

국민에게 신뢰받는 안전 최우선의 KINS

# Human Factors 입장에서 Digital I&C HRA 현안

계측전기평가실 인간공학그룹 김지태



# Contents

**I**

서론

**II**

건설 원전 HRA 심사 경험

**III**

건설 원전 HRA 심사 현안

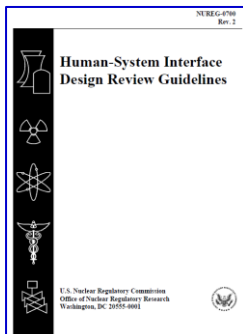
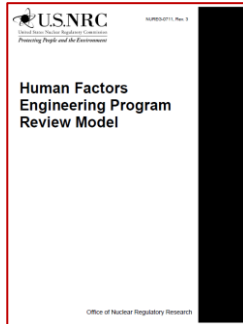
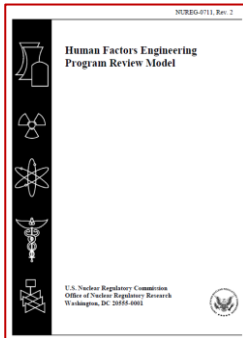
**IV**

결론

국민에게 신뢰받는 안전 최우선의 KINS

# I.서론

## ◆ 건설원전 SAR 18장(인간공학) 심사 인간공학 규제요건



### ● 인간공학프로그램

#### (NUREG-0711 Rev.00)

- 신고리원자력 3,4호기

#### (NUREG-0711 Rev.02)

- 신한울원자력 1,2호기
- 신고리원자력 5,6호기

#### (NUREG-0711 Rev.03)

- 신한울원자력 3,4호기

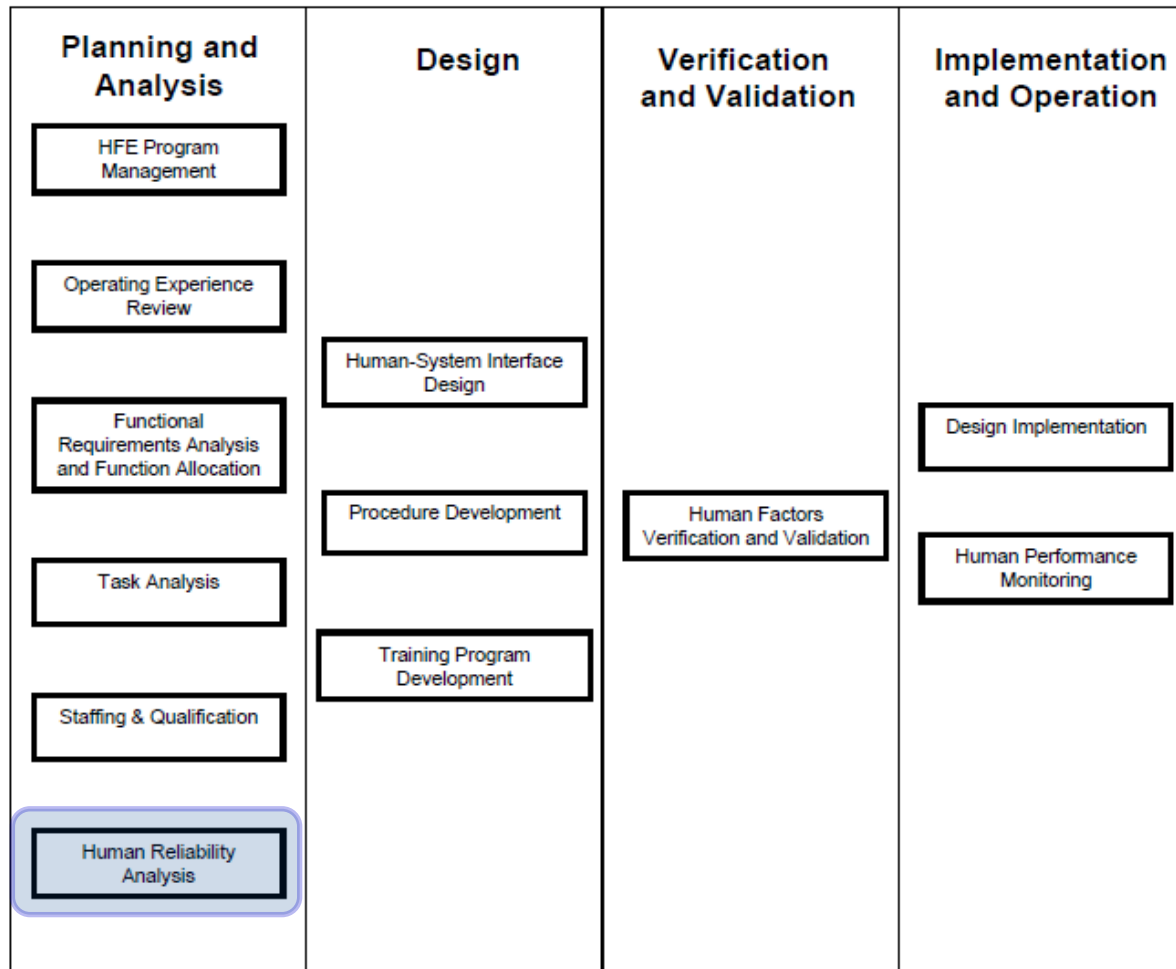
