

# 기후변화 대응 석탄에너지 산업의 현황과 미래

2007. 12. 11.

윤 용 승 연구위원

고등기술연구원

플랜트엔지니어링센터

(Homepage) <http://w3eps.iae.re.kr>

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

# 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
<b>OECD</b>	<b>280 915</b>	<b>90 688</b>	<b>371 603</b>
<b>Transition economies</b>	<b>208 762</b>	<b>38 872</b>	<b>247 634</b>
<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
<b>World</b>	<b>749 297</b>	<b>157 967</b>	<b>907 264</b>

Source: World Energy Council (2003).

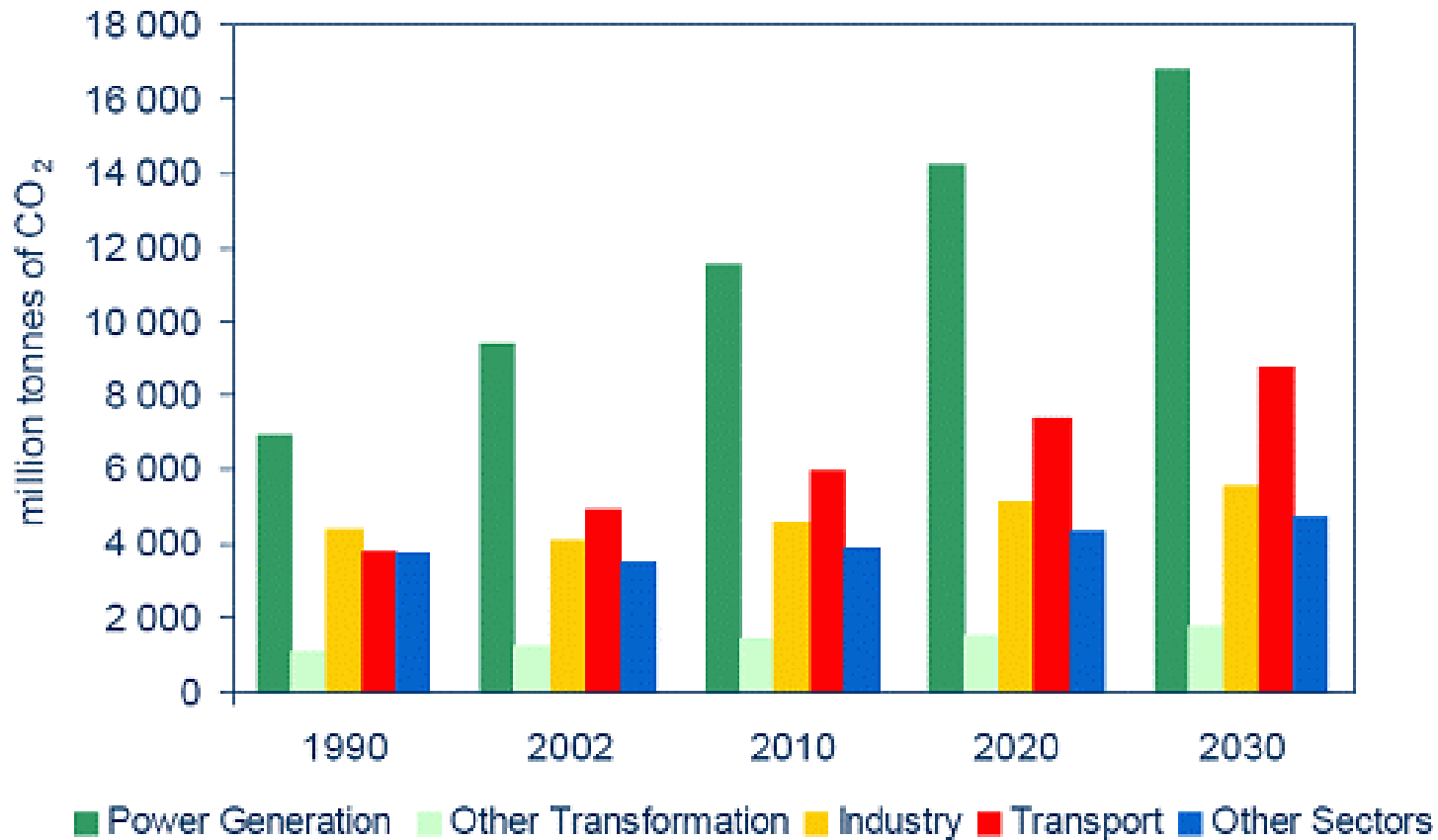
□ 전세계 2002년 사용량과 2030년도 예측 석탄 필요량 및 발전에 사용되는 비중 (백만톤)

	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
<b>OECD</b>	<b>2 237</b>	<b>38</b>	<b>2 461</b>	<b>33</b>	<b>0.3</b>
Russia	220	19	244	15	0.4
Other transition economies	249	27	340	18	1.1
<b>Transition economies</b>	<b>469</b>	<b>22</b>	<b>584</b>	<b>16</b>	<b>0.8</b>
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
<b>Developing countries</b>	<b>2 085</b>	<b>45</b>	<b>3 984</b>	<b>47</b>	<b>2.3</b>
<b>World</b>	<b>4 791</b>	<b>39</b>	<b>7 029</b>	<b>38</b>	<b>1.4</b>
<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)

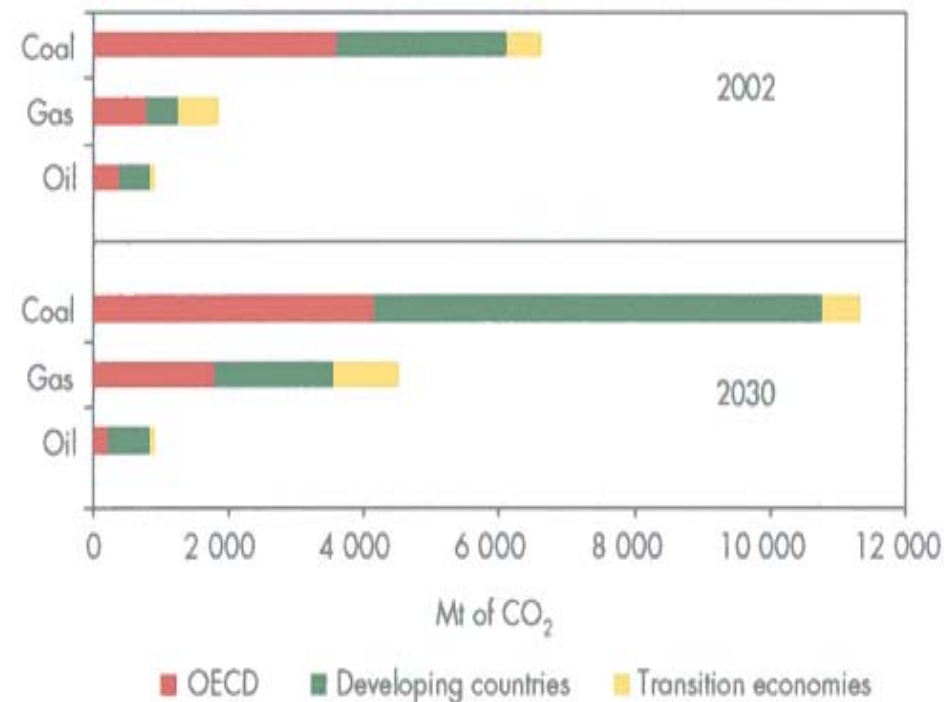
# 전세계 산업부문별 CO<sub>2</sub> 발생량 추이



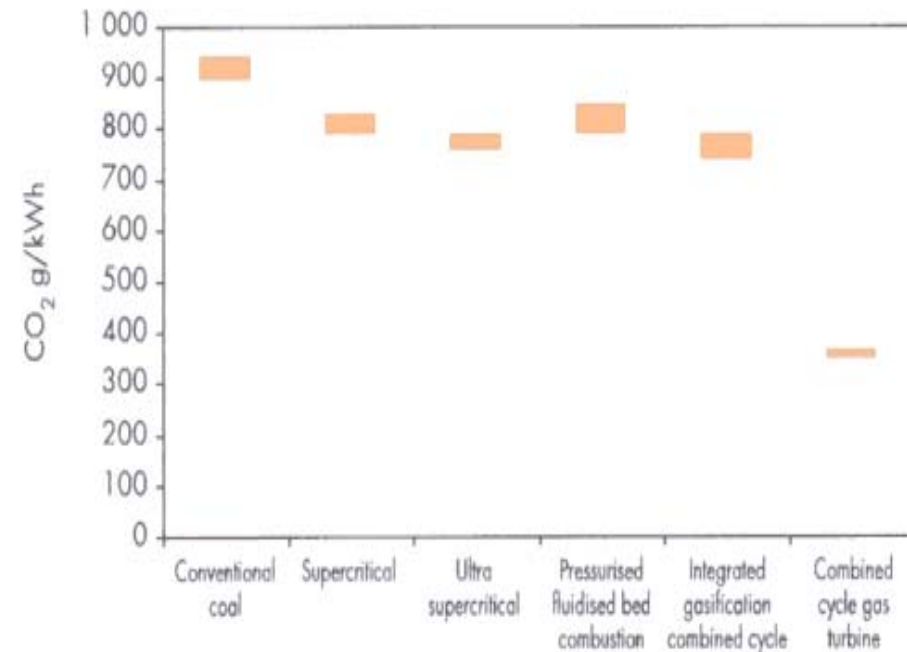
- 전세계 CO<sub>2</sub> 발생량의 대부분이 전력생산 부분에서 발생되고 있고 석탄발전이 가장 큰 발생처임.

