

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

제 18 장 - 인간공학

목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
18.1	<u>서론</u>	18.1-1
18.1.1	일반설계기준 19 : 제어실	18.1-2
18.1.2	표준심사지침 : 검토과정	18.1-2
18.1.3	국내 운전 중 원자력발전소 결함사항	18.1-4
18.1.4	인간공학 프로그램 활동 계획	18.1-5
18.1.4.1	인간공학 계획 개요	18.1-5
18.1.4.2	인간공학 프로그램 개발	18.1-5
18.1.4.3	종합적인 인간공학자침서 개발	18.1-6
18.1.4.4	모형제작	18.1-6
18.1.4.5	제어반기기 배열도면 작성	18.1-7
18.1.4.6	직무분석과 확인 및 검증계획 개발	18.1-7
18.1.4.7	직무분석 수행	18.1-8
18.1.4.8	확인 및 검증	18.1-9
18.1.4.9	주제어반과 원격정지반 재구성	18.1-10
18.1.4.10	기타 중요한 지역의 기능적 배치검토	18.1-10
18.1.4.11	설계 및 구매서류 검토	18.1-14
18.1.4.12	공급자 설계의 인간공학적 검토	18.1-15
18.1.4.13	발전소전산기계통 설계검토	18.1-17
18.1.4.14	비상대응설비 설계검토	18.1-17
18.1.4.15	통신설비 설계검토	18.1-17
18.1.4.16	점검표 작성	18.1-17
18.1.4.17	문서작성	18.1-18
18.1.4.18	주제어반 제작검토	18.1-19
18.1.4.19	발전소 절차서 작성검토	18.1-19
18.1.5	참고문헌	18.1-19
18.2	<u>주제어실 설계</u>	18.2-1
18.2.1	제어실 작업공간	18.2-1A
18.2.1.1	신월성 1호기와 2호기 유사성	18.2-2

1

1

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

목 차 (계속)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
18.2.1.2	거울형 대칭	18.2-2
18.2.1.3	통신	18.2-2
18.2.1.4	거주성	18.2-3
18.2.1.5	접근성	18.2-3
18.2.1.6	저장공간	18.2-4
18.2.1.7	정비	18.2-4
18.2.2	주제어실 환경	18.2-4
18.2.2.1	소음	18.2-5
18.2.2.2	조도	18.2-5
18.2.2.3	습도, 온도 및 환기	18.2-6
18.2.2.4	운전원 편의	18.2-7
18.2.3	제어반 설계 및 배치	18.2-7
18.2.3.1	주제어반 배치의 기능적 결정	18.2-9
18.2.3.2	제측제어의 기능	18.2-10
18.2.3.3	제통기능 분석수행	18.2-10C
18.2.3.4	패널의 일관성 및 표준화	18.2-11
18.2.3.5	지시기 및 제어기 그룹	18.2-11
18.2.3.6	기본적인 계기형태 선정	18.2-12
18.2.4	시각지시기	18.2-12
18.2.4.1	지시계	18.2-14
18.2.4.2	지시등	18.2-15
18.2.4.3	기록계	18.2-16
18.2.5	제어기	18.2-16
18.2.5.1	제어기 코드화 및 형태	18.2-17
18.2.5.2	오조작 방지	18.2-24
18.2.5.3	기타제어 및 지시기	18.2-25
18.2.6	경보기	18.2-25C
18.2.6.1	색상 코드화 및 우선순위	18.2-28
18.2.6.2	점멸도	18.2-29
18.2.6.3	명판과 글자새김	18.2-29
18.2.6.4	다중입력 경보창	18.2-30
18.2.6.5	소등 개념	18.2-30

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

목 차 (계속)

번 호	제 목	페이지
18.2.6.6	주기적 시험 및 정비	18.2-30
18.2.6.7	고장 및 빈 경보창	18.2-30
18.2.6.8	경보화면 표시기	18.2-30A
18.2.6.9	경보절차서	18.2-31
18.2.7	인지력 향상	18.2-31
18.2.7.1	명판	18.2-31
18.2.7.2	경계표시	18.2-33
18.2.7.3	모형도	18.2-34
18.2.7.4	채널식별	18.2-34
18.2.8	시험 및 검사	18.2-35
18.3	<u>안전변수지시계통</u>	18.3-1
18.3.1	설계기준	18.3-2
18.3.2	기능	18.3-3
18.3.3	입력변수 및 검증	18.3-4
18.3.4	정보 표시	18.3-5
18.3.4.1	표시계층구조	18.3-5
18.3.4.2	표시화면 접근	18.3-8
18.3.4.3	화면표시에 대한 인간공학적 설계기준	18.3-9
18.3.4.3.1	표시형식	18.3-10
18.3.4.3.2	공정기호	18.3-11
18.3.4.3.3	공정보형도	18.3-11
18.3.4.3.4	색상 사용규칙	18.3-11
18.3.4.3.5	기호 동작 특성	18.3-12
18.3.5	표시기 위치	18.3-12
18.3.6	확인 및 검증	18.3-13
18.3.7	훈련 및 지침서	18.3-14
18.4	<u>원격정지실</u>	18.4-1
18.4.1	원격정지실의 작업공간	18.4-1
18.4.1.1	신월성 1호기와 2호기 유사성	18.4-1

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

목 차 (계속)

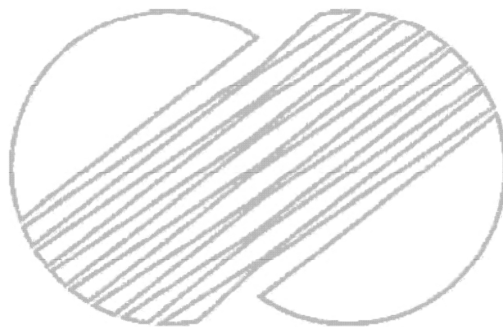
<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
18.4.1.2	거울형 대칭	18.4-2
18.4.1.3	통신	18.4-2
18.4.1.4	거주성	18.4-2
18.4.1.5	접근성	18.4-2
18.4.1.6	저장공간	18.4-3
18.4.1.7	정비	18.4-3
18.4.2	원격정지실 환경	18.4-3
18.4.2.1	소음	18.4-3
18.4.2.2	조도	18.4-4
18.4.2.3	습도, 온도 및 환기	18.4-4
18.4.2.4	운전원 편의	18.4-4
18.4.3	원격정지반 설계 및 배치	18.4-4
18.4.3.1	원격정지실 배치의 기능적 결정	18.4-6
18.4.3.2	제통기능 분석 수행	18.4-8
18.4.3.3	패널의 일관성 및 표준화	18.4-8
18.4.3.4	지시기 및 제어기 그룹	18.4-9
18.4.3.5	기본적인 계기형태 선정	18.4-9
18.4.4	시각지시기	18.4-9
18.4.4.1	지시등	18.4-10
18.4.4.2	계기와 기록계	18.4-10
18.4.5	제어기	18.4-11
18.4.5.1	제어기 코드화 형태	18.4-12
18.4.5.2	오조작 방지	18.4-13
18.4.6	음향경보기	18.4-14
18.4.7	인지력 향상	18.4-14
18.4.7.1	명판	18.4-14
18.4.7.2	경계표시	18.4-16
18.4.7.3	채널 식별	18.4-16

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

제 18 장 - 인간공학

표 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
18.2-1	한국인 남자 신체 표준치(25세~50세)	18.2-36
18.2-2	경보창 우선순위 및 색상표식	18.2-37
18.2-3	경보계통 정상경보 절차	18.2-38



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

제 18 장 - 인간공학

그림 목차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	
18.1-1	공기조화설비 제어반(PM01)	
18.1-2	보조냉각설비 제어반(PM02)	
18.1-3	공학적안전설비 제어반 (PM03)	
18.1-4	화학 및 체적제어설비 제어반(PM04)	
18.1-5	원자로냉각설비 제어반(PM05)	
18.1-6	원자로 제어 및 보호설비 제어반(PM06)	
18.1-7	증기발생설비 제어반(PM07)	
18.1-8	급수설비 제어반(PM08)	
18.1-9	터빈설비 제어반(PM09)	
18.1-10	발전설비 제어반(PM10)	
18.1-11	1호기 소내 전력설비 제어반(PM11)	
18.1-12	2호기 소내 전력설비 제어반(PM11)	
18.1-13	화재방호설비 제어반(PM12)	
18.1-14	원격정지반 계열 A(RU01A)	
18.1-15	원격정지반 계열 B(RU01B)	
18.1-16	비상기술지원실(ISC) 및 비상운영지원실(OSC) 배치도	1
18.2-1	주제어지역 기기 배치도	
18.2-2	신월성 1,2호기 주제어반에 대한 95% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및 기능적 접근성	
18.2-3	신월성 1,2호기 주제어반에 대한 5% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및 기능적 접근성	
18.2-4	신월성 1,2호기 운전원 콘솔에 대한 95% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및 기능적 접근성	
18.2-5	신월성 1,2호기 운전원 콘솔에 대한 5% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및 기능적 접근성	
18.2-6	지시계 및 기록계	
18.2-7	발광 푸쉬 버튼	
18.2-8	로타리 핸드스위치, 수동/자동 제어기 및 비발광 푸쉬 버튼	
18.2-9	기타제어기 및 지시기(PM06)	1
18.2-10	기타제어기 및 지시기(PM04, PM05, PM08, PM09)	
18.2-11	안전등급기기 및 규제지침서 1.97 기기의 채널식별방안	

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

그림 목차 (계속)

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>
18.3-1	필수안전기능 상태화면의 예
18.3-2	경보발생 원인 정보화면의 예
18.3-3	계통요약 및 상세 정보화면의 예
18.3-4	일반적인 추이표시화면의 예
18.3-5	표시화면의 대표적인 기호구성
18.4-1	원격정지실 배치도 및 원격정지반 측면도
18.4-2	신월성 1,2호기 원격정지반에 대한 95% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및 기능적 접근성
18.4-3	신월성 1,2호기 원격정지반에 대한 5% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및 기능적 접근성



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18 인간공학

18.1 서론

본 장에서는 신월성 1,2호기 인간공학에 대해 기술한다. 신월성 1,2호기에 인간공학을 적용하는 목적은 발전소 운전수명기간 동안 인적오류의 발생 가능성을 줄이는 것이다.

신월성 1,2호기 주제어실 설계는 울진 5,6호기 발전소 설계를 참조하기 때문에 울진 5,6호기 설계와 유사하다. 주제어실 설계는 표준심사지침 18장 지침에 따르며 특히 표준심사지침에서 언급한 내용 중 발전소 설계를 시작하는 사업자에 대한 지침을 적용하였다. 이것은 상세 제어실 설계검토(DCRDR)대신 주제어실 설계과정에 인간공학 요건을 적용해야함을 의미하며 표준심사지침에서 언급된 내용 중 상세 제어실 설계검토는 이미 종결된 주제어실 설계에만 해당되는 규제사항이기 때문에 이를 적용하지 않는다. 신월성 1,2호기는 설계 초기단계부터 인간공학 요건을 적용한 주제어실 설계를 구현하였다.

신월성 1,2호기 주제어실은 인간공학 규제요건 및 지침, 한국인 표준체위에 의거하여 설계되었다.

주제어실 배치, 제어반 설계 및 배열과 주위 환경 등과 같은 상세 인간공학 요건이 적용되어야 하는 설계업무가 완벽히 수행될 수 있도록 인간공학 담당자와 설계담당자별로 구분하여 구성된 독립된 신월성 1,2호기 인간공학팀이 구성되어 있다.

가동 중인 국내 원자력발전소에서 지적된 주요 문제점(예를 들면, 계통 구분, 경보 우선 순위, 지시계 및 기록계 단일화, 기타 일반적인 인간공학 결함사항 등)들은 신월성 1,2호기 제어실 설계에 반영되었다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

인간-기계 상호 연계 및 다른 모든 사항에 인간공학이 완벽히 반영되는지를 보증할 수 있도록 표준심사지침에 기준하여 신월성 1,2호기 인간공학지침서와 인간공학 활동계획서가 작성되었다.

본 장의 목적은 안전하고 효율적인 발전소 운전을 도모하는 데 적합한 주제어실의 인간-기계 연계를 보증하는 데 있다. 설계과정에 적용되는 인간공학 기준은 주제어실 및 원격 정지실 설계와 관련된 일반설계기준 19 요건에 따른다.

18.1.1 일반설계기준 19 : 제어실

다음 사항은 10 CFR 50, 부록 A, 일반설계기준 19에 기술되어 있는 내용이다.

- 가. 정상운전 중에 원자력발전소를 안전하게 운전하고, 냉각재상실사고를 포함한 사고 시 발전소를 안전상태로 유지토록 하기 위한 조치가 취해질 수 있도록 제어실이 설치되어야 한다.
- 나. 적절한 절차에 따라 고온정지 및 상온정지 능력을 가진 계측제어설비가 제어실 외부의 적절한 위치에 설치되어야 한다.

18.1.2 표준심사지침 : 검토과정

표준심사지침에 따라 설계과정 중의 신월성 1,2호기 인간공학 프로그램은 규제기관으로부터 다음과 같이 3단계 검토과정을 거친다.

- 가. 예비안전성분석보고서 단계에서는 계획, 예비설계 및 기준 수용 여부에 대한 검토과정

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

나. 최종안전성분석보고서 단계에서는 최종설계, 도면 및 절차서 수용 여부에 대한 검토 과정

다. 최종 단계에서는 안전성분석보고서에서 이행 약속한 사항에 대한 불일치 여부, 또는 과거에 지적되지 않은 결함사항 도출을 위한 제어설비의 설치검사나 필요 시 운전원 및 관련자와의 면담 등이 포함된 결과에 대한 검토 과정

상기 검토과정에서 신월성 1,2호기는 일반설계기준 19 요건을 준수하고 주제어실 및 원격 정지실 설계에 적합한 인간공학 원리가 반영되었다는 것이 입증되었고, 발전소 안전운전을 도모하는 데 적합한 제어실 및 원격정지실의 인간-기계 연계가 확인되었다. 운전원에게 주어진 직무가 만족스럽게 수행됨을 보증하기 위해 정상 및 비상운전에 요구되는 모든 지시기 및 제어가 제어실에서 이용가능함을 확인하였다.

주제어실 및 원격정지실은 적합한 인간공학 원리에 따라 설계 되었으며 주제어실과 원격 정지실 사이의 기능적 연계는 발전소의 모든 운전모드를 적절히 고려하였다. 신청자는 다음 사항을 포함하는 문서를 제출한다.

가. 제어실 작업공간

나. 작업환경

다. 경보 계통

라. 제어기

마. 시각지시기

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

바. 청각신호 계통

사. 명판 및 위치

아. 공정전산기

자. 제어반 배치

차. 제어기-지시기 조합

18.1.3 국내 운전 중 원자력발전소 결함사항

영광 3,4호기 주제어실 인간공학적 검토에 대한 최종확인 및 검증보고서에는 71건의 인간공학 결함사항이 명시되었고 주제어반 기기, 제어실 실사, 계통분석, 계통검증, 설계 결함사항 평가 및 해결방안 등이 포함되어 있다. 울진 3,4,5,6호기, 영광 5,6호기 및 신고리 1,2호기는 영광 3,4호기에서 수행했던 인간공학적 평가업무와 유사하게 수행되었고 발생된 인간공학 결함사항들은 충분한 분석과 설계반영 등을 통해 신월성 1,2호기에는 동일한 결함사항이 발생되지 않도록 하였다.

인간공학 결함사항들은 신월성 1,2호기 제어실 설계의 개발 및 이행과정에 활용되어 동일한 문제 발생 방지와 발전소의 안전성 및 효율성에 영향을 주는 인적오류를 줄이는 데 기여하였다. 인간공학 원리에 대한 세심한 배려 특히, 발전소 개발 초기단계에서 되풀이되는 설계문제를 해결함으로써 개발에 소요되는 시간과 비용을 경감시키는 결과를 가져온다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.1.4 인간공학 프로그램 활동 계획

18.1.4.1 인간공학 계획 개요

이 계획의 목적은 NUREG-0737 Supplement 1 및 표준심사지침 18장에 명시된 바와 같이 신월성 1,2호기 설계과정에서 인간공학 개념이 조기에 완벽하고 지속적으로 반영되고 있음을 보증하는 것이다. 이 계획은 인허가요건을 충족시키고 신월성 1,2호기 설계에 완벽한 인간공학 개념이 반영되도록 하였다.

이 계획은 EPRI NP-3659의 인간공학 계획 및 NUREG-0700에서 수립된 지침에 따라 작성되었다. 주요 인간공학 업무는 인간공학그룹에 의해서 수행되나 직무분석, 기능분석 및 기타 업무 수행 시에 관련부서의 지원이 필요한 경우 다른 분야 및 계측제어 분야 내의 다른 그룹이 참여하였다. 아울러, 핵중기공급계통 공급자의 계통 및 계측제어 기술자, 국내의 운전 및 정비요원, 유경험 운전원 및 기술자로부터 전문적인 조언을 받았다.

18.1.4.2 인간공학 프로그램 개발

신월성 1,2호기의 종합적인 인간공학 프로그램은 사업초기에 개발되었으며 사업자가 지속적으로 체계적인 인간공학 활동을 문서화하여 인간공학 활동의 주요 요소가 부당하게 간과되지 않았음을 보증하는 것이다.

인간공학담당자의 역할은 운전원의 업무 수행에 영향을 줄 수 있는 사항이 발생할 때 결정권한이 있는 관리자 및 기술자들을 지원하고, 인간-기계 연계사항 및 인적 요소의 능력 및 한계를 고려한 정보를 적기에 제공하는 것이다. 발전소 설계 전과정에 인간공학의 원리, 지침 및 기준을 적용하는 목적은 운전원에 주어지는 직무를 줄이고, 가능성 있는 인적실수를 감소시키며, 발전소 운전효율을 높이는 데 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.1.4.3 종합적인 인간공학지침서 개발

사업초기에 경험이 많은 인간공학전문가가 표준심사지침에서 제시하는 사항을 기본으로 하여 인간공학지침서를 개발하였고 주제어실, 원격정지실, 안전변수지시계통 및 비상대응 설비 등에 대한 인간공학 지침이 기술되어 있다. 이 지침서에는 18.2절에서 기술된 바와 같이 주변환경, 계기, 경보, 통행흐름, 체위, 명판 및 전산설비 등이 포함되어 있다. 인간공학지침서는 미국원자력규제위원회의 인간공학기준(NUREG-0700), EPRI 및 INPO의 산업기준, 다른 발전소의 좋은 경험 및 사업주 요구사항 등을 근간으로 개발되고 추가적인 요건들은 그때 마다 사안별로 검토되었다. 주기기 공급자 및 사업관련 부서에 본 지침서를 제공하여 이에 따라 설계함으로써 일관성 있고 표준화된 설계가 되도록 하였다.

18.1.4.4 모형제작

주제어반과 원격정지반의 모형은 실물크기로 제작되었다. 이 모형은 제어반 기기를 정적으로 표현하고 제어반 설계에 대한 평가와 다음 사항이 수행되도록 제작되었다.

- 가. 운전원 직무분석과 확인 및 검증에 위한 인간공학의 도구로 사용
- 나. 모의운전, 면담, 질문, 관찰 등을 통한 제어반 배치와 제어실 구성을 평가
- 다. 운전원 직무와 모의운전에 의한 작업공간 결함사항 확인
- 라. 절차서에 의하여 제어실 내에 설치된 기기들의 계측제어요건 평가
- 마. 주제어반과 원격정지반 설계를 위하여 설계담당자 및 운전원과의 면담
- 바. 주제어반 설계 활용

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

직무분석과 확인 및 검증 을 위하여 실물크기 목재틀에 금속외장을 갖춘 신월성 1,2호기용 주제어반 및 원격정지반을 제작하였다. 목재틀 위에 제어기와 지시계 사진이 부착되며 이 사진은 제작자로부터 자료를 입수하여 제작되었다. 기기들의 구성은 계통도, 제어, 계측도 및 논리도에 근거하였고, 배치평가에 따라 재배치가 용이하도록 자석식으로 제작하였다. 초기 배치는 플랜트 종합설계사의 계측제어 설계부서에서 작성한 제어반 기기배치도에 따라 하였으며, 경계표시(demarcation), 모형도(mimic) 및 명패 등을 모형에 추가하여 설치하였다.

18.1.4.5 제어반기기 배열도면 작성

인간공학 관련지침(EPRI NP-3659, NUREG-0700 및 인간공학지침서)과 계통기능설명서를 기준으로 하여 제어반 계기 배열도면이 작성되었다. 이 도면은 주제어반 및 원격정지반의 제어기와 지시계 배열, 계통간 구분을 위한 경계선, 계기 명판, 도식적 표시 및 심볼, 관련기기별 그룹화 등을 보여준다.

배치설계는 직무분석과 확인 및 검증 업무기간에 평가되고 그 결과로 발생된 인간공학 결함사항은 제어반의 계기 배열도면에 적절히 반영되었다. 최종 제어반기기배치도면은 그림 18.1-1부터 그림 18.1-14에 나타나 있다.

18.1.4.6 직무분석과 확인 및 검증계획 개발

직무분석과 확인 및 검증과정에 대해 선행호기의 비상절차서를 이용하여 각 단계에서의 모의운전을 통한 주제어실 운전원의 인적 오류를 최소화시키기 위한 방법을 정의한 계획서가 작성되었으며 수행방법, 목적, 참여자, 사용 문서 및 기타 필요한 사항이 기술되었다. 점검표, 질의서와 같은 문서들도 개발되었으며, 분석업무에 직접 사용되는 서류들도 이 기간에 작성되었다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.1.4.7 직무분석 수행

주제어반 설계에 대한 포괄적인 직무분석을 수행하기 위해 실물 크기의 제어반 모형이 사용되었다. 신월성 1,2호기 직무분석은 기수립된 직무분석 세부수행계획서에 따라, 제어반 설계검토 및 모의운전과 직무분해기법을 통해 운전원의 직무요건을 분석하였고 그 결과를 설계에 반영하였다.

한기 계통설계자, 제어반 설계자, 인간공학전문가, NSSS 및 T/G 계통관련 설계자, 한수원 설계담당자, 기기공급사 및 경험이 풍부한 운전원이 참여하여 선행호기 인간공학 결합사항 및 설계개선사항 반영여부를 검토하였으며, 경보설계를 포함한 주제어반 및 원격정지반에 대해 모의운전 및 직무분해를 수행하여 직무요건을 분석하였다.

특히, 신고리 1,2호기 및 신월성 1,2호기에 신규 적용되는 국산화 기기(디지털지시계, 기록계 및 제어 스위치 모듈)에 대한 인간공학 적합성 평가가 수행되어, 인간공학적 설계요건에 부합되는 기기가 설치되었으며, 안전변수지시평가계통(SPADES)에 대한 직무분석도 수행되었다.

이러한 과정에서 궁극적으로 최적의 제어반 배치를 유도하고 모든 상황하에서 발전소 운전에는 필요한 기기를 주제어반에 모두 갖추고 있다는 것이 확인되었다. 직무분석 세부 수행내용 및 분석결과는 “직무분석보고서(9-750-J432-002, Rev.0)”에 명시되어 있다.

직무분석 이후에는 직무분석 결과에 따라 모든 과정이 수행되었는지의 여부와 주제어반 필요기기들이 정확히 확인되었는지를 입증하기 위한 확인 및 검증업무가 수행되었다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.1.4.8 확인 및 검증

주제어반 및 원격정지반 설계에 대한 확인 및 검증 작업은 한기 계통설계자, 제어반 설계자, 인간공학전문가, NSSS 및 T/G 계통관련 설계자, 한수원 설계담당자 및 운전원들이 참여하여 선행호기 운전경험과 기 수행된 직무분석 결과를 반영함으로써 인간공학적으로 적합하게 설계되었다는 것을 보증하기 위해 수행되었다.

안전변수지시계통에 대한 확인 및 검증은 18.3.6절에 기술된다.

확인과정의 목적은 신월성 1,2호기 사업팀에 의해 요구된 계측제어기에 대한 주제어반 내에서의 이용성을 검토하고, 운전성 측면에서 이들 계측제어기의 적합성 여부를 결정하는 기회를 갖고자 하는 것이다. 확인과정에서는 직무분석 수행결과 도출된 계기 배치 및 기기 명칭 변경 등의 제어반 설계에 대한 적합성 여부를 확인하였고, 추가적으로 기기배치를 개선하는 등 운전 편의성 제고를 위해 인간공학전문가, 계통설계자 및 운전원이 협의한 결과를 제어반 설계에 반영하였다.

검증과정의 목적은 주제어반 설계가 발전소 절차서를 이용하여 운전원들에게 부여된 직무가 성취될 수 있는가를 검증하는 것으로 어느 특정한 정상상황과 긴급한 상황의 시나리오를 선정하여 경험있는 운전원들에 의해 주제어반 설계를 평가한다.

이러한 운전원 직무수행도 평가를 위해 미리 준비된 직무에 맞는 설문서를 운전원이 절차서를 수행한 후 작성하여 절차서 수행시간, 운전예러 발생, 직무상황에 대한 기기 이용성 및 정보제공의 문제점, 심리적, 육체적 작업부하 정도를 평가하였다. 확인 및 검증 세부 수행내용 및 결과는 “주제어반 확인 및 검증결과보고서(9-750-J437-002, Rev.0)”로 문서화 되었다.

설계과정에 적절한 인간공학적 평가를 거친 설계는 발전소의 개선과 운전 효율성에 있어

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

서 추후 변경사항을 최소화 할 수 있고, 발전소 수명 연장과 예산 측면에 있어서도 더욱 중요한 의미가 있다. 주제어반 제작 이전 단계에서 주제어반 설계에 적절히 고려함으로써 이러한 노력을 성실히 수행하지 않은 원자력발전소와 비교해 볼 때 개선에 대한 비용과 시간을 감소시켜 주는 결과를 가져온다.

18.1.4.9 주제어반과 원격정지반 재구성

직무분석과 확인 및 검증결과에 따라서 주제어반과 원격정지반상의 제어기와 지시기의 배열이 수정되었다. 이 때 고려된 중요 요소는 제어기의 기능적 유용성, 운전과 관련된 기술적 세부사항, 운전원 선호도 및 필요성, 주제어반 설치공간 등이다. 변경된 사항은 제어반 모형을 이용하여 계기를 재배열하고 이를 기준으로 제어반 계기 배열도면이 확정되었으며, 최종 제어반기기배치도면은 그림 18.1-1부터 그림 18.1-15에 나타나 있다.

1

18.1.4.10 기타 중요한 지역의 기능적 배치검토

설계자는 주제어실 뿐만 아니라 운전원과 관련있는 중요한 지역(컴퓨터실, 원격정지실, 비상대응설비)에 대해서도 기능적으로 평면 배치도를 개발하였다. 이들 지역들도 인간공학 설계개념이 적용되어야 한다. 이를 위해 NUREG-0700, EPRI NP-3659, 그리고 인간공학지침서 등이 사용되었다. 원격정지실 내의 원격정지반에 대한 상세 설계내용은 18.4절에 기술되어 있으며, 비상대응설비에 대한 설계내용은 다음과 같다.

비상대응설비에는 비상기술지원실, 비상운영지원실, 그리고 비상대책실이 있다. 비상기술지원실은 발전소 사고상황 중에 발전소 운전요원들을 지휘하고 기술적인 지원을 한다. 비상운영지원실은 운전지원 요원들이 모여서 현장업무를 지원하기 위한 발전소 내의 집합장소로서 복합건물 EL. 142'에 위치하고 있으며, 비상기술지원실 및 비상운영지원실 배치도는 그림 18.1-16에 나타나 있다. 비상대책실은 발전소 밖에 있는 지원설비로서 발전소 외곽 보호수단을 결정하기 위해 필요한 발전소 정보를 감시하도록 되어 있다.

1

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

안전변수지시평가계통 화면은 주제어실, 비상기술지원실 및 비상대책실에 제공하며 관련 안전변수지시계통은 핵증기공급계통 공급자에 의해 제공되는 컴퓨터에 의해 제어되는 계통으로 제어실 요원들이 사고 후 상태를 감시하고 발전소 상황판단을 지원하는 설비이다. 그러나 안전변수지시계통이 단독으로 사고후감시계통을 구성하진 않는다. 사고후감시계통은 사고 후 상황에서 신뢰할만한 주요 발전소 변수들을 제어실 운전원들에게 제공하도록 설계되며 안전변수지시계통에 관한 자세한 내용과 그 계통이 요구하는 사항은 18.3절에 나타나 있다.

다음의 기능들이 발전소 운전 중에 수행된다.

