

# 에너지 변환시스템 연구실

## 학생자율연구 Lab 소개

2024. 03. 07

Director, Prof. Chung-Hwan Jeon

School of Mechanical Engineering

Pusan National University

Pusan Clean Energy Research Institute(PCERI)



부산대학교  
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY



Cooperation



Performing  
the research project

Smart Parts and  
materials



Smart  
Solutions

Smart city





## 전 충 환

교수

부산대학교 기계공학부

학위 : 부산대학교 학사(85), 석사(88), 박사(94)  
 부산대학교 기계공학부 학부장(2019~2022)  
 부산대학교 대외협력부총장(2023~현재)

### 연구역량

- 최근 5년간 SCI급 논문 60여편 게재
- 국제교류 및 산학 공로 인정 (청화대 해외 석좌교수, POSCO 전문 교수)
- 저널 편집위원 위임(자동차공학회, 에너지공학회, 마린엔지니어링학회 등)
- 첨단기계기반 융합기술 실전문제연구단장
- 청정화력발전에너지연구소 소장 (차세대탄소국제연구협력센터, 바이오매스연료연소센터, 순환유동충연구센터)

### 학회활동

- 대한민국 대표 – ASEAN CCT Conference by IEEJ, METI Japan (2010)
- Chair, International Low Rank Coal Conference by KOSPO (2011)
- 국제 학술 대회 개최 (CEAM 2018, 2019, 2023, 2024)
- 위원 – 국가에너지위원회 (2010)
- 자문위원 – 국회환경포럼 (2016)
- 공동위원장 – International Low Rank Coal Conference (2011)
- 관련분야 학회위원 (Pittsburgh Coal Conference / 한국에너지기후변화학회 / 한국연소학회 부회장 / 대한기계학회 / 한국화학학회)

### 교육역량

- 부산대 우수교육자상(2009) 및 우수연구자상 수상(2011)
- 발전연소전공 발전사 협약 및 개설(2008~현재)
- 현장연계 미래선도인재양성 사업단장(2022~2026)
- 대학혁신 미래자동차 융합인재양성 사업단장(2022~2025)
- 졸업생 배출 : **박사 20명, 석사 94명**



### 산학협력현황

- 최근 5년간 90여억원의 산학협력 과제 수주
- 발전5사 및 주요 연구소와의 MOU 체결 (남동, 남부, 중부, 서부, 동서/하얼빈공대/일본 이데미츠 등)
- 유동충발전기술지원센터 운영(남부-삼척화력, 산학협력 클러스터 기술지원센터)
- 바이오매스연료연소센터 운영(부산대-남동발전 현장기술지원)
- 차세대탄소국제연구협력센터 운영 (ICCCF, 부산대-뉴캐슬)
- 에너지융합발전연소전공 (산업체 재직자 훈련)
- 산업통상자원부 암모니아 혼소 실증 및 상용화 기획위원장

### 수상 현황

- Outstanding Academic Award, Korea Automotive Engineering(2009)
- Korean Green Environment Energy Award, Korean Energy Environment(2011)
- Best Paper Award, The Korean Society for Energy(2012, 2016)
- Best Paper Award, The Korean Society of Combustion(2016)

청정에너지 발전분야에서 활발한 산학협력 연구실적 및 다양한 국제 활동 경험을 바탕으로 국제협력 청정발전연구소 운영



**전충환 교수**  
 부산대학교 기계공학부  
 청정화력발전에너지연구소장

**청정화력발전  
에너지연구소**  
 전충환  
교수님

- 에너지기술평가원 청정화력 기획위원
- 소방방재청 화재안전 전문위원
- (주)한국서부발전, 한국남동발전 기술자문역
- POSCO 전문(석좌)교수 (FINEX/연원료그룹)

- 화력발전에너지기술센터
- 유동충발전기술지원센터
- 바이오매스연료연소센터
- ICCCF

**High Efficient Future Energy Technology TEAM**

Master's course student **2 people**  
 Doctoral course student **2 person**  
 Ph.D. Candidate **1 person**

**Carbon Free Energy Development TEAM**

Master's course student **1 people**  
 Doctoral course student **2 person**  
 Ph.D. Candidate **1 person**

**Deep-Learning Smart Simulation TEAM**

Master's course student **1 people**  
 Doctoral course student **2 person**  
 Ph.D. Candidate **1 person**

## Alumni's affiliations



# 에너지 변환시스템 연구실 협력 기관



## 에너지 분야 국제 대학 기관 협력



## 에너지 분야 국내 정부 국책 연구소 및 기업 연구소 협력



## PCERI 연구 성과 학술 발표회



## 스승의 날 기념 사진 촬영



## 그린 암모니아 융합발전 국제 공동 연구센터

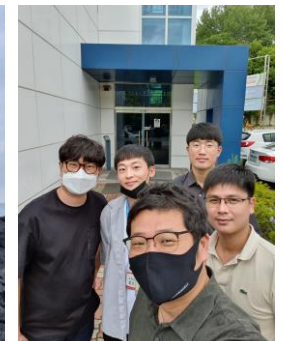
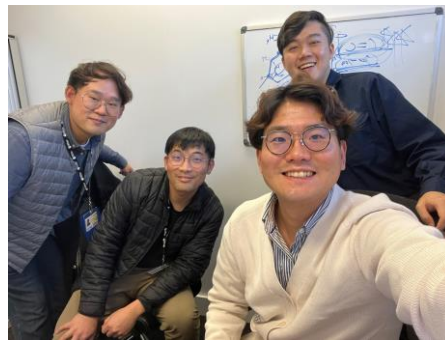
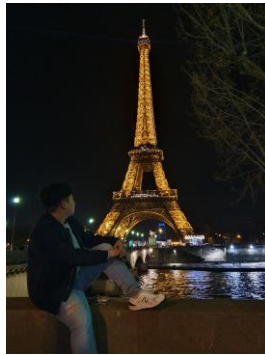


## 학위 수여식

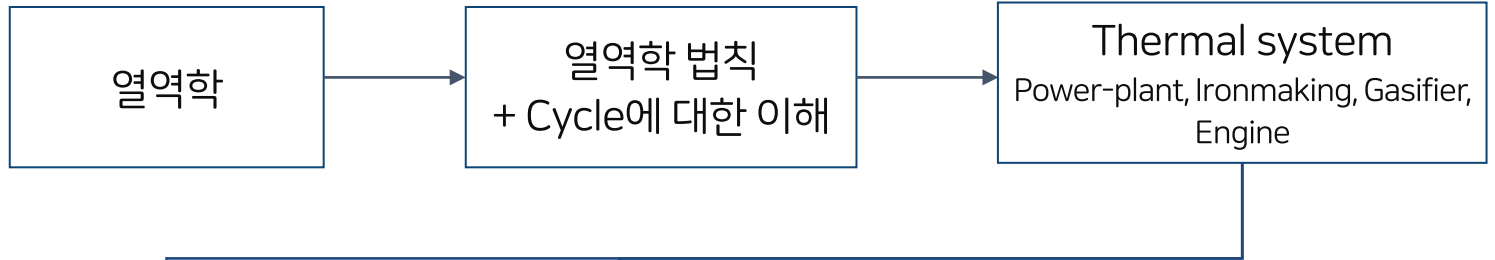


## 2022년 한국연소학회(경주)





고온, 고압의 시스템



- 연료 기초 물성 분석
- 연소 실험
- 물리, 화학적 기초 연구 수행 (연료 구조 분석, 화학 반응성 분석 등)
- 시 기반 데이터 분석 및 예측 연구

