

제 10 장

터빈발전기와 보조계통



월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

		<u>페이지</u>
10.	터빈발전기와 보조 계통	10.1-1
10.1	개요	10.1-1
10.2	터빈발전기	10.2-1
10.2.1	설계기준	10.2-1
10.2.1.1	안전설계기준	10.2-1
10.2.1.2	출력발생 설계기준	10.2-1
10.2.1.3	규격 및 표준	10.2-1
10.2.2	일반사항	10.2-2
10.2.2.1	터빈발전기 일반	10.2-2
10.2.2.2	터빈발전기 기기 및 계통	10.2-3
10.2.2.2.1	터빈발전기 사이클	10.2-3
10.2.2.2.2	윤활유계통	10.2-7
10.2.2.2.3	축 회전 및 채킹오일계통	10.2-7
10.2.2.2.4	발전기	10.2-8
10.2.2.3	자동제어	10.2-8
10.2.2.3.1	터빈제어 및 감시계통	10.2-9
10.2.2.4	터빈 보호	10.2-12
10.2.2.4.1	비상과속트립	10.2-14
10.2.2.4.2	순차적 트립 및 모터링 방지	10.2-14

목 차

월성 1호기 최종안전성분석보고서

		<u>페이지</u>
10.2.2.4.3	증기 밸브 닫힘	10.2-16
10.2.2.5	기타 보호계통	10.2-16
10.2.2.6	발전소 부하 및 부하추종	10.2-16
10.2.2.7	검사 및 시험 요구사항	10.2-17
10.2.3	터빈 비산물	10.2-17
10.2.4	평가	10.2-18
10.3	주증기공급계통	10.3-1
10.3.1	설계기준	10.3-1
10.3.1.1	안전설계기준	10.3-1
10.3.1.2	계통설계기준	10.3-2
10.3.2	계통설명	10.3-4
10.3.3	안전성평가	10.3-5
10.3.4	시험 및 검사요건	10.3-6
10.3.5	증기 및 급수계통 재료	10.3-7
10.3.6	증기발생기 및 급수계통 수질관리	10.3-7
10.4	복수계통	10.4-1
10.4.1	복수기	10.4-1
10.4.1.1	설계기준	10.4-1
10.4.1.1.1	안전설계기준	10.4-1

목 차

월성 1호기 최종안전성분석보고서

		<u>페이지</u>
10.4.1.1.2	계통설계기준	10.4-1
10.4.1.2	계통설명	10.4-2
10.4.1.3	안전성평가	10.4-5
10.4.1.4	시험 및 검사	10.4-5
10.4.2	복수기진공계통	10.4-5
10.4.2.1	설계기준	10.4-5
10.4.2.1.1	안전설계기준	10.4-5
10.4.2.1.2	계통설계기준	10.4-5
10.4.2.2	계통설명	10.4-5
10.4.2.3	안전성평가	10.4-6
10.4.2.4	시험 및 검사	10.4-6
10.4.3	터빈축밀봉계통	10.4-6
10.4.3.1	설계기준	10.4-7
10.4.3.1.1	안전설계기준	10.4-7
10.4.3.1.2	계통설계기준	10.4-7
10.4.3.2	계통설명	10.4-7
10.4.3.3	안전성평가	10.4-8
10.4.3.4	시험 및 검사	10.4-8
10.4.4	주증기우회계통	10.4-8
10.4.4.1	설계기준	10.4-9
10.4.4.1.1	안전설계기준	10.4-9

목 차

월성 1호기 최종안전성분석보고서

		<u>페이지</u>
10.4.4.1.2	계통설계기준	10.4-9
10.4.4.2	계통설명	10.4-9
10.4.4.3	안전성평가	10.4-10
10.4.4.4	시험 및 검사	10.4-10
10.5	급수가열계통	10.5-1
10.5.1	일반사항	10.5-1
10.5.2	재생급수가열계통	10.5-2
10.5.2.1	설계기준	10.5-2
10.5.2.1.1	안전설계 기준	10.5-2
10.5.2.1.2	계통설계 기준	10.5-2
10.5.2.2	계통설명	10.5-3
10.5.2.3	안전성평가	10.5-4
10.5.2.4	시험 및 검사	10.5-4
10.5.3	복수 및 급수계통	10.5-4
10.5.3.1	설계기준	10.5-4
10.5.3.1.1	안전설계기준	10.5-4
10.5.3.1.2	계통설계기준	10.5-6
10.5.3.2	계통설명	10.5-9
10.5.3.3	안전성평가	10.5-9
10.5.3.4	시험 및 검사	10.5-10

목 차

월성 1호기 최종안전성분석보고서

		<u>페이지</u>
10.5.4	복수보충 및 배출 계통	10.5-10
10.5.4.1	설계기준	10.5-11
10.5.4.1.1	안전설계기준	10.5-11
10.5.4.1.2	계통설계기준	10.5-11
10.5.4.2	계통설명	10.5-11
10.5.4.3	안전성평가	10.5-11
10.5.4.4	시험 및 검사	10.5-11
10.5.5	습분분리/재열기 증기배수계통	10.5-11
10.5.5.1	설계기준	10.5-12
10.5.5.1.1	안전설계기준	10.5-12
10.5.5.1.2	계통설계기준	10.5-12
10.5.5.2	계통설명	10.5-12
10.5.5.3	안전성평가	10.5-12
10.5.5.4	시험 및 검사	10.5-12
10.6	보조계통	10.6-1
10.6.1	일반사항	10.6-1
10.6.2	시료채취계통	10.6-1
10.6.3	증기배수계통	10.6-1
10.6.4	화학물질주입계통	10.6-2
10.6.5	복수기냉각수계통	10.6-2

목 차

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.7

참고 문헌

페이지

10.7-1



월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 목 차

		<u>페이지</u>
표 10.2-1	터빈 발전기 성능 자료	10.2-19
표 10.2-2	터빈 발전기 설계 자료	10.2-20



월성 1호기 최종안전성분석보고서

그림 목 차

그림 10.1-1	2차계통의 열평형도(678,599 kW 출력, 증기발생기 취출시)
그림 10.1-2	터빈건물 배치도 - 평면도
그림 10.1-3	터빈건물 - 종방향 단면도
그림 10.1-4	터빈건물 - 횡방향 단면도
그림 10.3-1	주증기계통 흐름도
그림 10.4-1	복수기 및 진공계통 흐름도
그림 10.5-1	복수 및 급수계통 흐름도(1/2)
그림 10.5-2	복수 및 급수계통 흐름도(2/2)
그림 10.5-3	증기배수계통 흐름도
그림 10.6-1	복수기냉각수계통 개략도
그림 10.6-2	복수기냉각수계통 흐름도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10장 터빈발전기와 보조계통

10.1 개 요

원자력발전소는 보통 두 개 호기가 한 발전소를 구성하는 것으로 설계되며, 각 호기는 터빈발전기와 보조기기를 포함한다.

각 터빈발전기계통은 하나의 터빈발전기와 그와 연관된 복수 및 급수계통으로 구성되어 있다. 각 터빈발전기는 단일축으로 되어 있고 1800 rpm의 속도와 680 MW의 총 정격출력을 갖는다.

전부하(정격연속 터빈용량) 증기상태는 고압터빈 조속기밸브에서 4.55 MPa(a)(660 psia), 258 °C(496 °F)이며, 그에 상응하는 증기소비량은 조속기밸브에서 3,439,707 kg/h, 증기재열기에서 생증기 323,200 kg/h이다.

그림 10.1-1의 간략한 2차계통의 열평형도(heat balance)는 이 계통의 주요 기기와 각각의 상호관계를 나타내고 있으며 또한 전출력에서의 계통 내 주요 온도, 압력 및 유량을 제시하고 있다.

월성 1호기의 터빈은 현재 운전 중인 다른 터빈과 유사하게 설계되었다.

터빈발전기와 보조기기는 건물내부에 설치되며 보조장치는 터빈건물의 크레인을 이용할 수 있는 범위 내에 위치한다.

전원 상실시 어떤 기기라도 손상 없이 운전정지 시킬 수 있는 설비가 되어있고 기동전 또는 정지 후 운전은 주제어실 또는 현장에서 가능하나 기동, 정상운전, 정지는 별도의 규정이 없으면 주제어실에서만 운전 가능하다.

기동 및 부하 감소시 터빈에 이용되지 않는 증기는 주증기우회계통을 통해 복수기로 방출된다. 주증기 우회계통은 터빈 트립시 원자로 정지없이 100 %FP에서 약 70 %FP까지 감발하게 되는데 이때 생성되는 증기를 감당할 수 있

월성 1호기 최종안전성분석보고서

을 만큼 충분한 용량으로 설계되었다.

탈기기저장탱크의 총 용량은 원자로 전출력 조건하의 5분 동안 급수용량과 같다. 복수기 집수조의 총 저장용량은 복수펌프가 100 % 용량으로 적어도 3분간 사용할 수 있는 양이다. 전원의 완전상실시 등급 3 전원에 연결된 보조급수펌프가 탈기기저장탱크로부터 복수를 증기발생기로 공급한다. 탈기기 수위는 복수기 집수조에 연결된 등급 3 전원의 보조복수펌프에 의해 유지되며, 필요할 경우 복수기 집수조는 복수저장탱크와 순수저장탱크로부터 순수를 보충 받는다.

터빈발전기와 그 보조기기들의 배치 및 단면도는 그림 10.1-2, 10.1-3 및 10.1-4에 나타나 있다.





그림 10.1-1 2차계통의 열평형도(678,599 kW 출력, 증기발생기 취출시)

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 10.1-2 터빈건물 배치도 - 평면도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 10.1-3 터빈건물 - 종방향 단면도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 10.1-4 터빈건물 - 횡방향 단면도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.2 터빈발전기

터빈발전기의 역할은 열에너지를 전기에너지로 바꾸는 것이다.

10.2.1 설계기준

10.2.1.1 안전설계기준

터빈발전기는 안전성 관련 기능이 없으므로 안전설계기준은 적용하지 않는다.

10.2.1.2 출력발생 설계기준

다음은 주요 설계기준의 내용이다.

터빈발전기는 다음과 같은 조건을 만족하기 위하여 설계된다.

가. 터빈발전기 보증출력 [kW]	680,000
나. 초기 증기유량(throttle flow), [kg/hr]	3,439,707
다. 초기 증기조건	
압 력, [kg/cm ² (a)(psia)]	46.40(660)
온 도, [℃(°F)]	258(496)
습분함량, [%]	0.3
라. 배기 압력, [mm(in)Hg(a)]	42.45(1.67)
마. 재열단 수	1
바. 급수 가열단 수	6

이들 조건은 표 10.2-1에 나타낸 원자로 정격보증출력(100 %)과 일치한다.

10.2.1.3 규격 및 표준

터빈발전기와 관련 설비는 NEI Parsons사의 표준과 사양에 따라 설계되고 제작되었으며, 교체 설치된 습분분리기 및 재열기의 내장품(동체는 기존 기기 사용)은 TEI사의 표준 및 사양에 따라 설계, 제작되었다.

159

10.2.2 일반 사항

NEI Parsons사의 터빈발전기는 터빈, 발전기, 습분분리/재열기, 여자기, 제어계통, 그리고 보조계통으로 구성된다. 터빈발전기의 주요 설계인자는 표 10.2-1과 10.2-2에 나타나 있다. 계통기기에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

10.2.2.1 터빈발전기 일반

터빈은 직렬배열형식(tandem-compound)으로 발전기에 직접 연결되어 있다.

터빈은 1대의 복류 고압터빈, 4대의 습분분리기 및 2대의 재열기와 3대의 복류 저압터빈으로 구성되어 있다. 4개의 외부 주증기실은 터빈발전기 블록의 끝을 따라 설치되어 있다. 각 증기실에는 비상정지밸브와 조속기밸브가 설치되어 있다.

인터셉트밸브와 재열비상정지밸브는 3개의 저압터빈으로 재열 증기를 이송하는 증기관에 설치되어 있다.

부하가 감소될 경우 인터셉트밸브는 터빈의 과속을 제한하기 위해 격리되며, 재열기 부근에 설치된 방출밸브는 고압터빈, 습분분리기 및 재열기로부터 복수기로 증기를 방출시키기 위해 열리게 된다.

터닝기어의 저속회전부터 동기속도까지의 터빈기동은 주제어실에서 수행된다. 터빈계측장치는 베어링 진동 및 편심 등과 같은 상태를 점검하고 미리 설정된 한계치의 초과시 조정작업을 수행하게 되어 있다.

터빈발전기의 부하조정은 일반화되어 있는 방식을 사용한다. 터빈은 발전기의 차단기가 개방될 경우 비상정지밸브 및 인터셉트밸브를 차단함으로써 터빈의 과속도 방지를 위한 과속도제한장치 및 트립보호장치가

월성 1호기 최종안전성분석보고서

설치되어 있다. 발전기의 정격출력은 800 MVA, 역률 0.85, 수소압력 410 kPa(g)(59.5 psig)이다. 단자전압은 26,000 V이고 단락비는 0.58로 설계되어 있다. 고정자권선은 저압의 냉각수가 흐르는 중공(中空)의 전도체로 제작되어 있다. 발전기의 회전자와 고정자 철심은 수소 냉각 방식이다.

