

혁신형 SMR 안전등급제어기 플랫폼 개발

- FPGA 기반 안전등급 제어기 개발 현황 및 인허가 경험 -

• • • •

선진계측제어연구실
최종균

2023.10.25

CONTENTS



01 국내 안전등급제어기 개발 개요

02 FPGA 기반 안전등급제어기 개발 현황

03 iSMR MMIS 안전계통 표준 플랫폼 개발 현안

1. 국내 안전등급제어기 개발 개요

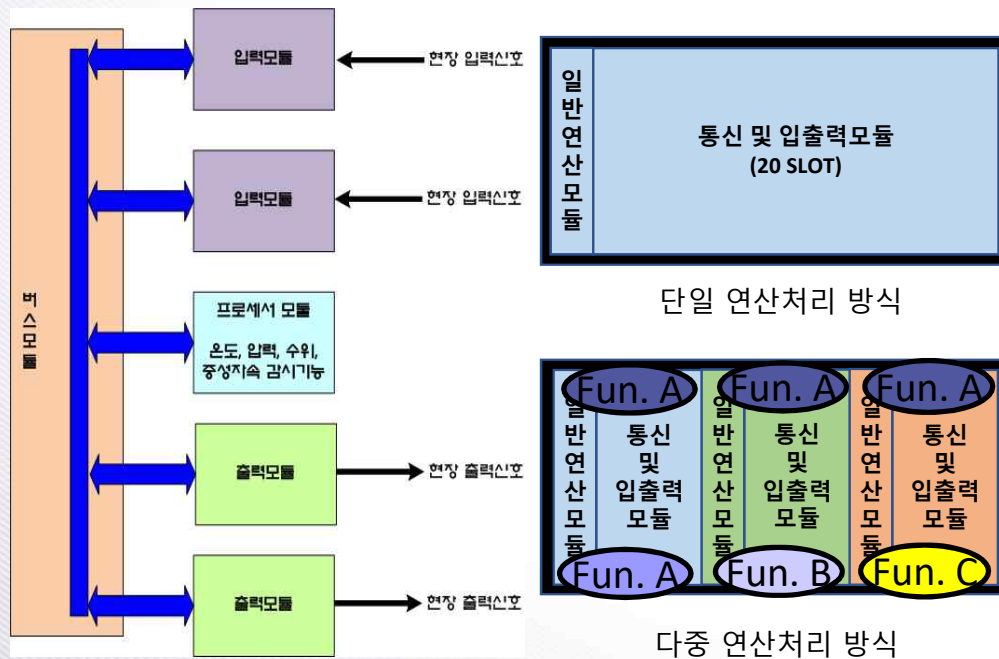
- CPU-기반 안전등급제어기(POSAFE-Q) 개발(수산이앤에스&한국원자력연구원)
 - KNICS(2001~2008) 사업을 통해 개발 및 인허가 획득
 - 신한울 1호기 상업운전(2022), 신한울 2호기 운영허가(2023)
 - 신한울 3 & 4 호기 공급계약 체결
- FPGA-기반 안전등급제어기(DFLC-Q) 개발(두산에너지빌리티&한국원자력연구원)
 - 다중화된 안전계통의 공통원인고장 현안 해결을 위한 국책과제 수행
 - MMIS 다양성 및 심층방어 선도기술 개발(2010~2013)
 - 공통원인고장 대응을 위한 안전계통 및 제어기기 개발(2013~2016)
 - 가동원전 계측제어계통 디지털화 기술개발(2019~2022)
 - 1단계(개념설계~소프트웨어 요구사항) 심사결과 만족
 - 특정기술주제보고서(FPGA 기반 안전등급 제어기 DFLC-Q 설계요건) 승인 (2019)
 - 2단계(소프트웨어 설계 ~ 시스템시험) 인허가 신청(2022)
 - 인허가 심사 진행 중

