



한국전력공사
원자력본부 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

기기냉각수지붕 흐름도(1/3)

그림 9.2-1



한국수력원자력(주)
원성원자력 3,4호기
허용 안전성 분석 보고서

월성 3호기 기거냉각해수계통 흐름도(2/3)

그림 9.2-1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

원자력 4호기 기기냉각수계통 흐름도(3/3)

그림 9.2-1





한국전력공사
원자력안전법 제34조
외국 안전성 분석 보고서

후비 기기명관 해수저류 호로도
2월 9.2-1(A)

배수번호

수익금









한국전력공사
설립인자력 3.4.6.기
원자력안전관리위원회

기타설계수지표 요충도(4.6) (4.6.1)

그림 9.2-2





한국수력원자력(주)
월성원자력 3호기
최종 안전성 분석 보고서

기기냉각수 계통 흐름도(6/8) (4호기)

그림 9.2-2



한국수력원자력(주)
월성원자력 3호기
적중 안전성 분석 보고서

기기냉각수 계통 흐름도(7/8) (3호기)

그림 9.2-2

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
원성원자력 23.4호기
최종 안전성 분석 보고서

기기냉각수계통 흐름도(9/8)

그림 9.2-2



백서번호 :



한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉방수제동 흐름도(2/5) - 4기

그림 9.2-3



한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉방수계통 흐름도(3/5) - 322

그림 9.2-3



한국전력공사
원성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉방수계통 흐름도(4/5)

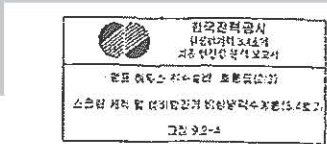
그림 9.2-3



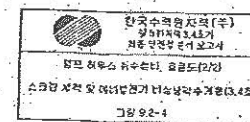
한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉방수계통 흐름도(5/5)

그림 9.2-3



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



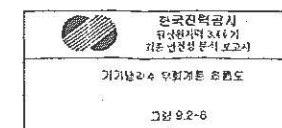


한국전력공사
원자력사업부
원자력안전관리과

원자로건물 순수계통 흐름도

그림 9.2-5

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



기타사항: 무회계통 호환도

그림 92-6

월성 3,4호기 최종안전성 분석보고서

9.3 공정 보조계통

9.3.1 압축공기 및 가스계통

9.3.1.1 압축공기 계통

압축공기는 제측제어기기, 공기 구동기구 및 공기 마스크등에 이용되며 3개의 계통에 공급된다 (그림 9.3-1 및 계통흐름도 참조).

월성 2호기의 제기용 공기는 유입온도가 15℃인 공기를 1,035 kPa(g) (150psig) 압력에서 1,100 m³/h (648 scfm)의 용량을 가진 2대의 100% 무유 (oil-free)식 회전스크류 압축기로써 공급한다. 3,4호기 및 삼중수소 제거설비에 쓰일 제기용 공기는 동일형인 압축기 2대로 각각 공급한다.

1, 2호기의 호흡용 공기는 1,035 kPa(g) (150psig) 압력에서 1,316 m³/h (774 scfm)의 용량을 가진 1호기에 설치된 1대의 100% 무유식 회전스크류 압축기로써 공급한다. 3,4호기 및 삼중수소 제거설비의 호흡용 공기는 3호기에 설치된 동일형의 압축기 한대로 공급한다.

1, 2호기의 작업용 공기는 유입온도가 15℃인 공기를 965 kPa(g) (140 psig) 압력에서 1,260 m³/h (741 scfm)의 용량을 가진 2대의 100% 재유 (oil-flooded)식 수냉회전 스크류 압축기로써 공급한다. 3,4호기 및 삼중수소 제거설비의 작업용 공기는 3호기에 설치된 동일형의 압축기 2대로 공급한다.

공기 압축기 및 관련 설비는 각 호기의 터빈건물에 설치되어 있다. 피스톤식에 비하여 작동 신뢰도가 높은 회전스크류 압축기가 채택되었다.

호흡용 공기는 호흡용 공기 압축기의 출구 모관에서 지역별로 공급되어 마스크 공기실 (mask air station)에서 적절한 감압장치에 의해 380 kPa(g) (55psig)의 압력으로 제공된다.

호흡용 공기 압축기는 4급 전원 상실시에도 사용이 가능하도록 3

월성 3,4호기 최종안전성분석보고서

급 전원에 연결되어 있다.

계기용 공기는 공급되기 전에 이중 흡착식 건조기에서 먼저 건조시킨다. 4급 전원 상실사고시에는 계기용 공기 압축기에는 3급 전원이 공급되어 발전소의 필수적인 계기용 공기의 공급을 유지할 수 있으며, 잘 일어나지 않는 계기용 공기의 완전상실 사고에 대비하여 충분한 저장 용량의 공기탱크 및 공기병들을 필요한 장소에 추가 설치하여 운전원이 안전하게 발전소를 정지시킬 수 있도록 되어있다.

9.3.1.2 LOCA후 계기용 공기 (PLIA) 계통

9.3.1.2.1 설계 기준

LOCA후 계기용 공기계통은 LOCA후에 원자로 건물내로 유입되는 계기용 공기를 최소화하도록 설계되어 있다. LOCA후 계기용 공기계통은 원자로건물이 외부 계기용 공기에 의하여 가압되지 않도록 원자로 건물내의 순환 공기를 이용한다.

9.3.1.2.1.1 규제요건

캐나다 원자력규제위원회(AECB)의 규제문서 R-7에는 "운용상 필요한 기기를 작동시킬 공기외에는 사고후에는 원자로건물내로 유입되는 압축공기와 비응축성 가스들의 모든 공학적 발생원들을 격리시킬 수 있어야한다"라는 규제요건을 두고 있다 (참고문헌 9.3-1의 3.10.3절 참조).

9.3.1.2.1.2 기능적인 설계 기준

- 가. PLIA 계통은 LOCA로 인한 원자로건물 격리후, 또는, 계기용 공기계통의 격리후 원자로 건물내에 계기용 공기를 공급한다. PLIA

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 77

2005. 2. 4

계통에서 제공되는 총 필요공기량은 240 scmh (143 scfm)이다.

여기에는 170 scmh (100 scfm)의 정상상태 필요공기량과 공기저장탱크의 재충전을 위한 70 scmh (42 scfm)가 포함되어 있다.

나. PLIA 계통은 장기적으로 원자로 건물내의 가압화를 방지하기 위하여 원자로 건물로부터 공기를 흡입한다.

다. 이 계통은 원자로 건물내의 정지상태 부하를 감당할 수 있으며 원자로건물내 공기저장탱크의 재충전 량이 포함되어 있다.

라. 이 계통은 기름 및 미립자로 오염되지 않은 노점온도 -40°C 의 건조한 공기를 원자로 건물의 계기용 공기관으로 제공한다.

마. 이 계통은 LOCA후 원자로건물의 내부압력을 고려한 적절한 압력의 계기용 공기를 제공한다.

바. 이 계통은 3급 전원하에 작동한다.

사. 이 계통의 가동기간(mission time)은 비상노심냉각계통의 장기재순환단계의 가동기간과 일치하는 3개월이다.

77

9.3.1.2.1.3 설계 기준사고

PLIA 계통 설계에서는 다음 설계 기준사고를 수용해야 한다.

가. 대형 LOCA

나. 대형 LOCA + 비상노심냉각 상실

다. 대형 LOCA + 공기냉각기 상실

라. 대형 LOCA + 살수계통 상실

마. 대형 LOCA + 원자로건물 손상

바. 대형 LOCA + 원자로 건물출입구 밀봉 손상

사. 단일 연료관 사건 (압력관 파열, 유량차단, 자관(feeder) 파손, 엔드

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

피팅 파손) ; 소형 LOCA와 같은 원자로건물 조건

- 아. 단일 연료관 사건 + 항목 '나' 부터 '바' 까지의 손상
자 '4'의 경우를 제외한 '가'에서 '아'까지의 사고가 원자로 정지후
4급전원의 상실의 함께 일어난 경우. 단, 전체적이 아닌 부분적인
살수계통의 상실사고 경우는 제외함.

9.3.1.2.1.4 안전설계지침

- 가. 86-03650-SDG-001 : "Safety Related Systems" (참고문헌 9.3-2 참조)
나. 86-03650-SDG-002 : "Seismic Qualification" (참고문헌 9.3-3 참조)
다. 86-03650-SDG-003 : "Environmental Qualification" (참고문헌 9.3-4 참조)
라. 86-03650-SDG-004 : "Grouping and Separation" (참고문헌 9.3-5 참조)
마. 86-03650-SDG-005 : "Fire Protection" (참고문헌 9.3-6 참조)
바. 86-03650-SDG-006 : "Containment Extensions" (참고문헌 9.3-7 참조)

이러한 안전설계지침의 적용에는 9.3.1.2.5.1절 참조

9.3.1.2.1.5 계통코드 등급 분류

원자로건물 외측에 위치한 PLIA 계통 부분은 원자로건물 확장부를 형성하여 CSA N285.0에 따라 원자력등급 2로 분류되며, 계통의 고장시 이부분으로부터 나오는 어떠한 유출물도 원자로건물 내부에 수용되므로 CSA N285.0에 의해 비원자력 등급 6으로 분류되어 설계된다. 이 계통의 원자로건물 외측 부분, 즉 원자로건물의 확장부를 벗어난 부분은 원자력등급 3으로 분류한다.

9.3.1.2.1.6 계통의 내진 검증

다음의 설계 기준 사고는 PLIA설계에서 고려하지 않는다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

가. 대형 LOCA + 부지설계지진(SDE)

나. 단일 연료관 사고 + 부지설계지진(SDE)

이러한 사고들은 내진 검증된 공기탱크나 공기병을 주요 소요처에 설치함으로써 대처할 수 있다. PLIA계통 중 원자로건물 외부에 있는 부분중 원자로건물 확장부에 해당하지 않는 부분은 편의상 PLIA실의 방사능 감시기를 검증할 필요가 없도록 부지설계지진 범주 'A'로 한다.

PLIA계통 중 정상적인 발전소 가동이나 정지중에 원자로건물 확장부를 형성하는 부분은 DBE 범주 'B'의 요건을 갖추어야 한다. PLIA계통 중 원자로 건물 내부에 있는 부분은 내진검증되지는 않으나, 지진사고후 이 계통의 고장이 원자로건물의 정상적이 계기용 공기계통의 고장을 유발하지 않도록 적절히 보호되었다.

9.3.1.2.1.7 환경 검증

원자로 건물 안에 있는 모든 기기나 원자로건물 격리밸브는 LOCA에 대비하여 86-03650-SDG-003에 따라 환경검증을 받아야 한다.

원자로 보조건물의 S-006실에 위치한 기기는 총 10^5 rads의 집적 방사능장에 대해서만 검증 받을 필요가 있다.

9.3.1.2.2 계통 설명

그림 9.3-2는 계통의 흐름도를 나타낸다.

PLIA 계통은 외부로부터 공급되는 계기용 공기로 인하여 원자로 건물 내부 압력이 증가되지 않도록 원자로건물내의 공기를 이용한다.

원자로 건물내의 고온(최대 62.7℃) 다습하고 방사성 입자를 포함할 가능성이 있는 공기는 PLIA 액체 링 압축기(liquid ring compressor) CP-103

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

과 CP-104에 의하여 이 계통으로 유입된다. 압축기에 유입된 공기는 순환되는 액체 링의 액체에 의해 냉각된다. 압축기 흡입 공기는 재순환 액체 링 유체에 의해서 냉각되고 이 유체는 각 압축기의 액체 냉각 열교환기에 의해서 냉방수를 사용하여 냉각된다. 압축된 공기의 배출시 최고온도는 31℃이다.

원자로 건물내의 압력을 고려하고 각종 계기의 동작압력 범위를 충족시키기 위하여 공기를 초기압력 0~40 kPa(g) (5.8 psig)로부터 최종압력 764 kPa(g) (110 psig)까지 압축하여야 하며 두대의 액체 링 압축기가 사용된다.

자동모드에서는 원자로건물 내부 압력과 비교하여 건조기의 공통 토출관의 압력이 724 kPa(g) (105 psig)이하로 떨어질 때 압축기 CP-103과 CP-104는 자동적으로 기동된다. 압축기들은 타이머에 의해 정지되기까지는 공기요구량이 비록 낮더라도 배출공기를 재순환시켜 가면서 계속 작동된다. 또한 압축기 CP-103, 104는 초기 기동 및 정기 점검시 수동모드 위치에 놓고 수동으로 작동할 수 있다. 수동-자동모드는 주제어실 (MCR)에서 선택할 수 있다. 압축기 CP-103, 104의 수동제어 및 상태표시는 주제어실에서 한다.

압축기와 리시버 탱크의 압력방출밸브(PSV-007, 008, 009)로부터 나올 수 있는 배기는 수집되어 압축공기 흐름 속으로 재순환된다.

분리기 탱크(TK-12, 13)와 공기 저장 탱크(air receiver tank)(TK-4)에서 생기는 모든 응축수는 탱크 TK-11로 모아져 펌프 P-101에 의하여 원자로건물내로 되돌려진다. 응축수 펌프 P-101은 응축탱크 TK-11의 고수위 설정치에 도달시 원격-수동으로 기동된다. 펌프 P-101의 동작상태는 주제어실에 표시된다.

2.5m³의 공기 저장탱크 (TK-4)는 압축기와 건조기 사이에서 야기될 수 있는 압력파동(pressure fluctuations)을 제거하기 위하여 압축기 하류측에 설치한다. 탱크 TK-4의 응축수위가 설정 수위에 도달하면, 주제어실에 표시되며, 그때 탱크 TK-4로부터 물을 빼내기 위하여 정상시 닫혀 있는 밸브 V-616

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 77

2005. 2. 4

을 주제어실로부터 원격-수동으로 연다.

노점온도 -40°C 로 공기를 건조시키기 위하여 원자로 건물 안에 있는 2대의 100% 용량의 2중탑 흡착제식 공기건조기가 설치되었다. 만약 두 건조기의 취출관에서 측정된 노점이 설정치를 초과하면, 주제어실에 경보되며, 이때 밸브 SV-225와 SV-228을 원격-수동으로 작동시켜서 건조기 DR-3를 우회하여 건조기 DR-4로 공기를 공급한다. 건조기의 개폐 핸드스위치는 주제어실의 제어반에 위치한다. 건조기 DR-4가 대기중일 때 건조기 DR-3이 먼저 사용된다. 첫 번째 건조기의 고장시 두 번째 건조기로 공기흐름을 바꾸기 위하여 2개의 2방향 솔리노이드 밸브가 사용된다. 다른 하나의 베드가 재활성화 되고있을 때 공기는 하나의 흡수베드를 통과하면서 건조된다.

하나의 건조탑으로부터 나오는 약 10%의 건조된 공기는 동일 건조기의 다른 탑의 재활성화에 사용된다. 한번에 단지 하나의 건조기가 작동된다.

건조기로부터 생성된 건공기는 계기용 공기관으로 들어가기 전에 여과된다. LOCA후 계기용 공기와 기존의 계기용 공기와의 연결부위는 원자로 건물 내부에 있다. PLIA계통이 작동되지 않을때 원자로건물 계기용 공기관으로부터의 역류를 방지하기 위하여 각 건조기 하류측에는 체크밸브가 사용된다.

원자로 보조건물에 있는 PLIA계통의 모든 기기는 원자로건물 격리밸브 PV-216, 218, 220을 제외하고는 **폐쇄** 실내에 있다.

원자로 건물내의 공기사용에 의한 PLIA계통의 오염을 막기 위하여 계통의 정기 점검시에는 압축기 상류측의 보조공기 흡입구를 사용한다. 2개의 수동격리밸브 V-605 및 V-606은 보조공기 흡입구에 설치된다. 이 밸브들은 원자로건물 격리밸브 PV-216에서 PV-221까지를 닫은 상태에서 계통시험을 할 때만 열린다.

2중 원자로건물 격리밸브 PV-216 에서 PV-221까지는 원자로건물 환경과 원자로건물 계기용 공기계통으로부터 PLIA 계통을 격리시키기 위하여 각

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

각 관련된 배관에 설치된다.

PLIA 계통은 냉방수계통, 3급 전원계통등 여러 계통과 연결이 되어있다 (참고 문헌 9.3-8).

9.3.1.2.3 계통운전

PLIA 계통은 계통의 신뢰요건을 점검하기 위하여 행해지는 정기 시험을 제외하고는 정상적인 발전소 가동이나 정지시 휴면 (dormant) 상태이다.

PLIA 계통은 LOCA후 단지 원자로건물내의 환경조건이 PLIA 계통의 최대 허용한계치(즉, 온도나 압력)에 도달하게되면 작동하게 된다. PLIA 계통이 작동하는 원자로건물내의 최대 허용 온도와 압력은 각각 62.7°C(145°F)와 40 kPa(g)이다. 이러한 값은 원자로건물의 압력, 온도 및 방사능 장을 결정하기 위한 사고후 감시계통에 의해 정해진다.

LOCA시, 원자로건물의 온도와 압력은 사고후 3시간동안은 한계허용치를 넘지않는다. 이것은 PLIA가 요구되지 않는 주증기관 파열(MSLB)후 PLIA 계통의 기동을 피하기 위한 것이다.

9.3.1.2.3.1 정상운전

계통의 정상운전은 LOCA후의 상황을 참조한다.

정상상태에서의 설계유량은 원자로 건물내의 압력을 기준으로 공기저장탱크 압력이 724 kPa(g) (105 psig)와 764 kPa(g) (110 psig) 사이를 유지시키는 데 필요한 정상적인 사용량을 담당한다.

9.3.1.2.3.2 비정상운전

가. 4급 전원 상실

저장탱크는 4급 전원상실과 3급 전원공급이 가능할 때까지의 기간

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

동안 원자로건물에 대한 공기공급을 수행한다. 압축기가 3급 전원을 공급 받으므로 정상상태시 필요한 요구량에 대한 공급은 3급 전원 공급후에 가능하며, 위에서 언급된 요구량은 저장탱크의 충전에 필요한 양도 포함한 양이다.

나. 설계기준지진 (DBE)후

PLIA는 설계 기준 지진후에 사용불능이 될 수 있다. 설계 기준 지진후의 LOCA사고는 고려하지 않으므로 PLIA계통은 설계 기준 지진 후에 동작할 필요가 없다.

다. 냉방수의 상실

주로 지진사고에 의한 냉방수 상실시 냉각수 없이는 장기간 압축기가 작동하지 못하므로 PLIA계통은 정지되어야한다.

라. LOCA에 이은 부지설계지진 (SDE)

PV-216 에서 PV-221까지의 PLIA의 원자로건물 격리밸브는 원격수동으로 닫혀야하며 PLIA계통은 정지되어야한다. PLIA계통은 부지설계지진(SDE)에 이어 일어난 LOCA후에는 작동되지 않아도 된다. 왜냐하면 원자로건물 내의 중요한 계기용 공기 사용처는 예비 공기탱크나 공기병으로부터 계기용 공기를 공급받기 때문이다.

마. 동작중 3급 전원 상실

3급 전원 상실시, '냉각재상실사고(LOCA)에 이은 SDE'에 서술된 것과 유사한 운전형태로 되며 원자로 건물의 중요 계기용 공기의 사용처는 LOCA + SDE시에 예비 공기탱크나 공기병으로부터 계기용 공기를 공급받게 된다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.1.2.4 기기설명

두대의 액체링 압축기가 원자로 건물로부터 나오는 공기를 압축하기 위하여 설치된다. 압축기의 용량은 각각 입구 압력 0-40 kPa(g) (5.8 psig)와 출구 압력 764 kPa (110 psig)에서 240 scmh (143 scfm) 이다.

열을 사용치 않는 2대의 이중 흡착식 건조기가 유입량 240 scmh (143 scfm)에서 -40℃의 이슬점까지 공기를 건조한다. 운전압력은 764 kPa(g) (110 psig)이고, 운전온도는 45-55 ℃이다.

참고문헌 9.3-8의 부록 B에 PLIA계통의 모든 기기에 대한 상세한 기술이 수록되어 있다.

9.3.1.2.5 안전성 측면

9.3.1.2.5.1 안전설계지침의 적용

- 가. 이 계통은 LOCA후 원자로건물내 설계압력이 규정치를 초과하지 않고 선량한계치를 초과하지 않게하기 위하여 원자로건물내로 유입되는 계기용 공기의 외부공급원을 차단한다 (86-03650-SDG-001).
- 나. 발전소 정상운전 및 정지시 원자로건물의 확장부를 형성하는 계통의 일부분은 DBE범주 B로 내진검증이 되어야한다. PLIA계통중 원자로건물 부분은 내진검증 않으나 기기와 배관지지대는 구역 2에 대한 NBCC 지진 하중에 정상적인 하중을 더한 하중을 견디도록 설계된다. 계통중에서 내진검증 않는 부분에서 지진후에 발생하는 사고는 내진검증된 정상적인 원자로건물 계기용 공기계통에 사고를 유발하거나 원자로건물의 건전성에 영향을 미쳐서는 안된다 (86-03650- SDG-002).
- 다. 원자로 건물내의 모든 기기와 모든 원자로건물 격리밸브는 LOCA

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

에 대비하여 환경검증을 해야 한다. 계통의 구성기기들 가운데 필요한 것은 방사능 환경에 견디도록 검증되어야 한다 (86-03650-SDG-003).

라. PLIA 계통은 그룹 1 계통인 정상적인 계기용 공기공급계통을 대체하기 때문에 그룹 1 계통이다.

마. PLIA 계통은 보조 건물내의 그룹 1 지역에 위치한다 (86-03650-SDG-004).

바. PLIA 계통은 흡수탑에 밀봉되어 있는 건조기의 흡수재를 제외하고는 화염물질을 포함하지 않기 때문에 화재 방호의 안전설계지침을 만족한다. 또한, 계통의 설비들은 화재방호벽에 영향을 주지 않는다 (86-03650-SDG-005).

사. 원자로건물 확장부를 형성하는 PLIA 계통의 일부분은 원자력 등급 2로 분류되며, 참고문헌 9.3-1의 부록 2.2에 있는 원자로건물 확장부의 요건을 만족한다. 계통은 LOCA에 이어 작동되어야 하고 원자로건물 내부공기에 열려있으므로 두개의 상시닫힘 원자로건물 격리밸브가 원자로건물을 관통하는 각 배관에 설치된다. 이 밸브들은 PLIA실내에서 고준위의 방사능이 감지되면 자동으로 닫힌다.

9.3.1.2.5.2 과압방지

압축기 하류측의 모든 기기의 과압방지를 위하여 PLIA 압축기 CP-103, 104에 압력방출밸브 PSV-007, 008, 009가 설치되었다. 이 밸브는 979 kPa (g) (142 psig)에서 열리게 되어 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.1.2.5.3 신뢰도

신뢰도의 목표치는 다음과 같다.

- 휴면중 : 10^{-2}
- 운전중 : 0.2

9.3.1.2.6 검사 및 시험

검사는 규제요건을 따라 행하여진다.

계통은 매달 한번씩 주기적으로 시험하며, 시험절차는 계통설계 지침서에 따른다. 계통의 계획된 정비는 발전소 정지시 행한다.

9.3.1.2.7 재료 및 화학적 성질

계통은 대부분의 기간동안 휴면상태이며, 대기압상태의 공기를 함유하고있다.

PLIA계통의 가동기간은 3개월로 제한되어 있으며, 원자력 부분의 배관에는 8600-70880-0050-00-TS-A에 따라 A106 Grade B 탄소강을 사용하고, 비원자력 부분의 배관에는 XX-70881-TS-001에 따라 A53 Grade A 또는 B 탄소강을 사용하였다.

9.3.2 중수시료 채취계통

중수시료 채취계통의 목적은 운전원으로 하여금 공정 유체의 대표적 시료를 채취토록하여 여러계통의 성능을 평가하기 위한 것이다. 정화 및 화학처리계통이 최상의 조건에서 운전되도록하기 위하여 중수의 농도, 용존고형물들의 농도, 부유고형물 및 화학적불순물을 파악하는 것이 요구된다. 추가적으로 공정 및 방사선 방호에 도움이 되는 계통 방사능 지식이 확보되어야 한다. 시료

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

채취작업과 관련된 삼중수소 위험도를 최소화하기 위해 언제든지 실용적이라면 시료 채취 지점은 중앙관리식 이어야하고 환기용연무후드 (ventilated fume hood) 시료 채취 캐비닛 안에 잘 놓여있어야 한다. 이 캐비닛으로부터의 환기 배기는 방출전 여과 및 감시를 위해 방사능 환기구를 거쳐야 한다.

일반적으로 다음과 같이 다섯가지의 표본채취 방법이 제시되어 있다.

- 가. 꼭지(tap)를 열어서 덮개가 없는 용기로 채취된 시료가 흘러 들어 오도록하는 (이후 뚜껑으로 덮혀짐) 전시료 채취 (bulk sampling)
- 나. 불침투성의 막을 통한 시료 채취추출을 위하여 주사기를 이용하는 주사기에 의한 시료채취. 이 방식은 중수 시료를 채취하는데 권장되며 2 MPa(g)(300 psig) 까지의 압력에 적용된다. 이 방법의 장점은 삼중수소의 방출이나 시료채취의 오염을 피할 수 있다는 것이다.
- 다. 고압시료 채취용기가 사용되는데 이는 용존 기체의 방출을 방지하기 위하여 원래의 계통 압력상태에서 시료를 채취하는 것이 바람직한 경우에 사용된다.
- 라. 어떤 경우에는 전도도 측정이나 가스 분석과 같은 유동중 분석을 위한 연속시료 채취가 요구된다.
- 마. 침전된 시료 채취는 유량집적기 (flow integrator) 에 직렬로 연결된 여과기에 공정유체를 통과시킴으로써 채취되는데 이 방법은 냉각재시료 채취계통에만 쓰인다.

시료 채취 지점은 시료 채취캐비닛을 중앙관리하기 위하여 가능한 한 주유로 (main stream) 가까이에 위치시킨다. 짧은 시료 채취관은 시료 채취 시작점과 시료 채취 사이의 시간 지연을 감소시킨다. 그러나 어떤 경우에 시료 채취장 멀리 떨어져 있을 때는 긴 관을 이용해 시료 채취 지점의 시료를 채취하

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

고 공정계통이나 수용할 수 있는 수집계통으로 되돌려 보낸다. 이 방법도 연속적인 시료 채취에 쓰이고 이렇게 하여 상대적으로 새로운 시료를 공급한다. 이 계통을 대표하는 시료 채취라는 것을 보장하기 위하여 유량계를 사용한다. 유량 집적기는 침전물 시료를 채취하는데 쓰인다.

월성 3호기 감속재/냉각재계통 중수세정계통에 기여하는 감속재 및 냉각재계통시료 채취 계통 기기는 월성 3호기 원자로 보조건물내 중수관리계통 지역 인접부근에 위치한 독립된 시료 채취캐비닛 속에 위치한다.

9.3.2.1 냉각재 중수시료 채취 계통

9.3.2.1.1 설계 기준

9.3.2.1.1.1 기능요건

냉각재 시료 채취 계통은 다음과 같은 요건을 만족시켜야 한다.

- 가. 화학제어 계획서의 유효성을 결정하고 시정조치를 취할수 있도록 설계되어야 한다.
- 나. 특정 계통 및 계통기기(이온 교환 수지탑등)의 성능을 평가할 수 있도록 설계 되어야 한다.
- 다. 냉각재계통 및 보조계통으로 부터 운전원에게 미치는 위험도를 가능한 줄이고 안전하게 대표적인 시료를 채취할 수 있도록 설계되어야 한다.
- 라. 용존기체의 양과 시료 채취속에 포함된 고체물질(침전물)을 측정하고 수용할 수 있도록 설계되어야 한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.2.1.1.2 안전요건

다음과 같은 안전 설계 기준서들이 본 계통에 적용된다.

가. 86-03650-SDG-002 : "Seismic Qualification" (참고문헌 9.3-3)

격납건물 확장부만 적용 된다.

나. 86-03650-SDG-006 : "Containment Extensions" (참고문헌 9.3-7)

이 계통은 격납건물의 건전성을 유지하는 것을 제외하고는 다른 안전 관련 기능을 수행하지 않는다. 또한 격납건물 확장부만이 설계 기준지진으로 검증되어야 하고 참고문헌 9.3-1과 9.3-7의 요건을 만족시켜야 하는 것 외에 다른 부분은 내진검증이 필요되지 않는다.

9.3.2.1.1.3 적용규격, 표준 및 등급 분류

냉각재 중수시료 채취 계통은 아래 사항을 제외하고는 3등급으로 분류되고 참고문헌 9.3-1에 따라 설계된다.

- 원자로건물내 냉각재계통이나 냉각재 정화계통으로 부터 원자로건물 격리밸브까지를 포함한 원자로 보조건물내 각 배관들은 1등급으로 분류되고 참고문헌 9.3-9에 따라 설계된다.
- 원자로 건물내에 위치한 공기구동 밸브와 원자로 건물 밖에 위치한 수동조작 밸브사이의 정지냉각계통과 연결된 배관은 2등급으로 분류되고 참조문헌 9.3-9에 따라 설계된다.
- 가요성 호스, 고압시료채취용기, 급속 단절 커플링 및 고압시료 채취 용기를 포함한 격리밸브 사이의 배관 부분들은 6등급으로 분류되고 'CSA Standard B51'에 따라 설계된다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.2.1.2 계통설명

냉각재 시료 채취계통은 냉각재계통 및 냉각재 보조계통으로부터 시료를 채취하기 위하여 설계된다. 냉각재계통내 각 원자로 냉각회로, 글랜드 밀 봉회로, 중수수집탱크, 정화회로, 냉각재중수세정계통(월성 3호기만 적용됨), 및 중수화/탈중수화 계통(그림 9.3-3 참고)으로부터 시료를 채취할 수 있다. 이 계통은 시료 채취 냉각기, 감압코일, 고압 시료 채취용기, 침전물 여과기, 주사기 시료 채취구와 관련 배관, 튜우빙, 밸브 및 계측 장비로 구성되어 있으며 이들 대부분은 시료 채취 캐비닛 내에 들어있다.

