



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0112776
(43) 공개일자 2008년12월26일

(51) Int. Cl.

G21C 15/18 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2007-0061628

(22) 출원일자 2007년06월22일

심사청구일자 2007년06월22일

(71) 출원인

경희대학교 산학협력단

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 국제 캠퍼스내

(72) 발명자

김상녕

경기도 군포시 금정동871번지 7호 소월아파트 371-1204

임상규

경기도 용인시 기흥구 서천동 1 경희대학교 원자력공학과공과대학 실험동 B1-4호 열유체실험실

(74) 대리인

김윤배

전체 청구항 수 : 총 5 항

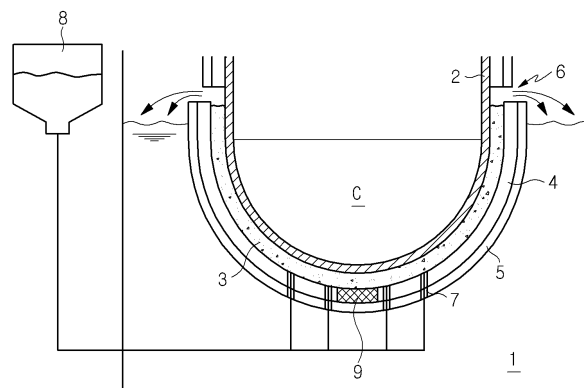
(54) 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조

(57) 요약

본 발명은 가압경수로형 원자로의 노내 구속을 위한 노외 냉각구조에 관한 것이다.

본 발명은 내부에 핵연료(C)가 수용되는 압력용기(2)와, 외측에 단열재(5)가 설치되는 노외 냉각정(4)과, 노심용융시 압력용기(2)의 열제거를 위한 냉각수가 주입되는 공간부(3)가 상기 압력용기(2)와 노외 냉각정(4) 사이에 마련되는 원자로가 냉각수로 채워진 원자로 공동부(1)에 침수된 상태로 설치되는 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조에 있어서, 노심용융시 압력용기(2)의 외벽 열제거를 위한 냉각수의 외부 공급을 위해 구비되는 재장전수조(8)와, 상기 재장전수조(8)의 냉각수가 공간부(3)에 주입 가능하도록 노외 냉각정(4)에 설치되는 인젝션노즐(7)과, 상기 인젝션노즐(7)을 통해 공간부(3)쪽으로 공급된 냉각수가 원자로 공동부(1)의 냉각수쪽으로 오버플로워되도록 노외 냉각정(4)에 형성되는 개구부(6)와, 상기 노외 냉각정(4)에 설치되며 개구부(6)를 통해 오버플로워된 냉각수에 의해 원자로 공동부(1)의 냉각수 수위압과 노외 냉각정(4)의 수위압에 따라 자동으로 개방되거나 폐쇄되는 플로팅 게이트(9)가 포함되어 구성되는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

내부에 핵연료(C)가 수용되는 압력용기(2)와, 외측에 단열재(5)가 설치되는 노외 냉각정(4)과, 노심용융시 압력용기(2)의 열제거를 위한 냉각수가 주입되는 공간부(3)가 상기 압력용기(2)와 노외 냉각정(4) 사이에 마련되는 원자로가 냉각수로 채워진 원자로 공동부(1)에 침수된 상태로 설치되는 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조에 있어서,

노심용융시 압력용기(2)의 외벽 열제거를 위한 냉각수의 외부 공급을 위해 구비되는 재장전수조(8)와, 상기 재장전수조(8)의 냉각수가 공간부(3)에 주입 가능하도록 노외 냉각정(4)에 설치되는 인젝션노즐(7)과, 상기 인젝션노즐(7)을 통해 공간부(3)쪽으로 공급된 냉각수가 원자로 공동부(1)의 냉각수쪽으로 오버플로링되도록 노외 냉각정(4)에 형성되는 개구부(6)와, 상기 노외 냉각정(4)에 설치되며 개구부(6)를 통해 오버플로링된 냉각수에 의해 원자로 공동부(1)의 냉각수 수위압과 노외 냉각정(4)의 수위압에 따라 자동으로 개방되거나 폐쇄되는 플로팅 게이트(9)가 포함되어 구성되는 것을 특징으로 하는 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 인젝션노즐(7)은 재장전수조(8)의 냉각수 공급량에 따라 적어도 한 개 이상의 개수로 설치하는 것을 특징으로 하는 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 개구부(6)는 플로팅 게이트(9) 개폐속도를 감안하여 개방면적을 달리 설정할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 플로팅 게이트(9)는 적어도 한 개 이상의 개수로 설치하되, 노외 냉각정(4)의 적용부위, 원전의 출력 및 설계형태에 따라 크기와 형태를 달리 할 수 있도록 하는 것을 특징으로 하는 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조.

