

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

제 18 장 - 인간 공학

| <u>번 호</u> | <u>제 목</u> | <u>페이지</u> |
|-------------|--------------------|------------|
| 18 | <u>인 간 공 학</u> | 18.1-1 |
| 18.1 | <u>서론</u> | 18.1-1 |
| 18.1.1 | 일반설계기준 19 : 주제어실 | 18.1-2 |
| 18.1.2 | 표준심사지침서 : 검토과정 | 18.1-2 |
| 18.1.3 | 국내 운전중 원자력발전소 결함사항 | 18.1-3 |
| 18.1.4 | 인간공학 프로그램 활동 계획 | 18.1-4 |
| 18.1.4.1 | 인간공학 계획 개요 | 18.1-4 |
| 18.1.4.2 | 인간공학 프로그램 개발 | 18.1-5 |
| 18.1.4.3 | 종합적인 인간공학 기준개발 | 18.1-5 |
| 18.1.4.4 | 주제어반 크기 선정 | 18.1-6 |
| 18.1.4.5 | 주제어반 배치의 기능적 결정 | 18.1-6 |
| 18.1.4.5.1 | 운전개요 | 18.1-7 |
| 18.1.4.5.2 | 계측제어의 기능 | 18.1-9 |
| 18.1.4.5.3 | 계측기 및 기기 형태 | 18.1-11 |
| 18.1.4.5.4 | 시험 및 검사 | 18.1-12 |
| 18.1.4.5.5 | 기기 설계 | 18.1-13 |
| 18.1.4.6 | 계통기능 분석수행 | 18.1-13 |
| 18.1.4.7 | 모형제작 | 18.1-14 |
| 18.1.4.8 | 제어반기기 배열도면 작성 | 18.1-15 |
| 18.1.4.9 | 직무분석과 확인 및 검증계획 개발 | 18.1-15 |
| 18.1.4.10 | 기본적인 계기형태 선정 | 18.1-16 |
| 18.1.4.10.1 | 제어기 | 18.1-18 |
| 18.1.4.10.2 | 제어 | 18.1-19 |
| 18.1.4.11 | 직무분석 수행 | 18.1-29 |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

| 번 호 | 제 목 | 목 차 (계속) | 페이지 |
|-----------|---------------------|----------|---------|
| 18.1.4.12 | 확인 및 검증 | | 18.1-29 |
| 18.1.4.13 | 주제어반과 원격정지반 재구성 | | 18.1-30 |
| 18.1.4.14 | 기타 중요한 지역의 기능적 배치검토 | | 18.1-31 |
| 18.1.4.15 | 설계 및 구매서류 검토 | | 18.1-36 |
| 18.1.4.16 | 공급자 설계의 인간공학적 검토 | | 18.1-37 |
| 18.1.4.17 | 발전소전산기계통 설계 검토 | | 18.1-38 |
| 18.1.4.18 | 비상대응설비 설계검토 | | 18.1-38 |
| 18.1.4.19 | 통신설비계통 설계검토 | | 18.1-39 |
| 18.1.4.20 | 경보계통 설계검토 | | 18.1-42 |
| 18.1.4.21 | 주제어반 제작검토 | | 18.1-44 |
| 18.1.4.22 | 발전소 절차서 작성검토 | | 18.1-44 |
| 18.1.4.23 | 최종 점검표 작성 | | 18.1-44 |
| 18.1.4.24 | 문서작성 | | 18.1-45 |
| 18.1.4.25 | 사업조직 구성 | | 18.1-46 |
| 18.1.5 | 참고문헌 | | 18.1-47 |
| 18.2 | 주제어실 설계 | | 18.2-1 |
| 18.2.1 | 제어실 작업공간 | | 18.2-1 |
| 18.2.1.1 | 울진 5호기와 6호기 유사성 | | 18.2-2 |
| 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 | 유지정비 | | 18.2-4 |
| 18.2.2 | 주제어실 환경 | | 18.2-4 |
| 18.2.2.1 | 소음 | | 18.2-5 |
| 18.2.2.2 | 조 도 | | 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 | 판넬의 일관성 및 표준화 | | 18.2-9 |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

목 차 (계속)

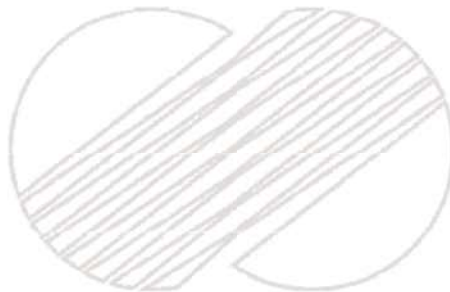
| 번 호 | 제 목 | 페이지 | |
|----------|-----------------|----------|---|
| 18.2.3.2 | 지시기 및 제어기 그룹 | 18.2-10 | |
| 18.2.4 | 시각 지시기 | 18.2-10 | |
| 18.2.4.1 | 시각 지시기 선정 | 18.2-11 | |
| 18.2.4.2 | 지시등 | 18.2-11b | |
| 18.2.4.3 | 계기와 기록계 | 18.2-12 | |
| 18.2.5 | 제어기 | 18.2-13 | 1 |
| 18.2.5.1 | 제어기 코드화 및 형태 | 18.2-13 | |
| 18.2.5.2 | 기타 제어 및 지시기 | 18.2-14g | |
| 18.2.5.3 | 오조작 방지 | 18.2-14j | |
| 18.2.6. | 경보기 | 18.2-15 | |
| 18.2.6.1 | 색깔 코드화 및 우선순위 | 18.2-16 | |
| 18.2.6.2 | 점멸도 | 18.2-17 | |
| 18.2.6.3 | 명판과 글자새김 | 18.2-17 | 1 |
| 18.2.6.4 | 다중 입력 경보창 | 18.2-17 | |
| 18.2.6.5 | 소등 개념 | 18.2-18 | |
| 18.2.6.6 | 주기적 시험 및 정비 | 18.2-18 | |
| 18.2.6.7 | 고장 및 빈 경보창 | 18.2-18 | |
| 18.2.6.8 | CRT 경보화면 | 18.2-18 | |
| 18.2.6.9 | 경보절차서 | 18.2-18b | 1 |
| 18.2.7 | 인지력 향상 | 18.2-19 | |
| 18.2.7.1 | 명판 | 18.2-19 | |
| 18.2.7.2 | 경계표시 | 18.2-21 | |
| 18.2.7.3 | 모형도 | 18.2-21 | |
| 18.2.7.4 | 채널식별 | 18.2-22 | 1 |
| 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 | 입력 변수 검증 | 18.3-4 | |
| 18.3.4 | 정보 표시 | 18.3-4 | |
| 18.3.4.1 | 표시계층 구조 | 18.3-5 | |
| 18.3.4.2 | 표시화면 접근 | 18.3-7 | |
| 18.3.4.3 | 인간공학적 설계기준 | 18.3-8 | |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

| 목 차 (계속) | | | |
|------------|-----------------|---------|--|
| 번 호 | 제 목 | 페이지 | |
| 18.3.4.3.1 | 표시형식 | 18.3-8 | |
| 18.3.4.3.2 | 공정기호 | 18.3-9 | |
| 18.3.4.3.3 | 공정모형도 | 18.3-9 | |
| 18.3.4.3.4 | 색 사용규칙 | 18.3-10 | |
| 18.3.4.3.5 | 기호 동작 특성 | 18.3-10 | |
| 18.3.5 | 표시기 위치 | 18.3-11 | |
| 18.3.6 | 확인 및 검증 | 18.3-11 | |
| 18.3.7 | 훈련 및 지침서 | 18.3-12 | |
| 18.4 | 원격정지실 | 18.4-1 | |
| 18.4.1 | 원격정지실의 작업공간 | 18.4-1 | |
| 18.4.1.1 | 울진 5호기와 6호기 유사성 | 18.4-1 | |
| 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 | 저장 공간 | 18.4-2 | |
| 18.4.1.7 | 유지 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 | 18.4-3 | |
| 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 | 판넬의 일관성 및 표준화 | 18.4-5 | |
| 18.4.3.2 | 지시기 및 제어기 그룹 | 18.4-6 | |
| 18.4.4 | 시각 지시기 | 18.4-6 | |
| 18.4.4.1 | 지시등 | 18.4-6 | |
| 18.4.4.2 | 계기와 기록계 | 18.4-7 | |
| 18.4.5 | 제어기 | 18.4-8 | |
| 18.4.5.1 | 제어기 코드화 형태 | 18.4-8 | |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

| 목 차 (계속) | | | |
|------------|------------|--|------------|
| <u>번 호</u> | <u>제 목</u> | | <u>페이지</u> |
| 18.4.5.2 | 오조작 방지 | | 18.4-8 |
| 18.4.6 | 음향경보기 | | 18.4-9 |
| 18.4.7 | 설계 증진 | | 18.4-9 |
| 18.4.7.1 | 명판 | | 18.4-10 |
| 18.4.7.2 | 경계표시 | | 18.4-11 |
| 18.4.7.3 | 채널 식별 | | 18.4-11 |



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

제 18 장 - 인간 공학

표 목 차

| <u>번 호</u> | <u>제 목</u> | <u>페이지</u> |
|------------|---------------------------|------------|
| 18.1-1 | 한국인 남자 신체 표준치 (25세 - 50세) | 18.1-50 |
| 18.1-2 | 선행호기 인간공학 설계경험 반영현황 | 18.1-51 |
| 18.1-3 | 경보창 우선순위 및 색깔표식 | 18.1-52 |
| 18.1-4 | 경보계통 정상경보 절차 | 18.1-53 |
| 18.1-5 | 경보계통의 최초 경보창 순서도 | 18.1-54 |
| 18.2-1 | 조도 | 18.2-23 |
| 18.2-2 | 휘도비 | 18.2-24 |
| 18.2-3 | 반사율 | 18.2-25 |
| 18.2-4 | 경보창 목록 | 18.2-26 |
| 18.4-1 | 원격정지반 기능수행에 필요한 계측기기 | 18.4-13 |



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

제 18 장 - 인간 공학

그림 목차

| <u>번 호</u> | <u>제 목</u> |
|------------|--|
| 18.1-1 | 표준체위 |
| 18.1-2 | 비상기술지원실 및 비상운영지원실 |
| 18.1-3 | 울진 5,6호기 인간공학조직 |
| 18.2-1 | 안전등급기기의 채널식별 방안 |
| 18.2-2 | 울진 5,6호기 주제어반에 대한 95% 한국 남자의 평균시각 (Line of sight) 및 기능적 접근성 |
| 18.2-3 | 울진 5,6호기 주제어반에 대한 5% 한국 남자의 평균시각 (Line of Sight) 및 기능적 접근성 |
| 18.2-4 | 울진 5,6호기 운전원 콘솔에 대한 95% 한국 남자의 평균시각 (Line of Sight) 및 기능적 접근성 |
| 18.2-5 | 울진 5,6기 운전원 콘솔에 대한 5% 한국 남자의 평균시각 (Line of Sight) 및 기능적 접근성 |
| 18.2-6 | 제어반계통의 배치 |
| 18.2-7 | 공기조화설비 제어반 (PM01) |
| 18.2-8 | 기타 설비제어반 (PM02) |
| 18.2-9 | 공학적안전설비 제어반 (PM03) |
| 18.2-10 | 화학 및 체적제어계통 및 원자로냉각재계통 제어반 (PM04) |
| 18.2-11 | 원자로냉각재계통 제어반 (PM05) |
| 18.2-12 | 원자로 제어 및 보호설비 제어반 (PM06) |
| 18.2-13 | 보조급수 및 주증기계통 제어반 (PM07) |
| 18.2-14 | 복수 및 급수계통 제어반 (PM08) |
| 18.2-15 | 터빈 및 보조기기 제어반 (PM09) |
| 18.2-16 | 소내 및 보조전력계통 제어반 (PM10) |
| 18.2-17 | 소내 및 보조전력계통 제어반 (PM11) |
| 18.2-18 | 화재 방호계통 제어반 (PM12) |
| 18.2-19 | 지시계, 기록계, 제어기 |
| 18.2-20 | 발광 푸쉬버튼 |
| 18.2-21 | 로터리 핸드스위치 및 비발광 푸쉬버튼 |
| 18.2-22 | 기타 제어 및 지시기 |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

그림 목차 (계속)

| <u>번 호</u> | <u>제 목</u> |
|------------|--|
| 18.2-23 | 발전소 배치 (제어실, 원격정지실, 비상기술지원실) |
| 18.2-24 | 제어실 및 전산실 |
| 18.3-1 | 일반적인 추이 표시화면의 예 |
| 18.3-2 | 필수안전기능감시의 경보행렬 표시화면(제 1단계 화면표시 예) |
| 18.3-3 | 표시화면의 대표적인 기호구성 |
| 18.3-4 | 전형적인 미믹 표시화면 예 1 (제2단계 화면표시 예) |
| 18.3-5 | 전형적인 미믹 표시화면 예 2 (제3단계 화면표시 예) |
| 18.4-1 | 원격정지반의 작업공간 배치 |
| 18.4-2 | 원격정지반 배치도 |
| 18.4-3 | 울진 5,6호기 원격정지반에 대한 95% 한국남자의 평균시각 (Line of Sight) 및 기능적 접근성 |
| 18.4-4 | 울진 5,6호기 원격정지반에 대한 5% 한국남자의 평균시각 (Line of Sight) 및 기능적 접근성 |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18 인 간 공 학

18.1 서론

본 장은 울진 5,6호기 인간공학 프로그램에 대하여 기술하였다. 인간공학 프로그램의 주요 목적은 발전소 운전수명 기간 동안에 인적오류를 줄이는 것으로 본 장에서는 인간공학 설계의 2가지 관점을 기술하였다.

첫째는 주제어실 및 원격정지반 설계에 영향을 주는 인간공학 활동으로서 현재의 발전소 설계가 적합한 인간공학 원리를 준수하고 있음을 보장하는 것이다. 두번째는 발전소 운전수명 기간동안에 인간공학 활동계획으로서 향후에 발생하는 설계변경이 주제어실 및 원격정지반 초기 설계시 반영된 인간공학 원리를 역행하지 않도록 보장하는 것이다.

인간공학적 설계에 대한 노력의 결과로 인하여 예상되는 모든 조건(정상 및 비상)하에서 효율적인 발전소운전에 필요한 정보나 제어가 운전원에게 제공된다. 지시기 및 제어기 형태와 위치는 전반적인 발전소 설계의 제약 조건하에서 가능한 한 단순하고 쉽게 이해될 수 있도록 설계되어 있다.

울진 5,6호기 인간공학 프로그램은 발전소 설계 시작단계에서부터 발전소 운전 수명기간 까지 계속적으로 적용되므로 NUREG-0737, Supplement 1에서 정의한 제어실 상세설계 검토는 요구되지 않는다.

울진 5,6호기 주제어실 및 원격 정지반이 울진 5,6호기 설계시 참조로 이용되었다. 인간공학 프로그램은 NUREG-0800, 18장 표준심사지침서(SRP)에 따라 수행되며 18장 내용중에 “제어실 설계를 시작하는 신청자(Applicants just starting the control room design process)”라고 언급한 세부지침에 준한다. 인간공학 설계원리는 설계과정의 모든 단계에 적절히 적용되기 때문에 제어실 상세설계 검토는 요구되지 않는다. 설계과정에 적용되는 인간공학 기준은 주제어실 및 원격정지반 설계와 관련된 일반설계기준 19 요건에 따라 선정되었다. 본 장의 목적은 안전하고 효율적인 발전소 운전을 도모하는데 적합한 주제

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

어실의 인간-기계연계를 보증하는데 있다.

18.1.1 일반설계기준 19 : 주제어실

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

가. 정상운전중에 원자력발전소를 안전하게 운전하고, 냉각재상실사고를 포함한 사고시 발전소를 안전상태로 유지토록 하기 위한 조치가 취해질 수 있도록 제어실이 설치되어야 한다.

나. (1) 고온정지 동안에 발전소를 안전상태로 유지하기 위해 필요한 계측 및 제어설비를 포함하여 원자로의 즉각적인 고온정지 능력을 가진 기기 및
(2) 적절한 절차서 사용을 통해 후속단계인 원자로 상온정지 능력을 가진 기기가 제어실 외부의 적절한 위치에 설치되어야 한다.

주제어반 및 원격정지반은 표 18.1-1(한국인 남자의 표준체위, 25-50세)의 체위 자료를 사용하여 한국인 체위에 적합하게 설계되어 있다.

18.1.2 표준심사지침서 : 검토과정

표준심사지침에 따라 설계 과정중의 울진 5,6호기 인간공학 프로그램은 다음과 같이 3단계 검토과정을 거친다.

가. 예비안전성분석보고서 단계에서는 계획, 예비설계 및 기준을 수용.

나. 최종안전성분석보고서 단계에서는 최종설계, 도면 및 절차서를 수용.

다. 최종 단계에서는 안전성분석보고서에서 이행 약속한 사항에 대한 불일치 여부, 또는 과거에 지적되지 않은 결함사항을 도출하기 위해 제어설비의 설치검사나 운전원 및 관련자와의 면담이 포함된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

상기 검토과정에서 울진 5,6호기는 일반설계기준 19 요건을 준수하고 주제어실 및 원격정지반 설계에 적합한 인간공학 원리가 반영되었다는 것이 증명되었고, 발전소 안전운전을 도모하는데 적합한 제어실 및 원격정지반의 인간-기계 연계사항이 확인되었다. 인간-기계 연계요건을 만족시키기 위해 기존 기준과 실용적인 인간공학 지침을 사용하여 계통분석을 수행하고 문서화 하였다. 운전원에게 주어진 직무가 만족스럽게 수행됨을 보증하기 위해 검토, 분석되었으며 정상 및 비상운전에 요구되는 모든 지시기 및 제어기가 제어실에서 이용 가능함을 분석과정에서 확인하였다. 추후 설계결함 발생 및 변경을 최소화하기 위해 설계의 전과정에 인간공학 담당자가 참여하였으며 NUREG-0700에서 기술된 인간공학 개념이 수용됨을 보증하기 위해 점검표가 사용되었다.

주제어실 및 원격정지반은 적합한 인간공학 원리에 따라 설계 되었으며 주제어실과 원격정지반사이의 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
- 바. 청각 신호 계통
- 사. 명판 및 위치
- 아. 공정전산기
- 자. 제어반 배치
- 차. 제어기-지시기 조합

18.1.3 국내 운전중 원자력발전소 결함사항

한기(주)에서 작성한 3권의 보고서(1990년 6월) "원전 주제어실 설계검토 최종 보고서 (KOPEC/90-P-001, 002, 003)"상에 281건의 국내 원전(고리 1,2,3,4호기 및 영광 1,2호기)

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

인간공학 결함사항(human engineering discrepancy)이 기술되어 있다. 이 인간공학 결함사항들은 한기(주)가 상기 원전에서 주제어실의 상세설계 검토 수행과 별도로 취급하였고, 운전경험 검토, 주제어실 설비검토, NUREG-0700에 의한 주제어실 실사, 계통기능검토 및 직무분석, 직무수행능력확인(이용성, 적합성), 주제어실 기능 검증, 인간공학 결함사항 평가 및 해결방안 등이 주제어실 상세설계 검토(DCRDR)에 포함되어 있다. 영광 3,4호기 주제어실 인간공학적 검토에 대한 최종확인 및 검증보고서(9-740-J455-004)에는 71건의 인간공학 결함사항이 명시되었고 주제어반 기기, 제어실 실사, 계통분석, 계통검증, 설계 결함사항 평가 및 해결방안 등이 포함되어 있다. 울진 3,4호기 및 영광 5,6호기는 영광 3,4호기와 동일한 방법으로 인간공학적 평가업무가 수행되었고, 직무분석과 확인 및 검증업무 수행결과로 발생한 인간공학 결함사항들은 표 18.1-2와 같다. 국내에서 운전중인 발전소의 인간공학 설계 결함사항은 충분한 분석과 설계반영 등을 통해 울진 5,6호기에는 동일한 결함사항이 발생되지 않도록 하였다.

상기의 인간공학 결함사항들은 울진 5,6호기 제어실 설계의 개발 및 이행 과정에 활용되어 동일한 문제 발생 방지와 울진 5,6호기의 안전성 및 효율성에 영향을 주는 인적오류를 줄이는데 기여하였다. 인간공학 원리에 대한 세심한 배려 특히, 발전소 개발 초기단계에서 되풀이되는 설계 문제를 해결함으로써 개발에 소요되는 시간과 비용을 경감시키는 결과를 가져온다.

18.1.4 인간공학 프로그램 활동 계획

18.1.4.1 인간공학 계획 개요

이 계획의 목적은 NUREG-0737, Supplement 1 및 표준심사지침서 제 18장에 명시된 바와 같이 울진 5,6호기 설계 과정에서 인간공학 개념이 조기에 완벽하고 지속적으로 반영되고 있음을 보증하는 것이다. 이 계획은 인허가 요건을 충족시키고 울진 5,6호기 설계에 완벽한 인간공학 개념이 반영되도록 하였다.

이 계획은 EPRI NP-3659의 인간공학 계획 및 USNRC의 NUREG-0700에서 수립된 지침에 따라 작성되었다. 주요 인간공학 업무는 인간공학 그룹에 의해서 수행되나 직무분석,

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

기능분석 및 기타 업무 수행시에 관련부서의 지원이 필요한 경우 다른 분야 및 계측제어 분야내의 다른 그룹이 참여하였다. 아울러 핵증기공급계통 공급자의 계통 및 계측제어 기술자, 국내의 운전 및 정비요원, 유경험 운전원 및 기술자들로부터 전문적인 조언을 받았다.

18.1절에 23단계의 인간공학 활동내역이 기술되며, 이러한 단계들은 EPRI NP-3659에서 명시하고 있는 계획, 분석, 설계 및 평가 단계를 준용하고 있다. 인간공학 활동의 일부 요소들은 계획서상의 각 단계에 일상적이고 연속적으로 발생하기 때문에 모두 기술하지는 않았다. 예를 들면 제작자 제어반 도면분석, 기능적 배치 및 설계자료 검토, 인간공학 관련보고서 등이 해당되며, 비록 계획서상의 업무의 일부분이지만 그 내용들은 상세하게 기술되지 않는다. 계획서에 기술된 각 단계들은 일반적으로 진행순서에 따라 나열되어 있으나 경우에 따라서 중첩되는 경우도 있고 수행업무가 동시, 혹은 다소 순서가 바뀌어 수행될 수도 있다.

18.1.4.2 인간공학 프로그램 개발

울진 5,6호기의 종합적인 인간공학 프로그램은 사업초기에 개발되었으며 사업자가 지속적이고 체계적인 인간공학 활동을 문서화하여 인간공학 활동의 주요 요소가 부당하게 간과되지 않았음을 보증하는 것이다.

인간공학 담당자의 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 높이는데 있다.

18.1.4.3 종합적인 인간공학 기준개발

사업초기에 경험이 많은 인간공학 전문가가 표준심사지침서에서 제시하는 사항을 기본으로 하여 인간공학지침서(9-750-J410-001)를 개발하고, 이 지침서에는 주제어실, 원격정지실,

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

안전변수지시계통 및 비상대응설비 등에 대한 인간공학 지침이 기술되어 있다. 이 지침서에는 18.2절에서 기술된 바와 같이 주변환경, 계기, 경보, 통행흐름, 체위, 명판, 전산설비 등이 포함되었다. 인간공학지침서는 최근의 미국원자력규제위원회의 인간공학기준(NUREG-0700), EPRI 및 INPO의 산업기준, 다른 발전소의 좋은 경험 및 사업주 요구사항 등을 근간으로 개발되고 추가적인 요건들은 그때 마다 사안별로 검토되었다. 이 지침은 표준화된 업무수행을 보증하기 위해 기기공급자, 사업자 및 사업에 관련되는 모든 분야에 적용된다.

18.1.4.4 주제어반 크기 선정

사업 초기에 인간공학팀은 25~50세 사이의 한국남자 5~95%에 해당하는 체위관련 자료를 참고하고 인간공학적 적합성을 고려하여 주제어반 크기를 결정하였다. 체위 관련자료는 한국표준협회(KSI)의 한국인 체위 측정보고서(1992)에 의한 것으로 표 18.1-1 및 그림 18.1-1에 기술되어 있다. NUREG-0700에서 정의하는 기능적 접근성은 양어깨를 벽에 붙인채 오른팔을 들어 바닥과 수평으로 했을 때 어깨 뒤부터 오른손 집게손가락 끝까지의 길이이다.

NUREG-0700 정의를 기준하여 울진 5,6호기 주제어반 및 운전원 콘솔의 5~95% 기능적 접근성 및 가시선은 그림 18.2-2 부터 18.2-5까지 나타나 있다.

18.1.4.5 주제어반 배치의 기능적 결정

인간공학 참고자료(EPRI NP-3659, NUREG-0700)와 참조발전소의 제어실 배치를 근간으로 하여, 주제어실 기능적 배치는 주제어실과 관련되는 계통들이 어느 곳에 위치하는지를 주제어반에서 명확하게 확인할 수 있도록 설계되었다. 배치는 운전원의 선행호기 경험을 고려하고 원자로 외부로부터 공정의 자연적인 흐름에 따라 설계되었으며, 이를 위해 운전유경험자와 협의를 거쳤다. 주제어실의 제어반 배치는 그림 18.2-6에 나타나 있다.

울진 5,6호기 주제어실 자체는 계통이 아니며 여러 계통이 모여 구성된 것으로, 모든 정상운전 조건하에서 발전소를 효율적으로 운전하고, 사고 상태하에서 발전소를 안전하게

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

유지하기 위하여 필수적이고 충분한 계측 및 제어설비가 설치되어 있다. 연속적 감시 및 제어를 요구하는 모든 계통 변수들이 주제어반에 포함되고 이 변수들은 핵계통, 공학적안전설비, 전기계통, 보조설비계통 및 사고후감시계통으로부터 제공된다. 이외에 발전 소전산기계통, 안전변수지시계통, 우회/불능상태지시(Bypassed/Inoperable Status Indication) 기능도 포함되어 있다.

주제어실은 발전소경보계통, 제어실 조명 및 환경 제어, 운전원 제어반과 저장공간, 책상, 도면함, 프린터 등과 같은 보조설비들도 포함되어 있다. 주제어실 기능과 관련된 각 계통은 "계통기능설명서(system functional description)" 및 "기능분석요약서(functional analysis summary)"에 기술되어 있다. 이들은 운전성 관점에서 제어실 기능과 직접 관련되거나 관련계통 설계기준의 요건에 준하여 관련설비가 제공되어 있다. 전기 안전등급 1E가 사용되는 곳에는 IEEE 384에 따라 전기적, 물리적 격리기준이 적용되어야 한다.

주제어실과의 통신은 주제어실 요원이 모든 조건하에서 발전소 안전운전을 위해 필요한 필수지역 내외의 요원들과 통화가 가능하도록 설계되었다. 음성출력전화, 소내호출전화, 일반전화 등은 비상기술지원실(TSC), 비상운영지원실(OSC), 비상대책실(Eof) 및 기타 발전소외의 필요 지역과의 직통전화가 가능하도록 설치되어 있다.

주제어실은 제어실 운전요원(운전원 2명, 보조운전원 2명, 발전팀장 및 안전차장 등)의 기능적 필요성을 만족시키며, 인적실수 가능성의 최소화와 운전원의 편의성 및 효율성이 고려되었다. 이러한 목적을 위해 종합적인 인간공학 개념이 설계에 반영되며 제어실 환경, 운전원 제어반과 체위, 주제어반 구성 및 배치, 전산기 표시장치, 제어실 명판, 경계선(demarcation) 및 모형도(mimic), 제어실 활동흐름, 경보계통 설계, 기기 접근성, 업무보조 시설(도면함, 화장실 등) 등이 포함된다. 운전원의 편의성을 증진시키기 위해 표준화된 색깔 및 기기, 제어작동 방향, 명판, 경보위치, 안전변수지시계통 등이 사용된다.

다음 항목에서는 제어실 운전, 제어 및 계측기능, 계측설비의 형태, 시험 및 검사업무, 기기설계 규격에 대한 개요를 기술하였다.

18.1.4.5.1 운전개요

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

이 장에서는 주제어실내에서 발전소의 기동, 정지, 정상 및 비정상 상태에 대한 운전개요를 기술하였다.

- 가. 정상적인 발전소 기동 및 정지상태에서는 주제어실은 완전하게 작동한다. 기동용 급수펌프, 제어봉 구동설비, 원자로 제어반, 화학 및 체적제어 설비 등과 같은 기동지원 계통에 대한 계측제어 설비들이 주제어반에 포함되어 있다. 발전소의 상온정지에서 고온대기 상태까지의 제어와 100% 출력운전까지 다양한 출력 상승에 필요한 계기들을 수용한다. 주제어실은 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. 주제어실의 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 주제어반에 포함되어 있고, 이 외에 화학제어, 기기냉각수계통, 공조설비 및 방사선 감시 등 정상적으로 발전소를 운전하는데 필요한 지원계통 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 유지된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18.1.4.5.2 계층제어의 기능

주제어실의 기본적인 제어기능은 기본적인 안전기능의 감시 및 제어와 발전소 성능 및 운전기능의 감시 및 제어의 2가지로 구별된다.

가. 기본적인 안전기능은 전용 주제어반을 갖지 않으며 발전소 성능 및 운전기능과 조합하여 주제어반 전체에 배분된다. 규제지침서 1.97에 명시한 A,B,C,D 및 E 형 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. 아래와 같은 발전소 성능 및 운전기능이 주제어실에서 제어된다.

- 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.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 3) 전기적 제어는 여자, 전압 조정제어, 터빈 조속기 제어 및 발전기로부터 전기에너지 흐름의 제어 등을 포함한다.
- 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 체적제어탱크 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.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 12) 화재방호계통기능, 특히 경보는 주제어실에서 감지되며, 화재진압 및 감지 계통의 모든 제어는 현장제어반에서 이루어진다. 개별 화재 진압상태는 화재 감지 및 작동 경보와 함께 주제어실에 표시되며 각 현장 패널의 이상 상태는 공통 이상경보로 주제어실에 지시된다. 소화수 공급계통 밸브의 상태지시는 주제어실에 나타난다.
- 13) 발전소 감시계통의 일부인 안전변수지시계통(SPDS)은 주제어실의 발전소 감시계통 CRT와 기타 소내 공정 전산기의 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.

18.1.4.5.3 계측기 및 기기 형태

주제어실에서 사용되는 기기형태는 다음과 같다.

- 가. 경보 및 청각장치를 포함한 관련 하드웨어 ; 경보창, 인지, 시험, 복귀 및 경보음 멈춤 푸쉬버튼 및 관련 배선.
- 나. 주제어반 또는 운전원 콘솔 ; 안전변수지시계통, 방사선감시 및 발전소전산기계

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

통 CRT가 설치됨.

다. 모션, 기기, 계열 및 계통표시를 위한 상태등 ; 상태등은 글씨가 새겨진 사각형 렌즈와 여러개의 전구로 구성됨.

라. 펌프, 밸브 및 기타 제어용 푸쉬버튼.

마. 4개숫자의 발광다이오드 표시기를 지닌 아날로그 막대그래프 계기 ; 메타는 아날로그 감시값의 추이 정보나 디지털 정보를 나타냄.

바. 장시간의 추이를 표시하는데 사용되는 프로그램가능한 타점식 또는 펜식 기록계.

사. 인간공학팀에 의해 승인되거나 또는 요구된 로타리제어기를 비롯한 모든 제어 및 지시계 형태 그리고 관련배선과 논리도 및 주변 기기들(조명, 팬, 댐퍼, 열전대, 습도조절 등)이 주제어실 설계에 포함됨.

아. CRT 및 키보드를 포함하는 운전원 콘솔과 통신설비.

