



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2019-0023342
(43) 공개일자 2019년03월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
F01K 23/02 (2006.01) F22B 37/46 (2006.01)
F22D 5/26 (2006.01) G21D 3/04 (2006.01)
H02J 7/14 (2006.01)
(52) CPC특허분류
F01K 23/02 (2013.01)
F22B 37/46 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0108916
(22) 출원일자 2017년08월28일
심사청구일자 2017년08월28일

(71) 출원인
인천대학교 산학협력단
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)
(72) 발명자
김태완
인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동, 인천대학교)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 8 항

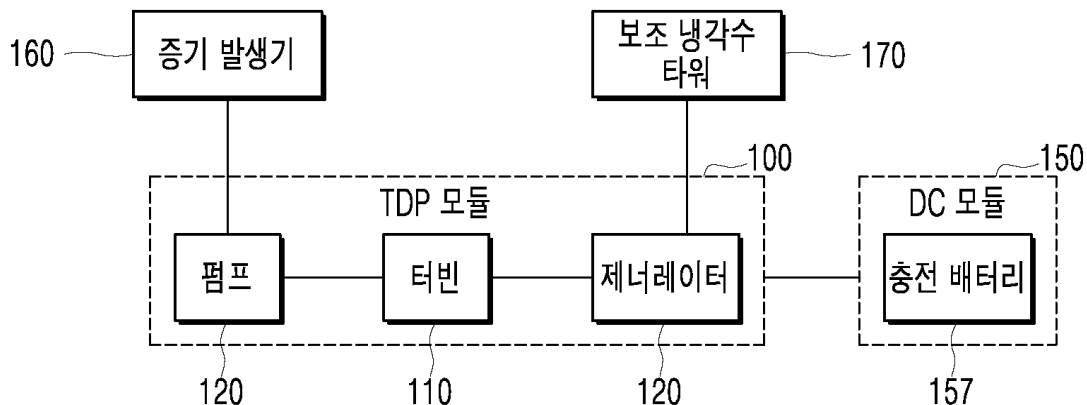
(54) 발명의 명칭 발전소의 정전 사고 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 방법 및 시스템

(57) 요약

발전소의 정전 사고 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템은 증기 발생기, 증기 발생기에 냉각수를 공급하는 보조 냉각수 타워, 증기 발생기로부터 유입되는 증기를 이용하여 에너지를 생성하는 터빈, 터빈에 의해 구동되고 보조 냉각수 타워의 냉각수가 증기 발생기로 공급되도록 제어하는 펌프 및 터빈에 연결되어 전기를 발생시키는 제너레이터를 포함하는 TDP 모듈, 및 제너레이터에 의해 발전된 전기로 충전되며, 발전소의 구성요소들에 구동 전원을 인가하는 배터리를 포함하는 DC 모듈을 포함하며, TDP 모듈은 TDP 모듈의 구동을 위해 필요한 증기량을 초과하는 잉여 증기가 TDP 모듈에 유입되어 잉여 증기를 이용하여 제너레이터를 발전시키기 위해 증기 발생기의 수위를 소정 범위 내로 조절할 수 있다.

대표도 - 도2

1000



(52) CPC특허분류

F22D 5/26 (2013.01)

G21D 3/04 (2013.01)

H02J 7/14 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

발전소의 정전 사고(SBO, station blackout) 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템에 있어서,

증기 발생기(SG, steam generator);

상기 증기 발생기에 냉각수를 공급하는 보조 냉각수 타워(AFWST, auxiliary feedwater storage tank);

상기 증기 발생기로부터 유입되는 증기를 이용하여 에너지를 생성하는 터빈(turbine), 상기 터빈에 의해 구동되고 상기 보조 냉각수 타워의 냉각수가 상기 증기 발생기(SG)로 공급되도록 제어하는 펌프 및 상기 터빈에 연결되어 전기를 발생시키는 제너레이터(generator)를 포함하는 TDP(turbin-driven pump) 모듈; 및

상기 제너레이터에 의해 발전된 전기로 충전되며, 상기 발전소의 구성요소들에 구동 전원을 인가하는 배터리를 포함하는 DC 모듈;을 포함하며,

상기 TDP 모듈은,

상기 TDP 모듈의 구동을 위해 필요한 증기량을 초과하는 잉여 증기(excess steam)가 상기 TDP 모듈에 유입되어 상기 잉여 증기를 이용하여 상기 제너레이터를 발전시키기 위해 상기 증기 발생기의 수위를 소정 범위 내로 조절하는, SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 시스템은,

상기 SBO가 발생되고, 상기 증기 발생기의 WR(wide range) 레벨이 25% 미만인 경우 상기 증기 발생기의 WR 레벨이 정상 급수시의 70% 를 상기 증기 발생기로 공급하는, SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 TDP 모듈은,

구동되고, 상기 증기 발생기의 WR 레벨이 76.8 % 내지 90% 의 소정 범위로 조절되도록, 상기 증기 발생기에 공급하는 급수 유량을 조절하는, SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 급수 유량은,

상기 증기 발생기의 WR(wide range) 레벨이 76.8 % 미만으로 되는 경우, 급수유량을 증기유량 - 조절값으로 설정하고, 상기 증기 발생기의 WR 레벨이 90 %를 초과하는 경우, 급수유량을 증기유량 + 조절값으로 설정하는, SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 조절값은 20%로 설정되는, SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 TDP 모듈 및 상기 DC 모듈은 동력을 전달하기 위한 샤프트(shaft)를 통해 연결되는, SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 DC 모듈에 포함된 배터리는,

상기 발전소의 각종 제어 밸브들에 구동 전원을 인가하여, 상기 시스템이 구동되게 하는, SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템.

