

제15회 창원시 기술혁신 전략 세미나  
**소형모듈원자로(SMR)**  
개발 현황과 산업연계 및 육성 세미나

- 일 시 : 2021.10.20.(수) 13:30 ~ 18:00
- 장 소 : 창원컨벤션센터 3층 컨벤션 홀 I



## <세미나 일정표 >

시 간		내 용	비 고
13:30 ~ 14:00	10'	등록 및 사전 환담	
14:00 ~ 14:10	10'	개회사 및 축사	안경원 제1부시장 정동욱 학회장
14:10 ~ 14:40	30'	혁신형 SMR 개발현황	이도환 차장 (한국수력연구원)
14:40 ~ 15:10	30'	우리나라 SMR 개발현황	강한옥 부장 (한국원자력연구원)
15:10 ~ 15:40	30'	세계SMR 개발동향과 iSMR 성공 전략	심형진 교수 (서울대학교)
15:40 ~ 16:00	20'	Break Time	-
16:00 ~ 16:30	30'	두산중공업의 해외SMR 사업현황 및 국내 Supply Chain 활용계획	김세훈 차장 (두산중공업)
16:30 ~ 17:00	30'	SMR용 RCP 개요 및 사용화	김형훈 차장 (효성굿스프링스)
17:00 ~ 17:30	30'	SMR용 연료취급계통, 압력 및 방사능 저감계통 용기 개발	박병택 고문 (BHI)
17:30 ~ 18:00	30'	질의응답	-



## CONTENTS

### **혁신형 SMR 개발현황**

7

- 이도환 차장 (한국수력연구원)

### **우리나라 SMR 개발 현황**

21

- 강한옥 부장 (한국원자력연구원)

### **세계 SMR 개발 동향과 iSMR 성공 전략**

39

- 심형진 교수 (서울대학교)

### **두산중공업의 해외SMR 사업현황 및 국내 Supply Chain 활용계획**

51

- 김세훈 차장 (두산중공업)

### **SMR용 RCP 개요 및 사용화**

65

- 김형훈 차장 (효성굿스프링스)

### **SMR용 연료취급계통, 압력 및 방사능 저감계통 용기 개발**

75

- 박병택 고문 (BHI)



소형모듈원자로(SMR) 개발 현황과 산업연계 및 육성 세미나

## 혁신형 SMR 개발현황

한국수력연구원

이도환



# 혁신형 SMR(소형모듈원자로) 기술개발

2021.10

한국수력원자력 중앙연구원 이도환

## 1. 추진배경

혁신형 SMR 기술개발

### 대형원전의 단점을 대체할 수 있는 방안으로 소형 원전 부상

#### 글로벌 원자력 시장 수요 변화

최근 투자 리스크 부각과 사고시 미치는 영향에 대한 우려로 대형원전에 대한 선호도 감소

- 전통적으로 원자력발전은 전력을 안정적으로 공급하는 기저부하의 역할 담당
- 발전원가 절감을 위해 대형화에 집중 (700MWe → 1400MWe)
  - ✓ 건설을 위한 초기 투자 비용이 크고 공기지연시 투자회수 기간 및 이자비용 증가
  - ✓ 미국 Vogtle #3,4 (4년 → 10년), 핀란드 Olkiluote #3 (6년 → 17년), 프랑스 Flamanville #3 (6년 → 18년)
- 후쿠시마 원전사고 후 대형원전에 대한 사회적 수용성 저하
- 대용량 송전망 건설에 대한 자원 및 사회적 합의 필요





# 1. 추진배경

혁신형 SMR 기술개발

## 원자력발전 선도국을 중심으로 SMR 개발 가속화

### SMR의 부상에 따른 다양한 노형 개발

미국, 영국, 러시아, 중국 등을 중심으로 기술개발을 추진 중이며, 경수로형 SMR은 2030년을 전후로 본격적인 상용화 전망

- OECD 국가를 중심으로 SMR에 대한 관심이 증가, 2020년 기준 전세계적으로 70종 이상의 SMR이 개발 중

#### 노형별 SMR 개발 현황

노형	미국	러시아	중국	한국	기타*	합계	
경수로	육상용	5	7	4	1	8	25
	해양용	0	5	1	0	0	6
고온가스로	2	3	2	0	7	14	
고속로	3	1	0	1	6	11	
용융염냉각로	4	0	1	0	5	10	
초소형원자로	3	0	0	0	3	6	
<b>합계</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>29</b>	<b>72</b>	

\* 기타 : 일본, 아르헨티나, 캐나다, 영국, 남아공, 인도네시아, 체코, 프랑스 등

#### 세계 SMR 개발 분포



기술성숙도가 가장 높은 미국의 NuScale은 최초호기 건설을 계획 중이며 북미를 비롯해 유럽과 아시아 시장으로의 진출을 추진 중

# 1. 추진배경

혁신형 SMR 기술개발

## 원전 선도국에서는 정부 차원의 SMR 지원책 마련

### 주요국 SMR 개발 지원 현황

주요 SMR 개발국은 민간차원의 컨소시엄 구성과 함께 국가 차원의 재정지원 확대

국가	민관협력	재정 지원
미국	DOE와 NuScale 등의 민관 협력 컨소시엄	'원자력전략비전(21.1)'에 따라 차세대 원자로 기술과 SMR 개발에 7년 간 32억 달러 투자 예정
러시아	국유에너지기업 로사톰 주도 컨소시엄	'에너지전략 2035'를 바탕으로 SMR과 차세대 원자로에 약 1,200억 루블(약 1.9조원) 투자 예정
중국	국유기업 중국핵공업 집단공사(CNNC) 컨소시엄	'14차 5개년계획(21-25)'에 해상부유식 SMR 개발 및 20기 설치를 목표로 90억 달러 투자 계획 발표
영국	롤스로이스 컨소시엄	'녹색산업혁명'을 위한 10대 계획(20.11)'에 따라 SMR 개발에 민관 협력 총 6.85억 파운드 투자 계획 확정

## 2. 국내외 주요 경수형 SMR

혁신형 SMR 기술개발

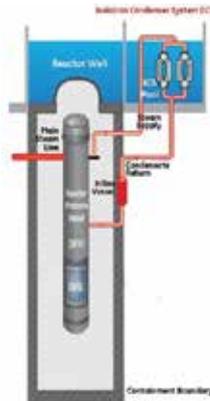
### 해외 주요 SMR

#### 미국 NuScale



- 2020.9 미국 NRC 설계인가 취득
- 2029년 상업운전 목표
- 일체형 원자로, 원자로 자연순환
- 60MWe인 모듈을 12개까지 배치
- 침수형 격납용기, 안전급 전원 제거
- 12개의 원자로 모듈을 통합 조정할 수 있는 주제어실

#### 미국/일본 BWRX-300



- 300MWe의 경수형 SMR
- 2027년 상업운전 목표
- 기존 ESBWR를 단순화
- 자연순환, 피동안전계통, 일체형 원자로 채택
- 부하추종 운전에 강점

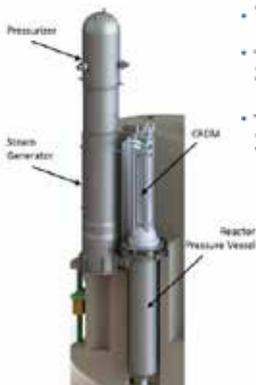
7

## 2. 국내외 주요 경수형 SMR

혁신형 SMR 기술개발

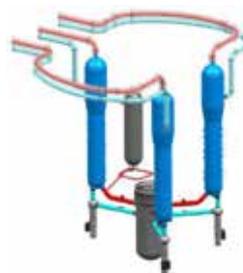
### 해외 주요 SMR

#### 미국 SMR-160



- 160MWe의 가압경수형 SMR
- 무봉산운전, 원자로 자연순환 냉각, 공랭식 응축기 적용
- 동일부지내 10개의 원자로 설치 가능하도록 설계

#### UK SMR



- 440MWe의 경수형 SMR
- 2030년 상용화 목표
- 대형원전과 유사한 설계, 무봉산운전
- 주요 계통 및 기기 모듈화를 통한 건설공기 단축에 주력

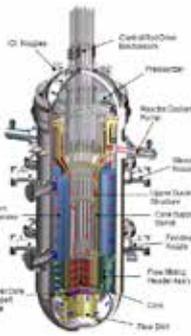
8

## 2. 국내외 주요 경수형 SMR

혁신형 SMR 기술개발

### 국내 선행 SMR

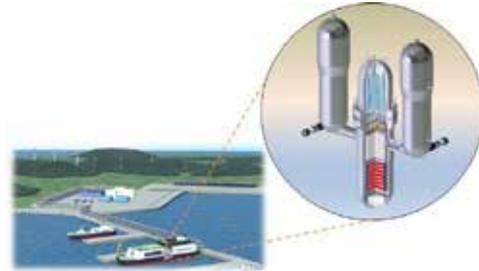
#### SMART



- 110MWe의 가압경수형
- 2021년 표준설계인가 취득
- 2015 한-사우디 파트너십 체결
- 2019년~ 설계변경사항에 대한 표준설계변경허가 추진중
- 대형냉각재상실사고 배제를 위한 일체형원자로
- 소규모 전력생산 및 해수담수화
- 경쟁노형보다 전기출력이 적어 경제성 부족

#### BANDI-60

- 60MWe의 해상부유식 SMR
- 개념설계 완료
- 무봉산운전, 내장형 제어봉구동장치 적용



9

## 3. SMR 개발 필요성

혁신형 SMR 기술개발

### 글로벌 시장에서 경쟁력 있는 수출 전략형 경수로 SMR 필요성 대두

해외 시장에서 경쟁력 상실 우려

2030년 이후 세계 시장을 겨냥한 수출 전략형 SMR 개발 필요

- SMART는 신속한 인허가 취득을 위해 이전 대형원전의 설계개념을 적용하여 안전성, 경제성, 유연성 부족
- 최근 개발 노형들의 경우 모듈화 및 안전계통의 단순화를 통해 경쟁력 제고

SMART vs. NuScale 제원 비교

구분		SMART	NuScale
전기 출력	모듈	110 MWe	50 MWe
	발전트출력	110 MWe	600 MWe (12개 모듈)
노심손상빈도	적용	$1.0 \times 10^{-7}/\text{R-Y}$ 이하	$1.0 \times 10^{-7}/\text{R-Y}$ 이하
원자로 냉각재펌프		4개측면	없음
재순환밸브		-	있음
안전 등급 DC 전력		필요	불필요
격납용기 냉각		원자로 건물내 채상전수 탱크	외부 침수
적립용기		+ 비상냉각 탱크 콘크리트 건물	철제 용기
기본모듈 배치		1 (stand alone)	12

10

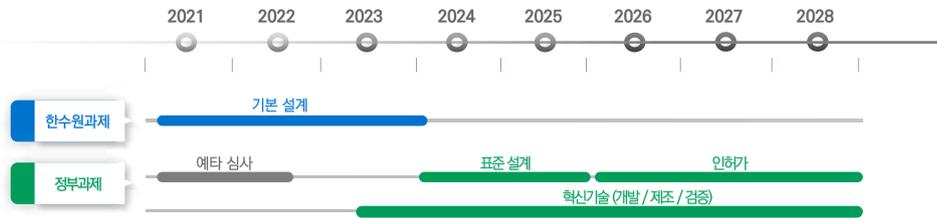
## 4. 혁신형 SMR 개발 계획

혁신형 SMR 기술개발

### 국회 포럼을 통한 필요성 논의 및 산학연 협력을 통한 계획 수립

#### 혁신형 SMR 개발방안 논의 및 계획 수립

- 혁신형 SMR 추진위원회 ('20.5)
- 혁신형 SMR 산학연 포럼 ('20.9)
- 한수원 과제 착수 ('21.1)
- 제1회 혁신형 SMR 국회포럼 ('21.4)
- 혁신형 SMR 제도분과 국회포럼 ('21.7)
- 제2회 혁신형 SMR 국회포럼 ('21.9)
- 예비 타당성조사 기획 및 신청 ('21.2~'21.9)



## 4. 혁신형 SMR 개발 계획

혁신형 SMR 기술개발

### 혁신형 SMR 최종목표, 기술개발 목표

**최종 목표** 혁신형 SMR 글로벌 경쟁력 강화를 통한 2030년대 수출 달성

기술개발 목표

안전성·경제성·유연성이 확보된 혁신형 SMR 핵심기술 개발 및 2028년 시장경쟁력 있는 표준설계 및 기술 검증

기존원전 대비 안전성 향상

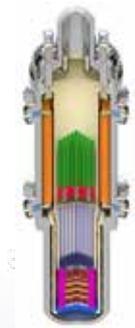
노심손상빈도 :  $1.0e-9/M \cdot Y$   
(기존원전 대비 100배 이상)

경쟁 예상 노형 대비 경쟁력 있는 경제성 제고

건설단가 = \$4,000/kWe  
발전단가 = \$65/MWh

세계 최고 수준의 부하추종 능력 확보

일일부하추종 : 100%-20%-100%  
최대속도 : 분당 5%



혁신형 SMR		경쟁노형(Nuscale)	
80년	설계수명	60년	
170MWe	모듈 전기 출력	60MWe	
60MWe(4모듈)	총 전기출력	720MWe(12모듈)	
$1.0 \times 10^{-9} / M \cdot Y$ 이하	노심손상빈도	$1.0 \times 10^{-9} / M \cdot Y$ 이하	
\$4,000 이하	건설비용	\$4,000~5,000/kWe	
무봉산	반응도제어	수용성 봉산	
내장형	제어봉구동장치	외장형	
100%-20%-100%@5%/min	일일부하추종 능력	100%-20%-100%@0.8%/min	



※ NuScale Load Following: SMR Nuclear Technology 2016 "Compensating for Renewables: SMR Capability for Load Following"

## 5. 혁신형 SMR 개발 방향

혁신형 SMR 기술개발

### 혁신형 SMR 핵심기술

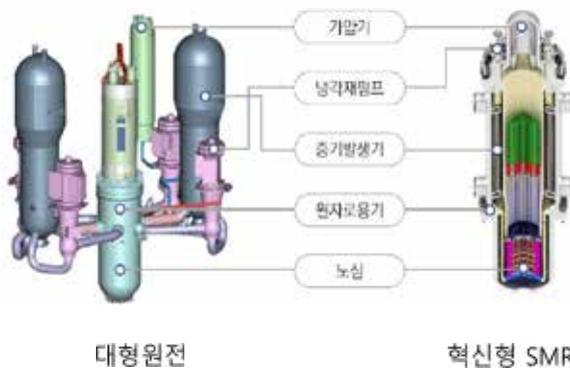


## 5. 혁신형 SMR 개발 방향

혁신형 SMR 기술개발

### 안전성 향상

SMART 기술에 기반한 일체형원자로 적용



- 원자로계통 주요설비를 일체화
- 대형배관 불필요로 대형 냉각재 상실사고 예방
- 원자로 건물 축소 가능 (건설물량 경감)
- 원자로 모듈 전체의 공장제작으로 현장 작업 경감
- 제한된 발전소 부지내 다수 원자로 모듈 설치 용이

## 5. 혁신형 SMR 개발 방향

혁신형 SMR 기술개발

### 안전성 향상

#### 고강도 격납용기 적용

- 내압 격납건물을 고강도 격납용기로 대체
- 건물 및 발전소 크기 대폭 축소 → 건설비 절감
- 격납용기 공장 제작으로 건설공기 단축
- 격납건물 열제거설비, 대기정화설비, 수소제어설비 등 제거
- 격납건물 누설 시험 필요성 제거

대형원전 vs 혁신형 SMR

15

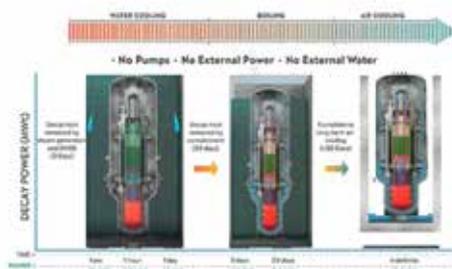
## 5. 혁신형 SMR 개발 방향

혁신형 SMR 기술개발

### 안전성 향상

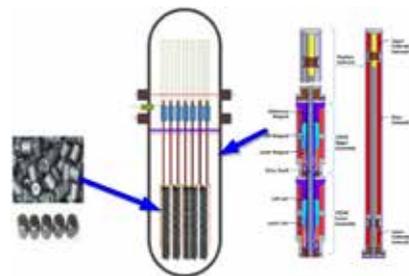
#### 무한냉각

- 철재 격납 용기와 원자로를 공통 수조에 침수
  - ✓ 사고시 별도의 조치없이 무한 냉각
- 비상 전원 공급 설비 및 운전원 개입 요소 제거
- 능동 안전설비 및 전원 제거로 경제성 제고



#### 내장형제어봉구동장치 및 핵연료

- 부적절한 제어봉인출 사고 원천적 배제
  - ✓ 무봉산운전시 원자로 안전성 확보
- 가연성흡수봉이 결합된 핵연료
  - 무봉산운전과 부하추종 운전 용이



16

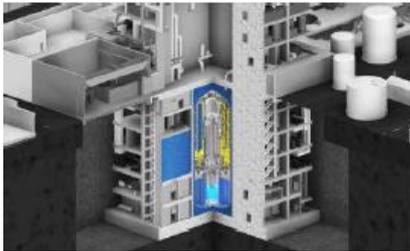
## 5. 혁신형 SMR 개발 방향

혁신형 SMR 기술개발

### 안전성 향상

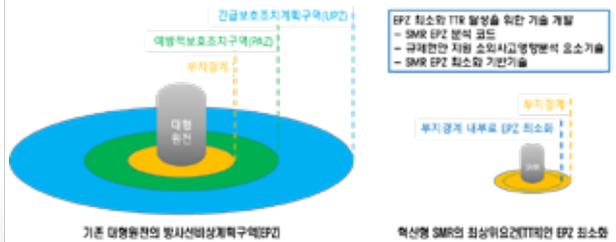
#### 원자로 건물 지중화(underground)

- 지진에 대한 내구성 강화 (저층일수록 지진에 안정);
  - 내진설계 : 0.5g (기존 0.3g)
- 방사선 방호에 유리
- 물리적 방호, 항공기충돌 방호에 효과적



#### 비상계획구역(EPZ) 축소

- 방사선 누출 대비 주민 보호를 위한 비상계획구역 축소
  - 소형원전 고유 특성 및 다중 방호 강화로 방사성 물질 실질적 배제
  - 대형원전 20~30km → 소형원전 1km 이내
  - 주민대피 불필요



17

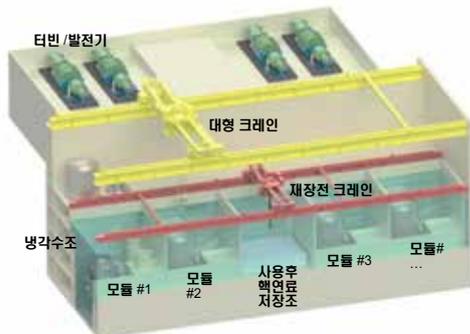
## 5. 혁신형 SMR 개발 방향

혁신형 SMR 기술개발

### 경제성 제고

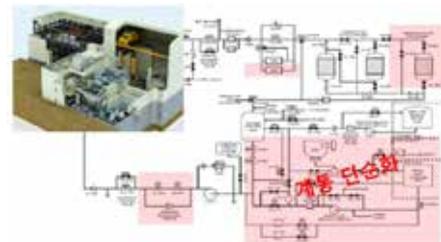
#### 원자로 모듈 복수 배치

- 하나의 건물(비내압)에 4개의 원자로 모듈 복수 배치
  - 출력범위 : 170 ~ 680 MWe
- 공간 최적화: 기기 공동 활용 가능



#### 계통단순화

- 계통 단순화 및 안전등급 기기 필요성 제거로 건설비 및 운영비 절감
- 안전계통/화학 및 체적계통 단순화
  - 안전등급 능동설비 및 전력설비 제거
  - 봉산주입/회수 계통 제거
- 폐기물 계통 등은 복수 모듈 공동 활용



18

## 5. 혁신형 SMR 개발 방향

혁신형 SMR 기술개발

### 경제성 제고

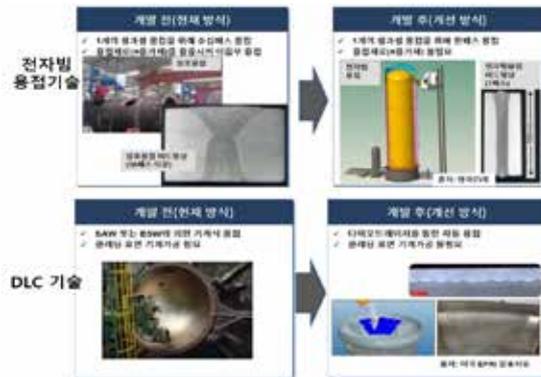
#### 기기/구조물 모듈화

- 기계, 전기 모듈을 공장에서 제작, 시험 및 품질 검사
- 제작 모듈의 육상 및 수상 운송
- 현장작업을 줄여 건설 공기 단축
- 추가 발전 용량 필요시 증설 가능



