

자연냉매를 활용한 냉동기 및 고온 히트펌프 개발 현황과 전망

2025.06.19

히트펌프연구센터

한국기계연구원 탄소중립기계연구소

센터장 송 찬 호





히트펌프연구센터
탄소중립기계연구소
한국기계연구원
센터장 **송 찬 호**

Work Scope

- Heat Pump, Energy system
- Heat exchanger, HVAC, Thermal Energy Network
- 시험평가, KOLAS 시험기관(냉난방), 축냉시험기관, 6sigma BB
- 전)대한설비공학회 냉동부문위원장, 전)대한설비공학 대전세종충청지회장

1991
~2002

Mechanical Engineering
, Thermodynamic lab. in SNU

Kyoto Univ. Heat transfer Lab. 1yr.

2002

LG DA 연구소 Airconditioner Gr.

2007

한국기계연구원(KIMM)

'11 한국에너지기술평가원 파견근무 1yr.

2023

열에너지솔루션연구실장

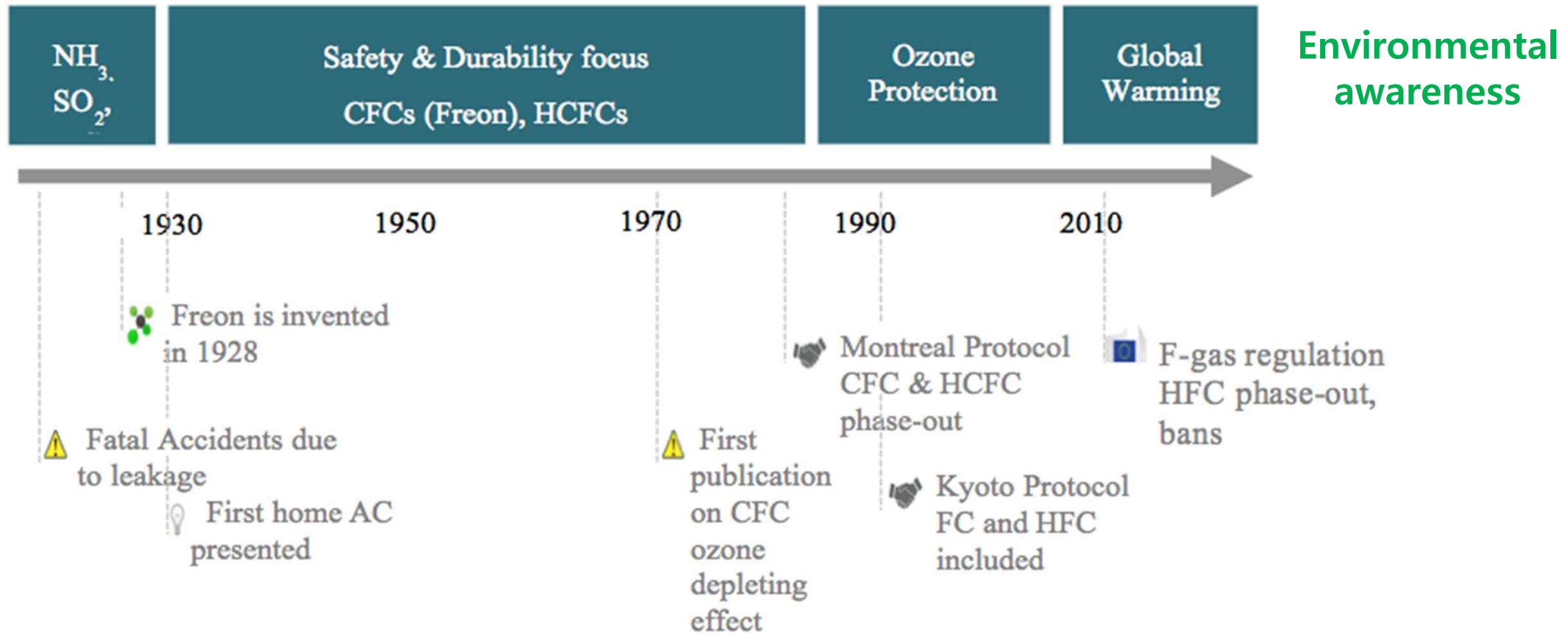
2024

히트펌프연구센터장

한국기계연구원 히트펌프연구센터 소개 동영상



자연냉매 사용 필요성 및 환경적 중요성



■ '2023 유럽연합 불화 온실가스 규정'에 수록된 탄화수소 계열 냉매의 GWP100 지수

물질			GWP100
통칭	산업 명칭	화학식	
메탄		CH ₄	27.9
아산화질소		N ₂ O	273
디메틸에테르		CH ₃ OCH ₃	1
염화메틸렌		CH ₂ Cl ₂	11.2
염화메틸		CH ₃ Cl	5.54
클로로포름		CHCl ₃	20.6
에탄	R-170	CH ₃ CH ₃	0.437
프로판	R-290	CH ₃ CH ₂ CH ₃	0.02
부탄	R-600	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₃	0.006
이소부탄	R-600a	CH(CH ₃) ₂ CH ₃	0
펜탄	R-601	CH ₃ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₃	0
이소펜탄	R-601a	(CH ₃)CHCH ₂ CH ₃	0
에톡시에탄(디메틸에테르)	R-610	CH ₃ CH ₂ OCH ₂ CH ₃	4
메틸 포르메이트	R-611	HCOOCH ₃	11
수소	R-702	H ₂	6
암모니아	R-717	NH ₃	0
에틸렌	R-1150	C ₂ H ₄	4
프로필렌	R-1270	C ₃ H ₆	0
사이클로펜탄		C ₅ H ₁₀	0

자연냉매 활용 냉동기 기술 현황



물(R718)냉매 냉동기 동향

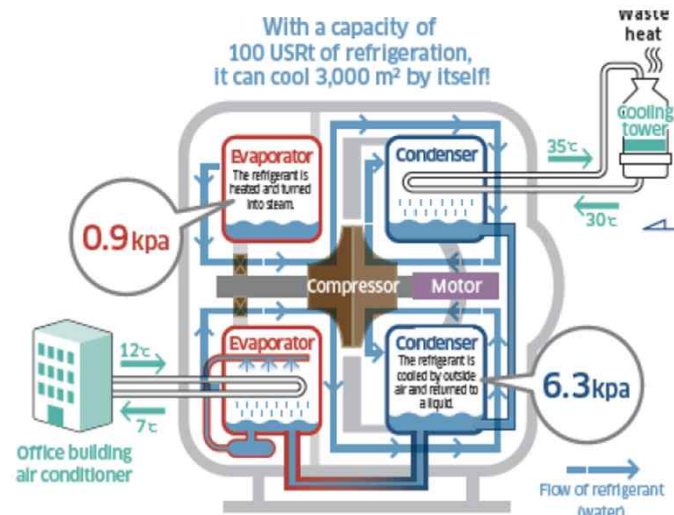
1st generation



3rd generation



800 kW(ILK)