- 실제 시스템을 3차원 모델링
- 유동, 열 전달 등 다양한 모델 기반으로 실제 현상 모사
- 실험 결과를 바탕으로 코드 개발 및 적용

- 실제 국내 산업에서 중요한 역할을 담당하는 열역학적 시스템에 대한 직접적인 연구 수행 (발전 5사, 한국전력 전력연구원, 포스코, LG전자 등 다양한 기업 과제 수행)
- 수소 (hydrogen)기반의 Carbon-free 연료(암모니아 등) 적용 및 응용 연구 수행

**열역학 기반 발전, 제철 분야 연구 수행 + 수소 생산 및 활용, CFD, AI 기반 최적 시뮬레이션 수행**

사업명

부산대-뉴캐슬대 그린 암모니아 융합발전 국제공동연구센터

PNU-UON Global Collaborative Research Centre for Green Ammonia Integrated Power Generation



연구원수    국내    해외

**33명**    **15명**

● 주관기관

부산대학교/PCERI

● 해외 연구기관

뉴캐슬대학교/NIER

● 공동 연구기관

조선대학교(김성준 교수)

● 주관연구 책임자

전충환/교수

● 해외 기관 책임자

Ajayan Vinu/Professor

● 참여 기관

(주)남부/중부 발전 (주) 이엠코

연구개발비 확보

단위 : 천원



정부출연금 (현금)  
**3,300,000**

한국 연구재단  
(해외우수 연구기관 공동연구)



기업체 부담금 (현금)  
**360,000**

(주)이엠코  
(주)남부발전, 중부 발전



상대국 부담금(현물)  
**300,000(신청액)**  
**1,160,000(확정액)**

Newcastle Institute  
of Energy Resource(NIER)



연구비 총액 (현금+현물)  
**3,960,000(신청액)**  
**4,820,000(확정액)**

연구재단 정부출연금+  
기업체부담금+상대국부담금

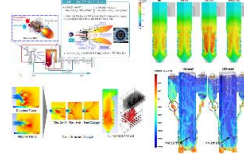
## 1 세부 그룹



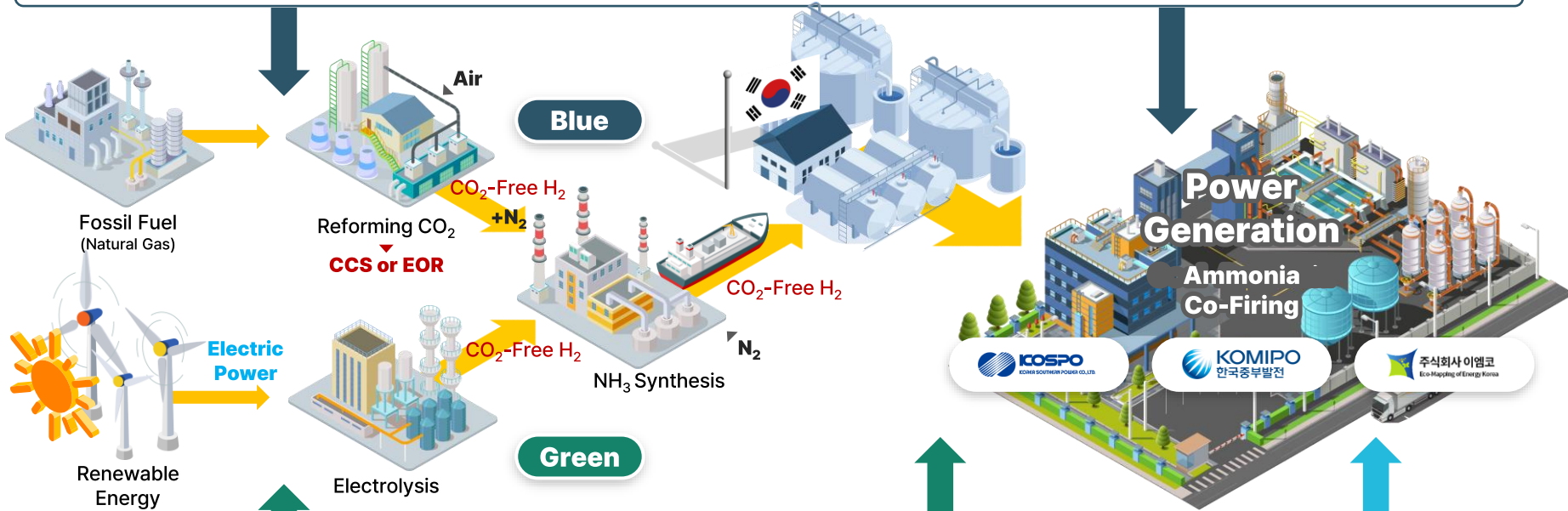
부산대학교  
PUSAN NATIONAL UNIVERSITY



PCERI  
부산대학교 청정화학발전에너지연구소



- 암모니아 기초 연소 평가 기술 개발
- 암모니아 발전 시스템 해석 기술 개발
- CFD를 활용한 버너/보일러 해석 및 적용 기술 개발

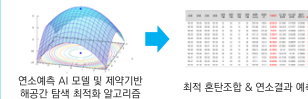


## 2 세부 그룹



- 암모니아 N-recycling 나노 소재 촉매 기술 개발
- 암모니아 생산 전극 및 시작품 제작 기술 개발
- 암모니아 발전 NO<sub>x</sub> 저감 기술 개발

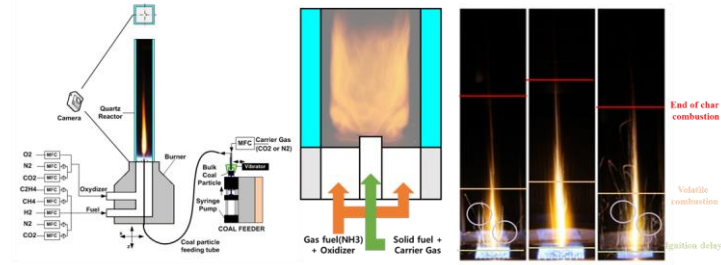
## 3 세부 그룹



- 연소 예측 모델 개발
- 발전시스템 건전성 감시방법론 개발
- 최적인전기술개발

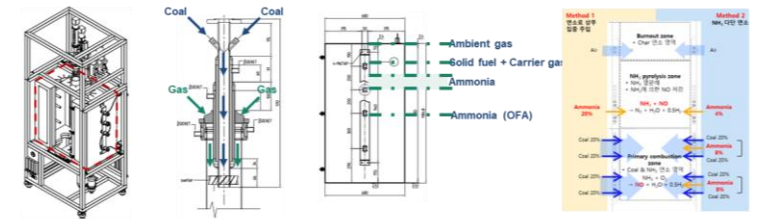
### | Ammonia Visual Combustor(AVC)

