

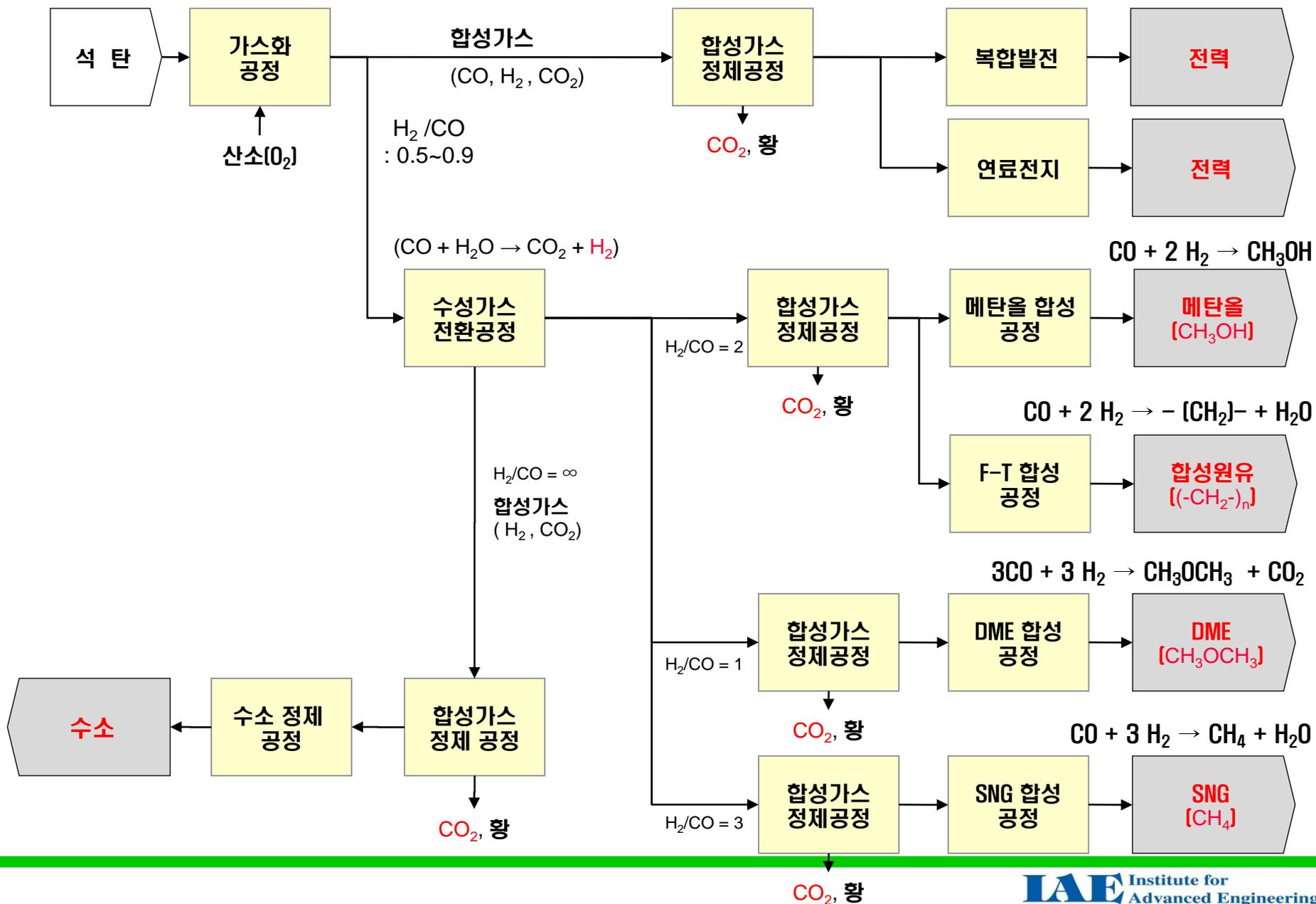
석탄 합성가스의 합성연료 변환 사업

2011. 4. 6

유 영 돈

고등기술연구원
Plant Engineering 센터

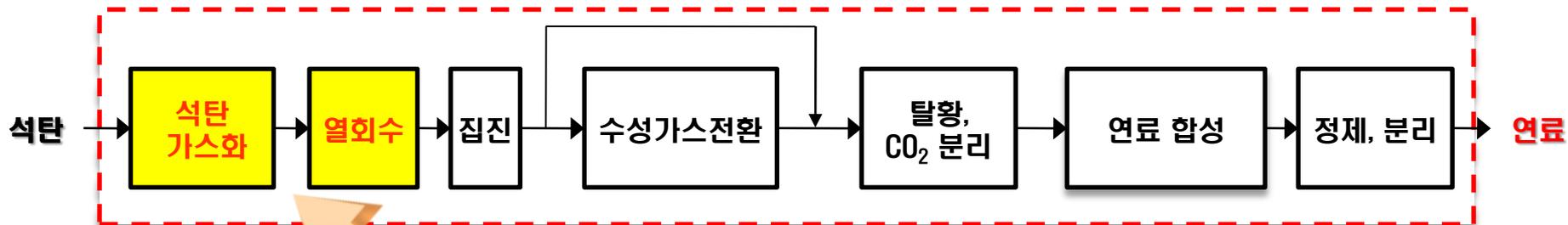
석탄 가스화 기반연료 및 원료 공정 개념도



석탄 가스화 기반으로 한 연료 및 원료 합성 조건

대상 물질	Methanol	DME	F-T Liquid	SNG
주요 반응식/ [반응열] (kJ/mol)	$\text{CO} + 2 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH}$ (91)	$3\text{CO} + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OCH}_3 + \text{CO}_2$ (246)	$\text{CO} + 2 \text{H}_2 \rightarrow -(\text{CH}_2)- + \text{H}_2\text{O}$ (165)	$\text{CO} + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (206)
온도 (°C)	230~300	250~320	350/250	250~700
압력 (MPa)	5~10	3~10	0.1~3	> 2
촉매	Cu/Zn/Al ₂ O ₃	Cu/Zn/Al ₂ O ₃ /γ-Al ₂ O ₃	Co, Fe	Ni
H ₂ /CO 비율	2	1	0.4 이상/ 2	3
CH ₄	최소	최소	최소	최대
CO ₂	제거는 선택사항	제거는 선택사항	제거는 선택사항	제거
황화합물	ppb 수준	ppb 수준	ppb 수준	ppb 수준
추가 정제 및 분리 공정	수분, CO ₂ , DME 분리	수분, CO ₂ , methanol 분리	정제 공정 필요	수분 제거

합성연료를 위한 가스화기 선정시 고려 사항



Coal composition
Coal rank

● Gasification condition

- Temperature, Pressure, Heating rate, Residence time
- Oxidant : air, O₂, steam

● Plant configuration

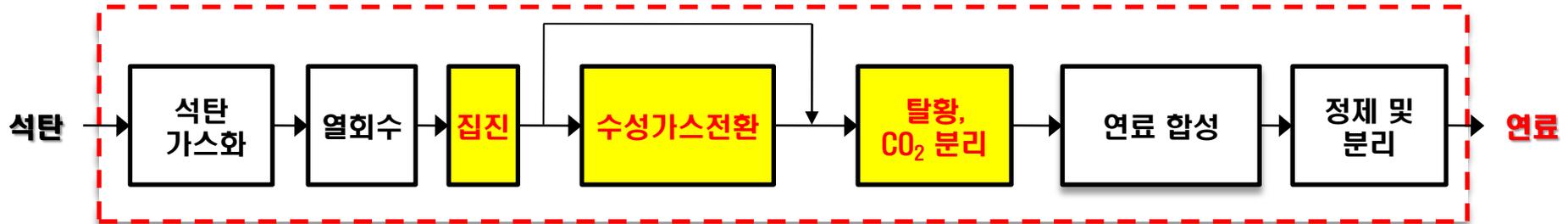
- Coal feeding system : powder, slurry
- Flow geometry
- Heat recovery, protecting
- Syngas cleaning

