



부산대학교
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY



PUSAN NATIONAL UNIVERSITY
SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING

Lab seminar

Multi-scale 열유체 측정 연구실

Multi-scale Thermo Fluid Measurement Lab.

Pusan National University School of Mechanical Engineering

염은섭 교수

2024. 03

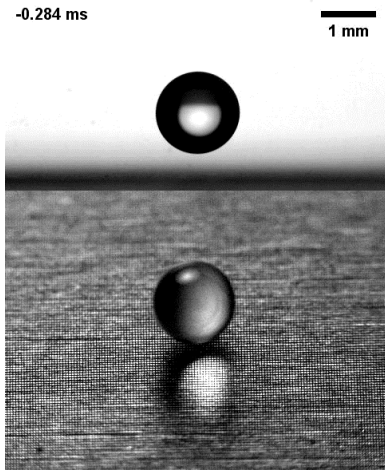


Multi-Scale Thermo Fluid Measurement Lab.

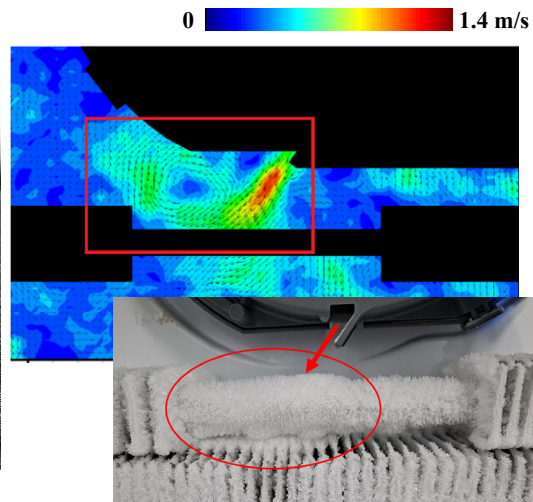


1. 열교환기 유동 시뮬레이션 (CFD)
 - ✓ 복잡한 형상에 대한 열교환기 열유동 시뮬레이션
1. 연료전지 시뮬레이션 (CFD)
 - ✓ 열 - 유체 - 전기 화학반응 복합 시뮬레이션
1. 연료전지 시뮬레이션 (Simulink)
 - ✓ 시뮬레이션 결과의 시스템 연동
2. 인광을 활용한 온도 및 변형률 동시 측정
 - ✓ 온도 및 변형률 동시 측정 기법 개발 및 실험
3. 터빈 블레이드 Air hole 냉각열유동 시뮬레이션
 - ✓ AI 활용 열전달 최적화 디자인 도출

