



▶ Cryogenic Heat Exchanger and System Engineering Global Leader

H₂ PCHE Printed Circuit Heat Exchanger

New Energy Transfer Solutions
Satisfactory performance in any environment
Various applications



KEIT 한국산업기술기획평가원

DongHwa Entec

KIMM 한국기계연구원
KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

 **부산대학교**
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY

 **동아대학교**
DONG-A UNIVERSITY

 **한국해양대학교**
NATIONAL KOREA MARITIME & OCEAN UNIVERSITY

 **HANJUN**

 **한화오션**
Hanwha Ocean



DongHwa Entec 소부장
특수기업

KEIT 한국산업기술기획평가원

액화수소용 -200°C 이하, 100MPa급 컴팩트형 열교환기 개발

Development of compact heat exchanger
for liquefied hydrogen under -200°C at 100MPa

내역사업명 : 소재부품기술개발-소재부품패키지형

개발기간 : 2022.09.01.~2026.12.31

총괄 주관 : (주)동화엔텍

1세부 주관 : 한국기계연구원 - 공동 : (주)동화엔텍, 부산대학교, 동아대학교

2세부 주관 : (주)동화엔텍 - 공동 : 부산대학교, 한국해양대학교, (주)한준에너지(수요), 한화오션(주) (수요)

액화수소용 -200℃ 이하, 100MPa급 컴팩트형 열교환기 개발

Development of compact heat exchanger
for liquefied hydrogen under -200 °C at 100MPa

개발내용

개발목표

기대효과 및 응용분야

주요성과

1세부 설계기술개발

한국기계연구원(주관)

열교환기 설계 S/W 개발,
열교환기 기본설계 및 성능시험

동화엔텍

열교환기 상세설계 및 성능시험

동아대학교 산학협력단

열교환기 적용 액화수소 시스템 공정해석

부산대학교 산학협력단

열교환기 열-유동 전산해석 및 상관식 개발

2세부 제작기술개발

동화엔텍

열교환기 제작 및 시험, 접합공정 및 제조공정 개발

부산대학교 산학협력단

열교환기 소재 및 접합부의 내수소취성 연구

한국해양대학교 산학협력단

전열판 및 열교환기 구조설계, 수명 예측

한준에너지

수요기업(100kg/h급 액화수소용 컴팩트 열교환기의
액화수소충전소 적용성 검토)

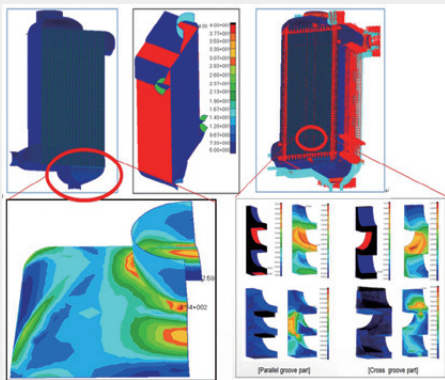
한화오션

수요기업(선박용 액화수소 시스템 요구사항 조사)

개발내용

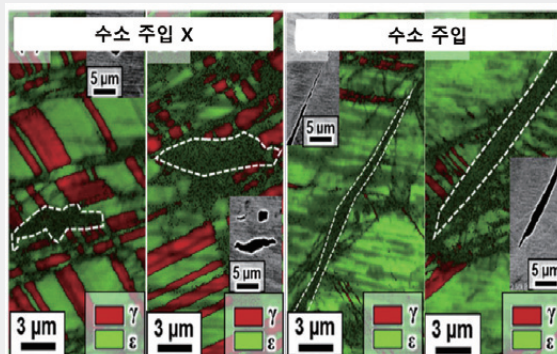
1단계 [액화수소용 100 kg/h급 컴팩트 열교환기 개발]

- 전열판 최적 설계 및 성형공정 개발
- 100kg/hr급 컴팩트 열교환기 설계, 열전달 계수 상관식 및 압력강하량 예측 모델 개발
- Lab-scale 컴팩트 열교환기 제작 및 성능실험을 통한 검증
- 성능실험을 통한 열교환기 설계 software 개발
- 100kg/hr급 컴팩트 열교환기 제작, 액체질소를 이용한 성능실험을 통한 열교환기 설계 software 검증



2단계 [액화수소용 4 ton/h급 컴팩트 열교환기 개발]

- 액화수소용 -200°C 이하, 100MPa급 컴팩트 열교환기 설계, 제조기술 개발
- 대용량 컴팩트 열교환기 제조공정 확립
- 액화수소용 대용량 컴팩트 열교환기 설계 software 개발
- 내수소취성 특성 검토 및 수소취성 회피기술 개발



개발목표

단품위주의 성장에서 열교환기 적용 시스템패키지로의 전환 (수소분야 First Mover)

선박용 고압 기화기



극저온
(-250°C)

플랜트용 열교환기



극고압
(100 MPa)

Compact
(1/5 ~ 1/10)

컴팩트형 열교환기



고효율
(95%)

