

ALARA 분석·평가 프로그램 및 3D-BIM 기반 실감·몰입형 피폭선량 예측진단 통합시스템 개발

기술개발 워크숍
원전 고 피폭 작업 종사자 안전성 향상을 위한 작업 시나리오 개발

주관기관

 한국전력기술

공동기관

 한국수력원자력

 SEABURY®
Solutions

 JNEXT CORE
Technology

 KEA 대한전기협회
KOREA ELECTRIC ASSOCIATION

 RADCORE (주)래드코어

 대한방사선방어학회
The Korean Association for Radiation Protection

 NUCARE
Think ahead & Be different.

 고려대학교
KOREA UNIVERSITY

 IAE 고등기술연구원
Institute for Advanced Engineering

 LIKE corporation

CONTENTS

ALARA 분석·평가 프로그램 및 3D-BIM 기반 실감·몰입형 피폭선량 예측진단 통합시스템 개발

01. 연구목표 및 연구내용

02. 정량적 성과

03. 향후 일정



과제명

ARARA 분석·평가 프로그램 및 3D-BIM 기반 실감·몰입형 피폭선량 예측진단 통합시스템 개발

과제 목표

3D/VR/MR 기술을 접목한 실시간 방사선작업종사자 피폭선량 예측진단 통합시스템 구축을 통한 **원전 안전성 강화 및 운영 효율성 향상**

단계 목표

1단계('22~'24.)

현장DB기반경상/계획예방정비 ALARA 의사결정지원모듈 개발(2연구)

- 가동원전 ALARA 의사결정 등급별 대표작업 선정
- 원전 비정기맵 DB관리 최적방안 설계
- 정상시 주요 방사선작업 ALARA 의사결정 지원 모듈 개발



2단계('25~'26.)

비정상/사고시 ALARA 의사결정 지원모듈 개발(2연구&5연구)

- 원전 고 피폭 작업 시나리오 개발
- 사고시 참조준위설정 및 관리모듈 설계 지원
- 원전 격납건물 내 비정상/사고시 ALARA 지원모듈 개발 지원
- 백색/청색비상시 ALARA 지원모듈 개발 지원
- 방사선제품인증체계 구축 지원



3단계('27~'29.)

비정상사고시 ALARA 의사결정 지원모듈 개발(2연구&5연구)

- 적색비상시 ALARA 지원모듈 개발
- ALARA 의사결정 통합 모듈 시범운영 및 매뉴얼 개발
- KAS 인정 공인기관을 통한 성능평가시험/인증 및 사후관리 방안 마련

연차별 세부 개발 목표

(2단계) 비정상/사고시 ALARA 의사결정 지원모듈 개발 지원

1차

사고시 참조준위 설정 및
관리모듈 설계 지원

2차

원전 격납 건물 내
비정상/사고 ALARA
지원모듈 개발

- 국내 원전 고 피폭 작업시나리오 개발(4개)
- 방사선제품 성능평가 시험인증체계 구축 지원
- 국내 원전사고 대비 훈련 시나리오 타당성 분석(방보원 공통)
- 사고시 참고준위 설정 및 관리모듈 설계협력(방보원 공통)

2단계 정량적 목표

- 비SCI급 논문 2편(연차별 1편) - 연구개발계획서 기준
- 작업 시나리오 6개(1단계 포함 총 7개 개발)
 - 작업 시나리오 개발 보고서 2편(연차별 1편씩)
- 방사선제품인증체계 구축 보고서(1차 연도)

2단계 1차 연도 수행 계획 및 실적

01 대표 고 피폭 작업 시나리오 개발

연구 수행 계획

작업 시나리오 개발 계획 수립 및 시나리오 개발

- 2단계 시나리오 개발 계획 수립
 - 2단계 연구기간(2년간) 작업 시나리오 개발 계획 수립 (최대 10개)
 - 시나리오 개발을 위한 유관기관 협력 방안 수립
 - 시나리오 개발 일정 확정 등
- 1차 연도 고 피폭 작업 시나리오 개발
 - 문서 기반, 현장 중심의 작업 시나리오 개발(4종)
 - 현장 견학, 현장 전문가 중심
 - VR 콘티 및 훈련 프로그램 개발 지원
 - 현장 전문가 Pool 확대
- 개발 시나리오 검토 및 검증
 - 다양한 전문가를 통해 시나리오 검토
 - 작업 현장과의 비교를 통한 시나리오 검증 및 보완

연구 수행 실적

4개 시나리오 개발 및 검증

- 2단계 시나리오 개발 계획 수립
 - 과제 전체 개발 대상 작업 10개 선정
 - 한전KPS 등 시나리오 개발 협력체제 강화
 - 1차 연도 개발 대상 작업 및 개발 일정 선정
- 1차 연도 고 피폭 작업 시나리오 개발
 - 시나리오 개발 대상 작업: 원자로 분해, 원자로 조립, Lancing, FOSAR
 - 작업 시나리오 개발 회의 주기적 개최(4회 이상)
 - 실제 작업 현장 견학 등을 통한 작업 시나리오 보완(신한울 1발 대상 총 4회)
 - 시나리오 개발 기술보고서 작성 중
- 개발 시나리오 검토 및 검증(추진중)
 - 원전 퇴직자 등 다양한 전문가를 통한 시나리오 검토 및 검증 추진 중(11월 초 예정)

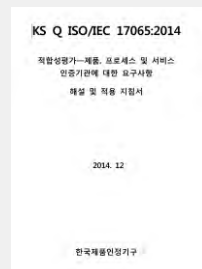
2단계 1차 연도 수행 계획 및 실적

02 제품 성능평가 시험인증 체계 구축 지원

연구 수행 계획

방사선제품인증체계 구축을 위한 기반 분석

- 국내 제품인증 제도 요건 분석
 - KOLAS 제품인증기관 인정신청, 요건 및 추진절차 분석
 - 제품인증체계 구축을 위한 제품 선정
- 방사선제품 성능평가 시험인증체계 구축 방안 도출
 - 방사선제품(ISO/IEC 17065) 인증스킴 개발 지원
 - ISO/IEC 17065 제품인증 품질경영시스템 매뉴얼 및 절차서 등 구성항목 도출
 - 방사선 제품인증체계 구축 방안 개발 등



연구 수행 실적

서베이미터 인증체계 구축을 위한 QMS 도출

- 국내 제품인증 제도 요건 분석
 - 국내 KOLAS 제품인증기관 분석을 통한 방사선 제품 인증기관 추진 절차 벤치마킹
 - 국내 생산, 유통 방사선제품 분석을 통해 제품인증 체계 대상 제품 선정 : 서베이미터
 - 사유: 안전관리 핵심 장비, 광범위한 사용 등
- 방사선제품 성능평가 시험인증체계 구축 방안 도출
 - ISO/IEC 60846-1 등 기반 서베이미터 핵심 성능 평가 항목 도출
 - 국내 제품 인증 절차 분석을 통한 서베이미터 인증 절차 도출
 - 품질경영시스템(QMS) 구축 및 운영 3단계 도출
 - 인증기관 조직 및 인증 프로세스(안) 도출

2단계 1차 연도 수행 계획 및 실적

03 훈련 시나리오 타당성 검증 및 격납건물 비정상 사례 분석(방보원 공동)

