본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6 냉각재 보조 계통

5.6.1 냉각재 정화 계통¡

냉각재 정화 계통은 냉각재계통을 깨끗하게 즉 운전과 발전소 보수에 위험을 초래할수 있는 불순물이 없는 상태로 유지하기 위해 필요하다. 이러한 불순물 중에는 방사능 부식 생성물, 핵분열 생성물, 비방사능 이온화 불순물과 미립자 물질등이 있다.

냉각재 정화 계통의 계통 흐름도는 그림 5.6-1에 있다.

5.6.1.1 설계 기준¡

5.6.1.1.1 기능 요건¡

냉각재 정화 계통의 기능 요건은 다음과 같다:¡

가. 핵연료 손상 부위로부터 방출된 핵분열 생성물(요소)의 농도를 조절한다.¡

나. 냉각재 회로에 방사성 부식 생성물의 축적을 최소화 한다.¡

다. 냉각수 pH 조절을 적당하게 유지한다.¡

라. 원하는 최대 유량 24kg/s을 달성하는데 수동으로 조절하고 감시한다.¡

마. 크러딩 (crudding) 을 감지하는 필터, 이온교환수지탑 여과기에 걸쳐 발생하는 차압을 감시한다.¡

바. 냉각재 배출 요건을 위해서 청결한 중수원을 제공한다. 또한 정화계통으로부터 압력 및 수위 제어 (P & IC) 계통으로의 연속적

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

인 배출류가 압력 및 제어 제어계통 배출 밸브의 작동 빈도를 최소화 하기 위해 제공되어야 한다.¡

사. 가스제거를 위한 탈기 응축기, 그리고 열적 영향을 감소하기 위한 탈기 냉각기에 청결한 중수를 제공한다.¡

아. 원자로 정지 기간중에 냉각재 계통을 정화한다.¡

5.6.1.1.2 성능 요건¡

냉각재 정화계통의 성능 요건은 다음과 같다:

가. 냉각재 계통에 잠재하는 부식생성물과 이온 불순물을 최소 정화 반감기 1시간에 해당하는 효과적인 비율로 제거한다.¡

나. 냉각재계통 정화수를 266℃에서 65℃로 냉각시키고 이온교환 수지 요건에 일치하는 정화온도 65℃로 제어한다. 이 계통은 최소 열 손실을 갖도록 설계되어야 한다. 2

다. 정화 냉각기 출구 온도가 85 ℃ 고온이면 정화수 공급을 중단한다.¡

라. 냉각기에 열응력을 최소화하기 위해 탈기 냉각기에 175℃~185℃ 온수 3.7kg/s를 공급한다. 9

마. 탈기 모드동안 탈기 냉각기에 청결수 9.0kg/s까지 공급할 수 있는 수단을 제공해야 한다.¡

바. 가열 모드동안 냉각재계통으로부터 배출 유량이 최대 약 15kg/s까지 증가할 때 이온교환수지탑과 여과기 입구의 온도를 65 ℃ 유지시킨다.¡ 2

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.1.1.3 안전 요건¡

냉각재 정화계통의 안전 요건은 다음과 같다:

가. 이 계통은 냉각재 계통의 저압력 (5.41 MPa(g), 785.3 psig) 신호를 받자 마자 루프 차단밸브(그림 5.6-1 참고)를 닫음으로써 두개의 냉각수 회로를 차단해야 하고 참고 문헌 5.6-1에 따라 LOCA시 냉각재 계통의 압력 경계 건전성을 유지해야 한다.¡

나. 이 계통은 압력 경계 건전성이 설계기준지진(참고문헌 5.6-2) 동안 및 그 후에도 유지될 수 있도록 설계기준지진 범주 'A' 의 요건에 따라 설계되어야 한다. 더우기 전동식 루프 차단 밸브는 설계기준지진 범주 'B'의 요건을 만족시키도록 설계되어야 한다.

다. 이 계통은 참고문헌 5.6-3에 기술한 환경검증 요건에 따라 설계되어야 한다. 냉각재 상실 사고에 따른 극심한 환경하에서 손상된 회로와 비파단 회로를 차단하는 기능을 가진 기기는 냉각재 상실 사고후에 온도, 습도, 압력과 방사능의 영향에 견디도록 설계되어야 한다.¡

5.6.1.1.4 적용규격, 표준및 등급¡

냉각재 정화 계통은 등급 1, 3 & 6 으로 분류되어야 하고 등급 1과 3은 CSA 표준 CAN3-N285.1-M81에 따라 등급 6은 CSA 표준 B.51에 따라 설계되어야 한다. 또한 다음 규격과 표준을 적용해야 한다:

가. CSA 표준 CAN3-N285.1-M81(참고문헌 5.6-5).

나. CSA 표준 CAN3-N285.4-94(참고문헌 5.6-6).¡

다. CSA 표준 CAN3-N286.0-M82(참고문헌 5.6-7).¡

1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

라. CSA 표준 CAN3-N289.1-M80(참고문헌 5.6-14).¡

마. CSA 표준 CAN3-N289.3-M81(참고문헌 5.6-15).¡

5.6.1.2 계통 설명¡

2개의 냉각재 회로에 1개의 정화계통이 공유된다. 냉각재회로로부터 계통류의 유입과 복귀는 원자로 노심을 기준으로 같은 쪽에서 이루어진다. 각 냉각재계통 펌프 방출구로부터 정지 냉각 계통 배관을 거쳐 유입된 유량은 공통 교환기, 냉각기, 2개의 여과기, 두개의 이온교환기를 통과하여 각 회로의 같은 펌프 흡입관으로 복귀한다. 냉각재 펌프 수두는 따라서 정화계통을 통과하는 유량공급을 위하여 사용된다.¡

교환기 - 냉각기 조합은 우선 중수를 냉각 한후 손실 영향을 최소화할 수 있도록 열을 회수하는 것이다. 원자로 정지후 고 정화 유량(24kg/s)에 의한 열손실(4.0MW(th))은 펌프열 (17MW(th))과 1% 잔열 (20.58MW(th))을 합한 것보다 낮게 설계되는데, 그것은 냉각재 계통이 최대 정화 유량의 고온 정지 상태(hot shutdown state)를 유지하도록 하기 위한 것이다. 종단차폐, 냉각재배관과 냉각재 보조계통으로의 열손실은 11.4MW(th)이다. 이것은 고정화 유량 24kg/s로 인한 열손실 4.0MW(th)를 포함하는 것이다.¡

압력 및 수위 제어 계통의 충수와 배출은 정화계통과 연결된다. 배출은 이온교환 수지탑 하류에서 이루어진다. 충수는 정화계통 차단 밸브 하류의 정화수 복귀 위치에서 이루어지므로 정화계통이 차단되어도 충수는 계속 가능하다.¡

비록 정상 배출 경로가 정화계통이 차단될 때 이용불가능해도 탈기 응축기로 통하는 탈기 배관이 중수를 배출하는 대체 수단으로 이용될 수 있다.¡

정화수를 제어하기 위한 정화 이온 교환 수지탑 하류에 하나의 제어 밸브가 있다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

이 계통의 설계압력은 12.89 MPa(g)이다. 계통의 설계 온도는 다음과 같이 다르다:

- 공급 차단 밸브에서 냉각기 튜브측 출구까지는 280 ℃이다.¡
- 냉각기 관측 출구에서 교환기 쉘측 입구까지는 93 ℃ 이다.¡
- 교환기 쉘측 입구에서 복귀 차단 밸브까지는 280 ℃이다.

냉각재 정화계통이 냉각재 계통에 연결될 때 과압 방지는 5.6.4절에서 설명하는 압력 및 수위제어(P & IC) 계통에 있는 압력 방출 장치에 의해 이루어진다.¡

냉각재 정화계통이 냉각재 계통으로부터 차단될 때, 과압방지는 정화 여과기와 이온교환기에 부착된 방출밸브에 의해 이루어진다.¡

보수목적으로 정화계통 입,출구 배관에는 루프 차단 밸브들이 있다. 이들 밸브들이 잠겼을 때, 정화계통을 배수시킬 필요없이 냉각재 계통을 배수 할 수 있다. 냉각재 계통 저압력시에 (5.41 MPa(g), 785.3 psig) 이들 밸브들은 자동으로 잠긴다.¡

5.6.1.3 기기 설명¡

5.6.1.3.1 여과기¡

여과기는 압력용기에 장착된 제거 가능한 카트리지를 사용한다. 두개의 여과기는 평행하게 설치된다. 한쪽 여과기의 카트리지는 다른 여과기에 고 정화 유량이 유지되고 있는 동안 교체될 수 있다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.1.3.2 이온 교환 수지탑¡

정화를 위해 두개의 이온 교환 수지탑이 사용된다. 이온 교환 수지탑은 접시형 머리와 구형 바닥으로 된 영구설치 압력 용기이다.¡

용기는 탄소강으로 제작된다. 상단의 유로입구와 출구, 그리고 하단의 수지 찌꺼기 출구와 상단의 입구에 수지 유출을 막기 위해 쐐기형 철사망 (wedge-wire screen)이 설치된다. 수지는 수지 처리 계통에 의해 수지탑으로의 출입이 수력학적으로 이송된다. 수지 처리계통은 정화 유량이 한쪽 수지탑에 흐르고 있는 동안 수지가 다른쪽 정화 이온 교환수지탑에서 교체될 수 있도록 설계된다.¡

5.6.1.3.3 교환기/ 냉각기¡

모두 튜브와 쉘 구조로 되어 있는 교환기와 냉각기의 조합은 정화수를 원자로 운전 온도에서 냉각재 정화 온도로 냉각시키는데 이용된다.¡

냉각재 정화 교환기(튜브, 쉘 양쪽 모두) 와 냉각기 (튜브쪽)에 대한 상세 응력 해석은 30년 발전소 운전 수명 동안 이들 기기의 성능과 작동 능력을 입증하기 위해 ASME 규격 Section Ⅲ (참고 문헌 5.6-8)에 규정한 등급 1 운전한계에 따라 수행된다. 시험, 비정상상태, 사고시의 발전소 공정조건 뿐만 아니라 가열/냉각, 기동/정지, 출력 조정을 포함한 과도상태가 이러한 해석에서 고려된다.

교환기와 냉각기는 설계기준 지진 중과 후에 압력 경계 건전성을 유지하기 위해 설계기준 지진 범주 'A'에 내진 검증된다.¡

냉각재 정화 계통의 교환기와 냉각기 설계는 또한 AECB 규제문서 R-77 (참고문헌 5.6-9)의 요건을 만족한다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.1.4 계통 운전¡

5.6.1.4.1 정상 운전¡

유량 조절 밸브의 수동제어기는 유량 지시기에 24.0kg/s의 유량이 계시될 때까지 조절된다.¡

점차적으로 여과기가 찌꺼기를 제거함에 따라 여과기를 통과하는 압력 강하가 일어난다. 이것은 여과기의 차압 측정으로 직접 관측되고 수동 조작 설정치 24.0 kg/s로 부터 유량이 감소함으로써 간접적으로 관측된다. 주기적으로 운전원은 유량을 증가시켜 24.0 kg/s가 되도록 한다. 결국에 가서는 압력차가 증가되어, 정상 유량 조건에서 차압이 0.2 MPa(30 psi)에 도달했음을 알리는 여과기에서의 고 차압 경보가 모니터에 나타나고 여과기는 교체되어야 한다. 여과기는 매 6개월에 한번씩 교체될 것으로 예상된다.¡

5.6.1.4.2 비정상 운전¡

원자로가 정지되고 정지냉각 계통이 작동할 때 냉각재 정화 계통은 정지 냉각 펌프 출구 배관에서 유량을 취하여 교환기 튜브, 냉각기, 여과기와 이온교환수지탑, 교환기 쉘을 통과시킨 후 정지 냉각 펌프의 흡입구 쪽으로 복귀시킨다.¡

정지 냉각 기간동안의 정화수는 정지 냉각 계통 펌프의 유효 수두에 의존한다. 예상 최대 유효수두 0.75MPa(110 psig)에서 유량은 177℃(350°F), 14.4kg/s(190 Igpm)까지 가능하다. 이 운전 모드에서 냉각재차단 밸브는 닫힌다.¡

냉각재 계통이 부분 배수될 때 정화는 불가능하다. 그러나, 이 운전 모드의 빈도는 낮을 것이다, 더우기, 정상 정지 냉각과 정화는 일단 냉각재 계통이 재충전되고 원자로가 다시 가동하기 전에 재개될 수 있다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

교환기 튜브의 작은 손상은 정화계통과 냉각재 계통에 영향을 크게 미치지 않을 것이다. 유량중 일부는 정화 회로를 우회하고 유량 조절 밸브는 정상 유량을 유지하기 위해 더욱 많이 열려야만 될 것이다.¡

냉각기 튜브의 작은 손상은 재순환 냉각수에 중수유실을 초래하게 되는데, 이것은 원자로 건물내의 누출 감지계통에 의해 감지될 수 있고, 냉각재 정화에는 영향이 없다.¡

교환기, 냉각기의 튜브측이나 쉘측에서의 커다란 손상은 정화불능상태를 초래할 수 있다. 정화계통은 냉각재 계통과 직접 연결되어 있기 때문에 냉각재 상실 사고를 초래할 수 있다. 냉각재 계통 저압력 (5.41 MPa(g), 785.3 psig) 신호에 따라 냉각재 정화 계통은 전동식 회로 차단 밸브의 잠김으로 자동 차단되고 중수의 흐름은 중단된다.¡

5.6.1.5 안전성

냉각재계통의 화학제어를 위해 정화계통을 운전한다. 결함 핵연료 다발로 부터 만일 방사성 I-31(Iodine-131)이 유출되어 정지 한계까지 축적되면 원자로는 정지되어야만 할 것이다. 25

그러나 긴급 상황하에서 냉각재계통의 정화계통이 차단된 채 운전된다면, 냉각재의 화학성분은 세밀하게 감시되어야 한다. 운전은 화학처리한계를 넘기 전에 정지되고 냉각재 정화 계통을 다시 작동시킬 수 있도록 적절한 조치가 취해진다.¡

냉각재 정화 계통의 차단밸브들은 냉각재 계통 저압력 (5.41 MPa(g), 785.3 psig) 신호에 따라 자동으로 잠기게 설계되고 냉각재 정화 계통을 차단하도록 설계된다. 이 조치는 건전한 냉각재 회로를 손상된 회로와 차

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

승인근거
월성원전지역사무소-646
(2016.05.13)

단하는 것이다. 계통의 전동식 차단밸브들은 냉각재 상실 사고후 존재할 수 있는 온도, 습도, 압력과 방사선장의 영향에 견디도록 설계된다.¡

이 계통은 전동식 차단 밸브가 설계 기준 지진 범주 'B' 에 따라 설계되는 것을 제외하고 설계 기준 지진 범주 'A'에 따라 내진 검증된다. 이 계통이 내진검증되는 이유는 이 계통이 냉각재 계통과 연결되어 있고 지진발생시 계통의 손상이 냉각재 상실 사고를 유발할 수 있기 때문이다.¡

5.6.1.6 가동중 검사 및 시험

5.6.1.6.1 가동중 검사

압력유지 기기에 대한 가동중검사 계획은 고장시 방사선 위험을 초래할 수 있는 원자력발전소 기기들에 대한 의무 검사를 수행하기 위하여 CSA 표준 N285.4 "CANDU형 원자력발전소 기기의 가동중검사"를 따른다. 189

5.6.1.6.2 압력시험

냉각재 정화계통에 대한 압력시험은 등급 1에 대하여 ASME 보일러 및 압력용기 코드 Section Ⅲ 부절 NB 등급 3에 대하여 ND 그리고 등급 6에 대하여 ANSI/ASME B31.1 power piping code에 따라 수행된다. 냉각재 정화계통에 대한 압력시험 (수압 및 누설시험)은 계통이 설치되고 초기운전전에 실시된다.

압력시험 및 가압후 누설시험 방법은 등급 1에 대해 ASME Section Ⅲ의 NB-6000과 등급 3에 대해 ND-6000에 따라 수행된다. 1

5.6.1.6.3 가동중 시험

냉각재 정화계통의 운전전 성능시험은 시운전시 원자로 운전시작전에 계통의 부품들이 설계요건대로 성능을 가지고 운전됨을 확인하기 위하여 실시

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

된다.

이 계통의 압력방출장치에 대한 운전중 시험은 ASME OM-1990 부록 1의 요건에 따라 실시된다 (자세한 사항은 6.9.2.3.6 참조)

냉각재 정화계통 차단밸브 (3335-MV1, MV2, MV3, MV4)는 적어도 매 31일마다 16.4.4.2절에 기술된대로 회로 차단신호나 또는 시험신호를 받아 20초 이내에 닫히는 것을 확인함으로써 작동 가능성을 입증한다. 1

5.6.2 축밀봉(Gland seal) 냉각 계통¡

냉각재 펌프는 가압된 고온의 중수를 냉각재 계통에 순환시킨다. 이 펌프는 수직형, 일단, 단일흡입구, 이중배출구, 이중 나선(double volute), 원심형 펌프이다. 각 펌프는 하나의 글랜드를 가지고 있는데, 여기서 축밀봉 장치(세개의 기계식 밀봉 장치와 한개의 보조 밀봉)는 냉각재 계통으로부터의 누설을 방지하도록 설치된다. 이 밀봉장치는 계통의 미립자와 고온에 민감하여 손상될 가능성이 있기 때문에, 다음의 기능 요건들을 만족시키기 위한 별도의 축밀봉 냉각계통이 요구된다.¡

축밀봉 냉각계통에 대한 계통 흐름도는 그림 5.6-2에 나타나 있다.

5.6.2.1 설계 기준¡

5.6.2.1.1 기능 요건¡

축밀봉 냉각 계통은 다음과 같은 기능 요건을 갖는다:

가. 냉각재계통이 가압될 때, 펌프 글랜드 냉각을 위해 각 펌프의 축밀봉장치에 깨끗하고, 냉각된 가압 중수를 공급한다.¡

나. 주입배관에 입자유입으로 인한 기계적 밀봉 장치의 손상 방지를 위

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

해 여과 기능과 시료 채취 기능을 갖추어야 한다.¡

다. 각 축밀봉 회로에 정상 펌프 글랜드 주입수와 보조수의 냉각수단을 제공한다.¡

라. 정상 주입수 공급 상실시 냉각재 펌프 케이싱으로부터 보조수를 공급한다.¡

마. 펌프 글랜드로부터 밀봉 교축 (seal throttle) 을 통하여 냉각재 중수 저장 탱크로 이르는 단계류에 복귀관을 제공한다.¡

바. 해당 펌프 전동기에 전원이 공급되지 않을 때마다 각 글랜드를 자동 봉쇄하는 기능을 한다.¡

사. 세개의 기계적 밀봉장치 손상을 검출한다.¡

아. 축밀봉 장치의 다중성을 제공한다. 펌프는 기계적 밀봉장치중 하나가 손상되어도 운전가능하다. 그러나, 이 경우에 있어서는 나머지 두개의 밀봉 장치에 대한 세밀한 감시가 필요하다.¡

자. 두개의 기계적 밀봉장치가 손상되었을 경우 냉각재 펌프는 즉시 정지되어야 하고 밀봉장치는 교환되어야 한다.¡

차. 보수기간중에 냉각재 계통을 배기하고 질소를 공급하는 설비를 갖추어야 한다.¡

5.6.2.1.2 성능 요건¡

축밀봉 냉각 계통은 다음과 같은 성능 요건을 갖는다:

가. 각 냉각재 펌프 글랜드에 0.152 l/s(2.0 Igpm)의 최소 정상 주입수를 공급한다.¡

나. 정상 주입수 상실시 냉각재 펌프 케이싱으로 부터 0.076 l/s(1.0 Igpm)의 보조수를 공급한다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.2.1.3 안전 요건¡

축밀봉 냉각계통은 다음과 같은 안전 요건을 갖는다.¡

가. 안전 관련 계통으로서 밀봉의 건전성을 유지하기 위해 냉각재 펌프 글랜드에 냉각수를 공급하고 축밀봉 냉각이 손상되는 사고에 있어서 냉각재 계통으로부터 냉각수 유출을 막는다. (참고 문헌 5.6-1)¡

나. 설계기준 지진후에 냉각재 계통의 압력 경계 유지를 보장하기 위하여 설계기준 지진에 내진 검증된다. (참고문헌 5.6-2)¡

다. 냉각재 상실사고 (LOCA)나 주증기관 파단 (MSLB) 후의 열악한 환경조건에서 밀봉의 건전성을 유지하여 펌프 밀봉장치에 냉각수를 공급할 수 있도록 설계되어야 한다. (참고문헌 5.6-3)¡

라. 냉각재 펌프 전동기의 가연성 윤활유에 의한 화재를 완화시켜 냉각재 압력경계를 유지하도록 설계되어야 한다. (참고문헌 5.6-16)

5.6.2.1.4 적용규격, 표준 및 등급

축밀봉 냉각유로의 냉각재 압력 경계 부분은 참고 문헌 5.6-4에 따라 등급 1로 분류되어야 하며, 나머지 부분은 등급 3으로 분류되어야 한다. 참고문헌 5.6-5의 요건에 따라 이 계통은 설계, 제작, 설치된다.¡

5.6.2.2 계통 설명¡

냉각재 펌프 글랜드는 밀봉장치, 보조임펠러와 펌프베어링으로 되어 있고, 외부 열교환기를 포함한 재순환 회로가 있다. 차고 깨끗한 고압 중수가 밀봉장치와 베어링을 냉각하고 윤활할 수 있도록 글랜드를 통과하도록 해야

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한다.¡

축밀봉 회로는 중수 충수 펌프 배출 배관에서 시작하여 2개중 1개의 여과기를 거쳐 4개의 냉각재 펌프 글랜드로 공급되는 회로로 구성된다. 중수 충수 펌프는 정상 주입수가 글랜드에 주입되기 전 재순환 회로에 공급된다. 재순환 유량은 항상 일정하고, 정상 주입수는 글랜드 단계류(gland staging flow)에 공급되며 케이싱과 펌프 글랜드 사이에 위치한 제한 부싱(restriction bushing)을 거쳐 펌프 케이싱으로 흐른다.¡

각 주입배관은 수동 차단 밸브, 압력 감소장치와 저유량 경보기가 설치된 유량계로 구성되어 있다. 유량계는 각 펌프 글랜드에 통하는 유량 감시 목적과 유량이 낮을 때 경보를 위하여 사용된다.¡

압력 감소 장치는 주입유량을 제어하고, 5.6.2.4.1절에서 설명한 바와 같이 정상 원자로 운전 조건에서 밀봉장치에서 발생할 수 있는 최소 압력차에 대한 펌프당 최소 필요유량 0.152 l/s(2.0 Igpm)을 보장하도록 설계된다. 이들 조건을 고려하여 설계하는 것은 압력차, 예를 들어 중수 펌프 출구 압력(더욱 작은관 손실)과 냉각재 펌프 케이싱과의 압력차가 정상최고치보다 작을 때의 거의 모든 비정상 운전 조건에 대한 필요한 정상 주입 유량을 보장할 수 있기 때문이다. 압력차가 정상최소치보다 작을 때, 정상 주입유량이 0.152 l/s(2.0 Igpm)보다 작거나 혹은 보조유량이 공급된다.¡

주입수는 재순환류와 혼합되어 외부 열교환기를 통과한 후 보조 임펠러 상단과 밀봉 하부사이에서 펌프로 들어간다. 열교환기는 기기 냉각수(RCW)계통으로부터 1.44 l/s(19 Igpm)의 냉각수를 공급받는다. 냉각재 펌프 축밀봉 회로에 대한 기기 냉각수 공급은 4급 전원 상실후 3급 전원이 공급될 때 가능하다.¡

윤활과 냉각을 위해 밀봉장치를 통하여 소량의 유량이 공급된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

나머지 유량은 보조임펠러에 의해 재순환되고, 일부 유량은 제한부싱을 통하여 냉각재 펌프 벌루트(volute) 케이스로 유입된다. 이 유량은 고온의 D_2O 가 밀봉 공동(seal cavity)으로 유입되는 것을 방지한다.¡

축밀봉구조는 세개의 기계적, 밀봉장치가 직렬로 연결되어 있고 하나의 보조밀봉장치로 되어 있다. 밀봉의 교축기능은 세개 밀봉장치의 각각에서 발생하는 압력 손실을 균일하게 한다. 단계류 (복귀류)의 대부분은 펌프글랜드 복귀 배관을 거쳐 냉각재 중수 저장 탱크의 하단부로 배출된다. 나머지는 적은 누설로 세번째 밀봉장치를 거쳐 냉각재 중수 수집 계통으로 흘러 들어간다. 세번째 기계적 밀봉장치위에 위치한 누설수집 공동은 밀봉누설을 냉각재 중수 수집 계통으로 배출하도록 되어 있다. 보조밀봉은 공동으로부터 전동기 받침대로의 누설을 방지하기 위해 누설 수집 공동 윗부분에 위치한다. 받침대로 부터 냉각재 중수 수집 계통으로의 배출기능은 보조밀봉을 통한 누설이 발생할 경우를 대비한 것이다.¡

개별 펌프 글랜드 세번째 공동으로 부터의 복귀 배관은 냉각재 중수 저장 탱크 하단부로 배출되는 공동 복귀배관과 연결된다. 각 개별 복귀 배관에는 공기식 글로브(globe) 밸브가 설치되어 있다. 이 밸브들은 펌프 글랜드 봉쇄 밸브들이다. 이 밸브들은 해당 냉각재 펌프가 정지될 때 닫히고 작동할 때 열린다. 해당 펌프 전동기에 전원이 공급되지 않을 때 1분 지체후 밸브는 자동으로 잠긴다. 이들 밸브들은 해당 펌프 전동기가 기동하기전에 수동으로 열린다.¡

정격조건에서, 정상주입수 온도는 65.6℃ (150°F)이다. 주입수 최대 온도는 93.3 ℃(200 °F)이다.¡

중수 충수 펌프 배출 압력은 13.73 MPa(g) (1992 psig)와 냉각재 계통의 충수유량에 따른 어느정도 낮은 값 사이에서 변화한다. 높은 압력은 적은 충수 유량에 해당한다. 압력이 충분히 낮은 값으로 떨어질 때 보조밀봉 냉각수

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

공급이 시작된다.¡

공통 주입 공급 배관에 설치된 체크밸브는 중수 충수 펌프 배출 압력이 매우 낮아지고, 중수가 보조 공급에 의해 글랜드로 공급될 때 충수회로의 역류를 방지한다.¡

주입수 상실시, 글랜드로의 중수 보조공급은 냉각재 계통으로부터 냉각재 펌프 케이싱을 거친 266℃ (511°F)의 유출수(outflow)로 이루어 진다. 고온의 유수는 보조 임펠러로 부터 배출된 재순환류와 혼합되어 글랜드로 되돌아 가기전 냉각을 위해 외부열교환기를 통과한다. 글랜드를 통과하는 단계류(staging flow)는 온도가 다소 다를지라도 정상 운전모드와 같은 상태를 유지한다.¡

5.6.2.3 기기 설명¡

5.6.2.3.1 여과기¡

여과기는 분리형 상단 플랜지에 부착된 여과장치를 갖는 교체형 여과기이다. 출구 끝부분은 여과된 중수에 접하고 있는데 스테인레스 강으로 되어 있다. 용기의 나머지 부분은 탄소강이다.¡

5.6.2.3.2 압력 감소 코일¡

압력 감소 코일은 정격 조건에서 교축 (throttle) 지점사이에서의 최소 압력차에 대한 최소 요구 유량 0.152 l/s(2.0 Igpm)을 통과시키도록 설계된다. 시험운전중에 주입수는 세밀하게 감시되고 필요한 유량 공급을 위해 주입교축 길이를 조정한다. (필요하면 다시 가공한다.)¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.2.3.3 밸 브¡

축밀봉 복귀 밸브는 공기로 작동되고, 고장시 닫히며, 벨로우즈로 밀봉된 글로브 밸브이다. 역지 밸브는 회전형이다. 모든 다른 밸브들은 수동으로 작동되는 밸로우즈로 밀봉된 글로브 밸브이다.¡

이 밸브들은 누설수집연결이 필요하지 않다. 벨로우즈는 글로브 밸브에 확실한 밀봉 역할은 하지만, 보조밀봉을 위하여 각 밸브스템에 단일 패킹장치를 한다. 역지 밸브 몸체는 밀봉되어 있다.¡

유로의 모든 밸브는 맞대기 용접이 된다. 공통 배수 밸브는 글랜드로의 냉각수 상실 방지를 보장하기 위한 보다 큰 계통 신뢰도를 위해 닫힌 상태로 고정시킨다. 이 밸브는 상류의 밸브들을 통한 밀봉 누설을 검사하기 위해 주기적으로 열린다.¡

5.6.2.3.4 배 관¡

주입수의 순도를 보장하기 위해 여과기 출구와 기기들 그리고 냉각재 펌프쪽의 여과기 하류 배관은 스테인레스 강으로 제작된다. 질소 첨가중에 글랜드로 부터의 부식생성물 유입 가능성을 배제하기 위해 질소 첨가 배관을 스테인레스 강으로 또한 설치된다. 계통의 나머지 부분은 탄소강으로 설치된다.¡

5.6.2.4 계통 운전¡

5.6.2.4.1 정상 운전¡

네대의 냉각재 펌프가 작동하고 (냉각재 펌프 흡입 압력 = 9.44MPa(g) (1369 psig)), 중수 충수 펌프가 저유량 모드에서 작동하고, 펌프 밀봉이 손상되지 않고, 기기 냉각수가 공급되고 있을 때의 조건을 정상 운전이라 정의한다. 냉각

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

재 계통으로부터 냉각재 펌프 케이싱을 경유한 글랜드로의 유출수는 정상 주입수 공급 압력에 의해 방지된다.¡

중수 충수 펌프가 배출압력 11.445 MPa(g) (1660 psig) 에서 고유량으로 작동하는 것을 제외하고는, 전술한 바와 같은 조건을 정격 조건이라 정의한다. 이것은 압력 유지 장치가 냉각재 펌프당 최소 요구유량 0.152 l/s (2.0 lgpm) 을 통과시키도록 설계되는 조건 혹은 압력유지 장치가 정격인 조건이다.¡

때때로 중수 충수 펌프는 고유량에 보조글랜드 공급이 이루어질 정도의 낮은 배출압력에서 작동하는 경우도 있다.¡

냉각재 펌프가 작동할 때마다 해당 봉쇄(bottling) 밸브는 어떠한 다른 조건에 관계없이 열린다. 만약에 이 밸브가 닫힌다면 높은 압력차가 세번째 밀봉장치에 발생하고 첫번째와 두번째 밀봉장치에서의 압력차는 낮다; 이들 비정상적인 압력차는 냉각재 펌프 운전 중에 가장 큰 손상을 입힌다.¡

글랜드 봉쇄해제(unbottling) 는 원격 수동(핸드 스위치)에 의해 냉각재 펌프 기동전에 수행된다.¡

가능한한 기기 냉각수는 연속 공급되어야 한다. 글랜드에 관한 한 기기 냉각수는 냉각재 계통 온도가 주입수 상실시 글랜드 허용온도를 넘지 않는 온도 일때만 정지되어야 한다. 냉각재 계통의 이 온도는 대략적으로 글랜드 허용 온도이다.¡

5.6.2.4.2 비정상 운전¡

정상 주입수 공급상실에 따라, 역지 밸브는 닫히고 냉각재 펌프 케이싱으로 부터 고온의 유출수가 글랜드에 유입된다. 유출수는 강제 재순환류와 혼합되고 글랜드에 유입되기 전 글랜드 냉각기에 의해 냉각된다. 밀봉계통은 이러한 조건에서 연속 운전을 위해 적합하다. 그러나 유출수에 함유된 미립자는

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

정상주입수에 함유된 것들보다 크고 고방사선 가능성을 야기시키면서 글랜드 부품들에 축적될 것으로 예상된다. 이러한 이유로 24시간 내에 냉각재 펌프는 반드시 정지되어야 한다. 냉각재 계통이 중수 충수 펌프 없이 24시간 동안 운전할 수 없기 때문에 24시간이란 제한 조건은 엄격한 제한 조건이 아니다.¡

펌프축밀봉에 보조공급이 되고 있는 동안, 냉각재 계통으로 부터 약 0.076 l/s (1 Igpm)의 유량이 밀봉장치를 통하여 냉각재 중수 저장 탱크로 상실된다. 양쪽 충수 펌프가 이용불가능하기 때문에 중수 수위 상실은 결국 가압기 수위편차로 인한 경보를 발생시킨다. 운전원은 이때 원자로를 정지시킨다. 냉각재 펌프는 정지 될 것이고 글랜드 밀봉 봉쇄 (bottling) 밸브는 잠길 것이다. 따라서 운전원이 조치를 취할 시간은 충분하다.¡

글랜드 냉각기에 기기냉각수 상실시 글랜드를 통과하는 유량은 정상 운전시와 같이 유지된다. 중수 충수 펌프로부터 공급된 정상 글랜드 주입수에 의해 다소의 냉각은 이루어진다. 기기냉각수 공급이 계속 중단되면, 냉각재 펌프는 60분간 계속 운전 가능하다. 이것은 글랜드와 모터 베어링에서의 허용한계 이상의 온도 상승을 방지하기 위한 것이다.¡

정상주입수와 기기냉각수 상실시 글랜드를 통과하는 유량은 정상운전시와 같다. 만일 정상 주입수와 기기냉각수 상실후 15분후에 유량 공급이 정상화 되지 않으면, 냉각재 펌프는 정지되어야 하고 봉쇄밸브(bottling valve)는 닫혀야 한다.¡

하나의 밀봉장치가 상실될 때, 냉각재 펌프는 냉각재계통의 고온과 가압상태에서 운전될 수 있으나 다른 두 개의 밀봉장치에 대한 세밀한 감시가 요구된다. 하나의 밀봉장치 손상시 단계류(staging flow)는 정상 단계류 0.076 l/s(1.0 Igpm)에 비해 0.102 l/s (1.35 Igpm)이다. 손상된 밀봉이 세번째 밀봉장치이면, 단계류의 일부분은 글랜드 봉쇄가 해제되면 세번째 밀봉을 통하여

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

D_2O 수집계통으로 유입되고, 글랜드가 봉쇄되면 단계류 전체가 세번째 밀봉장치를 통과한다. 즉, 봉쇄 (bottling)는 세번째 밀봉이 손상되면 비효과적이다.¡

만일 정상주입수와 세번째 밀봉 손상이 동시에 발생한다면, 펌프는 정지되어서는 안된다. 펌프가 만일 정지되면 펌프는 다시 기동해야 되고(봉쇄 밸브는 열림) 냉각재 계통의 냉각이 기회있는 대로 시작되어야 한다. 이러한 조건에서의 운전 시간은 글랜드 복귀 온도에 의해 제한된다.¡

2개의 밀봉장치가 손상될 때, 냉각재 펌프는 즉시 정지되어야 한다. 정상적으로 냉각재 계통은 이러한 조건에서 무한히 고온의 상태를 유지할 수 있으나, 나머지 밀봉장치에 대한 세밀한 감시가 요구된다. 2개의 밀봉장치 손상시 단계류 (staging flow)는 0.145 l/s(1.92 Igpm)이다. 손상된 밀봉장치중 하나가 세번째 밀봉장치이면, "하나의 손상된 밀봉"에 대해 언급한 바와 같은 글랜드에 단계류가 있다.¡

세개의 밀봉이 손상되면 냉각재 펌프는 즉시 정지되어야 하고, 냉각재 계통은 냉각되고 감압되어야 하며, 밀봉장치는 교환되어야 한다. 냉각과 감압과정에서, 봉쇄밸브는 보조밀봉의 손상 가능성을 줄이기 위하여 보조밀봉에 대한 압력을 감소시킬 수 있게 수동으로 열어 주어야 한다.¡

각각의 여과기에 대해서, 연동장치를 설치하여 상류 차단밸브가 잠기기전에 배기관이 열리도록함으로써, 상하류 양쪽차단 밸브가 닫혔을 때 여과기 용기를 과압으로 부터 보호한다.¡

중수가 냉각재 계통으로 부터 직접 글랜드로 유입될 때의 보조수 공급 기간동안, 방사능이 N^{16}과 광중성자원에 의해 존재할 것이다; 중수는 노심을 떠난 후 7초후에 글랜드로 유입된다. (N^{16}의 반감기는 7초이다)¡

배수를 위하여 질소회로는 신속 연결장치(quick connector)로 연결된다. 초기에는 공통 배수관의 배수 밸브와 각 주입관의 배수 밸브는 계속 잠겨

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

있다. 그후 각 주입관의 배수 밸브는 열린다. 결국, 공통 배수밸브는 냉각재 펌프 글랜드 공동을 배수하도록 열린다.¡

충수와 배기를 위하여, 질소 공급밸브는 닫히고, 질소 공급 신속 연결 장치는 제거되고 공통 배수 밸브는 열린다. 주입관의 각 배수밸브는 정상 유량이 점검구에 관측될 때까지 열린 후 닫힌다. 공통 배수밸브는 닫힌 상태로 고정시키고, 배기 밸브는 정상유량이 점검구에 관측될 때까지 열린 후 닫힌다.¡

5.6.2.5 안전성

이 계통의 글랜드 주입 역지 밸브에서 냉각재 펌프 글랜드, 펌프 배기 밸브, 공통 배수 밸브 그리고 질소 첨가 역지 밸브까지의 부분은 참고문헌 5.6-4에 따라 등급 1로 분류된다. 계통의 다른 부분은 3급으로 분류된다.¡

글랜드 주입 체크 밸브에서 글랜드 복귀 차단 밸브의 글랜드 회로 배관부분은 DBE 범주 'A'로 분류되고 글랜드 주입 역지 밸브와 글랜드 복귀 차단 밸브는 DBE 범주 'B'로 분류된다. 이 부분 이외의 기기들은 내진검증될 필요는 없고 NBCC의 최소한의 기준을 만족한다.¡

글랜드 복귀관의 공기식 차단 밸브들은 냉각재 상실사고와 주증기관 파단 사고시의 열악한 환경 조건하에서 밀봉의 건전성을 유지하고 냉각재 압력 경계로부터 냉각수 누출 방지를 위해 환경 검증된다.¡

냉각재 펌프는 냉각재 상실 사고에서 낮은 냉각재 압력에의해 자동 정지되기 때문에, 냉각재 펌프로부터 이용가능한 보조 글랜드 주입 공급은 냉각재 펌프가 정지될 때까지 글랜드 냉각을 보장하기에 적당하다. 이 주입 공급은 열악한 냉각재 상실 사고의 환경하에 수행될 수 있다.¡

5.6.2.6 가동중 검사 및 시험

1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

승인근거
월성원전지역사무소-646
(2016.05.13)

5.6.2.6.1 가동중 검사

압력유지 기기에 대한 가동중검사 계획은 고장시 방사선 위험을 초래할 수 있는 원자력발전소 장비들에 대한 의무검사를 수행하기 위하여 CSA 표준 N285.4 “CANDU형 원자력발전소 기기의 가동중검사”에 따른다. 189
축밀봉 냉각계통에 대한 가동중검사는 적은 고장크기 때문에 요구되지 않는다.