[육상] 액화수소 충전시스템



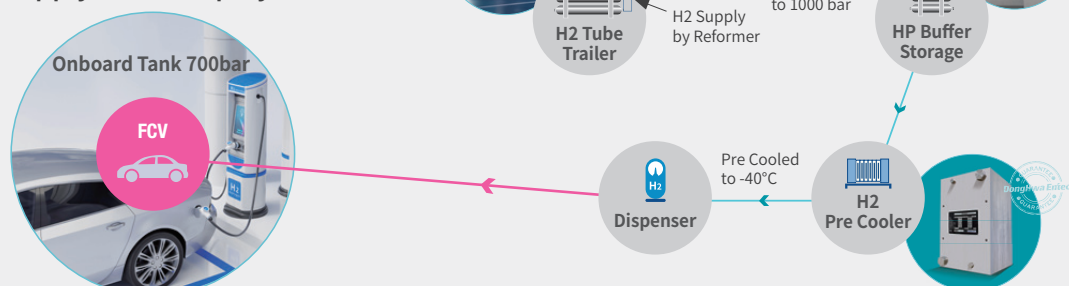
[해상] 선박용 수소재액화, 기화시스템



기대효과 및 응용분야

- 수소모빌리티 산업의 확대, 수소생산, 액화, 저장, 운송, 공급(충전)등 수소관련 시스템의 다양한 요구조건에 부합하는 컴팩트 열교환기의 설계 기술 확보
- 극저온/고압 액화수소용 열교환기 Full-scale 전산해석 기술을 확보하여 극저온/고압의 작동유체를 사용하는 다양한 열관리 시스템에 확대 적용
- 향후 확대되는 수소 에너지 활용 분야에서 필수적인 극저온, 극고압 대용량 컴팩트 열교환기 제조 기술 확보를 통해 기술 자립화와 선진화 달성

Hydrogen Refueling Station Supply Chain Deployment

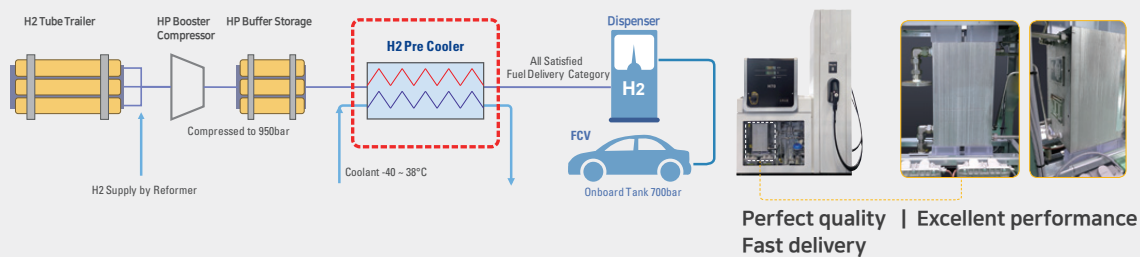


주요성과

H₂ Fueling Station PCHE Type Pre Cooler

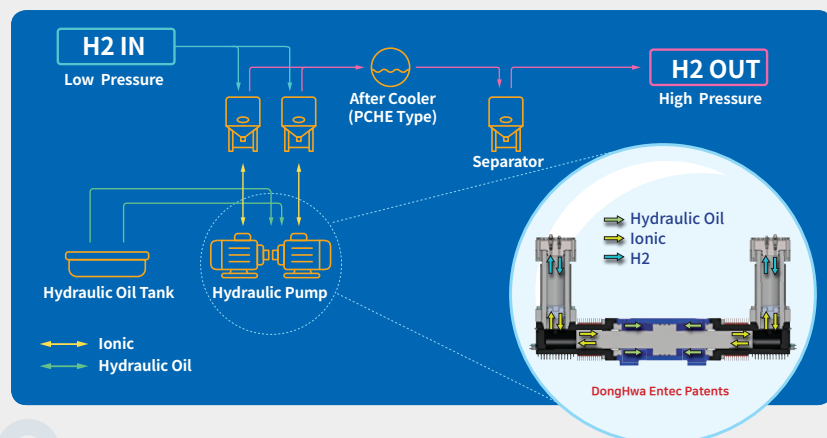
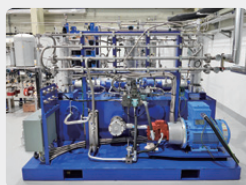
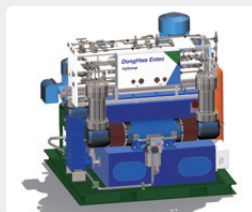
H₂ Pre Cooler is used to cool the high pressure hydrogen during vehicle fuel tank charging. It also features fast temperature response and large number of cycle with structural stability. H₂ Pre Cooler can be installed inside the Dispenser box or can be installed independently outside. Various coolant fluids can be applied to cool high-pressure hydrogen, which makes it easy to design a hydrogen filling station.

H₂ Discharge Station General Diagram for FCV



Ionic Type H₂ High Compressor

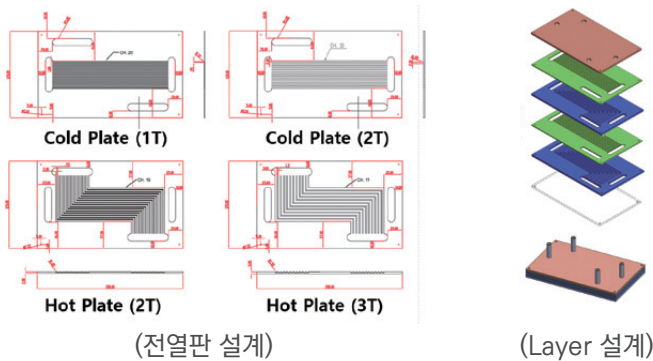
How the H₂ High Compressor operate



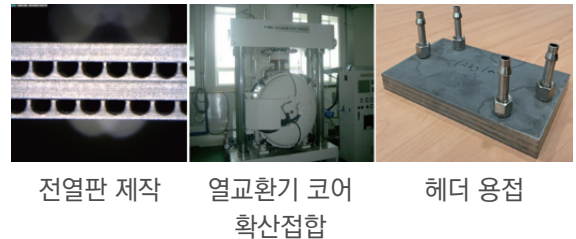
- ZERO** ① Zero Hydrogen loss Compressor, No blow-by gas.
- HIGH** ② Large capacity over 150 kg/h, 100MPa
③ High system efficiency and durability
- LOW** ④ Less noise and Vibration.
⑤ Low power consumption
⑥ Small footprint due to its compactness