Chemical
Synthesis Product

합성연료에 따른 가스화기 선정시 고려 항목

고려 항목	Methanol / DME / F-T Liquid	SNG
Pressure	<ul style="list-style-type: none"> • 가스화기 운전 압력이 높을수록 유리, 건식가스화 방식보다 습식가스화 방식이 유리 	
Temperature	<ul style="list-style-type: none"> • Slagging/Non-slagging에 의해 결정 • 가스화기 온도가 높은 분류층 방식이 유리 	<ul style="list-style-type: none"> • Slagging/Non-slagging에 의해 결정 • 가스화기 온도가 낮은 고정층, 유동층 방식이 유리
Oxidant	<ul style="list-style-type: none"> • 99% 이상의 산소 순도 	<ul style="list-style-type: none"> • 99% 이상의 산소 순도 • 합성가스 내 H₂ 농도가 높이기 위해 증기 필요
Coal feeding system	<ul style="list-style-type: none"> • 건식가스화 방식보다 습식가스화 방식이 유리 	
Flow geometry		<ul style="list-style-type: none"> • 온도 제어를 통해 합성가스 내 CH₄ 농도가 높은 2단 가스화 방식이 유리
Heat recovery, protecting	<ul style="list-style-type: none"> • 습식 가스화 방식일 경우, 열손실을 최소화 할 수 있는 내화벽 방식 채택하며, 내화벽을 보호할 수 있는 냉각 방식 채택 • 가스화기 노벽의 보호를 위해 membrane wall 방식이 유리 	
합성가스 내 CH ₄ 농도	<ul style="list-style-type: none"> • CH₄ 낮을수록 유리 • 가스화 온도가 높을 수록유리 (slagging 가스화 방식이 유리) 	<ul style="list-style-type: none"> • CH₄ 높을수록 유리 • 가스화 온도가 낮은 유동층 방식 또는 Non-slagging 가스화 방식이 유리 • Slagging 방식에서는 2단 가스화 방식을 채택
CO ₂	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ 제거 여부는 선택사항 	<ul style="list-style-type: none"> • CO₂ 제거 여부는 필수사항이므로, CO₂ 배출량이 최소화 할 수 있는 건식 가스화 방식이 유리

합성연료를 위한 정제 설비 고려 사항



● 집진

- 집진 후단 온도가 300°C 이상

● 수성가스전환설비

- By-pass 유량 제어를 통해 H₂/CO 비율 조정, Sour gas 용 Co-Mo 촉매 사용
- 공정의 단순화를 위해 화학원료 합성과 수성가스전환을 동시에 진행하는 공정도 있음

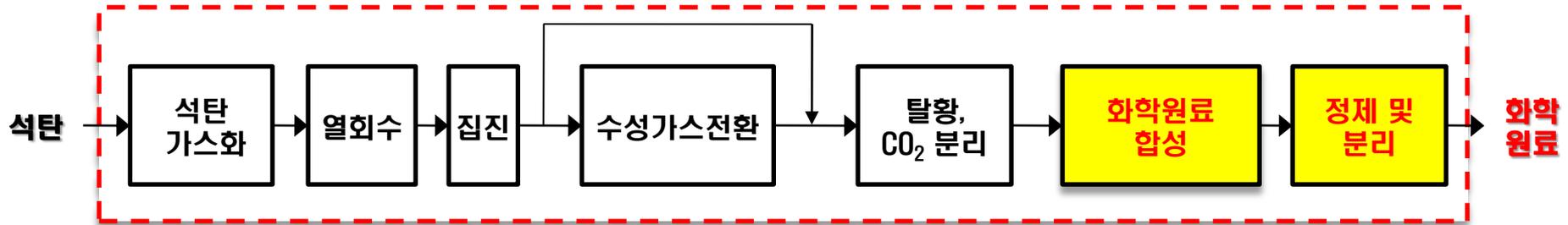
● 탈황

- 촉매의 피독을 방지하기 위하여 황 화합물은 ppb 수준까지 제거
- Rectisol 공정 적용 / Selexsol 공정 + ZnO Guard bed 적용도 가능
- 기타 : Total halides < 10 ppb, Acetylene < 10 ppb, NH₃ < 10 ppb, HCN < 10 ppb, Iron Carbonyl < 10 ppb, Nickel Carbonyl < 10 ppb

● CO₂ 제거

- Methanol, DME, F-T 합성에서는 반드시 CO₂ 제거가 필요하지는 않음
- SNG 공정에서는 반드시 CO₂ 제거가 필요

합성연료 공정 선정시 고려 사항 (1)



● 공급 조건

- $H_2/CO = 1, 2, 3$ 으로 제어
- 탈황, CO_2 제거(SNG 제조 공정에서는 필수)
- 열교환을 통해 촉매의 활성 온도 이상으로 예열

● 반응기의 운전 압력

- 최적 합성 압력 이상
- 수송 및 저장을 고려하여 압력 결정

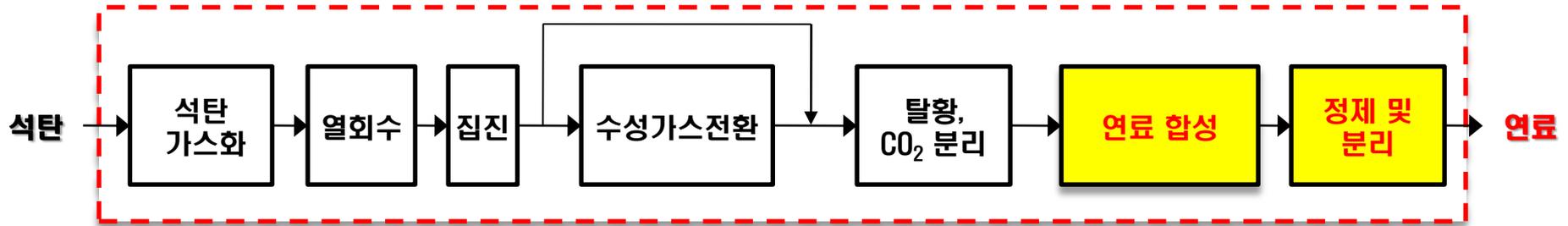
● 에너지 회수

- 촉매의 최대 사용 온도, 전환률을 고려하여 결정
- 에너지 이용 효율 측면에서의 고압 증기 회수가 유리

● Co-production

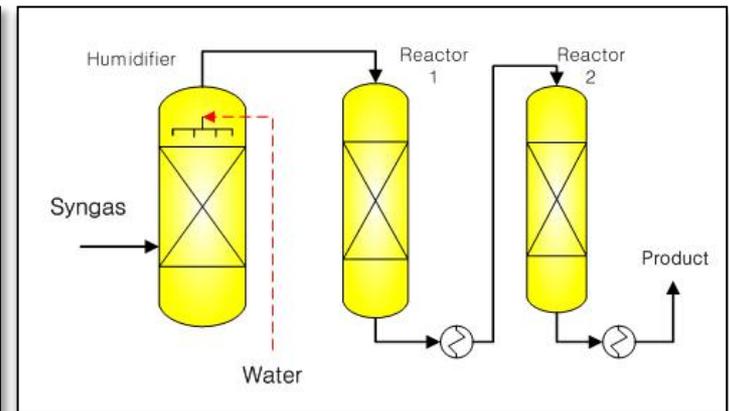
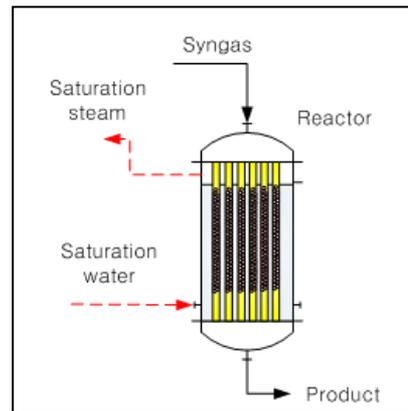
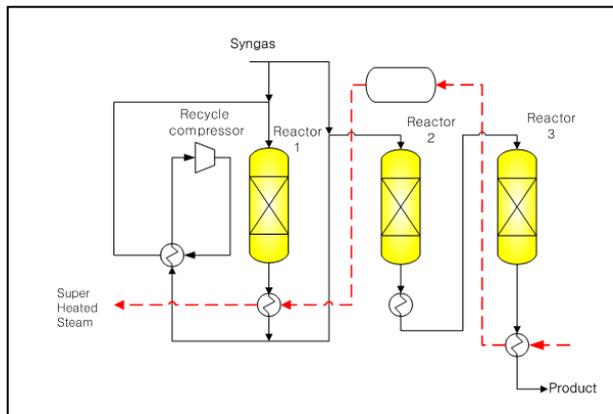
- 전력 생산등을 고려하여 합성 시스템 결정
- Once-through, Recycle 공정을 선택

