사단법인 한국원자력학회
KOREAN NUCLEAR SOCIETY

Hanwha Power

초소형원자로와 supercritical CO2 Brayton Cycle

한화파워

October 28, 2026

Contents

1. 한화파워 소개
2. 초임계이산화탄소 (sCO2) 발전시스템 개요
3. 한화파워 sCO2 발전시스템 개발 및 상용화 현황
4. 초소형원자로용 sCO2 RCBC (Recompression Closed Brayton Cycle) Power Block 개발 현황
5. 5MWe 히트파이프 원자로용 PCS 비교 (eVinci Open Air Brayton vs. Hanwha sCO2 RCBC)
6. sCO2 RCBC 시스템 Demo Project 소개
7. 요약 및 제언

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

1. 한화파워 소개 – 30년 업력의 터보기기 전문 업체

한화파워는 가스터빈 엔진 분야에서 장기간 축적한 신뢰성 높은 기술과 경험을 바탕으로 1997년 산업용 에너지 장비 시장에 진출, 터보 압축기, 익스팬더, 블로워 등으로 전 세계 9,000대 이상의 판매 실적을 보유하고 있습니다.

Compressor

Line-up

Handling GAS +more

CO	CarbonMonoxide	CH_4	Methane	C_3H_6	Propylene	N_2	Nitrogen
CO_2	CarbonDioxide	C_2H_4	Ethylene	C_3H_8	Propane	NH_3	Ammonia

Air/ N_2 Compressor

SM100 Pro



- Air / N_2
- 700~35,000N㎥/hr
- Instrument Air or Plant Air
- API 672

Engineered(SE-A/N)



- Air / N_2
- ~200,000N㎥/hr
- Air Separation or Petrochemical
- API 672 or API 617

Gas Compressor

Gas



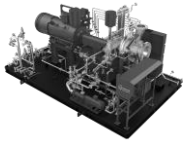
- Various gas
- ~169,000㎥/hr
- Oil & gas process (up to 6 stage)
- API 617

CO_2



- L-CO_2
- CO_2 Sequestration
- Up to 8 stage
- API 617

VRU



- Lethal(Sour Gas)Service
- Vapor Recovery Unit
- API 617

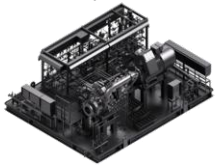
Fuel Gas



- CH_4(Natural gas)
- Gas Turbine for Power plant
- API 617

Gas Compressor

Ethylene



- Demethanizer process
- Cryogenic Gas
- API 617

HP



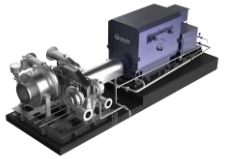
- CH_4(Natural gas)
- LNG Terminal
- API 617