2. FPGA 기반 안전등급제어기(DFLC-Q) 개발 현황

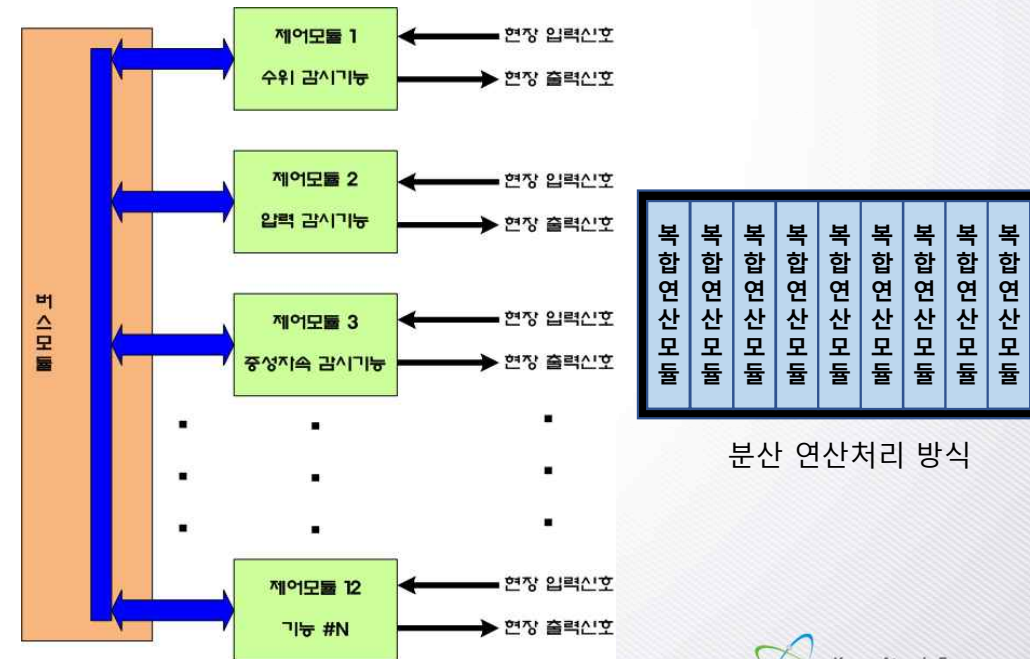
DFLC-Q 제어 플랫폼 설계 개념

■ 집중형 구성

- 단일 연산처리 방식
- 독립적 다중 연산처리 방식 (최대 4중화)