청구항 8

발전소의 정전 사고(SBO, station blackout) 발생시 대처 시간을 연장하는 방법에 있어서,

증기발생기(SG, steam generator)의 수위가 제1 수위인 경우 보조 냉각수 타워로부터 보조 급수를 상기 증기발생기로 제1 공급하는 단계;

상기 증기발생기의 수위가 제2 수위인 경우보다 낮은 경우, 증기 유량에서 조절값만큼 제거된 급수 유량을 상기 증기발생기로 제2 공급하는 단계;

상기 증기발생기의 수위가 설정 제3 순위보다 높은 경우, 증기 유량에서 조절값만큼 추가된 급수 유량을 상기 증기발생기로 제3 공급하는 단계; 및

상기 제2 공급하는 단계 및 상기 제3 공급하는 단계를 상기 발전소의 발전이 정지될까지 반복적으로 수행하여, 상기 증기발생기의 수위가 소정 구간으로 조절되게 하는 단계를 포함하는, SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시는 발전소의 정전 사고 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원자력 발전소는 원자로에서 연료인 원자의 핵분열에 의해 만들어진 열에너지로부터 전기를 생산하는 발전소를 말한다. 원자력 발전소가 구조적으로 안전하다는 평가를 받고 있으나, 후쿠시마 원전 사고와 같이 지진, 해일 등으로 인해 발전소가 침수되는 등의 사고가 발생하는 경우, 발전소의 전원 및 냉각 시스템이 파손되어 핵연료 용융과 수소 폭발로 이어져 다량의 방사능 물질 누출되는 참사가 발생되기도 한다.

[0003] 알려진 바에 의하면, 갑작스런 발전소의 정전사고가 발생하는 경우, 8시간 가량 발전소가 구동되다가, 8시간 이후의 특정 시점에 발전소 오작동으로 인한 큰 사고가 발생할 수 있다.

[0004] 이에 따라, 갑작스런 원전 사고가 발생하는 경우, 특히 갑작스런 정전 사고에 대한 대처 시간을 연장하는 방법의 대두가 절실히 요청된다.

선행기술문헌

특허문헌

[0005] (특허문헌 0001) 공개특허공보 10-2014-0040518호(공개일 : 2014.4.3)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 일 실시 예는 발전소 정전사고(SBO,

station blackout) 발생시 이에 대한 대처 시간을 연장하는 방법 및 시스템을 제안한다.

[0007] 본 발명에서 이루고자 하는 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기한 과제를 실현하기 위한 본 발명의 일 실시 예와 관련된 발전소의 정전 사고(SBO, station blackout) 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템은 증기 발생기(SG, steam generator); 상기 증기 발생기에 냉각수를 공급하는 보조 냉각수 타워(AFWST, auxiliary feedwater storage tank); 상기 증기 발생기로부터 유입되는 증기를 이용하여 에너지를 생성하는 터빈(turbine), 상기 터빈에 의해 구동되고 상기 보조 냉각수 타워의 냉각수가 상기 증기 발생기(SG)로 공급되도록 제어하는 펌프 및 상기 터빈에 연결되어 전기를 발생시키는 제너레이터(generator)를 포함하는 TDP(turbine-driven pump) 모듈; 및 상기 제너레이터에 의해 발전된 전기로 충전되며, 상기 발전소의 구성요소들에 구동 전원을 인가하는 배터리를 포함하는 DC 모듈;을 포함하며, 상기 TDP 모듈은 상기 TDP 모듈의 구동을 위해 필요한 증기량을 초과하는 잉여 증기(excess steam)가 상기 TDP 모듈에 유입되어 상기 잉여 증기를 이용하여 상기 제너레이터를 발전시키기 위해 상기 증기 발생기의 수위를 소정 범위 내로 조절하는, SBO 발생시 대처 시간을 연장할 수 있다.

발명의 효과

[0009] 본 발명의 다양한 실시예에 따르면 아래와 같은 효과가 도출될 수 있다.

[0010] 첫째, 발전소 정전사고 발생시 이에 대한 대처 시간을 연장될 수 있다. 구체적으로, 상기 시스템은 RCP(reactor coolant pump) seal LOCA(loss of coolant) accident)가 적용된 상황에서는 20h 까지 발전소 대처 시간이 연장될 수 있으며, 상기 RCP seal LOCA가 적용되지 않은 경우 32h 까지 발전소 대처 시간이 연장될 수 있다.

[0011] 둘째, 상술한 시스템이 제공됨으로써, 원전 시스템의 안정성이 고도하게 상승될 수 있다.

[0012] 셋째, SBO가 발생된 경우 잉여 증기를 이용하여 발전을 수행함으로써, 비용이 절감될 수 있다.