### ● 인간공학설계

#### (NUREG-0700 Rev.01&02)

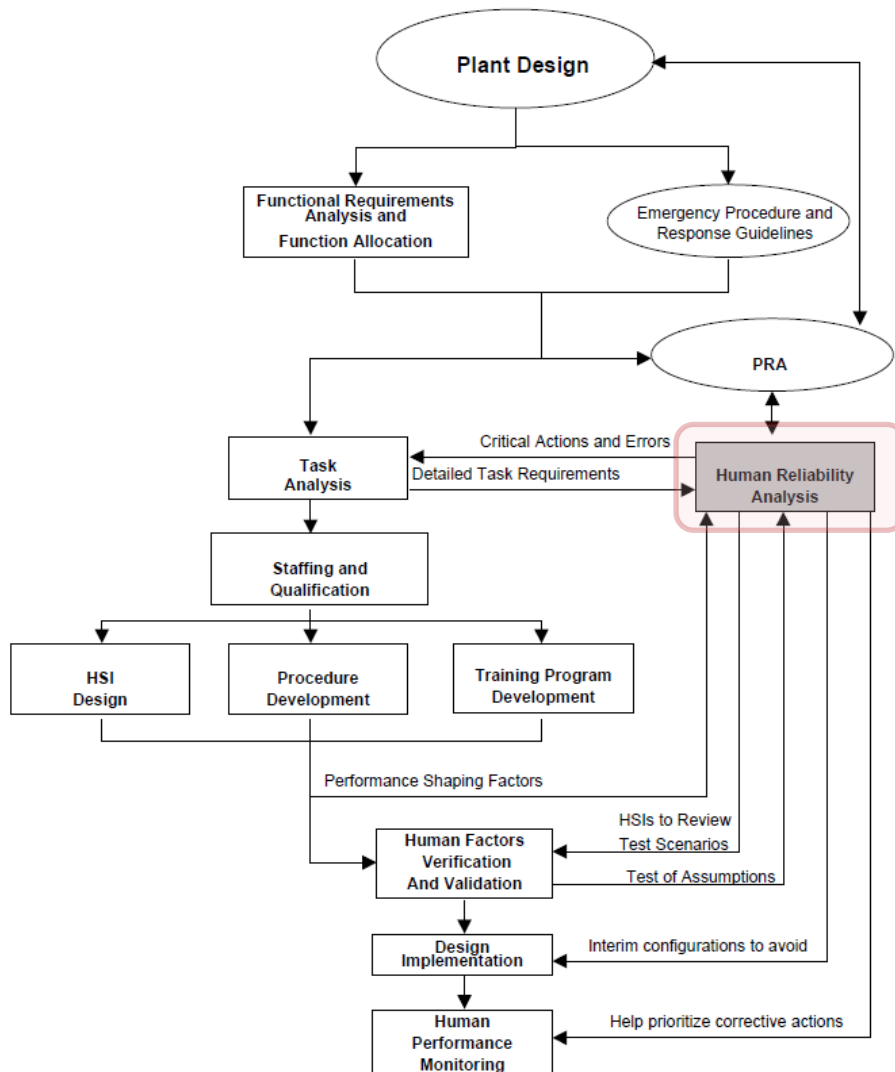
### ● 기타 요건

- NUREG-0800 Appendix 18-A  
Crediting Manual Operator Actions in D3 Analyses
- ANSI/ANS 58.8  
Time Response Design Criteria for Safety-Related Operator Actions
- BTP 7-19  
Guidance for Evaluation of D3 in Digital Computer-Based I&C Systems
- DI&C ISG-05  
Highly-Integrated Control Rooms – Human Factors Issues
- NUREG-0737 Supplement No.1  
Requirements for Emergency Response Capability
- ANSI/ANS-3.5  
Nuclear Power Plant Simulator for Use in Operator Training and Examination

