

2025 제3차 원자력 안전규제의 미래

전기의 시대, 원자력안전규제의 나아갈 길

2025. 06. 27. 금요일 9:30 - 17:30

서울대학교 43-2동 B101호



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center



NUCLEARENGINEERING
서울대학교 공과대학 원자핵공학과

제3차 원자력 안전규제의 미래

시차	발제자	제목
9:30 - 9:40	인사말	
9:40 - 10:40	황주호	새로운 전기의 시대와 원자력
10:50 - 12:30	(패널토의) 원자력 안전검사 제도의 현재와 미래 (좌장) 박윤원, (발제) 오성현, (패널) 김민철·이우상·임시우·허균영	
12:30 - 13:30	점심식사	
13:30 - 14:20	김한곤	혁신형SMR 규제 현안과 대응 현황
14:30 - 15:20	김인구	SMR 규제연구 현황
15:30 - 16:20	정구영	미국 기술범용 인허가체계의 핵심 요소 및 국내 적용성
16:30 - 17:30	(패널토의) 차세대원자로 안전규제 (좌장) 백 민, (패널) 김군태·김인구·김한곤·김효정·박석빈· 백원필·양준언·정구영	

제3차

원자력 안전규제의 미래

전기의 시대, 원자력안전규제의 나아갈 길

가동원전 규제검사의 현재와 미래

2025. 6. 27.

오성현 비즈 전문위원

k067osh@naver.com



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

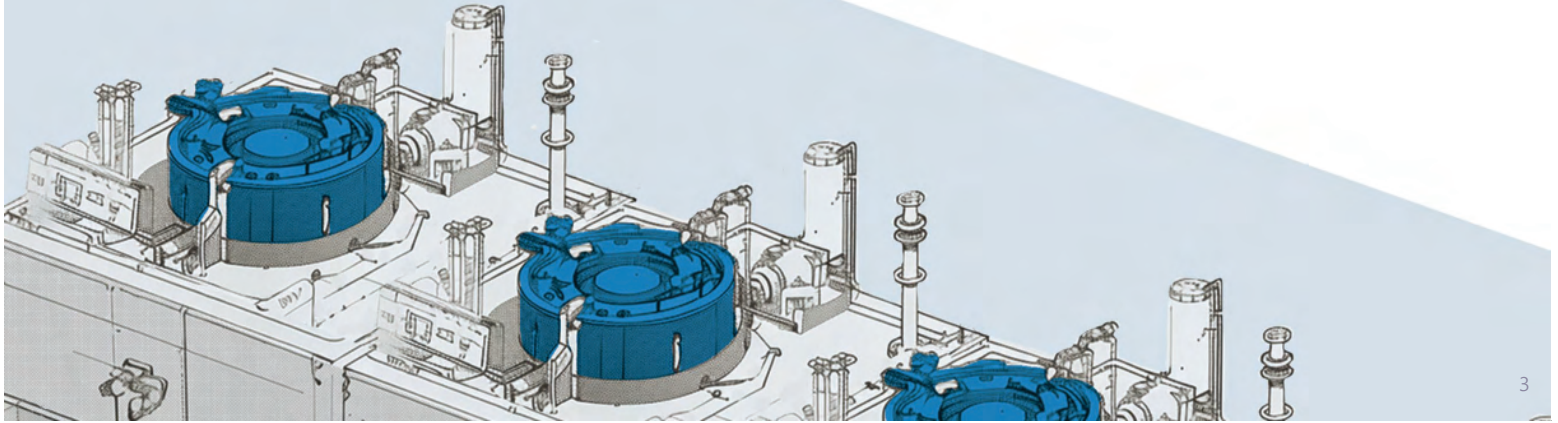
CONTENTS

- I. 개요
- II. 가동원전 규제검사 현황 및 한계
- III. 규제검사 관련 국제기준 및 지침
- IV. 가동원전 규제감독 제도 비교
- V. 가동원전 규제검사 체계 개선 방안



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

개요



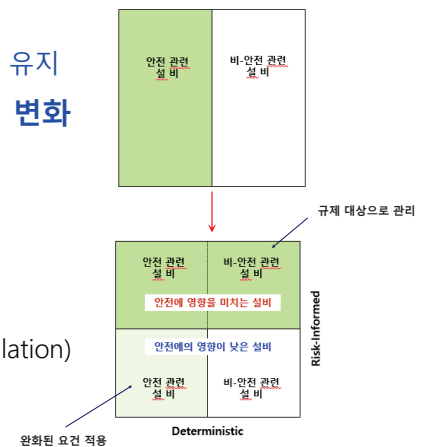
I 개요

❖ 1980년대 초반에 해외 검사 사례를 조사하고, 이를 참고하여 가동원전 검사체계를 마련

- 일본의 검사제도를 도입하고 미국의 일부 제도를 추가
- 가동원전에 대한 정기검사와 품질보증검사 체계를 마련·시행
- 다양한 검사체계 개선을 위한 연구와 변화 노력을 추진, 기본 체계는 그대로 유지

❖ 원자력 산업 및 규제환경의 변화, 규제의 역할과 감독에 대한 패러다임 변화

- 후쿠시마 원전 사고 이후 국제규범 이행의 중요성 강조
- 원자력 안전관리에 대한 사업자 책임 강화
- 사후적 확인·조치 → 예방적 안전규제
- 안전관리 대상 설비의 변화 : 안전/비안전 → 안전에 영향을 미치는 설비
- 규정 중심 규제 (Prescriptive regulation) → 리스크·성능 기반 규제(RIPB regulation)
- 시설의 SSC 성능 확인 → 성능 + 안전 운영관리 역량 등 확인
- 규제의 효과성·효율성 향상을 위한 차등 규제접근



❖ 국내 가동원전 검사체계 현황 분석과 해외 사례 검토 등을 통한 규제검사 체계 개편·선진화 필요

I 개요

❖ 원자력시설 규제검사 종류

사용전 검사	- 원자로시설의 건설단계에서 시설의 공사 및 성능이 허가기준 등 건설허가 사항과 일치하는지를 확인하고, - 완공된 시설이 수명기간 동안 안전하게 운전될 수 있는지를 확인하기 위해 수행
정기검사	- 원자로시설이 운영허가를 받은 사항에 일치하게 운영되고 있는지를 점검하고, 시설의 운영 및 성능이 기술기준에 맞게 운영되고 있으며, - 원자로시설의 성능이 내압, 내방사선 및 기타 성능이 사용전 검사에 합격한 상태로 유지되는지를 확인하기 위해 수행
품질보증 검사	원자로시설의 설치자 및 운영자의 품질보증활동이 시설의 설계, 건설 및 운영단계에서, 승인된 품질보증계획서와 일치되게 수행되는지를 확인하기 위해 수행
공급자검사	안전관련설비의 설계·제작·성능검증 관련 사항이 허가기준에 적합한지를 확인하기 위해 수행
지역사무소 일상검사	원자력안전위원회와 한국원자력안전기술원에서 파견한 지역사무소 요원들에 의한 현장 안전운전 감시활동
특별검사	각종 사건 발생시 안전성확인 또는 향상을 위해 수행

5

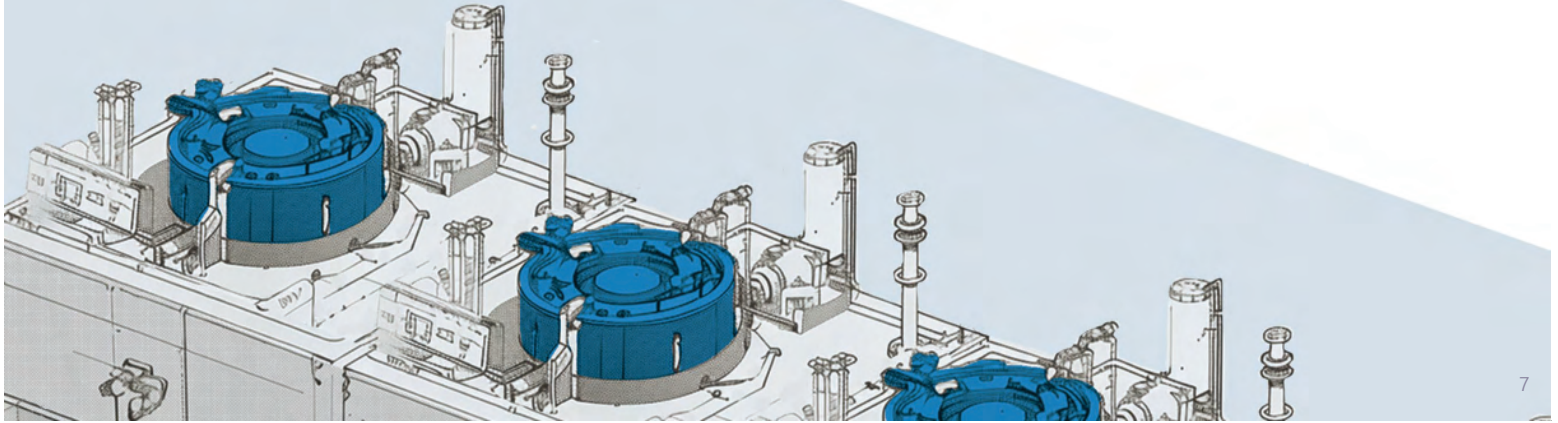
I 개요

❖ 가동원전 규제검사 종류

구분	내용	비고
일상검사	안전에 영향을 미치는 사업자의 시설 및 운영에 대한 현장 규제 감독	NSSC 지역사무소가 KINS 파견 주재원과 함께 수행
정기검사	원자로시설의 운영 및 성능이 허가기준에 맞게 운영되고, 사용전검사 합격상태로 유지되고 있는지를 확인	원자로냉각재계통시설 등 11개 시설의 성능유지 여부를 확인하고, 5개 운영기술능력 분야 확인
품질보증검사	품질보증계획서에 따라 품질보증 활동이 적합하게 수행되고 있는지를 확인	발전소별로 운전·정비 기간에 관계없이 18개 QA요건에 따른 QA 활동의 적절성 여부 확인

6

가동원전 규제검사 현황 및 한계



II 가동원전 규제검사 현황 및 한계

- ❖ 최근까지 우리나라는 발전소 정기보수기간(Overhaul, OH)에 집중된 정기검사 체계를 가지고 있었음
- ❖ 지난해 OH 기간에 집중하여 수행하였던 정기검사를 원안법 시행규칙 제19조(정기검사)를 개정하여 상시검사체계로 개편하고, 새울 2호기에 시범 적용 중 (2024. 4 ~)

구분	내용
기존	영 제35조제1항에 따른 정기검사는 정기정비 기간 또는 핵연료의 교체를 위하여 원자로를 정지한 날부터 전출력(全出力)운전을 재개하는 날까지의 기간 동안 실시한다.
개정	영 제35조제1항에 따른 정기검사는 정기정비 또는 핵연료 교체 후 전출력(全出力)운전을 재개한 날의 다음 날부터 다음 정비 또는 핵연료 교체 후 전출력(全出力)운전을 재개하는 날까지의 기간 동안 실시한다

II 가동원전 규제검사 현황 및 한계

- ❖ 가동원전에 대한 상시검사체계는 기반검사와 심층검사로 구분, 운전중 및 정비중에 수행
- ❖ 가동원전 상시검사체계는 27년까지 전 원전 확대 적용 예정

구분	기반검사	심층검사
검사내용	• 운전 중 - 운전 중에 확인 가능한 SSC 시험 및 검사항목에 대한 검사	• 운영능력 - 현 정기검사 항목 중 운영기술능력 분야(5개)의 검사 (예, 운영조직, 자격훈련, 운영절차, 인적요소, 운전경험) • 기술능력 - 운영허가 사항으로 운전 중 사업자가 수행하는 프로그램 (예, 경년열화, 가동중검사, 가동중시험, 보수교체 등)
	• 정비 중 - OH 기간 중 확인 가능한 SSC 시험 및 검사항목에 대한 검사	• 현안점검 - 보수교체·사건·사고·고장 등 안전현안 발생 시 집중 확인이 필요한 점검 • 사고관리계획

9

II 가동원전 규제검사 현황 및 한계

- ❖ 정기검사 체계 변경 전·후 비교



※ (현행) 정비기간 정기검사 → (변경) '출력운전기간 * 정비기간' 정기검사

10

II 가동원전 규제검사 현황 및 한계

❖ 원자력시설의 비안전설비 까지를 포함한 SSC 기능·성능 확인에 중점을 둔 검사 이행

- 상시검사체계로 전환 이후에도 기반검사에는 기존에 확인하던 검사항목을 운전중 및 정비중으로 구분하여 모두 포함하고 있음
- 검사항목 선정 등에 안전중요도 및 리스크 등을 고려하지 않고, 안전, 비안전 SSC에 동일한 검사 자원을 투입
- 성능저하 원전 또는 취약분야 대상에 대해 차등적 검사체계를 운영하는 해외 사례와 대비됨
- 안전중요도와 리스크에 기반한 차등규제 접근법(Graded Approach) 미 적용으로 국제기준에 미흡

❖ 설비의 성능 확인 및 미비점 시정에 규제검사가 집중

- 원전 안전운영의 중요 요소인 “안전설비의 문제점 파악 및 시정”에 대한 사업자 스스로의 노력이 약화되는 등 부작용 발생
- 시설성능이나 안전관리 수준에 관계없이 동일한 검사 및 검사 자원 투입으로 사업자의 안전성능 향상 유인책 미흡
- 원전시설의 안전운영에 대한 사업자의 책임 인식 및 역할 약화

❖ 검사 활동 및 결과는 SSC의 기능·성능시험 및 보수활동 점검·평가에 국한

- 발전소 전체의 안전성에 대한 평가가 이루어지지 못함

11

II 가동원전 규제검사 현황 및 한계

❖ 개별 기기의 기능·성능시험에 중점을 둔 검사

- 검사항목이 설비 중심으로 구성되어 있어 사업자의 안전관리활동(인적·조직요인, 안전중시 업무환경 등) 등에 대한 검사가 상대적으로 미비함
- 개별 지적사항에 대한 시정조치 요구·확인 외 검사 결과의 종합·활용체계가 미비함
- 원전의 종합적인 안전성 수준 확인에 한계가 있음

전체 시설 및 계통을 세분화하여 검사항목을 선정한 현행 검사방식은
검사결과(finding) 및 성능지표 등에 기반한 종합적인 안전성 수준 평가에 어려움이 존재

❖ 개별 기기·설비에 대해 동일한 중요도로 검사자원 등을 투입하여 검사 수행

- 안전에 중요한 SSC 및 사업자의 안전관리활동 등의 검사에 효과적으로 집중하고 있지 못함

❖ 법령에 검사 대상, 시기, 방법 및 항목 등이 정해져 있어, 검사 수행 방식·검사항목 선정 유연성 부족

- 규제 환경변화 측면에서 체계적·선제적 대응과 경험 반영이 제한된 구조
- 국내외 사건·사고 경험 및 국제 안전기준 변화를 반영한 유연한 대응에 한계

12

II 가동원전 규제검사 현황 및 한계

❖ 현장 규제활동 강화를 위한 NSSC 지역사무소 인력 증원 → 인력 활용 및 검사활동 연계 미흡

- 지역사무소 주요 업무는 일상검사의 일환으로 발전소 운영현황 파악, 발전소 계획검사 등
- 일상검사(운전 중 원전 규제감독)는 지역사무소가 KINS 파견 주재검사팀과 공동으로 수행
 - KINS 주재 검사팀 역할 및 DOR 불분명
- 정기검사가 상시검사체제로 전환되면서 운전중 주기 시험 등에 대한 확인·점검은 KINS가 수행
- 검사 범위 및 내용 등이 운전중 상시검사에 포함된 기반검사와 중복 가능성
- 일상검사, 정기검사, QA검사 연계 미흡 등의 문제점 및 규제자원의 비효율적 활용 등
 - NRC, NRA 등 ROP 수행 규제기관에서는 지역사무소의 Resident Inspector가 운전 중 기본검사 업무 등 수행

※ 지역사무소 인원 현황

지역사무소	NSSC	KINS	총 인원
고리	6명	6명	12명
월성	8명	8명	16명
한빛	7명	6명	13명
한울	9명	8명	17명
새울	5명	5명	10명
총 인원	35명	33명	68명

13

II 가동원전 규제검사 현황 및 한계

❖ 다양한 검사제도 개선 시도 → 의도한 목적을 충분하게 달성하는데 한계

- 전 노형 리스크정보활용 정기검사(Risk Informed Periodic Inspection, RIPI) 시범 적용('06~'07)
 - 각 원전별로 리스크 및 성능정보를 활용하여 종합 안전성능평가를 수행하고, 원전을 등급화하여 차등 정기검사(Graded Periodic Inspection, GPI)를 목적으로 추진
 - 노심손상빈도에 영향이 큰 공통원인고장, 운영능력 중심의 검사내용 등이 포함된 19개 정기검사항목을 선정하고, 기존 검사내용에 이를 추가하는 형태로 시범 운영 → 검사업무 부담 및 수용성 저하로 중단

구분	정기검사	리스크정보활용 정기검사
검사대상	• 사고해석, 기술지침서 등 결정론적 근거에 의해 선정	• 결정론적 근거, 안전성 중요도, 성능실적 등을 종합적으로 고려하여 선정
검사내용	• 기술지침서 점검요건	• 기술지침서 점검요건 및 노심손상 방지 능력을 종합적으로 종합하여 특성에 맞게 선정
수행방법	• 검사항목에 대해서 동일한 중요도로 검사 수행	• 안전중요도에 따라 검사항목, 검사내용 및 투입인력을 차등화하여 검사 수행

- 인적오류 예방차원에서 인적수행도 정기검사(Human Performance Periodic Inspection, HuPI) 시도('07), 중단
- SSC의 성능 확인에 치우친 정기검사 관행의 문제점을 해소하기 위한 검사제도 개선 노력
 - 일관성 있는 정책 추진 및 제도적 개선 없이 검사내용만 추가하는 방식으로 실질적 변화를 이끄는 데 한계

14

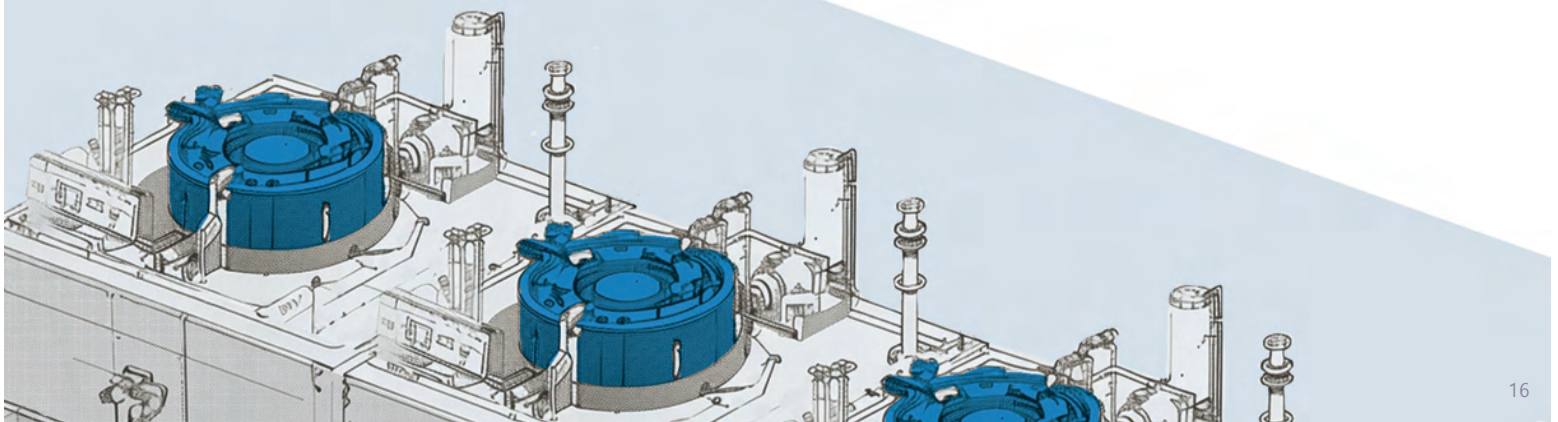
II 가동원전 규제검사 현황 및 한계

❖ 규제검사 주요 현황 및 한계 요약

현황	한계
시설 설비의 기능·성능 및 보수활동 확인에 집중된 검사	종합적인 안전성 수준 확인 및 평가에 한계
비안전 관련 SSC까지 포함한 검사 수행	안전중요도와 리스크에 기반한 차등규제 접근법 미 적용 등 국제기준과의 격차 발생
SSC의 기능·성능 확인 및 미비점 시정에 규제검사 집중	원전 안전운영에 대한 사업자 책임인식 및 역할 약화
개별 기기·설비에 대해 동일한 중요도로 인력 등을 투입하여 검사 수행	안전에 중요한 SSC 및 안전관리 활동 등의 검사에 집중할 수 있는 유연성 부족
법령에 검사 대상, 시기, 방법 및 항목 등이 정해져 있어, 검사항목 선정 유연성 부족	규제 환경변화에 체계적·선제적 대응과 경험 반영이 제한된 구조
현장 규제활동 강화를 위한 지역사무소 인력 증원	인력활용 및 규제검사활동간 연계 미흡
다양한 검사제도 개선 시도	제도화 미흡 등으로 의도한 목적을 달성하는 데 한계

15

규제검사 관련 국제기준 및 지침



16

III 규제검사 관련 국제기준 및 지침

❖ 차등 접근법: IAEA 기본 원칙 및 요건

SF-1: Fundamental Safety Principle	
- 모든 시설 및 활동에 대해 차등 접근법에 따라 안전을 평가해야 한다. - 원전 안전에 대한 근본적이고 본질적인 책임은 사업자에게 있다.	

GSR Part 1 : Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety	
요건 1: 안전에 대한 국가 정책 및 전략	- 정부는 국가의 시설 및 활동과 관련된 방사선 위험에 따라 차등 접근방식을 적용하여야 하며, 이를 통하여 안전목표를 달성하고 안전기본원칙을 준수하여야 한다. - 규제기능의 수행은 차등 접근방식에 따라 시설 및 활동과 관련된 방사선 위험에 비례해야 한다(GSR Part.1 4.3항)
요건 26: 시설 및 활동의 검토와 평가	검토 및 평가는 시설 또는 활동과 관련된 방사선 위험에 비례하여 차등 접근방식(graded approach)에 따라 수행되어야 한다.
요건 29: 시설 및 활동의 검사	시설 및 활동의 검사는 시설 또는 활동과 관련된 방사선 위험에 비례하여 차등 접근방식에 따라 수행되어야 한다.
요건 31: 시정조치 요구	규제요건 및 인허가 조건 위반에 대한 대응은 차등접근법에 따라 안전 중요도에 비례해야 한다.

17

III 규제검사 관련 국제기준 및 지침

❖ 시설 및 활동 검사 - GSR Part 1 및 GSG-13 (Functions and Processes of the Regulatory Body for Safety)

주요 내용					
- 규제 검사는 사업자의 안전에 대한 주된 책임을 약화시켜서는 안되며, 사업자가 수행해야 하는 관리, 감독 및 검증 활동을 대체할 수 없음 - 규제기관은 검사를 수행할 때 다음 사항을 포함해야 함: <table border="1"> <tr> <td>• 안전에 중요한 구조물, 계통, 기기</td><td>• 관리 시스템 (management system)</td></tr> <tr> <td>• 운영 활동 및 절차, 운영 활동 기록 및 감시 결과</td><td>• 직원의 역량 및 안전문화</td></tr> </table> - 규제기관은 주기적으로 사업자의 성능(Performance) 정보 수집 및 검사결과(검사 지적, 시정조치)를 평가하고 경향을 파악하여 규제활동에 활용 - 검사의 우선순위와 빈도는 방사선 리스크, 시설 또는 활동의 복잡성, 사고 발생 시의 잠재적 결과, 검사에서 발견된 규제 불이행 유형 및 빈도에 따라 결정되어야 함		• 안전에 중요한 구조물, 계통, 기기	• 관리 시스템 (management system)	• 운영 활동 및 절차, 운영 활동 기록 및 감시 결과	• 직원의 역량 및 안전문화
• 안전에 중요한 구조물, 계통, 기기	• 관리 시스템 (management system)				
• 운영 활동 및 절차, 운영 활동 기록 및 감시 결과	• 직원의 역량 및 안전문화				

18

III 규제검사 관련 국제기준 및 지침

❖ 시설 및 활동 검사 - GSR Part 1 및 GSG-13

주요 내용
▪ 규제 검사는 안전 목표를 준수하고 있음을 확인하기 위해 수행되어야 하며, 다음 사항을 확인하여야 함:
• 사업자가 적용 가능한 법률, 규정 및 인가 조건, 지침, 사양 및 관행을 준수하고 있는지 확인
• 안전에 중요한 항목 및 활동에서 요구되는 품질과 성능이 달성되고 유지되고 있는지 확인
• 사업자가 효과적인 관리 시스템, 강력한 안전 문화 및 자체 평가 시스템을 갖추고 있는지 확인
• 사업자(계약자 포함)가 시설 또는 활동을 수행하기 위한 필수 역량을 갖추고 있는지 확인
• 사업자가 결함 및 비정상적인 상태를 식별하고 이를 신속하게 평가하여 해결하고 있는지 확인
• 인가 조건에 명시되지 않았거나 규정에서 다루지 않은 기타 안전 문제가 식별되고 적절히 해결되고 있는지 확인
• 식별된 안전 교훈이 다른 사업자, 공급업체 및 규제기관에 적절히 전파되고 있는지 확인

19

III 규제검사 관련 국제기준 및 지침

❖ 검사 프로그램 - GSR Part 1 및 GSG-13

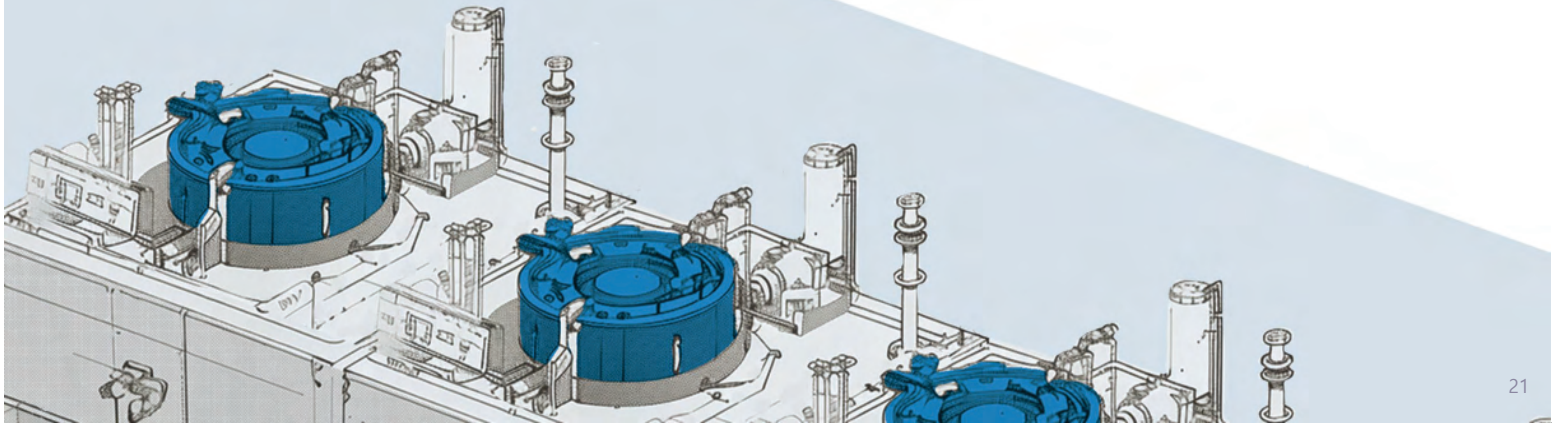
주요 내용	
▪ 검사 프로그램에는 규제 검사 유형(예: 정기 검사 및 사전 통보 없는 검사), 검사 빈도, 검사 영역 및 프로그램을 차등 접근 방식에 따라 명시해야 함 ▪ 규제기관의 검사 프로그램은 다음의 주요 사항을 포함해야 함:	
• 차등 접근 방식에 따라 검사의 우선순위를 정하는 체계	• 현장 검사 및 규제요건 확인
• 운영사건 조사 및 후속 조치	• 사업자가 제출하는 주요 운영 안전 변수에 대한 정보
• 사업자의 리더십 및 관리 체계와 인적, 기술적, 조직적 요인 확인	• 시설 또는 활동의 안전성능 지표를 확보 및 평가

❖ 집행(enforcement) - GSR Part 1 및 GSG-13

주요 내용
▪ 규제기관의 법률 및 규정에는 차등 접근 방식에 따른 규정 집행 관련 조항이 포함되어야 함 ▪ 규제 집행 활동은 규제 책임의 모든 영역을 포함해야 하며, 집행 조치는 차등 접근 방식을 적용해야 함

20

가동원전 규제감독 제도 비교



21

IV 가동원전 규제감독 제도 비교 - 미국 NRC 규제감독 제도

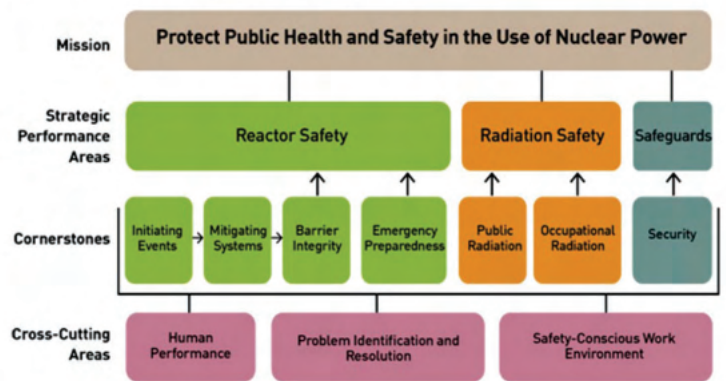
❖ ROP(Reactor Oversight Process)

- NRC는 법령에 명시된 임무 수행을 위해 가동 원전 감독체계를 전략성능분야, 안전초석, 공통영역으로 구성
 - 『안전운영 성능 저하 여부에 대한 판단』을 위해 시설과 활동의 기본 요소로 7개 안전초석 및 3개 공통영역을 설정
 - 안전초석 및 공통영역은 “안전 목표” 달성을 위해 원전 운영자가 관리해야 하는 핵심적인 업무영역을 의미
 - NRC는 전략성능분야와 안전초석 별로 안전 목표와 성과 목표 및 지표를 설정하고 매년 달성도를 확인
- 인적·조직적 요소의 효과적 관리와 안전 위해요소의 체계적 식별·관리를 목적으로 공통영역을 설정

※ Cross Cutting Area

Category	Description
Human Performance	This element monitors the licensee's decision-making process, availability and adequacy of resources to ensure nuclear safety, coordination of work activities, and personnel work practices.
Problem Identification and Resolution	This element monitors the licensee's corrective action and operating experience programs, and the licensee's self- and independent- assessments.
Safety-Conscious Work Environment	This element monitors an environment in which workers feel free to raise nuclear safety concerns without fear of harassment, intimidation, retaliation, or discrimination.