- 암모니아와 고체연소 혼소에 따른 연소 특성 분석
- 고속카메라, PIV 등을 이용한 암모니아 혼소 화염 계측 및 가시화
- 다양한 가스 환경 (순산소 연소, 가스화 분위기 등)에서의 화염 특성 및 실험 결과 도출



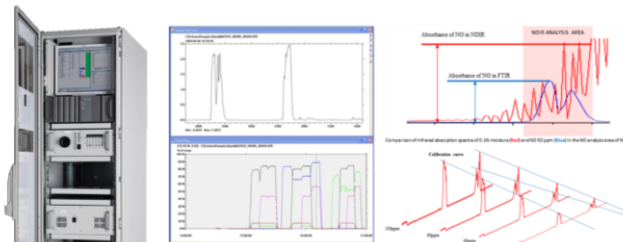
### | Ammonia co-firing Drop Tube Furnace (ADTF)

- 암모니아-석탄 혼소시 연소 및 배기가스 특성 분석
- 주입 위치 변경에 따른 암모니아 최적 주입 위치 도출
- 암모니아 연소 특성 및 최적 주입 위치를 고려한 실제 화력 보일러 3D 전산해석



### | Continuous Emissions Monitoring System

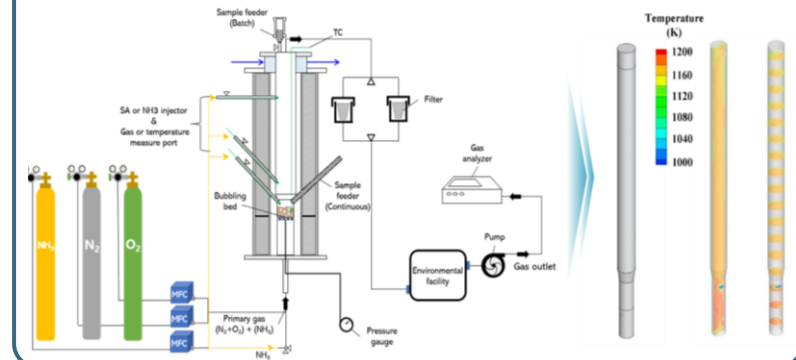
- 산업용 다성분 배기가스 모니터링 시스템 (암모니아, NOx, CO2, CO, Hydrocarbons, etc.)
- FT-IR 방식 가스 계측을 통한 실시간 배기가스 농도 측정 및 정확도 향상 (습식 가스 측정을 위한 온도 제어 가능)



Measurement type	Fourier transform infrared(FTIR)
Measurable gas	Simultaneous analysis of up to 50 gas components (NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> O, NO, NO <sub>2</sub> , etc...)
Scan frequency	10 scans/s
Linearity deviation	< 2% of measuring range
Resolution	8 cm <sup>-1</sup> or 4 cm <sup>-1</sup>

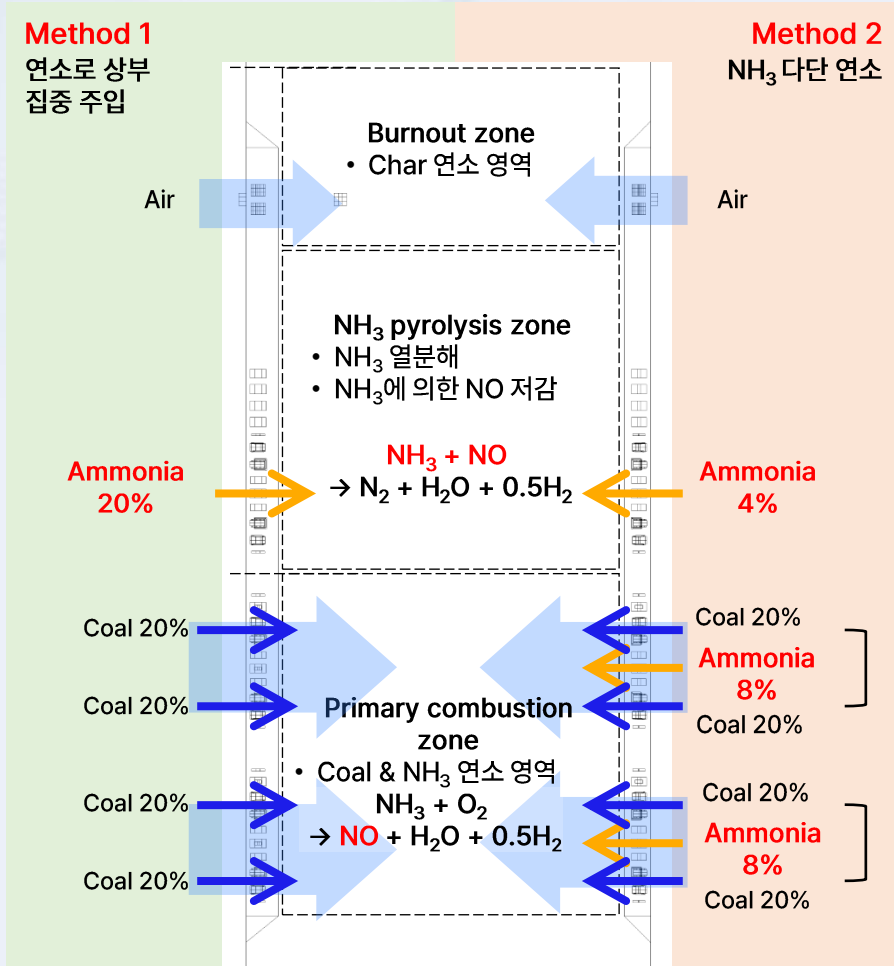
### | Ammonia Bubbling Fluidized Bed Reactor (ABFB)

- 유동층 환경에서의 암모니아-고체연료 혼소
- 연료비, 공기비, 암모니아 주입위치 등에 따른 배기가스, 암모니아 slip, 연소 특성 분석
- 시뮬레이션과 실험을 통한 유동층 암모니아 연소 기초 데이터 및 kinetic 구축