## • 인간공학프로그램 검토 모델 (NUREG-O711 Rev.2)



## • 인간공학프로그램에서 HRA의 역할 (NUREG-O711 Rev.2)



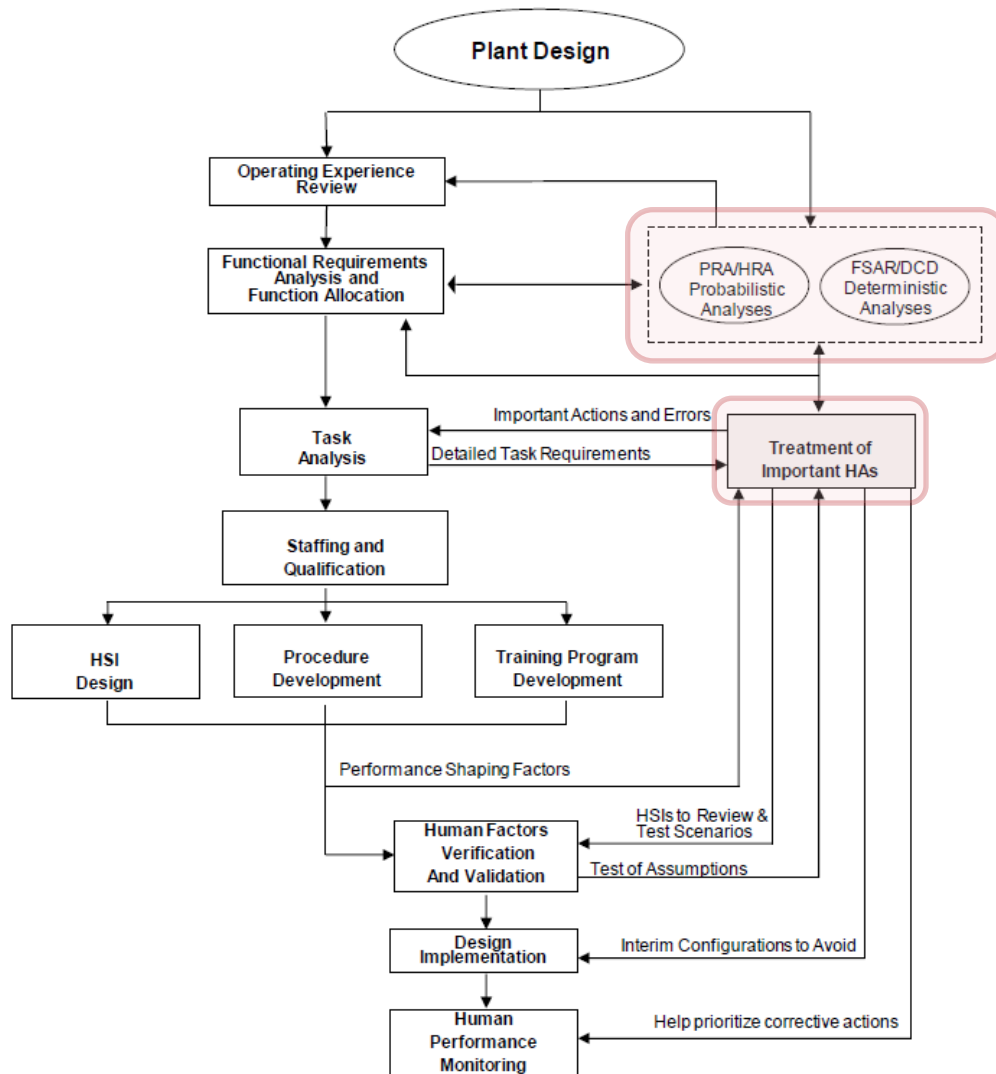
### • 필수운전원조치 도출

- 인간공학 프로그램 활동을 위해 PSA/HRA 결과를 바탕으로 발전소 안전에 중요한 운전원 행위 도출
- 도출된 필수운전원조치는 직무분석, V&V 등에서 활용

### • PSA/HRA 기반 사고시나리오 개발 지원

- 인간공학 확인 및 검증(ISV; 통합시스템검증) 시나리오 개발 시, 필수운전원조치가 반영될 수 있도록 지원
- PSA/HRA 결과 바탕의 사고 시나리오 자료 제공