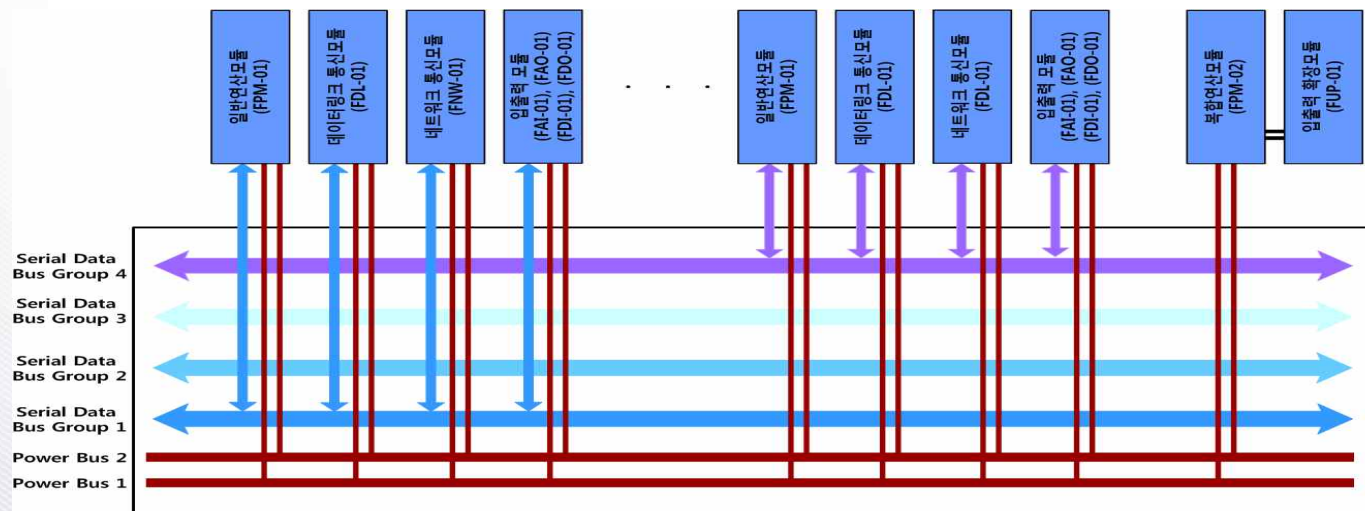
■ 분산형 구성



2. FPGA 기반 안전등급제어기(DFLC-Q) 개발 현황

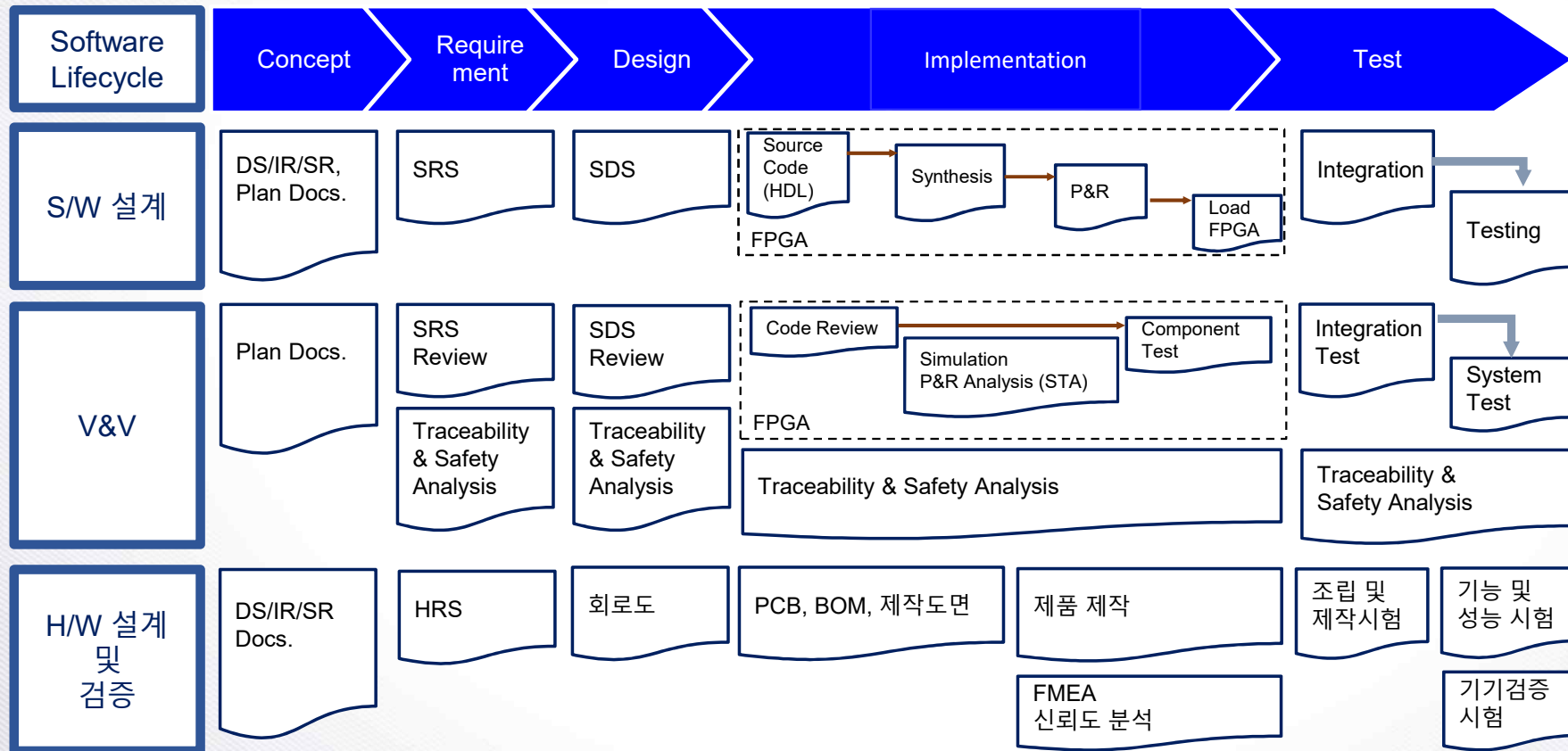
DFLC-Q 플랫폼 서브랙(버스) 구조

- 사이즈 : 19인치 6U, 21 slot 내장
- 팬 없는 방열구조 (자연 공랭식)
- 2개의 독립된 외부 전원 사용
- 전면 부: 전면 삽입/탈착 방식
- 후면 부: 입출력 단자 커넥터



