핵연료 다발 집합체.

#### 청구항 7

제2항에 있어서,

상기 돌출부는 인접한 엔드플레이트의 창살부에 양측으로 삽입되도록, 하나의 창살부의 양측에서 돌출되는 것을 특징으로 하는 핵연료 다발 집합체.

#### 청구항 8

제2항에 있어서,

상기 엔드 플레이트는, 인접한 엔드 플레이트에서 돌출되는 돌출부가 수용되도록 형성되는 수용홈을 포함하고,

상기 돌출부는 상기 수용홈에 삽입되어, 회전시 인접한 핵연료 다발과 함께 회전되는 것을 특징으로 하는 핵연료 다발 집합체.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 중수형 원자로의 채널에 일렬로 장착되는 핵연료 다발 집합체에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 중수형 원자로는 1차 계통과 2차 계통으로 나뉘어지며, 1차 계통은 2개의 루프(loop)로 구성되어 있으며, 각 루프는 2개의 유로로 구성되어 있다. 따라서, 1차 계통은 4개의 유로를 구비한다. 또한, 1차 계통은 냉각수가 흐르는 냉각수 계통이다.

[0003] 각 유로는 각각 1개의 출구헤더, 증기발생기, 펌프, 입구헤더를 갖고 있다. 또한, 원자로 내의 각 유로는 각각 95개의 채널로 입구 피더관(Inlet feeder pipe) 및 출구 피더관(Outlet feeder pipe)과 연결되어 있다. 따라서 총 4개의 유로는 원자로 내에서 380개의 채널을 이루며 수평방향으로 위치해 있다.

[0004] 각 채널에서 가열된 냉각수는 각각의 출구 피더관을 지나 출구헤더(outlet header)에서 모이게 된다. 출구헤더에서 모인 냉각수는 두 개의 출구관을 통해 연결되어 있는 증기발생기로 흐르게 된다.

[0005] 냉각수 계통의 냉각수는 증기발생기에서 2차 계통의 냉각수와 열교환을 통해 냉각되며, 증기발생기에서 냉각된 냉각수는 1개의 연결관을 통해 연결되어 있는 펌프로 흐르게 된다.

[0006] 펌프에서 가압된 냉각수는 2개의 입구관을 통해 연결된 입구 헤드로 흐르게 되며, 출구헤더와 마찬가지로, 입구 헤더에서는 95개의 입구 피더관(inlet feeder pipe)을 통해 원자로 내부의 채널과 연결되어 있다. 원자로 내부에 위치한 380개의 채널은 각각 12개의 핵연료 다발(bundle)이 수평방향으로 직렬로 연결되어 있다.

[0007] 중수형 원전은 노내에 380개의 핵연료채널이 수평으로 놓여져 있으며, 각 채널에는 12개의 핵연료 다발(fuel bundle)이 압력관(Pressure tube) 내부에 일렬로 장전되어 있으며, 압력관 내부로는 냉각수가 흐르고 있다.

[0008] 각 채널 내부의 12개의 핵연료 다발은 축방향으로는 일렬로 정렬되어 있게 되지만, 방위각(Azimuthal direction) 방면으로는 정렬 작업을 하지 않기 때문에, 12개의 핵연료 다발들은 방위각 방면에서 서로 다른 각도를 갖고 장전되어 있다.

[0009] 12개의 핵연료 다발들이 서로 다른 방위각을 갖고 장전되어 있으므로, 핵연료 다발 사이를 지날 때마다 냉각수가 흐르는 유로의 변화가 발생하게 된다.

[0010] 각 채널에서의 냉각수의 유로의 변화는 핵연료 채널 전체의 압력강하를 일으키고, 채널 마다의 냉각수 유량 편차를 유발시킬 수 있다. 각 채널 사이의 유량 편차는 노심의 열적 여유도를 감소시키는 문제점을 있으며, 이에 따라 전체 출력이 낮아지는 문제점이 있을 수 있다.

본원발명과 관련된 선행기술문헌으로는 등록특허공보 제10-0727503호(2007.06.12.) 및 미국등록특허 제3941654호(1976.03.02.) 등이 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0011] 본 발명의 일 목적은 핵연료 채널의 압력관 내부에서 흐르는 냉각재의 유량의 변화를 줄여, 핵연료 채널 전체의 유량 편차를 줄이고, 노심의 열적 여유도를 증대시킬 수 있는 핵연료 다발 집합체를 제공하기 위한 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0012] 이와 같은 본 발명의 일 목적을 달성하기 위하여 본 발명의 일 실시예에 따르는 핵연료 다발 집합체는, 연료 펠렛이 채워진 복수의 핵연료봉이 인접하게 묶여있는 핵연료 다발, 내부에 상기 핵연료 다발이 배치되고, 상기 핵연료봉 사이에 냉각재를 순환시키는 공간을 구비한 압력관, 상기 핵연료 다발의 단부에 접합되고, 상기 핵연료봉을 고정시키는 엔드 플레이트, 및 상기 엔드 플레이트에 형성되고, 상기 핵연료봉과 반대방향으로 돌출되며,

상기 핵연료 다발과 인접하여 배치되는 다른 핵연료 다발에 구비되는 엔드 플레이트에 걸림되어 회전시 인접한 핵연료 다발과 같이 회전하도록 형성되는 돌출부를 포함한다.