BOG



- LNG BOG(Boil Off Gas)
- LNG Terminal
- API 617

Steam



- Steam(superheated)
- Mechanical Vapor
- Re-Compression
- API 617

Expander

Cryogenic

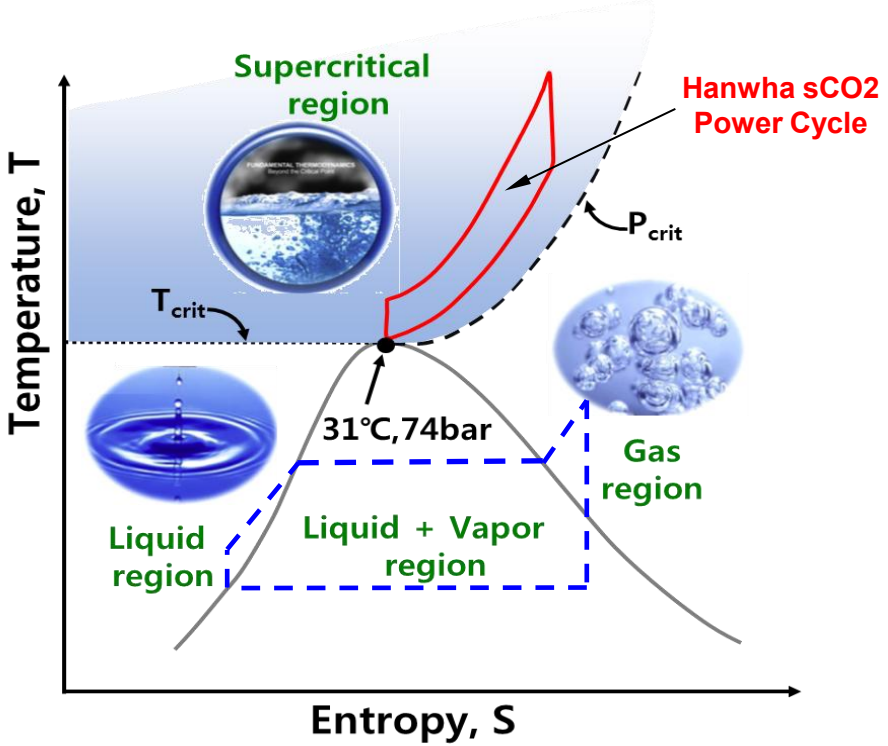


- LNG Liquefaction or Hot process gas
- API 617 CH_4

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

2. 초임계이산화탄소 (sCO2) 발전시스템 개요

- “초임계 상태 (supercritical state)” : 유체의 임계점 이상에서의 상태 (CO2: 임계온도 31℃, 임계압력 74bar)
  → 밀도가 액체 수준으로 높지만, 기체와 같이 거동 (높은 밀도, 낮은 점도)
- High Power Density Turbomachinery (Small Footprint, Compact) : High-efficiency Closed Loop Brayton cycle
- “Dry Cooling (공랭식 냉각) 가능 + 작동 유체 CO2” → 물 전혀 불필요 → 물 처리 BOP 불필요 (CAPEX 및 OPEX 절감, 소형화)

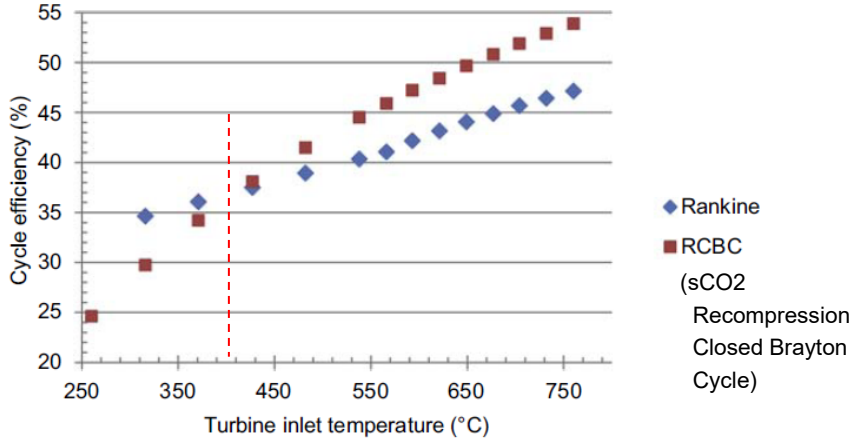


< CO2 Power Cycles >

(— Supercritical Brayton vs. - - Rankine)

동력변환계통 차별화

구분	스팀 터빈	Hanwha sCO2
1. 작동 유체	DEMI Water	초임계 CO2
2. 발전 사이클	Rankine (Two Phase)	Brayton (Single Phase)
3. 터보기기	▪ Single Shaft 터빈 ▪ Feed Pump	▪ Integrally Geared Compressor + Expander



< 발전 사이클 효율 비교 (Rankine Cycle vs. sCO2 RCBC) >[1)]

1) Source: NETL, White, C. 2016. “Analysis of Between Cycles Utilizing Supercritical Carbon Dioxide”

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

2. 초임계이산화탄소 (sCO2) 발전시스템 개요

발전사이클 작동 유체로서 sCO2 특장점

sCO2 Features as Working Fluid

고밀도

- **Compact & Simple 터보기기**
  - High Power Density → 소형화
  - Less Complex → 단(Stage) 수 감소
- **작은 Footprint**