열교환기 설계 S/W 개발, 열교환기 기본설계 및 성능시험

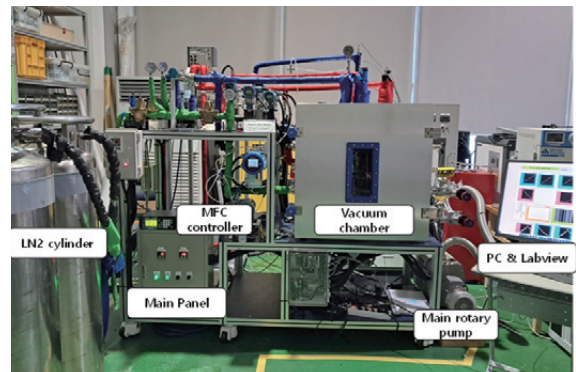
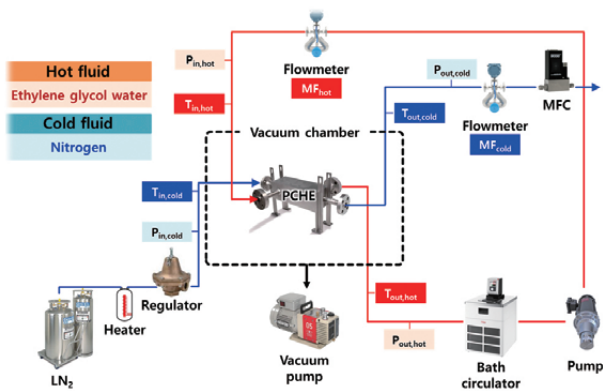
· Lab-scale 열교환기 설계



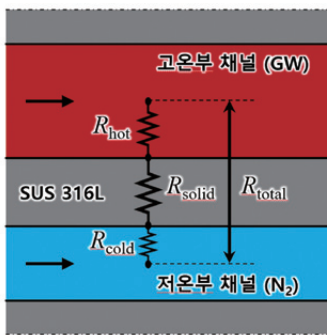
· Lab-scale 열교환기 제작



· Lab-scale 열교환기 성능시험



· 열교환기 설계 S/W 개발



$$R_{\text{total}} = R_{\text{hot}} + R_{\text{solid}} + R_{\text{cold}}$$

(LMTD 기반 열저항 모델)

$$(1) R_{\text{total}} = \frac{LMTD}{Q}$$

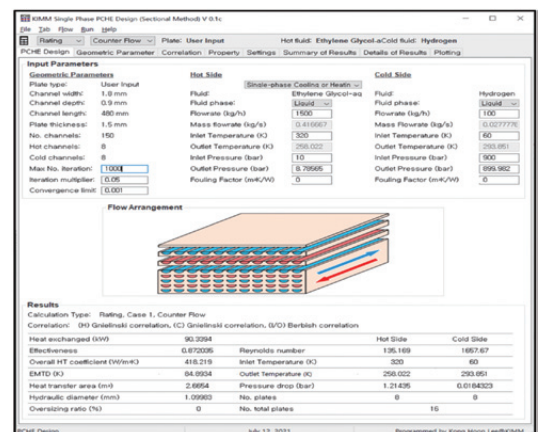
$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

$$\left[\begin{array}{l} \Delta T_1 = T_{\text{hot,in}} - T_{\text{cold,in}} \\ \Delta T_2 = T_{\text{hot,out}} - T_{\text{cold,out}} \end{array} \right]$$

$$(2) R_{\text{hot}} = \frac{1}{h_{\text{hot}} A_{\text{hot}}}$$

$$(3) R_{\text{solid}} = \frac{t_{\text{solid}}}{k_{\text{solid}} A_{\text{solid}}}$$

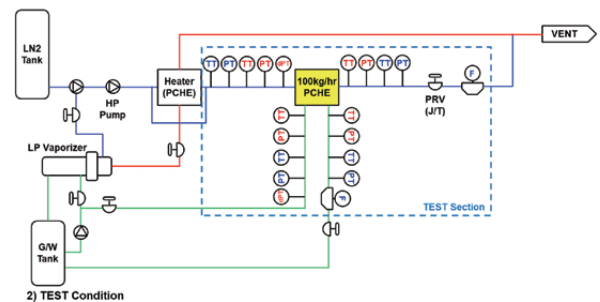
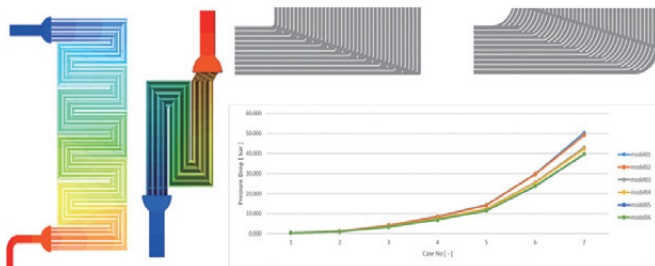
$$(4) R_{\text{cold}} = \frac{1}{h_{\text{cold}} A_{\text{cold}}}$$



