



# 이투데이 소형모듈원전산업 세미나

세계 원전 개발 동향과 iSMR 성공전략

| 일 시 | 2023년 4월 27일(목) 14:30~17:00

| 장 소 | 대한상공회의소 의원회의실(B2)

| 주 최 | 이투데이  
프리미엄 경제신문

| 후 원 |  산업통상자원부  한국수력원자력주  
Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd.



한국원자력학회  
www.nuclear.or.kr



# 이투데이 소형모듈원전산업 세미나

세계 원전 개발 동향과 iSMR 성공전략



Session\_1

**최광식**

혁신형 SMR기술개발사업단 사업운영실장



# 혁신형 소형모듈원자로(i-SMR) 기술현황과 발전방향

2023.04.27

혁신형 소형모듈원자로 기술개발사업단





# CONTENTS



01 소형 모듈 원자로(SMR) 개요

02 i-SMR 사업추진 경과

03 i-SMR 기술개발 계획

04 i-SMR 설계특성

05 i-SMR 산업 생태계



# 01 소형 모듈 원자로 (SMR) 개요

## • SMR(Small Modular Reactor) 정의

원자로 모듈의 공장 생산이 가능한 전기 출력 300 MWe 이하의 원자로

### SMR 장점

#### 안전성

- 소형 원자로 고유의 안전성
- 사고 대응에 효과적
- 방사선 영향 저감

#### 투자용이성

- 초기 재원조달 경감
- 주요기기 공장제작/ 모듈화
- 건설 지연 리스크 저감

#### 유연성

- 소규모 전력망을 위한 발전원
- 신재생 간헐성 보완
- 다양한 활용 담수/열/수소

### 시장

146조원/년 '30년 ~ '40년

#### 석탄 화력 발전 대체

On-grid

#### 국제 시장 규모

100조원 이상

#### 중공업 증기 공급

Off-grid

#### 시장 규모

12조원

#### 경쟁 전력원

천연가스

#### 경쟁 전력원

천연가스

#### 오지

Off-grid

#### 시장 규모

30조원

#### 광산

Off-grid

#### 시장 규모

3.5조원

#### 경쟁 전력원

디젤

#### 경쟁 전력원

디젤

※ 참조

- 13th INPRO Dialogue Forum
- "Small Modular Reactors Update on International Technology Development Activities"
- OECD NEA 2021, "Small Modular Reactors: Challenges and Opportunities"

한국, 미국, 러시아, 중국 등에서 80종 이상 개발 중



## 02 i-SMR 사업추진 경과

'19.6~

### 산학연 공동 SMR 개발방안 협의

'21.4~

### 혁신형 SMR 국회 포럼

- 총 3회 개최, 의원 20명 참여
- 1차 SMR 필요성 및 개발 방향
- 2차 개발 전략 및 수출환경 조성
- 3차 세계 SMR 개발 이슈 및 성공 전략
- 재원(정부 예타) 및 제도 개선 지원 협의



'21~

### 혁신형 SMR 기본 설계 수행

기간: '21년 ~ '23년 3년

한수원/원자력연구원 등 참여

'23.2~

### i-SMR 기술개발 사업단 설립

- 정부 예비타당성 조사 통과

기간: '23년 ~ '28년 6년

예산: 3,992억원

- i-SMR 기술개발사업단 설립

• 사업단 법인 설립: '23.2.6

• i-SMR 과제 착수: '23.5 (예정)

• i-SMR 사업단 출범식: '23.5 (예정)



### 03 i-SMR 기술개발 계획 (1/2)

#### 혁신형 소형모듈원자로(i-SMR) 개발 기본방향

#### 기대효과



##### 안전성

- 전기 및 조작이 필요 없는 피동 안전계통 도입
- 중대사고 발생가능성 실질적 배제
- 사고에 대한 저항성 획기적 증대



- 대형원전보다 **안전성 1,000배 향상**
- **주민대피 불필요**



##### 경제성

- 일체형원자로 모듈의 공장제작
- 계통 공유 및 단순화
- 첨단 기술을 적용한 운영(운전/유지보수)



- **모듈화를 통한 건설비 절감**
- **4차 산업혁명기술 적용을 통한 운영비 절감**
- 대형원전 수준의 경제성 확보



##### 유연성

- 탄력운전 능력 극대화
- 다용도 활용이 가능하도록 설계 및 검증



- 재생에너지 **간헐성 보완**
- 수소 생산 등 **다목적 활용**



##### 산업계

2021

2022

2023

2024

2025

2026

2027

2028

기본 설계



##### 정부과제

예타 심사

표준 설계

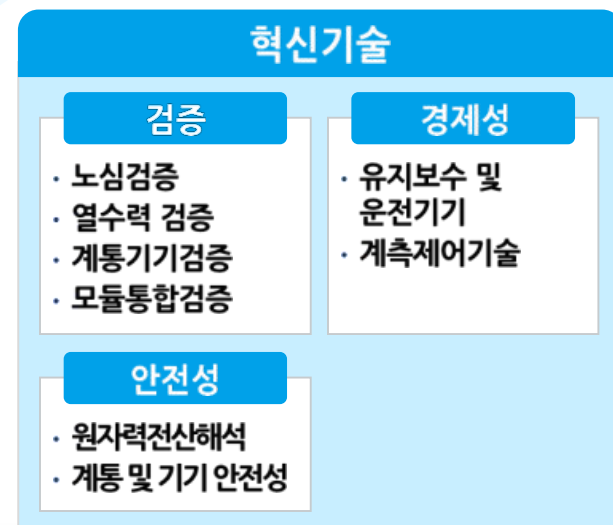
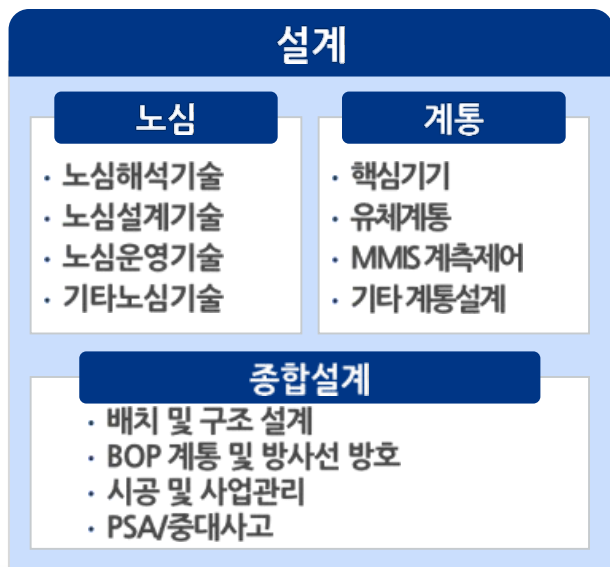
인허가

혁신기술 (개발 / 제조 / 검증)



## 03 i-SMR 기술개발 계획 (2/2)

혁신형 소형모듈원자로 개발의 **주분야**를 설계, 혁신기술, 제조기술의 **3개 내역사업**으로 구성, 내역사업별 **중점분야** 및 세부과제를 구성





## 혁신형 SMR 설계 특성

일체형  
원자로

- 위험적인 냉각재 유출 사고 원천적 배제
- 사고 대응에 효과적
- 공장생산 및 현장조립 최적화

피동형  
안전계통

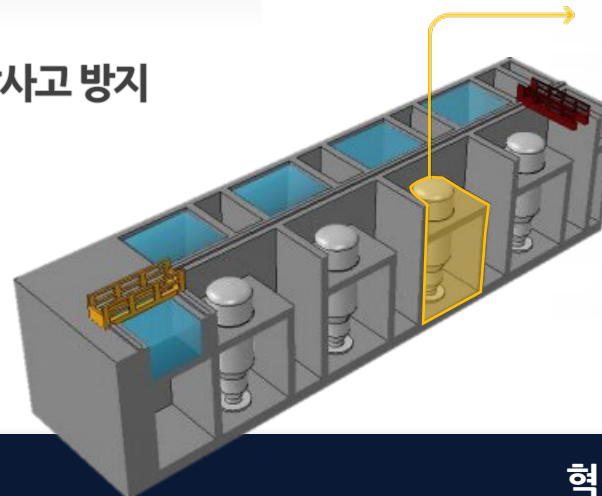
- 전력 및 운전원 조작이 필요 없는 피동 안전계통
- 단순화로 공장요소 및 정비수요 저감
- 현재 대비 사고 가능성 1/100 이하

무봉산  
운전

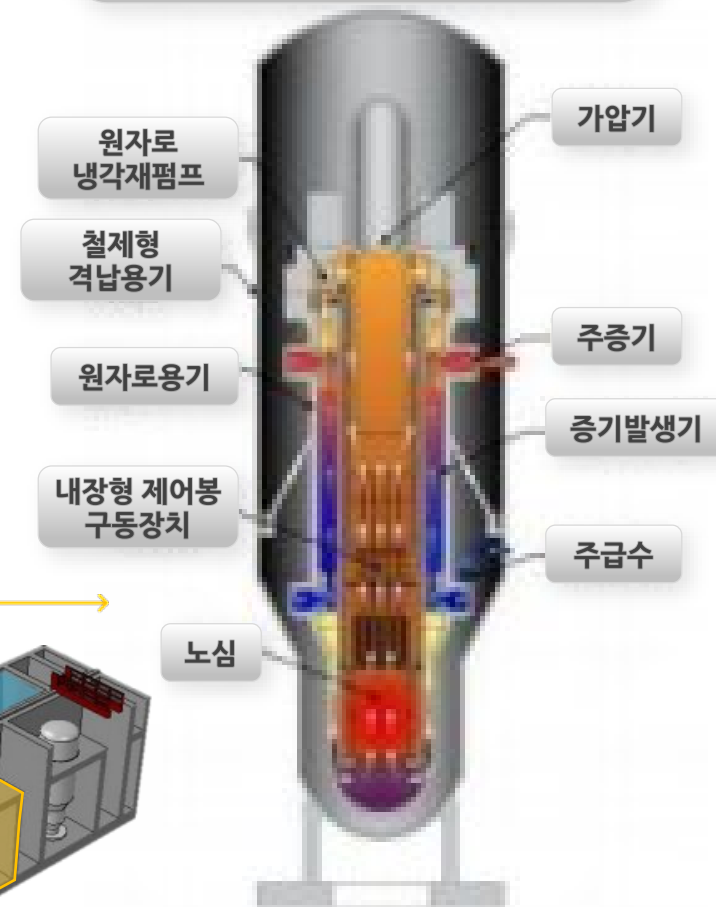
- 액체 폐기물 발생량 저감
- 장기적인 피동냉각 가능
- 내장형 제어봉 구동장치로 이탈사고 방지

복수  
모듈  
배치

- 통합 주제어실
- 대형 기기 및 계통 공유
- 운영 인력 저감



## 원자로 및 격납용기 설계

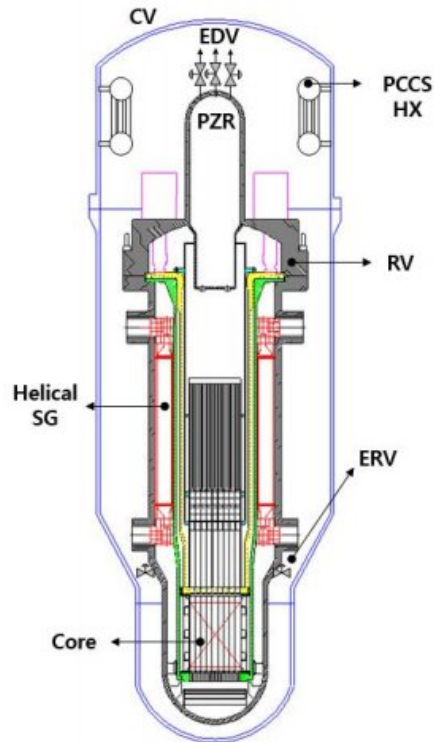




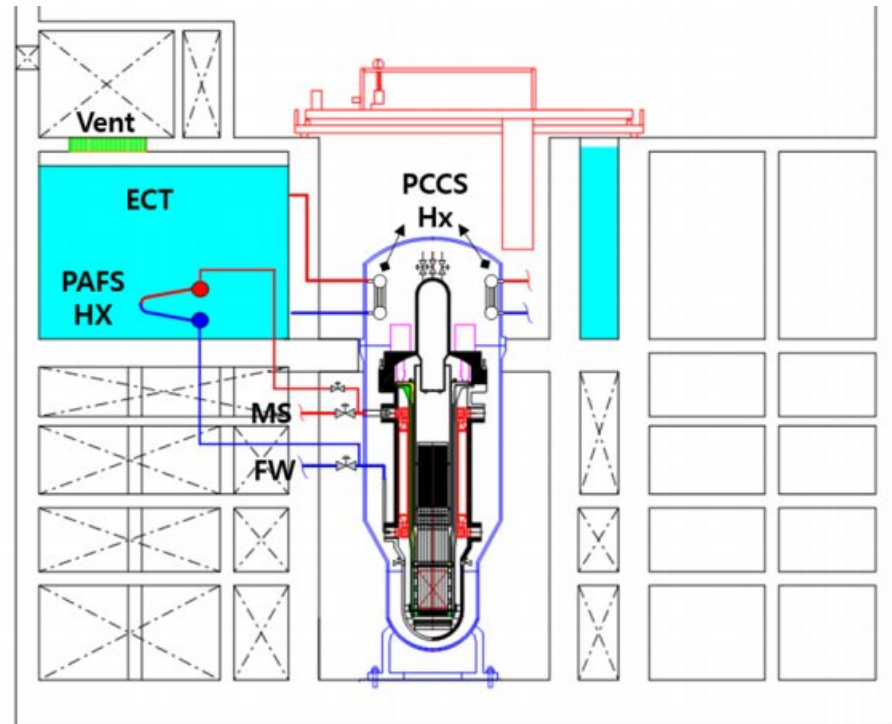
## 안전계통 설계

\* ERV: Emergency Recirculation Valve  
EDV: Emergency Depressurization Valve  
ECT: Emergency Cooling Tank

- 안전급 AC/DC 전원이 없이 완전 피동형 안전계통
  - 피동 비상노심냉각계통 (ERV, EDV), 피동 격납용기 냉각계통(PCCS), 피동 보조급수계통(PAFS)



ECCS and PCCS in CV



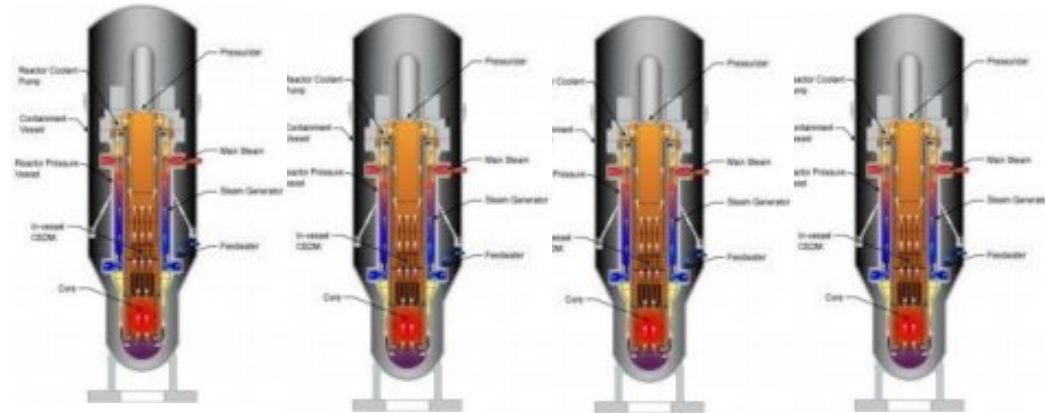
Configuration of passive safety system in reactor building



## 기존 대형 원전



## SMR



## 기자재 물량

- 1기 건설시 대형 능동기기, 대용량 밸브가 소량 필요

예) 가압기 안전밸브 = 호기당 4대

- 대형, 대용량 기기 → **소형화**
- 운전성/안전성 확보에 필요한 밸브 등 **핵심 기자재 수량 증가**

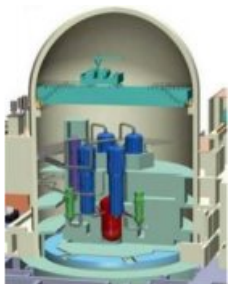
예) 가압기 안전밸브 = 모듈당 2대 → 4개 모듈 건설시 8대 필요

4개 모듈 건설시 48,000개 이상의 밸브, 1,200개 이상의 기계부품 등 제조물량 예상되어  
소재 및 기자재산업 역량을 활용한 SMR 기자재 공급망 구축 필요



# 05 i-SMR 산업 생태계 (2/3)

## 기존 대형 원전



### 격납용기 변경

- 대형 콘크리트 구조의 격납용기

### 혁신제작기술

- 잠호용접 방식으로 많은 작업시간 소요
- 주조/단조/가공/용접 등 다수의 제작공정 필요

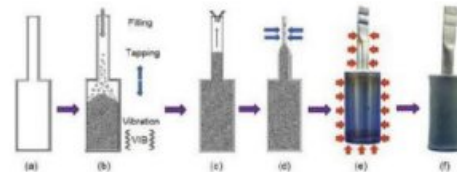
### 전자빔용접 (EBW)



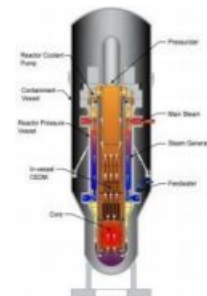
### 다이오드 레이저클래딩 (DLC)



### PM-HIP



## SMR



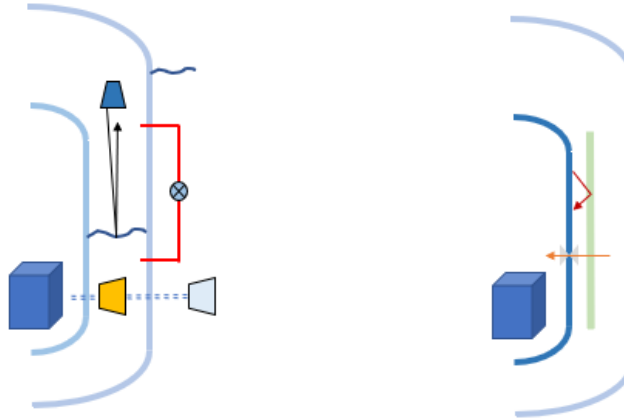
- **저합금강(SA508) 철제형 격납용기**
- 격납용기 제작기간/비용이 SMR 경제성에 영향이 큼

- **전자빔용접 기술** 적용으로 제작시간 획기적 단축 필요
- 다이오드레이저를 통한 **클래딩 자동용접** 기술 적용
- **PM-HIP 기술적용**으로 복잡형상 제작 가공공정이 최소화

혁신형 SMR 경제성 확보를 위해 혁신제조기술 적용이 필수적이므로, 소재가공, 제작기술 분야에서도 신규 제조기술 도입, 자체기술 확보 노력이 필요



## SMR용 계측기



## 운전 환경조건

- 정상운전조건에서도 고온 환경 노출(~200C)
- 사고조건시 기존 원전 대비 고압(~5MPa)
- 설치 및 유지보수 공간이 매우 협소

## 필요 계측기

- Radar 방식의 수위 측정
- 노외중성자속 계측을 격납용기 외부에서 측정 필요
- 초음파 등 비차압식 RCP 유량 계측
- 전송기 등 고온 환경에 민감한 부품은 격납용기 외 배치 필요

새로운 계측기기 개발이 필요하고, 고온/고압 조건에서의 계측기기 건전성 및 생존성 확인을 위한 기기검증 수요가 대폭 증가될 것으로 예상되어 SMR용 기기검증 시스템 확충 필요



경청해 주셔서  
감사합니다.



I-SMR



# 이투데이 소형모듈원전산업 세미나

세계 원전 개발 동향과 iSMR 성공전략



Session\_2

**심형진**

서울대학교 원자핵공학과 교수



이투데이  
소형모듈원전산업 세미나

세계 원전 개발 동향과  
iSMR 개발 동향



## Session 2: SMR 선도체제 구축을 위한 과제와 전망

2023년 4월 27일  
대한상공회의소 의원회의실

심형진  
서울대학교 원자핵공학과

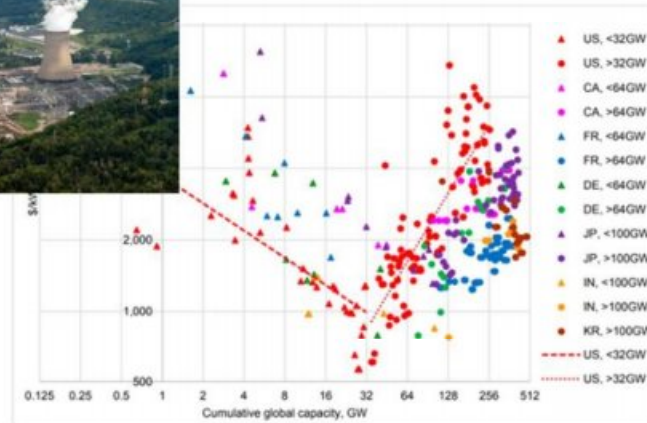
박상길  
법무법인(유한) 공장



# 세계 원전시장 재편의 중심에 선 민간 SMR 스타트업들



국가 별 원전 건설비용 변화 추이



미국 내 원전 스타트업 위치



Westinghouse

ABB





# 왜 한국 기업들은 우리나라 SMR 개발에 투자하지 않는가?



국내 차세대 SMR 스타트업 수 = **0 개**



공공기관 중심의 원자로 개발 체계



민간 원자로 개발을 위한 장기간 고비용 투자 요구

## 두산에너지빌리티, 美 엑스-에너지에 핵심 기자재 공급

2023. 1. 18. — 두산에너지빌리티는 미국의 4세대 고온가스로 **SMR** 개발사인 엑스-에너지와 지분 투자를 포함해 핵심 기자재 공급을 위한 협약을 체결했다고 18일 밝혔다.

