

신고리 5,6호기

예비안전성분석보고서(공개본)

18장



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보공개용으로 작성한 문서입니다.

제 18 장 - 인간공학

목 차 (7 중 1)

| 1

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>	
18	<u>인간공학</u>	18.1-1	
18.1	<u>개요</u>	18.1-1	
18.1.1	인간공학 요건 및 지침의 적용	18.1-1	
18.1.1.1	원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 및 일반설계기준	18.1-1	1
18.1.1.2	인간공학지침서(HFEG)	18.1-2	
18.1.1.3	인간공학 프로그램	18.1-2	
18.1.2	인간공학 프로그램 계획서	18.1-2	
18.1.2.1	목표 및 범위	18.1-3	
18.1.2.1.1	목표	18.1-3	
18.1.2.1.2	범위	18.1-3	
18.1.2.2	인간공학 조직 및 책임	18.1-3	
18.1.2.3	인간공학 설계팀 구성 및 요원	18.1-4B	
18.1.2.4	인간공학 프로그램 활동 및 절차	18.1-4B	
18.1.2.5	인간공학 프로그램 공정 관리 도구	18.1-6	
18.1.2.6	인간공학 프로그램 활동의 문서화	18.1-7	1
18.1.2.7	참고문헌	18.1-7A	
18.1.3	운전경험검토	18.1-8	
18.1.3.1	목표 및 범위	18.1-8	1
18.1.3.2	방법론	18.1-8A	2
18.1.3.3	수행 결과	18.1-8B	1
18.1.3.4	참고문헌	18.1-8B	
18.1.4	기능요건분석 및 기능할당	18.1-9	
18.1.4.1	목표 및 범위	18.1-9	
18.1.4.2	방법론	18.1-9	
18.1.4.3	수행 결과	18.1-10	
18.1.4.4	참고문헌	18.1-10	
18.1.5	직무분석	18.1-11	
18.1.5.1	목표 및 범위	18.1-11	
18.1.5.2	방법론	18.1-11A	2
18.1.5.3	직무분석 결과	18.1-11A	1
18.1.5.4	참고문헌	18.1-12	

목 차 (7 중 2)

| 1

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>	
18.1.6	운전원 구성	18.1-12	
18.1.6.1	목표 및 범위	18.1-12	
18.1.6.2	방법론	18.1-13	
18.1.6.3	수행 결과	18.1-14	
18.1.6.4	참고문헌	18.1-15	
18.1.7	인간신뢰도분석	18.1-15	
18.1.7.1	목표 및 범위	18.1-15	
18.1.7.2	방법론	18.1-16	
18.1.7.3	수행 결과	18.1-17A	2
18.1.7.4	문서화	18.1-17A	
18.1.7.5	참고문헌	18.1-17B	
18.1.8	인간-기계 연계 설계	18.1-18	
18.1.8.1	목표 및 범위	18.1-18	
18.1.8.2	방법론	18.1-19	
18.1.8.3	수행 결과	18.1-20	
18.1.8.4	참고문헌	18.1-21	2
18.1.9	절차서 개발	18.1-21B	
18.1.9.1	목표 및 범위	18.1-22	
18.1.9.2	방법론	18.1-22	
18.1.9.2.1	절차서 작성 지침	18.1-22	
18.1.9.2.2	절차서 확인 및 검증	18.1-23	
18.1.9.2.3	전산화절차서를 고려한 절차서 개발	18.1-23	2
18.1.9.3	수행 결과	18.1-23A	
18.1.9.4	인간공학 연계사항	18.1-23A	
18.1.9.5	참고문헌	18.1-23A	
18.1.10	훈련프로그램 개발	18.1-23B	
18.1.10.1	목표 및 범위	18.1-24	
18.1.10.2	방법론	18.1-24	
18.1.10.3	수행 결과	18.1-25	
18.1.10.4	인간공학 연계사항	18.1-25	2
18.1.10.5	참고문헌	18.1-25	
18.1.11	인간공학 확인 및 검증	18.1-25A	
18.1.11.1	목표 및 범위	18.1-26	
18.1.11.2	운전조건 표본화	18.1-26	2
18.1.11.2.1	목표 및 범위	18.1-26	

목 차 (7 중 3)

| 1

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
18.1.11.2.2	방법론	18.1-27
18.1.11.2.3	수행결과	18.1-28
18.1.11.3	설계 확인	18.1-28
18.1.11.3.1	재고기기 분석 및 특성 검토	18.1-28
18.1.11.3.1.1	목표 및 범위	18.1-28
18.1.11.3.1.2	방법론	18.1-30
18.1.11.3.1.3	수행결과	18.1-30
18.1.11.3.2	인간-기계 연계 설계 직무지원 확인	18.1-30
18.1.11.3.2.1	목표 및 범위	18.1-30A
18.1.11.3.2.2	방법론	18.1-30B
18.1.11.3.2.3	수행결과	18.1-30B
18.1.11.3.3	인간공학 설계 확인	18.1-30B
18.1.11.3.3.1	목표 및 범위	18.1-30B
18.1.11.3.3.2	방법론	18.1-30C
18.1.11.3.3.3	수행결과	18.1-30C
18.1.11.4	예비 검증	18.1-30D
18.1.11.4.1	목표 및 범위	18.1-30D
18.1.11.4.2	방법론	18.1-30D
18.1.11.4.2.1	검증설비(Test bed)	18.1-30D
18.1.11.4.2.2	검증 참여자	18.1-30D
18.1.11.4.2.3	검증 시나리오	18.1-30E
18.1.11.4.2.4	인적수행도 평가	18.1-30E
18.1.11.4.3	수행결과	18.1-30F
18.1.11.5	통합 시스템 검증	18.1-30F
18.1.11.5.1	목표 및 범위	18.1-30F
18.1.11.5.2	방법론	18.1-30F
18.1.11.5.2.1	검증설비(Test bed)	18.1-30F
18.1.11.5.2.2	검증 참여자	18.1-30G
18.1.11.5.2.3	검증 시나리오	18.1-30G
18.1.11.5.2.4	인적수행도 평가	18.1-30G
18.1.11.5.3	수행결과	18.1-30H
18.1.11.6	인간공학 결함 사항 해결	18.1-30H
18.1.11.6.1	목표 및 범위	18.1-30I
18.1.11.6.2	방법론	18.1-30I
18.1.11.6.3	수행결과	18.1-30J

2

목 차 (7 중 4)

| 1

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>	
18.1.11.7	최종 발전소 확인(Final Plant Verification)	18.1-30J	2
18.1.11.7.1	목표 및 범위	18.1-30K	
18.1.11.7.2	방법론	18.1-30K	
18.1.11.7.3	수행결과	18.1-30K	
18.1.11.8	참고문헌	18.1-30K	
18.1.12	설계 이행	18.1-30L	
18.1.12.1	목표 및 범위	18.1-30L	
18.1.12.2	방법론	18.1-30L	
18.1.12.3	수행 결과	18.1-30M	
18.1.12.4	참고문헌	18.1-30M	
18.1.13	인적수행도 감시	18.1-30M	
18.1.13.1	목표 및 범위	18.1-30N	
18.1.13.2	방법론	18.1-30N	
18.1.13.3	수행 결과	18.1-30N	
18.1.13.4	참고문헌	18.1-30N	
부록 18.1A	기능 할당 기준		
18.2	<u>주제어실 설계</u>	18.2-1	
18.2.1	주제어실 작업공간	18.2-1	
18.2.1.1	유사성	18.2-1	
18.2.1.2	거울형 대칭	18.2-1	
18.2.1.3	거주성	18.2-2	
18.2.1.4	접근성	18.2-2	
18.2.1.5	저장공간	18.2-2	
18.2.1.6	정비	18.2-2	
18.2.1.7	운전원 편의	18.2-3	
18.2.2	주제어실 구성	18.2-3	
18.2.2.1	주제어실 구성 설계기준	18.2-3	
18.2.2.2	주제어실 배치 설계기준	18.2-4	
18.2.2.2.1	가시성	18.2-4	
18.2.2.2.2	이동성	18.2-5	
18.2.2.2.3	기타 배치 설계	18.2-5	
18.2.2.3	주제어실 운전원 구성	18.2-6	

목 차 (7 중 5)

| 1

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
18.2.2.3.1	주제어실 운전개념	18.2-6
18.2.2.4	운전원 콘솔	18.2-6B
18.2.2.4.1	운전원 콘솔 외형	18.2-7
18.2.2.4.2	운전원 콘솔 구성	18.2-7
18.2.2.4.3	운전원 콘솔 기능	18.2-8
18.2.2.5	안전제어반	18.2-8
18.2.2.5.1	안전제어반 외형	18.2-8
18.2.2.5.2	안전제어반 구성	18.2-8
18.2.2.5.3	안전제어반 기능	18.2-9
18.2.2.5.4	최소재고목록 제어기	18.2-9
18.2.2.6	대형정보표시반	18.2-10
18.2.2.6.1	대형정보표시반 외형	18.2-10
18.2.2.6.2	대형정보표시반 특성 및 설비	18.2-11
18.2.2.6.3	대형정보표시반의 발전소 기능 정보	18.2-11
18.2.2.6.4	대형정보표시반의 계통 표시	18.2-12
18.2.2.6.5	대형정보표시반의 경보 및 상태 표시	18.2-12
18.2.2.6.6	대형정보표시반의 가변 화면 영역	18.2-13
18.2.2.6.7	인간공학 요건	18.2-13
18.2.2.7	보조패널	18.2-13
18.2.2.8	통신설비	18.2-14
18.2.2.9	기타 부대설비	18.2-14
18.2.3	주제어실 환경	18.2-15
18.2.3.1	습도, 온도 및 환기	18.2-15
18.2.3.2	조도	18.2-16
18.2.3.3	소음	18.2-17
18.2.4	정보 표시(Display)	18.2-17
18.2.4.1	대형정보표시화면	18.2-18
18.2.4.2	운전원콘솔 정보화면	18.2-18
18.2.4.2.1	운전원콘솔 정보화면 계층	18.2-18
18.2.4.2.2	운전원콘솔 정보화면 체계	18.2-18
18.2.4.2.3	내용과 구조	18.2-19
18.2.4.2.4	화면 페이지/정보 접근	18.2-21
18.2.4.2.5	이력자료 저장 및 검색(HDSR)	18.2-22
18.2.4.2.6	인간공학 요건	18.2-22
18.2.4.3	전산화절차서 화면	18.2-23

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
18.2.4.4	소프트제어기 화면	18.2-24
18.2.5	제어기	18.2-24
18.2.5.1	소프트제어기	18.2-24
18.2.5.1.1	제어 표시 제공	18.2-25
18.2.5.1.2	인간공학 요건	18.2-26
18.2.5.1.3	공학적인안전설비 기기제어계통 소프트웨어 모듈 (ESF-CCS Soft Control Module)	18.2-27
18.2.5.2	운전원 모듈	18.2-27
18.2.5.3	고정형 제어	18.2-27
18.2.5.3.1	제어기 코드화 및 형태	18.2-28
18.2.6	경보	18.2-29
18.2.6.1	경보 우선순위 및 코딩	18.2-30
18.2.6.1.1	경보 점멸율	18.2-30
18.2.6.1.2	경보음 부호화	18.2-30
18.2.6.2	경보 처리	18.2-30
18.2.6.3	경보 표현 및 제어	18.2-31
18.2.6.4	인간공학 요건	18.2-32
18.2.7	전산화절차서	18.2-33
18.2.7.1	전산화절차서 운영	18.2-33
18.2.7.2	전산화절차서 제공위치	18.2-33
18.2.7.3	다중 절차서 수행	18.2-33
18.2.7.4	절차서 구동	18.2-34
18.2.7.5	절차서 수행상태 유지	18.2-34
18.2.7.6	계속수행단계 처리	18.2-34
18.2.7.7	상호참조지원	18.2-34
18.2.7.8	확인 지원	18.2-34
18.2.7.9	절차서 표시 형식	18.2-35
18.2.7.10	인간공학 요건	18.2-35
18.2.8	안전변수지시계통	18.2-36
18.2.8.1	대형정보표시반	18.2-36
18.2.8.2	정보 지시 계층구조	18.2-36
18.2.8.3	인간공학/인허가 요건	18.2-38
18.2.9	명판 및 구획화	18.2-39
18.2.10	비상대응설비(ERF)	18.2-41
18.2.10.1	비상기술지원실	18.2-42

목 차 (7 중 7)

| 1

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
18.2.10.2	운전지원실	18.2-42
18.2.10.3	비상대책실	18.2-42
18.2.10.4	안전변수지시계통과 사고감시계측기기	18.2-43
18.2.11	안정성관련 현장제어반	18.2-43
18.3	<u>원격정지실 설계</u>	18.3-1
18.3.1	원격정지실 작업공간	18.3-1
18.3.1.1	신고리 5호기와 6호기 유사성	18.3-1
18.3.1.2	거울형 대칭	18.3-1
18.3.1.3	거주성	18.3-1
18.3.1.4	접근성	18.3-1
18.3.1.5	저장공간	18.3-2
18.3.1.6	정비	18.3-2
18.3.1.7	운전원 편의	18.3-2
18.3.2	원격정지실 구성	18.3-2
18.3.2.1	원격정지실 구성 설계기준	18.3-2
18.3.2.1.1	원격정지실 운전개념	18.3-3
18.3.2.1.2	원격정지실 배치	18.3-3
18.3.2.2	원격정지반 설계기준	18.3-3A
18.3.2.2.1	원격정지반 외형	18.3-3A
18.3.2.2.2	원격정지반 배치	18.3-4
18.3.2.2.3	정지운전표시반 배치	18.3-4
18.3.2.2.4	통신설비 배치	18.3-4
18.3.3	원격정지실 환경	18.3-4
18.3.3.1	습도, 온도 및 환기	18.3-5
18.3.3.2	조도	18.3-5
18.3.3.3	소음	18.3-5
18.3.4	정보표시(Display)	18.3-5
18.3.5	제어기	18.3-5
18.3.6	경보	18.3-5
18.3.7	명판 및 구획화	18.3-6

| 1

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

제 18 장 - 인간공학

표 목 차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>	<u>페이지</u>
표 18.1-1	필수운전원조치	18.1-31
표 18.1-2	성공경로	18.1-32
표 18.1-3	성공경로 할당	18.1-33
표 18.2-1	경보 우선순위, 색상 및 형상표식	18.2-44
표 18.2-2	경보 절차	18.2-45

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

제 18 장 - 인간공학

그림 목차

<u>번 호</u>	<u>제 목</u>
그림 18.1-1	인간공학 설계조직
그림 18.1-2	인간-기계 연계 개발을 위한 인간공학 활동간의 관계
그림 18.1-3	인간-기계 연계 설계공정
그림 18.2-1	주제어실
그림 18.2-2a	주제어실 감시각
그림 18.2-2b	운전원콘솔 감시각
그림 18.2-3	주제어실 운전원 이동 공간
그림 18.2-4a	운전원콘솔 1대 또는 2대 고장 시 운전전략
그림 18.2-4b	운전원콘솔 3대 고장 시 운전전략
그림 18.3-1	원격정지실

18 인간공학

18.1 개요

본 장에서는 신고리 5,6호기 인간공학에 대해 기술한다. 신고리 5,6호기에 인간공학을 적용하는 목적은 발전소 수명기간 동안 주제어실 내 인간-기계 연계(Man-Machine Interface, MMI)의 인적오류를 최소화하고 발전소의 안전성과 운전성을 향상시키는 것이다. 이를 위해 신고리 5,6호기 인간-기계 연계 설계는 신형경수로1400 표준설계를 기반으로 신울진 1,2호기를 참조하여 도입한 첨단제어실 설계이며, 인간공학 원칙 반영을 통해 관련 인허가 요건들을 만족한다.

신형경수로1400 인간-기계 연계 설계는 한국형표준원전(KSNP)을 포함한 신고리/신월성 1,2호기 주제어실 설계 개념과 달리 제어실에 제공되는 인간-기계 연계 설비에 화면 기반 감시 및 제어 개념을 전면적으로 도입한다. 이러한 변화된 설계 개념이 적용된 신고리 5,6호기 주제어실에는 발전소의 전반적인 상태 판단을 위해 중요 발전소 변수를 광범위하게 제공하는 대형정보표시반(Large Display Panel), 발전소 상태 파악 및 운전직무를 원활하게 수행할 수 있는 운전원 콘솔 내의 정보 FPD(Information Flat Panel Display)와 소프트웨어기(Soft Control), 운전절차 수행을 위한 전산화절차서(Computerized Procedure System) 등과 같은 화면 기반 인간-기계 연계 설비가 제공된다.

18.1절에서는 인간-기계 연계 설비에 대한 인간공학 분석, 설계, 평가에 대한 절차와 방법론 등을 기술한다. 그리고 인간-기계 연계 설계결과물에 대한 내용은 18.2절 “주제어실”과 18.3절 “원격정지실”에 기술하고, 인간-기계 연계에서 계측 및 제어와 관련된 안전 측면은 7장 “계측 제어”에 기술한다.

18.1.1 인간공학 요건 및 지침의 적용

18.1.1.1 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 및 일반설계기준

| 1

다음 사항은 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제 25조 및 10 CFR 50 부록 A 일반 설계기준 19에 기술되어 있는 제어실 설계 기준이다.

| 1

- 가. 정상운전 중에 원자력발전소를 안전하게 운전하고, 냉각재상실사고를 포함한 사고 시 발전소를 안전 상태로 유지하기 위한 조치가 가능하도록 제어실이 설치되어야 한다.
- 나. 고온정지 동안에 발전소를 안전한 상태로 유지하기 위해 필요한 계측 및 제어 설비를 포함하여 원자로의 즉각적인 고온정지능력을 가진 기기 및 적절한 절차서 사용을 통해 원자로 상온정지능력을 가진 기기가 주제어실 외부의 적절한 위치에 설치되어야 한다.

18.1.1.2 인간공학지침서(HFEG)

인간공학지침서는 사업 초기에 인간공학전문가가 제시하는 사항을 기본으로 하여 개발되고 주제어실, 원격정지실, 안전변수지시계통, 비상대응설비 및 안전성 관련 현장제어반 등에 적용 가능하도록 세부적인 인간공학 지침들을 제공한다. 이 지침서에는 18.2절에서 기술된 바와 같이 화면 기반 인간-기계 연계 설계(예, 소프트웨어기, 대형정보표시반, 전산화절차서, 감시 화면 등)에 고려해야 할 세부 인간공학 요건뿐만 아니라 제어실 환경, 정비, 운전원콘솔 및 안전제어반 설계에 고려해야 할 상세 인간공학 요건들도 포함된다. 인간공학지침서는 미국 원자력규제위원회의 제어실 설계를 위한 인간공학기준(NUREG-0700, Rev.2), 화면 기반 인간-기계 연계 설계를 위한 인간공학 기준(NUREG/CR-5908, 6633, 6634, 6636, 6684 등), 기타 산업기준 및 사용자 요건문서 등을 근간으로 개발된다. 인간공학지침서는 주기기 설계와 제작 등에도 적용되어 일관성 있고 표준화된 인간-기계 연계 설계가 되도록 하며, 이러한 인간공학지침서에 포함된 인간공학 요건은 다음과 같다.

- 가. 정보표시(Information Display)
- 나. 상호작용(Interaction)
- 다. 지시 및 제어장치(Display and Control Devices)
- 라. 인간-기계 연계 계통(Man-Machine Interface Systems)
- 마. 콘솔 및 주제어실 공간(Workstation and Workplace Design)
- 바. 디지털 시스템 유지보수성(Maintainability of Digital System)

18.1.1.3 인간공학 프로그램

인간공학 프로그램은 미국 원자력규제위원회의 인간공학 프로그램 검토 모델(NUREG-0711, Rev.2)을 기반으로 사업 초기에 개발되며 사업자가 지속적이고 체계적인 인간공학 활동을 문서화하여 인간공학 활동의 요소가 부당하게 간과되지 않았음을 보증하고 인간-기계 연계 설계에 인간공학 요건이 성공적으로 반영되었음을 보장하는 것이다. 인간공학 프로그램의 최종 목적은 발전소의 인간-기계 연계 설계 전 과정에서 인간공학 요건을 반영하여 인적오류를 최소화시키고 최종적으로 발전소의 안전성과 운전성을 향상시키는데 있다.

인간공학 프로그램의 적용 범위는 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비, 현장제어반을 포함한다. 제어실 설계와 제어실에 제공되는 인간-기계 연계 설비는 인간공학 프로그램이 적용되어 분석, 설계, 평가되고 이와 같은 과정을 거치면서 도출된 인간공학 결함사항들을 해결함으로써 개선된다.

18.1.2 인간공학 프로그램 계획서

인간공학 프로그램은 발전소 전체 설계과정에서 인간-기계 연계 설계에 체계적으로 인간

공학 요건을 적용하기 위하여 사업초기부터 계획된다. 인간공학 프로그램 계획서에는 인간공학 프로그램 적용목표, 적용 대상 및 제약사항, 프로그램 활동을 명시함으로써 인간공학 활동 업무에 대한 적절한 관리기준과 체계를 마련하고 있다. 또한 인간-기계 연계설비의 설계 초기부터 인간공학 관점에서의 분석, 설계, 평가를 수행하여 인허가 요건을 충족시킨다.

18.1.2.1 목표 및 범위

18.1.2.1.1 목표

본 계획서의 목표는 제어실 설계 초기부터 인간공학 프로그램을 적용하여 다음과 같은 사항을 달성하는데 있다.

- 가. 운전원이 발전소 안전 및 운전에 관련된 모든 직무 수행이 가능하도록 한다.
- 나. 인간-기계 연계시스템 설계 및 기능할당은 허용 가능한 수준의 작업부하를 제공하고 운전원의 과중한 업무부담을 방지토록 한다.
- 다. 인간-기계 연계시스템은 상위수준의 운전원간 상황인식을 지원한다.
- 라. 운전원의 정보처리능력 한계 내에서 발전소 현황파악 및 사고감지가 가능하도록 관련 설비를 제공한다.
- 마. 운전원 기억 부담을 최소화할 수 있는 인간-기계 연계 계통을 제공한다.
- 바. 운전원 연계설비는 운전원의 오류를 최소화하고, 오류 검출 및 복구능력을 제공한다.
- 사. 설계기준초과 및 중대사고를 고려한 인간공학 활동을 적용하여 발전소 운영을 포함한 다양한 사고대처 대응능력을 인간공학 관점에서 종합적으로 계획, 분석, 평가하고, 설계 초기에 개선사항을 도출하여 관련 설계 및 운영분야에 제공한다.

2

18.1.2.1.2 범위

인간공학 프로그램의 적용범위는 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비, 현장제어반 및 대치설비이다. 세부적인 적용범위는 인간공학 프로그램 계획서에 기술된다.

2

18.1.2.2 인간공학 조직 및 책임

발전소 초기 설계부터 인간공학 프로그램을 체계적으로 적용하고 관리하기 위해서 인간공학 설계 조직을 구성하고 조직에 대한 책임 및 권한을 인간공학 프로그램 계획서에 기술한다. 인간공학 설계조직은 그림 18.1-1과 같다.

■	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
■	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
■	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	
	[Redacted]	

2

18.1.2.3 인간공학 설계팀 및 요원

인간공학 설계팀은 미국 원자력규제위원회에서 발행한 인간공학 프로그램 검토 모델(NUREG-0711, Rev.2)의 부록 A에 기술된 “인간공학 설계조직”을 참조하여 인간공학 전문가, 운전 전문가, 계통설계자, 원자력전문가 등과 같은 다양한 조직 및 분야의 자격 있는 전문가들로 구성된다. 보다 세부적인 팀 구성 및 요원은 인간공학 프로그램 계획서에 기술되어 있다.

18.1.2.4 인간공학 프로그램 활동 및 절차

인간공학 설계 및 관리뿐만 아니라 미국 원자력규제위원회에서 발행한 인간공학 프로그램 검토 모델(NUREG-0711, Rev.2) 및 한국원자력안전기술원에서 발행한 경수로형 원전 안전심사지침 18.0 인간공학에 기술된 인간공학 프로그램 활동과의 일관성을 유지하기 위해 그림 18.1-2와 같이 인간공학 프로그램 활동 및 절차가 수행된다.

인간공학 프로그램 활동은 그림 18.1-2에 나타난 바와 같이 5단계(계획, 분석, 설계, 평가, 운전)로 구성되며 각 활동들은 상호간에 연관성이 있다. 다음 11개 인간공학 프로그램의 기술적인 내용은 18.1.3절부터 18.1.13절까지 기술되어 있으며, 각 활동의 수행 및 관리책임은 다음과 같다.

가. 운전경험 검토

나. 기능요건분석 및 기능할당

다. 직무분석

라. 운전원 구성

마. 인간신뢰도분석

바. 인간-기계 연계 설계

사. 절차서 개발

아. 훈련프로그램 개발

자. 인간공학 확인 및 검증

차. 설계이행

카. 인적 수행도 감시

운전경험검토는 인간공학과 관련된 안전 현안들을 확인한다. 운전경험검토에서 확인된 현안들은 인간-기계 연계 상세설계뿐만 아니라 인간-기계 연계 기능설계에 입력자료로 제공된다.

기능요건분석 및 기능할당에는 발전소 안전 목적을 만족하기 위해 수행되어야 할 발전소 기능들을 확인하거나, 발전소 제어에 필요한 요건을 분석하고 제어기능을 인간 그리고/또는 기계에 할당하는 등의 2가지 업무가 수행된다. 기능요건분석 및 기능할당분석의 결과는 필수안전기능 및 성공경로와 관련하여 인간-기계 연계 설계에 필요한 입력자료로 제공된다.

직무분석에서는 운전원에게 할당된 기능을 수행하기 위해 요구되는 직무요건을 확인하고, 직무 수행을 위한 인간-기계 연계요건을 정의한다. 직무분석은 주제어실의 대형정보표시반, 운전원 콘솔, 안전제어반, 원격정지콘솔 및 안전기능과 관련된 현장제어반에서 수행되는 운전원 직무를 체계적으로 분석한다. 직무분석의 결과는 여러 인간공학 활동들 즉, 운전원 구성, 인간-기계 연계 설계, 절차서 개발, 훈련프로그램 개발, 인간공학 확인 및 검증 등에 입력 자료로 제공된다.

2

운전원 구성은 사업주 운영 지침 및 계획에 따라 운전원 구성 및 운전조 운영 계획이 수립되며, 이는 주제어실 설계 개념과도 부합되므로 인간공학 활동요소 중 운전경험 검토, 기능요건 분석 및 기능할당, 직무분석, 인간공학 확인 및 검증에서 검토된 운전 직무분석, 중요 운전원 조치사항, 운전 수행도 결과 등에 따라 수행된다. 운전원 구성에서 결정된 주제어실 운전원 인원 및 자격과 같은 결과물은 인간-기계 연계 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발과 같은 인간공학 활동요소에 입력자료로 제공한다.

2

인간신뢰도분석은 필수운전원 조치 및 오류메커니즘을 제시하며, 필수운전원 조치는 직무 분석에서 재분석되어 주제어실의 최소재고목록 도출의 기준으로 사용된다. 또한 확률론적 안전성평가기반 사고시나리오는 인간공학 확인 및 검증의 운전조건으로 활용된다.

인간-기계 연계설계는 화면, 경보, 제어 등의 요소설계와 주제어실, 원격정지실, 대형정보 표시반 등의 설비 또는 기기설계를 포함하며 상세설계 결과물인 문서 및 도면이 인간공학 확인 및 검증의 입력자료로 활용된다.

절차서 개발은 전산화 절차서 개발 및 각종 주요 운전절차서에 대한 개발을 위해 인간공학 활동요소 중 운전경험검토, 직무분석, 운전원 구성, 인간-기계 연계 설계에서 도출된 개선 필요 사항, 주제어실 운전기능, 정보 및 제어 요건, 운전원 인원 및 역할에 대한 기준을 입력자료로 활용하여 수행된다. 절차서 개발 수행에 따른 신고리 5,6호기 절차서는 인간신뢰도분석, 인간공학 확인 및 검증, 훈련프로그램과 같은 인간공학 활동요소에 운전 개념 및 절차 등을 입력자료로 제공한다.

2

훈련프로그램 개발은 발전소 운전원의 역할 및 책임을 체계적으로 훈련하기 위한 프로그램을 개발하기 위해 인간공학 활동요소 중 운전경험검토, 직무분석, 운전원 구성, 인간-기계 연계 설계, 절차서 개발에서 도출된 훈련프로그램의 개선 필요 사항, 운전원 직무, 정보 및 제어 요건, 운전원 인원 및 역할, 각종 운전 절차서에 대한 기준을 입력자료로 활용하여 수행된다. 훈련프로그램 개발 수행에 따른 신고리 5,6호기 훈련프로그램은 인간신뢰도분석, 인간공학 확인 및 검증과 같은 인간공학 활동요소에 운전개념 및 인적수행도 문제 해결책 등을 입력자료로 제공한다.

인간공학 확인 및 검증에서는 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비 및 현장제어반의 설계가 인간공학적 설계 원리에 따라 수행되었음을 포괄적으로 확인한다. 인간공학 확인 및 검증은 운전조건 표본화, 설계 확인, 예비 검증, 통합 시스템 검증, 인간공학 결함사항 해결, 최종 발전소 확인을 포함한 6개의 활동으로 구성되며, 이에 따른 결과는 운전원 구성, 인간신뢰도분석, 인간-기계 연계 설계, 절차서 개발 및 훈련프로그램 개발 등에 추가 개선 자료로 제공된다.

설계이행은 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비, 안전급 현장제어반의 인간공학적 현안이 완전히 해결된 설계의 실제 반영여부를 확인하는 것이다. 설계이행을 수행하기 위해 인간공학 활동요소 중 인간공학 확인 및 검증에서 도출된 인간공학 결함사항, 인적수행도 평가, 최종검증 결과 등을 입력자료로 활용하여 수행된다. 또한, 발전소 건설 단계에서 향후 운영 과정에서 설계 변경 사항 발생시, 인간공학적으로 재수행 되어야 하는 항목에 대해 구체적으로 수립하여 건설단계에서의 계획 수립이 운영단계에서까지 반영되어 체계적인 인간공학 활동이 수행되도록 인적 수행도 감시와 같은 인간공학 활동요소에 주제어실 설계 및 주요 정보에 대한 변경 내용을 입력자료로 제공한다.

인적 수행도 감시는 신고리 5,6호기의 가동중 조직의 변경, 설비변경, 제도의 변경, 운전원의 변경 등 다양한 변화에 인적수행도의 영향을 최소화하는 것이다. 인적 수행도 감시는 인간공학 확인 및 검증과 설계이행에서 도출된 인간공학 결함사항, 주제어실 설계 및 주요 정보 변경내용 등을 입력자료로 활용하여 수행된다. 또한, 인적수행도를 측정할 수 있는 지표를 제공하며, 인적오류를 예방할 수 있는 기법을 적용하며, 인적 수행도 추이분석을 통해 운전원의 인적 수행도 저하를 줄일 수 있는 역할을 수행한다.

이러한 활동들은 일회성이 아닌 반복적인 활동들이며, 인간-기계 연계 설계에 인간공학요건이 적합하게 적용되었음을 보장한다. 인간-기계 연계설계의 설계 공정(절차)은 그림 18.1-2에 표시되었다. 설계 접근방법은 다음과 같다.

가. 설계는 주기적으로 반복된다.

나. 운전경험분석, 기능요건분석 및 기능할당, 직무분석과 같은 인간공학 분석결과가 설계 반영을 위해 설계자들에게 제공된다.

Intentionally Blank

- 다. 인간-기계 연계 설계 개발을 위해 인간-기계 연계 동적 모사장치를 통한 설계 평가가 광범위하게 수행된다.
- 라. 분야간 검토 및 검토의견 도출을 위해 인간-기계 연계설계팀원 및 인간공학 설계 팀원에 의한 설계검토 및 설계검토회의가 지속적으로 이루어진다.
- 마. 인간-기계 연계 설계는 인간-기계 연계 동적 모사장치를 통해 검증된다.
- 바. 절차서 개발을 위해 인간공학 프로그램 관리, 운전경험검토, 직무분석, 운전원 구성, 인간-기계 연계 설계 및 인간공학 확인 및 검증에서 도출된 결과물은 절차서 개발 수행기관에 제공되어 반영된다.
- 사. 훈련프로그램 개발을 위해 인간공학 프로그램 관리, 운전경험검토, 직무분석, 운전원 구성, 인간-기계 연계 설계, 절차서 개발에서 도출된 결과물은 훈련프로그램 개발 수행기관에 제공되어 반영된다.
- 아. 최종 인간-기계 연계 설계는 전 범위의 시뮬레이터를 통해 검증된다.

2

18.1.2.5 인간공학 프로그램 공정 관리 도구

인간공학 설계분야 및 조직 간에 의사소통을 촉진하고 일관성 및 효율을 개선하기 위해서는 공정 관리 도구가 필요하다. 인간공학 프로그램 공정 관리 도구는 검토 및 검토의견 관리시스템과 현안추적시스템으로 구성된다. 이와 같은 2개의 설계 공정 관리시스템은 설계사에서 관리하며 모든 인간공학 설계 결과물은 설계 공정 관리시스템 내의 절차에 따라 처리된다. 설계 공정 관리시스템은 해당 전문가들의 설계 검토과정에서 도출된 현안들이 정형화된 절차에 따라 반영되도록 구축되어 있으며, 인간공학 설계 과정 중에 발생한 문제점들이 어떤 절차에 의해서 해결되었는지를 보여준다. 특히, 현안추적시스템(ITS)은 설계 경험자료 관리시스템에 포함되어 관리되며 선행호기 인간공학 확인 및 검증 수행 후 인간공학 불일치사항과 인적수행도에 영향을 미치는 현안을 추적관리하여 인간공학 측면에서 발전소의 효율적이고 안전 운전을 절차적으로 보장한다.

현안추적시스템의 세부관리에 대한 사항은 아래와 같다.

- 가. 현안기록 : 인간공학 설계팀은 평가자가 도출한 인간공학 불일치사항과 현안들을 ITS에 기록한다.
- 나. 현안추적 : 인간공학 설계팀은 평가자가 도출한 인간공학 불일치사항과 현안에 대한 최초 기록뿐만 아니라 이러한 사항을 해결하기 위하여 취해지는 모든 조치사항 및 최종 해결까지의 과정을 문서화한다.
- 다. 현안 해결 : 평가자 및 설계자들은 인간공학 불일치사항과 현안에 대한 해결방안을 제시한다.
- 라. 현안 해결 승인 및 확인 : 인간공학 설계팀 책임자는 인간공학 불일치사항과 현안에 대하여 최종적으로 해결 방법을 승인하고 반영완료를 확인한다.

1

18.1.2.6 인간공학 프로그램 활동의 문서화

인간공학 프로그램 활동과 관련된 내용은 개요, 목적, 가정 사항과 적용범위, 수행 방법론, 결론, 참고문서와 같은 일정한 문서 구조를 적용하여 문서화한다. 그러나 일부 프로그램 활동들의 계획서와 보고서는 인간공학 프로그램 활동 성격상 별도의 문서 구조를 갖고 있다. 인간공학 프로그램 활동에 대한 계획 및 결과에 대해서는 아래와 같이 문서화한다.

가. 인간공학 프로그램 계획서

- 1) Human Factors Engineering Program Plan

나. 운전경험검토

- 1) Operation Experience Review Plan
- 2) Operation Experience Review Report

다. 기능요건분석 및 기능할당

- 1) Functional Requirements Analysis and Function Allocation Plan
- 2) Functional Requirements Analysis and Function Allocation Report

라. 직무분석

- 1) Task Analysis Plan
- 2) Task Analysis Report
- 3) Technical Report for Minimum Inventory
- 4) Task Analysis for Safety Related Local Panel and Maintenance

마. 운전원 구성

- 1) Staffing and Qualifications Plan

바. 인간신뢰도분석

- 1) Human Reliability Analysis Plan
- 2) Human Reliability Analysis Report

사. 인간-기계 연계 설계

- 1) MMI Design & Integration Plan
- 2) MMI Design Guide
- 3) Directory Page & Task Support MMI Design Report

아. 절차서 개발

- 1) Procedure Development Plan

자. 훈련프로그램 개발

- 1) Training Program Development Plan

차. 인간공학 확인 및 검증

- 1) Human Factors Engineering Verification & Validation Plan
- 2) Human Factors Engineering Verification & Validation Report
- 3) Human Factors Engineering Evaluation for Safety Local Control Panel
- 4) Final Plant Verification Report

카. 설계이행

- 1) Design Implementation Plan

타. 인적수행도 감시

- 1) Human Performance Monitoring Plan

18.1.2.7 참고문헌

1. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Plan for SUN 1 & 2
2. KEPCO E&C, Operating Experience Review Plan for SUN 1 & 2
3. KEPCO E&C, Functional Requirements Analysis and Function Allocation Plan for SUN 1&2
4. KEPCO E&C, Task Analysis Plan for SUN 1 & 2
5. KEPCO E&C, Human Reliability Analysis Plan for SUN 1 & 2

6. KEPCO E&C, Human System Interface Design and Integration Plan for SUN 1 & 2
7. KEPCO E&C, HFE Verification and Validation Plan for SUN 1 & 2
8. KHNP, Staffing and Qualifications Plan for SUN 1 & 2

9. KHNP, Procedure Development Plan for SUN 1 & 2	
10. KHNP, Training Program Development Plan for SUN 1 & 2	
11. KHNP, Design Implemenaion Plan for SUN 1 & 2	2
12. KHNP, Human Performance Mornitoring Plan for SUN 1 & 2	
13. NUREG-0711, Rev.2, "Human Factors Engineering Program Review Model", U.S. NRC, 2004	1
14. SRP, Rev.1, Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants, U.S. NRC, 1997	
18.1.3 <u>운전경험검토</u>	
운전경험검토는 발전소 설계초기에 수행되며 인간-기계연계 및 인간공학 설계 입력으로 선행호기 및 원자력 발전소 관련 인간공학 현안 문서를 활용한다.	2
18.1.3.1 <u>목표 및 범위</u>	
운전경험검토의 목표는 기존 원자력발전소는 물론 신고리 5,6호기 인간-기계 연계와 유사한 설계에서 발생된 인간공학 관련 문제점과 현안들을 확인, 분석하여 인간-기계 연계 설계에서 야기될 문제점을 사전에 방지하고, 현안에 대한 해결방안이 설계에 반영토록 보장하는 것이다. 운전경험검토의 대상 및 범위는 다음과 같다.	
가. 선행호기 또는 유사 시스템	
나. 일반 산업계 인간공학 현안	1
1) 미해결된 안전관련 현안 / 일반적인 안전관련 현안	
2) TMI 현안	
3) 후쿠시마 원전사고 후속조치 사항	2
4) NRC에서 공표한 정보	
5) 운전경험 데이터 분석관련한 NRC Office 보고서	
6) 발전 정지 운전 경험	1
7) 발전소 이벤트 운영 보고서	
다. 관련된 인간공학 기술	2

1) 정보표시 및 CPS 관련 인간공학 기술

2

라. 발전소 운전원에 의해 제기된 현안

- 1) 발전소 운전 경험
- 2) 발전소관련 기기 고장경험
- 3) 인간-기계 연계 관련 기기 및 프로세스 고장경험
- 4) 과도상태 고장 경험

1

마. 필수운전원조치

18.1.3.2 방법론

운전경험 검토는 2가지 단계로 수행된다.

가. 운전경험검토 현안들의 확인

나. 인간-기계 연계설계의 운전경험검토 현안 반영

운전경험검토 현안 확인은 한국표준형원전 설계와 다른 운전원 콘솔, 전산화절차서 등과 같은 새로운 설계특징과 대형정보표시반 및 터치스크린과 같은 인간-기계 연계기술에 관련된 운전 경험들이 문서의 검토를 통해서 확인되고 분석되어, 인간-기계 연계설계의 입력자료로 활용되며, 다른 인간공학 프로그램과 연계되어 활용되는 요소들은 아래와 같다.