채취된 시료는 화학실험실에서 pH, 전도도, 염소, 삼중수소, 리튬, 중수소, 산소 및 질소와 같은 용존 기체, 핵분열 생성물(주로 요드의 동위원소)과 부식 생성물에 대한 검사를 한다.

하나의 시료채취 캐비닛이 공급되는데 이것은 액체 및 침전 고체 시료 채취에 대한 시료 채취 지점을 안에 포함하고 있다. 감압 코일은 옆 선반에 부착된다. 액체시료 채취는 보통 주사기시료 채취용기로 부터 채취된다. 용존기체의 양이 중요하다고 생각되는 곳에서는 고압용기가 시료 채취 수집이나 수송을 위해 마련되어 있다. 침전물여과기는 고체 (침전물) 가 섞인 시료를 필요로 하는 곳에 설치된다.

냉각재시료 채취계통은 유량계를 사용하여 대표적인 시료를 채취하기 위하여 설계된다. 시료 채취 캐비닛, 감압코일 및 냉각기는 안전한 시료 채취계통을 도울 수 있도록 설치된다.

또한 기체 분석을 위한 연결관이 설치된다.

밸브, 주사기시료 채취구, 침전물여과기, 고압시료 채취용기, 감압코일 및 시료 채취 냉각기등으로 구성된 시료 채취배관은 계통내의 과압을 초래하는 부품을 가지고 있지 않다. 유체가 흐르면, 감압코일은 계통내에서 압력상승

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

을 방지한다. 감압 코일은 계통압력이 약 0.68 MPa(g) (100 psig)로 감압되도록 설계된다. 하류 밸브를 폐쇄 하였을때 고압이 걸리는 대부분의 기기는 계통의 최대 압력인 12.9 MPa(g) (1870 psig)과 최대온도인 310 °C(590 °F)에 견디도록 설계된다. 예외적인 경우로는 변동 오리피스 유량 지시계가 있는데, 이들은 정지 냉각계통의 수동밸브가 우연히 닫혔을 경우 계통 최대압력이 걸릴수가 있다. 이 경우 방출 밸브가 1.65 MPa(g) (240 psig)의 압력에서 열리게 된다. 이외에도 모든 시료 채취 입구관은 시료 채취가 채취되는 각 계통내의 과압방지장치에 의해 과압으로부터 방지된다.

냉각재 중수시료 채취 계통에 대하여 다음과 같은 계측이 이루어진다.

- 가. 일정 시간에 걸쳐 각 침전물 여과기를 통과하는 누적된 유량을 현장에서 표시함.
- 나. 주사기시료 채취구와 시료를 통과한 중수유량을 현장에서 표시함.
- 다. 누수경보기를 사용한 시료 채취 캐비닛내로 누출된 중수에 대한 경보.
- 라. 압력방출밸브의 입구압력을 현장에서 지시함.
- 마. 월성 3호기에서만 중수세정 전도도를 현장에서 표시함.

모든 계통기기는 오스테나이트 스테인레스강으로 제작된다.

9.3.2.1.3 기기설명

9.3.2.1.3.1 시료 채취 캐비닛

냉각재 시료채취 계통에는 연무 후드모양의 시료 채취캐비닛이 설치되어 있다. 시료 채취캐비닛은 4부분으로 구성되어 있으며 각 부분에는 서로 균형을 이루는 수직 슬라이드 창문이 있는데 이것은 시료 채취를 하기 위해 캐비

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

넷에 출입이 가능하게 한다. 이 캐비닛은 4개의 환기도관을 갖고 있으며 이 도관을 통하여 방사성 환기계통으로 배기된다. 캐비닛의 총환기량은 $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (1260 scfm)이다. 캐비닛은 시료 채취를 하거나 보수를 위해 쉽게 출입이 가능하도록 설계되며 캐비닛 바닥은 범람없이 20L의 중수를 수용할 수 있도록 설계된다. 경보기를 갖는 누수감지기와 수동 배수구가 캐비닛 내에 설치되어 있다.

9.3.2.1.3.2 주사기시료 채취구

시료 채취구는 계통 튜우빙에 용접된다. 정상적인 격리나 네오프렌 다이어프램을 교체시킬 목적으로 격리밸브가 시료 채취기 양단에 설치된다.

주사기 시료채취구를 격리하고 있는 동안에는 원자로 출구모관과 글랜드 밀봉여과기에 유체가 계속적으로 흘러가도록 하는 우회 배관이 있다. 시료를 채취하기 위하여 주사기를 사용하는 것이 좋다.

9.3.2.1.3.3 고압시료 채취용기

고압시료 채취용기는 고압의 액체 시료를 담기 위해 설계된 것이며 이들은 300 ml의 용량을 담을 수 있으며 12.9 MPa(g) (1870 psig)의 압력에 견딜 수 있도록 만들어진 상업용 시료 채취실린더이다. 고압 용기의 양단에는 스테인레스강 니들 밸브가 달려있는데 이것은 용기를 나사로 연결한 다음 밀봉 용접되어있다. 고압용기 및 연결부들은 간편하게 운반될 수 있다.

9.3.2.1.3.4 크러드 여과기

크러드 여과기는 여과지에 신속히 접근할 수 있도록 설계된 고압장치이다.

이들 크러드 여과기는 냉각재계통내의 크러드 농도를 결정하는데

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

사용된다. 각 여과기를 통과하는 설계유량은 2 ~ 3 ml/s이나 6 ml/s 정도의 높은 유량에서도 만족할만한 결과를 얻을 수 있다.

9.3.2.1.3.5 냉각재 시료채취 냉각기

채질이 인코넬 600인 냉각코일로 된 시료채취 냉각기는 310 °C (590 °F)로부터 60 °C (140 °F)까지 고온, 고압의 시료 채취유량을 냉각시키기 위해서 공급된다. 냉각기는 10 ml/s(0.132 Igpm)의 시료 채취유량과 0.6 L/s(8.0 Igpm)의 보조용수유량으로 운전된다.

9.3.2.1.3.6 감압코일

하나의 감압코일을 제외한 모든 감압코일은 냉각재 시료채취 계통에 이용되며, 냉각재 시료채취 계통에 사용되는 감압코일은 7.5 ml/s의 유속에서 압력이 11.1 MPa(g) (1630 psig)로부터 약 0.68 MPa(g) (100 psig)로 감소되도록 설계 되어있다. 예외적인 1개의 감압 코일은 글랜드 축밀봉 냉각계통으로부터의 시료 채취배관에 위치하며 7.5ml/s의 유속에서 13.4 MPa(g) (1950 psig)로부터 약 0.69 MPa(g) (9100 psig)로 시료 채취의 압력이 감소되도록 설계 되어있다.

9.3.2.1.3.7 밸브

소형 글로브밸브(금속대 금속 접촉)와 벨로우즈밀봉 글로브밸브가 여러 시료 채취계통에 사용된다.

9.3.2.1.4 계통운전

대부분의 액체 시료 채취는 네오프렌막을 통해 주사기를 삽입하여

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

시료용기구내의 시료를 채취한다. 용존 기체가 중요시 되는 곳에서는 고압 시료 채취 용기로 시료를 취한다. 이들은 급속 단절 커플링에 연결된다. 크러드라고 불리는 부식생성물을 수집하기 위하여 유량 집적기에 설치된 미세 여과지가 쓰인다. 통상적으로 크러드 시료를 수집하기 위하여는 8 ~ 48시간이 소요된다. 유량계 또는 지시계가 모든 시료 채취배관에 포함되어 있는데, 이들은 언제 적정한 시료 채취유동이 확립되었는지를 나타내준다. 냉각재 및 보조계통에서 채취된 대부분의 시료 채취들은 냉각되거나 감압되어야 한다.

각 냉각재 회로에서, 두 곳의 시료가 채취되는데 (한곳은 증기발생기 입구에서 채취되고 또 다른 곳은 펌프 출구에서 채취된다.) 이들 4개의 시료 채취배관은 각각 하나의 냉각기를 갖고 있으며 한 쌍의 감압코일에 연결된다. 주사기시료 채취, 고압용기 시료채취 및 크러드를 채취할 수가 있다. 시료 채취의 유동은 정지냉각계통 배관을 통하여 냉각재계통 주입충수펌프의 흡입구로 배출된다.

54

시료 채취는 축밀봉 여과기의 성능을 점검하기 위하여 축밀봉 여과기의 어느 쪽에서나 채취할 수가 있다. 감압코일을 통과한 후에는 주사기 또는 침전성 고체시료를 채취할 수 있으며 정지냉각계통 배관을 통하여 냉각재계통 충수펌프의 흡입구로 배출된다.

여과기와 이온교환기의 성능을 점검하기 위하여 냉각재정화계통의 정화냉각기 출구, 각 여과기 출구 및 각 이온교환기 출구로부터 시료를 채취할 수가 있다. 감압코일을 통과한 후에는 주사기 또는 크러드 시료를 채취할 수 있다. 배출은 정지 냉각계통배관을 통하여 냉각재계통 충수펌프의 흡입구로 이루어진다.

중수 수집탱크로부터 오는 시료 채취배관은 냉각재정화계통의

102

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

주사기 및 크러드 시료 채취 설비를 공유한다.

월성4호기의 냉각재 중수화 및 탈중수화 계통내에 3개 부분과 월성 3호기의 냉각재 중수화 및 탈중수화 계통내에 4개 부분으로부터 시료를 채취할 수가 있다. 밀도계(densitometer)는 대략적인 중수 농도에 관한 정보를 제공한다.

102

기체 분석기를 사용하여 분석할 기체시료 채취는 중수저장탱크 상부 기체로부터 채취할 수 있다.

54

월성 3호기의 냉각재 중수세정계통에 대한 시료 채취는 목탄 여과기 입구와 출구, 저 삼중수소 중수세정계통의 이온교환수지탑 출구에서 채취되며 이들의 성능을 점검할 수 있다. 전도도 측정이 이루어지며 주사기시료를 채취할 수가 있다. 배출은 3호기에 위치한 중수세정공급탱크로 이루어진다. 주사기 시료 채취는 임의의 생성물 탱크로부터 채취할 수 있다.

상기한 시료 채취외에도 다른 시료 채취는 다음과 같은 기기로부터 채취될 수 있다 : 차폐냉각 계통의 이온교환기의 입구 및 출구, 사용후 핵연료 저장조의 여과기와 이온교환수지탑 각각의 입구 및 출구, 액체영역제어기 이온교환기의 입구 및 출구.

9.3.2.1.5 안전성 측면

냉각재중수시료 채취 계통은 원자로건물 격리외에는 안전관련 기능을 수행하지 않는다.

9.3.2.1.5.1 내진검증 및 원자로건물 격리

원자로건물 확장부를 제외한 냉각재 중수시료채취계통은 내진 검증을 요구하지 않는다. 그러나 캐나다건물규격 (NBCC) 의 최저 기준에 따른

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

다. 배관설계의 좋은 관행외에도 튜우빙을 고압력 설계함과 동시에 직경이 작고 유연성있게 함으로써 안전성이 증대된다. 상기와 같은 설계는 지진 발생시에 튜우빙의 파열 가능성을 최소화 시킬 것이다.

9.3.2.1.5.2 원자로건물 확장부

냉각재시료 채취계통은 냉각재계통, 냉각재 정화계통, 글랜드 밀봉 냉각계통, 정지냉각계통, 냉각재중수수집계통 그리고 중수저장, 운반 및 회수 계통과 연결되어 있는데 이 계통들은 모두 원자로건물내에 위치한다.

냉각재계통과 연결된 4개의 시료 채취배관에 대한 격납건물 격리는 원자로 건물안에 위치한 4개의 공기구동밸브와 원자로 건물밖에 위치한 4개의 수동밸브에 의해 이루어진다. 이 공기구동 밸브는 격납건물 격리신호에 의해 자동적으로 작동된다. 정지냉각계통에 대한 시료 채취배관의 격납건물 격리는 하나의 공기작동밸브와 하나의 수동격리밸브에 의하여 이루어진다. 격납건물 확장부 배관에서 사용된 방출밸브 또한 원자로건물확장부 압력 경계부분을 형성하며 설계기준지진 'A'에 의해 내진 검증되어 있다. 원자로건물 확장부배관은 설계기준지진 'A'로 그리고 격납건물 격리밸브는 설계기준지진 'B'로 각각 내진 검증되어 있다. 이러한 격납건물 격리는 참고문헌 9.3-1 과 9.3-7의 요건을 만족시킨다.

중수수집계통과 중수저장, 운반 및 회수계통과 연결된 시료 채취 배관들에 대한 원자로건물 격리는 원자로건물 밖에서 접근 가능한 지점에서 크립핑 (crimping) 으로서 이루어진다. 시료 채취 튜우빙은 좋은 배관 관행에 따라 설계 및 지지되며 원자력 등급 3으로 분류된다. 크립핑에 의한 원자로건물 경계 격리는 참고문헌 9.3-1의 요건에 따라 제안되었고 이 요건을 만족한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.2.2 감속재 중수시료 채취 계통

9.3.2.2.1 설계 기준

감속재 중수시료채취 계통은 다음과 같은 기능요건을 만족시켜야 한다.i

- 가. 화학처리 계획서의 유효성을 결정하고 시정조치를 취할 수 있도록 설계되어야 한다.
- 나. 특정계통 및 계통기기 (즉 이온교환수지탑등) 의 성능을 평가할 수 있도록 설계되어야 한다.
- 다. 주감속재계통 및 보조계통으로부터 운전원에게 미치는 위험도를 최소화하고 안전하게 대표적인 시료를 공급할 수 있도록 설계되어야 한다.
- 라. 시료 채취내의 용존 기체량을 받아들이고 측정할 수 있도록 설계되어야 한다.

9.3.2.2.2 안전요건

본 계통은 안전관련 계통이 아니다.

9.3.2.2.3 적용규격, 표준 및 등급 분류

감속재 중수시료 채취 계통은 등급 3과 등급 6으로 분류되며 등급 3에 대해서는 참고문헌 9.3-9에 따라 설계되고 그리고 등급 6에 대해서는 참고문헌 CSA Standard B51에 따라 설계된다.

9.3.2.2.4 계통설명

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

감속재중수시료 채취 계통은 주감속재 및 보조계통으로부터 시료를 채취하기 위하여 설계된다. 보조계통에는 감속재정화회로, 감속재중수화 및 탈중수화회로, 감속재중수수집계통, 감속재중수세정계통 (월성 3호기에만 해당됨) 이 포함된다. 감속재 액체 독물질 계통으로부터의 시료 채취는 독물질 혼합탱크 바닥에서 직접 채취한다. 감속재중수시료 채취구 자체는 고압 시료 채취용기, 주사기 시료 채취구와 관련 배관, 튜브, 밸브와 계측장 비로 이루어져 있으며 이들 모두 시료채취 캐비닛에 들어있다. 계통 흐름도에 대해서는 그림 9.3-4a와 9.3-4b 를 보라.

102

액체 시료 채취는 보통 주사기시료 채취구로부터 수집된다. 용존 기체량이 중요한 곳에서는 시료 채취수집과 수송을 위하여 고압 시료채취 용기가 마련되어 있다.

감속재 시료 채취 계통은 유량계를 사용하여 대표적인 시료를 얻고자 설계된다. 안전한 시료 채취 계통이 되도록 시료 채취캐비닛이 설치된다.

시료 채취계통의 설계온도 및 압력은 각각 93°C (200°F), 1.65 MPa(g) (240 psig)이다. 본 계통으로 들어오는 모든 시료 채취배관은 시료 채취가 채취되는 계통으로부터 과압 보호된다. 시료 채취계통내의 어떠한 기기에도 에너지 생성원이 없기 때문에 과압방지장치를 필요로 하지 않는다. 예외적으로는 산소 감지기가 있는데 이의 설계압력이 0.69 MPa (100 psig)이다. 이 감지기는 통상시 계통에서 격리되어 있으며 운전절차에 의해서 과압으로부터 방지된다.

감속재중수시료 채취 계통에는 다음과 같은 계측 장비가 설비되어 있다:

- 가. 주사기시료 채취용기, 전도도 측정장치 혹은 용존산소분석기의 하류에 위치한 가변면적 형태의 연속유량계는 적정 시료 채취유량이

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

확립되었는가를 확인하는데 사용된다.

- 나. 전도도는 전도도 루프에 의하여 측정되며 각 루프는 셀 홀더, 온도보상 전도도 측정장치, 전도도 변환기로 구성되어 있다. 전도도 측정장치와 관련 측정장치 홀더는 시료 채취캐비닛 내부에 장착되어 있다. 주감속재계통, 감속재정화계통, 월성 3호기에 위치한 중수 세정계통의 전도도 회로는 계통 전도도를 현장에서 표시해 준다. 주감속재 및 감속재정화계통에 대한 고전도도 경보는 제어실에서 발생된다.
 - 다. 용존 산소분석기는 주감속재 중수에서 용존 산소의 농도를 측정하기 위하여 공급 된다.
 - 라. 2 개의 비중계는 감속재 중수화/탈중수화 유출물에 대한 측정을 위해 설비된다.
 - 마. 주제어실에 경보기가 설치된 누수감지기는 계통의 누설을 검출하고자 시료 채취 캐비닛에 설비된다.
- 모든 계통 기기는 오스테나이트 스테인레스 강으로 제작된다.

9.3.2.2.5 기기 설명

9.3.2.2.5.1 밸브

소형 글로브밸브 (금속대 금속시트 (Seat)) 와 벨로우즈 밀봉밸브가 여러 시료 채취 계통에 사용된다.

9.3.2.2.5.2 고압시료 채취용기

고압시료 채취용기는 고압액체시료를 채취하고자 설계된다. 이

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

산업용 시료 채취 원통의 용량과 압력 등급은 각각 300 ml 및 12.9 MPa(g) (1870 psig)이다. 용기의 양단에는 스테인레스강으로 된 니들밸브가 장착되어 이것은 용기에 나사 연결후에 밀봉 용접된 것이다.

9.3.2.2.5.3 주사기시료 채취구

각 시료 채취구는 시료 채취 튜우빙에 용접이음된다. 격리밸브가 정상적인 격리나 네오프렌 다이어프램을 교체할 목적으로 시료 채취구의 양단에 설치되어있다.

주사기용기의 격리중에 지속적으로 흐르도록 대부분의 시료 채취구에는 우회로가 설치되어 있다. 시료를 채취하기 위해 주사기를 사용하도록 권장된다.

9.3.2.2.5.4 시료 채취캐비넷

감속재시료 채취계통은 연무후드 모양의 시료 채취캐비넷이 설치되어있다. 시료 채취 캐비넷은 4 부분으로 구성되어 있고 각 부분에는 시료를 채취하기 위하여 캐비넷의 출입할 수 있도록 상호 균형을 이루는 수직 슬라이드 창문이 있다. 캐비넷에는 4개의 환기도관이 있는데 이들은 방사성 환기 계통으로 배출된다. 캐비넷의 총환기량은 $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (1260 scfm)이다. 이 캐비넷은 시료 채취중 또는 보수중에 용이하게 출입할 수 있도록 설계된다. 캐비넷은 바닥은 범람없이 20 L까지의 중수를 저장할 수 있도록 설계된다. 캐비넷에는 습기검출기와 수동배수구가 마련되어 있다.

9.3.2.2.6 계통운전

정밀한 화학적공차 때문에 대표적인 시료를 채취하는 것은 필수요

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

건이다. 이러한 요건을 확증시키기 위하여 시료를 채취하거나 측정하기 전에 시료 채취튜브밍과 기기가 세척되었는가를 확인하고자 적당한 시간이 주어져야 한다. 탱크의 내용물은 (가능하다면) 시료를 채취하기 전에 완전히 혼합시켜야 한다.

대부분의 시료는 주사기를 네오프렌막을 통해 시료 채취구내로 삽입시켜 채취한다. 용존 기체가 중요시 되는 곳에서는 고압시료 채취용기에서 채취하게 된다. 이들은 급속단절커플링에 의하여 시료 채취튜브밍에 연결된다. 유량계나 지시계는 적절한 시료 채취유량의 확립시점을 나타내기 위하여 시료 채취튜브밍에 설치되어 있다.

주감속재계통으로부터의 시료 채취유동은 전도도 측정을 위해 연속적으로 감시된다. 용존 산소량과 주사기 및 용기 시료 채취는 필요할 때마다 채취할 수 있다. 시료 채취회로를 흐르는 시료 채취유량은 감시된다. 그후 감속재정화계통을 경유해서 주회로로 복귀된다.

6개의 시료 채취관은 감속재정화계통으로부터 입력을 제공한다. 5개의 감속재 정화계통 이온교환수지탑으로부터의 전체 유량 혹은 필요하다면 6개의 이온 교환수지탑으로부터의 유량에 대한 연속적인 전도도 측정이 가능하다. 원한다면 유량의 주사기시료를 얻을 수 있다.

감속재 중수화 및 탈중수화 계통 시료 채취 시설은 2개의 분리된 시료 채취장치로 구성되어 있는데 하나는 중수화 유출물에 대한 것이고 다른 하나는 탈중수화 공정유출물에 대한 시료 채취 시설이다. 각각의 장치는 유량계, 밀도계 및 주사기 시료 채취구로 구성되어 있다. 비록 계통내에서 중수화 및 탈중수화 공정이 액체의 부피변위에 의하여 제어되지만 중요단계마다 유출수의 농도를 점검하는 것이 바람직하다. 이러한 점검은 세정 및 수질 승급 비용을 최소화 시킨다. 밀도계는 중수 농도에 대한 대략적인 자료를 제공한다. 세

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

번째 주사기시료 채취장은 탈중수화 유출물이 곧바로 중수화의 첫단계에서 쓰일 때 유출물에 대한 시료를 하기 위해 마련되어 있다.

감속재 중수수집탱크에서 유체의 중수 농도는 주사기시료 채취구에 의하여 결정된다. 수집 탱크 출구관으로부터 흘러나온 시료 채취는 시료 채취장을 거쳐 탱크로 회수된다. 우회로에는 시료 채취구가 마련되어 있고 유동은 감시된다.

기체분석기를 사용하여 계속적으로 감속재 상층 기체 계통의 중수소, 산소, 질소에 대한 분석이 이루어진다.

감속재 액체독물질 계통 저장탱크에는 시료 채취펌프 및 주사기시료 채취구가 설치되어 있다. 각각의 시료 채취회로는 봉소와 가돌리늄 독물질을 혼합시키고 채취하며 각 회로는 재순환 배관을 갖고 있다. 감속재 액체독물질계통에 대한 시료 채취 시설 기기들은 모두 원자로건물내에 위치한다.

중수 농도와 삼중수소의 방사능을 평가하기 위하여 중수증기회수 계통 수집탱크에서 주사기시료를 채취할 수 있다. 월성 3호기와 4호기로부터 채취된 시료 채취는 3호기에 위치한 중수세정계통으로 회수된다.

(삭 제)

현장에 있는 주사기시료 채취장은 가돌리늄 분석을 위해 독물질주입정지계통의 시료를 채취할 수 있도록 설치되어 있다.

9.3.2.2.7 안전성 측면

감속재 중수시료 채취계통은 안전관련 기능을 수행하지 않는다.

이 계통은 내진검증을 필요로 하지 않고 모든 계통 기기들은 캐나다 건물규격 (NBCC) 의 최저 기준을 만족시킨다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.2.2.7.1 원자로건물 확장부

감속재 중수 시료 채취 계통은 원자로 건물안에 위치한 주감속재 계통 및 감속재 중수수집계통과 연결되어 있다. 시료 채취 배관들에 대한 원자로건물 격리는 원자로 건물 밖에서 접근 가능한 위치에서의 크립핑에 의해 이루어진다. 시료 채취 튜우빙은 좋은 배관 관행에 호응하도록 설계 및 지지되며 등급 3으로 분류된다. 크립핑에 의한 원자로건물 확장은 참고문헌 9.3-1의 요건을 만족시킨다.

9.3.2.3(B) 월성 3호기내에 중수 세정 시료 채취계통(월성 3/4)

9.3.2.3.1(B) 설계기준(월성 3/4)

감속재/냉각재 세정 채취계통은 다음의 기능상 요건들을 만족시켜야 한다.

- 가. 중수세정계통 기기들 (이온교환수지탑과 여과기)의 기능수행을 평가한다.
- 나. 중수세정계통으로부터 대표적인 시료를 제공해야 한다.

9.3.2.3.2(B) 안전 요건 (월성 3/4)

이 계통은 안전관련 계통이 아니다.

9.3.2.3.3(B) 적용규격, 표준 및 등급 분류 (월성 3/4)

감속재 세정채취계통은 감속재시료 채취계통의 적용규격, 표준 및 등급 분류를 따른다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

냉각재 세정시료 채취계통은 냉각재시료 채취계통의 적용규격, 표준 및 등급 분류를 따른다.

9.3.2.3.4(B) 계통설명(월성 3/4)

중수세정계통으로부터 시료를 위한 독자적인 캐비넷이 월성 3호기에 설비되어 있다. 이 캐비넷은 감속재 시료 채취 캐비넷 및 냉각재 캐비넷과는 분리되어 있으며 두개의 부분으로 나누어져 있다(한 부분은 중수세정계통의 감속재 부분의 시료를 위한 것이고 다른 한 부분은 중수세정계통의 냉각재 부분의 시료를 위한 것이다).

계통의 기능수행을 점검하기 위하여 냉각재 혹은 감속재중수세정계통에 있는 급수탱크, 생산탱크, 여과기 및 이온교환수지탑들로 부터 시료 채취가 채취된다. 여과기 및 이온교환수지탑의 기능수행을 평가하기 위하여 전도도가 측정된다. 또한 급수 및 생산 탱크들로부터 주사기로 시료가 채취된다.

급수 및 생산탱크내에 있는 내용물은 시료 채취가 채취되기 전에 재순환되어 진다. 여과기, 이온교환수지탑으로부터의 시료 채취유량은 급수탱크 중 하나로 방출된다.

다음의 계측이 제공된다.

- 가. 전도도는 전도도루프에 의해 측정된다. 관련된 전도도 측정장치와 홀더는 시료 채취 캐비넷 안쪽에 설치되어 있다. 중수세정계통내에 있는 전도도루프에는 현장 지시계가 설비되어 있다.
- 나. 주사기시료 채취구의 하류에 위치한 면적이 변할 수 있는 형태의 인라인 (in-line) 유량계가 타당한 시료 채취유량의 설정을 보증하기 위해 사용된다.
- 다. 제어실내에 경보기를 갖춘 누수 감지기(beetle)가 계통 누설을 감지

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

하기 위하여 시료 채취 캐비닛 주변 바닥내에 설치되어 있다.	54
9.3.2.3.5(B) 안전성 측면 (월성 3/4)	3
중수세정 시료채취계통은 어떠한 안전관련 기능도 수행하지 않는다. 또한 어떠한 격납건물 관통 배관도 존재하지 않는다.	102
9.3.3 배수계통	
발전소의 배수계통은 다음과 같이 분류된다.	
가. 비 방사성 배수	
나. 방사성 배수	
다. 위생 배수	
라. 빗물 배수	
원자로건물의 방사성배수 설계지침서 86-71730/67173-DM-001 참조.	
9.3.3.1 비 방사성 배수	
이 배수계통은 제1구역 유출물 (펌프하우스, 터빈건물, 하수도) 대 부분을 수집하여 이것을 하수구나 배수관으로 흘려보낸다. (계통흐름도 참조)	
9.3.3.2 방사성 배수	
이 배수계통은 수집된 유출물의 오염된 정도에 따라서 보다 세분화 된다. (11.3 절과 계통흐름도 참조) 원자로 건물 방사성 배수계통은 유출된 액체 중수를 회수하기 위해서도 이용된다. 시료를 검사하여 수집된 중수를 재사용할 것인지 폐기물로 처리할 것인지를 결정한다.	
9.3.3.2.1 저 방사성 배수	

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 3

1997. 12

이 계통은 보조 건물의 관리구역에서 나오는 대부분의 유출물을 수집한다. 오염 샤워실, 탈의실, 세탁실, 화학 실험실, 바닥배수 등이 이에 해당한다. 이러한 유출물은 대개 저방사성 탱크에 수집되며 시료채취를 한 후에 방사능 제거작업없이 순환수 배수구로 흘려 보낸다. 세탁실 유출물은 저방사성 탱크 또는 배수구로 직접 배출시키며 샤워장 유출물은 바로 배수구로 흘려보낸다.

9.3.3.2.2 일반 방사성 폐기물

이 계통은 관리구역 대부분의 유출물을 수집한다 (원자로 건물 : 이온교환수지 침전물로부터의 과잉수 및 바닥배수, 보조건물 : 제염처리실, 화학 실험실 바닥배수).

이러한 유출물은 액체 폐기물 처리계통의 방사성 탱크로 직접 보내진다.

원자로 건물내의 통상적인 출입이 가능한 지역에 위치한 바닥배수는 지하배수조와 연결된다. 지하배수조에 수집된 바닥배수는 배수펌프를 이용하여 방사성 폐기물계통으로 자동으로 보내진다.

