

폐기물 및 석탄가스화 기술동향과 전망

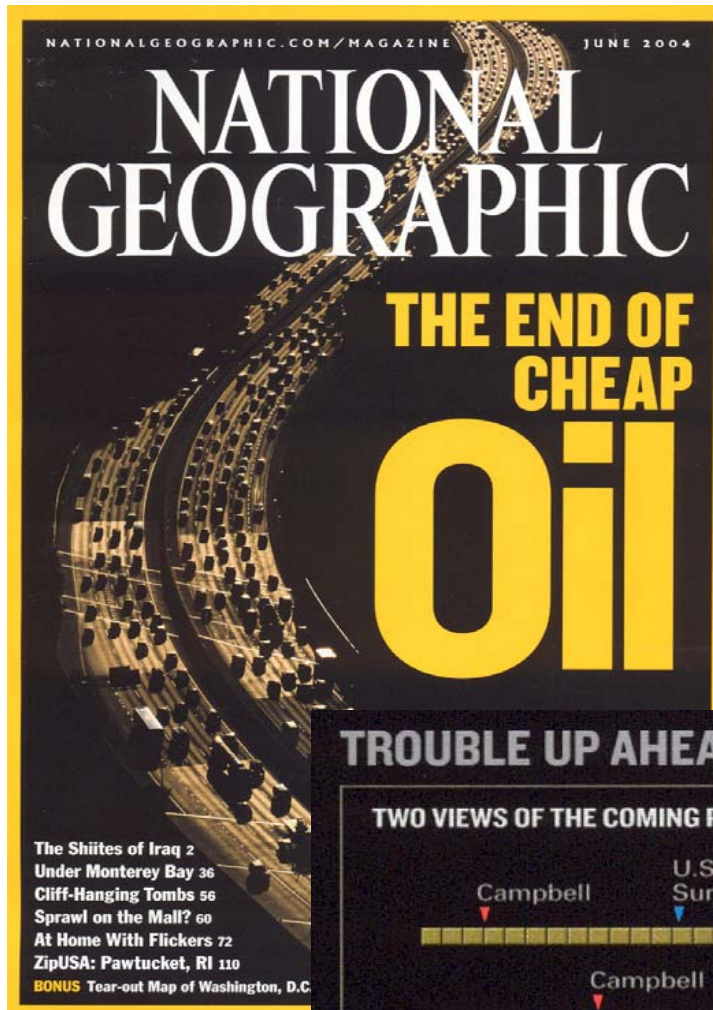
2008. 6. 12.

윤 용 승

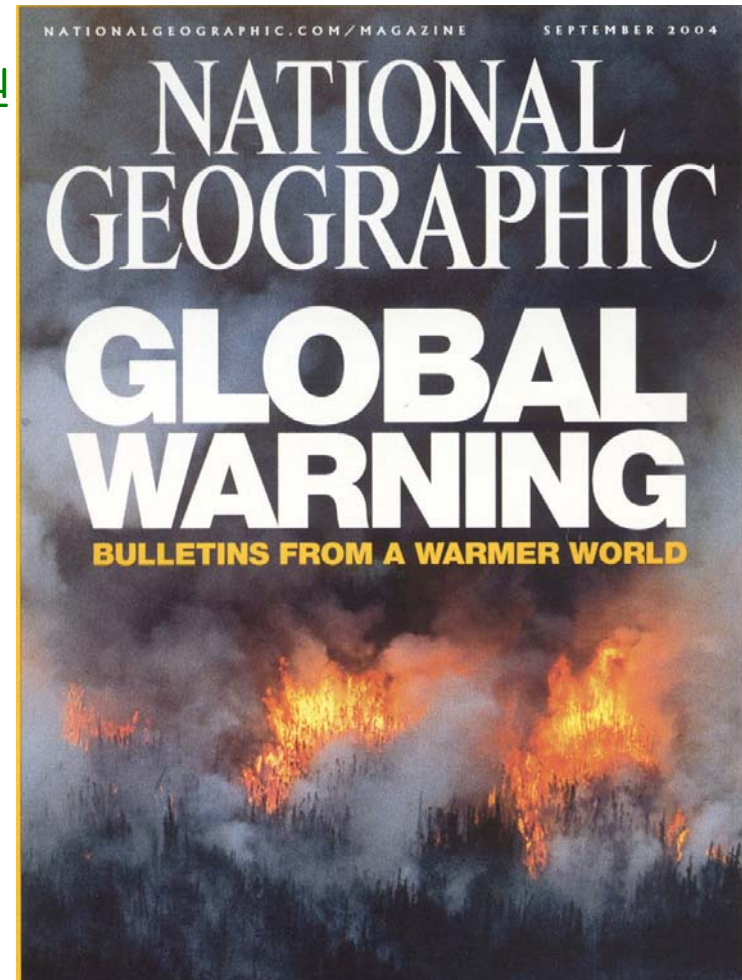
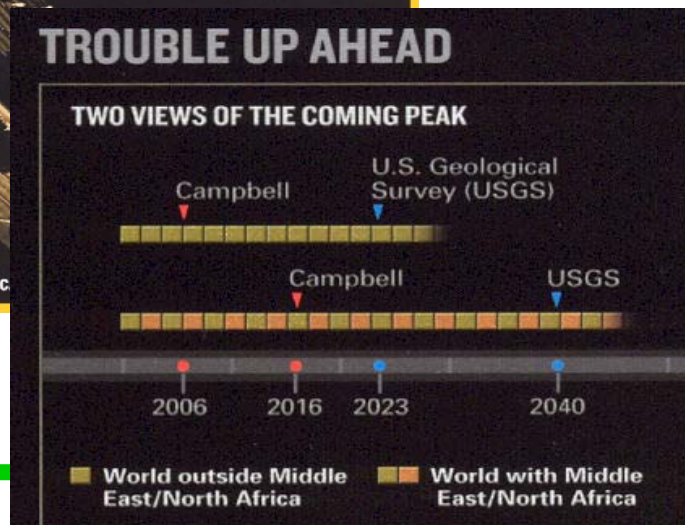
고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터

(Homepage) <http://pec.iae.re.kr>
<http://www.coal.or.kr>

최근 에너지 분야의 화두 : 고유가, 기후변화



□ 폐기물에너지원
활용 :
단순 스팀 활용
→ 합성가스
화학원료 전환,
열병합발전 등

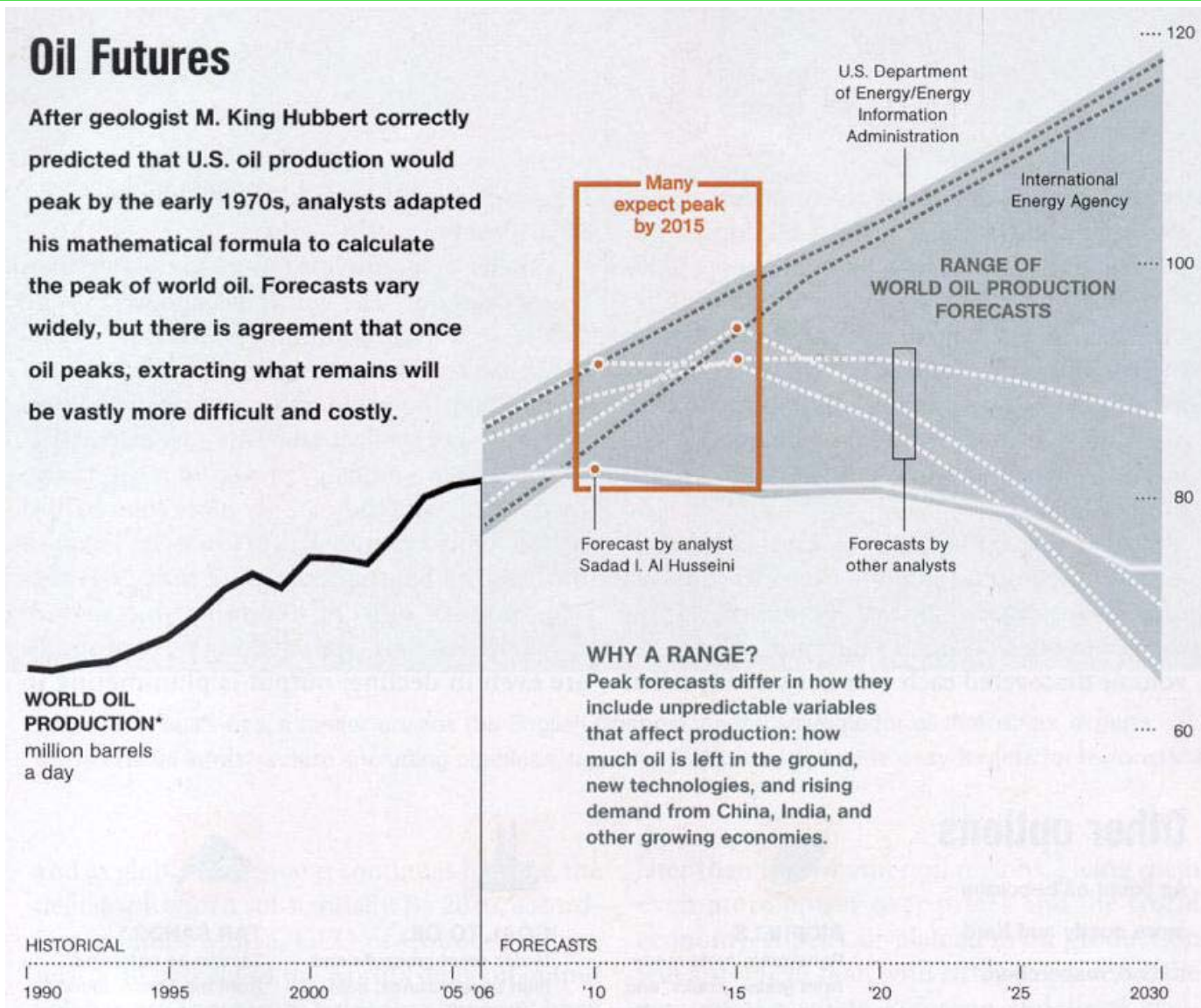


□ 지구환경 보호 : CO₂, 공해물질 저감

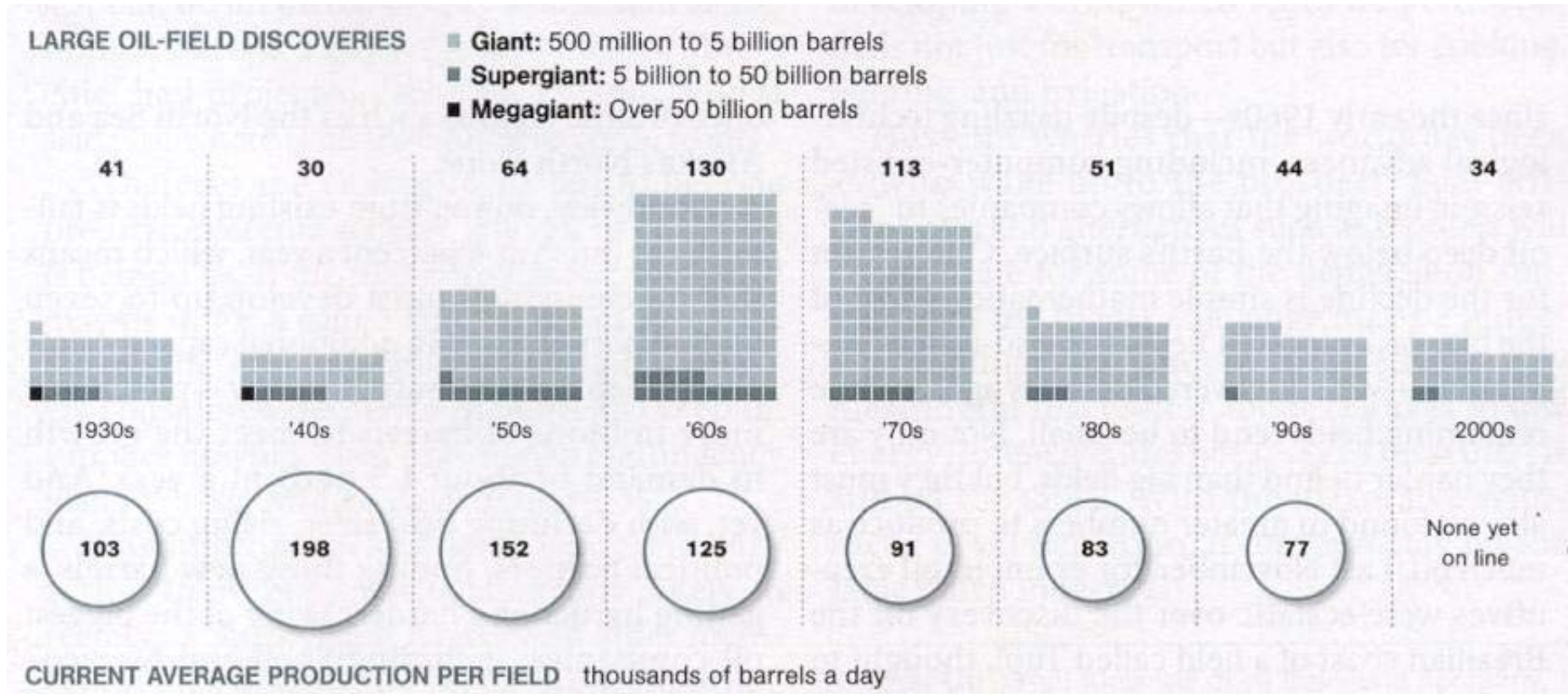
배 경

- ❑ 원유의 고갈 (peak oil), 기후변화 대응의 강제적 이행조치 가능성
- ❑ 최근 고유가, 석탄가격의 1년 사이 3배 상승 등 에너지원 확보 어려움
가중. 원유가 \$150/배럴 이상에서는 대량 확보된 어느 에너지원도
경제성 확보가 가능
- ❑ 재생가능에너지원의 대규모 경제적 사용에는 30년 이상 소요 예상
- ❑ 2013년 이후 한국도 기후변화 의무감축국가로 편입 가능성
- ❑ 바이오매스, 폐기물의 에너지 활용 필요성 공감대가 국제적으로 형성
[폐기물 = 에너지원]
- ❑ 초기 시장 형성단계에서 각국 정부의 incentive, tax credit에 의해
바이오매스, 폐기물 에너지가 활성화되고 있는 단계
- ❑ 국내 관련 상용급 기술의 부족, 국내 원천기술 확보 필요성 증대
- ❑ 환경부의 2020년까지 가연성폐기물 전량 에너지화 목표

원유의 Peak Oil 도래 : 이제는 현실



유전 발견 규모/빈도 추이



◆ 석탄과 폐기물 에너지원의 대체원유 생산원료로 활용 등 고부가가치화 기술의 부각 가능성 높음.

