

CO₂ 회수를 위한 Pre-combustion 기술의 국내외 현황과 발전 방향

2006. 7. 6.

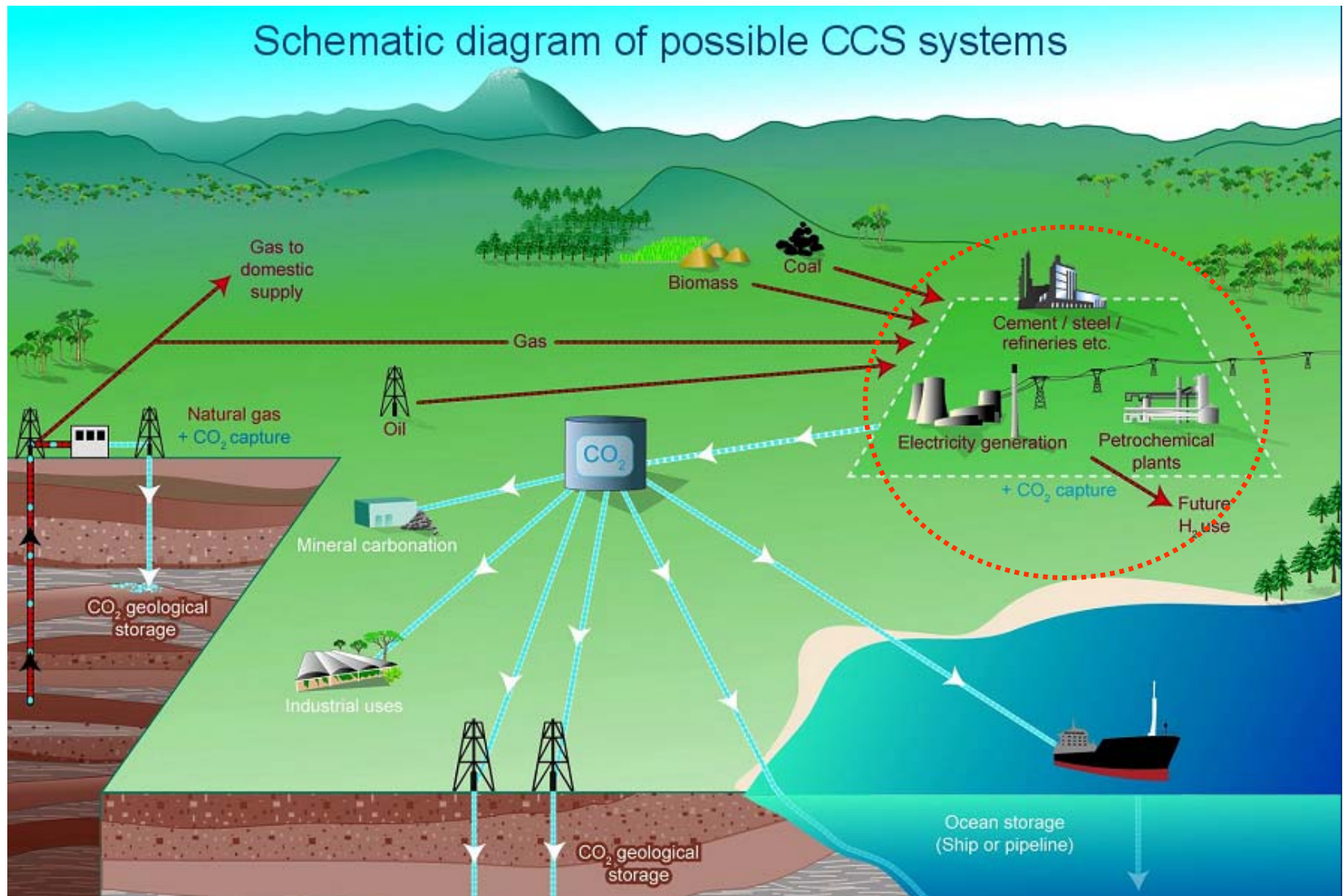
고등기술연구원

윤 용 승

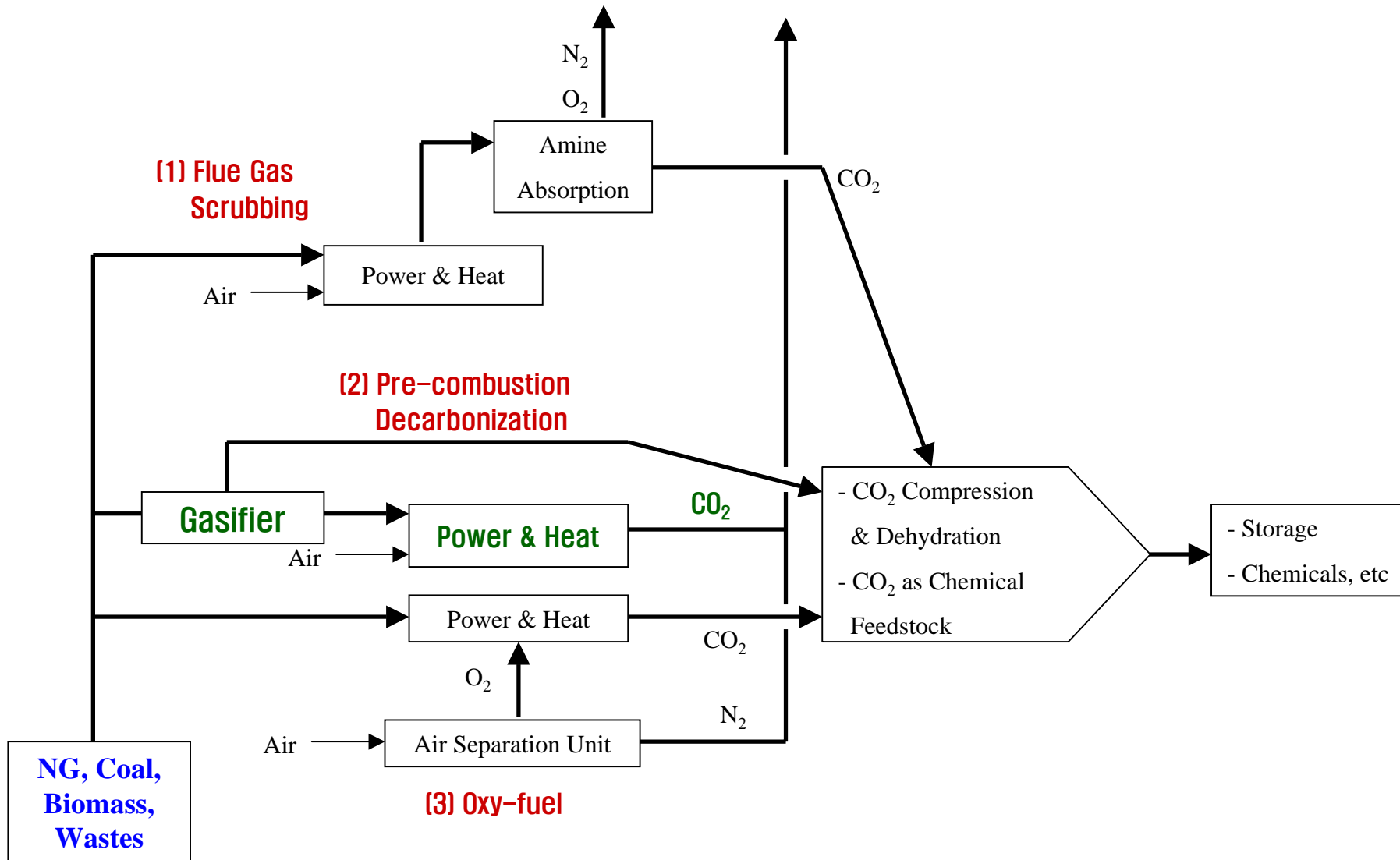
<http://pec.iae.re.kr>

<http://www.coal.or.kr>

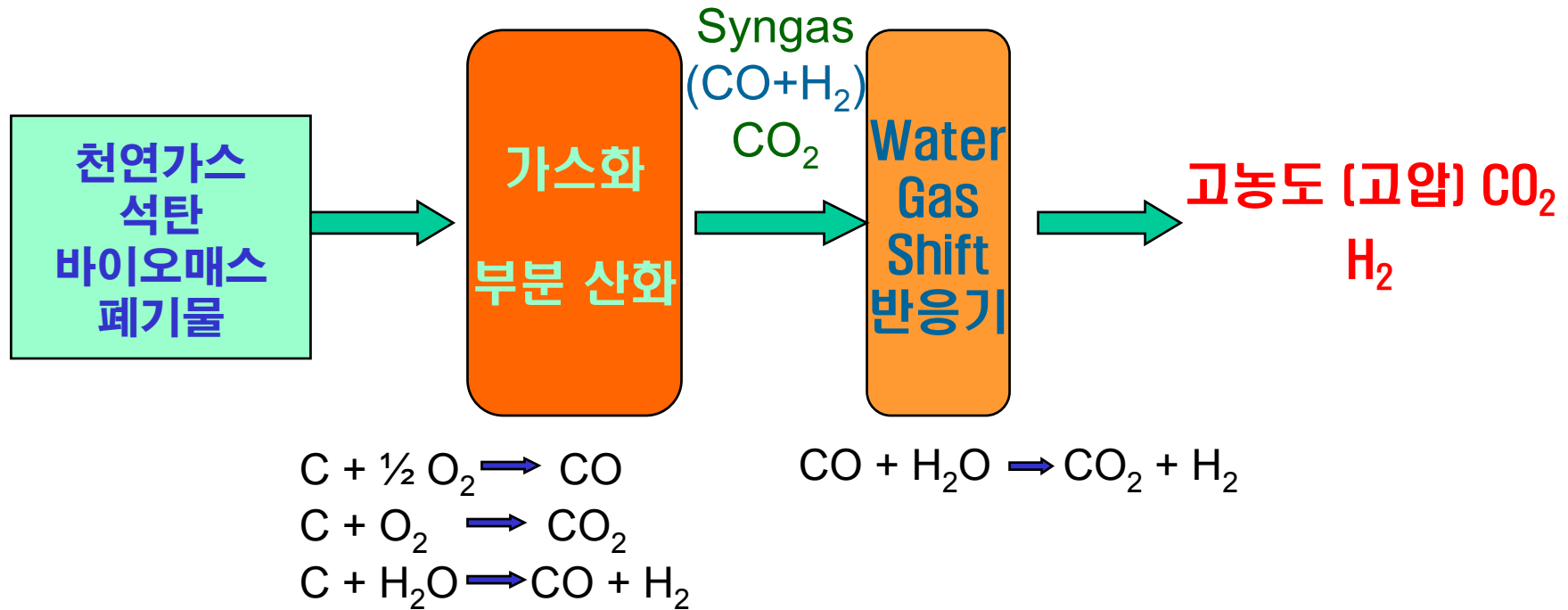
Pre-combustion 기술의 적용 Area



CO₂ 저감기술 Options