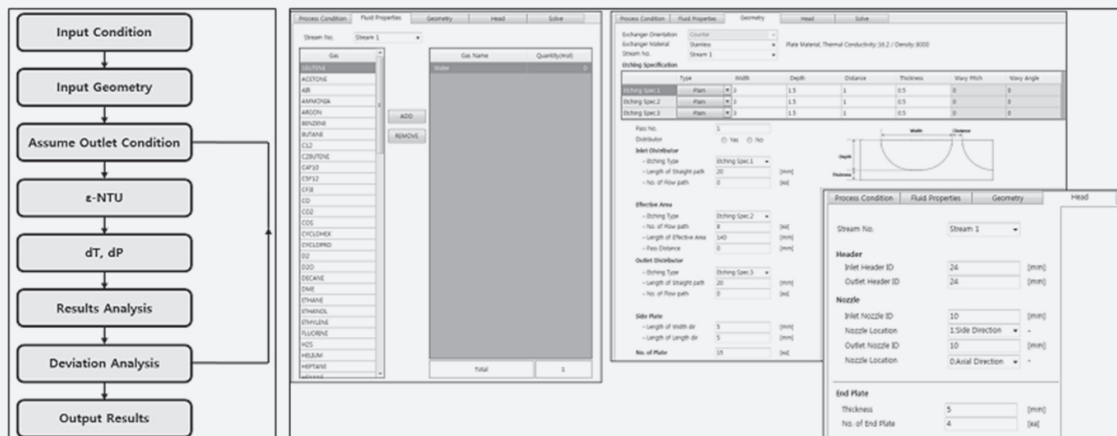
(열교환기 설계 S/W 인터페이스)

열교환기 상세설계 및 성능시험

· PCHT 전열판 형상 최적화 (전산해석)



- 열교환기 설계 S/W 로직 비교검증



· 100kg/hr급 열교환기 성능시험



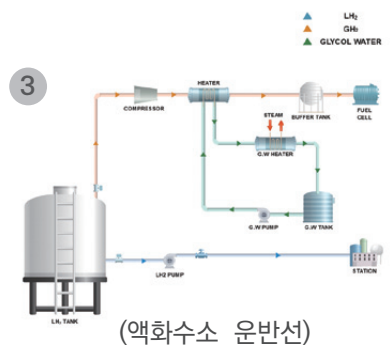
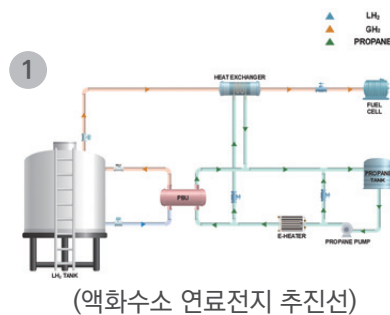
동아대학교 산학협력단



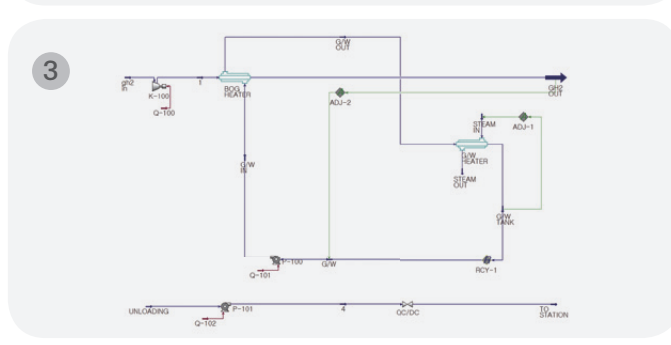
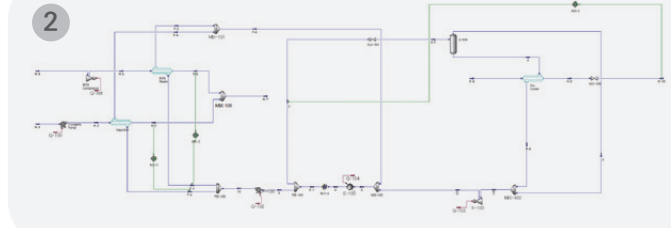
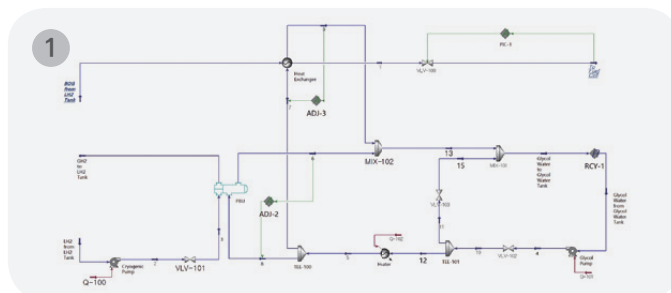
동아대학교
DONG-A UNIVERSITY

열교환기 적용 액화수소 시스템 공정해석

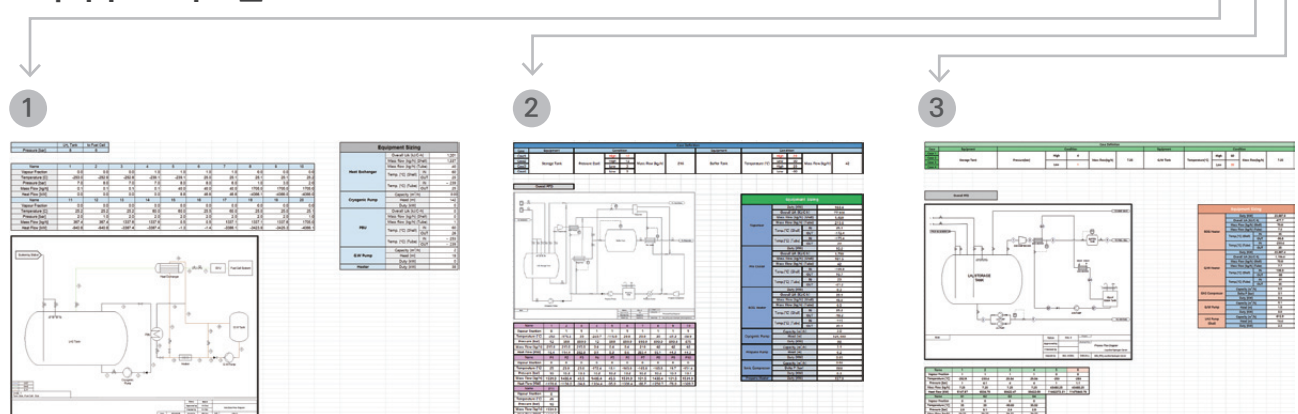
· 액화수소 시스템 개념 설계



· 액화수소 시스템 공정 모델링(S/S)