2

인간공학 프로그램	운전경험검토 활용
기능요건분석 및 기능 할당	초기 요건 자료 제공 초기 기능 할당 자료 제공 기능 수정 필요성의 확인
직무분석 인간 신뢰도 분석 운전원 구성	중요 인적 행위 및 오류 자료 위험 작업 및 업무 확인 자료 최소 운전원 구성 자료
인간-기계 연계 설계 절차서 개발 훈련프로그램 개발	산업 연구 평가 잠재적 디자인 해결방안 잠재적 디자인 현안
인간공학 확인 및 검증	평가 현안업무 V&V 시나리오 선택 성능측정 선택 현안해결 확인

1

18.1.3.3 수행 결과

운전경험검토 수행 결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.3.4 참고문헌

1. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Plan for SKN 5 & 6
2. KEPCO E&C, Operating Experience Review Plan for SKN 5 & 6
3. KEPCO E&C, 1st Human Factors Engineering Verification & Validation for SKN 3 & 4
4. KEPCO E&C, 2nd Human Factors Engineering Verification & Validation for SKN 3 & 4
5. KEPCO E&C, 3rd Human Factors Engineering Verification & Validation for SKN 3 & 4
6. KEPCO E&C, 1st Human Factors Engineering Verification & Validation for SHN 1 & 2
7. KEPCO E&C, Human Reliability Analysis Report for SKN 3 & 4
8. KEPCO, Kori 1 NPP Control Room Design Review (CRDR) (KOPEC/90-P-002)
9. KEPCO, Kori 2 NPP Control Room Design Review (CRDR) (KOPEC/90-P-003)
10. KEPCO, Kori 3,4 and YG 1,2 NPP Control Room Design Review (CRDR) (KOPEC/90-P-001)
11. KINS, Operational Performance Information System for NPP(Nuclear Event Evaluation Database, <http://opis.kins.re.kr>)
12. US NRC, Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, Rev.2, 2004
13. US NRC, Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for

- Nuclear Power Plants, NUREG-0800, Rev.1, 1997
14. US NRC, HFE Insight for Advanced Reactors based on operating Experience, NUREG/CR-6400, 1996
 15. US NRC, Lessons learned from the special inspection program for EOPs, NUREG-1358, 1989
 16. US NRC, Information notice 84-58, 1984
 17. OER for System 80+ MMI design (NPX80-IC-RR790-01, Rev.1), 1993
 18. HFE tracking of open issues databases of ABB-CE, 1993
 19. Korean NPP licensee event report(LER)s, 1978~1996
 20. HWP-277, Experimental evaluation of the CPS, 1990
 21. BNL, Hybrid human-system interface: human factors considerations, 1996
 22. IAEA-Techdoc-812, Control room systems design for NPP, 1995
 23. OECD Specialists Meeting, Human factors and operation aspects in computerization of the control room (a French safety view based on N4 experience), 1999
 24. Koren NPP near-miss cases, 1999
 25. KHNP, 신한울 1,2호기 후쿠시마 후속조치 항목별 추진현황 및 계획

Intentionally Blank

Intentionally Blank

18.1.4 기능요건분석 및 기능할당

발전소 설계 초기에 안전 기능이 체계적으로 설계에 반영될 수 있도록 기능요건분석 및 기능할당을 수행하며 특히 발전소의 자동화 구현 증가에 따른 운전원의 적절한 역할을 유지하기 위하여 인간-기계 연계 설계에 고려해야할 특성들을 확인하고 반영한다.

18.1.4.1 목표 및 범위

기능요건분석 및 기능할당의 목표는 발전소의 안전 기능이 인간공학 관점에서 체계적으로 인간-기계 연계 설계에 반영되도록 하는 것이다.

기능요건분석 및 기능할당 대상은 (1)안전에 중요하고, (2)안전정지에 요구되며 (3)심각한 사고를 완화시키는데 필요한 계통과 기기들이며, 기능요건분석 및 기능할당 관련 현안을 해결하는 과정에서 도출되는 기타 계통 및 기기 또한 대상으로 포함한다.

기능요건분석 및 기능할당에는 운전경험검토에서 확인된 현안들과 발전소 설계변경에 따라 수정된 기능들이 기술된다.

가. 제어에 대한 기능설계 현안 및 기능할당에 적용한 요건

나. 필수안전기능 및 성공경로

다. 선행 호기 관련 설계변경사항

라. 안전기능 수행에 있어서의 운전원 역할

마. 규제요건에 명시된 모든 기능할당

바. 지정된 기능할당에 대한 이론적 근거

사. 기능할당 기준

아. 후쿠시마 원전사고 후속조치 사항

| 2

18.1.4.2 방법론

기능요건분석 및 기능할당에 대한 요건 검토 후 10 CFR 50, IEEE 603, NUREG/CR-3331 등의 기준을 통해 할당 방안을 도출하고 이를 통해 안전기능 제어할당에 대한 적합성을 분석한다.

가. 10 CFR 50

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

필수안전기능들의 할당이 10 CFR 50에서 지정된 할당과 일치함을 확인한다.

나. IEEE 603-1998

10 CFR 50 기준에 따라 할당된 필수안전기능들 외에 IEEE 603으로부터 식별된 아래와 같은 요건들이 추가적으로 확인된다.

- 1) 보호 계통 또는 필수 설비 : 명시된 안전기능을 수행하고 설계기준사고를 완화시키기 위해서 15장 사고해석에 의해 신뢰되는 계통
- 2) 자동 개시 : 안전기능을 성취하기 위해 보호계통이 개시되는 자동 보호 기능을 발생시키는 설비
- 3) 수동 개시 : 운전원이 보호기능을 수동으로 개시하는 수단
- 4) 제어모드: 설계기준사고에서 제어계통 구성의 수동 그리고/또는 자동 요소들을 통하여 안전기능을 유지하는 모드
 - 가) 자동
 - 나) 자동/수동 논리곱(AAM)
 - 다) 자동/수동 논리합(AOM)
 - 라) 자동/수동 배타적 논리합(AXM)
 - 마) 수동
- 5) 단독적인 수동개시/보호 계측 제어(IEEE 603-1998)에 대한 정당성

다. NUREG/CR-3331

10 CFR 50 기준과 IEEE 603에 따라 할당된 필수안전기능 이외에 NUREG/CR-3331의 할당기준을 통해 인간공학적 측면의 양립성을 추가적으로 확인한다.

18.1.4.3 수행 결과

기능요건분석 및 기능할당 수행 결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.4.4 참고문헌

1. KEPCO, YGN 3 & 4/UCN 3 & 4 Final Safety Analysis Report
2. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Plan for SUN 1 & 2
3. KEPRI, Functional Requirements Analysis and Function Allocation Report for Korean Next Generation Reactor Man-Machine Interface, Rev. 1, 2000

4. KEPCO E&C, Functional Requirements Analysis and Function Allocation Plan for SUN 1 & 2
5. KEPCO E&C, Functional Requirements Analysis and Function Allocation Report for SUN 1 & 2

2

18.1.5 직무분석

직무분석은 인간공학프로그램에서 제시하는 요건을 충족하고 운전원이 직무를 수행할 때 필요한 정보, 제어, 의사소통 요건 등과 같은 다양한 직무특성들을 도출한다. 도출된 직무분석 결과물은 화면 기반의 인간-기계연계 설계, 절차서 개발 및 운전훈련프로그램 개발 등과 같은 다양한 인간공학 활동요소에 제공된다.

18.1.5.1 목표 및 범위

직무분석의 목표는 인간공학 설계 및 인간-기계 연계 설계를 위한 설계자료를 제공함으로써 운전편의성 및 안전성 확보에 기여하고, 인간공학 인허가 요건을 충족시키는데 있다. 직무분석 수행범위는 발전소 운전, 시험, 정비 및 유지 보수에 중요하고 대표적인 운전직무로 선정되고 신고리 5,6호기에 직접 사용 가능한 절차와 지침이 존재할 경우 우선적으로 선정하여 분석업무를 수행한다. 또한, 유지 보수 및 현장제어반에 대해서도 관련 절차서를 선정하여 직무분석을 수행하며, 설계기준초과 및 중대사고를 고려한 직무분석을 위해 설계기준초과 및 중대사고 인간공학 평가 시나리오와 관련된 절차서를 선정하여 직무분석을 수행한다. 신고리 5,6호기 관련 절차서가 없을 경우 직무분석 수행당시에 이용 가능한 타 발전소 운전절차서를 선정한다. 신고리 5,6호기 관련 필수 직무분석의 항목 및 상세 이행범위는 아래와 같다.

2

가. 운전, 유지보수, 시험 및 점검 등에 대한 직무

- 1) 발전소 안전정지 및 안전기능 수행에 필수적인 건전성 확보 기능시험 직무
- 2) 현장운전원, 정비원, 시험원 등이 운전, 유지보수, 시험 및 점검 등을 위해 사용하는 현장제어 직무

2

나. 출력, 정상, 비정상 및 비상, 과도상태, 저출력 및 정지 상황 등을 고려한 전범위 운전모드

- 1) 직무수행의 실패가 안전계통에 직 간접적으로 부정적 영향을 미칠 수 있는 직무
- 2) 설계기준초과 및 중대사고 관련 직무

다. PSA에서 분석된 안전에 중요한 인적 행위

- 1) 확률론적 위험도분석에 의해 인적행위의 실패 가능성이 높은 직무

라. 자동화된 중요 기능에 대한 감시직무

- 1) 완전 자동화에 따른 운전원 감시가 필요한 직무
- 2) 부분 자동화에 따라 운전원의 보조적/선택적 직무
- 3) 완전 수동 직무
- 4) 다양성 및 심층방호(D3)와 관련된 수동 운전조치와 관련된 직무

2

18.1.5.2 방법론

직무분석에 사용되는 직무분석 방법은 데이터베이스와 입력 폼을 개발하여 계층적 직무 분석(HTA) 및 직무분해방법을 사용하고 안전성 관련 현장제어반의 직무분석과 설계기준 초과 및 중대사고 직무분석 방법으로는 직무분해와 탁상분석방법(Table-Top)을 사용한다.

2

직무분석과 현장제어반의 직무분석 그리고 설계기준초과 및 중대사고 직무분석에 대한 구체적인 절차 및 방법들은 직무분석과 현장제어반 직무분석 계획서에 기술되며, 아래와 같이 다섯 가지 중요 단계로 구성된다.

2

가. 가정 및 근거 수립

- 1) 진화된 디자인
- 2) 운전원 역할
- 3) Information and Control Requirements
- 4) 이벤트 순서
- 5) 최소 재고목록
- 6) 세부 수준
- 7) 물리적 및 정신적 작업부하
- 8) 운전원 구성
- 9) 환경 위험요소

1

나. 입력 및 설계문건 검토

- 1) 상위기능
- 2) 하위기능
- 3) 직무
- 4) 직무요소

다. 직무 세분화 및 데이터 체계개발

- 1) 절차서 스텝을 구문형태에 따라 운전절차를 분해
- 2) 직무형태로 분류
- 3) 정보특성 도출

라. 분석을 수행

마. 결과 및 결론을 문서화

18.1.5.3 직무분석 결과

직무분석으로 도출된 직무요건들이 제어실 및 인간-기계 연계 설계자들에게 직무분류, 직무형태, 내재행위, 정보 및 제어목록, 타 계통 연계직무 등과 같은 계통별 혹은 직무별로 가공된 형태로 제공된다. 각 설계자들은 이를 이용하여 직무특성에 맞게 인간-기계 연계 설계에 활용한다. 예를 들면, 화면 기반 인간-기계 연계 설계자들은 화면의 단순화, 집중화, 화면분할시 기능 및 직무 관련 정보의 연계성, 중첩 등의 화면설계기준을 설계에 활용한다.

직무분석 결과는 비상운전직무, 안전정지 및 필수 운전원 조치 수행에 필요한 최소재고목록(Minimum Inventory)을 산출하기 위한 입력으로 제공된다. 최소재고목록은 발전소의 안전을 위협하는 사고가 발생할 경우, 발전소의 감시 및 제어 능력을 상실하므로 이와 같은 경우를 대비 할 수 있는 대체설비가 필요하다. 따라서 최소재고기기 목록은 본질적으로 운전원 콘솔 고장으로 인해 상실되는 발전소의 안전상태 유지 및 달성을 위한 대체 설비이며 아래와 같은 선정기준을 통해 최소재고기기 목록 선정을 수행한다.

가. 비상운전절차서

- 1) 필수안전기능상태를 감시하기 위해 필요한 발전소 공정변수
- 2) 성공경로를 감시 및 제어하기 위해 필요한 발전소 공정변수 및 제어기기
- 3) 안전정지에 필요한 발전소 공정변수 및 제어기기

나. 필수운전원조치

- 1) 필수운전원조치를 수행하기 위해 필요한 발전소 공정변수 및 제어기기

다. Regulatory Guide 1.97 Category I Variables

1) RG 1.97 Category I Variable

라. 운전전문가 검토

- 1) 설계기준사고 발생시 운전원 수행도 관점에서의 발전소 안전기능 유지 및 달성을 위한 공정변수 및 제어기기
- 2) 운전원 수행도 관점에서 발전소 안전정지를 위해 필요한 공정변수 및 제어기기

최소재고목록 선정을 위해 상기 전술한 선정기준에 따라 선정하며, 최소재고목록 도출을 위한 절차는 아래와 같이 수행되며, 결과로 도출되는 최소재고목록은 안전제어반, 대형정보표시반 설계의 입력으로 제공된다.

가. 최소재고목록 도출을 위해 자료를 수집하고 관련 분석을 수행한다.

- 1) 비상운전절차서
- 2) 인간신뢰도분석을 통해 도출된 필수운전원조치
- 3) RG 1.97 Document
- 4) 운전전문가 검토

나. 각 선정기준에 따라 도출된 항목들을 고정형 경보, 지시계, 화면, 제어기와 같이 4가지 형태로 구분하여 정리하여, 신고리 5,6호기 예비 최소재고목록을 작성한다.

다. 도출된 예비 최소재고목록과 참조발전소인 신한울 1,2호기의 최소재고목록과 비교 및 분석하여 신한울 1,2호기의 최소재고목록 대비 변경이 존재할 경우, 변경 근거를 작성한다.

라. 상기 3)항의 비교 및 분석 결과를 반영하여 신고리 5,6호기 최종 최소재고목록을 확정한다.

추가적으로 직무분석 결과는 인간-기계 연계 설계의 입력자료 뿐만 아니라 운전원 구성, 절차서 개발 및 훈련 프로그램 개발과 같은 다른 인간공학 프로그램 활동의 입력으로 제공되며, 이러한 직무분석의 결과를 관련 인간공학 활동요소에 반영하기 위해 신고리 5,6호기 인간공학 활동요소 연계체계에 따라 관련 인간공학 활동요소 수행기관들에게 제공하고, 직무분석 결과가 해당 인간공학 활동요소에 적절히 반영되었는지에 대한 검토 및 결과를 지속적으로 관리한다.

필수 직무분석의 항목은 운전, 보수유지, 시험 및 점검 등에 대한 직무와 출력, 정상, 비정상 및 비상 상황을 포함한 상황 등을 고려한 전 범위 운전직무 및 인간신뢰도분석에서 분석된 안전에 중요한 인적행위 그리고 자동화된 중요 기능에 대한 감시직무를 포함하고

있다. 필수 직무분석을 수행하기 위해 아래와 같은 지침서 및 절차서를 사용한다.

- 가. 신고리 3,4호기 비상운전절차서
- 나. 신고리 3,4호기 경보절차서
- 다. 신고리 3,4호기 비정상운전절차서
- 라. 신고리 3,4호기 종합운전절차서
- 마. 신고리 5,6호기 비상운전지침서
- 바. 예비계통운전지침서
- 사. 계통운전절차서
- 아. 시운전시험절차서
- 자. 안전급 현장제어반 운전 및 시험절차서
- 차. 시험, 정비 및 유지 보수 절차서

현장제어반의 직무분석은 정보요건, 의사결정 요건, 반응 요건, 의사소통 요건, 직무부하 요건, 직무지원 요건 및 위험식별 요건과 같은 다양한 직무요건이 분석된다. 현장제어반 직무분석에서 도출된 직무요건은 심층적이고 종합적인 의견을 반영하여 현장제어반 설계 및 제작사인 공급사에게 설계 입력자료로 제공된다.

설계기준초과 및 중대사고 직무분석은 인간공학 평가시 활용되는 상세 시나리오와 관련된 절차서를 대상으로 주제어실 및 현장 가용기기, 인력, 대처설비, 필요시간, 절차서 연계와 같은 다양한 직무 요건이 분석되며, 직무분석 결과에 따른 설계개선 필요사항을 도출하여 인간공학 활동요소(절차서 개발, 훈련프로그램 개발, 운전원 구성, 인간-기계 연계 설계 등)에 입력자료로 제공된다.

18.1.5.4 참고문헌

1. USNRC, Task Analysis of Nuclear Power Plant Control Room Crew, NUREG/CR-3371, 1983.
2. EPRI, Human Factors Guide for Nuclear Power Plant Control Room Development, NP-3659, August 1984.
3. J. Rasmussen, Information Processing and Human Interaction, North-Holland, NY 1986.
4. S. Card, T. Moran, A. Newell, The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum: NH, 1983.
5. American National Standards Institute, "Time response Design Criteria for Safety-related Operator Action," ANSI/ANS 58.8.
6. KEPCO E&C, Task Analysis Plan for SUN 1 & 2
7. KEPCO E&C, Task Analysis Report for SUN 1 & 2 | 2
8. KEPRI, Task Analysis Report for Korean Next Generation Reactor Man-Machine Interface, Rev. 1, 2000 | 2
9. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Plan for SUN 1 & 2 | 2

18.1.6 운전원 구성

18.1.6.1 목표 및 범위

운전원 구성의 목적은 인간공학 설계단계에서 발전소의 운전원 구성에 고려되어야 할 사항들을 제공하여 주제어실 운전원의 자격 및 구성원의 수를 결정하는데 있다. 운전원 구성의 범위는 주제어실 운전원으로 하며 인간공학 프로그램 활동 결과 필요시 현장운전원을 포함한다.

특히, 신고리 5,6호기에서 사업초기부터 고려되는 설계기준초과 및 중대사고에 대한 인간공학 활동결과를 운전원 및 운전직무 수행시 지원되는 인력 등을 포함한다. | 2

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

18.1.6.2 방법론

주제어실 운전원 구성 및 관련 정보는 인간공학 프로그램 활동 전반에서 활용되므로 설계를 위한 운전원 가정을 한다. 최초의 운전원 가정은 가동 발전소에서의 운전경험 및 사업자의 내부 규정을 반영하고 인허가 요건을 준수하여 결정한다. 또한 인간공학 설계 활동 전반에 입력으로 활용되므로 성공적인 설계를 위한 최초의 운전원 구성은 가능한 보수적으로 접근한다. 인간공학 활동을 위한 최초의 운전조 가정은 18.2.2.3절에 기술되어 있다. 이렇게 가정된 운전원 구성을 토대로 인간공학 프로그램 활동이 수행되며, 또한 설계 활동을 통해서 가정된 운전원 구성에 대한 적합성이 평가된다.

신고리 5,6호기 인간공학 설계는 최초 운전원 구성을 기초로 수행되며 설계활동을 통해 최초 운전원 구성의 적합성이 검토된다. 이를 통해 인간공학 프로그램 활동의 결과로서 운전원 구성에 반영되어야 할 필요가 있는 사항들이 도출된다. 운전원 구성에 필요한 인간공학 설계활동 및 내용은 다음과 같다.

가. 인간-기계 연계 설계

인간-기계 연계 설계는 가정된 운전원 구성을 기초로 수행되며, 인간-기계 연계의 위치 및 사용, 주제어실 및 운전원 콘솔의 물리적 구성 등과 관련하여 운전조 요구사항이 도출될 경우 이를 반영한다. 또한 운전조 구성 시 운전원 사이의 공동 작업을 고려한다.

나. 인간공학 확인 및 검증

인간공학 확인 및 검증에서는 가정된 운전원 구성이 인간-기계 연계 설계를 지원할 수 있는지에 대한 적합성이 검토된다. 인간공학 확인 및 검증을 통해 운전원의 업무 수행시간 및 작업부하 등의 운전원 수행도를 측정하게 된다. 검증에서 발생한 수행시간 지체 및 과도한 작업부하의 해결을 위해 운전원 구성 변경을 통한 수행도 향상이 필요할 경우 이를 반영한다.

발전소의 최종 운전원 구성은 인간공학 프로그램 활동이 종료된 후 운영단계 초기에 발전소 조직에 의해 결정된다. 최초 운전원 구성에서 변경사항이 발생할 경우 다음과 같은 분석업무를 필요에 따라 수행한다.

가. 운전경험검토

이전 발전소에서의 운전경험에 대한 검토를 수행한다. 이전 발전소에서 도출된 문제점들을 개선하고 장점을 유지한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

나. 기능요건분석 및 기능할당

운전원 구성과 자격이 해당 운전원에게 할당된 기능수행에 적합한지 확인한다.

다. 직무분석

직무수행을 위해 필요한 지식 및 기술 요건을 운전원 구성 및 자격으로 만족시킬 수 있는지 확인한다. 또한 주제어실 내외 업무를 포함하여 개인에게 할당된 모든 업무를 고려하여 운전원 구성 및 자격요건을 설정한다.

라. 인간신뢰도분석

운전원 구성의 변경이 인간신뢰도분석에 미치는 영향을 분석한다.

마. 인간-기계 연계 설계

운전원 구성 변경으로 인한 인간-기계 연계 설계 변경사항 및 고려사항을 분석하며 운전원간에 협업을 고려한다.

바. 절차서 개발

다수의 절차서를 동시 수행하여야 하는 경우 업무부하 등을 평가하여 필요시 운전원 구성에 반영하도록 한다. 또한 절차서의 수행에 필요한 기술, 지식, 권한 등을 운전원 구성 및 자격요건에 반영하도록 한다.

사. 인간공학 확인 및 검증

운전원 구성 변경의 영향으로 설계 변경이 발생했을 때 이에 대한 인간공학 확인 및 검증을 수행한다.

18.1.6.3 수행 결과

주제어실 운전원 구성은 13장 발전소 운영에 기술된 내용에 따라 발전팀장(SS), 안전담당(STA), 원자로차장(RO), 터빈차장(TO), 전력설비운전원(EO)으로 구성된다.

18.1.6.4 참고문헌

1. US NRC, Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, Rev. 2, 2004
2. US NRC, Standard Review Plan, NUREG-0800, 1997
3. 원자력안전법 제84조 | 2
4. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Plan for SUN 1 & 2
5. 신형경수로 1400 운전원 구성 검토보고서(Staffing Review Report)
6. KHNP, 신고리 3,4 운전조 구성과 자격이행 결과 보고서 | 2

18.1.7 인간신뢰도분석

인간신뢰도분석은 운전원 오류의 발생가능성을 최소화하고 오류 감시 및 복구 능력을 갖춘 인간-기계 연계 설비와 운전원간의 상호작용을 제공하고자 하는 인간공학 설계 목표를 달성하기 위한 필수요소이다. 확률론적안전성평가의 한 분야로 수행되어온 인간신뢰도분석이 인간공학 설계분야에도 유익하게 활용 가능하기 때문에 인간공학 프로그램 검토 모델(NUREG-0711 Rev.2)에서 인간공학 활동업무로 명시하고 있다. 따라서 신고리 5,6호기 인간공학 설계 활동업무들 중 하나로 인간신뢰도 분석을 수행한다.

18.1.7.1 목표 및 범위

인간신뢰도분석의 목적은 발전소 안전에 영향을 주는 잠재적인 운전원 오류의 발생 메커니즘 및 가능성을 분석하는데 있다. 인간신뢰도분석 결과는 인간-기계 연계 설계에 반영됨으로써 운전원에게 오류 탐지 및 회복 능력을 제공하여 발전소의 안전성을 유지 및 향상시키는데 활용된다.

인간신뢰도분석의 수행범위는 발전소 안전에 주요한 영향을 미치는 필수운전원조치를 도출하고, 주제어실 설계에 대한 통합 검증실험에 필요한 확률론적안전성평가/인간신뢰도분석 결과 기반의 사고 시나리오를 개발하는 것을 포함한다.

인간신뢰도분석은 인간공학 프로그램 검토 모델(NUREG-0711 Rev.2)에 기술된 다른 인간공학 요소들과 상호작용을 가지며, 이에 대한 내용은 다음과 같다.

가. 직무분석

인간신뢰도분석은 확률론적안전성평가 결과를 활용하여 필수운전원조치를 도

출하여 직무분석의 입력으로 제공한다. 직무분석에서는 제공받은 필수운전원 조치를 활용하여 최소재고목록을 도출하고, 필수운전원조치에 대한 상세 직무요건을 도출하여 인간신뢰도분석에 제공한다.

나. 인간-기계 연계 설계

인간-기계 연계 설계는 인간신뢰도분석 수행 시, 수행특성인자로 고려된다. 인간신뢰도분석 결과들과 직무분석으로 도출된 최소재고목록은 신고리 5,6호기 인간-기계 연계 설계에 반영하여 운전원이 인간-기계 연계 설비와 상호작용 시 오류발생 가능성을 최소화하고 오류 탐지 및 회복 능력을 제공한다.

다. 절차서 개발

절차서는 인간신뢰도분석 수행 시, 수행특성인자로 고려된다. 절차서 개발단계에서는 인간신뢰도분석이 반영된 직무분석 결과를 활용하여 절차서를 개발 혹은 개정할 수 있다.

라. 훈련프로그램 개발

훈련프로그램은 인간신뢰도분석 수행 시, 수행특성인자로 고려된다. 훈련프로그램 개발단계에서는 인간신뢰도분석이 반영된 직무분석 결과를 활용하여 훈련프로그램을 개발 혹은 개정할 수 있다.

마. 인간공학 확인 및 검증

인간신뢰도분석 결과인 필수운전원조치는 인간공학 통합시스템검증을 위한 시나리오 개발에 활용된다. 이를 통해 인간공학 확인 및 검증 단계에서는 필수운전원조치의 수행관련 가정사항들에 대한 적합성 및 운전원의 직무부하 등을 종합적으로 평가한다.

18.1.7.2 방법론

인간신뢰도분석은 설계 초기단계에서 참조발전소의 분석결과를 활용하여 인간공학 설계 및 발전소 설계 활동에 필요한 필수운전원조치를 제공한다. 이후 설계가 진행됨에 따라 상세 설계가 이용 가능한 시점에서 상세직무요건 및 수행특성인자 영향에 대한 분석 등을 수행한다. 인간신뢰도분석에서 사용하는 수행특성인자들은 인간-기계 연계설계, 절차

서, 훈련 프로그램 등과 관련되어 개발되며 인간신뢰도분석에서 얻은 결과 및 사용된 가정사항들은 인간공학 확인 및 검증을 통해 확인된다. 이와 관련된 주요 수행내용은 다음과 같다.

가. 필수운전원조치 도출

확률론적안전성평가/인간신뢰도분석을 통해 필수운전원조치를 도출한다. 필수운전원조치는 확률론적안전성평가/중요도 분석을 통한 정량적 방법 혹은 선행호기 확률론적안전성평가 결과 등을 활용한 정상적 방법으로 선정하며 각각의 선정기준으로 다음과 같다.

1) 정량적 선정 기준

가) [REDACTED]

나) [REDACTED]

2) 정성적 선정 기준

가) [REDACTED]

나) [REDACTED]

나. 인적오류 평가용 수행특성인자 개발

인간신뢰도분석을 수행하기 위해서는 운전원이 행한 인적오류와 해당 인적오류가 발생한 환경을 고려한 수행특성인자의 적용이 필요하며, 이러한 수행특성인자에는 해당 발전소의 특성을 반영되어야 한다. 이처럼 해당 발전소 고유의 특성을 반영한 인적오류 평가용 수행특성인자는 다음의 주요 내용을 통해 개발된다.

1) 기존 수행특성인자 확인

가) [REDACTED]

나) [REDACTED]

2) 설계 및 운전 정보 확인

가) [REDACTED]

나) [REDACTED]

3) 해당 발전소 특성을 반영한 수행특성인자 도출

가) [REDACTED]

나) [REDACTED]

4) 수행특성인자 평가 체계 개발

가) [REDACTED]

나) [REDACTED]

다. 소프트웨어 사용관련 인적오류 발생 메커니즘 분석

소프트제어기는 컴퓨터 기반의 신형주제어실에 도입된 인간-기계 연계설비로써 대부분의 운전원행위 수행과 연관이 있다. 따라서 인간신뢰도분석 수행 시 소프트웨어 조작에 따른 운전원 오류 발생 메커니즘을 분석할 필요가 있다. 소프트웨어 사용관련 인적오류 발생 메커니즘 분석을 수행하기 위한 주요 내용은 다음과 같다.

1) 소프트웨어 사용과 관련된 특성 확인

- 가) [REDACTED]
- 나) [REDACTED]

2) 소프트웨어 사용관련 직무 확인

- 가) [REDACTED]
- 나) [REDACTED]
- 다) [REDACTED]

3) 소프트웨어 조작에 따른 운전원 오류 발생 메커니즘 분석

- 가) [REDACTED]
- 나) [REDACTED]
- 다) [REDACTED]

2

라. 통합시스템 검증을 위한 확률론적안전성평가/인간신뢰도분석 기반의 사고 시나리오 개발

확률론적안전성평가/인간신뢰도분석 결과 도출된 필수운전원조치들의 수행 관련 가정사항들에 대한 적합성 및 운전원의 직무부하 등을 종합적으로 평가하기 위하여 필수운전원조치를 반영한 인간공학 통합시스템 검증용 사고 시나리오를 개발한다. 이를 위해 인간신뢰도분석에서는 다음과 같은 정보를 인간공학 확인 검증으로 전달하여 통합시스템 검증용 사고 시나리오 개발을 지원한다.

- 1) 필수운전원조치 목록
- 2) 필수운전원조치 사고 경위 및 조건

18.1.7.3 수행 결과

인간신뢰도분석 수행결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.7.4 문서화

인간신뢰도분석은 인간신뢰도분석 계획 및 인간신뢰도분석 보고서를 통해 문서화된다.

18.1.7.5 참고문헌

1. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Plan for SUN 1 & 2
2. KEPCO E&C, Human Reliability Analysis Plan for SUN 1 & 2
3. KEPCO E&C, Human Reliability Analysis Report for SUN 1 & 2 | 2
4. NRC, Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications, NUREG/CR- 1278, S.N.L, 1983 | 2

Intentionally Blank

5. NRC, Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711 Rev.2, 2004 | 2

6. 한국수력원자력, 신고리 3,4호기 확률론적안전성평가 보고서, 2011 | 2

18.1.8 인간-기계 연계 설계

화면 기반 제어실 설계 개념에 대한 방향을 수립하기 위하여 신형경수로1400 설계개발단계에서는 한국수력원자력, 한국원자력연구원, 한국전력기술을 포함하는 한국원자력산업체가 System 80+, 프랑스 N4, 일본 APWR 등 각국의 신형 원자로들의 제어실에 대한 타당성 조사와 검토를 수행하였다. 그 결과로서 화면 기반 인간-기계 연계 설비들이 설치된 주제어실은 기존 제어실의 제한성을 극복하고 운전원에게 제공된 지원설비가 향상되었고 보다 편리한 인간-기계 연계를 제공하는 등의 유연성을 가지고 있다고 평가되어 신형경수로1400 제어실의 인간-기계 연계 설계에 대해 화면 기반 제어실 설계 개념을 도입하였다.

18.1.8.1 목표 및 범위

인간-기계 연계 설계의 목표는 체계적인 절차(인간공학 프로그램 포함)에 의한 설계와 인간공학지침서를 적용하여 운전원이 발전소 운전직무를 수행하는 동안 인적오류를 일으킬 확률을 최소화시키고 발전소의 안전성을 유지할 수 있도록 편리하고 효율적인 인간-기계 연계 설비들을 운전원에게 제공하는데 있다.

인간-기계 연계 설계의 범위는 제어실과 제어실에 설치되는 인간-기계 연계 설비를 포함한다. 제어실은 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비로 구분되고 인간-기계 연계 설비는 제어실 설비와 현장제어반들로 구성된다. 구체적인 제어실과 인간-기계 연계 설계의 범위는 다음과 같다. | 1

가. 주제어실: 운전원콘솔, 안전제어반, 대형정보표시반, 제어, 경보, 지시, 전산화절차서, 필수안전기능감시(CFM), 성공경로감시(SPM), 사고감시변수 계측(AMI), 우회 및 작동불능 상태지시(BISI) 등

나. 원격정지실: 운전원콘솔, 정지운전표시반, 제어, 경보, 지시, 전산화절차서 등

다. 비상대응설비: 안전변수표시 및 사고감시 지시

라. 현장제어반 | 1

18.1.8.2 방법론

신고리 5,6호기 인간-기계 연계 설계는 신형경수로1400 인간-기계 연계 설계의 기본 개념을 기준으로 수행되었으며 개념설계, 기본설계, 상세설계 단계를 거쳐서 완성된 인간-기계 연계 설비들에 대해 인간공학 확인 및 검증을 통해서 문제점을 도출하고 이를 반영하는 반복적인 절차를 거쳐 최종 완성된다. 이러한 일련의 설계과정은 그림 18.1-3에 표기되어 있으며, 각 단계별 설계 방법은 다음과 같다.

2

가. 인간-기계 연계 설계(개념 설계)

인간-기계 연계에 대한 개념 설계는 해외 원자력발전소(프랑스 N4, 일본 APWR 등)에 대한 검토를 수행한 후 신형경수로1400 개발단계에서 작성된 한국사업자요건서(K-URD)를 적용하였으므로 기본적으로 신형경수로1400 개념설계와 동일하다. 신형경수로1400 개념설계에서는 인간-기계 연계 설비 선정 및 특성 분석, 초기 주제어실 배치 등을 확인하고, 분석된 인간-기계 연계 특성들을 사업자요건에 반영하여 인간-기계 연계 설비가 운전원의 운전직무를 어떻게 지원할 것인가를 정의한다.

2

나. 인간-기계 연계 설계(기본 설계)

신형경수로1400 개발단계에서는 인간-기계 연계 설계의 개념설계에 근거하여, 인간-기계 연계 설계자와 계측제어 계통설계자들이 운전중 계통 성능의 영향을 고려해야 하는 공통적 근거를 제공할 수 있는 운전전략을 개발한다. 이를 근거로 인간-기계 연계 설비들과 제어실에 대한 기능 및 성능요건들이 체계화된다.

2

2

신고리 5,6호기에서는 신형경수로1400의 운전전략, 기능 및 성능요건을 토대로 인간-기계 연계 설계와 관련된 계통설계기준서 및 계통기능설명서들이 인간-기계 연계 설비(또는 제어실 설비) 별로 작성된다. 아래와 같은 문서는 “원자력발전소 종합설계용역 사업품질보증계획서 제3장 설계관리”와 “원자력용역 사업설계관리절차서 6.12 설계규격서, 6.02 설계기준서 및 등급분류기준서의 작성 및 관리, 6.06 계통설명서, 발전소지침 및 기능분석보고서 작성 절차”에 따라 작성하여 관련 기술그룹간 검토, 해당 절차에 규정된 점검(작성자 이외의 인원으로서 해당 문서를 점검할 능력을 가진자), 검토 및 승인 과정을 거쳐 발행되며, 문서에는 인간-기계 연계 및 제어실에 대한 설계근거, 성능요건 및 계통기능들이 기술되어 있다. 기능적 요건은 인간-기계 연계 설비 또는 제어실 설계 관련 상위 목표 및 주요 설계기준이며, 계통기능은 이들 상위 설계목표 및 설계기준을 달성하기 위한 수단으로 제공된다. 특히, 기본설계문서에 기술된 기능적 요건 및 계통기능 등은 인간-기계 연계 및 계측제어계통의 상세설

2

계 입력자료로 활용된다.



다. 인간-기계 연계 설계(상세 설계)

인간-기계 연계 설계자들은 상세설계공정의 생성물로써 인간-기계 연계에 대한 통합계획서, 설계규격서 및 상세 설계도면을 작성한다. 또한 상세 인간-기

Intentionally Blank

계 연계 설계의 결과물들은 계측제어계통규격서 작성 시 일반적 입력으로 제공된다.

설계규격서는 직무관련 인간-기계 연계 요건을 포함하는 특정화면 또는 알고리즘에 대한 설계 논리를 문서화한 것이다. 그러나 인간공학지침서와 계통기능설명서들에 이미 명시된 일반적인 설계기준들은 포함하지 않았다. 설계규격 작성에는 한국표준형원전 제어반 설계에 대한 운전원의 피드백과 논리적 근거들이 중요한 입력 자료로 활용된다.

인간-기계 연계 설계 및 통합 계획서는 상세 설계단계에서 관련조직에서 수행하는 인간-기계 연계 설계와의 효과적인 통합 및 설계의 일관성을 유지하기 위해 인간-기계연계 설계의 연계관계를 문서화한 것이다.

인간-기계 연계 설계 및 인간공학 지침서는 발전소 운전직무관련 인간-기계 연계 요건 및 인간공학지침들을 문서화한 것이다. 인간-기계 연계 설계 지침서는 인간-기계 연계의 기본요소인 화면, 정보, 소프트웨어에 대한 기능분할을 기술하고 인간공학 지침서는 주변 환경, 정보, 통행흐름, 체위, 명판, 지원설비 및 표준 심볼 등을 기술한다.

각 계통별 인간-기계 연계 설계보고서는 인간-기계 연계 설계에 반영해야 할 직무 관련 인간-기계 연계 요건 및 기능을 문서화한 것이다. 직무 관련 인간-기계 연계 요건은 운전경험검토, 기능요건분석 및 기능할당, 직무분석, 인간신뢰도분석 등과 같은 인간공학 프로그램 활동들의 결과와 계통 요건(배관 및 계장도, 계통 기술서, 설계 데이터, 정보 및 제어를 위한 설정치 등)으로부터 개발하고 데이터베이스화한다. 이러한 요건들은 범위, 정확성, 단위 등과 같은 사항들도 포함된다. 각 계통별 인간-기계 연계 사양에는 인간-기계 연계에 의해 제공될 필요가 있는 운전기능과 관련 정보목록도 포함된다. 또한 동적 특성, 지원 알고리즘 등이 인간-기계 연계 사양의 일부분으로 구성된다.

라. 인간-시스템 연계 설계 시험 및 평가

인간공학 확인 및 검증과는 독립적으로 수행되는 인간-시스템 연계 설계에 대한 시험 및 평가는 인간-기계 연계 설계문서를 설계 검토 통보서(Design Review Notice: DRN) 및 설계 확인 보고서(Design Verification Report: DVR) 절차를 통해 독립된 전문가(계통 전문가, 운전 전문가, 인간-기계 연계 설계 전문가, 인간공학 전문가, 품질보증 전문가 등)들이 검토 및 평가하는 것으로 이루어진다.