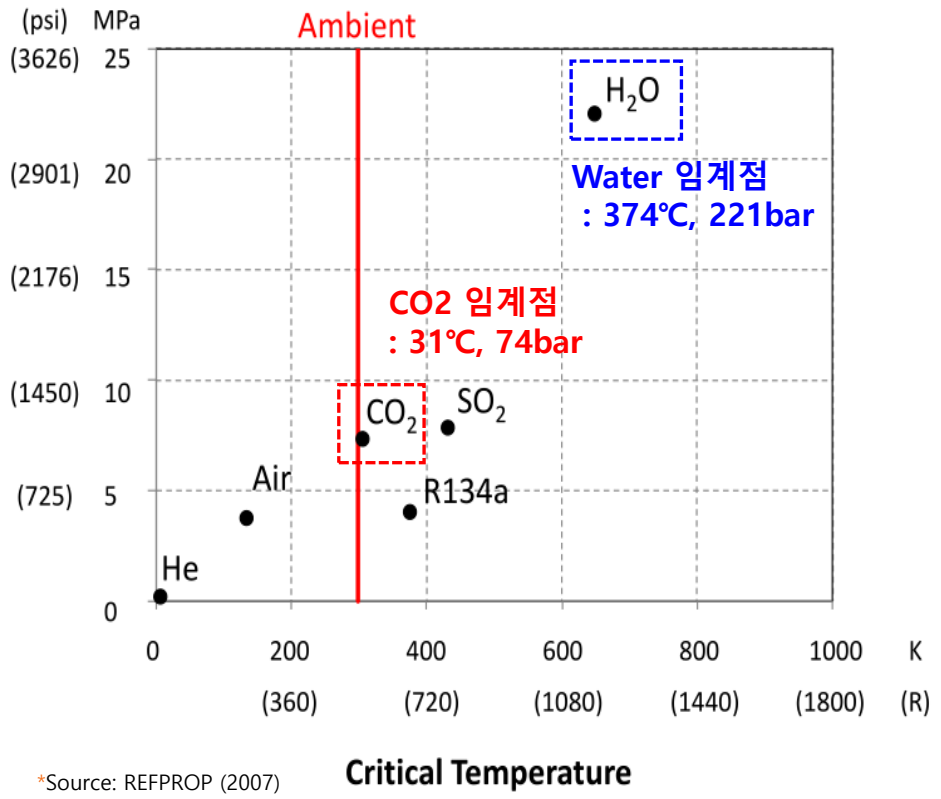
낮은 임계 온도

- **낮은 임계온도(31℃)로 초임계 상태 도달 용이**
  - 압축기 Power 저감 → Net Power↑
  - Dry Cooling 적용 → 냉각수 불필요

CO2 범용성

- **높은 안정성**
  - **Non-Toxic, non-flammable**
- **확보 용이성**
  - Industrial/Food Grade CO2 사용가능
  - 99.5~99.9% 순도로 조달 용이/저가

Critical Point (CO2 vs. H2O)



*Source: REFPROP (2007)

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

3. 한화파워 sCO2 발전시스템 개발 및 상용화 현황

US DOE[1] 10MWe CSP[2] (태양열 발전) 용 sCO2 발전시스템 개발 프로젝트 수행 (APOLLO[3])

프로그램 목표

Power 10MWe, sCO2 Power Cycle 효율 50% (@ 터빈 입구온도 705℃)

관련 기관

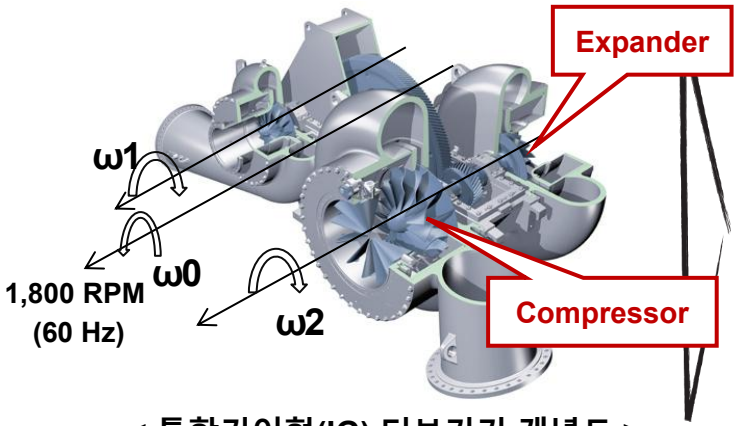
U.S. DEPARTMENT OF ENERGY — 주계약 → Southwest Research Institute — 공동 개발 → Hanwha Power

- U.S. DOE: 펀딩, 과제관리
- Southwest Research Institute: Cycle 설계, Shop Test
- Hanwha Power: sCO2 엔진 개발
  - 기본 및 상세 설계, 제작, MRT[8]

개발 프로세스

11월, 2015	12월, 2016	7월, 2019	12월, 2021
통합기어(IG[4]) sCO2 발전시스템으로 미 DOE 프로젝트 수주	개념/기본 설계	상세 설계 / 제작 / MRT	sCO2 Shop Test - 성능 및 내구성 시험

→ sCO2 실가스 Shop Test 를 통한 sCO2 터보기기의 성능 및 구조적 안정성 검증 완료



< 통합기어형(IG) 터보기기 개념도 >

통합기어형 터보기기 특징

- Multi-Shaft → **각 Shaft 별 최적 RPM 으로 사이클 효율 ↑**
- Inter-cooling 및 Aftercooling 용이 → **사이클 효율 ↑**
- 입구 가이드 베인(IGV[5]), 가변 형상 노즐(VGN[6])
  → **유량 별 유연한 작동 유리**
- Compact Size → **설치 및 운용 비용 저감**

적용가능 분야 및 용량

- 폐열회수발전(WHR[7]) : 460℃~, 가스터빈, 산업공정 폐열 등
- 고온 태양열 발전(CSP) : 650℃~, Tower Type
- 초소형원전(MNR[9]) : 550℃~, HTGR[10], Heat Pipe 등
- Min. ~ 4MWe to Max ~15MWe (TBD) class Capability

