

(19)대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。 Int. Cl. G21C 15/18 (2006.01)	(45) 공고일자 (11) 등록번호 (24) 등록일자	2006년05월03일 10-0575483 2006년04월25일
---	-------------------------------------	--

(21) 출원번호	10-2003-0060609	(65) 공개번호	10-2005-0022413
(22) 출원일자	2003년08월30일	(43) 공개일자	2005년03월08일

(73) 특허권자                    한국원자력연구소  
                                      대전 유성구 덕진동 150번지

(72) 발명자                      권태순  
                                      대전광역시서구정림동우성아파트127-101호

                                      송철화  
                                      대전광역시서구둔산1동크로바아파트117-305호

                                      신용승  
                                      대전광역시유성구어은동한빛아파트122-1303호

                                      최청렬  
                                      경기도용인시기홍읍상갈리488-4104호

(74) 대리인                      이원희

심사관 : 김용훈

(54) 가압 경수로형 원자로의 비상노심냉각계통

요약

본 발명은 가압경수로형 원자로의 강수부에 비상노심냉각수를 직접주입(Direct Vessel Injection : DVI)방식의 비상노심냉각계통(Emergency Core Cooling System : ECCS)에서 발생하는 비상노심냉각수 우회방지에 관한 기술로서, 직접주입배관 파단사고시에도 비상노심냉각수 직접주입 연장관 입출구 역전 현상을 차단함과 동시에, 대형배관파단사고시 고속의 횡 방향 증기유동에 이끌려 나가는 비상노심냉각수의 강수부 우회배출 현상을 모두 차단시키는 비상노심냉각수 직접주입연장형 "노심배럴 환형 실린더"를 구비한 가압 경수로형 원자로의 비상노심냉각계통에 관한 것이다.

대형배관파단사고시 비상노심냉각수 강수부 하부 침투 강화시키기 위하여, "노심배럴 환형 실린더"를 기존 원자로의 노심배럴 실린더 외주면 바깥쪽에 원통형 실린더로 추가 설치하여 환형 내부로 비상노심냉각수가 강수부 하부까지 흘러내릴 수 있도록 통로를 만들어 고속의 강수부 횡증기 유동으로부터 비상노심냉각수를 차단시키는 보호벽 역할을 하도록 하고, 직접주입배관 파단사고시 직접주입 연장관 입출구 역전현상을 차단하기 위하여, 사고시 원자로 용기 강수부로 주입되는 고속의 물-제트(Water Jet)인 비상노심냉각수의 관성력을 이용하여 직접주입노즐에서 강수부를 가로질러 반대편 노심배럴 환형 실린더 벽면에 뚫린 비상노심냉각수 흡입 구멍으로 투입되도록 한 "비상노심냉각수 물제트 다리(ECC Water Bridge)"를 특징적 구성으로 한다.

따라서, 본 발명에 의하면 저온관 대형 파단사고시 고속의 횡 방향 증기유동에 이끌려 나가는 비상노심냉각수의 강수부 우회배출 현상이 차단되도록 함과 동시에, 직접주입배관 파단사고시에도 비상노심냉각수 직접주입 연장관 입출구 역전현상 및 유사현상을 방지할 수 있게 된다.

**대표도**

도 5

**색인어**

노심배럴 환형 실린더, 비상노심냉각수 피동형 연결, 비상노심냉각수 직접우회방지, 환형 노심배럴, 입출구 역전현상, 직접주입배관 파단사고, 저온관 파단사고

**명세서**

**도면의 간단한 설명**

- 도 1은 종래의 DVI 연장형 주입관을 통한 비상노심냉각수 주입출구를 나타내는 개념도.
- 도 2는 종래의 DVI 연장형 주입관 파단사고시의 출구가 파단류의 입구로 변하는 비상노심냉각수 주입연장관 끝 출구에서의 입출구 역전현상을 나타내는 개념도.
- 도 3은 종래의 DVI 연장형 직접주입관 파단사고시의 노심 피복재 온도 계산 결과를 나타내는 그래프로서, 점선은 종래 DVI 연장형 직접주입관파단사고시 노심 피복재 온도(RELAP/MARS 계통해석코드 결과)의 범규상 규제 한계치를 초과하는 결과를 나타내는 그래프.
- 도 4는 종래의 DVI 연장형 주입관파단사고시의 강수부 냉각재 수위의 계산 결과를 나타내는 그래프로서, 실선은 종래 DVI 연장형 직접주입관파단사고시 노심 피복재 온도(RELAP/MARS 계통해석코드 결과)를 나타내는 그래프.
- 도 5는 본 발명에 따른 비상노심냉각계통이 적용된 가압경수로형 원자로의 개략 평단면도 및 종단면도.
- 도 6은 노심배럴 환형 실린더 용접하여 조립하기 전의 전체 구성 배치 개념도.
- 도 7은 원자로 정상운전시의 노심배럴 환형 실린더 주위의 냉각수 유동 개념도.
- 도 8은 비상노심냉각수 주입시 직접주입노즐과 노심배럴 환형 실린더 연결형태 종단면도로서, 우측은 "비상노심냉각수 물체트 다리"에 의한 연결 형태, 좌측은 비연결상태를 도시한 개념도.
- 도 9는 저온관 파단사고시의 노심배럴 환형 실린더 내부로의 DVI 주입 형태 종 단면도로서, 좌우측의 직접주입노즐과 노심배럴 환형 실린더 사이가 "비상노심냉각수 물체트 다리"에 의해 연결된 상태의 개념도.
- 도 10은 직접주입배관 파단사고시의 노심배럴 환형 실린더 내부로의 DVI 주입 형태 종단면도로서, 우측은 직접주입노즐과 노심배럴 환형 실린더 사이가 "비상노심냉각수 물체트 다리"에 의해 연결된 상태를, 좌측은 비상노심냉각수 비주입상태에 따른 비연결 상태를 나타내는 개념도.
- 도 11은 DVI 연장형 저온관 완전파단사고시의 노심 피복재 온도의 계산 결과를 나타내는 그래프로서, 실선은 비연장형 DVI 방식, 점선은 연장형 DVI 방식을 도시한다.
- 도 12는 DVI 연장형 저온관 완전파단사고시 원자로 하부의 과냉각도의 계산 결과를 나타내는 그래프로서, 실선은 비연장형 DVI 방식, 점선은 연장형 DVI 방식을 각각 도시한다.

\*도면의 주요부분에 대한 부호의 설명\*

- 1: 원자로 압력용기 2: 노심 배럴
- 3: 노심배럴 환형 실린더 4: 직접주입노즐
- 5: 노심배럴 환형 실린더 비상주입수 유입구
- 6: 고온관 7: 저온관
- 8: 하부 비상주입수 혼합 촉진용 배출구 9: 지지용 판 스프링
- 10: 상부 용접용 리브 11: 고온관 노즐 통과공
- 12: 상부 리브 가스배출구 13: 상부 측면 가스배출구
- 14: 강수부 15: 노심배럴 환형 통로
- 16: 수직 절단선

## 발명의 상세한 설명

### 발명의 목적

#### 발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 가압경수로형 원자로의 강수부에 비상노심냉각수를 직접주입(Direct Vessel Injection : DVI) 방식의 비상노심냉각계통(Emergency Core Cooling System : ECCS)에서 발생하는 비상노심냉각수 우회방지에 관한 기술로서, 더욱 상세하게는 저온관(Cold Leg)이 완전히 절단되는 대형 저온관 파단사고시, 노심을 냉각시키기 위하여 원자로 용기 강수부에 주입된 비상노심냉각수가 노심을 냉각시키는 데 기여하지 못하고, 파단저온관 부위로 배출되는 고속의 횡 방향 증기유동에 이끌려 함께 배출되는 현상을 차단하기 위한 비상노심냉각수 직접 우회방지 기술에 관한 것이다. 특히, 강수부에 설치된 직접주입노즐(DVI Nozzle)로부터 주입된 비상노심냉각수를 강수부 하부 또는 노심 하부까지 직접 주입하는 기술분야에 관한 것이다.