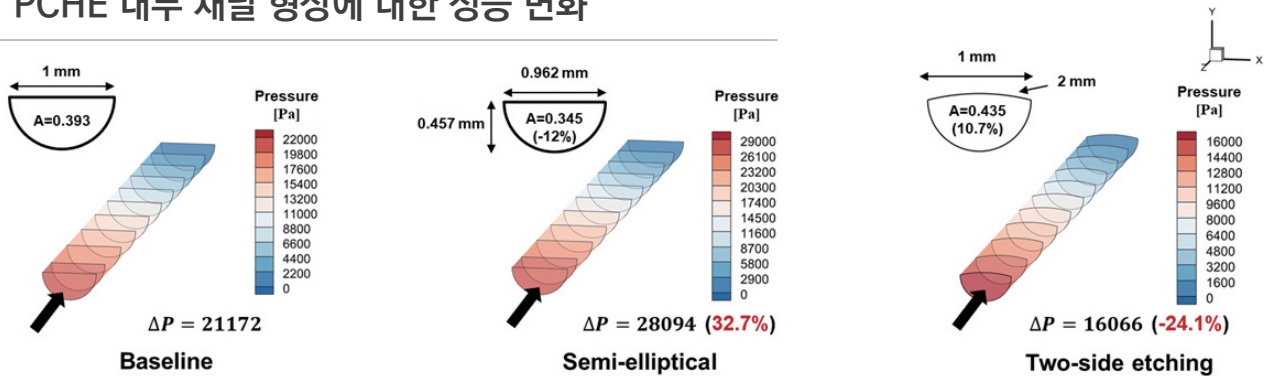


· 액화수소 시스템 H&MB



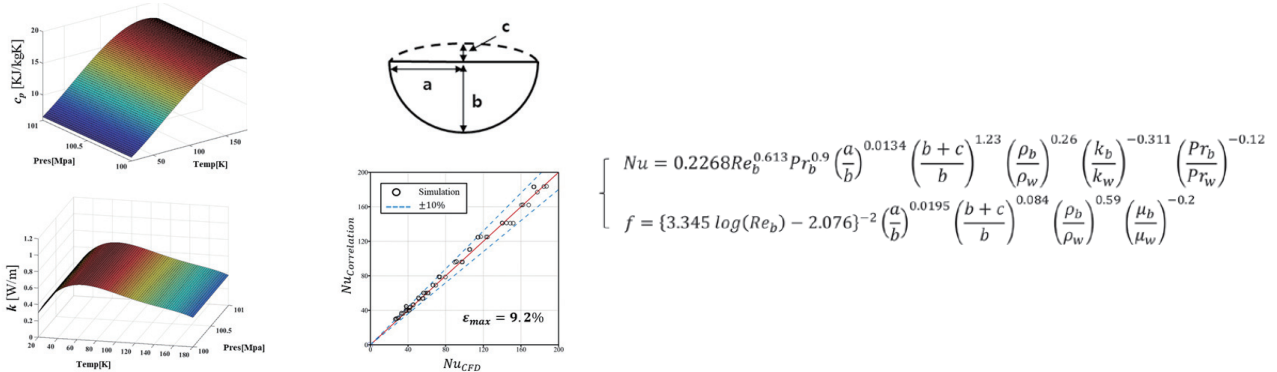
열교환기 열-유동 전산해석 및 상관식 개발

· PCHE 내부 채널 형상에 대한 성능 변화



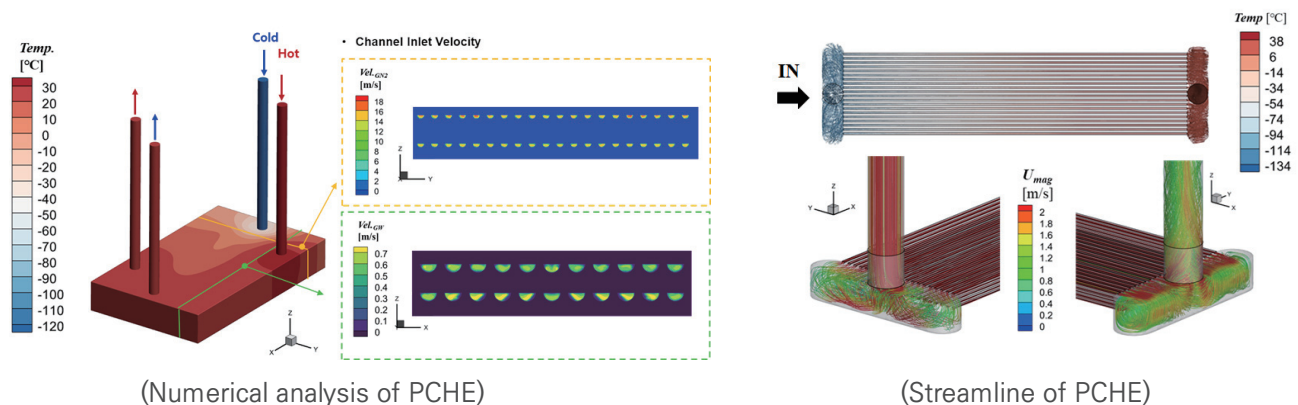
(Performance change for channel shapes)