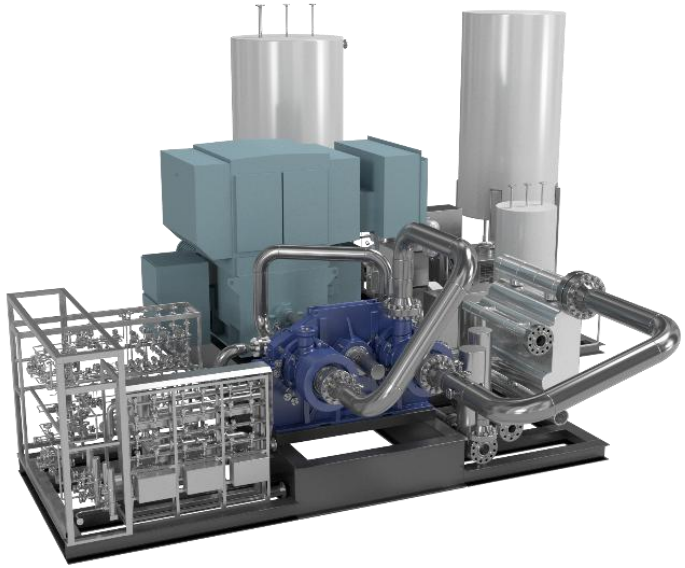
1) DOE : Department of Energy, 2) CSP : Concentrated Solar Power, 3) APOLLO : Advanced Projects Offering Low LCOE Opportunities, 4) IG : Integrally Geared, 5) IGV: Inlet Guide Vane, 6) VGN: Variable Geometry Nozzle, 7) WHR : Waste Heat Recovery, 8) MRT : Mechanical Run Test, 9) Micro Nuclear Reactor, 10) High Temperature Gas Reactor

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

3. 한화파워 sCO2 발전시스템 개발 및 상용화 현황

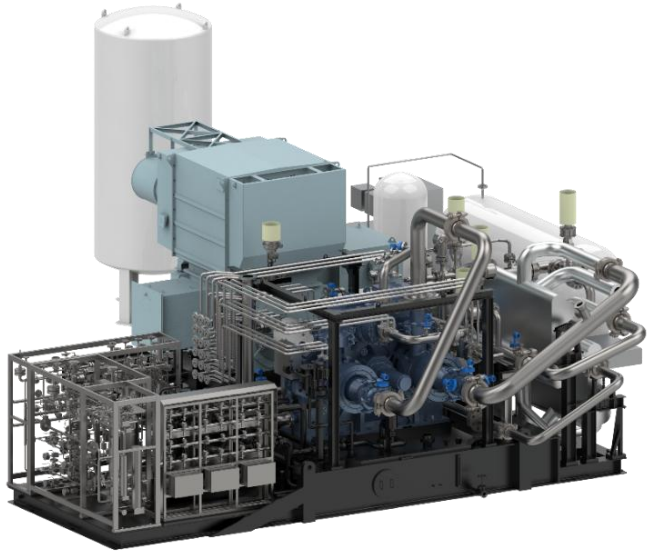
5MWe 급, 60Hz, sCO2 Power Block 표준 모델

폐열회수발전용 (Waste Heat Recovery)



- **Net Power : 5.4 MWe**
- **열원 온도 : 450 ℃ 이상**
- 주요 적용 분야 : Simple Cycle Gas Turbine (20~30MW급)
  - 천연가스 파이프라인 승압소 (Compressor Station)
  - 기계구동용 가스터빈 (LNG 터미널, Offshore Plant 등)
- 기본설계 완료: System Performance, Mechanical, Electrical and Control Preliminary Design 등

초소형원자로용 (Micro Nuclear Reactor)



- **Net Power : 5.0 MWe**
- **열원 온도 : 620 ℃ 이상**
- 주요 적용 분야 : Micro Nuclear Reactor (5~15MWe급)
  - Remote Area(격오지), Off-grid, 분산전원, 군사기지
  - HTGR(High Temperature Gas Reactor), Heat Pipe 등
- 기본설계 및 상세설계 완료
- 시제품 제작 진행중 (약 90% 완료)

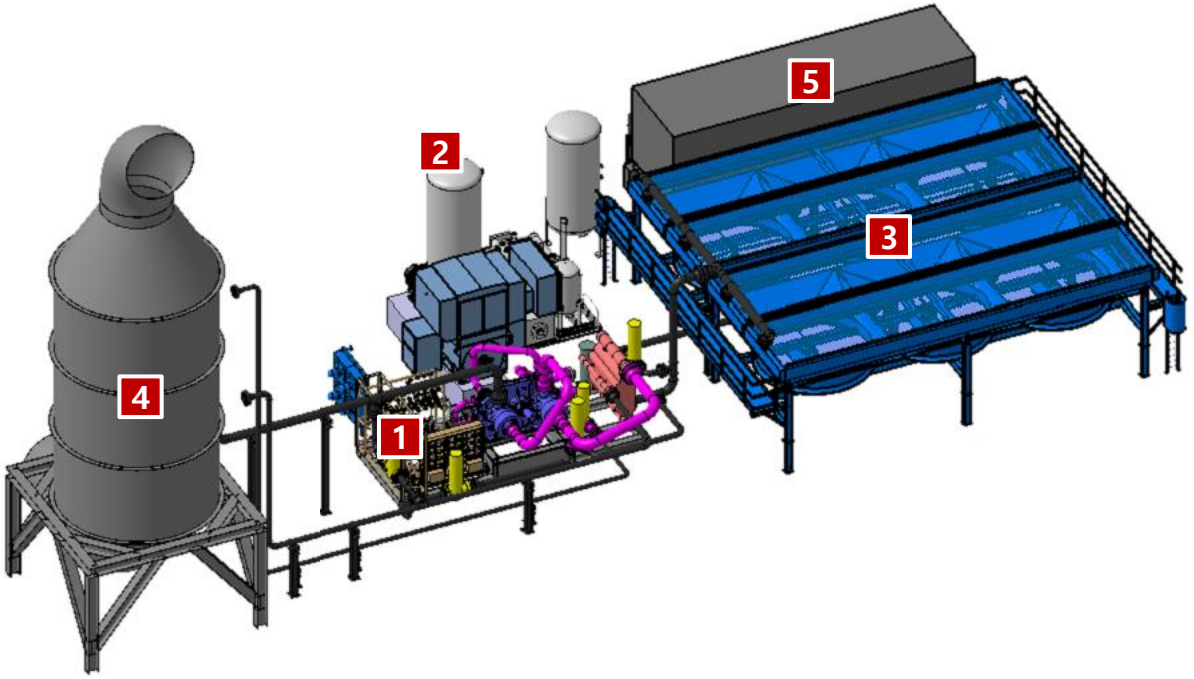
Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