현재 운영 중인 가압경수로형 원자로의 비상노심냉각수 주입방식은 저온관 주입방식과 강수부 직접주입방식으로 크게 나눌 수 있다. 비상노심냉각수를 저온관에 주입하는 방식에서는 저온관 파단시 비상노심냉각수가 노심의 냉각에 전혀 기여하지 못하고 절단된 저온관 파단부위로 모두 배출되는 냉각수 손실이 발생한다.

이러한 비상노심냉각수 저온관 배출 손실 문제를 해결하기 위해 도입된 방식이 비상노심냉각수 직접주입하는 방식(Direct Vessel Injection : DVI)이다. 직접주입방식은 비상노심냉각수를 원자로용기 강수부에 직접 주입하므로 파단된 저온관부위로 전량 배출되는 비상노심냉각수 손실은 발생하지 않는다. 대한민국 특허공개 제2001-76548호를 참조하면 이러한 비상노심냉각수 직접주입방식에 대하여 자세히 알 수 있다. 그러나, 직접주입방식도 저온관 파단사고시 비상노심냉각수가 강수부에 형성되는 강력한 횡 방향 고속 증기의 파단유동에 이끌려 함께 배출되는 비상노심냉각수의 강수부 우회배출 비율이 증가하는 새로운 공학적 문제가 발생한다. 비상노심냉각수 우회배출비율이 증가되는 근본 원인은 강수부에 주입되어 노심배럴 벽면에 부딪친 비상노심냉각수가 수막과 물방울 형태로 고속의 횡유동 증기유동에 노출됨으로써 쉽게 휩쓸려 나가게 되는 비상노심냉각수 주입구조의 취약성에 있다고 할 수 있다. 즉, 강수부 우회배출은 저온관 주입방식에서의 냉각수 손실과 동일한 의미의 문제를 야기한다.

또한, 대형 저온관 파단사고시 비상노심냉각수가 고속 횡 방향 증기유동에 휩쓸려 파단부로 함께 직접배출되는 비상노심냉각수 강수부 우회 배출 현상을 방지하기 위한 기술로서, 원자로용기 벽면에 설치된 직접주입노즐로부터 강수부 하부나 노심의 하부까지 비상노심냉각수 주입관을 연장시키는 방식이 1980.2.5일자 미국특허 제4,187,147호에 개시된 바 있다. 이 방식에 따라 비상노심냉각수 직접 주입관을 강수부하부나 노심하부까지 연장시키면, 저온관 완전파단시 강수부의 고속 횡 방향 증기 유동으로부터 완전히 격리된 주입관 내부로 비상노심냉각수가 흐르게 되므로 횡 증기유동에 휩쓸려 배출되는 비상노심냉각수의 강수부 우회 배출 현상을 방지할 수 있다.

그러나, 이렇게 대형 저온관 파단사고시의 비상노심냉각수의 휩쓸림 배출방지에만 초점을 맞춰 직접주입노즐을 단순히 강수부 하부나 노심 하부로 파이프나 덕트를 이용하여 연장시킨 직접주입 연장관 구조는 직접주입배관 파단사고시에는 심각한 구조적 결함을 갖게 된다. 우선, 가장 큰 구조적 결함은 직접주입배관 파단시 직접주입 연장관인 파이프나 덕트의 출구가 반대로 파단류의 흡입구로 변하게 되는 "비상노심냉각수 직접주입 연장관 입출구 역전현상"이 발생하기 때문이다. 비상노심냉각수가 정상적으로 직접주입연장관을 통해 주입될 때의 출구는 저온관 하부나 노심의 입구가 되며 이들의 고도(Elevation)는 직접주입노즐보다 훨씬 낮은 곳에 위치한다. 따라서, 직접주입관 파단사고시는 직접주입연장관을 통해 원자로 용기내의 냉각수가 원자로 밖으로 배출되므로 비상노심냉각수의 정상 배출구가 파단류의 흡입점으로 변하게 되는 데 이를 "비상노심냉각수 직접주입 연장관 입출구 역전현상"이라 한다. 따라서, 일단 "비상노심냉각수 직접주입 연장관 입출구 역전현상"이 발생하면 원자로 용기내의 냉각수 수위는 현저히 저하되고, 이에 따라 노심이 과열되어 안전허용 기준을 초과하는 심각한 기술적 문제를 유발시킨다. 결과적으로, 직접주입노즐을 강수부 하부나 노심 하부까지 단순히 연장시키는 종래의 직접주입 연장관 방식은 대형파단사고에는 적용 가능하지만, 직접주입배관 파단사고시에는 적용이 불가능하다.

도 1은 직접주입 연장형 비상노심냉각수 계통에서 비상노심냉각수가 주입될 때의 연장관 출구를 나타내며, 도 2는 직접주입배관이 파단된 상태로 비상노심냉각수가 주입될 때 연장관 출구가 파단류의 입구로 역전된 상태를 나타내고 있다. 도 3은 이러한 방식을 이용한 직접주입 연장형 비상노심냉각수 계통의 원자로에서 직접주입배관 파단사고에 따른 원자로의 열수력적 거동을 계통안전해석코드인 MARS(RELAP5/MOD3 Gamma Version의 수정본)를 이용하여 해석했을 때의 원자로 노심 핵연료의 피복재 온도 변화를 나타낸 그래프이다. 수평점선은 원자력법이 규정한 한계값으로 원자로의 설계건전성을 입증하려면 어떠한 경우라도 이 값보다 낮아야만 한다. 그러나, 입출구 역전현상이 발생하면 원자로의 하부까지 연장된 부위로부터 파단류가 흡입되어 원자로 밖으로 배출되므로 원자로 강수부와 노심에서의 냉각재 수위는 현저히 낮아져 노심이 노출되며(도 4), 이에 따라 원자로 노심의 온도는 급격하게 상승하여 법규가 허용하는 한계치를 초과한다.

이와 같이 단순 직접주입연장관 방식에서의 "비상노심냉각수 직접주입 연장관 입출구 역전현상"을 방지할 목적으로 비상노심냉각수 주입유동과 파단유동의 유동유발 모멘트에 의해 피동형으로 개폐되는 판을 직접주입연장관 내부에 부착한 개량된 방식(대한민국 특허 출원 제2003-16916호, 2003.3.18)도 제안된 바 있다. 직접주입연장관 내부에 개폐판을 부착하는 방식은 직접주입배관 파단사고시 입출구 역전현상을 차단시키는 효과적인 방식이며, 대형배관 파단사고시에도 모두 적용 가능한 기술이나 구조가 다소 복잡하고 원자로 조립 간섭을 고려해야 하는 기술적 문제는 여전히 갖고 있다.

또 다른 방식으로는, 파단 저온관의 흡입 영역을 강수부에서 일정한 범위내로 한정시키기 위해 강수부를 수직히 4개의 영역으로 분리시키는 수직격리판을 부착한 이중 강수부(미국 특허 제4,082,608호, 1978.4.4) 등이 제안된 바 있다. 격리판 부착형 이중 강수부 실린더 형태는 강수부에서의 파단부위로 배출되는 파단유동 면적을 격리된 구역으로 한정시키므로, 대형배관파단시 강수부에서의 배출증기 속도를 증가시키고, 이로 인해 냉각수의 이끌림 배출을 심화시키며, 격리된 강수부 영역으로만 비상노심냉각수를 주입함으로써 원자로 용기의 냉각부위가 불균일하게 되도록 하며, 강수부 하부가 열충격에 취약하게 되도록 하고, 파단되지 않은 건전 저온관으로부터 원자로 용기 강수부에 유입되는 증기 배출 통로를 막게 되는 단점이 있다. 또한, 기계적으로는 원자로 용기 상부의 정렬키에 걸려 설치가 불가능하므로 원자로 용기의 구조 변경이 없는 한 결함이 불가능한 구조적 단점도 있다.

