

2023 KEPIC Week (Jeju)

posco  
HOLDINGS

POSCO N.EX.T Hub  
Hydrogen & Low Carbon R&D  
Lab.

2023.09.07

# 철강산업에서의 CCUS 기술 개발 현황

미래기술연구원 저탄소연구그룹  
안치규 (finerain@posco-inc.com)



# Introduction\_POSCO N.EX.T Hub

## ■ 수소저탄소에너지연구소

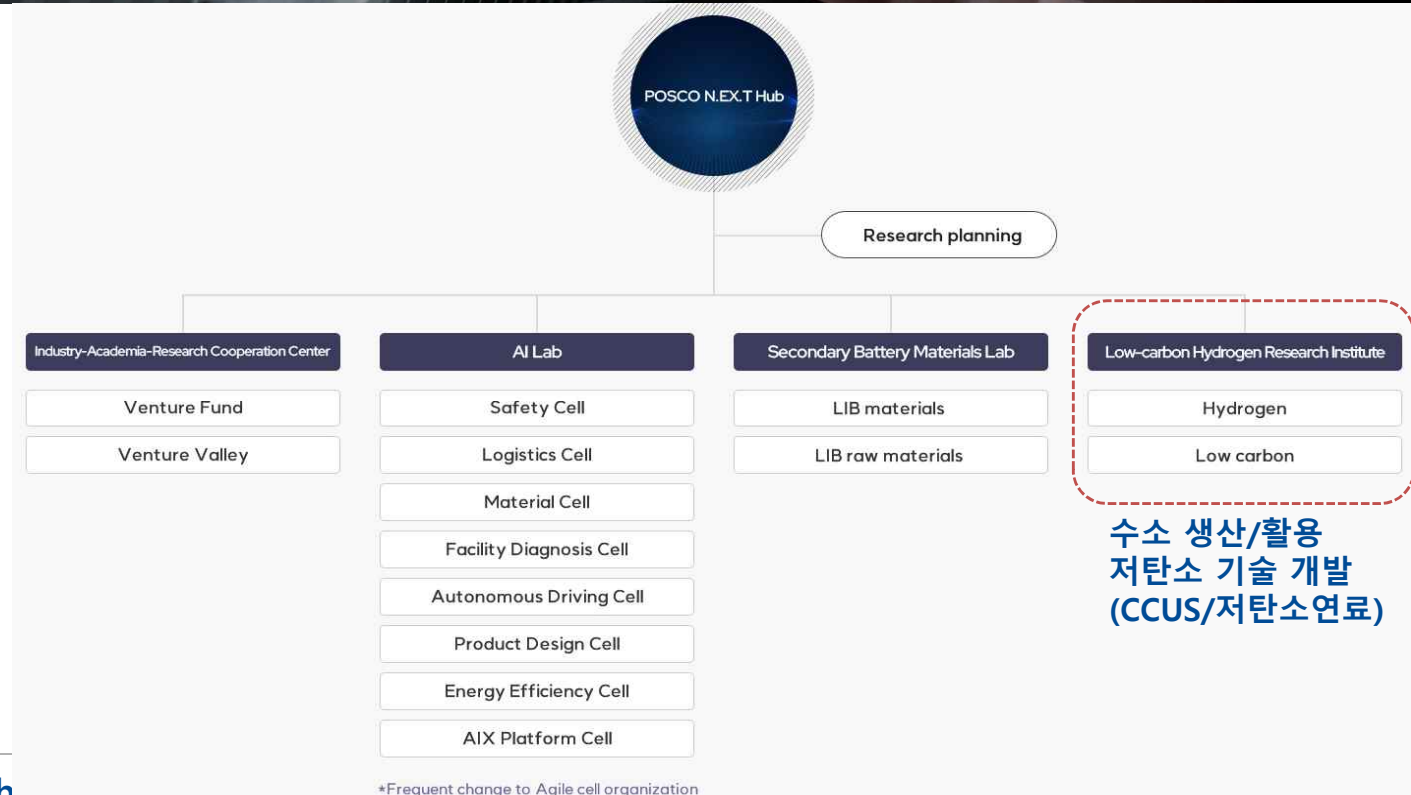
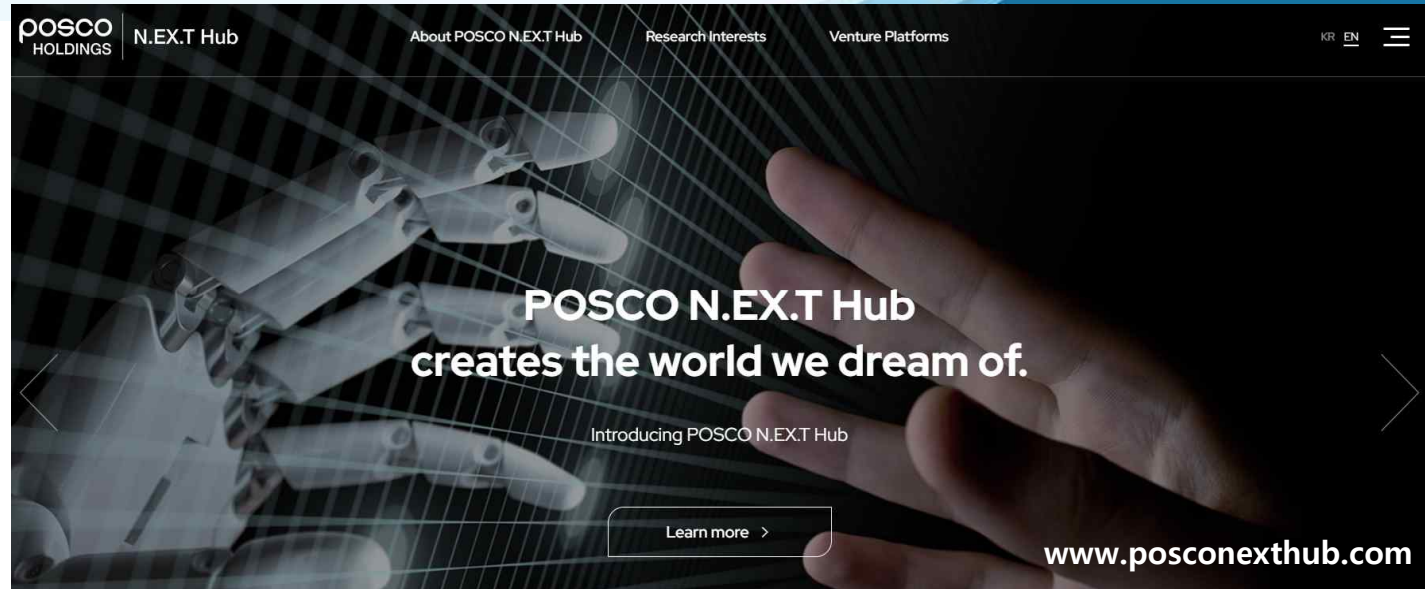
### ○ 수소연구센터

- 저온수전해 기술
- 고온수전해 기술
- 암모니아 분해 수소 수출 기술
- 부생수소/블루수소 생산기술

### ○ 저탄소 연구그룹

- CO<sub>2</sub> 포집
- CO<sub>2</sub> 저장
- CO<sub>2</sub> 활용
- 부생가스 분리/정제
- NH<sub>3</sub> 혼소
- H<sub>2</sub> 연소