연구 수행 계획

비정상 사고 대비 훈련, 사고 관리모듈 설계 지원

- 국내 원전사고 대비 훈련 시나리오 타당성 검증
 - 국내외 원전별 사고 대처 및 대응을 위한 훈련 절차, 시나리오 조사 및 분석
 - 분석 대상: 한국 포함 미국, 일본, 프랑스
- 원전 격납건물 내 비정상/사고 사례수집 및 분석
 - 국내외 원전 격납건물 내에서 발생한 비정상/ 사고 사례 조사 및 분석
 - IAEA INES 등급으로 분류된 고장/사고 대상
 - 주요 고장/사고 사례의 그룹화 및 원인 분석



연구 수행 실적

훈련 시나리오 현황과 비정상 사고 사례 분석

- 국내 원전사고 대비 훈련 시나리오 타당성 검증
 - 국내외 사고 대응 훈련 시나리오 유형 분석
 - SBO, LOCA, 자연재해(복합), 화재/침수, 기타 설비고장
 - 국가별 시나리오 현실성 및 복잡성 비교
 - 국가별 훈련 프로그램 특성 분석
 - 공통요소: 중대사고 대응, 비상조직 운영, 주민보호조치 연계 등
- 원전 격납건물 내 비정상/사고 사례수집 및 분석
 - 80년~24년 사이 발생한 INES 등급 사고: **185건**
 - 이 중 4등급 이상은 25건
 - 비정상/사고의 사고 유형을 그룹화: 총 **5개** 그룹
 - 기계적 결함, 인적 오류, 외부사건, 소프트웨어, 기타
 - 사고 발생 원인 그룹화: 총 **5개** 그룹
 - 유지보수 오류, 설계결함, 운영절차 미준수 등
 - 사고유형별 사고발생원인의 연계성 분석

(역무 1) 대표 고 피폭 작업 시나리오 개발

1) 2단계 시나리오 개발 계획

○ 2단계 작업 시나리오 계획 논의 및 확정

- 한전KPS 전문가 및 관련 공동참여기관 협의에 따라 25년에 4개, 26년 2개 시나리오 개발 확정
→ 25년: 원자로 분해, 원자로 조립, LANCING, FOSAR(Lancing, FOSAR 작업은 연계작업으로 일괄 개발)
- 개발 지원 전문가 및 개발일정
- 훈련 대상 및 시나리오 개발 깊이의 차등 적용 검토 (대학생&신입수준, 현장전문가 수준 등)
- 실증사업을 준비할경우 과제가 대상으로 하는 원전 모델과 실증 사업 대상 모델의 차이가 발생하여 선택 필요 (원자로 분해, 조립 작업의 경우 OPR과 ARP 모두 개발)
- 주기적으로 시나리오 개발 관련 기관이 참석하는 작업 시나리오 개발 진도점검회의 개최(매월 1회 이상)

○ 현장전문가 풀 확대

- 한전KPS 등의 현장 전문가의 일정 예측이 어려워 시나리오 개발 및 검토를 위한 현장 전문가 Poo 확대 추진
- 원전 작업이 쉽게 변하기 않음을 감안하여 현직자 외에 퇴직자(임금피크제 등) 등의 전문가 추가 섭외(한전KPS 구교웅 처장)



2.3 4차년도 연구성과

2) 작업 시나리오 개발 현황(총괄표)

■ : 개발완료 ■ : 2차 연도 개발 예정

구 분	코드	시나리오 개발 작업명	세부작업명	개발현황	향후 계획	비고
원자로 분해/ 조립	원자로 분해/ 조립 (Stud 중심)	원자로 분해	Stud Bolt De-tensioning	개발 완료 (KARP)	OH 현장 견학을 통한 교차 검증 완료	기술보고서 작성 중
			원자로용기 Stud Bolt 분해			
			Guide Stud 설치			
			Stud Hole Plug 설치			
		Stud 청소 및 점검	Stud Hole 청소 및 점검	개발 완료(KARP)	개발 완료	
			Stud 청소 및 점검			
		원자로 조립	Stud Hole Plug 제거	개발 완료 (KARP)	OH 현장 견학을 통한 교차 검증 완료	
			Guide Stud 제거			
			Stud Bolt Turn-In			
			Stud Bolt Tensioning			
원자로헤드 관통과 검사 작업 (핵계측계통)	2차 연도 개발 예정	자료 조사 중 (KARP)	사전 개발 준비 중			
증기 발생기	증기 발생기	1차측 Man Way	맨웨이 개방	새빛이엔이		기술보고서 작성 중
			맨웨이 점검			
			맨웨이 조립			
			맨웨이 최종점검(누설검사)			
		Nozzle Dam	작업전 노즐댐 장비 점검	새빛이엔이		
			노즐댐 설치			
			노즐댐 제거			
		FOSAR	Pre-FOSAR	개발 완료 (KARP)	OH 현장 견학을 통한 교차 검증 완 료	
			POST-FOSAR			
		Lancing	Lancing	개발 완료 (KARP)		
		ECT	새빛이엔이 개발중			
		전열관 정비 작업(플러징 등)	2차 연도 개발 예정	자료 조사 중 (KARP)	사전 개발 준비 중	

3) 시나리오 개발 방법론

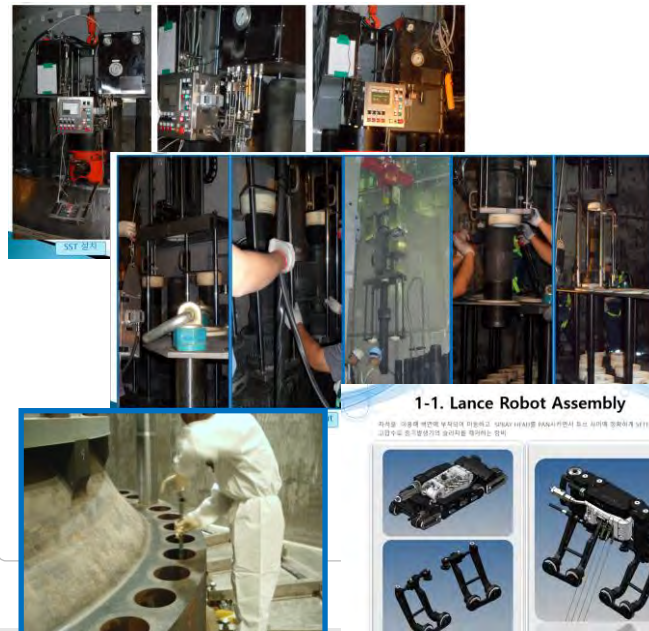
01 문서 기반 시나리오 초안 개발

- 현장 문서를 기반으로 작업 절차 작성
 - 현장에서 사용되는 작업 관련 문서를 기반으로 작업 순서 정리
 - ex) 현장 절차서, 작업 분석 논문 등
- 현장 구현을 위한 정보 조사
 - 현장에서 사용되는 작업 관련 문서를 기반으로 작업 순서 정리
 - 현장 절차서, 최종안전성분석 보고서, 작업 분석 논문, 주요 기기 제작사 소개 자료
 - APR1400 Standard Design Certification Application Design Control Document



02 현장 전문가 검토

- 작업 시나리오 초안에 대한 현장 전문가의 집중 검토
 - 한전KPS 등 현장 전문가 작업 시나리오를 집중 검토
 - VR 구현을 위한 현장 정보 전달
- 검토 전문가(한전KPS)
 - 원자로 분해, 조립: 나종일 과장(5월)
 - Lancing 등: 김철호 팀장(5월)