350 kW(Kawasaki)



35 kW (Efficient Energy)

물(R718)냉매 냉동기 개발 제품 경과

- 1~3차년도 : 설계 Lab-scale 실험, 제작
- 4차년도 : 시험, 수정제작 및 평가
 - 베어링 변경, 제작
 - 축 가공, 압축기 제작
 - 인버터 제어부 설계, 제작
 - 압축기 조립과정에서 크랙 발생, 재제작(두 차례)
 - 시험설비장소 수배, 성능평가시험(3차)
 - 월드이엔씨(1차)
 - 한국생산기술연구원(2차)
 - 신성엔지니어링(3차) : 과제 기간 종료 후 진솔 터보기계의 지원 하에 시험 수행



1차 부품 제작 완료 (~21.8)



조립과정에서
크랙 두차례 발생
(‘21.11~12)



누설 테스트
(‘22.1)



월드 이엔씨 (1차 시험)
(‘22.3)

3. 응축기, 증발기, 프레임 이동



4. 인터쿨러, HP커버, U배관 이동



5. 압축기 LP & HP 이동



6. 전기계장관련 이동



7. 프레임 및 부품 배치



8. 냉동기 조립작업



9. 냉동기 조립 완성



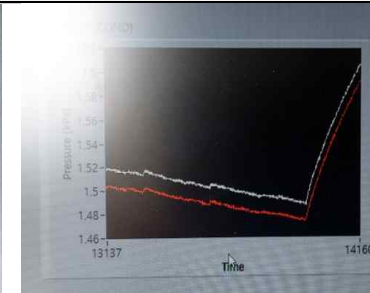
10. 냉동기 계장연결



11. 헬륨 주입



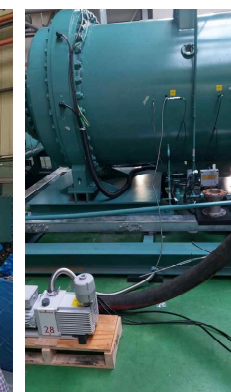
12. 누설 확인 및 보수작업



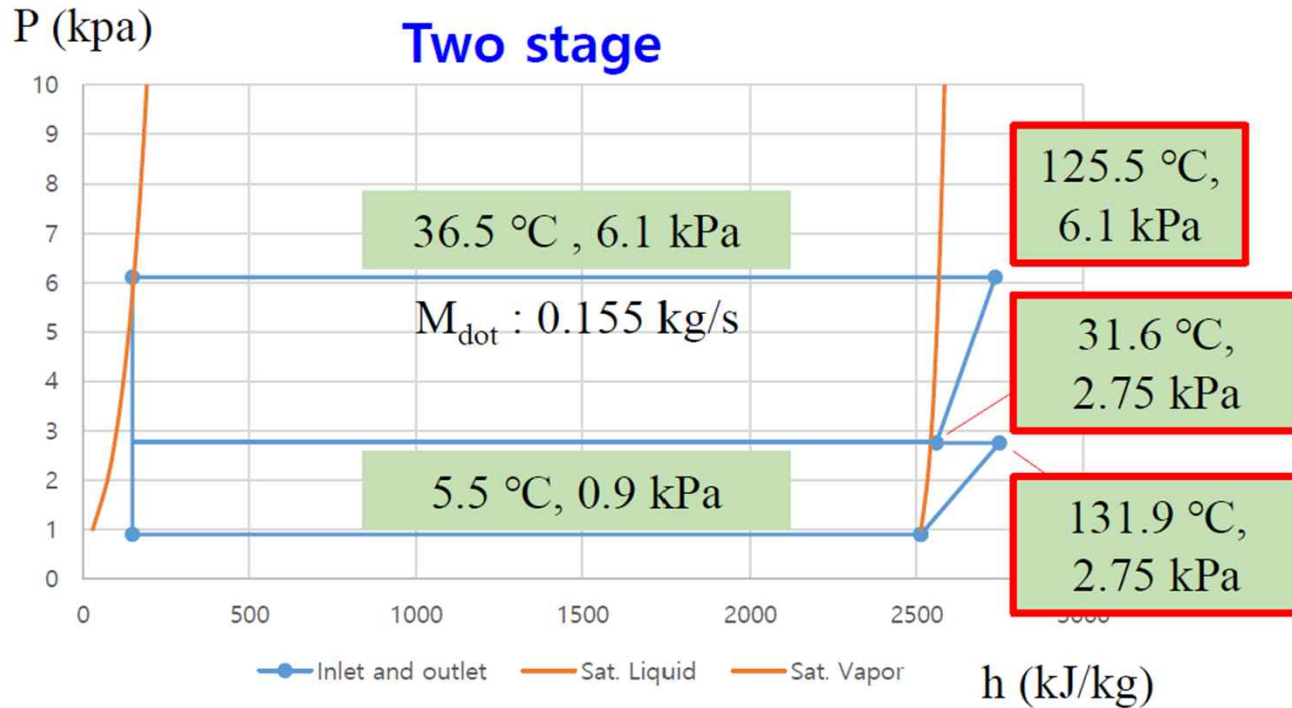
13. 센서 연결 신호 확인 작업



14. 실험 준비 (진공작업, 무부하 운전, 냉매주입 등)