#### 혁신제조기술

- 전자빔 용접 및 다이오드 레이저 클래딩 기술 적용
  - ✓ 제작기간 단축 및 가동중 검사 최소화



19

## 5. 혁신형 SMR 개발 방향

혁신형 SMR 기술개발

### 경제성 제고

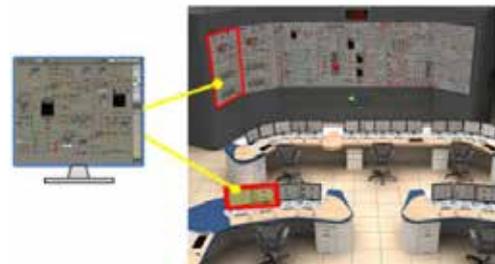
#### 디지털트윈

- 상태진단, 예측진단 기술에 기반한 디지털 트윈
  - ✓ 불시정지 저감 및 예방정비 물량 최소화
- 조기결함 진단으로 재고 관리 최적화



#### 다수모듈 통합 제어

- 기동/정지/출력 운전 등 전 범위 자동화 확대
- 4개 원자로 모듈을 공통 공간에서 통합 제어
  - ✓ 운전인력 최소화
- 안전계통 하드웨어 플랫폼 확대로 사이버 보안성 제고



20

## 5. 혁신형 SMR 개발 방향

혁신형 SMR 기술개발

### 유연성 확대

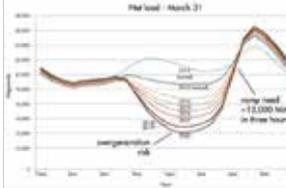
#### 활용 다각화

- 화석연료 감축에 따라 다양한 에너지 활용 수요 증가
  - ✓ 지역난방/담수화/에너지저장/수소생산
- 원자로 모듈별로 다양한 활용 가능

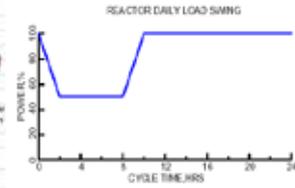


#### 부하추종 운전

- 전력계통의 요구에 따라 탄력적으로 원전의 출력 변동
- 세계 최고 수준의 부하추종 능력 구현
  - ✓ 부하추종 운전 완전 자동화 (운전원 개입 최소화)
  - ✓ 100%Pr→20%Pr→100% 분당 최대 5%의 속도
- 원자로 모듈간 출력조합을 통해 다양한 부하조건 대응 용이



Duck Curve



부하추종 운전

21

## 6. 기대효과

혁신형 SMR 기술개발

### SMR 수출시 기대효과

#### SMR 수출시 산업생계계 활성화 기대 (美 NuScale 분석 사례)

- 3기 건설시 12,000개의 제조 관련 고용 효과
- 대량의 제조물량 발생
  - ✓ 8,000톤 이상의 구조용 강재
  - ✓ 7백만 ft 이상의 전선
  - ✓ 48,000 ft 이상의 케이블 트레이
  - ✓ 500 품목 이상의 전기 기기
  - ✓ 150,000 ft 이상의 배관
  - ✓ 41,000개 이상의 밸브
  - ✓ 1,000개 이상의 기계부품

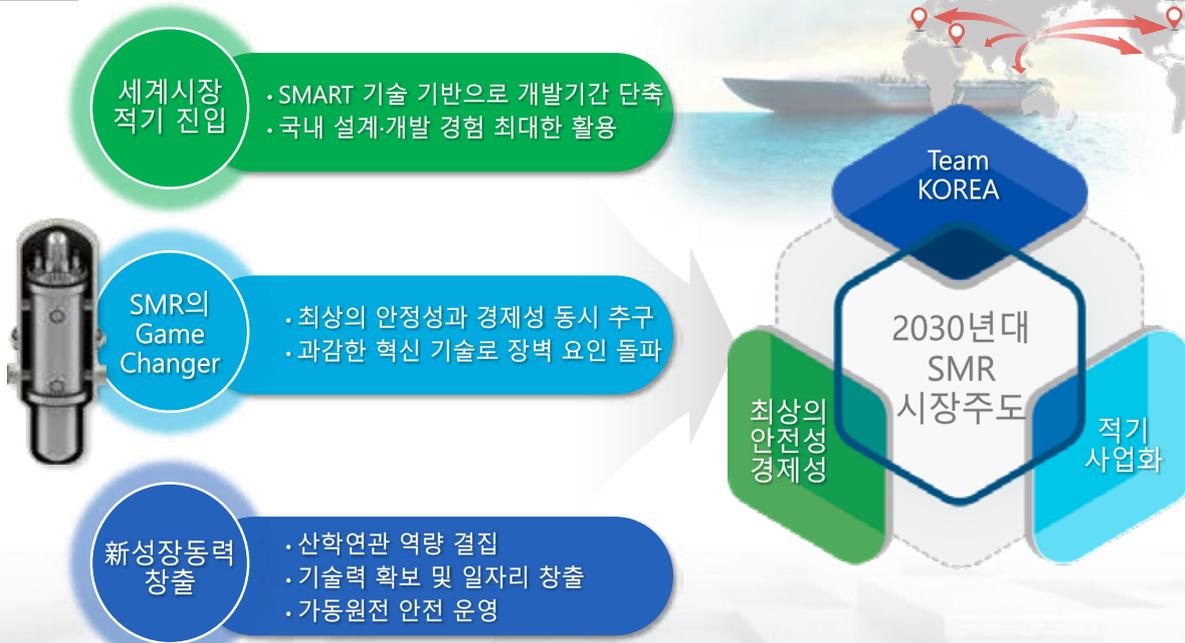


※ 참조: NuScale Power, "Changing the Power that Changes the World"

22

## 6. 기대효과

혁신형 SMR 기술개발



23

감사합니다.



소형모듈원자로(SMR) 개발 현황과 산업연계 및 육성 세미나

## 우리나라 SMR 개발현황

한국원자력연구원

강한옥



“소형모듈원자로(SMR) 개발 현황과 산업연계 및 육성” 세미나  
창원컨벤션센터, 2021년 10월 20일(수)

www.kaeri.re.kr

# 우리나라 SMR 개발 현황

2021.10.20

한국원자력연구원 강한욱



Small  
Modular  
Reactor

01 | 원자력 기술의 특징

02 | SMR이란?

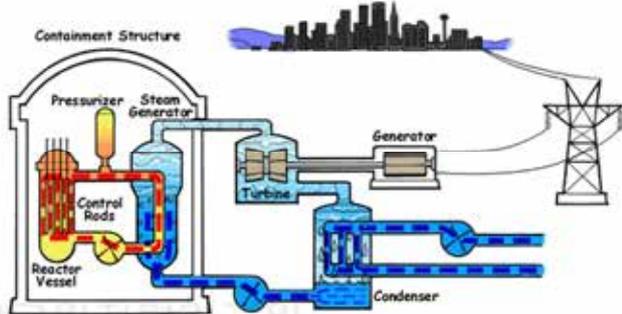
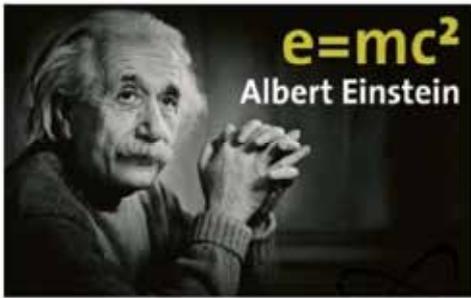
03 | 국내 SMR 개발(경수로)  
KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

04 | SMR 혁신기술 개발

05 | 결론

KAERI

## 원자력 에너지 개요



□ Einstein의 특수 상대성 이론 (1905년)

$$\Delta E = \Delta m \cdot C^2$$

C : 광속도 ( $3 \times 10^{10}$  cm/sec), m : 물질의 정지질량

□ 1g의 물질이 핵분열 혹은 핵융합 반응에 의해 모두 에너지로 변환하였다면, 그 값은...?

$$\begin{aligned} \Delta E &= 1 \text{ g} \cdot (3 \times 10^{10} \text{ cm/sec})^2 = 9 \times 10^{20} \text{ g} \cdot \text{cm}^2/\text{sec}^2 \\ &= 9 \times 10^{20} \text{ erg} = 9 \times 10^{13} \text{ joule} \\ &\approx 2 \times 10^{13} \text{ cal} = 2 \times 10^{10} \text{ kcal} \end{aligned}$$

⇒ 이 에너지는 약 3,000 kg의 석탄이 연소할 때 방출하는 열량에 해당한다.

## 원자력에너지의 원천은 기술

### 원자력은 고밀도 에너지

- 우라늄 1kg은 석탄 3,000톤에 해당

### 원자력 부가가치의 대부분은 기술에서 발생

- 우리나라는 세계 최고수준의 원자력 건설/운영/기술 확보



# 원자력과 기후위기

## 탄소 배출을 줄이기 위해 원자력발전이 다시 주목받고 있음

- 미국, 영국, 프랑스, 일본, 중국은 원자력을 기후변화 대응수단으로 활용
- 유엔기후변화 정부간 협의체(IPCC)는 전 세계 원전 용량이 2020년 10.8 EJ 에서 2050년 21.9 EJ로 증가하여, 연 2.5% 성장 예상

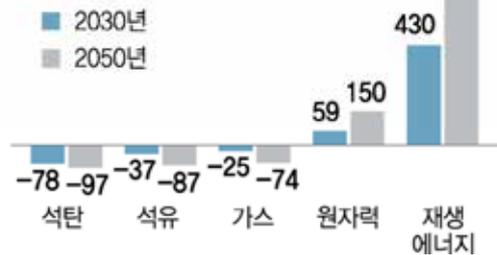
에너지원별 비교 - CO<sub>2</sub> 배출량 및 발전단가



## 지구온도 상승 1.5도 제한 시 에너지원 비중 변화 (단위: %)

※1차에너지 중 각각 비율(2010년 대비, 재생에너지는 바이오매스 제외)  
 ※P1 시나리오 기준

자료: 기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)



## Small Modular Reactor

01 원자력 기술의 특징

02 SMR이란?

03 국내 SMR 개발(경수로)

04 SMR 혁신기술 개발

05 결론

## SMR이란?

소형모듈원자로(SMR: Small Modular Reactor) : 300 MWe 이하의 원자로

- 증기발생기, 냉각재 펌프, 가압기 등 주요기기를 하나의 용기에 일체화 가능
- 모듈 형태로 제작, 이송 및 건설이 가능하여 건설공기 단축과 건설비용 절감 가능
- 소형이라는 특성을 이용하여 다양한 지역 및 발전 목적에 따라 활용 가능



7

## 왜 SMR이 주목 받는가?



8

# SMR 시장 전망

2035년까지 전세계 65~85GW 규모 시장 전망



Category	Market Scale	Competitive Advantage
On-grid 석탄 화력 발전 대체	100조원 이상	경쟁 전역권 천연 가스
Off-grid 오지	30조원	경쟁 전역권 디젤
Off-grid 중공업 증기 공급	12조원	경쟁 전역권 천연 가스
Off-grid 광산	3.5조원	경쟁 전역권 디젤

※ Source : Small Modular Reactors - once in a lifetime opportunity for the UK (2017)

※ Source : Canadian SMR Roadmap: Economic and Finance Working Group Report (2018)

# 세계 SMR 개발 현황 (1/2)

한국, 미국, 러시아, 중국 등에서 70종 이상의 SMR 개발 중



※ Source : 소형 혁신원자로 기술조사보고서 (2020), IAEA

국내 SMR 개발				해외 SMR 개발			
<b>SMART</b>	<b>BANDI-60S</b>	<b>NuScale</b>	<b>BWRX-300</b>	<b>NuWard</b>	<b>UK SMR</b>	<b>KLT-40S</b>	<b>ACP100</b>
KAERI '12년 7월 표준상계 인가	한전기술(주) 해수당수화 개념상계 단계	NuScale(미) 자연순환 표준상계인가 '20년 8월	GE-Hitachi(미) BWR 노형 NRC예비상사중	EDF(프) 복합형, 개질상계 '30년 건설계획	Rolls-Royce(영) 440MW, 루프형 '30년 건설계획	OKBM(러) 복합형, 해상원전 상업운전중('19)	CNNC(중) 원전부지 선정 '25년 준공 계획

\* 해외의 경우 미국의 NuScale 원전이 기술성, 사업성 측면에서 가장 앞서있다고 평가됨

## 세계 SMR 개발 현황 (2/2)



※ IAEA 「Advances in Small Modular Reactor Technology Developments」 (20.9월)

## Small Modular Reactor

01 원자력 기술의 특징

02 SMR이란?

03 국내 SMR 개발(경수로)

KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

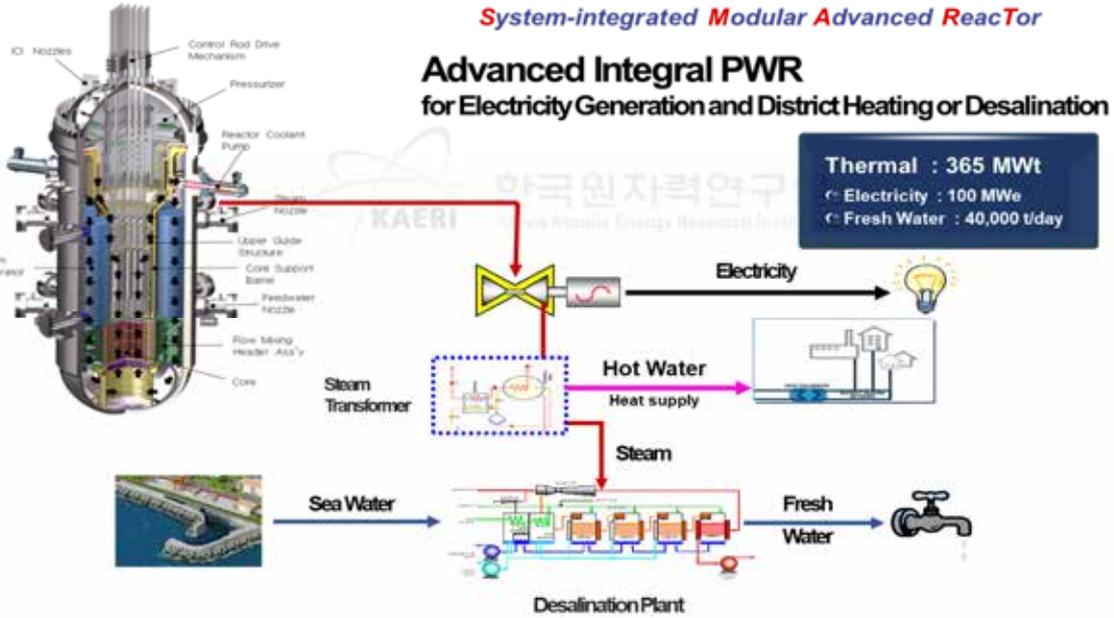
04 SMR 혁신기술 개발

05 결론

# SMART 개요

ALL IN ONE:

주요 기기를 하나로 합쳐 대형사고 가능성 원천 제거



# SMART 기술 개발

자립을 이룩한 원전기술을 활용하여 신성장동력 창출을 위한 '수출 전략형 원자로' 개발 필요

- '97년부터 소규모 전력생산 및 해수담수화 시장을 겨냥하여 소형 일체형원자로인 SMART 개발 착수
- 일체형원자로 중 세계 최초로 표준설계인가를 획득('12.7)하여 상용화 기반 마련
- 투입 예산: '12년 까지 3,134억원, '13-'19년까지 1,775억원 투입 (정부, 민간, 사우디)



## SMART 기술개발 경과



## SMART 건설전설계 (Pre-Project Engineering)

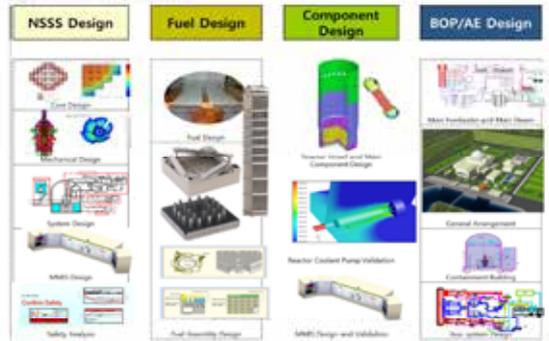
### » 한-사우디 SMART 파트너십 1단계 협력 사업

### » SMART 첫호기 설계

- ◆ 사업 기간: 2015.12 ~ 2018.11
- ◆ 수행 업무
  - 원자로계통
  - 핵연료 개발
  - 동력변환계통
  - 주요기기 개발 및 검증
  - 예비안전성분석보고서

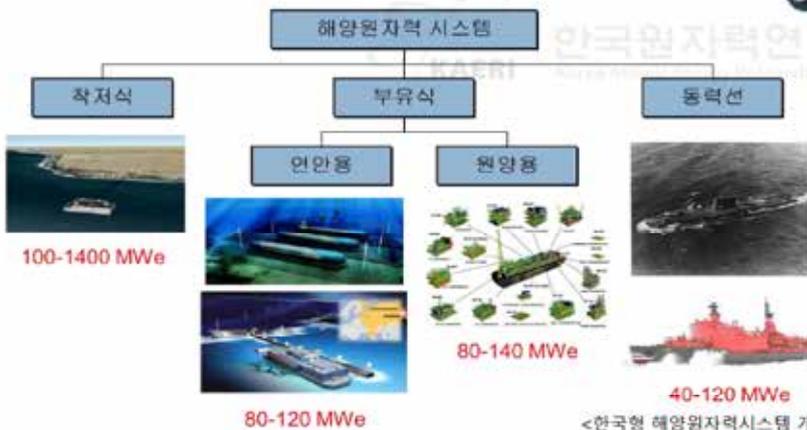
### » 사우디 교육훈련 프로그램

- ◆ CRT-Basic, CRT-Technical, OJT, OJP
- ◆ K.A.CARE 엔지니어 48 명 참여



## 해양 SMR - 해양원전특별위원회 (2013)

- 시장 요구에 따라 착저식, 부유식, 동력선 등 다양한 가능성 확인
- 예상되는 주요 장애 요인
  - ✓ 양 산업간 사업 모델, 방식 등 차이점
  - ✓ 양 산업간 설계 규범, 표준, 인어가 체계 차이점
  - ✓ 사용후연료처리, 해상사고처리, 국제해양법 준수



<한국형 해양원자력시스템 개발 방향, 한국원자력학회 해양원전특별위원회, 2013>

# BANDI-60 (한전기술)



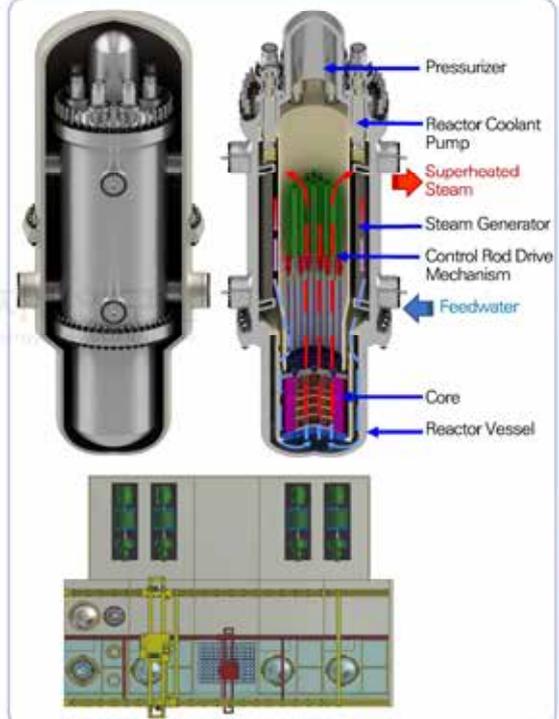
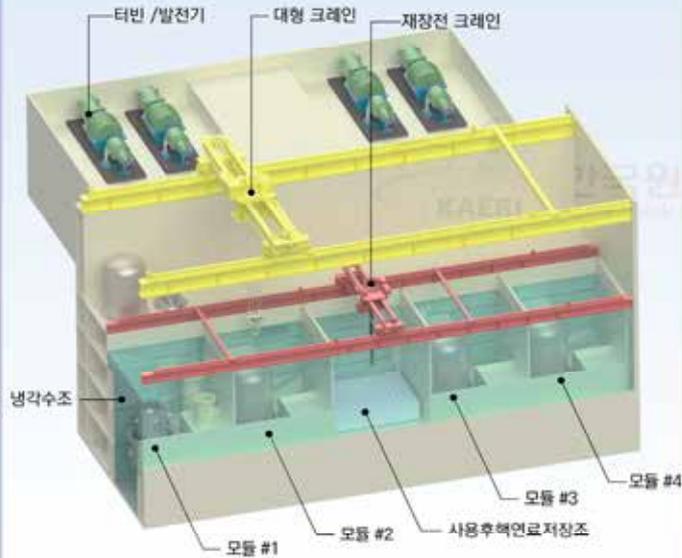
인자로	블록형 PWR ✓ 노플-노플 직접 연결
출력 (열/전기)	200 MWt (60 MWe)
일차냉각재 순환	강제 순환
핵연료 및 노심	17x17 봉형 UO <sub>2</sub> ≤ 5% U-235 유효핵연료 길이 2m 재장전 주기 4~5년
반응도 제어	무봉산 / 기연성특물질(BP) 제어봉 ✓ 내장형 CEDM
증기발생기	재순환 U-tube형 / 판형 (Option) ✓ 포와중기
가압기	인자로 일체형 / 전열기, 스프레이
냉각재펌프	밴드 모터
비상안전주입	피동
잔열 제거	피동 (안전) / 능동 보조 (비안전)
설계 수명	60 yr