3. 한화파워 sCO2 발전시스템 개발 및 상용화 현황

폐열회수발전용 (WHR) sCO2 발전시스템

Modular 구성으로 시스템 단순 & 설치 용이

- 5개 Module
- Simple & Compact
- Site Work 최소화 (Pre-Fabrication) / 공기 단축



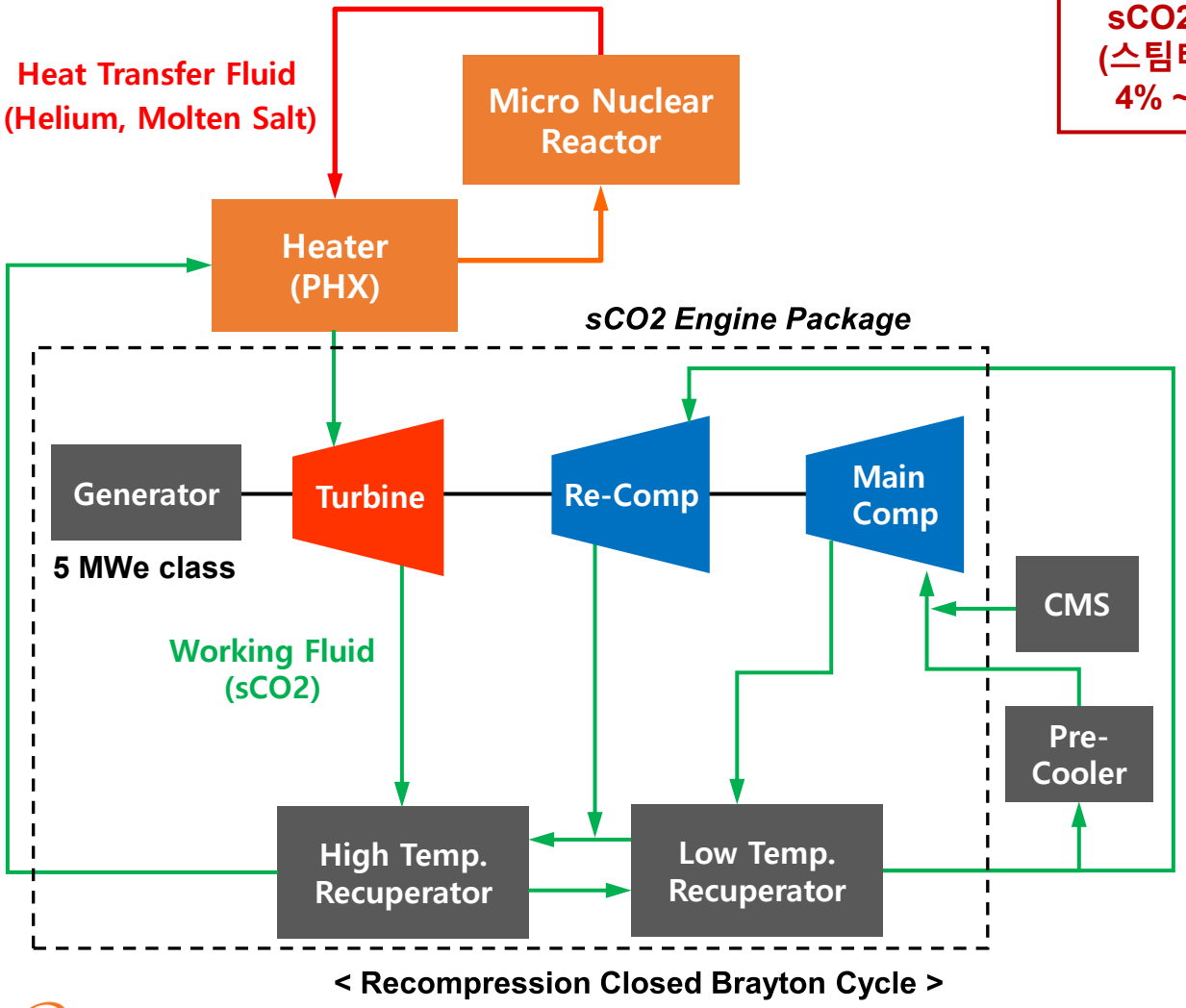
< Hanwha sCO2 Waste Heat Recovery Power System Layout >
(5MWe class, ~40m x ~25m)