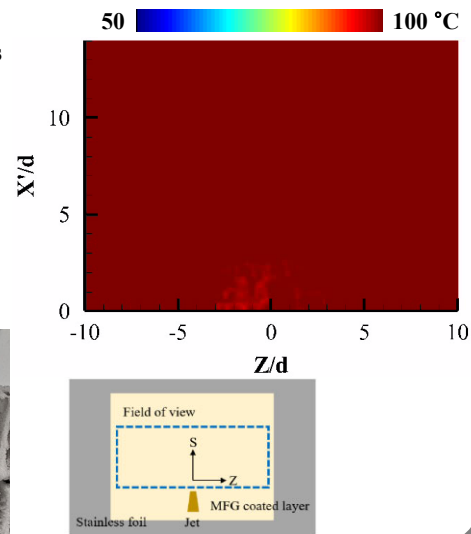
Micro scope



Measurement Macro scope

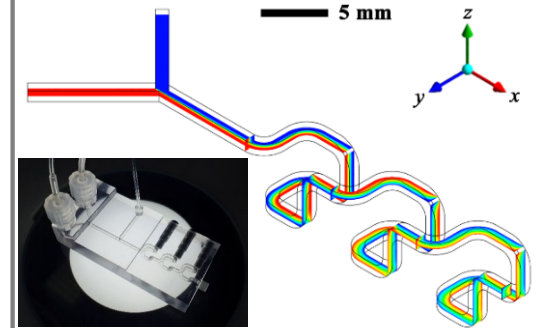


Temperature Sensitive Paint

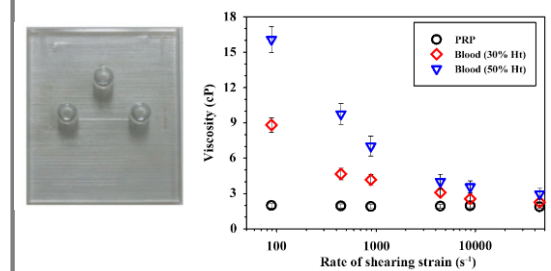


Design

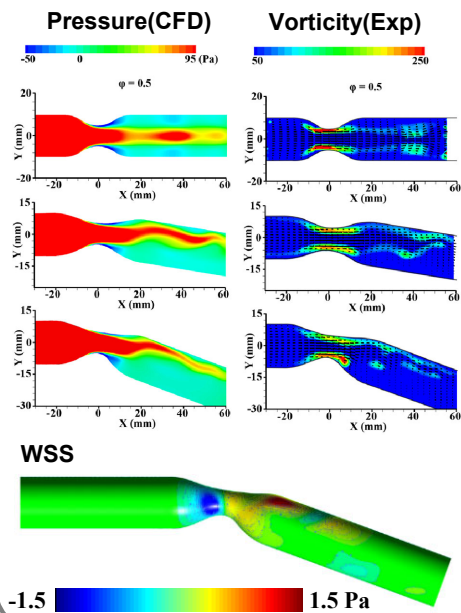
3D printed chip for mixing



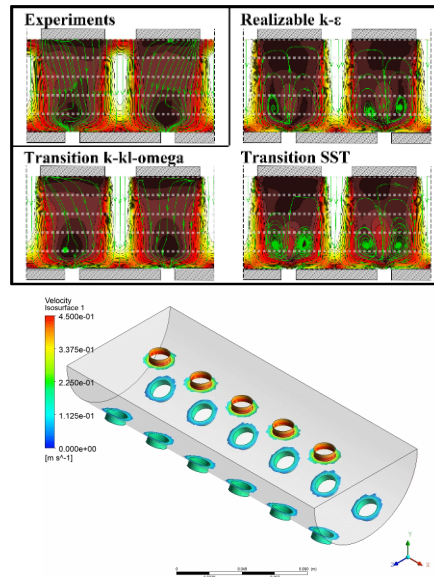
3D printed viscometer



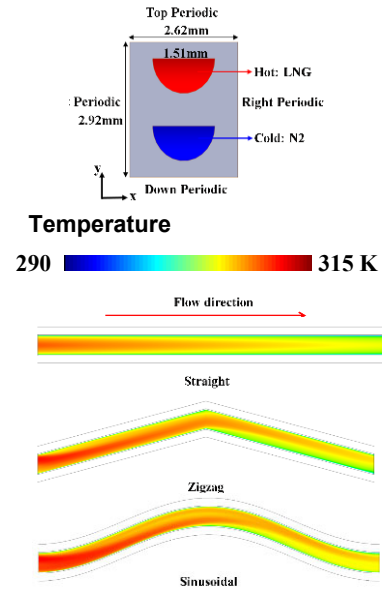
Curved stenosed channels



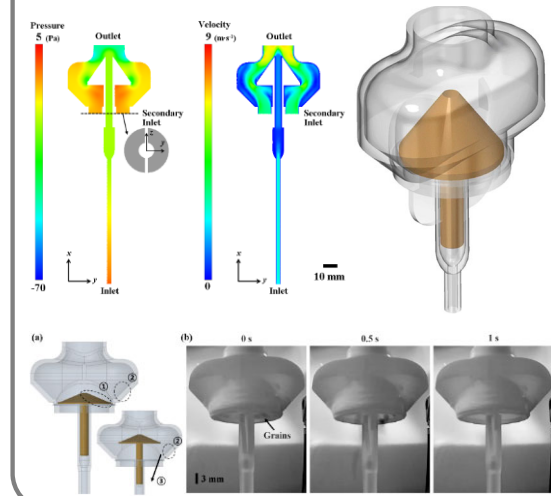
CFD simulation 3D vortex of jet



Thermo-fluid in PCHE



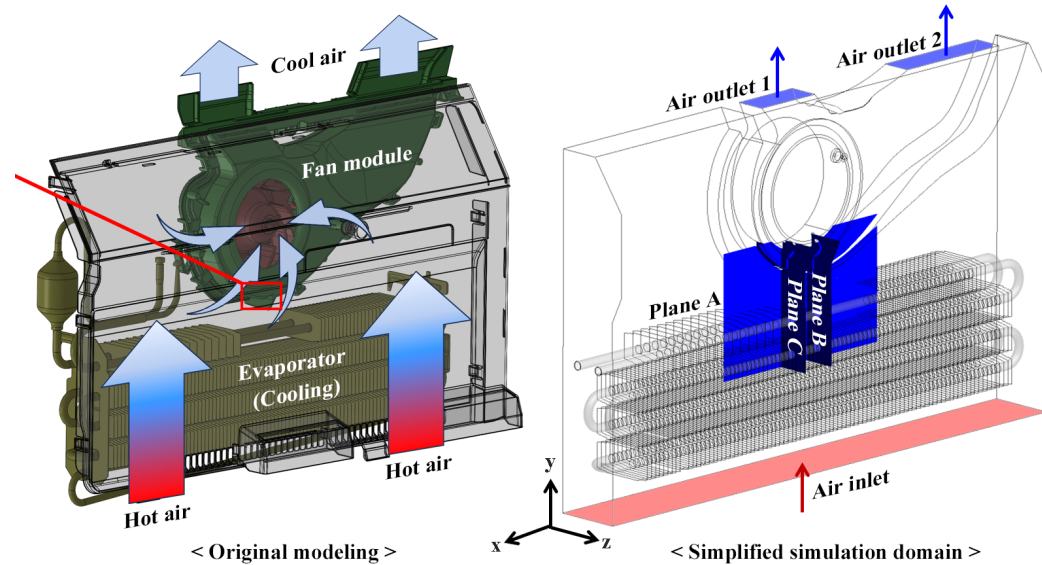
Drain tube printed chip



✓ 복잡한 형상에 대한 열교환기 열유동 시뮬레이션

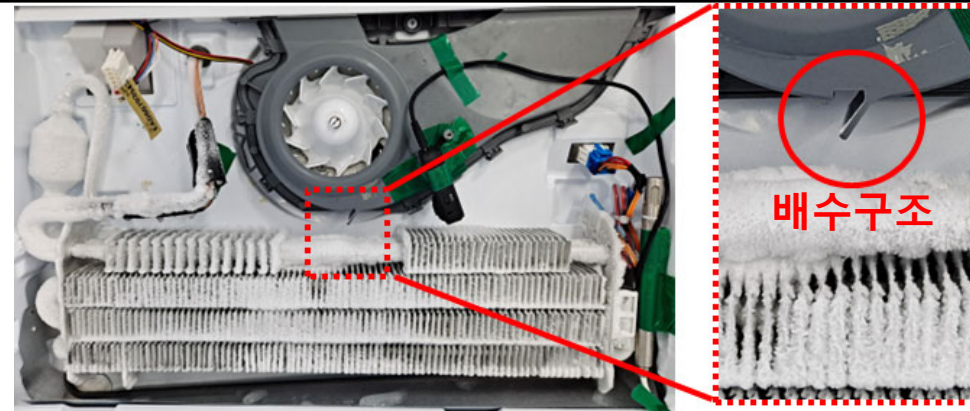
1. 원심팬에 의해 압력차
2. 증발기(evaporator) 공기 냉각
3. 원심팬 흡입 및 배출
→ 냉각기 순환 작동