## 현대건설, 미국 홀텍社 소형 모듈 원자로 글로벌 독점권 확보

2021. 11. 24. — 현대건설이 지난 22일(현지시간) 원자력 사업 분야 선도 기업인 미국 홀텍 인터내셔널社(Holtec International)와 **소형 모듈 원자로** 개발 및 사업 동반 ...

## 빌 게이츠와 SMR 동맹...SK 3200억원 투자 | 한경닷컴 - 한국경제

2022. 8. 15. — SK그룹이 마이크로소프트(MS) 창업자인 빌 게이츠가 설립한 미국 소형모듈원자로(**SMR**)기업 테라파워에 3200억원을 투자한다. 탄소를 배출하지 않는 차세대 ...

## SMR 뉴스케일파워, 글로벌 수주 확대...“두산에너지빌리티 SMR ...

2022. 9. 12. — 미국 소형모듈원전(**SMR**) 기업 뉴스케일파워가 최근 전 세계 수주를 늘리면서 핵심 사업 파트너인 두산에너지빌리티(034020)도 만반의 준비를 하고 있다.

## 한국 GS Energy社 북미 지사, NuScale社 SMR 기술 투자

[미국] 한국 **GS Energy社** 북미 지사, NuScale社 SMR 기술 투자 발표. ○ 6월 30일, NuScale社의 Diane Hughes 마케팅 커뮤니케이션 부사장은 한국 **GS Energy社** 북미 ...

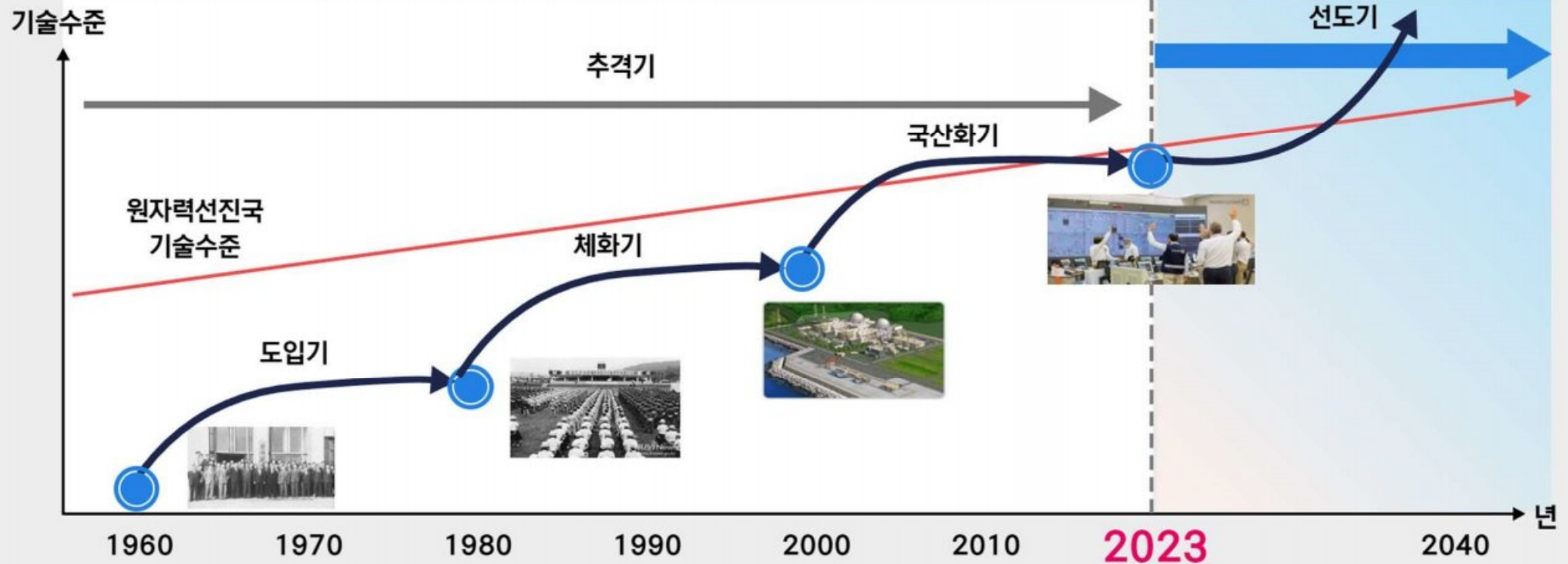


## 지금 우리는? - 빠른 추격자 체제에서 선도기 체제로 재편해야

“혁신적 리더로 발돋움 하기 위해서는  
패러다임의 전환 필요”

선택과 집중 체제  
공공기관 중심 개발  
전문분야 특성화 교육

창의와 경쟁 체제  
민간 중심 개발  
시스템 종합 교육





## 원자력 선도체제 구축을 위한 비전과 과제



경쟁기반 원자력 생태계 혁신을 통한  
원자력 신성장동력 창출과 탈탄소 에너지 사회 구현



1. 혁신형 SMR 개발 성공 및 세계 SMR 시장 경쟁력 조기 확보
2. 원자력 연구개발, 설계에서 실증으로 - 문무대왕과학연구소 조성사업 성공
3. 원자력 창의/선도형 인력 양성 체계 구축
4. 민간주도 SMR 산업체계 구축
5. 서비스형 원자력 규제체계 구축



# 과제1: 혁신형 SMR 성공 전략

## 경제성 목표:

건설비 =< 4000 USD/kWe

건설공기(F/C~F/L) =< 24개월

## 안전성 목표:

노심손상빈도 =<  $1.0 \times 10^{-9}$  /MY

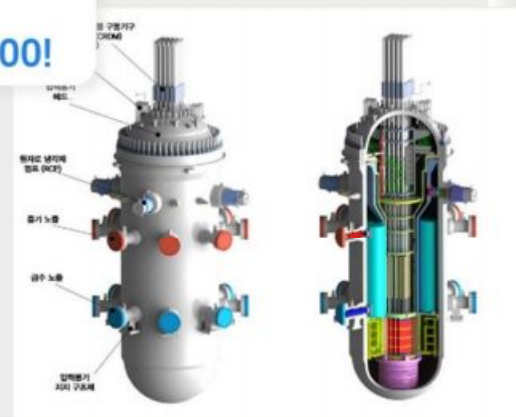
## 탄력성 목표:

LNG 발전소와 동일한 수준



산업계의 기술력

iSMR의 경쟁상대는  
NuScale이 아닌 APR1400!



연구계의 기술력

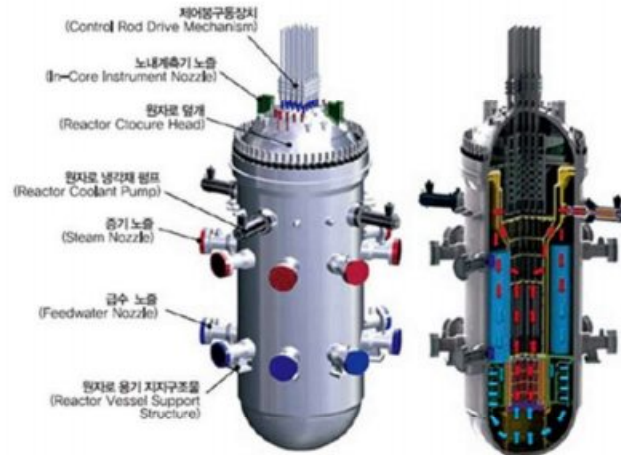


## Team Korea





## 과제 2: 원자력 연구개발, 설계에서 실증으로 - 종이 원자로 문제



'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

➡ 만약 2010년대 국내에 SMART 실증로가 건설되었다면,  
현재 세계 SMR 시장 판도는 어떻게 되어있을까?

➡ 국내에서 오랜기간 개발되었던 소듐냉각고속로,  
초고온가스로 등은 결국 종이 원자로?



? ? 결국은 부지 문제?



## 과제 2: 원자력 연구개발, 설계에서 실증으로 - 문무대왕과학연구소

사업명

혁신원자력연구개발 기반조성사업

사업목표

혁신 원자력 기술 연구-실증-산업화R&D 수행을 통한  
미래 원자력 신산업 창출과 국가발전 기여

사업기간

2020년~2025년 (국비 2021년~2025년)

사업비

국비 3,224억원, 지방비 1,420억원

사업부피

총 2,200,000㎡

경북 경주시 감포읍 나정리 및 대본리 일원



1단계 사업 영역



문무대왕과학연구소에서만 가능합니다!

세계수준 기술 (확보 완료)

세계 최고 수준의  
중소형 원자로 기술  
2012년, SMART 원자로  
일체형 원전 세계 첫 설계인증 획득

개발 및 실증

소형 원자로  
실험 및 실증을 통해  
경쟁국 대비 우위 확보

상용화 기술 확보

(초)소형 원자로  
상용화 기술  
조기 확보

新시장 창출

해상 원전, 극지, 선박,  
해수담수화,  
공정열 공급 등 활용

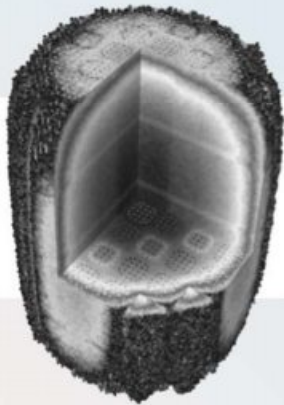
수소 생산,  
우주 탐사 등에 활용



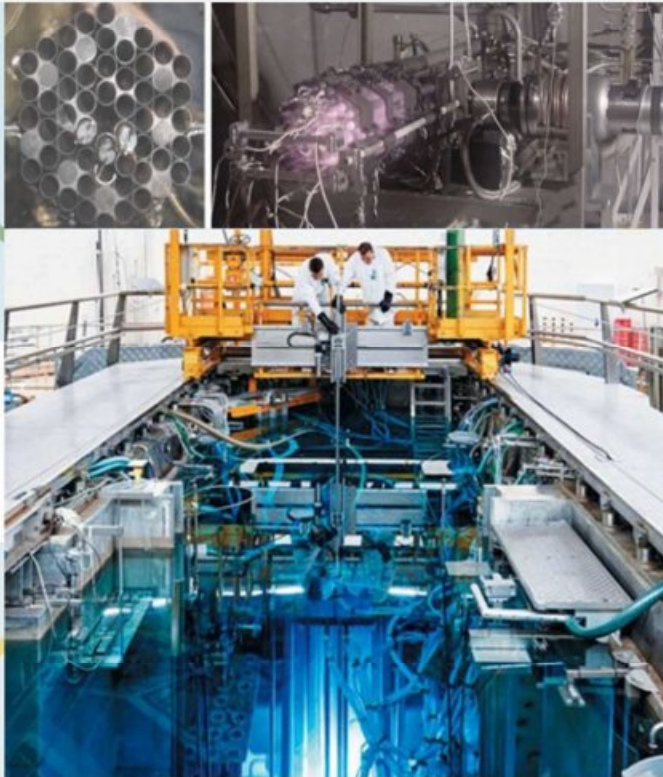
## 과제 2: 원자력 연구개발, 설계에서 실증으로 - 실증플랫폼 구축

혁신 원자로 테스트베드 (Testbed) 제공, 글로벌 실증 수요 흡수: 미래 원자로 기술개발 가속화의 핵심

혁신 원자로 수



Proof of Concept



Proof of Performances

기술 확산도



Proof of Operations

시험/실증 플랫폼



# 과제 3: 원자력 창의/선도형 인력양성체계 구축

## 오리건 주립대학의 원자력공학과와의 거대실험 시설



## 일본의 연구용원자로 현황

Operational & Temporary shutdown	8
Permanent shutdown & Decommissioning	13

NCA	Toshiba
TTR	Toshiba
TRIGA-II	Tokyo City U
HTR	Hitachi

UTR-KINKI	Kindai U
KUCA	Kyoto U
KUR	Kyoto U



Yayoi	U Tokyo
TRACY	JAEA
TRACY	JAEA
NSRR	JAEA
JRR-3	JAEA
JRR-4	JAEA
FCA	JAEA
TCA	JAEA
JRR-2	JAEA

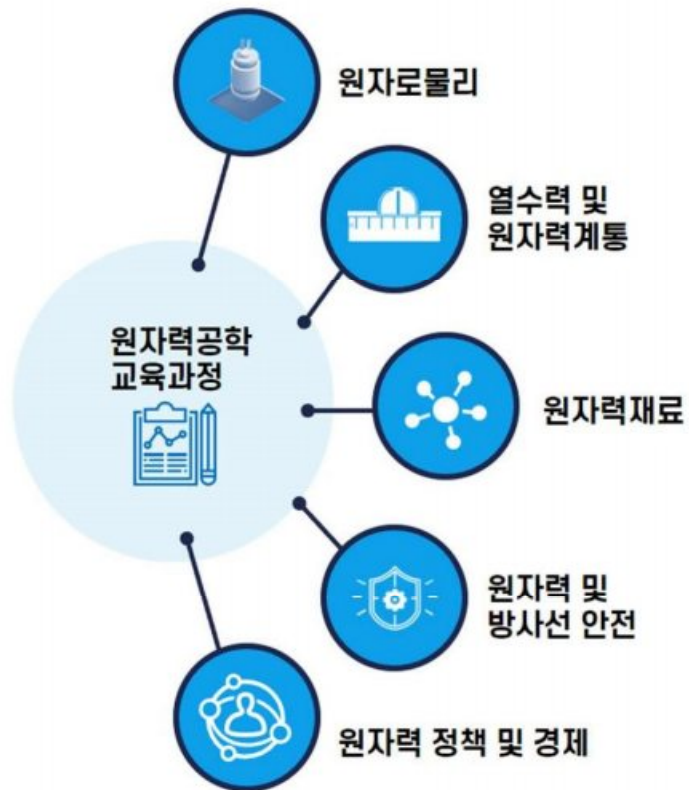
JMTR	JAEA
HTTR	JAEA
JOYO	JAEA
DCA	JAEA



### 과제 3: 원자력 창의/선도형 인력양성체계 구축 - 원자력공동캠퍼스 구상

원자력시스템 분야별 전문가

## 최고급 선도 인력 양성



**시스템  
종합설계 교육**



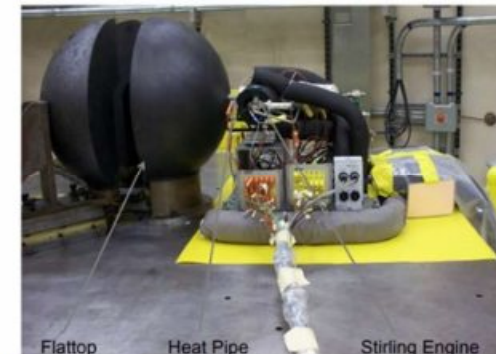
**실험/실습  
교육**



4차산업혁명  
기술교육



문무대왕과학연구소 연계 원자력공동캠퍼스



**DUFF** (Demonstration Using Flattop Fissions, 2012)



## 과제 4: 민간주도 SMR 산업체계 구축 - ① OEM 사업방식 대응체계 구축



사업주: UAMPS  
(48개 지역전력사 참여)



Project Company



기술 제공: 뉴스케일



EPC 사업자(뉴스케일 대주주)



O&M 사업자

현재 대부분 SMR 개발사들은 투자유치를 통해 노형 설계 기술 개발만 적극적으로 주도하고, 제조/건설/운영은 참여하지 않거나 혹은 소극적으로만 참여하는 OEM 방식의 사업 전략 채택

- ➡ 원자로 분야의 OEM 사업은, 기존에 원전 운영경험 및 전문인력과 건전한 기기공급망이 확보된 국가에 제조/건설/운영을 맡기는 것이 효과적이며, 따라서 한국이 최적의 파트너가 될 수 있음.
- ➡ 따라서, SMR 중심의 세계 원전산업 재편은 우리나라 원전 산업계에 신성장동력이 될 수 있음.
- ➡ 'SMR 국가산단'을 통해 우리 기업의 SMR OEM 시장의 독점적 지위 확보를 기대



## 과제 4: 민간주도 SMR 산업체계 구축 - ② 혁신형 SMR 사업화 추진 제안

### (혁신형 SMR vs UK-SMR 개발 체제 비교)

혁신형 SMR 개발은 기본적으로 정부와 한수원이 주도하는 SMR 개발 사업인 반면, UK-SMR 개발 사업은 영국 정부의 대규모 자금 지원이 전제되고 있지만, 개발 사업 주체는 초기에는 다양한 민간 기업이 참여하는 민간 컨소시엄(UK SMR Consortium)이었고, 프로젝트가 진행 되면서는 컨소시엄 형태에서 Rolls-Royce가 주도하는 민간 법인(Rolls-Royce SMR Ltd.)으로 전환되었음.

- ➡ 민간 기업의 참여는 프로젝트 참여 주체의 다양화에 도움이 될 수 있으나 추진 동력의 분산을 가져올 수 있다는 우려가 있으나, 혁신형 SMR의 경우 한수원의 리더십이 확고하므로, **민간 기업과의 협력을 통해 혁신형 SMR의 사업화 성공 가능성을 증대하는 효과**를 기대할 수 있음.
- ➡ 혁신형 SMR 사업의 경우 기술개발사업단은 기술개발에 전념토록 하되, 이를 **사업화하는 부분은 이를 목적으로 하는 특수목적법인(SPC)를 설립하여 민간 기업이 주요주주로 참여하도록 하는 방안을 고려해 볼 수 있겠음.**



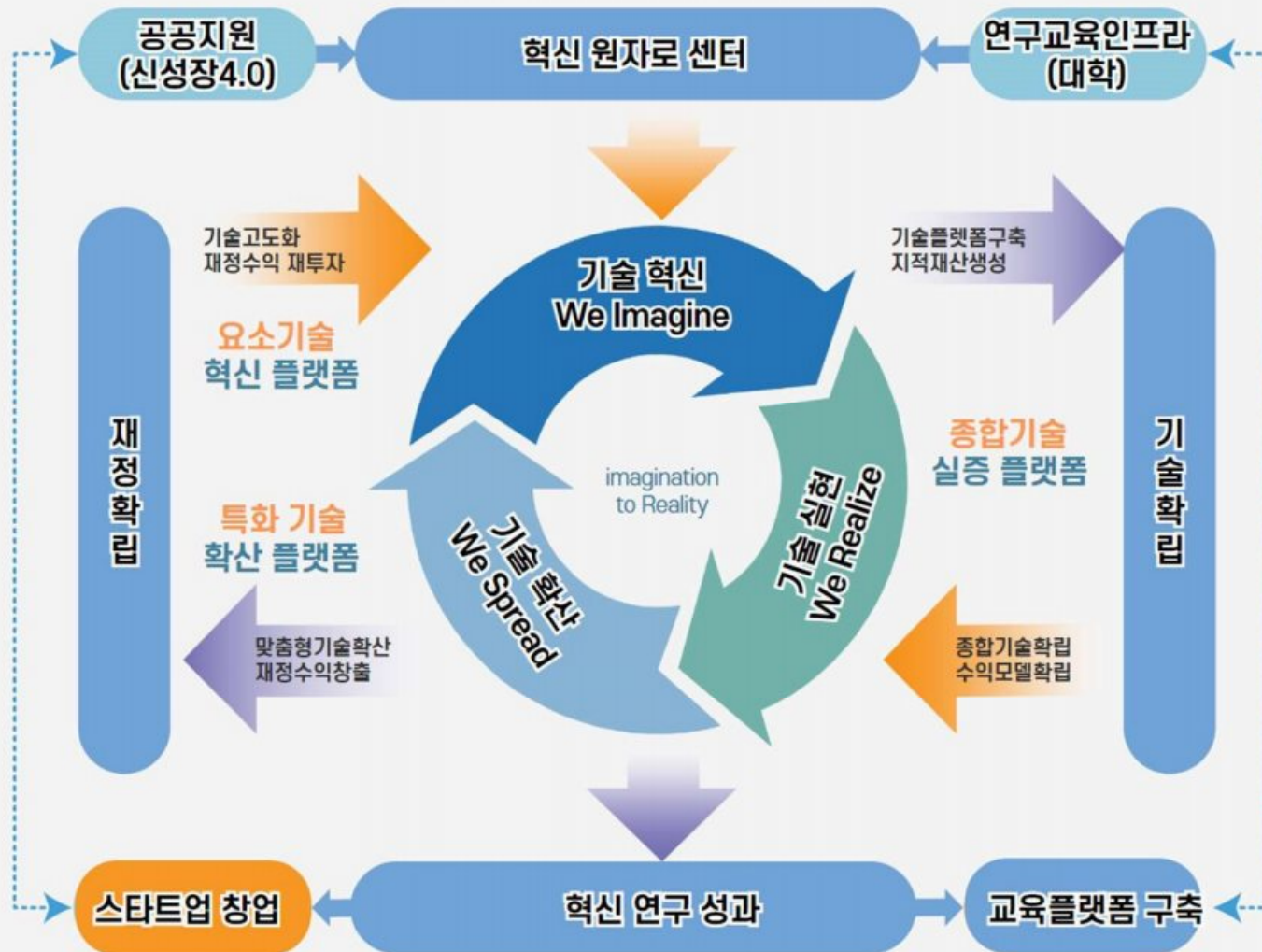
## 과제 4: 민간주도 SMR 산업체계 구축 - ③ 특별법 발의

- 중소형원자로 기술개발 및 기반조성 지원에 관한 법률안(최형두의원 등 11인)
- 선진소형원자로 경쟁력 강화 및 상용화 촉진에 관한 법률안(김영식의원 등 22인)