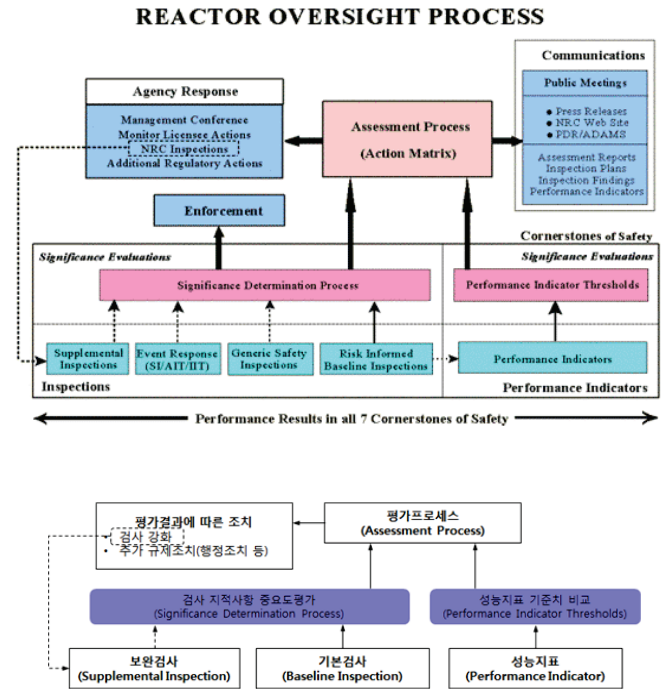
Reactor Oversight Framework



IV 가동원전 규제감독 제도 비교 - 미국 NRC 규제감독 제도

❖ ROP(Reactor Oversight Process) (계속)

- NRC는 발전소 호기별 안전운영 여부를 주기적으로 감시·평가하고, 평가 결과에 따라 규제 대응조치 수준을 결정하는 ROP를 개발·시행 (2000. ~)
- ROP는 NRC의 각종 검사와 사건조사 등 규제행위의 결과 및 사업자의 안전운영 실적(SPI)의 평가 결과를 종합하여,
 - 원전별 안전운영 등급을 결정하는 평가 프로세스와 후속 대응 및 소통 절차로 구성
- ROP에서는 원자로별로 7개 안전초석에 대해,
 - 각 초석별 발견사항(finding)의 중요도 및 성능지표 평가 등급을 종합하여 안전 운영 등급을 4단계 등급(Green, White, Yellow, Red)으로 결정하여 사용
- 등급 평가 결과를 종합하여 원자로별 후속 대응을 '추가적인 규제조치가 불필요한 등급' 부터 '운전이 허용되지 않는 등급' 까지 5단계로 구분하여 조치



23

IV 가동원전 규제감독 제도 비교 - 미국 NRC 규제감독 제도

❖ ROP 핵심

- ROP는 발전소 안전성 수준 평가 프로세스로서 발전소의 안전성 수준은 사업자의 안전운영 수준, "Licensee Performance"에 의해서 결정된다고 전제

ROP에 의한 차등규제는 보다 정확하게 『안전성 수준을 평가』 하기 위한 것임

❖ 발전소 성능(성과, 실적)을 평가해서 등급을 부여하는 이유 :

- 규제결과를 일반 국민이 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위함 (common language)
- 규제자원을 효율적으로 활용하기 위함 (graded regulation)
- 안전성이 떨어지기 시작하는 발전소를 조기에 식별하기 위함 (performance based regulation)

가동 중인 『원전이 안전한지에 대한 규제기관의 객관적인 판단』 을
규제자, 사업자 및 일반 국민에게 제시하기 위함

24

IV 가동원전 규제감독 제도 비교 - 미국 NRC 규제감독 제도

❖ ROP는 다음 목표를 달성하기 위해 마련 및 시행

No	Description
(1)	• Maintain safety by establishing a regulatory oversight framework that provides assurance that plants continue to be operated safely by plant operators. Maintaining safety is the NRC's overarching mission.
(2)	• Enhance public confidence in the NRC's regulatory program by increasing the predictability, consistency, objectivity and transparency of the oversight process so that all parties will be well served by the changes taking place.
(3)	• Improve the effectiveness, efficiency, and realism of the oversight process by focusing both agency resources and utility resources on those issues with the most safety-significance.
(4)	• Reduce unnecessary regulatory burden by using a more efficient and effective process.

❖ Baseline inspection program:

The **baseline inspection program**, based on the cornerstone areas, **focuses on activities and systems** that are **"risk significant"** (in other words, those **activities and systems that have a potential to trigger an accident**, can **mitigate the effects of an accident**, or can **increase the consequences of a possible accident**).

25

IV 가동원전 규제감독 제도 비교 - 일본 NRA 규제감독 제도

❖ 기존 검사제도 문제점

- 사업자가 안전을 확보하는 1차적 책임을 지고 있다는 것이 불명확 → 규제기관의 승인주의에 빠질 우려가 있음
- 중복되고 혼잡한 형태의 검사가 다수 존재하고, 법령에서 검사 대상과 검사 시기가 세분화 → 모든 사업자의 안전 활동을 세심하게 살피지 못함
- 항목 기반 체크리스트 방식의 검사 → 안전에 중요한 활동에 집중하기 어려운 체계로 되어 있음
- 규제기관의 검사관이 독자적으로 수행하는 것이 아니라 사업자의 검사 대응 부서를 통한 도면, 기록 확인 및 현장 순시 위주 → 사업자의 관점에 영향을 받는 검사가 될 가능성이 높음

검사제도 개선 노력은 개별 기기의 시험결과 확인 위주의 정기검사가 사업자의 부적절한 업무수행체계/관행을 제대로 확인하지 못하는 한계를 극복하기 수단으로 시도

❖ 신 검사제도의 특징

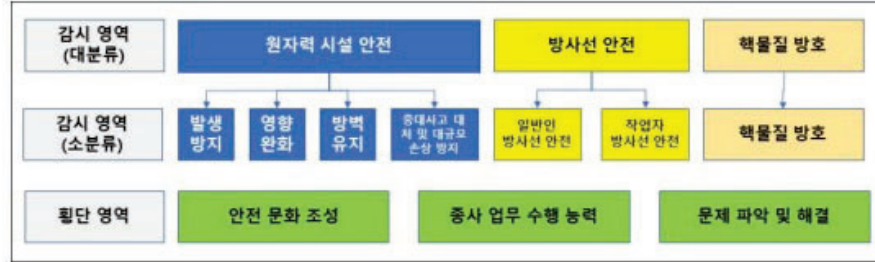
- 「언제」, 「어디서나」, 「무엇이든」 NRA의 철저한 점검이 가능한 검사
- 안전확보 관점에서 사업자의 대처상황을 평가
- 이를 통해 사업자가 스스로 안전확보 수준을 향상시키는 노력을 촉진

26

IV 가동원전 규제감독 제도 비교 - 일본 NRA 규제감독 제도

❖ NRA의 새로운 검사제도는 미국 NRC의 ROP 체계를 벤치마킹하여 시행 (2020.4월)

- NRC의 규제감독 체계와 유사하게 감시영역을 구분(원자로안전, 방사선안전, 핵물질 방호)하고, 7개 감시영역과 3개 횡단영역(cross-cutting area)으로 구성되는 감독체계를 마련하여 시행



<NRA 가동원전 규제감독 체계>

❖ 검사

- 기본검사 및 별도로 필요에 따라 추가검사, 특별검사 실시
- NRA에 의한 일상검사와 일정 주기로 실시되는 전문지식을 갖춘 팀 검사 실시

❖ 안전실적/성능 지표(Performance Indicator, PI)

- NRA의 원자력 검사관의 검사와는 별도로 사업자 스스로 지표를 설정하여 시설의 안전 상태를 보고

27

IV 가동원전 규제감독 제도 비교 - 일본 NRA 규제감독 제도

❖ 안전 중요도 평가

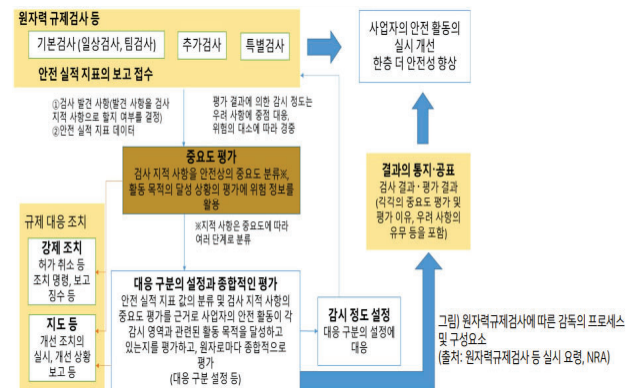
- 검사에서 지적사항이 발견되거나 안전실적지표가 지정된 임계치를 초과한 경우에는,
 - 사업자의 검사대상 안전활동의 저하상태를 평가하여 4단계(Green, White, Yellow, Red)로 표시

❖ 규제 대응 조치

- 사업자의 안전활동의 저하상태 평가와 병행하여 필요에 따라 규제 대응조치를 취함

❖ 종합적인 평가

- 원칙적으로 연 1회 검사 대상의 안전활동 상태에 대해 종합적인 평가를 실시하고 5단계로 구분하여 사업자에게 통지 및 공표



<NRA 가동원전 규제감독 프로세스>

28

❖ 규제검사제도 개선 전·후 비교

구분	전·후 비교	
사업자 스스로의 개선 활동을 촉진함	전	▪ 사업자 스스로 개선을 촉진하지 않는 체계 • 사업자가 안전확보라는 일차적 책임을 지고 있다는 것이 불명확함 • 규제기관의 보증주의에 빠질 우려가 있음
	후	▪ 사업자의 책임을 명확하게 하여 스스로의 개선을 촉진하는 체계 • 사업자에게 검사 의무를 부과하고, 규제기관의 역할은 사업자의 노력을 확인하는 역할로 전환
모든 안전활동이 모니터링 대상임을 명확히 함	전	▪ 사업자의 모든 안전활동을 감시하지 못함 • 중복된 다수의 혼잡한 형태의 검사 • 법령에서 검사 대상과 검사 시기가 세밀하게 정해져 있음
	후	▪ 규제기관의 점검이 꼼꼼하게 이뤄지는 구조 • 규제기관의 모든 검사를 하나의 체계로 일원화 • 검사 대상은 사업자의 모든 안전 활동으로 정함
리스크 관점을 도입한 검사	전	▪ 안전상 중요한 것에 집중하기 어려운 체계 • 미리 정해진 항목의 적합성 여부를 확인하는 이른바 체크리스트 방식
	후	▪ 안전상 중요한 것에 집중할 수 있는 체계 • 안전상 중요도에 따라 검사 중점을 설정 • 리스크 정보 활용 및 안전실적지표(Pi) 반영 등을 도입한 체계 • 안전확보 관점에서 평가를 실시하여 다음 검사 등에 피드백
현장의 실태를 주도적으로 확인하는 검사 운용	전	▪ 사업자의 관점에 영향을 받을 수 있음 • 사업자의 검사 대응 부서를 통한 도면, 기록물 확인, 현장 순시 중심
	후	▪ 규제기관의 주도적인 검사 수행 • 검사관이 필요하다고 판단할 때 현장 실태를 직접 확인하는 검사 운영 • 규제기관이 필요한 정보 등에 자유롭게 접근할 수 있는 체계를 효과적으로 운영

29

❖ 종합 안전성 확인 및 차등체계

국가	내용
미국 NRC	• 검사-평가-조치(집행)가 연계된 원자로규제감독프로세스(ROP) 제도 운영 ('00~) • 3개 성능분야, 7개 안전초석, 3개 공통영역으로 구성된 규제 체계를 설정하고, 안전초석과 연계하여 40여개의 검사분야를 설정 • 원전 안전성 수준을 5등급으로 평가하고, 안전성 저하 수준에 따라 차등화된 규제검사와 조치 수행
일본 NRA	• 기존 6개 검사 유형을 '원자력 규제검사'로 통합하고, NRC와 유사한 규제감독 체계 도입 ('20~) • 기존에는 국내 검사제도와 유사하게 시설 성능확인 중심의 유사한 검사제도 운영 • 미국 ROP와 유사하게 7개 감시영역과 3개 횡단영역으로 구성된 규제 체계를 설정 • 5등급의 원전 종합 평가체계를 도입하여, 안전성 저하 수준에 따라 원전별 규제 차등화
한국 NSSC	• -

30

❖ 사업자 책임 및 역할

국가	내용
미국 NRC	- 규제정책·지침 문서에 사업자의 책임 및 역할사항을 명확히 기술 - 원전 운영자에게 원전의 안전한 운영에 대한 1차적인 책임이 있음 (원전 운영에 관한 정책성명) - 규제대상 활동을 수행하는 개인과 조직은 안전(safety)과 보안(security)에 대한 1차적인 책임이 있음 (안전문화 정책성명)
일본 NRA	원자로등규제법에 책임과 역할 명시, NRA 요령과 하위 지침에 규제감독 프로세스와 방식 기재 ※ 원자로등규제법 제57조 제8항 '원자력 사업자 등의 책무'
한국 NSSC	1994년 공표한 원자력안전 정책성명에서 다음 사항을 제시 - 원자력시설의 안전에 대한 궁극적인 책임은 사업자에게 있음 - 정부/규제기관은 원자력의 개발 및 이용에 수반되는 방사선위해로부터 국민과 환경을 보호하는 포괄적인 책임이 있음 - 원자력안전법령 등에 사업자 책임사항 미 명시

31

❖ 사업자 안전관리 활동 등에 대한 규제 접근방식

국가	내용
미국 NRC	3개 공통영역(인적 성능, 문제 파악 및 해결, 안전 중시 업무환경)을 ROP에 접목
일본 NRA	공통요소인 횡단영역(cross-cutting area)에 종사자 업무수행 능력, 문제파악 및 해결, 안전문화 조성 활동 영역을 포함
한국 NSSC	- 정기검사에서 다음 사항에 대한 운영 및 기술능력을 확인 - 운영조직, 자격 및 훈련, 운영절차서, 인적요소의 관리, 운전경험의 반영 - NRC, NRA와 같은 공통영역요소 미 포함

❖ 사업자 제공 정보 활용 방식

국가	내용
미국 NRC	원전 안전성능지표(SPI)를 규제감독에 직접 활용하며, SPI로 확인이 어려운 안전초석 분야에 대해 검사에서 확인함
일본 NRA	NRC의 ROP 제도를 도입하였기 때문에 SPI를 규제감독에 직접 활용하고 있음
한국 NSSC	- SPI 정보를 제출받고 있으나 규제활동에 활용하고 있지 않음 - NRC의 SPI 체계를 따르고 있으나 SPI를 규제활동의 일부 또는 보완 수단으로 활용하고 있지 않음 ※ 원자력안전에 대한 소통 목적으로만 활용

32

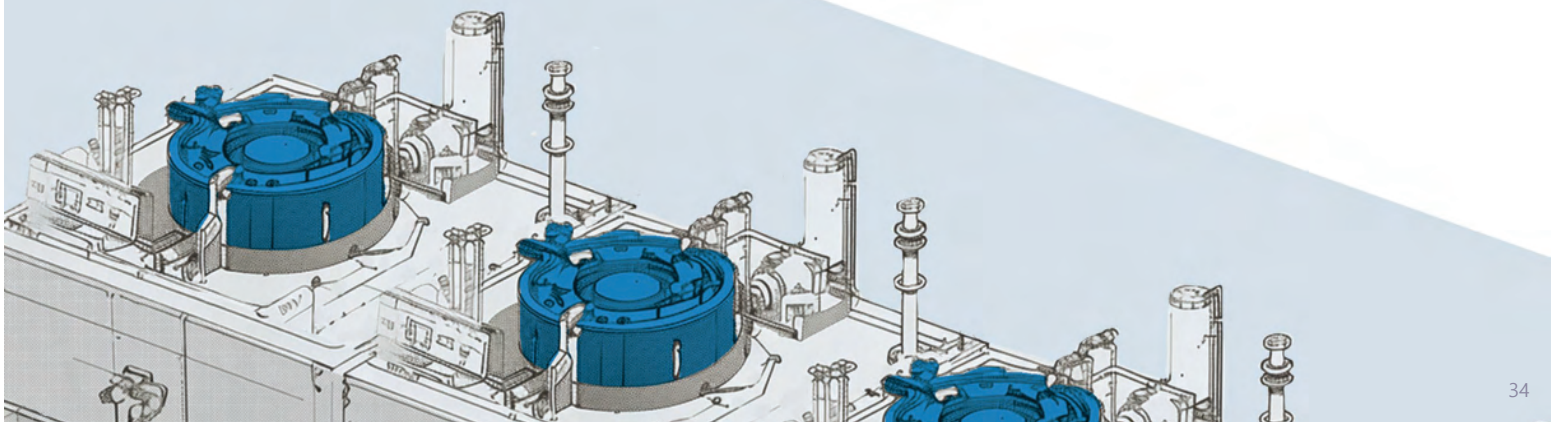
❖ 주요 국가 규제감독제도

구분	한국 NSSC	미국 NRC	일본 NRA
검사종류	• 정기검사	• 기본검사 + 보충검사	• 기본검사 + 추가검사
검사대상	• 시설별 성능(11개 시설, 95개 항목) • 운영능력(5분야)	• 영역별 성능 및 운영능력(8개 영역 41개 검사분야)	• 영역별 성능 및 운영능력(8개 영역 50개 검사분야)
검사기간	• 정비(OH) 및 운전기간	• 연간 주기	• 연간 주기
차등체계	-	• 적용 (5등급) - 등급별 보충검사 추가	• 적용 (5등급) - 등급별 추가검사 추가
ROP	-	• 시행	• 시행
합격기준	• 사용전검사의 성능상태 유지	• 1 ~ 4등급 : 운전 허용 • 5등급 : 운전정지	• 1 ~ 4등급 : 운전 허용 • 5등급 : 운전정지

❖ 주요 시사점

- 해외 규제기관은 원자력시설의 **성과와 사업자의 주요 운영 능력을 상시 확인**하고 있음
- 운영실적과 안전 성능저하 수준에 따라 **검사 종류나 빈도를 변경**하는 등 **검사의 유연성을 확보**하고 있음
- **안전관리 수준을 체계적으로 평가**한, 취약한 부분에 규제자원을 집중하는 **리스크·성능 확인 관점의 검사 수행**

가동원전 규제검사 체계 개선 방안



❖ 검사 목적에 대한 인식 및 원전의 안전성 저하 여부를 파악할 수 있는 검사체계로의 전환 필요

- 개별 SSC에 대한 기능·성능 및 보수활동 결과를 정기적으로 확인하는 것을 검사의 주된 목적으로 인식 지양
- 규제검사는 사업자가 허가 받은 대로 시설을 운영하고, 업무를 수행하는지를 점검·평가하여 원자력시설의 안전성이 충분히 유지되는 지를 확인하는 것

→ 『안전하지 않은 발전소를 찾아내는 것』이 검사의 주된 목적이 되어야 한다는 점 인식 필요

『원자력시설의 안전성 수준을 확인』하는 것이 검사의 핵심 기능이므로
이를 충족할 수 있는 검사체계 마련 필요

❖ 리스크 정보 및 SSC 성능에 기반한 차등규제로의 가동원전 규제검사 체계 개편 필요

- 발전소에서 발견된 문제점 및 설비 성능 저하 정보 등을 종합하여 안전성 수준이 얼마나 떨어지는지 평가하고, 규제조치 수준 결정

Risk informed, Performance based - Graded Regulatory Oversight Process (RIPB-GROP)

- 고려 사항
 - 현행 항목 위주의 SSC 기능·성능확인 검사체계에 검사내용을 추가하는 방안은 지양
 - 그 동안의 개선 노력 및 연구결과 등을 활용하여 새로운 검사체계 도입 우선



제3차

원자력 안전규제의 미래

전기의 시대, 원자력안전규제의 나아갈 길

혁신형 SMR 규제 현안과 대응현황

2025. 6. 27.

김한곤 사업단장 (혁신형 SMR 기술개발사업단)

kimhg1108@ismr.or.kr



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

CONTENTS

I. 혁신형 SMR 최상위 설계요건

II. 혁신형 SMR 설계현황

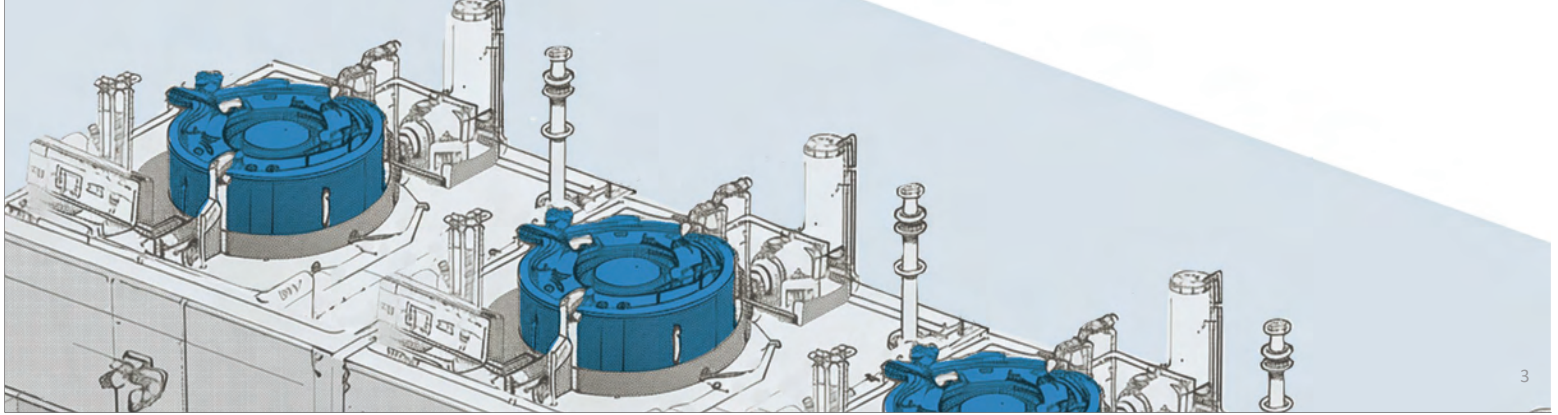
III. 규제현안과 대응현황

IV. 제언



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

혁신형 SMR 최상위 설계요건



I 혁신형 SMR 최상위설계요건

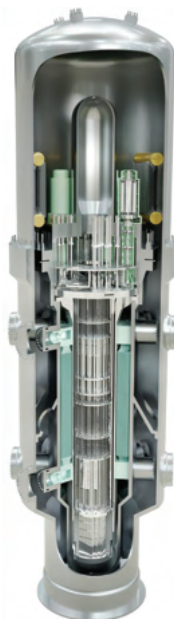
◆ 최상위설계요건

일반요건

- ❖ 일체형 가압경수로
- ❖ 170MWe (다목적 활용 가능 설계)
- ❖ 4개 모듈 기준
- ❖ 80년 설계수명
- ❖ 최대지반가속도 0.3g (RG1.60 적용시)

경제성 및 건설성

- ❖ 순건설단가 : \$3,500 /kWe (Nth 호기)
- ❖ LCOE : LCOE \$65 /MWh (Nth 호기)
- ❖ 건설공기 목표 ≤ 42 개월



안전성

- ❖ CDF : 1.0E-9 /M·Y, LRF : 1.0E-10
- ❖ 운전원 조치 : 불필요 (설계기준사고)
- ❖ LOCA 방호능력
 - RCPB 연결배관은 2인치 이하
 - 설계기준사고시 노심노출 허용하지 않음
- ❖ 중대사고 대처능력 : 중대사고 실질적 배제
- ❖ 방사선비상계획구역 : 부지경계 이내

운전성

- ❖ 무봉산 운전
 - 제어봉+가연성독봉+MTC 2차반응도제어
- ❖ 탄력운전 : 100-20-100%,10%(Step),5%(Ramp)
- ❖ 부하탈락성능 : 100% 터빈우회 가능
- ❖ 재장전 주기 : 24개월 이상

◆ 주요 설비 최상위설계요건

안전계통

- ❖ 전력에 의존하지 않는 완전피동형
- ❖ Fail-safe 설계
- ❖ 철제 격납용기 설계
- ❖ 모듈간 물리적 분리, 독립성 확보

전력계통 및 HMIS

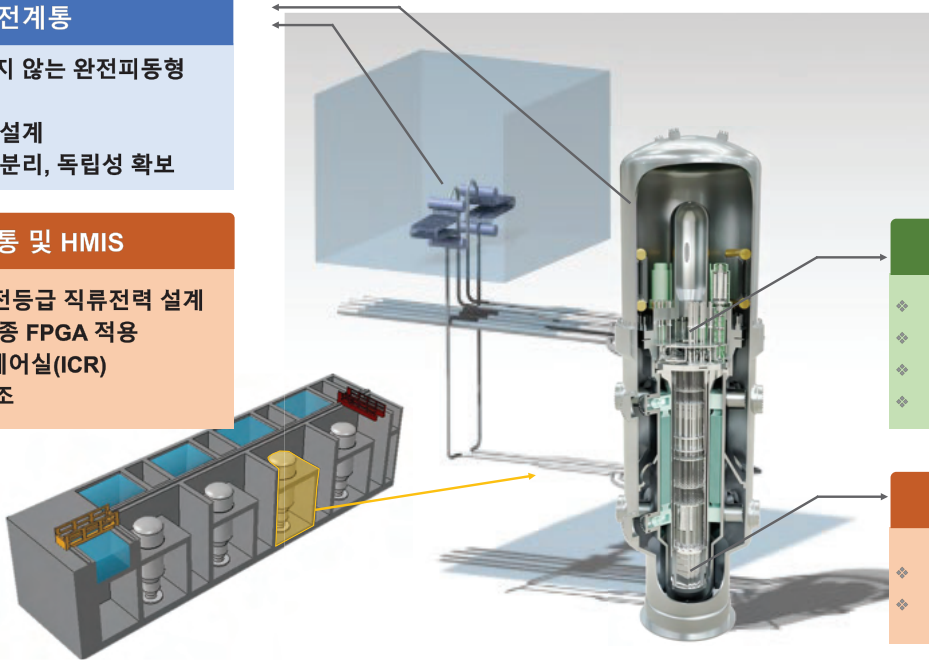
- ❖ 보강된 비안전전등급 직류전력 설계
- ❖ CCF 대비 이기종 FPGA 적용
- ❖ 4개 모듈 통합제어실(ICR)
 - 3인 운전조