시뮬레이션 상 복잡한 형상의 단순화

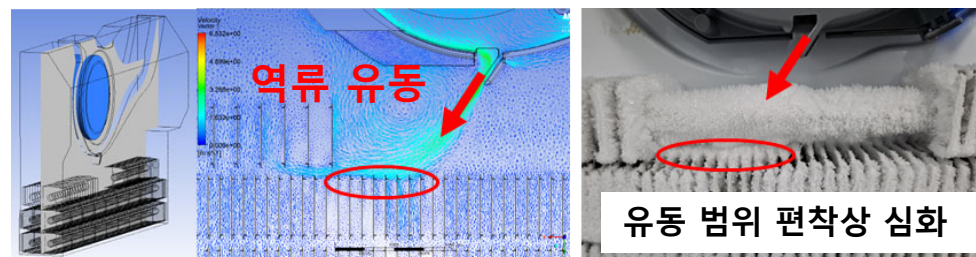


팬 배수구조로 냉각공기 역류 발생

배수구 구조 변경으로 역류로 인한 역효과 억제



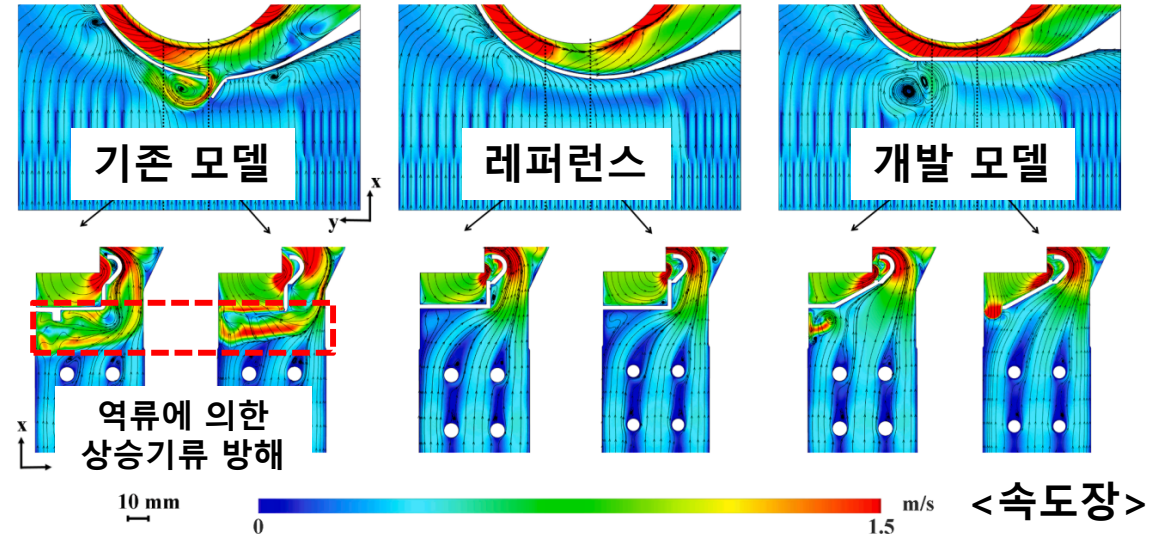
역류에 의한 상승유동 정체 발생
서리의 편착상 가속



✓ 복잡한 형상에 대한 열교환기 열유동 시뮬레이션

레퍼런스(배수구 없음)
→ 역류 유동 없음,
이상적인 경우로 가정

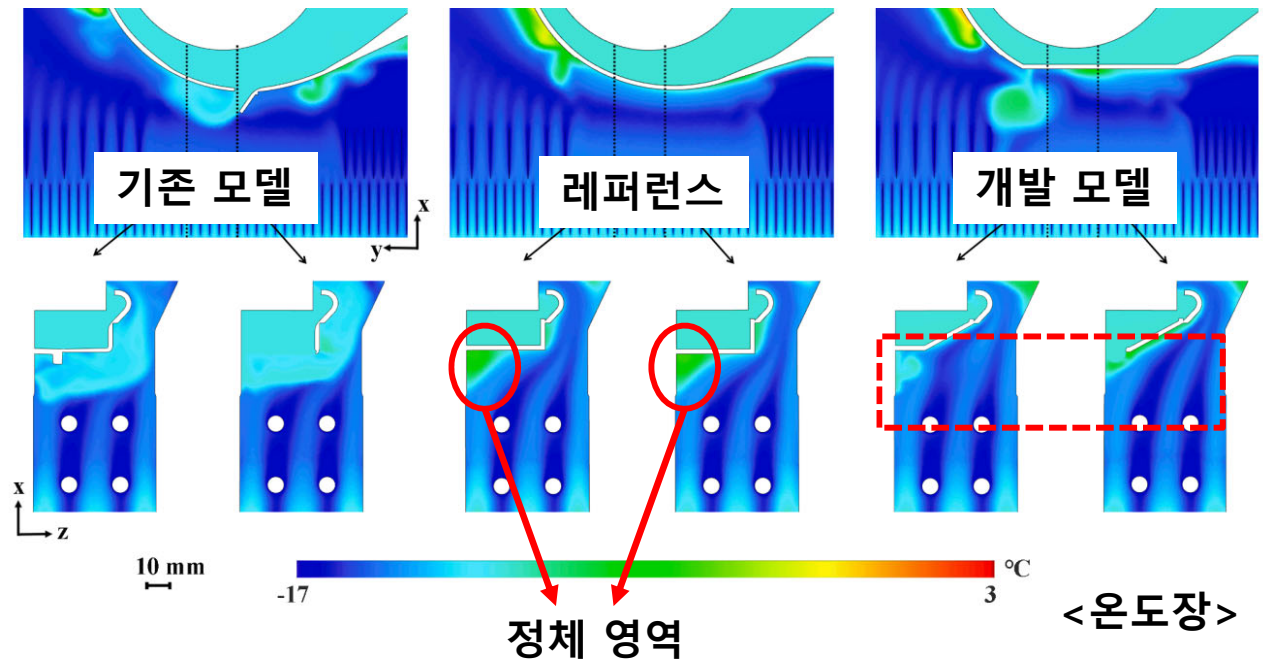
시뮬레이션을 통한
열유동 관점
배수구 구조 최적화



(1) 레퍼런스 모델에서
정체 영역 확인

(2) 상승 기류 방해하지
않도록 배수 구조의
정체영역 배치

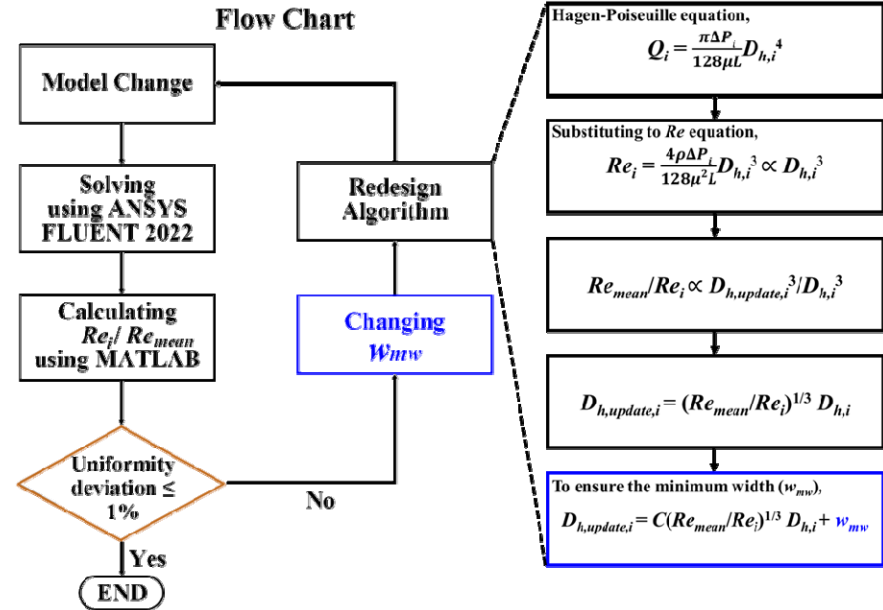
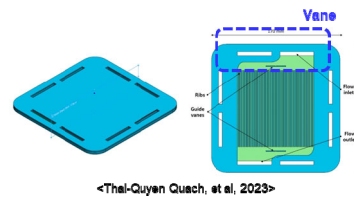
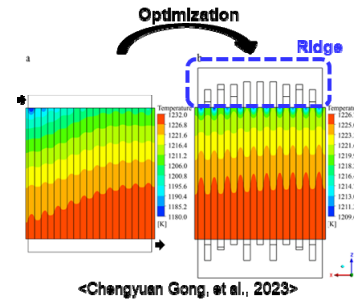
→ 유동을 레퍼런스 모델
수준으로 개선



