

# MMR 고온가스로 개발 및 상용화

2022. 05. 18 (수)

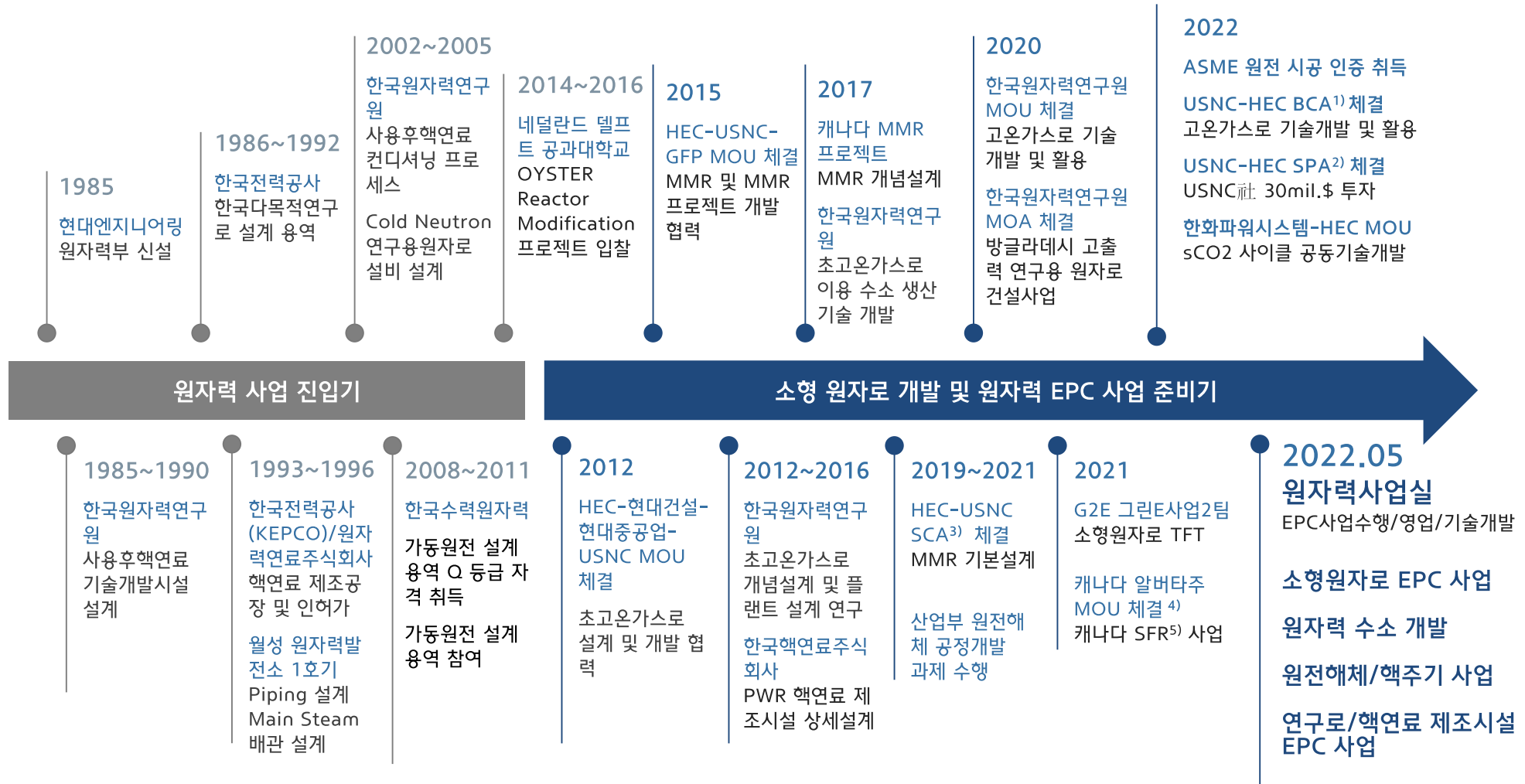
한국원자력학회 원자로시스템기술 연구부회  
워크숍A. 국내외 소형모듈원자로(SMR) 기술개발사업 현황