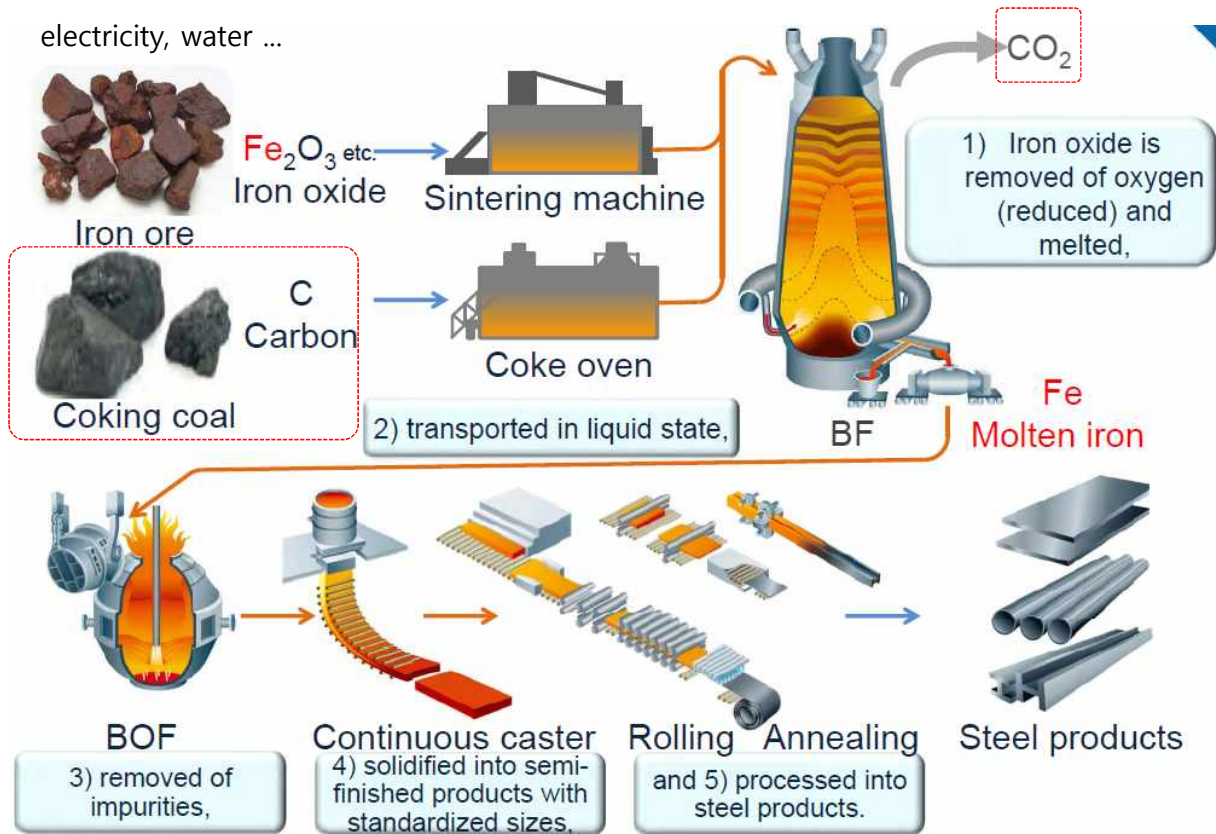
*Clean/Green/Sustainable Technologies*



\*Frequent change to Agile cell organization

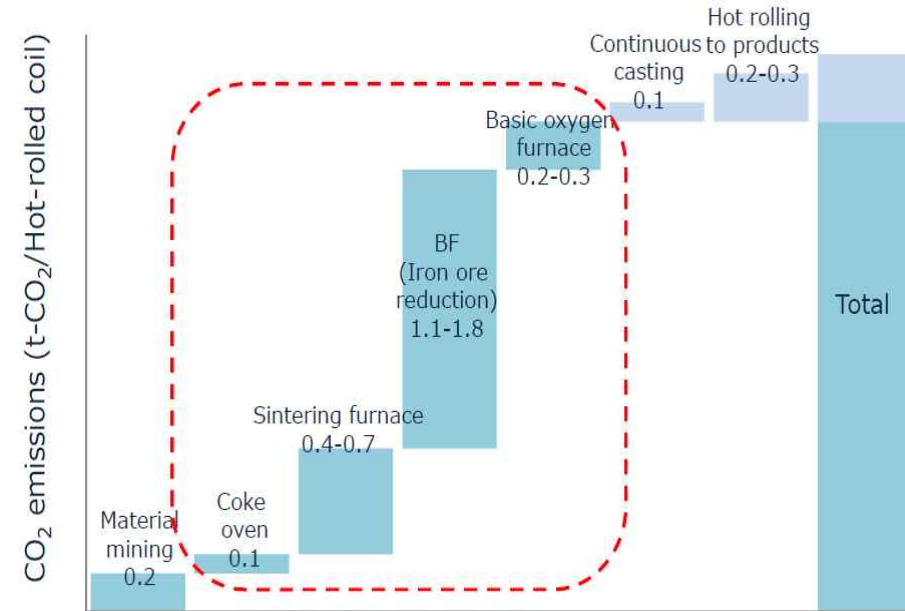
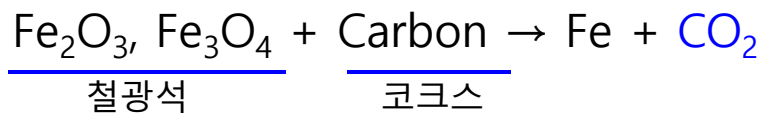
# 제철산업의 특징

## ■ 제철 공정 흐름별 CO<sub>2</sub> 발생량



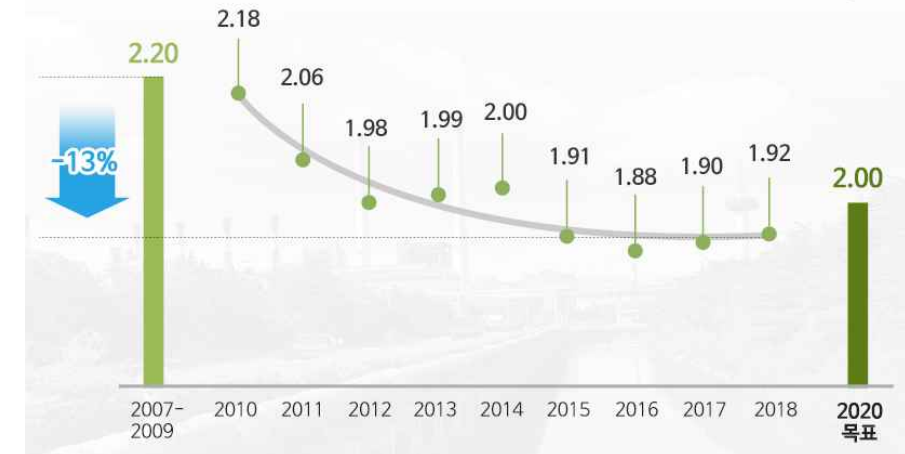
[제철공정 흐름도]

ref) Nippon Steel Carbon Neutral Vision 2050, 2021



[공정별 CO<sub>2</sub> 발생 원단위]

단위: tCO<sub>2</sub>/t-S



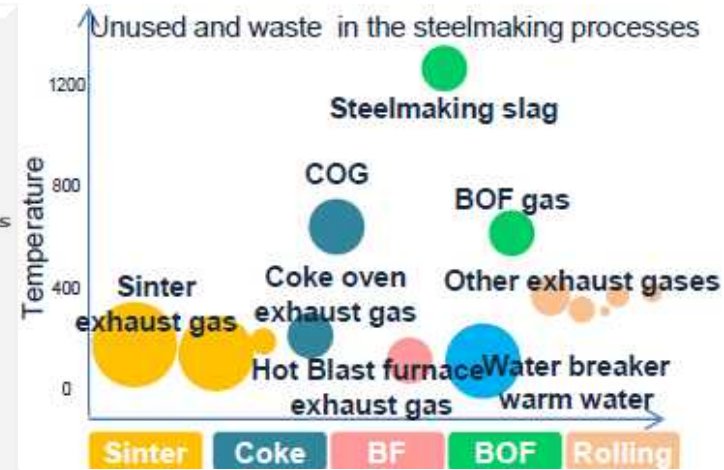
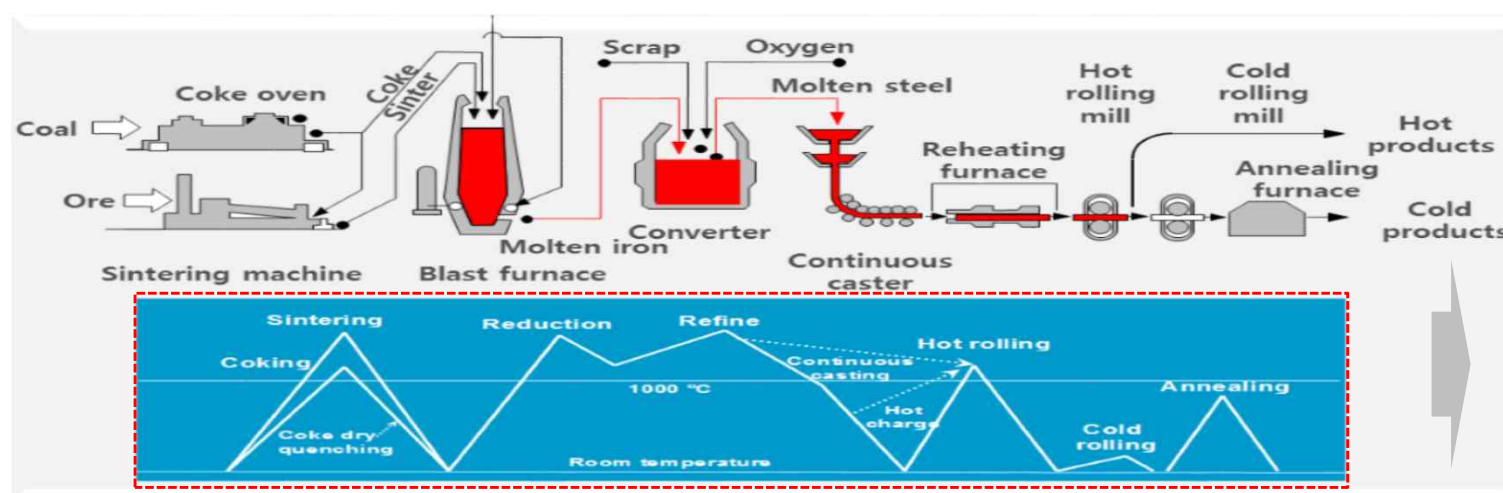
[국내 P社의 CO<sub>2</sub> 발생 원단위]