✓ 열 - 유체 - 전기 화학반응 복합 시뮬레이션

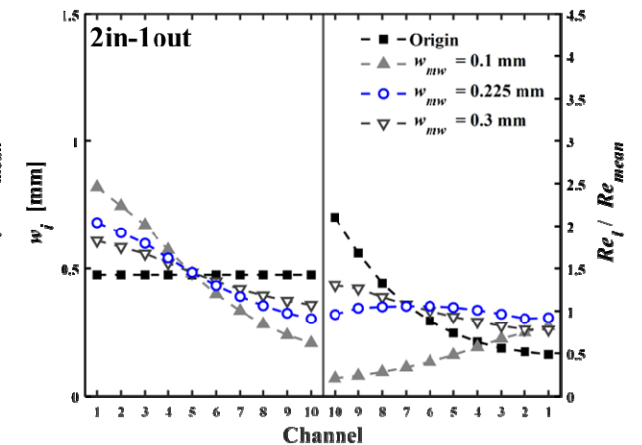
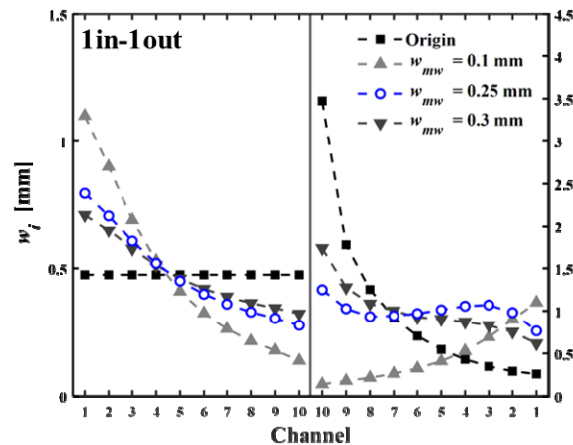
균일한 온도 및 유량 분포를 위한 SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) 채널 폭 알고리즘 개발

유량 분포 개선을 위한 채널 간격 최적화 알고리즘 개발



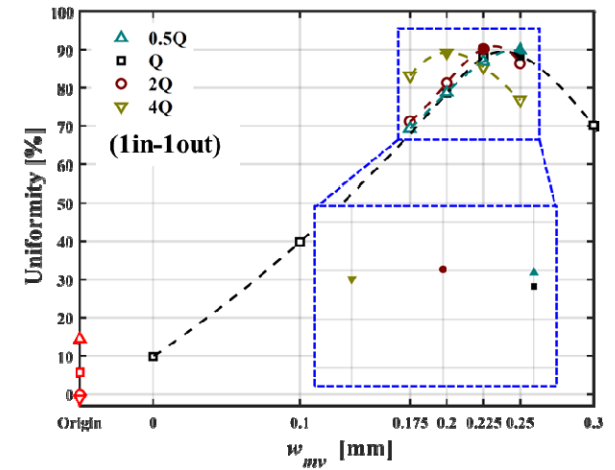
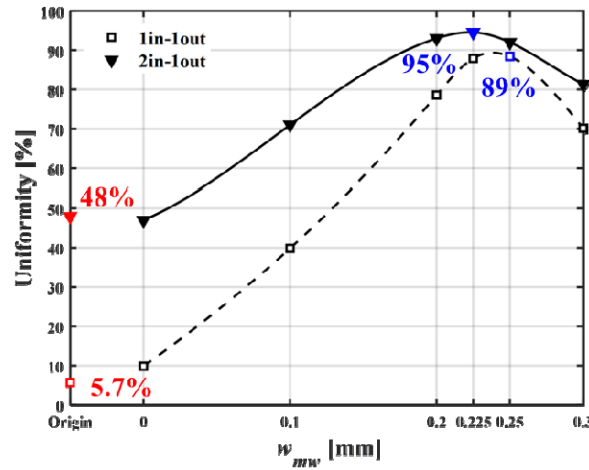
시뮬레이션을 통한 설계 변경

중심부에 집중되던 유량 해소

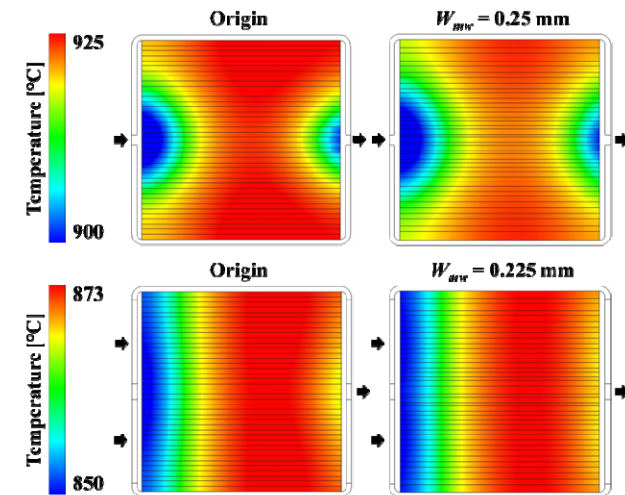
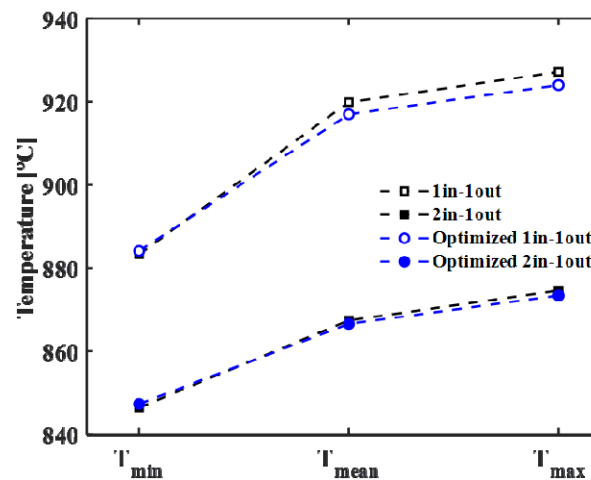