5.6.2.6.2 압력시험

축밀봉 냉각계통에 대한 압력시험은 등급 1에 대해 ASME 보일러 및 압력용기 코드 Section Ⅲ 부절 NB 그리고 등급 3에 대하여 부절 ND에 따라 수행된다. 축밀봉 냉각계통에 대한 압력시험 (수압 및 누설시험)은 계통이 설치되고 초기운전전에 실시된다.
압력시험 및 가압후 누설시험 방법은 등급 1에 대해 ASME Section Ⅲ의 NB-6000과 등급 3에 대하여 ND-6000에 따라 수행된다. 1

5.6.2.6.3 가동중 시험

축밀봉 냉각계통에 대한 운전전 성능시험은 시운전시 원자로 운전 시작전에 계통의 부품들이 설계요건대로 성능을 가지고 운전됨을 확인하기 위하여 실시된다. 운전 시작후에는 가동중 시험요건이 없다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.3 정지냉각계통¡

정지 냉각계통은 원자로 정지중에 일정기간 동안 냉각재계통을 냉각시키도록 되어 있다. 이 계통은 또한 증기발생기와 냉각재 펌프 내부를 보수할 수 있도록 냉각재 계통을 모관높이까지 배수시켜 노심 냉각을 하도록 설계된다.¡

정지냉각계통의 개략도는 그림 5.6-3에 나타나 있고 흐름도 86-33410--1-FS-E가 첨부된다.¡

5.6.3.1 설계 기준¡

5.6.3.1.1 기능 요건¡

정지냉각계통의 기능 요건은 다음과 같다:

가. 원자로 정지후 그리고 증기 방출에 의한 초기 냉각후 냉각재 계통을 보수하기 적당한 온도까지 냉각시킨다.¡

나. 정지중에 원자로로 부터 붕괴열을 제거한다.¡

다. 냉각재계통 온도를 원하는 기간동안 보수하기에 적당한 온도를 유지시킨다.¡

라. 냉각재펌프 혹은 증기 발생기를 보수할 수 있도록 냉각재 계통의 배수, 재충전과 수위 제어기능을 갖는다.¡

마. 냉각재펌프와 증기발생기 보수가 가능하도록 냉각재계통을 모관높이까지 배수시켜 노심 냉각을 할 수 있어야 한다.¡

바. 냉각재계통이 모관 높이까지 배수될 때를 제외하고 모든 정지냉각계통 운전 단계 동안 냉각재계통 중수 정화를 하여야 한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

사. 비정상조건하에서 냉각재 계통을 260℃ (500°F)에서 부터 냉각 시킬 수 있어야 한다.¡

아. 펌프 정지시마다 정지냉각계통 펌프 단계 밀봉(seal staging) 밸브의 자동 차단 기능을 갖도록 한다.¡

5.6.3.1.2 성능 요건¡

정지냉각계통이 성능 요건은 다음과 같다:

가. 냉각재계통은 6시간 내에 177 ℃ (350 °F)에서 54 ℃로 냉각시키고 계통을 54℃ (350°F) 로 일정 기간 만큼 유지시킨다.¡

나. 비정상 냉각 과정에서 원자로 정지후 30분 이후에 냉각재 계통온도 260℃에서 두대의 정지냉각 펌프가 작동할 때 노심 비등현상이 없도록 보장한다.¡

다. 하나의 정지냉각 펌프 손상중에 원자로 정지 30분 이후에 냉각재 계통온도 260 ℃에서 하나의 정지냉각 펌프가 작동할 때 노심 비등 현상이 없도록 보장한다.¡

라. 4급 및 3급의 전원에 의해 작동되도록 설계된다.¡

5.6.3.1.3 안전 요건¡

정지냉각계통의 안전 요건은 다음과 같다:

가. 정상적인 원자로 정지후와 어떠한 사고조건 예를들어 (충수 배관 파단) 후에 핵연료로 부터 붕괴열을 제거하여야 한다.¡

나. 계통이 냉각재 계통과 연결될 때 냉각재 계통의 압력 경계 건전성을 보장하기 위해 설계기준 지진에 의해 내진 검증되어야 한다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

다. 냉각재 상실 사고에 의한 열악한 환경 조건에서 충분한 기능을 하도록 검증되어야 한다. 정지와 초기 냉각 후에 건전한 루프로 부터 붕괴열을 제거하여야 한다.

5.6.3.1.4 적용 규격, 표준및 등급

이 계통의 손상이 어떠한 조건하에서는 냉각재상실사고를 초래할 수 있기 때문에 이 계통은 참고문헌 5.6-4에 따라 등급 1로 분류되어야 한다. 이 계통은 ASME 규격 Section Ⅲ (참고문헌 5.6-8)을 참고로 하는 참고 문헌 5.6-5의 요건에 따라 설계, 제작되고 설치된다.¡

5.6.3.2 계통 설명¡

이 계통은 원자로 양쪽 끝에 한대의 펌프와 한대의 열 교환기로 구성되어 양쪽 열 수송 회로의 입구와 출구 모관 사이에 연결된다. 설계는 냉각재 펌프 (유로가 SDC 열교환기를 거쳐 정지냉각 펌프를 우회하여 입구 모관에서 출구 모관으로 향한다)나 정지냉각 펌프 (유로는 정지냉각 열교환기를 경유하여 출구 모관에서 입구 모관으로 향한다.)를 이용하여 냉각이 이루어질 수 있도록 한다. 어느 경우든, 입구 모관에서의 압력은 중수가 노심을 통과하여 반대쪽 출구 모관에 수송될 수 있는 충분한 압력이다.¡

정지 냉각계통은 원자로 건물 내부에 위치한다. 계통전체는 원자로 모관 높이 아래에 놓인다. 냉각재 계통으로부터의 주 차단 밸브는 평상시 닫혀 있고 펌프 차단 밸브는 원자로 운전중에 항상 열려 있다. 원자로 정상 운전시 계통은 감압된 상태로 있고 중수로 충전되어 있다.¡

원자로가 정지되고 정지냉각계통이 작동할 때, 냉각재 정화는 정지냉각 펌프 출구에서 유량을 빼내어 교환기 관측, 냉각기, 여과기, 이온교환수지

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

탑, 교환기 쉘측을 통과시킨 후 정지냉각 펌프 흡입구로 보냄으로써 이루어진다.

스프링이 장착된 압력 방출 밸브 3341-RV49와 -RV50(첨부된 정지냉각계통 배관 및 계기도면 참조)은 과압 방지 기능을 한다. 원자로 정지중에, 정지냉각계통은 냉각재 계통에 연결됨으로써 냉각재계통을 위한 과압방지 장치가 또한 정기냉각계통을 과압으로 부터 보호한다.

5.6.3.3 기기 설명¡

5.6.3.3.1 정지 냉각 펌프¡

하나의 100% 수직, 원심형, 전기 구동 펌프가 각 정지냉각 회로에설치 된다. 펌프의 정격 용량은 73.8 m(242 ft) 수두에서 유량 182 l/s(2400 Igpm)이다. 펌프 구동 전동기는 300 HP 정격 출력을 갖는다. 펌프 전동기는 검사와 수리를 할 수 있도록 원자로 운전중에 접근가능하다. 원자로 정지중에 정지냉각 펌프는 검사를 위해서는 접근가능하나 주요 부분 수리를 위한 것은 아니다.¡

정지냉각 펌프는 ASME 규격 Section Ⅲ (참고문헌 5.6-8)의 요건을 만족하도록 설계된다. 이들 펌프에는 두개의 주요 밀봉장치와 하나의 보조 밀봉장치가 직렬로 연결되어 있다. 보조밀봉장치는 원자로 건물로의 삼중수소 누출을 막기 위해 설계되어 있다. 보조 밀봉 장치는 주요 밀봉 장치가 상실된 후 펌프가 정지하거나 감속(coasting down)할 때 주위로의 다량의 누설을 방지하기 위한 것이다. 밀봉 장치는 신속한 제거와 교체를 위해 단일 카트리지 조립품으로 조립되어 있다.¡

밀봉 냉각용 중수는 정지냉각 펌프에 의해 공급된다. 펌프 베어링 상단의 펌프축에 설치된 보조임펠러는 회로내의 중수를 냉각과 윤활을 목적으로 펌프 베어링을 통과하도록 한후, 펌프의 2단계 밀봉장치로 주입되기 전 외부

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

열교환기를 거치도록 하며, 각 단계 밀봉장치 밸브를 통해 펌프 축을 나오도록 순환시킨다. 밀봉단계류를 보상하기 위하여, 같은 양의 중수가 펌프 케이싱으로부터 재순환 회로로 유입되며 펌프의 첫번째 밀봉 공동으로 주입되기 전 정지냉각 열교환기에 의해 냉각된다.

5.6.3.3.2 정지냉각 열교환기

정지냉각 열교환기는 수평 U-튜브, 쉘 형태의 열교환기이다. 정지냉각 열교환기는 냉각재회로의 입구와 출구 모관 사이로 흐르는 중수를 냉각하는 데 사용 된다.¡

열교환기의 튜브측은 ASME 규격 Section Ⅲ(참고문헌 5.6-8)의 요건인 등급 1을 만족하도록 설계 제작되며 반면 쉘측은 Section Ⅷ, Division 1 (참고문헌 5.6-8)에 따라 설계된다.¡

각 열교환기에는 기기 냉각수(RCW) 303 l/s (4000 Igpm)가 공급된다. 이 유량은 또한 3급 전원에 의해서도 공급가능하다. 공급 압력은 원자로 건물벽에서 0.69 MPa(g)(100 psig)인데 이것은 튜브측의 고온으로 인해 국소비등이 발생하지 않도록 보장한다.¡

5.6.3.4 계통 운전¡

원자로 정지후 냉각재계통은 10 MPa(a), 260℃ 이다. 냉각 모드에서 냉각재 계통 압력은 압력 및 수위제어계통 (5.6.4절 참고)의 압력제어 프로그램에 의해 유지된다.¡

정지 냉각 계통은 정상 운전시 중수로 가득차 있고 여덟개의 밸브에 의해 냉각재계통과 차단된다. 이들 밸브를 열어 정지 냉각 계통을 냉각재계통과 연결하기 앞서, 운전원은 정화계통 연결 배관을 경유하여 정지 냉각 계통이

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

완전히 중수로 가득차 있는 가를 확인해야 한다.

원자로 냉각절차는 잠재적인 압력관 파열을 제한하도록 결정된다. 수소취화 균열이 압력관 파손의 일차적인 형태이다. 냉각재계통의 압력 감소는 압력관의 임계 균열 길이를 증가시킨다. 다음 냉각 절차는 압력관 파단의 가능성을 제한할 뿐 아니라 수소취화 균열의 위험을 조절하기 위해 결정된다.

가. 원자로 정지후 냉각재계통의 운전압력은 압력 및 수위 제어계통의 압력제어 프로그램에서 설정 압력을 낮추어 임계 균열 길이를 증가시키도록 10.0MPa(a)에서 8.0 MPa(a)로 줄인다. 증기 배출 밸브들이 열려 탈기 응축기로 증기를 방출하고 가압기를 감압시킨다.

나. 고온을 유지하고 있는 상태에서 수소 취화 균열에 의한 균열성장의 가능성이 유지온도가 200℃ 이상일때 온도는 항상 30℃ 아래서 부터 접근되는 것을 보증하므로써 최소화 될 수 있다. 그래서 260℃의 고온 유지가 되게 하려면 온도 조정은 260 ℃ 로 부터 230℃ 이하로 냉각되어야 하고 260℃ 까지 서서히 다시 가열한다. 이런 조치는 조정기간 동안 수소취화 균열을 감소시키기 위해 가능한한 정상 냉각과 가열시 이루어져야 한다.

다. 냉각재계통을 260℃에서 부터 터빈 우회 밸브 즉 복수기 증기 방출 밸브를 통하여 증기를 방출하여 냉각한다. 냉각은 최대 허용 냉각율 2.8℃/min 이나 5°F/min로 수행되어야 한다.

라. 계통을 225℃ 이하로 냉각할 때 가압기의 설정 압력을 8MPa(g) 에서 7MPa(g)로 낮춘다. 압력제어의 정상모드가 계속 사용된다. 102

마. 계통을 150℃ 이하로 냉각할 때 정상운전 절차에 의한 계통냉각을 계속하도록 정지냉각계통이 이용될 수 있다. 냉각재펌프가 정지된

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

후 가압기는 격리될 수 있고 압력제어는 가압기 격리모드(solid mode)로 전환된다.

바. 계통을 100℃ 이하로 냉각할 때 비상노심 냉각계통은 표준 운전절차에 의해 차단될 수 있다. 가압기 격리모드의 압력제어로 냉각재 계통 압력은 설정치를 점차 낮추어서 3 MPa 까지 낮춘다.

사. 원하는 온도까지 냉각을 계속한다.

정지 냉각계통은 다음 운전 형태로 노심을 냉각 시킬 수 있다.

5.6.3.4.1 냉각재 펌프를 이용한 냉각

냉각재 펌프 냉각 모드에 있어, 냉각재 펌프는 노심을 우회하여 정지냉각 열교환기가 필요한 열제거원 역할을 하는 정지냉각 계통을 통과하는 회로에 의해 냉각재 계통을 연속적으로 냉각한다.

정지 냉각 계통을 통과하는 질량유량은 냉각재계통의 모관대 모관압력 강하에 따라 달라진다. 질량유량은 체적 유량이 일정하기 때문에 냉각재 계통 온도가 감소할 때 약간 증가한다.¡

냉각재 펌프를 이용한 냉각은 두대 혹은 4대의 냉각재 펌프를 작동시킴으로써 이루어진다. 그러나 두대의 펌프가 이용되면, 펌프가 정지되는 끝무렵에 회로를 통과하는 유량은 급격히 감소할 것이다. 두대의 펌프를 이용한 냉각의 장점은 냉각재 펌프 열로 인한 냉각재 계통으로부터 정지 냉각 계통으로의 열전달이 반으로 감소하는 데 있다. 이러한 운전 방법은 정지냉각 열교환기 용량이 모든 냉각재 펌프를 정지 시킴으로써 정지 냉각 계통으로의 열전달을 감소시키지 않는 한 계속적인 냉각을 수행하는데 불충분한 경우에 177℃ (350 °F)에서 88℃ (190 °F)로 냉각하는데 사용된다. 54℃(130°F)로의 계속적인 냉각을 위해서는 정지냉각 펌프를 이용하여 유량을 순환시킴으로써 달성된다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

냉각재 계통온도가 54℃(130°F)로 강하할 때, 냉각재 계통은 감압되어 모관으로 배수될 수 있다. 이 운전을 위해서 출구 모관 압력 설정치는 약 0.24 MPa(g)(35 psig)로 낮춰진다. 충수 밸브는 그후 수동 조작상태로 놓고 차단된다.¡

5.6.3.4.2 정지 냉각 펌프를 이용한 냉각¡

정지냉각펌프와 열교환기를 이용한 냉각은 냉각재계통의 온도를 149 ℃ 이하에서 수행될 수 있다. 이런 모드에서 정지냉각펌프는 물을 원자로 입구모관으로 순환시키지만 일부는 역방향으로 노심을 우회하여 냉각재펌프와 증기발생기를 통하여 흐른다.

원자로 입구모관에 열충격을 감소시키기 위해 정지냉각 펌프 모드로 운전할 때 정지냉각 열교환기의 동체측 기기 냉각수는 초기에 감소되었다가 다음 설명하는 대로 증가시킨다.

정지냉각계통이 격리되어 있는동안 두 정지냉각 열교환기로의 냉각수 유량은 전체 유량의 40%가 되어야 한다.

정지 냉각계통이 운전되고 20분후에 냉각수 유량을 40%에서 65%로 증가시킨다. 냉각수가 65%로 조절되고 20분후 냉각을 계속하도록 전 냉각수량을 공급할 수 있다.

5.6.3.4.3 냉각재 계통 완전 배수¡

배수에 앞서, 냉각재 계통은 냉각되고 감압된 상태이어야 한다. 냉각재 충수 밸브는 수동조작 상태로 놓음으로써 열린다. 질소는 중수가 정지냉각 펌프에 의해 압력, 수위제어 계통을 경유하여 중수 저장 탱크로 양수 될때, 중수 배수를 지원하기 위해 냉각재 펌프측을 통과하여 첨가된다. 계속적인 배

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

수는 밸브 3341-MV20, MV28, MV37, MV38을 열어 이루어진다. 밸브 63341-HCV21과 63341-HCV22는 수위를 낮추거나 높여 정확한 냉각재 계통 수위를 유지시키도록 수동 조작된다. 질소 공급 압력은 15 kPa(g)로 유지된다.¡

증기발생기 맨홀 덮개나 펌프축이 제거될 필요가 있을 때, 냉각재 계통은 감압되어야 한다. 이때 정지냉각 펌프를 이용한 냉각이 필요하다. 냉각재 계통이 보수를 위하여 배수될때, 냉각재계통에서의 중수 수위는 정지냉각 계통 수위 이상을 유지해야 한다. 질소는 냉각재 펌프 밀봉을 통하여 15 MPa(g)에서 중수를 덮고 있다.¡

원자로 출구 모관 수위 측정계기는 증기발생기가 배수될 때 출구 모관수위를 감시하도록 설치된다. 보수기간중에 모관수위는 0.5m 와 1.5m 사이로 유지된다 ; 기준영점선 (the zero datum line) 은 모관의 중심선이다.

원자로 입구 모관 수위측정용 계기는 입구 모관 수위 감시를 위해 설치된다. 보수기간중에, 입구 모관수위는 0.5 m과 1.35 m 사이로 유지된다; 기준 영점선 (the zero datum line)은 모관 중심선이다.

공기가 정지냉각 펌프로 들어가는 것을 방지하기 위하여 냉각재 계통의 수위가 정지냉각 계통의 입구 위치보다 높아야 하며, 이들 입구 위치는 증기발생기 입구관에 위치한 모관보다 수 인치 (inch)높다.¡

5.6.3.4.4 냉각재펌프로 260℃에서 부터 비정상 냉각

증기발생기가 열제거로 이용이 불가능 (예를들면 증기발생기 급수 상실로 인함)하지만 냉각재펌프는 이용이 불가능한 비정상적인 경우이다. 정지냉각 열교환기를 이용하여 냉각재계통을 260℃부터 냉각시키는데 냉각재펌프를 사용한다.

냉각재계통 온도가 177℃ (350°F)로 저하되었을때 5.6.3.4.1절에서 설명한 냉각과정이 계속된다. 54℃ (130°F) 까지의 추가 냉각은 정지 냉각펌프를

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

이용하여 유량을 순환시키도록 한다.

5.6.3.4.5 정지 냉각펌프로 260℃에서부터 비정상 냉각

증기발생기가 열제거로 이용이 불가능하고(예를들면 증기발생기 급수상실로 인함) 냉각재펌프가 이용이 불가능한 경우의 비정상 냉각이다. 이 경우에, 정지냉각 펌프와 열 교환기가 냉각재계통을 260℃로 부터 냉각시키는데 이용된다. 정지냉각 펌프의 우회 밸브들이 정상적으로 차단된 위치에 있게 된다. 정지냉각 펌프를 기동하고 냉각재계통의 냉각은 위 5.6.3.4.2절에 설명한 대로 계속된다.

5.6.3.4.6 냉각재계통 냉각분석

정지냉각계통을 이용한 정상 및 비정상 냉각운전은 SOPHT 컴퓨터 코드를 사용하여 분석되었다. 분석보고서 86-33410-AR-001, "SOPHT를 이용한 냉각재계통 냉각 분석"에 분석결과가 있다. (참고문헌 5.6-16)

5.6.3.5 안전성

정지냉각계통은 등급 1 계통으로서 어떤 조건하에서 계통이 고장나면 냉각재 상실 사고를 유발하기 때문에 높은 수준의 요건을 만족시키도록 설계된다.¡

원자로 정지후 계통은 증기발생기와 함께 핵연료로부터 붕괴열을 제거할 수 있어야 한다. 원지로 정지후 즉각적인 열제거는 증기발생기 및 관련 급수 계통에 의해 이루어진다. 한편 정지 냉각 계통은 보조(backup) 수단이며 운전원에 의해 작동하는 장기적인 열제거원이다.¡

계통이 냉각재계통에 연결되고 지진이 일어났을 때 냉각재 계통의

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

승인근거
월성원전지역사무소-646
(2016.05.13)

압력 경계 건전성을 보장할 수 있도록 설계기준지진 범주 A에 내진적으로 검증되어야 한다.¡

정지 냉각 계통은 또한 다른 냉각재 계통 루프가 냉각재 상실 사고에 의해 영향을 받을 때 원자로를 정지하고 초기 냉각을 시작한 후 비파손 루프로부터 붕괴열을 제거해야만 한다. 따라서 정지냉각계통은 냉각재 상실사고에 의한 극심한 환경에서도 기능을 발휘할 수 있도록 설계된다.¡

정상 원자로 운전중에는 정지 냉각 계통은 냉각재 계통으로 부터 분리된다. 계통은 중수로 완전히 채워져 있고 감압상태에 있다. 이것은 계통이 냉각재계통에 연결되고 정지냉각 계통 격리 밸브가 열릴 때 정지 냉각 계통 내의 충격 및 수격 현상이 발생할 가능성을 방지하는데 있다.¡

5.6.3.6 가동중 시험 및 검사

5.6.3.6.1 가동중 검사

정지냉각계통에 대한 가동중검사는 주기적으로 실시한다. 이는 CSA 표준 N285.4 “CANDU형 원자력발전소 기기의 가동중검사” 및 가동중검사 계획 86-03640-PIP-001, “압력유지 기기에 대한 가동중검사”에 의거 실시된다. 검사주기, 검사방법 및 검사결과의 평가도 CSA 표준 및 가동중검사 계획에 규정되어 있다. 정지냉각계통에서 가동중검사 대상 기기는 정지냉각펌프, 열교환기, 밸브 3341-MV17, MV18, V23, V24 및 공칭직경 10“와 12” 크기의 배관들이다. 자세한 검사사항은 가동중검사 계획 86-03640-PIP-001에 제시되어 있다. 자세한 사항은 6.9를 참조.

189

5.6.3.6.2 압력시험

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

정지냉각계통에 대한 압력시험은 등급 1에 대해 ASME 보일러 및 압력용기 코드 Section III 부절 NB에 따라 수행된다. 정지냉각계통에 대한 압력시험 (수압 및 누설시험)은 계통이 설치되고 초기운전의 시작전에 수행된다. 수압시험은 취성파괴를 일으키지 않는 온도에서 수행된다. 압력시험 및 가압후 누설시험 방법은 ASME Section III의 등급 1코드 NB-6000에 따른다. 정지냉각계통의 운전전 성능시험은 시운전시 원자로 기동전 부품들이 설계요건에 따라 기능 및 운전성을 확인하고자 실시된다. 1

5.6.3.6.3 가동중 시험

정지냉각계통 전체에 대한 가동중 시험은 계획 정지시에 수행된다. 정지냉각 펌프와 온도조절밸브 63341-TCV11과 TCV12는 순환모드에서 3개월마다 시험된다. 7

5.6.4 압력 및 수위 제어 계통

냉각재 계통은 가압 중수 폐회로이다. 냉각재 압력 및 수위 제어계통은 충분한 과압력 보호수단을 제공할 뿐만 아니라 상기 폐회로에 대한 압력 및 수위 제어수단을 제공하도록 설계되어 있다. 압력 및 수위 제어는 유니트 (unit) 컴퓨터를 사용하여 이루어진다. 과압력 보호는 컴퓨터와 독립적으로 이루어진다.¡

압력및 수위 제어계통의 개략도가 그림 5.6-4에 도시되어 있으며 흐름도 (86-33300-1-1-FS-E)도 역시 첨부되어 있다.

5.6.4.1 설계 기준

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.4.1.1 기능 요건

압력 및 수위 제어 계통의 기능 요건은 아래와 같다.

가. 가열, 냉각, 출력운전 및 기타 교란 상태와 관련된 냉각재의 팽창

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

및 수축을 수용해야 함.¡

나. 냉각재계통으로부터의 어떠한 방출도 수용할 수 있는 수단뿐만 아니라 계통의 과압방지를 위한 충분한 방출능력을 제공해야 함.¡

다. 여러가지의 천이현상으로 생기는 냉각재계통 압력을 허용치이내로 제어하며 냉각재계통의 압력변화를 냉각재계통 운전조건의 전범위내로 제한하는 수단을 제공해야 함.¡

라. 원자로 트립 또는 단계 감발에 의한 급작스러운 출력감소에 수반되는 냉각재 계통 압력 회복 수단을 제공해야 함.¡

마. 냉각재 펌프 밀봉 계통에 충분한 압력 및 제어온도의 정화된 중수 냉각수를 공급해야함.

바. 냉각재펌프에 충분한 유효흡입 수두를 확보할 수 있도록 압력 감소를 제한해야 함.¡

사. 냉각재계통 냉각재를 탈기시키는 수단을 제공해야 함.¡

아. 냉각재계통으로부터 대량의 증기가 탈기 응축기로 유입될 때 탈기 응축기의 압력을 제어하는 수단을 제공해야 함.¡

자. 압력을 공정 매개변수로 사용하는 여러 보호계통의 시험을 위한 가변 시험 압력신호를 제공해야 함.¡

5.6.4.1.2 성능 요건¡

5.6.4.1.2.1 정상 운전 조건¡

가. 압력 및 수위 제어 계통은 정상모드에서 냉각재 루프에 직접 연결되어 있고 전기 가열기와 증기 배출밸브가 설치되어 있는 압력용기인 가압기에 의해 원자로 출구 모관의 압력을 제어하며,

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

가압기가 냉각재 계통과 격리되어 있는 가압기 격리모드에서 충수 및 배출 밸브에 의해 원자로 출구 모관의 압력을 제어하도록 요구된다. 정상운전 중 계통은 다음과 같은 성능을 발휘해야 한다.

- 분당 2.8℃를 초과하지 않는 비율로 냉각재 계통을 고온 영출력상태로 가열하는 동안 냉각재 계통 압력을 적절히 유지할 수 있어야 함.;
- 연속적으로 핵연료가 가동중에 재장전되는 것을 감안하여 정상운전 조건중 원자로 출구 모관의 압력을 10MPa(a)에서 제어할 수 있어야 함.;
- 기동후 원자로 출력을 증가시킬 때 원자로 출구 모관 압력을 냉각재계통 액체 방출 밸브설정치 압력 아래로 제한 할 수 있어야 함.;

나. 압력 및 수위 제어 계통은 정상 운전 상태에서 중수 충수 및 배출 회로를 사용하여 냉각재계통 중수의 수위를 제어하도록 요구된다. 압력 및 수위 제어계통은 다음과 같은 성능을 발휘해야 한다.;

- 정상 운전 상태에서 가압기 수위를 일정하게 유지함으로써 냉각재 계통의 중수 수위를 제어할 수 있어야 함.;
- 고온 영출력에서 전출력으로 출력증가시 발생하는 냉각재 계통의 팽창을 냉각재 계통 회로로부터의 순배출 없이 가압기에 저장할 수 있어야 함.;
- 상술한 압력 제어 요건을 만족시키면서, 냉각 및 가열 중 발생하는 냉각재 계통의 수축 및 팽창을 충수 및 배출을 통해 조절 할 수 있어야 함.;

다. 냉각재 계통의 비응축성 기체를 감소시키기 위해 탈기가 요구된다. 배기 응축기 및 탈기 응축기 탱크는 출구 쪽 액체 중수의 질소 농도

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

를 20 cm^3/kg으로 감소 시킬 수 있도록 설계되어야 한다. 이러한 농도를 얻기 위하여 탈기응축기 탱크의 질소의 부분압력은 0.14 MPa 이하이어야 하며 온도는 204℃에 가까와야 한다.¡

라. 압력 및 수위 제어 계통은 충분한 양의 정화된 66℃의 냉각 중수를 최소 0.66kg/s(8 Igpm) 유량으로 냉각재 펌프 축밀봉 계통에 공급할 수 있도록 설계되어야 하며 이는 냉각재 계통의 충수 요구와는 독립적으로 이루어진다.¡

마. 압력 및 수위 제어 계통의 중수 충수 펌프는 안전계통의 가동중 시험이 가능하도록 고압의 액체 중수를 제공하여야 한다. 압력원은 2.9MPa에서 13.1MPa(g)의 범위(420 ~ 1900 psig)에 있다.¡

5.6.4.1.2.2 비정상 운전 조건¡

가. 과압 과도 현상¡

원자로 정지 계통과/ 또는 원자로 제어 계통과 연관된 공기 구동식 액체 방출 밸브 (LRV) 를 가진 압력 및 수위 제어 계통은 모든 과압력 과도상태에 대해서 냉각재 계통에 필요한 과압방지 수단을 제공하도록 설계되어야 한다. 냉각재 계통의 과압방지는 참고문헌 5.6-9 뿐만 아니라 참고문헌 5.6-4의 요건을 따라야 한다.¡ 3

탈기응축기는 어떠한 냉각재 계통의 단시간 과압력 과도중에 냉각재 계통으로부터 방출된 모든 양을 핵연료 장전실로 배출하지 않고 수용할 수 있어야 한다.¡

정상 운전중 액체 방출 밸브, 가압기 증기 배출 밸브 및 가압기 배출밸브의 고장시 열림 위치에서 핵연료 장전실로 어떠한 방출도 허용하는 결과가 생겨서는 안된다. 3

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

압력 및 수위 제어 계통은 원자로 제어 계통과 함께 원자로 출구 모관 압력을 1개의 냉각재 펌프의 트립을 수반하는 높은 원자로 출구 모관 압력 트립 설정치 이하로 제한하여야 한다.¡

나. 계통 감압¡

압력 및 수위 제어 계통은 냉각재 계통의 급격한 압력 감소를 최소화시키고, 냉각재 펌프의 흡입 압력이 여러가지 비정상 과도에 대해 냉각재 펌프에 공동현상이 발생하는 값까지 떨어지는 것을 방지하도록 설계되어야 한다. 계통은 원자로 트립 혹은 단계 감발 중 냉각재 계통의 압력강하를 냉각재 펌프 유효흡입 수두요건이 만족되는 값이내로 제한해야 한다.¡

다. 기기 냉각수 상실사고시 탈기 냉각기의 냉각기능이 상실된다.