18.1.8.3 수행 결과

인간-기계 연계 설계의 결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.8.4 참고문헌

1. US NRC, Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, Rev. 2, 2004
2. US NRC, Standard Review Plan, NUREG-0800, 1997
3. US NRC, Human-System Interface Design Review Guideline, NUREG-0700, Rev. 2, 2002
4. KEPCO E&C, SUN 1&2 General Design Criteria Chapter 7 (0-037-B401-001-CH7)
5. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Design Criteria for Display System (9-722-J402-001)
6. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Design Criteria for Alarm System (9-723-J402-001)
7. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Design Criteria for Post-Accident Monitoring System (9-724-J402-001)
8. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Design Criteria for Bypass and Inoperable Status Indication System (9-725-J402-001)
9. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Design Criteria for Soft Control System (9-726-J402-001)
10. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Design Criteria for Main Control Room System (9-751-J402-001)
11. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Design Criteria for Remote Shutdown Room System (9-754-J402-001)
12. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Design Criteria for Large Display Panel System (9-757-J402-001)

2

13. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Design Criteria for Emergency Response Facility System (9-758-J402-001)
14. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Functional Description for Display System (9-722-J403-001)
15. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Functional Description for Alarm System (9-723-J403-001)
16. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Functional Description for Post-Accident Monitoring System (9-724-J403-001)
17. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Functional Description for Bypass and Inoperable Status Indication System (9-725-J403-001)
18. KEPCO E&C, SUN 1&2 System Functional Description for Soft Control System (9-726-J403-001)
19. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Functional Description for Main Control Room System (9-751-J403-001)
20. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Functional Description for Remote Shutdown Room System (9-754-J403-001)
21. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Functional Description for Large Display Panel System (9-757-J403-001)
22. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 System Functional Description for Emergency Response Facility System (9-758-J403-001)
23. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 Human Factors Engineering Guideline (9-750-J410-001)
24. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 Human Factors Engineering Program Plan (9-750-J429-001)
25. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 Man-Machine Interface Design and Integration Plan (9-750-J436-001)
26. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 Man-Machine Interface Design Guide (9-750-J436-002)

27. KEPCO E&C, SUN 1 & 2 Directory Page & Task Support MMI Design Report (9-750-J436-003)	2
--	---

18.1.9 절차서 개발

인간공학프로그램 검토 모델에서의 절차서 개발공정의 목적은 발전소 절차서를 개발 및 검증하는데 있어 기술적으로 정확하고 인간공학 원칙을 만족시키는데 있다.

절차서 개발과정에서 인간공학 설계조직은 절차서 개발에 대한 책임을 지닌 조직과 상호 협조하며, 절차서 개발에 관한 결정과정에 인간공학 설계조직에서 수행되는 인간공학 활동들이 효과적으로 통합될 수 있도록 입력을 제공한다. 또한, 기존 원자력발전소 절차서 개발에 경험이 있는 발전소 절차서 전문가들이 지식과 전문성을 활용하여 절차서 개발에 참여한다.

발전소에 구비된 모든 절차서는 안전성분석 보고서 “13.5 발전소 절차서”에 명시되어 있으며, 이를 작성, 개정, 확인검증, 사용법에 대한 지침은 별도의 발전소 절차서로 개발된다. 이는 절차서 관리절차서로 명명되며 선행 유사 원전의 관리 절차서를 재활용한다. 동시에 신고리 5,6호기의 설계특성을 반영하기 위해 필요시 절차서관리 절차서와 모든 종류의 절차서 내용도 개정된다.

특히 일부 절차서는 전산화되기 때문에 전산화에 따른 활동도 기술된다.

Intentionally Blank

18.1.9.1 목표 및 범위

인간공학 프로그램에서 절차서 개발의 목표는 인간공학 원칙 및 기준이 발전소 절차서 개발에 반영되도록 방법론 및 이행계획을 수립하는데 있다.

인간공학 프로그램 적용이 필요한 절차서는 아래 운전 관련 절차서 외에 시험, 정비절차서까지 포함한다.

가. 비상운전 절차서

나. 종합운전 절차서

다. 비정상운전 절차서

라. 경보대응 절차서

마. 계통운전 절차서

위의 절차서들은 모두 인간공학 적용이 필요하며, 특히 이를 관리하는 절차서관리 절차서는 특히 인간공학 활동의 대상이 된다. 또한 전산화절차서로 전환되는 아래 절차서는 전산화절차서시스템과 연계되어 인간공학활동이 수행된다.

가. 비상운전 절차서

나. 종합운전 절차서

다. 비정상운전 절차서

라. 경보대응 절차서

절차서 작성은 절차서 유형마다 일부 차이는 있지만 아래와 같은 내용을 고려하여 작성되며, 이는 절차서관리 절차서에서도 명시된다.

가. 발전소 설계개념

나. 계통별 기술 요건 및 사양

다. 절차서 관련 직무분석 결과

라. 필수 운전원 조치(Critical operator actions)

마. 비상운전절차서의 초기사건

바. 비상운전지침서

2

18.1.9.2 방법론

절차서에 인간공학 원칙을 반영하기 위해 아래의 활동을 수행한다.

2

18.1.9.2.1 절차서 작성 지침

발전소에 적용되는 절차서는 시스템적으로 관리되며, 또한 절차서 작성, 개정, 검토, 사용을 위한 관리절차서가 구비되어 있다. 건설원전은 선행호기 절차서 목록을 복사하여 건설원전용으로 확보하며 이를 호기 특성을 반영하여 개정한다. 이 활동은 시운전조직에 의해 수행되지만 인간공학활동인 절차서 개발에서는 수정 활동과 수정된 절차서가 신고리 5,6호기 설계특성이 반영되었는지 검토한다.

절차서 검토에 사용되는 신고리 5,6호기 인간공학활동은 아래내용을 포함한다.

2

가. 운전경험의 적용

나. 직무분석의 결과 적용

다. 절차서의 인간공학 확인 및 검증

라. 인간신뢰도분석 결과의 적용

Intentionally Blank

Intentionally Blank

또한 절차서 작성 측면에서는 아래 내용도 검토한다.

2

- 가. 절차서 및 운전에 사용되는 용어 및 약어의 정의
- 나. 절차서의 작성자, 검토자, 승인자의 책임
- 다. 절차서 작성 순서 및 절차
- 라. 절차서의 구성, 형식, 내용의 일관성을 유지하기 위한 단계 및 지시문 작성 방법
- 마. 지시문의 문장 기술 지침

18.1.9.2.2 절차서 확인 및 검증

절차서의 확인은 절차서의 작성 및 개정 시 절차서 작성 지침의 객관적인 기준을 확인하여 절차서에 인간공학 요건이 반영되었는지 확인하는 것이다. 확인된 절차서는 필요에 따라 시뮬레이터에서 검증한다.

절차서 확인 및 검증은 가동 중에도 발전소 종사자에 의해 수행되는 업무이기 때문에 처음 작성되는 절차서에 대해서도 발전소 종사자에 의해 수행될 예정이다. 다만 초기의 검증 기준, 자격 등을 본 인간공학 프로그램에서 확인할 예정이다.

18.1.9.2.3 전산화절차서를 고려한 절차서 개발

아래의 절차서는 전산화된 형태로 제공된다. 따라서 기존 절차서관리 절차서외에 전산화를 위한 별도의 지침이 제공될 예정이다. 이 지침은 전산화절차서 작성지침 등으로 명명되며, 절차서관리 절차서의 한 부분이 된다.

2

- 가. 비상운전 절차서
- 나. 종합운전 절차서
- 다. 비정상운전 절차서
- 라. 경보대응 절차서

전산화절차서의 작성은 종이절차서와 다르게 절차서 형식, 절차서 수행흐름, 정보의 연계, 동료 운전원의 수행공유 측면에서 변화가 있다. 전산화절차서 작성지침 및 사용지침 등에 변경내용이 반영되도록 할 예정이다.

전산화절차서 작성은 전산화절차서시스템의 설계특성에 따라 결정되는 종속관계에 있지만, 설계특성도 절차서 수행의 요건에 따라 결정되기 때문에 전산화절차서를 활용한 직무

분석, 인간공학검증을 통해 전산화절차서시스템 설계특성도 변화시켜갈 계획이다.

전산화절차서 적용에 따른 절차서 활용성 및 인적 오류 개선에 대한 효과는 인간공학 확인 및 검증 과정을 통해 종합적으로 평가되고 문서화 된다. 또한, 전산화절차서가 가용하지 않은 경우의 후비 종이기반 절차서로의 전환 운전에 대한 적합성도 인간공학 확인 및 검증에서 평가된다.

18.1.9.3 수행 결과

절차서 개발 수행결과는 절차서관리 절차서에 최종적으로 정리되며, 최종안전성분석보고서에 기술된다. 또한 이런 활동을 정리한 절차서개발 이행보고서를 발행할 예정이다.

18.1.9.4 인간공학 연계사항

절차서 개발에 필요한 타 인간공학 활동요소 입력자료는 인간공학 업무 관리, 운전경험검토, 직무분석, 운전원 구성, 인간-기계 연계 설계, 인간공학 확인 및 검증이 있으며, 절차서 개발 결과물이 인간신뢰도분석, 인간공학 확인 및 검증, 훈련프로그램 개발에 입력자료로 활용한다. 절차서 개발과 관련한 상세 인간공학 연계 목록은 아래와 같다.

가. 절차서 개발에 입력자료로 활용되는 타 인간공학 활동요소 내용

- 1) 인간공학 업무 관리 : 절차서 개발 활동계획
- 2) 운전경험검토 : 잠재적인 설계 문제 및 해결방안
- 3) 직무분석 : 직무분석 결과(직무절차 및 수행요건, 주의, 경고 사항 등)
- 4) 운전원 구성 : 운전 절차에 필요한 운전원 가정사항
- 5) 인간-기계 연계 설계 : 인간-기계 연계 설계 자료
- 6) 인간공학 확인 및 검증 : 필수운전원 조치 시나리오에 대한 절차서 실험 결과

나. 타 인간공학 활동요소에 입력자료로 활용되는 절차서 개발 내용

- 1) 인간신뢰도분석 : 운전관련 절차서
- 2) 인간공학 확인 및 검증 : 운전관련 절차서
- 3) 훈련프로그램 개발 : 절차서 내용

18.1.9.5 참고문헌

1. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Plan for SKN 5 & 6
2. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Interface Framework for SKN 5 & 6

3. US NRC, Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, Rev. 2, 2004 | 2
4. US NRC, Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for Nuclear Power Plants, NUREG-0800, Rev. 1, 1997 | 2
5. KHNP, Procedure Development Plan for SUN 1 & 2 | 2

18.1.10 훈련프로그램 개발

원자력교육원은 인간-기계 연계 설계를 고려한 교육훈련프로그램(이하 MMI 교육훈련프로그램)을 수립하고 시행한다. 원자력교육원장은 MMI 교육훈련프로그램 관리 및 평가의 책임이 있다. 단, 교육훈련센터에서 시행하는 MMI 교육훈련프로그램의 관리 및 평가

Intentionally Blank

는 해당 교육훈련센터장에게 관리 및 평가를 위임할 수 있다. 본 MMI 교육훈련프로그램은 인간-기계연계 설비 중 주제어실에 배치되는 항목에 대해 인간공학 프로그램 및 체계적인 교육훈련기법을 적용하여 원자력교육원 또는 교육훈련센터에서 개발한다. 따라서 훈련프로그램 개발 및 이행 업무를 수행하는 조직에 대한 세부 사항은 원자력교육원 또는 교육훈련센터에서 운영할 예정인 별도의 프로그램에 반영한다.

18.1.10.1 목표 및 범위

인간-기계 연계에 대한 훈련프로그램 개발의 목표는 주제어실 종사자가 직무수행에 적합한 능력을 갖추도록 하는 것이며 이를 위한 체계적 훈련 프로그램을 구축한다. 그 범위는 주제어실 운전원 뿐만 아니라 현장 운전원까지 포함한다.

| 2

18.1.10.2 방법론

본 교육훈련프로그램을 통한 훈련 후 달성하고자 하는 직무수행 능력 확보를 위한 학습 목표 설정은 다음과 같은 내용이 포함되어야 한다.

가. 인허가 근거 문서

최종안전성분석보고서, 시스템 매뉴얼, 운전절차서 등 교육에 필요한 공인된 문서

나. 운전경험검토

기존 훈련프로그램의 개선사항 및 장점에 대한 검토

다. 기능요건분석 및 기능할당

새로운 설계에 따라 추가되거나 개선된 기능

라. 직무분석

직무난이도가 높은 공동 작업이 필요한 업무 및 직무부하가 높은 업무

마. 인간신뢰도분석

주요 인적행위 및 첨단기술의 사용과 관련된 인적오류의 결과나 에러를 감소시키기 위한 운전원의 역할 및 활동

| 2

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

바. 인간-기계 연계 설계

주제어실 운전원이 필수적으로 숙지해야 하는 설계특성 및 운전개념을 반영하고 화면 기반 주제어실에서 발생할 수 있는 문제점

사. 절차서 개발

절차서 개발에 따른 문제가 발생할 가능성이 있는 직무

아. 인간공학 확인 및 검증

인간공학 확인 및 검증을 통해 도출된 인적수행도 관련 문제점 중 훈련을 통해 해결해야 할 사항

Intentionally Blank

Intentionally Blank

18.1.10.3 수행 결과

훈련프로그램 개발에 대한 수행 결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.10.4 인간공학 연계사항

훈련프로그램 개발에 필요한 타 인간공학 활동요소 입력자료는 인간공학 업무 관리, 운전 경험검토, 직무분석, 운전원 구성, 인간-기계 연계 설계, 절차서 개발, 인간공학 확인 및 검증이 있으며, 훈련프로그램 개발 결과물이 인간신뢰도분석, 인간공학 확인 및 검증에 입력자료로 활용한다. 훈련프로그램 개발과 관련한 상세 인간공학 연계 목록은 아래와 같다.

가. 훈련프로그램 개발에 입력자료로 활용되는 타 인간공학 활동요소 내용

- 1) 인간공학 업무 관리 : 훈련프로그램 개발 활동계획
- 2) 운전경험검토 : 참조발전소 및 선행호기의 훈련프로그램의 개선사항
- 3) 직무분석 : 훈련요건(예; 빈도, 직무부하, 상황인식, 직무정지 등),
발전소 상태 분류, 가동시 운전원 활동
- 4) 운전원 구성 : 운전원 구성 결과
- 5) 인간-기계 연계 설계 : 인간-기계 연계 설비 자료
- 6) 절차서 개발 : 절차서 내용
- 7) 인간공학 확인 및 검증 : 인적수행도 관련 HED 사항

2

나. 타 인간공학 활동요소에 입력자료로 활용되는 훈련프로그램 개발 내용

- 1) 인간신뢰도분석 : 훈련프로그램 자료
- 2) 인간공학 확인 및 검증 : 운전 개념, 인적수행도 관련 문제 해결책

18.1.10.5 참고문헌

1. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Plan for SKN 5 & 6
2. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Interface Framework for SKN 5 & 6
3. US NRC, Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, Rev.2, 2004
4. US NRC, Standard Review Plan for the Review of Safety Analysis Reports for

2

2

2

Nuclear Power Plants, NUREG-0800, Rev. 1, 2004

5. US NRC, Training Review Criteria and Procedures, NUREG-1220, Rev. 1
6. IAEA, Systematic Approach to Training, TECDOC-525, Rev. 1
7. INPO 85-006, Principles of Training System Development
8. 원자력교육원, 체계적 교육훈련(SAT) 관리절차서[교육행정-12]
9. 원자력안전법 제106조 1항
10. KHNP, 신고리 3,4호기 훈련프로그램 이행 보고서

2

18.1.11 인간공학 확인 및 검증

인간공학 확인 및 검증에서는 선행호기인 신한울 1,2호기 및 후쿠시마 원전사고에서 발생된 인간공학적 현안 및 문제점들을 해결하고 설계 결과물에 대한 설계 적합성과 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비 현장설비에 대한 인적수행도를 평가하기 위해서 인간공학 확인 및 검증을 수행한다. 또한, 인간공학 확인 및 검증은 선행호기에서 활용한 주요 평가척도(rating scale)에 대한 체계 및 평가방식, 적합성 판단기준 등과 같은 인간공학 확인 및 검증 방법론을 일관성 있게 적용한다.

2

Intentionally Blank

Intentionally Blank

18.1.11.1 목표 및 범위

인간공학 확인 및 검증의 목표는 다음과 같다.

- 가. 인간-기계 연계 설계결과물에 대한 미해결 현안을 재평가
- 나. 인간공학 결함사항이 반영된 인간-기계 연계 설계의 적절성 확인
- 다. 설계기준초과 및 중대사고 대응능력 평가
- 라. 주제어실과 원격정지실의 인간-기계 연계 설계를 개선
- 마. 운전원 구성에 대한 직무부하, 상황인식, 운전원 협업과 같은 인적수행도를 평가하여 운전원이 발전소를 안전하고 효율적으로 운전할 수 있는가를 검증
- 바. 인간공학 확인 및 검증에서 확인된 인적수행도 변화를 추적 및 관리하여 발전소의 안전운전을 달성

2

2

인간공학 확인 및 검증은 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비, 현장제어반에 설치된 인간-기계 연계 설비 및 거주환경을 대상으로 평가를 수행하며 보다 세부적인 평가 범위는 세부 항목별 목표 및 범위에 기술되어 있다.

인간공학 확인 및 검증은 1) 운전조건 표본화(Operational Conditions Sampling), 2) 설계 확인(Design Verification), 3) 통합 시스템 검증(Integrated System Validation), 4) 인간공학 결함 사항 해결(Human Engineering Discrepancy Resolution), 5) 최종 발전소 확인(Final Plant Verification)으로 구분된다. 각 요소에 대한 수행내용은 해당 절에 기술되어 있다.

18.1.11.2 운전조건 표본화

2

운전조건 표본화는 인간공학 확인 및 검증 활동 수행에 필요한 운전조건의 범위를 제시하고 인간공학 확인 및 검증 수행이 발전소 운영에 전반적인 운전상황을 포함하고 있음을 보증하기 위함이다.

18.1.11.2.1 목표 및 범위

운전조건 표본화는 발전소의 일반 운전상황을 포함하고 수명기간동안 발생 가능한 사고 중 대표적인 사고 및 새로운 인간-기계 연계 설비 추가로 인한 운전환경 변경 그리고 주제어실의 환경적 변화를 포함하는 대표적인 운전조건을 구성하는 것이다.

18.1.11.2.2 방법론

운전조건 표본화를 위해 아래와 같은 발전소 조건, 운전원 직무 조건, 인적 수행도 상황 인자 조건이 고려된 대표적인 운전조건을 선정하고, 각 운전조건에 대한 상황, 인간-기계 연계 설비, 운전원 직무 등 선정된 운전조건과 관련된 상세한 내용을 문서화한다.

가. 발전소 조건

- 1) 발전소 기동, 정지 및 연료 충전 또는 전력의 중요한 변화등을 포함하는 정상운전상황
- 2) 주제어실의 인간-기계 연계 설비 등의 고장
- 3) 발전소 과도상태 및 사고 상황
- 4) 설계기준초과 및 중대사고
- 5) 발전소 초기고장이 다른 시스템의 고장을 일으킬 수 있는 고장

나. 운전원 직무 조건

- 1) 필수운전원조치와 관련된 운전원 직무
- 2) 운전경험보고서에 등록된 문제가 예상되는 운전원 직무
- 3) 발전소 운전절차서에 정의된 운전원 직무
- 4) 발전소 운전절차서에 정의되지 않은 운전원 직무(지식기반 운전직무)
- 5) 운전원이 수행하는 운전과 관련한 인지적 직무(탐지, 감시, 평가, 계획, 수행 등)
- 6) 운전원 협업 관련 운전직무
- 7) 높은 빈도로 수행되는 운전직무

다. 인적 수행도 상황인자 조건

- 1) 높은 작업부하 상황(다중 과업화 상황)
- 2) 작업부하의 과도 변경 상황
- 3) 환경적 요소(조명, 온도, 소음 등)

인간공학 확인 및 검증을 위해 아래와 같은 절차를 통해 개발되는 시나리오는 운전조건 표본화에서 선정된 운전조건 포함여부를 확인하기 위해 비교표를 사용한다.

가. 자료 수집 및 검토

- 1) 현안 추적 시스템에 등록된 인간공학 현안

- 2) 신고리 5,6호기 운전경험검토 보고서
- 3) 신고리 5,6호기 직무분석 보고서
- 4) 인간신뢰도분석 가정사항
- 5) D3(Diversity & Defense-in-Depth) 운전원 수동조치 가정사항
- 6) 선행호기에서 미해결된 인간공학 결함 사항
- 7) 신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서 규제기관 제시 현안
- 8) 후쿠시마 후속조치 사항

나. 운전 시나리오 개발

- 1) 예비 검증용 시나리오 개발
- 2) 통합 시스템 검증용 시나리오 개발
- 3) 설계기준초과 및 중대사고 평가용 시나리오 개발

다. 운전조건 샘플링 확인

- 1) 운전 시나리오 발전소 조건 확인
- 2) 운전 시나리오 운전원 직무조건 확인
- 3) 운전 시나리오 인적 수행도 상황인자 조건 확인

18.1.11.2.3 수행결과

운전조건 표본화 수행결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.11.3 설계 확인

설계 확인은 인간-기계 연계 설계가 인간공학 프로그램 활동요소에 따라 적합하게 설계되었는지 확인하는 것으로 재고기기 분석 및 특성 검토, 인간공학 설계 확인, 인간-기계 연계 설계 직무지원 확인이 포함되어 있다.

18.1.11.3.1 재고기기 분석 및 특성 검토

재고기기 분석 및 특성 검토는 발전소 초기 설계에서부터 수행되는 인간공학 프로그램 계획에 따라 설계되는 인간-기계 연계 설계 재고기기 및 특성을 확인하는 단계이다.

18.1.11.3.1.1 목표 및 범위

운전조건 표본화에서 도출된 범위와 시나리오에 근거하여 직무분석 및 인간-기계 연계 설계의 결과로 도출된 직무요건과 설계요건이 인간-기계 연계 설계에 반영되었는지 확인

하기 위해 재고기기 분석을 통한 목록작성 및 설계 특성을 검토하는 것이다.

재고기기 분석 및 특성 검토는 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비 및 현장에 설치된 인간-기계 연계 설비를 대상으로 수행하며 보다 세부적인 평가 범위는 다음과 같다.

- [Redacted]
- [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
 - [Redacted]
- [Redacted]
- [Redacted]
 - [Redacted]
 - [Redacted]

18.1.11.3.1.2 방법론

재고기기 분석 및 특성 검토는 직무분석 결과로 도출된 직무요건, 최소재고기기목록, 신고리 5,6호기 데이터베이스(Plant Wide Database: PWDB)와 같은 설계문서를 활용하여 운전조건 표본화에서 수행되는 운전 시나리오 및 인간-기계 연계 설비 범위를 포함하고 재고기기 및 특성 목록을 작성한다. 재고기기 목록 및 특성은 아래와 같은 기준에 따라 문서화된다.

- 가. 기기 이름 및 식별코드 번호
- 나. 관련된 발전소 계통 및 하부 계통
- 다. 관련된 운전원 직무유형
- 라. 인간-기계 연계 요소의 형태(소프트웨어 및 하드웨어 제어장치 또는 표시장치)
- 마. 표시장치 특성과 기능
- 바. 제어장치 특성과 기능
- 사. 운전원과 시스템의 연계 지원 장치 종류
- 아. 데이터 관리 시스템의 위치
- 자. 물리적 위치(접근성, 환경 등)
- 차. 설계에 필요한 정보(보조기기 목록, 설계 규격, 도면 등)
- 카. D3 운전원 수동 조치시간 분석(가용시간 및 필요시간 선정)

18.1.11.3.1.3 수행결과

재고기기 분석 및 특성 검토 수행결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.11.3.2 인간-기계 연계 설계 직무지원 확인

인간-기계 연계 설계 직무지원 확인은 발전소 운전에 필요한 인간-기계 연계 설비가 설

계되었음을 확인하는 단계이다.

18.1.11.3.2.1 목표 및 범위

인간-기계 연계 설계 직무지원 확인은 운전조건 표본화에서 도출된 대표적인 운전조건에 대해 재고기기 분석 및 특성 검토를 통해 도출된 경보, 정보제공, 제어 등의 기능들이 신고리 5,6호기 인간-기계 연계 설계에 포함되어 있음을 확인하는 것이다.

인간-기계 연계 설계 직무지원 확인은 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비 및 현장에 설치된 인간-기계 연계 설비를 대상으로 수행하며 보다 세부적인 평가 범위는 다음과 같다.





18.1.11.3.2.2 방법론

인간-기계 연계 설계 직무지원 확인은 재고기기 분석 및 특성 검토목록을 활용하여 직무 지원 요구사항 점검표를 작성한다. 직무 지원 요구사항 점검표의 확인 범위에 따라 인간-기계 연계 설계 자료(운전 화면, 주제어실 배치도면, 운전원콘솔 도면, 안전제어반 도면, 원격정지실 배치도면, 원격정지콘솔 도면 등)를 수집하고 점검표와 비교 분석을 수행하여 결과를 문서화 한다. 인간-기계 연계 설계 직무지원 확인에서 도출된 문제점은 인간공학 결함 사항으로 등록하여 추적 관리한다.

18.1.11.3.2.3 수행결과

인간-기계 연계 설계 직무지원 확인 수행결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.11.3.3 인간공학 설계 확인

인간공학 설계 확인은 인간-기계 연계 설계결과물이 인간공학지침서에 따라 설계되었는지 확인하는 단계이다.

18.1.11.3.3.1 목표 및 범위

인간-기계 연계 설계결과물이 기기 특징과 운전환경에 따라 설계되었는지 인간공학지침서를 통해 확인하는 것이다.

인간공학 설계 확인은 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비, 현장제어반에 설치된 인간-기계 연계 설비를 대상으로 수행하며 보다 세부적인 평가 범위는 다음과 같다.



-
- | Category | Response | Total | Rep/Lean Rep | Dem/Lean Dem |
|---------------------------|---|-------|--------------|--------------|
| U.S. should... | Take action to address climate change | 78% | 71% | 85% |
| | Reduce greenhouse gas emissions | 76% | 69% | 83% |
| | Invest in clean energy research and development | 74% | 67% | 81% |
| | Regulate the environment | 72% | 65% | 79% |
| U.S. should not... | Take action to address climate change | 18% | 25% | 14% |
| | Reduce greenhouse gas emissions | 16% | 23% | 12% |
| | Invest in clean energy research and development | 14% | 21% | 10% |
| | Regulate the environment | 12% | 19% | 9% |
| U.S. should do both... | Take action to address climate change and reduce greenhouse gas emissions | 4% | 4% | 4% |
| | Invest in clean energy research and development and regulate the environment | 4% | 4% | 4% |
| | Take action to address climate change and invest in clean energy research and development | 4% | 4% | 4% |
| | Reduce greenhouse gas emissions and regulate the environment | 4% | 4% | 4% |
| U.S. should do nothing... | Take action to address climate change | 0% | 0% | 0% |
| | Reduce greenhouse gas emissions | 0% | 0% | 0% |
| | Invest in clean energy research and development | 0% | 0% | 0% |
| | Regulate the environment | 0% | 0% | 0% |

18.1.11.3.3.2 방법론

인간공학 설계 확인은 인간공학지침서를 활용하여 점검표를 작성하며, 해당 점검표를 토대로 실제 설계가 해당 지침에 따라 설계되었는지 확인하며, 그 결과는 문서화 한다. 인간-기계 연계 설계 직무지원 확인에서 도출된 문제점은 인간공학 결함 사항으로 등록하여 추적 관리한다.

18.1.11.3.3.3 수행결과

인간공학 설계 확인 수행결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.11.4 예비 검증

예비 검증은 인간-기계 연계 설계 적합성을 설계 초기 단계에서 수행하여 설계 부적합 사항 도출 및 인적 수행도를 측정한다.

18.1.11.4.1 목표 및 범위

예비 검증은 선행호기에서 미해결된 인간공학결합사항 및 운전경험검토에서 도출된 다양한 인간공학적 문제점의 해결방안이 반영된 신고리 5,6호기 인간-기계 연계 설계가 적합하게 설계 되었는지를 검증하고, 인간-기계 연계 설계결과물이 지니고 있는 설계 부적합 사항을 도출 및개선하기 위함이다. 또한 인간-기계 연계 설계 변경으로 인하여 그 결과물이 운전직무 수행시 어떤 영향을 미치는지를 추적하기 위하여 인적수행도를 측정한다.

18.1.11.4.2 방법론

예비 검증은 최종 인간-기계 연계 설계 결과물이 아닌 현재 개발되고 진행 중인 인간-기계 연계 설계를 이용하여 인적수행도를 측정하므로 통합시스템검증과 같은 전 범위를 아우르는 인적수행도 평가방법이 아니며, 검증시점까지 개발된 설계를 이용하므로 부분 범위에서 수행되는 평가방법이다. 따라서 주로 과거 평가 활동으로부터 제기되었던 인간공학 결합 사항, 규제기관에 의해 제기된 현안사항 등에 대해 종합적인 평가를 수행한다. 또한, 예비 검증에서 도출된 문제점은 인간공학 결합 사항으로 등록하여 추적 관리한다.

2

18.1.11.4.2.1 검증설비(Test bed)



18.1.11.4.2.2 검증 참여자

예비 검증에 참여하는 평가자 및 피평가자는 아래와 같다.

가. 피평가자

인간공학 예비검증에 참여하는 피평가자는 실제 발전소에서 근무하고 있는 주 제어실 운전원(SS, STA, RO, TO, EO)을 무작위 선택하되 일반적으로 운전경험 경력, 나이와 통계적 특징을 보유하고 있는 집단 등과 같은 사항을 고려한다. 예비검증에 참여하는 피평가자는 실제 발전소 주제어실에 근무하는 운전원들이다.

나. 평가자

예비 검증에 참여하는 평가자는 인간-기계 연계 설계에 참여하지 않은 인간공학 설계팀과 자문단(인간공학 전문가, 운전전문가)으로 구성한다.

18.1.11.4.2.3 검증 시나리오

예비 검증에 사용되는 시나리오는 운전조건 표본화를 통해 도출된 대표적인 운전조건을 기반으로 인간-기계 연계 설계의 현안을 평가하기 위해 인간공학 프로그램 검토모델(NUREG-0711, Rev. 2)을 준수하여 개발된다.

18.1.11.4.2.4 인적수행도 평가

발전소 운전원에 대한 인적수행도는 한 가지 기준으로 평가할 수 없으며 아래와 같이 다양한 요소를 측정하여 요소간의 관계를 분석한 후 최종적으로 인적수행도를 평가한다.

예비 검증에 사용되는 인적수행도 평가 척도는 다음과 같다.

가. 발전소의 과도상태 시 운전직무 수행 평가

발전소 과도상태 시 운전직무 수행을 평가하기 위해서 각 시나리오별로 선정된 발전소 과도상태를 발생시킨 후 운전원의 대응능력을 평가한다. 시나리오에 따라 운전원은 발전소 감시 및 제어를 수행하며 이때 운전원의 조치 사항은 시뮬레이터의 로깅 시스템(Logging System)에 기록된다. 시나리오 종료 후 운전전문가는 로깅 시스템에 기록된 발전소의 주요 상태변수를 수집하여 실패, 성공으로 분류하고 실패한 경우 운전원과의 토론을 통하여 원인을 규명한다.

D3 운전원 수동 조치사항과 관련하여 별도 시나리오를 개발하고 D3 운전원 수동 조치시간 분석에서 도출된 가용시간 및 필요시간을 독립적으로 평가한다.

나. 운전원 상황인식(Situation Awareness) 평가

운전원 상황인식 평가는 Endsley가 주창한 3수준 상황인식 모델(지각, 인지, 예측)을 기반으로 구성되어 있고 일반적인 운전원의 상황인식을 평가할 수 있는 SART와 주관적 평가 도구인 SACRI 평가지를 이용한다.

다. 작업부하(Workload) 평가

작업부하 평가는 여러 연구를 통해 결과의 신뢰성 및 이용성이 검증된 주관적 평가 기법인 NASA-TLX를 이용한다. NASA-TLX는 수행 직무에 요구되는 작업종사자의 작업부하가 정신적 요구, 신체적 요구, 시간적 요구, 수행도, 노력, 좌절 수준 등 6개 항목으로 구성되어 있다.

라. 운전원 협업 평가

운전원 협업 평가는 OECD Halden Reactor Project(HRP)에서 개발한 행위 기반 팀워크 평가척도인 BARS(Behaviorally Anchored Rating Scale)를 이용한다. BARS의 주요 평가항목은 팀의 임무 집중도 및 단체의사 결정 효율, 의견에 대한 조율, 의사소통의 효율, 개방성, 팀 융화 등 5개 부문으로 구성되어 있다.

18.1.11.4.3 수행결과

예비 검증 수행결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.11.5 통합 시스템 검증

통합 시스템 검증은 신고리 5,6호기의 최종 확정된 인간-기계 연계 설계가 발전소의 안전 운영 지원 가능여부를 종합적으로 검증한다.

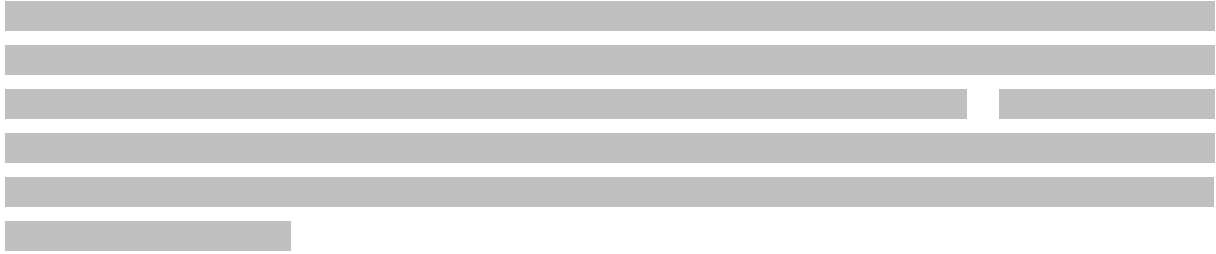
18.1.11.5.1 목표 및 범위

통합 시스템 검증에서도 예비검증과 같은 방식으로 평가가 수행된다. 그러나 최종 상세 설계 결과물과 이를 반영한 충실도 높은 시뮬레이터를 통해 평가가 이루어진다는 점에서 예비검증과 통합 시스템 검증은 구분된다. 또한, 해당 시뮬레이터를 기반으로 설계기준 초과 및 중대사고 관련 인간공학 평가가 이루어진다.

18.1.11.5.2 방법론

통합 시스템 검증은 운전원이 최종 인간-기계 연계 설계 결과물들을 사용하여 운전직무 수행시 인적수행도 관점에서 발전소를 안전하고 효율적으로 운전할 수 있는지를 검증한다. 통합시스템 검증은 예비 검증을 수행한 후 그 결과(설계개선사항, 새로운 설계 사항)가 모두 반영되어 있는 최종 인간-기계 연계 설계 결과물을 이용하므로 예비검증에서 측정해온 부분 범위의 인적수행도 측정이 아닌 전 범위의 인적수행도 측정을 수행한다. 또한, 통합 시스템 검증에서 도출된 문제점은 인간공학 결함 사항으로 등록하여 추적 관리한다.

18.1.11.5.2.1 검증설비(Testbed)



18.1.11.5.2.2 검증 참여자

통합 시스템 검증에 참여하는 평가자 및 피평가자는 아래와 같다.

가. 피평가자

인간공학 통합 시스템 검증에 참여하는 피평가자는 실제 발전소에서 근무하고 있는 주제어실 운전원(SS, STA, RO, TO, EO)을 무작위 선택하되 일반적으로 운전경험 경력, 나이와 통계적 특징을 보유하고 있는 집단 등과 같은 사항을 고려한다. 인간공학 통합 시스템 검증에 참여하는 피평가자는 APR1400 운전원이며, 예비검증에 참여하지 않은 운전원으로 제한한다.

나. 평가자

인간공학 검증에 참여하는 평가자는 인간-기계 연계 설계에 참여하지 않은 인간공학 설계팀과 자문단(인간공학 전문가, 운전전문가)으로 구성한다.

18.1.11.5.2.3 검증 시나리오

통합 시스템 검증에 사용되는 시나리오는 인간-기계 연계 설계의 현안을 평가하기 위해서 인간공학 프로그램 검토모델(NUREG-0711, Rev. 2)에 기술된 “운전조건 고려사항”을 준수하여 개발되고, 설계기준초과 및 중대사고를 위한 별도의 인간공학 평가시나리오가 신고리 5,6호기에서 안전해석이 수행된 설계기준초과사고 및 확률론적안전성평가(PSA Level 1, 2)에서 분석된 사고 경위를 고려하여 개발된다.

18.1.11.5.2.4 인적수행도 평가

발전소 운전원에 대한 인적수행도는 한 가지 기준으로 평가할 수 없으며 아래와 같이 다양한 요소를 측정하여 요소간의 관계를 분석한 후 최종적으로 인적수행도를 평가한다.

인간공학 검증에 사용되는 인적수행도 평가 척도는 다음과 같다.

가. 발전소의 과도상태 시 운전직무 수행 평가

발전소 과도상태 시 운전직무 수행을 평가하기 위해서 각 시나리오별로 선정된 발전소 과도상태를 발생시킨 후 운전원의 대응능력을 평가한다. 시나리오에 따라 운전원은 발전소 감시 및 제어를 수행하며 이때 운전원의 조치 사항은 시뮬레이터의 로깅 시스템(Logging System)에 기록된다. 시나리오 종료 후 운전전문가는 로깅 시스템에 기록된 발전소의 주요 상태변수를 수집하여 실패, 성공으로 분류하고 실패한 경우 운전원과의 토론을 통하여 원인을 규명한다.

D3 운전원 수동 조치사항과 관련하여 별도 시나리오를 개발하고 D3 운전원 수동 조치시간 분석에서 도출된 가용시간 및 필요시간을 독립적으로 평가한다.

나. 운전원 상황인식(Situation Awareness) 평가

운전원 상황인식 평가는 Endsley가 주창한 3수준 상황인식 모델(지각, 인지, 예측)을 기반으로 구성되어 있고 일반적인 운전원의 상황인식을 평가할 수 있는 SART와 주관적 평가 도구인 SACRI 평가지를 이용한다.

다. 작업부하(Workload) 평가

작업부하 평가는 여러 연구를 통해 결과의 신뢰성 및 이용성이 검증된 주관적 평가 기법인 NASA-TLX를 이용한다. NASA-TLX는 수행 직무에 요구되는 작업종사자의 작업부하가 정신적 요구, 신체적 요구, 시간적 요구, 수행도, 노력, 좌절 수준 등 6개 항목으로 구성되어 있다.

라. 운전원 협업 평가

운전원 협업 평가는 OECD Halden Reactor Project(HRP)에서 개발한 행위 기반 팀워크 평가척도인 BARS(Behaviorally Anchored Rating Scale)를 이용한다. BARS의 주요 평가항목은 팀의 임무 집중도 및 단체의사 결정 효율, 의견에 대한 조율, 의사소통의 효율, 개방성, 팀 융화 등 5개 부문으로 구성되어 있다.

18.1.11.5.3 수행결과

통합 시스템 검증 수행결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.11.6 인간공학 결함 사항 해결

인간공학 결함 사항 해결은 인간공학 확인 및 검증의 각 단계에서 도출된 인간공학 결함 사항에 대해 분석, 기록, 해결방안 검토, 확인을 절차적으로 수행한다.

18.1.11.6.1 목표 및 범위

인간공학 결함 사항 해결은 인간공학 확인 및 검증에서 도출된 인간공학 결함 사항은 설계경험 자료관리시스템으로 관리되며, 인간공학 불일치사항과 인적수행도에 영향을 미치는 현안을 추적 관리하여 인간공학 측면에서 발전소의 효율적이고 안전 운전을 절차적으로 보증하기 위함이다.

18.1.11.6.2 방법론

인간공학 결함 사항 해결을 위해 분석, 기록, 해결방안 검토, 확인을 절차적으로 수행하며, 상세내용은 다음과 같다.

가. 인간공학 결함 사항 분석

인간공학 확인 및 검증에서 도출된 모든 예비 인간공학 결함 사항을 수집하여 인적수행도, 인간-기계 연계 설비, 발전소 계통과 관련한 결함사항을 분석한다.

나. 인간공학 결함 사항 기록

인간공학 확인 및 검증에서 도출된 인간공학 결함 사항은 현안 추적 시스템(Issue Tracking System)을 포함하고 있는 설계경험자료관리시스템으로 관리되며, 관리번호, 인간공학 결함 사항 번호, 제목, 현황 및 문제점, 개선요구사항, 조치 및 개선내용, 반영일정, 관련설계 결과물, 담당자 등 지속적으로 추적 관리 될 수 있도록 상세한 내용을 작성하여 기록하고 데이터베이스화 하여 인간공학 설계팀에서 관리한다.