위에서 열거한 비상노심냉각수의 직접우회를 방지할 목적으로 설치하는 모든 직접주입 연장관 구조물은 목적에 부합되는 열수력적 성능 이외에도 협소한 원자로 용기 강수부 내부(간격 약 25cm)에 설치하여야 하며 강수부 상부의 정렬키(Alignment Key) 지지부가 강수부 내부로 돌출된 점을 감안하면, 설치 가능한 구조물의 폭은 더욱 작아야 하며, 장기간의 운전에 따른 구조물 파손 및 이탈이 없는 구조를 갖고 있어야 하므로 제작이 까다로워지는 문제점이 있다.

**발명이 이루고자 하는 기술적 과제**

본 발명은 위에 기술한 종래의 여러 비상노심냉각수 직접주입 방식의 비상노심냉각계통 및 직접주입 연장관으로 파이프나 덕트를 이용한 비상노심냉각계통이 가지고 있는 문제점을 해결하기 위해 제안된 것으로, 특히 저온관 대형 파단사고시 고속의 횡 방향 증기유동에 이끌려 나가는 비상노심냉각수의 강수부 우회배출 현상이 차단되도록 함과 동시에, 직접주입배관 파단사고시에도 비상노심냉각수 직접주입 연장관 입출구 역전현상 및 유사현상이 발생되지 않도록 함으로써 대형 저온관 파단사고나 직접주입관 파단사고에 동시 적용이 가능하며, 또한 구조가 간단하여 간격이 협소한 강수부내에 설치가 용이할 뿐 아니라, 기존의 구조물과 상호 기계적 간섭이나 조립간섭이 발생되지 않도록 하는 데 그 목적이 있다.

또한, 본 발명은 직접주입배관 파단사고시에도 비상노심냉각수 직접주입 연장관 입출구 역전현상 및 유사현상을 차단함과 동시에, 고속의 횡 방향 증기유동에 이끌려 나가는 비상노심냉각수의 강수부 우회배출 현상을 모두 차단시키는 두 가지 기능이 동시에 만족되도록 하는 데 또 다른 목적이 있다.

**발명의 구성 및 작용**

이러한 목적을 달성하기 위해 본 발명은 사고시 직접주입노즐을 통해 원자로 용기 강수부로 주입되는 비상노심냉각수는 고속의 물제트이며 강수부를 가로질러 반대편 노심배럴 벽면에 수직으로 부딪쳐 퍼지며 강수부 하부로 흘러내린다. 비상노심냉각수는 원자로가 정상적으로 운전될 때는 주입되지 않으며, 또한 파단된 직접주입관으로도 비상노심냉각수가 주입되지 않는다. 따라서 이러한 비상노심냉각수의 주입특성과 강수부 양쪽에서 서로 마주보는 직접주입노즐과 노심배럴 환형 실린더의 외주면에 비상노심냉각수 흡수 구멍을 뚫어주는 구조를 채용함으로써 비상노심냉각수의 물제트를 마치 직접주입노즐과 노심배럴 환형 실린더를 연결시키거나 단락시키는 스위치와 같은 기능을 갖도록 함으로써 즉, 피동형 "비상노심냉각수 물제트 다리(ECC Water Jet Bridge)" 개념을 적용함으로써, 비상노심냉각수가 주입될 때는 고속의 수평 선형 관성력(모멘텀)을 이용하여 강수부의 직접주입노즐과 기존 원자로의 노심배럴 외주면에 환형으로 새로 설치하는 비상노심냉각수 강수부 하부 침투 강화용 노심배럴 환형 실린더를 파이프나 덕트 등의 강체를 통하지 않고 서로 연결하여 비상노심냉각수 주입시에만 형성되는 피동형 "비상노심냉각수 물 제트 다리"를 이용하여 비상노심냉각수를 직접 주입하도록 한다.

또한, 직접주입배관 파단사고시 파단된 배관으로는 비상노심냉각수가 주입되지 않으므로 직접주입 노즐과 비상노심냉각수 강수부 하부 침투 강화용 노심배럴 환형 실린더를 서로 연결하는 물 제트는 형성되지 않는다. 따라서, 직접주입 노즐과 비상노심냉각수 강수부 하부 침투 강화용 노심배럴 환형 실린더는 서로 분리된 상태가 되며 직접주입노즐이 파단류의 흡입구가 된다. 따라서, 파이프나 덕트를 이용한 종래의 비상노심냉각수 강수부 연장주입방식에서 "직접주입 연장관 입출구 역전현상"을 발생시켰던 연장주입 배관이 강수부 상부의 직접주입 노즐 근처에서 끊어진 것과 같은 효과를 갖도록 함과 동시에, 이 경우 직접주입배관 파단에 따른 파단류의 흡입구는 비상노심냉각수 강수부 하부 침투 강화용 노심배럴 환형 실린더의 하부 지점이 아니라, 끊겨 있는 "비상노심냉각수 물 제트 다리" 부위의 한쪽 끝이 되는 직접주입노즐이므로, "비상노심냉각수 물 제트 다리"에 의해 파단유동의 흡입 위치를 비상노심냉각수의 주입시 출구인 노심배럴 환형 실린더 하부로부터 훨씬 더 높은 고도인 직접주입노즐로 전환시킴으로써, 종래의 방식에서와 같은 강수부 하부나 노심입구의 연장주입 구조부 출구로부터의 파단유동 흡입 현상인 "입출구 역전현상"을 차단시키도록 한다.

또한, "비상노심냉각수 물 제트 다리"로 직접주입노즐과 배럴 외주면에 설치하는 비상노심냉각수 강수부 하부 침투 강화용 노심배럴 환형 실린더를 강수부에서 상호 연결시키도록 노심배럴 환형 실린더의 외주면의 직접주입노즐과 마주보는 위치에 구멍을 뚫어 비상노심냉각수 물 제트가 들어올 수 있도록 한다.

또한, 저온관 완전 파단사고시 주입되는 비상노심냉각수의 제트속도는 안전주입탱크가 주입동안에는 약 22 m/sec정도, 고압안전주입펌프가 주입되는 동안에는 약 1.6m/sec 정도의 속도를 갖고 있어 수평 관성력을 이용하여 주입노즐로부터 강수부를 가로질러 마주보는 노심배럴 환형 실린더의 외주면 구멍으로 들어가도록 만들기엔 충분하므로, 비상노심냉각수가 주입되는 동안에만 형성되는 물 제트를 직접주입노즐과 비상노심냉각수 연장 주입부의 연결을 피동형으로 연결 또는 차단시키는 유체역학적 연결 스위치가 되도록 한다. 즉, 직접주입배관 파단사고시, 파단된 직접주입관으로는 비상노심냉각수가 주입되지 않으므로 비상노심냉각수 연결 물 제트는 형성되지 않는 대신 물 제트가 끊긴 부위는 파단류의 흡입구가 되며, 저온관 파단사고시에는 비상노심냉각수의 물 제트로 주입노즐과 노심배럴 환형 실린더가 상호 연결되도록 한다.

또한, 본 발명은 "비상노심냉각수 강수부 하부 침투 강화용 노심배럴 환형 실린더"가 노심배럴실린더와의 사이에 환형 원통 실린더 부위를 만들고 그 내부로 비상노심냉각수가 강수부 하부로 흘러내리는 통로를 형성시켜주어 고속 횡 방향 증기 유동으로부터 비상노심냉각수 이끌림을 차단시키는 보호벽 역할을 하도록 한다. 이때, 노심배럴의 직경이 종래 방식의 연장주입용 파이프나 덕트의 직경보다 매우 크므로 작은 간극의 노심배럴 환형 실린더 일지라도 유동면적은 이들보다 더 크다. 이러한 구조적 특징은 상대적으로 작은 비율의 강수부 간격을 차지함을 의미하며, 조립시 강수부 상부의 정렬키 부위등 강수부 기타 강수부 구조물과의 간섭을 없앨 수 있는 장점이 된다. 또한, 노심배럴 환형 실린더를 이용하여 비상노심냉각수가 종래 방식의 파이프나 덕트처럼 국소 지역에 주입되지 않고 원주방향으로 고르게 분포하며 강수부 하부로 흐르게 되므로 강수부 하부나 노심입구에서의 냉각수 혼합을 훨씬 더 균일하게 유발시킬 수 있는 유동적 장점을 얻을 수 있게 된다.