✓ 열 - 유체 - 전기 화학반응 복합 시뮬레이션

유로 형상과 유량에 따른
최적화 알고리즘의 성능

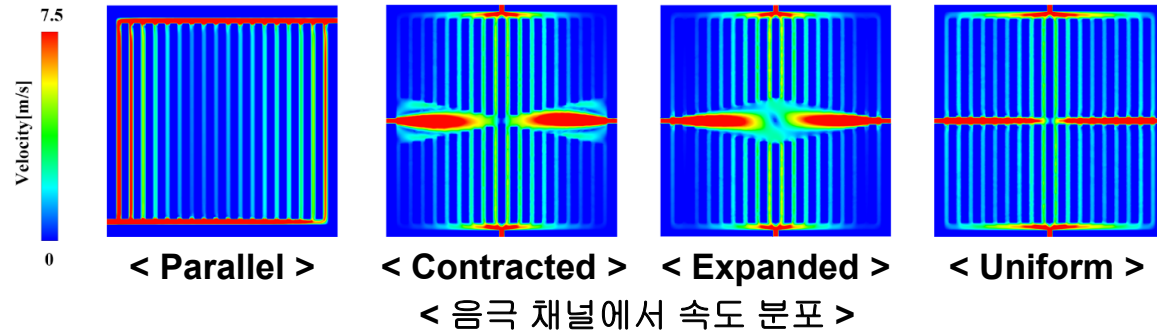


온도 분포
측면에서의 성능

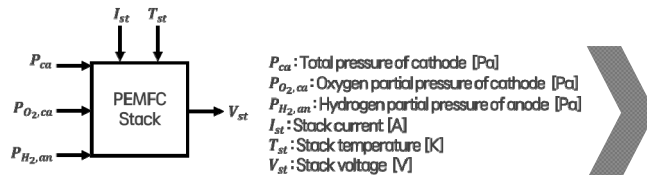


✓ 시뮬레이션 결과의 시스템 연동

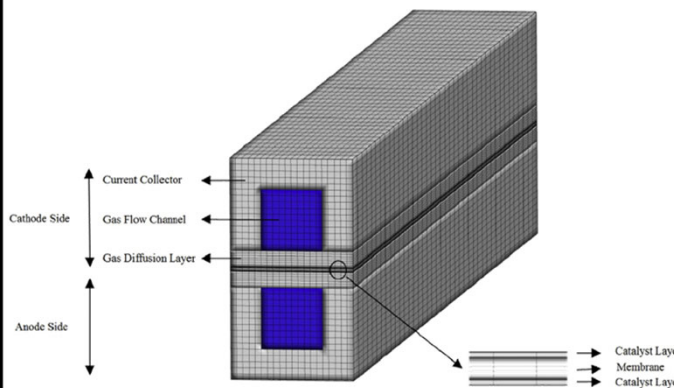
연료전지의 성능은 유로
형상, 전해질 두께 등 여
러 요인에 의해 변화함



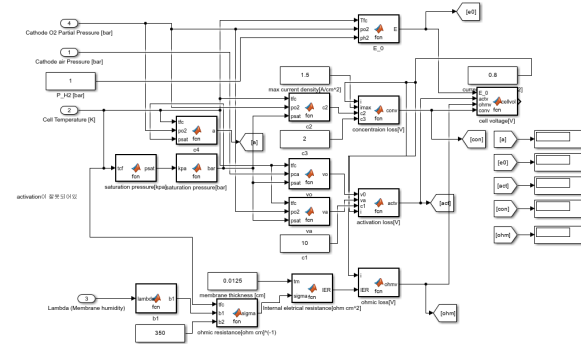
시스템 해석을 위한 1D
시뮬레이션(Simulink)와
Component 해석을 위한
3D 시뮬레이션(Ansys
Fluent)가 존재
-> 원하는 결과에 따라
해석 Tool 선택



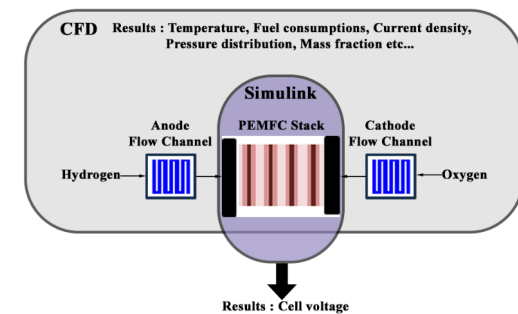
P_{ca} : Total pressure of cathode [Pa]
 $P_{O_2,ca}$: Oxygen partial pressure of cathode [Pa]
 $P_{H_2,an}$: Hydrogen partial pressure of anode [Pa]
 I_{st} : Stack current [A]
 T_{st} : Stack temperature [K]
 V_{st} : Stack voltage [V]



