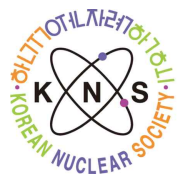


KNS(C)-004-2025

경수형 등 SMR 인간공학 심사지침(안)에  
대한 학계 전문가 독립검토

2025. 06



한국원자력학회  
Korean Nuclear Society

본 보고서를 2025년도 “경수형 SMR 인간공학 심사지침(안)에 대한 학계 전문가 독립검토” 연구과제 보고서로 제출합니다.

2025. 06

정 연섭  
한국원자력학회 사무총장

## 연구과제 참여자

연구책임자 정연섭(한국원자력학회(KNS) 사무총장)

참여 연구원 오응세(KNS/계측제어 인간공학 자동원격제어, (전)한수원 CRI)  
송지현(KNS 사무국 팀장)

학계 자문단 김만철 KNS/계측제어, 인간공학 자동원격 중앙대학교/교수  
김종현(KNS/계측제어, 인간공학 자동원격, KAIST/교수)  
이승준(KNS/계측제어, 인간공학 자동원격, UNIST/교수)  
함동한 KNS/계측제어, 인간공학 자동원격, 전남대/교수)  
허균영 KNS/계측제어, 인간공학 자동원격, 경희대/교수)

## 목 차

제1장 개 요	-----	1
제2장 심사 지침 체계	-----	3
제3장 해외 SMR 사례	-----	4
제4장 자문 의견 종합	-----	49

## 요 약

세계적으로 80여개의 SMR이 개발중에 있다. SMR은 대형원전에 비해 출력 용량이 적고 피동계통이 강화되어 운전원 개입없이도 안전기능이 확보되는 장점이 있다. SMR의 많은 특성들은 원전의 안전성을 평가하는 심사 기준에 영향을 미친다. 특히 인간공학 검토에서도 영향을 미치며 대형원전 인간공학 심사기준을 그대로 적용하는데 이견이 있을 수 있다. 한국원자력연구원은 경수형 SMR 인간공학 심사기준을 개발하고 있으며 중간 결과물에 대해 학회소속 학계 전문가 자문을 요청하였다.

학회에서는 해외 사례를 조사하였고 학계 전문가의 의견을 취합하였다. 개발 중인 지침으로 학회는 조율된 일관된 의견보다는 개발자가 다양한 의견을 참조하도록 취합 위주로 본 보고서를 작성하였다.

자문자들은 SMR 설계 과정에서 놓치기 쉬운 항목들을 포착하였고 지침 개정으로 인해 심사지침의 일관성이 훼손되는 문제도 우려하고 있다. 개정은 필요하지만 인간공학의 심사 일관성을 유지하는 차원에서 자문결과는 활용될 수 있다.

## 제1장 개 요

### 1절 과제 개요

- 과제명: 경수형 SMR 인간공학 심사지침(안)에 대한 학계 전문가 독립검토
- 발주기관: KAERI
- 기간: 2025.4.21.~2025.6.20
- 과제 책임자: 정연섭 한국원자력학회 사무총장
- 과제 예산: 10,000천원 (위탁 예산)

### 2절 과제 목적

- KAERI에서 개발 중 다수모듈 SMR 인간공학 심사지침(안)에 대한 독립 검토 및 개선 제안

### 3절 과제 배경

- 가. 소형모듈원자로(SMR)를 비롯한 첨단 원자력발전소(advanced reactors)는 기존 대형의 원자력발전소 대비 소형화, 다목적성, 안전성, 혁신성, 경제성을 위해 기존 원전과 차별되는 설계 특징을 가지고 있음.
- 나. 원자력안전위원회는 2022년부터 ‘중소형원자로 안전규제 기반기술 개발 사업’을 진행하고 있음. 2028년까지 총 360억원을 투입하여 중소형 원자로 인허가 심사 등을 위한 규제체계 정비 및 고유 규제기술 개발 하고자 함.
- 다. KINS는 ‘중소형원자로 안전규제 기반기술 개발’을 위한 사업의 일환으로 국내에서 개발 추진 중인 경수형 SMR의 고유설계특성을 반영한 안전 규제체계 개선(안)을 단계적으로 마련하고 있음.
- 라. IAEA는 국제적으로 인정받는 SMR 규제기준 마련을 위해 SMR 개발국의 규제기관 및 SMR 개발자와 국제협력을 진행하고 있음 상황임. 2015년부터 각국의 SMR 규제현안의 지식과 경험을 공유하고 규제입장 등을 논의하기 위한 협력체계를 구축하기 위해 SMR 규제자 포럼(regulators’ forum)을 주도하여 진행 중임.
- 마. 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission; IEC)의 기술위원회(TC) 분과 위원회(SC) 45A는 경수형 SMR의 설계특성을 확인하고 관련 분야의 현안을 도출하여 해당 분과 위원회에서 다루

는 기존의 IEC 국제표준을 개정하거나 신규 표준 제정을 제안하는 IEC 기술보고서를 발행함.

바. 미국 NRC는 SMR을 비롯한 신형원자로에 적용하기 위한 10 CFR 53을 개발 중임. 인허가 단계별로 사전에 주요 인허가 현안에 리스크 정보를 활용하고 수행도 기반의(risk-informed and performance-based; RIPB) 방법론을 포함한 다양한 방법론을 이용하여 평가 및 해결할 수 있는 유연한 규제체계를 제공하고자 함.

사. 한국원자력연구원은 지난 2024년 경수형 소형모듈원자로(Small Modular Reactor; SMR) 다수모듈 통합 운영 관련 인간공학 분야 인허가 심사를 위한 규제기반기술 개발에 착수함. 개발 중인 다수모듈 SMR 인간공학 심사지침(안)에 대한 산업체 및 학계 분야전문가(SMEs)의 독립검토가 요구됨.

#### 4절 과제 필요성

- KAERI에서 개발중인 인간공학 심사지침에 대해 학회 전문가 검토의견을 학회가 취합 필요
- 규제기관, 산업체에서 기준을 수용하기 위해서는 중립적인 학회에서 의견 조율 필요
- I-SMR에서 나타나는 인간공학 현안
  - 다수 모듈 SMR은 대형원전의 1호기 1 주제어실과 달라 모듈 혼돈의 오류
  - 대형 원전대비 SMR에서는 3인 운전
  - 필수 안전기능의 존재 및 표시
  - 상시 지시 변수 선정 등
  - 다수 원자로가 공유하는 공유 설비
  - 부하 추종 및 자율 운전 등 향상된 자동화 수준
  - 다수의 원자로 모듈 구성에 따른 운전 역무 변화
  - 다수 모듈 통합 주제어실 구성에 따른 인간-기계연계(HSI) 설계 및 운전 자동화 수준(자율 운전, 원격 운전 및 부하 추종 운전 등)의 변화 예상
  - 다수 모듈 공통 설비 구성에 따른 새로운 운전 개념(모드) 발생
  - 완전 피동형 설계에 따른 축소된 운전조(3인 1조) 구성 및 이에 따른 운전 직무의 변화

## 제2장 심사 지침 체계

규제기관은 원자력 발전사업자가 법률 문서인 안전성분석보고서를 제출하면 원전이 안전하지 평가한다. 안전성분석보고서는 형식이 명시되어 있으며 인간공학장은 18장으로 18.2에 주제어실, 18.3에 원격정지실의 모습이 기술되어 있으며 설계에 이르는 인간공학적 활동이 18.1에 기술되어 있다. 본 자문에서 다루고 있는 KINS 인간공학 심사지침은 안전성평가보고서를 심사하기 위한 지침이다. 이 지침은 규제기관 내부의 절차서에 해당되므로 원전 운영 사업자가 필연적으로 따를 의무는 없으나 규제기관의 심사 지침을 이해하는 측면에서는 알 필요가 있다.

인간공학심사는 내용이 방대하므로 심사 지침에는 일반적인 내용을 명시하고 있으며 더 상세한 기술 기준은 별도의 문서로 마련되어 있다. 원전 설계자는 기술기준을 만족시킬 필요가 있다. 관련 정보는 <https://www.kins.re.kr/nussam/krs/KinsRgltBassReresvnSts.do> 에서 관련 파일을 볼 수 있다.

절차적 문서	규범적 문서
KINS 경수로형 인간공학 심사지침 18장 인간공학	KINS 인간공학 규제지침 15장 인간공학 15.1 인간공학 계획 15.2 인간공학 분석 15.3 인간공학 설계 15.4 인간공학 확인 및 검증 15.5 설계 이행 및 인적 수행도 감시 15.6 설계 기준 초과사고 및 중대사고 관련 인간공학 적용

KAERI는 KINS 경수로형 인간공학 심사지침을 SMR에 알맞게 개선하는 사업을 수행하며 또한 15.7 “경수형 SMR 관련 인간공학 적용” 을 도입하고자 한다.



### 제3장 해외 SMR 사례

이미 SMR 분야에 심사 및 인허가에 상당한 진척을 보인 미국 NRC의 규제 정보를 참조하여 국내의 기존 인간공학 분야의 심사 및 규제 지침을 보완하는 것이 매우 효과적일 것이다.

#### 1절. NUREG/CR-7126, Human-Performance Issues Related to the Design and Operation of Small Modular Reactors (2012)

미국 NRC는 2012년 소형 모듈형 원자로 설계 및 운전과 관련하여 인적 수행도 (human performance)와 관련된 정보를 파악하기 위해 6개 분야에 대한 “운전개념 (concept of operations, ConOps)” 모델을 개발하고 이를 사용하여 심사 신청자의 설계를 검토하는 데 사용하였다.

다음은 해당 보고서에서 언급되는 6개 분야의 “운전 개념” 과 세부 검토 항목이다.

1. 발전소 임무
  - 신규 임무
  - 신규 설계 및 제한된 운전 경험
2. 운전원 역할 및 책임
  - 다중 유닛 운전 및 팀워크
  - 고도화된 자동화
  - 기능 할당 방법론
3. 인력 배치, 자격 요건 및 교육
  - 신규 인력 배치 직위
  - 인력 배치 모델
  - 인력 배치 수준
4. 정상 운전 관리
  - 다양한 유닛 운전 상태
  - 유닛 설계 차이
  - SMR의 공유 설비를 위한 제어 시스템
  - 신규 유닛 추가가 운전에 미치는 영향
  - 비-LWR 공정 및 반응도 효과
  - 부하 추종 운전
  - 신규 연료 교체 방법

- 제어실 구성 및 워크스테이션 설계
  - 다중 유닛 감시 및 제어를 위한 HSI 설계
  - 신규 임무를 위한 HSI
5. 비정상 상황 및 비상 상황 관리
- 안전 기능 감시
  - 예상치 못한 정지 및 성능 저하 상태
  - 다중 사이트에서의 비정상 조건 처리
  - 다중 유닛 장애를 위한 EOP 설계
  - 새로운 위험
  - 수동 안전 계통
  - HSI 및 제어실 상실
  - 사이트 전체 위험에 대한 PRA 평가
  - 고위험 인적 행위 (RIHA) 식별
6. 유지보수 및 변경 관리
- 모듈식 구조 및 교체
  - 새로운 유지보수 운전
  - 새로운 유지보수 위험 관리

## 2절 NUREG/CR-7202, NRC Reviewer Aid for Evaluating the Human-Performance Aspects Related to the Design and Operation of Small Modular Reactors (2015)

미국 원자력규제위원회(NRC)는 소형 모듈형 원자로의 설계 및 운전과 관련된 인적 수행도 문제(NUREG/CR-7126)에 포함된 인간 공학과 SMR의 운전 측면을 조사하기 위한 연구를 수행했다.

이 연구를 통해 NRC의 SMR 설계 검토 및 향후 연구 활동에서 고려해야 할 30가지 잠재적 인적 수행도 문제를 확인했다.

주요 초점은 HFE에 맞춰져 있었지만, 분석 결과 운전 프로그램 및 확률론적 위험도 평가와 같은 다른 영역에서도 여러 가지 문제가 확인되었다. 이 연구는 안전에 영향을 미칠 수 있는 잠재적인 새로운 설계 측면에 대해 NRC 검토자들이 민감하게 대응하도록 하기 위한 것이었다.

이 보고서의 주요 목적은 NUREG/CR-7126에 대한 보충적 정보를 제공하여 NRC HFE 검토를 지원하는 것이다. 위에서 언급한 바와 같이, 이 문서에는 HFE 검토자가 아닌 사람에게도 유용할 수 있는 정보도 포함되어 있다. 이 문서에는 문제에서 식별된 특성을 가진 설계를 가진 신청자에게 질문할 수

있는 질문이 명시되어 있다. 각 현안에 대한 질문은 표준 검토 계획(NUREG-0800)의 18장 및 인간 공학 프로그램 검토 모델(NUREG-0711)에 포함된 검토 요소 및 지침을 기반으로 식별 및 구성되었다.

다음은 이 보고서에서 언급된 30가지 인적 수행도 관련 현안들이다.

## 1) 새로운 임무

### [현안 설명]

현재 미국 원전의 주요 임무는 안전하게 전력을 생산하는 것이다. 일부 SMR은 난방 또는 제조와 같은 산업용 적용을 위한 수소 및 증기 생산과 같은 추가 임무를 수행하도록 설계되었다. Demick(2010)은 고온 가스 원자로(HTGR)의 새로운 임무를 다음과 같이 설명한다:

예를 들어 석유화학 및 화학 공정, 비료 생산, 원유 정제 등 다양한 산업 공정에 증기, 전기, 고온 가스의 형태로 공정 열과 에너지를 공급하는 것이다. 공정 열과 에너지를 공급하는 것 외에도 HTGR(고온 가스 원자로)은 수소와 산소를 생산하는 데 사용될 수 있으며, HTGR 발전소에서 나오는 증기 및 전기와 결합하여 석탄과 천연가스에서 합성 수송 연료, 화학 원료 및 암모니아 등을 생산할 수 있다.

이러한 임무를 달성하려면 새로운계통과 인력이 필요하며, 업무량도 늘어날 수 있다.

현재 NRC 직원은 천연가스 등 인근 시설의 위험성을 검토하고 있다. SMR 라이선스 검토의 경우, 이제 이러한 위험은 현장에 존재하며 발전소의 임무가 될 수 있다. 운전원은 원자로 관련 위험과 함께 이러한 새로운 위험에 대처해야 한다.

### [NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 신청자의 운전 경험 검토(OER), 기능 요건 분석 및 기능 할당, 직무 분석, 운전조 구성 및 자격, 중요한 인적 행위 처리, 인간-시스템연계(HSI) 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발, 확인 및 검증(V&V) 등 대부분의 HFE 요소에 대한 NRC 담당자의 평가에 영향을 미친다. 다음 질문을 통해 지원자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보를 얻을 수 있다.

#### 운전 경험 검토

새 임무와 관련된 이전계통에 대해 어떤 운전 경험을 사용할 수 있는가?

#### 기능 요건 분석 및 기능 할당

기능 요건 분석 및 기능 할당에서 새로운 임무와 관련된 기능은 어떻게 다루어지는가?

관련성이 있는 경우, 새로운 임무와 관련된 기능 및 계통이 안전한 전력 생산과 관련된 기능과 상호 작용하는가?

현장에서 구현될 수 있는 다양한 임무 간에 계통이 공유되는가?

새로운 임무와 관련된 자동화 수준과 이에 대한 운전원의 역할 및 책임을 설명한다.

다수 유닛 현장에 공정 열 적용을 구상하는 경우 동일한 시설에서 수소 생산, 증기 생산, 담수화, 정제 및 전기 생산과 같은 여러 적용이 허용되는가?

이러한 임무와 관련된 새로운 공정으로 인해 수소, 메탄 또는 천연 가스로 인한 화재 및 폭발과 같은 새로운 위험 및 안전 문제가 발생하는가?

#### 직무 분석

새로운 임무를 위해 운전원은 어떤 업무를 수행해야 하는가?

새로운 임무는 안전한 전력 생산을 위해 수행되는 업무와 어떤 관련이 있는가?

#### 운전조 구성 및 자격

새로운 공정 적용은 전력 생산에 사용되는 운전원과 동일하거나 다른 운전원을 사용하는가?

새로운 운전원 직책이 신설되는가?

새로운 임무가 전체 운전조 구성에 어떤 영향을 미치는가?

#### 중요한 인적 행위의 처리

새로운 임무와 관련된 중요한 인적 행위가 있는가? 새로운 임무에 대한 중요한 인적 행위를 어떻게 식별할 것인가?

#### 인간-시스템연계 설계

새로운 임무가 HSI 설계에 미치는 영향은 자체적인 문제로 확인되었다(2.18절, 새로운 임무를 위한 HSI 참조).

#### 절차서 개발

새로운 임무를 처리하기 위해 어떤 새로운 절차서를 개발해야 하는가?

이러한 절차서는 안전한 전력 생산 임무에 사용되는 절차서와 어떤 관련이 있으며, 여러 임무에 대한 작업을 다루는 통합 절차서가 있는가?

#### 훈련 프로그램 개발

새로운 임무에 대한 훈련 요건과 수요를 설명하라.

발전소 운전원이 공정 열 적용의 이상 상태 및 기타 연계 요구 사항을 처리하는 데 대한 훈련을 받는가?

원자력 시설에서 서비스하는 공정 적용의 수에 따라, 모든 적용 연계에 익숙해야 하므로 이러한 새로운 책임이 운전원 훈련을 어떻게 복잡하게 만드는

가?

## 2) 새로운 설계와 이전 계통의 제한된 운전 경험

[현안 설명]

상업용 원전은 점진적으로 발전하면서 이전 설계를 개선하여 새로운 설계로 발전했다. 이전 발전소의 운전 경험을 활용하는 것은 수년 동안 발전소 설계, 인허가 검토 및 운전 개선의 중요한 측면이었다. 반면, SMR은 새로운 범주의 발전소 설계이므로 많은 경우 운전 경험이 거의 없다. 따라서 유사한 설계 및 비원자력계통의 경험을 고려하여 운전 경험의 필요성을 평가하고 해결해야 할 수도 있다. 이러한 정보 격차의 영향과 이를 보완하는 접근 방식을 평가해야 한다.

이 문제와 관련하여 HFE 검토에 대한 두 가지 일반적인 시사점이 있다. 첫 번째 시사점은 현재까지 검토된 발전소 설계보다 SMR 설계에 더 많은 영향을 미칠 수 있는 이전 발전소의 다양한 경험(원자력 및 비원자력 모두)을 수용하기 위해 운전 경험에 대한 검토 지침의 개선이 필요하다는 것이다. 현재 지침은 대형 경수로(LWR)가 설계된 방식, 즉 특정 선행 발전소로부터의 작은 진화적 변화를 기반으로 하고 있다.

두 번째 의미는 설계 인증 검토를 거친 다른 진화형 신형 원자로에 비해 이전 설계(원자력 및 비원자력 모두)에 대한 운전 경험이 일반적으로 부족할 수 있다는 것이다. 운전 경험 대신 추가 시험 및 평가가 필요한지 여부 등 이러한 정보 부족 문제를 해결하는 것이 HFE 프로그램의 우선 순위가 되어야 하며, 여기서 SMR 공급업체의 의견은 귀중한 정보원이 될 수 있다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 NRC 직원이 신청자의 OER을 평가하는 데 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

SMR 설계에 기여한 운전 경험의 출처는 무엇인가?

신청자는 비원자력계통에서 비롯되었을 수 있는 출처를 포함하여 모든 관련 출처를 설명해야 한다.

운전 경험을 사용할 수 없는 설계 측면에 대해 운전 경험을 대체하는 데 어떤 정보가 사용되는가?

설계에 운전 경험이 어떻게 사용되었는가?

## 3) 다수 호기 운전 및 팀워크

#### [현안 설명]

NUREG/CR-7126의 원자력 및 비원자력계통 모두에서 단일 운전조/운전원이 하나의 제어실에서 여러 기기를 동시에 감시하고 제어하는 경우가 많았다. 이 작업을 효과적이고 안정적으로 수행하기 위한 핵심 현안은 팀워크, 상황 인식(SA), 제어실 및 HSI 설계, 운전원의 업무량이다. 여러 SMR의 상태를 충분히 인지하는 것은 운전조과 개별 운전원에게 부담이 될 수 있다. 예를 들어, 무인 항공기(UAV) 연구에 따르면 운전원은 때때로 특정 유닛에 집중하여 다른 유닛을 소홀히 하거나 중요한 변화를 알아채지 못할 수 있다(변경 설명).

운전원이 현재 발전소의 특정 문제에 집중하면 다른 운전원이 해당 작업을 수행한다. 각 운전원이 여러 장치를 책임지는 경우 이러한 협력은 문제가 될 수 있다. NUREG-7126에서 조사한 한 정유 시설에서는 작업량이 많거나 특별한 상황이 발생할 때 추가 인력을 보강하여 이러한 상황을 해결했다. 이는 교대 근무자가 발전소 상태의 모든 측면(사고 제외)을 관리하는 현재의 제어실과는 다른 운전 관행이다.

다른 상황적 요인이 개입하면 SA 유지가 더욱 어려워질 수 있다(아래에서 별도로 식별되는 문제):

개별 유닛이 서로 다른 작동 상태(예: 전력 수준 또는 정지, 시동, 과도 상태, 사고, 재장전 및 다양한 유형의 유지보수 및 시험 등)에 있을 수 있음(2.9절 참조)

- 유닛 설계에 차이가 존재하는 경우가 많음(2.10절 참조)
- 새로운 운전조가 기존 운전조를 대신하는 교대 근무가 하루에 2~3회 발생한다. 특히 두 개 이상의 발전소가 관련되어 있고 한 명의 운전원이 여러 발전소를 운전하게 되므로 각 발전소의 상태, 진행 중인 유지보수 및 운전 동향을 한 운전원에서 다른 운전원에게 효과적으로 전달할 수 있는 방법이 필요하다.

다수 유닛 감시 및 제어 작업에 대한 이러한 상황적 요인의 기여도를 이해하는 것은 안전 검토에서 중요하다.

다수 유닛 감시 및 제어는 상업용 원자력 발전 산업에서 새로운 유형의 운전으로, 다수 유닛 운전에 대한 검토 지침을 개발하기 위한 기술적 근거가 제한적이다. 따라서 이 문제를 해결하고 다수 호기 운전에 대한 신청자의 제출물을 평가할 때 고려해야 할 사항을 파악하기 위한 연구가 필요하다. 이 연구에는 NUREG/CR-7126의 대리계통 사용과 유사한 다른 산업의 다수 유닛 운전에 대한 확장되고 심층적인 연구가 포함될 것을 권장한다. 많은 산업

에서 참고할 수 있는 공개적으로 이용 가능한 문헌이 제한되어 있으므로 현장 방문이 데이터를 얻는 가장 좋은 방법일 수 있다. 보다 완전한 기술적 근거를 확보하기 위해서는 지원 기술, 정상 및 비정상 상황에 대한 운전 전략, 제어실 및 HSI 설계, 교훈을 파악하는 것이 중요하다. 조사 결과를 원전 연구와 비교하여 기술적 근거가 원전별 문제를 해결하는 데 적합한지 확인해야 한다.

예를 들어, 시뮬레이터에 관한 50.34(f)(2)(i), 운전조 구성에 관한 50.54(i)-(m), 제어실 설계에 관한 부록 A, 일반 설계 기준(GDC), 기준 19 등 10 CFR의 일부 규정에 대한 개정이 필요할 수 있다. 규정 지침은 업데이트가 필요할 수 있다: RG 1.114, 관제실 운전원에 대한 지침, 시뮬레이터에 대한 RG 1.149 및 관련 ANS 3.5, SRP NUREG-0800 13장 및 18장, 운전조 구성 면제에 대한 지침인 NUREG-1791. 이 절에서 논의된 많은 문제와 마찬가지로, 개발된 지침은 NUREG-0711 및 NUREG-0700에 영향을 미칠 가능성이 높다.

#### [NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 OER, HSI 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 운전 경험 검토

다수 유닛 운전에 대한 어떤 운전 경험을 수집했는가?

#### 운전조 구성 및 자격

여러 유닛을 책임감 있게 운전할 운전원을 어떻게 배정할 것인가?

다수 유닛 운전을 위한 팀워크는 어떻게 보장할 것인가?

#### 인간-시스템연계 설계

다수 유닛 운전이 HSI 설계에 미치는 영향은 자체적인 문제로 확인되었다 (2.17절, 다수 유닛 감시 및 제어를 위한 HSI 설계 참조).

#### 절차서 개발

다수 유닛 운전이 전체 절차서 구조와 개별 절차서 설계에 미치는 영향은 무엇인가?

2.22절, 다수 유닛 교란에 대한 EOP 설계를 참조하라.

#### 인간 공학 확인 및 검증

통합계통 검증 방법론은 다수 유닛 운전을 어떻게 검증하는가?

#### 4) 모든 운전을 위한 높은 수준의 자동화와 그 구현

[현안 설명]

NUREG/CR-7126에서 연구한 대리 시설<sup>1)</sup>의 결과는 다수 유닛 운전을 위한 핵심 기술로서 자동화를 강조했다. 운전조에게 관리해야 할 유닛이 더 많이 배정됨에 따라 기존에 운전원이 수행하던 작업을 자동화가 수행해야 한다. SMR도 예외는 아니며, 일반 작업과 안전 작업 모두 자동화될 것으로 예상되는 만큼 자동화 수준도 높아질 것이다. “자동화할 수 있는 것은 모두 자동화하라”는 철학이 원자로의 성능을 개선하고 운전 비용을 절감하기 위한 첨단 원자로 개발 프로그램을 지배하는 경우가 많다. 그러나 앞서 언급했듯이 자동화와 인적 수행도 사이에는 복잡한 관계가 있으며, 상식적인 기대치를 충족시키지 못하는 경우가 많다. 예를 들어, 일반적으로 높은 수준의 자동화는 업무량을 감소시킬 것으로 예상되지만, 오히려 업무량을 증가시키고 다음과 같은 다른 인간 수행상의 어려움을 야기한다(O’Hara & Higgins, 2010):

- 인력의 전반적인 역할이 변화하여 인적 수행도를 지원하지 않음
- 자동화를 이해하기 어려움
- 낮은 업무량, 경계심 상실, 안일함
- 자동화에 익숙하지 않음, 상황 인식 저하
- 자동화 실패 시 운전원이 제어권을 가져야 하는 경우 업무량 전환 어려움
- 자동화된 작업이 거의 수행되지 않아 기술 상실
- “모드” 오류 등 새로운 유형의 인적 오류<sup>2)</sup>

SMR의 설계와 운전은 이러한 잠재적인 문제를 해결해야 한다.

과도한 자동화의 부정적인 영향에 대한 우려로 인해 다양한 수준에서 자동화를 탐색하고(아래 표 참조) 보다 유연한 방식으로 자동화를 구현하는 관행이 증가하고 있다. 예를 들어 적응형 자동화에서는 자동화 수준이 유연하여 상황 특성에 따라 자동으로 또는 운전원의 요청에 따라 변경될 수 있다. 따라서 이 접근 방식은 운전원이 여러 발전소를 감독할 때 변화하는 주의와 작업부하 수요를 관리하는 데 도움이 될 수 있다.

---

1) 대리 시설은 SMR과 유사한 인적 수행도를 요구하는 여러 장치를 관리하는 운전을 포함하는 곳이다.  
2) 자동화된계통에는 종종 사용되는 입력과 제공되는 출력이 다른 다양한 모드가 있다. 각 모드의 특성에 따라 운전원 입력은 다른 효과를 가져올 수 있다.계통이 다른 모드에 있을 때 운전원이 한 모드에 있다고 생각하고 입력하면 오류가 발생한다.



**Table 2-2 Levels of Automation**

Level	Automation Functions	Human Functions
1. Manual Operation	No automation	Operators manually perform all functions and tasks
2. Shared Operation	Automatic performance of some functions/tasks	Manual performance of some functions/task
3. Operation by Consent	Automatic performance when directed by operators to do so, under close monitoring and supervision	Operators monitor closely, approve actions, and may intervene with supervisory commands that automation follows
4. Operation by Exception	Essentially autonomous operation unless specific situations or circumstances are encountered	Operators must approve of critical decisions and may intervene
5. Autonomous Operation	Fully autonomous operation. System or function not normally able to be disabled, but may be manually started	Operators monitor performance and perform backup if necessary, feasible, and permitted

Note: Adapted from O'Hara & Higgins, 2010, Table 3-3.

자동화의 안정성 또한 중요한 고려 사항이다. 자동화의 신뢰성이 떨어지면 운전원의 수행도와 자동화에 대한 신뢰도도 저하된다. 그러나 자동화에 대한 운전원의 신뢰가 지나치면 자동화가 적합하지 않은 상황에서 자동화에 과도하게 의존하고 수행도를 검증하기 위해 충분히 감시하지 않을 수 있다.

SMR 설계는 자동화와 사람의 개입 사이에서 적절한 균형을 찾아 안전한 작동을 합리적으로 보장해야 한다. 운전원이 다수 유닛 SA를 유지하고 작업부하 수요를 관리할 수 있도록 지원하기 위한 적절한 자동화 수준과 유연성을 결정하는 것이 이러한 균형을 이루는 데 핵심이다. 또한 SMR 자동화의 설계는 높은 수준의 자동화와 관련된 인적 수행도 문제 유형을 완화하기 위해 노력해야 한다. SMR에 대한 라이선스 검토에서는 신청자가 자동화와 운전원의 효과적인 통합을 합리적으로 보장했는지, 설계가 안전한 운전을 지원하는지 여부를 결정해야 한다.

높은 수준의 자동화가 인간 수행에 미치는 함정은 잘 알려져 있으며, 이러한 함정을 발생시키는 설계 특성도 일부 알려져 있다. NRC는 인간과 자동화의 상호 작용에 관한 지침(O'Hara & Higgins, 2010)을 발표하여 HFE 검토자가 SMR 설계에서 자동화를 다룰 때 도움이 될 수 있도록 지원했다. 이 지침은 NUREG-0711 개정 3에 통합되었으며 다음 NUREG-0700 개정에 포함될 예정이다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 기능 요건 분석 및 기능 할당, 직무 분석 및 인간-시스템연계 설계에 대한 NRC 담당자의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 기능 요구 사항 분석 및 기능 할당

신청자의 HFE 프로그램은 높은 수준의 자동화와 관련된 인적 수행도 문제를 어떻게 해결했는가?

#### 직무 분석

자동 기능과 관련하여 인력의 업무를 어떻게 식별하고 분석했는가?

#### 인간-시스템연계 설계

자동계통과의 상호 작용에 대한 책임과 관련된 인사 업무의 수행을 지원하기 위해 HSI는 어떻게 설계되었는가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

성공적인 인적 수행도를 보장하고 높은 수준의 자동화와 관련된 인적 수행도 문제를 해결하기 위해 자동화 수준과 관련 인력 업무를 어떻게 검증하는가?

### **5) 자동화 결정을 지원하는 기능 할당 방법론**

#### **[현안 설명]**

“모든 운전을 위한 높은 수준의 자동화와 그 구현”이라는 현안에서 다양한 수준의 자동화와 자동화를 구현하는 방법의 유연성에 대해 논의했다. 일반적으로 새로운 유형의 자동화를 언제, 어떻게 적용할지에 대한 설계 결정을 내리는 것을 할당이라고 한다. 설계자와 검토자가 직면한 문제는 현재의 할당 방법이 결정을 위한 구체적인 분석 도구를 제공하지 않는다는 것이다. SMR 설계자들도 이 문제를 지적했다. 휴고와 앵겔라(2005)는 PBMR의 자동화를 논의하면서 대부분의 기능 할당 방법이 “...주관적이고 오류가 발생하기 쉬우며, 인간 및 환경 안전이 우려되는 프로젝트에서는 보다 엄격한 방법을 사용할 필요가 있다”고 지적했다.

NUREG-0711은 4절, 기능 요건 분석 및 기능 할당에서 기능 할당 검토에 대한 일반적인 지침을 제공한다. 그러나 최신 자동화 적용은 훨씬 더 많은 유연성을 가지고 있어 운전원이 다양한 유형의 작업과 상호작용에 직면하게 된다(앞서 설명한 대로). NRC의 자동화 특성 분석에서는 기능, 공정, 모드, 수준, 적응성 및 신뢰성의 여섯 가지 차원을 확인했다(O'Hara and Higgins, 2010). 이러한 차원을 결합하여 특정 적용에 대한 자동화를 설계할 수 있다. 그러나 설계자는 어떤 조합이 적절한지에 대한 결정을 뒷받침할 방법론이 부족하고(즉, 현재의 기능 할당 방법은 이러한 선택을 다루지 않음), 검토자는 이를 평가할 수 있는 지침이 부족하다. 기능 할당, 즉 특정 적용에 구현할 자동화 유형과 운전원 참여 수준을 선택하는 것에 대한 추가 연구가 필

요하다. 그 결과 도출된 지침은 NUREG0711에 포함되어야 한다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 기능 요건 분석 및 기능 할당에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다:

SMR 기능에 대한 적절한 자동화 수준을 결정하기 위해 어떤 기능 할당 방법론, 규칙 또는 기준을 사용했는가?

