

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

제 1 장

발전소 개요



월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

| | <u>페이지</u> |
|--------------------|--------------|
| 1. 발전소 개요 | 1.1-1 |
| 1.1 개요 및 요약 | 1.1-1 |
| 1.1.1 개요 | 1.1-1 |
| 1.1.2 요약 | 1.1-2 |
| 1.2 요약 설명 | 1.2-1 |
| 1.2.1 개요 | 1.2-1 |
| 1.2.2 건물 및 구조물 | 1.2-2 |
| 1.2.3 원자로 및 공정계통 | 1.2-3 |
| 1.2.3.1 원자로 | 1.2-3 |
| 1.2.3.2 반응도제어장치 | 1.2-3 |
| 1.2.3.3 냉각재계통 | 1.2-5 |
| 1.2.3.4 감속재계통 | 1.2-6 |
| 1.2.3.5 보조계통 | 1.2-6 |
| 1.2.3.6 연료 취급 | 1.2-7 |
| 1.2.3.7 연료 | 1.2-8 |
| 1.2.4 터빈발전기 및 보조계통 | 1.2-8 |
| 1.2.5 전력계통 | 1.2-9 |
| 1.2.6 계측제어계통 | 1.2-9 |
| 1.2.7 일반 서비스계통 | 1.2-10 |

월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

| | 페이지 |
|---------|-------------------------|
| 1.2.8 | 안전계통 1.2-11 |
| 1.2.8.1 | 원자로건물계통 1.2-11 |
| 1.2.8.2 | 비상노심냉각계통 1.2-11 |
| 1.2.8.3 | 제1정지계통(SDS1) 1.2-11 |
| 1.2.8.4 | 제2정지계통(SDS2) 1.2-12 |
| 1.2.9 | 방사성폐기물관리계통 1.2-12 |
| 1.3 | 다른 캐나다 설계 발전소와 비교 1.3-1 |
| 1.3.1 | 서론 1.3-1 |
| 1.3.2 | 노심 데이터 및 연료 성능 1.3-1 |
| 1.3.3 | 연료 취급 1.3-2 |
| 1.3.4 | 원자로 1.3-2 |
| 1.3.4.1 | 칼란드리아 1.3-2 |
| 1.3.4.2 | 연료채널 1.3-3 |
| 1.3.5 | 제어 1.3-3 |
| 1.3.5.1 | 반응도제어장치 1.3-3 |
| 1.3.5.2 | 컴퓨터 제어 1.3-4 |
| 1.3.6 | 안전계통 1.3-4 |
| 1.3.6.1 | 정지계통 1.3-4 |
| 1.3.6.2 | 비상노심냉각 1.3-5 |
| 1.3.6.3 | 원자로건물 1.3-5 |

월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

| | 페이지 |
|---------|--------------------------|
| 1.3.7 | 공정계통 1.3-7 |
| 1.3.7.1 | 냉각재계통 1.3-7 |
| 1.3.7.2 | 증기발생기 증기 및 급수계통 1.3-8 |
| 1.3.7.3 | 감속재계통 1.3-8 |
| 1.4 | 사업 책임 구분 1.4-1 |
| 1.5 | 신 기술정보의 요구조건 1.5-1 |
| 1.5.1 | 기술개발 1.5-1 |
| 1.6 | 참고문헌 1.6-1 |
| 1.6.1 | 개요 1.6-1 |
| 1.6.2 | 보조문서 1.6-1 |
| 1.6.3 | 보충문서 1.6-1 |
| 1.7 | 도면 및 기타 상세 자료 1.7-1 |
| 1.7.1 | 전기도면과 계측 및 제어도면 1.7-1 |
| 1.7.2 | 흐름도 1.7-1 |
| 1.7.3 | 기타 자료 1.7-1 |
| 1.7.4 | 참고문헌 1.7-1 |
| 1.8 | 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항 1.8-1 |
| 부록 1.A | 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항 207 |

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 목 차

| | | <u>페이지</u> |
|---------|-------------------|------------|
| 표 1.3-1 | 캐나다 설계 원자력발전소 | 1.3-10 |
| 표 1.3-2 | 월성발전소 데이터 비교 | 1.3-11 |
| 표 1.3-3 | 캐나다 원자력발전소 데이터 비교 | 1.3-14 |
| 표 1.7-1 | 흐름도 목록 | 1.7-2 |



월성 1호기 최종안전성분석보고서

그림 목 차

- 그림 1.1-1 월성 1호기 일반부지 위치
- 그림 1.2-1 발전소 배치도
- 그림 1.2-2 CANDU-PHW 원자로 및 핵증기공급계통
- 그림 1.2-3 CANDU 원자로 - 흐름도
- 그림 1.3-1 CANDU 6 원자로건물 단면도
- 그림 1.3-2 Bruce 'A' 원자로 건물 단면도
- 그림 1.3-3 Pickering 'A' 원자로건물 단면도
- 그림 1.3-4 Darlington 'A' 원자로건물 단면도

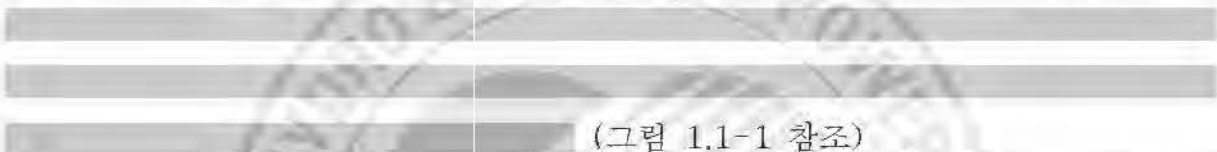
월성 1호기 최종안전성분석보고서

1 장 발전소 개요

1.1 개요 및 요약

1.1.1 개요

한국수력원자력주식회사(KHNP)는 캐나다원자력공사(AECL)와 600 MWe급 가압 중수로형 원자력 발전소의 설계, 공급, 건설, 시험, 시운전 및 초기 가동의 감독 등에 대한 상호 협정을 체결하고 본 협정을 토대로 한국의



(그림 1.1-1 참조)

예비안전성분석보고서는 건설허가를 신청하기 위해 발행되었고, 최종안전성분석보고서는 발전소의 안전성을 평가하는데 필요한 주요한 내용을 포함하여 운영허가를 신청하기 위해 인허가기관에 제출되었다.

월성 1호기에 대한 STATION DATA MANUAL은 KHNP/AECL MAIN AGREEMENT에 있는 TECHNICAL DESCRIPTION 편의 "UNIT AND STATION DATA"절(2.0.3절 참조)에서 인용되었다.

본 전면 개정판은 그동안 설계변경, 조직변경 등으로 부분 개정하여 왔던 내용 등을 포함하여 설비에 대한 상세한 내용을 대폭 보강하여 재작성하였다. 최초 운전 이후 주요 설계변경사항들은 다음과 같으며 세부적인 내용들은 해당 절에 상세히 기술되어 있다.

압력관 및 관련설비 교체(원자로관, 공급자관 등)에 대한 안전성분석은 참고문헌 1.1-1 “월성 1호기 압력관교체 안전성분석보고서”에 명시되어있다.

- 가. 환형기체계통 설비개선
- 나. 사용후연료저장조 열교환기 추가 설치
- 다. 지진감시계통 설비개선

월성 1호기 최종안전성분석보고서

- 라. 노내 중성자속검출기 교체
- 마. 월성 1, 2호기 공용설비 연결
- 바. 사용후연료 건식저장시설 증설
- 사. 제1정지계통 전산기 교체
- 아. 제2정지계통 전산기 교체
- 자. 압력관 및 관련설비 교체(연료채널, 칼란드리아관, 자관 등)

116

1.1.2

요약

발전소:

| | |
|--------|------------------|
| 원자로 수 | 1 |
| 노심열출력 | 정격 2061.4 MW(th) |
| 총 전기출력 | 정격 678 MW(e) |
| 순 전기출력 | 628.6 MW(e) |

핵증기공급계통:

| | |
|----------|-----------------|
| 원자로 형태 | 가압중수형 (PHW) |
| 감속재와 반사체 | 수평 압력관 |
| 냉각재 | 중수 |
| 연료 | 가압 중수 |
| 연료교체 방법 | 천연 우라늄 |
| | 가동중, |
| | 인접채널과 양방향에서의 교체 |
| 연료 주기 | 비순환 주기 |

원자로건물 구조 :

프리스트레스트 콘크리트

1.1.3 참고문헌

- 1.1-1 월성 1호기 압력관교체 안전성분석보고서(Rev.05)

169

월성 1호기 최종안전성분석보고서

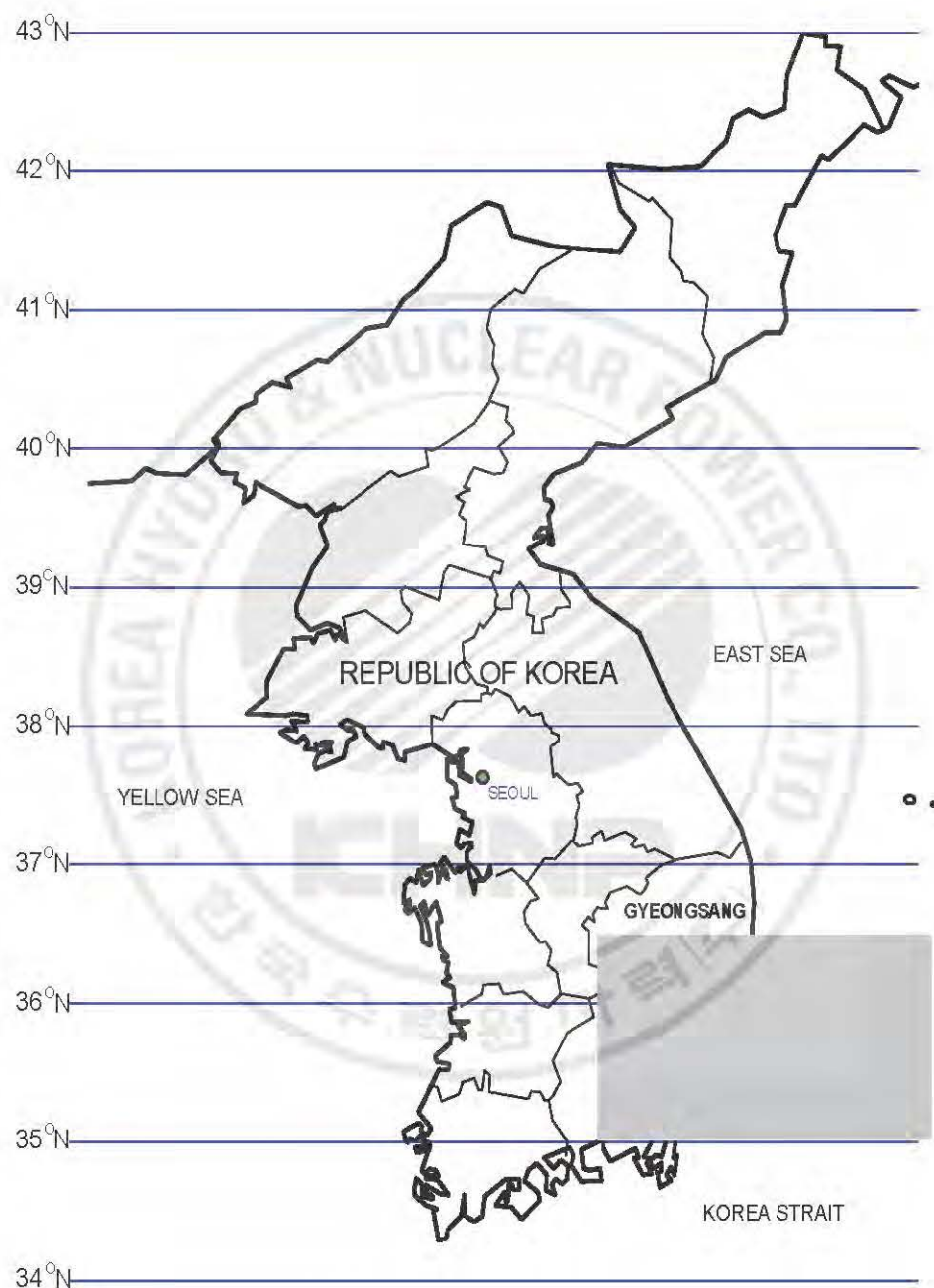


그림 1.1-1 월성 1호기 일반부지 위치

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.2 요약설명

1.2.1 개요

이 절은 월성 1호기에 대한 요약 서술 편이다. 발전소 설계는 그림 1.2-1에 나타나 있다.