바닥배수로부터의 비방사성, 저방사성 및 방사성 폐기물은 중력에 의하여 방출관이나 액체폐기물 처리계통으로 보낸다. 그러나 때로는 이러한 목적으로 준비된 배수조에 집수된 후 펌프로써 방출관이나 액체 폐기물 처리 계통으로 보낸다. 이러한 배수조는 주로 바닥높이가 낮은 원자로 보조건물에 위치한다.

9.3.3.3 위생 배수

이 배수는 화장실, 일반 샤워실, 탈의실로부터의 유출물을 하수처리장으로 이송한다. (계통흐름도 참조).

9.3.3.4 빗물 배수

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

이 배수는 건물 지붕으로부터 빗물을 모아 표면수 배수 (surface drain-age) 계통으로 보낸다. 방사능 오염이 없는 것으로 간주된다. (계통흐름도 참조).



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.4 화학처리 계통

9.3.4.1 서론

감속재 및 냉각재계통에서 사용되는 중수 (D_2O)와 증기발생기의 2차측에 사용되는 경수 (H_2O), 증기, 응축수 및 급수계통, 액체영역제어계통, 원자로 격실, 폐회로를 이루는 기기 냉각수 계통 및 조사후 (사용후) 핵연료 취급 및 저장 수조에는 모두 고순도의 유체를 사용하며 화학물질이 전혀 포함되지 않았거나 혹은 특별히 규정된 화학물질만이 포함되어 있다.

필요한 곳에서는 염기도, 산소 및 반응도 제어를 위하여 화학물질이 첨가된다. 따라서 물속에 존재하더라도 허용될 수 있는 제한된 수의 실제 화학물질이 존재한다. 기타 화학물질의 존재는 불순물이 유입되었음을 나타낸다. 이러한 불순물의 농도가 허용할 수 없을 만큼 검출될 경우 이것은 뭔가 고장이 있다는 조기 경고로 받아들여야 한다. 따라서 (계통에 악영향을 미칠 가능성을 평가하기 위하여) 불순물과 그 생성원에 대한 확인뿐만 아니라 그 생성원을 제거하기 위하여 요구되는 보수나 수리작업을 상술하기 위하여 필요한 작업을 반드시 시작해야 한다.]

CANDU 6 공정계통은 두 개의 일반적인 범주로 구분된다. 즉, 염기도를 높이기 위하여 염기를 첨가시키는 계통과 화학물질은 첨가시키지 않지만 이 계통의 화학적 성질이 계통 자체에서 생성된 화학물질 (예를들면, 감속재 중수의 질산으로 부터 형성되는 질소) 또는 기체의 흡수 (예를들면, 핵연료 저장수에 의해 흡수되는 대기중의 이산화탄소)에 의해서 영향을 받는 계통으로 구분된다. 그리하여 이상적으로는 각 액체공정유체에 대한 염기도/산도, 염기와 산의 농도 및 전도도 값 사이에는 상관관계가 존재해야 한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.4.1.1 고순도 경수용액에서의 중요한 화학 관계식

순수한 경수는 25℃에서 7.0의 pH 값과 0.00548 mS/m의 전도도 값을 갖는다.

pH, 산 또는 염기의 농도 및 전도도 사이에는 반드시 적용되어야 하는 이론적 관계식들이 있다. 이들 변수 사이에 잘 들어맞는 상관식은 오염물의 농도가 중요시될 정도로 존재하지 않는다는 좋은 증거이다. 마찬가지로 이들 세 변수 사이에 잘 들어맞지 않는 상관식은 한가지 이상의 오염물이 존재한다는 좋은 증거이다.

등가의 이온 전도도 자료를 이용하여 강산 및 강염기 용액의 전도도와 pH사이의 이론적 관계식을 유도할 수 있다. 그림 9.3-5는 강산인 염산과 강염기인 수산화리튬을 근거로 하여 얻어진 곡선이다. Cl^- , NO_3^- , $1/2 \text{SO}_4^{2-}$ 에 대한 등가이온 전도도는 각각 76.3, 71.4 및 80.0 mhos·cm²/mole이기 때문에 실제적인 목적에서 중립점으로부터 산성쪽 값에 대한 선은 3개의 산 모두에 적용할 수 있다. 마찬가지로 Li^+ , Na^+ 및 NH_4^+ 에 대한 등가 전도도는 각각 38.7, 50.1 및 73.4 mhos·cm²/mole이기 때문에 실제적인 목적에서 중립점으로부터 염기성쪽의 값에 대한 선은 3개의 염기 모두에 적용할 수 있다. pH 또는 전도도에 기여하는 것은 단지 이온화된 수산화암모늄 이온이라는 점에 주목해야 한다.

원자로 격실 및 재순환 냉각수 계통에 대해 규정된 농도 범위에서 (25℃에서 10.0~10.5의 pH값) 수산화리튬은 본질적으로 완전히 이온화되어 있다. 그림 9.3-6은 리튬농도 (mgLi/kg H₂O)와 pH 값의 관계도를 나타낸다.

암모니아, 몰포린 (morpholine) 및 하이드라진은 모두 약 염기로서 이들의 이온화도는 pH가 증가함에 따라 감소한다 (표 9.3-2 참조). 그림 9.3-7, 9.3-8 및 9.3-9는 각각 pH값에 대한 암모니아, 몰포린 및 하이드라진 농도의 관계를 나타낸다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

산/알칼리 농도, 전도도 및 pH사이에는 직접적인 관계식이 존재한다. 완전히 이온화된 산과 염기에 대해서 참고 도표를 만들 수가 있다(그림9.3-10 및 9.3-11 참조). 세 변수 사이에 잘 들어맞는 상관식은 수평선이 된다. 만약 변수들의 그림이 오른쪽으로 내리막 경사를 이루는 직선이 되면 불순물이 존재함을 나타내는 데, 산성용액에 대해서는 양이온 불순물이, 알칼리용액에 대해서는 음이온 불순물이 존재함을 나타낸다.i

9.3.4.1.2 고순도 중수 용액에서의 중요한 화학 관계식i

지난 40여년에 걸쳐 순수한 중수가 중수소이온 D^+ 과 중수산화 이온 (OD^-)으로 분해되는 정도 (즉, 분해도) 는 경수가 수소이온과 수산화이온으로 분해되는 정도보다 낮다는 것이 알려져 있다. 또한 중수 이온에 대한 등가이온 전도도 값은 경수의 같은 이온에 대한 값보다 낮다는 것이 알려졌다. 따라서 경수 용액에 적용되는 산도/염기도, 전도도 및 부가물질 농도 사이의 관계식들이 중수 용액에는 적용되지 않는다. 따라서 CANDU 원자로에서는 중수로 채워진 계통에 대한 화학 변수를 필수적으로 설정해야 하며 이를 위해 다음과 같은 사항에 대한 설명이 필요하다.i

가. 중수용액의 산도/염기도를 측정하기 위하여 경수에 대해 측정한 pH 측정기를 사용한다는 것i

나. 재질 부식에 대한 모든 실험실 연구에서 필수적으로 용매로서 경수를 사용한다는 것.

따라서,

(1). 경수 용액에 관한 pH를i

(2). 중수 용액에 관한 pD, 그리고i

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

(3). 경수에 사용한 pH측정기로 측정했을 때 중수 용액의 산도/염기도에 관한 pH_A 와 상관시키는 것이 필요하다.i

상기한 것을 토대로 다음과 같은 관계식이 설정되었다.i

- 리튬 농도와 pH_{Ai}
- 리튬 농도와 전도도i
- pH_A 와 전도도i

9.3.4.1.2.1 pH, pD 및 pH_A 값의 상관관계i

pH, pD 및 pH_A 값들사이의 상관관계에 대한 기준이 검토되었고 1985년 초에 새로운 값이 유도되었다.

검토과정에서 주요 단계는 다음과 같다.i

- 가. 중수의 이온생성물에 대한 선호값, $K^{D2O}_{25^\circ C}$ 은 이온강도가 0일 때에 (즉, 순수한 중수) $1.119E-15 \text{ mole}^2/\text{kg}^2$ 이며, 이것은 14.951의 pK값을 준다(참고문헌 9.3-10 및 9.3-11).i
- 나. 몰/L 단위로 표시할 경우 $K^{D2O}_{25^\circ C}$ 의 값은 $1.365E-15$ 이고 그래서 $pK^{D2O}_{25^\circ C}$ 의 값은 14.865이다. 따라서 순수한 중성 중수, 즉 중수소와 중수산화 이온의 농도가 같을 때 $25^\circ C$ 에서 이들 각자 이온의 농도는 $3.695E-8 \text{ g} \cdot \text{mole ions/L}$ 이고 $25^\circ C$ 에서 중성점 pD값은 7.432 이다.i
- 다. 실제 pD값을 구하기 위해 경수 용액 측정에 사용되는 pH 미터를 이용하여 얻어진 pH_A 값에 적용될 보정값은 +0.408이다 (참고문헌 9.3-12 참조). 앞서의 값은 0.44였다. 따라서 pD와 pH_A 사이의 새

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 25
2000. 6. 5

로온 관계식은 $pD = pH_A + 0.408$ 이며 이것은 식 $pD = pH_A + 0.44$ 를 대신한다. 이렇게 하여 경수용액에서 조정된 pH 미터에 의하여 측정하였을때 순수 중수의 중성점은 7.024이며 이것은 이전 값 6.92를 대신한다.;

라. $pK^{H_2O}_{25^\circ C}$ 와 $pK^{D_2O}_{25^\circ C}$ 의 몰/L값은 각각 14.000 및 14.865이고 pD와 pH_A 의 관계식은 $pD = pH_A + 0.408$ 이기 때문에, 수산화이온(OH)과 중수산화이온(OD)의 동일한 몰/L농도를 포함하는 경우 중수용액의 pH와 pH_A 관계식은 $pH_A = pH + 0.457$ 이다

9.3.4.1.2.2 리튬농도와 pH_A 사이의 관계식;

냉각재계통에서 중수산화 리튬의 농도는 몰 Li/L, gm 이온 Li/L, 몰 LiOD/L, ppm Li, ppm LiOD 및 mg Li/kg D₂O와 같이 여러 방법으로 표현할 수 있다. ppm Li와 mg Li/Kg D₂O는 동일한 단위이다. 중수산화 리튬농도를 ppm Li 또는 mg Li/kg D₂O로 표현하는 것은 통상적인 운전관행이다. 따라서 mg/kg 방식으로 관계식을 나타내기 위하여 이용가능한 데이터를 적절하게 조정할 필요가 있다. mg Li/kg D₂O - pH_A 관계식인 경우 pH/ pH_A 관계식과 경수와 중수의 밀도차에 대한 조정을 고려해야 한다.;

앞에서 언급한 대로 각각 똑같은 수산화 이온 및 중수산화 이온의 몰/L 농도를 포함하고 있는 용액의 pH_A 에 대한 pH관계식은 $pH_A = pH + 0.457$ 이다.

이 관계식이 수치상 끼치는 영향은 똑같은 수치값의 pH_A 와 pH에 대해서 중수 용액은 경수 용액이 필요로 하는 리튬농도의 단지 0.349 정도의 농도를 필요로 하며 둘다 농도단위는 몰/L이다. 리튬농도를 mg Li/kg D₂O 단위

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 25
2000. 6. 5

로 표현하기 위하여 중수와 경수의 밀도차를 고려해야 하므로 mg Li/kg D₂O 단위로 중수 농도에 대한 경수농도의 변환계수는 0.316이다. 그 결과 pH_A 값이 10인 중수에서 중수산화 용액은, pH 값이 10인 경수용액에서 리튬의 농도가 0.694 mg Li/kg H₂O인 것을 근거로 하여 0.219 mg Li/kg D₂O의 리튬농도를 갖게 된다.i

9.3.4.1.2.3 리튬농도와 전도도 사이의 관계식i

"등가전도"(참고문헌 9.3-13과 9.3-14) 라는 용어의 실제적인 유래는 1cm 정도 떨어진 평행판 전극 사이에 포함된 물 용액의 전도도에 근거한다. 따라서 1 cm³의 전극에 대하여 등가전도도의 수치단위는 mhos.cm⁻¹/mole · cm⁻³이며 이것을 정리하면 mhos. · cm²/mole이 된다. 참고문헌 9.3-15, 9.3-16 및 9.3-17 | 25에서의 값에 근거한 표 9.3-3에 의하여 등가이온전도도 값을 선정할 수 있다.i

실험실 결과 및 화학제어 사양서에서는 ppm (mg/kg D₂O) 단위로 표현되기 때문에 몰/L단위로 농도를 표현하기 위하여 중수의 밀도와 적정 원자량에 대한 보정계수를 사용하여야 한다. 이렇게 하여 pH_A 값이 10인 중수산화 리튬에 대한 전도도를 구하면,i

$$\frac{0.000219 \text{ gm Li} \times 1.106 (32.9+133)}{6.94 \text{ gm} \times 1000} \text{ mhos/cm} \quad | \quad 3$$

$$= 5.79 \times 10^{-6} \text{ mhos/cm 또는 } 0.579 \text{ mS/m}$$

여기서, 0.000219 = pH_A = 10에 필요한 리튬농도 (g · Li/kg D₂O)

6.94 = 리튬의 원자량 (g/mole)i

1.106 = 중수밀도 (kg/L)i

32.9 = 중수에서 리튬의 등가이온전도도 (mhos · cm²/mole)

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 25
2000. 6. 5

133 = 중수에서 중수산화 이온의 등가이온전도도 (mhos ·
cm²/mole)

1000 = L에서 cm²으로의 변환계수

따라서 리튬농도와 전도도 사이의 관계식에서 1 mg Li/kg D₂O의
리튬 용액은 2.644 mS/m의 전도도를 산출한다.

25

9.3.4.1.2.4 pH_A와 전도도 사이의 관계식;

이러한 관계식을 세우기 위하여 대표 산 및 대표 염기를 선정할 필요가 있다. 선정된 산은 중질산 (DNO₃) 이고 염기는 중수산화리튬 (LiOD) 이다. 중수에서 Cl⁻, NO₃⁻ 및 1/2 SO₄²⁻에 대한 등가이온전도도 값은 각각 62.8, 57.8, 66.0이고 Li⁺, Na⁺ 및 NH₄⁺ 대한 등가이온전도도 값은 각각 32.9, 40.8 및 61.4이므로 이들 산 및 염기에 대한 관계식은 매우 흡사하게 된다. 그림 9.3-12은 중수 용액에 대한 pH_A와 비전도도에 관한 관계식을 나타낸다.

9.3.4.2 설계기준

9.3.4.2.1 pH_A, 리튬농도 및 전도도에 대한 냉각재계통 사양

pH_A에 대한 사양 값은 핵연료 다발 표면에 부착물을 제어하기 위하여 경수 자료를 바탕으로 한다 (참조 9.3 - 18). 그림 9.3-13은 상이한 pH값 (25℃) 에 대하여 온도에 따른 자철광(magnetite)의 용해도 자료를 나타낸 것이다. 이 그림에 따르면 온도증가에 따라 용해도를 증가시키기 위해서는 9.7이라는 최소 pH값이 필요함을 알 수 있다. 그리하여 25 ℃ pH값이 9.7이상의 경수에서 운전하면 연료 피복판에 계통 부식생성물의 부착을 억제할 수 있으며 부식 생성

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 3

1997. 12

물의 중성자 활동을 최소화 시키는 조건이다. 이것은 차례로 칼란드리아 밖에 위치하는 냉각재 표면에서 부식 생성 최적물의 구체적인 활동을 최소화시키고, 냉각재계통의 이들 부분들로부터 방사선 준위를 최소화 시킨다. pH값 9.7에 대응하는 pH_A 값은 10.157이다. 고유의 국부적인 부식을 일으키는 수산화리튬 농도가 특정지역에 편재할 가능성을 최소화 하기 위하여 너무 높은 염기도는 피해야 한다. 선정된 pH_A 값은 25℃에서 10.8이다 (적정 pH_A 값, 10.2 - 10.4).

이러한 고찰을 토대로 허용 pH_A 값의 범위를 10.2 ~ 10.8로 정할 수 있게 되었다.

pH_A , 리튬농도 및 전도도 사이의 1985년 상관 결과로부터 리튬농도 및 전도도에 대한 개선된 사양값을 산출해 내게 되었다. 현행값은 표 9.3-4에 나타나 있다.

9.3.4.2.2 용존 산소에 대한 냉각재 사양;

사양서 값은 원래의 CANDU 6 설계값 (월성1호기에 사용) 인 0.1 mg O_2 /kg D_2O 미만으로부터 현행 제안값인 0.01 mg O_2 /kg D_2O 미만으로 줄인 이유는 운전 자료를 검토한 결과 증기발생기의 관을 튜브시트에 롤링 (rolling) 시킨 부위에서 산소에 의한 용력부식균열이 발생하였기 때문이다.

9.3.4.2.3 pH_A 와 전도도에 대한 감속재 계통 사양;

2차정지계통에서 중성자 독물질로서 그리고 원자로 기동중에 연소 또는 지논-135의 부재에 대한 보충 독물질로서 질산 가돌리늄을 사용할 경우 약산성의 감속재를 필요로 한다. pH_A 에 대한 pH와 비전도도에 대한 pH의 관계식의 1985년도 검토 결과는 앞서 언급한 pH_A 와 비전도도 값에 중요한 영향을 끼치지 않는다 (9.3.4.1.3.1.c절 참조).

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.4.3 설명

9.3.4.3.1 냉각재계통 화학처리

원자로 냉각재 화학변수들은 냉각재에 노출된 모든 표면의 부식율을 최소화시키고 부식생성물의 이동을 수용할 수 있을 만큼 낮은 준위로 감소시키고자 선정되었다. 이러한 목적은 용존 산소의 농도를 $0.01 \text{ mg O}_2 / \text{kg D}_2\text{O}$ 미만으로 낮게 유지하고 pH 측정기로 25°C 에서 측정하였을 때 10.2 ~ 10.8 정도의 높은 pH_A 를 유지하거나 정화회로를 설치함으로써 달성할 수가 있는데, 이 정화회로는 최대 유동에서 60분의 반감기를 가진 용존 및 부유물질의 농도를 감소시킬 수 있다. 표 9.3-5는 선호되는 시료 채취횟수와 함께 원자로 냉각재 화학변수에 대한 화학제어 사양을 나타낸다.

원자로 냉각재의 화학조성은 정기적인 일정에 따른 시료 채취에 의하여 결정되며 화학 조성에 필요한 만큼의 수정을 가하여 규정된 값 범위내로 유지시킨다.

중산화 리튬 (LiOD) 으로서 리튬은 pH 혹은 (pH_A)제어에 쓰인다.

중수의 방사분해로부터 생성되는 산소는 충분한 수소기체를 냉각재에 첨가하여 억제시키는 데 이것은 방사분해를 역방향으로 일어나게 하는 추진력이 된다. 확산작용 때문에 용존 중수소(D_2) 및 수소(H_2)는 끊임없이 빠져나가기 때문에 수소를 주기적으로 첨가시켜야 되며, 수동적으로 조절한다. 수소(H_2) 첨가율은 중수 냉각재의 동위원소에 심각하게 영향을 끼치지 않는다.

수소 첨가중에 일어나는 냉각재상실사고의 경우 냉각재계통의 압력강하 때문에 수소첨가율은 약 5배로 증가된다. 운전원은 수소 첨가를 중단시키기 위하여 감압 밸브의 하류에 있는 격리밸브를 닫아야 한다. 격리밸브를 닫지 않는 경우 3일이내에 저 수소 공급압력 경보가 발생하기 때문에 운전원은 계속적

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

으로 수소 첨가에 주의를 기울이지 않으면 안된다.

질소는 냉각재 계통의 보수를 위하여 부분적으로 배수 시켰을 때 부식을 방지하기 위한 상충기체로 쓰인다.i

9.3.4.3.2 감속재 계통 화학처리

감속재 계통의 화학작용은 감속재 정화계통에 의하여 제어된다.

감속재 계통의 화학처리 변수는 다음과 같은 이유에서 선정한다 :

- 가. 반응도 조절을 필요로 할 경우에 가돌리늄을 침전시키지 않고 가용성 중성자 독물질로서 붕소와 가돌리늄을 둘 다 사용할 수 있도록 하기 위하여.i
- 나. 감속재를 고순도 상태로 유지함으로써 중수의 방사 분해율을 최소화하기 위하여.i
- 다. 계통 표면에서의 부식율을 허용범위내로 낮게 유지하기 위하여.i
- 라. 감속재 계통에서 재질이 스테인레스강인 기기에 대한 응력부식균열을 방지하기 위하여.

표 9.3.-6은 감속재 화학에 대한 화학제어 사양을 나타낸다.

9.3.4.3.3 증기발생기 및 급수계통

재질이 인콜로이 (Incoloy-800) 인 증기발생기관의 건전성을 보호하고자 증기발생기 물과 급수의 화학적 성질에 대한 엄격한 처리를 필요로 하며 이것은 급수(H_2O) 및 증기계통으로부터 냉각재 (D_2O) 를 분리시킨다. 표 9.3-7과 9.3-8은 각각 급수 및 증기발생기 화학변수에 대한 화학제어 사양을 나타낸다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 3

1997. 12

이들 표의 “허용값”란에 주어진 값들은 발전소를 운전시킬 수 있는 정상적인 최대 또는 최소값이다. 이들 허용값 밖에서는 시정조치를 필요로 한다. 만약 시정되지 않을 경우 반드시 정지시켜야 한다.

9.3.4.3.4 기타 계통

물계통 (Water System) 에서는 부식을 최소화시키기 위하여 화학 제어를 필요로 한다. 일부 기체 계통에서는 가연성 물질의 순도제어를 필요로 한다. 요약하면 이들 기타 계통은 표 9.3-9에 표기된 화학제어 사양 (서) 을 만족시키기 위하여 처리된다.

화학실험실은 1차 실험실 (방사성 실험실)과 2차 실험실 (비 방사성 실험실)로 구분되며, 방사성시료를 취급하는 1차 실험실은 각 호기별로 별도로 설치 운영된다. 또한, 분석기기의 고장이나 실험실간 교차분석은 불가피한 사유로 타 호기 실험실을 이용해야 하는 방사성시료의 경우에는 반드시 시료운반을 위한 적절한 방사선 방호조치를 취해야 한다.

3

9.3.5 환형기체계통

9.3.5.1 설계기준

9.3.5.1.1 기능요건

환형기체계통은 환형기체를 재순환시키기 위한 방편으로 설계되며, 다음과 같은 기능 요건을 만족시켜야 한다.

- 가. 원자로 냉각재로부터 감속재료의 열전달을 제한하기 위하여 압력관과 칼란드리아 관사이에 열 방호벽을 형성해야 한다.
- 나. 핵연료 채널 기기에 대한 부식을 방지하기 위하여 환형공간에 건조된 이산화탄소 기체로 된 환경을 형성해야 한다.
- 다. 압력관 또는 칼란드리아 관 누설에 대한 차단지시장치로서 환형 기체계통내의 습기를 신속하게 검출해야 한다. 잠재적으로 심각

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

한 누설에 대한 검출은 누설이 시작된 후 적시에 이루어져 성장하는 균열깊이가 원자로의 냉각이나 감압동안 임계균열 깊이에 도달하지 않도록 한다.

- 라. 직결 (on-line) 이슬점 측정을 위하여 신뢰할 만한 방법을 제공해야 한다.
- 마. 환형 공간에 화학적으로 처리된 매체를 제공하여 압력관의 산화 보호 표면을 유지해야 한다.
- 바. 계통으로부터 물 배수의 수단이 되어야 한다.
- 사. 환형채널 사이의 상호 연결 부분인 픽테일 (pigtail) 의 막힘을 검출하고 확인하는 수단이 되어야 한다.

9.3.5.1.2 안전요건

환형기체계통에 적용할 수 있는 안전 설계 지침서는 다음과 같다.

- 가. 86-03650-SDG-001 : "Safety Related Systems" Rev.2 (참고문헌 9.3-2 참조)
- 나. 86-03650-SDG-002 : "Seismic Qualification" Rev.2 (참고문헌 9.3-3 참조) 원자로건물확장부에 대해서만 적용
- 다. 86-03650-SDG-006 : "Containment Extensions" Rev.2 (참고문헌 9.3-7 참조)

환형기체계통은 안전관련 계통이며, 냉각재계통 압력 경계(즉, 압력관)의 건전성을 감시하는 안전기능을 수행한다.

이 계통은 안전범주 1(d)에 속한다. 이것은 환형기체계통이 방

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 15

1999. 5. 10

사성물질이 정상한계치 내에 있도록 하기 위해 정상운전 동안 위 안전기능을 수행하는 예방계통이라는 것을 의미한다. 어떤 정의된 사고동안 계통고장은 간접적으로 방사능 누출을 야기시킬 수도 있고 혹은 안전관련 계통의 동작에 나쁜 영향을 줄 수도 있다.

이 계통은 발전소의 정상상태 동안 압력관의 열화가 일어나지 않도록 하기위해 환형에 적절한 조건을 유지한다.

이 계통은 발전소의 정상상태 동안 운전원이 원자로를 안전한 상태로 유지할 수 있도록 하기 위해 냉각재계통 냉각수가 환형으로 누출되는 것을 감지한다.

이 계통은 설계기준 지진으로 내진 검증되어야 하는 원자로건물 확장부 이외엔 내진 검증이 필요없다. 또한 원자로건물 확장부는 참고문헌 9.3-1과 9.3-7의 요구조건을 만족시켜야 한다.

9.3.5.1.3 적용규격, 표준과 등급분류

환형기체계통은 일반적으로 6 등급으로 분류된다. 냉각재 중수수 집탱크에서 이 계통의 밸브 V29 까지는 등급 3으로 분류된다. 원자로건물 격리밸브에서 원자로건물 벽 관통부분까지의 원자로건물 확장부는 2 등급으로 분류된다. 이 계통의 등급은 참고문헌 9.3-9에 의한것이다.

15

9.3.5.2 계통설명

계통 흐름도는 그림 9.3-14에 있다. 그림 9.3-15는 환형들 사이에서 연결 배치를 보여준다.

환형기체계통은 매우 건조 (bone-dry) 등급의 이산화탄소를 가득 채우고 연속으로 재순환하는 계통이다. 보조건물에 위치한 고압 실린더에서 이

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 15
1999. 5. 10

산화탄소 기체는 칼란드리아관과 압력관 사이에 있는 저압의 환형까지 공급된다. 이 기체는 핵연료 채널부품의 부식을 예방하기 위하여 건조시키는 것이 필요하다. 직결된 (on-line) 이슬점분석기가 설치되어 있는 배관을 통하여 재순환하는 환형기체에 잔류한 이슬 성분을 검출하기 위하여 환형기체계통에서 기체를 채취하기 위한 설비가 있다. 습기가 많거나 증가 추세이면 감속재 계통 혹은 냉각재 계통으로부터 환형으로의 누설을 의미한다. 계통은 정상운전 상태기간 동안 환형에서 정압을 유지한다.

각 원자로는 격자로 구성된 380개의 채널을 갖는다. 여기에는 열 (row)당 6개에서 22개의 채널을 포함하는 22개의 수직 열이 있다. 그 채널환형은 직렬-병렬식으로 연결되어 있다. 각 수직열에서, 환형 채널은 하나 걸러 직렬식으로 연결되어 있다. 각 열에서 제일 높은 곳에 위치한 2개의 환형 채널에 병렬식으로 2개의 입구가 연결되어 있고 제일 낮은 곳에 위치한 2개의 채널 환형에 병렬식으로 2개의 출구가 연결되어 있다. 44개의 입구는 재순환기체 공급 계통까지 병렬식으로 연결되어 있고 44개의 출구는 재순환 압축기의 흡입측과 배수까지 병렬식으로 연결되어 있다.

44개의 출구 튜브는 각 22개의 연결을 갖는 2개의 누설 지시계와 연결되어 있다. 지시계의 배수배관은 중수 누설수집 탱크까지 공통배관으로 연결되어 있다. 이 배관에는 2개의 누수 감지기가 있다. 지시계로부터 배기는 시료 채취전 배기를 냉각하는 공기-기체 (air to gas) 식 열교환기와 연결되어 있다. 이산화탄소 기체는 재순환 압축기의 흡입구에 공급된다. 고 이슬점 측정의 알람과 경보를 제어실로 제공함으로써 보다 신뢰할 수 있는 이슬점 측정을 위해 2개의 이슬점 분석기가 설비되어 있다. 경보는 제어실에서 환형기체계통에 있는 이슬점이 높은 비율로 증가할 때 제공된다. 누수위치 분별능력과 향상된 화학제어를 위한 가스시료를 위하여, 콜드핑거 (cold finger) 시료

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 15
1999. 5. 10

채취기와 시료 채취용 고압시료 채취 용기와 같은 설비가 제공된다.

환형안에 있는 화학적으로 처리된 물질은 환형 기체계통으로부터 압력관에 의해 중수소 획득 (uptake) 을 최소화하며 중수화물 (deutride) 거품의 형성에 의한 압력관 손상의 가능성을 줄인다.

계통의 압력과 온도는 요구에 따라 제어실에서 감시, 표시되고 고, 저압력과 고온도 (열교환기의 하류에서 측정) 도 제공된다. 모든 측정장치와 계통 밸브는 일반적으로 발전소의 접근 가능지역에 있다. 누설 지시계는 운전 상태 동안 접근이 불가능 하다.

15

기체 실린더 압력은 저압력일때 실린더 가스가 고갈되었음을 알리는 정보가 제어실에 올린다.

핵연료 압력관의 손상이 발생할 경우 근접한 환형에서 압력의 증가를 억제하기 위한 작은 직경을 가진 튜브와 방출밸브에 의해서 과압력으로부터 계통을 보호한다. 방출밸브는 전달압력 (deliver pressure) 의 부적절한 압력설정과 조절기 고장에 의한 압력증가를 수용할 수 있도록 선정되어 있다.