## 6) 새로운 운전조 구성

[현안 설명]

위의 “새로운 임무”를 논의할 때, 업계에서 안전한 전기 생산 이외의 SMR 임무를 확인했으며, 따라서 경영진이 새로운 운전조 구성이 필요할 수 있음을 언급했다. 새로운 임무뿐만 아니라 원자로 이동 및 온라인 재장전과 같이 기존 발전소와 SMR 간의 설계 차이로 인해 발생하는 새로운 운전원 업무를 관리하기 위해 새로운 직책이 필요할 수 있다.

새로운 임무와 새로운 운전 활동에 대한 책임 배분은 새로운 직책 또는 새로운 인력 책임 측면에서 운전조를 교대하는 경우 안전에 대한 잠재적 영향을 결정하기 위해 인력 및 자격 분석, 훈련 프로그램 개발 및 규제 검토의 일부가 되어야 한다.

이 문제는 10 CFR 50.54, 운전조 구성 및 50.120, 훈련에 잠재적인 영향을 미칠 수 있다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 운전조 구성 및 자격, 훈련 프로그램 개발에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

### 운전조 구성 및 자격

새로운 임무(검토와 관련된 구체적인 새로운 SMR 임무 삽입) 및 새로운 운전 활동(검토와 관련된 새로운 활동 삽입)과 관련된 업무를 수행하기 위해 어떤 직책이 담당할 것인가?

### 훈련 프로그램 개발

훈련 프로그램에서 새로운 임무와 운전 책임이 어떻게 다루어지는가?

## 7) 운전조 구성 모델

### [현안 설명]

“운전조 구성 모델”의 개념은 운전, 정비, 엔지니어링, 관리 및 보안을 포함하여 원전 운전에는 필요한 조직 기능을 수행하기 위한 일반적인 접근 방식을 다룬다(O'Hara et al., 2008).<sup>3)</sup> 이러한 책임을 충족하기 위해 유틸리티는 현장 운전원과 현장 외 인력을 조합하여 고용한다. 선택한 운전조 구성 모델은 자동화 정도, HSI 설계, 운전원 훈련 등 발전소 설계의 다른 많은 측면을 좌우하기 때문에 매우 중요한 설계 결정이다.

현재 미국 원전에는 많은 현장 인력이 기능 그룹으로 구성되어 있다. 운전은 원자로 및 발전소계통의 균형을 관리하기 위해 NRC가 허가한 원자로 운전원이 교대 근무를 통해 수행한다. 각 교대 근무자는 정상(예: 시동, 전력 레벨 변경, 정지) 및 비정상 상태(예: 장비 고장, 과도 상태, 사고)를 포함한 발전소 운전의 모든 단계를 관리해야 한다. 특정 비상 상황에서는 추가 운전원이 투입되어 도움을 준다. 일상적인 유지보수는 현장 직원이 처리하지만, 정전 시에는 외부 조직이 현장에 투입되어 주요 유지보수를 수행하는 경우가 많다.

그러나 전 세계적으로 동일한 모델을 사용하는 것은 아니다. 예를 들어, 많은 유럽 원전에서는 운전 교대 근무자가 원자로계통을 관리하는 원자로 운전원과 나머지 발전소를 관리하는 보조설비 운전원 간에 책임을 분담하는데, 이는 NUREG/CR-7126에서 살펴본 UAV 및 정유소 운전과 유사한 접근 방식이다. UAV 운전조는 차량 비행/항법, 페이로드 작업으로 임무를 분담했다. 정유 공장에서는 4대의 유닛이 관리되었으며, 각 운전원은 4대의 유닛 모두에 대해 공정의 일부를 담당했다.

SMR에 필요한 인력 모델은 현재 운전 중인 공장의 인력 모델과 다를 수 있다. 예를 들어, 2.3절, 다수 유닛 운전 및 팀워크의 논의에서 운전원이 여러 유닛을 감시하는 일부 대리계통의 운전조는 업무량이 많은 상황(예: 시동 또는 비상 상황)에서 유닛을 처리할 때 추가 운전원으로 보강된다는 점을 언급했다. 운전조의 유연성은 비정상적인 상황을 관리하는 데 있어 핵심적인 요소이다. 따라서 정유소와 원격 중심관리유닛(ICU)에서는 이러한 상황을 관리하기 위해 상당한 조직적 변화가 필요하다. 두 곳 모두 정상에서 벗어난 유닛과 정유 공장의 전환기(유닛 가동 또는 폐쇄) 동안 추가 인력이 투입된다. 정상에서 벗어난 상태의 원자로에 대한 책임을 해당 원자로를 전문적으로

3) “운전조 구성 모델”이라는 용어를 “인적 수행도 모델”과 혼동해서는 안 된다. 후자는 (1) 순수하게 설명적이기보다는 수학적, 프로그래밍 가능, 실행 가능한 모델을 의미하며, (2) 복잡한 계통의 엔지니어링 설계 및 평가에 적용된다.

다루는 사람이나 팀으로 이관할 수 있다면 SMR 운전에도 도움이 될 수 있다. 특정 SMR 설계에 대한 운전원 책임을 정의한 후에는 정상 작동 및 비정상/비상 상황 모두에 대해 관련 작업을 특정 운전원 직책에 할당해야 한다. 자동화 사용에 따라 이러한 작업에는 여러 개별 유닛의 감시 및 제어, 공유계통, 원자로 이송, 온라인 재장전, 새로운 임무, 자동화 감시 및 백업 등이 포함될 수 있다. SMR 설계자는 전체계통 성능과 안전을 가장 잘 지원하는 운전원 역할 배분을 결정하고 동료 점검 공정 등 팀워크에 미치는 영향을 고려해야 한다.

현재 관행에서 벗어나는 운전조 구성 모델의 변경은 다음 2.8절, 운전조 구성 수준에서 자세히 설명하는 대로 10 CFR 50.54 및 NUREG-0711을 포함한 다양한 운전조 구성 지침 문서에 영향을 미칠 수 있다.

#### [NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 운전조 구성 및 자격과 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

##### 운전조 구성 및 자격

운전조 구성 모델(운전, 유지보수, 엔지니어링, 관리 및 보안을 포함하여 원전 운전에는 필요한 조직 기능을 수행하기 위한 일반적인 접근 방식<sup>4)</sup>)이 이전에 원전에서 사용했던 모델과 다른 방식을 채택할 예정인가?

그렇다면 새로운 운전조 구성 모델과 이전에 사용했던 모델 또는 기존 모델과 어떻게 다른지 설명해야 한다.

##### 인간공학 확인 및 검증

통합계통 검증 방법론은 새로운 운전조 구성 모델을 어떻게 검증하는가?

## 8) 인력 수준

### [문제 설명]

10 CFR 50.54(m)은 현재 사업장에서 허가된 운전원의 최소 인력 수준을 관리하며, 여기에는 1, 2 및 3유닛 사업장에 대한 운전원 수를 설정하는 표가 있다. 1기 현장의 경우, 가동 중인 원자로에는 선임 원자로 운전원(SRO) 1명, 원자로 운전원(RO) 2명, 교대 감독자(두 번째 SRO)가 필요하다. 2유닛 사이트의 경우 2명의 SRO와 3명의 RO가 필요하다. 3유닛 사이트에는 3명의 SRO

4) 현재 HFE 운전조 구성 지침은 운전 인력에 관한 것이며 유지보수, 엔지니어링, 관리 및 보안과 같은 분야에 필요한 인력 수준과 자격에 관한 구체적인 정보는 제공하지 않는다.

와 5명의 RO가 필요하다. 이 표에는 3개 이상의 원자로가 있는 사이트는 포함되지 않는다.

운전조 구성 정보를 이용할 수 있는 대부분의 SMR은 이 요건보다 낮은 운전조 구성 수준을 제안할 계획이므로 이 운전조 구성 규정의 면제가 필요할 것이다.

예를 들어, 한 SMR 설계에서는 원자로와 터빈 발전기가 완전히 통합된 4기의 원자로를 각각 감시하고 제어하기 위해 한 명의 원자로 운전원을 배정할 것으로 예상된다. 이 접근 방식을 지원하는 원동력으로는 원자로의 작은 크기, 단순한 설계, 고도의 자동화, 최신 HSI, 과도 상태에 대한 느린 응답 등이 있다. 12개의 유닛으로 구성된 또 다른 SMR 설계의 기본 구성을 위한 제어실 인력은 3명의 RO, 1명의 SRO 제어실 감독자, 1명의 SRO 교대 관리자, 1명의 교대 기술 자문관(STA)으로 구성된다. 따라서 위에서 설명한 대로 SMR 장치를 안전하고 안정적으로 감시하고 제어하는 데 필요한 인력 수준을 결정하고 검토해야 하며, 새로운 직책과 운전조 구성 모델을 고려해야 할 수도 있다.

운전조 구성 수준은 10 CFR 50.54(m)에 명시되어 있으므로, 이 규정의 변경 또는 SMR이 정해진 최소 요건에서 벗어나는 것을 허용하려면 면제가 필요하다. SMR 인력 수준은 SECY-10-0034(NRC, 2010)의 4.1항, 소규모 또는 다수 모듈 시설의 운전원 운전조 구성에 대한 적절한 요건에서 “...기존 규정의 변경이 필요할 수 있는 잠재적 정책 문제”로 인정되었다. 또한 운전조 구성 수준은 현재 운전 중인 발전소에서 사용되는 것과 다를 수 있는 새로운 운전조 구성 직책 및 모델에 대한 광범위한 맥락에서 고려되어야 하며, NRC 규정 및 검토 지침에 반영되어야 한다.

이러한 규정 변경이 이루어질 때까지 NUREG-1791(Persensky 등, 2005)은 운전조 구성 면제를 검토하기 위한 지침을 제공한다. NUREG-1791 지침은 NUREG-0711 HFE 검토 프로세스를 반영하며 다수 유닛 운전을 다룬다. 지금까지 이 지침은 면제 요청을 평가하는 데 사용되지 않았다. 이 접근 방식을 검증하고, 필요한 경우 지침이 발표된 이후 발생한 새로운 설계 개발 및 인적 수행도 고려 사항을 고려하여 SMR 운전조 구성 문제를 보다 포괄적으로 다루기 위해 지침을 업데이트하기 위한 연구가 NRC에서 진행 중이다.

#### [NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 운전조 구성 및 자격과 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보

는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 운전조 구성 및 자격

이전에 원전에서 사용했던 것과 다른 수준의 인력을 채용할 예정인가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

통합계통 검증 방법론은 운전조 구성 수준을 어떻게 검증하는가?

### **9) 서로 다른 원전 운전 상태**

#### [현안 설명]

개별 SMR 원전은 서로 다른 운전 조건(예: 전력 수준 또는 정지, 기동, 과도 상태, 사고, 재장전 및 다양한 유형의 유지보수 및 시험 등)에 있을 수 있다. 사용되는 운전조 구성 모델과 개별 운전원에게 SMR 장치를 할당하는 방식에 따라 이러한 차이가 운전원의 업무량과 SA에 미치는 영향을 평가해야 한다. 또한 6.20절, 한 유닛의 계획되지 않은 종료 또는 상태 저하가 다른 유닛에 미치는 잠재적 영향 및 2.21절, 여러 유닛에서 정상 외 상태 처리에서 관련 문제를 참조하라.

#### [NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 운전조 구성 및 자격, HSI 설계, 절차서 개발 및 훈련 프로그램 개발에 대한 직원 평가에 영향을 미친다. 다음 질문을 통해 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보를 얻을 수 있다.

#### 운전조 구성 및 자격

팀으로서 운전조는 서로 다른 주에 있는 유닛을 어떻게 관리할 것인가(예: 한 운전원이 다른 주에 있는 여러 유닛을 계속 감시할 것인가, 아니면 전력 상태가 아닌 다른 주에 있는 유닛을 다른 운전원 또는 운전조에게 양도할 것인가)?

운전원과 운전조가 서로 다른 상태의 유닛에 대한 상황 인식을 유지하고 유닛 상태의 예기치 않은 변화와 비정상적인 조건에 적절히 대응할 수 있음을 입증하기 위해 어떤 분석 또는 데이터를 사용할 수 있는가?

#### 인간-시스템연계 설계

운전원이 각 유닛의 상태를 인지할 수 있도록 HSI는 어떻게 설계할 것인가?

#### 절차서 개발

절차서에서 서로 다른 유닛 상태를 어떻게 처리할 것인가?

#### 훈련 프로그램 개발

운전원 훈련에서 유닛 차이는 어떻게 다뤄지는가?

## 10) 유닛 설계 차이

### [문제 설명]

SMR 유닛 차이(이질성)의 영향은 해결되지 않았다. 우리가 연구한 모든 대리 시설은 유닛 차이를 다루고 있으며, 그 중 일부는 중요했다(NUREG/CR-7126 참조). 정유 공장에서는 이러한 차이가 운전원이 유닛을 구분하는 데 도움이 되어 감시에 도움이 되었지만, 원격 ICU 및 무인 항공기 운전원에게는 이러한 차이로 인해 운전이 복잡해진다. 특정 현장의 개별 유닛 간, 다른 현장의 유닛 간 또는 둘 다에 차이가 있을 수 있다.

많은 SMR은 확장 가능하도록 설계되었기 때문에 발전소의 다른 유닛이 작동하는 동안 유닛을 추가할 수 있다. 허가권자가 특정 사이트에 모든 동일한 유닛을 배치하려는 계획을 세울 수 있지만, 신뢰성 향상, 비용 절감 또는 노후화 문제 해결을 위한 변경으로 인해 이를 달성하지 못할 수 있으므로 운전조 및 운전원의 신뢰성에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 우리는 유닛의 차이가 SMR 운전 에 미치는 영향을 이해하고 해결해야 한다.

이 문제에서 비롯된 연구 질문은 유닛 차이가 수행도에 어느 정도 영향을 미치는지 확인하고 수행도의 어떤 측면이 영향을 받는지 파악하는 것일 수 있다. 유닛 차이는 워크스테이션 디스플레이를 감시할 때 운전원의 구별 능력을 지원할 수 있지만, 그 차이로 인해 상황 평가 및 대응 계획을 더 어렵게 만들 수 있다. 예를 들어, 유닛의 차이로 인해 매개변수 디스플레이에 따라 상태를 다르게 해석하게 되면 운전원이 실제와 다른 성능을 인식하는 데 장애가 될 수 있다. 또한, 유닛 간의 차이로 인해 다른 대응이 필요한 경우 운전원의 대응이 손상되고 운전원 오류의 기회가 발생할 수 있다. 예를 들어, 운전원은 유닛 1에서는 적절하지만 유닛 2에서는 부적절한 교란에 대응할 수 있다. 이 문제를 다루는 연구 결과는 절차서뿐만 아니라 HSI 검토에도 영향을 미친다.

HSI의 경우 제어실 HSI에 이러한 차이를 어떻게 묘사해야 하는지 여부와 방법에 대한 지침이 필요하다. NUREG-0700에는 이 문제에 대한 향상된 지침이 필요하다. 운전원의 수행도에 영향을 미치지 않는 차이를 묘사하면 불필요하게 디스플레이를 복잡하게 만들 수 있으며, 운전원 수행도에 영향을 미치는 차이를 묘사하지 않으면 상황 평가가 어려워지고 운전원 오류가 발생할 수 있다.

또한, 유닛 차이가 수행도에 미치는 영향이 결정되면 그 결과는 50.59 절차를 사용하여 유닛 차이를 평가하거나 특정 HSI 설계 기법 등 이를 해결하기 위한 표준화 필요성을 해결하는 데 도움이 될 수 있다. 절차서 및 훈련에서



이러한 유닛 차이를 해결하는 방법에도 시사점이 있다. 모든 유닛에 공통된 절차서를 적용하고 적절한 위치에 차이점을 명시해야 하는가, 아니면 각 유닛마다 완전히 분리되어 다른 절차서를 적용해야 하는가? 운전원은 유닛 간 차이점을 인식할 수 있도록 철저히 훈련받아야 한다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 HSI 설계, 절차서 및 훈련 프로그램 개발에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

인간-시스템연계 설계

운전원 수행도에 영향을 줄 수 있는 유닛 차이가 있는가? 그렇다면 운전원이 사용하는 HSI에 어떻게 표시되어 있는가?

발전소 HSI에 어떤 유닛 차이를 표시해야 하는지 어떻게 결정했는가?

절차서 개발

발전소 절차서에서 유닛 차이는 어떻게 다뤄지는가?

훈련 프로그램 개발

운전원 훈련에서 유닛 차이는 어떻게 다뤄지는가?

## 11) SMR의 공유 측면에 대한 제어시스템의 운전 영향

[현안 설명]

오늘날의 일반적인 발전소에서는 제어시스템이 단일 유닛을 관리한다. SMR의 경우 제어시스템이 여러 장치를 통합된 방식으로 관리할 수 있다. 여기에는 순환수, 붕괴 열을 제거하기 위한 최종 열제거원, 계기 공기, 서비스 수냉, AC 및 DC 전력계통과 같이 유닛이 공통으로 공유하는 계통이 포함될 수 있다. 또한 발전소 보조설비(BOP)계통과 같이 유사하지만 유닛 간에 공유되지 않는 계통의 공통 제어도 포함될 수 있다. 클레이튼과 우드(2010)는 “상당한 계통 통합과 재구성 가능한 제품 스트림을 갖춘 다수 유닛 제어는 원자력 발전에서 전례가 없었으며, 이는 계통 설계, 건설, 규제 및 운전에 중대한 영향을 미친다” (p146)고 언급했다. 여러 SMR과 그 공유계통을 통합 제어하는 것은 운전상의 과제일 뿐만 아니라 I&C의 과제일 수도 있다. 운전원의 과제는 이러한 제어계통을 감시하여 개별 장치와 공유계통이 제대로 작동하고 있는지, I&C계통의 성능 저하가 없는지 확인하는 것이다.

몇 가지 추가 고려 사항이 이 과제를 더욱 어렵게 만든다. 첫 번째는 제어계통에 새로운 유닛이 추가되면 SMR 확장성이 다수 유닛 운전을 더욱 복잡하게 만들 수 있다는 점이다. Wood 등(2003)은 “...이로 인해 모든 모듈이 동

시에 건설을 완료했을 때보다 모든 수준에서 인적 요소에 덜 최적화된 제어실이 될 수 있다” (p59)고 지적했다.

두 번째는 SMR이 여러 임무를 수행할 수 있다는 점이다. 즉, 전기 생산과 수소 생산과 같은 다른 목표를 달성하기 위해 계통을 유연하게 재구성해야 한다. 예를 들어, 운전원은 현재 전기 생산 전용인 일부 SMR 장치를 수소 생산으로 전환해야 할 수도 있다. 운전원을 효과적으로 지원하기 위한 운전 관행과 제어실을 설계하는 것은 다수 유닛 SMR의 설계 및 허가에서 해결해야 할 중요한 문제이다.

이 문제의 HFE 영향은 주로 HSI 설계와 관련이 있다. NUREG-0700에는 제어에 대한 지침이 있지만, 다수 유닛 및 공유계통 제어가 운전원의 워크스테이션에서 어떻게 구현되고 HSI에 표현되어야 하는지는 고려하지 않는다. 또한 해결이 필요한 잘못된 유닛/오류 열차 유형의 오류가 발생할 가능성이 높아질 수 있다.

추가적인 시사점으로는 오작동 감지를 포함하여 여러 장치 및 공유계통의 상태에 대한 운전원의 상황 인식에 대한 제어계통의 성능 저하가 미치는 영향이 있다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 HSI 설계 및 절차서 개발에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 인간-시스템연계 설계

공유계통은 HSI에 어떻게 묘사되며 운전원은 공유계통이 제대로 작동하는지 어떻게 판단하는가?

운전원은 I&C계통의 성능 저하를 어떻게 식별하며, HSI에서 이를 어떻게 식별할 수 있는가?

여러 운전원이 부서 간에 공유되는계통을 제어할 수 있는가, 그렇다면 제어는 어떻게 관리되는가?

#### 절차서 개발

저하된 I&C 상태를 관리할 때 운전원을 지원하기 위해 어떤 절차서를 사용할 수 있는가?

절차서는 여러 유닛의 제어계통과 서로 다른 임무를 가진 발전소 구성의 공유계통에 대한 운전원의 상호 작용을 어떻게 처리하는가?

## **12) 다른 발전소가 가동 중일 때 신규 발전소 추가의 영향**

#### [현안 설명]

대부분의 SMR은 확장 가능하며, 즉 유틸리티의 특정 전력 수요를 충족하기 위해 여러 발전소를 한 부지에 그룹화할 수 있다. 현재 건설 계획은 건설 중인 2호기가 가동 중인 1호기와 명확하게 분리되어 있는 다수 유닛 현장의 현재 관행과 달리, 이전 유닛이 전력을 공급하는 동안 추가 유닛을 계속 설치하는 것이다. 기존 유닛이 있는 현장에 새로운 유닛을 추가할 경우의 영향도 고려해야 한다.

또 다른 고려 사항은 새로운 유닛을 수용하기 위해 제어실에 워크스테이션을 추가해야 한다는 점이다. 현재 발전소의 경우 일반적으로 운전 중인 제어실과 건설 중인 제어실 사이에 견고한 벽을 세우는 것이 관행이다. 이 벽은 새 유닛에 대한 접근을 제어하고 소음, 중단, 연기, 먼지, 건설 관련 화재 가능성, 무전기로 인한 전자기 간섭, 기타 건설 작업 및 시험을 제한한다. 공유 또는 공용계통은 일반적으로 운전 통제실의 경계에 포함된다.

후속 유닛의 공사 활동이 운전 유닛과 완전히 분리되지 않으면 운전원의 주의를 분산시킬 수 있다. 분리되어 있더라도 운전 유닛에 트립이나 기타 운전 문제를 일으킬 수 있는 기계 및 I&C 연결 활동이 있을 수 있다. 이는 기존 운전 장치와 건설 중인 새 운전 장치를 감시하고 제어하는 데 사용되는 워크스테이션 및 HSI 디스플레이를 설계할 때 특히 문제가 될 수 있다.

#### [NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 HSI 설계 및 절차서 개발에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 인간-시스템연계 설계

발전소에 새 유닛이 추가되는 기간 동안 HSI에 변경이 필요한가?

현재 유닛을 감시하고 제어하는 데 사용되는 기존 워크스테이션에 새 유닛의 HSI를 어떻게 추가할 것인가?

기존 유닛의 감시 및 제어를 방해하거나 방해하지 않는 방식으로 새 유닛의 작동을 지원하는 새 워크스테이션을 어떻게 도입할 것인가?

#### 절차서 개발

새 장치 설치가 절차서에 어떤 영향을 미치는가?

이 기간 동안 특별한 절차서가 사용되는가?

### 13) 비LWR 공정 및 반응도 영향 관리

#### [현안 설명]

비LWR SMR 설계에는 해당 공정의 고유한 계통과 특징이 통합되어 있으며 LWR과 다른 반응도 영향이 있을 수 있다. 예를 들어 납 냉각 고속 원자로인 하이페리온 파워 모듈(HPM)의 핵심 영역에 납이 존재하면 경수로의 반응도 효과와는 다른 반응도 효과가 나타날 수 있다. HPM 설계는 중성자 열화가 거의 나타나지 않고, 도플러 효과가 낮으며, 반응도 온도 계수가 덜 음수이고, 중성자 수명이 더 짧다. 이러한 특징은 모두 코어 전력 및 과도 작동의 역동성을 가속화한다. 운전원이 반응도 효과와 전반적인 원자로 안전을 모두 제어하는 것은 이러한 효과에 대한 이해에 달려 있다.

이러한 차이점을 이해하려면 가압경수로에만 익숙하지만 비경수로 발전소로 전환하는 운전원은 강의실과 시뮬레이터 모두에서 특별한 훈련이 필요하다. 운전원의 수행도에 대한 수용성은 철저하고 통합된 계통 검증 프로그램의 일부로 구체적으로 시험되어야 한다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 기능 요건 분석 및 기능 할당, HSI 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 기능 요건 분석 및 기능 할당

비-LWR 공정 및계통은 무엇이며 어떤 임무를 지원하는가?

반응도 효과를 제어하는 데 있어 운전원의 역할은 무엇인가?

#### 인간-시스템연계 설계

비-LWR 공정의 반응도 감시 및 제어에 사용할 수 있는 HSI는 무엇인가?

#### 절차서 개발

발전소 절차서에서 비LWR에 대한 반응도 감시 및 제어는 어떻게 다뤄지는가?

#### 훈련 프로그램 개발

운전원 훈련에서 비LWR 공정은 어떻게 다뤄지는가?

운전원 훈련에서 반응도 효과 제어는 어떻게 다뤄지는가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

인간 공학 V&V에서 비LWR 작업의 수행도는 어떻게 다뤄지는가?

반응도 제어 수행도는 어떻게 검증되는가?

## **14) 부하 추종 운전**

[현안 설명]

오늘날의 원전은 일반적으로 100% 전력으로 작동하며 유틸리티의 배전계통에 기본 부하를 제공한다. 즉, 발전소는 그리드를 위해 전기를 생산하고 다른 전기 생산자는 수요 변화에 대해 보상을 한다. 클레이튼과 우드(2010)는 기저부하 운전 방식이 SMR에 적합하지 않을 수 있으며, 생산량이 가변적인 다른 재생 에너지 공급원(예: 태양광, 풍력)과 협력해야 할 수도 있다고 제안했다.

부하 추종은 배전계통에서 요구하는 부하에 따라 원전에서 생성되는 전력 출력을 증가 또는 감소시킬 수 있는 운전 절차이다. 이는 더 많은 과도 상태를 수반하므로 발전소는 외부 수요에 따라 원자로와 터빈 출력을 모두 늘리거나 줄일 수 있다. 따라서 운전원은 더 많은 조치를 취해야 하고 자동계통의 응답을 더욱 주의 깊게 감시해야 한다. 또한 다수 유닛 사이트의 경우 부하 추종에는 부하 수요의 큰 변화를 충족하기 위해 유닛의 시동 및 정지가 수반될 수 있다. 따라서 장비 고장 및 운전원 실수가 발생할 가능성이 더 커진다.

부하 추종이 허용되는 관행이 되면 공급업체와 발전소 소유주는 NRC와 함께 다음과 같이 부하 추종을 구현할 방법을 결정해야 한다:

방법 A - 급전원이 모든 변경 사항에 대해 원전의 교대 감독자에게 연락한다.

방법 B - 급전원이 요청된 변경 사항을 신고하면 원전이 자동으로 응답하고 급전원과 RO/SRO가 적절한 응답을 감시한다.

두 가지 접근 방식에는 각각 고유한 문제가 있다. 방법 A는 운전원에게 더 많은 업무량과 더 많은 주의를 분산시킨다. 단일 장치를 수동으로 제어하는 것은 운전원의 능력 범위 내에 있지만, 여러 장치를 동시에 제어하는 것은 훨씬 더 어렵고 오류가 발생할 수 있다.

방법 B는 원전계통에 대한 훈련을 받지 않았고 원자로의 반응도 및 전력 수준을 변경할 수 있는 허가를 받지 않은 사람이 이를 수행할 수 있도록 허용한다. NRC는 자동 부하 추종 방식으로 발전소를 운전하는 것을 허용하지 않았다.

허용 가능한 접근 방식이 결정되면 설계자는 부하 추종 운전을 적절히 관리하기 위해 필요한 운전원 작업을 정의하고 이를 지원하기 위한 HSI, 절차서 및 훈련을 제공해야 한다.

이러한 운전 방법의 변경은 과도현상의 빈도가 높아져 위험을 증가시킬 수 있으므로 확률론적 위험도 평가(PRA) 기법을 통해 평가해야 한다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 기능 요건 분석 및 기능 할당, 운전조 구성 및 자격, 중요 인적 행위의 처리, HSI 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 기능 요건 분석 및 기능 할당

부하 추종은 어떻게 수행되며, a) 원전 직원, b) 비원전 직원(예: 외부 부하 파견자), c) 자동화의 상대적 역할은 무엇인가?

#### 운전조 구성 및 자격

부하 추종 작업에는 어떻게 인력이 배치되며 어떤 자격이 필요한가?

부하 추종 업무는 다른 직원 업무에 어떤 영향을 미치는가?

#### 중요한 인적 행위의 처리

부하 추종 고장이 PRA에 모델링되어 있으며 위험에 중요한 인적 행위가 모델에서 정확하게 설명되어 있는가?

#### 인간-시스템연계 설계

부하 추종 작업에 필요한 HSI는 무엇이며 전체 제어실 설계에 어떻게 통합되어 있는가?

#### 절차서 개발

부하 추종 작업에 필요한 절차서는 무엇이며 제어실에서 어떻게 구현되는가? 소의 급전원을 위한 절차서가 있는가?

#### 훈련 프로그램 개발

운전원이 부하 추종 작업을 수행하려면 어떤 훈련이 필요한가?

급전원은 발전소 운전원과 함께 훈련을 받는가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

부하 추종 작업을 위한 통합계통의 설계를 어떻게 검증할 것인가?

### **15) 새로운 재장전 방법**

#### **[현안 설명]**

몇몇 SMR 설계는 원자로에 온라인 또는 연속적으로 재장전한다. 이러한 재장전 작업에 대한 국제적인 경험은 있지만, 미국에서는 새로운 관행이 될 것이다. 또한 일부 상황에서는 연료 교환에 대한 특정 접근 방식이 새롭다.

뉴스케일의 접근 방식을 생각해 보자. 현재 뉴스케일 재장전 개념에 대해 얻은 정보에 따르면, 재장전할 원자로를 장착 위치에서 분리하여 크레인에 연결하는 온라인 재장전 작업이 있을 것이다. 그런 다음 크레인이 원자로를 연료 공급 베이로 이동하여 분해 및 연료를 공급한다. 원자로 계측기는 전체

공정을 통해 감시된다. 계측 및 제어(I&C)에는 4개의 채널이 있다. 원자로 이동을 준비할 때는 먼저 한 채널의 케이블 커넥터를 원자로에서 분리하여 재장전 브리지(RB)에 부착한다. RB의 채널이 제대로 판독되는 것으로 확인되면 두 번째 I&C 채널도 마찬가지로 전송되고, 3번과 4번 채널이 차례로 전송된다. 이 원자로의 제어는 주제어실이 아닌 재장전 구역에 있는 SRO의 책임이다. 고려 중인 한 가지 개념은 13번째 원자로가 재장전 중인 원자로를 대체하기 위해 이동하는 것이다. 그러면 다른 12개의 원자로가 여전히 발전소의 최대 출력을 유지하는 동안 이 원자로에 연료를 공급할 수 있다.

이 작업은 재장전 운전조가 관리할 가능성이 높다. 그러나 재장전 운전조의 작업뿐만 아니라 주 원자로 운전원과의 연계도 고려해야 한다. 이러한 새로운 접근 방식이 사람의 작업 수행도와 발전소 안전에 미치는 영향을 평가해야 한다.

공급업체는 원자로에 연료를 공급하는 방법을 정의해야 하며, 특히 동시에 다른 운전 장치를 담당하는 운전원이 HFE 분석 및 연구를 통해 평가한 운전원 수행도에 미치는 영향을 정의해야 한다. 여기서 핵심적인 정책 질문은 한 운전원이 가동 중인 원자로와 재장전 중인 원자로를 동시에 제어할 수 있도록 NRC가 허용할지 여부이다.

재장전이 운전원의 수행도에 미치는 영향에 따라 관련 HSI, 절차서 및 훈련을 검토하기 위해 강화된 검토 지침이 필요할 수 있다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 기능 요건 분석 및 기능 할당, 운전조 구성 및 자격, 중요 인적 행위의 처리, HSI 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다.

신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 기능 요건 분석 및 기능 할당

재장전은 어떻게 이루어지며 원전 운전원과 자동화의 상대적 역할은 무엇인가?

#### 운전조 구성 및 자격

재장전 작업에는 어떻게 인력이 배치되며 어떤 자격이 필요한가?

재장전 업무는 다른 운전원 업무에 어떤 영향을 미치는가?

#### 중요한 인적 행위의 처리

재장전 실패가 PRA에서 모델링되고 있으며 위험에 중요한 인적 행위가 모델에서 정확하게 설명되는가?

### 인간-시스템연계 설계

재장전 작업에 필요한 HSI는 무엇이며 전체 제어실 설계에 어떻게 통합되어 있는가?

### 절차서 개발

재장전 작업에 필요한 절차서는 무엇이며 제어실에서 어떻게 구현할 수 있는가?

### 훈련 프로그램 개발

운전원이 재장전 작업을 수행하려면 어떤 훈련이 필요한가?

### 인간 공학 확인 및 검증

재장전 작업을 위한 통합계통의 설계를 어떻게 검증할 것인가?

## **16) 다수 유닛 팀을 위한 제어실 구성 및 워크스테이션 설계**

이 절과 다음 몇 개의 절에서는 HSI 설계를 다룬다. 이 절에서는 제어실과 워크스테이션의 전반적인 배치와 설계를 다룬다. 이후 절에서는 HSI 설계의 세부 사항과 관련된 다른 문제를 확인한다:

### **[현안 설명]**

제어실의 구성 및 배치는 중요한 인간 공학 문제이다. 단일 원자로와 보조계통의 경우, 최신 컴퓨터 기반 제어실에는 일반적으로 대형 개요 디스플레이, 여러 개의 운전원 워크스테이션, 감독자 워크스테이션, 엔지니어링 및 유지 보수 작업을 위한 보조 워크스테이션이 있다. 문제는 한 사람이 최대 4기의 원자로와 보조계통을 책임질 수 있는 여러 원자로를 포괄하는 SMR 운전을 지원하기 위해 단일 제어실을 어떻게 설계할 것인가 하는 것이다. 해답은 부분적으로 운전조의 책임 배분에 달려 있다. 오늘날의 단일 원자로 제어실 운전에는 필요한 HSI 리소스를 고려할 때 단일 워크스테이션을 설계하여 한 원자로를 단독으로 감시하는 것도 어렵지만, 이를 4개로 확대하는 것은 더 어려울 수 있다.

