



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년09월07일
 (11) 등록번호 10-1654096
 (24) 등록일자 2016년08월30일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 15/18 (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G21C 15/18 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2015-0096370
- (22) 출원일자 2015년07월07일
심사청구일자 2015년07월07일
- (30) 우선권주장
1020150054557 2015년04월17일 대한민국(KR)
- (56) 선행기술조사문헌
KR1020100077215 A
KR1020140016104 A
KR1020130047871 A
KR1020140067287 A

- (73) 특허권자
한국원자력연구원
대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)
- (72) 발명자
이성재
대전광역시 유성구 죽동 92-8
- (74) 대리인
특허법인 플러스

전체 청구항 수 : 총 18 항

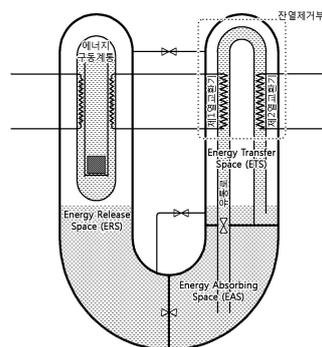
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 자가진단 사고대처 무인 원자로

(57) 요약

본 발명의 목적은 원자로 이상 발생 시 운전원의 조작 없이도 피동적으로 과도 발생된 열을 냉각할 수 있도록 하되, 이러한 안전 조치를 위한 냉각 동작이 별도의 제어 지시 없이 원자로 구조 및 압력 등의 환경 조건 변화에 의하여 완전 피동적으로 이루어질 수 있도록 하며, 더불어 기존의 원자로 안전계통에 비하여 좀더 간소한 구조로 이루어지는, 자가진단 사고대처 무인 원자로를 제공함에 있다. 보다 구체적으로는, 본 발명의 목적은, 마노미터 및 사이펀 원리로 동작하는 구조를 원자로 안전계통에 새롭게 도입하여, 평상시/경미사고 발생시/중대사고 발생시 등의 상황 변화에 따라 원자로 내 각 공간들의 압력 변화가 발생하였을 때, 그 압력 변화에 따라 자연스럽게 마노미터 또는 사이펀의 동작 원리에 따라 냉각수들이 이동하도록 구성되는, 자가진단 사고대처 무인 원자로를 제공함에 있다.

대표도 - 도3



이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 521112-15
부처명 미래창조과학부
연구관리전문기관 한국연구재단
연구사업명 주요사업
연구과제명 SMART-ITL 전용시험동 시설운영
기 여 율 1/1
주관기관 한국원자력연구원
연구기간 2015.01.01 ~ 2015.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

원자로노심을 수용하는 원자로용기, 증기관 및 급수관이 연결된 증기발생기를 포함하여 이루어지는 원자로 구동계통 및

원자로 구동계통을 수용하는 에너지 방출공간(Energy Release Space, ERS), 냉각재를 수용하는 에너지 흡수공간(Energy Absorbing Space, EAS), 상기 원자로 구동계통과 연결되는 잔열제거부 및 상기 에너지 흡수공간과 연결되는 유통로가 구비되어 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열을 냉각재로 전달하고 냉각재에 흡수된 열을 외부로 전달하여 버리는 에너지 전달공간(Energy Transfer Space, ETS)으로 나뉘어져 이루어지는 원자로 안전계통을 포함하여 이루어지되,

상기 에너지 전달공간 및 상기 에너지 흡수공간은 순차적으로 상하 방향으로 적층 배치되어 공간적층체를 형성하며, 상기 에너지 방출공간 및 상기 공간적층체는 병렬로 나란히 배치되어, 상기 에너지 방출공간 및 상기 공간적층체의 결합체가 마노미터(manometer) 구조를 형성하고,

상기 유통로는 상기 에너지 전달공간 및 상기 에너지 흡수공간을 연통하는 사이펀(siphon) 구조를 형성하여,

상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열에 의해 상기 에너지 방출공간 내 압력이 변화함에 따라,

상기 에너지 흡수공간 내 냉각재가 사이펀 원리에 의해 상기 에너지 전달공간으로 공급되고, 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열이 상기 에너지 전달공간 내 냉각재에 의해 상기 잔열제거부를 통해 외부로 버려짐으로써, 상기 원자로 구동계통의 간접 냉각이 이루어지거나, 또는

상기 에너지 전달공간 내 냉각재가 마노미터 원리에 의해 상기 에너지 방출공간으로 공급되고, 상기 에너지 방출공간으로 공급된 냉각재가 상기 원자로 구동계통과 직접 접촉됨으로써, 상기 원자로 구동계통의 직접 냉각이 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 원자로 안전계통은

상기 잔열제거부는, 상기 에너지 흡수공간과 연결되는 유통로 내에 구비되며 상기 원자로 구동계통과 연결되어 상기 원자로 구동계통 내의 냉각재가 유통되는 제1열교환기, 상기 에너지 흡수공간과 연결되는 유통로 내에 구비되며 상기 제1열교환기 내에 유통되는 냉각재로부터 열을 흡수하는 제2열교환기를 포함하여 이루어지며,

상기 제1열교환기 내를 유통하는 열교환매체의 열에 의해 상기 유통로 내 상기 제1열교환기 주변의 냉각재가 비등되어 냉각재 증기가 발생되고, 냉각재 증기가 상기 유통로를 따라 유통되어 상기 제2열교환기에 접촉되어 상기 제2열교환기 내를 유통하는 열교환매체로 열이 흡수됨으로써 냉각재 증기가 액상으로 응축되는, 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)에 의하여 열전달이 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 3

제 2항에 있어서,

상기 잔열제거부에 의하여 비등되어 발생된 냉각재 증기에 의하여 상기 유통로 내 상기 잔열제거부가 배치된 위치에 포화증기압을 가지는 공간이 형성되도록 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 4

원자로노심(151)을 수용하는 원자로용기(152), 증기관(154) 및 급수관(155)이 연결된 증기발생기(153)를 포함하여 이루어지는 원자로 구동계통 및

내부의 제1공간(V1)에 기체 및 상기 원자로 구동계통을 수용하는 제1격납용기(110), 상기 제1격납용기(110)와 밀접 배치되며 내부에 상하분리격벽(125)이 구비되어 내부 공간이 하부의 제2공간(V2) 및 상부의 제3공간(V3)으로 구분되도록 이루어져 상기 제2공간(V2)에 냉각제를 수용하는 제2격납용기(120), 일측 끝단은 상기 제1공간(V1)에 배치되고 타측 끝단은 상기 제2공간(V2)과 연통되며 격납용기관통밸브(111v)가 구비되는 격납용기관통관(111), 일측 끝단은 상기 제3공간(V3)에 배치되고 타측 끝단은 상기 제1공간(V1)과 연통되며 냉각제주입밸브(112v)가 구비되는 냉각제주입관(112), 상기 제3공간(V3)에 구비되며 상기 원자로 구동계통과 연결되어 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열을 냉각제로 전달하고 냉각제에 흡수된 열을 외부로 전달하는 잔열제거장치(130)를 포함하여 이루어지는 원자로 안전계통

을 포함하여 이루어지며,

상기 잔열제거장치(130)는, 상기 원자로 구동계통과 연결되어 상기 원자로 구동계통 내의 냉각제를 유통시켜 열을 발산하는 1차열교환기(131), 상기 1차열교환기(131)와 밀접 배치되며 잔열 흡수용 냉각제를 유통시켜 열을 흡수하는 2차열교환기(132), 상기 제2공간(V2)과 연결되어 공급되는 냉각제를 상기 1차열교환기(131)로 분사하는 냉각제분사관(133), 내부에 냉각제가 수용되는 밀폐 용기 형태로 이루어져 상부에 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 수용 배치되며 하부가 상기 제2공간(V2)과 연통되도록 개방 형성되는 열교환용기(134), 상기 열교환용기(134) 하부 끝단이 냉각제에 담겨지는 냉각제 수위를 확보하도록 상기 열교환용기(134)를 둘러싸도록 구비되어 냉각제가 수용 및 유통되는 열교환용기외통(135)을 포함하여 이루어지며,

상기 제1격납용기(110) 및 상기 제2격납용기(120)가 마노미터(manometer) 구조를 형성하고,

상기 냉각제분사관(133) 및 상기 열교환용기(134)는 상기 제3공간(V3) 및 상기 제2공간(V2)을 연통하는 사이펀(siphon) 구조를 형성하여,

상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열에 의해 상기 제1공간(V1) 내 압력이 변화함에 따라,

상기 제2공간(V2) 내 냉각제가 사이펀 원리에 의해 상기 제3공간(V3)으로 공급되고, 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열이 상기 제3공간(V3) 내 냉각제에 의해 상기 잔열제거장치(130)를 통해 외부로 버려짐으로써, 상기 원자로 구동계통의 간접 냉각이 이루어지거나, 또는

상기 제3공간(V3) 내 냉각제가 마노미터 원리에 의해 상기 제1공간(V1)으로 공급되고, 상기 제1공간(V1)으로 공급된 냉각제가 상기 원자로 구동계통과 직접 접촉됨으로써, 상기 원자로 구동계통의 직접 냉각이 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 5

제 4항에 있어서, 상기 원자로 안전계통은

상기 1차열교환기(131) 내를 유통하는 열교환매체의 열에 의해 상기 유통로 내 상기 1차열교환기(131) 주변의 냉각제가 비등되어 냉각제 증기가 발생되고, 냉각제 증기가 상기 유통로를 따라 유통되어 상기 2차열교환기(132)에 접촉되어 상기 2차열교환기(132) 내를 유통하는 열교환매체로 열이 흡수됨으로써 냉각제 증기가 액상으로 응축되는, 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)에 의하여 열전달이 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 1차열교환기(131)에 의하여 비등되어 발생된 냉각제 증기에 의하여 상기 열교환용기(134) 내 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 배치된 위치에 포화증기압을 가지는 공간이 형성되도록 이루어지는 것을

특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 7

제 4항에 있어서, 상기 원자로 안전계통은

일측 끝단은 상기 제1공간(V1) 상부와 연통되고 타측 끝단은 상기 제3공간 상부와 연통되어,

상기 제3공간(V3) 내 압력을 가압하도록, 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제3공간(V3)으로 유통시키며, 증기 방출밸브(113v)가 구비되는 증기방출관(113)

을 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 8

제 4항에 있어서, 상기 원자로 안전계통은

일측 끝단이 상기 원자로 구동계통 내 상기 증기발생기(153)에서 상기 1차열교환기(131)로 냉각제를 유입시키는 유로 상에 연결되고, 타측 끝단이 상기 격납용기관통관(111)에 연결되어,

상기 제2공간(V2) 내 압력을 가압하도록, 상기 증기발생기(153) 내 증기를 상기 격납용기관통관(111)을 통해 우회시켜 상기 제2공간(V2)으로 유통시키며, 증기우회밸브(114v)가 구비되는 증기우회관(114)

을 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 9

제 4항에 있어서, 상기 열교환용기외통(135)은

상기 열교환용기(134)에 상응하는 형상이되, 상기 열교환용기외통(135) 내벽 및 상기 열교환용기(134) 외벽 간 간격이 일정 간격을 유지하며 이격되도록 상기 열교환용기(134)보다 크게 형성 및 배치되며,

상부가 개방되고 하부가 폐쇄되어 상부로 냉각제의 유통이 가능하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 10

제 4항에 있어서, 상기 원자로 안전계통은

일측 끝단이 상기 제1공간(V1) 하부와 연통되고, 타측 끝단이 상기 제2공간(V2) 하부와 연통되어,

상기 제1공간(V1) 내 압력을 감압하도록, 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제2공간(V2)으로 유통시키며, 격납용기감압밸브(115v)가 구비되는 격납용기감압관(115)

을 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 11

제 4항에 있어서, 상기 원자로 구동계통은

상기 원자로용기(152)에 연결되어 외부로부터 냉각제를 공급받아 상기 원자로용기(152) 내로 냉각제를 보충 공급하는 냉각제보충관(156)

을 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 12

제 4항에 있어서, 상기 원자로 구동계통은

상기 원자로용기(152)에 구비되어 상기 원자로용기(152) 내 증기를 상기 제1공간(V1) 또는 상기 격납용기관통관(111)으로 배출시키는 원자로용기안전밸브(157)

를 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 13

제 4항에 있어서, 상기 원자로는

상기 제1격납용기(110) 및 상기 제2격납용기(120)가 수면 아래 배치되도록 형성되는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로.

청구항 14

제 4항에 따른 원자료를 작동하는 방법으로서,

상기 원자로 구동계통이 정지되는 단계; 상기 증기관(154)에 구비된 증기관격리밸브(154v) 및 상기 급수관(155)에 구비된 급수관격리밸브(155v)가 폐쇄되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 격리 단계와,

상기 원자로 구동계통 내 냉각재가 증발되어 생성된 증기가 상기 1차열교환기(131)로 유입되는 단계; 상기 1차열교환기(131)로 유입된 증기가 상기 1차열교환기(131)를 통과하며 응축되어 냉각재가 생성되고, 생성된 냉각재가 상기 원자로용기(152)로 재유입되어 순환되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 1차열교환기 순환단계와,

상기 열교환용기(134) 내에 수용된 냉각재가 상기 1차열교환기(131)로 유입된 증기와 열교환하여 가열 및 비등되는 단계; 상기 1차열교환기(131) 주변에서 냉각재가 비등되어 생성된 증기가 상기 열교환용기(134) 상부에 모여 포화증기압을 가지는 공간을 형성하는 단계; 포화증기압 공간이 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 배치된 위치까지 확장되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 포화증기압공간 형성단계와,

상기 냉각재분사관(133)에 의해 공급된 냉각재가 상기 1차열교환기(131) 외면으로 분사되어 접촉되는 단계; 상기 1차열교환기(131) 외면에 접촉된 냉각재가 상기 1차열교환기(131) 내의 증기로부터 열을 흡수하여 증발하고, 상기 1차열교환기(131) 내의 증기가 응축되어 냉각재가 생성되는 단계; 상기 1차열교환기(131) 외면에서 증발되어 생성된 증기가 상기 2차열교환기(132) 외면에 접촉되는 단계; 상기 2차열교환기(132) 외면에 접촉된 증기가 상기 2차열교환기(132) 내의 냉각재로 열을 방출하여 냉각재로 응축되고, 상기 2차열교환기(132) 내의 냉각재가 증발되어 증기가 생성되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 이상유동 열전달단계와,

상기 2차열교환기(132) 내 증기가 외부로 방출되거나 또는 외부의 별도 열교환기로 유입되는 단계; 상기 2차열교환기(132)로 외부 냉각재가 유입되거나 또는 외부의 별도 열교환기에서 응축되어 생성된 냉각재가 재유입되어 순환되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 잔열제거단계

를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로의 작동 방법.

청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 원자로 안전계통은

일측 끝단이 상기 원자로 구동계통 내 상기 증기발생기(153)에서 상기 1차열교환기(131)로 냉각재를 유입시키는 유로 상에 연결되고, 타측 끝단이 상기 격납용기관통관(111)에 연결되어, 상기 제2공간(V2) 내 압력을 가압하도록, 상기 증기발생기(153) 내 증기를 상기 격납용기관통관(111)을 통해 우회시켜 상기 제2공간(V2)으로 유통시키며, 증기우회밸브(114v)가 구비되는 증기우회관(114),

상기 원자로용기(152)에 구비되어 상기 원자로용기(152) 내 증기를 상기 제1공간(V1) 또는 상기 격납용기관통관(111)으로 배출시키는 원자로용기안전밸브(157)

중 선택되는 적어도 하나를 더 포함하여 이루어지며,

상기 원자로의 작동 방법은

상기 원자로 구동계통 내에서 발생된 증기가, 상기 격납용기관통밸브(111v)의 개방, 상기 증기우회밸브(114v)의 개방 또는 상기 원자로용기안전밸브(157)의 개방 중 선택되는 적어도 하나의 동작을 통해 상기 격납용기관통관(111)으로 유입되는 단계; 상기 격납용기관통관(111)을 통해 유입된 증기로 인한 가압에 의하여 상기 제2공간(V2)의 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)으로 유입되는 단계; 냉각재분사밸브(133v)가 압력에 의해 개방되어, 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)을 통해 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)로 분사되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 냉각재 가압분사단계

를 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로의 작동 방법.

청구항 16

제 15항에 있어서,

상기 원자로 안전계통은

일측 끝단은 상기 제1공간(V1) 상부와 연통되고 타측 끝단은 상기 제3공간 상부와 연통되어, 상기 제3공간(V3) 내 압력을 가압하도록, 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제3공간(V3)으로 유통시키며, 증기방출밸브(113v)가 구비되는 증기방출관(113)을 더 포함하여 이루어지며,

상기 원자로의 작동 방법은

상기 이상유동 열전달단계에 의하여 상기 2차열교환기(132) 표면에서 응축되어 생성된 냉각재가 상기 열교환용기(134) 하부를 통하여 상기 제3공간(V3)으로 배출되어 수용되는 단계; 상기 증기방출밸브(113v)가 개방되어 상기 제1공간(V1) 내 증기 일부가 상기 제3공간(V3)으로 유입되거나 또는 상기 제3공간(V3) 내의 냉각재 수위가 상승하여, 상기 제1공간(V1) 및 상기 제3공간(V3) 내의 압력이 균형을 이루게 되는 단계; 상기 냉각재주입밸브(112v)가 상기 제1공간(V1) 및 상기 제3공간(V3) 간의 수두차에 의하여 개방되어, 상기 제3공간(V3)에 수용된 냉각재가 상기 냉각재주입관(112)으로 유입되는 단계; 상기 냉각재주입관(112)을 통해 상기 제1공간(V1)으로 유입된 냉각재가 상기 원자로용기(152)에 직접 접촉하여 냉각을 수행하는 단계; 를 포함하여 이루어지는 냉각재 직접냉각단계

를 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로의 작동 방법.

청구항 17

제 14항에 있어서,

상기 원자로 안전계통은

일측 끝단이 상기 제1공간(V1) 하부와 연통되고, 타측 끝단이 상기 제2공간(V2) 하부와 연통되어, 상기 제1공간(V1) 내 압력을 감압하도록, 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제2공간(V2)으로 유통시키며, 격납용기감압밸브(115v)가 구비되는 격납용기감압관(115)을 더 포함하여 이루어지며,

상기 원자로의 작동 방법은

상기 냉각재 직접냉각단계 이후에, 상기 제1공간(V1)으로 유입되어 상기 원자로용기(152)에 직접 접촉된 냉각재가 상기 원자로용기(152)로부터 열을 흡수하여 증발되어 증기가 발생하는 단계; 상기 원자로용기(152)로부터 열을 흡수하여 발생된 증기가 상기 제1공간(V1)에 채워져 상기 제1공간(V1) 내 압력이 상승하는 단계; 상기 격납용기감압밸브(115v)가 압력에 의해 개방되어, 제1공간(V1) 내 증기가 상기 격납용기감압관(115)을 통해 상기 제2공간(V2)으로 유입되는 단계; 상기 격납용기감압관(115)을 통해 유입된 증기로 인한 가압에 의하여 상기 제2공간(V2)의 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)으로 유입되는 단계; 냉각재분사밸브(133v)가 압력에 의해 개방되어,

냉각재가 상기 냉각재분사관(133)을 통해 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)로 분사되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 냉각재 재가압분사단계를

를 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로의 작동 방법.

청구항 18

제 14항에 있어서,

상기 원자로 구동계통은

상기 원자로용기(152)에 연결되어 외부로부터 냉각재를 공급받아 상기 원자로용기(152) 내로 냉각재를 보충 공급하는 냉각재보충관(156)을 더 포함하여 이루어지며,

상기 원자로의 작동 방법은

상기 냉각재보충관(156)을 통해 외부로부터 공급된 냉각재가 상기 원자로용기(152) 내로 보충되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 냉각재 보충단계를

를 더 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 자가진단 사고대처 무인 원자로의 작동 방법.