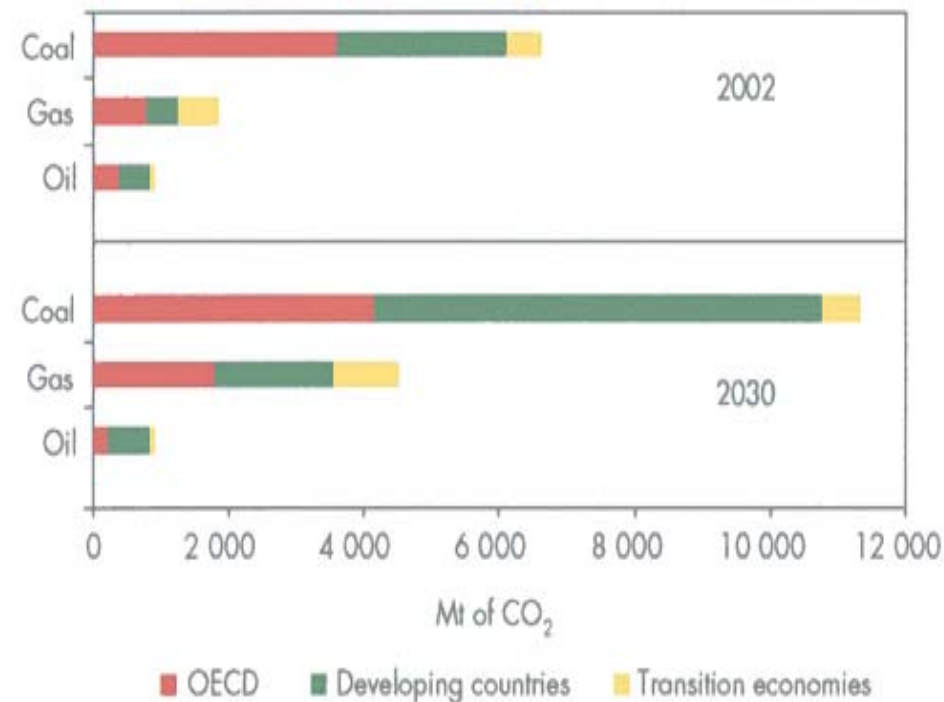
Pre-combustion Carbon Capture의 개념



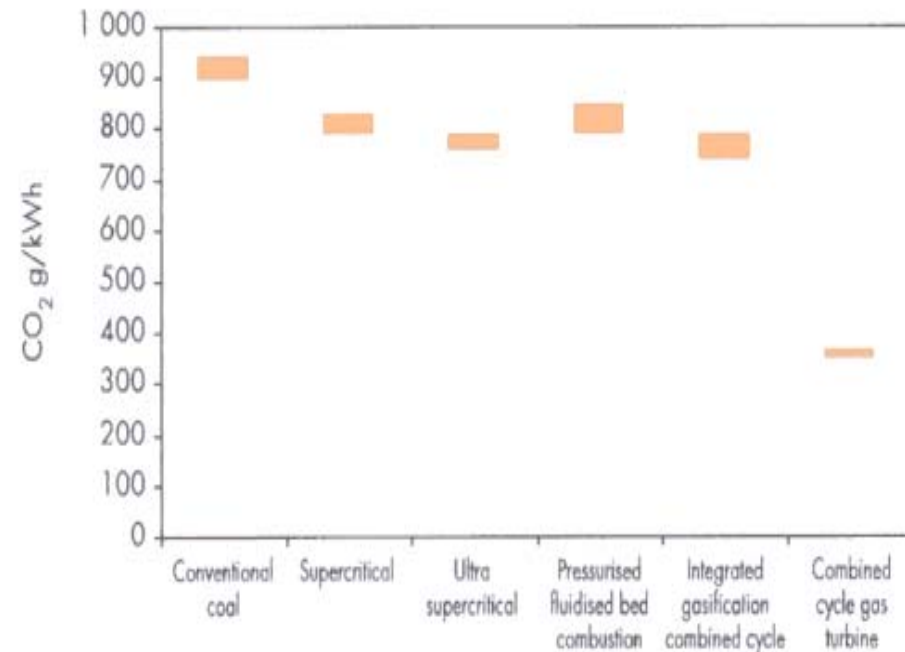
- ❑ 시료를 연소하기 전에 시료에 포함된 탄소 성분을 분리하여 **CO₂**의 원인물질을 미리 분리 처리하는 개념임.
- ❑ 가스화, 부분산화, 개질 반응을 통해 **CO**와 수소 (**Syngas**)로 만들고 **Water-Gas-Shift** 반응을 통해 수소 농도를 높이고 불순물을 제거시켜 사용함.