한 SMR 설계자의 예비 개념에 따르면 단일 유닛의 정보, 디스플레이, 절차서 및 제어를 표시하려면 8대의 모니터가 필요하다고 제안했다. 따라서 4대의 장치에는 총 32대의 모니터가 필요하다. 한 명의 운전원이 이렇게 많은 양의 정보를 효과적으로 감시할 수 있을지는 불분명하다. 게다가 중요한 데이터를 놓칠 가능성도 높아질 수 있다.

다수 유닛 운전을 고려할 뿐만 아니라 수소 생산과 같은 새로운 임무뿐만 아니라 연료 교환을 위한 원자로 이동과 같은 새로운 작업을 수용할 수 있



는 설계가 필요하다.

또 다른 질문은 개별 유닛 제어실을 한 방에 배치할지 아니면 서로 가까운 다른 방에 배치할지 여부이다. 단일 제어실에서는 경보 및 비상 절차서 사용과 같은 단일 장치와 관련된 상황 요인이 다른 장치를 감시하는 운전원에게 영향을 미칠 수 있다. 그러나 운전조가 한 방에 있으면 서로를 더 쉽게 도울 수 있고 감독하기가 더 쉬워진다. 개별 유닛 제어 스테이션이 별도의 제어실에 있는 경우 전반적인 감독, 팀워크, 업무량이 많은 상황에서 필요한 전환을 관리하기가 더 어려울 수 있다. 또한 각 유닛의 운전은 다른 유닛에서 일어나는 일에 의해 방해받지 않는다.

일부 예외가 있기는 하지만 일반적으로 단일 제어실에서 여러 유닛을 운전하는 것은 새로운 관행으로 간주된다. 따라서 최종 설계가 상황 인식과 팀워크를 지원할 수 있도록 적절한 접근 방식을 결정하려면 워크스테이션 설계 및 제어실 구성에 대한 연구가 필요하다. 앞서 언급했듯이 이 연구의 한 가지 측면은 다수 유닛 운전에 대한 다른 업계의 경험을 수집하는 것이다. 지금까지의 연구에서 우리는 단일 제어실과 여러 개의 제어실을 모두 관찰했다.

이 절의 시작 부분과 섰 2.3절, 다수 유닛 운전과 팀워크에서도 확인할 수 있다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 HSI 설계 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 인간-시스템연계 설계

전체 제어실 배치에서 다음을 어떻게 지원하는지 설명하라:

- 원자로 운전, BOP계통, 공유계통, 재장전을 포함한 다수 유닛 운전
- 수소 생산과 같은 새로운 임무를 위한 기타 인력 책임
- 제어실에서 수행되는 유지보수 활동

제어실 구성 및 워크스테이션 설계가 최소, 정규 및 최대 인력 수준을 어떻게 지원하는가?

제어실 설계가 팀워크와 감독 업무를 어떻게 지원하는가?

개별 운전원의 책임을 지원하기 위해 워크스테이션이 어떻게 설계/구성되어 있는가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

다수 유닛 팀을 위한 제어실 및 워크스테이션의 설계는 어떻게 검증할 것인가

가?

## 17) 다수 유닛 감시 및 제어를 위한 HSI 설계

[현안 설명]

단일 운전원이 하나 이상의 SMR을 효과적으로 관리할 수 있도록 HSI(경보, 디스플레이 및 제어)의 세부 설계는 중요한 기능이다. HSI는 여러 유닛의 전체 상태를 감시하고 개별 유닛에 대한 세부 정보를 쉽게 검색할 수 있어야 한다. 이러한 요구는 몇 가지 질문을 제기한다. 예를 들어, 각 유닛의 HSI는 다른 유닛의 HSI와 분리되어야 하는가, 아니면 운전원이 책임지고 있는 모든 유닛의 상태에 대한 높은 수준의 인식을 유지할 수 있도록 통합되어야 하는가? 유닛이 분리되어 있고 운전원이 그 중 하나에 집중하는 경우 다른 유닛의 상태에 대한 인식을 잃을 수 있다. 정보가 통합되어 있다면 운전원이 한 유닛에 대한 정보를 다른 유닛의 정보와 혼동하지 않도록 하는 것이 어려울 수 있다. 이와 관련하여 앞서 2.10절, 장치 설계 차이에서 설명한 대로 HSI를 설계할 때 장치 차이를 어떻게 해결할 것인지에 대한 문제가 있다.

경보 설계는 운전원이 중요한 교란을 인지할 수 있도록 하여 변경 설명 및 방치로 인한 영향을 최소화하는 데 특히 중요하다.

또한 SMR 담당자는 업무를 지원하기 위해 더 고급 I&C 및 HSI 기능이 필요할 수 있다. 예를 들어, 감시 및 상황 인식을 지원하기 위해 진단 및 예후를 제공하는 계통을 사용할 수 있다. 직원이 이러한 기능을 관리하고 이해하는 방식은 사람 및 발전소의 전반적인 성과에서 중요한 고려 사항이다.

팀워크를 지원하기 위한 정보 구성은 팀워크를 촉진하기 위해 운전조 개인과 운전조으로서 어떤 정보에 액세스해야 하는지 결정하는 등 또 다른 중요한 HSI 요소이다. 연구해야 할 핵심 측면은 각각 하나 이상의 장치를 제어하는 여러 명의 운전원이 있는 제어실에서 대형 개요 디스플레이를 사용하는 것이다. 단일 유닛의 제어실에서는 그 가치가 명확하고 분명하지 않을 수 있다.

또 다른 문제는 한 운전원에서 다른 운전원으로 한 유닛의 제어를 전환하는 데 필요한 HSI이다.

다수 유닛 감시 및 제어가 모든 HSI 리소스에 부과하는 요구 사항을 보다 명확하게 정의하고, 다수 유닛 제어실을 지원하기 위해 워크스테이션, 개요 디스플레이 및 제어실 배치에 어떻게 통합해야 하는지 설명하기 위한 연구가 수행되어야 한다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 HSI 설계 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 인간-시스템연계 설계

사용 개념을 설명하고 다수 장치 작동을 위한 HSI 개요 제공

제어실과 워크스테이션에서 다수 장치에 대한 경보가 어떻게 표시되는가?

모든 우선 순위가 높은 경보에 대한 운전원의 인식은 어떻게 보장되는가?

운전원에게 할당된 모든 유닛에 대해 운전원/운전조 SA를 지원하기 위해 어떤 HSI 기능이 사용되는가?

운전원이 단일 워크스테이션에서 다른 유닛과 상호 작용할 수 있도록 제어는 어떻게 설계되어 있는가?

잘못된 유닛 오류를 최소화하기 위해 어떤 설계 기능이 구현되어 있는가?

HSI 관점에서 한 유닛에 대한 제어권이 한 운전원에서 다른 운전원으로 어떻게 이전되는가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

다수 유닛 감시 및 제어를 위한 HSI 설계는 어떻게 검증되는가?

### **18) 새로운 임무를 위한 HSI**

[현안 설명]

HSI는 수소 생산 또는 증기의 산업적 사용과 같은 새로운 임무를 감시하고 제어하는 데 필요하므로 이를 어떻게 설계하고 제어실에 통합할 것인지에 대한 문제를 해결해야 한다.

새로운 HSI 자체에 대한 NRC 설계 검토는 NUREG-0700의 지침을 사용할 수 있지만, 이러한 새로운 임무와 원자로 제어 간의 상호 작용을 안내하기 위해 확장해야 할 수도 있다. 이 문제를 연구하기 전에 SMR 설계자로부터 새로운 임무를 관리하는 방법과 그 운전이 나머지 SMR 운전 어떻게 배치되고 통합되는지에 대한 더 자세한 데이터가 필요하다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 HSI 설계 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 인간-시스템연계 설계

새로운 임무를 위한 HSI를 주제어실에서 사용할 수 있으며, 그렇다면 안전한 전력 생성을 위한 HSI와 어떻게 관련되어 있는가?

사용 개념을 설명하고 새로운 임무용 HSI에 대한 HSI 개요를 제공하는가?

새로운 임무를 위한 정보, 디스플레이 및 제어는 원자로 및 BOP 운전을 위한 정보, 디스플레이 및 제어와 어떻게 통합되는가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

새로운 임무에 대한 HSI 설계는 어떻게 검증되는가?

### **19) 안전 기능 감시**

[현안 설명]

TMI 원전 사고 이후 NRC가 취한 조치 중 하나는 10 CFR 50.34(f)(2)(iv)를 통해 각 발전소에 안전변수표시계통(SPDS)을 설치하도록 요구함으로써 운전 운전조의 중요 안전 기능 감시 능력을 향상시키는 것이었다. 또한 NRC는 SPDS의 특성에 대한 지침을 NUREG-0835(NRC, 1981), NUREG1342(라핀스키 외, 1989), NUREG-0737(부록 1)(NRC, 1983) 및 NUREG-0700, 5절)에 발표했다. 이 문서에서 확인된 특정 안전 기능 및 매개변수는 기존 LWR을 기반으로 한다. 그러나 HTGR 및 액체 금속 원자로(LMR)를 사용하는 SMR 설계는 운전조가 발전소의 안전을 효과적으로 감시하는 데 도움이 되도록 다른 안전 기능과 매개변수가 필요할 수 있다.

안전 기능 감시 개선은 10 CFR 50.34(f)(2)(iv)에서 요구하는 TMI 사후 항목이다. HTGR 및 LMR과 같은 일부 SMR의 경우 이러한 설계에 적합한 안전 기능과 운전원이 이를 감시하는 데 사용할 중요한 안전 매개변수를 모두 식별하기 위해 이 규정의 변경이 필요하다. 새로운 지침은 NUREG0711과 NUREG-0700 모두에 적용된다. 지침을 업데이트해야 하지만 새로운 지침의 수립을 뒷받침하기 위한 새로운 연구는 필요하지 않을 것으로 보인다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 HSI 설계, 절차서 개발 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 다음 질문을 통해 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보를 얻을 수 있다.

#### 인간-시스템연계 설계

중요한 안전 기능은 무엇이며 운전원이 상태를 확인하기 위해 감시하는 매개변수는 무엇인가?

중요한 안전 기능 정보는 제어실에 어떻게 표시되는가?

운전원이 여러 장치의 안전 기능을 감시하는 경우 개별 장치에 대한 정보는 제어실에 어떻게 표시되며 각 장치에 대한 운전원의 인식은 어떻게 보장되는가?

#### 절차서 개발

중요한 안전 기능과 감시되는 매개변수를 다루기 위한 절차서가 어떻게 개발되는지 설명한다.

#### 인간 공학 확인 및 검증

안전 기능 감시를 위한 HSI 설계를 어떻게 검증할 것인가?

### **20) 한 장치의 계획되지 않은 종료 또는 상태 저하가 다른 장치에 미치는 잠재적 영향**

#### **[문제 설명]**

한 장치의 계획되지 않은 종료 또는 상태 저하가 다른 장치, 특히계통을 공유하는 장치에 영향을 미칠 수 있다. 운전원은 이러한 영향을 감지하고 평가할 수 있어야 하므로 상황 관리를 지원하기 위해 HSI가 필요하다. 명확한 기준을 통해 추가 인력을 투입하거나 영향을 받은 유닛을 다른 운전원이나 운전조에게 이관해야 하는 조건을 알려야 한다. 또한, 주제어실(MCR)과 HSI의 설계는 유닛을 다른 운전원에게 효과적으로 이양할 수 있도록 지원해야 한다.

이는 많은 NRC 기술 분야에서 관심을 갖는 광범위한 안전 문제임이 분명하지만, 이러한 상황을 성공적으로 관리하는 데 필수적인 운전원의 업무, HSI, 절차서 및 훈련에 대한 더 많은 연구가 필요하다. 이 연구에는 SMR 신청자가 제안한 접근 방식이 반영되어야 한다. 계획되지 않은 정지와 악화된 상황을 처리하기 위해 제안된 접근 방식에 대한 HFE 검토를 위한 지침이 필요하다.

#### **[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]**

이 문제는 주로 신청자의 인력 및 자격, HSI 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 운전조 구성 및 자격

영향을 받는 부서를 담당하는 운전원에 변경이 있는가?

#### 인간-시스템연계 설계

운전원은 여러 장치를 감시하는 동안 한 장치의 예기치 않은 종료 또는 성

능 저하를 어떻게 감지하고 감시할 것인가?

#### 절차서 개발

운전조는 다른 장치가 정상적으로 작동하는 동안 한 장치의 계획되지 않은 종료 또는 상태 저하를 어떻게 처리하는가?

한 장치가 종료 또는 성능 저하되는 경우 정상적으로 작동하는 장치에는 어떤 영향이 있는가?

#### 훈련 프로그램 개발

다른 장치가 정상적으로 작동하는 동안 한 장치의 예기치 않은 종료 또는 성능 저하를 훈련에서 어떻게 처리하는가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

다른 장비가 정상적으로 작동하는 동안 한 장비의 계획되지 않은 종료 또는 성능 저하를 어떻게 관리하고 검증할 것인가?

## 21) 여러 장치에서 비정상 상태 처리

### [문제 설명]

2.3절과 2.7절의 앞부분에서 언급했듯이 여러 장치가 있는 제어실에서 운전조의 비정상 상태 및 비상 상황<sup>5)</sup> 처리 능력에 대한 평가(예: 신청자 시험, 연구)가 필요하다. 평가에서는 여러 현장 유닛 또는 모든 유닛에 영향을 미칠 수 있는 공통 원인으로 인해 발생하는 이벤트의 가능성을 고려해야 한다. 예를 들면 소외 전력 상실과 화재, 홍수, 지진과 같은 '외부 사건'이 있다.

현재 발전소와 마찬가지로 비정상적인 상황을 처리하기 위해 운전조 증원을 포함한 인력 변경이 필요할 수 있다. 대부분의 SMR은 운전원/운전조가 여러 장치를 감시하고 제어할 것을 제안한다.

이 문제는 10 CFR의 운전조 구성 및 비상 계획 규정과 지침에 영향을 미친다. SMR 공급업체는 비상 계획 구역이 축소되어 비상 대응(EP) 운전조에 대한 인력 요건이 낮아질 수 있다고 밝혔다.

이 문제의 해결 여부는 SMR 유닛당 증가분에 현장의 원자로 수를 곱하기 때문에 운전조 구성에 상당한 영향을 미칠 수 있다.

2.9절, 서로 다른 원자로 가동 상태 및 6.20절, 한 원자로의 계획되지 않은 가동 중단 또는 상태 악화가 다른 원자로에 미치는 잠재적 영향에서 관련 문제를 참조하라.

### [NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

---

5) 과도 현상은 사고보다 더 자주 발생하며 그 정도는 덜 심각하다. 과도 현상의 예로는 원자로 또는 터빈 트립, 소외 전력 상실이 있으며, 사고의 예로는 1차 방출 밸브 고착, 냉각수 상실 사고 등이 있다.

이 문제는 주로 신청자의 인력 및 자격, HSI 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 운전조 구성 및 자격

영향을 받는 부서를 담당하는 운전원에 변경이 있는가?

-운전원이 여러 원자로를 제어하는 경우, 원자로 중 하나에서 과도 현상이 발생하는 경우 교대가 필요한가? 그렇다면 교대 근무 또는 대기 중 어떤 방식으로 교대가 제공되는가?

-지정된 일시적 교대는 사이트 유닛으로 제공되는가, 아니면 유닛-유닛으로 제공되는가?

-교대 대상은 운전원인가 아니면 운전조인가?

여러 유닛에서 정상적이지 않은 상황에 대한 EP 운전원 수는 어떻게 결정되는가?

-현재 발전소의 교대 근무 EP 운전원 수가 다수 유닛 SMR 발전소에 적합한가?

-현장에 적용될 것인가, 아니면 각 유닛마다 지정된 비상 근무자가 필요한가?

#### 인간-시스템연계 설계

운전원은 여러 유닛에서 정상에서 벗어난 상태의 처리를 어떻게 감지하고 감시할 것인가?

정상에서 벗어난 유닛은 정상적으로 작동하는 유닛과 동일한 워크스테이션에서 동일하거나 다른 직원과 함께 처리할 것인가?

#### 절차서 개발

운전 운전조는 여러 유닛에서 정상에서 벗어난 상태를 어떻게 처리하는가?

여러 유닛에서 비정상 상태가 발생하면 정상적으로 운전되는 유닛에는 어떤 영향이 있는가?

#### 훈련 프로그램 개발

여러 시설에서 정상에서 벗어난 상황이 발생하면 훈련에서 어떻게 처리할 것인가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

여러 장치에서 정상에서 벗어난 상태의 처리를 어떻게 검증하는가?

## **22) 다수 유닛 교란에 대한 비상 운전 절차서 설계**

[현안 설명]

다수 유닛, 특히계통을 공유하는 유닛의 교란 가능성은계통 상실, 지진, 강풍 및 홍수와 같은 외부 사건 또는 최종 냉각 또는 스위치야드 같은 공유계통의 고장으로 인한 다수 유닛 비상 상황에 대응하는 전략을 고려하는 비상 운전 절차서(EOP)를 개발해야 할 수 있다. 대응은 원자로의 상호 작용을 고려하여 신중하게 평가되어야 하며, 절차서는 각 원자로의 중요한 안전 기능을 보장해야 한다.

대부분의 신형 원자로 설계에는 운전조의 비상 상황 관리를 지원하는 컴퓨터 기반 절차서(CBP)계통이 있다. 다수 장치 비상 상황을 관리하는 데 이러한계통을 사용하면 모든 장치에 대한 운전원의 인식을 보장해야 한다. 절차서는 여러 운전조가 사용할 수 있도록 지원해야 할 가능성이 높다. CBP는 원전에서 비교적 새로운 운전원 지원계통이며, 다수 유닛 EOP에 의해 부과되는 많은 새로운 요구사항은 규제 검토가 필요한 새로운 기능을 필요로 할 것이다.

NRC는 SRP 13장 및 18장 검토에 따라 EOP의 설계와 내용, 그리고 컴퓨터 기반 절차서의 구현을 검토한다. 다수 장치 교란을 다루기 위해 EOP를 변경하는 경우 이 지침을 업데이트해야 할 수 있다. 또한 NUREG-0700에는 다수 장치 적용을 처리하기 위해 업그레이드가 필요할 수 있는 CBP에 대한 자세한 설계 검토 지침이 포함되어 있다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 절차서 개발 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 절차서 개발

각 유닛마다 독립적인 절차서가 있는가, 아니면 통합되어 있는가?

공통 절차서의 실행은 어떻게 관리되는가?

두 명 이상의 운전조가 EOP를 사용할 것인가, 그렇다면 어떻게 관리되는가?

EOP가 CBP로 시행되는가, 시행된다면 CBP는 여러 유닛에서 발생하는 고장을 어떻게 처리하는가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

다수 유닛 고장에 대한 EOP는 어떻게 검증되는가?

### **23) 새로운 위협**

[문제 설명]

비경수로 기술을 기반으로 하는 두 가지 종류의 SMR 설계가 있다: HTGR과



LMR, LWR 설계와는 달리, 수소, 액체 금속(나트륨 및 납 등), 훨씬 높은 작동 온도 및 압력, 고온 가스 사용, 노심 내 흑연 등 새로운 기술 관련 위험이 수반된다. 일부 상황에서 흑연 코어는 가연성이며 방사선학적으로 위험한 연기를 발생시킬 수 있다. 이러한 위험을 파악한 다음 위험을 감시하고 완화하는 안전계통, 운전원이 공장을 감시하는 데 사용하는 HSI, 위험을 해결하기 위해 사용하는 절차서 및 운전원 훈련에서 이러한 위험을 해결해야 한다. 공급업체는 새로운 위험을 해결해야 하며 NRC는 인허가 과정의 일부로 이를 검토할 가능성이 높다. 위험을 감지하는 계통의 HSI 감시, 적절한 운전원 조치를 식별하는 절차서, 전반적인 위험 관리에 대한 훈련에 대한 검토 지침이 필요하다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 직무 분석, HSI 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발 및 V&V에 대한 NRC 담당자의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 직무 분석

설계의 비-LWR 기술 측면에 어떤 위험이 존재하며 이를 관리하기 위해 어떤 인적 조치가 필요한가?

#### 인간-시스템연계 설계

HSI는 각각의 새로운 위험과 관련된 고장의 존재(또는 잠재적 가능성)를 운전원에게 어떻게 경고하는가?

#### 절차서 개발

새로운 위험을 관리하는 데 사용할 수 있는 절차서에는 어떤 것이 있는가?

#### 훈련 프로그램 개발

새로운 위험 관리를 위한 모자 훈련이 제공되는가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

새로운 위험에 대한 인력 관리는 어떻게 검증할 것인가?

## **24) 피동 안전계통**

[현안 설명]

일부 신형 원자로 설계와 마찬가지로 SMR은 펌프와 같은 능동 부품이 아닌 물리적 공정에 의존하는 과도 현상 및 사고에 대응하기 위해 피동 안전계통을 사용한다. 예를 들어, 지나치게 높은 온도에 도달하면 온도 구배가 자연 순환을 증가시킨다. 많은 피동형 계통은 공정을 시작하기 위해 하나 또는 두 개의 밸브를 사용하며, 밸브는 매우 안정적이어야 한다.

IAEA(2009)는 이러한계통을 사용한 원자로 설계에 대한 제한된 경험을 바탕으로 피동형 계통에 대한 우려를 표명했다:

- 피동 안전계통의 신뢰성은 능동 안전계통의 신뢰성만큼 이해되지 않을 수 있다.
- 능동 및 피동 안전계통 간에 원치 않는 상호 작용이 있을 수 있다.
- 수동으로 작동된 피동 안전계통을 '끄기' 어려울 수 있다.

물리적 프로세스에 의존하는 피동 안전계통은 능동 안전계통만큼 일상적인 시험이 쉽지 않다는 점에 유의하라. 예를 들어 시동할 펌프가 없는 등 쉽게 시험할 수 있는 기기가 없다. 밸브가 있는 피동 계통의 경우, 프로세스를 시작하는 물리적 조건이 없는 상태에서 밸브를 작동하면 프로세스를 완전히 시험할 수 없다. 따라서 운전원은 현재 세대의 능동형 계통만큼 익숙하지 않을 수 있으며, 운전 경험을 통해 실제 이벤트에서 계통의 적절한 자동 시작 및 작동을 검증하는 방법을 알지 못할 수도 있다. 예를 들어, 계통을 시작하기 위해 관찰 가능한 시작 신호가 동일하지 않을 수 있다. 유량과 온도는 일반적으로 훨씬 낮고 쉽게 확인되지 않을 수도 있다.

피동형 계통의 성공 여부를 감시하고 검증하는 운전 측면을 정의하고, 설계대로 작동하지 않을 경우 계통을 시작하거나 백업하는 데 필요한 운전원의 조치를 정의해야 한다.

능동 안전계통은 주기적으로 시험하여 운전원이 익숙해질 수 있는 기회를 제공해야 한다. 그러나 피동 안전계통에는 이와 동등한 기회가 없을 수 있다. 따라서 피동 안전계통에 대한 운전원의 숙지 및 훈련을 보장하기 위해 시뮬레이터에 대한 의존도가 높아야 할 수 있다.

피동계통 감시, 백업 및 보안을 위한 운전원의 조치를 신중하게 명시하는 절차서를 작성해야 한다. 제어실 V&V 프로그램을 포함하여 이러한 새로운 검토 영역을 다루기 위해 NRC의 지침을 개선해야 한다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 직무 분석, HSI 설계, 절차서 개발, 훈련 프로그램 개발 및 V&V에 대한 NRC 담당자의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

#### 직무 분석

피동 특성은 어떻게 시험하는가?

피동 특성을 시작하기 위해 필요한 운전원 작업이 있는가?

피동 특성이 설계된 대로 작동하지 않을 경우 백업으로 필요한 운전원 조치가 있는가?

### 인간-시스템연계 설계

운전원은 피동계통의 상태를 감시하고 성공 여부를 어떻게 확인하는가?

### 절차서 개발

피동계통 감시, 백업 및 보안을 위한 운전원 조치를 안내하는 절차서에는 어떤 것이 있는가?

### 훈련 프로그램 개발

운전원이 피동형 계통에 익숙해지려면 훈련을 통해 어떻게 해야 하는가?

### 인간 공학 확인 및 검증

운전원과 피동계통과의 상호 작용을 어떻게 검증할 것인가?

## 25) HSI 및 제어실 상실

### [현안 설명]

다수 모듈식 SMR 제어실의 설계는 (1) NRC I&C 요건 및 지침, (2) 10 CFR 50 부록 A, GDC 19, 제어실 및 NUREG-0800 9.5.1절을 고려하여 HSI 및 전체 MCR의 잠재적 상실을 고려해야 한다. 또한 사이트 전체 PRA(아래 2.26절에서 설명)의 경우 제어실 및 HSI 상실의 영향은 다음을 고려할 수 있다:

- 주제어실의 잠재적 상실 및 백업 시설 사용 방법
  - 한 운전원 워크스테이션의 운전원 오류가 하나가 아닌 여러 유닛에 영향을 미칠 수 있음
  - 한 운전원 워크스테이션의 잠재적 상실이 여러 유닛에 영향
  - 사이트 전체의 개시 이벤트가 모든 유닛에 유사하게 영향을 미칠 가능성
- 여러 유닛에 단일 MCR을 사용하면 설계, PRA 및 고장 분석, HRA, GDC 19 준수, MCR 대피, NUREG-0800 9.5절 및 원격 정지를 포함한 다양한 MCR 요구 사항, 지침 및 분석 측면에 영향을 미친다.

### [NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 HSI 설계, 절차서 개발, 훈련 개발 프로그램 및 V&V에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

### 인간-시스템연계 설계

HSI 설계에서 다음을 포함하여 HSI의 상실이 어떻게 해결되었는가?

### 경보계통의 저하 또는 상실

- 정보계통의 저하 또는 상실
- 제어 장치의 저하 또는 상실
- 컴퓨터 기반 절차서 시스템의 저하 또는 상실

- 운전원 워크스테이션의 저하 또는 상실
- 여러 워크스테이션의 저하 또는 상실
- 개요 디스플레이의 저하 또는 상실
- I&C의 상실
- 전체 MCR의 저하 또는 상실

#### 절차서 개발

HSI 및 MCR의 상실에 대한 운전원 조치를 안내하기 위해 어떤 절차서를 사용할 수 있는가?

#### 훈련 프로그램 개발

훈련을 통해 운전원이 HSI 및 MCR 상실에 대응할 수 있는 방법은 무엇인가?

#### 인간 공학 확인 및 검증

HSI 및 MCR 상실에 대한 대응을 어떻게 검증할 것인가?

## **26) 사업장 전체 위험에 대한 확률론적 위험도 평가**

### **[현안 설명]**

현재 미국의 PRA는 2~3개의 유닛 사업장을 대상으로 한다. 그러나 SMR 현장에는 더 많은 유닛이 있을 수 있다. 따라서 SMR, 특히 공유계통을 갖춘 SMR을 모델링하려면 PRA를 위한 새로운 모델이 필요할 것이다. 단일 유닛 PRA는 소외 전력, 현장의 AC 전력, 최종 열제거원, 공기 및 냉각수계통과 같은 유닛 간의 다양한 교차 연결과 같은 공통 또는 사이트 전체계통을 고려한다. 또한 소외 전력 상실, 스테이션 정전, 지진, 외부 홍수 등 사이트 전체에서 발생하는 이벤트가 개별 유닛에 미치는 영향도 다룬다.

여러 유닛에 대한 사이트 전체 위험을 포괄하기 위해 PRA를 업그레이드해야 할 수도 있다. PRA는 사이트 전체에서 발생하는 이벤트와 공통계통 및 공통 제어실의 영향으로 인한 여러 유닛의 잠재적 노심 손상(CD)을 잠재적 공통 원인 고장으로 평가할 수 있다. 이 사이트 전체 PRA는 여러 장치에서 CD를 초래할 수 있지만 단일 장치보다 낮은 빈도로 발생할 수 있다. 그러나 여러 장치에서 CD로 인해 PRA 레벨 2 방출은 잠재적으로 더 높아질 수 있다.

사이트 전체 PRA의 전반적인 문제는 NRC의 정책 문제이다. HFE 관점에서 볼 때, 사업장 전체 PRA에 대한 고위험 인적 행위(RIHA)를 계산하면 단일 유닛 PRA보다 더 많은 조치가 필요할 수 있다. 이러한 RIHA는 운전원이 안정적으로 수행할 수 있도록 신청자의 HFE 프로그램의 일부로 다루어질 것이다. RIHA의 처리는 이미 NUREG-0711을 통해 HFE 검토에서 다루어지고 있으므로 HFE 검토에 대한 새로운 지침이 필요하지 않을 수 있다. 그러나 이

러한 RIHA를 식별하기 위해 추가적인 HRA 고려 사항이 필요할 수 있다.  
2.27절, 한 명의 운전원/운전조가 여러 SMR을 관리할 때 RIHA 식별에서 논의를 참조하라.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 중요 인적 행위 처우에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다:

PRA는 여러 유닛 및 공유계통과 관련된 위험을 고려하는가? 그렇다면 다수 유닛 모델과 관련된 중요한 인적 행위(HA)이 있는가?

## **27) 한 명의 운전원/운전조가 여러 SMR을 관리할 때 중요한 인적 행위 식별** [문제 설명]

새로운 기술이 필요할 수 있는 영역은 안전에 중요한 HA를 식별하는 것이다. 이 현안은 원래 NUREG-0711 내에서 HRA 요소의 일부로 식별되는 RIHA에 초점을 맞추었다. 이 SMR 문제가 확인된 후, NUREG-0711은 결정론적으로 식별되는 HA와 PRA로 식별되는 HA를 포함하도록 HRA 요소에서 고려되는 HA의 범위를 넓히도록 변경되었다. NUREG-0711 요소 이름은 “중요한 인적 행위의 처리”로 변경되었으며, 이러한 행위에 대한 보다 일반적인 이름은 “중요한 HA”이다. 따라서 우리는 이 문제를 중요한 HA의 더 넓은 맥락에서 논의한다.

발전소 설계자는 종종 HFE 프로그램에서 중요한 HA를 식별하고 해결한다. SMR의 경우 새롭거나 익숙하지 않은 계통이 있기 때문에 운전 경험이 거의 또는 전혀 없기 때문에 이 작업이 더 어렵다. PRA를 정량화하기가 더 까다로운 경우, RIHA를 정확하게 식별하기가 더 어려울 것이다. 신청자가 결정론적 분석을 수행할 때도 비슷한 어려움이 발생할 수 있다.

장치 자체가 독립적인 것으로 간주되는 경우, 즉 공유계통이 없고 물리적으로 분리되어 있는 경우에도 동일한 운전원/운전조가 장치를 감시하는 경우 인적 오류가 발생할 가능성이 있다. 예를 들어, 운전원의 주의를 다른 유닛으로 돌리면 한 유닛의 인적 오류 가능성이 높아질 수 있다.

이러한 영향을 고려하기 위해 결정론적 분석과 PRA 및 HRA 방법을 변경해야 할 수 있다.

2.26절, 사이트 전체 위험의 PRA 평가에 대한 논의도 참조하라.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 중요 인적 행위에 대한 취급에 대한 NRC 직원의

평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

결정론적 엔지니어링 분석 및 확률론적 분석에서 다음과 관련된 HA에 대한 영향을 고려하는가?

- 다수의 장치를 감시하는 운전원
- 새롭고 익숙하지 않은 계통 및 인적 오류에 대한 잠재적 영향

그렇다면, 이러한 운전 측면과 관련된 위험 중요 HA 및 결정론적으로 중요한 HA가 있는가?

## 28) 모듈식 구조 및 부품 교체

[현안 설명]

많은 SMR은 모듈식 구조와 부품 교체를 위해 설계되었다. 일부 SMR 설계는 공장에서 제작되어 공장 현장으로 운반된 후 현장에서 조립된다. 이전에는 발전소 운전원이 현장 시공, 설치된 기기의 기기 수준 시험 및 사전 운전 시험에 참여하여 구조, 계통 및 기기에 대한 철저한 지식을 습득했다. 공장에서 발전소를 제작하려면 지금까지는 건설 과정을 통해 (적어도 부분적으로) 얻은 계통 및 기기에 대한 지식을 운전원이 얻는 방식을 변경해야 한다.

이러한 접근 방식이 안전에 미치는 영향은 알려지지 않았지만 업계 및 공급 업체와 논의하여 이 문제를 해결하기 위한 계획을 결정해야 한다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 훈련 프로그램에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

모듈식 건설 및 모듈식 기기 교체가 발전소계통에 대한 운전원 지식에 어떤 영향을 미치는가?