· 초임계 수소 PCHE 채널 설계변수 및 상관식 개발



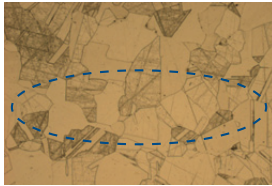
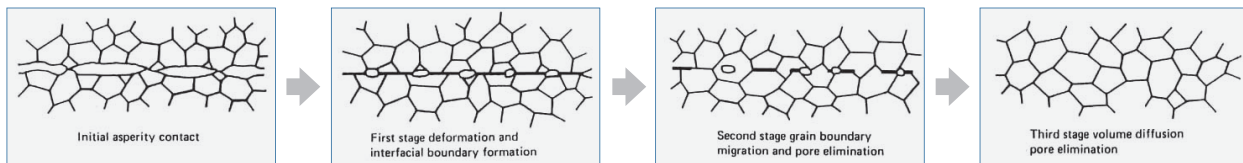
(Thermal properties) (Correlation development)

· PCHE 열유동 수치해석



열교환기 제작 및 시험, 접합공정 및 제조공정 개발

· Diffusion Bonding Technology



[Diffusion bonded joint]

- (1) Filler metal is not required.
- (2) Bonded by atomic diffusion on interface.
- (3) High pressure and Temperature is required during bonding.
- (4) Diffusion bonding technology can provide the same strength level of the base metal.**

Compact Size

Small Footprint, Small Weight

Long Service Life

High Durability, Easy Maintenance

Excellent performance

High Heat Duty, Low Pressure Drop

Extreme Environments

Cryogenic Service, High Pressure, High Temperature

·Max. Pressure Test : above. 4,000bar ·Cyclic test : 0~1,000 bar, 1 CPM, 10,000 cycle



· Perfect Quality Process



부산대학교 산학협력단

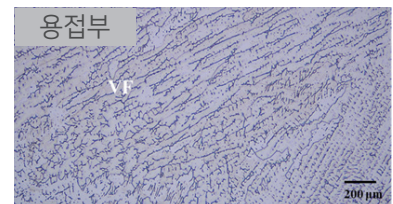
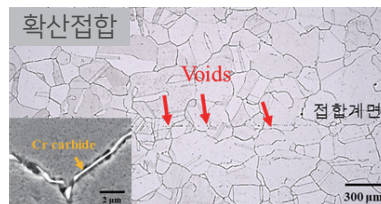
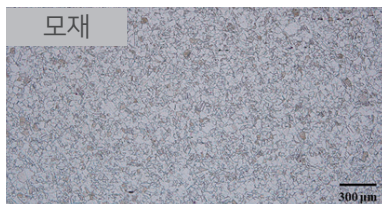


부산대학교
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY

열교환기 소재 및 접합부의 내수소취성 연구

소재 : STS 304, 316L, 310S, 347

◆ 열교환기 제작시 확산접합 공정과 GTA용접이 사용됨 → 모재와는 다른 미세조직 보임



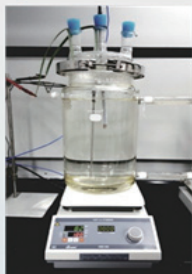
◆ 확산접합 공정은 장시간 열처리로 인해 조대한 결정립과 예민화 현상(결정립계 Cr carbide) 발생

◆ 스테인리스 용접부는 응고균열 민감성을 낮추기 위해 10%이하의 δ -ferrite 존재

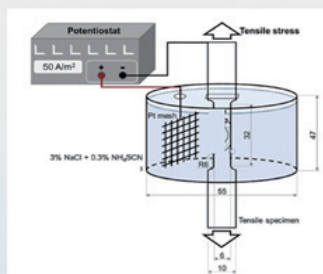
→ 미세조직의 변화는 수소취화 거동에 영향을 줄 수 있음



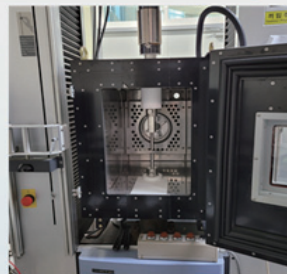
Hydrogen Embrittlement evaluation method



