

제 1 장

발 전 소 개 요



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

목 차

	<u>페이지</u>
1. 발전소 개요	1.1-1
1.1 개요 및 요약	1.1-1
1.1.1 개 요	1.1-1
1.1.2 요 약	1.1-1
1.2 요약설명	1.2-1
1.2.1 개 요	1.2-1
1.2.2 건물 및 구조물	1.2-1
1.2.3 원자로 및 공정계통	1.2-2
1.2.3.1 원자로	1.2-3
1.2.3.2 반응도 제어장치	1.2-3
1.2.3.3 냉각재 계통	1.2-4
1.2.3.4 감속재 계통	1.2-5
1.2.3.5 보조 계통	1.2-6
1.2.3.6 핵연료 취급	1.2-6
1.2.3.7 핵연료	1.2-7
1.2.4 터빈 발전기 및 보조계통	1.2-7
1.2.5 전력 계통	1.2-8
1.2.6 제측제어계통	1.2-9
1.2.7 공용 및 일반 서비스계통	1.2-9

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

목 차

		<u>페이지</u>
1.2.8	특수 안전계통	1.2-10
1.2.8.1	원자로 건물계통	1.2-10
1.2.8.2	비상노심 냉각계통	1.2-10
1.2.8.3	제 1 원자로정지계통	1.2-11
1.2.8.4	제 2 원자로정지계통	1.2-11
1.2.9	방사성 폐기물 관리 계통	1.2-11
1.3	다른 캐나다 설계 발전소와 비교	1.3-1
1.3.1	서론	1.3-1
1.3.2	노심 데이터 및 핵연료 성능	1.3-1
1.3.3	핵 연료 취급	1.3-2
1.3.4	원자로	1.3-2
1.3.4.1	칼란드리아	1.3-2
1.3.4.2	핵연료 채널	1.3-2
1.3.5	제 어	1.3-3
1.3.5.1	반응도 제어장치	1.3-3
1.3.5.2	컴퓨터 제어	1.3-3
1.3.6	안전 계통	1.3-4
1.3.6.1	정지 계통	1.3-4
1.3.6.2	비상 노심 냉각	1.3-4
1.3.6.3	격납건물	1.3-4

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

목 차

		페이지
1.3.7	공정 계통	1.3-6
1.3.7.1	냉각재 계통	1.3-6
1.3.7.2	증기 발생기 증기 및 급수계통	1.3-7
1.3.7.3	감속재 계통	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	개 요	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	전기도면, 계측 및 제어 도면	1.7-1
1.7.2	흐름도	1.7-1
1.7.3	기타자료	1.7-1
1.7.4	참고문헌	1.7-1
1.8	후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항	1.8-1 149

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 목 차

		<u>페이지</u>
표 1.3-1	캐나다 설계 원자력 발전소	1.3-9
표 1.3-2	월성 발전소 데이터 비교	1.3-10
표 1.3-3	캐나다 원자력 발전소 데이터 비교	1.3-13
표 1.7-1	흐름도 목록	1.7-2



월성 2,3,4 호기 최종안전성분석보고서

그림 목 차

- 그림 1.1-1 월성 1,2,3 및 월성 4호기 일반부지 위치
- 그림 1.2-1 발전소 배치도
- 그림 1.2-2 CANDU-PHW형 원자로 및 핵증기 공급계통 주요기기 배치도
- 그림 1.2-3 CANDU 원자로 개략 흐름도
- 그림 1.3-1 CANDU 원자로 건물 단면
- 그림 1.3-2 Bruce 'A' 원자로 건물 단면
- 그림 1.3-3 Pickering 'A' 원자로 건물 단면
- 그림 1.3-4 Darlington 'A' 원자로 건물 단면

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 3

1997. 12

1 장 발전소 개요

1.1 개요 및 요약

1.1.1 개 요

한국의 한국전력공사 (KEPCO) 는 캐나다원자력공사 (AECL)와 가압중수로형 원자력발전소의 핵증기공급계통 공급 및 종합설계에 대한 상호 계약을 체결하고 본 계약을 토대로 한국의 영일만과 울산만 사이의 대략 중간 지점인 남동쪽 해변에 위치한 월성 부지에 CANDU-가압중수로형 원자력발전소를 건설한다. 월성 부지는 [REDACTED] 지점이다. 이 발전소를 월성 원자력발전소 2호기, 월성 원자력발전소 3호기 및 월성 원자력발전소 4호기 (월성 2호기, 월성 3호기 및 월성 4호기)라 칭한다 (그림 1.1-1 참조).

계약의 일부로서 운영허가 신청을 위해 한국의 인허가 기관에 제출하기 위한 최종안전성 분석보고서를 작성한다.

1.1.2 요 약

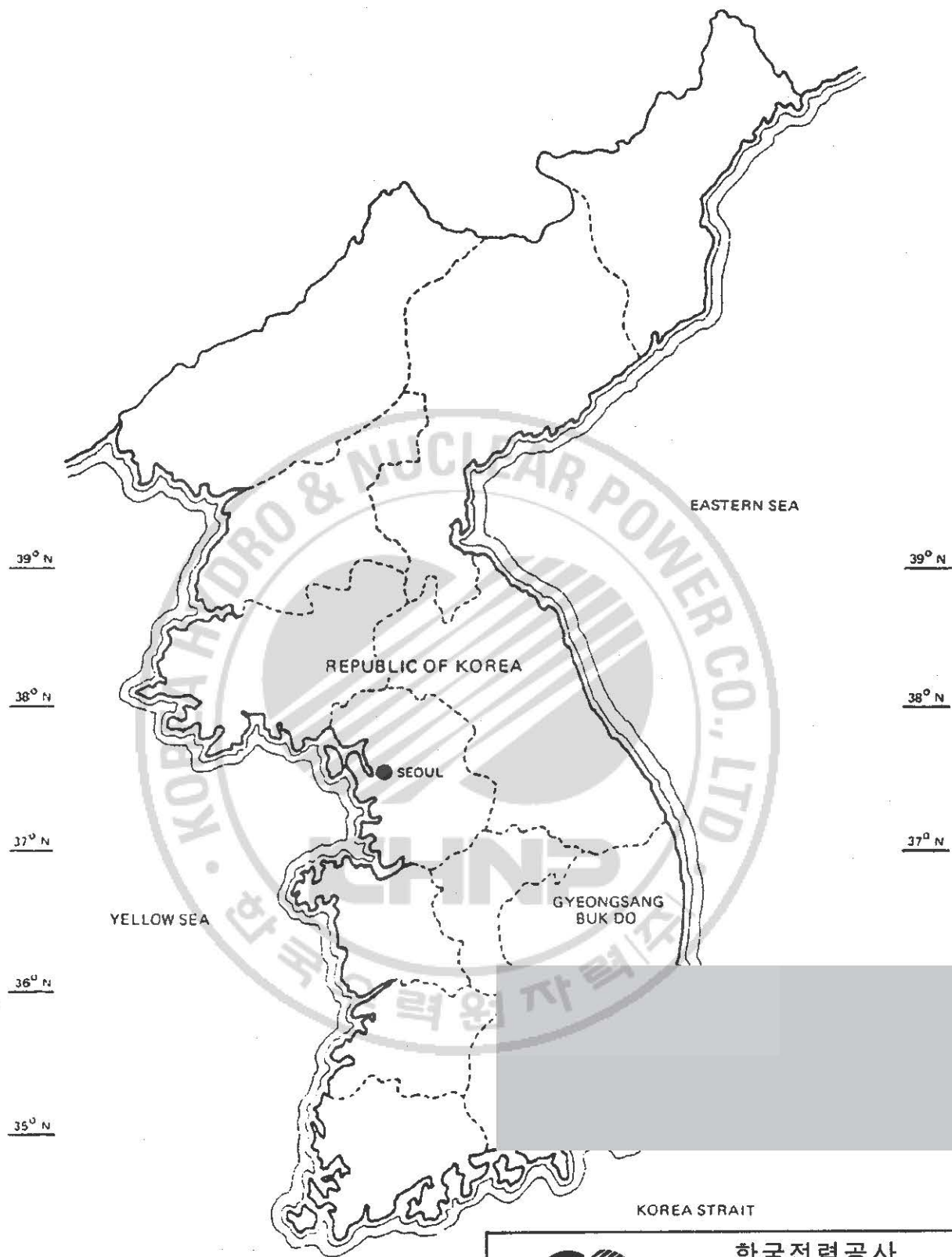
원자로 수	3
노심열출력	호기당 정격 2061.4 MW(th)
총전기 출력	월성 2호기 : 정격 713 MW(e) 월성 3,4호기 : 호기당 정격 714.9 MW(e)
순전기 출력	월성 2호기 : 정격 663 MW(e) 월성 3,4호기 : 호기당 정격 664.9 MW(e)
핵증기공급계통 :	
원자로 형태	가압중수형 (PHW), 수평 압력관

