

계측제어 관련 미래 추진 연구

2021. 10. 20

한국원자력연구원

I

정부 정책 변화

II

가동원전 안전성 향상 연구

III

연구항목 소개

IV

Remarks

원자력 정책

□ 원자력진흥법에 따라 매 5년마다 원자력진흥종합계획 수립 (1997~2021 (25년))

→ 원자력기술개발사업 (과기부: 중장기연구개발사업)

□ 과기정통부 정책 (2017)

- 가동원전 안전성 향상
 - ICT 기반 사고감시 제어기술 개발
 - 원전 사고 대응을 위한 무인로봇 개발
- 4차산업 혁명 핵심기술 개발
 - Virtual reactor
 - AI 및 빅데이터 기반 자율운전 기술 개발
 - 빅데이터 기술 기반 고장감시 및 최적화 운영기술 개발
 - IoT 기술 기반 상태감시 및 예측기술 개발

□ 산업부 정책 (2017)

- 원자력발전소 안전한 건설 및 운영
 - 신고리 세계최고 원전 건설
 - 3D 및 VR 기반 사이버 원전을 활용한 설계 및 건설 오류 최소화
 - 가동원전 안전성 향상
 - 빅데이터 기술 기반 실시간 예측 및 진단 자동화 시스템
 - 효과적이고 실시간 조치가 가능한 스마트 원전
 - 로봇을 이용한 안전성 향상

가동원전 안전성 향상 핵심기술개발

- 기간 : 2022.01 ~ 2029.12 (8년), 2022.01~2026.12 (5년)
- 수행방법 : 원전 적용을 목표로 산업체 참여 필요
- 전체 세부 과제 수 : 20개
 - 예측 : 7개, 예방 : 7개, 대응 : 6개
 - (예측) 고장.사고 최소화를 위한 지능형 감시.진단.예측기술
 - (예방) 사고확대 예방.대비를 위한 혁신 안전기술
 - (대응) 사고완화 및 피해최소화를 위한 대응.복구 기술
- 제안된 I&C 관련 과제
 - 원자로제어계통 및 디지털 I&C 손상진단 기술 개발
 - 원전 사이버위협 탐지 및 대처 기술 개발
 - AI 기반 인적오류 방지기술 고도화
 - 사고시 소외방사선 실시간 계측 및 대응 기술 개발
 - 중대사고 시 격납건물 내 방사선원 계측기술 개발
 - 격납건물 내 부유 방사성물질 저감설비 개발
 - 사고 비상작업 무인지원 기술개발

가동원전 안전성 향상 핵심기술개발

세부사업	번호	세부기술명	계	수행기간
예측	1-1-1	원전환경 이상상태 스마트 센싱 기술 개발	공동(과)	22~29년
	1-1-2	회전설비 인공지능형 진동 감시 시스템 개발	산업부	22~26년
	1-2-1	설비 이상/고장 빅데이터 생산 및 고장진단 지능화 기술개발	공동(과)	22~26년
	1-2-2	엣지컴퓨팅 기반 원격진단 기술 개발	공동(과)	22~29년
	1-2-3	원자로제어계통 및 디지털 I&C 손상진단 기술 개발	공동(산)	22~26년
	1-2-4	원전 사이버위협 탐지 및 대처 기술 개발	공동(과)	22~26년
	1-2-5	AI 기반 인적오류 방지기술 고도화	공동(산)	22~29년
예방	2-1-1	사고저항성 향상 혁신 핵연료 소재 부품 개발 및 상용화	공동(과)	22~29년
	2-2-1	노심구조부품 손상예방 크러드 저감기술 개발	공동(과)	22~29년
	2-3-1	다중고장사고 예방 원자로 계통안전 강화 기술 개발	공동(과)	22~29년
	2-3-2	계통영향 정보 기반 원전 화재 사고 저항성 강화 기술	공동(산)	22~26년
	2-4-1	극한/복합 자연재해 대비 원전 구조물/기기 안전성 향상기술 개발	공동(과)	22~26년
	2-4-2	설계초과 강진 대비 기기 안전성 향상기술 개발	공동(과)	22~26년
	2-4-3	사고진행 다변성 반영 다수기사고 확대 방지기술	공동(산)	22~26년
대응	3-1-1	중대사고 시 격납건물 내 방사선원 계측기술 개발	공동(과)	22~29년
	3-1-2	격납건물 구조건전성 평가 기술 개발	공동(산)	22~26년
	3-1-3	사고대응 관리를 위한 방사선 피폭선량 평가 기술 개발	공동(산)	22~26년
	3-2-1	격납건물 내 부유 방사성물질 저감설비 개발	공동(산)	22~29년
	3-2-2	사고 비상작업 무인지원기술 개발	공동(과)	22~26년
	3-2-3	사고시 소외방사선 실시간 계측 및 대응 기술 개발	공동(과)	22~29년

가동원전 안전성 향상 핵심기술 (I&C 세부연구항목)

□ 원자로제어계통 및 디지털 I&C 손상진단 기술 개발

- 원전 불시정지, 사고 및 중대사고 사전 예방을 위한

가동원전 디지털 계측제어시스템의 상태진단/고장예측시스템 개발

□ 원전 사이버위협 탐지 및 대처 기술 개발

- 원전 제어시스템 사이버 이상징후 식별 및 탐지기술 개발
- 원전 유무선통신 사이버침해 예방기술 개발

□ AI 기반 인적오류 방지기술 고도화

- AI 기반 원전 비정상/사고상태 예측진단 및 예방조치 의사결정지원기술개발
- AI 기반 원전 의사결정지원시스템 설계 및 개발
- 원전 비정상/사고상태 빅데이터 생산 모사 전산시스템 개발

가동원전 안전성 향상 핵심기술 (I&C 세부연구항목)

□ 중대사고 시 격납건물 내 방사선원 계측기술 개발

- 중대사고 시 격납건물 내부의 방사선원 계측시스템과 방사성물질 방출 저감 대응 시스템 개발

□ 격납건물 내 부유 방사성물질 저감설비 개발

- 중대사고시 생성되는 에어로졸, 요오드에 대한 실제적 저감특성 실험
 - 아이오딘 제거 및 가연성 기체 연소/폭발 저감을 평가를 위한 계측기 개발