발전기 고정자 냉각수는 고정자에서 발생하는 열을 제거하기 위해 물을 냉각수로 사용하는 열교환기를 포함하는 폐유로로 형성되며 적절한 전도도로 조정 유지된다.

여자계통은 여자회로 차단기를 통하여 발전기에 여자전력을 공급해 주는 정전압 변환회로를 제어하는 자동전압조절기(AVR)로 구성되어 있다.

보호 및 경보계통은 발전기와 그에 연관된 주변압기, 보조변압기, 모선 도관, 여자계통 및 정지형 여자기, 밀봉유 및 수소계통, 고정자냉각수계통에 설치되어 있다.

발전기에도 온도, 진동감지기와 오일유량계가 설치되어 있다.

10.2.2.2 터빈발전기 기기 및 계통

10.2.2.2.1 터빈발전기 사이클

터빈은 단일축의 직렬배열형식으로 되어 있으며 정격속도는 60 Hz운전에서 1800 rpm이다.

터빈과 보조장치는 58.8 ~ 61.2 Hz의 주파수 범위에서 만족한 성능을 갖는다.

고압터빈의 입구증기는 중량으로 약 0.3 %의 습분을 포함하며 터빈을 통해 팽창됨에 따라 습분은 증가한다. 고압터빈을 지난 습증기는 습분분리기를 지나 습분이 제거된다. 습분은 습분분리기 배수탱크와 5번 가열기 후레쉬 박스(flash box)를 통해 5번 고압급수가열기로 배수된다. 증기는 재열기를 지나면서 주증기계통의 주증기에 의해 재열된다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

재열용 생증기는 재열기에서 응축되어 재열기 배수펌프를 통해 증기발생기로 보내진다.

터빈 케이싱과 습분분리기의 추기점으로부터 추출된 추기증기는 6단으로 구성된 급수가열기(2개의 고압단, 탈기기, 3개의 저압단 등)로 공급된다.

저 부하에서 저압터빈의 과열을 방지하기 위해 물 분무장치가 말단 브레이드 출구에 설치되어 있다. 이 운전 모드는 제한된 시간 동안만 작동시킬 수 있다.

터빈은 다음의 보조장치를 갖추고 있다.

- 습분분리기 및 재열기
- 조속기(governor) 및 비상정지밸브
- 터빈제어장치
- 안전경보와 시험설비
- 계측장치와 부속물
- 재열기와 저압터빈 사이에 재열기 비상정지밸브 및 인터셉트밸브
- 복수기로 방출하는 재열기 부근의 방출밸브
- 모든 밸브 작동계통의 부속물, 서보모터 및 연결부
- 터빈으로의 유입관에 설치된 영구 및 임시 스트레이너

모든 비상정지밸브, 조속기밸브, 재열기 비상정지밸브 및 인터셉트밸브, 추기배관에 설치된 자동역지밸브는 보호계통 트립시에 자동적으로 차단된다.

터빈제어계통은 다음 사항을 포함한다.

- 속도 변환기가 장치된 조속기, 부하제한기, 부속물, 제어부의 전기, 기계, 수력적인 연결부
- 제어장치실에 장치된 조속기 조정 캐비넷

월성 1호기 최종안전성분석보고서

- 펌프, 탱크, 여과기, 냉각기, 배관 및 부속물이 장치된 제어 유계통

조속기는 전자 유압식으로 IEEE에서 발행된 "Recommended Specification for Speed Governing of Steam Turbine"의 조건에 따라 설계, 제작 되었으며 조속기의 주요기능은 다음과 같다.

가. 협역 속도제어: 협역 속도제어는 기계식 플라이볼형 (Flyball) 조속기와 유사하게 동작된다. 속도신호는 터빈축의 톱니 휠 주위에 설치된 자석 탐촉자(Magnetic Probe)에서 신호를 제공받는다. 주 협역 속도제어루프는 8% 드롭(Droop)에 고정되어 운전되며 동기화 이전 속도설정치 제어, 동기화 이후 부하설정치 제어용으로 동작된다. 동기화 이후 $\pm 120\%$ CMR이다.

나. 광역 속도제어: 광역 속도제어는 터빈이 정격속도까지 가속하도록 한다. 광역 속도제어루프는 8% 드롭(Droop)에 고정되어 있으며 차단밸브(Intercept Valve) 및 조속밸브(Governing Valve)를 동작하여 작동된다.

다. 자동 부하탈조(Unloading): 자동 부하탈조 계통은 증기발생기 저압력 및 복수기 저진공에 대응하기 위한 안전장치로서 제공된다. 증기발생기 압력이 정상운전압력 및 복수기 진공도 정상운전값의 90%로 떨어질 때 부하감발이 시작되고 부하가 10% CMR의 하한치에 유지될 때인 80%까지 계속 내려간다.

라. 부하제한기: 본 제한기는 정상상태에서 고압 조속밸브의 최대 열림개도 즉 최대 부하 수준을 제한하며 0~120%

CMR 범위에서 조절가능하다.

마. 협역 과속제한기: 정격속도의 2% ~ 3% 과속범위에서 조속밸브의 개도를 100%에서 0%로 제공한다.

제어유계통은 윤활계통과 독립적이며 100 % 용량을 가진 2대의 고압펌프와 2대의 승압펌프가 설치되어 있다.

터빈제어유의 품질은 규격상의 제성분이 최대허용치 범위내로 유지해야 한다.

227

전기제어계통은 저전압에서 구동되는 반도체 회로를 사용한 디지털 제어설비로 구성되어 있다.

제어계통에 부가하여 다음의 안전, 경보와 시험을 위한 기기가 설비되어 있다.

- 터빈 비상정지
- 저압터빈 배기구에 안전 다이아프램
- 작동 중 검사되는 모든 부품의 운전 검사장치
- 감지장치, 증폭기, 기록계 등 작동 중 검사되는 변수의 감시장치 및 그 밖의 계측장치

정상 가동시 현장 및 원격조정을 위하여 다음의 계측장비와 부속장치를 구성하고 있다.

- 회전속도계
- 온도계
- 액주압력계
- 밸브위치지시계
- 현장제어반

터빈과 그 부속장치를 제작하는데 사용되는 모든 재료는 계통의 등급에 따라 요건을 충족시킬 수 있도록 시험 및 검증되어야 한다.

10.2.2.2.2 윤활유계통

윤활유계통은 다음과 같은 기기와 장치로 구성되어 있다.

- 터빈축구동 주윤활유펌프
- 윤활유승압펌프
- 교류전동기구동 보조윤활유펌프
- 직류전동기구동 비상윤활유펌프
- 윤활유냉각기
- 교류전동기구동 윤활유증기추출기
- 터빈과 발전기의 윤활유 배관 및 밸브
- 보조윤활유펌프 및 비상 윤활유 펌프용 자동기동장치

보조윤활유펌프는 터빈발전기를 기동하거나 정지할 때 윤활유를 공급하는데 사용되며, 교류전원 상실로 인해 보조윤활유펌프의 기동이 불가능하여 윤활유 공급배관의 압력이 감소하면 직류전원을 이용하여 비상윤활유펌프가 기동된다.

터빈오일탱크에 연결된 오일정화계통은 다음 사항을 포함한다.

- 이송펌프
- 저장탱크
- 원심식 오일정화기

터빈 윤활유의 품질을 설정된 제한치 이내로 유지하기 위해 운전, 정비 및 화학제어 절차를 준수해야 한다. 윤활유의 최대 허용 습분함량은 500 ppm이다.

227

10.2.2.2.3 축 회전 및 재킹오일계통

다음 사항이 포함되어 있다.

- 보조장치가 되어 있는 터닝기어, 누름단추가 장치된 현장제어반, 신호등과 전류계
- 재킹오일계통

터닝기어는 터빈속도가 감소될 때 자동 또는 원격조정이 가능

하계 설계되어 있으며 터닝기어의 회전속도가 약 15 rpm의 정상운전속도 이상으로 증가하면 자동 이탈되게 되어있다.

터닝기어는 재킹오일계통에 의해 터빈축에 충분한 상승압력이 작용할 때만이 작동가능하다.

10.2.2.2.4 발전기

발전기는 3상 전기자, 회전계자형이며 계자는 4극으로 되어 있다.

고정자 권선은 세관형 구리 전도체 내의 폐회로에 저전도율의 물이 순환함으로써 냉각된다. 고정자 철심은 철심의 축 및 반경 방향의 도관을 통하여 흐르는 수소 가스에 의해 냉각되며, 회전자 권선은 구리 전도체 내의 도관을 통하여 흐르는 수소가스에 의해 냉각된다.

발전기 수소냉각계통과 관련해 발전기 냉각용으로 사용되는 수소는 99.7% 이상 순도를 가져야 하며 발전기 내부에 있는 수소는 96.5% 이상을 유지해야 한다. 수소압력은 정상운전 중 410 kPa(g)를 유지해야 하며 운전범위는 400-427 kPa(g)이다. 비상시를 대비하여 발전기 및 보조계통 폐지용으로 탄산가스를 충분히 준비하여야 한다.

발전기 고정자냉각수계통과 관련해 보충수의 전도도는 최대 6.0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 제한한다. 발전기내로 냉각수의 유출을 방지하기위해 수소 압력을 고정자냉각수 압력보다 21 kPa(d) 이상으로 유지해야 한다. 발전기 가동 중에는 비상 직류펌프의 운전이 가능해야 한다. 냉각수의 전도도가 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 초과하면 발전기부하를 차단하고 여자계통으로부터 분리하여야 한다.

267

227

발전기 밀봉유계통과 관련해 발전기 내부에 수소 또는 탄산가스가 있을 때 또는 발전기 축이 회전하고 있을 때에는 항상 밀봉유계통이 운전되고 있어야 한다. 밀봉유와 수소의 차압은 35 kPa(d) 이상을 유지해야 하며 35 kPa(d) 이하로 떨어지면 밀봉체의 손상을 방지하기 위해 발전기를 정지해야 한다. 밀봉유 냉각수(해수)의 공급이 중지되면 밀봉유 온도의 상승으로 인한 밀봉체의 손상을 방지하기 위해 발전기를 정지해야 한다.

227

여자계통은 정지형(static type)이며, 직류 모션덕트, 발전기 슬립링(Slip-Ring) 및 브러쉬기어를 통하여 발전기에 여자 전력을 공급해주는 사이리스터(Thyristor)형 변환기를 제어할 수 있는 반도체형 자동전압조절기로 되어있다.

발전기로부터 주변압기까지의 주출력선로는 강제 공기순환식으로 냉각되는 상분리 모선이고, 이 모선에서 소내용변압기 및 계기용변압기로 분기된다. 여자용변압기 1차 권선은 발전기 권선 슬롯에 설치된 3상 권선으로부터 전력이 공급된다. 여자용변압기는 발전기 구조물 가까이 연결되어 있다. 계측 및 보호계전기용 변류기는 발전기 주출력단의 부상에 설치되어 있다.

10.2.2.3 자동제어

자동제어계통은 몇 단계의 속도 및 가속도 설정치에 따라 터빈발전기 속도 전범위에서 터빈 속도 및 가속을 제어한다. 자동제어계통은 연속적인 부하 조절 및 다단계의 부하율로 무부하에서 전부하까지의 부하

및 부하율을 제어한다. 자동제어로 운전되고 있는 터빈발전기에서 자동제어 방식을 해제할 필요가 있을 경우, 속도 및 부하의 제어를 수동으로 전환함으로써 계속하여 터빈발전기를 운전할 수 있다.

터빈 부하는 터빈의 열응력이 안전한계 범위내에 있도록 다음의 부하증가율 범위내로 증가되어야 한다.

- 자동 : 고압터빈 금속온도에 따른 전산프로그램의 부하 증가
- 기동시 : 발전정지 시간 및 고압터빈 금속온도에 따라 아래의 표에 따른다.

발전정지시간	72시간 초과	36시간	12시간	6시간	1시간
고압터빈 금속온도	15 °C 이상	100 °C 이상	150 °C 이상	175 °C 이상	200 °C 이상
0~300 MW까지 부하증가(MW/분)	9	18	27	36	54
300~680 MW까지 부하증가(MW/분)	12.5	25	38	50	75

- 출력운전시 고속증가율

고온조건의 터빈을 무부하에서부터 급속히 부하를 증가시킬 때 : 1% FP/초 (=60% FP/분)까지 허용

고온조건의 터빈을 100% FP - 0 - 100% FP로 부하를 변동시킬 때 : 1% FP/초 (=60% FP/분)까지 허용

최대 발전기 부하증가는 최대 권선온도(고정자 권선: 100 °C, 회전자권선:110 °C)를 초과하지 않도록 해야하며 최대 발전기 연속부하는 역율 0.85에서 800 MVA 680 MW이다.

10.2.2.3.1 터빈 제어 및 감시 계통

터빈 증기의 유량 및 터빈의 출력은 조속기밸브를 동작시키는 터빈 조속기에 의해 조절된다. 조속기는 전자유압식으로 터빈속도의 전기신호, 부하기준 위치, 부하 제한 및 터빈 감발 등의 요소를 이용하여 유압에 의한 조속기밸브위치를 조절하는데 이용된다.

조속기 드롭(droop)은 보다 넓은 범위까지 조정이 가능하나 정상운전 중에는 8 %의 값으로 설정되어 있다. 필요시 계통병입 중에 조속기 드롭의 변경이 가능하다.