전세계 석탄 자원의 사용 가능량

□ 2002년말 확인된 전세계 지역별 석탄매장량 (백만톤)

	Hard Coal	Brown Coal	Total
OECD Europe	22 420	17 041	39 461
OECD North America	218 818	35 614	254 432
OECD Pacific	39 677	38 033	77 710
OECD	280 915	90 688	371 603
Transition economies	208 762	38 872	247 634
<i>of which Russia</i>	<i>146 560</i>	<i>10 450</i>	<i>157 010</i>
China	95 900	18 600	114 500
East Asia	3 053	4 330	7 383
South Asia	90 146	5 350	95 496
<i>of which India</i>	<i>90 085</i>	<i>2 360</i>	<i>92 445</i>
Latin America	19 769	124	19 893
<i>of which Brazil</i>	<i>10 113</i>	<i>-</i>	<i>10 113</i>
Africa	50 333	3	50 336
Middle East	419	-	419
World	749 297	157 967	907 264

Source: World Energy Council (2003).

□ 전세계 2002년 사용량과 2030년도 예측 석탄 필요량 및 발전에 사용되는 비중 (백만톤)

	2002		2030		Average annual rate of growth in demand, 2002-2030 %
	Million tonnes	Coal's share of electricity generation %	Million tonnes	Coal's share of electricity generation %	
OECD North America	1 051	46	1 222	40	0.5
OECD Europe	822	29	816	24	0.0
OECD Pacific	364	36	423	29	0.5
OECD	2 237	38	2 461	33	0.3
Russia	220	19	244	15	0.4
Other transition economies	249	27	340	18	1.1
Transition economies	469	22	584	16	0.8
China	1 308	77	2 402	72	2.2
East Asia	160	28	456	49	3.8
South Asia	396	60	773	54	2.4
Latin America	30	4	66	5	2.8
Middle East	15	6	23	5	1.6
Africa	174	47	264	29	1.5
Developing countries	2 085	45	3 984	47	2.3
World	4 791	39	7 029	38	1.4
<i>European Union</i>	<i>767</i>	<i>31</i>	<i>716</i>	<i>25</i>	<i>-0.2</i>

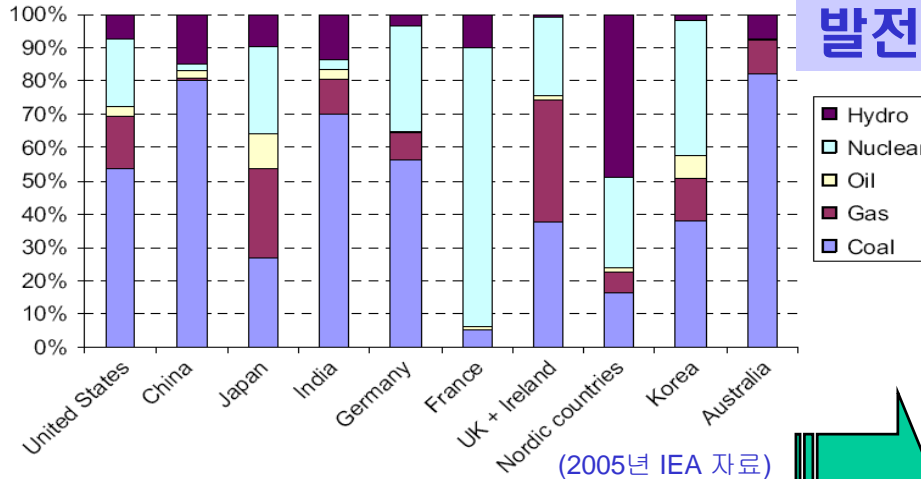
* Including hard coal (steam coal and coking coal), brown coal and peat.

□ 사용 가능 Year : $907,264 / 4,791 = 189.4$ 년
(2002년말 확인 가채매장량 / 2002년 사용량 기준)

화력발전 CO₂ 문제는 전세계 주요국 공통문제, 한국의 대응은?

전력생산에서 석탄 비중

일본	28%
한국	31%
미국	50%
인도	70%
중국	80%
호주	82%

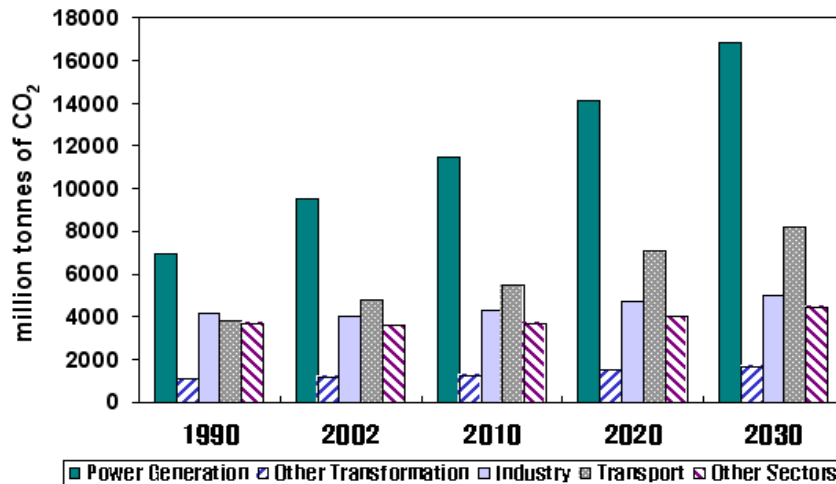


EU는 2009년부터 신규 석탄화력 발전소에 CCS 검토 의무화 추진

대응 방안 ?

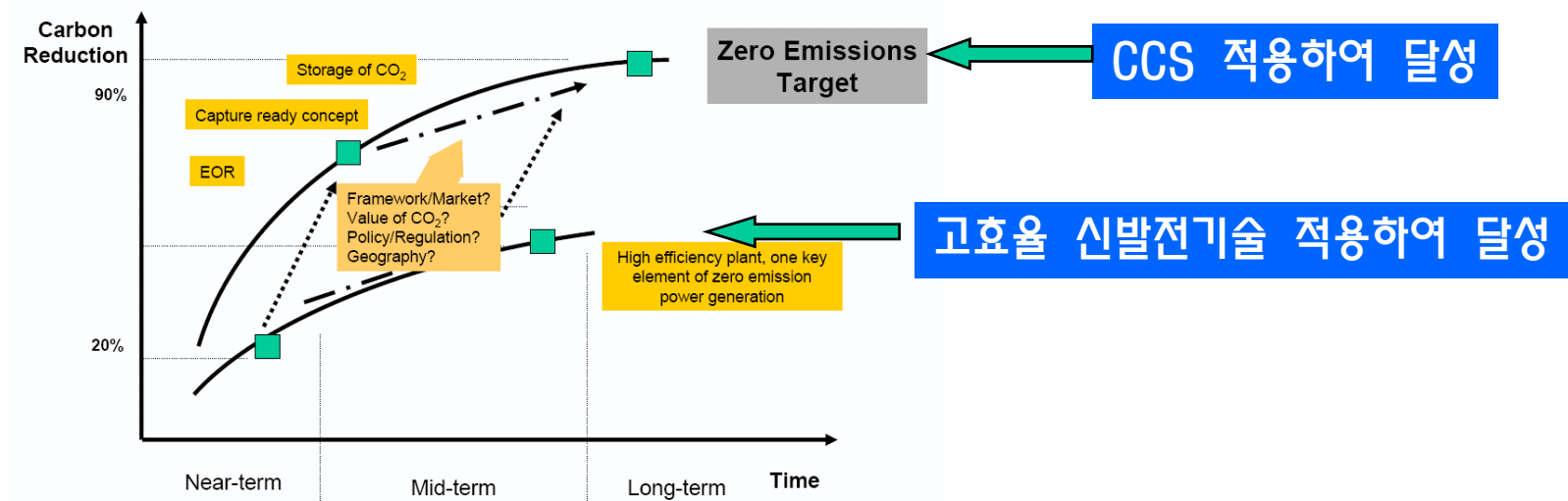
-고효율, CO₂ 포집 유리한
신석탄발전 기술개발, 확대 적용

전세계 가장 큰 CO₂ 발생원은 전력생산 부문
[전세계 발생량의 약 30%]



석탄 화력발전에서 CO₂ 대응 전략

세계적 추세는 장기적으로 CO₂ 무배출 (Zero Emission) 화력발전 기술개발, 적용

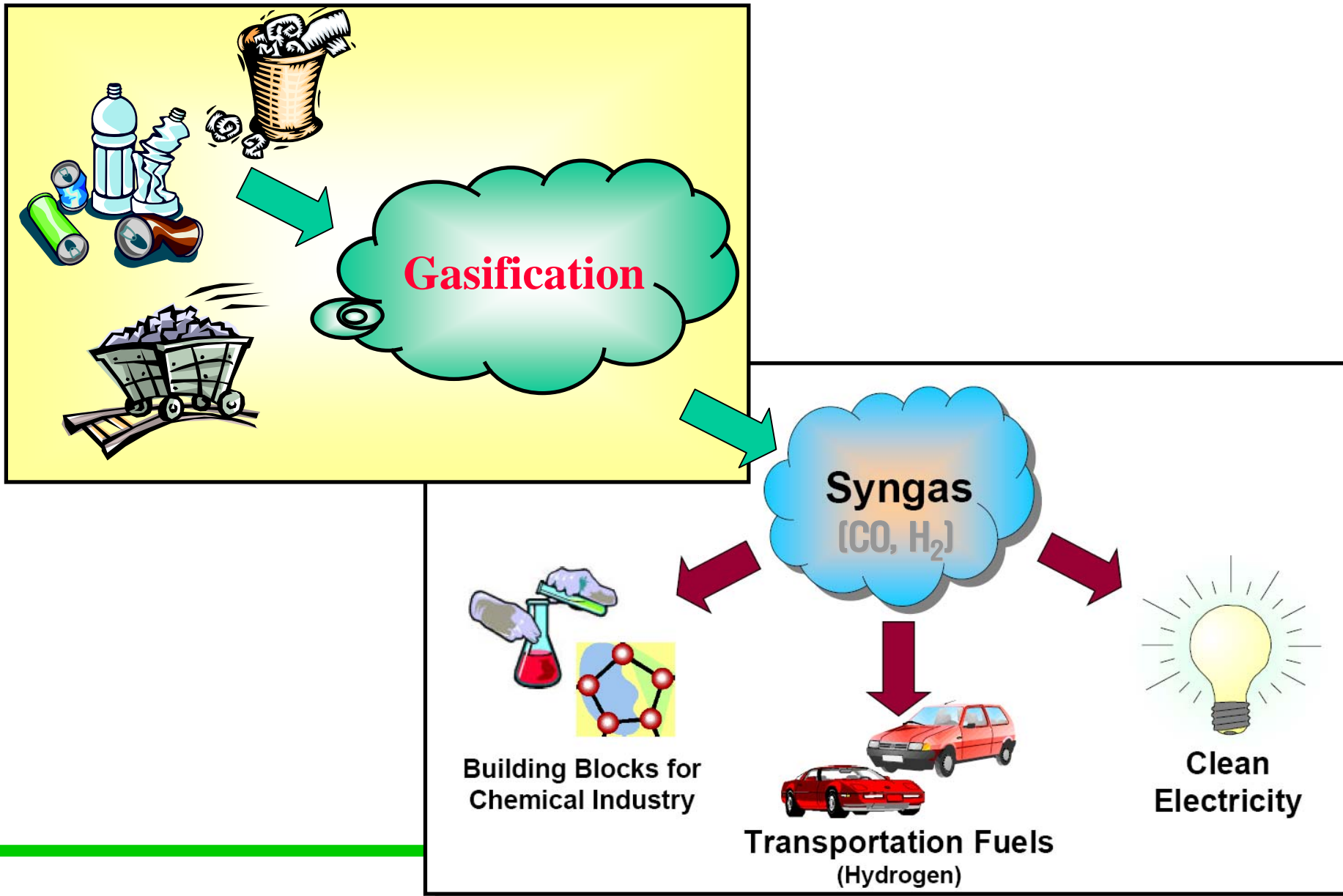


대응 전략

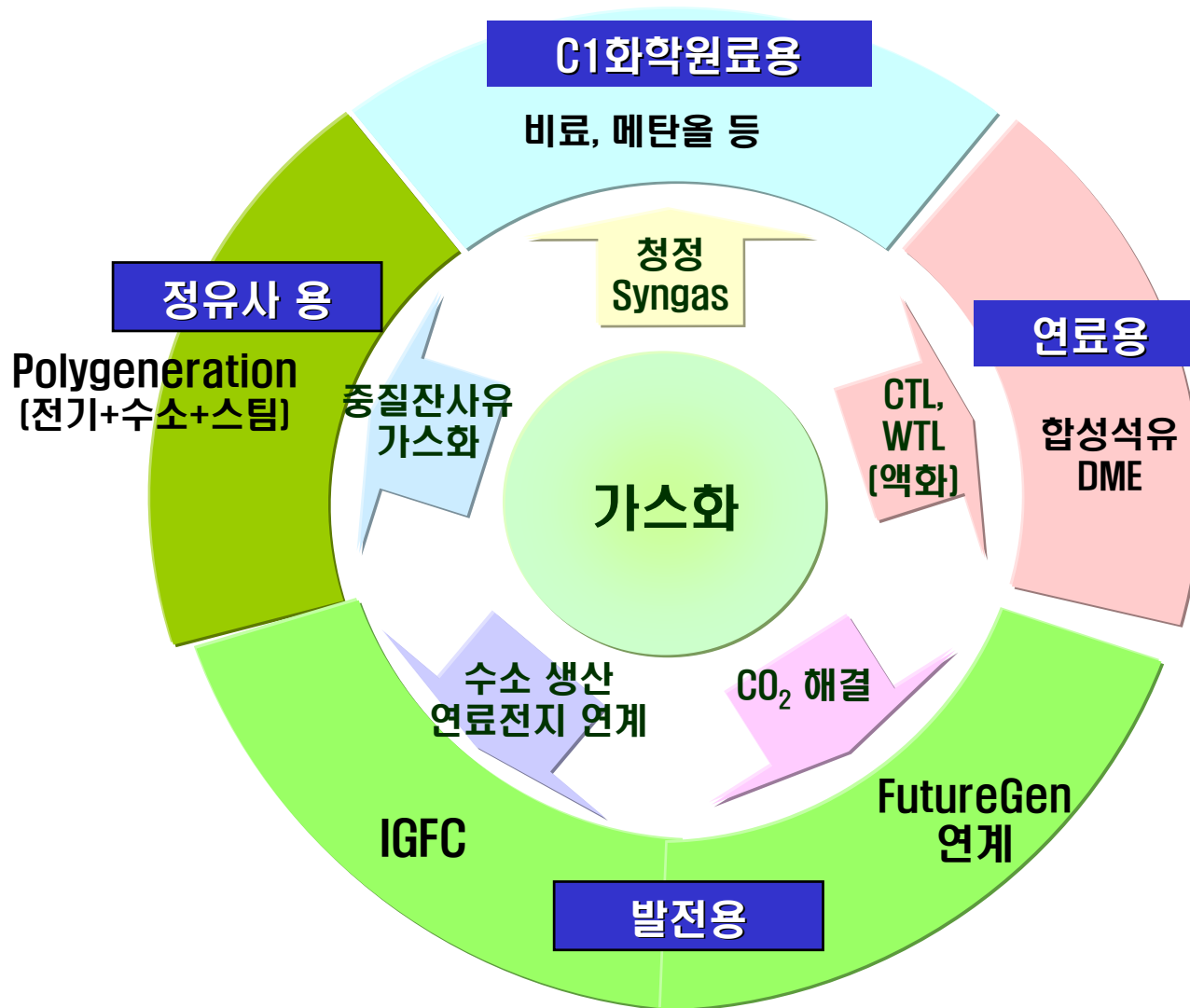
- ✓ 중단기 전략 : **IGCC** 등 고효율 CO₂ 대응 화력발전기술 적용
- ✓ 중장기 전략 : 기존 화력발전소, 신석탄발전소에 **CCS** 적용 추진