발전소는 상업적인 기저부하운전을 위해 설계되었다. 발전소는 CANDU-PHW형 원자로의 증기 공급으로 628.6 MW(e)의 순 전기출력을 생산하는 터빈 발전기를 포함하고 있다. Gentilly-1을 제외하고는 모든 캐나다 발전소에는 이러한 설계가 사용되었다. 원자력발전소 설계수명은 30년이다. 계속운전 기간은 10년으로 한다.(설계수명과 계속운전기간을 포함하여 운영기간은 40년이다)

245

이러한 형태의 원자로는 중수를 감속재와 냉각재로 사용한다. 연료는 천연우라늄으로서 다발의 형태로 되어 있으며 가동중에 연료교체가 이루어진다.

폐쇄 루프(Loop)의 냉각재계통은 연료의 열을 전달하고, 증기발생기 안의 경수 수증기를 만들어 내기 위해 장치된다. 터빈 발전기 사이클은 이러한 형태의 다른 발전소에서 사용된 것과 유사하다.

이러한 설계의 준비 단계로써 AECL은 이미 시험되고 증명된 장비의 설치를 위한 전력업체의 요망을 인지해 왔다. 그래서 핵증기공급계통으로 건설 당시 총 누적 순 전기출력 약 17,740 MW(e)에 해당하는 운전 중 또는 건설 중인 발전소에 설치된 기기와 유사한 기기를 설치하였다.

핵증기공급계통의 주요 요소와 장치들은 그림 1.2-2에 나타나 있다. 간략화된 흐름도는 그림 1.2-3에 있다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.2.2 건물 및 구조물

월성 1호기는 원자로건물, 원자로보조건물, 터빈건물, 관리건물, 펌프하우스, 취배수관로, 중수승급건물로 이루어져 있다.

원자로건물은 격납 경계의 가장 큰 구성요소로서 증기발생과 직접 관련된 모든 설비들을 포함하고 있다. 격납 경계는 프리스트레스트 콘크리트로 된 원통형 벽체, 부분구형의 돔 및 바닥 슬레브로 구성되어 있으며 내부설계 압력은 124 kPa(g) (18 psig)이다. 원자로건물의 내부 표면은 과압 과도 상태시 누설을 최소화하기 위하여 불침투성 라이닝(Lining)이 도포 되어 있으며, 설계 누설 허용 한도는 124 kPa(g) (18 psig)의 압력에서 일일 누설량이 총 부피의 0.5 %이다. 원자로건물 꼭대기의 안쪽 돔은 바깥쪽의 원자로건물 벽체와 함께 원자로건물 살수 계통과 비상노심냉각에 필요한 물의 저장탱크 역할을 한다. 또한 철근콘크리트 내부 지지구조물 및 차폐구조물이 설치되어 있으며, 내부 차폐구조물은 연료교환기 및 기타 기기의 유지보수를 위한 운전원의 접근이 가능하도록 배치되어 있다. 원자로건물에는 원자로 격실이 설치되어 있으며, 원자로건물계통은 CANDU 6 발전소의 표준형인 단일 발전소 형태이다.

원자로보조건물의 지하는 철근 콘크리트 구조로 지상은 금속 외복(Metallic Cladding) 및 단열재로 마감한 강구조로 되어 있다. 이 건물 내부에는 제어실, 사용후연료저장조, 중수처리실 및 방사성 폐기물 저장실이 있다. 또한 보조건물 내부에는 창고, 작업실, 탈의실, 제염실, 실험실 등 일반용도(conventional service)의 설비들도 있다.

터빈건물은 터빈과 그 보조기기들을 수용하는 일반적인 구조물이며, 기타 건물 및 구조물 또한 일반적인 구조물이다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.2.3 원자로 및 공정계통

1.2.3.1 원자로

원자로는 기본적으로 중수 감속재/반사체가 함유되어 있는 튜브형 태인 수평 칼란드리아 용기로 이루어져 있다. 이것에는 높은 압력의 중수 냉각재를 갖는 연료채널이 들어있는 380개의 칼란드리아관이 관통한다. 각 연료채널은 칼란드리아관의 안쪽 중앙에 위치한 압력관으로 이루어져 있으며 압력관은 열을 차폐하는 환형기체와 연료채널을 부분적으로 지지하는 환형 채널 스페이스에 의해 칼란드리아관과 분리되어 있다.

칼란드리아 용기의 구성요소인 종단차폐체는 칼란드리아 양쪽 끝단을 지지하고 원자로 운전정지시 연료교환기실 및 원자로 표면에 사람이 접근할 수 있도록 원자로 양쪽 끝단을 종단차폐체 내의 탄소강구와 경수로 차폐시켜 준다. 연료채널은 종단차폐체를 관통하며 종단차폐체에 의해 지지된다.

칼란드리아는 강철로 피복된 콘크리트 원자로실 안쪽에 위치한다. 칼란드리아 동체와 격실벽 사이는 경수로 채워진다. 이 경수는 추가적인 차폐역할을 하며 칼란드리아 동체를 필수적으로 일정한 온도로 유지시켜 준다. 강철 종단차폐체는 원자로격실 양측면의 개방부에 위치한다. 칼란드리아 집합체는 원자로격실에 부착된 부착물에 의해 지진에 견디도록 되어 있다.

1.2.3.2 반응도 제어장치

반응도 제어장치는 원자로조절계통 및 원자로 정지계통의 원자로내 감지기와 구동부분으로 구성된다. 반응도 제어장치는 중성자속 검출기, 반응도 제

월성 1호기 최종안전성분석보고서

여기구 및 원자로 안전 정지계통을 포함한다.

중성자속 검출기는 중성자속을 측정하기 위해 칼란드리아 내부와 주위에 설치되어 있고 반응도 제어기구는 핵 반응을 제어하기 위해 노심 내부에 장치되어 있다.

노내 중성자속 검출기는 노심의 서로 다른 14개 부분에서의 중성자속을 측정하는데 쓰인다. 이들 검출기는, 칼란드리아 동체 위의 구조물에 얹혀 있는 전리함 집합체에 의해 보강되어진다. 노내 중성자속 검출기 신호는 액체영역제어집합체의 경수 수위 조절에 사용된다. 액체영역제어집합체 수위의 변화는 국부적인 중성자 흡수를 변화시킴으로써 국부 중성자속 준위를 제어한다.

고체제어흡수봉은 노심을 수직으로 통과하고 있다. 이들 제어봉은 정상운전시 노심밖에 위치하며 액체영역제어집합체가 중성자속을 제어할 수 있는 것보다 더 많은 제어량 및 제어율이 필요한 경우에 노심에 삽입한다.

저속 또는 장기 반응도 변화를 위해서는 중성자 흡수체를 감속재에 주입함으로 제어할 수 있다. 제어는 감속재 내부의 “독물질” 농도를 변화시킴으로써 수행된다. 예를 들면 원자로 초기 기동시, 초기노심 전체에 존재하는 잉여반응도를 보상하는데 액체 “독물질”이 사용된다.

관상의 스테인리스강 조절봉은 중성자속을 평평하게 하는데 사용되어진다. 또한 조절봉 인출은 출력감소에 따른 중성자 흡수 동위원소 Xe-135의 증가를 억제하는데 필요한 잉여반응도를 제공한다.

두 개의 독립된 원자로 정지계통이 설치되었고, 각각의 계통으로 어떠한 가상사고에도 원자로를 정지시킬 수 있다. 제1정지계통은 정지봉으로 이루어져 있으며 안전계통으로부터 정지신호를 받으면 중력에 의해(스프링 작용의 도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

움을 받아) 노심으로 삼입된다. 제2정지계통은 고농도 중성자 흡수 용액을 감속재로 신속히 주입하는 방법을 사용한다. 원자로 자동 정지계통은 중성자와 공정신호에 반응한다. 제2정지계통은 제1정지계통보다 높은 트립설정치의 변수에서 작동된다.

1.2.3.3 냉각재계통

냉각재계통은 연료에서 발생한 열을 제거시키기 위해 연료채널을 통하여 가압 중수를 순환시키도록 설계되어있다. 이 열은 냉각재보다 낮은 온도와 압력에서의 비등으로 터빈 발전기를 구동시키는 증기를 발생시키는 증기발생기 안의 보통 경수로 전달된다.

냉각재계통은 냉각재펌프, 모관, 각 연료채널에 연결된 자관, 증기발생기의 1차측 및 가압기로 구성된다. 냉각재계통은 기능적으로 절반을 담당하는 2개의 독립된 루프(Loop)로 구성되며 가압기, 비상노심냉각계통 및 정화계통과 공통으로 연결되어 있다. 냉각재펌프는 다단계 기계적 밀봉축을 갖는 원심펌프로서 표준 전기전동기로 구동된다. 증기발생기는 완전한 예열 부분을 갖는 수직형 U-관 형태이며 관의 재질은 Incoloy-800이다.

냉각재계통은 계통의 운전을 지원하고, 다양한 계통기능을 적합하게 수행하도록 최적 범위내의 정지변수를 유지하는 보조계통으로 보완된다. 계통 압력제어는 가압기의 증기배출밸브 및 가열기로 하며 냉각재계통 재고량은 공급 및 배출회로로서 제어한다. 물의 화학적 성질은 활성 부식생성물의 축적을 제한하기 위하여 엄격하게 제어된다. 계통으로부터 중수의 이탈을 최소화하고 액체 중수나 혹은 이탈된 중수 증기를 수집하는데 세심한 주의가 필요하다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.2.3.4 감속재계통

핵분열에 의해 생성된 중성자는 칼란드리아 내의 중수에 의해 감속된다. 중수 감속재는 칼란드리아를 통해 감속재펌프에 의해 순환되고 상대적으로 낮은 온도와 낮은 압력계통에 있는 감속재 열교환기에 의해 냉각된다. 감속재 열교환기는 감속재에서 발생된 열과 연료채널로부터 감속재로 전달된 열을 제거한다. 중수 상증기체로 헬륨이 사용된다. 감속재정화계통으로 감속재 중수를 화학 제어한다.

1.2.3.5 보조계통

냉각재계통, 감속재계통 및 원자로제어계통 등과 연관된 많은 보조계통들이 있다. 주요 보조계통들은 다음과 같다.