발명의 설명

기술 분야

- [0001] 본 발명은 자가진단 사고대처 무인 원자로에 관한 것으로, 보다 상세하게는 원자로 이상 발생 시 운전원의 조작 없이도 피동적으로 과도 발생된 열을 냉각할 수 있도록 하되, 이러한 안전 조치를 위한 냉각 동작이 별도의 제어 지시 없이 원자로 구조 및 압력 등의 환경 조건 변화에 의하여 완전 피동적으로 이루어질 수 있도록 하며, 더불어 기존의 원자로 안전계통에 비하여 좀더 간소한 구조로 이루어지는 냉각계통을 가지는 원자로에 관한 것이다. 특히 여기에서, 이러한 냉각계통이 기존의 열교환기보다 훨씬 신속한 열교환을 실현할 수 있으며 또한 소화증기압을 이용함으로써 별도의 제어 수단 없이 열교환 제어가 피동적으로 용이하게 이루어질 수 있도록 하는, 자가진단 사고대처 무인 원자로에 관한 것이다.
- [0002] 열교환기는 일반적으로 고온액체와 저온액체와의 2개의 유체 사이에서 열의 이동을 실시하는 장치를 말하는 것이다. 일반적으로 가열기, 냉각기, 증발기, 응축기 등의 장치가 열교환기로서 사용되는 대표적인 장치들이며, 목적으로 하는 유체에 열을 주기 위해 사용되는 전열매체를 열매라고 하며, 이와는 반대로 열을 빼는 데 사용되는 것을 냉매라고 한다. 열교환기의 형식에서 가장 일반적으로 사용되는 것은 금속관을 전열벽으로 하는 것으로, 금속관을 경계로 하여 이종(서로 다른 종류)의 유체들이 서로 격리되며, 금속관을 통해 유체들 간의 열전달이 이루어지게 된다.
- [0003] 이러한 일반적인 열교환기에서 이루어지는 열전달 단계를 보다 구체적으로 설명하면 다음과 같다. 상술한 바와 같이 전열벽을 사이에 두고 서로 온도가 다른 두 종의 유체가 격리 수용된 상태에서, 고체상의 전열벽과 유체는 대류에 의해 서로 열전달이 이루어지며, 전열벽 내에서는 전도에 의한 열전달이 이루어지게 된다. 즉 고온액체 수용공간에서는 대류에 의하여 고온액체에서 전열벽으로 열전달이 이루어지고, 전열벽 내부에서는 전도에 의하여 고온액체측에서 저온액체측으로 열전달이 이루어지고, 저온액체 수용공간에서는 대류에 의하여 전열벽에서 저온액체로 열전달이 이루어지게 되는 것이다. 이 때, 전열벽은 상술한 바와 같이 대개 열전도도가 높은 금속재로 만들어지는 경우가 대부분이며, 또한 전열벽에 의해 열흡수 등에 의하여 열전달에 있어서의 손실이 발생하는 것을 방지하기 위해 전열벽은 통상적으로 얇은 두께로 형성된다. 즉 전열벽에서는 열손실이 거의 발생하지 않으며, 결과적으로 전열벽을 사이에 두고 고온액체에서 저온액체로 열이 거의 손실 없이 전달될 수 있게 된다.
- [0004] 일반적으로 널리 사용되는 냉난방장치 중 많은 경우가, 이러한 열교환기들을 포함하는 장치들을 순환 사이클로 구성하여 어느 한 공간(일반적으로 실내 공간)에서 다른 한 공간(일반적으로 실외 공간)으로 열을 이동시키는 형태로 이루어진다. 냉방 사이클의 경우 실내 공간의 열을 빼앗아 실외 공간에 버리도록 작동하고, 난방 사이클의 경우 그 반대로 작동하게 된다. 이러한 냉난방장치에 아주 널리 사용되는 열교환기로서 증발기, 응축기 등이 있는데, 증발기의 경우 증발기 외부의 공기로부터 열을 흡수하여 증발기 내부의 열교환매체를 증발시키는 증발열로써 사용하며, 결과적으로 외부 공기를 냉각시키게 된다. 응축기의 경우 반대로 응축기 내부의 열교환매체가

응축되면서 발산되는 열이 응축기 외부의 공기로 전달되어 외부 공기를 가열시키는 역할을 하게 된다. 이와 같이 외부 공기 - 내부 열교환매체 간 열교환이 이루어지도록 형성되는 것이 대다수의 열교환기 기본 구성이다. 그러나 이러한 형태로 열교환기 형태가 한정되는 것은 전혀 아니며, 열교환 대상 유체의 흐름 구조나 열교환장치 구성이 구비되는 시스템 전체 구조 등 다양한 설계 변수에 따라 열교환기는 매우 다양한 형태로 실시되고 있다.

배경 기술

- [0005] 한편, 원자력 발전에 대하여 설명하면 다음과 같다. 원자력 발전은 핵분열 시 발생하는 에너지를 이용해 터빈을 돌려 전기 에너지를 생산하는 방식으로 이루어진다. 도 1은 일반적인 원자력 발전의 원리를 간략하게 도시하고 있다. 압력 용기(또는 원자로용기라고 칭함)내의 핵연료가 핵분열함에 의하여 엄청난 열에너지가 발생되는데, 이 열에너지는 압력 용기 내의 냉각재로 전달되며, 냉각재는 도 1에 진한 화살표로 표시된 바와 같이 압력 용기로부터 배출되어 열교환기를 거쳐 다시 압력 용기로 유입되는 방향으로 순환된다. 냉각재가 가지고 있는 열에너지는 열교환기를 통과하면서 증기발생기로 전달되며, 증기발생기 내의 물은 열에너지에 의하여 고온 고압의 증기로 상변화를 일으킨다. 이와 같이 발생된 고온 고압의 증기는 도 1의 연한 화살표로 표시된 바와 같이 터빈으로 공급되며, 이 증기의 힘에 의하여 터빈이 회전하며, 터빈과 연결되어 있는 발전기도 함께 회전함으로써 발전이 이루어진다. 터빈을 회전시킴으로써 에너지를 상실한 증기는 다시 상변화를 일으켜 물이 되는데, 이 물은 도 1의 연한 화살표로 표시된 바와 같이 증기발생기로 재유입됨으로써 역시 순환이 이루어지게 된다.
- [0006] 상술한 바와 같이 원자로에서는 엄청난 열에너지가 발생되며, 원자로에서 사고가 발생하여 정상적으로 작동하지 않을 경우 이 열에너지에 의하여 원자로 시설 자체가 파괴되는 대형 사고가 발생할 위험성이 있다. 따라서 원자로에는 원자로의 손상이 발생했을 경우 원자로를 급속히 냉각해 주기 위한 다양한 안전계통들이 필수적으로 구비된다. 이러한 안전계통들은 원자로의 각부에 냉각재를 보충 공급하는 형태 및 냉각재를 적절한 유로를 따라 순환시켜 원자로의 각부로부터 열을 흡수하여 최종적으로는 외부의 히트 싱크(heat sink)에 버리는 형태로 이루어진다. 이 때, 원자로의 각부와 직접 접촉되었던 냉각재는 환경에 위험한 방사능 물질을 함유하고 있으므로, 이 냉각재 자체가 직접 외부로 배출되어서는 안되며, 단지 열만을 외부로 버릴 수 있도록 구성되어야 한다. 이와 같이 원자로 안전계통에서 외부의 히트 싱크에 열을 버리기 위한 열교환기를, 원자로 기술분야에서는 통상적으로 잔열 제거용 열교환기라고 칭하기도 한다. 이러한 잔열 제거용 열교환기 구성은 한국특허공개 제2009-0021722호("고온가스로의 노심 잔열제거를 위한 공기/물 복합형 피동원자로 공동냉각장치") 등 다양한 기술에 널리 개시되어 있다.
- [0007] 상술한 바와 같은 잔열 제거용 열교환기에 있어서, 도 2와 같은 형태의 열교환기도 많이 사용된다. 도 2에 도시된 바와 같이 잔열 제거용 열교환기는, 고온유체가 흐르는 유로(1)가 내부에 냉각재를 수용하는 풀(pool) 형태의 수조(2) 내에 구비된 형태로 이루어질 수 있다. 이러한 구성을 통해 잔열 제거용 열교환기는, 유로(1) 내를 흐르는 고온유체로부터 수조(2) 내의 냉각재로 열이 전달됨으로써, 결과적으로 고온유체의 냉각이 이루어지게 된다. 고온유체의 열이 상기 유로(1) 주변의 냉각재로 전달됨에 있어서, 대류에 의한 열전달이 이루어지기도 하고, 또한 고온유체의 온도가 매우 높을 경우 상기 유로(1) 주변의 냉각재가 비등됨으로써 열전달이 이루어지기도 한다. 냉각재가 비등한다는 것은 냉각재가 고온유체로부터 그만큼의 증발열을 흡수했다는 것으로서, 대류 열전달에 비해 더욱 높은 효율로 열을 흡수할 수 있다.
- [0008] 이와 같이 기존의 잔열 제거용 열교환기가 한편 유로(1) 및 수조(2)를 포함하는 구성으로 이루어지는 가장 큰 이유는, 상술한 바와 같이 유로(1) 내를 흐르는 고온유체가 원자로 내 각부와 직접 접촉한 원자로 냉각재로서 위험한 방사능 물질 등을 함유하고 있기 때문이다. 즉 이 고온유체가 외부로 유출되는 것을 방지하기 위하여 도 2에 나타난 바와 같이 간접적으로 열을 버리는 방식의 구조로 열교환기를 구성하였던 것이다.
- [0009] 이처럼 기존의 잔열 제거용 열교환기에서는 상술한 바와 같이 대류 열전달 또는 증발열 흡수에 의해 고온유체에서 냉각재로의 열전달이 이루어짐으로써 고온유체를 냉각하였다. 이 중 대류 열전달에 의한 냉각보다는 증발열 흡수에 의한 냉각이 좀더 효과적일 뿐 아니라 고온유체의 온도가 매우 높기 때문에, 실질적으로는 대부분의 냉각은 냉각재의 비등(즉 증발열 흡수)에 의한 열전달에 의하여 이루어진다.
- [0010] 그런데, 앞서 설명한 바와 같이 원자로에서 사고가 발생할 경우 막대한 열에너지에 의하여 원자로 자체가 파괴될 위험성이 있으며, 이를 피하기 위해서는 최대한 신속하게 냉각을 하는 것이 필요하다. 이러한 점을 고려할 때 단지 냉각재의 비등에 의한 열전달 즉 한 가지 현상만을 이용하여 냉각을 수행하게 되는 기존의 잔열 제거용 열교환기에 있어서 열교환 속도 및 효율을 더욱 개선해야 한다는 요구가 당업자들 사이에 꾸준히 있어 왔다.

[0011] 뿐만 아니라, 기존의 원자로 안전계통의 경우 원자로 손상 발생과 같은 급박한 사고 순간에 이러한 안전계통이 별도의 제어 지시를 받아야 작동이 이루어지도록 구성되는 것이 대부분이었는데, 이 경우 제어계통의 손상으로 인하여 오작동이 발생함으로써 안전계통이 제대로 작동하지 못하게 되거나, 또는 원자로 운전 실무자가 제시간에 제어 지시를 내리지 못하게 되는 등의 위험 요소가 많다는 문제점이 있었다. 뿐만 아니라 기존에는 원자로의 안전계통 구조 자체가 매우 복잡하고 다중적으로 되어 있어 설비를 구축하는데 있어서 고려해야 할 설계 요소가 너무 많아 설계 및 실제 공사가 매우 어려워질 뿐만 아니라, 설비 구축이 완료된 후에도 안전한 운영을 위하여 검사하거나 감시해야 할 것들이 많아 운영 및 제어가 어렵다는 문제가 있었다.

[0012] 따라서 기존의 안전계통보다 더욱 냉각 효율을 향상시킬 수 있고, 운전원의 별도 제어 조작을 필요로 하지 않고 완전 피동적으로 작동이 가능하며, 더불어 기존의 원자로 안전계통에 비하여 좀더 간소한 구조로 이루어지는, 원자로 안전계통에 대한 요구가 꾸준히 있어 왔다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 한국특허공개 제2009-0021722호("고온가스로의 노심 잔열제거를 위한 공기/물 복합형 피동원자로 공동냉각장치")

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 따라서, 본 발명은 상기한 바와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위하여 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 원자로 이상 발생 시 운전원의 조작 없이도 피동적으로 과도 발생된 열을 냉각할 수 있도록 하되, 이러한 안전 조치를 위한 냉각 동작이 별도의 제어 지시 없이 원자로 구조 및 압력 등의 환경 조건 변화에 의하여 완전 피동적으로 이루어질 수 있도록 하며, 더불어 기존의 원자로 안전계통에 비하여 좀더 간소한 구조로 이루어지는, 자가진단 사고대처 무인 원자로를 제공함에 있다. 보다 구체적으로는, 본 발명의 목적은, 마노미터 및 사이펀 원리로 동작하는 구조를 원자로 안전계통에 새롭게 도입하여, 평상시/경미사고 발생시/중대사고 발생시 등의 상황 변화에 따라 원자로 내 각 공간들의 압력 변화가 발생하였을 때, 그 압력 변화에 따라 자연스럽게 마노미터 또는 사이펀의 동작 원리에 따라 냉각수들이 이동하도록 구성되는, 자가진단 사고대처 무인 원자로를 제공함에 있다.

[0015] 본 발명의 다른 목적은, 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)을 이용하여 열교환이 이루어지도록 하되, 이러한 이상유동 열전달에 의한 열교환이 효과적으로 이루어질 수 있도록 유로들이 3차원적으로 배치되는 최적화된 구조를 가지는 분사식 열교환기를 도입하여 열교환성을 극대화시키며, 이와 더불어 포화증기압을 이용함으로써 별도의 제어 수단 없이 열교환 제어가 피동적으로 용이하게 이루어질 수 있도록 하는, 자가진단 사고대처 무인 원자로를 제공함에 있다.

과제의 해결 수단

[0016] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위한 본 발명의 자가진단 사고대처 무인 원자로는, 자가진단 사고대처 무인 원자로는, 원자로노심을 수용하는 원자로용기, 증기관 및 급수관이 연결된 증기발생기를 포함하여 이루어지는 원자로 구동계통 및 원자로 구동계통을 수용하는 에너지 방출공간(Energy Release Space, ERS), 냉각재를 수용하는 에너지 흡수공간(Energy Absorbing Space, EAS), 상기 원자로 구동계통과 연결되는 잔열제거부 및 상기 에너지 흡수공간과 연결되는 유통로가 구비되어 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열을 냉각재로 전달하고 냉각재에 흡수된 열을 외부로 전달하여 버리는 에너지 전달공간(Energy Transfer Space, ETS)으로 나뉘어져 이루어지는 원자로 안전계통을 포함하여 이루어지되, 상기 에너지 전달공간 및 상기 에너지 흡수공간은 순차적으로 상하 방향으로 적층 배치되어 공간적층체를 형성하며, 상기 에너지 방출공간 및 상기 공간적층체는 병렬로 나란히 배치되어, 상기 에너지 방출공간 및 상기 공간적층체의 결합체가 마노미터(manometer) 구조를 형성하고, 상기

유통로는 상기 에너지 전달공간 및 상기 에너지 흡수공간을 연통하는 사이펀(siphon) 구조를 형성하여, 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열에 의해 상기 에너지 방출공간 내 압력이 변화함에 따라, 상기 에너지 흡수공간 내 냉각재가 사이펀 원리에 의해 상기 에너지 전달공간으로 공급되고, 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열이 상기 에너지 전달공간 내 냉각재에 의해 상기 잔열제거부를 통해 외부로 버려짐으로써, 상기 원자로 구동계통의 간접 냉각이 이루어지거나, 또는 상기 에너지 전달공간 내 냉각재가 마노미터 원리에 의해 상기 에너지 방출공간으로 공급되고, 상기 에너지 방출공간으로 공급된 냉각재가 상기 원자로 구동계통과 직접 접촉됨으로써, 상기 원자로 구동계통의 직접 냉각이 이루어질 수 있다.

[0017] 이 때 상기 원자로 안전계통은, 상기 잔열제거부는, 상기 에너지 흡수공간과 연결되는 유통로 내에 구비되며 상기 원자로 구동계통과 연결되어 상기 원자로 구동계통 내의 냉각재가 유통되는 제1열교환기, 상기 에너지 흡수공간과 연결되는 유통로 내에 구비되며 상기 제1열교환기 내에 유통되는 냉각재로부터 열을 흡수하는 제2열교환기를 포함하여 이루어지며, 상기 제1열교환기 내를 유통하는 열교환매체의 열에 의해 상기 유통로 내 상기 제1열교환기 주변의 냉각재가 비등되어 냉각재 증기가 발생되고, 냉각재 증기가 상기 유통로를 따라 유통되어 상기 제2열교환기에 접촉되어 상기 제2열교환기 내를 유통하는 열교환매체로 열이 흡수됨으로써 냉각재 증기가 액상으로 응축되는, 이상유통 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)에 의하여 열전달이 이루어질 수 있다.

[0018] 이 때, 상기 잔열제거부에 의하여 비등되어 발생된 냉각재 증기에 의하여 상기 유통로 내 상기 잔열제거부가 배치된 위치에 포화증기압을 가지는 공간이 형성되도록 이루어질 수 있다.

[0019] 보다 구체적인 실시예로서, 본 발명의 자가진단 사고대처 무인 원자로는, 원자로노심(151)을 수용하는 원자로용기(152), 증기관(154) 및 급수관(155)이 연결된 증기발생기(153)를 포함하여 이루어지는 원자로 구동계통 및 내부의 제1공간(V1)에 기체 및 상기 원자로 구동계통을 수용하는 제1격납용기(110), 상기 제1격납용기(110)와 밀접 배치되며 내부에 상하분리격벽(125)이 구비되어 내부 공간이 하부의 제2공간(V2) 및 상부의 제3공간(V3)으로 구분되도록 이루어져 상기 제2공간(V2)에 냉각재를 수용하는 제2격납용기(120), 일측 끝단은 상기 제1공간(V1)에 배치되고 타측 끝단은 상기 제2공간(V2)과 연통되며 격납용기관통밸브(111v)가 구비되는 격납용기관통관(111), 일측 끝단은 상기 제3공간(V3)에 배치되고 타측 끝단은 상기 제1공간(V1)과 연통되며 냉각재주입밸브(112v)가 구비되는 냉각재주입관(112), 상기 제3공간(V3)에 구비되며 상기 원자로 구동계통과 연결되어 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열을 냉각재로 전달하고 냉각재에 흡수된 열을 외부로 전달하는 잔열제거장치(130)를 포함하여 이루어지는 원자로 안전계통을 포함하여 이루어지며,

[0020] 상기 잔열제거장치(130)는, 상기 원자로 구동계통과 연결되어 상기 원자로 구동계통 내의 냉각재를 유통시켜 열을 발산하는 1차열교환기(131), 상기 1차열교환기(131)와 밀접 배치되며 잔열 흡수용 냉각재를 유통시켜 열을 흡수하는 2차열교환기(132), 상기 제2공간(V2)과 연결되어 공급되는 냉각재를 상기 1차열교환기(131)로 분사하는 냉각재분사관(133), 내부에 냉각재가 수용되는 밀폐 용기 형태로 이루어져 상부에 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 수용 배치되며 하부가 상기 제2공간(V2)과 연통되도록 개방 형성되는 열교환용기(134), 상기 열교환용기(134) 하부 끝단이 냉각재에 담겨지는 냉각재 수위를 확보하도록 상기 열교환용기(134)를 둘러싸도록 구비되어 냉각재가 수용 및 유통되는 열교환용기외통(135)을 포함하여 이루어지며,

[0021] 상기 제1격납용기(110) 및 상기 제2격납용기(120)가 마노미터(manometer) 구조를 형성하고, 상기 냉각재분사관(133) 및 상기 열교환용기(134)는 상기 제3공간(V3) 및 상기 제2공간(V2)을 연통하는 사이펀(siphon) 구조를 형성하여, 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열에 의해 상기 제1공간(V1) 내 압력이 변화함에 따라, 상기 제2공간(V2) 내 냉각재가 사이펀 원리에 의해 상기 제3공간(V3)으로 공급되고, 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열이 상기 제3공간(V3) 내 냉각재에 의해 상기 잔열제거장치(130)를 통해 외부로 버려짐으로써, 상기 원자로 구동계통의 간접 냉각이 이루어지거나, 또는 상기 제3공간(V3) 내 냉각재가 마노미터 원리에 의해 상기 제1공간(V1)으로 공급되고, 상기 제1공간(V1)으로 공급된 냉각재가 상기 원자로 구동계통과 직접 접촉됨으로써, 상기 원자로 구동계통의 직접 냉각이 이루어질 수 있다.

[0022] 이 때 상기 원자로 안전계통은, 상기 1차열교환기(131) 내를 유통하는 열교환매체의 열에 의해 상기 유통로 내 상기 1차열교환기(131) 주변의 냉각재가 비등되어 냉각재 증기가 발생되고, 냉각재 증기가 상기 유통로를 따라 유통되어 상기 2차열교환기(132)에 접촉되어 상기 2차열교환기(132) 내를 유통하는 열교환매체로 열이 흡수됨으로써 냉각재 증기가 액상으로 응축되는, 이상유통 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)에 의하여 열전달이 이루어질 수 있다. 또한 이 때, 상기 1차열교환기(131)에 의하여 비등되어 발생된 냉각재 증기에 의하여

여 상기 열교환용기(134) 내 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 배치된 위치에 포화증기압을 가지는 공간이 형성되도록 이루어질 수 있다.