그러므로, 충수펌프 흡입부와 중수 저장 탱크를 냉각재 계통으로부터의 모든 고온 복귀 유동과 격리시키는 수단이 제공되어야 한다.¡

라. 냉각재계통의 중수 누설시 중수 저장, 이송 및 회수계통의 회수 펌프가 작동하기 시작한다. 압력 및 수위 제어 계통의 중수 충수 펌프는 회수 펌프와 함께 핵연료 장전실 배수조로부터 회수 탱크를 통해 냉각재 계통으로 중수를 복귀시켜야 한다.¡

마. 충수 펌프 흡입부의 압력이 낮을 경우, 흡입 밸브가 조절되기 시작하여 흡입부 압력이 충수 펌프의 요구 유효 흡입 수두이하로 떨어지는 것을 방지할 수 있도록 충수 밸브가 오버라이드 되어야 한다. 그러나, 매우 낮은 압력에서 중수 충수 펌프는 트립된다.

바. 액체방출밸브 고장

정상운전중 액체방출밸브, 증기배출밸브 그리고 가압기 증기 방출밸브중 어느 것이 열린 상태로 고장이 나도 핵연료교환기 실내로 어떠한 방출도 일어나지 않는다. 탈기응축기 방출밸브는 떨림

1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

(chatter) 없이 작동할 수 있어야 한다. 떨림 없는 운전을 위해 Bopp and Reuther의 진동 댐퍼를 가진 비례작동 방출밸브가 선정 되었다. 1

5.6.4.1.3 안전 요건

가. 참고문헌 5.6-1에 따라 압력 및 수위 제어 계통은 안전 관련

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

계통으로 정의된다. 압력 및 수위 제어계통의 안전 설계 요건은 다음과 같다:

- 사고시 적당한 방출 밸브를 사용하여 냉각재 계통의 과압 방지 수단을 제공해야 한다. 과압 방지는 참고문헌 5.6-4, 5.6-5 및 5.6-9의 요건에 따라 설계되어야 한다.¡
- 사고후 핵연료로부터 열을 제거하고, 열대류 능력을 확보할 수 있도록 냉각재 계통에 충분한 수위을 유지해야 함.¡
- 냉각재 상실 사고후 냉각수 고갈을 최소화하기 위하여 손상된 회로와 손상되지 않은 냉각재 계통 회로를 격리시켜야 함.¡
- 원자로 정지 계통으로 가압기 저수위 트립 신호를 보내야 함.¡

나. 참고문헌 5.6-2에 따라 주회로에 직접 연결된 모든 부계통은 냉각재 계통의 압력경계 건전성이 반드시 유지될 수 있도록 설계 기준 지진에 검증되어야 한다. 설계기준 지진중 그리고 지진후 냉각재 펌프는 자유로이 회전해야 하며 그리고 냉각재계통은 충분한 수위을 유지함으로써 자연 순환 능력을 보유해야 한다. 사고후 감시와 관련된 제 2 제어 지역의 계기는 내진 검증이 되어야 한다.¡

다. 참고문헌 5.6-3에 따라 설계 기준 사고의 영향을 완화시키기 위해 사용되는 압력 및 수위 제어 계통의 모든 기기는 기기 환경 검증 과정의 일부로서 노화작용 (aging) 에 검증되어야 한다. 냉각재 상실 사고 및/ 또는 주증기관 파단 사고시 비손상 냉각재 계통 회로에 충분한 수위를 유지하도록 요구되는 기기는 기능이 상실되지 않도록 열악한 환경에 대해 검증되어야 한다. 손상된 회로와 손상되지 않은 냉각재 계통 회로를 격리시키도록 요구되는 원자력 관련 밸브는 냉각재 사실 사고시 열악한 환경에 검증되어야 한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

냉각재 계통에 과압 방지 수단을 제공하도록 요구되는 기기는 냉각재 상실 사고 및/ 또는 주증기관 파단사고시 열악한 환경에 검증되어야 한다.¡

라. 계기용 공기 상실 사고 후 또는 압축 공기 계통을 손상시키는 설계 기준 지진 후, 액체방출밸브 및 가압기 방출 밸브와 같은 공기 구동식 밸브가 사고시 열리는 것을 방지하는 것이 바람직하다. 따라서 내진 검증된 보조(backup) 공기를 공급함으로써 밸브의 작동 능력을 유지시킨다.¡

5.6.4.1.4 적용 규격, 표준 및 등급

압력 및 수위 제어계통은 등급 1과 3급기기에 대하여 ASME 규격 Section Ⅲ(참고문헌 5.6-8), 부권 NB 및 ND를 각각 인용한 참고문헌 5.6-4에 따라 등급 1및 3급으로 분류되어야 한다.¡

5.6.4.2 계통 설명¡

압력 및 수위 제어 계통은 아래에 기술된 여러개의 부계통으로 구성된다.¡

5.6.4.2.1 가압기 및 압력 제어 회로¡

가압기는 냉각재 계통의 압력 제어에 제일 중요한 기기이다. 가압기는 일부를 액체중수로, 나머지는 액체와 평형상태에 있는 포화증기로 담고 있는 압력용기이다. 가압기의 정상 운전조건은 원자로 출구 모관이 9.89 MPa(g) (1434 psig)의 압력과 310℃ (590°F) 의 온도로 유지된다.

그림 5.6-5에 도시된 가압기는 수직으로 설치된 원통형 압력용기

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

이며 원자로 한쪽단부의 출구 모관에 연결되어 있다. 밸브가 연결선 각각에 설치되는데 이는 2개의 냉각재 계통 회로가 서로 격리될 수 있도록 한다.

회로 격리 밸브는 냉각재 계통 압력이 5.52MPa(a) (800psia)로 떨어질때 자동으로 닫힌다. 이들 밸브는 냉각재 상실 사고 발생 유무와 관계없이 그리고 비상노심 냉각계통의 작동 유무와 관계없이 5.52 MPa(a) 압력에서 닫힌다.¡

정상 운전상태에서 가압기는 냉각재계통에 연결된다. 이것을 냉각재계통 압력 제어 계통의 정상모드 운전이라고 부른다. 원자로 출구 모관의 압력은 가열기를 통한 열공급 또는 증기 배출 밸브를 통한 증기 배출에 의해 가압기 증기 공간의 압력을 제어함으로써 바람직한 값으로 유지된다. 각 원자로 출구 모관으로부터 삼중화 압력 측정이 압력제어 회로에서 사용된다.¡

원자로 출력이 5% 미만일 때, 가압기는 전동식 가압기 격리 밸브를 닫음으로써 냉각재 계통과 격리된다. 이것을 냉각재 압력제어 계통의 '가압기 격리모드' 운전이라고 부른다. 이 경우에 냉각재계통의 압력 제어는 충수 및 배출 작용에 의해 이루어진다. 예를 들면 저온 상태에서 고온 영출력 상태로 가열하거나 고온 영출력 상태에서 저온상태로 냉각중일 때 생기는 냉각재 계통의 팽창 및 수축은 배출 회로를 통한 계통으로부터의 배출 또는 충수회로를 통한 계통으로의 충수에 의해 보상된다.¡

원자로 정지에 따른 수축은 가압기에 저장된 중수에 의해 전부 보충되며 고온 영출력에서 저온 영출력으로의 냉각에 따른 수축은 일부는 가압기에 저장된 중수에 의해 일부는 중수 저장, 이송 및 회수 계통의 중수 저장 탱크에 저장된 중수에 의해 보충된다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.4.2.2 충수 및 배출회로;

충수 및 배출회로는 냉각재계통의 수위 제어가 주목적이다. 충수 및 배출회로는 가열 및 냉각중에 일어나는 팽창 및 수축률을 조절할 수 있도록 설계된다. 충수유동은 중수저장 탱크로부터 취해진다. 2개의 고압 다단 중수 충수 펌프가 제공되는데, 하나는 정상 운전되며 나머지 하나는 대기 상태에 있다.;

배출유동은 냉각재계통의 정화계통의 이온 교환기의 하류와 상호교환기의 상류에 있는 복귀선으로부터 취해지는 데 이는 배출유동이 냉각되고 정화된것이어야 되기 때문이다. 배출 유량의 정상 온도는 66℃ (150°F)이다.;

충수 및 배출회로를 우회하도록 설치된 각각의 우회관에는 지속적으로 제한된 유량을 형성하여 충수 및 배출조절밸브의 빈번한 작동을 방지하기 위한 충수유량 제한 및 배출유량 제한 오리피스가 각각 설치되어 있다. 11 2

연속 배출 개념의 중요성은 계통이 냉각재 계통과 격리되었을 때 정화 계통을 감압시키는 것이다.

방출밸브고장, 소형 냉각재 상실사고와 같은 비정상 조건에서, 냉각재계통의 압력은 떨어진다. 충수펌프의 유량은 계통압력에 떨어짐에 따라 증가한다. 따라서, 충수펌프가 바람직하지 않은 낮은 흡입 압력에서 트립될 수 있다. 충수 펌프가 트립되는 것을 방지하기 위하여, 충수 펌프의 흡입 압력이 감소하면 밸브가 조절될 수 있도록 충수 밸브가 오버라이드(override) 되어야 한다.;

방출관에 있는 공기구동, 고장시 닫힘 밸브 3331-PV25는 냉각재계통의 설계기준지진 압력 구역에 있고, 그러한 사고동안 닫혀져야 한다. 냉각재 정화계통의 두 밸브, 3335-MV3, MV4와 함께 3331-PV25는 냉각재 정화계통의 열교환기 3335-HX2가 유체를 85℃(185°F)이상으로 방출할 때 자동으로 닫힌다. 충수펌프는 이때 뜨거운 방출 유체로부터 2중으로 격리되어진다.

두 수위 조절 밸브 63332-LCV8, LCV15(절 5.6.4.2.6 참고)와 함께 격리 밸브 3332-PV16로 인하여 냉각재계통으로 부터 뜨거운 중수가 중수저장탱크로의 반입을 방지할 수 있다. 3

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.4.2.3 축밀봉 계통 유동¡

충수 펌프는 제어된 냉각수를 냉각재 펌프의 축밀봉에 공급한다. 최소 축밀봉수 유량은 약 0.66 kg/s(8 Ipgm)이다.

5.6.4.2.4 탈기 응축기 냉각 분무 유동¡

탈기 응축기 탱크의 압력은 냉각 분무와 전기 가열기를 사용하여 제어된다. 분무 유동은 충수 펌프의 방출선에서 탈기 응축기 탱크로 흐른다.

5.6.4.2.5 중수 회수 유동 회로¡

냉각재 계통으로부터 누설된 중수는 핵연료 장전실 배수조로 향하며 중수 회수 탱크로 들어간다. 중수 회수 펌프는 회수 펌프의 내용물을 중수 충수 펌프를 통해 냉각재 계통으로 다시 보낸다.¡

5.6.4.2.6 탈기 응축기 회로¡

원자로 정상 운전중 탈기 응축기 용기는 탈기용으로 사용되거나 휴지(idle)상태를 유지한다. 후자의 경우, 용기내의 증기는 열손실 때문에 응축되며 압력이 떨어진다. 용기내의 압력은 액체에 잠겨있는 가열기의 도움으로 1.0 MPa(g)과 0.75 MPa(g) (144 psig와 109 psig) 사이에서 유지된다.¡ 2

가압기로부터 배출된 증기, 냉각재 계통으로부터 방출된 유량 및 탈기 유량은 모두 탈기 응축기 탱크로 향한다. 또한, 분무 유량이 용기 압력을 제어하기 위하여 충수 펌프의 방출선으로부터 공급된다.¡

2 개의 50 % 탈기응축기 수위 제어 밸브는 탈기 응축기 탱크의 수위를 일정하게 유지하기 위하여 탈기 응축기로부터의 유출량을 제어

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한다. 탈기 냉각기는 용기로부터 나가는 고온 유체의 온도를 감소시키기 위하여 제어밸브와 용기사이에 설치된다.;

두개의 격리 글로브 밸브 3332-V17, 3332-PV16가 수위조절밸브의 정비기간동안 격리 목적으로 쓰여진다.

두 수위조절밸브 63332-LCV8, LCV15은 냉각재계통의 설계기준지진 압력구역에 있으며, 이러한 사고시 닫혀져야 한다. 글랜드 냉각으로 가는 유체의 온도나 충수펌프의 유효흡입수두의 관점에서 볼때 탈기 응축기의 출구온도 66℃(150°F)는 허용된다. 그러나 이 온도가 실상 약 77℃(170°F)까지 올라가도 유효 흡입수두나 글랜드 냉각문제는 일어날 것으로 추정되지는 않는다. 따라서 온도 오버라이드가 두 수위조절밸브 63332-LCV8, LCV15과 격리밸브 3332-PV16에 제공되어 있다. 이 조절장치는 탈기 응축기의 출구온도가 77℃(170°F)를 넘을때마다 이 밸브들을 닫는 기능을 한다. 이 조치는 액체 방출밸브가 사고시 열려 중수저장탱크가 넘치게 되고 파열판 3333-RD2가 파열되어 중수가 원자로 건물바닥으로 쏟아지는 사고도 막아주게 된다. 더우기 이 두 수위조절밸브와 격리밸브 3332-PV16은 중수저장탱크가 고수위일때도 자동적으로 닫히게 설계되어 있어 온도가 높을때 닫히는 기능을 도와줌으로써 탈기 응축기의 밀봉을 확실히 해준다.

밸브 3332-PV16과 수위조절밸브는 탈기응축기로부터의 뜨거운 유체 유출을 2중으로 막아주고 있다. 이러한 기능은 5.6.4.2.2절에 기술된 것과 함께 냉각재계통으로 부터 뜨거운 유체유출이 중수저장탱크로 가는것을 2중으로 막아주고 있다. 만약 이 격리 밸브 3332-PV16와 수위조절밸브가 탈기 응축기로 부터 나오는 유체온도가 적합하게 낮은데도 다시 열리지 않는다면, 수동으로라도 이 밸브들을 열어야 한다.

3

배기 응축기는 탈기 응축기 탱크위에 위치하며 탱크와 연결된다. 비응축성 기체 (질소 및 다른 기체)가 중수 증기 회수 계통으로 배출될 수 있도

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

록 설치된다. 배기 응축기에 생긴 응축물은 중수 수집 탱크로 향한다.

탈기 냉각기 및 배기 냉각기를 통과하는 냉각수는 기기 냉각수 계통에 의해 공급되며 항상 최대치에 있다. 기기 냉각수의 비등을 방지하기 위해 연속 유동이 요구된다.

5.6.4.2.7 분무 유동 공급 회로

출력 증가, 액체 방출 혹은 탈기중에 다량의 증기(혹은 증기/액체 혼합물)가 탈기 응축기 탱크로 들어가면 (출력증가시와 같이) 액체방출이나 탈기에의해 용기의 압력이 증가한다. 1.05MPa(g) (153 psig)의 설정 압력에서 차가운 분무 흐름이 용기 상단에서 8-1/4 ft 아래에 위치한 모관을 통해 용기로 들어가서 압력을 제어하기 위하여 요구되는 양의 증기를 응축시킨다. 2

분무 유동은 충수 펌프 방출선에서 탈기 응축기 탱크로 흐른다. 2개의 50% 분무 제어 밸브가 유동을 제어하기 위하여 사용된다. 분무 유동은 탈기응축기 탱크의 압력이 탱크 방출 밸브의 설정치에 도달할 때 정지된다. 이것은 방출 밸브가 작동하는 것을 방지하고 중수가 핵연료 장전실 바닥에 흘러들어가는 것을 방지한다.

5.6.4.2.8 탈기

배기 응축기 및 탈기 응축기 탱크는 저수위 운전후 냉각재 계통을 탈기 시키고 탈기응축기 출구 쪽 액체 충수의 질소 농도를 20 cm^3/kg으로 감소시킬 수 있도록 설계된다.

5.6.4.2.9 과압 방지

4개의 100% 액체 방출 밸브는 냉각재 계통을 과압에서 보호해

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

준다. 각 회로에 각각 100% 용량을 가진 2개의 액체 방출 밸브가 계기 방출 밸브의 규격 요건에 의해 필요로 한다. 밸브는 삼중화 압력 측정에 의해 작동되며 출구 모관 압력이 10.24 MPa(g) (1485 psig)에 도달 할때 열리도록 되어 있다. 과압 방지수단을 제공하기 위하여 방출 밸브의 개방이 요구되는 조건이 참고문헌 5.6-10에 언급되어 있다.

5.6.4.3 기기 설명

5.6.4.3.1 가압기

가압기에 저장된 액체 중수는 중수의 온도가 포화온도 이하로 떨어지면 물에 잠겨있는 5개의 200 kW 전기 가열기에 의해 가열된다. 냉각재 계통의 가열중 가열기는 가압기의 중수 압력을 대기압에서 정상 운전 압력으로 높히는데 사용된다.; 정상적으로 가열기는 원자로 정지중 가압상태에 있다.

가압기에 있는 중수 증기체적의 쿠숀(cushion) 효과는 압력이 설정치보다 높아질때 열리는 2개 증기 배출 밸브에 의해 보충된다. 가압기 격리 밸브가 닫힐 때 증기 방출 밸브 역할을 하는 이중의 계측된 글로우브 밸브가 가압기를 위한 과압 방지수단으로 설치된다. 증기 배출밸브와 증기방출밸브는 중수를 탈기 응축기 탱크로 방출한다. 가압기 압력이 10.86 MPa(g) (1575 psig)를 초과할 때 삼중화 압력측정에 의해 가압기 방출 밸브가 작동하며 경보가 울린다.

가압기는 원자로 출력이 증가함에 따라 냉각재 계통의 냉각재의 팽창에 따른 중수 초과분을 저장한다. 가압기 수위 설정치는 고온 영출력과 전출력 사이의 팽창을 수용하기 위하여 출력에 따라 증가한다. 중수 수위는 유니트 컴퓨터의 제어하에 있는 중수 충수 및 배출 계통에 의해 설정치에서 자동으로 제어된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

가압기에 저장된 포화 액체 중수의 일부를 증발시킴으로써 원자로 출력 감소후 중수 유출에 의한 압력 감소를 최소화한다.¡ 전기 가열기에 의해 압력이 설정치로 복귀한다.¡

가압기는 보수를 위해 격리 될 수 있다. 보수전에 가압기를 냉각시키고 보수후 중수를 보충하기 위하여 중수가 광각 분무 노즐에 의해 공급된다.¡

5.6.4.3.2 탈기 응축기¡

탈기 응축기는 가압기로부터 방출된 증기와 냉각재 계통으로부터 방출된 액체 그리고 냉각재 계통으로부터 직접 나오는 탈기 유량을 받기 위하여 설치된다. 탈기응축기 탱크는 다음 기능을 갖는 수직형 탄소강 용기이다:

가. 냉각재 계통으로부터 방출된 유체를 받아들이고 응축시킨다.¡
나. 가압기로부터 배출된 증기를 받아들이고 응축시킨다.¡
다. 냉각재 계통의 탈기수단으로 사용된다.¡
라. 냉각재 계통으로부터 배출된 증기를 냉각시킨다.¡

탈기 응축기 탱크에는 용기의 바닥 근처에 위치하는 2개의 25kW 가열기가 설치된다. 배출선에 있는 탈기응축기 제어 밸브는 용기의 수위를 제어한다.¡

탈기응축기 탱크로의 탈기 유동(degassing flow)이 2개의 배관을 통해 이루어진다. 이들 배관은 용기 상단에 있는 반구형 헤드로 들어가서 2개의 평행 모관에서 끝난다. 열 소매가 2개의 입구 노즐에 각각 설치된다.¡

탈기 모관과 냉각수 분무 모관 사이의 거리는 약 1.83m(6ft)이

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

다. 이러한 공간은 비응축물을 효과적으로 제거시키는 데 필요한 탈기 유동을 위한 체류 시간을 확보하기 위해 제공된다.¡ 찬 중수 분무 노즐은 열소매와 함께 설치된다.¡

탈기 응축기 탱크 바닥에서 누설물 수집 계통사이의 선은 용기 및 용기와 탈기 냉각기 사이의 배관을 배수하기 위하여 제공된다.

2개의 50% 용량을 가진 스프링 하중에 의한 진동 댐퍼를 가진 비례작동 방출밸브는 탈기 응축기에 과압 방지수단을 제공한다. 그들의 설정 압력은 원자로 출구 모관의 정상 운전 압력보다 높게 정해지는데 이는 액체 방출 밸브가 열리는 가상 사고시 중수가 탈기 응축기로부터 누설되는 것을 방지하기 위함이다. 1

5.6.4.3.3 탈기 냉각기

냉각기는 수평형 U 튜브의 셸 형 열교환기이다. 냉각기는 탈기 응축기 탱크에서 중수 저장 탱크로 흐르는 중수를 냉각시키기 위해 사용된다.

탈기 응축기의 하류에 있는 탈기 냉각기는 원자로 운전중에는 접근할 수 없다. 충수펌프로부터 1.65 kg/s(20 Igpm)의 66℃(150°F)의 중수와 정화계통으로부터 3.46 kg/s(42 Igpm)의 175℃ ~ 185℃의 중수의 연속적인 유동이 탈기 냉각기의 상류에서 섞인다. 정화계통으로부터의 유량은 여러 과도기간 중 냉각기의 튜브시트에 작용하는 열응력을 완화시키기 위해 제공된다. 9

5.6.4.3.4 액체 방출 밸브¡

2개의 계기 방출 밸브는 원자로 정지중 냉각재 계통 회로의 각각에 대해 과압 방지 수단을 제공한다. 원자로 운전중 냉각재 계통의 비정상 과도압력을 제한하기 위해 방출 밸브는 원자로 안전 계통과 함께 작동한다. 이러한 액체방출밸브는 동력으로 작동되는 압력방출밸브이기 때문에 최소 밸브갯수와 확

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

실한 방출능력등이 ASME 규격, Section Ⅲ, 부권 NB, para. NB 7531 과 NB-7534를 만족해야 한다. 그 결과 각 루프마다 2개의 100% 액체방출밸브가 주냉각재계통에 설치되어 있다.

주 냉각재계통의 과압은 다음에 열거한 사항중 한가지 또는 다른 한가지, 또는 이 모든 사항 모두에 의해 일어날 수 있으므로 액체방출밸브 용량은 원자로가 정지상태나 가압기 격리 모드에 있을때 다음 모든 사고에 대비할 수 있어야 한다. ;

- 방출없이 조절 불가능한 냉각재계통으로의 충수(고장에 의한 충수 밸브열림, 고장에 의한 방출밸브의 닫힘, 충수펌프작동으로 인한 주냉각재계통의 가압)
- 열제거원 없이 냉각재펌프가 작동함에 따른 열에 의한 중수의 팽창
- 열제거원 없이 잔열에 의한 중수의 팽창

위 시나리오에 근거를 두고, 각 액체방출 밸브용량은 결정되었고, 그중 가장 큰값으로 정했다. 그 결과 액체 방출밸브는 3326 lb/min의 중수를 590°F, 25psid 압력차로 방출하도록 설계되었다. 정상 C_V값은 101 이나 110으로 제작자의 사양서에는 명시되어 있다.

가상으로 액체방출밸브가 열리는 경우 중수가 탈기 응축기를 채워 탈기 응축기의 압력을 증가시킨다. 탈기 응축기의 압력이 3.9 MPa(g)에 도달하면 다음 보호작용이 자동으로 작동할 것이다.

1

- 원자로를 0.1%FP/s로 연속출력 감발한다.
- 원자로 출구 모관 압력 설정치를 9.89 MPa(g)에서 9.4 MPa(g)로 낮춘다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

이는 원자로 출구모관 압력 설정치와 탈기응축기 방출밸브 설정치 (10.06 MPa(g)) 사이의 여유를 크게 해주어 탈기응축기 방출밸브를 통한 중수누출을 방지한다. 1

•가압기 수위 설정치를 정상계산 설정치 -1.5m와 트립설정치 +0.5m 중 큰 것으로 줄인다. 이는 정상압력제어 모드에 있을 때 탈기응축기로 중수공급을 줄일 것이다.

5.6.4.3.5 탈기 응축기 방출 밸브

탈기응축기 방출밸브는 스프링힘에 의한 진동 댐퍼를 가진 비례작동 방출밸브로써, 50% 용량씩 2개가 있고, 각각은 3526 lb/min의 중수를 탈기응축기로부터 핵연료 교환기실로 방출하고 있으며, 이는 액체 방출밸브와 함께 냉각재계통의 과압방지에 만족할 만한 수단을 제공하고 있다. 1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.4.3.6 충수 펌프

2개의 수평으로 설치된 고압 다단 100 % 펌프가 제공된다.

충수 펌프는 15.17 MPa(g) (2200 psig) 의 설계압력과 104.4℃(220 °F)의 설계온도로 설계되었다.

각 펌프는 상황에 따라 필요한 유량을 공급할 수 있도록 다음과 같은 다른 운전 모드를 대처할 수 있도록 설계된다.

· 최소유량모드

이 유량모드는 펌프가 방출밸브가 닫힌 상태로 운전될때 일어난다.

유량	5.46 m^3/hr(20 Igpm)
총 수두	≤ 1, 296m(4,250 ft.)
유체온도	65.6℃(150°F)
가용 유효흡입수두	17.4m(57ft)
유체 비체적 (65.6℃, 150°F에서)	0.919×10^{-3} m^3/kg(0.01472 ft^3/1b)

· 정상유량모드

유량	25.64 m^3/hr(94 Igpm)
총 수두	≥ 1, 280m(4,200 ft.)
유체온도	65.6℃(150°F)
가용 유효흡입수두	16.8m(55ft)
유체비 체적 (65.6℃, 150°F에서)	0.919 X 10^{-3} m^3/kg(0.01472 ft^3/1b)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

· 최대유량모드

유량	60 m^3/hr(220 Igpm) + 3%
총 수두	1, 128m(3,700 ft.)
유체온도	65.6℃(150°F)
가용 유효흡입수두	15.24m(50ft)

· 회복모드

이 조건은 냉각재계통에 누설이 있어, 이를 보충 하기위해 충수펌프가 작동되는 때를 말한다. 이럴 확률은 발전소 수명에 걸쳐 매우 낮다. 그러나 발전소 수명에 미칠 악영향을 최소화 해야 하기 때문에 이 조건에도 만족할 수 있도록 펌프-전동기는 설계되어야 한다.

유량	128.3 m^3/hr(470 Igpm)
총 수두	335.4 m(1,100 ft.)
유체온도	101.1℃(214°F)
가용 NPSH	8.54m(28ft)
유체 비체적 (101.1℃, 214°F에서)	0.943×10^{-3} m^3/kg(0.01510 ft^3/1b)

이 충수펌프의 성능곡선은 그림 5.6-8과 같다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.4.3.7 배기 응축기¡

배기 응축기는 셸과 튜브 형 열교환기이다. 배기 응축기는 중수 증기에서 비응축성 기체를 분리하기 위해 사용된다. 응축기는 탈기 응축기 탱크위에 위치한다. 냉각수는 재순환 냉각수 계통에 의해 항상 최대 유량으로 공급된다. 방출 밸브는 배기 응축기를 위한 과압 방지수단이다.¡

5.6.4.4 계통 운전¡

5.6.4.4.1 정상 운전¡

5.6.4.4.1.1 예열¡

장시간의 원자로 정지이후 냉각재 계통은 감압되고 38℃(100°F)의 온도가 유지된다. 냉각재계통은 모관 수위까지 배수되거나 혹은 완전히 채워져 있다. 주 펌프는 정지되고 원자로 정지 냉각 계통에 의해 냉각이 이루어진다. 가압기는 부분적으로 중수로 채워지며 냉각재 계통으로부터 격리된다.¡

배출밸브는 가압기 격리 모드 제어에서 자동으로 작동되는 반면, 충수 밸브는 수동 작동되며 닫혀있다.¡

'정상모드' 가열과정에서는 냉각재계통의 온도 및 압력은 단계적으로 증가한다. 가열의 초기단계에는 가압기 가열기를 작동시켜 가압기의 온도 및 압력을 각각 중간단계인 275℃ (527 °F) 및 6.0MP(a) (870 psia)로 서서히 증가시킨다. 단기간 원자로 정지인 경우, 가압기는 정상운전 온도를 유지해야 하므로 다음에 언급될 단계가 필요치 않다.¡

냉각재 계통이 부분적으로 배수되면, 예열의 다음단계는 냉각재계통을 보충하는 것이다. 충수 펌프가 작동하면 재충전 밸브가 열린다. 충수펌프

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

는 냉각재계통을 보충해주고 가압시킨다.

원자로 출구 모관 압력이 6.0 MPa(a) (870 psia) 에 도달하면, 가압기는 냉각재 계통에 연결된다. 압력제어는 정상 모드로 바뀐다. 즉 압력이 가압기의 증기배출과 가압기의 가열기 그리고 충수 및 배출에 의한 수위로 제어된다. 온도가 150℃에 도달하면 냉각재계통의 설정 압력은 9.89 MPa(g)로 증가한다. 이때 가압기의 압력 및 온도는 가압기의 가열기를 작동시켜 각각 9.89 MPa(g) 및 310℃(590°F)로 증기시킨다. 펌프에서 발생된 열은 원자로에서 발생된 열과 함께 냉각재 계통의 온도를 분당 최대 2.8℃/min (5℃/min)의 비율로 약 260℃ (500°F)까지 증가시키는데 이용된다. 이때 냉각재 계통의 온도 및 압력은 고온 영출력 상태에 도달한다. (즉 원자로 출구 모관에서 온도가 260℃ (500°F) 이고 압력이 9.89 MPa(g)이다)

가압기 격리 모드 가열 과정에서는 가압기 격리모드에 의한 압력제어가 원자로 출구 모관의 압력 및 온도가 상술한 중간 단계를 거치지 않고 각각 9.89 MPa(g) 및 260℃에 도달할 때까지 계속된다. 가압기의 압력 및 온도는 각각 9.89 MPa(g) 및 310 ℃로 증가한다. 이때 가압기는 냉각재계통에 연결되고 정상모드에 의한 압력제어가 시작된다. 이러한 가압기 격리모드에 의한 압력제어는 5.6.4.2.1절에 언급된 바와 같이 5%이상의 원자로 출력에서는 바람직하지 않다.

탈기 응축기는 다음 2가지 방법에 의해 184.5℃ (364°F)의 온도와 1.0 MPa(g) (144 psig)의 압력에 도달한다: (a) 가열기를 사용한 점진적인 가열(예상시간 : 10 ~ 12시간)과 (b) 충분한 시간이 없다면, 260℃ (500°F)의 중수를 냉각재 계통으로부터 탈기배관 (degassing line)을 통해 점진적으로 유입함. 단기간의 원자로 정지에서는 탈기응축기는 가열기에 의해 정상 운전 상태를 유지할 수 있다. 2

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.4.4.1.2 기동

원자로의 기동은 냉각재 계통이 고온 영출력 상태에 있을 때 시작된다. 초기 원자로 출력은 원자로 정지 기간 및 예열 속도에 따라 전출력의 0%에서 5% 사이로 유지된다. 최대 예열율 (2.8℃/min)에서 원자로 출력은 필요한 열을 제공할 수 있도록 붕괴 열보다 높게 증가한다. 원자로 출력이 증가함에 따라, 가열기의 수위 설정치를 영출력에서 100% 출력 사이의 출력 증가에 따른 팽창을 가압기에 저장할 수 있도록 증가시킨다.

5.6.4.4.1.3 전출력 운전¡

100% 전출력에서 원자로 출구 모관과 가압기 양쪽의 압력 및 온도는 각각 9.89 MPa(g) 및 310℃이다. 펌프 글랜드와 충수 제어밸브의 우회선으로부터의 총 유입량 보다 큰 냉각재 계통으로부터의 연속적인 배출 유량이 있다. 충수 제어밸브를 통한 유량은 냉각재 계통의 수위과 균형을 이룬다. 실제 운전에서 원자로는 일정한 출력 준위에서 운전되지 않을 수 있다. 일정 기간중의 요구를 만족하기 위하여 낮은 출력 준위를 바꾸는 것이 바람직하다.¡

5.6.4.4.1.4 원자로 정지¡

냉각재 계통의 운전 정지 중에 수행되는 운전 절차는 한가지 중요한 차이를 제외하고 기동 절차의 역순이다. 고온 영출력에서 고온 전출력으로의 기동은 거의 일정한 냉각재 계통의 압력에서 이루어지는 반면에 운전정지는 압력을 떨어뜨림으로써 이루어진다. 이것은 원자로 출력이 감소함에 따라 냉각재 계통의 수축으로 인해 가압기로부터 밀림이 일어나고 그 결과 가압기의 수위가 떨어지기 때문이다. 증기 팽창에 따른 가압기의 압력 감소는 전기 가열

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

기로부터의 급속한 열유입에 의해 보상된다. 가압기의 압력과 온도는 가열기의 전출력에 의해 각각 10 MPa(a) 과 310℃로 복원된다.¡

5.6.4.4.1.5 냉각

원자로 정지후 냉각재 계통 운전 압력은 압력 및 수위 제어 계통의 설정 압력을 낮춤으로써 10MPa (a) 에서 8 MPa (a) 로 감소된다. 냉각재 계통의 냉각과정이 5.6.3.4절에 서술되었다. 냉각재계통이 225℃이하로 냉각될 때, 가압기의 설정 압력은 8 MPa(a)에서 6 MPa(a)로 떨어진다.¡

냉각재 펌프가 6 MPa(a)에서 정지된 후 가압기는 격리되고 압력제어가 '가압기 격리모드'로 전환된다. 전술한 바와 같이, 장기간의 운전정지가 예상되지 않거나 가압기 보수가 필요하지 않으면 가압기의 냉각이 이루어지지 않는다. 필요시 가압기의 냉각은 증기를 증기 배출 밸브를 통해 탈기 응축기로 방출함으로써 이루어진다. 이렇게 함으로써 가압기의 온도와 압력이 감소된다. 가압기의 온도가 168℃에 도달하면 가압기 노즐이 작동하여 용기를 더욱 냉각시킨다.¡

냉각재 계통의 단기간의 원자로 정지가 예상될 때 탈기응축기를 정상압력 및 온도 조건으로 유지시키는 것이 바람직하다. 그러나, 장기간의 원자로 정지가 예상되면, 탈기 응축기의 가열기를 끄고 용기가 냉각 될 수 있도록 방치해 둔다. 이러한 경우에 충수 펌프는 정지되고 충수 펌프의 흡입밸브는 닫히게 된다. 만약 그렇지 않으면 탈기응축기는 중수 저장 탱크로부터 중력에 의한 유량으로 채워지게 된다.¡

5.6.4.4.2 비정상 운전¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.4.4.2.1 냉각재 상실사고

냉각재 계통 회로의 격리 밸브는 냉각재계통의 저압력 신호에 따라 닫힌다. 충수 및 배출 계통은 작동을 안하며 압력제어는 상실된다. 장기적으로 중수가 회로중의 하나에 보충되는 것이 요구되면, 냉각재계통은 운전자에 의해 가압기 격리모드 제어로 전환된다. 이때 손상되지 않은 회로에 연결된 중수 격리 밸브가 열린다.¡

충수펌프는 손상되지 않은 회로의 압력을 정상값으로 증가시키려 할 것이다.¡

5.6.4.4.2.2 기기 냉각수 상실사고¡

완화 조치가 없으면 탈기 냉각기와 정화계통 열교환기의 기기 냉각수가 상실된다. 그 결과 이들 냉각기를 통한 냉각재 계통으로부터 나오는 고온의 유량이 충수펌프의 흡입부에 도달한다. 충수 펌프의 흡입부에 들어오는 고온의 유량은 냉각재 계통 펌프의 글랜드에 고온의 유량으로 주입되거나 저 유효흡입수두시에 충수펌프를 트립시킨다. 어느 경우에서도 냉각재펌프가 정지되지 않으면 기기 냉각수 상실 사고 직후 냉각재 펌프 축밀봉 공장이 일어나 소량의 냉각재 상실사고가 일어날 가능성이 있다. 고온의 유량이 충수펌프 흡입부에 도달하기전에 복귀하는 고온의 유량을 자동으로 격리시키는 장치가 설치된다. 따라서, 충수펌프는 중수 저장, 이송 및 회수계통의 차가운 주입수가 약 1시간동안 냉각재 펌프에 공급된다.