- 가. 차폐냉각계통
- 나. 원자로건물 살수계통
- 다. 비상노심냉각계통
- 라. 사용후 연료저장조 냉각 및 정화계통
- 마. 액체영역제어계통
- 바. 환형기체계통
- 사. 감속재 액체독물질계통
- 아. 정지냉각계통
- 자. 수지취급계통
- 차. 냉각재 및 감속재 정화계통
- 카. 냉각재 압력 및 수위 제어계통

월성 1호기 최종안전성분석보고서

- 다. 냉각재, 감속재 중수화 및 탈중수화계통
- 파. 중수수집계통
- 하. 중수관리계통
- 거. 중수 시료채취계통
- 너. 비상급수계통
- 더. 비상전력계통

1.2.3.6 연료 취급

연료 취급설비는 신연료의 취급 및 저장, 연료교체, 조사된 연료의 취급 및 저장용 기기로 구성된다.

원자로는 가동중 원자로 양단에 위치하여 원격조정되는 두 개의 연료교환기에 의해 연료가 교체되어진다. 동일 연료채널의 반대편 끝부분에서 작동하는 연료교환기는 원자로가 운전중일 때 연료채널 엔드피팅에 연결되어 사용후 연료를 제거하며 신연료 이송기시설로부터 받은 신연료를 삽입한다.

사용후 연료는 연료이송유로를 통해 보조건물에 위치한 사용후 연료저장조로 수중에서 이송된다. 사용후 연료저장조는 원자로 이용률 80% 운전시 약 9년간 축적되는 사용후연료와 원자로노심의 반에 해당하는 핵연료를 저장하는 능력을 갖고 있다. 인양설비는 조사된 연료의 취급 및 운반에 사용된다. 사용후 연료저장조 냉각 및 정화계통은 저장조 물의 흡수열을 제거하고 물의 화학성분 및 방사능을 허용수준으로 유지한다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.2.3.7 연료

연료 설계는 NPD, Douglas Point와 Pickering 원자로에서 사용된 연료를 개량한 것으로, 다른 CANDU 6 원자로에서 사용된 연료와 동일하다. 이것은 천연 이산화우라늄 소결체의 형태를 이루고 있고, 지르코늄 합금 튜브에 넣어 피복 및 밀봉된다. 37개의 튜브가 연료봉 지지판 사이에 접합되어 연료 다발 형태를 이루고 있고 380개의 채널은 각각 12개의 연료다발이 장전되며 원자로에는 총 4560개의 연료다발이 있다.

1.2.4 터빈발전기 및 보조계통

냉각재계통에는 4대의 증기발생기가 제공되어 여기서 발생된 증기는 공통모관을 통해 터빈발전기와 보조증기계통에 공급된다.

전력발생장치는 다음과 같이 구성된다.

가. 공칭 총 출력 678 MW(e)인 터빈 발전기 설비 ; 고압 터빈과 저압터빈 사이에 습분분리기 및 재열기가 구비된 증기구동 단일축 터빈으로 되어 있다. 발전기는 물과 수소로 냉각시키며 정지식 여자기계통을 구비하고 있다.

나. 터빈 축과 직각 방향인 튜브 다발과 세 개의 동체로 구성된 복수기(three-shell surface condenser).

다. 두 개의 계열로 구성되어지고 각 계열별 저압 급수가열기 3대와 고압 급수가열기 2대 그리고 공통의 탈기기 1대로 구성된 재생 급수가열계통

월성 1호기 최종안전성분석보고서

라. 기타 터빈 발전기와 연관된 보조기기

1.2.5 전력계통

전력공급 및 배전계통은 1대의 주변압기(승압용)와 2대의 소내용 변압기로 구성되는 일반 화력발전소 계통구성과 유사하며, 발전소 보조계통용 전원은 원자력발전소 특수성에 부합하도록 비상전원과 예비전원으로 구성되어 있다.

발전소 소내에 위치한 옥외개폐소를 통하여 전력공급망에 전력을 공급하도록 되어 있다.

예비 전원용 디젤발전기와 정지형 인버터 및 축전지 설비는 비상시 필요한 제어, 계측 및 안전관련 기기를 위한 소내 전력공급원으로 사용된다.

내진 품질등급이 적용된 비상발전기는 월성 1호기와 2호기에 공용으로 쓰인다.

1.2.6 계측제어계통

제공된 자동화의 정도는 안전하고 신뢰할 수 있는 발전소운전을 보장하기에 충분하다. 주제어실은 원격감시와 주요 변수 및 장치들의 제어를 수행한다. 정상적 발전소 전원공급의 실패시 주요 계측제어기기의 계속적인 작동을 위한 대책이 준비되어 있다. 2중 컴퓨터계통이 발전소 제어계통의 한 부분을 이루고 있다. 2대중 하나의 컴퓨터만으로도 발전소를 안전하고 신뢰성 있게 제어할 수 있다. 제2제어지역은 사고로 주제어실에서 제어할 수 없는 경우 필수 제어를 보장하기 위해 제공된다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.2.7 일반 서비스계통

공용 및 일반 서비스계통은 다음과 같다. 이 중 몇 계통은 월성 1, 2호기 간에 서로 공유한다.

가. 복수기 냉각수계통

나. 기기냉각수계통

다. 소방계통 : 월성 1, 2호기 공용

라. 소내용수계통 : 월성 1, 2호기 공용

마. 순수계통 : 월성 1, 2호기 공용

바. 방사성 및 비방사성 액체폐기물 배수계통

사. 위생배수계통

아. 난방, 배기, 공기조화계통

자. 계기용 공기계통

차. 압축 및 호흡용 공기계통 : 월성 1, 2호기 공용

카. 가스 계통 (수소, 이산화탄소, 질소)

타. 자재 운반 취급 설비

파. 기타 기기 (세탁기 등)

하. 방사성폐기물 관리계통

거. 중수 승급 설비 : 월성 1, 2호기 공용

너. 연료 취급 장치

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.2.8 안전계통

1.2.8.1 원자로건물계통

원자로건물계통은 냉각재계통내의 기기 고장시 주민에 대한 많은 양의 방사능 방출을 방지한다.

원자로건물계통은 에폭시 라이닝이 되어 있는 포스트텐셔닝한 프리스트레스트 콘크리트 원자로건물 구조물과 자동작동되는 살수계통 및 건물공기냉각기로 구성된 에너지 제거원, 원자로건물 출입구, 원자로건물을 관통하는 계통배관의 밸브 및 댐퍼로 구성되어 있는 원자로건물 격리계통으로 구성된다.

1.2.8.2 비상노심냉각계통

비상노심냉각계통은 냉각재상실사고시 물(비상 냉각수)을 원자로 노심에 공급하도록 설계되었다.

이 계통은 초기 고압 비상노심냉각수 주입용 고압주입탱크, 순환용 펌프 및 냉각재계통으로 유입되는 유량을 냉각시키는 열교환기로 구성된다. 비상노심냉각계통의 밸브는 정상운전시 비상노심냉각계통을 냉각재계통으로부터 격리시킨다. 순수계통은 비상노심 냉각수탱크에 냉각수를 초기공급 및 보충한다. 또한 냉각수의 화학처리, 누설수 수집 및 차폐설비도 있다.

1.2.8.3 제1정지계통 (SDS1)

제1정지계통은 흡수봉을 감속재에 삽입함으로써 원자로 운전을 신속하게 정지시킨다. 이 계통은 원자로 출력을 낮추기 위한 충분한 속도 및 부반응

월성 1호기 최종안전성분석보고서

도를 갖는다.

원자로는 어떤 중성자 또는 공정정지변수가 허용할 수 없는 범위에 이를 때 정지된다. 각 정지변수 측정은 3중으로 되어있으며 어떤 정지변수 또는 정지변수들의 조합에 의해 3개중 2개의 정지채널이 동작될 때 정지계통이 작동한다.

1.2.8.4 제2정지계통 (SDS2)

제2정지계통은 어떤 정지변수 또는 정지변수들의 조합에 의해 3개중 2개의 정지채널이 동작될 때 고농도 중성자 흡수 용액을 감속재에 주입함으로써 원자로를 안전정지시키는 두 번째 독립적인 방법이다. 148

1.2.9 방사성폐기물 관리계통

기체, 액체 및 고체 방사성 폐기물의 저장 또는 처분을 위한 설비가 있다.

CANDU 6 원자력발전소의 설계단계에서부터 발전소에서 생성되는 폐기물량 및 방사능 준위가 방사성폐기물 관리계통의 처리능력 이내임을 확보하도록 검토되었다.

액체 및 고체 폐기물을 취급하는 방사성폐기물의 기기, 탱크 및 설비는 주요 보수 또는 원자로 비정상운전 중에 예상되는 폐기물량 및 방사능의 증가에 충분히 대처할 수 있도록 설계되었다.

방사성폐기물의 생성, 이동 및 관리는 발전소 형태와 운전방법에 따라 특성이 조금씩 다르다. CANDU 6 발전소 설계에 있어서 방사성폐기물의 발

월성 1호기 최종안전성분석보고서

생원은 다음과 같이 구분할 수 있다.

가. 핵분열 생성물(Fuel Fission Products)

나. 계통 재질 방사화 생성물(System Material Activation Products)

다. 계통 유체 방사화 생성물(System Fluid Activation Products)

상기 분류 내의 대다수 방사성 핵종은 생성지에 잔류하지만 이들중 일부가 유출되었을 경우 방사성폐기물 관리계통에 최종적으로 도달한다. 예를 들면 노심 또는 연료 취급기기 내의 연료 결함부위에서 유출된 대다수 핵분열 생성물은 냉각재계통 및 보조계통내에서 여과, 포획 또는 제거된다. 누설 또는 냉각재계통 경계에서 유출된 방사성 핵종은 건물내의 대기에 도달하지만 이들 대부분은 방사능 배기계통을 통하여 관리하에 방출된다. 물에 침전되어 흘러내린 방사성 핵종은 방사능 배수계통을 통하여 액체 방사성폐기물 처리 설비로 수집된다.

CANDU 6 발전소의 특징인 냉각재계통 및 감속재 중수계통내의 중수의 방사화에 따라 생성되는 삼중수소는 DTO 또는 유사한 형태로 방출된다. 중수수집계통 또는 중수증기회수계통에서 빠져나온 삼중수소는 최종적으로 액체 또는 기체 방사성폐기물계통으로 모인다.

사용한 기기들은 현장 또는 특수제염시설내에서 핵분열생성물이나 방사화 생성물의 제거를 위해 제염과정을 거치며 제염과정에서 나온 잔류물은 적절한 방사성폐기물관리계통으로 처리한다.