03 최종 수정 및 교차 검증

- 시나리오 수정/보완
 - 추가 자료 조사를 통한 형상정보 수집
 - 한전KPS 현장 방문 및 전문가 면담을 통한 시나리오(콘티) 보완
 - 실제 작업현장의 작업 수행 견학을 통한 시나리오 개선 예정(9월 중)
- 제3자 시나리오 검증
 - 전문가 위원회를 통해 구축된 시나리오를 검토하여 검증
 - 하반기 중 위원회 개최 예정
- 기술개발보고서 작성 예정
 - 25년 개발 시나리오 및 콘티, VR 개발을 엮어 종합적인 기술보고서 작성 예정
 - 관련 내용을 정리해 논문 투고

2.3 4차년도 연구성과

4-1) 원자로 분해/조립 작업 시나리오(2종)

1단계 개발 부분

(a) 원자로 분해	
절차서 순서	세부 작업 절차
1~9	Equipment Hatch open 등(동영상 대체)
10	Stud Bolt De-tensioning
11	원자로용기 Stud Bolt 분해(Turn Out)
12	MI Cable Tray 제거 및 Holding Frame 설치 (동영상 대체)
13	Guide Stud 설치
14	Stud Hole Plug 설치
15~22	Refueling Pool Blind Flange 설치 등 (동영상 대체)

(b-1) Stud Hole 청소 및 점검	
절차서 순서	세부 작업 절차
1	노심 보호 두껍 설치
2	원자로 용기 가이드 스티드 제거
3	스티드 홀 플러그 제거
4	스티드 홀 청소
(청소 방식에 따른 스테이지 분할)	
자동화 로봇 활용시	수동 청소시
로봇 설치 및 가동 절차	핸드 드릴, 휠 브러쉬 사용 절차
5	원자로 용기 스티드 홀 점검
6	원자로 용기 가이드 스티드 설치
7	원자로 보호 두껍 제거
(b-2) Stud (Bolt) 청소	
자동 청소 및 검사	수동 청소 및 검사
설치 및 가동 절차	운반 및 청소, 검사 절차

(c) 원자로 조립	
절차서 순서	세부 작업 절차
1~4	CSB안착, UGS 안착 등(동영상 대체)
5	Stud Hole Plug 제거
6	Guide Stud 제거
7	Stud Bolt Turn-In
8	Stud Bolt Tensioning
9~21	Holding Frame 제거 및 MI Cable Tray 설치 등 (동영상 대체)



2.3 4차년도 연구성과

4-1) 원자로 분해/조립 작업 시나리오(2종)

작업명	세부작업	작업명칭	작업 순서
Stud Bolt De-tensioning	초기조건	작업준비	작업 검토
			작업 준비
	EHU Data 삭제 및 입력	전원 연결	전원 연결
		데이터 삭제 및 입력	데이터 초기 설정
	Stud Bolt 초기 신장값 측정 및 입력 절차	신장값 입력	초기값 입력
	원자로용기 스티드 볼트 이완	자동 이완	자동(1차) PASS 1
			자동(2차) PASS 2
			자동(3차) PASS 3
		수동 이완	수동(1차)
			수동(2차)
원자로용기 Stud Bolt 분해(Turn Out)	초기조건	초기조건	초기조건
	Stud Bolt Trun Out	Bolt 분해	Turn out
	Stud 저장 Rack에 Stud Bolt 저장 작업	Bolt 저장	작업 전 확인사항
			Bolt 저장
			고착 Bolt 제거 작업
Guide Stud 설치	초기조건	초기조건	초기조건
	Guide Stud 설치	가이드 설치	가이드 설치
Stud Hole Plug 설치	초기조건	초기조건	초기조건
	Stud Hole Plug 설치	플러그 설치	플러그 설치

Stud 볼트 이완 PASS 작업 세부 내역

5.1

1	푸시버튼 "Pass 1"을 누름	1. 버튼에 램프가 점등된다. 2. EHU 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Move Tensioner/Install Gauge"가 느리게 감박인다.
2	푸시버튼 "Move Tensioner/Install Gauge"를 누름	1. 버튼이 빠르게 감박인다. 2. SST 1, 2, 3의 컨트롤 패널의 화면에 "Move Tensioner to Position", "Install Gauge"가 나타난다. 3. 각 SST에 푸시버튼 "Acknowledge"가 감박인다.
3	SST 조작자는 화면상에 지정된 스터드 위치로 SST를 옮기고, 다이얼 게이지를 설치	
4	게이지 설치가 끝나면 SST의 푸시버튼 "Acknowledge"를 누름	1. SST 버튼에 램프가 계속 점등된다. 2. EHU 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Move Tensioner/Install Gauge"는 계속 점등 된다. 3. 푸시버튼 "Centering"이 천천히 감박인다.
5	EHU 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Centering"을 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이다, 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Close Chuck"이 느리게 감박인다.
6	푸시버튼 "Close Chuck"을 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이며, 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Pressure Build Up"이 느리게 감박인다.
7	푸시버튼 "Pressure Build Up"을 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이다, 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Loosen RPV Nut"가 느리게 감박인다.
8	푸시버튼 "Loosen RPV Nut"를 누름	1. 푸시버튼 "Loosen RPV Nut"가 빠르게 감박인다. 2. SST 1, 2, 3의 컨트롤 패널의 화면에 "Loosen RPV Nut..."가 나타난다. 3. SST 1, 2, 3의 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Acknowledge"이 감박인다.
9	RPV Nut를 푼다.	1. Manual Operation 압력값을 목표 압력값보다 50 bar 높게 변경하여 "Pressure Build Up" 버튼을 클릭하여 재신장한다. 단, 최대 100 bar를 넘지 않도록 주의한다. 2. 각 스텝별 RPV Nut을 풀때 핸들을 90°씩 10회(두바퀴반) 왼쪽으로 돌린다. 스터드별 정확하게 준수되어야 한다.
10	RPV Nut를 푼 후, SST1, 2, 3의 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Acknowledge"를 누름	1. 버튼은 계속 점등된다. 2. EHU 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Loosen RPV Nut"가 계속 점등된다. 3. 푸시버튼 "Pressure Release"가 느리게 감박인다.
11	푸시버튼 "Pressure Release"를 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이다, 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Pressure Build Up"이 느리게 감박인다.
12	푸시버튼 "Pressure Build Up"을 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이다, 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Take Max, Meas."가 느리게 감박인다.
13	푸시버튼 "Take Max, Meas."을 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이다, 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Tighten RPV Nut"가 느리게 감박인다.
14	푸시버튼 "Tighten RPV Nut"를 누름	1. 푸시버튼 "Tighten RPV Nut"가 빠르게 감박인다. 2. SST 1, 2, 3의 컨트롤 패널의 화면에 "Tighten RPV Nut..."가 나타난다. 3. SST 1, 2, 3의 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Acknowledge"가 감박인다.
15	RPV Nut를 체결	각 스텝별 RPV Nut을 체결할 때, 핸들이 돌지 않을 때 까지 오른쪽으로 돌린다.
16	RPV Nut를 체결 후 SST1, 2, 3의 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Acknowledge"를 누름	1. 각 SST의 "Acknowledge" 버튼은 계속 점등된다. 2. EHU 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Tighten RPV Nut"가 계속 점등된다. 3. 푸시버튼 "Pressure Release"가 느리게 감박인다.
17	푸시버튼 "Pressure Release"를 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이다 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Take Res. Meas."가 느리게 감박인다.
18	푸시버튼 "Take Res. Meas."를 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이다 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Piston Return"이 느리게 감박인다
19	푸시버튼 "Piston Return"을 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이다 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Open Chuck"이 느리게 감박인다.
20	푸시버튼 "Open Chuck"을 누름	1. 동작 중에 버튼의 램프는 빠르게 감박이다 동작이 완료되면 계속 점등된다. 2. 푸시버튼 "Remove Gauge"가 느리게 감박인다.
21	푸시버튼 "Remove Gauge"를 누름	1. 버튼이 빠르게 감박인다. 2. SST 1, 2, 3의 컨트롤 패널의 화면상에 "Remove Gauge..."가 나타난다. 푸시버튼 "Acknowledge"가 감박이기 시작한다.
22	SST 조작자는 게이지를 제거한다	
23	다이얼 게이지를 제거 후, SST 1, 2, 3의 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Acknowledge"를 누름	EHU 컨트롤 패널의 푸시버튼 "Remove Gauge"가 계속 점등된다.