합성연료 공정 선정시 고려 사항 (2)

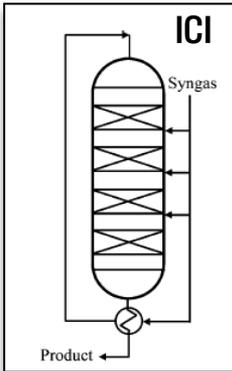
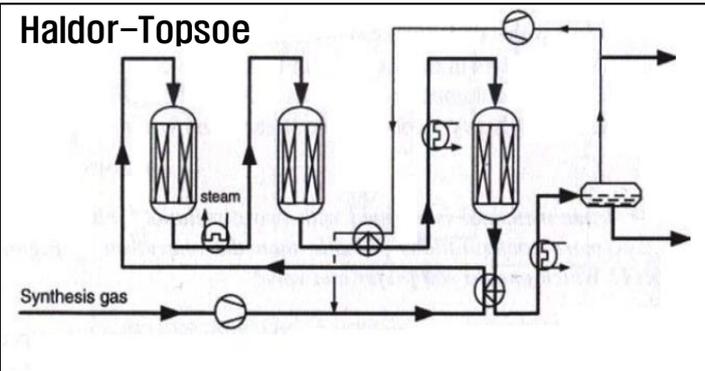
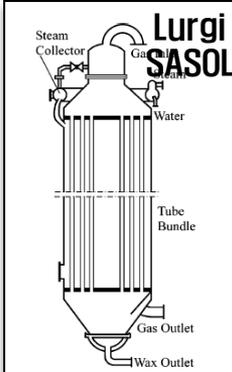
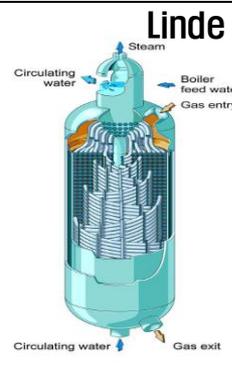
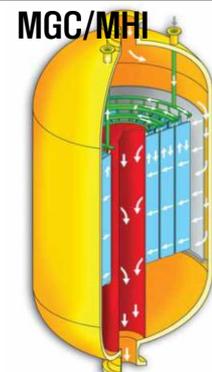
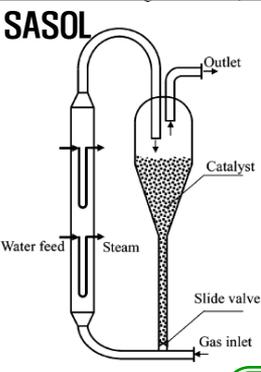
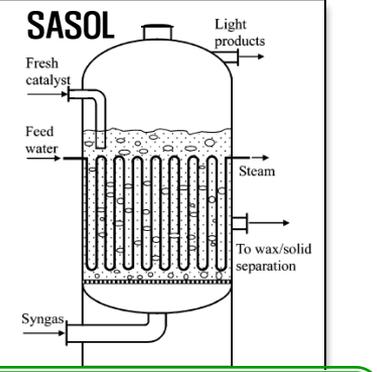
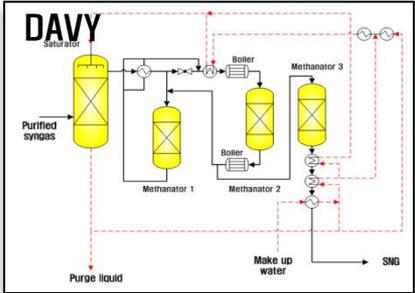


● 반응열을 제어하기 위한 반응기의 종류

- Equilibrium-limited reactor : Gas recycling, Feed gas splits, Reactor in series
- Throughwall-cooled reactor : 강제적인 냉각 방법 적용
- Steam-moderated reactor : 증기에 의한 온도제어와 수성가스전환반응을 동시에 진행
- Combined reactor



반응열을 제어하는 방법에 따라 반응기의 종류

<p>Equilibrium-limited reactor</p>	 <p>ICI</p>	 <p>Haldor-Topsoe</p>			
<p>Throughwall-cooled reactor</p>	 <p>Lurgi SASOL</p>	 <p>Linde</p>	 <p>MGC/MHI</p>	 <p>SASOL</p>	 <p>SASOL</p>
<p>Steam-moderated reactor</p>	 <p>DAVY</p>				

- **공정의 경제성**
 - Heat recovery
 - Energy integration
 - Recycle scheme
 - Refining, separation

- **반응기 선정**
 - Single train capacity
 - Energy recovery (steam quality)
 - Catalyst volume
 - Pressure drop
 - Conversion

중국 내의 SNG 프로젝트 진행 현황 (1)



2011-1 No.	Company	Status
1	Huining Coal Chemical	Construction underway
2	Shenhua Group	Construction underway
3	CNOOC	Proposed
4	China Huadian Hulunbeier Energy	Proposed
5	Huaneng Yimin Coal & Power Generation Crop.	Proposed
6	Datang /Beijing Gas/ Tianjin Jinneng	Construction underway
7	China Guedian Corporation	Proposed
8	Beijing Holding Group	Planned
9	CNOOC, Datong Coal Mining Group	Proposed
10	CPIC, Shandong Xinwen Mining Group	Construction underway
11	Luan Group	Planned
12	China National Coal Group	Planned
13	Yitai Group	Planned
14	Xinjing Guotou Baodi Energy	Planned
15	Qinghua Group	Construction underway
16	Shendong Tianlong Group	Construction underway
17	China Huaneng Group	Construction underway
18	Henan Coal Chemical Group	Planned
19	China National Coal Group	Planned
20	China Huadian Corporation	Planned
21	Kailuan Group	Planned
22	Xinjiang Guanghui Group	Proposed
23	Anhui Province Energy Group / SDIC	Planned
24	Datang International	Construction underway
25	Sichuan Coal gasification Co., Ltd.	Proposed



중국 내의 SNG 프로젝트 진행 현황 (2)

● 대당국제(大唐国际; Datang International) SNG 프로젝트(6)

- 내몽고 츠핑시, 228억위엔(약 33.13억달러) 투자
- SNG : 1200만 Nm³/d (40억 Nm³/년, 2.8 백만톤/년)
- 2009년 5월 착공
- 2011년부터 448 km 수송배관을 통해 북경에 SNG 공급

● 요녕대당국제 푸신 (辽宁大唐国际阜新) SNG 프로젝트(24)

- 226억위엔(약33.13억달러)를 투자
- SNG : 1200만 Nm³/d (40억Nm³/년)
- 1100km 수송배관을 통해 심양, 대련에 SNG 공급

● 화인전력(华银电)과 광동불산공용사업 (广东佛山公用事业) 공고회사 SNG 프로젝트(2)

- 174억위엔 투자, 15억 Nm³/년의 SNG 프로젝트
- 2009년 착공, 2011년부터 생산 시작

● 신화닝매그룹 (神华宁煤集团) SNG 프로젝트(1)

- 2009년 4월 8일 내몽골 어얼뒤스(鄂尔多斯)에 SNG 프로젝트 착공 (2009년 4월 자료)
- 140억위엔 투자, 부지 면적 1,000,000 m²
- SNG 생산량 : 20억Nm³/년, 2008년 8월 착공, 2012년 생산 투입 예정



대당국제(大唐国际; Datang International) SNG 프로젝트 (1)