한반도 인근국가들간 국제협력 필요

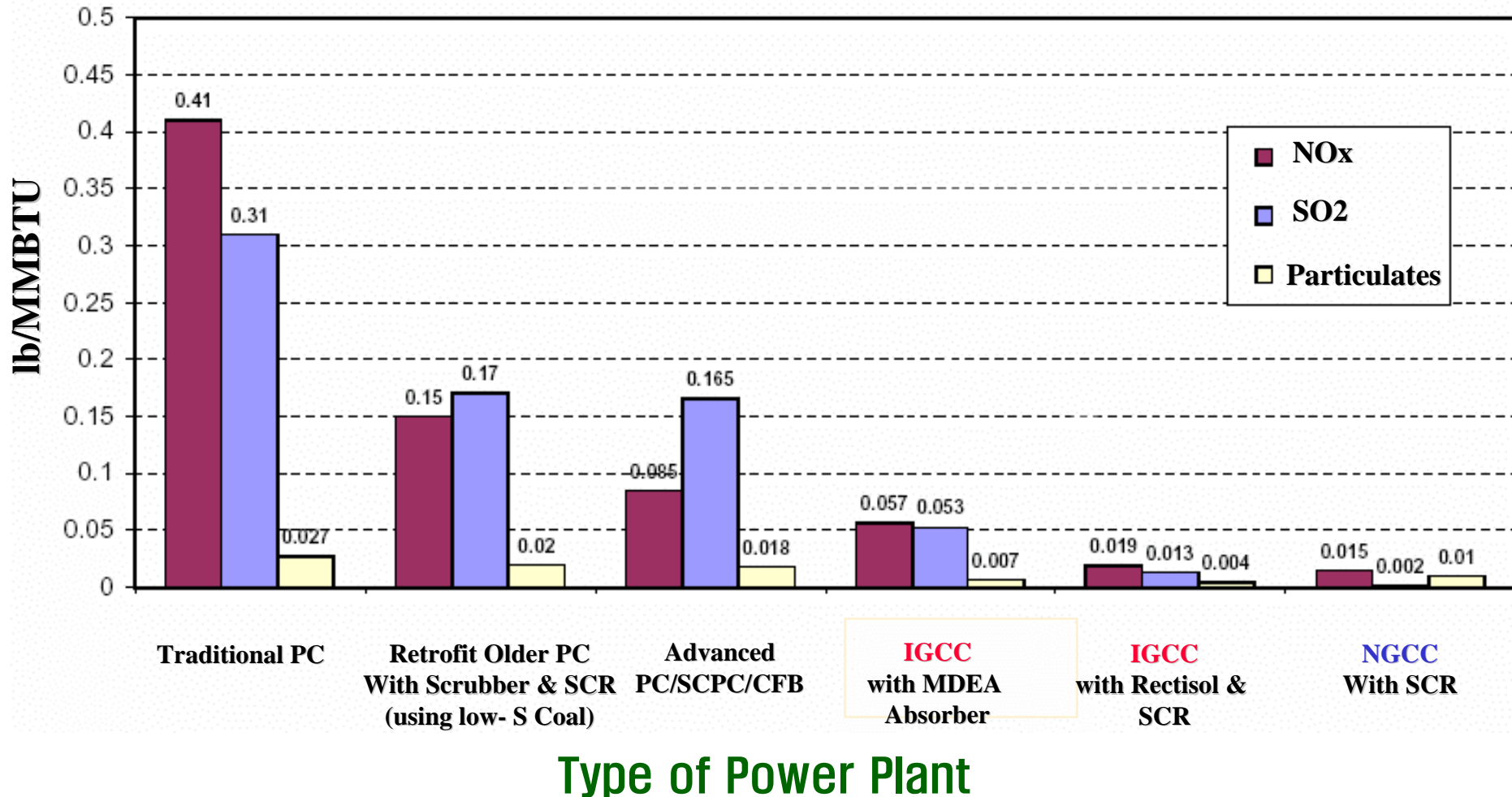
가스화 (Gasification) ?



가스화 합성가스 활용 Route



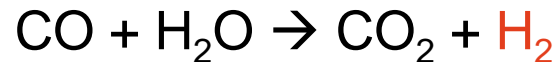
대표적인 화력발전 기술별 공해물질 배출량의 비교



원료 내 함유수분의 소각(연소),가스화 과정에서의 역할 차이

- 소각 (연소) : 수분은 에너지 소모 대상

- 가스화 : 수분은 가스화반응 원료



- 일반적인 상용 가스화 공정에서의 공급 수분량

석탄 : 5-10% steam/feed (wt/wt)

중질잔사유 : 30-50% steam/feed (wt/wt)

(cf. 국내 생활폐기물 함유 수분 : 15-50%)

냉가스효율 (Cold Gas Efficiency)의 정의

□ 정 의

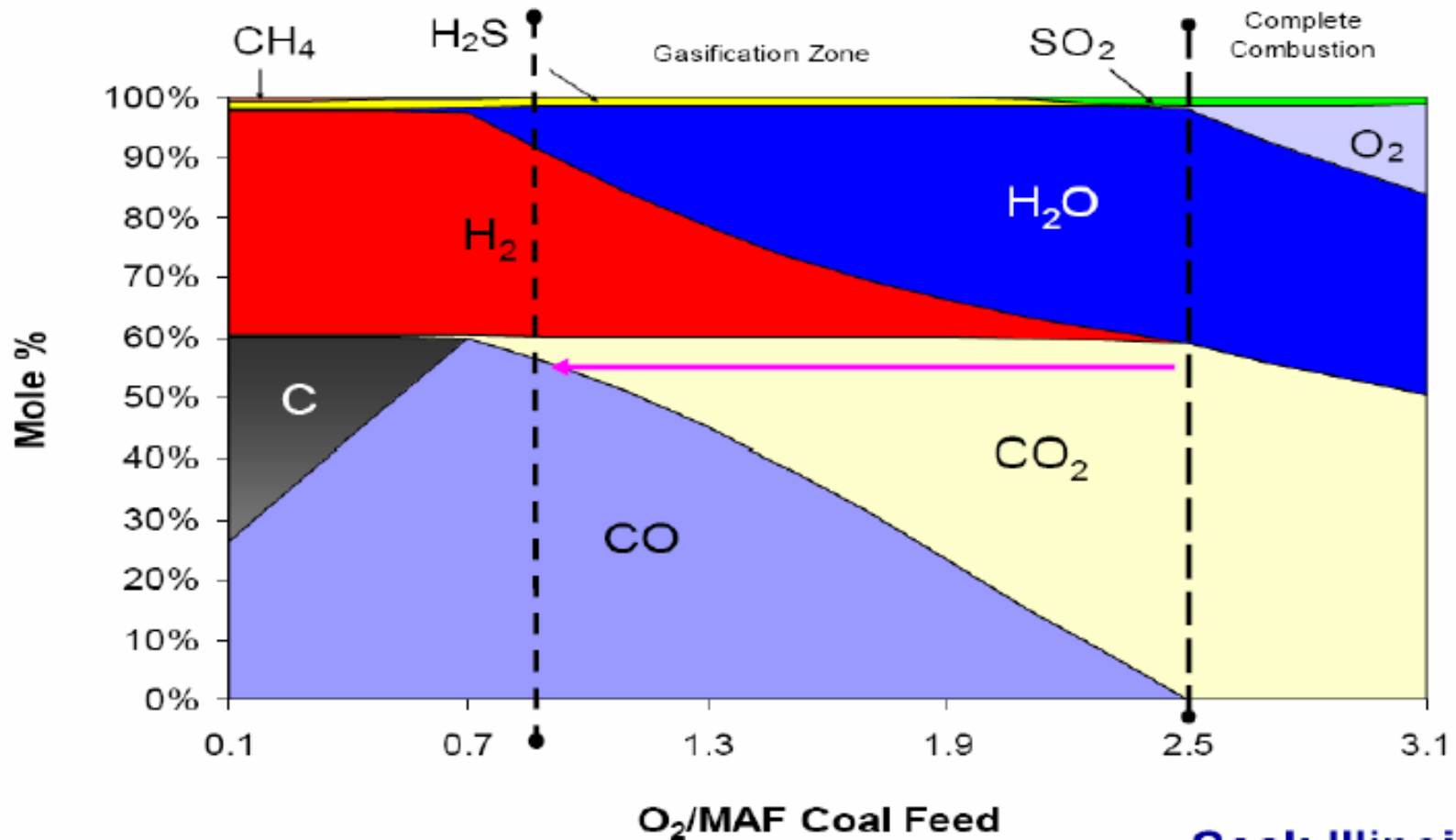
$$\bullet \text{ 냉가스효율} = \frac{\text{생성가스 유량 (m}^3\text{/h)} \times \text{생성가스 발열량 (kcal/m}^3\text{)}}{\text{가스화용 투입시료량 (kg/h)} \times \text{시료발열량 (kcal/kg)}}$$

□ 석탄가스화 경우 : 75-85% 범위

□ 생활폐기물 가스화 경우 :

- **경남 Y시 생활폐기물** (고위발열량 기준)
 - Input energy: (113 kg/h x 2,167 kcal/kg) + (15 Nm³/h x 23,684 kcal/m³)
 - Output energy: 210 Nm³/h x (3021x0.25+3050x0.25)
 - 냉가스효율 53.1%
- **경기 S시 생활폐기물** (고위발열량 기준)
 - CO 32%, 수소 30% 발생
 - 냉가스효율 65.8%

열역학 평형계산에 의한 합성가스 조성



해외 신석탄발전 + CCS 현황

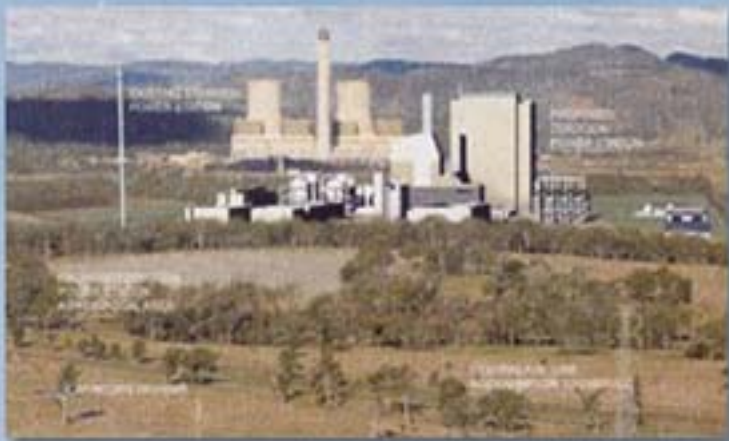
미국 Restructured FutureGen 프로젝트 [신석탄발전 300 MW + CCS]



중국 GreenGen 프로젝트 [석탄 IGCC 200MW + CCS]



호주 ZeroGen 프로젝트 [석탄 IGCC 100MW + CCS]



인도 : 석탄 IGCC 100 MW 자체기술로 건설

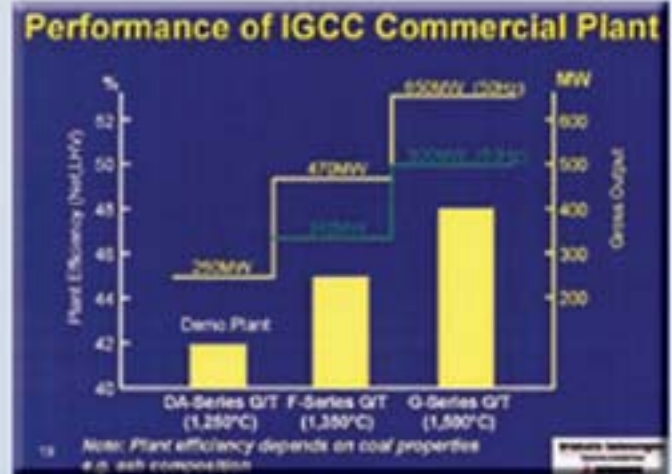


일본 석탄 IGCC 현황

- 일본정부와 미쓰비시중공업 주도로 250 MW 실증사업 운전과 병행, 자체기술로 340 ~ 500 MW급 석탄IGCC 2012년부터 운전 계획
- 공기사용 아시아시장 대상, 저가 대용량 IGCC 기술개발에 주력

