



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년06월18일

(11) 등록번호 10-1529530

(24) 등록일자 2015년06월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G21C 15/02 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0169435

(22) 출원일자 2013년12월31일

심사청구일자 2013년12월31일

(56) 선행기술조사문헌

KR1020130086430 A\*

US05377244 A\*

KR101172901 B1

KR1019870008334 A

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국원자력연구원

대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)

(72) 발명자

배준호

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

정종엽

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

(74) 대리인

박장원

전체 청구항 수 : 총 5 항

심사관 : 윤연숙

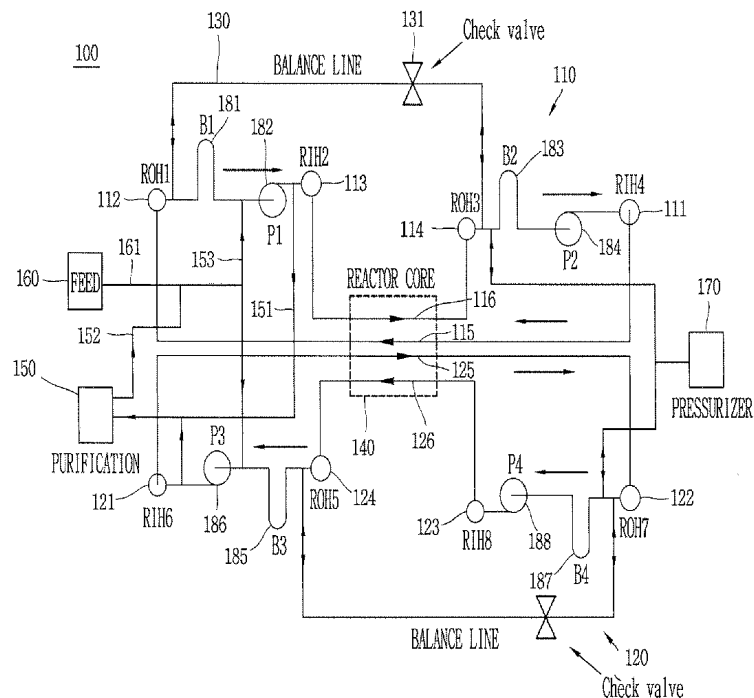
(54) 발명의 명칭 원자로의 냉각수 계통 및 이를 포함하는 원자로

(57) 요약

본 발명은 원자로의 핵분열이 일어나는 노심을 냉각시키는 냉각수 계통 및 이를 포함하는 원자로에 관한 것으로서, 원자로에 구비되는 노심으로 냉각수를 유입시키고 서로 이격되어 구비되는 제1 및 제2 입구헤더, 상기 제1 및 제2 입구헤더에 각각 대응되게 구비되어 상기 노심을 통과한 상기 냉각수가 유출되는 제1 및 제2 출구헤더,

(뒷면에 계속)

대표도 - 도6



제1 및 제2 출구헤더 사이의 유압차이를 감소시키도록 상기 제1 및 제2 출구헤더 사이에 발생하는 압력차이에 의해 상기 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제1 밸런스라인, 및 상기 제1 밸런스라인에 설치되고 상기 제1 및 제2 입구헤더간의 유압차이가 제1 및 제2 출구헤더간의 유압차이보다 더 큰 경우 상기 제1 밸런스라인으로 냉각수가 흐르지 못하도록 상기 냉각수의 유량을 제어하는 제1 제어밸브를 포함하고, 상기 제1 출구헤더는 상기 제2 입구헤더와 연결되고, 상기 제2 출구헤더는 상기 제1 입구헤더와 연결되어 폐순환 계통을 이루는 것을 특징으로 원자로의 냉각수 계통 및 이를 포함하는 원자로를 개시한다.

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	53241-13
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

원자로에 구비되는 노심으로 냉각수를 유입시키고, 서로 이격되어 구비되는 제1 및 제2 입구헤더;

상기 제1 및 제2 입구헤더에 각각 대응되게 구비되어, 상기 노심을 통과한 상기 냉각수가 유출되는 제1 및 제2 출구헤더;

상기 냉각수가 상기 노심을 통과하며 발생하는 압력차의 편차를 감소시키도록, 상기 제1 및 제2 출구헤더 사이에 발생하는 압력차에 의해 상기 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제1 밸런스라인; 및

상기 제1 밸런스라인에 설치되고, 상기 제1 및 제2 입구헤더간의 유압차이가 상기 제1 및 제2 출구헤더간의 유압차이보다 큰 경우, 상기 냉각수의 유동이 상기 압력차의 편차를 증가시키는 것을 방지하도록, 상기 제1 출구헤더에서 상기 제2 출구헤더로의 유동은 허용하고 상기 제2 출구헤더에서 상기 제1 출구헤더로의 유동은 차단하도록 형성되는 제1 제어밸브를 포함하고,

상기 제1 출구헤더는 상기 제2 입구헤더와 연결되고, 상기 제2 출구헤더는 상기 제1 입구헤더와 연결되어 폐순환 계통을 이루는 것을 특징으로 하는 원자로의 냉각수 계통.

#### 청구항 2

삭제

#### 청구항 3

제 1항에 있어서,

제1 및 제2 입구헤더 사이에서 발생하는 압력차의 편차를 감소시키도록, 상기 제1 및 제2 입구헤더 사이에 발생하는 압력차에 따라 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제2 밸런스라인을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 원자로의 냉각수 계통.

#### 청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 제2 밸런스라인은,

제1 입구헤더와 제1 출구헤더 사이에서 강하된 유압과 제2 입구헤더와 제2 출구헤더 사이에서 강하된 유압의 차이를 감소시키도록, 상기 제2 밸런스라인에 흐르는 냉각수의 양을 제어하는 제2 제어밸브를 포함하는 것을 특징으로 하는 원자로의 냉각수 계통.

#### 청구항 5

삭제

#### 청구항 6

핵분열이 일어나는 노심;

상기 노심으로 냉각수가 통과하도록 형성되어, 상기 노심을 냉각시키는 상기 제1항, 제3항 및 제4항 중 어느 한 항에 따른 냉각수 계통;

상기 냉각수 계통에 연결되어, 방사능에 오염된 냉각수를 정화시키는 정화계통;

상기 냉각수 계통에 연결되고, 상기 냉각수의 압력을 제어하는 가압 계통을 포함하는 원자로.

#### 청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 정화계통에서 상기 냉각수 계통으로 유출되는 상기 냉각수에 함유하여, 상기 냉각수를 공급하는 공급계통을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 원자로.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001] 본 발명은 원자로의 핵분열이 일어나는 노심을 냉각시키는 냉각수 계통 및 이를 포함하는 원자로에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0002] 원자로에는 각각의 경로마다 입구헤더의 고압 측정탭(High Pressure Tap)과 출구모관(Outlet feeder pipe)의 저압 측정탭(Low Pressure Tap)의 값을 바탕으로 압력강하값(Pressure drop)을 측정하도록 되어 있다. 각 경로에서 측정된 압력 강하값은 냉각수가 원자로를 지나면서 발생한 압력 손실값으로서 노심차압(Core pressure drop)이라고 한다.