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

감속재 및 반사체	중수
냉 각 재	가압 중수
연 료	천연 이산화우라늄
연료교체방법	가동중, 인접채널과 양방향에서의 교체
핵연료 주기	비순환 주기
격납건물 구조 :	
건 설	프리스트레스 콘크리트



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

월성 1,2,3 및 월성 4호기 일반부지 위치

그림 1.1-1

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 3

1997. 12

1.2 요약설명

1.2.1 개 요

이 절은 월성 2, 3 및 4호기 발전소 내용을 요약하여 설명하고 있다. 동 원자력발전소는 CANDU 6 원자력발전소 계열에 속하며, 발전소의 배치도는 그림 1.2-1에 나타나 있다.

동 발전소는 상업용 기저부하 운전을 위하여 설계되었다. 각 호기는 하나의 CANDU 가압 중수로 원자로로부터의 증기공급으로 월성 2호기는 순 전기출력 663 MW(e)를, 월성 3,4호기는 순 전기출력 664.9 MW(e)를 각각 생산하는 터빈 발전기 한대씩을 갖추고 있다. 이러한 설계는 현재까지 지어진 모든 캐나다에서 설계된 원자력 발전소에 사용되었다. 발전소의 설계 수명은 30년이다.

동 원자로는 감속재 및 냉각재로서 중수를 사용한다. 핵연료는 다발(Bundle) 형태로 된 천연 우라늄을 사용하며, 발전소의 운전중에도 핵연료의 장전과 인출이 가능하다. 폐회로인 냉각재 계통은 핵연료에서 발생한 열을 증기발생기로 전달하여 증기를 생산한다. 터빈 사이클은 동형의 다른 발전소와 유사하다.

이러한 CANDU 6 발전소의 설계준비 단계에서 캐나다 원자력공사(AECL)는 전력회사들이 기존의 경험이 있고 입증된 기기의 설치를 위한 전력업체들의 요망사항을 인지하여 왔다. 따라서 동 발전소의 핵증기 공급계통은 현재 운전중이거나 건설중인 CANDU 발전소를 위해 개발된 유사한 기기들을 사용하고 있으며 총 누계출력은 약 19,730 MW(e) 이다.

핵증기 공급계통의 주요 기기의 배치는 그림 1.2-2에 나타나 있으며 간략한 계통 흐름도는 그림 1.2-3에 나타나 있다.

1.2.2 건물 및 구조물

각 월성 2, 3, 4호기는 원자로 건물, 보조 건물, 터빈 건물, 펌프하우스, 취·배수 관로, 기타 부속건물로 이루어져 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

원자로 건물은 격납경계와 그 내부 구조물로 구성되어 있다. 이 건물 내에는 증기발생에 직접 관련된 설비들이 모두 포함되어 있다. 원자로건물은 프리스트레스트 콘크리트로 된 원통형 벽체, 부분구형의 돔(spherical segmental dome) 및 바닥 슬래브로 구성되어 있으며 설계 내부 압력은 124 kPa(g) (18psig) 이다. 원자로건물 내부표면은 과압 과도상태시 누설을 최소화하기 위하여 불침투성 라이닝으로 되어 있다. 설계 누설 허용한도는 124 kPa(g) (18 psig)의 압력에서 일일 누설량이 총 부피의 0.5%이다. 원자로 건물 최상부의 안쪽 돔은 바깥쪽의 원자로건물 벽체와 함께 원자로건물 살수계통과 비상노심냉각에 필요한 물의 저장탱크 역할을 한다. 또한 보강 콘크리트 내부지지물 및 차폐구조물도 갖추어져 있다. 내부 차폐물은 운전요원이 보수를 위해 핵연료장전기 및 기타 설비에 접근할 수 있도록 배치되어 있다. 이 건물내에는 칼란드리아 격실도 있다. 이 격납계통은 CANDU-6 발전소의 표준으로 각 호기별 하나씩(single-unit type) 갖추어져 있다.

원자로 건물에 인접한 보조 건물의 지하는 철근 콘크리트 구조로 지상은 금속피복(metallic cladding) 및 단열재로 마감한 강구조로 되어있다. 이 건물 내부에는 제어실, 사용후 핵연료 저장조, 중수처리실 및 방사성 폐기물 저장실등 주요설비들이 있다. 또한 보조 건물 내부에는 창고, 작업실, 탈의실, 제염실, 실험실 등 일반용도 (conventional service)의 설비들도 있다.

터빈 건물은 터빈과 그 보조기기들을 수용하는 일반적인 구조물이다. 처음에 기술한 건물 및 구조물 중 위에서 설명하지 않은 것은 대부분 일반적인 구조물이다.

1.2.3 원자로 및 공정계통

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1.2.3.1 원자로

원자로는 기본적으로 중수감속재/반사체가 함유되어 있는 튜브형태인 수평칼란드리아 용기로 이루어져 있다. 이것에는 높은 압력의 중수 냉각재를 갖는 핵연료 채널이 들어있는 380개의 칼란드리아관이 관통한다. 각 핵연료 채널은 칼란드리아관의 안쪽 중앙에 위치한 압력관으로 이루어져 있으며 압력관은 열을 차폐하는 환형기체와 핵연료 채널을 부분적으로 지지하는 환형 채널 스페이스에 의해 칼란드리아관과 분리되어 있다.

54

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

102

칼란드리아는 강철로 피복된 콘크리트 원자로격실 안쪽에 위치한다. 칼란드리아 동체와 격실벽 사이는 경수로 채워진다. 이 경수는 추가적인 차폐역할을 하며 칼란드리아 동체를 필수적으로 일정한 온도로 유지시켜 준다. 강철 종단차폐체는 원자로 격실 양측 면의 개구부에 위치한다. 칼란드리아 집합체는 원자로 격실에 부착된 부착물에 의해 지진에 견디도록 되어있다.

102

1.2.3.2 반응도 제어장치

반응도 제어장치는 원자로 조절계통 및 원자로정지계통의 원자로내 감지기와 구동부분으로 구성된다. 반응도 제어장치는 중성자속 검출기, 반응도 제어기구 및 원자로 안전 정지 계통을 포함한다.

54

중성자속 검출기는 중성자속을 측정하기 위해 노심내부와 주위에 설치되어 있고 반응도 제어기구는 핵 반응을 제어하기 위해 노심내부에 장치되어 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

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 액체영역 제어집합체의 경수의 수위조절에 사용된다. 액체영역 집합체 수위의 변화는 국부적인 중성자 흡수를 변화시키므로써 국부 중성자속 준위를 제어한다.