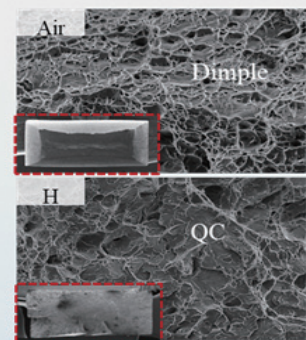
Hydrogen charging



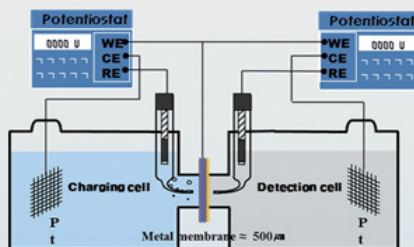
In-situ SSRT



Cryogenic tensile test



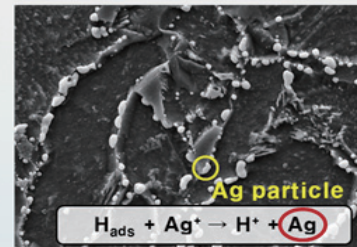
Hydrogen Diffusion evaluation method



Hydrogen permeation test



Thermal desorption analysis



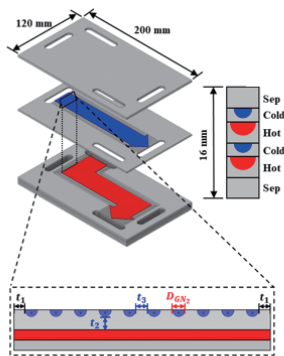
Silver decoration

◆ 강종별 GTAW 이음부 및 확산접합부의 수소취성 민감성 평가 및 수소 확산 거동 분석

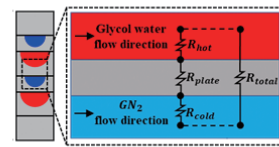
◆ Inhibitor를 통한 수소취성 확산억제

→ 내수소취성 소재 선정 및 회피기술 개발

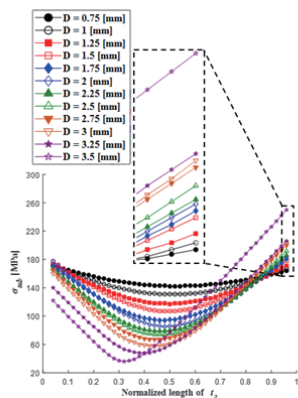
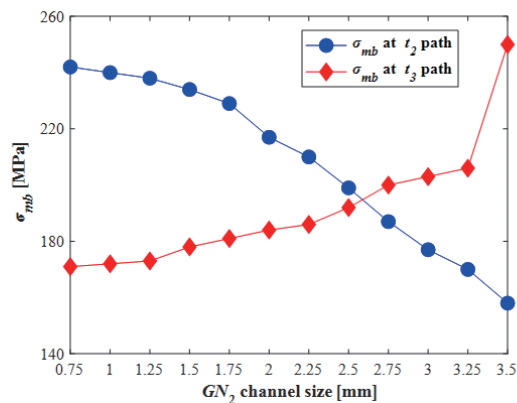
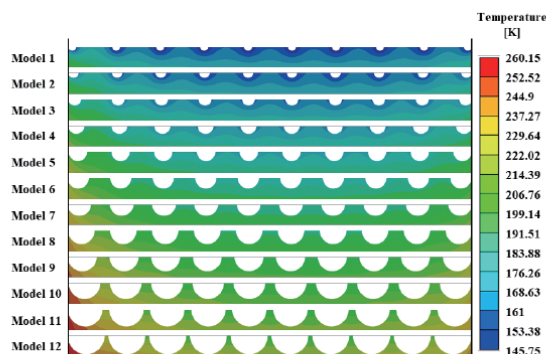
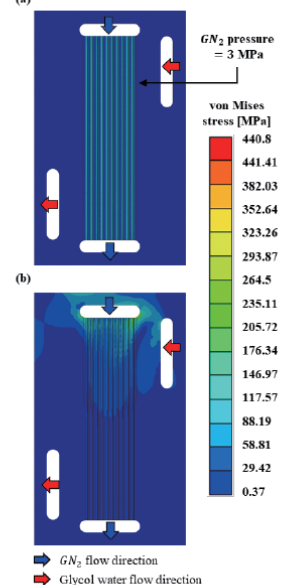
전열판 및 열교환기 구조설계, 수명 예측



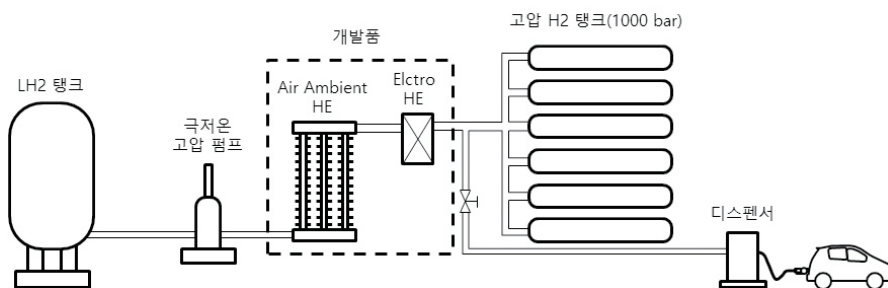
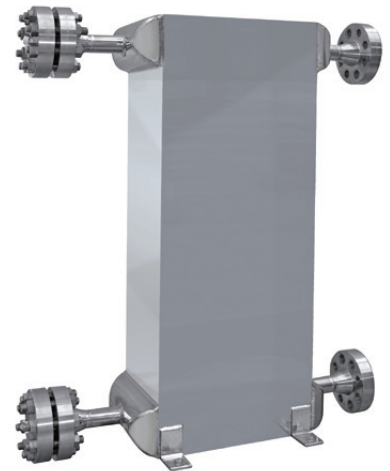
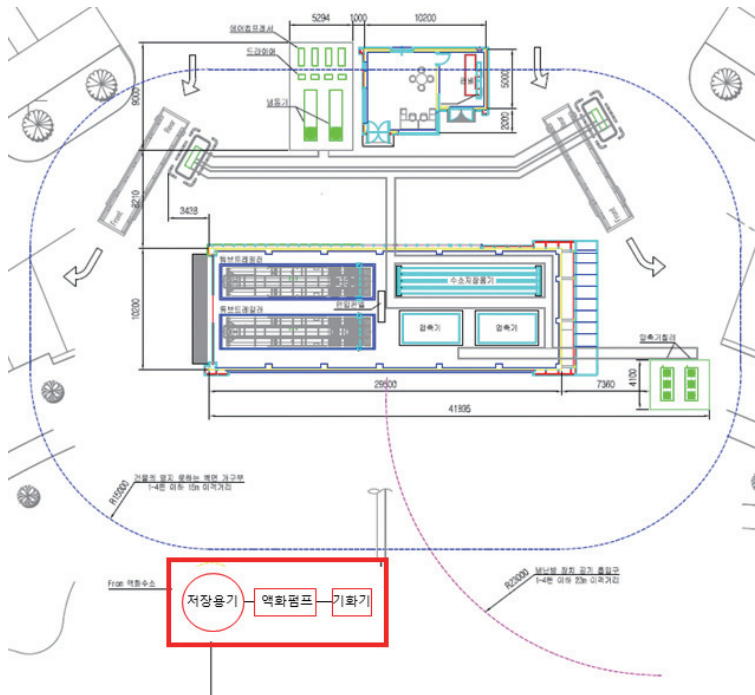
PCHE analysis model