# 제철산업의 특징

## ■ 제철 공정의 특징



출처: 포스코뉴스룸, 포스코의 온실가스는 이렇게 관리되고 있다



※ 공정의 온도 변화가 심함

ref) Nippon Steel Carbon Neutral Vision 2050, 2021

# 이산화탄소 발생량(업체별)

## 국내 산업 분야 중 온실가스 배출 상위 기업

■ 2021년 국내 업체별 온실가스 배출 순위 (1위 포스코, 7위 현대제철)

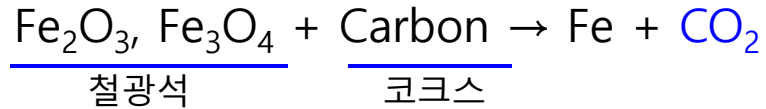
순위	업체명	계획업종	온실가스 배출량 (tCO <sub>2</sub> )
1	포스코	1차 철강 제조업	78,790,207
2	한국남동발전	전기업	37,228,227
3	한국남부발전	전기업	34,457,856
4	한국서부발전	전기업	33,358,236
5	한국중부발전	전기업	33,093,129
6	한국동서발전 주식회사	전기업	32,808,320
7	현대제철 주식회사	1차 철강 제조업	28,489,305
8	삼성전자 주식회사	반도체 제조업	14,494,447
9	쌍용씨앤이(주)	시멘트, 석회, 플라스틱 및 그 외 제품 제조업	10,610,902
10	S-Oil(주)	석유 정제품 제조업	10,036,497

\*국가 온실가스 배출량: 6억 7960만톤

<https://ngms.gir.go.kr/link.do?menuNo=30130103&link=/websquare/websquare.html%3Fw2xPath%3D/cm/bbs/OGCMBBS023V.xml%26menu%3D30130103>

# 제철산업의 CO2 저감 기술

## ■ 제철 공정의 핵심 반응



- 고로(용광로: Blast Furnace)의 주된 반응
- 철광석의 환원 과정에서 대량의 CO<sub>2</sub> 발생
- 연간 약 8천만톤 발생 (국내 총 발생 CO<sub>2</sub>의 약 13%)

## ■ 제철 산업의 기회

○ CO<sub>2</sub> 자원화 필수 조건(CO<sub>2</sub>, 환원제, 에너지)이 풍부

- 1) CO<sub>2</sub>: 연간 8천만톤 발생
- 2) 환원제: 제철 부생가스 및 미활용 카본 존재
- 3) 에너지: 고온의 미활용 폐열 다수 존재

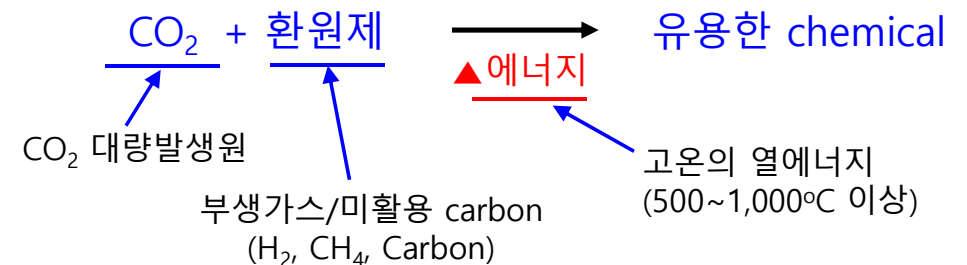
→ 제철공정 특성을 고려한 CCU 기술개발 전략

## ■ 주요 CCU 기술

- 암모니아수를 이용한 CO<sub>2</sub> 포집 기술 및 재자원화 기술
- CO<sub>2</sub>를 이용한 Chemical 제조 기술
- 광물탄산화 기술
- 제철 공정을 이용한 CO<sub>2</sub> 자원화 기술