15

만약 습분이 이산화탄소 기체와 함께 계통에서 검출되면 이것은 바람직하지 않은 수소기체의 생산을 초래할 수 있다. 산소는 기체물질에서 적당한 화학상태를 유지하기 위하여 첨가될 수 있다. 따라서, 필요시 산소첨가를 위하여 환형 기체계통에 연결된다.

계통 배관은 스테인레스강으로 만들어진다.

9.3.5.3 기기설명

9.3.5.3.1 누설 유량지시계

누설지시계는 상부 (top) 에 따라 열 (row) 당 11개의 스위치지록

15

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

(swagelok) 연결장치가 엇갈리게 배열된 2개의 열과 두 수직면에 육안 윈도우가 설치된 사각형 단면을 가진 스테인레스강 튜브이다. 배수 연결선은 아래에 연결되어 있고 배기연결선은 한쪽에 연결된다. 누설은 한 윈도우면을 통하여 빛을 비추게 하고 다른 면을 통하여 육안으로 지켜보는 것으로 관찰된다. 유량의 대강 측정은 단위 시간당 떨어지는 방울수를 세어서 행하여 진다.

9.3.5.3.2 열교환기

공기냉각식 자연순환 열교환기는 격실(vault) 관통부분에서 과열로부터 콘크리트의 손상을 예방하고 펌핑 기간동안 기체를 냉각하기 위하여 제공된다. 이것은 이산화탄소 기체 7 L/s (15 scfm)을 232°C (450 °F)에서 65 °C(150°F)까지 냉각하도록 설계 되었다.

9.3.5.3.3 압축기

3대의 50% 용량을 가진 압축기가 필요한 계측과 제어설비와 함께 계통을 통하여 이산화탄소 기체를 재순환시키기 위하여 제공된다. 여과기는 기체에 불순물을 제거하기 위하여 압축기의 상류에 설치되어 있다. 각 압축기는 0.004 SCM/s 이산화탄소 기체의 유동을 제공하기 위하여 설계되었다. 재순환은 이산화탄소의 이슬점을 연속적으로 읽고 설계되었다. 만약 누설이 발견되면 경보를 올리도록 압축기는 100 kPa(g) 압력과 230 °C 온도로 설계되었다. 압축기는 원자로건물의 지하에 설치되어 있다.

9.3.5.4 계통운전

원자로를 초기기동하기 전에, 환형기체계통은 공기를 제거하도록 완벽하게 펄리시커야 한다. 펄리는 칼란드리아에서부터 돌아온 기체의 이슬점과

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 3

1997. 12

공급되는 기체의 이슬점이 같다는 것이 이슬점 분석기를 통하여 확인될때까지 계속된다.

그리고 누설 밀봉이 완벽한가를 점검한다.

9.3.5.4.1 정상운전

기체공급 배관은 대기온도에서 운전된다. 운전기간동안 환형에서의 온도는 냉각재 중수온도와 감속재 체적평균 온도 사이에 있다.

상온 상태에서 압축기는 작동되고 압력은 2개의 압력조절밸브에 의하여 정상상태로 유지된다. 환형에서의 온도는 원자로가 가동함에 따라 그리고 냉각재계통과 감속재계통의 온도가 올라감에 따라 증가한다. 온도 증가에 따라, 기체압력은 방출밸브의 설정압력까지 증가한다. 이 압력은 만약에 누설이 없다면 운전기간 동안 유지된다. 이산화탄소의 보충은 만약 계통에서 압력이 강하되면 자동적으로 이루어진다.

정상운전 동안에 환형기체는 이슬점을 측정하기 위하여 계통을 통하여 계속적으로 재순환된다. 습기의 함유는 결국 고 이슬점 측정으로 귀결된다. 고 이슬점은 -10°C 에서 경보를 제공하며 매우 높은 고 이슬점은 0°C 에서 경보를 제공한다. 이슬점의 증가율이 높거나 매우 높은 설정치 (이슬점 증가율)를 초과할 때에는 경보가 울린다. 이슬점 경보신호와 이슬점 증가율 경보신호는 둘다 주 제어실의 CRT에서 제공된다.

-10°C 에서 고 이슬점 경보가 작동하고 높은 이슬점 증가율의 경보가 없을 때에 운전원은 퍼지시키거나 이슬점이 0°C 에 도달할 때까지 기다린다. 계통은 0°C 에서 매우 높은 이슬점의 경보가 제공될 때 분명히 퍼지하여야 한다.

이슬점의 증가율이 높다는 경보가 울리고 누설이 예상될 때 콜드 핑거 (cold finger)시료 채취기를 사용하여 냉각계통 혹은 칼란드리아/감속재 계통으로의 누설인가를 분별한다. 그리고 압축기는 정지하고 계통은 정체모드로

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 15

1999. 5. 10

운전된다. 즉 환형기체는 정지상태이다. 이것은 습기의 재분포를 방지하고 누설 채널에서의 응축을 증진시키는데 도움이 된다.

습분 함유량 측정을 위한 시료 채취는 원자로의 첫 기동후 그리고 냉각재계통의 고온상태인 기간동안에 수시로 이루어져야 한다.

9.3.5.4.2 배수와 퍼지

채널로부터 44개의 출구는 2개의 누설 지시계까지 병렬로 튜브로 연결되어 있다. 누설 지시계로부터 배수 배관은 중수누설 수집탱크까지 공용배관으로 연결되어있다. 이 배관에는 정상운전시 닫혀있는 밸브와 누수감지기가 설치되어 있다. 중수누설 수집탱크는 냉각재 중수 누설 수집탱크까지 연결된다.

유량 지시계로부터 이산화탄소 기체 배관은 계통을 퍼지하는데 사용된다. 이 계통은 이슬점이 증가할때 습분을 제거하기 위하여 처음 기동 하기전에 완전하게 퍼지되어야 한다.

퍼지하기 위하여, 계통은 배기되고 기체가 첨가된다. 출구습도는 퍼지할 동안 이슬점 분석기에 계속적으로 감시된다.

9.3.5.4.3 비정상운전

9.3.5.4.3.1 습분수위 증가

습분수위가 계속적으로 증가하는 경향을 나타냄은 압력관 혹은 칼란드리아관으로부터 계통내에 누설을 의미한다. 운전원은 높은 이슬점 증가를 경보나 누수 (beetle) 경보후 1시간 이내에 원자로를 영출력 고온상태로 정지하여야 한다. 영출력 고온상태후 30분 이내에 냉각재계통은 7 MPa(g)으로 압력을 낮추어야 한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 15

1999. 5. 10

냉각재 계통은 다음의 조건중에 하나를 만족할 때에 냉각과 압력을 낮추어야 한다.

가. 환형기체계통의 중수누설수집탱크의 수집율이 2 kg/hr를 초과할 때

15

나. 초기 누수 경보후 1.5 시간이 경과할 때

다. 환형기체의 한 가닥이 누설원으로 확인될 때

냉각과 감압은 누설압력관에 적용할 수 있는 압력/온도 경로를 따라 수행되어야 한다 (86-31100-220-009 참조).

일반적으로 칼란드리아 관으로부터의 누설지점을 찾기 위하여 재순환모드는 퍼지모드로 변환되며 퍼지 흐름은 교대로 11개 입구의 4개군 중 (bank) 각각을 통하여 흐른다. 재순환 모드는 퍼지모드로 바뀐다. 4개의 밸브 중 2개는 이분법에 근거하여 동시에 닫히고 습분 함유정도는 이슬점 분석기에서 관찰된다. 이것으로 누설위치 판정은 4개의 군에서 하나로 줄일 수 있다.

고 습분을 나타내는 군에서, 퍼지 흐름은 11개 입구의 각각 통하여 통과하며 다른 10개의 유량계 출구 니들밸브는 닫혀있다. 이분법에 의하여, 누설이 없었던 배관은 격리되며, 이 방법으로 직렬연결의 채널의 수에 따라 3개의 채널에서 11개의 채널까지 공급되는 하나의 배관으로 범위를 좁힐 수 있다.

만약 누설율이 작으면, 자주 혹은 연속적인 퍼지에 의해 습분 수위를 제어하는 것이 가능하다. 만약 누설율이 누수 감지기의 하나에서 경보한 것과 같이 중요하면, 누설 경로를 증명하기 위하여 운전정지 기간동안에 누설 지시계를 시험할 수 있다.

최종 누설원을 확인하기 위한 2가지 방법은 다음과 같다.

가. 만약 누설원이 칼란드리아관에 있으면, 누설 채널은 감속재 수위를 낮추는 것으로 확인될 수 있다. 상온, 운전정지 상태의 원자로에서 감속재 수위는 헬륨 (감속재상충기체)에 대한 이산화탄소 (환형기체)를, 이산화탄소에 대한 헬륨을 각 단계에서 관찰하면서 점진적으로 낮출 수 있다. 이러한 방법으로, 누설채널은 확인

3

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 3
1997. 12

될 수 있다.

나. 만약 누설이 압력관에 있으면, 누설채널은 음향방출기법 (acoustic emission technique) 을 사용하여 확인할 수 있다.

3

다. 음향방출기법에서, 채널은 원자로 운전정지 상태에서 음향 잡음을 잡기 위하여 조사된다. 이 기법은 원자로 가동중에는 많은 기저 잡음때문에 완벽하지 않다.

9.3.5.4.3.2 저 계통압력

계통의 배관으로부터 누설을 의미하는 저 계통압력은 제어실에 경보로 알려진다.

3

9.3.5.4.3.3 고 계통압력

압력관 혹은 칼란드리아관으로부터 누설을 의미하는 고 계통압력은 제어실에 경보로 알려진다.

9.3.5.4.3.4 저 유량

44개의 입구중 하나에서 저 유량 혹은 유량이 아예없는 것은 정상상태와 퍼지 기간동안에 입구 유량계에 표시된 바와같이 유로의 차단을 의미한다. 차단은 채널 환형사이에 튜브의 상호 연결부분에서 부식에 의한 생성물의 누적이 원인이 될 수가 있다. 만약 차단이 기계적인 수단 혹은 기체압력을 증가시키는 것으로 제거 될 수 없으면, 막힘 부분은 교체가 필요하다.

9.3.5.4.3.5 기체공급의 격리

칼란드리아관의 설계는 대기압 이상의 정상적인 환형기체 압력에 기본을 둔다. 환형까지 기체공급은 냉각재계통이 냉각되거나 부분적인 진공이 환형에서 일어날 때 동시에 격리되거나 혹은 차단되지 않는다. 만약 독물질 주

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

입 정지계통의 동시 주입이 일어난다면, 독물질 주입에 의한 감속재계통의 과도 상태 압력 증가와 함께 냉각에 의한 환형기체 압력의 강하는 칼란드리아관의 붕괴압력 여유를 침해하는 결과를 낳는다.

9.3.5.5 안전성 측면

압력관의 품질 저하가 일어나지 않는다는 것을 보증하기 위하여 발전소 정상 운전기간 동안에 환형기체계통은 환형에서 적절한 상태를 유지한다.

운전원이 안전한 상태에서 원자로를 운전하기 위하여 발전소 정상 운전 기간동안에 이슬점 분석기와 누수감지기를 이용하여 계통은 환형에서 냉각 재계통 냉각재의 누설을 감지한다.

70

15

9.3.5.5.1 환형기체계통의 비 신뢰도(Unavailability)

환형기체계통의 목표 비신뢰도는 아래의 방정식에서 AGS항을 해결하는 것으로 결정할 수 있다.

$$PTF = PTL * AGS$$

여기에서, PTF = 압력관 손상의 빈도 (발생수/년)

PTL = 압력관 누설의 빈도 (발생수/년)

AGS = 환형기체계통의 비 신뢰도 목표

압력관 손상의 빈도 (대응할 만한 충분한 시간이 없는 급격한 손상과는 상반되는 누설의 결과)는 압력관 누설의 빈도와 환형기체계통이 누설을 탐지하지 못한 확률의 곱과 같다는 것을 위의 식은 설명한다.

윗 방정식의 관계를 이용하여, 10^{-2} 인 비 신뢰도 목표는 환형기

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

체계통에 적용된다. 이것은 Ontario Hydro 발전소의 통계자료로 부터 얻어진 압력관 사고의 빈도와 압력관 누설의 빈도를 기초로 결정되었다. 이 자료는 칼란드리아관이 손상되지 않고 압력관 사고가 일어날 빈도가 연간 10^{-2} 회의 주기로 설정한다. 소규모 압력관 누설이 일어날 빈도가 145원자로 운전 년수에 약 28회에서 위 비신뢰도 목표는 비 신뢰도 목표 또한 약간의 여유를 가진다.

9.3.5.5.2 내진 검증과 원자로건물 확장부

계통 기기는 내진적으로 검증할 필요가 없으나 캐나다 건물규격(NBCC)의 최저 기준을 만족해야할 필요가 있다. 예외는 원자로 건물벽 관통부에서 2개의 원자로 건물 수동 격리 밸브 V1과 V82까지이고 이 예외에서 배관은 설계기준지진 범주 'A' 그리고 2개의 격리 밸브는 설계기준지진 범주 'B'에 내진 검증되어야 한다. 수동격리밸브는 정상 운전 기간동안에 고정적으로 열려있다. 원자로 격납건물 확장 부분은 또한 참고문헌 9.3-1과 9.3-7에 있는 요건을 만족해야 한다.

9.3.6 차폐냉각계통

칼란드리아 격실 (차폐 탱크) 과 종단차폐는 원자로에서 직접적인 방사능으로부터 핵연료 교환기를 보호한다. 그리고 결과로써 핵연료 열은 이 차폐 내에서 발생된다.

이외에도 냉각재계통으로부터 종단차폐로 열이 전달되는 데 이것에는 다음과 같은 것이 있다. 즉, 종단차폐 베어링을 통한 전도, 격자관과 종단 이음관의 단열용 환형틈을 통한 전도 및 복사, 그리고 자관에 의한 대류 및 복사이다. 또한 감속재의 열이 칼란드리아벽을 통해 칼란드리아 격실 안에 있는 물로 전도된다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.6.1 설계기준

9.3.6.1.1 기능 설계 기준

차폐냉각계통은 다음과 같이 설계한다.

- 가. 드라이아웃 방지와 수명을 보장하는 온도로 칼란드리아 격실 콘크리트를 유지하기 위하여 칼란드리아 격실에 있는 물에 축적된 열을 제거한다.
- 나. 적당한 온도로 종단차폐 지지링 (rings)을 유지하기 위하여 링으로부터 열을 제거한다.
- 다. 종단차폐의 스틸볼지역으로부터 열을 제거하고 허용범위내에서 칼란드리아 입구와 출구 튜브 시트 사이에서 온도차를 제어한다.
- 라. 카본스틸 격실라이너와 인접한 콘크리트 격리벽을 66°C (150°F) 이하의 온도에서 유지하기 위하여 52°C (125°F)의 평균 칼란드리아 격실온도가 설정된다. 이로 말미암아 콘크리트의 내구성이 보장되며 콘크리트 드라이아웃이 배제된다. 허용범위내에서 종단차폐 열용력을 허용치 이내로 유지하기 위하여 63°C (146°F)의 종단차폐 평균온도를 설정한다.
- 마. 고정된 오리피스로부터 일정한 유량을 유지한다; 시운전 기간동안 설계 유량을 맞추고 확인하기 위하여 엘보 탭과 유동 오리피스에 계측장치가 필요하다.
- 바. 계통정화요소 양단의 압력이 큰 차이를 보이면 경보를 발생시키고 펌프송출압력의 측정 및 표시, 펌프 흡입모관에서 계통압력의 국부적인 측정 및 표시, 원자로내의 질소 상충기체압력 및 종단차폐 입

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

구에서 출구에 이르는 차압을 감시한다.

- 사. 칼란드리아 격실에서 수위를 지시하고 제어실에서 혹은 국부적으로 표시되는 수위 측정 기능을 갖춘 연장 (헤드) 탱크를 제공한다.

9.3.6.2 안전설계지침서

- 가. 86-03650-SDG-001: "Safety Related Systems", Rev.2

(참고문헌 9.3-2)

- 나. 86-03650-SDG-002: "Seismic Qualification", Rev.2 (참고문헌

9.3-3)

- 다. 86-03650-SDG-006: "Containment Extensions", Rev.2

(참고문헌 9.3-7)

9.3.6.3 계통규격 등급분류

원자로건물 확장부와 수지이송계통의 연결부를 제외하고, 차폐냉각계통은 CAN3-N285.0-M81 (참고문헌 9.3-9)에 따라 등급 6으로 구분된다. 원자로건물확장부 즉 원자로 건물벽 외부로부터 확장부분 및 격리밸브까지는 등급 2로 구분된다. 수지이송계통의 연결부는 등급 3으로 분류된다. 등급 3부위와 등급 6부위 사이의 경계는 등급 3으로 분류된 격리밸브에 의하여 정의된다.

모든 탱크, 열교환기, 그리고 펌프는 ASME Section VIII, Division 1의 요구조건에 따라 설계되고, 제작되며 시험검사를 한다. 차폐냉각계통을 위한 용수 배관과 공정수 (process water) 배관은 ANSI-B31.1의 요건에 따라 설계되고, 제작되며, 설치되고, 시험검사를 한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 2
1996. 10

9.3.6.4 내진 검증

차폐냉각계통의 내진 검증은 캐나다 건물규격 (NBCC) 의 최저기준을 만족한다. 이와 더불어, 지진기간 동안에 원자로건물 바깥 측 계통의 파열에 의한 원자로경계 상실을 예방하기 위하여 원자로건물 격리 밸브를 포함한 원자로 건물 확장 부분은 각각 설계기준지진 범주 A와 범주 B (원자로건물 격리밸브)에 따라 검증된다.

9.3.6.5 계통 설명

탈염수를 통과시켜 차폐집합체로부터 열을 제거한 다음, 이 열을 열교환기를 이용하여 저압의 기기 냉각수계통에 전달한다.

차폐냉각계통의 개략적인 흐름도는 그림 9.3-16에 나타내었다. 또한 본 계통에 대해서 계통 흐름도, 86-34110-1-1-FS-E (그림 9.3-26)를 참조하도록 한다.

열교환기로부터 방출된 공정수를 49°C (120°F) 로 일정하게 유지하기 위하여 열교환기를 통해 재순환되는 냉각수 유량을 조절하여 칼란드리아 격실과 종단차폐링에로의 입구온도를 조절한다. 열교환기로부터 49°C 120(°F) 로 조절된 물과 약 62°C (143°F)로 계통을 순환한 물을 혼합하는 온도조절밸브에 의하여 종단차폐 입구온도는 60°C (140°F)로 유지된다.

계통정화를 위하여 열교환기출구와 펌프입구 모관사이에 하나의 루프가 추가된다. 예상되는 방사능 축적 때문에 차폐된 이온교환기가 설치된다. 봉입(enclosure) 위에 있는 차폐체는 수지탑으로 접근할 필요가 있을 경우에 제거할 수 있다. 수지와 수지탑에 연결된 탈염수 배관상의 밸브는 차폐된 봉입물 밖에 위치한다. | 2

차폐냉각계통을 위한 제어계통은 2개의 궤환(feedback)온도 제어

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 2

1996. 10

루프로 구성된다. 한 루프는 열교환기 냉각수 유량을 변화시켜 차폐탱크까지의 입구온도를 조절한다. 또 하나의 루프는 열교환기를 우회하는 유동과 혼합하는 열교환기 출구의 유량을 조절하여 종단차폐로의 입구온도를 조절한다.

다른 계측기기들은 종단차폐의 제어실 표시와 칼란드리아격실 입구와 출구온도, 이온교환기 압력강하, 펌프 출구압력과 펌프상태를 측정한다.

이온교환기 고 압력강하, 종단차폐벽과 차폐탱크에서 고 혹은 저 입구 및 출구온도, 펌프의 저 송출압력 및 원자로격실과 계통수두탱크의 고·저 수위에 대한 경보가 설치되어 있다.

9.3.6.6 기기 설명

계통 유량의 100%인 311.5 L/s (4112 Igpm) 를 각각 제공할 수 있는 2개의 전기 구동 수평 원심펌프가 설치된다. 펌프 출구압력은 538 kPa(g) (78 psig)이고 펌프 입구 압력은 190 kPa(g) (28 psig) 이다.

전체 설계 냉각요구량의 50%를 냉각할 수 있는 능력을 가진 2개의 열교환기가 설치된다. 각 열교환기는 차폐냉각계통으로부터 기기냉각계통으로 3.69 MW (th) (12.6×10^6 Btu/h) 의 열을 전달할 수 있다. 열교환기의 관외측을 통하여 재순환되는 냉각수량은 열교환기의 관내측을 지나는 공정수의 온도를 유지하는 온도조절기에 의해서 조절된다. 배수와 배기 밸브는 각 열교환기의 관외측에 설치된다. 열방출밸브는 각 열교환기의 관내측에 설치된다.

3.71 m³ (131 ft³)의 용량을 가진 팽창(헤드)탱크는 차폐냉각열교환기 상부의 계단공간내 (stairwell) 보조건물 지붕높이 (service building roof level) 에 위치한다. 탱크 위치는 탱크내에서 각종 운전조건에 적합한 수위를 유지하기 위하여 정해진다. 탱크에는 여러가지 피팅 (fittings)이 연결되어 있다. 즉, 방사성 배수 계통으로의 과유량 배수피팅, 방사성배수 계통으로의 배수, 그리

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 3

1997. 12

고 탈염수 계통으로부터의 냉각수 보충을 위한 피팅이 있다.

방사화된 중성자 일수도 있는 순환 부식 생성물을 제거하고, 보충수 공급으로부터 유입되는 바람직하지 못한 불순물을 제거하고, 질소상충기체로부터 서서히 용존하여 형성되는 질산염을 제거하여 적당한 pH를 유지하기 위하여 이온교환정화계통이 설치된다. 이온교환수지의 성능을 평가하기 위하여 이온교환 방법과 주 회로 (펌프입구) 로부터 시료를 위한 설비가 설치된다. 화학물질, 수산화리튬 혹은 하이드라진 (특히 시운전기간동안) 의 일괄 첨가를 위한 설비가 설치된다.

물속에서 ^{16}N 의 방사붕괴를 허용하기 위하여 최소한 40초의 지연을 제공하는, 종단차폐로부터 공정수 복귀 루프 (return loop) 에, 2개의 지연탱크가 설치된다.

반응도 제어기구 설치대의 바닥과 칼란드리아 격실에 있는 공정계통수 사이에서, 그리고 격실 맨홀 덮개의 바닥과 공정수 사이에서 약 0.3 m (1 ft)의 깊이를 가진 질소상충기체 덮개가 필요하다. 이 덮개는 과도상태 압축기간 동안에 격실에서의 완충공간, 그리고 칼란드리아 격실 공정계통수의 방사분해 부산물 (radiolysis products) 이 안전하게 확산하고 제거될 수 있는 안정된 환경을 제공한다. 또한 격실 맨홀 스틸 라이너의 과도한 부식을 방지하기 위하여 공정계통수위 상부공간에서 낮은 산소농도를 유지한다.

칼란드리아 누출 사례는 운전중인 Point Lepreau 및 월성 1 호기 발전소에서 각각 목격되었다. 조사결과 칼란드리아 격실 누출은 경제적인 문제에 국한되는 것으로 결론지어졌고 이러한 누출사례는 지난 수년에 걸쳐 안정화되었다. 이러한 누출이 ASME 규정에 따라 설계하여 압력용기로 등록한 용기나 기기가 압력경계의 고장을 일으켰다는 것을 나타내는 것은 아니다.

위와 같은 상황의 재발방지를 위해 원자로격실로 부터의 누출을

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

최소화시키기 위한 적절한 설계변경이 이루어졌다. 이들 설계변경 내용은 다음과 같다.

칼란드리아 격실내의 배관 및 배관 지지대를 설계하는데 보수적인 수격하중을 고려하였다. 즉, 격실내의 배관 및 격실로 진입하는 배관의 스케줄(schedule)을 상향조정하고 잠재적인 수격하중으로 부터 라이너에 손상이 가지 않도록 배관 지지대를 변경하였다. 또한 칼란드리아 격실 콘크리트벽에 묻혀 있는 매립파에 지지대 및 라이너의 부착설계 방법을 변경하였다. 월성 1호기 발전소에서는 지지대 및 라이너를 콘크리트에 묻혀 있는 판에 중첩하여 용접하였다. 이러한 중첩 용접은 균열이 생기기 쉽기 때문에 월성 2, 3 및 4 호기 발전소에서는 지지대를 용접 위치와 라이너 용접위치 사이의 간격을 최소 1인치로 늘리는 설계변경을 하였다. 이리하여 중첩 용접에 의한 균열가능성을 배제하였다.

잠재 수격하중에 견디도록 배관과 배관 지지대를 설계한 것 외에도 원자로 정지중에 계통내에 유입된 공기를 계통 재시동전에 배기시키도록 운전원 조치사항에 명시하였다. 계통으로부터 공기를 배출시킴으로써 잠재 수격현상의 발생가능성이 제거된다. 세부사항에 관해서는 차폐냉각계통 설계지침서(참고문헌 9.3-19)를 참조한다. 라이너 설치의 잘못으로 인한 누출가능성 때문에 라이너 설치요건(특히 용접법)을 엄격한 품질보증관행에 근거하여 명시하였다.

9.3.6.7 계통운전

9.3.6.7.1 정상운전

냉각재는 공용복귀배관을 경유하여 원자로격실과 종단차폐로부터 펌프흡입모관으로 복귀된다. 배출량의 일부는 열교환기를 통과하고 나머지는 열교환기를 우회한다. 각 열교환기로 들어가는 냉각재의 유입구에 있는 조절밸브에

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

의하여 열교환기를 빠져나가는 냉각재의 온도를 조절한다.

열교환기 출구로 부터 냉각재의 일부는 이온교환 수지탑을 경유하여 펌프 흡입구로 되돌아온다. 나머지량은 칼란드리아 격실로 유입된다. 열교환기 출구의 나머지 냉각재는 종단차폐령에 유입되기전에 열교환기를 우회하는 냉각재와 혼합된다. 열교환기의 출구배관에 놓인 온도 조절밸브에 의하여 혼합된 물의 온도를 조절한다.

냉각계통은 원자로 정지후에 냉각재계통이 정지되어 냉각될 때까지 계속해서 작동되어야 한다. 원자로 정지 상태에서 차폐냉각계통의 열부하는 대략 2.8 MW (th) (9.6×10^6 Btu/hr) 이다. 이 열부하는 핵연료채널에서 전달되는 2.4 MW (th) (8.2×10^6 Btu/hr) 의 열과 핵분열 생성물, 붕괴감마선에 의한 열 0.4 MW (th) (1.4×10^6 Btu/hr) 로 이루어진다. 이 열부하는 원자로 정지후에 중성자의 힘이 순식간에 영으로 떨어진다고 가정한 것이며 보수적으로 핵분열 생성물의 붕괴는 고려하지 않는다.

각각의 열교환기는 3.69 MW (th) (12.6×10^6 Btu/hr) 의 용량을 갖고있기 때문에 본 계통은 원자로 정지에 따른 전체 열부하를 제거하기에 적합한 다중성을 갖고 있다.

정상운전중에는 한대의 펌프만이 운전되며 다른 한대는 대기상태로 있다가 운전중인 펌프가 멈추거나 펌프출구 모관에서의 압력이 낮아질 경우 자동적으로 기동한다.

9.3.6.7.2 비정상 운전

9.3.6.7.2.1 4급 전원 고장

4급 전원에 고장이 발생하면, 3급 전원이 연결되어 작동 위치에 놓

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 3
1997. 12

인 펌프가 재시동될 때까지 약 2, 3분 동안 펌프 전동기에 전력공급이 중단된다. 4급 전원이 고장을 일으킨 후 3급 전원이 연결될 때까지는 대기 펌프가 저압논리 (low pressure logic) 에 의한 신호를 받는다 하더라도 전원이 단절되었기 때문에 기동할 수 없다. 이러한 논리상황은 4급 전원이 고장을 일으켜 3급 전원이 이용 가능할 때까지 존속된다.

3급 전원만이 이용될 수 있는 동안, 기기냉각수량은 정상 유량의 약 50%로 줄어든다. 이 유량은 원자로가 정지되어 있는 동안 계통의 정상온도를 유지하는데 적합하다.

9.3.6.7.2.2 차폐냉각수의 상실

차폐냉각수의 상실은 배관의 파단이나 펌프기능의 상실로 말미암아 발생할 수 있다. 계통설계 및 배관의 배치는 사고나 보조건물에 대한 미사일 충격 (설계기준지진은 제외)시에 칼란드리아 격실 및 종단 차폐로부터 계통수의 배수를 막도록 설계된다. 보조건물내에서 공정수 배관의 파단은 모든 전원이 상실된 채 동시에 일어날 수 있다. 또한 대기펌프를 기동시킬 수 없는 상황에서 차폐냉각 펌프의 기능이 상실되면 냉각수의 유량은 완전히 상실된다.

이러한 과도현상의 영향은 종단차폐체내에서 가장 심각하며 칼란드리아집합체 기기에 높은 응력을 초래한다. 냉각수의 유량이 상실된 채로 계속 운전하면 전면비등 (bulk boiling) 에 이르러 구조물에 유해한 거동을 초래한다. 따라서, 종단차폐체내에서 전면비등을 억제하고 열응력을 허용치 이내로 제한하기 위하여 원자로를 정지시켜 냉각재계통을 약 54°C (130°F) 로 냉각시켜야 한다. 이리하여 냉각수 상실후 약 20분 뒤에 차폐냉각수의 유량이 복원되지 않으면 원자로를 정지시켜야 하며 최대 2.8°C/min (5°F/min) 의 비율로 냉각재계통을 냉각시켜야 한다. 종단차폐체내의 물이 비등할 경우에 증기를 증기발생기실로 방출시키

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

기 위하여 0.069 MPa(g) (10psig) 의 설정압력을 가진 파열판이 장착된 방출배기 배관계통 (relief vent piping system) 이 설치된다.