원자로냉각재계통

- ❖ RCP : 캔드모터 형식
- ❖ 증기발생기 : 관류식, 나선형
- ❖ 제어봉구동장치 : 내장형
- ❖ 노내계측기 : 상부 탑재형

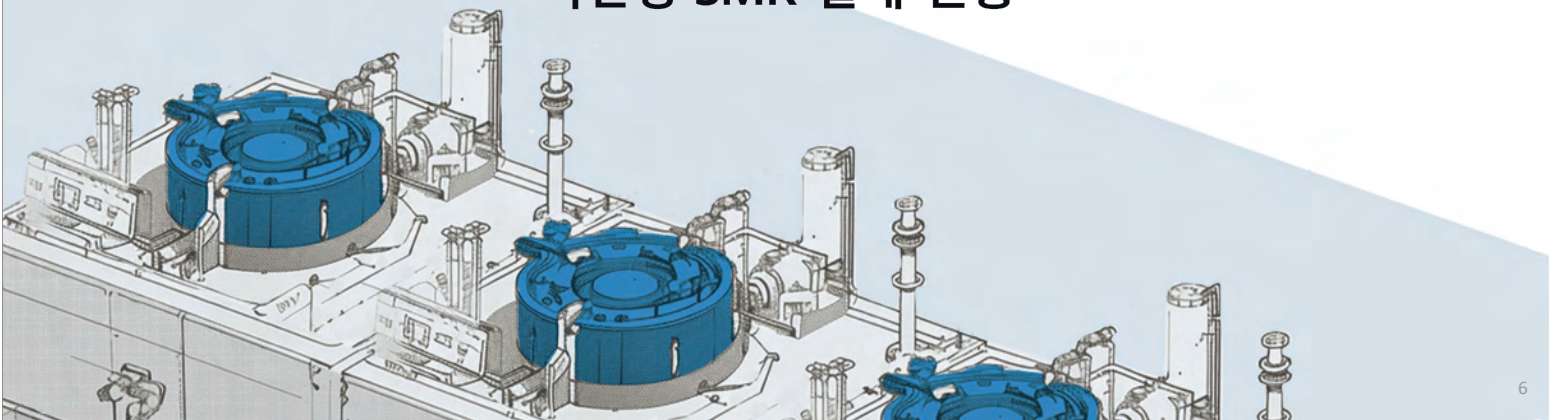
핵연료 및 노심

- ❖ 24개월 이상 장주기 운전
- ❖ 부적절노출시간 = zero



5

혁신형 SMR 설계 현황



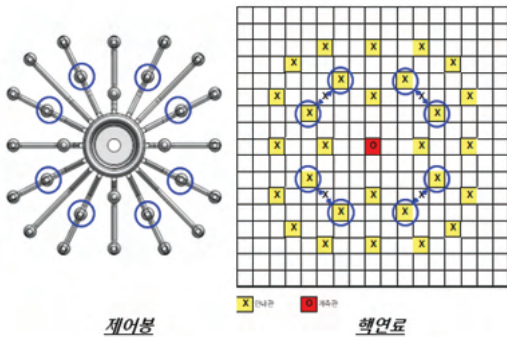
6

혁신형 SMR 설계 현황

◆핵연료 및 노심설계

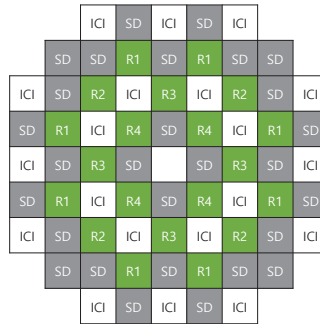
핵연료 및 제어봉 설계

- ◆핵연료 유효길이 = 2.4m
- ◆형태 = 17x17
- ◆내진설계 = 0.3g (보수적인 내진 스펙트럼)
- ◆열적 여유도 > 15%
- ◆상부 탑재형 즉발형 노내계측기 = 20개
- ◆가연성흡수봉 형식 = 일체형 고농축 Gd_2O_3

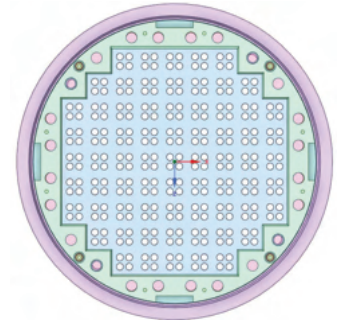


노심 설계

- ◆노심 열출력 = 520 MW
- ◆선출력밀도 = 3.68 kW/ft
- ◆핵연료 집합체 수 = 69 개
- ◆장전 모형 = 2 Batch
- ◆주기길이 = 27 개월
- ◆반응도 제어 = IV-CRDM+BA+MTC (Boron-free operation)



제어봉 : 49
ICI : 20

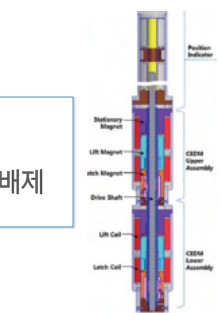


< 스테인리스스틸 반사체 적용 >

혁신형 SMR 설계 현황

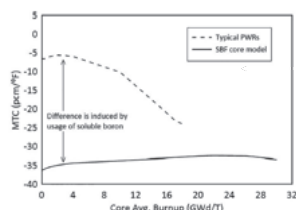
◆핵증기공급계통 설계

- ✓ (IV-CRDM) 단일 제어봉 집합체 이탈사고 원천 배제

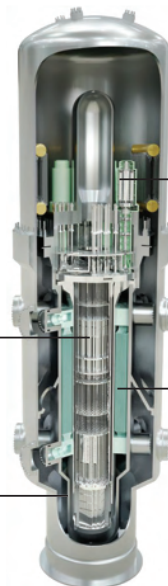


< In-Vessel CRDM >

- ✓ 봉산희석사고 배제
- ✓ 봉산석출에 따른 재임계 현상 배제
- ✓ PWSCC 배제
- ✓ AOA 저감

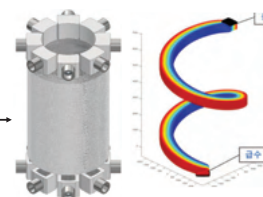


< MTC feedback for boron-free core >



< Canned Motor RCP >

- ✓ 안정적인 1차측 냉각재 유량 공급 (Instability X)
- ✓ 높은 열출력 구현

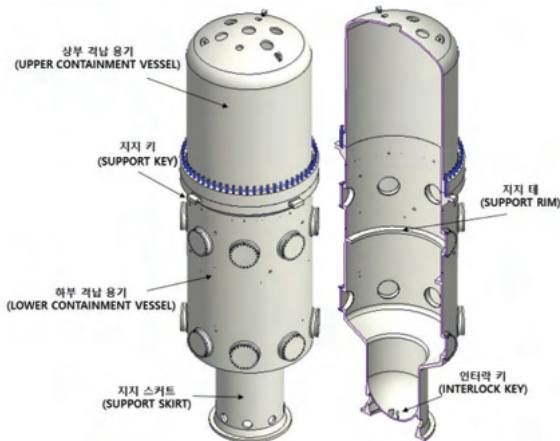


< Helical SG >

- ✓ 일체형 원자로 구현
- ✓ Dryer 및 Steam separator 불필요
- ✓ MSSV 불필요

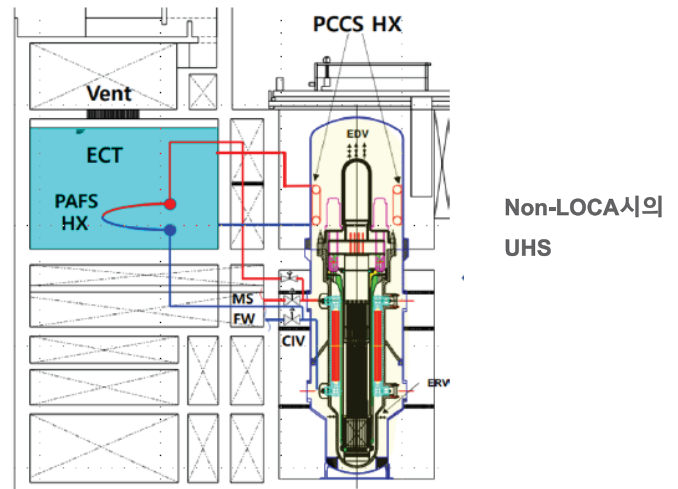
◆ 철제 격납용기 계통

- LOCA시 CV로 방출되는 방사성 물질의 외부 방출을 방지하기 위한 물리적 방벽 제공
- 별도의 가연성 기체제어 수단이 없이 가연성 기체 연소가 발생하더라도 격납용기 건전성 유지



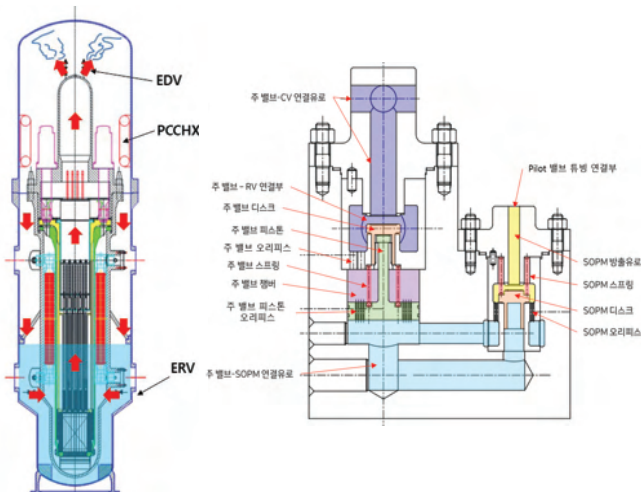
◆ 피동보조급수계통(PAFS)

- LOCA 및 Non-LOCA시 증기발생기 비상급수공급으로 원자로를 안전정지조건까지 냉각 및 유지
- 50% x 4계열 열교환기, 100% x 2계열 ECT



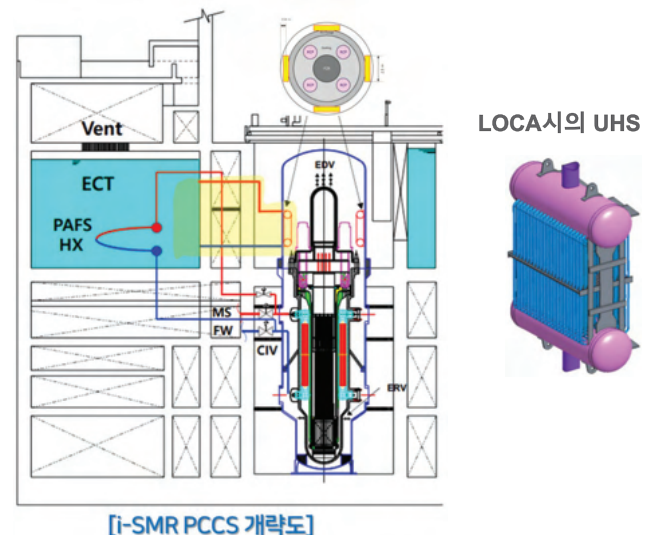
◆ 피동 비상노심냉각계통(PECCS)

- 소형냉각재상실사고시 RCS 압력방출, PCCS 응축수를 재순환시켜 노심 노출을 방지하도록 설계
- 100% x 2계열 비상방출밸브(EDV), 비상재순환밸브(ERV)



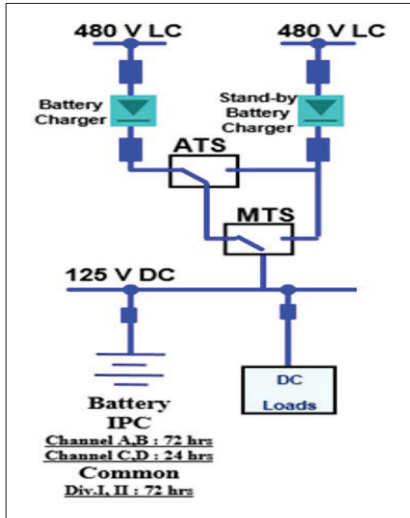
◆ 피동 격납용기냉각계통(PCCS)

- 소형냉각재상실사고시 격납용기 감압 및 열제거
- 33% x 4계열 열교환기, 100% x 2계열 ECT



◆ 직류전력계통

- 목적: 피동안전계통 밸브 및 사고감시설비(AMI) 전력공급
- 등급: 강화된 비안전등급
- 구성: 다중성 - 4 채널(A,B,C,D), 신뢰성 향상 - 충전기 2대(이중화), 모듈간 독립성 유지



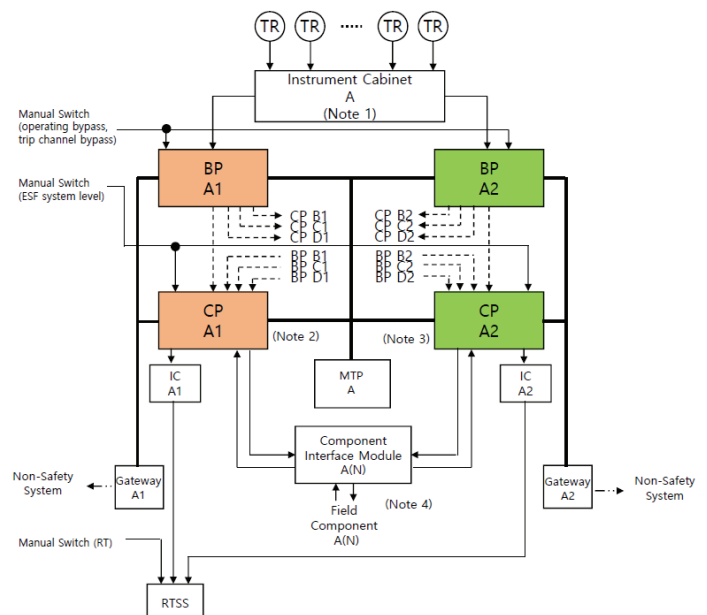
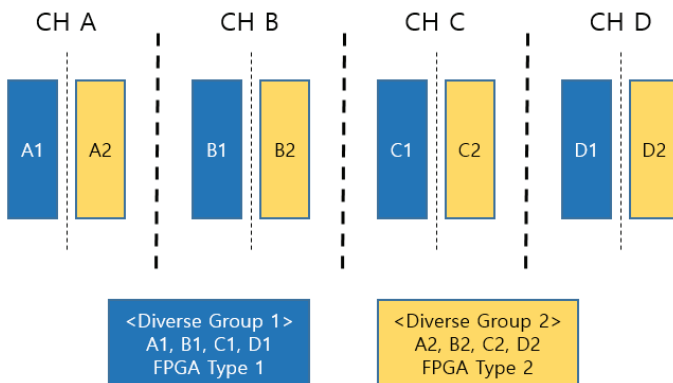
※ 강화 설계, 기기 검증 및 품질 보증 적용

- 강화 설계: 독립성, 다중성, 시험성 요건 적용
- 기기 검증: 내진/내환경 검증 적용
- 품질 보증: 규제지침 9.13 부록 A1~10항(발전소 정전사고) 적용

강화 설계, 검증, 품질	보강된 직류 계통
System Design (계통 설계)	규제지침 9.4 (RG 1.32)를 적용함.
Quality Assurance (품질 보증)	Q등급에 준하는 품질보증 적용함. ☞ 규제지침 9.13 부록 A.1~10항(Reg 1.155 App.A)을 적용함
Seismic Qualification (내진 검증)	KEPIC END 2000 (IEEE 344) 적용함.
Environmental Qualification (내환경 검증)	KEPIC END 1100 (IEEE 323) 적용함.
Identification (계통 식별)	규제지침 9.7 (RG 1.75) 및 KEPIC ENB 2000 (IEEE 384) 적용함.
Independence (독립성)	규제지침 9.7 (RG 1.75) 및 KEPIC ENB 2000 (IEEE 384) 적용함.
Single Failure Criterion (단일 고장 기준)	규제지침 8.5 (RG 1.53) 및 KEPIC ENB 3000 (IEEE 379) 적용함.

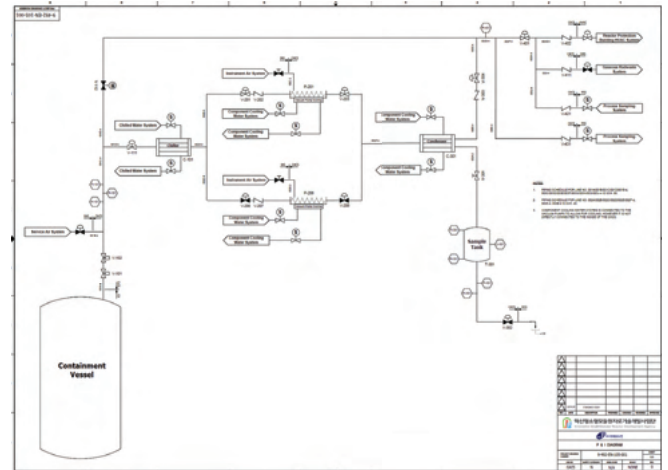
◆ 보호계통 I&C 플랫폼 설계

- FPGA 이기종 도입
- 채널 내 다양성 확보: DPS 삭제
- 각 다양성 그룹별 제작사/V&V 독립성 확보



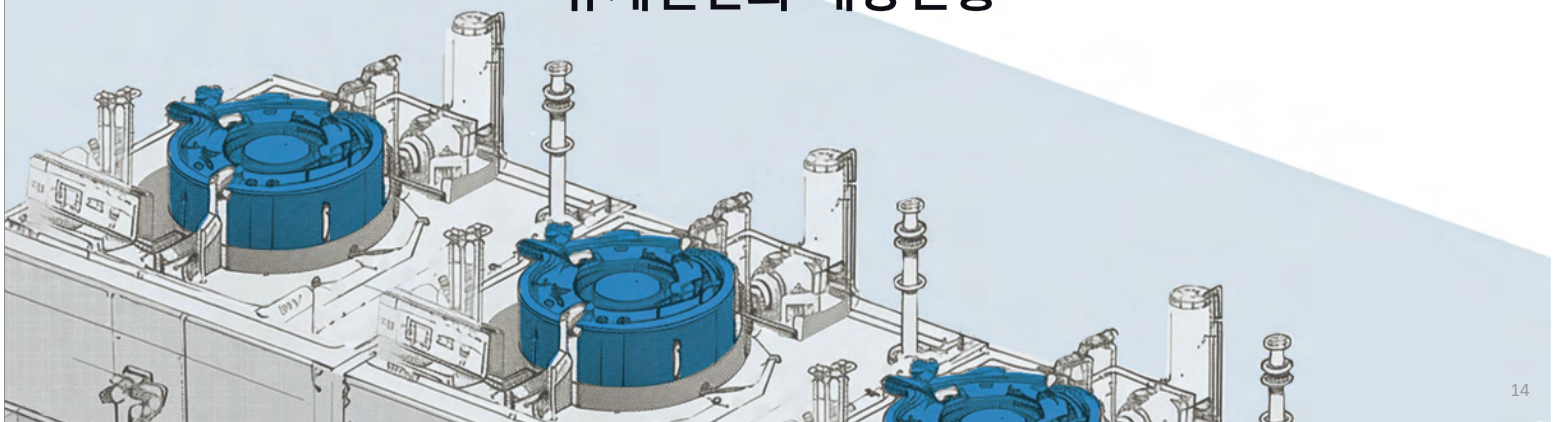
◆ 보조계통 – 격납용기 공기조절계통(Containment Air Control System, CACS)

- 정상운전시 열손실 감소: 진공도 - 공칭 0.1bar
- CV 내부 대기 중 방사능 농도를 감시
- CV 내부로의 누설량을 탐지 및 정량화
- CV 내부 비응축성 기체 제거 및 액체 잔류물 제거
- 설계기준초과사고시 CV 내부 대기의 수소 및 산소 농도 감시



13

규제현안과 대응현황



14

III 규제현안과 대응현황

◆ 사전설계검토

➢ 목적 및 의의

- 규제현안을 조기 도출하고 안전성 입증방안에 대한 적절성을 사전에 검토
- 규제체계 정비, 규제 입장 사전 정립을 통해 효율적 본 심사 수행 기반 마련
- 사전에 제시되는 규제입장을 통해 개발자의 시행착오 및 규제 불확실성 최소화

➢ 경과

- (23.10) 원안위-과기부-산업부 사전설계검토를 위한 업무협약 체결
- (23.10) 사전설계검토 신청서 제출 (표준 설계인가 신청 계획서, 설계특성 설명서, 격차분석보고서, 기술보고서)
- (23.12~현재) 총 19종의 기술보고서 제출, 질의답변 및 설명회 진행 중

➢ 대응 조직

- 규제총괄반: 원안위 국장, 과기부, 산업부, 사업단장 등 (반기마다 개최)
- 규제총괄그룹: KINS, KINAC, 사업단, 설계기관 인허가 책임자 (매월 개최)
- 규제검토그룹: KINS 전문실, 각 설계 담당자 (수시)

15

III 규제현안과 대응현황

◆ 현행 안전기준 분석 및 격차 도출

- 격차분석보고서를 통해 법, 기술기준 규칙 및 고시 36건의 격차 도출 (심사지침 94건 격차는 별도)

안전기준	조항	요건	i-SMR 설계특성에 따른 격차	대응방안
원안법	제20조 운영에 관한 안전조치	현행 규정은 4개모듈 최소 8명 요구	4개 모듈 통합제어실 설계 3인 운전조 구성	법 개정
방재법	제20조 방사선비상계획구역	PAZ(3~5km), UPZ(20~30km)	부지경계 EPZ	법 개정
기술기준	제5조 위치제한	인구밀집지역으로부터 떨어져 위치 위치제한 고시 선량을 초과하지 않는 곳에 설치	설계특성 고려한 선원항 적용 (AST, MST)	고시 개정
	제10조 다수기 건설	다른 원자로시설에 영향을 미치지 않는 곳에 설치	4개 모듈 구성, 통합제어실 설계	현행유지
	제20조 계측 및 제어장치	SG 수위, 봉산농도 계측장치 설치	관류형 SG 적용 수위 측정 불가 무봉산 적용으로 봉산농도 측정 불필요	면제
	제21조 원자로냉각재 압력경계	가능한 한 누설원 위치 파악 설비 구비	철제 CV, CACS 적용으로 누설원 위치 파악 불가	면제
	제22조 원자로냉각재 계통	사고시 냉각재 보충 기능 보유	비상감압/재순환 방식으로 보충기능 불필요	면제
	제23조 원자로격납건물	핵분열생성물 농도저감, 가연성기체제어 수단 구비	관련 수단 없음 (선량 및 수소하중 만족하도록 설계)	면제
	제24조 전력공급설비	물리적으로 독립된 2개의 교류전원 회로	전원에 의존하지 않는 피동안전계통 설계	면제
	제27조 다양성보호계통	ATWS 대비 다양성보호계통 설치	이기종 FPGA로 다양성 설계로 별도 DPS 불필요	면제

16

III 규제현안과 대응현황

◆ 현행 안전기준 분석 및 격차 도출

➢ 격차분석보고서를 통해 법, 기술기준 규칙 및 고시 36건의 격차 도출 (심사지침 94건 격차는 별도)

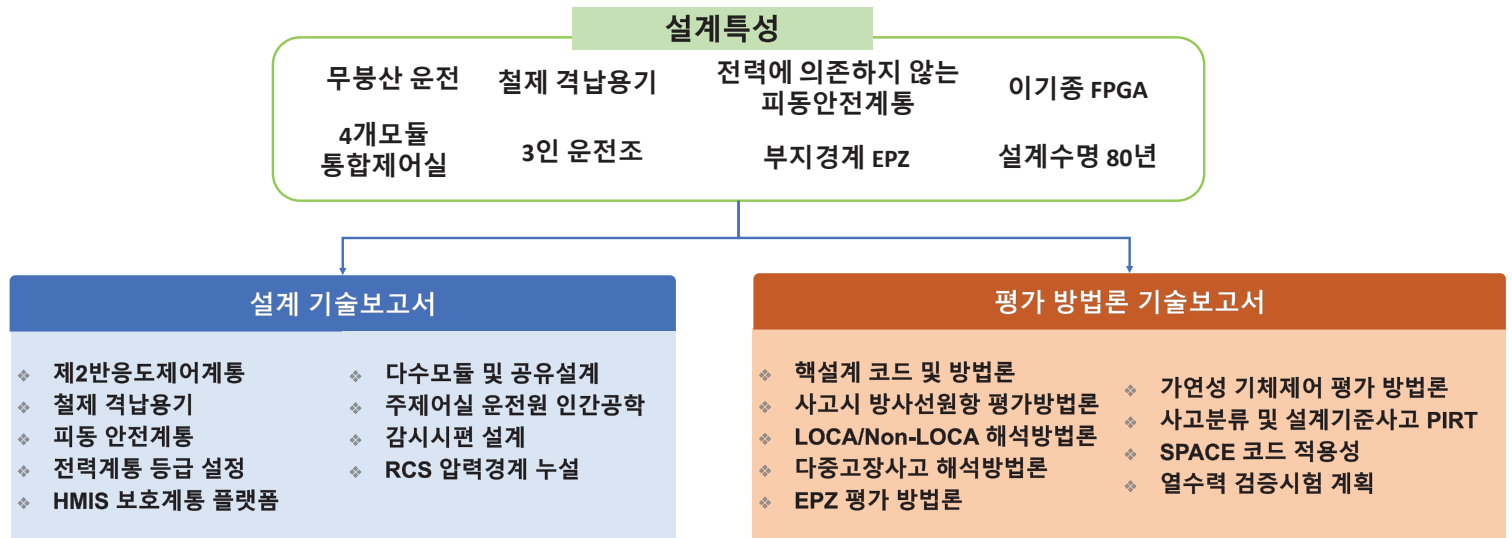
안전기준	조항	요건	i-SMR 설계특성에 따른 격차	대응방안
기술기준	제28조 반응도제어계통	액체제어재 등의 제어계통은 계획적인 출력변화에 의한 반응도변화를 제어	MTC를 이용한 제2반응도제어계통 설계 봉산의 역할을 제어봉, BA, 제2반응도제어계통이 분담	면제
	제29조 잔열제거설비 제30조 비상노심냉각장치 제31조 최종 열제거설비 제44조 신뢰성	단일전력, 단일고장이 발생하는 경우에도 안전 기능을 달성할 것	전력에 의존하지 않는 피동안전계통 설계 (단일 고장은 고려)	단일전력 면제
	제2017-15호 위치에 관한 기술기준	TID-14844 보수적 선원항 사용 요구	설계특성 고려한 선원항 적용 (AST, MST)	고시 개정
고시	제2018-5호 격납건물 기밀시험	종합누설을 시험, 국부누설을 시험 요구	철제CV 적용으로 종합누설을 시험을 내압시험으로 대체	면제
	제2024-7호 사고,고장 발생시 보고 공개 규정	다양성보호계통 발생시 보고 요구	별도 다양성보호계통 없음 (이기종 FPGA로 대체)	면제
	제2021-28호 원자로용기 감시시험 기준	대형원전 기준 설계수명 60년 기준만 존재	설계수명 80년 설계	고시 개정
	제2022-6호 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정	안전등급 기기에는 안전급 전원 공급	전력에 의존하지 않는 피동안전계통 설계	면제

17

III 규제현안과 대응현황

◆ 사전설계검토 기술보고서 제출 및 질의답변 수행

➢ 현행 규제요건과의 격차가 예상되는 1) 혁신형 SMR 설계 특성 및 해당 설계의 성능 입증 방안, 2) 안전성 분석을 위한 평가 방법론으로 구성된 기술보고서를 제출

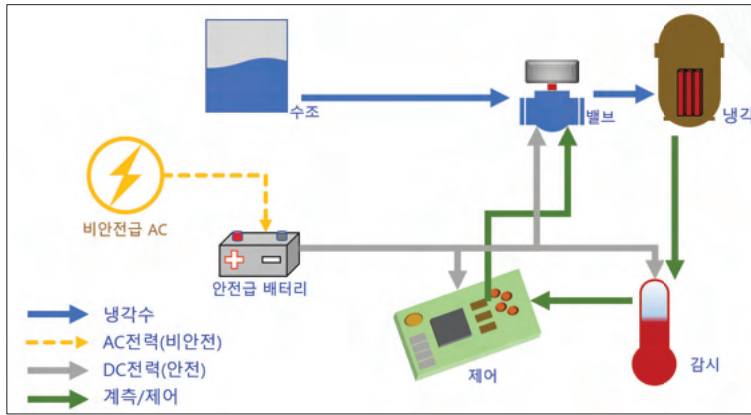


18

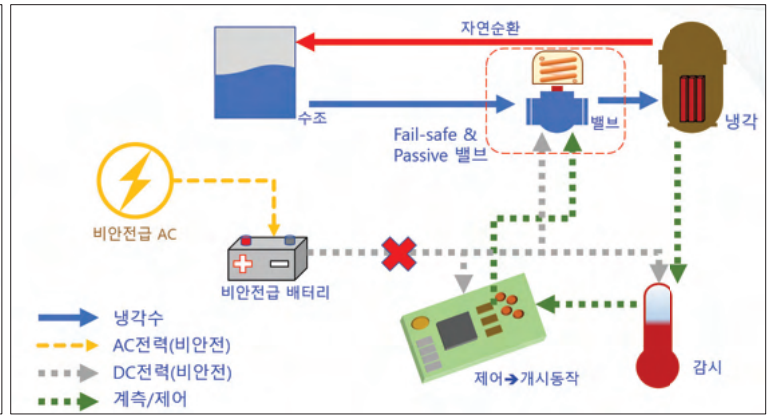
III 규제현안과 대응현황

◆ 규제현안의 대응방안 : 비안전 전력계통 (1/3)

- 기존 대형 피동 경수로와 달리 피동안전계통의 개시도 전력에 의존하지 않도록 Fail-safe로 설계



< 일반 피동계통 >



< 혁신형 SMR 피동계통 >

19

III 규제현안과 대응현황

◆ 규제현안의 대응방안 : 비안전 전력계통 (2/3)

- 밸브(안전등급1) - 제어계통(안전등급 3) - 전력계통(비안전등급)
- 전력계통은 제어계통의 구동전원이나, 안전기능을 수행하는데 필요하지 않음.