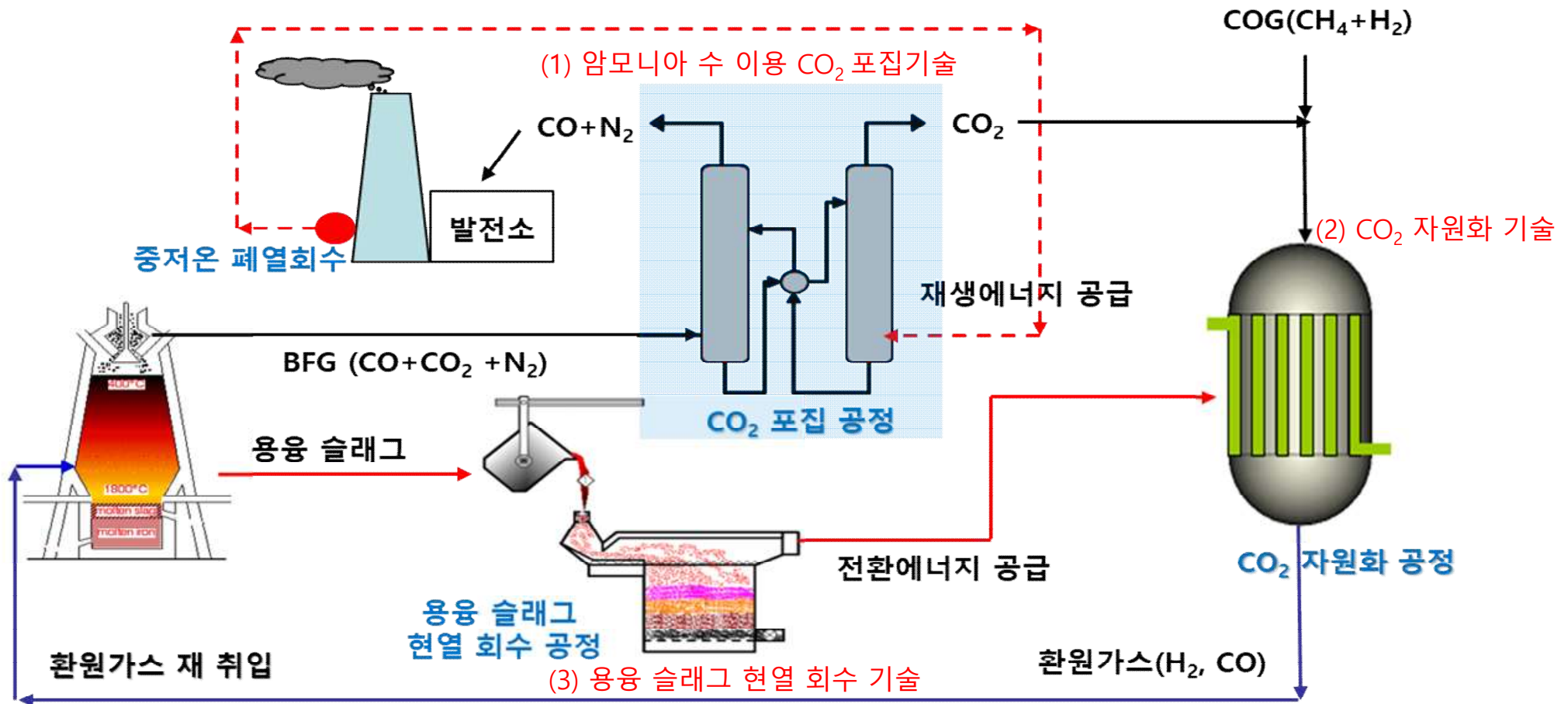
## □ 제철소에서의 CO<sub>2</sub> 자원화 개념도



# CCUS 기술\_포집

## ■ 제철산업에서의 이산화탄소 포집 및 재자원화 기술 개발(산업부, '09~'14)

- 기술: 고로가스내 CO<sub>2</sub>를 포집하고 이를 COG(환원가스)와 반응시켜 환원가스(H<sub>2</sub>/CO)를 증폭 고로내 재취입을 통해 CO<sub>2</sub>를 절감, 필요한 에너지는 미활용 중저온 폐열(~150°C)과 용융 슬래그 현열을 회수하여 공급

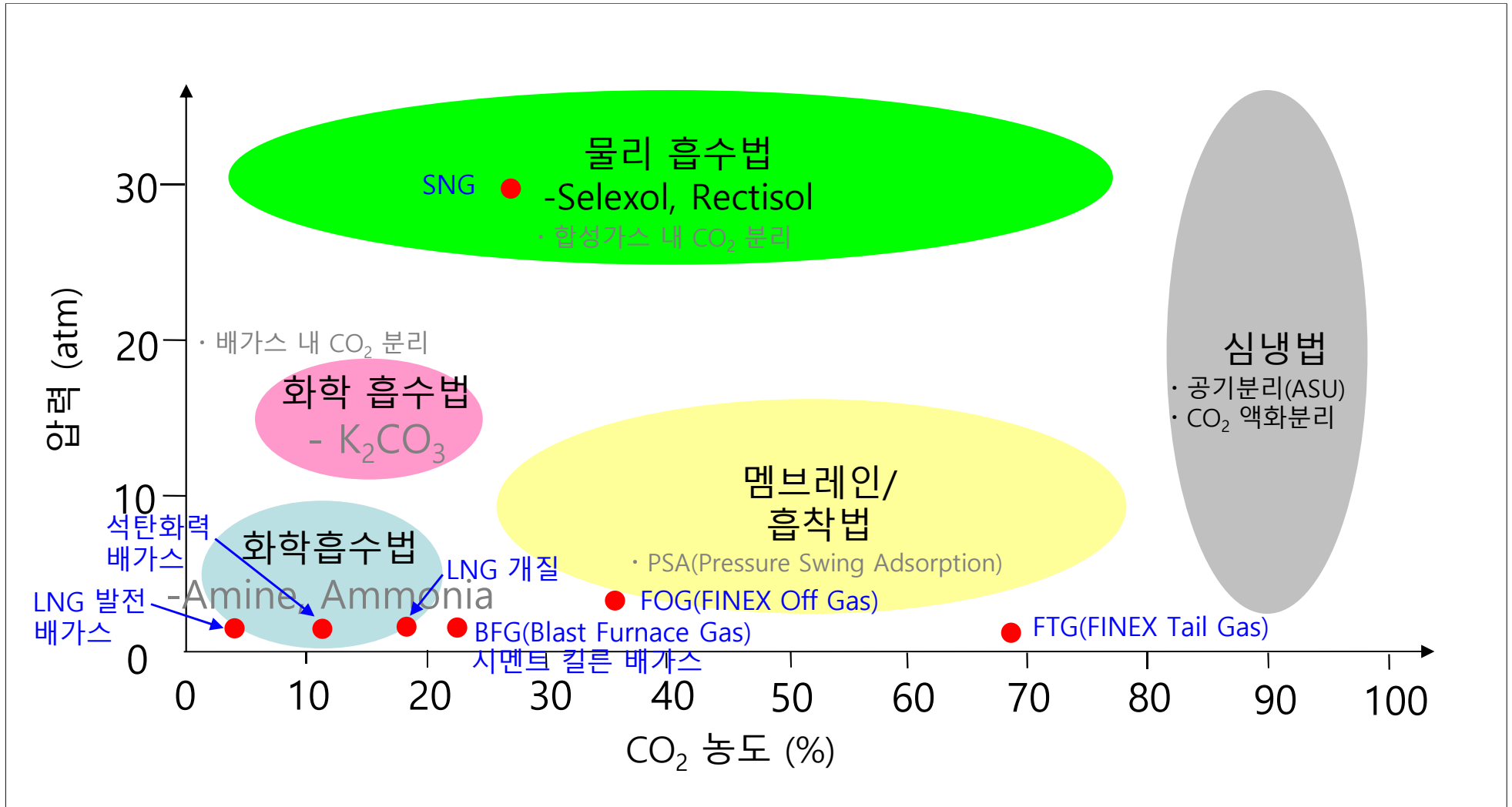


→ 2012년 지경부 Green Energy Award 수상 "제철 산업에 적합한 세계최초 CO<sub>2</sub> 저감 기술"

# CCUS 기술\_포집

## ■ CO<sub>2</sub> 포집 기술

: CO<sub>2</sub>의 농도 및 압력 조건에 따라 다양한 CO<sub>2</sub> 포집 기술 활용 가능



→ 발전배가스 대상 화학흡수법을 이용한 CO<sub>2</sub> 포집 기술은 일부 상용화 단계



# CCUS 기술\_포집

[Table] Comparison of CO<sub>2</sub> absorbents as MEA and Ammonia

Absorbent	Amines	Ammonia
Feature	Alkanol amine (MEA)	Ammonia (NH <sub>3</sub> )
Absorption capacity [mol-CO <sub>2</sub> /mol-absorbent]	1	2
Regeneration Temp.	~120°C	80-85 °C
Absorbent Cost	1	0.17
Loss of absorbent	1	2.5
Corrosion	Large	Small
Influence of impurities (SOx)	Formation of heat stable salt	Utilization of salts
Technical Issues	- Anti-corrosion agent needed - High regeneration E	- Highly volatile - Utilization of low-T waste heat

One of the most important limitations

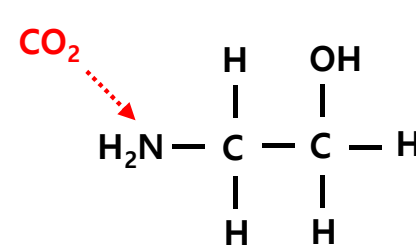
## ● 낮은 재생 온도(regeneration temperature)