고체제어흡수봉은 노심을 수직으로 통과하고 있다. 이들 제어봉은 정상운전시 노심밖에 위치하여 액체영역 제어집합체가 중성자속을 제어할 수 있는 제어량보다 더 많은 제어량 및 제어율이 일시에 필요한 경우에 노심에 삽입한다.

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

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

두개의 독립된 원자로 운전정지계통이 설비되었고, 각각의 계통으로 어떠한 가상사고에도 원자로를 정지시킬 수 있다. 제 1 원자로정지계통은 정지봉으로 이루어져 있으며 특수안전계통으로부터 정지 신호를 받으면 중력에 의해(스프링 작용에 도움을 받아) 노심으로 삽입된다. 제 2 원자로정지계통은 강한 중성자 흡수 용액을 감속재로 신속히 주입하는 방법을 사용한다. 원자로 자동 정지계통은 중성자와 공정신호에 반응한다.

1.2.3.3 냉각재 계통

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

냉각재 계통은 핵연료에서 발생한 열을 제거시키기 위해 핵연료 채널을 통하여 가압 중수를 순환시키도록 설계되어있다. 이 열은 보다 낮은 온도와 압력에서의 비등으로 터빈 발전기를 구동시키는 증기를 발생시키는 증기발생기 안의 보통 경수로 전달된다.

냉각재 계통은 순환 펌프, 모관, 각 핵연료 채널에 연결된 냉각재 분배관 증기발생기의 1차측 및 가압기로 구성된다. 냉각재 계통은 기능적으로 절반을 담당하는 2개의 독립된 루프(loop)로 구성되며 가압기, 비상노심 냉각계통 및 정화계통과 공통으로 연결되어 있다. 주순환 펌프는 다단계 기계적 밀봉축을 갖는 원심 펌프로서 표준전기전동기로 구동된다. 증기발생기는 완전한 예열 부분을 갖는 수직형 U-관 형태이며 관의 재질은 Incoloy-800 이다.

냉각재 계통은 계통의 운전을 지원하고, 다양한 계통기능을 적절하게 수행하도록 최적 범위내의 매개변수를 유지하는 보조계통으로 보완된다. 계통 압력제어는 가압기의 증기배출밸브 및 가열기로 하며 냉각재 계통 재고량은 공급 및 배출회로로서 제어한다. 물의 화학적 성질은 활성 부식 생성물의 축적을 제한하기 위하여 엄격하게 제어된다. 계통으로부터 중수의 이탈을 최소화하고 액체 중수나 혹은 이탈된 중수증기를 수집하는데 세심한 주의가 필요하다.

54

1.2.3.4 감속재 계통

핵분열에 의해 생성된 중성자는 칼란드리아 내의 중수에 의해 감속된다. 중수감속재는 칼란드리아를 통해 감속재 펌프에 의해 순환되고 상대적으로 낮은 온도와 낮은 압력계통에 있는 감속재 열교환기에 의해 냉각된다. 감속재 열교환기는 감속재에서 발생된 열과 핵연료채널로부터 감속재로 전달된 열을 제거한다. 중수 상충기체로 헬륨이 사용된다. 감속재 정화계통으로 감속재 중수를 화학제어 한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1.2.3.5 보조계통

냉각재 계통, 감속재 계통 및 원자로 제어계통 등과 연관된 많은 보조계통들이 있다. 가장 중요한 보조계통들은 다음과 같다.

- 가. 차폐냉각계통
- 나. 원자로건물 살수계통
- 다. (삭제)
- 라. 사용후핵연료 저장수조냉각 및 정화계통
- 마. 액체영역제어계통
- 바. 환형기체계통
- 사. 감속재 액체독물질계통
- 아. 정지냉각계통
- 자. 수지취급계통
- 차. 냉각재 및 감속재 정화계통
- 카. 냉각재 압력 및 수위 제어계통
- 타. 냉각재, 감속재 중수화 및 탈중수화 계통
- 파. 중수수집계통
- 하. 중수관리계통
- 거. 중수 시료채취 계통
- 너. 비상 급수계통
- 더. 비상 전력계통

1.2.3.6 핵연료 취급

핵연료 취급설비는 새연료의 취급 및 저장, 핵연료교체, 조사된 핵

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

연료의 취급 및 저장용 기기로 구성된다.

원자로는 가동중 원자로 양단에 위치하여 원격조정되는 두 개의 핵연료 교환기에 의해 핵연료가 교체되어진다. 동일 핵연료 채널의 반대편 끝부분에서 작동하는 핵연료 교환기는 원자로가 운전중일때 핵연료채널 종단이음관을 막고 사용후 핵연료를 제거하며 신연료 이송기기실로부터 신연료를 삽입한다.

사용후 연료는 핵연료이송유로를 통해 보조건물에 위치한 사용후 연료 저장조로 수중에서 이송된다. 사용후 연료 저장조는 원자로 이용률 80% 운전시 약 9년간 축적되는 사용후 연료와 원자로 노심의 반에 해당하는 사용후 연료를 저장하는 능력을 갖고 있다. 인양 설비는 조사된 연료의 취급 및 운반에 사용된다. 사용후 핵연료 저장조 냉각 및 정화계통은 저장조 물의 흡수열을 제거하고 물의 화학성분 및 방사능을 허용수준으로 유지한다.

113

1.2.3.7 핵연료

핵연료 설계는 NPD, Douglas Point와 Pickering 원자로에서 사용된 핵연료를 개량한 것으로 다른 CANDU 6 원자로에서 사용된 핵연료와 동일하다. 이것은 천연 이산화 우라늄 소결체의 형태를 이루고 있고, 지르코늄 합금 튜브에 넣어 피복 및 밀봉한다. 37개 튜브가 핵연료봉 지지판 사이에 접합되어 핵연료 다발 형태를 이루고 있고 380개의 채널은 각각 12개의 핵연료다발이 장전되며 원자로에는 총 4560개의 핵연료 다발이 있다.

1.2.4 터빈 발전기 및 보조계통

4대의 증기발생기는 냉각재 계통에 설치되어진다. 이 증기발생기들은 터빈발전기와 보조증기계통에 요구되는 증기를 공급하는 공유 모관으로 증기를 방출한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

전력발생 설비는 다음과 같이 구성된다.

가. 공칭 총 출력 714.9 MW(e)인 터빈발전기 설비 ; 고압터빈과 저압터빈 사이에 위치한 2대의 습분분리기 및 2단재열기가 구비된 증기구동 단일축 터빈으로 되어있다. 발전기는 물과 수소로 냉각시키며 정지식 여자기 계통을 구비하고 있다.

나. 터빈축과 직각 방향인 튜브다발과 세개의 동체로 구성된 복수기 (three-shell surface condenser).

다. 재생 급수 가열계통 ; 3대의 저압 급수가열기, 2대의 고압급수가열기 및 탈기.

라. 기타 터빈발전기와 연관된 보조기기

1.2.5 전력 계통

전력공급 및 배전계통은 1대의 주 변압기(승압용)와 2대의 소내용 변압기로 구성되는 일반 화력발전소 계통구성과 유사하며, 소내용 변압기는 소외 전력 계통과 발전기 출력단에 각각 연결되어 있다. 발전소 보조 전원 계통은 원자력 발전소 특수성에 부합되도록 비상 전원과 예비 전원을 포함하고 있다.

발전기 출력은 소내에 위치한 옥외개폐소를 통해 전력계통으로 공급되며 동 옥외개폐소는 월성 1, 2, 3, 4호기에 공용으로 사용된다. 전력은 이중 송전선로들을 통해 송전되며 동 송전 선로 역시 월성1, 2, 3, 4호기 공용이다.

예비 전원용 디젤 발전기와 정지형 인버터 및 축전지 설비는 비상시 필요한 제어, 계측 및 안전 관련 기기를 위한 소내 전원으로 사용한다.