발표자: 이상일, 최영재



1. 현대엔지니어링 원자력 사업 연혁
2. 고온가스로 개요
3. MMR 사업 개요
4. MMR 기술
5. 향후 계획

# 1. 현대엔지니어링 원자력 사업 연혁



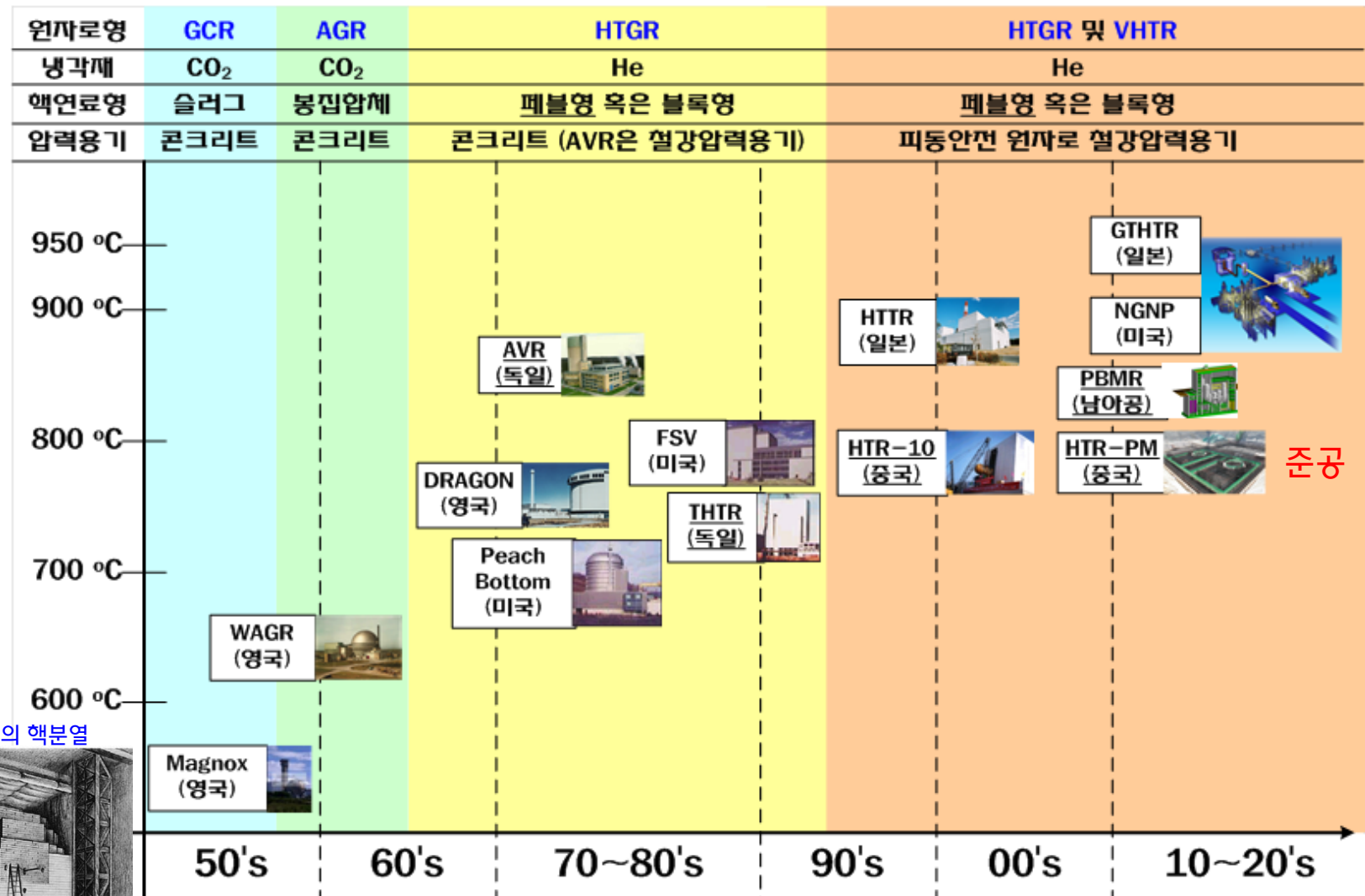
<sup>1)</sup> BCA (Business Cooperation Agreement) :사업협력협약 / <sup>2)</sup> SPA(Stock Purchase Agreement) : 주식매매계약/<sup>3)</sup> SCA(Strategic Cooperation Agreement): 전략적협력협약

<sup>4)</sup> 참여사: HEC, 알버타주, 캘거리대, 경상북도, 한국원자력연구원, 한동대, CKBC / <sup>5)</sup> SFR(Sodium Cooled Fast Reactor): 소듐냉각고속원자로

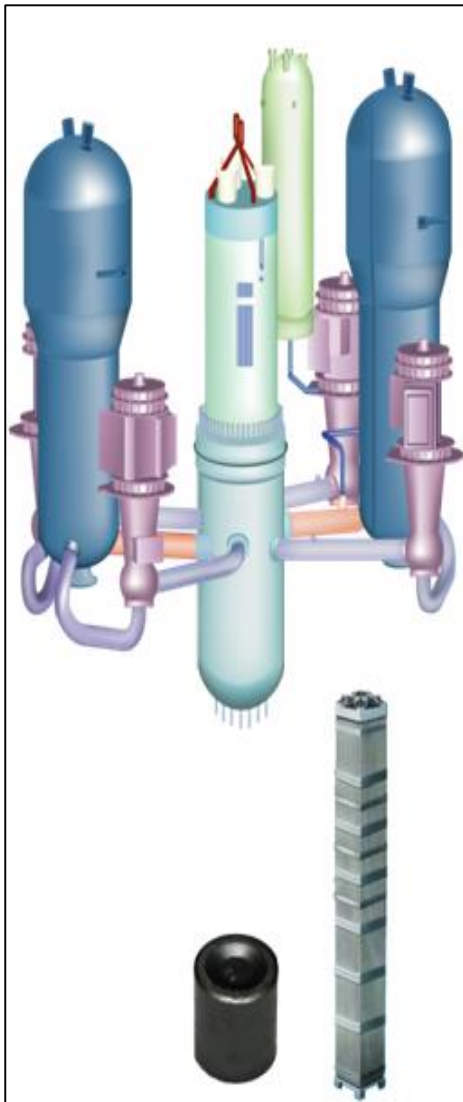
## 2. 고온가스로 개요



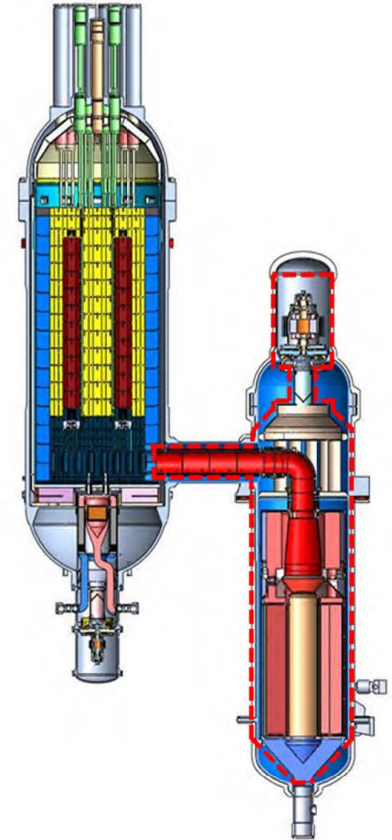
## 2. 고온가스로 개요



## 2. 고온가스로 개요



| 항목     | 가압경수로  | 고온가스로           |
|--------|--------|-----------------|
| 냉각재    | 물      | 헬륨가스            |
| 감속재    | 물      | 흑연              |
| 출구온도   | 320 °C | 750 °C ~ 950 °C |
| 냉각재 압력 | 150 기압 | 70 기압           |
| 핵연료    | 집합체    | 피복입자            |