# 혁신형 SMR(i-SMR) 개발 계획



# 혁신형 SMR(i-SMR) 개념

## Small Modular Reactor



19

## Small Modular Reactor

01 원자력 기술의 특징

02 SMR이란?

03 국내 SMR 개발(경수로)  
KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

04 SMR 혁신기술 개발

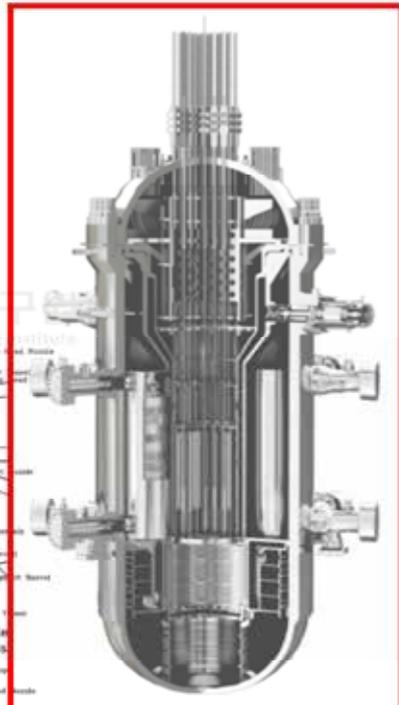
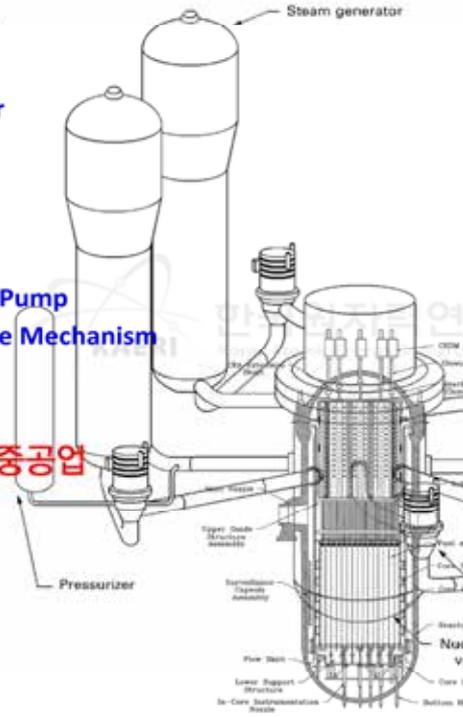
05 결론

KAERI

# SMART 일체형원자로 - 두산중공업

## Conventional PWR

- Reactor Vessel
- Steam Generator
- Hot Leg
- Cold Leg
- Pressurizer
- Surge Line
- Reactor Coolant Pump
- Control Rod Drive Mechanism



## SMART RVA : 두산중공업

- 원자로집합체
- 원자로헤더
- 제어봉구동장치
- 증기발생기

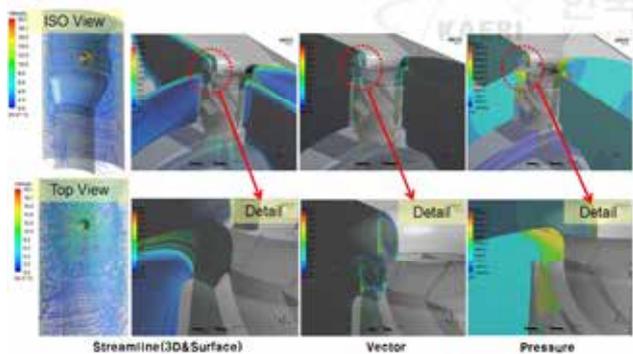
# SMART 핵심기술 개발 - 효성굿스프링스

## SMART 원자로냉각재펌프

- ◆ 수력부 모델 설계 및 수력부 모델펌프 성능시험
- ◆ 완전특성 및 관성서행 시험
- ◆ 원자로냉각재펌프 원형펌프 개발 및 성능시험



펌프 회전차



펌프 유동해석

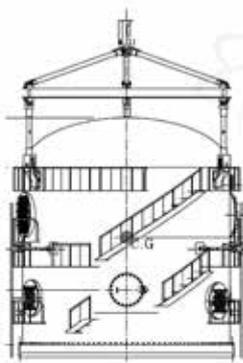


모델펌프 제작

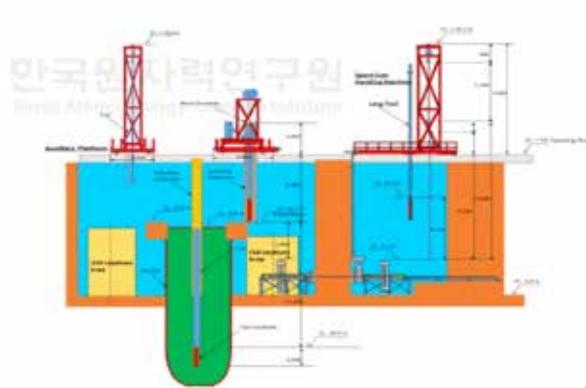
## SMART 핵심기술 개발 – BHI

### » SMART 주요 기기 개발

- ◆ SMART 압력및방사능저감계통 핵심기기
- ◆ SMART 핵연료취급계통



CPRSS LID



핵연료취급계통(FHS)

23

## SMART 핵심기술 개발 – 수산 ENS

### » SMART 플랜트 보호계통 설계/검증-수산 ENS

- ◆ 원자로보호계통(RPS) 검증설비 통합 및 시험
- ◆ 공학적안전계통(ESF-CCS) 검증설비 통합 및 시험



RPS 검증설비



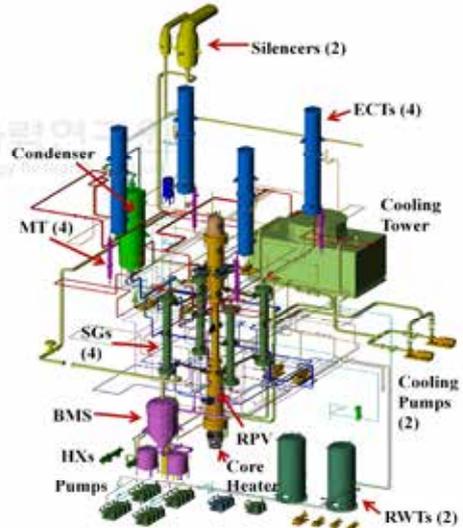
ESF-CCS 검증설비

24

# SMART 종합검증설비 - 일진파워

## » 세계 최대 규모 SMR 종합 열수력 검증장치 (높이 비율 1:1)

- ◆ 실제 운전조건(온도 323°C, 압력 150 bar) 달성
- ◆ 원자로 정상/비정상/사고 시나리오를 실제로 시뮬레이션



25

# 소형모듈원자로 혁신기술 개발

## » 목표:

- ◆ 경제성 향상
- ◆ 안전성 향상



Safety

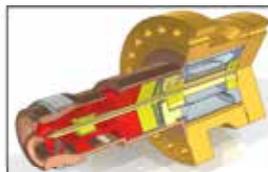


Economics



## » 경제성 향상 기술

- ◆ 인쇄기판형 증기발생기 - 에너지
- ◆ 원자로냉각재펌프 - 효성굿스프링스
- ◆ 다수호기 블록화 - 한전기술
- ◆ 지능형 자율운전 - 지토



혁신형 SMART 플랜트 블록화 개념도, 200MWe - 4기

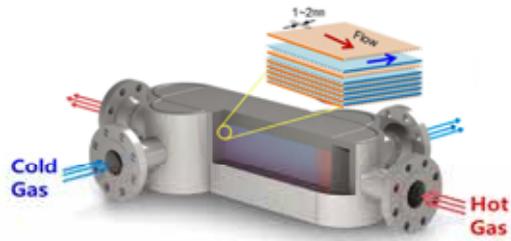


26

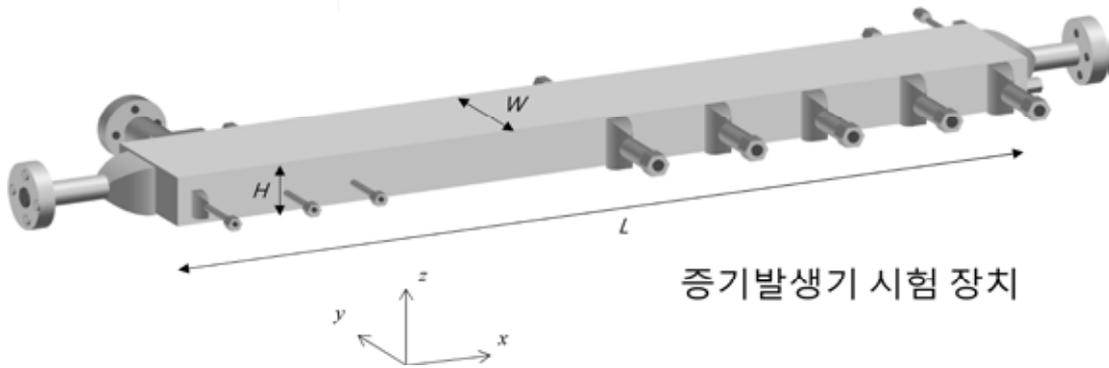
## 인쇄기판형 증기발생기

### » 소형 혁신 증기발생기

- ◆ 개념개발: 원자력(연)
- ◆ 시제품 제작: 에너지진



한국원자력연구원 작동 개념  
Korea Atomic Energy Research Institute



증기발생기 시험 장치

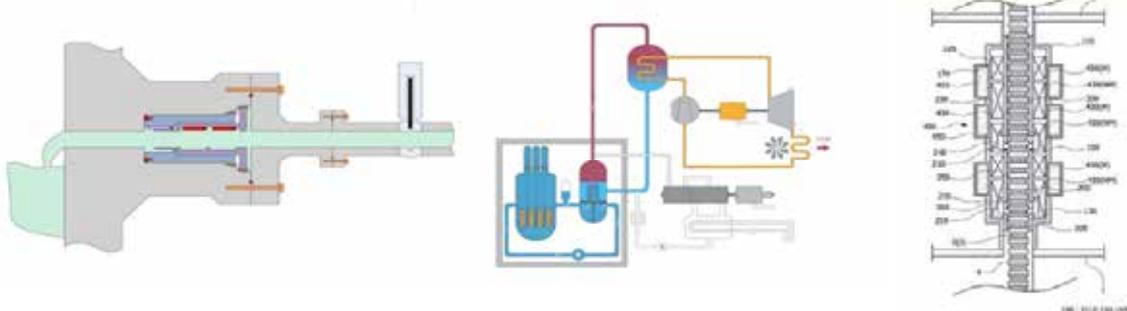
## 소형모듈원자로 혁신기술 개발

### » 안전성 향상 기술

- ◆ 원자로장착형격리밸브 - 삼신밸브
- ◆ 혁신안전등급전력생산기술 - 두산중공업
- ◆ 내장형 제어봉구동장치 - 우진
- ◆ 피동안전계통 최적화



한국원자력연구원  
Korea Atomic Energy Research Institute



# 혁신형 SMR 혁신기술

## » 원자력(연)은 혁신형 SMR 성공을 위한 핵심기술 개발 주도

- ◆ (안전성) 무한냉각 완전피동안전개념, 내장형 제어봉구동장치, 무봉산 노심에 적합한 혁신핵연료 개발
- ◆ (경제성) 계통 단순화 및 모듈화, 최소 유지보수비용을 위한 자율운전 및 디지털 트윈 기술, 통합형 제어실, 건설공기단축을 위한 혁신제조기술
- ◆ (유연성) 부하추종능력 향상을 위한 무봉산 운전, 재생에너지 연계 기술



## Small Modular Reactor

01 원자력 기술의 특징

02 SMR이란?

03 국내 SMR 개발(경수로)  
KAERI Korea Atomic Energy Research Institute

04 SMR 혁신기술 개발

05 결론

## 결론

- » 원자력 에너지는 기술에 기반하고 있으며, 기후위기 해결을 위한 대안
- » SMR은 뛰어난 안전성과 유연성을 가지고 있으며 세계 각국은 SMR 시장을 선점하기 위해 노력 중
- » SMART 및 BANDI 개발 경험을 바탕으로 혁신형 SMR 개발 추진
- ➔ 새롭게 떠오르고 있는 글로벌 SMR 시장의 주도권 확보 가능

원자력(연)과 기기 전문업체와의 지속적이고 긴밀한 협력을 통해  
SMR 혁신기술 완성

31



우리 손으로 만든  
소형모듈원자로(SMR)가  
세계 시장을 주도하도록  
최선을 다하겠습니다.

소형모듈원자로(SMR) 개발 현황과 산업연계 및 육성 세미나

# 세계SMR 개발동향과 iSMR 성공 전략

서울대학교  
심형진 교수



# 세계 SMR 개발 동향과 iSMR 성공 전략

심형진  
서울대학교

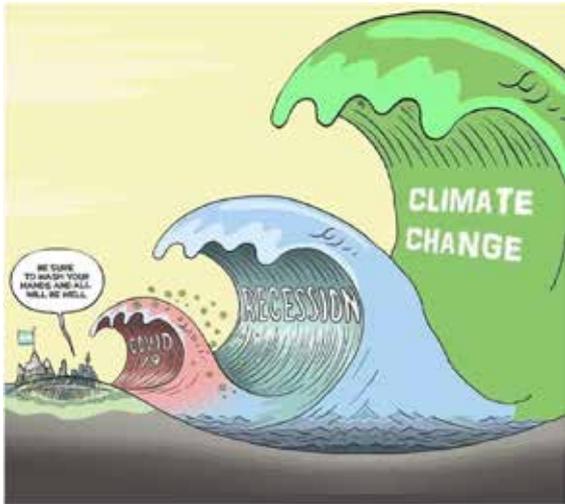
2021년 10월 20일  
창원컨벤션센터



## 목 차

1. 탄소중립과 원자력, 그리고 SMR
2. 세계 SMR 개발 현황: 세계 원자력시장의 재편 관점에서
3. iSMR 개발 성공 전략
  - ① 경제성 확보 방안
  - ② 안전성 강화 전략
  - ③ 재생에너지와 연계전략
  - ④ SMART와의 차별화 전략
  - ⑤ 인허가 불확실성 해소 전략
4. 결론

# 1. SMR을 어느 관점에서 볼 것인가? - 인류최대 위협

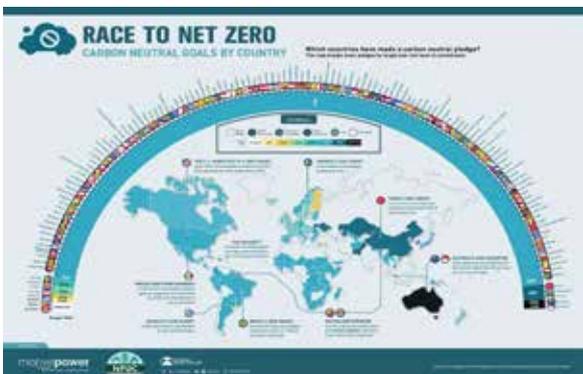
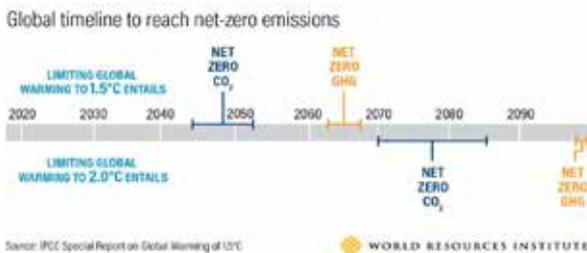


Graeme MacKay @mackaycartoons



“글로벌 위험 보고서 2021,” 세계경제포럼

# 기후위기의 시대: 탄소중립을 향한 경주

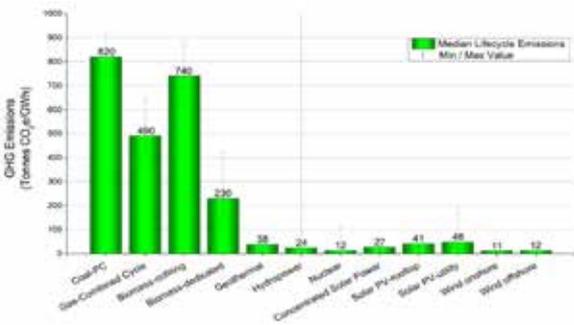
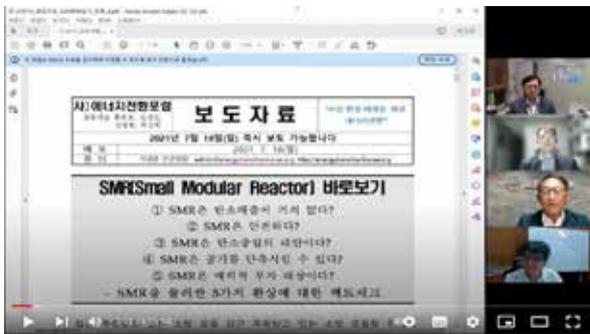


뉴스1 | 2021.08.19. | 네이버뉴스  
**전경련 "탄소중립 기본법 환노위 통과 유감...경제에 부담"**  
 전국경제인연합회는 19일 국회 환경노동위원회가 '기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법안'(탄소중립기본법)을 통과시킨 것에 대해 유감을 표명했...

**최태원 "탄소중립, 기업 힘으로 역부족... 정부 적극 지원 필요"**  
 최태원 대한상공회의소 회장이 8일 홍남기 경제부총리를 만나 "탄소중립 기술 개발과 환경산업 육성에는 막대한 비용과 투자가 소요되는 만큼, 기업 혼자 힘으..."

**정부 "2030년까지 탄소 40% 줄여라"**  
 환경부, 산업통상자원부 등 정부 관계부처 및 대통령 직속 2050 탄소중립위원회는 8일 탄소감축 목표치를 26.3%에서 40%로 대폭 상향하는 내용을 담은...

# 탄소중립 및 기후위기 대응 수단



- Credit Suisse사 선정 2020년대 10대 기후 혁신 기술
- ✓ 소형모듈원자로
  - ✓ 그린 수소
  - ✓ 태양광 신기술
  - ✓ 풍력 신기술
  - ✓ 탄소중립 시멘트
  - ✓ 그리드 기술
  - ✓ 친환경 농업기술
  - ✓ 식물성 고기 및 세포 배양육 기술
  - ✓ 전기차
  - ✓ 고용량 배터리 기술

# 소형모듈원전은 다르다...



**SMR(Small Modular Reactor) 바로보기**

- ① SMR은 탄소배출이 거의 없다?
- ② SMR은 안전하다?
- ③ SMR은 탄소중립의 대안이다?
- ④ SMR은 공기를 단축시킬 수 있다?
- ⑤ SMR은 매력적 투자 대상이다?