- CO<sub>2</sub> 포집에너지로 중저온 폐열 활용가능
- 에너지 효율적인 시스템 구현 가능

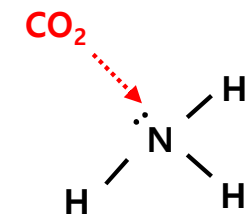
## ● 낮은 부식성

- 낮은 CAPEX

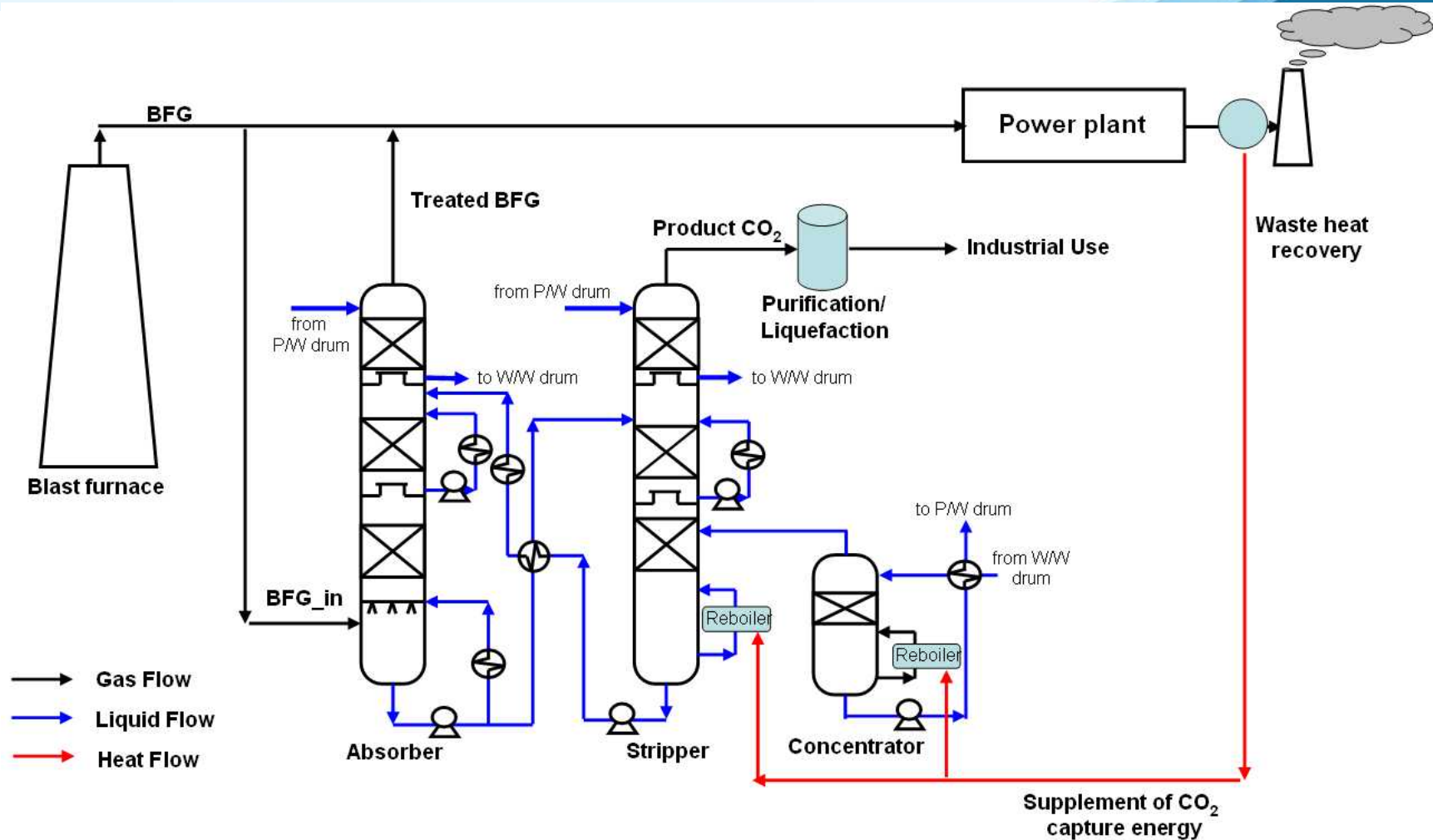
## ● 저렴한약품비



Monoethanolamine (MEA)



Ammonia



[Fig] Process concept of CO<sub>2</sub> capture using low and medium temperature waste heat

## ● 포스코홀딩스 CO<sub>2</sub> 포집 공정

- 암모니아 수를 이용한 CO<sub>2</sub> 포집 공정 (아민대비 낮은 재생온도로 중저온 폐열 활용시 경제성 확보 가능)
- 제철 공정에서 발생하는 미활용 중저온 폐열 활용

→ 미활용 폐열을 활용함으로써 경제성 확보

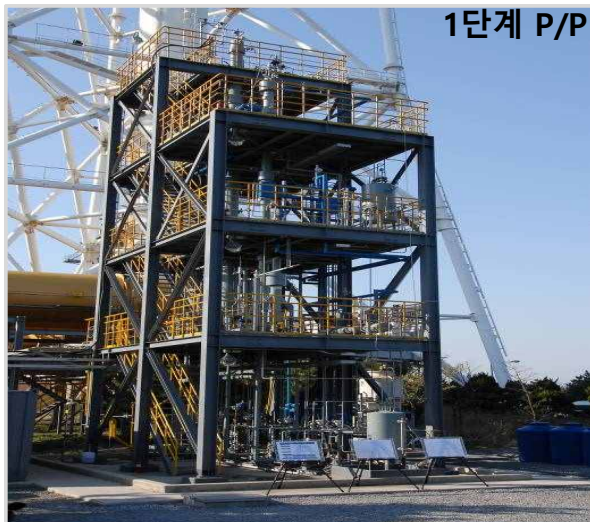
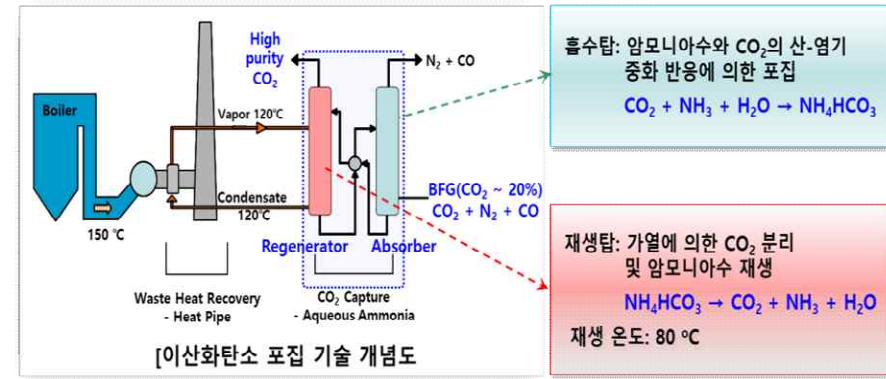
# CCUS 기술\_포집

## ■ CO<sub>2</sub> 포집\_암모니아수를 이용한 CO<sub>2</sub> 포집기술 ('16년 기술이전)

○ 개요 : 고로 부생가스(BFG)에 포함된 CO<sub>2</sub>를 암모니아수를 이용하여 포집 및 분리하는 기술

### ○ 핵심 개발내용

- 10 ton-CO<sub>2</sub>/일 규모 CO<sub>2</sub> 포집 P/P 실증 완료 및 운전 성능 확보
  - CO<sub>2</sub> 회수율 90%이상, 순도 99% 이상 달성
  - 재생 에너지 ~2.3 GJ/t-CO<sub>2</sub> 달성
  - 발전소 배가스(140~150°C) 폐열 이용 120°C (1.0 kg<sub>f</sub>/cm<sup>2</sup>\_g) 증기 생산 및 공급
  - 암모니아 슬립 농도 제어
- 900 시간 무정지 운전을 통한 공정 강건성 확인 ('13.10.21~'13.11.30)
- 연 30 만톤-CO<sub>2</sub> 포집 상용화 공정 기본 설계안 도출 (BFG case, 발전배가스 case)



[50 Nm<sup>3</sup>/hr CO<sub>2</sub> 포집 설비]



[1.0 kNm<sup>3</sup>/hr CO<sub>2</sub> 포집 설비]



[1.0 kNm<sup>3</sup>/hr CO<sub>2</sub> 포집/정제/액화 설비]

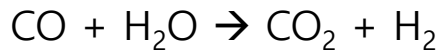
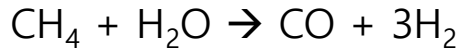
# CCUS 기술\_자원화