# 원료별 및 기술별 전력생산 과정의 CO<sub>2</sub> 발생량

전력생산 원료별 CO<sub>2</sub> 발생량과 2030년까지  
국가 그룹별 예측자료

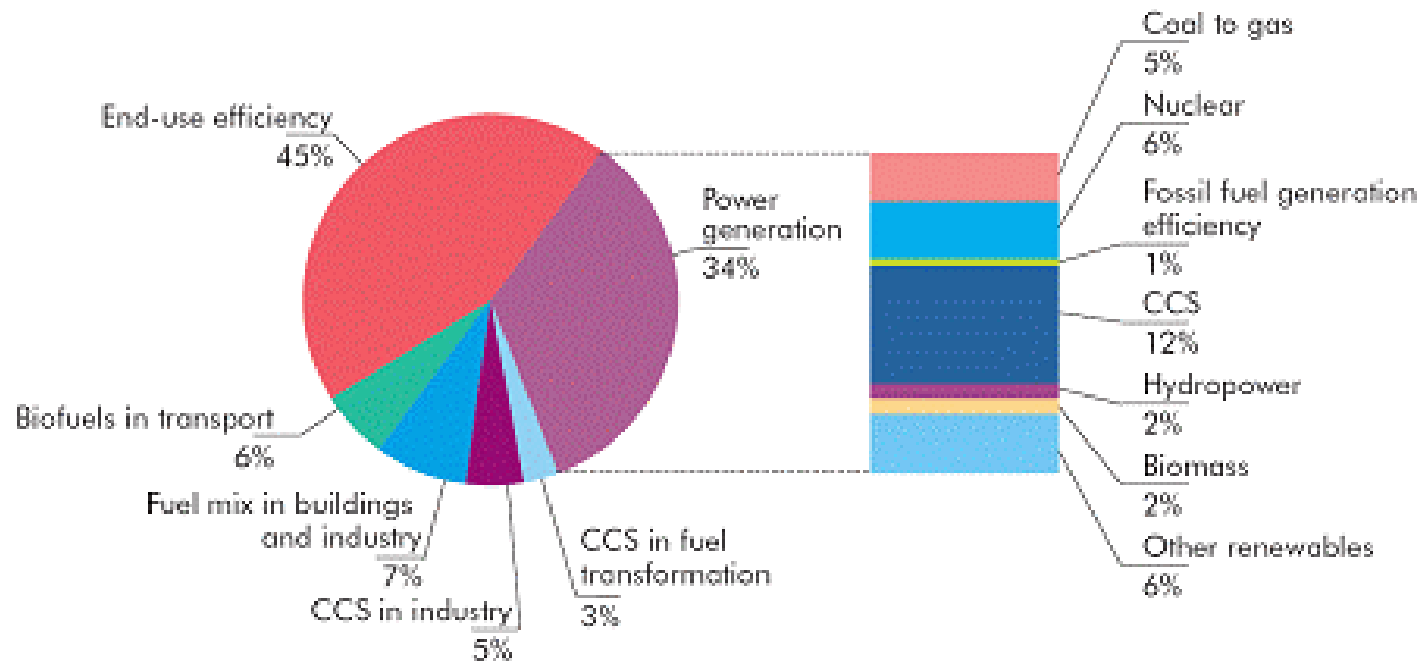


석탄사용 발전기술별  
단위전기 발생량당 CO<sub>2</sub> 발생량의 비교



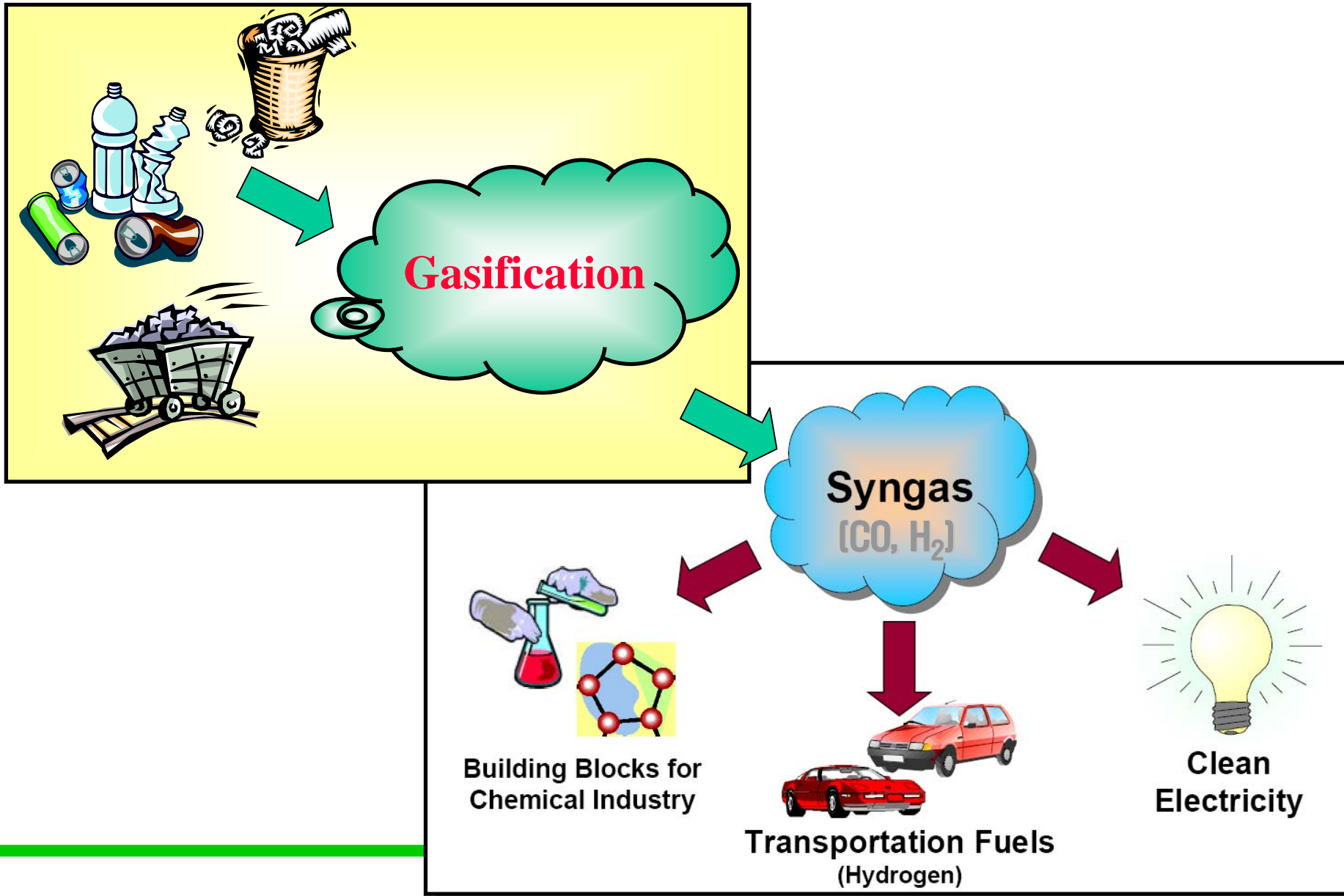
- 향후 석탄 사용시 **CO<sub>2</sub>** 문제를 해결하지 못하면, 장기적으로 석탄 사용한 전력생산은 사회적 저항 예상됨.
- 석탄의 경우는 **신석탄발전기술**이 대안이며, 저렴한 천연가스가 공급 가능하다면 **천연가스 복합발전**이 대안임.

# 2050년까지 CO<sub>2</sub>를 2003년 수준으로 낮추는데 중요한 기술별 기여도

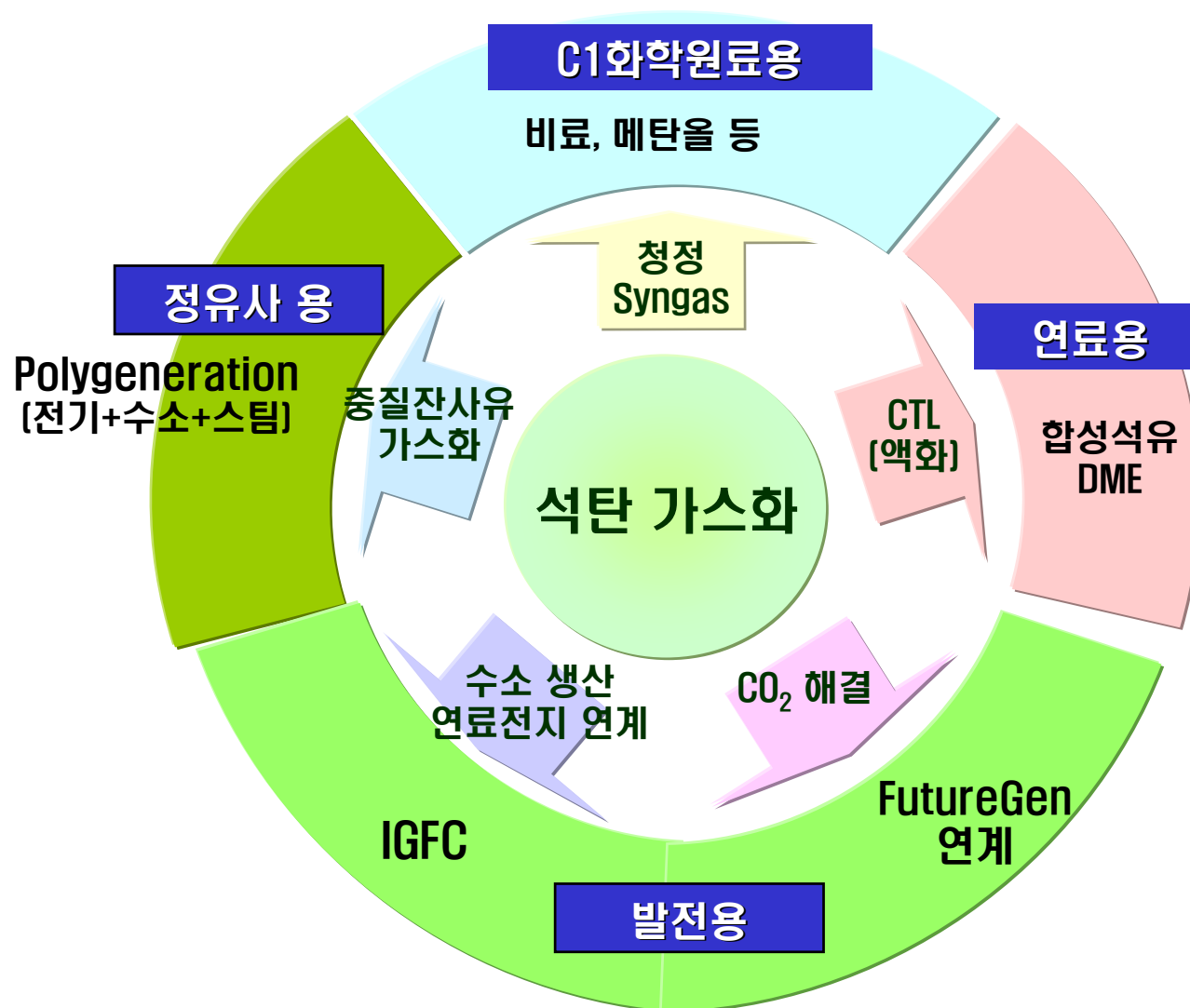


- 에너지 절약, 재생가능에너지, CCS가 중요함.
- 이중 CCS(Carbon Capture & Storage)가 12%의 기여도를 보여줌.