그림 1.2-1 발전소 배치도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 1.2-2 CANDU-PHW 원자로 및 핵증기공급계통

월성 1호기 최종안전성분석보고서

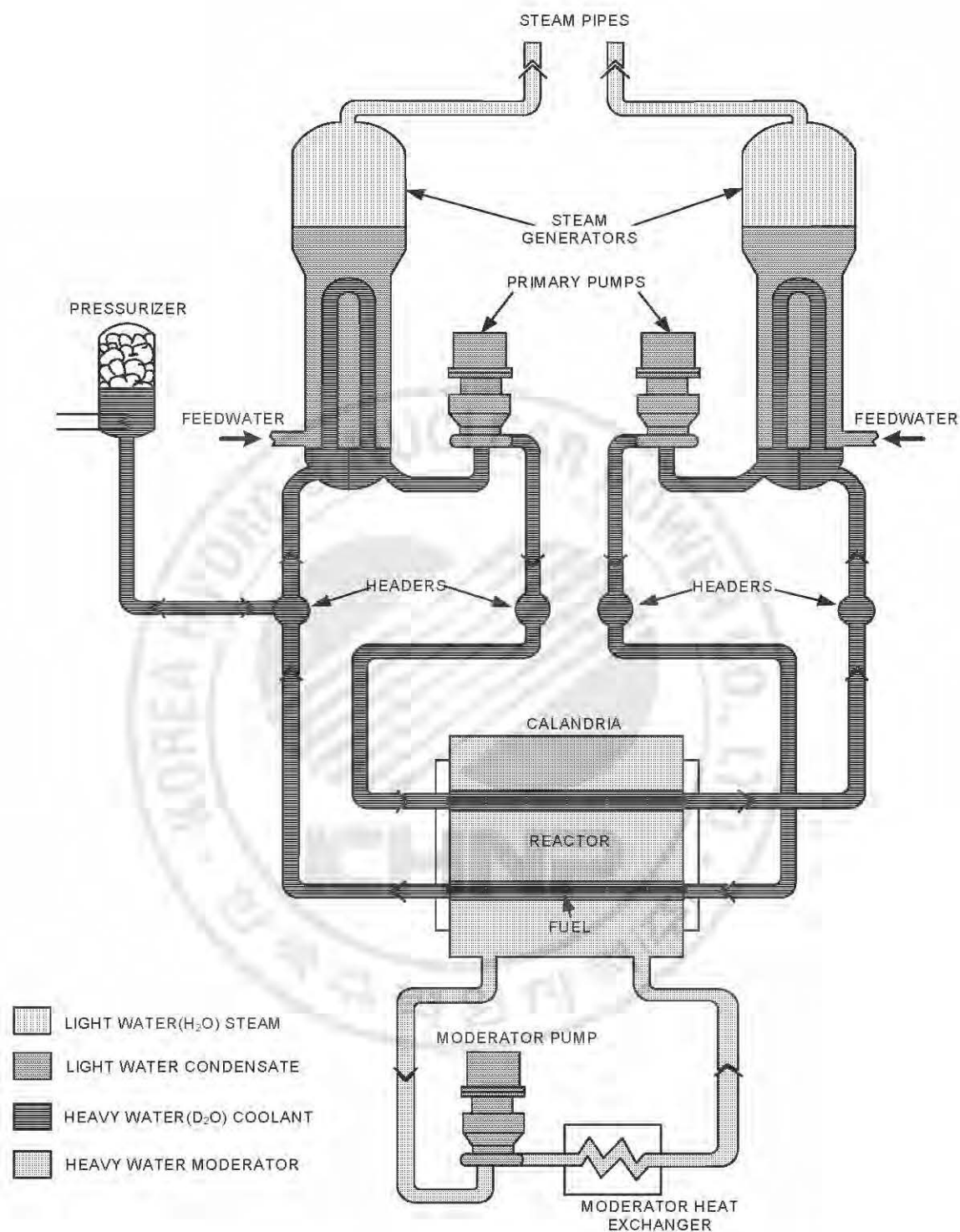


그림 1.2-3 CANDU 원자로 - 흐름도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.3 다른 캐나다 설계 발전소와 비교

1.3.1 서론

발전소 설계는 가동 중이거나 건설중인 캐나다 발전소에서 꾸준히 개선된 것과 비슷한 기기를 사용했다. 설계 당시 이러한 발전소들의 총 출력은 약 17,740 MW(e)에 달하였으며 표 1.3-1과 같다.

특히 발전소 설계는 Pickering 'A' 원자력발전소의 설계, 건설 및 운전, Bruce 'A' 원자력발전소의 설계와 기기 제작 및 건설, Gentilly-2와 Point Lepreau 발전소의 설계 등에서 얻어진 경험에 근거를 둔다.

일부 발전소 설계의 세부내용은 이들 발전소에 비해 변경되었으며 이 절은 주요 차이점과 이들 차이점에 대한 이유를 대략적으로 기술한다. 명확한 것이 필요한 부분을 제외하고, 유사한 내용은 언급되지 않는다.

이 발전소들의 비교자료는 표 1.3-2와 표 1.3-3에 나타나 있다. 이들 발전소의 원자로건물에 대한 단면도(cutaway)는 그림 1.3-1, 1.3-2, 1.3-3 및 1.3-4에 나타나 있다.

1.3.2 노심 데이터 및 연료 성능

CANDU 원자로에 대한 노심 데이터들중 가장 큰 차이는 최대 채널 출력이다. Pickering 'A' 및 Pickering 'B'에서의 최대 정상 채널출력은 6.1 MW(th)로 28개 연료다발과 약 4.5 kW/m의 연료 열출력으로 얻어졌다. Bruce 'A', Bruce 'B' 및 Darlington 'A'에서 최대 공칭 채널출력은 37개의 연료다발과 4.5 kW/m의 연료 열출력으로부터 7.3 MW(th)이 된다.

CANDU 6 원자로에 대한 연료 출력은 4.2 kW/m로 설정되어 있고, 다른 CANDU형 발전소 수준에 근접하며, 6.5 MW(th)의 최대 공칭 채널출력을

월성 1호기 최종안전성분석보고서

맞는다.

1.3.3 연료 취급

Pickering 'A' 연료 취급 기기는 Douglas Point 설계를 따랐다. Bruce 'A' 설계시 NPD의 연료 취급 기기는 잘 작동되어 왔으나 Douglas Point 연료 취급 기기의 경험이 충분하지 못하였다. 그 때문에 Bruce 'A'의 설계는 NPD 개념을 사용했다.

그후 Pickering 'A' 연료교환기가 우수한 운전 기록을 보유했다. 이러한 관점에서, 그 당시 Bruce 'A'의 운전 경험이 없었고, Pickering 'A'의 연료교환기 설계에 더 이상 개발 및 개선이 계획되어 있지 않아 CANDU 6 원자로에는 입증된 Pickering 'A' 개념을 사용하게 되었다.

Pickering 'A' 설계 이후 여러 가지 세부 개선 및 단순화가 이루어졌다. 예를 들면 연료 이송중 연료교환기 헤드 부분의 수위가 낮아졌다. 이는 Pickering 'A'에 있는 분리된 연료이송장치에 대한 필요성을 없앴다. 다른 세부내용은 표 1.3-3에 나타나 있다.

1.3.4 원자로

1.3.4.1 칼란드리아

Pickering 'A'의 칼란드리아 집합체는 냉각수 배관을 갖고 있는 공기로 찬 콘크리트 격실에 매달려 있다. 칼란드리아에 있는 중수 감속재는 원자로를 운전정지시킬 때 다른 탱크로 방출된다. 종단차폐는 경수와 분리시키는 대형 강철 슬라브로 이루어진다. 종단차폐의 대형 강철 슬라브를 현장에서 조립하여 선적 무게를 훨씬 줄였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

Bruce 'A'의 칼란드리아 집합체는 공장조립 및 건설공기와 경비의 절감을 주는 경수로 채워진 철 차폐 탱크에 매달려 있다. 종단차폐에서 대형 강철 슬라브 대신 적은 소형 강철볼을 현장에서 설치하여 선적 무게를 훨씬 줄였다.

CANDU 6 원자로는 칼란드리아가 종단차폐로부터 지지되는 경수로 채워진 콘크리트 격실을 사용한다. 강철볼에 의한 차폐는 Bruce 'A'에서와 마찬가지로 종단차폐에 사용된다.

1.3.4.2 연료채널

연료채널은 Gentilly-2, Point Lepreau, Embalse, Cernavoda, 월성 2, 3, 4호기, Qinshan 1, 2호기에서 사용중인 CANDU 6 설계와 유사하다. 압력관의 제작기술은 해마다 개선되어 왔으며 최근 개선된 압력관은 수소함유량이 낮은 재료로 제작된다. 또한 설계 개선된 가터스프링 적용으로 압력관 처짐으로 발생하는 칼란드리아관과의 접촉을 방지한다.

116

1.3.5 제어

1.3.5.1 반응도 제어장치

Pickering 'A'에서 경수를 사용하는 액체영역제어계통이 반응도 제어를 위해 제공되고 코발트 조절봉은 중성자속 평탄화를 위해 사용된다. 노심으로부터 이러한 조절봉의 인출은 과다 독물질에 대한 잉여반응도를 제공한다. 코발트는 조사된 코발트의 예상된 시장가치 때문에 사용되었다.

Bruce 'A'는 액체영역제어계통을 갖고 있고, 반응도 제어를 위한 카드뮴 제어 흡수체(cadmium control absorbers)를 갖고 있다. 농축우라늄 부스터봉(booster rods)은 과다 독물질을 막기 위해 제공된다. 이러한 조합은 자본의 저이자율과 조절봉의 불완전한 사용을 근거로 총 단위 에너지 비용의 초기 경제적 최적화를 기준으로 선정되었다. 최근 농축우라늄 부스터봉은 제거되었다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

CANDU 6 원자로는 액체영역제어계통과 카드뮴 제어 흡수체들을 갖추고 있지만, Bruce 'A'에서 사용한 농축우라늄 부스터(booster) 대신에 스테인리스강 조절봉들을 사용한다(CNEA(현 NASA)의 요청으로 지르코늄 합금으로 봉합된 코발트 조절봉이 사용되어지는 Cordoba(현 Embalse)는 예외임). 이 조절봉을 다시 채택한 이유는 가장 최근의 정밀한 경제성평가에 의하면 이 조절봉이 총 단위 비용면에서 월등히 우수하기 때문이다. 또한 농축 우라늄 부스터, 부스터 냉각회로와 연관된 보호장치 및 계측기의 필요성이 없어짐에 따라 추가 투자비용이 감소된다.

CANDU 6 원자로는 Bruce 혹은 Pickering보다 더 많은 노내 중성자속 검출기를 갖고 있다. 이것은 전체영역 출력분포를 측정해 주고 연료관리의 보다 효율적인 자료를 제공하고, 냉각재 열출력 측정에 대한 의존을 감소시켜준다.

1.3.5.2 컴퓨터 제어

Bruce와 CANDU 6 원자로에 대한 컴퓨터 제어는 매우 비슷하고 Pickering보다 진보된 정보 표시기능을 갖추고 있다. 비록 세부적으로는 다르지만 이중 컴퓨터의 사용은 기본적으로 모든 발전소가 같다.

1.3.6 안전계통

1.3.6.1 정지계통

Pickering 'A'는 두 개의 정지기구로 정지시키는 단일 보호계통을 갖추고 있다. 1차 정지기구는 정지봉과 감속재 탱크 용량의 70% 감속재를 덤프하

월성 1호기 최종안전성분석보고서

는 방식으로 구성된다. 만약 연속적인 반응도 감소율이 미리 설정된 기준값과 일치하지 않으면, 덤프탱크로 감속제의 잔여물을 방출함으로써 보조 정지기구가 동작된다.

CANDU 6을 포함한 모든 다른 CANDU 원자로는 2개의 완전히 독립된 정지계통을 갖추고 있다. 첫번째 계통은 정지봉을 작동시킨다. 두번째 계통은 감속제에 독물질을 주입하는 방법을 사용한다. 독물질 주입방식이 감속제 덤프보다 더 빠른 비율로 반응도를 감소시키므로 독물질 주입방식이 사용된다.