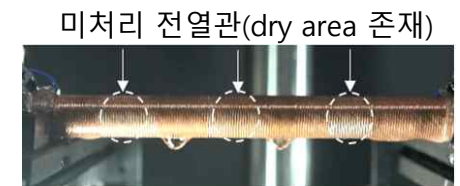
물(R718)냉매 냉동기 난제



대기압 보다 낮은 작동 압력

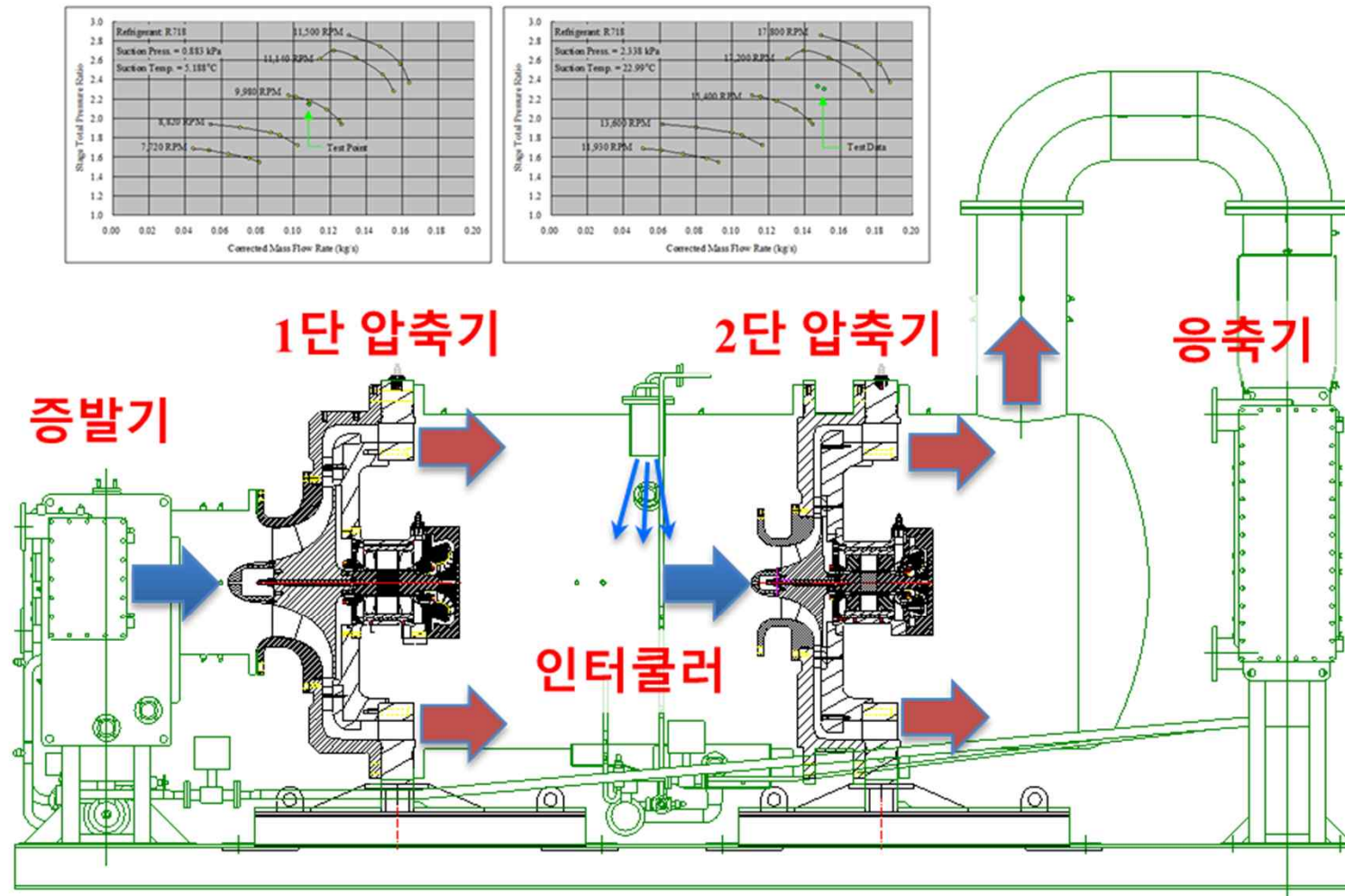
큰 비체적

물의 젖음성



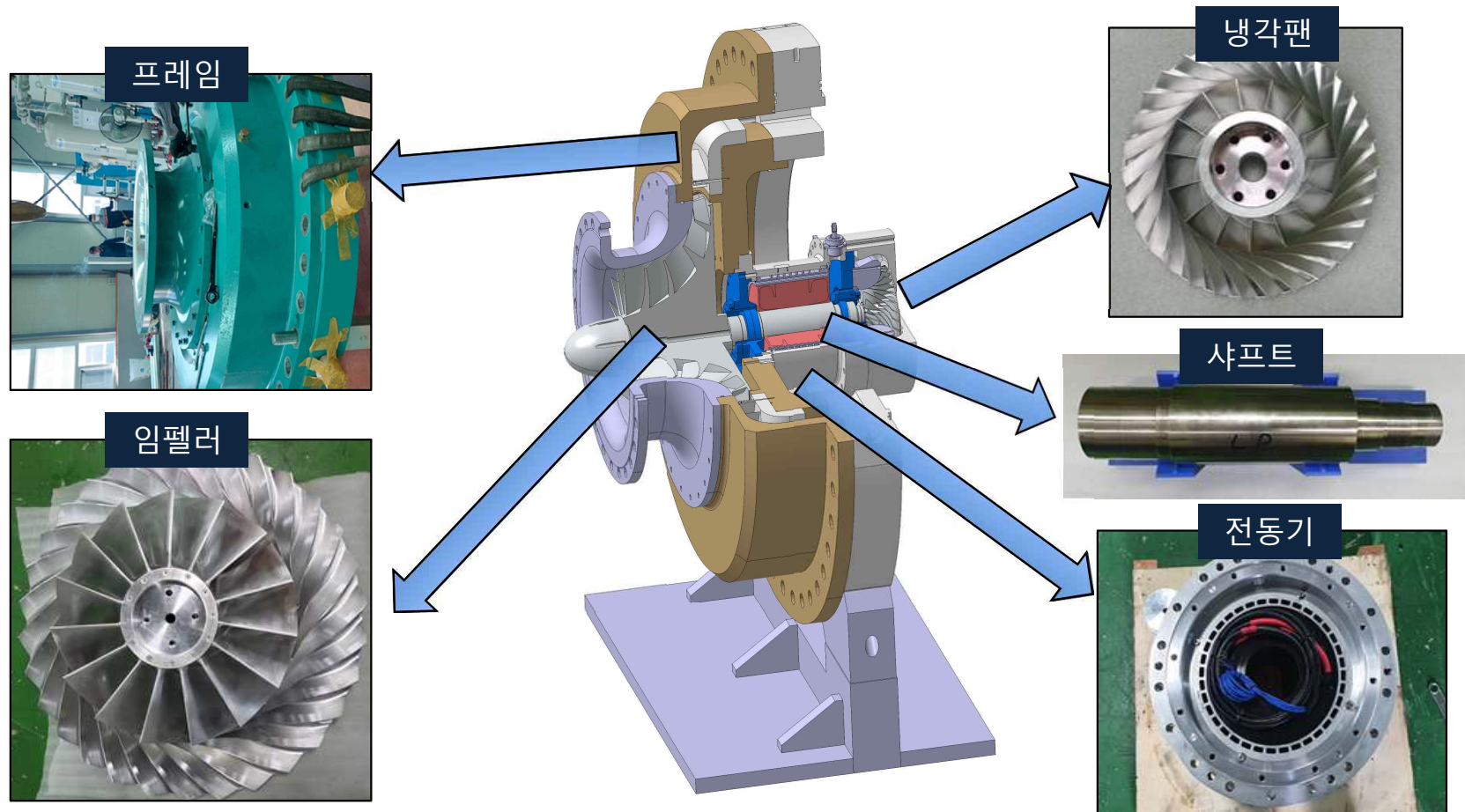
난제 1 : 대기압 보다 낮은 작동 압력

- 물 냉매 사이클 설계, 진공압 상태에서의 운전 설계
- 진공도 유지, 누설 체크



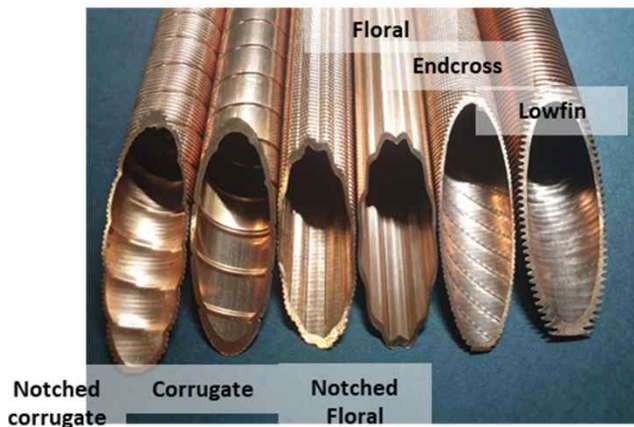
난제 2 : 작동유체의 큰 비체적

- 압축기 설계, 성능맵, 내부 유동장 해석
- 2단 원심 압축기 형상 최적화, 상사 시험, 제작, 성능 시험



난제 3 : 물의 젖음성