다. 인간공학 결함 사항 해결방안 검토

인간공학 결함 사항 해결방안 검토를 위해 인간공학 확인 및 검증 참여 평가자는 인간공학 결함 사항에 대한 해결방안을 상세히 제시하고 담당 설계자들은 인간공학 결함 사항을 해결하기 위해 평가자가 제시한 해결방안을 적극 수용하여 상세한 해결방안을 제시하고 그 근거를 인간공학 설계팀에서 기록하여 관리한다.

라. 인간공학 결함 사항 확인

인간공학 결함 사항 확인을 위해 기록된 해결방안 및 조치결과에 따른 설계결과물을 활용하여 결함사항이 최종 해결되었는지 확인한다. 결함사항 확인은 인간공학 설계팀에서 수행하며 추가적인 인간공학 결함 사항이 발생 할 경우 재분석하여 인간공학 결함 사항에 등록하고 해결한다.

18.1.11.6.3 수행결과

인간공학 결함 사항 해결 수행결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.11.7 최종 발전소 확인(Final Plant Verification)

최종 발전소 확인은 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비, 현장제어반의 인간-기계 연계 설계결과물이 인간공학 프로그램 활동에 의해서 확인되고 검증된 것임을 확인하는 단계이다. 따라서 최종 발전소 확인은 신고리 5,6호기 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비에 설치된 인간-기계 연계 설계결과물을 최종 확인한다.

18.1.11.7.1 목표 및 범위

최종 발전소 확인의 목표는 발전소 건설단계의 인간공학 확인 및 검증에서 수행하지 못하는 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비에 대한 온도, 소음, 조도 등과 같은 환경 설계의 인간공학 적합성을 평가하고, 설계 확인 및 통합 시스템 검증에서 도출된 인간공학 결함 사항이 최종 설계에 모두 반영되어 있는지 실제 발전소 현장을 확인하여, 모든 인간공학 결함 사항 및 현안이 종결되었음을 입증하기 위함이다.

최종 발전소 확인의 평가 대상 범위는 아래와 같다.

■	발전소 건물
■	발전소 건물 내부
■	발전소 건물 외부
■	발전소 건물 내부
■	발전소 건물 외부
■	발전소 건물 내부
■	발전소 건물 외부
■	발전소 건물 내부
■	발전소 건물 외부
■	발전소 건물 내부
■	발전소 건물 외부
■	발전소 건물 내부
■	발전소 건물 외부



18.1.11.7.2 방법론

최종 발전소 확인은 인간공학 결함 사항 및 현안이 종결되었음을 확인하기 위해 아래와 같은 평가 방법론을 적용한다.

가. 환경조건(온도, 습도, 조도 등) 기준 관련 적합성 확인

나. 인간공학 결함 사항(설계확인 및 통합 시스템 검증 결과) 관련 반영여부 확인

다. 규제기관 사용전검사 검토의견 관련 반영여부 확인

18.1.11.7.3 수행결과

최종 발전소 확인 수행결과는 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.11.8 참고문헌

1. KEPCO E&C, Human Factors Engineering Program Plan for SKN 5 & 6
2. US NRC, Human Factors Engineering Program Review Model, NUREG-0711, Rev.2, 2004
3. KEPCO E&C Human Factors Verification and Validation Plan for SKN 5 & 6
4. KEPCO E&C Severe Accident Analysis Report for SKN 5 & 6

2

18.1.12 설계 이행

설계이행은 2단계로 구분된다. 건설단계의 설계이행과 가동원전의 설계이행이다. 건설단계의 설계이행은 주제어실의 최종확인검증(Final Plant Verification)이후 부터 상업운전까지로 시운전운전기간이다. 가동원전의 설계이행은 상업운전 이후의 설계이행이다.

18.1.12.1 목표 및 범위

설계이행의 목표는 주제어실을 포함한 다양한 인적요소들이 인적공학원칙에 따라 설계 및 설치되었는지 확인하고, 가동원전인 경우 설계변경이 인간공학원칙을 위배하지 않도록 보장한다. 궁극적으로 인적오류를 일으킬 확률을 최소화시키고 발전소의 안전성을 유지할 수 있도록 한다.

설계이행의 범위는 제어실과 제어실에 설치되는 인간-기계 연계 설비를 포함한다. 제어실은 주제어실, 원격정지실, 비상대응설비로 구분되고 인간-기계 연계 설비는 제어실 설비와 안전성관련 현장제어반들로 구성된다.

1

설계이행의 시기는 최종확인검증(Final Plant Verification)이후가 원칙이나 최종확인검증의 결과를 계승해야하기 때문에 최종확인검증 과정에 참여하여 검토의견을 제시한다.

18.1.12.2 방법론

설계이행의 충족은 인간공학지침서를 통해 검토한다. 인간공학지침서는 설계 확인 검증에 사용된 지침서를 원칙적으로 사용하며 필요시 사내의 전사기준, 산업계 기준을 사용한다.

검토의 방법은 기술기준에 따른 적합성 검토, 직무분석에 따른 구비성 검토, 시나리오 적용을 통한 유효성 평가 등이 포함된다.

설계이행이 다른 인간공학 활동과 중첩을 방지하기 위해 타활동에 직접 참여하기 보다는 결과물을 검토하는 활동도 포함된다. 그리고 이 결과물이 가동중에 충분히 활용될 수 있도록 가동원전 문서관리 시스템에 이전여부를 확인한다.

설계이행의 결과물은 인간공학결함(HED)를 포함할 수 있는데 이는 설계사의 HED 해결 시스템에 반영되거나, 표준기행인 설계변경 절차서에 따라 처리될 수 있다.

설계이행 단계에서는 시운전조직이 이미 구축되어 있는 상태이므로 시운전 조직과 공동으로 업무를 처리한다.

18.1.12.3 수행 결과

설계 이행 결과는 보고서로 정리되며, 인간공학적 결함내용은 설계사의 HED 해결시스템, 표준기행인 설계변경시스템의 입력으로 정리된다.

또한 가동원전 중에 발생하는 설계변경 절차와 관련된 인간공학적 검토의 업무 흐름은 최종안전성분석보고서에 기술된다. 이에 따라 설계변경은 이행되어야 한다.

18.1.12.4 참고문헌

1. 10 CFR Part 50.59, "Changes, Tests, and Experiments."
2. IEC 62096, "Nuclear Power Plants - Instrumentation and Control: Guidance for the Decision on Modernization," 2001.
3. NEI 96-01 Rev.1, "Guidelines for 10 CFR 50.59 Implementation," 2000.
4. NUREG-1649, "Reactor Oversight Process," 2000.
5. NUREG-0800, "Standard Review Plan," Section 18.0, March 2007.
6. NUREG-0711 Rev.2, "Human Factors Engineering Program Review Model," February, 2004.

18.1.13 인적수행도 감시

인적수행도감시는 가동 중에 인적수행도의 저하를 막는다. 가동중에는 조직의 변경, 설비변경, 제도의 변경, 운전원의 변경 등 다양한 변화가 있으며, 이는 인적수행도에 직간접적으로 영향을 미친다. 이를 방지하기 위해 인적수행도를 측정할 수 있는 지표를 제공하며, 인적오류를 예방할 수 있는 기법을 적용한다.

18.1.13.1 목표 및 범위

인적수행도감시의 목표는 가동중에 다양한 변경으로 인한 운전요원 및 정비요원의 인적수행도에 부정적인 영향이 없음을 적절히 보증하기 위한 활동이다.

인적수행도감시의 범위에는 주제어실, 원격정지실, 현장제어반, 기술지원실(TSC) 그리고 비상대책본부(EOF)가 포함된다.

18.1.13.2 방법론

인적수행도 감시 활동은 핵연료장전 전과 후의 2단계로 나뉘어서 수행된다. 핵연료장전 이전의 활동은 인적수행도 감시 전략을 수립하는 단계로써, 인적수행도 감시지표를 도출하고, 감시지표의 수준을 정의한다.

핵장전 이후의 활동은 설정된 감시지표에 따라 인적수행도 감시활동을 수행하는 단계로써, 인적수행도 동향 감시, 원인분석, CAP 수립/시행, 그리고 전과 활동이 포함된다.

또한, 기존의 가동원전에서 시행되어온 인적오류예방활동들(인적오류예방기법 적용, 국내외 운전경험 적용, 안전문화 평가 등)과 병행하도록 하여 인적수행도를 향상시킬 수 있도록 한다.

18.1.13.3 수행 결과

인적수행도감시는 별도의 보고서로 발행되며, 가동원전에 적용될 인적수행도 향상 기법은 최종안전성분석보고서에 기술된다.

18.1.13.4 참고문헌

1. 10 CFR Part 50.59, "Changes, Tests, and Experiments."
2. IEC 62096, "Nuclear Power Plants - Instrumentation and Control: Guidance for the Decision on Modernization," 2001.
3. NEI 96-01 Rev.1, "Guidelines for 10 CFR 50.59 Implementation," 2000.
4. NUREG-1649, "Reactor Oversight Process," 2000.
5. NUREG-0800, "Standard Review Plan," Section 18.0, March 2007.
6. NUREG-0711 Rev.2, "Human Factors Engineering Program Review Model," February, 2004.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

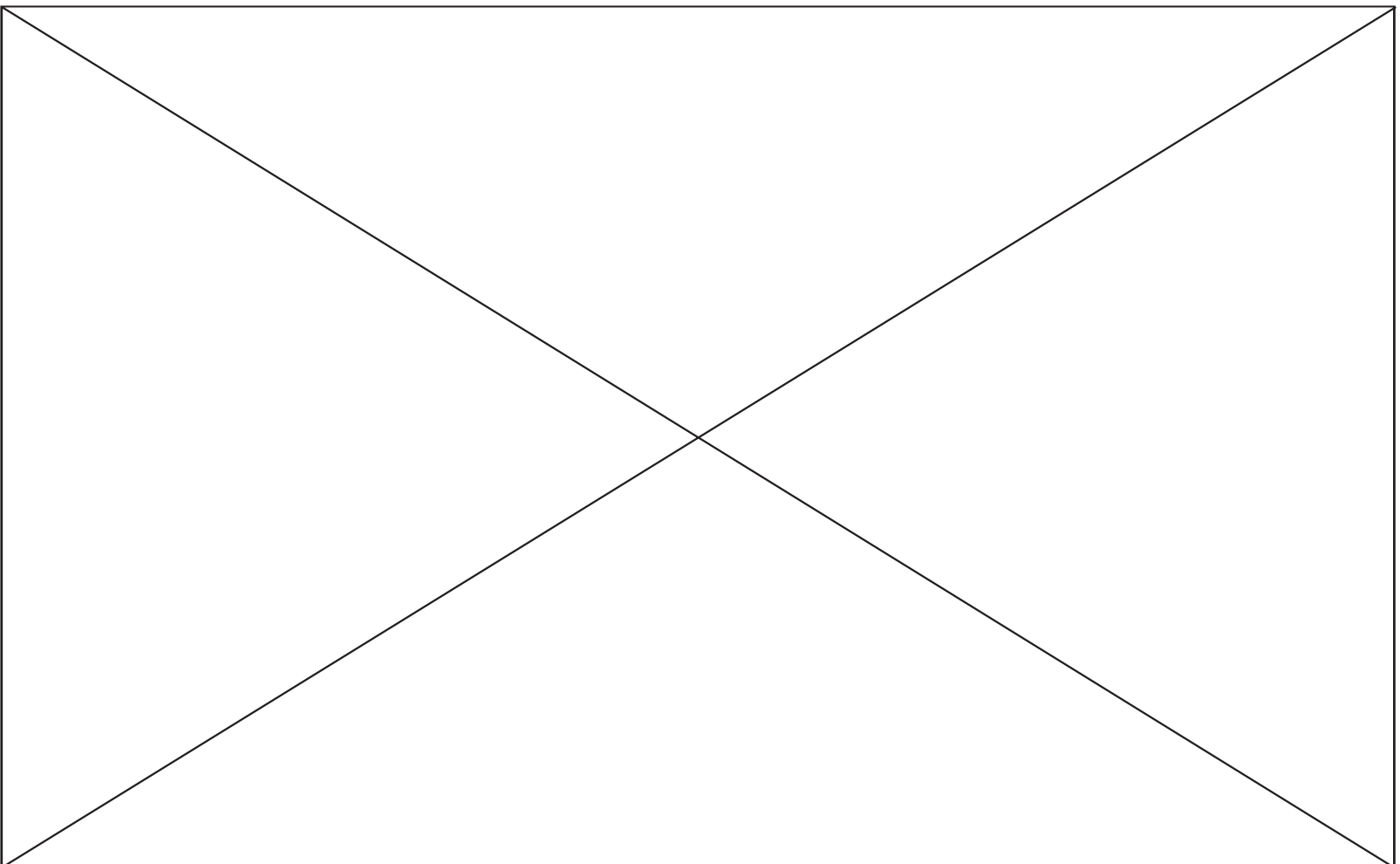
표 18.1-1

필수운전원조치

(최종안전성분석보고서에서 제공)

표 18.1-2

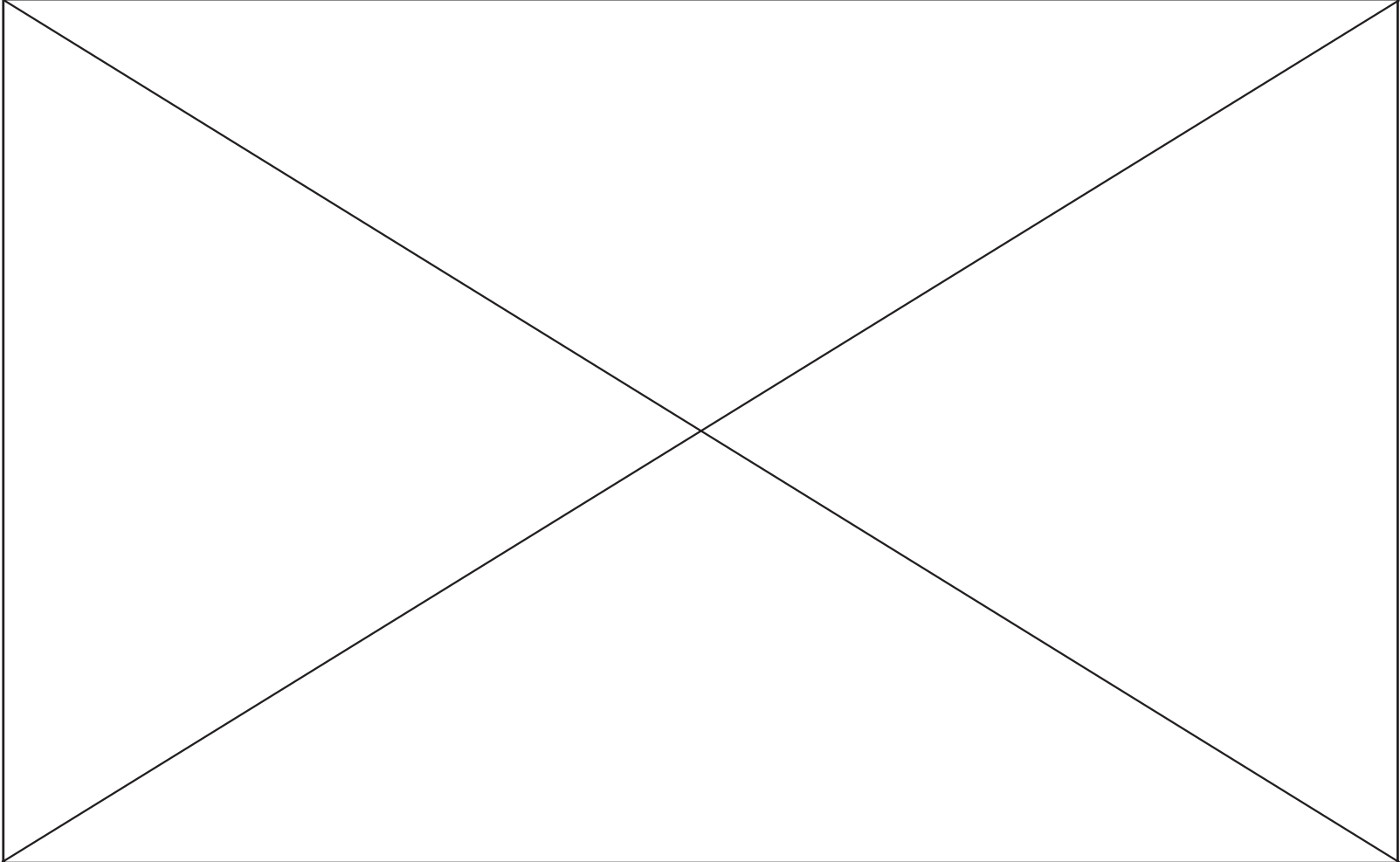
성공경로



18.1-32

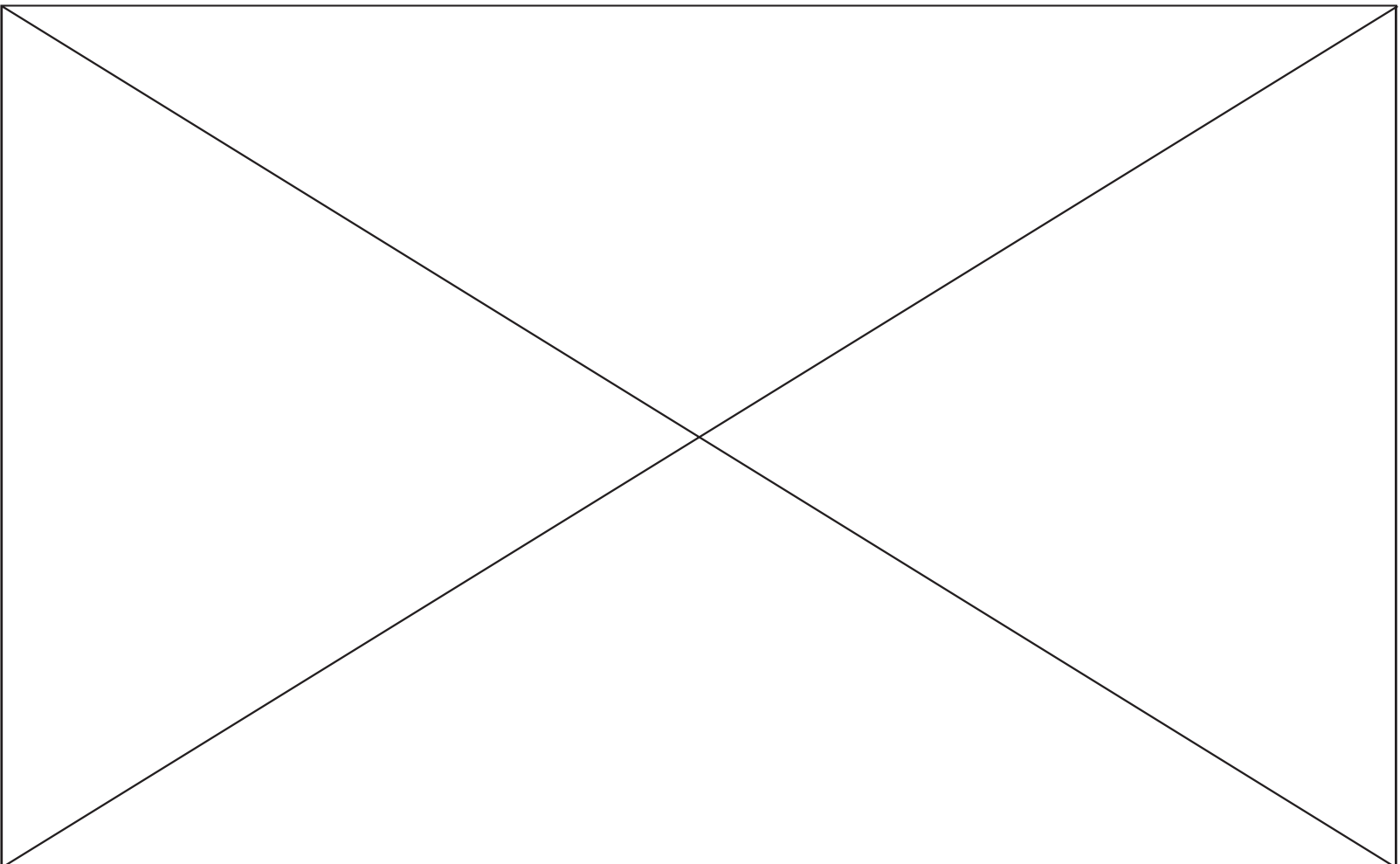
표 18.1-3 (9 중 1)

성공경로 할당



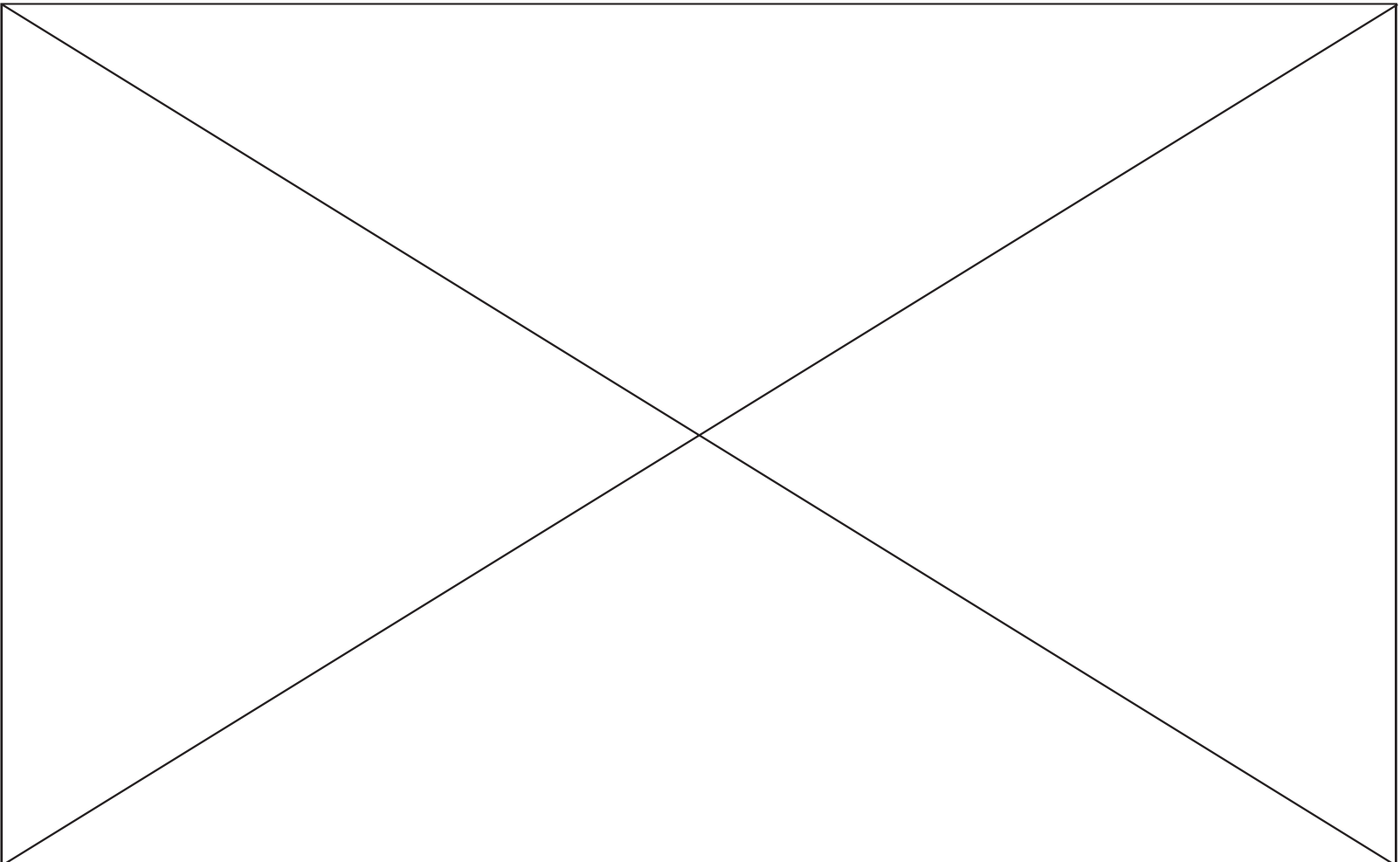
18.1-33

표 18.1-3 (9 중 2)



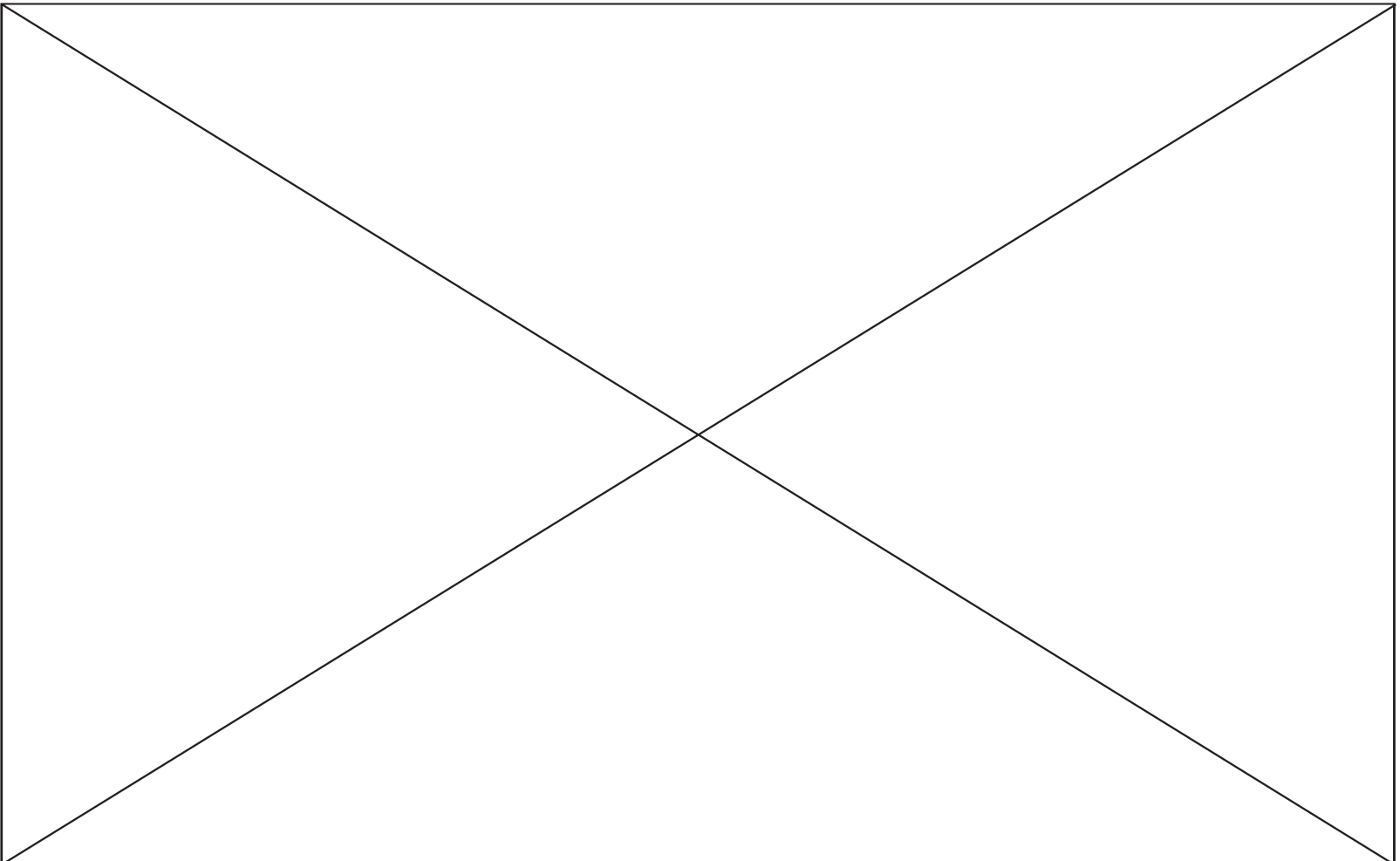
18.1-34

표 18.1-3 (9 중 3)



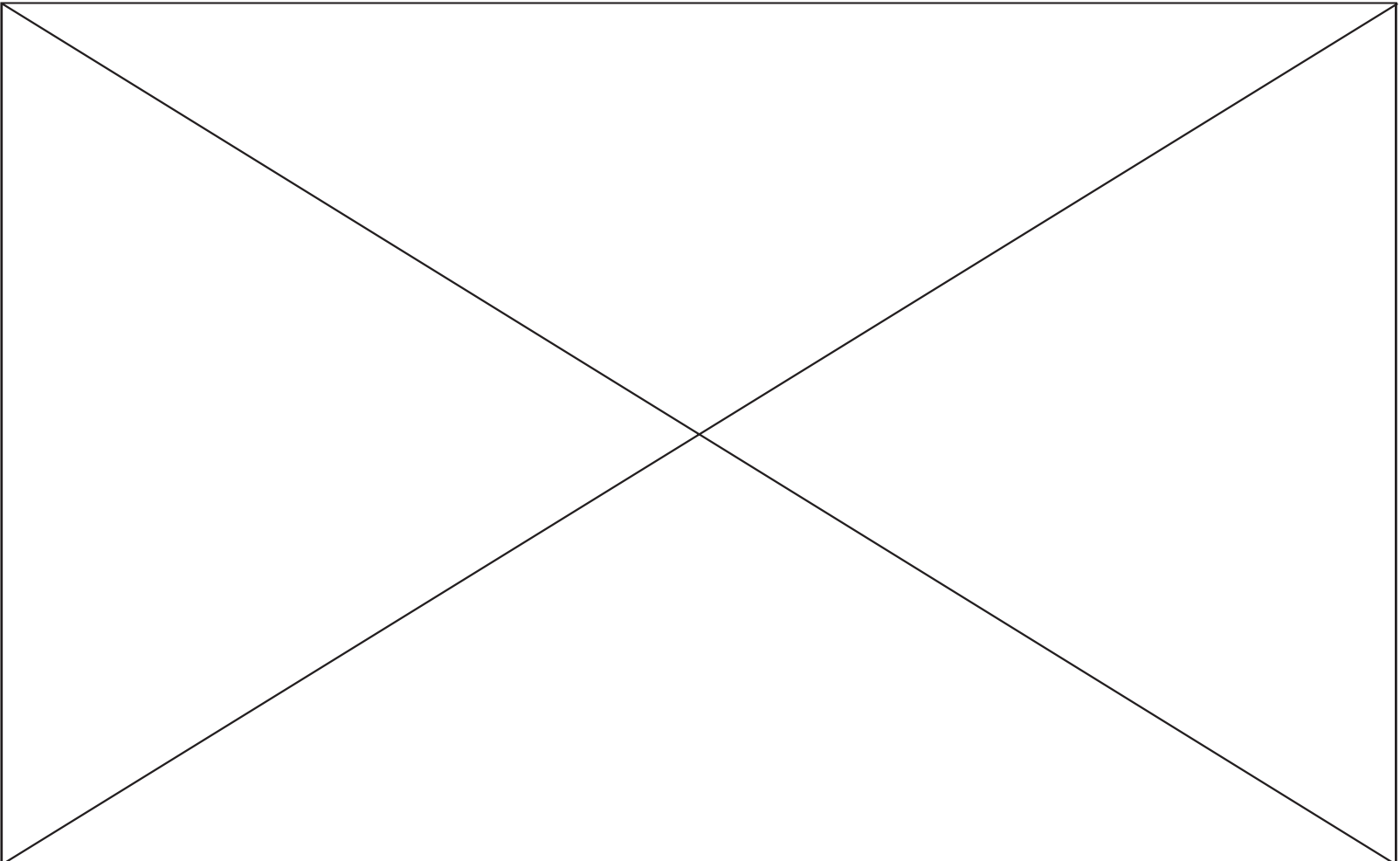
18.1-35

표 18.1-3 (9 중 4)



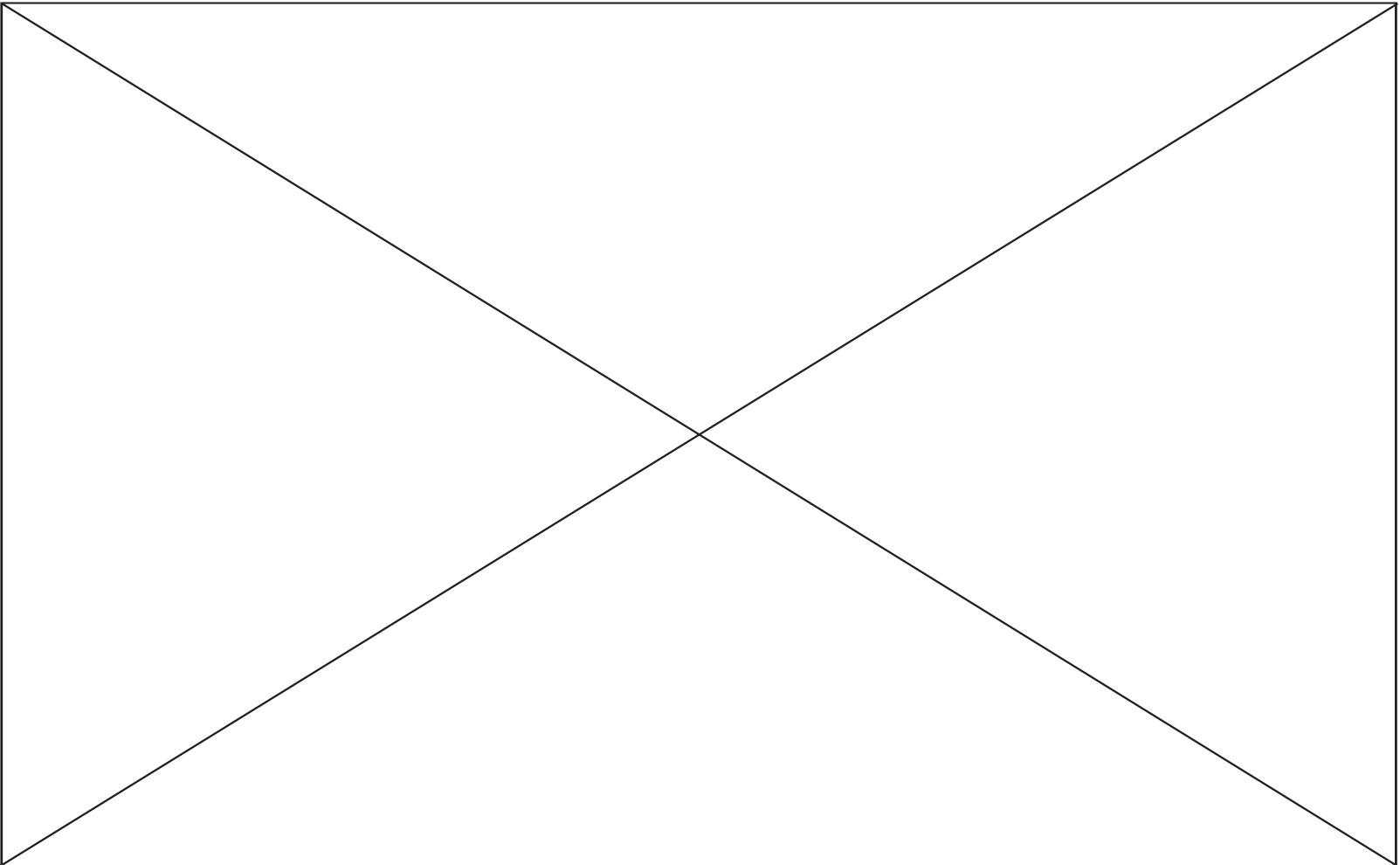
18.1-36

표 18.1-3 (9 중 5)



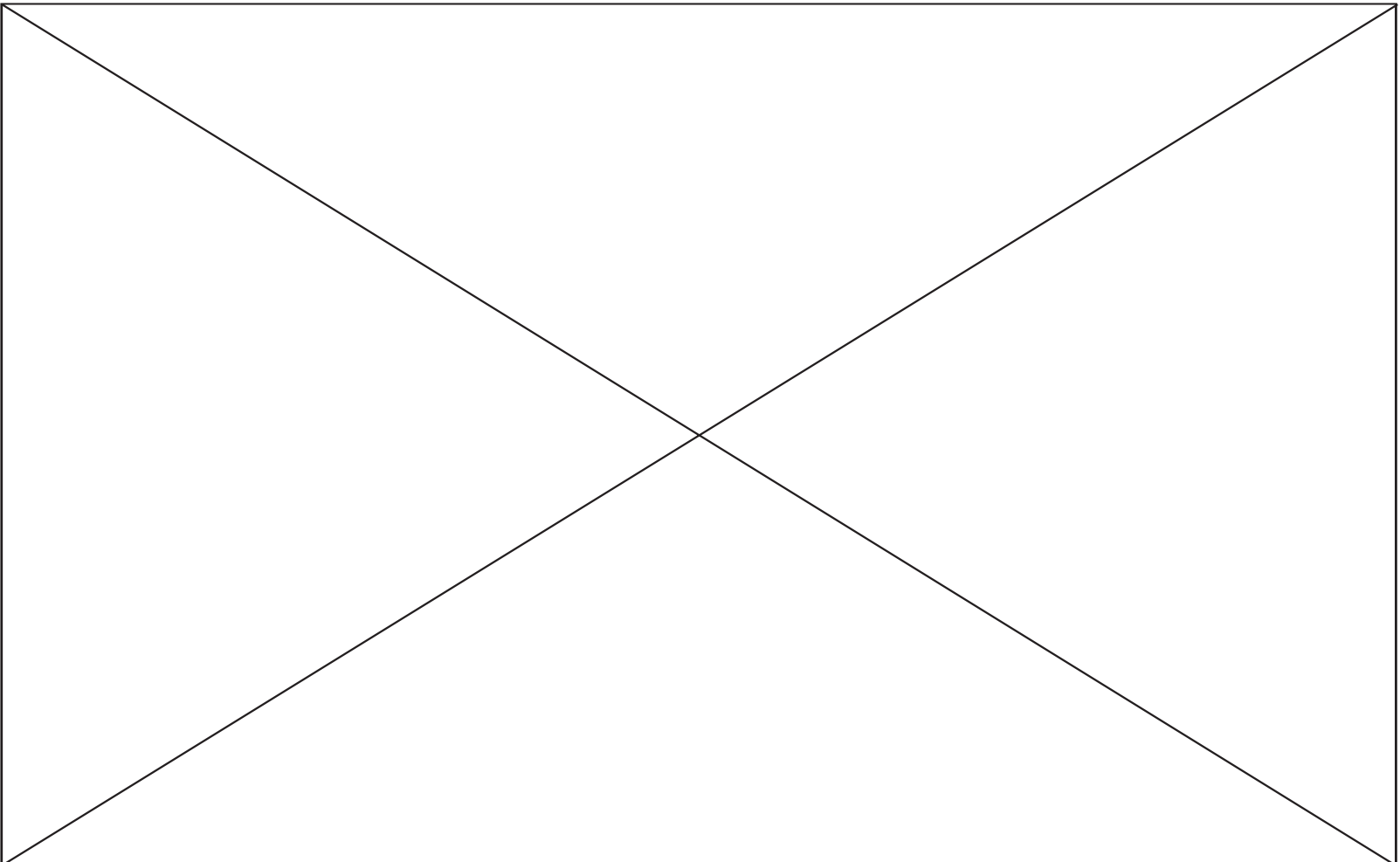
18.1-37

표 18.1-3 (9 중 6)