9.3.6.7.2.3 열교환기를 통과하는 유량 감축

전체유량의 50%를 감당할 수 있는 2대의 열교환기가 설치되기 때문에 긴급한 보수나 운전을 위해 한대의 열교환기를 중단시키는 것은 50%의 냉각용량이 감소함을 뜻한다. 이로 말미암아 차폐냉각수의 온도가 천천히 상승하게 된다. 한대의 열교환기에 의한 운전시간은 기기 냉각수의 온도 및 원자로 출력준위에 의존한다. 운전원은 연속적으로 온도준위를 감시하여야 한다. 이러한 조건에서 지속적인 운전은 권장되지 않으며 운전원은 가능한한 신속하게 2대의 열교환기에 의한 정상운전으로 복원시켜야 한다. 중단차폐의 수온 또는 칼란드리아격실 수온이 최대허용온도인 65℃에 도달하면 운전원은 원자로를 정지시켜야 하며 필요하다면 또한 냉각재계통을 냉각시켜야 한다.

9.3.7 수지이송 계통

9.3.7.1 설계기준

9.3.7.1.1 기능 요건

가. 원격조종으로 방사능을 포함 할 수 있는 운전정화계통의 (즉, 2,3,4호기 냉각재중수화/탈중수화계통, 감속재중수화/탈중수화계통, 차폐냉각계통, 사용후핵연료 저장조 정화계통, 액체 영역제어계통, 액체폐기물 관리계통과 3호기에 위치한 중수 세정 계통) 폐수지를 폐수지저장탱크까지 이송한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

나. 새로 교체된 수지를 정화계통 (즉, 냉각재 중수화/탈중수화 계통, 감속재 중수화/탈중수화계통, 차폐냉각계통, 사용후 핵연료저장조정화계통, 액체영역제어계통과 액체폐기물 관리계통) 까지 이송한다.

9.3.7.1.2 성능 요건

새수지 혹은 폐수지를 이송할 때 설계 유량 1.9 L/s (25 Igpm) 에서 탈염수의 유동을 조절한다.

9.3.7.1.3 안전 요건

아래의 안전설계기준서는 이 계통에서 적용할 수 있다.

가. 86-03650-SDG-002 : "Seismic Qualification" (참고문헌 9.3-3), 원자로건물확장부 안에 적용,

나. 86-03650-SDG-006 : "Containment Extensions" (참고문헌 9.3-7),

수지이송계통은 원자로건물확장부를 제외하고 안전성과 관련된 기능이 없다.

이 계통은 내진적으로 검증할 필요가 없다. 설계기준지진으로 내진적인 검증이 되어야 하고, 참고문헌 9.3-1과 9.3-7의 요건을 만족해야 하는 원자로건물계통의 확장부는 예외이다.

폐수지 이송시 수분간 머물러야 하는 지역에서 선량률을 제한하기 위하여 폐수지 이송배관에는 차폐가 제공된다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.7.1.4 적용 규격, 표준 및 등급 분류

원자로 건물내의 원자로건물확장부를 제외하고 계통의 새 수지부분은 참고문헌 9.3-9에 따라 등급 6 (비원자력 등급)으로 분류된다. 원자로건물내의 원자로 건물 확장부를 제외하고 계통의 폐수지 부분은 참고문헌 9.3-9에 따라 등급 3으로 분류된다. 원자로건물계통의 확장부는 아래의 항에 따라 분류된다.

- 가. 1 1/2 R-5 : 원자로건물 외벽으로부터 원자로 건물 격리밸브 7314-PV37 까지의 원자로건물 계통 확장부는 등급 2로 분류된다.
- 나. 1 1/2 R-16 : 원자로건물 내벽으로부터 원자로건물 격리밸브 V40 까지의 원자로건물 확장부는 등급 2로 분류된다.
- 다. 1 1/2 R-9 : 원자로건물 외벽으로부터 원자로 건물 격리밸브 7314-PV24 까지의 원자로건물 확장부는 등급 2로 분류된다.

9.3.7.2 계통 설명

새 수지이송계통은 깔대기가 달린 수지이송탱크까지 탈염수를 공급하기 위한 이송탱크 및 관련 배관과 어느 하나의 수신 계통 (9.3.8.1.1절 참조)까지 수지 이송탱크 내용물을 슬러리로 만들기 위한 관련 배관으로 구성된다. 가요성 호스로 수지 이송탱크와 5개의 이송관 중의 하나와 연결한다. 이 계통흐름도는 그림 9.3-17과 같다.

수지는 계통내에서 탈염수의 유동에 의해서된다. 새 수지의 오염 혹은 열화를 방지하고 폐수지로부터 방사능 방출을 줄이기 위하여 탈염수는 수지를 슬러리로 만드는데 사용된다. 탈염수는 액체폐기물 관리계통과 차폐냉각 계통, 사용후 핵연료 저장조 정화계통, 중수정화계통, 액체영역 제어공급계통에 있는 이온교환 수지탑에서 그리고 감속재 계통 탈중수화 탱크에서, 냉각재계통

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

탈중수화 탱크에서 폐수지를 방출하는데 이용된다. 탱크로부터 방출된 수지 슬러리는 폐수지 저장탱크까지 배관으로 이송된다. 폐수지 저장탱크로 모인 물중 탱크용량을 초과한 물은 방사성 액체폐기물 처리계통까지 이송된다.

이 계통은 가장 높은 등급으로 연결되어 있는 액체영역 제어계통의 93℃(200°F)에서 1.0 MPa(g)와 같은 압력을 견딜 수 있도록 설계되어 있다. 수지 이송계통내에는 열 혹은 압력원은 없다. 정상상태 운전압력은 탈염수 분배계통의 압력이다. 연결된 계통에서 압력이 조절되기 때문에, 이 계통에는 어떠한 과압력 보호장치가 없다. 수지이송탱크가 격리될 수 있기 때문에, 1.0 MPa (g) (150 psig)에 설정된 압축 방출밸브에 의하여 과압력화로부터 이 수지이동 탱크는 보호된다.

모든 계통 기기와 배관은 오스테나이트 스테인레스 강으로 만들어진다.

9.3.7.3 기기 설명

9.3.7.3.1 수지 장입 깔대기

이 스테인레스강 수지 깔대기는 수지이송탱크위 층과 층 사이에서 배열된다. 플랫폼 (platform)은 깔대기에 넣을 수지를 운반하는데 이용하기 위하여 깔대기 바로 아래에 설치된다. 깔대기는 수지 3 ft³ bag (150 lb 혹은 70 kg) 의 중량을 지지하기에 충분할 만큼 강하다. 격자 (grating) 는 1/2인치 큐브 (inch cube) 크기 이상의 이물질이 깔대기 안으로 들어가는 것을 방지하기 위하여 깔대기에 설치된다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.7.3.2 수지이송탱크

이 스테인레스 강 압력 용기는 탈염수 계통의 전압력, 즉 0.7 MPa (g) (100 psig) 압력에 견딜 수 있도록 설계되어 있다. 이 용기는 850 L (30 ft³) 의 용량을 갖는다. 탱크는 접시 모양의 머리모양 (dished head) 과 원추형의 바닥 (conical bottom) 을 갖고있다.

9.3.7.4 계통 운전

수지이송계통은 계획된 수지이송 운전 동안에만 공정 계통과 연결되어 있다.

9.3.7.4.1 새 수지 이송

이 계통은 일반적으로 열려 있는 원자로건물 격리밸브 7314-PV37 과 7314-PV70을 제외하고 모든 밸브와 함께 닫혀져 있는 상태로 있다. 호스 3451-Y2는 연결되지 않은 상태로 있다.

9.3.7.4.1.1 수지 장입

앞으로 할 공정에 따라, 200 L 에서 700 L (7 ft³ 에서 25 ft³) 까지 의 수지가 수지 깔대기에 부어지고 탈염수를 이용하여 이송 탱크로 씻겨 내려간다. 만약 수위가 깔대기 내까지 상승하면, 탱크내의 탈염수를 여과기 3451-STR1 과 밸브 3451-V14를 통하여 바닥 배수구로 배수한다.

9.3.7.4.1.2 수지 이송

탈염수가 배기 배관으로 나올때까지 이송 탱크를 탈염수로 충전함으로써 가압된다. 이때 호스는 예정된 공정 계통으로 연결된다. 운전원은 공

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

정 계통이 수지를 받을 준비가 되어있고 슬러리수 (slurry water) 를 처분 할 수 있도록 처리배관이 깨끗한 지를 투시경을 통해 확인해야 한다. 이때 실제적인 이송이 이루어진다.

1.9 L/s (25 Igpm) 의 유량은 배관에서 수지의 침전을 방지 위한 최소한의 양이다.

9.3.7.4.2 폐수지 이송

최소한의 유량 1.9 L/s (25 Igpm)은 여전히 적용된다. 수지 이송후 배관의 세척이 필요하다. 일반적으로 폐수지 저장탱크는 수지를 받기 위하여 열려 있어야 한다. 수지의 이송은 주어진 시간에 단지 한 계통만이 가능하기 때문에 제어실을 통해 조정되어야 한다.

9.3.7.5 안전성 측면

수지이송계통은 원자로 건물 격리외에 다른 안전성과 관련된 기능을 수행하지않는다.

원자로건물계통 확장부는 다음과 같이 내진 검증된다.

- 가. 1 1/2 R-5 : 원자로 건물 외벽으로부터 원자로 건물 격리 밸브 7314-PV37 까지의 원자로 건물계통 확장부중 배관은 설계기준지진 범주 'A'로 내진 검증되며 밸브 7314-PV37과 7314-PV70은 설계 기준지진 범주 'B'로 내진검증된다.
- 나. 1 1/2 R-16 : 원자로 건물 외벽으로부터 원자로 건물 격리 밸브 V40 까지의 원자로 건물계통 확장부중 배관은 설계기준지진 범주 'A'로 내진 검증되며 밸브 V40은 설계기준 지진 범주 'B'로 내진검

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

증된다.

- 다. 1 1/2 R-9 : 원자로건물 외벽으로부터 원자로 건물 격리 밸브 7314-PV24 까지의 원자로 건물 확장부중 배관은 설계기준지진 범주 'A'로 내진검증되며 밸브 7314-PV24와 7314-PV69는 설계기준지진 범주로 'B' 로 내진검증된다.

9.3.8 중수화와 탈중수화 계통

9.3.8.1 설계기준

9.3.8.1.1 기능 요건

중수화와 탈중수화 계통은 아래의 기능 요건을 만족하도록 설계된다:

- 가. 수지이송계통으로부터 새 수지를 받아 중수화 탱크에 넣고 이 수지를 중수화 한다.
- 나. 관련된 정화계통 혹은 핵연료 교환기의 이온교환수지탑로부터 중수화된 폐수지를 받아 탈중수화 탱크에 넣고 이 수지를 탈중수화 한다.
- 다. 중수화 탱크에서 관련된 정화계통 혹은 핵연료교환기의 이온교환수지탑까지 중수화된 새 수지를 이송한다.
- 라. 탈중수화탱크에서 폐수지저장탱크로 탈중수화된 폐수지를 방출한다.
- 마. 보다 현실적인 짧은 운전시간과 중수의 저등급화를 최소한으로 하

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

면서 중수화와 탈중수화를 수행한다.

바. 아래의 사항을 예방하는 설비를 갖춘다.

- (1). 중수에 경수의 우연한 첨가
- (2). 방사성 배수 및 방사성폐기물 계통에 중수의 우발 방출
- (3). 폐수지로부터 방출되는 방사선과 오염으로부터의 개인 피폭
- (4). 삼중수소수에 대한 개인 피폭

9.3.8.1.2 안전 요건

아래의 안전설계기준서는 중수화와 탈중수화 계통에 적용할 수 있다:

- 가. 86-03650-SDG-002 : "Saesmic Qualification", Rev.2 (참고문헌 9.3-3), 원자로건물 확장부에만 적용,
- 나. 86-03650-SDG-006 : "Containment Extensions", 2차 개정분 (참고문헌 9.3-7),

감속재계통과 냉각재계통의 중수화/탈중수화 계통은 냉각재 중수화/탈중수화 계통의 원자로 건물 격리를 제외하고 안전성과 관련된 기능을 수행하지 않는다.

9.3.8.5절에 상세히 기술된 부분을 제외하면 감속재 계통 혹은 냉각재계통의 중수화/탈중수화 계통은 내진 검증이 필요 없다.

모든 원자로건물 확장부는 참고문헌 9.3-1, 9.3-3과 9.3-7의 요건을 만족해야 한다.

탈중수화 탱크는 얇은 콘크리트로 차폐되어 있다. 차폐의 한쪽면은 필요시 용기에 접근할 수 있도록 제거될 수 있어야 한다.

이온교환수지탑에서 탈중수화 탱크까지와 탈중수화 탱크에서 수

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

지 처리 저장탱크까지의 수지 슬러리 배관은 콘크리트로 차폐되어 있다.

9.3.8.1.3 적용 규격, 표준 및 등급 분류

중수화/탈중수화 계통은 아래의 내용을 제외하고는 참고문헌 9.3-9에 따라 등급 3으로 구분된다.

- 가. 냉각재정화계통의 이온교환수지탑에서 첫번째 격리밸브까지의 계통 배관은 등급 1로 분류된다.
- 나. 원자로 건물 확장부는 등급 2로 분류된다.
- 다. 제어 공기계통, 탈염수 계통과 연결된 제어 공기와 탈염수 배관은 등급 6으로 분류된다.
- 라. 가요성 호스와 한젠 커플링 (Hansen Coupling)은 비원자력 등급으로 분류된다. (등급 6)

9.3.8.2 계통 설명

중수화와 탈중수화 설비는 그림 9.3-18에 있는 바와 같이 감속재계통과 핵연료 교환기 중수계통에 공통적으로 사용된다. 모든 기기는 원자로 보조건물 내에 있다.

냉각재정화계통은 용량이 큰 이온교환수지탑을 사용한다. 그 결과로써 분리된 설비가 필요하다. 냉각재중수화/탈중수화 계통은 그림 9.3-19에 나타나 있다. 관련된 기기의 대부분은 원자로건물내에 있다.

이온교환수지는 감속재 정화계통에서 부식생성물과 이온불순물, 그리고 감속재의 반응도 조절 목적으로 주입된 독물질 (붕소과 가돌리늄)을 제거하기 위하여 사용된다. 반면 냉각재 정화계통과, 핵연료교환기 정화계통에서는

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

부식생성물, 이온불순물, 그리고 핵분열 생성물을 제거하는 목적으로 사용된다.

공급자로부터 받을 때 수지는 무게로 약 75%까지 경수가 포함되어 있다. 만약 그 상태의 수지가 받은 그대로 사용된다면, 이 경수는 중수의 질을 저하시키게 된다. 이러한 질 저하를 피하기 위하여, 경수는 중수화 과정에서 중수로 대체된다. 중수화는 수지 층(resin bed)을 통하여 중수의 저속 상방향 유동으로 수지내의 경수가 중수로 대체되는 것이다. 중수화 과정동안 어느정도 저등급 중수가 발생한다. 이 중수는 수집되고 계속적인 사용을 위하여 중수를 승급한다.

이온교환수지탑에 있는 수지가 수명이 다 되면 수지는 교환되어야 하고 폐수지저장 탱크까지 슬러리로 운반되어야 한다. 이 과정이 끝나기 전에, 이온 교환기 수지안에 포함된 모든 중수는 회수된다. 수지층(resin bed)을 통하여 경수의 저속 하방향유동에 의해, 탈중수화 공정에서 중수는 경수로 대체된다. 탈중수화 공정동안, 어느정도의 저등급 중수가 발생한다. 이 중수는 수집되고 계속적인 사용을 위해 중수를 승급한다.

각 중수화/탈중수화 계통은 중수화 탱크, 탈중수화 탱크, 수지 이송 펌프, 중수헤드 탱크, 경수헤드탱크, 원자로급 중수(3호기), 시료채취구 뿐만 아니라 밸브, 여과기, 제기, 배관, 가요성호스 및 피팅(fittings) 등으로 계통을 구성하고 있다.

중수화 공정과 탈중수화 공정은 각각 독립적으로 동시에 수행될 수 있다. 새 수지의 중수화 공정에서 첫번째 단계에 사용될 탈중수화 탱크에서 나온 중수의 초기유량이 배관에서 이루어진다.

중수화 운전과 탈중수화 운전 말기에, 중수화 탱크는 중수로 가득차고 탈중수화 탱크는 경수로 가득차게 된다. 중수화 탱크의 중수는 계기용공기를 이용하여 탈중수화 탱크로 이송된다. 중수가 탈중수화 탱크로 이송되기

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

전에, 탈중수화 탱크안에 있는 경수는 계기용 공기를 이용하여 수지저장탱크로 이송된다. 중수이송 후 중수화 탱크는 이때 건조된다.

가요성호스 연결은 중수와 경수를 혼합가능성이 있는 모든 곳에서 설치된다. 이것은 부주의로 인한 중수의 저 등급화를 방지하기 위하여 이루어진다.

일반적으로 이 계통에서 사용되는 밸브는 수동식이다. 다만 중수 및 경수헤드탱크로 각각 들어가는 입구밸브들과 중수화 탱크 및 탈중수화 탱크에서 나가는 관에 위치한 제어 밸브및 원자로건물 격리 밸브는 자동식이다. 보통 중수와 경수의 작업에는 다이어프램밸브와 연한 시트의 초소형 (Soft Seat Miniature) 글로브밸브가 사용되며, 수지 이동이 있는 곳에서는 볼밸브가 사용된다.

9.3.8.2.1 과압력 방지

이온교환수지탑로부터 탈중수화 탱크까지 냉각재 폐수지의 이송기간 동안에 탈중수화 탱크는 감압된 이온 교환기에 연결되어 있다. 또한 새 수지의 이송기간 동안에, 중수화 탱크는 감압된 이온교환수지탑로 연결된다. 냉각재 이온교환수지탑는 일반적으로 10.3 MPa(1500 psig)의 고압서 운전되므로 과압력 방지가 필요하고 2개의 압력 방출 밸브가 설치되어있다.

새 수지의 중수화 공정 동안에, 중수화 탱크는 중수헤드탱크로 직접 연결된다. 중수헤드탱크상에 있는 배기관에 의하여 중수화 탱크는 과압력으로부터 방지된다. 탈중수화 공정 동안에, 과압력으로부터 방지는 중수화 공정때와 비슷하다. 중수화 탱크와 탈중수화 탱크가 격리되었을 때, 파열판 (냉각재 중수화/탈중수화 계통에만 적용), 방출 밸브 (감속재 중수화/탈중수화 계통에만 적용) 그리고 투시경은 과압력에 대하여 중수화 탱크와 탈중수화 탱크를 보호하기 위하여 중수배관상에 설치한다. 파열판의 파열 압력 0.98 MPa(g)

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

(142 psig)에 설정되었고 방출밸브의 설정압력은 또한 0.98 MPa(g) (142 psig)이다.

정화계통의 이온교환수지탑의 과압 방지는 정화계통이 냉각재계통 또는 주 감속재 계통으로부터 격리되었을 때 방출밸브(냉각재 중수화/탈중수소화 계통에만 적용), 파열판(감속재 중수화/탈중수화 계통에만 적용)에 의하여 수행된다. 과다한 저등급의 중수는 중수세정계통으로 배출된다.

(삭 제)

102

9.3.8.2.2 보수 고려 사항

밸브, 펌프와 계측용 기기는 필요한 차폐와 더불어 운전원쪽에 일반적으로 위치하기 때문에 중수화 /탈중수화 운전 사이에 보수를 위하여 즉시 접근할 수 있다.

탈중수화 탱크는 차폐벽 뒤에 위치한다. 탈중수화 탱크는 폐수지를 포함하고 있을때를 제외하고는 보수/검사를 위하여 접근할 수 있다. 탱크내에 있는 쉐기형 스크린 (wedge-wire screens)은 청소를 위하여 제거될 수 있다. 플랜지 연결은 이와 같은 목적으로 사용된다. 여과기 스크린은 주기적으로 청소하여야 한다.

계통의 모든 접속 및 분리부 (make-and-break connections)는 방에서 삼중 수소의 확산을 제한하기 위하여 배기 후드 아래에 위치한다. 배기 후드로의 공기 순환으로써, 공기마스크 (mask)는 중수화 운전/탈중수화 운전동안에 필요하지 않다.

사용 몇년 후 밀봉을 만족하게 유지하기 위하여, 실제적인 CANDU 설치에서와 개발시험단계에서 증명된 자체밀봉장치(self-sealing device) 를 접속 및 분리부에 사용한다.

중수화 운전과 탈중수화 운전에 관련된 노동 단가를 줄이기 위

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

하여, 중수화탱크와 탈중수화 탱크는 각각의 이온교환수지탑과 근접하게 위치하고 중수 농도 선별 밸브와 함께 시료 채취기기는 중수관리 지역과 근접한 곳에 위치한다. 계통은 반자동제어이고 불필요한 드럼조작 (drum handling) 을 하지 않는다. | 54
가요성 호스와 신속 분리가 가능한 커플링 (quick disconnect couplings) 의 사용은 중수누설과 삼중수소의 위험을 최소화한다.

9.3.8.2.3 제어와 계측

중수화/탈중수화 계통을 위하여 아래의 계측 장비가 사용된다.

가. 중수화

(1) 현장 및 주제어실에 중수탱크 수위가 지시되고 탱크 고수위시 경보가 작동된다. 기설정 수위에서 자동으로 밸브가 닫히도록 연동되어 있다. 탱크수위는 중수화탱크에서 나가는 저등급의 중수의 농도와 관계가 있다.

(2) 저등급 중수의 비중의 현장 지시

(3) 3호기에 위치한 중수세정계통 탱크로 흐르는 저등급 중수 유 | 102
량의 현장 지시

나. 탈중수화

(1) 현장 및 주제어실에 경수탱크 수위가 지시되고, 탱크 고수위시 경보가 작동된다. 기 설정 탱크수위에서 자동으로 밸브가 닫히도록 계측기에 연동되어 있다. 탱크수위는 탈중수화탱크에서 나가는 저등급의 중수의 농도와 관계가 있다.

(2) 저등급 중수의 비중의 현장 지시

(3) 3호기에 위치한 중수세정계통 탱크로 흐르는 저등급 중수 유 | 102
량의 현장 지시

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9.3.8.3 기기 설명

9.3.8.3.1 헤드탱크

하나의 헤드탱크는 중수용으로 제공되고 다른 또 하나는 경수용으로 제공된다. 중수 헤드 탱크는 중수 공급 계통에 의하여 공급되고 중수증기 회수 계통으로 배기된다. 경수 탱크는 탈염수 공급 계통에서 공급되고 보조 건물로 배기된다. 이 2개의 탱크는 오스테나이트 스테인레스 강으로 제작된다.

중수헤드탱크와 경수헤드탱크는 각각 중수화 탱크와 탈중수화 탱크의 약 1.5배 용량을 갖는다. 이 두 탱크는 다중 위치 (중수 헤드 탱크에는 4개의 위치와 경수헤드 탱크에는 5개 위치) 수위 스위치와 경보장치를 갖추고 있다. 이 탱크들은 중수화탱크와 탈중수화 탱크위에 존재하기 때문에 중력에 의한 유동이 중수화 계통과 탈중수화 계통에 사용될 수 있다. 탱크에 있는 수위 스위치는 중수화 탱크 출구와 탈중수화 탱크 출구에 위치한 자동개폐식 제어밸브를 조절한다.

9.3.8.3.2 중수화 탱크와 탈중수화 탱크

중수화 탱크와 탈중수화 탱크는 제거할 수 있는 썸기형 (wedge-wire) 스크린을 갖추고 있다. 이 스크린은 고차압에서 견딜 수 있고 막힘 (plugging) 을 최소화하도록 설계되었다. 이 두 탱크는 수지슬러리에 의해 수지 이동을 용이하게 하기 위하여 원추형 하부를 가지고 있다. 추가로 냉각재 중수화/탈중수화 계통에 위치한 공용 탱크와 펌프 (1호기 및 3호기에만 존재)는 두 계통 (냉각재 계통과 주 감속재 계통)에서 탈중수화 운전동안 수집된 원자로 등급 중수를 수집하고 방출을 제어하기 위하여 사용된다. 중수화 탱크의 입구, 출구 배관과 탈중수화 탱크의 출구와 여과기가 설치되어 있다. 중수화 탱크는 이온교환수지탑, 중수공급계통, 제어공기와 중수증기회수계통과 연결부를 갖는다. 탈중수화 탱크는

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

이온교환수지탑, 중수공급계통, 제어용공기와 방사성 배기구와 연결부를 갖는다.

9.3.8.3.3 펌프

중수화된 새 수지를 이송하기 위하여 중수화 탱크와 이온교환수지탑 사이에 혹은 탈중수화된 폐수지를 이송하기 위하여 탈중수화 탱크와 이온교환수지탑에 순환유동을 제공하는 수지이송펌프를 냉각재 및 감속재 중수화/탈중수화 계통은 각각 갖고 있다.

3호기에서는 시료 채취와 저 또는 고 삼중수소 중수세정계통으로 필요시에 중수를 방출하기 위하여, 냉각재 및 감속재 중수화/탈중수화 계통의 탈중수화 탱크에서 수지의 탈중수화로부터 얻어진 원자로 등급수를 순환시키기 위한 추가의 펌프를 냉각재 중수화/탈중수화 계통은 갖고 있다.

102

수지이송펌프와 원자로급 중수 펌프들은 밀봉 누설 문제를 없애기 위해 캔형으로 되어 있다. 이 펌프들은 오직 중수 작업을 위해 사용된다. 이 수지이송펌프의 흡입관과 방출관에 있는 여과기들은 펌프로 들어가는 모든 수지를 막아준다. 이 펌프들은 현장의 제어반 위에 설치된 개폐식 스위치에 의해 제어된다.

9.3.8.3.4 여과기

전형적인 Y형과 반경형의 여과기 (radial strainer) 인 두 가지 형의 여과기가 사용된다. Y형의 여과기는 오직 유체에만 사용되도록 되어 있는 배관을 따라 흘러 다니는 이온교환수지탑의 모든 수지나 깨진 부스러기의 수지를 막아준다.

반경형 여과기는 수지가 축방향으로는 통과가 가능하나 반경방향

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

으로 수지가 유체배관으로 통과하지 못하도록 되어 있다.

9.3.8.4 계통 운전

9.3.8.4.1 중수화

새 수지의 중수화는 수동이나 자동으로 수행될 수 있다. 두 방법에서의 운전과정은 유사하나 수동 모드에서 PV5가 닫히지 못하고 열려 있으며, 자동 모드 보다는 중수의 양을 적게 소비하기 위하여 중수화 유량이 차단되지 않는 점이 다른점이다. 이 수동계통 운전이 일반적으로 사용된다.

새 수지는 특정의 가요성호스를 연결시킨 후에 탈염수를 이용하는 슬러리 기법에 의해 수지이송탱크로부터 이송된다. 수지 이송은 중수화 탱크에 있는 투시경 속에 수지가 더 이상 보이지 않을 때 완료 된다. 중수헤드 탱크가 미리 중수로 채워져 있지 않으면 채워져야 한다.

이 각각의 단계에서 중수 헤드탱크로부터 중수화 탱크의 바닥으로 주입된 중수는 경수를 윗방향으로 밀어내 중수로 천천히 교체시킨다. 교체된 물은 중수의 농도 증가와 함께 중수화 탱크의 윗부분으로부터 흘러나간다. 중수 유량율은 헤드 중수 탱크 출구에 있는 밸브에 의해 조절된다.

첫 단계에서 중수 탱크로부터의 유출물은 방사성 배수계통으로 흘러간다. 헤드탱크에 있는 중수가 설정된 양으로 감소하면 유동은 자동적으로 중단된다. 이때 유출물은 중수를 경제적으로 공급시킬 수 있는 충분히 높은 농도의 중수가 된다.

그 다음 운전원은 저 농도 중수 세정급수탱크에 있는 밸브를 열고 두번째 단계를 시작한다. 중수헤드탱크 수위가 설정된 양으로 감소하면 유량은 자동적으로 중단된다. 유출물은 중간 농도 탱크로 갈 수 있는 충분히 높은

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

중간농도 중수 이다. 이런 과정이 반복되고 네번째 단계에서 유출물은 고농도 중수 세정급수탱크로 보내진다. 시료 채취계통 (냉각재계통이나 감속재 계통) 은 각각의 단계에 대해 중수헤드탱크가 설정된 수위로 변동된 후에 중수유출물이 요구된 농도의 중수를 함유하고 있는지를 확인하기 위해 주사기에 의한 시료 채취와 수동 비중계를 사용한다.

중수화된 수지를 이송하기 전에 탈염수를 함유한 이송로에 있는 모든 배관은 세척되어야 하고 수용 용기는 중수로 채워져야 한다. 수지 이송은 특정의 가요성호스를 연결시킨 후에 수지이송펌프를 이용하여 이루어진다. 중수화 탱크에 남아 있는 중수는 폐수지 이송을 준비하기 위해 중수헤드탱크나 탈중수화 탱크로 방출될 수 있다. 이 방출은 계기용 공기압을 이용한다. 중수화 탱크는 계기용 공기에 의해 건조되고 중수증기회수계통으로 방출된다.