4-1) 원자로 분해/조립 작업 시나리오(2종)

작업명	세부작업	작업명칭	작업 순서
Stud Hole Plug 제거	초기조건	작업준비	초기조건
	플러그 제거	플러그 제거	플러그 제거
원자로용기 안내스터드 (Re Vessel Guide Stud) 제거	초기조건	작업준비	초기조건
	가이드 제거	가이드 제거	가이드 제거
Stud Bolt Turn-In(스터드 볼트 삽입)	초기조건	작업준비	초기조건
	Turn IN 작업	Turn In	작업 절차 검토
			Stud Bolt 이동 (Stud Bolt 저장랙 → IHA)
			Stud Bolt Turn In
Stud Bolt Tensioning (스터드볼트 신장 절차)	초기조건	작업준비	초기조건
	볼트 텐서닝	Tensioning	작업 절차 검토
			MCU의 Data 삭제 및 입력 절차
			Stud Bolt 영점 신장값 측정 및 입력 절차
		스터드 볼트 신장(자동)	자동 PASS(1차)
			자동PASS(2차)
			자동PASS(3차)
		스터드 볼트 신장(수동)	잔류 신장값 측정 수동(1차 및 2차)

4-2) S/G 랜싱, FOSAR 작업(2종)

(a) 작업준비	
순서	세부 작업 절차
1	장비 점검
2	모의 훈련
3	모의훈련 결과 평가 및 장비반입



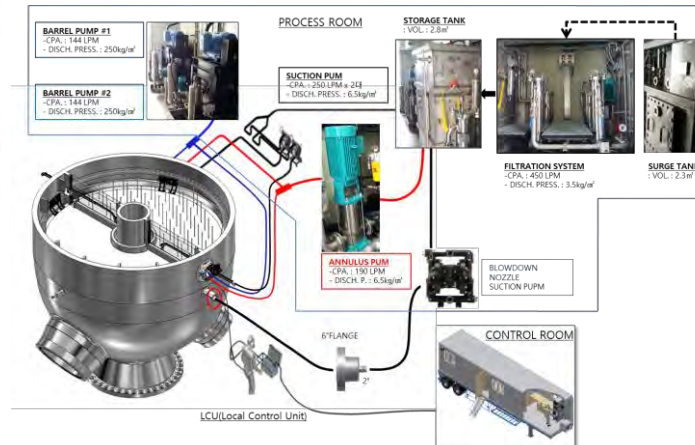
(b) pre-FOSAR	
순서	세부 작업 절차
1	핸드홀 주변 장비 설치 및 준비
2	FOSAR 수행



(c) Lancing 작업	
순서	세부 작업 절차
1	Lancing 장비 설치
2	Lancing 장치 라인업
3	Lancing 수행 - RCU 운전
4	Lancing 수행 - Sludge Process system 운전
5	Lancing 수행 - Lancing 자동세정 및 운전
6	Lancing 수행 - sludge Filter 교체 및 sludge 무게 측정
7	Lancing 장치 철거



(d) Post-FOSAR	
순서	세부 작업 절차
1	핸드홀 주변 장비 설치 및 준비
2	FOSAR 수행
3	장비 반출 및 점검
4	최종보고서 작성 및 제출



4-2) S/G 랜싱, FOSAR 작업(2종)

작업명	세부 작업	작업 절차
증기발생기 2차측 침적물 제거(Lacning)	초기 조건	작업 시작전 초기 조건 확인
	장비 구성 확인	작업 수행 전 제거 장비 확인
	Process Room 점검 및 작업 준비	Pump 점검
		Filter Skid 의 상태 점검
		Surge Tank 및 Storage Tank 점검
		Process Control Console 점검
	작업 준비	Process System 작업 준비
		Control System 동작 확인
		Control System 초기 운전
	Lance 작업 수행	Lance Robot 설치 및 운영
		Lance Robot Assembly 초기 설정
		제어 프로그램 설정 및 Lance Robot 원격 운전
		Process System 운전 절차
		Lance Robot 및 Handhole 장비 제거
	작업 종료	Filter 제거와 슬러지 무게 측정
		수행 후 최종 확인
		Tube 표면 육안검사
		자료 관리 및 이물질 유입방지

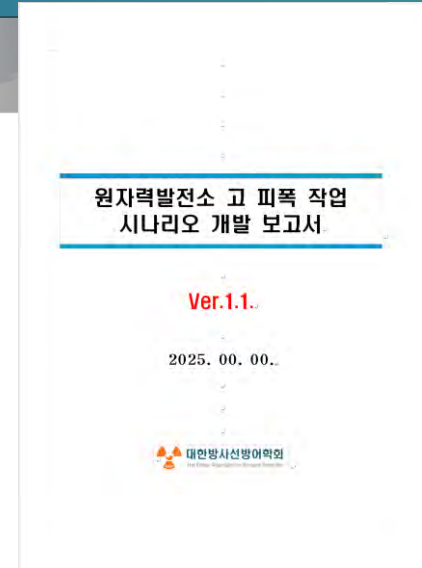
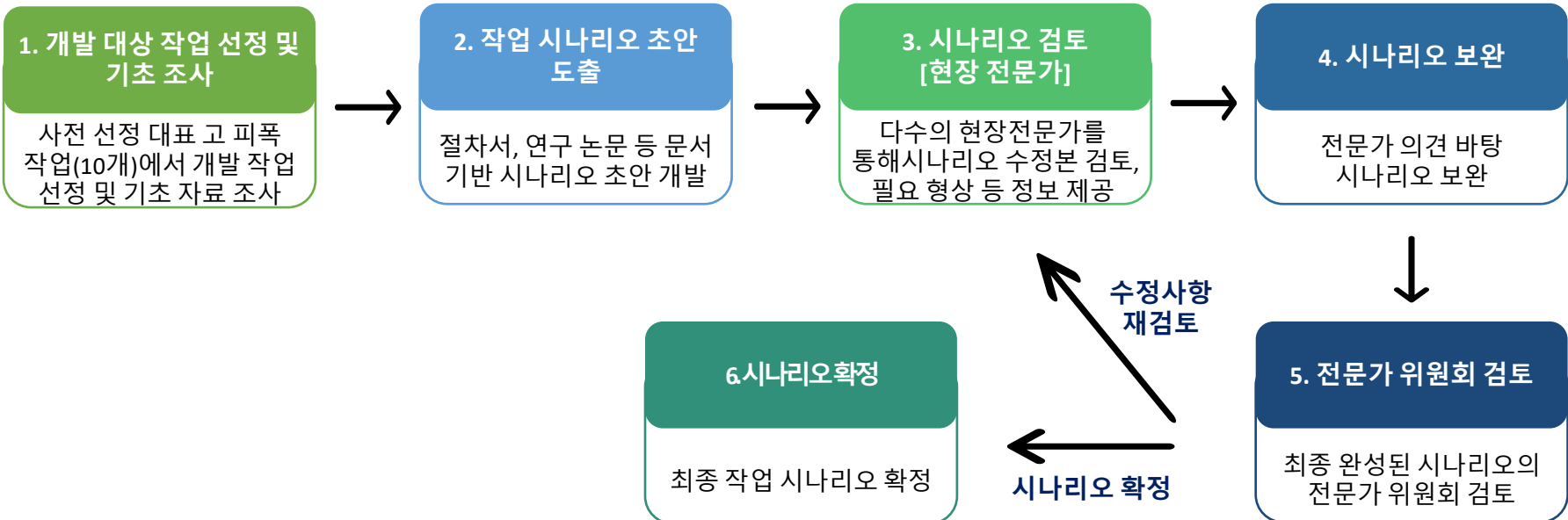
2.3 4차년도 연구성과