< 3D 시뮬레이션 modeling >



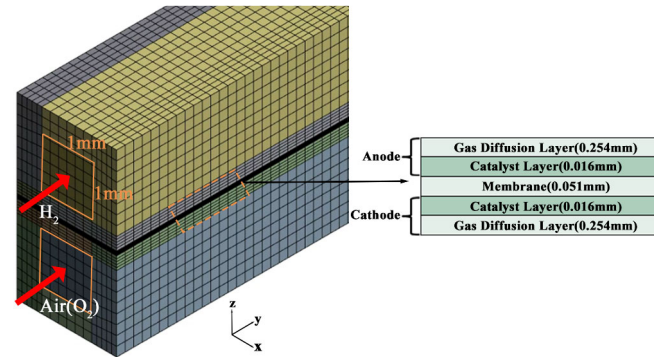
< 1D 시뮬레이션 modeling >



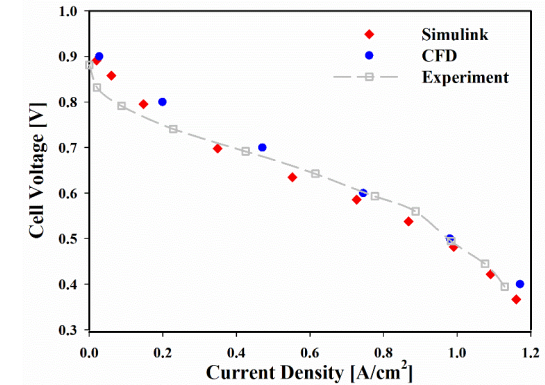
< 시뮬레이션 결과 차이 >

✓ 시뮬레이션 결과의 시스템 연동

실험 결과와 Polarization curve를 이용한 Validation 진행



<Validation 유로 형상>



< Polarization curve >

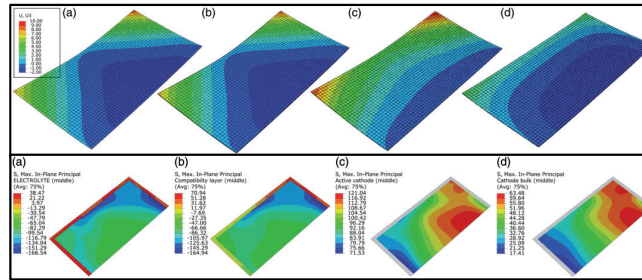
CFD를 통하여
연료전지에 대한
성능계수 추출

Simulink에 대입
해석시간의
최소화

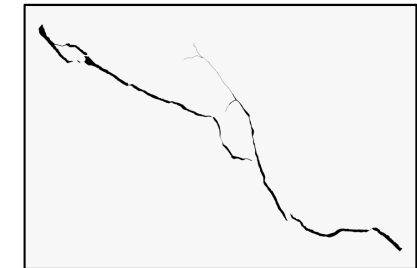
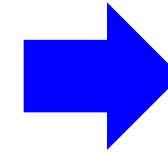
Compressor,
Humidifier등
Component가 연결된
연료전지 시스템의 과도
해석에 적용

✓ 온도 및 변형률 동시 측정 기법 개발 및 실험

고온의 물체에 대한 측정 기법의 한계

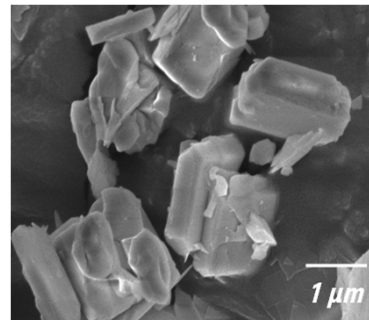


Harald Schlegl and Richard Dawson, 2017, J. of Power and Energy

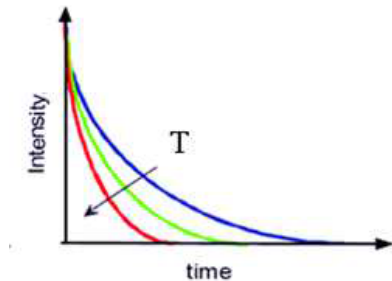


Pngitem.com

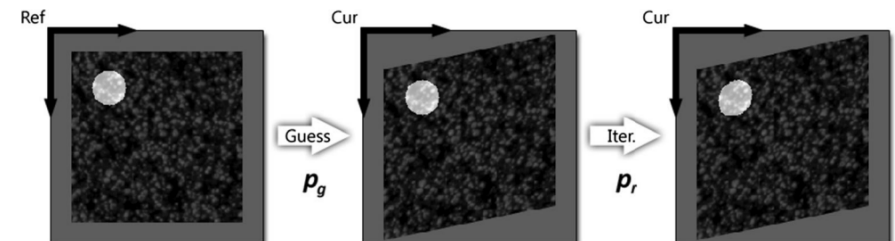
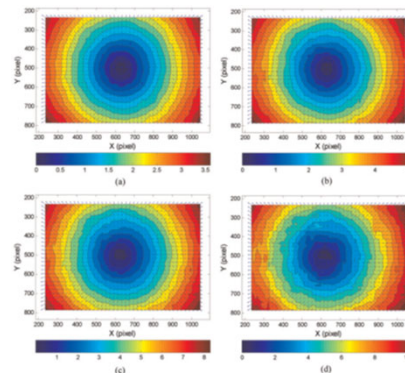
인광물질의 온도에 따른 특성