9.3.8.4.2 탈중수화

폐수지의 탈중수화는 수동이나 자동으로 수행될 수 있는데 이 두가지 방법으로서의 운전과정은 유사하나 수동 모드의 운전에서 PV16이 닫히지 못하고 열려 있으며, 탈중수화 유량이 차단되지 않으며 보다 적은 중수의 양이 소비된다는 것이 다른 점이다.

탈중수화 탱크는 중수로 채워져 있다. 이온교환수지탑는 격리되고 감압된다. 특정의 가요성호스가 수지이송펌프에 연결되고 폐수지는 중수를 이용하는 슬러리에 의해 탈중수화 탱크로 이송된다.

경수헤드탱크가 미리 경수로 채워져 있지 않으면 채워져야 한다. 헤드탱크로부터 탱크의 윗부분으로 천천히 조절되어 흘러가는 경수는 수지에 있는 중수를 교체시킨다. 이것은 중수화 탱크의 밑부분으로 방출되는 중수의 농도에 의해 다섯단계로 이루어진다. 유출물은 원자로급 중수탱크로 들어가는데

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

이것은 중수의 농도가 원자로급 이하로 떨어지기까지 냉각재계통과 감속재계통의 폐수지의 탈중수화로부터 원자로급의 중수를 수집하기 위해 사용된다. 이 중수 농도를 확인한 후에 원자로급 중수탱크는 중수공급계통이나 중수세정계통으로 각각 중수를 보내어 비워지게 된다. 경수헤드탱크로 부터의 유량을 각각의 탈중수화 단계에 대한 설정수위의 변동후에 자동적으로 차단된다.

102

2,3,4,5 단계는 유출물의 감소하는 중수 농도에 의해 진행된다. 유출물은 고, 중, 저 농도의 중수세정급수 탱크들로 차례대로 유입되고 그 다음에는 방사능 배수계통으로 가게 된다. 각각의 단계에서 설정된 헤드탱크의 수위 변동 후에 그 다음 유출물의 목적지로 보내지는 밸브를 작동시키기 위해 경수의 유량이 자동적으로 차단된다. 시료 채취계통은 각각의 단계에 대한 경수헤드탱크의 수위 변동이후에 중수유출물이 요구된 중수농도 수준이 되었는지 운전원이 확인할 수 있도록 한다.

탈중수화된 수지를 폐수지저장고로 이송하기 전에 중수를 포함한 이송로에 있는 모든 배관들은 경수로 세척하고 유출물은 저농도 중수 탱크에 수집한다. 폐수지 저장고로의 수지이송은 경수를 이용한 슬러리로 한다. 탈중수화 탱크의 경우는 폐수지 저장 탱크로 경수를 보내고 공기로 건조하게 된다.

원자로급 중수 탱크의 중수는 시료 채취에 의해 판단되는 중수농도에 따라서 펌프로 중수공급탱크나 중수세정계통으로 보내진다.

9.3.8.4.3 중수화 및 탈중수화 동시운전

평상시 폐수지는 탈중수화되고 새로운 중수화된 수지로 교체되어진다. 이 두과정은 동시에 요구되어진다. 중수화 탱크는 새로운 수지로 채워질 수 있고 탈 중수화 탱크는 폐수지로 채워지게 된다. 동시에 중수화와 탈중수화

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

를 하기 위해 중수 헤드 탱크는 보다 낮은 수위로 채워지게 된다. 경수헤드탱크의 경수는 탈중수화의 첫번째 단계 동안에 높은 등급의 중수를 교체한다. 이 높은 등급의 중수는 중수화의 첫번째 단계에 사용되기 위해 중수화 탱크로 가게 된다. 그래서 앞 절에서 기술된 것처럼 중수화와 탈중수화는 각각 독립적으로 진행하게 된다.

9.3.8.5 안전성 측면

감속재계통과 냉각재계통의 중수화와 탈중수화 계통은 안전성 관련 계통으로 분류되지 않는다.

계통의 모든 기기는 아래의 기술된 사항들을 제외하고는 캐나다 건물 규격 NBCC의 최저 기준을 만족하도록 요구된다.

- 가. 탈중수화 탱크 : 이 탱크는 지진후나 지진동안에 탱크 압력의 건전성을 유지할 수 있도록 설계기준지진 범주 'A'로 설계되어야 한다.
 - 나. 첫번째 격리밸브를 제외한 곳까지 냉각재정화 계통의 이온교환수지탑과 연결된 모든 1등급 배관은 설계기준지진 범주 'A'로 내진 검증되어야 한다.
 - 다. 첫번째 격리밸브까지 감속재 정화계통의 이온교환수지탑과 연결되는 배관은 경제적인 이유로 1/4 설계기준지진 범주 'A'로 내진 검증되어야 한다.
 - 라. 원자로 건물 격리밸브는 설계기준지진 범주 'B'로 내진 검증된다. 원자로 건물 외벽과 두번째 원자로 건물 격리밸브사이의 배관은 설계기준 지진 범주 'A' 로 내진 검증된다.
- 또한 이들 원자로건물 확장부는 참고문헌 9.3-1 및 9.3-7의 요건을 만

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

족 한다.

9.3.9 사고후 공기시료 채취 및 감시계통

9.3.9.1 설계기준

사고 후 공기 시료 채취 및 감시계통 (PAASM) 은 사고 기간 중 원자로건물내에 존재하는 방사선 위험성을 감시한다. 이 감시자료를 이용하여 운전원은 원자로건물 감압을 위한 공기배출 및 원자로건물 출입여부에 대한 결정을 할 수 있다.

9.3.9.1.1 기능요건

사고후 공기시료 채취계통은 다음 요건을 수행할 수 있어야 한다.

- 가. 운전원의 요구에 따라 원자로건물에서 공기시료를 채취;
- 나. 사고하에서 방사성 미립자, 옥소, 불활성기체 및 원자로건물내의 삼중수소* 1)에 대한 총 감마 및 베타 방사능을 감시하고 측정;
- 다. 방사능을 Bq 단위로 측정하고 불활성가스를 Bq-MeV (Bq-J) 단위로 측정한다;
- 라. 80 KeV로부터 3.5 MeV 범위 까지의 에너지 준위를 계측한다;
- 마. 있는 CRT 감시기에 측정된 방사능 수치를 표시한다.

9.3.9.1.2 안전 요건

환경검증

이 계통은 참고문헌 9.3-4의 4.4절에 명시된 열악한 환경 상태들에 대해

* 사고후 공기시료 채취계통에 의해 수집된 삼중수소는 실험실에서 분석됨

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

검증되어야 한다.

내진검증

계통은 내진검증이 필요없는 감시기 자체를 제외하고 설계기준지진 등급 'A' 에 대해 내진검증되어야 한다. (참고문헌 9.3-3)

등급분류

이 계통은 냉각재상실사고후 계기용공기 계통과 같이 등급 3에 속한다. 원자로건물 확장부 밖의 냉각재상실사고후 계기용공기 계통, 즉 사고후 공기채취 및 감시 계통이 연결되어 있는 부분은 등급 3에 속한다.

계측기기는 비 원자력 등급 6에 분류되어 있고, 그 이유는 사고후 공기채취 및 감시의 고장에 의해 대중이나 운전원들에게 방사능 오염을 일으키지 않기 때문이다. 이는 CSA N285.0 5.4.2 절과 5.7.1 절에 따른 것이다.

9.3.9.1.3 연계 요건

사고후 공기채취 및 감시 계통은 냉각재상실사고후 계기용공기계통과 상호 연결되어 있다. (그림 9.3-20참조)

냉각재상실사고후 계기용공기계통과의 연계는 7512-604-4-CI 배관과 단혀있는 원자로 격리밸브인 7512-PV216과 PV217의 하류부분이다. 사고후 공기채취 및 감시 계통은 냉각재상실사고후 계기용공기 계통에 대한 '추가적인 루프'로 설계되었다. 항상 새로운 시료를 받기 위해, 이 계통은 냉각재상실사고후 계기용공기 계통과 함께 동시에 작동되어야 한다. 이 기간동안에 사고후 공기채취 및 감시 펌프는 공기를 분석하기 위해 공기시료를 7512-604-4-CI 배관으로부터 감시기로 보내고, 이것을 사고후 공기채취 및 감시의 입구배관의 하류에 있는 7512-604-4-CI 배관으로 되돌려 보낸다.

1

1

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 2

1996. 10

이 계통에 대한 전력 요건은 120V(ac), 2급전원 이다. 사고후 공기채취 및 감시 기기는 그룹1 계통 전력 공급자로 부터 공급되어야 한다.

9.3.9.2 계통 설명

이계통은 원자로건물 외부에 영구히 설치되어 있는 감시기, 펌프, 시료 채취배관으로 구성되어 있다. 펌프는 [REDACTED] 실에 설치되어 있고 감시기는 [REDACTED] 실 (그림 9.3-20 참조)에 설치되어 있다.

공기시료 채취는 원자로와 핵연료교환기실의 넓은 개방 구역인

[REDACTED] 실로 부터 추출한다. 냉각재상실사고후 계기용공기 계통은 사고 3시간 후에 작동을 시작하고 하루에 대략 1~2 시간을 운전하게 된다.

사고후 공기채취 및 감시 계통은 운전원의 요구에 의해 사고후 상태인 경우에만 운전된다. 운전원은 [REDACTED] 실에 있는 사고후 공기채취 및 감시 감시기로 부터 펌프를 작동시킨다. 베타와 감마의 총 방사선량은 감시기에 표시되고 운전원의 요구에 의해 주제어실 (MCR) 에서도 지시될 수 있다.

이 감시기는 경수의 삼중수소 함유량 감시기와 함께 [REDACTED] 실에 있다.

사고후 공기채취 및 감시 감시기는 공급자에 의해 차폐되어 공급되므로 [REDACTED] 실은 항상 접근이 가능하다.

사고후 공기채취 및 감시 감시기는 미립자, 요드, 불활성 가스와 삼중수소를 측정하기 위하여 2 대의 별도 감시기 (높은 범위 감시기와 매우 높은 범위 감시기)로 계통으로 구성되어 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 2
1996. 10

미립자와 요드 계통에 대해 방사능을 주기적으로 교체되는 (감시기가 계속 작동된다면 대략 한달마다) 여과기에서 수집되고 계측된다. 불활성 가스와 삼중수소에 대해 방사능은 가스실에서 계측되고 시료 채취실에 수집된다. 4개의 계측기 계통에서의 방사능 범위는 평상시 원자로건물의 배기 공기를 감시하는 가스유출물 감시기의 방사능보다 훨씬 높다. 삼중수소 시료 채취를 위해, 건조제증기 수집/카트리지가 제공된다. 계측기 계통마다 하나의 아날로그 신호가 주제어실로 보내지게 된다.

9.3.9.3 계통운전

냉각재상실사고인 경우에 방사선은 전 원자로건물에 확산되고 한시간 후에는 방사량 분포가 균일하게 되어 평형상태가 된다고 예측된다. 냉각재상실사고에 의해 원자로건물 대기로 방출된 방사능 준위를 감시하기 위해 냉각재상실사고 후 계기용공기 계통의 도관을 통해 원자로 건물 실로 부터 공기시료를 한다.

원자로 건물 공기의 대표적인 시료를 분석하기 위해 압축기가 대략 246 m³/h (145 scfm) 의 풍량을 공급할 때 이 계통은 냉각재상실사고후 계기용공기 계통과 함께 동시에 운전된다. 냉각재상실사고후 계기용공기 압축기를 사용하여 실의 공기를 섞는다. 그러나 공기시료 채취는 냉각재상실사고후 계기용공기계통이 운전되지 않아도 수집할 수 있다.

9.3.10 참고문헌

- 9.3-1 Atomic Energy ControlBoard (AECB) Regulatory Document R-7,
"Requirements for Containment System Components in CANDU

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

- Nuclear Power Plants", February, 1991.
- 9.3-2 Stretch,A.H., "Safety Related Systems", 86-03650-SDG-001, Rev. 2, 1992 October.
- 9.3-3 Stretch,A.H., "Seismic Qualification", 86-03650-SDG-002, Rev. 2, 1992 October.
- 9.3-4 Stretch,A.H., "Environment Qualification", 86-03650-SDG-003, Rev. 2, 1992 October.
- 9.3-5 Stretch,A.H., "Grouping and Separation" 86-03650-SDG-004, Rev. 2, 1992 October.
- 9.3-6 Stretch,A.H., "Fire Protection", 86-03650-SDG-005, Rev. 2, 1992 October.
- 9.3-7 Stretch,A.H., "Containment Extentions", 86-03650-SDG-006, Rev. 2, 1992 October.
- 9.3-8 Design Manual, "Reactor Building Instrument Air System", 86-75120/67512-DM-001, Rev. 0, 1994.
- 9.3-9 CAN3-N285.0-M81,"General Requirements for Pressure-Retaining Systems and Components in CANDU Nuclear Power Plants".
- 9.3-10 R.E.Mesner, D.L.Hertig, J.Solution Chem, 7, p.901, 1978.
- 9.3-11 D.W.Shoesmith, Woon Lee, Chem J. Chem, 54, p.3553, 1976.
- 9.3-12 P.Salomaa, L.L.Schaleger, F.A.Long, J.Amer. Chem. Soc. 86, p.1, 1964.
- 9.3-13 Glasstone, "Textbook of Physical Chemistry", Second Edition, July 1947, Chapter X II, p.889.
- 9.3-14 H.S.Taylor, H.A. Taylor, "Elementary Physical Chemistry", Third

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

Edition, Sept. 1948 Chapter 12, p.325.

- 9.3-15 V.K.Le Mer, W.N.Baker, J.Chem. Phys. 3, p.406, 1935.
- 9.3-16 V.K.Le Mer, J.P.Chittum, J.Amer. Chem. Soc. 58, p.1642, 1936.
- 9.3-17 C.G.Swain, D.F.Evans, J.Amer. Chem. Soc.88, p.383, 1966.
- 9.3-18 F. Sweeton and C.F.Baes Jr., "The Solutions at Elevated Temperatures", J. Chem. Thermo 2, p.479-500, 1970.
- 9.3-19 AECL Design Manual, Wolsong 2, 3, 4 Generating Station, "Shield Cooling System", 86-34110/63411-DM-000, Rev. 0, Jan 1993



월성 2,3,4호기 최종안전성분석보고서

표 9.3-1

압축공기 소요량

월성 1,2호기 혹은 월성 3,4호기의 압축공기의 추정 소요량은 다음과 같다.

호흡용 공기 소모량 (단위 : scfm)

	1호기 또는 3호기		2호기 또는 4호기		양호기 (공용)	
	정상운전	운전정지	정상운전	운전정지	정상운전	운전정지 (1개호기만 운전)
원자로 건물	150	400	150	400	300	550
원자로 보조건물	75	100	75	100	150	175
터빈 건물	-	-	-	-	-	-
삼중수소제거설비 건물	30	30	-	-	30	30
총 공기량	255	530	225	500	480	755

90

호흡용 공기는 두 호기에서 동시에 요구되지 않으므로 한 호기는 정지되어 있고 다른 호기가 운전중일 때의 최대량으로 고려된다. 그 양은 755 scfm이다. 두 호기에 대해 774 scfm 용량의 호흡용 공기 압축기로서 충분하다.

90

작업용 공기 소모량 (단위 : scfm)

	1호기 또는 3호기		2호기 또는 4호기		양호기 (공용)	
	정상운전	운전정지	정상운전	운전정지	정상운전	운전정지 (1개호기만 운전)
원자로 건물	100	200	100	200	200	300
원자로 보조건물	75	100	75	100	150	175
터빈 건물	25	45	25	45	50	70
삼중수소 제거설비 건물	160	160	-	-	160	160
총 공기량	360	505	200	345	560	705

90

월성 2,3,4호기 최종안전성분석보고서

작업용 공기는 두 호기에서 동시에 요구되지 않으므로 한 호기는 정지되어 있고 다른 호기가 운전중일 때의 최대량으로 고려된다. 그 양은 705 scfm 이다. 두 호기에 대해 741 scfm 용량의 작업용 공기 압축기로서 충분하다.

90

기존의 작업용/호흡용 공기 압축기가 정비하는 동안을 대비하기 위해 추가의 작업용 공기 압축기가 월성 1, 3호기 지역에 설치된다. 월성 1,3호기간의 작업용 호흡용공기 연결부가 있으므로, 정비시 1대의 압축기로서 두 호기의 작업 및 호흡용공기 요구량을 충족시킬수 있다.

추가되는 작업용 공기 압축기는 또한 월성 1,2호기나 3,4호기의 계기용 공기 계통에 백업 역할을 한다.

계기용 공기 계통 (단위 : scfm)

	정상운전	운전정지
원자로 건물	150	144
원자로 보조건물	125	65
터빈 건물	150	85
삼중수소제거설비 건물	171	171
총 공기량	596	465

90

2대씩의 648 scfm용량의 공기 압축기가 월성 2,3,4호기에 각각 공급된다. 이 압축기의 용량은 각 호기의 계기용 공기 요구량을 충족시킨다.

월성 2,3,4호기 최종안전성분석보고서

표 9.3-2

25℃에서 암모니아, 몰포린 및 하이드라진의 pH 값에 따른 이온화 변이

pH 값	이온화된 형태의 염기 백분율		
	암모니아	몰포린	하이드라진
6	99.9	99.6	
7	99.5	95.8	
8	94.9	69.6	53.3
9	64.1	18.6	9.4
10	15.0	2.2	0.9

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 25

2000. 6. 5

표 9.3-3

25℃에서 경수와 중수 용매에 대한 등가이온전도도

이온	경수	등가이온전도도 (mhos.cm ² per mole) (a)
		중수
H ⁺	349.8	N.A
D ⁺	N.A	242.4
OH ⁻	199	N.A
OD ⁻	N.A	133
Li ⁺	38.7	32.9
	50.1	40.8
Na ⁺	73.5	61.4
K ⁺	73.4	61.4
NH ₄ ⁺	76.3	62.8
Cl ⁻	71.4	57.8
NO ₃ ⁻	80.0	66.0
1/2 SO ₄ ⁻²		

주 : (a) 1 mho = 1 siemen;

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 25

2000. 6. 5

표 9.3-4

CANDU형 냉각재계통에 대한 pH_A, 리튬 농도 및 전도도의 최소값과 최대값

	최소값	최대값
pH _A (25℃에서)	10.2	10.8
리튬 농도 (mgLi/kg D ₂ O)	0.35	1.4
전도도 (mS/m at 25℃)	0.9	3.6

25

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 9.3-5

냉각재계통 화학제어 사양

변 수	허용 기준치	최적치	시료채취 횟 수	비 고
pH _A * (25℃에서)	10.2-10.8	10.2-10.4	1/일	pH 메타로 측정한다. 허용되는 pH 범위는 탄소강의 부식율로 측정한다. 지르칼로이와 인콜로이는 훨씬 부식율이 낮고 pD 변화에 훨씬 덜 민감하다.
리튬 1) Li로서 (mg Li/kg D ₂ O) 2) LiOD로서 (mg LiOD/kg D ₂ O)	0.35-1.4 1.2-5.0	0.35-0.55 1.2-2.0	1/일 1/일	
용존 중수소 1) mg D ₂ /kg D ₂ O로서 2) mL D ₂ /kg D ₂ O로서	0.5-4.0 3-25	0.5-1.6 3-10	온라인포 는 1/일**	가. 주입되는 기체는 수소이나 중수소와 치환반응을 함으로써 실제 용존 기체는 중수소이다. 나. 이 용존 중수소 농도는 지르코늄 합금에 해로운 영향을 주지 않는다.
용존 산소 1) mg O ₂ /kg D ₂ O로서 2) mL O ₂ /kg D ₂ O로서 (25℃에서)	<0.01 <0.007	<0.007 <0.005	1/일 1/일	특정 용존 중수소에서 용존산소 농도는 급격하게 변해서는 안된다.
염소이온 (mg Cl ⁻ /kg D ₂ O)	<0.2	<0.05	1/일	
불소이온 (mg F ⁻ /kg D ₂ O)	<0.1	<0.05	1/월	

54

25

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 9.3-5 (계속)

변 수	허용 기준치	최적치	시료채취 횟수	비 고
부유고형물(CRUD) (mg/kg D ₂ O)	< 1.0	< 0.1	1/주	
전도도 (mS/m at 25℃)	0.9-3.6	0.9-1.45	1/일	

주 : 1985년 pH_A, 리튬 농도 및 전도도 사이의 관계식을 재평가한 결과 (상세설명9.3.4.1.2.3 절 참조) pH_A 의 범위를 10.2에서 10.8에 유지하기 위한 계산된 전도도 값과 리튬요구량 값이 줄어들게 되었다.

* pH_A (외견상 pH) 중수에서의 pH는 경수로 제량된 계측기를 사용하여 측정된다. 모든 중수의 pH 값은 표준 계측기에서 실제로 읽은 값이다.

** 온라인 감시 불가시 1/일 시료 채취

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 9.3-6

감속재계통 화학제어사양

항 목	허용 기준치	최적	시료채취 횟수	비 고
pH _A (25℃에서) (77°F)pH미터로측정	4.5~6.5	5.0~6.5	2/주	가돌리늄의 침전을 방지하기 위해 서는 약산성 이어야한다.
염소이온 (mg Cl ⁻ /kg D ₂ O)	<0.1	<0.1	2/주	
불소이온 (mg F ⁻ /kg D ₂ O)	<0.1	<0.05	1/월	
전도도 (25℃에서) (mS/m)	<0.35	<0.2	1/일	
붕소 (mg B/kg D ₂ O)	<10 (보충정지 기간 제외)		2/주	실제 붕소농도는 반응도 요건에 따름
가돌리늄 (mg Gd/kg D ₂ O)	<1		1/주 또는 필요할 경우	이 값은 지논 연소에 대한 보상 독물질로 가돌리늄 사용과 관련됨
	≤25		1/8 시간 (발전소 보충정지 기간동안)	이 값은 액체독물질 주입정지계통 이 작동된 후 최대농도 관련됨. 100% 정상 출력운전에서 가돌리 늄 농도는 측정 가능량 이하이다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 9.3-7

급수의 화학제어 사양

정상운전	허용 기준치	최적치	분석주기
pH (25℃(77°F)에서)	>9.4, ≤10	>9.6, ≤10	연속
용존산소 (μg/kg) (증기발생기 입구)	<5	<5	연속
하이드라진 (μg/kg)	50~200	100~200 *	연속
철 (μg/kg)	<10	<10	2/주
구리 (μg/kg)	<2	<2	2/주
몰포린(mg/kg)	>4.5	>4.5	1/주

* 동합금관이 없는 계통.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 9.3-8

증기발생기 화학제어 사양 (증기발생기 취출에서 측정한 값)

정상운전시	허용 기준치	최적치	분석주기
pH 25℃ (77°F)*에서	>9.4, ≤10** (기대값)	>9.4, ≤10	연속
나트륨 (mg Na/kg H ₂ O)	<0.07	<0.02	연속
총용존고형물(mg/kg H ₂ O)	<5.0	<5.0	2/주
총염화물 및 불화물 (mg/kg H ₂ O)	<0.1	<0.02	2/주
황산염 (mg/kg H ₂ O)	<0.1	<0.02	2/주
실리카 (mg/kg H ₂ O)	<1.0	<1.0	2/주
양이온 전도도(mS/m)	<0.1	<0.04	연속

* 증기 발생기내의 실제 pH 값은 급수 pH 값에 따름. 따라서 pH 값은
특정값인데 비해 증기발생기의 pH 값은 기대값이다.

** 선호되는 pH 매개체는 몰포린임

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 25

2000. 6. 5

표 9.3-9

기타 계통의 화학제어 사양

분류번호	계통	주요 화학사양
32110	주 감속재	9.3.4.2 절 참조
32110	감속재 정화	감속재 중수사용
32220	감속재 중수화 및 탈중수화	감속재 중수사용
32310	감속재 상충기체	재결합기를 사용하여 중수소 기체의 농도가 2% 미만이 되도록 조절함
32510	감속재 중수수집	감속재 중수사용
32610	감속재 중수 시료 채취	감속재 중수사용
32710	감속재 액체 독물질	감속재와 같으나 붕소 탱크의 붕소 농도는 2.99g B/kg D ₂ O이고 가돌리늄 탱크의 가돌리늄 농도는 1.40 g Gd/kg D ₂ O이다.
33100	냉각재	9.3.4.1절 참조
33310	중수 충수 및 배출	냉각재계통 중수 사용
33320	압력제어	냉각재계통 중수 사용
33330	중수 저장, 수송 및 회수	냉각재계통 중수 사용, 퍼지로 제어된 체적으로 2%미만 중수소 가스 1%미만 산소가스 4%미만 질소가스 퍼징에 의해 제어됨
33340	글랜드 밀봉	냉각재계통 중수를 사용하며 크러드 (CRUD) 농도를 0.1 mg/kg D ₂ O미만으로 관리한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 9.3-9 (계속)

분류번호	계통	주요 화학사양	
33350	정화	냉각재계통 중수 사용	
33360	중수화 및 탈중수화	냉각재계통 중수 사용	
33410	원자로 정지 냉각	냉각재계통 중수 사용	
33530	질소 회로	질소의 건도 >99.9% (건조)	
33540	수소 주입	수소의 건도 >99.9% (건조)	
33710	중수 시료 채취	냉각재계통 중수 사용	
33810	중수 수집	냉각재계통 중수 사용	
34100	차폐 냉각	pH 10-10.5 Li 0.7-2.2 mg/kgi Cl < 2 mg/kgi Cu < 25 µg/kg 용존산소 O ₂ < 25 µg/kg 용존수소 H ₂ < 0.3 mL/kg 이온 교환으로 제어i 차폐 냉각 기체 공간 질소를 갖고 퍼지 제어된 체적으로 수소를 4% 미만으로 조절	
34300	살수 및 비상노심냉각	탈염수i pH : 9.3~10.5 리튬 < 1mg/kg(필요시 약품주입) 하이드라진 50-100 mg/kg	25 54
34410	사용후 핵연료 저장조	탈염수 pH 5.5-8.5 Cl < 0.2 mg/kgi 이온 교환기으로 제어i	
34510	수지 이송	제어하지 않음	

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 14

1999. 5. 1

표 9.3-9 (계속)

분류번호	계통	주요 화학사양j
34710	독물질 주입	감속재 중수 사용 Gd>8000 mg Gd/kg D ₂ O
34810	액체 영역 제어	탈염수j pH 5.5-8.5j Cl<2 mg/kgj 이온 교환기로 제어j 재결합기로 상충기체인 수소의 농도를j 4 % 미만으로 조절j 헬륨퍼지에 의하여 N ₂ 를 1.0% 미만으로 조절
35230	핵연료 이송용 중수	냉각재계통 중수 사용
36300	중기 발생기 화학제어	9.3.4.3절 참조
38410	중수 세정	냉각재계통 및 감속재 중수 사용j 승급기에 공급할 수 있는 수질 요건에j 맞게 냉각재 및 감속재 중수의 불순물 제거

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 9.3-9 (계속)

분류번호	계통	주요 화학기준	
43100	급수 가열	9.3.4.3절 참조	
43200	복수 및 주급수		
71200	복수기 순환	망과 거친 여과기 이외는 제어 없음	
71310	기기 냉각 해수	망, 여과기 및 염소처리 이외는 제어 없음	
71340	기기 냉각수	탈염수	54
		pH > 10	
71510	소내 용수	침전제, 여과 및 염소처리 등의 필요한 조치를 하여 음료수 기준에 부합토록 한다.	3
71600	탈염수	총 양이온 농도 0.03 ppm (Max) 총 음이온 농도 0.03 ppm (Max) 전도도 0.2 μ mho/cm (Max)	102
71700	배수	액체 폐기물 계통으로 확실한 배수 이외는 특별한 처리 없음	
71900	냉방용수	필요시 물을 충수하거나 방출하는 것과 화학약품 처리 외에는 제어 없음	102
73000	난방	주기적인 화학물 투약	
79200	방사성 액체 폐기물	여과기나 이온교환기를 사용하여 국제 방사선 방어위원회 권장량 이하로 배출을 제한	




한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

압축공기 흐름도

그림 9.3-1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



	한국전력공사 원성원자력 3,4호기 최종 안전성 분석 보고서
	원자로 건물 PLIA제동 흐름도 그림 93-2



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉각재 중수시료 채취계통 (월성 2,3,4호기)

그림 9.3-3a

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉각재 중수시료 채취계통 (월성 2,3,4호기)

그림 9.3-3b



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

감속계 중수시료 채취계통 (월성 2,4호기)