내진 품질등급이 적용된 월성 1호기와 3호기의 비상 발전기는 각각 월성 2호기와 4호기에 비상전력을 공급한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1.2.6 제측제어계통

제공된 자동화의 정도는 안전하고 신뢰할 수 있는 발전소운전을 보장하기에 충분하다. 주제어실에서는 원격감시와 주요 변수 및 장치들의 제어를 수행할 수 있다. 정상적 발전소 전원공급의 실패시 주요 제측제어기기의 계속적인 작동을 위한 대책이 준비되어 있다. 2대중 하나의 컴퓨터만으로도 발전소를 안전하고 신뢰성있게 제어 할 수 있다. 제 2 제어실은 주제어실에서 제어할 수 없는 사고상태에서 필요한 제어를 보장하기 위해 완비되어 있다.

54

1.2.7 공용 및 일반서비스 계통

공용 및 일반서비스 계통은 다음과 같다. 이중 몇 계통은 월성 1, 2호기 간에, 또는 월성 3, 4호기 간에 서로 공유한다.

가. 복수기 냉각수 계통

나. 기기 냉각수 계통

다. 소방 계통 : 월성 1, 2호기 공용 및 월성 3, 4호기 공용

라. 용수 계통 : 월성 1, 2호기 공용 및 월성 3, 4호기 공용

마. 순수 계통 : 월성 1, 2호기 공용 및 월성 3, 4호기 공용

바. 방사성 및 비방사성 액체 폐기물 배수 계통

사. 위생배수 계통

아. 난방, 배기, 공기조화 계통

자. 계기용 공기 계통

차. 작업용 및 호흡용 공기 계통 : 월성 1, 2호기 공용 및 월성

54

3, 4호기 공용

카. 가스 계통 (H_2 , CO_2 , N_2)

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

- 타. 자재 운반 취급 설비
- 파. 기타 기기(세탁기 등)
- 하. 방사성 폐기물 관리 계통
- 거. 중수 승급 설비 : 월성 1, 2호기 공용 및 월성 3, 4호기 공용

1.2.8 특수 안전계통

1.2.8.1 원자로 건물 계통

원자로 건물 계통은 냉각재 계통내의 핵기기 고장시 주민에 대한 중대한 양의 방사능 방출을 방지한다.

원자로 건물 계통은 예폭시 피복이 되어 있는 포스트텐션닝한 프리스트레스트 콘크리트 원자로 구조물과 자동 작동되는 살수계통 및 건물공기냉각기로 구성된 에너지 제거원, 원자로 건물 출입구, 원자로 건물을 관통하는 계통 배관의 밸브 및 탬퍼로 구성되어 있는 원자로 건물 격리계통으로 구성된다.

1.2.8.2 비상노심 냉각계통

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

이 계통은 초기 고압 냉각재 주입용 고압 주입 탱크, 순환용 펌프 및 냉각재 계통으로 유입되기 전에 유량을 냉각시키는 열교환기로 구성된다. 밸브는 정상운전시 비상노심 냉각계통을 냉각재 계통으로부터 격리시킨다. 순수 계통은 비상노심 냉각수탱크에 냉각수를 초기공급 및 보충한다. 또한 냉각수의 화학처리, 누출수 수집 및 차폐설비도 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1.2.8.3 제 1 원자로정지계통(SDS1)

제 1 원자로정지계통은 정지봉을 감속재에 삽입함으로써 원자로 운전을 신속하게 정지시킨다. 이 계통은 냉각 가능한 수준까지 원자로 출력을 낮추기 위한 충분한 속도 및 부반응도를 갖는다. 54

원자로는 운전은 어떤 중성자 또는 공정매개변수가 허용할 수 없는 범위에 이를때 정지된다. 각 매개변수 측정은 3중으로 되어있으며 어떤 정지 변수 또는 정지변수들의 조합에 의해 3개중 2개의 정지 채널이 동작될 때 정지계통이 작동한다. 121

1.2.8.4 제 2 원자로정지계통(SDS2)

제 2 원자로정지계통은 어떤 정지변수 또는 정지 변수들의 조합에 의해 3개중 2개의 정지 채널이 동작될 때 고농도 중성자 흡수 용액을 감속재에 주입함으로써 원자로를 안전 정지시키는 두번째 독립적인 방법이다. 가능한한 선택된 정지 변수는 제 1 원자로정지계통에 사용되는 정지변수와는 상이하다. 121

1.2.9 방사성 폐기물 관리계통

기체, 액체 및 고체 방사성 폐기물의 중간저장 또는 제어된 방출을 위한 설비가 있다.

CANDU 6 원자력발전소는 설계단계에서 발전소에서 생성된 폐기물량 및 방사능 준위가 방사성 폐기물 관리계통의 처리능력 내임을 확보하도록 지속적인 검토 내용이 포함되어야 한다.

액체 및 고체 폐기물을 취급하는 방사성폐기물의 기기, 탱크 및 설비는 주요보수 또는 원자로 비정상운전 중에 예상되는 폐기물 양 및 방사능의 증가에 충분히 대처할 수 있도록 설계되었다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

방사성 폐기물의 생성, 이동 및 제어는 발전소 형태와 운전방법에 따라 특성을 갖는다. CANDU 6 발전소의 경우 방사성 폐기물은 아래와 같이 분류한다.

가. 핵분열 생성물(Fuel Fission Products)

나. 계통 재질 방사화 생성물

(System Material Activation Products)

다. 계통 유체 방사화 생성물

(System Fluid Activation Products)

상기분류 내의 대다수 방사성 핵종은 생성지에 잔류하지만 이들중 일부는 방사성 폐기물 관리시스템의 한부분 또는 다수의 부분에 궁극적으로 도달한다. 노심 또는 핵연료 취급기기 내의 핵연료 결함부위에서 누출된 대다수 핵분열 생성물은 냉각재 계통 및 보조계통내에서 여과, 포획 또는 제거된다. 누설 또는 냉각재계통 경계에서 누출된 방사성 핵종은 건물내의 대기에 도달하지만 이들 대부분은 방사능 배기계통에 의해 수집되며, 중수건조기에 보유가 불가능한 경우 방사능 배기계통의 제어하에 방출된다. 침전 및 씻겨진 방사성 핵종은 방사능 배수계통을 통하여 액체 방사성 폐기물 처리 설비에 수집된다.

CANDU 6 발전소의 독특한 특성으로서, 냉각재 계통 및 감속재 중수회로내의 중수의 방사화에 따라 생성되는 삼중수소는 DTO 또는 유사한 형태로 방출된다. 이들 대부분은 중수 액체 및 증기 수집 계통내에 보유되며 연중 삼중수소 재고량의 약 0.1% 만이 액체 또는 기체방사능 폐기물계통에 수집된다.

사용한 기기들은 핵분열생성물 또는 방사화 생성물의 제거를 위해서 “원래의 위치에서(in situ)” 또는 특수 제염설비내에서 제염 절차를 따르게 되어 있으며 그 후에도 잔류되는 방사성 핵종은 적절한 방사성 폐기물계통으로 보내진다.