- [0013] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 핵연료 다발은 상기 복수의 핵연료봉이 서로 기설정된 거리를 유지하도록 상기 핵연료봉 사이에 배치되는 복수의 스페이서를 더 포함하고, 상기 핵연료봉들은 상기 스페이서들에 의해 배치에 따른 방위각 방향의 위상을 갖도록 형성될 수 있다.
- [0014] 여기서, 상기 돌출부는, 상기 냉각재가 인접한 상기 압력관 사이에서 원활하게 흐를 수 있도록, 인접한 핵연료 다발끼리 서로 동일한 위상을 갖으며 회전되게 형성될 수 있다.
- [0015] 여기서, 상기 엔드플레이트는 원형의 테두리부와, 상기 테두리부 내부에 복수의 개구부를 형성하는 창살부를 포함하고, 상기 돌출부는 인접한 엔드플레이트에 형성된 창살부에 걸림되도록 형성될 수 있다.
- [0016] 여기서, 상기 돌출부는 상기 창살부의 적어도 일부를 양측으로 감싸도록 형성될 수 있다.
- [0017] 여기서, 상기 돌출부는 상기 창살부의 적어도 일부를 감싸도록 하나의 돌출된 부위에서 두 부분으로 갈라져 형성되는 제1부분 및 제2부분을 포함할 수 있다.
- [0018] 여기서, 상기 돌출부는 인접한 엔드플레이트의 창살부에 양측으로 삽입되도록, 하나의 창살부의 양측에서 돌출될 수 있다.
- [0019] 본 발명과 관련한 다른 일 예에 따르면, 상기 엔드 플레이트는, 인접한 엔드 플레이트에서 돌출되는 돌출부가 수용되도록 형성되는 수용홈을 포함하고, 상기 돌출부는 상기 수용홈에 삽입되어, 회전시 인접한 핵연료 다발과 함께 회전될 수 있다.

**발명의 효과**

- [0020] 상기와 같은 구성의 본 발명에 의하면, 상기 돌출부가 이웃하여 배치되는 다른 핵연료 다발에 구비되는 엔드 플레이트에 걸림되어 이웃한 핵연료 다발과 같이 회전함으로써, 이웃한 핵연료 다발끼리 동시에 회전될 수 있다.
- [0021] 또한 본 발명은, 상기와 같이 이웃한 핵연료 다발끼리 동시에 회전되는 것을 통하여 방위각 방향으로 이웃한 핵연료 다발끼리 동일한 위상(phase)를 갖도록 설계될 수 있다.
- [0022] 또한 본 발명은, 이웃하는 핵연료 다발의 위상차가 없도록 함으로써, 핵연료채널 내부의 유동저항을 저감할 뿐만 아니라, 380개 핵연료 채널들 사이의 유량값에 대한 불확실성을 줄임으로써, 시스템의 열적 여유도를 증가시킬 수 있다. 또한, 이를 통해서 중수형 원자로의 출력감발의 손실을 줄일 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자로의 1차 계통을 나타낸 개념도.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 중수형 원전에 채널 내부에 핵연료봉이 배치된 모습을 나타낸 개념도.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료봉 및 부속품의 측면과 전면을 나타낸 개념도.
- 도 4는 상기 도 3에 도시된 핵연료봉의 전면을 나타낸 전면도.
- 도 5는 인접한 두 핵연료 다발이 회전되는 각도에 따라 핵연료봉이 겹쳐지거나 분리되는 모습을 나타낸 개념도.
- 도 6은 상기 도 5에 도시된 이웃한 두 핵연료 다발의 회전된 각도에 따른 위상 차이에 따라, 인접된 두 핵연료 다발 사이에서 냉각재의 압력강하 계수를 나타낸 그래프.
- 도 7은 하나의 채널 안에 있는 12개의 핵연료 다발이 이웃하는 핵연료 다발과 동일한 위상차이를 갖고 배열되어 있는 경우에, 위상차이에 따른 핵연료 채널 전체의 압력강하를 나타낸 그래프.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 엔드 플레이트를 전면에서 바라본 모습과 측면에서 바라본 모습 및 핵연료 다발의 단부에 배치된 모습을 나타낸 개념도.
- 도 9는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 엔드 플레이트를 전면에서 바라본 모습을 나타낸 개념도.
- 도 10은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 엔드 플레이트를 전면에서 바라본 모습을 나타낸 개념도.
- 도 11은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 엔드 플레이트를 전면에서 바라본 모습을 나타낸 개념도.