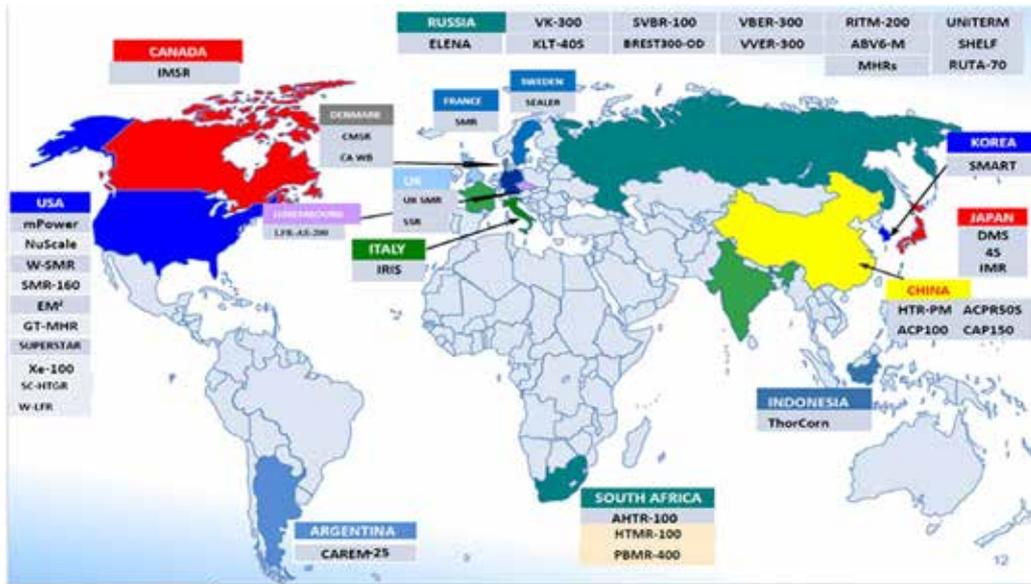
- SMR을 둘러싼 5가지 환상에 대한 팩트체크

코리아리포트 2022: 다음 정부의 길 탄소 중립과 기후 혁신

**과제8: 탄소 중립을 위한 연구개발전략**

- 에너지 저장기술 - 배터리
- 수소의 생산과 사용
- 전력망 운용 혁신을 위한 기술과 제도 설계
- 산업부문의 탈탄소화 기술
- 학문간 연계 및 소용량 연구 주제 발굴 및 인재 양성
- 소형모듈원전(SMR)과 핵융합 기술

## 2. 세계 SMR 개발 현황



Kroger, W., Sornette, D., & Ayoub, A. (2020). Towards Safer and More Sustainable Ways for Exploiting Nuclear Power. *World of Nuclear Science and Technology*, 10(3), 91-115.

## 세계 원전 시장의 재편 가능성

### AP1000, 보글 3, 4호기 건설 현황

- ✓ 2013년 3월/11월 착공, 2016년/2017년 운영시작 목표
- ✓ 공사비 증대와 공기 지연 등으로 현재 2022년/2023년 운영허가 계획
- ✓ 두 개 호기 건설비는 총 250억 달러에 이를 것으로 예상됨.



<https://www.southerncompany.com/>

### EPR, 플라망빌 3호기 건설 현황

- ✓ 2007년 11월 착공
- ✓ 공기 지연으로 현재 2022년 가동 목표
- ✓ 총 건설비는 191억 유로에 달할 것으로 예측됨.

### Flamanville 3 startup pushed back to 2024

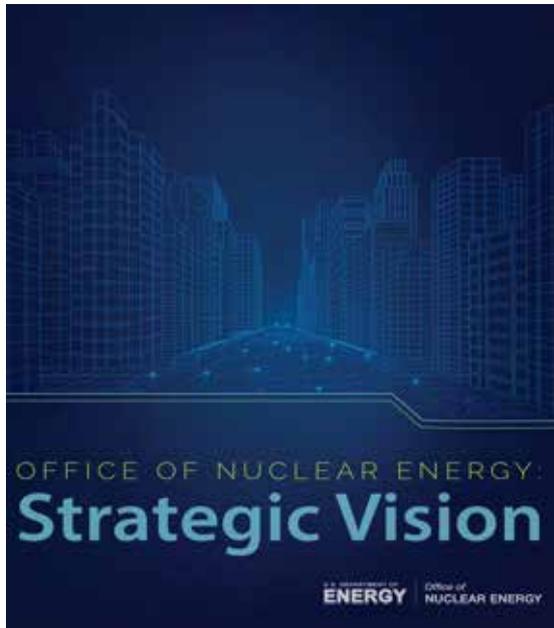


### APR1400, 바라카 원전 1-4호기 건설 현황

- ✓ 2012년11월, 2013년4월, 2014년9월, 2015년7월 착공
- ✓ 1호기 2021년 4월 상업운전 시작
- ✓ 총 건설비는 ~200억 달러 규모



## 미국 에너지부의 2021년 ‘원자력 전략 비전’ 발표



- 5대 원자력 전략 비전:
  - ① 기존 원전 계속 운전 유지
  - ② 차세대원자로 도입
  - ③ 차세대 연료주기 개발
  - ④ 미국의 원자력 리더십 유지
  - ⑤ 원자력국 조직역량 강화
- 용융염원자로, 고온가스로 등 차세대원자로 개발에 7년간 최대 32억 달러 투자
- 유타주전력회사조합(UAMPS)에서 수행하는 NuScale SMR 12기 건설 프로젝트에 13.5 억 달러를 지원함으로써 차세대 원자력시장을 목표로 함

## NuScale 건설 계획

### UAMPS downsizes NuScale SMR plans

Wed, Jul 21, 2021, 9:06PM | Nuclear News



NuScale Power Plant Control Room Simulator



NuScale Integral System Test (NIST-2) Facility



NuScale Upper Module Mockup (UMM) Facility

A still image from a three-part video tour of NuScale's facilities. (Photos: NuScale Power)

UAMPS plans to submit the combined license application (COLA) to the NRC in 2024. "Construction start will depend more on how long the COLA review takes, but the change from 12 modules to six is not expected to delay the overall schedule. The first module is still scheduled to be operational in 2029, and the full plant in 2030."

## ‘프랑스 2030’ SMR 개발 지원



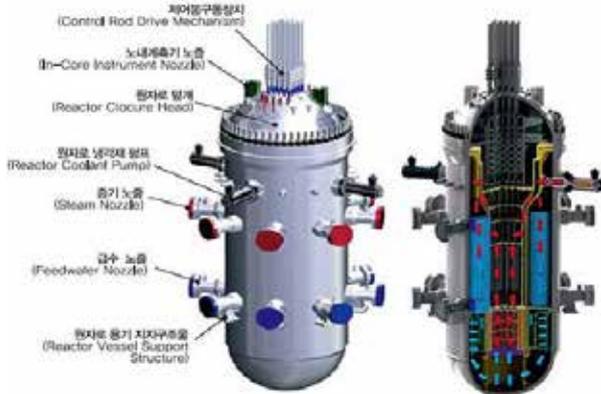
[https://www.world-nuclear-news.org/NN\\_Deep\\_sea\\_fission\\_2001111.html](https://www.world-nuclear-news.org/NN_Deep_sea_fission_2001111.html)

### 3. iSMR 개발 성공 전략

SMR, "크기만 작아진 핵발전소"?

- ① 경제성 확보 방안
- ② 안전성 강화 전략
- ③ 재생에너지와 연계 전략
- ④ SMART와의 차별화 전략
- ⑤ 인허가 불확실성 해소 전략

# SMART의 경제성?

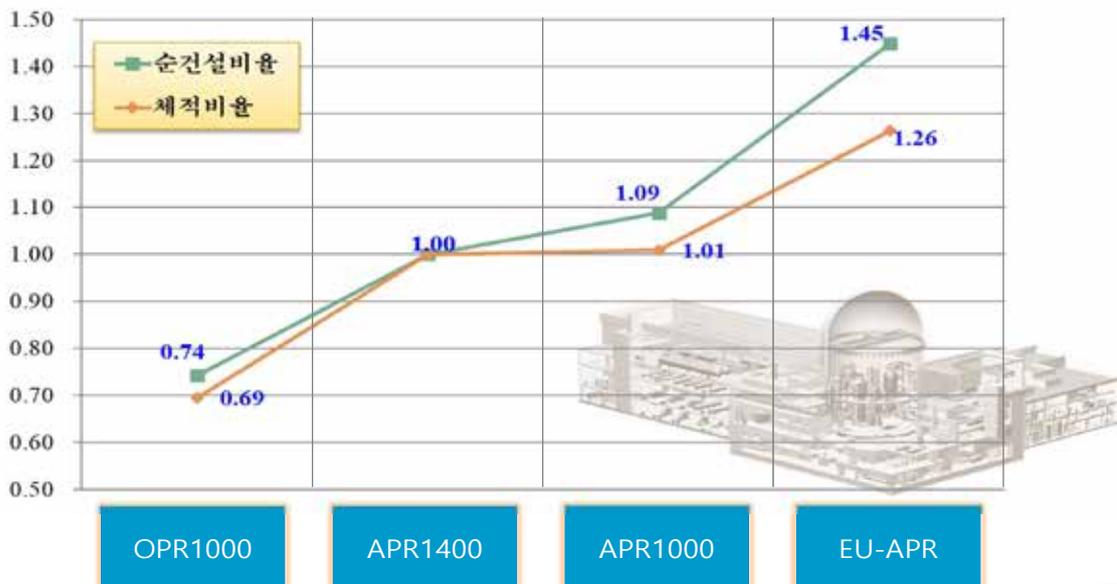


- '97.07-'02.03 : SMART-330 기본설계
- '02.07-'06.02 : SMART 실증로(SMART-P, 65MWth) 기본설계
- '07.07-'12.07 : SMART 표준설계와 기술검증 완료
- '12.05 : **소형 일체형원자로 중 세계 최초로 표준설계인가 획득**
- '12.03-'16.02 : 피동잔열제거계통, 피동안전주입계통, 피동원자로건물냉각계통에 대한 설계 완료, 검증시험 수행
- '15.09 : 한국-사우디아라비아 SMART 건설전 설계사업(PPE) 협약 체결
- '15.12-'18.11 : PPE 사업 종료

높은 인허가 적합성으로 일체형원자로 중 상용화 단계가 가장 앞서 있음  
혁신적 시스템 기술은 상대적으로 배제

SMART 건설비 = ???

# 계통 최적화 및 건물체적 축소를 통한 경제성 확보

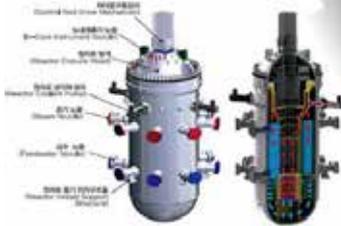


“경제성 TTR 요건 만족을 위한 기준설정 및 추진방안에 관한 제언,” KEPCO E&C, 2021/06.

## ① 경제성 확보 전략: “팀 코리아” 전략



산업계의 기술력



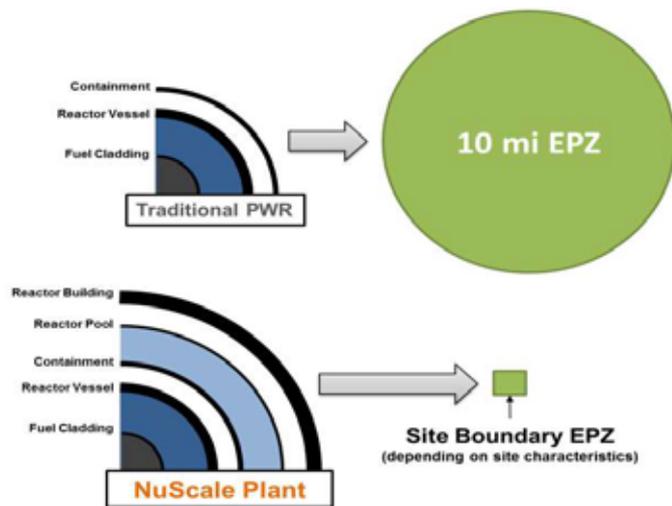
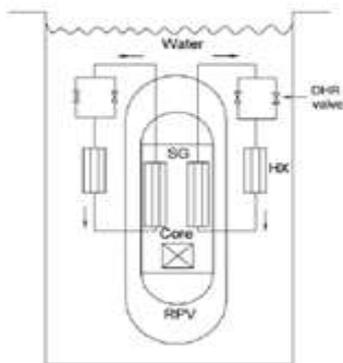
연구계의 기술력

### Team Korea



*i*SMR 건설비 목표= <4000 USD/kWe  
 건설공기(F/C~F/L)=<24개월

## ② iSMR 안전성 강화 전략



- Passive Safety
- Additional Fission Product Barriers
- Significant Delay in Release of Fission Products

NuScale Power, “NuScale SMR Technology,” 2014.

*노심손상빈도*= <  $1.0 \times 10^{-9}$  /MY

### ③ 재생에너지 연계 전략

**환경단체의 주장**

탄소중립 실현을 위해서는 전원 섹터에서 태양광, 풍력 등 신재생에너지의 확대는 불가피하며, 이때 원자력은 경직성 전원이라 사용이 제한될 수 밖에 없다!

재생에너지+ESS/수소 vs. 재생에너지+일반발전기

↓ 일반발전기 조합이 경제적!

재생에너지+가스발전 vs. 재생에너지+원자력발전

↓ 가스발전 조합은 탈탄소 전략에 위배!

재생에너지+원자력발전

↓ 재생에너지의 간헐성 보완 가능?

원전의 부하추종운전 등 탄력운전 기능이 관건!

SMR의 고유한 제어 용이성 + 무붕산 노심 구현

### ④ SMART와의 차별화 전략

계통/기기	SMART	i-SMR
<b>핵연료/노심</b>		
핵연료봉		
가연성독봉		
제어봉구동장치		
반응도 제어 붕산(액체)		
<b>안전계통</b>		
격납용기냉각계통		
격납용기 (물리적 방어)		
<b>제어/보호/감시/운전</b>		
제어실		
운전원 수		
부하추종		
<b>종합설계/보조계통/터빈발전기</b>		
원자로용기 배치		
순차적 모듈화 가능		



## ⑤ 인허가 불확실성 해소 전략

### 인증된 기술 vs. 혁신기술

#### 원자력혁신역량법(NEICA, '18.9월)

- ✓ 인허가 심사 비용에 대해 비용분담보조금 제도를 만들어 인허가 비용 부담을 경감
- ✓ SMR을 포함한 첨단 원자로의 혁신기술개발 연구 활동 증진을 위해 민간 SMR 개발사업자가 국립연구소와 협력하여 국립연구소 부지 및 에너지부 부지에서 실증로를 건설할 수 있도록 지원

#### 원자력혁신현대화법(NEIMA, '19.1월)

- ✓ 예측 가능하고 효율적이며 적기에 인허가 심사가 이루어질 수 있도록 원자력규제위원회(NRC)의 규제개선을 법으로 공식화
- ✓ 2027년 12월 31일까지 원자력규제위원회는 신형원자로 인허가 신청자를 위한 신기술이 반영된 규제체계를 수립하도록 명시

#### (가칭)원자력혁신특별법

- ✓ iSMR 등 신형 원자력시스템에 대한 예측 가능하고 효율적이며 적기에 인허가 심사가 이루어질 수 있도록 선진 인허가체계 구축 명문화

- ✓ 인허가기관과의 협의체 운영
- ✓ SMR 규제기술 연구개발 조기 착수

## 결론

- *iSMR의 경쟁상대는 NuScale이 아닌 APR1400!*

구분	대형 원전	iSMR
노심 출력	1,400 MWe	(예시) 680 MWe (170 MWe × 4기)
노심손상빈도	$2.25 \times 10^{-6} / \text{RY}$ ( $1.0 \times 10^{-5} / \text{RY}$ 이하)	$< 1.0 \times 10^{-9} / \text{MY}$ 이하
제어실	호기별 별도설치	통합제어실 (4개 모듈)
건설공기	48개월	24개월
건설비	약 5조원 (UAE 수출원전기준)	약 3조원 이하 (\$4,000/kWe 이하)

- 산·학·연의 최고 전문가들이 합심하고, 정부가 이를 지원하는 'Team Korea'를 구성함으로써 iSMR 개발에 성공한다면, 2030년대 우리나라 원자력은 새로운 비상을 맞을 수 있을 것임.

소형모듈원자로(SMR) 개발 현황과 산업연계 및 육성 세미나

# 두산중공업의 해외SMR 사업현황 및 국내 Supply Chain 활용계획

두산중공업

김 세 훈



# 두산중공업의 해외 SMR 사업현황 및 국내 SUPPLY CHAIN 활용계획



DOOSAN Proprietary

2021년 10월 20일  
창원시 기술혁신전략 세미나

## 1. 회사 소개

2. 두산중공업의 해외 SMR 사업현황

3. 국내 SUPPLY CHAIN 활용계획



## 두산중공업 소개

### 두산중공업 창원 공장 전경



- 1976년 착공/ 1982년 준공
- 세계 최대 All-in-one 공장
  - 8개 기자재 제조 공장 보유
    - 단조, 터빈, 보일러, 원자력, 풍력, 가스터빈 공장 등
  - R&D 센터
  - 러닝센터, 게스트 하우스, 기숙사, 사내의원 등

## 두산중공업 소개

### 두산중공업 주요 사업

화력 발전	해수담수화	풍력 발전	원자력 발전	가스터빈	신사업
발전 EPC 69건 건설 발전설비 330 GW 공급	담수 30건 건설 - 중동, 중남미 등	풍력 78기 공급 - 해상풍력 30기	32기 원전주기 - 국내, UAE 등	대형 가스터빈 독자모델 개발	에너지저장장치, 수소 등

### 두산중공업 국내외 주요 사업장



1. Babcock(영국), Enpure(영국), Skoda(체코), Lentjes(독일), DPSA(미국), GridTech(미국), DTS(미국), HFC(미국), VINA(베트남), DPSI(인도)  
 2. 담임 R&D(사우디), 보일러 R&D Center(영), Global 터빈 R&D Center(창원/체코), 기술연구원(창원), 기술연구원(수지), ATSA(미국), ATSE(미국)  
 3. 하노이, 방콕, 자카르타, 마닐라, 타이베이, 뉴델리, 뭉바이, 쿠웨이트, 리아드, 두바이, 아부다비, 카이로, 프랑크푸르트, 뉴저지, 산티아고 등

## 주요 제품

### 원자로 설비

- Reactor Vessel
- Reactor Internals
- Control Element Drive Mechanism
- Integrated Head Assembly
- Steam Generator
- Reactor Coolant Pump
- Pressurizer
- Primary Piping
- Fuel Handling System Equipment
- Man-Machine Interface System

### 보조기기

- Heat Exchangers
- Pressure Vessels & Tanks
- Gas Stripper
- Boric Acid Concentrator
- Moisture Separator Reheater

### 핵연료 취급 및 저장

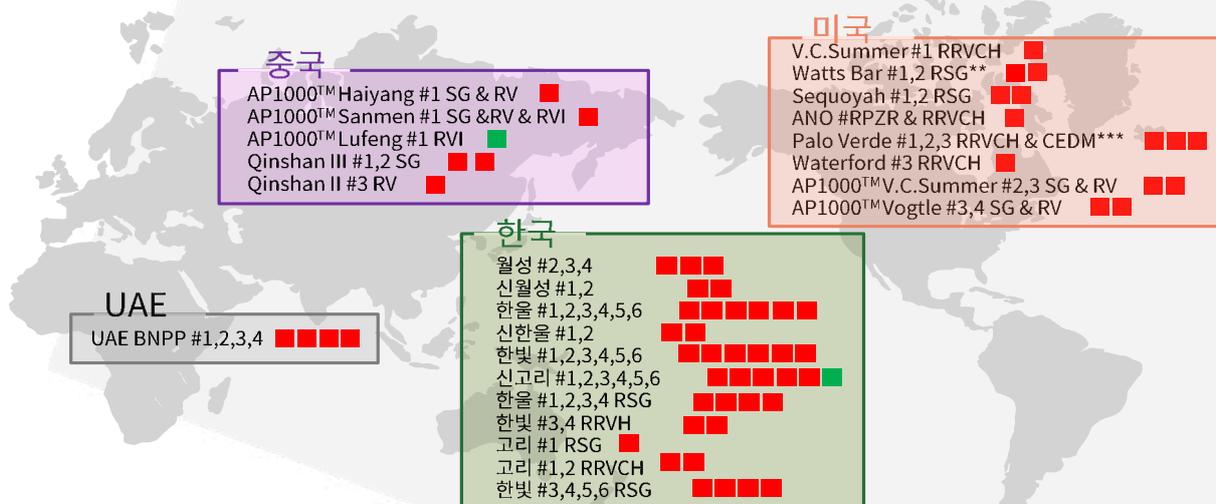
- New and Spent Fuel Racks
- Spent Fuel Transportation Cask / Canister