고시-원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정, 제7조(안전등급 3)

10. 안전등급 1, 2 또는 3의 설비에 구동전원이나 동력을 공급하는 기능

11. 안전등급 1, 2 또는 3의 설비가 안전기능의 수행에 필요한

수동 또는 자동작동을 위한 정보를 제공하거나 그 설비를 제어하는 기능

- 사고후 계측/감시 설비:(요건) 사고상황에서 운전상 필요한 주요 변수 계측 필요

✓ (혁신형 SMR) 안전계통은 초기 기동 이후, 제어 및 운전원 조작 불필요.

고시-원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정, 제20조(계측 및 제어장치)

① 원자로시설에는 안전하고 신뢰성 있는 운전상 필요한 정보를 얻기 위하여 정상운전·예상운전과도 및 사고조건시 예상되는 모든 범위에 걸쳐서 다음 각호의 사항을 포함한 관련 변수 및 계통들을 감시할 수 있는 계측장치를 설치하여야 한다.

20

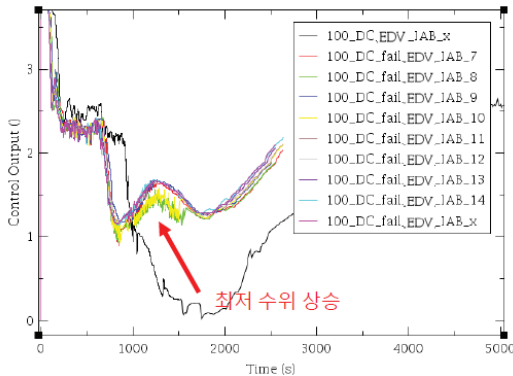
III 규제현안과 대응현황

◆ 규제현안의 대응방안 : 비안전 전력계통 (3/3)

➢ (전력계통 신뢰도 평가) 강화된 비안전 직류전력계통 신뢰도 예비평가 결과 (DC 상실 확률)

대상	i-SMR(보강된DC)	대형원전(안전급DC)	비교
정상운전	4.989e-06	5.047e-06	유사
1모듈 LOOP	4.990e-06	2.220e-05	i-SMR 우수 (SDG or ADG 1활용)
4모듈 LOOP	1.609e-05	3.196e-04	

➢ (안전해석) LOCA 시나리오 1) DC 가용, 2) DC 상실 예비 분석결과, DC가 가용한 조건에서 보수적인 결과가 나타남



15장 사고해석에서는 비안전급 DC임을 고려하여
DC 유무에 따른 민감도를 통해 보수적인 조건을 가정하더라도
허용기준을 만족하도록 설계

21

III 규제현안과 대응현황

◆ 규제현안의 대응방안 : 무봉산 노심 및 2차 반응도제어 계통 운전 (1/4)

➢ 기술기준 규칙 제28조

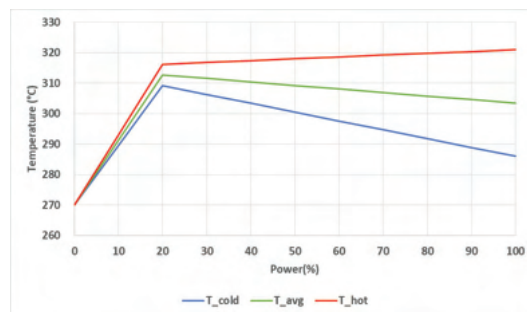
① 반응도 제어계통(제어봉에 의한 제어계통 및 액체제어재의 주입 또는 1차 냉각재의 유량조정 등에 의한 반응도를 제어하는 계통을 말한다.)을 설치하여야 한다.

2. 서로 다른 설계원리를 가진 두 개의 독립적인 반응도 제어계통 제공되어야 하며, 그중 하나는 제어봉을 사용할 것

③ 액체제어재 등에 의한 제어계통은 계획적인 출력변화에 의한 반응도변화를 연료허용 손상한계를 초과하지 아니하고 제어할 수 있는 반응도억제기능을 가진 것이어야 한다.

➢ 혁신형 SMR 2차 반응도제어 계통 설계

- ✓ 제1반응도 제어수단(제어봉)의 반응도 제어부담을 최소화하기 위한 RCS 온도프로그램 설계
- ✓ 2차측 급수유량, 증기제어 등을 통해 RCS 온도제어를 함으로써 음의 MTC를 활용하는 설계 채택



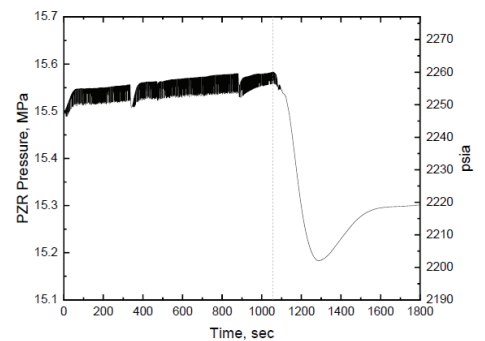
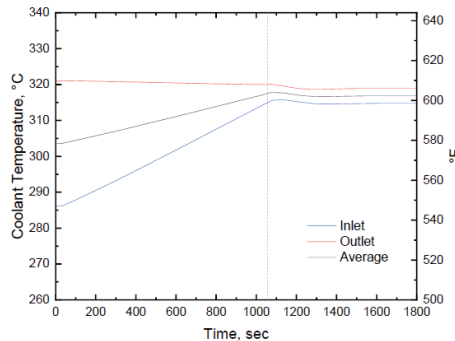
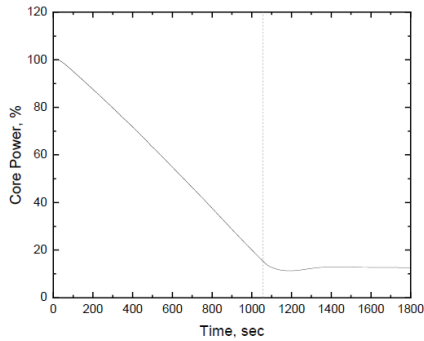
22

III 규제현안과 대응현황

◆ 규제현안의 대응방안 : 무봉산 노심 및 2차 반응도제어 계통 운전 (2/4)

➤ 운전전략

- ✓ 조절제어봉 전부 혹은 일부가 운전이 불가능한 경우, 원자로 정지가 우선이나 2차 반응도제어계통 사용 가능 (실제는 사용하지 않음)
- ✓ 계획적인 출력변화 운전을 하는 것이 아닌 제1반응도제어계통이 안되는 경우, 저출력으로 낮출 수 있는 능력을 가지도록 설계
- 2차 반응도제어 계통 예비 성능평가 수행 (제어봉 사용 X)
 - ✓ 제어봉 없이 100% → 12% 출력(터빈 분리)까지 제어 가능함을 확인
 - ✓ 12% → 0% 출력변화 범위도 반응도 제어 가능하도록 제어계통 등 설계 예정



< 100% → 12% 운전 성능 >

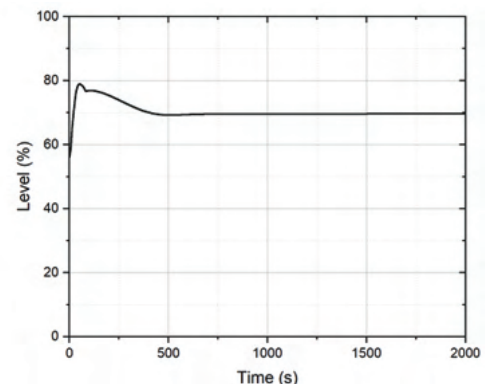
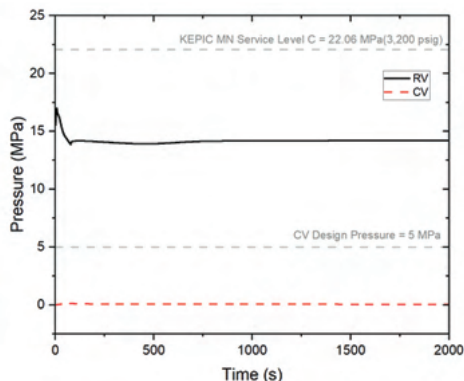
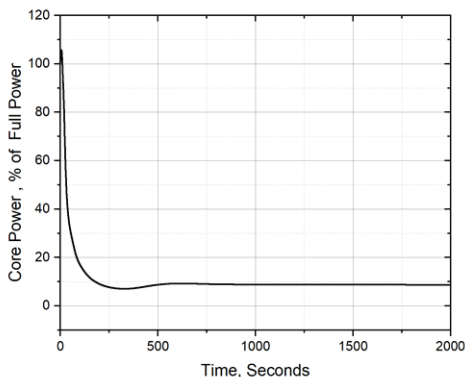
23

III 규제현안과 대응현황

◆ 규제현안의 대응방안 : 무봉산 노심 및 2차 반응도제어 계통 운전 (3/4)

➤ 원자로 정지가 안되는 경우 (ATWS)

- ✓ 복수기 진공상실사고와 동시에 ATWS가 발생하는 경우
- ✓ MTC 궤환효과에 의해 노심출력 급격히 감소하여 노심출력 10%로 유지 및 안정화
- ✓ 안전계통(PAFS) 동작으로 노심은 냉각가능한 형상 유지, RCS 및 CV는 설계제한치 이내로 유지됨을 확인 (UET=0)



< ATWS 예비 분석 결과 >

24

III 규제현안과 대응현황

◆ 규제현안의 대응방안 : 무봉산 노심 및 2차 반응도제어 계통 운전 (4/4)

➤ 사전설계검토 논의사항

기술기준 규칙 '**계획적인 출력변화**'의 범위에 대한 다양한 의견

➔ **부반응도 삽입, 저출력운전 유지, Refueling 조건까지 출력을 감소시킬 수 있는 능력 요구**

➤ 개발자 의견

1. 전출력에서 CZP까지의 부반응도 주입은 상용원전의 봉산 또한 단독으로 수행할 수 없음
 2. 제논의 생성/소멸에 의한 반응도 변화는 RCS 온도변화를 유발하므로 MTC에 의한 궤환효과에 의해 억제가 가능
 3. 만약 제논에 의한 반응도 변화 보상을 위한 RCS 온도 변화량이 운전제한조건을 초과하는 경우,
 - ✓ 운전원 조치로 RCS 온도 제한치 이내로 복구하거나
 - ✓ 수동 원자로 정지 또는 안전계통에 의한 자동 원자로 정지가 가능하므로 연료허용 손상한계를 초과하지 않음
- ✓ 계획적인 출력변화의 범위보다 연료허용 손상한계를 초과하지 아니하고 제어할 수 있는 반응도억제기능을 가질 수 있도록 하는 것이 본 규제요건의 근본 목적이므로 혁신형 SMR의 설계는 규제의 근본 목적을 달성함
- ✓ **2차 반응도제어계통 or 요건 면제**

25

III 규제현안과 대응현황

◆ 규제현안의 대응방안 : 종합누설을 시험(ILRT) 면제 (1/2)

➤ 면제 필요 사유

1. 실질적으로 시험 수행 불가

- ✓ 격납용기 내부를 고압(5MPa) 가압 수단 없음
- ✓ 철제로 인한 열손실 등 온도, 압력, 이슬점에 대한 정상상태 조건을 유지하기 어려움

2. 안전성 저해

- ✓ 고압으로 인해 CV내 설치된 계측기, 케이블 등 손상 가능성 증대
- ✓ 작업자의 방사선 노출 위험 증가

3. 국부누설을 시험을 통해 대체 가능

- ✓ NUREG-1493의 대형원전 ILRT 수행 분석결과에 따르면 ILRT를 통해 누설이 감지되는 경우는 3%에 불과
- ✓ 관통부 및 격납용기 격리밸브를 제외하면 철제의 모재로 누설이 발생할 확률은 매우 낮음

26

◆ 규제현안의 대응방안 : 종합누설율 시험(ILRT) 면제 (2/2)

➤ 면제 방안

1. 건조 단계의 검사 및 시험

- ✓ 철제 격납용기는 MC 등급 기기이지만 MNB에 따라 1등급 기기로 건조
- ✓ 요건에 따라 수압시험을 설계압력의 125배 이상에서 수행

2. 가동 중 검사

- ✓ 요건에서 제시되지 않는 노즐부위, 중성자 조사취화 영향부, 고응력부위에 강화된 가동 중 검사 적용

◆ 대표 현안의 대응방안 : 사고시 방사선원항 적용

➤ 현안 사항

- ✓ 국내 선원항은 EAB 선정시 보수적 선원항(TiD-14844)을 적용
- ✓ 보수적 선원항의 적용의 개선 등 필요성에 따라 규제기관에서 **위치기준 고시 관련 개정을 진행 중**
- ✓ AST는 고유 원전의 중대사고 현상이 아닌, 대표적 중대사고시 핵분열생성물 거동을 적용
- ✓ 최신 기술 및 규제요건 반영 및 **혁신형 SMR 설계특성 고려 MST 적용이 타당**

➤ 추진 현황

- ✓ 사전설계검토 단계에서 사고시 방사선원항 적용 보고서를 작성하여 규제기관과 협의 중
- ✓ TiD-14844, AST, MST를 적용한 비교 평가 결과 등을 토대로 개정중인 방사선원항 평가 방법론 협의 중

➤ 사고시 방사선원항 적용 계획(안)

- ✓ 설계기준사고(SSAR 15장): RG. 1.183 적용
- ✓ 제한구역경계(EAB) 설정: MST 적용
- ✓ 다중고장/자연재해/중대사고(PAMP 2장): 기존 규제체계(AST, MST) 준수

III 규제현안과 대응현황

◆ 대표 현안의 대응방안 : 부지경계 내 EPZ (1/2)

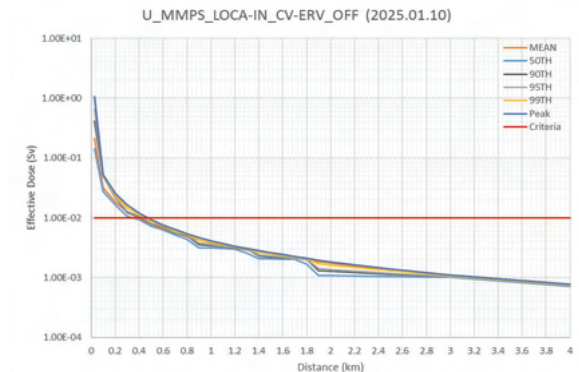
- 현황 : IAEA Safety Guide, 방사능방재법 20조에 따라, 발전용 원자로는 출력, 노형에 차이 없이 동일한 EPZ 기준 적용
 - ✓ 예방적 보호조치구역(PAZ): 반경 3~5km 이하, 긴급보호조치구역(UPZ) : 20~30km 이하
- 필요성 : 높은 안전성 전제하에 부지 선정의 유연성 확보가 개발중인 대부분의 SMR 노형의 주요 설계 목표임
- 해외 원전 EPZ 평가 및 규제 심사 사례
 - ✓ 10CFR50.160(SMR, Non-LWR 비상대책), RG 1.242(리스크정보 및 성능기준 비상대책) 평가 방법론 적용
 - ✓ EPZ 평가 시나리오 : a) 설계기준 시나리오, b) 중대사고 (격납용기 건전 경우), **c) 중대사고(격납용기 손상 경우)**
 - ✓ c) 요건은 빈도가 낮아 선량 평가 제외(Risk informed)하여 SDA 신청 및 NRC 승인

29

III 규제현안과 대응현황

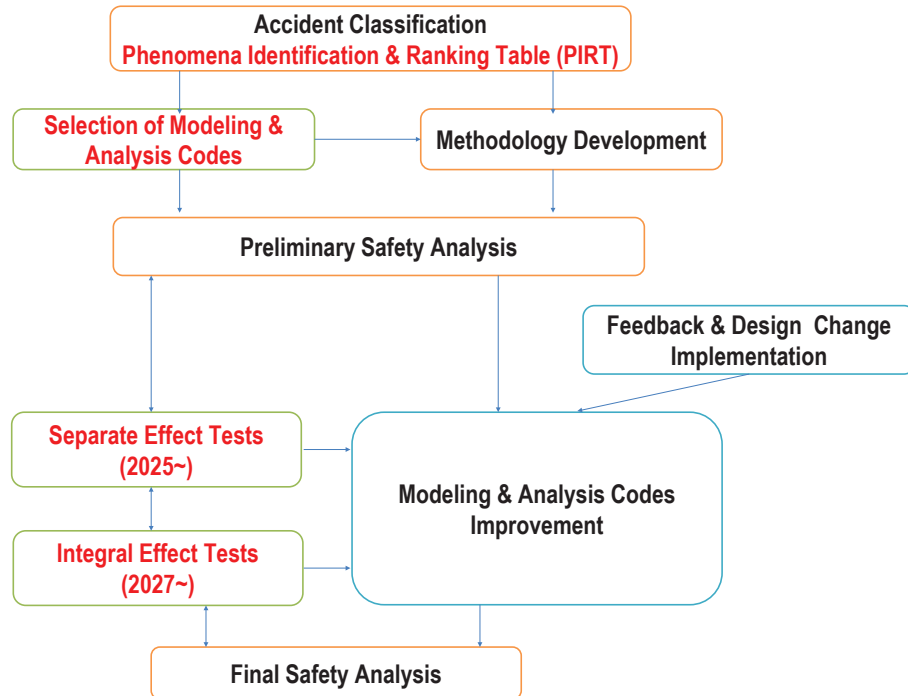
◆ 대표 현안의 대응방안 : 부지경계 내 EPZ (2/2)

- 현안 사항
 - ✓ SMR 설계특성 고려 리스크정보활용, 기계적 선원향(MST)적용 등 최적화 방법론 개발 및 규제기관 협의 추진중
 - 빈도-선량(frequency- Dose) 가중 평균된 선량 치 평가 방법 등 방법론 검토 등
 - ✓ (건설 및 운영허가) 법 개정을 전제로 고유 EPZ 평가 결과 제출 및 부지 경계(또는 최적화된) EPZ 설정
- 예비 평가: 격납용기 격리 사고경위 - DBA, SA, PSA를 고려하여 선정
 - ✓ 선량 기준: 10 mSv Effective Dose (eq. TEDE)
 - ✓ 개선 방안: 설계 개선, 사고해석/PSA 최적화 필요



30

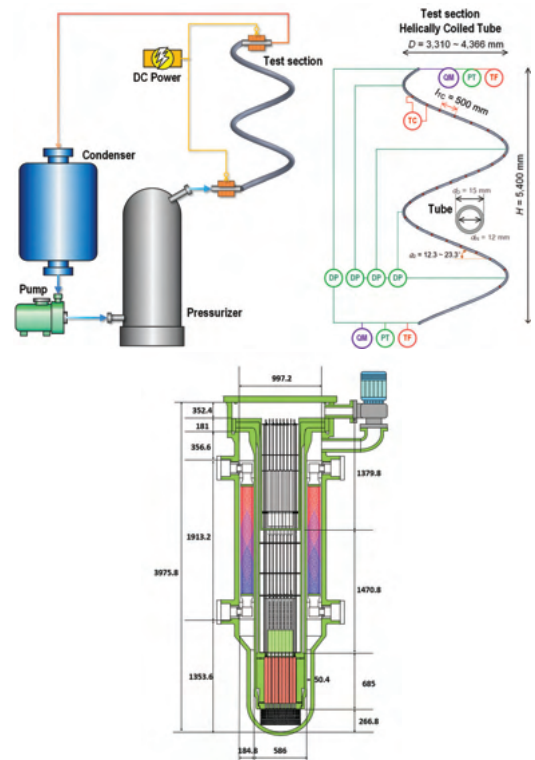
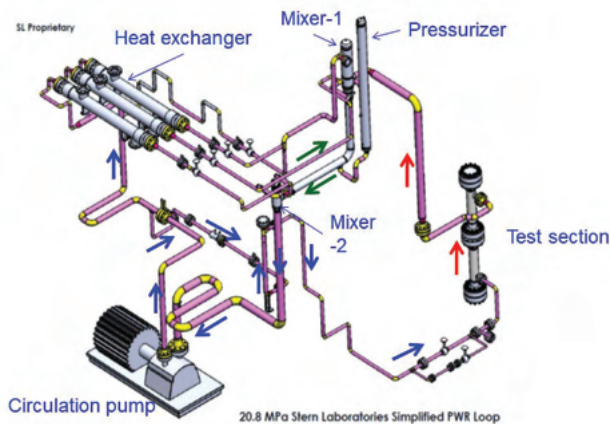
◆ Passive Safety System V&V Plan



31

◆ i-SMR Separate Effect Test Plan

- Prototype Helical SG Performance evaluation
 - ✓ Pressure drop, FIV, HTC etc
- Core Inlet Flow distribution Test
 - ✓ Quantification of core inlet flowrate for each FA
- CHF test for iSMR

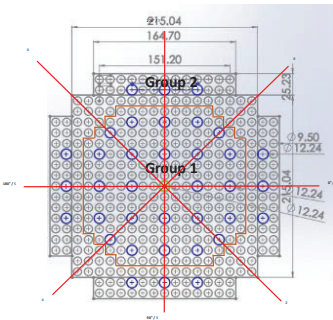


32

◆ i-SMR Integral Effect Test Plan

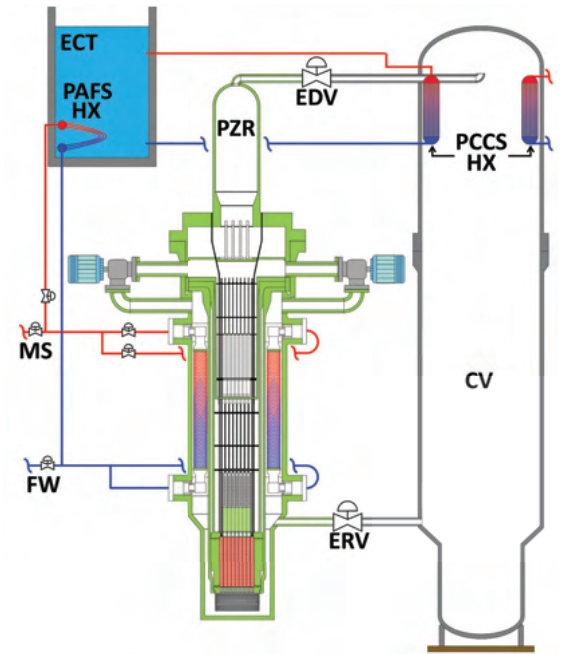
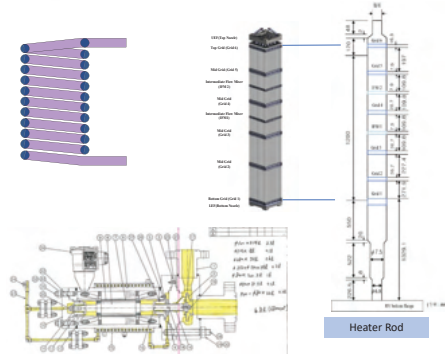
Half Height 1/98 Volume Scale ITL

- Scale : $H=1/2, A=1/49, V=1/98, t=1/\sqrt{2}$
- Integrated SG + Separated RCP
- PAFS, PCCS : 2 Trains
- EDV / ERV : 2 / 2



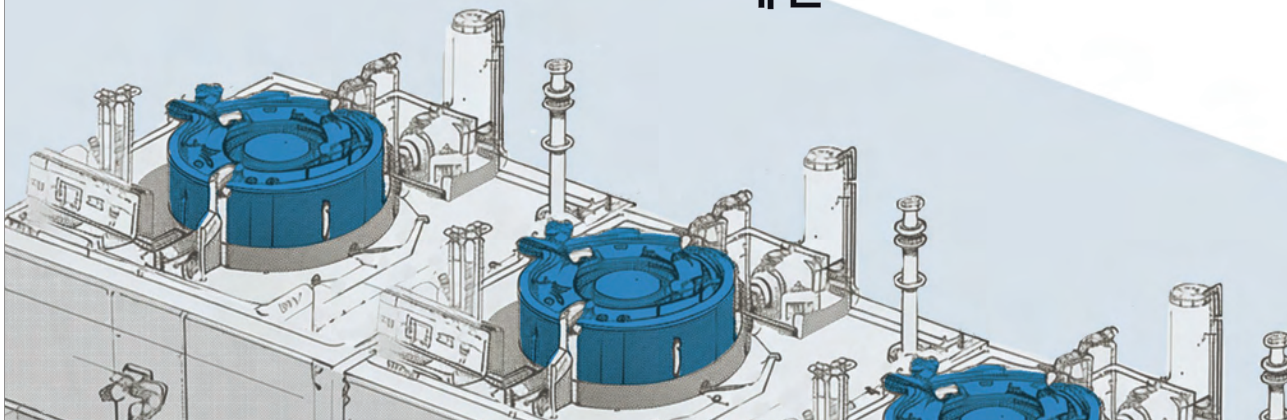
Important Phenomena

- Natural Convection in ECT
- Mixing in CV lower part during LOCA
- Thermal stratification in ECT
- Overall safety performance



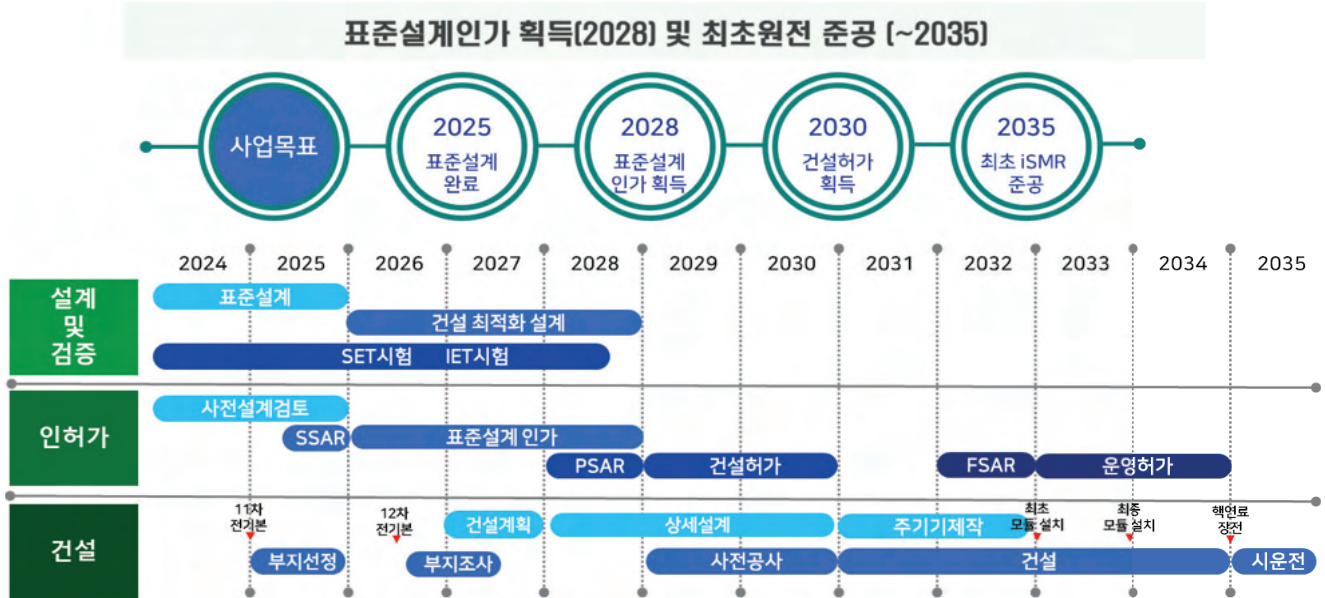
33

제언



34

i-SMR Development Milestone (11차 전력수급계획 기준)



◆ i-SMR은 단기간에 개발, 표준설계인가, 건설이 병행 추진중

- 각 단계에서의 개발이 중첩 진행되어야만 목표 달성

◆ 개발자 입장에서는 예측 가능한 규제가 중요 (선제적 규제방향 제시)

- 2035년 최초호기 준공 목표 달성을 위해서는 표준설계 심사중 건설계획 수립, 건설허가 신청 필요
- NuScale 경우 Pre-Application Review PAR 과정에서 주요 현안을 Exemption request로 전환
 - ✓ 충분한 검토기간이 있었음
- i-SMR의 규제현안에 대한 면제/예외 가능 여부가 가능한 조기에 판단될 필요

◆ FOAKE 리스크중 개발/인허가 단계에서의 리스크를 조기 확정하는 것이 이후 건설 Milestone을 좌우



제3차

원자력 안전규제의 미래

전기의 시대, 원자력안전규제의 나아갈 길

SMR 규제연구 현황

2025. 6. 27.