# 가스화 (Gasification) ?

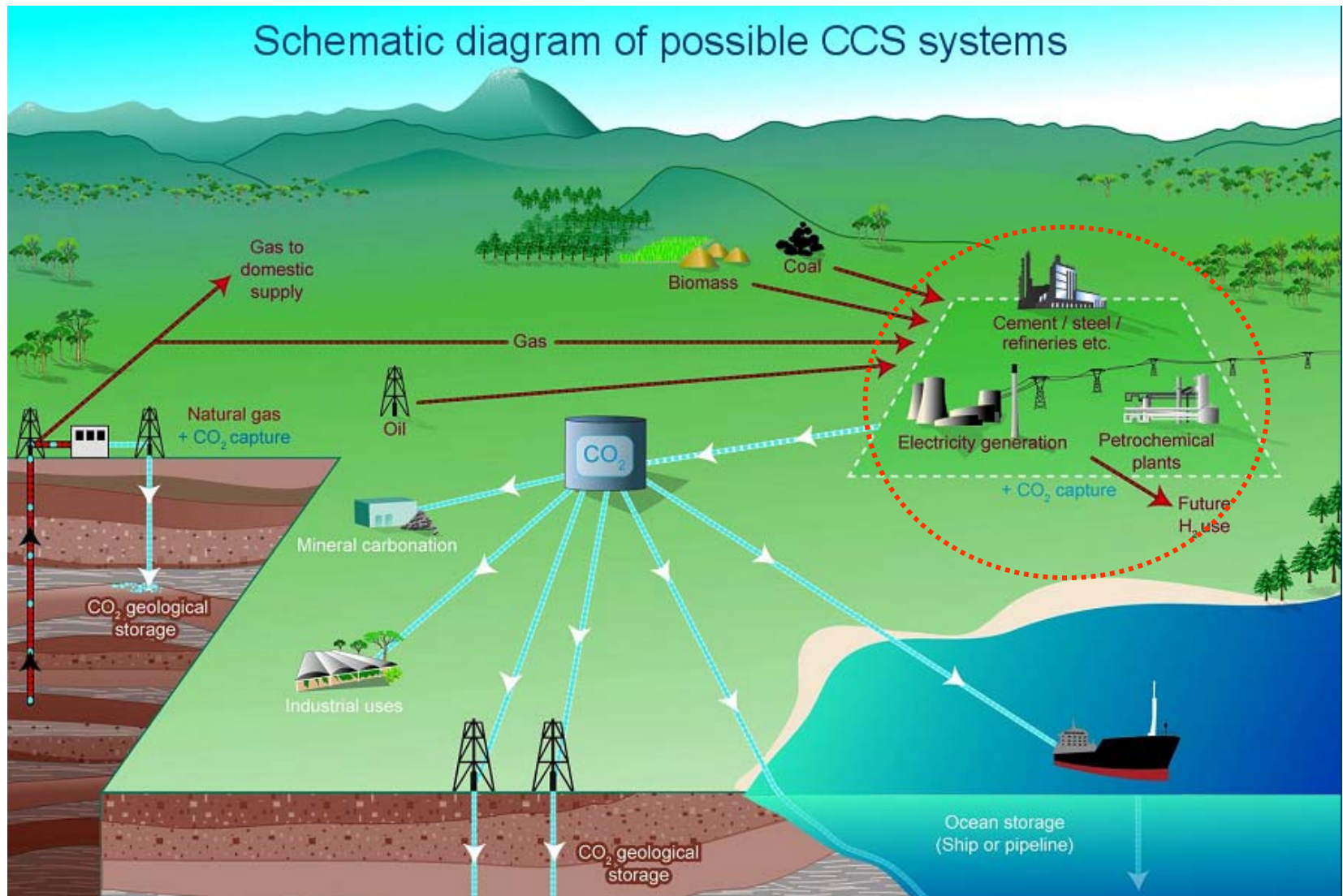


# 석탄가스화 합성가스 활용 Route



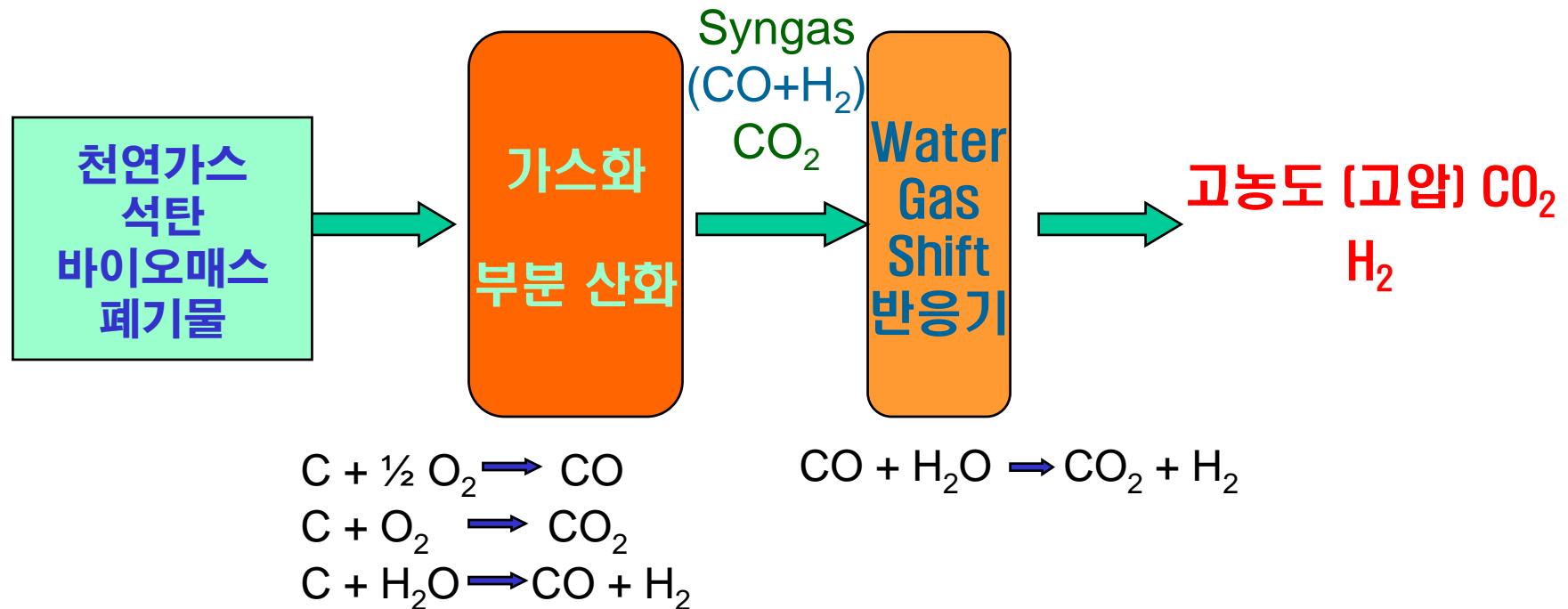


# Pre-combustion 기술의 적용 Area





# Pre-combustion Carbon Capture의 개념



- ❑ 시료를 연소하기 전에 시료에 포함된 탄소 성분을 분리하여 **CO<sub>2</sub>**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.

# 여러 산업 배출가스내 대표적 CO<sub>2</sub> 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 <sup>3</sup> /hr)	2,830,000	3,200,000	610,000	780,000
Temperature	49°C	53°C	85°C	250°C
Composition				
CO <sub>2</sub> (%)	<b>13.2</b>	<b>10.3</b>	<b>25.0</b>	<b>26.8</b>
N <sub>2</sub> (%)	Bal(71.7)	Bal(71.0)	Bal(58.0)	Bal(68.4)
H <sub>2</sub> O (%)	11.4	3.6	7.0	0.9
O <sub>2</sub> (%)	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 <sup>3</sup> )	2.0	2.0	10.0	25.0

Source: NEDO Report (RITE) (1999)



# 가스화를 통한 대표적 Syngas 조성

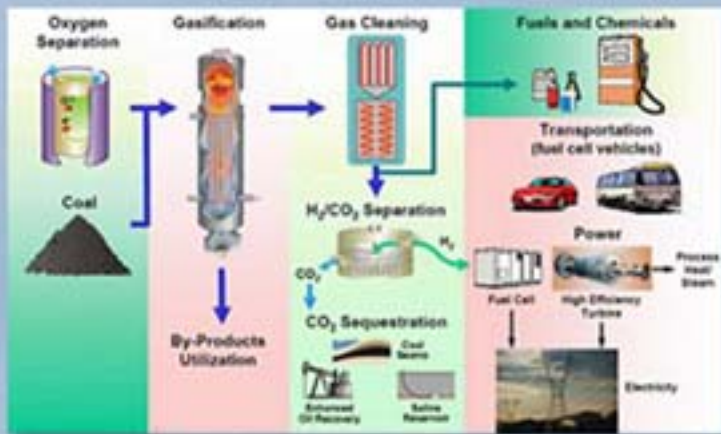
	Project								
	Wabash IGCC	Tampa IGCC	El Dorado IGCC	Shell IGCC	Sierra Pacific IGCC	India IBIL Gasification	Schwarze Pumpe Gasification	IAE Coal Gasification	IAE Waste Gasification
Country	USA	USA	USA	Netherlands	USA	India	Germany	Korea	Korea
Fuel	Coal	Coal	Pet coke/Waste oil	Vacuum residue	Coal	Lignite	Lignite/oil slurry, RDF, waste plastics	Coal	Wastes
Syngas Composition									
H <sub>2</sub>	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 <sub>4</sub>	1.5	0.1	0.	0.3	1.3	3.4	6.9	0	2
CO <sub>2</sub>	9.3	12.6	17.1	30.0	5.6	11.1	2.8	9	30
N <sub>2</sub> +Air	2.3	6.8	2.1	0.2	49.3	46.0	1.8	24	8
H <sub>2</sub> O	22.7	18.7	0.4	-	5.7	11.5	-	-	-
Oxidant	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	Air	Air	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>

□ Syngas 연소시키면, CO → CO<sub>2</sub>에 의해 CO<sub>2</sub> 농도 높아지고, H<sub>2</sub> 분리로 CO<sub>2</sub> 농도를 추가로 높임.