- [0023] 또한 상기 원자로 안전계통은, 일측 끝단은 상기 제1공간(V1) 상부와 연통되고 타측 끝단은 상기 제3공간 상부와 연통되어, 상기 제3공간(V3) 내 압력을 가압하도록, 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제3공간(V3)으로 유통시키며, 증기방출밸브(113v)가 구비되는 증기방출관(113)을 더 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0024] 또한 상기 원자로 안전계통은, 일측 끝단이 상기 원자로 구동계통 내 상기 증기발생기(153)에서 상기 1차열교환기(131)로 냉각제를 유입시키는 유로 상에 연결되고, 타측 끝단이 상기 격납용기관통관(111)에 연결되어, 상기 제2공간(V2) 내 압력을 가압하도록, 상기 증기발생기(153) 내 증기를 상기 격납용기관통관(111)을 통해 우회시켜 상기 제2공간(V2)으로 유통시키며, 증기우회밸브(114v)가 구비되는 증기우회관(114)을 더 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0025] 또한 상기 열교환용기외통(135)은, 상기 열교환용기(134)에 상응하는 형상이며, 상기 열교환용기외통(135) 내벽 및 상기 열교환용기(134) 외벽 간 간격이 일정 간격을 유지하며 이격되도록 상기 열교환용기(134)보다 크게 형성 및 배치되며, 상부가 개방되고 하부가 폐쇄되어 상부로 냉각제의 유통이 가능하도록 형성될 수 있다.
- [0026] 또한 상기 원자로 안전계통은, 일측 끝단이 상기 제1공간(V1) 하부와 연통되고, 타측 끝단이 상기 제2공간(V2) 하부와 연통되어, 상기 제1공간(V1) 내 압력을 감압하도록, 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제2공간(V2)으로 유통시키며, 격납용기감압밸브(115v)가 구비되는 격납용기감압관(115)을 더 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0027] 또한 상기 원자로 구동계통은, 상기 원자로용기(152)에 연결되어 외부로부터 냉각제를 공급받아 상기 원자로용기(152) 내로 냉각제를 보충 공급하는 냉각제보충관(156)을 더 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0028] 또한 상기 원자로 구동계통은, 상기 원자로용기(152)에 구비되어 상기 원자로용기(152) 내 증기를 상기 제1공간(V1) 또는 상기 격납용기관통관(111)으로 배출시키는 원자로용기안전밸브(157)를 더 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0029] 또한 상기 원자로는, 상기 제1격납용기(110) 및 상기 제2격납용기(120)가 수면 아래 배치되도록 형성될 수 있다.
- [0030] 또한 본 발명의 자가진단 사고대처 무인 원자로의 작동 방법은, 상술한 바와 같은 원자로를 작동하는 방법으로서, 상기 원자로 구동계통이 정지되는 단계; 상기 증기관(154)에 구비된 증기관격리밸브(154v) 및 상기 급수관(155)에 구비된 급수관격리밸브(155v)가 폐쇄되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 격리 단계와, 상기 원자로 구동계통 내 냉각제가 증발되어 생성된 증기가 상기 1차열교환기(131)로 유입되는 단계; 상기 1차열교환기(131)로 유입된 증기가 상기 1차열교환기(131)를 통과하며 응축되어 냉각제가 생성되고, 생성된 냉각제가 상기 원자로용기(152)로 재유입되어 순환되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 1차열교환기 순환단계와, 상기 열교환용기(134) 내에 수용된 냉각제가 상기 1차열교환기(131)로 유입된 증기와 열교환하여 가열 및 비등되는 단계; 상기 1차열교환기(131) 주변에서 냉각제가 비등되어 생성된 증기가 상기 열교환용기(134) 상부에 모여 포화증기압을 가지는 공간을 형성하는 단계; 포화증기압 공간이 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 배치된 위치까지 확장되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 포화증기압공간 형성단계와, 상기 냉각제분사관(133)에 의해 공급된 냉각제가 상기 1차열교환기(131) 외면으로 분사되어 접촉되는 단계; 상기 1차열교환기(131) 외면에 접촉된 냉각제가 상기 1차열교환기(131) 내의 증기로부터 열을 흡수하여 증발하고, 상기 1차열교환기(131) 내의 증기가 응축되어 냉각제가 생성되는 단계; 상기 1차열교환기(131) 외면에서 증발되어 생성된 증기가 상기 2차열교환기(132) 외면에 접촉되는 단계; 상기 2차열교환기(132) 외면에 접촉된 증기가 상기 2차열교환기(132) 내의 냉각제로 열을 방출하여 냉각제로 응축되고, 상기 2차열교환기(132) 내의 냉각제가 증발되어 증기가 생성되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 이상유통 열전달단계와, 상기 2차열교환기(132) 내 증기가 외부로 방출되거나 또는 외부의 별도 열교환기로 유입되는 단계; 상기 2차열교환기(132)로 외부 냉각제가 유입되거나 또는 외부의 별도 열교환기에서 응축되어 생성된 냉각제가 재유입되어 순환되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 잔열제거단계를 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0031] 이 때, 상기 원자로 안전계통은, 일측 끝단이 상기 원자로 구동계통 내 상기 증기발생기(153)에서 상기 1차열교환기(131)로 냉각제를 유입시키는 유로 상에 연결되고, 타측 끝단이 상기 격납용기관통관(111)에 연결되어, 상기 제2공간(V2) 내 압력을 가압하도록, 상기 증기발생기(153) 내 증기를 상기 격납용기관통관(111)을 통해 우회시켜 상기 제2공간(V2)으로 유통시키며, 증기우회밸브(114v)가 구비되는 증기우회관(114), 상기 원자로용기

(152)에 구비되어 상기 원자로용기(152) 내 증기를 상기 제1공간(V1) 또는 상기 격납용기관통관(111)으로 배출시키는 원자로용기안전밸브(157) 중 선택되는 적어도 하나를 더 포함하여 이루어지며, 상기 원자로의 작동 방법은, 상기 원자로 구동계통 내에서 발생된 증기가, 상기 격납용기관통밸브(111v)의 개방, 상기 증기회회밸브(114v)의 개방 또는 상기 원자로용기안전밸브(157)의 개방 중 선택되는 적어도 하나의 동작을 통해 상기 격납용기관통관(111)으로 유입되는 단계; 상기 격납용기관통관(111)을 통해 유입된 증기로 인한 가압에 의하여 상기 제2공간(V2)의 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)으로 유입되는 단계; 냉각재분사밸브(133v)가 압력에 의해 개방되어, 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)을 통해 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)로 분사되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 냉각재 가압분사단계를 더 포함하여 이루어질 수 있다.

[0032] 또한, 상기 원자로 안전계통은, 일측 끝단은 상기 제1공간(V1) 상부와 연통되고 타측 끝단은 상기 제3공간 상부와 연통되어, 상기 제3공간(V3) 내 압력을 가압하도록, 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제3공간(V3)으로 유통시키며, 증기방출밸브(113v)가 구비되는 증기방출관(113)을 더 포함하여 이루어지며, 상기 원자로의 작동 방법은, 상기 이상유동 열전달단계에 의하여 상기 2차열교환기(132) 표면에서 응축되어 생성된 냉각재가 상기 열교환기(134) 하부를 통하여 상기 제3공간(V3)으로 배출되어 수용되는 단계; 상기 증기방출밸브(113v)가 개방되어 상기 제1공간(V1) 내 증기 일부가 상기 제3공간(V3)으로 유입되거나 또는 상기 제3공간(V3) 내의 냉각재 수위가 상승하여, 상기 제1공간(V1) 및 상기 제3공간(V3) 내의 압력이 균형을 이루게 되는 단계; 상기 냉각재주입밸브(112v)가 상기 제1공간(V1) 및 상기 제3공간(V3) 간의 수두차에 의하여 개방되어, 상기 제3공간(V3)에 수용된 냉각재가 상기 냉각재주입관(112)으로 유입되는 단계; 상기 냉각재주입관(112)을 통해 상기 제1공간(V1)으로 유입된 냉각재가 상기 원자로용기(152)에 직접 접촉하여 냉각을 수행하는 단계; 를 포함하여 이루어지는 냉각재 직접냉각단계를 더 포함하여 이루어질 수 있다.

[0033] 또한, 상기 원자로 안전계통은, 일측 끝단이 상기 제1공간(V1) 하부와 연통되고, 타측 끝단이 상기 제2공간(V2) 하부와 연통되어, 상기 제1공간(V1) 내 압력을 감압하도록, 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제2공간(V2)으로 유통시키며, 격납용기감압밸브(115v)가 구비되는 격납용기감압관(115)을 더 포함하여 이루어지며, 상기 원자로의 작동 방법은, 상기 냉각재 직접냉각단계 이후에, 상기 제1공간(V1)으로 유입되어 상기 원자로용기(152)에 직접 접촉된 냉각재가 상기 원자로용기(152)로부터 열을 흡수하여 증발되어 증기가 발생하는 단계; 상기 원자로용기(152)로부터 열을 흡수하여 발생된 증기가 상기 제1공간(V1)에 채워져 상기 제1공간(V1) 내 압력이 상승하는 단계; 상기 격납용기감압밸브(115v)가 압력에 의해 개방되어, 제1공간(V1) 내 증기가 상기 격납용기감압관(115)을 통해 상기 제2공간(V2)으로 유입되는 단계; 상기 격납용기감압관(115)을 통해 유입된 증기로 인한 가압에 의하여 상기 제2공간(V2)의 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)으로 유입되는 단계; 냉각재분사밸브(133v)가 압력에 의해 개방되어, 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)을 통해 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)로 분사되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 냉각재 재가압분사단계를 더 포함하여 이루어질 수 있다.

[0034] 또한, 상기 원자로 구동계통은, 상기 원자로용기(152)에 연결되어 외부로부터 냉각재를 공급받아 상기 원자로용기(152) 내로 냉각재를 보충 공급하는 냉각재보충관(156)을 더 포함하여 이루어지며, 상기 원자로의 작동 방법은, 상기 냉각재보충관(156)을 통해 외부로부터 공급된 냉각재가 상기 원자로용기(152) 내로 보충되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 냉각재 보충단계를 더 포함하여 이루어질 수 있다.

발명의 효과

[0035] 본 발명에 의하면, 기존의 열교환기에 비하여 훨씬 신속한 열교환이 이루어질 수 있게 하는 큰 효과가 있다. 보다 구체적으로 설명하자면, 본 발명의 3차원 열교환기는 기존의 열교환기들이 단순히 대류 및 전도와 같은 기본적인 열전달 원리를 이용하여 열교환을 수행하였던 것과는 달리, 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)을 이용하여 열교환이 이루어지도록 하기 때문에, 기존의 열교환기들에 비해 훨씬 신속한 열교환을 실현할 수 있다.

[0036] 또한 본 발명에 의하면, 이러한 이상유동 열전달에 의한 열교환이 더욱 효과적으로 이루어질 수 있도록, 고온매체가 유통되는 유로 / 저온매체가 유통되는 유로 / 냉각재가 분사되는 유로가 3차원적으로 밀집 배치되는 구조로 되어 있음으로써, 상술한 바와 같은 이상유동 열전달의 효율을 더욱 향상시키는 큰 효과가 있다. 즉 본 발명은 단순히 이상유동 열전달 원리만을 이용하여 열교환을 수행하는 것만이 아니라 이들의 효율을 향상시킬 수 있는 3차원 구조를 열교환기 구조에 도입함으로써, 열교환속도 및 열교환효율을 극대화하는 큰 효과가 있는 것이다.

- [0037] 특히 본 발명에 의하면, 냉각재가 채워진 밀폐된 공간 내에 이상유동 열전달을 이용하는 열교환기가 배치되도록 함으로써, 열교환기 작동 시 발생하는 증기가 신속하고 효과적으로 응축되도록 이루어진다. 따라서 이와 같은 이상유동 열전달 시 필연적으로 발생하는 냉각재의 증기압에 의하여 열교환공간 및 이와 연결된 공간 내의 압력이 지나치게 증가하는 것을 방지할 수 있는 효과가 있다. 더불어 이러한 구조 자체에 의하여 열교환기의 작동 및 정지와 냉각재의 수위 조절이 자연적으로 연동되어 이루어지기 때문에, 별도의 작동 및 정지를 위한 제어 등을 해 주어야 할 필요가 없어, 운용 상의 편리함이 극대화되는 큰 효과 또한 있다.
- [0038] 더불어 본 발명의 열교환기는 기존의 원자로 냉각을 위해 사용되었던 열교환기에 비하여 열교환속도 및 열교환 효율이 훨씬 높기 때문에, 본 발명의 열교환기를 원자로 냉각에 적용할 경우 원자로 냉각 효율을 훨씬 향상시킬 수 있는 효과가 있다. 뿐만 아니라 상술한 바와 같이 열교환기 수용 공간 내의 압력 증가를 방지해 주기 때문에, 본 발명의 열교환기를 원자로 안전계통에 적용할 경우 원자로 격납용기 내의 지나친 압력 상승을 억제해 주는 효과 또한 얻을 수 있다.
- [0039] 또한 본 발명에 의하면, 안전계통이 완전 피동식으로 이루어짐으로써 원자로 손상 발생 시 별도의 제어 지시가 필요 없이 신속한 냉각이 이루어질 수 있도록 하여 사고 위험성을 최소화시켜 줄 수 있는 효과가 있다. 무엇보다도 본 발명은, 종래의 피동식 원자로 안전계통과는 전혀 상이한, 열수력적 작동 개념에 기반한 새로운 구조를 가지며, 이 새로운 구조를 기반으로 다양한 사고 조건에 따라 맞추어 적절한 냉각 동작을 다양하게 수행할 수 있다. 보다 구체적으로는, 본 발명은 마노미터 및 사이펀 원리에 따라 안전계통을 이루는 여러 공간들 내 압력이 변화함에 따라 냉각재가 각 공간들을 적절히 이동하도록 이루어지며, 이러한 냉각재의 이동 과정에서 자연스럽게 냉각이 이루어지게 하여, 그 구조 자체만으로 냉각재의 이동 제어가 이루어질 수 있다는 장점을 갖는 것이다.
- [0040] 특히 본 발명의 원자로 안전계통 구성은 기존의 원자로 안전계통 구성과 비교하였을 때 비약적으로 단순화된 구조를 가지기 때문에, 이에 따라 기존에 비해 원자로를 설계하고 구축하는데 있어서 난해함을 훨씬 낮출 수 있으며, 구축 완료된 원자로를 운영함에 있어서도 용이성 및 편의성이 비교할 수 없이 향상되는 커다란 효과가 있다. 물론 이에 따라 설계, 구축, 운용, 제어 등에 드는 시간, 인력, 비용 등의 자원들을 절약하는 효과도 매우 크다.
- [0041] 또한 본 발명의 원자로 안전계통 구성은 기존과는 다를 뿐만 아니라 종래의 원자로 안전계통과는 달리 이상유동 열전달 방식을 이용하여 원자로의 고온 에너지를 빠르게 흡수하여 외부(해수 등의 히트싱크)에 버리도록 구성됨으로써 냉각 속도가 비약적으로 빨라지는 바, 결과적으로 절대적인 냉각 능력 또한 크게 향상되는 효과 또한 있다. 더불어 히트 싱크로 작용하는 냉각재에 흡수된 열을 외부, 즉 무한대의 히트 싱크에 한 번 더 버리도록 구성됨으로써, 결과적으로는 잔열 제거 시간을 무한대로 확장시켜 주는 큰 효과가 있다.
- [0042] 뿐만 아니라 냉각 동작을 수행함에 있어서 실질적으로 능동적인(즉 외부에서 운전원이 제어 지시를 내려 주면 작동되는) 제어 수단이 전혀 없으며, 전반적인 구조 자체는 훨씬 단순화되어 있기 때문에, 종래에 비하여 제작 및 운용 등에 있어서 편의성이 훨씬 향상되는 효과가 있다. 물론 능동적인 제어나 구동에 필요한 별도의 동력원을 요하지 않는다는 점에서 운용시 불필요한 에너지 낭비를 절약하는 경제적 효과도 물론 있다. 더불어 본 발명은 상술한 바와 같이 그 형상이 기존에 비하여 단순할 뿐만 아니라, (기존에 비하여 냉각 능력이 우수하기 때문에) 종래의 안전계통을 구비하는 원자로에 비해 훨씬 부피가 작은 공간에 설비가 가능한 바, 원자로 운영 및 건설 경제성 역시 훨씬 향상할 수 있는 큰 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0043] 도 1은 일반적인 원자력 발전 원리.
- 도 2는 기존의 잔열 제거용 열교환기 구성.
- 도 3은 본 발명의 원자로의 구조 개념.
- 도 4는 본 발명의 원자로의 작동 원리.
- 도 5는 본 발명의 원자로의 이상유동 열전달 원리.
- 도 6은 본 발명의 원자로의 포화증기압 공간 형성 원리.

도 7은 본 발명의 원자로의 구성 구체화 과정.

도 8은 본 발명의 원자로의 실시예.

도 9은 본 발명의 원자로의 작동 방법.

도 10은 본 발명의 원자로의 다른 실시예.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0044] 이하, 상기한 바와 같은 구성을 가지는 본 발명에 의한 자가진단 사고대처 무인 원자로를 첨부된 도면을 참고하여 상세하게 설명한다.

[0045] I. 원자로의 개념적 구조 및 작동 원리

[0046] 도 3은 본 발명의 원자로의 구조 개념을, 그리고 도 4는 도 3에 도시된 바와 같은 본 발명의 개념적 원자로 구조에서의 작동 원리를 도시하고 있다.

[0047] 본 발명의 원자로는, 원자로 구동계통이 사고 등으로 정지하였을 때 신속하면서도 효과적으로 냉각을 수행할 수 있는 원자로 안전계통을 가진다. 이에 따라 본 발명의 원자로에서 원자로 구동계통은 어떤 형태로 이루어져도 무방한데, 구체적으로 말하자면 일반적으로 대형 원자로에 사용되는 형태 즉 원자로 노심을 수용하는 원자로용기와 증기발생기가 별도로 이격 구비되는 형태의 원자로 구동계통이어도 되고, 또는 소형 원자로에 사용되는 형태 즉 원자로용기 내에 증기발생기가 수용되어 일체형을 이루는 원자로 구동계통이어도 된다. 상기 원자로 구동계통이 어떤 형태로 형성되건(즉 대형 원자로 용이거나 또는 소형 원자로 용이거나에 상관없이), 상기 원자로 구동계통은 원자로노심을 수용하는 원자로용기, 증기관 및 급수관이 연결된 증기발생기는 기본적으로 포함한다.

[0048] 본 발명의 원자로의 안전계통은, 도 3에 도시되어 있는 바와 같이, 크기는 에너지 방출공간(Energy Release Space, ERS), 에너지 흡수공간(Energy Absorbing Space, EAS), 에너지 전달공간(Energy Transfer Space, ETS) 이 셋으로 나뉘어진다. 에너지 방출공간(ERS)에는 원자로 구동계통이 수용되며, 에너지 흡수공간(EAS)에는 냉각재가 수용된다. 에너지 전달공간(ETS)의 내부에는 상기 원자로 구동계통과 연결되는 잔열제거부 및 상기 에너지 흡수공간과 연결되는 유통로가 구비되어 있어서, 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열을 냉각재로 전달하고 냉각재에 흡수된 열을 외부로 전달하여 버릴 수 있도록 이루어진다.

[0049] 또한, 상기 에너지 전달공간(ETS) 및 상기 에너지 흡수공간(EAS)은 순차적으로 상하 방향으로 적층 배치되어 공간적층체를 형성하며, 상기 에너지 방출공간(ERS) 및 상기 공간적층체는 병렬로 나란히 배치된다. 이에 따라 도 3에 도시되어 있는 바와 같이, 상기 에너지 방출공간(ERS) 및 상기 공간적층체의 결합체가 마노미터(manometer) 구조를 형성하게 된다. 마노미터란 잘 알려져 있는 바와 같이 압력계의 일종으로서, 가장 기본적으로는 U자형으로 구부러진 관 형태를 취한다. U자형으로 구부러진 관에 액체를 넣고 한쪽 관에 압력을 걸면, 압력이 걸린 쪽의 액면이 하강하고 다른 쪽 관의 액면은 상승하여, 양 액면의 높이 차에 대응하는 중력과 균형을 이루는 위치에서 정지하게 된다. 즉 상기 에너지 방출공간(ERS), 상기 에너지 흡수공간(EAS), 상기 에너지 전달공간(ETS) 내의 압력이 변화할 경우, 마노미터가 동작하는 원리에 의해 (각 공간들의 연통 관계에 따라) 냉각재의 이동이 이루어질 수 있다.

[0050] 또한, 상기 유통로는 상기 에너지 전달공간 및 상기 에너지 흡수공간을 연통하는 사이펀(siphon) 구조를 형성한다. 사이펀이란 역시 잘 알려져 있는 바와 같이, 한 곳의 액체를 그 곳보다 높은 장소를 넘어서 다른 곳으로 넘겨주는 장치로서, 가장 기본적으로는 U자형을 거꾸로 놓은 형태(이하 뒤집힌 U자형이라 칭함)의 관 형태를 취한다. 뒤집힌 U자형의 일측이 액체의 수중에 담겨지게 하고, 타측이 윗고자 하는 장소에 위치하도록 한 후, 액면에 압력을 가해 주면 (앞서 설명한 마노미터 원리와 유사한 원리에 의해) 사이펀 내의 액면이 상승하게 된다. 액면이 뒤집힌 U자형의 꼭대기에 도달하면 액체는 뒤집힌 U자형의 타측으로 배출되며, 이러한 방식으로 뒤집힌 U자형 일측의 액체를 타측으로 옮길 수 있다. 즉, 상기 에너지 흡수공간(EAS), 상기 에너지 전달공간(ETS) 내의 압력이 변화할 경우, 상기 유통로가 사이펀 구조를 형성하고 있으므로, 사이펀이 동작하는 원리에 의해 상기 에너지 흡수공간(EAS)로부터 상기 에너지 전달공간(ETS)으로의 냉각재의 이동이 이루어질 수 있다.

[0051] 이와 같이 형성되는 본 발명의 원자로 안전계통은, 상기 원자로 구동계통 내의 압력 변화 및 냉각재 누출 여부에 의하여 변화되는 열수력 조건에 따라 상기 원자로 안전계통 내의 냉각재가 선택적으로 유통되어 상기 원자로 구동계통을 냉각하도록 이루어진다. 도 4를 통해 이러한 본 발명의 개념적 원자로의 구성에서의 작동 원리를 좀

더 구체적으로 설명한다.