[0013] 넷째, 상술한 시스템이 제공됨으로써 국민의 불안이 다소 절감될 수 있다.

[0014] 본 발명에서 얻을 수 있는 효과는 이상에서 언급한 효과들로 제한되지 않으며, 언급하지 않은 또 다른 효과들은 아래의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

도면의 간단한 설명

[0015] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템을 개략적으로 설명한다

도 2는 도 1에 도시된 구성들을 설명하기 위한 블록도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 SBO 발생시 이용가능한 증기(available steam) 중 잉여 증기(excess steam)를 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 방법을 나타내는 시퀀스도이다.

도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따라 증기 발생기의 수위가 조절되는 예와 비교 례에 따라 증기 발생기의 수위가 최저면이 되는 예를 나타낸다.

도 6은 가압기(pressurizer)에 의해 압력이 가해질 때, 본 발명의 일 실시 예에 따라 증기 발생기의 수위가 조절되는 예와 비교 례에 따라 증기 발생기의 수위가 최저면이 되는 예를 나타낸다.

도 7(a)는 본 발명의 제1 실시 예에 따라 RCP seal LOCA가 적용되지 않은 경우의 그래프를 나타내고, 도 7(b)는 본 발명의 제2 실시 예에 따라 RCP seal LOCA가 적용된 경우의 그래프를 나타낸다.

도 8(a)는 본 발명의 제1 실시 예에 따라 RCP seal LOCA가 적용되지 않은 경우의 전력을 나타내는 그래프를 나타내고, 도 8(b)는 본 발명의 제2 실시 예에 따라 RCP seal LOCA가 적용된 경우의 전력을 나타내는 그래프를 나타낸다.

도 9은 본 발명의 일 실시 예가 적용된 APR 1400의 모델을 나타낸다.

이상에서 살펴본 바와 같이 본 발명은 바람직한 실시예를 들어 도시하고 설명하였으나, 상기한 실시예에 한정되지 아니하며 본 발명의 정신을 벗어나지 않는 범위 내에서 당해 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 다양한 변경과 수정이 가능할 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 다양한 실시 예를 보다 상세하게 설명한다. 다만, 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그에 대한 상세한 설명은 생략한다.
- [0017] 이하에서 기술하는 본 발명의 일 실시 예에 따른 시스템(1000)은 후술할 도 8에 도시된 APR 1400(advanced pressurized reactor 1400) 모델에 기초한 것으로 상정하여 설명되고, 시스템(1000)은 냉각제 파괴에 따른 원자로 냉각기 밀봉재(RCP seal LOCA, reactor coolant pump seal loss of coolant accident)가 적용되는 경우와 적용되지 않는 경우로 차원을 다르게 하여 실험될 수 있다. 다만, 본 실시 예의 SBO 발생시 원전 사고의 대처 시간을 연장하기 위한 핵심적인 사항은 다른 모델에 적용될 수 있음은 당연하다.
- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 발전소의 정전 사고(SBO, station blackout) 발생시 대처 시간을 연장하기 위한 시스템(1000)을 개략적으로 설명한다. 시스템(1000)은 핵분열 연쇄반응을 통해서 발생한 에너지로 물을 끓여 발생시킨 증기로 터빈발전기를 돌려 전기를 생산할 수 있다.
- [0019] 도 1에 따르면, 상기 시스템(1000)은 TDP(turbin-driven pump) 모듈(100), 상기 TDP 모듈(100)에 연결되고 각종 구성들(시스템의 구동을 위한 각종 밸브들을 포함)에 전원을 공급하는 배터리(미도시)를 포함하는 DC 모듈(150), 원자로(미도시)의 열에 의해 증기가 발생하는 증기 발생기(160) 및 정전 사고가 발생하는 경우 증기 발생기(160)에 냉각수를 공급하는 보조 냉각수 타워(AFWST, auxiliary feedwater storage tank, 170)를 포함할 수 있다. 시스템(1000)은 상기의 구성 이외에 SBO 발생시 증기의 흐름을 외부로 분출되는 것을 차단되는 배관, 제어 밸브(11, 13), 스위치(153) 등을 더 포함할 수 있다.
- [0020] 만약, 정전사고(SBO)가 발생되지 않은 경우, 증기 발생기(160)에서 발생된 증기는 제1 경로(19), 제2 경로(17)를 통과하게 되나, 만약, 정전사고가 발생하는 경우, 과압방지밸브(13) 및 정상 증기 배출 밸브(11)에서 증기의 순환을 차단하여 제1 경로(19)로만 증기가 통과하게 된다. 또한, 터빈(110)에 의해 구동되는 펌프(120)를 통해 보조 냉각수 타워(170)의 냉각수가 증기 발생기(160)로 유입될 수 있다.
- [0021] TDP 모듈(100)은 증기 발생기(160)로부터 유입되는 증기 중에서 TDP 모듈(100)을 구동하는데 필요한 증기를 제외한 잉여증기를 이용하여 DC 모듈(150)의 전원을 충전할 수 있다. 이를 통해 정전사고(SBO)가 발생되더라도 20 시간 이상의 대처 시간을 확보할 수 있는 바, 종래 기술에서 8 시간만 DC 모듈이 구동되는 한계를 극복할 수 있다. 또한, DC 모듈(150)의 배터리 용량을 확장하지 않더라도 SBO 발생시 발전소 대처 시간이 연장될 수 있다.
- [0022] 즉, 본 시스템(1000)은 TDP 모듈(100)을 이용하여 증기 발생기(160) 내부의 수위를 조절하고, 조절에 따라 잉여 증기가 발생되면 잉여 증기를 이용하여 충전 배터리(도 2, 157)을 이용하여 발전에 필요한 다양한 구성에 구동 전원을 보조적으로 공급할 수 있다.
- [0023] 도 2는 도 1에 도시된 구성들을 설명하기 위한 블록도이다.
- [0024] 도 2에 따르면, 증기 발생기(160)는 원자로(미도시)에 연결되어 원자로(미도시)에서 발생된 열을 이용하여 증기를 발생시키는 구성으로, 증기 발생기(160) 내부의 수위가 TDP 모듈(100)에 의해 제어될 수 있다. 증기 발생기(160)는 복수 개로 구성될 수 있으나, 실시 예는 이에 국한되지 않는다.
- [0025] TDP 모듈(100)은 터빈(110), 펌프(120) 및 제너레이터(130)를 포함한다. 터빈(110)은 증기를 이용하여 기계적 에너지를 발생시키는 구성으로, 펌프(120)는 보조 냉각수 타워(170)의 냉각수가 증기 발생기(160)로 공급되게 하는 구성이며, 제너레이터(130)는 터빈(110)과 샤프트(140)를 통해 연결되어 DC 모듈(150)에 포함된 배터리(미도시)를 충전하는 구성에 해당된다.
- [0026] TDP 모듈(100)은 TDP 모듈(100)로 유입되는 증기 중에서 TDP 모듈(100)을 구동하기 위한 증기 이외의 잉여 증기를 이용하여 제너레이터(130)를 충전할 수 있다. TDP 모듈(100)은 상기 잉여 증기가 지속적으로 발생되도록 보조 냉각수 타워(170)에서 증기 발생기(160)로 유입될 냉각수의 급수량 및 급수 속도를 조절할 수 있다.