[0003] 측정된 복수개의 경로에 대한 노심차압 측정값들 중에서 임의의 2개 경로에 대한 노심차압 측정값을 비교하여, 2개 경로 사이의 노심차압값이 일정 수준 이상으로 다른 값을 가지면, 2개 경로사이의 열유동 특성이 기준을 벗어났다고 판단할 수 있다. 실제로, 원자로에서는 2개 경로에 대한 노심차압 측정값이 130kpa(d) 이상 차이가 발생하면 노심차압 편차 경보를 발생하도록 되어 있다.

[0004] 최근, 중수형 원자로의 4개의 경로에 대한 노심차압을 살펴보면, 4개의 경로사이에 노심차압의 편차가 점진적으로 증가하는 경향을 보이고 있다. CANDU 원자로는 4개 경로가 구조적으로 대칭을 이루고 있어, 노심차압 편차가 많이 발생할수록 시스템의 안전성을 저해하는 결과를 가져온다.

[0005] 따라서, 중수형 원자로에서 노심차압 편차가 증가하는 원인을 찾고, 이를 개선하기 위한 방안을 찾아 시스템에 적용함으로써 시스템의 운전 안전성을 향상시킬 수 있는 필요성이 커지고 있다. 또한, 중수형 원자로의 노심차압 편차가 증가하는 원인을 해결하고, 중수형 원자로의 노심차압 편차를 개선하기 위한 방안이 고려될 수 있다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

[0006] 본 발명의 일 목적은 노심차압의 불균형이 악화되는 것을 방지하는 냉각수 계통을 제공하기 위한 것이다.

[0007] 본 발명의 다른 일 목적은 노심차압의 불균형이 균형을 이룰 수 있도록, 압력 균형을 유도할 수 있는 냉각수 계통을 제안하기 위한 것이다.

[0008] 본 발명의 다른 일 목적은 냉각수 계통에 흐르는 냉각수의 전체적인 압력의 균형을 이룰 수 있는 냉각수 계통 및 이를 포함하는 원자로를 제안하기 위한 것이다.

**과제의 해결 수단**

[0009] 이와 같은 본 발명의 해결 과제를 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르는 원자로의 냉각수 계통은, 원자로에 구비되는 노심으로 냉각수를 유입시키고 서로 이격되어 구비되는 제1 및 제2 입구헤더, 상기 제1 및 제2 입구헤더에 각각 대응되게 구비되어 상기 노심을 통과한 상기 냉각수가 유출되는 제1 및 제2 출구헤더, 제1 및 제2 출구헤더 사이의 유압차이를 감소시키도록 상기 제1 및 제2 출구헤더 사이에 발생하는 압력차이에 의해 상기 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제1 밸런스라인, 및 상기 제1 밸런스라인에 설치되고 상기 제1 및 제2 입구헤더간의 유압차이가 제1 및 제2 출구헤더간의 유압차이보다 더 큰 경우 상기 제1 밸런스라인으로 냉각수가 흐르지 못하도록 상기 냉각수의 유량을 제어하는 제1 제어밸브를 포함하고, 상기 제1 출구헤더는 상기 제2 입구헤더와 연결되고, 상기 제2 출구헤더는 상기 제1 입구헤더와 연결되어 폐순환 계통을 이루는 것을 특징으로 한다.

[0010] 본 발명과 관련한 일 예에 따르면, 상기 제1 제어밸브는, 상기 제1 밸런스라인을 통해 이동하는 상기 냉각수에 의해 상기 제1 입구헤더 및 제1 출구헤더 사이를 이동하는 냉각수 유량과 상기 제2 입구헤더 및 제2 출구헤더 사이를 이동하는 냉각수 유량의 차이가 커지는 경우 상기 제1 밸런스라인으로 냉각수가 흐르지 못하도록 제어하

는 체크밸브일 수 있다.

- [0011] 본 발명과 관련한 다른 일 예에 따르면, 제1 및 제2 입구헤더 사이에 압력의 차이를 감소시키도록, 상기 제1 및 제2 입구헤더 사이에 발생하는 압력차에 따라 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제2 밸런스라인을 더 포함할 수 있다.
- [0012] 본 발명과 관련한 다른 일 예에 따르면, 상기 제2 밸런스라인은, 제1 입구헤더와 제1 출구헤더 사이에서 강화된 유압과 제2 입구헤더와 제2 출구헤더 사이에서 강화된 유압의 차이를 감소시키도록 상기 제2 밸런스라인에 흐르는 냉각수의 양을 제어하는 제2 제어밸브를 포함할 수 있다.
- [0013] 또한 상기한 과제를 실현하기 위하여 본 발명은, 원자로에 구비되는 핵분열이 일어나는 노심으로 냉각수를 유입시키고 서로 이격되어 구비되는 제1 및 제2 입구헤더, 상기 제1 및 제2 입구헤더에 각각 대응되게 구비되어 상기 노심을 통과한 상기 냉각수가 유출되는 제1 및 제2 출구헤더, 제1 및 제2 출구헤더 사이의 유압차이를 감소시키도록 상기 제1 및 제2 출구헤더 사이에 발생하는 압력차이에 의해 상기 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제1 밸런스라인, 및 제1 입구헤더와 제1 출구헤더 사이의 유압강하와 제2 입구헤더와 제2 출구헤더 사이의 유압강하의 차이를 감소시키도록 상기 제1 입구헤더와 상기 제2 입구헤더 사이에 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제2 밸런스라인을 포함하고, 상기 제1 출구헤더는 상기 제2 입구헤더와 연결되고 상기 제2 출구헤더는 상기 제1 입구헤더와 연결되어 폐순환 계통을 이루는 것을 특징으로 하는 원자로의 냉각수 계통을 개시한다.
- [0014] 또한 상기한 과제를 실현하기 위하여 본 발명은, 핵분열이 일어나는 노심, 상기 노심으로 냉각수가 통과하도록 형성되어 상기 노심을 냉각시키는 상기 어느 G하나에 따르는 냉각수 계통, 상기 냉각수 계통에 연결되어 방사능에 오염된 냉각수를 정화시키는 정화계통, 상기 냉각수 계통에 연결되고 상기 냉각수의 압력을 제어하는 가압계통을 포함하는 원자로를 개시한다.
- [0015] 여기서, 상기 원자로는, 상기 정화계통에서 상기 냉각수 계통으로 유출되는 상기 냉각수에 함유하여, 상기 냉각수를 공급하는 공급계통을 더 포함할 수 있다.