도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료 다발의 모습을 나타낸 개념도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0024] 이하, 본 발명에 관련된 핵연료 다발 집합체에 대하여 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다. 본 명세서에서는 서로 다른 실시예라도 동일, 유사한 구성에 대해서는 동일, 유사한 참조번호를 부여하고, 그 설명은 처음 설명으로 갈음한다. 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다.
- [0025] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자로의 냉각수 계통을 나타낸 개념도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 중수형 원전에 채널 내부에 핵연료봉이 배치된 모습을 나타낸 개념도이다.
- [0026] 본 발명에서의 원자로(100)는 냉각수 계통 및 2차 계통(미도시)으로 이루어지고, 냉각수 계통은 2개의 루프(110, 120)와 노심(원자로 코어)(140), 정화계통(150), 공급 계통(160), 가압기 계통(170)을 포함한다. 상기 2개의 루프(110, 120)는 4개의 유로를 포함한다. 상기 4개의 유로는 제1 루프(110) 및 제2 루프(120)에 각각 구비된 2개의 유로를 포함한다.
- [0027] 상기 제1 루프(110)에는, 제1 입구헤더부터 제1 출구헤더까지 이어지는 유로 41 과, 제2 입구헤더부터 제2 출구헤더까지 이어지는 유로 23 이 구비된다. 또한 제2 루프(120)에는 제2 루프 제1 입구헤더(121)부터 제2 루프 제1 출구헤더(122)까지 이어지는 유로 67 과 제2 루프 제2 입구헤더(123)부터 제2 루프 제2 출구헤더(124)까지 이어지는 유로 85가 구비된다.
- [0028] 상기 제1 입구헤더(111) 및 제2 입구헤더(113)는 원자로에 구비되는 노심(140)으로 냉각수를 유입시키고, 서로 이격되어 구비된다. 각각의 입구헤더는 노심(140)으로 냉각수를 유입시켰다가 각각 대응되는 출구헤더로 냉각수가 유출된다. 상기 노심(140)을 통과하는 과정에서 유압이 강해지는 노심차압이 일어난다.
- [0029] 상기 제1 및 제2 출구헤더(112, 114)는 상기 제1 및 제2 입구헤더(111, 113)에 각각 대응되게 구비되어, 상기 노심(140)을 통과한 상기 냉각수가 유출된다. 상술한 바와 같이 상기 제1 출구헤더(112) 및 제2 출구헤더(114)는 노심(140)을 통과하면서 유압이 강해지는 노심차압이 일어나기 때문에 상기 제1 및 제2 입구헤더(111, 113)에 비해 상대적으로 유압이 낮다.
- [0030] 상기 제1 루프(110)는, 상기 제1 출구헤더(112)는 상기 제2 입구헤더(113)와 연결되고, 상기 제2 출구헤더(114)는 상기 제1 입구헤더(111)와 연결되어 폐순환 계통을 이룬다. 또한, 상기 제1 루프(110)는 오염된 냉각수를 정화시키는 정화 계통, 정화 계통에서 나오는 정화 유량에 냉각수를 더 공급하는 공급 계통, 제1 계통의 냉각수 압력을 제어하는 가압기 계통(170)과 연결되어 있다. 또한 제1 루프(110) 및 제2 루프(120)에는, 제2 계통과 열 교환하는 증기발생기 및 냉각수를 순환시키는 펌프가 구비되어 있다.
- [0031] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료봉(201) 및 부속품의 측면과 전면을 나타낸 개념도이다.
- [0032] 도면을 참조하면, (a)는 핵연료 다발의 전면을 도시한 모습이고 (b)는 핵연료 다발의 측면을 도시한 모습이다. 전면을 도시한 모습을 먼저 살펴보면, 다수의 핵연료봉(201)이 서로 일정한 거리를 두고 떨어져서 모여 다발을 이룬다. 상기 핵연료봉(201)의 내부에는 연료 펠렛(203)이 채워져 있으며, 상기 핵연료봉(201)은 방수가 되는 금속의 피복관으로 이루어질 수 있다. 상기 핵연료봉(201)의 단부에는 엔드플레이트(230)가 결합되어 있다. 상기 엔드플레이트(230)는 용접에 의해 결합될 수 있다. 상기 엔드플레이트(230)는 상기 핵연료봉(201)이 상기 엔드플레이트(230) 보다 더 앞으로 나오거나 들어가지 않고 유지할 수 있도록 상기 핵연료봉(201)의 위치를 유지하는 역할을 한다. 즉, 엔드플레이트(230)는 상기 핵연료봉(201)들을 고정시키는 역할을 한다.
- [0033] 다음으로 핵연료 다발의 측면을 도시한 모습을 살펴보면, 복수의 핵연료봉(201)이 원형의 형태로 모여서 다발을 이룬다. 상기 핵연료 다발의 외주부를 따라서 베어링 패드(202)가 복수의 부위에 구비된다. 도면에는 3개의 부위에 구비된 모습이 도시되어 있다. 상기 베어링 패드(202)는 상기 핵연료 다발의 둘레 주위로 핵연료봉(201)과 접합된 금속 부분일 수 있다. 상기 베어링 패드(202)는 상기 연료봉이 후술할 압력관(220)에 도입되는 동안 지지면으로 사용될 수 있다.
- [0034] 도 4는 상기 도 3에 도시된 핵연료봉(201)의 전면을 나타낸 전면도이다.
- [0035] 도면을 참조하면, 핵연료 다발을 이루고 있는 복수의 핵연료봉(201)이 인접하게 모여있다. 상기 핵연료봉(201)은 압력관(220) 내부에 배치된다. 상기 압력관(220) 내부에 배치된 핵연료봉(201)의 개수에 따라 원자로의 명칭이나 성격이 달라질 수 있다. 예를 들면, 표준 37봉 핵연료 다발의 경우는 37개의 핵연료봉으로 구성되어 있다.

며, CANFLEX 핵연료의 경우는 43개의 핵연료봉으로 구성되어 있다. 또한, 중수형 원자로의 경우에는 운전 중에도 연소가 많이 진행된 오래된 핵연료 다발을 새로운 핵연료 다발로 교체하도록 설계되어 있다. 일반적으로, 총 380개의 채널 중에서 매일 수 개의(보통 2~3개의) 핵연료 채널에 대해서 핵연료 다발 교체 작업을 진행한다.