한국수력원자력주식회사
월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

발전소 배치도

그림 1.2-1

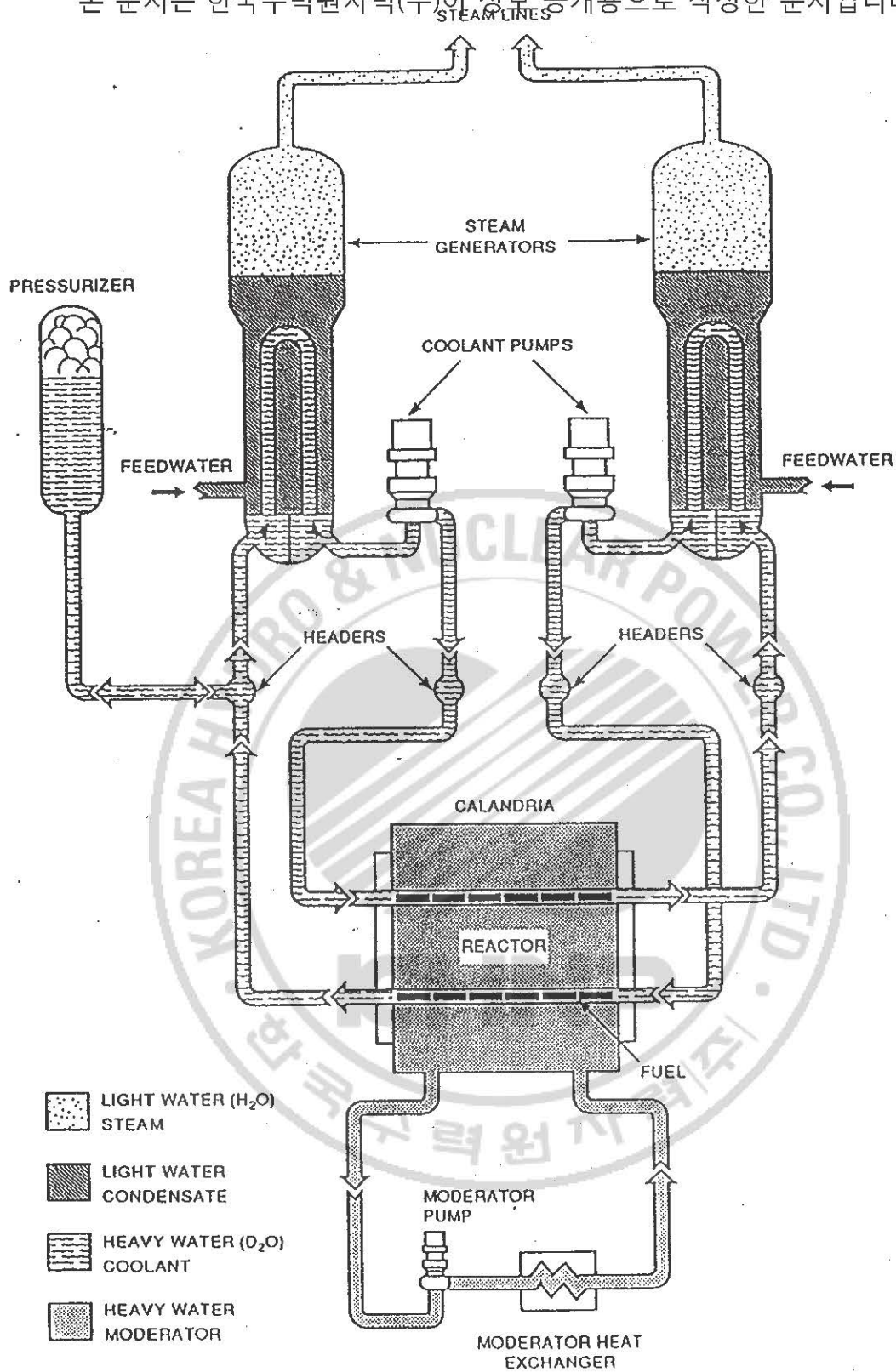


한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

CANDU-PHW형 원자로 및 핵증기

공급계통 주요기기 배치도

그림 1.2-2



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

CANDU 원자로 개략 흐름도

그림 1.2-3

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1.3 다른 캐나다 설계 발전소와 비교

1.3.1 서론

본 발전소 설계는 총 출력이 약 19,698 MW (e) 에 달하는 캐나다에서 설계하여 가동 중 또는 건설중인 발전소에 대해서 꾸준히 발전 향상시켜 온 것과 유사한 설비를 사용한다. 이들 발전소 목록은 표1.3-1에 나타나 있다.

특히, 이 발전소의 설계는 Pickering 과 Bruce 원자력발전소의 설계, 건설 및 운전등에서 얻어진 경험을 바탕으로 개선되었다. 기본설계는 캐나다의 Point Lepreau 와 Gentilly-2, 아르헨티나의 Cordoba, 루마니아의 Cernavoda, 한국의 월성 1 호기와 같다.

이들 발전소에 대한 비교자료가 표 1.3-2 및 표 1.3-3 에 제시되어 있다. 이들 발전소에 대한 원자로건물의 부분적 단면도 (cutaway) 가 그림 1.3-1, 1.3-2, 1.3-3 및 1.3-4 에 제시하였다.

1.3.2 노심 데이터 및 핵연료 성능

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

CANDU 6 원자로에 대한 핵연료 출력은 4.2 KW/m로 설정되어 있고, 다른 CANDU 6형 발전소 수준에 근접하며, 결국 6.5 MW(th)의 최대 공칭

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

채널 출력을 갖는다.

1.3.3 핵연료 취급

월성 2, 3, 4호기의 핵연료취급계통은 아주 우수한 가동 기록을 보유한 월성 1호기의 설계와 같다. 계통의 단순화 및 노후화된 설비를 교체하고, 신규 규제 요건과 최근 코드 및 표준을 만족하도록 약간의 설계변경이 이루어졌다.

1.3.4 원자로

1.3.4.1 칼란드리아

월성 2, 3, 4호기의 칼란드리아는 현재 가동중인 월성 1호기, Gentilly-2, Point Lepreau 및 Cordova의 CANDU 6 설계를 복제한 것이다.

CANDU 6 원자로는 종단 차폐체로 지지되며, 경수로 채워진 콘크리트실 구조물을 사용한다. 종단차폐체는 종전 Pickering 'A'에서 사용된 대형 강판 대신 소형의 강철볼로 대체하여 운반무게를 훨씬 감소시켰다.

Pickering 'A'는 공기로 채워진 콘크리트 격실을 사용한다. 월성 2, 3, 4호기를 포함한 현 설계에서는 물로 채워진 강판으로 내장된 콘크리트 격실이나 물로 채워진 강철 차폐 탱크를 사용한다.

1.3.4.2 핵연료 채널

월성 2,3,4호기의 핵연료 채널은 월성 1호기, Gentilly 2, Point

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

Lepreau 및 Cordova에서 사용중인 입증된 CANDU 6 설계와 유사하다. 압력관의 제작 기술은 해마다 개선되어 왔으며 월성 2,3,4호기의 압력관은 수소함유량이 낮은 재질로 제작된다. 월성 2,3,4호기에서는 개선된 가터 스프링 설계로 압력관이 처짐으로 발생하는 칼란드리아관과의 접촉을 방지한다.

1.3.5 제 어

1.3.5.1 반응도 제어장치

CANDU 6 원자로는 액체영역제어계통과 카드뮴 제어 흡수체들을 갖추고 있지만, Bruce 'A'에서 사용한 농축우라늄 부스터 (booster) 대신에 스테인레스강 조절봉들을 사용한다 (CNEA의 요청으로 지르코늄 합금으로 봉합된 코발트 조절봉이 사용되어지는 Cordoba는 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.

월성 2,3,4 호기는 월성 1호기, Gentilly 2 및 Point Lepreau 등의 다른 CANDU 6 원자로에 공급된 노내 중성자속 검출장치의 수량과 유사하다.

1.3.5.2 컴퓨터 제어

월성 2,3,4 호기 컴퓨터 제어는 월성 1호기 및 다른 CANDU 6 원자로와 비슷하다. 이중 전산기 계통은 필수적인 제어와 감시 기능을 100% 지원한다. 월성 2,3,4 호기에 사용된 일부 컴퓨터 설비는 장비 노후화로 인한 교체로

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

인해 월성 1호기와 다르지만 기능적으로는 월성 1호기와 비슷하다.