**발명의 효과**

- [0016] 상기와 같은 구성의 본 발명에 의하면, 제1 및 제2 입구헤더간의 유압차이가 제1 및 제2 출구헤더간의 유압차이보다 더 큰 경우, 제1 밸런스라인에 구비된 제1 제어밸브에 의해 냉각수의 이동이 제한되므로, 제1 출구헤더 및 제2 출구헤더간의 압력차이에 의한 냉각수의 이동으로 인해 노심차압이 커지는 경우를 방지할 수 있다.
- [0017] 또한 본 발명은, 제1 및 제2 입구헤더 사이에 설치된 제2 밸런스라인을 통해 저온의 냉각수를 이동시켜 압력차이를 줄이므로, 상대적으로 제1 밸런스라인을 통한 냉각수의 이동하는 것에 비하여 열손실을 줄일 수 있다.
- [0018] 또한 본 발명은, 노심차압의 편차보다 제1 및 제2 입구헤더 간의 압력차이가 큰 경우 제1 밸런스라인에 의해 냉각수가 이동되어 노심차압의 편차가 악화되지 않도록, 제2 밸런스라인을 통해 압력 균형을 유도하여 노심차압 편차의 증가를 방지할 수 있다.
- [0019] 또한 본 발명은, 제2 밸런스라인을 통해 냉각수가 이동되므로, 제1 입구헤더 및 제1 출구헤더간의 압력차이와 제2 입구헤더 및 제2 출구헤더간의 압력차이에 대한 열수력적 평형을, 제1 및 제2 입구헤더간의 압력의 균형으로 맞출 수 있으므로, 각 출구헤더 및 각 입구헤더간의 압력의 균형이 이루어지는 장점이 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0020] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자로의 1차 계통을 나타낸 개념도.
- 도 2는 최근 중수형 원자로의 노심차압의 변화를 나타낸 개념도.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 정화계통의 흐름을 나타낸 개념도.
- 도 4는 마그네타이트 재분포 메커니즘을 나타낸 개념도.
- 도 5는 온도에 따른 마그네타이트의 용해도를 나타낸 그래프.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자로의 1차 계통을 나타낸 개념도.
- 도 7은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 원자로의 1차 계통을 나타낸 개념도.
- 도 8은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 원자로의 1차 계통을 나타낸 개념도.

도 9는 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 원자로의 1차 계통을 나타낸 개념도.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

- [0021] 이하, 본 발명에 관련된 원자로의 냉각수 계통 및 이를 포함하는 원자로에 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.
- [0022] 본 발명에서의 원자로는 CANDU 중수형 원자로일 수 있다.
- [0023] 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 유로(115, 116, 125, 126)를 구비한다. 또한, 본 발명에서 1차 계통은 냉각수가 흐르는 냉각수 계통이다.
- [0024] 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.
- [0025] 각 채널에서 가열된 냉각수는 각각의 출구 피더관을 지나 출구헤더(outlet header)에서 모이게 된다. 출구헤더에서 모인 냉각수는 두 개의 출구관을 통해 연결되어 있는 증기발생기(181, 183, 185, 187)로 흐르게 된다.
- [0026] 냉각수 계통의 냉각수는 증기발생기에서 2차 계통의 냉각수와 열교환을 통해 냉각되며, 증기발생기에서 냉각된 냉각수는 1개의 연결관을 통해 연결되어 있는 펌프로 흐르게 된다.
- [0027] 펌프에서 가압된 냉각수는 2개의 입구관을 통해 연결된 입구 헤드로 흐르게 되며, 출구헤더와 마찬가지로, 입구 헤드에서는 95개의 입구 피더관(inlet feeder pipe)을 통해 원자로 내부의 채널과 연결되어 있다. 원자로 내부에 위치한 360개의 채널은 각각 12개의 번들(bundle)이 수평방향으로 직렬로 연결되어 있다.
- [0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자로의 냉각수 계통을 나타낸 개념도이다.
- [0029] 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.
- [0030] 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.
- [0031] 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.
- [0032] 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.
- [0033] 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 열교환하는 증기발생기 및 냉각수를 순환시키는 펌프가 구비되어 있다.
- [0034] 제1 벨런스라인(130)은 제1 및 제2 출구헤더(112, 114) 사이의 유압차이를 감소시키도록, 상기 제1 및 제2 출구헤더(112, 114) 사이에 발생하는 압력차이에 의해 상기 냉각수가 이동가능하게 형성된다. 상기 유로 41(115)을 지나면서 발생하는 노심차압과 유로 23(116)을 지나면서 발생하는 노심차압의 차이(노심차압의 편차)로, 제1 출

구헤더(112)와 제2 출구헤더(114)의 압력차이가 발생한다. 압력차이가 발생하면 원자로 시스템이 전체적으로 불안정해지므로, 이를 해결하기 위하여 제1 밸런스라인(130)을 구비하게 된다. 제1 밸런스라인(130)은 직경이 변화하는 배관으로, 상기 제1 출구헤더(112)와 제2 출구헤더(114)를 잇는다. 따라서, 제1 출구헤더(112)와 제2 출구헤더(114) 중 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 냉각수가 특별한 장치를 거치지 않고 이동된다.

[0035] 제1 밸런스라인(130)은 제1 루프(110)와 제2 루프(120)에 각각 한 개씩 설치되어 있다. 제1 밸런스라인(130)은 각 루프에 있는 2개의 유로 사이의 시스템 평형을 유지하기 위한 목적이다. 제1 밸런스라인(130)에 연결된 2개의 출구헤더의 압력차이에 의해서 유동의 방향과 유량이 결정되게 된다. 즉, 2개의 출구헤더의 압력차이, 제1 밸런스라인(130)의 마찰손실계수 및 제1 밸런스라인(130)의 파이프 직경에 의해서 유량이 결정된다.

[0036] 제1 밸런스라인(130)은 2개의 유로 사이의 노심(140) 차압의 불균형을 해소할 수 있다. 그 예로서 제1 루프(110)에 유로 23(116)과 유로 41(115)을 살펴보면, 만약 노심차압의 불균형이 발생하여 유로 23(116)의 압력강하가 유로 41(115)보다 커지는 경우가 발생할 수 있다. 또한, 제1 입구헤더(111) 및 제2 입구헤더(113)의 압력이 동일하다고 가정하면, 제2 출구헤더(114)의 압력이 제1 출구헤더(112)의 압력보다 작게 된다. 따라서, 높은 압력에서 낮은 압력으로 유동이 생기는 제1 밸런스라인(130)에서는 제1 출구헤더(112)로부터 제2 출구헤더(114)로 냉각수가 흐르는 유동이 발생한다.

[0037] 이로 인해 유로 41(115)로 흐르는 유량은 제1 밸런스라인(130)의 유량과 합쳐져, 보다 많은 양의 유량이 흐르게 된다. 늘어난 유량은 유로 41(115)의 노심차압을 증가시키는 작용을 한다. 반대로, 제1 밸런스라인(130)의 유량으로 인해 유로 23(116)의 유량은 줄어들게 된다. 따라서, 유로 23(116)의 노심차압은 감소하게 된다. 결과적으로, 제1 밸런스라인(130)의 냉각수 이동으로 인해 유로 23(116)과 유로 41(115)의 노심차압의 불균형이 줄어드는 결과를 가져온다.

[0038] 노심(140)(원자로 코어)은 핵분열이 일어나는 곳으로 핵분열시 열이 발생하게 된다. 따라서, 이러한 열을 제어하기 위하여 냉각수가 투입된다. 그런데, 상기 냉각수는 방사능에 오염되므로, 이를 제거하기 위하여 정화계통(150)으로 냉각수가 흐르게 된다.

[0039] 정화계통(150)은 상기 냉각수 계통에 연결되어, 방사능에 오염된 냉각수를 정화시킨다. 도면을 기준으로 제1 펌프의 우측에서, 제1 루프(110)에서 정화계통(150)으로 정화계통 유입로(151)를 통해 냉각수가 유입된다. 이에 대해서는 후에 자세히 기술한다.

[0040] 공급 계통은 상기 정화계통(150)에서 상기 냉각수 계통으로 유출되는 상기 냉각수에 합류하여, 상기 냉각수를 공급한다.

[0041] 가압기 계통(170)은 상기 냉각수 계통에 연결되고, 상기 냉각수 계통에 흐르는 냉각수의 압력을 제어한다.

[0042] 도 2는 최근 중수형 원자로(100)의 노심차압의 변화를 나타낸 개념도이다.