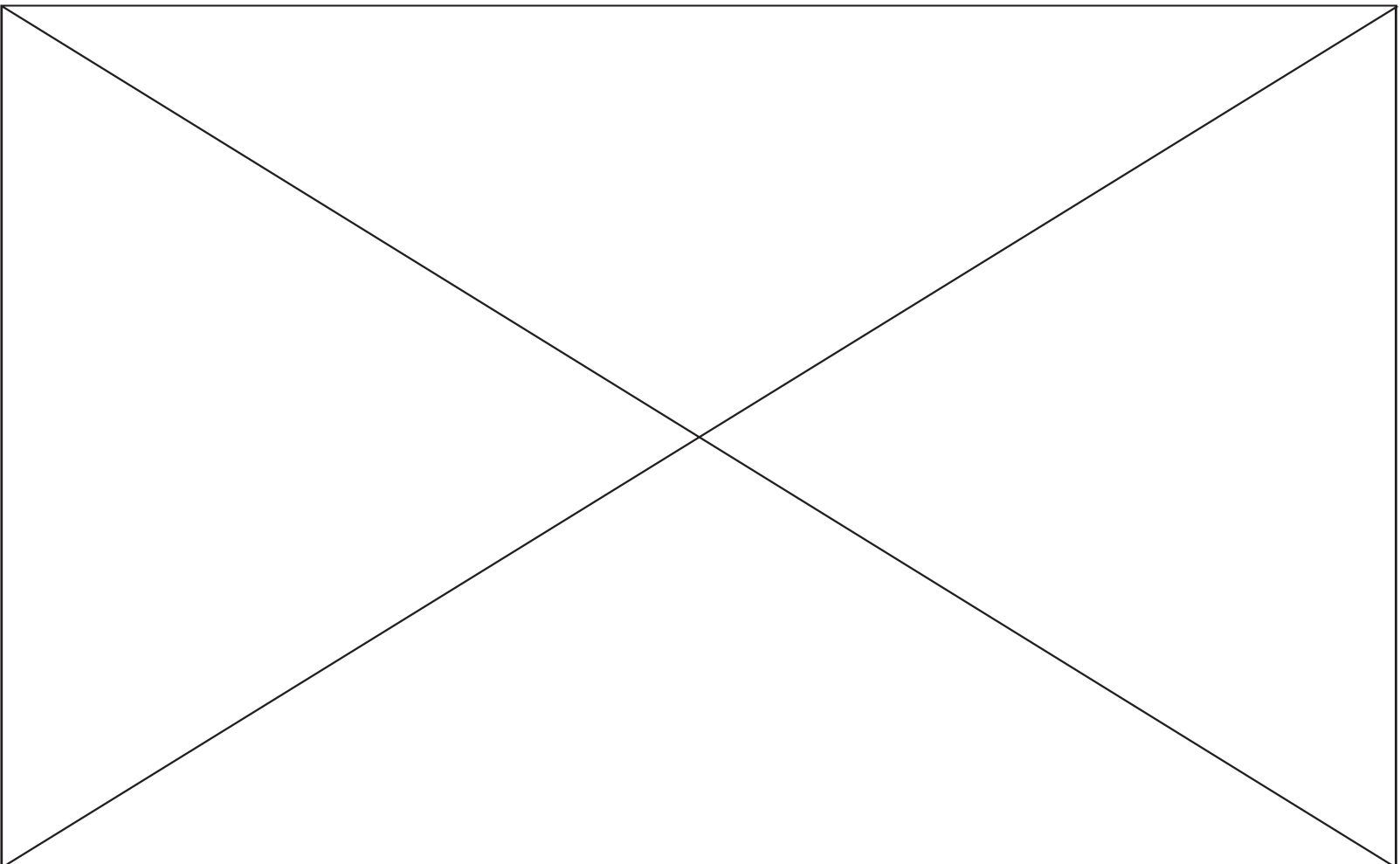
18.1-38

표 18.1-3 (9 중 7)



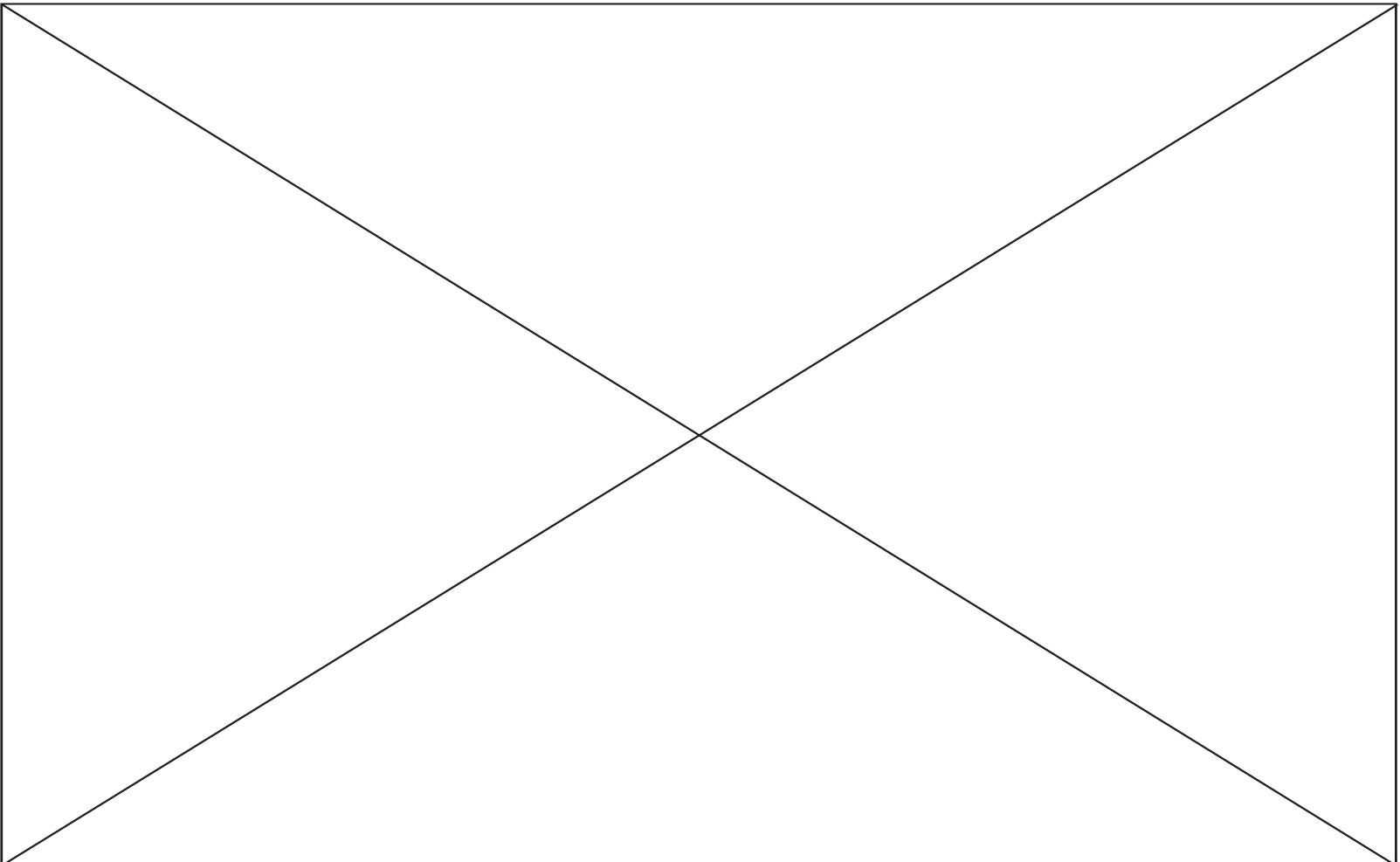
18.1-39

표 18.1-3 (9 중 8)

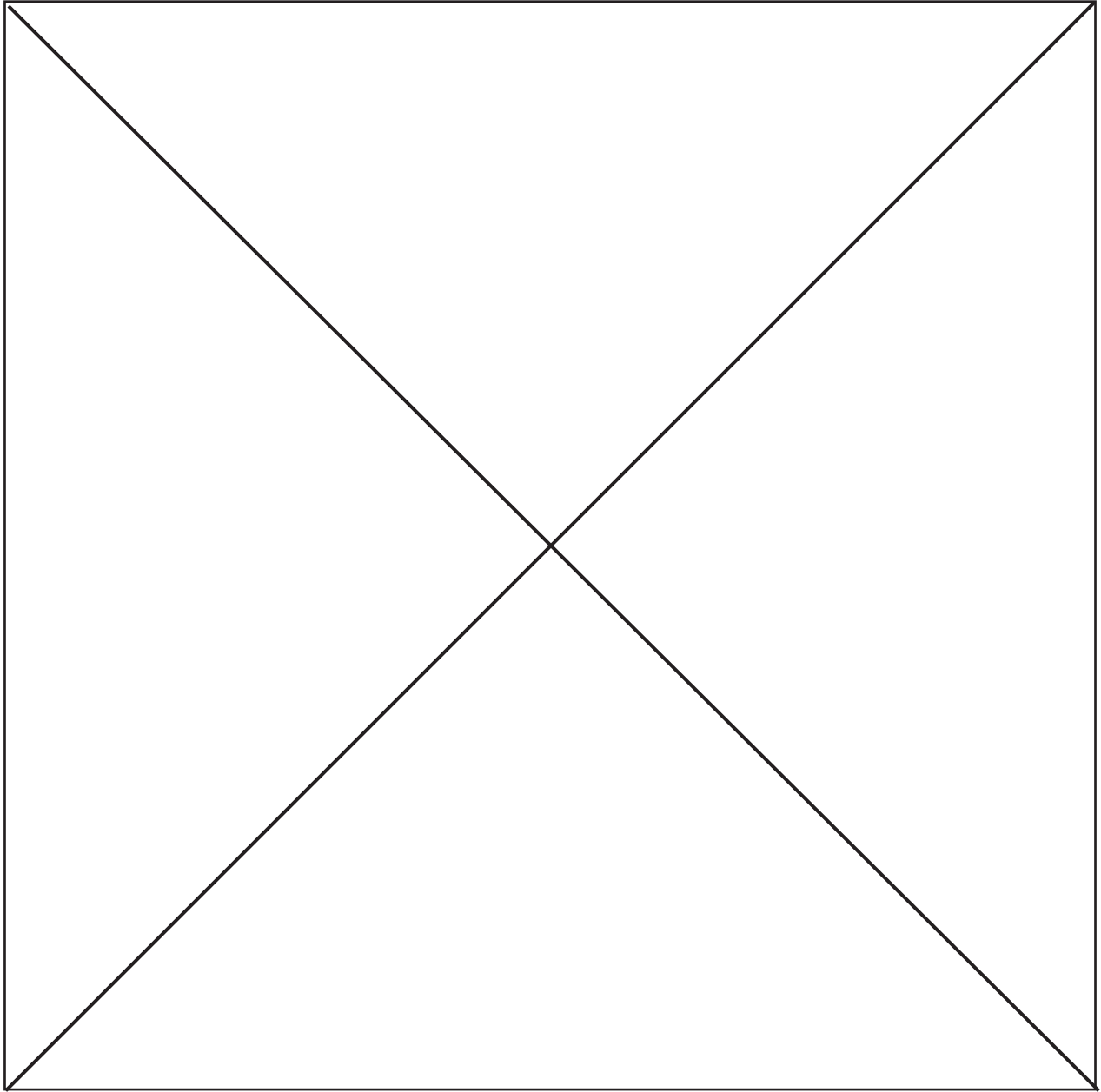


18.1-40

표 18.1-3 (9 중 9)



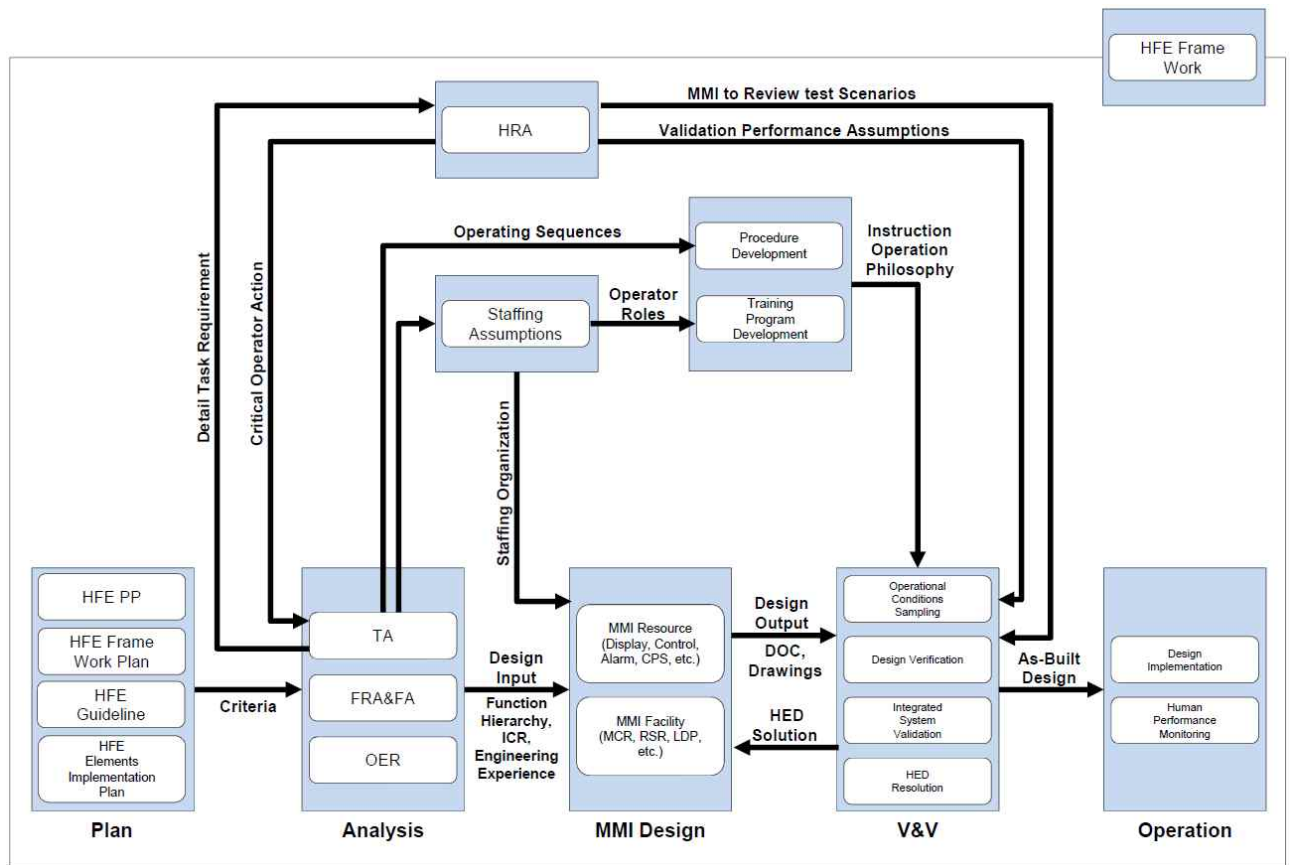
18.1-41



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

인간공학 설계조직

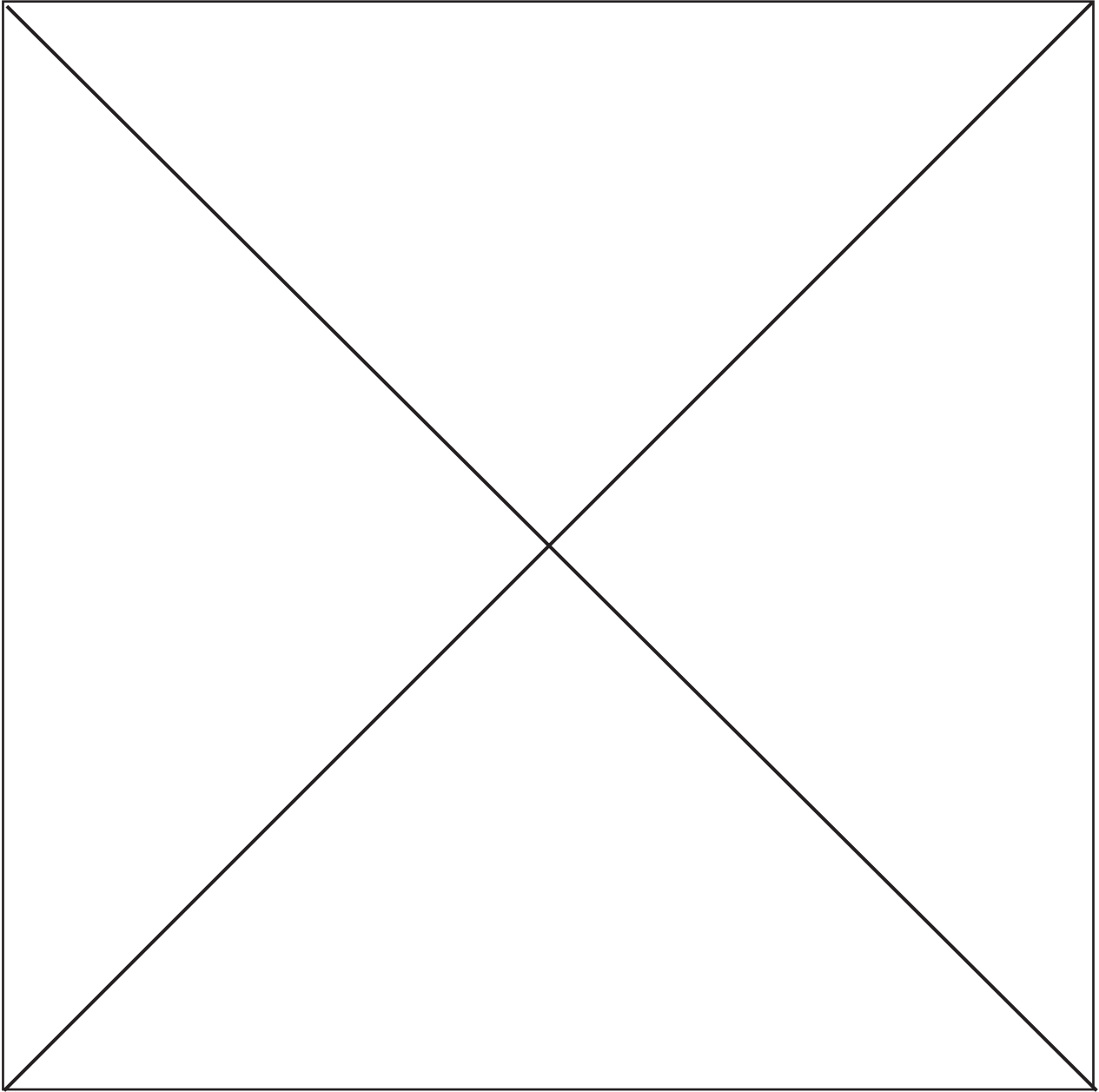
그림 18.1-1



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

인간-기계 연계 개발을 위한 인간공학
활동간의 관계

그림 18.1-2



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

인간-기계 연계 설계공정

그림 18.1-3

부록 18.1A

기능 할당 기준

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

부록 18.1A 기능 할당 기준

1. 반드시 자동화시켜야 하는가?

- 1.1 작업환경이 종사자에게 부적합한가?
- 1.2 종사자가 수행할 수 없는 직무인가?
- 1.3 법규나 규정에 따라 자동화가 필요한가?
- 1.4 발전소의 안전기능이나 보호기능을 보장하기 위해 자동화가 필요한가?

- 예(하나 이상) - 단계 2로 진행
- 아니오(모두) - 단계 3으로 진행
(부분적인 자동화만이 필요한 경우에는 설계명세서(design description)에 자동화된 부분을 구체적으로 기술)

2. 기술적으로 자동화가 가능한가?

- 2.1 검증된 기술의 활용이 가능한가?
- 2.2 소요비용, 개발일정 및 납기일정이 수용가능한가?

- 예(모두) - 자동화에 잠정 할당 후 단계 9로 진행
- 아니오(하나 이상) - 기능 재정의, 기능 재할당 혹은 새로운 공학적 해결안 탐색

3. 반드시 인적행위가 수반되어야 하는가?

- 3.1 기술적으로 자동화가 불가능한가?
- 3.2 기본 정책의 유지나 근본적인 조작에 인적행위가 필요한가?
- 3.3 법규나 규정에 따라 인적행위가 필요한가?

- 예(하나 이상) - 단계 4로 진행
- 아니오(모두) - 단계 5로 진행
(부분적인 인적행위만 필요한 경우에는 설계명세서에 인적행위가 요구되는 부분에 대해 상세히 기술)

4. 인적행위가 실행가능한가?

- 4.1 종사자가 해당직무를 수행할 수 있는가?

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

4.2 절차서, 교육훈련 등과 같은 지원에 필요한 소요비용, 개발일정 및 납기일정이 수용가능한가?

- 예(모두) - 기능을 종사자에게 할당하고 단계 11로 진행
- 아니오(하나 이상) - 기능 재정의, 기능 재할당 혹은 새로운 공학적 해결안 탐색

5. 인적행위 보다 자동화가 더 바람직한가?

5.1 확립된 자동화 기술이 적합한가?

(즉, 유효성, 신뢰성, 비용효과(cost-effective) 등)

5.2 인적행위가 만족스럽지 못한가?

- 예(모두) - 자동화에 잠정 할당하고 단계 9로 진행
- 아니오(하나 이상) - 단계 6으로 진행
(부분적인 자동화가 보다 바람직하다면 설계명세서에 부분 자동화에 대해 상세히 기술)

6. 자동화 보다 인적행위가 더 바람직한가?

6.1 인적행위가 반드시 필요하거나 자동화에 비해 분명한 장점이 있는가?

- 예 - 기능을 종사자에게 할당하고 단계 11로 진행
- 아니오 - 단계 7로 진행
(인적행위가 부분적으로 필요하다면 설계명세서에 이에 대해 상세히 기술)

7. 단위직무(Segment)가 자동화에 적합한가?

7.1 단위직무가 기계적 혹은 반복적 직무로 구성되어 있는가?

7.2 단위직무에 지속적인 감시(sustained vigilance)가 필요한가?

7.3 단위직무의 수행에 매우 빠르거나 일관된 응답이 필요한가?

7.4 단위직무가 명확한 예측가능 상황, 조치 및 결과로 구성되어 있는가?

7.5 단위직무가 수많은 이종직무와 동시에 수행되어야 하는가?

7.6 단위직무의 수행에 방대하거나 정밀한 자료의 수집, 저장, 조작 혹은 기억(recall)이 필요한가?

- 예(하나 이상) - 자동화에 잠정 할당하고 단계 9로 진행
- 아니오(모두) - 단계 8로 진행

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

8. 단위직무가 인적행위에 적합한가?

8.1 단위직무가 종사자의 힘과 능력 범위 안에 있는가?

8.2 직무형태가 종사자가 수행해야 하는 직무의 일부로써 적합한가?

(즉, 너무 사소하거나, 품위를 떨어뜨리거나, 지나치게 보조적인 직무로 구성할 수 없다)

8.3 종사자가 직무부하를 적절하게 유지할 수 있는가?

(즉, 너무 높지도 낮지도 않게 유지할 수 있어야 한다)

○ 예(모두) - 종사자에게 할당하고 단계 11로 진행

○ 아니오(하나 이상) - 단계 10으로 진행

9. 인적행위에 따른 부정적 효과로 인해 자동화에 잠정적으로 할당된 기능에 대한 재고려

9.1 종사자의 수동조치가 발전소 시스템 활용, 공정상태 파악 혹은 현안해결에 도움이 되는가?

9.2 종사자의 수동조치가 숙련도나 지식의 발전이나 유지에 중요한 기회로 작용하는가?

9.3 완전한 자동화 기능구현이 종사자에게 권태감과 같은 부담을 주는가?

9.4 제어실에서 수동제어를 유연성 있게 선택할 수 있는가?

9.5 수동제어실(manual control room)에서 수동제어를 유연성 있게 선택할 수 있는가?

9.6 수동제어실에서의 기능선택이 기기시험, 정비 혹은 비정상상황의 관리에 바람직한가?

○ 예(하나 이상) - 운전원이 재량권을 가지는 자동화로 잠정적으로 할당.

운전원이 자동/수동모드를 선택하는 것과 같이, 운전원의 판단이 우선적이면 단계 11로 진행.

운전원이 자동기능을 개시할 수는 있으나 차단(override)할 수 없는 경우와 같이 운전원의 판단이 부수적이라면 단계 12로 진행.

○ 아니오(모두) - 자동화에 할당하고 단계 12로 진행

10. 할당되지 않은 단위직무에 대하여 다음의 기준을 적용

10.1 자동화와 수동조치간의 상대적 비용

10.2 참조발전소의 설계목적과 현 설계의 기능할당간의 일관성

10.3 기술의 가용성

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

10.4 고객 선호도

10.5 종사자의 수용성

혹은 기능 재정의, 기능 재할당 혹은 새로운 공학적 해결안 탐색

- 자동화에 할당한 경우 단계 9로 진행
- 종사자에게 할당한 경우 단계 11로 진행

11. 종사자 지원용 보조 자동제어시스템(residual automated and control system)에 대한 고려

11.1 자료의 표시 및 통합

11.2 비정상상황의 탐지 및 제한치 감시

11.3 지시(indicating) 및 제어방식 선택을 위한 계층적 접근

11.4 내부루프(inner loop)에 대한 자동제어

11.5 'Fail Safe'제어

11.6 기타

- 필요사항 문서화

12. 자동화 기능의 지원을 위한 종사자의 보조역할에 대한 고려

12.1 정책수준의 제어기능

(예, 덜 보수적인 발전소 상태로의 기능전환)

12.2 자동화시스템의 상태, 상태전환, 가용성 등에 대한 인식

12.3 잠재기능 혹은 하위기능을 포함한 기능고장에 대한 관리 및 비정상상황의 탐지

12.4 비상기동 혹은 비상정지

12.5 특정 상황에서의 인터록(interlock) 기능차단

12.6 서비스 중인 기기제거

12.7 현장 전환스위치(local transfer switch) 혹은 기능시험스위치의 상태

- 필요사항 문서화

18.2 주제어실 설계

주제어실 설계는 인간공학 지침을 적용하며, 발전소 안전운전에 적합한 인간-기계 연계를 보증함으로써 규칙 제 25조 및 일반설계기준 19에서의 관련요건을 만족시킨다. 또한, 인간공학 설계는 운전원 측면에서 주제어실에서 효율적이고 안전한 운전을 도모한다. 주제어실 설계필요정보의 이용성, 수행될 직무를 위한 제어의 적합성, 전반적인 제어반 배치의 효율성 및 환경조건의 적합성 등의 관점에서 운전원에게 어떤 영향을 미치는가를 고려한다.

본 절은 일반적인 설계요건과 발전소 고유규칙이 포함된 인간공학 설계지침에 준하여 주요 주제어실 설계 내용을 기술하고 있다.

- 가. 주제어실 작업공간, 환경, 인간-기계 연계 설비(운전원 콘솔, 안전제어반, 대형 정보표시반 등)에 대한 설계 및 배치
- 나. 발전소 안전운전 직무에 필요한 지시, 제어, 경보 및 전산화 절차서와 관련된 설계

18.2.1 주제어실 작업공간

주제어실 작업공간은 인간-기계연계 인간공학 지침에 정의된 요건에 근거하며, 아래와 같은 기준에 따라 설계된다.

18.2.1.1 유사성

신고리 5호기와 6호기의 주제어실은 동일하다고 볼 수 있다. 그러나 양 호기에서 공용설비를 공유하고 있는 지역과 변전소 및 배전 제어 계통에는 약간의 차이가 있다. 두 주제어실은 평면배치, 환경(온도, 습도, 조명), 계통배치, 제어반 배열, 제어반 크기와 모양 등이 동일하게 적용되었고 문서, 명판, 용어, 약어 역시 같다. 이러한 유사성은 기술규격서, 발전소 절차서(비상대응, 경보대응, 정상운전 등) 및 기타 지침서뿐만 아니라, 명판 형식, 글자 높이 및 폭, 용어, 색상 및 배치 등에도 적용된다.

18.2.1.2 거울형 대칭

신고리 5호기와 6호기 주제어실 및 원격정지실의 거울형 대칭은 배제되었다. 대칭성은 원칙적으로 주제어실 혹은 원격정지실내 어떠한 운전원콘솔 및 안전제어반 설계에도 적용되지 않았다. 그러나 실제 물리적 배치와 배관 및 계장도의 일부에서 나타나는 대칭성은 계통의 특성을 고려해야 하며 각 예외사항에 대한 타당성 평가를 통해 적용된다.

18.2.1.3 거주성

주제어실은 방사선 및 연기 등이 발생하는 극심한 조건하에서도 상주할 수 있음을 보장하기 위한 안전등급 공기조화설비와 기타 보호설비를 갖고 있다. 단, 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제 25조 및 10 CFR 50 부록 A, GDC 19, NUREG-0737 Supplement 1, 14장 및 6.4절에 규제요건으로 명시된 주제어실 대피상황은 제외한다.

18.2.1.4 접근성

[Redacted text block]

18.2.1.5 저장공간

주제어실 후면과 옆면에 빌트인 수납가구를 설치하여 필요한 자료, 도면 및 기기들의 저장공간을 제공하였으며 발전소운영에 필요한 모든 절차서들이 주제어실에 비치되어 있다. 비상운전절차서는 바인더로 운전원 책상 부근 또는 전용함에 비치하고 운전원에게 필요한 도면들도 충분히 수용 가능한 전용 도면함에 보관한다. 16장 기술지침서, 참고 매뉴얼, 그리고 기타 자료들을 보관하기 위한 캐비닛과 책장이 적절한 위치에 설치되며 주제어실, 원격정지실 및 전산실에는 부속물이나 일반적인 운전원 사용기기, 열쇠, 안전모, 코트 및 손전등 보관을 위한 적절한 공간이 확보되어 있다. 전구 및 기타 보급물품들이 비치되어 있고 그 외의 공기주머니, 비상 호흡 공기마스크, 비상 의복, 소방기구 및 비상장비들이 충분하고도 즉시 사용할 수 있도록 주제어실 또는 즉각 접근할 수 있는 인접지역에 보관되어 있다.

18.2.1.6 정비

주제어실의 운전원 콘솔, 안전제어반, 대형정보표시반, 보조패널의 배치 및 환경은 정비 업무를 지원하고 운전원들의 혼란을 최소화하도록 설계되어 있다. 모든 제어설비는 뒷면에서 접근하여 정비시 불편함이 없도록 여유 공간을 확보하였으며, 화재방호벽, 내진지지대 및 내부 케이블 전송로가 정비시 장애가 되지 않도록 한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

18.2.1.7 운전원 편의

운전원들은 근무시간 동안 직무를 수행하기 위해서 주제어실을 빈번히 이동하거나 의자에 앉거나 서서 오랜 시간을 소모한다. 따라서, 이러한 모든 활동들이 편안하게 이루어지도록 최적화된 주제어실 배치를 구축하였고 아래와 같은 편의시설이 제공된다.

가. 적당한 운전원 휴게장소가 주제어실 요원들을 위해 제공된다.

나. 적당한 취식 설비 및 장소가 주제어실에 접근 용이한 곳에 제공된다.

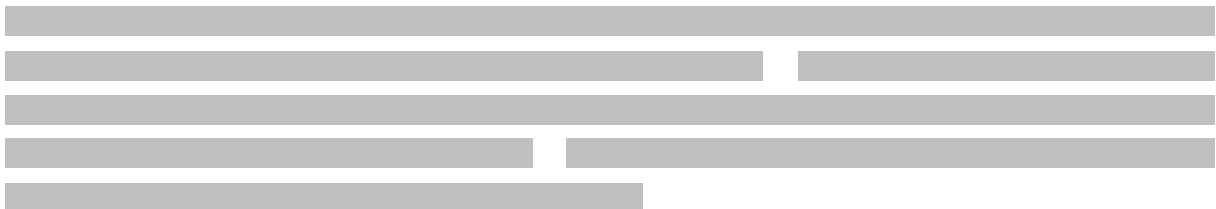
다. 색의 조화, 조명 및 편안한 좌석 등을 통하여 편안하고 쾌적한 환경이 제공된다.

라. 주제어실 설비(천정, 벽, 마루, 운전원콘솔 및 다른 가구)는 주위 환경조건 및 거주성에 부정적 영향이 없어야 한다.

18.2.2 주제어실 구성



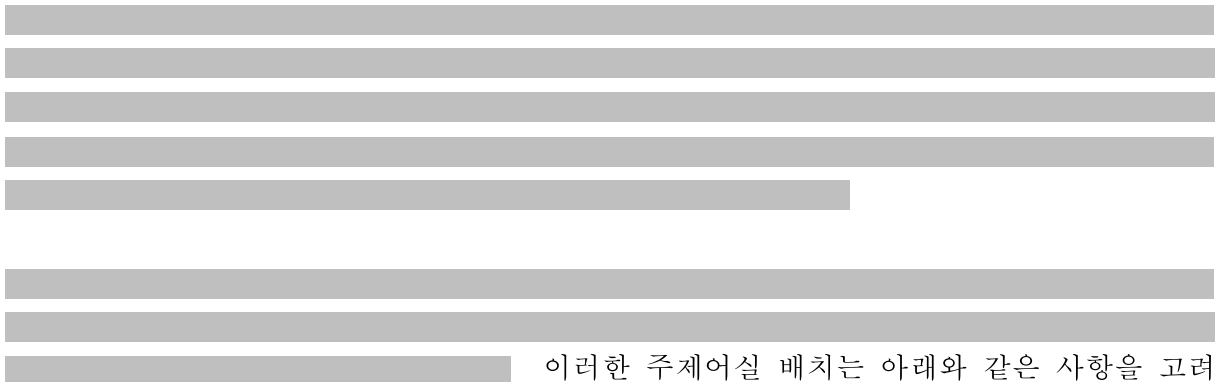
18.2.2.1 주제어실 구성 설계기준



체계적이고 검증된 인간공학 기준에 준하여 신형경수로1400 설계의 배치 및 운전원콘솔에 대한 다양한 설계검토를 통해 다음 주요 고려사항들이 주제어실 설계에 적용되고 있다.



18.2.2.2 주제어실 배치 설계기준



이러한 주제어실 배치는 아래와 같은 사항을 고려하여 설계된다.

18.2.2.2.1 가시성

운전원 직무수행과 관련하여 모든 주운전지역 내 운전원콘솔 및 제어반은 발전소 감시에 필요한 모든 기기에 대한 가시성이 확보되도록 배치되어 있다. 그림 18.2-2a 및 그림 18.2-2b는 운전원 콘솔에서의 감시각 및 주제어실 인근에 위치한 회의실에서의 감시각등을 나타낸다. 그러나 가시성 확보가 판독성 보장을 의미하거나, 감시 또는 직접적인 감독 직무 지원을 의미하는 것은 아니다.

가. 운전원콘솔 배치시에는 각 운전 보직별로 대형정보표시반의 가시성을 고려하

며, 아래와 같은 인간공학 설계지침에 따라 설계된다.

- [Redacted]
- [Redacted]

2

나. 안전제어반 및 안전담당콘솔 위치에서 다른 운전원콘솔, 대형정보표시반의 가

Intentionally Blank

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

시성이 확보되도록 배치한다.

- 다. 발전팀장 콘솔에서 다른 운전원콘솔, 안전제어반 및 대형정보표시반의 가시성이 확보되도록 배치한다.

18.2.2.2.2 이동성

그림 18.2-3은 주제어실 내에서 운전원 작업 위치 및 이동 형태에 대한 주운전지역 크기 및 여유 공간을 나타내고 있다. 주제어실 배치 설계 시 이동성에 대한 주요 고려사항은 다음과 같다.

- 가. 적당한 운전원 이동공간이 각 운전원콘솔 설계에 고려되어 다른 작업영역과 방해가 되지 않도록 설계한다.
- 나. 적당한 운전원 이동공간이 안전제어반 설계에 고려되어 안전제어반 조작시 다른 작업영역과의 간섭이 없도록 설계한다.
- 다. 주제어실 내 어느 곳에서도 주운전지역으로의 접근이 용이하도록 설계된다.
- 라. 화면 감시 또는 제어기 조작을 방해받지 않고 종이 절차서, 도면, 및 문서를 보기 위해 주제어실 운전원콘솔 근처에 적절한 작업공간이 제공된다.

18.2.2.2.3 기타 배치 설계

- 가. 각 운전원콘솔에서 다른 운전원과의 의사 소통에 문제없도록 배치한다.
- 나. 각 운전원콘솔에서의 작업영역 및 부대 공간을 고려하여 설계된다.
- 다. 주제어실 내에서 운전원의 이동통로에는 어떠한 장애물(파일 캐비닛 등)도 놓이지 않는다.
- 라. 참조문서 및 도면들을 보관하기 위한 저장 장소는 상시 접근 가능한 위치에 제공된다.
- 마. 장비 및 필요한 물품들은 정기적으로 주제어실 요원들에게 제공되도록 인근에 배치되어 있다.
- 바. 착석식 운전원콘솔에 제공되는 의자들은 운전원콘솔 간에 쉽게 움직일 수 있도록 롤러(Roller)가 제공된다.

18.2.2.3 주 제어실 운전원 구성

신고리 5,6호기 주 제어실 운전원은 주 제어실 운전요원의 기능적 필요성을 만족시키며, 인적실수 가능성의 최소화와 운전원의 편의성 및 효율성을 고려하여 다음과 같이 구성된다. 운전원 구성과 관련한 상세내용은 13장에 기술되어 있다.

운전원 수	직함
1	발전팀장(SS)
1	안전담당(STA)
1	원자로차장(RO)
1	터빈차장(TO)
1	전력설비운전원(EO)

18.2.2.3.1 주 제어실 운전개념

주 제어실은 정상운전 조건에서 발전소를 안전하게 운전하기 위한 모든 계측 및 제어기기로 구성되며, 냉각재 상실을 포함한 모든 사고조건하에서도 발전소를 안전한 상태로 유지하도록 기능을 제공하고 있다.

신고리 5,6호기 주 제어실에는 운전원에게 발전소 전반적인 운전상태와 안전상태를 평가할 수 있는 정보를 제공하기 위해 대형정보표시반이 제공된다. 대형정보표시반은 주 제어실 중앙 전면에 위치됨으로써 모든 운전원이 동시에 감시하여 발전소 상황 인식이 가능하도록 설계된다. 예를들어, 발전소 운전을 지원하기 위해 중요 경보를 강조한 우선순위 경보를 제공하며, 안전변수지시계통 요건을 만족하기 위해 필수 안전기능 및 성공 경로 정보에 대한 연속적인 지시도 제공하고 있다. 대형정보표시반에 대한 상세 내용은 18.2.2.6항에 기술되어 있다.

주 제어실에는 18.2.2.3항과 같이 5명의 운전원으로 구성되어 있으나, 발전소 공정계통에 대한 감시 및 제어 직무는 원자로차장, 터빈차장, 전력설비운전원이 담당하고 있다. 원자로 차장은 원자로 운전 이론을 숙지하고 1차 계통을 운전 제어하며, 터빈 차장은 터빈 발전기의 특성을 숙지하고 2차 계통을 운전 제어한다. 또한, 전력설비운전원은 발전 및 변전계통, 송·배전 계통 및 공기조화 계통과 화재보호 계통 등을 운전 제어한다.

발전팀장은 발전소 운전관리에 대한 총괄적인 책임을 담당하고 있으며, 각 운전원의 업무 내용 파악 및 관리 감독을 맡고 있다. 모든 발전소 이상 사태 발생시 관련 절차서 및 비상대책에 따른 안전한 운전 조치를 취할 수 있도록 감독한다.

안전담당은 안전관련 설비의 운전 시 주의사항을 점검하여 조치하며, 안전관련 정보에 대

하여 적절한 조치를 취하고 원인을 분석한다. 정비 관리 및 각종 시험관리 시 입회하여 시험수행 및 결과를 확인하며, 발전소 이상 상태 발생시에는 관련 절차서 및 비상대책에 따른 조치를 발전팀장과 함께 취하고 원인을 분석하고 운영보고절차에 따라 직무를 수행한다.