1.3.6 안전계통

1.3.6.1 정지계통

Pickering 'A'는 두개의 정지기구로 정지시키는 단일 보호계통을 갖추고 있다. 1차 정지기구는 정지봉과 감속재 탱크 용량의 70% 감속재를 덤프하는 방식으로 구성된다. 만약 연속적인 반응도 감소율이 미리 설정된 기준값과 일치하지 않으면, 덤프탱크로 감속재의 잔여물을 방출함으로써 보조 정지기구가 동작된다.

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

1.3.6.2 비상 노심 냉각

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 격납건물

모든 CANDU 발전소의 격납건물 계통은 주민 및 개인에 대한 방사능 피폭이 AECB 허용치를 만족하여야 한다는 동일한 목적을 갖는다. 그러

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

나 CANDU 6 발전소 격납건물의 설계는 다른 발전소와는 다르다. Pickering 'A'와 'B', Bruce 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'는 각각 조합된 4 기의 격납건물 계통을 갖는 반면에 CANDU 6 발전소는 각 호기에 대해 기능적으로 독립된 격납건물 계통을 가진다.

CANDU 6 원자로는 설계압력 124 kPa(g) (18 psig)인 원통형 프리스트레스트 콘크리트의 격납건물 구조와 자동 응축계통을 채택하고 있다. Pickering 'A'와 'B', Bruce 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'는 각각 채래식 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 격납건물은 41 kPa(g) (6 psig)의 설계압을 가지며 Bruce 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'의 격납건물은 69 kPa(g) (10 psig)의 설계압을 가진다. 이러한 구조물들은 각 경우에 있어서 철근 콘크리트 도관을 이용하여 대형의 원통형진공건물 (vacuum building) 과 연결되어 있다. 진공밸브와 자동응축계통은 진공건물에 설비되어 있다.

진공계통에서의 명확한 주된 장점은 냉각제상실 사고후 상당히 적은시간에 축적된 과압을 상당히 낮출수 있기 때문에 누설 건전성에 대한 요건을 완화시킬 수 있다는 것이다.

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

단위 호기 기준으로 격납건물의 투자 비용을 고려하면 단일 호기용의 독립된 격납건물이 유리하다. 분석에 의하면, 경제적인 면만을 고려했을때 다

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

중 진공 격납건물이 정당화 되기 위해서는 최소 4개의 발전소가 요구된다. 그러므로 CANDU 6 원자로는 원자로 건물 내부에 별도의 살수계통을 갖도록 설계되었다.

1.3.7 공정계통

1.3.7.1 냉각재계통

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

단순성, 신뢰성, 경제성 등의 잇점에 있어서 밸브를 포함한 기기의 수를 크게 절감시켰다. Pickering 'A'와 'B'는 16대의 펌프 (4대의 여분 포함)와 12대의 증기 발생기를 가지고 있다; Bruce 'A'와 'B' 및 Darlington 'A'는 4대의 펌프와 8대의 증기발생기를 가지고 있다; 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 계통으로부터의 일정한 충수와 배출로 이루어진다. 계통의 가열에 의해 발생된 잉여 중수는 중수

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

저장탱크로 보내진다. 다른 CANDU 원자로는 가열된 가압기 (완충탱크)를 사용하여 일정한 중수 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. Pickering 'A' (높은 정화속도를 가짐)와 비교하여 더 짧은 정화 반감기를 갖는 주된 이유는 손상된 핵연료로부터 방출되는 핵분열생성물을 제거하기 위해서이다.

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 응축기로 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 원자로의 증기 발생기에 대한 적은 투자비용과 감소된 중수재고량의 잇점을 고려하여 Pickering 'A' 식 배치를 이용하고 있다.

월성 3.4 호기 최종안전성분석보고서

1.3.7.3 감속재계통

Pickering 'A'는 운전정지를 위해 감속재 덤프방식을 사용하고, 감속재 수위가 낮아졌을 때 분사계통이 칼란드리아관과 다른 원자로 기기를 냉각시킨다. 5대의 감속재 펌프가 급속 펌프기동 (Pump-up) 을 위해 공급되며 하나의 모선에 2대씩 연결되어 있고 한대의 여분의 펌프가 양쪽 전기 모선과도 연결가능토록 되어 있다. 분사계통의 신뢰성을 보장하기 위하여 2대의 펌프는 3급 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 도달할때 감속재가 탱크에 가득차게 된다. 따라서 체적팽창분의 감속재 저장을 할 필요가 없다.

Pickering 'A'에서 칼란드리아 분사계통은 중수소의 생성을 증가시켜 중수소와 산소를 결합시키는 재결합기를 통해 상대적으로 높은 헬륨의 재순환으로 초래한다. Bruce 'A'와 'B', Darlington 'A' 및 CANDU 6 원자로는 분사기를 갖지 않으므로 헬륨 상충기체 계통은 매우작고 단순화된다.

월성 3.4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.3-1

캐나다 설계 원자력발전소

발 전 소	소 유 주	MW(e)	(net)	가동 년
1. NPD	Ontario hydro/AECL		22.0	1962
2. Douglas Point	AECL		206.0	1968
3. Pickering 'A'	Ontario Hydro	4 x 515.0	= 2,060.0	1971 - 1973
Pickering 'B'	Ontario Hydro	4 x 516.0	= 2,064.0	1983 - 1984
4. Gentilly 1	AECL		250.0	1972
5. KANUPP	Pakistan		125.0	1971
6. RAPP	India	2 x 200.0	= 400.0	1972 - 1975
7. Bruce 'A'	Ontario Hydro	4 x 740.0	= 2,960.0	1977 - 1979
Bruce 'B'	Ontario Hydro	4 x 750.0	= 3,000.0	1983 - 1987
8. Gentilly 2	Hydro-Quebec		638.0	1983
9. Cordoba	CNEA, Argentina		600.0	1983
10. Point Lepreau (Unit 1)	NBEPC, New Brunswick	1 x 635.0	= 635.0	1982
11. Wolsong 1	KEPCO, Korea		628.0	1983
12. Darlington	Ontario Hydro	4 x 881.0	= 3,524.0	1990 - 1993
13. Cernavoda (Unit 1 of 5)	Romania	1 x 628.6	= 628.6	1995
14. Wolsong 2	KEPCO, Korea	1 x 664.9	= 664.9	1997
Wolsong 3	KEPCO, Korea	1 x 664.9	= 664.9	1998
Wolsong 4	KEPCO, Korea	1 x 664.9	= 664.9	1999
			19,735.1	

월성 3.4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.3-2

월성발전소 데이터 비교

	Wolsong 2/3/4	Wolsong 1
호기당 순 전기출력 (MWe)	664.9	628.6
발전소 수	3	1
<u>노심 및 핵연료 데이터</u>		
핵연료관 수	380	380
공칭 최대 채널출력 (MWth)	6.5	6.5
핵연료다발 / 채널수	12	12
핵연료관 / 다발수	37	37
공칭핵연료봉 출력밀도 (KW/m)	4.2	4.2
<u>핵연료 교환</u>		
재장전 방향	With Flow	With Flow
주기기	Fuel Separators	Fuel Separators
엔드피팅 마개 형태	Expanding Jaws	Expanding Jaws
핵연료 교환기기	Oil and Water Hydraulics	Oil and Water Hydraulics
사용후 핵연료 교환	Direct to Elevators	Direct to Elevators
신연료 장전	Direct to F/M	Direct to F/M

월성 3,4 호기 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
최소압력관 벽 두께 (mm)	419	419
<u>반응도 장치</u>		
조정봉(흡수봉)	21 (스테인레스강)	21 (스테인레스강)
승압봉(농축 우라늄)	-	-
제어 흡수체	4 (카드뮴)	4 (카드뮴)
노내 중성자속 계측기 집합체	33	33
액체영역제어장치	6	6
<u>안전계통</u>		
제 1 정지기구	28개 정지봉	28개 정지봉
제 2 정지기구	독물주입	독물주입
격납건물	자체내장 살수	자체내장 살수
비상노심냉각	고압 축압기 계통으로부터	고압 축압기 계통으로부터
원자로건물 설계 압력	124 kPa(g)	124 kPa(g)