원료별 및 기술별 전력생산 과정의 CO₂ 발생량

전력생산 원료별 CO₂ 발생량과 2030년까지
국가 그룹별 예측자료

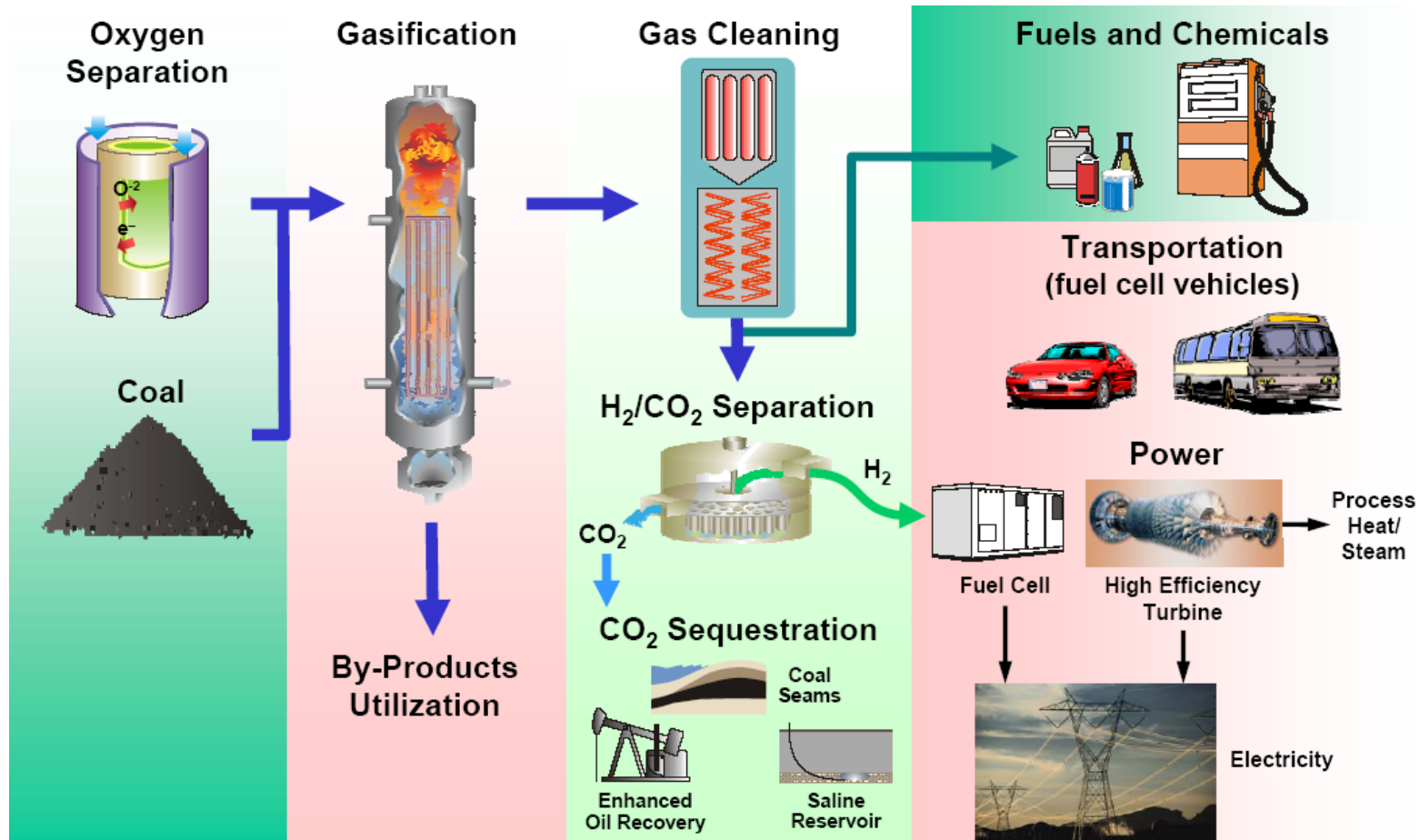


석탄사용 발전기술별
단위전기 발생량당 CO₂ 발생량의 비교



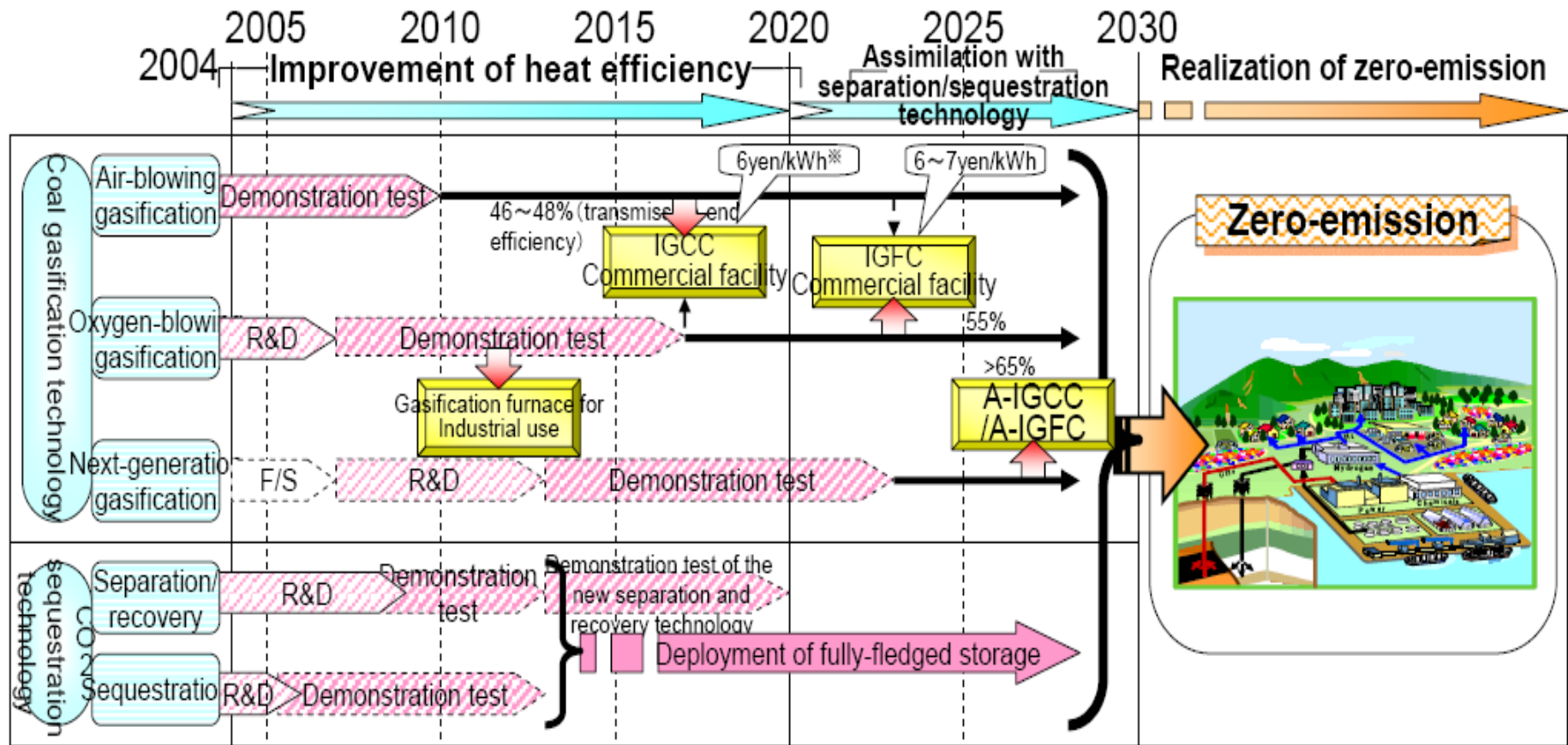
- 향후 석탄 사용시 **CO₂** 문제를 해결하지 못하면, 장기적으로 석탄 사용한 전력생산은 사회적 저항 예상됨.
- 석탄의 경우는 **신석탄발전기술**이 대안이며, 저렴한 천연가스가 공급 가능하다면 **천연가스 복합발전**이 대안임.

미국의 석탄사용 Vision (FutureGen 프로젝트)



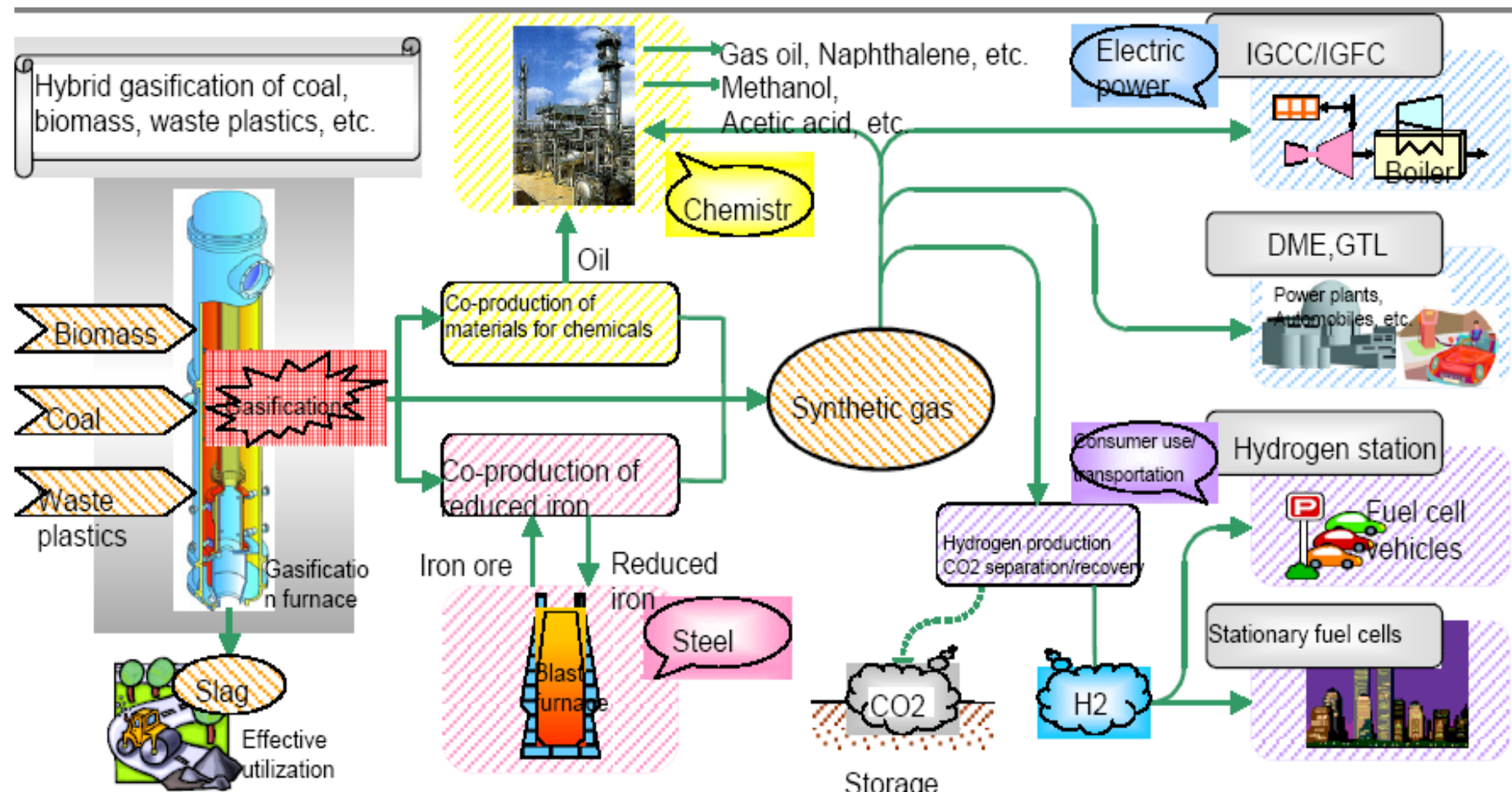
- ❑ 석탄 가스화를 통한 전기, 수소, 합성석유 생산 및 **CO₂** 제거 동시 추구
(석탄을 천연가스 수준으로 청정하게 사용 + 이산화탄소 제거)
- ❑ 10년간 10억불 예산, 2015년까지 **275 MW** 전기 생산 등 **poly-generation** 실증 플랜트 건설,
2020년까지 상용급 기술 개발 제공, 한국/인도 2006년 국제회원국 가입