- [0036] 핵연료 교체는 12개의 핵연료 다발 중에서, 일반적으로 4-bundle shift의 경우는 4개의 핵연료 다발을, 8-bundle shift의 경우는 8개의 핵연료 다발을 교체하고 있으며, 한쪽 끝단에서 수개의 새로운 핵연료 다발을 넣고, 반대편 끝단에서는 같은 개수의 오래된 핵연료 다발을 빼냄으로써 핵연료 교체를 진행하게 된다.
- [0037] 상기 핵연료봉의 사이에는 스페이서(260)가 구비되어 있다. 스페이서(260)는 상기 복수의 핵연료봉(201)이 서로 기 설정된 거리를 유지하도록 상기 핵연료봉(201) 사이에 배치된다. 그리고 상기 핵연료봉(201)들은 상기 스페이서(260)들에 의해 배치에 따른 방위각 방향으로 일정한 위상을 갖게 될 수 있다. 상기 위상은 상기 압력관(220) 내부에 배치된 핵연료봉(201)의 위치나 배치에 따라 결정된다.
- [0038] 하나의 채널에는 동일한 위상을 갖는 핵연료 다발들이 일렬로 배치될 수 있다. 그러나 상기 핵연료 다발이 회전됨에 따라 인접한 핵연료 다발끼리의 위상도 서로 달라질 수 있다.
- [0039] 또한, 상기 압력관(220) 내부에는 핵연료봉(201) 사이에 냉각재가 순환될 수 있다. 상기 냉각재에 의해 상기 핵연료봉(201)으로부터 나오는 열들이 냉각될 수 있다.
- [0040] 도 5는 인접한 두 핵연료 다발이 회전되는 각도에 따라 핵연료봉(201)이 겹쳐지거나 분리되는 모습을 나타낸 개념도이다.
- [0041] 도면을 참조하면, (a)는 앞에 배치된 핵연료 다발과 뒤에 배치된 핵연료 다발의 방위각 방향의 위상차이가 0도 나는 모습이다. (b)는 앞에 배치된 핵연료 다발과 뒤에 배치된 핵연료 다발의 방위각 방향의 위상차이가 15도 나는 모습이다. (c)는 앞에 배치된 핵연료 다발과 뒤에 배치된 핵연료 다발의 방위각 방향의 위상차이가 60도 나는 모습이다.
- [0042] (a)를 먼저 살펴보면, 앞에 배치된 핵연료 다발과 뒤에 배치된 핵연료 다발의 방위각 방향의 위상차이가 없으므로, 앞에 배치된 핵연료 다발의 복수의 연료봉이 뒤에 배치된 핵연료 다발의 복수의 연료봉과 완전히 겹쳐지게 된다. 아울러, 상기 압력관 내부에는 상기 핵연료봉(201)의 온도를 낮추기 위한 냉각재(201a)가 흐르게 된다.
- [0043] 상기 냉각재(201a)가 흐르는 공간의 넓이는 앞의 핵연료 다발과 뒤의 핵연료 다발이 같게된다. 또한, 앞과 뒤에 각각 배치된 복수의 핵연료봉들(201, 201')이 완전히 겹쳐지므로 상기 냉각재(201a)가 앞의 핵연료 다발의 내부를 통과하다가 뒤의 핵연료 다발의 내부를 통과할 때 겹쳐지는 핵연료봉(201)에 의해 흐름이 크게 방해받지 않게 된다. 따라서, 상기 냉각재(201a)의 흐름이 좋은 상태를 유지하므로, 냉각의 효율이 올라가게 된다.
- [0044] (b)를 살펴보면, 앞과 뒤에 각각 배치된 핵연료 다발의 방위각 방향의 위상 차이가 15도가 나므로, 뒤에 배치된 핵연료봉(201') 일부가 앞의 배치된 핵연료봉(201)의 사이로 보이게 된다. 또한, 이때에는 앞과 뒤의 핵연료 다발에 배치된 핵연료봉들(201, 201')이 서로 완전히 겹치지 않으므로, 앞과 뒤의 핵연료 다발 내부를 흐르는 냉각재(201a)가 상기 핵연료봉(201)에 의해 일부 막혀서 원활하게 흐르지 못한다. 즉, 냉각재(201a)가 흐르는 유로 부분이 바뀌게 되므로, 핵연료 다발 사이를 지나면서 압력강하가 발생하게 된다. 일 예로 37봉 핵연료 다발의 경우, 방위각의 차이가 15도일 때, 가장 큰 유로면적 차이를 갖게 된다. 따라서, 상기 냉각재(201a)의 흐름이 원활하지 못하게 되고, 이에 따라 냉각효율이 낮아지게 된다.
- [0045] (c)의 경우 앞과 뒤의 핵연료 다발끼리 60도의 위상차이를 가지고 있다. 도면에서의 핵연료 다발은 37봉 핵연료 다발이고, 이때에는 방위각 60도의 간격으로 앞과 뒤의 핵연료 다발끼리 동일한 위상(phase)를 갖게 된다.
- [0046] 도 6은 상기 도 5에 도시된 이웃한 두 핵연료 다발의 회전된 각도에 따른 위상 차이에 따라, 인접된 두 핵연료 다발 사이에서 냉각재의 압력강하 계수를 나타낸 그래프이고, 도 7은 하나의 채널 안에 있는 12개의 핵연료 다발이 이웃하는 핵연료 다발과 동일한 위상차이를 갖고 배열되어 있는 경우에, 위상차이에 따른 핵연료 채널 전체의 압력강하를 나타낸 그래프이다.
- [0047] 그래프를 참조하면, 핵연료 다발 사이의 위상차이에 따라서 핵연료 채널의 압력강하는 달라지게 된다. 총 380개의 핵연료 채널은 각 채널 내부에서의 핵연료 다발의 방위각에 따른 정렬 상태에 따라서 서로 다른 압력강하를 가질 수 있다. 이러한 압력강하는 각 채널에서의 냉각수의 유량의 차이를 발생시킬 수 있다. 따라서, 380개의 핵연료 채널이 서로의 채널에 대해서 유량 편차를 유발시킨다. 상기 각 채널 사이의 유량 편차는 노심 열적 여유도를 감소시키게 되고, 이러한 노심 열적 여유도의 감소는 출력감발을 유발시킬 수 있다.