부하설정을 위한 증발 및 감발 명령은 중앙제어실에 있는 수동조작스위치 또는 컴퓨터에 의해 가능하다. 자동/수동 선택스위치를 사용한 선택이 가능하다.

자동 위치에서는 다음 3개의 제어프로그램 중 1개로부터 부하 설정 신호를 제공 받는다.

가. 터빈 가속 프로그램(TRP, Turbine Run-up Program)

이는 계통병입 중과 이전에 터빈 속도를 제어한다. 터빈 가속 및 감시 프로그램은 터빈 제작사의 기술사양서를 근거로 제어와 감시의 2가지 모드로 구성된다.

주요 제어 기능은 터빈을 정격 속도까지 운전하고 계통 병입을 위해 터빈의 제어를 자동동기병입장치로 이동하는 것이다.

제어모드와 감시모드 상태에서 터빈발전기의 많은 운전변수 감시가 가능하며, 운전변수가 한계치를 벗어나면 경보

월성 1호기 최종안전성분석보고서

를 발생시킨다. 감시되는 주요 운전변수는 다음과 같다.

- 고압터빈축의 편심
- 베어링 진동
- 고압 및 저압터빈의 차동팽창
- 고압터빈의 팽창
- 축 회전수
- 고압터빈 증기밸브 증기실 내/외벽 금속온도
- 축의 축방향 움직임
- 증기발생기 압력
- 복수기 진공

터빈 가속 프로그램과 다른 제어 프로그램과의 상호작용은 미미하다. 터빈이 정격속도로 가속하고 있는 동안, 원자로 출력은 일반적으로 증기방출밸브 및 발전소 부하조절기를 통한 증기발생기의 압력 조절과 함께 고정된 설정치에 따라 제어된다. 계통병입 이후에는 터빈 가속 프로그램을 통한 터빈의 제어는 더 이상 수행되지 않는다. 출력의 조절은 발전소 부하조절기를 통해 운전원이 수행한다.

나. 발전소 부하조절기(UPR, Unit Power Regulator)

이는 원자로 출력이 증기발생기 압력을 조절하기 위해 변화될 때, 정상출력모드에서 터빈의 부하를 증가 또는 감소시킨다.

발전소 부하조절기는 터빈 가속 프로그램과 유사하게 감시 모드와 제어모드를 가지고 있다. 주요 제어 기능은 목적된 발전기의 전기적 출력을 달성 및 유지하기 위해서 터빈의 부하를 증가 또는 감소시키는 것이다. 이 프로그램은 2초

월성 1호기 최종안전성분석보고서

개정번호 160

2010. 09. 02

간격으로 동작된다.

발전소 부하조절기를 통해 감시된 터빈발전기의 운전변수는 터빈 가속 프로그램에 의해 감시된 운전변수와 부분집합을 이루며, 이들 운전변수가 정해진 한계치를 초과한 다음과 같은 상황 등에서는 부하제한(Load Inhibit) 경보가 발생한다.

- 베어링 고 진동
- 고압 및 저압터빈의 고 차동팽창
- 고압터빈 증기밸브 증기실 내/외벽 고 온도차
- 발전기 비정상 상태
- 과도 부하/설정치 불일치
- 터빈 부하스위치 ‘부하유지’ 상태
- 출입통제 위반
- 증기발생기 저압력
- 복수기 저진공

다. 증기발생기 압력제어기(SGPC, Steam Generator Pressure Controller)

이는 원자로가 증기발생기의 압력조절 요구를 충족시킬 수 없을 때 터빈을 제어한다.

증기발생기 압력제어기는 다음 2가지의 주요 기능을 갖는다.

- 적절한 비율로 증기발생기 압력 설정치를 변경함으로써 일정 온도비율로 냉각재계통을 가열 또는 냉각을 수행한다.
- 일단 가열이 완료되면, 모든 조건하에서 4.59 MPa(g)의 고정된 설정치로 증기발생기의 압력제어를 수행한다.

저출력 운전 또는 고출력의 비정상상태에서 증기발생기 압

력은 터빈의 속도제어 설정과 대기 및 복수기 증기방출밸브의 개방을 통해 제어된다.

터빈발전기의 운전과 기동 및 정지시의 상태를 운전원이 쉽게 인지할 수 있도록 정보를 제공하고 발전소의 운전데이터를 확보하기 위해서 터빈감시설비(TSE, Turbine Supervisory Equipment)를 통한 터빈발전기의 중요한 운전변수 감시를 수행한다.

터빈감시설비는 기본적으로 터빈발전기에 부착된 감지기와 감지된 상태를 운전원에게 전달하기 위한 전송기 등으로 구성된다.

터빈감시설비는 다음과 같은 운전변수의 감시를 수행한다.

- 고압터빈축의 편심도
- 고압터빈의 차동팽창
- 저압터빈의 차동팽창
- 1번부터 10번 베어링 진동
- 축 회전수
- 고압실린더의 팽창
- 축의 축방향 움직임
- 회전자온도(회전자전압 및 전류를 이용한 측정)

터빈의 운전상태와 관련해 진동, 편심, 차동팽창 및 증기-금속 온도차는 다음의 허용범위 내에 있어야 한다.

- 진동 6.0 mm/s RMS
- 편심 0.1 mm (감시범위 : 0 ~ 600 RPM)
- 차동팽창 : 고압터빈 : + 3.5 mm ~ -3.5 mm
저압터빈#1 : + 3.0 mm ~ -9.0 mm

저압터빈#2 : +3.0 mm ~ -15.5 mm

저압터빈#3 : +3.0 mm ~ -23.0 mm

- 터빈케이싱 온도차 : 고압증기부분 : 90 °C

고압터빈 연결부분 : 140 °C

저압터빈 연결부분 : 120 °C

227

10.2.2.4 터빈 보호

터빈을 트립시키거나 부하를 감발함으로써 위험한 운전조건으로부터 터빈발전기를 보호하기 위한 설비가 설치되어 있다. 터빈트립계통의 주기능은 트립요구 신호의 유효성을 점검하고 유효한 트립 요구에 응답하여 즉시 트립이 작동되는지 확인하는 것이다. 유효한 트립 신호를 제어/보호 캐비닛에서 다중 트립장치로 보내기 위하여 다중 전기 전송방법을 사용한다.

터빈트립계통의 요구조건은 다음과 같다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

가. 각 트립 신호 입력은 3중 보호계통에 적용된다. 3개 중 2개 선정회로는 잘못된 터빈 트립을 방지하고 실제 터빈 트립에 대한 보호계통 운전을 강화한다.

나. 전자 기계식 트립 장치는 적절한 폐쇄(lock out) 장치를 사용하여 온라인 시험이 가능하며, 한 계통의 시험시에 다른 중첩된 계통이 터빈을 보호한다. 즉 신호입력에서부터 실제 트립 장치까지 전 보호계통이 온라인 시험 능력을 갖추고 있다.

다. 전기적인 신호에 의한 트립은 회로의 점점 폐쇄에 의하여 시작된다. 트립계통 전원 상실시에는 경보가 발생된다.

라. 어떤 트립 기능 또는 경보장치의 작동을 나타내는 점점들은 컴퓨터 감시/경보에 사용할 수 있다.

다음은 터빈 트립을 유발하는 조건들이다.

가. 고압터빈 배기후드 고압 - 고압터빈의 배기후드 압력이 690 kPa(g) 이상 상승시 동작한다.

나. 저진공도- 복수기의 진공도가 30 kPa(a)일 때 동작한다.

다. 윤활유 저압력- 베어링 오일 압력이 50 kPa(g) 이하로 떨어질 때 동작한다.

라. 조속기계통의 고장 - 조속기의 고장신호 발생시 동작된다.

마. 베어링 고진동 - 진동감시장치로부터의 아날로그 신호가 제한 설정치와 비교되고 어떤 베어링 진동이 제한치인 6.0 mm/sec rms 이상일 때 트립된다.

바. 주제어실 수동트립 - 운전원에 의해 주제어실 제어반에서 수동으로 터빈을 트립시킬 수 있다.

사. 현장 수동트립 - 운전원에 의해 현장제어반에서 수동으로 터빈을 트립시킬 수 있다.

아. 발전기 고정자 냉각수 저유량 - 고정자 냉각수 유량이 30초 이상동안 정상치의 30%로 감소되면 동작된다.

자. 발전기 보호 - 발전기 보호 및 전기적 보호장치가 작동되면 동작된다.

차. 과속도 - 정격속도의 약 110 % 초과시 기계적 속도감지에 의해 동작된다.

카. 증기발생기 고수위 - 4대 중 한 대의 증기발생기 수위가 1.819 m 로 상승될 때 동작된다.

타. 쓰러스트 베어링 고마모 - $+0.25/-0.75$ mm시 트립된다.

파. 발전기 입구 고정자 냉각수 저압력 - 발전기 고정자 냉각수 공급 압력이 설정치 이하로 30초 이상 지속되면 동작된다.

22
3

10.2.2.4.1 비상 과속 트립

기계적 과속트립 장치는 1번 베어링의 전면에 위치하고 있으며 두개의 스프링 가압 플란저로 구성된다.

정상운전시에는 트립 아암(Trip Arm)이 스프링의 힘을 저지하면서 트립 플란저를 운전 위치로 유지하는 트립레버의 상단부에 있는 노치에 물려 있다가 터빈의 과속 발생시 과속 조속기의 볼트(Bolt)가 트립 레버를 치면서 상부 노치로부터 트립 아암이 분리되어 스프링의 힘으로 트립 플란저를 동작시켜 유압에 의해 증기밸브를 닫게 된다.

과속 조속기는 고압터빈의 바깥측 끝에 설치되어 있으며 두개의 스프링 가압 편심볼트(Eccentric Bolt)로 구성된다. 각 볼트는 정격속도의 110 % 초과시 파일럿 트립 플란저가 동작하도록 되어 있다.

과속도 트립기어의 작동불능시 터빈을 즉시 정지시킨다.

227

10.2.2.4.2 순차적 트립 및 모터링 방지

터빈을 트립시키는 모든 신호는 또한 발전기를 정지시켜야 한다. 터빈 트립후 발전기를 정지시키는 추천된 방식은 순차적 트립회로에 의

월성 1호기 최종안전성분석보고서

한 것이다. 이 회로는 모든 증기밸브 리미트 스위치의 폐접점을 사용하고 발전기 차단기의 자동 개방 허용 조건으로 역전력 계전기를 사용한다. 역전력 계전기는 차단기 개방전에 추기 배관을 포함한 모든 터빈 내의 증기가 과속을 일으킬 수 있는 증기량 이하로 감소되었는지를 확인한 후 시행한다.

어떤 중대한 전기계통 사고는 사고 감지 직후 발전기 차단기가 즉시 개방될 것을 요구한다. 중대 전기계통 사고는 발전기 차단기가 발전기 또는 옥외개폐소 기기의 심각한 손상을 방지하기 위하여 즉시 개방되어야 하는 사고를 말한다.

역전력 계전기는 3초의 시간 지연을 갖는다. 순차적 트립회로는 어떤 경우 추가의 시간지연이 요구되나 그 결과는 터빈발전기의 모터링 증가를 초래한다.

발전기는 동기를 유지하기에 충분한 전자장이 작용하는 동안 전동기 역할을 하게 된다. 모터링은 터빈 배기 후드와 마지막 단 버켈을 과열시킬 수 있다. 모든 증기흐름이 차단되면 과열 방지를 위한 배기 후드 냉각수 분무의 효과는 많이 감소된다. 그래서, 모터링을 허용하는 시간 지연은 모터링 중의 복수기 압력에 따라 제한되어야 한다.

순차적 트립회로를 사용하는 어떤 발전기 트립은 더 제한된 시간지연이 요구된다.

어떤 터빈 트립의 경우에는 급히 속도를 줄이는 것이 요구되며 그러한 경우에는 순차적 트립회로 내에 사용된 추가 시간지연회로를 우회하여 역전력과 밸브 닫힘 후 즉시 발전기 차단기를 개방하여야 한다.

대표적인 이러한 조건은 저진공, 고진동 또는 추력 베어링 손상에 의한 트립이다. 순차적 트립회로는 터빈 트립 사고시 모터링을 방지하기 위한 기능을 제공하지만 그것이 주요기능이 아니라는 것을 인식해야 한다.

순차적 트립은 단일 트립 신호로부터 정상적인 정지를 제공하고 발전기 차단기가 일찍 개방될 때 일어날 수 있는 급격한 속도의 증가를

월성 1호기 최종안전성분석보고서

방지한다.

10.2.2.4.3 증기 밸브 닫힘

모든 증기 밸브는 비상정지밸브와 조속기밸브 또는 재열기 비상정지밸브와 인터셉트밸브와 같이 직렬 쌍으로 배열되어 있다. 고압터빈을 위한 4쌍의 밸브가 있고, 각 저압터빈을 위한 2쌍의 밸브가 있어 총 10쌍의 증기유입밸브를 구성한다. 각 비상 정지밸브, 조속기밸브, 재열기 비상정지밸브, 그리고 인터셉트밸브(총 20개)는 2개의 과속트립계통 중 하나에 의해 구동된다. 고압터빈의 4개 조속기밸브와 각 저압터빈의 1개의 인터셉트밸브는 또한 조속계통에 의해 조절된다. 한쌍의 밸브 중 어느 하나만 차단되어도 증기발생기로부터의 증기 흐름을 차단하므로, 밸브 한 개의 손상은 터빈과속트립 기능의 수행을 방해하지 않는다.