4-2) S/G 랜싱, FOSAR 작업(2종)

작업명	세부 작업	작업 절차
증기발생기 2차측 FOSAR	작업 시작 전 초기 조건	모의(Mock-up) 훈련
		현장 조건
		사용 장비 안내
	작업 수행 전 장비 성능 평가	성능 평가 절차 안내
		분해능 검증 및 조도 측정
		색채 점검
	장비 설치	장비설치
	Lancing 수행 전 이물질 검사(Pre-FOSAR)	작업 수행전 안내 사항
		환형공간부(Annulus) 검사
		중앙통로부(Blowdown-Lane) 검사
	Lancing 수행 후 이물질 검사(Post-FOSAR)	환형공간부(Annulus) 검사
		중앙통로부(Blowdown-Lane) 검사
		PLP 신호 구역 검사
	튜브 표면 검사	튜브 표면 검사 안내
		환형공간부 최외곽 튜브 표면 검사
		중앙통로부 최외곽 튜브 표면 검사
	이물질 제거(이물질 발견 시 제거 방법)	이물질제거
	증기발생기 Patch Plate 검사	90° Handhole Hot-Leg Patch Plate 검사
		270° Handhole Cold-Leg Patch Plate 검사
	작업 수행 후 장비 성능 측정	안내
		분해능 검증 및 조도 측정
		색채 점검
	이물질 관리	발견된 이물질의 관리
		제거된 이물질의 관리
	최종확인	현장확인
		자료 관리 및 이물질 유입 방지

5) 시나리오 검토 및 검증

- 작업 시나리오 개발 기술보고서 작성
 - 25년 시나리오 개발 작업 내용을 정리하여 기술보고서 작성 중 (10.20. 완성 예정)
- 시나리오 검토 위원회 운영 및 결과 보고서 도출
 - 11월 초 기술자문 형태로 5인 내외 제3자 전문가에서 서면 검토 예정



6) 시나리오 현장 검증

- 실제 고 피폭 작업이 수행된 원전 현장 견학을 통한 작업 비교 분석
 - 개발된 시나리오와 실제 작업 현장의 작업 프로세스를 비교 분석하여 시나리오 적정성 검토 및 보완
 - 현장 정보, 인력 구성 및 운영, 위치 등을 수정 보완
- 신한울 1발 OH 현장 방문 일자: 09.01.~02., 09.11.~12., 09.22.~23.
 - 3회 이상 방문하여, 원자로 헤드 개방, S/G 맨웨이 오픈, ECT 작업 등 다양한 작업별 현장 견학
 - 작업별 수행 절차, 인원 구성 및 동선, 장비 구성 및 위치 등 파악



증기발생기

ECT
장비

고준위 지역
신발 교체



증기발생기

ECT
장비

고준위 지역
신발 교체

출입구

벽

출입구

(세부역무 2) 제품성능평가 시험인증체계 구축 지원

1) 국내 제품인증제도 요건 분석

○ 국내 제품인증체계 현황 분석

- 국제표준(ISO/IEC)기반으로 운영되는 국내의 인정기관 및 적합성평가기관, 인증제도를 조사 및 분석
- 인정기관: 국제기준(ISO/IEC 17011)에 따라 시험, 교정, 제품인증기관 등의 자격과 역량을 평가하여 공인하는 역할 수행, 한국인정기구(KOLAS)가 대표적 기관
- 적합성평가기관: KOLAS로 부터 인정을 받은 기관으로 제품, 서비스, 시스템 등이 요구된 기준을 충족하는지를 실증하고 인증하는 업무를 수행, 제품인증기관, 시험기관, 검교정 기관등이 존재
- 한국산업표준(KS) 인증절차: 신청 → 공장/사업장 심사 or 제품 심사 → 인증위원회 심의 → 인증서 발급 및 사후관리

○ 방사선제품 인증 도입을 위한 벤치마킹 방안 도출

- 국내에는 방사선 기기에 특화된 독립적인 **공인 제품인증체계가 부재함**
 - 수출 경쟁력 확보에 제약 및 제품 품질관리 등에서 제약 발생 중
- 방사선제품 인증체계 구축 방안
 - KOLAS 공인제품인증기관 인정분야(국가기술표준원 고시)의 제조업(03) 분류내 방사선기기 제조업 중분류 신설
 - IEC 60846-1 등의 국제 표준을 기반으로 [공장심사+제품심사+사후관리] 모델의 공식 인증절차 개발
 - 특정 전문 방사선 제품을 대한 단체표준을 우선 개발 후 국제 표준으로 확대하는 단계적 인증절차 개발

1) 국내 제품인증제도 요건 분석

○ 국내 제품인증체계 도입을 위한 국내 방사선제품 분석

- 국내에서 유통/활용되는 다양한 방사선 제품/ 장비 현황 조사

- 계측 및 안전관리: **서베이미터**, 개인선량계, 오염검사기, 환경방사선감시기, 방사선영상장비 등
- 의료 분야: 진단용 X-ray, CT, 방사선 치료기, 핵의학 장비 등
- 산업 및 연구분야: 비파괴검사(NDT), 방사선 조사시설(멸균, 식품), 두께/밀도 측정기 등

○ 인증체계 우선 도입이 필요한 방사선제품 선정: 서베이미터(SPRD 인증 포함)

○ 서베이미터 선정 사유

(1) 안전관리의 핵심 및 기초 장비

- 작업자 피폭 예방, 오염 확인 등 방사선안전관리체계의 기본으로 사용되는 **핵심 장비**
- 장비의 측정 정확도와 신뢰성이 작업자의 **안전성**과 규제 정책의 **신뢰성**과 직결

(2) 법적 의무사용 및 광범위한 활용성

- 원자력안전법에 따라 방사선 이용시설에서 반드시 구비해야하는 **법적 필수 장비**
- 원자력 발전, 산업, 연구, 의료, 환경 등의 방사선을 이용하는 모든 현장에서 기본 안전장비로 활용 중

(3) 제도적 공백 및 국제 경쟁력 확보의 시급성

- 법적 의무 보유에도 불구하고, **제품의 성능을 객관적으로 보증하고 입증할 독립적인 제3자 제품인증체계가 부재한 상황**
- 국제표준에 부합하는 서베이미터 인증체계 구축으로 국내 생산 제품의 **품질 경쟁력**을 높이고 **국제적 신뢰도** 확보 필요