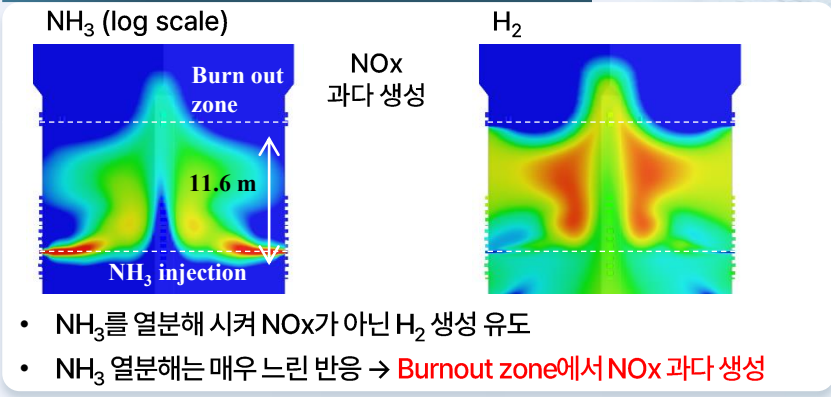
## CFD를 활용한 화력발전 보일러 암모니아 혼소 적용 연구

보령 3~4호기 550MW 암모니아 주입 위치에 따른 내부 영향성 평가

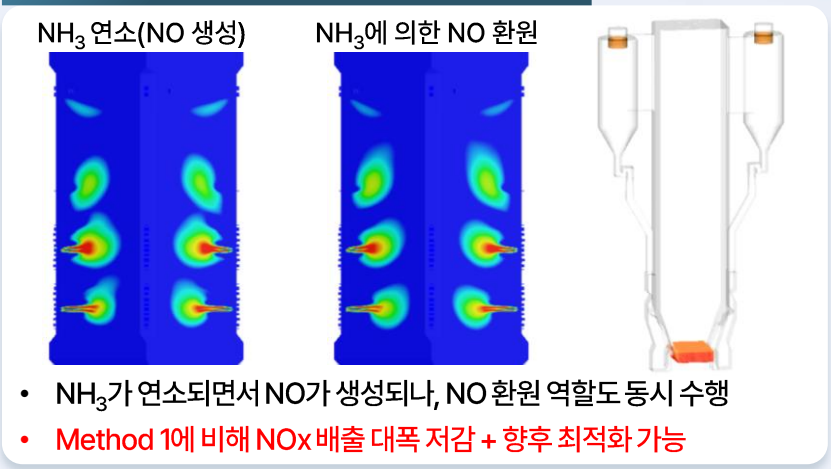


기존 보일러 운전 시 NOx 배출 : 122 ppm

Method 1 NOx 배출 : 1000 ppm



Method 2 NOx 배출 : 280 ppm



## CFD 시뮬레이션을 이용한 열분해 반응기 전산해석

### 소형 암모니아 열분해 반응기 CFD해석



암모니아 분해 반응기

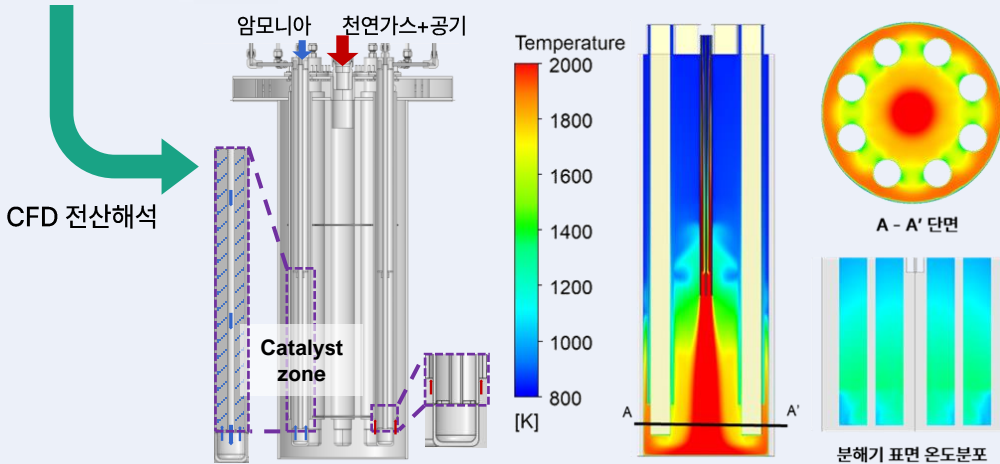


암모니아 분해 시스템

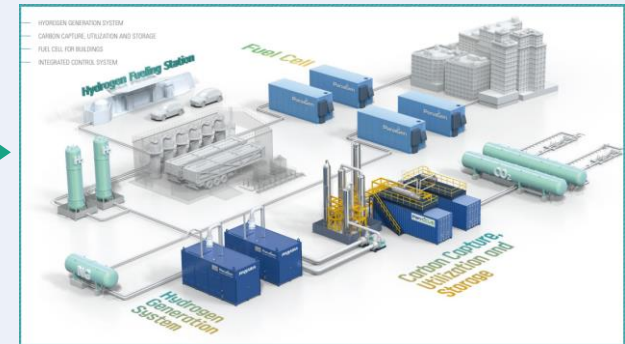


Ru 코팅된 암모니아 분해용 금속구조체 촉매

- 소형 열분해 반응기(5 Nm<sup>3</sup>/h) 내부 온도 및 유동 특성 파악
- 암모니아 열분해 효율 향상을 위해 Ru 촉매 적용
- 반응기 내부 열유동에 따른 열전달 특성 파악  
→ 열분해 효율 향상을 위한 최적 설계 진행
- 암모니아 열분해 효율에 영향을 미치는 설계 인자 파악  
→ 2800 Nm<sup>3</sup>/h 대형 암모니아 열분해 반응기 설계 시 반영



Scale-up



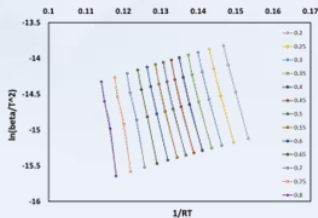
소형 열분해 반응기 해석 모델 CFD 해석

→ 그린 수소 생산을 위한 대형 암모니아 반응기 설계

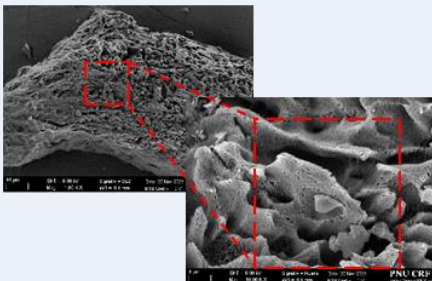
## Pet-coke slurry 가스화 실험 및 2TPD Pilot-scale CFD 해석