- ➡ SMR 관련 두 개의 법안이 2022년 11월에 발의되었는데, 두 법안은 주무부처를 각각 산업부와 과기정통부로 두고 있는 것 이외에 **기금 조성의 주된 재원은 한수원이 부담하는 것으로 하고, 재원을 통해 민간이 개발할 SMR 기술도 한수원이 공동 소유 및 활용**할 수 있는 측면에서 상당히 유사한 특성을 지님.
- ➡ 두 발의 법안에 따라 한수원에서 민간이 개발한 SMR 기술의 공동소유 및 활용까지 할 수 있는 것으로 해석될 수 있어, **SMR 개발에 직접 투자를 통해 민간 기업이 노형 차별화 전략을 추진하는 경우, 최적의 협업모델 도출을 통한 이해충돌의 소지를 사전에 차단해야 할 것임.**



## 과제 4: 민간주도 SMR 산업체계 구축 - ④ 대학중심 원자로개발 체계 구축



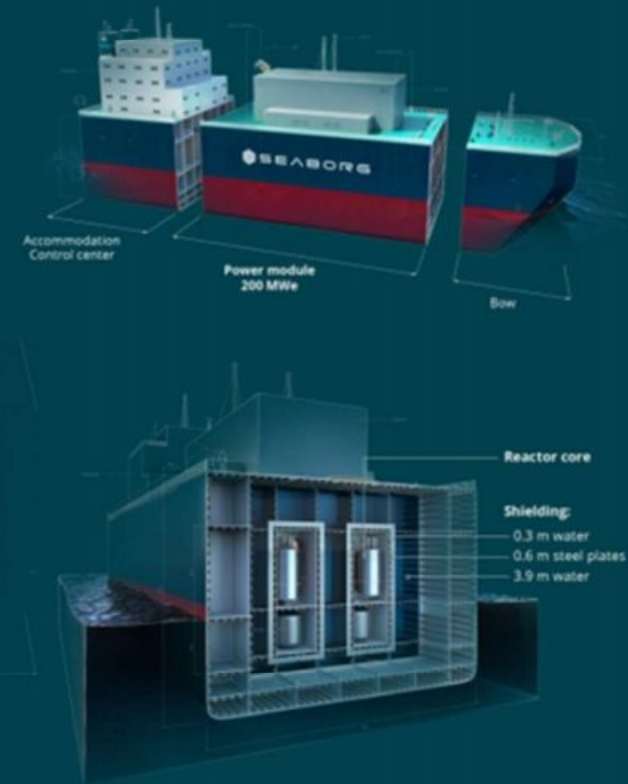
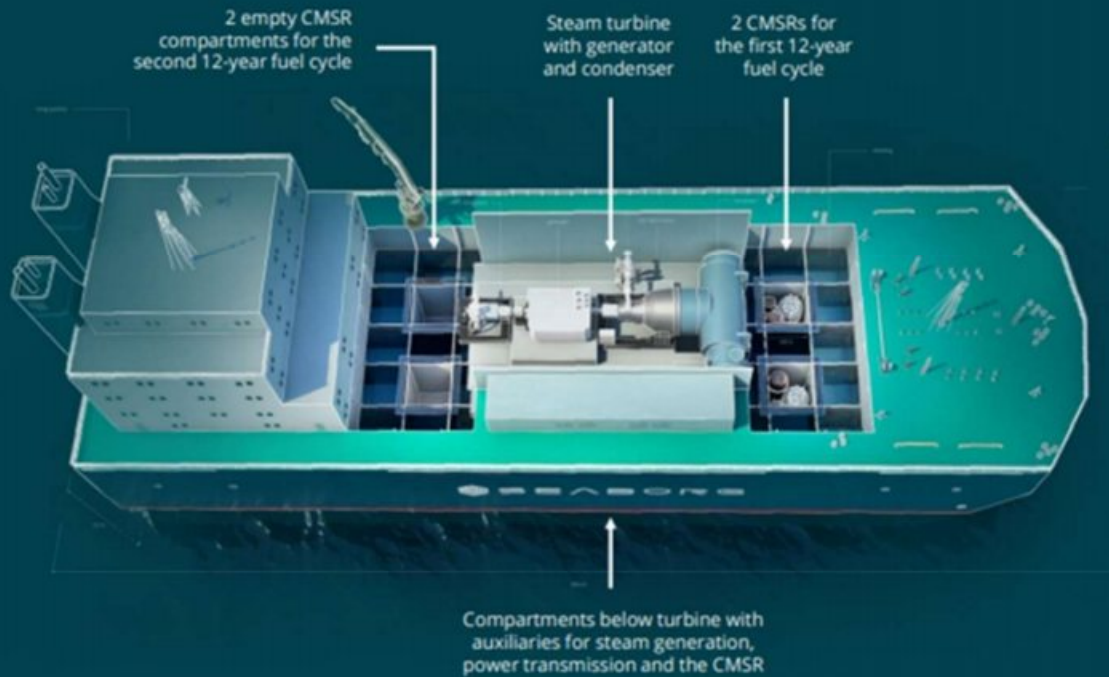


## 과제 5: 서비스형 원자력 규제체계 구축 - 규제 서비스?

SEABORG

### MODULAR CMSR POWER BARGE

24 years operational life time



세계최고 선박제작능력 + 세계최고 원전 제작/건설/운영 능력  
+ 세계최고 원자력 안전규제 능력(?)



## 과제 5: 서비스형 원자력 규제체계 구축 - 규제 불확실성





## 과제 5: 규제기관의 선제적 대응기반 확보 노력

2023년 원자력안전위원회 업무보고

나라를 단단하게 국민을 든든하게

### 과학을 바탕으로 국민이 신뢰하는 원자력 안전

#### 7대 핵심 추진 과제

##### 1 인허가 과정 안전성 확인 철저

정부의 원자력정책이 국민의 안전을 전제로 추진될 수 있도록 안전성을 철저히 확인

##### 2 SMR 안전성 확인 체계 선제적 마련

표준설계인가 신청('26년 예상) 전 인허가 체계 마련

##### 3 안전관리체계 재정립

의사결정 체계 합리화, 안전성 확인 과정의 절차화 추진

##### 4 투명한 정보공개

원자력 안전 관련 정보의 적극적 공개 및 정보제공플랫폼 구축

##### 5 방사선 위험 안전망 확보

후쿠시마 오염수 방류 대비, 인접국 원전사고 위험 대비, 직업상 피폭근로자 건강권 보호

##### 6 국가별 맞춤형 규제 지원

체코, 폴란드 등 국가별 맞춤형 규제 지원

##### 7 미래 대비 인프라 확충

사용후핵연료 안전성 확인, 기후변화·드론 위협 철저 대비



소형모듈원자로(SMR)의 안전성 확인 체계를 선제적으로 마련하여 **국가적 추진 사업의 불확실성을 해소**

“2023년부터 국가 프로젝트로 진행되는 혁신형 SMR개발이 안전하고 효율적으로 추진될 수 있도록 ①설계시 고려해야 할 안전목표 요건 등을 우선적으로 제시하고, ②개발자와의 소통을 통해 안전현안을 설계단계부터 사전 검토하는 시스템을 운영하며, ③개발자들이 표준설계인가를 신청(2026년 예상)하기 전까지 기술기준을 마련할 계획이다.”

- (방향제시) i-SMR, 비경수형 원전 등 신규 노형에 대한 안전성 확인 기본방향과 원칙 선제 제시로 안전하고 효율적인 개발 기반 마련('23.상)

➡ i-SMR 개발 일정을 감안, 설계시 고려해야 할 안전목표·요건 등을 우선적으로 제시하고, **비경수형 원자로 등에 대해서도 순차 제시**

- (SMART 100) 한-사우디가 공동으로 신청한 SMART 100(110MWe)의 표준설계인가 안전성 심사 완료('23.상) 후 원안위 상정 예정('23.하)  
※ 해외 수출 지원을 위해 SMART 100의 영문심사보고서 작성·제공



## 결언

- 2050년 탄소중립달성을 위해서는 전원섹터에서, 기존 원자력/화석연료 중심에서 원자력/신재생/수소터빈 발전원 중심으로의 패러다임 전환이 요구됨.
- 미국과 프랑스의 신규 대형원전 사업이 위기를 맞고 있는 상황에서, 투자불확실성 해소방안을 제시하고 안전성/탄력성의 경쟁력을 갖춘 SMR이 대안으로 급부상하고 있음.
- 지난 60여년간 우리나라 원자력계는 도입기/체화기/국산화기를 성공적으로 완수하였으며, 이제 선도기로의 체제전환이라는 숙제가 주어짐.
- 우리 원자력계가 세계를 선도하고 초격차를 달성하기 위해서는 다음과 같은 체질개선이 필요함.
  - ✓ 공공기관 중심 원자력 산업체계 → **경쟁기반 민간중심 원자력 산업체계**
  - ✓ 설계 중심 → **실증 중심**
  - ✓ 독점적 차세대 원자로 개발 체제 → **경쟁적 차세대 원자로 개발 체제**
  - ✓ 차세대 SMR 개발 스타트업 ZERO → **원자력 스타트업 육성**
  - ✓ 원자력규제체제 선진화





**감사합니다.**



# 이투데이 소형모듈원전산업 세미나

세계 원전 개발 동향과 iSMR 성공전략



Session\_3

**김성중**

한양대학교 원자력공학과 교수



이투데이 소형모듈원전산업 세미나  
“세계 원전 개발 동향과 i-SMR 성공전략”

# 기후위기 대응과 탄소중립 2050 달성을 위한 차세대 원자력의 역할

연사: 한양대학교 원자력공학과 김성중

장소: 대한상공회의소 의원회의실(지하2층)

일시: 2023년 4월 27일 14:00 ~17:00

주최: 이투데이

후원: 산업통상자원부, 한국수력원자력, 한국원자력학회



한양대학교



원자력공학과





# 목 차

1. 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성
2. 글로벌 차세대 원자력 동향
3. 탄소중립 SMR 역할
4. 차세대 원자력 역할 (수소생산 중심)
5. 요약 및 결론





# 목 차

## 1. 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성



# 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성

☑ 제 4차 산업 혁명 (Fourth Industrial Revolution; 4IR) : 정보통신 기술 융합으로 이루어지는 차세대 산업 혁명



- ☑ 전력 접근성 확대에 의한 전력 수요 증가 (연2.1%)
- ☑ 석유 및 석탄보다 전력 수요 증가량이 가파름 (암호화폐, 빅데이터, 전기자동차 등)

**세계 1차 에너지원별 수요 전망(NPS)**

(단위 : Mtoe)

세계	2016e	2025	2030	2035	2040	비중(%)		연평균 △(%) '16-40
						2016	2040	
1차에너지 수요	13,760	15,182	16,011	16,806	17,584	100.0	100.0	1.0
·석탄	3,755	3,842	3,896	3,909	3,929	27.3	22.3	0.2
·석유	4,388	4,633	4,715	4,764	4,830	31.9	27.5	0.4
·가스	3,007	3,436	3,737	4,068	4,356	21.9	24.8	1.6
·원자력	681	839	897	949	1,002	4.9	5.7	1.6
·수력	350	413	459	499	533	2.5	3.0	1.8
·바이오에너지	1,354	1,530	1,630	1,721	1,801	9.8	10.2	1.2
·기타 재생에너지	225	490	676	896	1,133	1.6	6.4	7.0

자료 : IEA(2017,11,14), World Energy Outlook 2017, Annex A, p.648

**세계 최종 에너지원별 수요 전망(NPS)**

(단위 : Mtoe)

세계	2016e	2025	2030	2035	2040	비중(%)		연평균 △(%) '16-40
						2016	2040	
최종에너지 소비	9,486	10,672	11,306	11,896	12,461	100.0	100.0	1.1
·석탄	1,020	1,066	1,080	1,088	1,092	10.8	8.8	0.3
·석유	3,878	4,191	4,307	4,389	4,481	40.9	36.0	0.6
·가스	1,426	1,746	1,927	2,106	2,268	15.0	18.2	2.0
·전력	1,777	2,159	2,405	2,652	2,895	18.7	23.2	2.1
·열	274	295	299	302	303	2.9	2.4	0.4
·바이오에너지	1,069	1,142	1,188	1,228	1,260	11.3	10.1	0.7
·기타 재생에너지	42	74	100	132	162	0.4	1.3	5.8

자료 : IEA(2017,11,14), World Energy Outlook 2017, Annex A, p.648

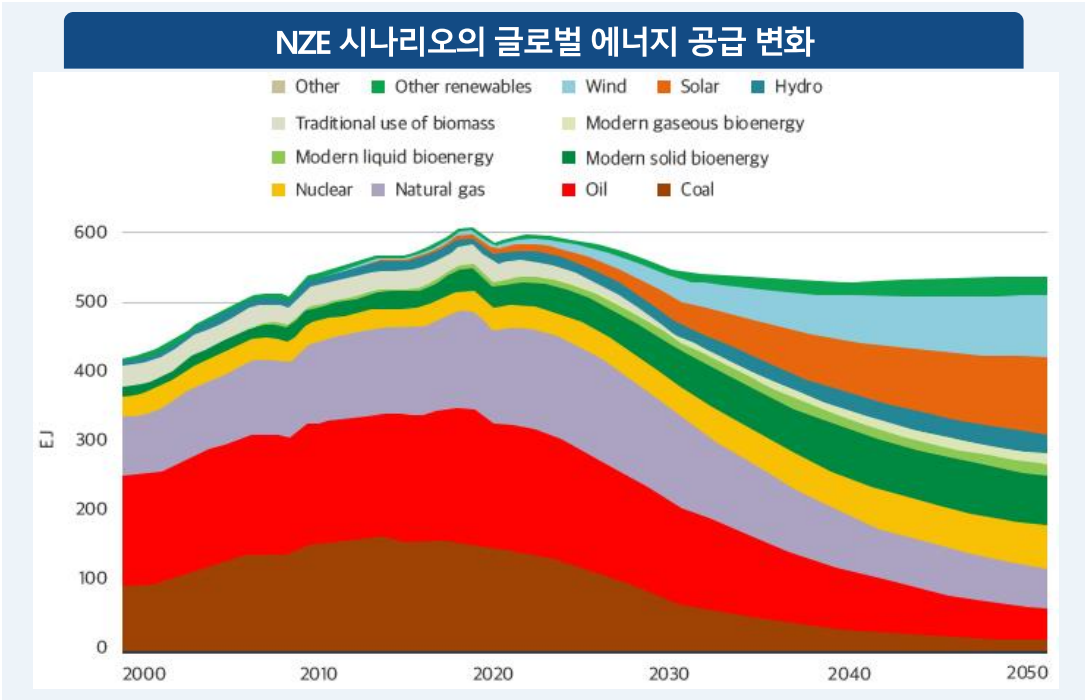
“ IEA (국제 에너지 기구):  
2040년까지 전세계 에너지 수요 연 1.0%씩 지속적 증가 예측 ”



# 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성

Net-zero: 온실가스 및 탄소 배출로 인한 기후위기 막기 위한 탄소중립 목표

- ✓ 현재 무분별한 화석연료 사용 등으로 인한 지구 온난화 가속 중
- ✓ 지구 온난화 해결 위해 대다수 국가들이 탄소배출 감축에 참여
- ✓ G20 국가 비롯 전세계 124개국 2050년까지 탄소중립 공식 선언 IEA에서 Net-zero 달성 위한 시나리오 지속적 제시



2050년까지 감소하는 에너지 공급원

- ✓ 천연가스(Natural Gas)
- ✓ 석유 (Oil)
- ✓ 석탄 (Coal)

2050년까지 증가하는 에너지 공급원

- ✓ 풍력 (wind)
- ✓ 태양 에너지 (Solar)
- ✓ 수소 (Hydrogen)
- ✓ 원자력 (Nuclear)
- ✓ 고체 바이오에너지

“Net-Zero 달성 위해 저탄소 에너지원의 극적인 확대가 필수적”



# 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성

- ✓ 화석연료에 의존한 현시대 에너지 경제의 결과: 기후위기 & 에너지위기
- ✓ RE100: 재생에너지 100% 달성 목표 → 하지만, REC 구매 및 보유로 달성이 정의되어 실질적이지 않음
- ✓ \* 이산화탄소 배출과 에너지 안보 위험이 없으며 우수한 시장경제성을 갖춘 **CF100 에너지** 필요

CF100 = Carbon-Free 100%



석유·석탄·가스  
화석연료





CF100 에너지 요건

✓ 이산화탄소 배출 Zero

✓ 낮은 에너지 안보 위험

✓ 우수한 시장 경제성

  
원자력에너지

  
태양 & 풍력  
재생에너지



# 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성

- ☑ 태양 & 풍력: 매우 높은 간헐성 & 변동성, 전력공급망 불안정화 이슈
- ☑ 대형 원자력 발전: 낮은 유연성과 P2X 활용도
- ☑ 소형·모듈화 및 혁신 원자력 기술개발로 높은 유연성을 갖춘 차세대 원자력 기술 필요



**소형모듈형원자로 (SMR)**

**소형화**

- ☑ 유연성 향상
- ☑ 안전성 향상

**모듈화**

- ☑ 경제성 향상
- ☑ 제작성 우수

**4세대 원자력 발전**

- ☑ 수소·공정열 생산 등 탄소중립 P2X
- ☑ 폐기물 저감·안전성·지속가능성

차세대 원자력 = SMR & 4세대 원자로



# 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성

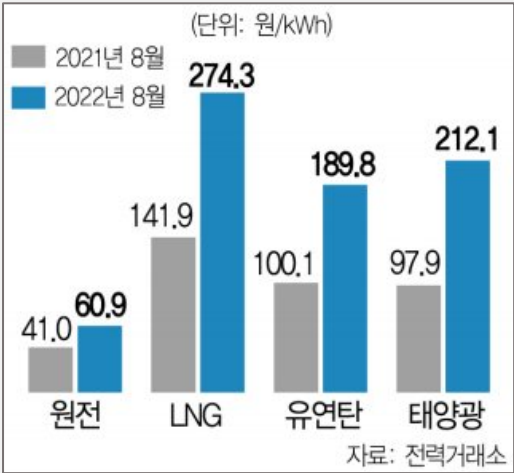
## 원자력 에너지 장점

높은 경제성

무탄소 에너지

안정적 전력 생산

발전원별 발전 단가 추이



원자력발전과 석탄화력발전 발전 총 비용 비교표

발전소 종류	총비용	자본비용	고정비	변동비 (연료비)	송전비용
원자력발전소	99.1	73.6	12.6	11.7	1.1
석탄화력발전소	123.2	78.0	10.8	33.1	1.2

미국 에너지정보청의 2022년 발전원별 발전비용 전망결과

- 원자력 발전소는 변동비, 즉, 연료비가 매우 저렴함
- 원자력발전소는 석탄화력발전소 대비 연료비에서 발전비용을 크게 절감할 수 있음

• <https://www.sedaily.com/NewsView/26B5D5OYJH>  
• <http://www.e2news.com/news/articleView.html?idxno=100419>  
• Kuett, Jesse. "Benefits and disadvantages of nuclear energy." (2018).