1.3.6.2 비상노심냉각

Pickering 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'는 고압의 펌프 주입방식을 사용하는 반면에 CANDU 6, Bruce 'A' 및 'B'는 고압 축압기계통을 사용한다.

1.3.6.3 원자로건물

원자로건물은 극히 일어날 가능성이 없는 원자력사고의 가능한 영향에 대해 공중을 보호한다는 CNSC(Canadian Nuclear Safety Commission)의 원칙에 따라서 제공된 안전계통중 하나이다.

모든 CANDU 발전소의 원자로건물계통은 주민 및 개인에 대한 방사능 피폭이 CNSC 허용치를 만족하여야 한다는 동일한 목적을 갖는다. 그러나 CANDU 6 발전소 원자로건물의 설계는 다른 발전소와는 다르다. Pickering 'A'와 'B', Bruce 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'는 각각 조합된 4 기의 원자로건물계통을 갖는 반면에 CANDU 6 발전소는 각 호기에 대해 기능적으로 독립된 원자로건물 계통을 가진다.

CANDU 6 원자로는 설계압력 124 kPa(g) (18 psig)인 원통형 프리

월성 1호기 최종안전성분석보고서

스트레스 콘크리트의 원자로건물 구조와 자동응축계를 채택하고 있다. Pickering 'A'와 'B', Bruce 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'는 각각 재래식 보강 격납구조를 채택하고 있다. Pickering 'A' 및 'B'의 구조는 원통형이고 Bruce 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'의 구조는 장방형이다. Pickering 'A'와 'B'의 원자로건물은 41 kPa(g) (6 psig)의 설계압력을 가지며 Bruce 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'의 원자로건물은 69 kPa(g) (10 psig)의 설계압력을 가진다. 이러한 구조물들은 각 경우에 있어서 철근 콘크리트 도관을 이용하여 대형의 원통형 진공건물 (Vacuum building)과 연결되어 있다. 진공밸브와 자동응축계통은 진공건물에 설치되어 있다.

진공계통에서의 명확한 주된 장점은 냉각재상실사고후 상당히 적은 시간에 축적된 과압을 상당히 낮출 수 있기 때문에 누설 진전성에 대한 요건을 완화시킬 수 있다는 것이다.

다중 호기(multi-units) 진공계통의 잠재적 단점은 진공계통이 이용될 수 없을 때 한 호기의 운전은 다른 모든 기기의 원자로건물 보전성(viability)에 의존하게 되는 것이다.

단위 호기 기준으로 원자로건물의 투자비용을 고려하면 단일 호기용의 독립된 원자로건물이 유리하다. 분석에 의하면, 경제적인 면만을 고려했을 때 다중 진공 격납건물이 정당화되기 위해서는 최소 4개의 발전소가 요구된다. 그러므로 CANDU 6 원자로의 원자로건물 내부에 별도의 살수계통을 갖도록 설계되었다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.3.7 공정계통

1.3.7.1 냉각재계통

Pickering 'A'와 'B'를 제외한 CANDU 6 원자로에서는 채널비등 현상이 일어난다 (출구모관에서 건도 4% 증기질 (steam quality)까지). 채널비등 현상은 NPD(건도 22% 증기질까지)와 Gentilly-1(건도 30% 증기질까지)에서 허용이 증명되었다. 중수 증기의 응축은 일정한 온도에서 열전달을 시키므로 주어진 원자로의 출구온도에서 냉각재 비등은 증기발생기 표면적을 현저히 감소시킬 수 있다. 이 결과는 증기발생기 크기를 작게 하고 중수 장전량을 감소시킴으로써 부수적으로 비용절감을 가져왔다.

압력관 재료의 개발과 Pickering 'A'와 Bruce 'A'의 압력관 구매에서 얻은 경험으로 CANDU 6 원자로를 위한 더 높은 설계응력을 사용하게 되었고 허용되지 않는 압력관 크리프율의 증가없이 운전온도와 압력의 증가를 가능하게 했다. 이러한 증가된 조건으로 증기발생기의 크기, 중수의 보유량을 더 감소시켜 자본비를 줄일 수 있게 되었다.

단순성, 신뢰성, 경제성 등의 이점에 있어서 밸브를 포함한 기기의 수를 크게 절감시켰다. Pickering 'A'와 'B'는 16대의 펌프 (4대의 여분 포함)와 12대의 증기발생기를 가지고 있다. Bruce 'A'와 'B'는 4대의 펌프와 8대의 증기발생기를 가지고 있다. Darlington 및 CANDU 6 원자로는 4대의 펌프와 4대의 증기발생기를 가지고 있다. 운전조건의 변화로 인하여 CANDU 6에 사용된 증기발생기와 펌프의 크기는 Bruce 'A' 및 'B'와 유사하다.

Pickering 'A'와 'B'의 냉각재계통의 압력제어는 냉각재계통으로 일정한 중수와 배출로 이루어진다. 계통의 가열에 의해 발생된 잉여 중수는 중수

월성 1호기 최종안전성분석보고서

저장탱크로 보내진다. 다른 CANDU 원자로는 가열된 가압기(완충탱크)를 사용하여 일정한 증수 및 배출 설비를 제거함으로써 간소화되었다. 0 %에서부터 100 % 출력까지의 온도 변화는 가압기 체적으로 수용될 수 있다.

CANDU 6 원자로 정화계통 유량은 Bruce 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'와 유사한 60분의 정화 반감기를 가지고 있다.

1.3.7.2 증기발생기 증기 및 급수계통

Pickering 'A'와 'B'는 터빈 정지시 대기로의 증기 방출을 위하여 증기방출밸브를 사용한다. Pickering 'A'와 'B' 원자로는 순수의 공급이 고갈될 때까지 부분적 출력상태를 유지할 수 있다. Bruce 'A'와 'B', Darlington 'A' 및 CANDU 6 원자로의 증기를 터빈 복수기로 보낼 수 있는 우회설비가 있다. 그러므로 원자로의 부분 출력 운전을 통하여 설치비용의 보상이 가능하다.

Pickering 'A' 증기발생기는 일체형 증기드럼 및 일체형 예열기를 갖추고 있다. Bruce 'A'의 경우 4대의 증기발생기는 하나의 증기드럼을 공유하고, 예열기는 증기발생기와 분리되어 있다. Bruce 'A'에서의 이러한 변경은 증기발생기 수위 제어와 급수 온도 제어를 개량하고 제어비용의 절감을 위한 것이다. Pickering 'A'의 제어계통은 경험적으로 매우 적절함을 보여주므로, 모든 후속 원자로는 증기발생기에 대한 적은 자본비와 감소된 중수재고량의 이점을 고려하여 Pickering 'A'식 매치를 이용하고 있다.

1.3.7.3 감속재계통

Pickering 'A'는 운전정지를 위해 감속재 덤프방식을 사용하고, 감

월성 1호기 최종안전성분석보고서

속재 수위가 낮아졌을 때 분사계통이 칼란드리아관과 다른 원자로 기기를 냉각시킨다. 5대의 감속재 펌프가 급속 펌프기동(Pump-up)을 위해 공급되며 하나의 모선에 2대씩 연결되어 있고 한 대의 여분의 펌프가 양쪽 전기 모선과도 연결가능토록 되어 있다. 분사계통의 신뢰성을 보장하기 위하여 2대의 펌프는 등급 3 전원이 공급된다.

Bruce 'A'와 'B', Darlington 'A' 및 CANDU 6 원자로에서는 덤프나 분사계통이 없다. 2대의 100% 펌프가 준비되어 있어 보조계통은 필요하지 않다. 그러므로 감속재계통은 소규모이고 간단하며 신뢰성이 높다. 낮은 수위의 감속재로 원자로를 가동시킴으로써 중수 재고량을 더 줄일 수 있고 전출력 온도에 도달할 때 감속재가 탱크에 가득 차게 된다. 따라서 체적팽창분의 감속재를 저장할 필요가 없다.

Pickering 'A'에서 칼란드리아 분사계통은 중수소의 생성을 증가시킴으로 중수소와 산소를 결합시키는 재결합기를 사용하기 위해 상대적으로 높은 헬륨의 재순환으로 초래한다. Bruce 'A'와 'B', Darlington 'A' 및 CANDU 6 원자로는 분사기를 갖지 않으므로 헬륨 상충기체계통은 매우 작고 단순화된다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 1.3-1 캐나다 설계 원자력 발전소

| STATION | OWNER | MW(e)(net) | | IN SERVICE |
|--------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|
| (1) NPD | Ontario Hydro/ AECL | | 22.0 | 1962 ⁽¹⁾ |
| (2) Douglas Point | AECL | | 206.0 | 1968 ⁽²⁾ |
| (3) Pickering | Ontario Power Generation | 4 × 515.0 = 4 × 516.0 = | 2,060.0 2,064.0 | 1971 - 1973 1981 - 1983 |
| (4) Gentilly-1 | AECL | | 250.0 | 1972 ⁽³⁾ |
| (5) KANUPP | PAEC, Pakistan | | 125.0 | 1971 |
| (6) RAPS | NPCIL, India | 2 × 200.0 = | 400.0 | 1972 - 1975 |
| (7) Bruce | Bruce Power | 4 × 740.0 = 4 × 750.0 = | 2,960.0 3,000.0 | 1977 - 1979 1983 - 1987 |
| (8) Gentilly-2 | Hydro-Quebec | | 638.0 | 1983 |
| (9) Embalse | NASA Argentina | | 600.0 | 1983 |
| (10) Point Lepreau (Unit 1) | NBEP New Brunswick | 1 × 635.0 = | 635.0 | 1982 |
| (11) Wolsong-1 | KHNP, Korea | | 628.0 | 1983 |
| (12) Darlington | Ontario Power Generation | 4 × 881.0 = | 3,524.0 | 1990 - 1993 |
| (13) Cernavoda (Unit 1) | SNN, Romania | 1 × 628.0 = | 628.0 | 1996 |
| Total (월성 1호기 설계당시 기준) | | | 17,740.0 | |
| (14) Wolsong-2, | KHNP, Korea | 1 × 663.0 = | 663.0 | 1997 |
| (15) Wolsong-3, 4 | KHNP, Korea | 2 × 664.9 = | 1329.8 | 1998, 1999 |
| (16) Qinshan 1, 2 | TQNPC, China | 2 × 665 = | 1330 | 2002, 2003 |
| (17) Cernavoda (Unit 2) | SNN, Romania | 1 × 650 = | 650 | Construction |
| Total | | | 21,712.8 | |

주: (1) NPD(Nuclear Power Demonstration)는 25년간 운전된 후 1987년에 영구 정지되었음.

(2) Douglas Point는 1984년 영구 정지되었음.