### [실험] Pet-coke 기초 연료 분석

- 기초 물성 및 시료 분석  
- 공업, 원소 분석
- TGA를 활용한 Pet-coke 열분해 Kinetics 도출

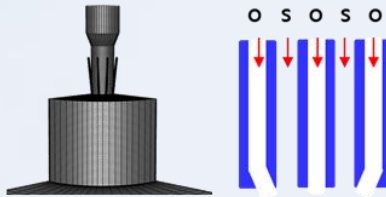


- Pet-coke 가압 열분해 특성 분석  
- 가압 열분해 시 Char 표면 미세 기공 발달  
→ Char 가스화 반응성에 영향

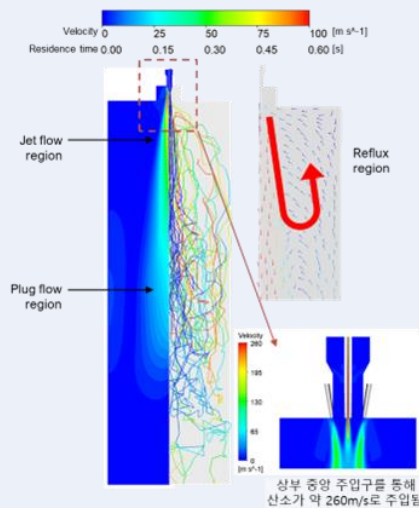


### [CFD 해석] 2 TPD 가스화기 전산해석

- 3차원 형상 및 격자 제작



- 가스화기 운전 특성 파악  
- CFD 해석을 통한 가스화기 내부 거동 확인



상부 중앙 주입구를 통해 산소가 약 260m/s로 주입됨.

### [실험 + CFD] Pet-coke 반응성 분석 및 전산해석 모델 개선

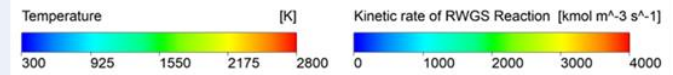
- Pet-coke 가스화 반응성 분석을 통한 수식 도출

$$\frac{dm_p}{dt} = -A_p p_{ox} \frac{D_0 R}{D_0 + R}$$

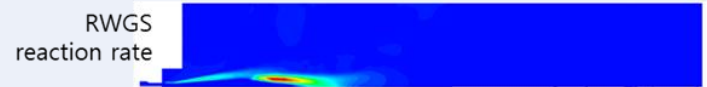
$$R = \eta \frac{d_p}{6} \rho_p A_g k_i$$

where,  
 $\eta$  = effectiveness factor  
 $A_g$  = specific internal surface area

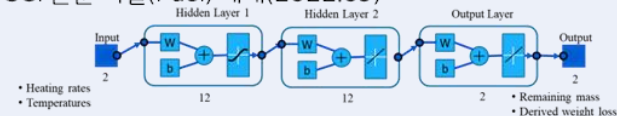
- 2 TPD 가스화기 전산해석 모델 개선  
- 실험 결과 바탕 → 내부 화학 반응 해석 정확도 향상  
- 실제 실험 결과와 비교를 통한 모델 개선



Temperature: 산소가 소모되며  $CO + O_2 \rightarrow CO_2$  반응 촉진 + 고온영역 형성 → RWGS 반응 활성화



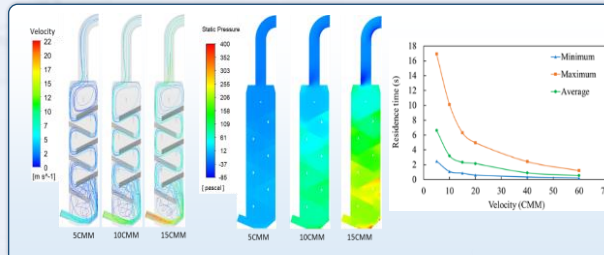
- AI 기법을 이용한 Pet-coke 열분해 ANN 모델링  
- SCI 논문 저널(Fuel) 게재(2022.09)



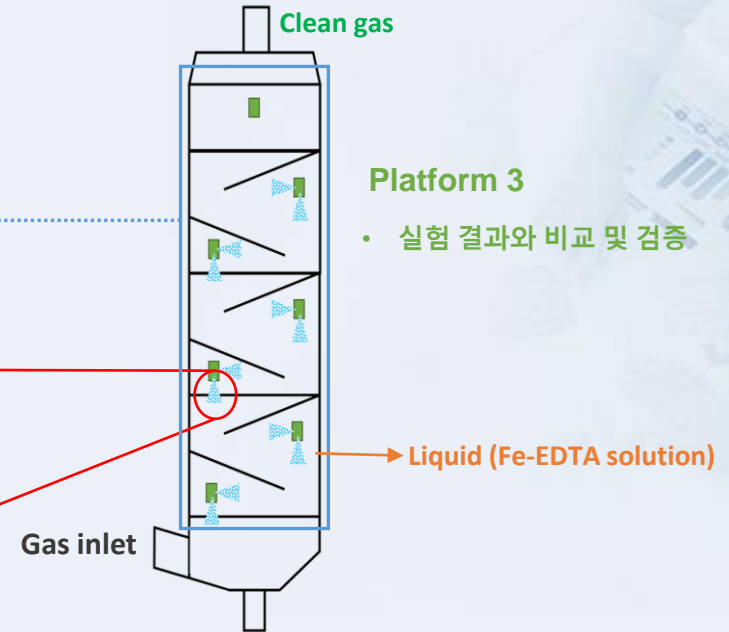
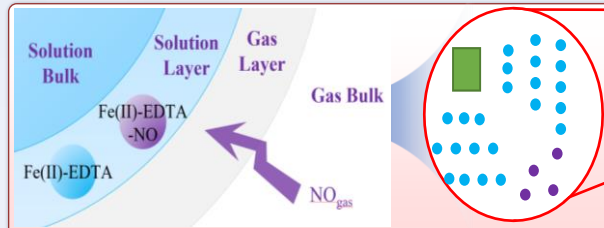
## CFD 시뮬레이션을 통한 NOx, SOx 동시 저감 Scrubber 개발

- Scrubber: 질소, 황 산화물 저감을 위한 배기가스 후처리 설비  
선박, 제철소, 발전소 등에서 주로 사용하며 동시저감에 관한 연구는 아직 많이 진행되지 않음.