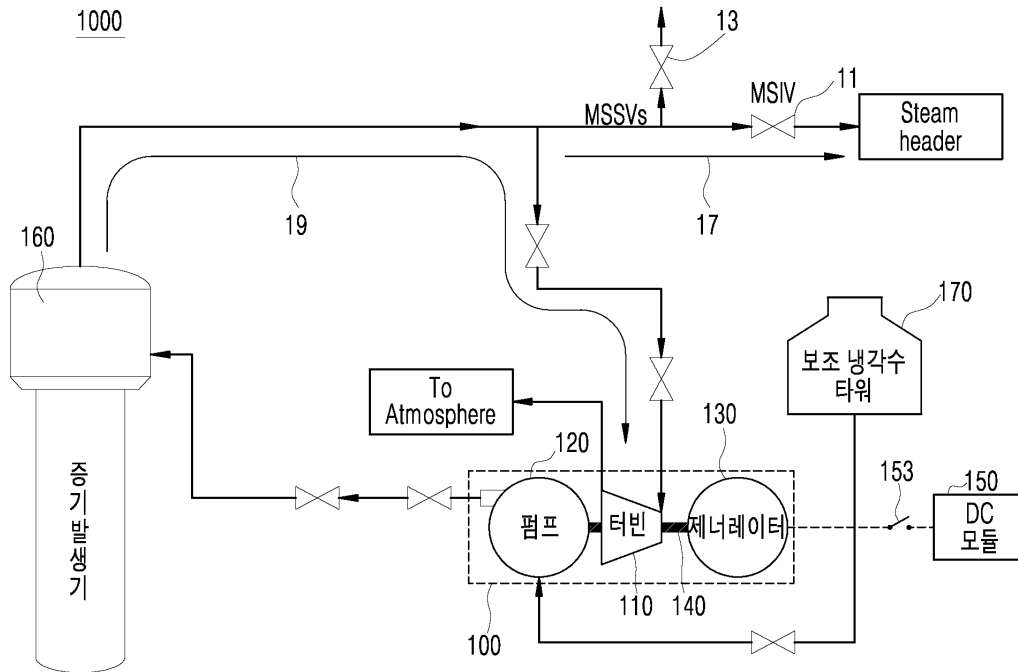
- [0027] DC 모듈(150)은 시스템(1000)에 포함된 다양한 제어 밸브 등에 전원을 인가하는 배터리(미도시)를 포함하며, 상기 배터리가 방전되는 경우 시스템(1000)도 오작동에 의한 대형 사고가 발생할 수 있다. 본 발명일 실시 예에 따르면 20 h 이상의 대처시간이 확보되거나, 32 h 이상의 대처시간이 확보될 수 있다.
- [0028] 도 3은 본 발명의 일 실시 예에 따른 SBO 발생시 이용가능한 증기(available steam) 중의 잉여 증기(excess steam)를 나타내는 도면이다.
- [0029] 도 3에 따르면, 이용가능한 증기(available steam)는 시간이 지날수록 줄어들게 된다. 이용가능한 증기가 소정의 시간(320의 하단 및 310의 상단)이 되면 요청되는 TDP 모듈(100)을 구동하기 위한 증기보다 낮게 되어 큰 문제가 발생할 수 있다. 냉각수의 실패 영역(AFWs Fail Region, 320의 하단 및 310의 상단)에서 잉여 증기가 발생하는 상단 영역(330의 하단 및 320의 상단) 구간에서, TDP 모듈(100)은 잉여증기를 이용하여 배터리(157)를 충전하고, 충전된 배터리를 이용하여 발전소의 각종 구성들에 비상 구동 전원을 인가할 수 있다.
- [0030] 즉, TDP 모듈(100)은 증기 발생기(160)로 유입되는 급수유량의 속도 및 수위에 따라 잉여 증기가 다시 TDP 모듈(100)로 유입되도록 시스템(1000)을 제어할 수 있다.
- [0031] 도 4는 본 발명의 일 실시 예에 따른 SBO 발생시 대처 시간을 연장하기 방법을 나타내는 시퀀스도이다.
- [0032] 먼저, 발전소 정전사고(SBO)가 발생되고(S410), 증기 발생기(160)가 저수위인지 판단한다(SS420).
- [0033] 증기 발생기(160)의 저수위는 WR(Wide Range) 수위가 25% 로 설정될 수 있으나, 적용되는 시스템에 따라 달리 설정될 수 있다. 또한 증기 발생기의 DC 수위(downcomer level)로 설정될 수 있고, WR 수위와 DC 수위는 동일할 수 있으나, 실시 예는 이에 국한되지 않는다.
- [0034] 만약, WR 수위가 25% 이하이고, 소정의 시간이 경과하면 원전의 핵연료가 누출되는 최악의 불상사도 발생할 수 있다. 본 발명은 이러한 문제를 극복할 수 있다.
- [0035] 시스템(1000)은 증기 발생기(160)가 저 수위인 경우 보조급수를 증기발생기(160)로 공급한다(S430).