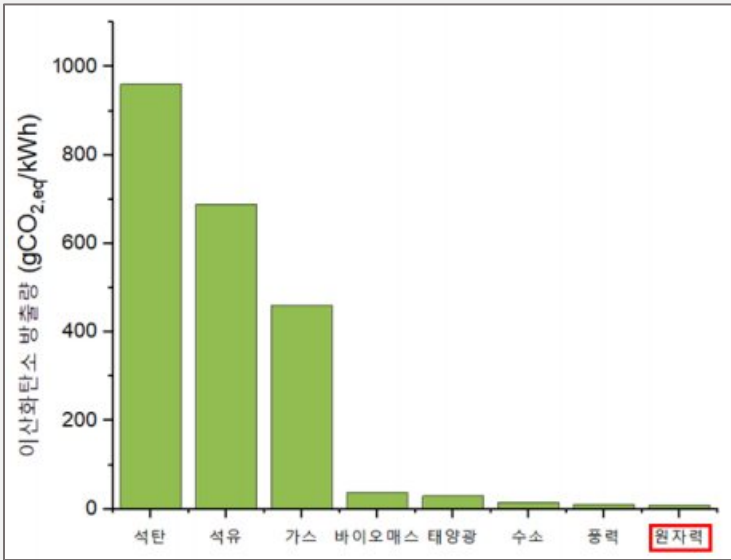


# 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성

## 원자력 에너지 장점

- 높은 경제성
- 무탄소 에너지
- 안정적 전력 생산

에너지원에 따른 전력생산 시 이산화탄소 배출량



제조 방법에 따른 수소 분류

그레이수소 (Gray H <sub>2</sub> )	블루수소 (Blue H <sub>2</sub> )
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 천연가스 등 화석연료로 제조</li><li>✓ 생산비용: ~ \$ 1/kg</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 그레이수소 생산 시 탄소 포집</li><li>✓ 생산비용: ~ \$ 2/kg</li></ul>
그린수소 (Green H <sub>2</sub> )	원자력수소 (Pink H <sub>2</sub> )
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 재생에너지 연계 생산</li><li>✓ 생산비용: &gt; \$ 5/kg</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✓ 원자로 연계 생산</li><li>✓ 생산비용: ~ \$ 2.5/kg</li></ul>

- ✓ 수소: 운송, 산업, 발전 용으로 기존 화석연료 역할 대체 → 탄소중립에 기여
- ✓ 원자력수소: 경제적 생산비용과 탄소중립 모두를 달성의 현실적 대안



# 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성

## 원자력 에너지 장점

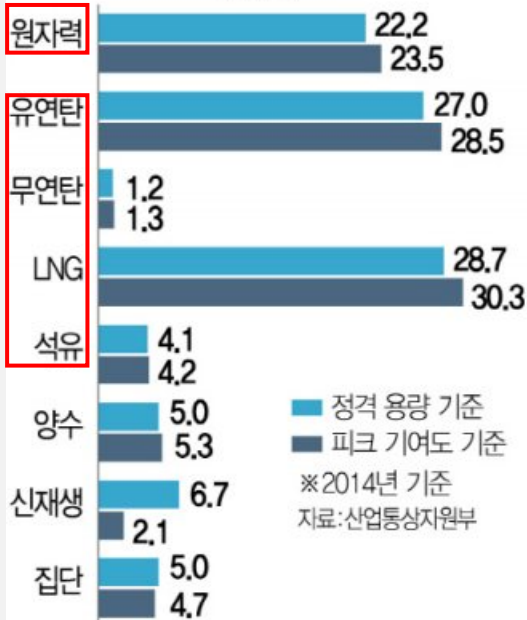
높은 경제성

무탄소 에너지

안정적 전력 생산

발전원별 피크기여도

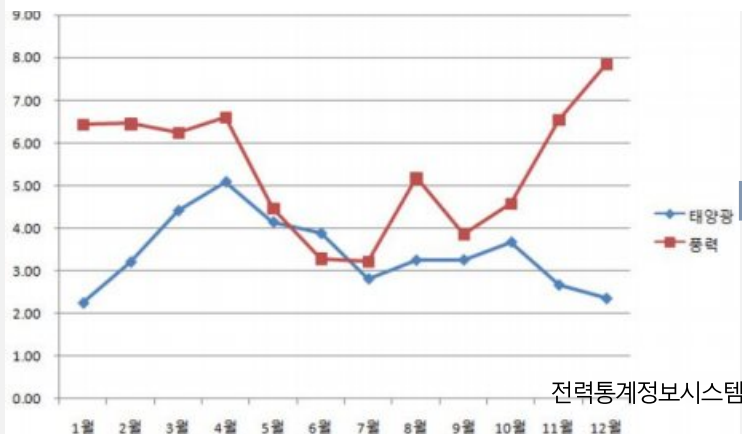
(단위: %)



- ✓ **피크기여도**에서 **화력발전**과 **원자력발전**이 비중이 높음  
이는 기상 및 기후 조건의 영향을 많이 받는 재생에너지(태양광, 풍력) 특성 때문



2020년 월별 태양광·풍력 발전의 하루평균 발전시간 추이 (단위: 시간)



재생에너지 발전의  
월별 편차가 매우 큼

[피크 전력발전 월]  
풍력: 12월  
태양광: 4월

- ✓ 핵연료 장기간 보관성 매우 우수, 운전기간 18개월 수준
- ✓ 단기간 에너지 자원 수급 이슈로부터 자유로움



# 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력 필요성

## 원자력 발전소의 단점

### 높은 초기 투자 비용

- ✓ 상대적으로 높은 건설비
- ✓ 장기간 건설에 따른 이자비용 부담

### 비교적 낮은 사회적 수용성

- ✓ 중대사고 등 부정적 인식

### 방사성 폐기물 처리

- ✓ 방사성 폐기물 처리의 어려움 존재
- ✓ 별도의 방사성 폐기물 처리 시설 요구

## 원자력 발전소 개선 방안

### 높은 초기 투자 비용

- ✓ 표준형 원전 반복 건설 → 건설기간 및 비용 단축
- ✓ 원전 이용률 향상에 따른 경제성 제고

### 비교적 낮은 사회적 수용성

- ✓ 사고저항성핵연료 개발 및 피동안전성 강화
- ✓ 안전성이 획기적으로 증진된 SMR 개발에 따른 인식 개선

### 방사성 폐기물 처리

- ✓ 방사성 폐기물 재처리 및 감축 기술에 대한 다양한 연구 개발 진행

“중대형원전 단점이 개선된 다양한 형태 SMR 연구개발 진행 중”





# 목 차

## 2. 글로벌 차세대 원자력 동향

---



# 글로벌 차세대 원자력 동향

## ☑ 글로벌 차세대 원자력 연구개발 및 지원정책 수립 국가 현황

### 차세대 원자력 연구개발 및 지원정책 수립 국가 목록

차세대 원전 개발 주요 국가	대한민국	미국	중국	아르헨티나	캐나다	체코	프랑스
	일본	영국	덴마크	룩셈부르크	남아프리카공화국	이탈리아	러시아
원자력 도입 및 지원정책 수립 주요 국가	대한민국	미국	중국	아르헨티나	캐나다	체코	프랑스
	일본	영국	폴란드	이집트	사우디아라비아	UAE	러시아
	튀르키예	남아프리카공화국	우크라이나	유럽연합	EU 그린 택소노미 (환경적으로 지속가능한 경제 활동)에 SMR 포함한 원전 포함되는 법안 가결		

“ 주요 선도국 중심으로  
전례 없는 원자력 연구개발 및 지원정책 강화 ”



# 글로벌 차세대 원자력 동향

☑ 전세계적으로 다양한 SMR 개발 진행 중

## 세계 SMR 연구개발노형 지도



\*IAEA 2020년 집계 자료

### 소형모듈형원자로 (SMR)

- 소형화
  - ☑ 유연성 향상
  - ☑ 안전성 향상
- 모듈화
  - ☑ 경제성 향상
  - ☑ 제작성 우수

- 2020년 기준 → 70여종 SMR 개발
- 경수형 SMR, 비경수형 MSR 등 다수 진행 중
- 2030년 전후 SMR 본격적 상용화 예상

“ 미래 SMR 시장 (약 1,000조 규모) ”  
더욱 확대 예상



# 글로벌 차세대 원자력 동향

## 국가별 SMR 정책 및 개발 중 SMR

### 미국

2021.11. 원전 운전 및 **미래형 원전 개발** 포함하는 상업원전 지원책 (Civil nuclear credit program)에 60억 달러 예산 배정

인디애나주 SMR 지원책 법안 (SB 271) 승인,  
→ SMR 건설, 구매, 임차 관련 규정과 지원금 정책 수립 예정

가나 및 라트비아와 ‘SMR의 책임 있는 사용을 위한  
기초 인프라 정책 (FIRST)’ 협약 체결

NuScale과 동유럽 국가 (예: 폴란드) 간 다수 SMR 협력 체결

### 대표노형 : NuScale, BWRX-300

- ✓ 검증된 상용 경수로 기술 기반 안전성/경제성 향상
- ✓ 주기를 하나의 모듈에 집약, 격납건물 역시 모듈에 일체화
- ✓ 건물 내 원자로모듈 수를 선택하여 출력 조정 가능
- ✓ 피동형 설계로 외부 전력공급 중단 시 안전성 유지 가능
- ✓ 미국 원자력규제위원회(NRC)가 최초로 SMR 설계인증 승인





# 글로벌 차세대 원자력 동향

## 국가별 SMR 정책 및 개발 중 SMR

영국



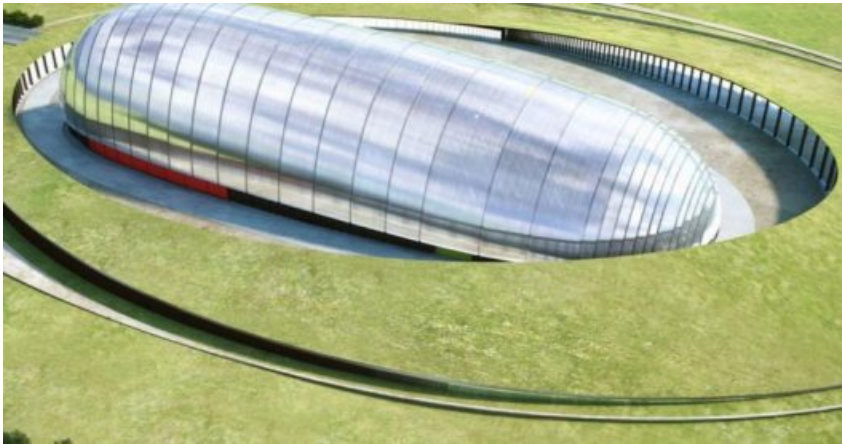
2020년, ‘녹색산업혁명을 위한 10대 계획’ 및 ‘에너지 백서 2020’ 정책의 원자력 부문에서 3억 파운드 (약 4,700억원) 규모 **SMR 민간 투자 촉진 및 SMR 설계 프로젝트 추진**

2021.10. Net-zero 전략 발표  
→ 원자력 부문 SMR 및 원전에 대한 **최종투자결정(FID) 시행**

Rolls-Royce SMR Ltd의 SMR (470MWe)에 대한 일반설계평가 1단계 개시

### 대표노형 : UK SMR

- 설계사: Rolls-Royce
- 3-Loop형 가압경수로
- 출력 470MWe, 설계수명 60년
- 입증된 공장 제작 방식 선정





# 글로벌 차세대 원자력 동향

## 국가별 SMR 정책 및 개발 중 SMR

캐나다



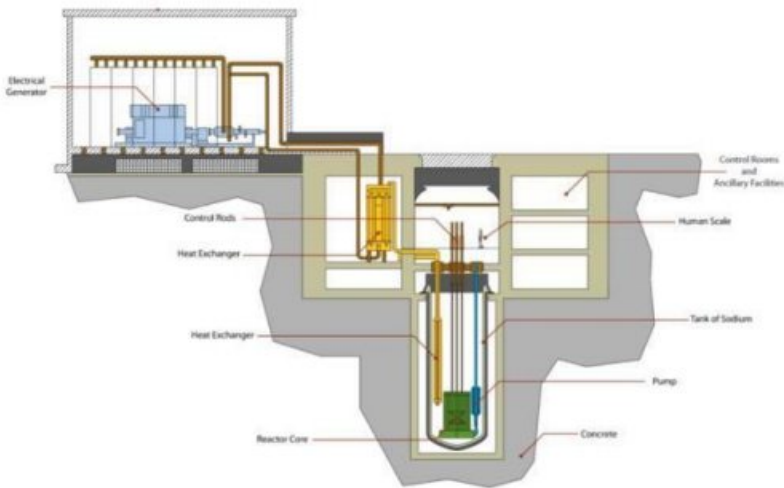
2018 SMR Roadmap 발표 이후,  
**SMR 개발사 자금 지원**, 자국 연구기관/현지업체 육성 정책 시행 중

2022.03. 온타리오 주 포함 4개 주 ‘SMR 개발 및 보급 위한 전략적협력안’ 발표, 이를 통한 SMR 도입 움직임

2022.10.25 **그리드 규모의 SMR 개발 지원** 위해  
9억 7000만 캐나다 달러 (약 1조 166억 원) 대출

대표노형: ARC-100

- 미국의 EBR-II (Sodium cooled fast reactor) 에 근거하여 설계
- 100MWe SFR 타입 SMR
- 피동안전계통 통해 고유 안전성 달성
- 20년 핵연료주기 및 60년 수명





# 글로벌 차세대 원자력 동향

## 국가별 SMR 정책 및 개발 중 SMR

### 프랑스



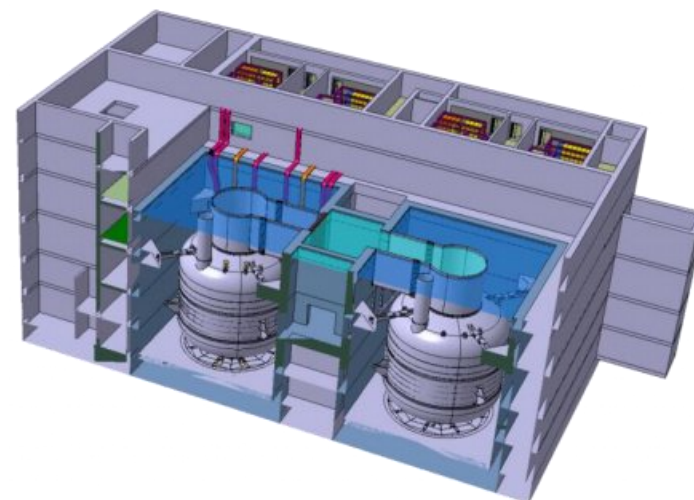
원전 비중 약 70% 달하는 원전 대국

2020.10. 현 원전의 계속운전, 신규 원전 및 SMR 도입 시나리오를 가정한 '에너지 미래 2050년' 발표

2021.10. 300억 유로 규모 '프랑스 2030 투자 계획' 통해 SMR 개발 및 원자력 수소 생산에 투자 계획 발표

### 대표노형 : NUWARD

- ☑ 170MWe의 출력 두 기의 원자로 (총 340MWe)
- ☑ 표준화, 모듈식 제조 등을 목표로 설계
- ☑ 핵연료주기: 24개월
- ☑ 76개 연료 집합체 포함





# 글로벌 차세대 원자력 동향

## 국가별 SMR 정책 및 개발 중 SMR

러시아



‘에너지전략 2035’ 정책 바탕 SMR 및 차세대 원자로에  
약 1,200억 루블 (약 1.9조원) 투자

2020.05. 세계 최초 해상부유식 SMR 상용화 성공

2028년까지 사하 공화국 내 SMR 건설 프로젝트 추진 중,  
SMR 수출 위한 해외 국가들과의 협력 추진 중

## 대표노형 : KLT-40S

- 150MWth 2기 운영 (총 300MWth)
- 발전소 설계 수명 40년
- 부하추종 운전 활용
- 경수형 냉각재 및 감속재 활용



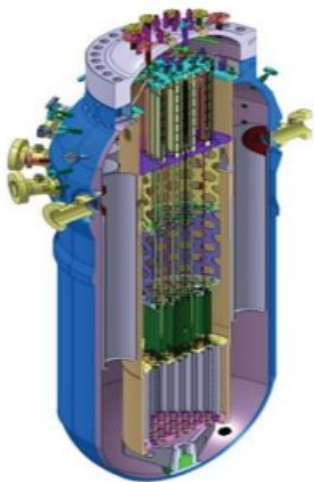


# 글로벌 차세대 원자력 동향

## 기타 SMR 주요 노형

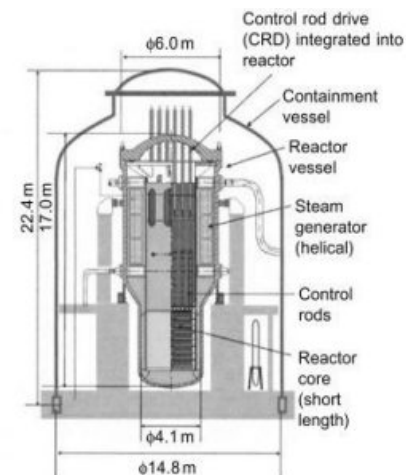
### CAREM (아르헨티나)

- ✓ 아르헨티나 자체 기술 통해 설계 및 개발한 소형 모듈 형태의 가압경수로 (Central Argentina de Elementos Modulares)
- ✓ 첫번째 프로토타입 예상 발전용량은 25MWe이며, 후속 프로토타입 용량 100MWe 목표
- ✓ 자연순환 냉각방식 채택
- ✓ **현재 첫 프로토타입 건설 진행 중**



### DMS (일본)

- ✓ DMS는 GE Hitachi Nuclear Energy 개발 노형으로, Double MS (Modular Simplified & Medium Small Reactors)를 의미
- ✓ BWR형 전기출력 400MWe 목표
- ✓ 자연순환 적용 → 피동 안전성 확보





# 글로벌 차세대 원자력 동향

## ✓ 국내 기업/기관의 해외 SMR 시장 개척

### ① 한국원자력연구원 - USNC - 현대엔지니어링

국내 기업(SK, 삼성중공업, 두산에너빌리티, 현대건설, GS 등)  
국내외 SMR 개발에 참여 사례

SMART 원전과 i-SMR 등 소형 원전 개발 기술  
및 노하우 바탕 해외 SMR 시장 진출

한국원자력연구원, 미국 원자력기업 USNC, 현대엔지니어링  
공동으로 MMR 개발 및 건설을 위해  
향후 5년간 상호 협력 (2022.9)

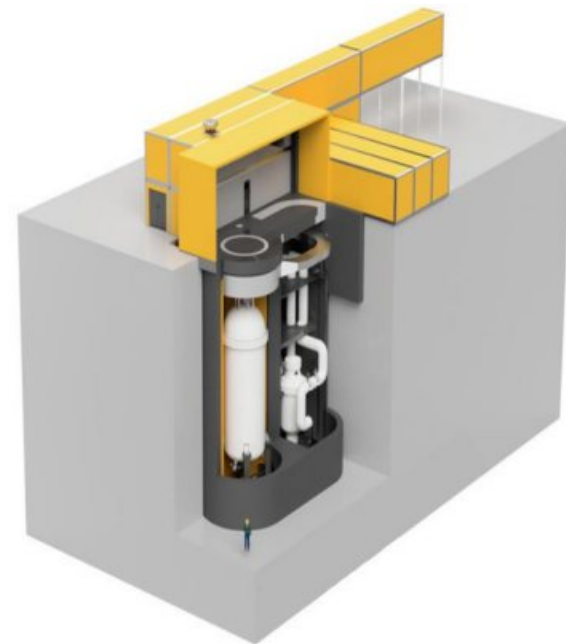
공정열 및 전력생산용 고온가스로(HTGR) 및  
수소생산용 초고온가스로(VHTR) 활용 및 개발에도 상호 협력

한국원자력연구원  
현대엔지니어링  
USNC

공동  
연구

MMR  
HTGR  
VHTR

초소형모듈형원자로 (Micro modular reactor; MMR)\*



\* 고온가스로 기술을 바탕으로 미국 USNC(Ultra Safe Nuclear Corp)가 개발한 노형으로, 캐나다 북부 오지 광산 및 주거지역 전력공급용으로 활용 가능하며 출력은 15MW (5MWe)를 목표로 함



# 글로벌 차세대 원자력 동향

## ☑ 국내 기업의 해외 소형 원전 시장으로의 진출

### ② 두산에너빌리티 – NuScale Power

두산에너빌리티와 NuScale Power 간 소형모듈형 원자로 생산계약 체결

두산에너빌리티는 뉴스케일파워 모듈(NuScale Power Module™, ‘NPM’) 생산 위해 상부 원자로 압력 용기에 사용되는 단조 금형 생산

2021	2022	2023
<ul style="list-style-type: none"><li>☑ NPM 제조 적합성 검토 완료</li><li>☑ NPM 제조 순서 및 공정의 성공적 수립</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>☑ SMR 적용 대형 단조 소재 생산 시작</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>☑ 본격적 NPM 생산 예정</li></ul>

NuScale Power Module





# 글로벌 차세대 원자력 동향

## 국내 SMR 정책

### [ (과기부) 미래원자력기술 발전전략 ('17.12) ~ ]

✓ 종합적 기술역량 확보 위한 5대 핵심전략 및 13개 실천과제 도출

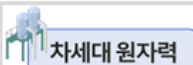
### [ 제9차 원자력 진흥위원회 ('20.12) ]

✓ 종합적 기술역량 확보 위한 5대 핵심전략 및 13개 실천과제 도출  
→ [전략1: 초기시장 창출] SMART 해외 건설  
→ [전략2: 경쟁력 고도화] 혁신기술이 집약된 소형모듈원자로 (i-SMR) 개발