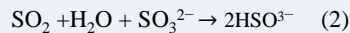
**Platform 1**  
모듈식 스크러버 내부 유동 분석



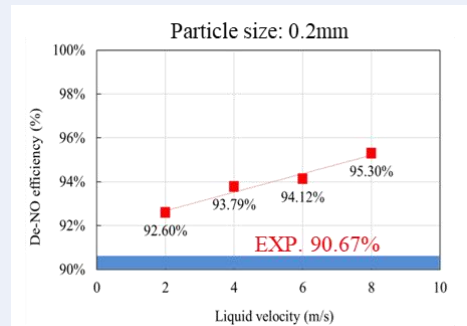
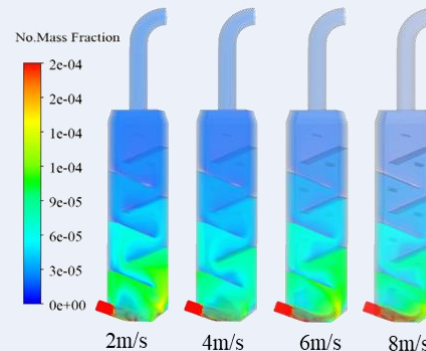
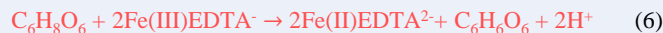
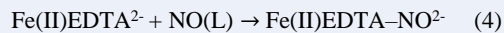
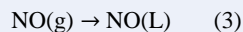
**Platform 2**  
기체-액체 간 거동 분석  
탈질효율 도출



❖ SO<sub>2</sub> removal by H<sub>2</sub>O

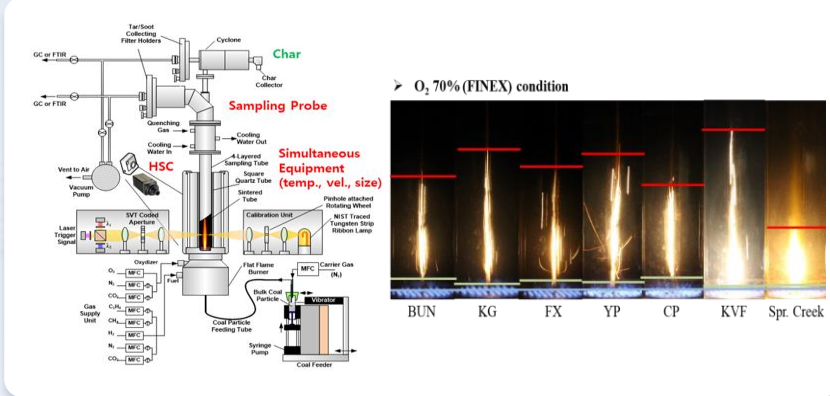


❖ NO<sub>2</sub> removal by Fe(II)EDTA and ascorbic acid solution



## POSCO FINEX Melter-Gasifier 전산해석을 통한 내부 운전조건 최적화

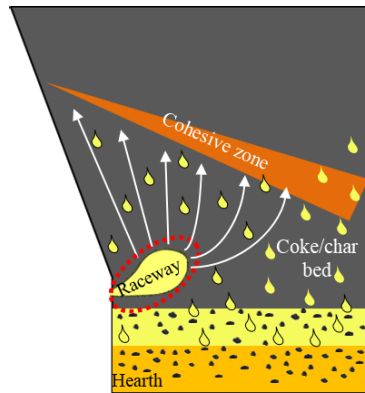
### FINEX Melter-Gasifier 내부 모사 연소 실험



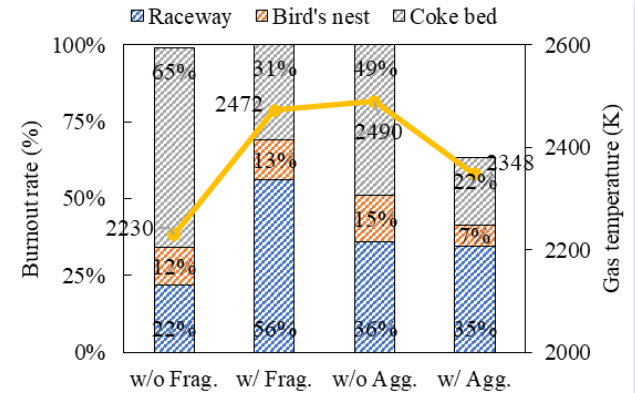
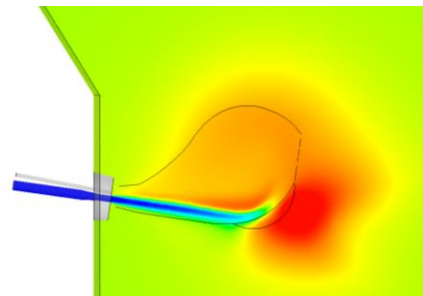
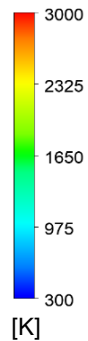
- FINEX 공정 내 Melter-Gasifier는 매우 고온, 고압에서 작동되어 실제 내부 관측이나 데이터 계측이 어려움
- FINEX 공정 내 연소 특성 가시화 실험을 통한 연소 메커니즘 규명  
→ 내부 가혹한 환경에서의 고체 연료 구조 변화 도출
- 고체 연료의 구조 변화 모델링 및 CFD 전산해석에 적용  
\* 다른 연구에서는 적용하지 않았던 부분으로 보다 정확한 CFD 해석 가능
- FINEX 내부 연소 메커니즘 규명 및 천연가스, 암모니아 적용을 통한 CO<sub>2</sub> 배기배출물 저감 시뮬레이션 연구 수행

### FINEX Melter-Gasifier 내부 연소 시뮬레이션

CFD 전산해석



Temperature



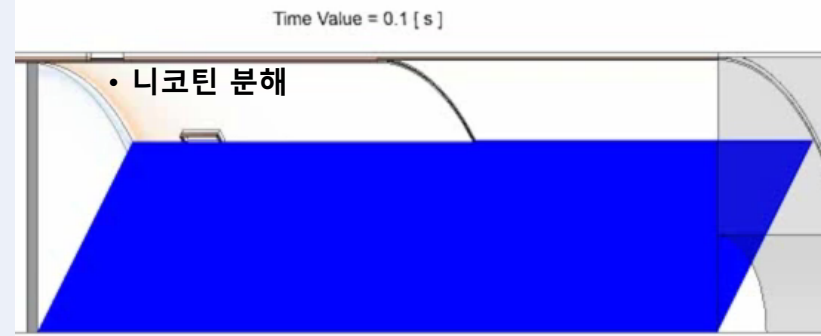
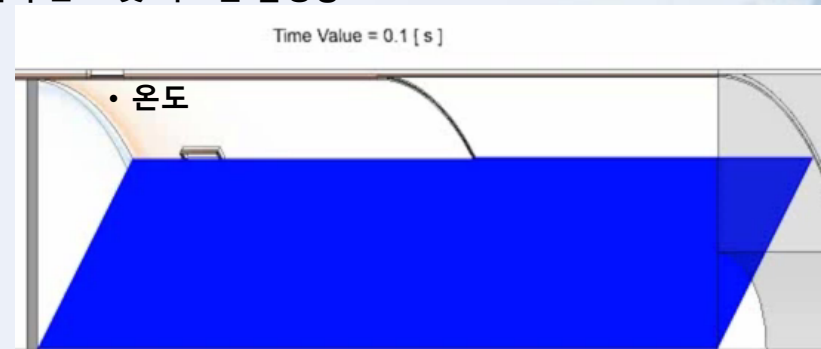
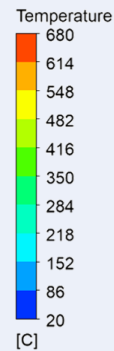
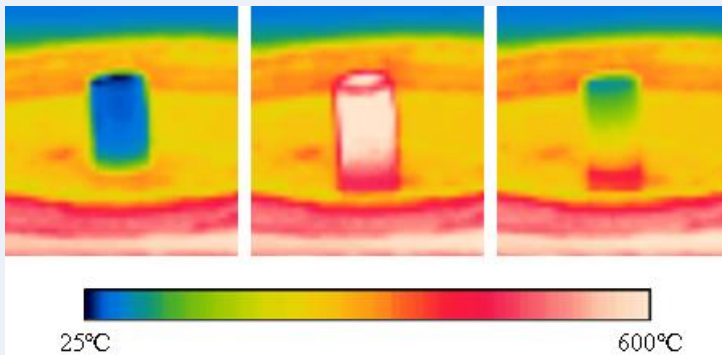
## Carbon-heated tobacco product 설계