¡

5.6.4.4.2.3 등급 4 전원 상실 사고¡

등급 4 전원 상실 때문에 증기발생기 급수 펌프 및 복수기 펌프가 트립된다. 냉각재 펌프는 전원을 상실할 것이다. 냉각재 계통 압력은 증가하고

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

제 1 원자로 정지 계통은 원자로를 트립시킨다. 등급 3 전원은 복원되고 붕괴열은 제거되며 냉각재 계통은 보충된다. (방출밸브가 열리고 냉각재 계통의 수위이 탈기 응축기로 방출된다.) 사고의 원인이 제거되거나 교정되자 마자 원자로가 가동되기 시작한다.¡

5.6.4.4.2.4 충수 펌프의 고장¡

양쪽 충수 펌프가 모두 고장나면, 충수 흐름이 중단된다. 가압기의 수위도 서서히 떨어진다. 냉각재계통으로부터 나가는 수위을 제어하는 배출 밸브 및 다른 밸브는 가압기 수위 제어 회로의 신호에 따라 닫힌다. 전술한 바와 같이 정화계통 격리 밸브 및 글랜드 복귀 밀봉 밸브가 닫히지 않는 한 냉각재 계통으로부터의 모든 배출 통로가 반드시 격리될 필요는 없다. 그러나 정화계통 격리 밸브가 닫히면 정화작용이 중단되지만 글랜드 복귀 밀봉 밸브가 닫혔을 때 냉각재 펌프가 여전히 작동하면 축밀봉이 고장나게 된다. 그러므로 가압기 수위가 제어실에 경보가 울리게끔 설정된 값 이하로 떨어질 때까지 연속적인 운전이 허용된다. 가압기 수위가 설정치로 떨어지면, 원자로를 운전 정지시키는 것이 바람직하다. 냉각재 펌프가 정지되면 글랜드 밀봉 밸브가 닫히고 정화계통은 격리된다. 원자로 냉각은 열대류에 의해 이루어진다.¡

5.6.4.4.2.5 저장 탱크의 저수위¡

저장 탱크의 충수 수위가 낮아지는 이유는 다음과 같다:

가. 가압기 수위 프로그램의 오기능 (가압기 수위가 설정치보다 높아진다.)

나. 방출밸브가 고장시 열리고 그 결과 탈기응축기가 만수위에 도달하거나 노분무밸브가 고장시 열렸을 때 (탈기응축기 수위가 설

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

정치보다 높아진다)

다. 냉각재 계통으로부터 중수 누설이 있을 때

저 수위 경보는 저장 탱크에 액체 중수가 불충분한 상태임을 나타내준다.¡

5.6.4.5 안전성

압력 및 수위 제어계통은 참고문헌 5.6-4에 따라 등급 1, 등급 3으로 분류된다. 냉각재 계통 경계의 일부를 형성하는 기기들은 등급 1로 분류되고 나머지 기기들은 3급으로 분류된다. 등급 1 및 3급 기기들은 ASME 규격 Section(참고문헌 5.6-8) 부권 NB항 및 ND항에 따라 제작된다.¡

압력 및 수위 제어계통은 정상 발전소 운전중 핵연료를 반드시 냉각시킬 수 있도록 충분한 수위를 유지한다. 중수 충수 및 밸브와 연동되는 가압기 수위제어 프로그램은 정상 발전소 운전중 수위 보충율이 증기 발생기 튜브 고장 또는 각 계기 튜브의 고장에 의한 누설에 관계없이 핵연료를 반드시 냉각시킬 수 있을 정도로 충분하다는 것을 보장해 주어야 한다.¡

정상 운전 및 비정상 운전시에 냉각재 압력 제어를 위해 가압기 증기 배출 밸브 및 가열기가 제공된다. 계통에서 사용되는 액체 방출 밸브는 원자로 정지 계통과 함께 냉각재 계통을 과압에서 보호해준다. 계통은 참고문헌 5.6-9에 기술된 과압 방지요건을 만족한다.

냉각재 상실사고후, 압력 및 수위 제어 계통은 손상되지 않은 냉각재 계통을 손상된 냉각재 계통과 자동으로 격리시킴으로써 손상되지 않은 회로에 충분한 수위을 유지시켜 핵연료를 계속해서 냉각시킬 수 있다.¡

압력 및 수위 제어 계통 기기는 설계 기준 지진의 'A' 범주 또는

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

'B' 범주에 속한다. 여러기기의 내진 검증을 규정하는 목적은 설계 기준 지진 중 그리고 지진 후 냉각재 계통으로부터 중수가 흘러나가는 것을 방지하는 데 있다. 모든 기지의 내진 범주가 흐름도에 표시된다. 계통의 3급 부분은 내진 검증이 요구되지 않으며 NBCC (National Building Code of Canada)의 최소 표준에 따라 설계된다.

일반적으로 냉각재 계통 압력 경계에 위치하는 밸브는 설계기준 지진 중 그리고 지진후 밸브의 기계적 기능을 유지하고 냉각재 계통으로 중수가 흘러나가는 것을 방지할 수 있도록 설계 기준 지진의 범주 'B'에 내진 검증되어야 한다. 이 범주에 속하는 모든 제어밸브는 전원 상실시 '고장시 폐쇄'으로 설계된다.

환경 검증을 위한 안전 설계 지침서(참고문헌 5.6-3)에 따라 사고시 안전기능을 수행해야만 하는 안전관련 계통, 구조물 및 기기는 사고결과 발생하는 극심한 환경에 견딜 수 있도록 설계된다. 냉각재 상실사고와 주증기관 파단 사고 중 원자로 건물내의주위 온도 및 압력은 상승한다. 격납건물 내의 온도와 압력을 포괄(envelope)하는 극심한 환경조건이 참고문헌 5.6-3에 규정되어 있다.

압력 및 수위 제어 계통의 격리 밸브는 냉각재 상실 사고가 일어났을 때 비파손 냉각재 회로를 파손 회로로부터 격리시킬 수 있도록 극심한 환경에서도 기능을 갖도록 검증되어야 한다.

액체 방출 밸브 및 탈기응축기 방출밸브는 냉각재 상실 사고 또는 주증기관 파단 사고가 일어날 때 냉각재 계통의 과압 방지 수단을 유지할 수 있도록 극심한 환경에 검증되어야 한다. 냉각재 상실 사고 또는 주증기관 파손 사고중 비파손 냉각재 회로에 충분한 수위을 유지해야만 하는 기기는 그들의 기능을 유지할 수 있도록 극심한 환경에 검증된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

승인근거
월성원전지역사무소-646
(2016.05.13)

5.6.4.6 가동중 검사 및 시험

5.6.4.6.1 가동중 검사

압력 및 수위제어계통에 대한 가동중검사가 주기적으로 실시된다. 이는 CSA 표준 N285.4 “CANDU형 원자력발전소 기기의 가동중검사” 및 가동중검사 계획 86-03640-PIP-001, “압력유지 기기에 대한 가동중검사”에 의거 실시된다. 시험주기, 시험방법 및 시험결과 평가 등도 CSA 표준 및 가동중검사 계획에 명시되어 있다. 압력 및 수위제어계통에서 가동중검사 대상 기기는 가압기, 탈기응축기, 밸브 MV1, MV2 및 8D-1, 8D-2, 12D-1 배관 등이다. 자세한 검사사항은 가동중검사 계획 86-03640-PIP-001에 제시되어 있다. 자세한 사항은 6.9를 참조. 189

5.6.4.6.2 압력시험

압력 및 수위제어계통에 대한 압력시험은 등급 1에 대해 ASME 보일러 및 압력용기 코드 Section Ⅲ, 부절NB에 따라 수행된다. 압력 및 수위제어계통에 대한 압력시험 (수압 및 누설시험)은 계통이 설치되고 초기운전의 시작전에 수행된다. 수압시험은 취성파단을 야기하지 않는 온도에서 수행된다. 압력시험 및 가압후 누설시험 방법은 ASME Section Ⅲ의 등급 1코드 NB-6000에 따른다. 압력 및 수위제어계통의 운전전 성능시험은 시운전시 원자로 가동전에 부품들이 설계요건에 따라 기능하고 운전함을 확인하고자 실시한다. 1

5.6.4.6.3 가동중 시험

압력 및 수위제어계통의 과압방지를 위한 압력방출밸브의 감시를 위한 주기적 성능시험은 ASME OM-1990, 부록 1의 요건에 따라 수행된다. 모

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

든 등급 1 압력방출밸브는 5년 주기 이내로 시험된다. 모든 등급 3 밸브는 10년 주기 이내로 시험된다. 밸브 시험시의 설정압력은 검인된 설정압력 기준보다 3% 또는 그 이상을 초과하지 않아야 한다. 설정압력측정의 정확도는 ASME OM-1990, 부록 1에 기준한다.

이 계통의 능동 기기에 대한 가동중 검사는 주기적으로 수행된다.

시험기기는

3331-P1,P2	중수충수펌프
3332-PV3, PV4 ,PV12, PV13	액체방출밸브
3332-PV47, PV48	가압기 방출밸브
3331-MV13, MV22	냉각재 유로 차단 밸브
3332-MV1, MV2	냉각재 유로 차단 밸브 (가압기 밀림관)

1

두 개의 중수충수펌프 교체운전은 계획 정지중에 한다. 액체방출밸브 3332-PV3, 4, 12, 13과 갑압기 방출밸브 03332-PV47, 48은 발전소가 정지되고 냉각재계통이 계획 보수 정지기간에 감압된 상태에 시험된다. 냉각재계통 차단밸브는 적어도 매달, 유로차단, 신호나 시험신호를 받아 요구된 시간에 닫혀짐을 확인함으로 작동성을 시험한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.5 냉각재 중수 수집 계통

냉각재 중수 수집 계통의 계통 흐름도를 그림 5.6-6에서 볼 수 있다.

5.6.5.1 설계 기준

5.6.5.1.1 기능 요건

계통의 기능 요건은 다음과 같다:

가. 원자로 운전중 이중으로 포장된 밸브스템, 펌프 밀봉부 및 가스켓 사이의 틈으로부터 누설되는 중수를 수집해야 함.

나. 기기로부터 배수된 중수를 수집해야 함.

다. 중수를 수용하는 기기에 배기 수단을 제공해야 함.

라. 수집된 중수의 농도를 결정해야 함. 정상적으로 중량으로 최소 99.75 % 농도의 중수가 냉각재 계통의 중수로 요구된다. 이러한 중수 농도는 원자로 운전에 사용할 수 있는 것으로 간주된다.

마. 수집된 중수가 원자로 운전에 사용할 수 있는 농도라면 이들을 냉각시키고 압력 및 수위 제어 계통으로 이송시켜야 함.

바. 수집된 중수가 원자로 운전에 사용할 수 없는 농도라면 이들을 중수 세정 계통으로 이송시켜야 함.¡(월성 2호기는 1호기 세정계통으로, 3호기와 4호기는 3호기 세정계통으로)

사. 중수의 누설과 배수를 감시해야 함.

아. 냉각재 펌프의 전동기 스탠드와 중수 수집 탱크의 지지대 바닥에 설치된 배수로에 있는 중수를 탐지함에 따라 경보를 울릴 수 있어야 함.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.5.1.2 안전 요건

냉각재 중수 수집 계통은 안전 관련 기능을 갖지 않는다 (참고문헌 5.6-1 참조). 그러나 참고문헌 5.6-2, 5.6-11 및 5.6-12의 요건을 만족시켜야만 하는 격납건물 확장부는 예외이다.

5.6.5.1.3 적용 규격, 표준 및 등급

중수 수집 계통은 ASME 규격 Section Ⅲ (참고문헌 5.6-8)를 인용하고 있는 참고문헌 5.6-4에 따라 등급 3 및 등급 6로 분류된다. 원자로 건물 확장부는 등급 2로 분류된다.¡

5.6.5.2 계통 설명¡

냉각재 중수 수집 계통은 냉각재계통의 기기로부터 배기된 기체, 누설된 중수 및 배수된 중수를 수집한다. 중수의 유동을 감시하고 수집된 중수를 압력 및 수위 제어 계통으로 혹은 오염이 되어있으면 세정 계통으로 보내게 된다. (2호기는 1호기 세정계통으로, 3, 4호기는 3호기 세정계통으로 보내진다.) 펌프시설에 의한 유동을 제외한 계통의 모든 유동은 중력에 의해 이루어진다.

가스켓 사이의 틈, 이중으로 포장된 밸브스템및 기기의 배수 및 배기로부터 수집된다. 일부는 고온, 고압의 회로로 부터 수집된다. 이들 유동은 저압에서 운전되는 수집계통으로 들어갈 때 순간 기화 (flash) 된다.

수집된 중수는 육안으로 감시할 수 있도록 다단 입구형 유동 게이지 또는 황소 눈 형태의 (bull's-eye type) 유동 게이지를 통해 중력에 의해 흐른다. 보수 작업중 기기의 배수 밸브 및 배기 밸브로부터 배수되는 것을 감시하고 정상 운전중 이들 밸브를 통한 누설을 감시하기 위해 유면계가 사용된다.

누설 지시계는 누설되는 증기를 응축시키기 위해 배기 응축기로 배

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

기된다.

각각의 유량이 유량 게이지를 통과한 후 모관으로 수집된다. 수집된 유량은 모관으로부터 중수 수집 탱크로 중력에 의해 계속해서 흐른다.

중수 수집 탱크에 수집된 중수는 수집 펌프에 의해 배출된다.¡ 수집된 중수의 농도가 채취된 시료를 분석하여 결정된다. 이들 시료는 정기적으로 채취되어 중수 시료 분석 계통으로 보내진다.

수집탱크의 내용물을 압력 및 수위 제어계통으로 정상적으로 보내주기 위해 펌프와 공기 작동 배출 밸브는 탱크수위 신호에 따라 자동으로 작동된다. 배출밸브는, 밸브로 공급되는 공기의 상실시 수집 탱크의 내용물이 압력 및 수위 제어 계통으로 복귀할 수 있도록, 고장시 열리도록 설계된다.

중수 수집 계통의 모든 배관 및 기기는 스테인레스 강으로 만들어진다. 스테인레스 강은 수집 계통이 방사선에 조사되고 냉각재계통으로 다시 돌아갈때 위험한 부식물의 생성을 감소시키기 때문에 사용된다. 탄소강이 사용되면 계통의 중수 증기 때문에 부식물이 생성되기가 쉽다.

5.6.5.3 기기 설명¡

5.6.5.3.1 중수 수집 탱크 및 냉각기¡

냉각기는 플랜지로 연결되고 내부 지지물에 의해 중수 수집 탱크에 위치하고 있는 U자형 다발이다. 탱크는 성형된 단부를 갖는 밀폐형 원용형 용기이다. 이것은 2개의 새들 (saddle) 지지물에 수평으로 장착된다. 탱크의 용량은 1077ℓ이다. 중수 수집 탱크의 설계 조건은 0.517MPa(g) (75 psig) 및 121 ℃ (250°F)이다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.5.3.2 펌프

펌프는 누설이 없게 설계한 밀봉없는 캔형 모터 전동기 원심펌프이다. 펌프는 3600 rpm (60 cycle)의 농형유동 전동기에 의해서 작동한다. 펌프와 전동기는 박스나 밀봉 또는 팩킹으로 채움없이 결합하여 하나의 누출밀봉 장치가 된다. 유체는 누설되지 않고 내부 누설에 의해 오염되지도 않는다. 외부윤활은 요구되지 않는다. 윤활은 회전자 베어링 (bearing)을 넘쳐 흐르는 급수된 유체에 의해 이루어진다. 회전자는 용기안에 용접밀폐 되어있고, 급수된 유체에 의해 냉각된다. 전동기로부터 열을 제거하기 위해서 고정자는 열전도가 잘되는 기름으로 밀봉된다.

5.6.5.3.3 배기 응축기

배기 응축기는 헤드 연결부에 플랜지로 결합된 쉘을 가진 U자형 열교환기이다. 이것은 수직으로 장착된다.¡

5.6.5.3.4 누설 지시계¡

누설지시계는 육안 감시를 위한 다단 입구형 유동 게이지이다. 각 지시계는 상단에 22개의 입구를 가진 연신 스테인레스 강으로된 박스이며 각 단부에 배기 및 배수 연결부를 가지고 있고 육안으로 볼 수 있도록 앞면에 유리가 끼워져 있다. 지시계는 배수를 용이하게 할 수 있도록 비스듬히 경사기게 설치된다.¡

누설지시계는 준 정량적 계측기이다. 즉, 물방울을 헤아려서 누설율을 평가 한다.¡

5.6.5.3.5 유면계

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

유면계들은 육안으로 감시하기 위한 단일입구 형태의 유량 게이지(guage)이다. 각 유면계는 상단과 하단에 입구와 출구를 가지고 있는 스테인레스 강이며 육안으로 볼수 있도록 앞면에 유리가 끼워진다.

5.6.5.3.6 누수 경보기

2 가지 형태의 누수 경보기가 사용된다:¡

가. 가설되어 탱크 바닥에 수집된 중수/경수의 층 두께가 12.7mm (1/2")가 될 때 마다 경보가 울리는 바닥에 장착된 중수/경수 탐지기¡

나. 냉각재 펌프 전동기 스탠드로부터 중수가 배수될 때 경보가 울리는 태관에 장착된 중수/오일 탐지기¡

5.6.5.4 계통 운전¡

냉각재 중수 수집 계통은 최소한의 주의만 기울여도 자동으로 운전되도록 설계된다.¡

수집 탱크에 수집된 중수가 시료 채취 분석 결과 원자로 운전에 사용할 수 있는 농도라면 탱크의 중수는 압력 및 수위 제어계통으로 복귀된다. 그렇지 않으면 내용물은 중수 세정 계통으로 보내진다.

펌프 주입 절차는 탱크 내용물의 수위에 의해 그리고 펌프, 배출밸브 및 해당 밸브의 제어 상태에 의해 지배된다. 펌프와 배출밸브는 수동 운전 혹은 자동 운전으로 선택되는데 이것은 탱크의 수위에 따라 결정된다. 제어실의 계기는 펌프 배출 밸브가 열렸는지 또는 닫혔는지를 지시해 준다.¡

수집 탱크의 내용물은 경수의 존재 여부를 검사하기 위해 정기적으로 시료채취된다. 가능한 경수의 발생원은 탱크 냉각기 및 배기 응축기이다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

승인근거
월성원전지역사무소-646
(2016.05.13)

(튜브측 경수 냉각수의 압력이 셸측 중수의 압력보다 높을 때)

시료 분석 결과 수집 탱크의 내용물이 오염되었다고 판단되면, 내용물을 증수 세정 계통으로 보내기 시작한다.¡(2호기는 1호기 세정계통으로, 3, 4호기는 3호기 세정계통으로 보내진다.)

5.6.5.5 안전성

냉각재 중수 수집 계통은 안전관련 기능을 갖지 않는다.

원자로건물 연장부를 구성하는 계통은 참고문헌 5.6-2, 5.6-11 및 5.6-12의 요건을 만족시킬 수 있도록 설계된다. 그러므로 격납건물 연장부는 등급 2로 분류되며 설계기준 지진 범주 'B'에 내진 검증되어야 한다 (배관은 설계기준 지진 범주 'A'에 속한다).

5.6.5.6 가동중 검사 및 시험

5.6.5.6.1 가동중 검사

압력유지 기기에 대한 가동중검사 계획은 고장시 방사선 위험을 초래할 수 있는 원자력발전소 기기들에 대한 의무검사를 수행하기 위하여 CSA 표준 N285.4 "CANDU형 원자력발전소 기기의 가동중검사"에 따른다. 189
냉각재 중수수집계통에 대한 가동중검사는 요구되지 않는다.

5.6.5.6.2 압력시험

중수수집계통에 대한 압력시험은 등급 2에 대해 ASME 보일러 및 압력용기 코드 Section Ⅲ 부절 NC와 등급 3에 대해 부절 ND 및 등급 6에 대해 ANSI/ASME B31.1 power piping code에 따라 수행된다. 중수수집계통에 대한 1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

압력시험 (수압 및 누설시험)은 계통이 설치되고 초기운전전에 실시된다. 압력시험 및 가압후 누설시험 방법은 등급 2에 대해 ASME 3장의 NC-6000과 등급 3에 대해 ND-6000 및 등급 6에 대해 ANSI/ASME B31.1에 따라 수행된다. 1

5.6.5.6.3 가동중 시험

중수수집계통에 대한 운전전 성능시험은 시운전시 원자로 기동전에 계통의 부품들이 설계요건대로 성능을 가지고 운전됨을 확인하기 위하여 실시된다.

5.6.6 증기 및 급수 계통

증기 및 급수 계통은 주증기배관과 증기 발생기로의 급수 공급배관으로 구성된다. 주증기배관은 증기를 원자로 건물내의 4개의 증기 발생기로부터 증기 균형 모관을 통해 일정한 압력으로 터빈에 공급한다. 계통은 요구되는 증기 발생기 수위를 유지할 수 있도록 급수 유량을 제어한다.

계통은 복수기 증기 방출 밸브와 대기 증기 방출 밸브를 사용하여 증기발생기 압력을 제어한다. 증기발생기 2차측의 과압방지를 위하여 주증기 안전 밸브가 설치된다. 급수 계통은 급수열(train)로부터 고온 가압 급수를 취하고 증기 발생기의 예열기로 급수를 배출한다. 주증기 격리 밸브는 증기발생기 튜브에 누설이 일어나 정지 냉각계통이 작동하게 되고 냉각재계통이 감압될때 원자로가 정지된 후 터빈으로 주증기 공급을 격리시키기 위해 설치된다. 2

증기 및 급수 계통의 개략도가 그림 5.6-7과 같고, 이 계통의 흐름 1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

도, 86-36100-1-1-FS-E (그림 5.6-11) 이 첨부된다

5.6.6.1 설계 기준

5.6.6.1.1 기능 요건

증기 및 급수 계통의 기능 요건은 다음과 같다:

가. 계통은 증기발생기에서 생성된 증기를 터빈 발전기, 터빈 축 증기 밀봉계통, 2단계 재열기, 탈기기의 보조 증기로 공급한다.

나. 대기 증기 방출 밸브, 복수기 증기 방출 밸브, 터빈 스피더 (speeder), 및 원자로 출력이 증기압력을 제어하는데 사용되어야 한다.

다. 대기증기 방출밸브는 발전소 가열중, 주복수기가 사용불가능하거나 4급 전원이 상실될 때 증기를 대기로 방출하기 위해 제공된다.

라. 복수기 증기 방출밸브는 주증기 안전 밸브를 개방하거나 원자로를 트립시키지 않고 BOP (Balance of plant) 비정상 상태 (예를들어 터빈트립, 배관상실)에서 증기를 직접 복수기로 방출한다.

마. 주급수 펌프는 터빈 트립후와 탈기기에서의 압력 붕괴후 계속해서 100%운전되어야 한다. 대기 상태의 주급수 펌프는 운전중인 펌프의 고장시 자동으로 작동되기 시작한다.

바. 3급 전원으로 작동되는 4% 용량의 보조급수펌프가 제공된다. 보조급수펌프는 주급수펌프 모두가 트립될 때 자동으로 작동되기 시작한다. 복수기 계통은 보조급수펌프가 작동중일 때 탈기기 저장 탱크의 수위를 유지할 수 있어야 한다.

사. 이 계통은 증기발생기 수위와 압력제어를 위해 요구되는 적절한 계

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

측기를 설치해야 한다

아. 경수 급수 및 증기계통으로부터 중수 원자로 냉각재를 분리하는 증기발생기 세관의 건전성을 확보하기 위해 냉각재와 급수의 엄격한 화학제어가 마련되어야 한다.

5.6.6.1.2 성능 요건¡

증기 및 급수 계통의 성능 요건은 다음과 같다.

가. 증기 발생기 출구노즐에서의 압력이 4.69 MPa(a) (681 psia)이고 터빈 정지 밸브에서의 압력이 4.51 MPa(a) (654 psia)인 증기가 1033 kg/s (8.19×10^6lb/hr) 유량으로 터빈에 공급되어야 한다. 증기의 온도는 260℃ (500°F) 이어야 하고 전출력 정상 운전 조건하에서 최대 0.25%의 습분을 함유한다. 121

나. 주증기 안전 밸브는 스프링으로 작동되어야 하며 보조 공기식 작동기 (actuator) 를 장착해야 한다. 닫힌 상태에서 완전히 열릴때까지 소요되는 시간은 공기식 작동기의 경우 0.5초를 초과해서는 안된다.¡

다. 주증기 안전 밸브들의 용량은 4개의 밸브중 3개가 작동할 때 증기발생기로부터 나오는 증기 유량의 115%를 수용할 수 있어야 한다.¡

라. 대기증기방출밸브의 용량은 적어도 정상 증기 유량의 10% 이어야 한다. 이러한 용량은 증기발생기 압력 제어를 위해 요구되며 비정상 조건 및 비상 조건에서 열 제거원으로 요구된다. 대기 증기 방출 밸브가 닫힌 상태에서 완전히 열릴때까지 소요되는 시간이 2초를 초과해서는 안된다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

마. 복수기 증기 방출 밸브의 용량은 터빈으로부터 100% 부하 거부 (load rejection) 후 최대 연속 정격 유량과 같아야 한다. 터빈 우회 계통의 크기는 복수기로 흐르는 연속 증기유량이 전증기 유량의 70%가 되도록 결정된다. 복수기 증기 방출 밸브가 닫힌 상태에서 완전히 열릴때까지 소요되는 시간이 1초를 초과해서는 안된다.¡

바. 주증기 격리 밸브의 닫힘 시간은 증기 수격 (steam hammer)을 피하기 위하여 약 2분이 되어야 한다.

사. 증기발생기 입구 노즐에서의 압력이 4.89 MPa(a)(709 psia)인 급수가 1대당 258.5 kg/s(2.051×10^6 lb/hr)의 유량으로 증기발생기로 공급되어야 한다. 증기발생기 입구에서의 급수 온도는 187℃ (368°F)이어야 한다.¡

아. 급수배관당 하나의 주제어 밸브를 완전히 개방하여 운전하는 주 급수펌프 (대기상태인 펌프 제외)는 적어도 급수유량 최대 연속율의 110%를 증기발생기로 보낼 수 있어야 한다.

자. 급수는 통상 원자로 정지 나 4급 전원 상실과 같은 비정상 상태이후 장기간 116 ℃(240°F)의 온도에 유지되어야 한다. 비슷한 상태하에서 최소허용급수 온도는 급수유량이 4%를 넘지 않는다면 100 ℃(212 °F)이다

차. 주증기관 파단시 급수제어 밸브는 주급수펌프가 정지되는 것을 방지하기 위해 급수유량을 제한해야 한다.

카. 전체 2차 계통수 저장량 요건은 24분의 전출력에 해당되는 양이다. 100% 출력에서 증기발생기에 있는 물의 최소 질량은 1-1/2분의 전출력에 해당되는 양이어야 한다. 탈기기 저장탱크는 정상운전 수위에서 최소한 5분의 전출력 운전에 해당하는 양을 갖고 있어야 한

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

다. 복수계통도 복수기 온수조와 예비 급수 저장탱크 (완충탱크)에 5분 전출력 운전에 해당하는 양을 갖고 있어야 한다. 이 양은 단위 호기의 탈염수 저장탱크에 있는 양을 제외한 양이다. 탈염수 저장탱크는 급수계통에 공급하는 820 m^3 의 월성 2, 3, 4 호기 각각 탈염수를 갖도록 설계되어 있다. 이것은 13분 동안의 전출력 운전에 해당한다. 이는 두개 발전소를 위한 1640 m^3의 탈염수 저장탱크 용량요건에 부합된다.

5.6.6.1.3 안전 요건¡

증기 및 급수 계통의 안전 요건은 다음과 같다.¡

가. 주증기 안전 밸브는 사고시에 핵연료로부터 열을 제거하거나 냉각재 계통을 신속하게 감압시키고 또한 증기발생기 2차측의 과압방지를 위하여 제공되어야 한다.¡

나. 참고문헌 5.6-9의 요건에 따라 각 증기 발생기의 각 증기관에 원격 수동 작동식 차단 밸브가 설치되어야 한다. 주증기 차단 밸브는 증기발생기 튜브 누설 사고시 원자로가 정지되고, 정지 냉각계통이 작동하게 되며 냉각재계통이 감압된 후에 방사능을 가진 증기가 대기로나 BOP 계통으로 방출되는 것을 최소화하기 위해 설치된다. 2

낮은 급수 모관 압력에 의해 2개 이상의 증기발생기의 수위가 낮아지면, 자동감압이 시작되어야 한다. 감압은 비상급수로 보충되도록 주증기 안전 밸브를 열음으로써 이루어져야 한다.¡

다. 주증기 안전 밸브는 증기발생기의 2차측의 급냉을 지체 시킨 후 냉각재 상실사고 신호 (원자로건물내에는 고압이며 냉각재 계통은 낮은 압력에 있거나 또는 다른 상태의 신호가 발생되고 냉각재 계통은 낮은 압력에 있다)에 대한 비상 노심냉각계통에 의해 열려야 한다. 이것은 냉

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

각재계통을 감압시키고 비상노심 냉각계통의 주입을 용이하게 하기위하여 증기발생기의 급속 냉각을 보장하기 위함이다.¡

라. 주증기 안전 밸브들은 증기발생기 2차측을 급속히 냉각시키기 위하여 시간지연이 있은 후 증기발생기 2차측 급냉계통(원자로 건물 고압이나 감속재 고수위 또는 계속된 원자로 출구모관 저압신호와 함께 원자로 출구모관 저압신호)에 의해 개방되어야 한다. 이것은 냉각재 상실사고 사고시 비상노심 냉각계통과 독립적으로 작동하는 급속 냉각으로 증기발생기를 이용하는 것이다.

마. 정상급수가 사용 불가능 할 때, 두개의 대체 급수원이 제공되어야 한다. 첫째는 비상급수계통 밸브를 통해 살수 탱크로부터 중력으로 급수되어야 한다. 두번째는 비상급수계통 저장조로부터 비상급수계통 펌프와 밸브를 통해 공급되어야 한다. 이 두 급수원은 저압에서 이용 가능하다. 그러므로 증기발생기로 정상급수가 상실된 후 주증기 안전 밸브들이 2차계통의 압력을 낮추게 하고 열제거를 위해 대체 급수원중 하나를 이용하도록 개방되어야 한다.

바. 대기중인 보조급수펌프를 신속하게 자동으로 기동할 수 있도록 펌프의 모든 보조설비는 항상 운전가능 하여야 한다. (예를 들면, 대기중인 펌프는 예열수의 순환에 의해 항상 예열되어 있어야 하며 윤활유 냉각계통 및 축밀봉 계통은 항상 운전상태에 있어야 한다.)

5.6.6.1.4 적용 규격 표준 및 등급

증기와 급수계통의 설계는 CAN3-N285.0-M81 “CANDU 원자력 발전소의 압력 유지계통과 기기를 위한 일반요건” (참고문헌 5.6-4) 에 따른다.

주증기 격리밸브를 포함하는 각 주증기관 부분은 5.6-4에 따라 등

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

급2로 분류된다. 이와 비슷하게 급수계통도 증기발생기 노즐에서부터 원자로 건물 확장부에 있는 밀봉판까지 등급 2로 분류된다. 이 계통의 대부분 기기들은 원자로 건물 밖에 있으며 ASME 규격 Section Ⅷ(참고문헌 5.6-8)과 참고문헌 5.6-13에 따라서 등급 6 (비원자력) 으로 분류된다.