일본의 Pre-combustion CO₂ 저감 기술추진 방향



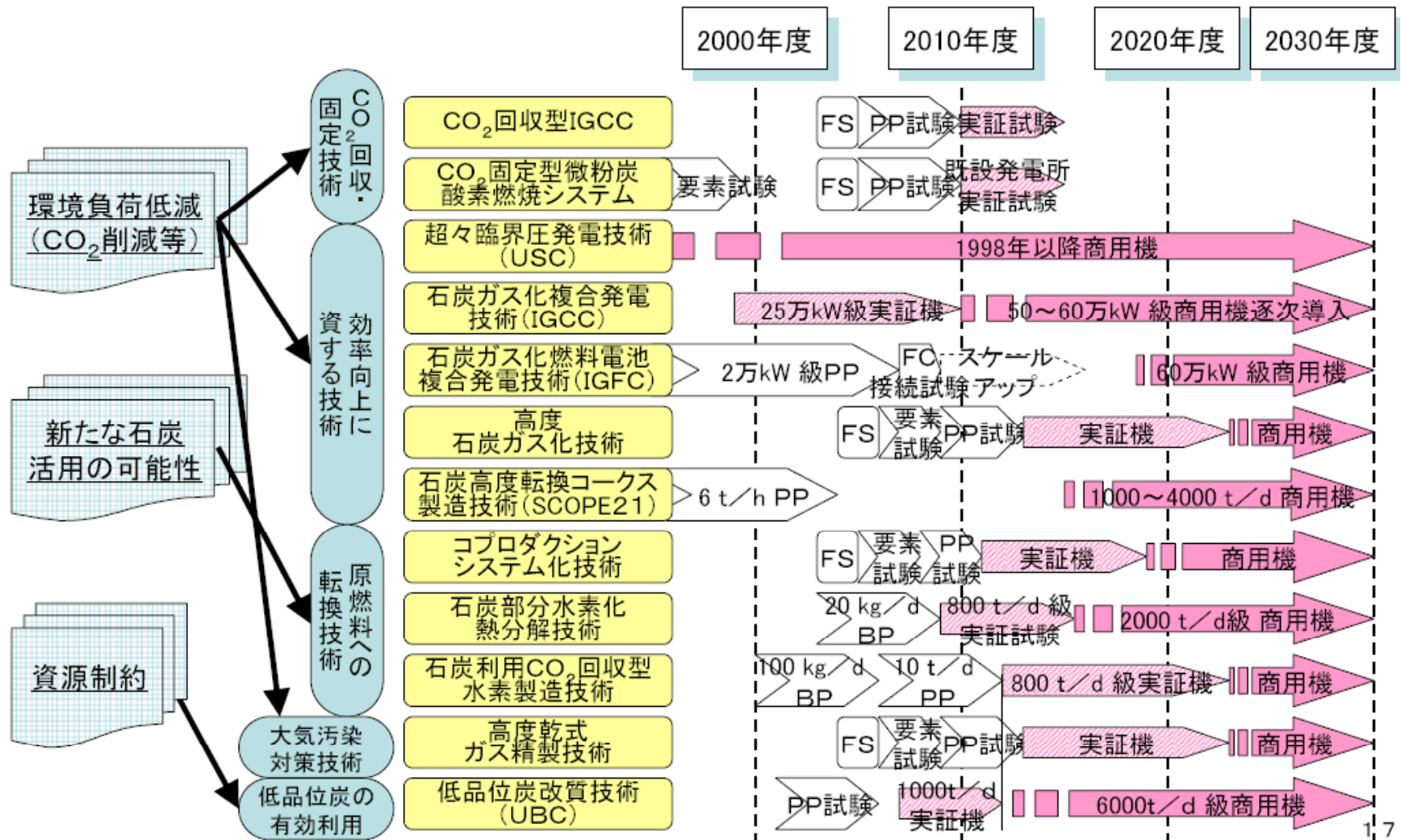
□ 2020년부터 석탄 신발전기술과 CO₂ 분리 저감기술을 본격 연계 실용화 추진

일본 version의 FutureGen 프로그램



□ 미국 프로그램에 제철 신기술, **DME** 포함.

日本の CO₂ 問題 対応 Clean Coal Technology Roadmap



여러 산업 배출가스내 대표적 CO₂ 농도

	New coal fired power plant	Oil fired power plant	Cement plant	Steel plant
Capacity	1000MW	1000MW	Clinker: 2.24 mt/y	Crude steel: 7.1 mt/y
Volume (Nm ³ /hr)	2,830,000	3,200,000	610,000	780,000
Temperature	49°C	53°C	85°C	250°C
Composition				
CO ₂ (%)	13.2	10.3	25.0	26.8
N ₂ (%)	Bal(71.7)	Bal(71.0)	Bal(58.0)	Bal(68.4)
H ₂ O (%)	11.4	3.6	7.0	0.9
O ₂ (%)	3.7	15.1	10.0	3.9
SOx(ppm)	5.0	5.0	3.0	70.0
NOx(ppm)	5.0	5.0	380	55.0
Dust (mg/Nm ³)	2.0	2.0	10.0	25.0

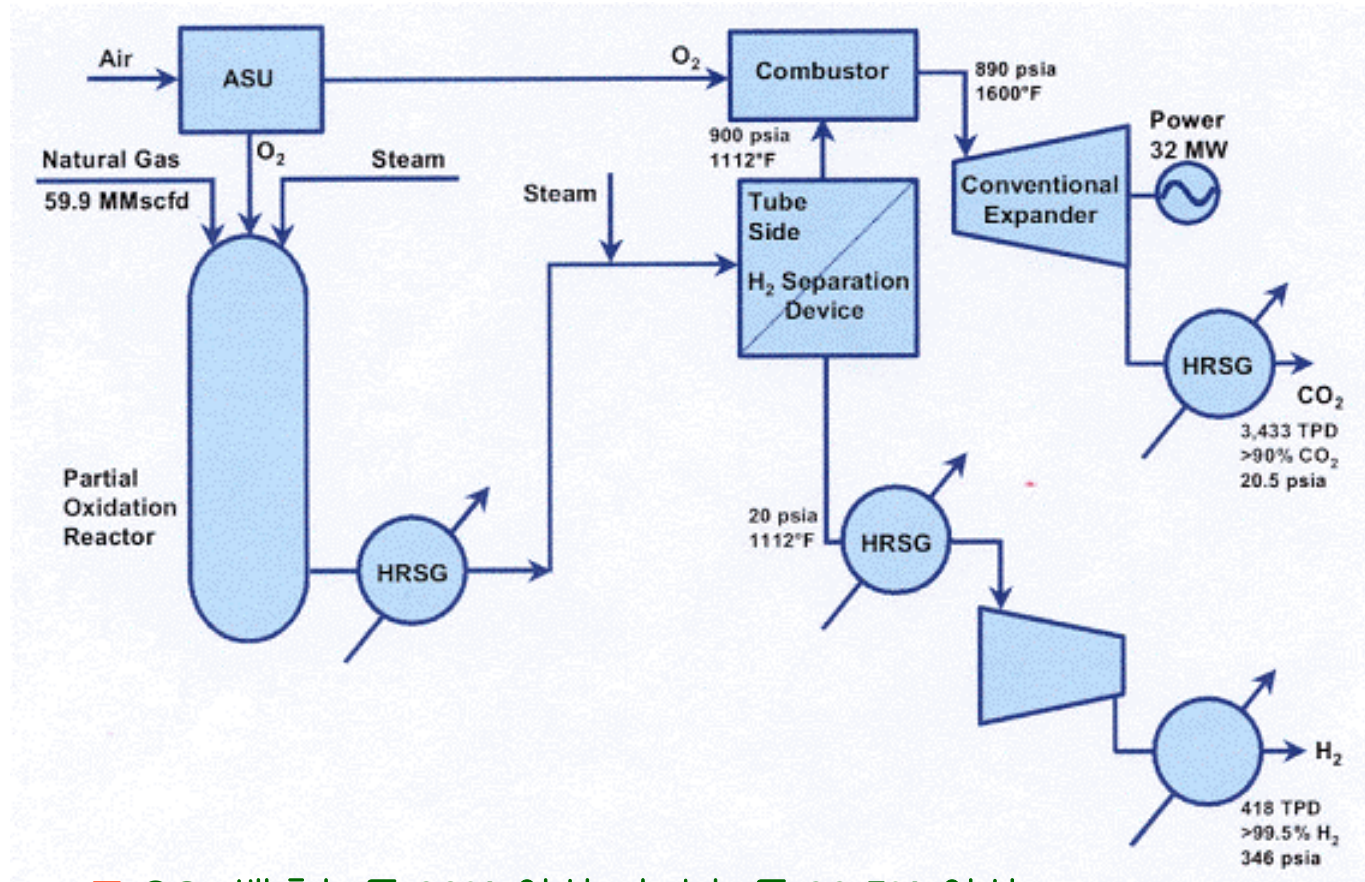
Source: NEDO Report (RITE) (1999)