2-1) 서베이미터 인증 절차 및 요건 분석

○ 서베이미터 성능 검증을 위한 국내 제품인증 제도 요건 분석

- 서베이미터 정의 및 분류

제품 유형	측정 대상 및 용도	주요 검출 방식	특징
방사선량률 측정기 (휴대용 공간선량계)	주변 방사선량률(γ 선, x선 등) 측정 - 작업장, 환경 방사선 감시용	전리함, GM 계수관, 섬광검출기, 반도체	광범위한 선량률 측정, 실시간 표시 (전리함: 높은 선량률 정밀, GM: 저준위 감도 우수)
표면오염 측정기 (방사능오염 모니터)	표면에 부착된 방사성 물질의 오염도 측정 - α , β 오염 검사용	얇은 창 GM 계수관, 비례계수관, 섬 광검출기	접촉식으로 국지적인 오염 확인 (α/β 에 민감, 단위 Bq/cm ² 로 표시)
개 인 피 폭 선 량 계 (참고: 개인 선량계)	작업자 개인의 누적 피폭선량 측정. - 옷에 부착하여 착용 (Hp(10) 등)	반도체 검출기, GM 또는 실리콘 다이오드 등	착용형 전자식 계측기, 실시간 선량 표시/경보(개별기준 IEC 61526 적용)

○ 서베이미터 인증관련 국내외 제도 및 법적 요건 분석

- 원자력안전법: 법에 따라 사업장 내 서베이미터 필수 구비 및 주기적 교정(6개월~1년) 의무
- 산업통상자원부(KLOAS): 국제표준(ISO/IEC 17025)에 기반한 공인 교정/시험기관 인정 제도를 운영하여 측정의 신뢰성 및 국제 상호인정 확보 중
- 국제표준: 성능평가 주요 기준으로 ISO/IEC 60846-1(선량률계), ISO/IEC 60325(오염계) 등이 존재하며 해당 표준을 국내 KS표준으로 채택하여 적용 중

○ 현황 분석을 통한 시사점

- 법적 보유 및 교정 의무 등을 존재하나, 국제적 수준의 독립적인 제3자 제품 '인증' 체계는 부재하여 성능 신뢰성의 국제적 확보 필요

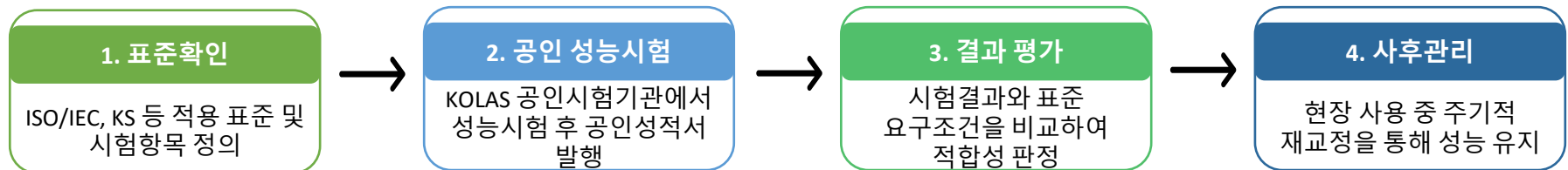
2-2) 서베이미터 성능지표 및 검증 절차

○ 서베이미터 성능 검증에 적용되는 표준 및 시험 규격

문서 번호	문서명
ISO/IEC 60846-1	방사선 방호용 계측기 – β, x 및 γ 방사선 주변/방향 선량당량(률)계
ISO/IEC 61526	방사선 방호 계측-개인 선량당량 측정($H_p(10)$, $H_p(0.07)$)용 직독식 개인선량계
ISO/IEC 61005	방사선 방호용 계측기 – 중성자 주변 선량당량률계
ISO/IEC 60325	방사선 방호용 계측기 – α, β 표면오염 측정기
ANSI N24 시리즈(미국) 등	ANSI N42.17A(휴대용 방사선검출기) 등 미국표준 및 기타 국제 표준 ISO 4037, ISO 8769 등 적용

○ 국내 성능 검증 절차 흐름 도출

- 국내 유사 분야 등에서 수행되는 성능 검증 절차 분석



○ 성능 시험 항목 8개 및 항목별 평가 예시, 서베이미터 성능검증 절차 6개와 주요 내용 도출

○ 서베이미터 제품인증을 위한 핵심 성능지표 및 시험환경 조건 도출

3) 품질경영시스템(QMS) 구축

- 방사선 제품 인증을 위한 인증기관의 품질경영시스템(QMS) 구축 방안 도출
- QMS 4단계 운영 계획(안)(PDCA Cycle) 도출

단계	주요 내용
1. 진단 및 계획 단계 Plan	현행 시스템의 갭 분석, 품질 목표 및 QMS 구축 계획 수립
2. 문서 구축(시스템 구축) DO	품질 매뉴얼, 인증 절차서, 지침서 등 표준화된 문서 체계 설계
3. 이행 단계 Check	구축된 QMS에 따라 실제 인증 업무 수행, 직원 교육 및 품질기록 관리
4. 개선 단계 Act	정기 내부감사 및 경영검토를 통해 시스템의 효과성을 평가하고, 발견된 문제에 대한 시정 조치로 지속적 개선

- 품질문서 설계 항목별 세부 명시 사항 정리
 - QMS 품질문서 작성을 위한 항목별 구성과 세부 명시 사항 도출

3) 품질경영시스템(QMS) 구축

◦ 제품 인증기관의 조직 구조도 도출

- 품질경영시스템의 요구에 따라 관리 기능과 인증 기능을 명확히 분리하고, 공정성 보장을 위한 독립된 위원회를 포함하는 구성
- 조직 구조도 예시

조직명	주요 활동 및 역할
1. 최고경영자	조직 전체의 QMS 운영에 대한 최종 책임, 품질 방침 수립 및 자원 제공, 공정성 보장 감독
2. 인증위원회	인증 심의 및 최종 결정 기구, 평가 결과 검토 및 인증여부를 독립적으로 결정
3. 공정성위원회	인증기관의 공정성 감시를 위한 독립 기구
4. 품질책임자	QMS의 유지관리 및 내부품질감사 주관
5. 기술책임자 또는 인증책임자	제품 시험 및 평가에 대한 기술적 총괄 책임자로 시험 역량 관리 및 평가 결과의 정확성 보증
6. 인증실무 부서	인증업무를 수행하는 부서로 평가팀, 심사팀으로 구성
7. 행정지원 부서	품질문서와 기록관리, 인증서 발급 행정, 고개 문의 등을 담당

3) 품질경영시스템(QMS) 구축

◦ 제품 인증프로세스 도출

- 방사선 제품 인증을 위한 단계별 프로세스를 도출하였으며, 프로세스는 절차서에 정의된 순서로 진행되며, 단계별 입력과 출력(산출물)을 명확히 정의
- 제품 인증 프로세스

인증 단계	주요 활동 및 내용
1. 신청 및 접수	제품 인증 신청서 및 관련 기술문서 제출, 인증기관 서류 접수 후 기록
2. 신청 검토	인증 수행 역량 및 제출자료 완비 여부 확인, 인증 계획 수립, 필요한 경우 추가 보완
3. 제품 평가 및 시험	평가팀이 신청 기기의 성능시험 및 심사 수행, 필요시 생산공정에 대한 공장심사나 기술능력 평가 병행, 평가 결과는 모두 기록하고 시험성적서 또는 평가보고서 작성
4. 인증 심의 및 결정	인증위원회가 평가 결과를 검토하여 인증 승인/거절 결정
5. 인증서 발생	인증 결정에 따라 인증서 발행 및 인증제품 목록 공포
6. 사후관리	인증 유지를 위한 정기 심사 또는 제품 시험 실시

(세부역무 3) 국내 원전사고 대비 훈련 시나리오 타당성 분석(방보원 협력)