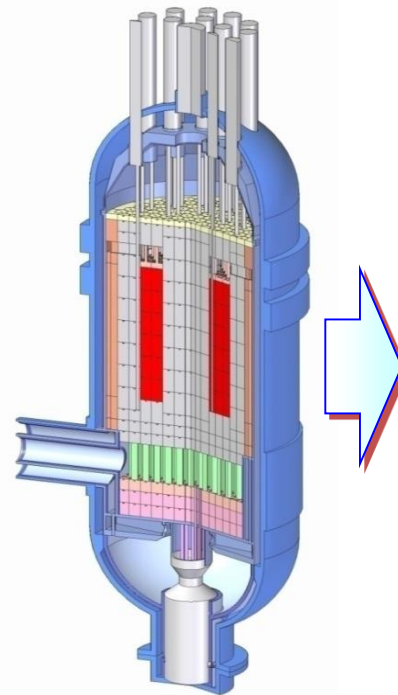
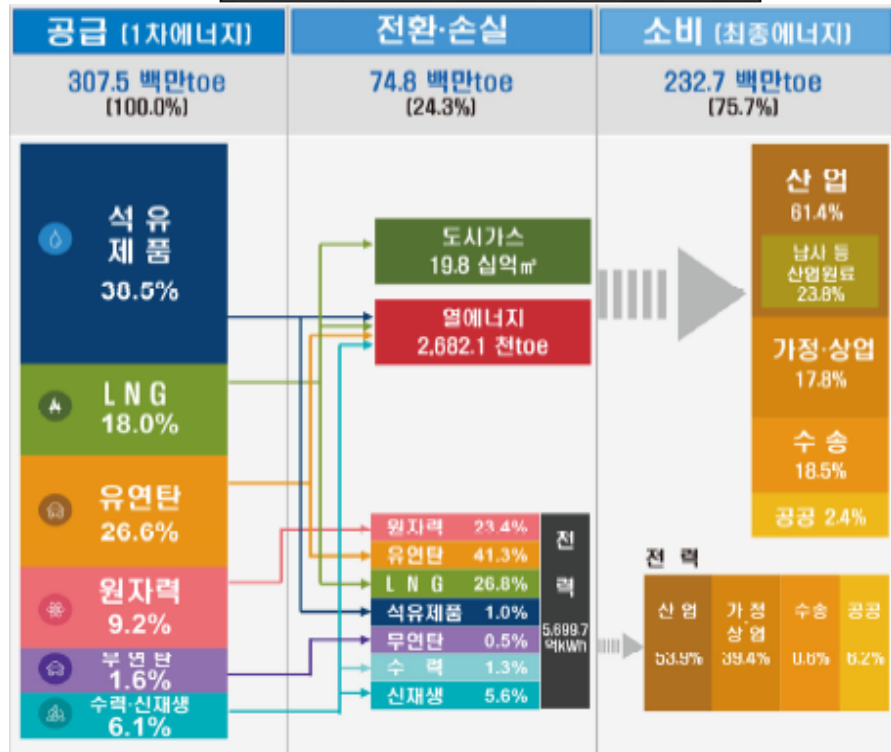




## 2. 고온가스로 개요

- ❖ 화석연료 고갈, 온실가스 문제 : 화석연료를 원자력으로 대체
- ❖ 원자력은 전체에너지의 약 10%를 담당(전력 공급에 국한)
- ❖ 고온가스로는 고온의 열을 발전 이외의 다양한 분야에 공급 가능

2020년 국내 에너지 밸런스  
(에너지수입의존도 93.7%)



수소생산  
(800~950°C)



합성연료  
(500~900°C)



고효율전력  
(~750°C)