청구항 5

제1항에 있어서, 상기 플로팅 게이트(9)는 일측을 회동 가능하게 고정하거나 플로팅 게이트(9)를 반분된 구조로 형성하여 중량을 기준으로 양측이 회동 가능하게 개폐될 수 있도록 구성하는 것을 특징으로 하는 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조.

명 세 서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

<13> 본 발명은 가압경수형 원자로의 노내 구축을 위한 노외 냉각구조에 관한 것이다.

<14> 본 발명은 가압경수형 원자로에 피동형 플로팅 게이트(Floating gate)와 재장전수(Refueling Water)를 이용한 주입식 노외 냉각정(Ex-Vessel Cooling Well; EVCW)을 적용하여 압력용기의 냉각 성능 향상은 물론 노심용융과 같은 중대사고를 미연에 예방할 수 있도록 한 신개념의 노외 냉각 시스템(Ex-Vessel Cooling System ; EVCS)을 제공함으로써 방사능 누출 위험을 근원적으로 차단할 수 있도록 한 것이다.

<15> 가압경수형 원자로는 중대사고시 원자로 내의 핵연료 및 내부 구조물은 용융된 상태로 압력용기 하부에 쌓이게 된다. 이 때 압력용기는 용융된 높은 온도의 핵연료(Corium 형태)에 노출되므로 압력용기 하부가 관통될 수 있으며, 이로 인해 고준위 방사능의 핵연료가 외부로 유출되는 대형사고가 발생할 수 있다. 이와 같은 중대사고 발생은 심대한 경제적, 사회적 문제를 야기할 수 있으며 이는 원전의 종말을 의미하므로 기필코 막아야 한

다. 이를 대비하여 상기 중대사고(노심용융)시 고준위의 방사성 물질이 압력용기를 관통하여 외부로 유출되는 것을 차단하기 위한 노내 구속(In-Vessel Retention; IVR)이라는 기술이 알려져 있다.

<16> 도 1은 종래 노심용융 발생시 압력용기 외벽의 냉각을 공간부에 주입된 냉각수에만 의존하고 있는 노외 냉각구조의 단면도로서, 내부에 핵연료(C)가 수용되는 압력용기(2)와, 외측에 단열재(5)가 설치되는 노외 냉각정(4)과, 노심용융시 압력용기(2)의 열제거를 위한 냉각수가 주입되는 공간부(3)가 상기 압력용기(2)와 노외 냉각정(4) 사이에 마련되는 원자로가 냉각수로 채워진 원자로 공동부(1)에 침수된 상태로 설치된다.

<17> 상기와 같은 냉각구조는 중대사고시 노외 냉각정(4)에 주입된 냉각수로만 압력용기(2) 외벽을 냉각하는 방식이다. 더욱이 이러한 종래의 압력용기 냉각구조를 열손실 방지를 위해 압력용기 외벽이 단열재(5)로 씌워져 있고 냉각수 주입완료 후 수위가 낮아지게 되면 원자로 공동부(1)(Reactor Cavity)에 많은 양의 냉각수가 채워져 있더라도 직접적인 열제거가 필요한 압력용기(2) 외벽에 냉각수를 지속적으로 공급하는 것이 용이하지 않다.

<18> 따라서 기존 압력용기(2)의 냉각구조가 가지는 문제점, 즉 중대사고시 급속히 증발되는 냉각수를 지속적으로 보충하여 고준위의 방사성 물질이 외부로 유출되지 않게 압력용기의 관통을 초기에 막아 중대사고시에도 노내 구속(IVR)을 보장할 수 있는 신개념의 노외 냉각 시스템이 절실히 요구되고 있는 것이다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

<19> 본 발명은 가압경수형 원자로에 피동형 플로팅 게이트(Floating gate)와 재장전수(Refueling Water)를 이용한 주입식 노외 냉각정(Ex-Vessel Cooling Well; EVCW)을 적용하여 압력용기의 냉각 성능 향상은 물론 노심용융과 같은 중대사고를 미연에 예방할 수 있도록 한 신개념의 노외 냉각 시스템(Ex-Vessel Cooling System ; EVCS)을 제공함으로써 방사능 누출 위험을 근원적으로 차단할 수 있도록 함을 목적으로 한다.