또한, 본 발명에서는, 강수부에서 직접주입노즐의 연장시 설치공간 협소에 따른 조립상의 어려움을 회피하기 위하여, 비상노심냉각수 강수부 연장 주입부를 노심배럴의 외주면에 실린더를 설치하여 환형(annular)으로 설치하되 강수부 간극의 약 2/25 ~ 4/25 이하의 간격을 갖는 환형 실린더를 노심배럴 외주면에 부착하여 노심배럴을 이중의 실린더에 의한 환형 실린더 형태를 갖도록 한다. 이 때 노심배럴 외주면으로부터 강수부 간극의 약 2/25 ~ 4/25 이하의 간격을 갖는 환형 실린더를

설치하면 강수부 상부의 정렬 키 부분의 돌출부의 조립 간섭이 없다. 또한, 정상운전시 강수부 간극의 축소에 의한 수직 유동면적 축소에 따라 유동 저항의 증가를 최소화하게 된다. 아울러 노심배럴에 뚫은 4 개의 비상노심냉각수 투입 구멍들 사이사이에도 같은 크기의 구멍을 별도로 뚫어 노심배럴 환형 실린더 내부의 비응축성 가스 또는 증기의 배출 통로가 되도록 한다.

또한, 대형 저온관 파단사고시 비상노심냉각수는 주입노즐로부터 물 제트형태로 분사되어 마주보는 노심배럴 환형부의 비상노심냉각수 투입 구멍으로 주입되고, 노심배럴 외주면에 설치된 노심배럴 환형 실린더 내부를 통해 강수부 하부로 하강하므로, 노심배럴 환형 실린더에 의해 강수부에서 횡 방향 증기 유동과 비상노심냉각수의 상호간섭을 배제시켜 비상노심냉각수가 횡 방향 고속증기에 이끌려 나가는 현상을 차단하게 된다. 이때, 노심배럴에 부착하는 노심배럴 환형 실린더의 수직 길이는 직접주입노즐 상부 부근에서부터 저온관 중심선으로부터 강수부 하부로 저온관 내경의 약 3/2 ~ 2배까지 연장시키는 수직부위의 길이에 해당한다. 또한, 노심배럴 환형 실린더 하부의 둘레에 구멍을 뚫되 직경은 5 cm, 피치는 직경의 세 배가 되는 삼각배치 이중배열로 하여 강수부 하부에서의 유체 혼합을 증가시켜, 강수부 하부에서의 열충격 조건을 완화시키도록 한다.

끝으로, 노심배럴에 부착하는 노심배럴 환형 실린더의 상부는 노심배럴 외주면에 용접하여 고정하되, 하부는 원주둘레 내부에 다수의 판스프링을 설치하여 간격을 유지시키고 유동 유발진동을 차단한다. 또한, 저온관과 마주보는 위치는 지속적으로 저온관 제트 유체충돌이 있으므로 노심배럴 외주면과 노심배럴 환형 실린더를 수직 보조재로 보강한다.

결과적으로, 본 발명은 강수부를 통해 노심에 전달되는 비상노심냉각수를 증가시켜 저온관 완전 파단사고시 핵연료 피복재 온도가 후기 재관수 기간에 재가열되거나, 강수부 하부의 냉각수가 비등하는 현상을 방지하여 원자로의 안전을 보장할 수 있는 가압경수로형 원자로의 비상노심냉각계를 제공한다.

이하, 본 발명의 실시예에 따른 가압경수로형 원자로의 비상노심냉각계를 첨부도면을 참조로 상세히 설명한다.

본 발명에 따른 비상노심냉각계통은 도 5에 도시된 바와 같이, 비상노심냉각수를 원자로용기 강수부에 직접 주입하는 방식을 채용하고 있는 바, 여기에서 가압경수로형 원자로는 크게 외부의 원자로 압력용기(1)와, 이 압력용기(1) 보다 작은 직경으로 형성되어 압력용기(1)의 중심에 설치되는 노심배럴(2)로 구성된다. 또한, 노심배럴(2)의 내부에는 핵연료봉이 장입되는 노심(Core)(17)이 위치하며, 노심배럴(2)과 압력용기(1) 사이에는 직경차이에 의한 환형의 공간인 강수부(14)가 형성된다. 그리고, 압력용기(1)에는 냉각수의 순환통로가 되는 다수의 저온관(7)과, 이 저온관(7)을 통해 유입되어 강수부(14)와 노심(17)을 지나면서 가열된 냉각수가 증기발생기 쪽으로 흐르도록 노심배럴(2)에 연결되는 고온관(Hot Leg)(6)이 연결되어 있다.

이와 같이 가압경수로형 원자로는 고방사능물질인 핵연료를 에너지원으로 운전되는 시설로서, 사고시 많은 인명피해를 수반하는 대형참사로 이어질 수 있는 가능성이 있음에 따라 안전성을 확보하고자 설계에서부터 건설 및 운전에 이르기까지 단계별로 매우 엄격한 안전기준을 통과해야만 하는 바, 이러한 기준을 만족시키기 위해, 본 발명에 따른 가압경수로형 원자로의 비상노심냉각계통은 도 7에도 도시된 것처럼 원자로용기(1) 강수부(14)의 노심배럴(2) 외주면에 노심배럴 환형 실린더(3)가 동축 상으로 설치되어 비상노심냉각수 강수부 하강 통로 역할을 하도록 되어 있다. 즉, 노심배럴 환형 실린더(3)는 저온관 완전 파단사고시 강수부(14)에 유발되는 고속 횡 방향 증기유동에 이끌려 나가는 비상노심냉각수를 격리 보호하여 강수부 하부로 주입시키기 위한 비상노심냉각수 환형 통로(15)를 만들기 위해 노심 배럴(2)의 외주면에 환형으로 설치된다.

이 노심배럴 환형 실린더(3)는 도 8 및 도 9에 도시된 것처럼 직접주입노즐(4)과 노심배럴 환형 실린더(3)를 비상노심냉각수의 물 제트 다리로 강수부(14)에서 상호 연결시키기 위해서 노심배럴 환형 실린더(3)의 외주면에 직접주입노즐(4)과 마주보는 위치에 비상노심냉각수의 물 제트 투입용 비상노심냉각수 유입구(5)가 직접주입노즐(4) 수만큼 관통 형성되어 있다. 여기에서 비상노심냉각수 유입구(5)는 직접주입노즐(4)의 축선과 상기 노심배럴 환형 실린더(3)의 표면이 만나는 지점에 중심이 위치하도록 배치되며, 직접주입노즐(4) 내경의 약 1.5 ~ 2 배 정도 되는 직경을 가진다.

노심배럴 환형 실린더(3)의 가운데 부분은 고온관 노즐 통과공(11)이 뚫려있고, 하부는 비상노심냉각수 배출용 환형통로(15) 외에도 측면의 혼합을 증대시키기 위하여 2열의 비상노심냉각수 혼합 촉진용 배출구(8)가 원주방향으로 뚫려 있다. 노심배럴 환형 실린더(3)의 환형 통로(15)를 환형리브(10)로 막아 노심배럴(2)에 용접하여 고정시키며, 환형리브(10)의 중간 중간에는 비응축 가스 배출용 상부 리브 가스배출구(12)를 뚫어주어 원자로 충수시 노심배럴 환형 실린더 최상부 환형통로(15)에 가스가 차는 것을 방지한다. 노심배럴 환형 실린더(3)의 중앙부위와 하부는 판스프링(9)을 이용하여 노심배럴(2)과의 사이에 환형 통로(15)를 유지함으로써 축 방향의 열팽창에 따른 상호 신축이 가능한 지지방식을 취하고 있다.