1) 국내외 훈련 사례 조사 및 분석

- 원전 중대사고 시뮬레이션 조사(05.27., 미래와도전)
 - 해외에서 개발된 PCTran 시스템 현황 조사(방보원 동행), 중대사고 훈련 시나리오 개발, 대응 시스템 개발시 활용 방안 논의 등
- 발전사업자외 방사선 사고 대비 훈련 시나리오 조사
 - 식약처 등 국내 주요 기관별 원전 사고 대비 훈련 시나리오 조사
- 국내외 사고 시나리오 유형 분석
 - 국내외 주요 원전 사용 국가에서 제작한 사고 시나리오를 분석하여 시나리오 유형을 분류

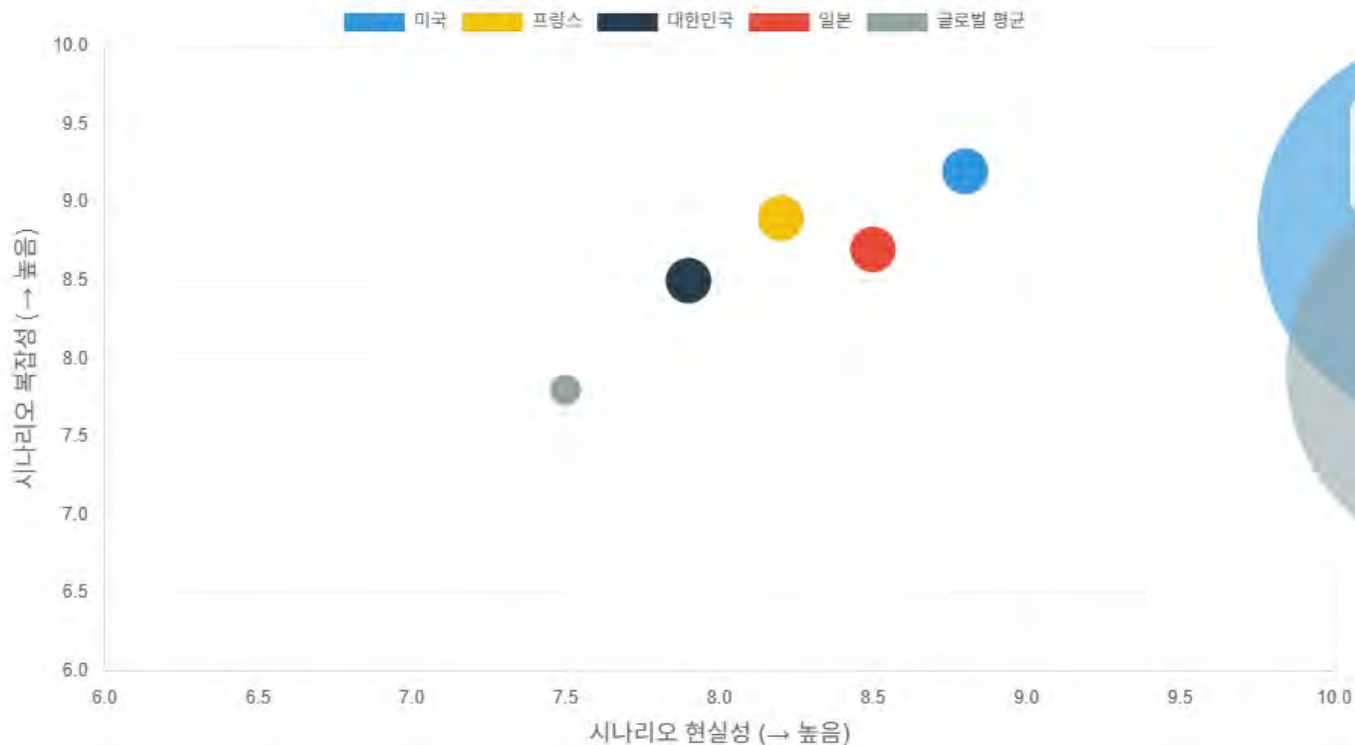
시나리오 유형	한국	미국	일본	프랑스
대규모 지진/해일	높음	중간	높음	중간
전원 완전 상실(SBO)	높음	높음	높음	높음
다수 호기 동시 사고	높음	중간	높음	중간
적대적 행위/안보 위협	중간	의무	낮음	중간
중대사고(노심 손상)	높음	높음	높음	높음
국가 대응 부대 통합	해당 없음	해당 없음	해당 없음	높음

1) 국내외 훈련 사례 조사 및 분석

○ 원전 사고 시나리오의 현실성 및 복잡성 비교

- 국내외에서 개발 및 활용 중인 원전 사고 시나리오를 AI를 통해 분석하여 시나리오의 현실성과 복잡성을 분석
- 시나리오의 현실성은 실제 사고와 얼마나 유사한지를, 복잡성은 다중 고장 및 외부 사건 연계 등 시나리오의 다층적 구조를 의미

○ 국가별 원전 사고대응 훈련 프로그램 특성 비교



(세부역무4) 원전 격납건물 내 비정상/사고 사례 수집 및 분석(방보원 협력)

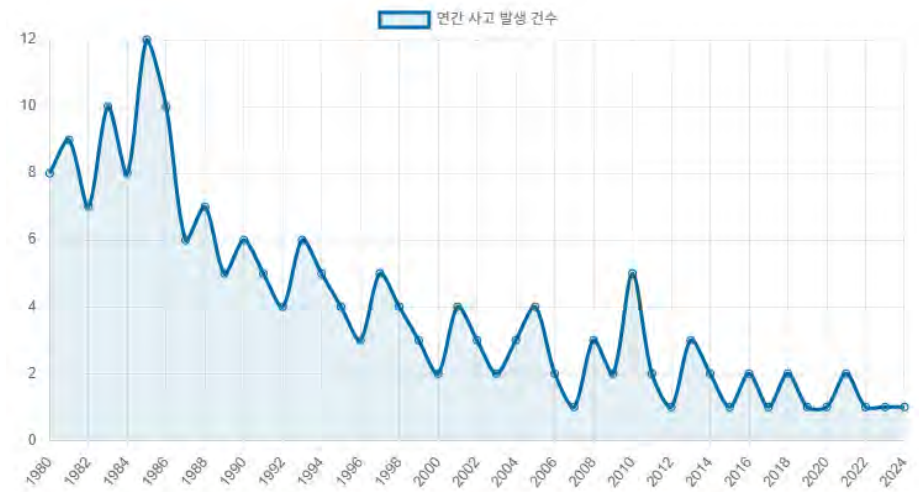
1) 국내외 격납건물내 사고 현황 조사 및 분석

○ 국내외 고장 및 사고 현황(1980년 ~2024년)

- 국내외에서 발생한 비정상 사례 총 185건을 고장(INES 0~3)과 사고(INES 4~7)로 분류
- 사고 유형을 총 5개로 그룹화
- 기타: 복합적 원인, 화학적/물리적 원인, 조직/시스템적 결함
- 알수없음: 데이터 소실, 조사 미완료 or 정보부족, 원인 규명 불가
- 기계적 결함과 인적오류가 전체 사고 유형의 70%를 차지함
- 물리적인 설비의 신뢰성 확보가 원전 안전의 가장 중요한 과제임을 나타냄