	설비명	능력	수량	비고
1	석탄공급	505 T/h	3	
2	석탄가스화	합성가스 : 44,000 Nm ³ /h	48	48대 Lurgi 가스화기 (spare 3기)
3	CO 전환, 냉각	218,700 Nm ³ /h	6	부분 변환
4	저온 메탄올 세척	336,500 Nm ³ /h	6	
5	메탄화	220,000 Nm ³ /h	6	
6	흡수 냉각		6	
7	ASU	산소제조 45,000 Nm ³ /h	6	
8	황회수		3	
9	석탄가스, 수분 분리	500 T/h	6	
10	페놀분리		6	
11	암모니아		3	
12	오수처리 및 회수	450 T/h	3	
13	증기보일러	390 T/h	6	9.81MPa; 540°C

대당국제(大唐国际; Datang International) SNG 프로젝트 (2)

● 대상탄 : 갈탄

- 수분 34.1%, 회분 11.22%
- 발열량(LHV) : 14.4 MJ/kg
- 가격 : 120위엔/톤 (19,000원/톤)

● 생산품

	품명	연간 생산량	생산품 가격	비고
1	SNG	40억 Sm ³	1.6 위엔/Nm ³ (256 원/Nm ³)	0.23 달러/Nm ³
2	타르	508,800톤	1,200 위엔/톤	175.92 달러/톤
3	나프타	101,280톤	2,800 위엔/톤	410.5 달러/톤
4	페놀	57,600톤	4,200 위엔/톤	615.7 달러/톤
5	유황	120,036톤	800 위엔/톤	117.3 달러/톤
6	액체암모니아	52,560톤	1,600 위엔/톤	234.6 달러/톤

● SNG 조성 : 6.75톤-water/1000 Nm³-SNG

SNG 조성	CO	CO ₂	N ₂ +Ar	H ₂	CH ₄	합계
함량 vol.%	0.05	0.77	1.0	2.48	95.7	100

미국 내의 석탄/Pet coke SNG 프로젝트 (10. 7)

No.	Name	Developer	Location	SNG capacity (MCFD/MNm ³ /d)	Gasification	Notes
1	Taylorville Energy Center	Tenaska	Taylorville, IL	65/1.84	Siemens (2X 500MWth)	SNG IGCC Coal : 6500 Tons/d 건설비 : \$3.5 billion Feasibility study 완료시점 : 2014년
2	Cash Creek Generation	ERORA	Cash Creek, KY	93/2.63	GE Quench (3+1 900 CF)	SNG IGCC
3	Power Holdings	Power Holdings	Jefferson County, IL	150/4.25	GE Quench (5 X 900 CF)	On hold ?
4	Secure Energy	ICG, Secure Energy	Decatur, IL	45-56/1.27-1.59	Siemens (2X 500MWth)	Coal : 1.4 million tons/y SNG to BP. 건설비 : \$800 Million 2013년 가동
5	Indian Gasification	Leucadia/E3, Johnston	Indiana	110/3.1	GE	
6	Kentucky New Gas	Peabody/COP	Kentucky	160-190/4.5-5.4	CoP E-gas	Seq. tests planned in KY
7	Hunton	Hunton Energy	Brazoria County, TX	180/5.1 + 100MW + steam	TBD/Pet coke	SNG + steam to Dow
8	Mississippi	Leucadia	International Paper site, MS	125/3.54	TBD	Pet coke
9	Lackawana Clean Energy	Lackawana Clean Energy	Lackawana, NY	85/2.4	TBD	Pet coke/bio mass

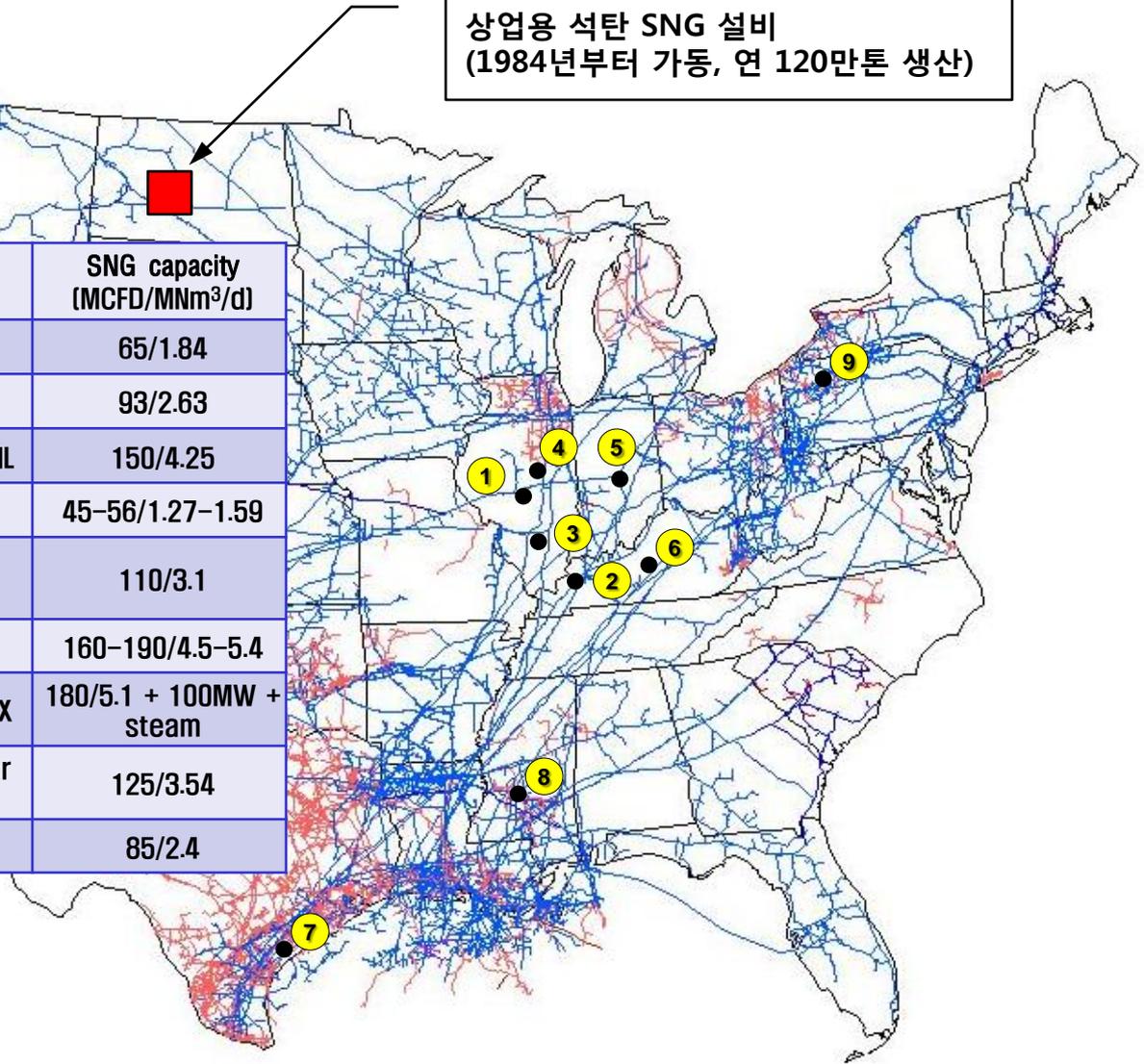
미국내의 석탄 SNG 사업 추진 현황

상업용 석탄 SNG 설비
(1984년부터 가동, 연 120만톤 생산)

No.	Name	Location	SNG capacity (MCFD/MNm ³ /d)
1	Taylorville Energy Center	Taylorville, IL	65/1.84
2	Cash Creek Generation	Cash Creek, KY	93/2.63
3	Power Holdings	Jefferson County, IL	150/4.25
4	Secure Energy	Decatur, IL	45-56/1.27-1.59
5	Indian Gasification	Indiana	110/3.1
6	Kentucky New Gas	Kentucky	160-190/4.5-5.4
7	Hunton	Brazoria County, TX	180/5.1 + 100MW + steam
8	Mississippi	International Paper site, MS	125/3.54
9	Lackawana Clean Energy	Lackawana, NY	85/2.4