- 젖음성을 고려한 전열관 설계
- 상변화 열전달 효율 향상을 위한 표면 패턴 형상 도출



NC (Notched corrugated)

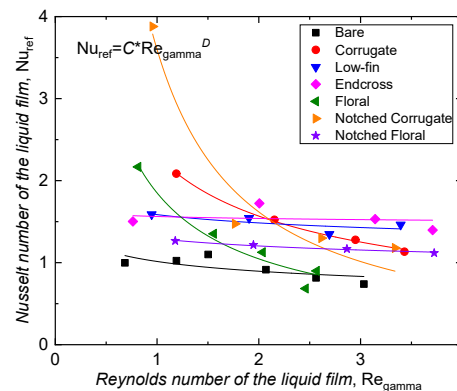
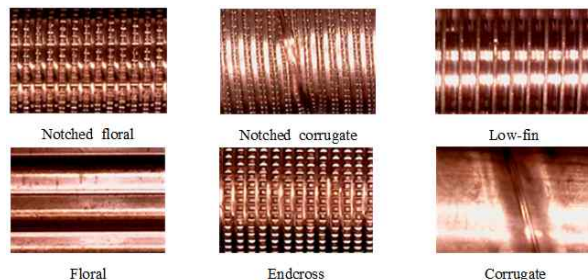
- 증발 성능 뛰어남
 - 퍼짐 안 좋음
- 다 젖어 있을 때, 고성능 발휘

NF (Notched floral)

- 퍼짐 좋음 (퍼짐 안정성 ↑)
 - 증발 성능은 중간 수준
- 퍼짐 성능 향상용으로 활용

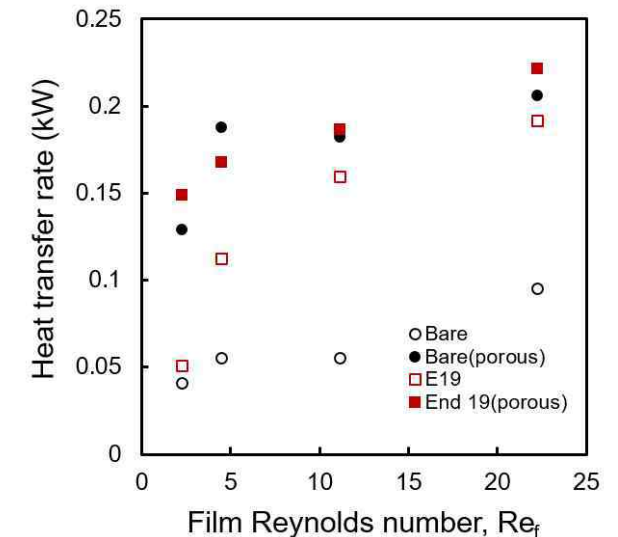
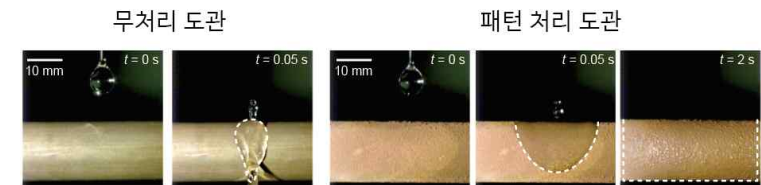
→ NC 와 NF를 번갈아 가며 배치
(NC는 성능 ↑, NF는 퍼짐 ↑)