[0043] 유로 23(116)은 유로 41(115)와 제1 루프(110)를 형성하며, 유로 67(125)는 유로 85(126)와 제2 루프(120)를 형성한다.(도 1 참조)

[0044] 도 2를 살펴보면, 같은 루프내의 두 유로인 유로 23의 선(180a)과 유로 41(180b)의 노심차압의 차이가 시간이 지날수록 증가하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 이러한 노심차압의 편차의 증가는 유로 67의 선(180c)과 유로 85의 선(180d)를 살펴봐도 알 수 있다.

[0045] 이는 유로 23(116)과 유로 67(125)이 정화계통(150)에 연결되어 있어 상대적으로 고온의 냉각수가 정화계통(150)으로 빠져나갔다가, 상대적으로 저온의 냉각수가 냉각수 계통으로 인입되기 때문에 마그네타이트의 침전 때문일 수 있다. 이에 대하여는 후에 자세히 서술한다.

[0046] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 정화계통(150)의 흐름을 나타낸 개념도이다.

[0047] 본 발명의 일 실시예인 CANDU 원자로는 냉각수 계통 냉각수의 정화를 위하여, 냉각수 계통의 냉각수에서 일부 유량을 정화계통(150)으로 유입시켜 냉각수를 정화한다. 그 후 CANDU 원자로는 정화된 냉각수를 상기 냉각수 계통으로 다시 내보내도록 설계된다.

[0048] CANDU 원자로는 4개의 유로 중에서 2개의 유로(유로 23(116) & 유로 67(125))는 정화계통(150)에 연결되어 있으며, 다른 2개의 유로 (유로 41(115) & 유로 85(126))는 정화계통(150)에 연결되어 있지 않다(도 1 참조).

[0049] 예를 들어, 정화계통(150)이 연결된 유로의 경우 냉각수 계통의 냉각수 유량인 2100kg/s에 비해 상대적으로 작

은 유량인 약 11kg/s의 유량이 제1 펌프(182, 도 1 참조) 후단에서 정화계통(150)으로 보내진다. 정화계통(150)의 이온 교환 수지는 저온에서 작동이 가능하므로, 정화계통(150)으로 대략 섭씨 262도로 유입된 소량의 정화유량은 이온 교환 수지의 작동을 위해 대략 55도까지 냉각된 후에 이온 교환 수지를 통과하도록 구비된다.

[0050] 정화계통(150) 유량은 정화계통 유출로(152)에서 냉각수 계통으로 유입되는 고온의 정화계통(150) 유량과 열교환을 통해 대략 162도까지 가열된 후에 냉각수 계통의 냉각수와 합류되도록 설계되어 있다. 그런데, 대략 섭씨 162도까지 가열된 정화계통(150) 유량은 냉각수 계통의 냉각수와 합류되기 전에, 상기 공급계통(160, 도 1 참조)에서 대략 섭씨 55도로 배출(bleed)되는 유량과 합류된다. 합류된 후에, 정화계통 합류로(153)에서 약 157도의 온도 상태로 냉각수 계통의 제1 펌프(182, 도 1 참조) 입구부에서 냉각수 계통의 냉각수 (약 262도)와 합쳐진다.

[0051] 정화계통(150)으로 유입, 유출되는 정화유량은 냉각수 계통에 흐르는 냉각수에 비해 굉장히 적은 양이지만, 정화계통(150)에서 냉각수 계통으로 유출되는 정화유량은 냉각수 계통의 냉각수에 비해서 상대적으로 낮은 온도이기 때문에, 정화계통(150)과 연결된 유로에 입구헤더(제2 입구헤더(113), 도 1 참조)의 온도는 낮은 온도의 정화유량에 의해 영향을 받을 수 있다. 정화유량에 의한 냉각수 계통 냉각수 온도의 영향을 평가하기 위하여, 정화계통(150)이 연결된 유로의 입구헤더(제2 입구헤더(113), 도 1 참조) 온도와 연결되지 않은 유로의 입구헤더(제1 입구헤더(111), 도 1 참조) 온도를 비교한다.

[0052] 제1 입구헤더(111)의 경우, 정화계통(150)으로부터 11 kg/s의 정화유량이 정화계통 합류로(153)를 통해 157도의 온도로 냉각수 계통으로 보내진다. 냉각수 계통에서는 262도의 온도로 흐르고 있던 2100kg/s의 냉각수 유량이 상기 정화유량과 합쳐진다. 서로 다른 온도와 유량을 갖는 두 유량이 합쳐진 후의 유체 온도를 산출하기 위해, 다음의 식 1을 통해 유량 가중 평균 온도를 구할 수 있다.

$$T_3 = (m_1 T_1 + m_2 T_2) / m_3$$

$$= (2100 [kg/s] \cdot 262 [^{\circ}C] + 11.1 [kg/s] \cdot 157 [^{\circ}C]) / 2111.1 [kg/s] = 261.4 [^{\circ}C] \quad (\text{식 1})$$

[0053] 여기서,  $m_1$ 은 냉각수 계통 냉각수의 유량,  $T_1$ 는 냉각수 계통 냉각수의 온도,  $m_2$ 는 정화계통으로부터 회수(return)되는 냉각수의 유량,  $T_2$ 는 정화계통으로부터 회수(return)되는 냉각수의 온도,  $m_3$ 는 정화유량과 합쳐진 후의 냉각수 계통 냉각수의 유량,  $T_3$ 는 정화유량과 합쳐진 후의 냉각수 계통 냉각수의 온도이다.

[0054] 정화계통(150)으로부터 냉각수 계통으로 유출되는 차가운 냉각수(약 섭씨 157도)에 의한 영향을 평가하기 위해, 유량 가중 평균 온도를 구한 결과 정화계통(150)의 유량과 합류된 후의 냉각수 온도는 정화계통(150)의 유량과 합류되기 전의 온도인 262도보다, 약 0.6도 낮은 261.4도를 갖게 된다. 즉, 정화계통(150)과 연결된 유로에 구비된 제2 입구헤더(113)의 온도는 261.4도로서, 정화계통(150)과 연결되지 않은 유로의 제1 입구헤더(111)의 온도보다 약 0.6도 낮은 온도를 갖는 것을 알 수 있다. 이러한 낮은 온도는 후에 마그네타이트의 침전과 관련된다.

[0055] 도 4는 마그네타이트 재분포 메커니즘을 나타낸 개념도이다.

[0056] 도 4는 냉각수 계통에서 마그네타이트가 용해(Dissolution)되고, 침전 (Deposition)되는 과정을 냉각수의 흐름에 따라 정성적으로 나타내고 있다.

[0057] 고온의 냉각수가 흐르고 있는 출구 피더관(Outlet Feeder Pipe)에서는 유동 가속화에 의한 마그네타이트의 용해(Flow Accelerated Corrosion)가 발생하게 된다. 즉, 탄소강의 재질을 가진 출구 피더관의 곡관에서는 유체가 국부적으로 가속화되는 부분이 발생하고, 이로 인해 출구 피더관의 마그네타이트가 고온의 냉각수에 용해된다. 마그네타이트가 용해된 고온의 냉각수는 증기발생기를 통과하면서 온도가 낮아지게 되며, 냉각수 온도와 함께 마그네타이트 용해도도 함께 감소하게 된다.