김인구 (재) 소형모듈원자로 규제연구 추진단장

igkim@rmas.or.kr, (HP) <https://rmas.or.kr>



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

CONTENTS

- I. SMR 규제연구 추진단 현황
- II. SMR 안전규제 연구사업 추진 현황
- III. [제언] 함께 만드는 차세대원자로 안전규제
- IV. 맺음말



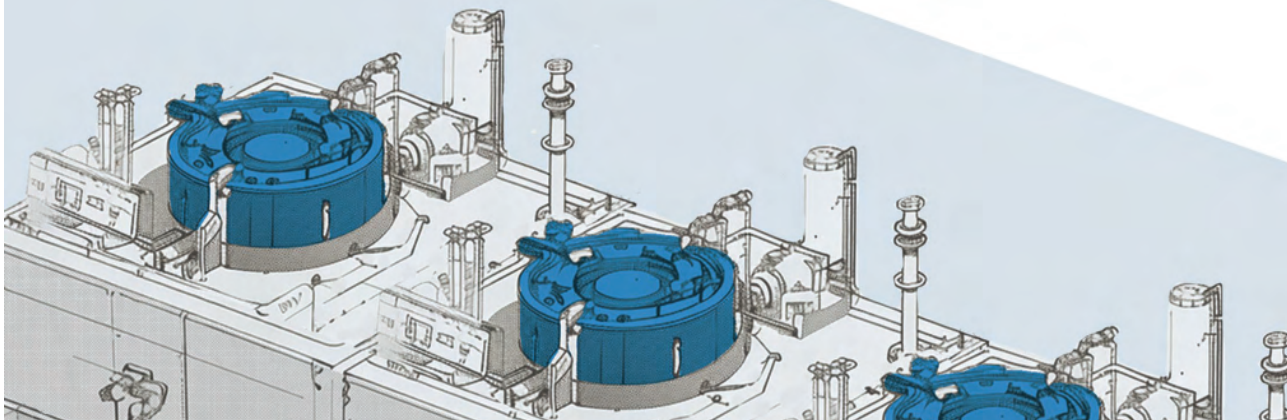
서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

추진단의 SMR 안전규제 연구사업 현황

(S1)중소형원자로 안전규제 기반기술 개발		(S2)소형모듈원자로 전주기 안전규제 검증기술 개발		(S3)차세대 비경수형 원자로 규제검증기술 개발	
기간: '22 ~ '28년(총 7년) 예산: 총 493.6억원 (정부 100%) 1단계('23), 2단계('26), 3단계('28) 1단계(44.8억), 2단계(326.8억), 3단계(122억)		기간: '25 ~ '32년(총 8년) 예산: 총 474억원 (정부 100%) 1단계('27), 2단계('30), 3단계('32) 1단계(180억), 2단계(208억), 3단계(86억)		기간: '26 ~ '32년(총 7년) 예산: 총 489.95억원 (정부100%) 1단계('27), 2단계('30), 3단계('32) 1단계(57.7억), 2단계(254.25억), 3단계(178억)	
사업 목적	경수형 SMR 표준설계인가 심사 등을 위한 규제체계 정비 및 고유 검증기술 개발을 통한 예상 안전현안 해결	사업 목적	경수형 SMR 전(全)주기 안전 규제 체계 정비 기반 구축 및 예상 안전현안 대응을 위한 규제검증기술 개발	사업 목적	비경수형 SMR 규제체계 및 규제기술 연구를 통한 차세대 비경수형 원자로 인허가 규제체계 기반 구축
전략 목표	'28년까지 경수형 SMR 표준설계인가 심사 등의 대비를 위한 규제체계 기반 확보 및 예상 현안 중심의 규제현장 적용이 가능한 규제기술 개발	전략 목표	경수형 SMR 전주기 규제수요 적기 대응을 위한 규제체계 기반 확보 및 예상현안 해결 중심의 규제검증기술 개발	전략 목표	비경수형 SMR에 대한 국내 인허가 규제체계(안) 및 관련 규제기술 개발을 통해 차세대 비경수형 원자로 규제기반 마련
추진 전략	- SMR 표준설계인가에 특화된 목적형 R&D로 추진하되, 국내 개발계획 유동성을 고려한 탄력적 규제 R&D 추진 - SMR 규제체계/기술/기술중립적 요소기술검증을 통한 점진적 검증기술 확보 및 개발기술 적용성 검토 - 장기 규제수요를 고려한 다각적인 R&D 투자전략 및 예상 규제현안 관리(도출→해결) 강화	추진 전략	- SMR 전주기 규제수요에 특화된 목적형 R&D로 추진하되, 국내 건설-운영계획 유동성을 고려한 탄력적 규제 R&D 추진 - SMR 전주기 규제체계/기술/기술중립적 요소기술 개발을 통한 단계적 규제기술 확보 및 개발기술 적용성 검토 - 장기 규제수요를 고려한 다각적인 R&D 투자전략 및 예상 규제현안 관리(도출→해결) 강화	추진 전략	- 비경수형 SMR 전주기 규제수요에 특화된 목적형 R&D로 추진하되, 국내 기술개발 상황을 고려한 탄력적 규제 R&D 추진 - 비경수형 SMR 규제체계/기술기준/안전성 평가 요소기술 개발을 통한 단계적 규제기술 확보 및 개발기술 적용성 검토 - 예상 규제수요를 고려한 다각적인 R&D 투자전략 및 예상 규제현안 관리(도출→해결) 강화
국제 원자력 규제 환경 변화 및 혁신형 SMR 인허가 수요	- 경수형 SMR 표준설계인가 등을 위한 국내 규제체계 개선(안) 개발 (사전신청검토 절차 개발 포함) - 경수형 SMR 안전현안 도출 및 해결을 위한 규제검증기술 개발 - 소형-모듈화 설계특성 관련 규제기술 개발 (규제 현안에 대한 규제입장(안) 및 심사지점(안) 개발) - 혁신형 SMR 주요 설계요건 분석 및 전산코드-방법론 등 고유 규제검증기술 개발 - 경수형 SMR 핵비확산-핵안보 측면의 규제요건 개발 및 규제체계 구축	국제 원자력 규제 환경 변화 및 경수형 SMR 전주기 규제 수요	- 경수형 SMR 전주기 안전심사(건설, 운영, PSR, 해체 등) 규제체계 기반 구축 - 경수형 SMR 안전심사 규제체계 개선(안)/제도화 방안 수립 및 예상현안에 대한 규제검증기술 개발 - 경수형 SMR 전주기 안전검사(QA, 공급자 등, 사용전, 정지 등) 규제체계 기반 구축 - 경수형 SMR 안전검사 규제체계 개선(안)/제도화 방안 수립 및 예상현안 규제기술 개발 - 경수형 SMR 전주기 원자력 통제 규제체계 기반 구축	국제 원자력 규제 환경 변화 및 비경수형 SMR 인허가 규제 수요	- 비경수형 SMR 규제체계 및 기술기준 구축(안) 개발 - 비경수형 SMR 규제체계 구축 로드맵 개발 및 기술기준 구축(안) 개발 - 비경수형 SMR 설계특성 관련 규제검증기술 개발 - 비경수형 SMR 노형별 안전현안 도출 및 규제입장(안) 개발 - 전산코드-방법론 등 규제검증기술 개발 - 비경수형 SMR 원자력 통제 규제체계 및 규제기반기술 개발

5

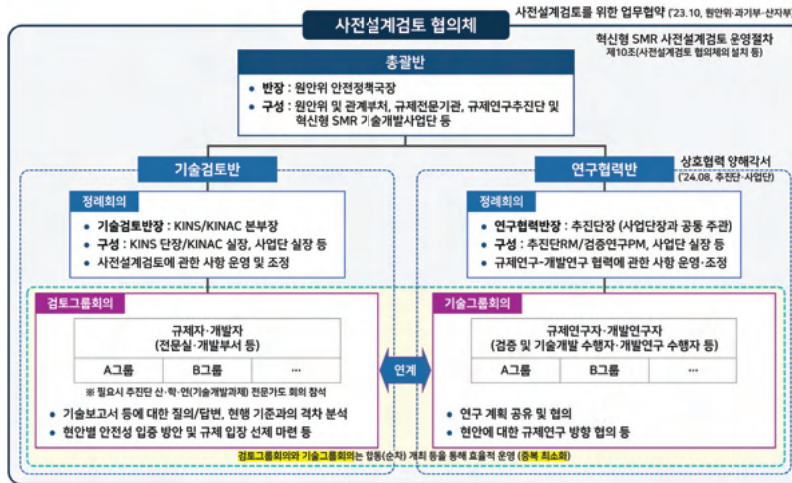
SMR 안전규제 연구사업 추진 현황



6

혁신형 SMR 사전설계검토 협의체

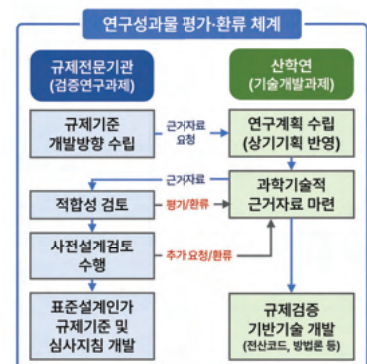
- **혁신형 SMR의 성공적 개발을 위해 원자력 이용·진흥과 안전규제의 분리, 규제 독립성 등 국제사회의 기본원칙을 준수함을 재확인하고, 각 기관이 사전설계검토를 수행함에 있어 필요한 협력 사항을 규정**
- **제15조(운영세칙) 사전설계검토 업무 처리에 관하여 필요한 사항은 별도로 책정 ▶ 「혁신형 소형모듈원자로 사전설계검토 운영절차」**



- **총괄반**
 - 사전설계검토 총괄, 기술개발 및 사전설계검토 진행현황 공유, 제도 개선 필요사항 논의, 운영방향 협의 등
- **기술검토반**
 - 안전성 입증방안의 타당성·적합성, 대체기준 적용 등에 대한 기술적·실질적 검토 수행
 - (총괄그룹 정례회의) 사전설계검토 관련 검토 현황 및 공통 현안 등 전반적인 사항 논의 (월 1회)
 - (검토그룹회의) 사전설계검토 신청 보고서별 서면질의·회의 (수시)
- **연구협력반**
 - 연구성과 공유, 현안에 대한 규제연구 방향 협의 등 규제연구자 및 개발연구자간 협력·소통을 통해 효과적인 연구개발 수행
 - 추진단과 i-SMR 사업단 간 상호 협력을 위한 양해각서 체결 ('24.08)
 - 제1차 연구협력반 회의('24.10.30)를 통해 추진단·사업단 간 운영세칙 및 설계자료 열람 절차 등 확정

규제전문기관(KINS·KINAC) 및 i-SMR 사업단과의 협력·소통 체계 구축·운영

- **규제전문기관(검증연구과제)-산학연(기술개발과제) 간 협력을 통한 연구성과의 규제 활용도 극대화**
 - 과제 선정, 진도점검, 연구성과 평가, 단계평가 등 R&D 전 과정에 규제전문기관 담당자가 직접 참여함으로써 규제 활용성 제고
 - 규제전문기관을 중심으로 기술분야별 협의체 구성 운영을 통해 규제 방향을 고려한 연구 수행
 - 연구협력반 내 연구자 간 주요현안별 회의 주제 (상시)
 - i-SMR 사고해석 코드 및 열수력 시험시설 설계 관련 협의회의 개최 ('24.10.2, KAERI)
 - 사전설계검토 현황 공유 워크숍과 연계하여 기술그룹회의 개최 ('24.12.18., 대전 호텔 ICC)
 - ①안전등급, ②계측제어, ③열수력시험, ④리스크평가, ⑤다수모델, ⑥계통안전성평가, ⑦안전조직, ⑧사이버보안 분야별 협의회의 상시 개최
 - 규제전문기관 전담조직 신설* 후 과제 간 소통 및 협력이 한층 활성화
 - * KINS 혁신원자로평가실('25.2월-), KINAC 혁신규제실('25.1월-)



- 사업단-추진단 간 양해각서 체결('24.8.16, 대전 오노마호텔) 및 정보 공유 체계 구축-운영('24.12-)
- SMR 규제연구 상시 기획, 실효성 있는 성과 도출을 위해 추진단-사업단 간 공식적 소통 및 정보공유를 위한 근거 마련

사업단-추진단 간 양해각서 주요 내용

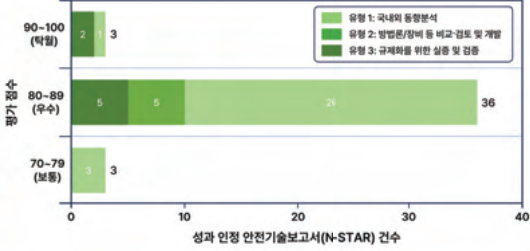
(협력내용) ①규제연구 참여자의 상세 설계정보 열람, ②사전설계검토 연구협력반 운영, ③주기적인 워크숍 개최, ④정보공유시스템 구축·운영 등
(비밀유지) 협약 이행 과정에서 취득한 정보를 다른 목적으로 사용·공개 금지

- ▶ 보안절차에 따라 사업단 자료관리시스템을 통한 설계자료에 규제연구자 열람 및 규제연구성과물(원자력안전기술보고서 등) 공유 ('24.12~)



「중소형원자로 안전규제 기반기술 개발」 사업 '24년도 주요 연구 성과

'24년도 성과 인정 안전기술보고서 평가점수 분포와 유형 3 목록



유형 3 안전기술보고서 목록

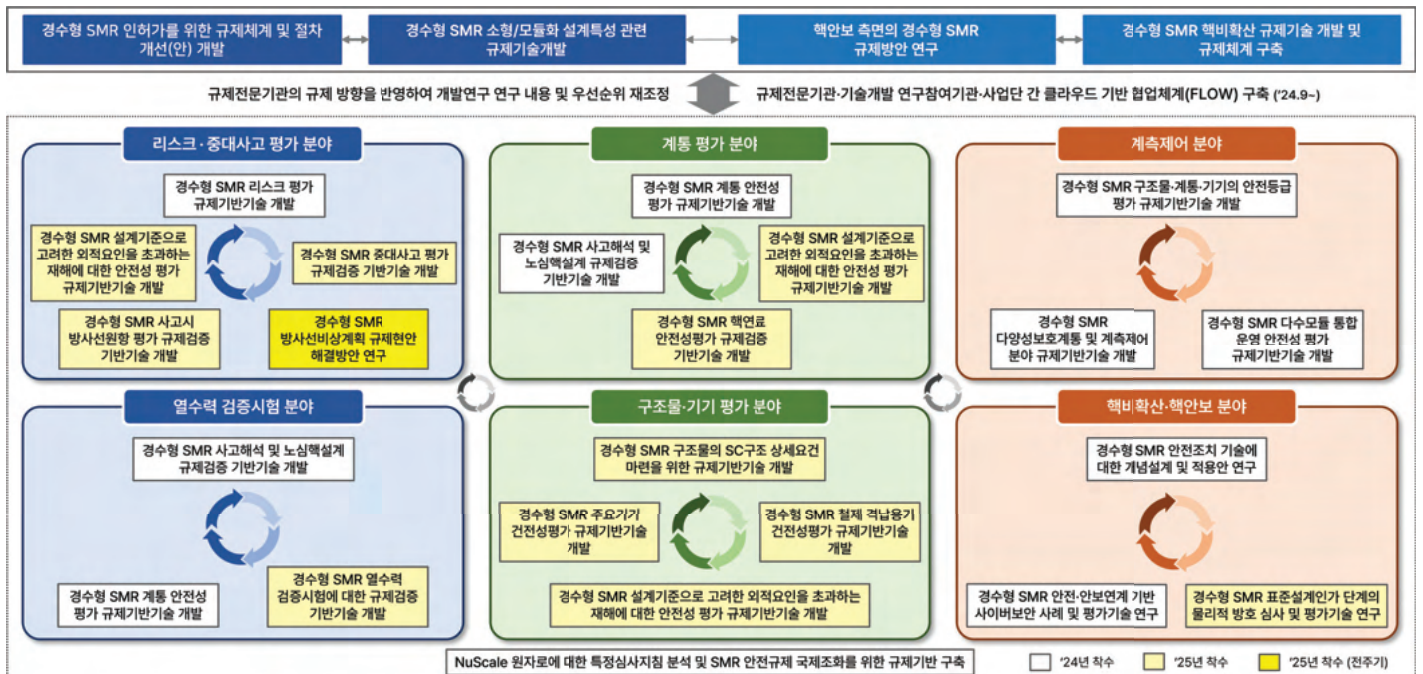
구분	제목	수행기관
검증연구	국내 원자로규칙 면제 및 예외조항 처리규정(안) 개발	KINS
검증연구	경수형 SMR 피동형 안전계통 성능관리 현황 및 운영기술지침서 영향 분석	KINS
검증연구	무봉산 냉각재를 갖는 경수형 SMR에서 반응도 제어에 관한 설계 심사지침 개발을 위한 규제사례 분석	KINS
기술개발	원자력안전규제 차등접근 활성화를 위한 적용프로세스(안)	경희대
기술개발	NuScale DSRs의 국내 적용성 평가 및 국내 심사지침 개정 방안	비즈(주)
검증연구	국외 SMR 설계에 대한 사이버보안 규제 동향 기반 국내 규제 전략 연구	KINAC
검증연구	NRC의 표준심사지침 검토를 통한 경수형 SMR 물리적 방호체계의 침입차단체계 심사지침 개발방향 수립	KINAC

기술기준 적용면제 인정 규정(안) 제정 추진 현황

- 훈령명 : 「(가칭) 원자로시설 기술기준등의 적용 면제 등 인정에 관한 규정」
- 주요 추진 경과 및 계획
 - ▶ 규제연구 : 국내외 사례 조사(23) 및 제정안 초안 개발(24)
 - ▶ 의견수렴 : 개발자·전문가 등 다양한 의견 수렴
 - KINS 내부 의견조회 및 SMR 규제연구자 대상 의견조회 (24.10~25.1)
 - i-SMR 개발자와 제정안 초안의 인허가 적용성 등에 대해 실무적 논의 중 (25.3~)
 - i-SMR 사전설계검토 협의체 총괄반 회의 (6월 예정), 원자력안전규제정보회의 (7월 예정) 등
 - ▶ 제정절차 : 제정 관련 행정절차 추진(7~9월) 및 발령(25.9월)
- 기술기준 적용면제 인정 규정(안) 주요 내용
 - ▶ 범위 : 원자로시설의 위치·구조·설비·성능, 사고관리의 범위와 관련된 기술기준 대상
 - ▶ 면제 신청 : 표준설계인가 및 건설·운영허가(변경) 신청시 신청서류에 포함하여 제출
 - ▶ 면제 요건
 - 방사선 차폐 방지, 공공 안전 확보에 지장이 없음이 확인될 것
 - 다음의 어느 하나에 해당할 것
 - ① 해당 기술기준을 적용하는 것이 그 기술기준의 근본목적에 부합하지 않거나 달성하는데 필요하지 않은 경우
 - ② 해당 기술기준의 면제 등에 따른 종합적 안전성이 해당 기술기준을 적용하는 것과 비교하여 동등·우수한 경우
 - ③ 사용목적에 고려할 때 해당 기술기준을 적용할 필요가 없는 경우
 - ④ 해당 기술기준을 적용하는 것이 법령 또는 다른 기술기준과 상충하는 경우

11

「중소형원자로 안전규제 기반기술 개발」 사업 현황



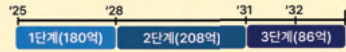
12

「소형모듈원자로 전주기 안전규제 검증기술 개발」 사업 개요

(S2) 소형모듈원자로 전주기 안전규제 검증기술 개발

● 기간: '25 ~ '32년(총 8년)

● 예산: 총 474억원 (정부 100%)



● 목적:

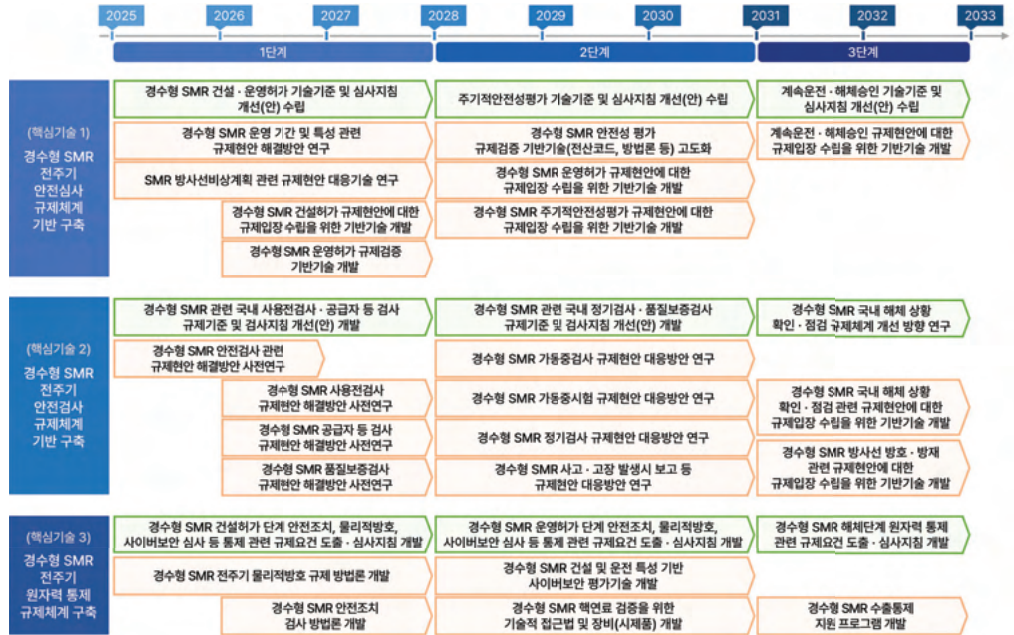
경수형 SMR 전주기 안전규제 체계 정비 기반 구축 및 예상 안전현안 대응을 위한 규제검증기반기술 개발

● 예상 성과물:

- 경수형 SMR 안전심사(건설·운영·주거안전성평가·해제 등) 규제체계 개선(안) 및 검증기술
- 경수형 SMR 안전검사(사용전·평가·공급자 등 품질보증·해제확인 등) 규제체계 개선(안) 및 검증기술
- 경수형 SMR 원자력통제(안전조작·수출입통제·물리적방호·사이버보안 등) 규제체계 개선(안) 및 검증기술

● 사업 현황:

- ('25년) 신규과제 7개 ('25.04. 착수)
- ('26년) 신규과제 6개 예정
- ('28년) 신규과제 9개 예정
- ('31년) 신규과제 4개 예정



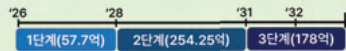
13

「차세대 비경수형 원자로 규제검증기술 개발」 사업 개요

(S3) 차세대 비경수형 원자로 규제검증기술 개발

● 기간: '26 ~ '32년(총 7년)

● 예산: 총 489.95억원 (정부 100%)



● 목적:

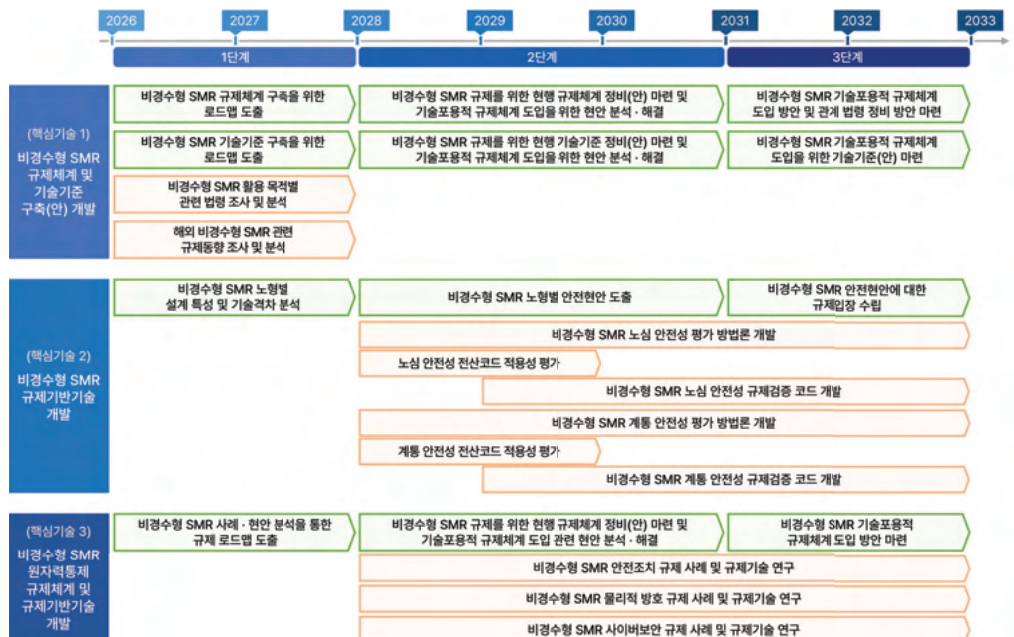
비경수형 SMR 인허가 규제체계 및 규제기술 연구를 통한 비경수형 SMR 인허가 규제체계 기반 구축

● 예상 성과물:

- 비경수형 SMR 안전규제체계 정비방안(단기) 및 기술포용적 규제체계 개선(중기)(안)
- 국내 개발 중인 비경수형 SMR 고유 설계특성 관련 규제기반 기술 (노심 및 계통 분야 중심)
- 비경수형 SMR 원자력통제 분야 기술포용적 규제체계 및 규제기반기술

● 사업 현황:

- '26년도 신규사업 추진 중
- 과기부 사전 컨설팅 진행 ('25.03월~)
- 사업기획 전문가 자문 ('25.03.24~4.25)
- ※ 원안위, '25.6월 부터 규제기관·개발자·전문가로 구성된 "비경수형 SMR 워킹그룹" 신설·운영 예정



14

본격화되는 차세대 비경수형 원자로 개발

비경수형 SMR 개발자 라운드테이블

● 개요

- (일시/장소) '25.2.17.(월) 14:00 ~ 16:30 / 서울 프레이저플레이스, 1층 남대문로
- (주최) 원자력안전위원회
 - (규제기관) 원안위, KINS, KINAC, SMR 규제연구 추진단
 - (개발기관) KAERI, 산업계(현대건설, 삼성중공업 등)
- (내용) 비경수형 SMR 규제 및 개발 현황-계획 공유, 규제 준비를 위한 개발자 의견수렴

● 주제 발표

구분	내용	비고
발표 1	비경수형 SMR 규제준비 현황 및 계획	원안위
발표 2	용융염원자로(MSR) 개발 현황 및 계획	KAERI
발표 3	소듐냉각고속로(SFR) 개발 현황 및 계획	시보그
발표 4	소듐냉각고속로(SFR) 개발 현황 및 계획	KAERI
발표 5	고온가스로(HTGR) 개발 현황 및 계획	KAERI
발표 6	히트파이프원자로(HPR) 개발 현황 및 계획	KAERI
발표 7	납냉각고속로(LFR) 개발 현황 및 계획	마이크로우라너스
의견 청취	의견 수렴 및 자유 논의	참석자 전원

2025 KNS 춘계학술발표회 워크숍 R

● 개요

- (제목) 민간주도 차세대 원자력 사업화 현황 공유 및 제언
- (일시/장소) '25.5.21.(수) 14:00~18:00 / 제주국제컨벤션센터, 3층 300호
- (주최) 현대건설(주), 한국원자력학회
- (후원) 차세대원자력정책센터

● 주제 발표

구분	내용	비고
세션 1 차세대 원자력 연구개발 현황 (세션토의 포함)	차세대 원자력 진흥 정책 현황 및 추진 방향	과기부
	현대건설 차세대 원자로 개발 연구 동향	현대건설
	포스코그룹의 SMR 사업화 현황 및 활용 전략	포스코이앤씨
	차세대 원자력을 활용한 조선해양 사업 진행 현황	삼성중공업
세션 2 차세대 원자력 사업화 현황 (세션토의 포함)	현대건설-Holtec SMR 사업 현황	현대건설
	GS에너지 SMR 사업 현황 및 민간주도 SMR 촉진 방안	GS에너지
	DL이앤씨 & X-Energy 사업 추진 현황	DL이앤씨
	GS건설 차세대 원자력 사업 현황	GS건설

15

SMR 안전규제 연구사업 향후 계획

● SMR 안전규제 연구사업의 효과성 및 효율성 제고

- 안전규제의 효과성과 효율성 틀에서 규제연구 성과의 정당화 필요
 - (효과성) 규제연구가 실질적으로 규제 목적을 달성하는 데 기여했는가?
 - (효율성) 규제연구가 주어진 자원(예산, 인력)으로 최적의 연구성과를 도출했는가?
- 연구성과의 실질적 규제 반영 상황 추적 관리, 자원·조직 운영의 최적화, 우선순위 기반의 연구 기획 체계화에 지속 노력
- 규제사업 효과성 제고를 위한 협력 네트워크 강화
- 혁신형 SMR 유관기관 중심의 소통에서, 경수형·비경수형 SMR 관계 다양한 이해관계자로 소통 확대