이러한 노심배럴 환형 실린더(3) 환형통로(15)의 반경방향 틈새는 대략 2 ~ 4 cm 즉 강수부(14) 전체의 2/25 ~ 4/25정도 크기를 가지며, 노심배럴 환형 실린더(3)의 상부는 직접주입노즐(4)과 마주보는 중심선에서 직접주입노즐(4)의 내경의 약 2 배 정도 올라간 지점이며, 하부는 저온관(7) 중심선으로부터 저온관 내경의 약 1.5 ~ 2 배 아래까지 내려간 수직 부위에 해당하는 영역이다. 또한, 복수의 비상노심냉각수 유입구(5)들 사이로 증기 및 비응축가스 방출용으로 상기 비상냉각수 유입구(5)와 동일한 크기의 상부 측면 가스배출구(13)가 관통되어 노심배럴 환형 실린더(3) 내부에서 발생하는 증기 및 비응축 가스를 배출하도록 되어 있다.

이제, 위와 같이 구성된 가압 경수로형 원자로의 비상노심냉각계통의 작용을 설명한다.

노심배럴(2) 외주면에 설치하는 비상노심냉각수 강하용 노심배럴 환형 실린더(3)와 직접주입 노즐(4)은 비상노심냉각수가 주입될 때 형성되는 피동형 비상노심냉각수 물 제트에 의해서만 연결된다. 즉, 원자로용기의 강수부(14)에서 직접주입노즐(4)과 동일한 방사각 상의 노심배럴 환형 실린더(3)에 비상노심냉각수 물 제트가 유입되도록 복수의 비상노심냉각수 유입구(5)를 뚫어주는 주면, 도 10에 도시된 바와 같이 비상노심냉각수가 주입될 때는 직접주입노즐(4)과 노심배럴 환형 실린더(3) 외주면의 비상노심냉각수 투입용 유입구(5) 사이가 비상노심냉각수 물 제트에 의해 피동형으로 연결되지만, 비상노심냉각수가 주입되지 않을 때는 강수부(14)를 사이에 두고 서로 마주보되 파이프나 덕트와 같은 강체에 의해 기계적으로 직접 연결되지 않은 구조를 취하게 된다. 이러한 비상노심냉각수 물 제트에 의한 피동형 연결방식은 직접주입배관 과단사고시 직접주입관을 강수부(14) 하부로 단순 연장시키는 구조에서 발생하는 입출구 역전현상을 방지시켜 주는 가장 중요한 유체 역학적 단락 스위치 기능을 담당하게 된다. 즉, 도 2에 도시된 바와 같이 직접주입배관 과단사고시, 과단된 직접주입관으로는 비상노심냉각수가 주입되지 않으므로 피동형 비상노심냉각수 물 제트가 사라지며 연결 부위가 단락되는데, 이 부위로 과단류가 흡입되어 원자로 밖으로 방출된다. 이로 인해, 강수부 하부에서의 과단류 흡입현상을 방지하고 도 2와 같은 입출구역전 현상의 발생이 차단되게 된다.

노심배럴 환형 실린더(3)의 반경방향 틈새(gap)는 직접주입노즐(4)의 총단면적 합이 2 ~ 4 배의 수직 유로 단면적을 갖도록 설치하여 과도한 비상노심냉각수의 하향 속도로 인한 제트효과를 억제하도록 되어 있으며, 틈새의 폭이 작기 때문에 강수부의 유로 축소 효과가 2/25 ~ 4/25 정도로 작아 노심배럴(2)을 인출할 때 정렬키 부위에 걸리지 않아 조립 제한이 없으며, 구조가 간단하므로 용접 부위등의 파손에 의한 금속 조각 배출의 가능성이 매우 희박한 장점을 갖고 있다. 비상노심냉각수가 원자로 용기(1) 쪽이 아닌 노심배럴(3) 면을 따라 흐르게 되고, 노심배럴 환형 실린더(3)와 노심배럴(2) 사이의 환형통로(15)를 작게 만들어 원주방향으로 고루 퍼지도록 하여 냉각 혼합 불균일 현상으로 완화시키는 구조이다. 또한, 상부에 다수의 비상노심냉각수 유입용 대형 구멍이 뚫려 있고, 하부는 개방된 환형 실린더 형태이므로, 정상 운전시 유체가 정체되어 과열되는 문제가 발생하지 않는다.

노심배럴 환형 실린더(3)의 상부에 뚫어 주는 비상노심냉각수 유입구(5)의 직경을 직접주입노즐(4)의 내경의 약 1.5 배 정도로 하면 저온관 완전 과단사고시 안전주입탱크(Safety Injection Tank)가 작동하여 비상노심냉각수가 대량으로 주입될 때는 노심배럴 환형 실린더(3) 외부로도 주입수가 넘쳐흐르게 만들어 강수부(14) 내부의 구조물을 냉각시킬 수 있으며, 고압안전주입펌프(High Pressure Safety Injection)가 작동하여 소량의 주입수가 유입될 때는 거의 모든 주입유량이 유입구(5)를 통과하여 노심배럴 환형 실린더(3) 사이의 환형통로(15)로 유입되도록 한다.

또한, 노심배럴 환형 실린더(3)의 하부를 저온관(7) 중심축선으로부터 저온관 내경의 약 1.5 ~ 2 배 정도까지 강수부(14) 하부로 연장시켜 주면, 저온관(7) 완전과단사고시 고속의 횡 증기유동의 주요 부위에서 벗어난 저속부위에 비상노심냉각수를 유도 배출시켜 안전주입수가 증기 유동에 이끌려 직접 배출되는 것을 방지할 수 있게 된다. 상기의 하부 연장 부위를 더 아래까지 연장시키면 원자로 용기의 용접선 근처에 가까워져 원자로 용기의 건전성 측면에서 보다 불리하다. 또한, 노심배럴 환형 실린더(3)의 하부에는 원주방향으로 예컨대 직경이 5 cm이고 구멍간 피치가 구멍직경의 약 3 배이며 서로 이웃한 구멍의 중심점간 배열이 정삼각꼴 형상을 갖도록 2열 배열된 하부 비상주입수 혼합 촉진용 배출구(8)가 관통되어 강수부(14) 하부에서 비상주입수의 혼합을 촉진함으로써 강수부(14) 하부에서의 열충격 조건을 완화시킬 수 있게 된다.

본 발명의 바람직한 실시예를 도시한 도 6에서 알 수 있듯이, 노심배럴 환형 실린더(3)는 노심배럴(2)과의 조립시 고온관의 간섭을 배제시키기 위해서 강수부(14) 내부에서의 고온관(6)의 외경보다 큰 고온관 노들 통과공(11)을 뚫고, 도 6의 고온관의 중심을 지나는 수직선(16)인 절단면을 따라 노심배럴 환형 실린더(3)를 두 쪽으로 절단한 구조를 가져야 판스프링(9)의 부착 및 노심배럴(2)과의 조립이 가능해진다. 노심배럴 환형 실린더(3)를 노심배럴(2)과 용접할 때 이 절단선(16)을 재 용접한다.

### 발명의 효과

이와 같이 본 발명에 따른 가압 경수로형 원자로의 비상노심냉각계에 의하면, 강수부에 설치된 직접주입 노즐과 노심배럴 외주면에 설치되는 비상노심냉각수 강수부 하부 침투강화용 노심배럴 환형 실린더를 파이프로 연결시키지 않고 비상노심냉각수의 주입 관성력을 이용한 피동형 물 제트로 연결시켜, 직접주입배관 파단사고시에는 비상노심냉각수 주입이 없으므로 피동형 물 제트가 사라져 단락되도록 할 수 있으므로 종래의 단순 주입관 연장방식에서 나타나는 입출구 역전현상을 근원적으로 차단시킬 수 있게 된다.