한국형 원전 원자로설비 ARP1400

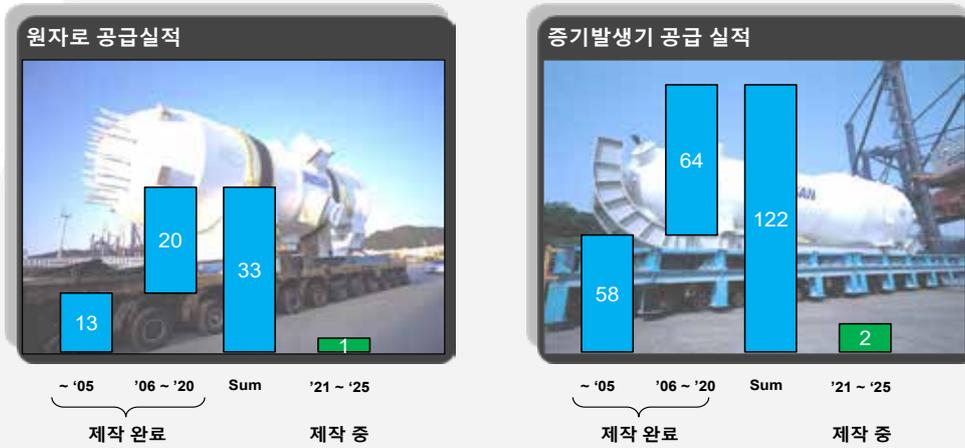
## 두산중공업 원자력 사업 실적

- 공급 완료
- 제작중



\*RRVCH (Replacement Reactor Vessel Channel Head) : 교체용 원자로헤드  
 \*\*RSG (Replacement Steam Generator) : 교체용 증기발생기  
 \*\*\* CEDM (Control Element Drive Mechanism) : 제어봉 제어계통

## 원자로 및 증기발생기 공급 실적



두산중공업의 원자로(2011년~) 및 증기발생기(2012년~)가 세계일류상품으로 등재 되어있으며, '21년 8월 기준으로 원자로 33기, 증기발생기 122기를 제작하고 납품 완료하여 최근 20년간 전세계에서 가장 많은 원자로 및 증기발생기를 공급하였음

1. 회사 소개

2. 두산중공업의 해외 SMR 사업현황

3. 국내 SUPPLY CHAIN 활용계획



## 글로벌 SMR 건설 동향

탄소 저감목표 달성, 노후화력 발전 대체, Off-Grid 수요 등의 목적으로 총 16개 국가에서 SMR 건설을 논의 중이며 북미, 유럽 업체 중심으로 약 70개 업체가 다양한 SMR 노형 개발 중

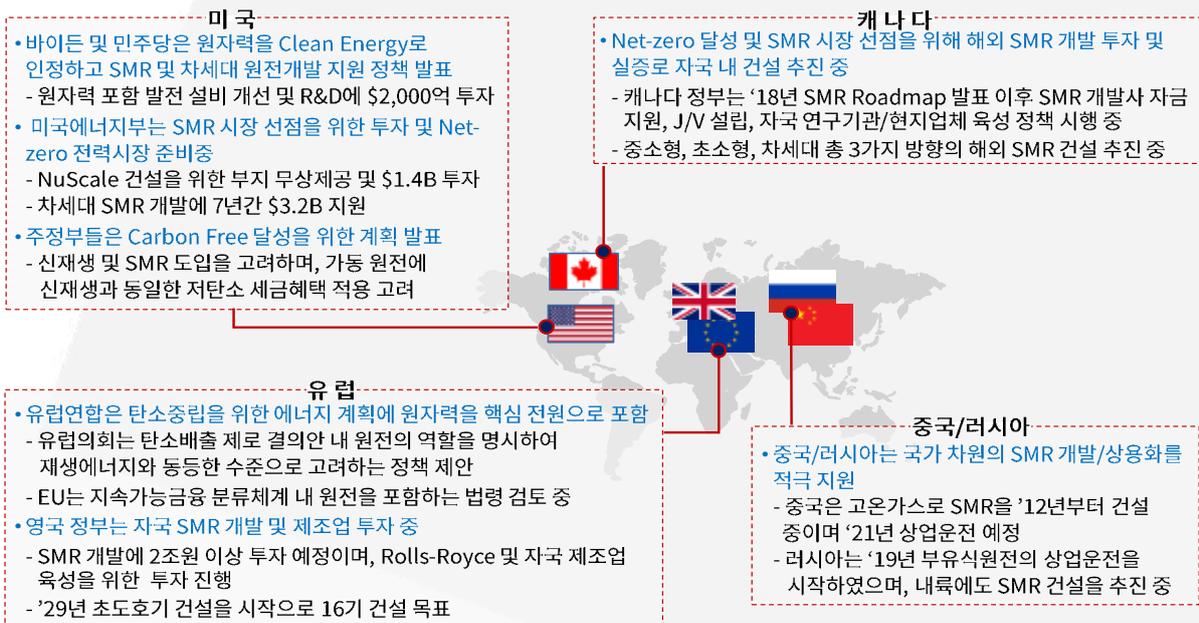
### 전세계 SMR 개발 및 도입 현황



1. 개념설계가 완성되었거나 엔젤투자확보 이상 진행된 노형인 28개만 표기

## 주요국가의 SMR 사업 지원 현황

미국/캐나다/유럽 등 주요국에서는 탄소 중립을 위해 원자력 및 SMR 개발에 대한 정부 지원 계획 발표



## 참고자료 : 미국 정부의 SMR 사업 지원

**바이든 정부의 원자력 투자 계획**

- 2.3조 달러(약 2,600조원) 규모 '인프라 및 에너지부분 투자계획(American Jobs Plan)' 발표('21.3.31) 및 원자력관련 분야에 1,810억 달러(205조원) 투자 계획 포함

<바이든 정부의 American Jobs Plan 중 원자력 관련 투자 계획>

No.	투자 분야	투자 금액
1	전력부문 현대화 및 청정에너지 공급 분야	\$1000억
2	R&D 및 미래 기술 분야	\$350억
3	제조업체와 중소기업 활성화 분야	\$460억

**탄소저감 목표 달성을 위한 주정부의 원전 지원 정책**

- 뉴욕주 : '16년부터 원전을 청정에너지원으로 분류하고, 보조금 지급 등을 통해 원전 이용 확대 추진
- 일리노이주 : '17년부터 10년간 원전에 보조금 지급
- 코네티컷주 : '17년부터 원전을 무탄소 전원으로 분류, 재생에너지와 동일하게 무탄소 조달 입찰에 참여 유도
- 뉴저지주 : '18년 원전 보조금 법안 통과시켜 3기 원전에 연간 3억 달러 보조금 지급 (최근 '25년까지 보조금 지급 연장 결정)
- 오하이오주 : '19년부터 원전 포함 무탄소 발전원에 MWh당 9달러의 보조금 지급

**SMR 시장 선점을 위한 미국 정부 및 의회의 노력**

- 민주당, 공화당 초당적 협력으로 원자력혁신역량법(NEICA, Nuclear Energy Innovation Capabilities Act, 2018) 제정하여 자국의 원전산업 부활 지원
- 원자력 혁신 및 현대화법(NEIMA, Nuclear Energy Innovation and Modernization Act, 2019) 승인으로 차세대 원전의 혁신과 상용화 지원 정책 추진
- 에너지부(DOE), 차세대 원자로 실증 및 R&D 지원 계획 발표('20.10)
- 국무부, SMR 지원 위한 FIRST(Foundational Infrastructure for Responsible Use of Small Modular Reactor Technology) 프로그램 개시와 최초 투자금 530만 달러 지원 발표('21.4)
- 에너지부, NuScale 기술개발 자금 및 조기 상용화 지원을 위한 자금과 부지제공

## NUSCALE SMR

**일체화**

- NuScale SMR은 대형원전의 격납건물, 원자로, 증기발생기, 가압기를 하나의 기기로 일체화 함
- NPM(NuScale Power Module)이라는 하나의 기기에서 핵분열, 증기발생을 동시에 수행

**모듈화**

- 모듈 수를 조절하여 출력 조정 가능 (1개 모듈 당 77MWe, 12개 모듈 설치 시 924MWe)
- 터빈/발전기 및 I&C 설비도 독립적으로 모듈화되어 NPM과 연결됨

**단순화**

- 원자로냉각재 펌프(RCP) 및 냉각재 배관(RCS Piping)을 제거하여 기기 단순화
- 안전성관련 계통/구조물/기기 단순화

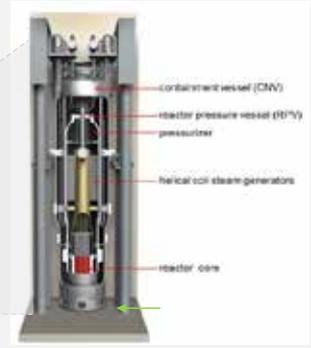
**안전성 강화**

- 펌프를 통한 냉각재 강제순환(현재 상용원전 방식) 대신 펌프 없이 냉각재 자연순환(대류)으로 증기를 발생시킬 수 있어 원자로냉각재펌프(RCP), 대형배관 및 해당 전원계통이 불필요하며, 대형배관 파단사고(Large-break LOCA) 발생 가능성을 원천적으로 제거함
- 완전 피동형 설계시스템을 도입하여 중대사고 시 안전성 확보

- 검증된 상용원전 기술을 기반으로 안전성과 경제성을 향상시킨 경수로형 모델
- 모듈 완제품을 제작/운송하여 상용원전 대비 발전소 현장작업이 최소화되므로 공기단축 및 비용절감 가능



NuScale SMR 원자로 건물 내부



**두산중공업 공급범위**  
 • 대형 주단소재 공급  
 • NPM 기자재 제작

# NUSCALE SMR

## UAMPS<sup>1</sup> PJT 개요 및 일정

<b>PJT 개요</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 소유주 : Utah Associated Municipal Power Systems</li> <li>• PJT 명 : CFPP(Carbon Free Power Project)</li> <li>• 부지 : Idaho National Lab (DOE 부지 제공)</li> <li>• 미국 에너지부 (DOE)의 지원 - UAMPS/DOE 간 \$1.4B Cost share 계약 ('20.10)</li> </ul>	<b>PJT 일정</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>2013 ○ 미 DOE 투자노형 선정</li> <li>2017 ○ NRC 설계인증 착수</li> <li>2020 ○ DOE \$1.4B 투자 확정 /NRC 설계인증 완료</li> <li>2022 ○ NPM<sup>2</sup> 기자재 공급계약</li> <li>2023 ○ EPC 계약</li> <li>2029 ○ 준공</li> </ul>
--	---

## 후속 PJT 상용화 전망

“미국 및 해외시장에 최대 1,682대 NPM 공급 (~'42)”



1. UAMPS (Utah Associated Municipal Power Systems)  
2. NPM (NuScale Power Module) 경수로의 1차계통에 해당되는 NuScale SMR의 핵심기기

## 두산중 참여 배경 및 분야

### [참여 배경]

- '18년 두산은 초도호기 제작 입찰에 참여하였으나, 미국의 자국 업체 우선 방침에 따라 BWXT (미) 선정
- 이후 NuScale은 두산 제작기술을 높이 평가해 지분투자 및 PJT 제작 참여 제안
- '19년 두산-국내 FI는 NuScale에 총 \$44M 지분투자를 통해 기자재 공급권 확보 및 전략적 협력관계 구축
- '21년 두산-국내 FI는 NuScale에 추가 \$60M 지분투자 실시

### [참여 분야]

- 초도호기 (UAMPS) 사업
  - 제작성 검토 용역 ('19.8~'21.1)
  - 대형 주단소재 공급
  - 핵심기자재 제작/공급
- 후속 호기 사업
  - 미국 및 해외 후속 프로젝트의 원자로 제작/공급

# NUSCALE SMR

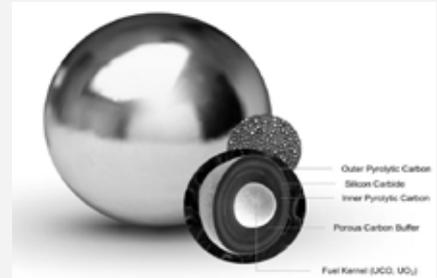
- 두산중공업은 NuScale 원자로모듈에 대한 제작성 검토를 '19년에 착수하여 '21년 1월 완료함
- 제작성 검토 기간 중 두산중공업은 약 40여개의 설계개선안을 NuScale에 제시함
- 제작성 검토 완료 후 두산중공업은 '21년 3월 NuScale로부터 감사패를 수여 받음



## X-ENERGY SMR

### ■ 회사 일반

- 소재지 / 설립: 미국 Rockville (Maryland州) / 2009년
- X-energy는 U.S.-made, 핵확산방지, 안전하고 지속 가능한 에너지 개발을 목표로 HTGR (High Temperature Gas cooled Reactor) Xe-100 개발 중
- '21년 8월에는 핵연료에 관련된 TRISO-X 사업 분야를 분사함



### ■ 주요 사양

- 노형: High Temperature Gas-cooled Reactor (HTGR) / 헬륨 냉매 사용
- 발전용량/수명: Four-pack 320MWe (모듈 당 200MWt / 80MWe) / 60년
- 1차측 운전 요건: 750도, 7MPa (헬륨)
- 2차측 운전 요건: 565도, 16.5MPa (물/증기)



## X-ENERGY SMR

### ■ 기술 특성

- 4세대 원전인 X-energy의 고온가스로는 물이 아닌 헬륨을 냉각재로 사용하며, 이에 750°C의 고온으로 운전 가능함
- 고온의 헬륨 가스는 565°C의 증기를 생산하여 전력 생산 효율이 상대적으로 높을 뿐만 아니라 담수, 지역난방, 세일가스 추출, 수소 생산 등에 활용성이 높음
- X-energy가 개발한 TRISO-X (TRIsotropic-ISOtropic) 핵연료는 세라믹 등으로 3중 코팅된 핵연료 입자를 테니스 공 크기의 핵연료로 만든 것이며, Xe-100 원자로 1대에는 TRISO-X 핵연료가 220,000개 장전됨
- 초고온에서도 코팅 재질은 녹지 않을 뿐만 아니라 불활성 기체인 헬륨을 냉각재로 사용하므로 안정적이며, 노심 용융 (melt down)이 발생하지 않아 안전성이 강화됨

### ■ 사업화 계획

- X-energy는 미국 에너지부의 차세대 원전 실증로 건설 프로그램(ARDP)에 선정되어('20년 10월) 초기 자금 \$80M을 확보하였으며, '27년 미국 내 상업화 목표 ('27년까지 총 \$1.2B 지원 전망)
- 캐나다 발전사인 OPG(Ontario Power Generation)은 Darlington 부지에 건설할 SMR 후보 노형으로 X-energy, GE-Hitachi, Terrestrial Energy를 선정했다고 발표('20년 10월), '21년 말 최종 1개 노형 선정 예정
- 미국 발전사인 Energy Northwest, Grant County PUD는 Columbia 원전 부지에 (워싱턴州) Xe-100을 건설하기 위해 X-energy와 협력협약(MOU) 체결

두산중공업은 X-energy와 주기기 제작설계 용역 계약을 체결했으며('21년 8월), X-energy SMR 주기기의 제작 방안 연구, 시제품 제작, 설계 최적화 방안 연구 등을 수행하며 SMR 설계를 지원

1. 회사 소개
2. 두산중공업의 해외 SMR 사업현황
3. 국내 SUPPLY CHAIN 활용계획



## SMR 제작 준비

전세계적으로 다양한 SMR에 대한 제작수요가 급증할 것으로 전망됨에 따라 두산중공업은 대형원전 주기기 제작역량/ 경험을 바탕으로 SMR 핵심기기 제작역량을 업그레이드하고 있음

- 플랜트 시뮬레이션 프로그램 및 제작공정 최적화를 통한 생산량 증가
- 자체 기술연구원 및 협력사와 공동으로 제작 신기술 개발
  - Helical tube bending, EBW(Electron Beam Welding) 용접, ESW(Electro-Slag Welding) 용접, LBW(Laser Beam Welding) 용접, 로봇 용접시스템, 3D 금속 프린팅 등
- 제작설비 및 장비 업그레이드를 위한 공장 투자
- SMR 주기기 본품 제작 착수 전 시제품 제작을 통한 제작 리스크 확인 및 대응방안 수립 (NuScale SMR)



자동용접 기술을 활용한 시제품 제작

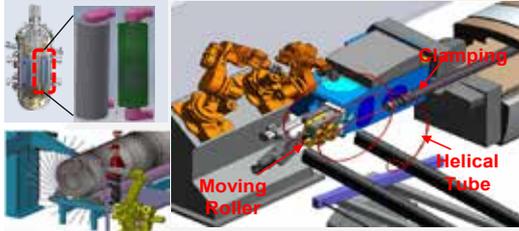


Cladding Distortion Trial (ESW)

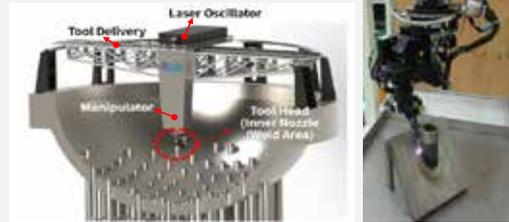
## 원자력 제작 신기술

### Tube Bending

- 협소공간 내 복잡한 형상을 가진 Helical Tube 3D Bending

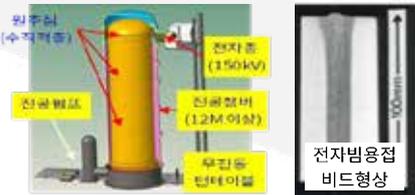


### Laser Peening



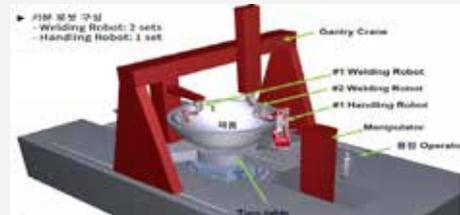
### Electronic Beam Welding

- 고출력 전자빔을 이용한 용접기술로 작업시간 단축



### Robot Welding System

- 용접/그라인딩/핸들링을 로봇이 완전 자동용접으로 수행



## 국내 SUPPLY CHAIN 활용 계획

- 두산중공업은 국내 296개 협력사로 구성된 SMR 기자재 제작 Supply Chain 보유
  - SMR 주요 기자재 별 소재/부품 공급업체, 외주 가공/용접업체 Pool 구축 완료
  - '22년 NuScale SMR 기자재 제작 착수 시점부터 본품 제작일정에 따라 협력업체들과 순차적으로 하도계약 체결 예정
  - 참고로, NuScale SMR 기자재 제작 시 국내 180개 협력사가 두산중공업과 협업 가능

전세계의 원자력산업이 SMR을 중심으로 다시 부흥할 것으로 예상되므로, 국가 원자력산업의 경쟁력 제고를 위해서는 원전산업생태계를 보호하기 위한 정책적 지원이 필요하며, SMR 주요 기자재 제작기술 확보를 위한 지원 필요

- SMR 사업에서 국제경쟁력을 확보하기 위해서는 기존 한국 원전산업의 강점인 강력한 공급망(Supply Chain) 유지가 필수적
- 국내 원자력업체들이 국제경쟁력을 갖추고 SMR 기자재를 수출 상품화 할 수 있도록 정부 차원의 SMR 핵심 제작기술(용접기술, 벤딩 기술 등) 개발 지원 필요

**감사합니다**





소형모듈원자로(SMR) 개발 현황과 산업연계 및 육성 세미나

## SMR용 RCP 개요 및 사용화

효성굿스프링스

김형훈



# SMR용 RCP개요 및 상용화

2021. 10. 20.