□ 사고 비상작업 무인지원 기술개발

- 비상작업 무인화 플랫폼, 누출 차단작업 무인화 플랫폼 구축 및 평가
 - 방사선 계측 및 원격 통신시스템 개발

□ 사고시 소외방사선 실시간 계측 및 대응 기술개발

- 원자력 시설의 사고시 정전, 침수 등에 의한 방사능 모니터링의 연속성을 확보하기 위한 초저전력 계측기 개발

원자로제어계통 및 디지털 I&C 손상진단 기술 개발

□ 기술개발 목표

- ◆ 원전 불시정지, 사고 및 중대사고 사전 예방을 위한 가동원전
디지털 계측제어시스템의 상태진단/고장예측시스템 개발

□ 개발내용

- ◆ 1단계 (2022년-2024년)
 - AI 기반 상태진단 및 고장예측기술 개발방법론 수립
 - 계측계통, 제어봉제어계통, 공정제어계통, 보호계통별 빅데이터 취득 및 AI 알고리즘 개발
 - 각 계통별 AI 기반 상태진단 및 고장예측시스템 시제품 개발
- ◆ 2단계 (2025년-2026년)
 - 통합 상태진단 및 고장예측시스템 시제품 개발
 - 통합시스템 성능 평가 및 가동원전 적용성 평가

원자로제어계통 및 디지털 I&C 손상진단 기술 개발

□ 역할분담

◆ 산업계

- 상태진단 및 고장예측 계측제어계통 상세설계
- 통합 계측제어계통 상태진단 및 고장예측시스템 시제품 개발 및 제작

◆ 과기계

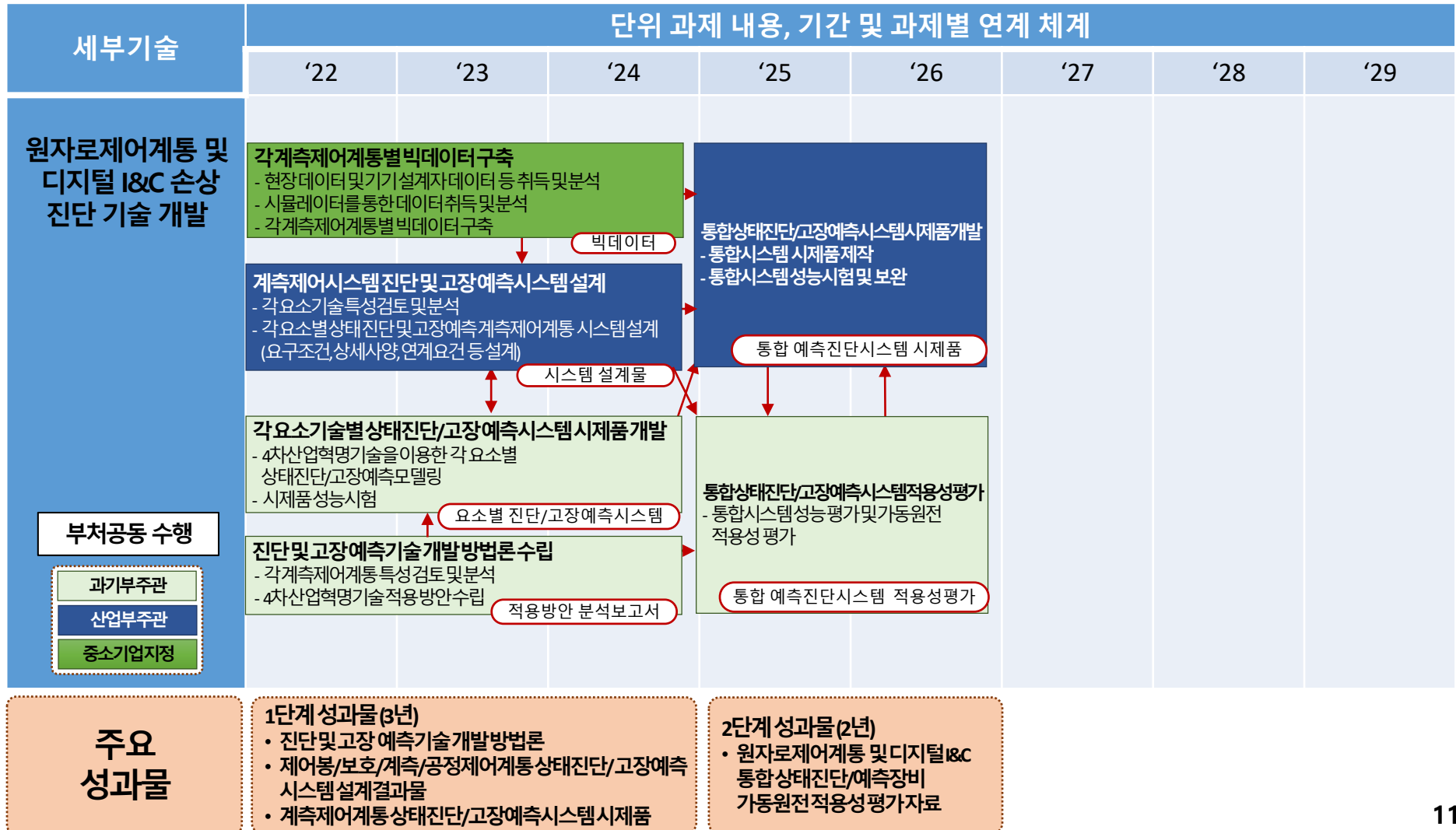
- 4차산업혁명 기술에 기반한 진단 및 고장 예측기술 개발 방법론 수립
- 각 계통별 상태진단/고장예측 모델링 및 시제품 개발
- 통합 상태진단/고장예측시스템의 적용성 평가