1	**sCO2 Engine Package**	▪ **열에너지를 회수하여 회전에너지로 변환, 발전기 구동하여 전력 생성** ▪ sCO2 압축기+터빈, Recuperator ▪ Lube Oil & DGS Supply System ▪ 발전기 등
2	**CO2 Management System**	▪ **Closed-Loop 내 CO2 초기 충진 및 운전 모드에 따라 회수/관리** - 기동/운전/Shut-down 등 운전 Mode에 따라 CO2 공급/회수 - L-CO2 Tank, Pump, Vaporizer 등
3	**Air-cooled Precooler**	▪ **압축기 입구에서 sCO2 냉각** ▪ Finned Tube, Fan, Motor 등
4	**Heater**	▪ **가스터빈 폐열 회수(sCO2 열교환)** ▪ Coil Heat Exchanger, Support 등
5	**PEECC**	▪ Packaged Electrical & Electronic Control Compartment

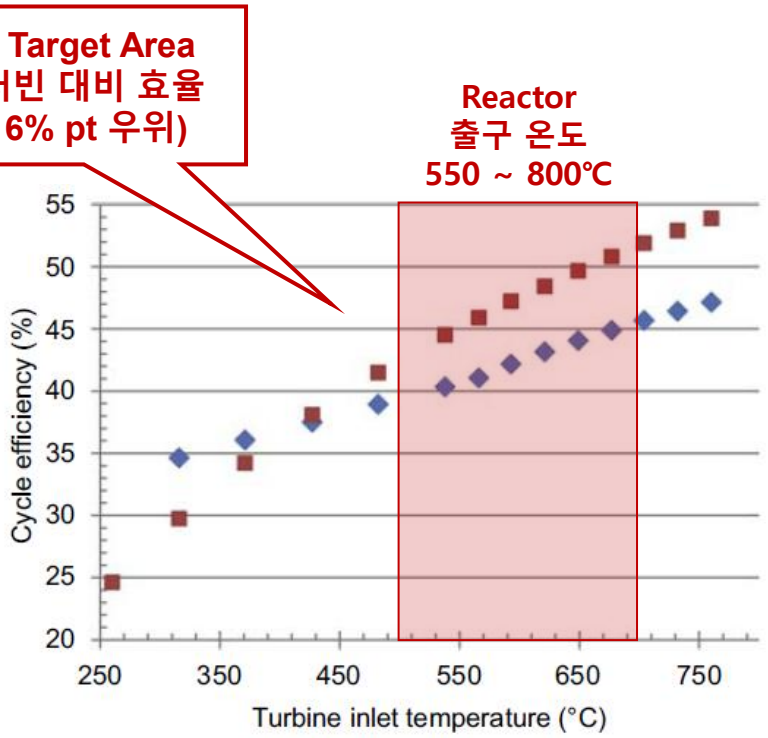
Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

4. 초소형원자로용 sCO2 RCBC Power Block 개발 현황

sCO2 Power Conversion System Schematic for Micro Nuclear Reactor (재압축 브레이튼 사이클)



< Recompression Closed Brayton Cycle >



[Efficiency Comparison: sCO2 vs. Rankine Cycle][1)]

- Rankine (Steam Turbine)
- RCBC (Re-compression Closed Brayton Cycle)

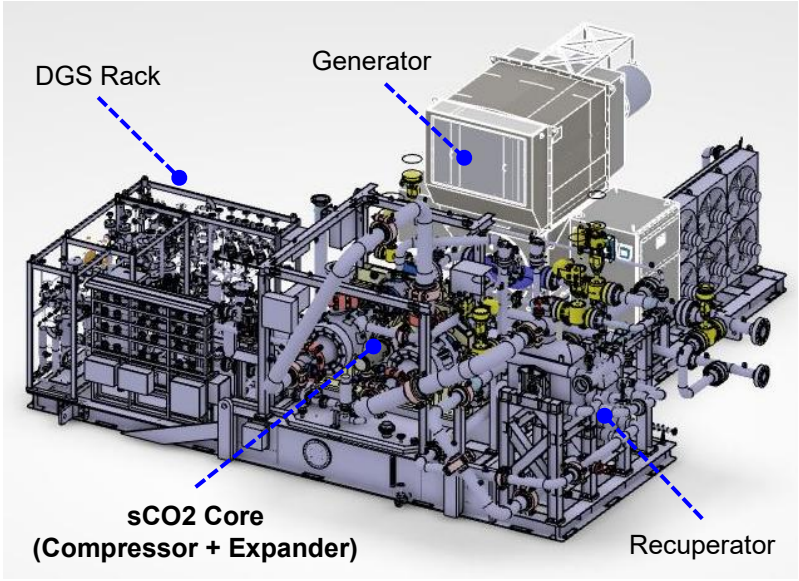
1) Source: NETL, White, C. 2016. "Analysis of Between Cycles Utilizing Supercritical Carbon Dioxide"
2) SFR: Sodium-cooled Fast Reactor, HTGR: High Temperature Gas Reactor, MSR: Molten Salt Reactor, CMS: CO2 Management System