2. FPGA 기반 안전등급제어기(DFLC-Q) 개발 현황

DFLC-Q 플랫폼 개발 공정



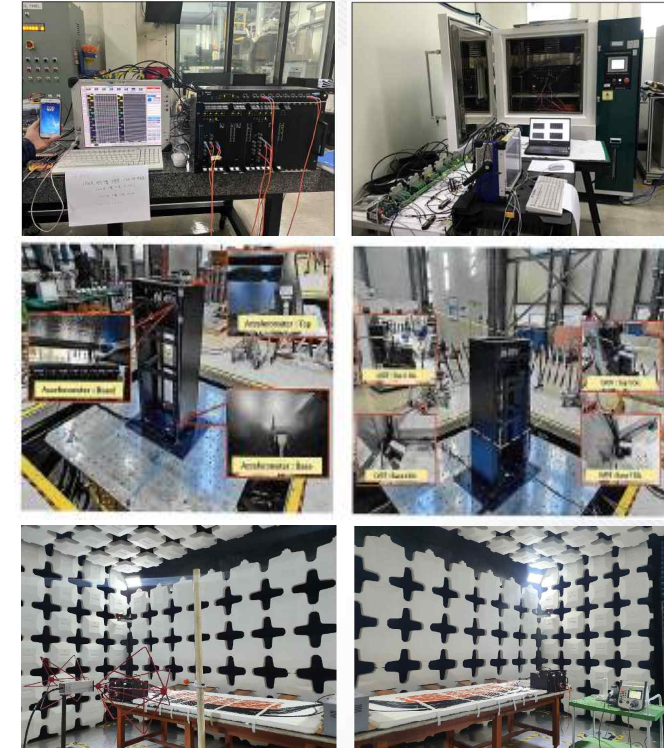
2. FPGA 기반 안전등급제어기(DFLC-Q) 개발 현황

DFLC-Q 플랫폼 기기검증

- 수행주관기관 및 일정 : 한국기계연구원(KIMM), 2021.11 ~ 2022.1
- 검증 항목 : 노화 해석, 번인 시험, 내환경 시험, 전자파 시험, 내진 시험
- 등급 : 안전등급(3), 전기등급(1E), 내진등급(I)