훈련 프로그램은 이러한 영향을 어떻게 다룰 것인가?

## 29) 새로운 유지보수 작업

[현안 설명]

일부 SMR은 안전에 미치는 영향을 평가해야 하는 새로운 유지보수 작업을 필요로 한다. 여기에는 원자로를 분리하여 가동 중인 다른 원자로를 지나 유지보수 장소로 이동하는 등의 작업이 포함되며, 전체 공정 동안 원자로를 지속적으로 감시하면서 모든 전기 및 기계계통에서 원자로를 분리하는 작업이 포함된다.

또한, 현재의 관행을 SMR에 적용하는 데 있어 새로운 의미가 부여된다. 현재의 운전 관행은 수십 년 전 약 63%였던 역률을 현재 업계에서 93%까지 끌어올렸다. 이러한 관행에는 온라인 유지보수가 포함된다. 차세대 발전소에서 동일한 작동 유체(증기 및 물)와 유사한 기기 및 장비(펌프, 모터, 밸브, 배관 및 열교환기)가 사용되기 때문에 온라인 유지보수 관행을 채택할 가능성이 높다. 따라서 SMR은 현재의 대형 제품과 마찬가지로 온라인 유지보수를 기대할 수 있다.

지속적인 온라인 유지보수의 한 가지 결과는 운전원이 정상적인 유지보수 및 감시로 인해 각각 다른 구성의 여러 장치를 마주하게 될 것이라는 점이다. 운전원에게 감시하는 장치 구성의 중요한 차이점과 허용 가능한 작동을 보여주기 위한 디스플레이를 개발하기 위한 연구가 필요하다. 운전원은 각 유닛의 상태에 대한 정확한 상황 인식이 필요하다. 디스플레이는 현재 경보 및 디스플레이 전략과 다를 수 있다.

발전소 운전원은 유지보수 담당자가 안전하게 작업할 수 있는 상태를 설정하고 유지하는 등 발전소와 발전소의 안전한 운전에 대한 책임이 있다. 운전원은 계통을 가동 중단하고 유지보수 중에 안전하게 격리한 후 다시 가동해야 한다. 이 과정은 한 대당 한 명의 운전원만으로는 충분히 어렵기 때문에 여러 대에 대해 평가해야 한다. 일반적으로 기기와 계통을 작동할 수 없을 때 유지보수 담당자 및 다른 사람들에게 신호를 보내는 잠금 장치와 태그 계통을 통해 제어실의 지시에 따라 계통을 분리했다가 다시 서비스 상태로 되돌린다. 운전원이 유지보수 중에 여러 장치의 안전한 구성을 유지할 수 있는 방법에 대한 추가 연구가 필요하다.

[NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 주로 신청자의 중요 인적 행위 처리, HSI 설계, 절차서 개발 및 훈련 프로그램 개발에 대한 NRC 직원의 평가에 영향을 미친다. 신청자가 이 문제를 어떻게 고려했는지에 대한 정보는 다음 질문을 통해 얻을 수 있다.

중요한 인적 행위의 처리

한 장치의 유지보수가 다른 장치의 안전에 미치는 영향은 무엇인가?

인간-시스템연계 설계

유지보수 작업과 안전에 미치는 영향은 HSI를 통해 어떻게 감시되는가?

절차서 개발

유지보수 작업 수행 시 직원을 안내할 수 있는 절차서에는 어떤 것이 있는가?

훈련 프로그램 개발

훈련을 통해 운전원이 유지보수 작업을 수행할 수 있도록 하는 방법은 무엇인가?

### 30) 유지보수 위험 관리

#### [문제 설명]

검토한 각 특정 설계의 유지보수와 관련된 인간 공학에서 몇 가지 잠재적 문제를 확인했다. 이러한 과제는 다음과 같다:

- 국제 원자로 혁신 및 안전(IRIS) 설계에는 8개의 용기 내 원자로 냉각재 펌프(RCP)가 있다. 펌프 썰은 밀폐된 공간으로 간주되는 용기 내에서 교체되며, 오염되고 활성화된 구성품에 대한 작업은 인력 집약적이다. 이러한 방식은 유지보수의 어려움을 증가시키고 필요한 유지보수 지연, 작업 완료 오류, 작업자 노출 증가의 가능성을 초래할 수 있다.
- IRIS의 RCP 및 내부 제어봉과 같은 선박 내 전기 배선은 매우 열악한 방사선 환경에서 작동하기 때문에 특수 자격을 갖춘 직원이 필요하거나 주기적인 노후화 시험을 통해 강화해야 할 수 있다.
- 가스 터빈 모듈형 헬륨 원자로(GT-MHR)와 펄스 베드 모듈형 원자로(PBMR)의 운전 및 유지보수 직원은 헬륨 누출의 위험과 그 감지에 대한 광범위한 훈련이 필요하다.
- 소듐은 초안전 소형 단순(4S) 원자로 및 원자로 혁신 소형 모듈(PRISM) 설계의 주요 냉각재이므로 두 개의 외부 증기 발생기(SG)에 대한 유지보수는 위험하며 운전원이 특수 개인 보호 장비(PPE)를 착용하고 불활성 분위기에서 작업해야 하므로 특정 훈련이 필요하다.
- 납/비스무트는 하이페리온 파워 모듈(HPM)의 주요 냉각수이므로 외부 SG 작업은 위험할 수 있으며, 전문 훈련과 특정 PPE 사용이 필요하다.

이러한 새로운 유지보수 관행은 직원과 발전소 안전을 보장하기 위해 신중하게 분석되어야 한다.

#### [NUREG-0711 시사점 및 신청자를 위한 질문]

이 문제는 NRC보다는 업계 연구 및 유지보수 설계 및 계획을 다루는 공급업체의 HFE 프로그램에서 다룰 가능성이 높으므로 이 문제를 해결하기 위한 구체적인 질문은 확인하지 않았다.



### 3절 인간공학 프로그램 심사 및 검토를 위한 NRC의 임시 지침 (DSO-ISG-2023-03, 2024)

미국 원자력규제위원회(NRC)의 내부 문서인 DRO-ISG-2023-03, “Development of Scalable Human Factors Engineering Review Plans”는 차세대 원자로 및 소형모듈원자로(SMR)와 같은 다양한 설계의 원자력 시설에 대해 인간공학(HFE) 검토를 효율적이고 효과적으로 수행하기 위한 지침을 제공하는 문서이다.

#### 임시 지침 작성 목적 및 배경

DRO-ISG-2023-03 작성의 주요 목적은 다음과 같다:

- 검토 계획의 유연성 확보:
  - ✓ 기존의 일률적인 인간공학 검토 방식에서 벗어나, 각 원자력 시설의 설계와 운영 특성에 맞는 맞춤형 검토 계획을 수립할 수 있도록 지원.
- 위험 기반 접근법 적용:
  - ✓ 검토의 범위와 깊이를 시설의 위험도와 인간의 역할 중요도에 따라 조정하여, 자원의 효율적인 활용과 안전성 확보를 동시에 달성.
- 기존 지침과의 연계:
  - ✓ NUREG-0711(인간공학 프로그램 검토 모델)과 같은 기존의 인간공학 지침을 기반으로 하되, 새로운 설계와 운영 방식에 맞게 확장 및 조정.
- 검토 프로세스의 체계화:
  - ✓ 검토 계획 수립, 검토 항목 선정, 검토 수행, 결과 문서화 등 전체 검토 과정을 체계적으로 안내하여 일관성과 투명성을 확보.

DRO-ISG-2023-03의 작성 배경은 다음과 같다:

- 기존 규제 체계의 한계 극복:

기존의 인간공학 검토 지침인 NUREG-0711은 주로 대형 경수로(LWR)를 대상으로 설계되어, 다양한 설계와 운영 방식을 갖는 차세대 원자로에는 적용에 한계가 있었다.
- 위험도 기반, 기술 포괄적 규제 프레임워크 도입:

NRC는 10 CFR Part 53을 통해 위험도 기반(Risk-Informed), 기술 포괄적(Technology-Inclusive), 성과 기반(Performance-Based) 규제 프레임워크를 도입하고자 하였으며, 이에 따라 인간공학 검토도 이러한 접근법을 반영할 필

요가 있었다.

- 검토 자원의 효율적 활용:

다양한 설계와 운영 방식을 갖는 원자로에 대해 일률적인 검토를 수행하는 것은 자원의 비효율을 초래할 수 있으므로, 위험도와 인간의 역할 중요도에 따라 검토 범위와 깊이를 조정하는 유연한 접근이 필요하였다.

### 기술적 다양성

제안된 새로운 원자로 설계들은 2023년 현재 운전 중인 상업용 LLWR보다 기술적 다양성이 더 넓다. 이러한 기술에는 소형 모듈형 원자로(SMR), 경수로가 아닌 원자로, 소형 원자로, 융합 원자로 등이 포함된다. 이 다양성은 설계 및 운전 특성에서 반영되며, 다음을 포함하지만 이에 국한되지 않는다:

- 일부는 공장에서 제작되어 기존 운송 인프라(예: 도로, 철도 또는 수로)를 통해 현장으로 운송될 수 있다.
- 일부는 시스템과 움직이는 부품이 적은 단순한 설계를 채택할 수 있다.
- 일부는 유지보수를 단순화하기 위해 모듈식 접근 방식을 채택하여, 유지보수가 필요할 경우 모듈을 교체하는 방식으로 운영될 수 있다.
- 일부는 자체적으로 완비되어 수년간 가동 중단, 연료 교체, 및 유지보수 없이 운영될 수 있도록 설계될 수 있다.
- 일부는 자동 및 인간 개입이 필요 없는 자연적 물리적 과정과 같은 내재적 안전성을 갖춘 설계 특징을 가질 수 있다.
- 일부는 현재 원자로보다 사고 발생 빈도가 낮고 공공 노출 영향이 적은 것으로 분석된 사고 시나리오를 가질 수 있다.
- 일부는 LLWR보다 높은 온도에서 운전될 수 있으며, 따라서 새로운 임무(예: 전기 외에도 산업 공정 열과 같은 다중 제품 생산)를 지원할 수 있다. 새로운 임무는 새로운 계통, 인력 업무 및 작업 부하를 생성할 수 있다.
- 일부는 부하 추종 모드에서 작동할 수 있다.
- 일부는 SMR 구성으로 운영될 수 있으며, 따라서 에너지 수요에 맞게 확장 가능하다. SMR 구성에서는 공유 시설이 존재할 수 있다.
- 일부는 고도로 자동화될 수 있으며, 완전히 자율 모드로 운영될 수 있는 원자로를 포함해 인간의 감시, 제어, 개입이 거의 또는 전혀 필요하지 않을 수 있다.
- 일부는 전통적인 의미의 제어실이 없을 수 있다. 원자로 감시 및 제어는 현지 및 원격으로 간단한 패널을 통해 수행될 수 있다.
- 일부는 제어실 외부의 중요한 인적 행위가 발생할 수 있다.

- 일부는 안전하게 발전소를 운영하기 위해 현장에 거의 또는 전혀 운전원이 필요하지 않을 수 있다.
- 일부는 현재 규정에서 설명된 것과 크게 다른 인력 조직 구조에 의존할 수 있으며, 면허를 소지한 운전원이나 인정된 인적 행위가 포함되지 않을 수 있는 다양한 직위 구성으로 이루어질 수 있다.

## 7개의 운전 개념 (Concept of Operations, ConOps)

### 1 시설 사명, 목표 및 특성

ConOps는 하향식 설계 고려 사항을 반영한다. 맨 위에는 시설의 임무와 이를 지원하는 데 필요한 기술 인프라, 운전조의 역할과 책임을 포함하여 설계의 모든 측면을 주도하는 높은 수준의 목표가 있다. 임무는 다음과 같은 관점에서 설명되어야 한다:

- 목표 및 목적 - 시설이 설계된 목적(예: 전기 생산 및 안전).
- 진화적 맥락 - 새로운 설계의 토대가 된 이전 시설의 설계와 운전 경험, 새로운 발전소가 달성하고자 하는 기술 및 운전상의 변화와 개선 사항.
- 상위 기능 - 목표와 목적을 달성하기 위해 수행해야 하는 기능(예: 반응도 제어).
- 경계 조건 - 설계의 운전 범위를 명확하게 식별하는 조건(즉, 온도 및 압력 한계와 같이 설계가 운전할 것으로 예상되는 일반적인 성능 특성)이다. 경계 조건을 명확하게 식별하면 설계의 범위와 연계 요건을 정의하는데 도움이 된다.
- 제약 조건 - 설계에 영향을 미치는 측면(예: 특정 인력 배치 계획 또는 특정 기술 사용).

시설 임무 및 특성은 (1) 위험이나 비상 대응, 대피 또는 보안 문제를 일으킬 수 있는 다른 시설과 시설의 공동 위치 여부, (2) 설계의 복잡성 및 공유계통 사용으로 인해 운전이 복잡해질 수 있는 정도, (3) 선원 항의 크기와 특성, (4) 위험의 특성(예: 운전 온도 및 압력) 및 사고 역학에 대한 잠재적 영향(예: 사고의 규모 및 진행 속도, 사건 완화).

### 2 인력 및 자동화의 역할과 책임

이 차원은 계통 주체, 즉 인력과 자동화의 상대적 역할과 책임, 그리고 이들의 관계를 명확히 한다.

사람의 역할과 책임을 정의하는 것은 사람과 계통을 통합하기 위한 첫 번째 단계이며, 이로부터 ConOps 및 설계의 다른 측면이 흘러나와야 한다. 이 차

원은 일반적으로 설계 작업을 시작하기 전에 이전 설계의 운전 경험과 새로운 설계 개발 목표를 기반으로 예비 수준에서 지정된다. 에이전트의 역할과 책임에 대한 예비적 또는 기본적 설명은 시설의 설계 및 운전에 대한 신청자의 철학이나 목표에 반영될 수 있다. 예를 들어, 이러한 목표에는 자동화 또는 설계 단순화를 통해 사람의 작업 필요성을 최소화하는 것이 포함될 수 있다. ConOps를 검토할 때 검토자는 발전소 운전에서 인간의 역할에 관한 신청자의 철학 또는 목표를 파악하고, 그 철학과 목표를 지원하는 데 필요한 HFE 활동의 유형과 수준에 대한 함의를 기록해야 한다. 예를 들어, 검토자는 HSI 설계 또는 관리 통제 개발을 통해 인간의 역할을 구체화하고 인적 수행도를 지원하기 위해 HFE 프로그램 활동을 어떻게 사용할 것인지 고려해야 한다.

### 3 인력 배치, 자격 및 훈련

이 차원은 인적 역할과 책임을 수행하는 데 필요한 예상 직원 수와 역량을 다룬다. 직원은 운전, 유지 관리 및 보안을 포함한 조직의 기능을 고려해야 한다. 직원의 직책, 각 직책에 필요한 자격, 직원의 주요 근무 위치를 정의해야 한다. 운전팀은 운전조 또는 팀을 어떻게 구성할지, 구성원들과 다른 조직 기능 간의 상호 작용 유형과 수단을 파악해야 한다. 자격 요건을 충족하고 인적 역할과 책임을 수행하는 데 필요한 훈련이 명시되어야 한다. 이러한 차원의 운전 계획은 검토자에게 현장 인력 수준, 운전원의 특정 면허 또는 일반 면허 여부, 안전에 중요한 직무를 수행하는 직원에게 필요한 훈련의 범위와 성격 등에 대한 통찰력을 제공해야 한다.

### 4 정상 운전 관리

이 차원에는 (1) 주요 시나리오 식별, (2) 시나리오 수행에 필요한 업무 식별, (3) 직원 업무 지원에 필요한 HSI 및 절차서 식별이라는 세 가지 주요 고려 사항이 포함된다.

주요 시나리오에는 기동, 저전력, 최대 전력, 재장전 및 정지와 같은 발전소의 정상적인 발전 과정을 반영하는 시나리오가 포함된다. 각 시나리오에 대해 ConOps는 직원이 자신의 역할과 책임을 수행하기 위해 수행해야 하는 작업, 직원이 이를 완료하기 위해 발전소의 기능, 계통 및 구성 요소와 상호 작용하는 위치와 방식, 이러한 진화를 통해 발전소를 감시하고 제어하는 데 자동화가 제공하는 모든 지원을 식별해야 한다.

HSI와 절차의 설계는 직원의 업무와 직무 배정을 지원해야 한다. 예를 들어,

직원이 HSI 리소스와 상호 작용하는 방식에 대해 다음과 같은 개념을 지정할 수 있다:

정보 배포(예: 개별 운전조가 접근하는 정보 유형 및 전체 운전조에게 표시되는 유형)

HSI 위치 결정(예: 주제어실 또는 현장 또는 기타 제어실)

단일 대형 워크스테이션, 개별 워크스테이션 또는 대형 개요 디스플레이와 같은 인력 작업장 구성

정상 운전 관리를 위한 ConOps는 계획된 운전 모드(예: 정상 상태, 부하 추종) 및 HSI 요건 및 작업 부하 요구에 대한 잠재적 영향과 같은 통찰을 제공할 수 있다.

## 5 비정상 상태 및 비상 상황 관리

이 차원에서는 비정상적인 조건을 제외하고 정상 운전(주요 시나리오, 작업 및 지원 HSI 자원)에 대해 논의된 것과 동일한 많은 고려 사항을 다룬다. 이러한 비정형적 조건에는 다음이 포함된다:

잔열 제거 계통의 고장과 같이 보상이 필요한 시설 계통의 상실

펌프 및 밸브와 같은 장비 고장

계측 및 제어(I&C) 및 HSI 상태 저하(예, 센서 결함, 자동화 측면의 상실 또는 워크스테이션의 성능 저하)

1차 열제거 상실과 같이 안전에 영향을 미칠 수 있는 비상 상황

이 ConOps 차원은 설계의 안전기능 및 특성(예: 능동, 수동, 내재), 복잡성, 사건 진단 및 완화와 관련된 인적 수행도에 미치는 영향에 대한 통찰력을 제공해야 한다.

## 6 유지보수 및 변경 관리

이 차원에는 시설 업그레이드 설치, 유지보수 및 구성 관리가 포함된다. 앞의 두 차원과 마찬가지로 인적 업무와 HSI 및 절차가 이러한 업무를 지원하는 방식이 고려된다. 예를 들어, 첨단 디지털 I&C 계통의 유지보수 대부분은 일반적으로 소프트웨어 변경을 통해 워크스테이션에서 이루어진다. 이러한 활동은 디지털 계통과 자동화에 크게 의존하는 새로운 설계에서 더 광범위하게 이루어질 수 있다. 범위나 안전에 중요한 영향을 미치는 필수 유지보수 활동(예: 소형 모듈형 원자로에서 원자로 모듈의 이동)을 식별해야 한다. 이러한 유지보수가 주로 원자로가 가동 중이거나 정지된 상태에서 수행되는지와 유지보수가 현장에서 수행되는지 또는 외부에서 수행되는지를 명시해야

한다.

#### 7 시험, 검사 및 감시 관리

이 차원에는 상태 감시 및 예측 유지보수 활동이 포함된다.

지원 활동은 안전계통의 지속적인 가용성과 기능을 보장하는 데 중요하다. 첨단 상용 원자로의 경우 능동 안전계통의 사용 감소, 설계의 단순화, 높은 수준의 자동화, 수동 안전계통, 사고 결과 감소로 인해 인간의 역할이 안전 기능의 능동적 수행에서 시험, 검사 및 감시 활동을 통해 수동 및 자동화된 안전계통의 준비 상태를 보장하는 역할로 전환될 수 있다. 또한 첨단 상용 원자로 시설은 주제어실이나 외부 감시 시설과 같은 원격 위치에서 안전에 중요한 발전소 구조, 계통 및 구성 요소에 대한 광범위한 진단 및 예후 평가를 지원할 수 있는 수준의 계측기를 보유할 가능성이 높다. 이 ConOps 차원에 대한 지원자의 설명은 시험, 검사 및 감시를 통해 안전계통의 준비 상태를 보장하는 인간의 역할과 이러한 기능이 물리적으로나 조직적으로 어떻게 분산될 수 있는지 이해하는 데 중요한 정보를 제공한다.

## 제4장 자문 내용 종합

경수형 SMR 인간공학 심사 지침에 대하여 검토의견을 자문자에게 받았다. 이 지침은 인간공학분야뿐만 아니라 타분야까지 영향을 미치는 지침으로 별도의 SMR 지침이 될지 아닐지는 타분야의 검토의견까지 받아 결정될 문제로 보인다. 인간공학분야에 상위 결정에 따라야 인간공학 분야가 타분야와 상호 검토하면 발전소 안전에 기여할 듯 하다. 지침의 위상에 대한 의견은 상위 결정에 따르겠지만 SMR의 특성을 반영한 조항 개정은 필요하다. 만일 SMR로 인한 개정이 광범위하다면 새로운 세부지침을 만들 수도 있다. 그러나 인간공학의 12개 분야는 대형원전, 소형원전에도 불구하고 적용되어야 할 일반적인 요건이므로 원론적 측면에서 변경은 일어날 이유가 적다. 다만 원론적 서술은 SMR의 일부 특성을 누락할 가능성이 있으므로 SMR 특성을 고려하는 조항은 필요하다.

아래 표는 개정 조항에 따른 학계 자문자의 의견이다. 각 자문자는 독립적으로 의견을 개진했고 학회에서 자문자의 Tag를 붙여 한 양식에 취합하였다. 자문자간에 의견이 일치하는 부분도 있고 의견이 다른 부분도 있다. 각 조항을 전체 관점에서 바라보면서 이견도 나타난 것으로 보인다.

본 자문은 KAERI 과제 중간 결과물에서 자문의견을 받으므로 한국원자력학회가 이견을 조율할 필요는 없다. KAERI가 다양한 의견을 반영할 것이기 때문이다. 오히려 개발 과정에서 다양한 이견은 지침의 신뢰성을 높여 줄 수 있다.

### 1절 경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)과 자문 의견

기본 안	자문 의견
원자력안전위원회규칙 제31호 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙의 제45조 (인적 요소) 제1항은 “원자로시설 종사자와 인간. 기계의 연계와 관련된 원자로시설의 설계에는 인적요소가 체계적으로 반영되어야 한다.”라고 규정하고 있다. 또한 제2항은 “원자로시설의 설계에는 운전시 인적오류의 발생을 최소화하기 위하여 다음 각 호의 사항, ①운전원에게	이 문서에서 제시된 ‘경수형 SMR 심사 및 규제지침 개발(안) 개발의 기본 방향 및 원칙’은 매우 타당하다고 판단되며 (1) SMR의 기술적 특성 반영, (2) 규제 일관성, (3) 현장성, (4) 단계적 정립, (5) 심사 및 규제지침의 활용성 제고 측면을 골고루 다루고 있다고 할 수 있음.

<p>정확한 정보를 제공하여 운전원의 판단을 용이하게 하고 잘못된 판단을 방지할 것, ②오류를 감지하고 이를 정정하거나 보상하는 수단을 제공할 것, ③운전원에게 의사결정 및 조치수행에 충분한 시간을 허용할 것을 반영하여야 한다.”라고 규정하고 있다.</p> <p>상기 규제요건은 국내 건설 및 가동 원전의 인간공학 규제에 적용되며, 경수로형 안전심사지침(KINS/GE-N001) 제18장 인간공학 및 KINS 규제지침 15.01 ~ 15.06절(KINS/RG-N15.01 ~ 06)을 통해 검토 범위, 절차, 허용기준 등을 명시하고 있다.</p> <p>경수형 SMR의 인간공학 규제의 경우, 기존의 심사 및 규제 지침을 적용함에 있어 경수형 SMR의 혁신적인 설계에 따른 안전 특성이 기존 건설 및 가동 원전과의 차이로 인해 새로운 인간공학 현안(예, 다수모듈 통합제어실 운전에서 따른 인적수행도 현안 등) 검토가 추가적으로 요구된다. 따라서 경수형 SMR 인간공학 규제에 보조적으로 활용할 수 있는 심사 및 규제 지침(안)을 제안하고자 한다.</p> <p>경수형 SMR 인간공학 심사지침(안)은 기존 경수로형 안전심사지침 18.1(인간공학 - 개요), 18.2(주제어실), 18.3(원격정지실)을 경수형 SMR의 설계특성에 따라 보완하기 위해 제안된다. 또한 경수형 SMR 인간공학 규제지침(안)은 KINS 규제지침 15.1(인간공학 계획), 15.2(인간공학 분석), 15.3(인간공학 설계), 15.4(인간공학 확인 및 검증) 및 15.5(설계이행 및 인적수행도 감시) 등 인간</p>	<p>그러나 보다 구체적으로 다음의 개발방향 및 원칙이 추가적으로 고려된다면 좋을 것으로 판단함.</p> <p>(1) 지속적인 기술발전과 운영경험을 반영한 심사 및 규제지침의 주기적 갱신: SMR 기술의 신속한 발전에 대응하기 위해 3-4년 주기로 규제지침의 재검토, 수정 및 보완을 원칙으로 함. 미래 기술 및 디지털 전환에 대한 선제적 대응 및 유연성을 확보하기 위함. 기존 원전에 비해 SMR은 첨단 디지털 기술의 도입이 활발할 것으로 예상되는 바 이러한 기술들이 인적 수행도에 미치는 영향을 인간공학적으로 분석하고 미래 기술의 발전 및 적용 가능성을 고려한 유연하고 적응적인 규제 원칙이 수립되어야 함.</p> <p>(2) 위험도 기반(Risk-Informed) 및 수행도성과 기반(Performance-Based)의 규제지침의 강화: SMR의 고유한 설계특성과 다양한 운영 및 운전 시나리오를 고려하여 인간공학적 심사 및 규제항목은 위험기반 및 성과기반 방식으로 설정함. 기존의 규제는 정해진 설계/운전 조건 기준에 맞추는 방식(예: 인력의 수, 감시 및 제어항목의 수)과 절차내용 준수에 보다 가까웠음. 이는 과정 중심적이라 할 수 있음. SMR은 자동화 및 디지털화로</p>
--	--



<p>공학 설계공정을 기술한 NUREG-0711(인간공학 프로그램 검토 모델)의 이행요소와 관련한 기존의 규제지침을 경수형 SMR의 설계특성에 따라 보완하기 위해 제안된다.</p> <p>경수형 SMR 인간공학 심사 및 규제 지침(안)의 체계적 개발과 활용성 증진을 위해 다음의 보완 원칙(Principles Of Supplement; POS)을 수립하였다.</p> <p><b>(POS 1) <u>국내외에 개발되었거나 개발 중인 경수형 SMR의 주요 설계특성에 따른 안전특성이 인적수행도에 미치는 영향을 고려한다.</u></b> 경수형 SMR은 기존 국내 경수형 원전(예, APR1400 노형 적용 원전, OPR1000 적용 원전 등)과 비교하여 설계특성의 차이를 보인다. 예를 들어 대부분의 경수형 SMR은 다수의 원자로모듈, 다수모듈 통합 주제어실, 운전원 구성 최소화, 일체형 원자로, 다수모듈 공용설비, 안전피동형 안전계통 등의 설계특성을 갖고 있다. 이러한 설계특성은 해당 계통의 운전방식의 차이로 인해 새로운 형태의 운전직무를 발생시킨다. 이에 따라 인적수행도에 영향을 미칠 수 있는 새로운 인간공학 현안에 대한 안전성 평가가 요구된다. 따라서 경수형 SMR의 주요 설계특성에 따른 안전특성이 인적오류를 포함한 인적수행도에 미치는 영향을 검토할 수 있는 인간공학 심사 및 규제 방안이 마련되어야 한다.</p> <p><b>(POS 2) <u>기존 인간공학 심사 및 규제 체계와 일관성을 유지한다.</u></b> 경수형 SMR의 혁신</p>	<p>인한 인적 개입이 비정형화되고 상호작용이 될 수 있으므로 수행도의 결과를 기반으로 한 결과중심 평가가 될 필요가 있음.</p> <p>(3) 다모듈 통합운영 및 인간의 역할 변화를 체계적으로 고려한 심사 및 규제지침의 개발: 다모듈 통합운영 및 자동화 기반의 새로운 SMR 운전 방식에서 발생하는 인간-시스템 상호작용의 변화와 인간 작업자 역할의 재정의의 반영한 인간공학적 심사 및 규제 기준을 마련할 필요가 있음.</p> <p>(4) 관련된 국제규제 정합성 및 기술 수출 연계성 확보: IAEA, NRC 등 국제적 규제기준 및 지침과의 정합성을 확보하고 향후 국내 SMR의 해외 수출 가능성까지 고려한 심사 및 규제지침이 마련되어야 함.</p> <p>(5) SMR의 고유 특성 및 인간 작업자의 역할 변화로 인한 핵심적 현안을 중점적으로 고려함: 중점적으로 고려할 필요가 있는 현안은 다음을 포함함.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 데이터 기반의 인간공학적 평가 체계 구축 및 디지털 트윈/AI 시뮬레이션과 같은 첨단 기술을 활용한 인적오류 예측 모델링의 강화</li> <li>- 인적 수행도 최적화를 위한 작업환경 구축 및 평가 관리의 기준 명시(예: 8시간 교대 근무 시 최대 2개 모듈 통제 제한)</li> </ul>
---	--

<p>적 설계특성에 따른 신규 인적수행도 현안을 고려하더라도 기존 심사 및 규제 체계 내에서 보완적 추록지침(supplementary guidelines)의 성격으로 제공되어 규제자와 사업자 간의 실무적 혼선을 방지할 필요가 있다. 특히 인간공학 규제 지침은 NUREG-0711 기반의 인간공학 프로그램 검토 모델에 대한 체계적 접근방법을 채택하고 있으므로, 경수형 SMR의 인간공학 규제의 보완적 지침 역시 해당 인간공학 프로그램 검토 모델의 규제 프레임에 지원하여야 한다. 즉, 인간공학 프로그램 검토 모델의 12개 인간공학 활동별 경수형 SMR 인간공학 검토에 추가 혹은 보완적으로 요구되는 검토 범위, 방법, 허용기준 등을 제시하여야 한다.</p> <p><u>(POS 3) 국내 경수형 SMR 규제 경험을 반영하고 현장 적용성을 고려한다.</u> 국내에서 인허가가 선행된 SMART 및 SMART100 노형의 표준설계인가 경험을 경수형 SMR 인간공학 심사 및 규제 지침(안) 개발에 고려할 필요가 있다. 해당 노형에 대한 국내 표준설계인가 과정을 통해 경수형 SMR의 주요 설계특성 중 일체형 원자로, 피동형 안전계통, 운전원 구성 최소화 등과 관련된 인적수행도 현안에 대한 안전성 검토 경험은 현장 적용성 측면에서 경수형 SMR 인간공학 심사 및 규제 지침(안) 개발에 활용될 수 있다. 다만, 다수의 원자로모듈, 다수모듈 통합 주제어실, 다수모듈 공용설비 등의 설계특성에 따른 인적수행도 현안에 대한 경험 정보는 해외 경험정보 등을 활용하여 보완</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 운전원 역할 재정 및 인적오류 방지 방안 마련</li> <li>- 사용자 친화적인 통합 제어실 설계 및 평가(직관적 HMI 구축, 운전원의 인지부하 및 정신적 작업부하 경감, 물리적 작업 환경의 최적화 등)</li> <li>- SMR 특화된 운전원 자격 및 훈련 프로그램 개발.</li> <li>- 유지보수 및 점검 작업의 인간공학적 고려(유지보수 작업자의 안전사고 방지 및 작업효율성 극대화를 위한 모듈화 설계, 원격 유지보수 및 진단 시스템의 인간공학적 검증 등)</li> </ul> <p>(6) 단계적 심사 및 규제 체계를 고려한 지침 개발: 한국의 i-SMR 표준설계인가 계획 대비 안전성과 인간공학 현안에 관련된 내용을 중심으로 우선적으로 개발함을 원칙으로 하되, 장기적으로는 건설, 운영, 해체 전주기에 걸친 심사 및 규제체계에 기여할 수 있는 지침 개발을 목적으로 해야 함. 또한 비경수형 SMR과의 규제체계 통합을 위한 방안까지 고려해 지침이 개발될 필요가 있음. (이상 함동한)</p> <p>(POS5)에서 기존 지침을 그대로 두고 경수형 SMR 심사지침을 추록으로 만들겠다고 했지만 현재 작성되고 있는 SMR 심사지침이 추록형식이 아닌 것으로 판단됨. 또한 심장</p>
--	---