- 가. 비상대응계통은 정상적인 발전소 기동기간 동안이나 고온정지 또는 상온정지기간 동안에는 사용되지 않는다. 비상대응설비 그 자체로는 기동이나 정지 시 필요하지는 않다. 안전변수지시계통과 다른 계통 또는 통신설비 같은 비상대응설비에 사용된 설비들은 발전소 설계 수명기간 동안 어느때 라도 사용할 수 있다. 안전변수지시계통과 사고후감시계통은 항상 운전가능하고 서로 연결(on-line)상태에 있다. 비상대응설비실에는 사업자에 의해 결정된 기준에 준하여 관련 요원들이 상주하는 데, 비상기술지원실에 상주직원이 없을 때는 비상기술지원실 공조설비의 작동은 필요하지 않다.
- 나. 비상대응설비는 발전소의 어떠한 상황에서도 운전가능 하나 발전소 정상운전 중에는 사고후감시계통과 안전변수지시계통을 제외하곤 사용되지 않는다. 비상대응설비의 정상적인 운전은 과도적인 또는 사고 후 발전소 상태에서 사용된다.
- 다. 발전소 과도운전 동안에 비상대응설비는 운영될 수 있고 그 설비실에는 사업자에 의해 결정된 필요한 요원들이 모두 상주하고 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

라. 비상기술지원실은 직접적인 발전소 제어기능은 없다. 비상기술지원실 기능은 비상 시 발전소를 관리하고 운전요원에게 기술적인 지원을 제공한다. 또한 주제어실 출입을 줄이기 위해 주제어실로부터 행하여지는 일상적인 직무와 통신업무를 수행한다. 비상기술지원실은 비상대책실이 그 기능을 수행할 때까지 운영된다. 비상기술지원실 운영과 관련된 기능은 사고전과 사고 중에 획득한 자료를 분석하는 것과 비상운영지원실, 비상대책실, 주제어실 및 원자력안전위원회간의 교신을 포함한다.

1

마. 비상운영지원실은 직접적인 발전소 제어기능은 없다. 비상운영지원실 기능은, 발전소 내에 위치하여 비상기술지원실과 주제어실로부터 격리되어 비상시에 발전소 정비 지원을 수행하는 곳이다. 비상운영지원실은 주제어실, 비상기술지원실, 비상대책실, 그리고 발전소의 간에 신뢰할만한 음성통신을 할 수 있다.

바. 비상대책실은 직접적인 발전소 제어기능은 없고 발전소 요원들을 통제하여 주위 환경상태를 적절하게 감시하고, 비상사태 시 필요한 발전소외의 임무를 수행하기 위해 발전소 기상상태와 방사능 그리고 발전소 계통자료를 평가한다. 상기 사항이 수행가능하도록 하는 활동에는 비상상태를 분석하는 데 필요한 자료를 수집, 보관, 그리고 지시하는 것이 포함된다. 행정적인 기능에는 정보교환과 비상기술지원실, 주제어실, 원자력안전위원회 및 지방기관과의 통신 등이 포함된다.

1

사. 안전변수지시계통과 사고후감시계통은 발전소 제어기능이 없다. 안전변수지시계통의 기능은 주제어실 근무자가 정상운전 및 사고 중 또는 그 후의 발전소 상태를 판단하는 것을 지원한다. 안전변수지시계통의 제어는 운전원의 키보드 입력에 의해 행하여 진다. 사고후감시계통의 기능은 규제지침서 1.97에 기술된 변수에 대하여 주제어실에서의 감시기능을 제공한다. 이 변수

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

들은 사고에 대한 영향을 극소화시키는 데 필요한 것이다.

비상대응계통은 기계적 구성품은 포함하지 않고, 소프트웨어 및 관련설비로 구성된다. 완전한 비상대응계통은 관련 규제문서에 언급된 것처럼 비상대응설비와 안전변수지시계통에 대한 규제요건을 만족한다. 이 계통은 비상기술지원실, 비상운영지원실, 비상대책실, 사고후감시계통 및 안전변수지시계통으로 구성된다. 비상대응계통을 구성하는 상기 5개의 구성요소에 제공된 계측제어 설비는 다음과 같다.

- 1) 비상기술지원실은 주제어실 근무자와 필요한 의사소통을 원활히 하기 위하여 주제어실 가까이에 있는 출입통제건물에 위치하며, 25명이 근무할 수 있는 적절한 공간을 갖고 있다.

안전변수지시계통의 화면표시기, 키보드 및 복사기, 일반 전화, 사업자에 의해 필요하다고 인정된 직통전화 그리고 주제어실 및 다른 비상지원실과의 통신을 유지하기 위해 사업자에 의해 요구된 다른 통신장비들이 설치되어 있다. 또한 비상대책실에 포함된 계측제어설비는 비상기술지원실에도 설치되어 있다.

- 2) 비상운영지원실에는 오직 통신장비만이 제공되는 데 이 장비는 비상상태 중에 비상기술지원실, 주제어실, 비상대책실 그리고 필요한 발전소 외부와의 신뢰할만한 음성통신을 수행하기에 충분하다.

- 3) 비상대책실은 사업주에 의해 선정된 요원이 근무할만한 정도의 충분한 작업공간이 확보되어 있다. 추가로 발전소 기록과 최신 절차서를 보관할 공간이 준비되어 있다. 비상대책실의 설비는 화면표시기, 키보드, 복사기, 그리고 안전변수지시계통같은 발전소계통을 감시하는 데 필요한 하드웨어로 이루어진다. 자료보관 및 검색용으로 화면표시기와 문서보관설비가 제공

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

된다. 또한 방사능, 환경 및 기상자료변수(규제지침서 1.97에 정의되어 있음), NUREG-0737, Supplement 1과 NUREG-0718 관련변수 그리고 규제지침서 1.23에 기술된 기상변수를 표시할 수 있는 계측설비들도 포함된다. 이들 기록자료는 사고 전 최소 2시간 그리고 사고 후 12시간 동안 이용가능하다. 이들 자료는 컴퓨터, 하드카피 또는 사업자에 의해 승인된 다른 방법을 통해서 이용할 수 있다.

- 4) 안전변수지시계통에 관련된 핵증기공급계통 계측설비는 핵증기공급계통 관련문서에 언급되어 있다. 안전변수지시계통은 핵증기공급계통 공급자에 의해 설계되었다. 사고후감시계통 계측설비에는 규제지침서 1.97에 언급된 변수를 포함한다.

18.1.4.11 설계 및 구매서류 검토

인간공학그룹은 중요한 인간공학적 연계를 갖는 모든 계통 및 부계통의 설계와 구매서류를 지속적으로 검토하였다. 검토에 사용된 기준은 인간공학지침서로서 주제어실 설계에 관련된 사항은 승인된 인간공학 원칙에 따라 검토되었다. 주제어실과 다른 제어실 사이의 기능적인 관계는 모든 발전소 운전모드를 고려하여 그 적합성을 보장토록 수립되었다. 표준심사지침에서 중요하게 고려된 다음의 영역 즉, 제어실 작업공간, 작업환경, 경보계통, 제어기, 시각지시기, 청각신호 계통, 명판, 발전소전산기, 제어반 배치도 그리고 제어표시기 조합 등에 대해서 충분히 검토되었다.

검토된 문서들은 다음과 같고 인간공학 설계원칙에 따라 필요 시 변경되었다.

가. 배관 및 계장도

나. 제어계측도면

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

다. 제어논리도

라. 주제어반과 원격정지반의 배열도

마. 경보창 배열도

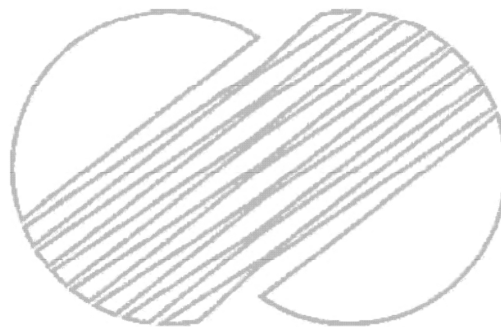
바. 화면표시기 화면 설계

사. 계통설계기준

아. 계통기능설명서

자. 기능분석요약서

차. 구매사양서



18.1.4.12 공급자 설계의 인간공학적 검토

인간-기계 연계를 수반하는 공급자 도면 및 문서는 인간공학그룹에 의해 지속적으로 검토가 수행되었다. 주제어반 하드웨어와 여러 공급자간에 일관성을 유지토록 보장하고, 계약서가 허용하는 범위 내에서 공급자에 의해 제공되는 모든 품목은 인간공학지침서에 언급된 지침을 만족시킬 수 있도록 검토가 수행되었다. 불일치 사항이 발생되었을 때 적절한 해결방안을 공급자에게 제시하여 시정조치토록 하였다.

아래의 공급자 문서들이 인간공학 설계원칙에 따라 검토되었다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

가. 핵중기공급계통 공급자 문서 및 도면

- 1) 배관 및 계장도
- 2) 계측채널블럭도
- 3) 기능적제어논리도
- 4) 계통설명서
- 5) 연계요건
- 6) 설계사양서
- 7) 인간공학적 검토가 요구되는 기타 문서 및 도면

나. 터빈/발전기 공급자 문서 및 도면

- 1) 터빈/발전기 사용설명서
- 2) 감시용계기 사용설명서
- 3) 터빈제어설비(MARK-VI) 관련문서 및 도면
- 4) 인간공학적 검토가 요구되는 기타 문서 및 도면

다. BOP 공급자 문서 및 도면

- 1) 계통도, 제어계측 도면 및 제어논리도
- 2) 제어반 배열 및 색깔
- 3) 명판에 관한 내용
- 4) 사용설명서
- 5) 인간공학적 검토가 요구되는 기타 문서 및 도면

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.1.4.13 발전소전산기계통 설계검토

신월성 1,2호기는 컴퓨터 표시장치에 대한 인간공학 요건이 인간공학지침서 내의 주요 항목으로 작성되었다. 또한 안전변수지시계통을 포함한 기기공급자의 컴퓨터 및 소프트웨어에 대해서도 인간공학적 검토가 수행되었다. 화면표시기, 키보드 및 컴퓨터계통 하드웨어의 제반 기술적 사항이 주제어실 설계요건에 부합되는지 검토하였으며, 설치 위치는 하드웨어의 효율성 및 운전성을 고려하여 결정되었다.

18.1.4.14 비상대응설비 설계검토

비상기술지원실과 비상대책실의 위치선정 및 배치 시 인간공학적 측면의 검토가 이루어졌으며 관련 기기가 적절히 배치되고 모든 필요한 정보자료가 구비되도록 하였다. 정보감시 및 자료구비, 배치설계 및 환경조건에 대해서도 인간공학적 검토가 수행되었다.

18.1.4.15 통신설비 설계검토

인간공학팀은 신월성 1,2호기 통신설비계통 설계를 지원하며 화성설비계통, 음성전화설비계통, 비상방재방송설비계통, 방송설비계통, 구내전화설비계통, 국선전화계통, 시각동기화설비계통, 비상대응통신계통 등과 같은 전반적인 통신설비계통 설계를 지원하였으며, 비상사태를 포함한 모든 발전소 상황하에서 통신설비를 쉽게 이용할 수 있도록 하였다.

발전소 내·외의 통신설비계통을 설계하고 특성화하는 데 사용된 기준은 9.5.2절에 기술되어 있다.

18.1.4.16 점검표 작성

제어실 실사를 통해 NUREG-0700, 6장에 기술된 인간공학지침 및 신월성 1,2호기 인간공학지침서에 따라 작성된 점검표와 주제어실 및 원격정지실 설계를 체계적으로 비교하였

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

다. 제어실 실사의 목적은 특정 계통이나 직무요건에 관계없이 만족할만한 인간공학지침을 따르지 않는 계기, 기기, 배치 및 주위환경의 특성 등을 확인하는 것이다. 이것은 기시설계 관점에서의 결함사항을 식별하는 것이다. 제어실 실사에서 확인된 안전상 주요사항은 기록되고, 운전원과 발전소 성능에 미치는 영향 및 주제어실 내에서의 업무 수행상 필요성을 평가하는 관점에서 검토되었다. 실사기간 동안에 작업공간 설계(제어반크기, 배치·환경 등), 경보기, 제어기, 지시기, 명판, 제어반 배치, 그리고 제어기-지시기 조합 등의 항목이 검토된다.

1

1

18.1.4.17 문서작성

모든 설계작업 단계에서 주제어실 및 원격정지실 설계에 인간공학이 고려되었음을 증명하기 위해 적절한 문서가 작성되며 추후 검토 또는 외부 감사시에 쉽게 이해될 수 있고 그 목적과 내용이 입증 가능토록 아래와 같은 문서들이 작성되었다.

가. 인간공학지침서

나. 직무분석/확인 및 검증 계획서

다. 직무분석보고서

라. 기능분석요약서

마. 확인 및 검증 보고서

바. 인간-기계 연계 영역이 있는 주제어실 지역의 기능적 배치도

사. 인간공학 요건이 고려되는 주제어반 형태, 크기 및 계통 배열, 모형 제작, 도장

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

및 명판, 제어반 계기 배열 지침서

아. 인간공학 결함사항

18.1.4.18 주제어반 제작 검토

주제어반은 설치현장으로 이관되기 이전에 구매사양서에 언급되어있는 요건을 만족하고 있음을 입증하기 위해 검수를 받았다. 치수, 색깔, 모양, 위치 그리고 구조물같은 항목들이 확인의 대상이 되며, 추가적으로 구성품 목록, 배치도면, 계가사양등과 같이 확인과정에 도움이 되는 기타 문서들과 제어반상의 계기 및 제어기들이 비교되었다.

18.1.4.19 발전소 절차서 작성검토

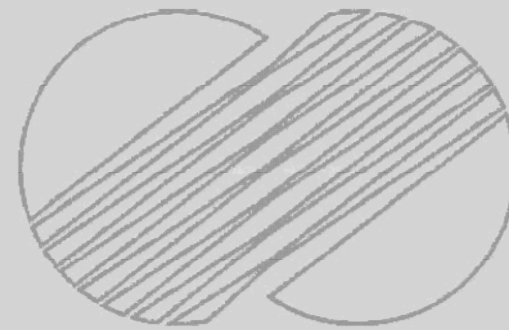
NUREG-0899의 "비상운전절차서 작성을 위한 안내지침"은 사업주가 발전소의 특정한 비상운전절차서를 준비하고 적용하기 위해 필요한 항목을 규정하고 있다. 비상운전절차서의 목적은 다중기기 고장과 광범위한 사고를 완화시킬 수 있도록 운전원에게 그 방법을 제시하는 것이다. 비록 NUREG-0899가 비상운전절차서 개발에 주로 적용될지라도 이 지침은 발전소 운전을 위해 필요한 다음의 문서들, 즉 종합운전절차서, 계통운전절차서, 운영기술지침서, 그리고 경보절차서 개발에도 또한 적용할 수 있다. NUREG-0899 지침은 개발과 검증 및 확인과정을 명시하여 기술적으로 정확하고, 유용한 비상운전절차서를 작성하고 개정 빈도와 범위를 줄이고자 하는데 목적이 있다. 이 문서는 비상운전절차서 작성(절차서 작성과 확인 및 검증), 운영기술지침서 개발 및 검증, 작성자 안내지침 및 비상운전절차서 이용 및 유지하는데 지침으로 사용된다.

18.1.5 참고문헌

1. EPRI, NP-3659, "Human Factors Guide for Nuclear Power Plant MCR Development,"

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

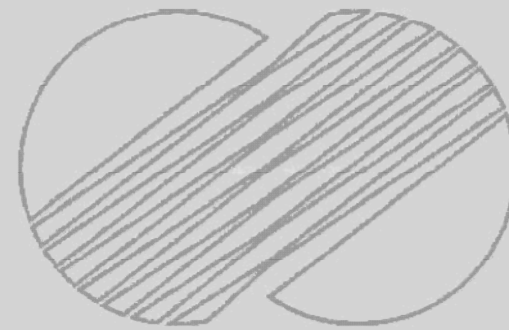
- 1984.
2. EPRI, NP-3448, "A Procedure for Reviewing and Improving Power Plant Alarm Systems," 1984.
 3. NUREG-0700, "Guidelines for Control Room Design Review," 1981.
 4. NUREG-0800, "Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants," 1981.
 5. NUREG-0899, "Guideline for the Preparation of Emergency Operating Procedures," 1982.
 6. NUREG-0737, Supplement 1, "Requirements for Emergency Response Capability," 1982.
 7. KSI, "Korea Physical Standard Measurement Report," 1997.
 8. KOPEC/9-750-J410-001, "Human Factors Engineering Guideline for SWN 1&2," Rev.1, December 2005.
 9. KOPEC/9-751-J211, "Procurement Specification for Main Control Board and Associated Instruments for SWN 1&2," Rev.1, November 2004.
 10. KOPEC/9-750-J432-001, "Task Analysis Plan for SWN 1&2," Rev.1 2006.
 11. KOPEC/9-750-J432-002, "Task Analysis Report for SKN 1&2," Rev.0 2006.
 12. KOPEC/9-750-J437-001, "Verification & Validation Plan for SWN 1&2," Rev.0 2007.
 13. KOPEC/9-750-J437-002, "Verification & Validation Report for SKN 1&2," Rev.0 2007.



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

공기조화설비 제어반(PM01)

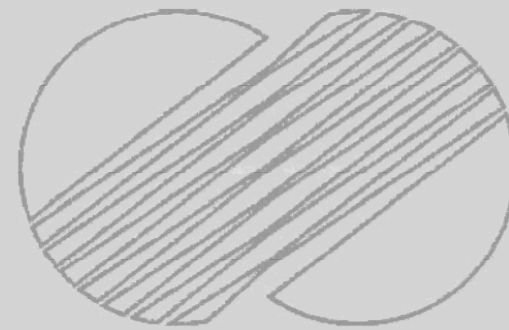
그림 18.1-1



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

보조냉각설비 제어반(PM02)

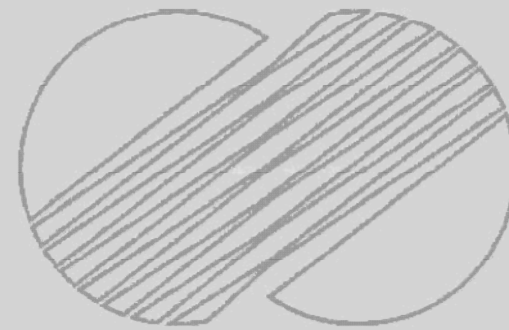
그림 18.1-2



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

공학적안전설비 제어반(PM03)

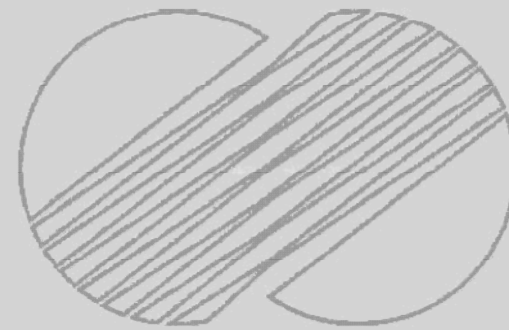
그림 18.1-3



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

화학 및 체적제어설비 제어반(PM04)

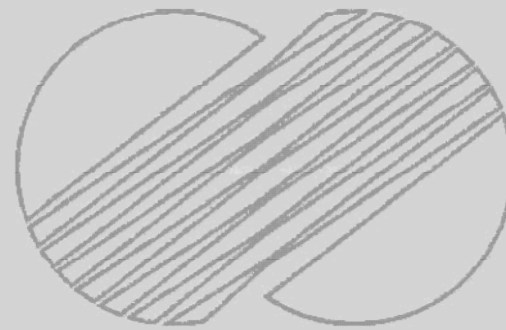
그림 18.1-4



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로냉각설비 제어반(PM05)

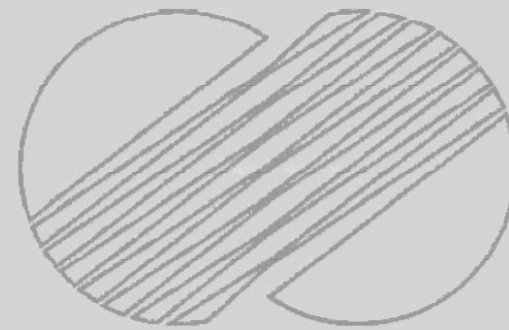
그림 18.1-5



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

원자로 제어 및 보호설비 제어반(PM06)

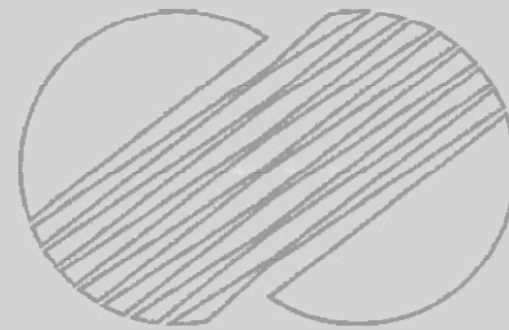
그림 18.1-6



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

증기발생설비 제어반(PM07)

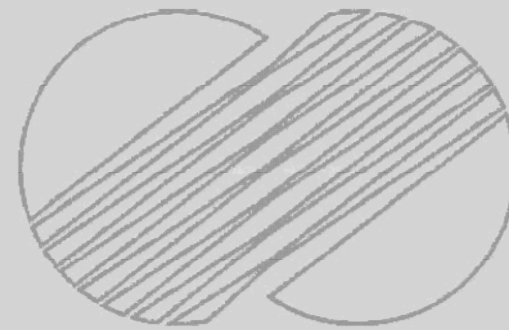
그림 18.1-7



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

급수설비 제어반(PM08)

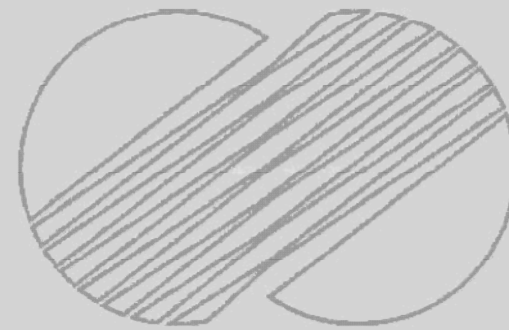
그림 18.1-8



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

터빈설비 제어반(PM09)

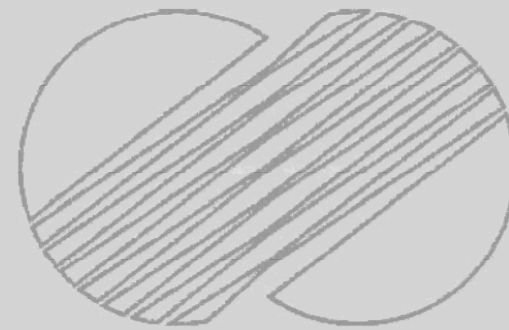
그림 18.1-9



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

발전설비 제어반(PM10)

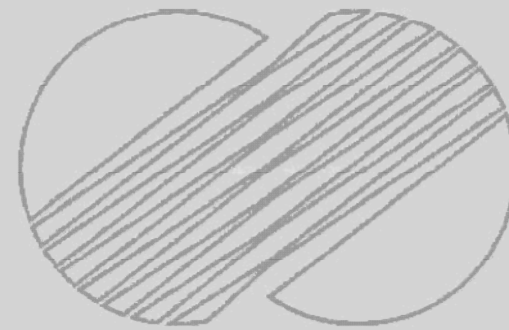
그림 18.1-10



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

소내 전력설비 제어반(1-PM11)

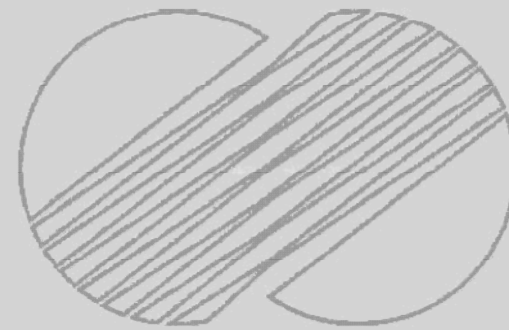
그림 18.1-11



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

소내 전력설비 제어반(2-PM11)

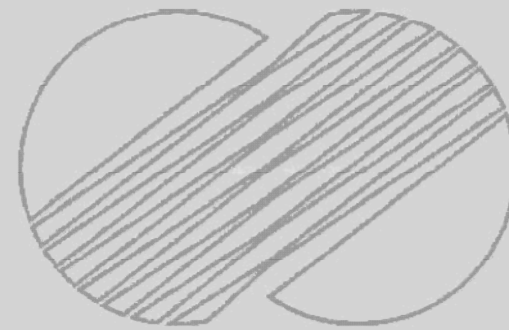
그림 18.1-12



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

화재방호설비 제어반(PM12)

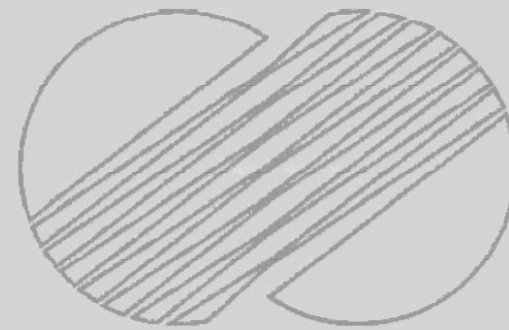
그림 18.1-13



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

원격정지반 계열 A(RU01A)

그림 18.1-14



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

원격정지반 계열 B(RU01B)

그림 18.1-15



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

비상기술지원실(TSC) 및 비상운영지원실(OSC)
배치도

그림 18.1-16

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2 주 제어실 설계

신월성 1,2호기 주 제어실 설계는 인간공학 원리를 적용하였으며(이 원리는 18.3 및 18.4절에 기술된 안전변수지시계통 및 원격정지실에도 적용된다), 발전소 안전운전에 적합한 인간-기계 연계(Man-Machine Interface)를 보증함으로써 일반설계기준 19에서의 관련요건을 만족시키고 있다.

주 제어실내에서 발전소의 기동, 정지, 정상 및 비정상 상태에 대한 운전개요는 아래와 같다.

가. 정상적인 발전소 기동 및 정지상태에서는 주 제어실은 완전하게 작동한다. 기동용 급수펌프, 제어봉 구동설비, 원자로 제어반, 화학 및 체적제어 설비 등과 같은 기동지원 계통에 대한 계측제어 설비들이 주 제어반에 포함되어 있다. 발전소의 상온정지에서 고온대기 상태까지의 제어와 100 % 출력운전까지 다양한 출력 상승에 필요한 계기들을 수용한다. 주 제어실은 전출력에서부터 고온 및 상온 정지까지 정상정지를 수행하는데 필요한 모든 계기들을 수용하며 또한 전기출력 제어 및 감시, 주급수, 정지냉각계통, 증기발생 및 기타 안전정지를 위하여 필요한 필수적인 기능들도 포함한다. 기동 및 정상정지시 발전소의 압력, 온도, 유량값을 제한치내로 유지하기 위해 필요한 계측제어 설비들이 공급되고, 기동 및 정지시 사용되는 각 제어계통에 대한 상태 및 상세사항(status and details)은 각 계통별로 기능분석요약서에 기술되어 있다.

나. 주 제어실의 정상운전이란 발전소가 전출력 상태(100 % 출력 또는 다른 제한된 출력)이고 터빈 발전기가 계통에 연결된 상태를 의미한다. 정상운전에 필요한 계기는 발전소의 전기생산 및 배전에 관련된 계통을 포함하고 있다. 즉, 터빈 발전기, 습분 분리기, 열제거(주급수, 증기발생기, 주증기, 복수기), 출력감시 및 가압기 등이 주 제어반에 포함되어 있고, 이 외에 화학제어, 기기냉각수계통, 공조설비 및 방사선 감시 등 정상적으로 발전소를 운전하는데 필요한 지원계통

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

등이 포함되어 있다.

다. 비정상운전은 발전소가 일정상태에서 운전되지 않고 정상기동 혹은 정지상태도 아니며, 상온정지나 고온대기상태가 아닌 상황을 의미하며 모든 비정상 상태와 설계기준사고시에 발전소 제어를 위해 필요한 제어와 지시가 제공된다. 주제어실 환경은 방사능, 화재, 연기의 영향으로부터 적절히 보호되고 운전원이 발전소를 감시 및 제어할 수 있도록 적절한 기능이 유지 된다.

인간공학은 운전원 측면에서 주제어실에서의 효율적이고 안전한 운전을 도모한다. 제어실 설계를 변경할 경우에는 필요정보의 이용성, 수행될 직무를 위한 제어의 적합성, 전반적인 제어반 배치의 효율성 및 환경조건의 적합성 등의 관점에서 운전원에게 어떤 영향을 미치는가를 고려하여 결정하는 것이 매우 중요하다. 본 절은 일반적인 설계요건과 발전소 고유규칙이 포함된 인간공학 설계기준서 내용에 준한 것으로 주제어실 설계를 위한 완벽하고 효율적인 방법과 세분화된 운전원 직무요건을 포함하고 있다.

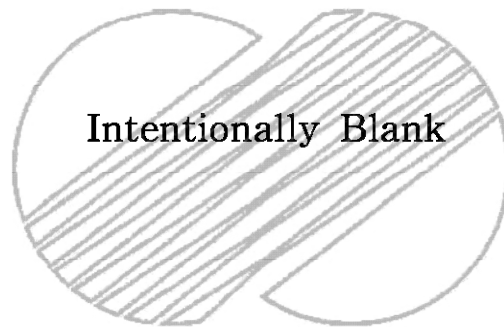
본 절의 주요내용은 신월성 1,2호기에서 활용될 발전소 특정 설계규칙 뿐만 아니라 NUREG-0700으로부터 도입한 인간공학 설계기준이 포함되어 있다. 인간공학적 검토를 수행할 때나 설계자들이 주제어실을 설계할 때 이 기준이 사용되었다. 본 절에는 발전소 전산기(공정, 안전변수지시계통 등) 관련 설계요건을 제외한 주제어실 작업공간, 환경, 제어반 설계 및 배치, 지시, 제어, 경보 및 운전성 향상 등이 기술되었다.