Fluorescence (ground state): singlet state

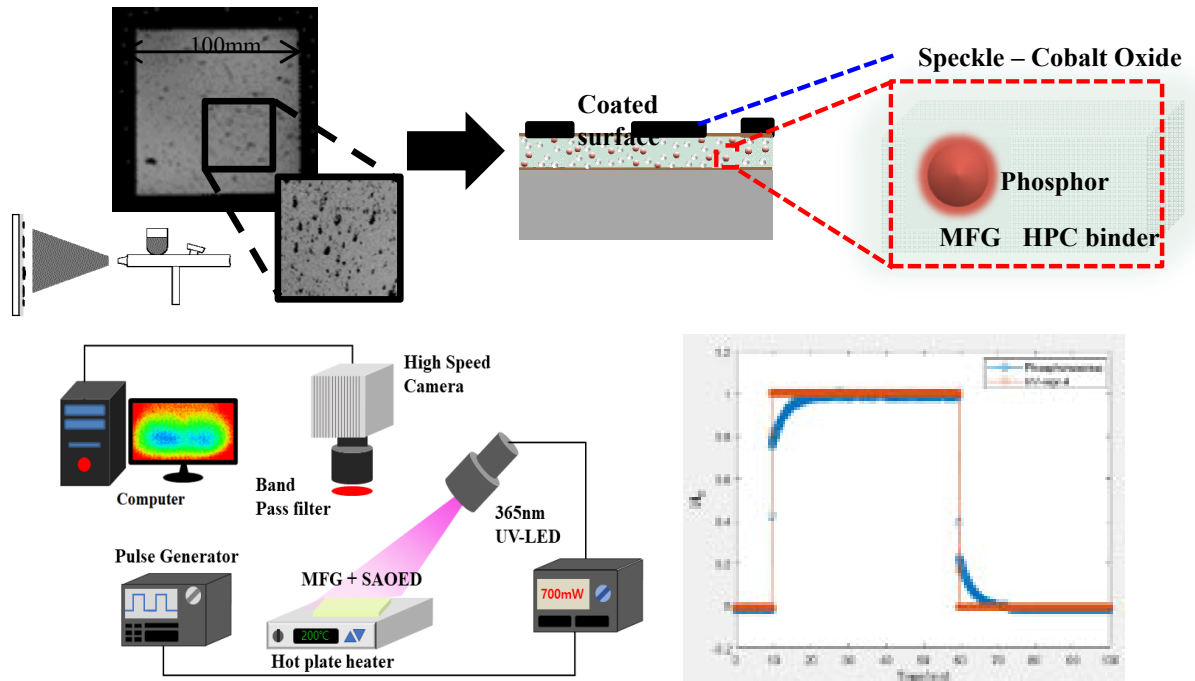


DIC 기법을 활용한 변형률 계산

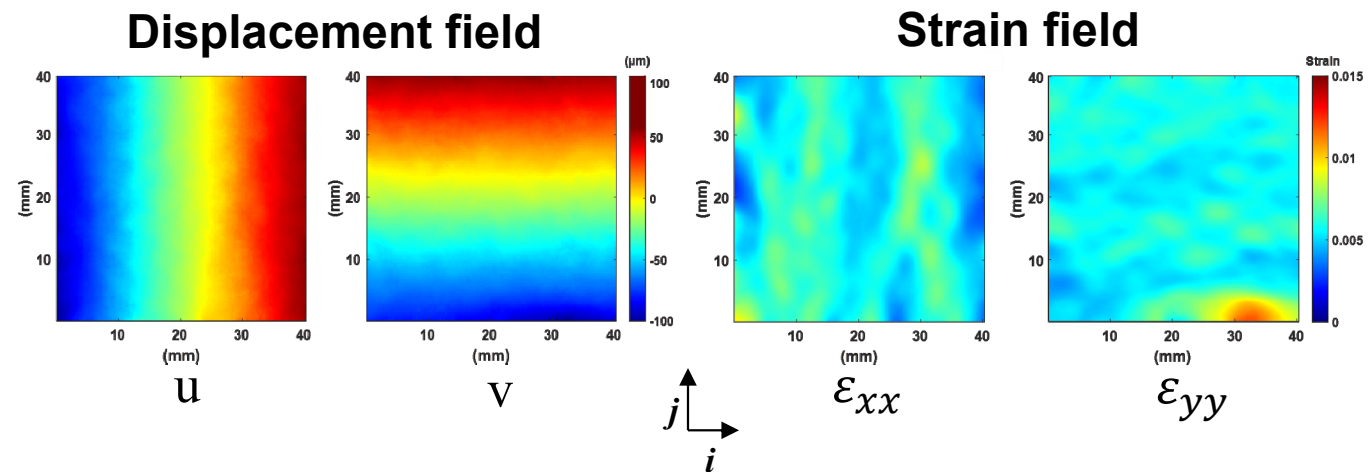


✓ 온도 및 변형을 동시 측정 기법 개발 및 실험

인광시료 제작 및 실험 방법

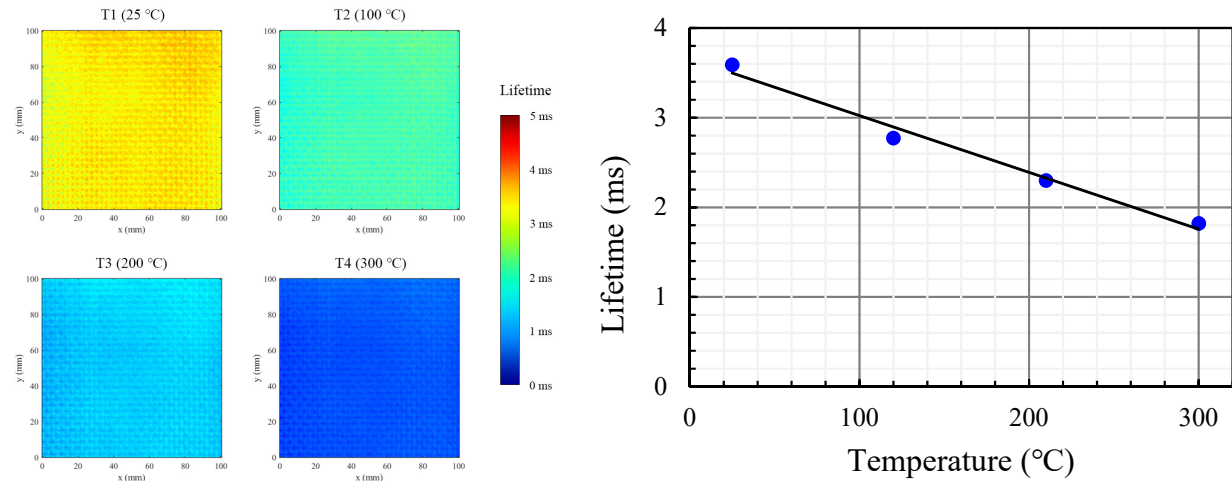


가열 후 계산된 변위와 변형률

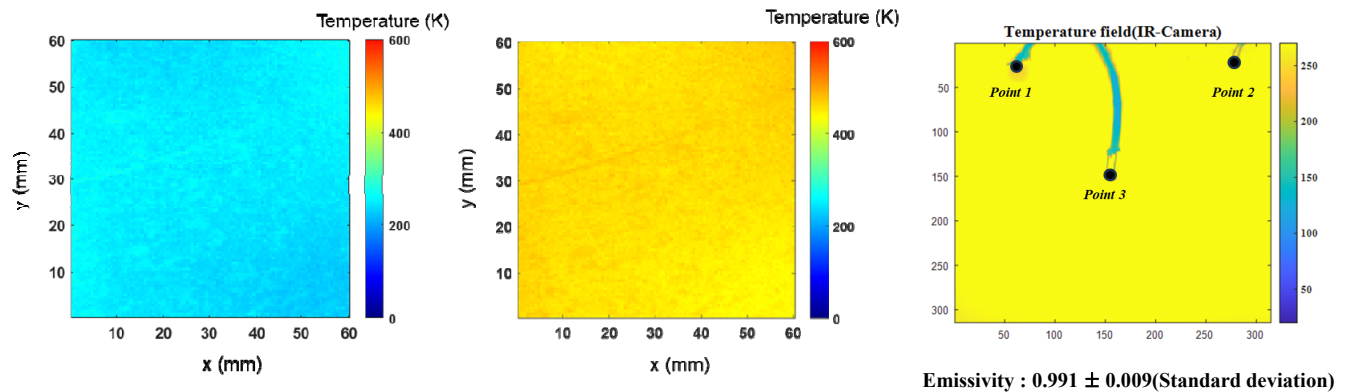


✓ 온도 및 변형을 동시 측정 기법 개발 및 실험

온도장 측정 후 온도에 따른 인광수명주기 관계식 도출



관계식에 대입하여 측정된 온도장

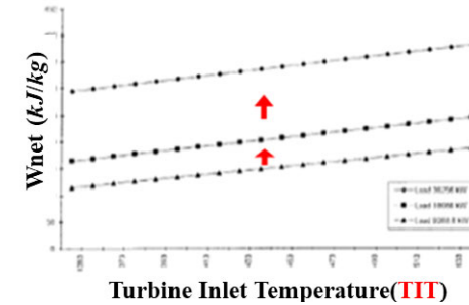
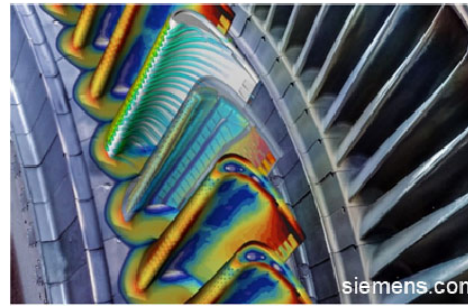