- [0052] 도 4(A)는 도 3에 도시된 바와 같은 본 발명의 원자로의 개념적 구성에서의 정상시 상태를 도시한 것으로, 원자로가 정상적으로 작동되고 있을 때에는 원자로를 추가적으로 냉각하여야 할 필요가 없기 때문에 도 4(A)의 상태가 그대로 유지된다. 즉 이 경우 상기 에너지 흡수공간(EAS) 및 상기 에너지 전달공간(ETS)에서의 냉각제 이동은 없는 상태이다. 이 상태에서 이루어지는 정상적인 원자로 구동을 간략히 설명하자면, 화살표로 표시된 바와 같이 상기 원자로 구동계통과 연결된 급수관을 통해 냉각제가 공급되고, 상기 원자로 구동계통에서 발생한 열에 의해 냉각제가 증발하며, 이 증기는 증기관을 통해 배출되어 외부에 연결되어 있는 터빈을 회전시켜 전력을 발생시키는 데 사용된다.
- [0053] 도 4(B)는 원자로가 사고 등의 발생으로 인하여 정지되어 과열이 방출되기 시작하는 상태에서의 냉각제 이동을 도시한 것이다. 먼저 도 4(B)에 도시된 바와 같이, 원자로 구동계통의 과열로 인하여 상기 에너지 방출공간(ERS) 내의 압력이 높아지면(이 때 상기 에너지 방출공간(ERS) 내의 공기만으로 가압이 이루어질 수도 있고, 또는 원자로 구동계통에서 냉각제 누출이 발생하여 누출된 냉각제가 증발되어 생성된 증기에 의해 더 가압이 이루어질 수도 있다), 상기 에너지 방출공간(ERS) 및 상기 에너지 흡수공간(EAS) 사이의 밸브가 열려 상기 에너지 흡수공간(EAS)으로의 가압이 이루어져, 즉 상기 에너지 흡수공간(EAS) 내의 냉각제가 압력을 받게 된다. 이에 따라 화살표로 표시된 바와 같이 상기 에너지 흡수공간(EAS) 내의 냉각제가 사이펀 원리에 의해 상기 에너지 전달공간(ETS)로 공급된다.
- [0054] 한편, 상기 에너지 전달공간(ETS) 내에는 앞서 설명한 바와 같이 잔열제거부 및 유통로가 구비되어 있다. 상기 잔열제거부는, 도 3에 도시되어 있는 바와 같이, 상기 에너지 흡수공간(EAS)과 연결되는 유통로 내에 구비되며 상기 원자로 구동계통과 연결되어 상기 원자로 구동계통 내의 냉각제가 유통되는 제1열교환기, 상기 에너지 흡수공간(EAS)과 연결되는 유통로 내에 구비되며 상기 제1열교환기 내에 유통되는 냉각제로부터 열을 흡수하는 제2열교환기를 포함하여 이루어진다.
- [0055] 여기에서, 상기 제1열교환기 및 상기 제2열교환기가 상기 유통로 내에 구비되며, 상기 유통로 내에는 냉각제가 채워져 유통되기 때문에, 냉각제가 상기 제1열교환기 및 상기 제2열교환기를 순차적으로 지나면서 자연스럽게 상기 제1열교환기에서 상기 제2열교환기로의 열전달이 이루어질 수 있다. 이 때 본 발명에서는, 상기 제1열교환기 및 상기 제2열교환기 간에 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)에 의한 열전달이 이루어지도록 함으로써, 열교환효율을 더욱 향상한다. 보다 구체적으로는, 상기 원자로 안전계통은, 상기 제1열교환기 내를 유통하는 열교환매체의 열에 의해 상기 유통로 내 상기 제1열교환기 주변의 냉각제가 비등되어 냉각제 증기가 발생되고, 냉각제 증기가 상기 유통로를 따라 유통되어 상기 제2열교환기에 접촉되어 상기 제2열교환기 내를 유통하는 열교환매체로 열이 흡수됨으로써 냉각제 증기가 액상으로 응축되는, 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)에 의하여 열전달이 이루어지도록 한다.
- [0056] 이 때, 상기 잔열제거부에 의하여 비등되어 발생한 냉각제 증기에 의하여 상기 유통로 내 상기 잔열제거부가 배치된 위치에 포화증기압을 가지는 공간이 형성된다. 보다 구체적으로는, 상기 제1열교환기에 의하여 비등되어 발생한 냉각제 증기에 의하여 상기 유통로 내 상기 잔열제거부가 배치된 위치에 포화증기압을 가지는 공간이 형성되고, 포화증기압을 가지는 공간 상에서 상기 에너지 흡수공간과 연결되는 유통로에 의하여 공급되는 냉각제가 상기 제1열교환기 및 상기 제2열교환기에 분사되어 이상유동 열전달 현상이 발생됨으로써, 이상유동 열전달 현상에 의한 열전달이 더욱 효과적으로 이루어질 수 있게 된다. (이상유동 열전달 원리 및 포화증기압 공간 형성에 대해서는 이후 보다 상세히 설명한다.) 즉 도 4(B)의 경우, 이와 같이 냉각제가 상기 에너지 흡수공간(EAS)에서 상기 에너지 전달공간(ETS)으로 이동하면서, 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열이 상기 에너지 전달공간(ETS) 내 냉각제에 의해 상기 잔열제거부를 통해 외부로 버려짐으로써, 상기 원자로 구동계통의 간접 냉각이 이루어지게 된다.
- [0057] 도 4(C)는 과열이 더 발생되어 도 4(B)와 같은 간접 냉각만으로는 충분한 냉각을 이룰 수 없는 상태에서의 냉각제 이동을 도시한 것이다. 도 4(B)에 도시된 바와 같이 냉각제가 상기 에너지 흡수공간(EAS)에서 상기 에너지 전달공간(ETS)로 이동하면서 원자로 구동계통의 냉각이 수행되는 과정이 지속되면, 시간이 지날수록 상기 에너지 전달공간(ETS) 내의 냉각제 수위는 지속적으로 상승하고, 상기 에너지 흡수공간(EAS) 내의 냉각제 수위는 지속적으로 하강한다. 이 때 상기 에너지 전달공간(ETS) 내의 냉각제 수위가 어느 수준 이상으로 상승하면, 도 4(C)에 도시된 바와 같이 상기 에너지 전달공간(ETS) 내에 있던 냉각제가 마노미터 원리에 의해 상기 에너지 방출공간(ERS)으로 이동하게 된다. 상기 에너지 방출공간(ERS)으로 공급된 냉각제는 상기 원자로 구동계통과 직접적으로 접촉하며, 이에 따라 냉각제가 원자로 구동계통으로부터 열을 직접 흡수할 수 있다. 즉 도 4(C)의 경우,

이와 같이 냉각재가 상기 에너지 전달공간(ETS)에서 상기 에너지 방출공간(ERS)으로 이동하면서, 상기 에너지 방출공간(ERS)으로 공급된 냉각재가 상기 원자로 구동계통과 직접 접촉됨으로써, 상기 원자로 구동계통의 직접 냉각이 이루어지게 된다.

[0058] 상술한 바와 같이 도 4(B), (C) 모두의 경우에 있어서 궁극적으로는, 원자로 구동계통에서 방출되는 열이 냉각재로 전달됨으로써 원자로 구동계통의 냉각이 이루어진다. 이처럼 본 발명에서는, 원자로 구동계통에서의 압력 변화, 냉각재 누출 여부, 또한 이에 따라 변화되는 각 공간들에서의 압력 변화, 냉각재 수위 등과 같은 열수력 조건에 따라서, 원자로 안전계통 내의 냉각재가 각 공간들 사이를 적절하게 이동함으로써 원자로 구동계통의 냉각을 수행하도록 이루어지는 것이다.

[0059] **II. 이상유동 열전달 원리 및 포화증기압 공간 형성 원리**

[0060] 여기에서, 본 발명의 원자로에서는 특히, 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)를 이용하여 열전달이 이루어지도록 한다. 도 5는 본 발명의 원자로에서 사용되는 이상유동 열전달 현상의 원리를 설명하기 위한 도면이다.

[0061] 기존의 대부분의 열교환기에서의 기본적인 열교환 원리는, 외부와 격리된 유로 내에 열교환매체가 통과하도록 형성하고, 유로 벽면을 사이에 두고 유로 내부의 열교환매체가 유로 외부의 다른 열교환매체가 직접 서로 열교환을 함으로써 열전달이 일어나도록 하는 것이다. 즉 예를 들면, 유로 안에 고온의 냉각수가 흐르고 유로 밖에 저온의 공기가 흘러가도록 형성되어, 고온의 냉각수가 가지고 있는 열을 저온의 공기가 흡수하도록 이루어지는 식으로 구성되는 공랭식 열교환기 형태가 가장 널리 사용된다. 또는 다른 예로는, 벽을 사이에 두고 한쪽에는 고온의 오일이 흐르고 다른 쪽에는 저온의 냉각수가 흘러가도록 형성되어, 고온의 오일이 가지고 있는 열을 저온의 냉각수가 흡수하도록 이루어지는 식으로 구성되는 이중 열교환기 형태도 널리 사용된다. 그러나 본 발명에서의 열교환부는 이와는 전혀 상이한 원리에 따라 열교환을 수행한다.

[0062] 도 5에 도시된 바와 같이, 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)을 이용하는 본 발명의 열교환부는, 고온의 열교환매체가 흐르는 방출용 튜브(도 5에서는 좌측 튜브), 저온의 열교환매체가 흐르는 흡수용 튜브(도 5에서는 우측 튜브), 그리고 이 두 튜브들에 다른 열교환매체(도 5에서는 냉각수이나, 물론 다른 액체여도 무방하다)를 분사해 주는 노즐, 이 세 가지를 기본적으로 필요로 한다.

[0063] 방출용 튜브 내에는 고온의 열교환매체가 흘러가고 있으며, 흡수용 튜브 내에는 저온의 열교환매체가 흘러가고 있다. 기존의 열교환기의 경우에는 이러한 두 튜브를 밀착시켜 줌으로써, 튜브 벽면을 통해 고온측에서 저온측으로 열이 전달되도록 하였으나, 이상유동 열전달 현상을 이용하는 본 발명의 열교환부에서는 그렇게 하지 않고 두 튜브를 적절한 간격으로 이격시켜 둔다.

[0064] 노즐은 방출용 튜브 측에 구비되어, 방출용 튜브로 냉각수를 분사해 준다. 냉각수가 분사되어 그 물방울들이 방출용 튜브 외면에 접근 또는 접촉하면, 냉각수 물방울들이 방출용 튜브 내의 고온의 열교환매체가 가지고 있는 열을 순간적으로 흡수하여 빠르게 증발하게 된다. 즉 방출용 튜브 외면에서는 냉각수 물방울들에 의하여 급격하게 많은 양의 증발열이 흡수됨으로써 급랭되는 현상이 일어나며(Tube outside: Quenching), 방출용 튜브 내부에서는 고온의 열교환매체가 냉각수 물방울들의 증발열로서 자신이 가지고 있던 열을 빼앗겨 방출하고 냉각되어 응축되는 현상이 일어난다(Tube inside: Condensation).

[0065] 상술한 바와 같이 방출용 튜브 주변에서 냉각수는 모두 증발하여 증기 상태가 되는데, 이 증기는 방출용 튜브와 이격되어 배치되어 있는 흡수용 튜브와 접촉하게 된다. 이 때 흡수용 튜브에는 저온의 열교환매체가 흐르고 있기 때문에, 증기가 흡수용 튜브 외면에 접근 또는 접촉하면, 증기는 흡수용 튜브 내의 저온의 열교환매체로 순간적으로 열을 빼앗겨 응축됨으로써 흡수용 튜브 외면에 맺히게 된다. 즉 흡수용 튜브 외면에서는 증기가 저온의 열교환매체로 열을 빼앗겨 응축됨으로써 응축수가 되어 튜브 외면에 맺히거나 흘러내리는 현상이 일어나며(Tube outside: Condensing), 흡수용 튜브 내부에서는 저온의 열교환매체가 증기로부터 열을 흡수함으로써 증발되는 현상이 일어난다(Tube inside: Evaporation).

[0066] 이와 같이 이상유동 열전달 현상에서는, 방출용 튜브 및 흡수용 튜브가 서로 이격되어 있되, 노즐에서 분사되는 별도의 열교환매체(도 5의 예시에서는 냉각수)가, 노즐에서 액체 상태로 분사되어 방출용 튜브 근처에서 증발되어 기체 상태가 되었다가 흡수용 튜브 근처에서 응축되어 다시 액체 상태로 되돌아오는 방식으로, 기상 - 액상의 두 상(two-phase)으로 변화해 가면서 열전달을 수행한다. 이러한 이상유동 열전달 방식은 기존의 열전달 방

식에 비하여 훨씬 빠르고 효과적으로 열전달이 이루어지도록 한다는 연구가 최근 발표된 바 있다.

- [0067] 본 발명은 바로 이러한 이상유동 열전달 방식을 이용하여 냉각재의 열흡수가 이루어지도록 함으로써, 기존의 원자로 안전계통에 비하여 훨씬 빠르고 효과적인 냉각을 실현할 수 있는 것이다.
- [0068] 도 6은 본 발명의 원자로의 포화증기압 공간 형성 원리를 도시하고 있다. 도 6에서는, 도 3에 도시된 잔열제거부를 보다 개략적으로 도시하고 있다. 본 발명의 잔열제거부에 구비되는 열교환부는, 도 2에 도시된 기존의 잔열 제거용 열교환기와 비교하였을 때 첫째, 고온유체가 유통되는 유로(도 6에서는 제1열교환기) 외에 저온유체가 유통되는 유로(도 6에서는 제2열교환기) 및 유통로가 더 구비된다는 점, 그리고 둘째, 고온유체가 유통되는 유로를 그 내부에 수용하는 냉각재 수용 구조가 달라진다는 점에 있어서 상이하다.
- [0069] 기본적으로 본 발명의 분사식 열교환기는, 최초에는 도 6(A)에 도시된 바와 같은 상태로 운용될 수 있다. 도 6(A) 상태는 도 5(A) 상태에 해당하는 것으로서, 이 상태에서 제1열교환기에 고온유체가 유통되면, 일단은 도 2에 도시된 기존의 잔열 제거용 열교환기와 유사하게, 고온유체가 유통되는 제1열교환기 주변의 냉각재로 열이 전달되어 냉각재가 비등됨으로써 고온유체의 냉각이 이루어지게 된다.
- [0070] 한편, 기존의 잔열 제거용 열교환기의 경우에는, 도 2에 도시된 바와 같이 냉각재가 수용된 수조가 단순히 상부가 개방된 함체 형태로 이루어지기 때문에, 고온유체가 유통되는 유로 주변에서 냉각재가 비등될 경우 기포는 상승하여 대기 중으로 퍼지게 된다. 그런데 본 발명의 경우 이 냉각재 수용 구조가 기존과는 상이한데, 구체적으로 설명하자면 본 발명의 냉각재 수용 구조는 밀폐용기부와 수조로 이루어지되, 고온유체가 유통되는 제1열교환기가 수용되는 밀폐용기부는 하부가 개방되고 상부가 폐쇄된 형태로 형성되며, 밀폐용기부의 하부에 상부가 개방된 함체 형태의 수조가 구비된다. 즉 기존의 잔열 제거용 열교환기의 수조에 밀폐용기부가 더 구비되는 형태인 것이다. 이 때 도시된 바와 같이, 밀폐용기부에는 최초 상태에서는 내부에 빈 공간이 없이 액체 상태의 냉각재가 가득 채워져 있게 한다.
- [0071] 이러한 상태에서 제1열교환기 주변의 냉각재가 비등되면, (기존에는 기포가 개방되어 있는 상측으로 상승하여 대기 중으로 흩어져 상실될 뿐이었으나) 본 발명에서는 밀폐용기부의 상부가 폐쇄되어 있기 때문에 기포가 상실되지 않고 밀폐용기부 상부에 모이게 된다. 증기의 생성이 계속되면 결국에는 도 6(B)와 같이 밀폐용기부 상부에는 포화증기압을 갖는 증기로 채워지는 공간이 형성된다(첨언하자면, 도 6(B)의 상태는 도 5(B) 상태에 해당한다). 액체 상태의 냉각재는 포화증기압 공간이 형성된 만큼 밀려나며, 즉 도 6(B)의 흐린 화살표로 표시되어 있는 바와 같이 밀폐용기부 내의 수위는 내려가고 밀폐용기부-수조 사이의 수위는 올라가게 된다.
- [0072] 이처럼 냉각재가 증발하여 형성된 증기가 포화증기압을 가지고 가득차 있는 공간에 고온유체가 유통되는 제1열교환기, 저온유체가 유통되는 제2열교환기, 냉각재를 분사하는 유통로가 수용되어 있는 상태에서, 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)에 의하여 제1열교환기 내의 고온유체에서 제2열교환기 내의 저온유체로의 열전달이 이루어질 수 있다.
- [0073] 이상유동 열전달 현상의 원리를 설명한 도 5와 대비하여 볼 때, 도 6에서의 제1열교환기(고온유체 유통)가 도 5에서의 방출용 튜브에 해당하며, 도 6에서의 제2열교환기(저온유체 유통)가 도 5에서의 흡수용 튜브에 해당하고, 도 6에서의 유통로가 도 5에서의 노즐에 해당한다. 즉 도 6과 같은 구조에서는 상술한 바와 같은 이상유동 열전달 원리에 따른 고온유체에서 저온유체로의 열전달이 원활하게 이루어질 수 있다.
- [0074] 이상유동 열전달은 앞서 설명한 바와 같이 냉각재의 증발열 및 응축열을 이용하여 열전달이 일어나도록 하는 것이기 때문에, 일반적인 유체에서의 열전달 즉 대류 열전달에 비해 효율이 비약적으로 높다. 즉 이러한 이상유동 열전달 방식은 기존의 열전달 방식에 비하여 훨씬 빠르고 효과적으로 열전달을 실현할 수 있는 것이다.
- [0075] 한편, 상술한 바와 같이 본 발명의 열교환기에서 사용하는 이상유동 열전달에서는, 유통로(도 5에서의 노즐에 해당)에서 분사된 냉각재가 제1열교환기(도 5에서의 방출용 튜브에 해당) 주변에서 증발하고, 제2열교환기(도 5에서의 흡수용 튜브에 해당) 주변에서 응축되는 현상을 이용하여 열전달이 이루어지는 바, 제1열교환기 및 제2열교환기 주변에 냉각재 증기가 최대한 많이 있을수록 유리하다. 거꾸로 말하면, 제1열교환기 및 제2열교환기 주위에 공기와 같은 비응축 기체 비율이 높을수록 이상유동 열전달 효율이 떨어지게 된다.
- [0076] 그런데 도 6에 도시된 바와 같은 본 발명의 열교환기에서는, 원래 기체가 채워진 공간이 없었던 상태(도 6(A) 상태)에서 냉각재의 비등으로 인하여 기체, 즉 냉각재 증기가 채워진 공간이 생겨나며, 따라서 이 공간은 냉각

재 증기가 포화증기압을 형성하며 가득 차 있는 공간이 된다. 다시 말해 도 6(B) 상태에서, 밀폐용기부 내 액체 상태의 냉각재 수위 상측 공간에 있는 제1열교환기 및 제2열교환기 주변은, 비응축 기체의 비율이 최소화된 상태가 되며, 따라서 도 6(B) 상태에서 이상유동 열전달 효율은 최대화된다.

- [0077] 즉 요약하자면, 본 발명에서는,
- [0078] ■ 최초에는 도 6(A)와 같은 상태 즉 고온유체가 유통되는 제1열교환기가 냉각재에 완전히 잠겨 있는 상태에서, 이 때에는 냉각재의 비등에 의한 고온유체의 냉각이 이루어진다(기존의 잔열 제거용 열교환기와 유사).
- [0079] ■ 냉각재의 비등이 지속되면 냉각재 증기가 밀폐용기부 상부 공간에 채워져서, 도 6(B)와 같이 포화증기압을 갖는 냉각재 증기로 채워진 공간이 형성된다. 이 때에는, 냉각재 증기로 채워진 공간에서는 제1열교환기 - 제2열교환기 간 이상유동 열전달에 의하여 고온유체의 냉각이 이루어진다. 또한 제1열교환기 하측 일부는 액체 상태의 냉각재에 잠겨 있을 수 있는데, 여기에서는 도 6(A)에서와 동일한 원리로 냉각재의 비등에 의한 고온유체의 냉각이 이루어진다.
- [0080] 즉 고온유체의 냉각을 위하여 단순히 냉각재의 비등만을 이용했던 기존의 잔열 제거용 열교환기와는 달리, 본 발명에서는 액체 상태의 냉각재에 담겨 있는 부분에서는 냉각재의 비등을 여전히 이용하고, 증기에 노출되어 있는 부분에서는 이상유동 열전달을 이용하여 냉각을 수행하므로, 기존에 비해 훨씬 향상된 냉각 효율 및 속도를 실현할 수 있다. 뿐만 아니라, 본 발명의 잔열제거부의 구조적 특성상 이상유동 열전달이 일어나는 공간에는 냉각재 증기가 포화된 상태로 채워지기 때문에, 이상유동 열전달이 일어나는 공간에 비응축 기체(공기 등)가 혼합되어 있음으로써 열전달효율이 저하되는 악영향의 원인이 원천적으로 제거되며, 결과적으로 이상유동 열전달 효율이 최대치까지 극대화될 수 있다.