● SMR 규제연구 추진단의 역량 강화

- 규제연구 사업의 기획력과 상시기획·성과평가 등 연구 관리의 품질을 확보하는데 필요한 추진단과 직원의 역량 유지 및 향상

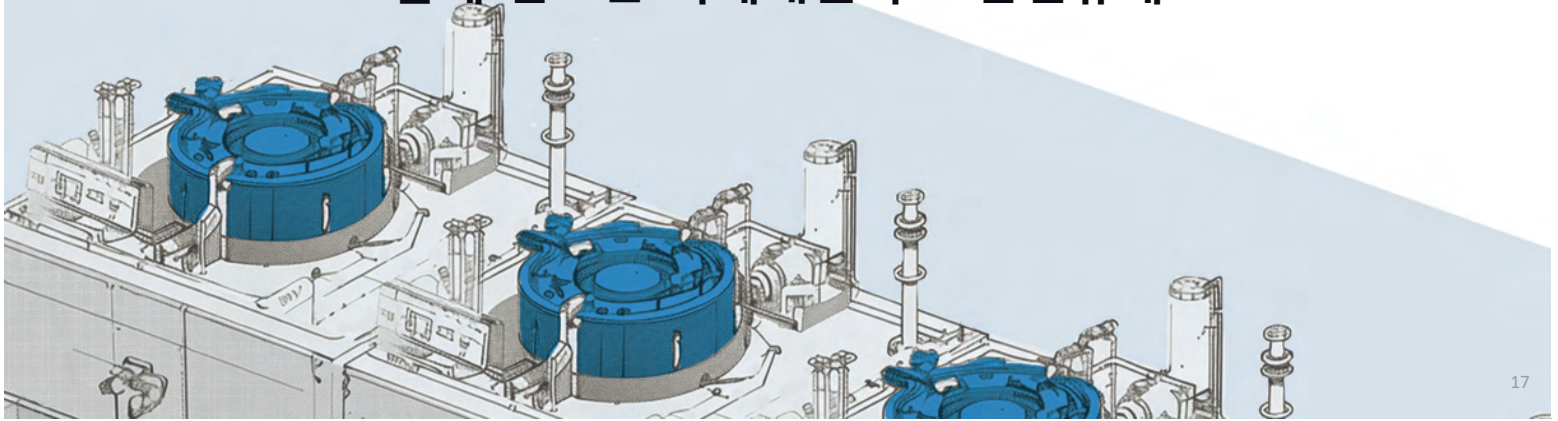
2025년	「차세대 비경수형 원자로 규제검증기술 개발」 사업 기획	119.5	35.2	154.7억원
2026년	「중소형원자로 안전규제 기반기술 개발」 사업 2단계 성과 평가 및 사업 3단계 기획	119.5	52.0	23.1 194.6억원
2027년	「SMR 전주기 안전규제 검증기술」 사업 2단계 기획 「비경수형 원자로 규제검증기술 개발」 사업 2단계 기획	57.0	72.0	33.0 162.0억원
2028년	「중소형원자로 안전규제 기반기술 개발」 사업 3단계 성과 평가 및 사업 종료 후 관리 준비	65.0	64.0	76.3 205.3억원
2029년	「중소형원자로 안전규제 기반기술 개발」 사업 성과 확산 및 제도 반영을 위한 후속 관리 체계 구축·이행	72.0	89.0	161.0억원

※ '26년 이후 예산은 확정되지 않았으며, 향후 정부 정책 및 연구성과에 따라 변동 가능

16

[제언]

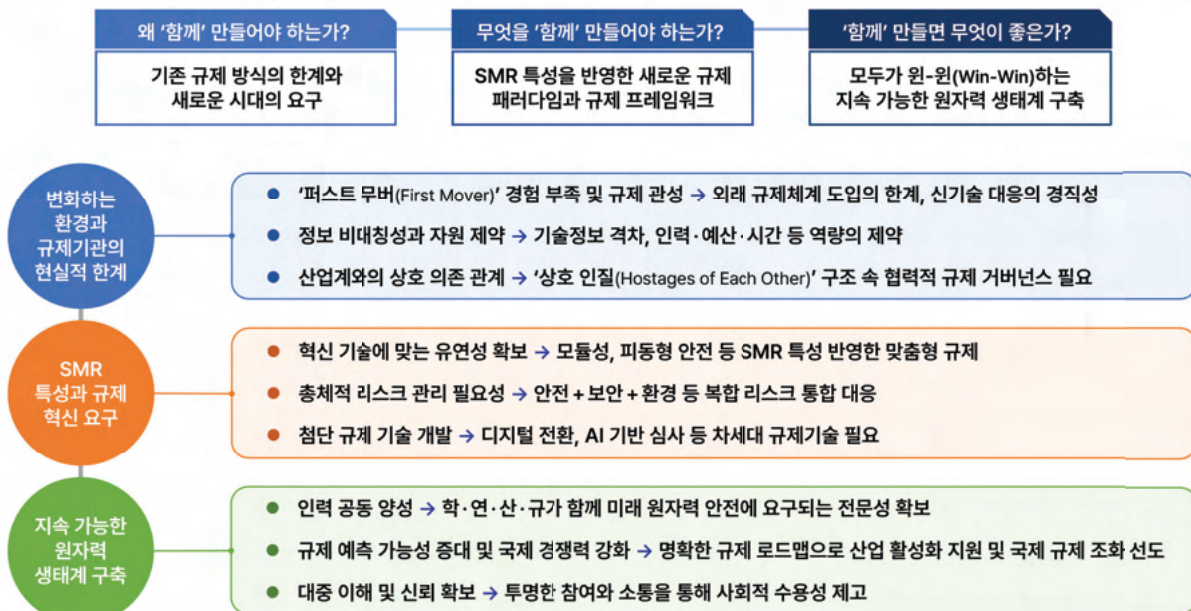
함께 만드는 차세대원자로 안전규제



17

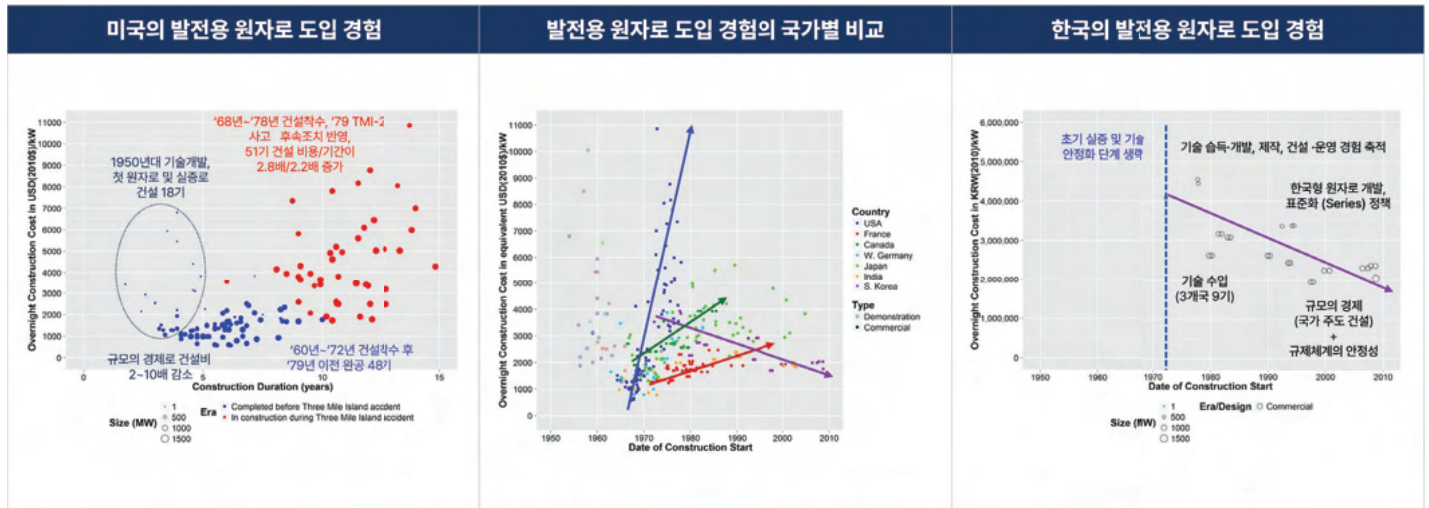
“ 함께 만드는 차세대원자로 안전규제 ”

미래 원자력 시대를 위한 안전규제는 더 이상 단독 기관의 역할이 아닌, 모든 이해관계자가 지혜를 모아 함께 만들어가야 할 공동의 과제



18

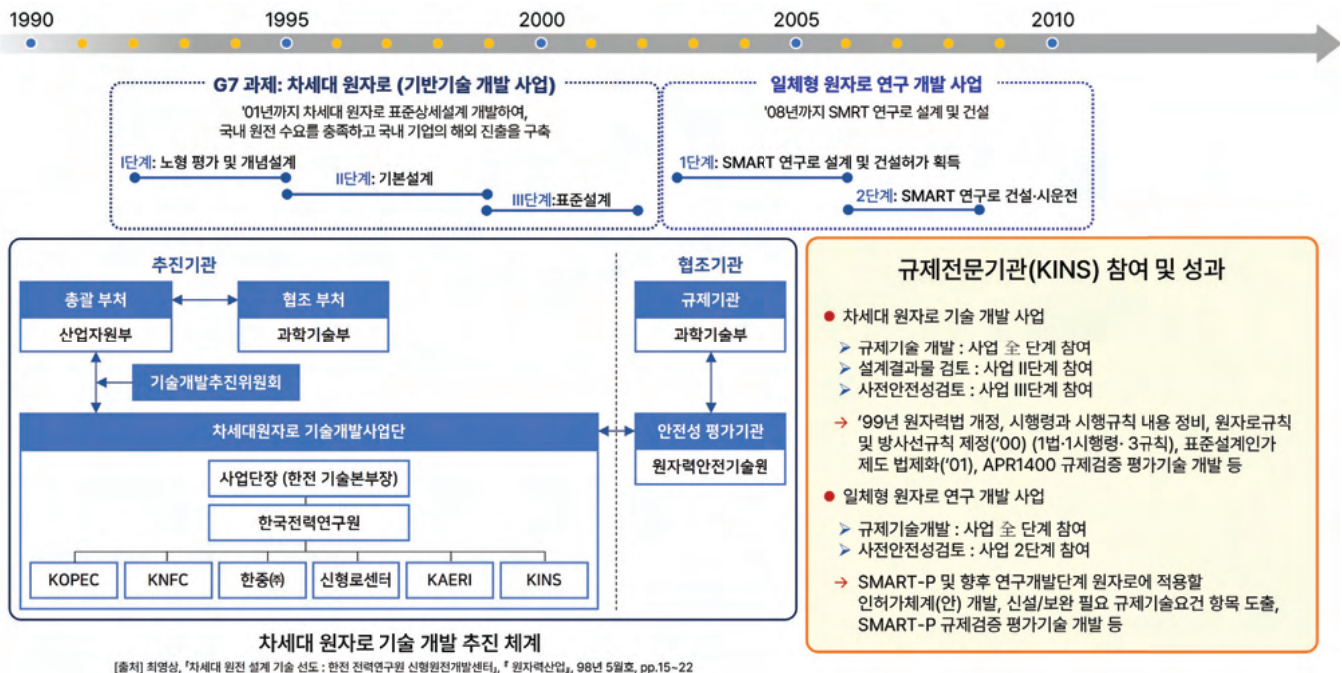
주요 국가의 발전용 원자로 도입 및 건설 경험



[그림 출처: Jessica R. Lovering, Arthur Yip, Ted Nordhaus, Historical construction costs of global nuclear power reactors, *Energy Policy* 91 (2016) 371-382]

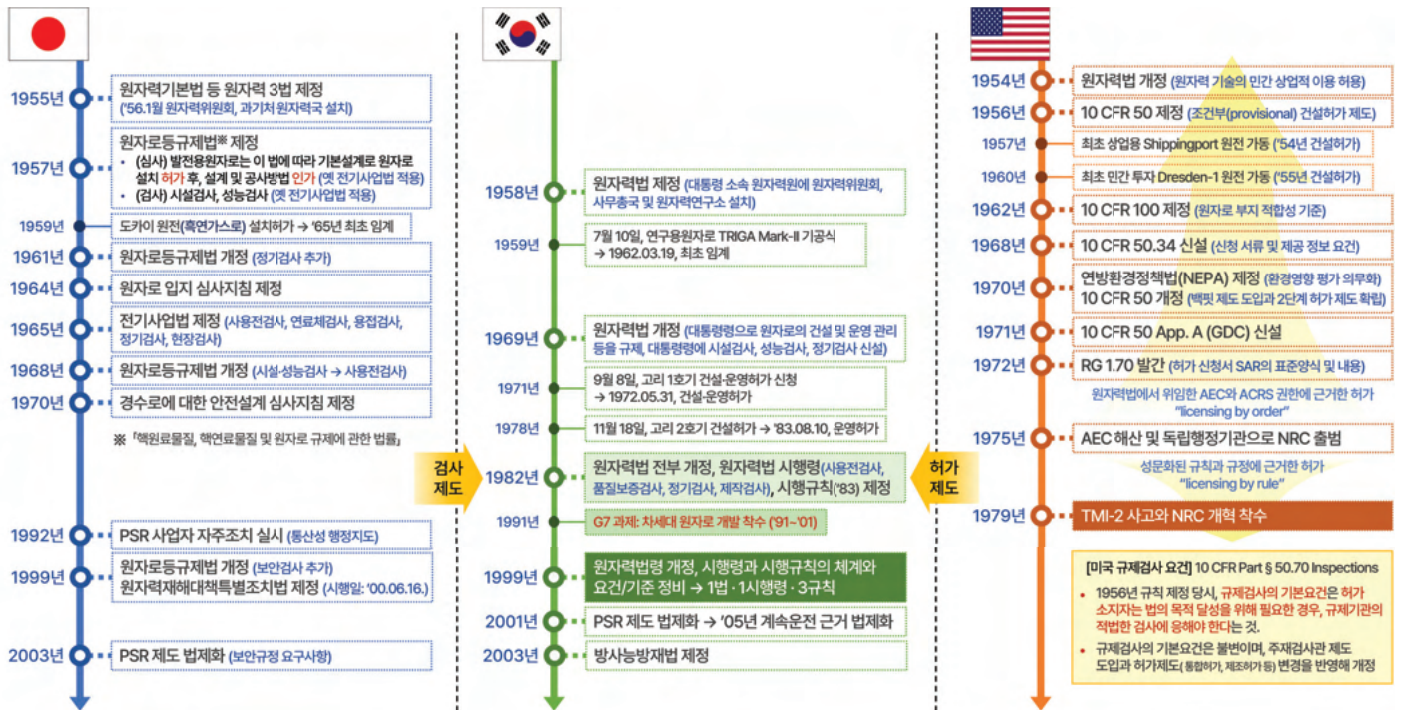
19

우리나라 국산 원자로 개발 경위와 규제(전문)기관의 역할



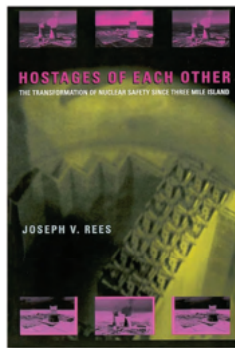
20

우리나라 발전용 원자로 규제제도의 변천



21

규제기관과 사업자의 상호 의존성은 협력적 규제 거버넌스의 강력한 동기



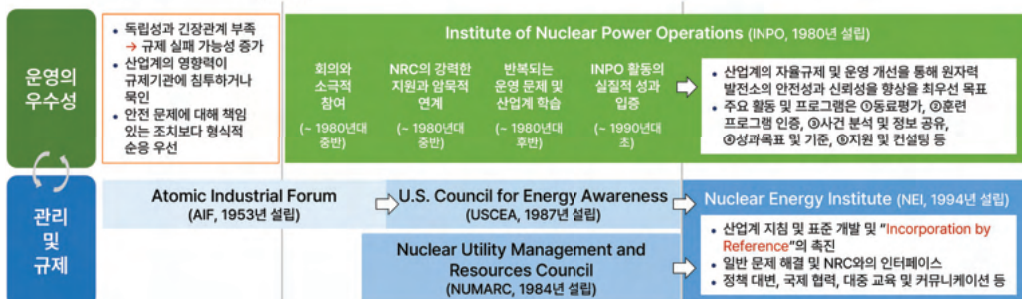
Hostage of Each Other

1994년, Joseph V. Rees가 TMI-2 사고 이후 미국 원자력 산업의 변화를 설명하며 제시한 개념으로, 원자력 규제기관과 산업계가 서로에게 깊이 의존하고 영향을 주고받는 관계를 의미

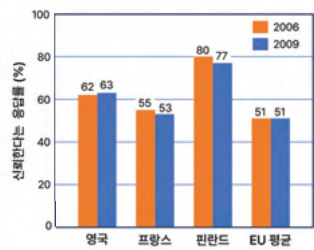
➢ 단순히 대립하는 관계가 아닌, 양측이 서로에게 묶여 있듯이 독립적으로 기능하기 어려운 구조적 관계

부정적 측면	긍정적 측면
- 규제포획(regulatory capture) 리스크 - 상호 책임 회피 - 문제 은폐 및 도덕적 해이	- 상호 책임성과 신뢰 구축 - 산업의 자기규율 유도 - 협력 기반 규제 거버넌스 가능

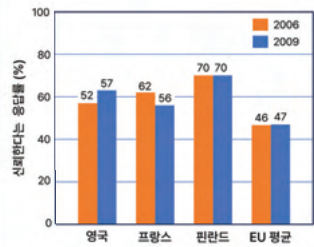
Rees는 INPO의 도덕적 리더십, 동료평가 시스템, 자율규제 실천을 통해, 상호 인질 관계를 "더 나은 규제 거버넌스"로 나아가는 데 기여했다고 평가



유럽에서 규제기관과 사업자에 대한 신뢰도



규제기관에 대한 신뢰

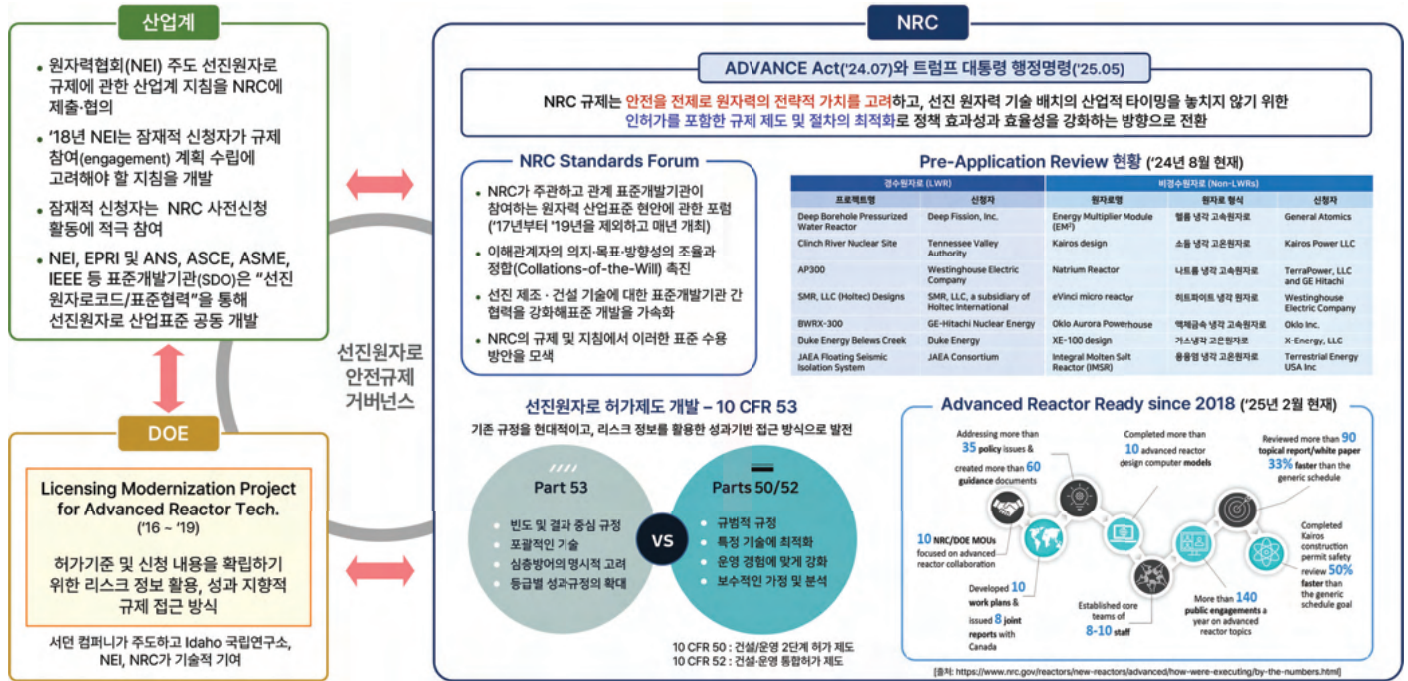


원자력발전소 운영자에 대한 신뢰

[자료 출처: TNS Opinion & Social, Special Eurobarometer 324 - Europeans and Nuclear Safety, 2010.4.29.]

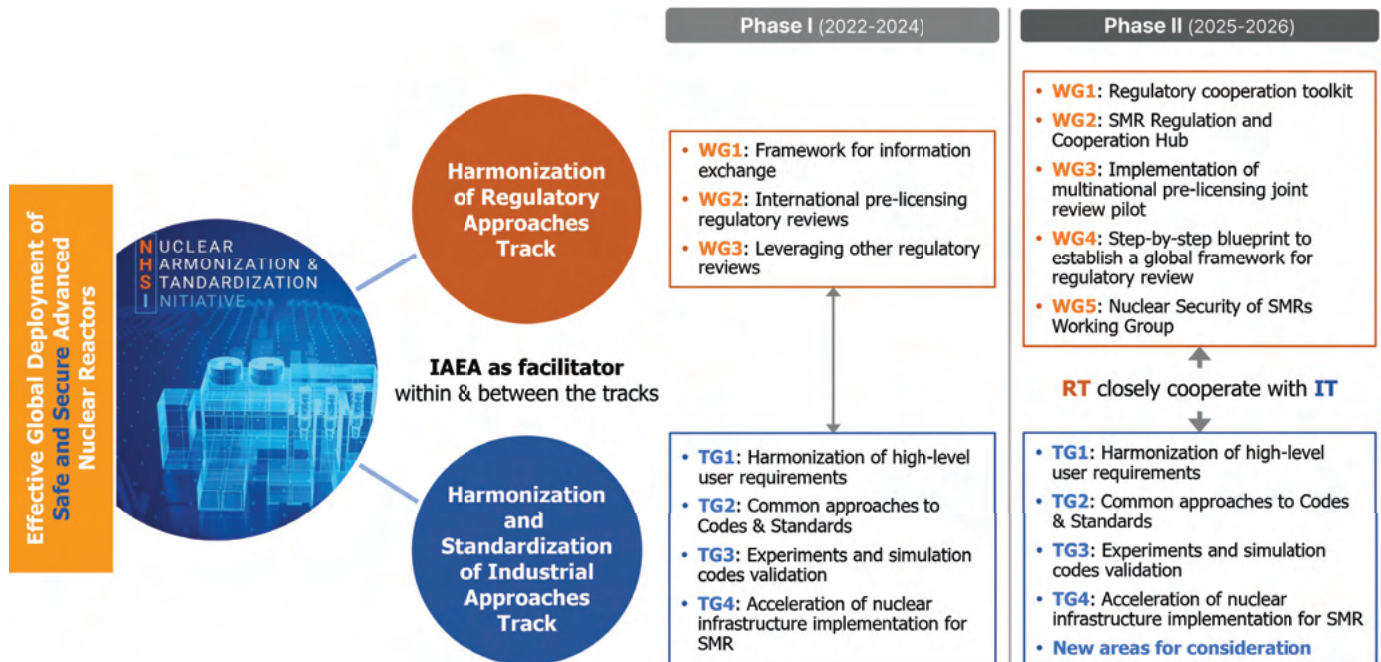
22

미국에서 선진원자로(Advanced Reactor) 규제기반 구축을 위한 NRC, DOE 및 산업계 활동



23

IAEA's Nuclear Harmonization and Standardization Initiative



24

“The best way to predict the future is to create it.”

..... Peter Drucker

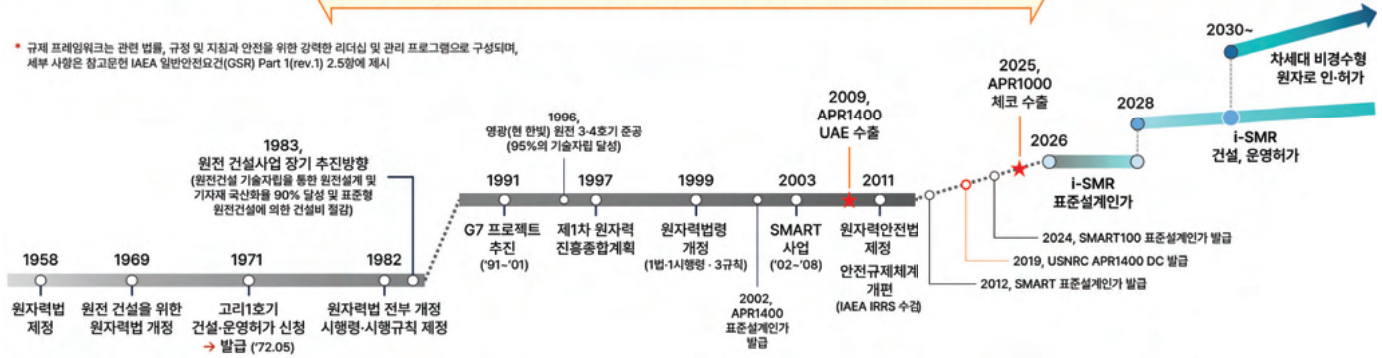
- 경수형 SMR이 안전하게 설계되고 운영될 수 있도록 과학기술적 근거를 바탕으로 철저한 평가와 검증을 통해, 공공이 신뢰하는 SMR 기술에 대한 규제기반 마련
- 경수형 SMR 규제기반을 마련할 때부터 대형 원전을 포함한 다양한 차세대 원자력 기술에 대한 규제와의 일관성과 통일성을 고려해 기술 포괄적 규제 환경을 조성하는데 기여

대형 원자력발전소 중심의 규제 프레임워크*

- **Agility**: 새로운 기술과 비즈니스에 대한 규제기관의 빠른 반응성과 상황에 따른 유연한 대처
- **Streamlined**: 허가 절차를 효과적으로 간소화
- **Risk-informed, Performance-based**: SMR 규제 프레임워크에 요구되는 접근 방식
- **Leverage**: 각국이 SMR 규제 프레임워크 (재)구축에 다른 나라 규제 정보·경험을 최대한 활용

다양한 원자력 기술을 포괄하는 규제 프레임워크

* 규제 프레임워크는 관련 법률, 규정 및 지침과 안전을 위한 강력한 리더십 및 관리 프로그램으로 구성되며, 세부 사항은 참고문헌 IAEA 일반안전요건(GSR) Part 1 (rev.1) 2.5장에 제시



제3차

원자력 안전규제의 미래

전기의 시대, 원자력안전규제의 나아갈 길

미국 기술범용 인허가체계의 핵심요소 및 국내 적용성

2025. 6. 27.

정구영 한국원자력안전기술원
Ku.Chung@kins.re.kr



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

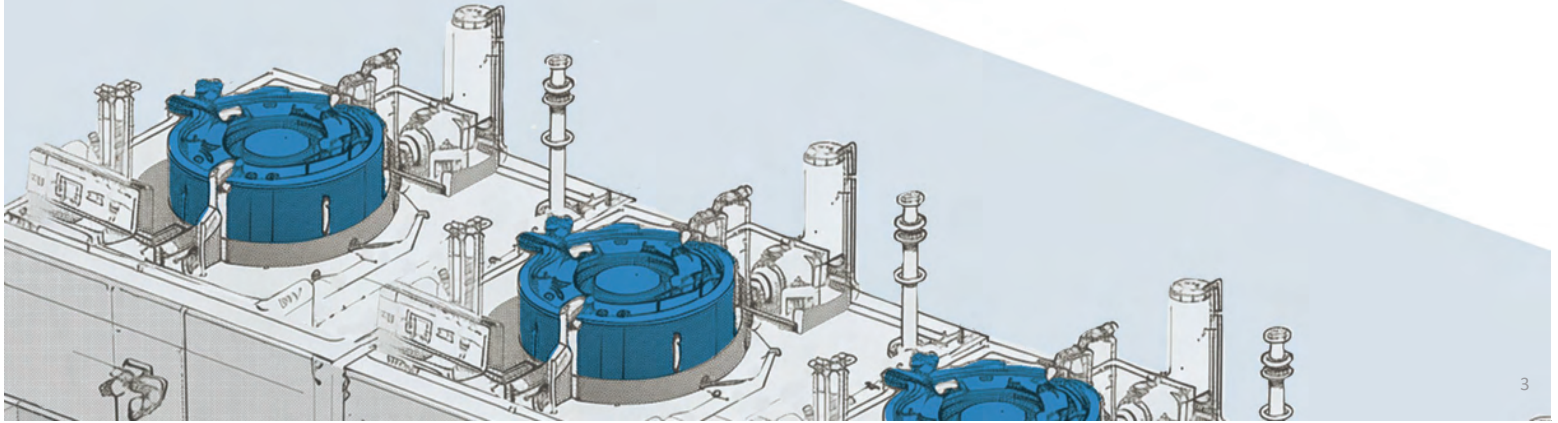
CONTENTS

- I. 원전 인허가체계 개요
- II. 미국 TI-RIPB 핵심 요소
- III. 국내 적용성



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

원전 인허가체계 개요



I 원전 인허가체계 개요

인허가란?