10.2.2.5 기타 보호계통

앞에서 설명된 장치 이외에, 터빈 및 증기계통의 기타 보호 장치는 다음과 같다.

- 가. 비상정지 및 조속기밸브 또는 재열기 비상정지밸브의 고장 사고 발생시 고압터빈의 과압 방지를 위해 습분분리재열기에 설치한 안전밸브
- 나. 최종단의 두 저압가열기를 제외하고, 터빈트립시 증기 역류로 인한 터빈 과속을 방지하기 위해 각 추기 배관에 설치한 역류 방지밸브
- 다. 복수기 진공 상실시 저압터빈의 과압 방지를 위한 배기 케이싱 파괴 격막(exhaust casing rupture diaphragm)

10.2.2.6 발전소 부하 및 부하 추종

월성 1호기의 터빈발전기는 기저 부하로 운전된다. 그러나 핵 증기공급계통(NSSS)의 과도기 부하 추종 능력과 일치하거나 초과하도록 터빈발전기를 설계한다. 원자로가 트립신호가 발생하면 원자로 출력 설정치 변경 제어를 대체운전모드로 전환되어 발전소 부하조절기(UPR)에 의한 추가 조작이 금지되며, 증기발생기 압력제어기(SGPC)를 통하여 증기발생기 압력을 제어한다.

160

10.2.2.7 검사 및 시험 요구사항

계통의 주요 기기는 검사를 위한 접근이 가능하며, 발전소 정상운전시에도 시험이 가능하다. 각각의 터빈발전기의 제어 및 보호 장치는 정기적으로 시험된다. 기동전에 여러 가지의 터빈트립계통들이 순서적으로 시험된다.

가. 터빈 트립회로 시험

기동시와 출력 운전중 주기적으로 시행

- 과속도 트립회로 시험
- 복수기 저진공 트립 시험
- 윤활유 저압 트립 시험
- 고압터빈 배기 고압력 트립 시험

나. 터빈 과속도 트립 시험

계획예방정비후 계통병입전 터빈 과속도 트립장치의 성능을 확인하기 위한 시험을 수행하여야 하며, 터빈 과속도 트립 설정치를 조정하였을 때 또는 터빈 과속도 트립 설정치를 정비하였을 때는 터빈기동시에 터빈 과속도 트립시험을 수행하여야 한다.

227

다. 터빈 부하운전중 밸브시험

발전소 정상운전중 아래 밸브들에 대한 시험을 주기적으로 수행한다.

- 조속기 밸브
- 인터셉트 밸브
- 비상정지 밸브
- 재열기 비상정지 밸브

227

여러 가지 계통 기기의 시험 및 검사를 위한 일정 계획은 13.5절에 기술된 발전소 운전절차의 한 부분으로 되어있다.

10.2.3 터빈 비산물

설계제작 및 공장 시험절차서를 통해 회전 디스크가 규정된 설계치 이상으로 완전함을 보증한다. 각 터빈 회전자 집합체는 정격속도의 120 %에서 과속 시험을 수행한다. 충분한 다중방호계통이 포함된 정상 조속기 제어계통과 비상 기계 유압식 과속트립계통은 다중 제어를 수행할 수 있으며 각각의 가동중 검사를 통해 신뢰성있는 운전을 보증한다.

정상 조속기 제어계통은 3 %의 과속에서 조속기밸브가 완전히 차단되도록 작동하고, 기계 유압식 과속트립계통은 10 % 과속에서 작동하도록 설정되어 있다.

각 계통은 완전한 다중 방호와 시험 가능한 기기들로 구성되며 또한 계통들은 과속시 회전체가 손상되고 일부 파편이 터빈 동체를 뚫고 이탈하여 비산물이 되는 것을 방지하기 위하여 충분히 안전한 속도에서만

월성 1호기 최종안전성분석보고서

운전되도록 보증한다.

10.2.4 평가

터빈발전기 기기는 일반적인 것으로 다른 원자력발전소에서도 광범위하게 사용되고 있는 형식이다. 계기, 제어기 그리고 보호장치는 신뢰적이고 안전한 운전을 보증한다. 다중의 신속 구동되는 제어기가 과속 및 전 출력 부하 상실시 야기되는 손상을 막기 위하여 설치된다. 자동 저압배기후드 물 분사는 후드의 과도한 온도 상승을 방지한다. 배기 케이싱 파괴격막은 복수기 진공상실사고시 저압터빈의 과압을 막는다.

증기발생기에서 생산되는 증기는 일반적으로 방사능이 없기 때문에 터빈발전기와 보조기기에 대한 방사능 차폐는 없다. 따라서 정상 운전 중 계통 기기 접근시 방사능 영향은 고려하지 않는다. 그러나 증기발생기 세관 누설로 인한 1차계통에서 2차계통으로의 누설 사고시 주증기가 방사능으로 오염될 수 있으며, 이로 인한 방사능에 관한 사항은 본 보고서 11장과 12장에서 논의된다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 10.2-1

터빈발전기 성능 자료

설계 인자

보증 부하시

핵증기 열출력, MWt	2064 *	
증기발생기 출구 압력, kg/cm ² (a)(psia)	47.88(681)	
초기 증기 압력, kg/cm ² (a)(psia)		46.40(660)
초기 증기 온도, °C(°F)	258(496)	
주증기 유량, 10 ⁶ kg/hr	3.44	
총 전기출력, MWe	680	

* 터빈발전기 설계 목적만을 위한 것임

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 10.2-2

터빈발전기 설계 자료

공급자	NEI Parsons
터빈 형식	반동터빈
최종단 버켓 길이, cm(in)	94.6(37.25)
복수기 배압 설계운전압, mm(in)Hg(a)	47.5(1.87)
재열단의 수	1
급수가열기 수	6
회전 속도, rpm	1800
발전기 보증 출력, MVA	800
발전기 전압, kV	26
정격 역률	0.85
단락비	0.58

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.3 주증기공급계통

주증기는 원자로건물로부터 4개의 주증기관을 통해 터빈건물 내에 설치된 주증기 모관으로 공급된다. 증기발생기에서 주증기 모관까지의 4개 증기관에는 주증기안전밸브와 대기증기방출밸브가 설치되어 있다.

증기발생기로부터의 증기는 주증기 모관에서 4개의 분기관을 통해 고압터빈, 보조증기계통의 재열기 및 탈기기 가열증기와 중수승급증기계통으로 공급된다. 또한 터빈트립 사고시에는 증기가 주증기 모관에서 복수기로 우회 방출되도록 설계되어 있다.

주증기 모관에서 고압터빈으로 가는 증기는 각 1개의 비상정지밸브와 조속기밸브를 갖추고 있는 4개의 증기실로 보내진다. 고압터빈에서 팽창된 증기는 4대의 습분분리기와 2대의 재열기를 거쳐 저압터빈으로 보내진다.

주증기 모관에서 추가된 보조증기가 재열기의 가열증기로 이용되며, 재열기를 지난 주증기는 저압터빈 입구에 설치된 재열기 비상정지밸브와 저압터빈 조절밸브를 지나 저압터빈으로 보내지고, 여기서 팽창된 증기를 복수기로 배출되어 응축된다.

10.3.1 설계기준

10.3.1.1 안전설계기준

가. 사고시(냉각재상실사고시의 급속냉각) 연료로부터 열을 제거하고 증기발생기 2차측의 과압방지를 위하여 계통에 주증기안전밸브(MSSV)를 설치하였다.

나. 둘 또는 그 이상의 증기발생기 저수위와 아울러 급수 모관의 저압력시 자동 감압기능이 작동된다. 감압기능은 주증기안전밸브를 개방시킴으로써 비상급수(EWS)가 보충되도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

록 하였다.

다. 증기발생기의 세관 누설은 경수중 중수누설탐지계통을 이용하여 급수, 주증기 및 증기발생기 취출수 샘플을 감시하여 탐지한다.

라. 주증기안전밸브는 증기발생기의 2차측을 급속냉각시킬 수 있도록 비상노심냉각계통의 냉각재상실사고 신호(냉각재계통 저압과 원자로건물 고압 또는 다른 조건신호들의 조합에 의한 신호)에 의해 일정시간 지연 후 열릴 수 있게 하였다. 이는 냉각재상실사고 후 비상노심냉각계통이 운전될 수 있도록 냉각재계통의 감압을 위하여 증기발생기를 급속냉각시키는 것이다.

마. 원자로건물 내에서의 주증기관 파단은 원자로건물 구조에 손상을 주지 않으며 원자로계통에 중대한 손상을 유발할 정도로 원자로건물의 구조적 건전성에 손상을 주지 않아야 한다.

바. 주증기관이 지나가는 건물 내에서의 주증기관 파단사고시 건물벽의 붕괴로 인해 안전 관련 기기 및 주제어실에 있는 운전원들에게 피해가 없도록 하였다.

사. 원자로건물이나 터빈건물 내에서 어떠한 크기의 증기관 파단으로 인해 유발되는 증기로 인해 핵연료로부터 열제거 기능을 막거나 원자로보조건물 내에 가혹 환경이 조성되지 않도록 하였다.

아. 주증기계통에서의 배관 파단으로 인해 증기발생기의 세관 누설이 없도록 하였다.

10.3.1.2 계통설계기준

가. 증기발생기에서 생산된 증기는 터빈발전기, 터빈축밀봉계

월성 1호기 최종안전성분석보고서

- 통, 재열기 및 탈기기 압력유지를 위한 보조증기계통, 중수 승급기 (D₂O upgrader)용 증기계통으로 공급된다.
- 나. 주증기계통에는 증기발생기 수위 및 압력제어를 위해 필요한 계측기기들을 설치하였다.
- 다. 발전소 예열 운전중, 주 복수기 사용불능 또는 등급 4 전원 상실시 주증기를 대기로 방출시킬 수 있는 설비를 갖추었다.
- 라. 터빈 트립이나 관로 상실등 2차계통 불안정 상태시(BOP upsets) 주증기안전밸브를 개방하거나 원자로를 트립시키지 않고 주증기를 복수기로 직접 방출시킬 수 있는 설비를 설치하였다.
- 마. 각 증기발생기에서 시료증기를 채취할 수 있게 하였다.
- 바. 2차 계통 내에서 증기와 물에 의한 수격 현상을 피할 수 있도록 모든 증기관은 낮은 지점으로 경사지도록 설계하였고 낮은 지점에는 응축수 배수관(drip leg)을 설치하여 응축수가 적절한 증기트랩이나 수위 제어를 통해 제거되도록 하였다.
- 사. 각각의 증기관에 질소가스 주입을 위한 설비를 설치하였다.
- 아. 주증기 배관 중 최상단부에 배기를 위한 설비를 설치하였다.
- 자. 대기증기방출밸브, 복수기증기방출밸브, 터빈부하제어기 및 원자로 출력은 증기발생기 압력을 제어하는데 사용된다.
- 차. 증기발생기로 보내지는 급수의 화학적 성분을 엄격히 통제함으로써 급수 및 증기로부터 원자로 냉각재인 중수를 분리시키는 증기발생기 세관의 건전성을 보호할 수 있도록 하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

카. 주증기계통 배관의 재질은 탄소강으로 되어 있다.

10.3.2 계통 설명

주증기계통은 증기발생기에서 생성된 증기를 터빈발전기 및 보조계통으로 공급하는 기능을 갖고 있다. 이 계통은 주증기 배관, 주증기안전밸브, 대기증기방출밸브 및 복수기증기방출밸브 등으로 구성되어 있다. 그림 10.3-1은 주증기계통 흐름도를 보여 준다.

증기발생기 출구 노즐에서 4.69 MPa(a)(681 psia) 압력과 터빈 정지밸브 전단에서 4.55 MPa(a)(660 psia) 압력으로 957 kg/s(7.60×10^6 lb/hr)의 증기량을 터빈으로 공급한다. 증기발생기 출구노즐에서의 증기온도는 전출력 정상운전 조건하에서 최대수분함유율 0.25 %에서 260°C(500 °F)이다.

주증기안전밸브는 총 16개(각 4개의 증기발생기 주증기관에 4개씩)의 스프링 장착형 안전밸브가 설치되어 있으며 증기유량의 115 %를 용량을 갖추고 있다. 이는 출력조절이 점진적으로 상실될 때 원자로 출력이 트립되기 전의 115 %까지 증가하기 때문이다. 그러나 압력 상승은 이러한 과도 현상시에도 설계압력의 110 %로 제한된다.

주증기안전밸브의 설정압력은 5.01 MPa(g)(726 psig)와 5.14 MPa(g)(745 psig) 사이에 설정되며 설정압력의 4 % 초과시에 완전 개방되도록 설계되어 있다.

주증기안전밸브는 자동 상태에서 비상노심냉각 주입신호 및 자동감압신호에 의해 개방된다. 이는 냉각재상실사고 후에 비상노심냉각계통의 운전에 필요한 신속한 냉각기능을 증기발생기에 제공한다.

주증기안전밸브는 ASME "보일러 및 압력용기 코드" Section III의 등급 2로 분류되어 적용되고 있다.