- [0036] 공급되는 보조급수의 급수량은 정상급수의 70%로 설정될 수 있으나, 실시 예는 이에 국한되지 않는다. SBO가 발생되지 않은 경우의 보조급수가 증기발생기(160)로 공급될 수 있다.
- [0037] 다음으로 증기 발생기가 고수위인 경우(S440), 이때, 증기 발생기(160)의 수위가 설정값보다 고수위인 경우(S450), TDP 모듈(100)을 가동하여 급수유량을 증기유량 - 조절값으로 설정하여 증기발생기(160)로 공급할 수 있다(S450). 조절값은 20%일 수 있으나, 실시 예는 이에 국한되지 않는다. 여기서 고수위는 수위기 90 % 경우일 수 있으나 실시 예는 이에 국한되지 않는다.
- [0038] 즉, TDP 모듈(100)은 이용가능한 증기 유량에서 잉여 가능한 증기를 이용하기 위해 증기 발생기의 수위가 76.8(S460의 설정값) 내지 90%를 만족할 수 있게 설정할 수 있다.
- [0039] 만약, 증기 발생기(160) 수위가 설정값보다 작은 경우는 증기 발생기(160)의 수위가 부족한 경우로 판단하여, 급수유량을 증기유량에 조절값을 더한 값으로 공급할 수 있다. 설정값은 증기 발생기(160)의 수위가 76.8인 경우일 수 있으나, 실시 예는 이에 국한되지 않는다.
- [0040] 다시 증기 발생기가 고수위인 경우(S480), 다시 S450 단계를 수행하고, 다시 증기 발생기(160)가 설정값보다 아래인 경우(S460), 다시 S470 를 반복하여 수위가 소정 구간을 만족하도록 구현될 수 있다. 소정 구간은 76.8 내지 90%로 설정될 수 있으나, 실시 예는 이에 국한되지 않는다.
- [0041] 상기의 증기 발생기(160)의 수위, 속도값들은 APR 1400 모델에서 최적의 값들인 바, 모델이 달라질 경우, 특정 수치들은 모델에 따라 달리 변경될 수 있다.
- [0042] 도 5는 본 발명의 일 실시 예에 따라 증기 발생기의 수위가 조절되는 예(510, 520, 흑색그래프)와 비교 례에 따라 증기 발생기의 수위가 최저면(530, 적색그래프)이 되는 예를 나타낸다.
- [0043] 본 발명의 일 실시 예에 따른 조절 예는 510 구간에서 증기 발생기(160)의 수위가 520 영역까지 떨어지다가 증기 발생기(160)의 수위가 520의 영역에 도달하면 다시 상승하게 된다. 이에 따라, TDP 모듈(100)은 충전 배터리(157)를 잉여증기를 이용하여 발전시킬 수 있다. 본 발명에 따르면 발전소의 대처시간이 20시간을 초과하여 32시간까지 연장될 수 있다.
- [0044] 비교 례(530)의 경우, 보조 급수가 공급되지 않고, 수위 조절이 되지 않아 증기 발생기(160)의 수위가 바닥면으