- **인허가절차:** 신청자에게 인허가(license)를 발급할지 여부를 결정하는 과정
- **허가기준:** 인허가 발급 여부를 결정하기 위한 기준
- **원전 인허가의 목적?**

– Atomic Energy Act, SEC. 182. LICENSE APPLICATIONS

..., the applicant shall state such technical specifications, including information of the amount, kind, and source of special nuclear material required, the place of the use, the specific characteristics of the facility, and such other information as the Commission may, by rule or regulation, deem necessary in order to enable it to find that the utilization or production of special nuclear material will be in accord with the common defense and security and will provide adequate protection to the health and safety of the public. ...

I 원전 인허가체계 개요

원전이 (적절한) 안전성을 제공하는지 어떻게 확인할 것인가?

- 정상운전(normal operation)
 - 종사자 피폭관리
 - 일반인 피폭관리: 방사성물질 배출관리, ..
- 비계획적 사건(unplanned event)
 - 구분: 예상운전과도(Abnormal Operational Occurrence), 가상사고(Postulated Accident)
 - 리스크 triplet 관점의 접근이 유효함!
 - What can go wrong?
 - How likely it is?
 - What are the consequences?

Reference: Marty Stutzke, "Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance-Based Licensing Approaches", NRC, 2023

5

I 원전 인허가체계 개요

"How likely it is?"

Event Frequency [1/RY]	USNRC		ANS	
	10CFR50	RG 1.70	51.1-1973	51.1-1983
계획운전 (Planned Operation)	정상 (Normal)	정상 (Normal)	Condition I	PC-1
10 ⁻¹	예상운전과도 (Anticipated Operational Occurrences: AOOs)	보통빈도사건 (Incidents of Moderate Frequency)	Condition II	PC-2
10 ⁻²		희귀빈도사건 (Infrequent Incidents)	Condition III	PC-3
10 ⁻³	사고 (Accidents)	제한사고 (Limiting Faults)	Condition IV	PC-4
10 ⁻⁴				PC-5
10 ⁻⁵				
10 ⁻⁶				Not decided

주) 10CFR50 : Domestic licensing of production and utilization facilities
 RG 1.70 : Standard format and content of safety analysis report for NPPs

https://atomic.snu.ac.kr/index.php/발생빈도별_초기사건_분류

6

I 원전 인허가체계 개요

“What can go wrong?”

사건 분류	사건 예시
2차 계통에 의한 열제거 증가	급수온도 감소(II), 급수유량 증가(II), 주증기유량 증가(II), 증기발생기 압력방출밸브나 안전밸브의 부주의한 개방(II), 주증기관 파단(IV)
2차 계통에 의한 열제거 감소	소외 부하상실(II), 터빈 정지(II), 복수기 진공 상실(II), 주증기관 격리 밸브 닫힘(II), 발전소 보조계통용 비-비상교류전원 상실(II), 정상급수 유량 상실(II), 주급수관 파단(IV)
원자로냉각재 유량 감소	원자로냉각재 유량 완전상실(II), 원자로냉각재펌프 회전자 고착(IV), 원자로냉각재펌프 축 파손(IV)
반응도 및 출력분포 이상	저출력 기동상태시 제어봉집합체 인출(II), 출력중 제어봉집합체 인출(II), 단일제어봉집합체 낙하(II), 비상동 원자로냉각재펌프 기동(II), 원자로냉각재 봉소 회석(II), 핵연료집합체 오작전 운전(III), 제어봉집합체 이탈(IV)
원자로냉각재 재고량 증가	비상노심냉각계통의 오작동(II), 화학 및 체적제어 계통 오작동(II), 가압기 수위제어계통 오작동(II)
원자로냉각재 재고량 감소	가압기 안전밸브 또는 압력방출밸브의 부주의한 개방(IV), 원자로건물 외부의 원자로냉각재 수송배관 파단(II), 증기발생기 전열관 파단(IV), 원자로냉각재계통 배관 파단(IV)
부속 계통 또는 기기로부터 방사성물질 유출	기체 방사성폐기물 계통 파손(IV), 액체 방사성폐기물 계통 파손 또는 누설(IV), 액체방사성물질 함유 탱크 파손(IV), 사용후핵연료 취급사고(IV), 사용후핵연료 수송용기 낙하사고(IV)
원자로 정지불능 예상과도	원자로 정지불능 예상과도

https://atomic.snu.ac.kr/images/4/41기능적_사건분류와_예시.jpg

7

I 원전 인허가체계 개요

“What are the consequences?” : 대응목표 = 허용기준

사건 분류	핵연료	1차/2차 계통	격납건물	소외 방사선량
보통빈도사건 (Condition II)	건전성유지 (DNBR > 제한치)	설계압력의 110% 이내	건전성유지	해당없음 (핵연료건전)
희귀빈도사건 (Condition III)	· 일부 손상허용 · 노심냉각 형상 유지	설계압력의 110% 이내	건전성유지	부지제한치 ¹⁾ 의 10%이내
제한사고 (Condition IV)	· 손상 허용 · 노심냉각 형상 유지	설계압력의 110-120% 이내	건전성유지	부지제한치 ¹⁾ 의 10-100%이내

주, 1) 부지제한치 : 사고 후 2시간 동안 누적된 전신 피폭선량 0.25Sv 및 갑상선 피폭선량 3Sv

https://atomic.snu.ac.kr/images/2/20/발생빈도별_허용기준.jpg

8

I 원전 인허가체계 개요

“What are the consequences?” : 대응수단 = 안전설비

- 원안위 고시, “원자로시설의 안전등급과 등급별 규격에 관한 규정”
 - 안전등급 1: 원자로냉각재 압력경계를 구성하는 설비의 내압부분 및 지지물
 - 안전등급 2: 원자로격납건물 내압부분, 비상노심냉각설비, ...
 - 안전등급 3: 수소제어설비, ...
 - 비안전등급: 필요한 경우 추가적인 요건 부가 가능 (예: 방사성폐기물 처리설비)

표 5. ANSI/ANS-51.1-1983의 설비 안전 등급별 적용 요건

설비 안전 등급	품질보증 요건	내진설계 요건	ASME BPV 코드 압력보유 요건	전기 요건	구조적 요건
SC-1	명시된 요건	지진 분류 I	Class 1	NA	NA
SC-2	"	"	Class 2	NA	ASME III
SC-3	"	"	Class 3	IEEE Class 1E	ACI or AISC
NNS	공식적 프로그램 불필요	***	***	***	***

https://www.kns.org/files/pre_paper/30/98A-277.pdf
(원자력발전소 조건 분류 및 허용 기준 설정 연구)

9

I 원전 인허가체계 개요

경수로 안전성 평가 확립 과정(50~70년대)

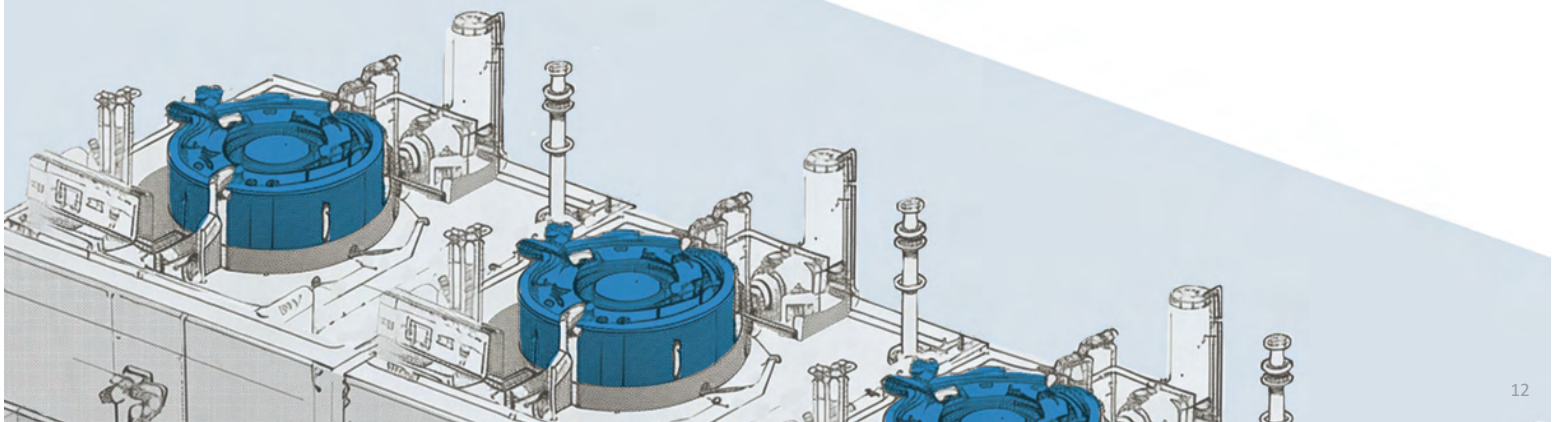
- 발생빈도를 고려한 평가대상 사고의 분류 및 선별
- 설계를 위한 제한사고(limiting case)의 선정: 설계기준사고(DBA)
- DBA 대응을 위한 안전기능 설정 → 안전설비의 설계기준
- 안전설비를 통한 DBA 대응능력 평가 → 허용기준 비교

10

비경수 설계의 경우?

- 현행 안전성 확인체계의 적용성
 - 발생빈도별 사건 범주: O
 - 사건 목록(예상운전과도 + 가상사고): X
 - 허용기준: Δ
 - 안전기능(설비): X
- 기술범용(Technology Inclusive = Design Independent) 인허가 체계 개발 필요
 - 발생빈도별 사건 범주 (신규 개발 또는 기존 체계 활용)
 - (기술범용적) 범주별 사건(인허가를 위한 평가 대상) 선별
 - (기술범용적) 허용기준
 - (기술범용적) 안전설비 선별기준

미국 TI-RIPB 핵심 요소



II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

인허가 현대화 프로젝트(Licensing Modernization Project, LMP)

- The LMP methodology is a technology-inclusive, risk-informed, and performance-based approach developed for informing the licensing basis of non-light water reactors.
 - Developed by the [Southern Company](#)
 - Cost-shared by the [Department of Energy \(DOE\)](#)
 - Sponsored by the [Nuclear Energy Institute \(NEI\)](#)
 - NEI 18-04, Rev. 1, “Modernization of Technical Requirements for Licensing of Advanced Non-Light Water Reactors: Risk-Informed Performance-Based Technology Inclusive Guidance for Non-Light Water Reactor Licensing Basis Development,” August 2019.
 - Endorsed by the Nuclear Regulatory Commission (NRC)
 - RG 1.233, Rev. 0, “Guidance for a Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance-Based Methodology to Inform the Licensing Basis and Content of Applications for Licenses, Certifications, and Approvals for Non-Light Water Reactors,” June 2020.
- Uses [probabilistic risk assessments](#) and [traditional deterministic engineering approaches](#) to risk-inform design decisions and support licensing applications.

Reference: Marty Stutzke , “Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance-Based Licensing Approaches”, NRC, 2023

13

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

발생빈도에 따른 사건 범주: Categorization of Licensing Basis Events (LBEs)

LBE Category	Description	Event Sequence Family Mean Frequency Range	Plant Response
Anticipated Operational Occurrences (AOOs)	Anticipated event sequences expected to occur one or more times during the life of a nuclear power plant, which may include one or more reactor modules.	$\geq 1 \times 10^{-2}$ /plant-year	Account for the expected response of all SSCs within the plant regardless of safety classification.
Design Basis Events (DBEs)	Infrequent event sequences that are not expected to occur in the life of a nuclear power plant, which may include one or more reactor modules, but are less likely than AOOs.	1×10^{-4} to 1×10^{-2} /plant-year	
Beyond Design Basis Events (BDBEs)	Rare event sequences that are not expected to occur in the life of a nuclear power plant, which may include one or more reactor modules, but are less likely than a DBE.	1×10^{-4} to 5×10^{-7} /plant-year	
Design Basis Accidents (DBAs)	Postulated event sequences that are used to set design criteria and performance objectives for the design of Safety Related SSCs. DBAs are derived from DBEs based on the capabilities and reliabilities of Safety-Related SSCs needed to mitigate and prevent event sequences, respectively.	DBAs are derived from the DBEs by prescriptively assuming that only Safety Related SSCs are available to mitigate postulated event sequence consequences to within the 10 CFR 50.34 dose limits. Identified by an integrated decision-making process (IDP)	

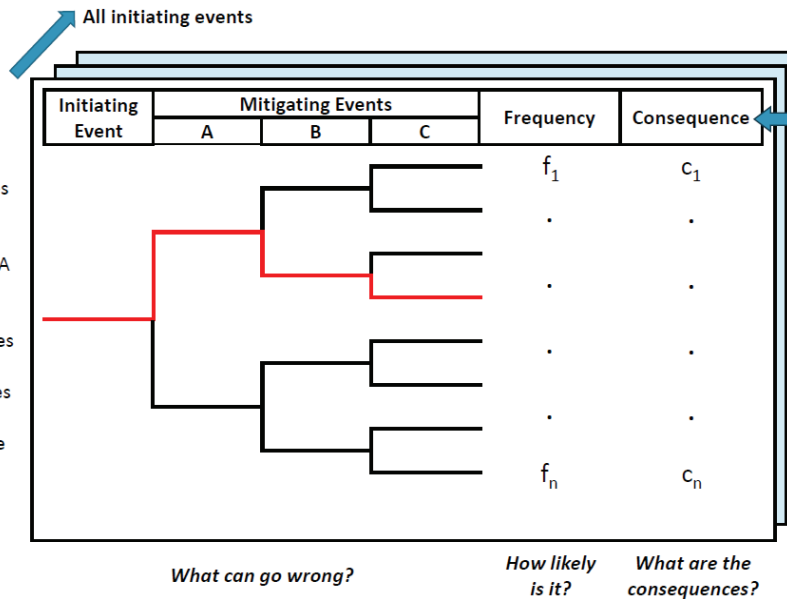
Reference: Marty Stutzke , “Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance-Based Licensing Approaches”, NRC, 2023

14

Probabilistic Risk Assessment (PRA) Event Sequences

Event sequences:

- Pathways through the event tree
- Consists of an initiating event and one or more mitigating event successes and failures
- All event sequences are important when using PRA to help establish the licensing basis
- Individual event sequences may be grouped into families (similar challenges to the plant safety functions, response of the plant in the performance of each safety function, response of each radionuclide transport barrier, and end state.)



Consequences may be expressed in a variety of ways, depending on the purpose(s) of the PRA:

- Conditional individual early fatality risk (per event)
- Conditional latent cancer fatality risk (per event)
- Population dose (person-rem per event)
- Offsite economic consequence (\$/event)
- Quantity of radioactive material released (curies per event)
- Dose over a specific period at a fixed location (e.g., the 96-hour dose at the exclusion area boundary (EAB))

The Risk Triplet

Reference: Marty Stutzke, "Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance-Based Licensing Approaches", NRC, 2023

15

인허가기반사건(LBE) 범주의 특징

- 발생빈도에 따른 범주 + Design Basis Accidents
 - 빈도에 따라 AOO($\sim 1 \times 10^{-2}$), DBE($\sim 1 \times 10^{-4}$), BDBE($\sim 5 \times 10^{-7}$)의 세가지 범주로 구분
 - 빈도의 하한(5×10^{-7}) 설정: QHO(보건목표)의 Early Fatality 빈도 목표치
 - DBA는 단순히 빈도가 아니라 별도의 방법(integrated decision-making process)으로 선별
- LBE는 초기사건(Initiating Event)이 아니라 PSA Event Sequence! (단, DBA는 가상 Event Sequence)
 - 현행 인허가체계의 DBA 이름은 초기사건이며, DBA 분석은 "초기사건 + 보수적 가정(비안전 설비는 가용하지 않음, 능동기기 단일고장, 보수적 초기조건 가정, ...)"에 대하여 수행
 - LMP 방법론에서 LBE는 "초기사건 + 설비 가용여부"가 조합된 Event Sequence임.

16

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

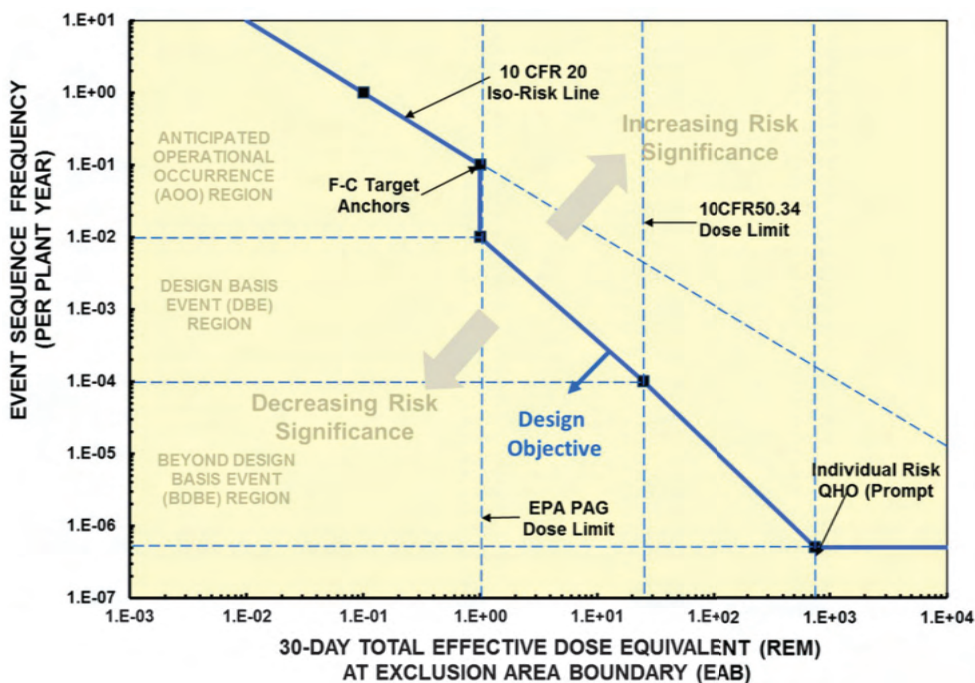
허용기준?

- Possible consequences
 - early/late fatality, population dose, offsite economic consequence, EAB dose, ...
- 현행 규제요건의 피폭선량 허용기준
 - 일반인 허용기준 : 1mSv (미국의 경우 0.1rem by 10 CFR 20)
 - DBA 허용기준: 250mSv (미국의 경우 25rem by 10 CFR 50.34)
- LMP 방법론에서는 기본적인 허용기준으로 EAB 피폭선량 (30일간) 채택
 - 법적 요건에 따른 기준값: 0.1rem, 25rem
 - QHO 빈도(LBE 빈도 하한치)에 대응하는 선량은 750rem 적용(법적, 기술적 근거 x)
 - 다양한 빈도의 LBE에 대한 범주별(빈도별) 허용기준은 어떻게 할 것인가?

17

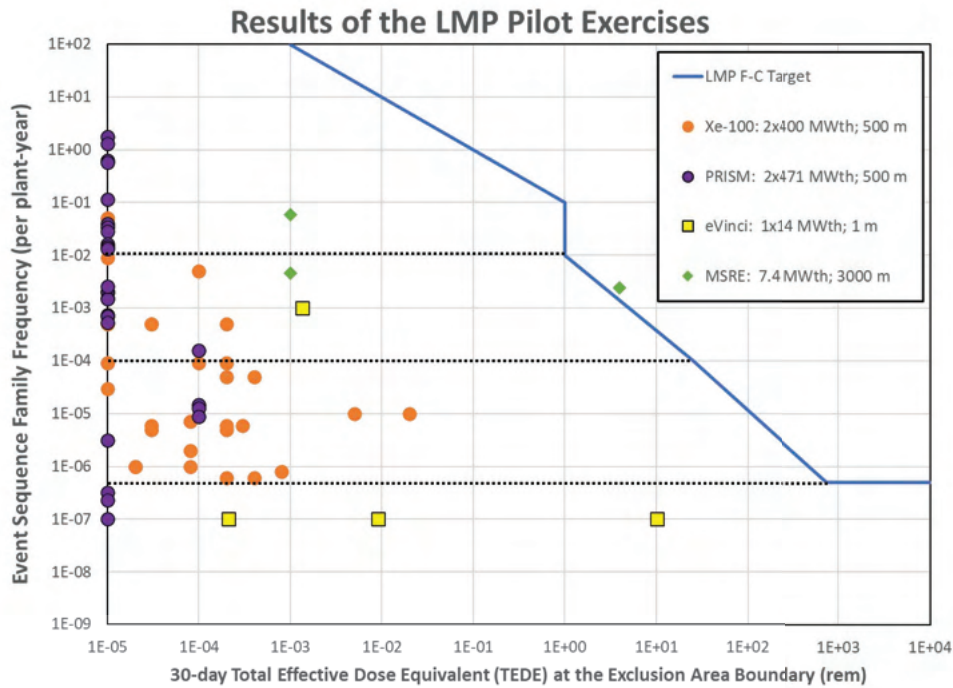
II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

NEI 18-04의 F-C Target 곡선



18

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

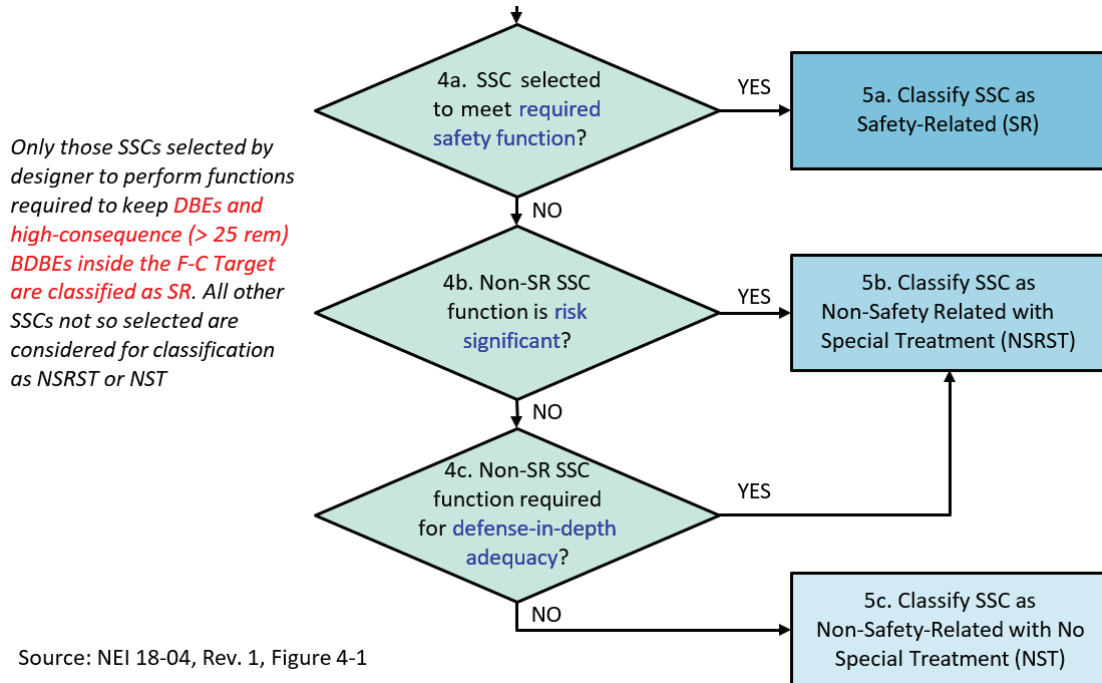


Reference: Marty Stutzke, "Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance-Based Licensing Approaches", NRC, 2023

19

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

안전에 중요한 설비 선별? 3단계 분류: 안전관련, NSRST, 비안전

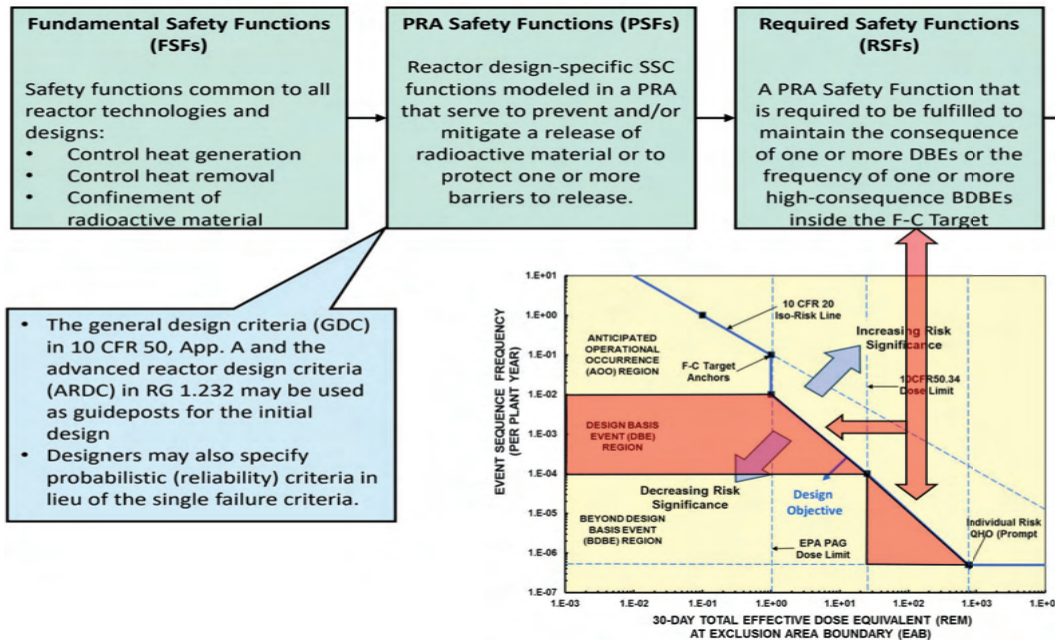


Source: NEI 18-04, Rev. 1, Figure 4-1

20

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

안전관련 설비 = Required Safety Function을 수행하는 설비. 그럼 RSF는?



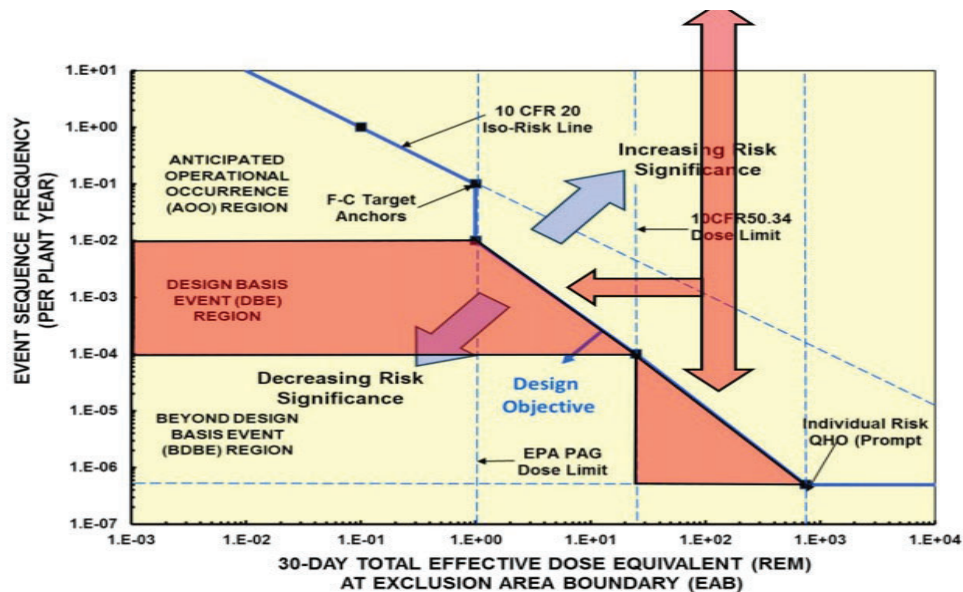
Reference: Marty Stutzke, "Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance-Based Licensing Approaches", NRC, 2023

21

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

Required Safety Function?