# 해외 석탄 IGCC + CCS 현황

## 미국 FutureGen 프로젝트

[석탄 IGCC 275MW + CCS + 수소]



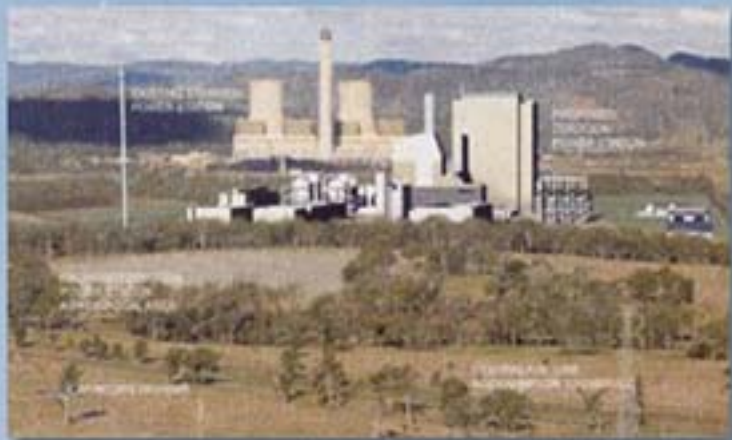
## 중국 GreenGen 프로젝트

[석탄 IGCC 200MW + CCS]



## 호주 ZeroGen 프로젝트

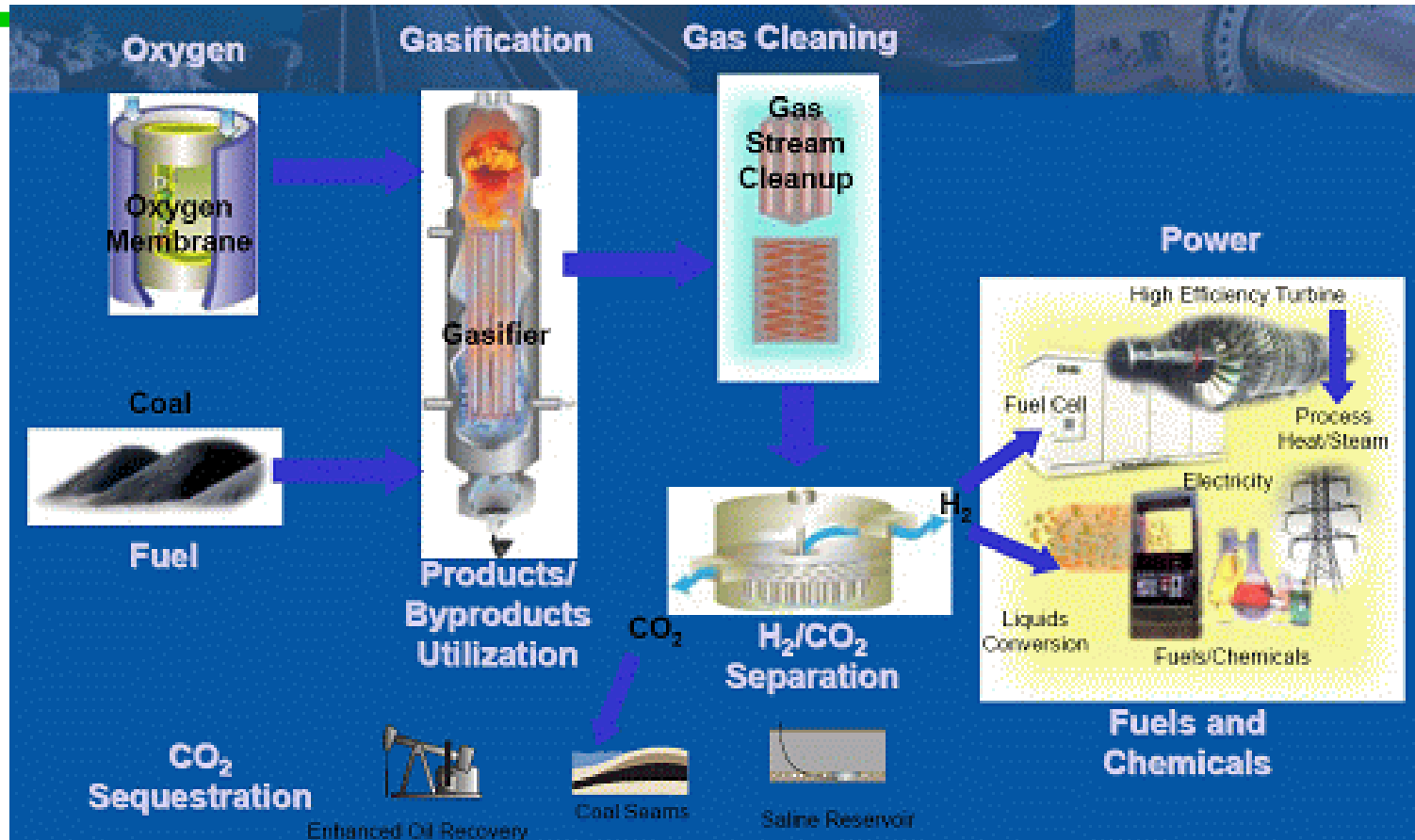
[석탄 IGCC 100MW + CCS]



## 인도 : 석탄 IGCC 100 MW 자체기술로 건설



# 미국 FutureGen 프로젝트의 IGCC 발전과 CO<sub>2</sub> 분리 저장 개념도

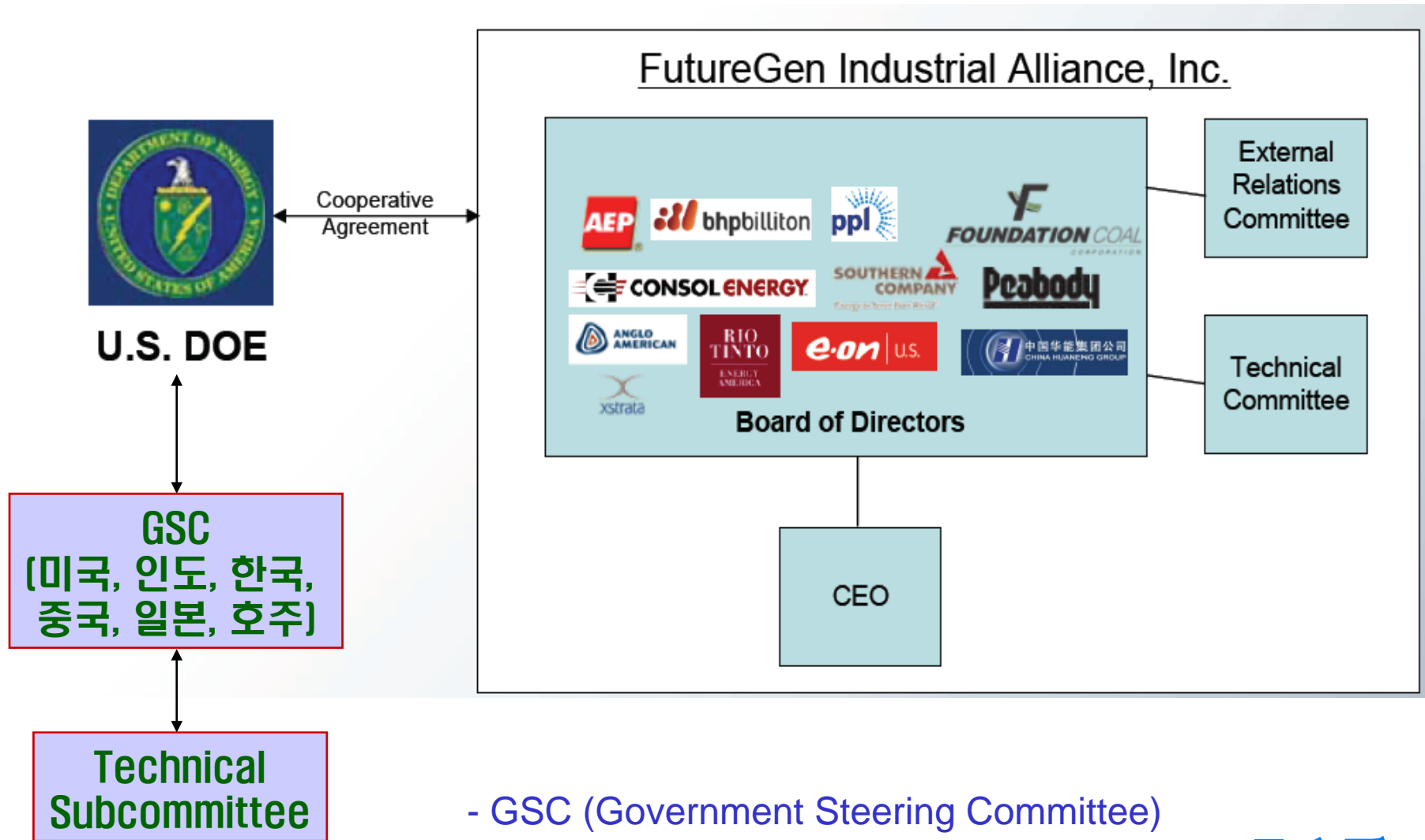


❑ 석탄 가스화를 통한 전기 생산, 초청정연료유, 수소생산 및 CO<sub>2</sub> 제거 동시 추구  
(석탄을 천연가스 수준으로 청정하게 사용 + 이산화탄소 제거)

❑ 2015년까지 15억불, 275 MW<sub>net</sub> 규모 석탄가스화 플랜트를 건설하여 운전하고, 2020년까지 상업용으로 전 세계에서 표준으로 활용할 수 있는 석탄 IGCC 기술을 제공할겠다는 내용. 한국/인도 국제회원국으로 가입, 일본/중국/호주 가입 추진중, 폴란드/이태리 가입 협의중.