로 향하게 되고, 원전 핵연료가 유출될 수 가능성이 있는 등 큰 문제를 야기할 수 있다.

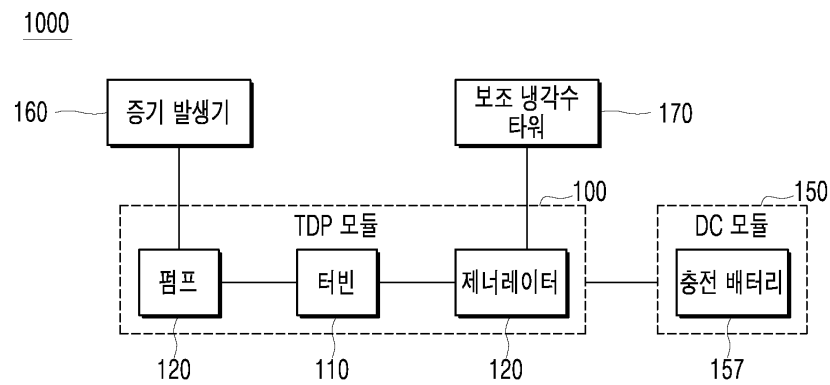
- [0045] 도 5와 같이 복수 개로 구성된 증기 발생기에서 각각 조절 예과 비교 레가 구동될 수 있다. 실시 예는 이에 국한되지 않는다.
- [0046] 도 6은 가압기(pressurizer)에 의해 압력이 가해질 때, 본 발명의 일 실시 예에 따라 증기 발생기의 수위가 조절되는 예와 비교 레에 따라 증기 발생기의 수위가 최저면이 되는 예를 나타낸다.
- [0047] 가압기에 의해 압력이 15 내지 17 hPa의 세기로 가해질 때(청색 그래프), 본 발명의 조절 예(610, 적색)와 비교(620, 흑색)으로 표시될 수 있다. 도 6도 역시 도 5의 조절 예와 같은 현상이 관찰될 수 있다.
- [0048] 도 7(a)는 본 발명의 제1 실시 예에 따라 RCP seal LOCA가 적용되지 않은 경우의 그래프를 나타내고, 도 7(b)는 본 발명의 제2 실시 예에 따라 RCP seal LOCA가 적용된 경우의 그래프를 나타낸다.
- [0049] 도 7(a)에 따르면 조절 예의 PCT(peak cladding temperature)를 나타낸다. 조절 예(적색, 720)에 따르면 온도가 7 내지 8 K로 설정되어 32 h 동안 안정적으로 구동될 수 있다.
- [0050] 도 7(a)의 경우는 RCP seal LOCA가 적용되지 않은 조건이다. 즉 원자로의 냉각재 파괴 사고에 대한 원자로 냉각장치 밀봉재가 적용되지 않은 경우를 나타낸다.
- [0051] 도 7(b)에 따르면, 상기 RCP seal LOCA가 적용되어 20h 이후의 온도가 급격하게 상승(740)하는 것이 관찰된다. 즉 발전소의 대처 시간이 20h 정도만 보장될 수 있다.
- [0052] 도 8(a)는 본 발명의 일 제1 실시 예에 따라 RCP seal LOCA가 적용되지 않은 경우의 전력을 나타내는 그래프를 나타내고, 도 8(b)는 본 발명의 제2 실시 예에 따라 RCP seal LOCA가 적용된 경우의 전력을 나타내는 그래프를 나타낸다.
- [0053] 도 8(a)도 마찬가지로 제1 실시 예에 따른 조절 예를 나타내고, 도 8(b)도 제2 실시 예에 따른 조절 예를 나타낸다.
- [0054] 도 8(a)를 참고하면, 기존 시스템 (830, 청색 그래프)의 경우 8시간만 비상 모드가 구동될 수 있는데, 본 발명의 일 실시 예에 따르면 32h의 비상 모드가 구동될 수 있다.
- [0055] 또한, TPD 모듈(100) 및 DC 모듈의 로드가 20% degradation을 만족하거나, 0%의 degradation을 만족할 수 있다.
- [0056] 도 8(b)에 따르면, 제 2 실시 예(24h까지의 연두색)의 경우 870 구간에서 온도가 유지되나, 24 h 이후 문제가 발생될 수 있다. 이때, 20% degradation이 만족될 수 있다.
- [0057] 도 9은 본 발명의 일 실시 예가 적용된 APR 1400의 모델을 나타낸다.
- [0058] 도 9에 따르면, 원자로는 단수 개로 구현될 수 있으며, 증기 발생기는 복수 개로 구현되어 복수의 차원에 대한 실험을 동시에 수행할 수 있다.
- [0059] 진술한 본 발명은, 프로그램이 기록된 매체에 컴퓨터가 읽을 수 있는 코드로서 구현하는 것이 가능하다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체는, 컴퓨터 시스템에 의하여 읽혀질 수 있는 데이터가 저장되는 모든 종류의 기록장치를 포함한다. 컴퓨터가 읽을 수 있는 매체의 예로는, HDD(hard disk drive), SSD(solid state disk), SDD(silicon disk drive), ROM, RAM, CD-ROM, 자기 테이프, 플로피 디스크, 광 데이터 저장 장치 등이 있으며, 또한 캐리어 웨이브(예를 들어, 인터넷을 통한 전송)의 형태로 구현되는 것도 포함한다. 또한, 상기 컴퓨터는 시스템(1000)의 제어 모듈(가령, TDP 모듈)을 포함할 수 있다. 따라서, 상기의 상세한 설명은 모든 면에서 제한적으로 해석되어서는 아니되고 예시적인 것으로 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 첨부된 청구항의 합리적 해석에 의해 결정되어야 하고, 본 발명의 등가적 범위 내에서의 모든 변경은 본 발명의 범위에 포함된다.