### [ 국가전략기술 프로젝트 ('22.10) ]

✓ 12대 국가전략기술 중 하나로 차세대 원자력 포함  
→ 2023년부터 6년 간 약 이천 칠백억 원 규모의 혁신형 SMR (i-SMR) 표준설계 사업 수행 예정

핵심전략	세부 실천과제
원전 안전 및 해체연구	<ul style="list-style-type: none"><li>가동 원전의 안전성 제고 및 사고방지 기술개발</li><li>원전 해체 핵심기술 및 해체 인프라 확보</li><li>안전하고 친환경적 원자력 폐기물 관리기술 개발</li></ul>
방사선기술 등의 활용 확대	<ul style="list-style-type: none"><li>의료·바이오 부문과 융합연구 강화</li><li>첨단소재·환경기술 개발에 적용 확대</li><li>우주·국방·해양·극지 분야에 활용 촉진</li></ul>
해외수출 지원 강화	<ul style="list-style-type: none"><li>연구로 및 중소형원자로 해외수출 지원</li><li>국내 개발 요소기술의 수출기반 조성</li></ul>
미래에너지원 확보노력	<ul style="list-style-type: none"><li>핵융합에너지의 핵심기술 및 운영역량 강화</li><li>국제핵융합실험로 건설사업에 주도적 참여</li></ul>
핵심기술의 사업화 추진	<ul style="list-style-type: none"><li>방사선 융복합 기술 사업화 지원</li><li>연구로·SMART의 국내 특화산업 육성</li><li>해체기술의 산업화 지원 강화</li></ul>



**차세대 원자력**

**임무** | '28년까지 혁신형 SMR 개발로 글로벌 소형원자로 시장 선점

**내용** | 세계 최고수준 안전성·경제성·유연성 확보  
→ 글로벌 시장에서 경쟁우위를 갖는 한국형 SMR 독자모델 개발

민관 협력

핵심기술 개발·설계(25)  
주요 원자력 기업, 출연연 등  
신원전공동핵심기술개발공동체

표준설계 인가 획득(28)  
산업기표준설계제도  
인허가선정평가선 국제표준 진입

SMR 수출·사업화  
관계부처 및 민간 합동  
원전수출전략 추진 운영



# 글로벌 차세대 원자력 동향

## 국내 SMR 주요 노형

### SMART

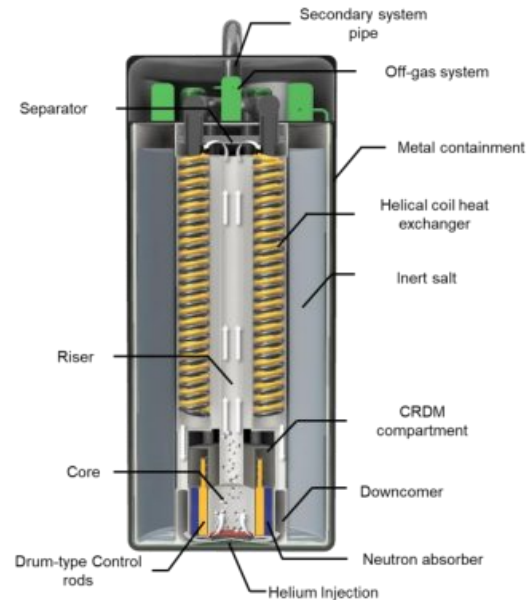
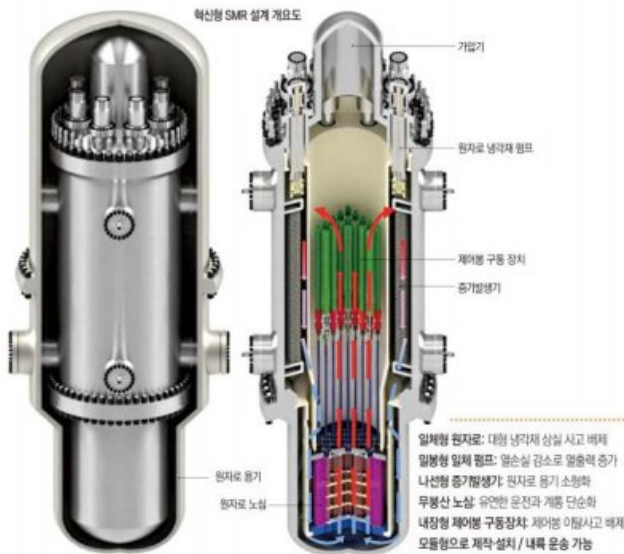
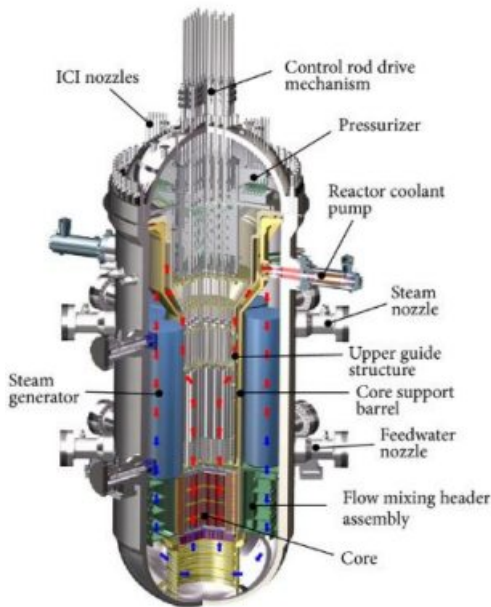
- 2012년 세계 최초 표준설계인가 획득
- 설계전기출력: 100MWe

### i-SMR

- 무봉산 노심, 금속격납용기 및 피동 응축 열교환기 등 혁신 기술 반영된 SMR 노형
- 설계전기출력: 170MWe

### PMFR

- 수소생산 등 다목적으로 개발 중인 Molten salt reactor (MSR) 노형
- 600~750℃ 높은 작동 온도







# 목 차

## 3. 탄소중립 SMR 역할

---



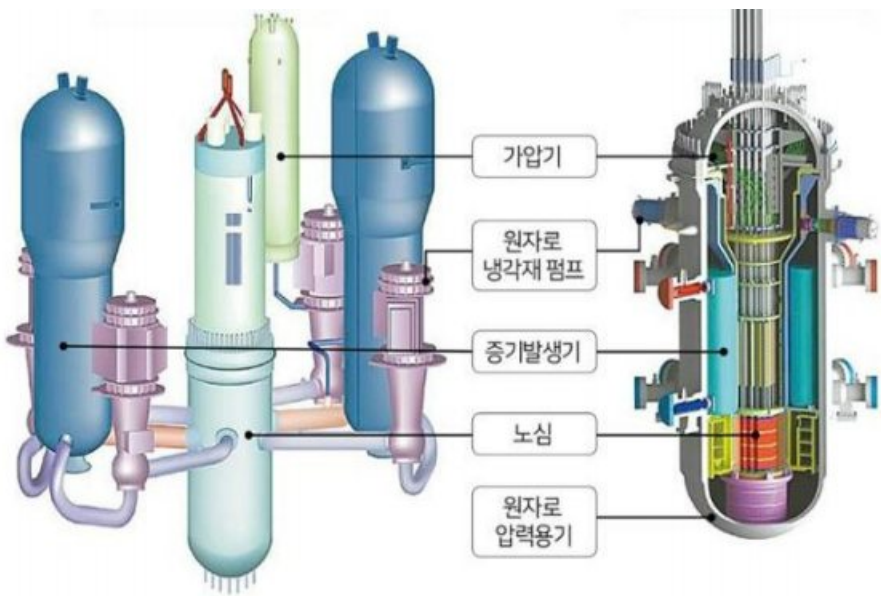
# 탄소중립 SMR 역할

## Small Modular reactor (SMR)

- 1990년대 초반, IAEA에서 중소형 원자로 (Small and Medium-sized Reactor, SMR)로 명명
- 이후, 소형모듈형원자로 (Small Modular Reactor, SMR)로 재정의
- 기존 중대형원전과 달리 주요기기를 하나의 용기에 통합 및 배치한 **300MWe급 이하 원자로**

가압경수형 원자로 ➡ 소형모듈형 원자로(SMR)

중대형 상용원자로와 SMR의 비교



특 징	중대형 상용원자로	i-SMR
출력	1,000~1,400MWe	170MWe
부품수	100만 개	1만 개(모듈화, 단순화)
노심손상빈도	100만 년에 한 번	10억 년에 한 번
비상대피구역	반경 16km	부지경계 이내 (~1km)
건설공기	48개월	24개월
건설비용	10조 원(2기 기준)	목표: 좌동



# 탄소중립 SMR 역할

## SMR 특징

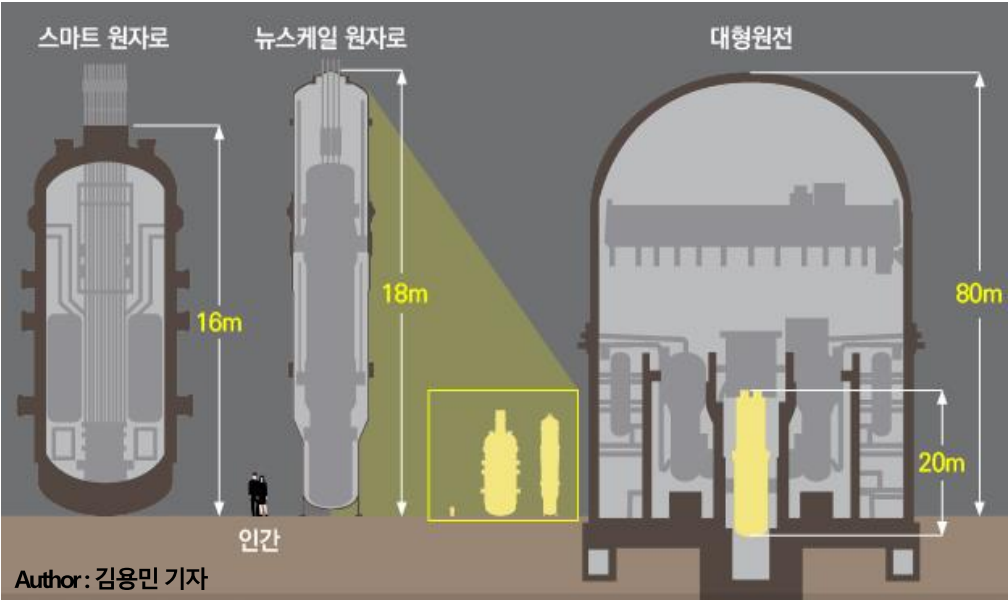
☑ SMR 주요 특징: 소형화, 일체형, 모듈형 공장 제작 → 주요 특징들로부터 다양한 장점들 파생

1. 소형화  
: 300MWe 이하 원자로

2. 일체형  
: 주요기기를 하나의 용기 안에 배치

3. 모듈 공장 제작  
: 원자로 모듈 공장 제작 후 현장 조립

SMR vs 상용원자로 크기 비교



**높은 안전성**  
: 소형화 → 출력 감소 → 붕괴열 감소 → 피동냉각 용이  
: 안전성 향상에 따른 비상계획구역 감소  
(대형원전 20~30km → 소형원전 1km 이내)

**부지선정 용이**  
: 소형화에 따른 냉각 수요 감소 → 내륙설치 용이  
: 국지적 전원으로 활용 → 전력망 소외지역  
: 좁은 비상계획구역으로 도시 인근까지 진입 가능

**건설기간 단축**  
: 모듈화 및 계통단순화로 획기적 단축 (최소5년→2년)  
: 건설비용 절감 및 재정 여유도 확보 (이자비용 절감)



# 탄소중립 SMR 역할

## SMR 특징

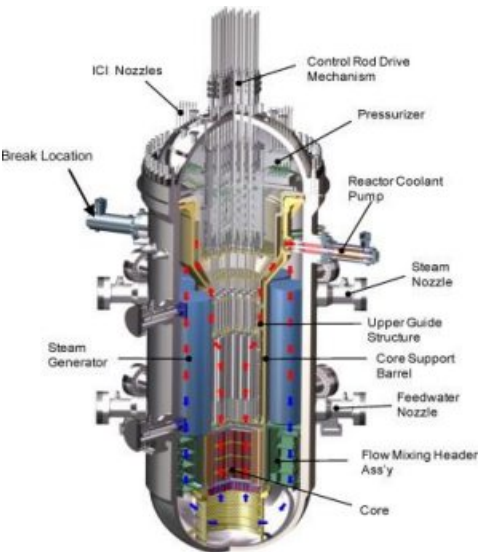
☑ SMR 주요 특징: 소형화, 일체형, 모듈형 공장 제작 → 주요 특징들로부터 다양한 장점들 파생

1. 소형화  
: 300MWe 급 이하의 원자로 지칭

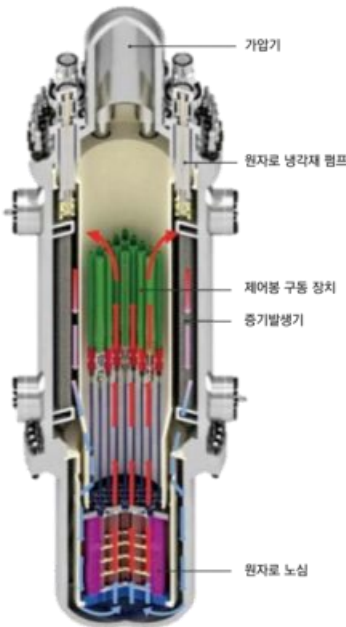
2. 일체형  
: 주요기기를 단일 용기 안에 배치

3. 모듈 공장 제작  
: 원자로 모듈 공장 제작 후 현장 조립

SMART



i-SMR



### 단순한 계통 설계

- : 모든 주기가 단일 압력용기 내에 위치
- : 설계 단순화로 기기 고장 및 사고 확률 감소

### 피동안전계통 접목 용이

- : 소형화, 단순화 및 일체형 → 피동안전계통 적용 용이

### 냉각재 유출 가능성 감소

- : 일체형에 따른 대형배관 불필요
- : 대형배관 부재로 대형 냉각재 상실사고 근본적 배제



# 탄소중립 SMR 역할

## SMR 특징

☑ SMR 주요 특징: 소형화, 일체형, 모듈형 공장 제작 → 주요 특징들로부터 다양한 장점들 파생

1. 소형화  
: 300MWe 급 이하의 원자로 지칭

2. 일체형  
: 주요기기를 하나의 용기 안에 배치

3. 모듈 공장 제작  
: 원자로 모듈 공장 제작 후 현장 조립

모듈 공장 제작 (NuScale)



**원자로 건설기간 단축**  
: 공장에서 모듈 생산 후 건설부지에 일괄 설치  
: 건설 공사기간 단축 및 이에 따른 건설 비용 절감

**대량생산체제의 표준화**  
: 다수 모듈 제작 → 동일 제작설비 활용 → 제작비용 절감

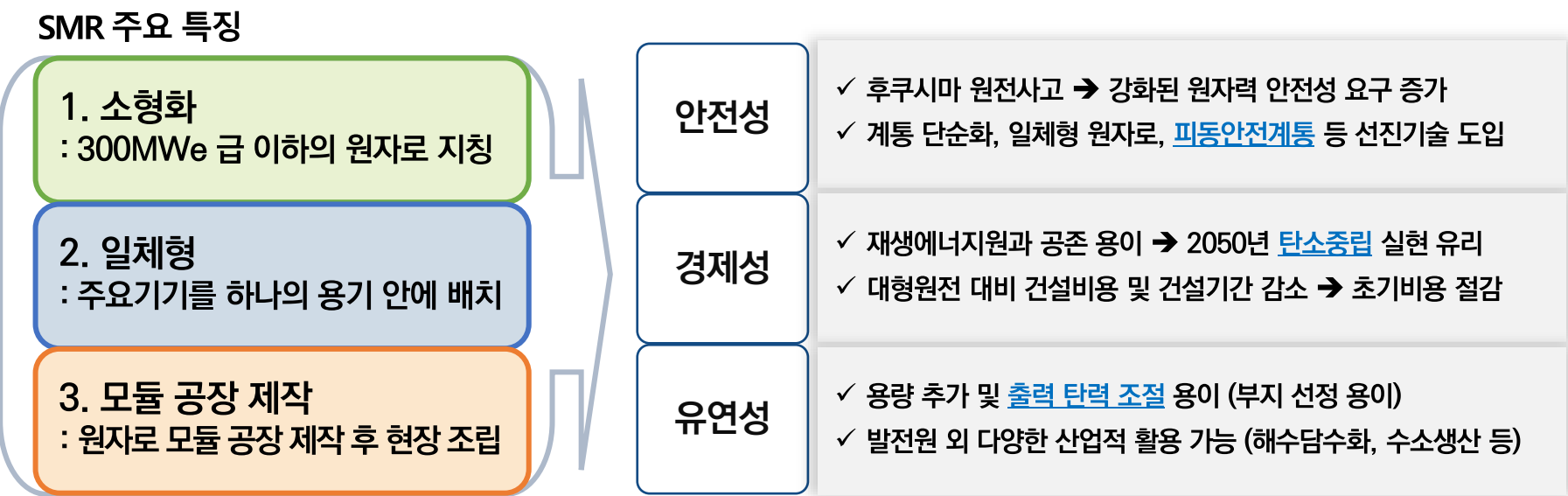
**품질향상**  
: 기기 제작공장에서 전문적인 제작 조립 및 진행  
: 품질 향상에 따른 원자로 안전성 및 신뢰성 향상



# 탄소중립 SMR 역할

## SMR 장점 및 추후 해결 과제

☑ SMR 3가지 최상위 목표 : 안전성, 경제성, 유연성 달성



☑ 그러나, SMR에서 추후 해결해야 하는 사안 역시 존재

- ① 국내 SMR 독자적 인허가 규제 개발 요구

② 대형원전 대비 생산에너지 당 비용 증가

③ SMR 운전 경험 부재 : 원자로 운영에 대한 신뢰성 확보

④ 여전히 존재하는 방사성폐기물 처분 문제



# 탄소중립 SMR 역할

## 저탄소 전력 생산원

- ✓ 모든 에너지원은 생애주기 전 기간 중 탄소배출
- ✓ 다만 화석 연료에 비해 극히 탄소배출량이 낮은 저탄소 에너지원 존재
- ✓ 탄소중립에 가장 높은 잠재력 에너지원: 태양광, 수력, 풍력, 원자력 등 제시됨

### 태양광

- ✓ 태양광에 의한 광전효과 이용
- ✓ 밤 혹은 기상 악화에 따른 전력생산 간헐성 높음  
→ 이용율 15%, 예비 발전원 필수

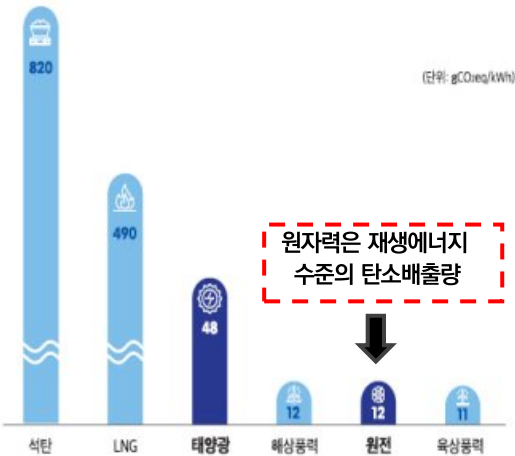
### 수 력

- ✓ 강이나 폭포 등에서 떨어지는 물의 위치에너지 활용
- ✓ 제한적 부지

### 풍 력

- ✓ 바람의 운동에너지 이용
- ✓ 기상에 따른 발전 불안정성 및 설치 지역에 따라 크게 변동하는 발전 효율

발전원별 생애주기 탄소배출량



온실 가스 배출 주기 비교

(단위: 톤/GWh)

구분	평균	최저	최고
석탄	888	756	1,310
석유	733	547	935
천연가스	499	362	891
태양광	85	13	731
바이오매스	45	10	101
원자력	29	2	130
수력	26	2	237
풍력	26	6	124

자료: World Nuclear Association (2011), Comparison of Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources.