❑ CO<sub>2</sub> 최소 1백만톤 지하 저장, 발생 CO<sub>2</sub> 최소 90% Capture 목표

# FutureGen 프로젝트 추진체계

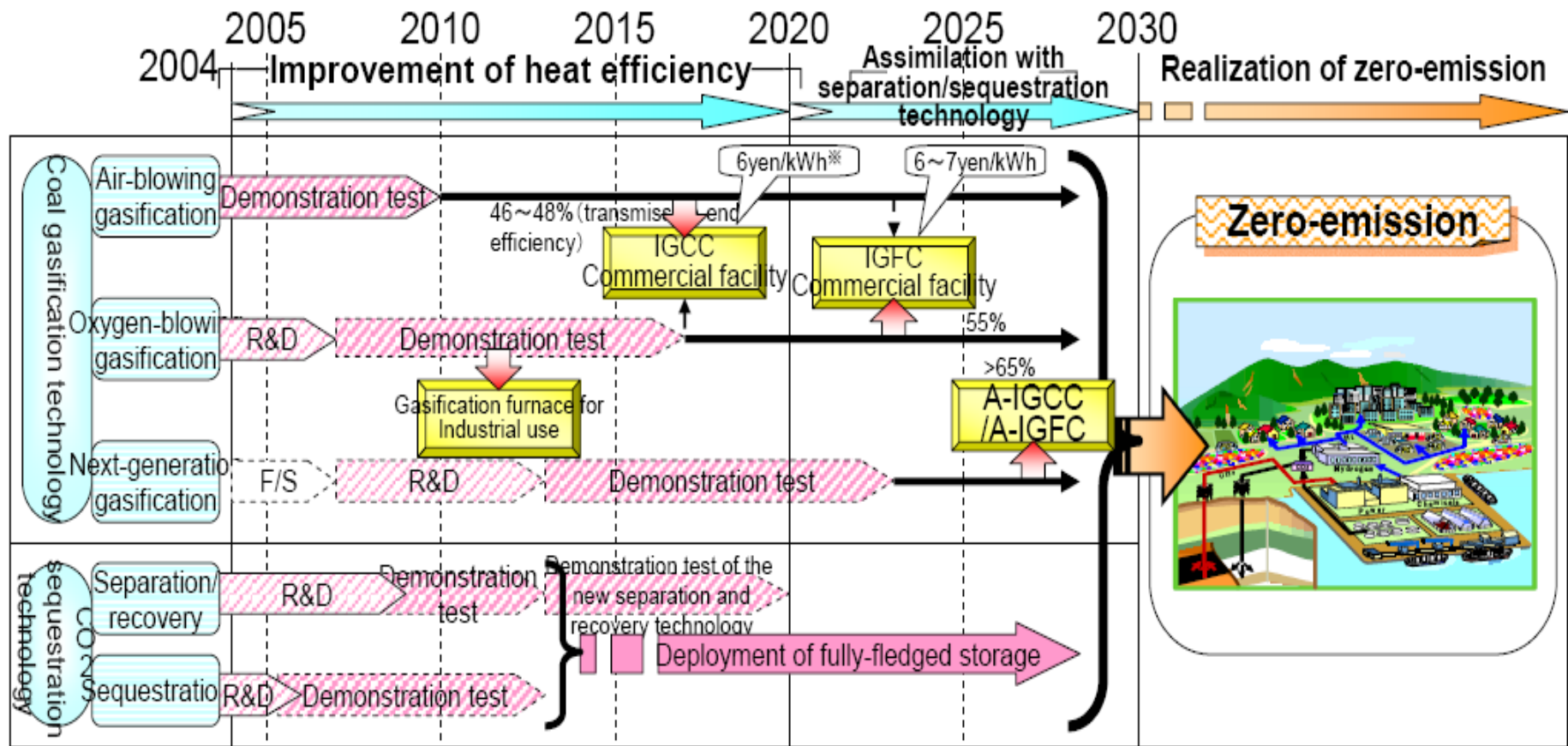


- GSC (Government Steering Committee)

IAE



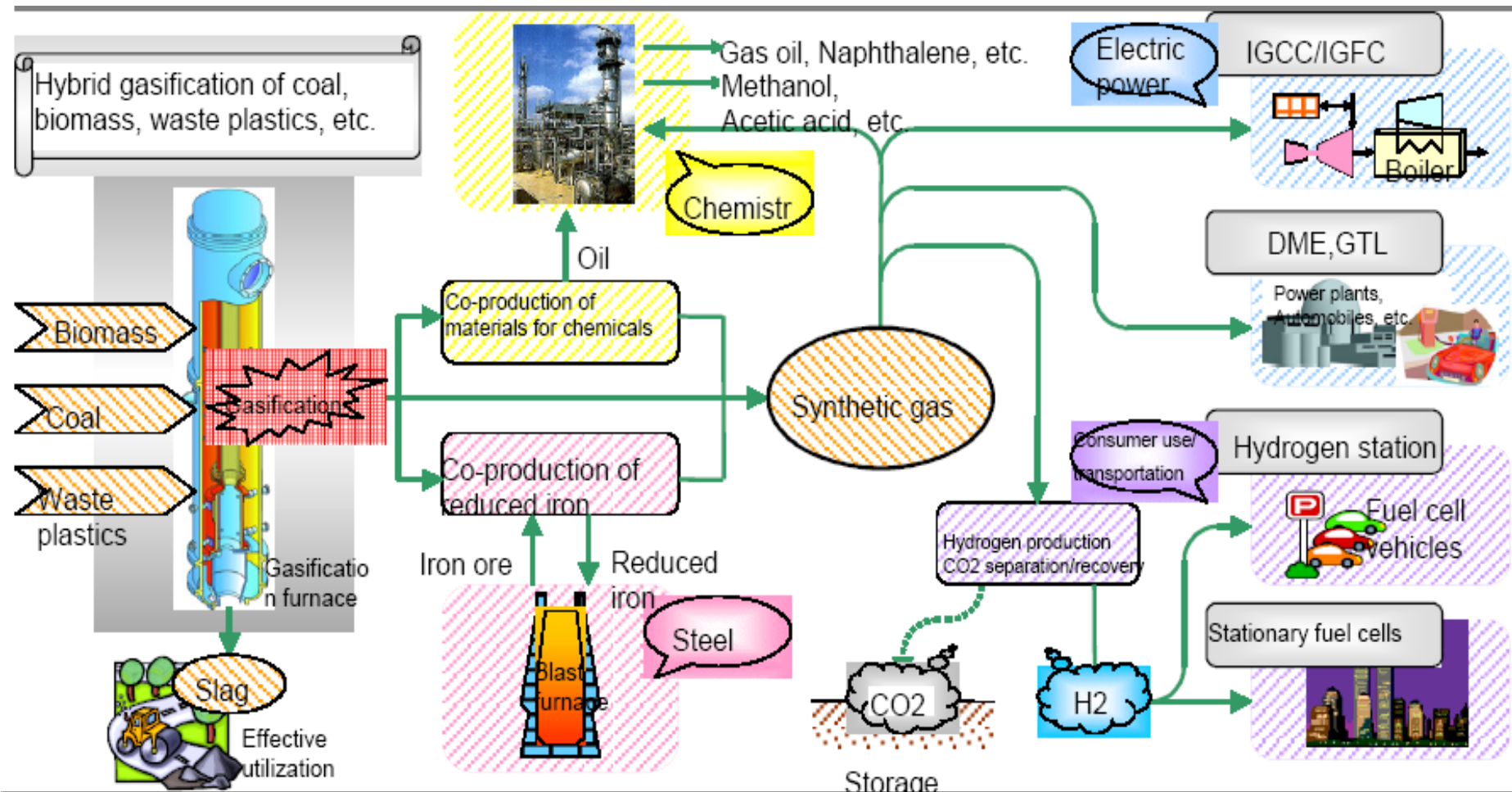
# 일본의 Pre-combustion CO<sub>2</sub> 저감 기술추진 방향