[0058] 따라서, 도 4에 나타난 바와 같이, 증기발생기의 하류(Cold Leg)와 입구 피더관에서는 냉각수에 녹아있는 마그네타이트의 양이 냉각수의 용해도보다 많게 된다. 따라서, 냉각수에 녹아있던 마그네타이트의 침전이 발생하고, 침전된 마그네타이트는 증기발생기의 하류와 입구 피더관의 벽에 쌓이게 된다.

[0059] 도 5는 온도에 따른 마그네타이트의 용해도를 나타낸 그래프이다.

[0060] 이를 참조하면, 온도가 낮을수록 마그네타이트의 용해도는 감소하는 것을 알 수 있으며, 마그네타이트의 용해도는 pH가 높을수록 온도의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있다. 중수형 원자로(100)의 경우, 냉각수 계통의 냉각



수의 pH 농도를 10.2 ~ 10.4 사이가 되도록 제어하고 있으므로, pH 10.25에 대한 곡선이 중수형 원자로(100)에 대한 마그네타이트 용해도 곡선이라고 할 수 있다.

[0063] 만약, 마그네타이트 용해(Dissolution)가 일어나는 출구 피더관에서 고온의 냉각수에 마그네타이트가 포화상태로 용해되어 있다고 가정한다면, 냉각수 계통에 침전되는 마그네타이트의 전체 양은 출구헤더(ROH)에서의 온도와 입구헤더(RIH)에서의 온도에서 마그네타이트 용해도의 차이로 표현될 수 있다. 따라서, 정화계통(150)이 연결되어 있지 않은 유로에 비하여, 정화계통(150)이 연결된 유로의 입구헤더 온도는 약 0.6도 낮기 때문에, 출구헤더의 온도와 입구헤더의 온도 차이가 증가하고, 이는 마그네타이트 용해도 차이를 증가하게 된다.

[0064] 즉, 정화계통(150)이 연결된 유로인 유로 23(116) 과 유로 67(125)에서의 마그네타이트 침전량은 유로 41(115) 과 유로 85(126)에 비해서 상대적으로 증가하게 된다.

[0065] 고온의 냉각수에 용해되어 있는 마그네타이트의 포화 정도는 정확히 측정할 수 없지만, 그 포화 정도에 따라서 정화계통(150)에 연결된 유로는 정화계통(150)이 연결되어 있지 않은 유로에 비해서 약 1.2% ~ 4.8% 상대적으로 많은 마그네타이트가 침전되는 것으로 나타난다.

[0066] 즉, 정화계통(150)으로부터 유입되는 상대적으로 차가운 온도의 정화유량에 의해서 정화계통(150)이 연결된 유로의 입구헤더 온도는 감소하게 되고, 입구헤더쪽에서의 마그네타이트 용해도 감소로 인해 결과적으로 마그네타이트 침전량을 증가시키게 된다. 따라서, CANDU 원자로에 있어서, 정화계통(150)이 연결된 유로 23(116)과 유로 67(125)의 유동 저항 계수가 유로 41(115)과 유로 85(126)보다 상대적으로 증가하게 되며, 결국 유로 23(116)과 유로 67(125)에서의 노심차압이 유로 41(115)과 유로 85(126)보다 상대적으로 크게 발생한다.

[0067] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 원자로의 냉각수 계통을 나타낸 개념도이다.

[0068] 본 실시예의 원자로는 상기 도 1에 도시된 원자로의 제1 밸런스라인(130)에 설치되고, 상기 제1 및 제2 입구헤더(111, 113)간의 유압차이가 제1 및 제2 출구헤더(112, 114)간의 유압차이보다 더 큰 경우, 상기 제1 밸런스라인(130)으로 냉각수가 흐르지 못하도록 상기 냉각수의 유량을 제어하는 제1 제어밸브(131)를 포함한다.

[0069] 예를 들어, 유로 23(116)의 노심차압이 유로 41(115)보다 100kpa 크다고 하고, 제2 입구헤더(113)의 압력이 제1 입구헤더(111)의 압력보다 200kpa 높은 상황을 가정해 보면, 제2 출구헤더(114)의 압력이 제1 출구헤더(112)의 압력보다 100kpa 높게 된다. 따라서, 출구헤더의 압력차이에 의해서 유동의 방향과 유량이 결정되는 제1 밸런스라인(130) 시스템에서는 제2 출구헤더(114)에서 제1 출구헤더(112)로 유량이 흐르게 된다. 이러한 유량의 흐름은 유로 23(116)의 유량을 증가시켜서 노심차압을 증가시키는 결과를 가져오게 된다. 또한, 유로 41(115)의 유량을 감소시켜 유로 41(115)의 노심차압을 감소시키게 된다. 결과적으로, 유로 23(116)과 유로 41(115)의 노심차압의 불균형이 상기 제1 밸런스라인의 유량에 의해서 더 커지는 결과를 가져온다.

[0070] 즉, 입구헤더의 압력차이가 노심차압의 불균형보다 큰 경우에는 이와 같이, 제1 밸런스라인(130)을 통한 냉각수의 유동이 노심차압의 불균형을 악화시키는 결과를 가져오게 된다. 따라서, 이러한 경우에 제1 제어밸브(131)는 상기 제1 밸런스라인(130)을 통해 냉각수가 흐르지 못하도록 유량을 제어한다.

[0071] 여기서, 상기 제1 제어밸브(131)는 상기 제1 밸런스라인(130)을 통해 이동하는 상기 냉각수에 의해 상기 제1 입구헤더(111) 및 제1 출구헤더(112) 사이를 이동하는 냉각수 유량과, 상기 제2 입구헤더(113) 및 제2 출구헤더(114) 사이를 이동하는 냉각수 유량의 차이가 커지는 경우 상기 제1 밸런스라인(130)으로 냉각수가 흐르지 못하도록 제어하는 체크밸브일 수 있다.

[0072] 도 7은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 원자로의 냉각수 계통을 나타낸 개념도이다.

[0073] 제1 밸런스라인(130)은 출구헤더간의 압력의 평형을 유도하고 있지만, 입구헤더간의 압력에 대해서는 제어를 할 수 없다. 따라서, 입구헤더간의 압력의 균형을 이를 필요성이 있다.

[0074] 따라서, 제1 입구헤더(111)와 제1 출구헤더(112) 사이의 유압강하와 제2 입구헤더(113)와 제2 출구헤더(114) 사이의 유압강하의 차이를 감소시키도록, 상기 제1 입구헤더(111)와 상기 제2 입구헤더(113) 사이에 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제2 밸런스라인(200)을 더 포함할 수 있다. 제2 밸런스라인(200)은 제1 입구헤더(111)와 제2 입구헤더(113) 사이에 연결되는 제1 밸런스라인(130)과 같은 파이프를 연결하는 것이다.

[0075] 도 8은 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 원자로의 냉각수 계통을 나타낸 개념도이다.

[0076] 본 실시예는, 제1 입구헤더(111)와 제1 출구헤더(112) 사이의 유압강하와 제2 입구헤더(113)와 제2 출구헤더(114) 사이의 유압강하의 차이를 감소시키도록, 상기 제1 입구헤더(111)와 상기 제2 입구헤더(113) 사이에 냉각

수가 이동가능하게 형성되는 제2 밸런스라인(200)을 더 포함할 수 있다.