자. 주제어반, 책상, 도면함, 프린터 및 캐비넷.

차. 주제어반 뒷편에 위치하는 발전소보호계통 및 보조 보호계통 캐비넷.

타. 발전 팀장 책상

62

18.1.4.5.4 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.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 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 일부 분으로 수행된다.
- 다. 계통 사용전 시험은 주제어실을 별도의 계통으로 고려하지 않고 일부분으로써 각 제어실 계통 및 부계통에 대해 수행된다.
- 라. 안전등급 관련기기에 대한 가동중 검사는 관련 기술사양의 요건에 따라 수행된다.
- 마. 비안전등급 관련 기기에 대한 가동중 검사는 사업자의 검사기준과 시험주기, 절차서에 따라 수행된다.

18.1.4.5.5 기기 설계

주제어실의 주요기기인 주제어반은 “구매사양서-주제어반 및 관련 계측기기(9-751-J211)”에 따라 설계, 제작되었으며, 18.1.4.5.2절에 기술된 기능을 수행하기 위해 필요한 모든 제어 및 계기들이 인간공학기준에 따라 적절히 구매되었다. 주제어반은 주제어실의 환경에 맞게 설계되며 완벽한 인간공학적 분석이 수행되었다. 주제어실은 케이블, 지지대 및 기타 내부 설비들을 포함하고 있으며 유지보수 요건에 충분히 만족되도록 설계되어 있다.

18.1.4.6 계통기능 분석수행

기능분석은 주제어실과 관련되는 각 계통에 대해 수행되었다. 이 분석은 계통의 기능 설명, 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

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

각 계통의 설계책임자에 의해 작성되는 "기능분석요약서"와 "계통기능설명서"에 나타나 있다.

상기 문서는 주제어실 설계과정에서 작성되며 운전원 직무분석과 관련하여 NUREG-0700에서 명시한 기능요건을 만족시킨다. 기능검토와 직무분석의 목적달성을 위해 계통기능 및 부기능은 한개 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.

울진 5,6호기 주제어실 설계의 개발과정에서 기능할당과 기능수행을 위한 직무를 최적화하기 위해 분석업무가 수행되었다. 비상 운전시에 발전소 안전성과 운전원 직무에 대한 영향을 표준심사지침서에서 강조하기 때문에 비정상 및 비상운전시 각 계통에 대한 상세한 사항은 기능 분석 요약서에 기술되어 있다.

상기 보고서는 제어반 기기, 경보, 운전원 조치, 정보 및 제어요건, 비상절차 및 직무분석에 관련되는 필수계통의 기능을 요약한 것이다. 이 기능적 개요는 주제어실 설계의 기본이 되는 것으로, 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.

18.1.4.7 모형제작

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

가. 운전원 직무분석과 확인 및 검증을 위한 인간공학의 도구로 사용.

나. 모의운전, 면담, 질문, 관찰 등을 통한 제어반 배치와 제어실 구성을 평가

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

다. 운전원 직무와 모의운전에 의한 작업공간 결함사항 확인

라. 절차서에 의하여 제어실내에 설치된 기기들의 계측 제어요건 평가

마. 주제어반과 원격정지반 설계를 위하여 설계 담당자 및 운전원과의 면담

바. 사업자에게 주제어반 설계 및 평가결과 설명

직무분석과 확인 및 검증을 위하여 실물크기 목재틀에 금속외장을 갖춘 울진 5,6호기용 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.

18.1.4.8 제어반기기 배열도면 작성

인간공학기술지침(EPRI NP-3659, NUREG-0700 및 울진 5,6호기 인간공학지침서)과 계통기능설명서를 기준으로 하여 제어반 기기배열도면이 작성되었다. 이 도면에 주제어반 및 원격정지반의 제어기와 지시계 배열, 그리고 이 기기들간의 연관관계를 나타내도록 경계표시와 미믹선을 표시 하였다.

배치설계는 직무분석과 확인 및 검증업무 기간에 평가되고 그 결과로 발생한 인간공학 결함사항은 제어반의 기기배열도면에 적절히 반영되었다. 최종 제어반기기배치도면은 그림 18.2-7 부터 18.2-18과 18.4-2에 나타나 있다.

18.1.4.9 직무분석과 확인 및 검증계획 개발

직무분석과 확인 및 검증과정에 대해 명확하게 정의한 계획서가 작성되었으며 수행방법,

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

목표, 참여자, 사용 문서 및 기타 필요한 사항이 언급되어 있다. 점검표, 질의서와 같은 문서들도 개발되었으며, 분석업무에 직접 사용되는 서류들도 이 기간중에 작성되었다.

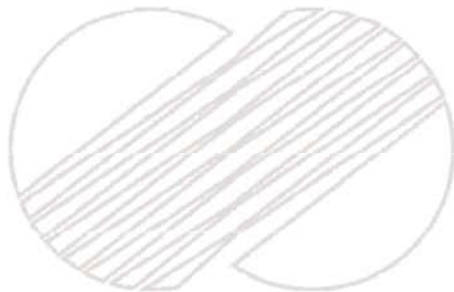
18.1.4.10 기본적인 계기형태 선정

주제어반 및 원격정지반에 설치되는 제어기와 지시계의 일반적인 형태는 직무분석 이전인 설계초기에 선정되었다. 관련 하드웨어는 인간공학 기준에 부합되도록 선정되며, NSSS 제어반과 BOP 제어반 사이, 제작사 공급기기와 제어실의 다른 기기간의 조화가 이루어지도록 하였다. 직무분석 결과에 따라 계기 및 제어기는 추가, 교체, 삭제 혹은 재배치 되며 다른 지역으로 이동되기도 하였다.

이 장에서는 주제어실과 원격정지반에 위치하는 일반적인 계기와 제어기에 대해 언급하고, 계통도, 계통기능설명서 및 인간공학지침서에 명시된 기기의 특성에 대해 기술하였다.



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



1

18.1.4.10.1 제어기

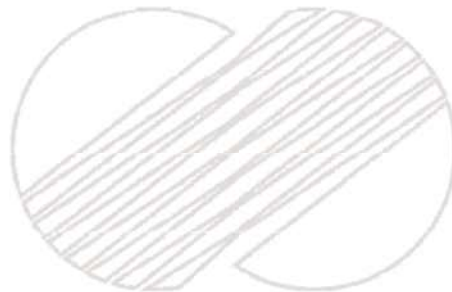
주제어반에 설치된 제어기는 운전원이 설정치를 조정하거나 수동제어로의 전환을 허용하도록 되어 있으며 그림 18.2-19 에 제어기의 형태가 나타나 있다. 제어기는 수동/자동 상태표시, 출력, 설정치 및 공정 변수 값을 나타내며 수직 눈금 및 공학 단위는

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

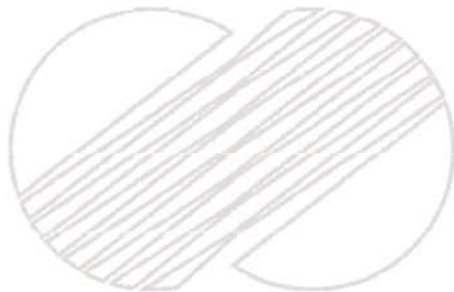
지시기와 유사하다.

18.1.4.10.2 제어

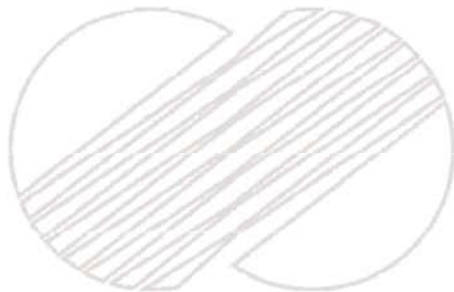
제어는 운전 편이성을 보장하고 운전원 실수를 최소화 하도록 선정되었으며, 예상되는 동적상태(dynamic condition)하에서 수동 조작의 기민성, 조정 및 반응 시간 등의 한계내에서 조작이 가능하고, 예상 수명 기간동안 외형 및 기능적 특성을 유지할 수 있는 충분한 내구성을 갖도록 되어 있다. 제어조작의 피드백(feedback)은 촉각, 청각 및 시각(지시등의 점등, 지침의 움직임)적으로 제공되도록 설계에 반영되었다. 운전위치에서 시차없이 설정치를 쉽게 읽을 수 있고 위치를 쉽게 찾을 수 있도록 가시도가 충분히 확보되어 있다.



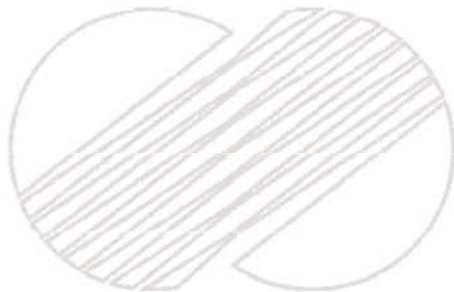
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



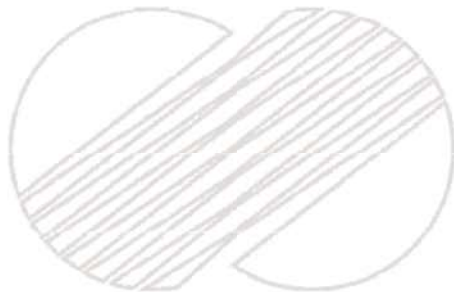
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



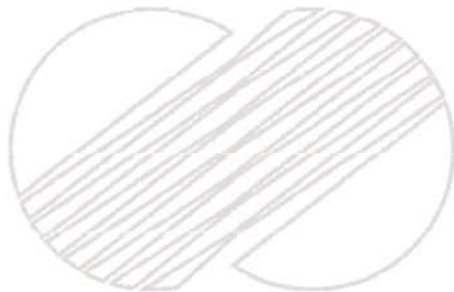
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



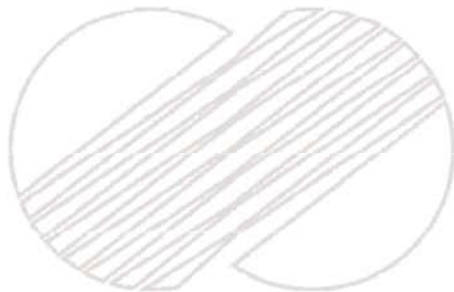
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



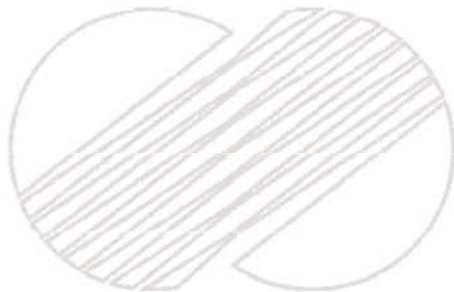
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



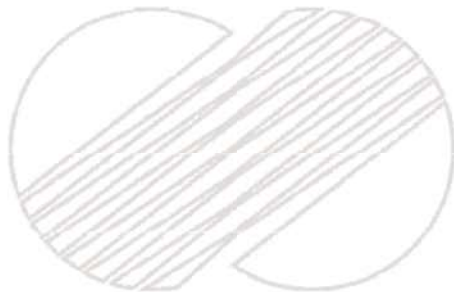
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



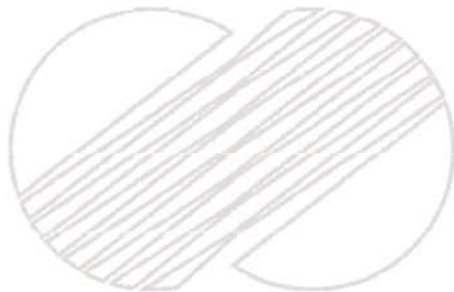
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18.1.4.11 직무분석 수행

울진 5,6호기 주제어실 및 원격정지반 설계에 대한 직무분석(TA)은 통합된 수행계획서에 따라 확인 및 검증 업무와 함께 수행되었다. 분석에는 기 수립된 절차에 따라 수행되었으며 결과는 “주제어실 및 원격정지반에 대한 확인 및 검증 보고서(9-750-J462-001, Rev.0)”에 명시되어 있다.

18.1.4.12 확인 및 검증

주제어실 및 원격정지반 설계에 대한 확인 및 검증 작업이 2000년 7월 10일부터 21일까지 약 2주동안 모형 제어반이 설치된 한기(A/E) 사무실에서 실시되었다. 분석에는 계통 설계자, 제어반 설계자, 인간공학 전문가, NSSS 및 T/G 계통관련 설계자 및 한수원 설계담당자가 참여하였으며, 특히 울진 3,4호기에서 실제 운전을 담당하고 있는 5명의 운전원이 참여하였다.

확인 및 검증에는 울진 5,6호기 인간공학 결함사항에 대한 울진 5,6호기 반영상태 확인 및 제어반 기기의 이용성, 적합성을 평가하기 위한 것으로서 인간공학적 검토와 운전원에 의한 계통별 분석 및 모의 운전이 포함되었다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

확인과정의 목적은 울진 5,6호기 사업팀에게 설계를 평가하고 요구된 계측제어기에 대한 주제어반 내에서의 이용성을 검토하고, 운전성 측면에서 이들 계측제어기의 적합성 여부를 결정하는 기회를 갖고자 하는 것이다. 이 분석에는 설계기술자에 의해 인간공학 점검표를 이용한 주제어반과 원격정지반에 대한 인간공학적 검토와 기기평가(배열도와 구성요소 목록표 등이 포함됨), 그리고 경험있는 운전원에 의한 선행호기 직무분석 결과에 대한 검토가 포함되었다.

검증 과정의 목적은 주제어실 설계가 발전소절차서를 이용하여 운전원들에게 부여된 직무가 성취될 수 있는가를 확인하는 것이다. 이 분석은 어느 특정한 정상상황과 긴급한 상황의 시나리오를 선정하여 경험있는 운전원들이 울진 3,4호기 절차서를 사용하여 수행하였으며, 확인 과정에 참여 하였던 운전원들이 검증과정 기간에도 참여하였다.

확인 및 검증의 결과는 “주제어실 및 원격정지반에 대한 확인 및 검증 보고서”(9-750-J462-001, Rev.0)로 문서화 되었다. 이 문서는 확인 및 검증팀의 구성, 작업에 사용된 도구, 직무 검증과정, 이용성과 적합성의 검증 그리고 결과에 대한 평가에 관하여 상세한 내용을 포함한다. 확인 및 검증의 최종 결과는 주제어반과 원격정지반이 적합한 인간공학기준을 적용하여 설계되었으며, 운전원들이 발전소를 안전하고 효율적으로 운전할 수 있고, 또한 표준 심사지침에 기술된 규제요건들이 만족됨을 입증하고 있다.

설계과정에 적절한 인간공학적 평가를 거친 설계는 발전소의 개선과 운전 효율성에 있어서 추후 변경사항을 최소화 할 수 있고, 발전소 수명 연장과 예산 측면에 있어서도 더욱 중요한 의미가 있다. 이 보고서의 개요에서 언급한 것처럼 주제어반 제작이전 단계에서 주제어반설계에 적절한 고려를 함으로써 이러한 노력을 성실히 수행하지 않은 원자력발전소와 비교해 볼 때 개선에 대한 비용과 시간을 감소시켜주는 결과를 가져온다.

18.1.4.13 주제어반과 원격정지반 재구성

직무분석과 확인 및 검증 결과를 토대로 주제어반과 원격정지반 상의 제어기와 지시기의 배열이 수정되었다. 고려된 몇가지 관점은 계측기기의 개선, 추가, 삭제 및 재배치 그리

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

고 운전원 선호도 등이 있다. 제어반 모형의 재배치 결과를 기초로 초기의 배열도는 최종 배열도로 수정되고 최종배열도는 그림 18.2-7 부터 그림 18.2-18까지 그리고 그림 18.4-2에 나타나 있다.

18.1.4.14 기타 중요한 지역의 기능적 배치검토

책임기술자와 설계자들은 주제어실 뿐만 아니라 운전원과 관련있는 중요한 지역(컴퓨터실, 원격정지실, 비상대응설비)에 대해서도 기능적으로 평면 배치도를 개발하였다. 이들 지역들도 인간공학적 설계개념이 적용되어야 한다. 이를 위해 NUREG-0700, EPRI NP-3659, 그리고 울진 5,6호기 인간공학지침서등이 사용 되었다. 발전소 위치도와 주제어실 배치도, 컴퓨터실과 비상기술지원실 및 원격정지실은 그림 18.1-2, 18.2-23, 18.4-24 및 18.4-1에 나타나 있다. 원격정지실내의 원격정지반과 비상대응 설비에 대한 상세 설계내용은 다음과 같다.

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

그림 18.4-2 1,2면에 2개의 제어반에 대한 배치도가 나타나 있다. 원격정지반의 목적은 주제어실이 화재로 인하여 거주가 불가능한 경우에 발전소를 고온정지 상태로 만드는데 있다. 원격정지반은 10 CFR 50 부록 A의 일반설계기준(GDC) 4항과 19항, 그리고 화재방호와 관련하여 부록 A의 일반설계기준(GDC) 3항과 NUREG-0800(9.5.1절 화재방호프로그램)에 따라 운전할 수 있어야 한다.

원격정지반으로 이동하기 전에 운전원은 먼저 주제어반에서 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 비정상 절차서를 이용하여 저온정지 상태로 될 때까지 발전소를 안전 상태로 유지하는 것이 포함되어 있으며, 원격정지반 A 또는 B 계열의 계측제어 설비는 그 기능을 수행할 수 있도록 되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

절환스위치들은 제어반 기능을 조작가능 상태로 만드는데 사용된다. 원격정지반쪽으로 부주의하게 제어가 전환을 하는 것에 대해서는 주제어반 운전원에게 정보를 제공하도록 되어있다.

다음과 같은 기능들이 발전소 운전중에 수행된다.

- 1) 원격정지반은 정상적인 발전소 운전중에는 운전되지 않는다. 원격정지반 운전은 주제어실에서 철수하는 상황하에서 발전소를 고온 정지 상태로 유지하기 위해 필요한 기기들로 구성되어 있다.
- 2) 원격정지반은 발전소 기동과 통상적인 정지중에는 사용되지 않는다. 원격정지반의 기동과 정지는 보조 전기 기기실과 원격정지실에 위치한 절환 스위치를 사용하여 행한다. 원격정지반의 일부 지시기는 계속적으로 동작해야 하고 제어 전환이 요구되지 않는다. 그러나, 원격정지반의 제어기들은 주제어실 철수 상황하에서만 사용되고 주제어실에 다시 들어갈 수 있게 되면 사용되지 않는다.
- 3) 원격정지반은 주제어실을 철수해야 하는 비정상적인 발전소 상황하에서 원자로 정지 후 사용된다. 발전소가 운전중일 때는 A 계열 또는 B 계열중 어느 것이라도 운전 준비상태에 있게 된다.
- 4) 고온정지 상태에 도달하기 위해 필요한 다음의 계통 기능들이 원격정지반에 포함되어 있다. 보조급수 제어는 증기 발생기의 열을 내리기 위하여 필요하고 또한 증기 방출 제어는 가압기 압력과 잔열제어 그리고 주증기와 원자로 냉각재 계통 체적제어에 필요한 기능이다.
- 5) 추가적인 기능으로서 원격정지반에서의 상태지시가 필요하다. 이들 기능에는 원자로 냉각재온도, 원자로 출력, 가압기 상태, 증기발생기 상태, 1차측 원자로 냉각재 양, 응축수 양, 그리고 보조급수 상태 지시등이 포함된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

원자로 트립상태 지시 및 절환 스위치 상태 즉, 발전소 제어를 주제어실에서 하느냐 아니면 원격정지반에서 하느냐 하는 것에 대한 표시가 원격정지반상에 나타난다.

원격정지반에는 기계적인 설비(펌프, 밸브등)는 없다. 표 18.4-1에 원격정지제어반 기능을 수행하기 위해 필요한 계측제어 설비들이 나타나 있다.

나. 비상대응설비에는 비상기술지원실, 비상운영지원실, 그리고 비상대책실이 있고, 비상대응계통에는 비상대응설비, 안전변수지시계통 및 사고후감시계통의 5개 부분으로 구성된다. 비상기술지원실은 발전소 사고상황중에 발전소 운전요원들을 지휘하고 기술적인 지원을 한다. 비상운영지원실은 운전지원 요원들이 모여서 현장업무를 지원하기 위한 발전소내의 집합장소로서 출입통제건물 120ft에 위치하고 있다. 비상대책실은 발전소 밖에 있는 지원설비로서 발전소 외곽 보호수단을 결정하기 위해 필요한 발전소 정보를 감시하도록 되어 있다. 안전변수지시계통은 NSSS 공급자에 의해 공급되는 컴퓨터에 의해 제어되는 계통으로 제어실 요원들이 사고후 상태를 감시하고 발전소 상황판단을 지원하는 설비이다. 그러나 안전변수지시계통이 단독으로 사고후감시계통을 구성하진 않는다. 사고후감시계통은 사고후 상황에서 신뢰할 만한 주요 발전소 변수들을 제어실 운전원들에게 제공하도록 설계된 감시계통중 하나이며 안전변수지시계통에 관한 자세한 내용과 그 계통이 요구하는 사항은 18.3절에 나타나 있다. 울진 5,6호기의 비상대응설비와 사고후감시계통은 설비와 계통들(비상기술지원실, 비상운영지원실, 비상대책실, 사고후감시계통, 그리고 안전변수지시계통)이 복합된 형태로 구성되어 있다.

1

다음의 기능들이 발전소 운전중에 수행된다.

- 1) 비상대응계통은 정상적인 발전소 기동기간 동안이나 고온정지 또는 상온정지기간 동안에는 사용되지 않는다. 비상대응설비 그 자체로는 기동이나 정지시 필요하지는 않다. 안전변수지시계통과 다른 계통 또는 통신 설비

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

같은 비상대응설비에 사용된 설비들은 발전소 설계 수명기간 동안 어느때
라도 사용할 수 있어야 한다. 안전변수지시계통과 사고후감시계통은 항상
운전가능 해야 하고 서로 연결(On-Line)상태에 있어야 한다. 비상대응설비
실에는 사업자에 의해 결정된 기준에 준하여 관련 담당자들이 상주하는데,
비상기술지원실에 상주직원이 없을 때는 비상기술지원실 공조설비의 작동은
필요하지 않다.

1

- 2) 비상대응설비는 발전소의 어떠한 상황에서도 운전가능 해야 하나 발전소 정
상 운전중에는 사고후감시계통과 안전변수지시계통을 제외하곤 사용되지 않
는다. 비상대응설비의 정상적인 운전은 과도적인 또는 사고후 발전소 상태
에서 사용된다.
- 3) 과도적인 발전소 운전 동안에 비상대응설비는 운영될 수 있어야 하고 그 설
비들은 사업주에 의해 결정된 필요한 직원들이 모두 상주하고 있어야 한다.
- 4) 비상기술지원실은 직접적인 발전소 제어기능은 없다. 비상기술지원실 기능
은 비상시 발전소를 관리하고 운전요원에게 기술적인 지원을 제공한다. 또
한, 주제어실 출입을 줄이기 위해 주제어실로부터 행하여지는 일상적인 직
무와 통신업무를 수행한다. 비상기술지원실은 비상대책실이 그 기능을 수
행할 때까지 운영된다. 비상기술지원실 운영과 관련된 기능은 사고전과 사
고중에 획득한 자료를 분석하는 것과 비상운영지원실, 비상대책실, 주제어실
및 원자력안전위원회간의 교신을 포함한다.
- 5) 비상운영지원실은 직접적인 발전소 제어 기능은 없다. 비상운영지원실 기능
은, 발전소내에 위치하여 비상기술지원실과 주제어실로부터 격리되어 비상시에
발전소 정비 지원을 수행하는 곳이다. 비상운영지원실은 주제어실, 비상기술
지원실, 비상대책실, 그리고 발전소외 간에 신뢰할 만한 음성통신을 할 수 있어
야 한다.
- 6) 비상대책실은 직접적인 발전소 제어기능은 없고 발전소 요원들을 통제하여

134

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

주위 환경상태를 적절하게 감시하고, 비상사태시 필요한 발전소외의 임무를 수행하기 위해 발전소 기상 상태와 방사능 그리고 발전소 계통 자료를 평가한다. 상기사항이 수행 가능토록 하는 활동에는 비상상태를 분석하는데 필요한 자료를 수집, 보관, 그리고 지시하는 것이 포함된다. 행정적인 기능에는 정보교환과 비상기술지원실, 주제어실, 원자력안전위원회 및 지방기관과 134의 통신 등이 포함된다.

- 7) 안전변수지시계통과 사고후감시계통은 발전소 제어기능이 없다. 안전변수 1지시계통의 기능은 주제어실 근무자가 정상운전 및 사고중 또는 그 후의 발전소 상태를 판단하는 것을 지원한다. 안전변수지시계통의 제어는 운전원의 키보드 입력에 의해 행하여진다. 사고후감시계통의 기능은 규제지침서 11.97에 기술된 변수에 대하여 주제어실에서의 감시기능을 제공한다. 이 변수들은 사고에 대한 영향을 극소화시키는데 필요한 것이다.

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

- 1) 비상기술지원실은 주제어실 근무자와 필요한 의사 소통을 원활히 하기 위하여 주제어실 가까이에 있는 출입통제건물에 위치하며, 25명이 근무할 수 있는 1적절한 공간을 갖고 있어야 한다.

자료계통기기(안전변수지시계통의 표시기, 키보드 및 하드카피 기기를 포함) 1는 일반 전화, 사업자에 의해 필요하다고 인정된 직통전화 그리고 주제어실 및 다른 비상지원실과의 통신을 유지하기 위해 사업자에 의해 요구된 다른 통신 장비들과 함께 설치되어 있다. 또한, 비상대책실에 포함된 계측제어설비는 비상기술지원실에도 설치되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 2) 비상운영지원실에는 오직 통신장비만이 제공되는데 이 장비는 비상상태중에 비상기술지원실, 주제어실, 비상대책실 그리고 필요한 발전소 외부와의 신뢰할만한 음성 통신을 수행하기에 충분하다. | 1
- 3) 비상대책실은 사업주에 의해 선정된 요원이 근무할 만한 정도의 충분한 작업공간이 확보되어 있다. 추가로 발전소 기록과 최신 절차서를 보관할 공간이 준비되어 있다. 비상대책실의 설비는 CRT, 키보드, 복사기, 그리고 안전변수지시계통같은 발전소계통을 감시하는데 필요한 하드웨어로 이루어진다. 표시반과 화일 같은 설비는 자료보관 및 검색용으로 제공된다. 또한 방사능, 환경 및 기상자료변수(규제지침서 1.97에 정의되어 있음), NUREG-0737, Supplement 1과 NUREG-0718 관련 변수 그리고 규제지침서 1.23(Safety Guide 23)에 언급된 기상변수를 표시할 수 있는 계측 설비들도 포함된다. 이들 기록자료는 사고전 최소 2시간 그리고 사고후 12시간 동안 이용 가능해야 한다. 이들 자료는 컴퓨터, 하드카피 또는 사업자에 의해 승인된 다른 방법을 통해서 이용할 수 있다. | 1
- 4) 안전변수지시계통에 관련된 핵증기공급계통 계측설비는 핵증기공급계통 관련문서에 언급되어 있다. 안전변수지시계통은 핵증기공급계통 공급자에 의해 설계되었다. 사고후감시계통 계측설비에는 규제지침서 1.97에 언급된 변수를 포함한다. | 1

18.1.4.15 설계 및 구매서류 검토

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

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

검토된 문서들은 다음과 같고 인간공학 설계원칙에 따라 필요시 변경되었다.

- 가. 배관 및 계장도
- 나. 제어계측도면(C&ID)
- 다. 제어논리도(CLD)
- 라. 주제어반과 원격정지반의 배열도
- 마. 경보창 배열도
- 바. CRT화면 설계
- 사. 계통설계기준
- 아. 계통기능설명서
- 자. 기능분석요약서
- 차. 구매사양서

18.1.4.16 공급자 설계의 인간공학적 검토

인간-기계 연계를 수반하는 공급자 도면 및 문서는 인간공학 그룹에 의해 지속적으로 검토가 수행되었다. 주제어반 하드웨어와 여러 공급자간에 일관성을 유지토록 보장하고, 계약서가 허용하는 범위내에서 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.

가. 핵증기공급계통 공급자 - 문서 및 도면

- 1) 배관 및 계장도
- 2) 계측채널블럭도(MCBD)
- 3) 기능적제어논리도(FCLD)
- 4) 계통설명서

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 5) 연계요건
- 6) 설계사양서, 그리고
- 7) 인간공학적 검토가 요구되는 기타문서 및 도면

나. 터빈/발전기 공급자 - 문서 및 도면

- 1) 터빈/발전기 사용설명서
- 2) 감시용계기 사용설명서
- 3) 디지털제어감시(MARK-V) 관련 문서 및 도면, 그리고
- 4) 인간공학적 검토가 요구되는 기타 문서 및 도면

다. BOP 공급자 - 문서 및 도면

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

18.1.4.17 발전소전산기계통 설계 검토

공급자에 의해 공급되는 모든 컴퓨터의 하드웨어 및 소프트웨어(SPDS 포함)는 적절한 시기에 검토되었으며, CRT 하드웨어 및 배치는 효과적인 사용과 만족할 만한 인간공학 적용을 입증하기 위해 분석되었다. 키보드, 전산실 배치 및 기타 컴퓨터 설비는 주제어 반 설계에 반영되도록 검토되었다. 발전소감시계통 및 안전변수지시계통과 관련된 추가 내용은 18.1.4.6절과 18.1.4.14절에 각각 기술되어 있다.

1
1

18.1.4.18 비상대응설비 설계검토

적절한 시기에 비상기술지원실과 비상운영지원실 설계에 대해 인간공학적 측면의 검토가

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

이루어 졌으며, 그 목적은 설비들이 적절한 곳에 위치하고, 배치되며, 그리고 요구된 정보를 포함하고 있음을 입증하는데 있다. 감시, 문서, 평면도, 그리고 주위환경과 같은 요인들이 검토시 고려되었으며, 비상대응설비와 관련한 세부 내용들이 18.1.4.14절에 기술되어 있다.

18.1.4.19 통신설비계통 설계검토

인간공학 그룹은 확성설비계통, 음성전화설비계통, 비상방재방송설비계통, 방송설비계통, 운전용전화설비계통, 국선전화계통, 시각설비계통, 비상대응통신계통, 경비실전화계통 등과 같은 전반적인 통신설비계통 설계를 지원하였다. 인간공학 그룹의 지원목적은 이러한 계통이 발전소 모든 상황하에서 운전요구사항을 만족시키고, 모든 운전시나리오에 대해 발전소 통신설비계통이 편리하게 사용될 수 있음을 입증하는 것이다.

발전소내외의 통신설비계통을 설계하고 특성화하는데 사용된 기준은 다음과 같다.

가. 발전소 정상운전 동안에 발전소 통신설비계통의 기능은 통신장비실에 집중화되어 있다. 이 계통은 발전소내외의 신뢰성 있는 통신이 되도록 설계되었다. 통신설비계통은 공중전화 계통과도 연계되어 있으며 다음과 같이 통신설비계통이 정상적으로 이용되어야 한다.