[0081] **III. 원자로의 구체적 구조 및 작동 방법**

[0082] 앞서 도 3 및 4를 통해 본 발명의 원자로의 개념적인 구성 및 원리를 설명하였고(I. 항목 참조), 도 5 및 6을 통해 본 발명의 원자로에서 사용하는 주요 원리들인 이상유동 열전달 원리 및 포화증기압 공간 형성 원리를 설명하였다(II. 항목 참조). 이하에서는 본 발명의 원자로를 보다 구체적이고 상세한 실시예로서 설명한다.

[0083] **[구성의 구체화]**

- [0084] 먼저, 도 3 및 4에 나타난 본 발명의 원자로의 개념적인 구성을 보다 구체화하는 과정을 도 7에 나타내었다.
- [0085] 도 7(A)는 도 3 및 4에 나타난 개념적인 구성과 동일한 도면이다. 실제로 원자로를 건설함에 있어 도 7(A)에 보이는 바와 같은 U자형 구조물 만들기관 용이하지 않다. 따라서 마노미터 및 사이편 원리에 의한 냉각재 이동이 가능하도록 하는 각 공간들(ERS, EAS, ETS)의 연결 관계만을 그대로 두고, 그 형상을 건설이 용이하도록 변경할 필요가 있다. 도 7(B), (C), (D)는 이와 같이 형상을 변경하는 과정을 도시한 것이다.
- [0086] 도 7(B)에서는, 에너지 방출공간(ERS)을 하나의 격납용기로 형성하고, 에너지 전달공간(ETS) 및 에너지 흡수공간(EAS)의 적층체를 다른 하나의 격납용기로 형성하여, 이 두 격납용기들이 나란히 배치되도록 전체적인 형상을 변경한 것이다. 이 때, 도 7(A)의 구조에서 에너지 방출공간(ERS) 및 에너지 흡수공간(EAS) 간의 유통이 가능하도록 격벽 상에 구비시킨 밸브 a를, 도 7(B)의 구조에서는 두 격납용기를 연통하는 통로 형상으로 변경 형성하고 있다(도 7(A)의 a와 상응하는 구조이므로 a'로 표시함). 사이편 구조를 가지며 도 7(A)에서 b로 표시된 유통로는 도 7(B)에서 b'로 표시되었으며, 형상 변경이 없다. 에너지 방출공간(ERS) 및 에너지 전달공간(ETS)을 연결하는 상부라인(c, c') 및 하부라인(d, d') 역시 특별한 변경이 없다.
- [0087] 도 7(C)에서는, 도 7(B)의 형상에서 격납용기 간 연통 통로의 형상과, 사이편 구조로 된 유통로의 형상을 조금 더 변경한다. 격납용기 간 연통 통로는, 도 7(B)에서는 c'로 표시된 바와 같이 별도의 관 형태로 형성되었으나, 도 7(C)에서는 c''로 표시된 바와 같이 격납용기들 간의 틈새를 활용한 형태로 형성되게 한다. 또한, 사이편 구조로 된 유통로의 형상에서, 도 7(B)에서는 b'로 표시된 바와 같이 뒤집힌 U자형 중 한쪽은 에너지 흡수공간(EAS)과 연통되고 다른 한쪽은 에너지 전달공간(ETS)과 연통되도록 형성되었으나, 도 7(C)에서는 b''로 표시된 바와 같이 뒤집힌 U자형 자체의 양측 끝단은 에너지 전달공간(ETS)과 연통되되 뒤집힌 U자형의 일측에 에너지 흡수공간(EAS)과 연통되는 라인이 별도로 연결되게 한다(이와 같이 구성하여도 압력에 의해 낮은 곳의 액체가

높은 곳으로 이동되는 사이펀 원리는 동일하게 작용된다).

[0088] 도 7(D)에서는, 도 7(C)의 형상에서 사이펀 구조로 된 유통로의 형상을 더욱 더 변경한다. 도 7(C)에서는 b''로 표시된 바와 같이 뒤집힌 U자형 구조가 유지되었으나, 실질적으로 낮은 곳(이 경우 에너지 흡수공간(EAS))에서 높은 곳(이 경우 에너지 전달공간(ETS))으로 액체가 이동하는 통로는 별도로 형성된 연통 라인이므로, 굳이 뒤집힌 U자형이 유지될 필요가 없다. 이에 따라 도 7(D)에서는 b'''로 표시된 바와 같이 뒤집힌 U자형을 뒤집힌 용기 형상으로 변경하고 있다.

[0089] 이하 도 8, 9를 참조하여 설명될 본 발명의 원자로의 구체적인 예시는, 도 7(D)의 형상을 기본 형상으로 하게 된다. 도 8은 본 발명의 원자로의 실시예로서, 도 8의 실시예에서 본 발명의 원자로는, 역시 원자로 구동계통 및 원자로 안전계통으로 이루어진다.

[0090] [원자로 구동계통]

[0091] 원자로 구동계통은 원자로노심(151)을 수용하는 원자로용기(152), 증기관(154) 및 급수관(155)이 연결된 증기발생기(153)를 포함하여 이루어지되, 상술한 바와 같이 원자로용기 내에 증기발생기가 구비되는 일체형 형태이어도 되고, 또는 원자로용기 밖에 증기발생기가 구비되는 형태이어도 되는 등, 원자로 구동계통은 도시된 것으로 한정되는 것이 아니라 다른 어떤 형태로 이루어져도 무방하다. 원자로 구동계통의 각부의 동작에 대하여 보다 상세히 설명하면 다음과 같다.

[0092] 상기 원자로노심(151)은 원자로의 중심부로서, 핵연료의 원자핵이 중성자와 결합해 둘로 쪼개지는 핵분열을 일으키며 열에너지가 발생하는 부분이다. 즉 일반적으로 상기 원자로노심(151)이란 바로 원자로의 핵연료인 연료봉 다발을 일컫는다. 또한 일반적으로 상기 원자로노심(151)에는 원자로출력제어봉이 구비되는데, 원자로출력제어봉은 상기 원자로노심(151)에 상하 이동 가능하게 삽입 구비되어 그 삽입 정도에 따라 핵연료의 핵분열 정도를 조절하여 줌으로써, 결과적으로는 상기 원자로(100)의 출력 자체를 제어하는 역할을 하게 된다.

[0093] 상기 원자로용기(152)는 외부와 밀폐되도록 형성되어 상기 원자로노심(151)을 수용한다. 상술한 바와 같이 원자로출력제어봉은 상하 이동이 가능하도록 제어되어야 하기 때문에 일반적으로 상단부 일부가 상기 원자로용기(152)의 외부로 노출되도록 구비되며, 이러한 관점에서 상기 원자로노심(151)은 자연히 상기 원자로용기(152)의 하측에 배치된다. 이 때 상기 원자로용기(152) 내에는 냉각재가 수용되어, 상기 원자로노심(151)에서 발생하는 열에너지가 냉각재에 흡수되도록 한다. 냉각재는 상기 원자로노심(151)에서 발생하는 열에너지를 흡수함으로써 상기 원자로노심(151)을 냉각하는 역할을 할 뿐 아니라, 냉각재가 흡수한 열을 외부로 전달함으로써 궁극적으로 발전이 이루어지도록 하는 냉각재의 역할을 한다(이에 대해서는 이하 증기발생기(153) 부분에서 보다 상세히 설명한다). 냉각재로는 일반적으로 냉각수, 즉 물이 사용되며, 이하 보다 상세히 설명되겠지만 원자로 안전계통이 작동하게 될 때 평상시 폐쇄된 상태로 형성되는 순환 유로가 개방되기도 하는 등 각부에 유통되는 열교환매체들이 섞이게 될 수 있으므로, 원자로 각부 모두에 사용되는 열교환매체 또는 냉각재는 모두 냉각수로 일관되게 사용되는 것이 일반적이다.

[0094] 상기 증기발생기(153)는 열교환기 형태로 형성되어 상기 원자로용기(152) 내부에 구비된다. 상기 증기발생기(153) 내부에는 열교환매체로서 작동하는 냉각재가 유통되며, 상기 증기발생기(153) 주변의 상기 원자로용기(152) 내 냉각재로부터 열을 전달받게 된다. 이에 따라 상기 증기발생기(153) 내부에 유통되는 냉각재는 열을 흡수하여 증발이 일어나게 되고, 이처럼 고온 고압의 기체 상태가 된 냉각재는 증기관(154)으로 배출되어 터빈을 작동시키게 된다. 터빈을 작동시킨 후 응축된 냉각재는 다시 급수관(155)을 통해 상기 증기발생기(153)로 공급됨으로써 순환이 이루어진다. 상기 증기관(154) 및 상기 급수관(155)에는 각각 증기관 격리밸브(154v) 및 급수관 격리밸브(155v)가 구비되어, 비상사태 시에 외부와의 차단이 이루어지도록 한다.

[0095] 이와 같이 정상적인 작동이 이루어지고 있을 때 상기 원자로용기(152) 내부의 냉각재는 자연적으로 순환 대류를 한다. 보다 구체적으로 설명하자면 다음과 같다. 상기 원자로노심(151)에서 발생된 열에너지가 냉각재로 흡수되면, 고온이 된 냉각재는 상승한다. 상기 원자로노심(151)의 상측에 배치된 상기 증기발생기(153)에 고온의 냉각재가 도달하면, 상기 증기발생기(153) 내의 냉각재와 고온의 냉각재가 열교환을 일으키게 된다. 즉 상기 증기발생기(153) 내의 냉각재가 고온의 냉각재로부터 열을 흡수하는 것이다. 따라서 고온의 냉각재는 상기 증기발생기(153)를 지나면서 온도가 떨어지며 따라서 하강이 이루어지게 된다. 이렇게 하강한 냉각재는 다시 상기 원자로노심(151)에서 발생된 열에너지를 흡수하게 되며, 따라서 자연적인 순환 대류가 이루어지게 되는 것이다.

[0096] 위에서 설명한 원자로의 구동계통은 기존의 대형 또는 소형(일체형) 원자로에도 공통적으로 구비되는 사항이다. 상술한 바와 같이 구성된 구동계통이 작동함으로써 원자로에서 전력을 생산하게 되며, 정상 작동 시에는 이러한 구동계통만으로도 작동에 문제가 없다. 그러나 상기 원자로용기(152)에 손상이 발생하여 상기 원자로용기(152) 내 냉각재가 누출되게 되면, 상기 원자로노심(151)에서 발생된 열에너지를 충분한 양의 냉각재로 흡수하지 못하며, 따라서 상기 원자로노심(151) 주변의 온도가 과도하게 상승하여 부품을 녹는 등 더 큰 손상이 발생하게 될 위험이 있다. 원자로의 경우 방사능 누출 등 환경에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 안전성이 그 무엇보다 중요하며, 따라서 상기 원자로용기(152)에 손상이 발생하여 냉각재의 누출이 일어났을 때, 상기 원자로용기(152) 등을 신속하게 냉각해 주는 안전계통의 구비가 필수적이다.

[0097] 이 때 앞서 설명한 바와 같이, 이러한 안전계통이 사람의 조작 등과 같은 별도의 제어 지시를 받아야만 작동하게 될 경우, 원자로 운전자가 자리를 비우거나 또는 그 자신이 상해를 입는 등의 문제로 인하여 사고 발생 시 제때 제어 지시를 내리지 못할 경우 사고 위험성이 엄청나게 확산되게 된다. 또한 전자 제어 등과 같은 자동 제어 동작이 이루어지는 시스템의 경우에도, 원자로 손상으로 인해 발생하는 고열로 인하여 시스템 손상이 발생함으로써 올바르게 동작하지 못할 위험성이 있다. 따라서 원자로 손상 및 냉각재 누출이 발생하였을 때 그 자체의 물리적 환경 변화에 따라 기계적으로 동작이 이루어지는 피동식 안전계통이 구비되는 것이 반드시 필요한 것이다. 물론 종래에도 이러한 피동식 안전계통에 대한 연구가 많이 이루어져 온 바 있다. 그런데 종래의 피동식 안전계통의 경우 다음과 같은 문제점들이 남아 있는 것이 사실이다.

[0098] 먼저, 종래의 피동식 안전계통들은 상당히 부피가 크기 때문에 건설상 또는 경제적 제약이 상당히 높아, 이를 극복하기 위한 설계를 하기 위해 상당한 시간, 인력 등의 자원이 소비되었다. 특히 최근 그 수요가 점차 확대되어 가고 있는 소형 원자로의 경우에는 종래의 피동식 안전계통을 적용할 경우 충분한 냉각 효율을 얻을 수 없어 설계의 난해함이 상승하는 문제가 있었다. 더불어 이에 따라 실제 원자로를 건설하는 과정에서 공간, 재료, 비용 등의 자원이 더욱 낭비되는 것은 물론이고, 건설된 원자로를 운용하는 동안에도 유지 보수 등에 시간, 인력, 비용 등의 자원이 더욱 낭비될 수밖에 없었다.

[0099] 본 발명에서는 이러한 문제를 해소하기 위하여, 하나의 시스템으로서 다양한 원자로 사고 발생 상황에 적절하게 대처할 수 있도록 할 뿐만 아니라, 안전계통(즉 원자로를 냉각하기 위한 장치들)이 완전 피동식으로 이루어져, 운전원의 별도 제어 지시가 전혀 필요하지 않게 이루어짐으로써 원자로 손상 발생 시 신속한 냉각이 이루어질 수 있도록 한다. 특히 본 발명의 원자로는 기존과는 달리 이상유동 열전달 방식을 주로 이용하여 냉각을 수행하며, 또한 사고 발생 시 여러 공간으로 나누어진 격납용기 내에서 냉각재가 적절히 이동되는 과정에서 냉각이 이루어지도록 함으로써, 기존에 비하여 훨씬 신속하면서도 효과적인 냉각을 이룰 수 있다. 뿐만 아니라 본 발명의 구성은 기존의 피동식 안전계통에 비해 훨씬 구성이 단순하여 결과적으로 원자로 부피를 크게 줄일 수 있으며, 따라서 최근 그 수요가 점차 확대되어 가고 있는 소형 원자로에 적용하기에도 매우 적합하다.

[0100] **[원자로 안전계통]**

[0101] 도 8의 실시예에서 상기 원자로 안전계통은, 가장 크게는 제1격납용기(110) 및 제2격납용기(120)로 이루어지며, 여기에 냉각재의 이동을 위하여 격납용기관통관(111), 냉각재주입관(112) 등이 구비되며, 잔열제거를 위한 잔열제거장치(130)가 구비된다.

[0102] 상기 제1격납용기(110)는, 내부의 제1공간(V1)에 기체 및 상기 원자로 구동계통을 수용한다. 즉 상기 제1격납용기(110) 내 공간 즉 상기 제1공간(V1)은, 앞서 설명한 본 발명의 원자로의 개념적 구조(도 3, I. 항목 참조)에서의 에너지 방출공간(ERS)에 해당한다.

[0103] 상기 제2격납용기(120)는, 상기 제1격납용기(110)와 밀접 배치되며 내부에 상하분리격벽(125)이 구비되어 내부 공간이 하부의 제2공간(V2) 및 상부의 제3공간(V3)으로 구분되도록 이루어져 상기 제2공간(V2)에 냉각재를 수용한다. 이 때 상기 제2격납용기(120) 하부의 제2공간(V2)은, 앞서 설명한 본 발명의 원자로의 개념적 구조(도 3, I. 항목 참조)에서의 에너지 흡수공간(EAS)에 해당한다. 또한 상기 제2격납용기(120) 상부의 제3공간(V3)은, 앞서 설명한 본 발명의 원자로의 개념적 구조(도 3, I. 항목 참조)에서의 에너지 전달공간(ETS)에 해당한다. 부가적으로, 상기 상하분리격벽(125)은 수평한 평면으로 이루어질 수도 있으나, 각부 내에 채워지는 냉각수의 수위 밸런스를 고려하여, 도시된 바와 같이 중심부가 우묵하게 파여진 곡면 형상(도 8의 단면도에서는 아래쪽으로 볼록한 곡선 형상으로 나타남)으로 이루어지는 것이 바람직하다.

- [0104] 이와 같이 구성된 본 발명의 원자로에서는, 상기 제1격납용기(110) 및 상기 제2격납용기(120)가 마노미터(manometer) 구조를 형성하고, 상기 냉각재분사관(133) 및 상기 열교환용기(134)는 상기 제3공간(V3) 및 상기 제2공간(V2)을 연통하는 사이펀(siphon) 구조를 형성한다. 또한 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열에 의해 상기 제1공간(V1) 내 압력이 변화함에 따라, 상기 원자로 구동계통의 간접 냉각 또는 직접 냉각이 이루어진다. 보다 구체적으로는, 상기 제2공간(V2) 내 냉각재가 사이펀 원리에 의해 상기 제3공간(V3)으로 공급되고, 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열이 상기 제3공간(V3) 내 냉각재에 의해 상기 잔열제거장치(130)를 통해 외부로 버려짐으로써, 상기 원자로 구동계통의 간접 냉각이 이루어지게 된다. 또는, 상기 제3공간(V3) 내 냉각재가 마노미터 원리에 의해 상기 제1공간(V1)으로 공급되고, 상기 제1공간(V1)으로 공급된 냉각재가 상기 원자로 구동계통과 직접 접촉됨으로써, 상기 원자로 구동계통의 직접 냉각이 이루어지게 된다.
- [0105] 이하에서, 마노미터 원리 또는 사이펀 원리에 의해 냉각재가 원활하게 이동할 수 있도록 하는 구체적인 여러 구성요소들과, 또한 간접 냉각 시 열을 흡수하여 외부로 버릴 때 보다 열교환효율을 향상할 수 있도록 하는 구체적인 여러 구성요소들에 대하여 보다 상세히 설명한다.
- [0106] 상술한 바와 같이 상기 원자로 안전계통을 구성하는 상기 제1격납용기(110) 및 상기 제2격납용기(120)는, 내부에 에너지 방출공간(ERS), 에너지 흡수공간(EAS), 에너지 전달공간(ETS)을 형성하면서, 상기 원자로 구동계통 내의 압력 변화 및 냉각재 누출 여부에 의하여 변화되는 열수력 조건에 따라 상기 원자로 안전계통 내의 냉각재가 선택적으로 유통되어 상기 원자로 구동계통을 냉각하게 된다. 이 때 상기 원자로 안전계통 내의 냉각재가 각 공간들로 원활히 유통될 수 있도록 여러 통로들이 구비되는데, 가장 기본적으로는 격납용기관통관(111), 냉각재 주입관(112)이 구비된다.
- [0107] 상기 격납용기관통관(111)은, 일측 끝단은 상기 제1공간(V1)에 배치되고 타측 끝단은 상기 제2공간(V2)과 연통되며 격납용기관통밸브(111v)가 구비되어 이루어진다. 상기 격납용기관통관(111)은, 앞서 설명한 본 발명의 원자로의 개념적 구조(도 3, I. 항목 참조)에서의 통로에 해당한다. 한편 상기 냉각재주입관(112)은, 일측 끝단은 상기 제3공간(V3)에 배치되고 타측 끝단은 상기 제1공간(V1)과 연통되며 냉각재주입밸브(112v)가 구비되어 이루어진다.
- [0108] 상기 격납용기관통관(111)에 의해 상기 제1공간(V1) - 상기 제2공간(V2) 간의 냉각재 또는 증기의 이동이, 상기 냉각재주입관(112)에 의해 상기 제3공간(V3) - 상기 제1공간(V1) 간의 냉각재 또는 증기의 이동이 이루어진다. (한편 이후 보다 상세히 설명되었으나, 상기 제2공간(V2) - 상기 제3공간(V3) 간의 냉각재 이동은 냉각재분사관(133)에 의해 이루어진다.) 이 때의 냉각재 또는 증기의 이동은 상기 제1, 2, 3공간(V1)(V2)(V3) 내의 냉각재의 상태(액상/기상), 압력차, 수두차 등에 의하여 별도의 제어 장치의 능동적인 동작을 전혀 요하지 않고 자연스럽게 이루어지게 된다. 즉 상기 원자로 구동계통 내의 압력 변화 및 냉각재 누출 여부에 의하여 변화되는 열수력 조건에 따라 상기 원자로 안전계통 내의 냉각재가 선택적으로 유통되어 상기 원자로 구동계통을 냉각하는 동작이 자연스럽게 실현되는 것이다.
- [0109] 상기 잔열제거장치(130)는, 상기 제3공간(V3)에 구비되며 상기 원자로 구동계통과 연결되어 상기 원자로 구동계통에서 방출되는 열을 냉각재로 전달하고 냉각재에 흡수된 열을 외부로 전달한다. 상기 잔열제거장치(130)의 구성을 보다 구체적으로 설명하자면, 상기 잔열제거장치(130)는, 1차열교환기(131), 2차열교환기(132) 냉각재분사관(133), 열교환용기(134), 열교환용기외통(135)을 포함하여 이루어진다.
- [0110] 이 때, 상기 1차열교환기(131) 내를 유통하는 열교환매체의 열에 의해 상기 유통로 내 상기 1차열교환기(131) 주변의 냉각재가 비등되어 냉각재 증기가 발생되고, 냉각재 증기가 상기 유통로를 따라 유통되어 상기 2차열교환기(132)에 접촉되어 상기 2차열교환기(132) 내를 유통하는 열교환매체로 열이 흡수됨으로써 냉각재 증기가 액상으로 응축되는, 이상유동 열전달 현상(two-phase heat transfer mechanism)에 의하여 열전달이 이루어지게 함으로써, 열전달효율을 극대화하도록 이루어진다. 또한, 상기 1차열교환기(131)에 의하여 비등되어 발생된 냉각재 증기에 의하여 상기 열교환용기(134) 내 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 배치된 위치에 포화증기압을 가지는 공간이 형성되게 함으로써, 열전달효율이 더욱 향상되게 할 수 있다.
- [0111] 상기 1차열교환기(131)는, 상기 원자로 구동계통과 연결되어 상기 원자로 구동계통 내의 냉각재를 유통시켜 열을 발산한다. 이 때 상기 1차열교환기(131)는, 앞서 설명한 본 발명의 원자로의 개념적 구조(도 3, 4, I. 항목 참조) 및 본 발명의 주요 원리들(도 5, 6, II. 항목 참조)에서의 제1열교환기 또는 방출용 튜브에 해당한다.