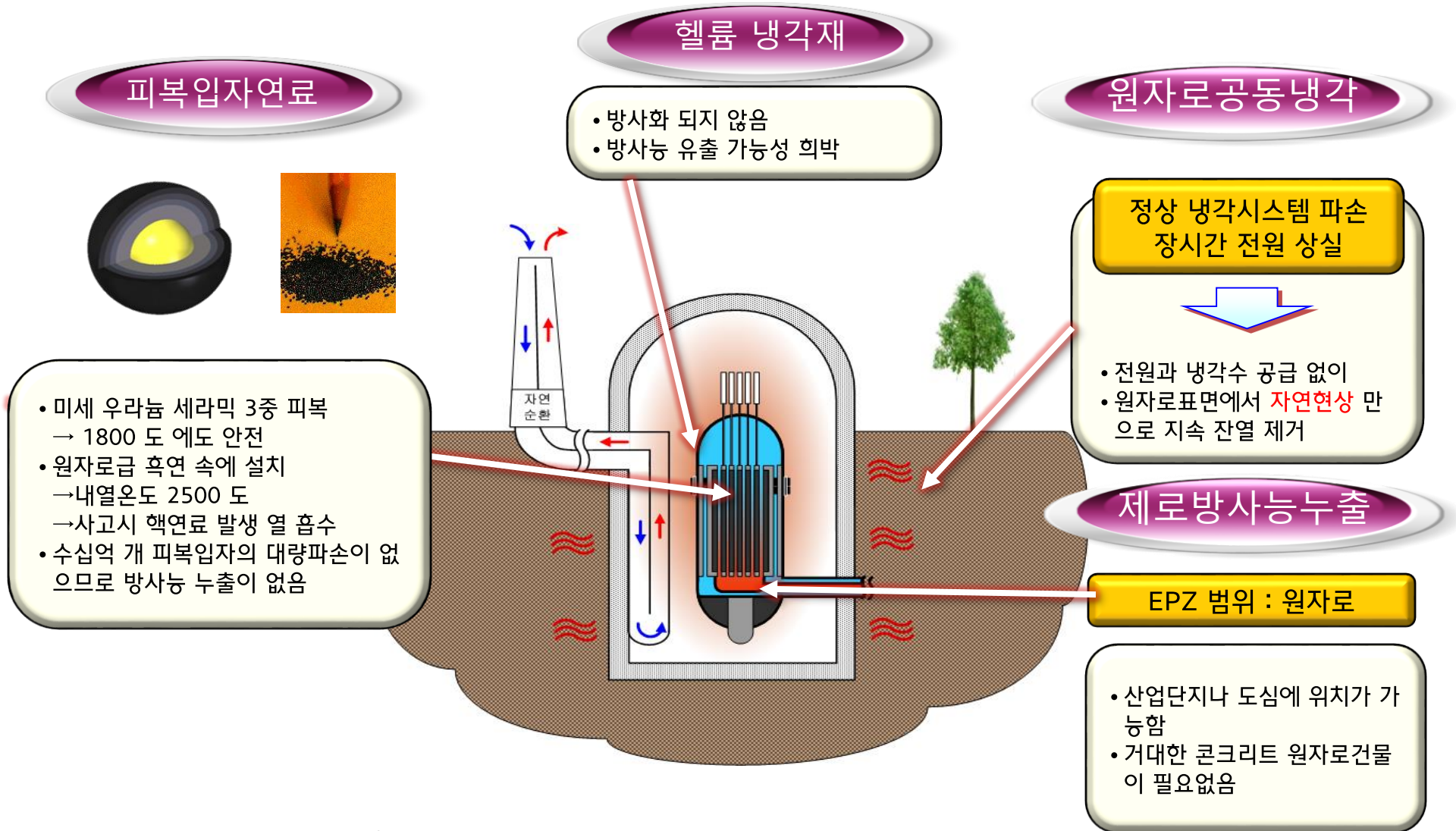


산업단지  
(300~600°C)



## 2. 고온가스로 개요

❖ 후쿠시마와 같은 동일 사고에도 안전성 확보



1) EPZ (Emergency Planning Zone, 비상계획구역) : 사고시 주민 소개 지역, 경수로는 약 15 km에 해당



# 3. MMR 사업 개요

- ❖ MMR은 소형모듈원전 중 『 4세대 초고온가스로 』 로서 최고의 안정성 확보
- ❖ “글로벌 탄소제로”, “수소 경제”를 대비한 효율성 · 모듈성 · 안전성 · 경제성이 극대화된 그린 에너지 초소형 모듈 원전

## MMR

캐나다 극지 · 오지 · 광산 · Off-Grid 시장

### • 상용화 리스크 헷지

- 초기개발비가 적은 초소형원자로 선정
- 초소형원자로 투자비 회수에 필요한 충분한 시장 형성

### • 기존 경수로형 원자로 대비 우수한 안전성 및 건설 용이성

- 헬륨 냉각재 및 다중 코팅 핵연료 - 안전 계통 단순화, 높은 안전성
- 플랜트 모듈화를 통한 운송 및 건설 용이
- 빠른 상용화 가능 (캐나다 인허가 VDR 1차 통과, '19.02)

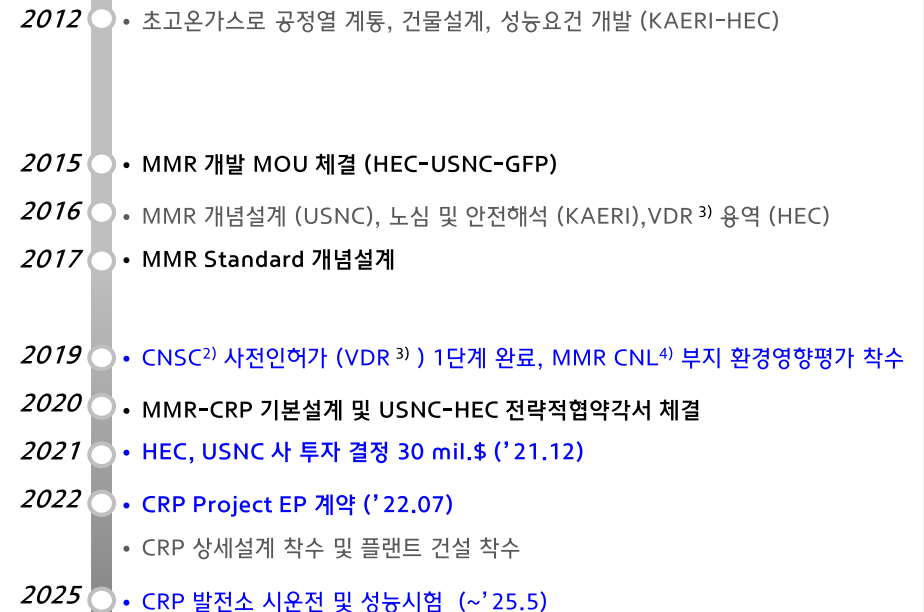
### • SMR 수요 多 및 확장성

- 다양한 투자처 및 pipeline 확보  
( '30년 까지 80 unit 확보 및 MOU, F/S 등 진행중)
- 동일 원자로 압력용기 및 피동 안정성 확보 가능
- 15 MW<sub>th</sub> → 100 MW<sub>th</sub> 출력 확장 가능 (수소 생산)

『 MMR』 는 효율성 · 모듈성 · 안전성 · 경제성이 극대화된  
그린 에너지 초소형 모듈 원전

## 캐나다 CRP <sup>1)</sup> project 사업 경과

- 당사는 '12년부터 USNC와 고온가스로 설계 · 개발 추진
- '15년 USNC와 MMR사업 건 MOU 체결 후, 캐나다 CRP발전소 개념 및 기본설계 완료, 상세설계 및 건설 추진 中



1) CRP: Chalk River Plant (Initial Plant)

2) CNSC: Canadian Nuclear Safety Commission, 캐나다 원자력규제기관

3) VDR: Vender Design Review, 사전인허가 검토(캐나다 원자력인허가법에 적합한 기술인지 검토)