◆ 중소기업

- 현장 데이터, 기기설계 데이터, 시뮬레이터 결과 등을 취득/분석
- 각 계측제어계통에 대한 빅데이터 구축

원자로제어계통 및 디지털 I&C 손상진단 기술 개발

□ 로드맵



AI기반 인적오류 방지기술 고도화

□ 기술개발 목표

- ◆ AI 기반 통합의사결정지원시스템을 통한 가동원전의 안전성/경제성 강화 및 인적오류 50% 저감

□ 개발내용

- ◆ 1단계 (2022년-2024년)
 - 원전 비정상/사고예방 인공지능/빅데이터 플랫폼 개발
 - 원전 비정상/사고상태 예측진단 및 예방조치 인공지능 알고리즘 개발
 - 원전 비정상/사고상태 모사기술 개선사항 도출
- ◆ 2단계 (2025년-2026년)
 - AI 기반 의사결정지원시스템 설계요건서 및 시제품 개발
 - 원전 비정상/사고상태 모사 전산시스템 개발 및 검증
 - 원전 비정상/사고상태 빅데이터 생산

AI기반 인적오류 방지기술 고도화

◆ 3단계 (2027년-2029년)

- 통합의사결정지원시스템 기능 및 성능검증
- 통합의사결정지원시스템 성능개선 시제품 개발
- 통합의사결정지원시스템 현장 적용성 평가 및 실용화

□ 역할분담

◆ 산업계

- 시뮬레이터/해석코드 기반의 비정상/사고 상태 모사 전산시스템 개발
- 비정상/사고 상태 빅데이터를 생산 및 통합의사결정지원시스템 상용 적용 기술

◆ 과기계

- 인공지능 기반의 비정상/사고상태 예측진단 및 예방조치 딥러닝모델 개발
- 통합의사결정지원시스템 설계 및 기능/성능 검증

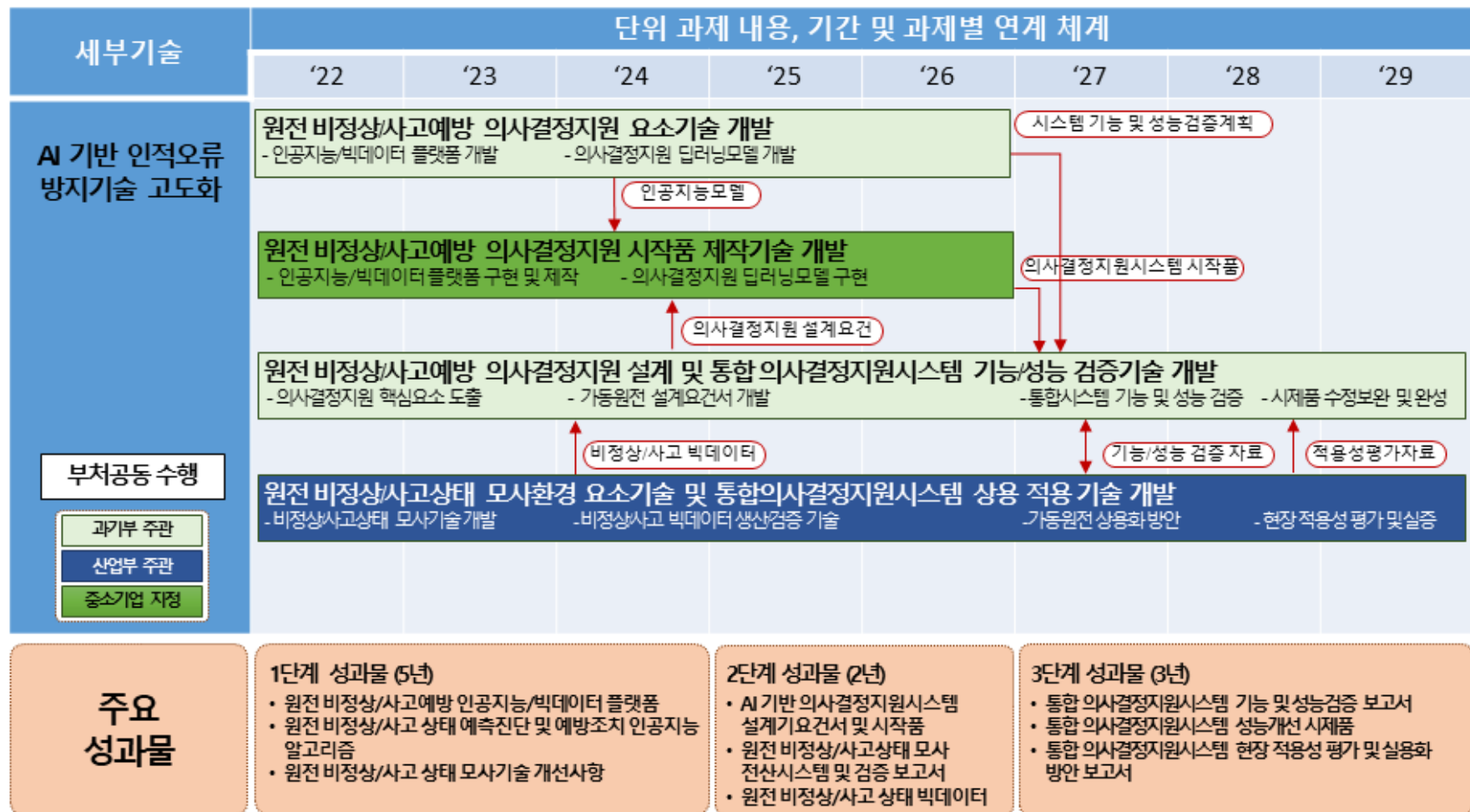
◆ 중소기업

- 인공지능/빅데이터 플랫폼 구현
- 의사결정지원 딥러닝 모델 구현 등 시작품 제작

AI 기반 인적오류 방지기술 고도화

□ 로드맵

1-2-5 AI 기반 인적오류 방지기술 고도화



사고시 소외 방사선 실시간 계측 및 대응기술 개발

□ 기술개발 목표

- ◆ 소외 방사선 실시간 감시기술 기반 ICT 융합 사고대응 기술 개발

□ 개발내용

◆ 1단계 (2022년-2024년)

- 무전원 반도체형 방사선 계측기, 내방사선 무선 통신 모듈, 실시간 핵종판별 딥러닝 프로세서 개념 설계
- 다공간 무인감시 결과 정밀 해석기술 및 원격 시료채취 기술 개발
- 최신기술 기반 정밀 해양자연재해 시뮬레이터 구축