# 탄소중립 SMR 역할

## 원자력과 SMR

### 원자력

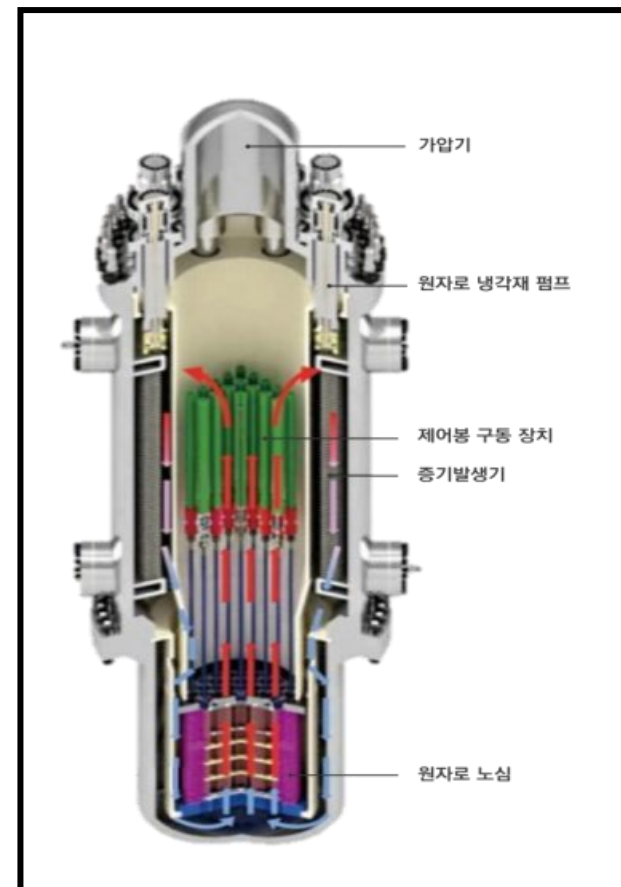
- ✓ 우라늄 물질의 핵분열 에너지 이용
- ✓ 낮은 발전단가, 안정적 이용률 → 전력망 기저부하에 최적
- ✓ 그러나 사고 시 발생하는 큰 피해 등으로 인해 낮은 대중 인식 보유
- ✓ 기존 대형원전: 큰 수원(바다) 근처에 설치해야 하는 입지 제한 존재

원자력 장점 부각  
원자력 단점 보완

### SMR

- ✓ 대형원전 대비 낮은 초기 비용과 높은 안전성 보유
- ✓ 소규모 출력과 피동 안전성 강화 → 부지 선정 제약 해소
- ✓ 모듈에서 배출되는 고온 증기 자체 활용에 유리  
→ 재생에너지와 함께 사용하는 Hybrid energy system (HES) 활용

## i-SMR 단면도





# 탄소중립 SMR 역할

## Hybrid energy system (HES)

: 증가하고 복잡해진 전력 부하에 유연하게 대처하기 위함

재생에너지 활용 발전원

✓ 전력부하에 유연하게 대처하기 어려움

불안정한 이용률

복잡한 전력 부하에 대처 제한

- ✓ 에너지 저장설비 운영
- ✓ 다양한 발전원 사용하는 전력망 형성  
→ SMR을 기저부하 혹은 탄력적 활용



전력망 안정성 향상

풍력과 태양광의 출력 변동

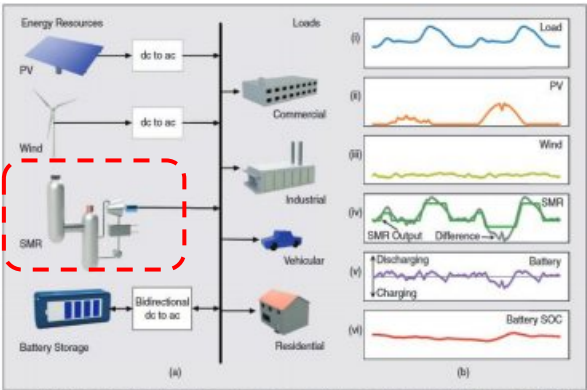
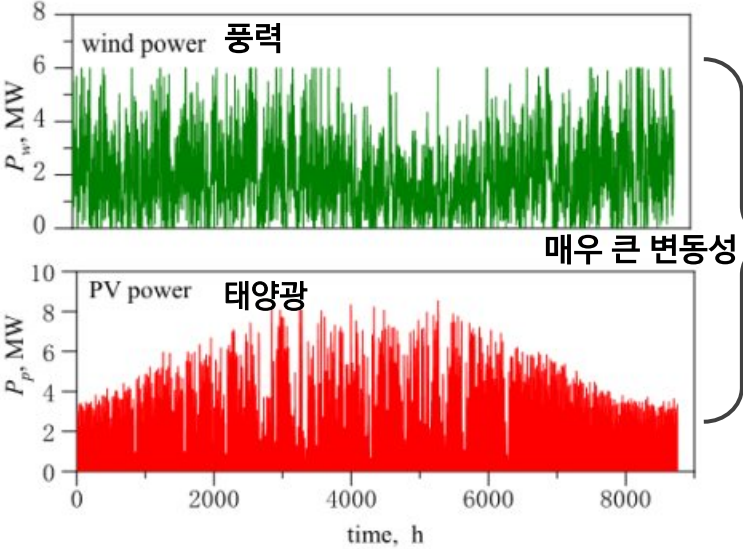


Figure 2. (a) Microgrid configuration; (b) Example operation scenario showing 48-h power profiles: (i) load profile; (ii) PV profile; (iii) wind profile; (iv) SMR ramping; (v) battery charging/discharging; and (vi) battery SOC: state-of-charge.

- ✓ SMR을 기저 발전원으로 설정하여 전력망 부하에 유연하게 대처 가능
- ✓ SMR의 유연운전 및 안정적 전력생산으로 전력망의 높은 안정성 확보



# 탄소중립 SMR 역할

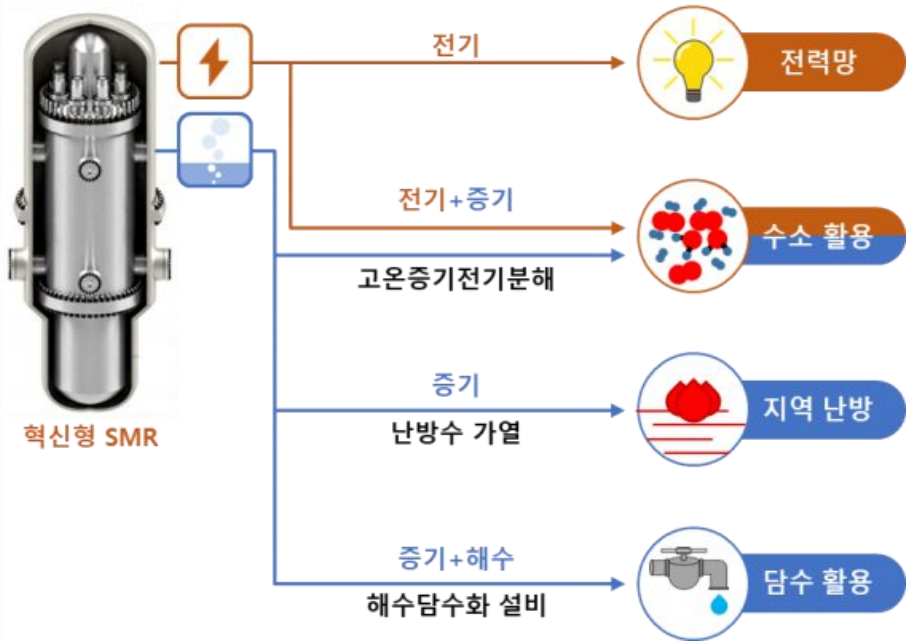
## SMR 다목적 활용

- SMR의 자유로운 부지 선정 장점 활용 → 산업 부지 전력 생산, 해수 담수화, 지역 난방 등 다목적 용도 활용 가능
- SMR의 강화된 안전성, 낮은 출력 등의 장점 → 활용 범위 더욱 확장 예상

### SMR 활용방안

- 분산전원 활용
- 화석연료발전소 대체발전
- 해수 담수화 및 지역 난방
- 공정열원 제공
- 대형 운송수단 추진용

### SMR 다목적 활용 예시 (i-SMR)







# 목 차

## 4. 차세대 원자력 역할 (수소생산 중심)

---

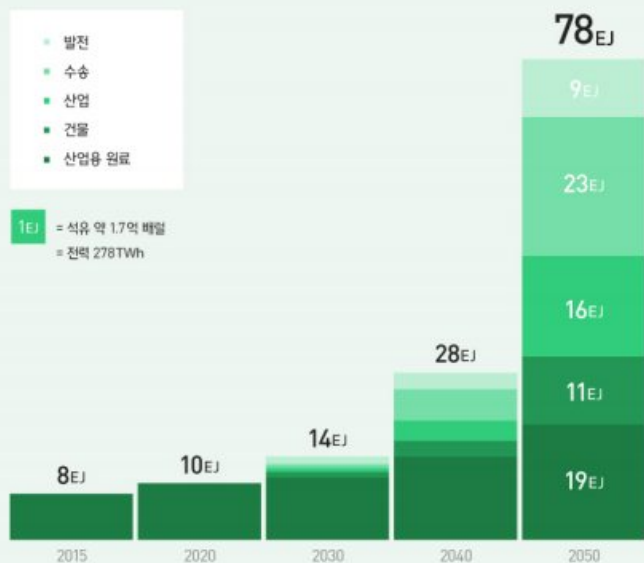


# 차세대 원자력 역할

## 수소 수요 및 공급망 전망

### 글로벌 수소 수요 전망

#### 2050 글로벌 수소 소비량 전망

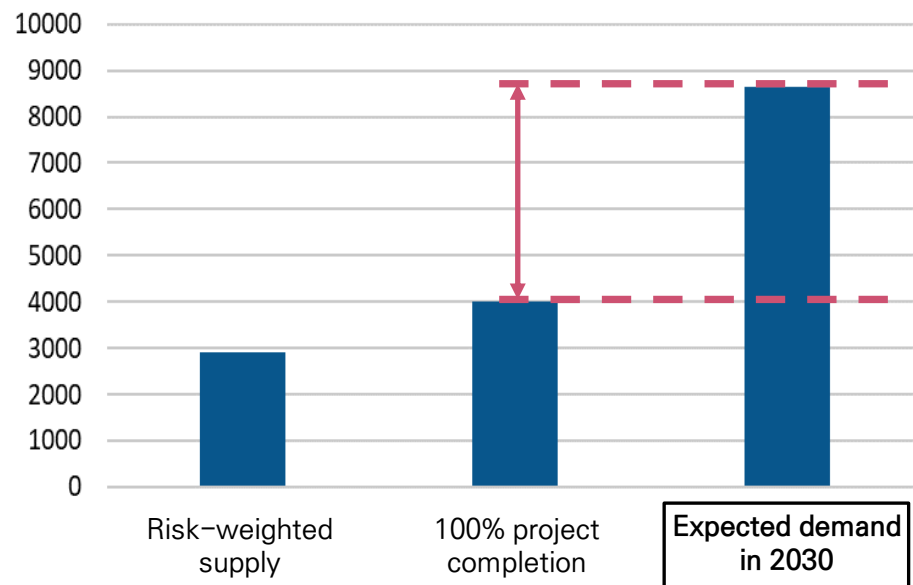


수소 수요 2050년까지 크게 증가 전망

### 2030년 글로벌 저탄소 수소 공급망

- 저탄소 배출 수소공급 부족 전망

kiloton/year



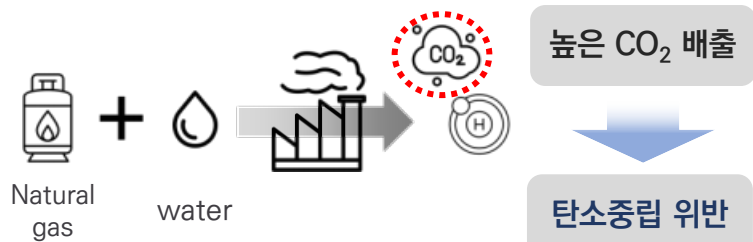
수소 공급량 부족 전망 → 저탄소 고효율 대용량 생산 기술 필요



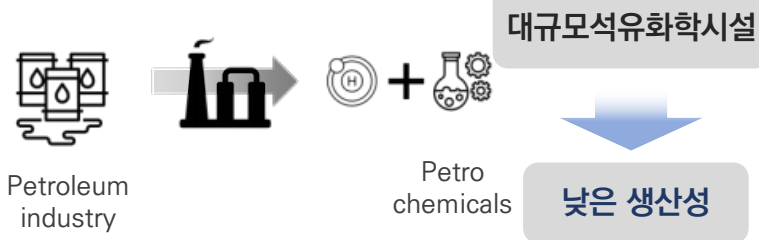
# 차세대 원자력 역할

## 수소생산 방법

### 천연가스개질법



### 부생수소



### 원자력 열원을 활용한 수전해

Eco-friendly

낮은 CO<sub>2</sub> 배출

Productivity

높은 생산성

### 원자력 열원을 활용한 S-I 열화학 사이클

원자력 이용 수소 생산 분야



탄소중립 시대 현실적 수소생산기술



# 차세대 원자력 역할

## ☑ 국내외 원자력수소 정책 동향

미국



- ☑ 수소 생산, 저장, 수송 분야에서 국립연구소 및 기업 간 협력사업 지원 및 기술 개발 프로그램 발표
- ☑ **그린수소 생산 위한 SMR 실증 연구** 추진
- ☑ 아이다호 국립연구소에서 **가동원전과 연계한 수전해 실증 및 타당성 평가** 수행
- ☑ 2030년 GW급 규모 SOEC 대용량화 달성 위해 기업과 협력연구 수행

프랑스



- ☑ **원자력수소 포함한 100억 유로 규모 수소경제 및 청정수소 국가 전략 정책 발표 (2020)**
- ☑ SMR 개발 등 차세대 원전 연구에 10억 유로 투자
- ☑ EU 집행위에 **원자력 등 저탄소 전력으로 생산한 수소를 '그린수소'로 인정할 것 촉구 (2022)**
- ☑ 원자력수소 사업 위한 Hynamics 설립, **가동원전 이용 수소생산 실증 및 사업화** 추진

일본



- ☑ VHTR과 같은 원자력수소 포함, 2050년 2천만 톤 수소생산 역량 확보 목표

- ☑ JAEA S-I 사이클 공정 연속운전 수행 → 8시간 10L 수소생산 성공



# 차세대 원자력 역할

## ☑ 국내외 원자력수소 정책 동향

### 러시아



- ☑ '전략2035' 중 2024년까지 실행 계획인 수소연료 개발 로드맵 발표
- ☑ 국영기업 로사토크와 사기업 가즈프롬 주도 수소연료 개발 로드맵 추진 중
- ☑ 콜라 발전소(Kola-II) 600MWe급 2기의 원자로 기반 수소생산 플랜트 개발 추진
- ☑ 200MWt급 VHTR 활용 수소생산 실증 계획

### 대한민국



- ☑ 2004년부터 한국원자력연구원 주관 초고온가스로 연계 원자력 수소생산 핵심기술 개발연구 추진

### 영국



- ☑ 자국 수소 공급 전략에 원자력 수소를 그린수소에 포함
- ☑ 수소생산 및 공정열원 공급 위한 초고온가스로 개발 추진

### 캐나다



- ☑ 자국 수소 공급 전략에 원자력 수소를 그린수소에 포함

- ☑ 수소기술 개발 로드맵 발표, 초고온시험로 고온증기분해 등 수소생산 기술 분야 연구개발 수행 중

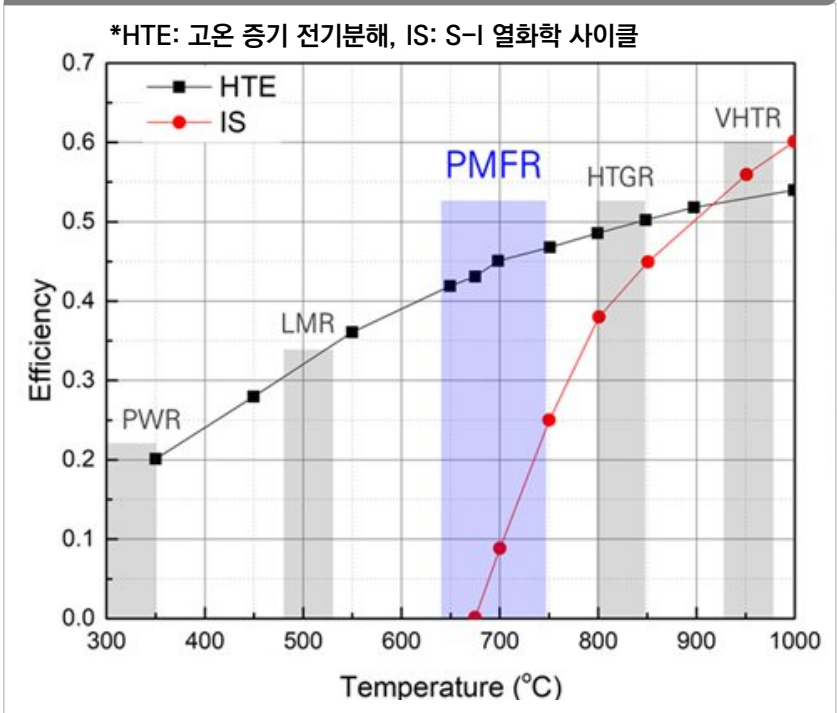


# 차세대 원자력 역할

## 원자력 수소 생산

- 원자로 이용 고온열원 지속적 공급: 고온에서 더 높은 효율로 생산 가능
- 원자력과 수소 생산 기술 접목, 원자력수소 생산 기술 개발 진행 (저온수전해 이용 원자력 수소 예타 기획중)
- 대표적 원자력 연계 수소생산기술로 ‘고온증기 전기분해’와 ‘S-I 열화학 사이클’ 제안됨

원자로 출구온도 별 수소생산기술 열효율



원자력 수소

- 저탄소 에너지원인 원자력으로 수소생산
- 고효율 대규모 수소 생산 가능
- 증가하는 수소 에너지 수요 달성 위한 그린수소 공급 수단 → Net-zero 필수 요소
- 고온열원 제공 위한 미래형 원자로기술 개발 병행 필요
- 용융염원자로(MSR)와 초고온가스로(VHTR)가 수소생산 주요 노형으로 제안됨



# 차세대 원자력 역할

## 수소생산용 원자로 연구개발현황 – ① PMFR

- i-SAFE-MSR 연구센터(한양대-가천대-카이스트) 신개념 용융염 고속로 노형 개발
- 600°C 이상 고온 작동온도로, 고온수전해 활용하여 40% 이상 수소 생산효율 달성 가능
- MSR 다양한 장점 반영함과 동시에, 기존 MSR 노형 단점을 보완한 노형