<p>할 필요가 있다.</p> <p><u>(POS 4) 국내 혁신형 SMR(i-SMR)의 사전 설계검토 결과를 고려한다.</u> 국내에서 혁신적 설계특성을 바탕으로 세계시장 경쟁력을 갖추기 위해 개발되고 있는 i-SMR에 대한 규제기관의 사전설계검토 중 ‘혁신형 SMR 주 제어실 운전조 구성에 대한 인간공학 적합성 평가’ 사항에 대한 사전설계검토 사항을 경수형 SMR 인간공학 심사 및 규제 지침(안) 개발에 고려할 필요가 있다. 사전설계검토는 본 심사에서 규제현안이 될 수 있는 핵심 현안을 사전에 충분히 검토하여 규제자의 검토결과를 사업자에게 제공함으로써 본 심사에서 동일 현안에 대한 심사의 효율성과 현실성을 제고하기 위한 목적으로 수행되고 있다. 향후 경수형 SMR 인간공학 심사 과정에서 해당 현안에 대한 규제방향은 사전설계검토 결과와 일관성을 유지할 것으로 예상된다. 따라서 사전설계검토 결과를 고려하여 경수형 SMR 인간공학 심사 및 규제 지침(안) 개발시 동일 혹은 유사 인간공학 규제현안에 대한 심사 및 규제 방향과 일관성을 유지할 필요가 있다.</p> <p><u>(POS 5) 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라 별도의 보완적 심사 및 규제 지침(안)의 형태로 개발한다.</u> 경수형 SMR 인간공학 심사 및 규제 지침(안)은 기존의 심사 및 규제 지침에 경수형 SMR를 고려하여 추가 반영하는 개정 방법도 있고, 별도의 보완적 심사 및 규제 지침으로 개발하는 방법도 가능하다. 상기 POS 1 ~ 4의</p>	<p>지침에서 18장은 인간공학장이지만 그 외의 장은 다른 분야의 심사지침이므로 타 분야의 의견도 중요.(정연섭)</p>
---	---

<p>원칙에 부합한 방법은 후자의 방법이다. 따라서 경수형 SMR 인간공학 심사지침(안)은 기존 경수로형 원전 안전심사지침 제18장 인간공학의 보완적 추록지침 (supplementary guidelines)으로, 규제지침 (안)은 KINS 규제지침 제15.X절(예, KINS/RG-N15.0X) 지침으로 활용될 수 있다.</p>	
---	--

2절 현행 안전심사지침 대비 경수형 SMR 인간공학 안전심사 보완사항(Draft 2.0) 자문자 검토의견

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
제18.1절 I. 검토분야	<p>인간공학분야 담당부서는 인허가 신청자에 의해 제출된 인간공학 프로그램을 검토한다. 인간공학 프로그램의 검토목적은 원자력발전소(원전) 건설 당시 최신의 인간공학 원칙, 기술 표준 및 기준 등을 발전소 설계에 반영하여 안전성을 제고하는 데 있다. 본 문서와 참고문헌에서 제시되는 지침은, 이러한 인간공학 검토를 수행하는데 사용된다.</p> <p>본 안전심사지침은 사업자가 제출한 인허가 신청서에 대해 안전성 평가를 수행하는 데 사용된다. 본 장은 인허가 신청자에 의해 제출된 (1) 설계, (2) 설계공정, (3) 설계검토, (4) 운전원 조치 (Operator Actions) 등을 평가하기 위한 과정을 기술한다. 본 장은 인간의 특성 및 능력을 원전 설계에 성공적으로 반영하기 위해 다음과 같은 12개의 검토분야를 명시하였다.</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 인간공학 프로그램 관리</li><li>• 운전경험 검토</li><li>• 기능요건 분석 및 기능 할당</li><li>• 직무분석</li><li>• 운전조 구성 및 자격</li><li>• 중요 인적행위 분석</li><li>• 절차서 개발</li><li>• 훈련프로그램 개발</li><li>• 인간-시스템 연계 설계</li><li>• 인간공학 확인 및 검증</li><li>• 설계 이행</li><li>• 인적수행도 감시</li></ul> <p>상기 12개의 검토분야는, 인허가 신청자의 인간공학 프로그램을 검토하는 데 있어, 모든 경우에 대해 일괄적으로 적용하는 것은 아니며, 이와 관련된 자세한 내용은 “차등적 검토방법”에서 기술한다.</p>	(좌동)	국외 SMR 적용 사례검토 결과, 인간공학 프로그램 12개 검토분야를 모두 적용하고 있음. 단, 미국 NuScale SMR 표준설계인가에서 운전조 구성 및 자격관련 10CFR50.54m 조항에 대한 별도 면제신청에 대한 심사를 진행함. 이는 다수모듈을 적용하는 NuScale SMR은 최대 12개 원자로모듈을 적용하므로 10CFR50.54m의 적용이 불가하였기 때문임.	<p><b>의견 없음(허균영)</b></p> <p>인간공학 프로그램 관리, 기능요건 분석 및 기능 할당, 직무분석, 인간-시스템 연계 설계, 인간공학 확인 및 검증은 큰 틀에서는 기존의 지침을 따라가게 되겠지만 SMR의 특성을 고려한 검토가 필요함. staffing validation, 다수모듈 제어, 자동화시스템과의 연계 등 기존원전과는 차별성이 있는 특징들이 있어 심사때 보완사항이 필요함.(이승준)</p> <p>적용이 어려운 검토분야도 있음. 10CFR50.54m에서는 최소 1명 이상의 SRO가 MCR에 상주하고 최소 1명 이상의 RO가 배치되어야 한다고 명시하고 있음. 또한 국내도 원자력안전법 제 26조 ‘원인에 관한 안전조치 등’ 제 3항에서 발전용원자로운영자는 제 84조에 따라 원자로조종감독자 면허를 받은 사람 및 원자로조종사면허를 받은 사람 각 1명 이상을 늘 원자로의 운전업무에 종사하게 하여야 한다고 명시하고 있음. 이는 원자로 1기가 원전 1기와 동등할 때의 개념으로 다수의 모듈(원자로)를 포함하는 SMR에서는 적용하기 어려운 조항임. 따라서 NuScale도 면제신청을 했으며 다수모듈을 포함한 SMR의 경우도 면제가 필요한 규제요건으로 판단됨.(이승준)</p> <p>국내의 경우, 원자력안전법 제26조(운영에 관한 안전조치 등)의 ③항에서 발전용원자로운영자는 원자로마다 제84조에 따라 원자로조종감독자면허를 받은 사람 및 원자로조종사면허를 받은 사람 각 1명 이상을 늘 원자로의 운전업무에 종사하게 하여야 할 것을 요구하고 있다.(김만철)</p> <p>경수로형 SMR도 경수로형 원자로의 한 종류으로써 기본적으로 현행 경수로형 원자로의 심사지침에서 제시하는 허용기준들을 모두 만족하여야 할 것입니다. 다만, 기존 심사지침의 허용기준이 적용될 수 없거나 고려범위를 벗어나는 특수한 (경수형) SMR의 설계 특성이 있다면, 작성하고자 하는 보조지침은 이들에 대한 심사를 원활하게 수행할 수 있도록 심사기준에 대한 해석을 제공하는 보조적 역할을 해야 할 것입니다. 예를 들면, 심사과정에서 “원격정지실“이 꼭 별도의 독립된 공간일 것을 요구하지 않을 수 있으나, 혹시 이에 대한 우려가 있다면 보조 지침에서는 아래와 같은 항목을 추가할 수 있을 것이다.(김만철)</p> <p>○ 원격정지실에 대한 해석 설계 특성상 별도의 원격정지실이 구성되지 않은 경</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
				<p>우, 원격정지설비를 원격제어실로 해석하여 심사를 수행할 수 있다.(김만철)</p> <p>제공받았던 심사지침(안)은 현행 심사지침을 개정하고자 함인지 또는 현행 심사지침을 일부 수정하여 새롭게 작성하려함인지는 분명하지 않으나, 전자는 규제 의 안정성 측면에서 적합하지 않으며, 후자는 보조지침의 내용이 현행 지침과 대부분 중복되게 되어 보조지침을 작성하는 적절한 방법이 아니라 생각합니다. 아무쪼록 개발하고자 하는 보조지침은 현행 심사지침을 보조하는 역할을 수행하는 별도의 독립된 지침이 될 수 있었으면 합니다.(김만철)</p> <p>NUREG-0800, Ch. 18-A Guidance for Crediting Manual Operator Actions in Diversity and Defense-in-Depth (D3) Analyses와 관련한 지침 보완은 필요 없는지?(김종현)</p> <p>이 부분은 인간공학의 전반적 현안을 모두 다루기 위해 고려해야 하는 12개 영역이므로 SMR이라고 특별히 다른 것은 없다고 판단함.</p> <p>그러나 별도의 다음의 추가적인 검토분야(chapter)를 고려해볼 수 있다고 판단함. 이유는 기존 chapter들이 단일 원전 제어실 중심의 인간공학적 측면을 다루다 보니 SMR의 고유특성으로 인한 혁신적 설계 및 운영 패러다임이 가져오는 근본적이고 새로운 인간공학적 이슈를 다루기에는 한계가 있을 수 있으니 이를 위한 별도의 chapter를 고려해 볼 만함. 별도의 chapter의 타이틀은 ‘첨단 자동화, 원격 운영 및 다수 모듈 통합 관리를 위한 인간공학’ 으로 하고 세부적으로 다음의 내용을 다룰 수 있음.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고도 자동화 시스템과 인간-AI 상호작용(운전원의 자동화에 대한 신뢰, 자동화의 역효과 방지, AI시스템의 투명성 및 설명 가능성, 인간과 AI간의 역할 분담 등)</li> <li>- 원격 운영 및 중앙 집중식 감시/제어의 인간공학(원격환경에서의 상황인식 유지, 시공간적 분리에 따른 의사소통 및 협업의 어려움, 원격장비의 물리적 조작 부재에 따른 인지적 공백 등)</li> <li>- 다수 모듈 통합 관리 및 비상자원 활용 최적화</li> <li>- 사이버 보안 위협 관련 인간공학(함당한)</li> </ul>
제18.1절 I. 검토분야 (인허가 신청)	<p>두 가지 인허가 신청 유형에 대한 인간공학 검토 과정은 다음과 같다.</p> <p>1. 신규발전소의 인간공학 검토: 만약 신청자가 신규 발전소를 건설하고자 하는 경우, 신규 인허</p>	(좌동)	국내 경수형 SMR은 두 가지 인허가 신청 유형 중 ‘신규발전소의 인간공학 검토’에 해당됨.	<p><b>의견 없음(허균영)</b></p> <p>동일 분야 검토 적절(이승준)</p> <p>특별한 이견 없음.(김만)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>가 신청에 대한 인간공학 검토를 수행된다. 이와 관련하여 본 장은 적합한 인간공학 원칙, 기술기준 및 표준이 설계공정에 포함되었으며, 인간-시스템연계 설비가 최신 인간공학 설계기술을 반영하였음을 확인하기 위한 심사자의 검토활동을 기술한다.</p> <p>2. 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학 검토: 본 절은 제어실(주제어실 및 원격정지실) 및 다른 주요 인간-시스템 연계 변경에 대한 검토에 사용될 수 있다. 인간-시스템연계 설비에 대한 변경은, 디지털 계측제어 개선계획의 일환으로 컴퓨터기반 기술을 적용하는 제어실 현대화와 같이 광범위할 수 있다. 여기에서 개선계획이란, 안전에 중요한 구조물, 계통 및 기기에 관련된 정보, 제어기 및 정보표시 설비에 대한 실질적인 변경계획을 의미한다. 또한 심사자는 최종안전성분석보고서 개정을 포함한 발전소의 특정 변경사항에 대해서도 검토를 수행할 수 있다.</p>			<p>의견 없음(김종현)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 I. 검토분야 (차등적 검토방법)	<p>인허가 신청자의 인간공학 설계에 대해 심사자가 적용하는 검토 및 평가 수준은, 각 인허가 신청의 특정 상황을 반영한다. 예를 들어, 일반적으로 신규 발전소에 대한 인간공학 검토는 포괄적이고 상세하게(Ⅲ.1 참조) 수행하지만, 기존 설계의 개별적 변경에 대한 인간공학 검토는 상대적으로 그 범위를 축소하거나 조정할 수 있다 (Ⅲ.2 참조). 이러한 차등적 방법에 따른 검토분야별 범위는 다음과 같은 사항들의 종합적 판단에 근거한다:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 인허가 신청자가 제시한 정보의 평가</li> <li>• 최근 타 발전소에서 검토되었던 인간공학 현안과의 유사성</li> <li>• 특별한 안전 관련 사항이 포함되었는지에 대한 결정</li> </ul>	(좌동)	국내 경수형 SMR은 신규발전소로 인허가 신청되므로 18.1절의 모든 검토분야의 적용이 필요함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>모든 검토분야 적용 필요.(이승준)</p> <p>의견 없음(김종현)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 I. 검토분야 (검토연계분야)	<p>본 절에서 수행되는 검토는 다음과 같이 다른 안전심사지침 ‘장’ 및 ‘절’ 과 연계하여 수행되어야 한다.</p> <p>1. 6.3 “비상노심냉각계통.” 안전성분석보고서 6.3 내용 중 Ⅲ.19는 사고과정 중 비상노심냉각계통 작동에 요구될 수 있는 운전원 수동조치에 대한 검토를 다룬다. 또한 제18장은 중요 인적행위 분석에 근거한 운전원 수동조치에 대한 검토를 다루고 있다. 따라서, 6.3절 Ⅲ.19 및 18장 검토주관부서는 담당부서 간 상호협조 하에 연계 검토해야 한다.</p> <p>2. 7장, “계측제어.”</p>	<p>(좌동)</p> <p>1. (좌동)</p> <p>2. (좌동)</p>	국내 경수형 SMR의 인간공학 검토연계분야는 기존 경수로형 안전심사지침의 검토연계분야와 동일하여야 함.	<p>동일 분야 검토 적절(이승준)</p> <p>“인간신뢰도분석이 체계적 절차 및 방법에 따라 수행되었는지를 검토한다.” =&gt; 인간신뢰도분석의 적절성 및 적합성은 19장에서 평가할 사항으로 사료됨. 따라서, 18장에서 이를 검토하는 것은 적절하지 않은 것으로 보임.(김종현)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)	경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
<p>안전성분석보고서 7장 및 18장에 언급된 인간-시스템 연계 설비에 대한 설계내용 및 특성 등은 일관성이 유지되도록 기술되어야 한다. 따라서 7장(또는 18장)에 대한 검토결과는 18장(또는 7장) 검토 시 고려되어야 한다.</p> <p>3. 13.1.1절, “관리 및 기술지원조직.” 안전성분석보고서 13.1.1절에는 발전소 설계에 있어 인간공학과 관련된 관리 및 조직상 책임을 명확하게 정의하고 있다. 또한 본 안전심사지침 II절 허용기준에 의거 하여 18장에는, 신규 발전소 설계 및 기존 발전소 변경 시 인간공학 측면이 적절하게 고려될 수 있도록 하기 위한 관리 및 기술지원 조직의 책임, 역할 등을 종합적으로 기술하고 있다. 따라서 13.1.1절과 18장 검토주관부서는 상호 연계하여 검토해야 한다.</p> <p>4. 13.1.2절-13.1.3절, “운전조직.” 안전성분석보고서 13.1.2절 및 13.1.3절에는 운전조 구성요건에 대한 내용을 포함하고 있다. 또한 18장에는 운전원의 직무요건 및 적용 가능한 규제요건에 대한 충분한 이해를 바탕으로, 운전조 구성과 관련하여 요구되는 분석내용을 명시하고 있다. 따라서 13.1.2절 및 13.1.3절에 기술된 운전조 구성요건이, 18장에 의거하여 수행된 분석에 적절히 고려되었는지 확인하여야 한다.</p> <p>5. 13.2.1절, “원자로 운전원 훈련.” ; 13.2.2절, “면허 미소지 직원 훈련.” 안전심사지침 13.2.1절 및 13.2.2절은 원자로 운전원 및 일반 작업종사자의 훈련프로그램 검토를 위한 구체적인 기준을 제공한다. 또한 18장은 “훈련프로그램 개발”이라는 인간공학 검토요소를 통해, 훈련프로그램 개발과정을 검토하기 위한 기준을 제공하고 인간공학 설계공정의 관련성에 대한 내용을 포함하고 있다. 따라서 13.2.1절, 13.2.2절 및 18장 검토주관부서는 상호 참조하고</p>	<p>3. (좌동)</p> <p>4. (좌동)</p> <p>5. (중략) 따라서 <u>안전성분석보고서 13.5.1.1절, 13.5.1.2절, 13.5.2.1절, 13.5.2.2절 및 18장</u> 검토주관부서는 상호 참조하고 연계 검토해야 한다.</p>	<p>4. 혁신형 SMR과 유사한 미국 NuScale 사례를 참조하였을 때 미국 NRC에서는 NuScale 인허가 심사에 NUREG-0800 13.1.2-1.3절과 18장을 변경 없이 적용하였음. 또한 18장에 의거한 운전조 구성에 대한 검토 시 13.1.2절-13.1.3절의 운전조직과 연계가 필요함. 상위 규제요건을 미충족하는 운전조 구성에 대한 심사지침은 필요 시 13.1.2-13.1.3절에서 다뤄져야 함.</p>	<p>4. 10CFR50.54m에서는 최소 1명 이상의 SRO가 MCR에 상주하고 최소 1명 이상의 RO가 배치되어야 한다고 명시하고 있다. 또한 국내도 원자력안전법 제 26조 ‘원영에 관한 안전조치 등’ 제 3항에서 발전용원자로 운영자는 제 84조에 따라 원자로조종감독자 면허를 받은 사람 및 원자로조종사 면허를 받은 사람 각 1명 이상을 늘 원자로의 운전업무에 종사하게 하여야 한다라고 명시하고 있다. 이는 원자로 1기가 원전 1기와 등등할때의 개념으로 다수의 모듈(원자로)를 포함하는 SMR에서는 적용하기 어려운 조항이다. 예로 NUREG-0800 12.1.2절의 Table 1의 minimum requirements per shift for on-site staffing을 보면 unit의 수에 따른 필요 operator의 수를 명시하고 있는데 이는 다수모듈의 SMR에는 적용이 어려운 규정임.(이승준)</p> <p>국내의 경우 원자력안전법에 운전조 구성에 대한 최소 요건이 제시되어 있으므로, 해당 법률을 만족하지 못하는 운전조 구성은 법률 위반에 해당할 수 있음.(김만)</p> <p>5. 장절에 안전심사지침과 안전성분석보고서의 추가하여 구별 필요(정연섭)</p>



	현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)	경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>연계 검토해야 한다.</p> <p>6. 13.5.1.1절, “행정절차서 - 일반사항.” ; 13.5.1.2절, “행정절차서 - 초기시험 프로그램.” ; 13.5.2.1절, “운전 및 비상운전절차서.” ; 13.5.2.2절, “정비 및 기타운전 절차서.”</p> <p>안전심사지침 13.5.1.1절, 13.5.1.2절, 13.5.2.1절 및 13.5.2.2절은 행정 절차서, 운전 및 보수 절차서의 내용에 대한 구체적인 기준을 제공한다. 또한 18장은 “절차서 개발”이라는 인간공학 검토요소를 포함하며, 절차서 개발과정을 검토하기 위한 기준을 제공한다. 따라서 13.5.1.1절, 13.5.1.2절, 13.5.2.1절, 13.5.2.2절 및 18장 검토주관부서는 상호 참조하고 연계 검토해야 한다.</p> <p>7. 15장, “사고해석.”</p> <p>예상된 운전과도 및 가상사고를 다루는 안전성분석보고서 제15장은 여러 부서에서 참조되고 검토된다. 따라서 안전성분석보고서 제15장에 명시된 분석결과는 인간공학 설계과정에 참조, 반영 및 통합되어야 하고, 이에 상호 연계 검토되어야 한다.</p> <p>8. 19장, “중대사고 및 위험도평가.”</p> <p>안전성분석보고서 19장은 발전소의 확률론적 안전성 평가와 관련한 내용을 포함하고 있다. 또한 18장은 인간공학 검토요소 중 “인간신뢰도분석”과 관련한 내용을 포함하여, 확률론적 안전성 평가와의 연계활동 및 인간신뢰도분석 결과와의 통합 등에 관한 내용을 포함하고 있다. 따라서 19장과 18장 검토주관부서는 상호 참조하고 연계 검토해야 한다.</p>	<p>6. (좌동)</p> <p>7. (좌동)</p> <p>8. 19장, “중대사고 및 위험도평가.”</p> <p>안전성분석보고서 19장은 발전소의 확률론적 안전성 평가와 관련한 내용을 포함하고 있으며, <u>인간신뢰도분석이 체계적 절차 및 방법에 따라 수행되었는지를 검토한다. 또한 18장은 확률론적 안전성 평가를 통해 도출된 필수운전원조치를 대상으로 중요 인적행위 분석 및 관리에 관한 내용을 포함하고 있다.</u> 따라서 19장과 18장 검토주관부서는 상호 참조하고 연계 검토해야 한다.</p>	<p>8. 경수형 SMR의 인간공학 심사에 국한되는 내용은 아니며, KINS/RG-N15.02, ‘인간공학 분석’ 규제지침에 따라 확률론적 안전성분석 및 인간신뢰도분석에서 도출된 중요 인적행위를 규명하여 인간공학 설계에 고려하여야 함.</p>	<p>현재 국내 안전성분석보고서에는 19장이 없고, 사고관리계획서에서 이를 다루고 있음. 따라서 기존의 심사지침을 포함하여 SMR의 경우도 사고관리계획서로 내용이 수정되어야 함. 또한 ‘확률론적 안전성평가’라는 정식 용어를 사용할 필요가 있음.(허균영)</p> <p>사고관리계획서도 그렇지만 안전성분석보고서에는 기본적으로 단일 원자로에 대한 결과가 제시되어 있음. 하지만 SMR은 기본적으로 다수의 모듈이 건설될 것을 전제로 하고 있으므로, 이를 다루고 있는 적절한 문서와의 연계성 검토가 추가로 필요함(허균영)</p> <p>경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)의 POS 5에서 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라고 하였음을 고려할 때, 경수형 SMR 인간공학 심사에 국한되지 않는 내용에 대한 보완은 적절하지 않음.(김만)</p> <p>의견 없음(함동한)</p> <p>의견 없음(허균영)</p>
제18.1절	다음과 같은 관련 규제요건을 만족해야 한다.	(좌동)		의견 없음(허균영)

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
II. 허용기준 (규제요건)	<p>1. 원자력안전법 시행규칙 제4조(건설허가 첨부서류의 작성)</p> <p>2. 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제45조 (인적 요소)</p> <p>3. 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제57조 (인적 요소의 관리)</p>			<p>의견 없음.(김중현)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (안전심사지침 허용기준)	<p>상기 규제요건을 만족시키기 위한 안전심사지침의 허용기준은 다음과 같다.</p> <p>안전심사지침은 규제기관의 규제요건을 대신하지는 않으며, 또한 이를 만족할 것을 요구하지 않는다. 그러나 인허가 신청자는 설비에 대해 제안된 설계특성, 해석기술, 그리고 절차 상의 조치사항들과 안전심사지침의 허용기준과의 차이점을 확인해야 하고, 또한 안전심사지침의 허용기준에 대한 대안으로서 제시된 안이 규제요건을 따르는 허용 가능한 방법을 어떻게 제시하고 있는지를 평가해야 한다.</p>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>허용기준과 동일 적용(이승준).</p> <p>의견 없음(김중현)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 인간공학 프로그램 관리)	<p>가. 인간공학 프로그램 관리</p> <p>본 검토의 목적은 인허가 신청자가 인간공학의 역할 및 인간공학 활동을 완수하기 위한 수단을 적절히 고려하였음을 확인하는 데 있다. 본 검토에서는 다음 사항을 확인하여야 한다:</p> <p>1) 인허가 신청자는 안전심사지침 13.1.1절 “관리 및 기술지원조직”에 기술된 바와 같이 원자력 시설의 설계 및 건설을 감독하기 위한 계획을 수립하였다.</p> <p>2) 인허가 신청자는 인간공학 설계위임이 이루어졌음을 보장하기 위해 책임, 권한, 조직상 위치, 팀 구성 등을 고려하여 인간공학 설계팀을 구성한다.</p> <p>3) 인간공학 설계팀은 인간공학 프로그램의 개발, 실행, 감독, 문서화 등이 적절함을 보증하기 위한 인간공학 프로그램 계획에 따라 운영된다.</p> <p>4) 인간공학 프로그램은 RG 1.174에 기술된 것처럼 설계의 결정론적 측면을 적절하게 고려하고 다룬다.</p>	<p>가. (좌동)</p> <p>1) (좌동)</p> <p>2) (좌동)</p> <p>3) (좌동)</p> <p>4) 인간공학 프로그램은 RG 1.174에 기술된 것처럼 설계의 <u>위험도정보기반(risk-informed)의 의사결정 측면</u>을 적절하게 고려하고 다룬다.</p>	<p>4) US NRC의 RG 1.174는 위험도정보기반의 의사결정 기법을 활용하는 지침으로 다음 사항을 고려하도록 하고 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 현행 규제요건의 만족</li> <li>• 심층방어 철학에 부합</li> <li>• 충분한 안전 여유도의 확보</li> </ul>	<p>의견 없음(김중현)</p> <p>‘위험도정보활용’으로 정정 단 위험도정보활용을 심사지침에만 적용하는 것으로는 부족하고, 안전법/시행령/시행규칙/고시에 이르는 일련의 체계에서 위험도정보 활용을 통한 의사결정이 가능한 규정을 두고 있는지 반드시 확인이 필요함(허균영)</p> <p>외국 자료를 심사근거로 사용하기 보다는 국내 기준</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>인간공학 프로그램 관리계획은 설계 시점에서 적용 가능한 인간공학 원칙, 기술기준 및 표준 등에 따라 하향적 접근방법(Top-Down Approach)을 체계적으로 적용하여 인간-시스템 연계, 절차서, 훈련프로그램 등이 적절하게 개발, 설계, 평가되었음을 보장하기 위해, 각 관련 프로그램을 충분히 상세하게 기술해야 한다. 인간공학 프로그램 관리에 대한 내용은 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p>	<p>인간공학 프로그램 관리계획은 설계 시점에서 적용 가능한 인간공학 원칙, 기술기준 및 표준 등에 따라 하향적 접근방법(Top-Down Approach)을 체계적으로 적용하여 인간-시스템 연계, 절차서, 훈련프로그램 등이 적절하게 개발, 설계, 평가되었음을 보장하기 위해, 각 관련 프로그램을 충분히 상세하게 기술해야 한다. 인간공학 프로그램 관리에 대한 내용은 <a href="#">KINS/RG-N15.02</a>, <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 위원회의 안전정책에 부합</li> <li>• 수행도 확보 및 유지</li> </ul> <p>KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(<a href="#">별첨 1 참조</a>). <a href="#">별첨 1</a>은 추후 제공 예정임.</p>	<p>과 지침의 활용이 적절함(허균영)</p> <p>상세 지침서를 나열할 때 기준의 상세 수준을 고려하여 나열 필요. NUREG-0711이 가장 상위 문서로 보임(정연섭)</p> <p>US NRC의 RG 1.174는 위험도정보기반의 의사결정 기법이나 해당 허용기준에 포함되어 있는 이유에 대하여 KINS측에 확인하고, KINS측에 관련 기준 개정 제안(김만철)</p> <p>경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)의 POS 5에서 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라고 하였음과 상반됨. 또한, 아직 내용을 확인할 수 없는, 개발 중인 지침을 KINS 심사지침에 포함해야하는지에 대한 판단은 적절하지 않음.(김만철)</p> <p>인간공학 프로그램 관리계획은 설계 시점에서 적용 가능한 인간공학 원칙, 기술기준 및 표준 등에 따라 하향적 접근방법(Top-Down Approach)을 체계적으로 적용하여 인간-시스템 연계, 절차서, 훈련프로그램 등이 적절하게 개발, 설계, 평가되었고 SMR 고유특성을 고려한 인간공학적 주요 이슈가 체계적으로 다루어졌음을 보장하기 위해, 각 관련 프로그램을 충분히 상세하게 기술해야 한다. 인간공학 프로그램 관리에 대한 내용은 <a href="#">KINS/RG-N15.02</a>, <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 한다.(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 운전경험 검토)	<p>나. 운전경험 검토</p> <p>본 검토의 목적은 과거 설계에서의 인간공학 관련 문제점 및 현안이 신규 설계에 존재하지 않도록, 인허가 신청자가 관련 문제점 및 현안을 규명하고 분석하였음을 확인하는 데 있다. 또한 본 검토에서는 인허가 신청자가 기존설계의 긍정적인 측면을 신규 설계에서도 유지하였음을 확인하여야 한다. 운전경험 검토에 대한 내용은 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p>	<p>나. 운전경험 검토</p> <p>본 검토의 목적은 과거 설계에서의 인간공학 관련 문제점 및 현안이 신규 설계에 존재하지 않도록, 인허가 신청자가 관련 문제점 및 현안을 규명하고 분석하였음을 확인하는 데 있다. 또한 본 검토에서는 인허가 신청자가 기존설계의 긍정적인 측면을 신규 설계에서도 유지하였음을 확인하여야 한다. 운전경험 검토에 대한 내용은 <a href="#">KINS/RG-N15.02</a>, <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p>	<p>KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(<a href="#">별첨 1 참조</a>).</p>	<p>외국 자료를 심사근거로 사용하기 보다는 국내 기준과 지침의 활용이 적절함(허균영)</p> <p>새로운 형태의 다수모듈의 운전이므로 기존 운전경험을 검토할 때 적용이 가능한 일반적인 사항과 적용이 어려운 사항, 새롭게 고려되어야 하는 사항으로 분류 필요. “기존설계의 긍정적인 측면을 신규 설계에서도 유지”의 의미가 모호함. 기존에 긍정적인 측면은 모두 다 고려해야 한다는 것인지?(이승준)</p> <p>의견 없음(김종현).</p> <p>경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)의 POS 5에서 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라고 하였음과 상반됨. 또한, 아직 내용을 확인할 수 없는, 개발 중인 지침을 KINS 심사지</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
				<p>침에 포함해야하는지에 대한 판단은 적절하지 않음 (김만철)</p> <p>(제안) 기존 운전원 운전경험 외에 국내외 피동형 안전계통이 적용된 유사 산업에서의 인적오류, 오작동, 비상상황 대응 사례를 심층적으로 분석하고 이를 SMR 설계에 반영하는 내용을 추가적으로 고려해 보았으면 함. 또한 SMR에 도입될 고도화된 디지털 HMI, AI기반 진단 시스템, 사이버 보안 위협 등이 운전원 수행도와 인적오류에 미치는 영향의 잠재적 분석이 수행되었는가에 대한 부분도 추가적으로 고려해 볼 만함.(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 기능요건분석 및 기능할당)	<p>다. 기능요건 분석 및 기능 할당</p> <p>기능요건 분석은 발전소 안전 목표, 즉 일반대중의 건강 및 안전을 위협할 수 있는 가상사고의 결과를 사전에 방지하거나 완화시키기 위해, 수행되어야 하는 기능을 규명하고 분석하는 것이다. 기능 할당은 발전소 제어요건에 대한 분석이며, (1)운전원에 의한 제어(예, 수동제어), (2)시스템에 의한 제어(예, 자동제어), (3)운전원과 시스템에 의한 제어(예, 수동백업으로 구비된 자동시스템)에 대해 제어기능을 할당하는 것을 말한다. 본 검토의 목적은 (1)발전소 안전 목표를 충족시키기 위해 수행되어야 하는 발전소 기능이 정의되었고, (2)운전원 및 시스템에 대한 기능 할당에서 인간의 약점은 피하고 강점은 이용할 수 있도록 운전원의 역할이 적합하게 주어졌음을 확인하는 것이다. 기능요건 분석 및 기능 할당에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p>	<p>다. 기능요건 분석 및 기능 할당</p> <p>기능요건 분석은 발전소 안전 목표, 즉 일반대중의 건강 및 안전을 위협할 수 있는 가상사고의 결과를 사전에 방지하거나 완화시키기 위해, 수행되어야 하는 기능을 규명하고 분석하는 것이다. 기능 할당은 발전소 제어요건에 대한 분석이며, (1)운전원에 의한 제어(예, 수동제어), (2)시스템에 의한 제어(예, 자동제어), (3)운전원과 시스템에 의한 제어(예, 수동백업으로 구비된 자동시스템 <u>혹은 적응형 자동화체계 등</u>)에 대해 제어기능을 할당하는 것을 말한다. 본 검토의 목적은 (1)발전소 안전 목표를 충족시키기 위해 수행되어야 하는 발전소 기능이 정의되었고, (2)운전원 및 시스템에 대한 기능 할당에서 인간의 약점은 피하고 강점은 이용할 수 있도록 운전원의 역할이 적합하게 주어졌음을 확인하는 것이다. 기능요건 분석 및 기능 할당에 대한 적합성은 <a href="#">KINS/RG-N15.02</a>, <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p>	<p>다수의 원자로모듈을 하나의 통합 주제어실(Main Control Room; MCR)에서 상대적으로 소수의 인원이 운전할 수 있는 혁신적인 운전 개념이 도입되고 있다. 이러한 혁신적인 운전 개념은 SMR 운영 및 유지보수 비용 측면에서 유리하기 때문이다. SMR의 운영 및 유지보수 기술에 대한 혁신적인 접근은 첨단 ICT 기술의 접목을 통해 가능하다. 즉, SMR의 자동화 수준을 향상시키는 기술이다. SMR의 자동화는 크게 기능(function)의 자동화와 직무(task)의 자동화로 구분된다. 기능의 자동화는 SMR 시스템이 목표(예, 안전과 전력 생산) 달성에 요구되는 수많은 기능 들을 사람의 개입 없이 해당 시스템이 수행하는 것을 의미한다. 이러한 기능의 자동화는 기존 대형의 원자력시스템에서도 상당 부분 적용되고 있다. 예를 들어, 발전소 안전 기능의 핵심인 보호 기능의 자동화나 급수 제어, 수위 제어, 터빈 제어 기능의 자동화 등이 있다. 직무의 자동화는 사람이 수행하는 일(tasks)을 특정 시스템이 대신하는 것을 의미한다. 예를 들어, 운전 절차서(operating procedure)를 통해 특정 조건을 확인하고 해당 조건에서 수행하도록 정의된 특정 일(tasks)을 시스템이 대신 수행하는 자동화가 있다. SMR은 이러한 자동화 기술을 초기 개념설계 단계부터 도입하여 안전하고 효율적인 운영이 가능하도록 개발되고 있다. 국내의 경우, 혁신형 SMR (i-SMR)의 개발에 이러한 자동화 기술을 적극적으로 도입 및 적용하고 있는 것으로 알려져 있다. SMR 자동화 수준의 향상은 규제적 관점에서</p>	<p>현재 (3)항에서 제시하는 ‘수동백업으로 구비된 자동 시스템’ 과 개정안에서 제시한 ‘적응형 자동화체계’ 가 자동화의 정도에 대한 차이만 있을 뿐 동일한 의미로 보이기도 함(허균영)</p> <p>만일 ‘적응형 자동화체계’ 라는 용어를 사용하려 한다면 현 시점에서는 낯설기 때문에 심사지침을 보완하는 설명자료가 추가되어야 할 것으로 보임(허균영)</p> <p>설명에 따르면 “적응형 자동화체계”는 자동화 시스템과 운전원의 상호작용을 의미한다. 즉 자동화 수준에 따른 구분이 아니다. 따라서 “적응형 자동화”는 높은 수준의 자동화로 오해되므로 삭제하여 기존 지침과 동일하게 기술 필요.(정연섭)</p> <p>기존 원전과 비교하여 자동화의 범위가 높아지고 수준이 높아질 것으로 예상됨. 적응형 자동화체계의 정의가 무엇인지 정확히 할 필요가 있음. 기존의 RPS, ESF-CCS의 자동화에 운전원의 수동조치를 고려할때와 자동화 시스템과 운전원의 상호작용을 고려할 때 달라지는 점이 무엇인지 명확히 정의하고 이를 반영할 필요가 있음. 또한 자동화의 범위 및 수준이 개발되는 원전에 따라 달라질 수 있으므로 다양한 수준을 고려하여 지침을 마련할 필요가 있음.(이승준)</p> <p>완전한 자동화는 (2)시스템에 의한 제어와 동일하므로 완전한 자동화가 아닌 상호제어가 중점적으로 검토되어야 하며, 상호제어일 경우 자동화 시스템이 수행하던 것을 필요할 경우 운전원이 넘겨받는 경우, 운전원이 시작하여 수행하다가 자동화 시스템이 넘겨주는 경우 두 가지 다 발생하는 경우 등 여러 가지 경우가 존재함. 다만 운전원과 자동화 시스템의 상호제어가 이루어지는 경우, 운전원은 언제나 자동화 시스템이 수행하는 직무에 대해 인지를 하고 있어야 하며 자동</p>