Carbon-heated tobacco product

: 가열식(Heat not burn), 담배매질 열분해를 사용한 흡연제품  
(Ex. 아이코스 등)



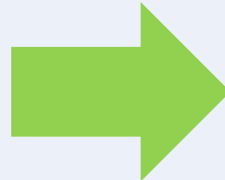
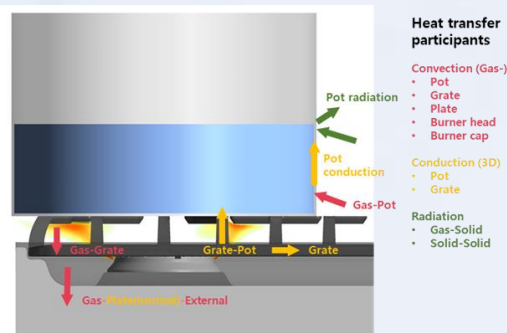
### • 담배 매질의 온도 및 니코틴 발생량



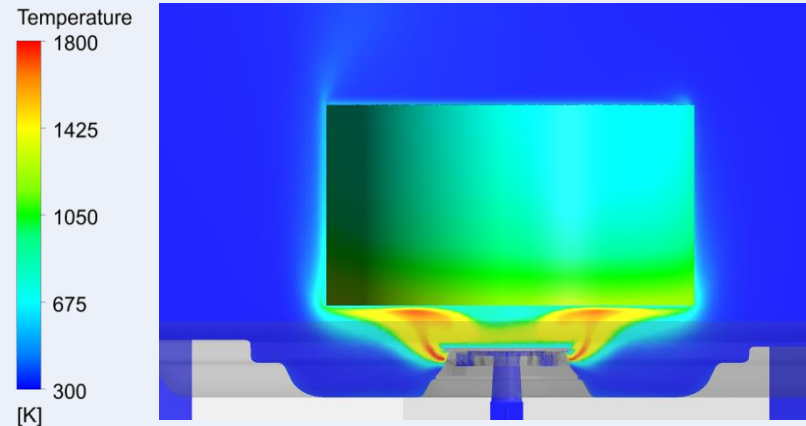
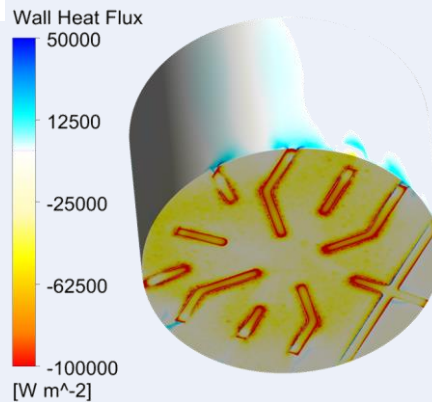
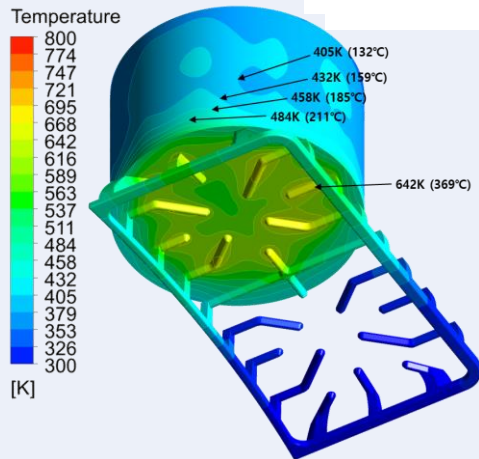
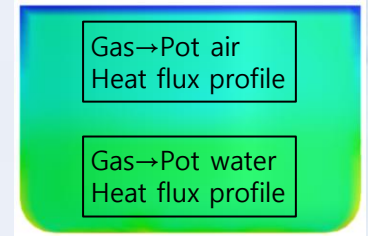
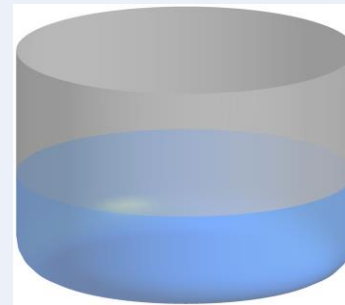
## CFD 시뮬레이션을 이용한 열분해 반응기 전산해석