MSR 장점

- ✓ 고유안전성 및 큰 열적 여유도
- ✓ 낮은 운전압력 → 경제성, 소형화에 유리
- ✓ 매우 적은 핵폐기물

기존 MSR 한계점

- ✓ 짧은 흑연 감속재 수명 (3~4년)
- ✓ 토륨 기반의 증식으로 → 짧은 연료주기
- ✓ 실시간 재처리 → NPT 위배



PMFR  
Passive Molten salt Fast Reactor

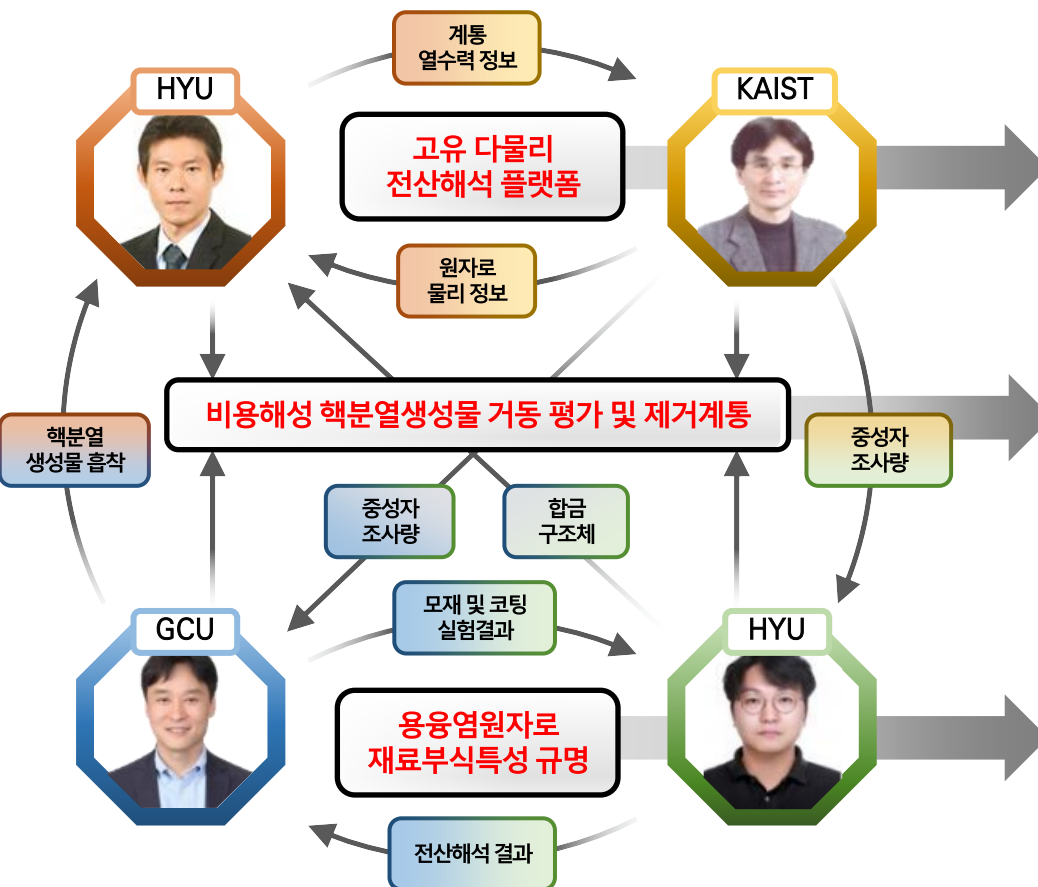
기존 MSR 한계점 개선 및 혁신기술 개발

- ✓ 감속재 제거 (구조 단순화, 핵폐기물 경감)
- ✓ 고속 스펙트럼 → 장수명 원자로 설계
- ✓ 실시간 재처리 X → NPT 준수



# 차세대 원자력 역할

## 수소생산용 원자로 연구개발현황 - ① PMFR



### i-SAFE-MSR 연구센터 주요 연구목표

PMFR 뿐만 아니라 MSR 정상-과도해석에 활용할 수 있는 **고유 전산해석 코드 및 기술, 수소생산기술 개발**

**MSR 설계 최대현안인 비용해성 FP 거동, 노심영향, 재료열화 평가기술 개발**

중성자 조사, 핵분열 생성물 침투로 인한 열화방지 **내부식성 코팅기술 및 재료 개발**

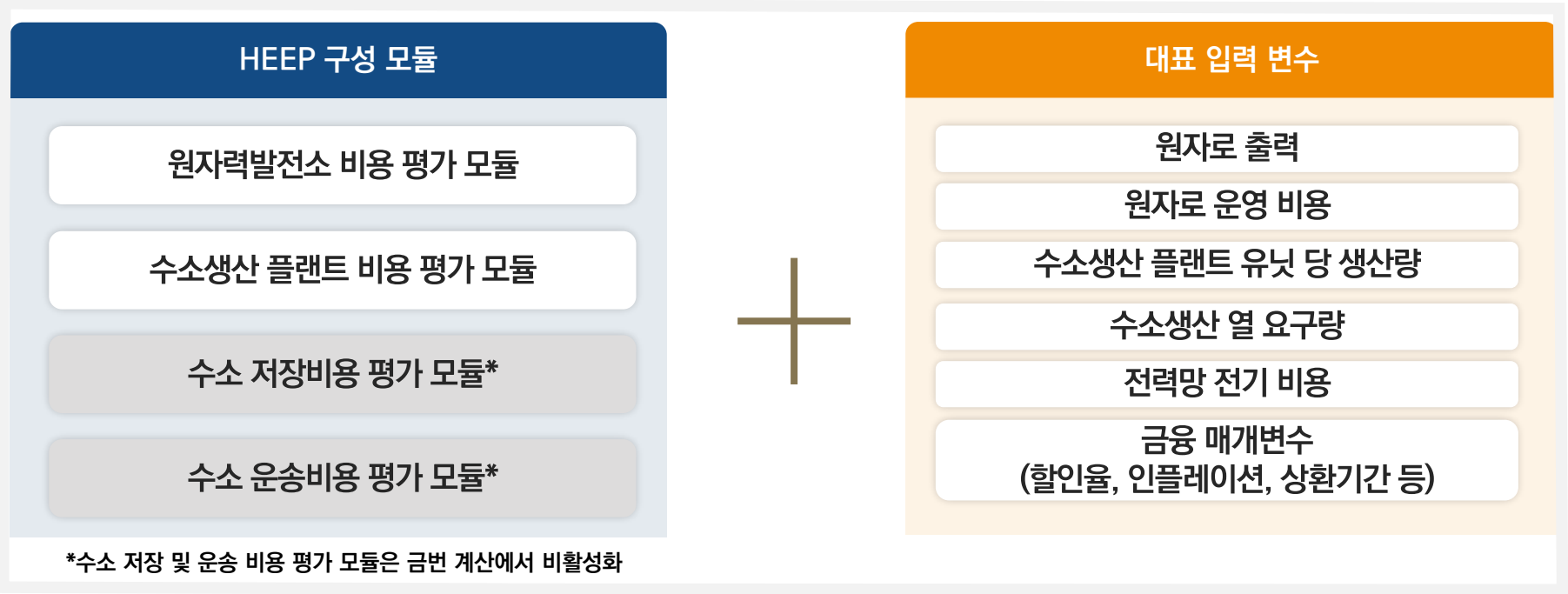


# 차세대 원자력 역할

## ☑ HEEP (Hydrogen Economic Evaluation Program)

: 인도 BARC 연구소가 IAEA 주관 하에 개발한 원자력 수소생산 플랜트 경제성 평가 프로그램

✓ 원자력 수소생산 시스템에 대한 수소생산 단가 산정하여 여러 원자로 조건 및 수소생산 방식에 따른 상대적 경제성 평가 수행





# 차세대 원자력 역할

## ☑ 수소생산 시스템 평가 케이스 (1)

### [ 총 8개 케이스 경제성 평가 수행 ]

#### 경수형 원자로 + 상온수전해

##### CASE 1

- ✓ 소형 가압경수로 + 상온수전해 수소 생산
- ✓ 359.5MWe 2기 + 4kg/sec 수소생산 설비

##### CASE 2

- ✓ 중형 가압경수로 + 상온수전해 수소생산
- ✓ 718.96MWe 2기 + 8kg/sec 수소생산 설비

##### CASE 2

- ✓ 대형 가압경수로 + 상온수전해 수소 생산
- ✓ 1117.05MWe 2기 + 12.4kg/sec 수소생산 설비

#### 고온가스로

\*(VHTR; Very High Temperature Reactor)

##### CASE 4

- ✓ VHTR + 고온증기 전기분해 수소 생산
- ✓ 546.5MWt 2기 + 4kg/sec 수소생산 설비

##### CASE 5

- ✓ VHTR + S-I 사이클 수소생산
- ✓ 630.7MWt 2기 + 4kg/sec 수소생산 설비



# 차세대 원자력 역할

## ☑ 수소생산 시스템 평가 케이스 (2)

[ 총 8개 케이스 경제성 평가 수행 ]

### 실증 고온가스로 노형 반영

#### CASE 6

- ✓ GTHTR-300 + S-I 사이클 수소생산 + 전력 생산  
→ 전기 수소 병합 생산
- ✓ 일본 JAEA에서 설계한 고온 가스노형
- ✓ 170MWt 열과 25.4MWe 전력  
→ 0.77kg/s 수소생산
- ✓ 나머지 178.6MWe 전력 → 전력망 공급

#### CASE 7

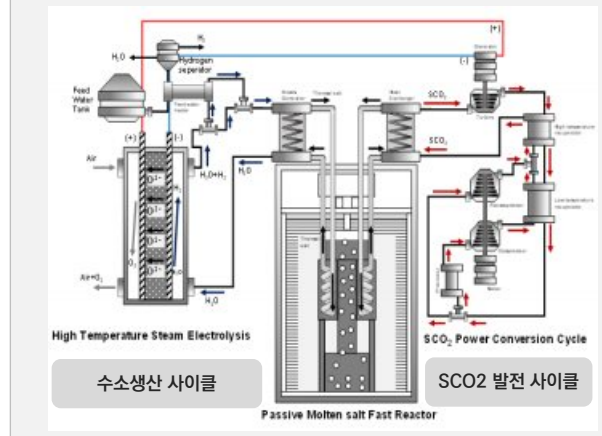
- ✓ HTR-PM + S-I 사이클 수소생산
- ✓ 중국 최초의 상업용 펄베드 모듈식 HTGR
- ✓ 250.0MWt 2기 + 1.36kg/sec 수소생산 설비

### 용융염 원자로

#### CASE 8

- ✓ PMFR + 고온 증기 전기분해 수소생산  
+ SCO<sub>2</sub> 사이클 전력생산 → 전기 수소 병합생산
- ✓ 370.0MWe 2기 + 2.7kg/sec 수소생산 설비

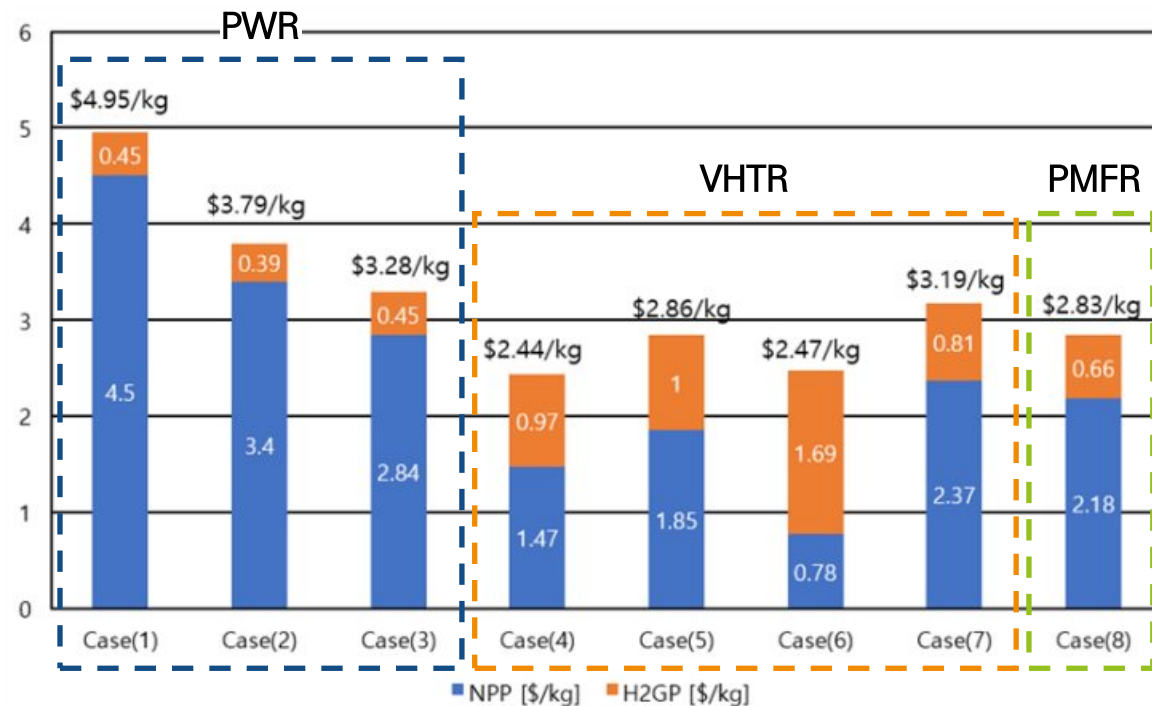
#### PMFR 전기 및 수소 병합발전시스템 개념도





# 차세대 원자력 역할

## HEEP 수소생산 시스템 평가 결과



### CASE 1 - 3

- ✓ 가압경수로 + 상온 수전해
- ✓ 높은 원자력발전소 및 총 수소생산 비용
- ✓ 낮은 수소생산설비 비용

### CASE 4 - 7

- ✓ VHTR (고온가스로)
- ✓ 높은 수소생산설비 비용
- ✓ Case 1-3에 비해 저렴한 총 수소생산 비용

### CASE 8

- ✓ PMFR (용융염원자로)
- ✓ VHTR (Case 4-7)평가 결과와 유사한 비용

가압경수로-수전해에 비해 VHTR-SI공정 및 MSR-고온수전해가 높은 경제성을 보임





# 목 차

## 5. 요약 및 결론

---



# 요약 및 결론

## 기후위기 대응: 탄소중립과 원자력의 필요성

- Net-zero 달성 → 저탄소 에너지원 필수적
- RE100 (신재생 100%) 비현실적, 비실질적 → CF100 (원자력 에너지 포함)

## 글로벌 차세대 원자력 동향

- 원자력 선진국을 중심으로 개발, 주요 국가 연구개발 및 지원정책 크게 확대
- 국내 기업 SMR 관련 사업 진출 및 연구개발, 정책 확장

## 탄소중립 SMR 역할

- 대형원전을 대체하며 안전성, 경제성, 유연성에서 큰 특징점을 가짐
- 특히, 다목적 활용성(전력생산, 수소생산, 지역난방, 담수화 등)이 매우 높음

## 차세대 원자력 역할 (수소생산)

- 현실적인 저탄소 수소생산 → 원자력수소 → 해외 원자력수소 지원정책 확대
- 수소생산용 SMR (MSR, VHTR) 국내 연구개발 역량 확대 필요



The background is a dark blue gradient with an abstract geometric pattern. It features several light blue triangles of various sizes and orientations, some of which are interconnected by thin white lines. Scattered throughout the composition are numerous small, light blue circular dots, some of which appear to be part of the geometric structure while others are isolated. The overall aesthetic is modern and technological.

경청해 주셔서 감사합니다.



# 이투데이 소형모듈원전산업 세미나

세계 원전 개발 동향과 iSMR 성공전략



Session\_4

**김용규**

두산에너지빌리티 원자력설계 상무



# SMR 제작 기업으로서의 성공 요인

이투데이 소형모듈원전산업 세미나

2023년 4월



# 두산에너지빌리티 - 원자력 One Stop Solution

두산에너지빌리티는 1980년대부터 원전 핵심 기기를 지속적으로 제작해 왔으며, 소재부터 기기 제작 및 출하까지 전 역량을 보유한 전세계 유일의 원자력 기자재 제작 전문업체

소재



- 단조공장
- 단조 프레스(17,000)

제작



- 원자력공장
- Over Head Crane (500 ton x 2)

출하



- 전용부두 보유
- 원자로 34대 및 증기발생기 124대 납품
- 한국, 중국, 미국, UAE 등에 공급



# 세계 에너지 시장 동향

전기수요 증가와 환경규제 강화에 대응 가능한 안정적인 에너지원으로서 원전 시장은 지속 확대 예상

## 에너지 시장 환경

### 전기수요 증가

- 전기차 보급 등 지속적인 전기 수요 증가<sup>1</sup>
- 격오지에서의 에너지 수요 증가
- 에너지 기술 혁명 Electrification 현상 가속화

### 환경규제 강화

- 2050 Net Zero / CF100 / RE100  
→ 노후 석탄화력과 가스발전 대체 수요 증대

### 안정적 에너지 공급 필요

- 러시아의 우크라이나 침공으로 인한 에너지 시장 불안정
- 기후변화 등 재생에너지 발전량 변동성 심화에 따라 안정적인 저탄소 기저부하 전원 필요 증대

## 주요 국가 별 에너지 정책 및 동향 (원전 중심)



- 원자력을 청정에너지로 평가하며 세제혜택 강화
- 초당적 인프라투자법안<sup>2</sup> 內 원전 투자 \$60억 포함
- ARDP<sup>3</sup> 등을 통한 차세대 원자로 실증 지원



- EU 택소노미의 녹색분류체계에 원전 포함
- 폴란드, 체코 등 신규 원전 건설 계획



- 現 신재생에너지 비중 45% 수준으로 지속 확대 예정이나, 기후변화로 안정적 공급 필요  
→ '50년까지 신규 원전 24GWe 건설 계획



- K-택소노미에 원전 포함 및 SMART, i-SMR 개발 중
- 투자/협력을 통한 SMR 사업 참여 확대:  
두산에너지빌리티(NuScale), SK(TerraPower),  
현대건설(Holtec) 등

1. 미국에너지관리청(EIA) 추산 '22 대비 '50년 글로벌 전기 수요 50% 증가  
2. Bipartisan Infrastructure Investment and Jobs Act  
3. Advanced Reactor Demonstration Program



# [BACK-UP] 주요국가의 SMR 사업 지원 현황

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

## 캐나다



- Net-zero 달성 및 SMR 시장 선점을 위해  
해외 SMR 개발 투자 및 실증로 자국 내 건설 추진 중
  - 캐나다 정부는 '18년 SMR Roadmap 발표 이후 SMR 개발사 자금 지원, J/V 설립, 자국 연구기관/현지업체 육성 정책 시행 중
  - 중소형, 초소형, 차세대 총 3가지 방향의 해외 SMR 건설 추진 중

## 중국/러시아



- 중국/러시아는 국가 차원의 SMR 개발/상용화를 적극 지원
  - 중국은 고온가스로 SMR을 '12년부터 건설하여 '21년말 운전 착수
  - 러시아는 '19년 부유식 원전의 상업운전을 시작하였으며, 내륙에도 SMR 건설을 추진 중

## 미국



- 바이든 및 민주당은 원자력을 Clean Energy로 인정하고 SMR 및 차세대 원전개발 지원 정책 발표
  - 원자력 포함 발전 설비 개선 및 R&D에 \$2,000억 투자
- 美 에너지부, SMR 시장 선점 위한 투자 및 Net-zero 전력시장 준비중
  - NuScale 건설을 위한 부지 무상제공 및 \$1.4B 투자
  - 차세대 SMR 개발에 7년간 \$3.2B 지원
  - SMR 핵심 제조 기술 정의 및 기술개발 투자
- Inflation Reduction Act 승인 ('22.8월)
  - 원전에 친환경에너지 수준의 세금혜택 지원

## EU/영국



- EU, 탄소중립 위한 에너지 계획에 원자력을 핵심 전원으로 포함
  - 유럽의회는 탄소배출 제로 결의안 내 원전의 역할을 명시하여 신재생에너지와 동등한 수준으로 고려하는 정책 제안
  - EU는 지속가능금융 분류체계 내 원전을 포함
- 영국 정부는 자국 SMR 개발 및 제조업 투자 중
  - SMR 개발에 2조원 이상 투자 예정이며, Rolls-Royce 및 자국 제조업 육성을 위한 투자 진행
  - 30년 초 초도호기 건설을 시작으로 현재 8기 건설 고려 중



# SMR 시장 전망

다수 기관 원전확대 시나리오 전망, 중장기 SMR이 50% 비중 차지 예상

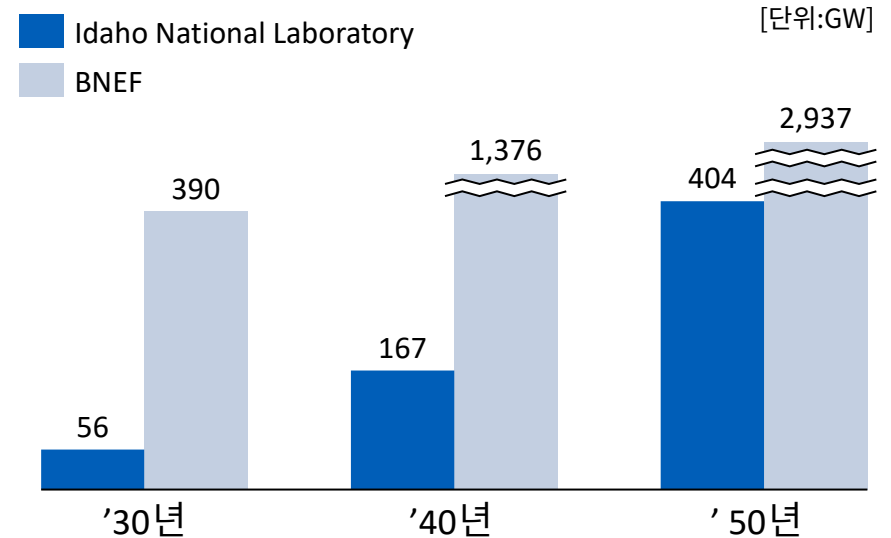
## 원자력/SMR 시장 전망

- 국제에너지기구(IEA)<sup>1</sup>는 원자력발전 설비 용량 전망을 전년 대비 25% 상향  
- ①탄소중립, ②LNG 가격 급등, ③에너지 안보 위협 등의 국제동향에 따라 원전 건설 및 계속운전 확대 예상
- 영국 국립원자력연구소<sup>2</sup>는 '35년까지 65~85GW 규모의 SMR 건설 전망
- 미국 국립연구소(INL)<sup>3</sup>는 신규 건설 원전 중 SMR 비중이 '50년까지 50% 수준까지 확대 전망  
- 대규모 송전망 구축비용 절감, 신재생에너지 간헐성 보완 목적으로 분산형 전원 수요 확대 예상
- BNEF<sup>4</sup>는 원자력 중심으로 탄소중립이 달성될 경우 '50년 총 2,937GW SMR 누적설치 전망

## SMR 설치 용량 및 시장 규모

- SMR 누적 설치용량은 전망기관마다 상이하나, 보수적으로 '30년 56GW → '50년 404GW 까지 확대 전망
- SMR 핵심 기자재 시장은 ~'30년 70조에서 ~'50년 520조 규모로 성장
- 원전 중심 최대 전망 기준 ~'50년 3,800조 시장 Potential

### [SMR 누적 설치용량 전망]



1. IEA(International Energy Agency)의 World Energy Outlook 2021, 2022년판 비교  
2. 영국국립원자력연구소의 Small Modular Reactors Feasibility Study (2014)

3. Idaho National Laboratory의 DOE Microreactor Program (2021) High Projection  
4. BloombergNEF의 New Energy Outlook 2021 Red Scenario



# 대형원전 VS SMR

SMR은 대형원전 대비 작은 소요부지, 다양한 용량구성, 보다 개선된 안전설계 적용 등 강점 보유하며 발전, 수소생산, 지역난방 등 다양한 목적으로 활용이 가능함