◆ 2단계 (2025년-2026년)

- 무전원 반도체형 방사선 계측기, 내방사선 무선 통신 모듈, 실시간 핵종판별 딥러닝 프로세서 실험실 성능 검증
- 다공간 특성별 모니터링 방법 및 검증을 통한 다목적 통합 감시플랫폼 구축
- 다수 외력 (해저 산사태, 해저 대륙붕 사면 붕괴, 저기압) 초기 조건 및 재해 전파 평가 코드

사고시 소외 방사선 실시간 계측 및 대응기술 개발

◆ 3단계 (2026년-2029년)

- 무전원 반도체형 방사선 계측기, 내방사선 무선 통신 모듈, 실시간 핵종판별 딥러닝 프로세서 통합 측정 시스템 시제품 제작 및 현장 실험
- 다공간 특성화된 원격 모니터링 시스템 시제품 개발 및 현장적용
- AI 기반 자연재해 시나리오 생성, 소외 해양 에너지 스펙트럼 DB 구축 및 실시간 시뮬레이터 활용 단기 예측 기술 이전

사고시 소외 방사선 실시간 계측 및 대응기술 개발

□ 역할분담

◆ 과기계

- 저전력으로 동작 가능한 방사선 계측 및 내방사선 무선통신 설계 원천기술 개발
- 다공간 특성화된 무인감시 및 원격 시료채취 원천기술 개발
- 방사선 계측 공백 최소화를 위한 감시효율성 평가기술 개발
- 최신기술 기반 해양재해 시뮬레이터를 구축하는 연구개발 주관
- AI기술 기반의 소외 재해예측 및 선량 역추적 최적 평가기술 개발

◆ 산업계

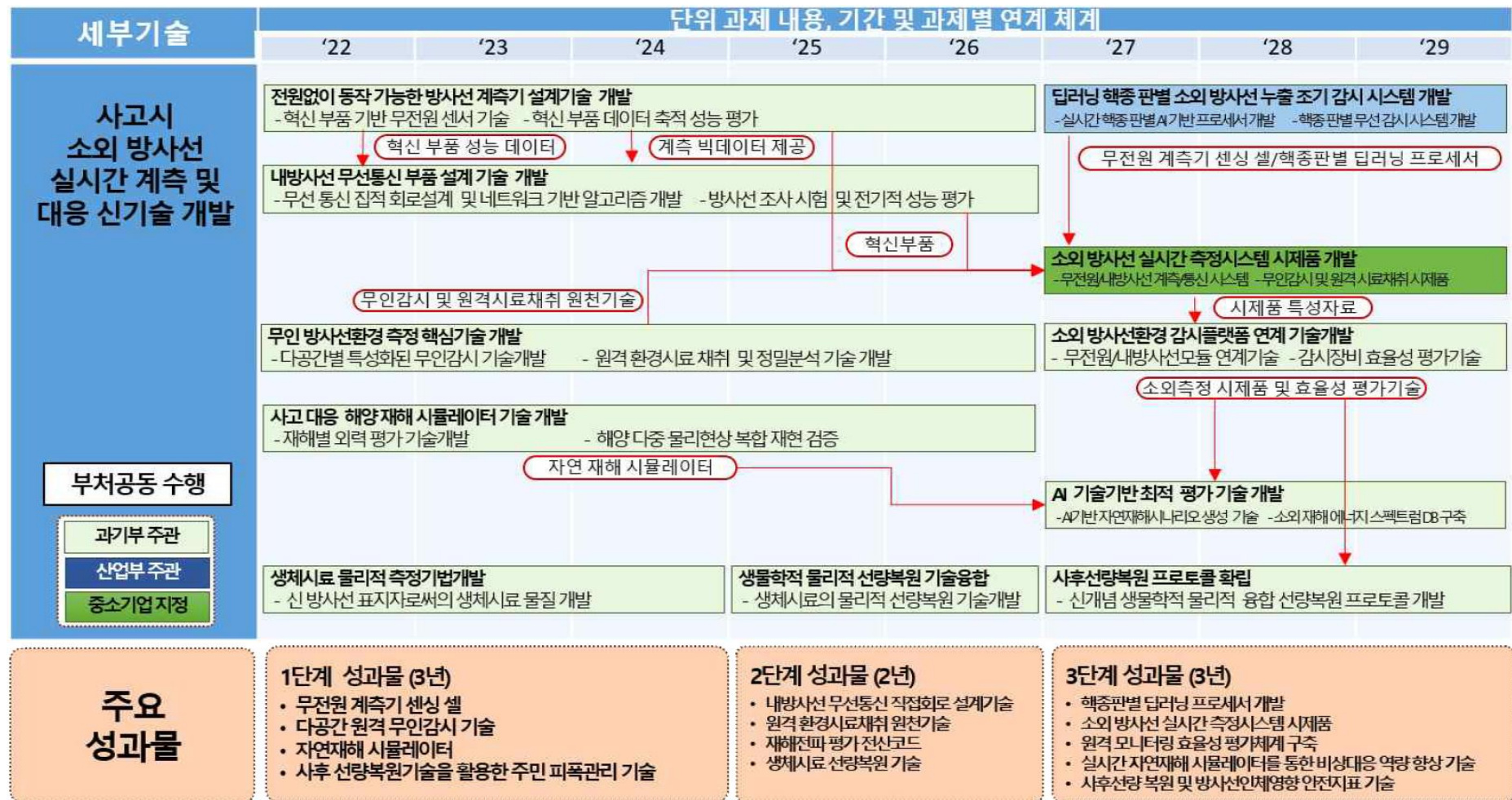
- 저전력으로 동작 가능한 방사선계측기 설계 원천기술을 이용하여 핵종 판별을 위한 프로세서 시작품 제작
- 저전력 방사선 누출 감시 시스템 개발 및 검증 실증 시험 지원

◆ 중소기업

- 핵종 판별 방사선 누출 감시시스템과 다공간 무인감시 및 원격 시료채취 기술의 통합과 상용화를 위한 시작품 개발

사고시 소외 방사선 실시간 계측 및 대응기술 개발

□ 로드맵



중대사고 시 방사선원 계측기술 개발

□ 기술개발 목표

- ◆ 중대사고 시 격납건물 내부의 방사선원 계측시스템과
- ◆ 방사성물질 거동 정밀 평가 기술 및 중대사고 방사선원항 평가 방법론을 개발하여 방사성물질 저감을 위한 대응시스템 개발