(3) Gentilly-1은 1977년 영구 정지되었음.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 1.3-2

월성발전소 데이터 비교

| | Wolsong 2/3/4 | Wolsong 1 |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 순 전기출력 (MWe) | 663/664.9/664.9 | 628.6 |
| 발전소 수 | 3 | 1 |
| <u>노심 및 연료 데이터</u> | | |
| 연료채널 수 | 380 | 380 |
| 공칭 최대 채널출력 (MWth) | 6.5 | 6.5 |
| 연료다발 / 채널 수 | 12 | 12 |
| 연료봉 / 다발 수 | 37 | 37 |
| 공칭연료봉 출력밀도 (kW/m) | 4.2 | 4.2 |
| <u>연료 교환</u> | | |
| 재장전 방향 | With Flow | With Flow |
| 주기기 | Fuel Separators | Fuel Separators |
| 엔드피팅 마개 형태 | Expanding Jaws | Expanding Jaws |
| 연료 교환 기기 구동 | Oil and Water Hydraulics | Oil and Water Hydraulics |
| 사용후 연료 방출 | Direct to Elevators | Direct to Elevators |
| 신연료 장전 | Direct to F/M | Direct to F/M |

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 1.3-2 (계속)

| | Wolsong 2/3/4 | Wolsong 1 |
|-----------------|----------------------------------|----------------------------------|
| <u>원자로</u> | | |
| 원자로 격실 | 경수로 채워진 강판 보강 콘크리트 차폐 탱크 | 경수로 채워진 강판 보강 콘크리트 차폐 탱크 |
| 중단차폐 | 강구 및 경수 | 강구 및 경수 |
| 최소압력판 벽 두께 (mm) | 4.19 | 4.19 |
| <u>반응도 장치</u> | | |
| 조절봉(흡수봉) | 21 (스테인리스강) | 21 (스테인리스강) |
| 승압봉(농축 우라늄) | - | - |
| 제어 흡수체 | 4 (카드뮴) | 4 (카드뮴) |
| 노내 중성자속 계측기 집합체 | 33 | 33 |
| 액체영역제어장치 | 6 | 6 |
| <u>안전계통</u> | | |
| 제1정지계통 | 28개 정지봉 | 28개 정지봉 |
| 제2정지계통 | 독물질 주입 | 독물질 주입 |
| 원자로건물 | 자체내장 살수 | 자체내장 살수 |
| 비상노심냉각 | 고압 축압기 중압 살수탱크 저압 원자로건물 바닥 | 고압 축압기 중압 살수탱크 저압 원자로건물 바닥 |
| 원자로건물 설계 압력 | 124 kPa(g) | 124 kPa(g) |

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 1.3-2 (계속)

| | Wolsong 2/3/4 | Wolsong 1 |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| <u>냉각재 계통</u> | | |
| 입구온도 | 266 ℃ | 266 ℃ |
| 출구온도 | 310 ℃ | 310 ℃ |
| 출구모판에서 건도 (근사치) | 4 % | 4 % |
| 입구모판 압력 | 11.35 MPa(a) | 11.35 MPa(a) |
| 증기발생기 수 | 4 | 4 |
| 증기발생기의 표면적 | 3179 m ² | 3127 m ² |
| 펌프수 | 4 | 4 |
| 펌프전동기(마력) | 9,000 | 9,000 |
| 운전마력 | 6,407 | 6,407 |
| 압력 제어 | 가압기 | 가압기 |
| 정화 반감기(분) | 60 | 60 |
| <u>감속재 계통</u> | | |
| 펌프수 | 2 × 100% | 2 × 100% |
| 중수재고량 | 0.37 Mg/MW(e) | 0.37 Mg/MW(e) |

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3
캐나다 원자력발전소 데이터 비교

| | Gentilly 2 | Point Lepreau | Bruce A | Pickering A | Bruce B | Pickering B | Darlington A |
|------------------------------|---|---------------|---------|-------------|---------|-------------|--------------|
| 호기당 순 전기출력 (MWe) 발전소 수 |  | | | | | | |
| <u>노심 및 연료 데이터</u> | | | | | | | |
| 연료채널 수 | | | | | | | |
| 공칭 최대 채널출력 (MWth) | | | | | | | |
| 연료다발 / 채널수 | | | | | | | |
| 연료채널 / 다발수 | | | | | | | |
| 공칭 연료봉 출력밀도 (kW/m) | | | | | | | |
| <u>연료 교환</u> | | | | | | | |
| 재장전 방향 | | | | | | | |

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3 (계속)

| | Gentilly 2 | Point Lepreau | Bruce A | Pickering A | Bruce B | Pickering B | Darlington A |
|---------------------|---|------------------|---------|-------------|---------|-------------|--------------|
| 주기기 |  | | | | | | |
| 엔드피팅 마개 형태 | | | | | | | |
| 연료 교환기기 | | | | | | | |
| 사용후 연료 교환 | | | | | | | |
| 신연료 장전 | | | | | | | |
| <u>원자로</u> 원자로격실 | | | | | | | |
| 중단 차폐 | | | | | | | |

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3 (계 속)

| | Gentilly 2 | Point Lepreau | Bruce A | Pickering A | Bruce B | Pickering B | Darlington A |
|---------------------|---|---------------|---------|-------------|---------|-------------|--------------|
| 최소 압력관 벽 두께 (mm) | 4.19 | 4.19 | 4.06 | 4.06 | 4.11 | 4.06 | 4.2 |
| 반응도 장치 조절봉 (흡수봉) |  | | | | | | |
| 승압봉 (농축우라늄) | | | | | | | |
| 제어 흡수체 | | | | | | | |
| 노내 중성자속 계측기 집합체 | | | | | | | |
| 액체영역 제어장치 | | | | | | | |
| 안전계통 제1정지계통 | | | | | | | |
| 제2정지계통 | | | | | | | |
| 원자로건물 | | | | | | | |
| 비상노심냉각 | | | | | | | |

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3 (계 속)

| | Gentilly 2 | Point Lepreau | Bruce A | Pickering A | Bruce B | Pickering B | Darlington A |
|-------------------|---|------------------|------------|----------------|------------|----------------|-----------------|
| 원자로건물 설계 압력 |  | | | | | | |
| 냉각재계통 | | | | | | | |
| 입구온도 | | | | | | | |
| 출구온도 | | | | | | | |
| 출구모판에서 건도(근사치) | | | | | | | |
| 노심입구압력 | | | | | | | |
| 증기발생기 수 | | | | | | | |
| 증기발생기의 표면적 | | | | | | | |
| 펌프수 | | | | | | | |
| 펌프전동기 (마력) | | | | | | | |
| 운전 마력 | | | | | | | |
| 압력 제어 | | | | | | | |
| 정화반감기(분) | | | | | | | |

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3 (계 속)

| | Gentilly 2 | Point Lepreau | Bruce A | Pickering A | Bruce B | Pickering B | Darlington A |
|-------------------------------|------------|------------------|------------|----------------|------------|----------------|-----------------|
| <u>감속재계통</u> 펌프 수 중수재고량 | | | | | | | |



월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 1.3-1 CANDU 6 원자로건물 단면도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 1.3-2 Bruce 'A' 원자로건물 단면도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 1.3-3 Pickering 'A' 원자로건물 단면도

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 1.3-4 Darlington 'A' 원자로건물 단면도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.4 사업 책임 구분

월성 1호기를 위한 전반적인 공학 설계는 AECL책임하에 수행되었다. 설계는 아래와 같은 일반분야로 분할된다.

가. 발전소의 개념적 배치(station conceptional layout)

나. 핵증기설비의 개념 설계

다. 발전소 보조설비의 개념 설계

라. 핵증기설비의 기계, 공정 및 제어 기기를 위한 상세 설계

마. 기계, 전기, 공정 및 제어 기기, 건물의 상세 구조물설계 및 발전소 운전과 직접 관련되지 않는 핵증기설비의 일부에 대한 발전소보조 설비의 상세설계

바. 소내 변전소와 소내배전계통과의 연계를 위한 상세계통설계

월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.5 신 기술정보의 요구조건

1.5.1 기술개발

기술개발이 요구되는 특별한 기술적 문제점은 없으며 모든 중요한 기기들은 입증된 설계를 적용한다.



월성 1호기 최종안전성분석보고서

1.6 참고문헌

1.6.1 개 요

가능한 한 간결하게 정보를 제공하기 위해 본 보고서내에 참조 문서인 보조 및 보충문서가 있다.

1.6.2 보조문서

보조문서는 본 보고서의 특수한 사항에서만 논의된 문제에 관련되며 참조될 사항의 끝에 목록되어 있다.

1.6.3 보충문서

보충문서는 발전소에 제공된 주요 내용과 관련되며 아래와 같다.

가. 계통분류목록 (Systems Classification List)

나. 가동중검사 계획서 (Periodic Inspection Program Document)

260

다. 발전소 데이터 메뉴얼 (Station Data Manual)

라. 품질보증계획 (Quality Assurance Program)

226

1.7 도면 및 기타 상세 자료

FSAR 각 절에 수록된 도면(원도도면이 있는 것)은 참고용으로 사용하고, 본문의 “표 1.7-1 흐름도 목록”의 도면을 관리도면으로 하며, 흐름도 목록에는 도면명, 번호, 제목, 개정번호 및 개정일자 등이 포함된다. 단, 관리 도면이 없는 도면은 FSAR에 수록된 도면을 관리도면으로 한다.

181

1.7.1 전기도면과 계측 및 제어도면

안전관련 도면은 아래와 같은 범주로 되어 있다.

가. 단선도

나. 보호 및 계측도

다. 개략도

라. 일반 배치도

마. 제어 및 계측도

바. 계측 회로도

사. 논리도

1.7.2 흐름도

주요 흐름도 목록 및 해당부분의 절 번호는 표 1.7-1에 수록되어 있다.

1.7.3 기타 자료

원자력안전위원회의 요청이 있을 경우, 관련 정보가 제공될 것이다.

185

1.7.4 참고문헌

해당사항 없음

표 1.7 - 1(1/4)

흐름도 목록


| FSAR | | 관 리 도 면 | | | 개정 번호 | 개정일자 |
|---|--------------|----------|---------|---------|----------|------|
| 그림 번호 | 관 련 부분(절) | 원도 종류 | 도 면 번 호 | 도 면 제 목 | | |
|  | | | | | | |

표 1.7 - 1(2/4)

흐름도 목록

| FSAR | | 관 리 도 면 | | | 개정 번호 | 개정일자 |
|---|--------------|----------|---------|---------|----------|------|
| 그림 번호 | 관 련 부분(절) | 원도 종류 | 도 면 번 호 | 도 면 제 목 | | |
|  | | | | | | |

표 1.7 - 1(3/4)

흐름도 목록

| FSAR | | 관 리 도 면 | | | 개정 번호 | 개정일자 |
|----------|--------------|----------|---------|---------|----------|------|
| 그림 번호 | 관 련 부분(절) | 원도 종류 | 도 면 번 호 | 도 면 제 목 | | |



표 1.7 - 1(4/4)

흐름도 목록

| FSAR | | 관 리 도 면 | | | 개정 번호 | 개정일자 |
|----------|--------------|----------|---------|---------|----------|------|
| 그림 번호 | 관 련 부분(절) | 원도 종류 | 도 면 번 호 | 도 면 제 목 | | |
| | | | | | | |



1.8 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항

후쿠시마 원전사고 후속 대책의 일환으로 시행된 국내원전 안전성 검토 보고서에서 도출된 개선 조치방안이 부록 1.A에 기술되어 있다.