18.2.1 제어실 작업공간

주제어실 배치도는 그림 18.2-1에 보여준다. 주제어반은 운전원 콘솔과 발전부서장 책상 주위에 U자형의 형태를 지닌다. 2개의 운전원 콘솔은 PM06의 NSSS 제어반 부근과 발전부서장 책상 후면에 각각 위치하며, 발전부서장 책상은 PM02와 PM10사이에 위치한다. 이러한 배치는 운전원의 효율적인 이동과 직무수행에 필요한 모든 사항을 고려한 것이다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.1.1 신월성 1호기와 2호기 유사성

신월성 1호기와 2호기의 주제어실은 동일하다고 볼 수 있다. 그러나 양 호기에서 공용설비를 공유하고 있는 지역과 변전소 및 전기 배전제어 계통에는 약간의 차이가 있다. 두 제어실은 평면배치, 환경(온도, 습도, 조명), 계통배치, 제어반 배열, 제어반 크기와 모양 등이 동일하게 적용되었다. 기술적 타당성이 허용되는 한 문서, 명판, 용어, 약어 역시 같다. 이러한 유사성은 기술규격서, 발전소 절차서(비상대응, 경보대응, 정상운전 등) 및 기타 지침서 뿐만 아니라, 명판형식, 글자높이 및 폭, 용어, 색상 및 배치 등에도 적용되고 있다.

18.2.1.2 거울형 대칭

거울형 대칭은 운전원 실수를 증가시킬 수 있고 훈련의 부정적 전달을 유도할 수 있으므로 배제되었다. 신월성 1,2호기에서의 대칭성은 주제어실 혹은 원격정지실의 어떠한 제어반에도 적용되지 않았다. 그러나 실제 물리적 배치와 배관 및 계장도의 일부에서 대칭성을 나타내는 곳에서는 인간공학전문가에 의해 각 예외사항에 대한 타당성을 평가하여 적용하였다.

18.2.1.3 통신

주제어실은 소내 휴게실과 비상대책실을 포함한 소외설비까지 통신이 용이하도록 충분한 통신장치를 갖추고 있으며 일반 및 비상전화, 음성전화설비, 확성설비 등이 있다. 통신계통은 편리한 곳에 설치되고, 사용하기 쉽고, 주제어실의 어느 곳에서도 운전에 지장이 없도록 정상 및 비상운전 시 필요한 모든 기능을 발휘할 수 있다. 통신기기는 방호복, 호흡마스크를 착용하거나 비상전력원을 사용하는 상태에서 효율적인 사용이 가능토록 하였다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

확성설비는 통보 및 호출용과 대화용 채널이 있으며 주제어실에는 최소 5세트의 확성설비가 설치되어 있다. 원격정지실, 전기기기실 및 전산실에는 각각 최소 1세트의 확성설비를 갖추고 있다. 주제어실에는 고품질(저정전, 간섭 및 보수)의 것으로 운전원 및 기술자들이 사용하기 편리한 위치에 설치되어 있다.

비상대응 통신을 위해 전용전화가 사용되며 사업자의 필요에 따라 별도의 통신장치도 포함되어 있다.

| 1

18.2.1.4 거주성

주제어실은 방사선 및 연기 등이 발생하는 극심한 조건하에서도 상주할 수 있음을 보장하기 위한 안전등급 공기조화설비와 기타 보호설비를 갖고 있다(10 CFR 50 부록 A, GDC 19, NUREG-0737 Supplement 1, 14장 및 6.4절에 규제요건으로 명시된 주제어실 대피상황은 제외).

18.2.1.5 접근성

주제어실의 방문객 접근은 발전부서장 승인없이 접근할 수 없도록 사업자가 기설정된 장소로 제한되며, 지나친 통행이나 소란은 금하도록 규정되어 있다. 일반적으로 주제어실 근무자가 아닌 사람들은 모두 방문객으로 간주된다. 주제어실 출입이 필요치 않는 일반 방문객을 위해서 전망 유리창이 주제어실 전면에 설치되었으며 관련 적용규격 및 기준(내진, 구조 및 방호등)에 따라 설계되었다.

| 1

주제어실 출입은 키카드(Keycard)와 키패드(Keypad)를 사용하며 접근 가능하며, 주제어실에서 외부로 나올 때는 키카드나 키패드 없이 출입문에 설치된 패닉바를 사용한다. 비상시에도 출입방법은 동일하다. 주제어실 출입문은 관련 적용 규격 및 기준(내진, 구조

| 1

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

및 방호 등)에 따라 설계되었으며, 그 폭은 약 107 cm(42 in)이다.

| 1

18.2.1.6 저장공간

적절하고 접근이 용이한 지역에 필요한 자료, 도면 및 기기들의 저장공간이 제공되었으며 발전소의 모든 정상 및 비상절차서들이 주제어실에 비치되어 있다. 비상운전절차서는 바인더로 운전원 책상 부근 또는 전용함에 비치하고 운전원에게 필요한 도면들도 충분히 수용가능한 전용 도면함에 보관한다. 운영기술지침서, 참고 매뉴얼, 그리고 기타 자료들을 보관하기 위한 캐비닛과 책장이 적절한 위치에 설치되며 주제어실, 원격정지실 및 전산실에는 부속물이나 일반적인 운전원 사용기기, 열쇠, 안전모, 코트 및 손전등 보관을 위한 적절한 공간이 확보되었다. 전구 및 기타 보급물품들이 비치되어 있고 그 외의 공기 주머니, 비상 호흡 공기마스크, 비상 의복, 소방기구 및 비상장비들이 충분하고도 즉시 사용할 수 있도록 주제어실 또는 즉각 접근할 수 있는 인접지역에 보관되어 있다.

18.2.1.7 정비

주제어실의 패널, 배치 및 환경은 정비업무를 지원하고 운전원들의 혼란을 최소화하도록 설계되어 있다. 주제어반은 벤치보드형으로 뒷면에서 접근할 수 있으며, 문을 열고 쉽게 내부접근이 가능하고 화재방호벽, 내진지지대 및 내부 케이블 전송로가 정비 시 장애가 되지 않도록 하였다. 주제어반 내부에는 영구 조명설비가 갖추어져 있고 주기적 정비 시 사용될 임시조명을 위한 콘센트가 설치되어 있다. 주제어반 지역은 여러 종류의 정비업무시에 접근성이 충분히 보장되도록 설계되어 있다.

18.2.2 주제어실 환경

주제어실 환경은 어떠한 발전소 운전상태하에서도 운전원들에게 쾌적한 주변환경을 제공하도록 설계되어 있으며, 주제어실 내에서 조절이 가능하다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.2.1 소음

주변소음은 모든 경보기 및 다른 청각장치와 분명하게 구분이 되고, 운전원들간 의사전달이 손쉽게 될 수 있도록 충분히 낮게 설계되어 있다. 주변소음은 원자로 정지가 수반되는 경우나 방문객이 있을 때 주제어반으로 둘러 싸여 있는 곳의 안쪽에서 최대 65 dB를 초과하지 않으며, 경보음은 평균 주변소음보다 10 dB 이상 높게 설계되어 있다.

18.2.2.2 조도

주제어실의 조명은 상시조명, 필수조명 및 비상조명으로 구성되어 있다. 필수조명은 상시조명 상실 시에도 조명이 제공되며, 비상디젤발전기가 후비보호하는 안전성관련 교류 480 V 저압반으로부터 전원이 수전된다. 비상조명은 소내의 전원 상실시 비상디젤발전기의 기동에 의한 필수조명이 제공되기 전까지(약 10초) 조명을 제공하기 위하여 소내 비안전급 축전지로부터 수전하는 백열등이 설치되어 있다.

정상운전시 주제어실의 조명은 상시조명과 필수조명이 함께 점등된 상태이며, 정상운전시 각 운전구역에 대한 조도준위는 다음과 같으며, 각 조도측정위치는 바닥으로부터 80 cm 높이이다.

- 운전원 콘솔 및 책상: 50 to 100 fc(500 to 1,000 Lux), 적정조도: 75 fc(750 Lux)
- 주제어반: 20 to 50 fc(200 to 500 Lux), 적정조도: 30 fc(300 Lux)
- 보조제어반: 30 to 70 fc(300 to 700 Lux), 적정조도: 50 fc(500 Lux)

비상조명의 조도는 NUREG-0700의 6.1.5.3절에 따라 주제어반 벤치보드 위 15.24 cm (0.5 ft) 높이에서 최소 100 Lux (10 fc) 이상으로 설계되어 있다. 또한 조도 조절이 가능하도록 주제어실에 조도조절장치를 제공하였다. 눈부심은 VDU 화면, 경보창, 후비 발광지시기, 명판, 유리, 도면 및 자료들을 쉽게 읽을 수 있도록 낮게 설계되었으며 눈부심 경감을 위해 다음 사항이 고려되었다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 가. 반사가 적은 벽체 재질, 눈부심 및 광택이 적은 바닥 재질, 천정 조명분광판 재질 및 눈부심이 적은 명판재질 사용
- 나. 막대그래프 메타와 기록계는 무광택 테두리와 저광택 표면 재질 사용
- 다. 제어반의 저광택 도장
- 라. 화면표시기 상에 조명의 직접 투시방지
- 마. 간접 조명방식 적용
- 바. 주제어실 조도를 조절하는 스위치

18.2.2.3 습도, 온도 및 환기

공기조화계통은 인간이 편안함을 느끼는 범위 내로 온도와 습도를 조절하고 깨끗한 공기를 유지한다. 다음의 기준이 주제어실에 적용되었다.

- 가. 정상 평균온도는 21 °C ~ 25 °C (70 °F ~ 77 °F) 범위에서 유지된다.
- 나. 바닥에서 사람머리 높이까지의 온도차는 5.6 °C (10 °F) 이내로 설계되었다.
- 다. 상대습도는 40~60 % 범위에서 유지된다.
- 라. 습도는 계절 및 기후변동에 따라 영향이 없도록 동절기에는 가습, 하절기에는 제습이 요구되도록 설계되었다.
- 마. 공기조화계통 덕트는 뜨겁거나 찬 공기가 운전원에게 직접 접촉되지 않도록 설계되었다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

바. 공기조화계통은 15명 근무기준으로 1인당 최소 $0.42 \text{ m}^3/\text{min}$ (15 cfm)의 공기를 제공한다.

사. 공기속도는 사람머리 높이에서 측정했을 때 13.7 m/min (45 ft/min)을 초과하지 않으며 사람이 느낄 정도의 통풍이 없도록 설계되었다.

18.2.2.4 운전원 편의

운전원들은 근무시간 동안 직무를 수행하기 위해서 주제어실을 빈번히 이동하거나 의자에 앉거나 서서 오랜기간을 소모한다. 또한 생리적 현상에 의해 화장실을 사용하거나, 먹고 마시는 등의 행위가 필요하므로 이러한 모든 활동들이 편안하게 이루어지도록 최적화된 주제어실 배치를 구축하고, 주제어실 지역을 벗어나지 않고도 물, 커피나 음료수를 취할 수 있으며, 운전원용 화장실은 주제어실 가까이에 위치한다. 의자는 장시간 동안 사용이 편안하고, 계기를 보기 쉽도록 하기 위하여 충분히 높게 하며, 통행에 지장이 없는 곳에 설치된다.

18.2.3 제어반 설계 및 배치

사업 초기에 인간공학팀은 25~50세 사이의 한국남자 5~95%에 해당하는 체위를 참고하고 인간공학적 적합성을 고려하여 주제어반 크기를 결정하였다. 체위 관련자료는 한국표준협회(KSI)의 한국인 체위 측정보고서(1997)에 의한 것으로 표 18.2-1에 기술되어 있다. NUREG-0700에서 정의하는 기능적 접근성은 양어깨를 벽에 붙인채 오른팔을 들어 바닥과 수평으로 했을 때 어깨 뒤부터 오른손 집게손가락 끝까지의 길이이다. 주제어반은 입석 운전용으로서 제어기의 경우 사용자의 기능적 접근성을 고려하여 적절한 위치에 설치되어 있다. 제어반은 경보부분, 수직부분 및 벤치보드(benchboard)의 3부분으로 나뉘어진다. 경보부분은 제어반 상단에 위치하고 운전원 가시성을 고려하여 수직면에서 경사를 갖는다. 수직부분은 제어반 중간에 위치하여 표시기, 상태표시등, 디지털지시제

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

및 일부 제어기가 포함되어 있다. 제어기는 운전원이 쉽게 조작할 수 있도록 하단 부분에 설치되어 있다. 벤치보드 부분은 제어반의 가장 낮은 부분으로 대부분의 제어기가 설치되어 있고 운전원의 접근이 용이 하도록 수평면에서 경사를 갖도록 설계되었다. 지시기 판독에 영향을 미치는 주요 요인은 다음과 같다.

가. 지시기 정면에 똑바로 섰을 때 운전원 가시선에 상응하는 지시기 높이 및 방향

나. 지시기 정면이 아닌 위치에 섰을 때 운전원 수평 가시선(straight-ahead line of sight)에 상응하는 지시기 거리 및 방향

다. 판독 거리에 상응하는 지시기 표시의 크기

그림 18.2-2에서 그림 18.2-5까지는 주제어반 및 운전원 콘솔에 대한 5~95% 한국남자들의 기능적 접근성(어깨부터 손가락 끝까지)과 시각(수직방향)을 나타내고 있다. 이는 NUREG-0700에서 제시하는 지시기 높이 및 방향과 기능적 접근성에 관련된 요건이 만족됨을 보여준다. 예를 들면, 모든 지시기는 최대 가시범위(수평선에서)내에 설치되어 있고 가시선과 계기표면간의 각도는 이상으로 되어 있으며 수직면에 설치된 모든 제어기는 사용자의 기능적 접근성과 인간공학을 고려한 적절한 위치에 설치되어 있다.

가. 벤치보드 높이는 이고, 입석 시 무릎 높이보다 높으며 제어실 바닥에서 손가락중지 높이에 를 더하여 높이가 결정되었다.

나. 벤치보드 각도는 로서 인간공학기준인 를 만족한다.

다. 깊이(수직부분의 전면에서부터 패널의 뒷부분까지)는 를 초과하지 않는다(정비 편의성).

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 라. 운전원이 벤치보드에 기댈 경우 부주의로 인해 제어기를 작동시키거나 벤치보드 전면의 날카로움으로 인한 불편함을 느끼지 않도록 벤치보드 부분 하단 전면에 수직으로 [REDACTED]의 평평한 면이 제공된다.
- 마. 운전원이 수직부분에 쉽게 접근할 수 있도록 5% 체위 남자의 팔 길이나 기능적 접근성을 기준으로 하여 벤치보드 깊이는 [REDACTED]로 한다.
- 바. 수직면 높이는 운전원이 수직부분에 설치된 가장 높은 곳의 제어기를 조작할 수 있고 설치되는 계기들의 수량 및 형태 등을 고려하여 결정하였다.
- 사. 경보반은 바닥에서 약 [REDACTED] 높이에 설치되며 이는 NUREG-0700의 최대허용각도 [REDACTED]와 5% 체위 남자의 눈 높이에 근거한다.
- 아. 패널높이는 주제어실에 요구되는 천정높이를 기준 하여 [REDACTED]로 한다. 이는 낮은 곳의 천정높이가 운전원이 최상단 지시계를 주시하는 각도보다 [REDACTED] 이상 되어야 하는 인간공학 개념을 근거로 한 것이다.
- 자. 경보반 명판을 설치하기 위해 경보반 상부에 [REDACTED]공간이 확보된다.
- 차. [REDACTED]

18.2.3.1 주제어반 배치의 기능적 결정

인간공학 참고자료(EPRI NP-3659, NUREG-0700)와 참조발전소의 주제어실 배치를 근간으로 주제어반을 기능적으로 배치하였으며 주제어실과 관련되는 계통들이 어느 곳에 위치하는지를 주제어반에서 명확하게 확인할 수 있도록 주제어반 배치가 설계되었다. 배치는

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

운전원의 선행호기 경험을 고려하고 원자로 외부로부터 공정의 자연적인 흐름에 준하여 설계되었으며, 이를 위해 운전 유경험자와 협의를 거쳤다. 주제어실의 제어반 배치는 그림 18.2-1에 나타나 있다.

신월성 1,2호기 주제어실 자체는 계통이 아니며 여러 계통이 모여 구성된 것으로, 모든 정상운전 조건하에서 발전소를 효율적으로 운전하고, 사고상태하에서 발전소를 안전하게 유지하기 위하여 필수적이고 충분한 계측 및 제어설비가 설치되어 있다. 연속적 감시 및 제어를 요구하는 모든 계통변수들이 주제어반에 포함되어 있고 이 변수들은 핵증기 공급계통, 공학적안전설비, 전기계통, 보조설비계통 및 사고후감시계통으로부터 제공된다. 이외에 발전소전산기계통, 안전변수지시계통, 우회/불능상태지시(bypassed/inoperable status indication) 기능도 포함되어 있다.

주제어실은 제어실 운전요원(발전부서장, 안전담당(STA), 발전차장(RO), 발전차장(TO) 및 전력설비운전원 등)의 기능적 필요성을 만족시키며, 인적실수 가능성의 최소화와 운전원의 편의성 및 효율성이 고려되었다. 이러한 목적을 위해 종합적인 인간공학 개념이 설계에 반영되었으며 제어실 환경, 운전원 제어반과 체위, 주제어반 구성 및 배치, 전산기 표시장치, 제어실 명판, 경계선(demarcation) 및 모형도(mimic), 제어실 활동흐름, 경보 설계, 기기 접근성, 보조시설(도면함, 화장실 등) 등이 포함되어 있다. 운전원의 편의성을 증진시키기 위해 표준화된 색상 및 기기, 제어작동 방향, 명판, 경보위치, 안전변수지시계통 등이 사용되었다.

18.2.3.2 계측제어의 기능

주제어실의 계측제어기능은 기본적인 안전기능의 감시 및 제어기능과 발전소 성능 및 운전기능의 감시 및 제어기능 2가지로 구별된다.

가. 기본적인 안전기능은 전용 주제어반을 갖지 않으며 발전소 성능 및 운전기능

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

과 조합하여 주제어반 전체에 배분된다. 규제지침서 1.97에 명시한 A,B,C,D 및 E형 변수관련 측정 및 지시설비가 설계기준 사고의 결과를 감시하기 위해 공급되며 아래사항의 안전기능이 주제어실에서 제어된다.

- 1) 반응도 제어
- 2) 노심냉각 및 1차계통 열제거
- 3) 1차계통 건전성
- 4) 방사선 제어
- 5) 격납건물 건전성

나. 발전소 성능 및 운전기능의 감시 및 제어기능은 아래와 같다.

- 1) 원자로 노심 반응 제어는 2개의 기본적인 제어 기능을 보유하고 있다. 즉, 단기적 반응도 제어(제어봉 구동장치 감시 및 제어, 제어봉 조절, 중성자속, 1차계통 평균온도 등)와 장기적 반응도 제어(봉소농도 및 제어봉 위치의 감시 및 제어)를 뜻한다.
- 2) 에너지 흐름의 제어는 원자로에서 원자로 냉각재 계통을 거쳐 증기발생기, 주증기계통, 터빈과 복수기까지 제어되는 에너지 흐름 제어 등을 포함한다. 이러한 기능에 관련되는 지시 및 제어는 노심출력, 증기발생기 총에너지(온도, 압력), 개별 증기발생기 에너지량, 터빈속도, 급수펌프 토출압력/증기 발생기 차압, 발전기 출력, 반응 출력 및 주증기계통을 통한 에너지 흐름과 저장에 대한 에너지 이력 등을 포함한다.
- 3) 전기적 제어는 여자, 전압 조정제어, 터빈 조속기 제어 및 발전기로부터 전기에너지 흐름의 제어 등을 포함한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 4) 에너지 균형 조절은 냉각에 있어서 필수적이다. 공급 제어기능은 잔열제거(정지 냉각), 냉각을 위한 증기발생기 제어, 기기냉각수와 필수 냉각수를 포함한다.
- 5) 원자로냉각재계통 재고량 제어는 원자로배수탱크와 재장전수탱크의 체적을 포함한 원자로냉각재계통의 감시와 제어, 누설과 흐름정보, 보충과 유출, 가압기 및 제적제어탱크 관련 정보가 포함된다.
- 6) 냉각수의 열역학과 화학적 측면에서는 과냉각, 원자로 냉각재 계통의 압력, 고·저온관 온도감시 및 붕소농도가 포함된다.
- 7) 2차 증기량과 열역학적 상태는 복수기, 응축수 저장탱크, 열교환기 배수탱크, 열교환기의 셀, 충수 및 배수관, 그리고 증기발생기 취출 등이 포함된다.
- 8) 전력의 분배는 발전소 기기의 정상 및 비상 전력분배와 관련되며 주제어실 운전지원에 요구되는 직류 및 교류전력의 분배제어와 감시를 포함한다.
- 9) 공학적 안전설비 작동계통의 제어 및 표시기는 공학적 안전설비의 상태와 수동조작을 감시하는데 이용된다.
- 10) 방사능 방출제어 및 격납건물 건전성은 발전소내외의 방사선감시, 가연성 가스, 수소가스 감시 및 격납건물의 압력과 온도조절을 포함한다.
- 11) 안전등급의 기기 및 계통과 격납건물을 위한 공기조화설비는 주제어실에서 제어가능하며, 일부 비안전등급 기능도 포함된다.
- 12) 화재방호계통기능, 특히 경보는 주제어실에서 감지되며, 화재진압 및 감지

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

계통의 모든 제어는 현장제어반에서 이루어진다. 개별 화재 진압상태는 화재감지 및 작동 경보와 함께 주제어실에 표시되며 각 현장 패널의 이상 상태는 공통 이상경보로 주제어실에 지시된다. 소화수 공급계통 밸브의 상태지시는 주제어실에 나타난다.

13) 발전소 감시 경보계통의 일부인 안전변수지시계통은 주제어실의 발전소 감시계통 화면표시기와 기타 지시장치에서 감시되어 진다.

14) 소내통신 계통은 주제어실 운전원이 필요한 조치를 취할 수 있도록 충분한 설비가 제공된다.

15) 1개 혹은 그 이상의 발전소 주요계통을 직접적으로 지원하는 계통(보조 계통), 특히 운전원의 즉각적인 조치를 필요로 하는 기능 등 기타 지원계통이 주제어실에 설치되어 있다.

16) 주제어실 조명과 같은 기타계통은 주제어실 패널에는 설치되어 있지 않으나 주제어실내에서 제어된다.

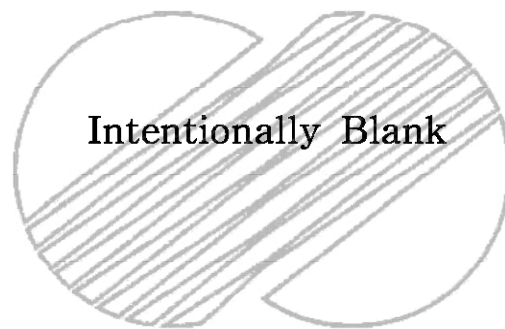
17) 계통이나 트레인 레벨에서의 우회 및 동작불능 상태표시는 주제어반 기능의 일부로 제공된다.

18.2.3.3 계통기능 분석수행

기능분석은 주제어실과 관련되는 각 계통에 대해 수행되었다. 이 분석은 계통의 기능설명, 계기 및 제어요건, 규제요건에 따른 계통요건, 사업자 요구 및 공급자 제의사항, 기기 운전(감시, 수동, 자동) 및 위치(현장, 주제어실) 등을 포함하고 있다. 이러한 사항들은 각 계통의 설계책임자에 의해 작성되는 "기능분석요약서(functional analysis summary)"

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

와 "계통기능설명서(system functional description)"에 나타나 있다.

상기 문서는 주제어실 설계과정에서 작성되었으며 운전원 직무분석과 관련하여 NUREG-0700에서 명시한 기능요건을 만족시킨다. 기능검토와 직무분석의 목적달성을 위해 계통기능 및 부기능은 1개 혹은 그 이상의 계통요소(사람, 기계, 구조)에 의해 수행되는 활동형태로 정의된다. 직무는 기능수행에 기여하는 단일계통 요소(사람 혹은 자동화설비)에 의해 수행되는 특정한 행위로 정의된다. 주제어실 운전원의 직무가 명확히 식별될 수 있도록 이러한 과정을 통해 기능이 검토되었다.

신월성 1,2호기 주제어실 설계의 개발과정에서 기능할당과 기능수행을 위한 직무를 최적화하기 위해 분석업무가 수행되었다. 비상운전 시에 발전소 안전성과 운전원 직무에 대한 영향을 표준심사지침에서 강조하기 때문에 비정상 및 비상운전 시 각 계통에 대한 상세한 사항은 기능분석요약서에 기술되어 있으며 주제어실 설계의 기본이 되는 운전원 및 발전소 효율성 향상을 위한 계측 및 제어요건, 정상, 비정상 및 비상절차, 운전원 훈련, 안전변수지시계통, 규제지침서 1.97 요건, 원격정지반, 경보계통 등이 포함되어 있다.

18.2.3.4 패널의 일관성 및 표준화

1

운전원은 발전소를 제어하기 위해 많은 종류의 기기를 감시하고 조작한다. 표준화된 제어기와 지시기가 사용된다면 운전원 직무는 편리하게 수행될 수 있기 때문에 주제어실의 모든 패널에 표준화된 하드웨어가 사용되었다. 패널은 일관성 있게 배열되어 유사한 직무는 설치위치와 관계없이 같은 방법으로 수행되도록 함으로써 표준화된 절차서가 작성되고 운전원 훈련요건이 완화되는 효과를 얻는다.

18.2.3.5 지시기 및 제어기 그룹

1

지시기 및 제어기들은 계통공정에 준하여 그룹화하여 배열하였고 기능성 및 운전성 향상을

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

도모할 수 있도록 공간을 이용하거나 계기들을 묶어서 배치하였다.

상호 관련된 지시계와 제어기는 그룹화되어 가까운 곳에 배치되었다. 예를 들어, 각 계통의 기기들은 관련 경보창 밑에 그룹화하여 배열하였고, 경보기는 제어반의 가장 높은 곳에 위치하며 상태등과 발광 다이오드형 디지털지시계는 그 밑에 그리고 다른 제어기와 지시계는 제어반 벤치보드 혹은 수직부분의 낮은 곳에 배치되었다. 계통제어기와 지시계는 신월성 1,2호기의 다양한 계통의 공정흐름을 나타내도록 모형도를 이용하여 배열하였다.

단지 몇 개의 기기만을 가진 단순한 계통은 모형도가 요구되지는 않는다. 일반적인 모형도 흐름은 위에서 아래로, 왼쪽에서 오른쪽으로 되어나 몇몇 경우에는 반대의 경우 즉, 아래에서 위, 오른쪽에서 왼쪽도 있다.

18.2.3.6 기본적인 계기형태 선정

주제어반 계측기기의 일반적인 형태는 직무분석 이전의 설계 초기단계에서 결정되었다. 하드웨어 선정은 인간공학지침서 요건에 따라 결정되었고 주제어반상에 설치되는 보조설비계통 및 핵증기공급계통 계기의 일관성이 유지되도록 인간공학지침서에서 명시한 표준화 형태의 계기를 가능한 사용하였다.

18.2.4 시각지시기

시각지시기는 읽기 쉽고, 분명하고, 정비가 용이하며, 필요한 관련정보를 제공한다. 지시기는 아래의 기준에 의해 선정되었다.

가. 제어되는 계통변수의 중요도를 식별하기 위한 능력이 제공되어야 함

나. 중요 변수와 관련된 모든 계통 및 기기상태가 표시되어야 함

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

다. 지시기는 요구상태 혹은 실제상태인지를 구분가능하여야 함

라. 요구되는 정확도가 제공되어야 함

마. 운전원은 제어기 조작 시에 피드-백 신호를 제공받을 수 있어야 함

바. 지시기는 운전위치에서 찾아내고 읽기가 용이하여야 함

시각지시기는 가능한 모형도와 조화되도록 배치하였고 한 그룹에 여러 개의 지시계 혹은 같은 변수의 다중지시계와 같이 지시계들을 군을 지어 설치할 경우 운전원에게 관련정보를 명확하게 제공해 주도록 조직화하여 배열되었다. 지시등의 군들은 계통계열(A 혹은 B)이나 운전순서를 정확하게 반영하여 배열되었으며 공정흐름을 나타내는 모형도는 수평 배열이 우선적으로 적용되었다.

1

계기는 발전소의 모든 상태에서도 사용하기가 쉬우며, 정밀하고 명확하여야 한다. 계기 눈금은 선형눈금을 사용하며 일반적으로 대, 중, 소 눈금범위로 구분되어 있다. 눈금은 운전원이 변수를 해석하는 데 선호하는 공학단위를 사용하였다. 모든 계기와 지시계에는 미터단위를 사용하였으며, 눈금시작과 끝은 대눈금을 사용하고 최대 눈금범위와 일치되도록 하였으나, 예외사항에 대해서는 인간공학적 평가결과에 준하여 그 적용여부가 결정되었다. 일례로 출력계기와 방사선준위 지시계가 비선형 눈금을 사용하는 것과 규제지침서 1.97에 관련된 변수 등이 이에 속한다. 계기 전원상실 시 계기는 전원상실 상태를 명확히 지시한다. 지침을 사용하는 계기 적용 시, 지침의 색상은 눈금판과 명확하게 대비되도록 지침의 색상을 흑색 또는 적색을 사용하였다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.4.1 지시계

지시계는 계통변수의 상태 및 추이를 명확히 확인할 수 있도록 선정되었고 설계내용은 아래와 같으며, 그림 18.2-6에 관련 지시계에 대한 형태가 나타나 있다.