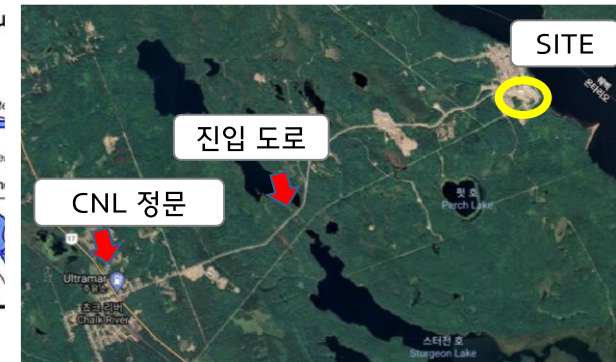
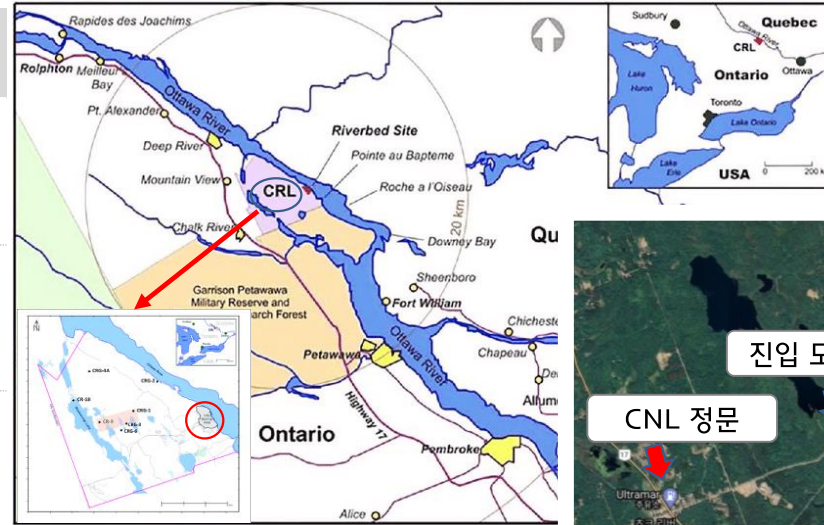
4) CNL: Chalk river National Laboratory (초크리버 원자력 연구소)

### 3. MMR 사업 개요 - 부지

#### MMR 사업개요

#### 캐나다 초크리버 원자력연구원 부지

| 구분           | 내용   |
|--------------|--|
| 프로젝트명        | MMR-CRP<br>(Micro Modular Reactor- Chalk River Project)  |
| 실증 플랜트 위치    | 캐나다 남동부 Chalk River,<br>Canada Nuclear Laboratory  |
| 발주처<br>/참여형태 | <ul style="list-style-type: none"> <li>발주처 : Global First Power (USNC – OPG 합작)</li> <li>MMR 개발사 : USNC</li> <li>참여형태 : 투자 / EP 수주</li> </ul>          |
| 플랜트 규모       | <ul style="list-style-type: none"> <li>초소형 고온가스로 : 1 x 15MWth</li> <li>Steam Turbine Generator : 1 x 5MWe</li> <li>80~90여개의 소형 모듈 조립식 Plant</li> </ul> |
| 사업기간         | '22년 1Q LNTP ~ '25년 1Q 시운전 완료  |

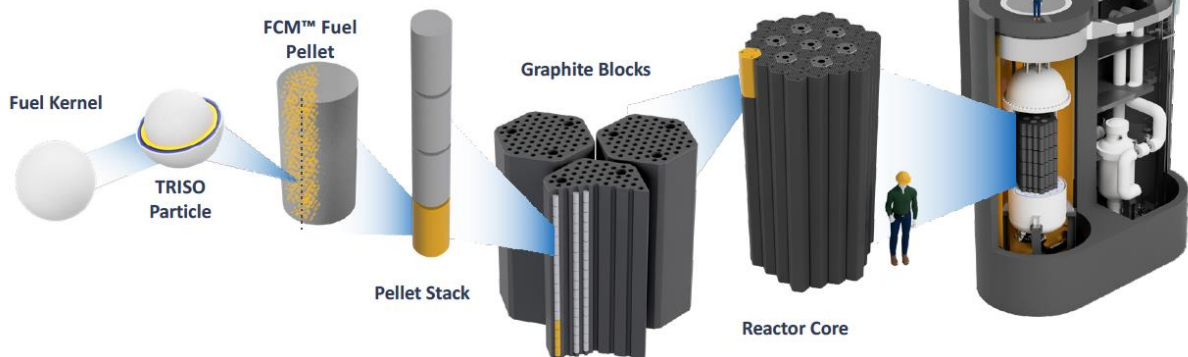
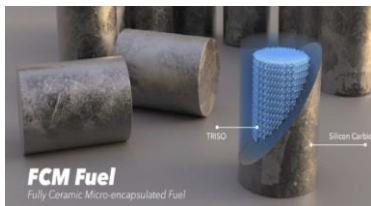


# 4. MMR 기술 개요

- ❖ 4세대 초고온가스로의 노심 설계 및 핵연료 제조 기술을 통한 혁신적 안전성 확보 (『핵연료 관련 8건』 외 총 14개 특허 보유)
- ❖ 수소생산, Off-site, 공정열 공급 등 다양한 수요처에 맞는 Multi-Unit 모듈 공급
- ❖ 화성까지 갈 수 있는 원자로 엔진 기술, 추진체 기술 확보

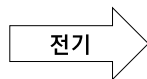
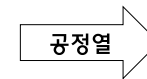
## FCM<sup>1)</sup> 핵연료 제조 기술

- 1800 °C 에도 안전, 방사능 누출 가능성 ‘Zero’
- 세라믹 마이크로캡슐화를 사용한 피복 입자 기술
- 3중 코팅 안전 구조
  - SiC 녹는점: 2,730°C
  - 높은 부식 저항성
  - 수소발생 없음



## 초고온가스로 노심 기술<sup>2)</sup>

- 헬륨 냉각재(열출력밀도 低) 사용으로 안전 계통 단순화
- 핵연료 재장전 없이 20년간 운전 가능
- 전원과 냉각수 공급 없이 원자로 표면에서 피동 잔열제거 가능



## 적용분야

### 1. 수소 생산

- 750도 고온 열을 통한 경제 적 대량 그린 수소생산



### 2. 공정열, 지역열 공급

- 오일샌드 및 광산의 열병합 및 디젤발전기 대체

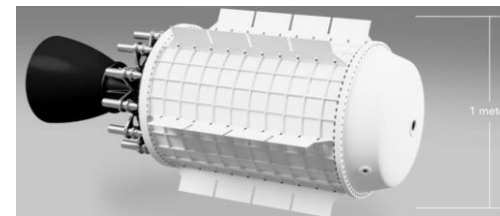


### 3. 극지, 오지 Off-site 전기 공급

- 모듈식 설계로 신속한 시공 및 극지/오지 설치 가능
- MMR 1 unit이 20년간 700만 리터의 디젤을 대체

### 4. 화성까지 가능한 우주 추진체

- 화학추진보다 빠르게 유인 화성 임무 가능



『USNC-MMR』는 원자로 노심 설계 및 핵연료 제조 기술을 통해서 전력, 공정열 수소 생산 가능 원자로 및 화성 유인 우주선 추진체 기술 보유