현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
			<p>안전성 심사에 중요한 관심사 중 하나이다. 특히 인간공학 규제 관점에서는 단순히 자동화 시스템의 안전성뿐만 아니라 자동화 시스템과 운전원의 상호작용 측면에서도 심도 있는 안전성 심사가 요구된다. 자동화 시스템과 운전원의 상호작용을 적응형 자동화(adaptive automation)이라고 한다. 따라서 적응형 자동화에 대한 인간공학 규제의 기술적 근거 마련이 필요하다. 특히 SMR의 안전 기능 및 안전 기능에 영향을 줄 수 있는 발전 기능의 정의와 정의된 각 기능의 할당이 적응형 자동화와 밀접한 관련이 있다.</p> <p>인간공학 규제 관점에서 적응형 자동화에 대한 접근은 근본적으로 SMR 자동화 수준 향상이 안전성에 어떠한 영향 미칠 수 있는 가에서 시작한다. 먼저 다음의 네 가지의 긍정적 관점에 초점을 맞출 필요가 있다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 자동화 수준의 향상은 궁극적으로 시스템 성능의 향상을 가져온다. 시스템 성능의 향상은 결과적으로 안전성을 향상시킨다.</li> <li>· 자동화 수준의 향상은 운전원의 직무 부담을 줄인다. 직무 부담이 큰 운전원(operator) 직무가 자동화된다면 안전성은 향상될 수 있다.</li> <li>· 자동화 수준의 향상은 운전원의 직무를 최소화하여 인적오류(human error)의 개입 빈도를 최소화할 수 있다. 인적오류의 개입 빈도를 낮춤으로써 안전성을 향상시킨다.</li> <li>· 자동화 수준의 향상은 운영 및 유지보수 직무의 자동화를 증대시킨다. 운영 및 유지보수 직무 과정에서 발생될 수 있는 안전성 저하 요인을 줄임으로써 안전성을 향상시킨다.</li> </ul> <p>상기의 네 가지 긍정적 관점은 자동화 수준의 향상과 안전성 향상은 같은 방향을 바라보는 것으로 보인다. 즉, 자동화 수준을 높일수록 안전성은 향상되는 것으로 보인다. 그러나 SMR을 포함하여 안전성이 중요하고 복잡한 시스템의 경우, 자동화 수준의 향상은 다음과 같은 우려 사항을 양산할 수 있음은 오래 전부터 공론화된 사실이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>· 자동화 수준의 향상에 따른 상황인식(situation awareness)의 문제는 복잡하고 동적 시스템일수록 성공적인</li> </ul>	<p>화 시스템이 기능을 성공적으로 수행하지 못할 경우 수동운전으로 백업을 해야함.(이승준)</p> <p>개발중인 지침외에 또한, “시스템에 의한 제어”에 “적응형 자동화 체계”가 포함된다고 할 수 있으므로 해당 부분에 대한 개정의 필요성 또한 크지 않음.(김만철)</p> <p>자동시스템과 적응형 자동화체계를 구분하여 기술할 필요가 있는지 모르겠음. 자동시스템은 이미 적응형 자동화체계를 포함하고 있다고 할 수 있음.(김종현)</p> <p>SMR의 고유 특성을 고려할 때 기능요건 분석 및 기능할당은 매우 중요한 이슈가 될 수 있는데 기술적 배경이 논리적으로 상세하게 기술된 것으로 판단됨. 그러나 적응형 자동화에 대한 보다 명확한 정의가 필요함. 적응형 자동화는 인간 작업자의 인적수행도 및 작업 부하 등을 고려해 자동화 수준이 동적으로 변경되는 자동화시스템을 의미함. 또한 adaptive automation과 adaptable automation은 명확하게 구분할 필요가 있음.</p> <p>안전심사 보완사항에서 자동화 실패시 운전원의 수동 개입 가능성 및 그에 따른 요구사항을 명시할 것인지 고민해 볼 필요가 있음. 또한 여러 개의 SMR 모듈이 통합 제어실에서 운영될 때 각 모듈의 상태 감시, 경보처리, 비상 대응 등 모듈 간의 상호작용 및 파급효과를 고려한 기능할당에 대한 요구사항도 고려해 볼 필요가 있음.(함동한)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
			<p>인적 수행도를 보장할 수 없다(Endsley, 1995).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 높은 자동화 수준에서 낮은 직무 부하는 인지적 개입의 부족으로 지루함과 피로를 유발할 수 있다(Comstock, Bartolome, Bogart, &amp; Burdette, 1994; Endsley &amp; Kaber, 1999).</li> <li>• 급하게 요구되는 높은 직무 부하는 상황 인식의 급격한 저하를 유도하여 직무 수행도를 저하시키며, 시스템의 변화를 파악하기 힘들다(Endsley, 1993).</li> <li>• 자동화 시스템은 운전원(operator)의 직무 수행도를 지원한다. 그러나 자동화 시스템의 기능 저하나 실패로 인해 운전원(operator)은 자동화 시스템을 더 이상 신뢰하지 않아 전체적인 직무 수행도는 향상되지 않을 수 있다(NRC, 2020).</li> </ul> <p>따라서 SMR의 적응형 자동화에 대한 인간공학 규제적 접근은 기본적으로 SMR의 자동화 수준이 향상된다고 하더라도 운전원(operator)을 배제한 운전개념은 허용할 수 없다는 것이다. 이러한 기본적인 규제적 접근은 다음의 세 가지로 압축된다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 높은 수준의 감독 및 관리 기능은 자동화 시스템보다는 운전원(operator)에게 할당되어야 한다.</li> <li>• 운전원(operator)은 계획되지 않거나 예측하지 못한 사건 혹은 사고 발생에 적절히 대응할 수 있어야 한다.</li> <li>• 운전원(operator)은 자동화 시스템의 기능 저하 혹은 실패에 적절히 대응할 수 있어야 한다.</li> </ul> <p>결국 적응형 자동화에 대한 안전성 심사는 안전성 측면에서 최적의 자동화 수준이 설정되었음을 검토하는 데 주안점이 있다. 최적의 자동화 수준은 사업자가 설정하는 기능할당 기준과 직접적으로 관련된다. 따라서 SMR의 설계 특성에 따라 정의된 기능(특히 안전기능)을 자동화 시스템과 운전원(operator)에게 적절하게 할당할 수 있는 합리적인 기술기준이 마련되어야 한다. 적응형 자동화의 안전성 심사는 다음의 기능할당 기준에 근거를 둘 필요가 있다.</p>	

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
			<ul style="list-style-type: none"> <li>· 완전한 자동화 기능은 어떠한 경우라도 운전원(operator)의 개입 없이 안전성을 보장해야 한다. 단, 완전한 자동화 기능의 수행 상태를 감시할 수 있는 수단이 제공되어야 한다.</li> <li>· 지식기반의 의사결정을 수반하는 기능은 자동화 기능을 최소화해야 한다. 단, 지식기반의 의사결정을 지원하는 수단으로 자동화 기능이 할당될 수는 있다.</li> <li>· 자동화의 기술적 한계로 높은 인지적 부하가 예상되는 직무를 수반하는 기능의 경우, 운전원(operator)이 절차 정보를 최소한의 인지적 부담으로 수용하여 그 기능을 수행할 수 있는 직무의 자동화 기능이 추가되어야 한다.</li> <li>· 기능의 자동화를 통해 운전원(operator)의 직무가 최소한으로 요구되는 경우, 운전원(operator)이 자동화 기능의 작동 상태를 지속적으로 감시할 수 있어야 한다. 또한 자동화 기능의 저하나 실패에 대한 즉각적인 운전원(operator) 개입이 가능해야 한다.</li> </ul> <p>KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(별첨 1 참조).</p>	
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 직무분석)	직무분석은 발전소 요원에게 할당된 기능과 발전소 요원의 직무수행에 필요한 인간-시스템 연계 특성의 규명으로부터, 인적행위 측면의 요구사항을 분석하는 것이다. 본 검토의 목적은 기능수행에 필요한 구체적인 직무와 각각의 정보, 제어 및 직무지원 요건에 대해, 인허가 신청자의 직무분석에서 명확하게 규명하였음을 확인하는 데 있다. 직무분석에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.	직무분석은 발전소 요원에게 할당된 기능과 발전소 요원의 직무수행에 필요한 인간-시스템 연계 특성의 규명으로부터, 인적행위 측면의 요구사항을 분석하는 것이다. 본 검토의 목적은 기능수행에 필요한 구체적인 직무와 각각의 정보, 제어 및 직무지원 요건에 대해, 인허가 신청자의 직무분석에서 명확하게 규명하였음을 확인하는 데 있다. 직무분석에 대한 적합성은 <a href="#">KINS/RG-N15.02</a> , <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 한다.	KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(별첨 1 참조).	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)</p> <p>의견 없음.(김종현)</p> <p>SMR 고유특성에 따른 다음의 두 사항을 직무분석에서 고민해 볼 필요가 있다고 판단됨: (1) 피동형 계통은 운전원의 즉각적인 조작을 요구하지 않으므로 사고 발생 후 운전원의 상황인식, 진단, 비상절차 수행 전까지의 인지적 직무에 대한 심층 분석이 이루어졌는지에 대한 요구사항, (2) 다수 모듈 중에서 특정 모듈에서 이상 상황이 발생했을 때 운전원이 다른 모듈의 상태를 동시에 감시하면서 해당 모듈의 문제를 해결하는 과업전환 및 병렬과업에 대한 심층 분석이 이루어졌는지에 대한 요구사항.(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 운전조 구성 및	본 검토의 목적은 인허가 신청자가 직무요건과 적용 가능한 규제요건에 대해, 체계적인 방법으로 운전조의 구성(수) 및 자격요건을 분석하였음을 확인하는 데 있다. 운전조 구성 및 자격분석에 대한 내용은 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되	본 검토의 목적은 인허가 신청자가 직무요건과 적용 가능한 규제요건에 대해, 체계적인 방법으로 운전조의 구성(수) 및 자격요건을 분석하였음을 확인하는 데 있다. 운전조 구성 및 자격분석에 대한 내용은 <a href="#">KINS/RG-N15.02</a> , <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및	KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(별첨 1 참조).	국내법상 운전조 구성에 대해서는 법률에 명시되어 있고, 면제 요청 제도가 없기 때문에 기술적 배경은 타당함. 단, 향후에는 이에 대한 법률개정안을 제시하는 것이 더 근본적이고 올바른 접근 방법으로 보임(허균영).

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
자격)	어야 한다. 이러한 조건들을 면제받기 위해서는, 분석 및 정당성 입증에 제공되어야 한다. 이러한 조건들이 면제되기 위해서는 NUREG/CR-6838 및 NUREG-1791에 명시된 내용에 따른 분석을 통해 기술적 타당성이 입증되어야 한다.	NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 한다. 이러한 조건들을 면제받기 위해서는, 분석 및 정당성 입증에 제공되어야 한다. 이러한 조건들이 면제되기 위해서는 NUREG/CR-6838 및 NUREG-1791에 명시된 내용에 따른 분석을 통해 기술적 타당성이 입증되어야 한다.	청하는 제도적 장치가 없으므로 이에 대한 심사지침은 삭제하는 것이 타당함. 다만, 신규 제안하는 규제지침(안)에 운전조 구성 및 자격의 분석을 포함한 확인 및 검증에 대한 상세한 규제지침을 NUREG/CR 6838 및 NUREG 1791을 참조하여 기술함(예정).	국내에서는 규제요건의 면제가 없다면 기존 인간공학 심사지침에서는 면제요건을 기술하였음. 이제 이를 개정하겠다고 하면서 NUREG/CR 6838 및 NUREG 1791의 내용을 조항으로 추가하겠다고 함. 이 논리는 상호 모순임. 해소 가능한 논리는 차등적 접근법이 아닐까?(정연섭)  운전조의 구성(수)는 staffing validation 과정을 통해서 평가되어야 하며 기존 원자로 1기를 기준으로 구성되던 운전조와는 다른 기준으로 수립되어야함.(이승준)  개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)  의견 없음(김종현).  의견 없음(함동한) 의견 없음(허균영)
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 중요 인적행위 분석)	본 검토의 목적은 안전에 중요한 인적행위가 도출되어 발전소의 인간공학 설계에 고려되었음을 확인하는 데 있다. 이를 통해 운전원의 오류가능성을 최소화시키고, 운전원이 그림에도 발생하는 오류를 발견하고 이에 대한 확실한 복구조치를 지원하기 위함이다. 중요 인적행위 분석에 대한 내용은 NUREG-0711검토기준에 따라 평가되어야 한다.	본 검토의 목적은 안전에 중요한 인적행위가 도출되어 발전소의 인간공학 설계에 고려되었음을 확인하는 데 있다. 이를 통해 운전원의 오류가능성을 최소화시키고, 운전원이 그림에도 발생하는 오류를 발견하고 이에 대한 확실한 복구조치를 지원하기 위함이다. 중요 인적행위 분석에 대한 내용은 KINS/RG-N15.02, KINS/RG-N15.0X 및 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 한다.	KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(별첨 1 참조).	본 문서에서 필수 인적행위와 중요 인적행위의 용어 사용 통일(정연섭)  개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)  사업자가 단일호기 PSA 만을 수행할 경우 다수기 동시 사고 시의 운전원 중요 인적행위가 도출되지 않을 가능성이 있음. 따라서 다수기 동시사고에서의 운전원 행위 도출이 가능하도록 지침을 고려할 필요가 있음(김종현).  피동형 안전계통에서의 주요 인간 행위에 대한 재정의가 이루어졌는가에 대한 요구사항을 고려해 볼 만함.(함동한)
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 인간-시스템 연계 설계)	본 검토의 목적은 인간-시스템 연계의 설계요건 개발과 설계 및 개선 과정을 평가하는 데 있다. 본 검토에서는 인허가 신청자가 인간공학 원칙 및 기준의 체계적 적용을 통해, 기능 및 직무요건을 정보, 정보표시기, 제어기, 및 기타 인간-시스템 연계 상세설계로 적절히 변환시켰음을 확인하여야 한다. 인간-시스템 연계의 설계공정은 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 하며, 최종설계는 NUREG-0700에 따라 평가되어야 한다.  인간-시스템 연계 설계에 대한 검토에는 발전소 설계에 적용할 수 있는 다음과 같은 관련 요건들	본 검토의 목적은 인간-시스템 연계의 설계요건 개발과 설계 및 개선 과정을 평가하는 데 있다. 본 검토에서는 인허가 신청자가 인간공학 원칙 및 기준의 체계적 적용을 통해, 기능 및 직무요건을 정보, 정보표시기, 제어기, 및 기타 인간-시스템 연계 상세설계로 적절히 변환시켰음을 확인하여야 한다. 인간-시스템 연계의 설계공정은 KINS/RG-N15.03, KINS/RG-N15.0X 및 NUREG-0711 검토기준에 따라 평가되어야 하며, 최종설계는 NUREG-0700에 따라 평가되어야 한다.  인간-시스템 연계 설계에 대한 검토에는 발전소 설계에 적용할 수 있는 다음과 같은 관련 요건들	KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(별첨 1 참조).  최소재고목록(minimum inventory)는 2000년대 초반에 시작된 디지털 계측제어 및 주제어실	최소재고목록은 디지털 제어에서 중요한 설계 특성이며 SMR처럼 다중 모듈로 구성된 경우에는 모듈간 착



현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)	경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
<p>이 고려되어야 한다:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NUREG-0835, NUREG-1342 및 NUREG-0737 Suppl. 1에 기술된 안전변수지시계통(SPDS) 요건</li> <li>RG 1.22에 기술된 보호계통작동기능의 주기시험</li> <li>RG 1.47에 기술된 원전 안전계통의 우회 및 작동불능 상태지시(BISI)</li> <li>RG 1.62에 기술된 보호조치의 수동개시</li> <li>RG 1.97에 기술된 사고 중 또는 사고 후의 발전소 및 환경조건에 접근하기 위한 경수로형 원전의 계측</li> <li>RG 1.105에 기술된 계측 설정치</li> <li>NUREG-0696에 기술된 비상대응설비의 기능적 기준</li> <li>제어기, 정보표시기 및 경보기의 최소재고(minimum inventory)</li> </ul> <p>인간-시스템 연계 설계는 발전소 운영 단계에서 다음 사항에 의한 공정을 기술해야 한다: (1)인간-시스템 연계 설비의 설계변경 및 갱신, (2)인간-시스템 연계 설비의 일시적 변경(예: 설정치 변경), (3)운전원 설정에 따른 인간-시스템 연계 설비의 변경 (예: 특정 상황 감시를 위해 운전원에 의해 설정된 임시 정보 표시). 인간-시스템 연계 설계 검토는 안전심사지침 7장의 계측제어와 연계 검토되어야 한다.</p>	<p>이 고려되어야 한다:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>NUREG-0835, NUREG-1342 및 NUREG-0737 Suppl. 1에 기술된 안전변수지시계통(SPDS) 요건</li> <li>RG 1.22에 기술된 보호계통작동기능의 주기시험</li> <li>RG 1.47에 기술된 원전 안전계통의 우회 및 작동불능 상태지시(BISI)</li> <li>RG 1.62에 기술된 보호조치의 수동개시</li> <li>RG 1.97에 기술된 사고 중 또는 사고 후의 발전소 및 환경조건에 접근하기 위한 경수로형 원전의 계측</li> <li>RG 1.105에 기술된 계측 설정치</li> <li>NUREG-0696에 기술된 비상대응설비의 기능적 기준</li> <li><del>제어기, 정보표시기 및 경보기의 최소재고(minimum inventory)</del></li> </ul> <p>(좌동)</p>	<p>설계에 따른 인간공학 현안임. 미국 NRC는 SECY 92-053 ‘Use of Design Acceptance Criteria During 10CFR52 Design Certification Reviews’ 를 통해 최소재고목록에 대한 규제입장을 정리한 바 있음. 디지털 계측제어 시스템의 CCF (Common-Cause Failures) 및 컴퓨터 기반 시스템의 기능저하 등에 따른 안전성 확보방안으로 발전소의 안전정지 및 유지, 비상운전 등에 요구되는 최소한의 정보, 정보 및 제어수단을 요구하는 규제입장이었음. 이러한 최소재고목록은 아날로그 기반이어야 하며, SDCV (Spatially Dedicated, Continuously Visible) 개념을 유지하여야 함을 요구하는 규제입장이었음. 그러나, 이후 NRC는 DI&amp;C-ISG-05 (2008) 및 NUREG-0800 BTP 18-1 Draft (2009) 규제화 작업을 중단하였으며, 현재 최소재고목록에 대한 규제입장을 인간공학 측면에서 명시하고 있지 않음. 다만, NUREG-0800 14.3절(2007) ‘ITTAC’ 에서 최소재고목록을 기술하고 있어 인간공학 규제입장과 혼동은 여전히 존재해 있음. 참고로 NuScale SMR의 표준설계인가에서도 최소재고목록에 대한 심사를 별도로 실시한 바 없는 것으로 파악됨.</p>	<p>오를 방지하기 위해 필수적인 MMI로 보임. 아날로그 방식은 아니더라도 공간적으로 고정된 위치에서 정보를 제공할 필요가 있음. 따라서 삭제는 시기상조로 보임(정연섭)</p> <p>인간-시스템연계는 기존 원전보다 면밀하게 평가되어야 함. 특히 자동화 수준이 올라갈수록, 적응형 자동화 시스템이 도입될수록 인간-시스템 연계 인터페이스는 중요해지며 다양한 상황을 반영한 필요가 필요함. 운전원과의 상호연계가 중요한 적응형 자동화시스템의 경우 현재 상태의 feedback을 포함하여 서로 backup이 가능하도록 필요한 정보들이 제공되어야 함.(이승준)</p> <p>최소재고(minimum inventory)가 아날로그에 국한된다고 생각하지 않으므로, 해당 항목의 삭제에 동의가 어려움(김만철)</p> <p>혹시 다수모듈 운영과 관련하여 추가적으로 제시되어야 하는 정보가 있을지에 대해서는 검토가 필요해 보임. SMR의 특성상 계측 정보가 직접 실측되어 들어오지 않는 경우, 이를 대신할 수 있는 방법으로서의 정보 제공을 허락해 줄 수 있는지의 여부는 필요없을지 검토 요청.(허균영)</p> <p>의견 없음.(김종현)</p> <p>인간-시스템 연계 설계 요건 관련해 다음의 요건이 고려되어야 한다고 명시되면 좋을 듯 함.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 정보의 통합 및 분할</li> <li>- 경보 우선순위 및 표시방식</li> <li>- 제어 장치의 물리적/논리적 배치</li> <li>- 모듈별 독립성 및 전체 시스템의 통합적 상황 인지를 동시에 제공할 수 있는 공통 운전 화면(합동한)</li> </ul>
<p>제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 절차서 개발)</p>	<p>본 검토의 목적은 기술적으로 정확하고 명확하며 이해 가능하고 사용이 용이하며 검증되었으며, 절차서 개발 프로그램이 인간공학 원칙 및 기준과 기타 설계요건을 반영하였음을 확인하는 데 있다. 절차서 개발은 인간공학 설계의 필수요소이므로, 다른 인간-시스템 연계 요소(예, 정보표시기, 제어기, 운전지원설비 등)와 동일한 설계과정 및 분석에 근거하고 동일한 평가과정을 통하여 수행되어야 한다. 절차서 개발에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다. 또한 본 검토는 안전심사지침 13.5절에 기술된 절차서관련 내용을 참조하여 연계 검</p>	<p>KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(<b>별첨 1 참조</b>).</p>	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)</p> <p>의견 없음.(김종현)</p> <p>SMR을 위한 절차서 개발과 관련해 다수 모듈 동시 운전, 비정상 상황 시 모듈 간 상호작용, 우선순위 설정, 비상상황의 파급 효과를 고려한 통합 절차서 개발과 관련한 요구사항을 고려해 볼만 함.(합동한)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	토되어야 한다.	에 기술된 절차서관련 내용을 참조하여 연계 검토되어야 한다.		
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 훈련프로그램 개발)	<p>본 검토의 목적은 인허가 신청자가 발전소 요원의 훈련프로그램 개발에 체계적인 접근방식을 적용하였음을 확인하는 데 있다. 훈련프로그램 개발은 다음과 같은 활동을 포함하여야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>수행되는 직무 및 작업의 체계적인 분석</li> <li>훈련 후 수행도 분석으로부터 도출된 학습목표 개발</li> <li>학습목표에 근거한 훈련프로그램 설계 및 이행</li> <li>훈련기간 중 피 훈련자의 학습목표 성취도 평가</li> <li>실제현장 투입 후 피 훈련자의 수행도에 근거한 훈련의 평가 및 개선</li> </ul> <p>훈련프로그램 개발에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 하며, 본 안전심사지침 13.2 “훈련”에 제시된 적용 가능한 지침을 반영하여 검토하여야 한다.</p>	<p>본 검토의 목적은 인허가 신청자가 발전소 요원의 훈련프로그램 개발에 체계적인 접근방식을 적용하였음을 확인하는 데 있다. 훈련프로그램 개발은 다음과 같은 활동을 포함하여야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>수행되는 직무 및 작업의 체계적인 분석</li> <li>훈련 후 수행도 분석으로부터 도출된 학습목표 개발</li> <li>학습목표에 근거한 훈련프로그램 설계 및 이행</li> <li>훈련기간 중 피 훈련자의 학습목표 성취도 평가</li> <li>실제현장 투입 후 피 훈련자의 수행도에 근거한 훈련의 평가 및 개선</li> </ul> <p>훈련프로그램 개발에 대한 적합성은 <a href="#">KINS/RG-N15.03</a>, <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 하며, 본 안전심사지침 13.2 “훈련”에 제시된 적용 가능한 지침을 반영하여 검토하여야 한다.</p>	KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임( <b>별첨 1 참조</b> ).	<p><b>의견 없음(허균영)</b></p> <p>개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)</p> <p><b>의견 없음(김종현).</b></p> <p><b>의견 없음(함동한)</b></p>
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 인간공학 확인 및 검증)	<p>인간공학 확인 및 검증은 해당 설계가 인간공학 설계원칙에 적합하며, 발전소 요원이 발전소 안전과 기타 운전목표를 달성하기 위해 성공적으로 직무를 수행할 수 있음을 포괄적으로 평가하는 것이다. 확인 및 검증 범위에는 주제어실, 원격정지실 및 현장제어반이 포함되어야 한다. (안전에 중요한 인적행위와 관련된 중앙경보시스템 및 이차경보시스템도 포함.) 인허가 신청자의 인간공학 확인 및 검증활동에는 운전조건선정(operational conditions sampling), 설계 확인(design verification), 통합시스템검증(integrated system validation) 및 인간공학결함(HED; human engineering discrepancy) 해결 등을 포함한다. 이들 각 활동들에 대한 심사자의 검토목적은 다음과 같다.</p>	<p>인간공학 확인 및 검증은 해당 설계가 인간공학 설계원칙에 적합하며, 발전소 요원이 발전소 안전과 기타 운전목표를 달성하기 위해 성공적으로 직무를 수행할 수 있음을 포괄적으로 평가하는 것이다. 확인 및 검증 범위에는 주제어실, 원격정지실 및 현장제어반을 <b>포함하여 중요 인적행위 수행에 요구되는 모든 인간-시스템 연계 설비가 포함</b>되어야 한다. (<b>안전에 중요한 인적행위와 관련된 중앙경보시스템 및 아차경보시스템도 포함.</b>) <b>확인 및 검증은 NUREG-0711 및 IEEE 2411(2021)에 따라 운전개념 개발 시점부터 상세설계가 완료되는 시점까지 필요시 다단계에 걸쳐 수행되어야 한다(단, 통합계통검증은 다단계 검증 불필요).</b></p> <p>인허가 신청자의 인간공학 확인 및 검증활동에는 운전조건 선정(operational conditions sampling), 설계 확인(design verification), 통합시스템검증(integrated system validation) 및 인간공학결함(HED; human engineering discrepancy) 해결 등을 포함한다. 이들 각 활동들에 대한 심사자의 검토목적은 다음과 같다.</p>	<p>경수형 SMR의 경우, 다수 모듈에 대한 통합제어, 고수준의 운전 자동화, 축소된 운전조 구성 등 적용 기술 및 운영 측면에서 기존 경수형 가동/건설 원전 대비 매우 혁신적인 노형임. 참조 원전이 있는 기존 경수형 가동/건설 원전의 경우, 인간공학 확인 및 검증이 최종 설계 단계에서 수행됐음. 경수형 SMR의 경우, 참조 원전이 없는 신규 원전이므로 적용하고자 하는 운전개념, 혁신적 운전조 구성, 신규 인간-시스템연계 기술 등에 대한 다단계의 확인 및 검증이 요구됨. 이는 국내 APR1400 신규 노형에 적용된 주제어실의 인간공학 확인 및 검증 활동인 NUREG-0711의 원칙적 접근을 통해 다단계 인간공학 확인 및 검증이 적용된 성공 사례를 벤치마킹하는 개념임.</p> <p>또한 IEEE 2411에서 제시하는 다단계 검증(Multi Stage Validation; MSV) 방법은 설계의 혁신적인 부분을 포함하여 설계 초기에 요소기술에 대한 인간공학 검증을 시행함으로써 전체 시스템(시스템, 하위 시스템, 구성요소 설계)의 신뢰성을 증가시킬 수 있다는 접근방법이므로 국내 경수형 SMR의 인간공학 확인 및 검증 활동에 적용하는 것이 타당함.</p> <p>다만, 통합계통검증(ISV)의 경우, 최종 인간-시스템연계 결과물의 통합계통에 대한 인적 수행도 관점의 검증이므로, 인적 수행도의 재검증이</p>	<p><b>의견 없음(허균영)</b></p> <p><b>대체로 국내는 NUREG-0711에 따른 인간공학 프로그램을 수행하여 왔고 그 중에 하나가 V&amp;V이다. 그런데 V&amp;V 단계에서는 IEEE2411(2021)를 추가하여 단계적 V&amp;V를 수행할 필요가 있는가? 시뮬레이터를 통한 V&amp;V가 효과적이지만 시뮬레이터 개발에 투입되는 자원을 고려할 때 단계적 V&amp;V 적용은 신중할 필요가 있다. NUREG-0711의 12개 인간공학활동을 체계적으로 수행하면 단계적 V&amp;V에 준하는 효과를 얻을 수 있고 오히려 SMR처럼 시나리오가 다양한 경우에는 효과적이다.(정연섭)</b></p> <p>기본적으로 NUREG-0711의 원칙적 접근을 통해 여러 단계를 거친 인간공학 확인 및 검증을 하는 것은 동일하게 갈 것이나 지금까지의 개념과 많은 부분에서 차이가 나는 새로운 개념의 운전이며 참고할 만한 기존 경험도 없기 때문에 각 단계에서 철저한 검토와 검증절차가 필수적임.(이승준)</p> <p>개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)</p> <p>최초 개발되는 설계의 경우 다단계 검증이 필요할 것으로 보임. 하지만, 동일한 설계를 적용하는 N번째 발전소에도 동일한 규정을 적용하는 과한 지침일 수 있음. 따라서, 규제 지침에서 다단계 검증을 구체적으</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>1) 운전조건 선정</p> <p>본 검토의 목적은 인허가 신청자가 인간공학 확인 및 검증 시 운전조건을 선정하는 데 있어 (1) 발전소 운전 중 직면할 수 있는 대표적인 사건범위를 포함하고, (2)시스템성능변동을 초래할 수 있는 특성을 반영하였으며, (3) 인간-시스템 연계 요소의 안전중대성을 고려하였음을 확인하는데 있다. 인간공학 확인 및 검증을 위한 고장사건, 과도상태 및 사고의 선택을 위해 위험도 정보를 활용하여야 한다. 인허가 신청자의 운전조건선정에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p> <p>2) 설계 확인</p> <p>설계 확인 과정에서 인허가 신청자는, 설계가 직무 및 인적요건을 만족하였음을 증명하여야 한다. 확인은 인간-시스템 연계의 특성을 요구한다. 설계확인에 대한 검토는 다음을 목적으로 한다:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 재고 목록(inventory) 및 특성 검토 - 본 검토의 목적은 인허가 신청자의 인간-시스템 연계 목록 및 특성이 정의된 인간-시스템 연계 설계검토 범위 내의 모든 인간-시스템 연계 정보표시기, 제어기 및 관련 설비를 정확하게 기술하였는지 평가하는 것이다.</li> <li>• 인간-시스템 연계 직무지원 확인 검토 - 본 검토의 목적은 인간-시스템 연계가 발전소 요원에게 요구되는 모든 정보, 정보 및 제어능력을 구비하고 있음을 인허가 신청자가 확인하</li> </ul>	<p>1) 운전조건 선정</p> <p>본 검토의 목적은 인허가 신청자가 인간공학 확인 및 검증 시 운전조건을 선정하는 데 있어 (1) 발전소 운전 중 직면할 수 있는 대표적인 사건범위를 포함하고, (2)시스템성능변동을 초래할 수 있는 특성을 반영하였으며, (3) 인간-시스템 연계 요소의 안전중대성을 고려하였음을 확인하는데 있다. 인간공학 확인 및 검증을 위한 고장사건, 과도상태 및 사고의 선택을 위해 위험도 정보를 활용하여야 한다. 인허가 신청자의 운전조건선정에 대한 적합성은 <a href="#">KINS/RG-N15.04</a>, <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p> <p>2) 설계 확인</p> <p>설계 확인 과정에서 인허가 신청자는, 설계가 직무 및 인적요건을 만족하였음을 증명하여야 한다. 확인은 인간-시스템 연계의 특성을 요구한다. 설계확인에 대한 검토는 다음을 목적으로 한다:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 재고 목록(inventory) 및 특성 검토 - 본 검토의 목적은 인허가 신청자의 인간-시스템 연계 목록 및 특성이 정의된 인간-시스템 연계 설계검토 범위 내의 모든 인간-시스템 연계 정보표시기, 제어기 및 관련 설비를 정확하게 기술하였는지 평가하는 것이다.</li> <li>• 인간-시스템 연계 직무지원 확인 검토 - 본 검토의 목적은 인간-시스템 연계가 발전소 요원에게 요구되는 모든 정보, 정보 및 제어능력을 구비하고 있음을 인허가 신청자가 확인하</li> </ul>	<p>요구되는 인간공학 결함사항(Human Engineering Discrepancy)이 아니라면 다단계 검증을 수행할 필요는 없음.</p> <p>KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(<b>별첨 1 참조</b>).</p> <p>KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(<b>별첨 1 참조</b>).</p>	<p>로 제시하는 것은 적절하지 않아 보임.(김중현)</p> <p>SMR의 다단계 체계적인 확인 및 검증에 대한 요건 명시는 매우 바람직하다고 판단됨. 인간공학 검증 및 확인과 관련해 SMR 특화 시나리오 개발이 제대로 이루어졌는가에 대한 요구사항을 고려해볼 필요가 있음. 다수 모듈의 동시 고장 시나리오, 한 모듈의 고장이 다른 모듈에 미치는 영향 시나리오, 피동형 계통의 비상 시나리오(운전원 개입 최소화 상황), 자동화 시스템의 오작동 시나리오 등을 포함하는 SMR 특화 시나리오 개발에 대한 요구사항을 명시하는 것을 고려해볼 수 있음. 또한 SMR에서는 첨단 기술을 보다 적극적으로 활용할 가능성이 높는데 이에 대한 확인 및 검증에 대한 요구사항을 보다 구체적으로 명시할 필요가 있음. (함동한)</p> <p>운전조건 선정에서 기존처럼 1기의 원자료를 기준으로 고려해야 하는 범위만 명시할 것인지, 다수모듈을 고려한 상황까지 명시할 것인지 검토 필요.(이승준)</p> <p>개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)</p> <p>개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)</p>