가스화를 통한 대표적 Syngas 조성

	Project								
	Wabash IGCC	Tampa IGCC	El Dorado IGCC	Shell IGCC	Sierra Pacific IGCC	India IBIL Gasification	Schwarze Pumpe Gasification	IAE Coal Gasification	IAE Waste Gasification
Country	USA	USA	USA	Netherlands	USA	India	Germany	Korea	Korea
Fuel	Coal	Coal	Pet coke/Waste oil	Vacuum residue	Coal	Lignite	Lignite/oil slurry, RDF, waste plastics	Coal	Wastes
Syngas Composition									
H ₂	24.8	27.0	35.4	34.4	14.5	12.7	61.9	22	28
CO	39.5	35.6	45.0	35.1	23.5	15.3	26.2	45	32
CH ₄	1.5	0.1	0.	0.3	1.3	3.4	6.9	0	2
CO ₂	9.3	12.6	17.1	30.0	5.6	11.1	2.8	9	30
N ₂ +Air	2.3	6.8	2.1	0.2	49.3	46.0	1.8	24	8
H ₂ O	22.7	18.7	0.4	—	5.7	11.5	—	—	—
Oxidant	O ₂	O ₂	O ₂	O ₂	Air	Air	O ₂	O ₂	O ₂

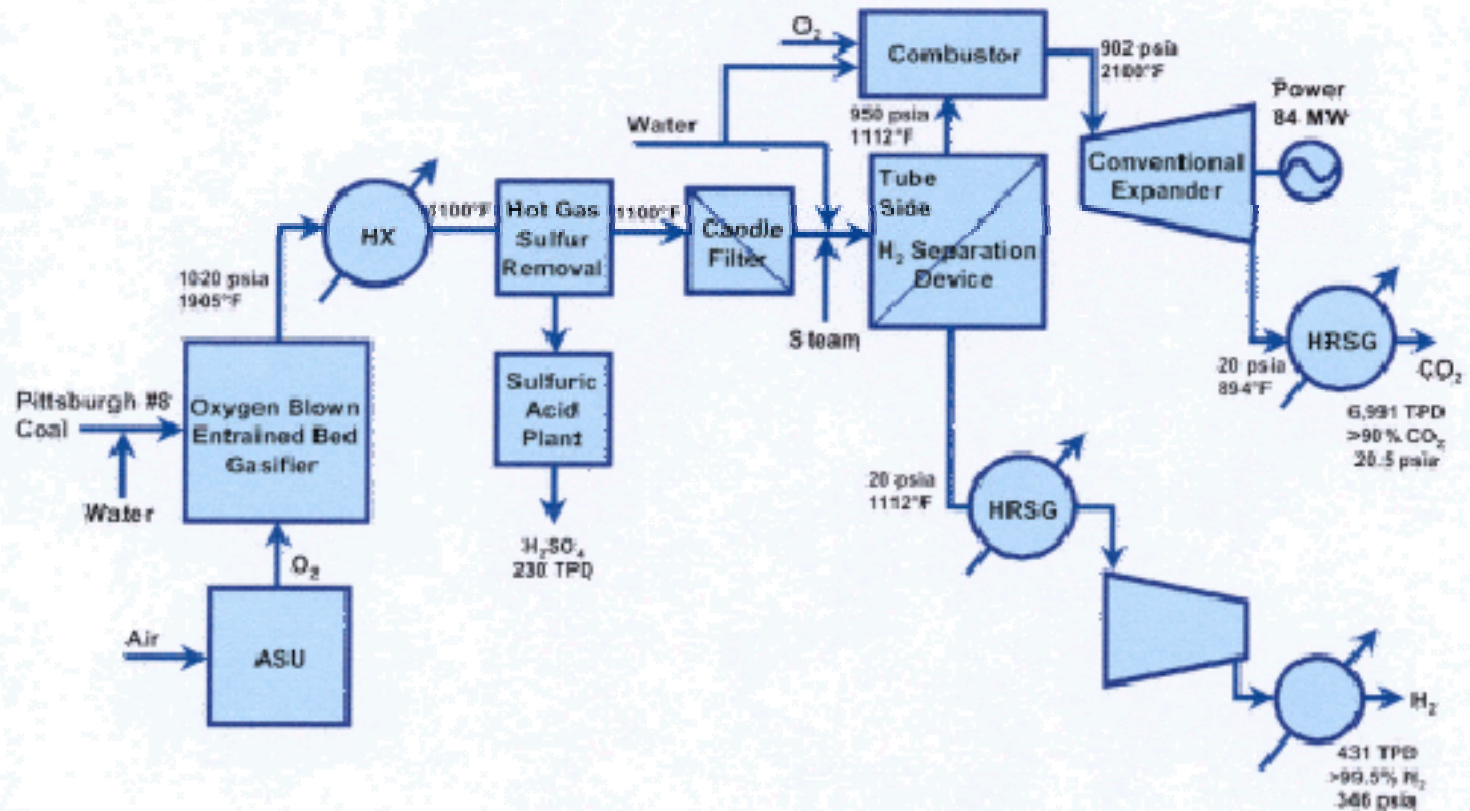
□ Syngas 연소시키면, CO → CO₂에 의해 CO₂ 농도 높아지고, H₂ 분리로 CO₂ 농도를 추가로 높임.