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.3-2 (계속)

	Wolsong 2/3/4	Wolsong 1
<u>냉각재계통</u>		
입구온도	266 ℃	266 ℃
출구온도	310 ℃	310 ℃
출구 모관에서의 건도 (근사치)	4 %	4 %
노심 입구 압력	11.35 MPa(a)	11.05 MPa(a)
증기발생기 수	4	4
증기발생기의 표면적	3179m ²	3200m 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 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3
캐나다 원자력발전소 데이터 비교



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 3.4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3 (계 속)



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3 (계 속)



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 3.4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3 (계 속)



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.3 - 3 (계 속)





한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

CANDU 원자로 건물 단면

그림 1.3-1



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

Bruce 'A' 원자로 건물 단면

그림 1.3-2



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

Pickering 'A' 원자로 건물 단면

그림 1.3-3



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

Darlington 'A' 원자로 건물 단면

그림 1.3-4

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1.4 사업 책임 구분

월성 2, 3, 4호기 발전소의 엔지니어링 설계책임은 사업주인 한국전력공사, 핵중기설비 공급자(Nuclear Island Supplier)로 종합설계를 담당하는 캐나다 원자력공사, 터빈 발전기와 보조기기 공급을 담당하는 한국중공업이 분담하고 있다.

설계업무는 아래와 같이 구분된다.

- 가. 부지 설계 및 조성
- 나. 발전소 배치 개념 설계
- 다. 핵중기 설비 개념 설계
- 라. 발전소 보조설비 개념 설계
- 마. 핵중기 설비의 기계, 공정 및 제어 기기의 상세설계
- 바. 발전소 보조설비의 기계, 전기, 공정 및 제어기기의 상세설계
및 발전소 운전에 직접연관이 없는 핵중기 설비의 일부분과 건물들의 상세 구조 설계
- 사. 소내 변전소와 소내배전 계통과의 연계를 위한 상세계통 설계

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1.5 신 기술정보의 요구조건

1.5.1 기술개발

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



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1.6 참고문헌

1.6.1 개 요

가능한한 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 월성 3,4호기용으로 준비할 문제에 관련되며 아래와 같다. | 189

가. 계통분류목록 (Systems Classification List)

나. 가동중검사 계획서 (Periodic Inspection Program Document) | 189

다. 발전소 데이터 메뉴얼 (Station Data Manual)

라. 과압보호보고서 (Overpressure Protection Report)

마. 품질보증계획 (Quality Assurance Program)

바. 환경검증기기목록 (Environmentally Qualified Component List)

사. 삼중수소제거설비 안전성분석보고서(SAR, Rev.3)

1.7 도면 및 기타 상세 자료

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

160

1.7.1 전기 도면과 계측 및 제어 도면

안전 관련 도면은 아래와 같은 범주로 별도의 참고문헌에 목록이 되어 있다. (A/E 안전관련 전기, 계측 및 제어도면 목록, NSSS 안전관련 전기, 계측 및 제어도면 목록)

- 가. 단선도 (Single Line Diagrams)
- 나. 보호 및 계측도 (Protection and Metering Diagrams)
- 다. 개략도 (Schematic Drawings)
- 라. 일반 배치도 (General Arrangement Drawings)
- 마. 제어 및 계측도 (Control and instrumentation Drawings)
- 바. 계측 회로도 (Instrument Loop Diagrams)
- 사. 논리도 (Logic Diagrams)

1.7.2 흐름도

흐름도 목록 및 해당 부분의 절 번호는 표 1.7-1에 수록되어 있다.

1.7.3 기타 자료

원자력안전위원회의 요청이 있을 경우, 관련 정보가 제공될 것이다.

161

1.7.4 참고문헌

1.7-1 A/E List of the safety-related Electrical Drawings and Instrumentation and Control Drawings.

1.7-2 NSSS List of the safety-related Electrical Drawings and Instrumentation and Control Drawings.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.7 - 1 (1/9)

흐름도 목록

FSAR		관리도면			개정 번호	개정 일자
그림 번호	관 련 부분(절)	원도 종류	도 면 번 호	도 면 제 목		



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

승인근거
월성 원전지역사무소-
406(2018.03.13.)

표 1.7 - 1 (2/9)

흐름도 목록

FSAR		관리도면			개정 번호	개정 일자
그림 번호	관 련 부분(절)	원도 종류	도 면 번 호	도 면 제 목		



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

승인근거
월성원전지역사무소- 406(2018.03.13.)

표 1.7 - 1 (3/9)

흐름도 목록

FSAR		관리도면			개정 번호	개정 일자
그림 번호	관 련 부분(절)	원도 종류	도 면 번 호	도 면 제 목		



승인근거

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

월성원전지역사무소-
1684(2017.11.29.)

표 1.7 - 1 (4/9)

흐름도 목록

FSAR		관리도면			개정 번호	개정 일자
그림 번호	관 련 부분(절)	원도 종류	도 면 번 호	도 면 제 목		



표 1.7 - 1 (5/9)

흐름도 목록

FSR		관리도면			개정 번호	개정 일자
그림 번호	관 련 부분(절)	원도 종류	도 면 번 호	도 면 제 목		



표 1.7 - 1 (6/9)

흐름도 목록

FSAR		관리도면			개정 번호	개정 일자
그림 번호	관 련 부분(절)	원도 종류	도 면 번 호	도 면 제 목		



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 1.7 - 1 (7/9)

흐름도 목록

FSAR		관리도면			개정 번호	개정 일자
그림 번호	관 련 부분(절)	원도 종류	도 면 번 호	도 면 제 목		



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

월성원전지역사무소-
1684(2017.11.29.)

표 1.7 - 1 (8/9)

흐름도 목록

FSAR		관리도면			개정 번호	개정 일자
그림 번호	관 련 부분(절)	원도 종류	도 면 번 호	도 면 제 목		



승인근거

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

월성원전지역사무소-
1684(2017.11.29.)

표 1.7 - 1 (9/9)

흐름도 목록

FSAR		관리도면			개정 번호	개정 일자
그림 번호	관 련 부분(절)	원도 종류	도 면 번 호	도 면 제 목		



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1.8 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항

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

149



부 록 1.A

후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항

월성 3.4 호기 최종안전성분석보고서

승인근거
원자력안전과-380 (2018.03.07)

목 차

번 호	제 목	페이지	
1A.1	개요	부록1.A-3	149
1A.2	후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항 반영내용	부록1.A-3	
	(3-5) 사용후연료저장조 냉각기능 상실시 대책 확보	부록1.A-3	
	(1-1) 지진 자동정지설비 설치	부록1.A-3	153
	(3-3) 예비변압기 앵커볼트 체결	부록1.A-4	156
	(1-4) 주제어실 지진발생 경보창의 내진성능 개선	부록1.A-5	158
	(4-1) 피동형수소제거 설비 설치	부록1.A-5	159
	(3-1) 월성 이동형 발전차 확보	부록1.A-6	170
	(3-10-1) 소방차와 연계한 대체수원 공급설비 설치	부록1.A-6	171
	(3-6) 최종 열제거설비 침수방지 및 복구대책 마련	부록1.A-6	182
	(5-6) 장기 전원상실시 필수 정보의 확보방안 강구	부록1.A-7	183
	(4-3) 원자로 비상냉각수 외부주입유로설비 설치	부록1.A-9	186
	(4-1-1) 원자로건물 수소감시기 설치	부록1.A-10	205
	(2-2-1)방수문 설치	부록1.A-10	
	(3-8) 주증기안전밸브실 및 비상급수펌프실의 침수 방지시설 보완	부록1.A-11	210

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

1A.1 개 요

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

1A.2 후쿠시마 사고 후속 개선 조치사항 반영내용

(3-5) 사용후연료저장조 냉각기능 상실시 대책 확보

개선 조치사항

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

개선 반영내용

월성 3,4호기는 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 그림9.1-16에 제시되어 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

(1-1) 지진 자동정지설비 설치

개선 조치사항

일정규모 이상의 지진이 감지될 경우 원자로가 자동정지 되도록 설비를 개선한다.