□ 개발내용

- ◆ 1단계 (2022년-2024년)
 - 격납건물 내 방사선원 계측시스템 설계 및 시제품 제작
 - 격납건물 내 방사성 물질 상세 해석 도구 확보 및 검증실험장치 제작
 - 방사선원항 평가 학습시스템 방법론 개발
- ◆ 2단계 (2025년-2026년)
 - 계측시스템 시제품 성능 검증
 - 원전별 방사선원항 평가 DB, 격납건물 내 방사성 물질 검증 DB 및 상세 해석 도구 검증
 - 방사선원항 평가 최적화 도구

중대사고 시 방사선원 계측기술 개발

◆ 3단계 (2026년-2029년)

- 격납건물 내 방사선원 계측시스템 시제품
- 방사성물질 상세 평가 도구 및 방사성물질 저감 대응시스템

□ 역할분담

◆ 과기계

- 격납건물 내 방사성물질 거동 상세해석 및 검증용 실험 DB 구축
- 원전별 방사선원항 평가 방법론 및 방사성물질 거동 해석 평가도구 개발
- 방사선원 계측시스템의 사양 및 시제품 개발

◆ 산업계

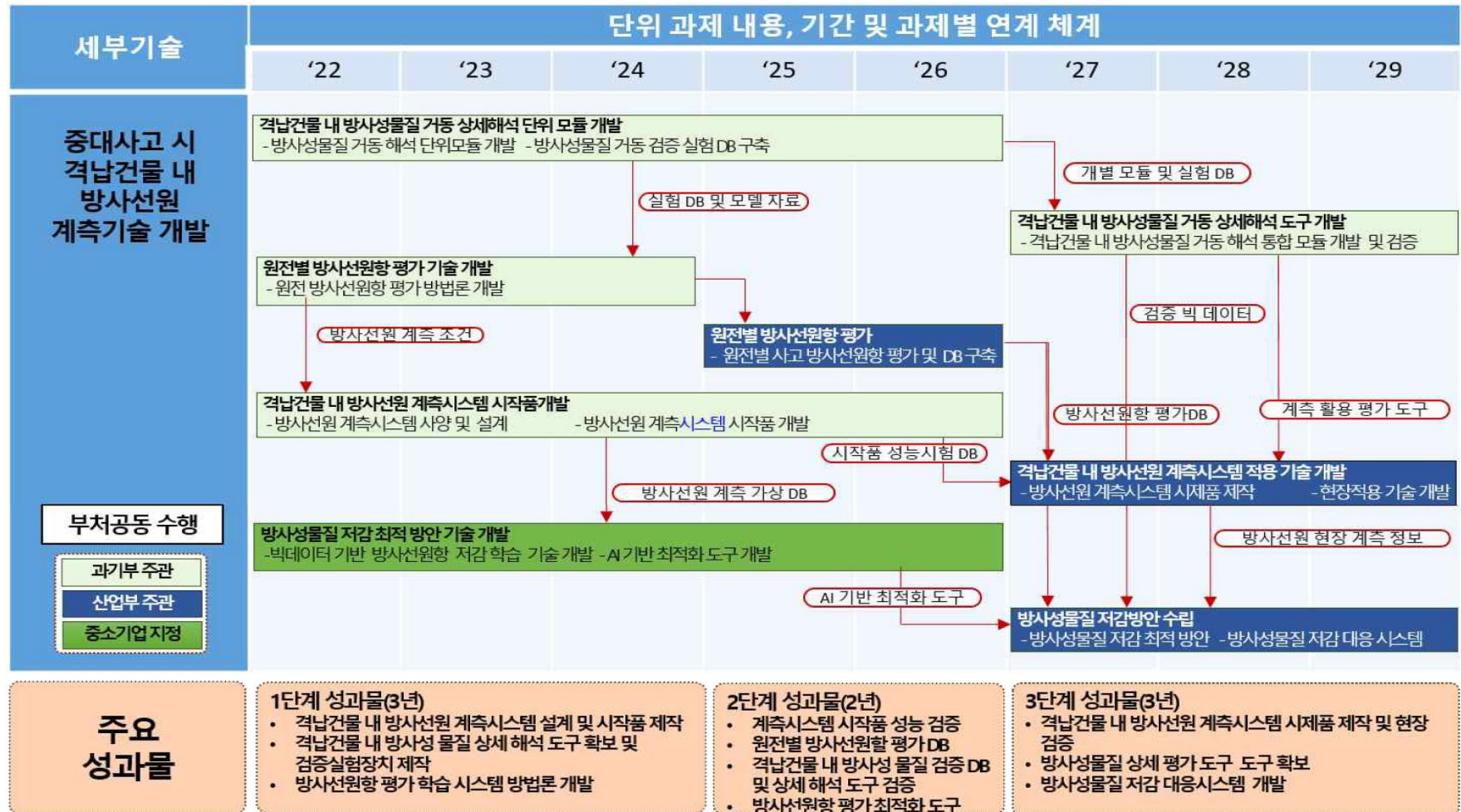
- 원전별 방사선원항 평가, 방사선원 계측시스템의 시제품 및 현장적용기술 개발
- 방사성물질 저감 최적방안 및 방사성물질 저감 대응시스템 현장 적용계획 수립

◆ 중소기업

- 빅 데이터기반 방사선원항 저감 학습기술과 AI 기반 최적화 도구 개발

중대사고 시 방사선원 계측기술 개발

□ 로드맵



격납건물 내 부유 방사성물질 저감설비 개발

□ 기술개발 목표

- ◆ 격납건물 내 방사성물질 50%이상 저감 가능한 설비

□ 개발내용

◆ 1단계 (2022년-2024년)

- 중대사고 환경하에서 적용 가능한 방사선 에어로졸 필터 및 요오드 흡착제 개발 (DF 50이상)
- 중대사고 환경하에서 생존 가능한 가연성 기체 측정 센서 개발

◆ 2단계 (2025년-2026년)