□ 2020년부터 석탄 신발전기술과 CO<sub>2</sub> 분리 저감기술을 본격 연계 실용화 추진

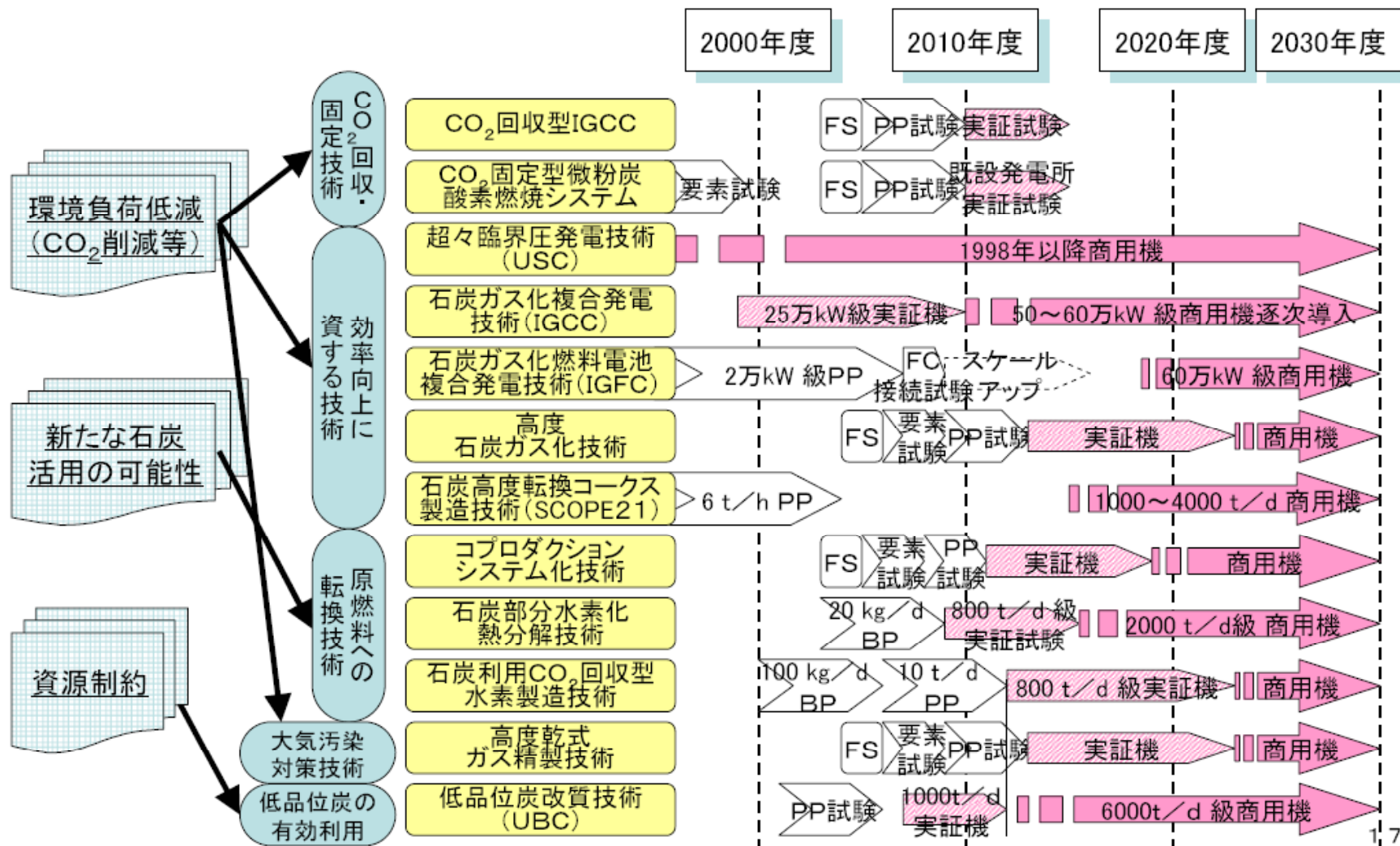


# 일본 version의 FutureGen 프로그램



□ 미국 프로그램에 제철 신기술, **DME** 포함.

# 日本の CO<sub>2</sub> 問題 対応 Clean Coal Technology Roadmap



# 국제적 CCS 현황

- 전세계적으로 CCS를 통하여 의미 있는 CO<sub>2</sub> 저감이 이루어지기 위해서는 6,000개의 Sleipner 프로젝트 (현재 노르웨이에서 수행중인 CO<sub>2</sub> 지하저장 프로젝트)가 필요함.
- IEA는 2015년까지 10개의 full-scale CCS 플랜트를 추진해야 한다고 발표하고 있음. 아직 전 세계적으로 full-scale CO<sub>2</sub> capture 플랜트는 실증되지 못하였음.
- 석탄 IGCC 플랜트에 CCS를 연계시킨 100 MW 이상 규모 프로젝트가 2007년 5월 현재 전세계적으로 10개가 추진중임
- ConocoPhillips사는 영국 Immingham CCS 프로젝트를 2007년에 시작함. 석탄과 정유잔재물인 코오크를 ConocoPhillips 가스화 기술인 E-Gas 공정을 사용하여 합성가스를 만들고, CHP (열병합발전)에 사용한 다음 CO<sub>2</sub>는 액화시켜서 15백만톤/년 규모로 28인치 해양 배관망을 통하여 인근 해양에 천연가스를 다 뽑은 지하지질 구조에 CO<sub>2</sub>를 주입하는 프로젝트임.
- 미국은 2012년 가동 예정인 석탄 IGCC와 CCS를 연계한 FutureGen 프로젝트를 프로젝트 참여사 그룹인 Alliance에서는 4억불 투입(총 과제비용은 DOE 지원금 포함하여 10억불)하여 진행 중이며 미국, 인도, 한국, 일본, 중국, 호주 등이 참여하는 국제 프로젝트로 진행되고 있음.

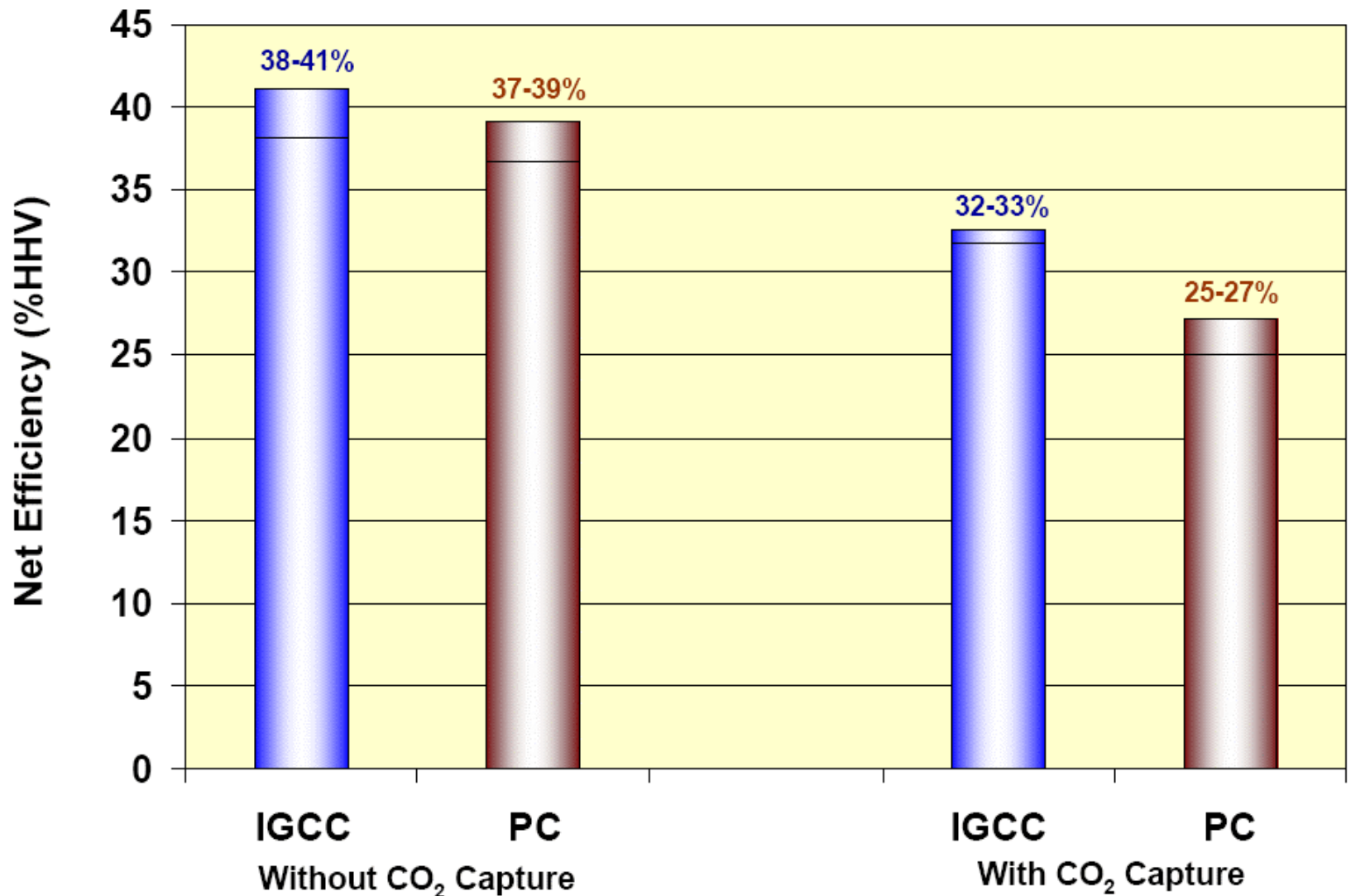
# 2007년 5월 현재 100 MW 이상 석탄 사용 CCS 프로젝트 현황

Company/Project Name	Fuel	Plant output/cost	Technology	Start
Centrica/Progressive Energy, Teeside, UK	Coal (petcoke)	800 MW (+ H <sub>2</sub> to grid) (\$1.5 bn)	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation+ precombustion capture	2012
China Huaneng Group (CHNG), GreenGen, China	Coal	100 MW	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation+ precombustion capture	2015
E.ON, Killingholme, Lincolnshire coast, UK	Coal	450 MW ( Pound 1 bn)	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation+ precombustion capture (may be capture ready)	2011
Ferrybridge, Scottish & Southern Energy, UK	Coal	500 MW retrofit 250m, capture 100m	Pulverised Coal (supercritical retrofit) + post-combustion capture	2011
FutureGen, US	Coal	275 MW (US\$1 bn)	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation + precombustion capture	2012
GE / Polish utility, Poland	Coal	1000 MW	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation + precombustion capture	?
Nuon, Eemshaven, Netherlands	Coal / biomass / natural gas	1200 MW	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation + precombustion capture	2011
Powerfuel, Hatfield Colliery, UK	Coal	~900 MW	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation + precombustion capture	2010
RWE, Germany	Coal	450 MW (€1bn)	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation + precombustion, capture storage in saline reservoir	2014
RWE, Tilbury, UK	Coal	1000 MW (800m)	Pulverised Coal (supercritical retrofit) + post-combustion (may be capture ready)	2016
SaskPower, Saskatchewan, Canada	Lignite coal	300 MW	Pulverised Coal + post-combustion capture or oxyfuel, storage in oilfield EOR	2011
Siemens, Germany	Coal	1000 MW 1.7 bn EUR	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation + precombustion? capture	2011
Stanwell, Queensland, Australia	Coal	100 MW	Gasification (IGCC) → syngas, conversion H <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> + separation + precombustion	2012