153

개선 반영내용

월성 3,4호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해 지진발생시 원자로를 자동정지 시키는 설비를 설치하였으며, 지진원자로자동정지계통은 7.7항에 제시되어 있다.

(3-3) 예비변압기 앵커볼트 체결

개선 조치사항

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

156

개선 반영내용

월성 3,4호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해 주변압기(MOT), 소내용변압기(UST) 및 기동용변압기(SST) 각각 1기로 예비변압기가 설치되었다. 각 예비변압기들은 M30 앵커볼트 4개로 고정되었다. 해당 앵커볼트는 지진 발생시 앵커볼트에 작용하는 인장력 및 전단력이 허용 인장력 및 전단력 이내로 구조적으로 건전한 것으로 검토되었다.

승인근거

원자력안전과-1247
(2013. 3. 21)

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

(1-4) 주제어실 지진발생 경보창의 내진성능 개선

개선 조치사항

현재 주제어실에 제공되는 지진경보창은 비내진등급으로 설계되어 있으므로 설계기준사고를 대비한 내진등급의 지진경보가 추가 제공되어야 한다.

158

개선 반영내용

월성3,4호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해 월성2호기 지진감시캐비닛으로부터 지진관련 신호를 제공받아 주제어실의 내진등급 지진경광등 경보를 발생시킨다.

(4-1) 피동형수소제거 설비 설치

개선 조치사항

전원 공급 없이 작동 가능한 피동형수소제거 설비를 설치해야 한다.

개선 반영내용

월성 3,4호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 전원 공급 없이 작동되는 피동축매형수소재결합기가 설치되어 있으며, 상세내용은 6.2.2.3.1.2절 및 6.2.3.3.1.2절 “피동축매형수소재결합기”에 기술되어 있다.

159

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

(3-1) 월성 이동형 발전차 확보

개선 조치사항

비상, 예비전원의 침수와 장기 소내정전 사고에 대비하여, 월성 이동형 발전차를 지진 및 해일에 안전한 위치에 부지별로 1대씩 구비하고, 임시전원 연결지점을 확보해야 한다.

170

개선 반영사항

월성 3,4호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해 지진, 해일로 인한 SBO 발생을 대비한 월성 이동형 발전차 구비 및 임시전원 연결지점을 확보하였고 구체적인 사항은 8.0장 전력계통에 기술되어 있다.

(3-10-1) 소방차와 연계한 대체수원 공급 설비 설치

개선 조치사항

대형해일 등으로 원전에서 소화수원이 이용 불가능할 경우에 대비하여, 소방차와 연계한 대체수원을 공급할 수 있는 설비를 설치해야 한다.

171

개선 반영내용

월성 3,4호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 대형해일 등에서도 대체수원을 확보할 수 있도록 정수장으로부터 발전소 물처리실로 공급되는 매립배관을 분기하여 소방호스 연결부, 격리밸브 및 밸브피트가 설치되어 있다.

월성 3.4 호기 최종안전성분석보고서

(3-6) 최종 열제거설비 침수 방지 및 복구대책 마련

개선 조치사항

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

182

개선 반영내용

월성 3.4호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해 3,4호기 기기냉각해수펌프의 전동기 예비품 확보 및 동 전동기 기능상실시 복구 절차를 수립하였다.

(5-6) 장기 전원상실시 필수 정보의 확보방안 강구

개선 조치사항

부지별로 1대의 이동식 발전 설비를 구비하여야 한다.

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

183

개선 반영내용

지역공기냉각기(LAC) 및 필수정보제공계통 부하 전원 공급을 위한, 3상/480V/60Hz, 500KW 저압(480V)용 이동형 발전차를 부지별로 1

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

대 확보한다. 저압(480V)용 이동형 발전차는 소내정전 사고(SBO)와 동시에 SDG(예비디젤발전기) 전원이 이용불능인 조건에서 충분한 길이의 전원 케이블을 사용하여 발전소의 필수정보제공계통에 전원을 공급한다.

저압(480V)용 이동형 발전차에 구비된 단상 480V/120V, 30KVA 변압기를 통해 필수정보제공계통 전원을 공급한다. 해당 전원 연결점은 다음과 같다.

- 필수정보제공계통 전원은 5542-PL567A, 5542-PL575A,

5542-PL569B 또는 5542-PL568C, 5542-PL576C,

5542-PL569B에 연결한다.

- ODD Channel 필수정보제공계통

모니터: 5542-PL567A

DCC X: 5542-PL575A

원격감시시스템 : 5542-PL569B

- EVEN Channel 필수정보제공계통

모니터: 5542-PL568C

DCC Y: 5542-PL576C

원격감시시스템 : 5542-PL569B

또한 대형 해일에 의한 환경방사선감시기의 침수에 따른 전원상실에

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

대비하여 이동형 환경방사선감시기를 보유하고 있으며 해당 감시기에
는 장기 전원상실시 사용 가능한 태양전지판 및 축전지가 장착되어
있다.

183

(4-3) 비상냉각수 외부주입유로 설비 설치

개선 조치사항

1차측 원자로냉각재계통의 냉각재 및 2차측 증기발생기의 냉각수 상
실에 대비하기 위하여, 원자로 비상냉각수 외부주입유로 설비를 설치
해야 한다.

186

개선 반영내용

본 개선조치사항의 취지를 준수하기 위해, 월성 3,4호기의 1차측 원자
로냉각재계통의 냉각재 및 2차측 증기발생기의 냉각수 상실에 대비한
외부주입유로 설비가 설치되었으며, 상세내용은 그림 6.3-1 및 그림
6.6-1에 나타나 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

(4-1-1) 원자로건물 수소감시기 설치

개선 조치사항

설계기준사고 및 중대사고시 원자로건물의 수소농도를 실시간 감시하기 위해 수소감시기를 설치한다.

개선 반영내용

월성 3,4호기는 본 조치사항을 준수하기 위해 설계기준사고 및 중대사고시 원자로건물 내 수소농도를 실시간 감시하는 수소감시기를 설치함. 관련 설비로서 원자로건물 내 수소 시료채취용 배관, 원자로건물 관통구 및 격리밸브, 수소분석기(보조건물 지하), 수소감시반(제2제어실) 등이 있다.

(2-2-1) 방수문 설치

개선 조치사항

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

205

210

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개선 반영내용

월성3,4호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 지진해일 등으로 인한 발전소 침수사고로부터 비상전력계통 및 주요 안전설비를 보호할 수 있도록 내진성능이 확보된 비방화 방수문(방화 방수문은 별도 조치), 대형출입문 방수설비, 적층식 차수벽이 설치되어 있다.

(3-8) 주증기안전밸브실 및 비상급수 펌프실의 침수방지 시설 보완

개선 조치사항

주증기안전밸브실 및 비상급수펌프실의 설계기준을 초과하는 지진해일 등에 의한 침수 가능성에 대비하여 구조물에 내진설계된 방수문, 대형출입문 방수설비, 차수벽 등의 침수방호설비를 설치해야 한다.

개선 반영내용

월성3,4호기는 본 조치사항의 취지를 준수하기 위해, 지진해일 등으로 인한 발전소 침수사고로부터 주증기안전밸브실 및 비상급수펌프실을 보호할 수 있도록 내진 성능이 확보된 비방화 방수문(방화 방수문은 별도 조치), 대형출입문 방수설비, 차수벽이 설치되어 있다.