- 중대사고 환경하에서 적용가능한 피동형 방사선물질 저감설비 개발 및 시제품 제작
- 중대사고 환경하에서 생존 가능한 온라인 측정 시스템 개발

◆ 3단계 (2026년-2029년)

- 방사선물질 저감 설비 현장 최적 적용 시스템 개발
- 피동형 방사선물질 저감설비 검증 및 인허가 (TRL 8 단계)

격납건물 내 부유 방사성물질 저감설비 개발

□ 역할분담

◆ 산업계

- 중소기업에서 개발한 방사성물질 저감 설비를 원전별로 최적 적용을 위해 방사성물질 저감 설비 최적화 기술 개발 및 저감 설비 적용성 평가 기술 개발

◆ 과기계

- 중소기업에서 개발한 방사성물질 저감 설비 성능을 검증 및 평가를 위해 방사성물질 저감설비 검증 시스템 개발 및 저감 설비 평가기술 개발

- 중대사고 전용 가연성 기체 온라인 측정 핵심기술개발

- 가연성 기체 저감설비 성능 검증

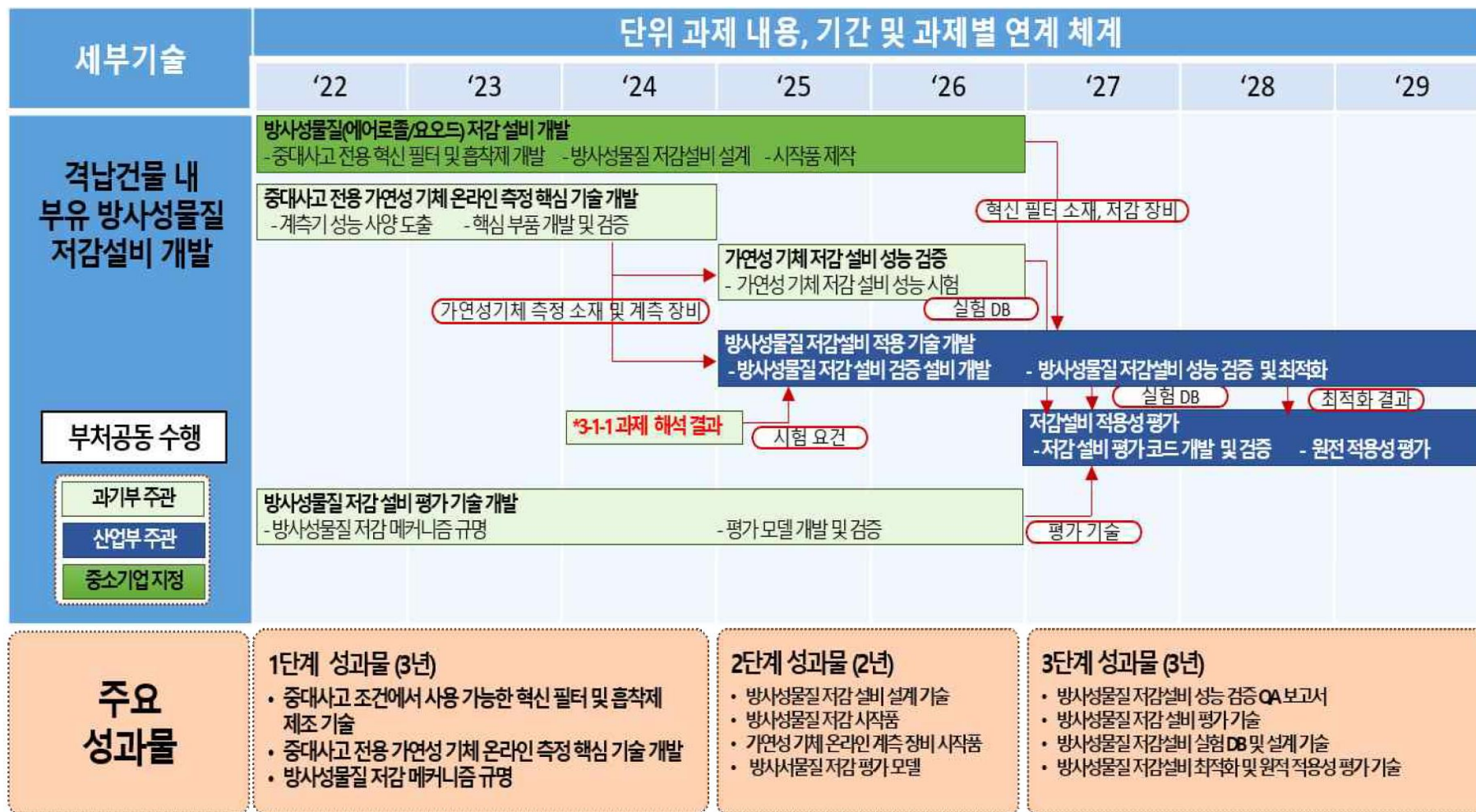
◆ 중소기업

- 방사성물질 저감 설비 설계

- 중대사고 조건에서 사용 가능한 혁신 필터 및 흡착제 제조

격납건물 내 부유 방사성물질 저감설비 개발

□ 로드맵



사고 비상작업 무인지원 기술개발

□ 기술개발 목표

- ◆ 실내 사고조치 및 실외 누출차단 무인지원 플랫폼 개발 및 평가

□ 개발내용

◆ 1단계 (2022년-2024년)

- 실내 사고조치 무인화 핵심기술 (신속 이동 및 취급) 개발
- 실외 누출차단 무인화 핵심기술 (차단공법, 하이브리드 이동/취급) 개발
- 사고 비상작업 무인지원 시나리오 구축 및 경량차폐 핵심기술 개발

◆ 2단계 (2025년-2026년)

- 실내 사고조치 무인화 플랫폼 시제품 구축
- 실외 누출차단 무인화 플랫폼 시제품 구축
- 비상작업 원격제어/통신 시제품 구축 및 평가방안 수립

◆ 3단계 (2025년-2026년)