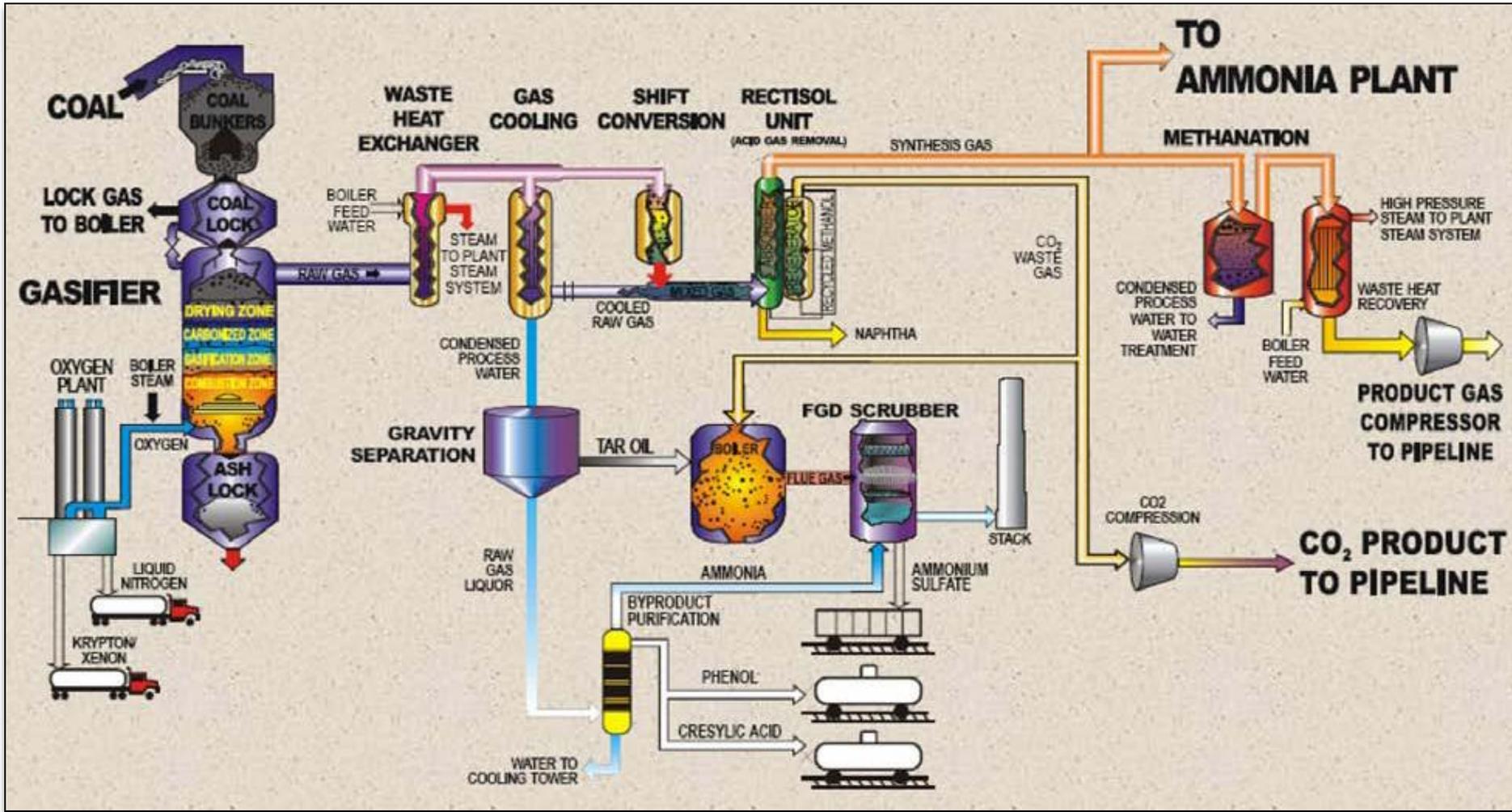
Legend

- = Interstate Pipelines
- = Intrastate Pipelines

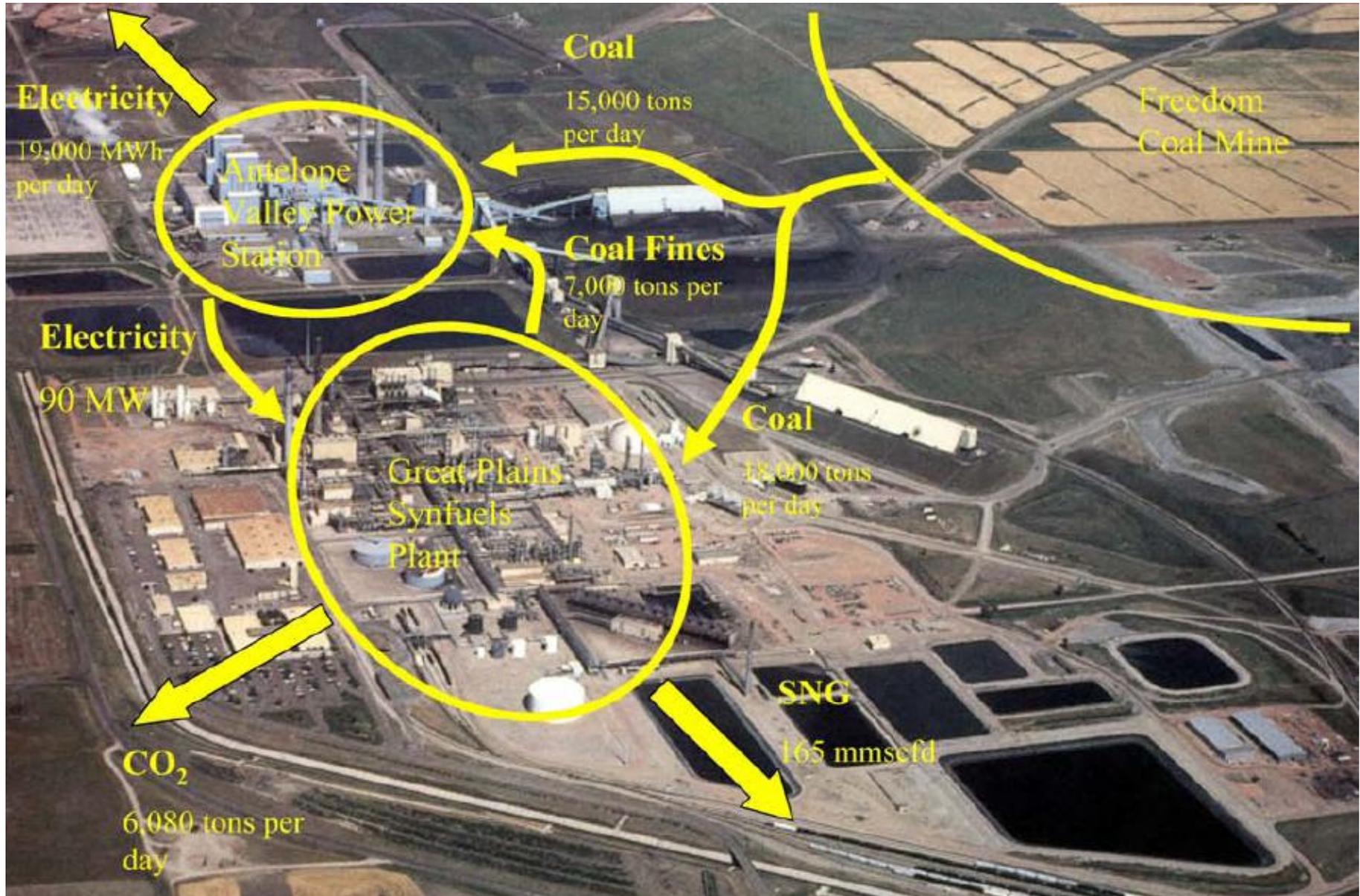


Source: Energy Information Administration, Office of Oil & Gas, Natural Gas Division, Gas Transportation Information System

North Dakota SNG plant : 설비 개략도



North Dakota SNG plant : 전경



North Dakota SNG plant : 특징 요약

● 설비명 : DGC Great Plains Synfuel Plant (미국 North Dakota 주)