- 1) 확성설비계통은 서로 독립적이며 각 계통은 병렬 운전이 가능하도록 되어 있다. 이 계통은 발전소 곳곳에 설치되어 있는 송수신국과 확성 장치로 구성되어 있다. 소내호출설비는 주요 기기근처의 운전원 조작반이나 계단 근처에 설치되어 있다. 송수신장치는 그 자체에 증폭기와 음량조절기가 있으며 각 장치는 호출능력이 있는 하나 또는 두개의 채널과 두개소 또는 그 이상의 지역사이에 동시에 쌍방향 음성 통신을 할 수 있는 다섯 개의 채널을 보유한다. 높은 소음이 있는 지역에는 전화 박스가 설치되며, 확성설비는 비상방재방송설비계통의 보조용으로도 사용된다.
- 2) 음성전화설비계통은 계기와 제어회로의 교정 및 시험용으로 발전소 곳곳에 설

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

치된 음성출력책으로 구성되어 있다. 각 호기의 음성 출력장치계통은 서로 독립되어 있으며, 동시에 쌍방향 통신이 가능하고 전송함과 연장코드가 있는 휴대용 헤드폰, 잭, 타지역과 연결할 수 있는 스위치함, 그리고 휴대용 다중채널 장비로 구성되어 있다. 각 호기는 8개구역으로 나누어져 있고 각 구역 별로 음성 출력 장치계통은 세개의 채널을 갖고 있으며, 구역들은 주제어실내에 있는 스위치함을 통하여 연결될 수 있다. 음성출력책은

설치되어 있다.

에는 별도의 음성전화설비가 설치된다.

- 3) 비상방재방송설비계통은 발전소 전지역에 경보음설비로 구성된다. 경보음설비와 음성발전기는 대피용 스위치반에서 수동으로 작동된다. 비상대책실과 비상기술지원실에서 대피경보계통을 제어할 수 있는 능력을 갖고 있다.
- 4) 방송설비(PA) 계통은 울진 5,6호기용으로 독립적인 계통을 구성하고 있고, 각 호기는 지역경보/확성설비능력을 제공하는 영역이 8개의 구역으로 나누어져 있으며, 동시방송(all call operation)을 위해 계통을 통괄할 수 있다. 다중음 발생기에 의해 발생하는 다섯가지 유형의 경보신호가 있으며 발생기는 비상방재방송설비계통을 위해 소음이 큰 지역에서는 시각적 경보와 함께 청각적 경보를 제공한다. 확성기는 설치되어 있다. 각 확성기의 음량조절은 필요한 지역에서 국부적으로 이루어지며, 경보음설비와 음성발전기는 대피용 스위치반에서 수동으로 작동된다.
- 5) 운전용전화설비계통은 발전소 여러지역에 동시 쌍방향 통신을 제공하는 확성설비계통의 후비계통으로서 그 기능을 갖고있다. 울진 5,6호기엔 독립적인 운전용전화계통이 있는데 각 운전용전화계통은 전자식 사설 교환장치(EPABX), 다중 주파수 신호(MFC)전화기, 확성기, 그리고 신호결합기(높은 소음지역) 등으로 구성되어 있다. 전자식 사설교환장치는 일괄호출능력과 직통전화 특성을 갖추고 있어야 한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

신호결합기는 가청주파수를 발생하는 전화기 근처에 설치된 확성기에 의해 이루어진다. 확성기와 표시등은 운전원이 호출될 수 있도록 높은 소음지역에 설치되어 있고, 음향상태가 좋은 전화박스(acoustic booth)가 동지역에 설치된다. 직통전화는 [REDACTED]에 설치된다.

- 6) 국선전화계통은 주요 건물과 발전소 외부간에 편리한 통신수단을 제공한다. 전화는 운전원실, 주요 사무실, 그리고 작업장에 설치되어 있다. 계통교환 및 분배장비는 울진 3,4호기 설계와 동일하며 MFC 방식이다. 이 계통은 현 기존 설비와 연계되어 있다.
 - 7) 시각설비계통은 각 호기별로 하나의 모(master)시계와 약 스물다섯 개의 자(slave) 시계로 구성되며 자시계는 현장 곳곳에 설치되어 있다. 각 호기 시각설비계통은 서로 독립되어 있으며, 모시계는 자시계를 감시하고 제어한다. 자시계는 가능한 벽에 설치되며, 계측설비용 랙, 주요 제어반, 그리고 현장 운전원실에 설치되어 있다.
 - 8) 비상대응통신계통은 [REDACTED] 포함한 발전소내 외의 비상설비 사이에 직통전화회선을 제공한다. 이 계통은 울진 5,6호기 직통전화 사설교환기와 독립적 회선을 사용하며, 전화와 FAX 및 복사기를 포함한다.
 - 9) 경비실 전화계통은 경비초소 사이에 쌍방향 동시 통신이 되도록 각 경비 초소에 전화기가 제공되어 있다. 전체호출, 일괄호출과 개별호출을 할 수 있는 기능이 제공되며, 계통은 전용 사설교환설비와 관련 전화기로 구성되어 있다.
- 나. 발전소 비정상 및 사고운전동안에 통신계통은 중요한 발전소 지역과 주제어실 및 발전소로부터 멀리 떨어진 지역에 신뢰성있고 효과적인 통신이 되도록 설계되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18.1.4.20 경보계통 설계검토

주제어실 경보계통의 설계 및 이행에 인간공학이 고려되었다. 인간공학지침서는 색깔코딩, 형식, 문자, 경보순서, 청각경보기 특성과 경보계통의 기타사항을 기술하고 있다. 제작자 설계와 평가단계 동안에 공급자 설계도면 및 문서에 대해서 광범위하게 인간공학적 측면이 고려되었다.

이 장에서 울진 5,6호기 경보계통의 기능적인 측면에 대해서 설명하였다. 주제어실의 경보계통은 운전원 주의를 요하는 기기의 상태변화와 중요한 발전소 변수들이 비정상적인 상태에 대해 시각적이고 청각적인 신호에 의하여 운전원이 경계심을 갖도록 하기 위해 설계된다. 운전원이 아무런 행동을 취하지 않아도 되는 발전소 상태와 즉각적인 운전원 인지가 불필요한 상태에서는 경보가 발생되지 않는다. 경보계통은 직접적인 공정제어나 보호기능은 없으나 비정상 상태가 발생했을 때 운전원이 정확한 조치를 취할 수 있도록 운전원에게 관련정보를 제공하는데 사용된다.

경보계통은 NSSS 및 Non-NSSS에서 입력된 경보를 처리한다. 경보창 배열, 새김, 색깔코딩, 명판, 그리고 경보반 표시는 인간공학요건을 따른다. 어떤 경우에는 개별적인 경보 지시의 손실없이 경보창 수를 줄이기 위해 다수의 경보가 다중 입력회로를 사용하여 한 개의 창에 지시되기도 한다. 이런 경우에 관련 입력은 공통표기(예로서 “탱크 고수위”와 “탱크 고-고수위”)로 하나의 경보창에 나타낸다. 한가지 형태의 공통적인 문제를 갖는 다중입력은 또한 병합될 수 있다. 예를 들어 “고온도” 경보를 위한 여러개의 온도감지기 또는 펌프 트립(펌프모터 전류, 회전수, 토출유량)에 대한 다양한 경보가 하나의 창에 표시될 수 있다. 또 다른 경우에는 유용한 정보상실이 없다면 현장 접점을 병렬로 하여 하나의 경보창에 나타낼 수 있다. 제어실 운전원에 의해 제어실내에서의 조치가 필요한 다중입력 경보가 사용될 때 제어실 또는 기기실내에 다른 설비가 요구되며 그 장치들은 특정 경보를 결정하는데 이용할 수 있어야 한다.

선택된 경보신호는 경보기로부터 컴퓨터로 재 전송된다. 컴퓨터에서의 경보신호는 경보기록, CRT표시 그리고 개별 입력경보표시에 사용된다. 경보 회로는 실제로 비정상 상태

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

가 아닌데 경보가 발생하는 오동작을 최소화하도록 설계되었다. 경보는 계통 또는 기기 고장과 관련 없이 계통 및 기기 상태만을 표시하기 위해서는 사용되지 않는다.

주제어실 경보계통에서 정상상태의 입력전원은 비1E급 120V 교류모선, 예비입력전원은 비1E급 125V 직류계통으로부터 공급된다. 정상 전원상실시 예비전원으로 전환이 자동적으로 그리고 동요없이 이루어지고 교류전원으로 복귀시에도 정상 전원으로 전환은 자동적이고 동요없이 이루어진다.

발전소경보계통은 발전소의 운전모드에 따른 별도의 특별 요건이 없고 발전소 운전의 모든 모드에서 적절하게 운전되고 작동되어야 한다. 경보창들(개별 창들)은 운전원에게 중요 경보라는 것을 알려주고 제어실 운전성을 향상시키는 우선 순위를 적용하기 위해 각 경보창에 색깔이 표시되었다. 우선순위와 색깔 표시는 표 18.1-3에 나타나 있다. 경보기 경보와 관련한 자세한 내용이 표 18.1-4와 표 18.1-5에 기술되어 있으며 경보계통의 정상 경보와 최초 경보 순서에 대해서도 기술되어 있다.

발전소경보계통은 주제어반에 설치되어있는 경보반, 청각장치, 푸쉬버튼 제어함 그리고 보조전기 기기실에 위치한 논리제어 장치와 입력 캐비넷으로 구성되어 있다. 주제어반에 설치된 경보기 제어용 푸쉬버튼은 정상 및 최초 경보용으로 경보음 멈춤(Silence), 인지(Acknowledge), 복귀(Reset) 그리고 시험(Test) 푸쉬버튼을 포함한다. 경보음은 운전원이 경보가 발생하는 위치를 구별할 수 있도록 진폭과 주파수를 조절하는 기계적 구조로 되어있다. 경보코딩은 인간공학 요건을 만족한다.

CRT 경보화면은 시스템의 통신상태 이상이나 각 시스템의 동작상태 이상등과 같은 중요한 시스템 정보는 사용자가 쉽게 조회할 수 있도록 설계하였다. 즉, 시스템의 상태정보를 어느 화면에서나 조회할 수 있고 조회화면으로 손쉽게 빨리 이동할 수 있는 기능을 가지고 있다.

화면메뉴의 경우 사용자가 시스템을 쉽게 조작할 수 있도록 표시하고 메뉴를 구별하지 못하는 경우가 없도록 하였다. 메뉴는 하위단계를 너무 세분화하여 사용자가 하나의 기능을 실행하기 위해 모든 메뉴를 열어보아야 하는 일이 없도록 단순하며 이용이 쉽도록 설계되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

CRT 경보화면은 유사한 기능들을 하나의 메뉴로 묶어 메뉴관리를 하고 각 메뉴별 화면 구성은 비슷하게 설계하여 사용자가 최대한 쉽게 사용할 수 있도록 구성하였다.

18.1.4.21 주제어반 제작검토

주제어반은 설치현장으로 이관되기 이전에 구매사양서에 언급되어있는 요건을 만족하고 있음을 입증하기 위해 검수를 받아야 한다. 치수, 색깔, 모양, 위치 그리고 구조물같은 항목들이 확인의 대상이 된다. 추가로 구성품 목록, 배치도면, 계기사항과 확인과정에 도움이 되는 기타 문서들과 제어반상의 계기 및 제어기들이 비교된다.

18.1.4.22 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.

18.1.4.23 최종 점검표 작성

제어실 실사를 통해 NUREG-0700, 제 6장에 기술된 인간공학지침서와 주제어실 및 원격 정지반 설계를 체계적으로 비교한다. 제어실내의 특정 설계에 대한 직접적인 관찰 및 계측이 필요하다. 제어실 실사의 목적은 특정 계통이나 직무요건에 관계없이 만족할 만한

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

인간공학지침을 따르지 않는 계기, 기기, 배치 및 주위환경의 특성등을 확인하는 것이다. 이것은 기기설계 관점에서의 결합사항을 식별하는 것이다. 제어실 실사에서 확인된 안전상 주요사항은 기록되고, 운전원과 발전소 성능에 미치는 영향 및 주제어실내에서의 업무수행상 필요성을 평가하는 관점에서 검토된다. 점검표는 완벽한 실사가 보증되도록 참고자료인 NUREG-0700을 사용하여 작성된다. 실사기간 동안에는 작업공간 설계, 경보기, 제어기, 지시기, 명판, 제어반 배치, 그리고 제어기-지시기 조합 등의 항목이 검토된다.

18.1.4.24 문서작성

모든 설계작업 단계에서 주제어실 및 원격정지반 설계에 인간공학이 고려되었음을 증명하기 위해 적절한 문서화가 필요하며 추후 검토 또는 외부 감사시에 쉽게 이해될 수 있고 그 목적과 내용이 입증 가능토록 작성되었다. 문서는 다음사항을 포함하고 있지만 전체를 나타내는 것은 아니다.

- 가. 18.1.4.3절과 18.2절에 언급된 인간공학지침서에 대한 설명
- 나. 18.1.4.1절, 18.1.4.2절 및 18.1.4.9절에 언급된 인간공학, 직무분석, 검증 및 확인 계획
- 다. 18.1.4.7절, 18.1.4.9절 및 18.1.4.11절에 언급되고, 방법, 모형 제작 및 결과를 기술한 직무분석 요약 보고서
- 라. 18.1.4.5절과 18.1.4.6절에 언급된 계통기능 설명서
- 마. 18.1.4.4절과 18.1.4.7절, 18.1.4.8절과 18.1.4.13절에 언급된 주제어반과 원격정지반 배치도
- 바. 18.1.4.10절 18.1.4.12절, 18.1.4.15절과 18.1.4.21절에 언급된 구성품 목록 (또는 자재사양) 및 제어논리도
- 사. 18.1.4.5절과 18.1.4.14절, 그리고 18.1.4.18절에 언급된 제어실 및 기타 주요지역의 기능적 배치도
- 아. 18.1.4.15절에 언급된 설계 및 구매문서
- 자. 18.1.4.16절에 언급된 공급자 설계문서
- 차. 18.1.4.12절에 언급된 주제어실과 원격정지반에 대한 확인 및 검증보고서
- 카. 18.1.4.17절, 18.1.4.19절 및 18.3절에 언급된 통신 및 컴퓨터 계통설계문서

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

타. 18.1.4.20절에 언급된 경보창 설계도

18.1.4.25 사업조직 구성

그림 18.1-3에는 사업책임자부터 여러 계측제어 그룹과 담당자까지 울진 5,6호기 종합설계(A/E) 조직이 구성되어 있다. 인간공학 전문가는 계측제어 부서내의 인간공학(HF) 그룹에 속해있다. 인간공학(HF) 그룹의 기능은 모든 인간공학 관련활동에 대해 선도적 역할을 하고 업무 조정을 한다.

종합설계조직내의 인간공학그룹은 사업초기단계부터 계측제어 부서내에 존재하며 사업수행 기간 동안에 설계 담당자 1명, 인간공학 담당자 1명, 그리고 팀장 1명으로 구성되었다. 소요 인원은 개발과정에서 업무 형태와 수행시기에 따라 바뀌어진다.

계측제어 부서내에는 네개 그룹(세개의 계통 그룹과 하나의 인간공학 그룹)이 있는데 세개의 계통 그룹은 울진 5,6호기 사업에서 요구되는 계측제어에 대한 설계를 수행하였다. 이 작업은 공급자 입찰평가 및 기술검토 업무 뿐만아니라 여러종류의 문서, 도면 그리고 계산서의 작성을 요구한다. 인간공학 그룹은 다음의 항목들을 작성, 발행 및 개정한다.

가. 문서

- 1) 계통설계기준, 계통기능설명서, 운영기술지침서, 인간공학지침서, 발전소배치 변경요청(GACR : 주제어실과 원격정지실),
- 2) 계기 목록(최초입력에 한함),
- 3) 계기 제원 표 (data sheet),
- 4) 주제어반과 원격정지반 구성품 목록,
- 5) 주제어반 경보목록,
- 6) 기기 목록(주제어실, 원격정지실),
- 7) 예비안전분석보고서와 최종안전분석보고서(제 18장에 한함),
- 8) 확인 및 검증 보고서

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

나. 도면

- 1) 주제어실과 방사성폐기물 제어실 배치도
- 2) 주제어반 배치도
- 3) 현장제어반(LCP) 배치도
- 4) 공조설비 제어반(HVAC) 배치도
- 5) 주제어반 구성품 스케치
- 6) 주제어반 및 현장 제어반 경보창 배치도

이 그룹은 또한 기술입찰 평가와 관련 사양서에 의한 공급자 제출서류를 검토하고 기술적인 문제에 관한 부서내외의 검토 의견을 조정하며 주제어실 모형을 준비하고 보완하였다.

인간공학팀이 한기(A/E) 조직내에 존재하여 그 기능을 촉진시키는 것은 매우 중요하다. 인간공학 그룹의 결과물과 타 계측제어 그룹과의 연계분석과 검토는 인간공학 관점에서 볼 때 원자력발전소 개발의 계획, 설계 및 평가 등 전과정에 걸쳐서 한수원과 한기(A/E) 양쪽을 지원한다. 인간공학을 개발과정의 보다 많은 부분에 참여시키고 설계과정 초기부터 적용시킴으로써 발전소의 운전효율성과 이용을 및 안정성을 증진시키는데 요구되는 개발 시간과 비용을 줄이는 결과를 가져올 수 있다. 아울러, 이러한 결과는 발전소 관리자에게 보다 많은 신뢰도를 제공하여 조직내에서 인간공학의 위상과 진행중인 다른 업무와의 연계는 사업에 긍정적인 영향을 미친다.

18.1.5 참고문헌

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

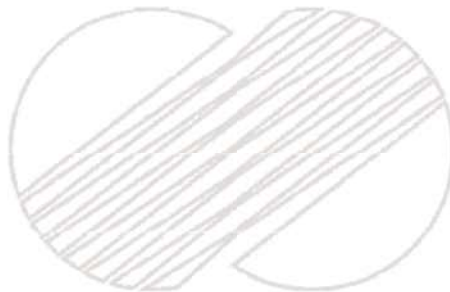
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

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," 1992.
8. KOPEC, "System Functional Description for YGN 5&6," Volumes I, II, III, Rev. 1
9. KOPEC/90-P-001, 002, 003, "Control Room Design Review Final Report for Kori 1, Kori 2, Kori 3&4, and Yonggwang 1&2," Jun. 1990.
10. KOPEC/9-750-J-462, "Main Control Room Task Analysis Summary Report for UCN 3&4," Oct. 1994.,
11. KOPEC/9-750-J462-001, "UCN 3&4 Verification and Validation Report for Main Control Room and Remote Shutdown Panel," May 1996.
12. KOPEC/9-750-J462, "YGN 5&6 Main Control Room Task Analysis Summary Report," October 1997.
13. KOPEC/9-750-J410 "Human Factors Engineering Guideline for UCN 5&6," Rev.1, February 1999.
14. KOPEC, "Function Analysis Summary for UCN 5&6," Volume I, Rev. 1, July 2001.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

15. KOPEC/9-751-J211, "Procurement Specification for Main Control Board and Associated Instruments for UCN 5&6," Rev. 1, April 2000.
16. KOPEC/9-750-J462-001, "UCN 5&6 2nd Task Analysis and Verification/Validation Report for Main Control Room and Remote Shutdown Panel," Rev. 0, October 1998.
17. KOPEC/9-750-J462-003, "표준원전 주제어반 색채검토 보고서," July 1999.



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 18.1-1

한국인 남자 신체 표준치 (25세 - 50세)



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 18.1-2

선행호기 인간공학 설계경험 반영현황

| 항 목 | 선행호기(울진 3,4호기) 인간공학 결함사항 | | 선행호기(영광 5,6호기) 인간공학 결함사항 | |
|-----------------|-----------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| | 직무 분석 | 확인 및 검증 | 직무 분석 | 확인 및 검증 |
| Communications | 0 | - | | |
| Annunciators | 5 | 1 | 6 | 1 |
| Controls | 8 | 2 | 1 | |
| Displays | 10 | 5 | | 2 |
| Labels and Aids | 44 | 16 | 5 | 3 |
| Computer/CRT | 1 | 1 | | |
| Panel Layout | 26 | - | 7 | 2 |
| C/D Integration | 4 | - | 1 | 2 |
| Others | 8 | 6 | 1 | 1 |
| 계 | 106 | 31 | 21 | 11 |

주) 상기의 경험사항은 울진 5,6호기 설계에 반영되었음.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 18.1-3

경보창 우선순위 및 색깔표식

| <u>우선순위</u> | <u>색 갈</u> | <u>정 의</u> |
|-----------------|------------|--|
| First Priority | Red | <ul style="list-style-type: none">- Plant shutdown (alarms that follow a reactor trip or cause plant shutdown)- Radiatioin release- Plant conditions requiring immediate operator action to prevent automatic plant shutdown, radiation release, or the need for manual shutdown- Alarms associated with actuation of engineered safety feature |
| Second Priority | Amber | <ul style="list-style-type: none">- Tech. Spec. violations which will require plant shutdown if not corrected.- Plant conditions which will, if not corrected within a reasonable time cause radiation release or plant shutdown |
| Third Priority | White | <ul style="list-style-type: none">- Plant conditions representing problems (e.g. system degradation) which affect plant operability but should not lead to plant shutdown, radiation release, or Tech. Spec. violations |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 18.1-4

경보계통 정상정보 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 ^(*) |
| Return to Normal After Acknowledge | None | Close (or Open) | Slow Flashing | Silent | On ^(*) |
| Normal | "Reset" | Close (or Open) | Off | Silent | Off |
| Normal | "Test" | Close (or Open) | Flashing | Sounding | Off |

* Single chime stroke

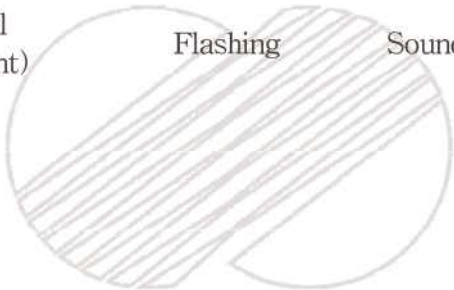
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

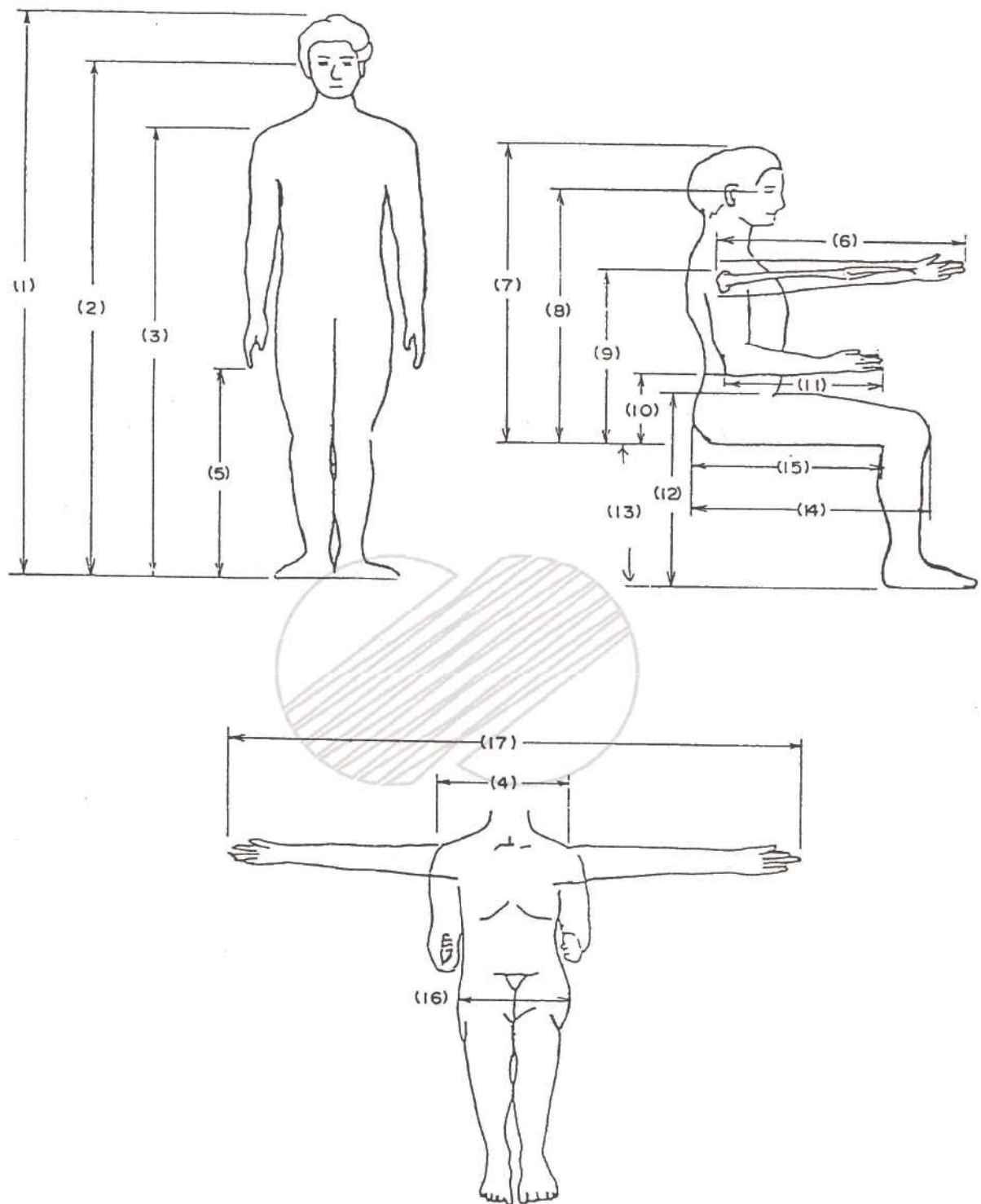
표 18.1-5

경보계통의 최초 경보창 순서도

다음의 점멸 방식을 제외하고는 최초경보창 순서도는 ISA의 F3A 순서도와 일치한다.

| <u>조건</u> | <u>현장접점</u> | <u>경보창</u> | <u>청각경보</u> | <u>회복경보</u> (Ring back) |
|-----------|---------------------------|---------------|-------------|----------------------------|
| Alarm | Abnormal (First Alarm) | Fast Flashing | Sounding | Off |
| Alarm | Abnormal (Subsequent) | Flashing | Sounding | Off |





한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

표준체위

그림 18.1-1



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

비상기술지원실 및 비상운영지원실

그림 18.1-2

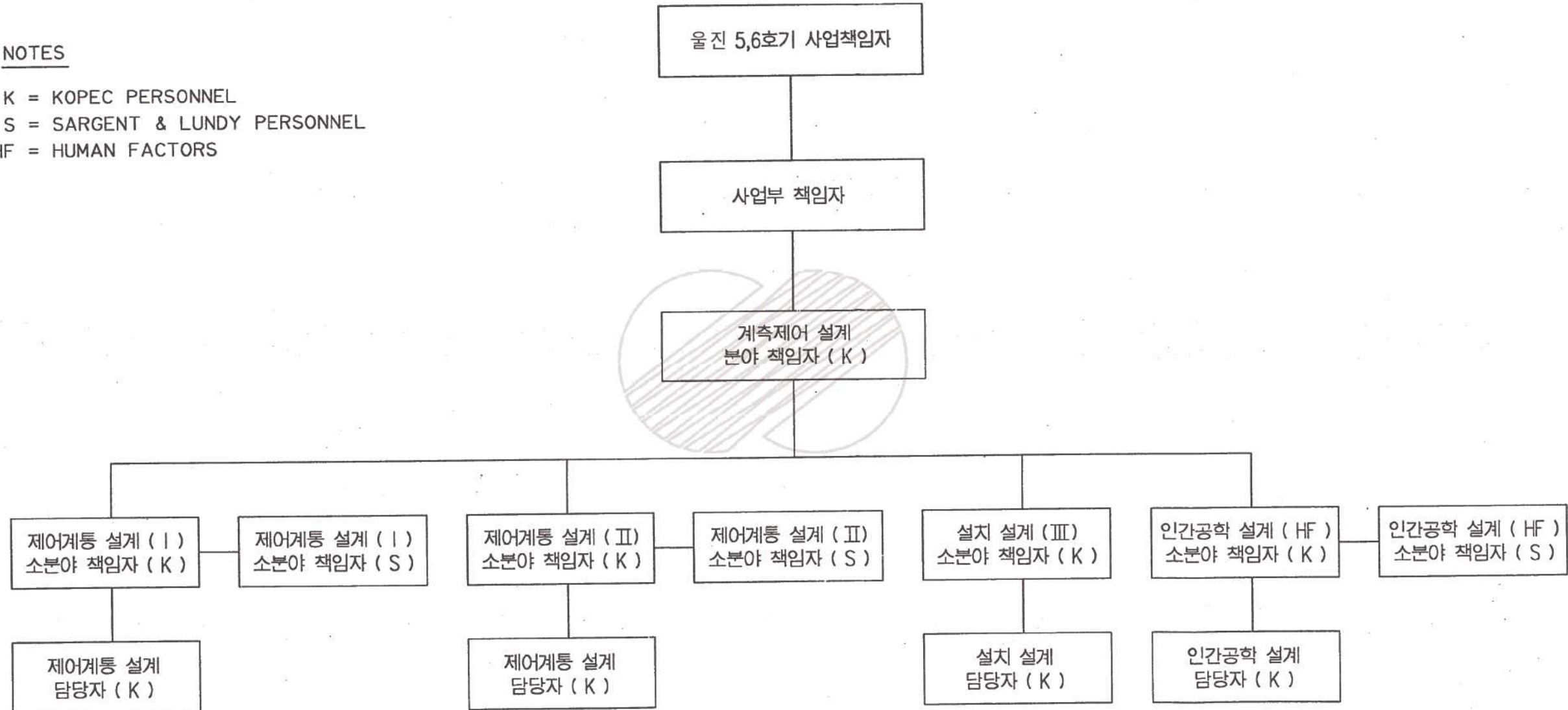
울진 원자력 5,6호기 인간공학 조직표

NOTES

K = KOPEC PERSONNEL

S = SARGENT & LUNDY PERSONNEL

HF = HUMAN FACTORS



한국수력원자력주식회사
울진 원전 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

울진 5,6호기 인간공학조직

그림 18.1-3

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18.2 주제어실 설계

울진 5,6호기 주제어실 설계는 인간공학 원리를 적용하였으며(이 원리는 18.2절 및 18.3절에 기술된 안전변수지시계통 및 원격정지반에도 적용된다), 발전소 안전운전에 적합한 인간-기계 연계(man-machine interface)를 보증함으로써 일반설계기준 19에서의 관련 요건을 만족시키고 있다.

인간공학은 운전원 측면에서 주제어실에서의 효율적이고 안전한 운전을 도모한다. 제어실 설계를 변경 할 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 고유 규칙이 포함된 인간공학 설계기준서 내용에 준한 것으로 주제어실 설계검토를 위한 완벽하고 효율적인 방법과 세분화된 운전원 직무요건을 포함하고 있다.

본 절의 주요내용은 울진 5,6호기에서 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(workspace), 환경, 제어반 설계 및 배치, 지시, 제어, 경보 및 운전성 향상 등이 기술되며 주제어실 및 관련계측기기(18.1.4.5.5절), 제어반 크기(18.1.4.4절), 기본적인 계기 형태(18.1.4.10절) 및 주제어반 배치도면(18.1.4.13절) 등에 관련된 사항은 18.1절에서 이미 기술되었다.

18.2.1 제어실 작업공간

주제어실 배치도는 그림 18.2-6에 보여준다. 주제어반은 운전원 콘솔과 발전팀장 책상 주위에 U자형의 형태를 지닌다. 2개의 운전원 콘솔은 PM06의 NSSS 제어반 부근과 발전팀장 책상 후면에 각각 위치하며, 발전팀장 책상은 PM02와 PM10사이에 위치한다. 이러한 배치는 운전원의 효율적인 이동과 직무 수행에 필요한 모든 사항을 고려한 것이다

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18.2.1.1 울진 5호기와 6호기 유사성

울진 5호기와 6호기의 주제어실은 동일하다고 볼 수 있다. 그러나 양호기에서 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. 울진 5,6호기에서의 대칭성은 주제어실 혹은 원격정지실의 어떠한 제어반에도 적용되지 않았다. 그러나 실제 물리적 배치와 배관 및 계장도의 일부에서 대칭성을 나타내는 곳에서는 인간공학 전문가에 의해 각 예외사항에 대한 타당성을 평가하여 적용하였다.