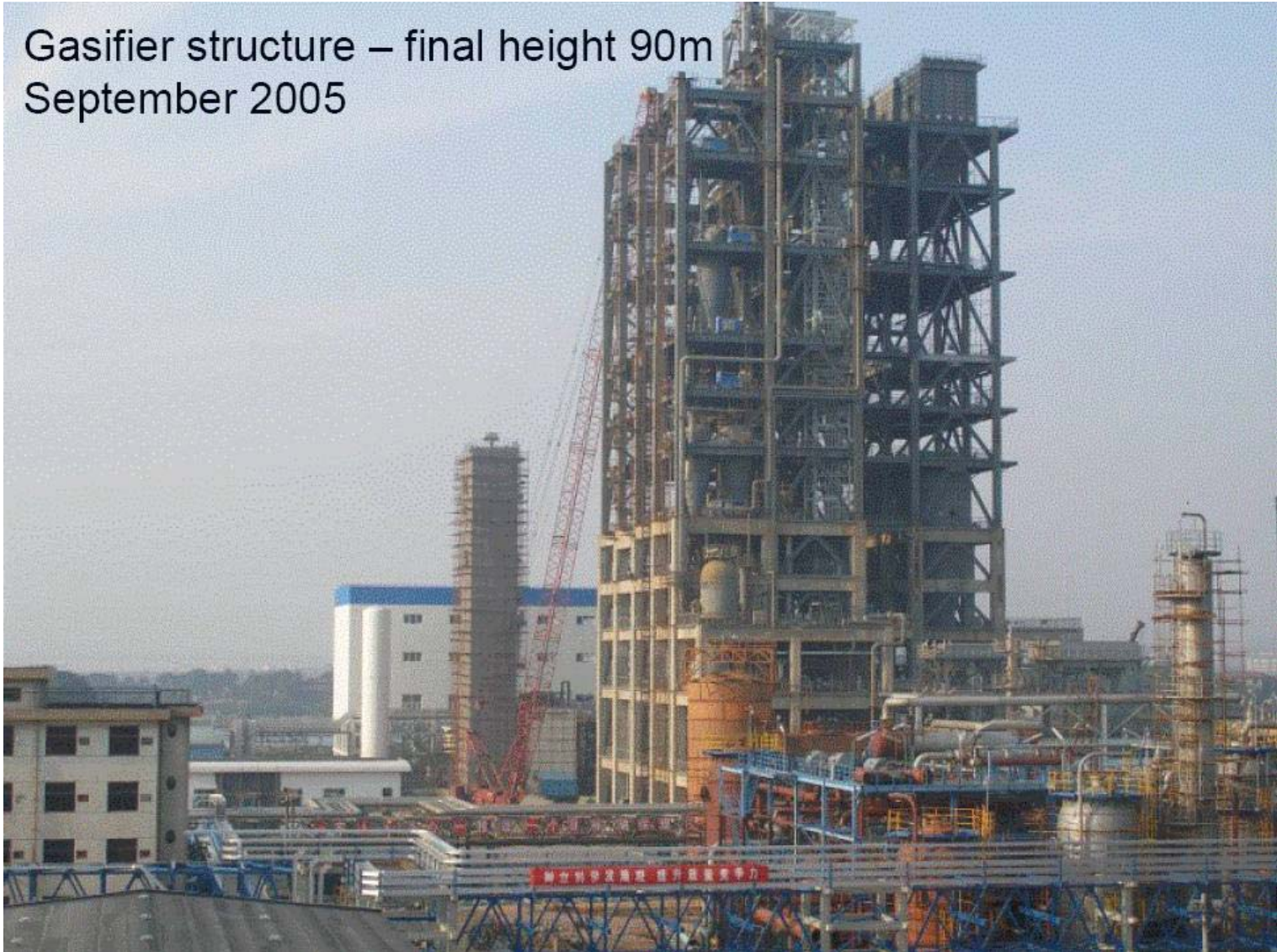


일본 250 MW 석탄IGCC 실증플랜트



중국 Dongting 2,000톤/일급 석탄가스화 플랜트

Gasifier structure – final height 90m
September 2005



2000년 이후 해외 석탄 가스화 플랜트 건설 추세

최종 생산물 특징

- ❖ 선진국은 전기 생산, 인조석유 생산 시작단계.
- ❖ 중국은 화학원료 생산이 주 품목

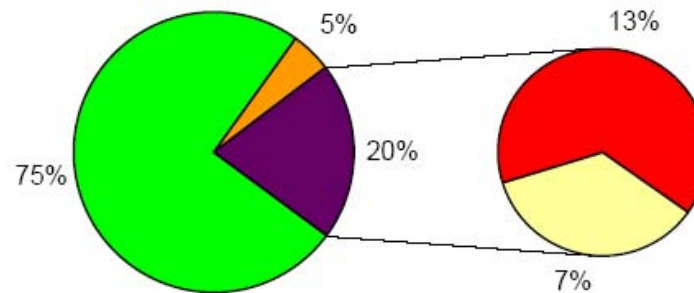
Plant Name	Year	Region	Country	Technology Name	Main Product	Feed Class
Puyang Ammonia Plant	2000	Asia/Australia	China	Sasol Lurgi Dry Ash Gasification Process	Chemicals	Coal
Sanghi IGCC Plant	2002	Asia/Australia	India	GT(IGT) U-GAS Gasification Process	Power	Coal
Hefei City Ammonia Plant	2000	Asia/Australia	China	GE Gasification Technology	Chemicals	Coal
Sulcis IGCC Project	2006	Europe	Italy	Shell Gasification Process	Power	Coal
Thermoselece Vresova	2005	Europe	Czech Republic	GSP Gasification Process	Power	Coal
Dong Ting Ammonia Plant	2005	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
Hubei Ammonia Plant	2005	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
Mesaba Energy Project	2009	North America	United States	E-GAS (Destec/Dow) Gasification Process	Power	Coal
Steelhead Energy	2010	North America	United States	E-GAS (Destec/Dow) Gasification Process	Power	Coal
Rentech & Royster Clark	2009	North America	United States	E-GAS (Destec/Dow) Gasification Process	FT liquids	Coal
[no name]	2001	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2005	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2005	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2005	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2005	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2005	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2006	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2006	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2006	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2006	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2006	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
[no name]	2007	Asia/Australia	China	Shell Gasification Process	Chemicals	Coal
China 1	2005	Asia/Australia	China	GE Gasification Technology	Chemicals	Coal
China 2	2005	Asia/Australia	China	GE Gasification Technology	Chemicals	Coal
China 5	2006	Asia/Australia	China	GE Gasification Technology	Chemicals	Coal
Jinling	2005	Asia/Australia	China	GE Gasification Technology	Chemicals	Coal
China 4	2005	Asia/Australia	China	GE Gasification Technology	Chemicals	Coal
China 3	2005	Asia/Australia	China	GE Gasification Technology	Chemicals	Coal
Haolianghe Ammonia Plant	2004	Asia/Australia	China	GE Gasification Technology	Chemicals	Coal

습식 석탄 IGCC 플랜트 설비 배치 (GE Energy, Tampa IGCC 예)

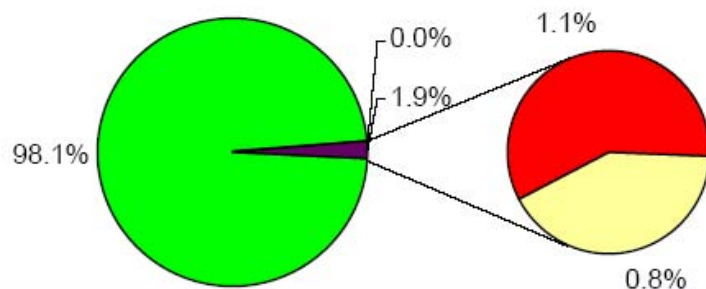


현재 운영중인 상용급 석탄 IGCC 플랜트 Reliability 현황

Plant A (스페인 Puertollano IGCC)



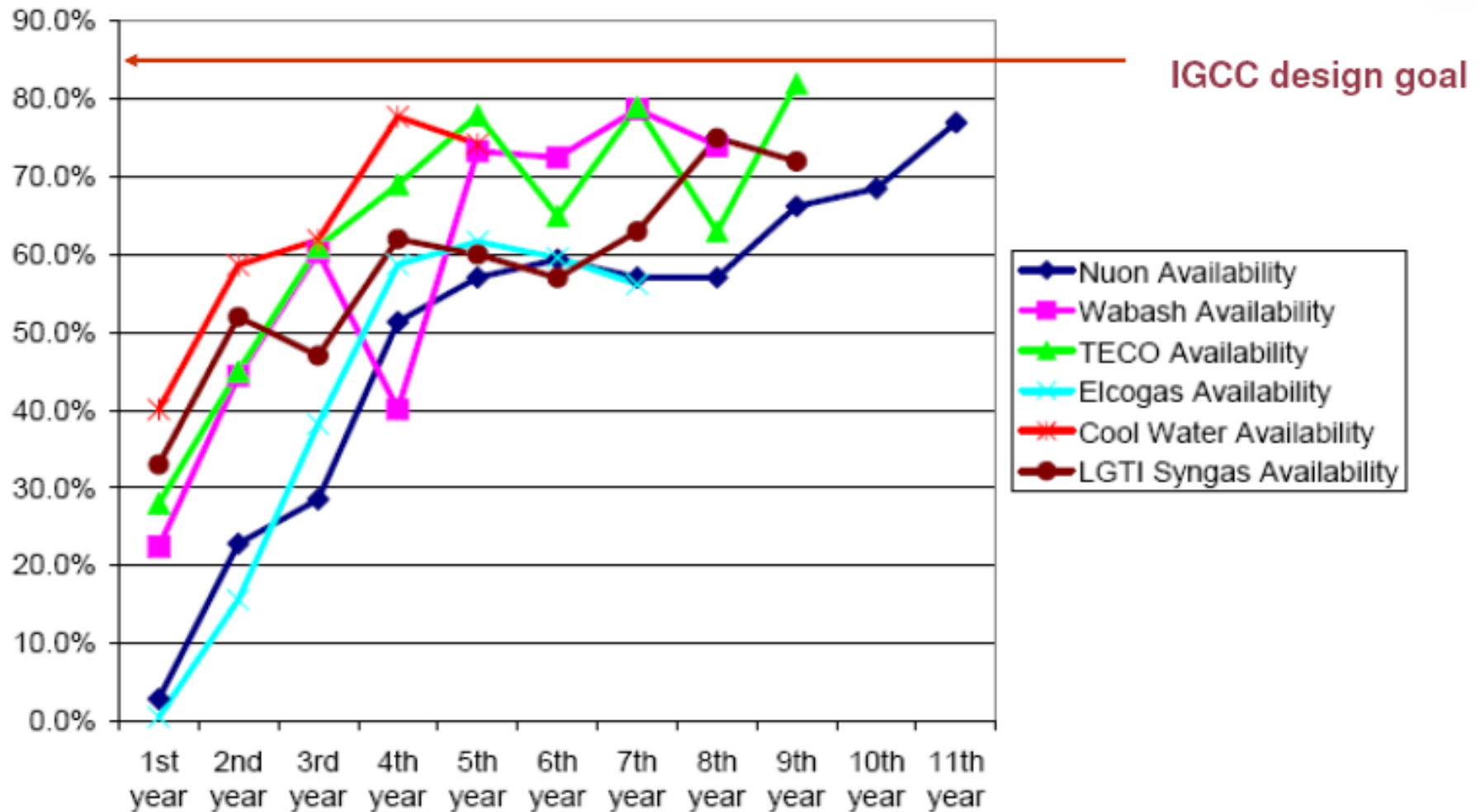
Plant B
(미국 Wabash IGCC)



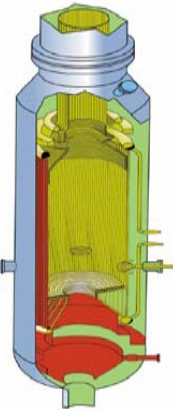
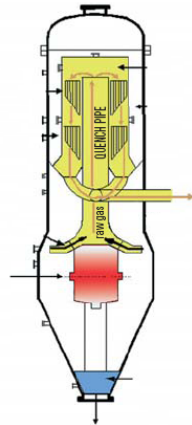
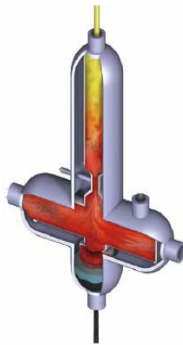
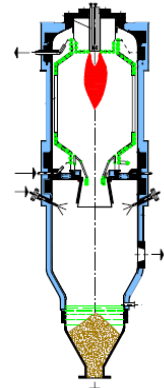
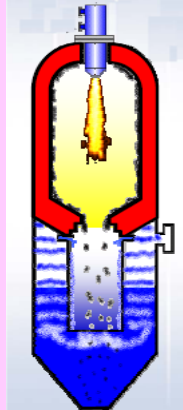
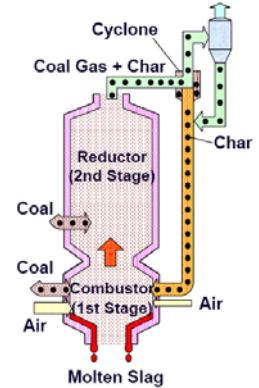
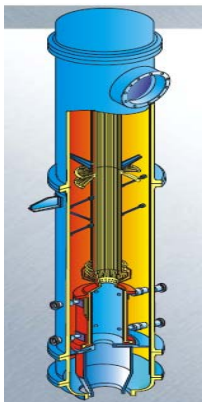
- On stream
- Not required/despached
- Planned outage
- Unplanned outage

IGCC 플랜트 Availability 이력

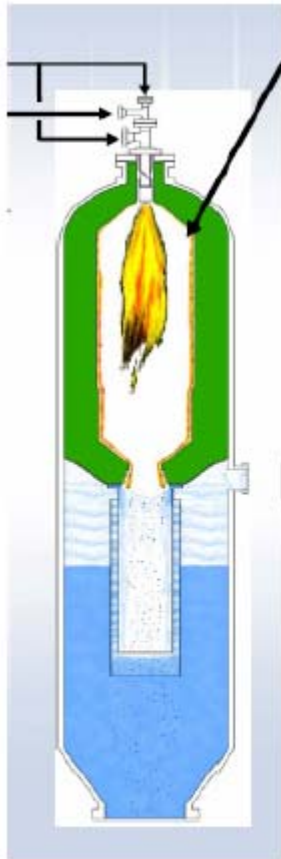
[Back-up 연료 사용 운전기간 제외 경우]



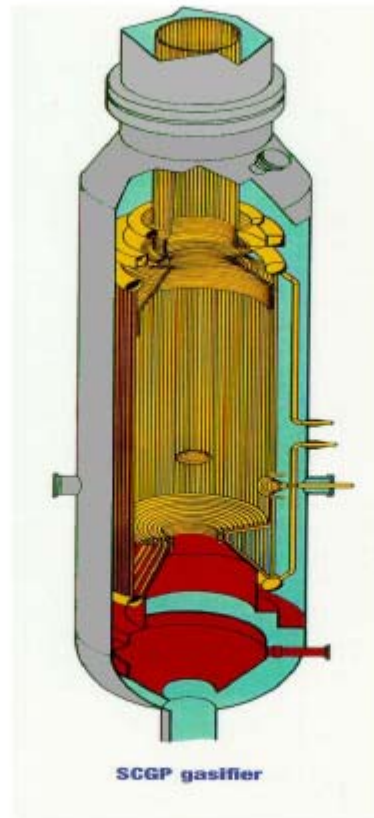
석탄 가스화기의 종류

	Shell	Plenflo (Shell과 합병)	Conoco (E-gas)	GSP	GE Energy (Texaco)	CRIEPI/MHI	HITACHI (EAGLE)
형식	1단 1실	1단 1실	2단 2실	1단 1실	1단 1실	2단 2실	2단 1실
석탄 공급	건식	건식	습식	건식	습식	건식	건식
가스화제	산소	산소	산소	산소	산소	산소부화공기	산소
공급	Side	Side	Side	Top	Top	Side	Side
버너	4	4	2+1	1	1	?	4+4+2+2
Wall	Membrane	Membrane	Refractory	Membrane	Refractory	Membrane	Membrane
개념도							

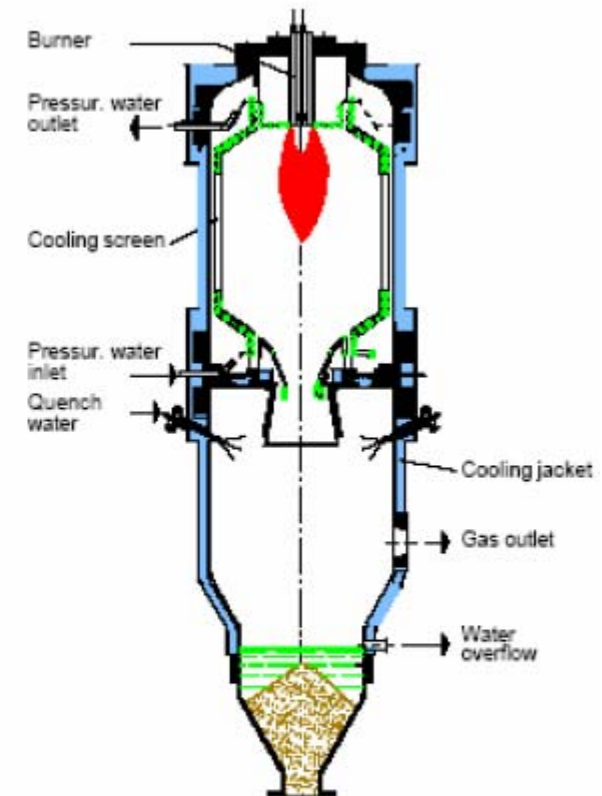
-중국: 일본기술 copy 개발 중. -호주: Shell기술도입 건설예정. -대만: IAE형태 파일롯설비 운영중.