- To keep consequence of DBE & frequency of BEBE within F-C target

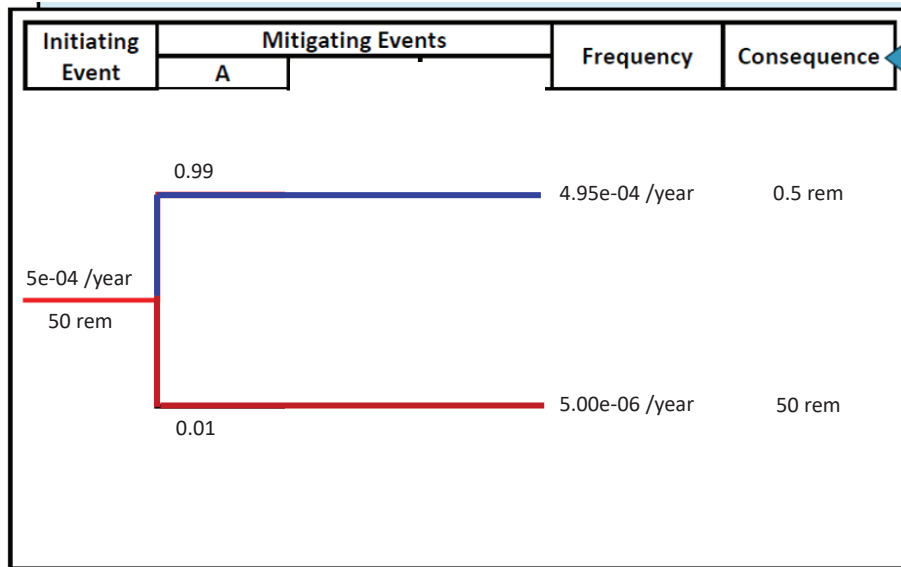


Reference: Marty Stutzke, "Technology-Inclusive, Risk-Informed, and Performance-Based Licensing Approaches", NRC, 2023

22

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

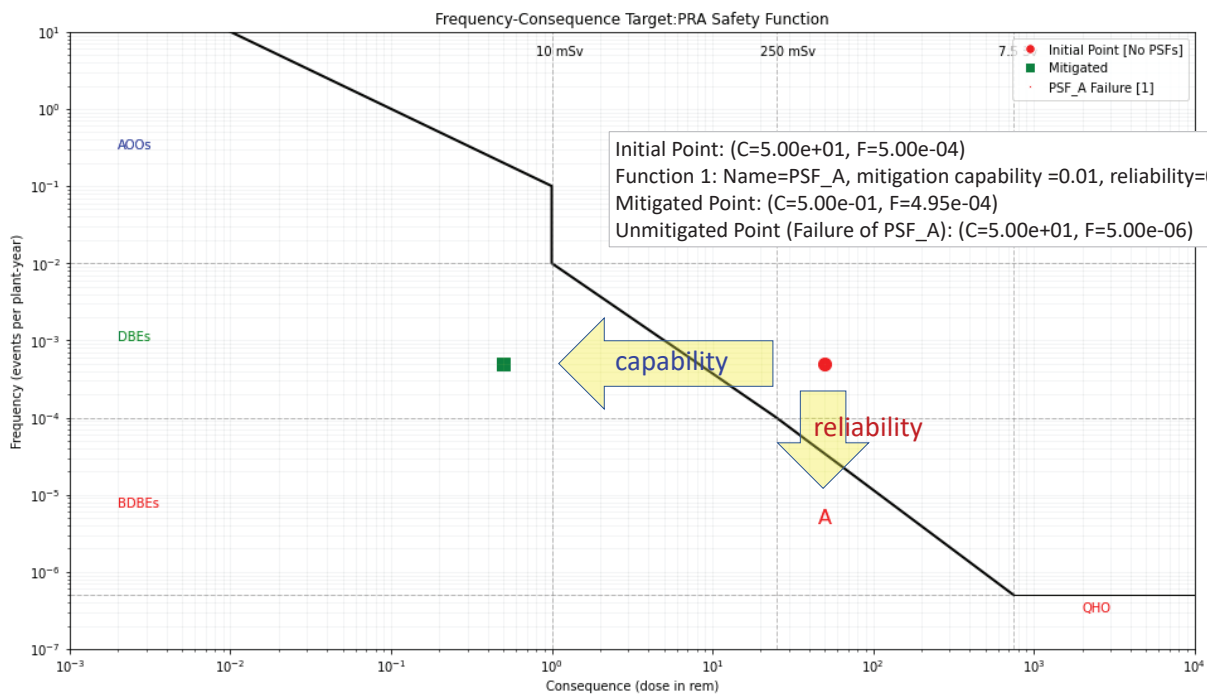
사고 대응을 위한 안전기능이 FC 곡선에 어떻게 나타나는가?



23

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

사고 대응을 위한 안전기능이 FC 곡선에 어떻게 나타나는가?



24

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

설계기준사고(DBA)

- DBAs are derived from DBEs based on the capabilities and reliabilities of Safety-Related SSCs needed to mitigate and prevent event sequences, respectively.
 - 안전등급 기기의 성능(C 감소) 및 신뢰도(F 감소) 고려 → DBA로 선별
- DBAs are derived from the DBEs by prescriptively assuming that only Safety Related SSCs are available to mitigate postulated event sequence consequences to within the 10 CFR 50.34 dose limits.
 - DBA 사건경위는 “해당 DBE 초기사건 + 안전관련설비만 가용 가정” = 가상의 사고경위
 - 선량제한치(25rem) 만족여부에 대한 결정론적 평가 수행대상 ≈ 현재의 DBA 사고해석
- Postulated event sequences that are used to set design criteria and performance objectives for the design of Safety Related SSCs.
 - 결정론적 평가와 설비 설계요건(성능요건) 설정 연계

25

II 미국 TI-RIPB 핵심 요소

LMP 방법론(NEI 18-04)의 핵심 요소

- 인허가 기반 사건 (LBE)의 선정
 - PRA를 도구로, F-C target을 활용하여 LBE 선정
 - LBE는 초기사건이 아니라 event sequence (사건 경위): AOO/DBE/BDBE vs DBA
 - DBA 선정 및 보수적 평가를 통한 규제요건(25rem) 만족여부 확인
- SSC 등급분류 및 성능기준 설정
 - 안전관련(SR) SSC, NSRST, NSR 분류
 - 안전중요(SR, NSRST) SSC에 대한 요건: 성능, 신뢰도, QA, ...
- 심층방어 적합성 평가
 - 심층방어단계별 평가 등

26

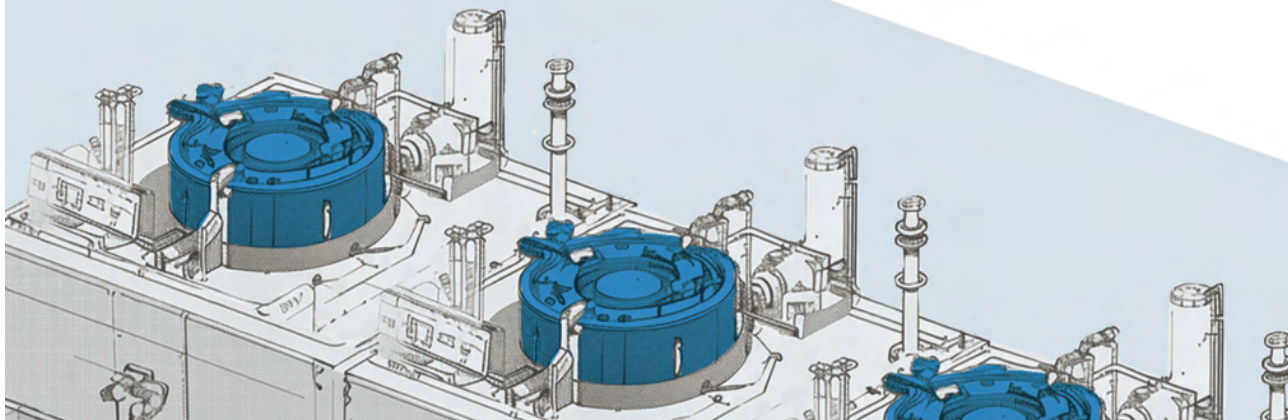
Layers of Defense

Layer of Defense*	Layer Guideline		Overall Guidelines	
	Quantitative	Qualitative	Quantitative	Qualitative
1) Prevent off-normal operation and AOOs	Maintain frequency of plant transients within designed cycles; meet owner requirements for plant reliability and availability		Meet F-C Target for all LBEs and cumulative risk metric targets with sufficient margins	No single design or operational feature, no matter how robust, is exclusively relied upon to satisfy the five layers of defense
2) Control abnormal operation, detect failures, and prevent DBEs	Maintain frequency of all DBEs < 10 ⁻² /plant-year	Minimize frequency of challenges to SR SSCs		
3) Control DBEs within the analyzed design basis conditions and prevent BDBEs	Maintain frequency of all BDBEs < 10 ⁻⁴ /plant-year	No single design or operational feature relied upon to meet quantitative objective for all DBEs		
4) Control severe plant conditions and mitigate consequences of BDBEs	Maintain individual risks from all LBEs < QHOs with sufficient margins	No single barrier or plant feature relied upon to limit releases in achieving quantitative objectives for all BDBEs		
5) Deploy adequate offsite protective actions and prevent adverse impact on public health and safety				

*Adapted from IAEA Safety Report Series No. 46, "Assessment of Defense in Depth for Nuclear Power Plants," 2005.
Source: NEI 18-04, Rev. 1, Table 5-2

27

국내 적용성



28

III 국내 적용성

10 CFR part 53 규정 제정(진행중): 초안 주요 내용

- LBE, DBA 용어 정의: 사고경위 기반, DBA는 LBE에서 선별, DBA 대응은 안전설비로만, ...
- DBA 허용기준: 선량 25rem (제한구역경계: 2시간, 저인구지역 경계: 사고 전기간)
- DBA를 제외한 LBE 허용기준: 범주별 허용기준 설정 가능, 적절한 심층방어 제공 등
- 설비 등급은 3단계: SR, NSRSS(Non-Safety-Related Safety-Significant), NSS(Non-Safety-Significant)
- 설비 요건: SR은 QA 등 설비요건 모두 적용, NSRSS는 요구되는 신뢰도를 고려하여 선별 적용



❖ 구체적인 FC target은 규제요건이 아님! 수치화된 법적 허용기준은 DBA에 대한 25rem

❖ NEI 18-04의 LMP 방법론의 핵심 개념을 수용할 수 있는 포괄적인 규정

29

III 국내 적용성

LMP 방법론의 주요 내용을 국내에 적용하기 위해서는?

- 현행 법령 규정과 불일치하는 요소들 → 예외/면제 필요
 - 설계기준사고의 선정: 냉각재상실사고 평가, ...
 - 선량기준 외의 사고해석 허용기준: 핵연료/RCS/격납건물 건전성 기준 등
 - 안전등급 설비의 설계요건: 등급 및 규격

- 현행 법령에 근거규정이 없는 요소

- 허가기반사건(LBE)의 선정 및 평가
- 심층방어 설계의 적절성

선량평가 외의 허용기준 미적용에
대한 보완조치의 의미가 있음



❖ 설계자가 LMP 방법론을 원활히 적용하려면 part 53 수준의 법령 개정이 바람직!

30

III 국내 적용성

법령 개정 이전에 활용할 수 있는 요소?

- F-C target의 활용
 - 예상운전과도, 설계기준사고의 선정
 - 안전기능/설비의 선정
 - 선량기준에 대한 평가 및 안전여유도 정량화
- 예외/면제의 조건('안전에 지장이 없을 것')에 대한 기술적 설명자료
 - 해당 규정 적용 여부에 따른 안전성 영향을 F-C 그래프로 정량화
 - 핵연료/RCS/격납건물 건전성 기준 등에 상응하는 심층방어단계의 적절성
 - ...

31



제3차 원자력 안전규제의 미래

전기의 시대, 원자력안전규제의 나아갈 길

우주용 원자로 규제 방향 설정에 관한 소고

박석빈 서울대원자력정책센터 연구위원



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center

중장기 우주 계획

비전 및 추진전략

비전	2045년 우주경제 글로벌 강국 실현		
성과 목표	우주탐사 영역 확장	우주개발 투자 확대	민간 우주산업 창출
	핵심 우주탐사 임무 완수 → ('22. 현수준) 달 궤도선 임무 → ('32) 달 착륙 및 표면임무 → ('45) 화성 착륙	정부 우주개발 투자 → ('21. 현수준) 0.73조원 → ('27) 1.5조원(2배 수준)	우주 산업 세계시장 비중 (배출액 기준) → ('21. 현수준) 약 1% → ('45) 10%(주력산업 수준)

장기 전략목표로서의 5대 임무, 이행수단으로서의 2대 실천전략 설정

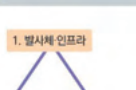
5대 장기 우주개발 미션(Mission) 설정

1 우주탐사 확대	2 우주수송 안정	3 우주산업 창출	4 우주안보 확립	5 우주과학 확장
독자적 우주 탐사계획 추진	우주수송 서비스 능력 인프라 완성	우주 신산업을 주력산업화	우주·지상 인보 자원체계 확립	국내역량 주도의 선도형 연구 추진

전략 ❶ 우주경제 기반 구축



전략 ❷ 첨단 우주기술 확보



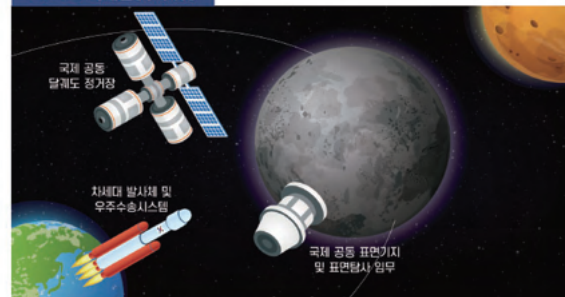
우주탐사 확대

“우주로 경제영토 확장”

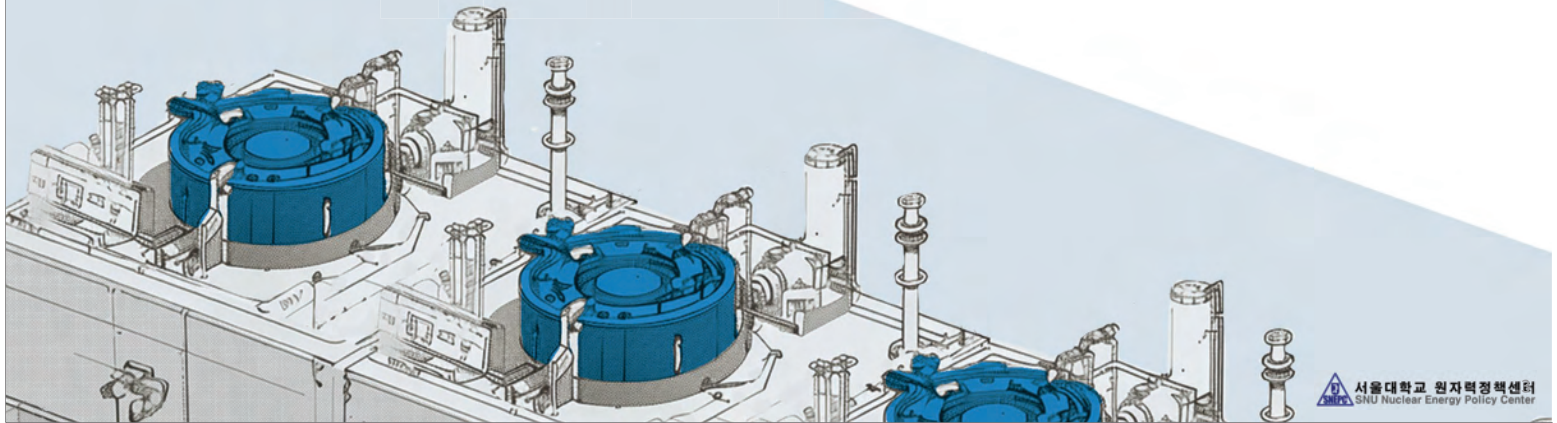
임무 정의

- ▶ **임무개요** 인류 우주활동영역 확대에 따른 국제질서 재편에 대응하여 심우주 유·무인 활동을 주도적으로 추진할 핵심 역량 확보
- ▶ **핵심목표** '32년까지 달 착륙 → '45년까지 화성 착륙
 • (달 탐사) '32년 무인 착륙 및 표면 임무 → '40년대 달 기지 확보
 • (화성 탐사) '35년 궤도 발사 → '45년 착륙 및 표면 임무 수행
- ▶ **추진전략** 달·화성 탐사의 독자적 역량 확보와 동시에 국제협력을 통한 유인·정거장·탐사기지 등의 전략적 추진
 • 발사체, 무인 궤도선, 착륙선, 운송선의 독자적 능력 확보
 • 궤도정거장, 달·화성 표면 기지 등의 분야에서는 국제협력 강화
 • 현지자원활용(ISRU) 기초 기술을 확보하고 지상의 산업 역량 적극 활용
 • 유인 우주 관련 선행 기술 개발 및 국제협력을 통한 유인탐사 참여

2045 미래상(未來像)



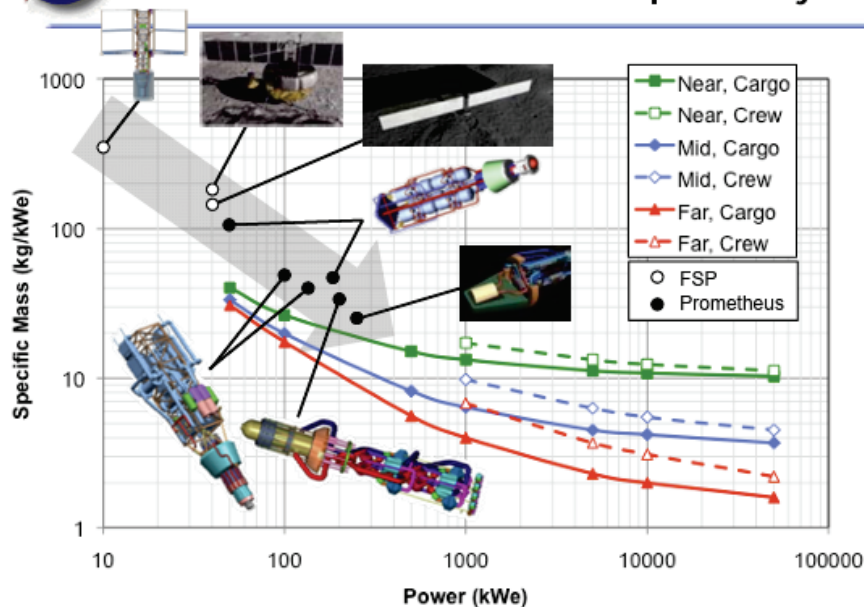
이 계획에 원자력을 이용할 것인가?



서울대학교 원자력정책센터
SNU Nuclear Energy Policy Center



Fission Can Provide the Energy for Either Nuclear Thermal or Nuclear Electric Propulsion Systems



- NEP Power System Performance Projections from 2001 STAIF Conference
- Fission Surface Power and Prometheus Concepts Superimposed

Near=Liq Metal Rx, Brayton, 1300K, 6 kg/m², 200 Vac (Available ~10 yrs)
Mid=Liq Metal Rx, Brayton, 1500K, 3 kg/m², 1000 Vac (Available ~15-20 yrs)
Far=Liq Metal Rx, Brayton, 2000K, 1.5 kg/m², 5000 Vac (Available ~25-30 yrs)
Cargo=Instrument rated shielding, 1.6x10¹⁵ nvt, 1.2x10⁸ rad @ 2 m
Crew=Human rated shielding, 5 rem/yr @ 100 m, 7.5° half angle

Chart courtesy
Lee Mason,
NASA GRC



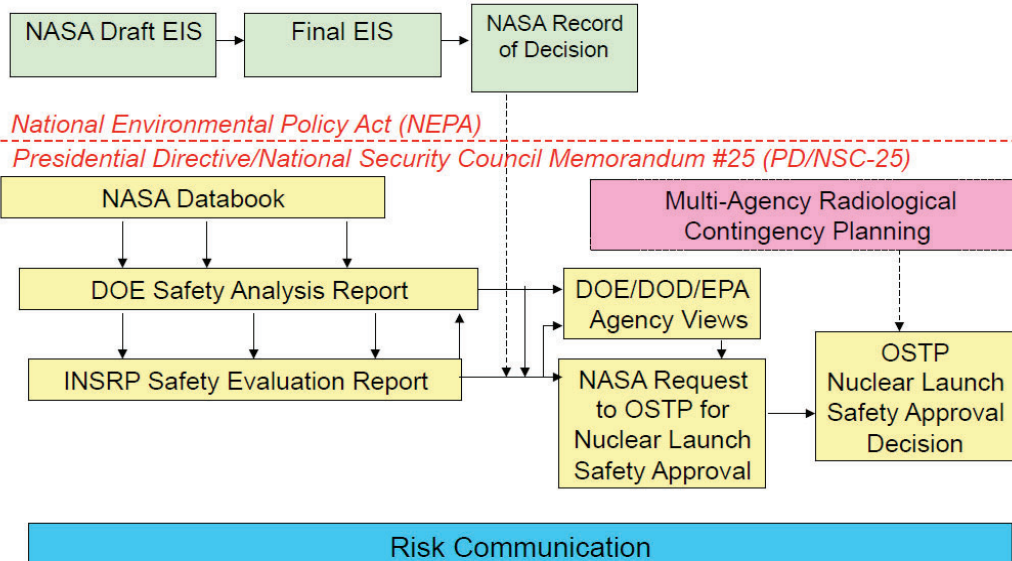
Nuclear Launch Safety Process

January 11, 2010

LAE - 6



Launch Approval Engineering



DOE – Department of Energy
EPA – Environmental Protection Agency

DOD – Department of Defense
INSRP – Interagency Nuclear Safety Review Panel

EIS – Environmental Impact Statement
OSTP – White House Office of Science and Technology Policy

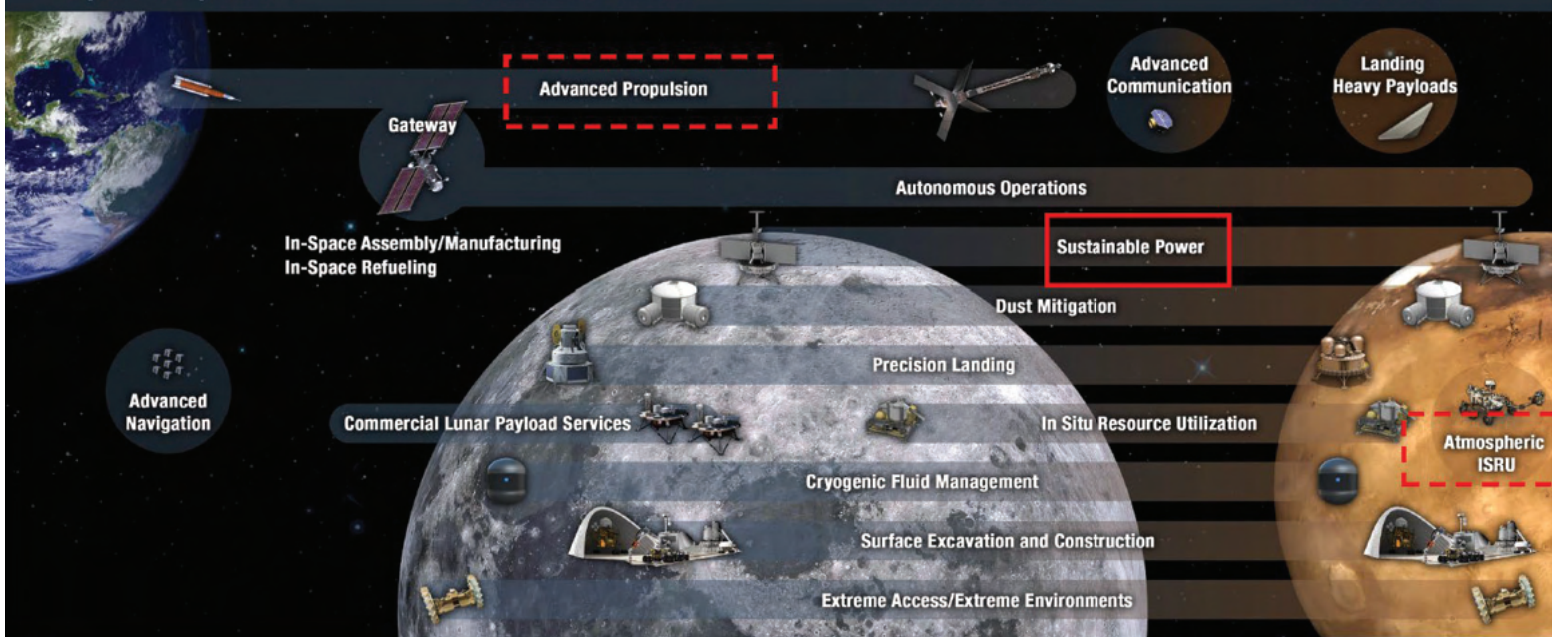
Technology Drives Exploration

Rapid, Safe, and Efficient
Space Transportation

Expanded Access to Diverse
Surface Destinations

Sustainable Living and Working
Farther from Earth

Transformative Missions
and Discoveries



2020

GO | LAND | LIVE | EXPLORE

203X

THRUSTS	OUTCOMES
 Lead Ensuring American global leadership in Space Technology • Lunar Exploration building to Mars and new discoveries at extreme locations • Robust national space technology engine to meet national needs • U.S. economic growth for space industry • Expanded commercial enterprise in space	 Go Rapid, Safe, & Efficient Space Transportation • Develop nuclear technologies enabling fast in-space transits. • Develop cryogenic storage, transport, and fluid management technologies for surface and in-space applications. • Develop advanced propulsion technologies that enable future science/exploration missions.  Land Expanded Access to Diverse Surface Destinations • Enable Lunar/Mars global access with ~20t payloads to support human missions. • Enable science missions entering/transiting planetary atmospheres and landing on planetary bodies. • Develop technologies to land payloads within 50 meters accuracy and avoid landing hazards.  Live Sustainable Living and Working Farther from Earth • Develop exploration technologies and enable a vibrant space economy with supporting utilities and commodities • Sustainable power sources and other surface utilities to enable continuous lunar and Mars surface operations. • Scalable ISRU production/utilization capabilities including sustainable commodities on the lunar & Mars surface. • Technologies that enable surviving the extreme lunar and Mars environments. • Autonomous excavation, construction & outfitting capabilities targeting landing pads/structures/habitable buildings utilizing in situ resources. • Enable long duration human exploration missions with Advanced Life Support & Human Performance technologies.  Explore Transformative Missions and Discoveries • Develop next generation high performance computing, communications, and navigation. • Develop advanced robotics and spacecraft autonomy technologies to enable and augment science/exploration missions. • Develop technologies supporting emerging space industries including: Satellite Servicing & Assembly, In Space/Surface Manufacturing, and Small Spacecraft technologies. • Develop vehicle platform technologies supporting new discoveries.
90.5 밀리미터	Note: Multiple Capabilities are cross cutting and support multiple Thrusts. Primary emphasis is shown

Kilopower Technology Demonstration – Overall Objectives & Elements

• Innovation:

- A compact, low cost, scalable fission power system for science and exploration
- Novel integration of available U235 fuel form, passive sodium heat pipes, and flight-ready Stirling convertors

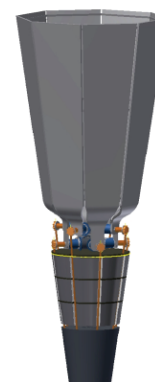
• Impact:

- Provides Modular Option for HEOMD Mars Surface Missions
- Bridges the gap between Radioisotope Power Systems (RPS) and 40 kW_e class fission power technology
- Enables SMD Decadal Survey Missions
- Reduces NASA dependence on Pu238

• Goals:

- Nuclear-heated system-level test of prototype U235 reactor core coupled to flight-like Stirling convertors
- Detailed design concept that verifies scalability to 10 kW_e for Mars

1 to 10 kW_e Kilopower Technology



Full-scale nuclear test of reactor core, sodium heat pipes, and Stirling convertors at prototypic operating conditions

- 10X the power of current RPS
- Available component technologies
- Tested in existing facilities

새로운 우주용 원자로 특성에 맞는 안전규제 프레임워크 구축

- 기존 규제 체계로는 우주 원자로의 운전 환경에서 발생할 수 있는 특수한 사고 및 위협을 평가하기 어려운 만큼, 이를 반영할 수 있는 새로운 기준 필요
- 소형화, 경량화, 자율운전 등 비전통적 설계를 고려한 맞춤형 규제기준 마련 필요
- 우주용 연료 사용과 고온 운전조건 등을 반영한 위험기반/성과기반 규제기준 수립 필요
- 우주의 극한 조건을 고려, 예측할 수 없는 상황을 대비한 비상 대응 체계 마련 필요
- 우주용 원자로의 핵심 특성을 반영한 규제 프레임워크가 국가 우주 개발에 필수 역할 할 수 있음

체계적인 안전성 평가 기반 마련

- 다양한 우주환경과 운전조건에 따른 잠재적 사고 시나리오 분류 필요
- 발사, 궤도이동, 착륙 등 단계별 안전성 평가항목 도출
- 각 단계에서 발생할 수 있는 사고 유형에 따라 맞춤형 안전성 평가가 이루어져야 하며, 사고 발생 가능성을 미리 예측하고 이에 대한 대비책을 마련해야 함
- 국제 사례(INL, NEI 등)를 참고한 성능기반 규제 적용 항목 식별
- 우주 환경에서의 우주선, 우주 용어의 특수성에 맞춘 세부 안전 지침 수립
- 세부 기술현안과 안전이슈를 구조화하여 규제기관-개발자 간 가이드라인 제시
- 기술 진보와 규제 일치를 이루기 위해 규제기관과 개발자 간의 원활한 협력 필수

물리적 방호 및 원자력 통제 기준 정립

- 발사 및 이송단계에서의 보안위협 대응방안 마련
- 우주 환경에서의 자율운전 체계에 적합한 방호요건 설정
- 자율운전 시스템의 특성상 예측 불가한 상황 고려한 물리적 방호 요건 강화 필요
- 국제기준(IAEA 등)에 부합하는 핵물질 관리·감시체계 구축
- 우주용 원자로 사용 연료의 안전성 확보를 위한 국제 협력 및 기준 수립 중요
- 우주선과 우주환경에서의 사고 및 사고 예방을 위한 안전망이 필요하며,
원자력 안전과 물리적 방호가 통합된 체계적 접근 요구