<20> 이를 위해 본 발명은 내부에 핵연료가 수용되는 압력용기와, 외측에 단열재가 설치되는 노외 냉각정과, 노심용융시 압력용기의 열제거를 위한 냉각수가 주입되는 공간부가 상기 압력용기와 노외 냉각정 사이에 마련되는 원자로가 냉각수로 채워진 원자로 공동부에 침수된 상태로 설치되는 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조에 있어서,

<21> 노심용융시 압력용기의 외벽 열제거를 위한 냉각수의 외부 공급을 위해 구비되는 재장전수조와, 상기 재장전수조의 냉각수가 공간부에 주입 가능하도록 노외 냉각정에 설치되는 인젝션노즐과, 상기 인젝션노즐을 통해 공간부쪽으로 공급된 냉각수가 원자로 공동부의 냉각수쪽으로 오버플로워되도록 노외 냉각정에 형성되는 개구부와, 상기 노외 냉각정에 설치되며 개구부를 통해 오버플로워된 냉각수에 의해 원자로 공동부의 냉각수 수위압과 노외 냉각정의 수위압에 따라 자동으로 개방되거나 폐쇄되는 플로팅 게이트가 포함되어 구성되는 것을 특징으로 하는 가압경수형 원자로의 노내 구속을 위한 노외 냉각구조를 제공함으로써 상기 목적을 달성 하고자 한다.

발명의 구성 및 작용

<22> 이하, 본 발명에 따른 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조에 대한 바람직한 실시예를 첨부도면을 참조로 상세히 설명하면 다음과 같다.

<23> 본 발명은 내부에 핵연료(C)가 수용되는 압력용기(2)와, 외측에 단열재(5)가 설치되는 노외 냉각정(4)과, 노심용융시 압력용기(2)의 열제거를 위한 냉각수가 주입되는 공간부(3)가 상기 압력용기(2)와 노외 냉각정(4) 사이에 마련되는 원자로가 냉각수로 채워진 원자로 공동부(1)에 침수된 상태로 설치되는 가압경수형 원자로의 노심용융 방지를 위한 노외 냉각구조에 있어서,

<24> 노심용융시 압력용기(2)의 외벽 열제거를 위한 냉각수의 외부 공급을 위해 구비되는 재장전수조(8)와, 상기 재장전수조(8)의 냉각수가 공간부(3)에 주입 가능하도록 노외 냉각정(4)에 설치되는 인젝션노즐(7)과, 상기 인젝션노즐(7)을 통해 공간부(3)쪽으로 공급된 냉각수가 원자로 공동부(1)의 냉각수쪽으로 오버플로워되도록 노외 냉각정(4)에 형성되는 개구부(6)와, 상기 노외 냉각정(4)에 설치되며 개구부(6)를 통해 오버플로워된 냉각수에 의해 원자로 공동부(1)의 냉각수 수위압과 노외 냉각정(4)의 수위압에 따라 자동으로 개방되거나 폐쇄되는 플로팅 게이트(9)가 포함되어 구성되는 것을 특징으로 한다.

<25> 상기 인젝션노즐(7)은 재장전수조(8)의 냉각수 공급량에 따라 적어도 한 개 이상의 개수로 설치하는 것이 바람직하다.

<26> 상기 개구부(6)는 플로팅 게이트(9) 개폐속도를 감안하여 개방면적을 달리 설정할 수 있도록 하는 것이

바람직하다.

<27> 상기 플로팅 게이트(9)는 적어도 한 개 이상의 개수로 설치하되, 노외 냉각정(4)의 적용부위, 원전의 출력 및 설계형태에 따라 크기와 형태를 달리 할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

<28> 또한 상기 플로팅 게이트(9)는 원형 이외에 개폐에 지장을 초래하지 않는 다면 유선형, 타원형, 다각형의 형태로도 제작될 수 있다.

<29> 또한 상기 플로팅 게이트(9)는 일측을 회동 가능하게 고정하거나 경우에 따라서 도시하지는 않았으나 플로팅 게이트(9)를 반분된 구조로 형성하여 중앙을 기준으로 양측이 동시에 회동 가능하게 개폐될 수 있도록 구성할 수도 있다.