부지

대형원전



SMR

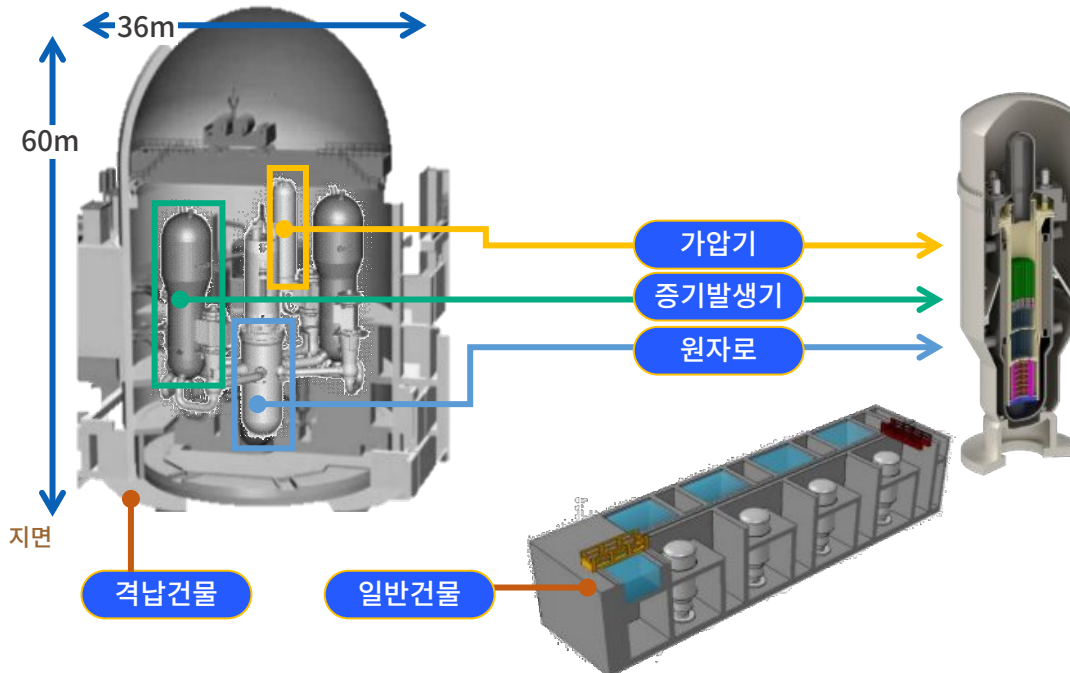


SMR의 장점

- 기존 화력부지 혹은 도심 인근 건설 가능

1GW 가정	발전 소 부지 <sup>1</sup>	비상 대피구역 <sup>2</sup>
대형	3.3km <sup>2</sup>	803km <sup>2</sup> (여의도 100배)
SMR	0.1km <sup>2</sup>	0.2km <sup>2</sup> (여의도 1/50배)

설계



- 현장시공 용이 및 건설기간 단축

- 콘크리트 돔 구조물 불필요
- 모듈화로 현장설치설비 축소

- 필요전력수요, 송전망 제약 등 대응 가능

- 수십~수백 MW 플랜트 구성 가능  
(플랜트 당 설치모듈 수량 조절)

- 외부전원 차단 시 냉각기능 강화 등 개선된 안전설계 적용

1. 미 에너지부 발표 기준, 국내 대형원전 필요부지는 미국 대비 1/6 수준  
2. 대형원전 반경 16km, SMR 반경 230m

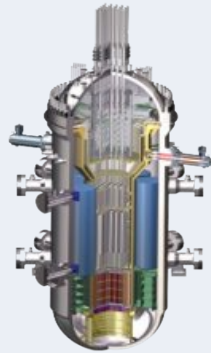


# 개발 중인 주요 SMR 노형

세계적으로 70여개 업체가 다양한 SMR 노형 개발 중

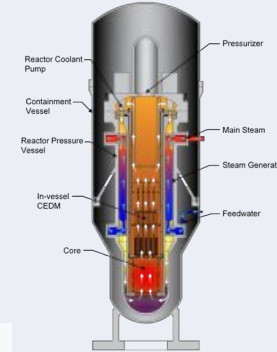
3세대  
경수로

SMART



(한국, 경수로)

i-SMR



(한국, 경수로)

NuScale



(미국, 경수로)

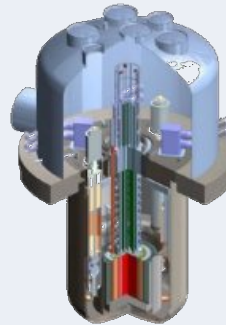
4세대  
원전

X-energy



(미국, 고온가스로)

TerraPower



(미국, 소듐고속로)

USNC



(미국/캐나다, 고온가스로)

Seaborg



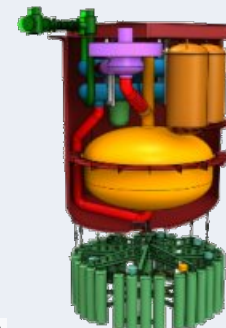
(덴마크, 용융염원자로)

Terrestrial  
Energy



(미국/캐나다, 용융염원자로)

Thorcon



(미국, 용융염원자로)

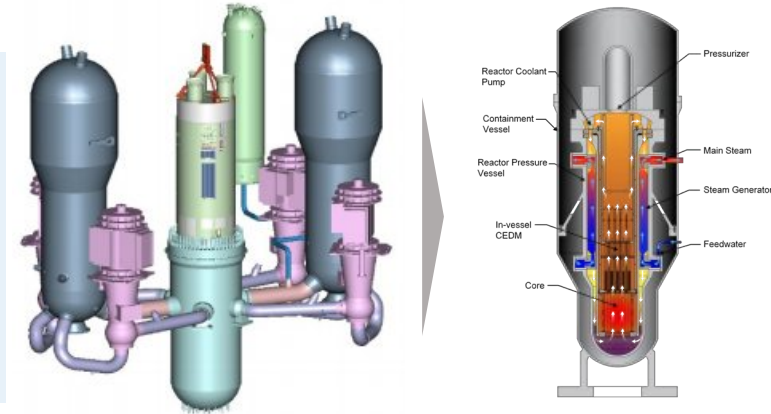


# SMR 설계 및 제작 특성

SMR은 일체형 설계로 시공 비중이 감소한 반면, 기자재 크기가 커지고 복잡하며, 더 짧은 납기가 요구되어 제작 경쟁력이 SMR의 경쟁력을 좌우할 것으로 예상

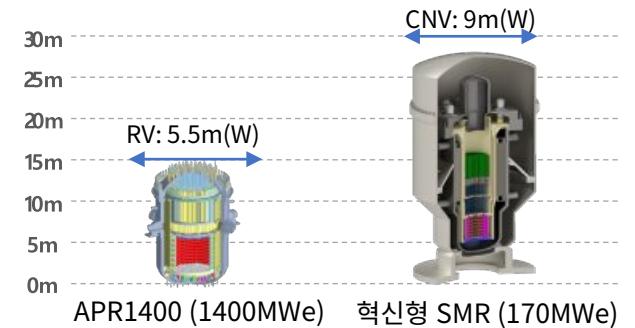
## Module 설계

- 원자로, 증기발생기, 가압기 등이 하나의 모듈로 설계
  - ✓ Helical Coiled Tube 설계 → 3차원 Bending/Coiling 특수 기술
  - ✓ 스테인리스강으로 덧씌움 용접 → 로봇기술과 용접기술
  - ✓ 복잡한 형상의 원자로 → 고도의 조립기술 /협소한 공간 검사 기법



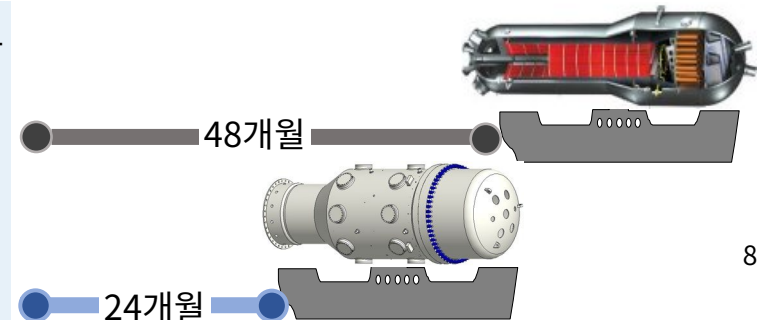
## 주기기 Size

- 상용원전 대비 용량은 작지만 일체형 설계로 크기가 대폭 증가
- 소재 제작부터 기기 제작의 난이도가 높음
  - ✓ APR1400 원자로 (1,400MWe) : 14.3m (H) / 5.5m (W)
  - ✓ 혁신형SMR (170MWe) : 25 m ~ 30 m (H, 예상) / 9m (W)



## 납기

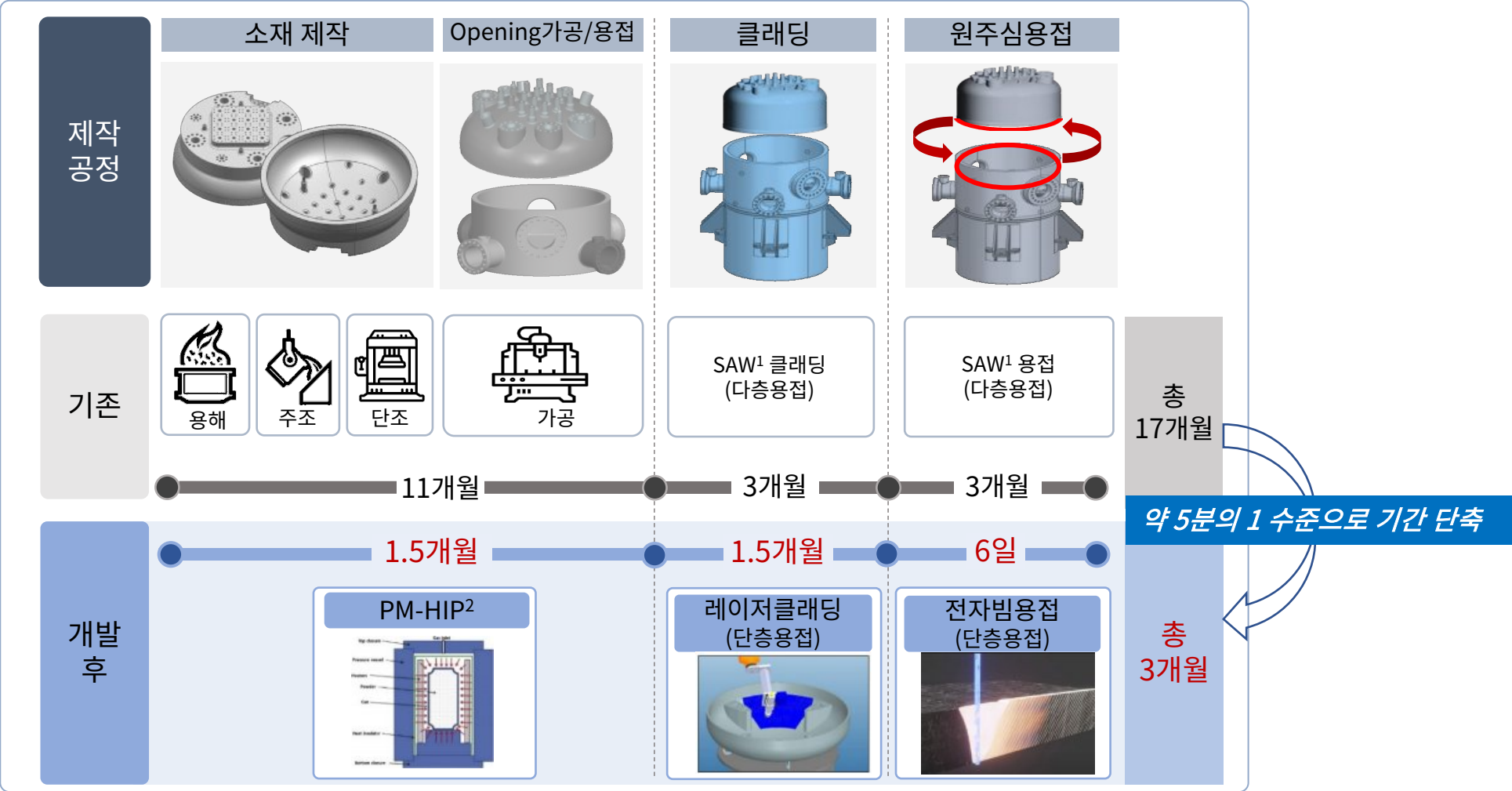
- 대형원전 대비 시공기간 단축을 위해 기자재 제작기간 단축요구
  - ✓ APR1400 원자로 (1,400MWe) : 48개월 목표
  - ✓ 혁신형SMR (170MWe) : 24개월 목표





# SMR 사업 성공을 위한 첨단 제작 기술 개발

SMR 설계 및 제작 특성을 고려하여 두산은 기자재 공급사로서 제품의 품질 및 납기 준수 등으로 사업의 성공에 기여하고자 하며, 이를 실현하기 위해 전용 제작 설비 구축 및 첨단 제작 기술 개발 투자 진행중



1.SAW (Submerged Arc Welding) 서브머지드 아크 용접 (자동 용접)  
2. PM-HIP (Powder Metallurgy-Hot Isostatic Pressing) 금속분말 열간등방압성형



# [BACK-UP] SMR 핵심 제작 기술 소개

**기본** SMR 사업 수행을 위하여 반드시 확보해야 하는 기술 → 초도 호기 기준 기술개발 및 설비제작, Test 기간을 고려하여 기술 확보 추진

**혁신** 납기 및 제작 비용을 획기적으로 단축 및 절감할 수 있는 기술 → SMR 발주 동향 및 경쟁사 개발 현황을 검토 개별 투자시점 및 방법 결정

## [주요 요소기술]

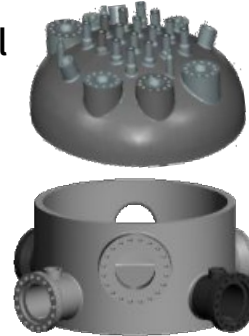
기본 혁신

재료	PM-HIP <sup>1</sup>
	SMR 신소재 기술개발
용접/제관	Helical Tube Bending 기술개발
	Helical Tube 진공열처리 기술개발
	원주심 전자빔용접
	덧씌움용접 (레이저클래딩)
	로봇용접시스템
	Additive Manufacturing
가공	접근제한부 용접공정 최적화
	접근제한 난삭재 가공기술
	저온가공 기술
	실시간 용접부 비파괴검사 기술
비파괴	용접부 표면 디지털 검사 기술
	용접변형 예측기술
디지털	제작공정 3차원 시뮬레이션 기술
	5G 이용 원격 용접 기술 개발



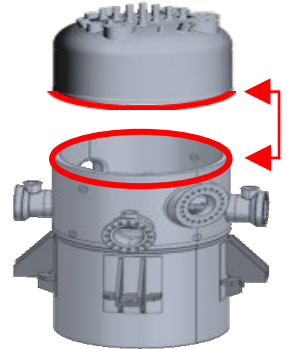
### PM-HIP<sup>1</sup>

소재·가공·용접을  
거치던 Head와 Shell  
제작기간을 **획기적  
단축**



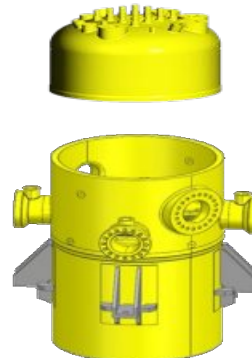
### 전자빔용접

기존 용접 시간 대비  
**10배 빠른 용접기술**



### 덧씌움 용접

복잡한 형상의  
내외면 덧씌움 용접**자동화**

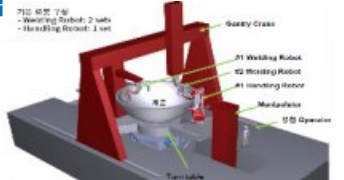


### Bending/ 로봇용접

제작이 까다로운 나선형 전열관  
**Bending 및 Coiling 기술**

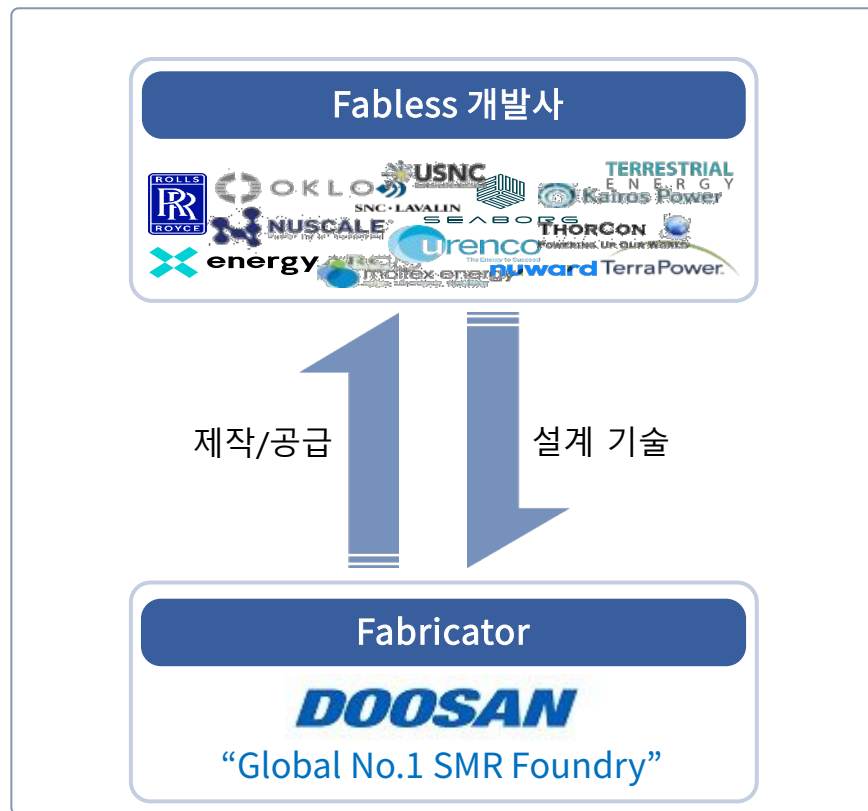


### 로봇용접시스템





- ◆ 세계 SMR 개발사들은 대부분 제작 경험이 없는 스타트업이며, SMR을 제작할 수 있는 업체는 제한적임
- ◆ 두산은 Global 제작 경쟁력을 기반으로 대규모 투자를 통한 제작 역량 확대 및 첨단 제조기술 개발로 다양한 SMR 유형의 기기 제작 전문회사(SMR Foundry)로 입지를 강화하고 사업을 확대할 계획임



- 두산은 해외 SMR 건설 사업에 우선 참여하여 SMR 제작 역량/경험 축적
- 해외 SMR 기기 제작 시 국내 Supply Chain을 활용하여 SMR 제작 생태계 구축
- 향후 SMART, 혁신형 SMR 등 국내 SMR 사업이 본격화되면 국내 제작 생태계와 함께 적극 참여
- 새로운 SMR 제작을 위해 첨단 제작 기술 개발, 전용 제작 설비 투자, 공장 시설 확충 등 추진



# SMR 사업 파급 효과

## 에너지 정책 측면

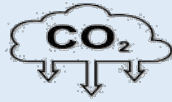
- SMR이 탄소 중립 달성에 핵심 에너지원으로 대두
- 준국산 에너지인 원전 활용 증가로 에너지 안보 강화



## 산업 진흥 측면

- SMR 시장 선점을 통한 원전 수출 확대
- 제작 물량 증가로 협력 업체 동반 성장 및 일자리 창출

### 탄소 중립 목표 달성에 기여



- **SMR 활용 전력 생산 시 대규모 탄소 감축 효과 발생**
  - 석탄발전을 SMR 전환 시 1GW당 연간 579만톤 CO<sub>2</sub> 감축 ('30년 국내 발전 분야 CO<sub>2</sub> 감축 목표의 23%)

### 에너지 안보 강화



- **해외 연료 수입 감소로 에너지 자립도 제고**
  - 연료비 비중이 발전단가의 10% 미만이며, 국제 우라늄 수급이 안정적이어서 에너지 의존 감소
- **SMR 수소 생산을 통한 해외 수입 대체**
  - SMR 2.7GW 건설 시 '30년 국내 해외수소 도입 계획의 20% 대체 가능

### 원전 수출 확대



- **Team Korea의 대형원전 및 SMR 포트폴리오 다각화**
  - 국가별 대형/소형 원전 맞춤형 솔루션을 통해 수출 경쟁력 제고
- **Global SMR 제작의 Foundry 로 입지 강화**
  - 국내 원전 제작 생태계의 경쟁력을 바탕으로 미국/유럽의 SMR 제작 물량 확보

### 동반성장/일자리 창출



- **국내 원전 제작 생태계의 기저 물량 확보**
  - 대형원전 대비 발주 물량이 꾸준하며, 국내 원전 협력 업체 다수 참여 가능 (180여개 협력 업체 참여 예상)
  - 원전 기자재 제작은 타 제작 분야 대비 고부가가치의 전문 제작분야로 대규모 고급 일자리 창출 가능



감사합니다

DOOSAN