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

개정번호 207
2012. 12. 28

부록 1.A 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항



월성 1호기 최종안전성분석보고서

목 차

| 번호 | 제목 | 페이지 |
|-------|--------------------------------------|--------------|
| 1.A.1 | 개요 | 1.A-1 |
| 1.A.2 | 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항 반영내용 | 1.A-1 |
| | (3-5-2) 사용후연료저장조(SFB) 냉각수 보충용 연결부 설치 | 1.A-1 |
| | (3-3) 예비변압기 앵커볼트 체결 | 1.A-2 |
| | (4-2) 격납건물여과배기계통 설치 | 1.A-3 |
| | (1-4) 주제어실 지진발생 경보창의 내진성능 개선 | 1.A-13 |
| | (1-1) 지진 자동정지설비 설치 | 1.A-14 |
| | (3-1) 이동형 발전차량 확보 | 1.A-15 222 |
| | (3-A4) 지역공기냉각기 비상전원 공급방안 마련 | 1.A-16 228 |
| | (1-2) 안전정지유지계통 내진성능 개선 | 1.A-17 229 |
| | (4-3) 원자로 비상냉각수 외부주입 유로 설치 | 1.A-18 234 |
| | (3-10-1) 소방차와 연계한 대체수원 공급설비 설치 | 1.A-20 240 |
| | (5-6) 장기 전원상실시 필수 정보의 확보방안 강구 | 1.A-21 253 |
| | (3-6) 최종 열제거설비 침수방지 및 복구대책 마련 | 1.A-23 275 |
| | (4-1) 원자로건물 수소감시기 설치 | 1.A-24 282 |
| | (2-2-1) 방수문 설치 | 1.A-25 286 |

월성 1호기 최종안전성분석보고서

부록 1.A 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항

1.A.1 개요

후쿠시마 원전사고 후속 대책의 일환으로 시행된 국내원전 안전성 검토보고서에서 도출된 개선 조치방안들에 대한 설계 반영내용에 대해 기술한다.

1.A.2 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항 반영내용

(3-5-2) 사용후연료저장조(SFB) 냉각수 보충용 연결부 설치

개선 조치사항

사용후연료저장조 냉각계통의 펌프 및 열교환기의 기능상실 시 대체 열제거 기능 확보를 위해, 소방차 등을 이용한 냉각수 보충 방안을 마련하고 연결부위를 설치해야 한다.

개선 반영내용

월성 1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 사용후연료저장조에는 냉각펌프 및 냉각열교환기 기능 상실시 대체 열제거 기능을 확보할 수 있도록 외부 냉각수 공급을 위한 설비가 설치되어 있으며, 사용후연료저장조 냉각수 공급 설비는 그림 9.1-19에 제시되어 있다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(3-3) 예비변압기 앵커볼트 체결

개선 조치사항

대형 지진이나 해일시 예비변압기의 손상 및 표류를 방지하기 위해 예비변압기를 앵커볼트로 고정해야 한다.

개선 반영내용

월성 1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해 총 2대(주변압기 및 소내용변압기)의 예비변압기가 설치되었다. 예비주변압기는 M30 앵커볼트 8개, 예비소내용변압기는 M30 앵커볼트 4개로 고정되었다. 해당 앵커볼트는 지진 발생시 앵커볼트에 작용하는 인장력 및 전단력이 허용 인장력 및 전단력 이내로 구조적으로 건전한 것으로 검토되었다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(4-2) 격납건물여과배기계통 설치

개선 조치사항

중대사고 대비 격납건물내 과도한 압력상승 예방을 위한 격납건물여과배기계통을 설치해야 한다.

개선 반영내용

월성 1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 중대사고에 따른 원자로건물 가압 시 원자로건물 대기의 방사성물질을 여과하여 원자로건물 외부로 방출함으로써 원자로건물 과압을 방지할 수 있는 격납건물여과배기계통이 설치되었다. 격납건물여과배기계통의 설계기준 및 계통 일반사항을 아래에 기술하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

격납건물여과배기계통

격납건물여과배기계통은 중대사고에 따른 원자로건물 가압 시 원자로건물 대기에 포함된 방사성물질을 여과하여 원자로건물 외부 대기로 배기함으로써 과압에 의한 원자로건물 파손을 방지하도록 설계되었다.

설계기준

격납건물여과배기계통 설계기준

격납건물여과배기계통의 기능 요건은 다음과 같다.

- 가. 사고시 원자로건물 내 비응축성기체 및 수증기를 배기하여 과압에 의한 원자로건물 파손 방지한다.
- 나. 핵분열생성물 및 방사성물질의 환경으로의 방출을 억제한다.
- 다. 정상시 원자로건물로부터 격리되어 있어야 하며 필요한 경우 수동으로 작동개시 되어야 한다.
- 라. 계통은 전력 또는 냉각수공급이 요구되지 않는 피동형이어야 한다.

격납건물여과배기계통의 성능 요건은 다음과 같다.

- 가. 중대사고에 의한 원자로건물 파손 위험도를 최소화하기 위해 원자로건물 압력을 330 kPa(g) 이하로 제한할 수 있는 충분한 용량을 갖추어야 한다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

나. 격납건물여과배기계통은 72 시간 동안 간헐적인 운전이 가능해야 한다.

다. 격납건물여과배기계통은 환경으로의 방사성물질 방출을 최소화하기 위해 다음의 성능을 갖추어야 한다.

1. 방사성 에어로졸 제거율 > 99.9 %
2. 300 kg의 방사성 에어로졸 제거 용량
3. 원소 요오드 제거율 > 99.9 %
4. 유기 요오드 제거율 약 80 %
5. 핵분열생성물 제거율 > 99.5 %
6. 분자 세슘 제거율 > 99.5 %
7. 핵분열 생성물을 포함한 방사성 에어로졸은 상기한 여과 제한치 이상으로 여과 설비를 통과해선 안 된다.
8. 계통 내 붕괴열이 누적되는 것은 허용되지 않으며 따라서 냉각 계통은 요구되지 않는다.

라. 불활성 기체 및 삼중수소는 본 계통에 의해 흡수되거나 감소되지 않을 수 있다.

격납건물여과배기계통 건물 설계기준

격납건물여과배기계통 건물의 주요 기능은 다음과 같다.

가. 격납건물여과배기계통에 대해 규제요건을 만족하는 안전한 구조물을 제공한다.

나. 건물을 보조하는 전기, 계측제어 및 기계 설비들의 안전한 운전을 위한 적절한 환경을 제공한다.

다. 격납건물여과배기계통 운전 중 방사능 차폐 기능을 제공한다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

격납건물여과배기계통 건물의 주요 성능 요건은 다음과 같다.

- 가. 격납건물여과배기계통 건물의 구조물 및 구성기기는 참고문헌 1.A-1 17장에 기술된 CSA 요건에 따른 강성 및 내구성 기준을 만족해야 한다. 또한 격납건물여과배기계통 건물은 산업안전요건들을 만족해야 한다.
- 나. 격납건물여과배기계통 건물은 최소 40년 수명으로 설계되어야 한다.
- 다. 격납건물여과배기계통 건물은 격납건물여과배기계통의 보호를 위해 8 시간 동안 난방이 공급되지 않더라도 결빙되지 않는 재료로 건축되어야 한다.
- 라. 격납건물여과배기계통 차폐를 위한 다음 선량률 목표를 만족해야 한다.
 - 1. 원적 제어 구역 : 1 mSv/h
 - 2. 중대사고 조치 활동 인접 구역 : 1 mSv/h
 - 3. 격납건물여과배기계통 건물 외부 (100m 지점) : 10 mSv/h
- 마. 격납건물여과배기계통 건물 벽면 관통부는 적절한 환경 차폐가 이루어져야 하며 벽면의 화재 등급과 일관성을 유지해야 한다. 건물의 천정 관통부는 적절한 내후성 차폐가 제공되어야 한다.

정상운전시의 유지보수 지원 및 격납건물여과배기계통의 가용성을 보장하기 위해 격납건물여과배기계통 건물의 적절한 환기 및 난방을 위한 팬 및 전열기가 설치되어야 한다. 격납건물여과배기계통 건물은 다음의 온도 및 습도를 유지하여야 한다.

- 가. 최대 온도 : 33 ℃ (91.4 ℉)
- 나. 최소 온도 : 15 ℃ (59 ℉)
- 다. 습도 : 7 % ~ 71 %

월성 1호기 최종안전성분석보고서

등급 4 전원이 격납건물여과배기계통 건물로 공급되며 배전설비는 380 VAC 또는 220 VAC로 설계되어야 한다.

계측제어

격납건물여과배기계통 감시에 사용되는 4-20 mA 계측 전류 공급을 위해 1 개의 24 VDC 배터리와 충전기가 원격제어구역 감시 패널의 일부로 설치되어야 하며 발전소정전시에도 최소 72 시간 운전을 감당할 수 있도록 설계되어야 한다.

격납건물여과배기계통의 운전 상태를 원격으로 확인할 수 있도록 다음의 감시 설비가 제공되어야 한다.

- 가. 계통입구/원자로건물 압력 계측
- 나. 맨추리 스크러버 용기 출구 압력 계측
- 다. 맨추리 스크러버 용기 체정용수 수위 계측
- 라. 원격 밸브 조작을 위한 시각적 밸브 위치 지시

내진요건

계통, 구조물 및 기기(SSC)는 설계기준지진(DBE) 범주 B에 따라 내진검증되어야 하며 추가적으로 0.3 g의 침투지반가속도 지진에 대한 고신뢰도저파손 확률(HCLPF)에 대한 요건에 부합해야 한다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

계통설명

격납건물여과배기계통은 원자로건물 관통 배관, 직렬로 배치된 2 개의 격리밸브와 벤추리 스크러버, 금속섬유필터를 포함한 1 개의 벤추리 스크러버 용기, 그리고 방출배관 및 굴뚝으로 구성된다. 벤추리 스크러버 용기 외부 배관과 굴뚝 사이에는 격리밸브와 유속 제한을 위한 오리피스, 그리고 파열판이 설치된다. 중대사고에 따른 원자로건물 과압 시, 원자로건물 관통부 격리밸브가 개방되어 외부 대기와 80 kPa 이상의 차압이 발생하면 용기 후단 오리피스와 굴뚝 사이에 있는 파열판이 파열되면서 외부 대기로의 여과배기가 이루어진다.

격납건물여과배기계통의 계통도는 그림 1.A-1과 같다.

원자로건물 관통 배관

격납건물여과배기계통의 원자로건물 관통 배관은 원자로건물 내부로부터 원자로건물 격리밸브 전단으로 연결되며 격납건물여과배기계통 성능요건을 만족하기 위해 직경 12 인치로 설계된다.

원자로건물 격리 밸브

2 개의 원자로건물 격리 밸브는 원자로건물 관통 배관에 직렬로 배치되어 있다. 중대사고시 중대사고관리지침서에 따라 수동으로 개방되며 이후 개방 및 닫힘 설정치에 따라 수동 운전된다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

벤추리 스크리버 용기

원자로건물 대기 중의 방사성물질은 격납건물여과배기시스템의 벤추리 스크리버 용기에서 여과된다. 벤추리 스크리버 용기 하부에는 세정수 및 벤추리 노즐로 구성된 벤추리 스크리버가 배치되며 상부에는 스테인레스 스틸 섬유필터가 배치된다.

벤추리 스크리버는 원자로건물 최대압력에서 운전 가능하도록 설계된다. 사고시 원자로건물 대기는 벤추리 노즐을 통해 폐하(pH) 13의 세정수로 분사되며 벤추리 노즐은 6 개의 분기관에 총 21 개가 균일하게 분포한다. 벤추리 노즐 분사구는 세정수 수위 아래에 위치하며 분사구로 방출된 대부분의 방사성물질은 세정수에 의해 억류된다. 벤추리 노즐의 개념도는 그림 1.A-2에 도시하였다.