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

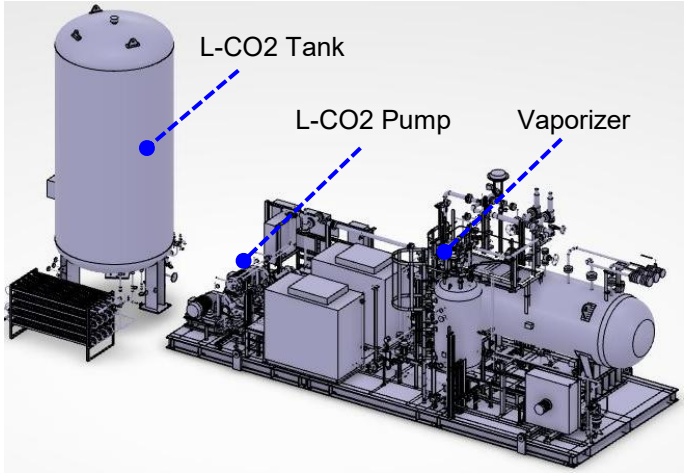
4. 초소형원자로용 sCO2 RCBC Power Block 개발 현황

Hanwha sCO2 Power Block 공급 범위 (Scope of Supply) : sCO2 Engine Package, CO2 Management System

sCO2 Engine Package



CO2 Management System



Item	Function
1. sCO2 Engine Package	Convert absorbed heat to power (electricity) through sCO2 power cycle - sCO2 Compressor & Expander, Recuperator, Lube Oil System, Generator, etc.
2. CO2 Management System	Initial fill-up of CO2 into closed-loop and Refill minimal leakage and control sCO2 flow rate - Liquid CO2 Tank, Pump, Vaporizer, etc.

Item	Key Specification
1. Heat Input	13.4 MW thermal @ > 620 degC
2. Performance	Net Power 5.0 MWe (Rated) Net Efficiency 37.2% (Rated)
3. Power Cycle	sCO2 Recompression Closed Brayton Cycle
4. Starting Method	Motor-Generator with VFD (1,800 rpm, 60Hz)
5. Turbine Inlet Temperature	Temperature 600 degC
6. Size & Weight	1) sCO2 Engine Package - 11 x 11 x 5 (m), 126 tonnes (Dry) 2) CO2 Management System - 13 x 6 x 7 (m), 45 tonnes (Dry)

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

4. 초소형원자로용 sCO2 RCBC Power Block 개발 현황

sCO2 Engine Package Pre-Assembly



CO2 Management System





Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

5. 5MWe 히트파이프 원자로용 PCS 비교 (eVinci vs. Hanwha)

(PCS : Power Conversion System)

Open Air Brayton Cycle 은 단순성과 배기열 직접 활용이 강점인 반면, Hanwha sCO2 RCBC 는 고효율·소형화가 강점

	eVinci Open Air Brayton Cycle	Hanwha sCO2 RCBC
성능 (Net 5 MWe 기준)	• **Net Eff. 33.3%** → **Reactor Heat 15.0 MWt** – Westinghouse 공식값 (IAEA ARIS) – 배기 ~150°C 기준, 복열사이클로 추정, TIT 650°C 예상	• **Net Eff. 39.3%** → **Reactor Heat 12.7 MWt (2.3 MWt ↓)** – eVinci 예상 TIT 650°C 와 동일 기준으로 검토 – 동일 노심 시 교체 주기 약 18% 연장 (8년 → 약 9.4년, 1차 근사)
터보기계	• **저압, 대유량** – 0.10 ~ 0.26 MPa, 터빈 입구 약 77 m³/s – 압력비 약 2.6, 다단 터빈	• **고압, 소형** – 8.6 ~ 22.5 MPa, 터빈 입구 약 0.52 m³/s (약 1/150) – 압력비 약 2.6, 2단 터빈
PHX 인터페이스	• **저압 경계 (약 0.26 MPa)** – 히트파이프 응축부 응력 부담 작음 – 기체 열전달 낮음 → 전열면적 큼	• **고압 경계 (약 22 MPa)** – PHX 구조적 강건성 중요 – 열전달 우수 → PHX 소형화
방열	• **배기 직접 방출, Cooler 없음** – 약 9.7 MWt를 ~150°C로 대기 방출 – 외기 온도에 따라 출력 변동, 민감	• **Air-cooled Pre-cooler 필요 (약 7.1 MWt 방열)** – 보조동력 170 kW (팬 115 + BOP 55) 순출력 반영 – 고온 기후 시 임계점 근처 압축기 입구 제어
열병합	• **배기 ~150°C** → **지역난방** – 120/60°C 온수 약 5.7 MWt (약 81 t/h) – 별도 Cooler 불필요 (구조적 장점)	• **Pre-cooler 입구 ~86°C** → **저온 난방만 가능** – 70/40°C 온수 약 3.1 MWt (약 90 t/h) – 총 방열 7.1 MWt 중 나머지 약 4.0 MWt는 Pre-cooler 로 방열
기술 성숙도	• **검증된 가스터빈 기술** – 공기 터보기계·복열기 상용 실적 다수 – eVinci: INL 시험로 시험 (2027/28), 2029 상용화	• **현재 TRL 6 ~ 7** – DOE APOLLO 과제 sCO2 실가스 Shop Test 수행 – Full / Part Load 성능 검증, 기동/정지, 장기 운전 실증 필요