<30> 본 발명은 중대사고, 노심용융 발생시 압력용기(2)의 온도가 급격히 상승하게 되므로 노내 냉각정 내에 존재하는 냉각수가 짧은 시간 내에 증발되어 고갈되기 때문에 냉각정의 수위가 낮아지게 된다. 따라서 사고 발생 초기 재장전수조(8)에 저장되어 있는 냉각수를 보조 주입할 수 있도록 함으로써 초기 압력용기(2)의 관통을 막을 수 있고 또한 상기 재장전수조(8)의 냉각수 공급과 함께 노외 냉각정(4)에 마련된 플로팅 게이트(9)를 개방하여 원자로 공동부(1)에 채워진 냉각수를 함께 이용할 수 있도록 함으로써 압력용기(2) 외벽의 장기간 냉각을 가능하게 하고 있는 것이다.

<31> 본 발명은 도 2 내지 도 4에 도시된 바와 같이 장기간 냉각 성능을 보장하는데 적합한 자연순환냉각(Natural Recirculation Cooling)방식을 적용하고자 노심용융시 압력용기(2)의 외벽 열제거를 위한 냉각수를 외부에서 용이하게 공급하고자 재장전수조(8)를 냉각수 공급에 차질이 없는 위치에 마련하고 있다.

<32> 한편, 원자로측에는 상기 재장전수조(8)의 냉각수를 압력용기(2)의 외벽에 공급 가능하도록 노외 냉각정(4)에 인젝션노즐(7)과, 상기 인젝션노즐(7)을 통해 공간부(3)쪽으로 공급된 냉각수가 원자로 공동부(1)의 냉각수쪽으로 오버플로워되도록 노외 냉각정(4)에 개구부(6)를 형성하게 되며 상기 개구부(6)를 통해 오버플로워된 냉각수에 의해 원자로 공동부(1)의 냉각수 수위압과 노외 냉각정(4)의 수위압에 따라 자동으로 개방되거나 폐쇄될 수 있도록 상기 노외 냉각정(4)에 플로팅 게이트(9)를 설치하고 있는 것이다.

<33> 상기와 같이 구성된 상태에서 원자로의 핵연료가 녹아내리는 사고가 발생하면 압력용기(2)의 온도가 급격히 상승하게 되어 노외 냉각정(4) 사이에 마련된 공간부(3)의 냉각수가 점차 증발에 의해 고갈된다.

<34> 이렇게 공간부(3)의 냉각수가 점차 고갈되면 상기 노외 냉각정(4)의 인젝션노즐(7)을 통해 재장전수조(8)의 냉각수를 신속히 공급하게 되면 도 2에서와 같이 냉각수가 공간부(3)의 내측에 만충됨과 동시에 지속적인 공급에 의해 냉각수가 노외 냉각정(4)의 개구부(6)로 오버플로워되어 원자로 공동부(1)의 내부를 채우게 되며 이때 노외 냉각정(4)에 설치되는 플로팅 게이트(9)가 노외 냉각정(4)내의 수위압과 원자로 공동부(1)의 수위압의 차이에 의해 자동으로 개방되어 압력용기(2) 외벽의 자연순환냉각이 이루어지게 되는 것이며, 상기와 같은 재장전수조(8)의 냉각수 공급을 통해 압력용기(2) 외벽의 열제거가 충분히 이루어짐과 동시에 노외 냉각정(4)의 수위가 원래의 상태로 유지되어 플로팅 게이트(9)가 노외 냉각정(4)의 수위압과 원자로 공동부(1) 수위압 차이에 의해 자동으로 폐쇄됨에 따라 원자로의 중대사고인 노심용융 사태를 발생을 미연에 방지할 수 있게 되는 것이다.

<35> 도 3에 도시된 것과 같이 특정한 시간동안 재장전수조(8)로부터 주입된 냉각수의 유량과 노외 냉각정(4)의 부피와 원자로 공동부(1)의 부피는 다음의 식을 만족한다.

<36> [수학식 1]

$$Q_{RWST} \times t > V_{RC} + V_{BVC}$$

<37>

<38> 여기서, Q_{RWST} 는 단위시간당 재장전수조(8)로부터 노외 냉각정(4)으로 주입되는 유량, t는 총 주입시간, V_{RC} 는 자연순환냉각을 위한 원자로 공동부(1)에 차오른 냉각수의 부피, V_{BVC} 는 노외 냉각정(4)의 부피를 나타낸다.