❖ 전열관 외측 형상



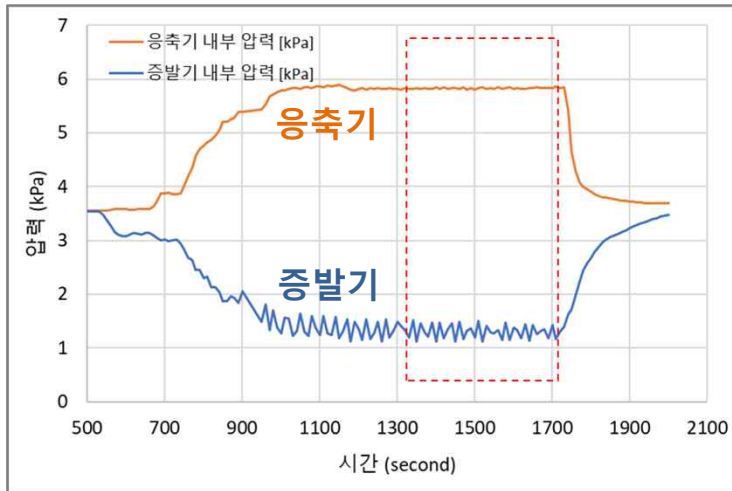
❖ 패턴 디자인 적용 효과 검증

- 저유량 조건에서도 얇은 액막 유지

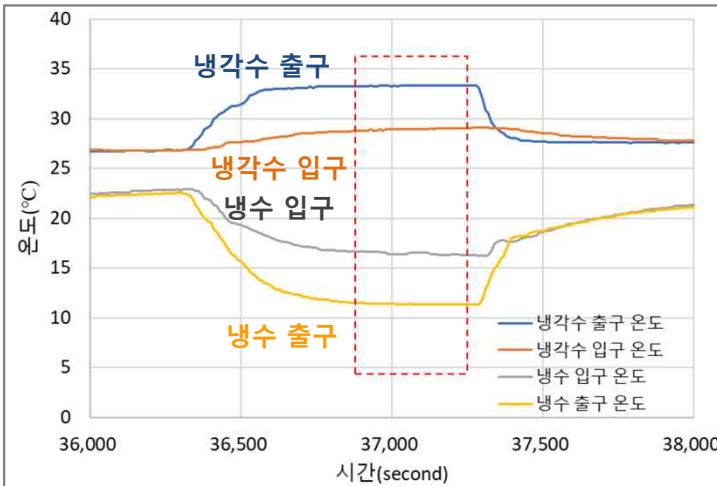


성능 시험

열교환기 압력



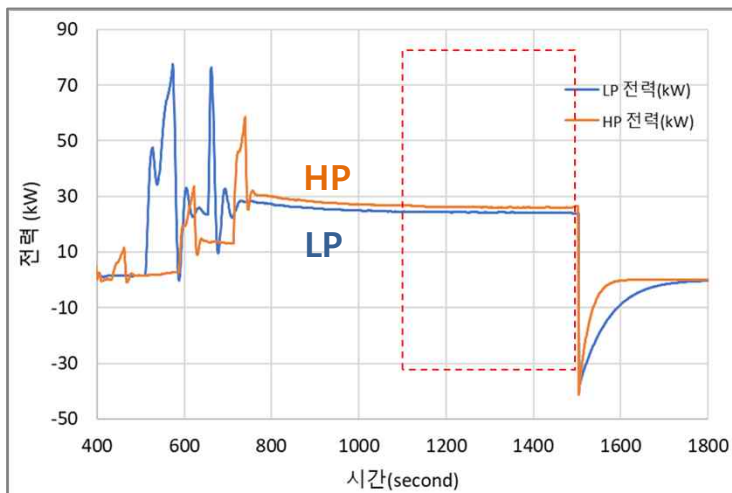
냉수 및 냉각수 온도



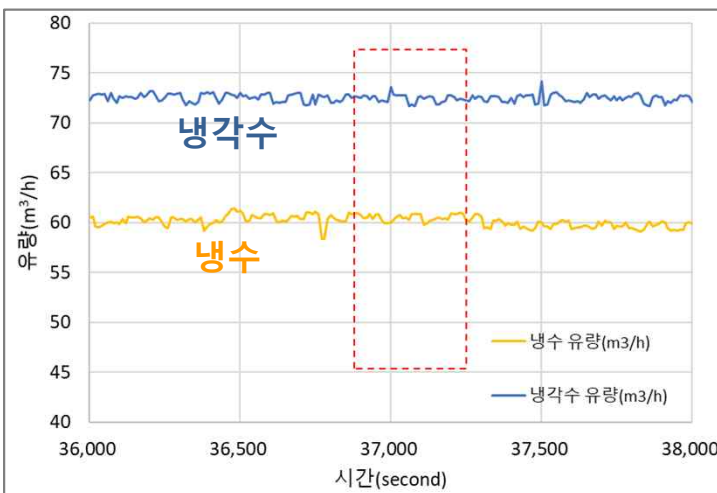
시험 결과 요약

항 목	단 위	결과
냉동 능력	kW	359.9
COP	-	6.796
U (증발)	kW/m ² °C	5.596
U (응축)	kW/m ² °C	4.596
용량 가변	%	8.08 ~ 102.81
누설량	Pa ml/s	4.8 x 10 ⁻⁴

압축기 소비 전력



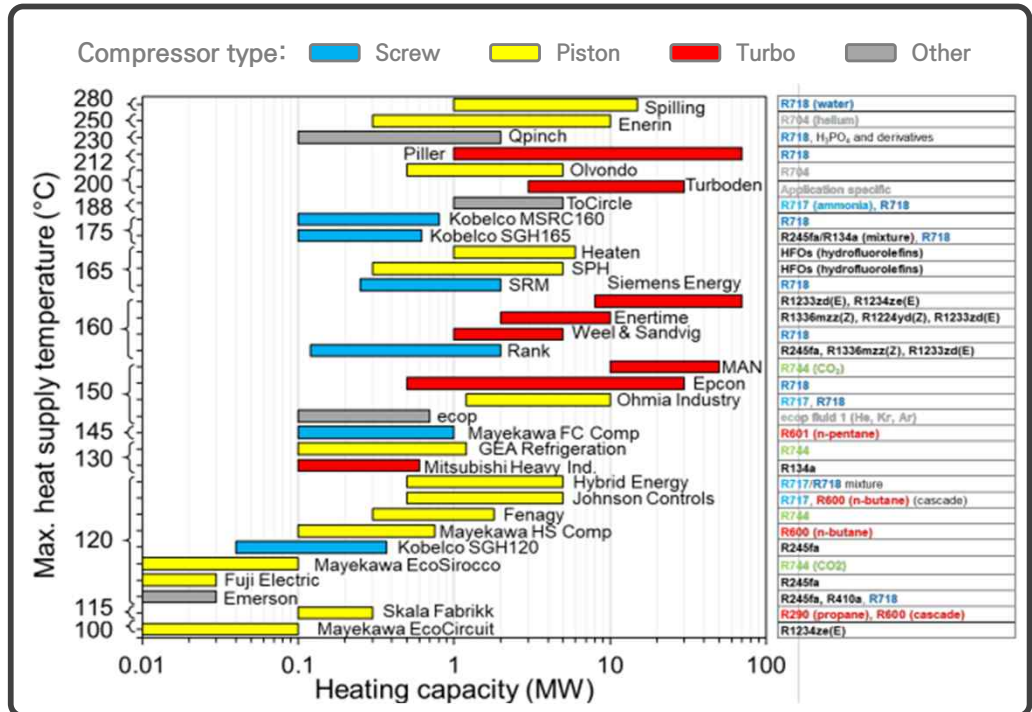
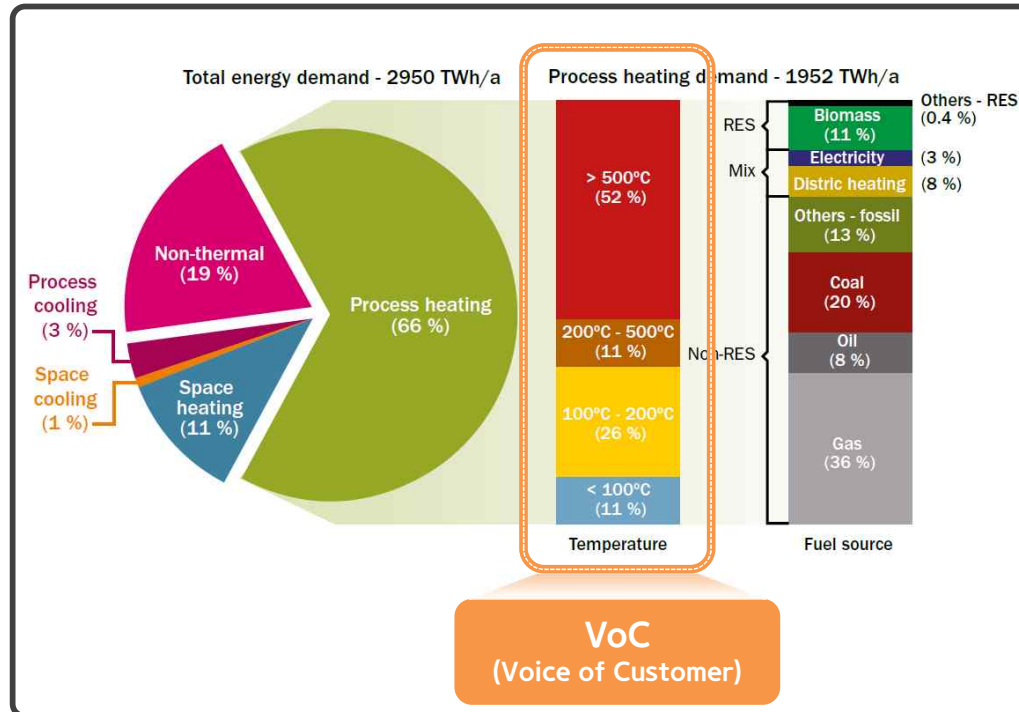
냉수 및 냉각수 유량