천연가스 부분산화를 통한 수소 생산 및 CO₂ 제거 공정구성도



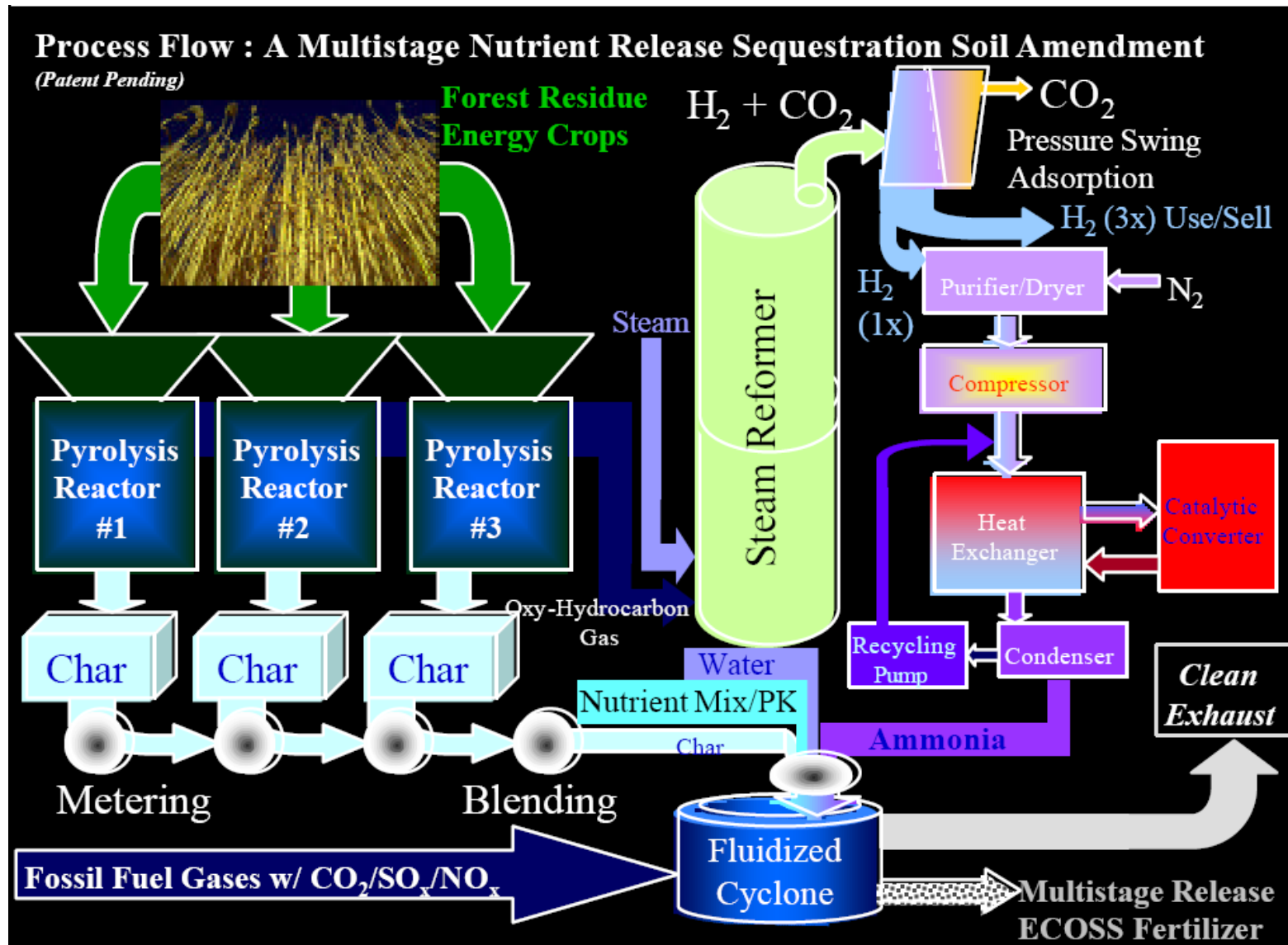
❑ CO₂ 배출농도 90% 이상, 수소농도 99.5% 이상

석탄으로부터 수소제조 및 CO₂ 분리 회수를 위한 공정구성도



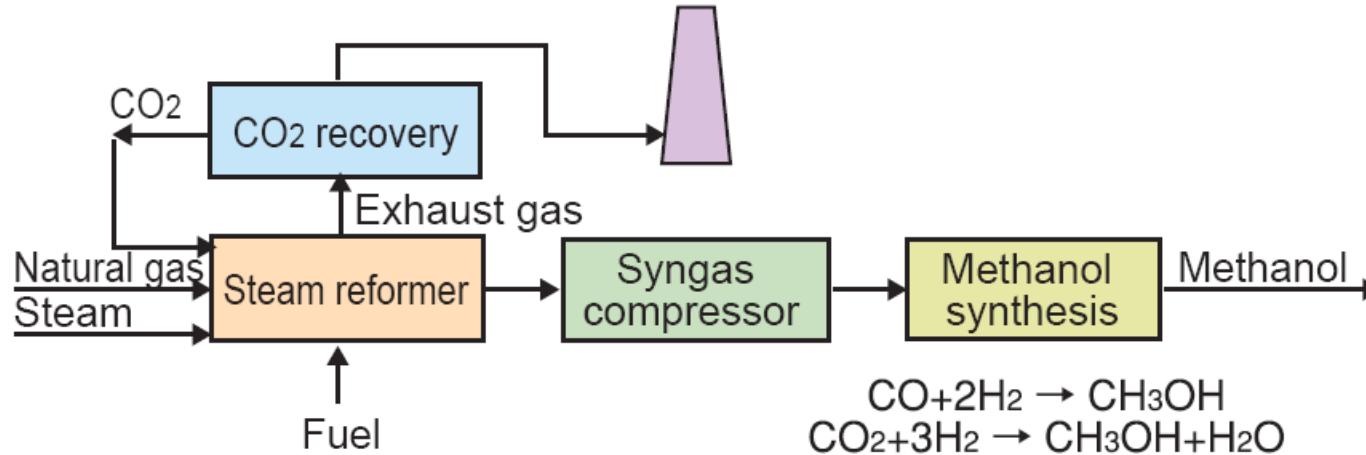
- ❑ 고온탈황, 고온집진, 고온산소연소 기술 적용.
- ❑ CO₂ 배출농도 90% 이상, 수소농도 99.5% 이상

산림폐기물 사용 Syngas 생산을 통한 CO₂ 분리 및 자원활용 방안의 예

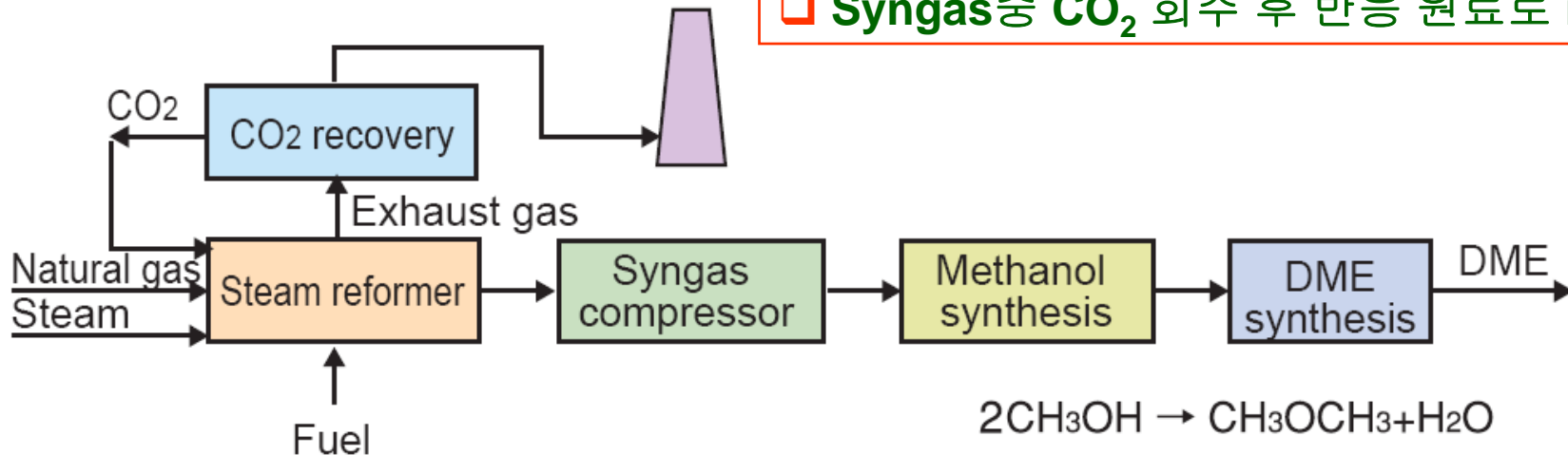


Ref. : D. Day, "Renewable H₂ Production with High Volume Atmospheric CO₂ Reduction through Carbon Utilization," Renewable Hydrogen Forum, 2003.4.

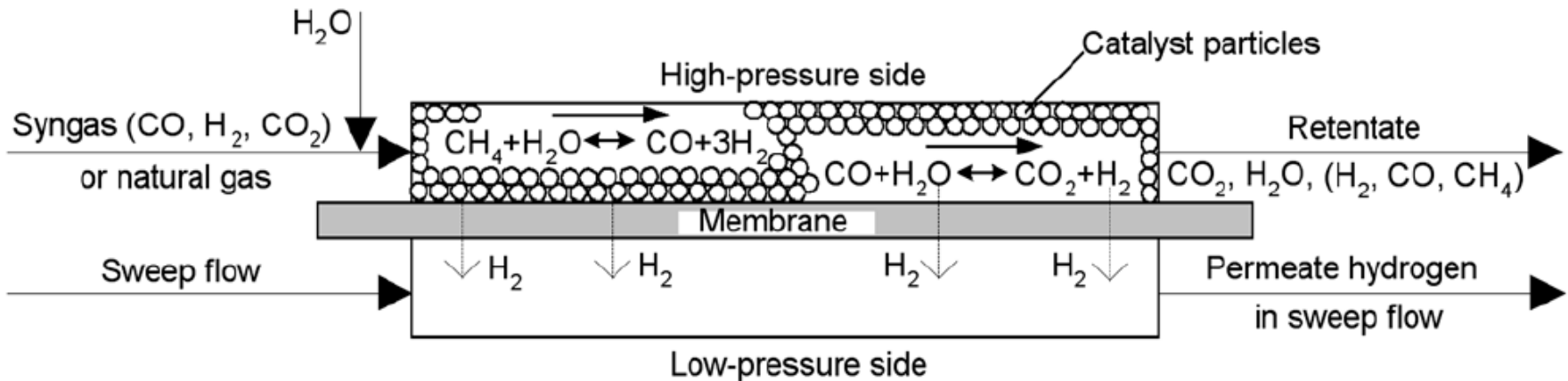
Syngas 방식을 적용한 CO₂ 회수 전환공정의 개념



- ❑ NG 가스화한 syngas 조성 : $\text{H}_2/\text{CO} = 3$
- ❑ Methanol 합성 최적 가스조성 : $\text{H}_2/\text{CO} = 2$
- ❑ Syngas중 CO₂ 회수 후 반응 원료로 recycle

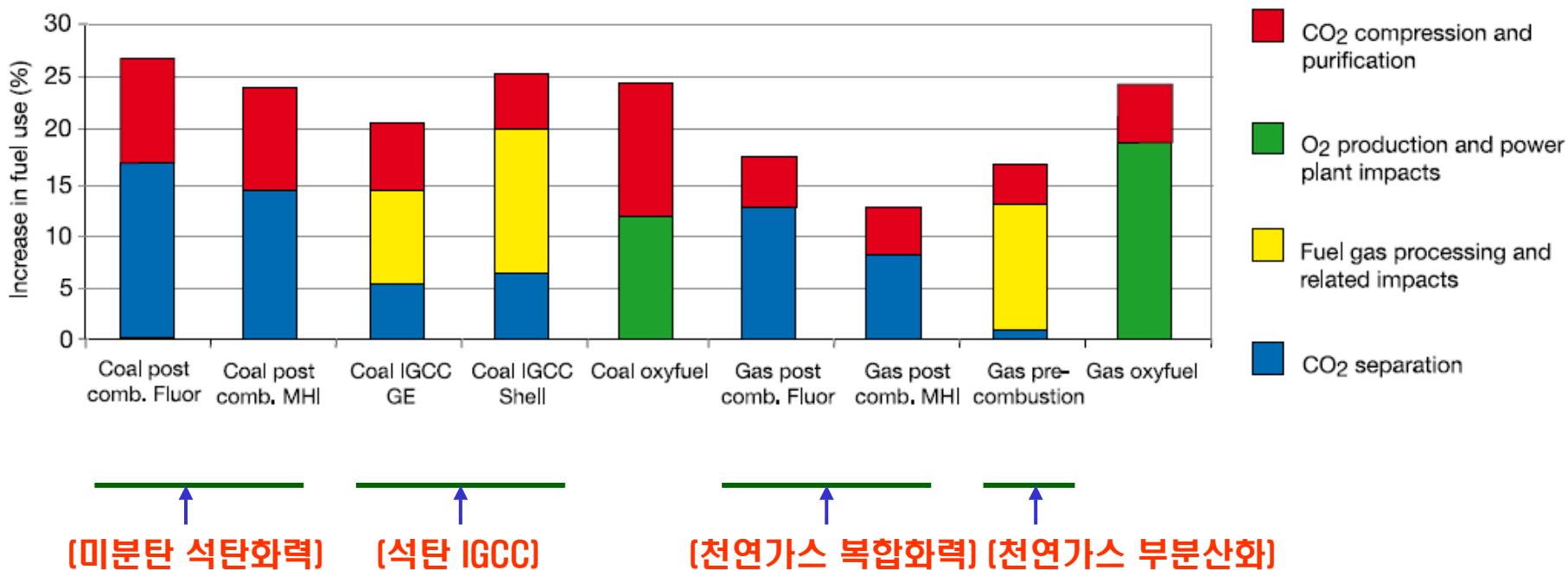


수소 생산과 CO₂ capture 개념의 Membrane 반응기 개념



- ❑ **Steam reforming (흡열)**과 **Water gas shift (발열)** 반응을 한 반응기에서 진행하고 H₂를 생성되자마자 계속 분리시켜 전환 효율을 증대시킴.