대기증기방출밸브는 총 4대의 글로브형 조절밸브로 4대의 증기발생기에 각 1대씩 설치된다. 이 4대의 밸브를 통해 정격 증기유량의 10

월성 1호기 최종안전성분석보고서

%에 해당하는 용량의 증기 방출이 가능하다. 이들 밸브는 복수기에 문제가 발생되어 이용 불가능하거나 불충분할 때 열제거원으로서 사용된다.

특히, 대기증기방출밸브는 등급 4 전원의 상실, 복수기의 상실, 터빈트립, 송전선로의 상실과 발전소의 가열 운전시에 사용된다.

복수기증기방출밸브는 터빈의 트립이나 급격한 출력의 감발시 주증기 모관으로부터 복수기로 증기를 방출하기 위해 개방된다. 터빈이 트립 되면 원자로의 출력은 100 % FP에서 1 % FP/sec의 속도로 독물질 방지 준위 출력인 약 70 % FP까지 감발하게 되며 이때 증기발생기에서 생성되는 증기를 복수기로 방출하는 것이다.

10.3.3 안전성 평가

가. 문서번호 DG-59-68000-001의 “안전관련계통”에 따라 냉각 재계통에서 적정 재고량이 유지될 수 있는 사고시 증기발생기 및 주증기안전밸브는 원자로 정지후 다른 계통(정지 냉각계통, 비상급수계통으로부터의 급수, 비상노심냉각계통) 등이 장기 열제거원으로서 효과적인 작동을 하게 될 때까지 즉각적으로 잔열 및 붕괴열을 제거할 수 있도록 크기가 결정되었다. 또한 주증기안전밸브는 증기발생기의 과압방지 기능을 제공한다.

나. 문서번호 DG-59-68000-002의 “내진분류”에 따라서 증기발생기 노즐에서 주증기안전밸브 후단에 있는 첫번째 앵커까지의 주증기 배관은 설계기준지진 범주 A로 내진검증되어 있다. 주증기안전밸브는 설계기준지진 사고시에도 작동을 할 수 있도록 설계기준지진 범주 B로 검증되었다. 대기증기방출밸브는 주증기안전밸브와 근처에 위치하기 때문에 대기증기방출밸브 및 관련 배관은 설계기준지진시 주증기안전밸브에 손상을 주지 않도록 설계기준지진 범주 A로

월성 1호기 최종안전성분석보고서

내진검증된다. 소음기는 주증기안전밸브의 운전에 지장을 주지 않도록 설계기준지진시 또는 지진후 위치가 이탈되지 않게 설계된다.

다. 문서번호 DG-59-68000-003 “환경검증”에 따라 관련 계통들은 주증기관 파단사고에 의해 유발되는 가혹 환경에서도 그 기능을 다할 수 있도록 환경적으로 검증된다. 주증기안전밸브는 사고시 열제거원으로서의 기능과 증기발생기에 대해 과압을 방지할 수 있는 기능이 요구되며 냉각재상실사고시와 사고 후에도 작동하여야 한다. 그러나 이러한 밸브들은 원자로건물 밖에 위치하기 때문에 냉각재상실사고에 대한 환경 검증은 요구되지 않는다. 대기증기방출밸브들과 복수기증기방출밸브들은 안전 관련 기능이 없기 때문에 환경검증이 요구되지 않는다.

라. 문서번호 DG-59-68000-005 “그룹 및 분리요건”에 따라 주증기안전밸브는 사고시 증기발생기로부터 대기로 열제거 기능을 제공하고 있다. 주증기안전밸브는 그룹 1 계통 기기로 간주된다.

마. 원자로건물 경계의 부분을 형성하는 주증기계통은 문서번호 DG-59-68000-006 “원자로건물 경계의 연장”의 요구조건을 따른다.

10.3.4 시험 및 검사요건

주증기계통의 안전관련기기인 밸브 및 배관은 가동전과 가동중 검사 및 시험이 가능하도록 설계 및 설치된다.

계통의 모든 기기의 기밀도 및 구조적 건전성은 계통의 연속운전을 통해 증명된다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.3.5 증기 및 급수계통 재료

원자로건물 내 증기발생기로부터 터빈건물 내 주증기모관까지 배관은 ASME Section III, Division 1, Subsection NC(Class 2)로 분류된다. 기타 주증기모관의 가지배관, 고압터빈 추기 재가열기 배관, 탈기기 폐강(Pegging)배관 등 기타 압력배관은 비안전성으로 분류되며 ANSI B31.1에 따라 설계, 제작, 설치, 시험된다. 주증기모관의 재료는 ASME SA515 Gr. 70을 사용하였다.

원자로건물 내 급수배관 및 재가열기 배수회수관(Reheater Drain Return Line)은 ASME Section III, Division 1, Subsection NC(Class 2)로 분류된다. 고온 급수가열기는 ASME Section VIII, Division 1에 따라 설계, 제작, 설치, 시험되며 CSA-Z299.1 품질보증 수준을 만족한다. 기타 급수계통의 배관 및 기기는 ANSI B31.1을 따른다.

10.3.6 증기발생기 및 급수계통 수질관리

재질이 인콜로이(Incoloy-800)인 증기발생기 세관의 건전성을 보호하고자 증기발생기 물과 급수의 화학적 성질에 대한 엄격한 처리를 필요로 하며 이것은 급수(H_2O) 및 증기계통으로부터 냉각재(D_2O)를 분리시킨다. 표 9.3-6과 9.3-7은 각각 급수 및 증기발생기 화학변수에 대한 화학제어 사양을 나타낸다.

이들 표의 “허용 기준치”란에 주어진 값들은 발전소를 운전시킬 수 있는 정상적인 최대 또는 최소값이다. 이들 허용 기준치를 초과할 경우에는 운전정지를 포함하여 적절한 시정조치를 취하여야 한다.

복수기 누설시에도 인산염처리를 행하지 않고 하이드라진 1 mg/kg 정도를 주입하여 증기발생기의 수질을 pH 9.0이상 유지하여 용존산소를 감소시키므로써 부식을 억제하고 염소이온이 1 mg/kg 이상 증가시 원자로 운전정지 해야 한다.

상기 수질상태를 유지하기 위해서는 증기발생물의 0.1~0.3 %

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

정도를 계속 배출하는 것이 바람직하다. 보통의 증기 배출률은 0.1 %이지만 화학제어상의 과도현상을 상쇄시키기 위해서는 0.3 %까지 높아질 수도 있다. 화학적 과도현상을 상쇄시킬 때의 순간적인 배출률은 최대 1.2 %까지 높아질 수도 있다. 표에서 제시하고 있는 기준치들은 발전소가 운전되고 있는 동안 여하한 경우라도 지켜져야 하는 값이다. 만일 기준치를 벗어나면 기준치에 들도록 교정하여 운전해야 하고, 이것이 안 될 때는 강제로 운전정지시켜야 한다.



월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 10.3-1 주증기계통 흐름도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.4 복수계통

10.4.1 복수기

복수기는 증기사이클의 열제거원이다. 정상운전동안 터빈배출 증기를 받아서 응축시킨다. 비정상운전 동안에는 복수기증기방출맬브로부터 우회증기를 받는다. 복수기는 다른 기타 증기사이클의 증기, 배수, 배기(vent)도 받는다. (그림 10.4-1 참조)

복수기는 정상적인 발전소 운전정지시 원자로 냉각 초기에 열제거원 역할을 한다.

10.4.1.1 설계기준

10.4.1.1.1 안전설계기준

복수기는 안전기능을 갖지 않는다.

10.4.1.1.2 계통설계기준

가. 복수기는 터빈과 기타 사이클 흐름들로부터의 배출증기에 대한 열제거원이 된다.

나. 복수기는 정상 또는 비정상 운전시 부하변동(load excursions)동안 요구되는 완충 용량을 위한 집수조를 가지고 있다.

다. 복수기는 주증기우회운전시 단기간 동안은 100 %의 정격 주증기 용량을 받아들이며, 주증기우회운전 기간에는 원자로 출력의 70 %에 해당하는 용량을 받아들인다.

라. 복수기는 10.4.2절에 기술된 복수기공기배출계통을 통해 응축증기로부터 비응축성기체를 방출하고 복수를 탈기시킴으로써 2차계통 내의 침식 및 부식발생을 최소화한다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.4.1.2 계통 설명

복수기는 3대의 분리된 동체로 설계된다. 각 동체는 3개의 저압터빈 배기구(exhausts) 중 하나와 팽창이음으로써 연결된다. 각 동체 내부의 관들은 터빈 종축을 횡단하는 방향으로 배열된다.

복수기에 포함되는 항목들은 다음과 같다.

- 관다발, 관판 및 관 지지물
- 수실
- 동체, 복수기 목 및 집수조
- 주증기우회배관용 노즐 입구(inlets)
- 계기 및 부속품
- 스펀지볼 관세정계통

복수기 동체는 분리된 수실을 갖고 있다. 각 동체에는 두 개의 관다발이 각각의 수실에 연결되어 있다. 각 동체는 길이방향으로 두 개의 집수조로, 수직의 분리판(vertical part plate)에 의해 분리되어 있다. 복수펌프는 이 집수조로부터 흡입한다. 검사시 동체 내부로 드나들 수 있도록 되어 있다.

복수기는 바닥에 견고하게 지지되어 있고, 터빈 배기구에는 “Dog-Bone”형의 팽창이음쇠로 연결되어 있다.

복수기 관의 재질은 티타늄(ASTM B338 GR. 2)이며, 관판 재질은 외측에 알루미늄 황동합금(ASTM B171)을 입힌 탄소강(ASTM SA 516 Gr. 70)이다. 관과 관판의 연결부는 로울러 팽창으로 시공한다. 복수기 동체는 탄소강(ASTM A286 Gr. C)으로 되어 있고 이중의 관판을 갖도록 설계되어 있다

복수기 집수조는 정상시 3분간의 정격 복수유량에 해당하는 용량을 갖는다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

복수기와 터빈배기후드를 과압으로부터 보호하기 위해 파열격막(rupture diaphragm)을 설치한다.

정상운전 동안 배기증기는 저압터빈으로부터 터빈케이싱 바닥의 배기구를 통해 복수기 동체로 연직방향으로 내려간 뒤 응축된다. 복수기는 또한 급수가열기 배수, 배기(vents), 터빈축 밀봉, 기타 배수들을 받는다.

발전소 운전 정지후 초기 냉각기간 동안 복수기는 주증기우회계통을 통해 증기발생기의 잠열을 제거한다.

복수기는 원자로출력의 70 %에 해당하는 우회방출증기를 연속적으로 처리할 수 있다.

전부하운전중 터빈이 트립된 초기에는 복수기 배압을 터빈의 허용 배기압력을 넘는 터빈경보설정치까지 증가시키지 않으면서 주증기유량의 100 %를 우회방출시킬 수 있다.

집수조를 나오는 복수를 감시함으로써 복수기로의 냉각수 누설을 감지하여 주제어실로 경보를 보낼 수 있다. 이 경보내용은 어느 관다발에서 누설이 있는지를 결정할 수 있게 해준다. 이로써 특정 관다발을 격리, 배수하여 누설관을 관막음(plug)할 수 있다.

집수조에는 수위조절 기능이 있어 집수조의 정상수위를 유지하기 위한 복수의 자동보충 및 배출이 가능하다. 집수조가 고수위인 경우에는 복수는 복수기로부터 복수저장탱크로 배출된다. 집수조가 저수위이면 복수는 복수 저장탱크로부터 복수기로 공급된다. 또한 순수저장탱크로부터 복수기 집수조로 비상보충수를 공급하는 설비도 있다.

복수기로 누입된 비응축성 기체와 공기는 복수기공기배출계통에 의해 제거된다.

주복수기 운전상태를 감시하는 계측설비는 다음과 같다.

가. 복수기 수위를 감시하기 위하여 64322-LT1#1, LT1#2, LT1#3 및 주제어실 수위지시계 64322-LI1#1, LI1#2,

월성 1호기 최종안전성분석보고서

LI1#3(PL11)이 제공된다.

나. 탈기기저장탱크 수위를 감시·제어하기 위하여 3개의 수위전송기 64321-LT139A, LT139B, LT139C가 각각 제공되며 주제어실 수위지시계 64321-LI-139(PL10)에 수위를 표시한다.

다. 복수기에서 탈기기로의 복수유량을 감시하기 위하여 유량전송기 64321-FT36이 제공되고 주제어실 유량지시계 64321-FI321(PL10)에서 유량을 표시한다.

라. 탈기기 압력을 감시하기 위하여 압력전송기 64333-PT8 및 주제어실 압력지시계 64333-PI8(PL10)이 제공되었다.

마. 주 복수펌프 후단 압력을 감시하기 위하여 압력전송기 64321-PT28 및 주 제어실에 압력지시계 64321-PI28(PL10)이 제공된다.

복수기의 비정상 운전을 감시하기 위하여 아래와 같은 경보를 제공하고 있다.

- 복수기 비정상 수위 경보(PL11)
- 복수기증기방출밸브 트립 닫힘 경보(PL11)
- 복수기증기방출밸브 열림 경보(PL11)
- 복수기 저진공 및 복수기증기방출밸브 열림제한 경보(PL11)
- 복수기 고압력 경보(PL13)
- 주 복수펌프 후단 모관 저압력 경보(PL10)
- 주 복수펌프 후단 모관 고압력 경보(PL10)
- 복수기 튜브 누설 경보(PL10)
- 탈기기 저압력 경보(PL10)
- 탈기기 저장탱크 비정상수위 경보(PL10)

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.4.1.3 안전성 평가

복수기는 안전기능 및 안전성 평가 요구조건에 해당되지 않는다.