18.2.1.3 통신

주제어실은 소내 휴게실과 비상대책실을 포함한 소외 설비까지 통신이 용이하도록 충분한 통신장치를 갖추고 있으며 일반 및 비상전화, 음성출력장치, 소내호출설비를 이용하도록 되어있다. 통신계통은 편리한 곳에 설치되고, 사용하기 쉽고, 주제어실의 어느 곳에서도 운전이 지장이 없도록 정상 및 비상 운전시 필요한 모든 기능을 발휘할 수 있다. 통신기기는 방호복, 호흡마스크를 착용하거나 비상전력원을 사용하는 상태하에서 효율적인 사용이 되도록 하였다. 상세한 통신계통에 대해서는 18.1.4.19절에 기술되어 있다. | 1

소내호출설비는 통보 및 호출용의 1채널과 대화용의 5채널이 있다. 가장 높은 번호의 채널은 주제어실의 스피커로만 청취할 수 있고 송수화기에 별도의 표시가 되어 있다. 주제어실에는 최소 5세트의 소내호출설비가 설치되는데 발전팀장용 1세트, 외부인용 1세트, | 1

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

주제어반 주위에 운전원용 3세트가 설치되어 있다. 원격정지실, 전기기기실 및 전산실에는 각각 최소 1세트의 소내호출설비를 갖추고 있다. [REDACTED]

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

[REDACTED] 134
[REDACTED]. 비상기술지원실과의 통신을 위해 직통전화기 사용되며 사업자의 필요에 따라 별도의 통신장치도 포함되어 있다. 음성출력 전화기용 잭이 주제어반에 최소한 11개가 있으며, 추가로 화재감시제어반(PM 12)에도 1개가 있다. 전화기 및 다른 통신설비들은 EPRI NP-3659에서 요구하는 음성특성을 만족한다.

18.2.1.4. 거주성

제어실은 방사선 및 연기 등이 발생하는 극심한 조건하에서도 상주할 수 있음을 보장하기 위한 안전관련 공조설비와 기타 보호설비를 갖추고 있다(10 CFR 50 부록 A, GDC 19, NUREG-0737, Supplement 1, 14장 및 6.4절에 규제요건으로 명시된 주제어실 대피상황은 제외). 유해가스는 규제지침서 1.78 및 1.95에 제한치가 규정되어 있다.

18.2.1.5 접근성

주제어반의 방문객 접근은 발전팀장 승인 없이는 접근할 수 없도록 사업자가 기설정된 62 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 설치되었으며 창은 바닥에서 약 100 cm (39.4 in) 이상부터 대형 유리창이 설치되었고, 관련 적용 규격 및 기준(내진, 구조 및 방호등)에 따라 설계되었다.

주제어실 지역(주제어실, 주방, 화장실 등)의 출입은 키카드(keycard)나 유사보안설 1 비를 사용토록 되어 있다. 주제어실 출구는 잠겨진 문을 사용하고, 평상시 키카드

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

에 의해 주제어실 지역에서 나가는 것을 비상시에는 자동적으로 통과할 수 있다. 주제어실 출입구는 2인이 동시에 통과할 수 있도록 최소 122 cm (48 in) 폭으로 설계되었다.

18.2.1.6 저장공간

적절하고 접근이 용이한 지역에 필요한 자료, 도면 및 기기들의 저장 공간이 제공되었다. 현재 사용되고 있는 발전소의 모든 정상 및 비상 절차서들이 주제어실에 비치되어 있다. 비상운전절차서는 바인더로 운전원 책상 부근 또는 전용함에 비치하고 운전원에게 필요한 도면들(계통도, 제어논리도 및 제어계측도면 포함)은 A0 규격도 충분히 수용가능한 전용 도면함에 보관하며, 도면은 넘기기 쉽게 표준규격과 같은 크기의 바인더를 이용하였다. 주제어실에는 운영기술지침서, 참고 매뉴얼, 그리고 기타 자료들을 보관하기 위한 캐비닛과 책장이 전망창 주위에 위치하며 주제어실, 원격정지실 및 전산실에는 부속물이나 일반적인 운전원 사용기기, 열쇠, 안전모, 코트 및 손전등 보관을 위한 적절한 공간이 확보되었다. 1주일분의 기록계용지, 전구 및 기타 보급물품들이 비치되고 그 외의 공기주머니, 비상호흡공기마스크, 비상 의복, 소방기구 및 비상장비들이 충분하고도 즉시 사용할 수 있도록 주제어실 또는 즉각 접근할 수 있는 인접지역에 보관되어 있다. 비상장비들은 정돈된 지역에 저장되어 손쉽게 이용 가능하도록 되어 있다.

18.2.1.7 유지정비

주제어실의 판넬, 배치 및 환경은 유지정비 업무를 지원하고 운전원들의 혼란을 최소화하도록 설계되어 있다. 주제어반은 벤치보드형으로 뒷면에서 접근할 수 있으며, 문을 열고 쉽게 내부접근이 가능하고 화재 방호벽, 내진지지대 및 내부 케이블 전송로가 유지정비시 장애가 되지 않도록 하였다. 주제어반 내부에는 영구조명설비가 갖추어져 있고 주기적 유지보수시 사용될 임시 조명을 위한 콘센트가 설치되어 있으며 내부조명에 대한 상세한 사항은 주제어반 구매기술규격서에 명시되어 있다. 주제어반 지역은 여러종류의 유지정비 업무시에 접근성이 충분히 보장되도록 설계되어 있다.

18.2.2 주제어실 환경

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

주제어실 환경은 어떠한 발전소 운전 상태하에서도 운전원들에게 쾌적한 주변환경을 제공하도록 설계되어 있으며, 주제어실내에서 조절이 가능하다.

18.2.2.1 소음

주변소음은 모든 경보기 및 다른 청각장치와 분명하게 구분이 되고, 운전원들간 의사전달이 손쉽게 될 수 있도록 충분히 낮아야 한다. 주변소음은 원자로 정지가 수반되는 경우나 방문객이 있을 때 주제어반으로 둘러 싸여 있는 곳의 안쪽에서 최대 65 dB를 초과하지 않으며, 원격정지반에서도 동일하게 적용되고 경보음은 평균 주변 소음보다 10 dB 이상 높게 설계되어 있다. 소음 단위는 dB(A)를 사용한다. 주제어실 주변 소음을 제어하는 방법은 다음과 같다.

- 키크드 사용, 발전팀장 승인 및 잠겨진 문을 적절히 이용하여 각 개인의 제어실 출입을 제한.
- 주변소음 제어설비 및 음성 흡수물질 사용
- 불필요한 소내호출설비 사용을 제한.

18.2.2.2 조도

조도는 모든 지역에서 필요한 업무를 안전하고 정확한 방법으로 수행할 수 있도록 충분해야 하나 지나치게 눈부실 정도로 높지는 않아야 한다. 조도는 NUREG-0700, 조명학회 지침 및 EPRI NP-3659에 따르며 표 18.2-1에 나타나 있으며 주제어실의 주제어반 30 fc(평균조도), 운전원 책상 75 fc(평균조도)를 상시 운전조도로 설정하였다. 고정식 조명기구가 적절치 못한 지역에는 담당자가 자신의 업무를 충분히 수행할 수 있도록 보조 조명기구가 사용된다. 조도는 빛을 받는 면에서의 빛의 양으로 표시되나 휘도(또는 광도)는 단위면적의 표면으로부터 방사 혹은 반사되는 빛의 양으로 정의된다. 휘도비는 표 18.2-2에 나타나 있다. 주제어실 광원으로 적용되는 3파장 형광램프 중에서는 주광색과 주백색 형광램프를 조명광원으로 사용할 수 있으므로 주광색 형광램프를 사용하였다. 유지보수의 과정에서 광색이 다른 램프가 사용되지 않도록 주의하여야 한다. 특히, 백색 형광램프는 선명한 황색과 선명한 청색에 대한 연색성이 나빠서 주제어실에 사용하지 않는다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

반사는 표면으로부터 얼마나 많은 양의 빛이 반사되는가를 나타내는 것으로 표면의 조도에 대한 휘도의 비를 의미한다. 허용반사값은 표 18.2-3에 기술되어 있다. 비상조명은 발전소의 다른 조명계통과 독립된 설비로서 조명계통 상실시 작동되는 보조계통이다. 비상조명은 주제어실의 정상 조명계통 상실시 자동적으로 작동되며 정상조명계통 상실이 비상조명계통의 운전성을 저하시키지는 않는다. 필수조명은 정상조명 상실시에 비상통로, 기기 및 주제어실에 조명을 제공한다. 눈부심은 CRT 화면, 경보창, 후비발광지시기, 명판, 유리, 플렉시글래스(plexiglass), 플라스틱표면지시계, 도면과 자료들을 쉽게 읽을 수 있도록 충분히 낮게 설계되었으며, 다음 사항은 눈부심을 경감시키는 방법들이다.

| 2

- 가. 반사가 적은 벽체 재질, 눈부심 및 광택이 적은 바닥 재질, 천정 조명분광단 재질 및 눈부심이 적은 명판재질사용
- 나. 막대그래프 메타와 기록계는 무광택 흑색 또는 회색 테두리를 갖고 저광택 표면 재질 사용
- 다. 제어반의 저광택 도장
- 라. CRT 화면상에 조명의 직접 투시방지
- 마. 주제어실 조도를 조절하는 스위치

18.2.2.3 습도, 온도 및 환기

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

- 가. 정상 평균온도는 70°F (21°C)~77°F (25°C) 범위에서 유지된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 나. 사람머리 높이에서 바닥까지의 온도차는 6°F (3.3℃) 이내로 한다.
- 다. 상대습도는 40~60% 범위에서 유지된다.
- 라. 습도는 계절 및 기후변동에 따라 영향이 없도록 동절기에는 가습, 하절기에는 제습이 요구되도록 설계한다.
- 마. 공기조화계통 덕트는 뜨겁거나 찬 공기가 운전원에게 직접 접촉되지 않도록 한다.
- 바. 공기조화계통은 15명 근무 기준으로 1인당 최소 15 cfm (0.42 m³/min)의 공기를 제공한다.
- 사. 공기속도는 사람머리 높이에서 측정했을 때 45 ft/min (13.7 m/min)을 초과하지 않으며 사람이 느낄 정도의 통풍이 없도록 한다.

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 제어실 배치를 구축하고, 주제어실지역을 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

제어반은 25~50세 한국인 남자의 5%에서 95%까지의 체위와 인간공학적 적합성을 고려하여 설계하고 관련 체위자료는 표 18.1-1와 그림 18.1-1에 나타나 있다. 주제어반은 입

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

석 운전용으로 설계하고 제어기의 경우 5% 사용자의 기능적 접근성을 고려하여 적절한 높이에 설치되었다. 제어반은 경보부분, 수직부분 및 벤치보드(benchboard)의 3부분으로 나뉘어진다. 경보부분은 제어반 상단에 위치하고 운전원 가시성을 고려하여 수직면에서 15° 의 경사를 갖는다. 수직부분은 제어반 중간에 위치하여 표시기, 상태표시등, 디지털 지시계 및 일부 제어기가 포함되어 있다. 제어기는 운전원이 쉽게 조작할 수 있도록 하단 부분에 설치되었다. 벤치보드 부분은 제어반의 가장 낮은 부분으로 대부분의 제어기가 설치되고 운전원의 접근이 용이 하도록 수평면에서 15° 의 경사를 갖도록 설계되어 있다. 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 일직선 가시선(straight-ahead line of sight)에 상응하는 지시기 거리 및 방향

다. 판독 거리에 상응하는 지시기 표식의 크기

그림 18.2-2 및 18.2-3은 주제어반에 대한 5~95% 한국남자들의 기능적 접근성과 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 15°)내에 설치되고 가시선과 계기표면 간의 각도는 15° 이상으로 되어 있으며 수직면에 설치된 모든 제어기는 조작될 수 있다.

그림 18.2-4와 18.2-5은 운전원 콘솔에 대한 5~95% 한국남자들의 기능적 접근성(functional reach) 및 시각을 나타내고 있다. 지시기 위치는 상기 기준을 만족시키고 제어기는 5% 체위 사용자의 기능적 접근성내에 있다. 주제어반은 다음사항을 고려하여 그 크기가 결정되었으며, 그림 18.2-2와 18.2-3에 표시되어 있다.

가. 벤치보드 높이는 1000mm 이고, 입석시 무릎 높이보다 높으며 제어실 바닥에서 손가락중지 높이에다 100mm 를 더하여 높이가 결정되었다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

나. 벤치보드 각도는 []로서 인간공학기준인 []를 만족한다.

다. 깊이(수직부분의 전면에서부터 패널의 뒷부분까지)는 []를 초과하지 않는다(유지보수 편이성).

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 수직 부분에 쉽게 접근할 수 있도록 5% 체위 남자의 팔 길이나 기능적 접근성(어깨부터 손가락 끝까지)을 기준으로 하여 벤치보드 깊이를 []로 하였다.

바. 수직면 높이는 운전원이 수직부분에 설치된 가장 높은 곳의 제어기에 도달할 수 있고 설치되는 계기들의 수량 및 형태 등을 고려하여 결정하였다.

사. 경보반은 바닥에서 약 [] 높이에 설치되며 이는 NUREG-0700의 최대허용각도 []°와 5% 체위 남자의 눈 높이에 근거한다.

아. 패널높이는 주제어실에 요구되는 천장높이를 기준 하여 []로 한다. 이는 낮은 곳의 천장 높이가 운전원이 최상단 지시계를 주시하는 각도보다 []이상되어야 하는 인간공학 개념을 근거로 한 것이다.

자. 경보반 명판을 설치하기 위해 경보반 상부에 [] 공간이 확보된다.

18.2.3.1 패널의 일관성 및 표준화

운전원은 발전소를 제어하기 위해 많은 종류의 기기를 감시하고 조작해야한다. 표준화된

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

제어기와 지시기가 사용된다면 운전원 직무는 편리하게 수행될 수 있기 때문에 주제어실의 모든 판넬에 표준화된 하드웨어가 사용되었다. 판넬은 일관성 있게 배열되어 유사한 직무는 설치위치와 관계없이 같은 방법으로 수행되도록 함으로써 표준화된 절차서가 작성되고 운전원 훈련요건이 완화되는 효과를 얻는다.

18.2.3.2 지시기 및 제어기 그룹

관련되는 계기 및 제어기들은 계통 공정에 따라 그룹을 지어 배열되었다. 이들 계기는 기능성 및 운전성 향상을 도모할 수 있도록 공간을 이용하거나 계기들을 묶어서 배열하였다.

상호 관련된 지시계와 제어기는 그룹화되어 가까운 곳에 배치되었다. 예를 들어, 각 계통의 기기들은 관련 경보창 밑에 그룹화하여 배열하고, 경보기는 제어반의 가장 높은 곳에 위치하며 상태등과 발광다이오드형 디지털지시계는 그 밑에 그리고 다른 제어기와 지시계는 제어반 벤치보드 혹은 수직부분의 낮은 곳에 배치되었다. 계통제어기와 지시계는 울진 5,6호기의 다양한 계통의 공정흐름을 고려하여 배열하였다. 계기 및 제어기 사이의 공정 흐름은 주제어반상에 모형도를 이용하여 나타내었다. 단지 몇 개의 기기만을 가진 단순한 계통은 모형도가 요구되지는 않는다. 일반적인 모형도 흐름은 위에서 아래로, 왼쪽에서 오른쪽으로 되어나 몇몇 경우에는 반대의 경우 즉, 아래서 위, 오른쪽에서 왼쪽도 있다. 기기는 계통의 공정흐름을 반영할 수 있도록 지시기와 제어기를 조합하여 제어반에 배열되었다. 예를 들어 펌프와 밸브 제어기는 즉, 토출단의 압력과 유량지시계가 관련제어기 근처에 위치하듯이 관련 지시계들과 함께 발전소 계통 흐름에 따라 그 위치를 결정, 반영하고 있다.

18.2.4 시각 지시기

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

- 가. 제어되는 계통 변수의 중요도를 식별하기 위한 능력이 제공되어야 함.
- 나. 중요변수와 관련된 모든 계통 및 기기상태가 표시되어야 함.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 다. 지시기는 요구상태 혹은 실제 상태인지를 구분가능하여야 함.
- 라. 요구되는 정확도가 제공되어야 함.
- 마. 운전원은 제어기 조작시에 피드백 신호를 제공받을 수 있어야 함.
- 바. 지시기는 운전위치에서 시차없이 찾아내고 읽기가 용이하여야 함.
- 사. 제어기 작동과 최종 계통 상태 사이에 시간지연이 있을 경우 즉각적인 공정지시와 변수 변화의 방향이 제시되어야 함.
- 아. 이중성은 후비(backup)가 필요한 경우 혹은 운전원의 과도한 이동을 피할 수 있는 경우에 한하여 사용하여야 함.

시각 지시기는 가능한 모형도와 조화되도록 배열되었다. 한 탱크에 여러개의 지시계 혹은 같은 변수의 다중지시계와 같이 지시계들을 군(bank)을 지어 설치할 경우 운전원에게 관련정보를 명확하게 제공해 주도록 조직화하여 배열되었다. 지시등의 군들은 계통 계열(A 혹은 B)이나 운전순서를 정확하게 반영하여 배열되었다. 공정흐름을 나타내는 모형도는 수평배열이 바람직하고 지시등은 가능한 유체흐름에 따라 배열되었으며, 관련 제어기 가까이에(우선적으로 계기 바로 위) 설치되었다.

18.2.4.1 시각 지시기 선정

지시기는 계통변수의 상태 및 추이를 명확히 확인할 수 있도록 선정되었으며, 그림 18.2-19에 일반적인 계기형태를 보여주고 있다.

- 가. 지시계는 수직형과 원형이 있으며, 수직형 계기는 단일 혹은 이중 지시계로 되어있다.

1) 계기 눈금은 일반적으로 1, 2, 5, 10 또는 배수로 표시된다.

2) 아날로그 막대그래프 형태가 대부분의 지시계용으로 사용된다. 막대그래프의 특징은 영점 또는 중간 위치에서 발광 다이오드의 순차적인 발광에 의해 변수 값을 나타내고 색깔은 단일 및 이중지시계 모두 녹색이다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

3) 주요 계기 눈금은 아래와 같다.

- 압력 - $\text{kg/cm}^2\text{A}$, kg/cm^2 , mmH_2O , mmHgA
- 유량 - L/min , L/s , kg/min , kg/s
- 수위 - %, m
- 온도 - $^{\circ}\text{C}$
- 출력 - %, DPM, w/cm , cps, MW, Mvar, Kvar
- 전압 - V, kV
- 전류 - A, kA
- 속도 - rpm, m/s
- 붕소농도 - ppm
- 주파수 - Hz
- 역률 - $\cos\phi$

1

2

4) 계기눈금은 읽기 쉽고 교정 가능토록 표시되어 있다.

나. 기록계는 발전소 상황 판단에 필요한 추이정보를 기록한다. 기록계에는 1점, 2점, 3점 및 다점식 등 4가지 형태의 기록계로 나뉘어 있다. 가 항에서 기록계에 적용되는 눈금의 범위, 눈금값과 공학단위가 이미 설명되었다. 기록계는 녹색을 지닌 디지털 표시기와 아날로그 막대그래프를 포함하고 있으며 기록되는 신호의 현재값을 나타낸다. 기록계는 몇몇 출력과 방사능 기록계(CPM 단위등) 단위를 제외하고 모두 선형이며, 그림 18.2-19에 보여주고 있다.

72

1

다. 지시등은 계통 또는 기기의 상태를 파악하기 위해 사용되며 운전중에 사람이나 기기에 위험없이 신속하고 편리하게 발광다이오드(LED)를 교체할 수 있다. 각 지시등은 2개의 발광다이오드를 갖고 있으며, 주위 판넬보다 최소 10%이상 밝기를 갖고 있어 기기상태를 쉽게 인지할 수 있도록 되어있다. 아래 표는 다양한 기기형태에 대해 지시등이 어떻게 형상화되는지를 보여준다. 표의 중간열은 적색 발광다이오드를 나타내고 상단에 위치하며 에너지흐름 상태를 표시한다. 오른쪽열은 녹색 발광다이오드를 나타내고 하단에 위치하며 에너지 차단상태를 표시한다. 왼쪽열은 표시되는 기기종류를 나타내고 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

| <u>기 기</u> | <u>상단지시등(적색)</u> | <u>하단지시등(녹색)</u> |
|-------------|--------------------------|-----------------------------|
| 1) 밸브 혹은 댐퍼 | Open Open/Mod Open | Close Close Close/Mod |
| 2) 펌프 | Start | Stop |
| 3) 히터 | On | Off |
| 4) 차단기 | Close | Open(혹은 Trip) |
| 5) 중성적 접지 | Grounded | Floating |
| 6) 터닝기어 | Engaged | Disengaged |

이외에 하나의 일반적인 기능만을 지시하는 지시등이 있다 (각 지시등에는 2개 발광 다이오드 보유).

- 1) PM04의 붕소농도 범위 (2개 호박색등, 1250 ppm, 5000 ppm)
- 2) PM04 방사선 범위 (5개 호박색등, $10^2 \sim 10^6$)
- 3) PM05의 가압기 안전밸브 (Open-적색, Close-녹색, Leak-황색)
- 4) PM06의 제어봉 인출/삽입 (5개 황색등, 인출을 Hi/Lo, Hold, 삽입을 Hi/Lo)
- 5) PM07의 주증기 바이패스 제어계통 자동허용 (호박색)
- 6) PM10의 주변압기 냉각팬 상태 (호박색등 : Stage 1, Stage 2, Stage 3)
- 7) PM11의 옥외변전소 차단기/단로기 상태 (Close와 Open지시를 위한 적색등과 녹색등)

라. 추이정보가 필요없고 정량적인 값을 신속, 정확하게 읽어야 할 때는 계수기(counter)가 사용되며 전기-기계식과 디지털 타입의 2가지가 있다.

18.2.4.2 지시등

지시등은 빛 반사 및 주변 조명하에서 읽기 쉽고, 유지정비가 용이하도록 선정되었다. 지시등은 주변 판넬보다 적어도 10% 더 밝으며 주변 조명하에서도 명확하게 인지할 수 있다. 지시등 전구와 발광다이오드(LED)는 일상적인 교체를 위해 주제어실에 확보되어야 한다.

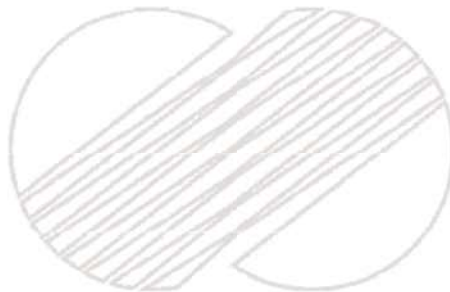
본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

전구와 발광다이오드는 소손되거나(burn out), 결함이 발견되는 즉시 교체하여야 한다. 발광다이오드는 오랜 수명을 갖고 있어서 가능한 전구 대신에 사용한다. 지시등 색깔코딩(color coding)은 기기상태가 명확히 식별될 수 있도록 렌즈색상 또는 발광다이오드를 이용한다. 지시등 색깔별 의미는 다음과 같다.

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

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



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

백색 혹은 황색 : 기기의 고장/불능상태 또는 일반적인 정보를 표시

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

어떠한 조건하에서도 지시등의 글자와 용어는 명확하고 일관성 있으며 판독이 가능하도록 되어 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.

18.2.4.3 계기와 기록계

1

계기는 발전소의 모든 상태에서도 사용하기가 쉬우며, 정밀하고 명확하여야 한다. 기록계는 사용 및 유지정비가 용이하며, 정밀한 판독특성을 가지고 있다. 계기눈금은 선형 눈금을 사용하며 일반적으로 대, 중, 소 눈금범위로 구분되어 있다. 눈금은 1, 2, 5 혹은 10의 배수로 새기며 운전원이 변수를 해석하는데 선호하는 공학단위를 사용하였다. 모든 계기와 지시계에는 미터 단위를 사용하였으며, 눈금시작과 끝은 대눈금을 사용하고 최대 눈금범위와 일치되도록 하였다. 경우에 따라서 예외 사항이 있을 수 있으며 이러한 사항은 인간공학적 평가 결과에 준하여 그 적용여부가 결정된다. 일례로 출력계기와 방사선 준위 지시계가 비선형 눈금을 사용하는 것과 규제지침서 1.97에 관련된 변수 등이 이에 속한다. 계기 전원 상실시 계기는 전원상실 상태를 명확히 지시한다. 계기 및 기록계와 관련하여 상기사항외의 세부사항은 아래와 같다.

가. 계통 정보의 우수한 표시효과를 얻고 운전성 향상을 꾀할 수 있도록 최소 4개 숫자의 발광 다이오드 표시기를 지닌 아날로그 막대그래프 계기가 사용된다.

72

나. 지침을 지닌 계기 사용시 눈금판과 색상 대비가 되고 지침을 쉽게 인지할 수 있는 흑색 또는 적색지침을 사용한다. 이중계기(dual meter)의 두 번째 지침은 밝은 녹색을 사용한다.

1

다. 계기 및 기록계는 정밀 정비 작업이 편리하도록 설계되었다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

라. 계기 및 기록계는 조명시험을 통해 커버가 불필요하다는 결정을 하지 않는 한 눈부심이 없는 커버를 사용하거나 혹은 표면 처리를 한다. 조명은 운전원 시야범위의 60°내에 설치하지 않으며 눈부심을 줄이기 위한 방법이 기기 사용에 불편을 초래하지 않는다.

18.2.5 제어기

1

모든 제어기기는 인간공학을 고려하여 선정되고, 기능별 표준화, 계통내의 일반적 기능을 고려하여 쉽게 식별될 수 있도록 하였다. 또한, 제어기는 신속하고 편리하며 오동작이 없이 사용할 수 있도록 선정되고 설치되었다. 제어기는 운전원에게 혼돈을 주지 않고 계통흐름을 명확히 반영하도록 배열하였으며, 모형도와 계층적 명판을 설치하기 위한 공간이 확보되도록 하였다. 제어기 수량과 용도는 기능 및 직무분석 결과에 따라 공정 제어에서 요구하는 것을 정확히 반영하여 선정하였다. 주요 제어기(원자로제어, 사용빈도가 높은 제어기, 안전계통 주요제어기 등)는 주제어반 벤치 보드나 수직반 하부의 접근이 용이한 곳에 배치되었으며, 주제어실 중앙부분의 제어반에 위치되도록 하였다. 핸들이 있는 제어기는 부주의로 인한 조작을 피하기 위해 제어반 가장자리로부터 10 cm 이내(핸들의 끝부분)에 위치되지 않도록 하였다.

18.2.5.1 제어기 코드화 및 형태

1

제어기는 밸브, 펌프, 차단기, 경보기, 정지 및 작동 그리고 원자로 제어기 등이 쉽게 구별될 수 있도록 기능적으로 코드화 하였다. 이를 위해서 모형, 기기형태, 위치 및 색상 코드화 등의 방법을 조합하여 적용하였다. 예를 들어, 팬과 펌프 제어기의 테두리는 청색이며 그 외의 제어기(차단기 및 밸브)는 흑색 테두리를 사용하였다. 제어기의 형태는 기능별로 표준화하고, 푸쉬버튼 제어 스위치가 한가지 형태의 직무 즉, 밸브 운전에만 이용된다면 그 용도로만 사용되도록 하였다. 제어기와 관련된 상세한 사항은 다음과 같다.

가. 푸쉬버튼 제어기는 발광다이오드(LED)의 교체를 위해 커버를 쉽게 제거할 수 있으며 일반적으로 수직형 배열이다. 제어 스위치 내부의 전구밝기와 관계없이 주

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

위 조명 상태에서 커버에 새긴 글씨를 읽을 수 있다.

나. 모든 로터리식 제어기의 손잡이(knob)는 다음과 같은 특징을 갖고있다. 조작시 적절한 저항력, 홈 또는 매끄러운 가장자리, 최소 2.5 cm의 직경 그리고 명확한 선형 눈금표시(가능한 경우 각 위치마다 멈춤기능 보유).

다. 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 따른다.

후비 발광형 푸쉬버튼, 보호함을 지닌 푸쉬버튼, 지시계가 부착된 푸쉬버튼, 비발광 푸쉬버튼 및 로타리 스위치에 대한 일반적인 사항은 다음과 같다.

가. 후비 발광형 푸쉬버튼(illuminated pushbutton)은 밸브, 댐퍼, 펌프, 히터 및 차단기 등과 같은 기계적인 기기 작동과 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. 푸쉬버튼의 렌즈에는 흰바탕에 검정글씨를 새겨 넣어 판독성을 향상시켰으며, 각 상태 지시등은 2개의 발광다이오드로 구성되고 발광다이오드의 색깔은 다음과 같은 4가지가 있다.

- 1) 적색 (Red) : 에너지 흐름상태 즉, Open, Close(차단기류), Start, On, Open/Mod, Jog Open 등
- 2) 녹색 (Green) : 에너지 차단상태 즉, Close, Trip(차단기류), Stop, Off, Jog (Close, Close/Mod) 등
- 3) 황색 (Yellow) : 고장(Trouble), 작동불능(Disabled) 등

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

4) 호박색 (Amber) : Auto, Lead, Open Blocked, Exercise, Emergency off, Sync.,
Override, Mid Position, Permissive to Close 등

지시등의 예시는 그림 18.2-20 에 나타나 있다.

댐퍼와 밸브의 상태표시를 나타내는 용어로는 열림(Open)과 닫힘(Close)을 사용하고, 펌프와 팬은 기동(Start)과 정지(Stop)를, 히터(Heater)는 켜짐(On) 과 꺼짐(Off)을, 차단기는 닫힘(Close)과 열림(Open) 또는 트립(Trip)을 사용한다. 푸쉬버튼은 계통의 연동장치에 의해 자동으로 작동되거나 운전원이 수동으로 작동시킬 수 있으며 원하는 상태가 되었을 때 지시등은 켜진다. 작동불능(Inoperable)임을 표시하는 황색지시등이 깜박이는 것은 기기가 고장임을 나타낸다. 황색지시등이 깜빡거리고 있을 때 작동불능 푸쉬버튼을 누르면 점멸을 멈추고 계속 켜있는 상태가 되며, 작동불능 원인이 제거되면 지시등은 꺼진다.