# CO<sub>2</sub> 저장을 위한 주요 상업적 및 R&D 프로젝트

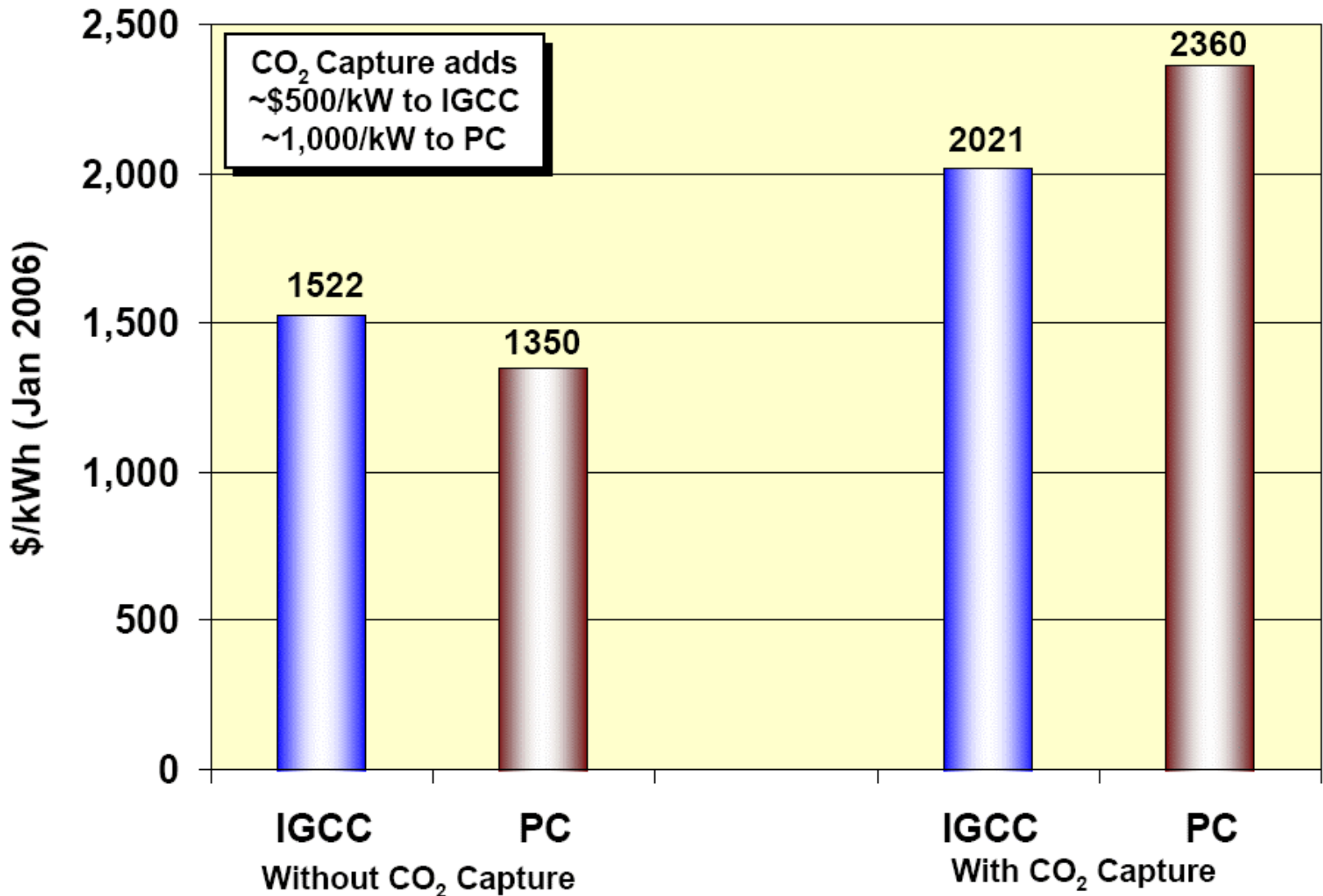
Project name and location	Source of CO <sub>2</sub>	Type of geological formation	CO <sub>2</sub> stored
Sleipner (Norwegian North Sea)	Stripped from natural gas	Saline reservoir	1 Mt/year since 1996
In Salah (Algeria)	Stripped from natural gas	Gas/saline reservoir	1.2 Mt/year since 2004
K12b (Netherlands)	Stripped from natural gas	Gas field -EGR	More than 0.1 Mt/year since 2004
Snohvit (Norwegian North Sea)	Stripped from natural gas	Gas/saline reservoir	0.75 Mt/year, starting 2007
Gorgon (Australia Offshore)	Stripped from natural gas	Saline reservoir	129 Mt over the life of the project, starting between 2008-2010
Weyburn (Canada/USA)	Coal	Oil field ?EOR	1 Mt/year since 2000
Permian Basin, US	Natural reservoirs and industry	EOR	500 Mt stored since 1972
Frio Brine, US		Saline reservoir	3 Kt injected in 2005-2006
Nagaoka, Japan		Saline reservoir	10.4 Kt in 2004-2005
Ketzin, Germany		Saline reservoir	60 Kt total , starting? 2006
Otway, Victoria, Australia R&D project	Stripped from natural gas	Depleted gas field	50 Kt/year, starting 2007
Callide,? Queensland, Australia	Coal	Underground sandstone formation	More than 30 Kt/year, starting 2010
Monash, Latrobe Valley, Victoria, Australia	Coal		50 t/day, starting 2008

# CO<sub>2</sub> Capture에 따른 효율 비교



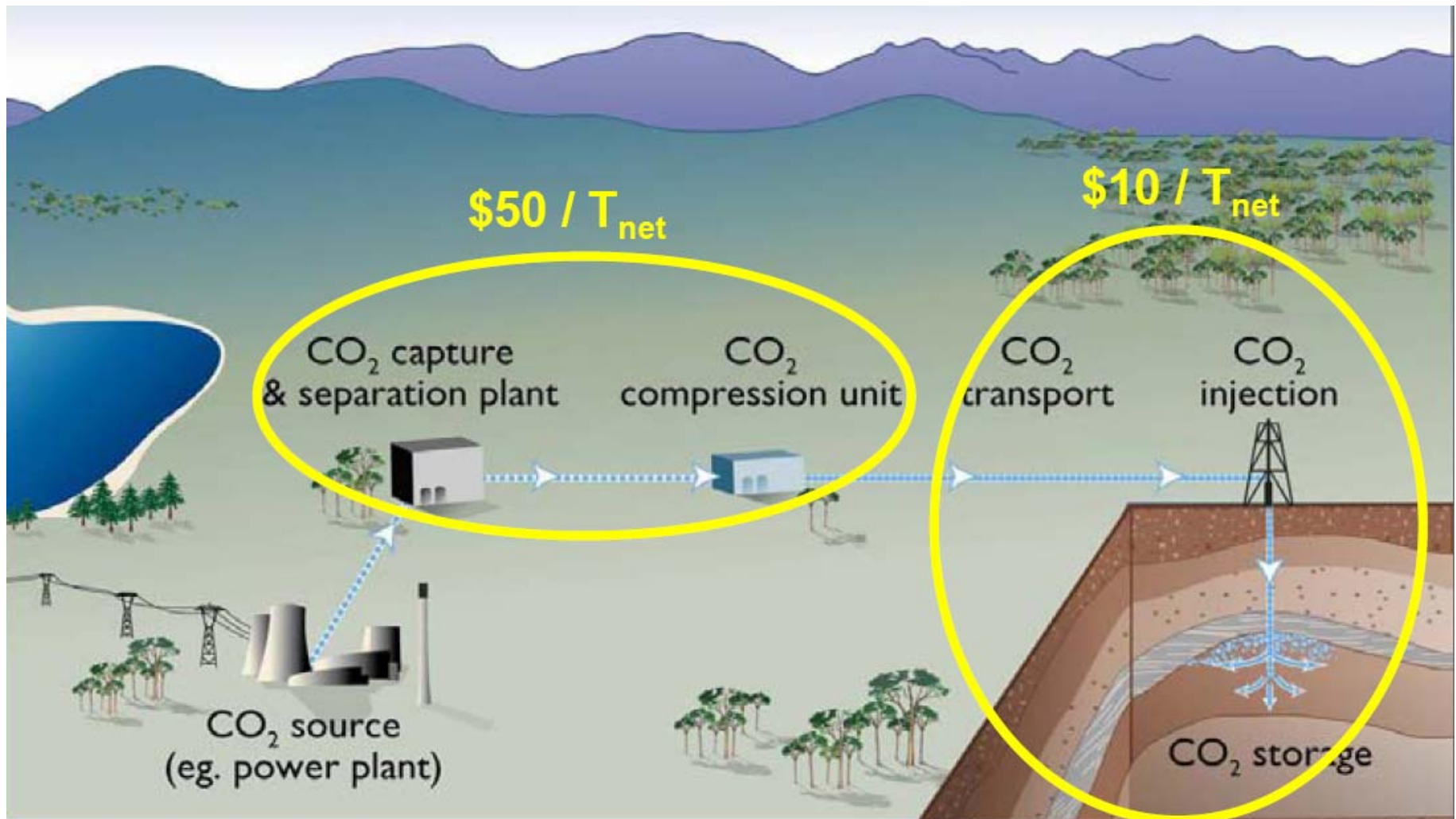


# CO<sub>2</sub> Capture에 따른 플랜트 건설비 비교





# CCS의 개략 소요 비용



# EOR (Enhanced-Oil-Recovery)에 사용할 CO<sub>2</sub> 조건

- High Pressure: > 2000 psi
- High Purity: > 95%
- Scale & Deliverability
- Long Term Availability: ~10+ years
- Proximity to Target Fields: < 300 mile radius
- Economic

# 캐나다 Weyburn EOR, CO<sub>2</sub> 저장 프로젝트

(CO<sub>2</sub> Injection 설비)



(Receiving Terminal)



(운송 Pipe)



(Pump Station)