- 1) 지시계는 수직형과 원형이 있으며 수직형 계기는 단일 혹은 이중지시계로 되어 있다.
- 2) 계기눈금은 일반적으로 1, 2, 5 또는 10의 배수로 표시된다.
- 3) 막대그래프 형태가 대부분의 지시계용으로 사용되며 영점과 스펜 사이에서 발광다이오드의 순차적인 발광에 의해 변수값을 나타낸다. 색상은 단일 및 이중지시계 모두 녹색이다.
- 4) 주요 계기눈금은 아래와 같다.
 - 압력 : $\text{kg/cm}^2\text{A}$, kg/cm^2 , mmH_2O , cmH_2O , mmHgA
 - 유량 : L/min , L/s , kg/hr , ton/hr , $\text{L}\times 10$, L
 - 수위 : %, cm , m
 - 온도 : $^{\circ}\text{C}$
 - 출력 : %, % Power, DPM, W/cm , cps, MW, MWH, Mvar, Mvarh, Kvar
 - 전압 : V, kV
 - 전류 : A, kA
 - 속도 : rpm, m/s
 - 불소농도 : ppm
 - 수소농도 : % H_2 Vol
 - 주파수 : Hz
 - 역률 : $\cos\phi$, PF
 - 역상전류 : PERCENT I_2

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

5) 계기눈금은 읽기 쉬워야 하며 지시계는 교정가능해야 한다.

18.2.4.2 지시등

지시등은 빛 반사 및 주변 조명하에서 읽기 쉽고, 정비가 용이하도록 선정되었다. 지시등은 주변 패널보다 적어도 10% 더 밝으며 주변 조명하에서도 명확하게 인지할 수 있도록 되어 있다. 지시등 발광다이오드(LED)는 일상적인 교체를 위해 주제어실에 확보되어야 하며 운전 중에 사람이나 기기에 영향없이 신속하고 편리하게 내부에 설치된 발광다이오드(LED)를 교체할 수 있다. 각 지시등은 2개의 발광다이오드를 갖고 있으며, 배경면의 밝기보다 높아 기기상태를 쉽게 인지할 수 있다.

발광다이오드는 소손되거나(burn out), 결함이 발견되는 즉시 교체하여야 한다. 발광다이오드는 오랜 수명을 갖고 있어서 전구 대신에 사용되고 있다. 지시등 색상코딩(color coding)은 기기상태가 명확히 식별될 수 있도록 렌즈색상 또는 발광다이오드를 이용한다. 지시등 색상별 의미는 다음과 같다.

적색 : 기기 및 공정의 작동 또는 에너지 흐름(열림, 기동, 켜짐)을 의미

녹색 : 기기 및 공정의 정지 또는 에너지 흐름단절(닫힘, 정지, 꺼짐)을 의미

백색 혹은 황색 : 기기의 고장/불능상태 또는 일반적인 정보를 표시

호박색 : 경미한 정보나 주의(선행(lead), 자동)를 제공하는 여러 가지 의미

어떠한 조건하에서도 지시등의 글자와 용어는 명확하고 일관성 있으며 판독이 가능하도록 설계되어 있다. 글자는 육안으로 충분히 쉽게 이해될 정도의 크기로서 전문용어는 모든 지시등에 일관성이 유지되도록 하였다. 용어(legend)와 각 명칭은 지시등 램프가 소손되거나 전원이 상실될 경우에도 읽을 수 있도록 계기 혹은 명판에 글자를 새겼다.

지시등의 배열은 계통계열 또는 운전순서를 반영하여 관련 제어기 근처에 배치하였으며, 주제어반(PM03, PM07, PM09, PM12)에 설치된 상태표시창과 같이 그룹별로 배치하여, 운전원에게 관련 계통에 대한 기기상태를 한 눈에 볼 수 있도록 제공되었다. 이러한 상태 표시창은 우회 및 작동불능(BISI)과 공학적 안전기능(ESF)상태, 주증기 안전 밸브 및 터민우회 밸브들의 개방상태, 화재 방호 상태에 대해 표시하고 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.4.3 기록계

기록계는 발전소 상황판단에 필요한 추이정보를 기록한다. 기록계는 2점, 4점, 6점 및 20점식인 4가지 형태의 디지털그래픽(Digital Paperless) 기록계로 구성되며 눈금의 범위, 눈금값과 공학단위는 18.2.4.1절에 설명되어 있다. 마이크로프로세서 기반 디지털기록계는 측정데이터를 액정화면에 표시하고 필요한 부분을 재생하여 현재의 지시값과 과거의 지시값을 동시에 비교, 감시할 수 있다. 또한 트렌드, 데이터, 바 그래프 등 다양한 표시 기능을 제공하며, 그림 18.2-6에 관련 기록계에 대한 형태가 나타나 있다.

1

18.2.5 제어기

모든 제어기기는 인간공학을 고려하여 선정되었고, 기능별 표준화, 계통 내의 일반적 기능을 고려하여 쉽게 식별될 수 있도록 하였다. 또한 제어기는 신속하고 오동작이 없이 사용할 수 있도록 선정되고 설치되었다. 제어기는 운전원에게 혼돈을 주지 않고 계통흐름을 명확히 반영하도록 모형도와 계층적 명판을 이용하였다. 제어기 수량과 용도는 기능 및 직무분석 결과에 따라 공정제어에서 요구하는 것을 정확히 반영하여 선정하였다. 주요 제어기(원자로제어, 사용빈도가 높은 제어기, 안전계통 주요 제어기 등)는 주제어반 벤치보드나 수직반 하부의 접근이 용이한 곳에 배치되었다.

핸들이 있는 제어기는 부주의로 인한 조작을 피하기 위해 제어반 가장자리로부터 10 cm 이내(핸들의 끝부분)에 위치되지 않도록 하였다.

주제어반에 설치된 제어기는 운전원이 제어대상의 설정치를 조정하거나 수동제어로의 전환을 허용하도록 되어 있으며 수동/자동 상태표시, 출력, 설정치 및 공정변수 값을 나타내고 수직 눈금 및 공학단위는 지시기와 동일하다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.5.1 제어기 코드화 및 형태

제어기는 밸브, 펌프, 차단기, 경보기, 정지 및 작동 그리고 원자로 제어기 등이 쉽게 구별될 수 있도록 기능별로 표준화하여 적용하였다. 이를 위해서 모형, 기기형태, 위치 및 색상코드화 등의 방법을 조합하여 적용하였다. 예를 들어, 송풍기와 펌프 제어기의 테두리는 청색이며 그 외의 제어기(차단기 및 밸브)는 흑색 테두리를 사용하고 푸쉬버튼 제어스위치가 한가지 형태의 직무 즉, 밸브운전에만 이용된다면 그 용도로만 사용되도록 하였다.

제어는 운전 편의성을 보장하고 운전원 실수를 최소화 하도록 선정되었으며, 예상되는 동적상태(dynamic condition)하에서 수동조작의 기민성, 조정 및 반응시간 등의 한계 내에서 조작이 가능하고, 예상 수명기간 동안 외형 및 기능적 특성을 유지할 수 있는 충분한 내구성을 갖도록 선정되었다. 제어조작의 피드백(feedback)은 촉각, 청각 및 시각(지시등의 점등, 지침의 움직임)적으로 제공되도록 설계에 반영되었다.

제어기에 대한 설계내용은 아래와 같다.

가. 후비 발광형 푸쉬버튼(illuminated pushbutton)은 밸브, 댐퍼, 펌프, 히터 및 차단기 등과 같은 기계적인 기기작동과 이들 기기가 원하는 최종위치에 도달했을 때 이를 시각적으로 피드백, 또는 이들 기기들의 운전모드 상태를 제어 및 감시할 필요가 있는 것에 사용된다. 버튼의 표면적은 손가락으로 쉽게 누를 수 있고 또한 충분한 힘이 가해질 수 있을 정도로 충분히 넓다. 푸쉬버튼 제어기는 발광다이오드의 교체를 위해 커버를 쉽게 제거할 수 있으며 일반적으로 수직형 배열이다. 푸쉬버튼의 렌즈에는 흰바탕에 검정글씨를 새겨 넣어 판독성을 향상시켰으며, 각 상태 지시등은 2개의 발광다이오드로 구성되고 발광다이오드의 색상은 다음과 같은 4가지가 있다.

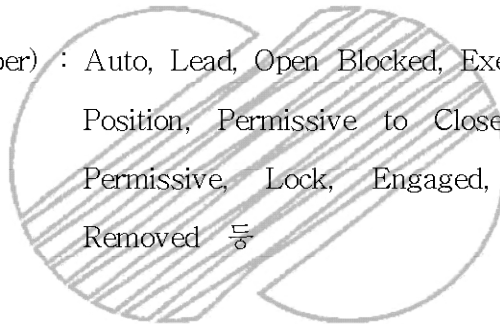
- 적색(Red) : 에너지 흐름상태 즉, Open, Start, On, Open/Mod, Jog

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

Open, Loop1, Loop 2 등이며, 예외적으로 차단기류에서는 폐회로 상태 즉, 스위치가 Close된 경우에 에너지가 유입되므로 Close 상태에 적색이 적용됨

59

- 녹색 (Green) : 에너지 차단상태 즉, Close, Stop, Off, Close/Mod, Jog Close 등이며, 예외적으로 차단기류에서는 개회로 상태일 때, 에너지가 흐르지 못하므로 이를 Trip으로 명하며, Trip 상태에 녹색이 적용됨
- 황 색 (Yellow) : 작동불능(Inoperable), Emergency off 등
- 호박색 (Amber) : Auto, Lead, Open Blocked, Exercise, Sync., Override, Mid Position, Permissive to Close, Open Permissive, Close Permissive, Lock, Engaged, Manual, Direct, Power Removed 등



단일 기능을 갖는 푸쉬버튼은 다음과 같이 4가지가 있다

종류	지시등 색깔	기능
Close	녹색(Green)	유해가스가 감지되었을때 주제어실을 격리 시키기 위해 댐퍼를 신속하게 닫음
Start	적색(Red)	소화펌프의 신속한 기동
Emergency off	황색(Yellow)	주증기 바이패스 제어계통을 제거 (Off) 시키는 기능
Exercise, 10 % closed	호박색(Amber)	푸쉬버튼을 작동시키면 격리밸브가 10 % 닫혔다가 다시 완전히 열림

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

적색과 녹색의 또 다른 상태지시등은 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) Open/Mod 상태는 설계유량을 유지하기 위해 타 계통기기에 의해 밸브나 댐퍼가 열림쪽으로 조절이 되도록 하기 위해 푸쉬버튼의 수동조작을 나타내는 것으로서 이러한 푸쉬버튼은 그림 18.2-7과 같다. PM07에 설치된 터빈우회밸브 제어용 푸쉬버튼은 조금 다른 형태인 Open과 Modulation으로 되어있으며 밸브열림(적색)에 필요한 허용조건을 기다리는 대기상태로 놓을 수 있다. PM07에 설치된 증기발생기취출수탱크의 토출밸브용 푸쉬버튼은 또 다른 유사형태로 밸브 29A 또는 29B를 선택하여 운전하는 것으로서 선택된 밸브에 적색 지시등이 켜지며 푸쉬버튼의 모양은 그림 18.2-7과 같다. | 1
- 2) Open과 ESF-1 또는 ESF-2 상태지시등은 안전명령신호(safety command signal)를 무효화(override)할 수 없거나(우선순위 1, ESF-1) 무효화(override)할 수 있음(우선순위 2, ESF-2)을 나타낸다. 우선순위 2인 상태에서는 수동으로 Open 푸쉬버튼을 작동시킨 다음 Close 푸쉬버튼을 작동시키면 밸브 또는 댐퍼는 닫힌다(녹색등이 켜짐). | 1
- 3) Open(override) 상태지시등(적색등)은 PM01에 있는 FAN기동에 의한 격리용 댐퍼 열림상태에서 수동으로 OPEN(override) 푸쉬 버튼을 작동시킨 다음, Close 푸쉬버튼을 작동시키면 격리용 댐퍼는 닫힌다(녹색등이 켜짐). | 1
- 4) Open과 15% Open 또는 30° Pos 또는 60° Pos는 관련 펌프와 연동된 조건에서 밸브의 부분적 열림(수동 또는 자동)을 나타낸다(호박색등). 밸브는 펌프 기동 후 완전히 열 수 있도록 되어있다(적색등). | 1

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 5) Start와 ESF-1 또는 ESF-2는 2항과 유사하며, 형태는 그림 18.2-7과 같다. | 1
- 6) Start와 Lead는 주제어반 PM08에 있는 2대의 복수기수실 충수펌프(priming pump)에 사용된다. 펌프는 두 펌프가 모두 자동위치에 있을 때에 수동 또는 자동으로 기동된다(두 펌프 중 한대는 리드(lead)로 기동되고 또한 펌프 한대가 고장 시에는 다른 펌프가 기동된다. 리드 펌프가 기동될 시 적색 지시등과 호박색 지시등이 함께 켜지며 다른펌프는 자동상태로 유지된다.).
- 7) Jog Open은 적절한 밸브열림이 되도록 수동으로 밸브위치를 조절하는 것이다. 밸브열림 상태가 적절한지를 확인하는 데 필요한 밸브 위치지시계는 관련 밸브 스위치와 분리되어 있거나 스위치와 한 몸체로 되어 있으며, 모양은 그림 18.2-7과 같다. | 1
- 8) Close/Mod는 위 1번항 내용과 유사하나 단힘위치로 조절되는 것을 나타낸다.
- 9) Close와 ESF-1 또는 ESF-2는 위 2번항과 유사하나 ESF-2의 수동 제거는 Close 버튼을 누른다음 Open 푸쉬버튼으로 밸브나 덤퍼를 열게 한다. 이와 유사한 형태는 주증기차단밸브 3단 푸쉬버튼으로 2번째 푸쉬버튼은 Slow Close이고, 맨 아래쪽 푸쉬버튼은 Fast Close와 ESF-2 이다. Slow Close는 정상운전 중에 사용하고, Fast Close는 비상운전하에서 사용된다.
- 10) Stop과 ESF-1 또는 ESF-2는 위 2번항과 유사하다.
- 11) Jog Close는 위 7번항과 유사하다.
- 12) Manual 위치는 푸쉬버튼 아래쪽에 있는 것으로서 그 기능은 Open과 Close, Start와 Stop, 또는 On, Off 등이 자동 또는 수동으로 제어되고 있

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

음을 나타낸다.

- 13) Power Removed도 푸쉬버튼에서 제공되는 기능으로 정상운전 중 부주의에 의한 밸브열림을 방지하기 위한 일종의 관리절차이다. 푸쉬버튼을 누르면 호박색등이 켜지고 밸브는 열리지 않는다. 만약 푸쉬버튼을 다시 누르면 호박색등(amber light)은 꺼지고 밸브를 열 수 있게 된다.
- 14) Manual과 Lead는 PM04에 있는 두대의 봉산보충펌프 또는 2대의 원자로보충수펌프가 모두 자동(auto) 위치에 있을 때 첫번째 펌프가 리드(lead)로 지정된다(호박색등이 켜짐).
- 15) Close와 Inoperable은 차단기 조작용 푸쉬버튼으로서 동기모드에서 이 푸쉬버튼을 누르면 차단기는 투입(적색등)되고, 전기적 보호신호 동작 및 차단기 시험위치에서는 Inoperable(황색등)이 점등된다.
- 16) Trip과 Sync는 차단기 조작스위치의 2가지 연관된 모드를 나타낸다. 차단기가 차단상태(녹색등)에서 Trip 푸쉬버튼을 누르면 제어모드가 비동기에서 동기모드로 전환된다(호박색등). 동기모드에 있을 때 같은 동기메타(synchroscope)를 사용한 다른 차단기 사용은 불가능하게 한다. 동기모드로 선택 후 해당 차단기는 투입될 수 있으며(적색등), 차단기 투입 후 회로는 비동기모드로 전환된다.
- 17) Direct는 PM04에 있는 체적제어탱크 보충수 우회밸브(VCT Makeup Bypass Valve: V527) 조작 스위치에 있다. Direct(호박색등)로 선택되면 밸브 527이 열리고(적색등), 체적제어탱크 보충수 공급격리밸브 V512는 닫히어(녹색등) 충전펌프 흡입모관(charging pump suction header)으로 보충수(봉산수 또는 원자로보충수)는 직접 공급된다.

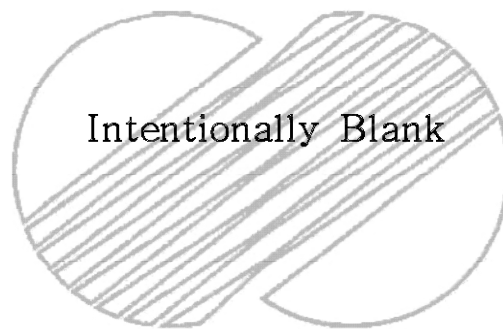
신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 18) Loop 1 및 Loop 2는 PM08에 있는 이코노마이저 급수제어밸브(Economizer Feed Water Control Valve) 제어루프(Loop)에 대한 솔레노이드밸브(V1112X, Y, V1122X, Y)의 Loop 전환을 위한 조작 스위치에 표기되어 있다. 급수제어 계통(Feed Water Control System) Demand 신호를 이용한 이코노마이저 급수제어밸브 제어시 Loop 1 및 Loop 2가 자동 또는 수동 선택될 경우 Loop 1 또는 Loop 2는 적색등이 점등되며, Loop 1 또는 Loop 2 사용이 불가능할 경우에는 Inoperable(황색등)이 점등된다.

59



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

다른 종류의 후비발광형 푸쉬버튼(2단)은 화학 및 체적제어계통에 관련된 것으로 PM04에 설치되어 있다. 이들 조작스위치는 특정기능을 선택하기 위한 것으로 우회밸브 또는 전환(diversion)밸브를 작동시키기 위한 것이다. 이들 푸쉬버튼 스위치의 상부와 하부 푸쉬버튼의 명칭은 다음과 같고, 지시등은 상, 하 모두 적색등이다.

푸쉬버튼 상부 (적색)

- 1) VCT(volume control tank)
- 2) VCT
- 3) Gas Stripper
- 4) Gas Stripper
- 5) PIX(purification ion exchanger)
- 6) PRM & BOR
(process radiation monitor
and boronometer)

푸쉬버튼 하부 (적색)

- HUT(holdup tank)
- PHIX(preholdup ion exchanger)
- PHIX
- EDT(equipment drain tank)
- VCT
- BYPASS

화학 및 체적제어계통의 4단 푸쉬버튼은 보충수 모드 선택으로, Borate(적색), Auto(호박색), Dilute(적색) 및 Off(녹색) 4가지 모드가 있으며 Off는 보충(Makeup) 모드 운전을 끝내는 것이다. 3가지 서로 다른 보충 운전모드는 다음과 같다.

- 1) 봉산주입(Borate) 모드에서는 운전원이 체적제어탱크 또는 충전펌프 흡입구로 공급할 봉산수의 양을 미리 설정한다.
- 2) 자동(Auto) 모드에서는 체적제어탱크의 수위가 자동으로 유지되도록 혼합 보충수(blended makeup)를 체적제어탱크로 보낸다.
- 3) 희석(Dilute) 모드에서는 운전원이 체적제어탱크 또는 충전펌프 흡입구로

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

공급될 원자로보충수의 양을 미리 설정한다.

나. 보호 커버부착 푸쉬버튼(경첩식 차폐)은 제어기의 예기치 않은 동작을 방지하는 데 사용된다. 경첩식 차폐는 투명한 프라스틱 커버로 운전원에게 조작전에 주의를 주기 위한 목적으로 제어기 위에 설치되어 있다. 주제어반상의 경첩식 차폐는 Open, Jog Open, Power Removed, Close 버튼 상에 부착되며, 이는 계통 특성상 요구되어질 때 관련 제어 도면에 표기되며 사용된다.

1

다. 지시계 부착 푸쉬버튼(meter/pushbutton combinations)은 2, 3 및 4단 푸쉬버튼으로 4가지 종류의 지시용으로 사용하는 데 퍼센트 부하메타(펌프, 송풍기, 히터), 퍼센트 위치(밸브), 전류계(차단기), 전압계(차단기) 등이 있다. 2, 3단의 지시계 부착 푸쉬버튼은 그림 18.2-7에 나타나 있다.

1

라. 지시등이 없는 원형 푸쉬버튼(Non-Illuminated Pushbutton)은 원자로 수동정지버튼, 터빈수동정지버튼 및 경보용 푸쉬버튼 등에 사용되며, 운전원에게 작동된 기기상태를 제공할 수 있도록 관련 지시기를 갖는다. 이 푸쉬버튼은 푸쉬 버튼의 주변을 감싸고 있는 보호함(Protective housing)이 제공되며, 이 보호함은 운전원으로 하여금 부주의한 조작으로 작동되지 않도록 하기 위함이다. 지시등이 없는 원형 푸쉬버튼은 그림 18.2-7에 나타나 있다.

1

마. 로터리 핸드스위치(rotary handswitch)는 그 동작이 제어반 표면에 대해서 원형이고 수평적인 모든 제어를 포함하고 있다. 이러한 형태의 핸드스위치는 그림 18.2-8에 보여주며 로터리 핸드스위치상의 표식은 좌에서 우측으로 선택되도록 되어 있으며 주요 내용은 다음과 같다(괄호내는 지시등 색깔임).

1

로터리 핸드 스위치 (표식위치 : 좌측 → 우측)

(1) MAN, SYNCCHK, OFF, AUTO

(2) NORM, BYP / INOP

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- | | |
|----------------------------|---|
| (3) SWYD, MCR | 1 |
| (4) NORM, REFUEL | |
| (5) OFF (녹색등), ON (적색등) | 1 |
| (6) LOWER, RAISE | |
| (7) NORMAL, ACTUATE | |
| (8) DISABLE, ENABLE | |
| (9) MCB (호박색등), RSP (호박색등) | 1 |
- 바. 수동/자동 제어기(Manual/Auto Station)는 지시계와 유사한 형태로써, 조작상태를 추이 확인할 수 있도록 막대그래프 형태의 아날로그 표시판과 정확한 값을 수치로 표시하는 디지털 수치 표시기로 구성되어 있으며, 주요 기능 조작 버튼으로 설정치값(SP), 프로세스값(PV), 출력값(Out) 등이 있으며, 수동/자동 및 원격/근격 선택스위치 및 지시등이 포함되어 있다. 주제어반 및 원격정지반에 사용되는 수동/자동 제어기 형태는 그림 18.2-8에 제시되어 있으며, 막대그래프 및 디지털 수치표시 색상은 녹색이다. | 1
- 사. 토글(toggle) 스위치, 레버(lever), 부분적 로터리식 스위치, 슬라이드(slide) 스위치 및 락커(rocker) 스위치(푸쉬버튼, 로터리 제어기, J-핸들 스위치 포함)의 크기 및 형태는 인간공학 기준에 따랐다.

18.2.5.2 오조작 방지

주제어반에는 제어기의 부주의한 작동을 방지하기 위해 J-핸들 제어기 사용을 제한하고, 제어반 가장자리에 제어기 설치를 배제하였으며, 편리한 운전을 위하여 벤치보드 하단에 평평한 수직면 등을 고려하여 설계하였다. 사용이 제한되는 제어기의 경우 부적절한 스위치 작동을 방지하기 위해 차폐물(barrier)을 설치하고 이들 제어스위치에 보호함(protective housings) 또는 경첩이 달린 차폐(hinged shield) 혹은 열쇠잠금(key lock) 장 | 1

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

치 등을 사용하였다. 이러한 방법은 부주의한 작동결과에 따른 계통운전의 심각한 영향과 운전원의 즉각적인 조치의 필요성에 준하여 적용되며, 이러한 유형 외의 차폐물을 주 제어반에 설치, 사용하고자 할 경우에는 인간공학적 적합성 검토가 수행되어야 한다.

1

제어기의 오조작 방지를 위한 설계내용은 아래와 같다.

가. 보호함은 지시등이 없는 원형 푸쉬버튼 스위치에 사용되며 원형푸쉬버튼 스위치 주변을 감싸고 있는 형태이다. 이것은 부적절한 작동은 방지하고 운전원의 추가조치 또는 지연을 유발하지 않는다. 이 보호함은 원자로 수동정지 및 터빈 수동정지 등과 같은 수동정지 버튼에 사용되었다.

1

나. 경첩식 차폐는 부주의한 작동을 방지할 뿐만 아니라 운전원이 잠시 시간을 갖고 생각을 한 후 적절한 조치를 취하도록 스위치 상단에 투명 플라스틱 커버를 설치한다. 이러한 형태의 스위치는 부주의한 작동으로 계통에 불필요한 과도상태를 유발하거나, 필요 시 안전관련 계통의 작동을 방해하는 상태를 유지하도록 공학적 판단에 의해 필요 시 사용되고 있다.

다. 열쇠 잠금장치는 접근이 필히 제한되어야 하는 경우에만 사용되며 비관련자가 제어기 사용 시 실제 위험이 따르는 경우에 적용하였다. 열쇠는 양면톱니가 있는 것이 사용되었으며, 제어기의 잠긴 경우가 위쪽으로 되도록 한다. 스위치가 잠겼을 때만 열쇠를 뺄 수 있으며 필요 시 즉각 사용 가능하도록 잘 표시된 통제함에 보관하였다.

18.2.5.3 기타 제어 및 지시기

이 절에는 주로 공급자 제어반에 관한 사항으로 PM04, PM05, PM06, PM08 그리고 PM09에 설치되어 있는 화면표시기 및 키보드와 PM06에 위치한 제어봉 노심 모형도

1

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

(CEA core mimic)에 대해 기술한다.

가. 그림 18.2-9에서 보여주는 구성품은 PM06에 위치하고 있으며 원자로 보호계통(RP), 제어봉집합체구동계통(CE), 발전소감시계통(CX) 및 경보계통(AN)과 관련된다. 원자로보호계통의 기능은 원자로 노심과 원자로냉각재계통 압력경계를 보호하는 것으로서 특정 사고 발생시 그 결과를 완화시킬 수 있도록 공학적안전설비작동계통(ESFAS)을 지원하고, 기기보호, 경보 그리고 제한 신호들을 제공한다. 제어봉 위치지시 원자로보호계통은 제어봉집합체(CEA) 위치 표시 VDU 및 기능키, 네 개의 노심보호연산기(CPC) 운전원 모듈과 네 개의 발전소보호계통(DPPS) 운전원 모듈들로 구성된다. 제어봉집합체구동계통의 기능은 제어봉구동장치(OEDM)에 공급되는 동작용 전원과 유지용 전원을 제어하고 아울러 제어봉집합체의 지속기간과 비율 그리고 방향을 제어한다.

제어봉집합체구동계통은 제어봉집합체 노심 모형도와 제어봉집합체 위치표시 VDU 그리고 제어봉구동장치제어계통(CEDMCS) 운전원모듈로 구성된다. 발전소감시계통은 발전소 변수를 순차적 검색, 계산, 경보, 기록을 하여 평가한다. 뿐만 아니라 특정한 보조설비 성능에 관한 계산도 수행한다. 발전소감시계통은 필수기능감시(CFM)와 공정감시용 VDU 그리고, 그와 관련한 키보드로 구성된다.

경보 VDU 기능키가 경보계통의 구성 요소들이며, 주요 기능으로는 운전원의 주의를 요하는 기기 상태의 변화 및 중요한 발전소 변수들의 비정상 상태가 발생하면 시각적 및 청각적 신호를 통하여 운전원에게 즉시 관련 정보를 제공하고 필요한 조치를 취하도록 하는 것이다.

나. 그림 18.2-10에서 나타낸 두 개의 원자로냉각계통 구성요소들은 NSSS 공급자 제어반으로 PM04와 PM05에 위치한다. 두 개의 부적절노심냉각계통(ICCMS) 플리즈마 표시 기기는 노심 기능에 관련된 중요 정보를 나타낸다. 원자로출력급

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

감발제어반(RPCCP)은 일정한 양의 부하감발과 운전중인 두 대의 주급수 펌프가 상실되어 있는 동안 원자로가 적절한 출력상태를 유지토록 하는데 사용된다. 이것은 CEA의 선택된 뱅크가 원자로 바닥으로 낙하되어 원자로 출력이 급격하게 감소되도록 하는 것으로 RPCCP에 의하여 이루어진다.

다. 그림 18.2-10에 나타난 구성요소들은 PM09에 위치하고 있는 터빈발 전기 관련 공급자 제어판들이다. 이들 구성요소들은 주터빈과 보조(YA)계통, 그리고 발전기가스(GG)계통으로 구성되어 있다.