1) Fully Ceramic Microencapsulated: 완전 세라믹 마이크로캡슐화  
2) USNC Micro Modular Reactor Technical Information

## 4. MMR 기술 개요 – Layout

### MMR™ Energy System

Layout for Remote Off-grid applications

Thermal Power

30 MWt (15 x2)

Electrical Power

10 MWe (5 x2)

Lifetime

20 years

Refueling

None in 20 years

Nuclear Plant

Adjacent Plant

Turbine

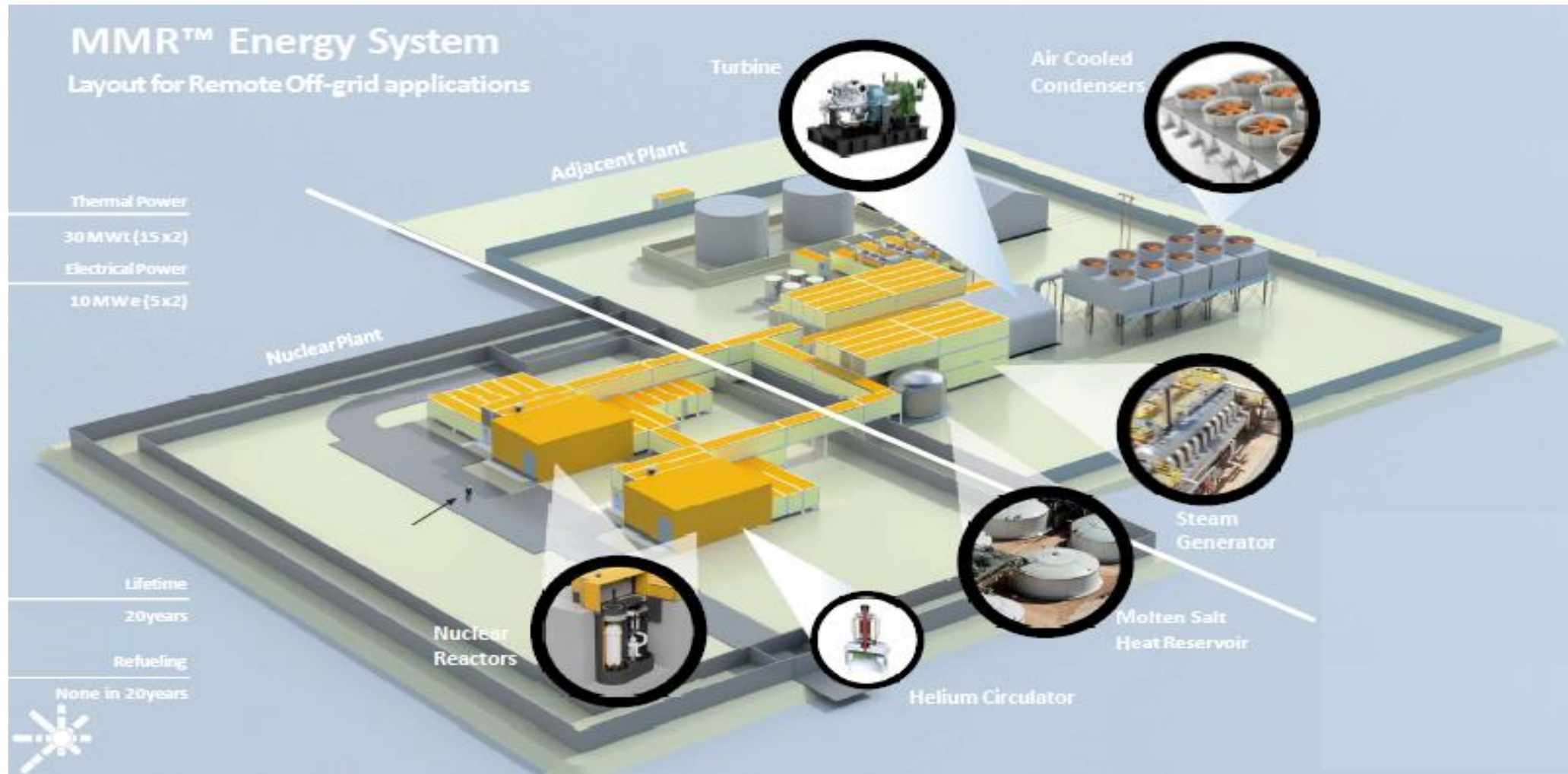
Air Cooled  
Condensers

Nuclear  
Reactors

Steam  
Generator

Molten Salt  
Heat Reservoir

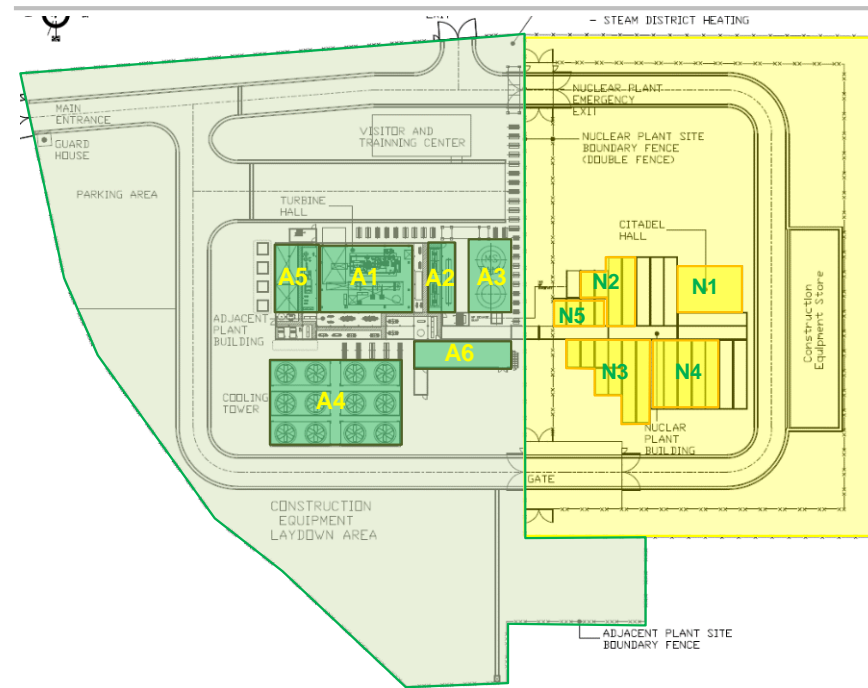
Helium Circulator





# 4. MMR 기술 개요 – Plant Overall 3D

Site Plot Plan