<39> 또한 도 4를 참조하면 자연순환냉각을 위한 피동형 플로팅 게이트(9)의 개방조건은 노외 냉각정(4)의 수위압과 원자로 공동부(1)의 수위압은 플로팅 게이트(9)의 하중과 다음의 식을 만족한다.

<40> [수학식 2]

$$(P_c - P_w) \times A \geq Mg$$

<41>

<42> 여기서 P_c 는 원자로 공동부(1)의 수위압, P_w 는 노외 냉각정(4)의 수위압, A 는 플로팅 게이트(9)에 압력이 작용하는 면적, M 은 플로팅게이트(9)의 질량, g 는 중력가속도를 나타낸다. 이 때, 상기 식에서 P_c 와 P_w 는 각각 $P_c = \rho g h_c$, $P_w = \rho g h_w$ 이며, $M = mA$ 이므로 다음의 식으로 나타낸다.

<43> [수학식 3]

$$\rho(h_c - h_w) \geq m$$

<44>

<45> 여기서 h_c 는 원자로 공동부(1)의 수위, h_w 는 노외 냉각정(4)의 수위, ρ 는 물의 밀도, m 은 플로팅 게이트(9)의 단위면적당 질량을 나타낸다. 따라서 플로팅 게이트(9)의 개방조건은 원자로 공동부(1)의 수위, 노외 냉각정(4)의 수위, 단위면적당 플로팅 게이트(9)의 질량 관계로 나타낸다.

<46> 앞에서 설명되고, 도면에 도시된 본 발명의 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 한정하는 것으로 해석되어서는 안 된다.

<47> 본 발명의 보호범위는 청구범위에 기재된 사항에 의하여만 제한되고, 본 발명의 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명의 기술적 사상을 다양한 형태로 개량 변경하는 것이 가능하다. 따라서 이러한 개량 및 변경은 통상의 지식을 가진 자에서 자명한 것인 한 본 발명의 보호범위에 속하게 될 것이다.

발명의 효과

<48> 본 발명에 따르면, 중대사고시 노내 구속(IVR)을 위한 기존 노외 냉각방식의 설치공간 문제를 극복하기 위해 재장전수를 이용한 주입형 노외 냉각계통을 설치하여 한정된 노외 냉각정 용량에서도 사고 초기에 1차적인 압력용기의 냉각성능을 보장할 수 있게 된다. 또한 원자로 공동부에 쌓인 냉각수와 노외 냉각수를 플로팅 게이트를 통해 자연순환이 이루어짐으로 압력용기 외벽의 장기간 냉각성능을 보장할 수 있게 된다.

<49> 또한, 본 발명에 따른 피동형 플로팅 게이트의 작동원리는 원자로 공동부와 노외 냉각정의 수위압의 차에 의해 자동으로 개폐되므로, 사고시 운전원의 사고조치 부담감을 해소하고, 외부의 인적개입으로 인한 사고확대를 미연에 방지할 수 있다.

도면의 간단한 설명

<1> 도 1은 종래 노심용융 발생 시 압력용기 외벽의 냉각을 공간부에 주입된 냉각수에만 의존하고 있는 노외 냉각구조의 단면도

<2> 도 2는 본 발명에 따른 노외 냉각구조로서, 압력용기와 노외 냉각정 사이에 마련된 공간부로 주입된 외부 냉각수가 압력용기의 외부 열제거와 함께 개구부를 통해 오버플로워되어 원자로공동부로 유출되는 상태를 나타낸 단면도

<3> 도 3은 도 2의 과정이 진행되어 외부 냉각수의 지속적인 공급을 통한 열제거와 함께 공간부에서 유출된 냉각수가 개구부 근처까지 원자로 공동부에 채워지고 있는 상태를 나타낸 단면도

<4> 도 4는 도 3의 과정을 통해 노외 냉각정의 압력과 원자로 공동부의 압력차로 인해 플로팅 게이트가 개방되어 노외 냉각정과 원자로 공동부와 자연순환냉각이 이루어지고 있는 상태를 나타낸 단면도