Hyosung GoodSprings Performance Unit

## 목차

1. 소형 모듈 원자로 냉각재 펌프 개요
2. 원자로 냉각재 펌프 개발 절차
3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안



## 1. 소형 모듈 원자로 냉각재 펌프 개요

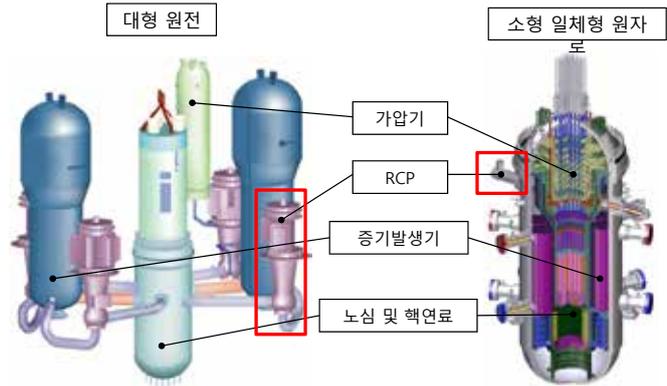


### 1) 개요

- 소형 모듈 원자로(Small Modular Reactor; SMR)는 가압기, 증기발생기, 원자로 냉각재펌프가 하나의 원자로용기 내부에 배치된 일체형 원자로이며, SMR용 원자로 냉각재 펌프(Reactor coolant pump; RCP)는 용기에 일체형으로 조립되는 구조임
- SMR용 RCP는 대형원전용 RCP와는 다른 구조를 가져야 하므로, SMR에 적절한 구조를 가지는 RCP가 신규 개발되어야 함

### 2) RCP의 역할 및 중요성

- 원자로 내부의 냉각재를 강제 순환시켜 핵연료에서 발생한 열을 증기발생기로 전달하는 역할 수행
- 원자로 냉각재 계통(Reactor Coolant System, RCS) 위치하며, 1차 계통(NSSS)내 유일한 능동 기기임.
- RCP의 고장이 발생할 경우, 발전소의 출력 감소, 진동발생 등 1차 계통(NSSS)의 건전성에 중대한 영향을 미칠 수 있는 핵심 기기임

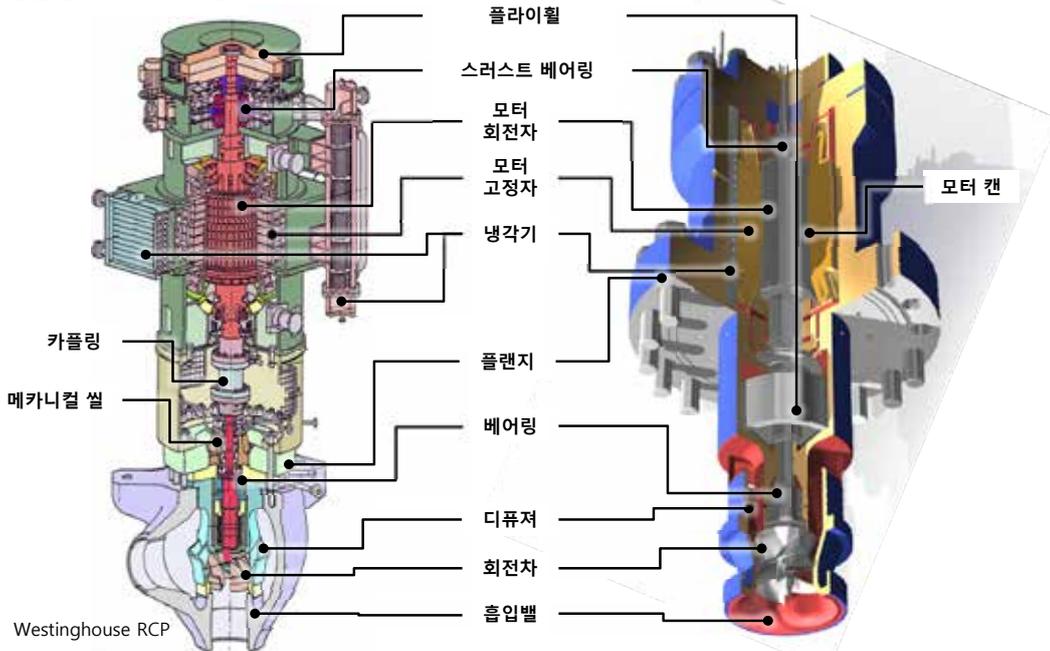


[기존 대형 원전 및 SMART100 원전 비교]

## 1. 소형 모듈 원자로 냉각재 펌프 개요



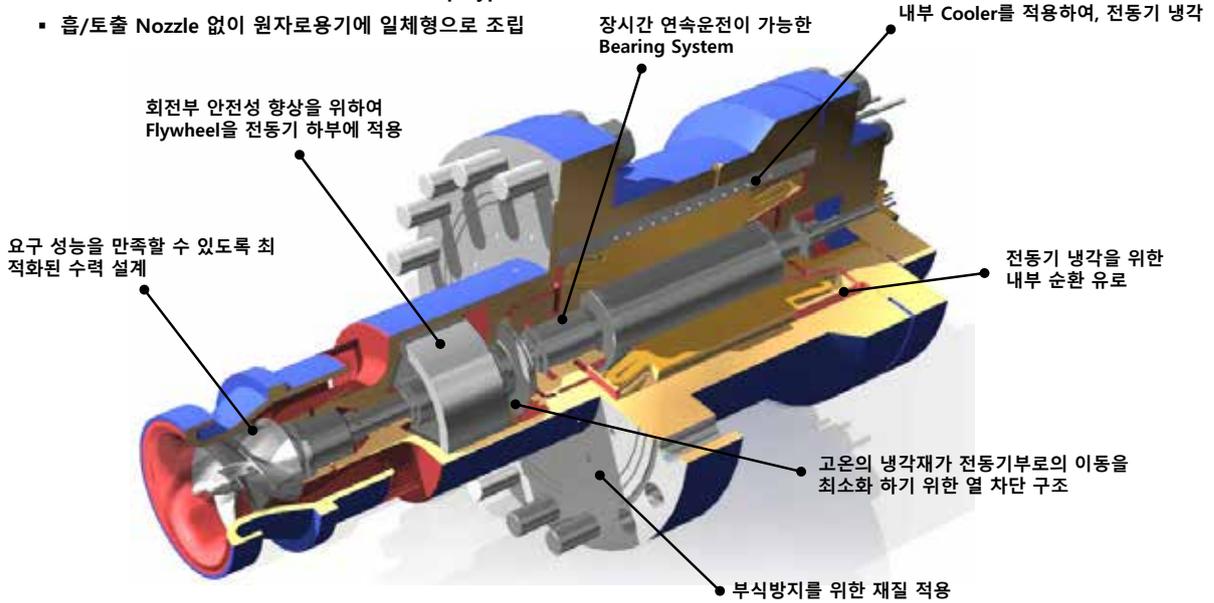
### 3) 대형원전 RCP와 SMR용 RCP 비교



# 1. 소형 모듈 원자로 냉각재 펌프 개요

## 4) SMR용 RCP의 구조적 특징

- 전동기 일체형 구조의 Canned Motor Pump Type 적용
- 흡/토출 Nozzle 없이 원자로용기에 일체형으로 조립



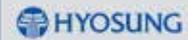
# 2. 원자로 냉각재 펌프 개발 절차

## 2) 수력설계



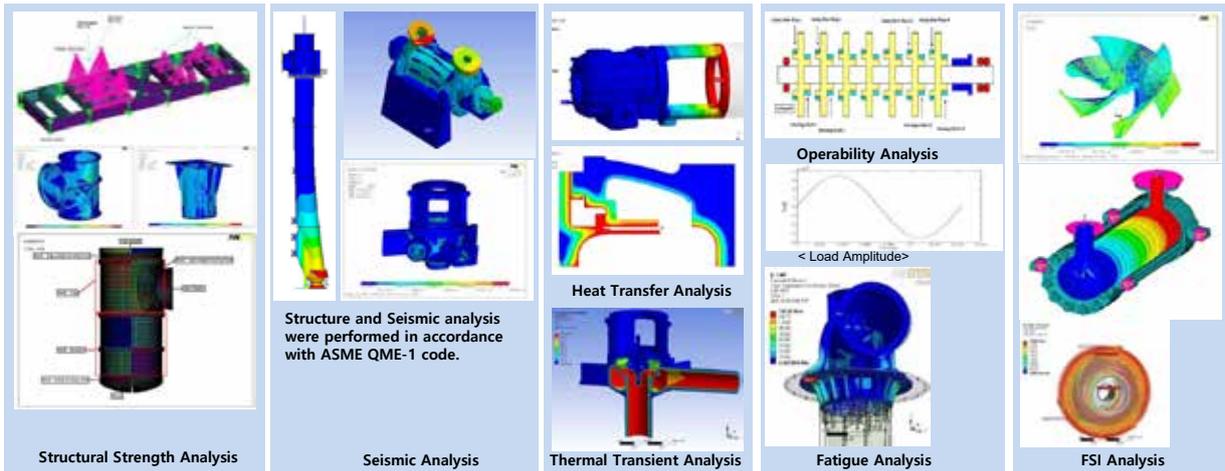
<p>&lt;HYDRO D/B를 이용한 통계분석&gt;</p> <p>&lt;2D 자오면 설계&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 자체 Data Base 활용</li> <li>● 자체 설계 프로그램 및 회전차 전용 설계프로그램 활용</li> <li>● 기본형상 변수 (성능변화 주요 인자) 선정</li> </ul>	<p>&lt;HYDRO 3D 형상&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 자체 설계프로그램 활용</li> <li>● 전용 설계프로그램 활용</li> </ul>	<p>&lt;유동해석&gt;</p> <p>&lt;실험계획법&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 유동해석 전용 프로그램 100~200 Case 이상 유동해석</li> <li>● 실험계획법 및 최적화 프로그램 활용</li> </ul>	<p>&lt;모델 펌프&gt;</p> <p>&lt;성능 비교&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 모델펌프용 HYDRO 제작</li> <li>● 규격(IEC, HI, JIS 등)에 맞게 성능 시험 실시</li> <li>● 실물 펌프 제작을 통한 성능 검증</li> </ul>
---	---	---	---

## 2. 원자로 냉각재 펌프 개발 절차

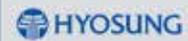


### 3) 구조설계

- Stress analysis, Seismic Analysis(Static and Dynamic Analysis), Fatigue and Operability Analysis
- Strength test using FSI(Fluid Structure Interaction) / Heat Transfer, Thermal Transient Analysis

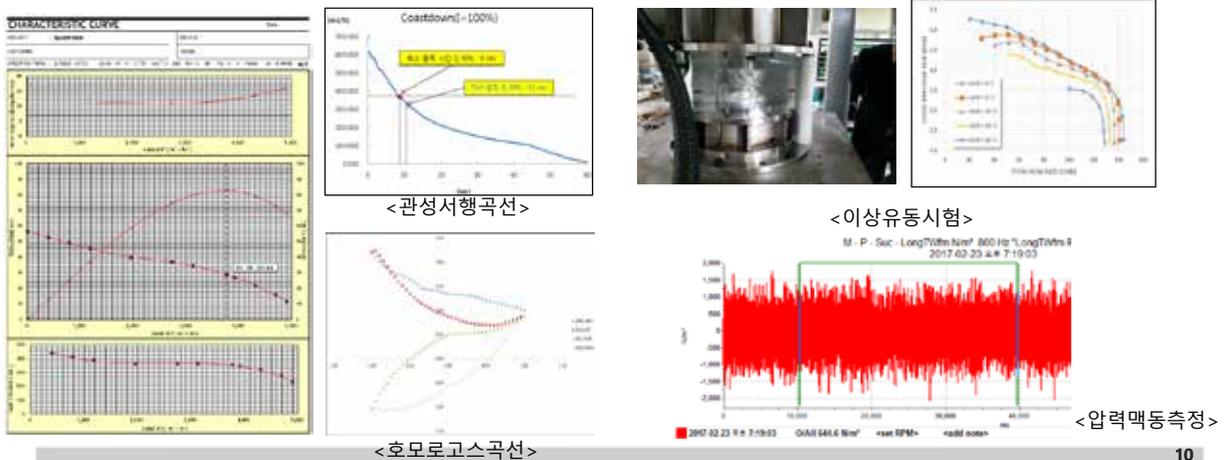


## 2. 원자로 냉각재 펌프 개발 절차



### 5) 성능검증

- 성능시험 : RCP의 유량-양정을 측정하여 요구성능을 만족 여부를 평가
- 과도운전 시험 : 고온에서, 기동/정지를 반복 및 연속운전을 통하여 RCP의 내구성을 평가
- 완전특성시험 : 1대의 RCP가 비상정지 될 경우 RCS내부의 급격한 냉각재 유량 변화 및 역류에 대한 펌프특성 평가
- 관성서행시험 : RCP 비상정지시 원자로 내부를 지속적으로 냉각하기 위해 필요한 RCP의 관성유량 평가
- 압력맥동시험 : 원자로 종합진동평가를 위한 펌프의 압력맥동 특성 평가
- 이상유동시험 : 냉각재에 용해되어 있는 N2가스가 용출 시 펌프의 성능변화 특성 평가



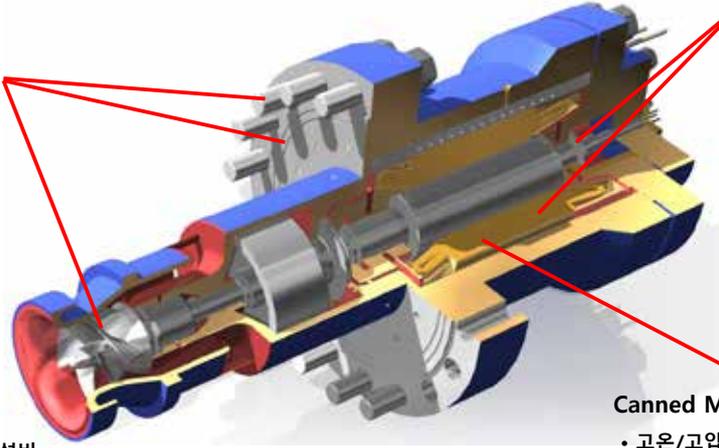
### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안

#### 1) 원자로 냉각재 펌프 상용화를 위한 협력방안

- 원자로 냉각재 펌프 상용화를 위하여, 소재 조달 및 가공, 신규 재료의 개발, 성능검증 Infra 구축 등 협력업체 / 연구기관/ 정부기관의 협업이 필요

#### 소재 조달 및 가공

- 주물, 단조, 볼트재 등
- 5축 가공, 정밀가공 등



#### 재료 개발

- 고온용 절연물
- 베어링 소재 등

#### 성능검증 Infra

- 고온, 고압용 펌프 시험설비
- 베어링 등 부품 검증 설비

#### Canned Motor 개발

- 고온/고압 Canned Motor

### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안

#### 2) 소재 조달 및 가공

- 펌프 부품의 대부분은 주물 및 단조 소재 가공하여 적용하며, 수력부 및 유로의 형상 등 복잡한 형상의 설계가 제품으로 구현 되어야 함
- 따라서, 소재업체 및 가공업체와 설계단계 부터 협업이 필요 함
  - 단조, 주물 KEPIC 소재 업체 조사 및 발굴
  - RCP 압력부에 대한 형상 제작 기술 개발
  - RCP 수력부 형상에 대한 금형, 제작 기술 개발
  - 주축 KEPIC 소재 업체 조사 및 발굴
  - 5축 가공 및 정밀 가공 업체 조사 및 발굴



[주물 금형]



[단조 소재]



[5축 가공]

### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안



#### 3) 신규 재료의 개발

- SMR용 RCP는 고온의 냉각재가 펌프 내부 및 전동기부를 순환하는 구조를 가지므로, 고온의 냉각재에 사용가능한 다수의 부품용 재료를 신규로 개발하여 적용하여야 함
- 또한, 신규 재료의 검증을 위하여 부품단위의 검증이 수행되어야 함
- 연구기관 및 소재업체와 협업이 필요 함
  - 고온에서 절연 성능이 유지될 수 있는 절연재료 신규 개발
  - 고온조건에서 내 마모성이 우수한 베어링 소재 개발

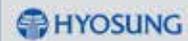


[고온 절연물 소재(Ref. 스위스 Vonroll)]



[베어링 소재(Ref. 미국 GT)]

### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안



#### 4) Canned Motor 개발

- 현재 국내에는 4000V이상의 고압 전동기를 Canned Motor형태로 양산하는 업체는 없음
- 따라서, SMR용 Canned Motor의 신규 개발 및 검증이 필요함
  - 고온에서 절연 성능이 유지될 수 있는 절연재료 적용
  - Canned Motor 용접기술 개발
  - 원자력 환경에서 건전성 유지를 위한 검증시험 수행



[캔드 모터]



[캔드모터 용접]



Hyosung 150 HP Vertical Motor - Seismic Test Setup

### 3. 원자로 냉각재 펌프 상용화 방안

#### 5) 검증 시설 Infra 구축

- 국내에 RCP를 시험할 수 있는 설비는 한국원자력연구원에 있는 설비가 유일하지만, 해당 설비는 대형원전용 RCP를 시험하기 위하여 구축된 설비임.
- 대형원전대비 SMR은 열출력 기준으로 약 1/10수준이므로 RCP의 유량도 이와 비슷한 수준으로 예상됨.
- 따라서, SMR용 RCP 전용의 고온/고압 펌프 시험설비의 신규 구축이 필요 함
- 시험설비의 구축에는 초기 투자비용이 높고 RCP의 특성상 시장 형성이 되어있지 않은 SMR산업의 특성 상 국가 차원의 투자 및 지원이 필요함



[대형 원전 APR1400 RCP(Ref.원자력연구원 홈페이지)]



[효성 굿스프링스 고압 시험 설비]

Global Top Energy, Machinery & Plant  
Solutions Provider

THANK YOU!





소형모듈원자로(SMR) 개발 현황과 산업연계 및 육성 세미나

# SMR용 연료취급계통, 압력 및 방사능 저감계통 용기 개발

BHI  
박병택



# SMR용 연료취급계통, 압력 및 방사능저감계통 용기 개발

2021. 10. 20.



비에이치아이 주식회사

1

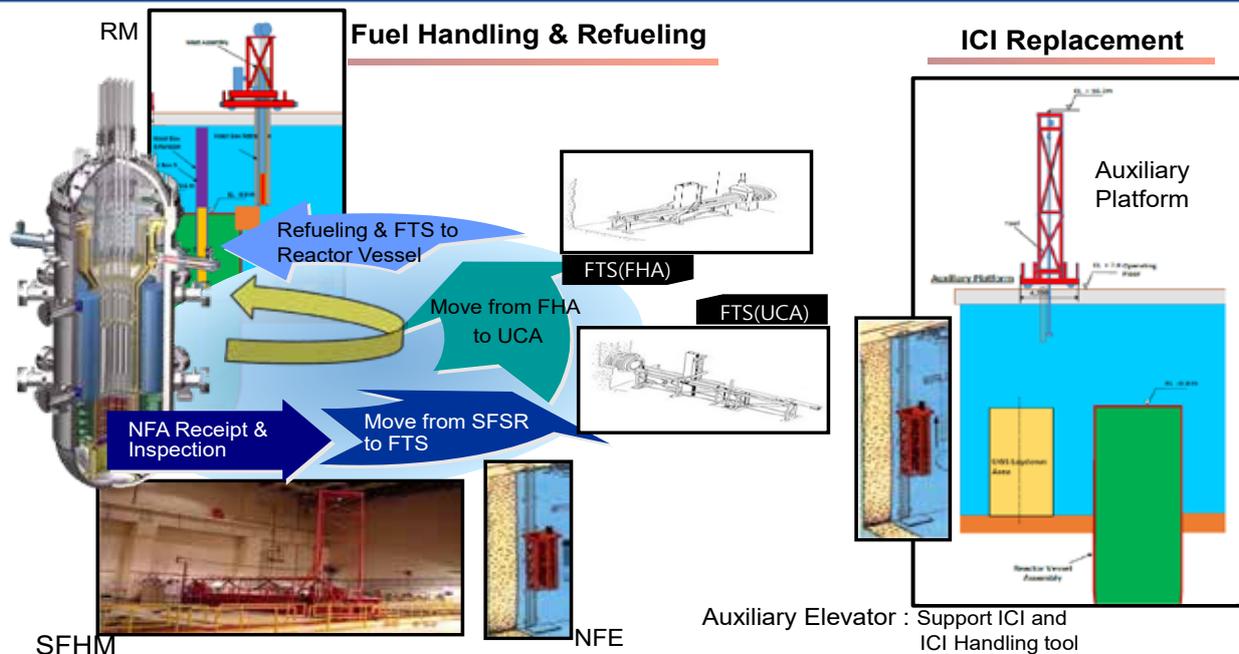
## Contents

1. Fuel Handling System
2. 압력 및 방사능저감계통 (Containment Pressure & Radioactivity Suppression System) 용기

# Fuel Handling System

- Fuel Handling System의 기능
- Fuel handling System의 특징
- Arrangement of Fuel handling System
- Fuel Assembly
- Comparison with others Refueling Machine
- 3 Step Hoist Box Assembly
- Gripper Assembly & Pneumatic Services Data
- Human Friendly Operating Technology
- Precision & Automatic Equipment
- Low Radiation Level
- Soft & Safety Drive
- Time Study Report

# Fuel Handling System 기능



· FHA : Fuel Handling Area · FTS : Fuel Transfer System · NFA : New Fuel Assembly · NFE : New Fuel Elevator  
 · RM : Refueling Machine · SFHM : Spent Fuel Handling Machine · UCA : Upper Containment Area · SFAR : Spent Fuel Storage Rack