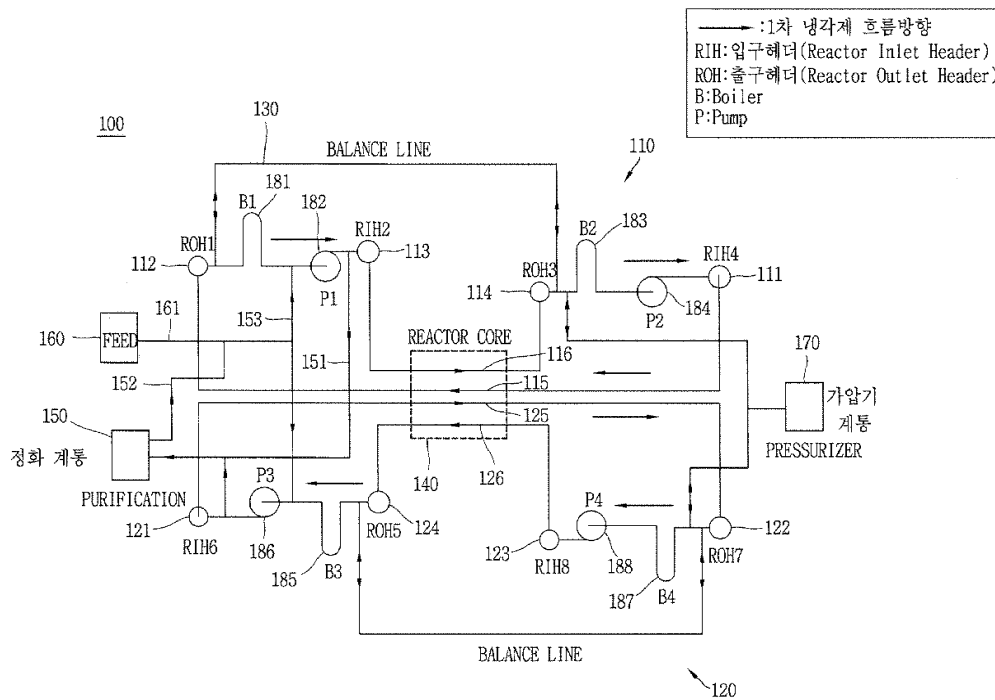
- [0048] 또한 그래프를 살펴보면, 위에서 설명한 바와 같이 0도부터 60도씩 차이 나는 곳에서 압력강하가 제일 적은 것을 알 수 있다. 특히 위상 차이가 120도, 180도 나는 곳에서는 압력강하가 제일 적은 것을 알 수 있다. 따라서, 후에 설명할 돌출부를 이용하여 위상 차이를 동일하게 회전할 수도 있지만, 압력강하가 제일 적도록 핵연료 채널 내부의 이웃한 핵연료 다발들을 장전시켜 냉각효율을 높일 수 있다.
- [0049] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 엔드플레이트(230)를 전면에서 바라본 모습과 측면에서 바라본 모습 및 핵연료 다발의 단부에 배치된 모습을 나타낸 개념도이다.
- [0050] 도면을 참조하면, (a)는 엔드플레이트(230)를 정면에서 바라본 모습이고, (b)는 엔드플레이트(230)를 측면에서 바라본 모습이고, (c)는 핵연료봉(201)이 배치되고 양단에 엔드플레이트(230)가 배치되어 있는 모습을 나타낸 개념도이다.
- [0051] (a)를 먼저 살펴보면, 엔드플레이트(230)는 원형의 테두리부(231)와, 상기 테두리부(231) 내부에 복수의 개구부를 형성하는 창살부(232)를 포함할 수 있다. 상기 창살부(232)에는 상기 핵연료봉(201)과 반대방향으로 돌출되며, 상기 핵연료 다발과 인접하여 배치되는 다른 핵연료 다발에 구비되는 엔드플레이트(230)에 걸림되어 핵연료 다발의 회전시 인접한 핵연료 다발과 함께 회전되도록 형성되는 돌출부(240)를 포함한다.
- [0052] 상기 돌출부(240)는 상기 창살부(232)의 측면에 형성될 수 있다. 도면에 도시된 바와 같이 약 120도의 각도를 이루며, 3개소 구비될 수 있지만 이에 한하지 않는다. 상기 돌출부(240)는 이웃한 엔드플레이트(230)에 형성되어 있는 창살부(232) 사이의 개구부에 삽입되어 회전시 상기 창살부(232)에 걸림됨으로써, 이웃한 핵연료 다발끼리 같이 회전되게 된다.
- [0053] (b) 및 (c)를 참조하면, 돌출부(240)는 상기 엔드플레이트(230)의 두께방향과 겹치게 형성되고, 한쪽 방향으로만 돌출된다. 돌출되는 방향은 상술한 바와 같이, 핵연료봉(201)이 배치되는 방향과 반대되는 방향이다. 하나의 핵연료다발에서 상기 핵연료봉(201)의 길이방향의 양 단부쪽에 엔드플레이트들(230a, 230b)이 배치되고, 두 개의 엔드플레이트들(230a, 230b) 중 하나의 엔드플레이트(230a)에 돌출부(240)가 형성될 수 있다. 다만, 이에 한하지 않고, 양쪽 엔드플레이트들 모두에 돌출부(240)가 구비될 수도 있다.
- [0054] 도 9는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 엔드플레이트(330)를 전면에서 바라본 모습을 나타낸 개념도이다.
- [0055] 도면을 참조하면, 이웃한 엔드플레이트(330)끼리 맞닿았을 때, 하나의 엔드플레이트(330)에는 돌출부(340a, 340b)가 형성되고, 상기 돌출부(340a, 340b)는 다른 엔드플레이트(330)의 창살부(332) 사이의 개구부로 삽입되게 된다. 그런데, 상기 돌출부(340a, 340b)가 상기 창살부(332)의 양측으로 삽입되도록, 엔드플레이트(330)의 하나의 창살부(332)에서 돌출부(340a, 340b)가 양측으로 형성될 수 있다.
- [0056] 돌출부(340a, 340b)가 양측으로 형성됨으로써, 이웃하는 엔드플레이트(330)에 형성된 창살부(332)를 양측으로 감쌀 수 있게 되며, 이에 따라 핵연료 다발의 회전을 한쪽 방향으로 시킬 때뿐만 아니라 양쪽 방향으로 시킬 때 모두 위상의 차이가 없도록 유지하며 회전할 수 있다.
- [0057] 도 10은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 엔드플레이트(430)를 전면에서 바라본 모습을 나타낸 개념도이다.
- [0058] 도면을 참조하면, 상기 돌출부(440)는 짐계 모양처럼 형성될 수 있다. 즉 상기 도 9에서의 실시예와는 달리, 창살부(432)에서 돌출되는 돌출부(440)가 어느정도 돌출된 후에는 2개의 부분으로 떨어져 이웃한 엔드플레이트(430)의 창살부(432)를 감싸도록 끼워질 수 있다.
- [0059] 이를 자세히 살펴보면, 본 실시예에서의 돌출부(440)는 제1부분(441), 제1부분(441)에서 갈라져 나와 연장되는 제2부분(442), 상기 제1부분(441)과 제2부분(442)을 연결하는 연결부분(443)으로 이루어져 있다. 제1부분(441)과 제2부분(442)이 각각 이웃하는 엔드플레이트(430)의 창살부(432)의 양측에 삽입되게 된다. 그리고, 상기 연결부분(443)은 창살부(432)에 접촉될 수 있다. 상기 제1부분(441), 제2부분(442), 연결부분(443)을 통해 상기 돌출부(440)는 상기 창살부(432)의 적어도 일부를 양측으로 감싸도록 형성될 수 있다. 상기 돌출부(440)가 상기 창살부(432)를 양측으로 감싸며 연결됨으로써, 이웃한 핵연료 다발끼리의 회전이 수월하게 이루어질 수 있다.
- [0060] 도 11은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 엔드플레이트(530)를 전면에서 바라본 모습을 나타낸 개념도이고, 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료 다발의 모습을 나타낸 개념도이다.
- [0061] 도면을 참조하면, 도 11에 도시된 엔드플레이트(530)는 돌출부를 형성하는 엔드플레이트(530)가 아닌, 이웃한 엔드플레이트(530)에서 돌출되는 돌출부를 수용가능하게 형성되는 수용홈(570)을 포함하는 엔드플레이트(530)이다.