고온 히트펌프



- 고온공정열 수요가 많으나, 현재 고온 히트펌프의 고온부 온도는 합성냉매의 경우 165°C 가 한계, 자연냉매의 경우 280°C 한계(MVR)

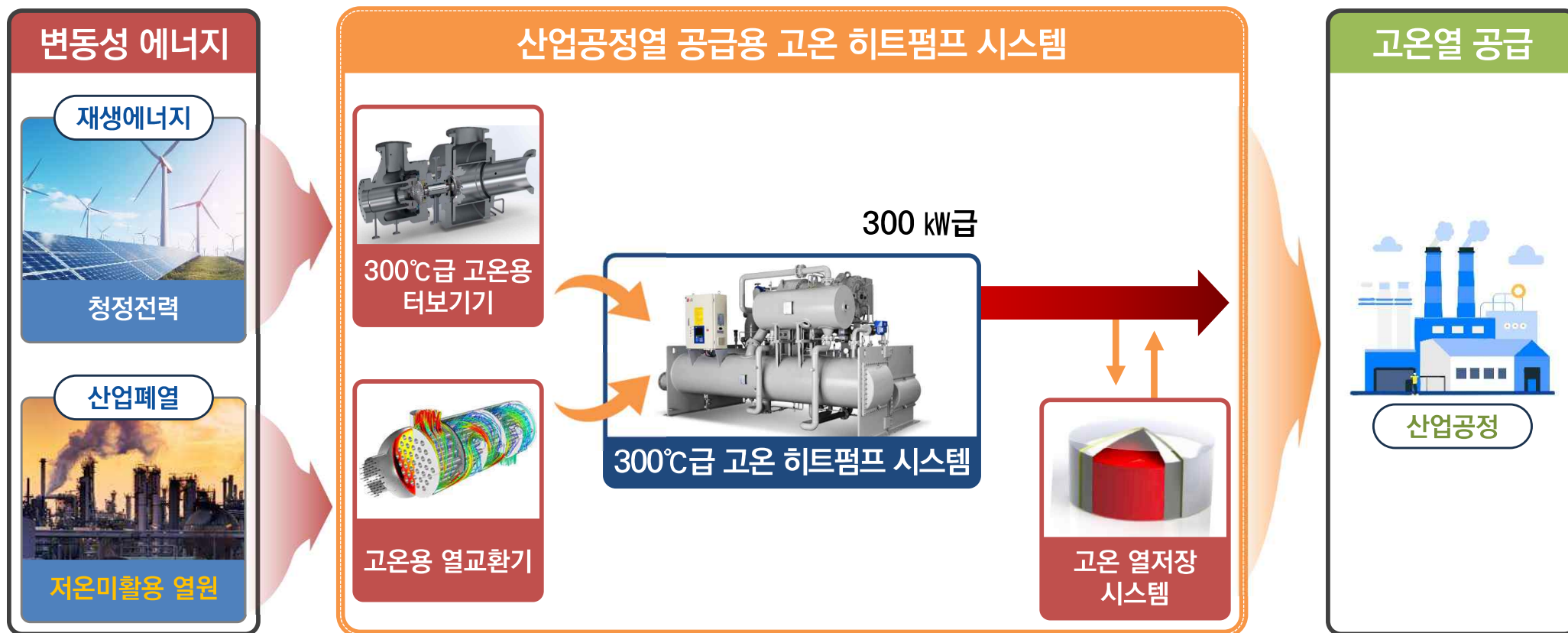


출처 : Arpagaus et al. (2018)

- 200°C 이상의 고온부 토출 히트펌프 개발은 도전적이고 회임기간이 긴 기술
- 미래 원천기술 확보를 위해 기계연과 같은 국책연구기관의 연구가 필요
- 독일 DLR(독일우주항공연구소) 등은 히트펌프 고온부 온도를 높이려는 연구를 진행 중