10.4.1.4 시험 및 검사

복수기 동체는 설치 후에 정수력학적으로 시험을 한다. 복수기 동체, 집수조, 수실에는 검사 또는 보수를 위해 드나들 수 있는 개구부(opening)가 있다.

10.4.2 복수기진공계통

10.4.2.1 설계기준

10.4.2.1.1 안전설계기준

복수기진공계통은 안전기능을 갖지 않는다.

10.4.2.1.2 계통설계기준

복수기진공계통은 비응축성 기체를 연속적으로 제거함으로써 동체측 진공을 생성, 유지하도록 설계하였다.

10.4.2.2 계통 설명

복수기진공계통은 정상운전을 위한 50 % 용량의 진공펌프 3대와 기동시 사용하는 호킹펌프 1대로 구성된다.

진공계통은 미국 열교환기협회(Heat Exchange Institute)의 “복수기 기준(Standard for Steam Surface Condenser)”에서 추천한 용량 이상이다.

터빈밀봉을 끝낸 후 복수기와 저압터빈 케이싱으로부터 공기

월성 1호기 최종안전성분석보고서

를 제거하기 위하여 처음에는 4대의 진공펌프가 모두 운전된다. 정상운전시에는 복수기의 진공상태를 설계운전압인 1.87 in.Hg(a) [6.33 kPa(a)]로 유지하기 위하여 50 % 용량의 펌프 3대 중 2대가 운전된다. 비정상적인 복수기 진공상실시에는 대기 펌프도 운전된다. 1대의 호강펌프는 터빈의 기동 전에 터빈, 재열기, 복수기 동체, 급수가열기 및 관련 배관의 공기를 제거하기 위해 사용된다. 이 펌프는 다른 진공펌프 3대와 함께 운전되어 터빈 기동시 20 분 내에 대기압에서 5 in.Hg(a) [16.9 kPa(a)]로 복수기 압력을 저하시키기 위해 사용된다.

복수기진공계통은 또한 주증기우회계통이 운전되는 동안에도 비응축성 기체를 제거할 수 있도록 설계된다. 복수기진공계통과 복수기의 기능이 상실된 경우, 증기발생기로부터의 열제거는 대기증기방출밸브와 주증기 안전밸브에 의해 수행된다. 그림 10.4-1은 복수기진공계통의 흐름도를 보여 준다.

10.4.2.3 안전성 평가

복수기진공계통은 안전기능을 갖지 않는다.

10.4.2.4 시험 및 검사

복수기진공계통은 운전 전에 적용 가능한 규격 및 기준에 의해 시험과 검사를 한다. 주기적인 가동중 시험 및 검사는 계획예방정비 기간 중 수행한다.

대기 중인 기기는 그 가용성을 확인하기위해 주기적으로 순환 운전 한다.

10.4.3 터빈축밀봉계통

터빈축밀봉계통은 터빈내부에서 외부로 증기가 유출되는 것과 외부에서 터빈 내부로 공기가 유입되는 것을 방지 한다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.4.3.1 설계기준

10.4.3.1.1 안전설계기준

터빈축밀봉계통은 안전기능을 갖지 않는다.

10.4.3.1.2 계통설계기준

가. 터빈축밀봉계통은 터빈 케이싱에서 외부로 증기가 유출되는 것과 외부에서 터빈 케이싱 내부로 공기가 유입되는 것을 방지하도록 설계 되었다.

나. 터빈축밀봉계통은 누출증기를 응축하여 복수기로 회수하며 비응축성 기체는 대기로 배출한다.

10.4.3.2 계통 설명

터빈축밀봉계통은 다음과 같이 구성되어 있다.

가. 기동 및 비상운전을 위한 전동기 구동 우회밸브를 가진 증기 자동공급 및 방출 조절기

나. 축밀봉 및 밸브시스템으로부터 회수된 증기를 응축하기 위한 1대의 100 % 밀봉증기응축기와 3대의 송풍기(vapour extractor)

다. 증기공급, 배출 및 배수를 위한 배관, 밸브 및 보조설비

밀봉증기는 저부하 운전시에는 주증기 모관으로부터, 정상운전시에는 추기계통으로부터 증기를 받아서 감압밸브를 통해 공급된다. 공기구동밸브인 이 감압밸브(41150-PCV15)에 의해 조절되는 밀봉증기 압력 설정치는 34.0 kPa(g)이다. 터빈 축밀봉 및 밸브시스템에 사용된 증기는 회수되어 밀봉 증기응축기에서 응축되며, 응축수는 복수기로 배수된다. 정상적인 증기

월성 1호기 최종안전성분석보고서

공급이 불가능하면 밀봉증기는 보조 증기공급원으로부터 공급된다.

저부하 운전시의 밀봉 증기는 주증기조절밸브의 고압 누출 연결부와 주증기계통에서 고압 및 저압터빈 축 밀봉을 위해 공급된다. 어떤 일정 부하후에는 고압터빈축의 밀봉을 하기 위한 증기의 요구량은 감소된다. 어느 일정한 부하에서부터는 고압 축밀봉에서의 증기량은 사용량보다 누출량이 많아지게 된다.

고압터빈의 밀봉 증기압력을 일정하게 유지하기 위해 여분의 증기는 복수기로 직접 보내진다.

밀봉증기응축기의 결함시에는 밀봉 증기모관 압력을 유지하기 위해 전동기 구동 우회밸브가 열리고 수동으로 조절된다.

밀봉증기응축기의 진공상태를 유지하기 위해 한 대 또는 두 대의 송풍기가 운전된다. 3 대의 송풍기가 모두 상실되면 일부의 증기가 밀봉을 통해 터빈 내부로 인입되어 터빈 정지의 원인이 된다.

10.4.3.3 안전성 평가

터빈축밀봉계통은 안전 기능을 갖지 않는다.

10.4.3.4 시험 및 검사

이 계통은 계속적으로 운전되므로 운전원은 항상 운전상태를 감시하여야 한다.

10.4.4 주증기우회계통

다음 항목들이 포함된다.

- 복수기증기방출밸브
- 복수기로의 증기 분배기

복수기증기방출밸브는 터빈 비상정지에 이은 증기압 상승을 제어하기 위해 증기를 복수기로 직접 방출한다. 원자로는 100 % 출력에서

월성 1호기 최종안전성분석보고서

주증기우회를 이용하여 70초 동안 운전이 계속될 수 있다. 70 % 미만의 터빈 부하에서 원자로의 고출력을 유지하는 것이 필요할 경우에는 잉여증기를 방출밸브를 열어 처리한다.

이러한 주증기우회계통은 복수기 진공과 상호 연계되어 있다. 복수기 압력이 3 in.Hg(a) [10.2 kPa(a)] 에서 닫히기 시작하여 4 in.Hg(a) [13.5 kPa(a)]를 초과하면 방출밸브들은 완전히 닫힌다.

10.4.4.1 설계기준

10.4.4.1.1 안전설계기준

주증기우회계통은 안전기능을 갖지 않는다.

10.4.4.1.2 계통설계기준

주증기우회계통은 다음의 기능을 수행할 수 있도록 설계되어 있다.

가. 원자로를 트립시키거나 주증기안전밸브를 개방함이 없이 모든 규모의 부하 상실을 수용한다.

나. 주증기안전밸브의 개방을 방지할 수 있도록 핵증기공급계통의 열적조건을 제어한다.

다. 고온 영출력조건에서 핵증기공급계통을 유지할 수 있다.

라. 터빈 동기화 기간 등 원자로 출력이 터빈 출력보다 더 클 경우에 핵증기공급계통의 열적조건을 제어한다.

10.4.4.2 계통 설명

주증기우회계통은 12개의 복수기증기방출밸브, 관련 배관 및 복수기내의 증기 분배기들로 구성되어 있다. 복수기증기방출밸브는 터빈트립 시 복수기로 증기를 방출하여 증기압의 상승을 제어하는 기능을 가지고 있

월성 1호기 최종안전성분석보고서

다. 주증기우회계통은 100 % 최대연속정격 출력의 증기를 70초간 받아들일 수 있게 설계되었다. 원자로 출력의 70 %보다 작은 증기유량에 상응하는 터빈 부하보다 높은 원자로 열출력을 유지할 필요가 있을 때 과도한 증기 유량은 복수기증기방출밸브를 통해 조절된다.

복수기증기방출밸브는 공기 작동식으로서 복합 용량은 정격 주증기 유량의 100 % 증기방출량을 수용하도록 현장에서 개선되었다. 복수기증기방출밸브는 정상압력에서 95% 증기유량을 수용하도록 설계되었으나 증기방출 운전시 순간적으로 증기압이 증가하므로 실제로는 증기방출밸브를 통하여 100% 증기가 통과할 수 있다. 밸브들은 정상운전시 증기발생기 압력 제어 프로그램에 의해 제어되나 원격 또는 현장수동조작도 가능하다.

10.4.4.3 안전성 평가

이 계통은 안전관련계통이 아니다.

10.4.4.4 시험 및 검사

주증기우회계통이 시운전되기 전에 모든 복수기증기방출밸브에 대해 열림 시간을 확인하는 시험을 거치며, 복수기증기방출밸브의 공칭열림시간은 1초 이내이다. 모든 계통배관은 관련 규격 요건에 따라 시험 및 검사를 받는다. 모든 배관 및 밸브는 가동중 검사를 하기위해 쉽게 접근할 수 있다. 각 우회밸브에는 복수기 입구측에 격리밸브가 설치되어 있다.



그림 10.4-1 복수기 및 진공계통 흐름도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.5. 급수 가열계통

10.5.1 일반 사항

급수가열계통은 다음과 같은 기기들을 포함하고 있다.

가. 주북수펌프 및 보조북수펌프

나. 재생 급수가열기와 탈기기

다. 주급수 및 보조급수펌프

라. 계통을 구성하는 배관 및 밸브와 이를 위한 강재 구조물
및 지지물

마. 보온재 및 페인트

바. 계측기 및 기타 부속기기들

주북수펌프는 100 % 용량으로 2대, 주급수펌프는 50 % 용량으로 3대 가 있다.

급수계통은 통합된 배수냉각부를 갖춘 2개의 고압급수가열단, 탈기기와 배수냉각부를 갖춘 3개의 저압급수가열단으로 구성된다. 각각의 급수 가열단은 2개의 가열기로 구성되며 이것은 각각 독립된 급수가열회로를 제공하고 가열기 보수작업시 터빈발전기 출력에 대한 영향을 줄일수 있게 한다.

가열기와 배수냉각기는 터빈 블록(turbine block)의 양쪽에 위치하며 U-세관형 수평식 열교환기이다.

응축된 추기는 1대의 가열기 동체에서 다음 낮은 단의 가열기 동체로 흐르며 증기발생기 급수로 남은 열을 전달한다. 저압 가열기의 마지막 배수는 복수기 집수조로 보내지며 고압 가열기의 배수는 탈기기저장탱크로 보내진다.

급수는 주급수펌프에 의하여 원자로건물 내에 있는 증기발생

월성 1호기 최종안전성분석보고서

기로 보내진다. 마지막 급수가열기 출구측 급수의 정상운전 온도는 186.7 °C (368 °F) 이다.

등급 3 전원에 연결된 보조급수펌프는 탈기기저장탱크로부터 증기발생기에 급수한다. 등급 3 전원에 연결된 보조복수펌프는 복수기 집수조의 복수를 탈기기에 공급하며 복수기 집수조는 순수저장탱크로부터 물을 보충 받는 복수저장탱크로부터 복수를 보충 받는다.

10.5.2 재생급수가열계통

재생급수가열계통은 복수를 증기발생기로 공급하기 전에 요구되는 온도까지 가열하는 기능을 갖고 있다. 이 계통은 급수가열기, 추기계통, 급수가열기 배수계통 및 급수가열기 배기계통으로 이루어져 있다.

10.5.2.1 설계기준

10.5.2.1.1 안전설계기준

탈기기를 제외한 여타의 기기 및 계통에는 안전관련 기능이 없다. 탈기기에 대해서는 10.5.3절에 기술되어 있다.

10.5.2.1.2 계통설계기준

가. 추기계통은 급수가열기를 통해 흐르는 복수를 가열시키기 위해 필요한 증기를 터빈의 추기단에서 급수가열기 동체로 보낸다.

나. 추기계통에는 터빈트립시 과속으로부터 터빈을 보호하고 잠재된 에너지를 제한하기 위하여 역지밸브(자유스윙 및 동력보조 역지밸브)를 설치하였다. 또한 추기관에는 응축수가 터빈으로 유입되는 것을 막기 위해 전동기구동 격리밸브를 설치하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

다. 터빈 추기단과 역지밸브간의 낮은 지점에는 응축수가 터빈으로 유입되는 것을 방지하기 위해 자동배수 설비를 설치하였다.

라. 이 계통의 고압 가열기와 복수기 사이의 배관은 2상 유체 흐름이 되어 수격현상이 일어나기 쉬우며 이것을 방지하기 위하여 공동현상(cavitation)을 고려한 제어밸브가 선정되었고 배관 면적도 증가시켰다.