## • 인간공학프로그램에서 HRA의 역할 (NUREG-O711 Rev.3)



### • 필수운전원조치 도출

- 인간공학 프로그램 활동을 위해 PSA/HRA 결과를 바탕으로 발전소 안전에 중요한 운전원 행위 도출
- 도출된 필수운전원조치는 직무분석, V&V 등에서 활용
- Rev.3 개정을 통해 중요한적행위에 관한 기준 보완 및 강화 (SAR 7장 및 15장과 연계한 중요한적행위에 대한 분석)

### • PSA/HRA 기반 사고시나리오 개발 지원

- 인간공학 확인 및 검증(ISV; 통합시스템검증) 시나리오 개발 시, 필수운전원조치가 반영될 수 있도록 지원
- PSA/HRA 결과 바탕의 사고 시나리오 자료 제공

국민에게 신뢰받는 안전 최우선의 KINS

## II. 건설 원전 HRA 심사 경험



- 신고리 3,4호기 건설/운영허가 심사
  - 신고리 3,4호기 인허가 심사절차를 통해 디지털 I&C 기반 신형 주제어실 도입에 따른 특성을 반영한 인간신뢰도분석 수행 요구
  
- HRA 관련 안전성분석보고서 18장 주요 내용
  - 목적
    - 발전소 안전에 영향을 주는 운전원 오류의 발생 메커니즘 및 가능성 분석
    - 인간-시스템연계 설계에 반영
    - 발전소 안전성 유지 및 향상
  - 수행범위
    - 발전소 안전성에 영향을 미치는 필수운전원조치 도출
    - 통합시스템검증에 필요한 PSA/HRA 결과 기반의 사고시나리오 개발
    - 소프트웨어기 적용 관련 인적오류 메커니즘 평가
    - 인적오류 평가용 수행특성인자 개발

## • HRA 관련 안전성분석보고서 18장 주요 내용

### – 인간신뢰도분석 결과를 반영한 사고시나리오

- 통합시스템검증에 필요한 PSA/HRA 결과 기반의 사고시나리오 개발

### • 도출된 개발된 사고시나리오 (예시)

시간 (분)	시나리오(ISV-S2)	절차서	보직	주요 평가 관점	강사조각
	4. 비상-03 SGTR - Step 21 : 보조급수 재고량 불만족→불만족시 조치사항			- 운전정보/화면/조작기기 정보 적절성 및 편리성 확인 - AFWST 재고량 확보 조치 ▶ AFP 흡입원을 CST로 전환 - COA 확인 : 보조급수원 변경확인	※ Step 21 진입 전에 AFWST 수위가 제한치 이상이면 AFWST 수위 의 mass값을 1/2값으로 입력하여 제한치 미만으 로 지시되도록 한다 (시뮬레이터 모델 변수 변경 필요) (SCN : ISV2-SCN3)
	5. 비상-03 SGTR - Step 23 : RCS 제어냉각 (CWP 3대 트립으로 SBCS 이용 불가)→불만족시 조치 사항 수행			- 운전정보/화면/조작기기 정보 적절성 및 편리성 확인 - MSADV 수동운전하여 RCS 제어냉각운전 수행 - COA 확인 : MSADV 수동 개방 확인	※ Step 23 진입 즉시 CWP 3대 트립 신호 주입 - CMF : blkCWFP04 , Trip blkCWFP05 , Trip blkCWFP06 Trip (SCN : ISV2-SCN4)

# 건설원전 HRA 심사 경험 (인간공학 관점)

## • HRA 관련 안전성분석보고서 18장 주요 내용

### – 인간신뢰도분석 결과를 반영한 인간공학 확인 및 검증

- 개발된 사고시나리오를 반영한 인간공학 확인 및 검증 시 필수운전원조치에 대한 운전원 대응능력 확인

## • 인간공학 확인 및 검증 (예시)

SKN 3 & 4

KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD.

Engineering Report

Title : Final HFE V&V Report

Doc. No. : 9-750-J437-002

KEPCO ENGINEERING & CONSTRUCTION CO., INC.