터빈 블레이드 Air hole 열유동 시뮬레이션



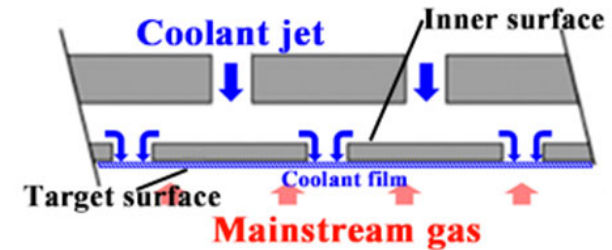
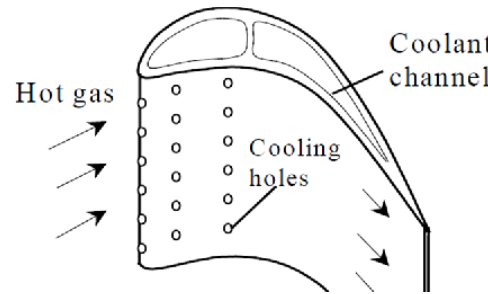
✓ AI 활용 열전달 최적화 디자인 도출

고온 고압 환경
가스 터빈 블레이드 전면
부에 대한 **균일한 냉각** 필
요



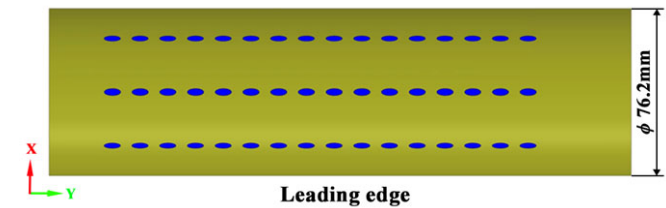
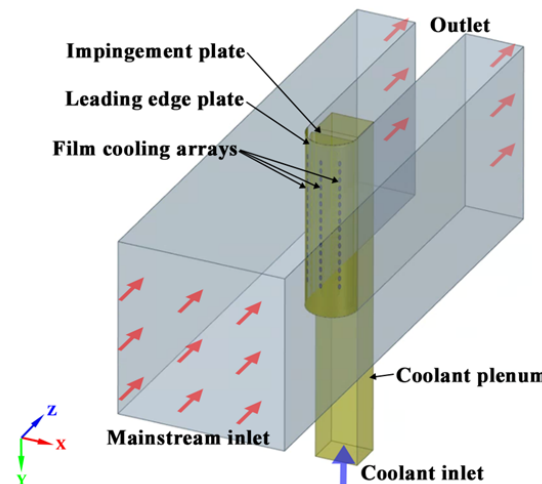
충돌 제트/유출 냉각

Film hole 배열에 따른
막 냉각 성능이 달라짐

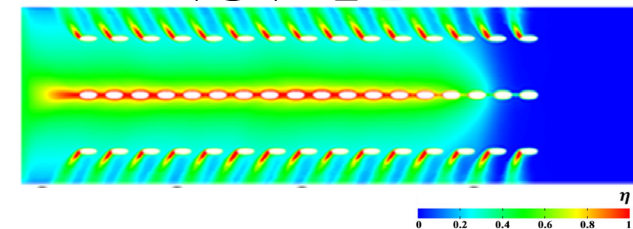


터빈 블레이드 전면부 형
상을 고려한 시뮬레이션
도메인 구성

기존 모델 막 냉각 효율
분포 결과 분석



막 냉각 효율 분포



✓ AI 활용 열전달 최적화 디자인 도출

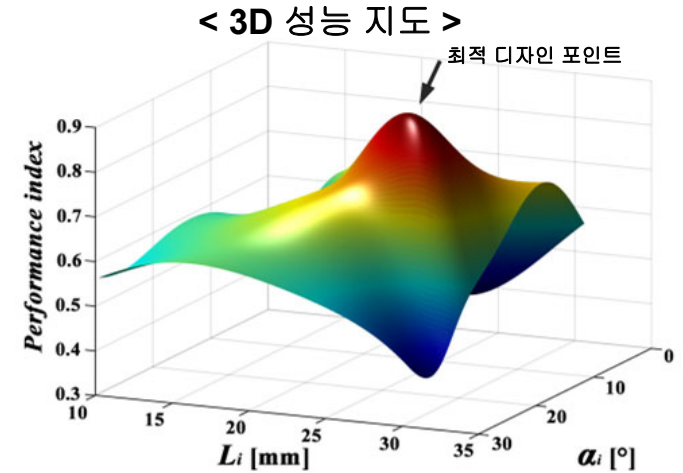
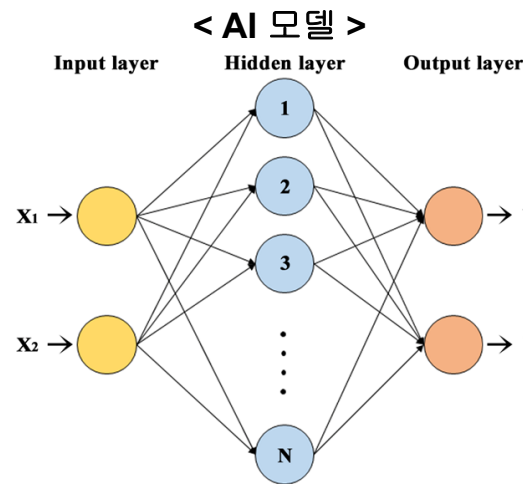
AI를 통한 기존 모델 Film hole 배열 최적화

Input layer : 디자인 변수

Output layer :

평균 냉각 효율, 표준 편차

냉각 효율



기존 모델 보다 평균 냉각 효율 4.2%, 표준 편차 냉각 효율 6.8% 증가

엇갈림 Film hole 배열을 통한 개선 모델에서의 막 냉각 균일성 확보