# Fuel Handling System의 특징

➤ System Equipment

➤ 원전의 전반적인 배치와 구조 이해

➤ 정밀 자동화 장비이며 복합기능

➤ 시스템 설계, 정밀가공, 자동화 PGM, Hydraulic 등 다양한 기술 능력 필요

➤ 특수 장비이며, 높은 기술력이 필요한 진입 장벽이 높은 장비임

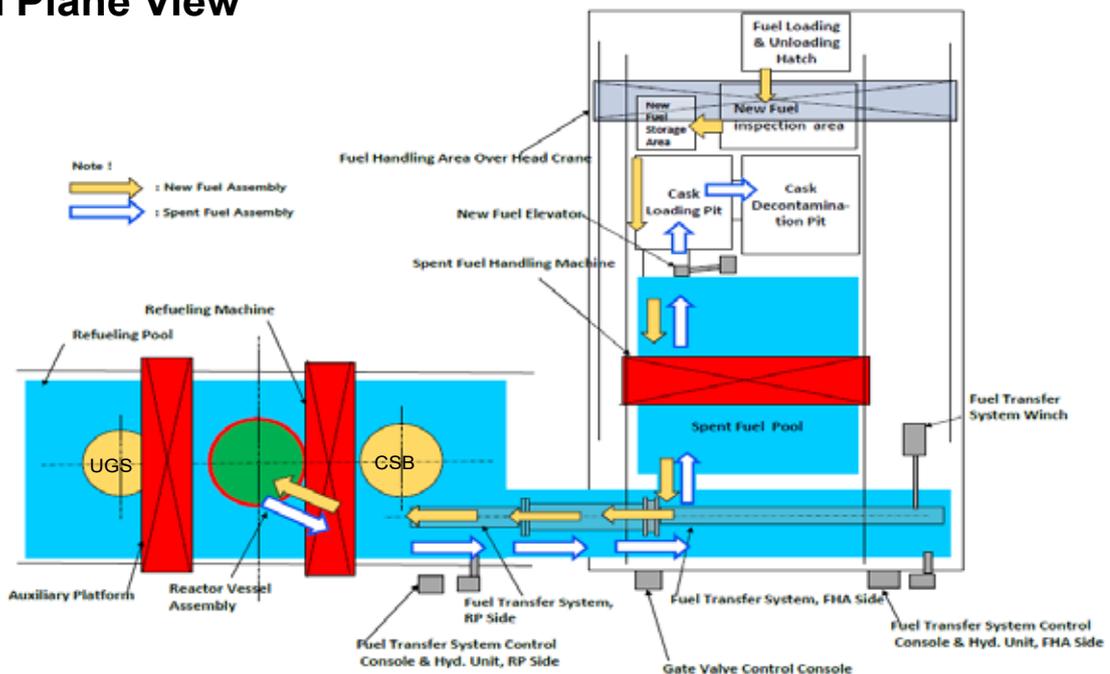
➤ 공급능력 미 확보 시 고가 구매 및 장 납기 요구됨

➤ SMART Fuel Handling System은 기술검증 필요

➤ Mock up 제작 및 기술 검증 필요

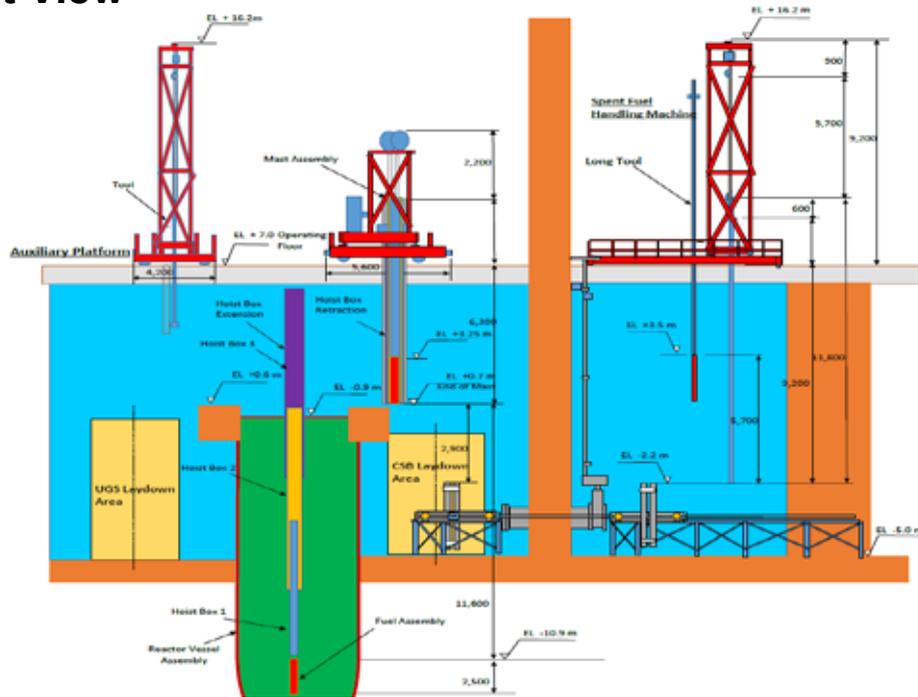
# Arrangement of Fuel Handling System

## □ Plane View



# Arrangement of Fuel Handling System

## □ Front View

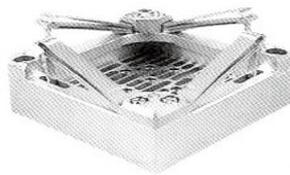


# Fuel Assembly

## □ Comparison with SMART & APR1400



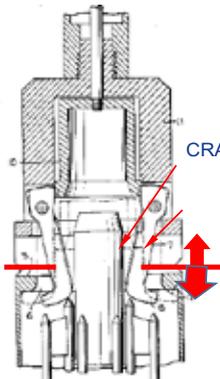
SMART



APR1400



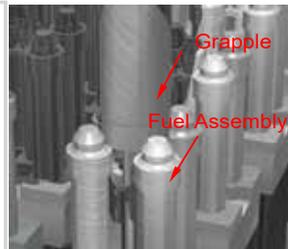
Upper End Fitting



SMART



APR1400

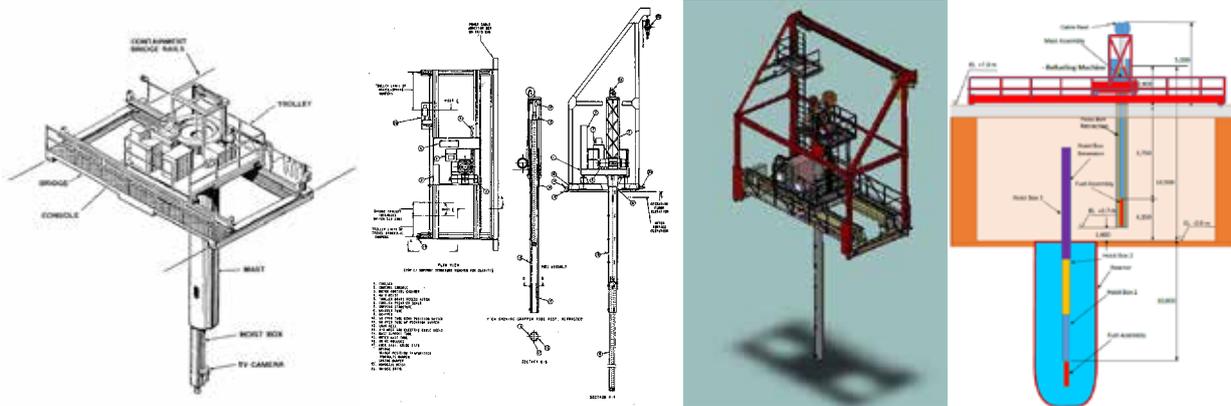


Lower End Fitting

APR1400

\* CRA : Control Rod Assembly

# Comparison with others Refueling Machine



**APR1400**

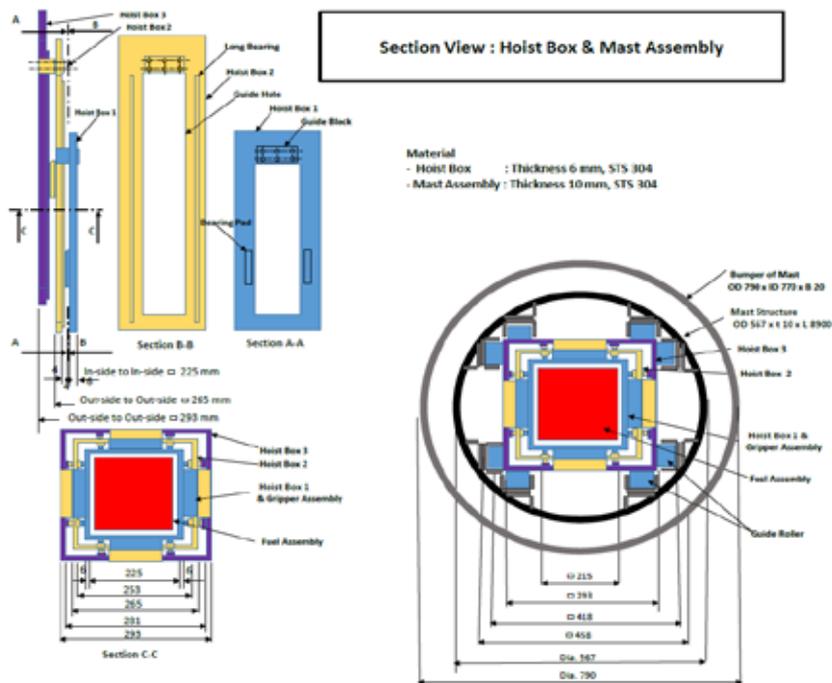
**WEC**

**AP1000(WEC)**

**SMART**

# 3 Step Hoist Box Assembly

## □ Design Concept Hoist box of Refueling Machine



# Gripper Assembly & Pneumatic Services Data

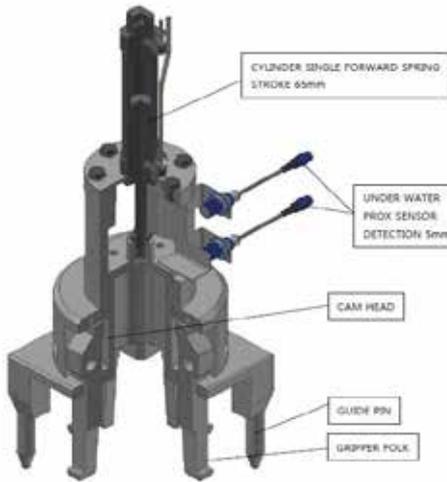


Fig. 1 Gripper Assembly (Refueling Machine)

## 4.0 Required pneumatic load data

Air-actuated components of fuel handling system is designed to be capable of operation from an instrument air supply of 5 kg/cm<sup>2</sup> minimum to 10 kg/cm<sup>2</sup> maximum.

The instrument air needs to be supplied to the refueling machine and the auxiliary platform. Refer to figure 1 & 2.

The refueling machine supplier shall approve the size of the connection port connected to the plant instrument air hose to the A/E by reflecting it in the general arrangement drawing, and the A/E should be reflected in the plant layout.

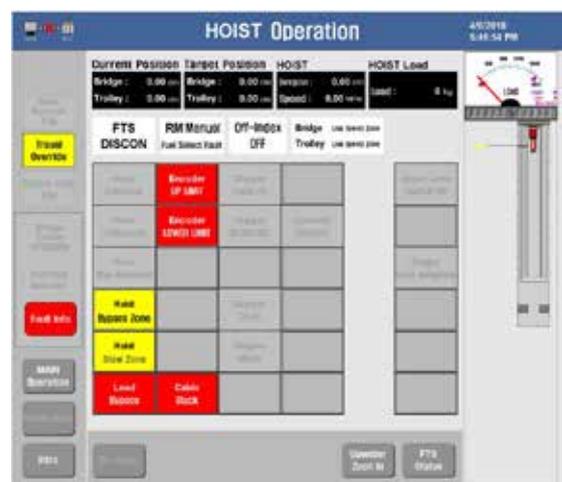
- Required Air Quality : 2 class (ANSI/ISA-S7.0.01-1996)
- Minimum Consumption Rate : 10 SCFM(for Refueling Machine)
- Use frequency : Once per 30 months

# Human Friendly Operating Technology

## □ Main & Hoist Operation Screen of RM



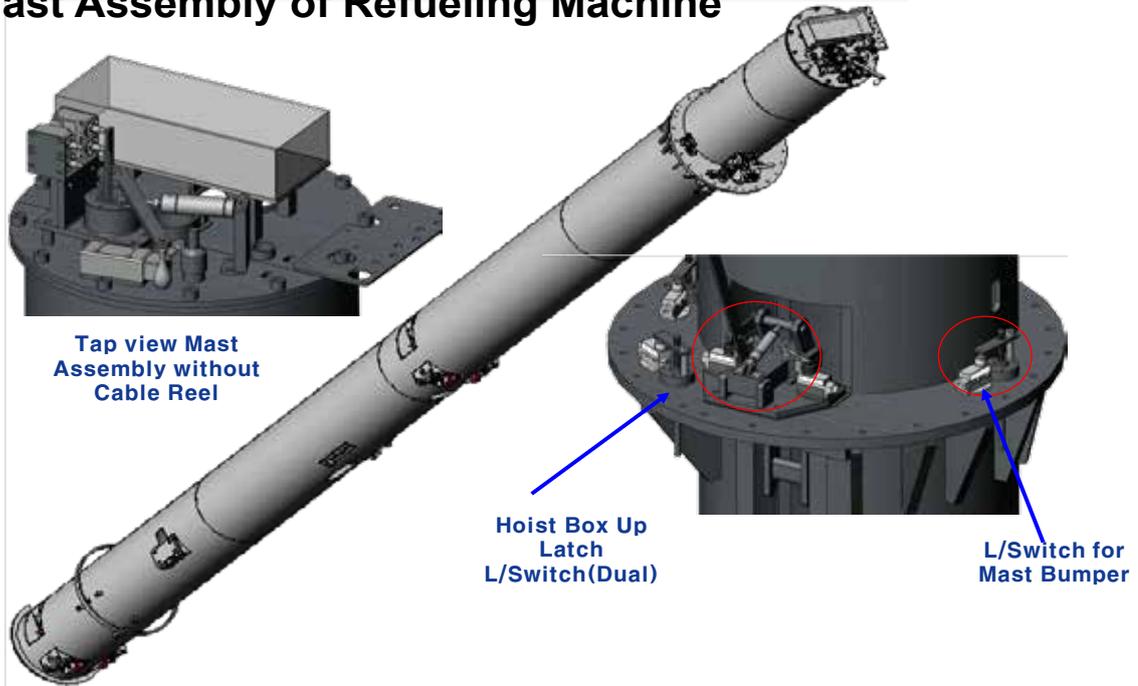
Main Operation Screen



Hoist Operation Screen

# Precision & Automatic Equipment

## ❑ Mast Assembly of Refueling Machine

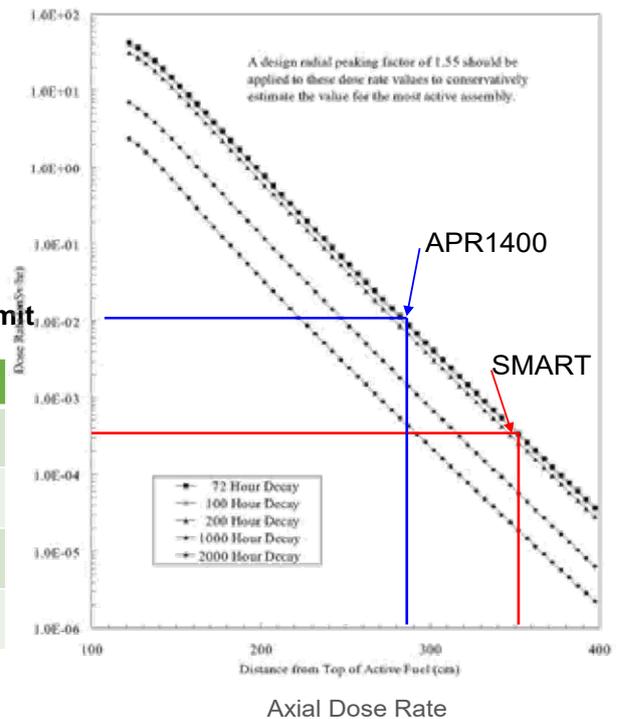


# Low Radiation Level

## ❑ Evaluation Radiation Level

- **Dose Rates from a Spent Fuel Assembly in the Refueling Pool**
- **Decay** : Used 72 Hour
- **Design Criteria** : 0.025 mSv/hr
- **Check Point of Refueling Machine : Up limit**

Description	APR1400	SMART
Water Depth above top of active fuel	285cm	363cm
Water Level Dose Rate	0.01 mSv/hr	0.0003 mSv/hr
Max. Water Level Dose Rate	0.016 mSv/hr	0.0045 mSv/hr
Rate as Design Criteria	65%	18%



# Soft & Safety Drive

## □ Evaluation for Acceleration of Fuel Handling Facility

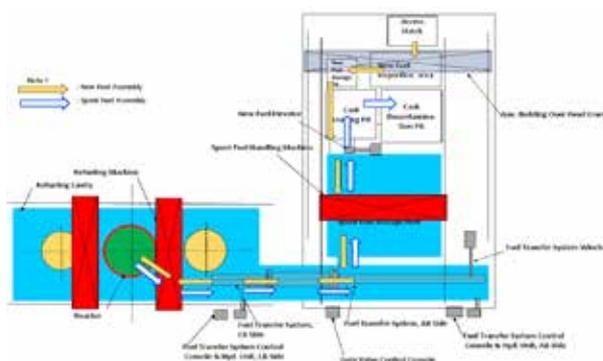
- Purpose : Review to avoid fuel damage according to acceleration of Refueling Machine
- Permissible axial & transverse “g” load on a fuel assembly : Max. 4.0 g
- Max. acceleration in Emergency Stop during transverse drive
  - 0.0 ~0.5 Sec Area :  $0.51 \text{ m/sec}^2 = 0.05 \text{ g} < 4.0 \text{ g}$
  - 0.5 ~1.0 Sec Area :  $0.31 \text{ m/sec}^2 = 0.03 \text{ g} < 4.0 \text{ g}$
- Max. acceleration in Emergency Stop during vertical drive
  - Acceleration in Emergency Stop :  $a_h = -1.73 \text{ m/sec}^2 = -0.18 \text{ g}$
  - Acceleration due to Elastic Energy of wire rope:  $a_{hb} = 2.45 \text{ m/sec}^2 = 0.25 \text{ g}$
  - Max. acceleration in Emergency Stop during vertical drive :  $a_v = 0.25\text{g} - (-0.18\text{g}) = 0.43 \text{ g} < 4.0 \text{ g}$

# Time Study Report

## □ Comparison RM alone and RM with SFHM

Description		Speed(m/min)		Travel Length(m)		
		High	Slow	High	Slow	Total
Hoist	Reactor	1.8	0.3	11.3	1.2	12.5
	Rack			2.3	0.6	2.9
Traversing	Reactor	5.0	1.0	0.4	0.6	1
	Rack			2.4	0.6	3.0
Travelling	Reactor	5.0	1.0	10.0	0.6	10.0
	Rack			10.0	0.6	10.0

Description	Speed(m/min)		Travel Length(m)		
	High	Slow	High	Slow	Total
Hoist	1.8	0.3	2.3	0.6	12.5
Traversing	5.0	1.0	2.2	0.6	3.0
Travelling	5.0	1.0	9.4	0.6	10.0



Description	RM Alone	RM with SFHM
Refueling Cycle	46 Min/Fuel Assembly	39 Min/Fuel Assembly
Total Refueling Time (57 Assembly x 2)	43.7 Hour x 2 Time (1day 19.7H x 2 Time)	37.1 Hour x 2 Time (1day 13.1 H x 2 Time)
Equipment	- Refueling M/C	- Refueling M/C - FTS - SFHM
Operator	Min. 1 Man	Min. 2 Man
Design Features	- High Risk. - Complicated Machine	- Low Risk - Proven System

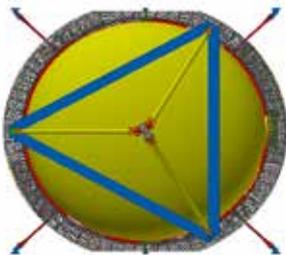
## Containment Pressure & Radioactivity Suppression System (CPRSS)용기

- CPRSS Lid 란
- CPRSS 계통 및 구성 기기
- CPRSS Lid 설치 형상
- General Arrangement (Overall View)
- Structure Analysis
- Seismic Restraint Part
- Sealing Calculation
- Lift Rig
- RDP (케이블 관통부) 설계

17



## CPRSS Lid 란



- CPRSS Lid (격납건물압력및방사능저감계통 덮개)
  - CPRSS 계통을 구성하는 하나의 기기로서, LCA UCA(Lower Containment Area) 와 UCA(Upper Containment Area)의 경계를 이루는 구조물.
  - CPRSS Lid는 원자로 상부 구조물 집합체(RHSA, Reactor Head Structure Assembly) 외부에 설치되는 CAP 방식의 격납구조물로 Refueling Pool 바닥 Flange에 조립되어, 원자로에서 발생하는 온도, 압력이 원자로 건물 내부 (UCA)로 방출되는 것을 방지하는 기능 수행.