따라서, 종래의 대형 저온관 파단사고시에는 적용 가능하였으나 직접주입배관 파단사고에서는 적용이 불가능하였던 직접주입관 강수부 연장 문제를 해결할 수 있게 되며, 이에 따른 열수력적 효과로 저온관 완전파단사고의 후기 재관수 노심 재가열을 방지함과 동시에 최대 피복재 온도를 대폭 낮출 수 있게 된다. 또한, 강수부 하부에서의 냉각수 과냉각도를 대폭 향상시켜 강수부 비등현상을 방지할 수 있으며 또한, 직접주입형 비상노심냉각계를 구비한 가압경수로의 열수력적 안전성을 향상시켜 운전성과 경제성을 높일 수 있게 된다.

도 11은 본 발명에 따른 직접주입 연장형 비상노심냉각수 계통의 원자로에서 저온관 완전파단시 파단사고에 따른 원자로의 열수력적 거동을 계통안전해석코드인 MARS(RELAP5/MOD3 Gamma Version의 수정본)를 이용하여 해석했을 때의 원자로 노심 핵연료의 피복재 온도 변화를 나타낸 그래프로서, 실선으로 나타낸 종래 방식의 후기 재관수 기간동안의 노심 재가열 현상이 발생하지 않으며, 피복재 온도도 훨씬 낮게 나타나고 있다. 또한, 도 12에 나타낸 바와 같이 원자로 하부에서의 냉각수 과냉각도 마진(Tsat-T)도 상당히 증가하여 냉각수가 끓는 온도보다 훨씬 낮은 상태를 유지하고 있음을 알 수 있는데, 이는 비연장형 종래 방식에서 과냉각도 마진을 거의 잃는 경향과 대비되는 개선된 결과이다.

이상에서 본 발명은 특정의 실시 예와 관련하여 도시 및 설명하였지만, 첨부된 특허청구범위에 의해 나타난 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 한도내에서 다양한 변경, 개조 및 변화가 가능하다는 것을 당업계에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구나 쉽게 알 수 있을 것이다.

**(57) 청구의 범위**

**청구항 1.**

비상노심냉각수를 원자로용기(1)에 직접 주입하는 방식의 가압 경수로형 원자로에 있어서,

상기 원자로용기(1) 강수부(14)의 노심배럴(2) 외주면에 비상노심냉각수 강수부 하강 통로용으로 동일축 선 상에 설치한 노심배럴 환형 실린더(3)를 포함하고 있으며, 상기 노심배럴 환형 실린더(3)는 4개의 비상노심냉각수 직접주입노즐(4)과 대향부분에 비상노심냉각수 유입구(5)가 관통되어 있으며, 상기 실린더(3)의 하부에 복수의 비상노심냉각수 혼합 촉진용 배출구(8)가 각각 관통되어 있는 것을 특징으로 하는 가압 경수로형 원자로의 비상노심냉각계통.

**청구항 2.**

제1 항에 있어서,

상기 비상노심냉각수 유입구(5)는 상기 직접주입노즐(4)의 축선과 상기 노심배럴 환형 실린더(3)의 표면이 만나는 지점에 중심이 위치하도록 배치되며, 직경이 상기 직접주입노즐(4) 내경의 1.5 ~ 2 배이고, 상기 직접주입노즐(4)과 동수로 형성되어 있는 것을 특징으로 하는 가압 경수로형 원자로의 비상노심냉각계통.

**청구항 3.**

제1 항에 있어서,



상기 노심배럴 환형 실린더(3)는 노심배럴(2) 외주면과의 사이에 형성된 환형부위의 간극이 강수부(14) 간극의 2/25 ~ 4/25배이며, 상단이 직접주입노즐(4) 축선에서 직접주입노즐 내경의 2 배 정도 올라간 지점에 위치하며 하단이 저온관(7) 축선으로부터 저온관 내경의 1.5 ~ 2배 정도 내려간 지점에 위치하는 상하 길이를 갖는 것을 특징으로 하는 가압 경수로형 원자로의 비상노심냉각계통.

**청구항 4.**

제1 항에 있어서,

상기 노심배럴 환형 실린더(3)는 상부에 상기 복수의 비상노심냉각수 유입구(5)들 사이로 증기 및 비응축가스 방출용으로 상기 비상냉각수 유입구(5)와 동일한 크기의 상부 측면 가스배출구(13)가, 하부에는 구멍간 피치가 구멍직경의 3 배이며 서로 이웃한 구멍의 중심점간 배열이 정삼각꼴 형상을 이루도록 원주방향으로 2열 배열된 비상주입수 혼합 촉진용 배출구(8)가 각각 관통되어 있는 것을 특징으로 하는 노심배럴 환형 실린더가 부착된 가압 경수로형 원자로의 비상노심냉각계통.

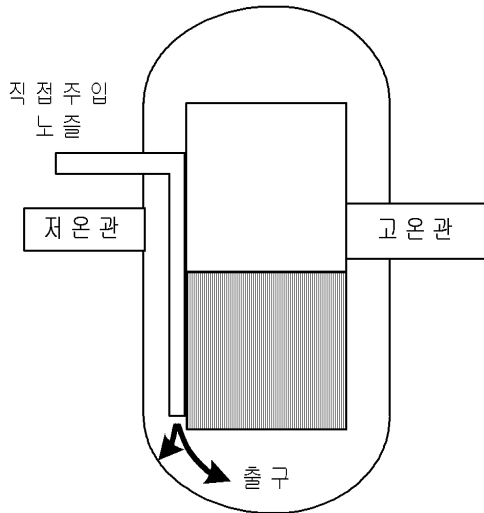
**청구항 5.**

제 1항에 있어서,

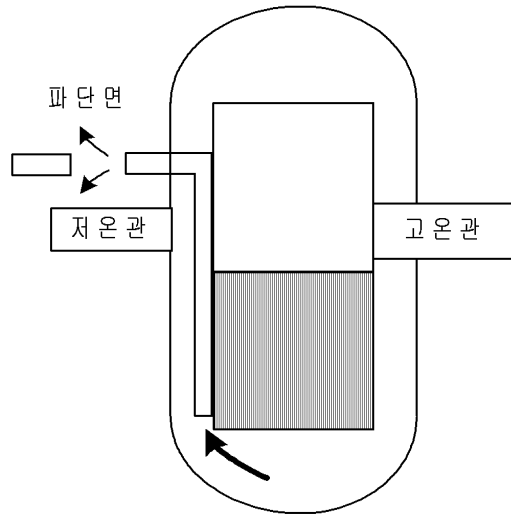
상기 노심배럴 환형 실린더(3)는 상기 비상노심냉각수 유입구(5)의 아래쪽에 고온관(6) 노즐 통과공(11)이 관통되어 있고, 상단 모서리는 상기 노심배럴(2)에 용접되어 있으며, 내측면 중단과 하단에 상기 노심배럴(2)과의 간극을 유지시켜 주는 판스프링(9)이 원주방향으로 복수개 부착되어 있는 것을 특징으로 하는 가압 경수로형 원자로의 비상노심냉각계통.