■ 검증 결과

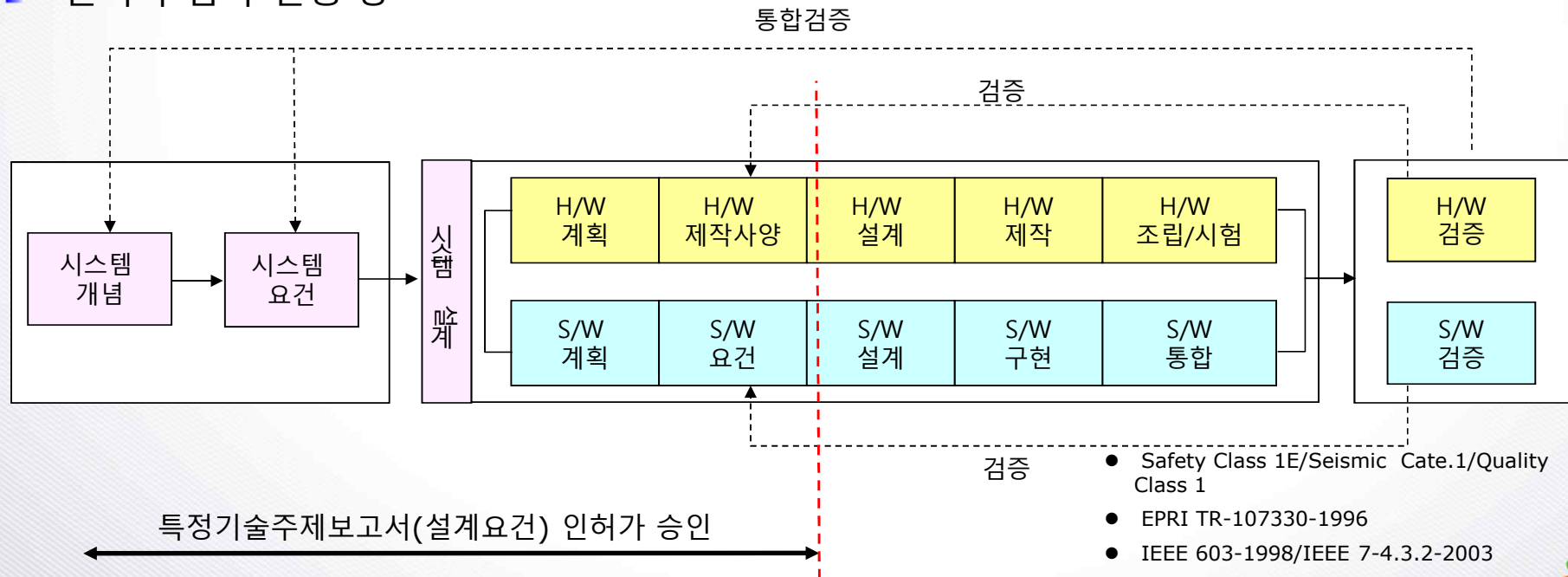
검증 항목	번인 시험 (EPRI-TR-107330 기준 360시간)	내환경 시험 (IEEE 323-2003, R.G. 1.209-2007)	전자파 시험 (R.G. 1.180-2003, MIL-STD-461E, IEC 61000-4-2, 2001)	내진 시험 (IEEE 344-2004, R.G. 1.100-2009)	노화 해석
검증 결과	Pass	Pass	Pass	Pass	완료



2. FPGA 기반 안전등급제어기(DFLC-Q) 개발 현황

DFLC-Q 플랫폼 인허가 현황

- 특정기술주제보고서(설계요건) 심사결과 만족 통보 : 2019. 12. 16
- 특정기술주제보고서 인허가 승인 신청 : 2022. 03. 23
- 특정기술주제보고서 서류적합성 검토결과 및 심사계획 통보 : 2022.08.04
- 인허가 심사 진행 중



- Safety Class 1E/Seismic Cate.1/Quality Class 1
- EPRI TR-107330-1996
- IEEE 603-1998/IEEE 7-4.3.2-2003
- IEC 62566-2012

2. FPGA 기반 안전등급제어기(DFLC-Q) 개발 현황

DFLC-Q 플랫폼 인허가 현안

- 원자력시설 등의 컴퓨터 및 정보시스템 보안 기술기준(KINAC RS-015) 만족
 - 사업자(운영 및 비상대응, 훈련) 요건
 - 공급자(계통 또는 기기) 요건
- 사이버보안 설계요건, 설계사양 등의 개발문서
- 보안요건 적합성 시험 등의 검증문헌



3. ISMR MMIS 안전계통 표준 플랫폼 개발 현안

● 혁신형 소형모듈원자로(i-SMR) 기술개발사업 개요

■ iSMR 사업기간:

➢ 2023~2028

■ iSMR 사업목표:

- 표준설계인가 획득 (2028)
- 인허가 대응/지원(2026~2028)
- 표준설계인가 신청(2026)
- 표준설계/검증(2023~2025)