도면

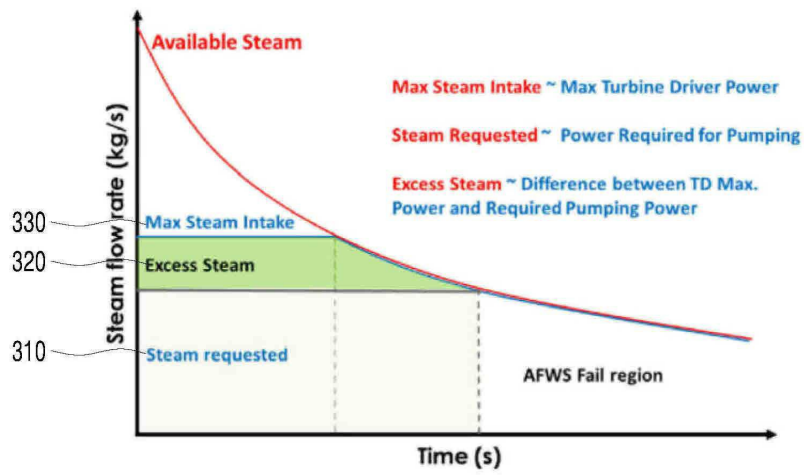
도면1



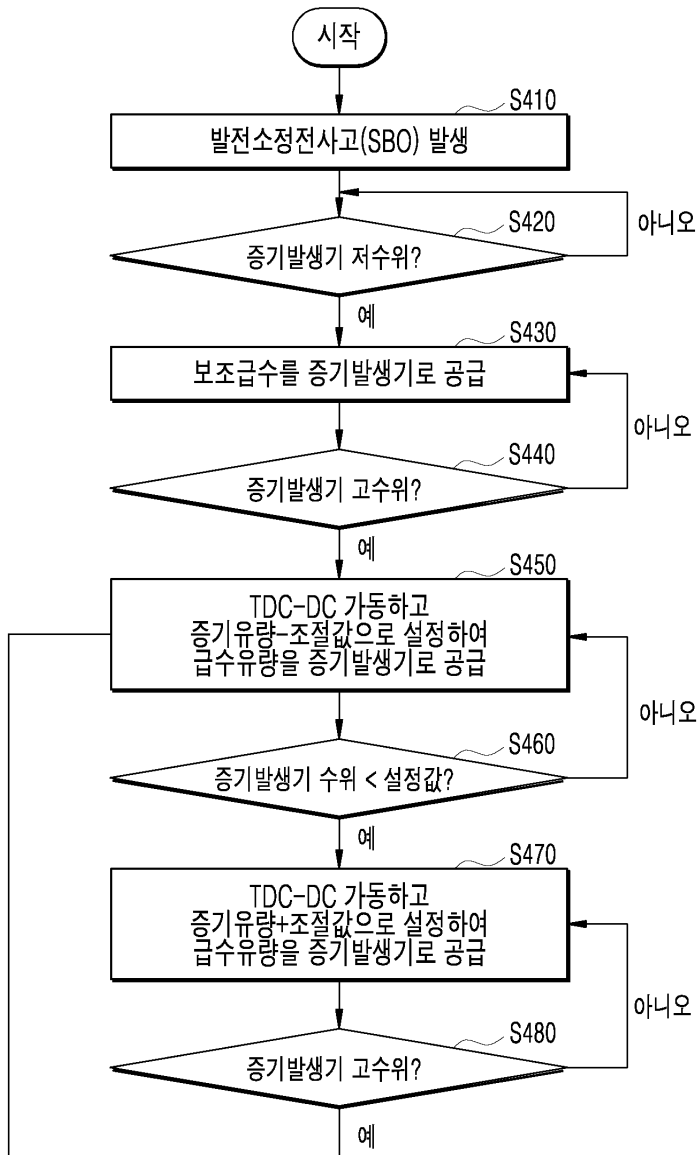
도면2



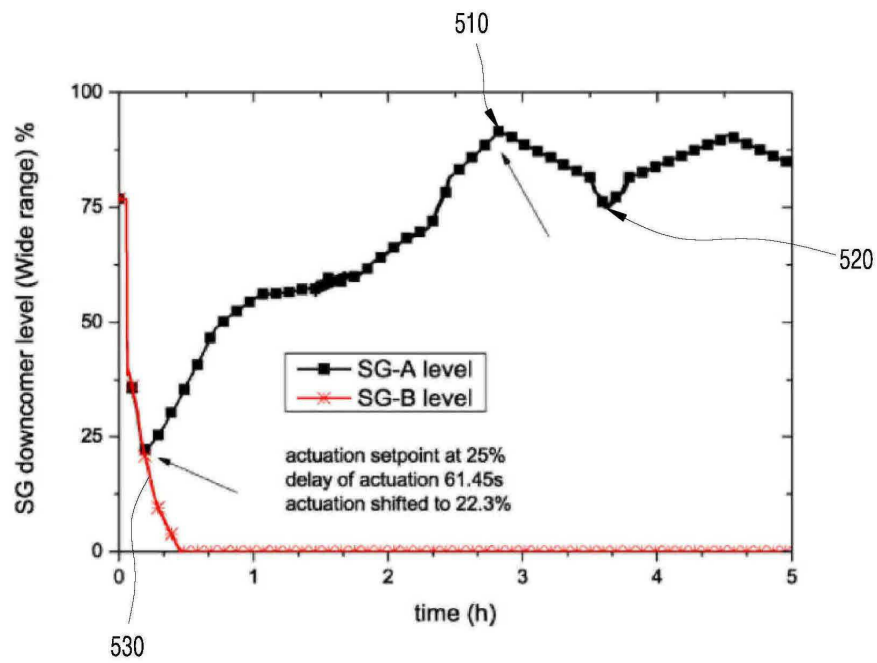
도면3