**도면**

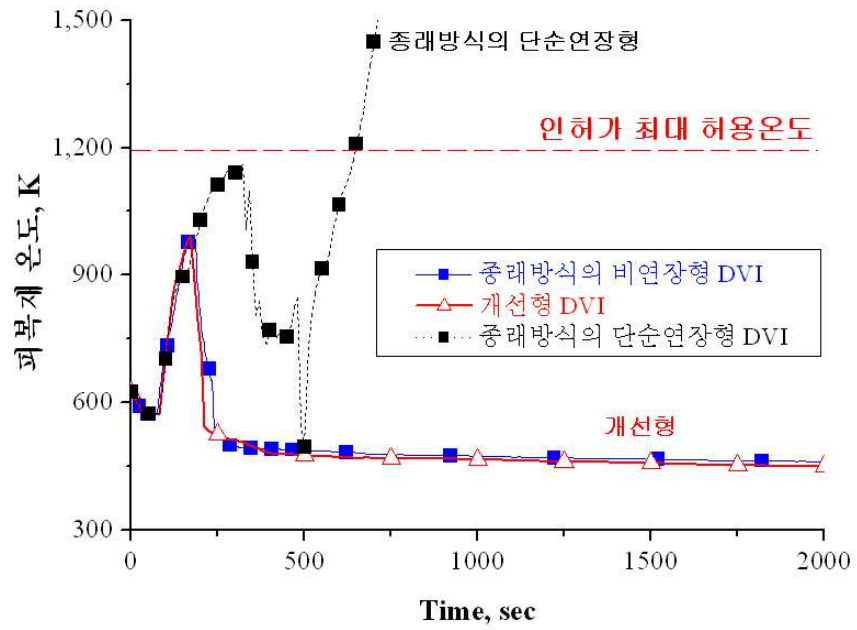
도면1



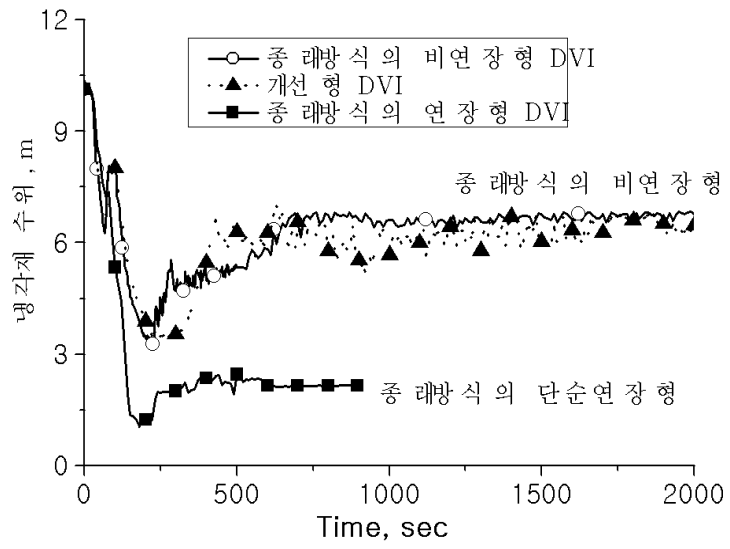
도면2



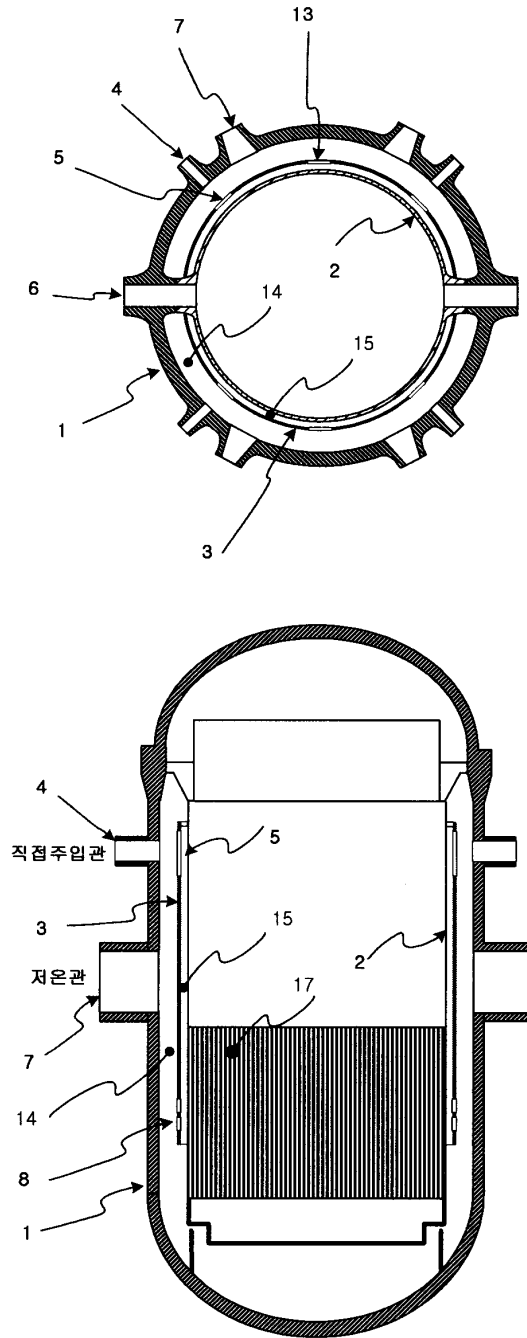
도면3



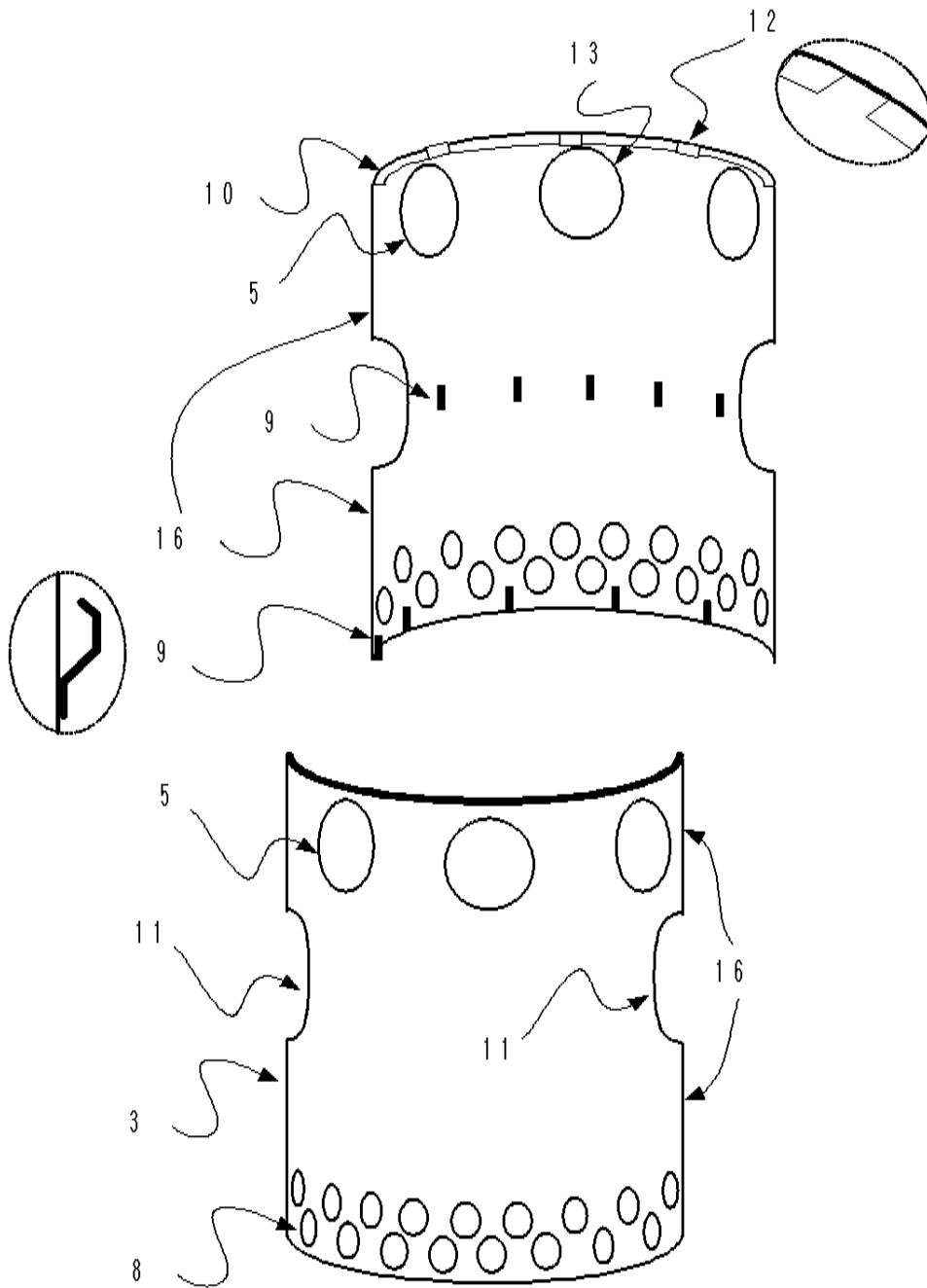
도면4



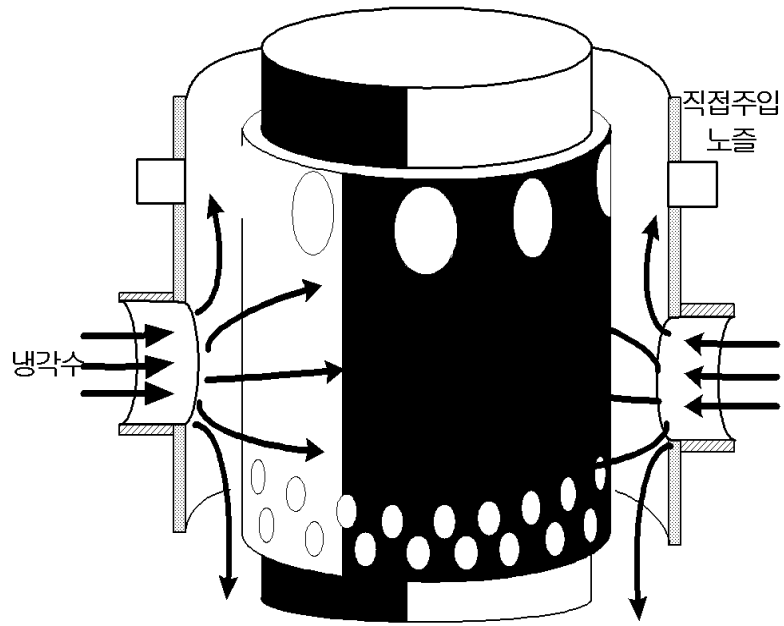