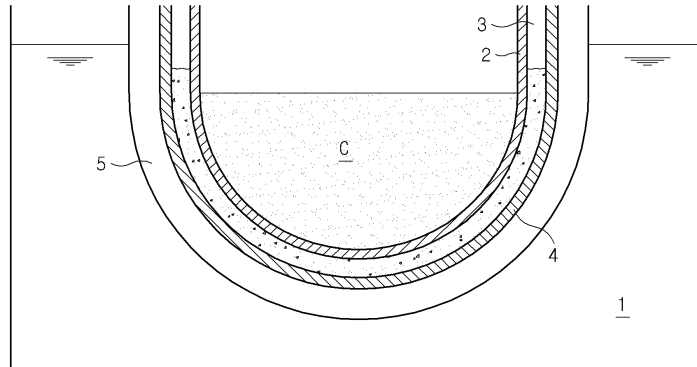
<5> 도 5는 압력용기 외벽의 높은 온도로 인해 노외 냉각정의 수위가 낮아질 경우 재장전수조의 냉각수를 공간부쪽으로 공급하여 플로팅 게이트가 노외 냉각정의 수위압과 원자로 공동부의 수위압 차이에 의해 자동으로 개방되는 것을 나타내는 개념도

<6> 도 6은 재장전수조의 냉각수 공급을 통해 압력용기 외벽의 열제거가 충분히 이루어짐과 동시에 노외 냉각정의 수위가 원래의 상태로 유지되어 플로팅 게이트가 노외 냉각정의 수위압과 원자로 공동부 수위압 차이에 의해 자동으로 폐쇄되는 것을 나타내는 개념도

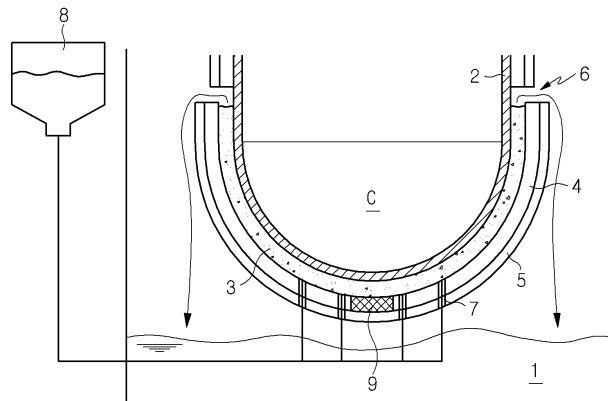
- <7> <도면의 주요부분에 대한 부호의 설명>
- <8> 1 : 원자로 공동부 2 : 압력용기
- <9> 3 : 공간부 4 : 노외 냉각정
- <10> 5 : 단열재 6 : 개구부
- <11> 7 : 인젝션노즐 8 : 재장전수조
- <12> 9 : 플로팅 게이트

도면

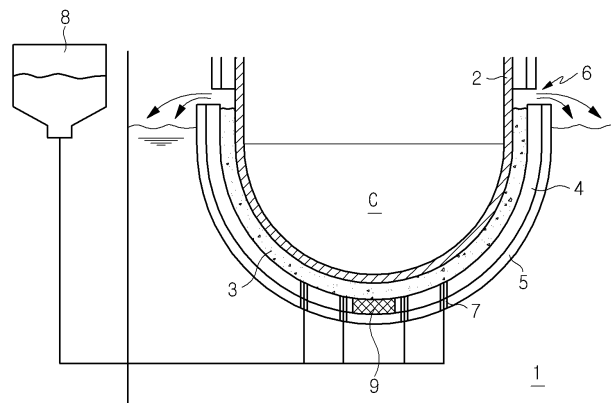
도면1



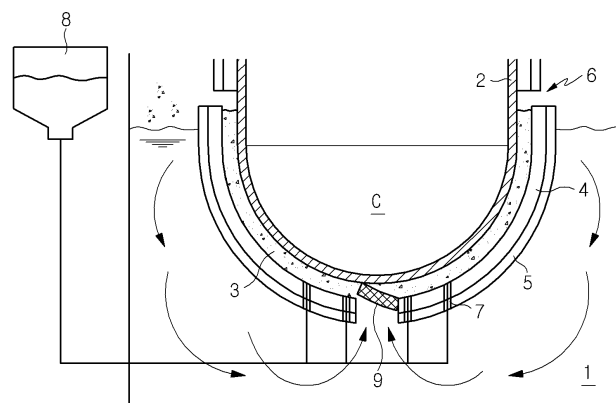
도면2



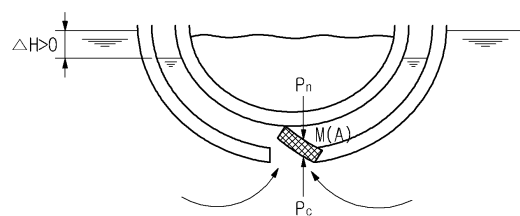
도면3



도면4



도면5



도면6