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 |

적색과 녹색의 또 다른 상태지시등은 다음과 같은 것들이 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 1) Open/Mod 상태는 설계유량을 유지하기 위해 타 계통 기기에 의해 밸브나 댐퍼가 열림쪽으로 조절이 되도록 하기 위해 푸쉬버튼의 수동조작을 나타내는 것으로서 이러한 푸쉬버튼은 그림 18.2-20과 같다. PM07에 설치된 터빈 바이패스 밸브 제어용 푸쉬버튼은 조금 다른 형태인 Open과 Modulation으로 되어있으며 밸브열림(적색)에 필요한 허용조건을 기다리는 대기상태로 놓을 수 있다. PM07에 설치된 증기 발생기 취출수 탱크의 토출밸브용 푸쉬버튼은 또 다른 유사형태로 밸브 29A, 또는 29B, 30A 또는 30B를 선택하여 운전하는 것으로서 선택된 밸브에 적색 지시등이 켜지며 푸쉬버튼의 모양은 그림 18.2-20과 같다.
- 2) Open과 ESF-1 또는 ESF-2 상태지시등은 안전명령신호(safety command signal)를 제거(override)할 수 없거나 (우선순위 1, ESF-1) 제거(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).
- 3) Open과 Override는 PM-01에 있는 격리용 댐퍼를 수동으로 열거나 (적색등), 또는 팬 기동에 의해 고장에 의한 닫힘상태(failed closed position)를 제거할 수 있음을 나타내는 것으로 이 상태에서 댐퍼를 수동으로 열 수 있다.
- 4) Open과 Mid Pos 또는 15% Open 또는 30% Open은 관련펌프와 연동된 조건에서 밸브의 부분적 열림(수동 또는 자동)을 나타낸다(호박색등). 밸브는 펌프 기동 후 완전히 열 수 있도록 되어있다 (적색등).
- 5) Start와 ESF-1 또는 ESF-2는 2항과 유사하며, 형태는 그림 18.2-20과 같다.
- 6) Start와 Lead는 주제어반 PM-08에 있는 2대의 복수기 수실 충수펌프(priming pump)에 사용된다. 펌프는 두 펌프가 모두 자동위치에 있을 때

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

에 수동 또는 자동으로 기동된다 (두 펌프중 한대는 리드(lead)로 기동되고 또한 펌프 한대가 고장시에는 다른 펌프가 기동된다. 리드 펌프가 기동될 시 적색 지시등과 호박색 지시등이 함께 켜지며 다른펌프는 자동 상태로 유지된다.).

- 7) Jog Open은 적절한 밸브열림이 되도록 수동으로 밸브위치를 조절하는 것이다. 밸브열림상태가 적절한지를 확인하는데 필요한 밸브 위치 지시계는 관련 밸브 스위치와 분리되어 있거나 스위치와 한 몸체로 되어 있으며, 모양은 그림 18.2-20과 같다.
- 8) Close/Mod는 위 1번항 내용과 유사하나 닫힘위치로 조절되는 것을 나타낸다.
- 9) Close와 ESF-1 또는 ESF-2는 위 2번항과 유사하나 ESF-2의 수동 제거는 Close 버튼을 누른다음 Open 푸쉬버튼으로 밸브나 댐퍼를 열게한다. 이와 유사한 형태는 주중기 차단밸브 3단 푸쉬버튼으로 2번째 푸쉬버튼은 Slow Close이고, 맨 아래쪽 푸쉬버튼은 Fast Close와 ESF-2 이다. Slow Close는 정상운전중에 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 있음을 나타낸다.
- 13) Power Removed 도 푸쉬버튼에서 제공되는 기능으로 정상운전중 부주의에 의한 밸브열림을 방지하기 위한 일종의 관리 절차이다. 푸쉬버튼을 누르

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

면 호박색등이 켜지고 밸브는 열리지 않는다. 만약 푸쉬버튼을 다시 누르면 호박색등(amber light)은 꺼지고 밸브를 열 수 있게 된다.

- 14) Manual과 Lead는 PM 04에 있는 두대의 봉산보충펌프 또는 두대의 원자로 보충수펌프가 모두 자동(auto) 위치에 있을 때 첫번째 펌프가 리드(lead)로 지정된다(호박색등이 켜짐).
- 15) Close와 Permissive to Close는 차단기 조작용 푸쉬버튼으로서 차단기를 투입할 수 있는 전기적 조건이 갖추어졌음을 나타낸다(호박색등). 이 푸쉬버튼을 작동시키면 차단기는 투입된다(적색등).
- 16) Trip과 Sync는 차단기 조작 스위치의 2가지 연관된 모드를 나타낸다. 차단기가 차단되었을 때 제어모드가 비동기에서 동기모드로 전환된다(호박색등). 동기모드에 있을 때 같은 동기메타(synchroscope)를 사용한 다른 차단기 사용은 불가능하게 한다. 동기모드로 선택후 해당 차단기는 투입될 수 있으며(적색등), 차단기 투입 후 회로는 비동기모드로 전환된다.
- 17) Direct는 PM04에 있는 부하추종 공급밸브(load follow supply valve) 조작 스위치에 있다. Direct(호박색등)로 선택되면 밸브 527이 열리고(적색등) 보충수(봉산수 또는 원자로 보충수)는 충전펌프 흡입모관(charging pump suction header)으로 직접 공급된다.

다른 종류의 후비발광형 푸쉬버튼(2단)은 화학 및 체적제어계통에 관련된 것으로 PM04에 설치되어 있다. 이들 조작스위치는 특정기능을 선택하기 위한 것으로 우회 밸브 또는 전환(diversion)밸브를 작동시키기 위한 것이다. 이와 같은 종류의 푸쉬버튼의 외형도는 그림 18.2-20에 나타나 있으며 이들 푸쉬버튼 스위치의 상부와 하부 푸쉬버튼의 명칭은 다음과 같고, 지시등은 상, 하 모두 적색등이다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

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) 네가지 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 혼합보충수(blended makeup)를 체적제어탱크로 보낸다.
- 3) 희석(Dilute) 모드에서는 운전원이 체적제어탱크 또는 충전펌프 흡입구로 공급될 원자로보충수의 양을 미리 설정한다.

또 다른 선택스위치는 PM08에 있는 급수펌프 자동운전 선택 스위치(auto selector switch)이다. 이 조작스위치는 Pump 1&2, Pump 2&3 및 Pump 3&1로 되어 있으며 모두 호박색등(amber light)이다. 두대의 선택된 펌프는 각 펌프제어 스위치에 의해 자동 또는 수동으로 기동할 수 있다.

나. 보호 커버부착 푸쉬버튼(혹은 경첩식 차폐)은 제어기의 예기치 않은 동작을 방지하는데 사용된다. 경첩식 차폐는 투명한 플라스틱 커버로 운전원에게 조작전에 주의를 주기 위한 목적으로 제어기 위에 설치되어 있다. 주제어반 상의 경첩식

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

차폐는 Open, Close, Log Open 상에 설치된다. 차폐의 목적은 부주의한 조작을 방지하기 위한 것으로 관리절차서상 요구가 있을 때만 사용된다.

다. 지시계 부착 푸쉬버튼(meter/pushbutton combinations)은 2, 3단 푸쉬버튼으로 4가지 종류의 지시용으로 사용하는데 퍼센트 부하메타(펄프, 팬, 히터), 퍼센트 위치(밸브), 전류계(차단기), 전압계(차단기) 등이 있다. 2, 3단의 지시계 부착 푸쉬버튼은 그림 18.2-20에 나타나 있다.

라. 지시등이 없는 푸쉬버튼은 운전원에게 작동된 기기상태를 제공할 수 있도록 관련 지시기를 갖는다. PM06과 PM10에 있는 버튼은 보호함을 사용하고 보호함은 푸쉬버튼의 측면에 설치하고 상부에는 설치하지 않는다. 이 함은 부주의한 조작을 방지하기 위한 것으로 운전원에게 특별한 행동이나 업무중지를 시키는 것은 아니다.

마. 로타리 핸드 스위치(rotary handswitch)는 그 동작이 제어반 표면에 대해서 원형이고 수평적인 모든 제어를 포함하고 있다. 로타리 스위치는 피스톨(공학적 안전계통 및 전기계통제어) 형태의 손잡이를 사용하고 있다. 이러한 형태의 핸드 스위치는 그림 18.2-21에 보여주며 로타리 핸드 스위치상의 표식은 좌에서 우측으로 다음과 같다(괄호내는 지시등 색깔임).

로타리 핸드 스위치 (표식위치 : 좌측 → 우측)

- (1) MAN, SYNCCHK, OFF, AUTO
- (2) NORM, BYP / INOP
- (3) ONE ELE, THREE ELE
- (4) NORM, REFUEL
- (5) STOP (녹색등), START (적색등)
- (6) LOWER, RAISE
- (7) NORMAL, ACTUATE
- (8) DISABLE, ENABLE
- (9) UNIT 5 (호박색등), UNIT 6 (호박색등)

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- (10) TRIP (녹색등), CLOSE (적색등)
- (11) P-100X (황색등), P-100Y (황색등)
- (12) L-110X (황색등), BOTH, L-110Y (황색등)
- (13) L-110X (황색등), BOTH, L-110Y (황색등)
- (14) MCB (황색등), RSP (황색등)
- (15) SWYD, MCR
- (16) MAN, OFF, AUTO
- (17) STOP (PULL-TO-LOCK), AUTO (황색등), START (적색등)
- (18) OFF, A, B, C
- (19) OFF, A-B, B-C, C-A
- (20) LOCK, UNLOCK
- (21) REMOVE (녹색등), RESTORE (적색등)
- (22) OFF (녹색등), PERM (황색등), BYP(적색등)
- (23) Tavg 1 (황색등), Tavg, Tavg 2 (황색등)
- (24) STOP (PULL-TO-LOCK) (녹색등), AUTO, START (적색등)
- (25) OFF (녹색등), ON (적색등)

바. 경보계통 푸쉬버튼은 각 주제어반과 PM06(최초 경보창용)에 설치된다. 각 경보 스테이션은 경보음 멈춤(Silence), 인지(Acknowledge), 복귀(Reset) 및 시험(Test) 등의 4개의 버튼으로 구성되고 색깔은 각각 황색, 청색, 적색 및 흑색이 사용된다.

18.2.5.2 기타 제어 및 지시기

이 절에는 주로 공급자 제어반에 관한 사항으로 PM04, PM05, PM06, PM08 그리고 PM09에 설치되어 있는 CRT 및 키보드와 PM06에 위치한 제어봉 노심 모형도(CEA core mimic)에 대해 기술한다. 추가로 PM03, PM07, PM09, PM12에 설치된 상태표시함과 각 제어반 상단에 설치된 경보함들에 대해서도 언급하고 있다. 이들 구성표에 대한 예가 그림 18.2-22에 나타나 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

가. 그림 18.2-22(4 중 1)에서 보여주는 구성품은 PM06에 위치하고 있으며 원자로 보호계통(RP), 제어봉집합체구동계통(CE), 발전소감시계통(CX) 및 경보계통(AN)과 관련된다. 원자로보호계통의 기능은 원자로 노심과 원자로냉각계통 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 LCD 및 기능키, 네개의 노심보호연산기(CPC) 운전원 모듈과 네개의 발전소보호계통(DPPS) 운전원 모듈들로 구성된다. 제어봉집합체구동계통의 기능은 제어봉구동장치(CEDM)에 공급되는 동작용 전원과 유지용 전원을 제어하고 아울러 제어봉집합체의 지속기간과 비율 그리고 방향을 제어한다.

1

115

1

제어봉집합체구동계통은 제어봉집합체 노심 모형도와 제어봉집합체 위치표시 LCD 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 CRT 그리고, 그와 관련한 키보드로 구성된다.

115

경보 CRT와 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.

1

나. 그림 18.2-22, 2/4면에서 나타낸 두개의 원자로냉각계통 구성요소들은 NSSS 공급자 제어반으로 PM04와 PM05에 위치한다. 두개의 부적절노심냉각계통(ICCMS) 플라즈마 표시 기기는 노심 기능에 관련된 중요 정보를 나타낸다. 원자로출력급감발제어반(RPCCP)은 일정한 양의 부하감발과 운전중인 한 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,

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

다. 그림 18.2-22, 2/4면의 나머지 구성요소들은 PM09에 위치하고 있는 터빈발전기 관련 공급자 제어반들이다. 이들 구성요소들은 주터빈과 보조(TA)계통, 그리고 발전기가스(GG)계통으로 구성되어 있다.

디지털 제어와 감시(MARK-V) 계통은 터빈 및 보조계통(TA)의 일부분으로서 세 대의 CRT, 한 대의 보조제어반, 세 대의 트랙-볼(trackball) 및 세 대의 키보드로 구성되어 있다. MARK-V 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 GG 계통의 한 구성요소로 그 기능은 발전기 구성품들 (고정자 권선제외)을 냉각시키기 위해 냉매로 사용된 수소가스를 감시하는 것이다.

라. 그림 18.2-22, 4/4면에 나타난 주급수펌프 터빈제어반은 NSSS 공급자 제어반으로 PM08에 위치하고 있다. PM08에는 주급수펌프터빈(FT)계통의 펌프용 제어반이 두 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
- 2) 5개의 피스톨형 로타리 스위치 : 조속기, 조속기밸브위치(ramp), 조속기속도설정, 조속기원격제어, 정지밸브 시험,
- 3) 3개의 푸쉬버튼 스위치 : 터빈트립, 터빈복귀, 전구시험
- 4) 지시등 : 터닝기어, 계통상태, 정지, 제어 및 배출밸브

마. PM03에는 두개의 상태표시함이 있는데 그 기능은 지역(division) A 및 B와 관련된 바이패스 및 작동불능 상태표시(BISI)와 공학적안전기능(ESF)상태표시를

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

나타내는 것이다. PM07상에 있는 상태표시함은 주증기 안전밸브 및 터빈 우회밸브들의 개방상태를 나타내며, PM09에는 배수밸브들(주증기 정지밸브, 터빈 증기, 수분 분리기, 재열기 쉘, 재열증기)의 개방 상태를 나타내고 있다. PM12에 있는 세 개의 상태 표시함은 화재방호 상태를 나타내고 있다. PM03에 있는 상태 표시함의 한 예가 그림 18.2-22, 4/4면에 표시되어 있다.

바. 11개의 주제어반에는 다수의 경보함이 있다. 그림 18.2-22, 4/4면에 두개의 다른 경보함이 일례로 제시되었으며, 각 경보창의 기능, 계통별 그룹화, 행(1~n)과 열(A~Z)에 의해 각 경보창의 위치가 구분됨을 보여준다. 행과 열은 계통과 문제점에 관한 내용들을 반영하고 있는데 열은 계통(가능한한)을 행은 공통된 형태 또는 문제점들을 나타낸다. 주제어반에 설치된 경보창은 표 18.2-4 경보창 목록에 표시되어 있다.

18.2.5.3 오조작 방지

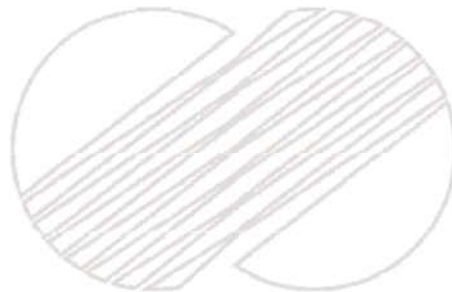
제어기의 부주의한 작동을 방지하기 위해 주제어반에는 J-핸들 제어기 사용을 제한하였고, 제어반 가장자리에 제어기 설치를 배제하였으며, 편리한 운전을 위하여 벤치보드 하단에 평평한 수직면 등을 고려하여 설계하였다. 사용이 제한되는 제어기의 경우 부적절한 스위치 작동을 방지하기 위해 차폐물(barrier)을 설치하였다. 운전원 선호도에 따라서 이들 제어스위치에 보호함(protective housings) 또는 경첩이 달린 차폐(hinged shield) 혹은 열쇠잠금(key lock) 장치 등을 사용하였다. 이러한 방법은 부주의한 작동결과에 따른 계통운전의 심각한 영향과 운전원의 즉각적인 조치의 필요성에 준하여 적용된다. 다음의 장치들이 울진 5,6호기에 사용되었다.

가. 보호함은 원형 푸쉬버튼 스위치에 사용되며 설치 위치는 스위치 상단이 아닌 측면에 설치되는 형태이다. 이것은 부적절한 작동은 방지하고 운전원의 추가 조치 또는 지연을 유발하지 않는다. 이 보호함은 원자로 수동 정지 및 터빈 수동정지 등과 같은 수동 정지 버튼에 사용된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

나. 경첩식 차폐는 부주의한 작동을 방지할 뿐만 아니라 운전원이 잠시 시간을 갖고 생각을 한 후 적절한 조치를 취하도록 스위치상단에 투명 플라스틱 커버를 설치한다. 이러한 형태의 스위치는 부주의한 작동으로 계통에 불필요한 과도상태를 유발하거나, 필요시 안전관련 계통의 작동을 방해하는 상태를 유지하지 않도록 공학적 판단에 의해 필요시 사용된다.

1



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

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

18.2.6. 경보기

경보계통은 발전소 운전 상태에서 허용범위를 벗어난 상황을 운전원에게 즉각적으로 알려주기 위한 주제어실의 중요한 계통으로 청각경보계통, 시각경보계통 및 운전원대응계통 등 3가지의 주요 보조계통으로 구성되어 있다. 이 보조계통은 표 18.1-4와 표 18.1-5에 나타나 있듯이 운전원이 선호하는 경보 운전순서를 제공토록 제작되었다. 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.

경보신호는 제어실의 평균소음기준(mean background noise level) 이상에서 운전원이 들을 수 있는 충분한 데시벨값을 가지며, 제어반상에 설치된 경보창 위치를 판단할 수 있도록 경보음을 표식화하였다. 울진 5,6호기 주제어실에는 최대 4가지 경보음을 적용하였으며, 각 경보구역별로 다른 음을 제공하는 경보장치가 주제어반에 설치되었다. 운전원의 선호도에 따라 경보음의 주파수 또는 파형이 조정가능하며 음의 강도는 주변소음 보다 최소 10 dB 높게 조정되어 진다.

발전소 상업운전 이전에 경보음 신호 형태는 운전원들과 현장시험에 의해 결정된다. 주제어실 경보기 하드웨어는 현장에서 신호조정이 가능하며 시운전 후 사용자에게 의해 현장에서 조정이 가능하다. 경보기는 기능 및 계통별로 그룹화되고 관련 경보창은 관련 제어기 위에 설치되었다. 경보계통은 공정계통, A,B 계열 그리고 유사계통을 구역화하여 명판으로 표시하였다. 경보는 횡과 종의 좌표로 위치가 구분된다. 횡과 종의 행렬은 계통과 문제에 대한 내용을 반영하였다. 종렬은 계통을, 횡렬은 공통된 문제를 표시한다. 예를 들면, 어떤 계통의 A,B 계열 경보는 종렬에,

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

펌프정지경보는 횡렬에 나타난다. 표시방법은 횡렬은 1~N 숫자로, 종렬은 A~Z 문자로 표시한다. 주제어실 경보계통은 전지역에 할당된 경보음 멈춤, 구역화된 인지, 시험 및 복귀등 4개의 버튼을 갖고 있으며, 직경 2 cm 이상 크기의 푸쉬버튼을 사용하였다. 경보음 멈춤은 오동작 방지를 위해 다른 버튼으로부터 충분한 간격을 띄우고 있고, 이 버튼들은 각 판넬 중앙부분의 벤치보드 하부에 위치한다.

세부적인 경보기 푸쉬버튼의 기능은 다음과 같다.

- 가. 경보음 멈춤 푸쉬버튼은 모든 지역에 공용으로 사용되는 순간 푸쉬버튼으로서 조작했을 때 경보가 발생된 구역에 상관없이 경보음을 중지시킨다.
- 나. 인지 푸쉬버튼은 순간 푸쉬버튼으로서, 조작하면 동일한 구역에 위치한 모든 경보음을 중지시키고, 점멸을 멈추게 하여 불이 켜져있는 상태가 된다.
- 다. 복귀 푸쉬버튼은 순간 푸쉬버튼으로서 현장 접점이 다시 정상으로 복귀된후 복귀 버튼을 조작하면 동일한 구역에 위치한 모든 경보창 불이 꺼진다 (차임벨 소리는 입력 접점이 정상으로 됐을 때 복귀에 앞서 한번 울린다).
- 라. 시험 푸쉬버튼은 순간 푸쉬버튼으로서 동일한 구역에 있는 모든 경보에 대해 컴퓨터 입력용 접점을 제외하고, 경보장치와 전구를 시험하기 위해 사용된다.

경보계통에 대한 추가 사항은 18.1.4.20절에 기술하였다. 아래항목은 경보계통 설계에 대해 좀더 구체적으로 기술하며 우선순위, 점멸도, 명판, 다중입력 경보창, 소등(dark board) 개념, 주기적 시험, 미사용경보창 그리고 경보절차서 등으로 구성되어 있다.

18.2.6.1 색깔 코드화 및 우선순위

우선순위 적용을 위한 색깔표식은 운전원이 주요 경보를 식별하고, 적시에 대처하는데 도움이 되도록 이용된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

제 1우선순위는 적색 타일이다(원자로정지, 발전소정지, 공학적 안전 설비, 방사능누출, 즉각적인 운전원 조치사항).

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

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

상기 우선순위별 색깔 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 관련정보중에 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 경보

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

로 지정된 경보창은 경보반의 동일 위치에 항상 배치된다. 원자로트립계통은 별개의 최초 경보반을 갖고 있다. 최초 경보는 경보창에 빠른 점멸로 나타내며 그 이후에 발생한 경보는 정상 점멸로 표시된다.

18.2.6.2 점멸도

1

점멸도는 시각적으로 쉽게 구별할 수 있도록 다음과 같이 3가지로 선정되었다 (구형파 ; 켜짐과 꺼짐의 비율은 동일함). 최초 경보에는 빠른 점멸(4회/초), 최초 경보가 아닌것은 정상점멸(2회/초), 경보가 정상으로 복귀(링-백)시에는 느린(1회/초) 점멸이 사용되었다.

18.2.6.3 명판과 글자새김

1

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, 보조급수), 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 1/4 인치로 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 명판 경우에도 동일기준을 적용한다. 각 경보반마다 일련번호가 지정된다. 약어는 울진 5,6호기 표준 약어를 사용하고 기기종류, 계통명, 그리고 고장종류 등에 일관성 있게 적용하였다.

18.2.6.4 다중 입력 경보창

1

여러 경우에서 다중 입력을 갖는 경보창이 사용되며 각 입력에 대한 운전원 조치가 동일한 경우에 한하여 다중 입력이 허용된다. 예를 들면 경보에 대한 운전원 조치가 현장 제어반에 누군가를 보내야만 할 경우 입력은 종류에 관계없이 한 경보창에 할당 가능하나,

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

운전원이 다른 조치를 취해야만 할 경우 별도의 경보창이 사용된다. 주제어실 경보창수를 제한하기 위해 가능한 경우에 다중입력 경보창을 사용하였다. 다중입력이 한 경보창에 할당될 때 "고장(Trouble)"이란 일반적 용어보다는 실제 경보요인을 경보창에 기술하였다. 일반적으로 "고장"이란 용어는 주제어반에 2~3가지 입력이 확인될 수 있을 경우에 한하여 가능하며 현장제어반 정보는 "고장"으로 표현한다.

18.2.6.5 소등 개념

소등 개념이란 발전소가 출력중이고 안정상태에서는 경보 발생이 없는 것을 의미한다. 일반적으로 경보 논리도는 정상 상태에서 "꺼짐"으로 되어있다. 경보계통 공급전원은 소내전력 상실하에서도 계통이 작동될 수 있도록 설계되어 있다.

18.2.6.6 주기적 시험 및 정비

경보계통은 필요시 시험이 용이한 설비를 갖추도록 설계하였다. 시험은 경보설비의 오동작, 전구소손, 부적절한 경보음향, 설비작동 및 기타 결함사항 등을 발견하기 위해 주기적으로 수행토록 관련계획이 수립된다. 소손된 전구는 운전원 교대시나 그 이전에 교체된다. 하드웨어는 유지정비가 용이한 설비로 설계되며, 전구교체나 일반적인 경보기 보수를 위해 주제어실에 특수사다리(제어반을 발로 밟고 보수하는 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 색깔이 없는 백색이며 전구는 설치되어 있다.

18.2.6.8 CRT 경보화면

CRT 경보화면은 아래의 화면기능들로 구성되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

가. 시스템의 환경설정 및 설정화면

- 1) 경보화면의 하단에 메시지 Bar를 배치하였으며 경보대상이 되는 장비별로 설정 내용이 다르므로 각 장비별로 화면을 따로 구성하였지만 통신 변수와 같이 공통 이 되는 부분은 화면을 구성할 때 동일하게 구성하였다.
- 2) 데이터의 업 로딩, 다운로드 및 저장을 위한 버튼의 모양 및 배치 위치등도 가능한 한 같은 자리에 배치하도록 하였다.

나. 시스템 상태조회 화면

- 1) 시스템 상태 조회화면은 경보설비 시스템의 장비상태 및 장비간의 통신상태등을 확인하기 위한 화면이다. 따라서, 상태 조회화면의 구성은 전체 시스템의 상태를 파악할 수 있는 Overview화면과 각 대상 장비별 상태를 세밀하게 조회할 수 있는 세부 조회화면으로 구성되어 있다. 화면의 용도에 따라 Overview화면은 시스템의 운영시 필요한 데이터만을, 세부 조회 화면은 각 장비의 세밀한 상태를 파악할 수 있도록 장비와 관련된 데이터를 최대한 표시하도록 하였다.

1

다. 각종 데이터베이스 입력, 조회 및 수정화면

- 1) 데이터베이스 입력, 조회 및 수정화면은 태그정보, 통신 포트정보 및 각 포트별 연결 장비 정보등의 데이터 입력을 위한 화면이다. 입력된 데이터는 CRT 정보에 대한 기본 데이터로 사용된다.
- 2) 데이터 조회화면은 데이터 이동을 위한 이동버튼, 기존 데이터를 조회하기 위한 검색버튼, 데이터 입력을 위한 입력버튼 및 리스트 출력을 위한 출력버튼등을 화면에 배치하였다. 입력화면은 시스템의 환경설정 화면과 같이 비슷하게 구성하였다.

라. Alarm Logic 입력, 조회 및 수정화면

- 1) Alarm Logic 입력, 조회 및 수정화면은 관련 장비로 부터 수집된 각 포인트들의 논리적인 조합에 의해 Window Box의 램프에 표시되는 태그들의 Alarm Logic을 입력하는 화면이다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 2) Alarm Logic을 입력하기 위해서 사용자가 Logic을 쉽게 입력할 수 있도록 화면을 구성하였다. 즉, AND, OR 및 NOT등의 논리기호를 심벌로 화면의 상단이나 좌측에 배치하여 사용자가 Alarm Logic 작업공간에 선택된 심벌을 배치할 수 있도록 하였다. 심벌을 누르면 태그명 등을 입력할 수 있는 입력창이 나타나도록 하였다. Alarm Logic은 다수의 입력에 하나의 출력형태로 구성할 수 있도록 하였다.

마. 정보 데이터 조회 화면

- 1) 정보 데이터 조회 화면은 정보설비 시스템에 발생한 정보를 조회하는 화면이다. 현재 발생한 정보와 정보이력을 조회할 수 있도록 화면을 구성 하였다. 화면은 발생 날짜, 시간, 계기의 태그 및 정보내용 순으로 표현하였다.
- 2) 발생한 정보는 어넬시에터 정의된 중요도와 동일하게 우선순위가 결정되며 우선순위가 높은 순서대로 적색, 황색, 백색을 CRT상의 정보영역에 나타내어 운전원 1이 색상에 의한 정보의 중요도를 식별하도록 설계하였다.
- 3) 정보 데이터 조회 화면상에 새로 발생한 정보는 인지력을 높이기 위해 정보내용을 점멸하여 운전원이 신속하게 조치를 취할 수 있도록 하였다. 화면상에 인지버튼을 배치하여 운전원이 발생한 정보를 인지하였음을 입력할 수 있도록 하였다. 인지버튼을 입력하면 점멸하던 정보의 내용이 점멸을 멈추도록 하였다.
- 4) 정보이력 조회화면은 과거에 발생한 데이터를 조회하기 위한 것이므로 조회하고자 하는 정보의 기간과 조건 검색 등을 입력할 수 있도록 화면을 구성하였다. 조건검색의 경우 태그명 및 정보 등급등의 복합조건을 검색할 수 있도록 화면을 구성하였다.

18.2.6.9 정보절차서

정보절차서는 운전원 조치사항, 기기위치와 시간제한 등을 명확하게 명시하고 있다. 최신 정보절차서가 주제어실내 원자로 운전원과 발전팀장 책상 가까이에 비치된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18.2.7 인지력 향상

1

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, 계통내의 계기들간 상호관계 이해 및 구분을 하는데 도움을 준다. 기능적으로 그룹화되고 경계화된 계기들의 명판 표시는 개별기기 명판상의 글자를 줄이고 정보전달을 향상시킨다. 모형도는 계통 기기간의 상호관계 혹은 유체흐름의 방향 내지는 전기 배전상태를 보여준다.

18.2.7.1 명판

기능적으로 유사한 계기들의 그룹은 경계표시선에 의해 묶어 표시하며, 경계표시 영역은 계기의 계통 또는 기능별로 묶어 명판이 부착되었다. 각 기기에는 문자/숫자 지정 및 명칭을 기술한 명판이 부착되며, 판넬의 혼란과 불필요한 반복을 피하기 위해 계층적 명판 체계가 사용되었다. 계통 및 부계통명은 경계표시영역내 제어기와 지시기 그룹에 전체명칭으로 부여되며, 계통명은 각 개별 기기의 명판에 반복하여 기술되지 않았다(일부 기기 명판에는 운전성 향상을 위해 계통명칭을 부여한 예는 있다). 명판이 상위계층으로 적용될 경우 글자의 높이와 획폭은 증가되었다. 글자크기, 명판색깔, 약어, 형태, 재질, 위치 및 부착방법은 다음의 지침에 따르고 있다.

가. 최소 글자크기

- 1) 글자 높이는 28 in 가시거리를 기준으로 단일기기는 3/16 in, 기기들의 소그룹(부그룹)은 1/4 in, 기기들의 대그룹은 3/8 in, 현장제어반은 1/2 in, 그리고 주 제어반 경우 한글은 최소 2 in, 영어는 최소 1 in로 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)

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

나. 명판 색깔지침

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

- 1) 명판의 첫번째 줄은 계통/부계통명칭 (필요시) 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. 새긴 글씨의 깊이는 내부층 깊이까지 이며 1/16 in 이상 두께의 명판을 사용하였다.

바. 명판은 제어반의 읽기 편한 위치에 설치되며 영어로 표기하고 설치관련 지침은 다음과 같다.

- 1) 제어반 기기위에 설치한다.
- 2) 특정 기기 관련 데이터 및 정보 명판은 관련기기의 우측하단 혹은 부근에 설치한다. 기타 정보관련 명판(모형도 시점 및 종점)경우는 적절한 위치에 설치된다.
- 3) 명판은 제어반 관련기기 근처 혹은 같은 높이에 설치된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

4) 명판은 수평으로 휜 현상이 없이 설치된다.

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

18.2.7.2 경계표시

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

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 345 kV 스위치야드는 은색, 주전력계통(MP) 22 kV, 보조전력계통(AP) 13.8 kV는 적색, 보조전력계통 4.16

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

kV는 청색, 480 V는 황색이다.

1

라. 심볼은 계통의 기기를 나타내며 관련도면에서 사용한 심볼과 일치한다.

마. 모형도 선의 시점과 종점은 식별되며 또다른 모형도로 연결되거나 다른 제어반으로 연장되는 경우에도 표시된다.

18.2.7.4 채널식별

1

다중 안전계통 기기들의 식별은 주제어반상에 설치된 채널화된 계기들을 분류하기 위해 색깔과 심볼코딩을 이용하였다. 식별은 규제지침서 1.75에 따르며 관련 발전설비들에 대한 사업자 색깔코드와 일치한다. 안전계통기기 채널 A,B,C,D의 식별은 다음과 같은 색깔을 적용하여 명판 테두리(Bezel) 좌우측에 굵은선으로 표시하였다.