- 실내 무인화 플랫폼 시제품 구축 및 평가
- 무인화 플랫폼 현장 운용지침 개발

사고 비상작업 무인지원 기술개발

□ 역할분담

◆ 산업계

- 개발 플랫폼의 현장 적용성 증대를 위한 유사환경 시험방법과 시험시설 구축
- 사고비상작업 무인화 플랫폼 운용지침 개발

◆ 과기계

- 시설내부 사고조치 무인화 핵심 기술 및 시제품(TRL 5)
- 원자력 시설외부 누출차단 무인화 핵심기술 및 시제품(TRL 5)
- 사고 비상작업 조건 도출, 비상작업 환경계측기술, 경량차폐기술 개발

◆ 중소기업

- 유사환경 평가를 위한 실내 사고조치 무인화 플랫폼 시제품 (TRL 8)
- 실외 누출차단 무인화 플랫폼 시제품(TRL 8) 개발 및 시험평가

사고 비상작업 무인지원 기술개발

□ 로드맵



Remarks

□ 원자력 산업에 대한 정부 정책 변화

- 4차산업 혁명기술을 기반으로 가동원전 안전성 향상 등

□ 가동원전 안전성 향상 핵심기술개발 사업 (예타)

- I&C 관련 과제 제안 사항 소개
 - 원자로제어계통 및 디지털 I&C 손상진단 기술 개발
 - AI 기반 인적오류 방지기술 고도화
 - 사고시 소외방사선 실시간 계측 및 대응 기술개발 등

Thank you...



□ 가동원전 안전성 향상

- ICT 기반 사고감시 제어기술 개발
- 원전 사고 대응을 위한 무인로봇 개발
- 원전 기계장치 건전성 감시를 위한 스마트센서 개발

□ 4차산업 혁명 핵심기술 개발

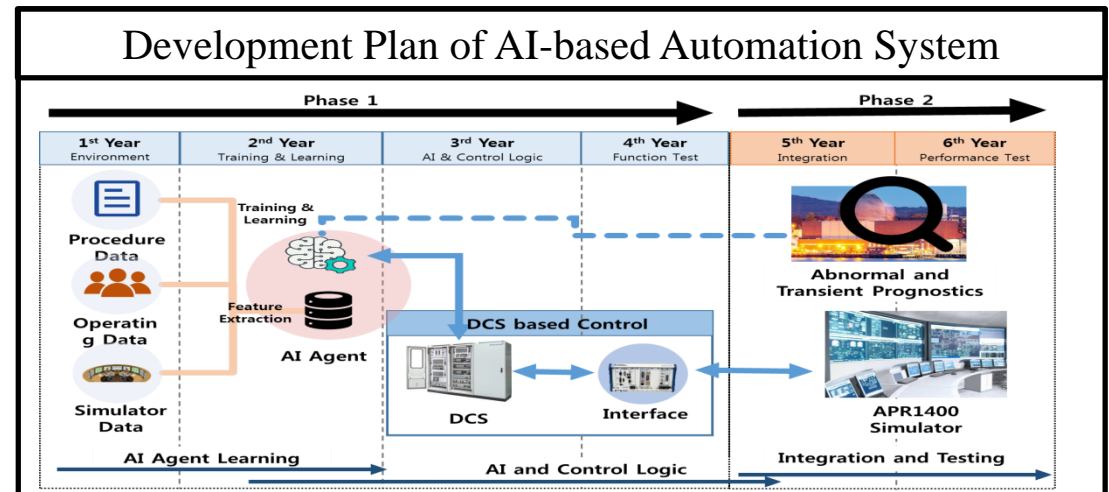
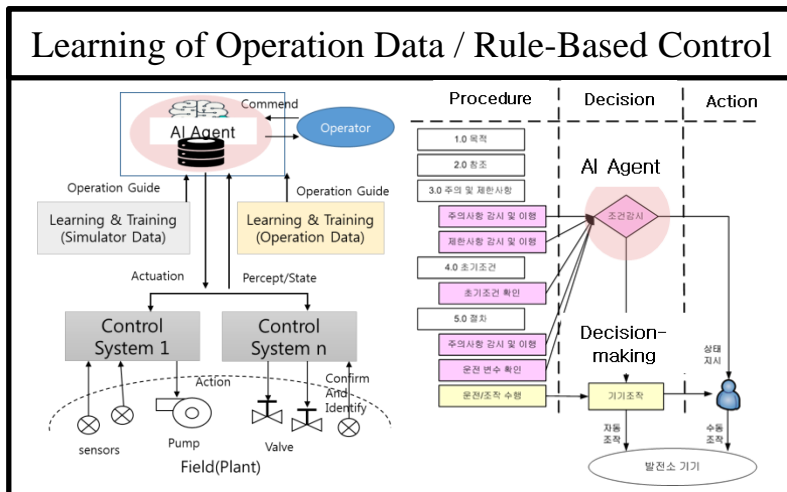
- Virtual reactor
- AI 및 빅데이터 기반 자율운전 기술 개발
- 빅데이터 기술 기반 고장감시 및 최적화 운영기술 개발
- IoT 기술 기반 상태감시 및 예측기술 개발
- ICT 기반 해체공정 자동화 기술 개발

□ 원자력발전소 안전한 건설 및 운영

- 신고리 세계최고 원전 건설
 - 3D 및 VR 기반 사이버 원전을 활용한 설계 및 건설 오류 최소화
- 가동원전 안전성 향상
 - 빅데이터 기술 기반 실시간 예측 및 진단 자동화 시스템
 - 효과적이고 실시간 조치가 가능한 스마트 원전
 - 로봇을 이용한 안전성 향상

❑ Development of AI-based automation system for heatup/cooldown operation for APR1400 (2018~2022)

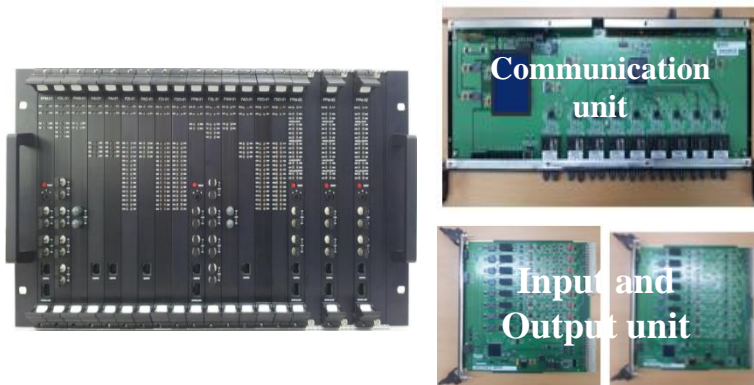
- Development of **rule-based expert** system using operator's skills and operation procedure.
- Prediction of abnormal and transient status using **machine learning**
- Participating Institute : KHNP, KAERI, Universities, etc.