## ■ CO<sub>2</sub> 자원화\_ COG 개질 반응을 이용한 CO<sub>2</sub> 자원화기술 (산업부, '09~'14)

○ 개요 : 포집된 CO<sub>2</sub>와 COG를 활용한 환원가스(CO/H<sub>2</sub>) 제조 기술

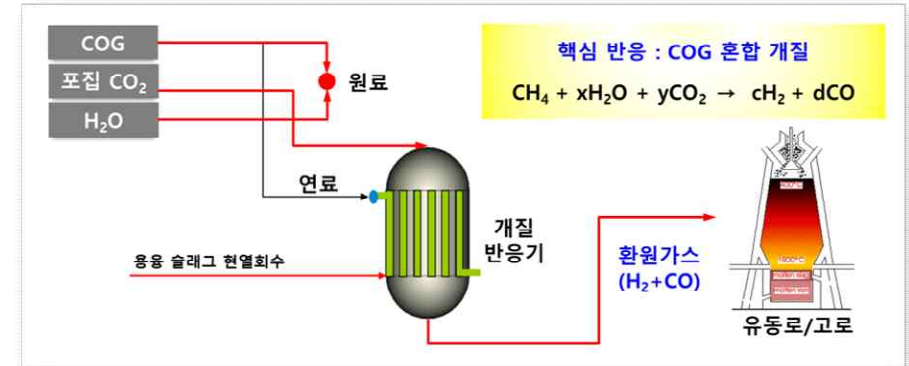
○ 핵심 개발내용

- Ni base COG 혼합 개질 촉매 개발



- 50 Nm<sup>3</sup>/hr(H<sub>2</sub> + CO)급 COG 혼합 개질 pilot 건설 및 운전

- COG 혼합 개질 촉매 최적화 연구 수행



[COG 혼합개질을 이용한 CCU 기술 개념도]



<1단계: Lab. 개질반응기>

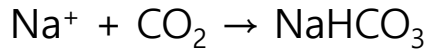
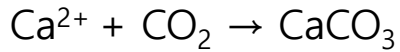


<2단계: PP 개질반응기>

# CCUS 기술\_자원화

## ■ CO<sub>2</sub> 자원화\_제철슬래그를 활용한 탄산염 제조기술 (산업부, '15~'18)

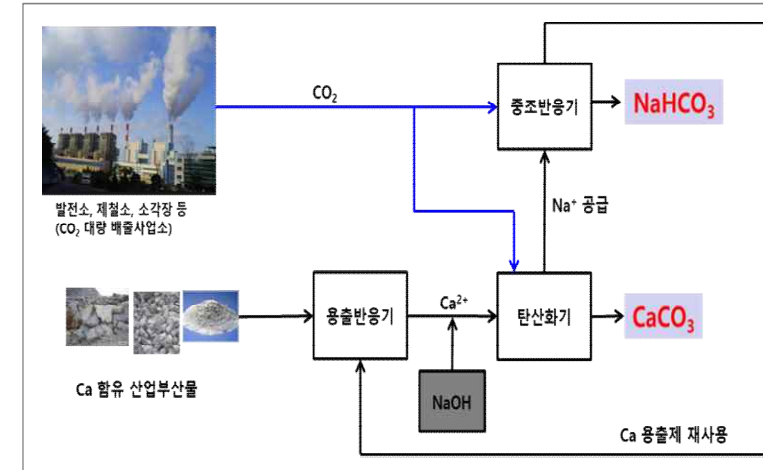
- 개요 : 제철부산물인 슬래그에서 Ca<sup>2+</sup> 이온을 용출, CO<sub>2</sub>와 반응시켜 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)을 제조하고 여액을 이용 중조(NaHCO<sub>3</sub>)를 제조



- 핵심 개발내용

- 100kg\_CO<sub>2</sub>/일 규모 설비 이용 CaCO<sub>3</sub> 및 NaHCO<sub>3</sub> 순도 99% 이상 달성
- 10ton\_CO<sub>2</sub>/일 활용을 위한 탄산염 반응기 설계 안 도출 완료

→ 제철부산물(슬래그) 활용 CO<sub>2</sub> 대량 저감 기술로 활용 가능



[슬래그 활용 CO<sub>2</sub> 광물화 기술 (CaCO<sub>3</sub>/NaHCO<sub>3</sub>)]



[Bench-scale 장치, RIST 1PP]

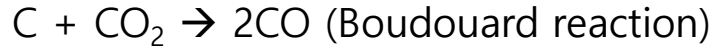


[Bench-scale 장치에서 확보한 탄산염 시제품]

# CCUS 기술\_자원화

## ■ CO<sub>2</sub> 자원화\_코크스오븐 CO<sub>2</sub> 투입 자원화 기술

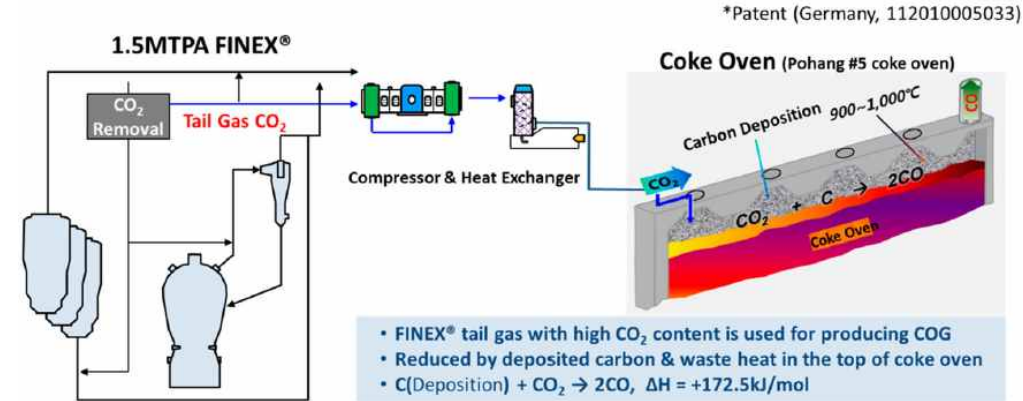
○ 개요 : 코크스오븐 미활용 부착카본 및 탄화실 상부열원을 이용한 CO<sub>2</sub> 자원화 기술



○ 핵심 개발내용

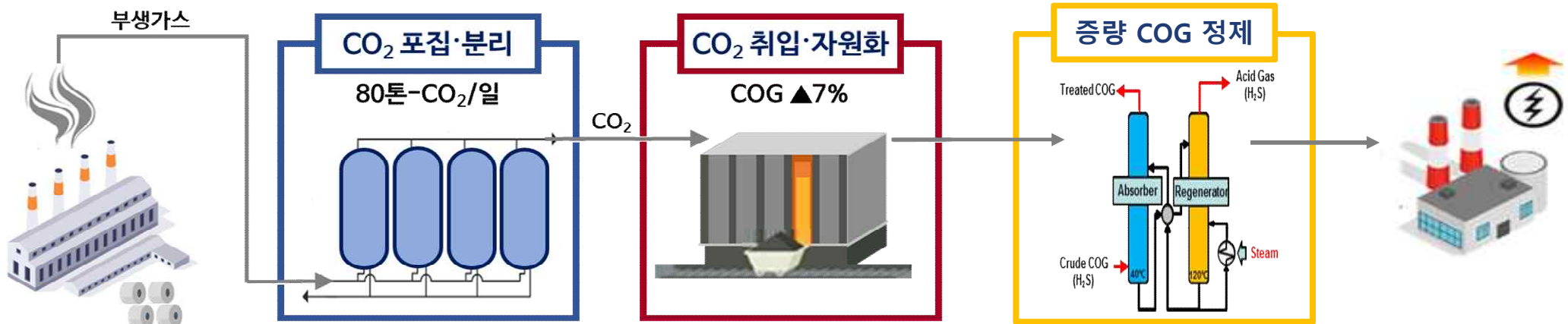
- CO<sub>2</sub> 투입 자원화 PP(25문 대상) 설비 설치 및 최적화
- FTG 가압/이송/예열 설비 75문, FTG 투입 설비 25문 설치
- 조업 간섭/로체 손상을 최소화한 CO<sub>2</sub> 투입 방법 개발로 투자비 절감
- 기본 성능 : 총 COG 열량 증가  
: COG 부피 증가

○ 철강산업 CO<sub>2</sub> 저감 기술 정부과제('21.05~'23.12)