* "예비타당성조사보고서"에서 발췌

3. ISMR MMIS 안전계통 표준 플랫폼 개발 현안

계측제어분야 관련 과제

설계	계통 설계	(1-2-1)	모듈형원자로 내장형제어봉구동장치 설계최적화	국고	-	4.5	4.5	4.5	2.5	1.5
				민자	-	4.5	4.5	4.5	2.5	1.5
		(1-2-2)	모듈형원자로 핵연료취급계통 및 핵연료저장대 표준설계 개발	국고	-	2.5	3.5	5.0	5.0	5.0
				민자	-	2.5	3.5	5.0	5.0	5.0
		(1-2-3)	모듈형원자로 원자로용기/내부구조물 및 지지대 표준설계 개발	국고	-	12.5	12.5	11.5	10.0	10.0
				민자	-	12.5	12.5	11.5	10.0	10.0
		(1-2-4)	일체형 원자로 적용 가능한 검사/유지/보수 혁신기술 개발	국고	-	3.0	3.0	3.0	2.0	-
				민자	-	3.0	3.0	3.0	2.0	-
		(1-2-5)	모듈형원자로 원자로집합체 계통 구조해석 기술개발	국고	-	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6
				민자	-	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4
		(1-2-6)	모듈형원자로 주증기 및 주급수계통 표준설계개발	국고	-	3.5	3.5	3.5	2.5	2.0
				민자	-	3.5	3.5	3.5	2.5	2.0
		(1-2-7)	모듈형 화학 및 체적 제어계통 설계개발	국고	-	10.0	10.0	10.0	7.5	-
				민자	-	10.0	10.0	10.0	7.5	-
		(1-2-8)	혁신형 피동안전계통 표준설계 개발	국고	-	15.0	15.0	15.0	15.0	10.0
				민자	-	15.0	15.0	15.0	15.0	10.0
		(1-2-9)	모듈형원자로 냉각계통 표준설계 개발	국고	-	10.0	10.0	7.5	7.5	7.5
				민자	-	10.0	10.0	7.5	7.5	7.5
		(1-2-10)	2차반응도 제어계통 표준설계 개발	국고	-	7.5	7.5	5.0	5.0	-
				민자	-	7.5	7.5	5.0	5.0	-
		(1-2-11)	모듈형원자로 MMIS 계측제어계통 표준설계 개발	국고	-	22.5	22.5	17.5	17.5	12.5
				민자	-	22.5	22.5	17.5	17.5	12.5
		(1-2-12)	모듈형원자로 안전해석 및 고신뢰도 안전해석기술 개발	국고	-	20.0	20.0	10.0	10.0	20.0
				민자	-	-	-	-	-	-
		(1-2-13)	모듈형원자로 발전소 제어 및 정상, 비상 운전전략 개발	국고	-	5.0	5.0	5.0	4.0	-
				민자	-	5.0	5.0	5.0	4.0	-