디지털 제어와 감시(MARK-VI)계통은 터빈 및 보조계통(TA)의 일부분으로서 세 대의 VDU 한 대의 보조제어반, 세 대의 트랙-볼(trackball) 및 세 대의 키보드로 구성되어 있다. MARK-VI 계통은 발전소 정상운전 동안 터빈발전기의 수동 및 자동제어 그리고 보호 및 감시 기능을 제공한다. 이 계통은 특정한 비정상 상태(과속, 윤활유 상실, 과열)에 대해 터빈/발전기를 자동으로 보호하는 기능을 포함한다. 이들 구성 요소들은 터빈/발전기에 대한 보다 향상된 시각적 감시 및 제어능력을 운전원에게 제공하도록 설계되어 있다.

발전기 가스 감시는 GG계통의 한 구성요소로 그 기능은 발전기 구성품들 (고정자 권선제외)을 냉각시키기 위해 냉매로 사용된 수소가스를 감시하는 것이다.

라. 그림 18.2-10에 나타난 주급수펌프 터빈제어반은 NSSS 공급자 제어반으로 PM08에 위치하고 있다. PM08에는 주급수펌프터빈(FT)계통의 펌프용 제어반이 세 대 설치된다. 터빈구동펌프들은 증기발생기에 필요한 급수량을 공급하는데 이들은 터빈 구동체와 직접 결합되어 있다. 이 제어반은 다음과 같이 구성되어 있다.

1) 4개의 디지털 지시계 : 기준속도, 펌프속도, 터빈속도, 밸브위치

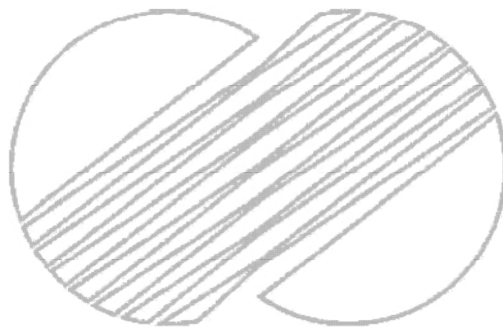
신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 2) 5개의 피스톨형 로타리 스위치 : 조속기, 조속기밸브위치(ramp), 조속기속도
설정, 조속기원격제어, 정지밸브 시험,
- 3) 3개의 푸쉬버튼 스위치 : 터빈트립, 터빈복귀, 전구시험
- 4) 지시등 : 터닝기어, 계통상태, 정지, 제어 및 배출 밸브

1

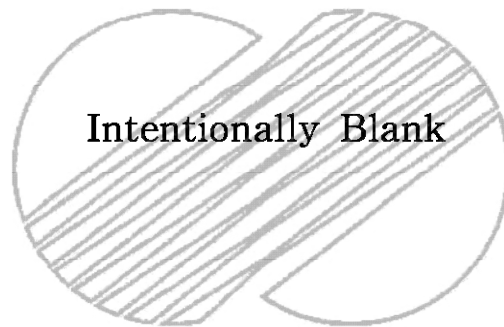
18.2.6 경보기

주제어실 경보계통의 설계 및 이행에 인간공학이 고려되었다. 인간공학지침서는 색상코딩, 형식, 문자, 경보순서, 청각경보기 특성과 경보계통의 기타 사항을 기술하고 있다.



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

주제어실의 경보계통은 운전원 주의를 요하는 기기의 상태변화와 중요한 발전소 변수들의 비정상적인 상태에 대해 시각적이고 청각적인 신호를 발생시켜 운전원이 경계심을 갖도록 하기 위해 설계되었다. 운전원이 아무런 행동을 취하지 않아도 되는 발전소 상태와 즉각적인 운전원 인지가 불필요한 상태에서는 경보가 발생되지 않는다. 경보계통은 직접적인 공정제어나 보호기능은 없으나 비정상상태가 발생했을 때 운전원이 정확한 조치를 취할 수 있도록 운전원에게 관련정보를 제공하는 데 사용되고 있다.

경보계통은 발전소 운전상태에서 허용범위를 벗어난 상황을 운전원에게 즉각적으로 알려주기 위한 주제어실의 중요한 계통으로 청각경보계통, 시각경보계통 및 운전원 대응계통 등 3가지의 주요 보조계통으로 구성되어 있다. 경보는 운전원이 적절히 대응할 수 있도록 즉각적이고 정확하게 알려주며, 경보를 명확하고 쉽게 구별하고, 복귀할 수 있도록 인간공학 설계기준에 따르고 있다. 경보기 하드웨어는 통제되지 않는 방법으로 현장에서 조정되어서는 안된다.

경보는 계통 또는 기기고장과 관련없이 계통 및 기기상태만을 표시하기 위해서는 사용되지 않으며 실제로 비정상상태가 아닌 데 경보가 발생하는 오동작을 최소화 하도록 설계되었다.

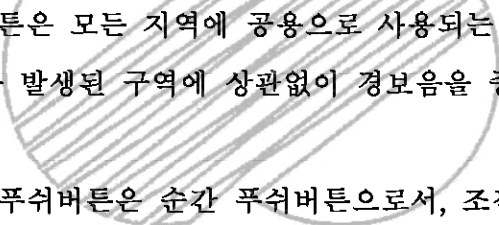
경보신호는 제어실의 평균 소음기준(mean background noise level) 이상에서 운전원들이 들을 수 있는 충분한 데시벨값을 가지며, 제어반상에 설치된 경보창 위치를 판단할 수 있도록 경보음을 표식화하였다. 경보음은 주파수와 진폭변조를 사용하여 쉽게 들을 수 있고 구역별로 구분이 되도록 하였다. 신월성 1,2호기 주제어실에는 5가지 경보음이 사용되고 각 경보구역은 신호/소음비, 주 주파수 그리고 주파수 및 변조코드 등의 다양한 방법으로 서로 다른 경보음을 직무분석 및 제어실 실사를 통하여 설정하였다. 음의 강도는 주변소음 수준보다 최소 10 dB 높게 조정되었다.

경보기는 기능 및 계통별로 그룹화되고 관련 경보창은 관련 제어기 위에 설치된다. 경보

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

계통은 공정계통, A, B 계열 그리고 유사계통을 구역화하여 명판으로 표시하였으며 경보는 횡과 종의 좌표로 위치가 구분된다. 종렬은 계통을, 횡렬은 공통된 문제를 표시한다. 예를 들면, 어떤 계통의 A, B 계열 경보는 종렬에, 펌프정지경보는 횡렬에 나타난다.

발전소 경보계통은 주제어반에 설치되어있는 경보반, 청각장치, 푸쉬버튼 제어함 그리고 전기기기실에 위치한 논리제어 장치와 입력 캐비닛으로 구성된다. 주제어반에 설치된 경보기 제어용 푸쉬버튼은 정상 및 최초 경보용으로 경보음 멈춤(Silence), 인지(Acknowledge), 복귀(Reset) 그리고 시험(Test) 푸쉬버튼을 포함하고 있으며 경보계통의 정상경보절차는 표 18.2-3과 같다. 경보음은 운전원이 경보가 발생되는 위치를 구별할 수 있도록 진폭과 주파수를 조절하는 기계적 구조로 되어 있다. 경보기 푸쉬버튼의 설계 내용은 아래와 같다.

- 
- 가. Silence 푸쉬버튼은 모든 지역에 공용으로 사용되는 순간 푸쉬버튼으로서 조작했을 때 경보가 발생된 구역에 상관없이 경보음을 중지시킨다.
 - 나. Acknowledge 푸쉬버튼은 순간 푸쉬버튼으로서, 조작하면 동일한 구역에 위치한 모든 경보음을 중지시키고, 점멸을 멈추게하여 불이 켜져있는 상태가 된다.
 - 다. Reset 푸쉬버튼은 순간 푸쉬버튼으로서 현장 접점이 다시 정상으로 복귀된 후 복귀버튼을 조작하면 동일한 구역에 위치한 모든 경보창 불이 꺼진다 (차임벨 소리는 입력 접점이 정상으로 됐을 때 복귀에 앞서 한번 울린다).
 - 라. Test 푸쉬버튼은 순간 푸쉬버튼으로서 동일한 구역에 있는 모든 경보에 대해 컴퓨터 입력용 접점을 제외하고, 경보장치와 LED를 시험하기 위해 사용된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.6.1 색상 코드화 및 우선순위

발전소 경보계통은 발전소의 운전모드에 따른 별도의 특별 요건이 없고 발전소 운전의 모든 모드에서 적절하게 운전되고 작동되어야 한다. 경보창들(개별 창들)은 운전원에게 중요 경보라는 것을 알려주고 제어할 운전성을 향상시킬 수 있도록 각 경보창별로 색상 구분을 통해 그 우선순위가 적용되었다.

우선순위 적용을 위한 색상표식은 운전원이 주요 경보를 식별하고, 적시에 대처하는 데 도움이 되도록 한다(표 18.2-2 참조).

제 1우선순위는 적색 타일이다(원자로정지, 발전소정지, 공학적안전설비, 방사능누출, 즉각적인 운전원 조치사항).

제 2우선순위는 호박색 타일이다(운영기술지침서 위배나 발전소정지 및 방사능유출을 유발하는 기타 조건).

제 3우선순위는 백색 타일이다(발전소정지까지 진전되지는 않으나 감시나 교정조치가 필요한 계통의 기능저하).

상기 우선순위별 색상 외에 각 경보창 위치에 대해 우선순위화하고 다음과 같은 수직적 계층구조를 적용한다.

제 1우선순위 경보는 맨 윗줄에, 다음 줄에는 제 2, 3우선순위 경보가 위치한다. 또한 유체계통 관련 경보 중에 우선순위가 동일할 때에는 압력, 유량, 수위 및 온도순서로 배열한다. 적절한 명암 대비를 위해 선명한 밝기의 경보창과 굵은 글씨가 사용된다. “최초”(First Out) 경보기는 특별한 위치에 배치하고 독립적인 우선순위를 적용하며, 최초

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

경보로 지정된 경보창은 경보반의 동일 위치에 항상 배치된다. 원자로 트립계통은 별개의 최초 경보반을 갖고 있다. 최초 경보는 경보창에 빠른 점멸로 나타내며 그 이후에 발생된 경보는 정상 점멸로 표시된다.

18.2.6.2 점멸도

점멸도는 시각적으로 쉽게 구별할 수 있도록 다음과 같이 3가지로 선정된다(구형파 ; 커짐과 꺼짐의 비율은 동일함). 최초 경보에는 빠른 점멸(4회/초), 최초 경보가 아닌것은 정상 점멸(2회/초), 경보가 정상으로 복귀(링-백)시에는 느린 점멸(1회/초)이 사용된다.

18.2.6.3 명판과 글자새김

경보기는 주요 계통뿐만 아니라 부계통을 쉽게 식별할 수 있도록 큰 명판이 부착되며, 발전소 경보상황을 쉽게 인지할 수 있도록 표준형식의 큰 활자체로 경보창 타일에 새긴다. 경보 타일에 쓰여진 글자내용은 다음과 같다. 첫줄은 경보원인(예, 펌프 A, 보조급수계통), 둘째줄은 문제(열림, 전원상실), 그리고 셋째줄은 문제 극심도(저-저)를 나타낸다. 3줄이 불필요한 경우 2줄짜리 타일사용은 가능하나 4줄 이상의 타일사용은 금하고 있다. 경보창에 새긴 글씨는 일반적으로 한 줄에 15자가 허용되며 글자높이는 0.64 cm (1/4 in)로 하였다.

경보창 횡과 종은 확실하게 명판으로 구분하고 흑색 바탕에 백색 글씨를 적용한다. 모든 경보창에 새긴 글씨는 EPRI-3448에 준하여 글자형태, 높이, 획의 폭이 결정되고 백색바탕에 흑색글씨로 하며 계통 명판에도 동일한 기준을 적용한다. 각 경보반마다 일련번호가 지정된다. 약어는 신월성 1,2호기 표준약어를 사용하고 기기종류, 계통명, 그리고 고장종류 등에 일관성 있게 적용하였다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.6.4 다중입력 경보창

여러 경우에서 다중입력을 갖는 경보창이 사용되며 각 입력에 대한 운전원 조치가 동일한 경우에 한하여 다중입력이 허용된다. 예를 들면 경보에 대한 운전원 조치가 현장제어반에 누군가를 보내야만 할 경우 입력은 종류에 관계없이 한 경보창에 할당 가능하나, 운전원이 다른 조치를 취해야만 할 경우 별도의 경보창이 사용된다. 주제어반 경보창수를 제한하기 위해 가능한 경우에 다중입력 경보창을 이용한다.

18.2.6.5 소등 개념

소등 개념이란 발전소가 출력 중이고 안정상태에서는 경보 발생이 없는 것을 의미한다. 일반적으로 경보 논리도는 정상상태에서 "꺼짐"으로 되어있다. 경보계통 공급전원은 소내전력 상실하에서도 계통이 작동될 수 있도록 설계된다.

18.2.6.6 주기적 시험 및 정비

경보계통은 필요 시 시험이 용이한 설비를 갖추도록 설계하였다. 시험은 경보설비의 오동작, LED 소손, 부적절한 경보음향, 설비작동 및 기타 결함사항 등을 발견하기 위해 주기적으로 수행토록 관련 계획이 수립된다. 소손된 LED는 운전원 교대시나 그 이전에 교체된다. 하드웨어는 정비가 용이한 설비로 설계되며, LED 교체나 일반적인 경보기 정비를 위해 주제어실에 특수사다리(제어반을 발로 밟고 정비하는 것을 방지)가 제공된다.

18.2.6.7 고장 및 빈 경보창

고장 및 빈 경보창은 운전원들이 오경보(spurious alarm)로 인식하지 않도록 설계되었다. 계통이 영구적으로 고장났거나 제거되었을 경우 경보창은 빈 경보창으로 교체되고 빈 타일은 색상이 없는 백색이며 LED는 설치되어 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.6.8 경보화면표시기

주제어실의 모든 발전소감시경보계통 운전원단말기는 경보화면표시기 기능을 제공하며 2대까지 경보화면표시기 전용으로 지정하여 사용할 수 있다. 경보화면표시기는 아래의 화면기능들로 구성되어 있다.

가. 경보화면표시기 화면 구성

- 1) 상단의 Header에는 발전소컴퓨터계통 서버들의 운전 상태 정보, 현재 날짜와 시간, 운전원단말기 접속 보안 레벨 정보를 제공하고 있다. 경보 화면은 풀-다운(Pull Down) 메뉴를 통해 표시할 수 있다. Header는 Function Map과는 달리 고정된 화면이며 타 화면으로 전화되지 않는다.
- 2) 중간의 Function Map에는 경보화면이 표시된다. 경보 화면에는 경보창 경보목록(PAS Alarm List; PAL), 경보창 표시, 경보창 경보요약이 있다. 이들 화면은 Function Map 또는 메뉴를 통해 표시할 수 있다.
- 3) 하단의 Footer에는 경보창 경보목록(PAL) 버튼이 제공되어 있다. 경보가 발생되면 "PAL" 버튼이 노랑색으로 변경되고, 이 버튼을 선택하면 곧바로 경보창 경보목록 화면이 표시된다.

나. 경보창 경보목록(PAS Alarm List; PAL) 화면

- 1) 본 화면은 경보계통에 발생된 경보를 조회하는 화면이다. 현재 발생된 경보와 경보이력을 조회할 수 있으며 경보 발생 날짜, 시간, 포인트 정보, 경보 상태 및 경보식별 번호 순으로 표시한다.
- 2) 한 페이지에는 총 20개가 표시되고 4개 구역으로 구분하여 경보를 표시한다. 가장 상위 구역에 허용 수량인 5개가 채워지면 전체 구역이 동시에 아

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

래쪽으로 이동한다. 화면 상단 오른쪽에 현재 목록의 전체 개수와 페이지 번호가 표시되며 "PREV" 또는 "NEXT" 버튼을 이용하여 페이지 이동할 수도 있다. 또한 필터링 항목을 이용하여 원하는 경보 목록을 확인한다.

- 3) 각 경보목록을 선택하고 마우스의 오른쪽 버튼을 선택하거나 목록 하단의 "DETAIL" 버튼을 선택하면 경보에 대한 상세 데이터가 팝업 창으로 제공된다. "VIEWER" 버튼을 이용하여 경보창 표시 화면으로 직접 이동할 수 있다.
- 4) 발생한 경보는 경보기에서 정의된 중요도와 동일하게 우선순위가 적용되어 있다. 우선순위가 높은 순서대로 적색, 황색, 백색을 개별 경보내용에 나타내어 운전원이 색상에 의한 경보의 중요도를 식별하도록 하였다.
- 5) 경보 목록 화면상에 새로 발생한 경보는 인지력을 높이기 위해 경보내용을 점멸하여 운전원이 신속하게 조치를 취할 수 있도록 하였다. 화면 하단에 "ACK" 및 "RESET" 버튼을 배치하여 운전원이 발생한 경보를 인지 및 초기화 할 수 있도록 하였다. 인지버튼을 입력하면 점멸하던 경보의 내용이 점멸을 멈추도록 하였다.

다. 경보창 표시 화면

- 1) 경보표시의 다양성을 제공하기 위해 경보계통 경보창과는 독립적으로 발전 소컴퓨터계통에서도 경보 입력을 처리하여 경보창 표시 화면을 통해 경보창 미딕을 제공하도록 하였다. 경보계통 각 경보창 기능이 상실되더라도 본 화면을 통해 경보 상태 정보를 중단 없이 제공 가능하다.
- 2) 경보창 미딕은 경보계통 경보창과 유사한 형태로 배치 및 구성되어 있으며 운전원이 원하는 경보창을 선택할 경우 상세한 경보창 타일 구성이 화면

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

중앙에 표시된다. 각 경보타일에는 경보 메시지가 표시되어 있고, 경보타일을 선택하면 경보타일에 대한 상세 정보가 팝업창에 표시된다. 팝업창에는 해당 포인트 정보, 경보로직, 경보로직 입력 포인트의 경보 상태 정보 등을 포함하고 있다.

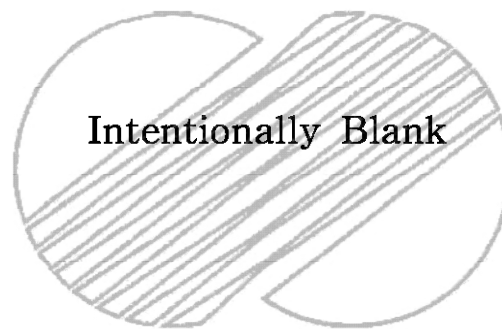
- 3) 경보창 미믹은 경보창과 동일하게 색상에 의한 경보의 중요도를 식별이 가능하도록 구현되어 있다. 또한 경보창에서는 확인이 불가능한 경보 램프 고장, 경보 입력 센서 고장 상태도 표시할 수 있다.

라. 경보창 경보요약 화면

- 1) 본 화면은 현재 경보 상태인 포인트들만 목록으로 제공하며 경보 발생 날짜, 시간, 포인트 정보, 경보 상태 및 경보식별 번호 순으로 표시된다.
- 2) 한 페이지에는 총 20개가 표시되고 4개 구역으로 구분하여 경보를 표시 하며 필터링 항목을 이용하여 원하는 경보 목록을 확인할 수 있다. "PRT PAGE"와 "PRINT ALL"버튼을 이용하여 경보창 경보요약 정보를 인쇄할 수 있다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.6.9 경보절차서

| 1

경보절차서는 운전원 조치사항, 기기위치와 시간제한 등을 명확하게 명시하고 있다. 최신 경보절차서가 주제어실 내 발전차장과 발전부서장 책상 가까이에 비치된다.

| 1

18.2.7 인지력 향상

적합한 경계선(demarcation), 모형도(mimic) 그리고 명판은 운전원의 제어기 및 지시기 사용능력을 현저히 향상시킨다. 그룹화된 제어기 및 지시기의 경계표시는 운전원이 관련 계기를 찾는 시간을 줄여 주고, 계통 내의 계기들간 상호관계 이해 및 구분을 하는 데 도움을 준다. 기능적으로 그룹화되고 경계화된 계기들의 명판 표시는 개별기기 명판상의 글자를 줄이고 정보전달을 향상시킨다. 모형도는 계통기기간의 상호관계 혹은 유체흐름의 방향 또는 전기 배전상태를 보여준다.

18.2.7.1 명판

기능적으로 유사한 계기들의 그룹은 경계표시선에 의해 묶어 표시하며, 경계표시영역은 계기의 계통 또는 기능별로 묶어 명판이 부착되었다. 각 기기에는 문자/숫자 지정 및 명칭을 기술한 명판이 부착되며, 패널의 혼란과 불필요한 반복을 피하기 위해 계층적 명판 체계가 사용되었다. 계통 및 부계통명은 경계표시영역 내 제어기와 지시기 그룹에 전체 명칭으로 부여되며, 명판이 상위계층으로 적용될 경우 글자의 높이와 획폭은 증가되었다. 글자크기, 명판색상, 약어, 형태, 재질, 위치 및 부착방법은 다음의 지침에 따르고 있다.

가. 최소 글자크기

- 1) 글자 높이는 71 cm (28 in) 가시거리를 기준으로 단일기기는 0.48 cm

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

(3/16 in), 기기들의 소그룹(부그룹)은 0.64 cm (1/4 in), 기기들의 대그룹은 0.95 cm (3/8 in), 현장제어반은 1.27 cm (1/2 in), 그리고 주제어반 경우 한글은 최소 5 cm (2 in), 영어는 최소 2.5 cm (1 in)로 한다.

- 2) 글자의 폭은 특별한 경우를 제외하고 글자높이의 3/5 을 적용한다.
- 3) 글자획의 폭은 글자높이의 1/6(밝은 바탕에 어두운 글자) 또는 글자높이의 1/8(어두운 바탕에 밝은 글자)

나. 명판 색상지침

- 1) 비상제어 혹은 전원(원자로 정지, 혹은 터빈정지)은 백색바탕에 적색글자
- 2) 식별용 명판(기기명, 계기번호, 계통명)은 백색바탕에 흑색글자
- 3) 정보용 명판(모형도 시점과 종점)는 회색바탕에 흑색글자

다. 주제어실의 명판에는 일관된 전문용어와 약어가 사용되고 전문용어는 절차서와 계통도에 일관성이 유지된다. 제어기와 지시기는 서술식 이름과 문자/숫자 지정으로 식별되며 표준화된 심볼이 사용되었다.

라. 명판은 다음과 같이 일관성 있는 형식으로 구성하고 명판의 중앙에 글자를 각인 한다.

- 1) 명판의 첫번째 줄은 계통/부계통명칭(필요 시) 또는 기기명칭
- 2) 명판의 둘째줄은 기기명칭 또는 변수
- 3) 명판의 셋째줄은 기기번호(계통, 기기형태 및 번호포함)

마. 반사가 적고 단단한 재질을 가진 명판에 글자를 새기며 재질은 바탕색을 갖는 외부층과 글자색을 지닌 내부층의 혼합 배열로 구성된 그라보플라이(gravoply) 혹은 동등한 것을 사용하였다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

바. 명판은 제어반의 읽기 편한 위치에 설치되며 주 명판을 제외한 모든 명판에는 영어로 표기하고 설치관련 지침은 다음과 같다.

- 1) 제어반 기기위에 설치한다.
- 2) 특정 기기관련 데이터 및 정보 명판은 관련기기의 우측하단 혹은 부근에 설치한다. 기타 정보관련 명판(모형도 시점 및 종점)의 경우는 적절한 위치에 설치된다.
- 3) 명판은 제어반 관련기기 근처 혹은 같은 높이에 설치된다.
- 4) 명판은 수평으로 휜 현상이 없이 설치된다.

사. 명판은 어떠한 온도 및 마모 조건하에서도 떨어지지 않도록 단단하게 부착되며, 나사와 같이 제어반에 손상을 주는 방법을 사용하지 않고 명판 뒷부분 전체를 덮는 양면테이프로 부착된다.

18.2.7.2 경계표시

운전원이 필요한 계기의 위치를 빨리 찾을 수 있는 능력을 향상시키기 위해 관련계기들을 그룹화하고 그룹 경계표시를 위해 색상의 명암을 이용한다. 제어반 배경색은 2가지의 옅은 회색() 이 사용되며 계기들을 그룹화할 때 사용되는 어두운 색상(shading color)은 짙은 회색() 및 올리브 녹색() 으로 NSSS 계통은 올리브녹색, BOP 계통은 짙은 회색을 적용하였다. 어두운 색상사이에 공간이 나타나며 이 공간에 제어반 배경색이 어두운 색상사이의 경계선으로 보여준다. 계통 경계선의 폭은 약 구분가능한 크기를 적용하고 경계표시선 중앙에 그룹명판이 부착되었다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.2.7.3 모형도

모형도는 기기의 연관관계와 공정흐름을 나타내기 위해 계통기기를 기능적으로 형상화한 그림의 집합이다. 적절하게 설계된 모형도는 운전원들의 의사결정 과정에 도움을 주는 것으로서 다음과 같은 지침을 따른다.

- 가. 모형도는 반사가 적은 재질을 사용한다.
- 나. 화살표는 유체흐름의 방향과 전기적 흐름을 보여주는 것으로 모형도 선보다 폭이 넓다. 흐름이 한 방향일 때만 화살표가 이용된다.
- 다. 유체흐름 모형도는 흑색이고 전기 모형도 선의 경우 은색, 흰색, 황색, 적색, 청색을 적용한다. 345 kV 스위치야드는 은색, 주전력계통(MP) 22 kV는 흰색, 보조전력계통(NP) 13.8 kV는 적색, 4.16 kV(NB, PF)는 청색, 480 V(NG, PG)는 황색을 적용하였다.
- 라. 심볼은 계통의 기기를 나타내며 관련도면에서 사용한 심볼과 유사하다.

18.2.7.4 채널식별

다중안전계통 기기들의 식별은 주제어반상에 설치된 채널화된 계기들을 분류하기 위해 색상과 심볼코딩을 이용하였다. 식별은 규제지침서 1.75에 따르며 관련 발전설비들에 대한 사업자 색상코드와 일치한다. 안전계통기기 채널 A, B, C, D의 식별은 다음과 같은 색상을 적용하여 명판 테두리(bezel) 좌우측에 굵은선으로 표시하였다.

- 가. 트레인 A/채널 A는 적색

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

나. 트레인 B/채널 B는 녹색

다. 채널 C는 황색

라. 채널 D는 청색

이들 표식크기는 약 0.25 cm (0.1 in) 폭으로 운전원에 의해 채널화된 계기 식별이 용이토록 설계되었으며, 표식이 없는 계기는 N 채널의 계기이다. 규제지침서 1.97의 제 1, 2범주에 해당하는 기기들은 명판테두리 상하단 부분에 상기 채널별 색상에 준하여 굵은선으로 표시되며, 비안전등급 기기가 규제지침서 1.97과 관련될 때는 흑색의 굵은선을 적용한다.

이 방법은 그림 18.2-11에 구체적으로 나타나 있다.

18.2.8 시험 및 검사

주제어실 기기들에 수행되는 시험 및 검사에는 건설시험, 기기 및 계통을 위한 사용전 시험(pre-operation test) 및 안전 및 비안전관련 기기에 대한 가동중 검사(in-service inspection)가 있다.

가. 주제어반과 제어반에 설치되는 각종 기기에 대한 제작 시험은 현장에 수송되기 전 제작자에 의해 수행된다.

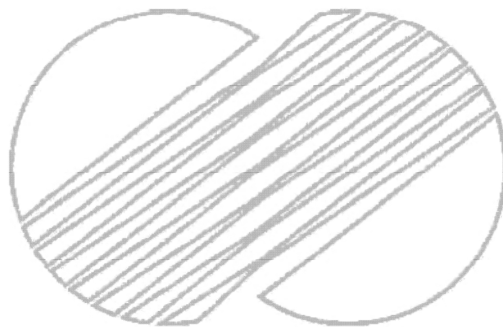
나. 개별기기들에 대한 사용전 시험은 수행되지 않으나 계통 사용전 시험의 일부분으로 수행된다.

다. 계통 사용전 시험은 주제어실을 별도의 계통으로 고려하지 않고 일부분으로써 각 제어실 계통 및 부계통에 대해 수행된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

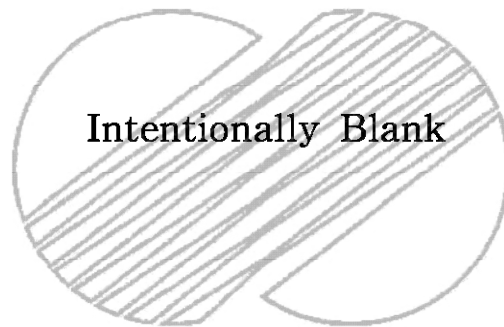
- 라. 안전등급 관련기기에 대한 가동중 검사는 관련 기술사양의 요건에 따라 수행된다.
- 마. 비안전등급 관련 기기에 대한 가동중 검사는 사업자의 검사기준과 시험주기, 절차서에 따라 수행된다.