출처: Ironmaking & Steelmaking, 46(7), 2019, 625-631

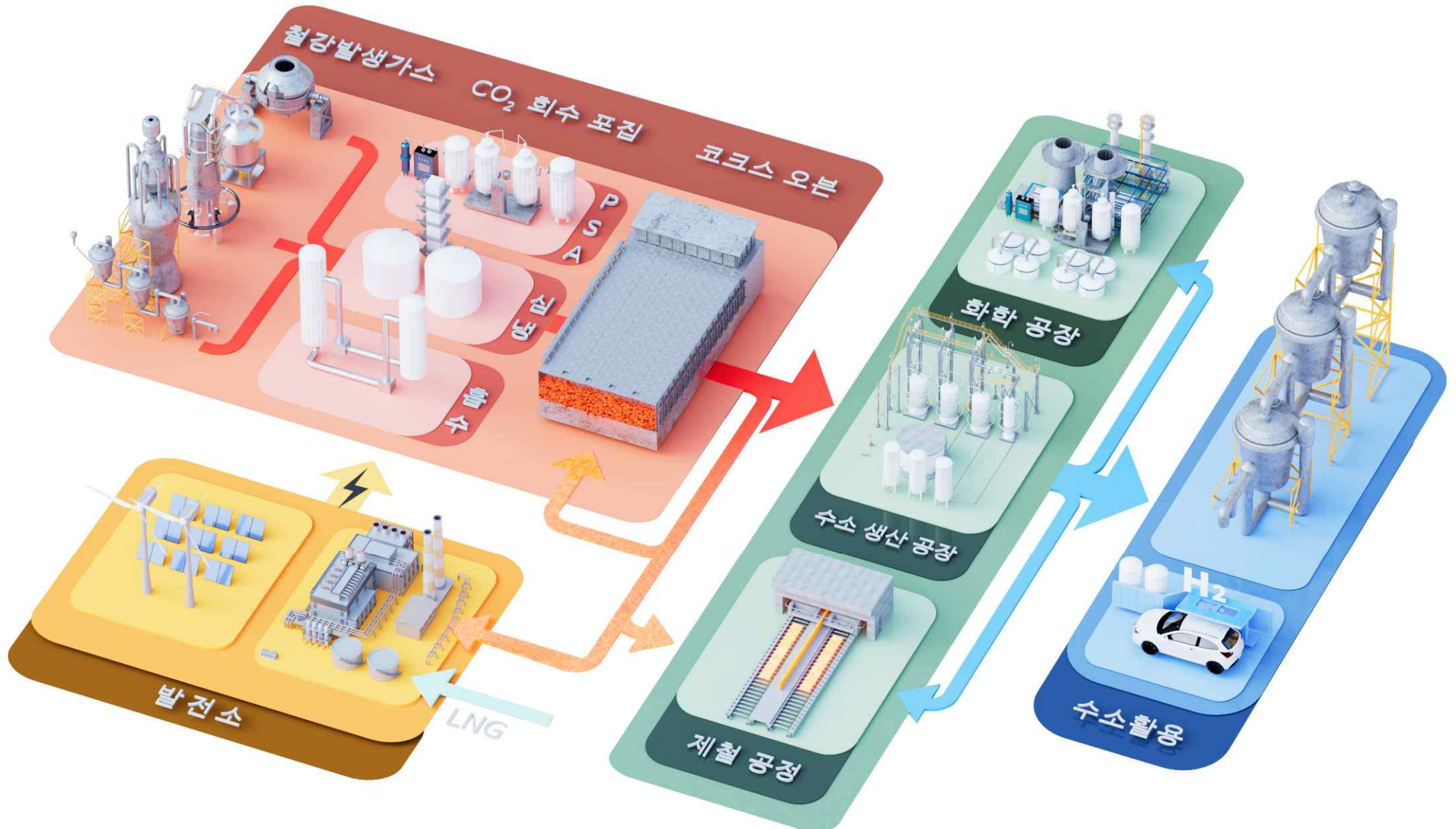
[코크스 오븐 CO<sub>2</sub> 투입 자원화 기술]



[코크스 오븐 CO<sub>2</sub> 투입 자원화 기술 개념도]

# CCUS 기술\_자원화

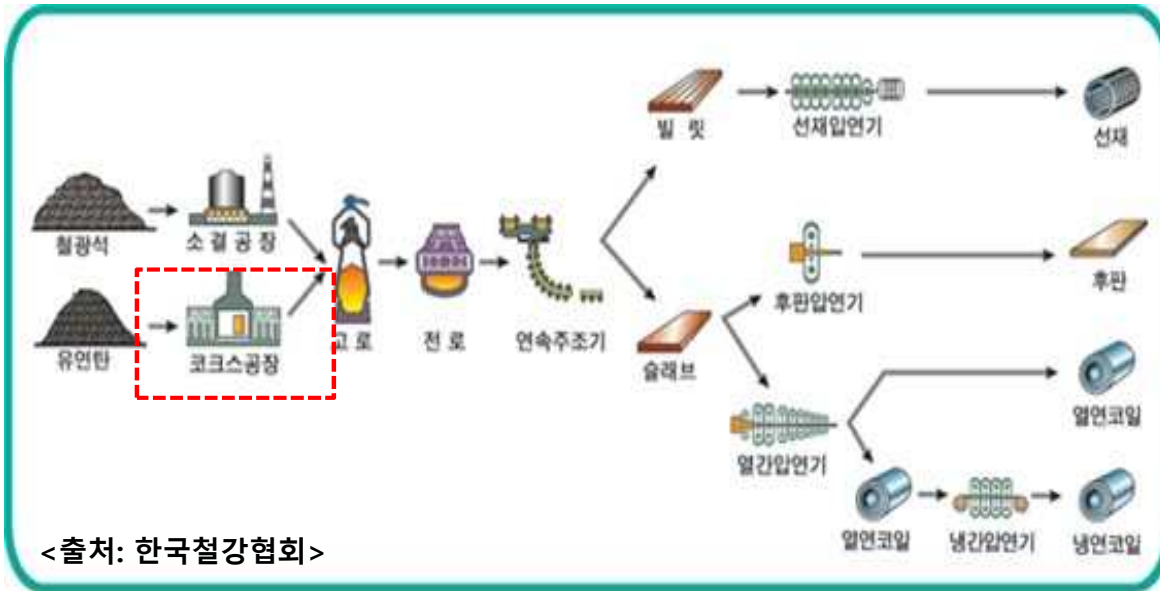
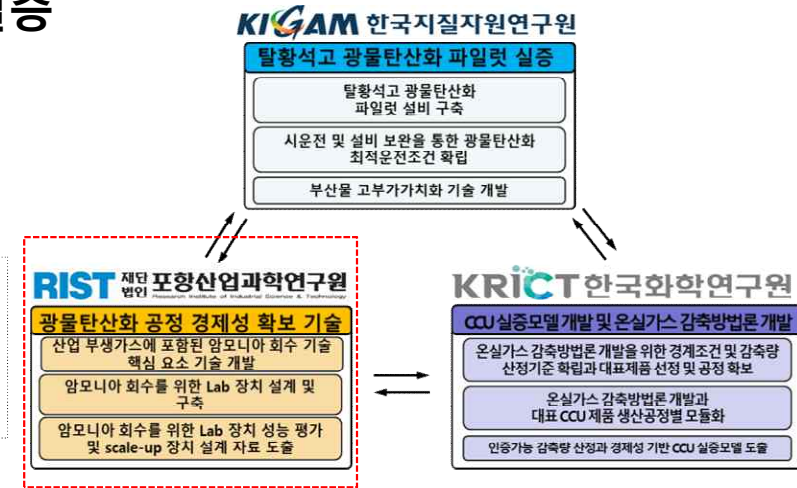
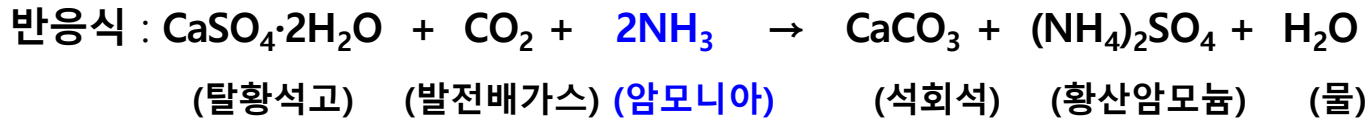
## ■ CO<sub>2</sub> 자원화\_코크스오븐 CO<sub>2</sub> 취입 자원화 기술