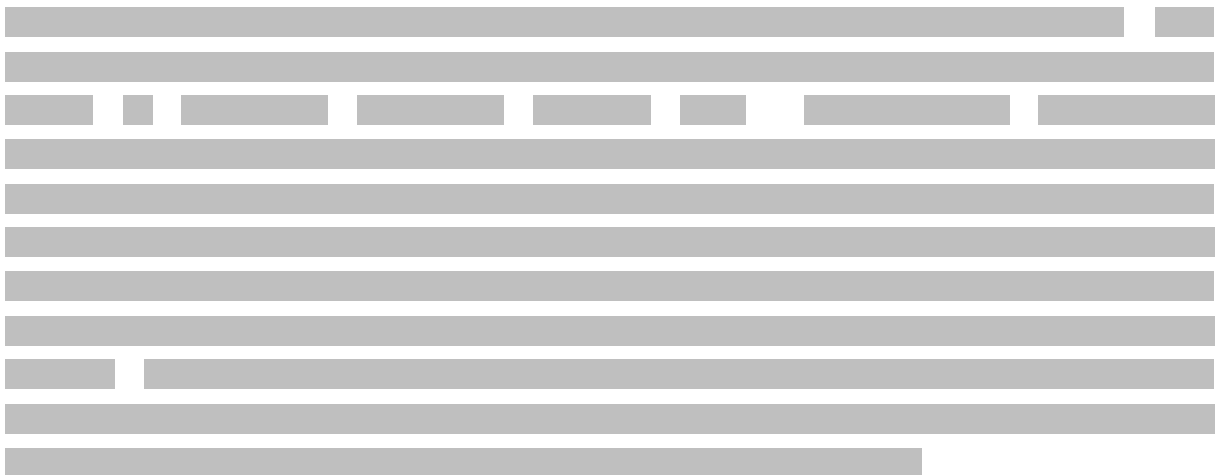
1

정상운전시에는 각 운전원별로 제공되는 운전원 콘솔에서 발전소의 모든 제어 및 감시가 이루어지며, 운전원 콘솔 불능 및 공통원인고장과 같은 비정상 상황 발생시에는 안전제어반에서 이루어지도록 설계되어 있다.

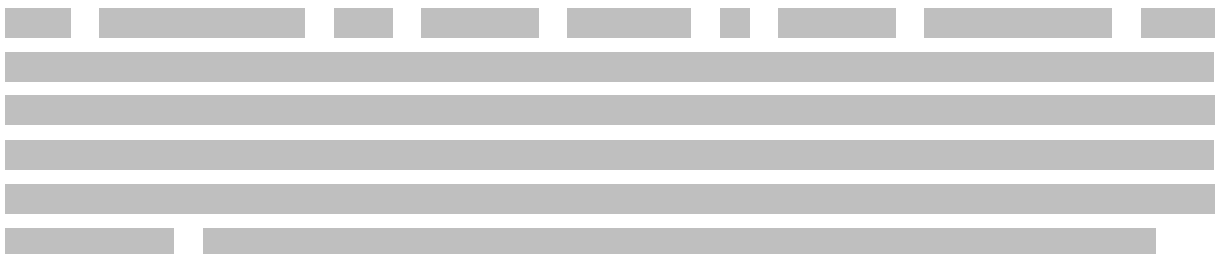
2



운전원 콘솔 구성 및 고장상황시 운전방식 등에 대한 상세 내용은 18.2.2.4항에 기술되어 있다.



1



신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

18.2.2.4 운전원 콘솔

각 운전원콘솔은 한 사람에 의해 원자력 발전소 운전 및 안전에 관련한 모든 공정을 감시 및 제어하는데 필요한 모든 정보 및 제어 기기를 제공한다.

주제어실에 인접한 회의실을 포함하여 현장 운전원 사무실, 기술지원실, 비상대책실에서 도 발전소 상황을 파악할 수 있도록 감시용 콘솔을 제공한다.



■ [Redacted]

[Redacted]

■ [Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

■ [Redacted]

[Redacted]

[Redacted]

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

-
- | Response | Percentage |
|---|------------|
| U.S. should take action | 78% |
| U.S. should not take action | 18% |
| U.S. should take action but not at the expense of the economy | 4% |

18.2.2.4.1 운전원 콘솔 외형

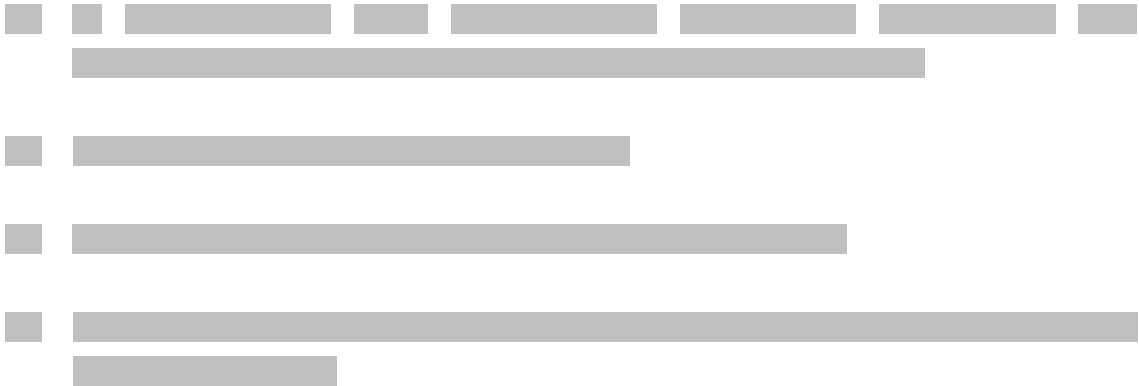
-

18.2.2.4.2 운전원 콘솔 구성

각 운전원콘솔은 다음의 인간-기계 연계 기기를 포함하고 있다. 운전원콘솔에 설치된 인간-기계 연계 기기에 대한 인간공학적 설계기준은 18.2.4절 정보표시, 18.2.5절 제어기 부분에 명시되어 있다.

1. **Identify the main components of the system.**
 2. **Define the scope and objectives of the project.**
 3. **Develop a detailed project plan.**
 4. **Implement the project plan.**
 5. **Monitor and evaluate the project progress.**
 6. **Communicate and report on the project status.**
 7. **Close the project and document the results.**

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서



18.2.2.4.3 운전원 콘솔 기능

- 가. 착석식 운전원콘솔에 제공되는 정보 FPD를 이용하여 운전원이 앉아서 모든 발전소 정보를 감시하고 발전소 공정을 제어한다.
- 나. 운전원은 각 운전원 콘솔에 제공되는 정보 FPD를 이용하여 발전소를 감시하고 제어할 수 있다.

18.2.2.5 안전제어반

그림 18.2-1에 보여주는 주제어실의 주운전지역에 위치한 안전제어반은 모든 운전원콘솔 고장 시 비상운전 수행 및 안전정지를 위해 제공된다. 안전제어반에 설치된 미니 대형정보표시반은 대형정보표시반의 고정영역 화면을 제공한다.

18.2.2.5.1 안전제어반 외형



18.2.2.5.2 안전제어반 구성

안전제어반은 다음의 인간-기계 연계 기기를 포함하고 있다. 인간-기계 연계 기기에 대한 인간공학적 설계기준은 18.2.4절 정보표시, 18.2.5절 제어기 부분에 명시되어 있다.



신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED] [REDACTED]
[REDACTED]

18.2.2.5.3 안전제어반 기능

안전제어반은 다음의 지시, 제어 및 경보를 제공한다.

가. 다음 사항에 필요한 고정형 경보, 지시 및 제어 등의 최소재고목록

- [REDACTED]
[REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]

나. 안전제어반은 입석식이며, 운전원이 비상 운전 혹은 안전정지 운전에서 필요한 필수적인 정보를 감시하고 최소재고목록으로 도출된 제어기 등을 사용하여 발전소를 제어할 수 있다.

18.2.2.5.4 최소재고목록 제어기

- [REDACTED] [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]
- [REDACTED]



18.2.2.6 대형정보표시반

가동중인 원자력발전소의 전체 운전상황을 파악하기 위해서는 주제어반에 펼쳐있는 재래식 계기들이 제공하는 정보를 감시해야 한다. 그러나, 신고리 5,6호기 주제어실에서는 정보가 계통별로 나누어 표시되고 상대적으로 작은 단위인 정보 FPD를 통해 공정정보가 제공되므로 운전원이 전반적인 발전소 상태를 파악하는 것이 용이하지가 않다. 이러한 설계 특성을 보완하기 위해 사용된 주제어실 대형정보표시반은 운전원이 전반적인 발전소 상태를 신속히 판단하기 위해 요구되는 정보를 제공한다. 또한 대형정보표시반의 고정영역 화면은 주제어실, 비상기술지원실 및 비상대책실에 제공되는 운전원콘솔에서도 이용 가능하다.

18.2.2.6.1 대형정보표시반 외형

대형정보표시반에서 제공되는 발전소 상태정보를 효율적으로 이용하기 위해 운전원이 주 제어실 운전원콘솔 어느 위치에서도 볼 수 있어야 한다. 주 운전지역에서의 가시성 확보를 위한 대형정보표시반 크기 및 화면에 표시되는 글자 크기는 인간공학 지침에 만족되도록 설계된다.

- 가. 발전소개요정보영역(Plant Overview Message Section)에는 원자로출력, 발전기출력등과 같은 발전소 수준의 정보가 제공된다.
- 나. 고정화면 영역(Fixed Mimic Section)에는 필수 안전기능을 대표하는 변수와 상태를 포함한 발전소 전체계통 미믹이 제공된다.
- 다. 필수안전기능감시/우회 및 동작불능상태지시영역(CFM/BISI Section)에는 필수 안전기능 상태를 지시하는 경보와 계통의 우회 및 동작불능 상태가 고정적으로 제공된다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

라. 계통별 그룹정보 및 중요정보 타일 영역(SGA/Important Alarm Tile Section)에는 계통별 그룹 정보와 중요 정보가 제공된다.

마. 가변화면 영역(Variable Display Section)에는 모든 계통 화면을 가변적으로 표시할 수 있다.

18.2.2.6.2 대형정보표시반 특성 및 설비

다음과 같은 상위 수준의 대형정보표시반은 운전원에게 발전소의 전반적인 운전상태와 안전상태를 평가할 수 있는 정보를 제공한다.

가. 선택된 상위 수준의 기능관련 지시계, 중요 변수에 대한 추이정보, 발전소보호 계통 작동 상태, 상태정보 및 운전원의 발전소 상황 인식을 지원하는 경보 등을 제공한다.

나. 안전변수지시계통 요건을 만족하기 위해 필수 안전기능 경보에 대한 연속적인 지시를 제공한다.

다. 발전소 운전을 지원하기 위해 중요 경보를 강조한 우선순위 경보를 제공한다.

라. 화면탐색 부담을 줄이고 운전원간 협업을 지원하기 위해 발전소 전체 계통 고정 미믹을 제공한다.

마. 여러 운전 상황에서 각 운전원의 다양한 정보 요구를 만족시키기 위해 가변화면 영역을 제공한다.

대형정보표시반 화면 설계(즉, 동적 심벌, 색상 코드, 강조, 점멸, 그래픽 배치 및 정보 코딩 특징)는 정보 화면 설계에서 사용된 것과 동일한 인간공학 지침을 사용한다.

18.2.2.6.3 대형정보표시반의 발전소 기능 정보

대형정보표시반은 운전원이 전반적인 발전소 성능을 평가하고 발전소 안전위협에 대응할 수 있도록 발전소 필수 안전기능 평가를 위한 정보를 제공한다. 발전소 필수 안전기능은 다음과 같다.

가. 노심반응도 제어

나. 필수 보조계통의 유지

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

- 다. 원자로냉각재계통 재고량 제어
- 라. 원자로냉각재계통 압력 제어
- 마. 노심 열 제거
- 바. 원자로냉각재계통 열 제거
- 사. 원자로건물 격리
- 아. 원자로건물 온도 및 압력 제어
- 자. 원자로건물 가연성기체 제어(방사능 방출 제어)

필수 안전기능 각각에 대한 경보타일이 대형정보표시반에 제공된다. 이 경보타일은 특정 필수안전기능에 위협을 주는 경보를 연속적으로 지시하기 위해 고정화면 영역에 제공되며, 이를 통해 운전원은 전반적인 운전상태를 파악하여 경보발생시 신속하게 조치할 수 있다.

필수안전기능 경보타일은 필수안전기능 화면페이지 정보를 요약하여 표현한 것이다. 경보에 대한 상세 정보는 운전원콘솔 정보화면상에서 이용 가능하다.

18.2.2.6.4 대형정보표시반의 계통 표시

주요 공정 계통과 주요 공정을 지원하는 계통의 미믹이 대형정보표시반에 제공된다. 이들 계통에는 규제지침서 1.47의 이용도 감시를 위해 요구되는 계통과 발전소 필수안전기능을 지원하기 위한 주요 성공경로가 포함된다.

대형정보표시반에 제공되는 계통정보는 계통운전 상태, 운전상태의 변경(즉, 동작에서 비동작으로 또는 비동작에서 동작으로) 및 계통과 연관된 경보의 존재유무 등을 포함한다. 필수안전기능을 평가하기 위해 요구되는 공정 변수도 대형정보표시반에 제공된다.

18.2.2.6.5 대형정보표시반의 경보 및 상태 표시

대형정보표시반은 다음 형태의 경보와 상태를 지시한다.

- 가. 필수안전기능 경보
- 나. 우회 및 동작불능(BISI) 상태

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

다. 공정 변수/기기 정보

18.2.2.6.6 대형정보표시반의 가변 화면 영역

발전소 운전에 필요한 정보는 발전소 운전 상태와 운전원의 필요에 따라 변화한다. 이러한 정보요건을 만족시키기 위해 대형정보표시반은 고정적으로 표시할 필요가 없는 공정 정보 지시에 유용한 설비로서 가변화면영역을 포함한다.

운전원콘솔 정보 FPD에 지시되는 계통화면, 정보 목록, 추이 지시 등은 감시 정보 또는 운전요원들간의 토론 목적으로 가변화면영역에 표시할 수 있다.

18.2.2.6.7 인간공학 요건

대형정보표시반 설계는 다음의 설계 요건들을 만족한다.

상황인식 : 운전원 직무는 대체로 특정 계통운전에서의 상세 진단, 분석 등의 직무이지만 발전소 성능에 대한 인식을 계속 유지하는 것도 필수적이다. 대형정보표시반은 발전소 성능인식에 필요한 정보를 고정적으로 연속 지시하고 있으며 발전소 운전모드, 원자로 출력, 발전기 출력등과 같은 공정변수를 제공하여 운전원이 발전소 상황을 쉽게 인식할 수 있게 하였다.

강조 : 대형정보표시반은 상당히 많은 수의 정보를 운전원에게 제공한다. 따라서 정보의 상대적 중요성을 전달하기 위해 강조를 사용하는 것이 필요하다. 대형정보표시반은 강조가 필요한 동적 정보는 상단에 별도로 배치하였고 반대로 정적인 정보는 부각되지 않도록 설계하였다.

관독성 : 인간공학 지침의 주제어실 조명이 대형정보표시반 가독성에 영향을 미칠 수 있으나, 조도준위를 조절할 수 있는 설비가 제공되어 운전원이 밝기와 빛반사 사이의 균형을 최적으로 맞출 수 있다.

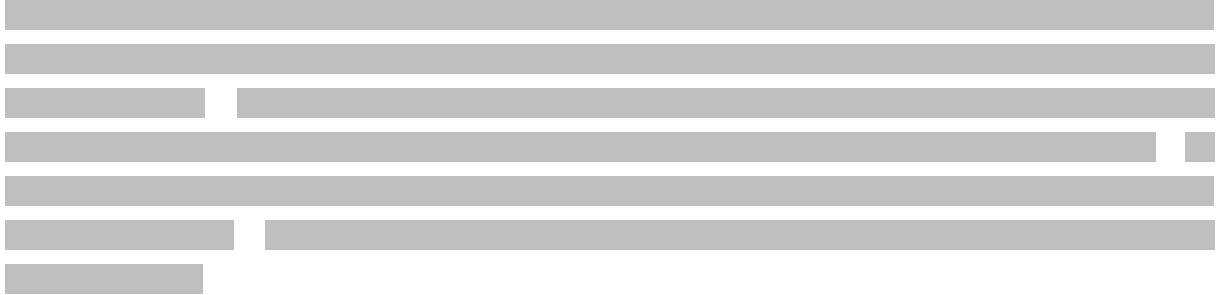
18.2.2.7 보조패널

대형정보표시반 후면에 제공되는 보조패널 공간에는 화재방호, 폐쇄회로감시 설비 및 각종 프린터 등이 설치된다. 이들 설치위치는 보조운전지역으로 구분되어 있으며 감시 및 제어가 가능하다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

18.2.2.8 통신설비

주제어실 안팎의 음성통신은 발전소 운전 조율에 중요한 역할을 수행하며 효율적인 음성 전달을 위하여 다양한 통신기기가 사용된다.



18.2.2.9 기타 부대설비

회의실

주제어실 주운전지역의 가시성을 고려하여 그림 18.2-1에 명시된 바와 같이 주제어실 인근에 회의실을 배치한다. 이는 주운전지역 내 운전 참여하지 않는 주제어실 요원들에게 회의실을 제공하며, 회의실에서도 주제어실 주운전지역의 가시성을 확보하여 주제어실 운전원의 운전직무를 지원할 수 있게 한다.

또한, 발전소 감시용 정보 FPD를 통해 보다 상세한 정보들을 직접적으로 확인할 수 있도록 감시용 워크스테이션을 제공한다. 주제어실 회의실은 또한 운전요원이 지원을 요구할 때 주운전지역에 쉽고 빠르게 접근하도록 위치되어 있다.

주제어실 사무설비

주제어실 내에 책상, 의자, 철차서 보관함 및 부대 공간 등에 대한 인간공학 고려사항을 기술한다.

운전원을 지원하기 위해 운전원콘솔 내 책상영역 및 의자를 주운전지역에 제공한다. 책상영역은 주운전지역에서 운전원을 위한 작업공간으로서 역할을 하지만 그곳에서 운전원 콘솔의 감시 또는 제어 조치를 실제로 수행하지는 않는다. 책상위치는 전체 주운전지역에 대해 가시성을 제공한다. 의자는 그림 18.2-1에 예시된 주운전지역 내의 운전원콘솔 및 책상에 제공된다. 각각의 의자는 착석식 운전원콘솔을 위한 인간공학 지침요건에 따라 설계된다. 의자는 높이조절이 가능하고 바퀴가 달려 있어 일부 운전원콘솔에서 앉은 상태에서 이동이 가능하다.

부대 공간

절차서, 매뉴얼 및 기타 참조문서를 펴서 볼 수 있고 필요시 어떠한 방해물 없이 즉시 접근 가능한 공간이 주제어실 내에 제공된다.

참조문서 보관

각 운전원콘솔에 상시 필요한 문서를 개인별로 보관할 수 있도록 저장 공간이 제공되어 있으며, 운영기술지침서, 절차서 및 참고 매뉴얼 등 필요한 자료, 도면과 기기들 저장을 위한 공간이 주제어실내에 제공되며, 추가 저장 및 대형 도면의 보관을 위한 공간은 주제어실 인근에 위치한 회의실 내에 제공된다.

휴게장소, 주방

주제어실 내에 운전원 휴게장소가 제공되며, 취식 설비 및 공간을 주제어실 인근에 배치하여 운전원들이 편안하게 이용가능하도록 한다.

18.2.3 주제어실 환경

주제어실은 어떠한 발전소 운전상태하에서도 운전원들에게 쾌적한 주변 환경이 제공되도록 설계된다.

18.2.3.1 습도, 온도 및 환기

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

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

나. 사람머리 높이에서 바닥까지의 온도차는 5.6 °C(10 °F) 이내로 한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

- 다. 상대습도는 20 ~ 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 근무기준으로 1인당 최소 $0.42 \text{ m}^3/\text{min}$ (15 cfm)의 공기를 제공한다.
- 사. 공기속도는 사람머리 높이에서 측정했을 때 13.7 m/min (45 ft/min)을 초과하지 않으며 사람이 느낄 정도의 통풍이 없도록 한다.

18.2.3.2 조도

주제어실의 조명은 상시조명, 필수조명 및 비상조명으로 구성된다. 필수조명은 상시조명 상실시에도 조명이 제공되며, 비상디젤발전기가 후비보호하는 안전성관련 교류 480 V 저압반으로부터 전원이 수전된다. 비상조명은 소내외 전원 상실시 비상디젤발전기의 기동에 의한 필수전원이 제공되기전(약 10초)까지 조명을 제공하기 위하여 소내 비안전급 축전지로부터 수전하는 백열등이 설치된다.

비상조명의 조도는 최소 100 lx (10 fc)이상으로 설계되어 있다.

정상운전시 주제어실의 조명은 상시조명과 필수조명이 함께 점등된 상태이며, 정상운전시 각 운전구역에 대한 조도 준위는 다음과 같으며, 각 조도 측정위치는 바닥으로부터 80 cm 높이이다.

- 가. 운전원콘솔 : $300 \sim 1000 \text{ lx}$ (30 ~ 100 fc), 적정조도 : 700 lx (70 fc)
- 나. 대형정보표시반 : $50 \sim 100 \text{ lx}$ (5 ~ 10 fc), 적정조도 : 100 lx (10 fc)
- 다. 안전제어반 및 보조패널 : $250 \sim 750 \text{ lx}$ (25 ~ 75 fc), 적정조도 : 500 lx (50 fc)

조도는 화면표시장치의 화면, 후비 발광형 지시기, 명판, 유리, 도면 및 자료들을 쉽게 읽을 수 있도록 적정 조도로 설계되어 있으며 눈부심 경감을 위해 다음 사항을 고려한다.

- 가. 반사가 적은 벽체 재질, 눈부심 및 광택이 적은 바닥 재질, 천정 조명분광판 재질 및 눈부심이 적은 명판 재질 사용

- 나. 제어반의 저광택 도장
- 다. 화면표시장치의 화면상에 조명의 직접 투시 방지
- 라. 간접 조명 방식 적용
- 마. 주제어실 조도를 조절하는 스위치 적용

18.2.3.3 소음

주변소음은 모든 경보기 및 다른 청각장치와 분명하게 구분이 되고, 운전원들간 의사전달이 손쉽게 될 수 있도록 충분히 낮아야 한다. 주변소음은 원자로정지가 수반되는 경우나 방문객이 있을 때 주제어반으로 둘러 싸여 있는 곳의 안쪽에서 최대 65 dB(A)를 초과하지 않으며, 잔향시간은 1초 이내로 설계된다. 이는 원격정지실에서도 동일하게 적용되고 경보음은 평균 주변소음보다 10 dB(A) 이상 높게 설계된다.

| 2

18.2.4 정보 표시(Display)

원자력발전소를 안전하고 효율적으로 운전하기 위해서는 발전소 상태에 대한 빠르고 정확한 감시가 필요하다. 즉, 운전원이 필요로 하는 정보는 가공 없이 이용 가능하여야 하며 필요한 정보의 형태로 제공되어야 한다.

주제어실 운전원은 다음의 기기로부터 운전에 필요한 발전소 정보를 얻을 수 있다.

- 가. 발전소 수준의 경보, 높은 우선순위 계통/기기 경보, 발전소 안전 및 전력생산을 평가하는 발전소 주요변수 및 상태를 제공하는 대형정보표시반
- 나. 모든 발전소 정보를 포함하는 운전원콘솔 정보화면
- 다. 절차서 지시, 관련 공정정보, 운전원 지원, 절차서 실행을 지원하기 위해 제어에 접근하는 수단 등을 제공하는 전산화 절차서 화면
- 라. 소프트웨어기화면

주제어실 정보는 다음과 같이 구조화되고 계층화된 형태로 표현된다.

- 가. 논리적 및 일관된 방법으로 정보를 조직화
- 나. 운전원이 개괄 및 상세 정보에 쉽게 접근할 수 있도록 배열

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

이러한 계층은 주제어실내의 모든 운전원콘솔과 안전콘솔에 일관되게 적용된다. 이는 지원정보를 일관되게 얻을 수 있게 하며 필요한 노력과 인적오류발생 확률을 감소시킨다.

18.2.4.1 대형정보표시화면

대형정보표시반은 정보계층의 최상위로써, 최상위 수준의 운전에 필요한 경보와 정보를 제공하고 있다. 대형정보표시화면에 대한 상세 기준은 18.2.2.6절의 대형정보표시반에 기술되어 있다.

18.2.4.2 운전원콘솔 정보화면

18.2.4.2.1 운전원콘솔 정보화면 계층

운전원콘솔 정보화면계층은 계통/기기 상태, 공정 변수 및 경보 상태/인지와 관련된 화면에 접근하는 방법을 제공한다.

- 가. 운전원콘솔 정보화면 계층은 동일한 화면 표시장치 내에서 특정 화면페이지로 선택적 접근을 허용한다.
- 나. 운전원콘솔 정보화면계층은 같은 운전콘솔 내의 다른 화면 표시장치에서 화면 페이지 선택을 허용한다.
- 다. 운전원콘솔 정보화면 계층은 관련 소프트웨어기화면에서 공정제어기 또는 기기 제어기의 선택을 허용한다.
- 라. 운전원콘솔 정보화면 계층은 경보의 인지를 허용한다.
- 마. 운전원콘솔 정보화면 계층은 대형정보표시반 가변화면영역에 표시될 수 있다.
- 바. 안전변수지시계통 화면 페이지들은 운전원콘솔 정보화면 계층에 통합된다.

18.2.4.2.2 운전원콘솔 정보화면 체계

정보화면은 발전소의 현재 조건과 상태를 쉽게 확인할 수 있도록 칼라화면 표시장치를 통하여 발전소 변수 및 경보들에 대한 동적 화면을 제공한다. 정보화면은 감시, 계획, 제어 및 제어 동작에 대한 귀환 정보를 얻는데 중요한 정보를 제공한다.

이들 정보화면에는 운전원에게 유용한 발전소의 모든 정보가 계층적으로 구조화 되어있

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

다. 정보화면은 운전원이 실제 발전소를 바라보는 것과 동일한 형태의 발전소 및 공정 배치를 포함하고 있어 발전소 정보파악에 유용하다. 또한, 비정상 공정에 대한 경보 외에 추이(trend), 목록의 분류 기능, 메시지 표시, 운전위치를 인지할 수 있도록 화면별 타이틀 등을 제공한다.

주제어실의 운전원콘솔에는 동시에 다양한 화면에 접근할 수 있도록 화면 표시 장치가 여러 대 제공된다. 각 운전원콘솔에는 4개 또는 그 이상의 화면표시장치가 있고, 각 표시장치에서 정보화면의 체계 내에 있는 모든 화면을 지정할 수 있다. 화면표시장치를 제 공함으로써 특정 표시장치를 사용할 수 없을 때 다른 장치로 대체할 수 있도록 이중화되어 있다. 화면 간의 이동 및 접근에 사용하는 주 연계장치로 마우스가 제공된다. 모든 주제어실 운전원콘솔에서 정상운전 중에는 키보드를 사용하여 정보화면에 접근하지 않는다. 정보화면의 계층적 체계는 7.7.1.7절에 기술된 정보처리계통에 의해 동작된다.

18.2.4.2.3 내용과 구조

운전원은 운전원콘솔과 안전제어반의 화면표시장치에 표시되는 많은 정보화면을 이용한다. 발전소를 안전하고 효율적으로 운전하는데 도움이 되도록 정보화면에는 운전원에게 필요한 지원 자료와 정보가 제공된다. 그리고 운전원이 논리적이고 손쉬운 접근을 할 수 있도록 체계적 구조로 되어 있다.

계통화면

원자력 발전소의 복잡성으로 인해 운전원에게 발전소에서 일어날 수 있는 모든 특정상황에 대하여 화면을 제공하는 것은 불가능하다. 따라서, 일반적으로 인간-기계연계 화면은 특정 조건과 상황에 관련된 화면보다는 에너지 법칙인 질량/에너지 균형(Mass/Energy Balance)을 나타내는 공정화면을 제공한다. 이러한 공정화면들이 계통화면으로 분류되며 계통화면에는 전통적인 주제어실의 제어반에서 제공되는 지시, 경보 및 제어장치 등의 운전정보가 제공된다.

계통화면의 체계는 계통미믹화면(System Mimic Display)과 관련 지원화면으로 이루어져 있다. 계통미믹화면에는 아래 정보를 포함하는 공정변수와 기기상태 등을 나타내며 해당 계통과 관련 있는 화면으로의 접근을 제공한다.

가. 변수의 상세 변화를 평가하기 위한 변수 추이 정보

나. 계통 기능의 판독, 감시 및 진단을 위한 정상 범위와 설정치가 있는 정보

다. 다중 변수 또는 상태에 대한 평가가 요구되는 상황에 대한 신속한 평가를 지원하는 추이정보 및 그래프. 그래프에는 원자로냉각재펌프운전 허용영역을 표

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

시하는 그림이 있다.

지원화면

계통미믹화면이나 전산화절차서 화면에서 적절하게 지원할 수 없는 발전소 운전원 직무에 대하여 제한된 범위 내에서 지원화면이 제공된다. 지원화면은 발전소를 계통관점이 아닌 직무관점에서 조직화 하였고 계통미믹화면, 공정변수 값, 기기/계통 상태 등을 포함한다. 지원화면은 발전소 특정운전을 수행하는데 필요한 정보를 제공하며 계통화면과 전산화절차서 화면에서도 접근 가능하다.

지원화면은 노심운전 제한치 감시계통, 제논 예측과 반응도 평형 프로그램 등과 같은 복잡한 그래픽과 계산 지원을 제공하는 화면과 발전소운전을 보조하는 화면을 제공한다.

안전변수지시평가 화면

안전변수지시평가계통 화면은 안전기능을 포함한 발전소 필수기능 및 성공경로를 연속적으로 감시하고 발전소의 특정한 비상운전절차 수행을 지원하며 NUREG-0696 및 NUREG-0737 Supplement 1에서 설정된 안전변수지시계통에 대한 기준을 만족하게 설계된다. 상세설계내용은 7.7.1.7.7절에 기술되어 있다.

대형정보표시반 화면

대형정보 표시화면의 고정영역화면과 동일한 화면이 운전원콘솔 정보화면에 제공된다.

소프트제어기 화면

소프트제어기는 종래의 발전소 제어반에 하드웨어로 구현되어 설치된 여러 종류의 물리적인 스위치들이나 아날로그 제어장치를 대신하는 소프트웨어로 구현된 제어기이다. 상세 내용은 18.2.5절에 기술되어있다.

우회 및 동작불능상태 지시화면

규제지침서 1.47에 따라 발전소 안전정지에 요구되는 보호 및 보조계통의 우회 및 동작불능상태를 계통수준에서 제공한다.

경보화면

허용한도를 초과한 발전소 상태를 운전원에게 즉시 경고하는 연계화면으로 상세 내용은 18.2.6절에 기술되어있다.

절차서 화면

전산화절차서는 정상 및 비상운전 절차서 등에 적용한다. 절차서 화면에는 운전に必要な 적절한 절차 정보를 제공하고 문자, 변수 값, 흐름도, 다른 화면으로의 접근 및 제어화면으로의 접근 등이 포함된다.

18.2.4.2.4 화면 페이지/정보 접근

운전원이 화면표시장치 기반의 정보계통을 이용하여 정보에 접근하고 운전に必要な 관심을 진단하는 능력은 운전원이 적합한 화면에 용이하게 접근할 수 있느냐에 달려 있다. 운전원이 특정 직무를 수행하기 위하여 한 화면에서 다른 화면으로 옮겨가는 연계 업무의 필요를 줄이는 것이 중요하다. 화면 접근을 빠르고 간단하게 하며 여러 종류의 화면 사이에도 일관성이 있고 사용하기 쉽도록 제공한다.

다음 정보들은 정보화면의 고정영역에 표시된다.

가. 계통미믹화면 디렉토리, 안전변수지시계통, 우회 및 동작불능 상태화면, 경보화면, 절차서 화면 및 지원 화면 이동을 위한 표준메뉴

나. 하트비트(Heart Beat)와 같은 설비 진단용 동작상태 표시

다. 운전 중인 현재 날짜와 시간

라. 발전소 운전모드 선택 메뉴

물리적, 기능적으로 특별한 화면에 관련된 정보는 1번의 조작(Click)으로 접근할 수 있다. 또한 운전に必要な 사용하는 화면은 2번의 조작(Click)으로 접근할 수 있다. 운전원콘솔 화면 접근 방법은 크게 아래 기술한 2가지 방법이 있다.

디렉토리 화면을 이용한 화면 접근

정보화면으로의 접근은 주로 화면 프레임에 있는 디렉토리 화면을 사용하여 이루어진다. 이러한 접근방법을 이용하여 운전원이 원하는 화면으로 이동하고자 할 때 논리적으로 조직화된 화면 메뉴와 디렉토리 화면이 이용된다. 각 디렉토리 화면은 하나의 화면 계층을 대표한다. 이러한 화면이동 방법은 두 번의 조작으로 모든 공정계통에 접근할 수 있도록 한다.

직접 접근

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

메뉴나 디렉토리 계층적 체계를 이용한 화면이동 없이 화면에 직접 접근 할 수 있다. 다음과 같이 두 가지 접근방법이 제공된다.

가. 즉시 접근할 수 있는 기능이 있어야 할 정도로 중요하다고 판단되는 화면은 화면 프레임에 고정된 화면접근 기능을 제공한다.

나. 계층적 정보화면 체계 내의 각 화면의 화면전환(Format Chaining)은 다른 관련 화면, 소프트 제어 화면 또는 데이터 시트 같은 기타 정보 화면과 연결되어 있다. 정보화면에서 운전원에 의해 작동되는 화면전환 처리는 현재 화면에서 직접 다른 화면, 정보 혹은 소프트 제어 화면으로 빠르고 편리하게 접근할 수 있도록 한다.

제어 연결

제어 연결(Control Link)은 운전원이 정보화면에서 직접 소프트 제어화면의 제어기를 신속하게 선택할 수 있게 한다. 제어 가능한 안전관련 기기에 대한 화면전환은 해당 제어기를 공학적안전설비 기기제어계통 소프트제어기에 나타내고 제어 가능한 비 안전관련 기기에 대한 화면전환은 해당기기의 소프트제어기를 정보 FPD에 나타낸다. 이와 같이 제어 선택 과정을 단순화하고 설비 선택에 대한 운전원의 정신적 부하가 경감되도록 정보화면에서 소프트 제어화면으로의 접근 체계가 제공 된다. 정보화면 상의 기기(혹은 공정 심벌)를 선택하면 소프트 제어에 상응하는 관련 제어 장치가 자동 선택된다.

18.2.4.2.5 이력자료 저장 및 검색(HDSR)

모든 경보 정보는 정보처리계통에 수집되고 저장된다. 경보 발생시간, 경보 인지시간, 경보 해소 시간, 경보 초기화 시간 등과 같은 경보 정보는 경보에 대한 설명과 함께 저장되고 운전원 또는 기술지원실에서 요구할 수 있는 적절한 정보 등도 함께 저장된다. 또한 발전소의 특정 데이터에 대한 추이 기록도 저장된다.

18.2.4.2.6 인간공학 요건

다음에 기술하는 상위 수준의 설계 원칙이 운전원콘솔 화면설계에 적용된다.

일관성 : 운전원콘솔 화면에는 다양한 목적의 화면과 여러 인간-기계연계 자원(경보, 소프트제어, 전산화 절차서 등)들이 함께 표시되고 자원들과의 상호 연계가 존재한다. 따라서, 다양한 화면간 정보표현방법, 규칙 및 화면간 이동방법 등이 일관되도록 운전원콘솔 화면을 설계하였다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

직무이용성 : 직무이용성을 위해 운전원의 기억이 요구되는 상황을 최소화하였으며 운전원이 반복적인 계산을 수행하지 않도록 가공하지 않은 정보가 아닌 계산된 정보를 제공하여 운전원콘솔 화면을 설계하였다.

구조/구성 : 발전소 계통의 분류 및 발전소 배관 계장도를 기본으로 하여 화면을 구성하고 메뉴-디렉토리구조의 화면이동방법을 사용하여 운전원이 화면구성 및 화면이동을 쉽게 이해할 수 있도록 설계하였다.

궤환(Feedback) : 운전원이 제어동작에 대한 정보를 궤환 받을 수 있도록 계통화면뿐만 아니라 소프트웨어기에도 궤환정보를 제공하였다.

18.2.4.3 전산화절차서 화면

절차서 표시형식은 운전원콘솔 표시형식에 있어서 일관성을 유지하기 위해 다른 표시형식처럼 인간공학 지침을 따른다. 절차서 표시는 지시사항의 계층적 구조 표시로 인해 운전원의 인지와 상황인식을 향상시키도록 설계된다. 그 지시 사항들은 그래픽 형태로 체계적으로 구성되어, 다음과 같은 기능을 제공한다. 상세내용은 18.2.7절 전산화 절차서에 기술되어 있다.

- 가. 전산화절차서는 절차서 전후 단계와 마찬가지로 현 단계가 표시되는 개요창(Overview Pane)을 제공한다.
- 나. 전산화절차서는 현 단계의 상세 지시가 제공되는 수행 창(Step Detail Pane)을 제공한다.
- 다. 전산화절차서는 공정정보, 제어접근 및 지시를 통합적으로 제공한다.
- 라. 전산화절차서는 여러 개 절차서의 동시 수행을 지원한다.
- 마. 전산화절차서는 절차서 복귀를 지원한다.
- 바. 절차서에 다른 절차서 또는 다른 단계에 대한 상호 참조가 갖추어져 있다.
- 사. 전산화절차서는 단계수행 상태를 추적한다.
- 아. 전산화절차서는 계속적 수행 단계에 관련한 조건을 감시한다.
- 자. 전산화절차서 화면이 이용되지 못할 때 사용하는 종이 절차서는 가능한 범위에서 전산화절차서와 일치한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

18.2.4.4 소프트제어기 화면

소프트제어기는 주제어실 운전원에게 종래의 전용 누름 버튼 스위치나 M/A 스테이션을 대신하여 운전원에게 발전소 수동 제어능력을 제공하기 위한 수단으로 사용된다. 소프트웨어는 공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어(ESF-CCS Soft Control)와 공정 기기제어계통 소프트웨어(Process-CCS Soft Control)로 구성되어있다.

아래와 같은 소프트웨어 화면을 제공하며, 상세 내용은 18.2.5.1절 소프트웨어에 기술되어 있다.

- 가. 소프트웨어 화면은 기기제어계통(CCS), 출력제어계통(PCS) 및 T/G 제어계통들의 계통 및 기기를 제어하기 위한 하나의 표준 특징을 가진다.
- 나. 소프트웨어화면은 연속 공정제어 및 이산 기기 제어를 제공한다.
- 다. 소프트웨어는 운전 모드, 루프제어신호 및 루프 설정치 등의 선택을 허용한다.
- 라. 소프트웨어 화면은 제어되고 있는 모든 공정변수의 연속적인 화면을 제공한다.

18.2.5 제어기

신고리 5,6호기 주제어실에 사용되는 제어기는 대부분의 제어를 담당하고 있는 소프트웨어와 안전제어반에 설치되어 있는 고정형 제어기로 구성된다.

18.2.5.1 소프트제어기

주제어실 운전원에게 종래의 전용 누름 버튼 스위치나 M/A 스테이션을 대신하여 운전원에게 발전소 수동 제어능력을 제공하기 위한 수단으로 사용되는 소프트웨어는 공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어(ESF-CCS Soft Control)와 공정 기기제어계통 소프트웨어(Process-CCS Soft Control)로 구성하였다. 공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어는 공학적안전설비 기기제어계통을 통해 안전관련 기기를 제어하는데 사용되고, 공정 기기제어계통 소프트웨어는 공정 기기제어계통을 통해 비안전관련 기기를 제어하는데 사용된다.