kWh 전기 생산시 CO₂ capture로 인한 연료사용량 증가 %



■ 미분탄연소 화력 Post-combustion 대비 IGCC (Pre-combustion)의 효과 :

- 고압에서 운전되므로, CO₂ 압축 유리
- CO₂ 분압이 높아 CO₂ 분리에 유리: CO₂ 흡수탑 크기 감소, 용매 순환율 감소, CO₂ stripping 에너지 감소
- Syngas water-gas shift 반응 등 추가 반응에 에너지 추가 소요 penalty

신규 발전소에서의 CO₂ Capture 비용

	NGCC	PC	IGCC
CO ₂ reduction per kWh with capture	83-88%	81-88%	81-91%
Increase in COE with capture (US¢/kWh)	1.2-2.4	1.8-3.4	0.9-2.2
Increase in COE with capture	37-69%	42-66%	20-55%
Cost of CO ₂ net captured (US\$/tCO ₂)	37-74	29-51	13-37

NGCC : Natural Gas Combined Cycle

PC : Pulverized Coal Combustion

IGCC : Integrated Gasification Combined Cycle

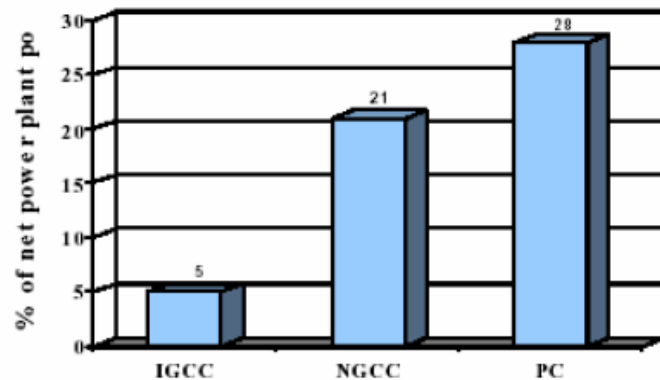
신규 발전소에서의 CO₂ Capture 비용 (Details)

Performance and cost measures	New NGCC plant			New PC plant			New IGCC plant		
	Range		Rep. value	Range		Rep. value	Range		Rep. value
	Low	High		Low	High		Low	High	
Emission rate without capture (kgCO ₂ /kWh)	0.344	0.379	0.367	0.736	0.811	0.762	0.682	0.846	0.773
Emission rate with capture (kgCO ₂ /kWh)	0.040	0.066	0.052	0.092	0.145	0.112	0.065	0.152	0.108
Percentage CO ₂ reduction per kWh (%)	83	88	86	81	88	85	81	91	86
Plant efficiency with capture, LHV basis (%)	47	50	48	30	35	33	31	40	35
Capture energy requirement (% increase input/kWh)	11	22	16	24	40	31	14	25	19
Total capital requirement without capture (US\$/kW)	515	724	568	1161	1486	1286	1169	1565	1326
Total capital requirement with capture (US\$/kW)	909	1261	998	1894	2578	2096	1414	2270	1825
Percent increase in capital cost with capture (%)	64	100	76	44	74	63	19	66	37
COE without capture (US\$/kWh)	0.031	0.050	0.037	0.043	0.052	0.046	0.041	0.061	0.047
COE with capture only (US\$/kWh)	0.043	0.072	0.054	0.062	0.086	0.073	0.054	0.079	0.062
Increase in COE with capture (US\$/kWh)	0.012	0.024	0.017	0.018	0.034	0.027	0.009	0.022	0.016
Percent increase in COE with capture (%)	37	69	46	42	66	57	20	55	33
Cost of net CO ₂ captured (US\$/tCO ₂)	37	74	53	29	51	41	13	37	23
Capture cost confidence level (see Table 3.6)	moderate			moderate			moderate		

석탄 IGCC 발전소에서 CO₂ Capture에 의한 Energy/Cost Penalty

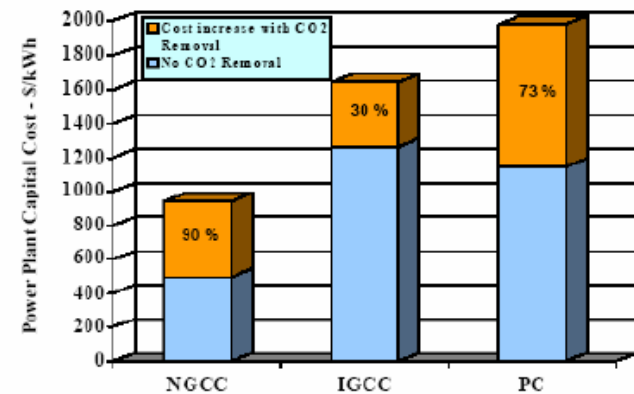
IGCC Minimizes Energy Penalty of CO₂ Capture

Parasitic Power Loss for CO₂ Capture



IGCC Minimizes Capital Cost Penalty of CO₂ Capture

Effect of CO₂ Capture on Total Plant Cost



Basis: Plants operating at 65% capacity factor, 20 year life and 2000 \$.

NGCC : Natural Gas Combined Cycle

PC : Pulverized Coal Combustion

IGCC : Integrated Gasification Combined Cycle

국내의 Pre-combustion 기술 현황

- ❑ 석탄과 폐기물 대상 1-3톤/일급 Pilot 가스화 설비를 운영중임.
- ❑ 합성가스에서 H_2 , CO_2 분리에 대한 기초연구 단계임.
- ❑ 상용급 1,700-2,000톤/일 규모의 석탄가스화복합발전 (IGCC) 실증플랜트를 외국기술을 도입하여 2012년까지 건설하는 계획이 기획되고 있음.
- ❑ 도시 생활폐기물 처리를 위한 가스화용융 플랜트가 일본기술을 도입하여 경남 양산 (100톤/일급 2기), 고양 (150톤/일급 2기)에 건설 단계임.
- ❑ 바이오매스 가스화/부분산화에 대한 Lab. 규모 연구가 시작단계임.

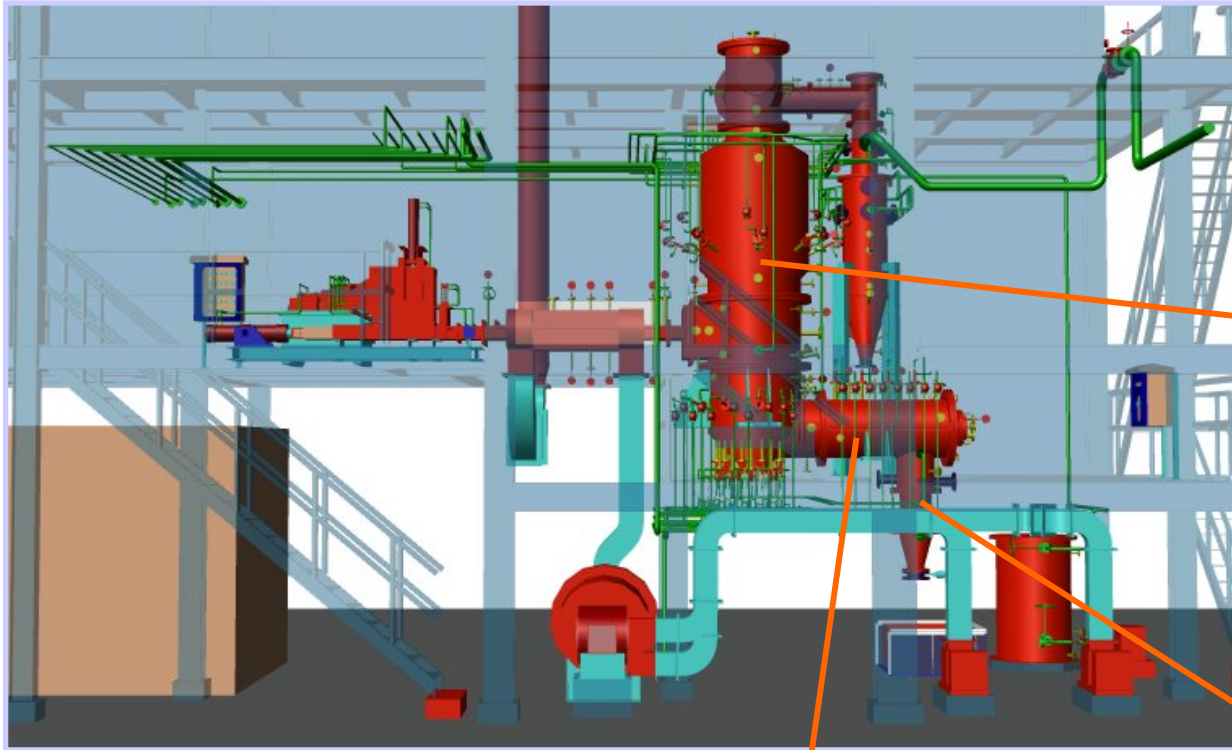
국내 석탄가스화 Pilot 설비 (고등기술연구원, 3톤/일급)