금속섬유필터는 액적 분리를 위한 전단필터와 미세입자 여과를 위한 미세필터로 구성된다. 방출 기체에 포함된 세정수 액적은 전단필터의 스테인레스 스틸 다층 섬유 조직에 의해 응축되어 다시 세정수 풀로 이동하며, 동 전단필터를 통해 방출 기체에 포함된 방사성 에어로졸의 여과작용도 이루어진다. 미세필터는 1 μm 이하의 미세 입자에 대한 높은 제거 효율을 가지며 직경 2 μm 의 스테인레스 스틸 섬유 조직으로 구성된다.

스로틀 오리피스

금속섬유필터 후단과 방출 굴뚝 사이에는 스로틀 오리피스가 설치되며 여과 과정에서의 기체 유속을 제한한다.

참고 문헌

- 1.A-1 “WOLSONG UNIT1 CONTAINMENT FILTERED VENTING SYSTEM”, 59-73160-8101-DR-01-A, Rev. 0, July 2012.
- 1.A-2 “Containment Filtered Venting System (CFVS) Process Description, Qualification and Verification Report”, PESW-G/2012/en/0139, Rev. A, Aug. 2012.;
- 1.A-3 “WOLSONG-1 NPP CONTAINMENT FILTERED VENTING SYSTEM, SYSTEM FLOW DIAGRAM”, DWG-02-9185688D, Rev. 0, July 2012.;
- 1.A-4 “Sizing of Containment Filter Discharge Main Exhaust Line”, 610917-0001-03651-68RA-0001, Rev. 1, Aug. 2012.

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 1.A-1 격납건물여과배기계통

월성 1호기 최종안전성분석보고서



그림 1.A-2 벤추리 노즐 개념도

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(1-4) 주제어실 지진발생 경보창의 내진성능 개선

개선 조치사항

주제어실에서 지진발생을 인지할 수 있도록 경보창의 내진성능을 개선해야 한다.

개선 반영내용

월성 1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해 주제어실 내에 기존 경보창과 별도로 내진범주 I 등급의 지진경광등이 설치되었다. 지진경광등은 지진감시계통으로부터 트리거(Trigger) 또는 부지설계지진(SDE) 설정치 도달 시 경보음 및 경광등을 발생하도록 설계되었다. 또한, 지진 발생 시 일반전원의 상실을 대비하여 30분 이상 전원을 공급할 수 있는 무정전 전원공급계통(UPS)을 구비하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(1-1) 지진 자동정지설비 설치

개선 조치사항

일정규모 이상의 지진이 감지될 경우 원자로가 자동정지 되도록 설비를 설치해야 한다.

개선 반영내용

월성 1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해 내진범주 I 등급의 지진원자로자동정지계통(ASTS)이 설치되었다. 지진원자로자동정지계통은 불필요한 원자로 정지를 방지하기 위해 4개의 독립적인 센서 입력을 이용한 2/4 동시논리를 통해 채널 별 원자로정지신호를 발생하는 2개 채널로 구성되었다. 원자로 정지는 2/2 여자 작동논리를 적용하여 2개 채널 모두 여자 작동 시에만 발생되므로 전원 상실 시에도 불필요한 원자로 정지가 방지된다. 또한, 지진 시 일반전원의 상실을 대비하여 30분 이상 전원을 공급할 수 있는 이중화된 무정전 전원공급계통(UPS)을 구비하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(3-1) 이동형 발전차량 확보

개선 조치사항

비상, 예비전원의 침수와 장기 소내정전 사고에 대비하여, 차량장착 가능 이동형 비상 발전기를 침수에 안전한 위치에 부지별로 1대씩 구비하고, 임시전원 연결지점을 확보해야 한다.

개선 반영내용

월성 1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해 지진, 해일로 인한 SBO 발생시에 대비한 비상용 이동형 발전차량 구비 및 임시전원 연결지점을 확보하였고 구체적인 사항은 8.0장 전력계통에 기술되어 있다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(3-A4) 지역공기냉각기 비상전원 공급방안 마련

개선 조치사항

소내정전에 대비하여 지역공기냉각기 LAC1 ~ LAC16 공급전원 이중화 및
임시전원 연결지점 확보

개선 반영내용

월성1호기는 본 조치사항을 만족하기위해 소내정전에 대비하여 원자로건물
지역공기냉각기 LAC1 ~ LAC16의 임시전원 연결지점을 확보하였음.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(1-2) 안전정지유지계통 내진성능 개선

개선 조치사항

설계기준 초과 지진에 대비하여 안전정지유지계통의 내진성능을 신형원전 설계지진(0.3g) 수준으로 보강

개선 반영내용

월성 1호기는 안전정지유지계통에 대해 PSA based SMA으로 내진성능평가를 수행하였으며, 내진성능값 0.3g가 확보될 수 있도록 내진보강을 완료하였다. 또한 격납기능 관련계통, 사용후연료 저장조, 기본 안전기능 발휘 Support 계통에 대한 내진성능평가 결과 내진성능값 0.3g가 확보됨을 확인하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(4-3) 원자로 비상냉각수 외부주입 유로 설치

개선 조치사항

원자로냉각재계통 및 증기발생기 2차측 냉각수 상실 시 대체 냉각수 공급을 위해, 이동형펌프차 또는 소방펌프차를 이용한 냉각수 보충 방안을 마련하고 연결부위를 설치해야 한다.

개선 반영내용

월성1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 원자로냉각재계통 및 증기발생기 2차측 냉각수 상실 시 대체 열제거 기능을 확보할 수 있도록 외부 냉각수 공급을 위한 설비가 설치되어 있으며, 원자로냉각재계통 및 증기발생기 2차측 냉각수 공급 설비는 도면번호 59-34610-1-1-FS-E 및 59-34320-1-1-FS-E에 제시되어 있다.

비상냉각수 주입수단은 이동형펌프차 또는 소방펌프차이며, 원자로냉각재계통으로의 비상냉각수 주입은 비상급수계통(EWS) 유로와 비상노심냉각계통(34320-V132)을 통해 가능하고, 증기발생기로의 비상냉각수 주입은 비상급수계통(EWS) 유로를 통해 가능하다.

원자로냉각재계통은 칼란드리아 탱크의 건전성을 보장하기 위해 원자로냉각재계통 압력이 감압되었을 때 최소 19.8kg/s의 비상냉각수가 주입되도록 설계 되었고, 증기발생기는 핵분열생성물의 방출제어를 위해 증기발생기 2차측 수위를 튜브상단 6ft 이상으로 유지한다는 설계기준을 근거로 증기발생기 압력이 감압되었을 때 최소 22.0 kg/s의 비상냉각수가 주입될수 있도록 설계 되었다.

민감도 분석 결과 중대사고 진입 후 30시간 이내에 원자로 비상냉각수 주입전략을 수행하면 칼란드리아 탱크 파손을 방지할 수 있는 것으로 평가되었다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

참고문헌

- 1.A-5 월성1,2호기 원자로 비상냉각수 외부 주입설비 개념 설계보고서(개정번호 4),
2014.08, 미래와도전(주)
- 1.A-6 월성1,2호기 원자로 비상냉각수 외부 주입유로 성능 평가보고서(개정번호 1),
2013.02, 미래와도전(주)



월성 1호기 최종안전성분석보고서

(3-10-1) 소방차와 연계한 대체수원 공급설비 설치

개선 조치사항

대형해일 등으로 원전에서 소화수원이 이용 불가능할 경우에 대비하여, 소방차와 연계한 대체수원 공급설비를 설치해야 한다.

개선 반영내용

월성 1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 대형해일 등에 대해서도 소방차와 연계하여 대체수원을 공급할 수 있는 설비가 설치되어 있다.



월성 1호기 최종안전성분석보고서

(5-6) 장기 전원상실시 필수 정보의 확보방안 강구

개선 조치사항

부지별로 1대의 이동식 발전설비를 구비하여야 한다.

또한 원전 주변의 환경방사선감시기에 대해 대형 해일시 침수 방지 대책을 마련하고, 장기 전원상실에 대비하여 비상전원을 추가 확보하여야 한다.

개선 반영내용

지역공기냉각기(LAC) 및 필수정보제공계통(전산기모니터, 제어용 전산기 및 원격감시설비) 부하 전원 공급을 위한 3상/480V/60Hz, 500kW 저압(480V)용 이동형 발전차를 부지별로 1대 확보한다. 저압(480V)용 이동형 발전차는 필수 정보제공계통에 장기간 전원이 이용불능인 조건에서 발전소의 필수정보제공 계통에 전원을 공급한다.

저압(480V)용 이동형 발전차에 구비된 단상 480V/120V, 30kVA 변압기를 통해 필수정보제공계통에 전원을 공급한다.

해당 전원 연결점은 다음과 같다.

- 필수정보제공계통 전원은 5542-PL567A, 5542-PL575A, 5622-LP24 또는 5542-PL568C, 5542-PL576C, 5622-LP24 모선에 연결한다.
- ODD Channel 필수정보제공계통

월성 1호기 최종안전성분석보고서

전산기 모니터 : 5542-PL567A

제어용 전산기(DCCX) : 5542-PL575A

원격감시설비 : 5622-LP24

- EVEN Channel 필수정보제공계통

전산기 모니터 : 5542-PL568C

제어용 전산기(DCCY) : 5542-PL576C

원격감시설비 : 5622-LP24

또한 대형 해일에 의한 환경방사선감시기의 침수에 따른 전원상실에 대비하여 이동형 환경방사선감시기를 보유하고 있으며 해당 감시기에는 장기 전원상실시 사용 가능한 태양전지판 및 축전지가 장착되어 있다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(3-6) 최종 열제거설비 침수방지 및 복구대책 마련

개선 조치사항

대형 폭풍 및 지진해일에 대비하여 기기냉각해수계통 펌프의 전동기 예비품 확보 및 기능상실시 복구절차를 수립해야 한다.

275

개선 반영내용

월성 1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 월성 1호기 기기냉각해수펌프의 전동기 예비품 확보 및 동 전동기 기능상실시 복구 절차를 수립하였다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(4-1) 원자로건물 수소감시기 설치

개선 조치사항

설계기준사고 및 중대사고시 원자로건물의 수소농도를 실시간 감시하기 위해 수소감시기를 설치한다.

282

개선 반영내용

월성 1호기는 본 조치사항을 준수하기 위해, 설비기준사고 및 중대사고시 원자로건물내 수소농도를 실시간 감시하는 수소감시기를 설치함. 관련 설비로서 원자로건물내 수소 채취용 배관, 원자로건물 관통구 및 격리밸브, 수소분석기(보조건물 지하), 수소감시반(제2제어실) 등이 있다.

월성 1호기 최종안전성분석보고서

(2-2-1) 방수문 설치

개선 조치사항

비상전력계통 및 주요안전설비의 설계기준을 초과하는 지진해일 등에 의한 침수 가능성에 대비하여 구조물에 내진 설계된 방수문, 대형출입문 방수설비, 차수벽 등의 침수방호설비를 설치해야 한다.

286

개선 반영내용

월성1호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 설계기준을 초과하는 지진해일 등에 의한 비상전력계통 및 주요 안전설비의 침수사고를 방지하기 위해 내진설계된 대형출입문 방수설비, 차수벽이 설치되어 있다.