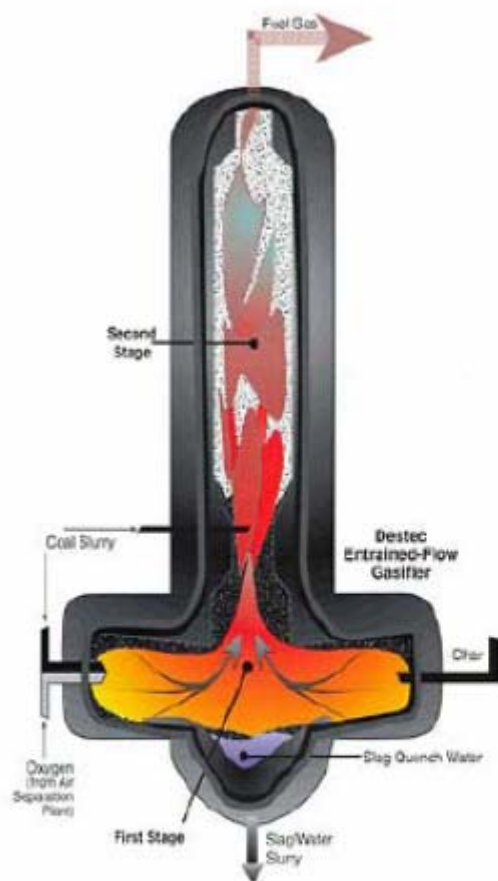
GE
Direct Quench



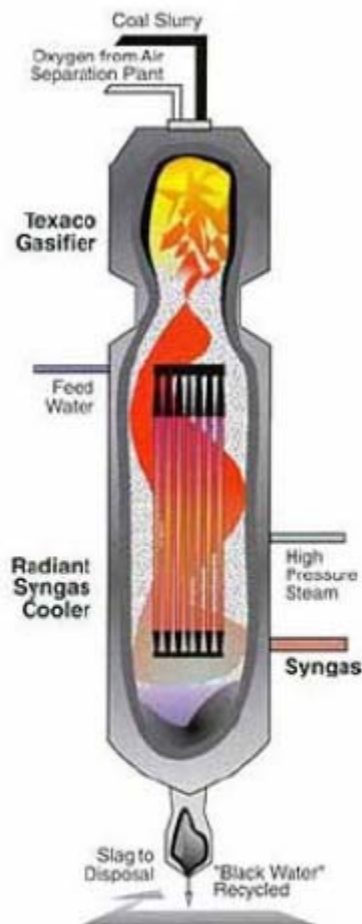
Shell



Siemens



**ConocoPhillips
E-Gas**

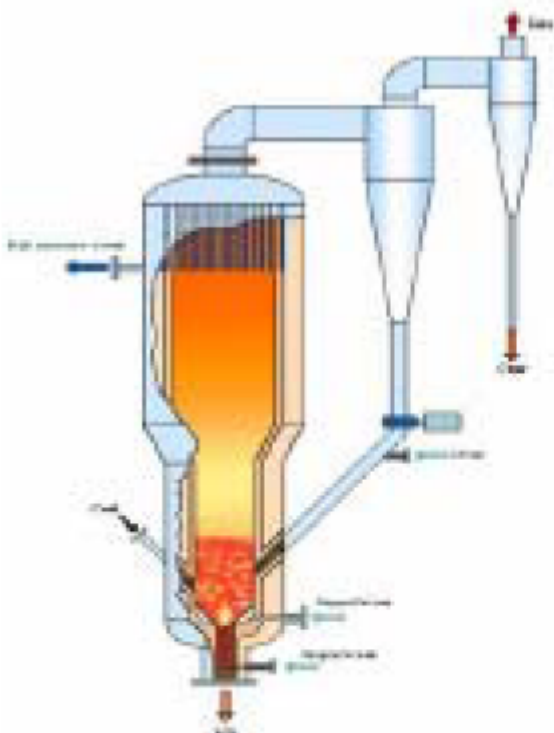


**GE
Radiant Boiler**

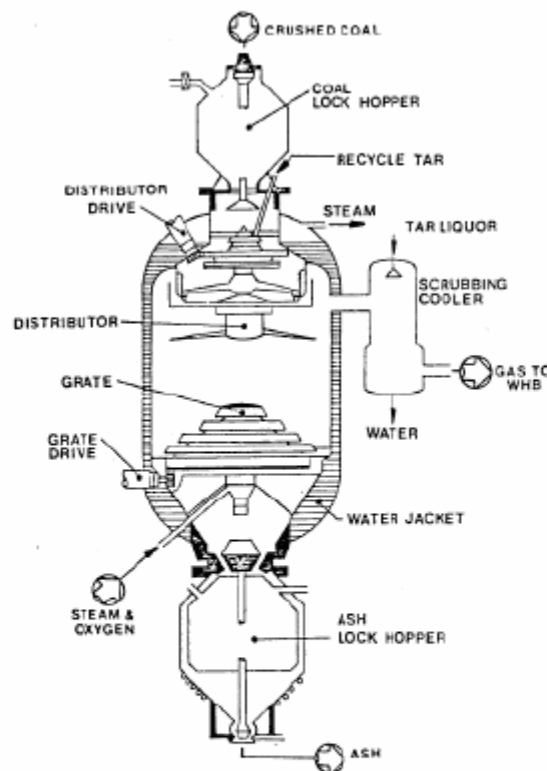


**East China University
of Science and Technology**

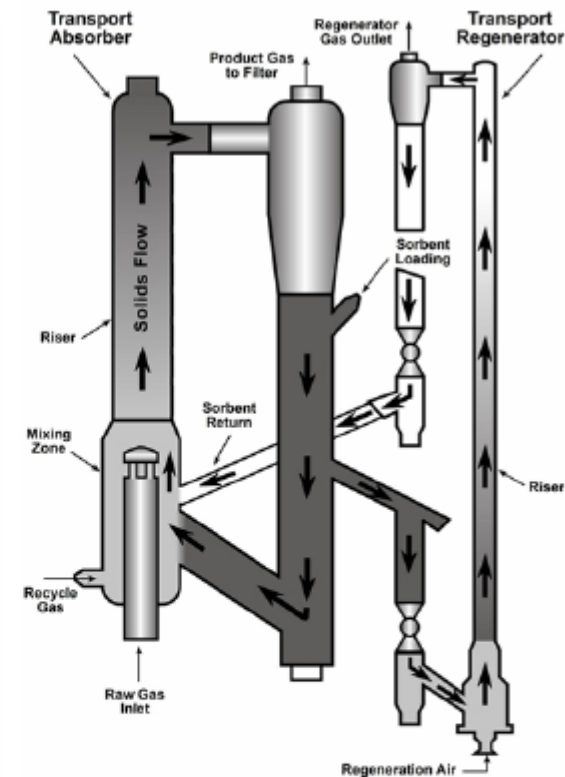
IAE



**SES U-Gas
Fluid Bed**



Lurgi Moving Bed



**KBR/Southern
Transport
Gasifier**

석탄가스화기 설계 options

❑ 건식 vs. 습식

- ✓ 습식가스화기는 유연탄에 주로 사용.
- ✓ 아역청탄/갈탄은 가스화 적용 곤란.
- ✓ 건식가스화기가 더 고가, 고효율

❑ 분류층 vs. 유동층 vs. 고정층

❑ Top-feeding vs. Side-feeding

❑ 운전 압력 : 가스터빈 압축비가 주요 인자

❑ 가스화에 유리한 석탄 :

- ✓ 회분함량이 수% 함유, 10% 이내로 높지 않은 석탄.
- ✓ 휘발분 함량이 높을 수록 반응성 측면에서 유리함.

상업용 석탄 IGCC플랜트 가스화기 운전압력

Wabash	Destec	습식공정	22 bar
Tampa	Taxaco	습식공정	24 bar
Buggenum	Shell	건식공정	27.2 bar
Puertollano	Prenflo	건식공정	23.1 bar
(Siemens G/T에 적합 압력)			
GEC	Alsthom	air-blown FBC	22 bar

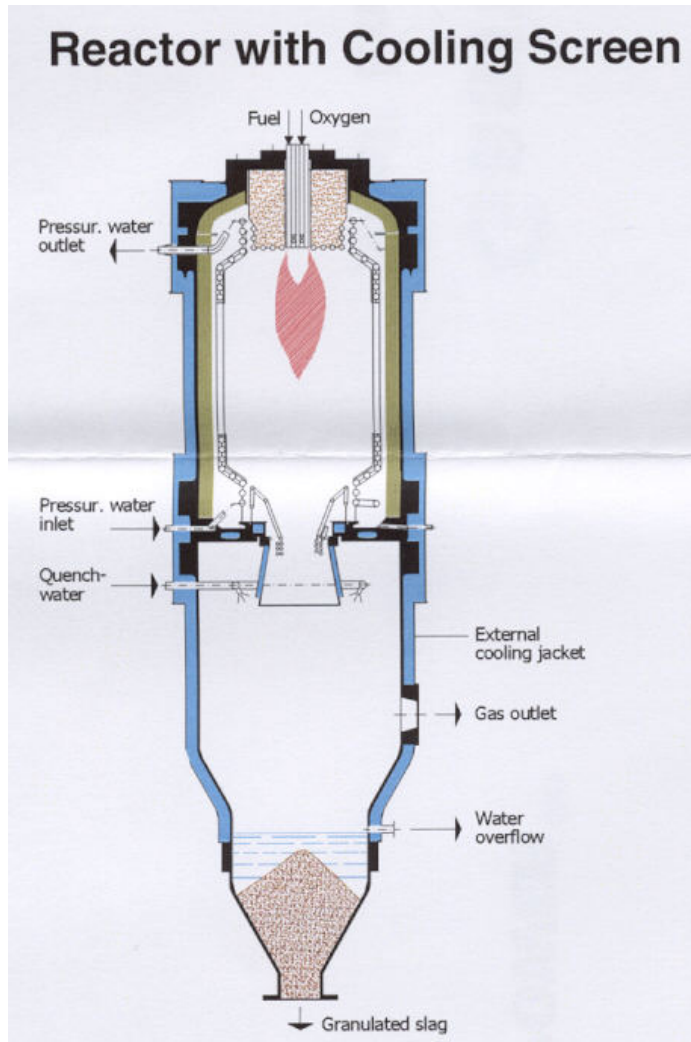
석탄가스화기 vendor별 석탄사용 실적

High Ash Coals	Lignite	Sub-Bituminous	Bituminous Illinois Basin	Bituminous Appalachian	Anthracite & Other Bitum	Petcoke
			Allied Syngas BGL			
			ConocoPhillips E-Gas			
			General Electric			
			KBR Transport			
			Mitsubishi			
			Pratt & Whitney			
			Sasol – Lurgi			
			Shell			
			Siemens SFG			
			Synthesis Energy Systems U-Gas			

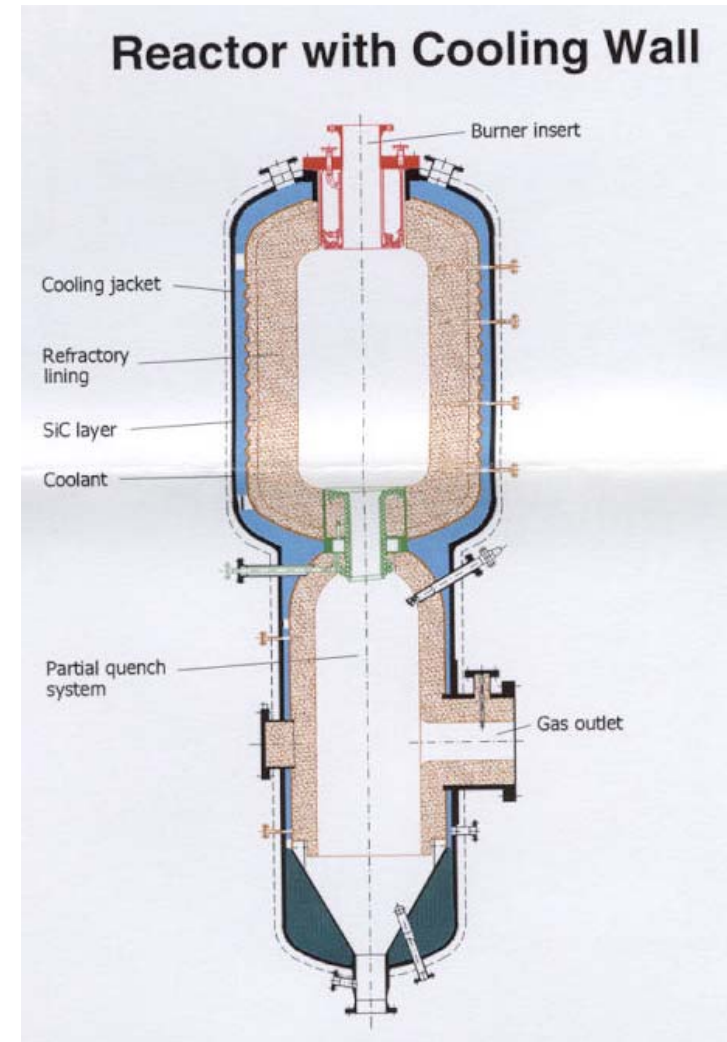
Tested		Blended
Demonstrated (500 TPD or more)		
Million Tons Operation		

분류층 Top-Feeding 가스화기 개념도

(Siemens (구 Future Genenergy) 기술 경우)