● 설비 개요

- 운전 시작 : 1984년. 운전개시 이래 현재까지 안정적으로 운전 중. 연간 가동율은 90% 이상
- 원료 : 설비 인근에서 채굴한 갈탄(수분 38%, 회분 6%, 3900 kcal/kg)
- 원료공급량 : 18,000 톤/일
- 제품 : 도시가스(메탄) ; 480 만m³/day (267 Nm³/T-coal)외 부산물

● 가스화

- Lurgi Mark IV 14기(2기 spare), fixed bed, dry ash type
- 30기압, 1200°C

● 수성가스전환 공정

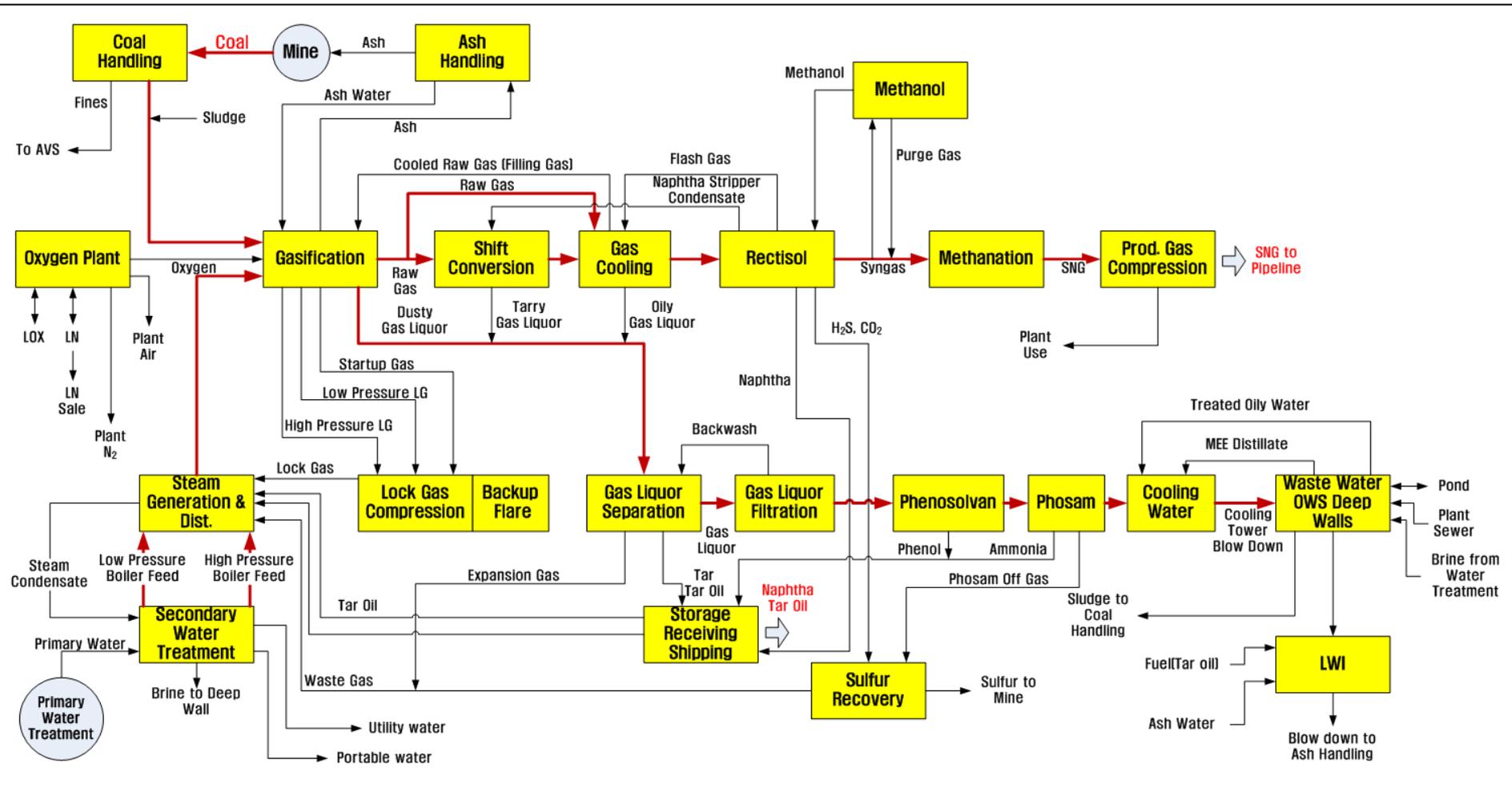
- 탈황전 공정으로, H₂/CO 비율을 3.0 정도로 조정
- Co-Mo 촉매 사용
- 전체 합성가스의 30% 정도 공급

● 합성가스 정제공정

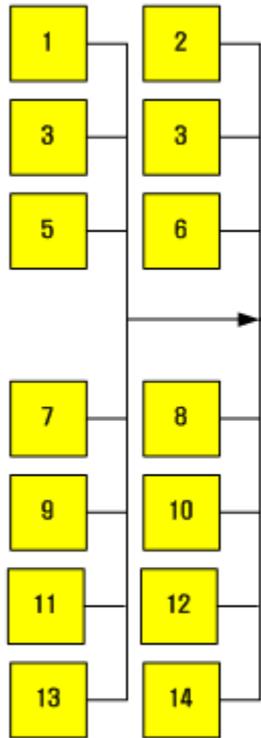
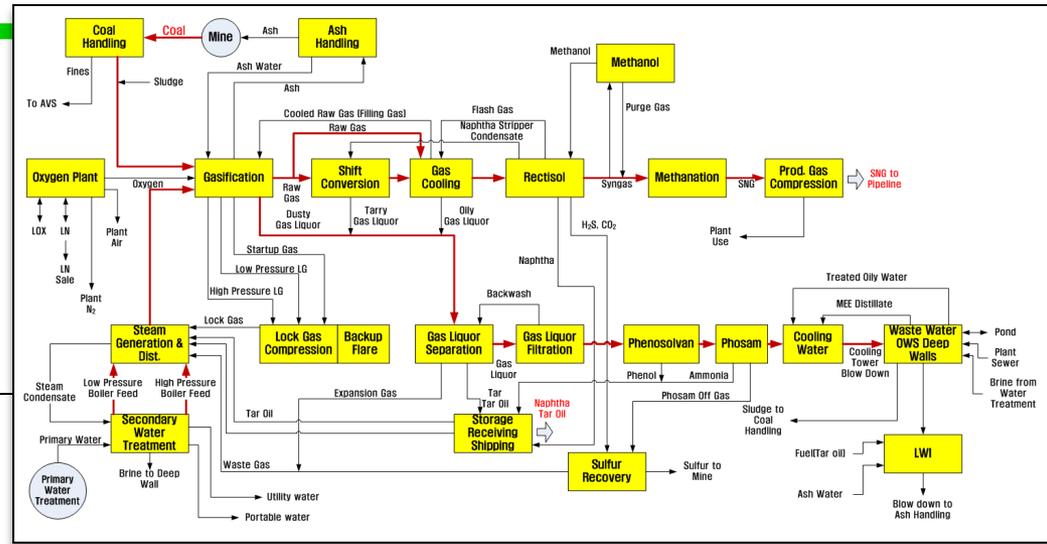
- 산성가스제거 : Rectisol 공정, 황회수 : Stretford 공정
- CO₂ 분리 공정 : Rectisol 공정에서 H₂S와 CO₂ 동시 분리
- CO₂ EOR : 5000톤/일(16.5 Mpa, 330 km 이송, CO₂ 96.8%, H₂S 1.1%)