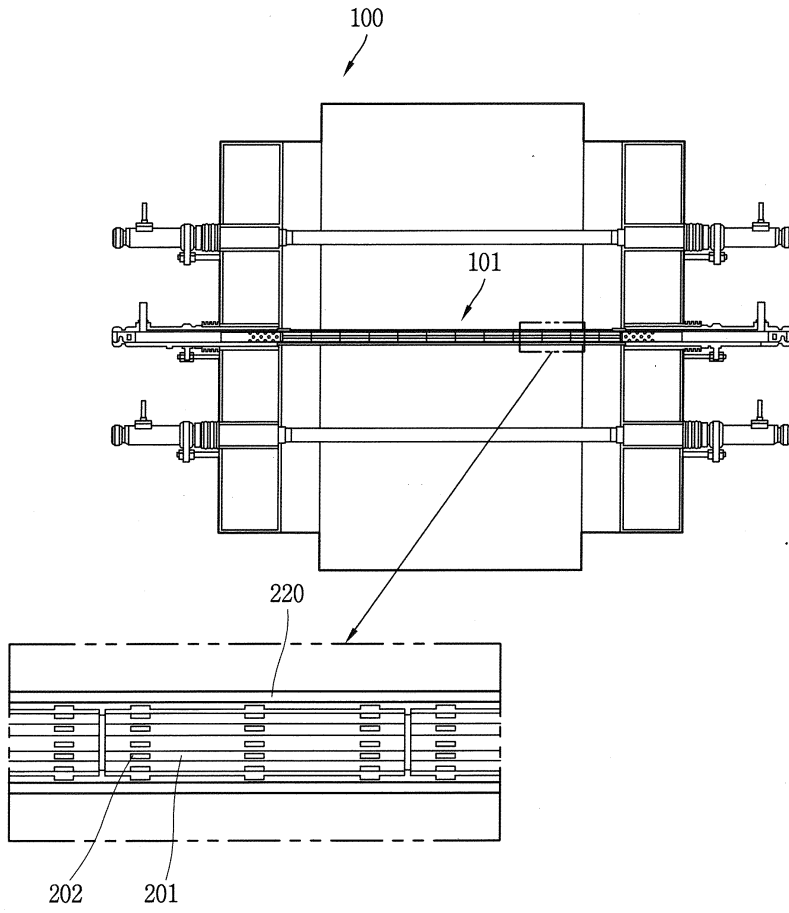
- [0062] 수용홈(570)은 상기 창살부(532) 측면에 형성된다. 상기 수용홈(570)에는 이웃한 엔드플레이트(530)에서 돌출되는 돌출부가 삽입될 수 있다. 이러한 돌출부 및 수용홈(570)의 결합에 의해 이웃한 엔드플레이트(530)끼리의 결합이 더욱 강하게 이루어질 수 있다. 상기 수용홈(570)은 이웃한 엔드플레이트(530)의 돌출부의 개소에 맞춰서 형성될 수 있다.
- [0063] 도 12에서 보면, 두 개의 핵연료 다발이 직렬로 장전되어 있고 두 개의 엔드플레이트(230a, 230b)가 서로 이웃하여 배치될 때, 하나의 엔드플레이트(230a)에는 돌출부(240)가 형성되어 있고 다른 하나의 엔드플레이트(230b)에는 수용홈(570, 도 11 참조)이 형성되어 있을 수 있다. 상기 수용홈은 이웃한 엔드플레이트(230a)에서 돌출되는 돌출부(240)를 수용하여, 회전시 인접한 핵연료 다발과 함께 회전되도록 형성된다.
- [0064] 이러한 회전을 통해, 상기 돌출부(230a)는 상기 냉각수가 인접한 상기 압력관 사이에서 원활하게 흐를 수 있도록, 인접한 핵연료 다발끼리 서로 동일한 위상을 갖으며 회전되도록 이루어진다.
- [0065] 이상에서 설명된 핵연료 다발 집합체는 상기 설명된 실시예들의 구성과 방법에 한정되는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