1



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

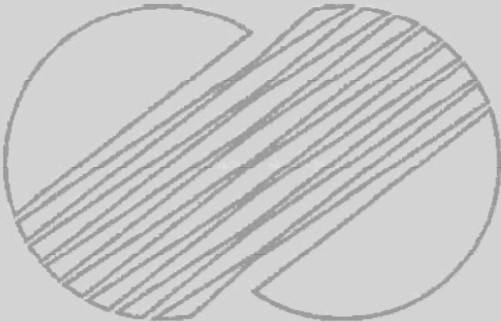


신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 18.2-1

한국인 남자 신체 표준치(25세~50세)

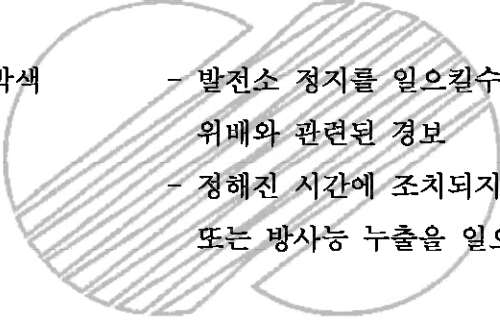
(단위 : cm)

번호	측정항목	신체 측정치		
		5 %	50 %	95 %
				

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 18.2-2

경보창 우선순위 및 색상표식

<u>우선순위</u>	<u>색 상</u>	<u>정 의</u>
1순위	빨강색	<ul style="list-style-type: none"> - 원자로 트립 또는 발전소 정지를 일으키는 경보 - 방사능 방출과 관련된 정보 - 신속한 운전의 조치를 필요로 하는 경보 - ESF 작동과 관련된 경보
2순위	호박색	 <ul style="list-style-type: none"> - 발전소 정지를 일으킬수 있는 운영기술지침서 위배와 관련된 경보 - 정해진 시간에 조치되지 않을 경우, 발전소 정지 또는 방사능 누출을 일으킬 수 있는 경보
3순위	흰색	<ul style="list-style-type: none"> - 계통 기능저하 등 발전소 운전성에 영향을 미치는 경보. <p>단, 발전소 정지, 방사능 누출, 기술규격서 위배 등을 야기시키지는 않는 경보</p>

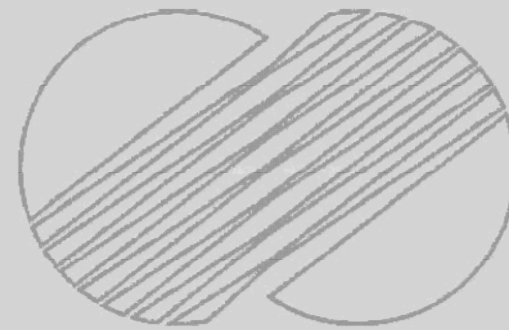
신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

표 18.2-3

경보계통 정상경보 절차

<u>조 건</u>	<u>운전원 행위</u>	<u>현장 접점</u>	<u>경 보 창</u>	<u>청각경보</u>	<u>회복경보 (Ring back)</u>
Normal	None	Close (or Open)	Off	Silent	Off
Alarm	None	Open (or Close)	Flashing	Sounding	Off
Alarm	"Silence"	Open (or Close)	Flashing	Silent	Off
Return to Normal Before Acknowledge	None	Open (or Close)	Flashing	Silent	Off
Alarm	"Acknowledge"	Open (or Close)	On	Silent	Off
Alarm	"Acknowledge"	Close (or Open)	Slow Flashing	Silent	On ¹⁾
Return to Normal After Acknowledge	None	Close (or Open)	Slow Flashing	Silent	On ¹⁾
Normal	"Reset"	Close (or Open)	Off	Silent	Off
Normal	"Test"	Close (or Open)	Flashing	Sounding	Off

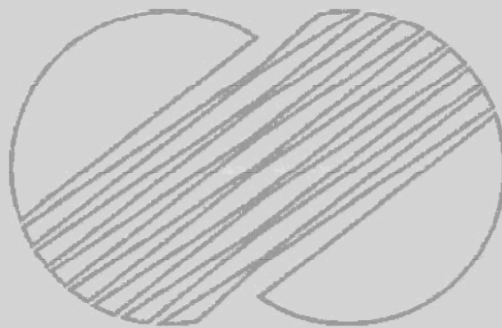
1) Single chime stroke



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

주제어지역 기기 배치도

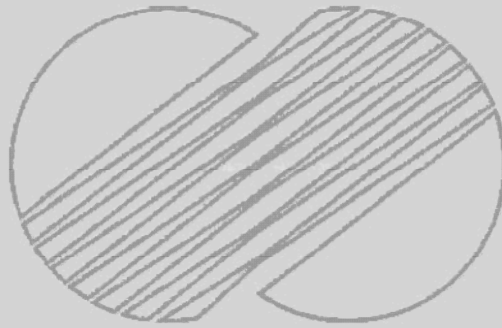
그림 18.2-1



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

신월성 1,2호기 주제어반에 대한
95% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및
기능적 접근성

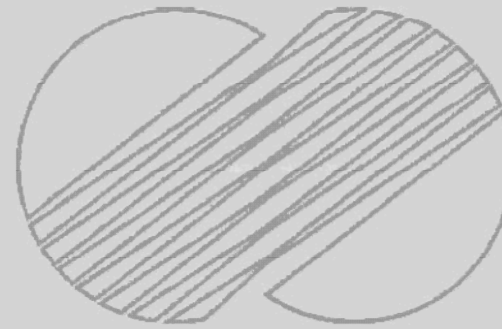
그림 18.2-2



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

신월성 1,2호기 주제어반에 대한
5% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및
기능적 접근성

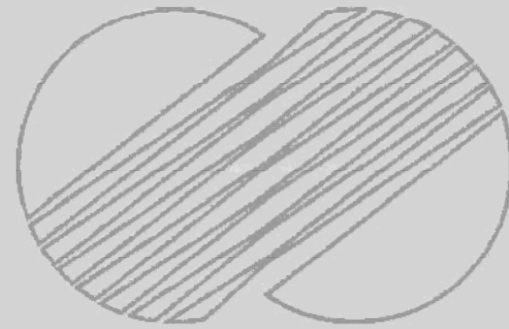
그림 18.2-3



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

신월성 1,2호기 운전원 콘솔에 대한
95% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및
기능적 접근성

그림 18.2-4



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

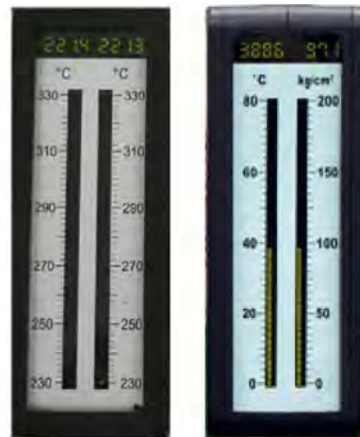
신월성 1,2호기 운전원 콘솔에 대한
5% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및
기능적 접근성

그림 18.2-5

1. Digital Indicator

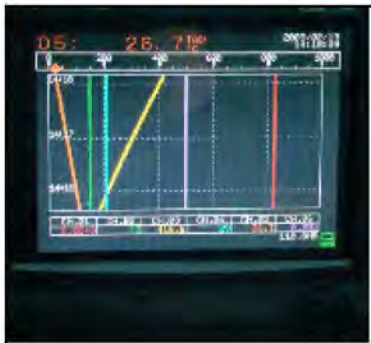


A. Single Type Indicator



B. Dual Type Indicator

2. Paperless Digital Recorder



3. Others



A. Synchroscope



B. Power Factor



C. Negative Sequence Meter

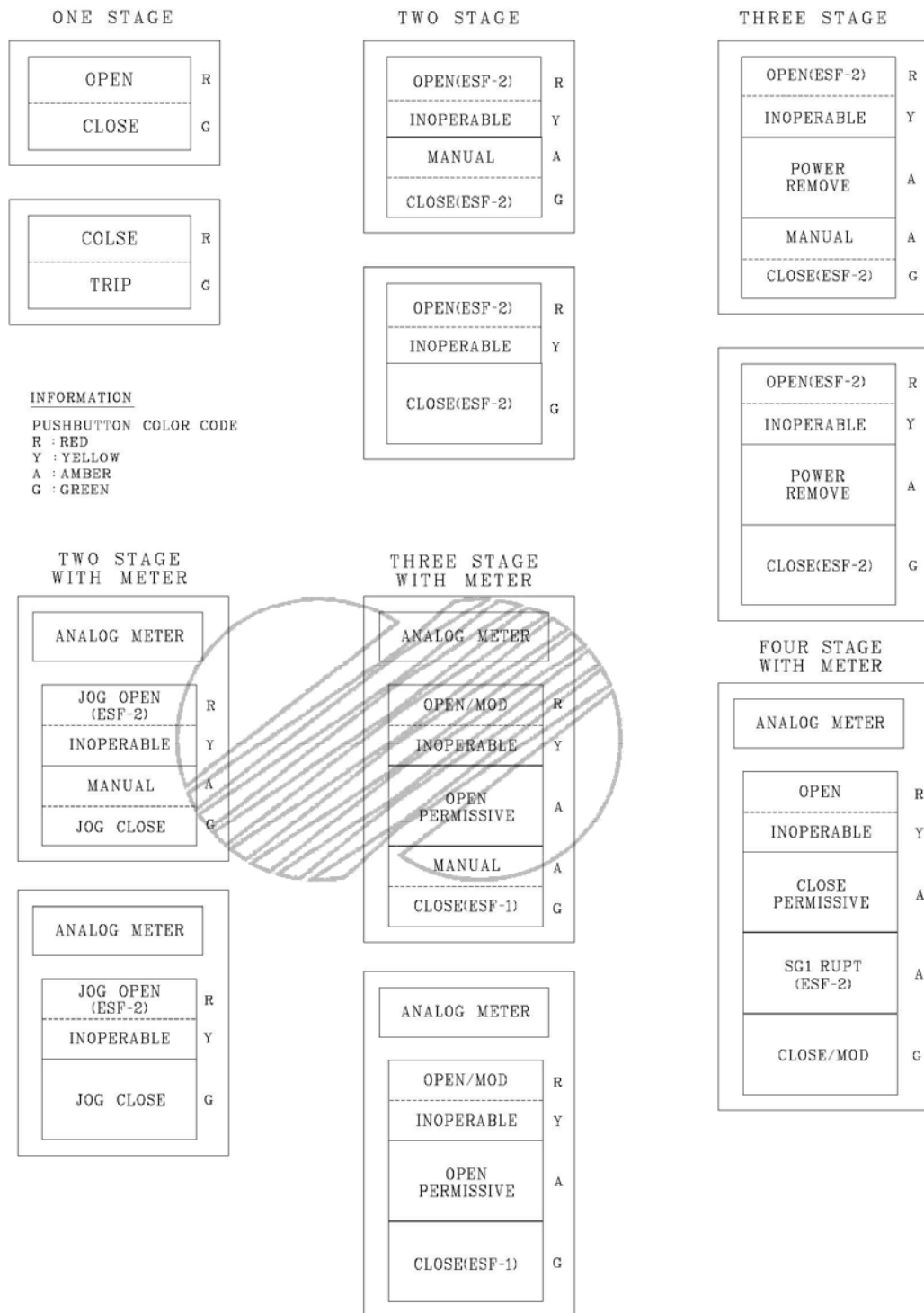


한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

지시계 및 기록계

그림 18.2-6

EXAMPLES OF TYPICAL ILLUMINATED PUSHBUTTONS



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

발광 푸쉬 버튼

그림 18.2-7

1. EXAMPLES OF ROTARY HANDSWITCHES



A. ROTARY SELECTOR CONTROLS
YONGSUNG SWITCH
THREE POSITION MAINTAINED
(THREE LIGHTS - RED, GREEN, YELLOW)

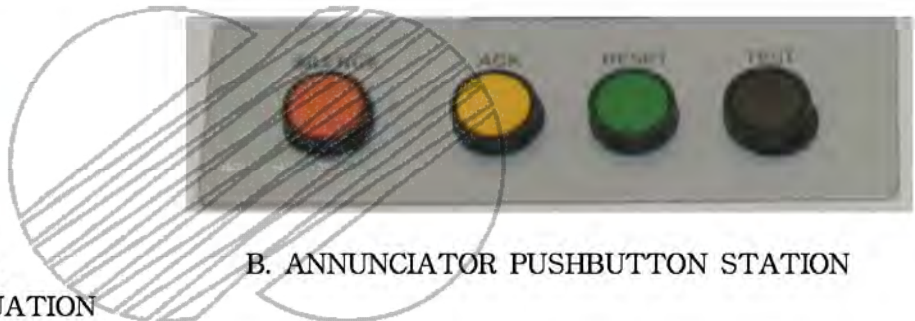


B. ROTARY SELECTOR CONTROLS
YONGSUNG SWITCH
TWO POSITION MAINTAINED

2. EXAMPLES OF NON-ILLUMINATED PUSHBUTTONS




A. EMERGENCY START,
REACTOR TRIP ACTUATION

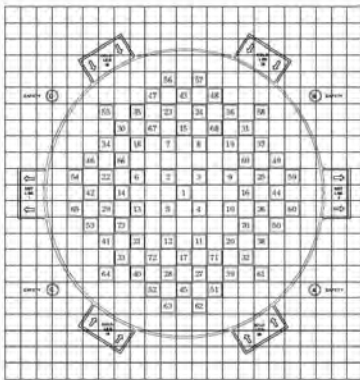


B. ANNUNCIATOR PUSHBUTTON STATION

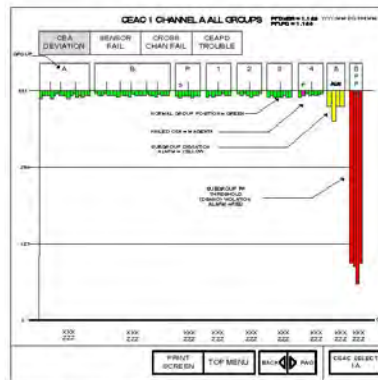
3. EXAMPLES OF MANUAL/AUTO STATIONS



	한국수력원자력주식회사 신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서
	로타리 핸드스위치, 수동/자동 제어기 및 비발광 푸쉬버튼
그림 18.2-8	



A. CEA Core Mimic Display



B. CEA Position Display(VDU / Indicator)



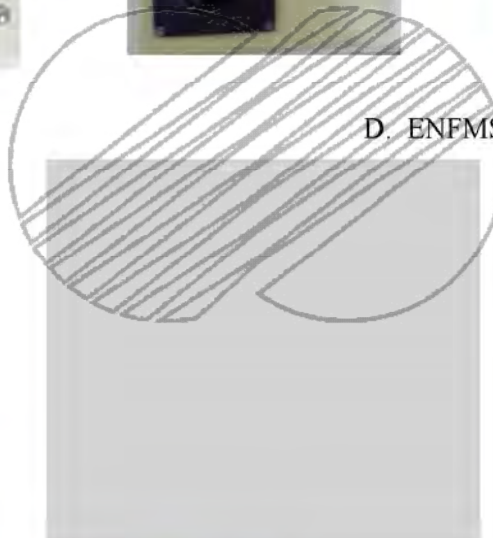
C. CEDMCS



D. ENFMS Remote Control module



E. CPC Operator Module



G. PMAS Display



H. PMAS Keyboard / Alarm Function Keypad



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

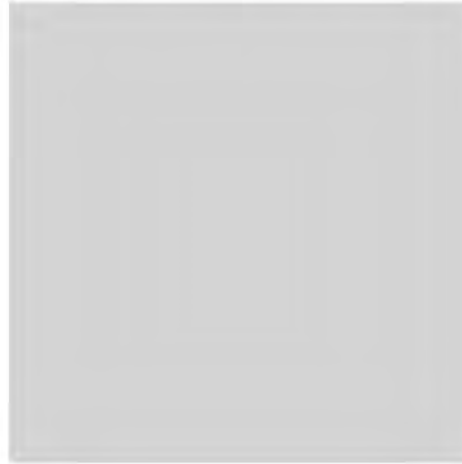
기기 제어기 및 지시기(PM06)

그림 18.2-9

1. PM04



A. ICCMS Display



3. PM09



A. Mark VI Display / Keyboard / Trackball



B. Gas Monitor

4. PM08



A. FWPT Insert Panel



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

기타 제어기 및 지시기(PM04, PM05, PM08,
PM09)

그림 18.2-10





한국수력원자력주식회사
신원성 1,2호기
최종안전성분석보고서

안전등급기치 및 규제지침서 1.97 기치의
채널 식별 방안

그림 18.2-11

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.3 안전변수지시계통

본 절은 미국원자력규제위원회의 NUREG-0800, "USNRC Standard Review Plan" 기준을 근거로 하여 기술되었으며, 다음 기준들은 표준심사지침의 18.2절을 기준으로 하고 있다.

- 가. 안전변수지시계통은 주제어실 운전원이 이용하기에 편리한 위치에 설치되어야 한다.
- 나. 안전변수지시계통은 노심손상사건을 방지하기 위해 주제어실 운전원이 발전소의 안전상태를 용이하고 확실하게 판단할 수 있도록 연속적인 표시정보를 제공해야 한다.
- 다. 안전변수지시계통은 아래에 기술된 필수안전기능들에 대한 정보를 주제어실 운전원에게 충분히 제공할 수 있도록 최소한의 중요한 발전소 변수들을 간결한 형태로 표시해야 한다.
 - 1) 노심반응도 제어
 - 2) 원자로노심냉각 및 일차계통으로부터의 열 제거
 - 3) 원자로냉각재계통 건전성
 - 4) 방사능 제어
 - 5) 원자로건물 상태
- 라. 안전변수지시계통은 주제어실 운전원이 표시정보를 쉽게 인지하고 이해할 수 있도록 인간공학 원리를 적용하여 설계되어야 한다.

안전변수지시계통의 기능들은 안전변수지시평가계통(Safety Parameter Display and Evaluation System : SPADES)내에 구현된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

계통개요

안전변수지시평가계통은 종합적인 정보감시계통으로 NUREG-0696, "Functional Criteria for Emergency Response Facilities"와 NUREG-0737의 첨부 1, "Requirements for Emergency Response Capability"의 기준을 만족시킬 수 있도록 설계된다. 안전변수지시평가계통은 발전소감시경보계통내에 응용프로그램으로 포함되어 있으며, 특히

가. 안전변수지시평가계통 화면을 주제어실, 비상기술지원실 및 비상대책실에 제공하며,

나. 과거자료 저장/재생 기능에 의해 지원된다.

안전변수지시평가계통의 정보전달을 위한 설비 구성은 주제어실의 운전원단말기 및 프린터들, 비상기술지원실의 운전원단말기 및 한 대의 프린터, 비상대책실에 설치된 한 대의 운전원단말기와 한 대의 프린터를 포함한다(그림 7.7-11 참조).

18.3.1 설계기준

미국원자력규제위원회는 TMI-2 사고 이후 수행된 여러 연구의 결과로 사고감시, 비상대응설비, 부적절한 노심냉각상태 감시 및 주제어실 개선 등을 포함한 많은 요구조건을 제시하였다.

NUREG-0737, "Clarification of TMI Action Plan Requirements"는 사업자들이 반드시 수행해야만 하는 조치사항들을 기술하고 있다. 조치사항 ID.2는 운전원이 발전소의 안전상태를 감시하기 위해 필요로 하는 최소한의 변수들을 화면에 표시해주는 안전변수지시계통을 요구한다. 조치사항 III.A.1.2는 운전원들 이외의 발전소요원들에게 발전소의

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

상태를 제공하고 화면에 표시해 주기 위해 필요한 비상보조설비를 요구한다.

안전변수지시계통과 비상대응설비를 위한 구체적인 요구사항은 NUREG-0696, "Functional Criteria for Emergency Response Facilities" 및 NUREG-0737에 대한 첨부 1, "Requirements for Emergency Response Capability"에 정의되어 있다. 이 문서들은 안전변수지시계통, 발전소 내의 비상기술지원실, 발전소 인근의 비상대책실, 그리고 원자력자료전송로를 위한 기본적인 설계 및 자격 기준을 제시하고 있다. NUREG-0696에 기술된 요구사항들은 NUREG-0585, "TMI-2 Lessons Learned Task Force Final Report"와 같은 초기의 미국원자력규제위원회 문서내용들과 관련된 많은 산업계의 조치들로부터 유래되었다.

안전변수지시평가계통의 설계기준은 기능, 하드웨어 및 소프트웨어 등 3가지로 구분되며 7.7.1.3.4.1절에 기술되어 있다.

18.3.2 기능

표 7.7-4는 필수안전기능 감시변수들을 나타내고 있으며, 안전변수지시평가계통의 기능들은 다음과 같다.

안전변수지시평가계통은 발전소의 정상, 비정상 및 비상 운전상황에서 발전소 상태를 평가하기 위하여 간결하고, 이해하기 쉽고 집적된 정보를 운전원에게 제공한다. 정상 및 비정상운전은 NUREG-0800, 18.2절의 부록 A, 붙임 2에 기술된 바와 같이 출력운전, 고온정지 및 고온대기를 포함하는 발전소 상태를 말한다.

안전변수지시평가계통은 7.7.1.3.4.2.1절에 기술한 대로 노심반응도제어, 필수보조계통의 유지, 원자로냉각재계통 재고량제어, 원자로냉각재계통 압력제어, 노심 열제거, 원자로냉각재계통 열제거, 원자로건물 격리, 원자로건물 온도 및 압력제어, 원자로건물 가연성기체제

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

어 및 방사능 방출제어 등 발전소의 필수안전기능의 상태를 감시하고 필수안전기능이 유지되지 못할 경우 경보를 제공하는 것이 주요 목적이다. 안전변수지시평가계통은 경보의 발생원인을 손쉽게 추적할 수 있도록 화면을 제공하며, 인간공학적 요건을 적용하여 설계한 미믹 화면을 통해 발전소의 계통 및 기기에 대한 상태를 표시해 준다.

경보의 발생은 기호의 색깔을 경보색으로 바꾸고 깜박거리게 하며, 발전소감시경보계통 내 발전소경보계통으로 출력신호를 제공한다. 안전변수지시평가계통 경보는 주제어실의 운전원단말기 표시화면에 있는 인지버튼을 누름으로써 인지되어 깜박거림이 멈추게 되며, 발전소경보계통 경보와 같은 주제어실의 기타 경보에는 영향을 미치지 않는다.

안전변수지시평가계통의 기능을 지원하기 위하여 7.7.1.3.4.2.2절부터 7.7.1.3.4.2.6절에 기술한 경보발생원인표시, 경보현황표, 감지기교장현황표, 그래픽추이표시와 과거자료 저장 및 재생 기능을 발전소감시경보계통에서 제공한다.

안전변수지시평가계통을 위한 주요 필수안전기능 감시변수는 표 7.7-4에 제공된다.

18.3.3 입력변수 및 검증

각각의 필수안전기능을 위한 주요 입력변수들에 대한 입력신호 검증을 다음의 두 가지 방법으로 실행한다.

가. 감지기 교장

각 감지기의 입력값은 하드웨어 교장의 여부를 검사하기 위하여 조사된다. 교장이 검출되면 입력값은 “감지기교장(Bad Data)”으로 표시되고, 주제어실 운전원에게 화면표시기를 통하여 알린다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

나. 감지기 건전성

감지기가 고장상태가 아니면, 아날로그 입력값은 고 및 저 신호 한계치와 비교된다. 이 때 한계치를 벗어나는 감지기 입력값은 계산에서 제외되며, “신호범위이탈(Out of Range)”로 표시된다. 그리고 주제어실 운전원에게 운전원단말기를 통하여 알린다. 입력값이 정상운전 범위를 벗어난 감지기는 입력값이 정상운전 범위로 회복되는지 계속해서 감시된다.

18.3.4 정보 표시

안전변수지시평가계통에 대한 기본적인 사용자와의 연계는 운전원단말기를 통하여 이루어진다. 각각의 운전원단말기는 안전변수지시평가계통 화면을 표시할 수 있으며, 이들 운전원단말기는 주제어실, 비상기술지원실 및 비상대책실에 설치된다.

18.3.4.1 표시계층구조

안전변수지시평가계통은 정상, 비정상 및 비상 운전상태 시 운전원이 발전소 안전상태를 신속하고 명료하게 이해할 수 있는 형태로 발전소 정보를 제공한다. 안전변수지시평가계통이 제공하는 필수안전기능은 7.7.1.3.4.2.1절에 상세하게 기술된다. 운전원이 발전소 안전상태 관련 정보를 신속하고 명료하게 이해할 수 있도록 안전변수지시평가계통의 화면들은 계층적으로 구성되어 있다. 가장 높은 단계(제1단계)는 발전소 안전상태의 전반적인 정보와 하위계층의 메뉴를 보여준다. 중간 단계(제2단계)는 각 필수안전기능에 대한 경보발생원인 화면을 보여준다. 가장 낮은 단계(제3단계)는 계통요약 및 기기상세정보를 제공한다. 표시계층구조는 다음과 같다.

- 가. 안전변수지시평가계통에 의해 표시되는 정보를 효과적으로 구성하기 위하여 3단계의 계층적 구조를 이용한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

나. 안전변수지시평가계통 화면 페이지는 다음의 3단계의 계층적 구조로 배열된다.

- 1) 제1단계 : 감시 (필수안전기능 상태) - 그림 18.3-1
- 2) 제2단계 : 제어 (경보발생 원인 정보) - 그림 18.3-2
- 3) 제3단계 : 진단 (계통요약 및 상세 정보) - 그림 18.3-3

다. 제1단계 화면표시는 발전소와 안전변수지시평가계통에 대한 전반적인 정보를 제공한다. 정상운전 및 비상운전 시에 사용되는 각각의 절차서를 지원하기 위하여 11가지 운전모드별 필수안전기능에 대한 정보를 제공한다. 제1단계는 주로 문자와 숫자로 표시되는 화면이다.

라. 제2단계의 화면 페이지는 제1단계 화면에서 표시되는 각각의 필수안전기능에 대한 경보발생 원인화면을 제공한다. 보조화면으로서 기능회복절차서 운전모드의 성공경로지원을 위한 자원평가수목도 화면을 제공한다.

마. 제3단계의 화면 페이지는 전체계통 요약정보 및 기기상세정보 접근 화면을 포함한다.

기기들에 대한 요약정보를 표시하는 페이지는 다음을 포함한다.

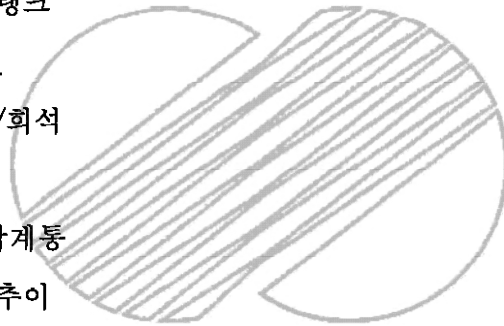
- 1) 노심 반응도 표시화면
- 2) 필수보조계통 유지 표시화면
- 3) 일차계통 표시화면
- 4) 노심 열제거 표시화면
- 5) 이차계통 표시화면
- 6) 원자로건물 표시화면

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

7) 환경 표시화면

기기들에 대한 상세정보를 표시하는 페이지는 다음을 포함한다.

- 1) 공학적안전설비 보조 전원계열 A
- 2) 공학적안전설비 보조 전원계열 B
- 3) 대체교류전원
- 4) 1차측기기냉각수 계열 A
- 5) 1차측기기냉각수 계열 B
- 6) 안전주입펌프
- 7) 안전주입탱크
- 8) 유출/충전
- 9) 봉산주입/회석
- 10) 가압기
- 11) 정지냉각계통
- 12) 가압기 추이
- 13) 포화 여유도
- 14) 원자로용기 수위
- 15) 노심 출구 온도
- 16) 노심 출구 온도 채널 A
- 17) 노심 출구 온도 채널 B
- 18) 주증기계통
- 19) 주급수계통
- 20) 보조급수계통
- 21) 증기발생기 추이
- 22) 원자로건물 살수/냉각
- 23) 원자로건물 퍼지/기체 제어



신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 24) 원자로건물 격리 1
- 25) 원자로건물 격리 2
- 26) 원자로건물 격리 3
- 27) 원자로건물 격리 4
- 28) 핵연료건물 공기조화계통
- 29) 주제어실 공기조화계통

18.3.4.2 표시화면 접근

운전원은 화면표시기의 표시화면을 메뉴 선택이나, 논리적 관련성을 가진 표시화면들의 미리 짜여진 흐름에 따라 선택할 수 있다. 표시화면의 미리 짜여진 흐름에 의한 방법은 제어실 운전원이 이용하는 전형적인 표시화면 접근방법이다. 표시화면의 흐름은 표시화면들의 계층적 연관성과 운전원이 필요로 하는 정보의 선택에 의해 결정된다. 이와 같은 흐름은 다음과 같은 정보흐름의 대표적인 경로에 의해 설명될 수 있다.

안전변수지시평가계통의 표시화면 계층구조 제1단계 화면은 문자로 표시되는 개괄도를 운전원단말기에 표시한다. 이 개괄도에는 각 필수안전기능의 상태를 표시하도록 색상 코드화 된 행렬상자를 표시한다(그림 18.3-1). 각각의 상자에는 필수안전기능의 명칭과 관련된 주요 변수들을 표시한다. 필수안전기능의 가장 최신상태에 따라 각 상자의 경계선과 상자 안에 있는 주요 변수 목록은 그 색상과 깜박임이 변하도록 설계되었다.