가. 트레인 A / 채널 A는 적색

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, 2 등급에 해당하는 기기들은 명판테두리 상하단 부분에 상기 채널별 색깔에 준하여 굵은선으로 표시되며, 비안전등급기기가 규제지침서 1.97과 관련될 때는 흑색의 굵은선을 적용한다. 이 방법은 그림 18.2-1에 구체적으로 나타내고 있으며 안전등급기기의 식별관점에서 볼 때 반영구적이고 용이한 방법이다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 18.2-1

조 도

| 작업영역 및 업무형태 | 조 도 (foot-candles) | | |
|--------------------------------|--------------------|------------------------|-----|
| | 최소 | 추천 | 최대 |
| Panels, Primary Operating Area | 20 | 30 | 50 |
| Auxiliary Panels | 20 | 30 | 50 |
| Scale Indicator Reading | 20 | 30 | 50 |
| Seated Operator Stations | 50 | 75 | 100 |
| Reading : | | | |
| • Handwritten (Pencil) | 50 | 75 | 100 |
| • Printed or Typed | 20 | 30 | 50 |
| Writing and Data Recording | 50 | 75 | 100 |
| Maintenance and Wiring Areas | 20 | 30 | 50 |
| Emergency Operating Lighting | 10 | As above for Area/Task | |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 18.2-2

휘도비

| 영역 | 휘도비 |
|--|------|
| Task Area Versus Adjacent Darker Surroundings | 3:1 |
| Task Area Versus Adjacent Lighter Surroundings | 1:3 |
| Task Area Versus More Remote Darker Surfaces | 10:1 |
| Task Area Versus More Remote Lighter Surfaces | 1:10 |
| Luminaries Versus Surfaces Adjacent to Them | 20:1 |
| Anywhere Within Normal Field of View | 40:1 |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 18.2-3

반사율

| 표 면 | 허용수준 반사율 |
|----------------------|-----------|
| Ceiling | 60 - 95% |
| Upper Wall | 40 - 60% |
| Lower Wall | 15 - 20% |
| Instruments/Displays | 80 - 100% |
| Cabinets/Consoles | 20 - 40% |
| Floor | 15 - 30% |
| Furniture | 25 - 45% |

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 18.2-4

경보창 목록

| 해당 주제어반 | 설치 경보창 목록 | 해당 주제어반 | 설치 경보창 목록 |
|---------|---|---------|---|
| PM01 | 5/6-723-J-UL001 5/6-723-J-UL002 5/6-723-J-UL003 | PM07 | 5/6-723-J-UL016 5/6-723-J-UL017 |
| PM02 | 5/6-723-J-UL004 5/6-723-J-UL005 | PM08 | 5/6-723-J-UL018 5/6-723-J-UL019 5/6-723-J-UL020 |
| PM03 | 5/6-723-J-UL006 5/6-723-J-UL007 5/6-723-J-UL008 | PM09 | 5/6-723-J-UL021 5/6-723-J-UL022 5/6-723-J-UL023 |
| PM04 | 5/6-723-J-UL009 5/6-723-J-UL010 | PM10 | 5/6-723-J-UL024 5/6-723-J-UL025 |
| PM05 | 5/6-723-J-UL011 5/6-723-J-UL012 | PM11 | 5/6-723-J-UL026 5/6-723-J-UL027 5/6-723-J-UL028 |
| PM06 | 5/6-723-J-UL013 5/6-723-J-UL014 5/6-723-J-UL015 | PM12 | 5/6-723-J-UL029 |

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

안전등급기기의 채널식별 방안

그림 18.2-1



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

울진 5,6호기 주제어반에 대한 95% 한국남자의
평균시각 (Line of Sight) 및 기능적 접근성

그림 18.2-2



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

울진 5,6호기 주제어반에 대한 5% 한국남자의
평균시각 (Line of Sight) 및 기능적 접근성

그림 18.2-3



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

울진 5,6호기 운전원 콘솔에 대한 95%
한국남자의 평균시각 (Line of Sight) 및
기능적 접근성

그림 18.2-4



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

울진 5,6호기 운전원 콘솔에 대한 5%
한국남자의 평균시각 (Line of Sight) 및
기능적 접근성

그림 18.2-5



한 국 수 력 원 자 력 주 식 회 사
울 진 원 전 5, 6 호 기
최종안전성분석보고서

제어반 계통의 배치

그림18.2-6



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

공기조화설비 제어반

그림 18.2-7



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

기타 설비제어반 (PM02)

그림 18.2-8



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

공학적인안전설비 제어반 (PM03)

그림 18.2-9



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

화학 및 체적제어계통 및 원자로 냉각재계통
제어반

그림 18.2-10



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

원자로냉각재계통 제어반 (PM05)

그림 18.2-11



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

원자로 제어 및 보호설비 제어반 (PM06)

그림 18.2-12



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

보조급수 및 주증기계통 제어반

그림 18.2-13



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

복수 및 급수계통 제어반 (PM08)

그림 18.2-14



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

터빈 및 보조기기 제어반 (PM09)

그림 18.2-15



ATTION 9-751-0211.



한 국 수 력 원 자 력 주 식 회 사
울 진 원 전 5, 6 호 기
최종안전성분석보고서

소내 및 보조전력계통 제어반 (PM10)

그림 18.2-16



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

5호기 소내 및 보조전력계통 제어반 (PM11)

그림 18.2-17 (2 중 1)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

6호기 소내 및 보조전력계통 제어반 (PM11)

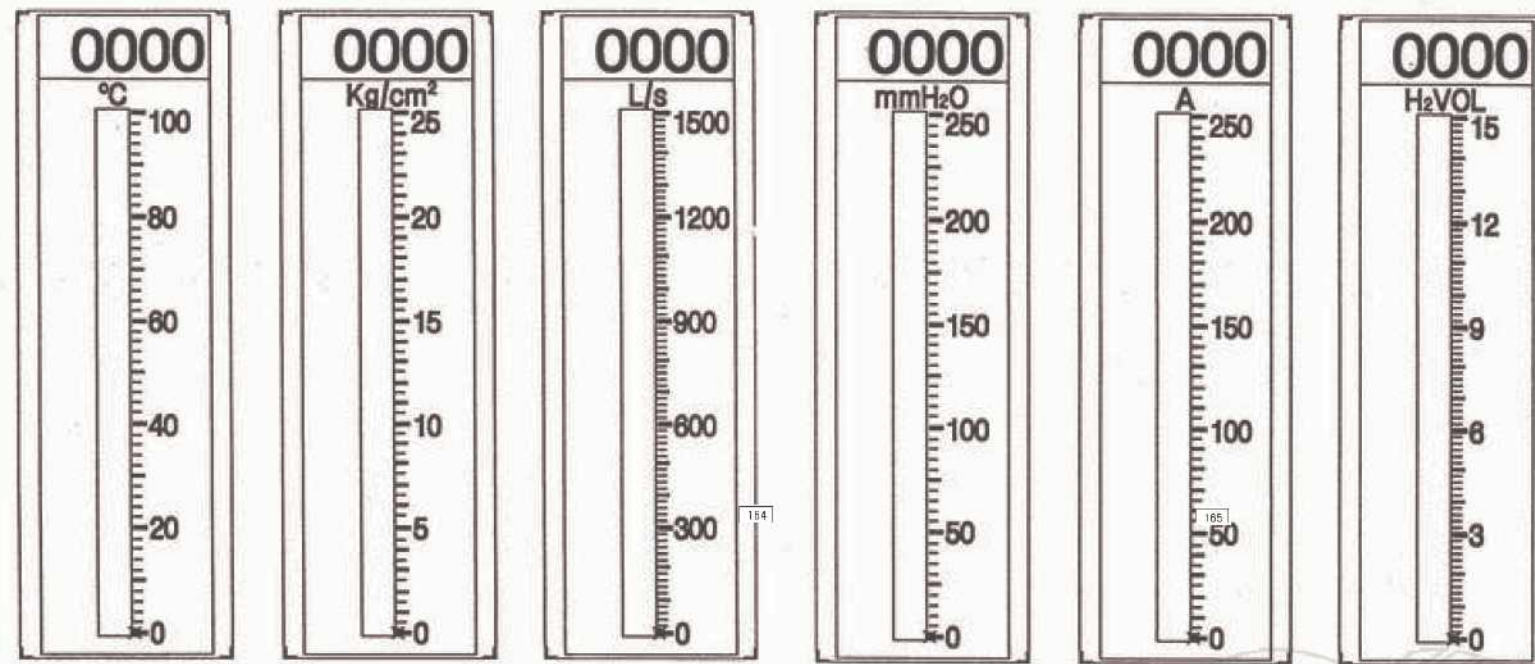
그림 18.2-17 (2 중 2)



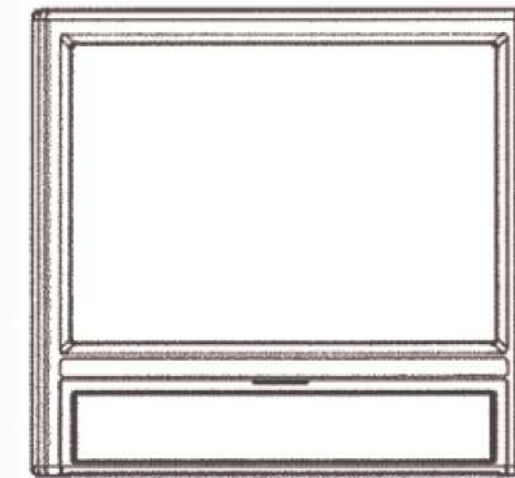
한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

화재 방호계통 제어반 (PM12)

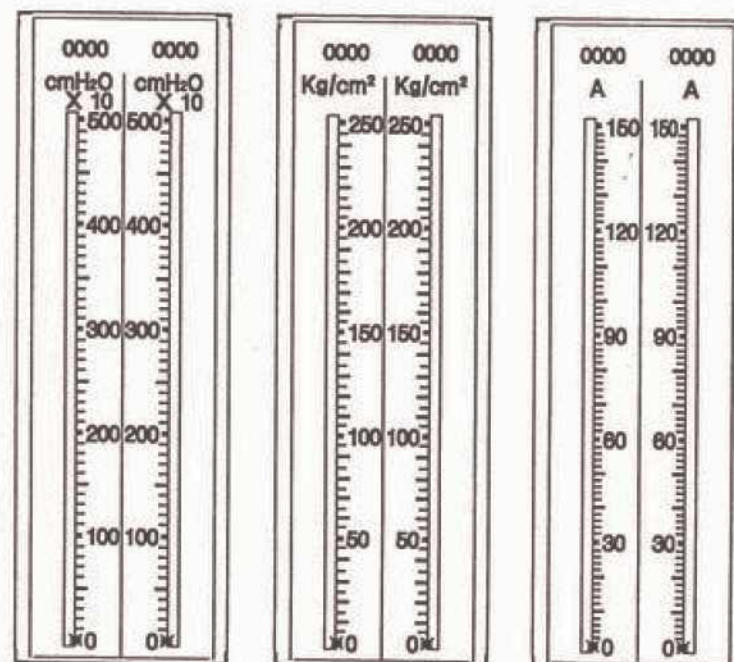
그림 18.2-18



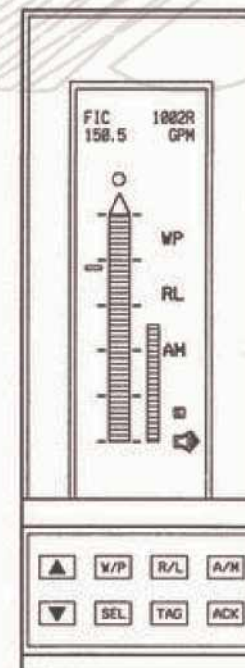
SIX EXAMPLES OF TYPICAL SCALES OF DIXSON SINGLE INDICATORS



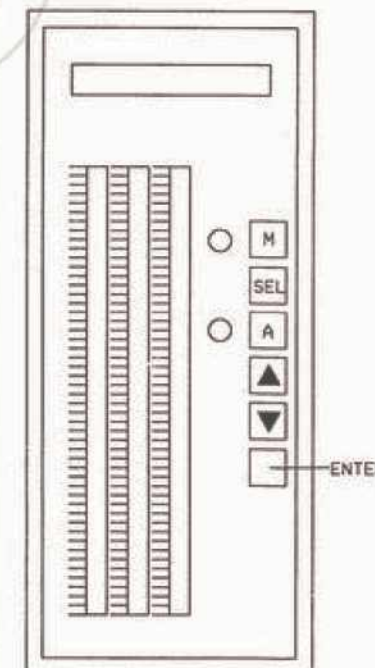
PAPERLESS TYPE RECORDER



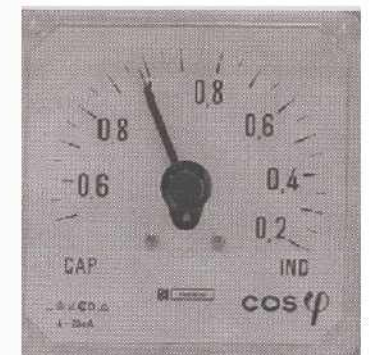
THREE EXAMPLES OF TYPICAL SCALES OF DIXSON DUAL INDICATORS



M/A STATION
FOXBORO
(N-2CDA-N1)



M/A STATION
WESCHLER
(MA 202)



POWER FACTOR METER
(ENERDIS NE96 C250)

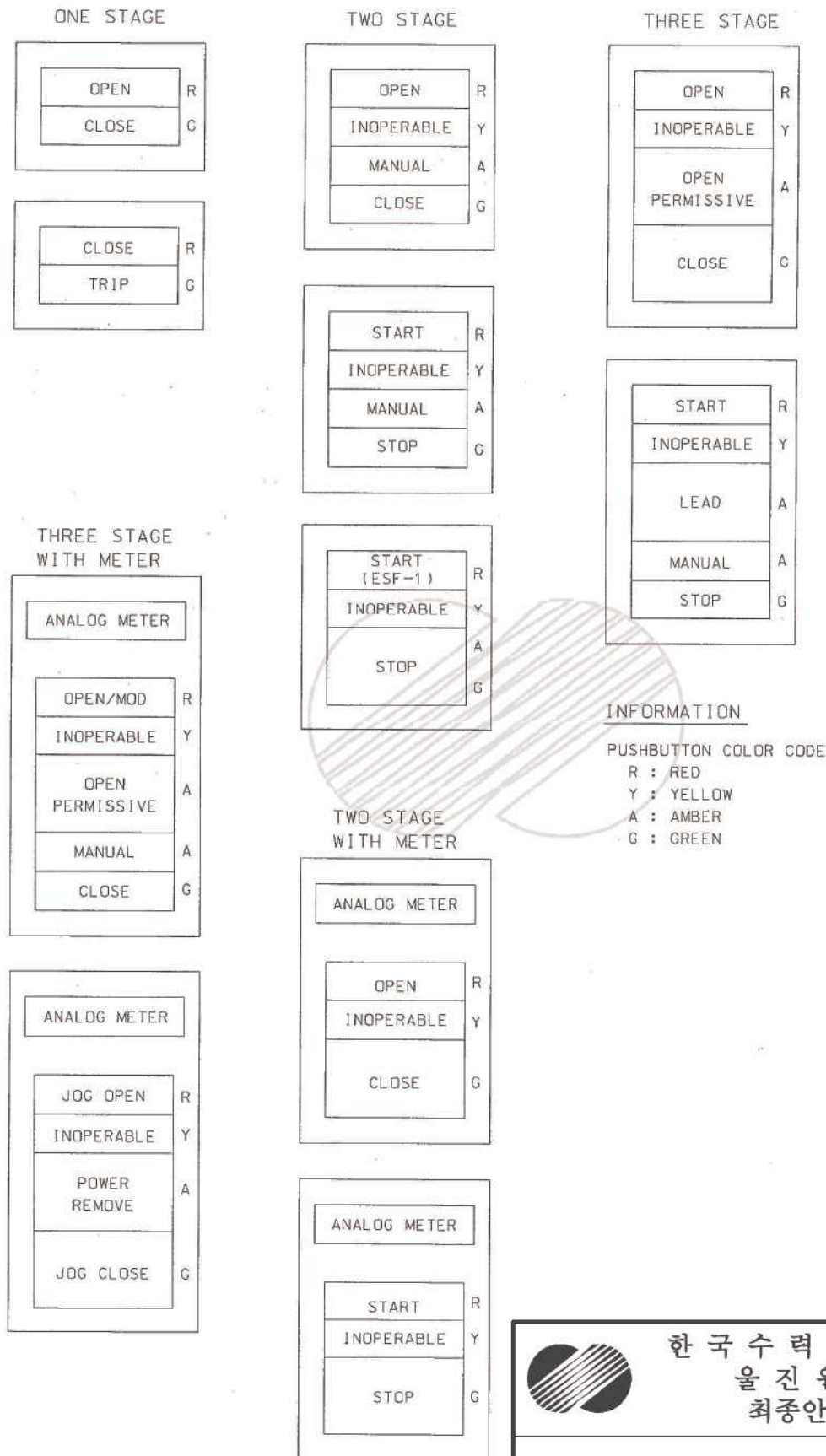


한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

지시계, 기록계, 제어기

그림 18.2-19

EXAMPLES OF TYPICAL ILLUMINATED PUSHBUTTONS

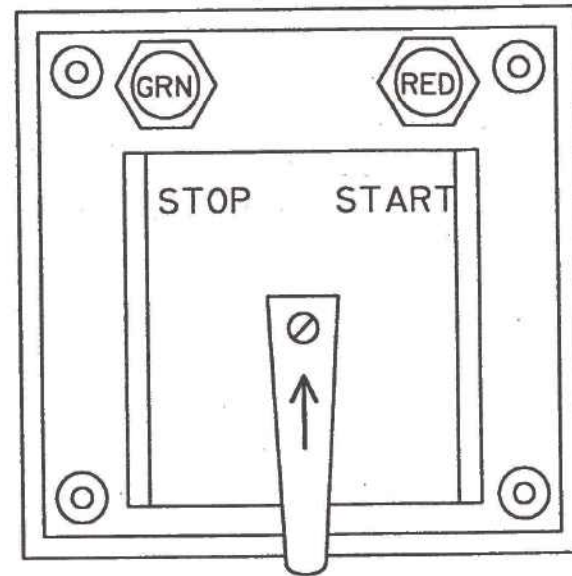


한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

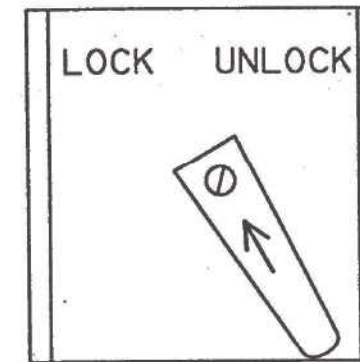
발광 푸쉬버튼

그림 18.2-20

1. EXAMPLES OF ROTARY HANDSWITCHES

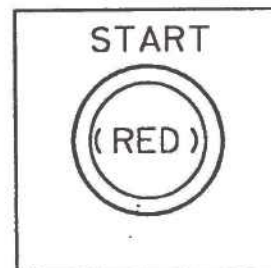


A. PISTOL GRIP HANDLE ELECTRO SWITCH THREE POSITION
SPRING-RETURN TO CENTER
(TWO LIGHTS: GREEN, RED)

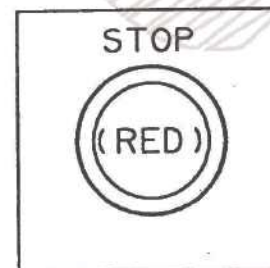


B. PISTOL GRIP HANDLE ELECTRO SWITCH TWO POSITION
MAINTAINED
(NO STATUS LIGHTS)

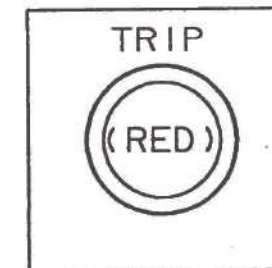
2. EXAMPLES OF NON-ILLUMINATED PUSHBUTTONS



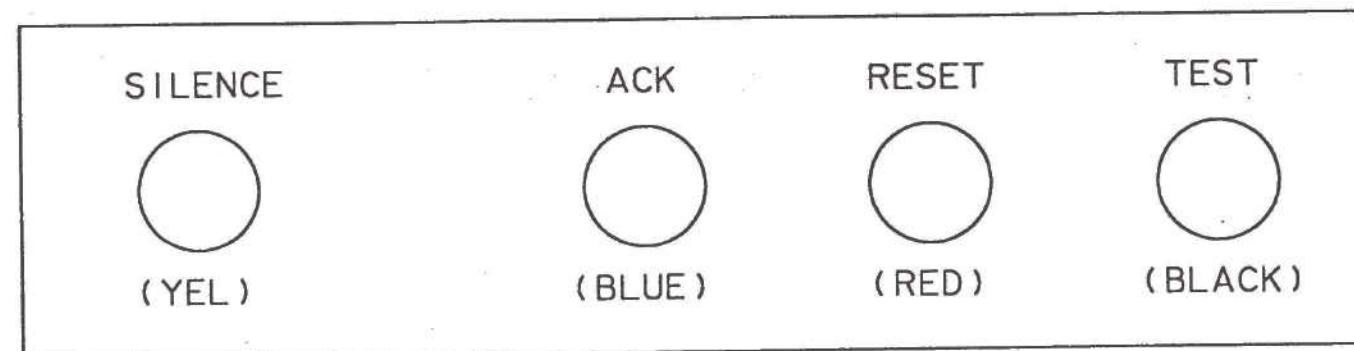
A. EMERGENCY START



B. EMERGENCY STOP



C. REACTOR TRIP ACTUATION



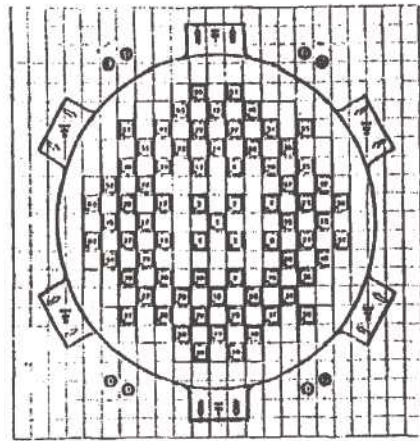
D. ANNUNCIATOR PUSHBUTTON STATION.



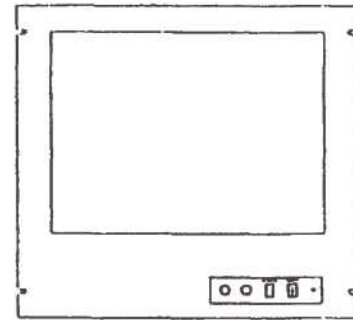
한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

로타리 핸드스위치 및 비발광 푸쉬버튼

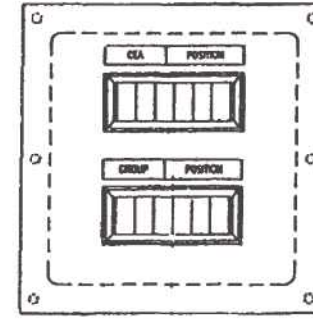
1. CONTROL ELEMENT COMPONENTS ON THE LEFT SIDE OF PM06.



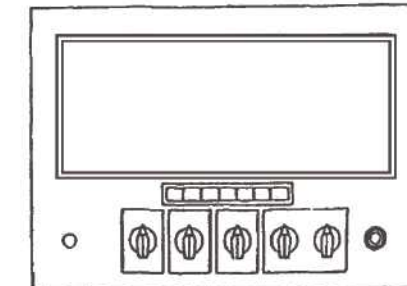
A. CEA CORE MIMIC DISPLAY



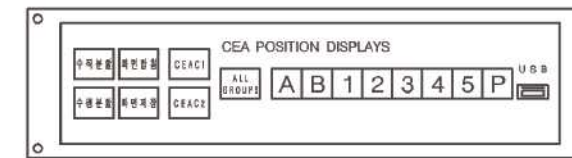
B. LCD-CEA POSITION DISPLAY



C. INDICATOR-CEA POSITION DISPLAY

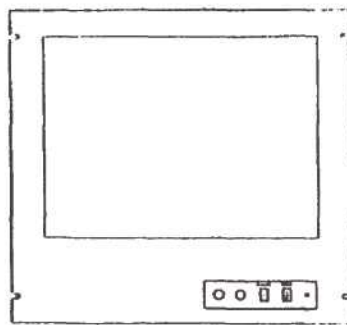


D. CEDMCS OPERATOR MODULE

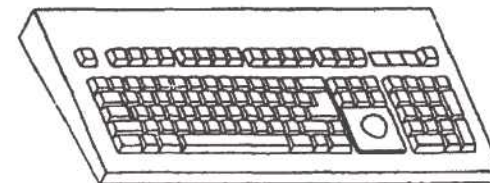


E. CEA LCD KEYPAD

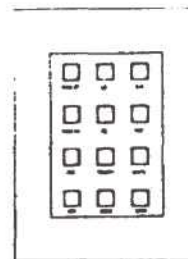
2. REACTOR PROTECTION AND PLANT MONITORING COMPONENTS ON THE CENTER & RIGHT SECTIONS OF PM06.



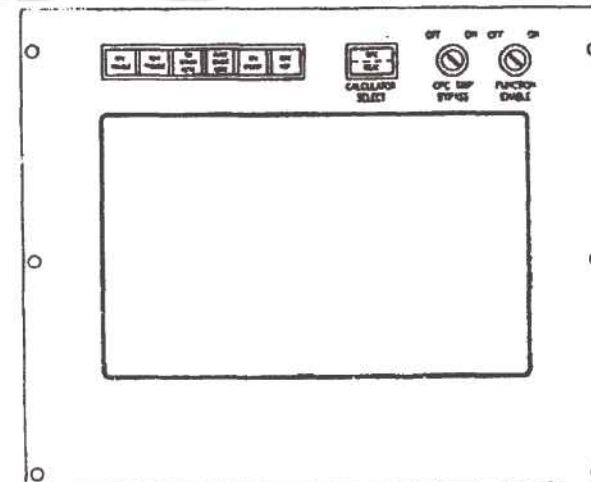
A. CRT MONITOR-CFM & UTILITY
(CRT ALARM MONITOR NOT DISPLAYED)



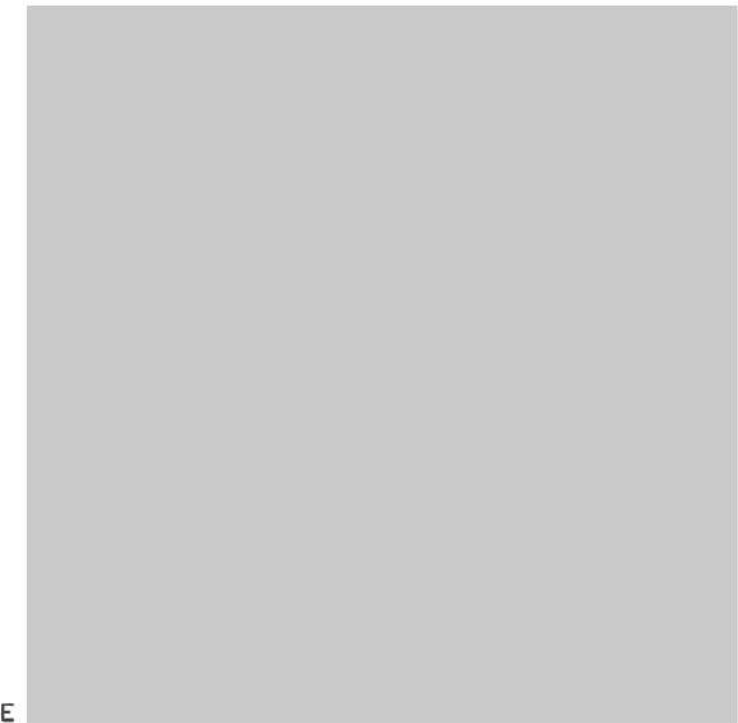
B. KEYBOARD-CFM & UTILITY



C. ALARM CRT FUNCTION KEY



D. CORE PROTECTION CALCULATOR OPERATOR MODULE

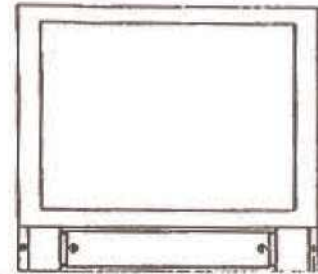


한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

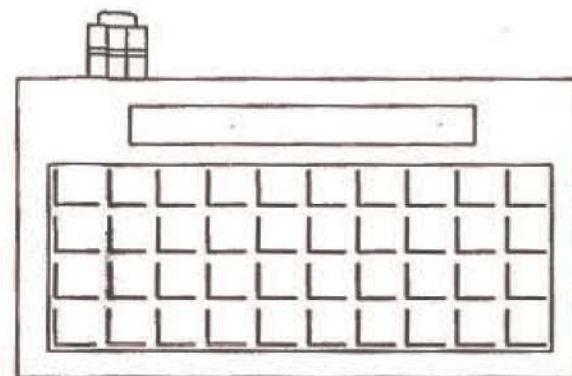
기타 제어 및 지시기

그림 18.2-22 (4 중 1)

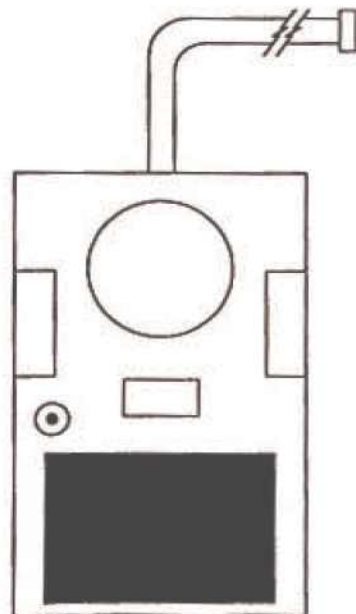
3. TURBINE-GENERATOR COMPONENTS ON PM09.



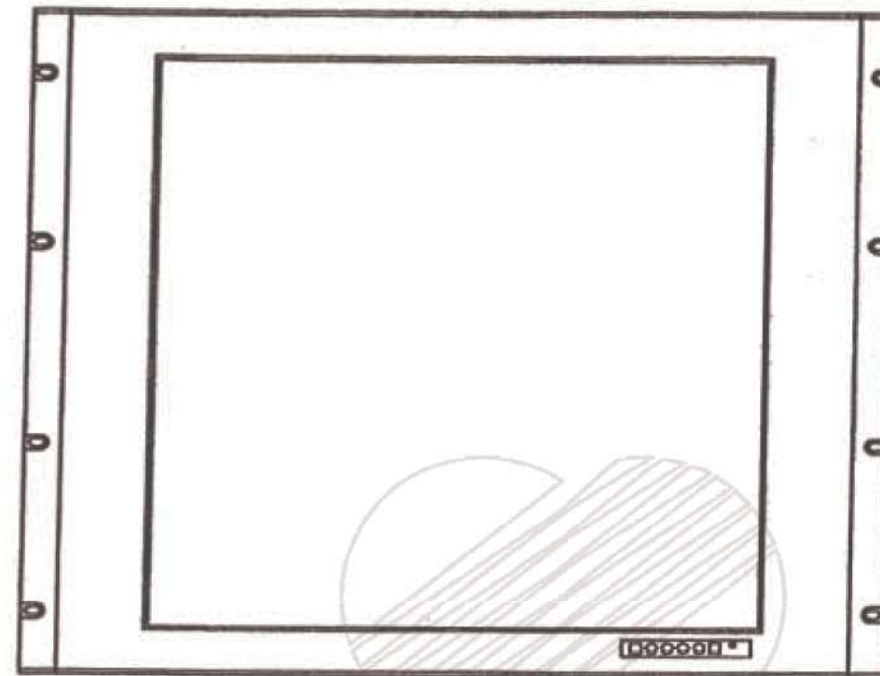
A. CRT DIGITAL CONTROL MONITORING.