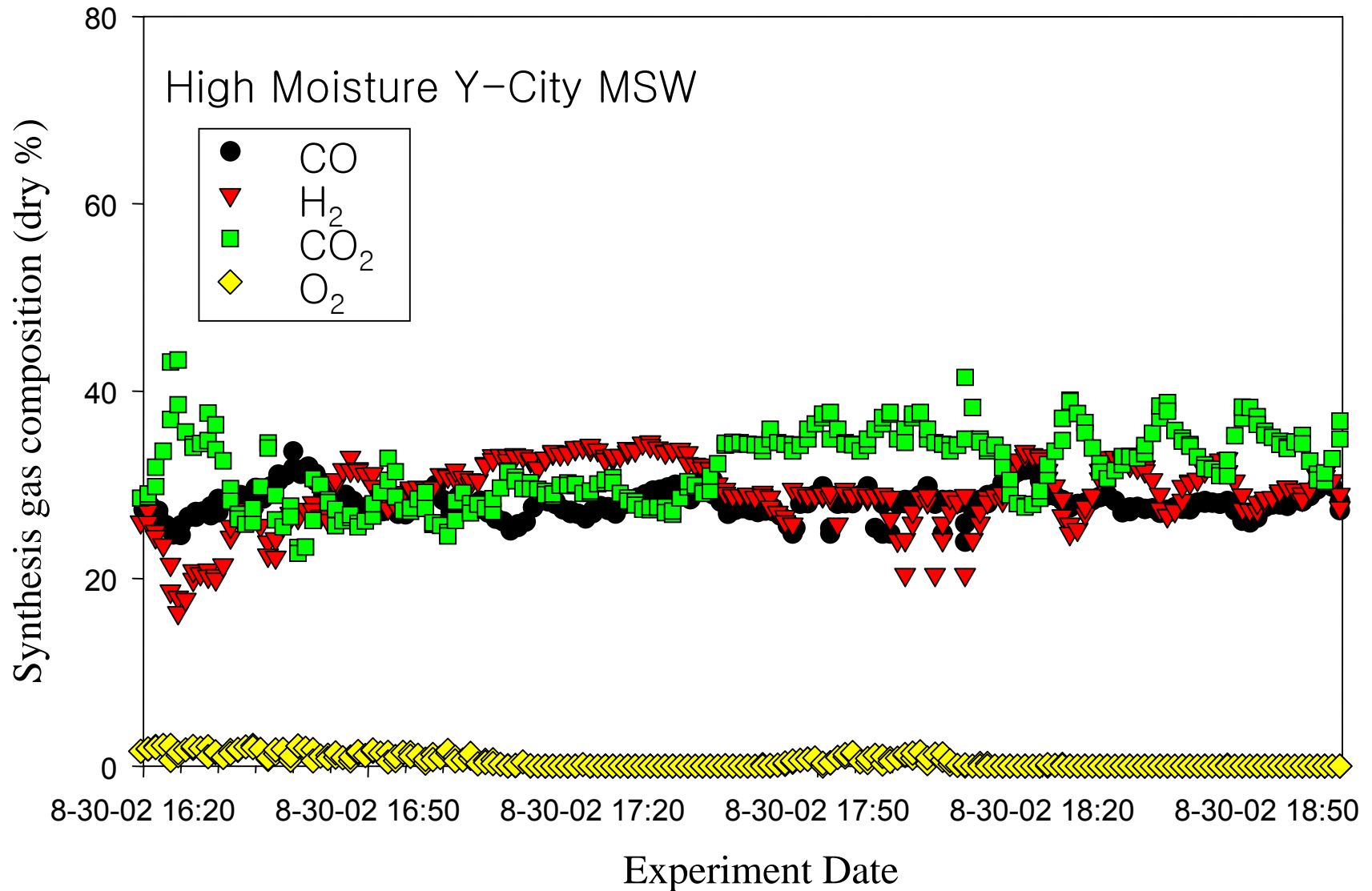
- ❑ 최대 조업압력 28 bar
- ❑ 최대 조업온도 1550°C



국내 도시 생활폐기물 가스화 Pilot 설비 (고등기술연구원, 3톤/일급)



국내 도시 생활폐기물 가스화 Syngas 조성 [55.8 wt% Moisture MSW, Y-City, Korea]

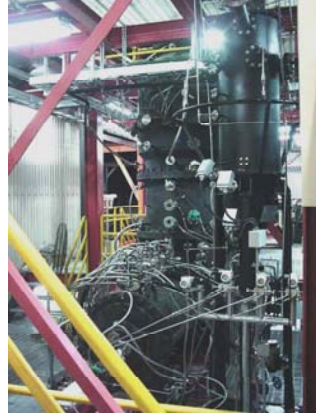


국내 산업폐기물 3톤/일급 가스화용융 Pilot 실험 결과

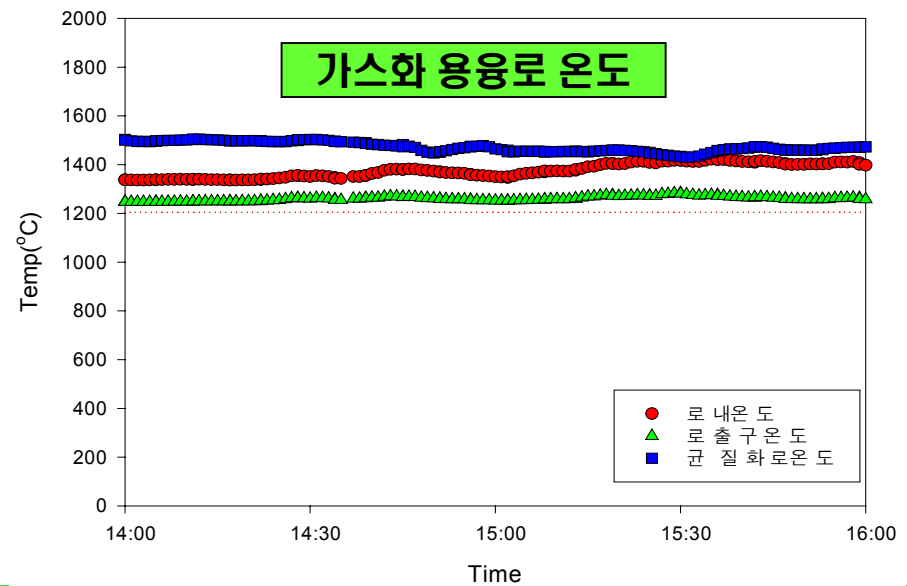
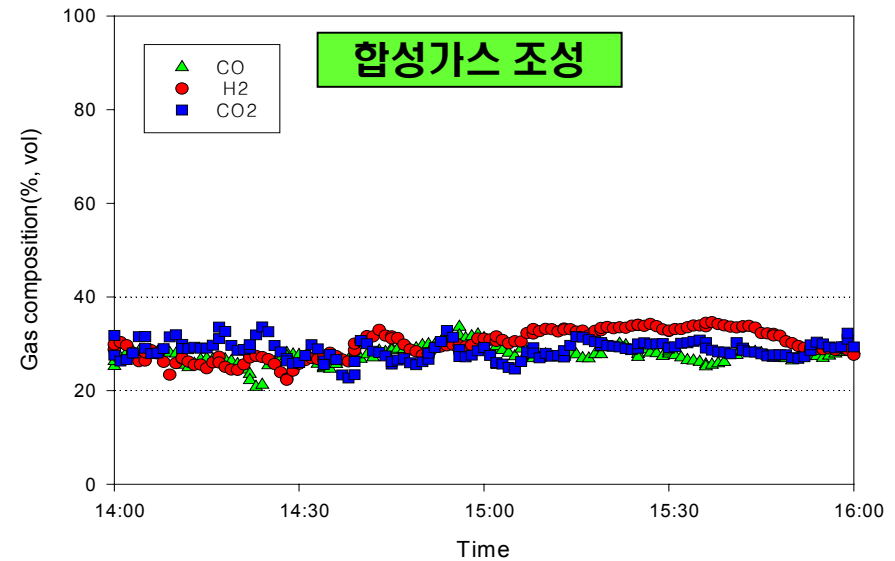
대상 폐기물



가스화 용융로



용융 슬лак



결론

- ❑ **Pre-combustion** 방식은 **CO₂** 저감과 회수에 중-대 용량으로 접근할 방법임.
- ❑ 화석연료 사용시 가장 많은 **CO₂** 배출량이 발생하는 발전부문에서 **pre-combustion** 방식의 신석탄발전 기술 적용은 미국과 일본의 접근 방식으로 볼 때 필연적으로 판단됨.
- ❑ 합성가스에서 수소와 **CO₂**를 분리 회수하는 **membrane** 재료, 일체형 합성가스 제조용 **membrane** 반응기와 고온반응 촉매 등 다양한 기반연구가 선행될 필요가 있음.
- ❑ 바이오매스, 폐기물 등 국내 여건에서 접근할 설비 규모가 타당한 분야에서는 **pre-combustion**과 **CO₂** 회수 활용 등에 대한 다양한 자체기술의 개발과 실용화 시도가 필요함.
- ❑ **CO₂** 분리 회수 활용 단계에서 발생하는 막대한 설비 비용과 운전비용을 국내 현황에서 어떤 기술 방안으로 대처할 것인가에 대한 산업분야별 대책이 필요하며, 저가형 고효율 자체 기술개발이 요구됨.