- [0077] 아울러, 제1 밸런스라인(130)에 제1 제어밸브(131)를 포함한다. 따라서, 상기 제1 및 제2 입구헤더(111, 113)간의 유압차이가 제1 및 제2 출구헤더(112, 114)간의 유압차이보다 더 큰 경우, 상기 제1 밸런스라인(130)으로 냉각수가 흐르지 못하도록 상기 냉각수의 유량을 제어할 수 있다. 상기 제2 밸런스라인(200)과 제1 제어밸브(131)는 상술한 설명과 같다.
- [0078] 본 실시예와 같이 제1 제어밸브(131) 및 제2 밸런스라인(200)을 구비하게 되면, 노심차압의 편차보다 입구헤더간의 압력차이가 더 큰 경우에는, 제1 제어밸브(131)가 제1 밸런스라인(130)을 통한 냉각수의 이동을 제한하므로, 제2 밸런스라인(200)을 통하여 냉각수 계통의 압력 평형을 이룰 수 있다.
- [0079] 도 9는 본 발명의 또 다른 일 실시예에 따른 원자로의 냉각수 계통냉각수 계통 개념도이다.
- [0080] 본 실시예는, 제1 및 제2 출구헤더(112, 114) 사이의 유압차이를 감소시키도록, 상기 제1 및 제2 출구헤더(112, 114) 사이에 발생하는 압력차이에 의해 상기 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제1 밸런스라인(130)과 제1 입구헤더(111)와 제1 출구헤더(112) 사이의 유압강하와 제2 입구헤더(113)와 제2 출구헤더(114) 사이의 유압강하의 차이를 감소시키도록, 상기 제1 입구헤더(111)와 상기 제2 입구헤더(113) 사이에 냉각수가 이동가능하게 형성되는 제2 밸런스라인(200)을 구비할 수 있다. 아울러, 각각의 밸런스라인에는 압력차이에 의한 냉각수의 이동이 일어나지 않도록 하는 제1 제어밸브(131) 및 제2 제어밸브(201)가 구비된다.
- [0081] 상기 제2 제어밸브(201)는 제1 입구헤더(111)와 제1 출구헤더(112) 사이에서 강하된 유압과 제2 입구헤더(113)와 제2 출구헤더(114) 사이에서 강하된 유압의 차이를 감소시키도록, 상기 제2 밸런스라인(200)에 흐르는 냉각수의 양을 제어할 수 있다.
- [0082] 제1 밸런스라인(130)과 제2 밸런스라인(200)에 각각 제1 제어밸브(131) 및 제2 제어밸브(201)를 구비함으로써, 본 발명에서는 노심차압의 편차, 출구헤더간의 압력차이 및 입구헤더간의 압력차이를 고려하여 효과적으로 냉각수 계통의 압력평형을 유도할 수 있다.
- [0083] 이상에서 설명한 원자로의 냉각수 계통 및 이를 포함하는 원자로는 위에서 설명된 실시예들의 구성과 방법에 한정되는 것이 아니라, 상기 실시예들은 다양한 변형이 이루어질 수 있도록 각 실시예들의 전부 또는 일부가 선택적으로 조합되어 구성될 수도 있다.

**부호의 설명**

- |        |                     |                     |
|--------|---------------------|---------------------|
| [0084] | 100 : 중수형 원자로       | 110 : 제1 루프         |
|        | 111 : 제1 입구헤더       | 112 : 제1 출구헤더       |
|        | 113 : 제2 입구헤더       | 114 : 제2 출구헤더       |
|        | 115 : 유로 41         | 116 : 유로 23         |
|        | 120 : 제2 루프         | 121 : 제2 루프 제1 입구헤더 |
|        | 122 : 제2 루프 제1 출구헤더 | 123 : 제2 루프 제2 입구헤더 |
|        | 124 : 제2 루프 제2 출구헤더 | 125 : 유로 67         |
|        | 126 : 유로 85         | 130 : 제1 밸런스라인      |
|        | 131 : 제1 제어밸브       | 140 : 노심(원자로 코어)    |
|        | 150 : 정화계통          | 151 : 정화계통 유입로      |
|        | 152 : 정화계통 유출로      | 153 : 정화계통 합류로      |
|        | 160 : 공급계통          | 161 : 공급계통 배출로      |
|        | 170 : 가압기 계통        | 181 : 제1 증기발생기      |
|        | 182 : 제1 펌프         | 183 : 제2 증기발생기      |
|        | 184 : 제2 펌프         | 185 : 제3 증기발생기      |