그림 9.3-4a

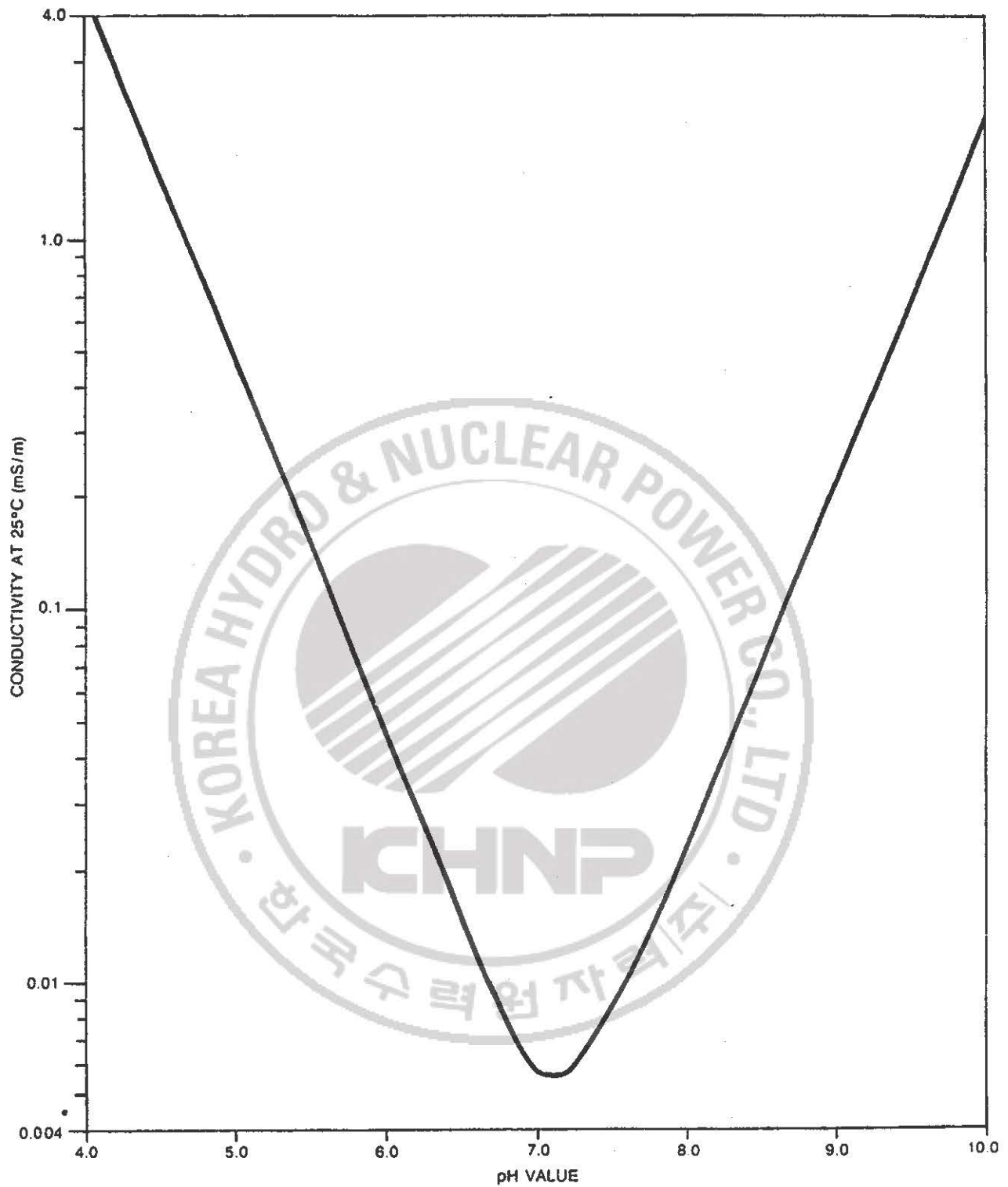


한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

중수세정계통 중수시료 채취계통

(월성 3호기)

그림 9.3-4b

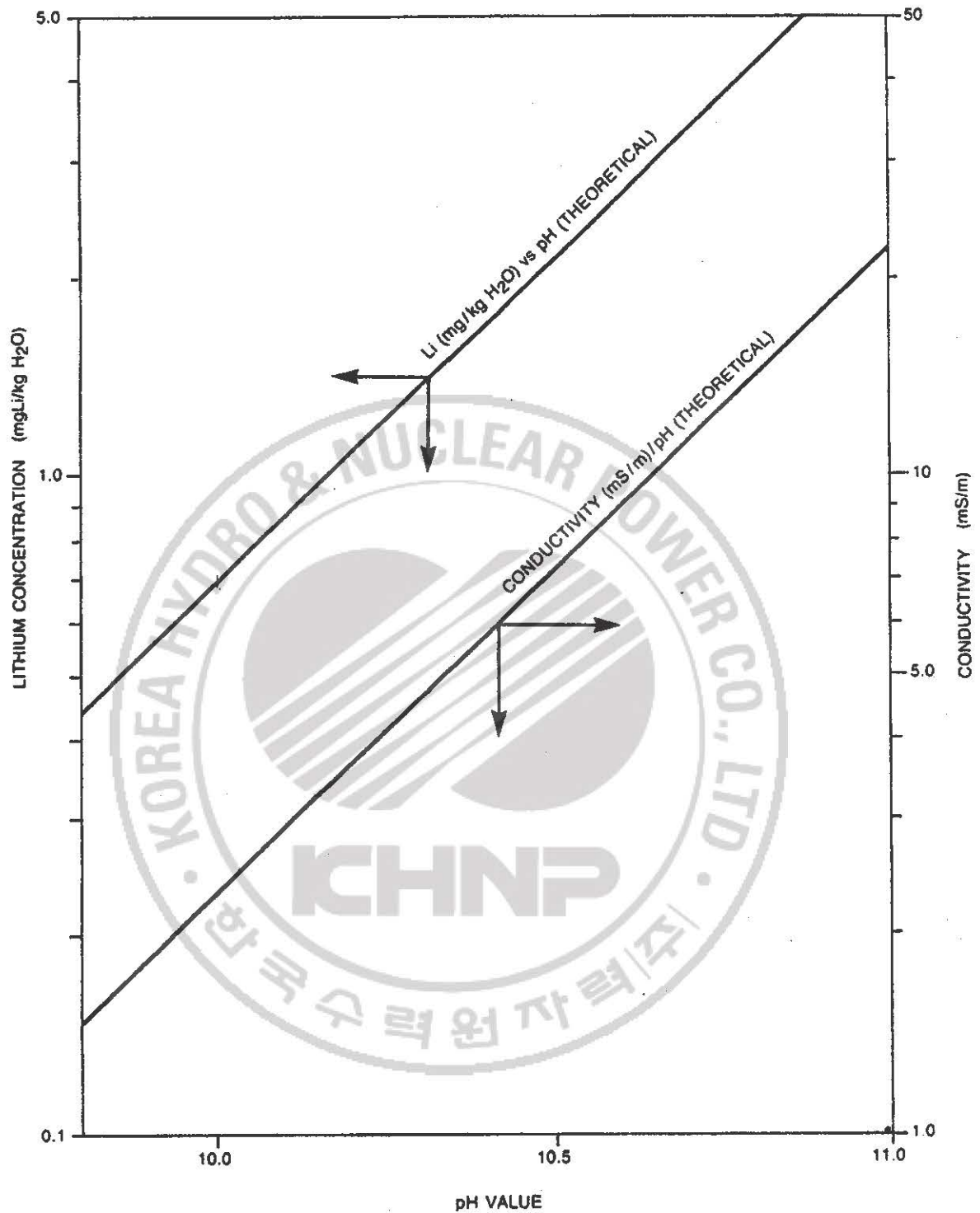


한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

25°C에서 산성도와 전도도간 이론적

관계도

그림 9.3-5

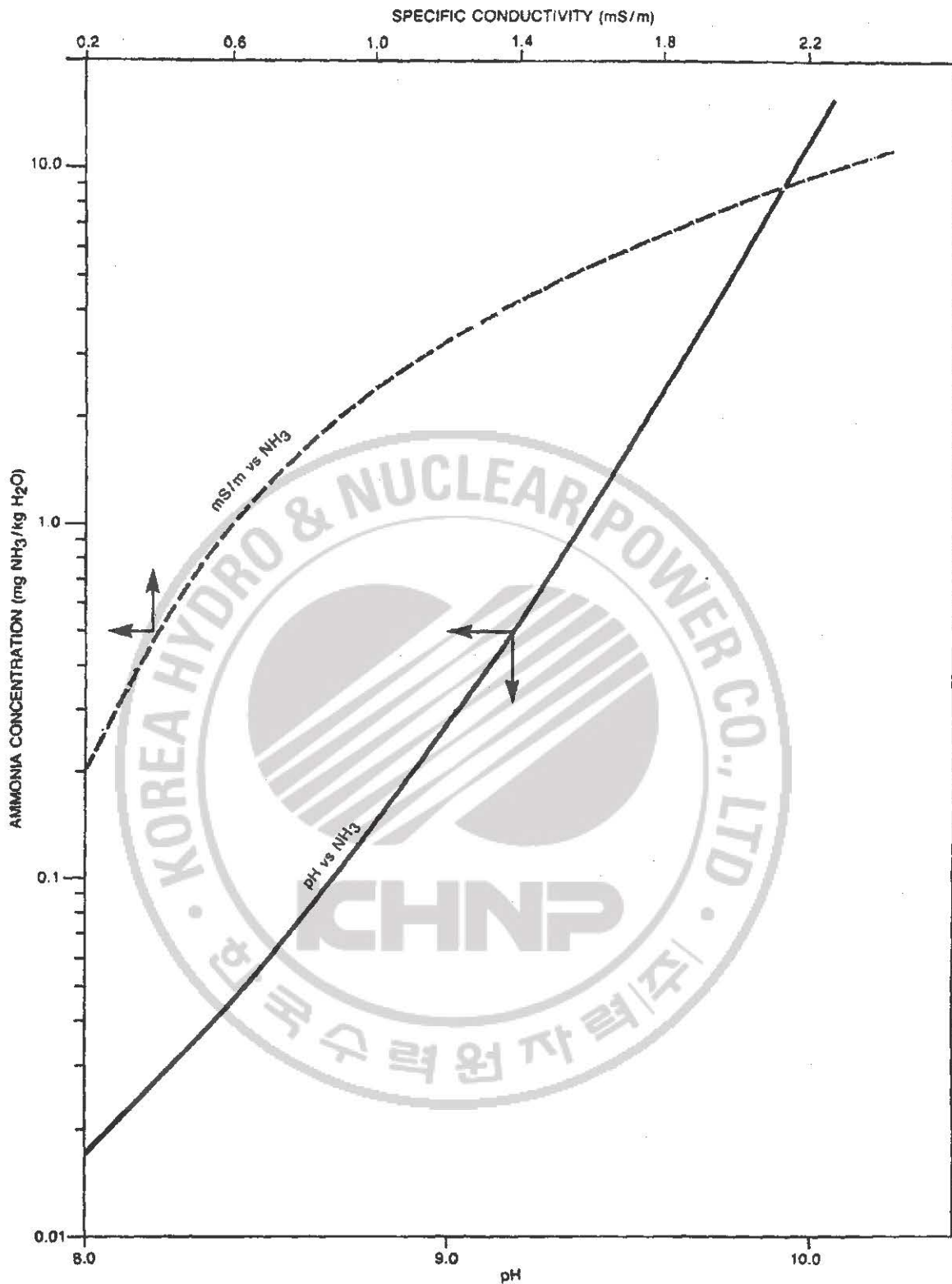


한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

25℃에서 리튬농축도와 전도도의 산성도에
대한 이론적 관계도

그림 9.3-6

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



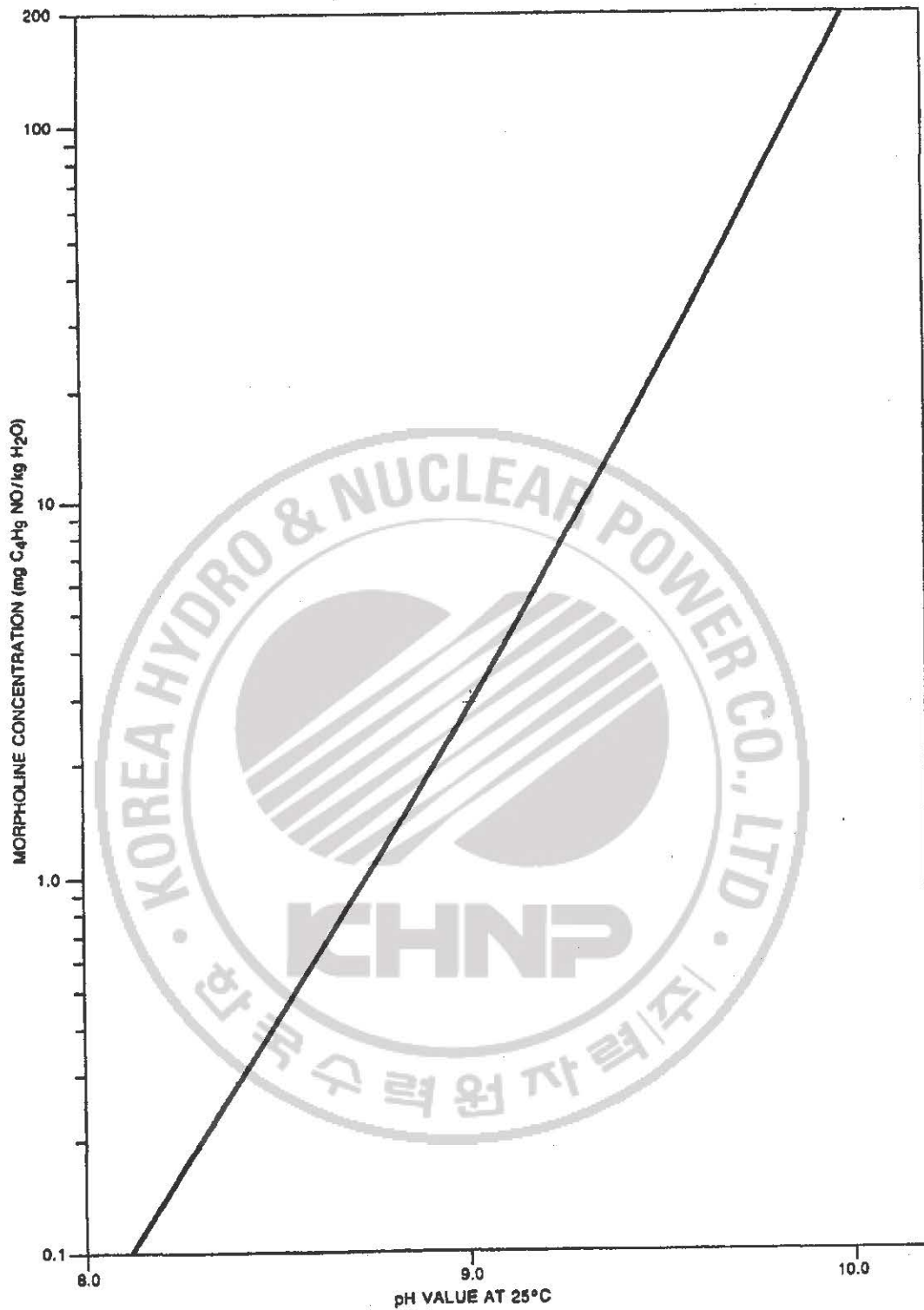
한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

25℃에서

- a) 산성도에 대한 암모니아 농축도 관계,
- b) 전도도에 대한 암모니아 농축도 관계

그림 9.3-7

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

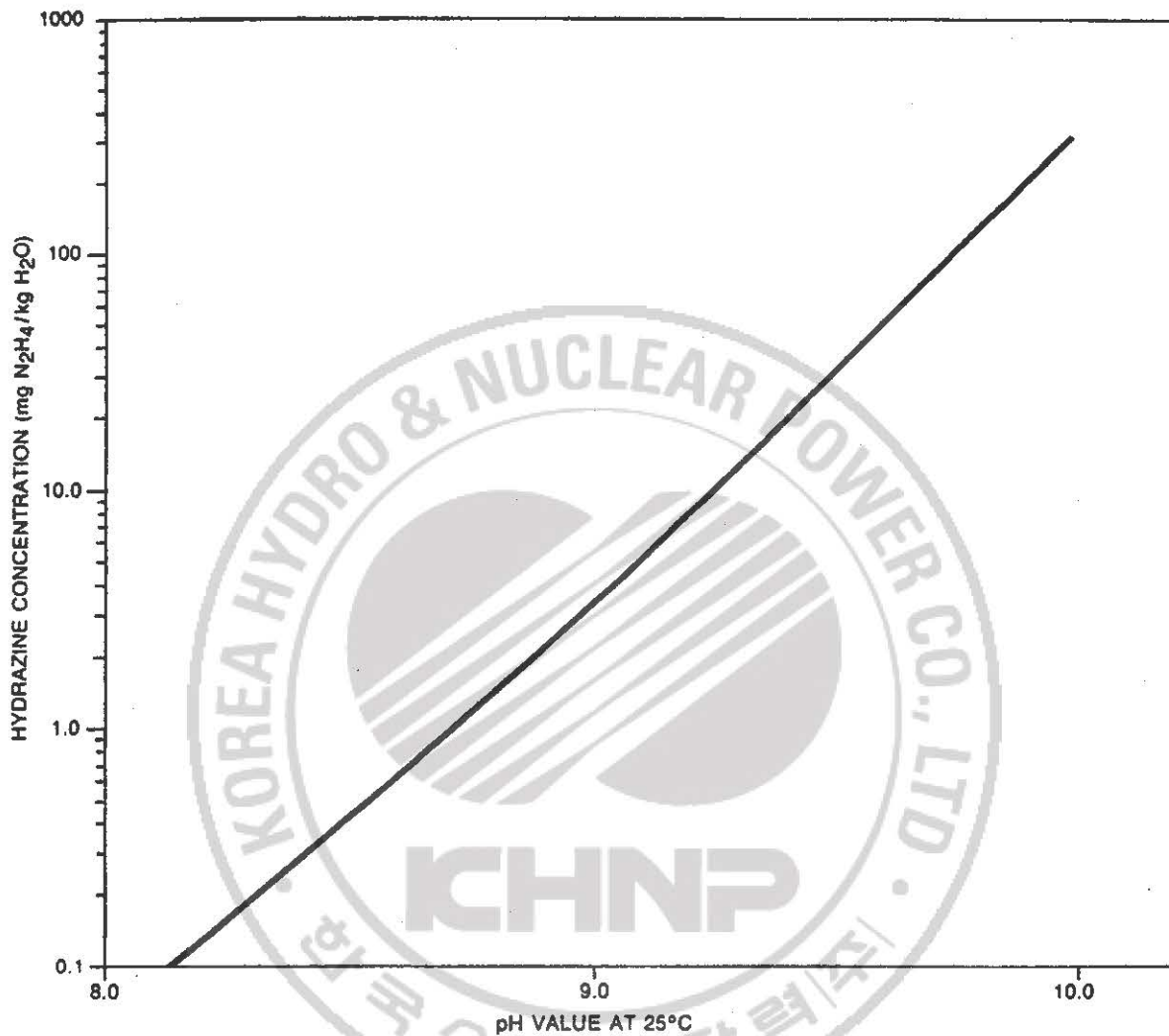


한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

경수용액에서 산성도와 모르폴린

(Morpholine) 농축도와의 관계

그림 9.3-8



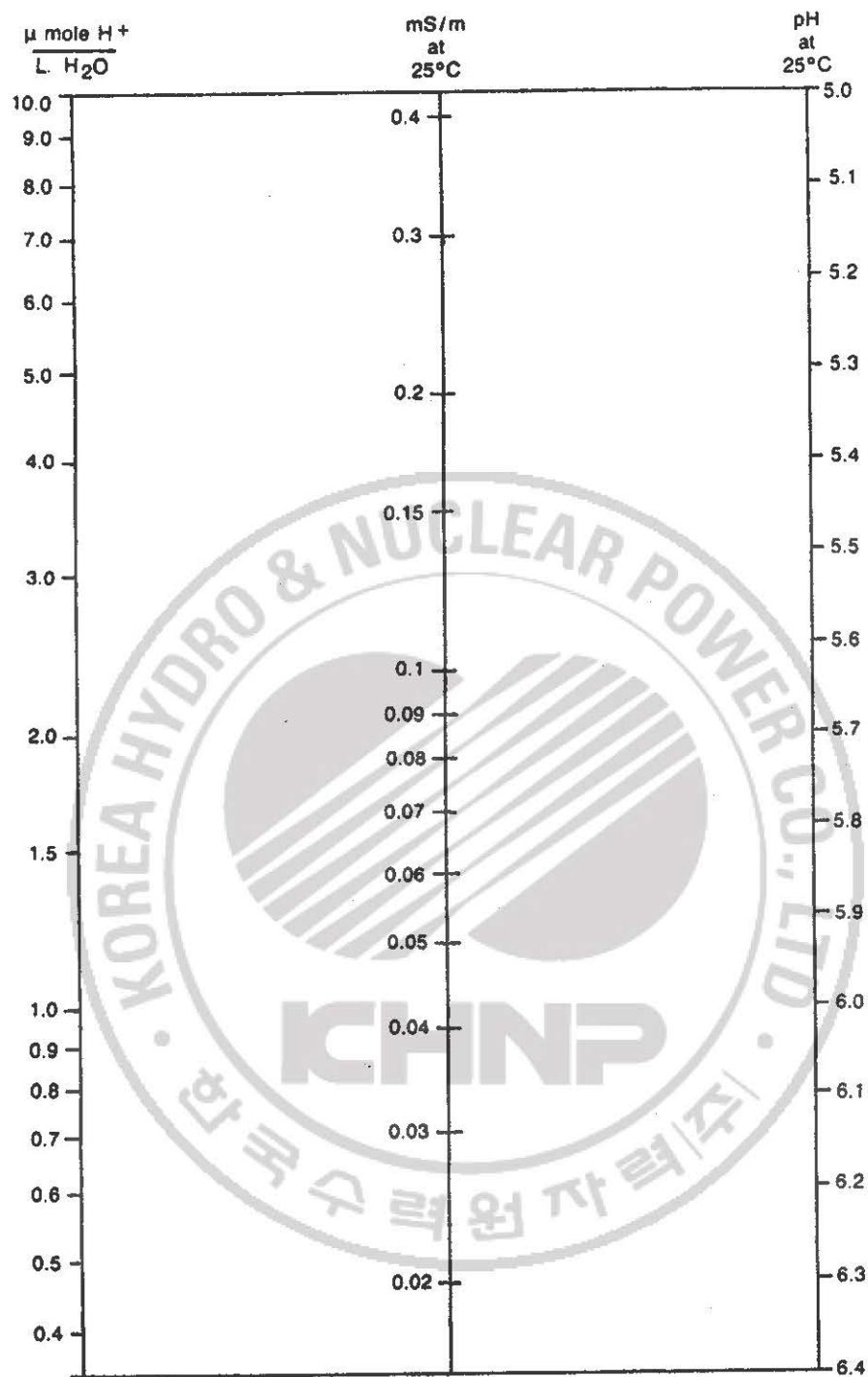
한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

경수용액에서 산성도와 하이드라진

(Hydrazine) 농축도와의 관계

그림 9.3-9

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

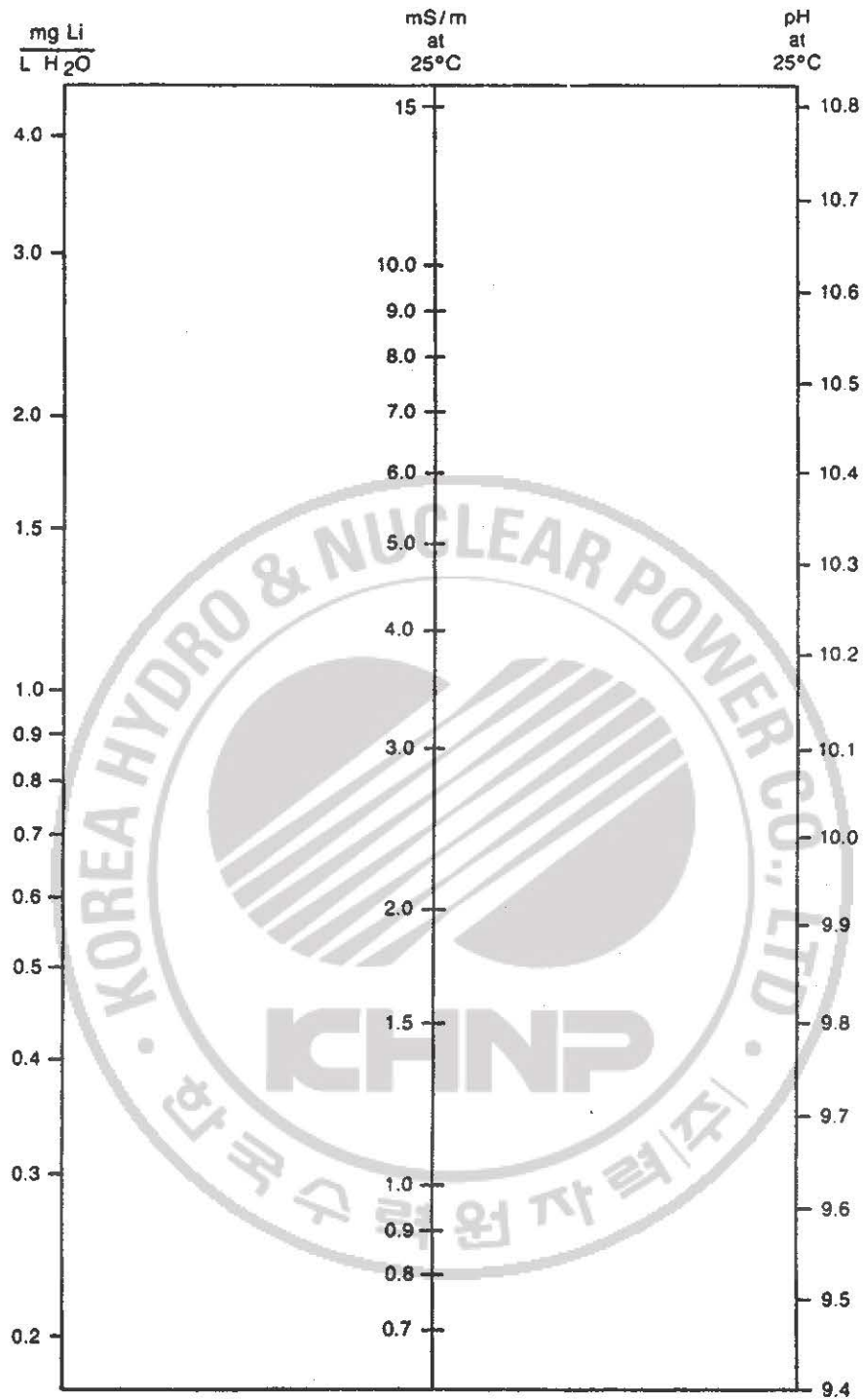


한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

산성, 전도도 및 산성도 농축도의 상호
관련성을 보여주는 노모그램 (Nomogram)

그림 9.3-10

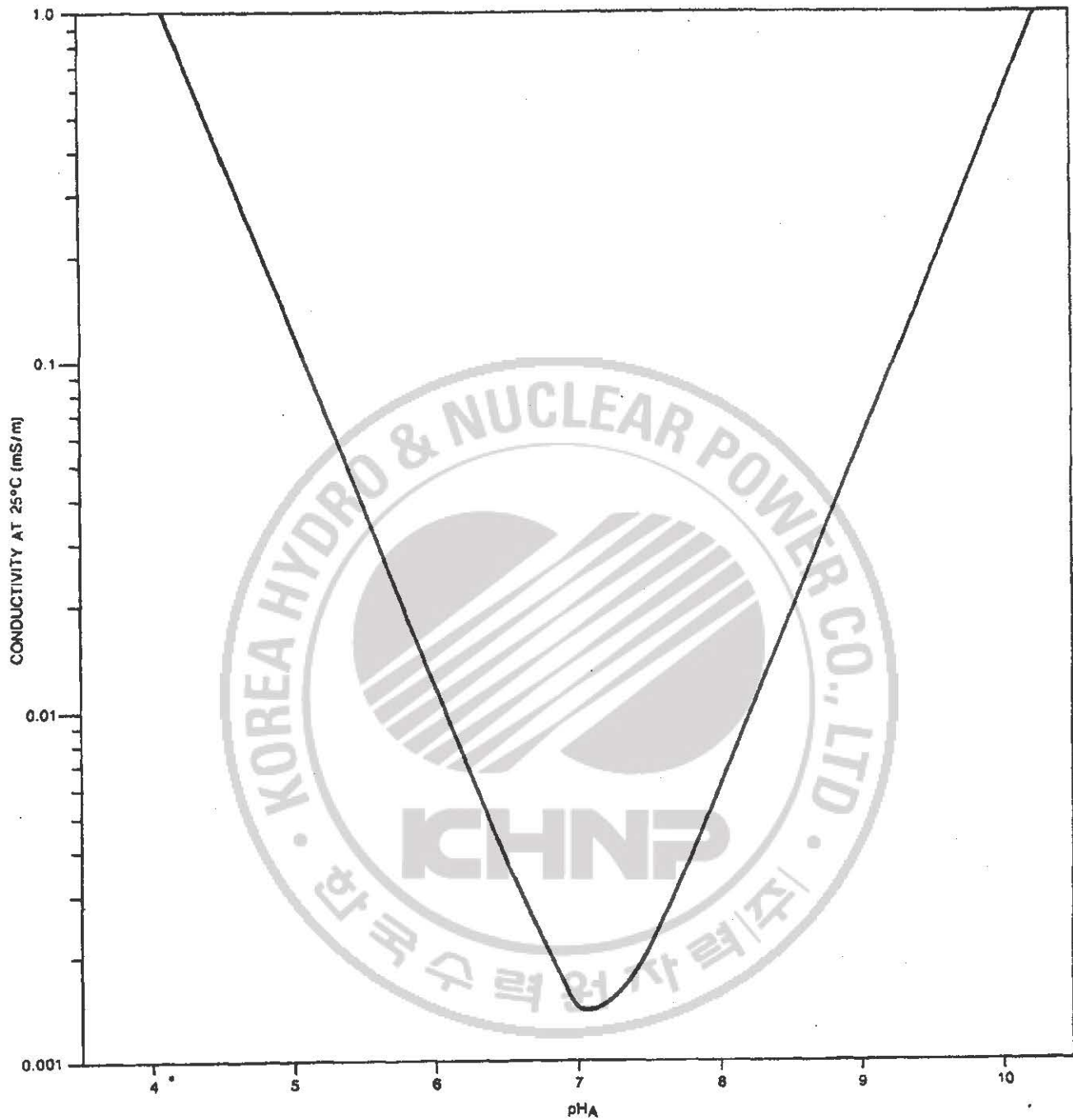
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