마. 모든 급수가열기 배기계통은 급수가열기의 기동 및 정상운전시 적절한 배기 기능을 제공하고 비응축성 기체를 복수기를 통하여 제거할 수 있도록 설계하였다.

10.5.2.2

계통 설명

급수가열계통은 다음과 같이 구성된다.

가. 복수가 탈기기로 공급되는 복수계통에 설치되는 3기의 50 % 용량 저압급수가열기 2열과 급수가 탈기기에서 증기발생기로 공급되는 급수계통에 설치되는 2기의 50 % 용량 고압급수가열기 2열

나. 내장형 배기응축기를 갖춘 탈기기와 탈기기저장탱크

다. 2대의 분리된 배수냉각기

라. 4대의 50 % 용량을 갖는 5번 고압급수가열기 배수펌프

마. 추기 배수 및 배기 배관 및 밸브

바. 보온 및 도장

가열기에는 급수, 추기, 복수, 배수 및 배기관에 연결되는 노즐과 현장 및 원격용 계측기기를 위한 기타 부착물들이 설치되어 있다. 또한 가열기에는 배기, 배수 및 안전밸브들이 설치되어 있으며 고정 지지대 및 미

월성 1호기 최종안전성분석보고서

그림 지지대가 가열기를 지지토록 되어 있다.

10.5.2.3 안전성 평가

이 계통들은 안전관련계통이 아니다.

10.5.2.4 시험 및 검사

모든 급수가열기 세관에 대해 제작 중에 표면 검사를 수행하였다. 벤딩(bending) 후 통계적으로 많은 수의 세관에 대해 추가 표면 검사를 하였다. 급수가열기는 재질 및 용접강도와 세관, 동체 및 덮개의 기밀성을 점검할 수 있도록 공장 수압시험을 하였다.

모든 배관 및 밸브에 대해 ANSI Power Piping 규격에 따라 시험, 검사하였다.

10.5.3 복수 및 급수계통

복수 및 급수계통은 가열된 급수를 증기발생기에 공급한다. 복수계통은 복수기 집수조에서 탈기기로 복수를 공급한다. 급수계통은 탈기기로부터 증기발생기로 급수한다. 탈기기를 포함한 급수계통은 기동 및 정상운전시 증기발생기 내에 적절한 급수량을 유지할 수 있다.

관련 계통 흐름도는 다음과 같다.

- 그림 10.5-1 : 복수 및 급수계통 흐름도(1/2)
- 그림 10.5-2 : 복수 및 급수계통 흐름도(2/2)

10.5.3.1 설계기준

10.5.3.1.1 안전설계기준

복수계통에는 안전기능이 없다. 급수계통 중 원자로건물 외부에 있는 부분은 다음의 안전요구조건에 맞추어 설계하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

- 가. 증기발생기 내부 급수저장량 유지조건과 관련하여 원자로 트립 후 잔열 제거 및 붕괴열 제거를 위한 보조급수설비를 설치하였다.
- 나. 증기발생기 보조급수의 압력범위는 대기압에서부터 주증기 안전밸브 설계압력 설정치까지 이다.
- 다. 주급수펌프 상실 또는 등급 4 전원 상실시 등급 3 전원에 연결된 4 % 용량의 보조급수펌프로써 자동으로 보조급수 한다.
- 라. 주급수계통은 안전관련계통이 아니기 때문에 일반적인 내진검증요건을 갖고 있지 않다. 그러나 급수배관을 위해 원자로건물 관통부의 건전성을 확보하기 위해서 주급수계통의 배관은 원자로건물 관통부에서 터빈건물에 있는 수위조절밸브 근처의 배관 앵커 지점까지 내진 해석이 수행되어야 한다.
- 마. 복수계통에서의 내진하중은 탈기기 및 탈기기저장조에만 고려할 수 있다.
- 바. 보조급수계통은 냉각재상실사고 중 또는 사고 후에 기능을 발휘할 수 있어야 한다.
- 사. 급수계통은 사고시 냉각재계통의 열을 제거하기 위하여 증기발생기에 급수하며 그룹 1에 속한다.
- 아. 급수배관이 통과하는 건물 내에서 어떠한 급수배관의 파손이 발생하더라도 건물 내의 안전관련 기기와 주제어실 내의 운전자에게 건물벽의 붕괴로 인한 안전관련 문제를 야기시키지 않을 것이다. 원자로건물 내부에 있는 안전관련 계통 이외에도 몇 개의 안전관련계통은 원자로건물 밖에 위치하며 이러한 안전관련계통은 어떤 크기의 급수배관 파손에도 안전관련 기능을 유지하도록 하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

자. 터빈건물 또는 원자로건물 내의 어떤 크기의 급수계통 파손으로 인한 증기 환경도 핵연료의 열제거 성능을 저하시키거나 서비스건물 내에 극심한 환경을 유발시키지 않을 것이다.

차. 급수계통의 배관파손은 증기발생기 세관누설을 야기시키지 않아야 한다.

카. 모든 급수계통이 사용 불가능 할 경우 2개의 대체 급수원이 준비되어 있다. 첫 번째 급수원은 살수탱크로부터 비상급수(EWS)밸브를 통하여 중력에 의해 공급되는 것이고 두 번째 급수원은 비상급수저장조로부터 펌프와 밸브를 통하여 공급되는 것이다. 이러한 대체 급수원은 증기발생기의 압력이 낮을 때 가능하다. 따라서 증기발생기에 정상급수가 안 될 경우에는 즉시 주증기안전밸브가 개방되어 증기발생기 2차측 압력을 저하시켜 대체 급수원이 열제거원 역할을 할 수 있도록 하였다.

10.5.3.1.2 계통설계기준

가. 주급수계통은 정상 전부하상태에서 3.45×10^6 kg/hr(7.6×10^6 lb/hr)의 유량을 공급할 수 있어야 하고, 과도상태에서는 정상 전부하상태의 110 % 유량인 3.79×10^6 kg/hr(8.36×10^6 lb/hr)의 양을 공급할 수 있어야 한다. 모든 저부하 운전상태에서도 증기발생기에 급수를 공급할 수 있어야 한다. 주급수조절밸브는 증기발생기의 수위가 떨어지면 완전히 열려야 한다.

나. 주급수계통은 탈기기저장탱크로부터 급수를 공급하고 고압급수가열기를 통해 증기발생기에 급수를 공급하며 정상 전부하운전시 급수펌프는 증기발생기 정상상태 운전조건하에

월성 1호기 최종안전성분석보고서

서 필요한 유량보다 10 % 더 많은 유량을 공급할 수 있어야 한다.

다. 원자로가 트립되면, 5분간 전부하 증기유량에 상당하는 급수유량을 공급할 수 있어야 한다. 이는 원자로 냉각재계통의 온도를 176.7 °C(350 °F)까지 냉각시키기 위해서 필요하며 이 급수는 탈기기저장탱크로부터 공급된다.

라. 등급 4 전원 상실시, 급수계통은 최소 유량인 129,270 kg/hr (285,000 lb/hr) 양의 급수를 보조급수펌프를 사용하여 탈기기로부터 증기발생기로 직접 공급할 수 있어야 한다.

마. 제어계통은 정상운전 조건 동안에 증기발생기의 적정 수위를 유지하기 위해 요구되는 유량을 공급할 수 있어야 한다.

바. 제어계통은 비정상운전 중에도 증기발생기의 적정 수위를 유지하기 위해 보조급수펌프를 가동하여 증기발생기에 급수유량을 공급해야 한다.

사. 한 고압급수가열기의 동체측 수위가 너무 높으면 자동으로 격리를 시킨 후 다른 열의 고압급수가열기로 우회시킬 수 있어야 한다.

아. 주급수펌프와 보조급수펌프의 수동 및 자동운전이 가능해야 한다.

자. 주급수펌프와 보조급수펌프의 자동 재순환관이 설치되어야 한다.

차. 복수계통이 운전 중일 때 주급수펌프 축밀봉 장치에 밀봉수를 충분히 공급할 수 있어야 한다.

카. 복수 및 급수계통 배관의 재질은 탄소강으로 되어 있다.

타. 급수 및 복수계통의 모든 배관은 발전소의 배관에 대해 규

월성 1호기 최종안전성분석보고서

정한 ANSI B31.1에 따라야 한다. 고압급수가열기, 저압급수가열기, 탈기기 및 탈기기저장조는 ASME "보일러 및 압력용기 코드" Section VIII Division 1에 따라 설계, 제작 및 시험되어진다.

과. 모든 복수 및 주급수계통 구성기기의 제작을 위해서는 적절한 규제기관에 의해 승인 또는/그리고 등록되어야 한다. 그렇지 않으면 캐나다 규제 요건을 만족시켜야 한다.

하. 복수계통은 모든 부하조건하에서 탈기기로 복수를 공급할 수 있어야 한다.

거. 정상운전조건하에서 급수펌프의 밀봉계통으로 6,800 kg/hr 용량의 복수가 연속적으로 공급 가능해야 한다.

너. 보조복수펌프는 원자로 트립 또는 등급 4 전원상실시 복수기 집수조로부터 탈기기 저장조로 최대 129,222 kg/hr (285,000 lb/hr)의 복수 이송이 가능해야 한다.

더. 복수는 터빈배기후드의 고온 이상시 6,800 kg/hr 용량의 배기후드 분무를 수행할 수 있어야 하며, 필요시 109 kg/hr의 용량으로 밀봉증기 복수기 온도조절 분무를 행할 수 있어야 한다.

리. 복수계통은 정상 전부하 운전조건하에서 2.615×10^6 kg/hr (5.766×10^6 lb/hr)의 급수를 복수기 집수조에서 탈기기로 공급할 수 있어야 한다.

머. 복수계통은 증기방출 조건하에서 161,940 kg/hr의 복수기 분무 용량을 포함한 3.06×10^6 kg/hr(6.75×10^6 lb/hr)의 용량을 처리할 수 있어야 한다.

버. 복수펌프는 과도운전 및 증기방출조건에 대비하여 정상 전부하 조건하에서 정상운전조건에서 필요로 하는 용량보다 16 % 더 많은 용량을 공급할 수 있어야 한다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.5.3.2 계통 설명

복수 및 주급수계통은 다음과 같이 구성된다.

- 전동기 구동장치, 계측 및 부속장치들이 완비된 두개의 100 % 용량의 복수펌프
- 2대의 복수펌프에 공통으로 사용되는 하나의 최소유량 재순환계통
- 전동기 구동장치, 계측 및 부속장치들이 완비된 3대의 50 % 용량의 주급수펌프
- 각 주급수펌프에 하나씩 설치된 3개의 최소유량 재순환계통
- 급수배관, 밸브, 지지대와 부속장치
- 보온재 및 도장

정상시 하나의 복수펌프가 저압재생 급수가열계통을 통해 주 복수를 탈기기로 공급하기 위해 사용된다. 2대의 병렬로 설치되어 작동하는 주급수펌프는 다시 고압재생 급수가열계통을 통해 원자로건물 내의 증기발생기로 급수를 이송한다.

터빈발전기가 연속 정격부하로 운전 중일 때 한 대의 복수펌프 또는 증기발생기 급수펌프의 결함은 원자로를 운전 정지시키는 일련의 사고를 유발시키지 않는다.

증기발생기 급수펌프 재순환관은 저유량으로 펌프 운전을 계속할 수 있게 한다. 모든 재순환관은 독립적으로 탈기기저장탱크로 방출한다. 그림 10.5-1 및 10.5-2는 복수 및 급수계통 흐름도를 보여준다.

10.5.3.3 안전성 평가

가. 배관파손이 주변 안전관련계통에 손상을 주지 않도록 필요에 따라 급수배관을 격리 또는 고정시켰다.

나. 배관파손이 원자로 안전정지를 방해하지 않도록 급수배관

월성 1호기 최종안전성분석보고서

을 설계하고 배치하였다.

다. 원자로건물과 증기발생기 사이의 급수배관은 설계기준지진 범주 'A'의 요건에 맞도록 설계하였다. 원자로건물 내 급수 역지밸브는 설계기준지진 범주 'B'로 내진검증 되었다.
라. 등급 4 전원의 상실은 원자로 안전정지를 방해하지 않는다.

마. 급수계통은 상시 운전되며 물에 의한 수격 현상의 효과를 최소화 하도록 설계하였다. 역지밸브가 펌프 방출배관에 수격현상을 방지 또는 최소화하기 위해 사용되었다.

10.5.3.4 시험 및 검사

모든 복수 및 급수계통의 배관 및 밸브들에 대한 시험 및 검사는 ANSI B31.1 Power Piping 규격에 따라 수행한다.

원자로건물과 증기발생기 사이의 배관은 ASME "보일러 및 압력용기 코드" Section III에 따라서 검사된다.

펌프는 다음의 공장시험을 받는다.

- 정수압시험
- 공동현상시험을 포함하는성능시험
- 진동측정
- 재료시험
- 단조물에 대한 자분탐상 검사
- 구조물에 대한 방사선 및 자분탐상시험

10.5.4 복수보충 및 배출계통

복수보충 및 배출계통은 정상 운전시나 비정상 운전시 복수를 복수기로 보충하거나 초과된 복수를 저장하는 기능을 담당한다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.5.4.1 설계기준

10.5.4.1.1 안전설계기준

이 계통은 안전관련기능을 갖지 않는다.