# CCUS 기술\_자원화

## ■ CO<sub>2</sub> 자원화(광물탄산화)\_탈황석고를 활용한 광물탄산화 기술 실증 및 온실가스 감축 방법론 개발('21~'23)

○ 개요 : 배가스 탈황설비에서 생산된 탈황석고 활용 광물탄산화를 통한 CO<sub>2</sub> 저감 기술



미정제 COG	수치	단위
수율	280 ~ 450	m <sup>3</sup> /t-coal
밀도	0.42 ~ 0.65	kg/Nm <sup>3</sup>
저위발열량	17.4 ~ 20	MJ/Nm <sup>3</sup>
H <sub>2</sub>	39 ~ 65	vol. %
CH <sub>4</sub>	20 ~ 42	vol. %
C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> <sup>(1)</sup>	2.0 ~ 8.5	vol. %
CO	4.0 ~ 7.0	vol. %
H <sub>2</sub> S	4 ~ 12	g/Nm <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub>	1 ~ 3	vol. %
BTX	20 ~ 30	g/Nm <sup>3</sup>
NH <sub>3</sub>	6 ~ 8	g/Nm <sup>3</sup>
PAH	NA	mg/Nm <sup>3</sup>

→ 고로에 환원제 및 연료로 공급되는 코크스를 만드는 공정에서 COG(Coke Oven Gas)가 발생. COG 내에 다량의 NH<sub>3</sub>가 포함되어 있으며 이를 회수하여 탈황석고 탄산화 공정에 활용 가능

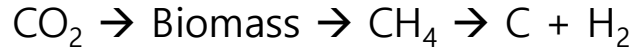


# CCUS 기술\_포집(DAC)

## ■ 소형 modular DAC 시스템 및 미세조류 이용 청록수소 생산 기술('23~'29)

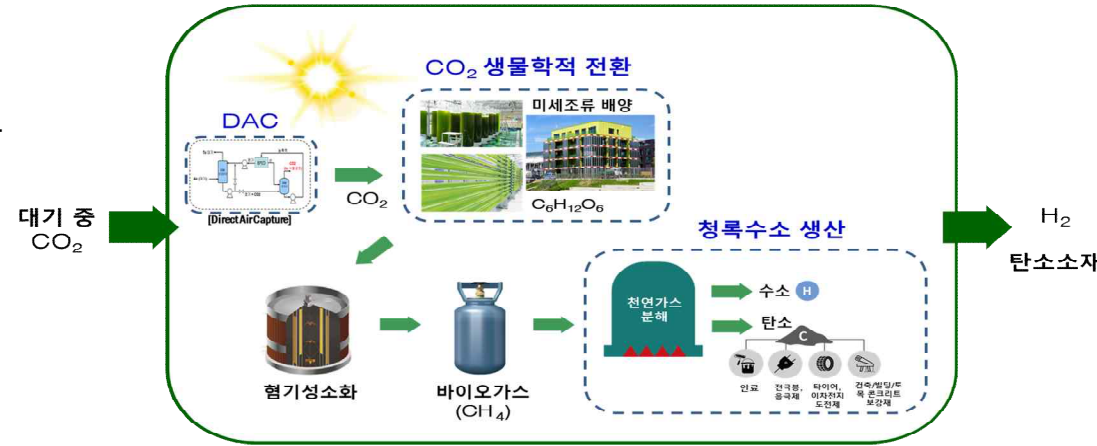
### ○ 기술 구성

- 대기 중 CO2를 전기에너지를 이용 포집
- 미세조류 배양 및 혐기성 소화를 통한 바이오가스 생산
- 청록수소(열분해) 생산 연계



### ○ 핵심 개발내용

- POSTECH/포스코홀딩스(미래연)

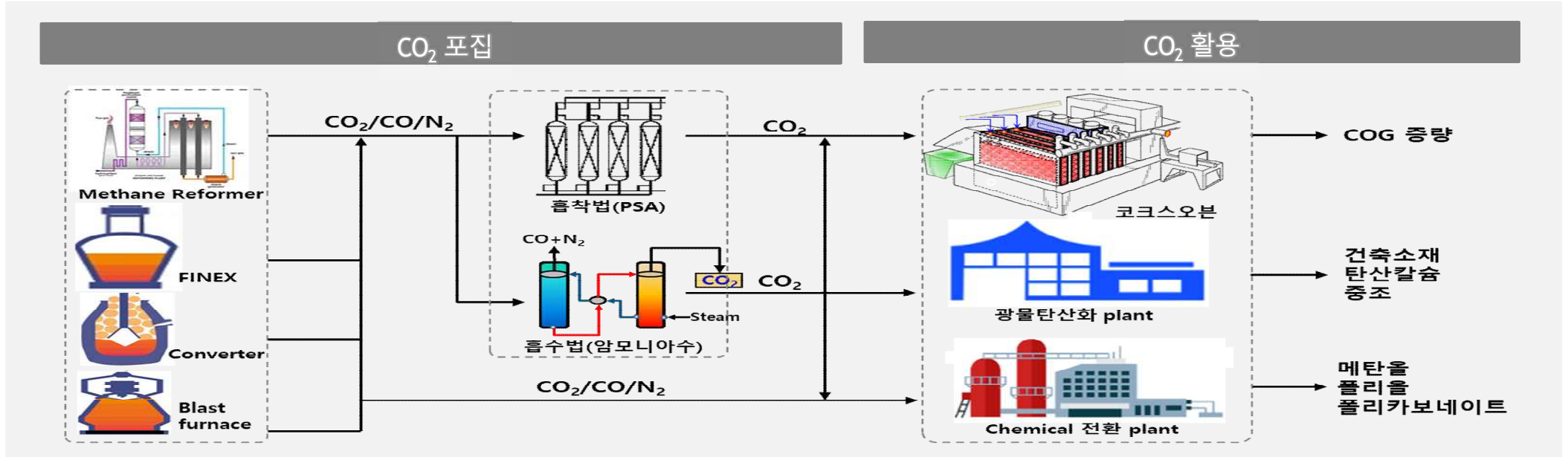


구분	도심 식물공장용 DAC시스템	미세조류 유래 청록수소(카본) 생산기술
1단계 (9개월)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기술 타당성 평가</li> <li>• 기술 개발 방향 도출</li> <li>• 핵심기술의 권리화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세조류 선정 및 배양시스템 최적 설계인자 도출</li> <li>• 핵심기술의 권리화</li> </ul>
개별 기술 기초설계안 도출		
2단계 (1년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소형 DAC Modular 설계/제작 및 성능평가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세조류 광배양반응기 제작 및 성능평가</li> <li>• 반응기 효율 개선 (반응기 형태와 배양 환경 최적화)</li> <li>• 청록수소 기초 실험 및 평가</li> </ul>
통합공정 설계안 도출 및 기초 TEA(Techno-Economic Analysis)		
3단계 (5년)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소형 DAC Modular 제작 및 실증</li> <li>• BPED 효율향상</li> <li>• DAC 기술 확대 적용 (HVAC 연계)</li> </ul> <p>※ 최종목표: DAC 포집비용 (\$100/ton-CO<sub>2</sub> 미만)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 미세조류 실제 배양공정 구축 (지하철 역, 도심 공간, 건축물)</li> <li>• 청록수소 적용 기술에 따른 탄소 소재 생성 평가 및 활용</li> <li>• 현장 운전 인자 최적화를 통한 안정적 장기 운전</li> </ul> <p>※ 고체 Carbon 활용처 발굴 (5,000ton-Carbon/년)</p>
도심지 CO <sub>2</sub> 포집 및 청록수소(카본) 생산/활용 실증		

# 제철산업 CCUS 기술 개발 전략

## ■ CCUS 기술 개발 전략

→ 제철산업의 특성에 적합한 CCUS 기술 개발



- 부생가스 및 배가스 대상 CO<sub>2</sub> 포집 기술
- 제철 공정 활용 CO<sub>2</sub> 자원화 기술
- 제철 슬래그를 활용한 광물탄산화 기술
- 부생가스 정제/부산물 활용 Chemical 전환 기술
- 부생가스 활용 수소 생산 기술
- CO<sub>2</sub> 저장소 탐색 및 평가 기술

국가 탄소 저감의 핵심 Player로의 철강 산업 구축  
 : CCUS 기술 실증을 위한 기반 확보  
 : 지속 가능한 철강 산업을 위한 CCUS 기술 개발

posco  
HOLDINGS

POSCO N.EX.T Hub  
Hydrogen & Low Carbon R&D  
Lab.

감사합니다.