소프트제어기 화면은 주제어실이나 원격정지실에서 연속공정, 이산기기 그리고 제어봉이나 터빈 발전기와 같은 특수한 기기를 제어할 수 있는 기능을 제공한다. 운전원은 운전

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

원콘솔에서 공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어 및 공정 기기제어계통 소프트웨어를 이용하여 안전성관련 기기뿐만 아니라 비안전성관련 기기도 제어할 수 있다.

소프트제어기는 기존의 발전소 제어반에 하드웨어로 구현되어 설치된 여러 종류의 물리적인 스위치들이나 아날로그 제어장치들을 대신하는 제어기이다. 운전원은 터치스크린을 통해 공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어를 조작할 수 있으며, 마우스를 통해 공정 기기제어계통 소프트웨어를 조작할 수 있다. 소프트웨어 기반의 이들 소프트웨어 제어기는 소프트웨어로 모든 종류의 제어스위치 및 아날로그 제어기기의 기능을 구현하여 표준 연계 장치로 사용한다. 제어하고자 하는 기기의 선택은 정보화면에서 해당 기기를 선택함으로써 이루어진다.

공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어는 검증된 터치스크린 기반의 평면표시기 상에 구현되어 주제어실 및 원격정지실에 제공되어 있다. 공정 기기제어계통 소프트웨어는 주제어실 및 원격정지실의 각 정보 FPD에 구현되어 있다. 또한 공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어 및 공정 기기제어계통 소프트웨어는 사고 후에 사전에 지정된 운전원의 운전을 위하여 안전제어반에도 제공되어 있다.

18.2.5.1.1 제어 표시 제공

소프트제어기는 수동제어기능을 제공하고 기기제어 결과를 감시하기 위한 동적 대화형 화면이다. 운전원이 마우스와 같은 위치결정 장치를 이용하여 정보 FPD에서 안전관련 기기심볼을 선택하면 공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어에 선택한 기기의 제어판이 나타난다. 또한 운전원이 위치결정 장치를 이용하여 정보화면에서 비안전관련 기기심볼을 선택하면 정보 FPD에 선택한 기기의 제어판이 나타난다. 각 소프트웨어 제어기는 설계 및 운전의 일관성을 유지하기 위하여 표준화된 그래픽 심볼로 설계된다. 소프트웨어 제어기는 운전원이 야기할 수 있는 잠재적인 제어 조작 오류가 최소화 되게 설계한다.

운전원은 위치결정 장치를 통하여 소프트웨어에서 기기제어 명령(예, 기동/정지)을 선택한다. 공정 기기제어계통 소프트웨어에서는 마우스와 같은 위치결정 장치가 소프트웨어 제어기 화면상의 기기 제어명령(예, 기동/정지)을 선택하는데 사용된다. 공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어는 터치스크린 방식을 사용한다.

연속기기 제어용 제어판은 연속기기의 제어를 위한 루프의 운전모드(예, 자동/수동, 원격/현장), 설정치, 출력요구값, 공정측정치, 증/감 버튼, 그리고 막대그래프를 제공한다.

이산기기 제어용 제어판은 이산기기를 제어하는데 필요한 명령 선택을 위한 표적(예, 열림/기동 버튼, 닫힘/정지 버튼 그리고 자동/수동 선택 버튼 등)을 제공한다. 제어불능 상태(예, 고장 또는 불능) 정보가 이산기기 제어용 제어판에 제공된다. 기기조작 결과에 대한 궤환신호가 소프트웨어에 제공된다.

18.2.5.1.2 인간공학 요건

아래에 기술되는 상위 수준의 설계원리가 소프트웨어 설계의 핵심 요소들이다.

단순성 : 인간-기계연계 자원은 기능 및 직무 요건에 일치하되 가장 단순하게 설계하여 표현하여야 한다. 단순성은 소프트웨어라는 인간-기계연계 자원에 특히 중요할 수 있다. 이는 기존의 주제어실의 누름버튼 스위치를 대체한 소프트웨어는 본질적으로 누름버튼 스위치 보다 복잡하기 때문이다. 직무를 완료하기 위한 조치들은 최소로 되어야 한다. 소프트웨어를 복잡하게 하는 요소들에는 계측제어 설계로 인한 제한사항이 포함된다(예, 채널 독립 및 확인스위치의 사용가능성). 운전원에게 2차적인 직무부담을 최소화하기 위해 설계의 단순성을 유지한다. 이러한 설계단순화는 운전원이 신속하고 정확하게 제어명령을 실행하기 위하여 소프트웨어 설계에서 특히 중요한 요소이다.

직무 유용성 : 모든 인간-기계연계 자원은 직무수행 요건을 만족하도록 설계되어야 한다. 소프트웨어가 주제어실의 주요한 제어수단이기 때문에 직무 유용성은 소프트웨어 설계에 있어서 가장 중요하게 고려되어야 한다. 특히 제어직무 요건은 각각의 소프트웨어 형식을 개발하기 위해 고려된다. 제어 선택사항에는 직무분석에서 확인된 모든 제어기능이 포함된다. 기기의 현재상태와 같은 데이터의 표시는 명확하고 직접적인 형식으로 제공된다. 소프트웨어는 인간-기계연계 설계에서 계측제어 제한사항(예, 채널 구분된 설계)들로 인해 초래되는 기존의 운전 불편함이 극복되도록 설계한다.

응답성 : 시간응답은 제어에 있어서 특히 중요한 고려사항이다. 만약 사용자가 인식 가능할 정도로 현저하게 느린 시간응답은 제어(예, 소프트웨어) 유용성에 중대한 영향을 줄 수 있다. 소프트웨어 설계에서 특히 고려되는 현안 중 하나는 제어명령 선택 후 이에 대한 제어계통 응답에 대한 적절한 구현이다. 또한 이산제어나 연속제어와 같은 모든 제어행위에 대한 적절한 궤환응답이 중요한 고려사항이다. 인간-기계연계에서는 버튼 선택에 대한 인지를 높이기 위해 시각코딩을 적용하여 운전원이 제어계통의 현재 상태, 원하는 상태 그리고 소프트웨어를 이용한 제어조치의 결과를 즉시 알 수 있게 하였다.

제어오류방지 : 소프트웨어에서 제어오류는 중요한 고려사항이다. 필수 기기나 위험성이 높은 기기들(예, 유출 저온과압 보호밸브 또는 원자로건물 살수운전)또는 인접 버튼에 대한 오류방지 방안이 고려된다. 이들은 기존의 주제어실에서는 통상적으로 잠금스위치나 스위치 덮개로 되어 있다. 신고리 5,6호기 인간-기계연계에서는 채널확인 스위치 또는 다중 버튼 사이에 이격거리를 확보하는 설계를 하여 제어오류를 방지한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

18.2.5.1.3 공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어기 모듈(ESF-CCS Soft Control Module)

공학적안전설비 기기제어계통 소프트웨어기 모듈은 공학적안전설비 기기제어를 위해 제공된다.

18.2.5.2 운전원 모듈

운전원 모듈은 인간-기계 연계 기기이며 주제어실 운전원을 위해 운전기능, 정비, 감독 및 시험 기능을 제공한다.

안전등급으로 채널화된 운전원 모듈은 안전제어반에 제공된다. 하나의 운전원 모듈이 각 안전채널(A, B, C, D) 마다 할당되어 있으며 운전원 모듈은 다음과 같이 그룹화 된다.

가. 원자로노심보호계통

나. 발전소보호계통

다. 공학적안전설비 기기제어계통

18.2.5.3 고정형 제어

운전원에 의해 수동 조작되는 고정형 스위치(고정형 제어기)가 안전제어반, 운전원콘솔 및 원격정지실에 제공된다.



모든 제어기는 인간공학요건을 고려하여 선정되고, 기능별 표준화, 계통내의 일반적 기능을 고려하여 쉽게 식별될 수 있도록 하였다. 또한, 제어기는 신속하고 오동작이 없이 사용할 수 있도록 선정되고 설치된다. 제어기는 운전원에게 혼동을 주지 않고 계통흐름을 명확히 반영하도록 모형도와 계층적 명판을 이용한다.

핸들이 있는 제어기는 부주의한 조작을 피하기 위해 핸들의 끝부분이 제어반 가장자리로부터 10 cm 이내에 위치되지 않도록 배치한다.



[Redacted text block]

18.2.5.3.1 제어기 코드화 및 형태

제어기는 밸브, 펌프, 차단기, 경보, 정지 및 작동 그리고 원자로 제어기 등이 쉽게 구별될 수 있도록 기능별로 표준화하여 적용한다. 이를 위해서 모형, 기기형태, 위치 및 색상 코드화 등의 방법을 조합하여 적용한다. 예를 들어, 팬과 펌프 제어기의 테두리는 청색이며 그 외의 제어기(차단기 및 밸브)는 흑색 테두리를 사용하고 푸쉬 버튼 제어 스위치가 한가지 형태의 직무 즉, 밸브운전에만 이용된다면 그 용도로만 사용한다.

제어는 운전 편의성을 보장하고 운전원 실수를 최소화 하도록 선정되며, 예상되는 동적상태(Dynamic Condition)하에서 수동조작의 기민성, 조정 및 반응시간 등의 한계내에서 조작이 가능하고, 예상 수명기간 동안 외형 및 기능적 특성을 유지할 수 있는 충분한 내구성을 갖도록 선정된다. 제어조작의 궤환은 촉각, 청각 및 시각적(지시등의 점등, 지침의 움직임)으로 제공되도록 설계에 반영된다.

제어기에 대한 설계내용은 아래와 같다.

[Redacted text block]	
[Redacted text block]	
[Redacted text block]	
[Redacted text block]	
[Redacted text block]	
[Redacted text block]	
[Redacted text block]	
[Redacted text block]	
[Redacted text block]	
[Redacted text block]	
[Redacted text block]	[Redacted text block]
	[Redacted text block]
[Redacted text block]	[Redacted text block]
	[Redacted text block]
[Redacted text block]	[Redacted text block]
	[Redacted text block]
[Redacted text block]	[Redacted text block]
	[Redacted text block]

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서



18.2.6 경보

경보계통은 허용한도를 초과한 발전소 상태에 대해 운전원에게 즉시 경고하는 중요한 주 제어실 계통이다. 경보 계통은 청각 경보기능, 시각 경보기능 및 운전원 대응기능의 3가지 주요기능으로 구성된다. 주 제어실 경보계통은 즉각적이고 명확한 통보 빠르고 정확한 응답, 손쉬운 인지와 복귀 및 용이한 식별이 가능하도록 인간공학 표준지침을 따른다.

가. 발생시간 또는 우선 순위로 정렬된 경보 목록이 운전원 콘솔에 제공된다.

나. 경보 인지는 운전원 콘솔 또는 안전제어반에서 가능하다.

다. 경보는 다음 3가지 상태 중 하나로 표시된다 : 미인지, 인지 및 제거 상태

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

- 라. 경보는 우선순위에 따라 표현되며 후속 운전원 조치는 경보의 중요도 또는 긴급도에 따라 처리된다.
- 마. 정보계통은 경보 억제방법을 통하여 불필요한 경보를 억제한다.
- 바. 정보처리계통의 경보 처리 및 제어는 주요변수지시 및 정보계통-N과는 독립적이며 경보처리 및 제어에 대한 다양성을 제공한다.

18.2.6.1 정보 우선순위 및 코딩

경보는 운전원이 경보의 상대적 중요성이나 긴급성 및 운전원 조치시간에 기초하여 대응하도록 우선 순위화 된다. 경보들은 3가지 우선순위로 그룹화 된다.

형상코딩은 미믹 다이어그램 기기태그, 공정변수 지시자 및 정보 타일에 경보의 우선순위를 구분하기 위해 적용되며 형상코딩이 적용된 경보 심볼이 표시된다.

경보 심볼의 색상 및 형상코딩은 표 18.2-1에 기술된다.

18.2.6.1.1 정보 점멸율

점멸율은 인지적으로 구분 가능한 점멸을 제공하기 위해 인간공학 지침에 따라 선택된다. 신규로 발생한 경보들은 초당 3회의 점멸율로 표시된다.

18.2.6.1.2 경보음 부호화

뚜렷한 소리 및 음색을 가진 청각 경보가 주제어실에 제공된다.

발생경보(New Alarm), 재생경보(Remind Alarm), 제거경보(Cleared Alarm) 각각에 대해 청각 경보음을 제공한다. 우선순위와 관계없이 발생경보 각각에 대해 운전원 보직별로 구분 가능한 경보음을 제공한다. 재생경보와 제거경보는 우선순위 및 운전원 보직과 관계없이 공통의 경보음을 제공한다. 재생경보음은 운전원이 발생경보를 인지 할 때까지 주기적으로 제공함으로써 운전원의 경보인지를 유도한다.

18.2.6.2 정보 처리

정보 처리는 다음의 특징을 가진다.

- 가. 정보계통은 입력된 각각의 정보신호에 대해 우선순위, 메시지, 경보음, 그룹핑, 표시 위치 등의 정보를 처리한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

- 나. 발전소 운전모드를 고려하여 해당모드에서 불필요한 경고발생을 억제 한다.
- 다. 다중설정치를 가진 변수에 대해 신규경보 발생 시 이전 발생경보를 억제 한다.
- 라. 경보논리와 설정치는 기기상태를 고려하여 적용하며 불필요한 경고 발생을 억제한다. 즉 저출구 압력은 펌프가 동작중임을 나타내는 신호가 존재할 때만 적용된다.

18.2.6.3 경보 표현 및 제어

경보들은 대형정보표시반, 운전원콘솔 정보 FPD 및 주요변수지시 및 경보계통-N 화면 상에서 다양한 형태와 방법으로 제공된다.

- 가. 대형정보표시반상에서의 경보표현

경보정보는 변수 지시자와 기기태그 및 경보타일에 경보심볼로 표현된다. 변수 지시자 및 기기 태그는 대형정보표시반의 발전소 전체 미믹화면상에 공정 경보를 위해 사용된다. 경보타일 표시자는 필수기능 경보, 중요 경보와 계통 수준 경보에 사용된다. 각 경보는 계통, 기기 및 주요 공정문제와 관련된 하나 또는 그 이상의 가능한 경보조건들을 운전원에게 알려줄 수 있다. 대형정보표시반에 표현되는 그룹화된 경보를 위해 특정 경보정보가 운전원 콘솔 정보 FPD의 경보목록에 제공된다.

- 나. 운전원 콘솔 정보 FPD와 경보목록 상에서의 경보 표현 및 접근

운전원 콘솔 정보 FPD의 경보목록은 발생된 우선순위 1, 2 및 3 경보들과 연계된 모든 경보정보를 표현한다. 이 목록은 우선순위 목록, 계통별 목록 및 시간 순서별 경보목록을 포함한 다양한 종류의 목록을 제공한다. 운전원은 이 목록상의 경보를 인지할 수 있다.

- 다. 운전원콘솔 정보 FPD의 미믹화면 상에서의 경보 표현 및 접근

운전원콘솔 화면상에 경보를 표현하는 여러 방법은 운전원으로 하여금 주어진 기능 및 직무를 위하여 효과적인 방식으로 경보정보를 이용할 수 있도록 한다. 또한 운전원이 모든 경보를 효율적으로 접근하고 인지하며 진단할 수 있도록 한다. 18.2.6.1절에서 기술된 경보우선순위와 코딩은 경보가 변수 지시자 및 기기태그에 표시될 때 적용된다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

라. 주요변수지시 및 경보계통-N 화면에서의 경보표현과 접근

중요한 경보목록이 안전제어반에 위치한 주요변수지시 및 경보계통-N 화면에 나타난다. 사고감시계통 유형 A, B, C, D, E 변수와 MI 및 운전지원정보와 관련된 경보가 표시되며 이들은 대부분 미니 대형정보표시반에 표시된다. 경보인지는 경보목록의 경보메시지를 트랙볼로 클릭함으로써 이루어진다.

마. 경보 인지

인간기계 연계는 경보발생 수(단일 또는 다수)에 관계없이 운전원이 용이하게 경보를 인지할 수 있도록 여러 방법을 제공한다.

18.2.6.4 인간공학 요건

경보계통 설계에 적용된 상위수준 설계원칙은 아래와 같다.

상황 인식 : 경보계통은 운전원이 직접적으로 감시하지 않는 계통과 공정상태를 판단하는 주요수단이다. 따라서 경보계통은 대형정보표시반에서 제공하는 발전소 개괄정보 뿐만 아니라 세부적인 경보상태를 운전원에게 제공하여 향상된 상황인식을 유지하도록 한다.

경보표현 형태 : 운전원은 정상운전 시 다수의 개별경보 및 발전소의 과도상태와 사고상태에서 발생하는 많은 경보를 처리해야 하기 때문에 경보의 표현 형태가 중요하다. 운전원들은 경보상태를 유지하거나 정상적으로 복귀한 경보들을 지속적으로 인식해야 한다. 경보계통의 경고기능을 달성하기 위해 경보들의 순차적 표현과 병렬표현에 대하여 신중하게 고려해야 한다. 모든 경보들이 병렬(예를 들어 기존제어실)이라면, 운전원은 덜 중요한 경보로부터 중요한 경보를 구분할 수 없다. 모든 경보가 순차적(예를 들어 페이지 선택을 통한 화면표시기 접근)이라면 운전원은 빠른 시간 내에 중요경보들을 접근할 수 없을 것이다. 대형정보표시반 경보타일(병렬)과 화면표시기 경보목록(순차)을 통해 두가지 방법을 균형있게 적용해야 한다.

명확성 : 경보 표현의 모호성을 피하는 것이 특히 중요하다. 고정된 위치 경보표현과 보다 상세한 경보메시지 모두는 명료해야 하고 운전원에 의해 다양하게 해석되지 않도록 간결한 메시지여야 한다. 의도된 의미가 확실히 전달되도록 지나치게 암호화가 되지 않도록 하면서도 충분한 정보가 제공되어야 한다.

강조성 : 강조성은 경보의 의도된 경고기능 때문에 경보계통 설계에 밀접히 연관되어 있다. 경보는 주제어실 내에서 강조되는 다른 인간-기계 연계설계 형태보다 운전원의 경각심을 성공적으로 이끌어 내야 한다. 추가적으로, 개별경보의 중요성, 즉 우선순위가 표

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

시되도록 경보 강조성이 적용되어야 한다.

18.2.7 전산화절차서

전산화절차서는 컴퓨터화된 운전지원시스템으로 중요한 설계 특징은 다음과 같다.

- 가. 절차서 수행과 관련된 2차업무 감소
- 나. 절차서에서 수행해야 할 사항 표시
- 다. 절차서 수행과 관련된 공정정보 및 제어기 표시
- 라. 절차서 화면 이외의 화면과 협업운전

18.2.7.1 전산화절차서 운영

운전 개념은 기본적으로 기존 발전소와 동일하게 유지된다. 발전팀장은 절차서 수행과 관련된 전반적인 사항을 통제한다. 원자로차장(RO) 및 터빈차장(TO)은 발전팀장에 의해 할당된 각자의 절차서 단계를 수행한다. 비상운전절차서는 운전조가 협력하여 수행한다. 전산화절차서는 동일절차서 내에서 각 운전자의 현재 수행단계를 보여줌으로써 운전원 사이의 협조를 지원한다. 발전팀장은 구두로 명령한다.

18.2.7.2 전산화절차서 제공위치

전산화절차서는 다음과 같은 위치에 제공 가능하다.

- 가. 발전팀장(SS) 운전원콘솔
- 나. 안전담당(STA) 운전원콘솔
- 다. 원자로차장(RO) 운전원콘솔
- 라. 터빈차장(TO) 운전원콘솔
- 마. 전력설비운전원(EO) 운전원콘솔

절차서 화면이 전환되더라도 수행정보는 상실되지 않는다. 운전원이 절차서를 수행하지 않을 때, 운전원은 모든 운전원콘솔의 표시화면을 다른 목적으로 사용할 수 있다.

18.2.7.3 다중 절차서 수행

전산화절차서는 다중 절차서 수행을 지원한다. 그러나, 절차서 간의 전환은 운전원에 의해 이루어진다. 운전원이 적절한 절차서를 실수 없이 전환할 수 있도록 절차서 화면은

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

정확한 정보를 제공한다.

18.2.7.4 절차서 구동

절차서를 구동하기 위한 3가지 방법이 있다.

- 가. 절차서 목록에서 하나의 절차서를 선택함으로써 시작할 수 있다. 모든 절차서는 잘 분류되어 있으므로, 운전원은 신속한 검색을 위해 하나의 분류(범주)를 선택할 수 있다.
- 나. 절차 단계 수행중 절차서 연계버튼을 이용하여 다른 절차서로 전환할 수 있다.
- 다. 계통화면에서 절차서 항목을 선택함으로써 해당 계통과 관련된 절차서를 시작할 수 있다.

18.2.7.5 절차서 수행상태 유지

전산화절차서는 수행중인 절차서 내의 단계에 대한 수행정보를 유지한다. 모든 단계는 “수행완료”, “수행중”, “미수행” 중의 한가지 상태를 갖고 있으며, 적절한 표시에 의해 구분된다. 절차서를 시작한 후 종료할 때까지 상태유지정보는 기록되고 지시된다.

18.2.7.6 계속수행단계 처리

전산화절차서는 계속수행단계의 감시기능을 지원한다. 운전원이 하나의 절차서를 차례차례 수행할 때, 계속수행단계는 전산화절차서 감시 기능에 등록된다. 등록된 후, 전산화절차서는 내부에서 등록된 스텝들을 계속해서 평가한다. 계속수행단계의 진입조건이 만족되면 운전원에게 알려준다.

18.2.7.7 상호참조지원

지시사항에 상호참조 되어 있는 모든 공정 정보와 제어기기는 운전원이 그 지시사항을 쉽게 평가할 수 있도록 지시사항과 인접되게 표시된다. 계통화면과 그래프, 테이블 등은 절차서 화면의 화면전환에 의해 직접 호출된다.

18.2.7.8 확인 지원

현재단계의 진입조건 및 단계 목표 완료는 공정정보와 운전원 입력을 기반으로 하는 컴퓨터에 의해 평가 된다. 그렇지만 운전원은 컴퓨터 결정(판단) 사항에 대한 최종 권한을 갖고 있으며, 컴퓨터 판단 결과를 번복할 수 있다. 또 운전원은 절차서간의 전환과 단계

간 전환을 개시한다.

18.2.7.9 절차서 표시 형식

절차서 표시형식은 운전원콘솔 표시형식에 있어서 일관성을 유지하기 위해 다른 표시형식처럼 인간공학 지침을 따른다. 절차서 표시는 지시사항의 계층적 구조 표시로 인해 운전원의 인지와 상황인식을 향상시키도록 설계된다. 그 지시 사항들은 그래픽 형태로 체계적으로 구성한다.

18.2.7.10 인간공학 요건

전산화절차서 설계에 적용된 인간공학 상위 설계원칙은 다음과 같다.

일관성 : 전산화절차서의 경우 기존 한국표준형원전 주제어실 설계에는 적용되지 않았던 시스템으로, 비상운전 절차를 수행하는 핵심 설계요소이다. 따라서 설계방식 및 화면이동에 있어 다른 인간-기계연계 자원과의 일관성 유지는 전산화절차서의 유용성을 보장하기 위해 중요한 설계원칙이다.

직무유용성 : 적합한 전산화절차서를 개발하기 위해서는 직무 유용성을 고려한, 직무 지향적 설계개념이 적용되어야 한다. 여기에서 직무지향적 설계개념이란 직무목적 및 요건, 정상 및 비상조건, 적합한 정보표현, 불필요한 데이터 및 제어기기 최소화 등에 대해 종합적으로 고려한 설계를 의미한다. 또한 전산화절차서 설계에는 적합한 절차서 형식을 보장하기 위한 절차서 개발지침과 적합한 절차서 항목구성을 위한 발전소 절차서 지침(예, 비상절차 지침) 등에 대해서도 고려하여야 한다.

운전원 역할 : 시스템 설계시 운전원을 제어의 주체로서 고려하는 것은 복잡한 운전상황에서의 상황인식과, 적절한 작업부하 수준에서의 경계를 유지시키는데 대단히 중요하다. 따라서 전산화절차서의 설계시 자동화 설계가 가능하다는 이유만으로 설계가능한 모든 요소를 자동화에 포함시켜서는 안되며, 운전수행과 제어의 주체 및 책임은 반드시 운전원이 되도록 하는 기능설계가 수행되어야 한다.

예측 및 결정 지원성 : 비 확정적 예측 지원기능(예를 들어 인공지능에 기반한 결정 지원기능)은 주제어실 설계에서 반드시 피해야 한다. 왜냐하면 비 확정적 지원기능에 의해 설계된 시스템은 운전원이 중요상황 발생시 불확실한 시스템에 의존한다는 것을 의미하고, 궁극적으로 결과의 정확성을 신뢰할 수 없기 때문이다. 이와 반대로 특정 문제점을 적절하게 제시하는 확정적 지원기능은 인간-기계연계시스템의 수행도를 증가시키는 적절한 수단이 될 수 있다. 그러나 전산화절차서에 구현된 컴퓨터화된 각종 결정지원기능은 예측기능을 제공하는 것이 아니라, 단지 확인지원 기능으로 역할을 수행한다. 즉 컴퓨터화된 시스템 자체가 운전원을 주도하거나 운전원 역할을 대신하여 수행할 수 없다.

18.2.8 안전변수지시계통

안전변수지시평가 응용프로그램은 대형정보표시반 연속 지시와 화면표시장치(VDU) 정보 지시가 연계되어 별도의 감시 및 지시계통을 사용하지 않고 인간-기계 연계를 위한 안전 변수지시계통 요건을 만족한다. 안전변수지시계통은 사고 기간 중에 주로 사용되나 인간 공학 측면에서 발전소 정상운전 동안에도 발전소 상태를 파악하기 위해 안전변수와 같은 정보취득이 필요하다. 발전소 운전 연계는 자주 사용되지 않는 계통의 필요성을 배제하고 안전변수지시계통 요건을 전반적인 인간-기계 연계 설계에 통합함으로써 개선된다. 안전변수지시계통 기능은 안전변수지시평가계통에 구현된다. 안전변수지시평가계통 정보는 인간-기계 연계 정보 계층구조에 통합된다.

다음의 정보 요건은 운전원에게 필수안전기능 정보를 제공한다.

18.2.8.1 대형정보표시반

가. 필수안전기능 정보

나. 선택된 안전기능 상태점검

다. 공정 변수 정보

18.2.8.2 정보 지시 계층구조

정보 지시 계층구조의 필수안전기능 구역과 하위 페이지 정보 정보(즉, 2단계 및 3단계 수준)는 성공경로 문제점 및 필수안전기능 변수 문제점을 표시한다.

인간공학 프로그램 계획, 인간-기계 연계 설계 및 통합 계획, 인간공학 확인 및 검증 계획 등에 기술된 바와 같이 안전변수지시평가계통에 대한 설계, 반복적인 설계평가, 확인 및 검증 등이 전반적인 설계공정의 일부로서 수행된다. 인간공학 지침에 기술된 인간공학 원칙들도 안전변수지시평가계통 설계에 반영된다.

정보는 필수안전기능 정보논리에 의해 필수안전기능이 유지되지 않음이 확인될 때마다 발생된다. 대형정보표시반상의 안전변수지시평가계통 정보 타일은 운전원의 필수안전기능 평가에 매우 유용한 발전소 상황정보를 연속적으로 제공한다. 특정 필수안전기능이 상실될 경우 대형정보표시반상에 제공되는 해당 필수안전기능 정보타일에 정보가 표시된다. 관련 정보 조건 중 가장 우선순위가 높은 정보가 타일에 표시된다. 지원 정보는 정보 화면페이지 계층구조 내 필수안전기능 구역의 정보 타일을 통해 이용 가능하다.

정보 지시 계층구조 내의 필수안전기능 구역은 발전소 안전상태의 신속하고 간결한 이해를 지원하는 조직화되고 일관된 형식의 정보를 다음과 같이 포함하고 있다.

단계 1 화면페이지

필수안전기능 감시 페이지는 대형정보표시반과 동일한 필수안전기능 경보 타일을 제공한다. 경보 정보는 운전원을 적절한 단계 2 필수안전기능 화면페이지로 안내하기 위해 제공된다.

단계 2 화면페이지

단계 2 화면페이지는 다음 9개의 필수안전기능 각각에 대해 제공된다.

- 가. 노심반응도 제어
- 나. 필수 보조계통의 유지
- 다. 원자로냉각재계통 재고량 제어
- 라. 원자로냉각재계통 압력 제어
- 마. 노심 열 제거
- 바. 원자로냉각재계통 열 제거
- 사. 원자로건물 격리
- 아. 원자로건물 온도 및 압력 제어
- 자. 원자로건물 가연성기체 제어(또는, 방사능 방출 제어)

| 2

각각의 페이지는 필수안전기능 경보 발생 원인에 대한 정보를 제공한다.

단계 3 화면페이지

단계 3 화면페이지는 계통 지시 계층구조 내에 제공되는 발전소 미믹 디스플레이와 동일하다. 예를 들어 재고량 제어 하부에 있는 안전주입 화면페이지는 계통 미믹 지시 계층구조 내에서도 존재한다. 이들 디스플레이는 단계 2 화면페이지에 의해 표현되는 필수안전기능을 만족시키기 위해 사용된다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

운전원 훈련 프로그램은 안전변수지시계통 사용 지시서를 포함하고 있으며, 지시서를 포함한 사용자 매뉴얼은 운전원 참고문서로서 주제어실에서 이용 가능하다.

18.2.8.3 인간공학/인허가 요건

안전변수지시평가계통은 다음의 설계기준들을 만족한다.

안전변수지시계통 요건

인간-기계 연계는 안전변수지시계통과 관련된 정상 및 사고 후 디스플레이를 포함한다. 안전변수지시평가 알고리즘 및 지시는 정보처리계통에 통합된다. 이것은 운전원이 안전변수지시계통에 접근하기 위해 정상운전 동안 사용하는 정보와 동일한 연계가 사용되도록 한다. 기존발전소의 안전변수지시계통은 통상 비상운전절차서 수행과 통합되지 않고 새로운 독립 계통으로 제공된다.

안전변수지시평가계통은 비상대응설비를 위한 데이터 수집 및 지시에도 사용되며, 부적절한 노심냉각 변수 감시를 위한 주요 지시용으로 사용된다.

직무 유용성

안전변수지시평가계통은 정상 및 비정상 운전 동안 운전원이 발전소 안전상태를 신속하게 감시하고 진단할 수 있도록 통합된 발전소 정보를 제공한다. 안전변수지시평가계통은 필수안전기능을 감시하고, 필수안전기능이 유지되지 않을 때 시각 및 청각 경보를 제공함으로써 이러한 목적을 만족시킨다.

다음은 안전변수지시평가계통 기능이 인허가 요건을 어떻게 만족시키는지 요약한 것이다.

- 가. 정보처리계통의 정보 FPD를 통해 주제어실 운전원에게 필수안전기능 및 성공 경로에 대한 간결한 지시를 제공한다.
- 나. 정보처리계통내 전용의 필수안전기능 화면페이지 계층구조를 통해 필수안전기능 및 성공경로 정보를 제공한다. 이 정보는 주제어실내 어떠한 정보처리계통 정보 FPD 화면표시장치에서도 운전원이 편리하고 신속하게 이용할 수 있다. 이 정보는 안전제어반뿐만 아니라 원자로차장(RO), 터빈차장(TO) 및 발전팀장 운전원콘솔에서 정상운전 시 사용된다.
- 다. 대형정보표시반은 모든 필수안전기능 정보와 주요 필수안전기능 변수들을 주

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

제어실 운전원에게 연속적으로 보여주는 고정 위치 지시반이므로 안전변수지시계통 정보의 연속지시 요건을 만족한다.

- 라. 안전변수지시평가 응용 프로그램을 제공하는 정보처리계통은 99.99 % 이상의 신뢰도를 가지고 있다.
- 마. 정보처리계통은 어떠한 단일 하드웨어 고장도 수용 가능함에 따라 단일고장으로 인해 어떠한 기능도 불능화되지 않는다. 정보처리계통은 모든 안전계통으로부터 충분히 분리된다.
- 바. 정보처리계통 인간-기계 연계 설계는 인간공학 프로그램 계획에 정의된 체계적인 인간-기계 연계 설계 공정에 따라 개발된다. 또한 포괄적인 인간공학 지침을 이용하여 설계된다.
- 사. 필수안전기능 요소들과 관련된 주요 변수들은 정보처리계통의 필수안전기능 감시 계층구조 내에 포함되어 있다. 이 계층구조 내의 정보범위는 발전소 안전상태 판단을 위해 안전변수지시계통에서 요구하는 기능 범위를 만족한다.
- 아. 안전변수지시평가계통은 비상운전지침서 개발과 상호 보완적(병렬) 형식으로 개발된다. 설계 공정 기간 중에는 비상운전지침서가 사용된다.

18.2.9 명판 및 구획화

기능적으로 유사한 계기들의 그룹은 경계표시선에 의해 묶어 표시하며, 경계표시 영역은 계기의 계통 또는 기능별로 묶어 명판이 부착된다. 각 기기에는 문자/숫자 지정 및 명칭을 기술한 명판이 부착되며, 불필요한 반복을 피하기 위해 계층적 명판 체계가 제공된다. 계통 및 부계통명은 경계표시영역내 제어기와 지시기 그룹에 전체명칭으로 부여되며, 계통명은 각 개별 기기의 명판에 반복하여 기술되지 않는다(일부 기기명판에는 운전성 향상을 위해 계통명칭을 부여한 예는 있다). 명판이 상위계층으로 적용될 경우 글자의 높이와 획의 폭은 증가된다. 글자크기, 명판색깔, 약어, 형태, 재질, 위치 및 부착방법은 인간공학 설계 지침에 따른다.

가. 최소 글자크기

- 1) 글자 높이는 71 cm(28 in) 가시거리를 기준으로 단일기기는 0.48 cm(3/16 in), 기기들의 소그룹(부그룹)은 0.64 cm(1/4 in), 기기들의 대그룹은 0.95 cm(3/8 in), 현장제어반은 1.27 cm(1/2 in), 그리고 운전원 콘솔 및 제어반 경우 한글은 최소 5.08 cm(2 in), 영어는 최소 2.54 cm(1 in)로 한다.
- 2) 글자의 폭은 특별한 경우를 제외하고 글자높이의 3/5 을 적용한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

나. 명판 색상

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

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

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

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

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

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

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

사. 채널식별

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

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

- 1) 계열 A/채널 A는 적색
- 2) 계열 B/채널 B는 녹색
- 3) 채널 C는 황색
- 4) 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.

18.2.10 비상대응설비(ERF)

비상대응설비는 비상기술지원실(TSC), 운전지원실(OSC) 및 비상대책실(EOF)로 구성된다. 비상기술지원실은 발전소 사고상황중에 발전소 운전요원들을 지휘하고 기술적인 지원을 하며, 운전지원실은 운전지원 요원들이 모여서 현장업무를 지원하기 위한 발전소내의 집합장소이다. 비상대책실은 발전소 밖에 있는 지원설비로서 발전소 외곽 보호수단을 결정하기 위해 필요한 발전소 정보를 감시한다.

이러한 비상대응설비에 대한 위치선정 및 배치시 인간공학적 측면의 검토가 이루어지며 관련 기기가 적절히 배치되고 모든 필요한 정보자료가 구비되도록 정보감시, 자료구비, 배치설계 및 환경조건에 대해 인간공학적 검토를 수행한다.

비상대응설비 계통은 기계적 구성품은 포함하지 않고, 소프트웨어 및 관련설비로 구성된다. 완전한 비상대응설비 계통은 관련 규제문서에 언급된 것처럼 비상대응설비와 안전변수지시계통에 대한 규제요건을 만족한다. 이 계통은 비상기술지원실, 운전지원실, 비상대책실, 사고감시계측기기 및 안전변수지시계통으로 구성된다.

비상대응설비 계통은 발전소 운전 중에 다음과 같은 기능들을 수행한다.

- 가. 비상대응설비 계통은 정상적인 발전소 기동기간 동안이나 고온정지 또는 상온정지기간 동안에는 사용되지 않는다. 비상대응설비 계통 그 자체로는 기동이나 정지시 필요하지는 않다. 안전변수지시계통과 다른 계통 또는 통신설비 같은 비상대응설비에 사용된 설비들은 발전소 설계 수명기간 동안 어느때 라도 사용할 수 있어야 한다. 안전변수지시계통과 사고감시계측기기는 항상 운전가능해야 하고 서로 연결(on-line) 상태에 있어야 한다. 비상대응설비실에는 사업자에 의해 결정된 기준에 준하여 관련 요원들이 상주하는데, 비상기술지원실에 상주직원이 없을 때는 비상기술지원실 공조설비의 작동은 필요하지 않다.
- 나. 비상대응설비 계통은 발전소의 어떠한 상황에서도 운전가능해야 하나 발전소 정상운전중에는 사고감시계측기기와 안전변수지시계통을 제외하곤 사용되지

않는다. 비상대응설비 계통의 정상적인 운전은 과도적인 또는 사고시 발전소 상태에서 사용된다.

다. 과도적인 발전소 운전 동안에 비상대응설비가 운영될 수 있어야 하며 사업주에 의해 결정된 필요한 요원들이 모두 상주할 수 있어야 한다.

18.2.10.1 비상기술지원실



비상기술지원실은 직접적인 발전소 제어기능은 없다. 비상기술지원실의 기능은 비상시 발전소를 관리하고 운전요원에게 기술적인 지원을 제공하는 것이다. 또한, 주제어실 출입을 줄이기 위해 주제어실에서 수행하는 일상적인 직무와 통신업무를 수행한다. 비상기술지원실은 비상대책실이 그 기능을 수행할 때까지 운영된다. 비상기술지원실 운영과 관련된 기능은 사고전과 사고중에 획득한 자료를 분석하는 것과 비상대책실, 주제어실 및 원자력안전위원회의 교신을 포함한다.

2



18.2.10.2 운전지원실

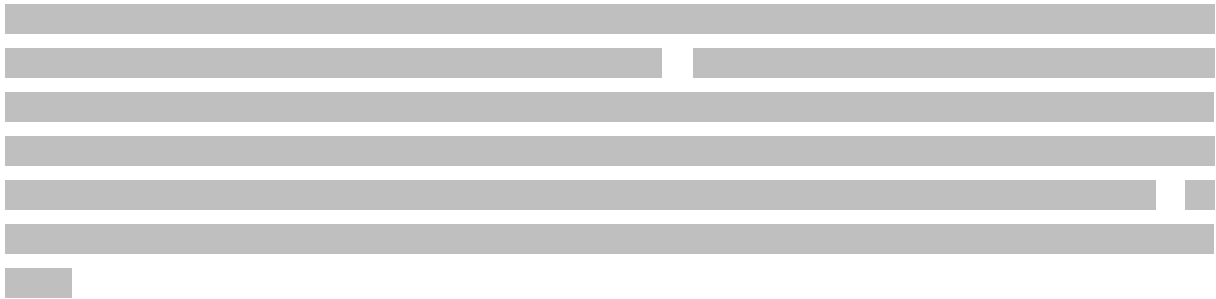
운전지원실은 직접적인 발전소 제어기능은 없다. 운전지원실은 발전소내에 위치하며 비상기술지원실과 주제어실로부터 독립되어 비상시에 발전소 정비 지원을 수행하는 곳이다. 운전지원실은 주제어실, 비상기술지원실, 비상대책실 그리고 발전소외 간에 신뢰할만한 통신을 할 수 있어야 한다.

운전지원실에는 오직 통신장비만이 제공되는데 이 장비는 비상상태 중에 비상기술지원실, 주제어실, 비상대책실 그리고 필요한 발전소 외부와의 신뢰할만한 통신을 수행하기에 충분하다.