5.6.6.2 계통 설명¡

5.6.6.2.1 증기 회로¡

각 증기발생기는 원자로 건물을 관통하는 26인치 배관에 의해 터빈 건물의 주증기 모관에 연결된다. 배관의 재질은 탄소강이다.¡

각 증기관에는 4개의 주증기 안전밸브, 1개 주증기 격리밸브 및 1개의 대기 증기 방출 밸브가 설치된다. 각 대기 증기 방출 밸브는 터빈 복수기가 사용불가능할 때 증기를 방출할 수 있도록 제공된다. 복수기 증기 방출 밸브는 주 증기 모관에서 복수기로 생증기를 방출하기 위해 제공된다.¡

증기 발생기 튜브의 누설은 급수 시료 계통을 통해 증기와 증기발생기 취출수에서 채취한 중수 시료중 중수를 감시함으로써 알게 된다.¡

주 증기 계통의 정상 운전 압력은 증기 발생기 출구 노즐에서 4.69 MPa(a) (680 psia)이다. 정상 운전 온도는 260 ℃ (500 ℉)이다. 주증기 계통의 설계 압력과 설계온도는 각각 5.07 MPa(g) (735 psig)과 266 ℃ (511 ℉)이다.¡

5.6.6.2.2 급수 회로¡

급수는 탈염되고 예열된 경수이다. 급수 배관은 급수를 탈기기로부터 증기발생기 급수 펌프, 고압 급수 가열기 및 급수 제어 밸브를 통해 증기 발생기로 이송시킨다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

4개의 12인치 주급수관이 터빈 건물에서 원자로 건물로 향한다. 각각의 주급수관에는 증기발생기 플랫포옴에 위치한 스윙 체크 밸브가 설치된다. 이 밸브는 급수 공급 상실시 증기 발생기로부터 급수 계통의 역류를 방지한다.¡

격리밸브를 가진 2개의 110% 급수 제어 밸브가 각각의 주 급수관에 설치된다. 조그만 우회 제어밸브가 주 급수 제어 밸브와 평행으로 설치되어 있으며 저 유량 운전중 사용된다. 유량계는 증기 발생기에 흐르는 급수 유량을 측정한다. 유량측정이 총출력을 결정하고 증기발생기의 수위 제어를 위해 요구된다.¡

증기 발생기로의 정상 급수가 사용불가능하면, 비상 급수 공급 계통은 장기간 붕괴열 제거를 위해 냉각수를 증기발생기에 공급한다. 이러한 목적을 위해 3인치 공급관이 각 증기 발생기에 연결된다. 각 공급관에 설치된 체크밸브는 정상 운전중 증기발생기 사이의 역류 및 순환을 방지한다.¡

주급수 계통의 정상 운전 압력은 증기 발생기 입구 노즐에서 증기 발생기당 258.5 kg/s(2,051 X 10^6 lb/hr)의 유량일 때에 4 .89 MPa(a) (709 psia)이다. 발생 가능한 증기발생기 압력 오차를 위해 34.5 kPa (5 psi)의 압력이 추가로 고려된다. 정상 운전 온도는 187℃ (368 °F)이다. 원자로 건물내의 주급수 계통의 설계 압력은 5.07 MPa(g) (735 psig)이다. 설계온도는 205℃(400 °F)이다.¡

5.6.6.2.3 증기 발생기 취출 회로¡

증기 발생기 취출 회로는 증기 발생기의 불순물을 제어하기 위해 제공된다. 이것을 달성하기 위하여, 튜브가 없는 지역, 증기발생기 고온 하강관 지역과 증기발생기 저온 하강관 지역에서 전출력 증기율 (FPSR)의 0.1%를 연속적으로 취출해야 하고 증기발생기 1대당 최대 1.5 kg/s의 유량으로 연속적으로 취출하는 설비가 마련되어 있다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

취출 유량은 증기발생기에 있는 화학물질을 제거하는데, 이 화학물질은 원래 보충급수 및 복수계통에서 발생하여 증기발생기에 쌓이게 된다. 취출 유량이나 어느 계통의 누수는 그것이 증기든 물이든 간에 복수 계통의 예비 급수 저장 탱크에서 공급하는 고순도의 탈염수에 의해 보충되며, 급수계통 정지 및 배수가 필요할 경우에는 순수분배계통에서 보충할 수 있다.¡ 증기발생기 취출계통의 흐름도 86-36310-1-1-FS-E (그림 5.6-12)가 첨부되었다. 87

5.6.6.3 기기 설명¡

5.6.6.3.1 증기 발생기¡

내부에 예열기를 가진 재순환 형태를 지닌 4대의 동일한 증기 발생기는 냉각재 측의 중수로부터 이차측의 경수로의 열전달을 통해 증기를 생산한다. 증기 발생기에는 일종의 쉘 (shell)에 역수직 U-튜브 다발이 설치되어 있다. 증기 분리기는 쉘의 상부끝에 설치되어 있다. (자세한 내용은 5.5절 참조)¡

월성 2, 3, 4호기에 대한 증기 발생기 설계는 정상적인 발전소 운전 동안 증기발생기 수위를 더 잘 제어할 수 있도록 개선되었다. 이는 각 증기 발생기의 2차측 수위을 약 38,000 kg (전출력 수위에서)으로 늘려 이루어 졌다. 더 커진 증기 발생기 수위은 트립 유효범위 분석과 원자로건물내 주증기관 파단이후 원자로건물내 최대압력 분석에 영향을 준다. 보다 상세한 설명은 15.3절에 기술되어 있다.

5.6.6.3.2 주증기안전밸브

각각의 주증기 관에는 4개씩 모두 16개의 스프링 및 공기 작동 안전 밸브가 설치되어 있다. 4개의 주증기 안전 밸브중 3개를 합한 용량은 한대의 증기 발생기에서 나오는 증기유량의 115%의 용량이 된다. 증기 방출 용량

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

을 115%로 선정한 것은 원자로가 정지되기 전 원자로 출력이 느린 제어 기능 상실로 인하여 115%까지 올라갈 수 있기 때문이다.¡

5.6.6.3.3 주증기격리밸브

주증기안전밸브의 하류쪽과 대기 증기방출밸브의 상류에 설치되어 있는 주증기 격리 밸브는 전동기로 구동되며 주제어실로부터 원격 수동운전된다. 적절한 주증기 격리밸브만이 정지냉각계통이 작동하게 되고 냉각재계통이 감압될때 원자로가 정지된 후 닫히게 된다. 증기발생기의 1차측으로부터 2차측으로 누수가 생긴 후에 원자로가 정지되고 나면 해당 주증기격리밸브만이 닫히게 된다. 주증기격리밸브가 닫히는 시간은 증기 수격 현상을 피하기 위해 대략 2분 정도이다. 2

5.6.6.3.4 대기 증기 배출 밸브

모두 4개의 글로우브형 제어밸브가 설치되어 있다. 이 밸브들은 정상 증기 유량의 총 10%의 용량을 가진다.

이 밸브들은 주 복수기를 사용할 수 없거나 부적당한 상태가 될때 열 제거원으로 사용된다. 이 밸브들은 증기발생기 압력 제어 프로그램의 요구에 따라 작동된다.

이 밸브들은 발전소 가열 운전중 4급 전원 상실, 복수기 고장, 터어빈 운전 정지 또는 파손시 사용된다.

5.6.6.3.5 복수기 증기 배출 밸브

이 밸브의 주요 기능은 주증기 균형 모관으로부터 복수기로 생증기를 배출하는 것이다. 이 밸브는 (예를 들면 터어빈 정지시와 같이) 심한 과도 상태시 안전 밸브의 작동을 피하기 위해 증기를 배출시키는데 사용된다.

이 밸브의 운전 특성은 다음과 같다:¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

- 정상 운전 동안 그 밸브는 닫힌상태의 편차를 가지고 압력 제어 상태하에 있게 된다.¡
- 독물질 방지 기간중 밸브의 정상 상태 열림은 독물질 방지 수위와 실제의 터어빈 증기 소모량 사이의 출력 불일치에 비례한다.
- 밸브의 열림은 복수기 보호 계통에 달려 있다. 이 밸브는 복수기 보호 계통에 의해 자동으로 트립되는데, 이러한 사고시에는 밸브가 다시 열릴수 있기 전에 수동으로 재조정하는 것이 필요하다.
- 터어빈 정지시 신호를 통해 밸브가 빨리 열리게 된다. 밸브는 그것이 완전히 열린 후에 압력제어 모드로 다시 돌아오게 된다.
- 컴퓨터를 통해 운전원이 밸브를 열수 있게 하는 설비가 설치되어 있다.

5.6.6.4 계통 운전

5.6.6.4.1 예열

원자로 열과 함께 냉각재 펌프열은 증기 발생기 증기 온도를 최대 분당 2.8 ℃ (5°F/min)의 증가율로 260℃ (500°F)까지 올리는데 사용되며 이에 따라 증기출구 노즐 압력은 대기압에서 4.69 MPa(a) (681 psia)로 증가하게 된다.

예열되는 동안 원자로 출력은 압력 불일치 및 예열율에 따라 상향 또는 하향 조절된다. 이러한 조정은 압력 제어기 또는 원자로 설정치의 수동 조작에 의해 이루어질 수 있다.

증기발생기 수위는 예열말기 즉, 고온 영출력 상태에서 물이 주어진 수위 표시에 있도록 조절된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6.6.4.2 정상운전

정상 운전동안 증기 발생기 급수 계통은 원자로 출력 조종 요구에 따라 급수 계열로부터 물을 공급한다. 수위는 증기발생기 수위 측정치, 증기 유량 측정치, 원자로 출력 및 급수유량 측정치를 종합하여 제어된다.

운전원은 증기발생기 압력 제어를 보류 모드로 선택한다. 원자로 출력은 압력 변이에 따른 압력 제어기에 의해 자동으로 변하게 되며 따라서 터어빈 출력 변화를 추종하게된다.

5.6.6.4.3 운전 정지¡

증기 발생기 증기 및 급수 계통의 운전 정지는 영출력으로의 원자로 단계감발에 의해 이루어진다. 냉각재펌프의 열 및 원자로 붕괴 출력은 계통을 전출력시의 압력과 온도로 유지시킨다. 급수 공급은 복수기 증기 방출밸브 또는 대기 증기 방출 밸브를 통해 생성된 증기의 배출율에 상응하게 된다.

5.6.6.4.4 냉 각

고온 영출력 상태에서 약 150℃ (300°F)로 증기발생기 증기 및 급수 계통이 냉각되는 것은 증기 발생기에서 증기를 복수기 증기 배출 밸브를 통하여 배출시킴으로써 이루어진다. 150℃ (300°F)이하에서 대체 열제거원 즉, 정지 냉각 계통이 작동된다. 정지 냉각 계통에 의한 냉각재 계통의 냉각 과정은 5.6.3절에 기술되어 있다.¡

5.6.6.4.5 자동 감압¡

증기 발생기 2차측의 자동감압은 다음의 시나리오에 따라 요구된

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

다. 3대의 주급수 펌프 및 보조급수 펌프의 기능을 상실케 하는 4급 및 3급의 모든 전원 상실로 인한 증기 발생기에 정상급수의 상실후에는 비상급수 공급 저장수 및 살수탱크수가 증기 발생기를 열제거원으로 계속 유지시키는데 필요한 잔류 급수원이다. 그러나 비상 급수 공급 계통은 압력이 낮은 계통이다. 만약 증기 발생기를 감압시키는 어떤 조처가 행해지지 않으면 증기 발생기 압력은 주증기 안전 밸브에 의해 설정 압력치에 유지되도록 한다. 이때 증기는 원자로 정지후 붕괴열에 의해 생성되며 그 뒤에는 증기 발생기 고갈이 생기게 된다. 그러므로 2차측 압력을 낮추기 위해 주증기 안전 밸브는 자동감압에 의해 열리게 되며, 이때 살수 탱크로부터 물이 증기발생기로 들어가므로 열제거원으로 지속되게 해 준다.

5.6.6.4.6 비정상운전

증기발생기 2차측은 원자로 정지, 터빈정지, 연속출력 감발, 원자로 과출력, 4급 전원 고장이나 급수 상실로 인한 온도와 압력의 변화가 있는 어떤 비정상 상태도 견디도록 설계되어 있다.

5.6.6.4.6.1 4급 전원과 3급 전원 고장

3대의 50% 증기발생기 급수펌프는 4급전원에서 공급받고 한대의 4% 증기발생기 보조 급수펌프는 3급전원에서 공급 받는다. 4급전원과 3급전원의 전체상실은 운전중인 급수펌프를 정지시킬 것이고 증기발생기로 급수공급의 상실을 초래할 것이다. 전원 상실되고 4초후에 원자로는 냉각재계통 고압으로 정지한다. 모든 모터 구동 급수격리 밸브는 3급 전원으로 부터 공급 받기 때문에 4급전원과 3급전원의 전체 상실에 의해 이 밸브들은 고장시 폐쇄 위치에 있게 될 것이다.

원자로 정지후 증기발생기 수위는 증기발생기내에서 수축으로 인해

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

저수위까지 떨어진다.

4급 전원이 상실되고 약 3분후 3급전원이 디젤 발전기에 의해 이용가능하여 보조 급수펌프를 운전하게 되고 증기발생기로 필요한 만큼 급수를 공급하게 된다.

증기발생기 수위제어 프로그램은 원자로 정지후 수위를 고온 영출력 수위까지 가져가야 한다. 3급 전원과 4급 전원의 상실후 증기발생기 급수펌프는 이용할 수 없어서 증기발생기로 정상적인 급수공급이 없음을 알아야 한다.

4급 전원과 3급 전원의 전체 상실후에도 두대의 컴퓨터는 여전히 운전가능하고 급수제어 밸브들도 여전히 정상적으로 작동한다.

5.6.6.4.6.2 급수 공급 고장

정상운전중 두대의 급수펌프가 운전되고 있고 다른 한대는 대기상태에 있다. 운전중인 펌프 1대가 정지되면 약 1분 이내에 대기 펌프가 자동으로 기동한다. 증기발생기가 100% 출력에 있을때 한대의 주급수 펌프가 운전되고 있다면 급수제어 밸브가 유량 불평형으로 완전히 열릴 것이다.

5.6.6.4.6.3 비내진 등급기기 고장

모든 비 내진등급기기가 고장난 경우 (1급 , 2급, 3급, 4급 전원상실, 급수상실, 원자로건물 외부 증기관 상실), 증기발생기는 증기관 파단부로 증기를 방출하여 감압될 것이고, 살수탱크로 부터 중력으로 충수가 허용될 것이다.

주증기를 제외한 모든 비 내진등급기기가 고장인 경우 운전원은 지진사고에 대해 명확히 알게 될 것이고 제 2 제어지역에서 비상전원 공급계통을 기동하고 수동으로 주증기 안전밸브를 개방할 것이다. 주증기 안전밸브의 개방은 증기발생기를 감압하고 살수탱크로 부터 중력으로 충수한다. 지진후 운전원이 수

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

동 감압 절차를 따르는데 실패할 가능성이 매우 적어 자동감압할 필요가 없다.

5.6.6.5 안전성

냉각재계통에 적정 수위의 물이 유지될 수 있는 사고에는 증기 발생기 및 주증기 안전 밸브가 원자로 정지 직후 다른 계통들 (정지 냉각, 비상급수 공급, 비상노심냉각)이 효과적으로 장기 열 제거원으로 역할을 할 수 있을 때까지 잔열 및 붕괴열을 제거할 수 있다.

증기발생기에 대한 과압방지는 주증기 안전밸브에 의해 제공한다.

증기 및 급수계통은 설계 기준 지진¡동안과 이후에 원자로건물내 이 계통의 압력 건전성을 유지해야 한다. 그러므로 원자로 건물내에 있는 증기 및 급수관은 설계 기준 지진 범주 'A'에 대한 내진 검증이 요구된다. 급수 체크 밸브는 증기 발생기 2차측의 물이 설계기준 지진후에 배수되지 않도록 보장하기 위해 설계 기준 지진 범주 'B'의 내진 검증이 요구된다. 주증기 격리밸브와 주증기 안전밸브의 방출 배관은 설계 기준 지진 범주 'A'로 내진 검증이 된다. 주증기 안전밸브는 설계기준 지진 중이나 이후에도 계속 그 기능을 유지할 수 있어야 되며 설계기준 지진 범주 'B'기기로 분류된다. 이 계통에 대한 내진 검증을 위한 적용 안전 설계 지침은 참고문헌 5.6-2와 같다.

격납 건물 확장부는 참고문헌 5.6-2, 5.6-4, 5.6-11 및 5.6-12의 요건을 만족시키도록 설계된다.

주증기 안전밸브, 주증기 차단밸브, 그리고 관련 부품 (구동기, 솔레노이드 밸브, 리미트 스위치 등)은 이들 배관근처에서 주증기관 파열에 의한 심한 환경조건에서도 기능을 유지할 수 있도록 환경검증이 된다. 주증기 안전밸브는 그런 사고에 대해 열제거원 역할을 해야 하고 증기발생기에 대한 과압방지를 하도록 요구된다. 주증기 차단밸브는 증기발생기 세관 누설의 경우 증기발생기 격리능력을 제공하기 위하여 요구된다.

2

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

각 주증기 안전밸브에 대한 공기 공급은 각각의 밸브에만 연결된 공기 탱크에 의해서 이루어진다. 정상 공기공급이 상실되었을 때 자동 감압이 요구되므로 공기탱크는 관련 주증기 안전밸브를 개방하거나 개방된 상태를 유지하도록 공기압력을 제공한다. 각 공기 탱크의 크기는 689 kPa(g) (100 psig)의 정상 공기공급 압력 뿐아니라 551 kPa(g) (80 psig)의 최소 공기공급 압력에 근거한 2행정 (two strokes)과 24시간 누설 요건을 만족해야 한다. 이는 현장 공기탱크가 계기용 공기의 상실후 24시간 동안 48V(dc)의 제어 전원이 이용 가능한 상태에서 주증기 안전밸브를 개방한 상태로 있을 수 있다는 것을 보증할 것이다.

급수 체크 밸브는 원자로 건물내에서 냉각재상실사고나 주증기관파열사고로 인한 극심한 환경 조건하에서 기능을 유지하도록 환경검증이 된다. (참고문헌 5.6-3)

증기 및 급수계통과 그 부품은 과압에 의한 영향으로 부터 보호 받는다. 과압방지에 대한 보다 상세한 설명은 과압방지 보고서를 참조한다. (참고문헌 5.6-10)

5.6.7 참고문헌

5.6-1. Stretch, A.H., "Safety Related Systems", 86-03650-SDG-001,Rev.2, 92/10/15.

5.6-2. Ha, J. G. and Stretch, A.H., "Seismic Qualification", 86-03650-SDG-002, Rev.2, 92/10/15.

5.6-3. Ha, J. G. and Stretch, A. H., "Environmental Qualification", 86-03650-SDG-003, Rev.2, 92/10/15.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

승인근거
월성원전지역사무소-646
(2016.05.13)

5.6-4. CSA Standard CAN3-N285.0-M81, "General Requirements for Pressure Retaining Systems and Components in CANDU Nuclear Power Plants".

5.6-5. CSA Standard CAN3-N285.1-M81, "Requirements for Class 1, 2 and 3 Pressure Retaining Systems and Components in CANDU Nuclear Power Plants".

5.6-6. CSA Standard N285.4, "Periodic Inspection of CANDU Nuclear Power Plant Components".

5.6-7. CSA Standard CAN3-N286.0-82, "Quality Assurance Program Requirements for Nuclear Power Plant".

5.6-8. ASME Code Sections Ⅲ and Ⅷ, "Boiler and Pressure Vessel Code ; Nuclear Power Plant Components".

5.6-9. Atomic Energy Control Board(AECB) Regulatory Document R-77, "Overpressure Protection Requirements for Primary Heat Transport Systems in CANDU Nuclear Power Reactors Fitted with Two Shutdown Systems."

5.6-10. "Overpressure Protection Report", Wolsong NPP 86-01347-0PR-000, Rev.0, 93/07/16.

5.6-11. Stretch, A.H., "Containment Extensions", 86-03650-SDG-006, Rev.2, 92/10/15.

5.6-12. Atomic Energy Control Board (AECB) Regulatory Document R-7, "Requirements for Containment Systems for CANDU Nuclear Power Plants", February, 1991.

5.6-13. ANSI/ASME B31.1, "Power Piping", 1989 Edition.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.6-14. CSA Standard CAN3-N289.1-80, "General Requirements for Seismic Qualification of CANDU Nuclear Power Plants".

5.6-15. CSA Standard CAN3-N289.1-M81, "Design Procedures for Seismic Qualification for CANDU Nuclear Power Plants".

5.6-16. HTS Cooldown Analysis Using SOPHT, 86-33410-AR-001, Rev.0.

KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD
KHNP
한국수력원자력(주)

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉각재정화계통

그림 5.6-1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

승인근거

원자력안전과-1615
(2013. 4. 10)

KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD
KHNP
한국수력원자력㈜

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

축밀봉냉각회로 (하나의 냉각재펌프에 대해
일반적임)

그림 5.6-2

064831343009566
Printed: 2015.03.06 by 03193145
청렴 UP, 부패 Zero! Clean 한수원

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉각재계통 - 운전정지냉각계통

그림 5.6-3

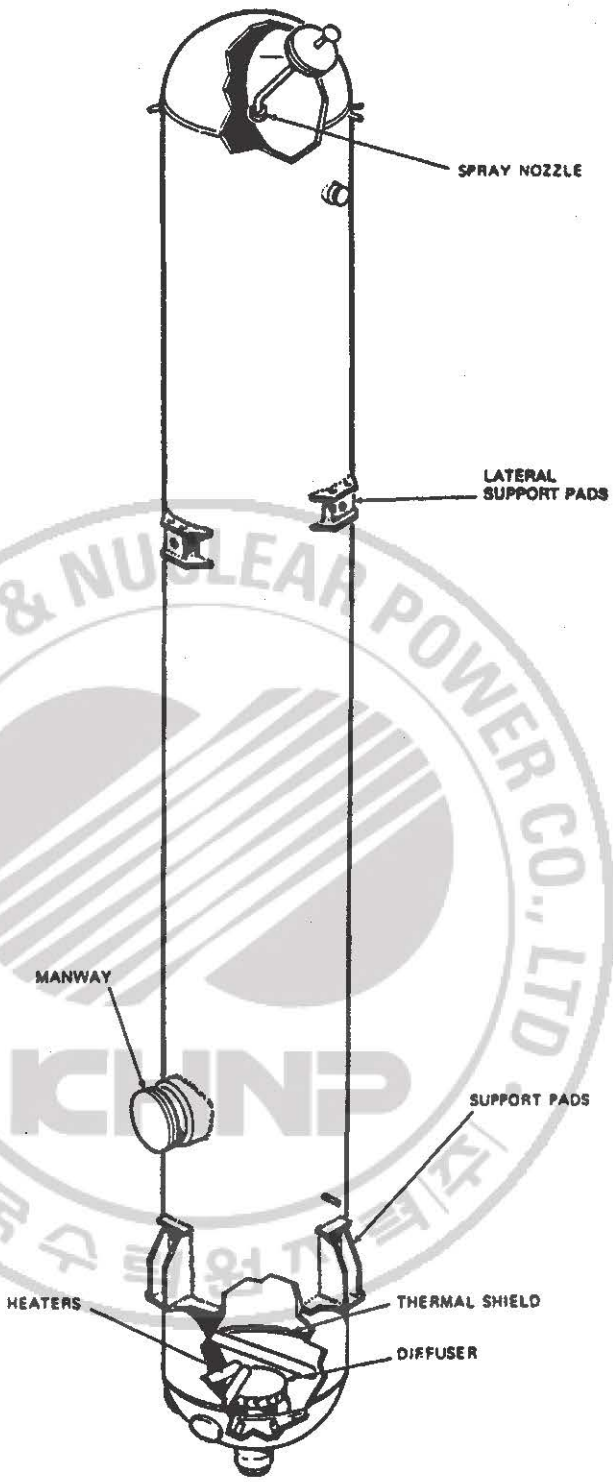
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉각재계통 - 압력 및 수위제어계통

그림 5.6-4

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD
KHNP
한국수력원자력

	한국전력공사 월성원자력 2,3,4호기 최종 안전성 분석 보고서
가압기 배열 그림 5.6-5	

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉각재계통 - 중수수집회로

그림 5.6-6

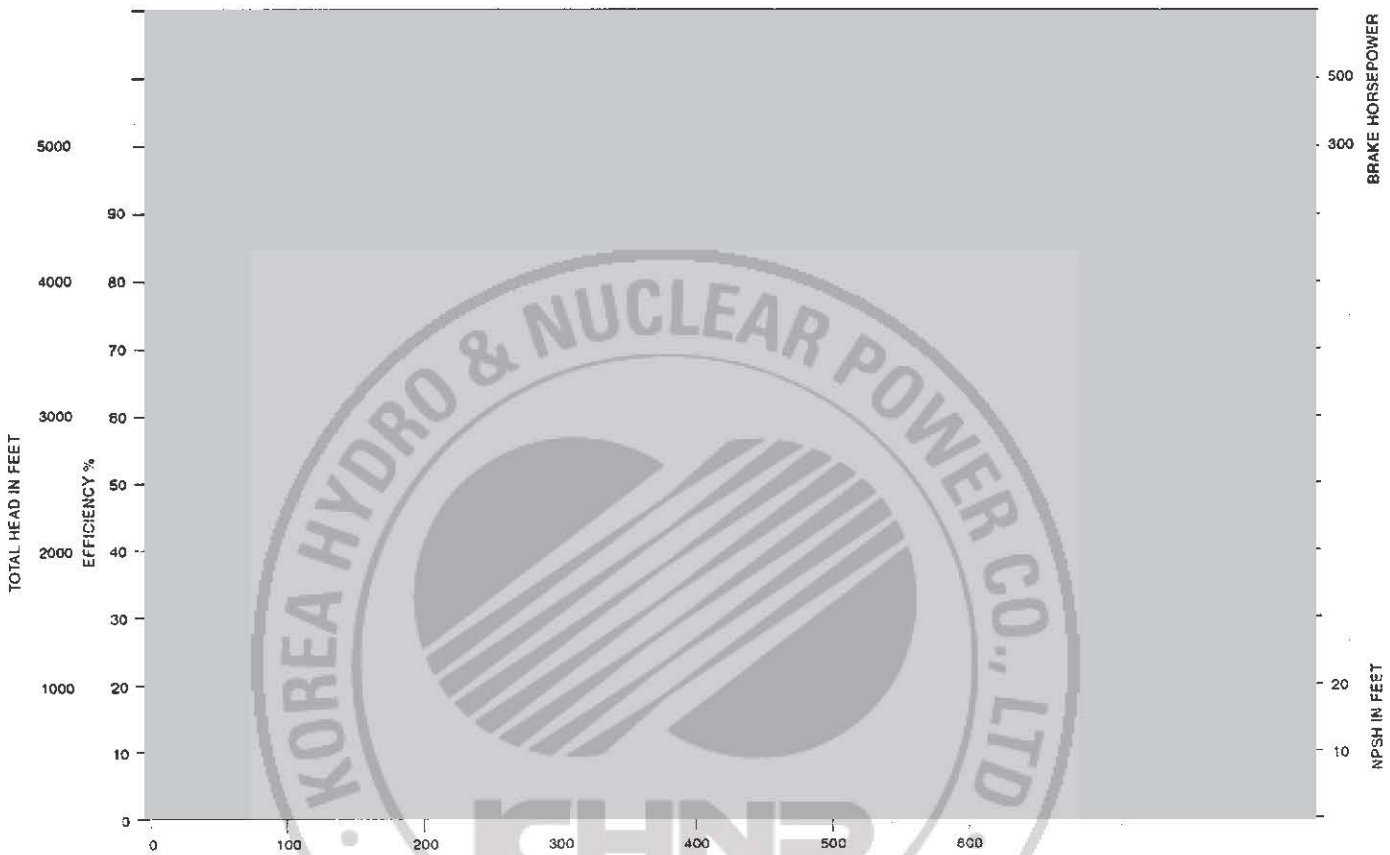
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

증기 및 급수계통

그림 5.6-7

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD
KHNP
한국수력원자력(주)

한국전력공사 월성원자력 2,3,4호기 최종 안전성 분석 보고서	
중수충수펌프의 성능곡선 그림 5.6-8	

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

Printed: 2015.03.06 by 96113048 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉각재정지계통 흐름도

그림 5.6-9

Printed: 2015.03.06 by 03193145 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

Printed: 2010.07.28 by 96113048 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)

한국수력원자력(주)
월성원자력 3.4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉각재계통 압력 및 수위제어계통 초음도

그림 5.6-10

Printed: 2015.03.06 by 03193145 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

Printed: 2015.03.06 by 96113048 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

증기 및 급수계통 흐름도

그림 5.6-11

Printed: 2015.03.06 by 03193145 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

Printed: 2015.03.06 by 96113048 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

증기발생기 취출계통 흐름도

그림 5.6-12

Printed: 2015.03.06 by 03193145 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7 감속재와 보조계통들

5.7.1 개요

핵분열에 의해 생성된 중성자들은 주로 칼란드리아에 있는 중수에 의해 감속된다. 감속재 중수는 냉각을 위해 주감속재 계통과 정상 정화 및 독물질의 제거를 위해 감속재 정화계통을 순환한다. 이 계통은 또한 반응도 조절을 위해 사용되는 물질들의 첨가를 위한 감속재 액체 독물질계통에 연결되어 있다.¡

칼란드리아 내에 있는 중수는 비상노심 냉각계통을 이용할 수 없는 상태에서 일어나는 냉각재상실사고시에 열흡수의 기능을 갖는다. 열흡수 용량은 칼란드리아 내에 있는 중수의 온도를 일정한 값으로 조절 함으로써 보장된다.

밸브 축 밀봉 및 기계적 연결부와 같은 중수누설 가능 부위는 적용가능한 곳에서 밸브의 용접 및 벨로우즈 밀봉을 함으로써 최소화 한다. 감속재 계통내에 있는 누설가능 부위는 중수수집 계통에 연결된다.

주 감속재 계통의 신뢰성은 적절한 기기, 계기 및 전원공급의 다중성으로써 보장된다. 즉, 중수를 보존하기 위한 경제적인 이유로 주 감속재 계통은 설계기준지진의 0.25 배에 상당하는 수준의 지진활동이 진행 중이거나 진행 후에도 압력경계의 건전성이 유지될 수 있도록 설계된다. 감속재 계통의 핵분열 물질 오염은 감속재 계통과 원자로 연료 사이에 있는 3가지 방벽(핵연료 피복관, 압력관, 원자로 관)에 의해 방지된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.2 주감속재 계통

5.7.2.1 설계기준

5.7.2.1.1 기능요건

가. 이 계통은 원자로 노심내에 있는 고 에너지 핵분열 중성자들을 필요한 열에너지 준위로 감속시키기 위한 매개물을 제공하여야만 한다.¡

나. 감속재에서 지속적으로 생성되는 열은 칼란드리아에서 제어된 체적 평균 온도를 유지하기 위해 제거되어야만 한다.

다. 모든 정상 원자로 운전과 비정상상태하에서 칼란드리아에 제어된 체적 평균 온도를 유지하고 펌프들에 충분한 유효흡입 수두를 제공하기위해서 이 계통은 열교환기들에 충분한 중수 냉각수 유량과 기기 냉각수 유량을 제공할 수 있어야 한다.

5.7.2.1.2 성능요건¡

가. 아래와 같은 목적을 위해 이 계통은 정상 원자로 운전동안 100 MW(th)의 열 부하를 제거하고 미리 설정된 값으로 감속재 체적 평균 온도를 유지할 수 있어야만 한다 :

1. 압력관과 칼란드리아관의 접촉을 일으키는 비상노심냉각수와 4급 전원 상실과 병행한 노외 냉각재상실사고에 뒤따른 칼란드리아 관들의 드라이아웃을 최소화
2. 칼란드리아 쉘, 칼란드리아 내부 부품과 종단차폐물에서의 과도한 열응력 방지

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

3. 비정상 상태동안 저수위 운전을 포함하여 펌프 흡입에 적절한 유효 흡입수두를 제공
4. 칼란드리아내에서 감속재비등 방지
5. 상부가스에서 중수소 폭주를 최소화

나. 4급 전원 상실후 펌프들은 포니 모터들에 의해 운전되어야 한다.

다. 비상노심 냉각계통 상실과 병행한 노내 냉각수 상실사고시에 칼란드리아의 중수 온도가 최대 일때에도 펌프는 효과적으로 작동되도록 설계되어야 한다.

라. 정상 온도에서 다음과 같은 목적을 위해 칼란드리아 감속재중수로 가득 채워져 야만 한다.

1. 칼란드리아 쉘과 안내관들, 제어기기들, 칼란드리아관들에 충분한 냉각을 제공
2. 칼란드리아관 위에 있는 부적절한 반사재두께로 인한 출력 감소를 방지
3. 자유 감속재 표면적을 최소화 시킴으로서 중수소 방출을 제한

5.7.2.1.3 안전요건¡

적용 안전설계지침서 (safety design gudies) 들은 다음과 같다.

가. 86-03650-SDG-001 : 안전관련계통, Rev. 2 (참고문헌 5.7-1)

나. 86-03650-SDG-002 : 내진검증, Rev. 2 (참고문헌 5.7-2)

다. 86-03650-SDG-003 : 환경검증, Rev. 2 (참고문헌 5.7-3)

라. 86-03650-SDG-004 : 그룹 및 분리, Rev. 2 (참고문헌 5.7-4)

마. 86-03650-SDG-005 : 화재방호, Rev. 2 (참고문헌 5.7-14)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

바. 86-03650-SDG-006 : 원자로건물 확장부, Rev. 2 (참고문헌5.7-5)

주감속재계통은 안전에 관련된 계통이다. 이 계통의 안전 기능은 사고시에 핵연료냉각을 유지하는 것이다.

이 계통을 위한 안전 범주는 1(d)과 2(c)이다. 이것은 주감속재계통이 보호계통으로써 뿐 만이 아니라 예방계통으로서 작용하고 있음을 암시한다. 어떤 규정된 사고동안 이 계통의 고장은 간접적으로 방사능 누출을 일으키거나 안전에 관련된 계통의 운전에 역효과를 일으킬 수 있기 때문에 이 계통은 예방계통으로 설계되었다. 이 계통은 다른 보호계통들의 적절한 운전을 지원함으로서 정상운전계통의 고장으로 인해 일어날 수 있는 사고들을 완화시키기 위한 안전기능을 수행하기 때문에 이 계통은 또한 보호계통으로 설계되었다

이 계통은 비상노심 냉각계통상실, 4급 전원 상실과 병행하는 노외 냉각재 상실사고동안 운전 정지후 연료로 부터의 열을 제거할 수 있어야만 한다.¡ 감속재의 충분한 과냉각과 적절한 펌프 유효흡입수두가 이 사고동안 필요하다.

54

이 계통은 비상노심냉각계통 상실과 함께 냉각재상실사고에 의해 일어나는 극한(harsh)환경 조건에서 기능을 유지하기 위해 환경적으로 검증되어야만 한다. 감속재 계통을 위해 사용된 재료는 노내 냉각재 상실사고와 관련된 고준위 방사능에 견디어야만 한다. 감속재 계통기기들의 방사능 차폐가 제공되어야만 한다.

이 계통은 단지 경제적인 이유로 1/4 설계기준지진 범주 'A'에 내진적으로 검증되어야만 한다. 더우기, 격납 경계 (격납건물 확장부) 로 형성하는 이 계통의 부분은 설계기준지진에 내진적으로 검증되어야만 한다. 이 계통의 내진 검증은 참고문헌 5.7-6과 5.7-7에 따라야만 한다.¡

또한 격납건물 확장부는 참고문헌 5.7-8, 5.7-9, 5.7-10의 요건들을

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

만족하여야만 한다.