186 : 제3 펌프

187 : 제4 증기발생기

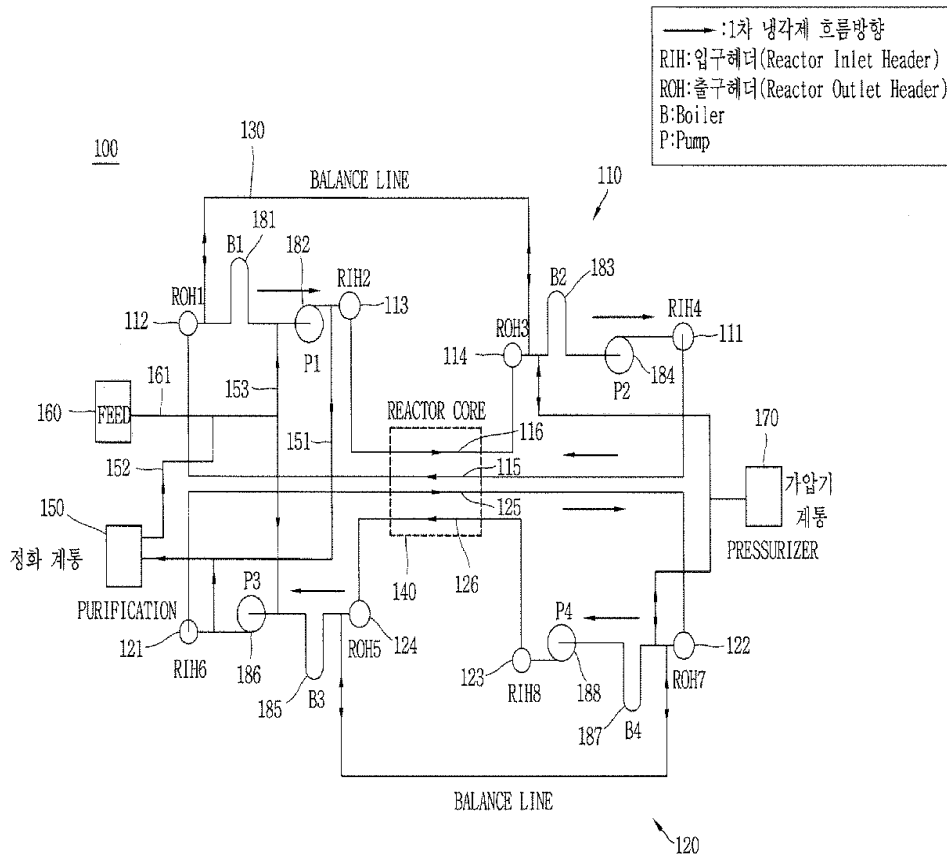
188 : 제4 펌프

200 : 제2 밸런스라인

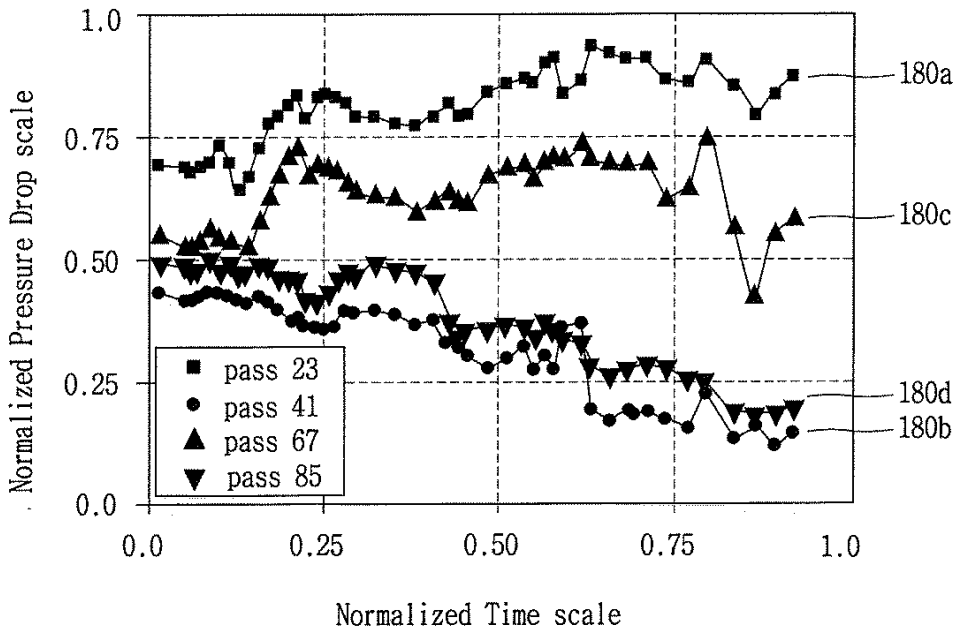
201 : 제2 제어밸브

도면

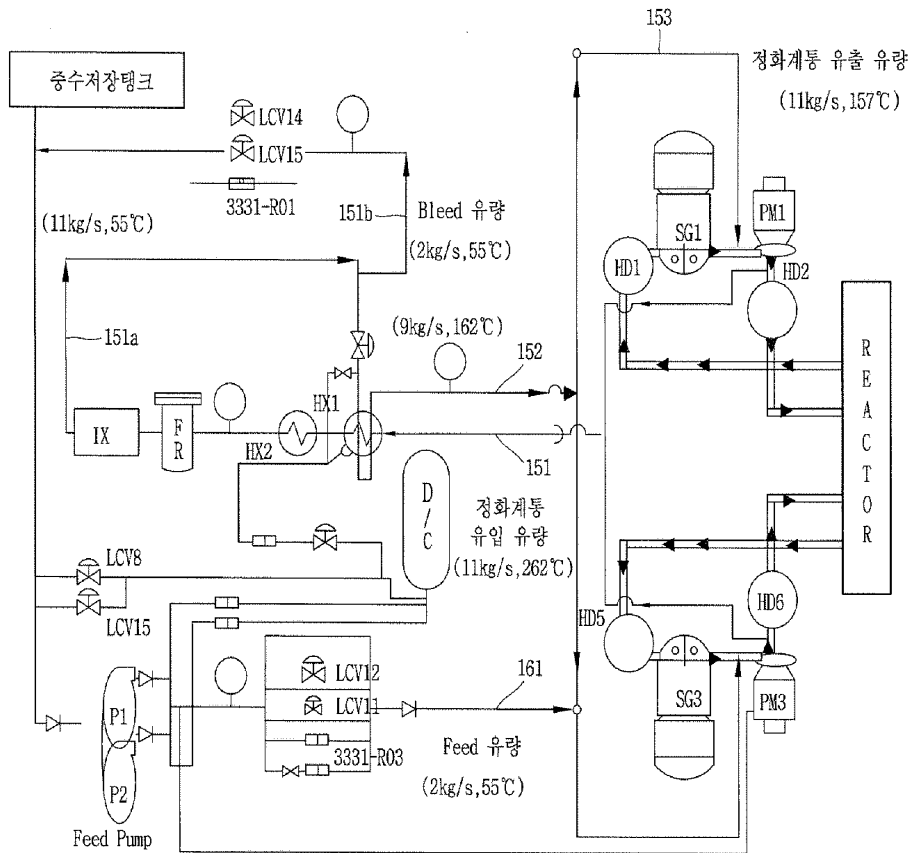
도면1



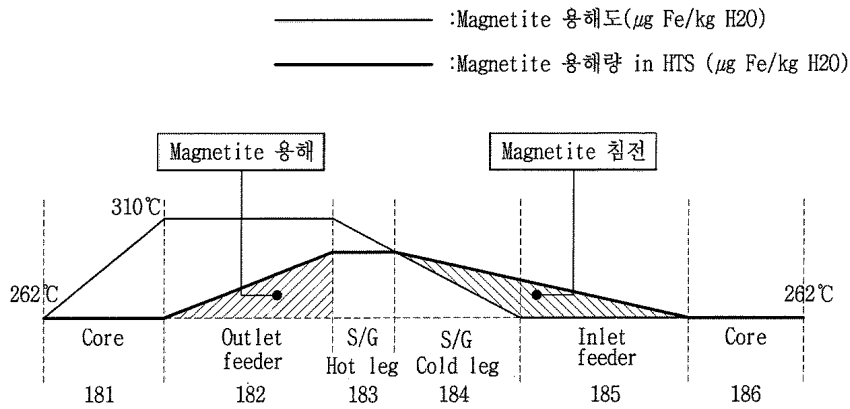