18.2.10.3 비상대책실

비상대책실은 관련 요원이 근무할 수 있도록 충분한 작업공간이 확보되어 있다. 추가로 발전소 기록과 최신 절차서를 보관할 공간이 준비되어 있다.

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



18.2.10.4 안전변수지시계통과 사고감시계측기기

안전변수지시계통은 컴퓨터에 의해 제어되는 계통으로 주제어실 운전원들이 사고상태를 감시하고 발전소의 상황을 판단하는데 필요한 정보를 제공한다. 또한, 사고감시계측기기는 사고 상황에서 신뢰할 만한 주요 발전소 변수들을 주제어실 운전원들에게 제공한다. 안전변수지시계통이 단독으로 사고감시계통을 구성하진 않으며 안전변수지시계통과 사고감시계측기기는 발전소 제어기능이 없다.

안전변수지시계통의 기능은 주제어실 근무자가 정상운전 및 사고 중 또는 그 후의 발전소 상태를 판단하는 것을 지원한다. 안전변수지시계통의 제어는 운전원의 키보드 입력에 의해 수행된다. 사고감시계측기기의 기능은 규제지침서 1.97에 기술된 변수에 대하여 주제어실에서의 감시기능을 제공한다. 이 변수들은 사고에 대한 영향을 최소화시키는데 필요한 것이다.

18.2.11 안전성관련 현장 제어반

| 1

안전성관련 현장제어반은 주제어실 운전원과 연계하여 현장운전원이 제어반에 설치되어 있는 계기들을 통하여 발전소를 효율적으로 제어하고 안전한 상태로 유지시키며, 사고 발생시에는 주제어실과 연계하여 발전소를 정상상태로 복구시키는 기능을 수행하는 설비이다.

| 2

현장제어반 외형은 현장제어반용 인간공학 기준 및 지침을 만족하는 공급사 표준모델들이며 제어반에 배치된 계기들에 대한 설계 검토는 공급자 문서 및 도면 등을 통해 이루

| 1

어지며 인간공학설계조직에 의해 지속적으로 수행된다.



1




Intentionally Blank

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

표 18.2-1

경보 우선순위, 색상 및 형상표식

우선순위	색 상	형 상	정 의
1순위	노란색		<ul style="list-style-type: none"> - 원자로 트립 또는 발전소 정지를 일으키는 경보 - 방사능 방출과 관련된 정보 - 신속한 운전의 조치를 필요로 하는 경보 - ESF 작동과 관련된 경보
2순위	노란색		<ul style="list-style-type: none"> - 발전소 정지를 일으킬수 있는 16장 기술지침서 위배와 관련된 경보 - 정해진 시간에 조치되지 않을 경우, 발전소 정지 또는 방사능 누출을 일으킬 수 있는 경보
3순위	노란색		<ul style="list-style-type: none"> - 계통 기능저하 등 발전소 운전성에 영향을 미치는 경보 단, 발전소 정지, 방사능 누출, 16장 기술지침서 위배 등을 야기시키지는 않는 경보

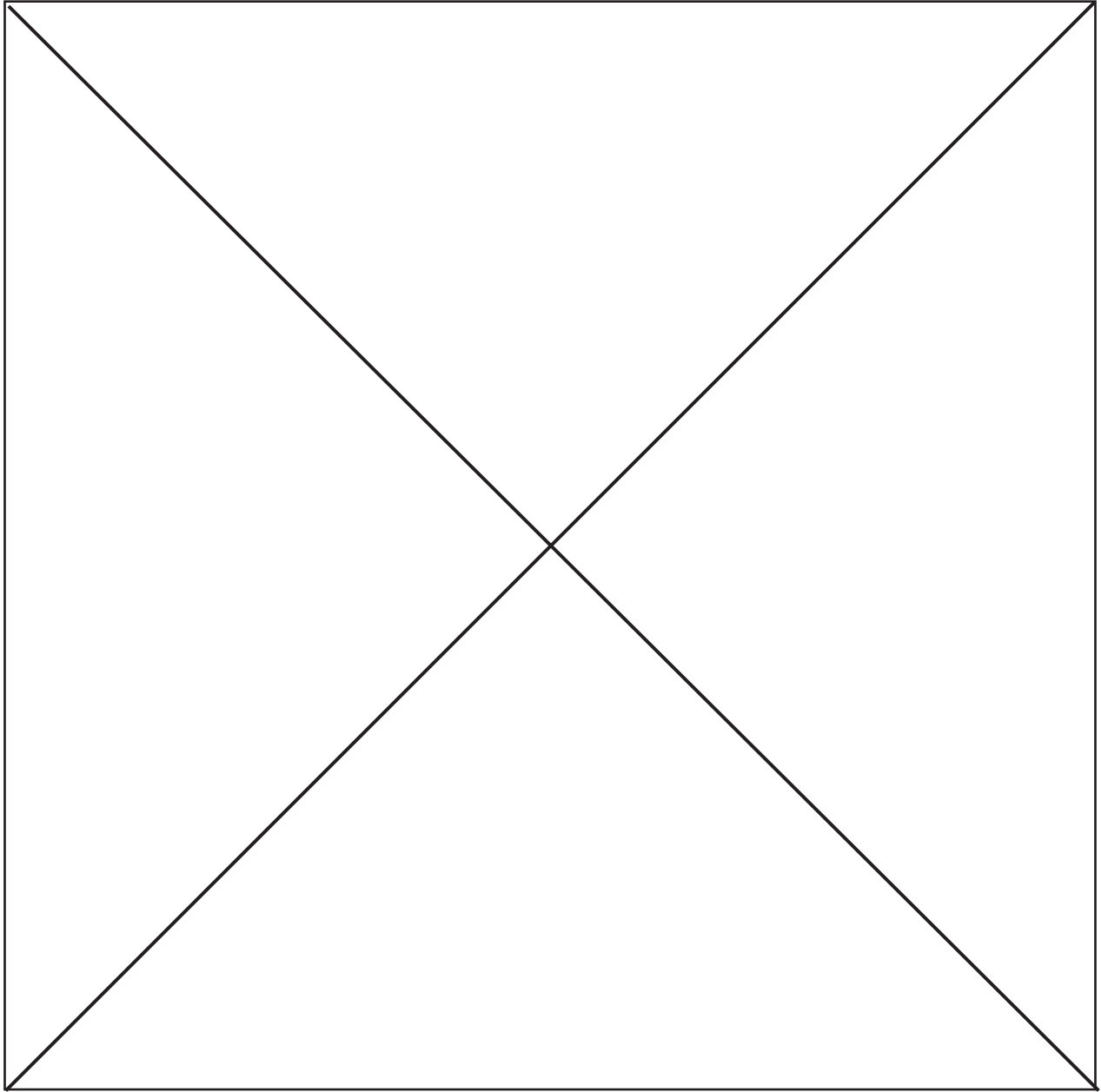
신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

표 18.2-2

경보 절차

조 건	운전원 행위	현장 접점	시각경보	청각경보
Normal	None	Close (or Open)	Off	Silent
Alarm	None	Open (or Close)	Flashing	Sounding
Return to Normal Before Acknowledge	None	Open (or Close)	Flashing	Silent
Alarm	Acknowledge	Open (or Close)	On	Silent
Normal	Acknowledge	Close (or Open)	On (Light Yellow)	Silent
Return to Normal After Acknowledge	None	Close (or Open)	On (Light Yellow)	Silent
Normal	Acknowledge	Close (or Open)	Off	Silent

-
- 1) Reminder audible repeats every minute until acknowledgment
 - 2) Cleared alarm audible is applied to only priority 1 alarm.



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

주제어실

그림 18.2-1

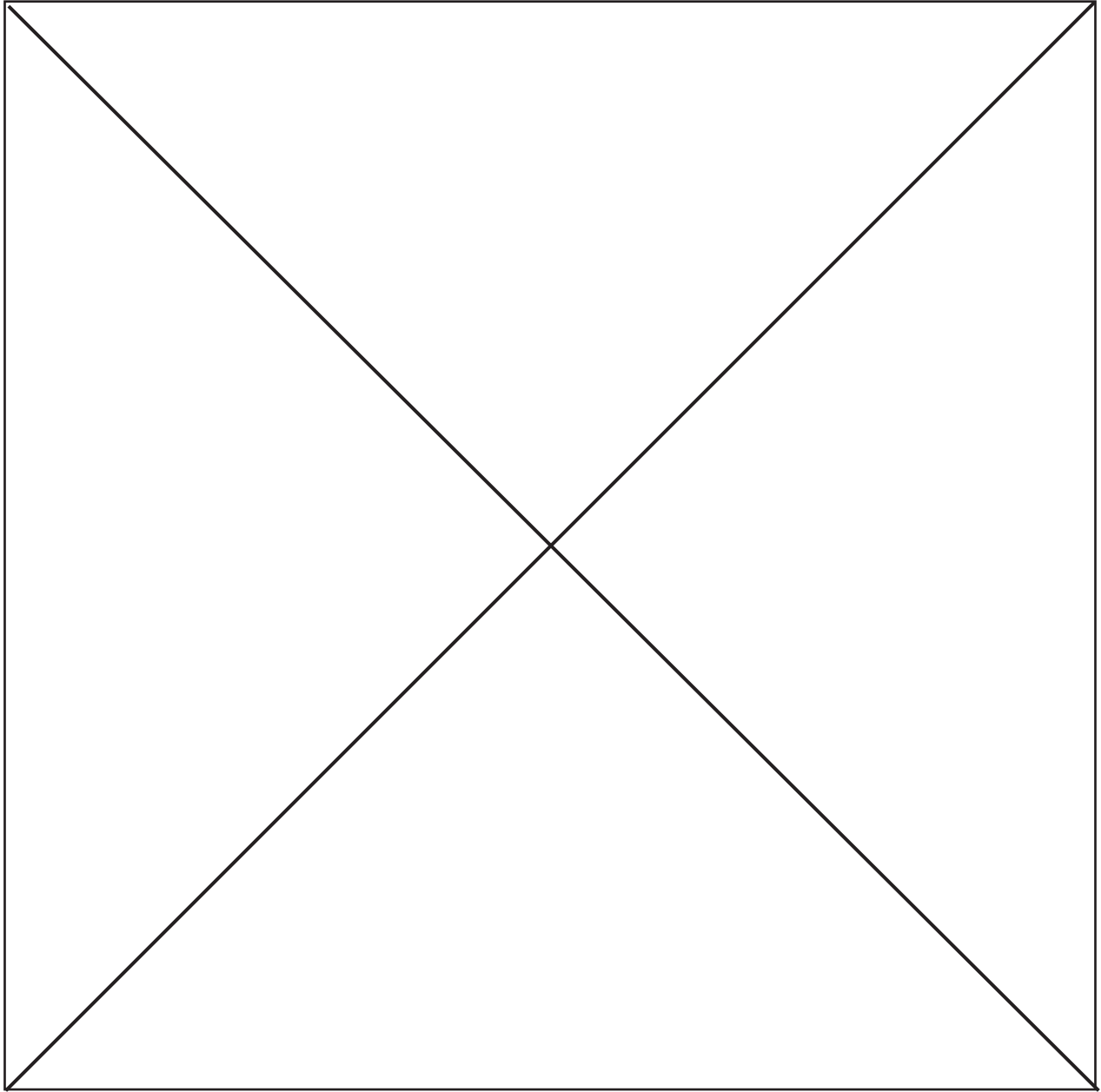
최종안전성분석보고서에서 제공



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

주제어실 감시각

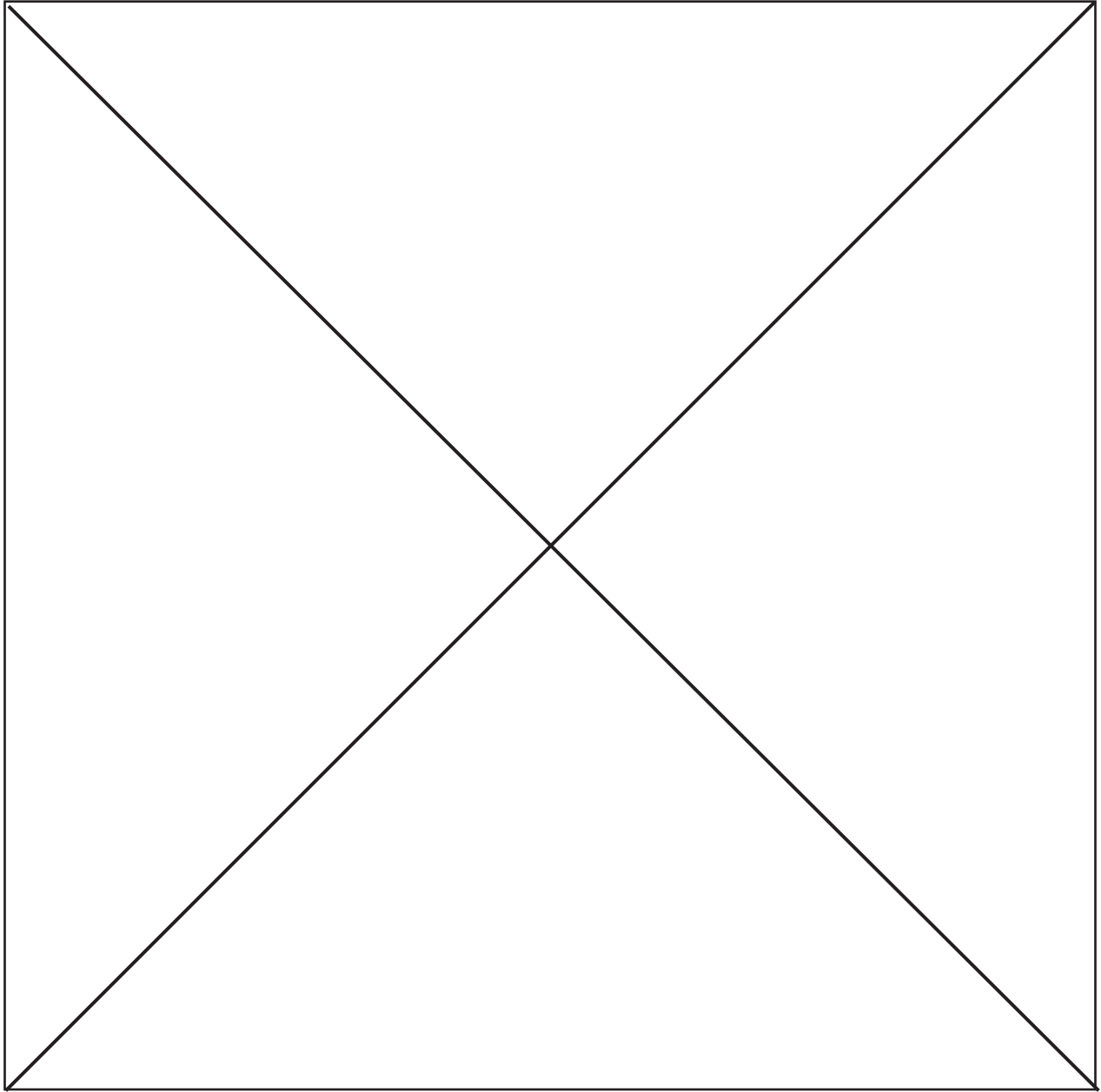
그림 18.2-2a



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

운전원콘솔 감시각

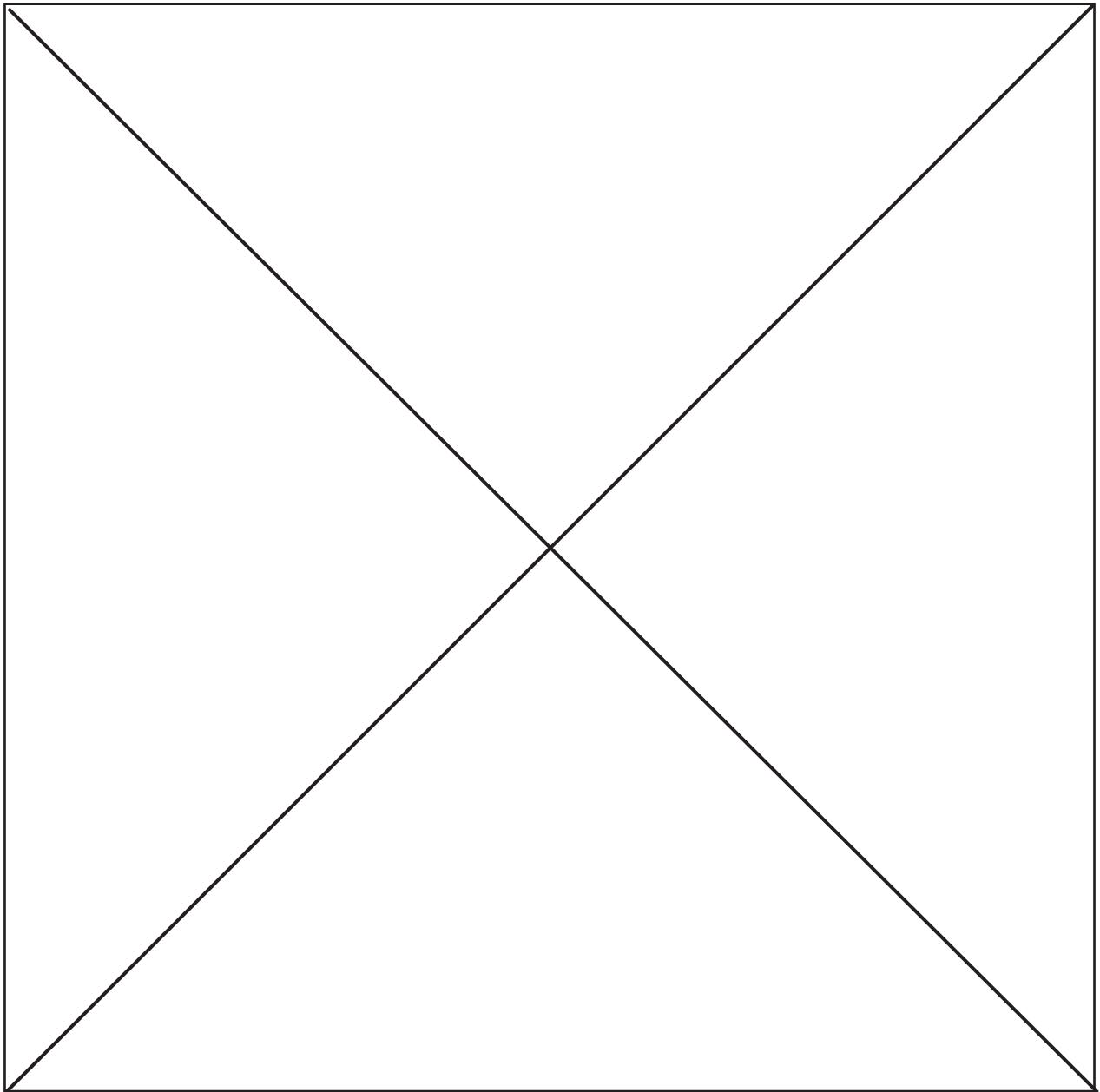
그림 18.2-2b



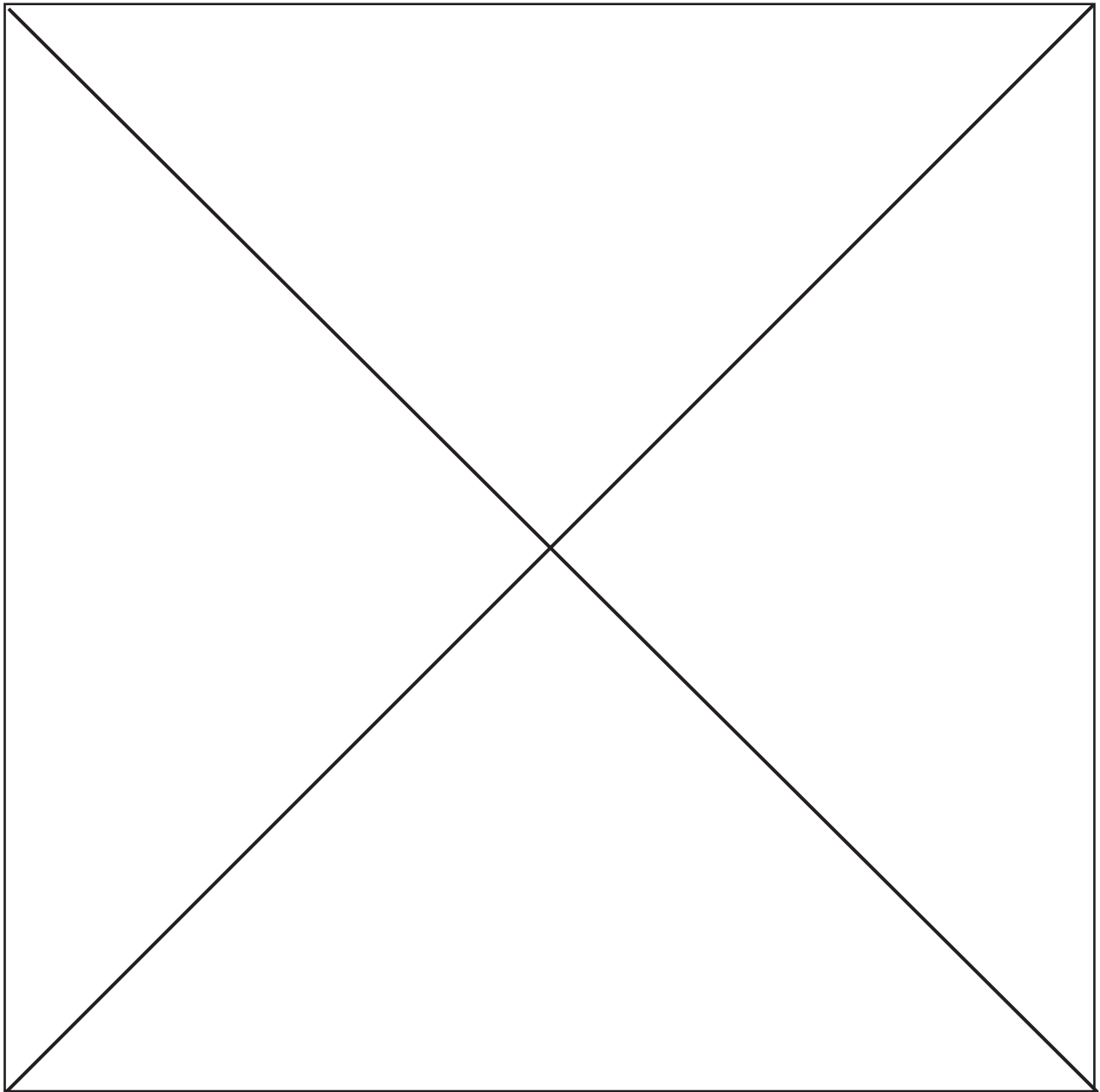
한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

주제어실 운전원 이동 공간

그림 18.2-3



	<p>한국수력원자력주식회사 신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서</p>
<p>운전원콘솔 1대 또는 2대 고장 시 운전전략</p> <p>그림 18.2-4a</p>	



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

운전원콘솔 3대 고장 시 운전전략

그림 18.2-4b

18.3 원격정지실 설계

원격정지실은 주제어실 설계와 동일한 인간공학 원리를 적용하며 발전소 안전운전에 적합한 인간-기계 연계를 보장함으로써 규칙 제 25조 및 일반설계기준 19의 요건을 만족시킨다. 원격정지실에 대한 인간공학 원리는 18.1절에 기술된 바 있으나 보다 상세한 기술 사항 및 설계기준은 본 절에서 기술한다. 인간공학은 원격정지실의 운전성 측면에서 효율적이고 안전한 운전을 도모하도록 적용된다. 원격정지실 설계는 필요정보의 이용성, 수행될 직무를 위한 제어의 적합성, 전반적인 작업공간의 효율성 및 환경조건의 적합성 등의 관점에서 운전원에게 어떤 영향을 미치는가를 고려한다.

18.3.1 원격정지실 작업공간

원격정지실의 배치도는 그림 18.3-1에 나타나 있다. 원격정지실은 주제어실로부터 접근이 용이하며 일반인의 출입이 제한된 지역에 위치한다. 원격정지실은 정비성과 운전성을 고려하여 설계되고 필요한 만큼의 관련 도면을 보관하기 위한 적절한 공간이 제공된다.

18.3.1.1 신고리 5호기와 6호기 유사성

신고리 5호기와 6호기의 원격정지실은 실내환경(온도, 습도, 조명 등), 평면배치, 기기 배열, 콘솔 크기와 모양이 동일하게 적용된다. 문서, 명판, 용어, 약어 역시 동일하고 이러한 유사성은 구매규격서, 발전소 절차서, 기타 지침서 뿐만 아니라 명판의 형식, 글자높이 및 폭, 전문용어, 색상 및 설치 등에도 적용한다.

18.3.1.2 거울형 대칭

거울형 대칭은 운전원 실수를 증가시킬 수 있고 교육훈련의 효과에 부정적인 영향을 미칠 수 있으므로 원격정지실 설계시 배제한다.

18.3.1.3 거주성

원격정지실의 공조설비는 운전원이 발전소 안전정지 운전을 수행할 수 있도록 방사선 및 연기 제거 기능을 제공하고 있다.

18.3.1.4 접근성

원격정지실의 접근은 지나친 통행이나 소란을 금하도록 제한되고 통제된다. 원격정지실 관련자가 아닌 모든 발전소 직원은 방문자로 간주되어 발전팀장의 승인 없이는 원격정지실로 들어갈 수 없다. 원격정지실의 출입은 주제어실과 동일하게 설계되어 있다.

18.3.1.5 저장공간

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 보관하기 위한 적절한 공간이 확보되어 있다.

18.3.1.6 정비

원격정지반은 발전소의 특수한 운전모드나 주기적 시험시에만 사용되기 때문에 빈번하고 힘든 정비가 불필요하다. 원격정지실은 일반 유지정비활동을 위한 콘솔 설계, 공간(room)배치와 주위환경이 잘 고려되어 있다. 공간 배치시 콘솔 앞뒤에 충분한 여유공간이 주어지도록 고려한다. 원격정지반은 착석식 콘솔형태이며, 뒷편에서 문을 열고 쉽게 내부접근이 가능하도록 되어 있고, 화재방호벽, 내진 지지대 및 내부 케이블 전송로가 정비시 장애가 되지 않도록 되어 있다. 주기적 정비시 사용하기 위해 임시조명용 콘센트가 설치되어 있다.

18.3.1.7 운전원 편의

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

18.3.2 원격정지실 구성

원격정지실 구성은 신형경수로1400을 기반으로 설계된다. 원격정지실에는 주제어실 운전원콘솔과 같은 종단면도를 가진 착석식 운전원콘솔 형태의 원격정지반 1대가 중앙에 배치되며, 이는 발전소 전반의 운전상태 지시 및 경보 화면을 위해 제공되는 정지운전표시반(SODP)을 포함한다.

18.3.2.1 원격정지실 구성 설계기준

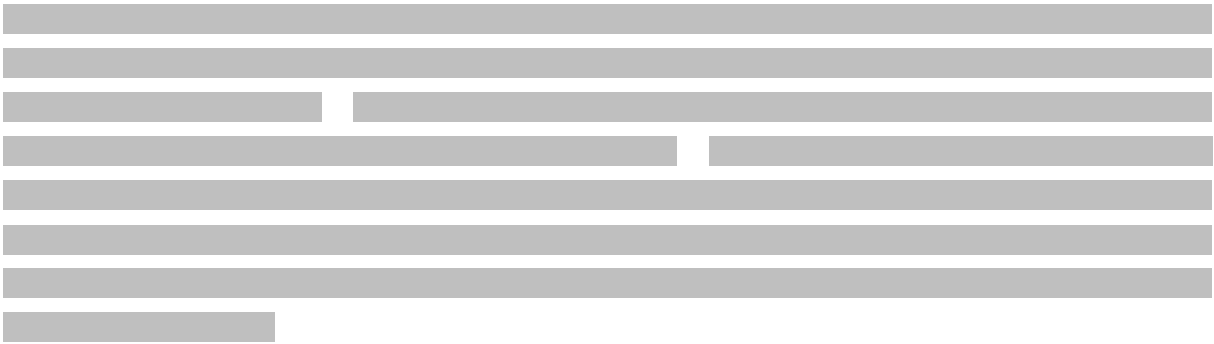
원격정지반은 주제어실 운전원콘솔과 같은 종단면도를 가진 원격정지실 내에 있는 착석식 운전원콘솔이다. 원격정지반상의 계통/기기 배치는 주제어실의 운전원콘솔과 가능한 같은 배치 및 형식을 사용한다. 또한, 주제어실 운전원콘솔에 적용된 구획화, 색상, 코딩 및 명판에 대한 기준이 원격정지반에도 적용된다. 원격정지실은 원격정지반, 정지운전표시반(SODP) 및 그림 18.3-1에 묘사된 운전원 지원용 책상 등으로 구성되어 있다.

원격정지실은 주제어실의 운전원 요건을 수용하여 운전의 유연성을 제공하고 있다. 원격정지실은 원자로를 고온대기상태로 가져가기 위해 원자로차장(RO) 1명, 터빈차장(TO) 1명으로 운전된다. 경우에 따라, 운전원이 추가적으로 원격정지실 운전 참여할 수 있다.

2

18.3.2.1.1 원격정지실 운전개념

원격정지실은 주제어실 거주 불가능 상황이 발생하여 주제어실에서 운전할 수 없는 경우에 발전소를 안전 정지 시킬 수 있도록 기능을 제공한다.



1

발전팀장, 안전담당 및 전력설비운전원은 전용 운전원 콘솔은 제공되지 않았지만, 발전팀장 및 안전 담당은 직접적인 제어업무를 수행하지 않으므로, 정지운전표시반을 통한 전반적인 발전소 공정 상태를 감시하여, 원자로 차장과 터빈차장에게 운전 직무를 지휘 감독한다. 또한, 전력설비운전원은 필요시 발전팀장의 지시에 따라 원자로 차장과 터빈차장에게 할당된 운전원 콘솔을 이용하여 수행할 수 있으며, 현장 확인 및 조치가 필요한 직무 수행 등 필요시 협업 운전을 수행한다.

원격정지반 설계 기준 및 구성에 대한 상세내용은 18.3.2.2.2에 기술되어 있다.

18.3.2.1.2 원격정지실 배치

원격정지실 배치는 다음과 같은 사항을 고려하여 배치된다.

- 가. 운전조치를 위한 충분한 작업공간
- 나. 정비를 위한 적당한 공간
- 다. 원격정지실 기기에 대한 시험 및 평가

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

18.3.2.2 원격정지반 설계기준

원격정지반은 주제어실을 운전할 수 없는 경우에 발전소 정지용으로 사용될 수 있도록 설계된다. 충분한 정보 및 제어가 다음 운전을 수행하기 위해 제공된다.

가. 16장 기술지침서에서 요구되는 원자로의 긴급한 고온정지 수행

나. 고온대기상태 동안 발전소 안전상태로 유지

다. 원격정지반을 통한 원자로의 상온정지 수행 및 유지

주제어실 내의 기기손상이 원격정지반의 어떠한 기기 운전에도 영향을 주지 않으며 능동적인 안전 계열에서의 단일사고는 수행 중인 어떠한 안전정지에도 영향을 주지 않는다.

주제어실에서 원격정지실로 제어전환을 위해 원격정지반 전환스위치를 제공한다. 제어전환에 대한 추가적 세부사항은 7.4.1.1.10절에 기술된다.

18.3.2.2.1 원격정지반 외형

원격정지반은 착석식 운전원콘솔 형태로 주제어실과 동일하게 2005년 국민표준체위 데이터중에서 5~95 퍼센타일 사이에 드는 한국 성인남자(25세~50세)의 체위를 수용하도록 설계되었다.

Intentionally Blank

Intentionally Blank

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

18.3.2.2.2 원격정지반 배치

원격정지반 배치는 원격정지반에만 제공되는 아래 목록을 제외하면 주제어실의 운전원콘솔 배열과 동일하다.



18.3.2.2.3 정지운전표시반 배치

정지운전표시반은 전반적인 발전소운전 상태, 지시 및 경보화면을 위해 원격정지반상에 위치한다. 정지운전표시반의 기능, 화면요소 및 방법은 가변화면을 제외하고는 주제어실의 대형정보표시반과 동일하게 제공되나 가변화면과 고정형 경보 및 상태지시등은 제공되지 않는다. 정지운전표시반은 운전원이 모든 발전소 상태를 빠르게 평가하기 위해 필요한 정보를 제공한다.

정지운전표시반에 대한 상세 설계 지침은 대형정보표시반에 대한 18.2.2.6절에 기술된 대형정보표시반과 동일하게 제공된다.

18.3.2.2.4 통신설비 배치

원격정지실은 소내호출설비를 이용하여 발전소 주변과 통신이 용이하도록 충분한 통신장비를 갖추고 있다. 통신계통은 원격정지반에서 운전이 지장이 없도록 편리한 곳에 설치되어 사용하기 쉬우며 정상 및 비상시 필요한 모든 기능을 발휘할 수 있다.

18.3.3 원격정지실 환경

원격정지실은 어떠한 발전소 상태하에서도 운전원에게 편리한 주변여건을 제공하기 위해 적절한 소음, 습도, 온도 및 조도 등의 환경조건을 유지한다.

신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

18.3.3.1 습도, 온도 및 환기

공기조화계통은 인간이 편안함을 느끼는 범위내로 온도와 습도를 조절하고 깨끗한 공기를 유지한다.

가. 정상 평균온도는 20 °C (68 °F) ~ 26 °C (79 °F) 범위에서 유지된다.

나. 상대습도는 20 ~ 60 % 범위에서 유지된다.

18.3.3.2 조도

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

상시조명과 필수조명이 함께 점등된 상태에서의 적정조도는 500 lx(50 fc)이며, 비상조명의 조도는 최소 100 lx(10 fc) 이상이다.

18.3.3.3 소음

주변 소음은 청각정보와 분명하게 구분이 되고 운전원간에 의사전달이 손쉽게 될 수 있도록 충분히 낮으며, 원격정지실 내에서는 최대 65 dB(A)를 초과하지 않는다. 주변 소음원은 잠겨진 문을 발전팀장의 승인을 통해 출입되도록 통제함으로써 제어된다.

18.3.4 정보표시(Display)

원격정지반에 제공되는 정보표시 화면은 주제어실 운전원콘솔 정보화면과 동일하며, 정지 운전 표시반은 주제어실의 대형정보표시반의 발전소개요정보영역과 고정화면영역에서 제공되는 화면과 동일하다.

18.3.5 제어기

원격정지실에 사용되는 제어기는 주제어실에 적용되는 제어기와 동일하다.

18.3.6 경보

경보계통은 허용한도를 초과한 발전소 상태에 대해 운전원에게 즉시 경고하는 주요 주제

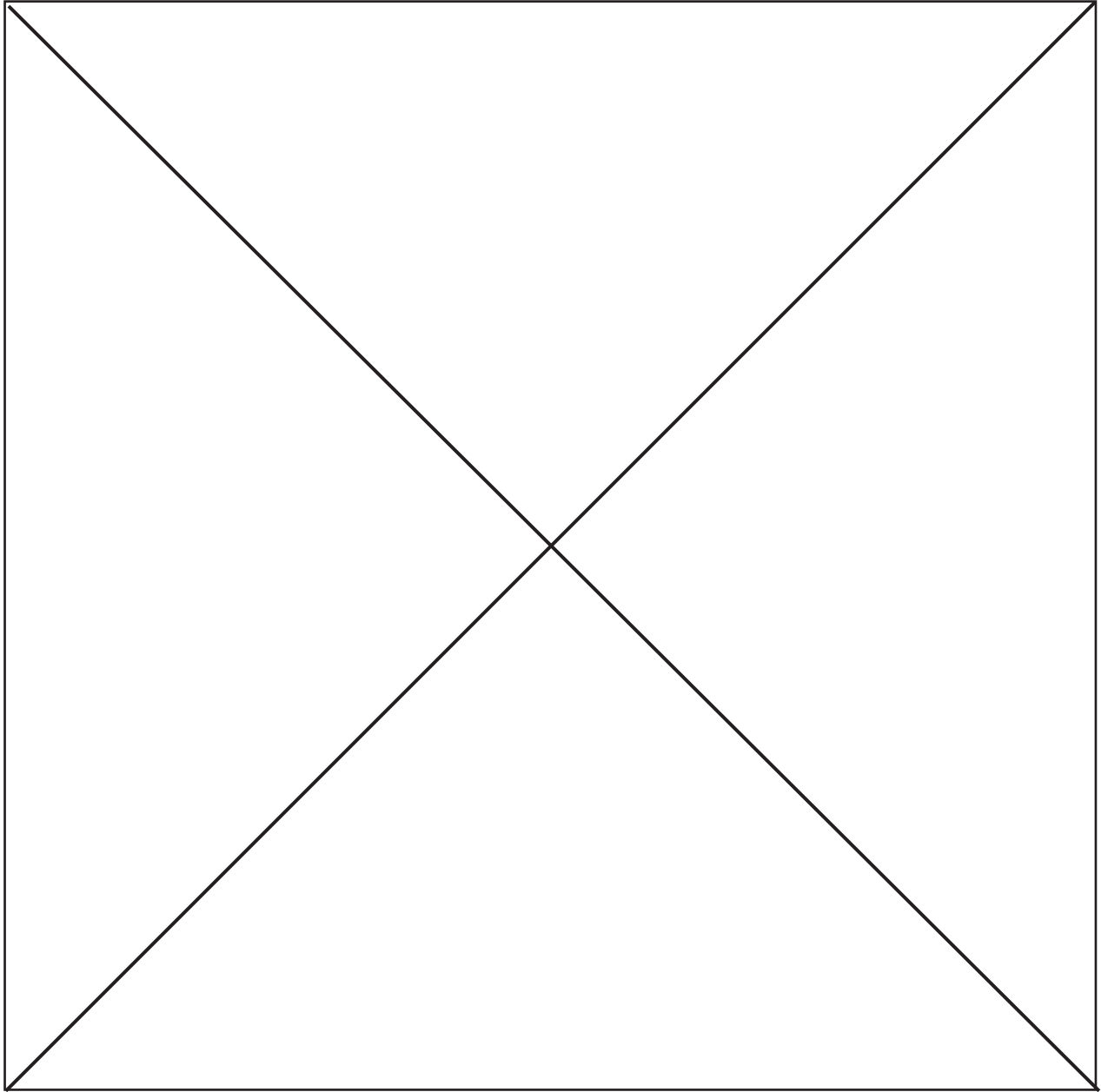
신고리 5,6호기 예비안전성분석보고서

어실 연계계통이다. 경보 계통은 청각 경보기능, 시각 경보기능 및 운전원 대응기능의 3가지 주요기능으로 구성된다. 원격정지실 경보계통은 즉각적이고 명확한 통보, 시간적으로 빠르고 정확한 응답, 손쉬운 인지와 복귀 및 용이한 식별이 가능하도록 인간공학 표준 지침을 따른다.

- 가. 발생시간 또는 우선 순위로 정렬된 경보 목록이 원격정지실에 제공된다.
- 나. 경보 인지는 원격정지실에서 가능하다.
- 다. 경보는 다음 3가지 상태 중 하나로 표시된다 : 미인지, 인지 및 제거 상태
- 라. 경보는 우선순위에 따라 표현되며 후속 운전원 조치는 경보의 중요도 또는 긴급도에 따라 처리된다.
- 마. 경보계통은 경보 억제방법을 통하여 불필요한 경보를 억제한다.
- 바. 정보처리계통의 경보 처리 및 제어는 주요변수지시 및 경보계통-N과는 독립적이며 경보처리 및 제어에 대한 다양성을 제공한다.

18.3.7 명판 및 구획화

원격정지실에 사용되는 명판 및 구획화 설계기준은 주제어실과 동일하게 제공된다.



한국수력원자력주식회사
신고리 5,6호기
예비안전성분석보고서

원격정지실

그림 18.3-1