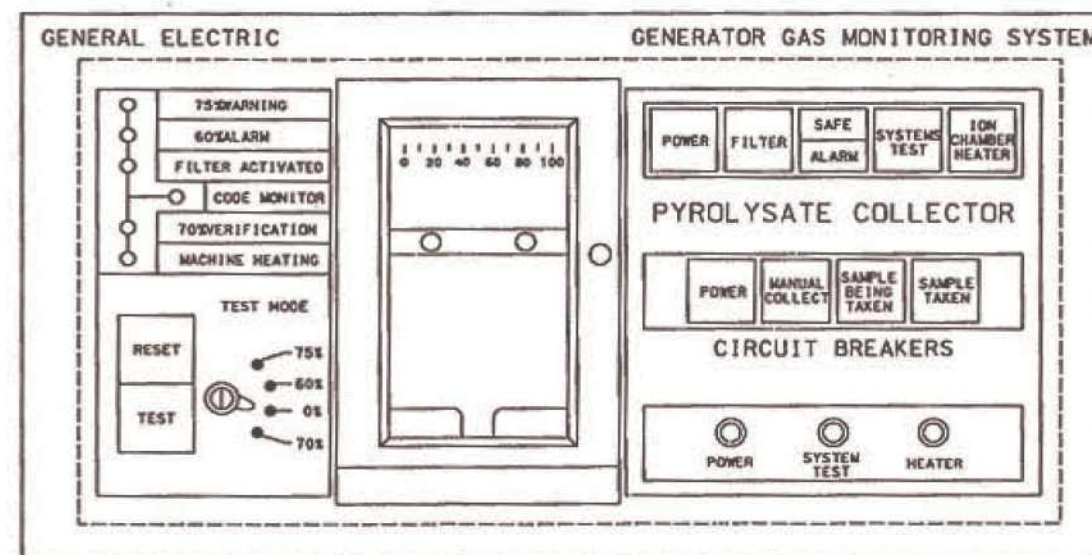
B. BACKUP PANEL.



D. TRACKBALL

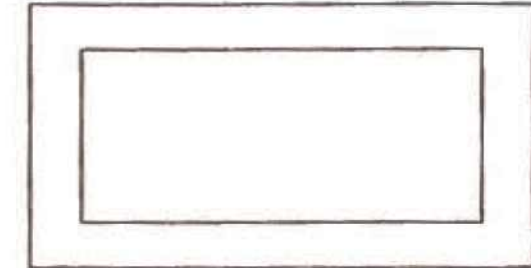


C. GENERATOR EXCITATION CONTROL.

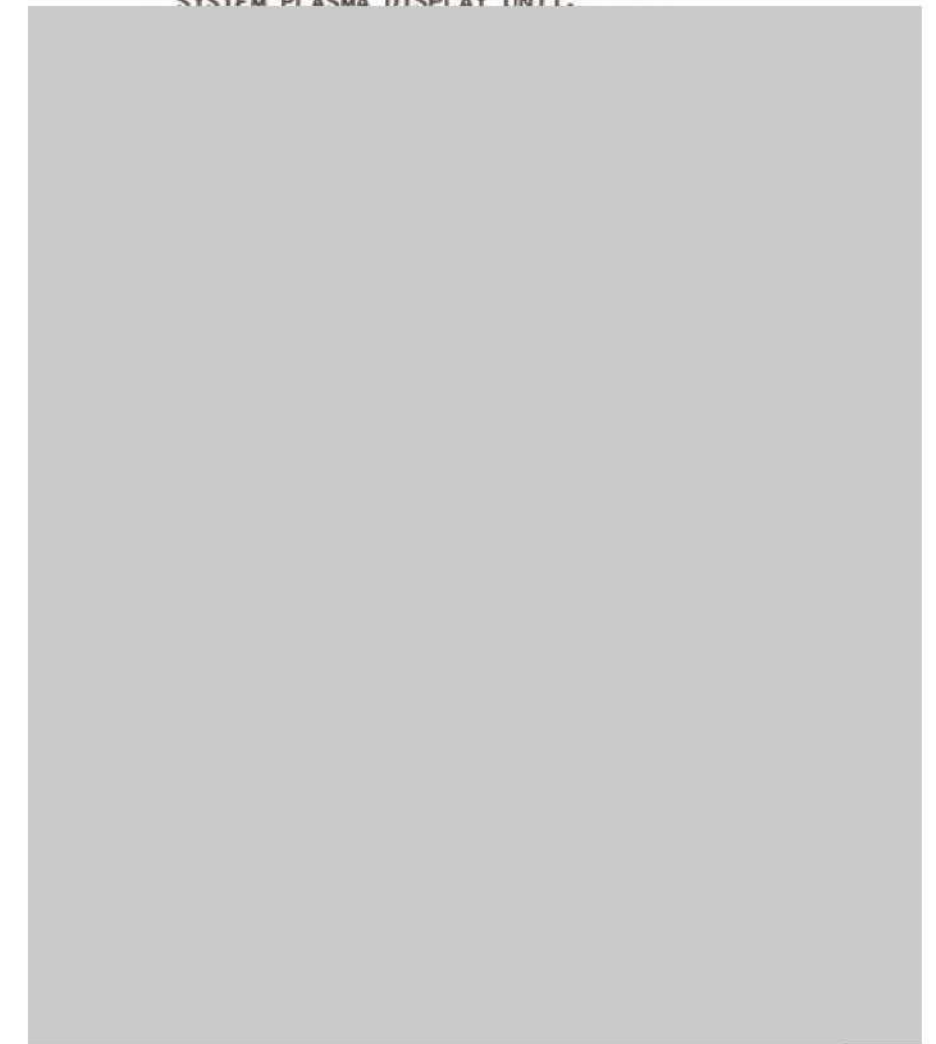


E. GENERATOR GAS MONITOR.

4. REACTOR COOLANT COMPONENTS ON PM04.



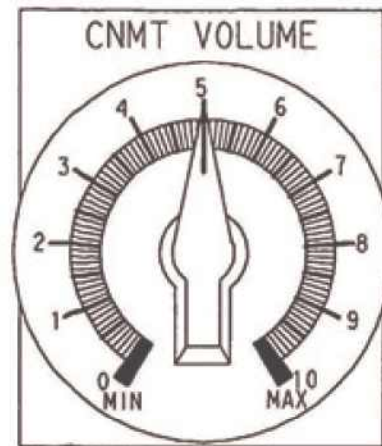
A. INADEQUATE CORE COOLING MONITORING
SYSTEM PLASMA DISPLAY UNIT.



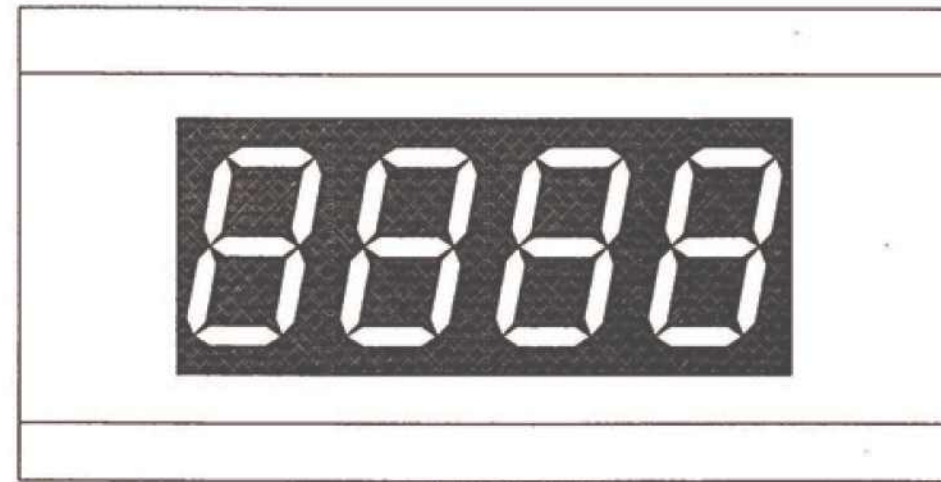
한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

기타 제어 및 지시기

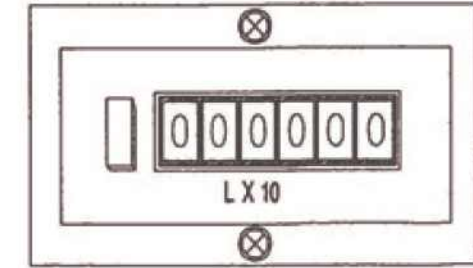
그림 18.2-22 (4 중 2)



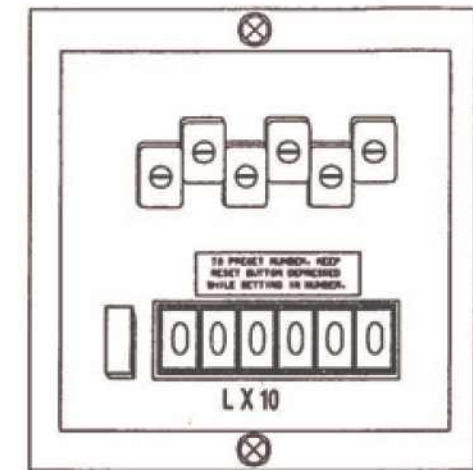
SPEAKER VOLUME
CONTROL SW
ALLEN-BRADLEY
(P/N:25M 784)



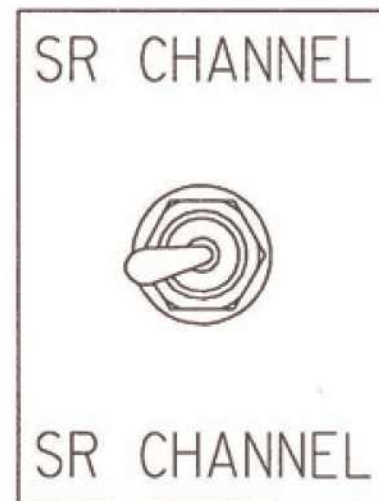
DIGITAL INDICATOR



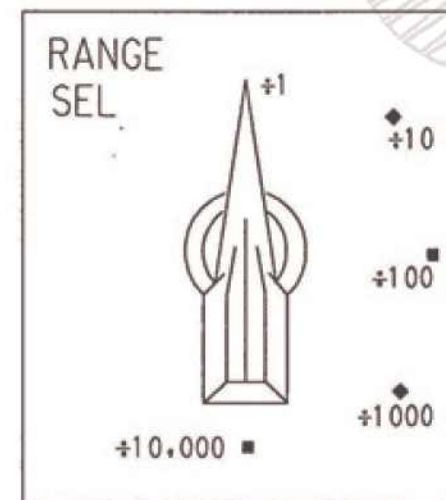
FLOW COUNTER CE
(TYPE MI 611)



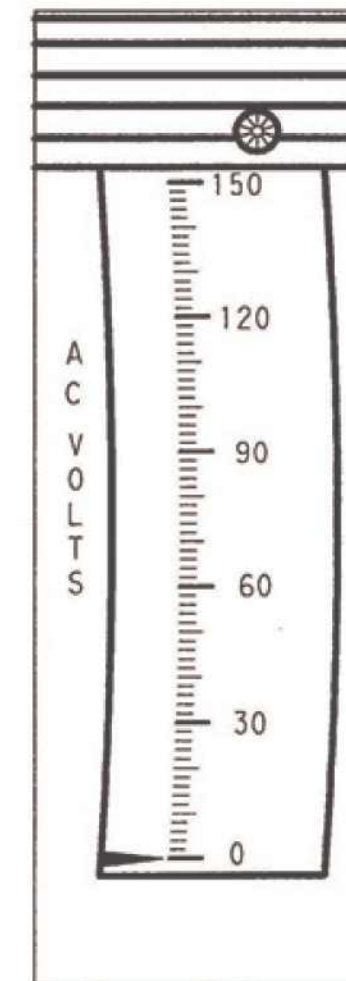
FLOW COUNTER CE
(TYPE MVS1611)



CHANNEL SELECTOR SW
CUTLER-HAMMER
(7664K5)



CHANNEL RANGE SELECTOR SW
GRAY HILL
(44A45)



ELECTRICAL INDICATOR
SIGMA



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6 호기
최종안전성분석보고서

기타 제어 및 지시기

그림 18.2-22 (4 중 3)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

기타 제어 및 지시기

그림 18.2-22 (4 중 4)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

발전소 배치
(제어실, 원격정지실, 비상기술지원실)

그림 18.2-23



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

제어실 및 전산실

그림 18.2-24

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18.3 안전변수지시계통

본 절은 NUREG-0800, "USNRC Standard Review Plan (SRP)" 기준을 근거로 하여 기술되었으며, 다음 기준들은 표준심사지침 18.3절 II항을 기준으로 하고 있다.

가. 안전변수지시계통은 주제어실 운전원이 이용하기에 편리한 위치에 설치되어야 한다.

나. 안전변수지시계통은 노심손상사건을 방지하기 위해 제어실 운전원이 발전소 안전 상태를 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 1차계통으로부터 열제거
- 3) 원자로냉각재계통 건전성
- 4) 방사능 제어
- 5) 격납건물 상태

라. 안전변수지시계통은 주제어실 운전원이 표시정보를 쉽게 인지하고 이해할 수 있도록 인간공학 원리를 적용하여 설계되어야 한다.

안전변수지시계통의 기능들은 필수안전기능감시계통내에 구현되며, 필수안전기능감시계통의 약어로 CFMS를 사용한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

계통 개요

필수안전기능감시계통은 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 설계되었다. 필수안전기능감시계통은 발전소감시계통내에 포함되어 있으며, 특별히 필수안전기능감시계통은

가. 필수안전기능감시계통 화면을 주제어실, 비상기술지원실(TSC), 비상대책실(EOF) 및 핵비상대응센터(NERC)에 제공되며,

나. 과거자료 저장/재생기능에 의해 지원된다.

필수안전기능감시계통의 정보전달을 위한 설비구성은 주제어실의 칼라-그래픽 CRT 및 프린터, 비상기술지원실의 칼라-그래픽 CRT 및 한 대의 프린터, 비상대책실에 설치된 한 대의 칼라-그래픽 CRT와 1대의 프린터 그리고 핵비상대응센터에 설치된 칼라-그래픽 CRT를 포함한다 (그림 7.7-12 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"은 사업자들이 반드시 이행해야만 하는 조치사항들을 기술하고 있다. 조치사항 I.D.2는 운전원이 발전소의 안전상태를 감시하기 위해 필요로 하는 최소한의 변수들을 화면에 표시해주는 안전변수지시계통을 요구한다. 조치사항 III.A.1.2는 주제어실에 있는 운전원들 이외의 사람들에게 발전소의 상태를 전송하고 화면에 표시해주기 위해 필요한 비상 보조 설비를 요구한다.

안전변수지시계통과 비상대응설비를 위한 구체적인 요구사항은 NUREG-0696, "Functional

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

Criteria for Emergency Response Facilities” 및 NUREG-0737에 대한 첨부 1, “Requirements for Emergency Response Capability”에 정의되어 있다. 이 문서들은 안전변수지시계통(SPDS), 발전소내의 비상기술지원실(TSC), 발전소 인근의 비상대책실(EOF), 그리고 원자력자료전송로(NDL) 등을 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 문서 내용들과 관련된 많은 산업계의 조치들로부터 유래되었다.

필수안전기능감시계통의 설계기준은 기능, 하드웨어 및 소프트웨어 등 3가지로 구분되며 7.7.1.3.4.1절에 기술되었다

18.3.2 기능

표 7.7-4는 필수안전기능감시 변수들을 나타내고 있으며, 필수안전기능감시계통의 기능은 7.7.1.3.4.2.1절에 기술되어 있다.

필수안전기능감시계통은 발전소의 정상 및 비정상 운전상황에서 발전소 상태를 평가하기 위하여 간결하고, 이해하기 쉽고 집적된 정보를 운전원에게 제공한다. 정상 및 비정상 운전은 NUREG-0800, 18.3장의 부록A 붙임 2에서 기술하고 있듯이 출력운전, 고온정지 및 고온대기를 포함하는 발전소상태를 말한다.

필수안전기능감시계통 기능은 7.7.1.3.4.2.1절에서 기술하고 있는 바와 같이 노심반응도 제어, 노심열제거, 원자로냉각재계통 재고량 제어, 원자로냉각재계통 압력 제어, 원자로냉각재계통 열제거, 격납건물 건전성 제어, 격납건물격리, 방사능방출 제어와 필수 보조계통 유지 등 발전소의 필수안전기능 상태를 감시하고 필수안전기능이 유지되지 못할 경우 경보를 제공하는 것이다. 필수안전기능감시계통은 경보의 발생 원인을 손쉽게 추적할 수 있도록 섹터 경보를 제공하며, 인간공학적 요건을 적용하여 설계된 미믹 화면을 통해 발전소의 계통 및 기기에 대한 상태를 표시해 준다.

경보의 발생은 기호의 색깔을 경보색으로 바꾸고 깜박거리게 하며, 발전소경보계통으로

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

출력신호를 제공한다. 필수안전기능감시계통 경보는 주제어실의 주 화면 표시판에 있는 인지 버튼을 누름으로써 인지되어 깜박거림을 멈추게 되며, 발전소정보계통 경보와 같은 주제어실의 기타 경보에는 영향을 미치지 않는다.

필수안전기능감시계통의 기능을 지원하기 위하여 7.7.1.3.4.2.2절부터 7.7.1.3.4.2.5절에서 기술되는 경보현황표, 감지기고장현황표, 그래픽추이표시와 과거자료 저장 및 재생 기능이 발전소감시계통에서 제공된다.

18.3.3 입력 변수 검증

각각의 필수안전 기능을 위한 주요 입력 변수들에 대한 입력신호 검증은 다음의 두가지 방법으로 실행된다.

가. 감지기 고장 - 각 감지기의 입력 값은 하드웨어 고장의 여부를 검사하기 위하여 조사된다. 고장이 검출되면 입력 값은 "감지기고장(bad data)"으로 표시되고, 주제어실 운전원에게 CRT를 통하여 알려진다.

나. 감지기 건전성 - 감지기가 고장 상태가 아니면, 아날로그 입력 값은 고 및 저 신호 극한치와 비교된다. 이때 극한치를 벗어나는 감지기 입력 값은 계산에서 제외되며, "신호범위이탈(out of range)"로 표시된다. 그리고 주제어실 운전원에게 CRT를 통하여 알려진다. 입력값이 정상운전 범위를 벗어난 감지기는 입력값이 정상운전 범위로 회복 되는지 계속해서 감시된다.

18.3.4 정보 표시

필수안전기능감시계통에 대한 기본적인 사용자와의 연계는 칼라-그래픽 CRT를 통하여 이루어진다. 각각의 CRT는 필수안전기능감시계통 화면을 표시할 수 있으며, 이들 CRT는 주제어실, 비상기술지원실, 비상대책실 및 핵비상대응센터에 설치되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18.3.4.1 표시계층 구조

필수안전기능감시계통은 정상 및 비정상 운전 상태시 운전원이 발전소 안전 상태를 신속하고 명료하게 이해할 수 있는 형태로 발전소 정보를 제공한다. 운전자가 발전소 안전 상태 관련 정보를 신속하고 명료하게 이해할 수 있도록 필수안전기능감시계통의 화면들은 계층적으로 구성되어 있다. 가장 높은 단계(제 1단계)는 발전소 안전 상태의 전반적인 정보와 하위 계층의 메뉴를 보여준다. 중간 단계(제 2단계)는 각 필수안전기능과 관련된 제어 루프 및 주 기기들을 모형도 형태로 보여준다. 가장 낮은 단계(제 3단계)는 기기들에 대한 상세한 정보를 제공한다.

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

나. 필수안전기능감시계통 화면페이지는 다음의 3단계의 계층적 구조로 배열된다.

- 1) 1단계 : 감시 (필수안전기능상태) - 그림 18.3-2
- 2) 2단계 : 제어 (계통요약정보) - 그림 18.3-4
- 3) 3단계 : 진단 (계통 상세정보) - 그림 18.3-5

다. 제 1단계 화면표시는 발전소와 필수안전기능감시계통에 대한 개괄적인 정보를 제공한다. 제 1단계는 주로 문자와 숫자로 표시되는 화면이다.

라. 제 1단계의 화면페이지는 다음을 포함한다.

- 1) 화면표시 목록
- 2) 필수안전기능감시페이지

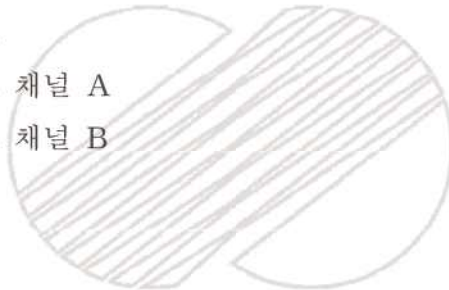
마. 제 2단계의 화면 페이지는 다음을 포함한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 1) 노심 반응도 표시화면
- 2) 노심열제거 표시화면
- 3) 일차계통 표시화면
- 4) 이차계통 표시화면
- 5) 격납건물 표시화면
- 6) 환경 표시화면
- 7) 필수보조계통 유지 표시화면

바. 제 3단계의 화면 페이지는 다음을 포함한다.

- 1) 포화 여유도
- 2) 원자로용기 수위
- 3) 노심 출구온도
- 4) 노심 출구온도 채널 A
- 5) 노심 출구온도 채널 B
- 6) 안전주입펌프
- 7) 안전주입탱크
- 8) 유출/유입
- 9) 봉산주입/회석
- 10) 가압기
- 11) 정지냉각계통
- 12) 주증기계통
- 13) 주급수계통
- 14) 보조급수계통
- 15) 격납건물 살수/냉각
- 16) 격납건물 퍼지/기체 제어
- 17) 격납건물 격리 1
- 18) 격납건물 격리 2
- 19) 격납건물 격리 3
- 20) 격납건물 격리 4



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 21) 핵연료건물 공기조화계통
- 22) 주제어실 공기조화계통
- 23) 공학적안전설비 보조 전원(계열 A, B)
- 24) 대체교류전원
- 25) 기기냉각수 계열 A
- 26) 기기냉각수 계열 B

사. 각 필수안전기능감시계통 화면 페이지에는 중복되지 않는 세자리 숫자의 화면 번호가 부여 된다. 페이지 번호의 첫번째 자리는 계층구조의 단계를 의미한다.

18.3.4.2 표시화면 접근

운전원은 칼라-그래픽 CRT상의 표시화면을 메뉴 선택이나, 논리적 관련성을 가진 표시 화면들의 미리 짜여진 흐름에 따라 선택할 수 있다.

메뉴선택 방법은 운전원이 CRT상의 필수안전기능감시계통의 주 디렉토리 표시화면을 메뉴상에서 선택하고 원하는 필수안전기능감시계통 표시화면 번호를 키보드를 이용하여 입력하거나, 화면상에서 마우스로 선택하면 된다.

표시화면의 미리 짜여진 흐름에 의한 방법은 주제어실 운전원이 이용하는 전형적인 표시 화면 접근 방법이다. 표시화면의 흐름은 표시화면들의 계층적 연관성과 운전원이 필요로 하는 정보의 선택에 의해 결정된다. 이와같은 흐름은 다음과 같은 정보흐름의 대표적인 경로에 의해 설명될 수 있다.

필수안전기능감시계통의 정상운전 모드시는 표시화면 계층구조 1 단계인 개괄도가 CRT 상에 표시된다. 이 개괄도에는 각 필수안전기능의 상태를 표시하도록 9개의 칼러 코드화된 행렬 상자로 표시된다. 각각의 상자에는 필수안전기능의 명칭과 관련된 주요 변수들이 표시된다. 필수안전기능의 가장 최신 상태에 따라 각 상자의 경계선과 상자안에 있는 주요 변수 목록은 그 색과 깜박임이 변화도록 설계되어 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

경보 상황이 발생하면, 섹터 번호가 현재 경보상태에 있는 매개 변수 오른쪽에 표시된다. 경보의 성격에 따라 각기 다른 섹터 번호를 가진 여러개의 매개 변수가 경보상태로 표시되기도 한다. 이러한 상황이 발생하면 운전원은 먼저 어떤 매개 변수와 관련 제어시스템이 조사되어야 하는지를 결정하고, 키보드를 이용하여 결정된 섹터번호를 입력하거나, 화면상에서 마우스로 선택한다. 이에 따라 미리 짜여진 표시화면 흐름중에서 선택된 섹터번호와 관련있는 표시화면이 CRT상에 나타난다. 이와 같은 섹터링 기법을 이용할 때 복잡한 계층적 구조를 가진 여러 표시화면 중에서 필요한 표시화면을 신속하게 선택할 수 있다. 필요하다면 운전원은 이와 같은 섹터링 방법을 통하여 보다 세부적인 표시화면으로의 신속한 접근을 할 수 있다. 필수안전기능감시계통을 표시하기 위해 사용하는 CRT에서도 운전지원 감시화면을 나타낼 수 있다. 이때 소형으로 변형된 필수안전기능감시계통 경보행렬 상자가 모든 표시화면 좌측상단에 나타나며, 이는 필수안전기능의 연속적인 표시에 대한 필요성을 만족시켜 준다.

18.3.4.3 인간공학적 설계기준

필수안전기능감시계통 표시화면은 18.1.4.3절에 기술된 "Human Factors Engineering Guideline Document, HF-010"를 이용하여 설계되었다. 표시화면은 주제어실 운전원에게 발전소의 불안정한 운전상황을 알려주는 필수안전기능감시계통의 주요기능을 시각적으로 지원하도록 설계되었다. 표시화면은 또한 경보상태를 강조하여 주제어실 운전원이 경보의 발생원인을 진단하는데 도움을 줄 수 있도록 설계되었다. 표시화면은 운전원이 경보상황을 신속하고 간결하게 인지할 수 있도록 설계되며, 이는 혼란방지, 일관성, 연속성 및 시간의 적절성 등을 고려하여 정보를 운전원에게 신속하고 정확하게 제공할 수 있도록 하기 위한 세부적인 일련의 설계 규칙의 적용에 따른 것이다. 설계규칙은 표시되는 정보의 크기, 형상, 위치 및 겹모양 등을 결정한다

18.3.4.3.1 표시형식

- 가. 필수안전기능감시계통은 아래와 같은 인간공학의 기준에 근거한 화면표시 방법을 사용한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 1) 기호학
- 2) 정보용 색 사용규칙
- 3) 운전용 색 사용규칙
- 4) 페이지 형식
- 5) 페이지 번호 체계
- 6) 숫자 표시형식
- 7) 동적 변화양식

나. 필수안전기능감시계통은 순환 모형도 표시를 이용한다. 순환 모형도가 불가능할 경우 왼쪽에서 오른쪽으로, 위에서 아래로의 흐름으로 가정한다.

다. 다섯 개의 추이화면 페이지가 각 공정변수의 시간에 따른 그래픽 추이표시화면을 제공하며, 각 추이표시화면 페이지는 4개의 변수까지 추이표시로 나타낼 수 있다. 추이표시화면에는 추이변수의 표시변경을 위한 시간간격(초), 변수명, 추이값의 최소, 최대 및 기본값이 추이표시와 함께 표시된다(그림 18.3-1). 추이표시화면은 운전원이 키보드 상에서 'VIDEO TREND'를 누름으로써 언제든지 용이하게 이용할 수 있다.

18.3.4.3.2 공정기호

공정기호를 이용함으로써 정보 구성을 용이하게 하고 운전원의 정보에 대한 이해력 향상 등을 도모할 수 있다. 공정기호는 펌프, 밸브, 배관 등과 같은 발전소 부품을 표현하는데 사용된다. 표시화면 구축을 위해 표준 공정 기호 라이브러리가 사용된다. 주제어실 운전원이 기기의 상태를 결정하는데 도움을 주기위해 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 동작 상태를 나타낸다. 전형적인 공정 기호 및 동작은 그림 18.3-3과 같다.

18.3.4.3.3 공정모형도

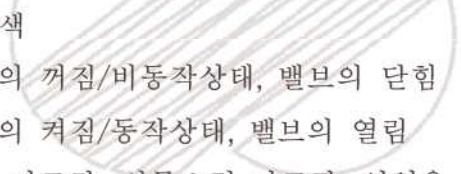
울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

공정모형도는 발전소 각 부품들의 물리적인 관계나 유체의 배관등을 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 표준화 되어 있으며, 유체의 유입 및 유출 경로의 연결선은 화면상의 외곽에 놓여지도록 하고 있다.

18.3.4.3.4 색 사용규칙

색은 애매모호하지 않고 분명하게 구별되는 정보를 운전원에게 전달하기 위한 부호매체로 사용된다. 색부호는 운전자의 빠른 탐색, 경고신호의 감지 및 기능적 관계의 확인 등에 도움을 준다. 색들은 서로 충분한 대조를 이룰 수 있도록 선택되었다.

색의 사용은 다음과 같다.

- 
- 1) 검정 - 배경색
 - 2) 초록 - 기기의 꺼짐/비동작상태, 밸브의 닫힘
 - 3) 빨강 - 기기의 켜짐/동작상태, 밸브의 열림
 - 4) 파랑 - 불량 자료값, 의문스런 자료값, 영역을 벗어난 자료값
 - 5) 황갈색 - 저 또는 고 경고, 대처 행동이 요구될 수도 있음
 - 6) 자홍색 - 저-저 또는 고-고 경고, 즉각적인 대처 행동이 요구됨
 - 7) 남색 - 에러, 도움 또는 단순 정보 메시지
 - 8) 흰색 - 서술형 정보, 정상상태의 자료값
 - 9) 호린흰색 - 구분선

18.3.4.3.5 기호 동작 특성

화면에 표시된 그래픽 기호나 문자는 안정 상태의 발전소 운전 상황하에서는 고정적으로 유지된다. 화면표시의 지속적인 갱신을 나타내기 위해 날짜와 시간을 모든 화면표시에 포함시킨다. 정상적인 변이상태에서는 기호는 고정적으로 남아있고 변수값만 발전소 상

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

태를 나타내기 위해 변경된다. 경보상태에서는 기호와 변수값의 색이 변하고 깜박거리게 된다. 경보상태에 대한 운전원의 인지를 나타내기 위해서는 화면상의 역상이 사용된다. 화면표시의 동작에 관한 자세한 내용은 7.7.1.3.4.2절에 기술하였다.

18.3.5 표시기 위치

필수안전기능감시계통은 CRT를 통하여 운전원에게 발전소 안전상태를 나타내는 화면을 제공한다. 각 CRT는 사용자가 원하는 화면을 선택할 수 있도록 각각의 키보드를 갖는다. 각 CRT는 필수안전기능감시계통의 화면중 어느 화면이나 지원가능하다. CRT는 주제어실, 비상기술지원실, 비상대책실 및 핵비상대응센터에 설치된다. 18.1절은 표시기의 위치 설정과 관련된 인간공학적 측면에 관하여 기술하고 있다.

18.3.6 확인 및 검증

필수안전기능감시계통의 인간공학적 확인 및 검증 업무는 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 달성하는데 필요한 필수안전기능감시계통의 모든 부분들이 가용한지 확인하고, 운전원의 직무 수행을 지원하지 않는 부분이 존재하는지 확인하는 업무를 수행한다. 가용성 확인은 정보의 가용성, 기능의 가용성, 기기 가용성 등의 확인 업무를 포함한다.