주감속재 계통은 사고동안 안전기능을 수행하고, 정상발전소 운전 동안 출력생산 기능을 수행해야 하기 때문에 그룹 1 계통으로서 설계되었다.

이 계통은 참고문헌 5.7-8, 5.7-13의 과압방지 요건들을 만족하여야 한다.

5.7.2.1.4 적용규격, 표준 및 등급

격납건물확장부를 제외한 주 감속재 계통은 참고문헌 5.7-8에 의해 등급 3으로 규정 되어야만 한다. 격납건물 확장부는 등급 2로 규정 되어야만 한다.

이 계통과 기기들의 품질보증 수준은 참고문헌 5.7-11과 5.7-12의 기준에 따라 선택되어야만 한다.

5.7.2.2 계통 설명¡

주감속재계통은 두대의 100% 용량의 원심펌프, 두대의 50% 용량의 쉘속에 튜브가 있는 열교환기, 수두탱크 밸브, 배관 그리고 관련된 계측기들로 구성된 중수를 순환시키는 계통이다. 공정계통의 개략도는 그림 5.7-1에 주어진다.¡ 주 감속재 계통의 흐름도 86-32110-1-1-FS-E (그림 5.7-6) 또한 첨부되어 있다.

중수는 두개의 배관을 통하여 칼란드리아의 밑부분으로부터 공통의 흡입 모관으로 나오게 된다. 이것은 두대의 펌프중 하나에 의해 펌핑되고 두대의 열교환기로 대략 균등하게 나누어지는 공통의 방출모관으로 방출된다. 두대의 열교환기로부터 냉각된 중수는 방출모관에서 혼합되어진다. 이것은 대략 칼란드리아의 중간 수평 평면의 직격상으로 반대쪽에 위치해 있는 두개의 노즐 세트를 통하여 칼란드리아로 흘러 들어간다. 칼란드리아 위에 위치한 수두 탱크

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

는 온도 변동에 의해 영향받는 감속재 팽창을 수용함으로서 칼란드리아에 있는 감속재 수위를 거의 일정하게 유지시킨다.

각각의 펌프는 100% 설계유량 용량으로 설계되었고, 각각의 열교환기는 50% 설계 열제거용량으로 설계되었다. 수력학적으로, 펌프들은 병렬로 연결되고 이 병렬 루프는 두대의 열교환기와 함께 직렬로 연결되어 진다. 열교환기들은 병렬로 배치되어진다. 이 직렬/병렬 배열은 두대의 열교환기와 함께 어느 하나의 펌프 작동을 허용한다. 주감속재 계통은 정화계통, 액체 독물질 추가계통, 중수수집계통, 중수공급, 중수시료분석계통 그리고 상층기체계통과 연결되어있다.¡

각각의 펌프는 펌프의 정격 속도로 펌프를 가동할 수 있는 주전동기와 펌프의 정격속도의 25%에서 펌프를 가동할 수 있는 보조전동기로 불리는 두대의 전동기가 갖추어진다. 정상적으로 4급 전원에 의해 공급받는 3급의 모선에 주전동기들이 연결되어 있지만, 4급 전원의 상실에 따라서 주전동기들은 자동적으로 재가동하기 위해 연결되지 않는다. 그대신, 2급 전원 공급에 연결되어 있는 보조전동기들이 자동적으로 가동될 것이다. 4급 전원의 상실과 그 이후의 원자로 운전정지 동안에 칼란드리아에서 충분한 감속재의 기기을 유지시키기 위해 보조전동기들은 감속된 상태에서 펌프들의 계속된 운전을 보장할 것이다.¡

주 감속재 계통의 큰 밸브에는 누설과 보수를 감소시키기 위해 live-loadded 이중 스템 밀봉이 설치된다. 밸로우즈 축밀봉은 작은 밸브에 이용된다. 주 감속재 계통내의 모든 기기는 원자로 정지시에 격리 및 보수를 위해 접근이 가능하다.

많은 감속재 계통기기들은 증수 손실의 가능성을 최소화 하고 신뢰성을 최대화 하기 위하여 요구되는 규격보다 높은 수준으로 설계 및 제작 된다.

펌프, 밸브, 열교환기들은 칼란드리아 격실 동쪽편의 중수증기 방벽

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

안에 밀집된 배열로 지상과 같은 높이에 위치해 있다. 펌프의 흡입관과 열교환기의 중수 출구관은 격실차폐수의 누설 가능성을 배제하고 격실의 건전성을 유지하기 위하여 칼란드리아 격실 콘크리트를 통과하는 곳에 강체 관통부 밀봉에 매어진다. 임시 여과기 (strainer)가 시운전중 펌프로 들어가는 이물질에 의한 감속재 펌프의 손상을 막기 위하여 펌프의 흡입측에 설치된다.

중수와 접촉하는 배관을 포함하는 감속재 계통기기의 모든 구성품들은 인콜로이(incoloy) 800과 탄소강으로 만들어진 열교환기 튜브들과 튜브판 오스테나이트의 스테인레스강으로 만들어져 있다.¡ 튜브판들은 쉘쪽으로 스테인레스강으로 씌워져 있고 채널쪽으로는 인코넬 (inconel) 로 씌워져 있다. 추가로, 계통의 중수화학성질은 부식을 최소화하고 높은 순도를 유지하기 위해 조절되어야 하고, 가용성의 독물질들과 양립할 수 있어야 한다.

주감속재 계통안의 기기들은 과압으로부터 보호된다.

5.7.2.3 기기 설명¡

5.7.2.3.1 펌프

2대의 100% 용량 감속재 펌프들은 수직으로 설치된 축단상 이중흡입 원심펌프들로 각각은 940 L/S (12,400 Igpm)의 정격 용량과 1190rpm에서 55m (180ft)의 총수두를 갖고 있다. 각각의 펌프는 주전동기와 보조전동기, 즉 두대의 전동기가 갖추어진다.¡펌프들은 5.7.1절에 서술되어 있는 것처럼 지진동안이나 그 이후에 펌프의 압력 경계 건전성을 유지할 수 있게 설계되어진다.

펌프들은 정상의 원자로 운전동안 하나가 대기상태에 있는 동안에 다른 한대의 펌프가 그것의 주전동기에 의해 작동되는 것과 같이 신뢰도 목적을 위해 이중 설계되어 있다.¡ 가동중인 펌프 전동기의 고장은 자동적으로 대기펌프

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

전동기를 가동시킨다. 두 주펌프전동기들의 고장은 자동적으로 보조전동기들을 가동시킨다.

직렬로 운전중인 이중의 기계적인 밀봉들이 펌프축들의 각각 설치되어 있다. 기계식 밀봉 각각은 그중 하나가 고장이 날 경우 펌프축을 밀봉할 수 있다.

기계식 밀봉은 펌프 배출측의 중수유동에 의해 냉각된다. 대기밀봉도 역시 각각의 펌프축에 설치된다. 대기 밀봉은 2개의 기계식 밀봉이 손상될 경우에 보조 축 밀봉으로 작용 하도록 설계 된다.

각 펌프 주 전동기는 펌프축에 직접 연결되어 펌프와 전동기가 같은 속도로 작동한다. 주전동기는 완전밀폐된 삼상유도 전동기이고 열교환기에 의해 냉각된다. 주전동기가 운전되지 않을 때 밀봉안에 습기의 응축을 막기 위해 가열기들이 설치 되어있다.. 각각의 펌프 보조전동기는 주전동기 축에 직접 연결되어 있고 주전동기 속도의 25%로 펌프를 가동시킨다. 보조 전동기들은 삼상유도전동기이고 팬으로 냉각되며 완전히 밀봉되어 있다.¡

전동기 권선온도, 전동기 베어링 온도, 주전동기에 대한 베어링 오일포트(oil pot)의 온도, 주전동기 물냉각기 출구온도, 펌프내부, 외부의 밀봉압력, 펌프와 전동기의 베어링과 축의 진동을 감시하기 위해 계측기들이 설치되어 있다. 펌프의 흡입, 방출압력들은 접근 가능한 구역의 한장에 설치되어 있는 압력계기들에 의해 측정된다. 펌프의 수두는 차압전송기들에 의해 측정된다. 고압과 저압 경보는 제어실에 통보된다.

5.7.2.3.2 열교환기¡

감속재 열교환기는 4 패스 (four-pass)로 된 관과 2 패스 (two-pass) 분할 유동을 하도록 설계된 쉘로 이루어져 있으며, 관측으로는 감

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

속재인 중수가 쉘축으로는 기기 냉각수가 흐른다. 쉘측이 분할 유동을 하도록 설계한 것은 압력강하를 최소화시키기 위함이다. 각각의 열교환기는 감속재 계통 열부하를 각각 50%씩 제거할 수 있도록 설계하며, 열제거 용량은 50MW(th) (1.706×10^8 Btu/hr)이다;

원자로가 정상 운전을 하는동안 열교환기는 중수를 69℃ (156 °F)에서 46℃(114°F)로 냉각시키는 기능을 수행하며 쉘측의 기기수량을 조절하여 칼란드리아 출구의 체적평균 온도를 69℃ (156°F)로 유지한다. 온도조절 밸브로 가는 신호는 칼란드리아 출구 중수온도 감시기로부터 발전소 제어용 전산기를 통해 제공된다.

감속재 중수질 저하 가능성을 최소화시키기 위하여 쉘측의 기기수는 관측의 중수 압력보다 낮은 압력으로 공급된다. 이밖에 열교환기 세관누출 가능성은 세관, 세관-세관판과의 연결부위에 대한 품질관리와 쉘측 유체에 의한 관진동을 최소화시킴으로서 줄일 수 있다.;

발전소 제어용 전산기의 제어 프로그램은 칼란드리아 출구온도를 일정하게 유지하기 위하여 열 교환기 냉각수 밸브를 조절한다. 궤환신호는 칼란드리아 출구 배관에 설치된 3개의 온도감지기의 중간 값을 가진 신호이다. 고온도 및 저온도가 발생할 때에는 제어실에 경보가 발생된다. 고감속재 온도 출력감발이나 제 1 정지 계통에 의한 원자로 정지는 트립은 기기 냉각수 손실에 대한 보호기능을 수행한다.;

대기 컴퓨터의 이중의 제어 프로그램은 운전중인 컴퓨터의 고장시에 제어를 대신 담당한다. 계기용 공기나 제어전원의 사고시에는 냉각수 밸브는 열리게 된다.

열교환기 출구에 위치한 온도 감지기는 제어실에서의 지시 및 고온 경보를 제공 한다. 경보 설정치는 원자로 출력의 함수이다. 온도측정은 감

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

시에만 사용되므로 중복되어 있지 않다.

5.7.2.3.3 수두 탱크¡

감속재 수두탱크는 칼란드리아 방출 도관과 연계되어 체적평균 온도 변화에 기인한 중수체적의 변동을 수용한다. 수두탱크안의 상승기체는 헬륨이다.¡

칼란드리아 수위는 하나의 광역전송기 (칼란드리아내 수위의 전체 범위 측정) 와 3개의 협역전송기 (헤드 탱크의 최고점에서 부터 칼란드리아 세관의 최고 중심선 까지 측정) 에 의해 측정된다. 이 협역 측정으로 부터 고수위 및 저수위 경보가 발생된다.

5.7.2.4 계통 운전¡

5.7.2.4.1 정상 운전¡

주감속재 계통 정상운전은 원자로가 전출력 평형 연료상태에 있을 때의 운전상태로 정의된다.¡ 중수는 두 감속재 펌프중 한대에 의해 칼란드리아 바닥으로부터 940 L/s (12,400Igpm) 의 정격 유량으로 유출되며 또 다른 한대는 대기 상태에 있게 된다. 펌프로부터 방출되는 유량은 감속재 열부하인 100MW ($3.412x10^8$ Btu/hr) 의 열을 제거하기 위하여 대략 균등하게 두대의 열교환기에 분할 유입된다. 칼란드리아 출구에서 감속재 체적 평균온도는 열교환기에 유입되는 기기 냉각수를 조절하여 69℃ (156℉)를 유지한다. 통상적으로 각 열교환기를 통과하는 기기 냉각수의 상한유량은 1244L/s (16,420 Igmp) 이다.¡

원자로 정상 운전중에 칼란드리아내 감속재 수위는 칼란드리아

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

내경 꼭대기로부터 약 30cm위에 위치하고 정상 최고 수위는 내경 꼭대기로부터 61 cm위에 위치한다.

5.7.2.4.2 원자로 트립¡

원자로는 비정상 조건하에서 다음과 같은 하나 혹은 둘의 정지계통에 의해서 트립된다.¡

가. 제 1정지계통(BSI 31730)은 28개의 중력에 의해 낙하하는 수직 정지 (흡수) 봉을 이용한다.¡

나. 제 2정지계통(BSI 34700)은 칼란드리아의 감속재내에 액체독물질(질산가돌리늄)을 신속하게 주입함으로써 트립시킨다.¡

트립이 시작되었을때 감속재 계통의 열부하는 강하한다. 이 열부하의 중성자적인 성분은 출력 감속곡선에 따라서 빠르게 떨어진다. 분열 생성 붕괴 감마 성분은 대략 전체 열부하의 12%인데 이는 분열생성 출력붕괴에 따른다.

5.7.2.4.3 비정상 운전 조건하에서의 운전¡

비정상 운전 조건은 감속재 계통 '불안정상의' 운전 조건과 비상운전 조건을 포함한다.

5.7.2.4.3.1 4급 전원의 완전 상실¡

4급 전원의 완전상실이 후에 원자로 정지가 일어나며 주 전동기로의 동력 상실로 인하여 감속재 펌프로부터 유체의 흐름이 중단된다. 두대의 포니 모터가 펌프의 매우 낮은 차압 경보가 시작된 후 15초후에 2급 전원에 의하여 자동적으로 기동된다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

이와같은 시간지연과 중수 온도 상승은 칼란드리아 종단차폐벽과 세관판 온도에 별 영향을 주지 못하는데 이는 원자로 정지후 100초내에 종단차폐벽과 세관판에 대한 가열은 전출력에 의한 가열 값의 약 7%로 강하되며 세관판에 축적된 열은 종단차폐벽 냉각수에 전달되기 때문이다. 설령 4급 전원 상실이 3급 전원이 재공급될 때까지 종단차폐 계통 펌프를 작동시키지 못하더라도 칼란드리아 세관판 온도 상승과 이로 말미암은 열응력은 한계치내에 있게 된다.

4급 전원 상실로 말미암아 감속재 열교환기를 통과하는 기기 냉각수의 흐름 또한 중단된다. 기기 냉각수의 흐름은 4급 전원 상실후 3분내에 회복된다. 다만 한대의 기기 냉각수 펌프를 재기동시키는 것이 가능하므로 기기 냉각수 부하 제한운전이 시작된다. 이는 감속재 열교환기 각각에 적용가능한 전체 기기 냉각수 유량을 140 L/s (1850 lgpm) 으로 제한한다.

5.7.2.4.3.2 감속재 펌프의 주전동기 상실;

작동중인 펌프 주전동기가 고장나고, 대기상태 펌프의 주전동기를 이용할 수 없는 경우에는, 작동중인 전동기는 결국 멈추게 된다. 원자로는 전출력 상태에 있기 때문에 100 MW(th)의 열부하는 감속재 중수 온도를 급격히 증가시킬 것이다. 이 과도상태중에 보조전동기는 전원을 공급받을 수 있다. 따라서 주전동기가 멈추고 15초 후에 보조전동기가 작동된다. 측정된 칼란드리아 출구 온도가 단계 감발 온도 설정치 79℃를 초과할 때, 원자로는 자동적으로 25%까지 1% FP/s 속도로 단계 감발된 후에 전출력의 2%까지 초당 현 출력의 4% 의 비율로 단계 감발된다.

5.7.2.4.3.3 감속재 열교환기의 기기 냉각수 상실

하나 혹은 두개의 열교환기에 기기냉각수가 상실된다면 감속재

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

온도는 증가할 것이다. 원자로는 단계감발온도인 79℃(174°F)에 도달할 때까지 전출력 상태를 유지할 것이다. 기기 냉각수가 양쪽 열교환기에 완전히 상실된다면, 온도는 원자로 트립 설정치 온도인 87℃ (189°F)까지 증가하며 원자로는 트립될 것이다.

원자로 트립은 파열관 파열에 의한 중수의 심한 방출을 방지한다 (5.7.2.5.2절 참고). 핵연료 냉각은 아직 건전한 상태의 냉각재 계통에 의해 보장된다. 운전원은 감속재 열교환기의 기기 냉각수 회로를 보수함으로써 감속재 냉각을 재개할 수 있다.

5.7.2.4.3.4 냉각재상실사고

냉각재 상실사고 후 원자로는 정지된다. 비상노심 냉각계통은 열제거원 역할을 하며 감속재 계통에 대한 열부하는 감소된다.¡

냉각재 상실사고 신호를 받고 처음 900초 동안에는, 감속재 온도제어 프로그램에 의해 최대 감속재 냉각이 시작된다. 기기 냉각수 배관에 있는 온도 제어 밸브는 가능한 한 신속히 감속재를 냉각시키기 위해 열리거나 열려 있게 한다. 각 열교환기에 대한 온도조절 밸브를 통해서 공급되는 최대냉각수 유량은 정상유량인 1244 L/s (16,420 Igpm) 이다. 이 유량은 온도제어밸브에 있는 기계식 이동 정지기에 의해 제한된다. 이 유량은 쉘측 유체유인진동으로 인해 야기되는 열교환기 손상 방지를 위해 제한된다. 냉각재 상실사고후 처음 900초 이후에는, 각 열교환기의 온도제어밸브를 1144 L/sec으로 제한함으로써 정지냉각계통에 200 L/sec를 이용 가능하게 한다. 이러한 유량감소는 이 시나리오에 있어 정지냉각계통이 비파단회로의 보완 냉각원으로 역할을 가능하게 하기 위하여 필요하다. 그러나 이러한 감속재 열교환기로의 기기냉각수 유량은 이러한 과도상태 기간동안 예상되는 열부하를 제거하는데 적당하다. 3

5.7.2.4.3.5 비상노심냉각계통상실과 동시에 발생하는 냉각재상실사고

원자로가 비상노심 냉각계통을 이용할 수 없음과 동시에 주냉각수 (주냉각재 계통의 파이프 파단으로 인해) 를 상실한다면, 감속재계통은 열제거원 역할을 한다. 이 과도상태 기간중에 예상되는 열부하는 감속재 열교환기에

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

의해 제거된다.

냉각재상실사고 신호를 받자마자 최대 감속재냉각이 5.7.2.4.3.4절에서 설명한 바와 같이 시작된다.

5.7.2.4.3.6 4급 전원 상실과 동시에 발생하는 냉각재상실사고¡

4급 전원 상실사고와 동시에 냉각재상실사고가 발생한 후에 원자로는 정지되고 감속재 펌프로부터의 흐름은 주전동기에 대한 전원상실로 인해 중단된다. 두개의 포니 모터는 펌프의 매우 낮은 차압 경보 작동후 15초 후에 2급 전원에 의해 자동으로 작동된다. 열교환기로 통하는 기기 냉각수 흐름은 4급 전원상실로 인해 또한 중단된다. 냉각수 공급은 3급 디젤발전기로부터 전원을 공급받은 후 3분내에 다시 시작된다.¡

냉각재상실사고와 4급 전원 상실신호를 받자마자 감속재 온도 제어 프로그램은 온도조절밸브의 열림을 제한하여 각 열교환기로 통하는 기기 냉각 유량을 442 L/s (5850 Igpm) 로 제한된다. 이 유량은 기기냉각수 부하 제한 운전 조건에 따라 제한된다.¡

5.7.2.4.3.7 비상노심냉각계통상실 및 4급 전원 상실과 동시에 발생하는 노외 냉각재상실사고

비상노심 냉각계통의 상실과 4급 전원 상실과 함께 노외 냉각재 상실사고가 발생하는 경우, 감속재 계통은 원자로 열제거원 역할을 한다. 감속재 펌프로부터의 주전동기에 대한 전원상실로 인해 중단된다. 주전동기가 멈추고 15초후에 2급 전원에 의해 두개의 보조전동기는 자동 작동된다.¡

열교환기로 통하는 기기 냉각수 유동은 4급 전원 상실로 인해 또한 중단된다. 기기 냉각수 유동은 3급 디젤발전기로부터 전원을 공급 받은 후 3

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

분내에 다시 시작된다.

냉각재상실사고와 4급 전원 신호상실 신호를 받자마자 감속재 온도 제어프로그램은 온도조절밸브의 열림을 제한하여 각 열교환기로 통하는 기기 냉각유량을 442 L/s (5850 Igpm)로 제한한다. 이 유량은 기기냉각수 부하 제한 운전 요건에 따라 제한된다.

5.7.2.4.3.8 파열판 파열을 야기하는 과도상태;

노내 냉각재상실사고로 파열판 파열 등과 같은 사고시, 파열판으로부터 방출되는 유출수는 원자로 건물 방사성 배수 계통에 의해 수집되어 보조건물 방사성 배수계통 수용조에 보내진다. 동위원소함유량에 따라, 유출수는 보조건물 방사성 배수계통 저장조로부터 중수 정화계통으로 보내지기도 하고, 더 이상의 처리를 위해 폐기물관리 계통으로 보내지기도 한다. 중수 정화계통 으로 보내진 유출수는 필요한만큼 순도를 높인 다음 감속재계통으로 되돌려진다. 액체폐수물관리 계통으로 보내진 유출수는 처리, 희석된 후 조절방출을 통해 발전소로부터 방출된다.

파열판으로부터 방출된 유출기체는 중수 증기회수 계통과 원자로 건물 환기계통에 의해 수집된다. 환기계통은 유출기체를 대기로 조절방출하기 전에 목탄과 HEPA 여과기를 통과하게 한다.

5.7.2.5 안전성

안전요건은 다음 절들에서 기술한 바와 같이 이행된다.

5.7.2.5.1 열제거원으로서의 감속재 역할

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.2.5.1.1 개요

주감속재 계통은 비상노심 냉각계통 상실과 4급 전원 상실과 동시에 노외 냉각재 상실사고 이후에 손상된 냉각재 계통의 핵연료로부터 열을 제거하도록 설계된다. 이 사고에 대처하기 위해서 칼란드리아 출구 온도는 칼란드리아 튜브의 드라이아웃을 최소화 시키기 위하여 적절한 과냉각을 할 수 있도록 69℃로 설정되었다. 감속재 펌프의 유효흡입수두 요건은 이 사건에서 필요로 하는 요구조건을 만족한다.

이 계통에 사용된 재료는 노심 냉각재상실사고와 관련된 고방사능 준위에 견디도록 설계된다.

5.7.2.5.1.2 감속재 계통 출구 온도

주감속재 계통이 효과적인 열제거원 되기 위해서는, 압력관과 칼란드리아관 사이에 접촉이 일어난 후 칼란드리아관의 드라이아웃을 예방하는 것이 바람직하다. 만약 감속재 계통온도가 접촉이 일어날 때 충분한 과냉각을 유지한다면 드라이아웃은 예방될 수 있다. 설계기준 사고후 채널건전성을 확신시키기 위한 과냉각 요건을 만족하기 위해서 칼란드리아부터 감속재 출구 온도가 69℃로 설정되었다. 과냉각 요건의 제한 사고는 4급 전원의 상실과 함께 20 % 원자로 입구모관 파열이다.

필요한 과냉각의 정도는 접촉할 때의 압력관 온도와 칼란드리아관과 압력관 사이의 접촉 전도성 (접촉할 때의 주냉각재 계통 압력에 의존)에 의존한다.

20% 원자로 원자로 입구 모관의 파열과 이 결과로 발생하는 4급 전원 상실의 제한사고의 경우 압력관/칼란드리아관의 접촉은 약 25초에서 일어난다. 해석에 근거하여, 총감속재 과냉각요건은 접촉전도, 변형속도예측등에서의

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

불확실도로 인한 접촉시 예측된 압력관 온도의 변동을 고려하여, 2℃의 불확실성을 포함하여 29℃로 결정되었다.

물표면에서 접촉하는 압력관/칼란드리아관 높이까지 감속재의 정압수두와 상층기체 압력 21 kPa(g)을 고려하여 압력관/칼란드리아관 접촉의 위치에서 감속재 포화온도는 109.5℃로 이다. 압력관/칼란드리아관 접촉 (열 B의 높이)의 지점에서 감속재 포화온도 109.5℃를 고려하여 감속재온도는 열 B에서 80.5℃ (109.5℃- 29℃) 넘어서는 않된다.

칼란드리아 출구온도 77℃를 근거로 하여, 열 B의 높이에서 감속재 온도는 88℃이다. 이 11℃의 차이가 공간적으로 적용되고 열 B에서 과냉각요건인 29℃를 만족하기 위하여 칼란드리아 출구 온도는 69℃로 결정되었다.

5.7.2.5.2 고감속재 온도 원자로 트립 설정치

원자로 제1정지계통 원자로 트립은 87℃의 감속재 온도 설정한다. 감속재 온도트립의 목적은 감속재 열교환기의 기기냉각재가 상실된 후 파열판을 통하여 원자로건물안으로 중수가 누설되는 것을 방지하는 것이다. 이러한 누설은 파열판이 파열되거나 원자로가 고출력에서 감속재 냉각없이 계속 운전되는 경우에만 일어날 수 있다. 설계 목표는 파열압력에 도달하기 전에 정지하는 것이다. 파열판 파열 후 방사능방출 제한에 필요한 원자로 정지전에 약간의 시간이있기 때문에 이는 보수적인 설계목표이다.¡ 따라서 이 설정치는 최고감속재 온도가 파열판 파열에 최고감속재 온도를(122℃) 넘기전에 정지하기 위하여 설계된다. 칼란드리아 출구온도는 69℃의 설정치에서 조절된다. 10℃의 여유는 계기 오차, 저항온도 계측기 응답 여유를 위한 5℃와, 원자로 트립 후 회복과 빠른 출력 증가와 같은 출력기동으로부터 오는 온도 과도상태를 포함하는 것이다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.2.5.3 내진검증

칼란드리아가 냉각재 계통 압력경계를 지지하기 때문에 칼란드리아는 지진등급 설계기준 지진 범주 'A'에 내진 검증된다. 냉각재 계통의 압력경계 건전성은 지진 후 냉각재 상실사고가 일어나지 않도록 유지되어야 한다.

냉각재 상실사고가 지진과 동시에 일어나지 않는다고 간주되므로 주감속재계통은 설계기준지진 후 열제거원으로 요구되지 않는다. 감속재 계통의 압력 경계가 지진에 의해 파손된다 하더라도 냉각재 계통 압력경계는 건전한 상태로 유지되고, 연료냉각 또한 계속 유지될 것이다. 그래서, 주감속재 계통은 내진적으로 검증되지 않아도 된다. 54

주감속재계통은 경계적인 이유로 1/4 DBE, 범주 'A'로 내진적으로 검증된다. 1/4 DBE로 내진 검증된 계통에 의해서 중수 상실과 이에 관련된 정화는 소규모의 지진으로부터 예방된다. 밸브 3211-PV32와 3211-V34, 원자로 건물 경계를 구성하는 밸브사이에 있는 3211-2 1/2D-24 배관의 일부분은 각각 설계기준지진 범주 'B'와 'A'로 검증되어야 한다.

5.7.2.5.4 환경검증

참고문헌 5.7-3과 3.11절에 있는 바와 같이 냉각재상실사고 + 저압 비상노심냉각에 의한 가혹한 환경조건하에서 주감속재계통은 기능을 수행하기 위하여 환경적으로 검증되어야 한다.

5.7.2.5.5 원자로건물 확장부

주감속재 계통은 원자로 건물안에 위치하고 있으나 원자로 건물밖에 위치한 시료채취계통과 중수공급계통, 감속재 정화계통과 연결되어 있다. 이러한 격납건물 확장부는 AECB 참조문서 C-7 (참고 5.7-10)과 86-03650-SDG-006의 필요

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.
승인근거
월성원전지역사무소-646
(2016.05.13)

조건을 만족하기 위하여 설계되어 있다.

중수공급계통과의 상호 연결부분은 주감속재계통의 부분이다. 이 원자로건물 경계의 격리는 일반적으로 닫혀있는 두밸브 3211-V32와 3211-PV34에 의하여 이루어진다. 이 밸브들과 이것들 사이에 있는 배관은 범주2에 속한다.

이 원자로건물 경계의 지진검증은 5.7.2.5.3절에 기술되어진다.

다른 원자로건물 경계는 나머지 공유영역의 부분이다. 54

5.7.2.5.6 과압 방지

주감속재계통과 부품들은 정상운전 상태동안과 격리된 다른 부품과 함께 운전할 동안 과압으로 부터 보호되어야 한다.

5.7.2.6 가동중 검사 및 시험

5.7.2.6.1 가동중 검사

월성 3,4호기에 대한 가동중검사는 고장시 방사선 위험을 야기할 수 있는 원자력발전소 기기들에 대한 의무검사 수행을 위해, CSA 표준 N285.4 “CANDU형 원자력발전소 기기에 대한 가동중검사”에 의거 압력유지 기기와 CSA 표준 N285.5 “CANDU형 원자력발전소 원자로건물 기기에 대한 가동중검사”에 따라 원자로건물 기기에 대하여 수행된다. 189

감속재계통은 원자로건물 연장부를 제외하고는 가동중검사 대상이 아니다. 원자로건물 연장부에 대한 가동중검사는 가동중검사 계획 86-03640-PIP-002 “원자로건물 기기검사”에 따라 수행된다. 정기적으로 펌프밀봉 및 열교환기 밀봉부는 계획정지기간중에 검사되어야 한다.

5.7.2.6.2 압력시험

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

감속재계통에 대한 압력시험은 ASME 보일러 및 압력용기 코드 Section Ⅲ 부절 ND6000과 CAV3 N285.0-M81 및 CAN3 N285.1-M81에 따라 수행된다. 압력시험 (수압 및 누설시험)은 계통이 설치되고 초기운전전에 실시된다.

5.7.2.6.3 가동중 시험

감속재계통에 대한 운전전 성능시험은 시운전시 원자로 기동전에 계통과 부품들이 설계요건대로 성능을 가지고 운전됨을 확인하기 위하여 실시된다. 원자로계통 펌프 및 밸브를 포함한 기계적 능동기기에 대한 가동전 및 가동중 검사는 그들의 작동준비성을 평가하기 위하여 수행된다. 감속재계통은 두개의 100% 용량 펌프가 제공되어 신뢰성 있는 운전을 보증함으로 가동중 검사는 요구되지 않는다. 신뢰성 요건에 근거하여 펌프 교체운전은 교체주기에 의거 실시된다. 각 주감속재 펌프의 대기논리는 계획 정지시에 시험된다.

5.7.3 감속재 보조계통

5.7.3.1 감속재 정화계통

5.7.3.1.1 설계기준

5.7.3.1.1.1 기능요건

감속재 정화계통은 다음과 같은 기능요건을 만족해야 한다.

가. 방사성 분해를 최소화 하도록 감속재 중수의 순도를 유지함으로써 상층기체에 과다한 중수소 가스생성을 막고 기기의 부식을 최소화 한다.

나. 반응도 요구에 대한 반응도 조절에 사용된 가용성 독물질인 붕소와 가돌리늄을 제거한다. 붕소는 초기 노심내부에 잉여 반응도를

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

보상하도록 장주기 연장제어에 사용된다. 가돌리늄은 기동시 지논(xenon) 과도상태와 같은 단기 목적에 사용된다.

다. 독물질 주입 정지 계통에 의한 원자로 정지후에 용해성 독물질 가돌리늄을 제거한다.

5.7.3.1.1.2 안전요건

계통에 적용되는 안전설계 지침서는 다음과 같다.

가. 86-03650-SDG-001 : 안전관련 계통, Rev. 2 (참고문헌 5.7-1)

나. 86-03650-SDG-002 : 내진 검증, Rev. 2 (참고문헌 5.7-2)

다. 86-03650-SDG-003 : 환경 검증, Rev. 2 (참고문헌 5.7-3)

라. 86-03650-SDG-006 : 원자로 건물 확장부, Rev. 2 (참고문헌5 .7-5)

감속재 정화 계통은 안전관련 계통이다. 이 계통의 안전기능은 사고중 제2정지계통에 의한 원자로 정지후 원자로의 정지상태를 유지하도록 돕는 것이다.

이 계통에 지정된 안전범주는 1 (d)이다. 이것은 어떤 정의된 사건중에 감속재 계통의 고장이 방사능의 방출을 야기할 수 있거나 안전관련 계통의 운전에 악 영향을 미칠 수 있다는 점에서 이 계통이 예방수단이 된다는 것을 의미한다.

감속재 정화 계통은 감속재 중수로부터 독물질 제거를 막기 위해서 제 2정지계통에 의한 원자로 정지후에 주 감속재 계통과 격리되어야 한다.

원자로 건물 확장부는 또한 참고문헌 5.7-5와 5.7-10의 조건을 만족해야 한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.1.1.3 적용 규격, 표준 및 등급

감속재 정화계통은 참고문헌 5.7-8에 따라 등급 2, 3, 6 으로 분류되고, 등급 2, 3 에 대해서는 참고문헌 5.7-12에 따라서 등급 6에 대해서는 참고문헌 5.7-13에 따라 설계된다.

5.7.3.1.2 계통설명

이 계통은 폐회로를 형성하고 일부의 감속재 중수를 재순환 시킨다. 주 감속재 펌프의 배출 공용모관으로부터 감속재의 공급이 이루어지고, 두개의 주감속재 펌프의 공용흡입 모관으로 다시 회수된다. 정화수는 이용가능한 압력강하를 최대화하고 정화온도의 변동을 최소화 하도록 주감속재 열교환기 출구보다는 펌프출구에서 추출된다.