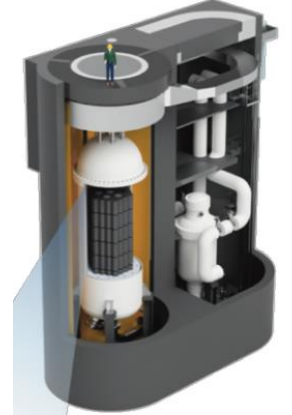
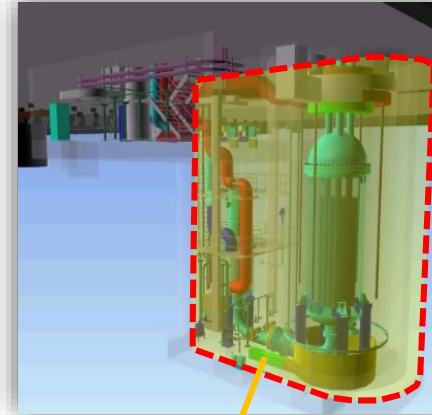
## Nuclear Plant (NP)

|    |                      |
|----|----------------------|
| N1 | Citadel—원자로격납고       |
| N2 | Waste Handling Area  |
| N3 | Control & Elec. Room |
| N4 | HVAC Room            |
| N5 | Changing Room        |

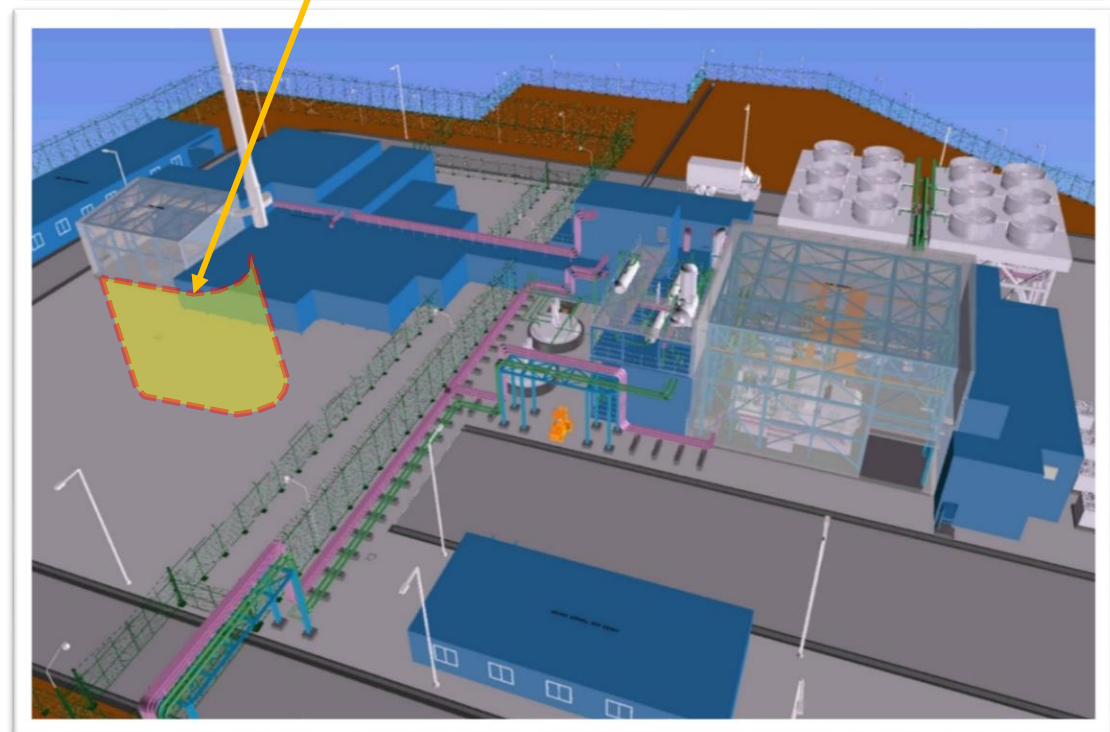
## Adjacent Plant (AP)

|    |                     |
|----|---------------------|
| A1 | Turbine Hall        |
| A2 | Steam Generator     |
| A3 | Molten Salt Tanks   |
| A4 | Fin Fan Air Coolers |
| A5 | WT and WWT Area     |
| A6 | Electrical Room     |