도면5



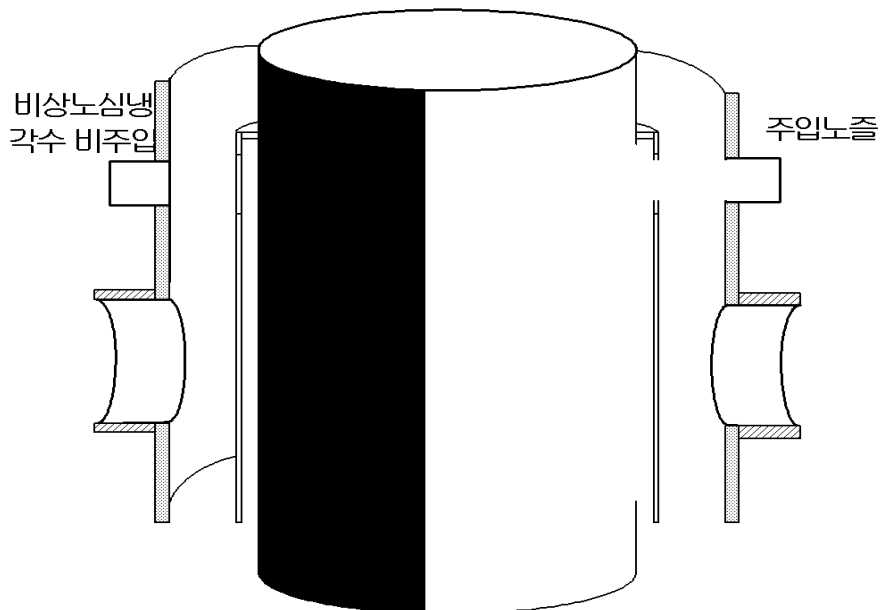
도면6



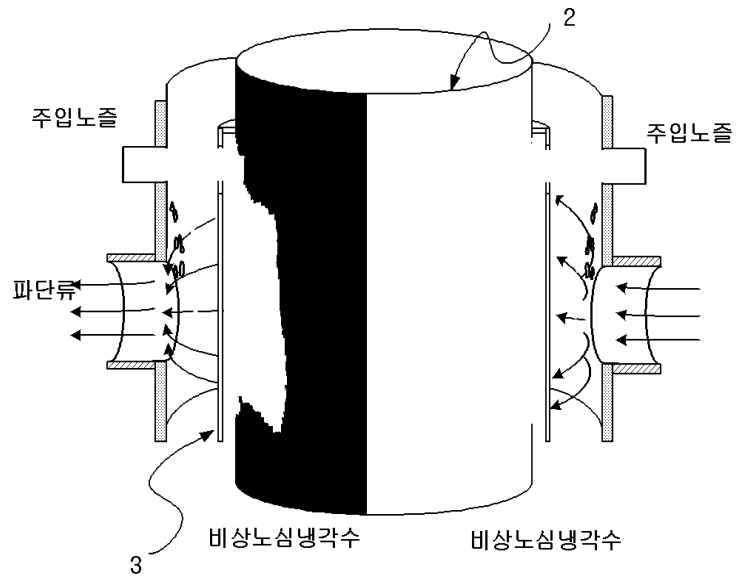
도면7



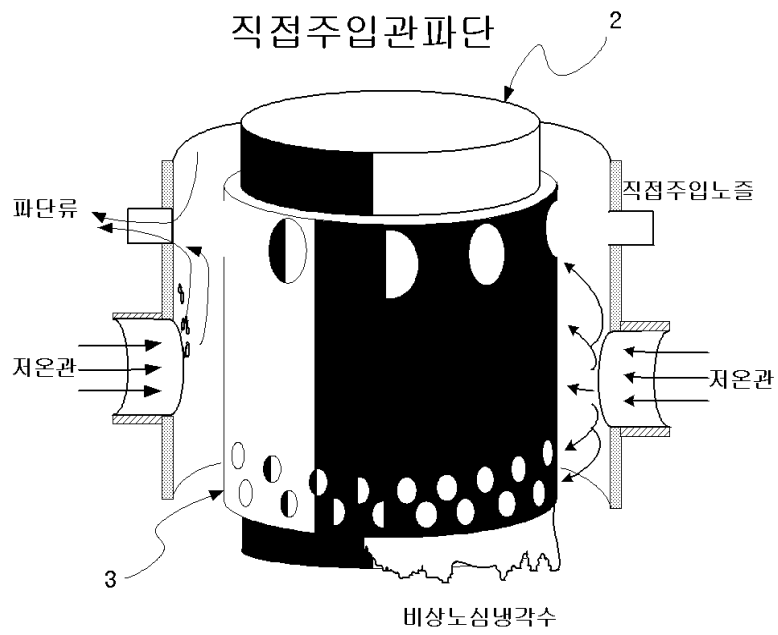
도면8



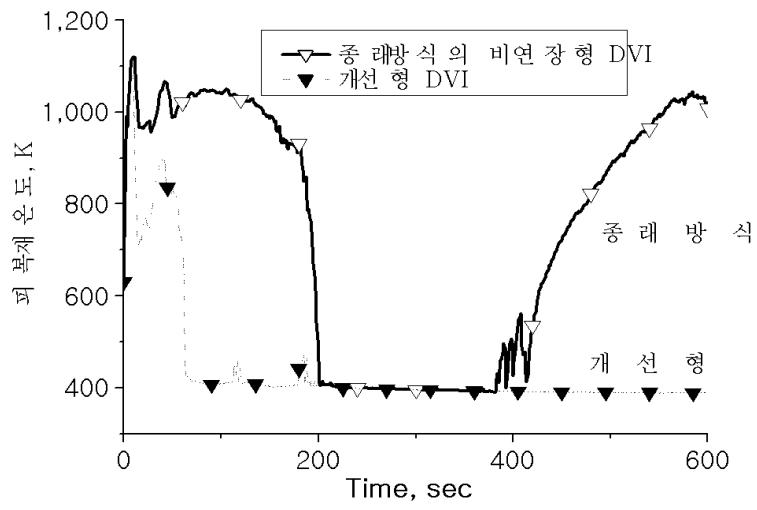
도면9



도면10



도면11



도면12