Ash-containing Fuel 적용



Non-ash, Low-ash Fuels 적용

Fixed-Bed (고정층) Gasifier Concepts

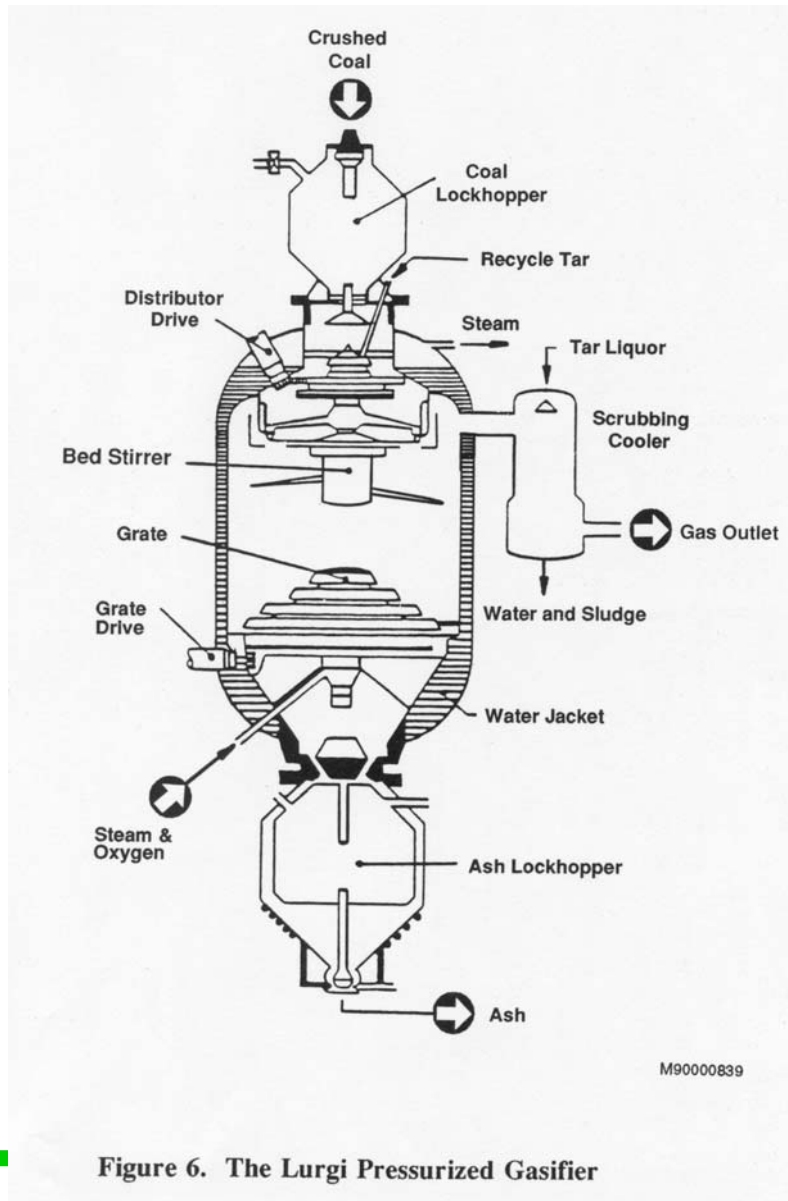


Figure 6. The Lurgi Pressurized Gasifier

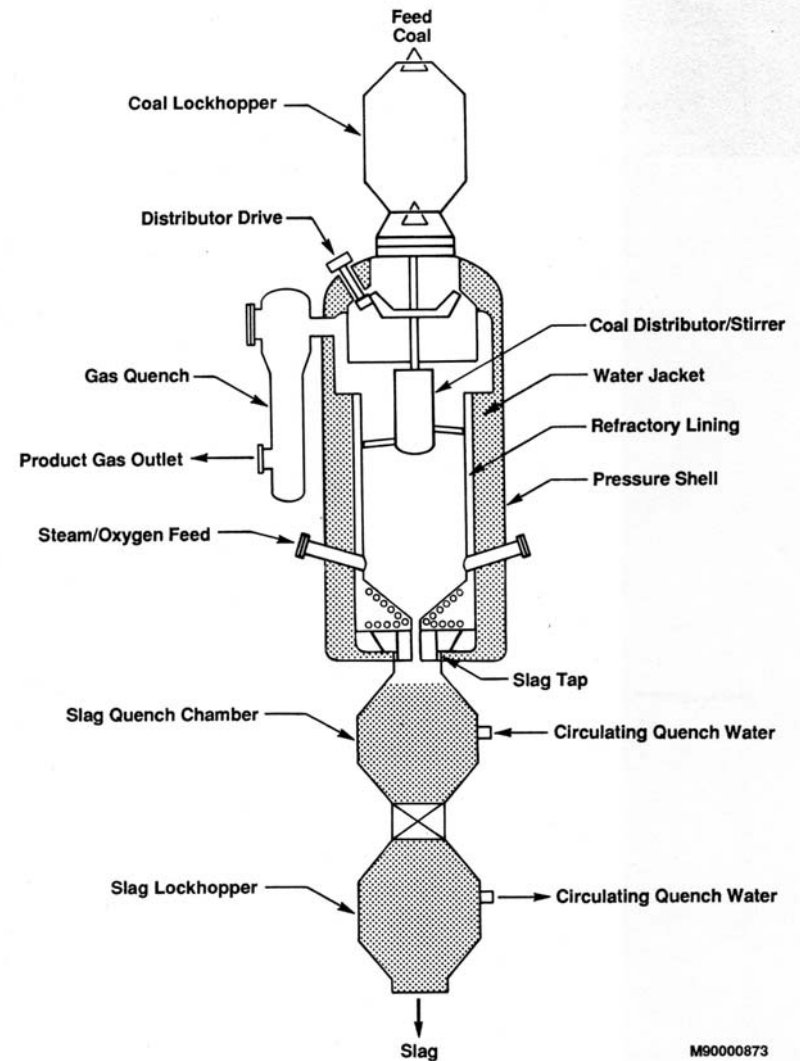


Figure 7. The BGL Gasifier

석탄가스화 생성 슬랙 및 석탄 합성가스 연소 화염



생성 슬랙



석탄 합성가스 연소화염



국내의 생활폐기물 (경기도 S시 예)



바이오매스 원료의 예



Moisture 5.4%
Volatile matter 74.0%
Ash 0.6%
Fixed Carbon 20.0%

C 50.6%
H 6.2%
N 0.04%
S 0.04%
O 42.5%
Ash 0.6%



Moisture 15.0%
Volatile matter 67.2%
Ash 0.04%
Fixed Carbon 17.8%

C 50.4%
H 6.2%
N 0.27%
S 0.08%
O 43.0%
Ash 0.05%



국내 MSW 발열량 변화 추이

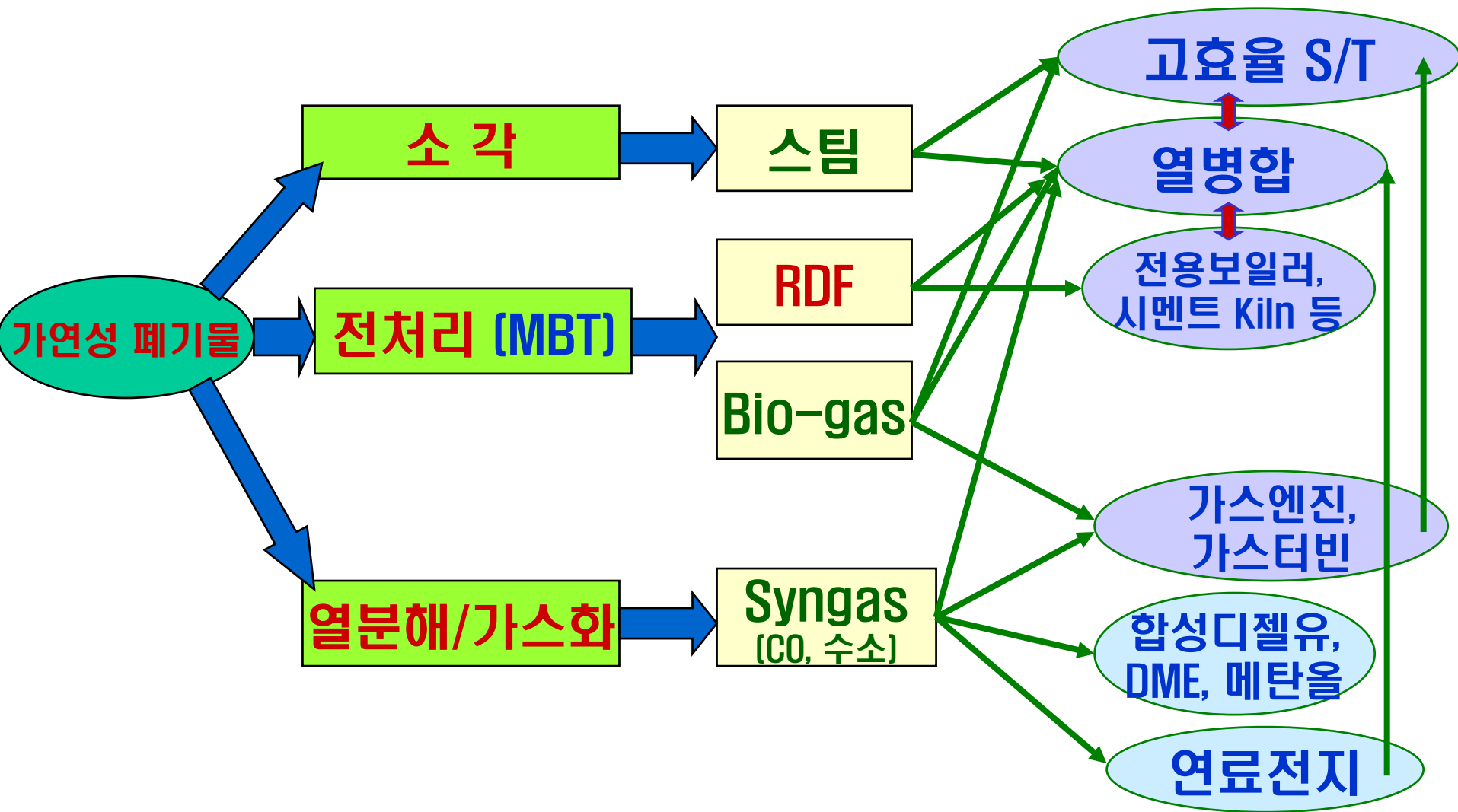
Year	Heating Value (kcal/kg)		Composition (wt%)			No. of plant sites for data collection
	Average	Maximum	Moisture	Combustibles	Ash	
1997	1,496	2,001	54	35	11	10
1999	1,511	2,019	53	36	11	15
2001	1,578	2,981	50	40	10	27
2002	1,945	3,403	47	43	10	29
2003	2,243	3,892	42	46	12	33
2004	2,302	3,340	41	49	10	32
2005	2,541	3,611	38	52	10	33

□ Mainly due to :

- Lower moisture, food wastes
- Higher content of vinyls, plastics, papers, woods/leaves, textiles