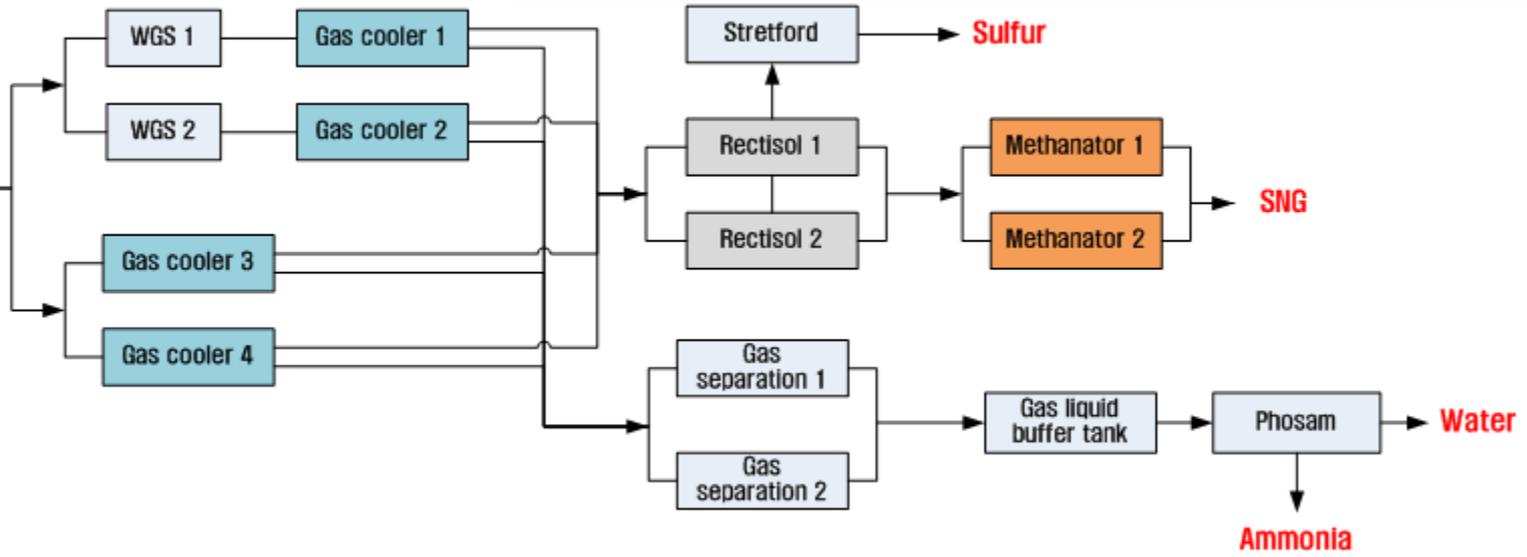
North Dakota SNG plant : 설계시 공정 흐름도



North Dakota SNG plant : Train concept



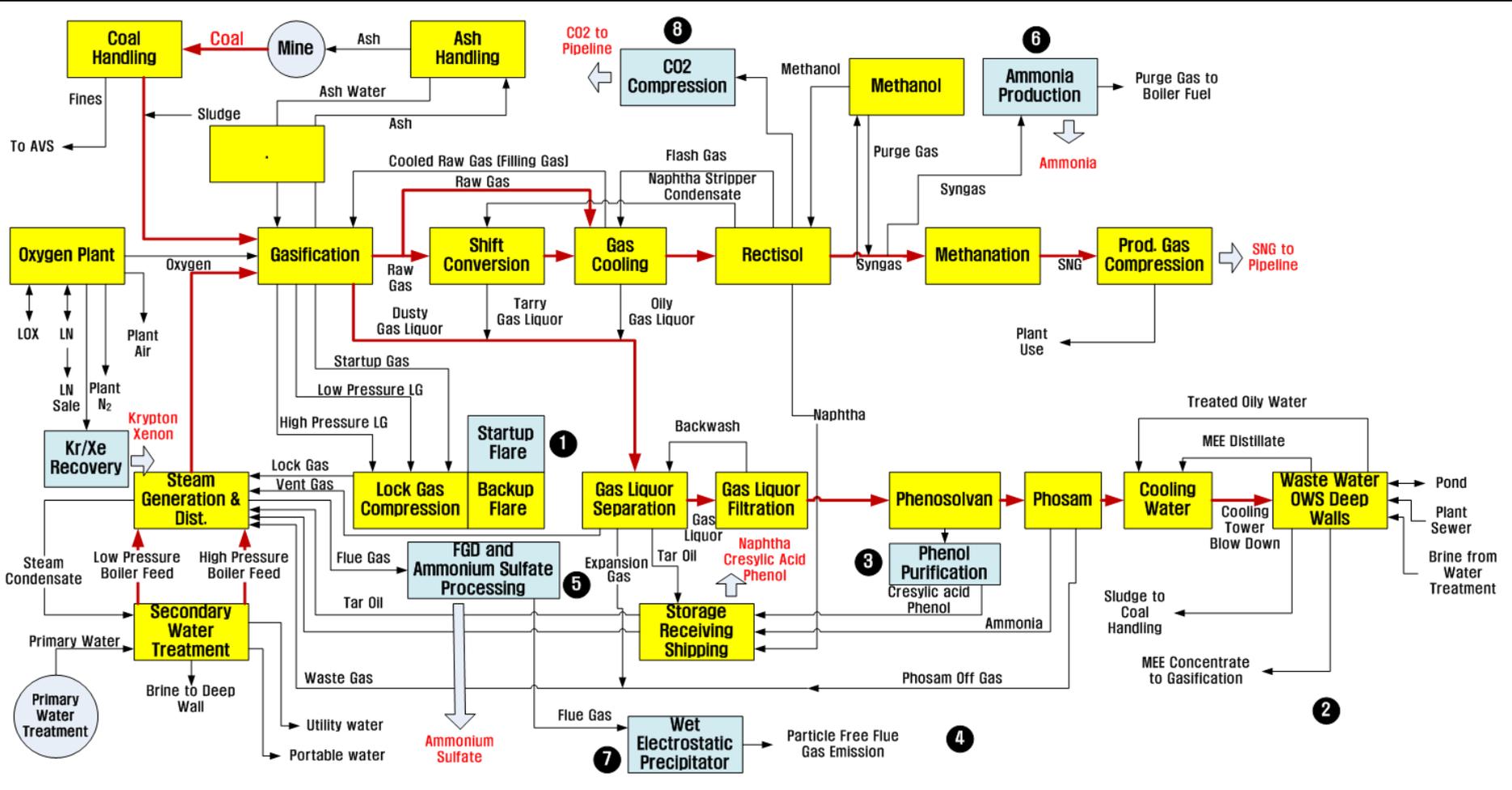
Gasifier



North Dakota SNG plant : 부산물

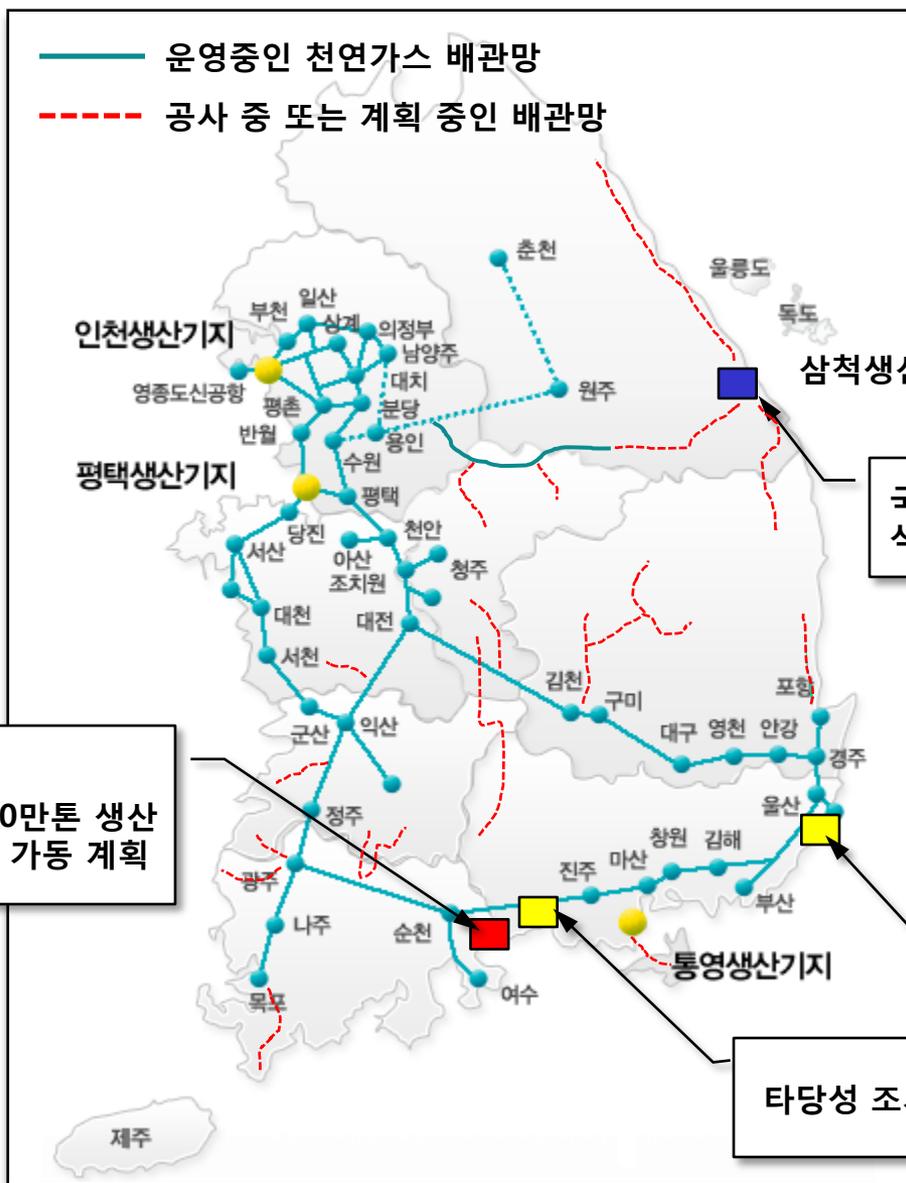
부산물	생산량
Ammonium Sulfate [(NH ₄) ₂ SO ₄]	• 110,000 Ton/year
Anhydrous Ammonia (NH ₃)	• 400,000 Ton/year
Carbon Dioxide (CO ₂)	• 1.56 MMTon/year
Dephenolized Cresylic Acid (71% C ₇ H ₈ O, 12% C ₈ H ₁₀ O, 8% C ₈ H ₁₂ O)	• 33 MM pound/year
Krypton and Xenon gas (89% Kr, 8% Xe)	• 3.1 MM liter/year
Liquid Nitrogen (N ₂)	• 200,000 gallons/year
Naphtha (46% C ₆ H ₆ , 18% C ₇ H ₈ , 4% C ₈ H ₁₀)	• 7 MM gallons/year
Phenol (C ₆ H ₆ O)	• 33 MM pounds/year

North Dakota SNG plant : 현재 공정 흐름도



- 1) Addition of a Startup Flare, 2) Removal of LWI, 3) Phenol Purification unit added