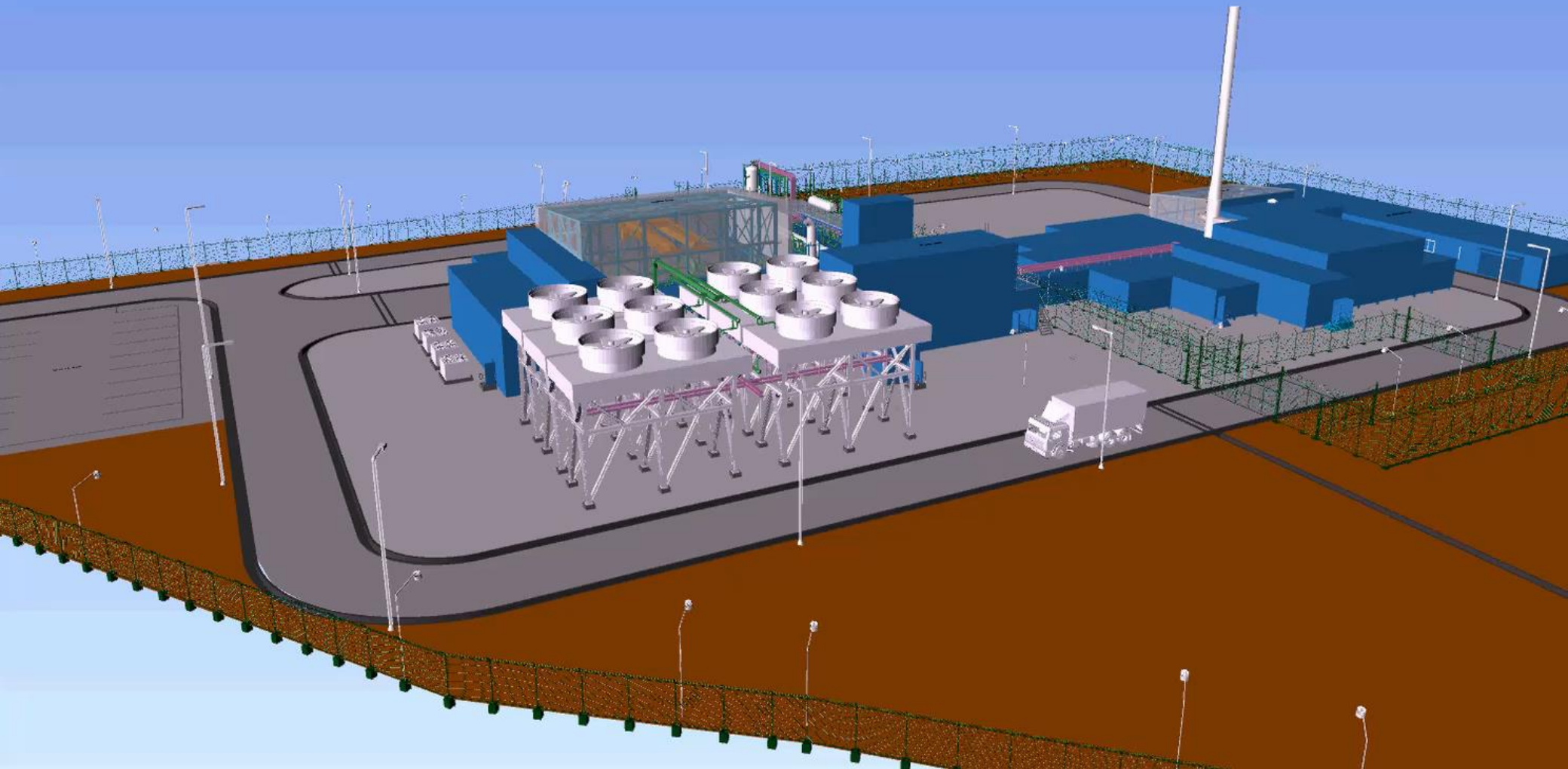
MMR 원자로



MMR 플랜트 3D



## 4. MMR 기술 개요 – Plant Overall 3D 동영상





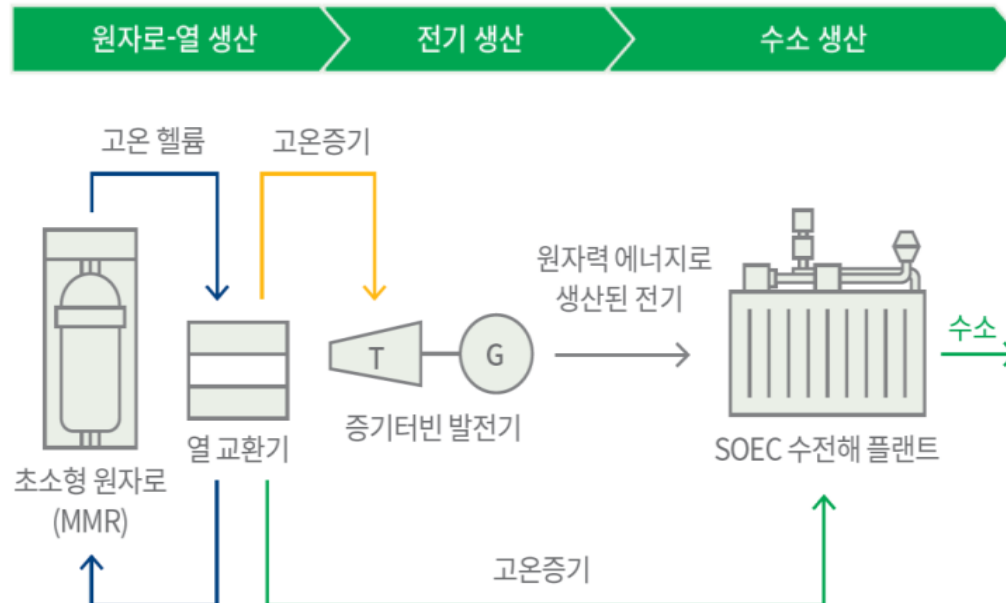
## 5. 향후 계획

### ❖ MMR 사업 (5MWe, 15MWt)

- 캐나다 Chalk River(CNL 부지) 5MWe 플랜트 건설 및 실증 (~'25.5월)
- 초크리버 사업 완료(~'25년)를 통해 미국/폴란드/캐나다 등에 상용 호기 건설 예정

### ❖ MMR++사업(40MWe, 100MWt)

- 캐나다 초크리버 프로젝트로 실증 완료된 MMR (15MWt, 5MWe) 기술도입
- 대용량 수소 생산을 위한 MMR++ 기술 고도화 (15MWt → 100MWt)
- 국내 고온수전해(SOEC) 수소생산 플랜트 실증 추진
- 원자로 설계 변경없이 핵연료 형태 변경 및 핵연료 교체주기(20년 → 5년)으로 용량 증가



---

경청해 주셔서 감사합니다