경보상황이 발생하면, 필수안전기능의 각 상자의 경계선과 상자 안에 있는 매개변수를 표시하는 색상이 변하면서 깜박이게 된다. 이러한 상황이 발생하면 운전원은 해당 경보발생의 원인을 파악하기 위하여 화면에서 각 상자 내의 필수안전기능 버튼을 선택하여 제2단계 화면으로 이동한다(그림 18.3-2). 이에 따라 경보발생 원인을 파악할 수 있는 표시화면에 표시된다. 또한 비상운전 시 기능회복절차서 운전모드에 있을 경우 운전원이 성공경로에 대한 정보를 효과적으로 파악하고자 할 경우 제2단계 화면에서 제공되고 있는

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

자원평가수목도로의 이동버튼을 선택하여 자원평가수목도 화면으로 이동할 수 있다. 필요하다면 운전원은 제2단계 화면에서 제공되고 있는 계통이나 기기상세정보 이동버튼을 선택하여 제3단계 화면인 해당 계통 또는 기기들에 대한 상세정보 화면으로 이동하여 보다 세부적인 정보를 감시할 수 있다(그림 18.3-3).

모든 표시화면에서 필수안전기능의 상태를 감시할 수 있도록 안전변수지시평가계통 경보 행렬 상자가 모든 표시화면 좌측 상단에 나타나며, 이는 필수안전기능의 연속적인 표시에 대한 필요성을 만족시켜 준다. 경보 행렬 상자는 정상운전의 경우 정상운전 지원부분에 대한 필수안전기능 상태를 나타내며, 비정상운전의 경우는 비정상운전 지원부분에 대한 필수안전기능 상태를 나타낸다. 행렬 상자 윗부분의 버튼을 선택하면 해당 운전 관련 제 1단계 화면으로 이동하게 되고, 각 행렬 상자를 선택하면 해당 필수안전기능의 경보 원인을 파악할 수 있는 제2단계 화면으로 이동하게 된다. 안전변수지시평가계통 제3단계 화면의 원활한 이동을 위해 모든 표시화면 우측 상단에 화면 이동 수단이 제공된다. 우측 상단화면의 “SYS MIM” 아이콘을 선택하게 되면 제3단계 화면에 접근할 수 있는 전체계통 요약정보 및 기기상세정보 접근 화면이 나타나게 된다. 오른쪽 화살표를 선택하면 같은 단계의 다음 페이지 화면으로 이동하고, 왼쪽 화살표를 선택하면 같은 단계의 전 페이지 화면으로 이동한다. 위쪽 화살표를 선택하면 상위 단계의 페이지로 이동하고 아래쪽 화살표를 선택하면 하위 단계의 페이지로 이동한다. 이와 같은 이동방법을 이용하여 운전원은 복잡한 계층적 구조를 가진 여러 표시화면 중에서 필요한 표시화면으로 신속하게 이동할 수 있다.

18.3.4.3 화면표시에 대한 인간공학적 설계기준

안전변수지시평가계통 표시화면은 주제어실 운전원에게 발전소의 불안정한 운전상황을 알려주는 안전변수지시평가계통의 주요 기능을 시각적으로 지원한다. 표시화면은 또한 경보상태를 강조하여 주제어실 운전원이 경보의 발생원인을 진단하는 데 도움을 줄 수 있도록 설계하였다. 표시화면은 운전원이 경보상황을 신속하고 간결하게 인지할 수 있도록

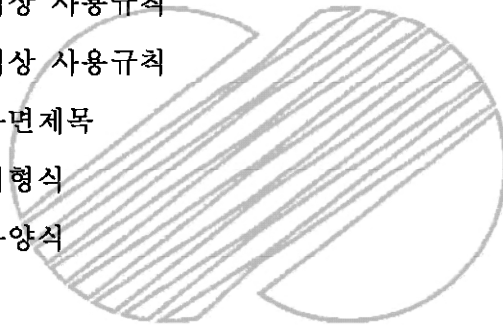
신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

를 설계하였으며, 이는 혼란방지, 일관성, 연속성 및 시간의 적절성들을 고려하여 정보를 운전원에게 신속하고 정확하게 제공할 수 있도록 하기 위한 세부적인 일련의 설계규칙의 적용에 따른 것이다. 설계규칙은 표시되는 정보의 크기, 형상, 위치 및 외양을 결정한다.

18.3.4.3.1 표시형식

가. 안전변수지시평가계통은 아래와 같은 인간공학의 기준에 근거한 화면표시 방법을 사용한다.

- 1) 기기종류별 기호
- 2) 경보용 색상 사용규칙
- 3) 운전용 색상 사용규칙
- 4) 기능별 화면제목
- 5) 숫자 표시형식
- 6) 동적 변화양식



나. 안전변수지시평가계통의 제3단계 화면들은 순환 모형도 표시를 이용한다. 순환 모형도가 불가능할 경우 왼쪽에서 오른쪽으로, 위에서 아래로의 흐름을 가정한다.

다. 미리 설정된 공정변수의 시간에 따른 그래픽 추이표시화면을 제공하며, 각 추이표시화면 페이지는 6개의 변수까지 추이표시로 나타낼 수 있다. 추이표시화면에는 추이 변수의 표시 변경을 위한 시간간격, 변수명, 추이값의 최소, 최대 및 기본값이 추이표시와 함께 표시된다(그림 18.3-4 참조). 추이표시화면은 운전원이 키보드 상에서 'TREND' 키를 누름으로써 언제든지 용이하게 이용할 수 있다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.3.4.3.2 공정기호

공정기호를 이용함으로써 정보 구성을 용이하게 하고 운전원의 정보에 대한 이해력 향상을 도모할 수 있다. 공정기호는 펌프, 밸브, 배관 등과 같은 발전소 부품을 표현하는 데 사용된다. 표시화면 구축을 위해 표준 공정기호 라이브러리가 사용된다. 주제어실 운전원이 기기의 상태를 결정하는 데 도움을 주기 위해 각 기기의 모양 변화를 코드화하여 사용한다(예, 기호의 내부가 빈 상태(hollow)/기호의 내부가 채워진 상태(solid)). 내부가 빈 상태인 기호는 기기의 동작상태를 나타내는 반면, 내부가 채워진 상태인 기호는 비 동작상태를 나타낸다. 전형적인 공정기호 및 특성은 그림 18.3-5와 같다.

18.3.4.3.3 공정모형도

공정모형도는 발전소 각 부품들의 물리적인 관계나 유체의 배관을 그림으로 나타낸 것이다. 공정모형도의 형태는 실제적인 공정이나 장비와 유사하도록 표준화된 정보의 배치를 이용한다. 예를 들면, 유체계통의 배관 표현은 “위에서 아래로”, “왼쪽에서 오른쪽으로” 그리고 “교차선의 배제”와 같은 원칙들이 표준화되어 있으며, 유체의 유입 및 유출 경로의 연결선은 화면상의 외곽에 놓여지도록 하고 있다(그림 18.3-3 참조).

18.3.4.3.4 색상 사용규칙

색상은 애매모호하지 않고 분명하게 구별되는 정보를 운전원에게 전달하기 위한 부호매체로 사용된다. 색상의 사용은 운전원의 빠른 탐색, 경고신호의 감지 및 기능적 관계의 확인 등에 도움을 준다. 색상들은 서로 충분한 대조를 이룰 수 있도록 선택되었다.

색상의 사용은 다음과 같다.

검정색 - 배경색

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

- 초록색 - 기기의 꺼짐/비동작상태, 밸브의 닫힘
- 빨간색 - 기기의 켜짐/동작상태, 밸브의 열림
- 파란색 - 불량 자료값, 의심스런 자료값, 영역을 벗어난 자료값
- 호박색 - 제2우선순위 경보, 대처 행동이 요구될 수도 있음
- 자홍색 - 제1우선순위 경보, 즉각적인 대처 행동이 요구됨
- 남색 - 에러, 도움 또는 단순 정보 메시지
- 흰색 - 서술형 정보, 정상상태의 자료값
- 호린흰색 - 제3우선순위 경보, 구분선

18.3.4.3.5 기호 동작 특성

화면에 표시된 그래픽 기호나 문자는 안정상태의 발전소 운전상황하에서는 고정적으로 유지된다. 화면표시의 지속적인 갱신을 나타내기 위해 날짜와 시간이 모든 화면에 표시된다. 정상적인 변이상태에서는 기호는 고정적으로 남아있고, 변수값만 발전소 상태를 나타내기 위해 변경된다. 경보상태에서는 기호와 변수값의 색이 변하고 바탕색이 해당 경보색상으로 깜박거리게 된다. 화면표시의 동작에 관한 자세한 내용은 7.7.1.3.4.2절에서 기술하고 있다.

18.3.5 표시기 위치

안전변수지시평가계통은 운전원단말기를 통하여 운전원에게 발전소 안전상태를 나타내는 화면을 제공한다. 각 운전원단말기는 사용자가 원하는 화면을 선택할 수 있도록 각각의 키보드를 갖는다. 각 운전원단말기는 안전변수지시평가계통의 화면 중 어느 화면이나 지원 가능하다. 운전원단말기는 주제어실, 비상기술지원실 및 비상대책실에 설치된다. 표시기의 위치 설정과 관련된 인간공학적 측면에 대해서는 18.1절에서 기술하고 있다.

18.3.6 확인 및 검증

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

안전변수지시평가계통의 인간공학적 확인 및 검증업무는 NUREG-0700에서 제시된 인간공학적 확인 및 검증에 대한 지침을 근거로 가용성(availability)에 대한 확인, 인간공학적 적합성(suitability)에 대한 확인과 유효성(effectiveness)에 대한 검증으로 구성된다.

가용성 확인은 운전원에게 부여된 직무와 행위의 목표를 성공적으로 달성하는 데 필요한 안전변수지시평가계통의 모든 부분들이 가용한지 확인하고, 운전원의 직무수행을 지원하지 않는 부분이 존재하는지 확인하는 업무를 수행한다. 가용성 확인은 정보의 가용성, 기능의 가용성, 기기 가용성 등의 확인업무를 포함한다.

적합성 확인은 안전변수지시평가계통 화면요소의 적합성과 화면 상호작용 방식의 적합성의 확인으로 구성된다. 화면요소 적합성 확인은 안전변수지시평가계통이 인간공학적 설계지침에 따라 운전원의 직무수행에 편리하게 설계되었는지 확인하며, 화면 상호작용의 적합성 검토는 키보드와 안전변수지시평가계통 화면의 이동방식 검토를 통하여 작업의 부담과 오류의 가능성을 검토한다.

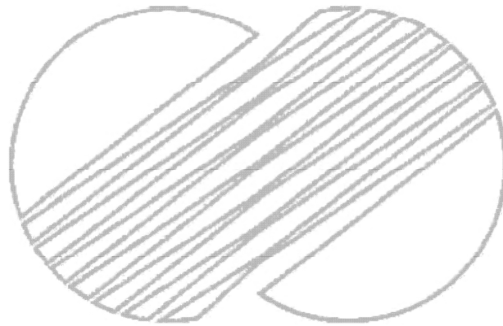
유효성 검증은 운전원에게 요구되는 직무를 성공적으로 지원할 수 있도록 설계되었는지 평가한다. 안전변수지시평가계통에 대한 유효성 검증은 주제어실 확인 및 검증의 일부로서 수행하며 따로 분리되어 수행하지 않는다.

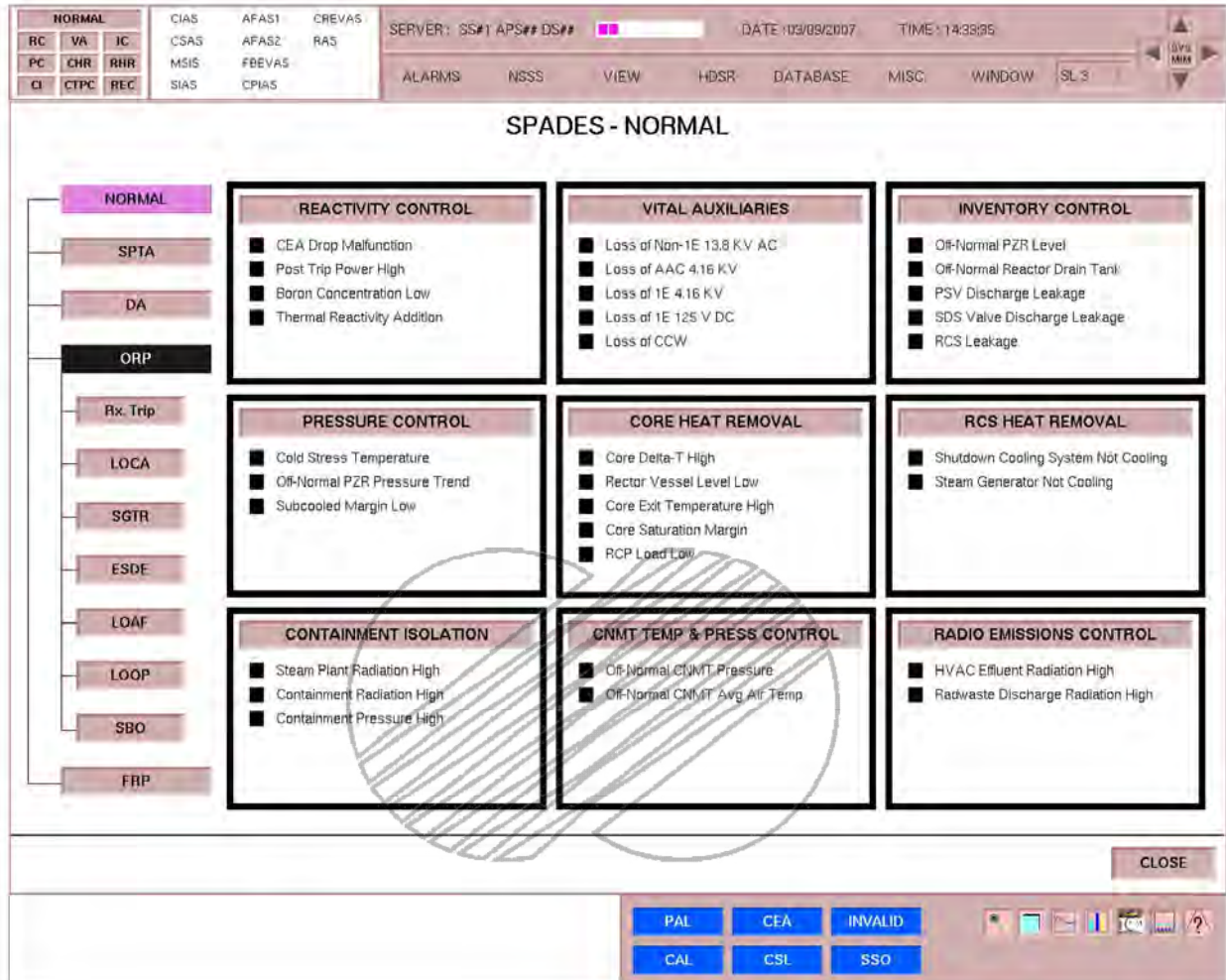
인간공학적 확인 및 검증을 통하여 규명된 인간공학적 문제점들은 기록양식에 따라 작성되고 관리되며, 기록양식은 문제점에 대한 간략한 설명과 해소방안 등이 명시된다. 안전에 관련된 모든 인간공학적 문제점들은 설계자에게 통보되어 해결되며, 안전에 관련되지 않는 미해결 문제점은 성능, 효율 및 신뢰도에 대한 잠재적 영향에 대해 평가한다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.3.7 훈련 및 지침서

운전원 훈련계획은 안전변수지시평가계통의 사용방법에 대한 훈련내용을 포함하며, 사용자지침서는 주제어실 내에 비치되어 운전원들이 항상 사용가능해야 한다.

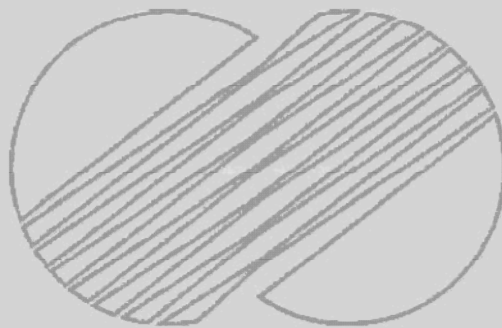




한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

필수안전기능 상태화면의 예

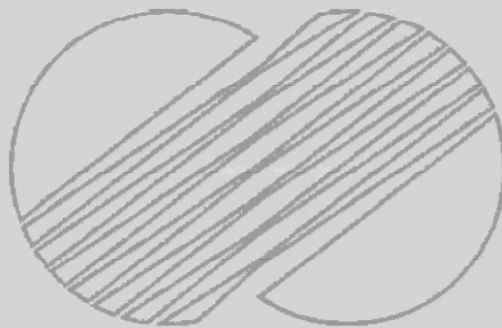
그림 18.3-1



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

정보발생 원인 정보화면의 예

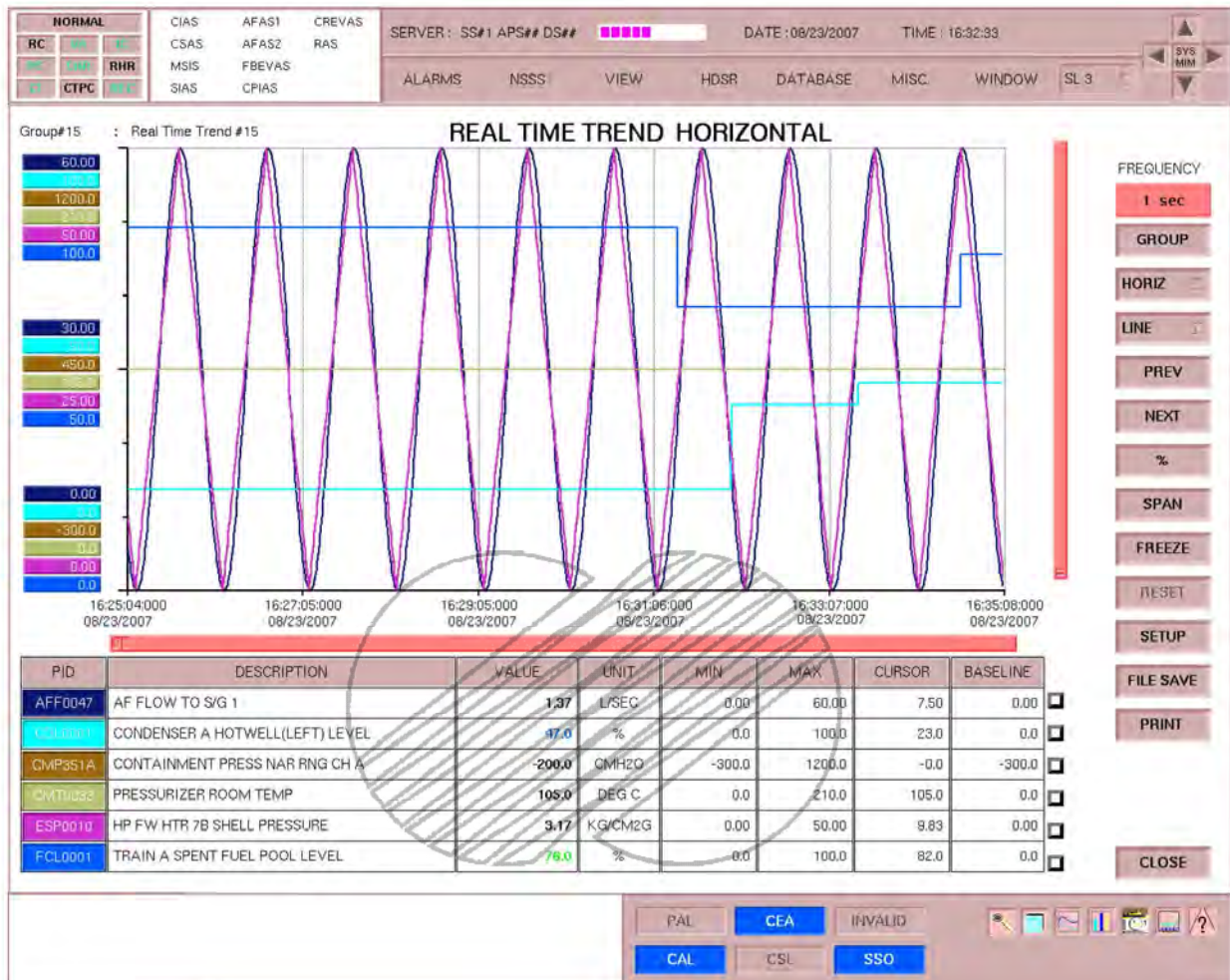
그림 18.3-2



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

계통요약 및 상세 정보화면의 예

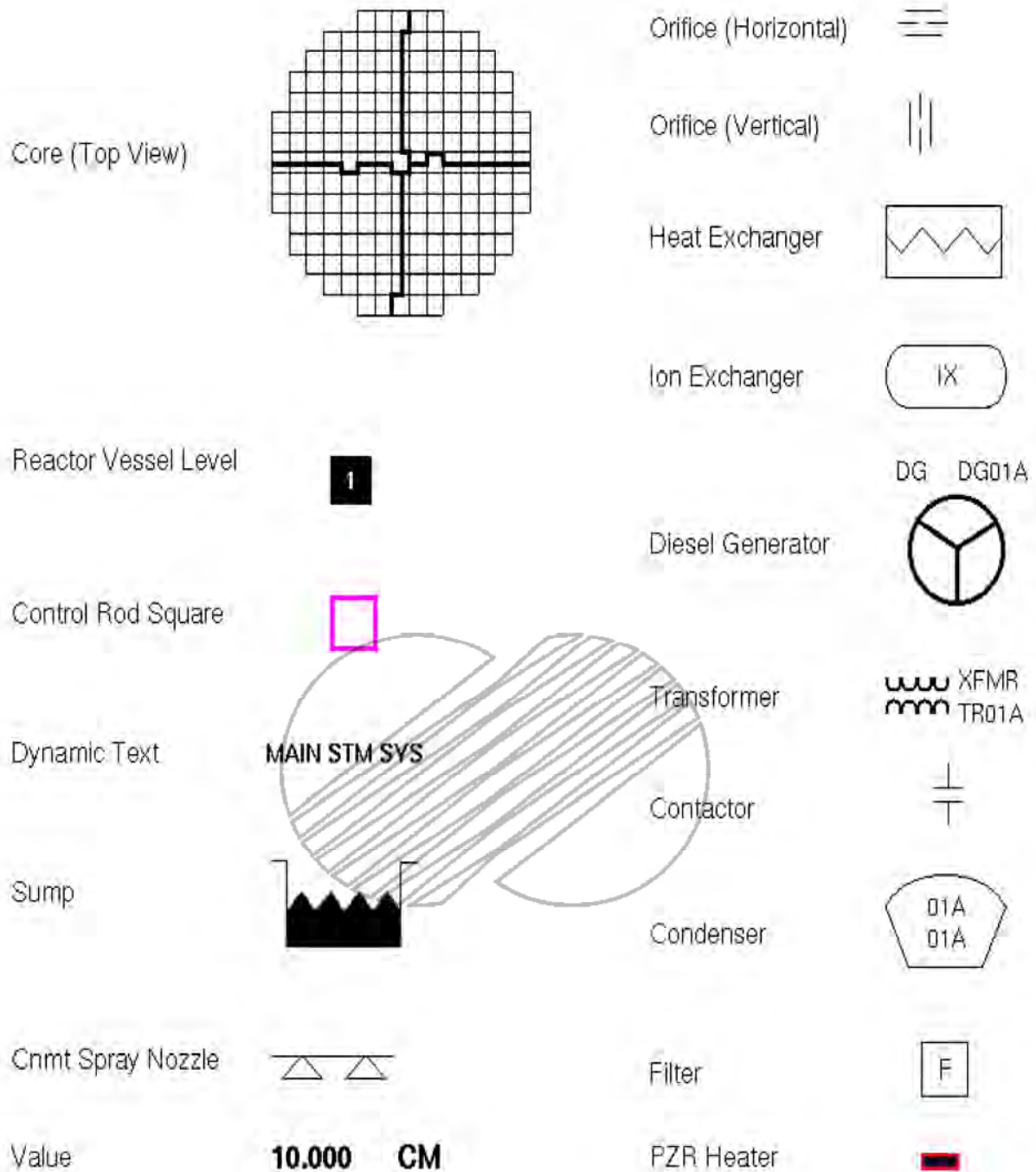
그림 18.3-3



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

일반적인 추이표시화면의 예

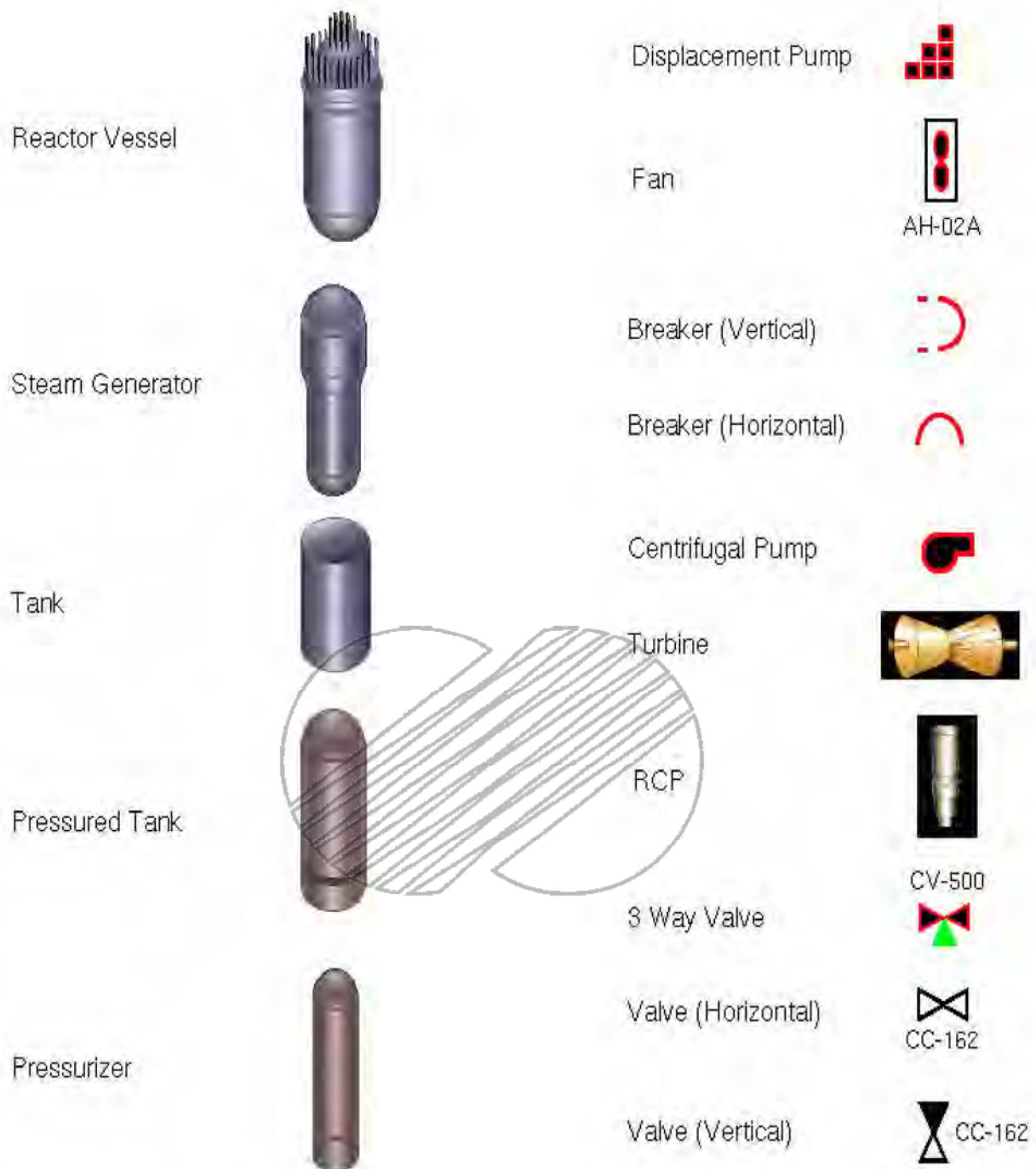
그림 18.3-4



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

표시화면의 대표적인 기호구성

그림 18.3-5 (2 중 1)



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

표시화면의 대표적인 기호구성

그림 18.3-5 (2 중 2)

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.4 원격정지실

원격정지실(RSR)은 주제어실 설계와 동일한 인간공학 원리를 적용하며 발전소 안전운전에 적합한 인간-기계 연계를 보장함으로써 일반설계기준 19의 관련 요건을 만족시키고 있다. 원격정지실에 대한 인간공학 원리는 18.1절에 요약된 바 있으나 보다 상세한 기술 사항 및 설계기준은 본 절에서 기술한다. 인간공학은 원격정지실의 운전성 측면에서 효율적이고 안전한 운전을 도모하도록 적용되었다. 원격정지실 설계는 필요정보의 이용성, 수행될 직무를 위한 제어의 적합성, 전반적인 제어반 배치의 효율성 및 환경조건의 적합성 등의 관점에서 운전원에게 어떤 영향을 미치는가를 고려하였다.