➡ 본 연구에서는 히트펌프 고온부 온도(토출온도)를 300°C 로 목표 설정

300℃급 고온 히트펌프 시스템 개념도



01

고온 히트펌프
시스템 통합 기술

02

고온용
열교환기 기술

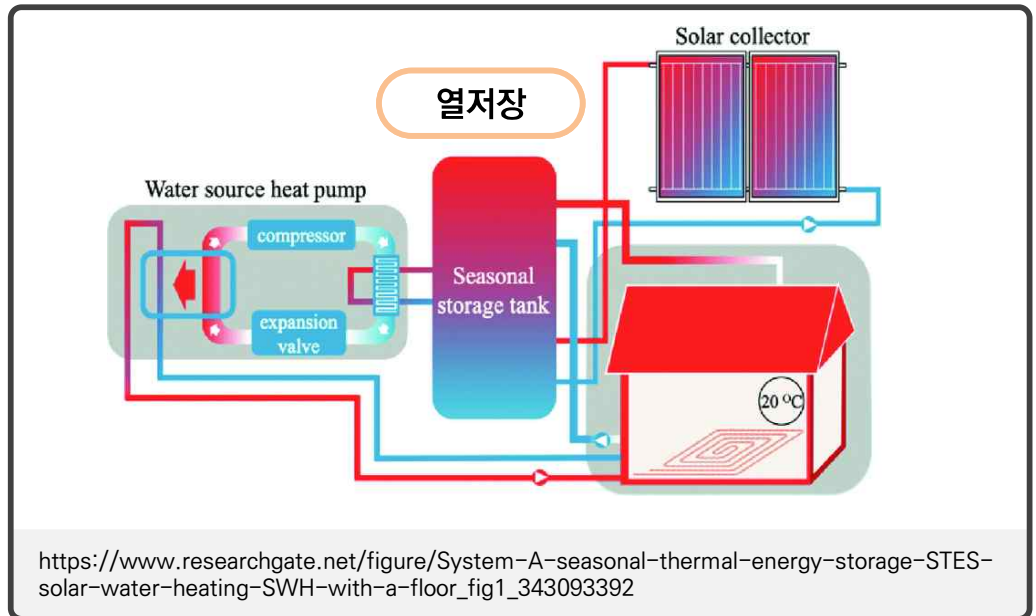
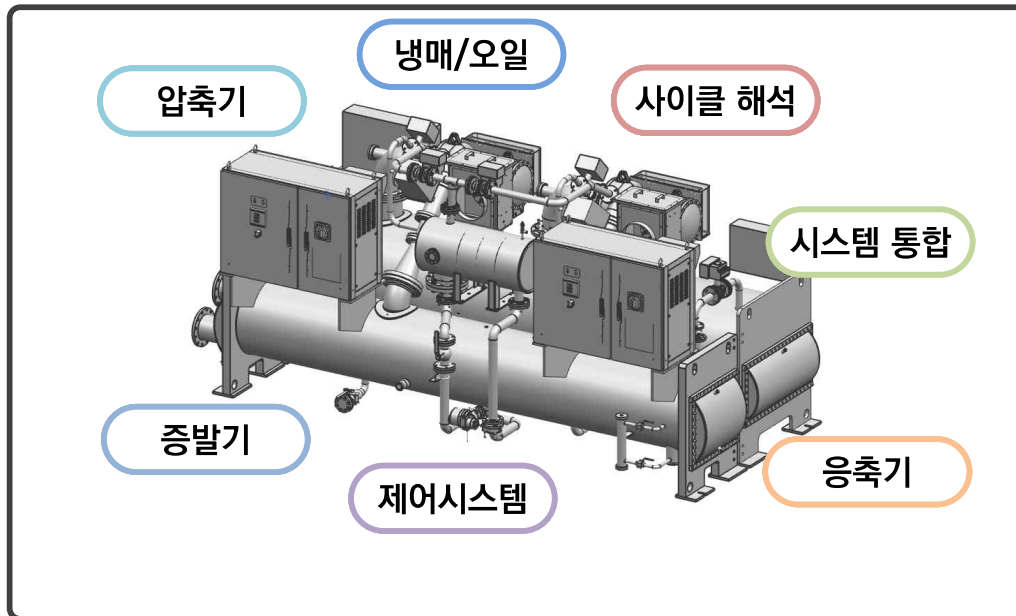
03

고온 고체
열저장 기술

04

고온용
터보기기 개발

● 히트펌프 시스템의 연구범위



● 300℃ 고온 토출 시스템 구성을 위한 하드웨어 핵심 요소 도출



사이클/시스템

역브레이튼 사이클
작동유체 - 공기

터보기기

고온용 압축기, 팽창기
무급유 베어링, 냉각

열교환기

고온용 컴팩트
열교환기 고효율화

열저장

고온 고체 열저장
고효율, 최적화

연구
난점

대응
전략

사이클/시스템

역브레이튼 사이클
작동유체 - 공기

역브레이튼 사이클
최적설계

- 효율 최대화를 위한 정밀한 성능 최적화 진행
- 모든 비효율 요소를 사전에 고려하여 최적 설계
- 효율 제고를 위한 개선 시스템 설계 및 검토