15% 감소

Note. sCO2: 한화파워 설계(TIT 600°C, 37.2%) 기반 TIT 650°C 예측 (기기 효율·압력·저온측 동일), Open Air Brayton Cycle Process 는 한화 추정, TIT: Turbine Inlet Temperature

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

6. sCO2 RCBC 시스템 Demo Project 소개

- **Objective**: Demonstration / Test Verification of 5MWe class sCO2 RCBC Power System
- **Project Scope**: Site Installation, Commissioning and Power System Testing of sCO2 Power Block at STEP Facility in SwRI
- **Project Structure**

  (1) sCO2 Power Block Supply (Integrally Geared Type sCO2 Engine Package) by Hanwha Power

  (2) Project Hosting at STEP Facility & Testing by SwRI

  (3) Project Funding by Global Partners who are interested in sCO2 Power Cycle Commercialization through 5 MWe class Test
- **Benefits to Funding Partners**: Test Condition Discussion, Witnessing Test, Sharing Test Data and Test Analysis Report
- **Test Campaign**: Start-up, Full Load & Part Load (Steady State Performance), Load Following (Transient Response), Shut-down, Emergency Shut-down (ESD) and Operation (Target > 1,000 Hr. (TBD), depending on the budget funded) with Grid Transmission
- **Timeline**: 2H, 2028 (TBD)



< 5MWe RCBC sCO2 Engine Package >
(Under Manufacturing by Hanwha Power)



< STEP Facility in SwRI >
(sCO2 Power System Test Bed up to 10MWe)

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

7. 요약 및 제언

요약

- sCO2 발전은 액체와 기체의 장점을 동시에 발현하는 초임계 특성을 기반으로, 고압/고밀도 운전 및 대기온도 수준의 임계온도로 터보기기의 고효율, 소형화, 공랭식 냉각 및 Water Free 운전 가능
- 한화파워는 항공 가스터빈 엔진 기반의 터보기기 기술을 바탕으로 9,000대 이상의 납품 실적을 보유한 IG(Integrally Geared) 방식의 sCO2 Power Block 을 개발, 상용화 추진중
- **sCO2 Power Block 은 격오지, Off-grid, 분산발전, 군사 기지 등에 사용될 5MWe 급 초소형원자로의 동력변환계통에 최적의 솔루션으로 전망됨**

제언

- **5MWe 급 sCO2 RCBC 발전시스템 실증사업 추진**
  - 1안) 미 SwRI 의 STEP 시험설비 활용한 DEMO Project 참여
  - 2안) 한국원자력연구원 문무대왕과학연구소 부지에
    초소형원자로용 sCO2 PCS 시험시설 구축 및 실증
    → 2022년 9월, "5개 기관[1] sCO2 발전시스템 MOU 체결"
    . 협력분야 : "sCO2 시험시설 구축 및 실증" 외

1) 한국원자력연구원, 한화파워, 현대엔지니어링, 경상북도, 경주시



< KAERI 문무대왕과학연구소 조감도 >

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.

Disclaimer

This document has been prepared by, and is subject to the copyright of, Hanwha Power(“We”). This Document, which is not for public circulation, must not be transferred, copied, redistributed, in whole or in part, to any third party, without prior written consent of Hanwha Power, and is not intended for use by any person other than the addressee or the addressee's professional advisers for the purposes of advising the addressee hereon.

We make no guarantee, representation or warranty as to this document’s accuracy or completeness, or the fairness of any opinion mentioned herein, or the dependability of any projection or forecast contained herein and no reliance should be placed on this document in making any investment or business decision. The information contained, and any opinions expressed, in this presentation are subject to change at any time and Hanwha Power is under no obligation to inform the intended recipient or any other person of any such change.

Hanwha Power accepts no responsibility with regards to this document, and shall not be liable for any loss or damage suffered by any party arising from, relating to, resulting from or based upon the use of the information contained in this document. The liability exclusion provided herein shall protect Hanwha Power, its agents, employees, representatives and/or associates in all circumstances.

This document does not include or form part of any suggestion or any advice/offer to sell or an invitation to subscribe for, hold or purchase any securities or any other investment, and neither this document nor anything contained herein shall form the grounds of or be relied on in association with any contract or commitment whatsoever.

Copyright 2026 Hanwha Power All rights Reserved. Confidential & Proprietary.