18.4.1 원격정지실의 작업공간

원격정지실의 배치도는 그림 18.4-1에 보여주고 있다. 안전성관련 원격정지반 A(RU01A)는 화재방화벽(방호문이 설치된 벽)에 의해 나뉘어진 한쪽 방에 위치하고, 또 다른 안전성관련 원격정지반 B(RU01B)는 다른쪽 방에 위치하며 한쪽 방에서 일어난 화재가 다른쪽 방에서의 발전소 안전정지(safe shutdown)에 영향이 없음을 보장하도록 물리적으로 분리되어 위치하였다. 원격정지실은 주제어실로부터 접근이 용이하며 일반인의 출입이 제한된 지역에 위치한다. 원격정지실은 정비성과 운전성을 고려하고 필요한 만큼의 관련도면을 저장하기 위한 적절한 공간이 제공되었다. 원격정지반 A(RU01A)와 B(RU01B)는 각각 독립된 벤치보드형 제어반이고 발전소 고온정지 기능 및 일부 상온정지 기능을 수행하고 유지하는 데 필요한 계기와 제어기기를 포함하고 있다.

18.4.1.1 신월성 1호기와 2호기 유사성

신월성 1호기와 2호기의 원격정지실은 평면배치, 실내환경(온도, 습도, 조명 등), 패널기기 배열, 패널 크기와 모양이 동일하게 적용되었다. 문서, 명판, 용어, 약어 역시 동일하고 이러한 유사성은 구매규격서, 발전소 절차서, 기타 지침서 뿐만 아니라 명판의 형식, 글자

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

높이 및 폭, 전문용어, 색상 및 설치 등에도 적용하였다.

18.4.1.2 거울형 대칭

거울형 대칭은 운전원 실수를 증가시킬 수 있고 훈련의 부정적 전달을 유도할 수 있으므로 원격정지실 설계 시 배제되었다.

18.4.1.3 통신

원격정지실은 소내호출설비를 이용하여 발전소 주변과 통신이 용이하도록 충분한 통신장비를 갖추고 있다. 통신계통은 원격정지실에서 운전이 지장이 없도록 편리한 곳에 설치되고, 사용하기 쉽고, 정상 및 비상 시 필요한 모든 기능을 발휘할 수 있다.

18.4.1.4 거주성

원격정지실의 공조설비는 발전소의 모든 조건하에서도 상주할 수 있음을 보장하며 방사선 및 연기 등을 제거하고 있다.

18.4.1.5 접근성

원격정지실의 접근은 지나친 통행이나 소란을 금하도록 제한되고 통제된다. 원격정지실 관련자가 아닌 모든 발전소 직원은 방문자로 간주되어 발전부서장의 승인없이 원격정지실로 들어갈 수 없다. 원격정지실의 출입은 주 제어실과 동일하게 설계되어 있다. 따라서, 원격정지실 키카드(Keycard)와 키패드(Keypad)를 사용하여 접근 가능하며, 원격정지실에서 나올 때는 키카드나 키패드없이 출입문에 설치된 패닉바를 사용한다. 출입구는 2인이 동시에 통과할 수 있도록 최소 122 cm (48 in)의 폭으로 설계되었다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.4.1.6 저장공간

원격정지실에서 안전정지를 유지하기 위하여 요구되는 모든 발전소 절차서, 문서, 도면의 영구적 보관을 위한 적절한 공간이 제공되었으며, 운전원에게 필요한 기기 및 열쇠, 안전 모, 코트, 손전등 등을 보관하기 위한 적절한 공간이 확보되었다.

1

18.4.1.7 정비

원격정지실은 발전소의 특수한 운전모드나 주기적 시험시에만 사용되기 때문에 빈번하고 힘든 정비가 불필요하다. 원격정지실은 일반유지 정비활동을 위한 패널설계, 공간(room) 배치와 주위환경이 잘 고려되어 있다. 공간배치에는 패널 앞뒤에 충분한 여유공간이 제공된다. 패널은 벤치보드형이고, 뒷편에서 접근할 수 있으며, 문을 열고 쉽게 내부접근이 가능하도록 되어 있고, 화재방호벽, 내진 지지대 및 내부 케이블 전송로가 정비 시 장애가 되지 않도록 되어 있다. 주기적 정비 시 사용하기 위해 임시조명용 콘센트가 설치되어 있다.

18.4.2 원격정지실 환경

원격정지실의 환경조건은 어떠한 발전소 상태하에서도 운전원에게 편리한 주변여건을 제공하고 적절한 소음, 습도, 온도 및 조명이 유지되고 있다.

18.4.2.1 소음

주변 소음은 청각경보와 분명하게 구분이 되고 운전원간에 의사전달이 손쉽게 될 수 있도록 충분히 낮으며, 원격정지실 내에서는 최대 65dB를 초과하지 않는다. 주변 소음원은 잠겨진 문을 이용한 각개인의 출입을 제한하거나, 발전부서장의 승인을 득하도록 함으로써 제어된다.

1

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

1

18.4.2.2 조도

원격정지실에서 수행되는 모든 운전원 직무에 적합한 조도를 유지하고 눈부심을 최소화하기 위한 조명방식 및 기술이 적용된다. 조도는 필요한 업무가 안전하고 정확한 방법으로 수행될 수 있도록 충분하게 설계되었으나, 눈부실 정도로 높지는 않다. 조명계통은 공급되는 전원의 신뢰도에 따라 주제어실 조명계통과 같이 상시조명, 필수조명, 비상조명으로 구성되고, 비상조명은 정상조명 상실 시에 자동적이고 즉각적으로 작동된다.

상시조명과 필수조명이 함께 점등된 상태에서 원격정지실 조도준위는 30 to 75 fc(300 to 750 Lux)이며, 적정조도는 50 fc(500 Lux)이다. 비상조명의 조도는 주제어실과 동일하게 최소 10 fc(100 Lux)이상으로 설계되어 있다.

1

18.4.2.3 습도, 온도 및 환기

공기조화계통은 인간이 편안함을 느끼는 범위인 온도 21~25 °C (70~77°F)와 습도 40~60 % 내에서 깨끗한 공기를 유지하고 있다.

18.4.2.4 운전원 편의

운전원이 원격정지실에 항상 상주하지 않기 때문에 운전원을 위한 편의시설은 제공되지 않았다.

18.4.3 원격정지반 설계 및 배치

원격정지반은 입석운전용으로 설계되어 있다. 그림 18.4-2와 그림 18.4-3은 원격정지반의 5~95 %의 체위에 대한 기능적 접근성 및 시각을 나타낸다. 입석운전 시 제어기기의

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

설치높이는 5% 체위 사용자의 기능적 접근성 범위 내로 유지된다. 원격정지반상의 지시기 판독에 영향을 미치는 주요 요인은 다음과 같다.

- 가. 지시기 정면에 똑바로 섰을 때 운전원 가시선에 상응하는 지시기 높이 및 방향
- 나. 지시기 정면이 아닌 위치에 섰을 때 운전원 수평 가시선에 상응하는 지시기 거리 및 방향
- 다. 판독거리에 상응하는 지시기 표시의 크기

원격정지반은 다음과 같이 설계되어 있다.

- 가. 벤치보드 높이는 [] 이고, 입석 시 무릎높이 보다 높으며 제어실 바닥에서 손가락 중지높이에다 [] 를 더하여 높이가 결정되었다.
- 나. 벤치보드 각도는 [] 로서 인간공학기준인 [] 를 만족한다.
- 다. 깊이(수직부분의 전면에서부터 패널의 뒷부분까지)는 [] 를 초과하지 않는다(정비 편의성).
- 라. 운전원이 벤치보드에 기댈 경우 부주의로 인해 제어기를 작동시키거나 벤치보드 전면의 날카로움으로 인한 불편함을 느끼지 않도록 벤치보드 부분 하단 전면에 수직으로 [] 의 평평한 면이 제공된다.
- 마. 운전원이 수직부분에 쉽게 접근할 수 있도록 5% 체위 남자의 팔 길이나 기능적 접근성을 기준으로 하여 벤치보드 깊이가 [] 로 된다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

바. 수직면 높이는 운전원이 수직부분에 설치된 가장 높은 곳의 제어기를 조작할 수 있도록 산정되고 이는 5% 체위 남자가 서 있을 때 팔 길이나 기능적 접근성에 기준한다.

사. 패널높이는 원격정지실의 천정높이를 고려하여 [REDACTED] 로 한다. 이는 낮은 곳의 천정높이가 운전원이 최상단 지시계를 주시하는 각도보다 [REDACTED] 이상 되어야 하는 인간공학 개념을 근거로 한 것이다.

18.4.3.1 원격정지실 배치의 기능적 결정

인간공학 참고자료(EPRI NP-3659, NUREG-0700)와 참조 발전소의 원격정지실 배치를 근간으로 설계된 원격정지실의 설계내용은 다음과 같다.

가. 원격정지반은 A 및 B 제어반으로 구성되어 있고 여러가지 제어기, 지시기 및 절환스위치들을 포함한다.

나. 그림 18.4-1은 2개의 제어반에 대한 배치도를 보여준다. 원격정지반의 목적은 주제어실이 화재로 인하여 거주가 불가능한 경우에 발전소를 고온정지 상태로 만드는 데 있다. 원격정지반은 10 CFR 50 부록 A의 일반설계기준(GDC) 4와 19, 그리고 화재방호와 관련하여 부록 A의 일반설계기준(GDC) 3과 표준심사지침(9.5.1절 화재방호프로그램)에 따라 운전할 수 있어야 한다.

다. 원격정지실로 이동하기 전에 운전원은 먼저 주제어실에서 발전소를 트립시키고 발전소 제어를 원격정지반으로 전환시켜야 한다. 원격정지반에서의 운전은 어떤 중요한 상황으로부터 발전소를 고온정지 상태로 유지하는 것으로서 원격정지반의 기능에는 주제어실의 출입이 다시 가능할 수 있게 될 때까지, 또는 현장제어반과 비정상절차서를 이용하여 저온정지 상태로 될 때까지 발전

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

소를 안전상태로 유지하는 것이 포함되어 있으며, 원격정지반 A 또는 B 계열의 제촉제어 설비는 그 기능을 수행할 수 있도록 되어 있다.

절환스위치들은 제어반 기능을 조작가능 상태로 만드는 데 사용된다. 원격정지반쪽으로 부주의하게 제어가 전환되었을 때 주제어반 운전원에게 경보가 제공된다.

라. 다음과 같은 기능들이 발전소 운전 중에 수행된다.

- 1) 원격정지반은 정상적인 발전소 운전 중에는 운전되지 않는다. 원격정지반 운전은 주제어실에서 철수하는 상황에서 발전소를 고온정지 상태로 유지하기 위해 필요한 기기들로 구성되어 있다.
- 2) 원격정지반은 발전소 기동과 통상적인 정지 중에는 사용되지 않는다. 원격정지반의 기동과 정지는 전기기기실과 원격정지실에 위치한 절환스위치를 사용하여 행한다. 원격정지반의 일부 지시기는 계속적으로 동작해야 하고 제어전환이 요구되지 않는다. 그러나 원격정지반의 제어기들은 주제어실 철수상황하에서만 사용되고 제어전환이 요구되며, 주제어실에 다시 들어갈 수 있게 되면 사용되지 않는다.
- 3) 원격정지반은 주제어실을 철수해야 하는 비정상적인 발전소 상황하에서 원자로 정지 후 사용된다. 발전소가 운전 중일 때는 A 계열 또는 B 계열 중 어느 것이라도 운전 준비상태에 있게 된다.
- 4) 고온정지 상태에 도달하기 위해 필요한 계통들이 원격정지반에 포함된다. 보조급수 제어는 증기발생기의 열을 제거하기 위하여 필요하고 또한 증기 방출 제어는 가압기 압력과 잔열제어 그리고 주증기와 원자로냉각재

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

계통 제적제어에 필요한 기능이다.

- 5) 추가적인 기능으로서는 원격정지반에서의 상태지시가 필요하다. 이들 기능에는 원자로냉각재온도, 원자로 출력, 가압기 상태, 증기발생기 상태, 1차측 원자로냉각재 양, 응축수 양, 그리고 보조급수 상태 지시등이 포함된다.

원자로 트립상태 지시 및 전환스위치 상태 즉, 발전소 제어를 주제어실에서 하느냐 아니면 원격정지실에서 하느냐 하는 것에 대한 표시가 원격정지반상에 나타난다.

18.4.3.2 계통기능 분석 수행

기능분석은 원격정지실과 관련되는 각 계통에 대해 수행되었다. 이 분석은 계통의 기능 설명, 계기 및 제어요건, 규제요건에 따른 계통요건, 사업자 요구 및 공급자 제의사항, 기기운전(감시, 수동, 자동) 및 위치(현장, 주제어실) 등을 포함한다. 이러한 사항들은 각 계통의 설계책임자에 의해 작성되는 "기능분석요약서(functional analysis summary)"와 "계통기능설명서(system functional description)"에 나타나 있다.

18.4.3.3 폐널의 일관성 및 표준화

원격정지반은 표준화, 일관성, 그룹화, 판독성 등과 같이 주제어반에서 적용한 인간공학 설계기준과 동일하게 설계되어 있다. 폐널에 제공되는 기기는 주제어실 거주성이 다시 확보될 때까지 발전소 고온정지와 일부 저온정지를 유지하는 데 필요한 기기만을 포함하고 있다. 원격정지반 제어기기 및 지시기는 주제어반에 사용된 기기와 동일한 표준화된 하드웨어를 사용하였다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.4.3.4 지시기 및 제어기 그룹

관련 계기 및 제어기는 모든 패널에 그룹을 지어 배열되어 있다. 이들 계기들은 기능성 및 운전성 향상을 도모할 수 있도록 공간을 이용하거나 계기들을 묶어서 배열한다. 상호 관련된 지시계와 제어기는 감시 및 조작이 용이한 근접한 거리에 설치하였다.

18.4.3.5 기본적인 계기형태 선정

원격정지반 계측기기의 일반적인 형태는 직무분석 이전의 설계 초기단계에서 결정되었다. 하드웨어 선정은 인간공학지침서 요건에 따라 결정되었고 원격정지반상에 설치되는 보조 설비계통 및 핵증기공급계통 계기의 일관성이 유지되도록 인간공학지침서에서 명시한 표준화 형태의 계기를 가능한 사용토록 하였다.

18.4.4 시각지시기

시각지시기는 읽기 쉽고, 분명하고, 정비가 용이하며, 필요한 관련정보를 제공한다. 지시기는 아래의 기준에 의해 선정되었다.

가. 제어되는 계통변수의 중요도를 식별하기 위한 능력이 제공된다.

나. 중요변수와 관련된 모든 계통 및 기기상태가 표시된다.

다. 지시기는 요구상태 혹은 실제상태인지를 구분한다.

라. 요구되는 정확도가 제공된다.

마. 운전원은 제어기 조작 시에 피드-백 신호를 제공받는다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

한 그룹에 여러 개의 지시계 혹은 같은 변수의 다중지시계와 같이 지시계들이 군을 지어 설치될 경우 운전원에게 관련정보를 명확하게 제공해 주도록 조직화하여 배열되어 있다. 지시등의 군들은 계통 또는 운전순서를 반영하여 배열하였다.

18.4.4.1 지시등

지시등은 빛 반사 및 주변 조명하에서 읽기 쉽고, 정비가 용이하며, 주변 패널보다 적어도 10% 더 밝고 주변 조명하에서도 명확하게 인지할 수 있다.

지시등의 색상코딩은 기기상태가 명확히 식별될 수 있도록 렌즈 색상 또는 발광다이오드를 이용한다. 지시등 색상별 의미는 다음과 같다. 적색은 기기 및 공정의 작동, 또는 에너지 흐름(열림, 기동, 켜짐), 녹색은 기기 및 공정의 정지, 또는 에너지 흐름단절(닫힘, 정지, 꺼짐), 백색 또는 황색은 기기의 고장/불능상태, 또는 일반적인 정보, 호박색은 경미한 정보나 주의를 제공하는 의미로 사용되었다. 어떠한 조건하에서도 지시등의 글자와 용어는 명확하고, 일관성이 있고, 판독이 가능하도록 설계되어 있다. 글자는 육안으로 충분히 쉽게 이해될 정도의 크기로서 전문용어는 모든 지시등에 일관성이 유지된다. 용어와 기기명칭은 지시등 램프가 소손되거나 전원이 상실될 경우에도 읽을 수 있도록 계기 혹은 명판에 글자를 새긴다.

18.4.4.2 계기와 기록계

계기는 발전소의 모든 상태에서 사용하기 쉽고, 정밀하고 명확하다. 계기눈금은 명확히 구분되어야 하며 선형눈금으로서 일반적으로 대, 중, 소 눈금을 이용한다. 눈금단위는 변수를 해석하는 데 운전원이 선호하는 것을 사용하고 모든 계기와 지시계에 미터단위를 적용하였다. 눈금시작과 끝은 대눈금을 사용하고 최대 눈금범위와 일치되고 있다. 경우에 따라서 예외사항이 있을 수 있으며, 이러한 사항은 인간공학적 평가결과에 준하여 그

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

적용여부가 결정되었다. 예로서 출력계기와 방사선준위 지시계가 비선형눈금을 사용하는 것과 규제지침서 1.97에 관련된 변수 등이 이에 속한다. 계기 전원상실 시 계기는 전원 상실 상태를 명확히 지시하고 있다.

가. 계통 정보의 우수한 표시효과를 얻고 운전성을 향상시킬 수 있도록 최소 4개 숫자의 발광다이오드 표시기를 지닌 아날로그 막대그래프 계기가 사용되었다.

나. 다중눈금계기는 데이터 비교와 같이 운전성 향상에 유익할 경우 사용되었다.

다. 계기 및 기록계는 교정 및 정비가 용이하게 설계되어 있다.

18.4.5 제어기

모든 제어기는 인간공학을 고려하여 선정되었고, 기능별 표준화, 계통내의 일반적 기능을 고려하여 쉽게 식별될 수 있도록 설계되어 있다. 또한 제어기는 신속하고 오동작이 없이 사용할 수 있도록 선정되었다. 제어기는 운전원에게 혼돈을 주지 않고 계통흐름을 명확히 반영하도록 모형도와 계층적 명판을 이용한다. 제어기 수량과 용도는 발전소 안전정지 운전을 지원하고 공정제어에서 요구하는 것을 정확히 반영하여 선정되었다. 주요 제어기(빈번히 사용되거나 안전관련 계통 제어기)는 벤치보드나 수직부분 하단의 패널 조작이 용이한 곳에 설치되어 있다.

원격정지반에 설치된 제어기는 운전원이 제어대상의 설정치를 조정하거나 수동제어로의 전환을 허용하도록 되어 있으며 수동/자동 상태표시, 출력, 설정치 및 공정변수 값을 나타내고 수직 눈금 및 공학단위는 지시기와 동일하다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.4.5.1 제어기 코드화 형태

제어기는 밸브, 펌프, 차단기, 정지 및 작동 등이 쉽게 구별될 수 있도록 기능적으로 표식화 되어 있다. 이를 위하여 기기형태, 위치 및 색상 코드화 등의 방법을 조합하여 적용하고 있다. 예를 들어 송풍기와 펌프 제어기의 테두리는 청색이며 그 외의 제어기(차단기 및 밸브)는 흑색테두리를 사용한다. 제어기의 형태는 기능별로 표준화하며, 푸쉬버튼 제어스위치가 한가지 형태의 직무 즉, 밸브운전에만 이용된다면 그 용도로만 사용되었다.

제어기에 대한 설계내용은 아래와 같다.

가. 후비 발광형 푸쉬버튼(illuminated pushbutton)은 밸브, 댐퍼, 펌프, 히터 및 차단기 등과 같은 기계적인 기기작동과 이들 기기가 원하는 최종위치에 도달했을 때 이를 시각적으로 피드백, 또는 이들 기기들의 운전모드 상태를 제어 및 감시할 필요가 있는 것에 사용된다. 버튼의 표면적은 손가락으로 쉽게 누를 수 있고 또한 충분한 힘이 가해질 수 있을 정도로 충분히 넓다. 푸쉬버튼 제어기는 발광다이오드의 교체를 위해 커버를 쉽게 제거할 수 있으며 일반적으로 수직형 배열이다. 푸쉬버튼의 렌즈에는 흰바탕에 검정글씨를 새겨 넣어 판독성을 향상시켰으며, 각 상태 지시등은 2개의 발광다이오드로 구성되고 발광다이오드의 색상은 다음과 같은 4가지가 있다.

- 적색(Red) : 에너지 흐름상태 즉, Open, Start, On, Open/Mod, Jog Open 등이며, 예외적으로 차단기류에서는 폐회로 상태, 즉, 스위치가 Close된 경우에 에너지가 유입되므로 Close 상태에 적색이 적용됨
- 녹색 (Green) : 에너지 차단상태 즉, Close, Stop, Off, Close/Mod, Jog Close 등이며, 예외적으로 차단기류에서는 개회로 상태일

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

때, 에너지가 흐르지 못하므로 이를 Trip으로 명하며, Trip 상태에 녹색이 적용됨.

- 황 색 (Yellow) : 작동불능(Inoperable), Emergency off 등
- 호박색 (Amber) : Auto, Lead, Open Blocked, Exercise, Sync., Override, Mid Position, Open Permissive, Close Permissive, Lock, Engaged, Manual, Direct, Power Removed 등

나. 토글 스위치, 레버, 부분적 로터리식 스위치, 슬라이드 스위치 및 락커 스위치(푸쉬버튼 스위치, 로터리 스위치, J-핸들 스위치 포함)의 크기 및 형태는 인간공학 기준에 따른다.

18.4.5.2 오조작 방지

사용이 제한되는 제어기는 부적절한 스위치 작동을 방지하기 위해 차폐물을 갖고 있다. 이 제어기들은 운전원 편이를 위해 보호함 또는 경첩이 달린 차폐를 사용하였다. 이러한 방법은 부주의한 작동결과에 따른 심각한 상황과 운전원의 즉각적인 조치 필요성에 준하여 적용되었다.

제어기의 오조작 방지를 위한 설계내용은 아래와 같다.

가. 보호함은 지시등이 없는 원형 푸쉬버튼 스위치에 사용되며 원형 푸쉬버튼 스위치 주변을 감싸고 있는 형태이다. 이것은 부적절한 작동은 방지하고 운전원의 추가조치, 또는 지연을 유발하지 않는다.

나. 경첩식 차폐는 부주의한 작동을 방지할 뿐만 아니라 운전원이 잠시 시간을 갖

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

고 생각을 한 후 적절한 조치를 취하도록 스위치 상단에 투명한 플라스틱커버를 설치하였다. 이 형태의 스위치는 부주의한 작동으로 계통에 불필요한 과도 상태를 유발하거나, 필요 시 안전관련 계통의 작동을 방해하는 상태를 유지하도록 공학적인 판단에 의해 필요 시 사용되고 있다.

18.4.6 음향경보기

가압기 및 증기발생기 압력의 사전트립(Pretrip) 조건을 운전원에게 알려주기 위하여 청각경보가 제공되었다.

음향경보는 운전상황에 적절히 대응할 수 있도록 정확하게 알려주고, 경보를 명확히 식별할 수 있도록 제공된다. 음향경보신호는 평균소음기준 이상에서 운전원이 들을 수 있는 충분한 데시벨 값을 가진다.

18.4.7 인지력 향상

적합한 경계선 및 명판은 운전원의 제어기 및 지시기 사용능력을 현저히 향상시킨다. 그룹화된 제어기 및 지시기의 경계표시는 운전원이 관련 계기를 찾고자하는 시간을 줄여주고, 계기들간 상호관계를 강화 또는 구분하는 데 도움을 준다. 기능적으로 그룹화되고 경계화된 계기들의 명판 표시는 개별기기 명판상의 글자를 줄이고 정보전달을 향상시킨다.

18.4.7.1 명판

기능적으로 유사한 제어기와 지시기의 그룹은 경계표시선에 의해 묶어 표시하였으며, 경계표시 영역은 계기의 계통 또는 기능별로 묶어 명칭한 명판이 부착되었다. 각 기기에는 문자/숫자 지정 및 명칭을 기술한 명판이 부착되었다. 글자크기, 명판색상, 약어, 형태, 재질, 위치 및 부착방법은 다음의 지침에 따른다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

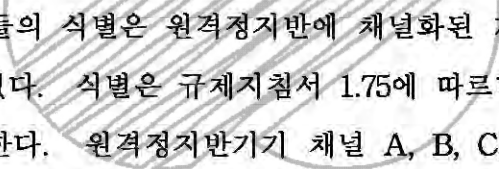
- 가. 식별용 명판(기기명, 제기번호, 계통명)은 백색바탕에 흑색글자를 사용한다.
- 나. 명판에는 일관된 전문용어와 약어를 사용하고 전문용어는 절차서와 계통도에 일관성을 유지하였다. 제어기와 지시기는 서술식 이름과 문자/숫자 지정으로 식별된다.
- 다. 명판은 다음과 같이 일관성 있는 형식으로 구성하고 명판의 중앙에 글자를 각인하였다.
- 1) 명판의 첫번째 줄은 계통/부계통명칭(필요 시) 또는 기기명칭
 - 2) 명판의 둘째줄은 기기명칭 또는 변수
 - 3) 명판의 세째줄은 제기번호(계통명, 기기형태 및 번호포함)
- 라. 반사가 적고 단단한 재질을 가진 명판에 글자를 새기며 재질은 바탕색을 갖는 외부층과 글자색을 지닌 내부층의 혼합 배열로 구성된 그라보플라이(gravoply) 혹은 동등한 것을 사용하였다.
- 마. 명판은 제어반의 읽기 편한 위치에 설치되며 주 명판을 제외한 모든 명판에는 영어로 표기하였다.
- 바. 명판은 어떠한 온도 및 마모 조건하에서도 떨어지지 않도록 단단하게 부착되었으며, 나사와 같이 제어반에 손상을 주는 방법을 사용치 않고 명판 뒷부분 전체를 덮는 양면테이프로 부착되었다.

신월성 1,2호기 최종안전성분석보고서

18.4.7.2 경계표시

운전원이 필요한 계기의 위치를 빨리 찾을 수 있는 능력을 향상시키기 위해 관련 계기들을 그룹화하고 그룹 경계표시를 위해 색상의 명암을 이용하였다. 제어반 배경색은 옅은 회색() 이 사용되었으며 계기들을 그룹화할 때 사용되는 어두운 색상(shading color)은 짙은 회색() 및 올리브 녹색() 으로 NSSS 계통은 올리브 녹색, BOP 계통은 짙은 회색을 적용하였다. 어두운 색상 사이에 공간이 나타나며 이 공간에 제어반 배경색이 어두운 색상 사이의 경계선으로 보여준다. 계통 경계선의 폭은 약 로 구분가능한 크기를 적용하고 경계표시선 중앙에 그룹명판이 부착되었다.

18.4.7.3 채널 식별



다중안전등급 1E급 기기들의 식별은 원격정지반에 채널화된 계기들을 분류하기 위해 색상과 심볼코딩을 이용하였다. 식별은 규제지침서 1.75에 따르며 관련 발전설비들에 대한 사업자 색상코드와 일치한다. 원격정지반기기 채널 A, B, C, D의 식별은 다음과 같은 색상을 적용하여 명판 테두리 좌우측에 굵은선으로 표시하였다.

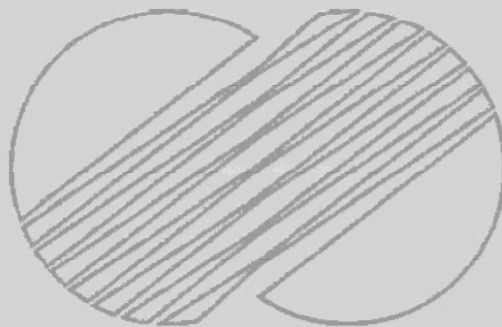
가. 트레인 A/채널 A는 적색

나. 트레인 B/채널 B는 녹색

다. 채널 C는 황색

라. 채널 D는 청색

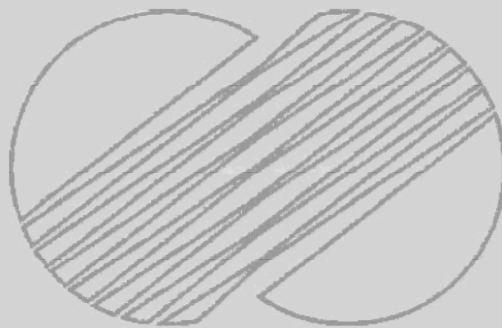
이들 표식 크기는 약 0.25 cm (0.1 in) 폭으로 운전원에 의해 채널화된 계기 식별이 용이하도록 설계되어 있으며, 표식이 없는 계기는 N 채널 계기이다.



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

원격정지실 배치도 및 원격정지반 측면도

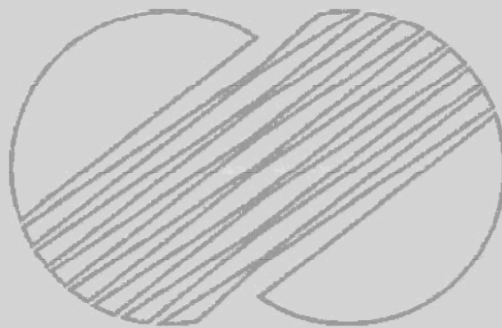
그림 18.4-1



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

신월성 1,2호기 원격정지반에 대한
95% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및
기능적 접근성

그림 18.4-2



한국수력원자력주식회사
신월성 1,2호기
최종안전성분석보고서

신월성 1,2호기 원격정지반에 대한
5% 한국남자의 평균시각(Line of Sight) 및
기능적 접근성

그림 18.4-3