내역 사업	분야	과제 번호	과제명		'23	'24	'25	'26	'27	'28
혁신 검증 기술		(1-3-11)	SMR 다중모듈 PSA 기반 종합설계지원 기술 개발	국고	2.8	15.1	15.1	22.0	15.5	11.0
				민자	2.3	12.4	12.4	18.0	13.5	9.0
		(1-3-12)	SMR 부지경계내 EAZ를 위한 기반기술 개발	국고	3.8	11.3	15.0	11.3	11.3	15.0
				민자	1.3	3.8	5.0	3.8	3.8	5.0
		(1-3-13)	중대사고 완화 및 방사성물질 저장 설비 개발	국고	2.8	3.9	3.9	3.3	-	-
				민자	2.3	3.2	3.2	2.7	-	-
		(2-1-1)	무봉산운전 핵연료집합체 임계열속 시험 및 상관식 개발	국고	4.7	51.6	32.8	18.8	4.7	-
				민자	0.3	3.4	2.2	1.3	0.3	-
		(2-1-2)	원자로냉각계통 시험검증 (종합효과시험)	국고	2.0	20.0	250.0	93.0	20.0	15.0
				민자	-	-	-	-	-	-
		(2-1-3)	원자로냉각계통 시험검증 (개별효과시험)	국고	2.0	40.0	40.0	38.0	-	-
				민자	-	-	-	-	-	-
		(2-1-4)	모듈형원자로 내장형제어봉구동장치 성능검증	국고	-	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5
				민자	-	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
		(2-1-5)	모듈형원자로 원자로집합체 및 내부구조물 CVAP 검증	국고	-	15.3	19.1	15.3	8.4	6.9
				민자	-	4.7	5.3	4.7	2.5	2.1
		(2-1-6)	모듈형원자로 MMIS 안전계통 표준 플랫폼 개발	국고	-	20.0	40.0	40.0	40.0	20.0
				민자	-	20.0	40.0	40.0	40.0	20.0
		(2-1-7)	모듈형 화학 및 체적 제어계통 성능검증	민자	-	-	-	3.8	3.8	1.3
		(2-1-8)	2차반응도 제어계통 검증 시험	국고	-	-	-	3.8	3.8	3.8
				민자	-	-	-	1.3	1.3	1.3
		(2-1-9)	모듈 통합 사이버보안 기술 및 통합관제시스템 개발 검증	국고	-	4.8	4.8	3.0	-	-
				민자	-	4.8	4.8	3.0	-	-
		(2-1-10)	인간공학을 고려한 다중모듈 통합 주제어실 및 운전/지원 시스템 실시간 시뮬레이터 개발 검증	국고	-	38.0	38.0	38.0	44.3	31.7
				민자	-	22.0	22.0	22.0	25.7	18.3

3. ISMR MMIS 안전계통 표준 플랫폼 개발 현안

현안

- 표준설계인가를 위한 안전계통 설계 요구 수준
 - 검증된 안전등급 플랫폼이 표준안전성분석보고서(SSAR)에 명시
 - 검증된 플랫폼을 근거로 계통 기술평가 보고서(Technical Report)를 작성
 - 새로운 노형이므로 계통설계 검토를 위한 검증시험

- 표준설계인가를 위한 FPGA 기반 안전등급 플랫폼 요구 수준
 - 안전등급 플랫폼 설계/제작/검증 (2024~2025): 매우 도전적인 개발 일정
 - 과제 RFP, 제안서 제출, 협약 일정을 고려
 - 상위 설계과제와 연계하여 설계요건/사양이 필요 (상위 설계 과제가 플랫폼 과제와 동일하게 시작)
 - 기간 내에 플랫폼 개발(하드웨어제작, 소프트웨어개발, 기기검증, 품질보증, 소프트웨어검증, 사이버보안)
 - 안전등급 플랫폼 Topical Report 작성 및 제출 (2026)
 - 안전등급 플랫폼 Topical Report 승인 (2028 이전)

3. ISMR MMIS 안전계통 표준 플랫폼 개발 현안

전략 제언

- 3~5 년 내에 TR에 대한 승인을 받기 위해서는 새로운 플랫폼 개발은 쉽지 않음
- 국내에서 보유하고 있는 FPGA 기반 플랫폼을 iSMR MMIS 계통 요건에 맞게 재설계

	현 상태	iSMR 표준설계 인가를 위한 업무	비고
두산	상용로 목적 TR 제출 완료 인허가 심사 중	iSMR 고유 특성에 따른 추가 업무 - iSMR 고유 특성을 반영한 기기 검증 검토 필요 (환경, 내진, EMI/EMC 등) - iSMR 안전계통 적합성 평가 필요 (prototyping 등) - 사이버보안 설계 및 검증	
우리기술	비안전등급 상용로 적용	디지털 안전등급기기 개발 공정에 따른 개발업무 필요 - 계획단계, 요건단계, 설계 및 구현단계, 시험단계, 독립 검증 등 - 소프트웨어 안전성 분석 필요 - 안전등급 기기의 기기검증 필요 - 신뢰도, 불가용도 관련 평가보고서 필요 - 사이버보안 설계 및 검증	
...	



THANK YOU