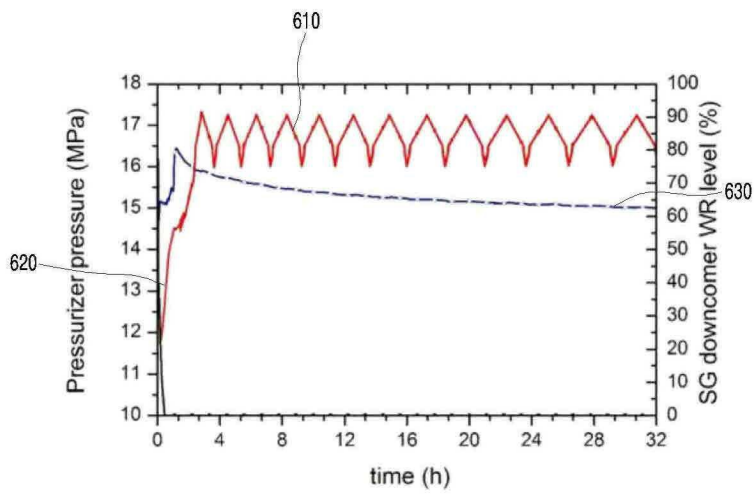
도면4



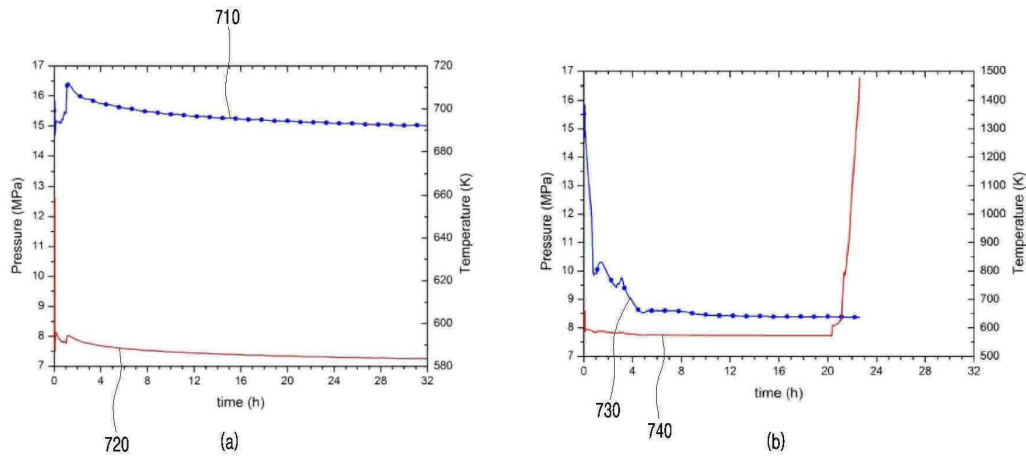
도면5



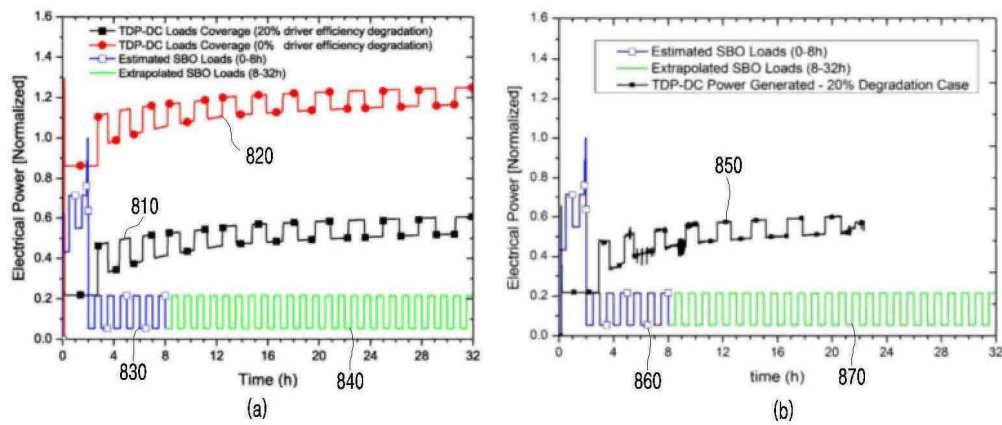
도면6



도면7



도면8



도면9