- [0112] 상기 2차열교환기(132)는, 상기 1차열교환기(131)와 밀접 배치되며 잔열 흡수용 냉각재를 유통시켜 열을 흡수한다. 이 때 상기 2차열교환기(132)는, 앞서 설명한 본 발명의 원자로의 개념적 구조(도 3, 4, I. 항목 참조) 및 본 발명의 주요 원리들(도 5, 6, II. 항목 참조)에서의 제2열교환기 또는 흡수용 튜브에 해당한다.
- [0113] 상기 냉각재분사관(133)은, 상기 제2공간(V2)과 연결되어 공급되는 냉각재를 상기 1차열교환기(131)로 분사한다. 이 때 상기 냉각재분사관(133)은, 앞서 설명한 본 발명의 원자로의 개념적 구조(도 3, 4, I. 항목 참조) 및 본 발명의 주요 원리들(도 5, 6, II. 항목 참조)에서의 유통로 또는 노즐에 해당한다.
- [0114] 상기 열교환용기(134)는, 내부에 냉각재가 수용되는 밀폐 용기 형태로 이루어져 상부에 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 수용 배치되며 하부가 상기 제2공간(V2)과 연통되도록 개방 형성되어 이루어진다. 이 때 상기 냉각재분사관(133)은, 앞서 설명한 본 발명의 원자로의 개념적 구조(도 3, 4, I. 항목 참조) 및 본 발명의 주요 원리들(도 6, II. 항목 참조)에서의 밀폐용기부에 해당한다. 더불어 상기 열교환용기(134)에는, 상기 열교환용기(134) 내 압력이 지나치게 상승할 경우 적절하게 증기를 배출하여 과압을 조절해 줄 수 있도록, 도 8에 도시된 바와 같이 열교환용기밸브(134v)가 구비되어 있는 것이 바람직하다.
- [0115] 상기 열교환용기외통(135)은, 상기 열교환용기(134) 하부 끝단이 냉각재에 담겨지는 냉각재 수위를 확보하도록 상기 열교환용기(134)를 둘러싸도록 구비되어 냉각재가 수용 및 유통되도록 이루어진다. 이 때 상기 열교환용기외통(135)은, 앞서 설명한 본 발명의 주요 원리들(도 6, II. 항목 참조)에서의 수조에 해당한다. 다만 도 6에 나타난 수조의 경우 단순히 냉각재를 수용하고 있는 역할을 할 뿐이나, 상기 열교환용기외통(135)의 경우 그 형상적 특징으로 인하여 냉각재의 수위 조절이 더욱 원활하게 이루어질 수 있도록 해 주는 효과가 있다.
- [0116] 상기 열교환용기외통(135)의 구조에 대해 보다 상세히 설명하면 다음과 같다. 상기 열교환용기외통(135)은 기본적으로 상기 열교환용기(134)에 상응하는 형상으로 이루어져 상기 열교환용기(134)를 둘러싸도록 형성된다. 보다 구체적으로는, 상기 열교환용기외통(135)은, 상기 열교환용기외통(135) 내벽 및 상기 열교환용기(134) 외벽 간 간격이 일정 간격을 유지하며 이격되도록 상기 열교환용기(134)보다 크게 형성 및 배치된다. 또한 상기 열교환용기외통(135)은 상부가 개방되고 하부가 폐쇄되어 상부로 냉각재의 유통이 가능하도록 형성된다.
- [0117] 이처럼 상기 열교환용기외통(135)이 상기 열교환용기(134)를 둘러싸고 있음으로써, 상기 열교환용기(134)로부터 배출된 냉각재는, 상기 열교환용기(134)의 외벽 및 상기 열교환용기외통(135)의 내벽 사이의 공간에 맨 먼저 채워지게 된다. 이 때 상기 열교환용기외통(135)의 하부는 폐쇄되어 있기 때문에, 이 공간에 채워진 냉각재의 수위가 상기 열교환용기외통(135)의 개방된 상부까지 높아지기 전까지는, 냉각재는 이 공간에서 빠져나가지 못한다. 즉 상기 열교환용기(134) 내에서 포화증기압 공간이 형성됨에 따라 상기 열교환용기(134)로부터 배출된 냉각재는, 상기 열교환용기(134) 외벽 - 상기 열교환용기외통(135) 내벽 사이의 공간에 고스란히 채워짐으로써, 상기 열교환용기(134) 내 냉각재 수위와의 수두차가 그리 크지 않게 형성될 수 있는, 적절한 냉각재 수위를 확보할 수 있게 된다.
- [0118] 상기 열교환용기외통(135)이 구비되지 않을 경우 상기 열교환용기(134)로부터 배출된 냉각재는 상기 제3공간(V3) 내로 퍼지게 되며, 따라서 냉각재 수위가 그다지 높게 형성되기 어렵다. 상기 열교환용기(134) 하부에 상기 제3공간(V3) 내 공간을 일부 구획하도록 수직격벽 등의 구조물을 세울 수도 있겠으나, 그렇게 한다 해도 상기 제3공간(V3)의 부피를 고려할 때 상기 열교환용기(134)로부터 배출된 냉각재의 절대량 자체가 상당히 모자라기 때문에, 상기 제3공간(V3)으로 흘러나온 냉각재의 수위 및 상기 열교환용기(134) 내 냉각재의 수위 간 수두차가 상당히 크게 형성될 것임이 자명하다. 그런데 이처럼 수두차가 큰 공간들이 서로 연통되어 있을 경우, 이러한 수두차가 유지될 수 있기 위해서는 각 공간들 간의 압력차가 매우 커야 한다. 즉 이처럼 수두차가 큰 환경에서는 상기 열교환용기(134) 내에서 포화증기압 공간이 형성되면서 형성되는 압력으로 냉각재가 배출되는 과정이 원활하게 이루어지지 못할 수도 있다.
- [0119] 그러나 상기 열교환용기외통(135)이 구비될 경우, 상기 열교환용기(134)로부터 배출된 냉각재가 상기 열교환용기(134) - 상기 열교환용기외통(135) 사이 공간에 우선적으로 채워지며, 이 공간은 그 자체의 부피가 그리 크지 않기 때문에 (냉각재가 상기 제3공간(V3)으로 배출되는 경우와 비교하였을 때 상대적으로) 훨씬 적은 양의 냉각재로도 훨씬 높은 수위를 쉽게 달성할 수 있다. 즉, 상기 열교환용기(134) 내 냉각재 수위 및 상기 열교환용기(134) - 상기 열교환용기외통(135) 사이 공간 내 냉각재 수위는 상대적으로 훨씬 적은 수두차를 가지고 균형을 이룰 수 있다. 따라서 상기 열교환용기(134) 내에서 포화증기압 공간 형성 및 냉각재 배출이 보다 안정적이면서도 원활하게 이루어질 수 있는 것이다.

- [0120] 즉, 앞서 설명한 본 발명의 원자로의 개념적 구조(도 3, 4, I. 항목 참조) 및 본 발명의 주요 원리들(도 5, 6, II. 항목 참조)에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 원자로에서는,
- [0121] ■ 상기 1차열교환기(131)에 의하여 비등되어 발생된 냉각재 증기에 의하여 상기 열교환용기(134) 내 상기 1차 열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 배치된 위치에 포화증기압을 가지는 공간이 형성되고,
- [0122] ■ 포화증기압을 가지는 공간 상에서 상기 냉각재분사관(133)에 의하여 공급되는 냉각재가 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)에 분사되어 이상유동 열전달 현상이 발생되도록 이루어진다.
- [0123] 이에 따라 역시 앞서 설명하였던 바와 같이, 이상유동 열전달 원리에 의하여 기존의 원자로 안전계통에 비해 훨씬 신속하고 효과적인 냉각을 실현할 수 있을 뿐만 아니라, 이러한 이상유동 열전달 현상이 항상 포화증기압 공간에서 이루어지도록 함으로써 이상유동 열전달 효율을 최대치까지 극대화시킬 수 있게 된다.
- [0124] **[원자로 안전계통 작동 방법]**
- [0125] 상술한 바와 같은 구성을 가지는, 도 8에 도시된 바와 같은 실시예에 의한 본 발명의 원자로의 작동 방법을 단계별로 구체적으로 설명한다. 도 9은 도 8의 실시예에 따른 본 발명의 원자로의 작동 방법을 단계별로 도시한 것이다.
- [0126] 도 9(A)는 원자로가 정상적으로 작동되고 있을 때의 상태이다. 즉 원자로 구동계통에서 과열이 발생하지 않으므로, 원자로노심(151)에서 발생하는 열은 모두 급수관(155)으로 공급되어 온 증기발생기(153) 내의 냉각재를 증발시키는 데에 사용된다. 또한 증기발생기(153) 내의 증기는 모두 증기관(154)을 통해 배출되어, 외부의 발전기를 회전시켜 전력을 발생시키는 데에 사용된다. 이 경우에는 원자로 안전계통은 작동하지 않고 초기 상태를 유지하고 있는데, 본 발명의 원자로 안전계통에서의 초기 상태는, 상기 제3공간(V3)에 냉각재가 채워져 있고, 또한 상기 잔열제거부(130) 중 상기 열교환용기(134)에 냉각재가 빈 공간 없이 가득 채워져 있는 상태이다.
- [0127] 원자로 안전계통의 작동이 시작된다는 것은 즉 원자로 구동계통을 의도적으로 정지하였거나 또는 사고 등에 의하여 원자로 구동계통이 비정상동작을 하게 되었음을 의미한다. 즉 원자로 안전계통의 작동이 시작되기 전에는 언제나, 상기 원자로 구동계통이 정지되는 단계; 상기 증기관(154)에 구비된 증기관격리밸브(154v) 및 상기 급수관(155)에 구비된 급수관격리밸브(155v)가 폐쇄되는 단계; 를 포함하여 이루어지는 격리 단계가 전체로써 수행된다.
- [0128] 상술한 바와 같이 원자로의 이상 작동 발생 시 원자로노심(151)에서는 과열이 발생하며, 상기 증기발생기(153)와 외부 장치(전력 발생 장치)들 간에 격리가 수행되면 상기 증기발생기(153) 및 원자로용기(152) 내의 냉각재가 급격하게 증발한다. 또한 원자로용기(152)의 손상이 발생하여 냉각재가 누출된 경우, 상기 제1공간(V1) 내로 누출된 냉각재 역시 급격하게 증발하여 다량의 증기가 발생된다. 이렇게 발생된 증기가 유발한 원자로 구동계통 내의 압력 변화에 의하여, 상기 원자로 안전계통 내의 냉각재의 이동이 시작된다. 도 9(B)는, 상술한 바와 같이 원자로 구동계통 내 압력 변화에 의하여 원자로 안전계통 내 냉각재가 이동됨으로써 원자로의 냉각이 이루어지고 있는 상태를 도시한 것이다. 도 9(B)에 보이는 바와 같은 상태에서 원자로 안전계통의 작동은, 1차열교환기 순환단계와, 포화증기압공간 형성단계와, 이상유동 열전달단계와, 잔열제거단계를 포함하여 이루어진다.
- [0129] 1차열교환기 순환단계는 다음과 같은 순서로 이루어진다. 먼저 상기 원자로 구동계통 내 냉각재가 증발되어 생성된 증기가 상기 1차열교환기(131)로 유입된다. 다음으로, 상기 1차열교환기(131)로 유입된 증기가 상기 1차열교환기(131)를 통과하며 응축되어 냉각재가 생성되고, 생성된 냉각재가 상기 원자로용기(152)로 재유입되어 순환이 이루어지게 된다. 도 8의 실시예에서는 상기 1차열교환기(131)가 원자로 구동계통 중 증기발생기(153)와 연결되어 있는 것으로 도시되어 있으며, 즉 이 경우에는 상기 1차열교환기(131)로는 상기 증기발생기(153) 내 증기가 유입되게 될 것이다. 한편 상기 1차열교환기(131)로 연결되는 유로에 상기 원자로용기(152) 또는 상기 제1공간(V1)과 연통되는 유로가 구비되도록 할 수도 있다. 이 경우, 상기 1차열교환기(131)로는 상기 증기발생기(153) 내 증기 뿐 아니라 상기 원자로용기(152) 내 증기 또는 상기 제1공간(V1) 내 증기도 유통되어 냉각되도록 할 수 있다.
- [0130] 상기 제1열교환기(131) 내로 고온의 증기가 유입되면, 상기 제1열교환기(131) 주변의 냉각재와 고온의 증기가

열교환함으로써 1차적으로 증기가 냉각된다. 이는 도 2에 나타난 바와 같은 기존의 잔열 제거용 열교환기에서의 냉각 방법에 해당한다. 그런데, 이러한 기존의 방법으로는 충분히 신속하게 대량의 증기를 냉각할 수 없기 때문에, 본 발명에서는 이상유동 열전달 원리를 이용하여 증기를 냉각한다(이상유동 열전달단계). 더불어, 이상유동 열전달 효율을 더욱 극대화하기 위해 포화증기압 공간을 형성하도록 장치가 이루어진다(포화증기압공간 형성단계). 이 단계들에 대하여 설명하면 다음과 같다.

[0131] 포화증기압공간 형성단계는 다음과 같은 순서로 이루어진다. 먼저 상기 1차열교환기 순환단계에서 설명하였듯이 상기 1차열교환기(131)로 증기가 유입되면, 상기 열교환용기(134) 내에 수용된 냉각재가 상기 1차열교환기(131)로 유입된 증기와 열교환하여 가열 및 비등된다(물론 이 단계에서도 증기는 계속 냉각이 이루어지고 있다). 이와 같이 상기 1차열교환기(131) 주변에서 냉각재가 비등되어 생성된 증기는 기포 형태로 형성되어, 밀도차에 의해 상기 열교환용기(134) 상부에 모이게 된다. 시간이 지남에 따라 기포가 모이는 양이 많아지면, 결국 이 기포들은 상기 열교환용기(134) 상부에 포화증기압을 가지는 공간을 형성하게 된다. 더욱 시간이 지남에 따라, 이처럼 기포들이 모여 이루어진 포화증기압 공간이 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)가 배치된 위치까지 확장된다. 이 시점에서, 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)는 냉각재 증기가 포화되어 있는 공간 상에 배치된 상태가 되며, 즉 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132) 주변 공간 내에는 비응축기체가 없게 된다.

[0132] 이상유동 열전달단계는 다음과 같은 순서로 이루어진다. 상술한 바와 같이 포화증기압 공간이 형성된 상태에서, 먼저 상기 냉각재분사관(133)에 의해 공급된 냉각재가 상기 1차열교환기(131) 외면으로 분사되어 접촉된다. 도 5, II. 항목을 참조하면, 상기 냉각재분사관(133)은 도 5의 노즐에 해당하고, 상기 1차열교환기(131)는 도 5의 방출용 튜브에 해당한다. 그러면, 상기 1차열교환기(131) 외면에 접촉된 냉각재가 상기 1차열교환기(131) 내의 증기로부터 열을 흡수하여 증발하고, 상기 1차열교환기(131) 내의 증기가 응축되어 냉각재가 생성된다. 다음으로, 상기 1차열교환기(131) 외면에서 증발되어 생성된 증기가 상기 2차열교환기(132) 외면에 접촉된다. 도 5, II. 항목을 참조하면, 상기 2차열교환기(132)는 도 5의 흡수용 튜브에 해당한다. 상기 2차열교환기(132) 외면에 접촉된 증기가 상기 2차열교환기(132) 내의 냉각재로 열을 방출하여 냉각재로 응축되고, 상기 2차열교환기(132) 내의 냉각재가 증발되어 증기가 생성된다.

[0133] 이처럼 본 발명의 원자로 안전계통에서는, 이상유동 열전달 원리를 이용하여 냉각을 수행하기 때문에, 기존의 일반적인 열교환 원리에 의한 냉각에 비해 훨씬 신속하고 고효율의 냉각을 수행할 수 있는 큰 장점이 있다. 뿐만 아니라 본 발명은 다음과 같은 장점도 있다. 이러한 이상유동 열전달 원리에 의한 열전달에 있어서 공간 내 비응축기체의 비율이 높을수록 열전달효율이 떨어지게 되는데, 앞서 설명한 바와 같이 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)는 포화증기압 형성단계에 의해 자연스럽게 만들어진 냉각재 증기로 포화된 공간(즉 포화증기압 공간) 내에 배치되어 있으므로, 이러한 이상유동 열전달 효율이 극대화되는 것이다.

[0134] 잔열제거단계는 다음과 같은 순서로 이루어진다. 상기 2차열교환기(132) 내의 냉각재는 상기 1차열교환기(132) 내를 지나는 증기와 이상유동 열전달 원리에 의한 열교환을 함으로써 열을 흡수하여 증기가 된다. 이 증기가 가진 열을 외부로 버림으로써 최종적으로 잔열을 제거한다. 구체적으로는, 먼저 상기 2차열교환기(132) 내 증기가 외부로 방출되거나 또는 외부의 별도 열교환기로 유입되게 하고, 다음으로 상기 2차열교환기(132)로 외부 냉각재가 유입되거나 또는 외부의 별도 열교환기에서 응축되어 생성된 냉각재가 재유입되어 순환됨으로써 잔열 제거가 수행될 수 있다.

[0135] 도 3 또는 도 8 등의 예시에서, 본 발명의 원자로를 상기 제1격납용기(110) 및 상기 제2격납용기(120)가 수면 아래 배치되도록 형성되는 것으로 나타나 있다. 즉 본 발명의 원자로를 해수나 저수장과 같은, 무한대에 가까운 열용량을 가진 히트 싱크(heat sink) 내에 직접 설치할 수 있는 것이다. 이러한 경우, 상기 2차열교환기(132)의 유입단 및 배출단을 해수 또는 저수장 물이 채워져 있는 공간으로 직접 열려 있게 형성할 수 있다. 그러면, 상기 2차열교환기(132) 내 증기는 배출단을 통해 기포 형태로 방출됨으로써 편리하게 열을 버릴 수 있으며, 상기 2차열교환기(132)에서 증기가 배출되는 만큼 유입단을 통해 상기 2차열교환기(132)로 해수 또는 저수장 물이 유입되어 들어옴으로써 새롭게 열교환을 할 수 있다.

[0136] 물론, 도면 상에는 나타나지 않았으나, 앞서 설명한 바와 같이 상기 2차열교환기(132)가 외부의 별도 열교환기와 연결되어 있도록 할 수도 있다. 이 때에는 외부의 별도 열교환기가 해수나 저수장과 같은 히트 싱크에 구비되도록 한다. 이 경우, 상기 2차열교환기(132) 내 증기는 배출단을 통해 외부의 별도 열교환기로 유입되며, 별도 열교환기가 히트 싱크로 열을 버림으로써 증기가 냉각되어 액상의 냉각재로 응축되고, 이와 같이 응축된 냉각재가 상기 2차열교환기(132) 유입단을 통해 재유입되어 순환함으로써 잔열 제거가 이루어지게 된다.