**도면**

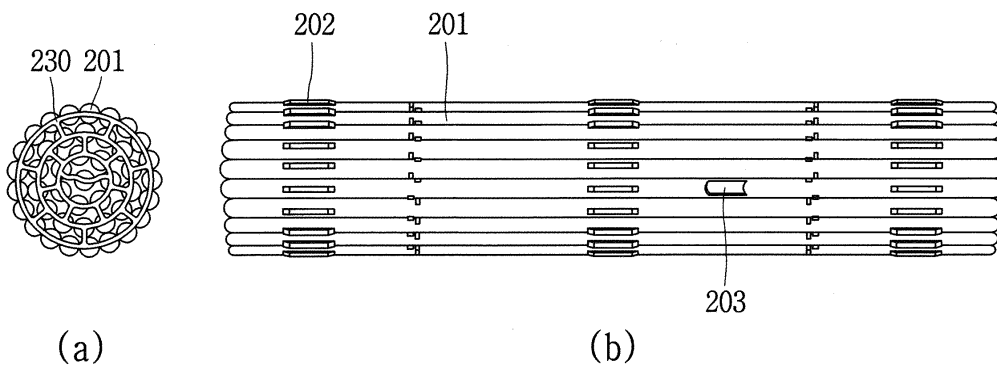
**도면1**



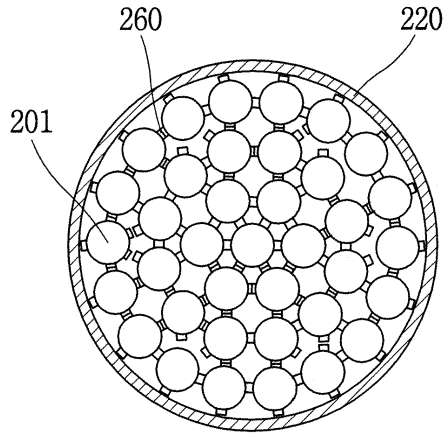
도면2



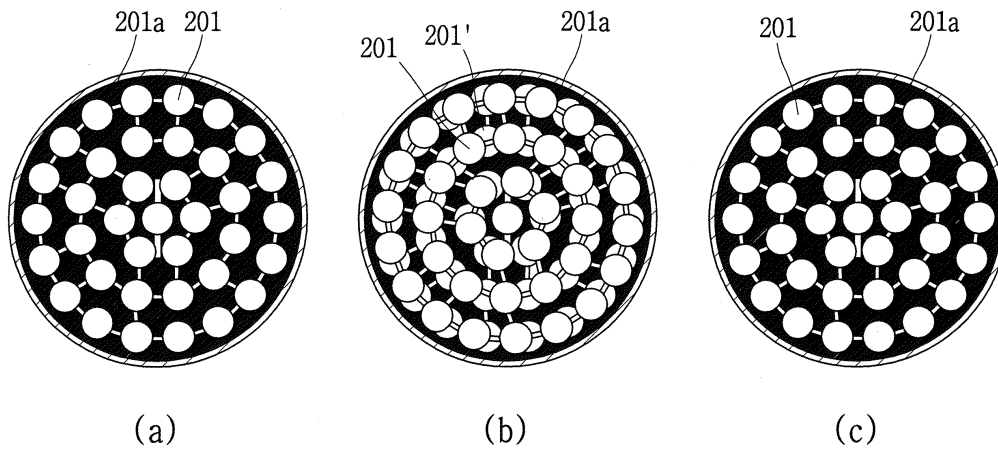
도면3



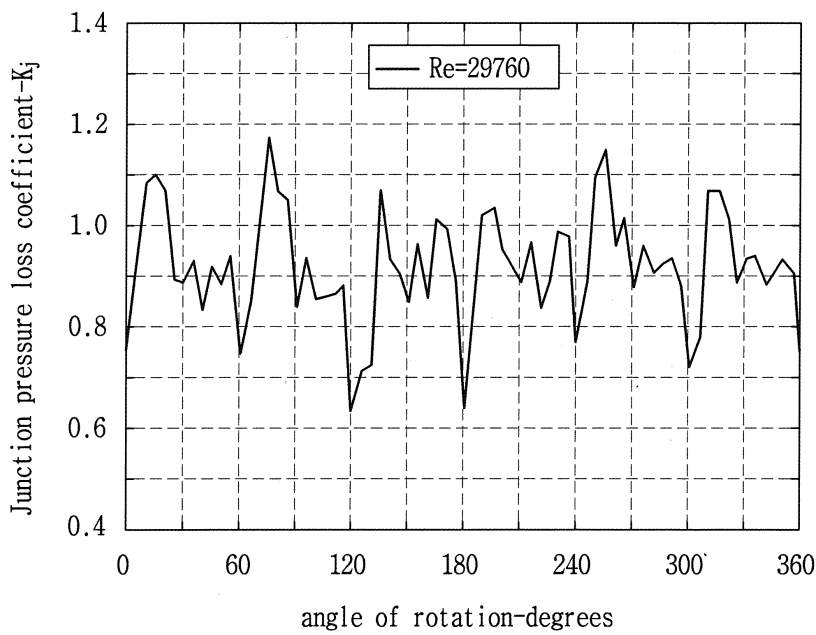
도면4



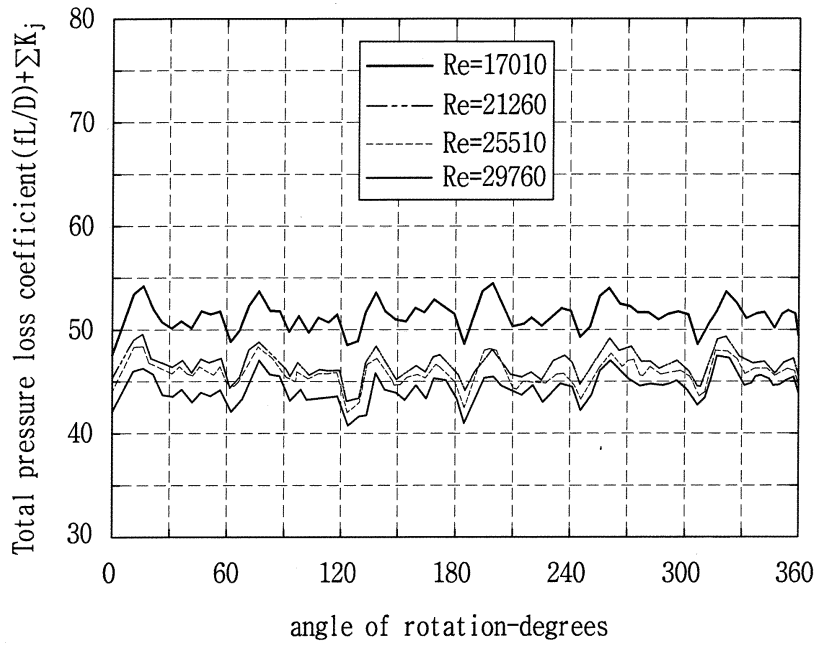