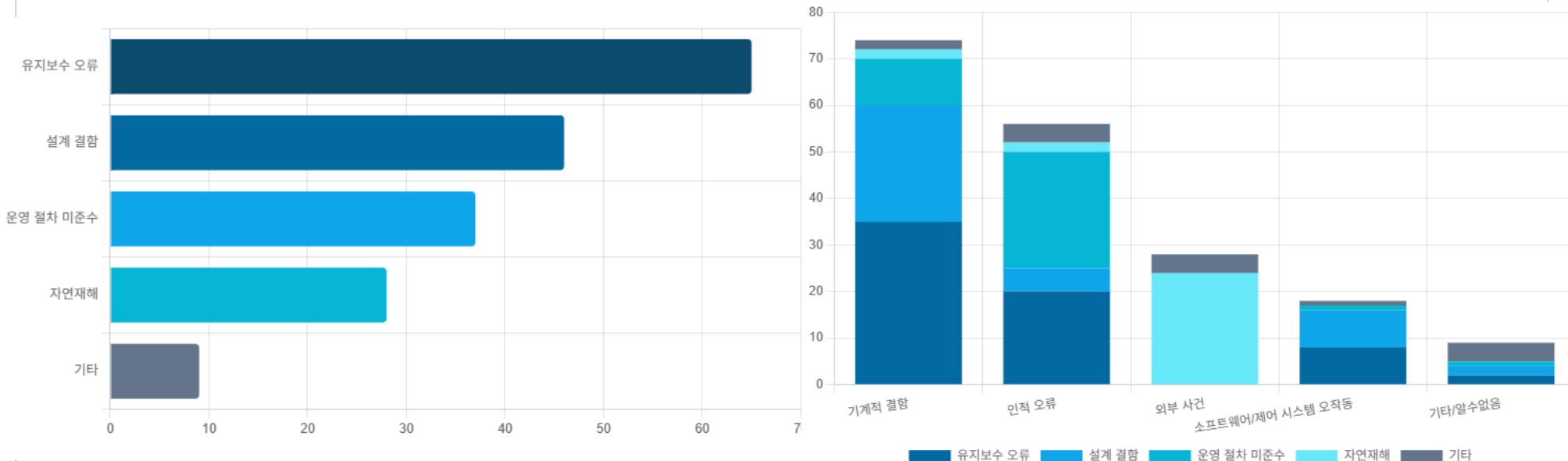
사고 유형	고장	사고	총계
기계적 결함	65	9	74
인적 오류	48	8	56
외부 사건	20	8	28
소프트웨어/제어 시스템	18	0	18
기타/알수없음	9	0	9
Total	160	25	185

분류	INES 등급	등급 설명	건수	비율 (%)
사고 (Accident)	Level 7	대형 사고 (Major accident)	2	1.1
	Level 6	심각한 사고 (Serious accident)	1	0.5
	Level 5	소외 영향 사고 (Accident with wider consequences)	3	1.6
	Level 4	소내 영향 사고 (Accident with local consequences)	19	10.3
고장 (Incident)	Level 3	심각한 이상사례 (Serious incident)	15	8.1
	Level 2	이상사례 (Incident)	45	24.3
	Level 1	경미한 이상사례 (Anomaly)	80	43.2
	Level 0	등급 이하 (Below scale)	20	10.8
총계			185	100.0



1) 국내외 격납건물내 사고 현황 조사 및 분석

- 사고의 원인 분석을 위해 사고의 표면적 결과인 '사고 유형' 과 근본적 원인인 '사고 원인' 으로 구분하여 분석 수행
- 2024년까지 보고된 고장/사건 185개의 사고원인(근본 원인)을 분석
 - 유지보수 오류, 설계결함, 운영 절차 미준수, 자연재해, 기타로 분류
 - 대부분의 원인이 유지보수 오류(35%), 설계 결함(25%), 운영절차 미준수(20%)로 **전체의 80%를 차지**하며, 이는 사고의 원인이 **인적 요소인 정비나 설계 단계의 문제에서 출발**하는 경우가 많다는 것을 의미
- 사고원인과 사고 유형을 복합 분석하여 사고 유형과 사고 원인의 연관성 분석
 - 어떤 원인이 어떤 유형의 사고로 이어지는가를 분석
 - 기계적 결함 사고는 유지보수 오류와 설계결함과 연결되며, 인적 오류 사고는 운영절차 미준수와 연결됨



1) 국내외 격납건물내 사고 현황 조사 및 분석

◦ 각 사고 원인별 특징 및 실제 사례 분석

기계적 결함

사례: 미국 Three Mile Island (1979)

가압기 방출밸브(PORV)가 기계적으로 고착되어 냉각재가 지속적으로 유출, 노심 용융으로 이어진 대표적인 복합 사고.

주요 원인: 밸브 설계 결함, 유지보수 오류

인적 오류

사례: 우크라이나 Chernobyl (1986)

안전 규정과 절차를 무시한 시험 강행 중, 운전원이 안전 설비를 임의로 차단하여 제어 불능의 폭주와 격납건물 붕괴를 유발.

주요 원인: 운영 절차 미준수, 안전 문화 부재

외부 사건

사례: 일본 Fukushima Daiichi (2011)

설계 기준을 초과하는 지진과 쓰나미로 완전 정전(SBO)이 발생, 냉각 기능 마비로 노심 용융 및 수소 폭발 발생.

주요 원인: 설계 기준 초과 자연재해

소프트웨어/제어 시스템

사례: 스웨덴 Forsmark (2006)

전기 문제 발생 시 UPS 설계 결함과 소프트웨어 로직 오류로 인해 비상 발전기 일부가 즉시 작동하지 않는 문제 발생.

주요 원인: 전기 계통 설계 결함, 제어 로직 오류

연구개발 일정 현황

개발내용		추진일정												진행률
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
국내 원전 고 피폭 작업 시나리오 개발	목표													78.8
	수행													
사고시 참조준위 설정 및 관리모듈 설계 지원	목표													78.8
	수행													
방사성제품 성능평가 시험인증 체 계 구축 지원	목표													78.8
	수행													

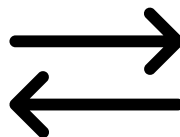
1차 연도 산출물의 기관 연계성



방사선 작업 시나리오 개발

- 대표 작업별 시나리오
- VR 훈련 프로그램 개발을 위한 기초 자료 조사 등

시나리오, 작업
자문, 요청 자료 전달 등



VR 맵 구현 자료 조사
요청 등



LIKE corporation

VR 훈련 프로그램 개발

시나리오 전달



SEABURY[®]
Solutions

Dose Sime 개발

- 대표 작업별 시나리오에 따른 작업 시뮬레이션

향후 일정

- (25년 11월 중) 기술보고서 기반 시나리오 제3자 서면 검토
 - 개발된 작업 시나리오에 대한 제3자 서면 검토 추진
- (25년 11월 ~12월) 차기 작업 시나리오 선행 개발 추진
 - 핵계측 작업, 증기발생기 세관 정비 등 작업 선행 개발 추진

2025. 10. 29.



New power, KEPCO E&C makes the new global standard

ALARA 분석·평가 프로그램 및 3D-BIM 기반 실감·몰입형 피폭선량 예측진단 통합시스템 개발 감사합니다.

주관기관

 한국전력기술

공동기관

 한국수력원자력

 SEABURY®
Solutions

 JNEXT CORE
Technology

 KEA 대한전기협회
KOREA ELECTRIC ASSOCIATION

 (주)레드코어
RAD CORE

 대한방사선방어학회
The Korean Association for Radiation Protection

 NUCARE
Think ahead & Be different.

 고려대학교
KOREA UNIVERSITY

 IAE 고등기술연구원
Institute for Advanced Engineering

 LIKE corporation