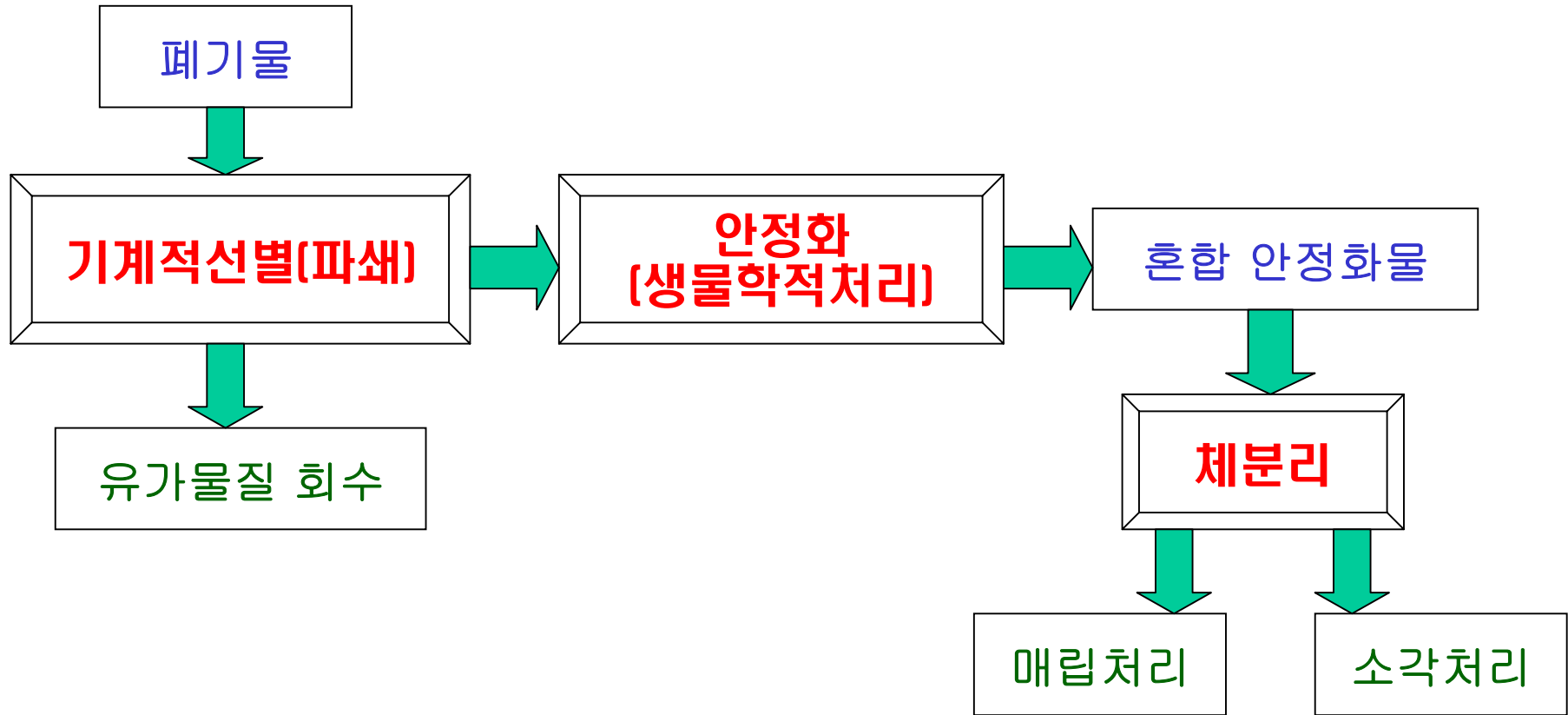
□ Clear trend in moisture, combustibles

폐기물 에너지 활용 주요 기술



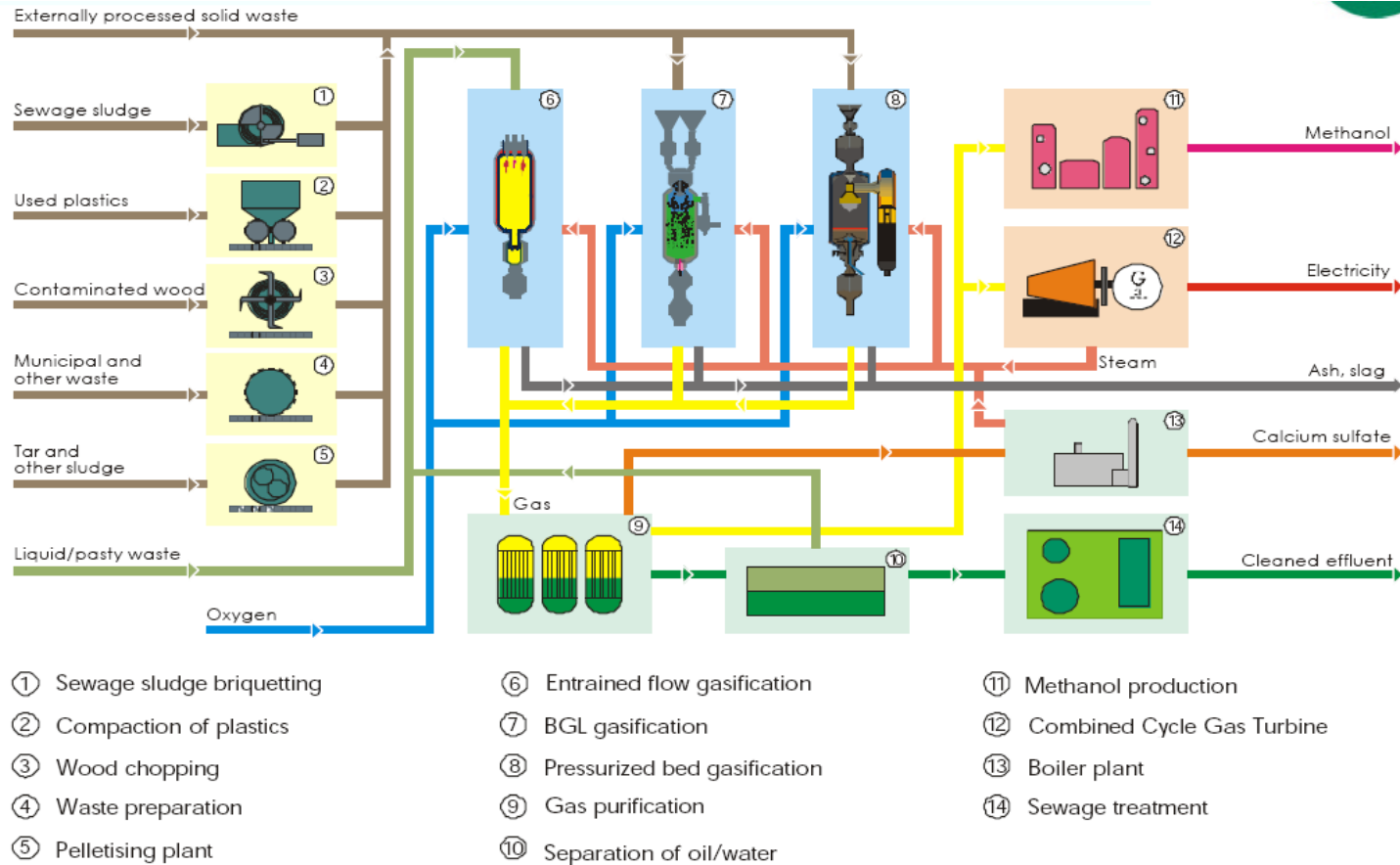
기계적·생물학적 전처리시스템 방식

(MBT: Mechanical Biological Treatment)



- 개념적으로는 MSW 처리에 가장 좋은 접근방법의 하나
- 폐기물을 소각 처리나 최종처분에 앞서서 재활용 가치가 있는 것은 최대한 회수하여 최종 처분에 따르는 매립지나 소각량 등의 환경부하를 감소시킨다는 개념
- 10여년 전부터 독일을 중심으로 유럽에서 확립되어지고 있는 시스템
- NGO와 환경단체들에게 폭넓게 받아들여지는 방식

구동독 Schwarze Pumpe사에서 운영중인 폐기물 혼합 가스화 복합플랜트 구성도

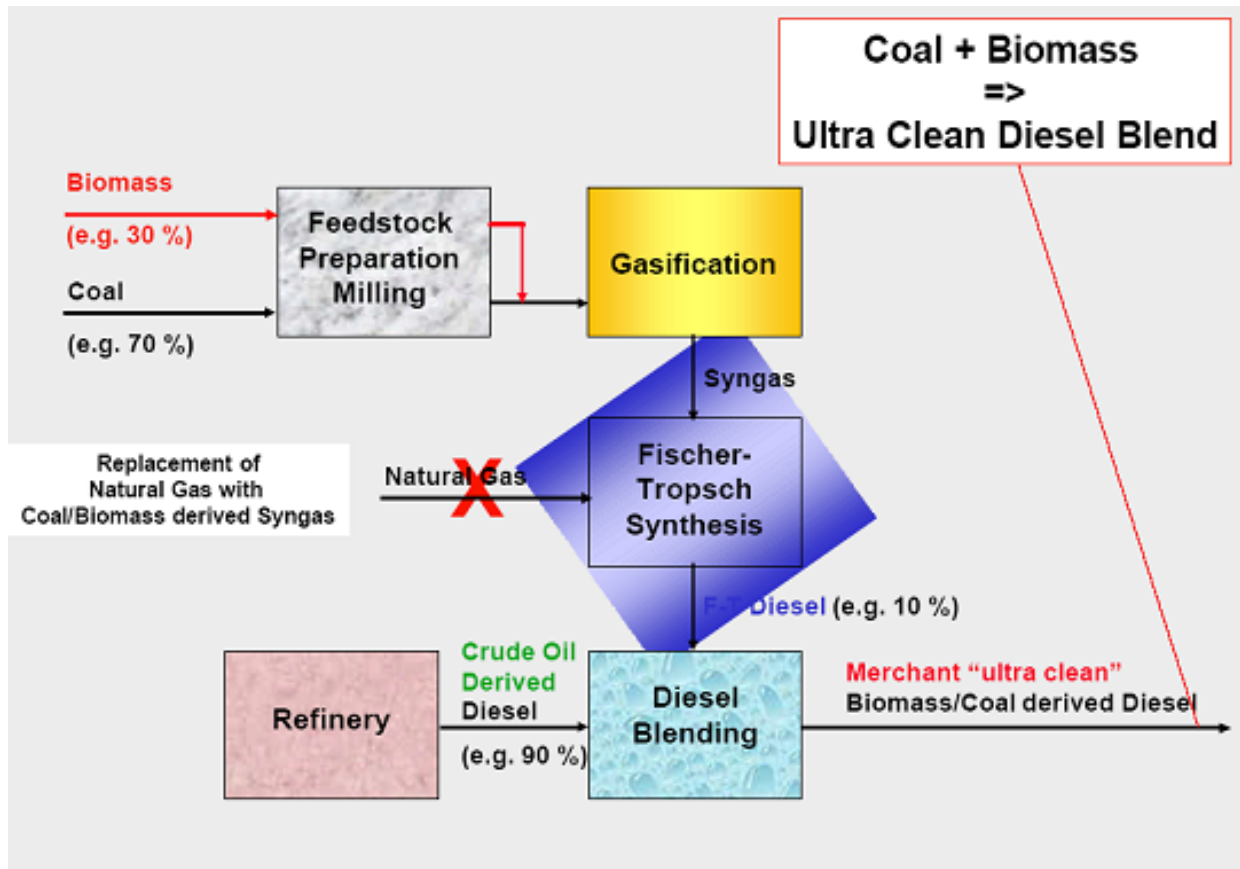


- 일반적으로 경제적 규모가 되기 위해서는 석탄과 중질잔사유는 하루 **2,000톤** 규모, 구동독에서 운영되고 있는 폐기물 혼합물의 경우도 하루 **1,100톤** 규모로서 상업적 가능 규모는 하루 **1,000톤** 이상이어야 됨을 볼 수 있음.
- 국내 폐기물 현황에서 하루 **1,000톤**을 공급하는 것은 어려운 일이므로, 구동독에서의 방식과 같이 여러 폐기물 원료를 같이 사용하는 것이 가장 현실적일 것임.
- 이 플랜트에서는 하수슬러지, 도시폐기물 등 폐기물은 **RDF** 형식의 펠릿으로 만들어져 가스화 원료로 사용되고 있고 전기 생산과 합성디젤유 전단계인 메탄올을 생산하고 있음.