리튬 농축도, 전도도 및 산성도의 상호
관련성을 보여주는 노모그램(Nomogram)

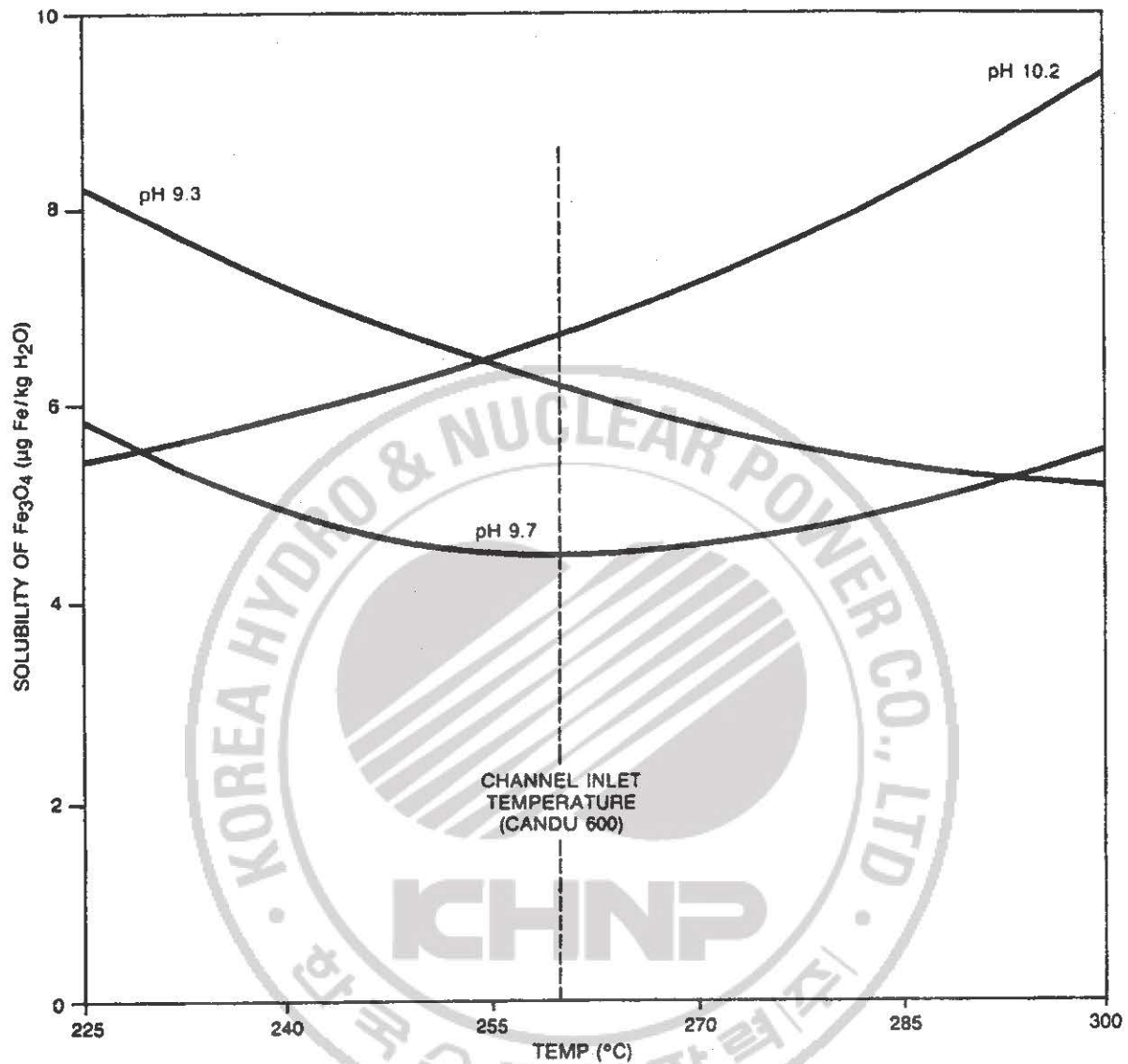
그림 9.3-11



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

25°C에서 pH_A와 전도도와의 이론적 관계도

그림 9.3-12



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

서로 다른 산성도 (25 $^\circ\text{C}$)에서 마그네타이트

용해도와 온도와의 관계

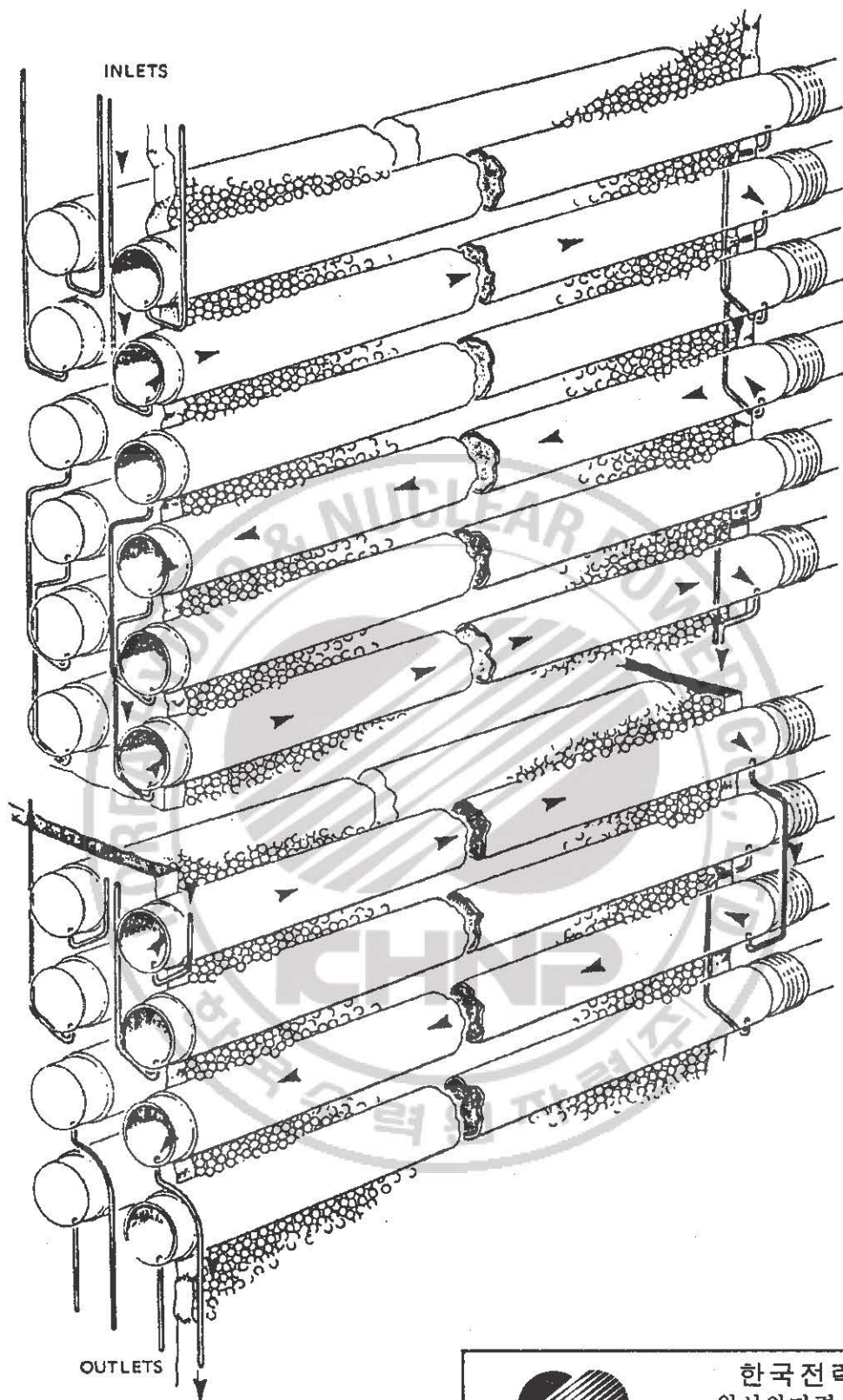
그림 9.3-13



한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
외풍 안전성 분석 보고서

원형기계 계통

그림 93-14



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

환형기체 채널 유량 계통

그림 9.3-15



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

차폐냉각 계통

그림 9.3-16



한국전력공사
원성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

수지 이송 계통

그림 9.3-17

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

감속제 중수화/탈중수화 계통(개략도)

그림 9.3-18



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

냉각재 중수화/탈중수화 계통(개략도)

그림 9.3-19






한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

사고후 공기 시료채취 및 감시 계통

그림 9.3-20

	한국전력공사 원자력 2,3,4호기 최종 안전성 분석 보고서
압축 공기 계통 흐름도(1/4) (23회)	
그림 9.3-21	





한국전력공사
발전본부 3.49기
지중 안전관문식 보크서

압축공기(저온) 호통도(2/4) (3호기)

그림 9 C-21



한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

압축공기제동 흐름도(3/4) (4호기)
그림9.3-21





한국수력원자력(주)

월성원자력 3,4호기


최종 안전성 분석 보고서

압축공기계통 흐름도(4/4)

그림9.3-21







한국수력원자력주식회사
월성3,4호기 최종안전성분석보고서

작업용 공기 계통 흐름도(1/4)

그림 9.3-22

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
방사능의학과 3차기
과수 안전성 분석 보고서

작성한 곳: 1차본 도출도(2/4) (3호기)

그림 9.3-22



한국전력공사
원성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

작업용 공기 계통 흐름도(3/4)

그림 9.3-22

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

페이지 1




한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

작업용 공기 계통 흐름도(4/4)

그림 9.3-22

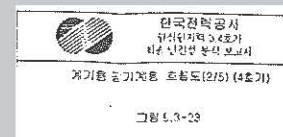
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

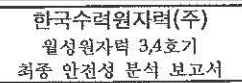


	한국수력원자력(주) 월성원자력 3,4호기 취중 안전성 분석 보고서
	제기용 공기계통 흐름도(1/5) 그림9.3-23

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



The logo of Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd. (KHNP) is a circular emblem. The outer ring contains the text "KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD." in English at the top and "한국수력원자력" in Korean at the bottom. The center features a stylized graphic of a sun or a water droplet with radiating lines, and the acronym "KHNP" is prominently displayed below it.


$$f(x) = x^3 + 2x^2 + 3x + 4$$


계기용 공기계통 흐름도(3/5)
그림9.3-23

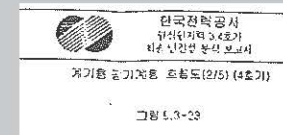



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



	한국수력원자력(주) 안전관리부(2453) 기술안전팀 안전보안과
	계기당 원자재량 실험도(4/5) (3호기)
	그림 9.3-23

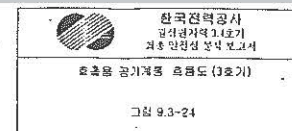
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.




 <div>한국전력공사 월성원자력 2,3,4호기 최종 안전성 분석 보고서</div>	계기용 공기 계통 흐름도(5/5) 그림 9.3-23
---	-------------------------------------




본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.






	한국수력원자력주식회사 월성3,4호기 최종안전성분석보고서
호흡용 공기 계통 흐름도	
그림 9.3-24	

 <div>한국전력공사 월성원자력 2,3,4호기 최종 안전성 분석 보고서</div>	<div>배수 계통 흐름도(1/17)</div> <div>그림 9.3-25</div>
---	---




본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



	한국수력원자력(주) 원성원자력 3.4호기 최종 안전성 분석 보고서
	영수 저동 호동도(2/17) 그림 93-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



	한국수력원자력(주) 원자력 3.4분기 외국 안전성 분석 보고서
	핵수 제동 요령도(3/17) 그림 9.3-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

배수 계통 흐름도(4/17)

그림 9.3-25




한국전력공사
원성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

배수 계통 흐름도(5/17)

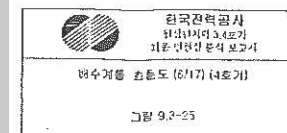
그림 9.3-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



	한국전력공사 공정관리처 3차지 외공 안전성 문서 보고서
태수계통 호명도 (5/17) (3호기)	
그림 9.3-25	

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

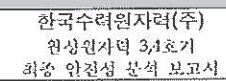


본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.




한국수력원자력(주)
원수원자력 34호기
최종 안전성 분석 보고서

배수계통 흐름도(8/17)
그림9.3-25



배수계통 호암도(8/17)(3호기)
그림 9.3-25



	한국수력원자력(주) 원상원자력 3/4호기 외풍 안전성 분석 보고서
	배수계통 흐름도(0/17)(4호기) 그림9.3-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



승인근거



한국수력원자력주식회사
월성3,4호기 최종안전성분석보고서

배수 계통 흐름도(10/17)

그림 9.3-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

배수 계통 흐름도(11/17)

그림 9.3-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

배수 계통 흐름도(12/17)

그림 9.3-25



한국전력공사
원성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

배수 계통 흐름도(13/17)

그림 9.3-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
원성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

배수 계통 흐름도(14/17)

그림 9.3-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

배수 계통 흐름도(15/17)

그림 9.3-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

배수 계통 흐름도(16/17)

그림 9.3-25

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
원성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

배수 계통 흐름도(17/17)

그림 9.3-25



한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

차폐탱크 및 중단차폐 냉각계통 흐름도

그림 9.3-26

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

9.4 공기조화(HVAC) 계통

9.4.1 개 요

원자로 보조건물 및 터빈건물의 난방은 증기-물 열교환기(steam-water heat exchanger)로 생산된 온수가 사용된다. 열교환기로 들어가는 증기는 터빈이나 보조보일러계통으로부터 공급받는다. 1호기에 위치한 보조보일러는 1,2,3 및 4 호기 공용으로 사용한다.

네(4)대의 발전소 터빈이 동시에 정지될 경우는 경험상 거의 없지만 만일 그럴 경우에는 중요도가 낮은 온수 난방 계통에 공급을 중단시키고 좀더 중요한 글리콜 용액 난방 계통에만 공급하며 보일러 용량은 네(4) 발전소 글리콜 난방에 충분하다.

증기-글리콜 열교환기(heat exchanger of the steam-glycol type)에 공급되는 증기도 터빈이나 보조증기 계통으로부터 공급받으며 글리콜 수용액의 열은 난방코일을 통하여 외부에서 들어오는 공기에 전달되는데, 이 난방코일은 글리콜 액으로 채워져있으므로 난방 또는 순환계통의 사고시에도 동파되지 않는다.

원자로가 출력운전중일 때에는 원자로 건물의 온도유지에 외부로부터의 열이 필요하지 않다. 원자로 정지시에는 원자로 건물에 공급하는 환기용공기를 가열하여 원자로 건물에 열을 공급한다.

9.4.2 원자로 건물

9.4.2.1 설계 기준i

원자로건물의 공기조화계통은 다음의 요건들을 만족시키도록 설계되어야 한다.

9.4.2.1.1 기능요건i

환기계통은 다음 사항이 요구된다. i

가. 현장의 방사선원에 의해 누출되거나, 지역을 통과하는 기기 또는 사람의 이동에 의해 확산되는 방사능의 축적을 막기 위해 모든 접근 가능한 지역에 환기율에 의한 적당한 공기를 공급한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

나. 기기의 운전이나 보수기간 동안에 누출된 방사능의 확산을 최소화하기 위해 평상시 환기되지 않는 지역에 공기 배기 연결덕트, 격실, 후드(hood)를 설치한다.i

다. 원자로건물 출입문 격실이나 문 틈새를 통한 방사능의 누출을 막기 위해 원자로건물내의 압력 $[-0.5 \sim -1 \text{ kPa(g)}]$ 을 대기압보다 조금 낮게 유지한다.i 102

라. 정상 환기 동작시에 방사능의 누출을 최소화하기 위해 공기 여과장치와 공기흡착장치를 마련한다.i

마. 지역간의 모든 공기의 흐름은 청정 지역에서 오염된 지역으로 흐르도록 접근 가능한 지역에 공기를 공급하고 압력균형을 유지한다.i

바. 정상 원자로 운전시 정기적인 시험과 검사를 위하여 이 계통과 연관된 모든 기기들에 대한 접근이 용이하도록 한다.i

사. 계속적인 환기계통의 운전과 원자로건물내에서의 방사능누출의 제한을 보장하기 위하여 필요한 다중의 배기 팬들과 조절 댐퍼들을 설치한다.

아. 환기 공기속에 포함될 수 있는 대기입자의 방사화(activation)를 막기 위해 환기공급 공기의 충분한 여과장치를 설치한다.i

자. 원자로건물안의 중수증기 저급화를 최소화하고 중수승급화 효율을 높이기 위해 환기공급공기를 제공하는 장치를 설치한다.

차. 환기장치가 동작되는 정상운전시에 원자로건물로 들어가는 수분을 줄이는 적절한 장치들을 설치한다.i

카. 여과기 전후의 압력차, 환기되는 풍량, 그리고 탄소 여과기에서의 온도 표시 장치를 설치한다.i

타. 냉방코일과 난방코일 사이의 공기 온도를 측정하고 표시할 수 있도록 한다.i

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

파. 댐퍼들과 송풍기들을 조절할 수 있도록 한다.i

냉·난방 계통은 다음 사항이 요구된다. i

가. 접근할 수 없는 지역에서의 공기온도를 제한하여 열로 인하여 건물이나 기기가 손상되지 않도록 한다.i

나. 작업이 편안하게 수행될 수 있도록 접근가능한 지역에서의 공기 온도를 제한한다.

다. 피더 캐비닛 (feeder cabinet) 뒤의 원자로 격실 콘크리트를 냉각시킨다.i

라. 원자로건물내의 지역공기냉각기들, 콘크리트 냉각팬들과 각 격리댐퍼들의 동작을 제어한다.i

마. 접근할 수 없는 지역에서의 온도와 접근 가능하나 평상시 사용되지 않는 지역에서의 온도를 측정하여야 한다. 경보가 필요할 때는 경보가 동작하도록 설계 되어있어야 한다.i

바. 주증기관파단사고나 대, 소형 LOCA가 발생했을 때 두번째 열제거원(heat sink) 을 제공한다. (살수 계통이 첫번째의 단기간 열제거원이다.)

사. 주증기관파단사고나 대형 LOCA 발생후 살수계통이 손상되었을 경우에 격납건물 안의 압력을 400 kPa 혹은 그보다 낮은 값으로 유지할 수 있는 충분한 열제거원을 제공한다.

아. LOCA에 뒤따른 부지 설계 지진 (SDE) 의 경우에 수소분산능력을 제공한다.

자. 사용후 핵연료 이송 저장조 [REDACTED] 를 환기시킨다.

9.4.2.1.2 성능요건i

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

가. 환기계통은 표 9.4-1에 추정된 공기량을 공급할 수 있는 용량을 갖추어야 한다.i

나. 원자로건물과 대기사이의 정상적인 차압은 $-0.5 \sim -1$ kPa(g)이다. 유지할 수 있는 최대 차압은 3.5 kPa로 유지되어야 한다. 이 차압에서는 원자로는 트립되고 원자로건물은 격리될 것이다.i

102

다. 원자로건물 환기계통은 38°C 와 120 kPa(g) 에서 10,000 scfm의 공기로 운전될 수 있도록 설계된다.i

라. 냉방계통은 접근 불가능한 지역에서 주위 공기 온도가 40°C 나 그 이하로 유지할 수 있는 용량을 갖추어야 한다.i

9.4.2.1.3 안전요건i

원자로건물 냉난방계통과 환기계통은 모두 안전관련 계통 (참고문헌9.4-1) 들이다. 이들의 안전범주는 1(d)인데 이것은 어떤 정의된 사고기간 동안에 발전소내의 이들 부분의 기능상실은 간접적으로 방사능의 누출을 일으키거나 안전관련 계통의 동작에 나쁜 영향을 줄 수 있다는 것을 의미한다.i

이 계통은 안전관련 계통들에 대해 적절한 정상적인 운전환경을 보장하여 이들 계통의 기기들이 규정된 설계수명기간 동안 요구되는 안전기능들을 수행하도록 한다.i

원자로건물의 대기로 열려있는 계통들에 대한 원자로건물 격리요건들을 만족시키기 위해 2개의 자동으로 닫히는 격리밸브들이 환기 복귀관과 공급관에 각각 설치되어 있다.i

원자로건물 환기계통은 사고 동안 또는 사고후 즉시 운전되지 않도록 설계되어 있다. 오히려 배기물질의 고방사능 신호나 원자로건물의 고압력에서 원자로 건물 격리 밸브들은 2초 내에 닫히게 되며 이로 인해 배기 팬들은

3

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

운전 정지된다. 원자로건물 격리에 대한 자세한 내용은 6.4절을 참조하기 바람.;

원자로건물의 지역공기냉각기 (LAC1~LAC16) 들은 중요한 격납용기 안전기기이다. LOCA나 주증기관 파단 사고시, 지역공기냉각기들은 격납용기의 압력과 온도를 응축에 의해 감소시킴으로써 살수 계통을 보완한다. 더우기, 이 지역공기냉각기들은 살수 계통이 상실되었을때 원자로 용기 최고 압력이 설계 압력(400 kPa (g))을 초과하지 않는 대형 LOCA나 주증기관 파단 사고시의 영향에 대처 할 수 있도록 설계되어진다. 이 지역공기 냉각기들은 또한 사고후의 수소를 균일하게 혼합하는 작용을 통하여 수소제어계통을 보조하도록 설계되어진다.

9.4.2.1.4 안전 설계 지침;

이 계통에 적용되는 안전 설계 지침은 다음과 같다.;

가. 86-03650-SDG-001 : Safety Related Systems

나. 86-03650-SDG-002 : Seismic Qualification (9.4.2.5.2절을 참조);

다. 86-03650-SDG-003 : Environmental Qualification(9.4.2.5.3절을 참조);

라. 86-03650-SDG-005 : Fire Protection(9.4.2.3.5절을 참조);

마. 86-03650-SDG-006 : Containment Extensions(9.4.2.1.3절과 9.4.2.1.5절을 참조);

9.4.2.1.5 규격, 표준 및 등급분류;

원자로건물 확장부와 격리밸브들을 제외한 원자로건물 공기조화계통은 참고문헌 9.4-8에 의해서 6등급으로 분류된다. 원자로건물 확장부와 격리밸브들은 2등급으로 분류된다.;

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

이 계통에 대한 규격요건들은 월성 원자력발전소 3,4호기에 대한 계통분류목록에 명시되어 있다. | 54

9.4.2.2 계통설명

가. 원자로건물 난방

원자로가 가동중일 때는 증기발생기, 펌프, 기타 기기에서 열이 발생하여 원자로건물 내부를 덥게한다. 이 열의 발열량은 건물의 열 손실량보다 크므로 특별히 난방할 필요가 없다.

원자로의 운전 정지 기간 동안에 원자로 건물의 난방은 공기 공급 및 배기 계통으로 (once-through system) 설계된 원자로건물 환기계통에 의해 이루어진다. 온수계통과 인입공기처리장치 (inlet air-handling Unit) 는 외부공기를 24℃까지 가열시킬 수 있는 용량을 가지고 있다. 그래서 원자로 정지 기간에도 원자로건물의 보온을 유지 할 수 있다.

나. 원자로 건물냉방

기기냉각수 계통 (recirculated service water system) 으로부터 용수를 공급받는 팬코일냉방장치들은 원자로 건물내의 접근 불가능한 지역들을 냉각시키기 위해 사용된다. (몇개의 지역은 원자로건물 환기계통의 냉각기에 의해서 냉각이 이루어진다) 냉수가 공급되는 냉각장치들은 접근가능한 지역들을 냉각시킨다.

이 냉각기들은 원자로 운전기간 동안에는 계속해서 동작된다. 대부분의 방들은 하나의 냉각기로 충분하지만 높은 발열량이 있는 핵연료장전실과 증기 발생기실은 여러대의 냉각기가 설치된다. 증기발생기실 (지역공기냉각기 LAC 1~LAC 8) 과 핵연료장전실 (과 , 지역공기냉각기 LAC

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

9 ~ LAC 16))에 있는 냉각 장치들은 방사성 배수수집 탱크로 들어가는 응축배관을 갖고 있다. 다른 냉각 장치에서 발생하는 응축수는 바닥 배수구로 수집되지만, LOCA나 1차계통에서의 중수가 누출되는 중요사고를 제외하고는 이들 냉각기로 부터의 응축은 예상되지 않는다.i

피더 캐비닛 뒤의 콘크리트는 특별한 냉각이 요구된다. 각 핵연료장전실에 위치한 팬들은 차폐 콘크리트를 냉각시킨다.i

다중 냉각장치를 가진 방에서는 공기 냉각기들이 수동과 자동으로 조절된다. 다중 냉각장치가 안된 방에서는 지역 공기냉각기들이 수동으로 조절된다. 콘크리트 냉각팬들도 수동으로 조절된다.i

표 9.4-2에는 각 공기냉각기의 위치와 수행 특성들이 나타나 있다.i

다. 원자로건물 환기i

원자로 건물내에서 환기가 되는 곳은 다음과 같다.i

(1) 전송기실, 연료교환기의 보조실, 연료교환기실 그리고 사용후 핵연료취급 구역을 제외한 지하의 모든 출입 가능지역i

(2) 중수계통이 있는 방 (이 방에는 증기회수 계통이 있다. 9.5.3 절 참조) 을 제외한 지상의 모든 출입 가능구역 및 하역 구역과 새 연료 장전구역

iii) 사용후핵연료 이송조 ()ii

원자로건물 환기계통의 구성도는 그림 9.4-1에 보여진다. 이것은 격납 건물 남쪽경계를 통과하여 보조건물 2층으로 들어가는 관통부를 가진 원자로 건물 내의 배기 덕트들의 회로로 구성되어있다.i

전단여과기 (prefilter) 및 고효율(HEPA) 여과기 후에 일련의 활성 | 54
탄 여과기가 설치되어 대기로 방출되기 전에 요구되는 배기공기의 계속적 또는

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

간헐적 정화를 수행한다. 여과기에서 청정 공기쪽에 설치되어 있는 100% 용량의 2대의 배기 팬들은 각각의 팬에 대해 각각의 격리댐퍼들과 연동되어져 있다. 팬들은 여과기 저항에 대하여 규정된 풍량을 유지한다.i

보조건물 ()에 있는 공기조화기는 밖으로 부터 공기를 유입하여 여과시키고 필요한 대로 공기조화를 시킨뒤, 원자로건물 출입문 위의 분리된 공기공급계통을 경유시켜서 원자로건물로 들여보낸다.

배기덕트에 설치되어 있는 풍량조절 댐퍼도 공기환기율과 풍량 및 풍속등 공기의 흐름을 조절한다. 또한 공급계통에도 비슷한 댐퍼가 있어 원자로건물의 내압과 대기압과의 평형을 유지시킨다.i

정상적인 총환기량은 약 $4.7 \text{ m}^3/\text{s}$ (10,000 scfm) 이다. 운전을 중지하고 보수하는 동안에 몇 군데 가동구역을 정기적으로 배출할 때를 대비하여 용량이 $9.4 \text{ m}^3/\text{s}$ (20,000 scfm) 인 배기 굴뚝이 마련되어 있다.i

증기발생기실과 감속재 계통 격리실에는 따로 덕트가 연결되어 있으나 배출 할때에만 사용한다.i

각각의 원자로건물 경제관통부에서 공급 및 회수덕트내에 원자로건물내 고압이나 배기물질이 고 방사능인 경우에 급속히 닫힐 수 있는 이중의 격리 댐퍼들이 설치되어 있다. 주 제어실에는 이러한 댐퍼들의 운전상태가 표시된다.i

원자로건물의 사용후 핵연료 이송조 ()는 보조건물환기계통에 의하여 환기된다. 원자로건물과 보조건물계통의 연결지점은 격납용기 격리밸브이다.

9.4.2.3 기기설명

환기 계통에 대한 기기설명은 9.4.2.3.1절부터 9.4.2.3.5절에 기술되어

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

있다.

냉방계통에 대한 기기설명은 9.4.2.3.6절부터 9.4.2.3.8절 사이에 기술되어 있다.

9.4.2.3.1 공기 공급;

공기공급장치는 가열코일 부분, 전단여과기 부분, 전단 냉각 코일부분, 후단 냉각 코일 부분, 건조기 부분, 팬 부분과 고효율 여과기 (HEPA) 부분등으로 구성되어 있다.

여과기 부분은 교체 가능한 카트리지형의 고효율 여과기와 이 여과기 앞에 위치한 자동 롤형 (roll-type) 전단 여과기 (pre-filter) 로 구성되어 있다.

이렇게 결합되어 있는 여과기는 5 마이크론의 먼지를 99.90% 제거할 수 있는 총 효율을 갖고 있다 (National Bureau of Standards 기준으로는 95%- NBS DUST SPOT). 이 여과기 집합체는 먼지부하(dust-loading)에 의해 요구되는 여과기를 교체할 수 있는 적절한 구동전동기와 제어기기로 구성되어 있다. 가열 코일에는 글리콜이 공급된다.

이 장치안에 있는 냉각수냉각코일에는 6 °C(43°F)의 요구된 용량의 냉각수가 공급되어 진다. 분리된 온수/글리콜 그리고 냉방수 조절 밸브들이 요구된 공급 공기조건들을 유지시킨다.

정상 운전기간 동안 원자로건물내로 유입되는 수분의 양을 줄이기 위해 공기공급장치에 건조기가 설치되어야 한다. 이것으로 중수증기회수 건조기를 통해 회수되는 중수의 저급화를 줄이게 된다.

9.4.2.3.2 배기 여과기 (filter train);