10.5.4.1.2 계통설계기준

이 계통은 요구시 복수기에 보충수를 공급하도록 설계하였다. 또한 이 계통은 정상운전이나 비정상 운전 하에서 급수 및 복수계통으로부터 초과 복수를 저장할 수 있도록 설계하였다.

10.5.4.2 계통 설명

이 계통은 복수저장탱크로 구성되어 있다. 이 탱크는 복수계통으로 복수를 보충하고 초과된 복수를 저장하는 기능을 담당한다. 복수기 집수조의 수위는 순수저장탱크로부터 물을 공급받아 수위를 유지하는 복수저장탱크로부터 복수공급에 의해 유지된다.

10.5.4.3 안전성 평가

이 계통은 안전관련 기능을 갖지 않는다.

10.5.4.4 시험 및 검사

이 계통의 모든 배관 및 기기에 대한 시험 및 검사는 ANSI B31.1 Power Piping의 요구조건에 따라 수행한다.

10.5.5 습분분리/재열기 증기배수계통

터빈발전기의 습분분리기 내에 응축된 증기는 고압급수가열기로 보내어지고 재열기 내에 응축된 증기는 재열기배수탱크를 통해 증기발생기로 보내어진다. 관련 계통도는 그림 10.5-3을 참조한다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.5.5.1 설계기준

10.5.5.1.1 안전설계기준

이 계통은 안전 관련 기능을 갖지 않는다.

10.5.5.1.2 계통설계기준

이 계통은 재열기 안에서 생성되는 응축수와 습분분리기가 고압터빈의 습한 배기로부터 제거한 모든 응축수를 배수하도록 설계하였다.

증기가 습분분리/재열기로부터 빠져나가지 못하도록 배수탱크의 적절한 수위가 유지된다.

10.5.5.2 계통 설명

이 재열기 배수계통은 다음과 같이 구성되어 있다.

- 3대의 50 %용량의 재열기 배수펌프
- 재열기 배수탱크, 배관 및 밸브
- 제어 및 계측기기

재열기로부터의 배수는 자체배기 흐름(Self-Venting Flow)에 의해 각각의 재열기 배수탱크로 배수되며 습분분리기에서 분리된 습분은 5번 고압급수가열기의 플래쉬 탱크로 보내어 진다 (그림 10.5-3 흐름도 참조).

10.5.5.3 안전성 평가

이 계통은 안전관련 기능을 갖지 않는다.

10.5.5.4 시험 및 검사

모든 배관 및 밸브에 대한 시험 및 검사는 ANSI B31.1 Power Piping의 요구조건에 따라 수행한다.



그림 10.5-1 복수 및 급수계통 흐름도(1/2)

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 10.5-2 복수 및 급수계통 흐름도(2/2)



그림 10.5-3 증기배수계통 흐름도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.6 보조계통

10.6.1 일반사항

앞의 항목에 기술된 기기에 추가해서 터빈발전기계통은 모든 필요한 보조기기를 갖추고 있다.

주요 부속장치는 다음과 같다.

가. 급수 및 복수의 화학분석용 시료채취를 위한 시료채취계통
나. 여러 기기의 배수구로부터 처리된 물과 잠열을 회수하기 위한 증기 배수계통

다. 급수 및 복수를 규정된 적정등급의 화학성분으로 유지 및 제어하기 위하여 화학물질을 주입하는 화학물질 주입계통

10.6.2 시료채취계통

각 세관시트 하부에는 복수기의 냉각수가 누설되어 유입되는 것을 감시하기 위한 채취조(collecting trough)들이 설치되어 있다. 또한 복수도 이 채취조에서 수집되어 나트륨 이온농도의 준위를 결정하기 위해 계속적으로 감시장치를 통해 순환되며 농도의 준위에 따라서 복수는 복수기 집수조로 보내지거나 외부로 배수된다.

복수펌프 토출측에서는 산소, 전도도 등 여러 실험실용 분석자료의 측정을 위한 시료채취가 이루어진다.

또한 각 급수가열기 후단에는 연속 시료채취점이 설치되어 있으며, 이는 산소와 연속적인 pH 감시 및 기타 실험실용 분석자료의 측정을 위한 것이다.

10.6.3 증기 배수계통

증기계통에서의 모든 배수는 처리수 회수뿐만 아니라 잠열을 회수하기 위하여 가능한 한 복수기로 이송한다. 이것은 또한 터빈 내 물유입

월성 1호기 최종안전성분석보고서

으로 인한 터빈 손상을 방지한다.

10.6.4 화학 물질 주입계통

이 계통에는 다음 사항들이 포함된다.

- 희석 하이드라이진 아민과 인산염의 혼합 및 저장을 위한 1400 리터의 저장용량을 갖는 4개의 스테인리스강 탱크
- 각 화학약품 주입 펌프
- 제어 및 계측장치

10.6.5 복수기 냉각수계통

이 계통은 그림 10.6-1과 그림 10.6-2에 나타난 바와 같이 복수기에 필요한 냉각수를 공급하며, 냉각매체로 해수가 사용된다. 2대의 50 % 용량의 냉각수 펌프가 펌프하우스에 위치하고 있으며, 각 펌프는 독립된 흡입부를 갖고 있다.

펌프는 정상시 병렬상태로 작동하나 1대의 펌프로도 2대 펌프의 총 정격 용량의 60 %를 넘는 냉각수를 방출하므로써 지속적이며 원만한 운전이 가능하다.

냉각수는 복수기 동체로 분배되고 유출구로 방출되며 부식방지를 위해 적절한 내부 보호설비가 설치된다. 모든 펌프의 방출부와 복수기 수실(Water Box)의 입구 및 출구는 전동기로 작동되는 나비형밸브가 설치된다.

냉각수로써 해수가 사용되며, 최대유량에서 특정 배압을 유지하는 동안 복수기 온도상승은 9.5℃(17.2°F)이다. 냉각수는 오물 걸름망(trash rack)과 회전 스크린을 이용함으로써 작은 이물질이나 어류들을 걸러 낸다.

불 세정계통은 복수기 세관의 오염도를 최소화 하기위해 사용된다. 대구경 배관의 연결을 위하여 신축이음이 복수기의 냉각수 배관 연결부에 설치된다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

터빈건물이나 펌프하우스의 바닥배수를 위하여 바닥배수관 혹은 배수구가 설치되어 있다. 배수배관이 각 집수조(Sump)로 연결되거나 어떤 경우에는 바로 우수배출 시설로 직접 배출된다. 각 집수조에는 2중(Duplex) 혹은 단일(Simplex) 유닛 펌프가 설치되어 있으며 등급 4 전원이 공급된다. 각 집수조 펌프는 "ON-AUTO-OFF"가 표시된 핸드스위치가 있다. 핸드스위치가 "AUTO"에 위치하면 고/저 수위 스위치에 의해 펌프를 자동제어 한다.

2중 유닛 펌프운전: 두 개의 스위치는 정상운전시 "AUTO"로 위치되어 있다. 수위가 허용 가능한 최고수위에 도달하면 선행(Lead)펌프가 작동되며 수위가 계속 증가하면 대기펌프가 기동된다. 두 펌프가 저수위에 도달하면 정지된다.

단일 유닛 펌프운전: 핸드스위치는 정상운전시 "AUTO"로 위치하고 있다. 수위가 허용 가능한 최고수위에 도달하면 펌프가 작동되며 저수위에 도달하면 정지한다.

만약 수위가 비정상운전으로 인하여 최고수위(Very High Level)에 도달하면 현장 및 주제어실에 경보가 제공되며 이 경우에 이동펌프가 사용될 수 있다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

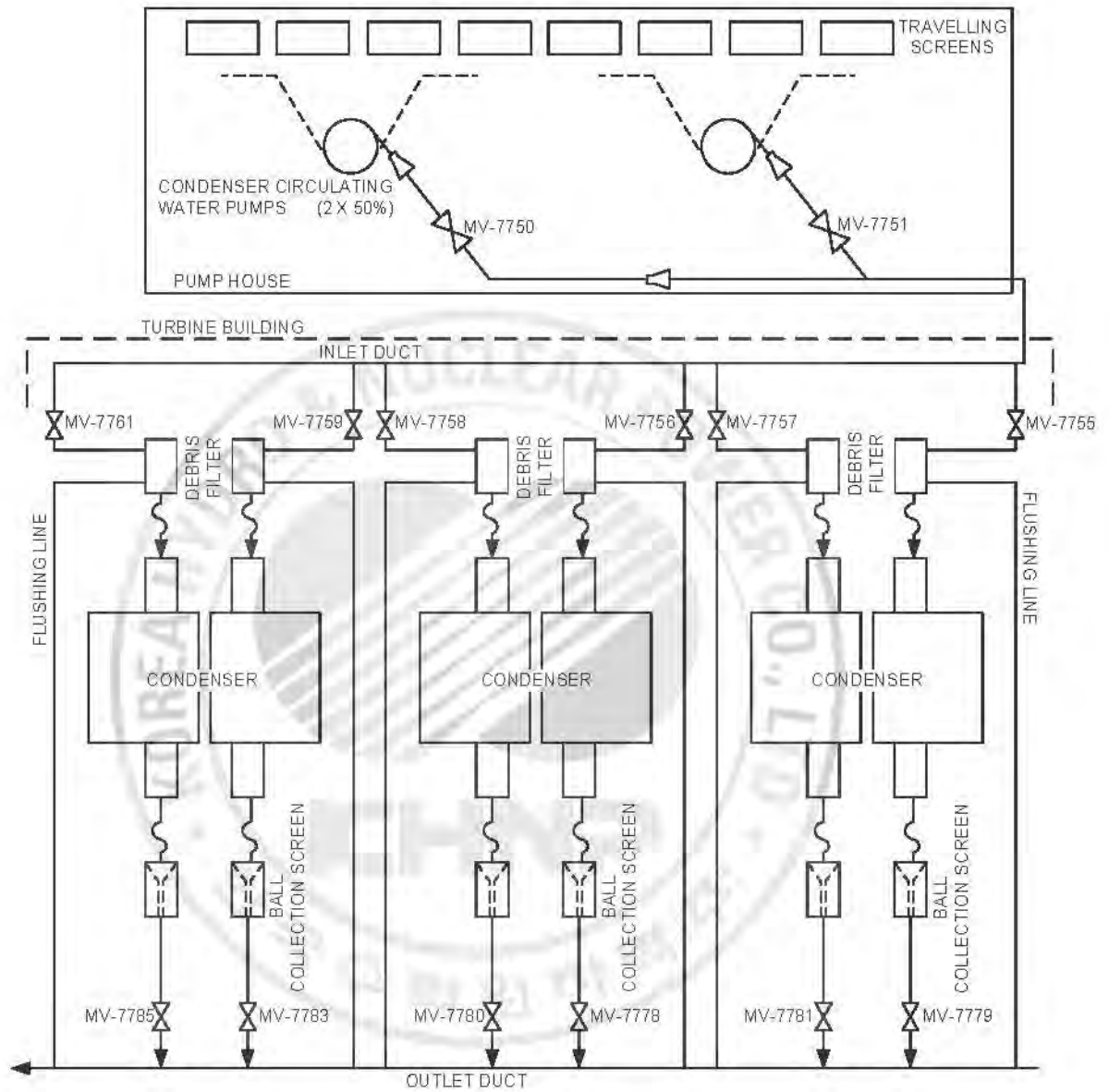


그림 10.6-1 복수기 냉각수 계통 개략도



그림 10.6-2 복수기냉각수계통 흐름도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

10.7 참고 문헌

- 10.7-1 DM-59-63710, "Wolsong-1 Nuclear Power Plant Overall Plant Control"
- 10.7-2 DG-59-68000-1, "Safety Related Systems and Structures Classification"
- 10.7-3 DG-59-68000-2, "Seismic Classification of Safety Related Systems and Structures"
- 10.7-4 DG-59-68000-3, "Environmental Qualification of Safety Related Systems and Structures"
- 10.7-5 DG-59-68000-5, "Location and Separation Requirements for Safety Related Systems and Structures"
- 10.7-6 DG-59-68000-6, "Extensions of the Containment Envelope"
- 10.7-7 DC-59-43220-51, "Condensate Make-up & Reject System"
- 10.7-8 DE-59-43200-51, "Condensate & Main Feedwater System"
- 10.7-9 DM-59-41120-51, "Separator Drain System"
- 10.7-10 DM-59-41130-51, "Reheater Drain System"
- 10.7-11 DM-59-36100-51, "Main Steam & Dump System"
- 10.7-12 DM-59-36100/63620/63614, "S/G Steam & Feedwater System"
- 10.7-13 DC-59-43230-51, "Main Feedwater Circuit"
- 10.7-14 DE-59-42100-51, "Condenser & Air Extraction System"
- 10.7-15 DM-59-43100-51, "Feedwater Heating System"
- 10.7-16 59-41000-9728-01/02-MM-A, "NEI Parsons Turbine Manual"
- 10.7-17 59-41000-9727-01-MM-A, "Turbine Supervisory Equipment"
- 10.7-18 ANSI Power Piping Code B31.1, 1975
- 10.7-19 Recommended Specification for Speed Governing of Steam Turbines, IEEE