18

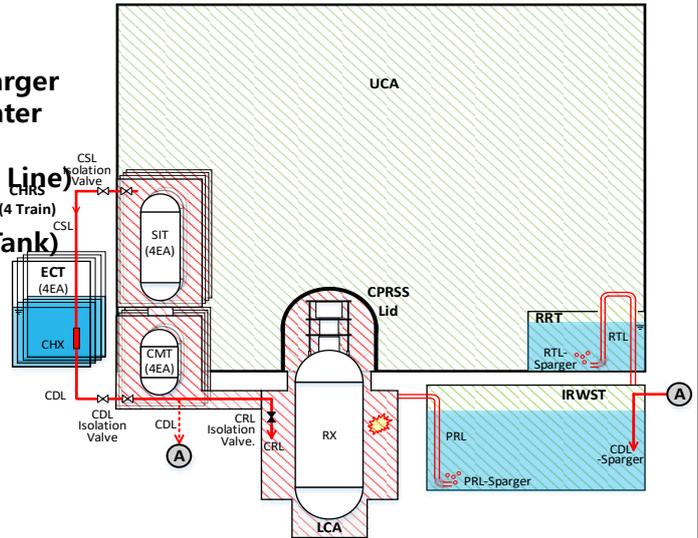


# CPRSS 계통 및 구성 기기

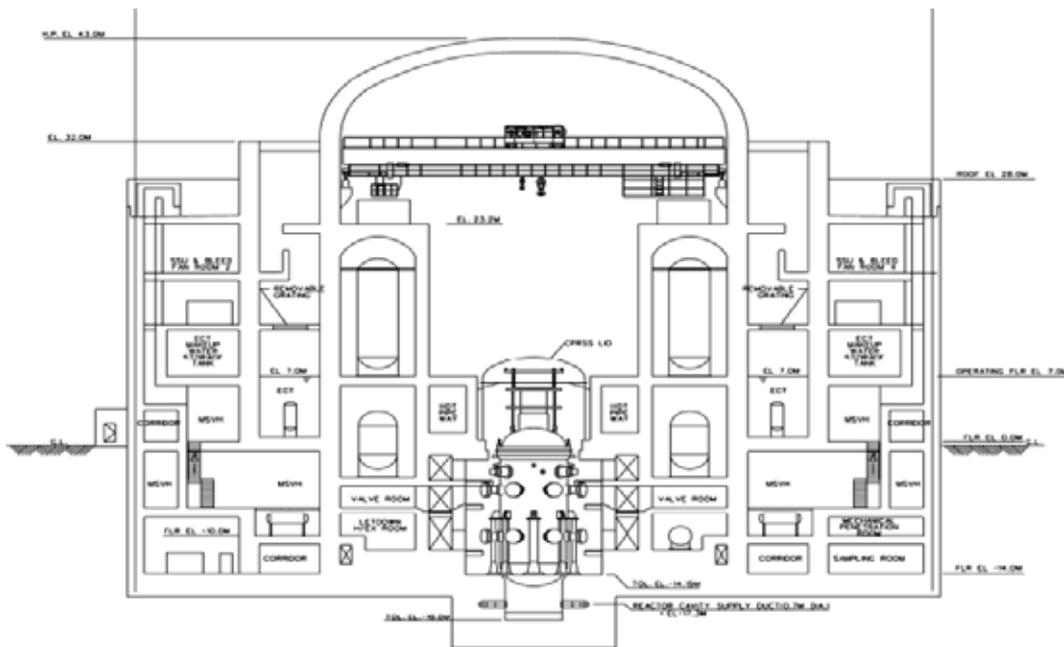
- CPRSS (Containment Pressure & Radioactivity Suppression System) 계통
  - CPRSS 계통은 LOCA(Loss of Coolant Accident) 혹은 MSLB(Main Stem Line Break) 사고가 발생시 LCA(Lower Containment Area) 지역의 증가된 온도와 압력 및 방사능을 낮추는 기능을 수행함.

- 계통구성 기기

- CPRSS Lid
- PRL (Pressure Relief Line) & PRL-Sparger
- IRWST(In-Containment Refueling Water Storage Tank)
- RTL (Radioactive material Transport Line) & RTL-Sparger
- RRT (Radioactive material Removal Tank)
- CHRS (CPRSS Heat Removal System)
  - CHX (CPRSS Heat exchanger)
  - CSL (CPRSS Steam Line)
  - CSL Isolation valve
  - CDL (CPRSS Discharge Line) & CDL-Sparger
  - CDL Isolation valve
  - CRL (CPRSS Return Line)
  - CRL Isolation valve
  - ECT (Emergency Cooledown Tank)



# CPRSS Lid 설치 형상



## General Arrangement (Overall View)



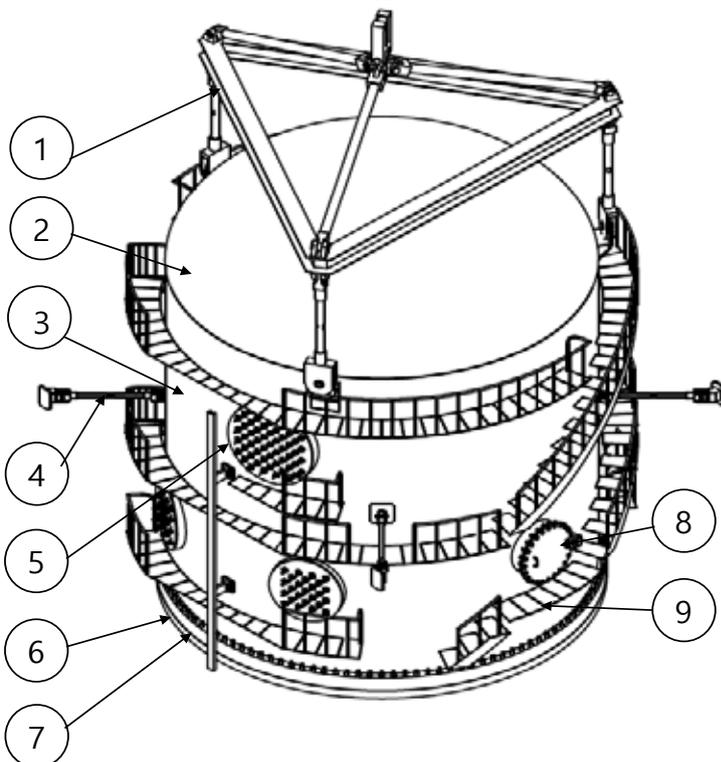
Finite Element of Mode

- 1) Safety Class(안전등급) : 2
- 2) Code Class(기기등급) : MC
- 3) Quality Class(품질등급) : Q
- 4) Seismic Category(지진등급) : I
- 5) Applicable Design Code : KEPIC MNE 2005 with 2006, 2007, 2008, and 2009 Addenda.
- 6) Accident Condition (DBA, Design Basis Accident)
  - 내부 온도 : Max. 230 °C
  - 외부 온도 : Max. 90 °C
  - 내부 압력 : Max. 3.5 bar(a)
  - 외부 압력 : Max. 0.19 bar(a)

21



## General Arrangement (Overall View)



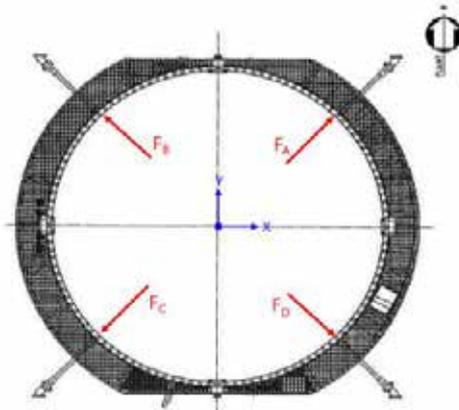
- ① Lifting Rig
- ② Upper Parts
- ③ Lower Parts
- ④ LID Seismic Support
- ⑤ RDP(Refueling Disconnection Panel)
- ⑥ Lower Parts Flange Anchorage including Stud Bolts
- ⑦ Sealing
- ⑧ Manway
- ⑨ Ladder/Platform

22



# Structure Analysis

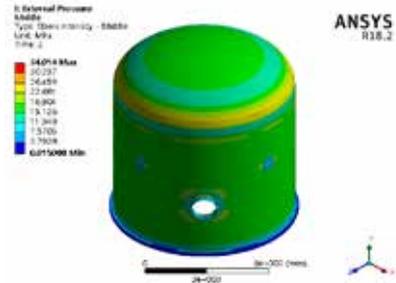
\* SSE loads from RHSA to inner surface of CPRSS lid lower shell



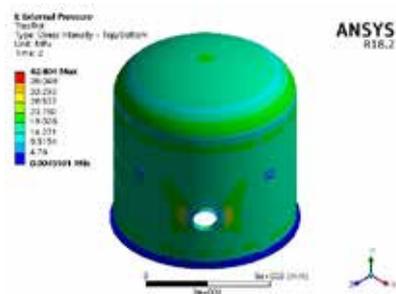
	$F_A$	$F_B$	$F_C$	$F_D$
$F_x$ (N)	$\pm 46,510$	$\pm 43,390$	$\pm 48,630$	$\pm 42,370$
$F_y$ (N)	$\pm 48,900$	$\pm 44,780$	$\pm 51,070$	$\pm 43,680$
$F_z$ (N)	$\pm 29,050$	$\pm 27,260$	$\pm 30,420$	$\pm 26,350$
$M_x$ (N-m)	$\pm 1,469$	$\pm 1,419$	$\pm 1,353$	$\pm 1,291$
$M_y$ (N-m)	$\pm 1,907$	$\pm 2,366$	$\pm 2,085$	$\pm 2,239$
$M_z$ (N-m)	$\pm 3,306$	$\pm 3,630$	$\pm 3,384$	$\pm 3,341$

**NOTE**

1. All the results are based on global Cartesian coordinate system
2. Reactor building design in G/A Rev.00 is adopted for the calculation of interface loads. These loads will be updated as per G/A Rev.01.



Stress Intensity - Middle = 34.014 MPa



Stress Intensity - Top/Bottom = 42.804 MPa

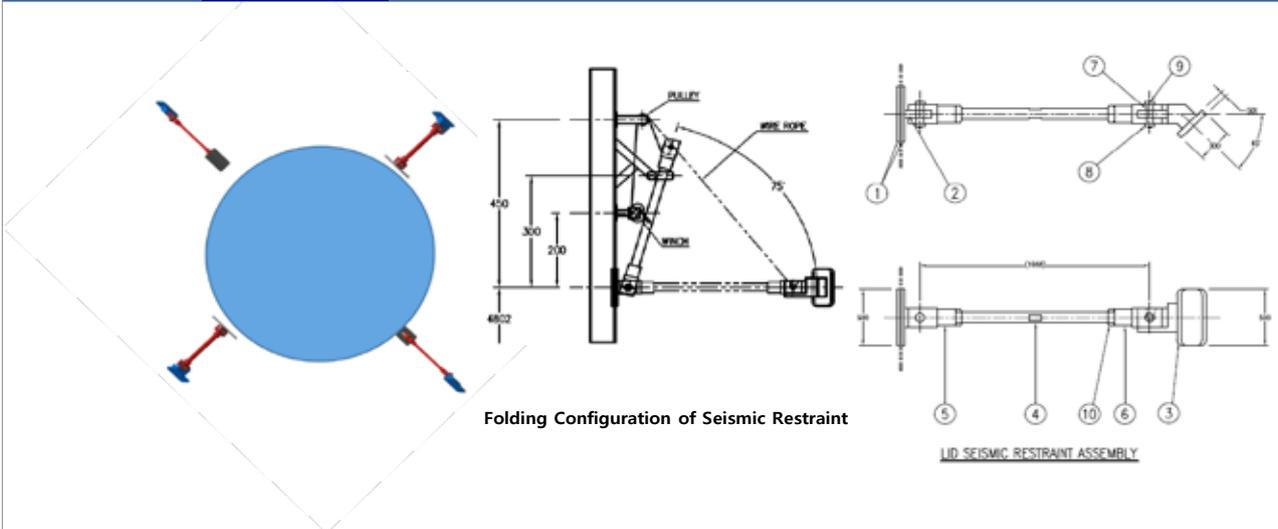


# Structure Analysis

Stress Evaluation at Junction							Unit : MPa		
Case		Descriptions	Node No.	S1	S2	S3	Stress Intensity	Allowable Value	FE Result
Design & Level A	1	$P_m < S_m$	823	113.99	18.556	-10.183	124.18	< 145.8	O.K.
		$P_L < 1.5 \times S_m$	823	102.25	1.24E-08	-50.678	152.92	< 218.7	O.K.
Level B Weight + Design Pressure + Reaction Load + Dynamic loads (OBE) + Design Temperature	8	$P_m < S_m$	823	123.411	18.592	-1.402	128.949	< 145.8	O.K.
		$P_L < 1.5 \times S_m$	823	106.175	1.253	-50.678	159.171	< 218.7	O.K.
	9	$P_m < S_m$	823	123.725	18.599	-1.422	129.283	< 145.8	O.K.
		$P_L < 1.5 \times S_m$	823	106.462	1.321	-50.678	159.698	< 218.7	O.K.
10	$P_m < S_m$	823	123.580	18.596	-1.405	129.121	< 145.8	O.K.	
	$P_L < 1.5 \times S_m$	823	106.343	1.382	-50.678	159.382	< 218.7	O.K.	
Level C Weight + Design Pressure + Reaction Load + Dynamic loads (SSE) + Design Temperature	11	$P_m < S_m$	823	127.912	18.793	-1.671	133.719	< 145.8	O.K.
		$P_L < 1.5 \times S_m$	823	110.101	2.506	-50.678	165.423	< 218.7	O.K.
	12	$P_m < S_m$	823	128.539	18.806	-1.710	134.385	< 145.8	O.K.
		$P_L < 1.5 \times S_m$	823	110.673	2.642	-50.678	166.475	< 218.7	O.K.
	13	$P_m < S_m$	823	128.249	18.801	-1.676	134.061	< 145.8	O.K.
		$P_L < 1.5 \times S_m$	823	110.436	2.764	-50.678	166.475	< 218.7	O.K.



# Lid Seismic Restraint Part

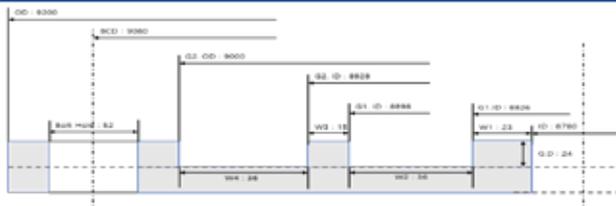


- 1) 8 Pad(①), 4 Pad Bracket(②), 4 Wall Bracket(③), 4 Lod(④), 4 Left Bracket(⑤), Right Bracket(⑥), 8Pin(⑦), 16 Pin Cover(⑧), 16 Hex Bolt(⑨) & Jam Nut(⑩)

2) Material

- ① ~ ③ : MDF A516-70
- ④ : MDF A193-B7
- ⑩ : MDF A194-2H

# Sealing Calculation



Rubber O-ring Design Factor,  $\gamma = 200$  psi, Elastomer 75A (above)

m	1	14.06	First Seal		Second Seal	
$\gamma$ (psi/cm2)	200		ID	OD	ID	OD
Pressure(bar)	3.5		8826	8898	8928	9000

S1_b0	18	1.80	Bolting		inch	cm
S1_b	10.69	1.07	Dia	2	5.08	
S1_G	8876.6	887.66	Hole		5.20	
S2_b0	18	1.80	No		120	
S2_b	10.69	1.07	Material		Temp.	Allow. Stress
S2_G	8978.6	897.86	A193 Gr.B8S		230 °C	132.3 MPa

**Section 1 First Seal (G1 Part)**

S1_WM1	$0.785G^2P^{**}+(2b^*$	2,186,843	kgf	S1_WM1 > S1_WM2
S1_WM2	$3.14*bG\gamma$	41,920	kgf	

**Section 2 Second Seal (G2 Part)**

S2_WM1	$0.785G^2P^{**}+(2b*3.14GmP)$	2,237,146	kgf	S2_WM1 > S2_WM2
S2_WM2	$3.14*bG\gamma$	42,402	kgf	

**Determined the minimum requirement bolt load (S\_WM1)**

S2\_WM1 > S1\_WM2

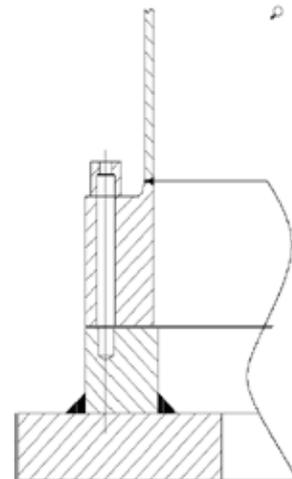
**Calculated Seating Load**

S_WM1		2,237,146	kgf
S_WM1/N	S_WM1/120	18,642.9	kgf
	Unit Convert	182,887	N

**Bolt**

S_allow	$0.7*Sa$	92.6	MPa
Ase	$0.25*\pi*d^2$	2,026.8	mm <sup>2</sup>
S_Allow		187,684.4	N

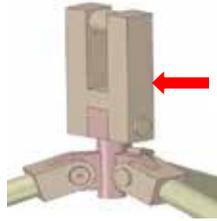
∴ Judgement : S\_WM1/N < S\_Allow = 182,887 < 187,684.4 ... O.K



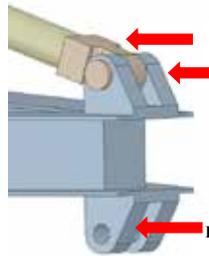
- 2" 4.5 UNC / Length - 475 mm
- MDF A193 Gr.B8S

Stud Bolt & Nut Material & Size

# Lift Rig



Part D



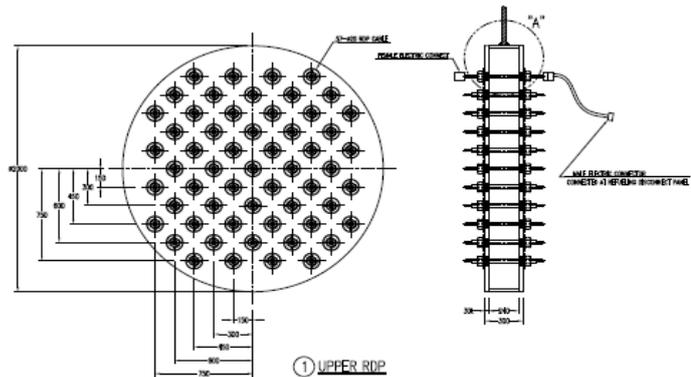
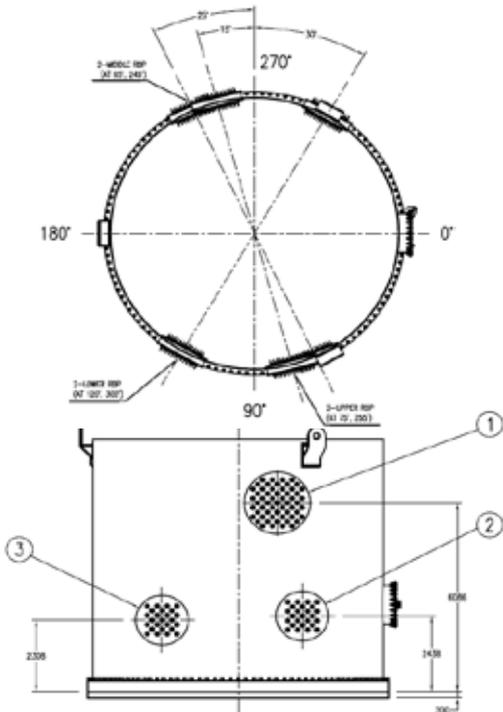
Part C

Part B

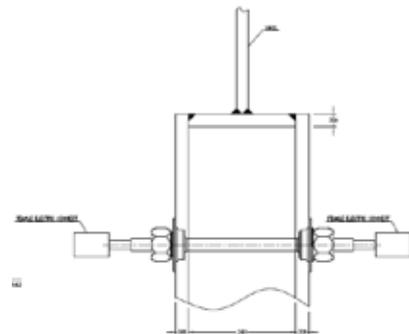
Part A

Part		Allowable Stress (MPa)	Max. Stress (MPa)
Part A	Tensile	157.2	11.1
	Shear	104.8	70.2
Part B	Tensile	157.2	11.1
	Shear	104.8	70.2
Part C	Tensile	157.2	16.0
	Shear	104.8	101.4
Part D	Tensile	157.2	22.1
	Shear	104.8	70.2

# RDP (Refueling Disconnection Panel, 케이블 관통부) 설계



- ① Upper RDP
- ② Middle RDP
- ③ Lower RDP





29