- [0137] 앞서, 본 발명의 원자로에서는 원자로 구동계통에서 발생된 과열로 인한 증기가 상기 1차열교환기(131)로 유입되어, 상기 냉각재분사관(133)을 통해 공급되는 냉각재의 분사에 의한 1차열교환기(131)-2차열교환기(132) 간 이상유동 열전달을 통해, 냉각 및 응축되어 원자로 구동계통으로 되돌아가 순환이 이루어지는 동작을 설명하였다. 이 때 상기 냉각재분사관(133)을 통해 공급되는 냉각재는, 물론 외부에서 별도 공급해 주는 냉각재일 수도 있다. 그러나 보다 장치 구성 및 운용을 간편하게 하고, 또한 별도 제어 지시 없이 완전 피동식 동작이 이루어질 수 있도록 하기 위해, 상기 냉각재분사관(133)을 통해 냉각재가 공급되는 동작 역시 열수력조건의 변화에 따라 자연스럽게 일어나도록 하는 것이 바람직하다. 이와 같이 하기 위해서, 상기 원자로 안전계통은 증기우회관(114) 및 원자로용기안전밸브(157)를 더 포함하여 이루어질 수 있다.
- [0138] 상기 증기우회관(114)은, 일측 끝단이 상기 원자로 구동계통 내 상기 증기발생기(153)에서 상기 1차열교환기(131)로 냉각재를 유입시키는 유로 상에 연결되고, 타측 끝단이 상기 격납용기관통관(111)에 연결되어 구비되며, 상기 증기우회관(114)에는 증기우회밸브(114v)가 구비된다. 상기 증기우회관(114)이 없다면 상기 증기발생기(153) 내의 냉각재 증기는 모두 상기 1차열교환기(131)로 유통되어 냉각에 이용되었으나, 원자로 작동 이상이 발생한 경우에는 원자로 내 온도가 매우 급격히 상승하며, 이에 따라 상기 증기발생기(153) 내의 냉각재의 증발 속도 및 증기 발생량 또한 급격하게 증가하기 때문에 상기 증기발생기(153) 및 상기 1차열교환기(131) 내 압력이 지나치게 높아질 위험성이 있다. 이러한 경우 상기 증기우회관(114)을 통해 상기 증기발생기(153) 내 증기를 상기 격납용기관통관(111)을 통해 우회시켜 상기 제2공간(V2)으로 유통시켜 주면, 상기 증기우회관(114)으로 우회된 증기는 상기 제2공간(V2) 내 압력을 가압하는 역할을 하게 된다.
- [0139] 상기 원자로용기안전밸브(157)는, 도시된 바와 같이 상기 원자로용기(152)에 구비되어 상기 원자로용기(152) 내 증기를 상기 제1공간(V1) 또는 상기 격납용기관통관(111)으로 배출시키는 역할을 한다.
- [0140] 이하에서, 열수력조건의 변화에 의하여 상기 냉각재분사관(133)으로 냉각재가 공급되는 냉각재가압분사단계를 구체적으로 설명한다. 첨언하자면, 상술한 바와 같이 상기 증기우회관(114) 및 상기 원자로용기안전밸브(157)를 더 구비하였을 때, 상기 냉각재가압분사단계가 보다 원활히 이루어질 수 있으나, 상기 증기우회관(114) 및 상기 원자로용기안전밸브(157)가 없는 경우에도 이하 설명될 냉각재가압분사단계가 실현되는 데에는 큰 문제가 없다. 즉 상기 증기우회관(114) 및 상기 원자로용기안전밸브(157)는, 구비되면 더 좋지만 구비되지 않는다 해도 냉각재가압분사단계를 수행하는 데에 큰 문제는 없다.
- [0141] 냉각재가압분사단계는 다음과 같은 순서로 이루어진다. 먼저, 상기 원자로 구동계통 내에서 발생된 증기가, 상기 격납용기관통밸브(111v)의 개방, 상기 증기우회밸브(114v)의 개방 또는 상기 원자로용기안전밸브(157)의 개방 중 선택되는 적어도 하나의 동작을 통해 상기 격납용기관통관(111)으로 유입된다. 즉 상기 증기우회관(114)이나 상기 원자로용기안전밸브(157)가 구비되지 않는다 하더라도, 상기 원자로용기(152)로부터 상기 제1공간(V1)으로 냉각재가 누출되었을 경우에는, 상기 제1공간(V1)으로 누출된 냉각재가 급격하게 증발하여 상기 제1공간(V1) 내 압력을 급격히 상승시키기 때문에, 압력에 의해 자연히 상기 격납용기관통밸브(111v)가 개방되어 상기 격납용기관통관(111)을 통해 상기 제1공간(V1)에서 상기 제2공간(V2)으로 증기가 흘러들어가서 상기 제2공간(V2)을 가압하게 된다. 물론 이 때, 상기 격납용기관통밸브(111v)는 상기 제1공간(V1)으로부터 상기 제2공간(V2)으로의 흐름만을 허용하는 체크밸브 형태인 것이 바람직하다.
- [0142] 한편, 원자로 작동 이상이 발생했다 하더라도 상기 원자로용기(152)로부터 상기 제1공간(V1)으로 냉각재가 누출되지 않았을 경우에는, 상기 증기우회관(114)이나 상기 원자로용기안전밸브(157) 없이는 상기 제2공간(V2)의 가압이 이루어지지 않는다. 이 때, 상기 증기우회관(114)은 상기 격납용기관통관(111)에 연결되어 있으므로, 상기 증기우회관(114)이 구비될 경우 상기 증기발생기(153) 내 증기가 상기 격납용기관통관(111)을 통해 상기 제2공간(V2)으로 유입되어 원활한 가압이 이루어질 수 있다. 또한, 상기 원자로용기안전밸브(157)는 도시된 바와 같이 증기를 상기 제1공간(V1)으로 배출시키거나 또는 상기 격납용기관통관(111)으로 배출시키도록 되어 있으므로, 증기가 상기 제1공간(V1)으로 배출될 경우 냉각재 누출 시와 같은 원리로 상기 격납용기관통관(111)을 통해 상기 제2공간(V2)으로 흘러가고, 증기가 상기 격납용기관통관(111)으로 배출될 경우 증기는 역시 자연히 상기 제2공간(V2)으로 흘러가게 된다.
- [0143] 이와 같이 증기가 상기 격납용기관통밸브(111v)의 개방, 상기 증기우회밸브(114v)의 개방 또는 상기 원자로용기안전밸브(157)의 개방 중 선택되는 적어도 하나의 동작을 통해 상기 격납용기관통관(111)으로 유입되면, 상기 격납용기관통관(111)을 통해 유입된 증기로 인한 가압에 의하여 상기 제2공간(V2)의 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)으로 유입된다. 이와 같이 상기 냉각재분사관(133)으로 냉각재가 유입되면, 냉각재분사밸브(133v)가 압

력에 의해 개방되어, 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)을 통해 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)로 분사가 이루어져, 앞서 설명한 이상유동 열전달단계가 수행된다.

[0144] 앞서도 설명하였던 바와 같이, 상기 냉각재분사관(133)으로 공급되는 냉각재가 반드시 상기 원자로 안전계통 어딘가에 수용되어 있던 냉각재여야 하는 것은 아니고, 또한 냉각재의 공급 동작이 별도의 제어 지시에 따라 이루어져도 된다. 그러나 본 발명에서, 특히 상기 냉각재 가압분사단계가 수행될 경우, 상기 냉각재분사관(133)으로 공급되는 냉각재는 상기 제2공간(V2)에 수용되어 있던 냉각재이며, 또한 이 공급 동작은 원자로 과열에 의하여 발생된 원자로 구동계통에서의 압력 변화로 말미암아 일어난다. 즉 이 경우 별도의 냉각재 공급이나 능동적인 제어 지시 등이 불필요하며, 따라서 운용 상의 편리함이나 즉각적인 상황 대처 민감성이 훨씬 향상되는 것이다.

[0145] 이와 같이, 본 발명의 원자로에서는 정상시에 도 9(A)와 같은 상태를 유지하고 있다가 원자로 과열 발생 시 도 9(B)와 같은 상태로 변화함으로써, 압력 및 열수력 조건의 변화에 따른 자연스러운 냉각재의 이동을 통해 원자로 구동계통의 냉각이 이루어진다. 좀더 구체적으로는, 냉각재가 증기 상태로 제3공간(V3) 내의 잔열제거장치(130)로 이동함으로써 제1공간(V1)의 열을 버리고, 또한 제2공간(V2)의 냉각재가 제3공간(V3)으로 이동함으로써 열전달이 원활하게 이루어지게 하는 것이다.

[0146] 이처럼 제2공간(V2)의 냉각재가 제3공간(V3)으로 계속 이동함으로써 냉각이 수행되는데, 시간이 지남에 따라 최종적으로는 제2공간(V2)의 냉각재가 모두 제3공간(V3)으로 이동되어 버리게 된다. 이 때 냉각 동작이 중단되어 버리지 않도록, 본 발명의 원자로에서는 이와 같은 상태가 되기 전에 냉각재의 또다른 이동이 일어나도록 하며, 이 과정에서 원자로 구동계통의 직접 냉각이 더 이루어지게 한다. 도 9(C)가 바로 이러한 원자로 구동계통이 직접 냉각되는 상태를 도시하고 있다.

[0147] 냉각재 직접냉각단계는 다음과 같은 순서로 이루어진다. 먼저 상기 이상유동 열전달단계에 의하여 상기 2차열교환기(132) 표면에서 응축되어 생성된 냉각재가 상기 열교환용기(134) 하부를 통하여 상기 제3공간(V3)으로 배출되어 수용된다(물론 상기 포화증기압공간 형성단계에서 상기 열교환용기(134) 상부에 포화증기로 가득한 공간이 형성됨에 따라 그 부피만큼 밀려난 냉각재도 상기 열교환용기(134) 하부를 통해 함께 배출됨은 당연하다). 즉, 상기 냉각재분사관(133)을 통해 상기 열교환용기(134) 내로 유입된 냉각재는, 증발 및 응축하면서 이상유동 열전달에 이용된 후 최종적으로는 응축되어 액상의 냉각재 상태로서 상기 제3공간(V3)에 채워지게 되는 것이다.

[0148] 이와 같이 상기 제3공간(V3)에 냉각재가 채워지면서 상기 제3공간(V3) 내의 냉각재 수위가 상승되면, 상기 제3공간(V3) 내 빈 공간의 압력이 점차로 커지게 된다. 즉 원자로 과열 발생 초반에는 상기 제1공간(V1)의 압력이 가장 높고 상대적으로 상기 제3공간(V3)의 압력은 낮은 상태이나, 시간이 지남에 따라 원자로가 어느 정도 냉각되면서 상기 제1공간(V1)의 압력은 점차로 낮아지고, 상기 제3공간(V3) 내 냉각재 수위의 상승으로 인하여 상기 제3공간(V3) 내 압력은 점차로 높아지게 된다.

[0149] 더불어 상기 원자로 안전계통에는, 일측 끝단은 상기 제1공간(V1) 상부와 연통되고 타측 끝단은 상기 제3공간 상부와 연통되는 증기방출관(113)이 더 포함될 수 있다. 상기 증기방출관(113)에는 증기방출밸브(113v)가 구비되며, 상기 증기방출밸브(113v)가 개방 시, 상기 제3공간(V3) 내 압력을 가압하도록, 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제3공간(V3)으로 유통시킨다. 즉 상기 제1공간(V1) 내 압력 증가 시 상기 증기방출밸브(113v)가 개방되는데, 그러면 상기 제1공간(V1) 내 증기 일부가 상기 제3공간(V3)으로 직접 유입되며, 이 역시 상기 제1공간(V1)의 압력을 낮추고 동시에 상기 제3공간(V3)의 압력을 높이는 역할을 한다. 이와 같은 과정이 지속되면 어느 임계 시점에 도달하였을 때 상기 제1공간(V1) 및 상기 제3공간(V3) 내의 압력이 균형을 이루게 된다.

[0150] 이와 같이 상기 제1공간(V1) 및 상기 제3공간(V3) 내의 압력이 균형을 이루면, 이제는 상대적으로 낮은 위치에 있는 상기 제1공간(V1)에 비해 상대적으로 높은 위치에 있는 상기 제3공간(V3) 내에 있는 냉각재의 수두차가 동작 발생 요인이 된다. 즉 이 상태가 되면 상기 냉각재주입밸브(112v)가 상기 제1공간(V1) 및 상기 제3공간(V3) 간의 수두차에 의하여 개방되어, 상기 제3공간(V3)에 수용된 냉각재가 상기 냉각재주입관(112)으로 유입되는 것이다. 이처럼 상기 냉각재주입관(112)을 통해 상기 제1공간(V1)으로 유입된 냉각재는, 도 9(C)에 도시된 바와 같이 상기 원자로용기(152)에 직접 접촉하여 냉각을 수행한다.

[0151] 즉, 원자로 과열 발생 초반에는 도 9(B)와 같은 상태가 됨으로써, 원자로 구동계통 내 냉각재가 잔열제거장치(130)로 이동하여 이상유동 열전달에 의해 열을 버리고 다시 원자로 구동계통으로 돌아와 순환함으로써 간접 냉각이 이루어지고, 어느 정도 시간이 지난 후에는 도 9(C)와 같은 상태가 됨으로써 냉각재가 원자로용기(152)의

외면에 직접 접촉하여 직접 냉각이 이루어지게 된다.

[0152] 이처럼 냉각재가 원자로용기(152)의 외면에 직접 접촉하면, 냉각재가 원자로용기(152)로부터 열을 흡수하여 증발하게 되며, 이 증기가 상기 제1공간(V1) 내에 채워짐에 따라 상기 제1공간(V1) 내 압력이 다시 상승한다. 앞서 설명한 바와 같이 상기 제1공간(V1) 및 상기 제3공간(V3) 내 압력 균형이 이루어지면 상기 제3공간(V3)에 채워져 있던 냉각재가 상기 제1공간(V1)으로 흘러들어오게 되는 것인데, 이처럼 상기 제3공간(V3)의 냉각재가 상기 제1공간(V1)으로 흘러들어옴으로써 수두차가 줄어들고 동시에 상기 제1공간(V1) 내 압력이 다시 높아지면, 자연히 냉각재 직접냉각단계가 중단된다. 또한, 이러한 과정에서 상기 제2공간(V2)에 채워져 있던 냉각재는 (간접 냉각 과정에서) 상기 제3공간(V3) - (직접 냉각 과정에서) 상기 제1공간(V1)으로 순차적으로 이동하여 결국 냉각재 수위가 낮아지며, 반면 상기 제1공간(V1) 내 냉각재 수위는 높아진다. 따라서 어느 임계 시점을 지나면 상기 제1공간(V1) 및 상기 제2공간(V2) 내 냉각재 수두차에 의해 상기 제1공간(V1)의 냉각재가 상기 격납용기 관통관(111)을 통해 상기 제2공간(V2)으로 흘러들어가, 상기 제2공간(V2)이 다시 어느 정도 채워지게 된다.

[0153] 이와 같은 상태는 원자로 과열 방생 초기 상태에 가까운 상태이다. 따라서 상기 제1공간(V1) 내 압력에 의해 상기 제2공간(V2) 내 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)을 통해 상기 잔열제거장치(130)로 공급되고, 공급된 냉각재를 이용한 1차열교환기(131) - 2차열교환기(132) 간 이상유동 열전달에 의해 원자로 구동계통이 간접 냉각되는 과정 즉 도 9(B)의 과정이 반복된다. 물론, 이 도 9(B)의 과정이 진행됨에 따라 다시 도 9(C)의 상태에 가까워지면 또다시 냉각재의 직접 냉각 과정이 이루어지며, 압력 및 열수력 조건의 변화에 따라 도 9(B) - 도 9(C)의 과정이 반복적으로 교차 수행되면서 원자로에서 발생된 과열이 완전히 제거될 수 있게 된다.

[0154] 이러한 도 9(B) - 도 9(C) 상태의 반복적 교차가 보다 원활하게 일어날 수 있도록, 상기 원자로 안전계통은 격납용기감압관(115)을 더 구비할 수 있다. 상기 격납용기감압관(115)은, 일측 끝단이 상기 제1공간(V1) 하부와 연통되고, 타측 끝단이 상기 제2공간(V2) 하부와 연통되도록 구비되며, 또한 격납용기감압밸브(115v)가 구비된다. 상기 격납용기감압관(115)은 상기 제1공간(V1) 내 압력을 감압하도록 상기 제1공간(V1) 내 증기를 상기 제2공간(V2)으로 유통시키는 역할을 하는데, 이 때 상기 원자로의 작동 방법은 냉각재 재가압분사단계를 더 포함하여 이루어질 수 있다.

[0155] 냉각재 재가압분사단계는 다음과 같은 순서로 이루어진다. 먼저 상기 냉각재 직접냉각단계 이후에, 상기 제1공간(V1)으로 유입되어 상기 원자로용기(152)에 직접 접촉된 냉각재가 상기 원자로용기(152)로부터 열을 흡수하여 증발되어 증기가 발생된다. 상기 원자로용기(152)로부터 열을 흡수하여 발생된 증기가 상기 제1공간(V1)에 채워져 상기 제1공간(V1) 내 압력이 상승한다. 그러면 상기 격납용기감압밸브(115v)가 압력에 의해 개방되어, 제1공간(V1) 내 증기가 상기 격납용기감압관(115)을 통해 상기 제2공간(V2)으로 유입된다. 상기 격납용기감압관(115)을 통해 유입된 증기로 인한 가압에 의하여 상기 제2공간(V2)의 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)으로 유입되면, 냉각재분사밸브(133v)가 압력에 의해 개방되어, 냉각재가 상기 냉각재분사관(133)을 통해 상기 1차열교환기(131) 및 상기 2차열교환기(132)로 분사됨으로써 이상유동 열전달단계가 다시 수행될 수 있게 된다.

[0156] 부가적으로 상기 원자로용기(152)에는 냉각재를 보충해 주는 냉각재보충관(156)이 더 구비될 수 있다. 상술한 바와 같은 냉각 과정에서, 상기 원자로용기(152) 내의 냉각재는 상기 원자로용기(152)로부터 누출된 후 냉각 동작을 위해 원자로 안전계통 내 여러 장치들을 순환하게 되는데, 다시 말해 결국 상기 원자로용기(152) 내 냉각재는 점점 줄어들기만 하게 된다. 상기 냉각재보충관(156)은, 상기 원자로용기(152)에 연결되어 외부로부터 냉각재를 공급받아 상기 원자로용기(152) 내로 냉각재를 보충 공급하여 준다. 즉 상기 냉각재보충관(156)이 구비될 경우, 상기 냉각재보충관(156)을 통해 외부로부터 공급된 냉각재가 상기 원자로용기(152) 내로 보충되는 냉각재 보충단계가 수행될 수 있다.

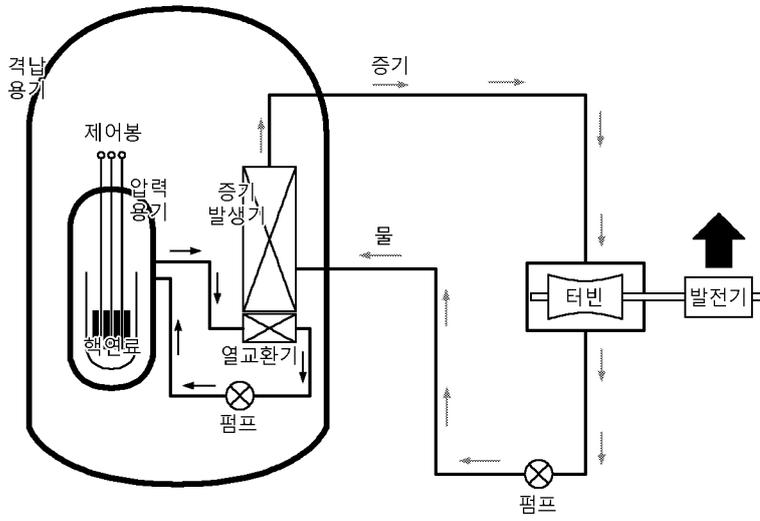
[0157] [원자로 설치]

[0158] 도 8, 9로 설명된 본 발명의 원자로는 해저에 설치되도록 할 수도 있으며, 또는 육상에 설치되도록 할 수도 있다. 해저에 설치되도록 하는 경우 앞서 도면의 예시와 함께 설명한 바와 같이 상기 2차열교환기(132)의 양단이 해수를 향해 열려 있음으로써 외부의 냉각재가 원활히 유통되게 할 수 있으며, 육상에 설치할 경우에는 외부에 별도의 열교환기를 연결하여 냉각재의 유통이 이루어지게 할 수 있다.