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

필수안전기능감시계통의 유효성 검증은 운전원에게 요구되는 직무를 성공적으로 지원할

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

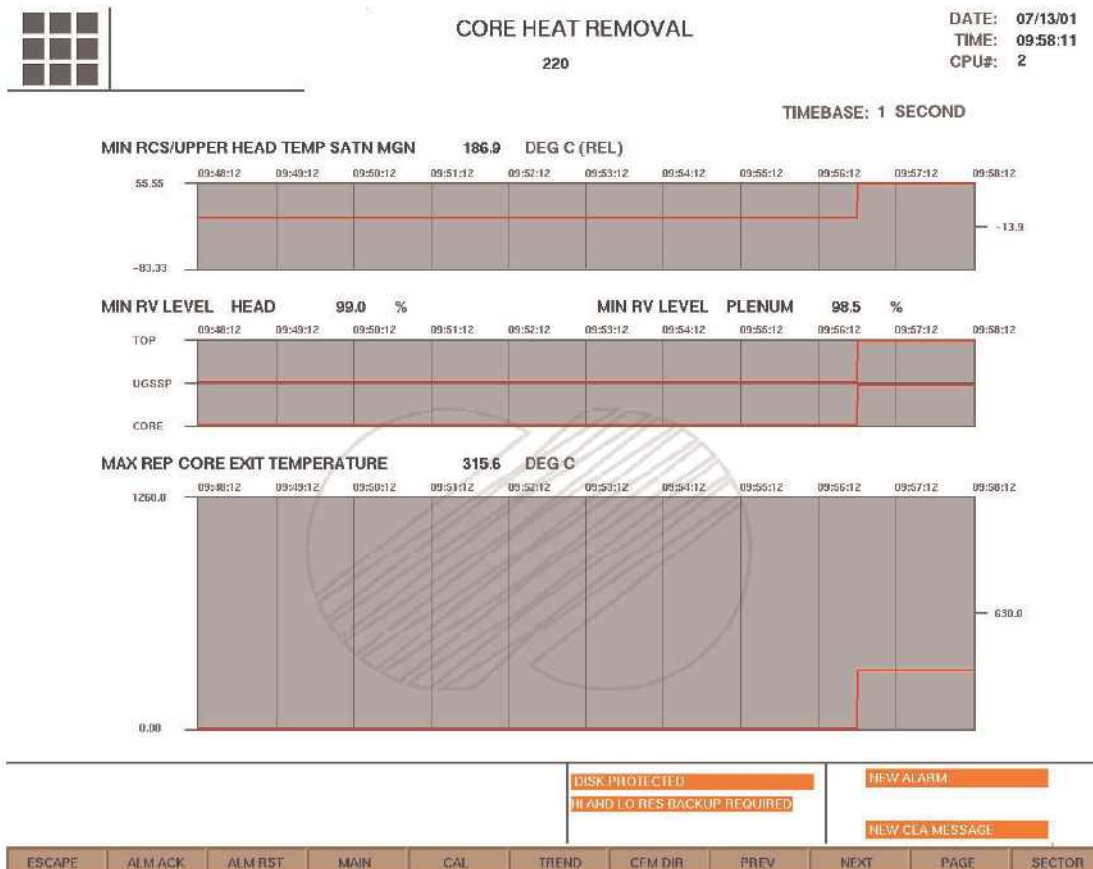
수 있도록 설계되었는지 평가한다. 필수안전기능감시계통에 대한 유효성 검증은 주제어실 확인 및 검증의 일부로서 수행되어야 하며 따로 분리되어 수행되어서는 안된다.

인간공학적 확인 및 검증을 통하여 규명된 인간공학적 문제점들은 적절한 기록양식에 따라 작성되고 관리되어야 하며, 기록 양식은 문제점에 대한 간략한 설명과 해소방안 등이 명시되어야 한다. 안전에 관련된 모든 인간공학적 문제점들은 설계자에게 통보되어 해결되어야 하며, 안전에 관련되지 않는 미해결 문제점은 성능, 효율, 신뢰도에 대한 잠재적 영향에 대해 평가되어야 한다.

18.3.7 훈련 및 지침서

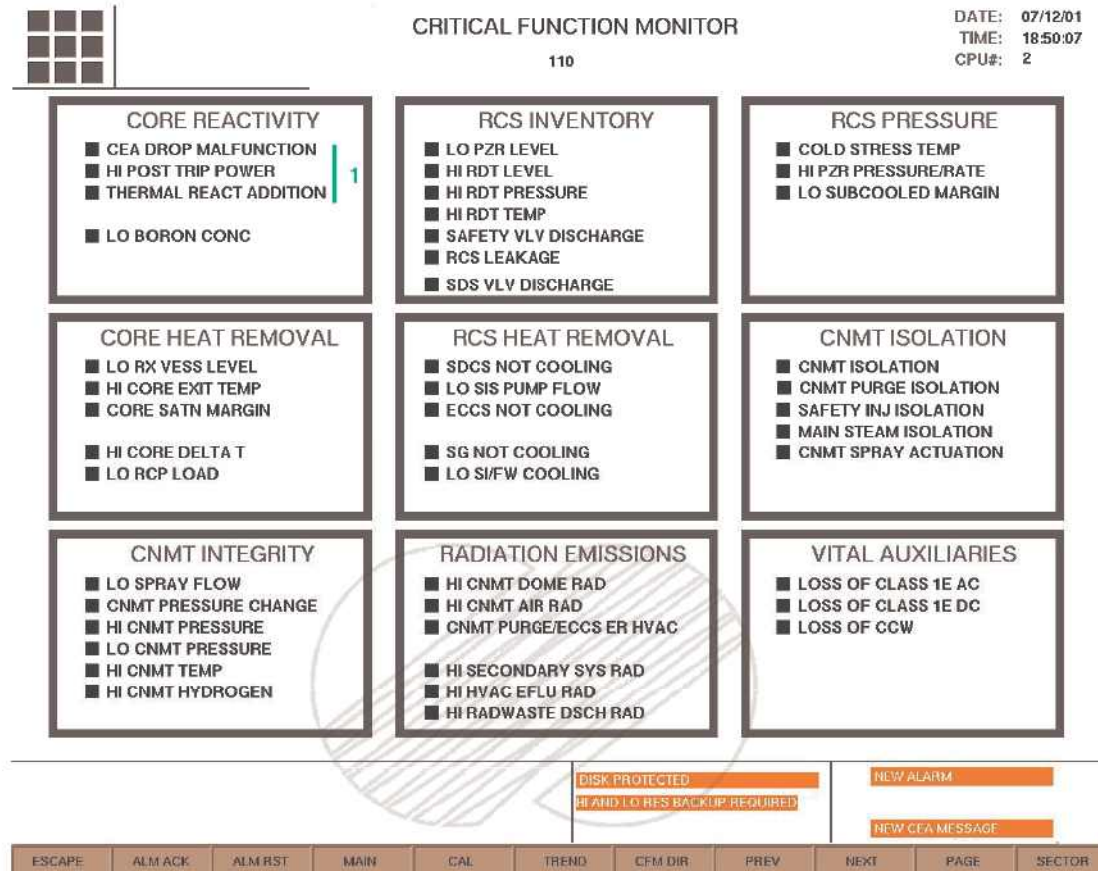
운전원 훈련계획은 필수안전기능감시계통 사용방법을 포함해야 하며, 사용자 지침서가 주 제어실내에서 운전원에게 항상 사용 가능하도록 하여야 한다.





한국수력원자력주식회사
울진원전 5,6 호기
최종안전성분석보고서

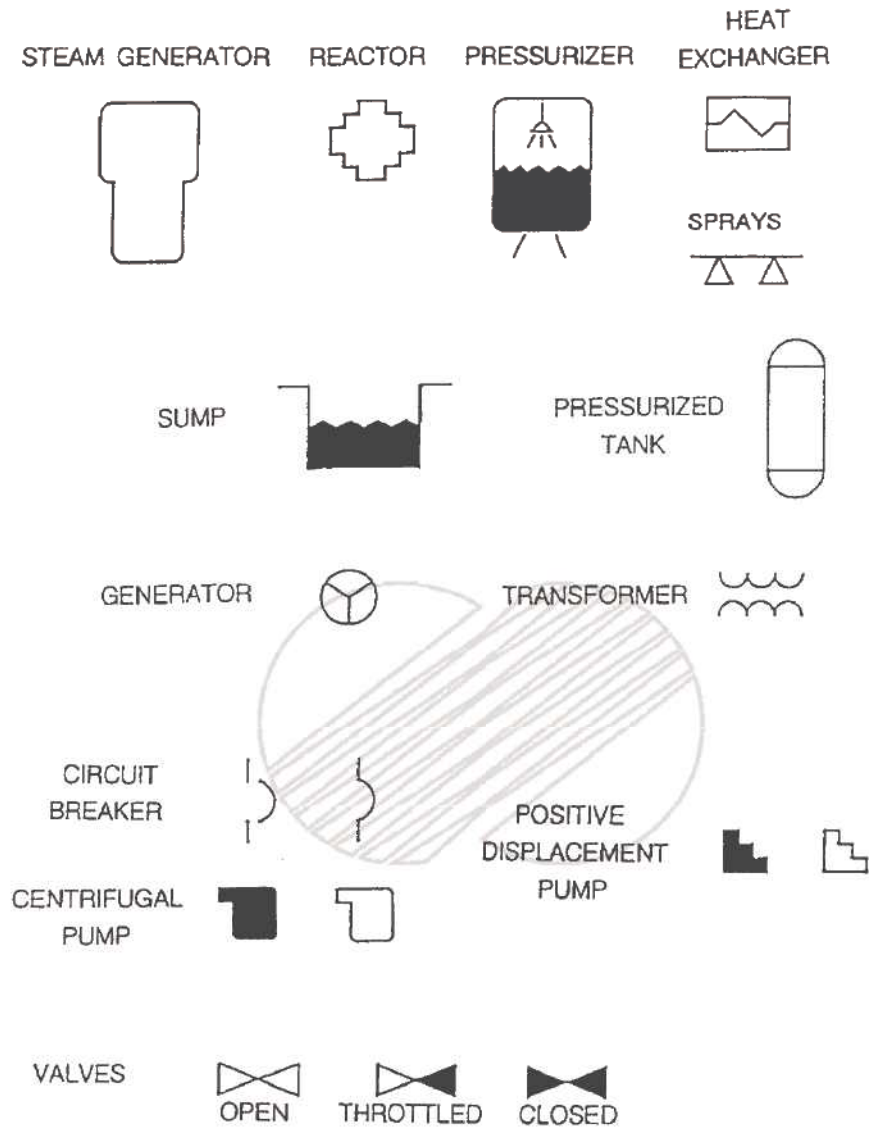
일반적인 추이표시화면의 예
그림 18.3-1



한국수력원자력주식회사
울진원전 5,6호기
최종안전성분석보고서

필수안전기능 감시의 경보행렬 표시화면
(제 1 단계 화면표시 예)

그림 18.3-2



한국수력원자력주식회사
울진원전 5,6호기
최종안전성분석보고서

표시화면의 대표적인 기호구성

그림 18.3-3



한국수력원자력주식회사
울진원전 5,6호기
최종안전성분석보고서

전형적인 미믹표시화면 예 1
(제 2 단계 화면표시 예)

그림 18.3-4



한국수력원자력주식회사
울진원전 5,6호기
최종안전성분석보고서

전형적인 미믹표시화면 예 2
(제 3 단계 화면표시 예)

그림 18.3-5

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

18.4 원격정지실

1

원격정지반(RSP)은 주제어반 설계와 동일한 인간공학 원리에 준하여 설계되었고 발전소 안전 운전에 적합한 인간-기계 연계를 보장함으로써 일반설계기준 19의 관련 요건을 만족시키고 있다. 원격정지반에 대한 인간공학 원리는 18.1절에 약술된 바 있으나 보다 상세한 기술사항 및 설계기준은 울진 5,6호기 인간공학 설계기준서에 나타나 있다. 인간공학은 원격정지반의 운전성 측면에서 효율적이고 안전한 운전을 도모하도록 적용되었다. 원격정지반 설계는 필요정보의 이용성, 수행될 직무를 위한 제어의 적합성, 전반적인 제어반 배치의 효율성 및 환경조건의 적합성 등의 관점에서 운전원에게 어떤 영향을 미치는가를 고려하였다.

본 절에서는 원격정지반에 적용된 인간공학 설계기준을 제시한다.

18.4.1 원격정지실의 작업공간

1

원격정지실의 배치도는 그림 18.4-1에 보여주고 있다. 안전성관련 원격정지반 "A" (RU01A)는 방화벽(방호문이 설치된 벽)에 의해 나뉘어진 한쪽방에 위치하고 또다른 안전성관련 원격정지반 "B" (RU01B)는 다른쪽 방에 위치되고 있다. 원격정지반은 주제어실로부터 접근이 용이하며 일반인의 출입이 제한된 지역에 위치되었다. 각각의 안전성 원격정지반은 한쪽방에서 일어난 화재가 다른쪽 방에서의 발전소 안전정지(safe shutdown)에 영향이 없음을 보장하도록 물리적으로 분리된 지역내에 위치하였다. 원격정지실은 정비, 운전성을 고려하고 필요한 만큼의 관련도면을 저장하기 위한 적절한 공간이 제공되었다. 원격정지반 "A" (RU01A)와 "B" (RU01B)는 각각 독립된 벤치 보드형 제어반이고 발전소 고온정지기능 및 일부 상온 정지기능을 수행하고 유지하는데 필요한 계기와 제어기기를 포함하고 있다.

18.4.1.1 울진 5호기와 6호기 유사성

울진 5호기와 6호기의 원격정지반은 평면배치, 실내환경(온도, 습도, 조명등), 판넬기기 배열, 판넬 크기와 모양이 동일하게 적용되었다. 문서, 명판, 용어, 약어 역시 동일하고 이

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

러한 유사성은 구매규격서, 발전소 절차서, 기타 지침서 뿐만 아니라 명판의 형식, 글자높이 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 원격정지반 설계시 배제되었다.

18.4.1.3 통신

원격정지실은 소내호출설비를 이용하여 발전소 주변과 통신이 용이하도록 충분한 통신장비를 갖추고 있다. 통신계통은 원격 정지반에서 운전이 지장이 없도록 편리한 곳에 설치되고, 사용하기 쉽고, 정상 및 비상시 필요한 모든 기능을 발휘할 수 있다. 소내호출설비에 대한 상세사항은 18.2.1.3절과 18.1.4.19절에 기술되었다.

18.4.1.4 거주성

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

18.4.1.5 접근성

원격정지실의 접근은 지나친 통행이나 소란을 금하도록 제한되고 통제된다. 원격정지반
관련자가 아닌 모든 발전소 직원은 방문자로 간주되어 발전팀장의 승인 없이는 원격정지
실로 들어갈 수 없다. 원격정지실의 접근은 잠겨진 문을 이용하고 행정적으로 통제된다.
원격정지실에서 나오는 것은 접근과 반대방법으로 한다. 동시에 2인이 통과할 수 있도록
출입구는 최소 122 cm (48 in)의 폭으로 설계되었다.

18.4.1.6 저장 공간

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

원격정지실에서 안전정지를 유지하기 위하여 요구되는 모든 발전소 절차서, 문서, 도면의 영구적 보관을 위한 적절한 공간이 제공된다. 일반적인 운전원 사용기기 뿐만 아니라 열쇠, 안전모, 코트 및 손전등을 두기 위한 적절한 공간이 확보되어 있다.

18.4.1.7 유지 정비

원격정지반은 발전소의 특수한 운전모드나 주기적 시험시에만 사용되기 때문에 빈번하고 힘든 유지 정비가 불필요하다. 원격정지실은 일반유지 정비활동을 위한 판넬설계, 공간(room)배치와 주위환경이 잘 고려되어 있다. 공간배치에는 판넬 앞뒤에 충분한 여유공간이 제공된다. 판넬은 벤치보드형이고, 뒷편에서 접근할 수 있으며, 문을 열고 쉽게 내부접근이 가능하도록 되어있고, 화재 방호벽, 내진 지지대 및 내부 케이블 전송로가 유지정비시 장애가 되지 않도록 되어있다. 주기적 유지정비시 사용하기 위해 임시조명용 콘센트가 설치되어 있다.

18.4.2 원격정지실 환경

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

18.4.2.1 소음

주변소음은 청각정보와 분명하게 구분이 되고 운전원간에 의사전달이 손쉽게 될 수 있도록 충분히 낮다. 주변 소음원은 잠겨진 문을 이용한 각개인의 출입을 제한하거나, 발전과장의 승인을 득하도록 함으로서 제어된다. 세부적인 사항은 18.2.2.1절에서 설명되어 있다.

18.4.2.2 조도

조도는 필요한 업무가 안전하고 정확한 방법으로 수행될 수 있도록 충분해야하나 지나치게 눈부실 정도로 높지는 않아야 한다. 비상조명은 조명계통 상실시에 작동되는 보조계

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

통으로 원격정지실에서 이용 가능한 발전소 조명계통과는 독립된 설비이다. 비상조명은 정상조명 상실시에 자동적이고 즉각적으로 작동된다. 이 조명계통은 주제어실 조명계통과 유사하고 좀더 자세한 사항은 18.2.2.2절에 명시되어 있다.

18.4.2.3 습도, 온도 및 환기

공기조화계통은 인간이 편안함을 느끼는 범위인 온도 70~77°F (21~25°C)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 18.4-3과 그림 18.4-4는 원격정지반의 5~95%의 채위에 대한 기능적 접근성 및 시각을 나타내고 있다. 입석운전시 제어기의 설치높이는 5% 채위 사용자의 기능적 접근성 범위내로 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 일직선 가시선에 상응하는 지시기 거리 및 방향.
- 다. 판독거리에 상응하는 지시기 표식의 크기.

원격정지반은 아래 크기에 따르고 있다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

- 가. 벤치보드 높이는 []이고, 입석시 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(유지보수 편이성).
- 라. 운전원이 벤치보드에 기댔을 경우 부주의로 인해 제어기를 작동시키거나 벤치보드 전면의 날카로움으로 인한 불편함을 느끼지 않도록 벤치보드 부분 하단 전면 수직으로 []의 평평한 면이 제공된다.
- 마. 운전원이 수직 부분에 쉽게 접근할 수 있도록 5% 체위 남자의 팔 길이나 기능적 접근성(어깨부터 손가락 끝까지)을 기준으로 하여 벤치보드 깊이가 []로 결정되었다.
- 바. 수직면 높이는 운전원이 수직부분에 설치된 가장 높은 곳의 제어기에 도달할 수 있도록 산정되고 이는 5% 체위 남자가 서 있을 때 팔 길이나 기능적 접근성(어깨부터 손가락 끝까지)에 기준한다.
- 사. 패널높이는 원격정지실의 천장높이를 고려하여 []로 한다. 이는 낮은 곳의 천장 높이가 운전원이 최상단 지시계를 주시하는 각도보다 [] 이상되어야 하는 인간공학 개념을 근거로 한 것이다.

18.4.3.1 패널의 일관성 및 표준화

원격정지반은 표준화, 일관성, 그룹화, 판독성 등과 같이 주제어실에서 적용한 인간공학 설계기준과 동일하게 설계되었다. 패널에 제공되는 기기는 주제어실 거주성이 다시 확보될 때까지 발전소 고온정지와 일부 저온정지를 유지하는데 필요한 기기만을 포함하고 있다. 원격정지반 제어기기 및 지시기는 주제어실에 사용된 기기와 동일한 표준화된 하드

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

웨어를 사용한다.

18.4.3.2 지시기 및 제어기 그룹

관련 계기 및 제어기는 모든 판넬에 그룹을 지어 배열된다. 이들 계기들은 기능성 및 운전성 향상을 도모할 수 있도록 공간을 이용하거나 계기들을 묶어서 배열한다. 상호관련된 지시계와 제어기는 가까운 곳에 배치되어 있다.

18.4.4 시각 지시기

시각 지시기는 읽기 쉽고, 분명하고, 유지정비가 용이하며, 필요한 관련정보를 제공하도록 되어있다. 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 실제 상태인지를 구분한다.

라. 요구되는 정확도가 제공된다.

마. 운전원은 제어기 조작시에 피드백 신호를 제공받는다.

한 बैं크에 여러개의 지시계 혹은 같은 변수의 다중지시계와 같이 지시계들이 군을 지어 설치될 경우 운전원에게 관련정보를 명확하게 제공해 주도록 조직화하여 배열되었다. 지시등의 군들은 계통 또는 운전순서를 반영하여 배열하였다.

18.4.4.1 지시등

지시등은 빛 반사 및 주변 조명하에서 읽기쉽고, 유지정비가 용이하며, 주변 판넬보다 적

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

어도 10% 더 밝고 주변 조명하에서도 명확하게 인지할 수 있다.

지시등의 색깔코딩은 기기상태가 명확히 식별될 수 있도록 렌즈 색상 또는 발광다이오드를 이용하였다. 지시등 색깔별 의미는 다음과 같다. 적색은 기기 및 공정의 작동, 또는 에너지 흐름(열림, 기동, 켜짐), 녹색은 기기 및 공정의 정지, 또는 에너지 흐름단절(단힘, 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 가능하다. 글자는 육안으로 충분히 쉽게 이해될 정도의 크기로서 전문 용어는 모든 지시등에 일관성이 유지된다. 용어와 기기명칭은 지시등 램프가 소손되거나 전원이 상실될 경우에도 읽을 수 있도록 계기 혹은 명판에 글자를 새겼다.

18.4.4.2 계기와 기록계

계기는 발전소의 모든 상태에서 사용하기 쉽고, 정밀하고 명확하다. 계기눈금은 명확히 구분되어야 하며 선형눈금으로서 일반적으로 대,중,소 눈금을 이용하였다. 눈금 단위는 변수를 해석하는데 운전원이 선호하는 것을 사용하고 모든 계기와 지시계에 미터단위를 적용하였다. 눈금시작과 끝은 대눈금을 사용하고 최대 눈금범위와 일치되고 있다. 경우에 따라서 예외 사항이 있을 수 있으며, 이러한 사항은 인간공학적 평가결과에 준하여 그 적용여부가 결정된다. 예로서 출력계기와 방사선 준위지시계가 비선형눈금을 사용하는 것과 규제지침서 1.97에 관련된 변수 등이 이에 속한다. 계기 전원상실시 계기는 전원상실 상태를 명확히 지시하고 있다.

계기 및 기록계에 대한 상기 이외의 사항은 다음과 같다.

- 가. 계통 정보의 우수한 표시 효과를 얻고 운전성 향상을 꾀할 수 있도록 최소 4개 숫자의 발광 다이오드 표시기를 지닌 아날로그 막대그래프 계기가 사용된다.
- 나. 다중눈금계기는 데이터 비교와 같이 운전성 향상에 유익할 경우 사용된다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

다. 계기 및 기록계는 교정 및 유지정비에 편리하게 설계된다.

18.4.5 제어기

모든 제어기는 인간공학을 고려하여 선정되고, 기능별 표준화, 계통내의 일반적 기능을 고려하여 쉽게 식별될 수 있도록 한다. 또한 제어기는 신속하고 편리하게 그리고 오동작 없이 사용토록 설계되었다. 제어기는 운전원에게 혼돈을 주지 않도록 배열되었다. 제어기 수량과 용도는 발전소 안전정지 운전을 지원하고 공정제어에서 요구하는 것을 정확히 반영하여 선정되었다. 주요 제어기(빈번히 사용되거나 안전 관련 계통 제어기)는 벤치보드나 수직부분 하단의 판넬 조작성 용이한 곳에 설치되었다.

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 팬과 펌프 제어기의 테두리는 청색이며 그 외의 제어기(차단기 및 밸브)는 흑색테두리를 사용하였다. 제어기의 형태는 기능별로 표준화하며, 푸쉬버튼 제어스위치가 한가지 형태의 직무 즉, 밸브 운전에만 이용된다면 그 용도로만 사용되었다.

제어기와 관련된 상세한 사항들은 다음과 같다.

가. 푸쉬버튼 제어기는 발광 다이오드의 교체를 위해 커버를 쉽게 제거할 수 있으며 일반적으로 수직형 배열이다. 제어스위치 내부의 전구밝기와 관계없이 주위 조명상태하에서 커버에 새긴 글씨를 읽을 수 있다.

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

18.4.5.2 오조작 방지

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

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 작동 결과에 따른 심각한 상황과 운전원의 즉각적인 조치 필요성에 준하여 적용되었다. 다음의 장치들이 원격정지반에 사용되었다.

가. 보호함은 원형 푸쉬버튼 스위치에 사용되며 설치 위치는 스위치 가장자리에 설치되는 형태이다. 이것은 부적절한 작동은 방지하고 운전원의 추가 조치, 또는 지연을 유발하지 않는다. 이 보호함은 주증기격리계통의 수동동작 버튼에 사용되었다.

나. 경첩식 차폐는 부주의한 작동을 방지할 뿐만 아니라 운전원이 잠시 시간을 갖고 생각을 한후 적절한 조치를 취하도록 스위치 상단에 투명한 플라스틱커버를 설치하였다. 이 형태의 스위치는 운전 관리 절차서에서 요구될 때에만 사용되었다.

18.4.6 음향경보기

가압기 및 증기발생기 압력의 사전트립(pretrip) 조건을 운전원에게 알려주기 위하여 청각경보가 제공되었다. 음향경보는 운전원이 적절히 대응할 수 있도록 즉각적이고 정확하게 알려주고, 경보를 명확히 식별할 수 있도록, 인간공학 설계기준을 따르고 있다. 운전원의 후속적인 직무를 고려하여 경보음의 크기 및 지속시간의 조정이 가능하다. 음향경보신호는 평균소음기준 이상에서 운전원이 들을 수 있는 충분한 데시벨값을 가지며 공정 변수가 사전 트립상태에 있다는 것을 알려줄 수 있도록 경보음을 표식화 하였다.

18.4.7 설계 증진

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 구분하는데 도움을 준다. 기능적으로 그룹화 되고

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

경계화된 계기들의 명판 표시는 개별기기 명판상의 글자를 줄이고 정보전달을 향상시킨다.

18.4.7.1 명판

기능적으로 유사한 제어기와 지시기의 그룹은 경계표시선에 의해 묶어 표시하며, 경계표시 영역은 계기의 계통 또는 기능별로 묶어 명칭한 명판이 부착되었다. 각 기기에는 문자/숫자 지정 및 명칭을 기술한 명판이 부착되었다. 글자크기, 명판색깔, 약어, 형태, 재질, 위치 및 부착 방법은 다음의 지침에 따르고 있다.

가. 명판의 색깔은 백색바탕에 흑색글자를 적용하였다.

나. 명판에는 일관된 전문용어와 약어를 사용하고 전문용어는 절차서와 계통도에 일관성이 유지되고 있다. 제어기와 지시기는 서술식 이름과 문자/숫자 지정으로 식별되었다.

다. 명판은 다음과 같이 일관성 있는 형식으로 구성하고 명판의 중앙에 글자를 각인한다.

- 1) 명판의 첫번째 줄은 계통/부계통명칭 (필요시) 또는 기기명칭
- 2) 명판의 둘째줄은 기기명칭 또는 변수
- 3) 명판의 세째줄은 기기번호(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. 새긴 글씨의 깊이는 내부층 깊이까지이며 1/16 in 이상 두께의 명판을 사용하였다.

마. 명판은 제어반의 읽기 편한 위치에 설치되며 영어로 표기하고 설치관련 지침은 다음과 같다.

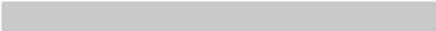
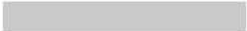
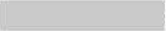

- 1) 제어반 기기 위에 설치한다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

2) 명판은 수평으로 휜 현상이 없이 설치된다.

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.

18.4.7.2 경계표시

운전원이 필요한 계기의 위치를 빨리 찾을 수 있는 능력을 향상시키기 위해 관련 계기들을 그룹화하고 그룹 경계표시를 위해 색상의 명암을 이용한다. 제어반 배경색은 옅은 회색(Munsell No. 8.4Y 8.3/0.5)이 사용된다. 계기들을 그룹화할 때 사용되는 어두운 색상(Shading Color)은 짙은  및 올리브  ()으로 NSSS 계통은 올리브 녹색, BOP 계통에는 짙은 회색을 적용하였다. 어두운 색상 사이의 공간이 남겨져 있으며, 이 공간에 제어반 배경색이 어두운 색상사이의 경계선으로 보여준다. 계통경계선의 폭은 약  이고 경계표시선 중앙에 그룹명판이 부착되었다.

18.4.7.3 채널 식별

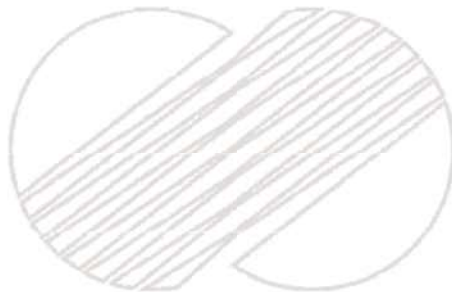
다중안전등급 1E 기기들의 식별은 원격정지반에 채널화된 계기들을 분류하기 위해 색깔과 심볼코딩을 이용하였다. 식별은 규제지침서 1.75에 따르며 관련 발전설비들에 대한 사업자 색깔코드와 일치한다. 원격정지반기기 채널 A,B,C,D의 식별은 다음과 같은 색깔을 적용하여 명판 테두리 좌우측에 굵은선으로 표시하였으며 그림 18.2-1에 예시되어 있다.

- 가. 트레인 A / 채널 A는 적색
- 나. 트레인 B / 채널 B는 녹색
- 다. 채널 C는 황색
- 라. 채널 D는 청색

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.

울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

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



울진 5,6호기 최종안전성분석보고서

표 18.4-1

원격정지반 기능수행에 필요한 계측기기

가. 지 시 기

Neutron logarithmic power
Pressurizer (PZR) level
Steam Generator(SG) pressure and level
Refueling water tank (RWT) level
Charging pump discharge pressure and flow
Safety injection tank (SIT) pressure
LPSI pump discharge flow
Volume Control Tank (VCT) level
Regenerative HX outlet temperature
Condensate storage tank level
Auxiliary feedwater (AF) flow
AF pump suction/discharge pressure
CET Saturation Margin
Letdown pressure and flow
Boronometer inlet temperature

나. 자동 및 수동 제어기

Main Steam Atmospheric Dump valve
AF flow to SG level
Letdown HX outlet back pressure
control valve
Charging flow control valve

다. 지 시 등

PZR pressure pretrip/bypass
SG pressure pretrip

라. 스 위 치

Reactor coolant pump (RCP) control
PZR backup heater control
PZR Aux spray valve control
RCP controlled bleedoff containment
isolation valve control
SIT atmospheric vent valve control
Charging pump control
Charging line back pressure valve control
Charging line isolation valve control
RCP controlled bleed-off relief isolation
valve control

라. 스 위 치 (계속)

SI Mini-flow line isolation valve to RWT
Main steam isolation Signal(MSIS) actuation
PZR pressure setpoint reset and bypass
SG pressure setpoint reset
Atmospheric steam dump valve control with
position indicator
Atmospheric steam dump block valve control
AF Modulating valve control
AF isolation valve control
AF pump control
AF turbine steam isolation valve control
AF turbine steam supply valve control
Component cooling water(CCW) pump control
Essential service water(ESW) pump control
Control room HVAC fan control
Class 1E D/G supply PCB control
Reactor containment fan cooler (RCFC)
control
Transfer switch
LPSI pump
SDC HX bypass valve
SDC HX Flow control valve
SDC suction isolation valve
SDC HX inlet valve
Boric acid makeup pump
Auxiliary charging pump
Charging flow restricting orifice bypass
valve
Letdown containment isolation valve
Letdown orifice isolation valve
VCT inlet diverting valve
Direct boration valve control

마. 기 록 계

LPSI header temperature
SDC HX inlet temperature
PZR pressure
RC Hot/Cold leg temperature



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

원격정지반의 작업공간배치

그림 18.4-1



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

원격정지반 배치도

그림 18.4-2 (2 중 1)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

원격정지반 배치도

그림 18.4-2 (2 중 2)



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

울진 5,6호기 원격정지반에 대한 95%
한국남자의 평균시각 (Line of Sight) 및
기능적 접근성

그림 18.4-3



한국수력원자력주식회사
울진원전 5, 6호기
최종안전성분석보고서

울진 5,6호기 원격정지반에 대한 5%
한국남자의 평균시각 (Line of Sight) 및
기능적 접근성

그림 18.4-4