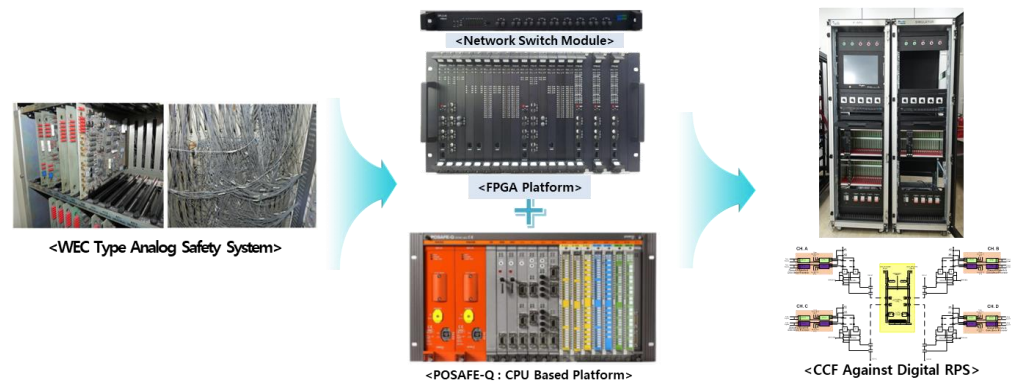
❑ I&C Upgrade Technology for Operating Plants (2019~2022)

- Development of safety grade FPGA platform and licensing
- Development of Reactor Protection System (WEC Type) for enhancement safety by developing safety grade FPGA platform with PLC platform
- Development of Standard Core Protection Calculation System using KNICS safety platform
- Participating Institute : KEPCO-ENC, KAERI, DOOSAN, SOOSAN, Woori tech

Safety Grade FPGA Platform

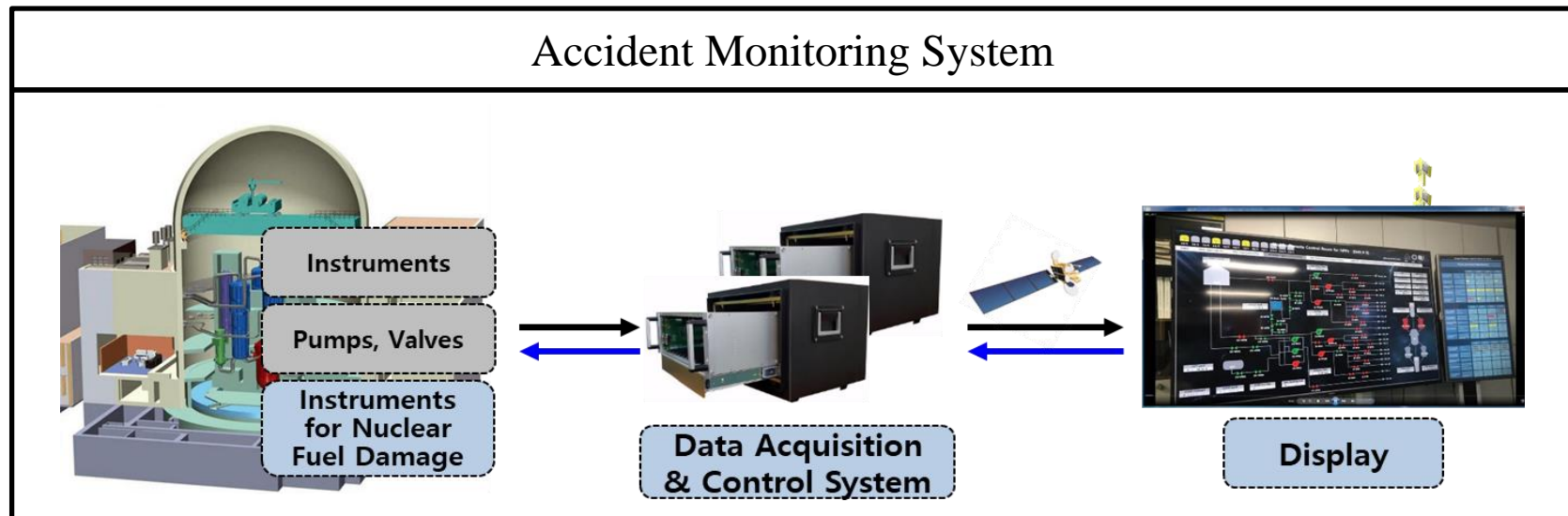


Development of RPS Against CCF



❑ Accident Monitoring System (2017~2021)

- Development of Accident Monitoring System for RG1.97 Rev5 Type F variables
 - Development of Temperature and Radiation instruments to monitor for nuclear fuel damage
 - Development Data Acquisition and control system for Severe Environment
 - Development Data Communication System including Satellite Communication
 - Development Display System for RG1.97 Rev5 Type F variables
- Participating Institute : KAERI only



□ 한수원 연구개발 현황

- 국산 MMIS 디지털 트윈
- 인공지능 기반 제어로직 도면 검증 자동화
- AI 기술 기반 APR1400 원전 기동 및 정지운전자동화 기술 개발

정부 정책 변화 (2020년)

□ 원자력 연구개발 정책이 변화되었음.

- 원자력 기술개발사업 (1997~2021) 종료 : 5년/차, 5차 중장기 연구개발 수행
- 대형 원자력 연구개발사업은 **예비타당성평가**를 통해 수행 (22년 ~)
 - 원자력 안전규제 검증기술 고도화 사업 (21.01.25)
 - 혁신 원자력 연구개발 기반조성 사업 (21.07.01)
 - **가동원전 안전성 향상 핵심기술개발 사업 (21.07.01)**
 - 혁신형 SMR 기술개발 (2021년 9월 예타 신청)