도면5



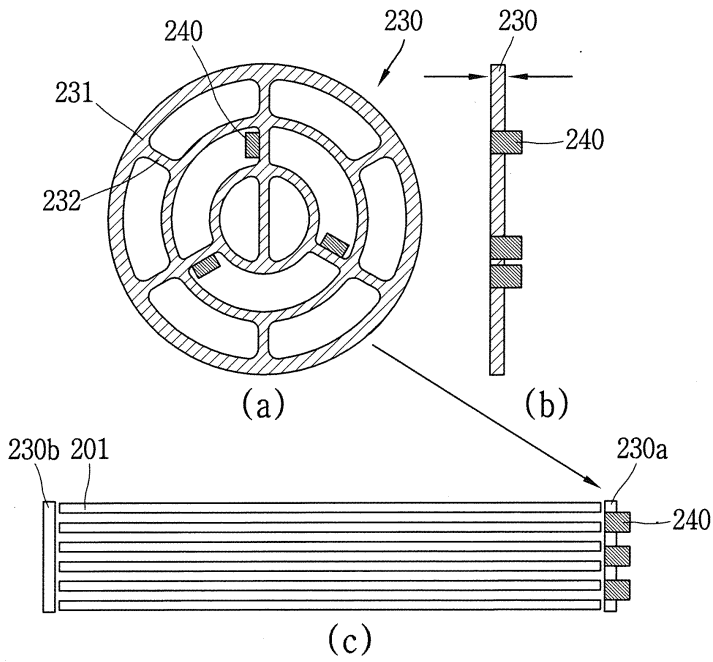
도면6



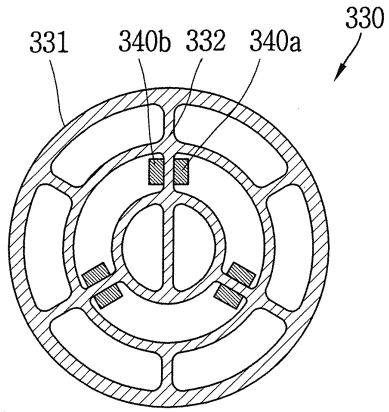
도면7



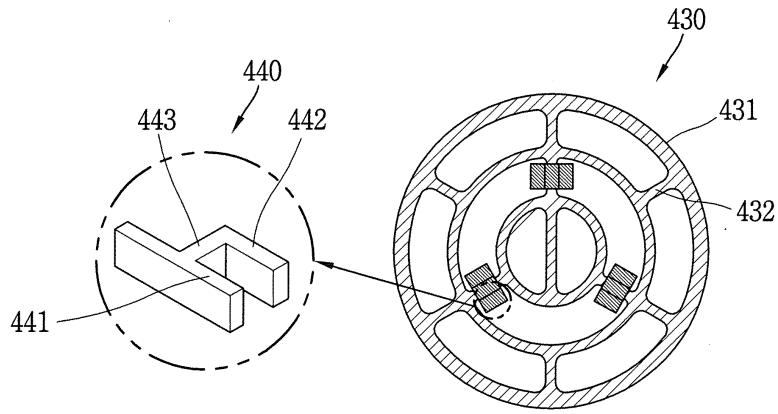
도면8



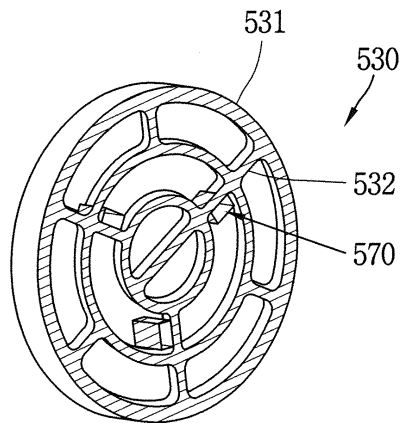
도면9



도면10



도면11



도면12