이 계통은 다음과 같은 주요 기기들로 구성된다. (그림 5.7-2 참조):

- 다섯개의 이온교환 수지탑. 각 이온교환 수지탑은 수지의 손상을 막기 위해 49℃ (120℉)에서 최대유량 8.3 kg/s (100lgpm)인 혼합음/양 이온 수지 200리터를 포함하고 있다.
- 이온 교환기를 통과하기전에 불용성 찌꺼기를 제거하기 위한 이온교환 수지탑 상류의 한개의 여과기
- 여과기와 이온 교환수지탑 통과전, 주감속재 계통을 떠난 감속재 중수를 냉각시키기 위한 한개의 열교환기
- 수지보존 장치의 고장으로 이탈했을지 모를 수지 알갱이를 제거하기 위한 이온교환 수지탑 하류측의 여과기
- 이온교환 수지탑과 시료 채취 연결부에 있는 모든 관련 배관 및 밸브들

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

정화 계통의 열교환기는 중수가 이온교환 수지탑으로 들어가기전에 감속재 열교환기 상류에서 출발한 중수 온도를 69℃(156°F)에서 49℃(120°F)로 냉각시킨다. 냉각된 중수는 여과기를 거쳐 이온교환 수지탑을 통과한다. 하나의 이온교환 수지탑은 정상적인 정화용으로 사용된다. 두개까지는 가돌리늄 제거용으로 사용되는데 감속재 정화계통이 단기 반응도 폭주후에 사용되면 하나의 수지탑이 필요하고 독물질 주입 정지계통 작동후에 사용되면 두개의 수지탑이 필요하다. 후자의 경우에 있어 지논 과다 정지 기간내에 정화가 이루어지는 것이 바람직하므로 두개의 수지탑이 병렬로 사용된다. 붕소제거는 2 단계 과정을 이용하는데 하나의 수지탑은 고농도 범위에 사용되고 다른 하나는 저농도 범위에 사용되며 한번에 하나의 수지탑이 사용된다.

정화 반감기는 최초의 불순물 농도를 반으로 감소시키는 시간을 의미한다. 반감기는 정화수와 주계통 크기의 함수이다. 정상적인 정화 반감기는 온도 49℃(120°F) 유량 8.3 kg/s (100 lgpm)에 대해서 대략 6.2 시간이다. 독물질주입 정지계통 작동후에 온도 49℃(120°F), 유량 16.7 kg/s (200 lgpm)에 대한 가돌리늄 제거를 기준으로 하는 정화 반감기는 3.1시간이다. 독물질주입 정지 계통 작동후에 가돌리늄 제거에 대한 총 소요시간은 약 24시간이다.

과압 방지장치는 이 계통의 격리 가능한 압력용기에 대해 설치된다. 따라서, 각 이온교환 수지탑, 여과기와 냉각장치의 일차측관에 파열판과 투시경이 설치된다.

모든 밸브, 여과기(strainer) 그리고 배관 뿐만 아니라 이온교환 수지탑과 여과기에 대한 재질은 일반적으로 304 혹은 304L 스테인레스강이다.

여과기와 이온교환 수지탑에 대한 입구온도는 열교환기 냉각수 밸브를 조절함으로써 일정 정화온도 49℃(120°F)로 제어된다.

원자로가 장기간 정지해 있는동안 부주의로 인한 임계성 도달을

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

방지하기 위하여 감속재 정화계통은 자동적으로 주 감속재 계통과 격리되는데 이는 제1정지 계통이나 제2정지계통의 작동으로 인하여 이온교환 수지탑 입구 밸브 3221-PV7, PV8, PV9, PV10과 PV11이 닫혀지기 때문이다. 이 밸브들은 정지계통 제 1정지계통 및 제 2정지계통이 재 대기상태 (repoised)로 될때까지 닫힌 상태를 유지한다. 감속재 정화계통의 격리는 제 1정지계통 혹은 제 2정지계통중 하나가 이용불능일 때도 이루어진다. 이 밸브들은 계기용 공기나 제어신호의 상실시에 고장시 폐쇄 상태가 되도록 설계된다.

다른 계기들은 이온교환 수지탑과 여과기에서의 압력 손실 그리고 이 계통에 흐르는 전체 정화 유량을 나타낸다.

경보는 높은 정화온도, 이온교환 수지탑과 여과기에서의 높은 압력 손실과 낮은 정화 유량시에 작동한다.

5.7.3.1.3 기기 설명

5.7.3.1.3.1 이온교환 수지탑

다섯대의 이온교환 수지탑들은 200ℓ (7ft³)의 이온교환 수지를 포함하고 주감속재계통으로 들어가는 수지를 막으며, 슬러리 (slurry) 기법을 이용하여 수지를 받아들이고 내보낼수 있도록 설계된다. 이같은 목적을 위하여 수지탑은 수지 슬러리를 이용하여 수지제거를 용이하게 하기 위해 원추형의 바닥을 갖추고 있다. 수지탑의 보충은 수지의 꼭대기에 있는 관통관을 통하여 한다. 중수와 접촉하는 모든 기기의 재질은 스테인레스강 (304L)이다.

5.7.3.1.3.2 정화 냉각기

이 열교환기는 감속재온도가 69℃이하이고 두대의 수지탑이

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

동시에 운전된다면 정화유량이 최대 16.7kg/s (200 Igpm)으로 출구 온도가 49℃ (120°F)를 유지할 수 있는 크기이며 1.41MW (1340 Btu/s)의 용량을 갖고 있다. 냉각수는 기기 냉각수계통으로 부터 41ℓ/s (540 Igpm)의 유량으로 들어온다. 88

이 열교환기의 튜브 재질은 (냉각수 측으로부터의) 염화력 부식과 일반적인 부식을 줄이기 위해 인코넬 800이 선택된다. 쉘측의 재질은 탄소강이다.

5.7.3.1.3.3 여과기

여과기는 이온교환기를 통과하기 전의 유량속에 있는 어떠한 불용성 찌꺼기라도 제거한다. 독물질 주입 정지계통의 작동후의 가돌리늄의 제거기간 동안에는 이 여과기를 통과하지 않는다. 다만 이것은 요구된 유량을 얻을 수 없을 때에만 이루어져야 한다.

5.7.3.1.4 계통운전

통의 운전은 아래의 모드들로 구성되어 있다.

5.7.3.1.4.1 정상정화

정상적인 정화동안에 계통을 통과하는 유량은 감속재 펌프들의 방출 모관으로부터 감속재 정화계통의 열교환기, 여과기, 이온교환 수지탑을 통과하여 감속재 펌프 흡입 모관으로 되돌아간다.

독물질 조절이 요구되지 않는 정상적인 운전기간 동안에 한대의 이온교환 수지탑을 통과하는 유량은 4.2kg/s (50.6 Igpm) ~ 8.3kg/s (100 Igpm)이다. 88 한대의 이온교환 수지탑은 음이온과 양이온에 대해 같은 용량을 갖고 있는 200ℓ (7 ft^3)의 혼합되어 있는 중수화된 이온교환수지를 함유하고 있다. 강한 음이온 수지가 사용된다면 이때에 감속재속에 있는 붕소의 수준에서 수지는 붕소로 포화되게

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

될 것이다. 이것은 수지가 포화되고, 주감속재 계통에서 붕소 농도에 영향이 없을 때까지 독물질 추가 계통으로 붕소의 농도를 유지하고, 이온교환 수지로 붕소의 농도를 제거하여서 이루어진다. 이때에 이온교환기 입구와 출구의 붕소 농도가 같아지게 된다. 평상시 운전시에는 여과기 우회밸브는 닫히고 두대의 여과기 밸브들은 열려야 한다.

5.7.3.1.4.2 붕소조절¡

두대의 이온교환 수지탑은 붕소를 제거하는데 이용되며 그중 하나는 고준위, 또다른 하나는 저준위 붕소를 제거하는데 이용된다. 붕소를 제거하고자 할 경우에는 다음과 같은 조치를 취해야 한다.¡

가. 감속재에서 현재의 붕소 농도를 결정한다.¡

나. 두대의 이온교환 수지탑 중에서 어느 수지탑이 사전에 고준위 붕소 제거에 이용되었고 어느 수지탑이 저준위 붕소제거에 이용되었는가에 대한 결정을 한다.

다. 붕소 농도가 0.6 mg B/kg D_2O 보다 크면 고준위 붕소 제거를 위한 수지탑을 선정한다.

라. 붕소 농도가 0.6 mg B/kg D_2O 보다 작으면 저준위 붕소 제거를 위한 수지탑을 선정한다.

원하는 붕소 농도에 도달하면 수지탑으로의 유입은 차단된다.¡ 수지탑이 더 이상 기능을 발휘하지 못할 경우에는 다음과 같은 조치를 취해야 한다.

가. 고준위 제거탑의 경우

수지를 감속재 중수화 및 탈중수화 계통의 탈중수화 탱크내로 방출시키고 같은 계통의 중수화 탱크로 부터 일괄 중수화된 깨끗

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한 수지를 고준위 제거 수지탑에 공급한다.

나. 저준위 제거 수지탑의 경우

후속적인 고준위 붕소를 제거하는데 사용한다. 만약 저준위 붕소 제거가 계속 필요할 경우 다른 수지탑에 있는 수지를 방출시키고 깨끗이 중수화된 수지를 공급함으로써 이 수지탑이 새로운 저준위 붕소 제거 기능을 수행하도록 해야 한다.

만일 붕소 첨가 계통에 의해 편리하게 조절할 수 있는 것보다 더 느린 정도로 약간의 붕소 첨가가 요구될 경우에는 정화계통이 이용된다. 만약 수지탑중 하나가 고농도의 붕소제거에 사용되어 거의 포화상태에 이르고 감속재가 현재 낮은 붕소 농도에서 운전되고 있을 경우 고준위 붕소 제거 수지탑에 감속재를 유입시키는 것은 실제로 계통에 붕소를 첨가하는 것이 된다. 고온에서 단기간 동안 정화 계통의 운전 또한 음이온 수지로 하여금 붕소를 방출하는 결과가 된다.

5.7.3.1.4.3 가돌리늄 제거

가돌리늄은 두가지 목적에서 사용된다.

가. 단기간 반응도 폭주(즉, 오랜 원자로 정지후에 지논 부재에 대한 보상)

나. 독물질 주입정지

첫번째 경우에서와 같이 오랜 정지후에 지논 부재를 보상하기 위하여 전체 감속재에 저농도의 가돌리늄을 공급할 필요가 생겼을 때는 정상적인 정화작용은 중단되어야 한다. 그렇지 않을 경우 가돌리늄이 제거된다. 출력이

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

전출력 상태로 증가하는 동안에 유효 가돌리늄 수위는 중성자속에 의해서 지논이 증가하는 비율과 거의 같은 정도로 낮아진다.

두번째의 경우 독물질 주입 정지에 따라서 다음과 같은 조치를 취해야 한다.¡

가. 제어실로부터, 제 2정지 계통을 운전하기 전에 작동중인 이온교환 수지탑을 폐쇄시킨다.¡

나. 유량 조절 밸브를 수동제어하여 최대 위치에 놓고 유량이 두개의 가돌리늄 제거 수지탑을 통과하도록 한다. 적절한 고속유량에 이르게 하기 위하여 필요하다면 여과기를 통과하지 않아도 된다.

다. 가돌리늄이 거의 제거되고 (24h~30h) 지논-135 가 붕괴 되었을때 (~30h) 원자로는 재기동할 만반의 준비가 된 셈이다. 잔존하는 가돌리늄은 가동중에 지논-135의 연소를 보상할 수 있다. 이온교환기 수지탑을 이용한 정상적인 정화 작용은 지체되지 않는한 지논-135가 평형 상태에 있는 전출력 상태가 회복된 후에라야 다시 시작될수 있다. 이를 이상 지체될 경우에는 원자로 가동이 가능할 때까지 정상적인 정화작용이 시작되고 감속재가 정화되어야 한.

이들 두개의 이온교환 수지탑에 사용된 수지는 정상적인 정화 수지탑에서 사용된 것과 같은 양이온, 음이온 혼합물이어야 한다. 102

5.7.3.1.5 안전성

이 계통은 제1정지 계통 또는 제2정지 계통이 이용 불능일때나 또는 원자로 정지후에 감속재 계통에 있는 중수로부터 독물질 제거를 멈추게

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

하도록 설계되어 있다. 2개 이상의 정지봉이 완전히 인출되지 않을때 제1정지 계통이 작동불능인 것으로 생각된다. 1개 이상의 독물질 탱크가 고장이 나거나/나고 헬륨 탱크 압력이 7.88MPa(g) (1140 psig) 보다 작을때 제2정지 계통이 이용불능한 것으로 생각된다. 감속재 정화 계통의 격리는 원자로 정지 계통의 논리회로 접속에 의하여 이온 교환기 수지탑에 있는 입구 공기압 밸브 PV7에서 PV11까지을 자동적으로 폐쇄됨에 의해 보장된다. 이 공기압 밸브들은 설계기준 지진 범주 'B' 에 내진 검증되어야 한다.

원자로건물 격리신호(button up signal)에 의하여 자동적으로 차단되는 각각 한쌍의 밸브들이 참고문헌 5.7-10의 요건을 만족하기 위하여 주 감속재 계통과 연결되는 정화공급 및 회수라인에 각각 설치되어 있다.

5.7.3.1.5.1 내진검증¡

주 감속재 계통은 단지 경제적인 이유(5.7.2.5.3절 참조)로, 설계기준 지진 범주 'B'로 내진 검증되는 원자로 건물 격리밸브 7314-PV71~PV74 및 열교환기 입구 공기구동밸브 그리고 설계기준 지진 범주 'A'로 내진 검증되는 원자로 건물 확장부 배관을 제외하면 1/4 설계기준지진 범주 'A'에 내진적으로 검증되도록 설계되어 있다.

5.7.3.1.5.2 환경검증¡

감속재 정화계통은 온화한 조건의 원자로 보조건물에 위치하며 이 조건하에서 환경검증은 요구사항이 아니므로 환경검증은 필요하지 않다.

5.7.3.1.5.3 원자로건물 확장부¡

감속재 정화계통은 원자로건물 내부에 위치한 주 감속재 계통과 연결되어 있다. 주감속재 계통과 연결된 원자로건물 확장부의 격리는 격납건물 격

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.
승인근거
월성원전지역사무소-646
(2016.05.13)

리신호에 의하여 자동적으로 작동되는 4개의 공기구동밸브 (원자로건물 확장부 배관당 2개) 에 의하여 이루어진다. 이 4개의 밸브는 원자로건물 밖에 위치한다. 각 밸브의 수동제어를 위해 주제어실에는 핸드스위치가 있으며 밸브위치와 핸드스위치가 다를 때 이를 나타내어 준다. 원자로건물 확장부는 설계기준 지진으로 내진 검증되며 등급 2로 분류된다.

5.7.3.1.6 가동중 검사 및 시험

5.7.3.1.6.1 가동중 검사

가동중검사 계획은 고장시 방사선 위험을 초래할 수 있는 원자력 발전소 기기들에 대한 의무검사 수행을 위하여 CSA 표준 N285.4 “CANDU형 원자력발전소 기기의 가동중검사”에 의거 압력유지 기기, CSA 표준 N285.5 “CANDU형 원자력발전소 원자로건물 기기에 대한 가동중검사”에 의거 원자로건물 기기에 대하여 실시된다. 감속재 정화계통 원자로건물 연장부를 제외하고 이 계통은 가동중검사에서 제외된다. 원자로건물 연장부의 가동중검사는 가동중검사 계획 86-03640-PIP-002 “원자로건물 기기의 검사”에 따라 수행된다. 189

5.7.3.1.6.2 압력시험

감속재 정화계통에 대한 압력시험은 ASME 보일러 및 압력용기 코드 Section Ⅲ, 부절 ND, CAN3 N285.0-M81 및 CAN3 N285.1-M81에 따라 수행된다. 감속재 정화계통에 대한 압력시험 (수압 및 누설시험)은 계통이 설치되고 초기운전에 실시된다. 압력시험 및 가압후 누설시험 방법은 ASME Section Ⅲ의 ND-6000에 의거 수행된다. 1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.1.6.3 가동중 시험

감속재 정화계통에 대한 운전전 성능시험은 시운전시 원자로 기동 전에 계통의 부품들이 설계요건대로 성능을 가지고 운전됨을 확인하기 위하여 실시된다. 이 계통의 압력방출장치에 대한 가동중 시험은 ASME OM-1990, 부록 1의 요건에 따라 수행된다. 세부사항은 6.9.2.3.6을 참고. 1

5.7.3.2 감속재 상층기체 계통

5.7.3.2.1 설계기준

감속재 상층 기체 계통에 대한 요건들이 다음항에서 주어진다.

5.7.3.2.1.1 기능요건¡

가. 부식을 방지하고 방사능을 감소시키기 위해 감속재에 불활성 상층 기체를 제공해야 함.

나. 상층 기체를 중수소 농도가 국부적으로 현저히 증가하는 것을 방지하기 위하여 기체를 순환시켜야 함.¡

다. 중수소를 산소와 재결합시켜 중수를 생성함으로써 중수소의 양을 제어해야 함.

라. 감속재에 용해된 중수소의 평형량과 일치하는 최소압력 이상으로 상층기체 압력을 유지시켜야 함.¡

마. 정상 과도 압력을 칼란드리아 집합체 및 핵연료 채널의 허용치까지 제한시키며 과도이후 압력을 설정치로 복귀시켜야 함.

바. 상층 기체 압력을 유지하고, 보수후 계통의 공기를 정화하며, 일부 계통기가 가용되지 않을 경우 보충수단으로서 완전한 정화를 할

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

수 있도록 헬륨 제공해야 함.

사. 상층기체의 중수소, 산소 및 질소의 양을 감시하기 위하여 가스 분석기에 연결되어야 함.

아. 반응도 제어 기구 및 독극물주입 정지 계통에 압력 균형수단을 제공해야 함.

자. 다른 계통 (액체 영역 제어 계통 및 중수 저장, 수송 및 회수 계통)에 헬륨 공급 수단을 제공해야 함.

5.7.3.2.1.2 안전요건

다음의 설계 지침서가 적용된다.

가. 86-03650-SDG-001 : 안전관련 계통, Rev. 2 (참고문헌 5.7-1 참조)

나. 86-03650-SDG-002 : 내진 검증, Rev. 2 (참고문헌 5.7-2 참조)

다. 86-03650-SDG-003 : 환경 검증, Rev. 2 (참고문헌 5.7-3 참조)

라. 86-03650-SDG-005 : 화재 방호, Rev. 2 (참고문헌 5.7-14 참조)

마. 86-03650-SDG-006 : 원자로건물 확장부, Rev. 2 (참고문헌 5.7-5 참조)

감속재 상층기체 계통은 안전관련 계통에 속한다. 계통의 안전요건은 냉각재 계통의 건전성과 주 감속재 계통의 핵연료 냉각 용량을 유지시키데 도움을 주는 것이다.

계통의 안전범주는 1(d)이다. 이것은 감속재 상층기체 계통이 어떠한 사고중에 손상을 입으면 간접적으로 방사성 누출이 야기되거나 안전관련 계통 운전에 악영향을 주기 때문에 감속재 상승기체 계통이 보호되어야 한

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

다는 것을 의미한다.

계통에는 다음과 같은 것들이 요구된다.

가. 정상운전중 칼란드리아에 중수소가 폭발 수준까지 축적되는 것을 방지해야 함.

나. 비상 노심 냉각 상실과 결합된 사고들 까지 포함하는 노외 냉각재 상실사고 이후 감속재가 핵연료 냉각을 할 수 있게 감속재가 충분한 과냉각 상태에 있도록 상층기체 압력을 유지해야 함. 따라서, 계통은 환경적으로 검증이 되어야 한다.¡

상층기체 계통의 화재 방호는 참고문헌 5.7-15의 요건에 따라 제공되어야 한다. 정상운전 과정중 생성된 중수소는 재결합기에 의해 제거되고, 외부로 환기되며, 불활성 기체와 함께 퍼지되어야 한다. 중수소의 과도한 양이 축적되는 것을 방지하기 위해 중수소의 농도가 감시되어야 한다. 최저 가연성 제한치에 도달하기 전에 경보신호가 발전소 운전자에게 전달되어야 한다.

차폐장치가 재결합기 및 상층기체 냉각기 주위에 제공되어야 한다. 3

원자로건물 확장부는 참고문헌 5.7-2, 와 5.7-5 및 5.7-10의 요건을 만족해야 한다.

과압 방지수단이 참고문헌 5.7-12에 따라 제공되어야 한다.

5.7.3.2.1.3 적용 규격, 표준 및 등급

감속재 상층기체 계통은 참고문헌 5.7-8에 따라 등급3으로 분류된다. 헬륨통과 격리밸브 사이의 0.5인치 헬륨 보충관은 등급6으로 분류되지만, 원자로건물 벽과 두번째 원자로건물 격리 밸브사이의 관들은 등급2로 분류된다.¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.2.2 계통설명

그림 5.7-3은 감속재 상층기체계통의 개략도이다. 계통은 2개의 100% 압축기와 2개의 100% 재결합 유니트로 구성되는데 이들은 칼란드리아 방출 도관을 통한 상층기체 순환 폐회로를 형성한다. 정상운전 중에는 1개의 압축기와 2개의 재결합 유니트가 작동하며 다른 1개의 압축기는 대기상태에 있다. 다중성은 정상 중수소 레벨에서 1개의 압축기 및/또는 1개의 재결합기가 고장났을 경우 계통의 연속적인 운전을 가능하게 하며 두 압축기를 평행하게 작동시켜 중수소 폭주를 제어하는 재결합 유동을 배가 시킨다.

헬륨은 불활성 기체이며, 공기와 비교할때 계통에 부식을 감소시키며, 공기보다 아르곤을 덜 함유하고 있어서 방사능 부산물(Argon 41)로 인한 방사선 준위가 낮으므로 상층기체로 사용된다. 기체는 감속재 자유 표면을 통한 확산에 의해 중수소와 산소를 수용한다. 중수소와 산소는 감속재의 방사선 분해로 인하여 생성된다. 감속재 상층기체 계통은 이들을 촉매로 결합시켜 중수를 생성함으로써 중수소 및 산소가 축적되는 것을 방지한다.

헬륨병 설치장소를 제외한 감속재 상층기체계통의 모든 기기는 원자로건물내의 접근가능한 구역에 위치한다. 헬륨병 설치장소는 원자로보조건물내에 위치한다.

재결합기는 중수소와 산소를 재결합할때에 산화알루미늄에 팔라듐(Palladium) 을 입힌 촉매를 사용하여 고온에서 손상되지 않고 작동되도록 설계되어 있다. 가열기가 재결합기 입구배관에 설치되어 촉매의 효력이 살아나도록 건조시킬수 있다. 촉매는 젖지 않을 정도로 충분히 가열된다. 화염진압기가 재결합기의 상류와 하류에 설치된다. 상층기체 냉각기는 재결합 유니트의 하류에 설치된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

정상운전중 2% 중수소 농도 제한치는 폭발할 가능성이 있는 기기의 농도가 최저 폭발 제한치의 25 %를 초과해서는 안되는 기준을 사용하여 규정된다. 중수소/산소/헬륨 혼합물의 경우 최저 폭발 제한치는 8% 중수소, 4% 산소이고 나머지는 헬륨이다. 5.7.3.2.4.5.1절에 서술된 바와 같이 중수소 농도를 2% 이하로 감소시키는 조치가 마련되면 중수소 농도가 2% 이상이 약간 넘어도 무방하다.

재결합기의 상류 및 하류의 상층기체는 상층기체 계통내의 중수소의 농도를 감시하기 위하여 또한 재결합기가 제 기능을 발휘하는지 알기위해 가스색층분석기 (gas chromatograph) 를 이용하여 주기적으로 분석된다. 만일 중수소 농도가 2%를 초과하면 경보가 울리며 예비 압축기가 자동으로 작동한다.

불순물이 감속재에 들어가서 방사선 분해에 의해 발생된 산소와 반응하면, 중수소가 과도 또는 폭주하게 된다. 이러한 상태에서 산소가 원자로 건물 내의 산소통 으로부터 공급되고 과도한 중수소와 재결합하기 위해 첨가되어 전체 중수소 농도는 2% 이하가 된다.

상층기체계통의 용기설치실에 있는 헬륨은 역시 액체영역제어계통에도 공급되며 냉각재 중수 저장, 이송 및 회수계통에도 공급된다.

3

압력스위치에 의해 작동되는 2개의 공기구동식 배출밸브가 상층기체계통에 설치된다. 배출밸브에 의해 독물질 주입 정지계통의 작동후에 최저부에 있는 칼란드리아관이 설계값 이상으로 압력을 받지 않게 된다.

계통의 과압력 방지수단은 4개의 방출관 각각에 있는 파열판 및 방출 밸브를 사용하여 제공된다. 2개의 방출밸브는 각각 100% 유동이 되도록 설계된다. 방출밸브는 정상조건 및 독물질 주입 정지 계통의 작동을 포함하

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

는 비정상 조건중의 압력이 69 kPa(10 psig)로 제한된다. 파열판의 파열압력은 138 kPa (20 psig)이며 그 목적은 비상조건에서 칼란드리아의 첨두압력의 크기를 제한시키는데 있다.

일반적으로, 유체와 접촉하고 있는 상승 기체 계통의 모든 기기, 밸브 및 배관은 오스테나이트 스테인레스 강으로 제조된다.¡

계통의 계측수단이 다음과 같이 제공된다.¡

가. 상승 기체 압력이 제어실에 지시되며 고압 및 저압 경보
나. 재결합기의 입구 및 출구온도의 제어실 지시, 고온 및 저온 경보 발생
다. 제어실로부터 중수 냉각 승압 펌프의 제어
라. 제어실로부터 압축기의 제어
마. 제어실로부터 배출밸브의 제어
바. 상승기체 압축기로의 냉각 중수 유동의 현장에서의 계측 및 제어
사. 제어실에서의 가열기의 제어
아. 헬륨 보충 유동의 현장지시
자. 보충 헬륨 공급압력의 측정계측 | 3

감속재 상층기체 계통은 공기공급 기기의 고장을 극복할 수 있도록 충분한 다중성을 갖도록 설계되었다. 배출밸브는 압력 스위치로부터 신호를 받아 3개중 2개 논리회로에 의해 제어된다. 각 밸브는 정상적인 공기공급 상실시 상층기체계통의 감압을 방지하기 위하여 2개의 독립된 공기공급 설비로부터 공기를 공급받는다. | 3

5.7.3.2.3 기기 설명¡

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.2.3.1 압축기

2개의 100% 상승기체 압축기는 낮은 차압으로 작동되는 액체링 형태로 되어 있으며, 3급 전원 공급원과 연결된 전기 발동기에 의해 구동된다. 압축기의 운전은 초기단계에서는 압축기로 들어오고 최종단계에서는 압축기체와 함께 배출되는 정화된 냉각수의 연속적인 공급에 의존한다. 중수는 액체 독물질 계통의 지연 탱크로부터 공급된다.

밀봉수는 운전중인 압축기에만 공급된다. 압축기는 2.5 ~ 10 L/min (0.55 ~ 2.2 Igpm)의 밀봉수를 공급받아 운전된다. 밀봉수는 또한 기계적 밀봉장치에 내부적으로 공급된다. 최소 공급 압력은 압축기 방출압력보다 34.5 kPa (5 psig) 만큼 크다.

정상운전 중에는 1개의 압축기가 작동하며 다른 1개는 대기상태에 있다. 중수소 폭주시에는 2개의 압축기가 동시에 작동한다. 순환유량은 1개의 압축기가 작동시에는 약 6.8 NL/s (14.4 scfm)이며 2개의 압축기가 작동시에는 약 13.6 NL/s (28.8 scfm)가 된다.

5.7.3.2.3.2 예열기

스트립(strip) 예열기 HR1과 HR2가 계통의 2" 배관에 장착된다. 예열기 HR3, HR4 및 HR5는 배관 주위를 감는 코일 형태이다.

모든 예열기는 정상적으로 작동된다. 가열기기가 260℃(500°F)의 온도에 견딜수 있게 설계되었지만, 가열기는 열전대 고장시 배관에 국부적으로 고온지점이 생기는 것을 피하고 가열기 활용 수명을 늘이기 위하여 기체 유동이 차단되면 가열기는 제어실로 부터 꺼져야 한다. 가열기는 기체유동이 재개될 때까지 제어실로부터 켜져서는 안된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.2.3.3 재결합기

2개의 100% 재결합기는 팔라디움(Palladium) 촉매가 들어있는 배관이 용접되어 있는 원통형 용기로 되어 있다. 촉매가 소진되었을때 전 재결합기가 교체된다. 2개의 유니트가 정상운전중 작동된다.

액체 중수에 의한 촉매의 독작용은 2개의 예열기의 연속 작동으로 인해 효과적으로 방지된다. 다른 이유에 의한 촉매효율의 감소는 적은 중수소 함량에 해당되는 범위에서 재결합기 출구온도에서의 상층기체내의 중수소 함량에 의하여 감지된다.

5.7.3.2.3.4 상층기체 냉각기

상층기체 열교환기는 핀이 부착된 배관형 가스냉각기로 재결합기를 통과한 고온의 상층기체를 냉각시킨다.

상층기체는 가스냉각기의 쉘(shell)측을 통과하고, 기기냉각수는 튜브측을 통과한다. 3

재결합기 입구의 D_2 농도가 4%에 도달하고, 재결합기에서 D_2가 산소와 완전히 재결합하여 재결합기 출구의 상층기체 온도가 316 ℃ (600 °F)라고 가정했을 때, 기기냉각수는 최대유량 (압축기 두 대가 동시에 운전될 때)의 상층기체를 127 ℃ (260 °F)이하로 냉각시킬 수 있다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.2.3.5 냉각재 승압 펌프

2개의 100% 가동 펌프는 4급 전원 상실시 액체 령 형태의 압축기로의 중수 공급선의 압력을 승압시킨다. 펌프는 캔(canned) 전동기 형태로 되어 있다. 전체 수두는 16.8 m (55 ft) 중수이며 유량은 0.76 L/s (10 Igpm) 이다. 펌프에 3급 전원이 공급된다. 3

4급 전원 상실시 주감속재 펌프는 보조 전동기에 의해 구동되나, 보조 전동기는 운전중인 액체령 형태의 압축기에 충분한 중수를 공급하는데 필요한 수두를 제공할 수 없다. 이때 승압 펌프중 1대는 요구되는 추가 압력을 제공하기 위해 기동하며 2번재 펌프는 대기상태에 있는다. 3

5.7.3.2.3.6 화염 진압기

4개의 화염 진압기가 제공되는데 각각 2개씩 재결합 유니트의 상류 및 하류에 설치된다. 산소와 중수소의 폭발성 재결합이 발생하면, 이들 진압기는 화염이 전파되는 것을 방지한다.

5.7.3.2.4 계통운전

5.7.3.2.4.1 정상운전

정상운전 동안 상층기체 내에 산소가 약간 더 포함되어 0.5 - 1%

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

(체적퍼센트) 정도 있는 경우에, 재결합기 입구에서 측정된 중수소 농도는 일반적으로 0.1체적 퍼센트 이하를 의미하는 '낮음'으로 기록된다. 이것은 감속재 중수로부터 상층기체로 중수소가 서서히 이동하는 것을 나타낸다.

주 감속재 계통내의 용존된 중수소의 대표적인 농도는 중수 1kg 당 중수소 2ml이다. 감속재 상층기체 계통은 핵분열 생성물을 포함하지 않게 되는데 이것은 핵연료와 주 감속재 계통 사이에 삼중의 방어벽이 설치되어 있기 때문이다.

5.7.3.2.4.2 기동

상층기체 계통은 중수소 폭주 가능성을 최소화하기 위해 원자로 기동전에 작동되어야 한다.

5.7.3.2.4.3 운전정지

상층기체 계통은 감속재에 용존된 중수소의 양이 상층기체내 중수소의 농도의 받아들일 수 없는 엄청난 폭주를 유발하기에 충분할 정도가 되면 이것을 운전 정지 시킨다. 중수소 폭주는 감속재 상층 기체가 어느 한 시료에서 6 체적퍼센트가 초과하게 되거나 1시간내 주기로 연속적으로 채취한 2개의 시료에서 4퍼센트가 초과하게 될때 허용될 수 없는 것으로 본다. 감속재 상층기체 계통은 예열기 및 두 압축기의 작동을 중지 시킴으로써 운전정지된다. 운전정지가 오랜기간 동안 지속되거나 상층기체 계통이 감압되는 경우 헬륨 공급 격리 밸브는 닫히게 된다.

5.7.3.2.4.4 계통으로 부터 공기의 방출

상층기체 압축기 흡입구에서 기체크로마토 그래프로 측정한 질소

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

농도가 3퍼센트 이하로 유지되도록 필요시 계통을 퍼지(Purge) 시킨다. 25

5.7.3.2.4.5 비정상 상태

5.7.3.2.4.5.1 중수소 폭주

상층기체 중의 D_2 농도가 체적비로 2%에 도달하면 운전원은 D_2 농도를 줄이기 위해 필요한 조치를 취해야 한다. D_2 농도가 4%에서 1시간 이내에 6%로 증가하려는 경향을 보이면 재 시료채취없이 원자로는 즉시 정지되어야 한다. 중수소 농도가 2퍼센트가 되면 두번째 상층 기체 압축기가 자동으로 작동되며 이러한 운전은 중수소 농도가 2퍼센트 이하로 떨어져서 유지될때 까지만 잠정적으로 유효하다. 3

감속재 중수의 방사분해는 쉽게 조정될 수 있는 감속재 온도의 심각한 증가 또는 상층기체 압력의 심각한 감소가 있는 경우 중수소 급증의 원인이 될 것은 거의 확실하다. 감속재에 용존된 중수소 양은 방사 분해율에 비례하게 되며 감속재 중수 시료 계통의 온라인(on-line) 산소 분석기에 의해 간접적으로 감시된다. 25

방사분해도는 다음의 몇가지 변수에 좌우된다.

가. 원자로 출력 : 중수소와 산소의 농도 변화는 출력준위가 변하면 발생하게 되고 출력 준위가 일정하면 농도 변화는 없게 된다.

나. 감속재 순도 : 감속재 내에 대부분의 불순물들은 중수의 해리도를 증가 시킨다.

다. 감속재에 용존된 기체 : 감속재 중수에 용존된 질소나 산소와 같은 기체는 중수의 방사분해에 의해 생긴 산소의 일부를 소모함으로써 또한 자유질소를 생성시킴으로써 순수한 감속재 방사 분해율을 증가 시킬 것이다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

운전자가 취해야 할 방사 분해율을 줄이는데 효과적인 조치 방법은 다음과 같다.¡

가. 정화 과정을 통해 감속재 중수내의 불순물을 감소 시킨다.

나. 원자로 출력을 감소 시킨다.

다. 상층기체가 질소 또는 산소를 각각 3퍼센트, 2퍼센트 초과하여 포함하게 되면 방출 밸브는 농도를 감소시키기 위해 열리게 된다. 퍼지 유량 조절 밸브는 방출 되는 동안 상층 기체 압력이 설정치를 유지하도록 설정되어야 한다.

압축기 흡입부에서 상층기체내 중수소 농도가 가스분석기에 의해 측정된 값으로 4퍼센트가 초과하게 되면 방출 격리 밸브는 닫혀야 된다.