도면2



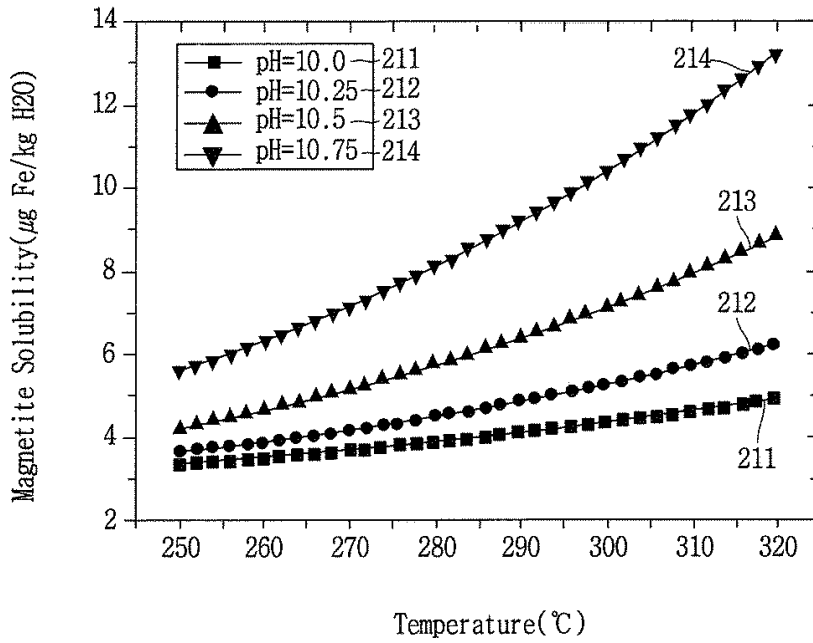
도면3



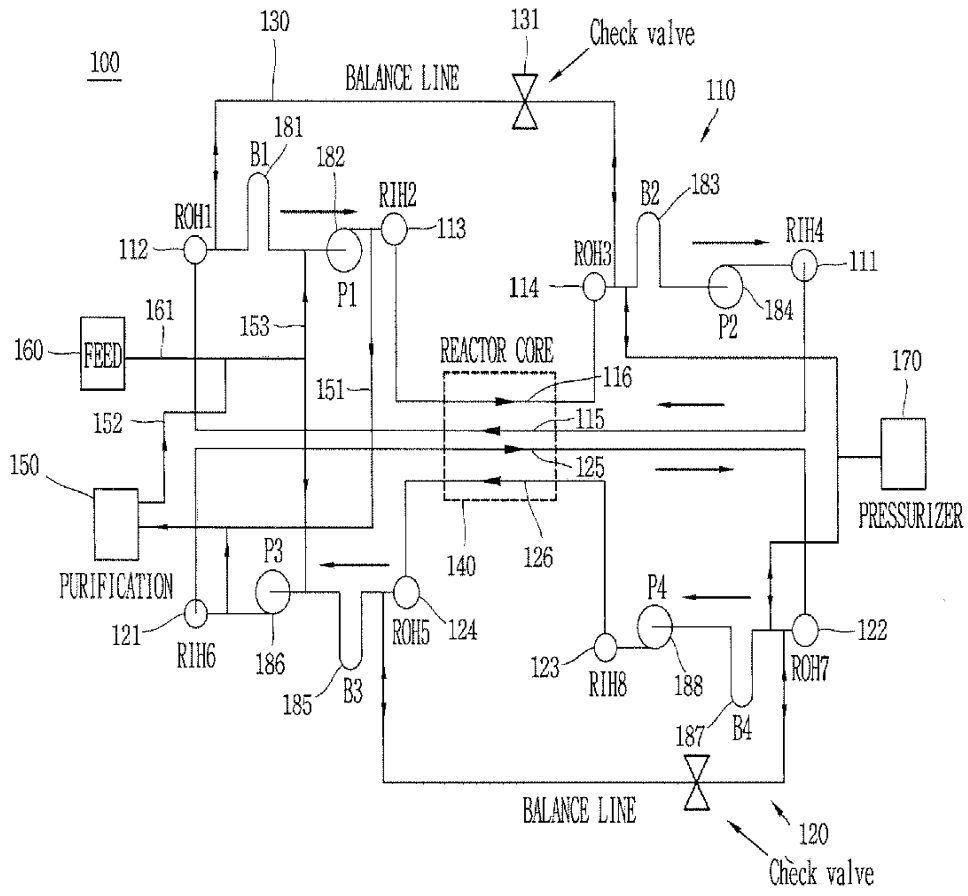
도면4



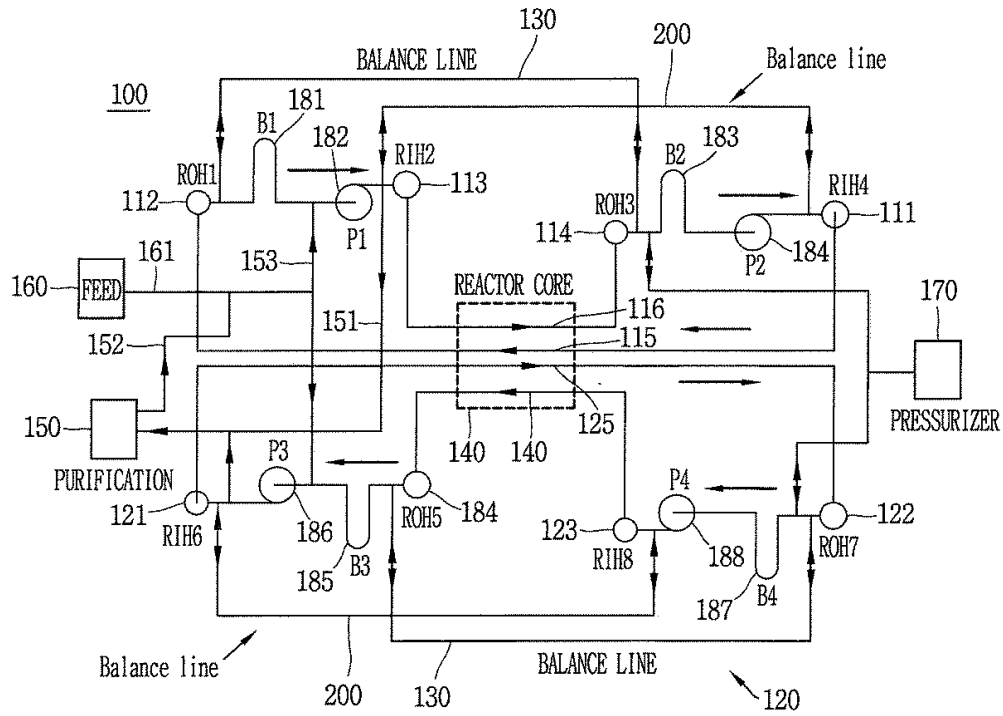
도면5



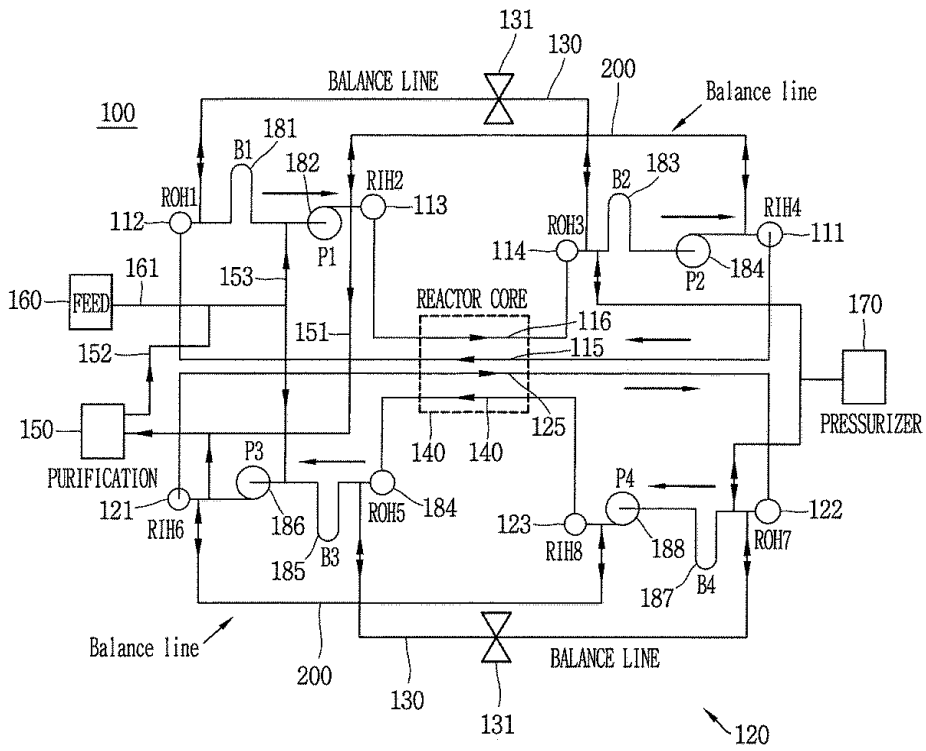
도면6



도면7



도면8



도면9