독일 Uhde사의 석탄/폐기물 사용 액체연료 제조 가스화설비

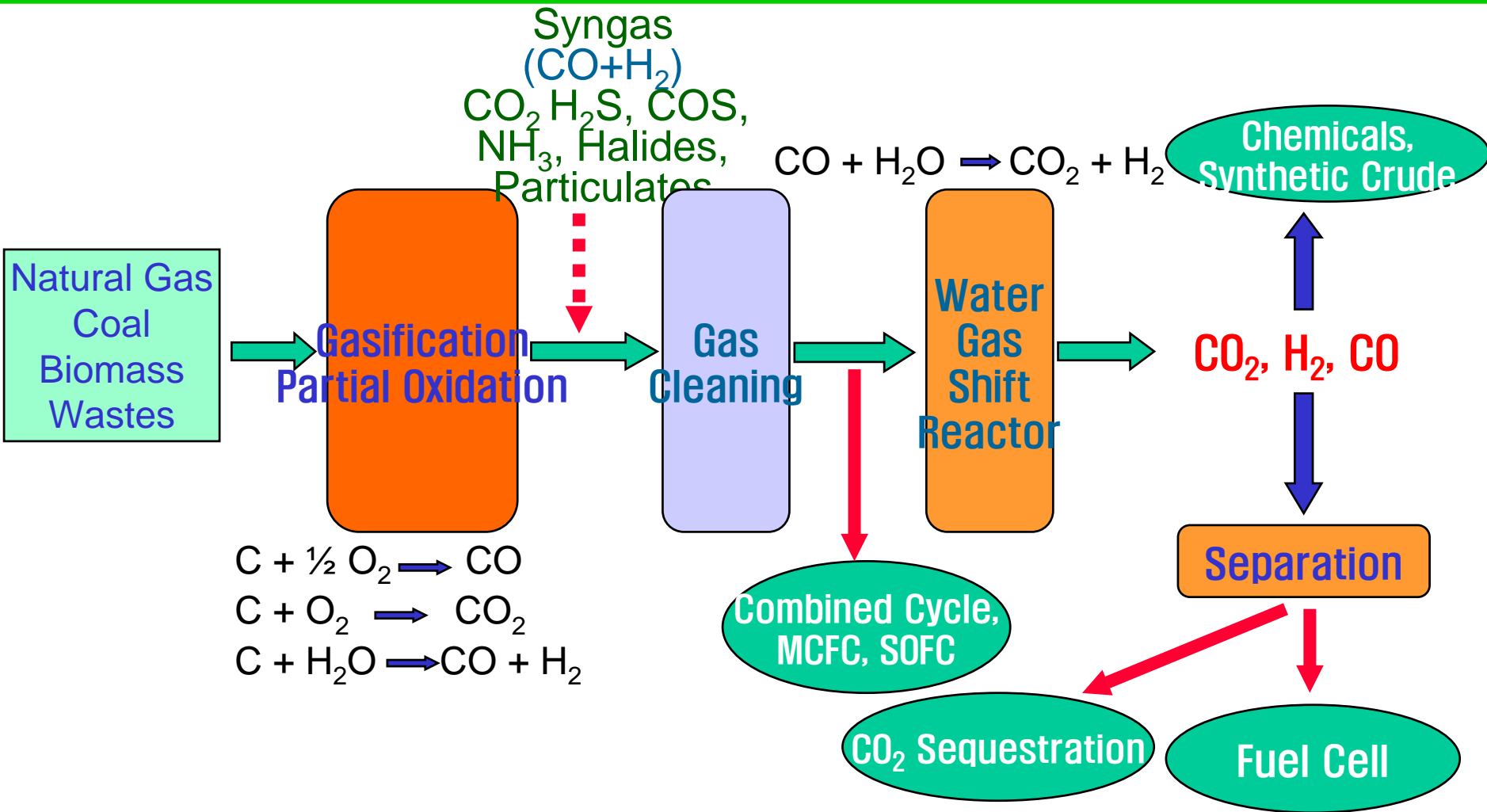


폐기물에도 적용 가능한 독일 Uhde사의 biomass/석탄 혼합 초청정 합성디젤유 생산 개념도

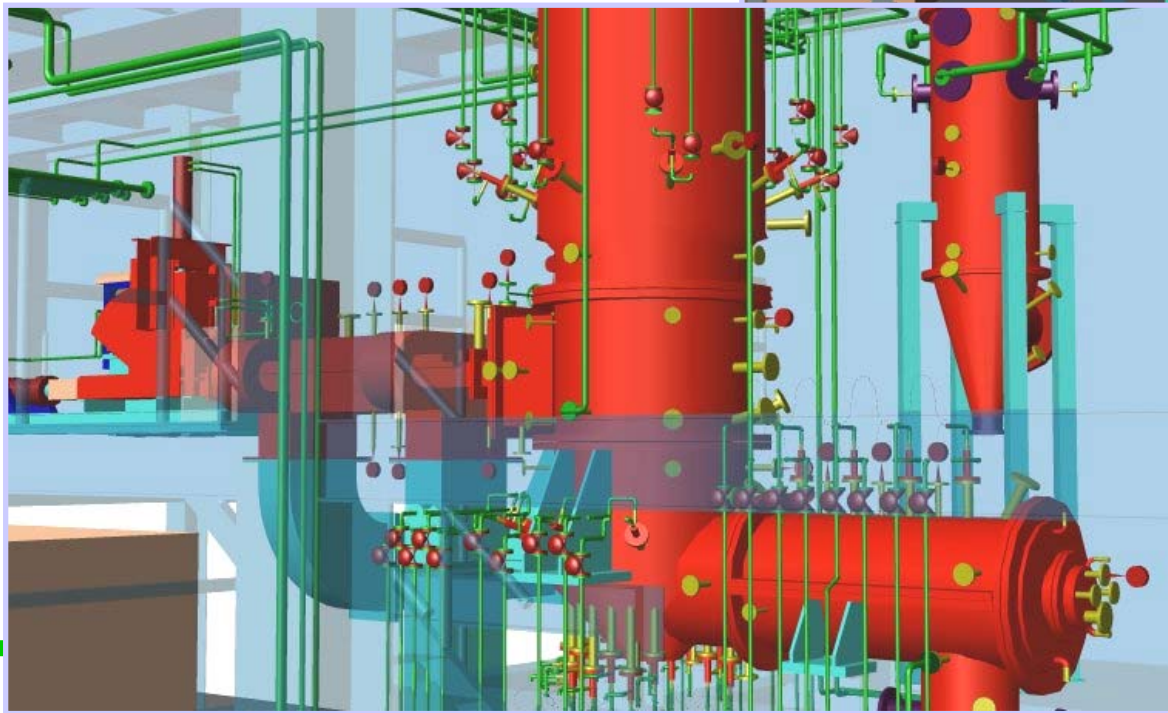
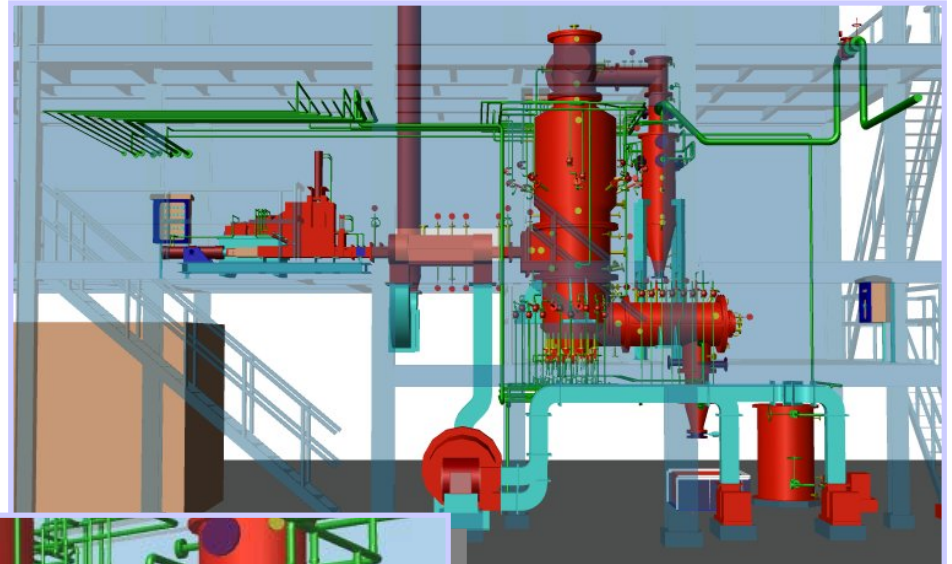
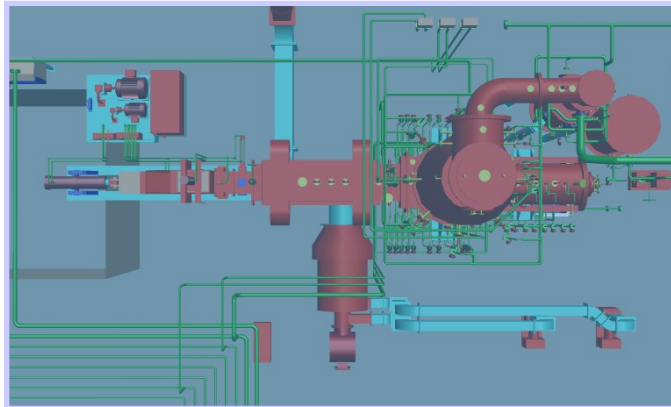


- ❑ 합성디젤유 생산은 대규모 장치 투자이므로 대용량 설비로 구성되어 운영되기 전에는 경제성 확보가 어려움.
- ❑ 폐기물 단독으로는 원료의 수급문제로 인해 경제성 있는 공장 규모가 나오기 어려우므로, 석탄과 폐기물을 사용하는 방식이 타당성 있어 보임.
- ❑ 국내 법체계상 폐기물과 석탄은 경원시되는 2개의 원료인데, 이를 섞어서 고급 에너지원으로 활용한다는 개념이 현실화되기 위해서는 정부와 민간 모두 발상의 전환이 있어야만 그 가능성이라도 논의할 수 있을 것임.
- ❑ 독일과 중국에서의 과감한 원료 혼합 사용과 바이오매스나 폐기물 등 새로운 에너지를 찾겠다는 적극적인 접근방식은 국내에서도 배울 점이 많음.

가스화 - 연료전지 연계 기술

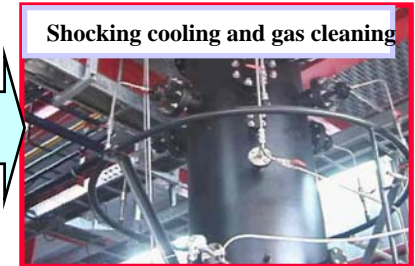
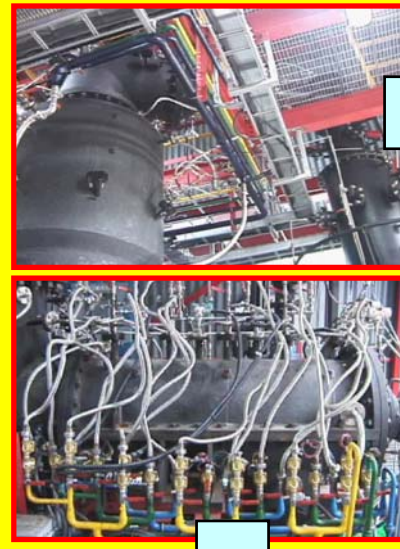
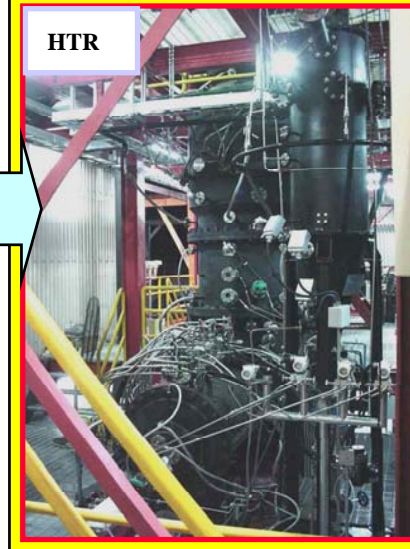


국내 폐기물 가스화 용융 Pilot 설비 (3 톤/일급, 고기원)



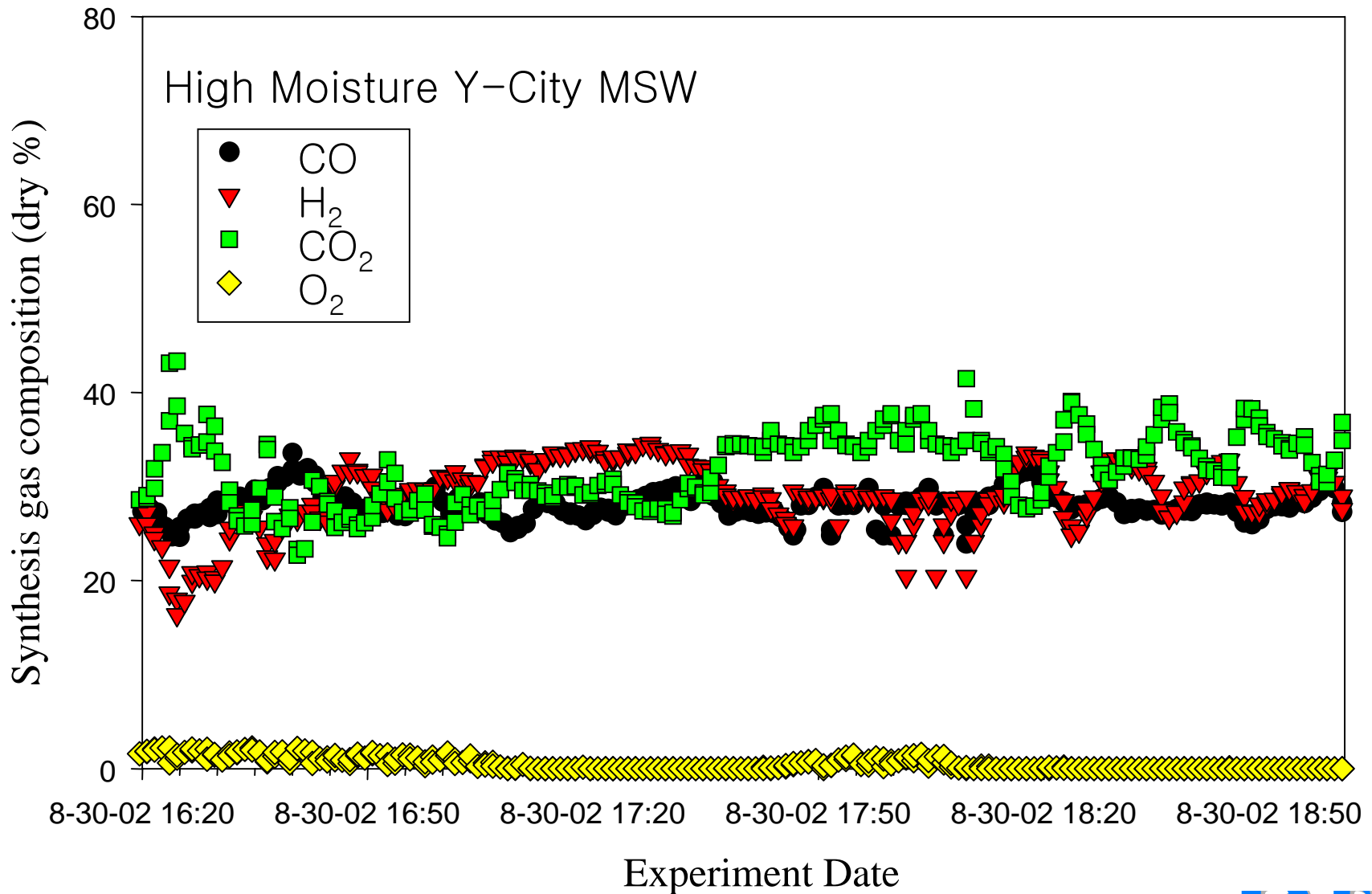
❑ Thermoselect®
공정 기반, 한국
MSW에 적합도록
개조/개선

3 톤/일급 폐기물 가스화용융 공정 흐름

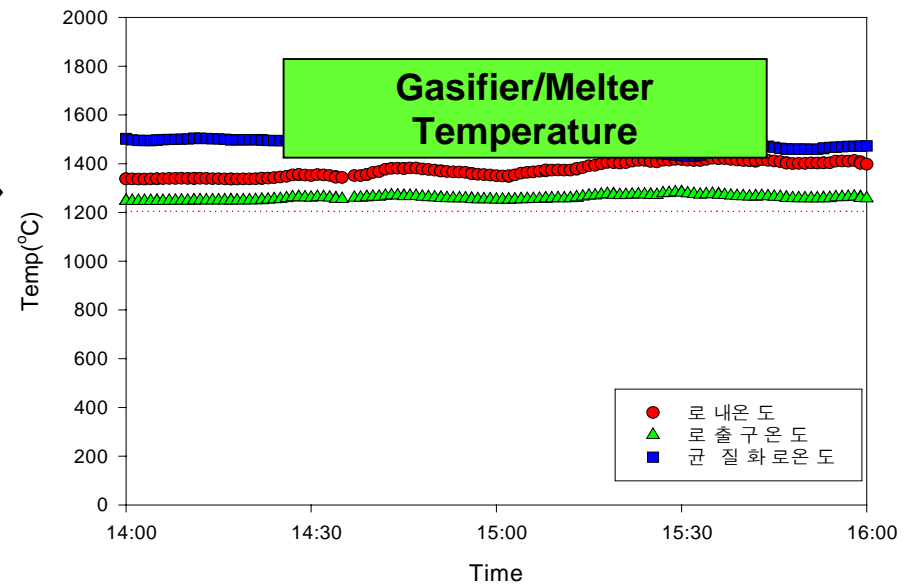
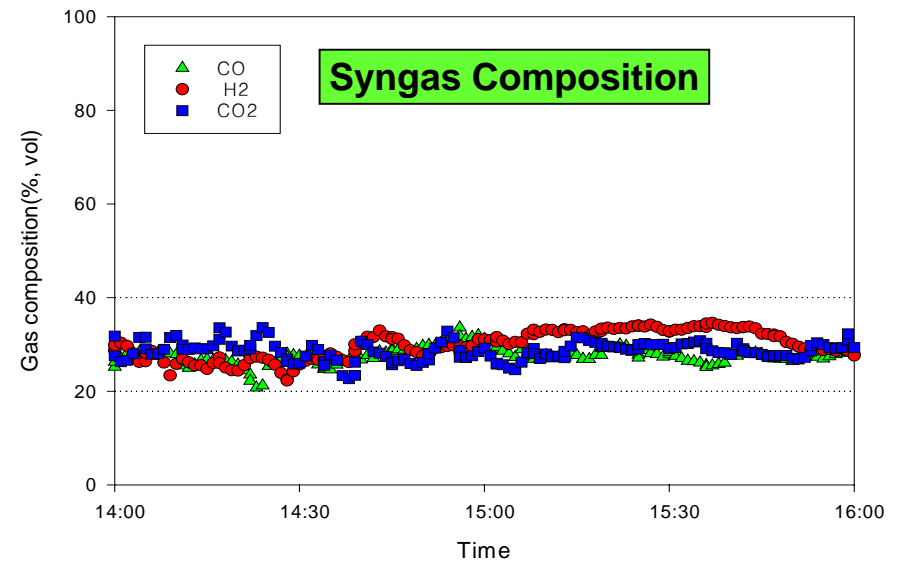
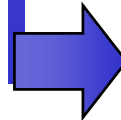
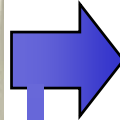


국내 생활폐기물 가스화 합성가스 조성

[수분 55.8 wt% 함유한 경남 Y시 MSW 적용 예]



산업폐기물 가스화용융 적용 예



결론

- ❑ 재생가능에너지원이 대량 경제성 있게 공급되기까지는 **매장량이 많은 석탄과 국내 폐기물 에너지자원의 활용**이 국가적으로 매우 긴요함. 폐기물의 고발열량화 추세는 국내에서 계속 진행될 것으로 예측되므로, 고유가 시대에 **Waste-To-Energy** 기술의 역할은 증대될 수 밖에 없음.
- ❑ 폐기물 경우 국제적 경쟁력을 갖기 위한 상업적 규모인 **하루 1,000톤 이상을 광역화**를 통하여 확보 노력이 요구되며, 구동독 방식과 같이 여러 폐기물 원료를 같이 사용하는 것도 한 대안이 될 수 있음.
- ❑ **고효율 터빈의 적용, RDF 적용, 가스화를 통한 고급 에너지원화** 등 다양한 기술의 발전이 이루어지고 있으며, 국내 현실에 맞는 기술과 적용이 필요함.
- ❑ 독일과 중국에서와 같은 과감한 **원료 혼합 사용과 바이오매스나 폐기물 등 새로운 에너지원**을 찾겠다는 적극적인 노력이 국내에서도 필요하며, 가스화 방식을 통한 고유가 시대에 맞는 **합성디젤유, DME 등 고부가가치 활용방안**에 대한 노력이 필요함.