라. 감속재내의 중수소 용해도를 증가시키기 위해 감속재 온도를 낮춘다. 감속재 수위가 심각할 정도로 변화하지 않도록 열교환기는 온도감소를 정상적으로 제한한다.

마. 원자로를 운전정지 시킨다.

정상적으로는 중수내의 측정된 산소의 농도는 중수소 농도의 50퍼센트 이다. 그런데 감속재내의 산소량이 중수소 농도 10 ml/kg을 나타내는 5 ml/kg에 가까와지면 운전자는 필요한 조치를 취해야 한다. 이 농도는 이것들의 결합된 부분압력이 정상적인 상층 기체 압력인 126 kPa(a) (18.2 psia)을 초과하게 되는 한계치에 해당된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.2.4.5.2 4급 전원상실

압축기에는 3급 전원이 공급된다. 다섯대의 가열기 (HR1 - HR5)에는 4급 전원이 공급되며 3급 전원이 작동되는 동안에는 이것이 필요하지 않게 된다.

4급 전원 상실 후에 3급 전원으로 상층 기체 압축기를 운전하여 감속재 온도 과도 상태 중에 상층 기체 내의 중수소 급상승 가능성을 최소화 한다.

냉각재 승압 펌프에는 3급 전원이 공급된다. 왜냐하면 그 펌프들은 4급 전원이 상실된 후에만 필요하기 때문이다.

5.7.3.2.4.5.3 기기 냉각수 상실

주감속재 열교환기에의 냉각수상실은 감속재 상층기체계통에 직접적인 영향을 미치지 않으나, 감속재 온도 상승이 D_2 농도를 증가시킬 수 있으므로 운전원은 대기중인 압축기를 작동시킬 준비를 하여야 한다. 상층기체 냉각기 3231-HX1에 RCW가 상실될 때, 재결합기 출구온도가 127 ℃ (260 °F) 이상을 지시하지 않는 한 압축기는 계속 운전 가능하다. 만일 재결합기 출구온도가 127 ℃ (260 °F) 이상이면, 운전원은 운전중인 압축기를 정지시키고 RCW 유량이 복구될 때까지 계통을 수동퍼지모드로 전환하여야 한다.

10

5.7.3.2.4.5.4 독물질 주입 원자로 정지

독물질 주입 정지 계통의 운전은 감속재 상층기체내의 압력증가로 인한 과도 상태를 유발하게 된다. 칼란드리아 방출덕트에 포함된 상층 기체의 체적은 최대 압력 값을 제어하기에 충분하다. 배출 밸브는 상층기체 압력이 정상 설정치에 복귀되도록 작동된다.¡

독물질 주입 정지 계통의 운전기간 동안 체크볼이 적절히 자리를 잡지 못하게 되면 감속재 상층기체 계통으로 많은 양의 헬륨 가스가 방출된다. 상층기체 배출 밸브는 과도 상태 동안 도달된 최대 압력값이 칼란드리아 파열판

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

을 파열시키지 않을 정도로 충분히 낮도록 크기가 정해진다.

5.7.3.2.4.5.5 상층기체 계통의 이용 불능

감속재 상층기체 계통은 5.7.3.2.5.1 절에 기록된 바와 같이 내진 검증이 요구되지 않는다. 지진과 같은 사고시, 상층기체 계통은 사용되지 않는다. 그렇지만 이것은 설계 기준 기간 중이나 그후에 원자력 발전소 상태에 아무 영향도 주지 않을 것이다. 왜냐하면 이 기간중 원자로는 운전 정지되고 핵연료 냉각이 유지될 것이기 때문이다. 만약 지진으로 감속재 온도가 증가하고 그리고/또는 감속재 배수가 발생하면 중수소의 농도는 증가하게 될 것이다.

중수소 농도가 증가하게 되면 상층기체가 연소될 가능성이 있다. 그러나 기체를 연소시키는데 필요한 조건들은 중수소, 산소, 헬륨 및 중수증기의 농도, 압력, 온도, 난류 정도, 원자로 및 열표면의 기하학적 형상 및 면적 등에 좌우된다. 만약 연소원이 존재하지 않는다면 상층기체는 연소될 수 없다. 설계기준 지진후 원자로가 운전정지 되고 칼란드리아가 완전히 배수 되었다고 가정할 때, 아무런 연소원이 없게 된다. 25

설계지진후 감속재 순환 상실 및 감속재 배관의 파단이 생기면 중수소가 가연 기준치에 도달되기전 방출이 시작되기에 충분한 시간이 있다.

두대의 상층기체 계통 압축기 또는 두대의 재 결합기가 사용되지 못하면 상층기체내 중수소의 양을 허용치로 유지시키는데 방출이 필요하다. 배출관을 제수기 상류의 상층기체 압축기 흡입부에 상류에 연결시키는 것과 헬륨 보충선을 칼란드리아 방출덕트에의 복귀선에 연결 시킴으로써, 두대의 압축기 또는 두대의 재결합기의 사용불가와 같이 거의 가능성 없는 사고와 마찬가지로 상층 기체 계통의 균형을 통한 순환이 불가능하게 되면 방출 덕트의 방출이 정상운전시와 동일한 방향으로 이루어진다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.2.5 안전성

상층기체 계통은 발전소의 정상운전중 5.7.3.2.4.5.1절에 기술된 바와 같이 칼란드리아 내에 중수소의 양이 폭발할 수준까지 축적 되는 것을 방지한다.

5.7.3.2.5.1 내진 검증¡

상층기체 계통은 주 감속재 계통과 마찬가지로 지진 기간 중이나 그후에 내진 검증이 요구되지 않는다. 그리고 이 계통의 고장은 원자로의 운전 정지와 냉각재 계통이 핵연료 냉각을 유지시키는 능력에 영향을 주지 않는다. 또한 지진 중이나 후에 상층기체 계통의 운전은 대중 안전에 반드시 필요한 것은 아니다. 원자로건물 확장부의 배관은 설계기준지진 범주 'A'로 내진 검증되며 두 격리밸브 V25와 V53은 설계기준지진 범주 'B'로 내진 검증된다. 지진 후에 중수의 경제적 손실을 막기 위하여 직경 3/4인치보다 큰 중수를 포함하는 모든 배관은 1/4 설계기준지진 범주 'A'로 내진 검증된다.

5.7.3.2.5.2 환경 검증

상층기체 계통은 비상노심 냉각재 상실과 병행하여 발생하는 사고를 포함한 소외 냉각재 상실 사고 후에 감속재의 충분한 과냉각이 핵연료 냉각을 확실하게 하는 상승기체압력을 유지하는 정도까지 환경검증이 요구된다.

5.7.3.2.5.3 원자로건물 확장부

원자로건물확장부로부터 밸브 V53에 이르는 1/2 인치 배관의 원자로건물 확장부는 1/2인치 배관에 대하여는 설계기준 지진 범주 'A'에 그리고 밸브 V25와 V53에 대하여는 범주 'B'에 대한 내진 검증이 요구된다. 원자로건물 확장부는 참고문헌 5.7-5 와 5.7-10 의 요건을 만족한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.2.5.4 화재 방호

이 계통의 설계는 참고문헌 5.7-15의 요건을 만족 시킨다. 정상운전 중 방사분해에 의해 발생된 중수소 가스는 재결합기의 사용으로 제거될 수 있다. 상층 기체계통내의 중수소 농도는 가스 분석기 계통에 의해 감시되고 그 농도가 제한치를 초과하게 되면 경보가 운전자에게 통보된다.

5.7.3.2.5.5 과압 방지

과압 방지는 5.7.3.2.2절에 기술된 바와 같이 4개의 칼란드리아 파열판 및 2개의 방출 밸브에 의해 이루어진다.

5.7.3.2.6 가동중 검사 및 시험

5.7.3.2.6.1 가동중 검사

주기적 검사는 고장시 방사선 위험을 야기할 수 있는 원자력발전소 기기들에 대한 의무검사 수행을 위해 CSA 표준 CAN3 N285.4-94 "CANDU형 원자력발전소 기기의 대한 주기적 검사" 에 의거 압력유지부품에 대하여 수행된다. 감속재 상층기체 계통은 가동중 검사 대상이 아니다.

5.7.3.2.6.2 압력시험

감속재 상층기체 계통에 대한 압력시험은 등급 2에 대해 ASME 보일러 및 압력용기 코드 Section Ⅲ, 부절 NC, 등급 3에 대해 부절 ND 및 등급 6에 대해 ANSI/ASME B31.1 power piping code에 따라 수행된다. 압력시험 및 가압후 누설시험 방법은 등급 2에 대해 (ASME 3장) NC-6000과 등급 3에 대해 ND-6000 및 등급 6에 대해 ASNI/ASME B31.1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

에 따라 실시된다.

5.7.3.2.6.3 가동중 시험

감속재 상층기체계통에 대한 운전전 성능시험은 시운전시 원자로 기동전에 계통의 기기들이 설계요건대로 성능을 가지고 운전됨을 확인하기 위하여 실시된다. 신뢰성 요건에 근거하여 압축기 운전교대는 계획 정지시에 실시된다. 대기 압축기와 관련한 액체공급관의 밸브 (3231-PV3 또는 PV4)와 각 압축기의 대기논리는 계획 정지시에 시험된다.

압력방출장치에 대한 가동중 시험은 ASME OM-1990, 부록 1에 따라 수행된다. 세부사항은 6.9.2.3.6 참고

1

5.7.3.3 감속재 액체 독물질 계통

5.7.3.3.1 설계기준

감속재 독물질 계통은 다음절에서 언급된 기능요건들에 맞게 설계된다.

5.7.3.3.1.1 기능요건

가. 새로운 핵연료내 잉여반응도를 보상하기 위하여 감속재에 부반응도를 가한다. (이것은 종종 독물질삽입 (poison shim) 이라 부른다)

나. 원자로의 지논과다 정지나 오랜 정지후에 지논 붕괴를 보상하기 위하여 감속재에 부반응도를 첨가한다.

다. 다른 반응도 제어장치와 관련하여 반응도를 감소시키는 수단이 된다.

라. 원자로정지동안에 임계를 방지하기 위하여 감속재에 충분한 독물질을 보장하는 수단이 된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.3.1.2 안전요건

이 계통에 적용하는 안전설계지침서는 다음과 같다:

가. 86-03650-SDG-001 : 안전관련계통, Rev. 2 (참고문헌 5.7-1)
나. 86-03650-SDG-002 : 내진검증, Rev. 2 (참고문헌 5.7-2)
다. 86-03650-SDG-003 : 환경검증, Rev. 2 (참고문헌 5.7-3)

감속재 독물질계통은 안전관련계통이다. 이것의 안전기능은 원자로를 정지조건으로 유지하는데 도움을 주는 것이다.

이 계통의 지정된 안전분류는 2(c)이다. 이것은 감속재 독물질계통이 보호계통임을 의미한다. 왜냐하면 이 계통이 다른 보호계통의 적절한 운전을 지원함으로써 정상가동 계통의 고장에 의해 야기된 사건을 완화시키는 안전 기능을 수행하기 때문이다.

감속재 독물질계통은 1차정지계통이 원자로를 정지시키고 2차정지계통이 사용불가능한 사고시에 정지조건으로 원자로를 유지시키도록 요구된다. 만약 장기간 1차 정지 계통의 심도해석에 의해 필요하다고 판단되면, 감속재 독물질계통은 운전자의 조작에 의해 부반응도를 가해야 한다.

이 계통은 소규모 냉각재 상실사고에 의해 경계지워지는 가혹한 환경 조건에 대해 환경검증된다.

이 계통은 검증이 요구되지 않는 직경 1/2"이하의 기기의 경우를 제외하고는 경제적인 이유에서 1/4 설계기준지진 범주 'A'에 내진검증되어야 한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.3.1.3 적용 규격, 표준 및 등급

감속재 독물질계통은 참고문헌 5.7-8에 따라 등급 3으로 분류된다. 중수 증기 회수계통에 연결된 트랩(trap)을 포함하는 배기관은 등급 6으로 분류된다.

5.7.3.3.2 계통설명

그림 5.7-4는 액체독물질계통의 흐름도이다.

독물질계통은 노심 반응도를 제어하는데 쓰인다. 큰 중성자 흡수 단면적을 가지는 가용성 화학물질(중성자독물질)은 이 계통에 의해 제어되면서 감속재에 가해진다. B_2O_3 형태의 붕소와 $Gd(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ 형태의 가돌리늄이 사용되는 독물질이다.

붕소가 핵연료 재장전시에 독물질 삽입됨으로써 초기 발전소 가동시에 새로운 핵연료에서 중성자흡수 핵분열물질의 부족, 오랜 동안의 원자로정지, 그리고 오랜기간 동안 독물질을 요구하는 다른 상황을 보상하기 위하여 사용된다.

가돌리늄은 핵분열물질인 지논이 생성되는 속도와 거의 동일한 비율로 중성자 흡수단면적이 작아지므로, 장기간 정지후의 원자로 가동시에 사용된다. 가돌리늄을 사용하면 이온교환수지의 제거능력이 붕소제거능력보다 14배나 커지는 장점이 있다.

두개의 동일한 독물질저장탱크가 제공되며, 하나는 붕소를, 또다른 하나는 가돌리늄을 위한 것이다. 두개의 독물질 저장 탱크에는 독물질 용액 준비를 돕는 교반기가 있다. 독물질과, N-16과 O-19를 붕괴시키기 위한 지연탱크를 거쳐서 감속재 열교환기로부터 독물질저장 탱크로 공급된 중수를 섞음으로써 용액이 준비된다. 액체 독물질 계통은, 중력에 의해 감속재펌프 흡입측으로 독물질용액이 첨가되도록 원자로건물내의 접근 가능한 높은 위치에 설치되어 있다. 이로써 주입펌프가 필요없으며, 계통의 신뢰도를 향상시킨다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

혼합탱크로 부터 분리된 관이 독물질을 감속재펌프의 흡입측으로 운반한다. 니들 밸브는 탱크로부터 필요한 독물질 유동량을 얻기 위하여 수동조작되며, 공기압 밸브의 조작은 운전 요구에 따라 독물질 유동을 시작 혹은 멈추게 한다. 두관은 짧은 공통관에 의해 감속재계통 배관과의 연결을 위해 주입점근처에서 합쳐진다.¡

이 계통은 주감속재계통으로 가돌리늄과 붕소 독물질을 제어되는 양으로 수동첨가 할 수 있는 기능과 비상운전 조건시 가돌리늄 독물질을 자동으로 첨가하는 기능을 제공한다.

감속재 중수와 접촉하는 부품중 칼란드리아관을 제외한 대부분의 재질은 오스테나이트계 스테인레스강이다. 25

독물질저장탱크는 중수증기회수계통으로 배기된다. 저장탱크가 격리된 경우에는, 우회관에 있는 파열판에 의해 과압력보호가 제공된다.

독물질계통의 계측은 다음 것들이 설비된다.

가. 현장 및 제어실 탱크수위지시, 제어실내에서 저수위에 의해 경보 발생

나. 주 감속재계통에 주입되는 붕소 및 가돌리늄 유량의 현장 지시

다. 제어실로부터 독물질첨가 밸브의 제어

라. 비상조건시 가돌리늄독물질의 자동첨가

5.7.3.3.3 기기설명

5.7.3.3.3.1 지연탱크

지연탱크는 평평한 수두를 가지고 있는 수직 원통형 탱크이다.¡접근이 불가능한 구역에 위치한 지연탱크는 주감속재 계통으로부터 오는 중수공급 유동을 지체시켜 O-19와 N-16 방사능이 접근가능 구역의 독물질 저장탱크 부근

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

에 과도한 방사능 준위가 생성되지 않을 수준까지 붕괴하도록 한다. 탱크가 약 80초 그리고 공급배관이 약 60초의 지연시간을 제공한다. 총 140초의 지연시간은 O-19의 반감기 (27초)와 N-16의 반감기 (7초)에 비해 상당히 길다.

5.7.3.3.3.2 액체독물질 저장탱크

붕소와 가돌리늄 저장탱크는 접시모양의 수두를 가지고 있는 동일한 수직 원통형 탱크이다. 이 탱크들은 감속재 계통에 첨가될 수 있도록 독물질 용액을 혼합하고 저장하는데 사용된다. 각 탱크의 장입장치는 고무 격막을 가지고 있는 탱크와의 플랜지 연결부와 하나의 볼밸브 및 하나의 길다란 깔대기로 구성되어 있다. 이 격막은 삼중수소의 누출을 최소로 하며 긴 깔대기는 작은 직경의 배관과 볼밸브내 침적물의 누적을 방지한다.

5.7.3.3.3.3 교반기

각 독물질 저장탱크에는 상단에 1대의 프로펠러형 전기구동 교반기가 설치되어 있다. 이 교반기는 탱크에 독물질 농축액 첨가시 독물질의 적절한 혼합 및 분해를 보장하기 위해 사용된다.

5.7.3.3.3.4 트랩

각 독물질 저장탱크로부터의 배기관에 하나의 부동형 트랩이 설치되어 있다. 이 트랩은 탱크가 우발적으로 넘치는 경우 증기회수 계통의 범람과 독물질 용액의 상호혼합을 방지하도록 배기관을 폐쇄한다.

5.7.3.3.4 계통운전

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.3.4.1 독물질 저장 탱크의 장입

독물질 저장 탱크들의 장입은 주감속재 펌프를 필요한 수위까지 배출시켜 탱크에 중수를 수동으로 채운 후 수동으로 독물질을 첨가함으로써 이루어진다. 탱크의 내용물을 혼합하기 위해 교반기가 사용된다.

5.7.3.3.4.2 독물질 첨가

붕소 독물질은 해당 공기압 밸브를 개방하고 핸드스위치를 "독물질 첨가" (add poison) 위치에 고정함으로써 주감속재 회로에 수동으로 첨가된다. 운전원은 필요한 양의 독물질의 첨가가 완료될 때까지 핸드스위치를 잡고 있다가 이후 이를 이완한다. 핸드스위치는 스프링에 의해 "독물질 첨가중지" (stop poison addition) 위치로 귀환된다.

수동작업에 의한 가돌리늄의 첨가는, 가돌리늄의 수동 첨가시 핸드스위치의 위치가 수동 가돌리늄 첨가에 대해서는 “수동독물질 첨가” 및 스프링 이단위치에 대해서는 “자동독물질 첨가”인 점을 제외하면 붕소첨가와 동일한 절차에 따라 수행된다.

가돌리늄은 또한 비정상 조건하에서 제어실 전산기를 통해 주감속재 계통으로 자동으로 첨가될 수도 있다. 만일 자동 독물질 첨가가 고장인 경우, 상기와 같이 운전원의 조치를 통하여 가돌리늄이 수동으로 첨가될 수 있다.

5.7.3.3.5 안전성

감속재 독물질 계통은, 제1정지 계통이 원자로를 정지시키고 제2정지 계통이 이용될 수 없는 사고시 원자로를 장기간 정지상태로 유지시킨다. 5.7.3.3.4절의 "계통운전"에 기술된 바와 같이 제1정지 계통의 심도해석에 따라 필요하다고 판

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

단되는 경우, 독물질 계통은 운전원 조작을 통해 부반응도를 첨가한다.

5.7.3.3.5.1 내진검증

0.5인치 보다 큰 감속재 독물질 기기와 배관은 경제적 판단에 따라 1/4 설계기준 지진 'A' 범주에 준하여 내진 검증된다. (5.7.2.5.3절 참고) 0.5인치 이하 직경의 기기는 NBCC의 요구조건에 준하여 내진 검증된다.

5.7.3.3.5.2 환경검증

이 계통은 노심내 사건후 감속재에 독물질을 첨가하기 위해 필요하므로, 하나의 소규모 냉각재 상실사고 조건에 의해 경계지워지는 가혹한 환경조건들에 대하여 환경검증된다.

5.7.3.3.6 가동중 검사 및 시험

5.7.3.3.6.1 가동중 검사

주기적 검사는 고장시 방사선 위험을 야기할 수 있는 원자력발전소 기기들에 대한 의무검사 수행을 위해 CAN3 N285.4-94 "CANDU형 원자력발전소 기기에 대한 주기적 검사" 에 의거 압력유지부품에 대하여 수행된다. 감속재 액체 독물질계통은 가동중 검사 대상이 아니다.

5.7.3.3.6.2 압력시험

감속재 액체독물질계통에 대한 압력시험은 ASME 보일러 및 압력용기 코드 Section Ⅲ, 부절 ND와 CAN3 N285.0-M81 및 CAN3 N285.1-M81에 의거 수 행된다. 압력시험 (수압 및 누설시험)은 계통이 설치되고 초기 운전전에 실시된

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

다. 압력시험과 가입후 누설시험 방법은 ASME Section Ⅲ ND-6000에 의거 수행된다.

5.7.3.3.6.3 가동중 시험

감속재 액체독물질계통에 대한 예비운전 성능시험은 시운전시 원자로 기동전에 계통의 기기들이 설계요건대로 성능을 가지고 운전됨을 확인하기 위하여 실시된다. 압력방출장치에 대한 가동중 시험은 ASME OM-1990, 부록 1에 따라 수행된다. 세부사항은 6.9.2.3.6을 참조 1

5.7.3.4 감속재 중수 수집 계통

5.7.3.4.1 설계기준

5.7.3.4.1.1 기능요건

감속재 중수 수집 계통의 기능요건은 다음과 같다.

가. 감속재 주펌프 밀봉 부위로부터 펌프당 0.1~0.3 ml/s의 산정된 유량으로 중수를 수집해야 하고 대략적인 유량을 지시해 주어야 함.

나. 이중으로 팩킹되어 있는 주 감속재 계통 게이트 밸브의 팩킹 사이의 공간으로부터 스템 누설 중수를 수집해야 함. 정상 누설양은 대수롭지 않다 팩킹 마모 및 손상을 보상하기 위해 수집되어야 함.

다. 주 감속재 열교환기로부터 플랜지 가스켓 누설중수를 수집해야함.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

정상 누설양은 대수롭지 않다. 가스켓 손상을 보상하기 위해 수집되어야 함.

라. 감속재 수집 탱크의 내용물에 대한 기기 및 시료채취시설을 제공해야 함.

마. 감속재 수집 탱크의 내용물을 감속재 계통으로 이송해야 함.

바. 감속재 수집 탱크의 내용물을 중수세정 계통으로 이송해야 함. (3,4호기에서는 3호기의 중수세정계통으로)

사. 탱크 수위를 측정하며 수집탱크의 고수위 및 저수위를 제어하기 위하여 펌프를 자동으로 작동시킬 수 있어야 함.

아. 과압 보호 수단을 주 감속재 계통에 제공해야 함. 주 감속재 펌프 및 열 교환기상에 있는 배수 밸브가 감속재 중수 수집 계통에 연결되어야 한다. 이 배수밸브는 배수 밸브가 열려야만 펌프 및 열교환기 격리밸브가 닫힐 수 있도록 연동되어 있다.

54

5.7.3.4.1.2 안전요건

중수 수집 계통은 안전관련 계통이 아니다. 본 계통에 적용할 수 있는 안전설계 지침서는 다음과 같다.

가. 86-03650-SDG-002 : 내진검증, Rev. 2 (참고문헌 5.7-2 참조)

나. 86-03650-SDG-006 : 원자로건물 확장부, Rev. 2 (참고문헌 5.7-5 참조)

원자로건물 확장부는 참고문헌 5.7-2, 5.7-5, 및 5.7-10의 요건을 만족해야만 한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.4.1.3 적용 규격, 표준 및 등급

감속재 중수 수집계통은 참고문헌 5.7.-8에 따라 등급 3으로 분류되지만, 원자로건물 벽에서 두번째 원자로 건물 격리 밸브까지의 부분은 예외적으로 등급 2로 분류된다.

5.7.3.4.2 계통 설명

감속재 중수수집 계통은 수집 탱크, 누설률 지시계, 수송 펌프 및 관련 배관으로 구성된다. (그림 5.7-5 참조) 이 계통은 원자로건물에 삼중수소를 함유한 중수를 처리하는 드럼의 필요성을 감소시키기 위해 제공된다.

감속재 펌프의 기계적 밀봉부로부터, 주 감속재 게이트 밸브의 팩킹 사이의 공간으로부터 그리고 주 감속재 열 교환기의 가스켓 사이로부터 누설되는 중수가 중수 수집배관을 따라 중력에 의해 수집 탱크로 흐른다. 누출원 및 유량의 육안 지시계가 설치되어 있다.

중수시료채취계통과 연결되어 있다. 수송펌프는 채취된 중수가 오염되지 않았을 경우 수집 탱크의 내용물을 주 감속재 계통으로 보내주고, 채취된 중수가 세정되어야 하거나 승급이 되어야 할 경우, 중수 세정 계통 (3,4호기에서는 3호기의 중수 세정 계통) 으로 보내준다. 54

중수수집 탱크는 원자로 건물 중수 증기회수계통으로 배기시킴으로써 과압 방지 수단을 제공한다. 이 배관은 칼란드리아 및 상층 기체 압력에서의 감속재 수위에 해당하는 것보다 높은 위치에 있는 건조기 흡입구에 연결되는데 이는 중수가 수집탱크에서 범람할 경우 건조기로 들어가는 것을 방지해준다.

펌프 방출구에서 탱크까지의 기기 배관에는 시료채취중에 과열을 방지하기 위해 펌프를 통한 충분한 유량이 반드시 있어야 한다. 이것은 시료채

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

취 튜브의 저항력이 높기 때문에 반드시 요구된다. 재순환시에 대표적인 시료가 채취될 수 있도록 수집탱크 내용물이 혼합된다.

계통의 습윤 부위는 오스테나이트 스테인레스 강으로 되어있다. 그러나, 예외적으로 투시경은 유리로 되어 있고, 다이아프램 밸브의 다이아프램은 에틸렌 프로필렌 고무로 되어 있으며 펌프의 베어링은 탄소로 되어 있다.

모든 계통기기 및 밸브는 원자로건물에 위치한다.

탱크수위는 현장 제어실에 지시된다. 탱크의 고수위 경보가 통보된다. 펌프 및 공기압 배출 밸브의 자동 및 수동제어 수단이 제공된다.

5.7.3.4.3 기기설명

5.7.3.4.3.1 중수 수집 탱크

수평으로 놓인 원통형 탱크가 누설중수를 수집하기 위해 제공된다. 전체 탱크 체적은 약 311리터이다.

5.7.3.4.3.2 중수 수집펌프

중수 수집펌프는 초당 1.1리터의 용량 및 30m의 수두를 가진 캔(canned) 전동기 원심 펌프이다. 이 펌프는 수집탱크의 내용물을 공기 작동 밸브 및 체크 밸브를 통해 주감속재 계통으로 수송한다. 체크밸브는 공기작동 방출 밸브가 열리고 펌프가 작동되지 않으면 감속재 주회로로부터의 역류를 방지해 준다.

5.7.3.4.4 계통운전

수집된 중수는 정상적으로 오염이 되지 않은 상태이다. 그러므로

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

감속재 중수 수집계통은 수집탱크의 내용물이 자동적으로 감속재 계통으로 다시 주입될 수 있도록 설계된다. 수동운전은 시료채취 또는 중수 세정 계통(3,4호기에서는 3호기의 중수세정 계통) 으로 주입될 때 필요하다. 54

누설중수 수집 투시경이 일상적인 점검으로 누설율이 증가되는 것을 탐지할 수 있도록 설치된다. 누설양이 증가되는 것은 비록 누설원이 육안 관찰로만 결정될 수 있더라도 수집탱크의 이송주기가 증가하는 것으로도 알 수 있다. 54

5.7.3.4.4.1 정상운전

5.7.3.4.4.1.1 자동운전

수집탱크의 고수위와 저수위 사이의 체적은 대략 200ℓ이다. 감속재 펌프 밀봉으로부터 대략의 누수수집율이 0.2~0.6㎖/초라면 예상되는 이송주기는 4~12일에 1회이다. 54

자동 운전 동안 펌프 핸드(hand) 스위치와 공기 작용에 의한 방출 밸브 핸드 스위치는 '자동'에 위치한다.

수집탱크에서 고수위가 탐지되면 자동적으로 펌프가 기동되며 공기작동 방출 밸브가 열린다. 탱크에 있는 내용물들은 감속재 중수정화 회수라인을 경유하여 감속재 계통으로 펌프된다.

탱크에서 저수위가 탐지되면 펌프는 자동적으로 정지되고 공기작동 방출 밸브는 자동적으로 닫힌다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.4.4.1.2 중수 세정 계통으로의 배수

시료분석 결과 탱크의 내용물이 주 감속제 계통으로 회수되는데 부적당하면 펌프를 기동시키고 중수 세정 계통 격리 밸브를 열어 중수를 중수 세정 계통으로 이송한다. (3,4호기에서는 3호기의 중수 세정 계통으로)

5.7.3.4.4.1.3 잔여물 제거

펌프를 사용하여 탱크에 있는 것을 퍼낼때 탱크에는 20-40ℓ의 잔여물이 남아있다. 만약 이 물에 불순물이 있거나 수질이 나쁜 경우 이 잔여물은 가요성호스와 휴대용 펌프를 배수밸브에 연결시켜 그것을 드럼에 펌프시켜 제거할 수 있다.

5.7.3.4.4.2 비정상 운전

5.7.3.4.4.2.1 계기용 공기 손실

공기작동방출 밸브는 계기용 공기의 상실시 고장시 개방된다. 이 밸브에는 신속하게 분리가능한 구동기 및 밸브이동 제한 스위치가 있다. 체크 밸브는 중수 수집 탱크로 역류가 되는 것을 방지한다.

5.7.3.4.4.2.2 4급 전원 상실

펌프전동기에 4급 전원 상실은 펌프의 작동을 정지시키게 된다.

5.7.3.4.4.2.3 1급 전원 상실

48볼트 직류 1급 전원 상실은 공기작동 방출밸브를 열게하고 펌프를 정지시키게 된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.3.4.4.2.4 2급 전원 상실

220볼트 교류 2급의 전원 상실은 탱크수위지시와 자동수위 제어의 상실을 가져온다.

5.7.3.4.5 안전성

감속재 중수 수집 계통은 안전 관련 기능을 수행하지 않는다. 이 계통은 내진검증이 요구되지 않으나 NBCC의 최소한의 표준을 만족시켜야 한다. 이에 대한 예외로 원자로건물벽으로 부터 두번째 격리밸브 7314-PV55를 포함한 그 사이의 배관인 원자로건물확장부에서 배관부분은 설계 기준 지진 범주 'A'에 대해 밸브는 범주 'B'에 대해서 내진 검증이 요구된다. 원자로건물 확장부분에 대하여 참고문헌 5.7-2, 5.7-5 및 5.7-10의 요건들이 만족되어야 한다.

5.7.3.4.6 가동중 검사 및 시험

5.7.3.4.6.1 가동중 검사

주기적 검사는 고장시 방사선 위험을 야기할 수 있는 원자력발전소 기기들에 대한 의무검사 수행을 위해 CAN3 N285.4-94 " CANDU형 원자력발전소 기기에 대한 주기적 검사" 에 따라 압력유지부품에 대하여 수행된다. 감속재 중수 수집계통은 가동중 검사 대상이 아니다.

5.7.3.4.6.2 압력시험

감속재 중수수집계통에 대한 압력시험은 등급 2에 대해 ASME 보

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

일러 및 압력용기 코드 Section Ⅲ, 부절 NC 등급 3에 대해 부절 ND에 따라 수행된다. 압력시험 (수압 및 누설시험)은 계통이 설치되고 초기 운전전에 실시된다. 압력시험과 가압후 누설시험 방법은 등급 2에 대해 ASME 3장 NC-6000과 등급 3에 대해 ND-6000에 따라 수행된다.

1

5.7.3.4.6.3 가동중 시험

감속재 중수수집계통에 대한 운전전 성능시험은 시운전시 원자로 기동전에 계통의 기기들이 설계요건대로 성능을 가지고 운전됨을 확인하기 위하여 실시된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7.4 참고문헌

5.7-1 Stretch, A.H., "Safety Related Systems", 86-03650-SDG-001, Rev.2, 92/06/30.

5.7-2 Ha. J. G. and Stretch, A. H., "Seismic Qualification", 86-03650-SDG-002, Rev. 2, 92/06/30.

5.7-3 Ha. J.G. and Stretch, A.H., "Environmental Qualification", 86-03650-SDG-003, Rev. 2, 92/06/30.

5.7-4 Ha. J.G. and Stretch, A.H., "Grouping and Separation", 86-03650-SDG-004, Rev. 2, 92/06/30.

5.7-5 Stretch, A.H., "Containment Extensions", 86-03650-SDG-006, Rev. 2, 92/06/30.

5.7-6 CAN3-N289.1-80, "General Requirements for Seismic Qualification of CANDU Nuclear Power Plants".

5.7-7 CAN3-N289.3-M81, "Design Procedures for Seismic Qualification for CANDU Nuclear Power Plants".

5.7-8 CAN3-N289.0-80, "General Requirements for Pressure-Retaining Systems and Components in CANDU Nuclear Power Plants".

5.7-9 CAN/CSA-N285.3-88, "Requirements for Containment System Components in CANDU Nuclear Power Plants".

5.7-10 AECB Regulatory Document R-7, "Requirements for Containment Systems for CANDU Nuclear Power Plants".

5.7-11 CSA Standard CAN3-Z299.0, "Guide for Selecting and Implementing the CSA Z299 Components".

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

5.7-12 ASME Code Section III, "Boiler and Pressure Vessel Code ; Nuclear Power Plant Components".

5.7-13 CSA Standard B51-M1986, "Code of Construction and Inspection of Boilers and Pressure Vessels".

5.7-14 Ha. J.G. and Stretch, A.H., "Fire Protection", 86-03650-SDG-005, Rev. 2, 92/06/30.

5.7-15 CAN/CSA-N293-M87, "Fire Protection of CANDU Nuclear Power Plants".

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

주감속재계통

그림 5.7-1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한국전력공사
원성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

감속재 정화계통

그림 5.7-2

청렴 UP, 부패 Zero! Clean 한수원
0648313430168O6
Printed: 2015.03.06 by 03193145

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

감속재 상층기체계통

그림 5.7-3

Printed: 2015.03.06 by 03193145 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

감속재 액체독물질계통

그림 5.7-4

Printed: 2015.03.06 by 03193145 (문서유형: GL2 , 문서상태: 승인완료)

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

감속재 중수수집계통

그림 5.7-5

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD
한국수력원자력㈜
KHNP

Printed: 2015.03.06 by 03193145 (문서유형: GL2 ,문서상태: 승인완료)