Channel cross section and thermal resistance of PCHE

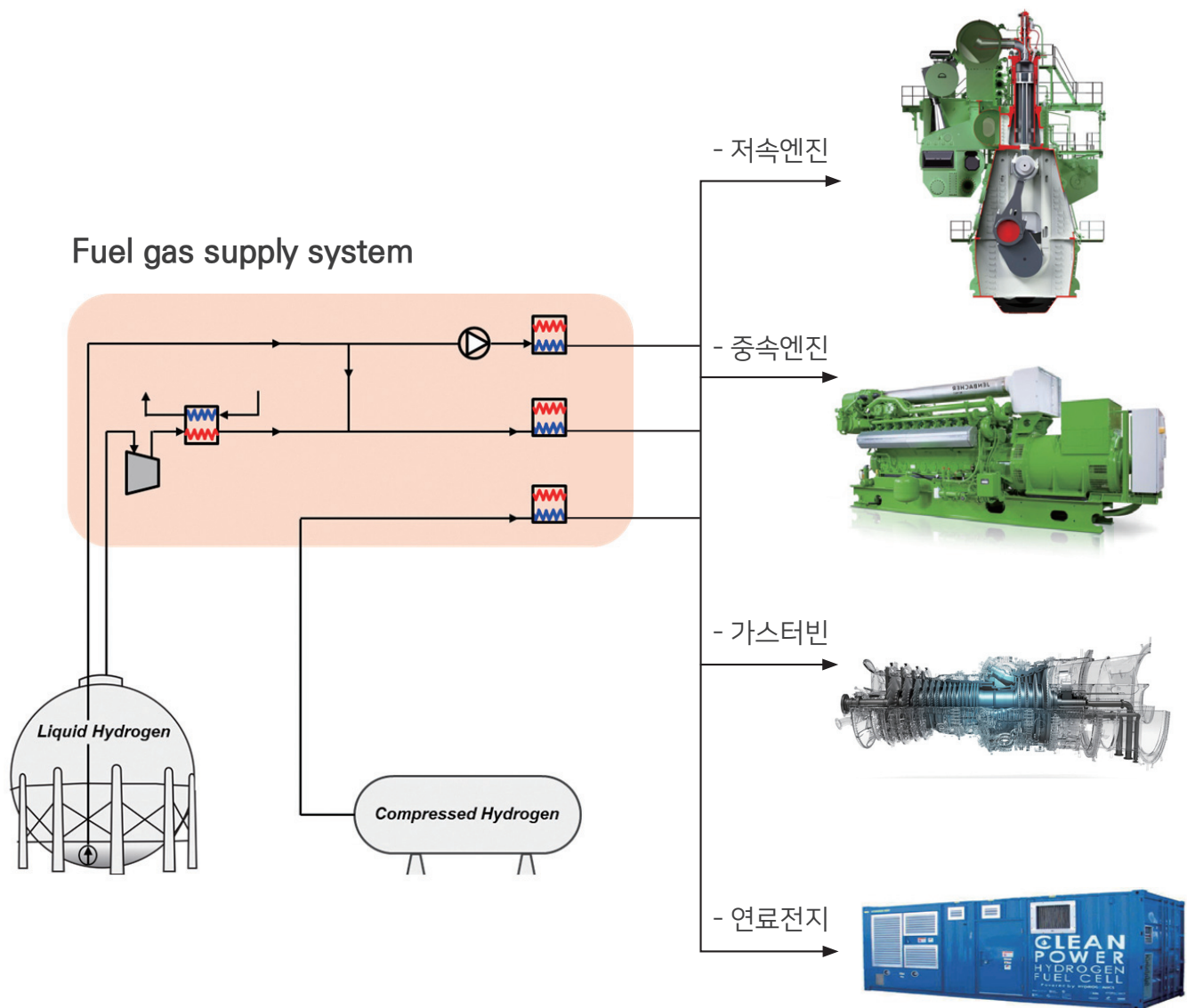
Membrane and bending stresses (σ_{mb})
along t_3 pathMax. membrane and bending stresses
In two paths (t_2, t_3) σ_{mb} Geometrical changes and temperature distribution
in channel cross sectionVon Mises stress distribution of PCHE plate:
(a) Mechanical stress; and (b) Total stress

수요기업(100kg/h급 액화수소용 컴팩트 열교환기의 액화수소충전소 적용성 검토)



수요기업(선박용 액화수소 시스템 요구사항 조사)

- ◆ 선박용 수소연료 추진시스템의 사양 조사 및 공정 조건 설정
- ◆ Low/medium/high pressure IC Engine의 hydrogen fuel supply system 공정 조건 및 선박용 엔진 개발 현황
- ◆ hydrogen gas turbine 공정 조건 및 선박용 장비 개발 현황
- ◆ Fuel cell (PEMFC, SOFC)의 공정 조건 및 선박용 장비 개발 현황
- ◆ 컴팩트형 열교환기 적용 기술 검토



액화수소용 -200℃ 이하, 100MPa급 컴팩트형 열교환기 개발

Development of compact heat exchanger
for liquefied hydrogen under -200 °C at 100MPa

DongHwa Entec

T. +82-51-970-1340



한국기계연구원
KOREA INSTITUTE OF MACHINERY & MATERIALS

T. +82-42-868-7264



부산대학교
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY

T. +82-51-510-7842(1세부)

T. +82-51-510-3274(2세부)



동아대학교
DONG-A UNIVERSITY

T. +82-51-200-7938



국립 한국해양대학교
NATIONAL KOREA MARITIME & OCEAN UNIVERSITY

T. +82-51-410-4967

HANJUN

T. +82-2-368-2020



한화오션
Hanwha Ocean

T. +82-2-2129-7235