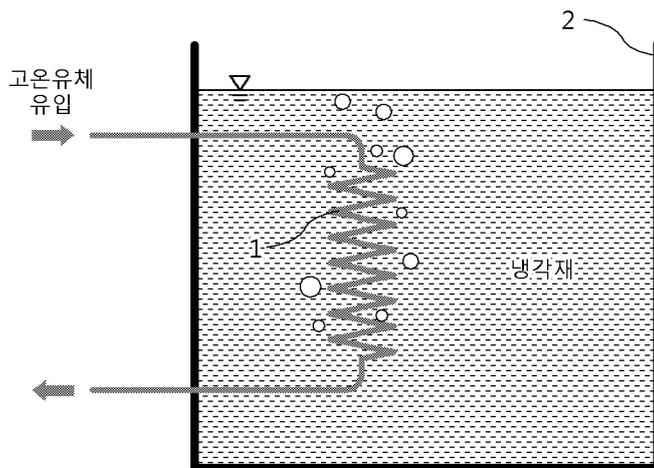
[0159] 도 8, 9에 나타나는 실시예에 따른 본 발명의 원자로는, 구조적으로 매우 안정적이며 또한 경제적인 부피를 가지는 형상으로 되어 있으므로 육상이나 해저 어디에든 설치될 수 있다. 한편 해저에 설치되는 원자로의 경우,

도면

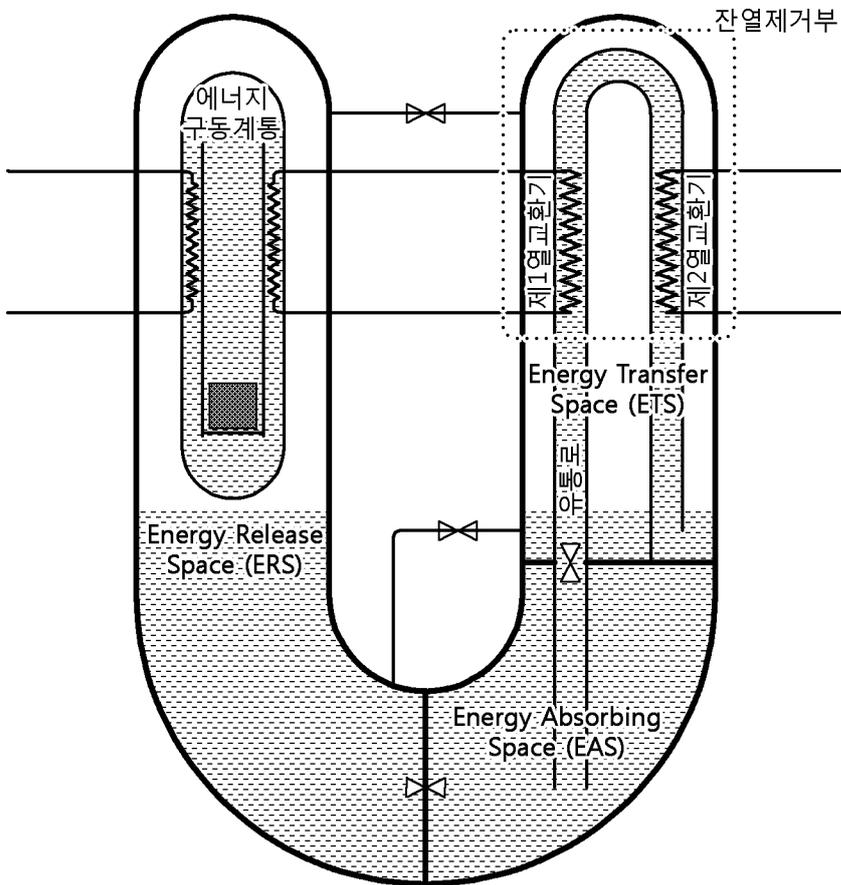
도면1



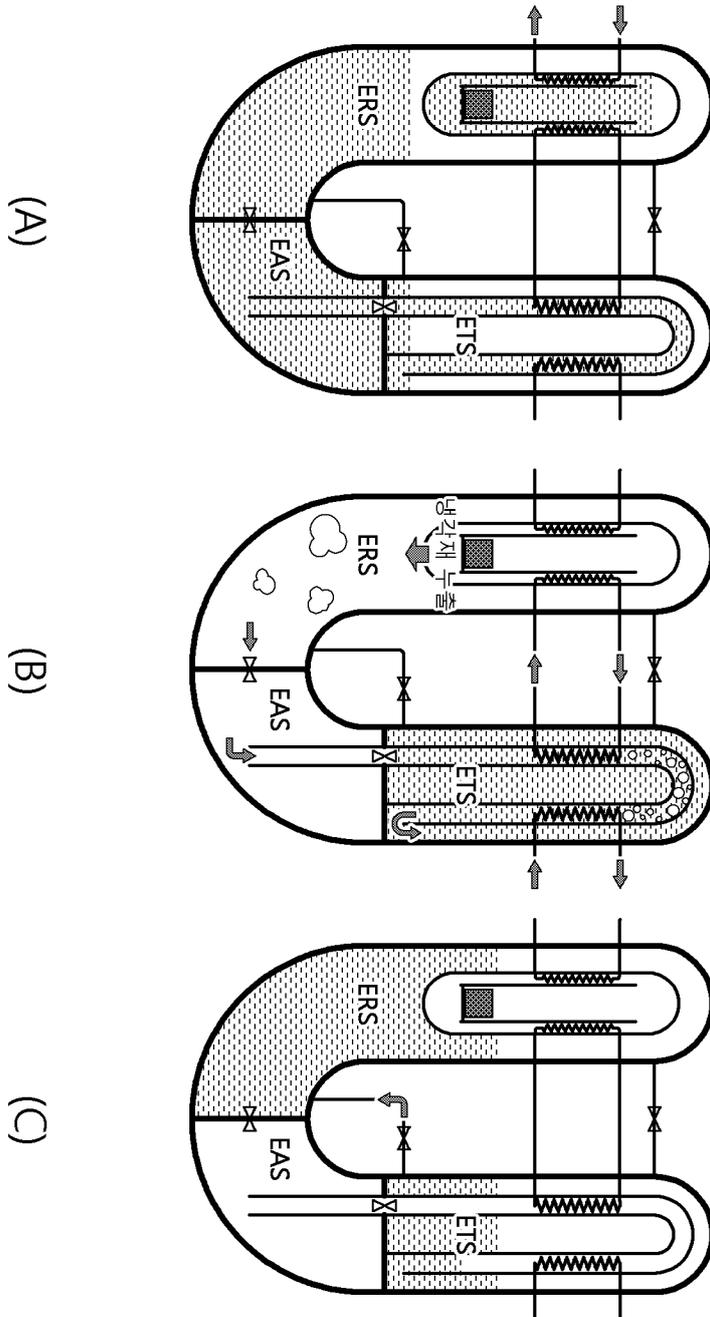
도면2



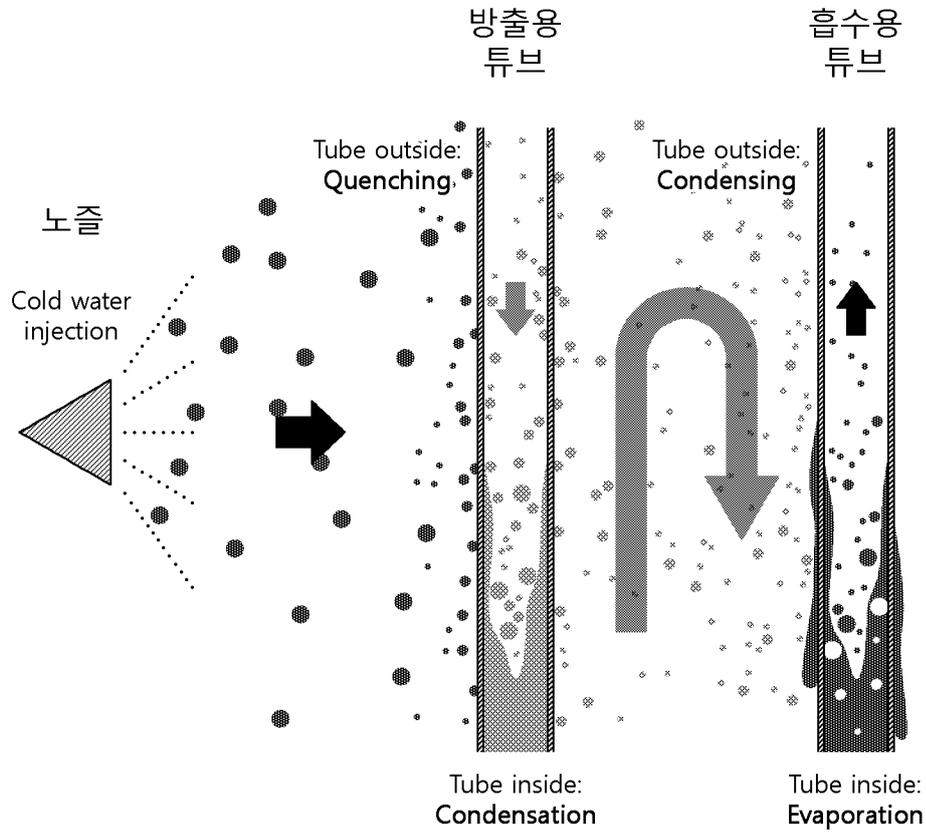
도면3



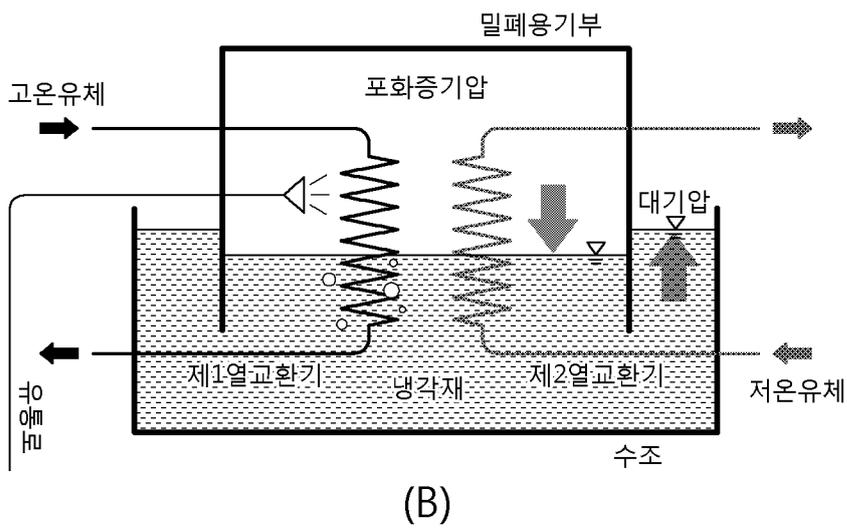
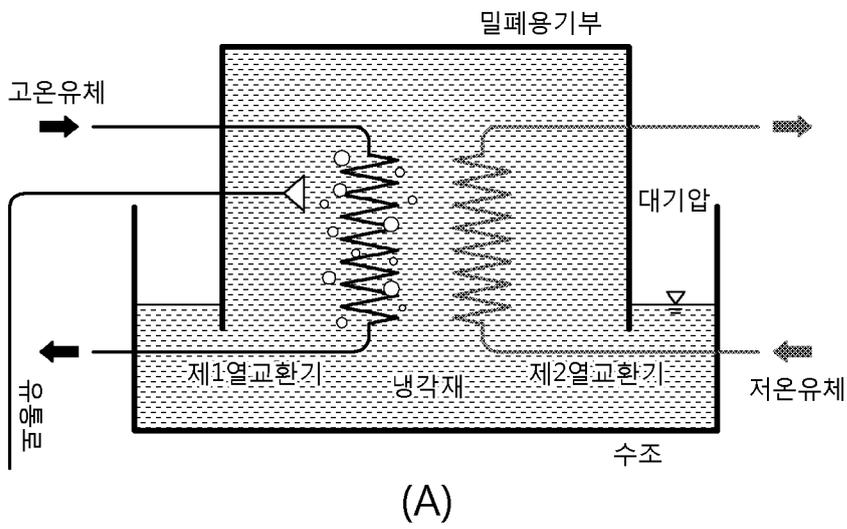
도면4



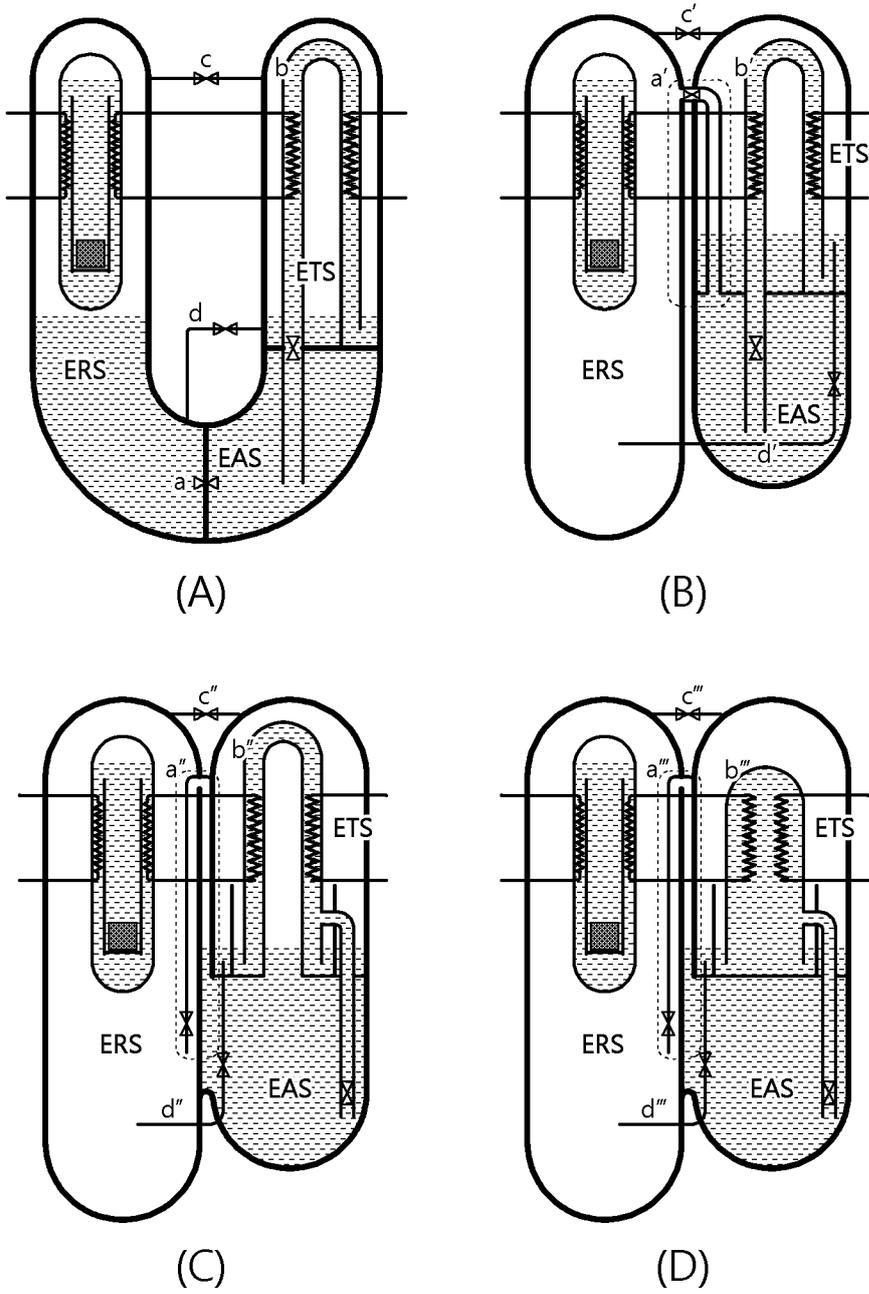
도면5



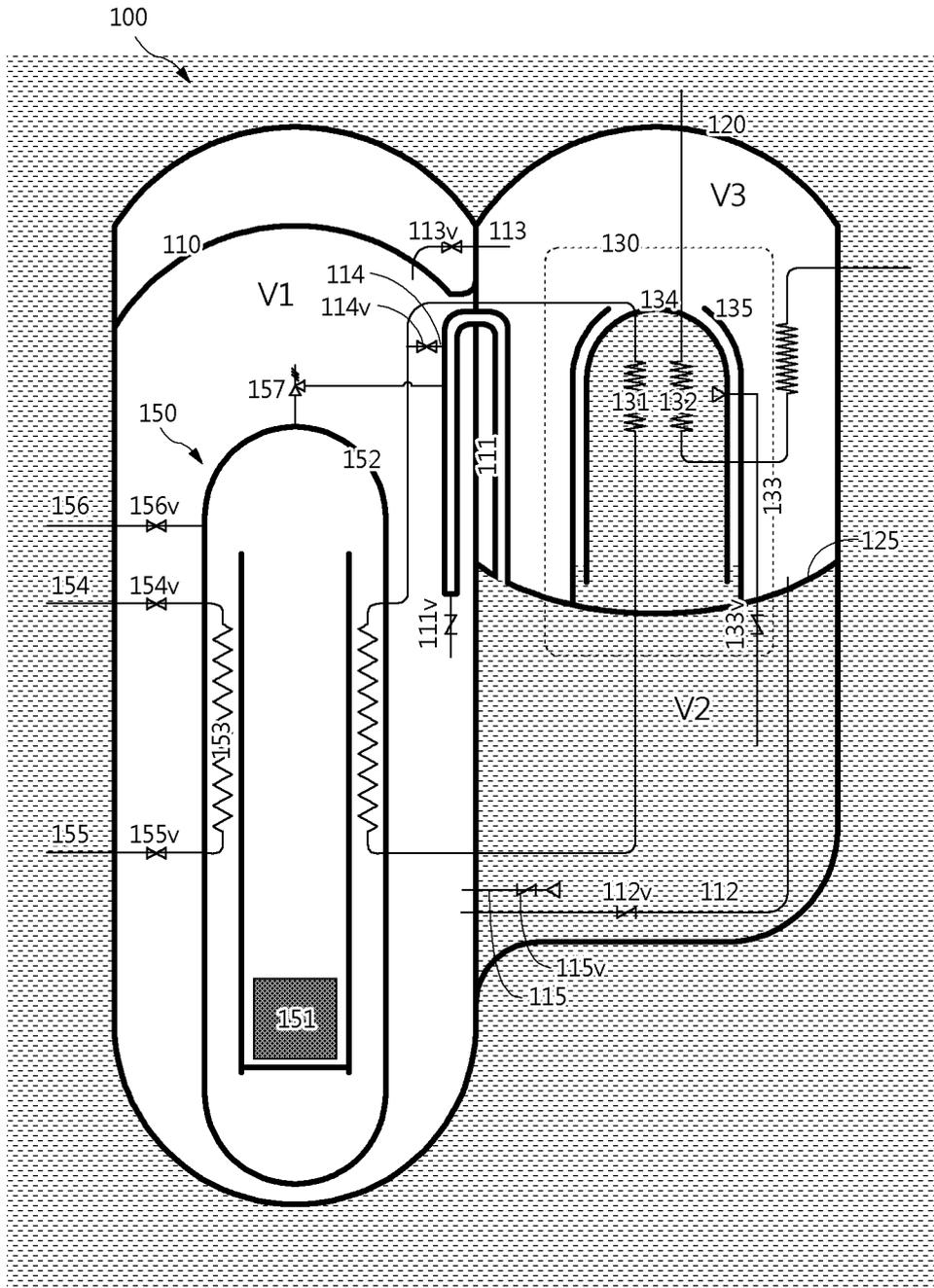
도면6



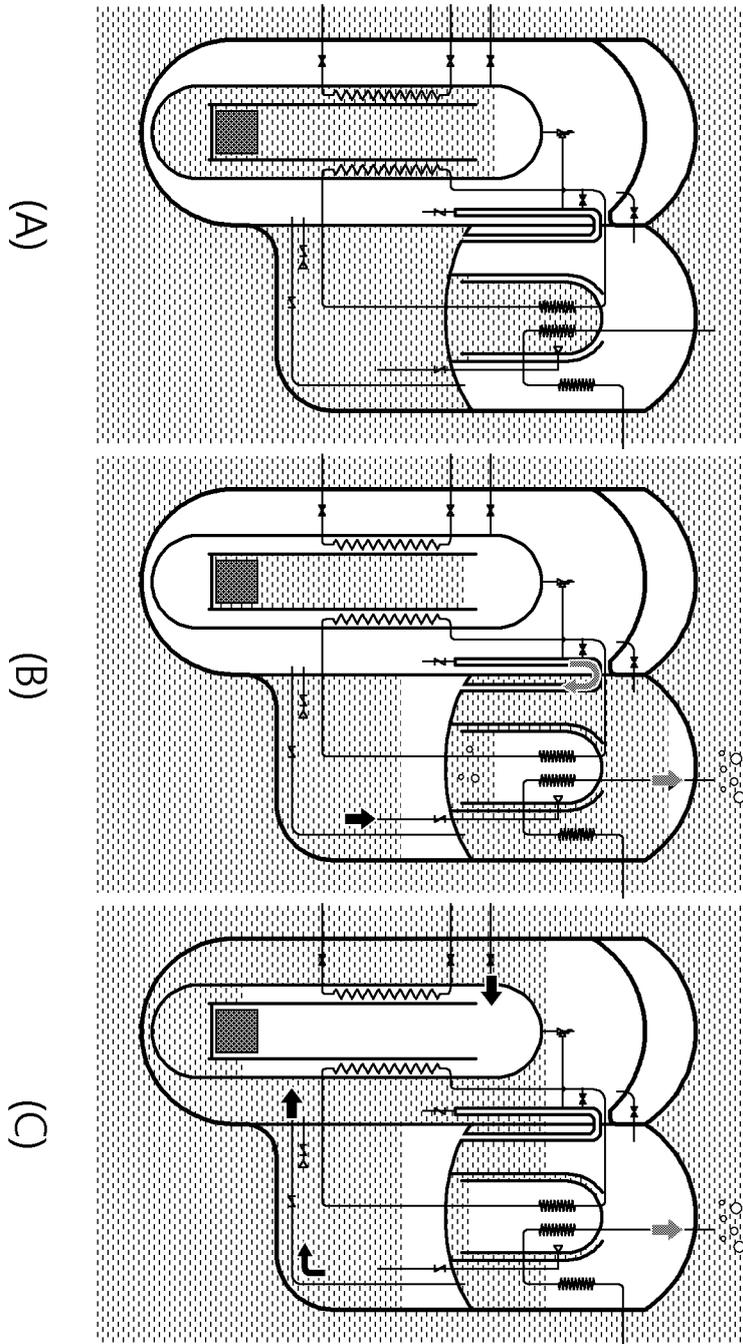
도면7



도면8



도면9



도면10