CFD 해석을 통한 버너 가상 개발 환경 구축 → 실제 실험이나 제작 없이 빠르게 설계 가능 + 다른 제품 개발에도 활용

### Gas burner simulation - Heat flux



### Pot simulation - Boiling time



# THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!



## CFD를 활용한 화력발전 보일러 암모니아 혼소 적용 연구

### 3차원 CFD 모델 개발

연소 및 NOx 배출 특성 확인

실제 운전 데이터와 비교를 통한 검증

### 암모니아 혼소/전소 해석 수행

NOx 배출 특성 비교

최적 암모니아 적용 위치 선정

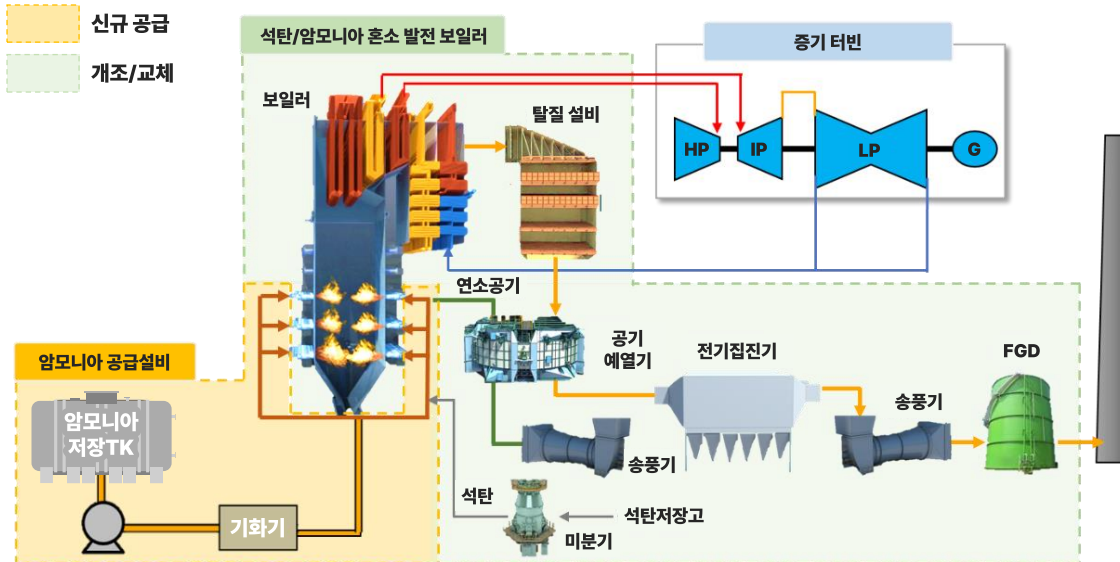
CO<sub>2</sub> 감축  
목표 달성

Net  
Zero



CO2 감축을 통한 Net-Zero 시나리오 달성  
NOx 배출 증가 및 변화하는 열전달 특성 Challenging

### 암모니아 혼소 발전 플랜트



### 암모니아 연소 특성 예측

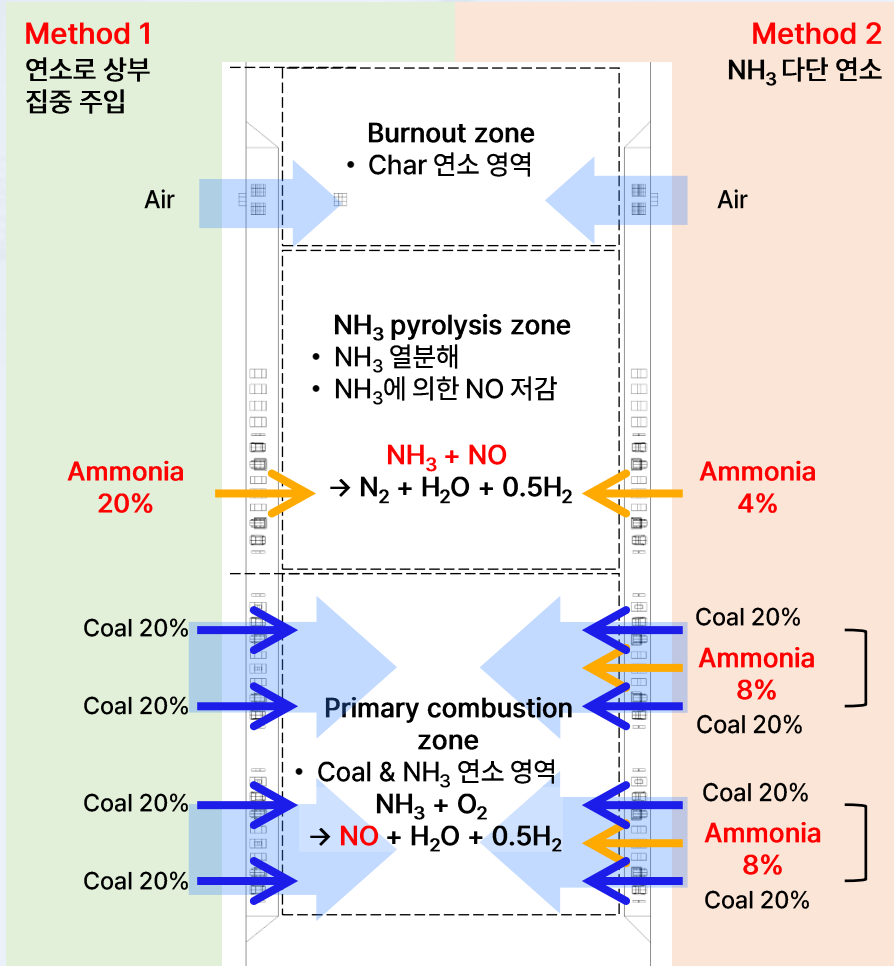
- 암모니아 연료 기초연소 특성 및 배출특성
- 혼소율 변화에 따른 상호간 연소 영향 분석
- 버너 및 플랜트별 암모니아 연소 특성 분석 (암모니아 최적 주입 위치 도출)

### 열전달 특성 변화 예측

- 암모니아 혼소율이 높아짐에 따라 변화하는 보일러 내부 열전달 특성 파악
- 보일러 내부 개조 필요 여부 확인

## CFD 모델을 활용한 암모니아 혼소 시 최적 주입 위치 도출

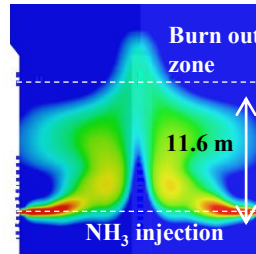
보령 3~4호기 550MW 암모니아 주입 위치에 따른 내부 영향성 평가



기존 보일러 운전 시 NO<sub>x</sub> 배출 : 122 ppm

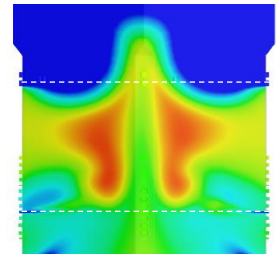
Method 1 NO<sub>x</sub> 배출 : 1000 ppm

NH<sub>3</sub> (log scale)



NO<sub>x</sub>  
과다 생성

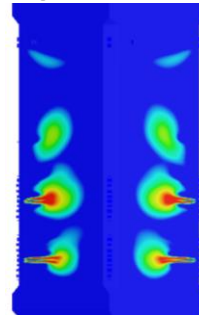
H<sub>2</sub>



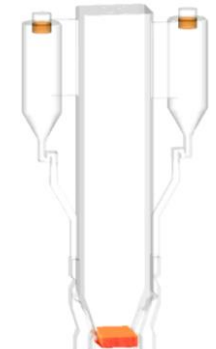
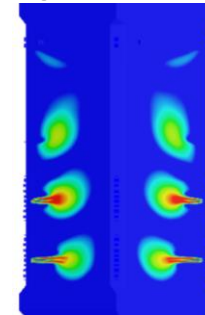
- NH<sub>3</sub>를 열분해 시켜 NO<sub>x</sub>가 아닌 H<sub>2</sub> 생성 유도
- NH<sub>3</sub> 열분해는 매우 느린 반응 → Burnout zone에서 NO<sub>x</sub> 과다 생성

Method 2 NO<sub>x</sub> 배출 : 280 ppm

NH<sub>3</sub> 연소(NO 생성)



NH<sub>3</sub>에 의한 NO 환원



- NH<sub>3</sub>가 연소되면서 NO가 생성되나, NO 환원 역할도 동시에 수행
- Method 1에 비해 NO<sub>x</sub> 배출 대폭 저감 + 향후 최적화가 가능