현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>였는지 평가하는 것이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간공학 설계 확인 검토 - 본 검토의 목적은 인간-시스템 연계의 특성 및 사용환경이 인간공학 지침에 적합함을 인허가 신청자가 확인하였는지 평가하는 것이다.</li> </ul> <p>설계 확인에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p> <p>3) 통합시스템검증 통합시스템검증의 목적은 통합시스템설계(즉, 하드웨어, 소프트웨어 및 인적요소)가 발전소의 안전운전을 적절히 지원하는 지 확인하는 데 있다. 검증은 수행도 기반 시험을 의미하며, 통합시스템 검증에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p> <p>4) 인간공학결합 해결 인간공학결합 해결은 인간공학 확인 및 검증과정에서 확인된 현안을 평가하고 해결하는 과정이다. 본 검토의 목적은 인허가 신청자가 개선 필요성에 따라 인간공학결합의 우선순위를 적절히 평가하고, 개선 대상 인간공학결합을 해결하기 위한 설계안과 현실적인 이행 일정이 수립되었음을 확인하는 데 있다. 인간공학결합 해결에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p>	<p>였는지 평가하는 것이다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간공학 설계 확인 검토 - 본 검토의 목적은 인간-시스템 연계의 특성 및 사용환경이 인간공학 지침에 적합함을 인허가 신청자가 확인하였는지 평가하는 것이다.</li> </ul> <p>설계 확인에 대한 적합성은 <a href="#">KINS/RG-N15.04</a>, <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p> <p>3) 통합시스템검증 통합시스템검증의 목적은 통합시스템설계(즉, 하드웨어, 소프트웨어 및 인적요소)가 발전소의 안전운전을 적절히 지원하는 지 확인하는 데 있다. 검증은 수행도 기반 시험을 의미하며, 통합시스템 검증에 대한 적합성은 <a href="#">KINS/RG-N15.04</a>, <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p> <p>4) 인간공학결합 해결 인간공학결합 해결은 인간공학 확인 및 검증과정에서 확인된 현안을 평가하고 해결하는 과정이다. 본 검토의 목적은 인허가 신청자가 개선 필요성에 따라 인간공학결합의 우선순위를 적절히 평가하고, 개선 대상 인간공학결합을 해결하기 위한 설계안과 현실적인 이행 일정이 수립되었음을 확인하는 데 있다. 인간공학결합 해결에 대한 적합성은 <a href="#">KINS/RG-N15.04</a>, <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.</p>	<p>KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(<a href="#">별첨 1 참조</a>).</p> <p>KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임(<a href="#">별첨 1 참조</a>).</p>	
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 설계 이행)	본 검토의 목적은 준공된(as-built) 설계가 인간공학 설계공정에 따라 확인 및 검증된 설계와 일치함을 확인하는 데 있으며, 또한 설계변경이 준공되기까지의 기간 동안 시공, 임시절차서 개정, 공정관리 등을 인간공학 원칙에 따라 확인하는 데 있다. 설계 이행에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.	본 검토의 목적은 준공된(as-built) 설계가 인간공학 설계공정에 따라 확인 및 검증된 설계와 일치함을 확인하는 데 있으며, 또한 설계변경이 준공되기까지의 기간 동안 시공, 임시절차서 개정, 공정관리 등을 인간공학 원칙에 따라 확인하는 데 있다. 설계 이행에 대한 적합성은 <a href="#">KINS/RG-N15.05</a> , <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.	KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임( <a href="#">별첨 1 참조</a> ).	<p><a href="#">의견 없음(허균영)</a></p> <p><a href="#">개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)</a></p> <p><a href="#">의견 없음(김종현).</a></p> <p><a href="#">의견 없음(함동한)</a></p>
제18.1절 II. 허용기준 (신규 발전소의 인간공학검토 / 인적수행도 감시)	본 검토의 목적은 인허가 신청자가 발전소 변경으로 인해 중대한 안전성 저하가 발생하지 않음을 보장하기 위한 인적수행도 감시 전략을 마련하였음을 확증하고, 평가로부터 도출된 결과들이 시간이 경과하더라도 유효함을 확인하는 데 있다. 인적수행도 감시에 대한 적합성은 NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.	본 검토의 목적은 인허가 신청자가 발전소 변경으로 인해 중대한 안전성 저하가 발생하지 않음을 보장하기 위한 인적수행도 감시 전략을 마련하였음을 확증하고, 평가로부터 도출된 결과들이 시간이 경과하더라도 유효함을 확인하는 데 있다. 인적수행도 감시에 대한 적합성은 <a href="#">KINS/RG-N15.05</a> , <a href="#">KINS/RG-N15.0X</a> 및	KINS/RG-15.0X는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침으로 본 과제를 통해 신규 제안하는 규제지침(안)임( <a href="#">별첨 1 참조</a> ).	<p><a href="#">의견 없음(허균영)</a></p> <p><a href="#">개발중인 지침을 포함함은 부적절(김만철)</a></p> <p><a href="#">의견 없음(김종현).</a></p> <p><a href="#">의견 없음(함동한)</a></p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
		NUREG-0711에 명시된 검토기준에 따라 평가되어야 한다.		
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토)	제어실 현대화와 같이 인간-시스템 연계 설계의 주요변경을 포함한 인허가 변경은 본 장 II.1절의 지침을 적용하여 검토되어야 한다. 그러나 설계변경 범위는 가변적으로, 심사자는 본 절에서 제시된 추가지침을 적용하여 적절하게 조정·검토되어야 한다.	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준)</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 / 인간공학 프로그램 관리)	<p>NUREG-0711에 명시된 바와 같이, 인간공학 프로그램은 발전소 변경이 운전원의 행위 및 인적수행도에 미칠 수 있는 영향을 다루어야 한다. 본 검토에는 다음과 같은 사항에 관한 인허가 신청자의 계획을 다루어야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>발전소 운전원 및 종사자의 업무 방해를 최소화하기 위한 설치계획</li> <li>훈련 및 절차서가 변경특성을 정확하게 반영하였음을 확증하기 위한, 훈련 및 절차서와 변경이행 간의 적절한 조정/통합</li> <li>변경이행 전 신규 설계에 대한 발전소 운전원 및 종사자의 지식과 기술을 최대화하기 위한 훈련수행</li> </ul>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>SMR의 경우 N개의 모듈이 동시에 건설되지 않고, 시차를 두고 모듈의 수를 증가시킬 수 있음 (Scaling). (김중현)</p> <p>이런 경우, 고려해야 하는 인간공학 지침을 개발할 필요가 있음. 예, 모듈간 설계 차이가 발생할 경우 지침.(김중현)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 / 운전경험 검토)	변경되는 발전소의 운전경험은 운전경험 검토의 일부로 검토되어야 한다. 운전경험 검토는 신규 원전의 기반이 되는 선행 설계의 과거성능에 대한 정보를 제공해야 한다.	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절.(이승준)</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음.(김중현)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 / 기능요건 분석 및 기능할당)	<p>기능요건 분석 및 기능 할당은 NUREG-0711에 명시된 다음 사항을 고려하여야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>기존 안전기능 변경, 안전기능을 지원하는 시스템에 신규기능 도입, 또는 안전에 중요한 불분명한 기능요건 포함 등의 변경에 대한 기능요건 분석</li> <li>발전소 운전원과 발전소 시스템에 대해 안전에 중요한 기능 할당을 변화시킬 수 있는 변경에 대한 기능 할당</li> <li>설계변경에 따른 운전원 역할 및 책임변화 조사</li> </ul>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절.(이승준)</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김중현).</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의	NUREG-0711에 명시된 바와 같이 안전에 중요한 것으로 규명된 인적행위에 영향을 미칠 수 있고, 기존 인적행위를 안전에 중요한 행위로 만들 수 있으며, 또는 안전에 새롭게 영향을 미칠 수 있는	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
설계변경에 대한 인간공학검토 / 직무분석)	<p>발전소 설계변경 검토에는 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>직무분석은 변경 요건을 반영하여 개정되고 갱신되어야 한다; 그 범위는 기능요건 분석 및 기능 할당에서 다루어진 기능에 근거한 직무 및 변경부분과 발전소의 변경되지 않은 부분 간 상호작용을 수반하는 직무를 포함하여야 한다. 보수, 시험, 검사 및 감시·감독에 대해서는 새로운 또는 신규 기술에 의해 요구되는 (예, 온라인 보수 능력) 안전에 중요한 인적 행위에 주의를 기울여야 한다.</li> <li>직무분석은 숙련된 발전소 운전원 및 종사자의 인적 수행도를 지원하는(예, 힘든 상황에서 높은 수준의 인적 수행도를 지원하는) 기존 인간-시스템 연계 설비의 설계특성을 규명하여야 한다.</li> </ul>			<p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음.(김종현)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 / 인간-시스템 연계 설계)	<p>설계변경에 대한 검토는 NUREG-0711에 명시된 다음과 같은 사항이 고려되어야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>인간-시스템 연계 설계변경이 사용자의 현재 전략, 사업자의 안전성분석보고서 및 18장 의 무사항과 일치하는 정도</li> <li>인간-시스템 연계 설계변경이 운전조 협업을 지원하는 정도</li> <li>인간-시스템 연계 설계변경이 발전소 계통간 통합에 따른 변화를 반영하는 정도</li> </ul> <p>최종설계변경은 적용 가능한 경우, NUREG-0700 기준에 따라 검토되어야 한다.</p>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음.(김종현)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 / 절차서 개발)	<p>본 검토는 NUREG-0711에 명시된 바와 같이 설계변경으로 인해 절차서 내용이 영향을 받는지, 그리고 절차서의 내용 및 형식이 발전소, 인적행위 및 인간-시스템 연계 설비의 변화를 정확하게 반영하는지 평가하여야 한다.</p>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김종현).</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 / 훈련프로그램 개발)	<p>본 검토는 NUREG-0711에 명시된 바와 같이, 발전소 현대화 프로그램에 따른 훈련체계, 내용, 빈도 등이 적절하게 반영되었는지 평가하여야 한다.</p>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김종현).</p> <p>의견 없음(함동한)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 / 인간공학 확인 및 검증)	<p>1) 운전조건선정 설계변경에 대한 확인 및 검증은 예상되는 운전 조건을 반영하여야 하며, 신규 및 기존 설계요소가 서로 다르고 발전소 운전원 및 종사자에게 기존과는 다른 직무가 요구됨에 따른 잠재적 영향을 다루어야 한다. 또한 운전조건선정 시 설계변경으로 인해 기존 인간-시스템 연계 설비가 성능적으로 영향을 받는지 고려하여야 한다.</p> <p>2) 인간-시스템 연계 직무지원 확인 인간-시스템 연계 직무지원 확인은 설계변경과 관련된 인간-시스템연계 설비에 초점을 맞추어야 한다. 인간-시스템 연계 설비의 설계변경을 포함하지 않는 계통설계 변경의 경우, 직무지원 확인은 변경에 따라 새롭게 요구되는 감시 및 제어사항이 무엇인지 규명하여야 하고, 기존 인간-시스템 연계 설비에 의해 적절히 지원되는지 결정하여야 한다. 임시설치나 기존 설비와 신규 설비가 공존하는 경우는 이러한 운전환경에 따른 운전원 행위 및 인적 수행도의 영향성이 평가되어야 한다.</p> <p>3) 인간공학 설계확인 인간공학 설계확인인 설계변경과 관련된 인간-시스템 연계에 초점을 맞추어야 한다. 임시설치나 기존 설비와 신규 설비가 공존하는 경우는 이러한 운전환경에 따른 운전원 행위 및 인적 수행도의 영향성이 평가되어야 한다.</p> <p>4) 통합시스템검증 인허가 신청자는 (1)발전소 요원의 직무를 변화시킬 수 있고, (2)직무 특성, 복잡도 또는 작업부하 변화 등에 의해 직무요구사항이 변화될 수 있으며, (3)인적행위 및 수행도에 영향을 끼치거나 설계변경으로 인해 운전절차에 지대한 영향을 끼칠 수 있는, 모든 설계변경 경우에 대해서는 통합시스템검증을 수행하여야 한다. 설계변경 사항이 운전원의 작업부하 및 인적 오류 발생 가능성에 미치는 영향이 미비하거나, 전혀 영향을 미치지 않을 것으로 판단되는 경우에는 통합시스템검증을 수행하지 않을 수 있다. 이 경우 인허가 신청자는 설계변경 사항이 고려된 통합설계가 운전원에게 할당된 기능 및 직무가 적절하게 지원될 수 있음을 검증하여야 한다. 인허가 신청자의 시험목적 및 통합시스템검증 시 사용되는 사고 시나리오는 설계변경에 따라 영향을 받을 수 있는 운전원의 기능 및 직무가 포함되도록 하여, 운전원 행위 및</p>	(좌동)	<p>경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 허용기준과 동일 적용하여야 함.</p>	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김종현).</p> <p>의견 없음(함동한)</p>



현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	인적 수행도가 평가될 수 있도록 개발되어야 한다.			
제18.1절 II. 허용기준 (가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학검토 / 설계 이행)	<p>본 검토의 목적은 인허가 신청자가 발전소 설계 변경 이행(implementation)시 발전소 운전원 및 종사자의 인적 수행도에 대한 영향을 고려하고 안전운전을 위해 필요한 지원을 제공하였는지 확인하는데 있다. 인허가 신청자의 설계 이행은 NUREG-0711 검토기준에 따라 다음과 같은 측면이 고려되어야 한다.</p> <p>1) 일반기준 심사자는 인허가 신청자가 다음 사항을 보장하였는지 검토해야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 핵연료는 제어실에서 변경이 이행되는 운전정지 기간 동안 안전하게 감시된다.</li> <li>• 운전조 및 보수조는 신규 계통 및 인간-시스템 연계로 발전소 가동 전에, 발전소를 운전하고 보수하는데 충분히 훈련되고 자격을 갖추고 있다.</li> <li>• 발전소 절차서 및 훈련프로그램 변경은 발전소 계통, 운전조 역할 및 책임, 인간-시스템 연계의 변화를 반영하며, 변경이 이행되기 전에 신규 계통 및 인간-시스템 연계의 시험 및 운전에 필요한 절차서가 적소에 구비된다.</li> <li>• 인허가 신청자는 발생하는 문제점을 규명하고 해결하기 위해, 계통 성능을 감시하는 계획을 수립하고 있다.</li> </ul> <p>2) 다수의 소규모 설계변경으로 구성된 현대화 프로그램 심사자는 각 변경사항이 표준화 및 일관성을 유지하기 위해 인간공학 프로그램을 따르며, 또한 명백하게 운전상 필요성을 충족하고 현재 시스템을 방해하지 않음을 인허가 신청자가 입증할 수 있는 지 검토하여야 한다.</p> <p>3) 빈번한 운전정지가 필요한 대규모 설계변경관련 현대화 프로그램 심사자는 인허가 신청자가 다음 사항을 입증하는지 검토하여야 한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 설치과정에서 요구되는 특정 직무사항이 규명될 수 있도록 직무분석이 수행되었다.</li> <li>• 중요 인적행위 분석을 통해 설치과정에서 기존 직무에 위험한 영향을 끼치거나 변화를 줄 수 있는 특정 직무를 다루었다.</li> <li>• 중요한 직무를 수행하기 위해 필요한 인간-시스템연계 설계는 일관화되고 표준화되었다.</li> <li>• 발전소 정지상태가 아닌 경우 발전소 운전원 및 종사자가 사용하는 시스템 및 인간-시스템</li> </ul>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 가동 중 발전소의 설계변경에 대한 인간공학 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 의견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김종현).</p> <p>의견 없음(함동한)</p>



현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)	경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
<p>연계 설비의 임시설치에 대한 절차서가 사전에 개발되었다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>발전소 정지상태가 아닌 경우 발전소 운전원 및 종사자가 사용하는 시스템 및 인간-시스템 연계 설비의 임시설치와 관련한 훈련프로그램이 사전에 개발되었다.</li> <li>임시설치는 인간공학 확인 및 검증을 통해 평가되었다.</li> </ul> <p>4) 기존 및 신규 설비가 공존하는 현대화 프로그램 심사자는 인허가 신청자가 발전소 운전원 및 종사자의 인적 행위 및 수행도에 부정적인 영향을 끼칠 수 있는 잠재적 요인에 대해 입증하였는지 검토하여야 한다.</p> <p>5) 발전소 기능과는 관련 없는 인간-기계시스템 연계설비가 설치되는 현대화 프로그램 심사자는 인허가 신청자가 신규 및 기존 인간-시스템 연계가 병행·가용함으로 인해 발생할 수 있는 제어실 및 인간-시스템 연계의 혼란에 따른 발전소 운전원 및 종사자의 인적행위 및 수행도에 부정적 영향에 대한 잠재성이 평가되었으며, 인간-시스템 연계의 비 기능적 상태가 명확하게 될 수 있음을, 입증할 수 있는지 검토하여야 한다.</p>			
<p>제18.1절 III. 검토절차 (일반)</p> <p>심사자는 다음에 제시된 문서에 대해 안전심사지침의 허용기준에 준하여 적합성을 평가하여야 한다. 단, 제출된 문서가 허용기준에 위배되는 경우에는 인허가 신청자에 의해 제시된 다른 대안이 규제요건에 준하여 허용 가능한지 평가하여야 한다. 인허가 신청자에 의해 제출될 수 있는 문서는 다음과 같다:</p> <p>1. 이행계획서 인허가 신청자에 의해 제출되는 인간공학 검토요소별 이행계획서는 규제요건에 부합하기 위해 신규 설계 (또는 설계변경) 과정에서 적용하는 방법론을 포함한다. 이러한 이행계획서에 대한 검토는 실제 신규 발전소의 건설 이전 (또는 설계변경 이전), 이와 관련한 인허가 신청자의 설계방법론에 대해 심사자가 상세한 계획을 평가할 수 있는 기회를 제공한다.</p> <p>2. 결과요약보고서 인허가 신청자에 의해 제출되는 결과(요약)보고서는 인간공학 검토요소별로 신규설계(또는 설계변경)의 실제 수행결과를 포함한다. 본 문서를 통해 심사자는 안전심사지침에 명시된 허용기준에 근</p>	(좌동)	<p>경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 인간공학 일반 검토절차와 동일 적용하여야 함.</p>	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김종현).</p> <p>의견 없음(함동한)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)	경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
<p>거하여 인간공학 설계와 관련한 상세 이행결과에 대한 적합성을 평가할 수 있다.</p> <p>상기 문서들은 인허가 신청자가 반드시 강제적으로 제출하여야 하는 것은 아니며, 신규 원전 건설 또는 가동 중 발전소의 설계변경으로 인해 심사자에게 요구되는 정보가 안전성분석보고서에 충분히 상세하도록 제시되었거나 또는 별도의 보고서를 통해 충분히 기술될 수도 있다.</p>			
<p>제18.1절 III. 검토절차 (인간공학 프로그램 검토요소별 추가 검토)</p> <p>전술한 별도의 제출물과는 별도로 심사자는 NUREG-0711에 기술된 바와 같이, 신규원전의 건설 또는 가동 중 발전소의 설계변경에 따른 인간공학 검토를 위해 인간공학 프로그램 검토요소별로 다음과 같은 추가적인 내용을 검토할 수 있다.</p> <p>1. 인간공학 프로그램 관리 심사자의 검토를 위해 인허가 신청자는 다음 사항을 확인할 수 있는 상세한 내용을 제시하여야 한다: (1) 인허가 신청자의 인간공학 목적 및 목표를 기술한 인간공학 프로그램 계획, (2) 이러한 목표들을 달성하기 위한 기술프로그램, (3) 인간공학현안 추적체계, (4)인간공학 설계팀, (5)기술프로그램이 달성되도록 하는 관리 및 조직적 체계 등을 설명한 인간공학 프로그램 계획.</p> <p>2. 운전경험 검토 심사자는 운전경험검토 관련 인간공학 현안들의 내용, 해결방안, 현황 등을 검토하기 위하여 인허가 신청자(또는 설계사)에 의해 운영되는 현안추적체계를 감사할 수 있다.</p> <p>3. 중요 인적행위 분석 심사자는 중요 인적행위 분석 방법 및 결과를 충분히 검토하기 위해 확률론적 안전성 평가보고서 및 이에 포함된 인간신뢰도분석, 결정론적분석 관련 기술내용을 검토하여야 한다.</p> <p>4. 인간-시스템 연계 설계 심사자는 인허가 신청자가 개발한 지침문서, 교차연구(trade-off study), 기술평가, 또는 인간-시스템 연계 설계지원을 위한 시험 및 실험보고서 등과 같은 인간-시스템연계 설계를 지원하는 문서를 검토하여야 한다. 또한 인허가 신청자의 설계 공정 및 이에 따른 상세설계 결과의 적합성을 확인하기 위해 설계사에 의해 발행된 각종 설계문서를 검토하여야 한다. ((예) 설계사양서(Design Specification), 각 계통별 설계기준서(System</p>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 인간공학 검토요소별 추가검토 절차와 동일 적용하여야 함.	<p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김중현).</p> <p>의견 없음(함동한)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)	경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
<p>Design Criteria), 각 계통별 기능사양서(System Function Description) 등). 인간-시스템연계 설비의 실제 설계이행에 대한 사전검토를 위해서는 정적 또는 동적모형(Static or Dynamic Mockup), 원형(prototype), 또는 본 설계와 유사한 물리적 장치 등이 이용 가능하여야 한다.</p> <p>5. 절차서 개발 절차서 개발 관련 상세검토를 위해서는 절차서 작성에 근간이 되는 일반기술지침과 개발에 활용된 샘플절차서((예) 선행호기 절차서 등)가 이용 가능하여야 한다.</p> <p>6. 인간공학 확인 및 검증 인간공학 확인 및 검증 활동과 연계하여 NUREG-0711에 명시된 현안추적 체계가 검토되어야 한다. 인간공학 확인 및 검증과정에는 인간-시스템 연계 설계의 충실도가 확보된 원형(high fidelity prototype) 또는 시뮬레이터(simulator)가 심사자에게 이용 가능하여야 하며, 필요에 따라 심사자는 이러한 과정에 입회할 수 있다. 또한 인간-시스템 연계 직무지원 확인, 인간공학 설계 확인, 통합시스템검증 및 현안해결 확인 등에 따른 문서화된 자료가 검토되어야 하며, 인간공학 확인 및 검증에서 규명된 설계현안은 최종 발전소 확인 과정에서 적절하게 해결되었음을 확인하여야 한다.</p> <p>7. 인적수행도 감시 인허가 신청자의 인적수행도 감시 프로그램 검토를 위한 제출물은 사례별로 개발되어야 한다.</p>			<p>인간-시스템 연계와 절차서 등에 있어 여러 모듈이 다른 운전모드, 다른 사고조건 등에 놓일 수 있는 가능성이 있으니, 이러한 부분을 심사지침에 보다 명확히 삽입하는 것을 제안함.(허균영)</p>
<p>제18.1절 IV. 평가결과</p> <p>심사자는 검토과정 중 인허가 신청자가 충분한 정보를 제공하였으며, 심사자의 검토결과가 다음과 같은 결론을 내리기 위해 안전성분석보고서 및 별도의 문서((예) 이행계획서, 결과(요약)보고서, 기타 설계문서 등)가 적절하게 제출되었음을 확인한다. 또한 심사자는 검토결과에 대한 근거를 명시한다.</p> <p>1. 안전심사지침에 명시된 방법론을 사용하여, 모든 검토기준이 만족되었다는 심사자의 판정 2. 검토기준을 만족하는 대체수단이 허용 가능하다는 심사자의 판정 3. 검토기준으로부터 편차가 있더라도 허용 가능한 정당성이 존재한다는 심사자의 판정. 이러한 정당성은 최근문헌, 현재관계분석 및 운전경험, 교차연구(trade-off study), 공학적 실험</p>	(좌동)	<p>경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 인간공학 평가결과와 동일 적용하여야 함.</p>	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김중현).</p>

	<b>현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)</b>	<b>경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)</b>	<b>기술적 배경</b>	<b>검토 의견</b>
	<p>및 평가결과로부터의 분석과 같은 증거에 근거한다.</p> <p>심사자의 종합적인 검토결론은 인간공학 검토유형 및 목적에 기초한 인간공학 검토목표와, 인허가 신청자의 제출물에 제시된 증거를 비교함으로써 결정된다. 여기에서 중요하게 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.</p> <p>1. 심사자는 모든 관련 검토분야를 평가하였는가?  2. 심사자는 적정수준에서 각 검토분야를 평가하였는가?  3. 각 검토분야에 대한 심사자의 평가결과가 허용 가능한가?</p> <p>만약 검토에 의해 제시된 증거가 인간공학 검토목표를 만족하지 않는다면, 인허가 신청자는 심사자의 우려사항을 다루기 위해 추가분석 및 설계활동을 수행할 수 있다. 이러한 추가분석 및 설계활동에는 (1) 전면적인 검토분야 수준에서 조사되지 않았던 추가분석 및 검토, (2) 검토과정을 통해 확인된 설계결함의 반영완료 및 수정, (3) 적절한 시험 또는 인간공학 확인 및 검증 등을 포함한다.</p>			
제18.2절 I. 검토분야	<p>원자력 발전소의 주제어실은 정상 운전조건에서 발전소를 안전하게 운전하고, 사고 조건에서도 발전소를 안전한 상태로 유지시킬 수 있는 설비를 갖추어야 한다. 또한 화재 등으로 인하여 주제어실을 사용할 수 없는 경우에는, 주제어실로부터 물리적·전기적으로 분리된 원격정지실에서 원자로의 운전을 정지시키고 발전소를 안전한 상태로 유지시켜야 한다.</p> <p>인간공학분야 담당부서는 사고를 방지하거나 사고에 대처하는 원자력 발전소의 설계능력을 확인하고, 구조물, 계통 및 기기들과 이를 운영할 발전소 요원간의 연계가 적절한 인간공학적 관례에 따라 설계되고 제공되었는가를 확인하기 위해서 주제어실의 설계를 검토한다. 검토 목적은 다음 사항을 확인하는 것이다.</p> <p>1. 비상운전에 필요한 운전원 업무가 명확하게 규정되고, 설계된 기능들이 비상운전을 수행하는데 적합하다.  2. 운전원이 모든 비상운전절차를 성공적으로 이행하는데 요구되는 업무에 필요한 정보, 정보표시기 및 제어기, 그리고 다른 연계 사항이</p>	<p>원자력 발전소의 주제어실은 정상 운전조건에서 발전소를 안전하게 운전하고, 사고 조건에서도 발전소를 안전한 상태로 유지시킬 수 있는 설비를 갖추어야 한다. 또한 화재 등으로 인하여 주제어실을 사용할 수 없는 경우에는, 주제어실로부터 물리적·전기적으로 분리된 원격정지실에서 원자로의 운전을 정지시키고 발전소를 안전한 상태로 유지시켜야 한다.</p> <p>인간공학분야 담당부서는 사고를 방지하거나 사고에 대처하는 원자력 발전소의 설계능력을 확인하고, 구조물, 계통 및 기기들과 이를 운영할 발전소 요원간의 연계가 적절한 인간공학적 관례에 따라 설계되고 제공되었는가를 확인하기 위해서 주제어실의 설계를 검토한다. 검토 목적은 다음 사항을 확인하는 것이다.</p> <p>1. 비상운전에 필요한 운전원 업무가 명확하게 규정되고, 설계된 기능들이 비상운전을 수행하는데 적합하다.  2. 운전원이 모든 비상운전절차를 성공적으로 이행하는데 요구되는 업무에 필요한 정보, 정보표시기 및 제어기, 그리고 다른 연계 사항이</p>		<p>의견 없음.(김종현)  SMR 고유의 기술적 특성을 잘 반영해 보완사항이 작성된 것으로 판단됨.(함동한)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>파악되어 주제어실에 구비되었다.</p> <p>3. 주제어실의 정보, 정보표시기 및 제어기, 다른 연계 사항이 적절한 인간공학적 원칙, 기술 기준 및 표준 등에 따라 설계되어 제공된다. 즉, 주제어실의 배치 및 환경, 제어반 배치, 개별적 제어기 및 정보표시기, 그리고 제어기 및 정보표시기와 다른 연계 기기의 통합은 발전소 운전원이 주제어실에서 주어진 임무를 인적오류 없이 적절하게 수행할 수 있도록 설계되었다.</p>	<p>파악되어 주제어실에 구비되었다.</p> <p>3. 다수의 원자로모듈을 하나의 주제어실에서 운전하는 경우, 다음의 운전상황이 각 원자로모듈의 비상운전을 수행하는 데 영향을 미치지 않는다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 다수 원자로모듈의 동시 혹은 순차적 비상 운전 상황</li> <li>• 다수 원자로모듈의 이질적 운전모드가 동시 혹은 순차적으로 공존하는 상황</li> <li>• 다수 원자로모듈의 운전과도 혹은 비정상 상태가 동시 혹은 순차적으로 발생하는 상황</li> <li>• 다수 원자로모듈의 자동운전과 수동운전이 공존하는 상황(예, 적응형 자동화 (adaptive automation) 운전 상황)</li> </ul> <p>4. 주제어실의 정보, 정보표시기 및 제어기, 다른 연계 사항이 적절한 인간공학적 원칙, 기술 기준 및 표준 등에 따라 설계되어 제공된다. 즉, 주제어실의 배치 및 환경, 제어반 배치, 개별적 제어기 및 정보표시기, 그리고 제어기 및 정보표시기와 다른 연계 기기의 통합은 발전소 운전원이 주제어실에서 주어진 임무를 인적오류 없이 적절하게 수행할 수 있도록 설계되었다.</p>	<p>국내 개발 중인 경수형 SMR은 다수의 원자로모듈을 하나의 주제어실에서 운전하는 개념을 갖고 있는 것으로 파악됨. 이러한 운전개념에 따라 주제어실 검토분야에 다수모듈 운전특성에 따른 비상운전 수행의 적합성을 구체적으로 적시할 필요가 있음.</p> <p>원전의 운영은 대부분을 절차화하고 절차화하기 어려운 운전상황은 지침서의 형태로 증상기반의 조치사항을 제공하고 있음. 이러한 절차서 및 지침서에 따른 운전업무는 경수형 SMR에서 적정 수준의 운전 자동화 기능이 부여될 것으로 예상되며, 운전 자동화 수준에 따라 다수모듈 운전개념은 달라질 수 있음.</p> <p>그러나 다수모듈 운전개념은 어떠한 경우라도 각 원자로모듈의 비상운전을 수행하는 데 적합한 주제어실이 제공되어야 하므로 다수모듈 운전개념에 따른 모든 운전상황이 비상운전에 영향을 미치지 않음을 사업자는 입증하여야 함.</p>	<p>전술한 의견에서도 동일한 내용을 제시한 바 있음(허균영)</p> <p>보완사항에서 “다음의 운전상황이 각 원자로모듈의 비상운전을 수행하는데 영향을 미치지 않아야 한다”고 하면서 5가지 상황을 제시하고 있음. 이는 발생 가능한 모든 상황을 제시한 것인지, 고려해야 하는 상황 인자들을 제시한 것인지 명확히 해야함. “다음의 운전상황”이라고 명시한 것으로 보아 발생가능한 모든 상황을 명시한 것으로 보이며 그렇다면 5가지 상황에서 고려하지 못하는 상황이 있을 수 있는지 검토가 필요함. “원자로모듈”이 공식적으로 사용되는 용어인지?(이승준)</p> <p>경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)의 POS 5에서 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라고 하였음과 상반됨. 제시된 3번 조항은 제안하고자 하는 ‘경수형 SMR 관련 인간공학 적용’ 지침(안)에 본 지침 1번 항목에 대한 보완 내용으로 포함되는 것이 바람직할 것임.(김만철)</p>
제18.2절 I. 검토분야 (검토연계분야)	<p>인간공학분야 및 계측제어분야는 인허가 신청자의 주제어실의 설계, 개발, 설치시험 등의 검토에 공동 책임을 갖는다. 이에 따른 본 절과의 연계 검토사항은 다음과 같다.</p> <p>1. 본 지침의 검토주관부서는 주제어실이 보유하여야할 성능 및 기능에 관한 사항은 안전심사지침 7.4절 “안전정지계통”, 안전심사지침 7.5절 “안전에 중요한 정보계통”, 7.7절 “제어계통” 등에서 관련 지침이 종합적으로 제시 되었으므로, 해당 절과 연계하여 검토하여야 한다.</p> <p>2. 주제어실에 설치되는 인간-시스템연계 설비의 인간공학적 설계절차 및 공정 등에 관한 사항은 안전심사지침 18.1절 “인간공학-개요”에 명시된 인간공학 프로그램 요소의 이행절차에 근거하므로, 해당 절과 연계하여 검토한다.</p>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 주제어실 검토연계분야와 동일 적용하여야 함.	<p>제18.1절 I. 검토분야(검토연계분야) 의견 참조(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절.(이승준)</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김중현).</p> <p>의견 없음(함동한)</p>
제18.2절 II. 허용기준	1. 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제25조 (원자로제어실 등)	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 주제어실 규제요건과 동일 적용하여야 함.	제18.2절 I. 검토분야에서 개정하려는 다수모듈 부분이 원자로규칙에서 제시한 내용과 합치하는지에 대해