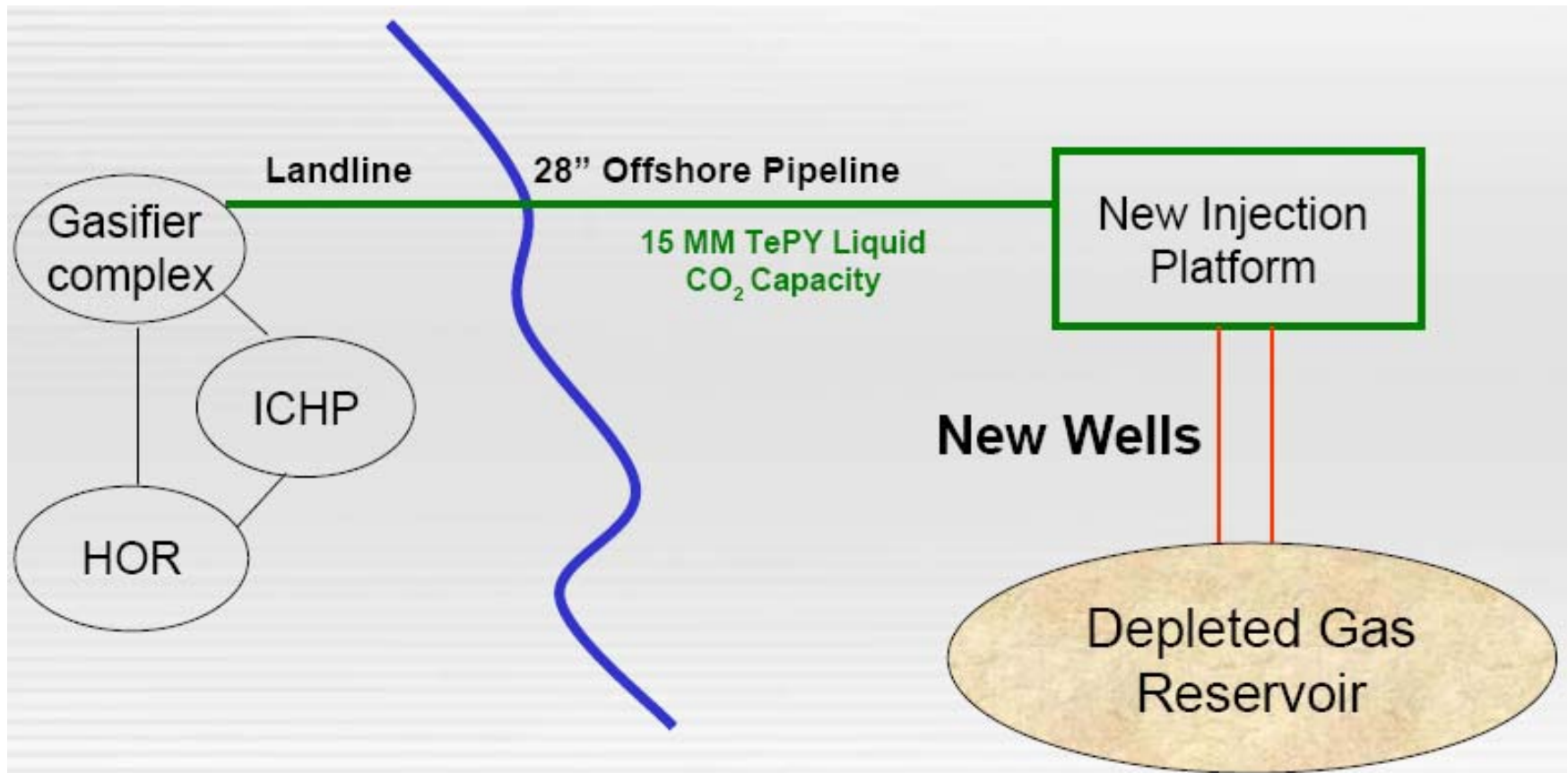
- 최대 3천만톤 CO<sub>2</sub> 저장
- 연간 180만톤 저장
- 현재 7백만톤 저장

(Dakota 가스화 플랜트)





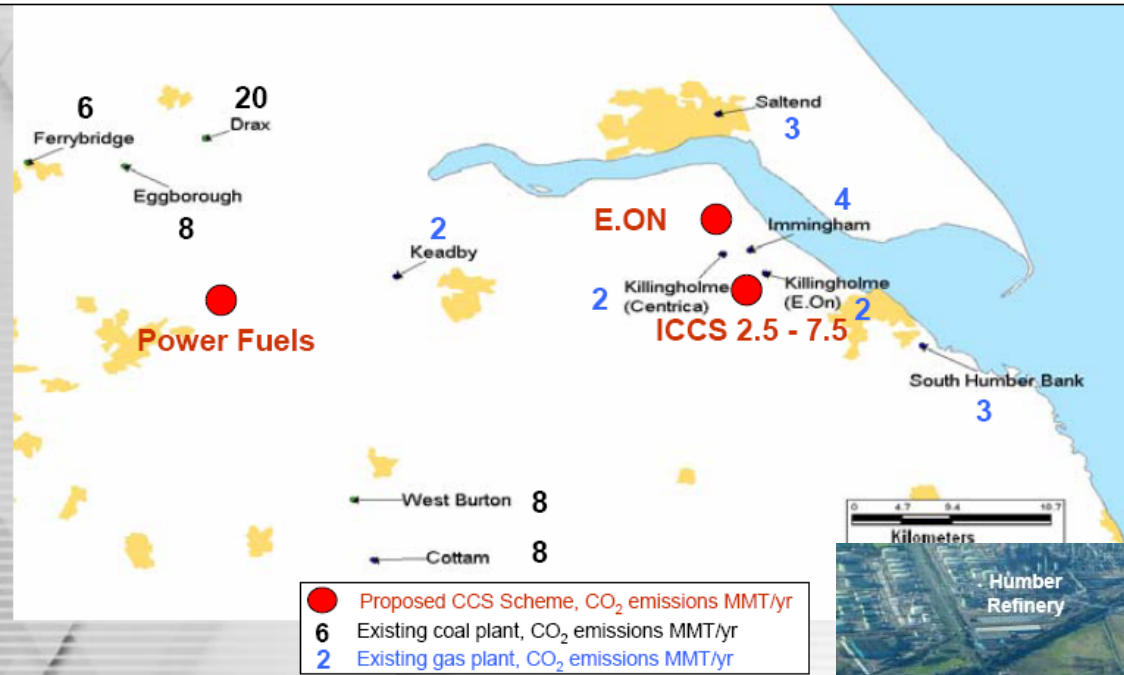
# ConocoPhillips사의 영국 Immingham CCS 프로젝트 개요



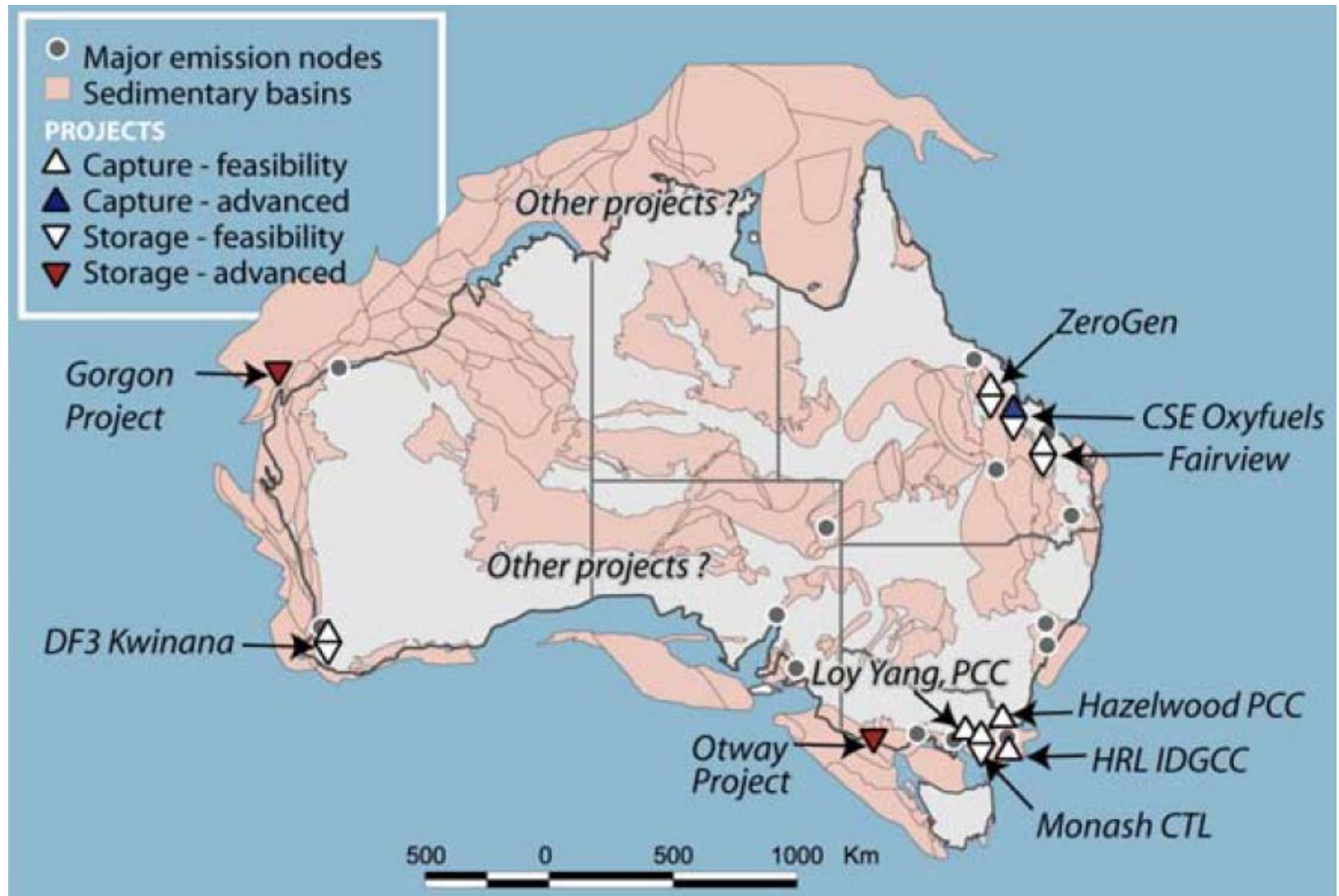
# ConocoPhillips사의 영국 Immingham CCS 프로젝트

## Humber Area Existing Power Plants & Proposed CCS Schemes

Total potential CO<sub>2</sub> emissions ~ 80 MMT/yr (14% of UK)



# 호주의 CCS 프로젝트 추진 현황





# 호주 Otway 프로젝트

(총 3천만 호주달러 예산 (정부 2천만불), 2 km 깊이 CO<sub>2</sub> 주입)





# 2008년 7월 일본 홋카이도 G8 정상회담 위한 CCS 워크숍 자료 site

아래의 각 웹 사이트에서 상세한 자료를 다운받을 수 있음.

- 1) IEA 사이트 : <http://www.iea.org>
- 2) CSLF 사이트 : <http://www.cslforum.org>
- 3) IEA G8 Gleneagles 프로그램 사이트 :  
<http://www.iea.org/G8/index.asp>
- 4) 오슬로 워크숍 사이트 : <http://www.g8-ccs-assessment.com>
- 5) 오슬로 워크숍 발표자료 : <http://www.g8-ccs-assessment.com/programme.html>
- 6) 2007년 11월 제3차 캐나다 워크숍 사이트 : <http://www.CO2network.gc.ca>