열교환기

고온용 컴팩트
열교환기 고효율화

고온 air to air
열교환기 설계기술

- 300℃급 고온용 열교환기 단품 성능시험장치 제작
- 열교환기 단품 성능시험을 통한 상관식 도출
- 컴팩트 열교환기 상세설계 사양 확정

열저장

고온 고체 열저장
고효율, 최적화

설계 approach
방법 부재

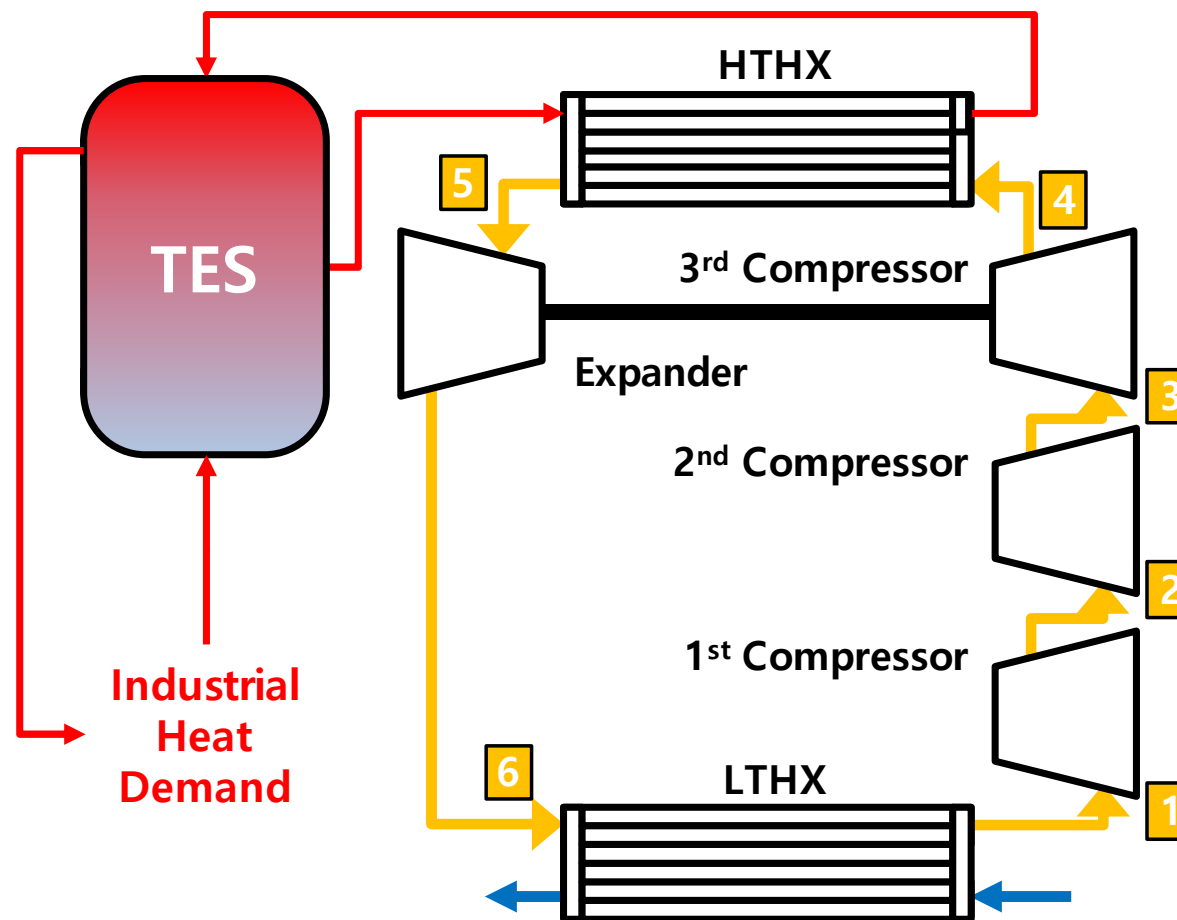
- 열저장 방식 별 축방열 온도 프로파일 비교
- 모든 인자들의 축방열 영향 도출 및 설계 반영
- 각 조건에 맞는 맞춤형 세부 설계안 도출

터보기기

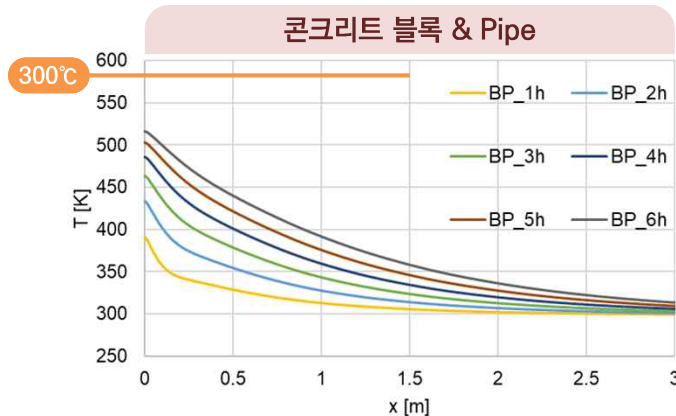
고온용 압축기, 팽창기
무급유 베어링, 냉각

히트펌프용 터보기계
고온 환경 대응 설계

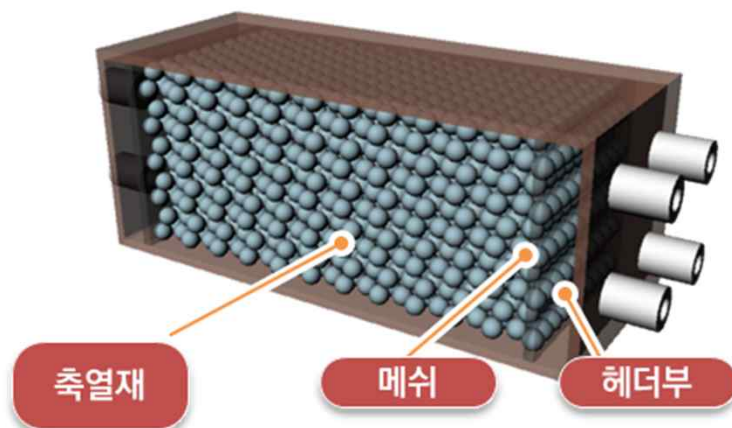
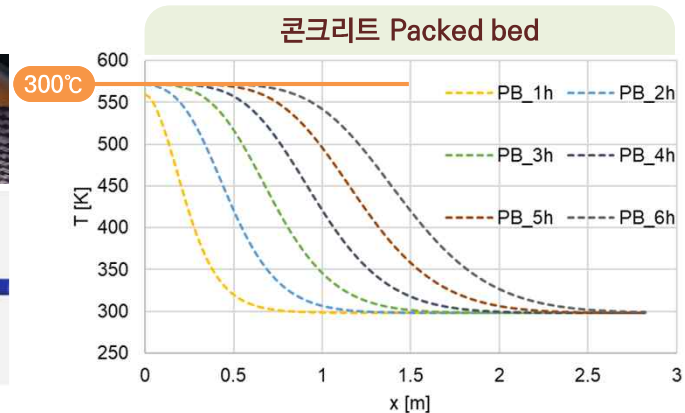
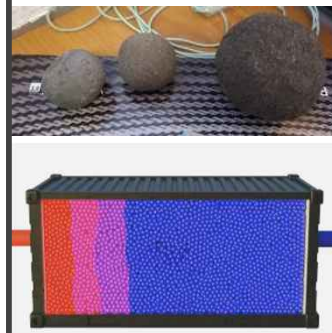
- 3단 압축기를 전동기(발열원) 없는 팽창기로 구동
- 고온환경 고려 베어링부 냉각/단열 구조 설계
- 축에 냉각팬을 적용 대기 공기 이용 냉각 구조 적용



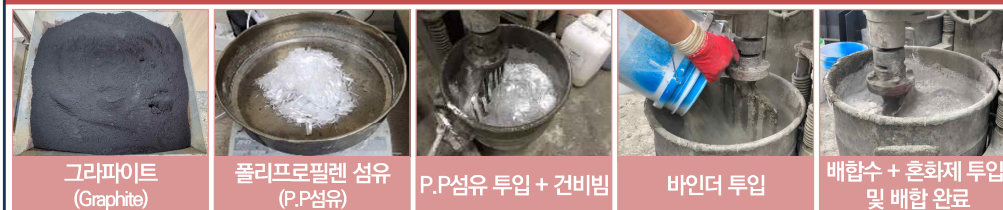
Block & Pipe 타입 및 온도 프로파일 (시뮬레이션)



Packed bed 타입 및 온도 프로파일 (시뮬레이션)



고온 열저장 매체 배합설계 최적화



감사합니다