현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>리한 곳에 위치하여야 한다.</p> <p>2) 안전변수지시계통은 연속적으로 정보를 표시하여야 한다. 그리하여 노심의 성능 저하 및 손상 방지에 대한 책임을 지니는 제어실 요원이 발전소의 안전 상태를 신속하고 신뢰성 있게 판단할 수 있어야 한다.</p> <p>3) 안전변수지시계통은 발전소 운전원에게 다음과 같은 필수안전기능(CSF) 정보의 제공이 충분하도록 최소한의 주요 발전소 변수들을 간결하게 표시하여야 한다. 이를 위해 표시할 특정한 변수들은 인허가 신청자가 선정한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 반응도 제어, 원자로 노심냉각 및 일차계통의 열제거, 원자로냉각재계통의 건전성, 방사능 제어, 격납건물 상태</li> </ul> <p>4) 안전변수지시계통은 승인된 인간공학 설계원칙, 기술기준 및 표준에 따라 설계되어야 한다. 즉, 사용자가 안전변수지시계통에 표시된 정보를 쉽게 인식하고 이해할 수 있어야 한다. 안전변수지시계통에 대한 인간-시스템연계 설계에 대한 허용기준은 NUREG-0700에 명시된 설계요소별 상세지침을 준용한다.</p>		<p>다만, SPDS 계통의 구현은 국내 가동/건설원전의 SPADES plus와 같은 별도의 표시장치를 주 제어실에 설치하지 않더라도 어떠한 정보표시기에 포함되어 안전변수지시의 고유 요구기능을 달성할 수 있는 경우에도 가능함.</p>	
제18.2절 III. 검토절차	<p>1. 인허가 신청자는 주제어실 설계가 적합한 인간공학적 설계원칙, 기술기준 및 표준에 따라 설계되었음을 입증하기 위해 주제어실의 작업공간, 환경, 제어기, 정보표시기, 경보, 명판, 위치구분 표시 등과 관련한 설계요건, 기본 및 상세설계 결과 등을 제출하여야 한다.</p> <p>2. 제출된 상세설계 결과를 근거로 인간공학적 인간-시스템연계 설계는 “II. 허용기준”에 명시된 바와 같이 NUREG-0700 지침을 적용하여 관련 설계의 적합성을 검토한다. 단, “II. 허용기준”에 명시된 바와 같이 주제어실이 보유하여야할 성능 및 기능에 관한 적합성은 안전심사지침 7.4절, 7.5절, 7.7절 등에 근거한 계측제어분야의 검토결과를 준용한다. 또한 주제어실에 설치되는 인간-시스템연계 설비의 설계절차 및 공정 등에 관한 적합성은 안전심사지침 18.1절에 근거한 인간공학분야의 검토결과를 준용한다.</p> <p>3. 인허가 신청자가 제출한 자료, 설계일정, 이행상태를 검토하는데 있어 충분한 현장실사를 수행한다. 즉, 주제어실이 인허가 신청자의 계획에 따라 인간공학적 설계원칙, 기술기준 및 표준에 근거하여 설치되고 적절하게 기능을 발휘하고 있는가를 확인하기 위한 것으로, 현장실</p>	<p>1. (현행유지)</p> <p>2. (현행유지)</p> <p>3. (현행유지)</p>	<p>경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 주제어실 검토절차와 동일 적용하여야 함.</p>	<p>동일 기준 적용 적절.(이승준)</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(김종현).</p> <p>의견 없음(함동한)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)	경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
<p>사를 통한 감사를 수행한다.</p> <p>4. 안전변수지시계통의 평가는 인허가 신청자가 제출한 자료(예, 안전성분석보고서와 이행계획, 설계문서)에 대한 검토로 수행된다. 아래의 절차는 안전변수지시계통 허용기준 만족 여부를 확인하는데 적용된다.</p> <p>가. 건설허가 신청자 인허가 신청자는 주제어실 설계의 초기 단계에서 안전변수지시계통의 기능 및 요건을 설계에 반영시켜야 한다. 이에 대한 검토는 안전심사지침 18.1절에서 수행된 검토내용도 고려되어야 한다.</p> <p>나. 운영허가 신청자 1) 인간공학분야 심사자는 제출된 자료(이행계획 및 안전성분석보고서)에 대해 계측제어분야 및 계통성능분야 담당부서와 함께 검토 일정을 수립한다. 2) 인간공학분야 심사자는 계측제어분야, 계통성능분야 심사자와 협조하여 인허가 신청자/사업자의 안전변수지시계통 설계의 확인 및 검증 계획을 평가한다. 이 평가는 안전변수지시계통이 발전소의 안전상태를 용이하게 판단할 수 있어야 하며 정보내용이 유효하고 신뢰성 있게 연속적으로 제공하기 위한 관련 요건을 만족하여야 한다 (NUREG-0835 및 NUREG-1342 참조). NSAC-39에 제시된 확인 및 검증 프로그램의 지침을 따르는 것도 허용될 수 있으며, 이와 동등한 내용을 포함한 다른 확인 및 검증 프로그램도 적용될 수 있다. 3) 인간공학분야 심사자는 필요시 계통성능분야 심사자의 안전성분석보고서에 대한 검토를 참고한다. 주요 검토내용은 표시용으로 선정된 변수들이 NUREG-0737, Supplement 1에서 명시된 주요 안전기능을 평가함에 있어 충분하고, 비상운전절차서와 일치되고 있음을 확인한다. 4) 인간공학분야 심사자는 계측제어분야에 관련된 안전성분석보고서에 대한 검토내용을 참고한다. 이 검토내용은 안전변수지시계통의 하드웨어와 운영체제 소프트웨어의 신뢰성과 가용성에 대한 평가와 안전계통으로부터 안전변수지시계통의 신호를 격리시킨 방법 및 전기적 고장의 파급방지 방법에 대한 평가내용을 확인한다. 5) 인간공학분야 심사자는 인허가 신청자의 안전성분석보고서와 이용한 설계자료를 검토하여</p>	<p>4. (현행유지)</p>		<p>혹시 표준설계인가에 대한 검토가 별도로, 예컨대 차등화된 형태로 다루어질 필요가 있을지 검토 요망(허균영)</p>



현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)	경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
<p>표시자료의 유용성을 보장하기 위한 조치 여부와 안전변수지시계통의 화면형태와 운전상의 연계가 승인된 인간공학적 설계원칙, 기술기준 및 표준을 반영하여 설계되었는가를 확인한다. 이와 관련된 평가에는 인간-시스템연계 설비에 대한 인간공학적 상세설계 지침을 제시하는 NUREG-0700에 근거한다.</p> <p>6) 인허가 신청자의 안전변수지시계통 자료내용, 설계일정, 이행상태를 검토하는데 있어 충분한 현장실사를 수행한다.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>설계확인 감사: 설계확인 감사의 목적은 확인 및 검증 프로그램과 관련하여 주요한 의문사항을 해결하는데 있으며 요구되는 추가정보의 습득, 프로그램의 이행내용, 인간공학 활동내용을 확인하는 데 있다. 신청자는 안전변수지시계통의 설계과정에 대한 자세한 내용을 제공하여야 한다.</li> <li>설계검증 감사: 심사자는 모든 서류검토를 마치고 준공 상태의 원형이나 설치된 안전변수지시계통의 평가를 수행한다. 이 감사의 목적은 인허가 신청자의 시험결과가 안전변수지시계통 설계상의 기능 요건을 만족시키고 있는가를 확인하는 것이며, 안전변수지시계통이 적절한 인간공학적 사례를 보여주고 있는가를 확인하는 데 있다.</li> <li>설치 감사: 인허가 신청자의 계획에 따라 설치되었고, 안전변수지시계통이 적절하게 기능을 발휘하고 있는 가를 확인하기 위한 것으로, 필요에 따라 현장실사를 통해 최종감사를 수행한다.</li> </ul>			
<p>제18.2절 IV. 평가결과</p> <p>심사자는 충분한 자료와 정보의 제출 여부를 확인하고, 또한 아래와 같은 결론을 내릴 수 있는 충분한 검토가 이루어졌는지를 확인한 후 안전심사보고서를 작성한다. 결론은 다음과 같은 평가에 기초한다.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 인허가 신청자는 사전에 규명한 기능 및 직무요건을 정보, 정보표시기, 제어기 및 기타 인간-시스템연계 상세설계에 적합하게 반영하였다.</li> <li>2. 다음과 같은 인간-시스템연계 설계요소가 기 승인된 인간공학 설계원칙, 기술기준 및 표준에 적합함이 확인되도록 평가되었다. <ul style="list-style-type: none"> <li>가. 작업공간</li> <li>나. 제어실 환경</li> <li>다. 제어기기</li> <li>라. 정보표시기</li> </ul> </li> </ol>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 주제어실 평가결과와 동일 적용하여야 함.	<p>의견 없음(허균영)</p> <p>동일 기준 적용 적절(이승준).</p> <p>특별한 이견 없음.(김만철)</p> <p>의견 없음(함동한)</p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>마. 정보 바. 명판 사. 위치구분표시</p> <p>3. 설계변경 사항들이 추가적인 인간공학 설계결함을 초래하지 않았고 필요한 수정 조치가 적절하게 이행되었음이 확인되었다.</p>			
제18.3절 I. 검토분야	<p>원자력 발전소의 주제어실은 정상 운전조건에서 발전소를 안전하게 운전하고, 사고 조건에서도 발전소를 안전한 상태로 유지시킬 수 있는 설비를 갖추어야 한다. 또한 화재 등으로 인하여 주제어실을 사용할 수 없는 경우에는, 주제어실로부터 물리적·전기적으로 분리된 원격정지실에서 원자로의 운전을 정지시키고 발전소를 안전한 상태로 유지 시켜야 한다.</p> <p>인간공학분야 담당부서는 사고를 방지하거나 사고에 대처하는 원자력 발전소의 설계능력을 확인하고, 구조물, 계통 및 기기들과 이를 운영할 발전소 요원간의 연계가 적절한 인간공학적 관례에 따라 설계되고 제공되었는가를 확인하기 위해서 원격정지실의 설계를 검토한다. 검토 목적은 다음 사항을 확인하는 것이다.</p> <p>1. 비상운전에 필요한 운전원 업무가 명확하게 규정되고, 설계된 기능들이 비상운전을 수행하는데 적합하다.</p>	<p>원자력 발전소의 주제어실은 정상 운전조건에서 발전소를 안전하게 운전하고, 사고 조건에서도 발전소를 안전한 상태로 유지시킬 수 있는 설비를 갖추어야 한다. 또한 화재 등으로 인하여 주제어실을 사용할 수 없는 경우에는, 주제어실로부터 물리적·전기적으로 분리된 <b>원격정지실에서 원격정지설비에서 원자로와 각 원자로모듈의</b> 운전을 정지시키고 발전소를 안전한 상태로 유지 시켜야 한다.</p> <p>인간공학분야 담당부서는 사고를 방지하거나 사고에 대처하는 원자력 발전소의 설계능력을 확인하고, 구조물, 계통 및 기기들과 이를 운영할 발전소 요원간의 연계가 적절한 인간공학적 관례에 따라 설계되고 제공되었는가를 확인하기 위해서 <b>원격정지실의 원격정지설비의</b> 설계를 검토한다. 검토 목적은 다음 사항을 확인하는 것이다.</p> <p>1. <b>원자로 혹은 각 원자로모듈의 고온정지 기간동안 발전소를 안전 상태로 유지, 또한 적절한 절차에 따라서 저온정지시키는데 데 필요한 운전원 업무가 명확하게 규정되고, 설계된 기능들이 해당 업무를 수행하는 데 적합하다. 단, 원격정지설비를 사용하는 특수 사건 상황은 설계기준사고 등의 비상상황이 동시에 발생되지 않으나, 소외전력상실 상황은 고려한다.</b></p>	<p>경수형 SMR은 안전정지 및 저온정지를 위한 인간-시스템연계 설비가 단순할 수 있으며, 운전원의 직무행위도 단순할 수 있어서, 별도의 룸 공간을 ‘원격정지실’로 요구할 필요가 없음. NuScale SMR의 경우, 별도의 원격정지실이 아닌 계측제어 기기룸에 원격정지설비를 제어반의 형태로 제공한 설계로 SDA를 획득한 바 있음.</p> <p>KEPIC ENB 6320(2010) ‘원격 정지 제어반 설계’는 국내 경수형 SMR 설계의 기술기준으로 활용할 수 있는 참조 정보임. 또한 KEPIC ENB 6320(2010)은 ANSI/ANS 58.6: 1996(R2001)을 적용한 산업계 기술표준인 ANSI/ANS 58.6: 1996(R2001)가 철회된 상태이므로 국내 규제입장에 대한 가변성은 존재하고 있음. 그러나 원격정지설비는 주제어실 거주성 상실을 가정하는 특수 사건이므로 설계기준사고, 설계기준초과사고, 혹은 중대사고가 동시에 발생함을 가정하지 않는 것은 타당함. 단, 화재사고로 인한 소외전원상실 사고는 고려할 수 있음. 따라서 원격정지설비를 활용한 운전원 업무에</p>	<p><b>제18.3절 제목 자체가 ‘원격정지실’인만큼 이것을 SMR의 심사에도 적용할 수 있을 일반심사지침이 되도록 한다</b>면, 기존의 원격정지실을 삭제하는 것은 아니라 원격정지설비를 추구하는 개정이 바람직해 보임(허균영)</p> <p>원자로와 원자로모듈이라는 용어 역시 명확한 합의가 이뤄지지 않은 것으로 보여 개정시 주의가 필요해 보임. 원격정지실이 필요없고 대신 원격정지설비를 통해 동등한 안전성을 갖추고 있음을 규명할 필요가 있고, 이것이 심사과정에 들어가야 할 것으로 보임(허균영)</p> <p><b>본문에 원격정지실-&gt;원격정지설비로 모두 교체(정연섭)</b></p> <p>원격정지실을 원격정지설비로 변경한 것이 적절해 보임.(이승준)</p> <p>경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)의 POS 5에서 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라고 하였음과 상반됨. 또한, “원격정지실”을 “원격정지설비”로의 용어 변경은 필요성이 크지 않음.(김만철)</p> <p><b>기존 원전의 원격정지실과 같은 공간의 불필요성을 명확하게 기술하고 있으며, 원격정지설비의 핵심적 요구사항을 잘 기술하고 있는 것으로 판단함.(함동한)</b></p> <p><b>SMR의 안정화상태를 ‘저온정지’로 명시할 필요가 있는지</b> 의문임.(허균영)</p> <p>1항에서 특수사건 상황의 동시 발생을 배제하는 근거가 있을지 의문임. 또한 SMR 특성을 고려했을 때 소외전력상실 상황만 선별적으로 심사지침에 제시하는 것이 충분한지 현재로는 판단하기 어려움. 어떤 상황을 고려해야 하는지에 대한 근거 제시 역시 심사대상이 되어야 할 것으로 보임.(허균영)</p> <p><b>“단, 원격정지설비를 사용하는 특수 사건 상황은 설</b></p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>2. 운전원이 모든 비상운전절차를 성공적으로 이행하는데 요구되는 업무에 필요한 정보, 정보표시기 및 제어기, 그리고 다른 연계 사항이 파악되어 원격정지실에 구비되었다.</p> <p>3. 원격정지실의 정보, 정보표시기 및 제어기, 다른 연계 사항이 적절한 인간공학적 원칙, 기술기준 및 표준 등에 따라 설계되어 제공된다. 즉, 원격정지실의 배치 및 환경, 제어반 배치, 개별적 제어기 및 정보표시기, 그리고 제어기 및 정보표시기와 다른 연계 기기의 통합은 발전소 운전원이 원격정지실에서 주어진 임무를 인적오류 없이 적절하게 수행할 수 있도록 설계되었다.</p>	<p>2. 원자로 혹은 각 원자로모듈의 고온정지 기간동안 발전소를 안전 상태로 유지, 또한 적절한 절차에 따라서 저온정지시키는데 데 필요한 운전원 업무에 필요한 정보, 정보표시기 및 제어기, 그리고 다른 연계 사항이 파악되어 원격정지설비에 구비되었다.</p> <p>3. (좌동)</p>	모든 비상운전을 포함시키는 것은 적절하지 않음.	<p>계기준사고 등의 비상상황이 동시에 발생되지 않으나, 소외전력상실 상황은 고려한다.” 여러 DBA가 동시에 발생하는 것은 고려하지 않으나 DBA+LOOP은 고려한다는 것인지? 의미가 명확하지 않음.(이승준)</p> <p>경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)의 POS 5에서 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라고 하였음과 상반됨. 또한, 제안하는 1, 2번 항목은 개발 중인 경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안)에서 현 KINS 지침의 1, 2번 항목에 대한 보조 지침으로 제시하는 것이 적절할 것임.(김만철)</p> <p>SMR 설계에 따라 운전모드의 구분이 기존 대형원전과 다르게 정의될 수 있음. 따라서, 고온정지 등의 구체적인 모드를 언급하는 것 보다는 해당 운전모드의 상태로 기술하는 것이 좋을 것으로 보임.(김종현)</p>
제18.3절 I. 검토분야 (검토연계분야)	<p>인간공학분야 및 계측제어분야는 인허가 신청자의 원격정지실의 설계, 개발, 설치시험 등의 검토에 공동 책임을 갖는다. 이에 따른 본 절과의 연계 검토사항은 다음과 같다.</p> <p>1. 본 지침의 검토주관부서는 원격정지실이 보유하여야 할 성능 및 기능에 관한 지침이 안전심사지침 7.4절 “안전정지계통”, 안전심사지침 7.5절 “안전에 중요한 정보계통”, 7.7절 “제어계통” 등에 종합적으로 제시되었으므로, 해당 결과 연계하여 검토하여야 한다.</p> <p>2. 원격정지실에 설치되는 인간-시스템연계 설비의 인간공학적 설계절차 및 공정 등에 관한 사항은 안전심사지침 18.1절 “인간공학-개요”에 명시된 인간공학 프로그램 요소의 이행절차에 근거하므로, 해당 결과 연계하여 검토한다.</p>	<p>인간공학분야 및 계측제어분야는 인허가 신청자의 <b>원격정지실원격정지설비</b>의 설계, 개발, 설치시험 등의 검토에 공동 책임을 갖는다. 이에 따른 본 절과의 연계 검토사항은 다음과 같다.</p> <p>1. 본 지침의 검토주관부서는 <b>원격정지실아원격정지설비가</b> 보유하여야 할 성능 및 기능에 관한 지침이 안전심사지침 7.4절 “안전정지계통”, 안전심사지침 7.5절 “안전에 중요한 정보계통”, 7.7절 “제어계통” 등에 종합적으로 제시되었으므로, 해당 결과 연계하여 검토하여야 한다.</p> <p>2. <b>원격정지실원격정지설비</b>에 설치되는 인간-시스템연계 설비의 인간공학적 설계절차 및 공정 등에 관한 사항은 안전심사지침 18.1절 “인간공학-개요”에 명시된 인간공학 프로그램 요소의 이행절차에 근거하므로, 해당 결과 연계하여 검토한다.</p>	경수형 SMR은 안전정지 및 저온정지를 위한 인간-시스템연계 설비가 단순할 수 있으며, 운전원의 직무행위도 단순할 수 있어서, 별도의 룸 공간을 ‘원격정지실’로 요구할 필요가 없음. NuScale SMR의 경우, 별도의 원격정지실이 아닌 계측제어 기기룸에 원격정지설비를 제어반의 형태로 제공한 설계로 SDA를 획득한 바 있음.	<p><b>전술한 의견과 동일(허균영)</b></p> <p><b>원격정지실을 원격정지설비로 변경한 것이 적절해보임.(이승준)</b></p> <p>경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)의 POS 5에서 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라고 하였음과 상반됨. 또한, “원격정지실”을 “원격정지설비”로의 용어 변경은 필요성이 크지 않음.(김만철)</p> <p><b>의견 없음(김종현).</b></p> <p><b>의견 없음(함동한)</b></p>
제18.3절 II. 허용기준 (규제요건)	<p>1. 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제25조 (원자로제어실 등)</p> <p>2. 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제38조 (정보장치 등)</p>	(좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 원격정지설비 허용기준과 동일 적용하여야 함.	<p><b>전술한 의견과 동일(허균영)</b></p> <p><b>동일 기준 적용 적절(이승준).</b></p>

현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	3. 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제45조 (인적 요소) 4. 원자로시설 등의 기술기준에 관한 규칙 제57조 (인적 요소의 관리)			특별한 이견 없음.(김만철)  의견 없음(김종현).
제18.3절 II. 허용기준 (안전심사지침 허용기준)	안전심사지침은 규제기관의 규제요건을 대신하지는 않으며, 또한 이를 만족할 것을 요구하지 않는다. 그러나 인허가 신청자는 설비에 대해 제안된 설계특성, 해석기술, 그리고 절차상의 조치사항들과 안전심사지침의 허용기준과의 차이점을 확인해야 하고, 안전심사지침의 허용기준에 대한 대안으로서 제시된 안이 규제요건을 따르는 허용가능한 방법을 어떻게 제시하고 있는지를 평가해야 한다. 상기 규제요건 만족을 확인하기 위한 본 안전심사지침의 허용기준은 다음과 같다.	(좌동)		전술한 의견과 동일(허균영)  의견 없음(김종현).  의견 없음(함동한)
	1. 원격정지실이 보유하여야 할 성능 및 기능에 관한 허용기준은 안전심사지침 7.4절 “안전정지계통”, 안전심사지침 7.5절 “안전에 중요한 정보계통”, 7.7절 “제어계통” 등에서 명시한 내용과 동일하므로, 해당 절의 허용기준을 준용한다. 2. 원격정지실에 설치되는 인간-시스템연계 설비의 설계절차 및 공정 등에 관한 허용기준은 안전심사지침 18.1절 “인간공학-개요”에 명시된 내용과 동일하므로, 해당 절의 허용기준을 준용한다. 3. 원격정지실에 설치되는 설비의 인간-시스템연계 설계에 대한 허용기준은 NUREG-0700에 명시된 설계요소별 상세지침을 준용한다.	1. <b>원격정지실</b> 이 <b>원격정지설비</b> 가 보유하여야 할 성능 및 기능에 관한 허용기준은 안전심사지침 7.4절 “안전정지계통”, 안전심사지침 7.5절 “안전에 중요한 정보계통”, 7.7절 “제어계통” 등에서 명시한 내용과 동일하므로, 해당 절의 허용기준을 준용한다. 2. <b>원격정지실</b> <b>원격정지설비</b> 에 설치되는 인간-시스템연계 설비의 설계절차 및 공정 등에 관한 허용기준은 안전심사지침 18.1절 “인간공학-개요”에 명시된 내용과 동일하므로, 해당 절의 허용기준을 준용한다. 3. <b>원격정지실</b> <b>원격정지설비</b> 에 설치되는 설비의 인간-시스템연계 설계에 대한 허용기준은 NUREG-0700에 명시된 설계요소별 상세지침을 준용한다.	경수형 SMR은 안전정지 및 저온정지를 위한 인간-시스템연계 설비가 단순할 수 있으며, 운전원의 직무행위도 단순할 수 있어서, 별도의 룰 공간을 ‘원격정지실’로 요구할 필요가 없음. NuScale SMR의 경우, 별도의 원격정지실이 아닌 계측제어 기기룸에 원격정지설비를 제어반의 형태로 제공한 설계로 SDA를 획득한 바 있음.	경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)의 POS 5에서 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라고 하였음과 상반됨. 또한, “원격정지실”을 “원격정지설비”로의 용어 변경은 필요성이 크지 않음.(김만철)
제18.3절 III. 검토절차	1. 인허가 신청자는 원격정지실 설계가 적합한 인간공학적 설계원칙, 기술기준 및 표준에 따라 설계되었음을 입증하기 위해 원격정지실의 작업공간, 환경, 제어기기, 정보 표시기, 경보, 명판, 위치구분 표시 등과 관련한 설계요건, 기본 및 상세설계 결과 등을 제출하여야 한다.  2. 제출된 상세설계 결과를 근거로 인간공학적 인간-시스템연계 설계는 “II. 허용기준”에 명시된 바와 같이 NUREG-0700 지침을 적용하여 관련 설계의 적합성을 검토한다. 단, “II. 허용기준”에 명시된 바와 같이 원격정지실이 보유하여야 할 성능 및 기능에 관한 적합성은 안전심사지침 7.4절, 7.5절, 7.7절 등에 근거한 계측	1. (좌동)	경수형 SMR은 기존 경수로형 안전심사지침의 원격정지설비 검토절차와 동일 적용하여야 함.	전술한 의견과 동일(허균영)  동일 기준 적용 적절.(이승준)  특별한 이견 없음.(김만철)  의견 없음(김종현).  의견 없음(함동한)
	2. 제출된 상세설계 결과를 근거로 인간공학적 인간-시스템연계 설계는 “II. 허용기준”에 명시된 바와 같이 NUREG-0700 지침을 적용하여 관련 설계의 적합성을 검토한다. 단, “II. 허용기준”에 명시된 바와 같이 원격정지실이 보유하여야 할 성능 및 기능에 관한 적합성은 안전심사지침 7.4절, 7.5절, 7.7절 등에 근거한 계측	2. 제출된 상세설계 결과를 근거로 인간공학적 인간-시스템연계 설계는 “II. 허용기준”에 명시된 바와 같이 NUREG-0700 지침을 적용하여 관련 설계의 적합성을 검토한다. 단, “II. 허용기준”에 명시된 바와 같이 원격정지실이 보유하여야 할 성능 및 기능에 관한 적합성은 안전심사지침 7.4절, 7.5절, 7.7절 등에 근거한 계측	경수형 SMR은 안전정지 및 저온정지를 위한 인간-시스템연계 설비가 단순할 수 있으며, 운전원의 직무행위도 단순할 수 있어서, 별도의 룰 공간을 ‘원격정지실’로 요구할 필요가 없음. NuScale SMR의 경우, 별도의 원격정지실이 아닌 계측제어 기기룸에 원격정지설비를 제어반의 형태로 제공한 설계로 SDA를 획득한 바	경수형 SMR 심사 및 규제 지침(안) 개발의 기본 방향(안)의 POS 5에서 기존 심사 및 규제 지침을 개정하는 방식이 아니라고 하였음과 상반됨. 또한, “원격정지실”을 “원격정지설비”로의 용어 변경은 필요성이 크지 않음.(김만철)



현행 경수로형 원전 안전심사지침 (제18장 인간공학)		경수형 SMR 안전심사 보완사항 (제18장 인간공학)	기술적 배경	검토 의견
	<p>제어분야의 검토결과를 준용한다. 또한 원격정지실에 설치되는 인간-시스템연계 설비의 설계절차 및 공정 등에 관한 적합성은 안전심사지침 18.1절에 근거한 인간공학분야의 검토결과를 준용한다.</p> <p>3. 인허가 신청자가 제출한 자료, 설계일정, 이행상태를 검토하는데 있어 충분한 현장실사를 수행한다. 즉, 원격정지실이 인허가 신청자의 계획에 따라 인간공학적 설계원칙, 기술기준 및 표준에 근거하여 설치되고 적절하게 기능을 발휘하고 있는가를 확인하기 위한 것으로, 현장실사를 통한 감사를 수행한다.</p>	<p>제어분야의 검토결과를 준용한다. 또한 <b>원격정지실원격정지설비</b>에 설치되는 인간-시스템연계 설비의 설계절차 및 공정 등에 관한 적합성은 안전심사지침 18.1절에 근거한 인간공학분야의 검토결과를 준용한다.</p> <p>3. 인허가 신청자가 제출한 자료, 설계일정, 이행상태를 검토하는데 있어 충분한 현장실사를 수행한다. 즉, <b>원격정지실아원격정지설비가</b> 인허가 신청자의 계획에 따라 인간공학적 설계원칙, 기술기준 및 표준에 근거하여 설치되고 적절하게 기능을 발휘하고 있는가를 확인하기 위한 것으로, 현장실사를 통한 감사를 수행한다.</p>	<p>있음.</p> <p>경수형 SMR은 안전정지 및 저온정지를 위한 인간-시스템연계 설비가 단순할 수 있으며, 운전원의 직무행위도 단순할 수 있어서, 별도의 룸 공간을 ‘원격정지실’로 요구할 필요가 없음. NuScale SMR의 경우, 별도의 원격정지실이 아닌 계측제어 기기룸에 원격정지설비를 제어반의 형태로 제공한 설계로 SDA를 획득한 바 있음.</p>	<p><b>개발중인 심사지침(김만철)</b></p>
제18.3절 평가결과	<p>심사자는 충분한 자료와 정보의 제출 여부를 확인하고, 아래와 같은 결론을 내릴 수 있는 충분한 검토가 이루어졌는지를 확인한 후 안전심사보고서를 작성한다. 결론은 다음과 같은 평가에 기초한다.</p> <p>1. 인허가 신청자는 사전에 규명한 기능 및 직무요건을 경보, 정보표시기, 제어기 및 기타 인간-시스템연계 상세설계에 적합하게 반영하였다.</p> <p>2. 다음과 같은 인간-시스템연계 설계요소가 기승인된 인간공학 설계원칙, 기술기준 및 표준에 적합함이 확인되도록 평가되었다. 가. 작업공간 나. 제어실 환경 다. 제어기기 라. 정보표시기 마. 경보 바. 명판 사. 위치구분 표시</p> <p>3. 설계변경 사항들이 추가적인 인간공학 설계결함을 초래하지 않았고 필요한 수정 조치가 적절하게 이행되었음이 확인되었다.</p>	(좌동)		<p><b>의견 없음(허균영)</b></p> <p><b>특별한 이견 없음.(김만철)</b></p> <p><b>의견 없음(김종현).</b></p> <p><b>의견 없음(함동한)</b></p>