시나리오	필수운전원조치	가정사항 평가 결과					비고
		스트레스 수준	수행장소	절차서 (EOG기준)	수행시간	훈련 수준	
ISV-1 LOCA	CVCS를 이용한 IRWST 재충수	4.47	MCR + Local	비상-02 step 34	0:38:04	Well	1. 해당 필수운전원조치 수행 성공. 2. 관련 수행가정 사항들이 적절함을 확인함.
	고온관 및 직접 주입관 동시 주입	4.47	MCR	비상-02 step 38	1:11:48	Well	1. 절차서에 명시된 시간보다 일찍 수행하여 해당 필수운전원 조치는 실패함. 2. 운전원 면담결과 실제운전 상황이 아니어서 해당 시간에 도달한 것으로 간주하고 수행함.
	RCS 압력제어	4.23	MCR	비상-03 step 15	0:26:22	Well	1. 해당 필수운전원조치 수행 성공. 2. 관련 수행가정 사항들이 적절함을 확인함.

- HRA 관련 안전성분석보고서 18장 주요 내용
  - 소프트웨어 관련 인간신뢰도분석 결과의 설계반영
    - 소프트웨어 사용 관련 민감도 분석에 따른 설계개선 방안 제시

## • 설계반영 (예시)

	기존 HEP	개선된 HEP	개선안
유람곡선 확인을 실패함	0.002675	0.000403	-정보 이해가 쉽도록 LDP 화면 Interface 개선 -교육훈련 프로그램 개발
버튼 누름을 실패함	0.001213	0.000101	-작무부하 및 시간부하 감소방안 개발 -훈련부족이나 결함으로 인해 다른 버튼을 선택방지를 위하여 교육프로그램 개발 -ESCM 설계 개선
지시에 응답을 실패함	0.000024	0.000004	-소음이나 공명 저감을 위한 MCR 설계개선 -운전원간의 대화프로토콜 개발 -운전전략 개발

국민에게 신뢰받는 안전 최우선의 KINS

## III. 건설 원전 HRA 심사 현안

- ◆ 신한울 1,2호기 건설/운영허가 심사
  - 신고리 3,4호기 대비 인간공학 설계 연계 및 디지털 I&C 기반 신형 주제어실 특성을 반영한 인간신뢰도분석 추가 수행 요구
  
- ◆ 추가 수행 내용
  - 필수운전원조치 도출
  - 통합시스템검증을 위한 HRA 기반 사고시나리오 개발
  - 소프트웨어기 오류 발생가능성 및 메커니즘 분석
  - 인적오류 평가용 수행특성인자 개발

- ◆ 신한울 1,2호기 건설/운영허가 심사
  - 필수운전원조치 도출
    - 신고리 3,4호기 및 신한울 1,2호기 PSA/HRA 결과 활용
    - PSA/HRA 분석 결과에 따른 필수운전원조치 변경
  - 통합시스템검증을 위한 HRA 기반 사고시나리오 개발
    - 도출된 필수운전원조치가 통합시스템검증 시나리오에 반영될 수 있도록 필수운전원조치 수행 관련 가정사항 및 사고경위 등 도출
    - 신고리 3,4호기 대비 초기 설계단계부터 사고시나리오를 고려하여 통합시스템검증이 수행될 수 있도록 반영

- ◆ 신한울 1,2호기 건설/운영허가 심사
  - 소프트웨어 오류 발생가능성 및 메커니즘 분석
    - 신고리 3,4호기 대비 정상/비정상/비상 운전절차서에 대해 소프트웨어 관련 직무 분석
    - 소프트웨어 관련 세부 직무의 실패원인 분석 및 안전성 향상 방안 도출
  - 인적오류 평가용 수행특성인자 개발
    - 수행특성인자 가중치 결정을 위한 평가기준 도출
    - 수행특성인자 정량화



국민에게 신뢰받는 안전 최우선의 KINS

## IV. 결론

## • 인간공학설계 단계에서의 HRA

- 인간공학프로그램 검토 모델(NUREG-O711)의 계획 및 분석 단계에서 인간신뢰도분석(HRA)을 통해 운전원 오류의 발생가능성을 분석하고, 이를 인간공학설계에 반영함.
- 설계단계에서 도출되고 고려된 필수운전원조치는 인간공학 통합시스템 검증(ISV) 시 적절성을 확인함.

## • 디지털 I&C 기반 신형 주제어실 도입에 따른 HRA

- 신고리 3,4호기 인허가 단계에서 디지털 I&C 기반 신형 주제어실 도입에 따른 특성을 반영한 인간신뢰도분석 수행을 요구함.
- 신고리 3,4호기 인허가 이후 건설 원전 심사 과정에서 인간신뢰도분석 결과의 적절성을 확인하고 있으며, 신형 주제어실 설계 특성에 대한 검토 범위를 확대 중임.
- 이에 대한 적절성은 KINS 인간공학그룹과 PSA그룹이 연계 검토 중임.

# 감사합니다