 4) Sulfur Recovery (Stretford) Unit removed, 5) Flue Gas Desulfurization unit added
 6) Ammonia plant added, 7) CO2 Compression and Pipeline added 8) Wet Electrostatic Precipitator added

우리나라 석탄 SNG 사업 추진 현황



국내 기업, 발전사에서 석탄 SNG 설비 타당성 조사

상업용 석탄 SNG 설비
 ▪ 1호기 2014년부터 가동, 연 50만톤 생산
 ▪ 2호기 2017년부터 연 50만톤 가동 계획

타당성 조사

타당성 조사

● 설비 개요

- 용량 : 연산 SNG 50만톤 생산
- 석탄 처리량 : 5500톤/일 (아역청탄 사용, 20%까지 Pet coke 혼합 가능)
- 설치 위치 : 전남 광양 포스코 제철소 내

● 프로젝트 참여

- EPC : 포스코건설
- 상세설계 : 대우엔지니어링
- FEED : Jacobs

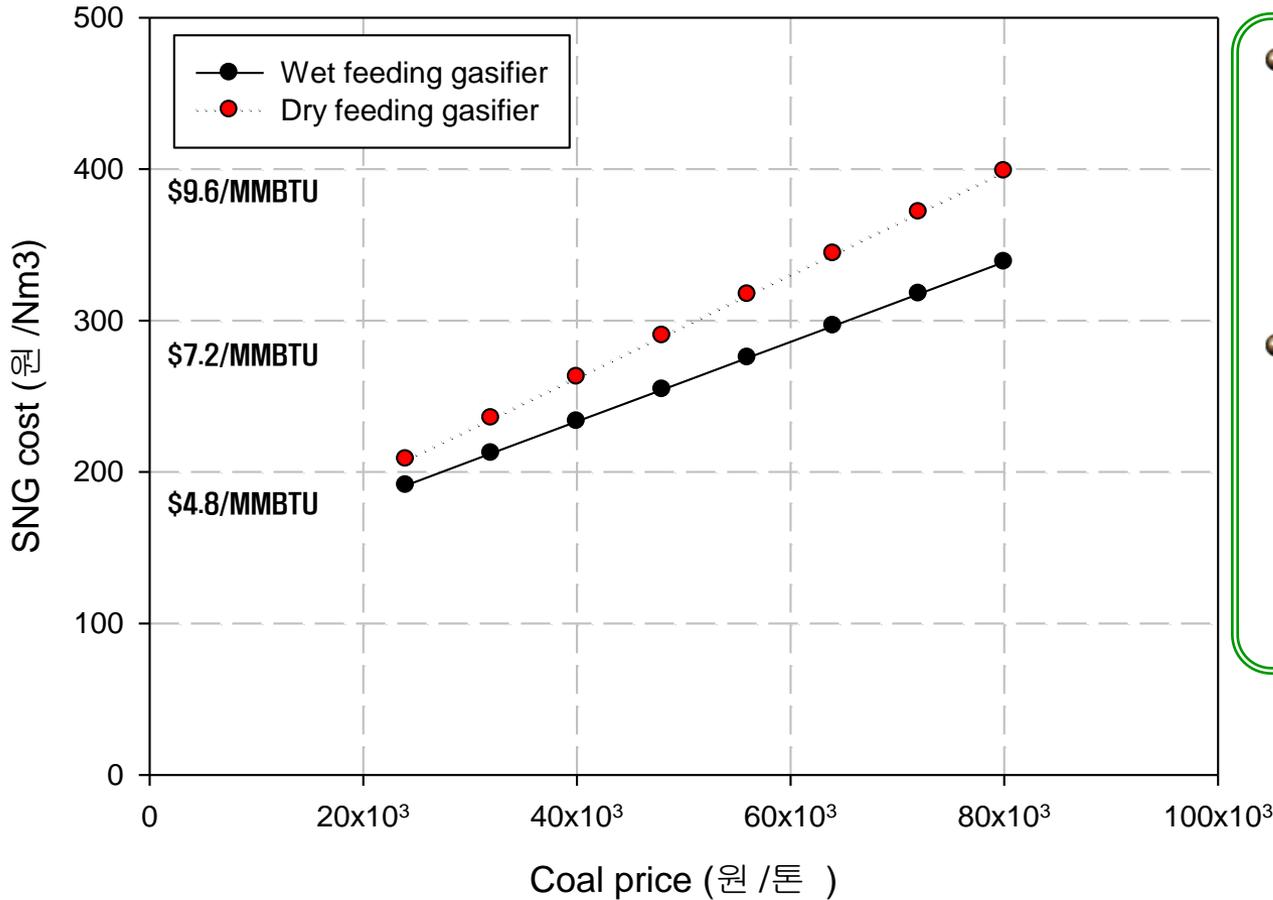
● 공정 라이선서

- 가스화기 : ConocoPhillips사 E-Gas
- 수성가스전환 : Linde, 합성가스 정제 : Linde사 Rectisol, 황회수 : Ortloff사
- 메탄합성 : Haldor Topsoe사 TREMP

● 일정

- PDP : 가스화기 ; 2010년 $\frac{3}{4}$ 분기 완료, 정제 및 메탄화기 ; 2011년 $\frac{1}{4}$ 분기 완료
- FEED : 2011년 $\frac{1}{4}$ 분기 완료
- 상세설계 : 2011년 완료
- 공사 : 2011년 4월 착공

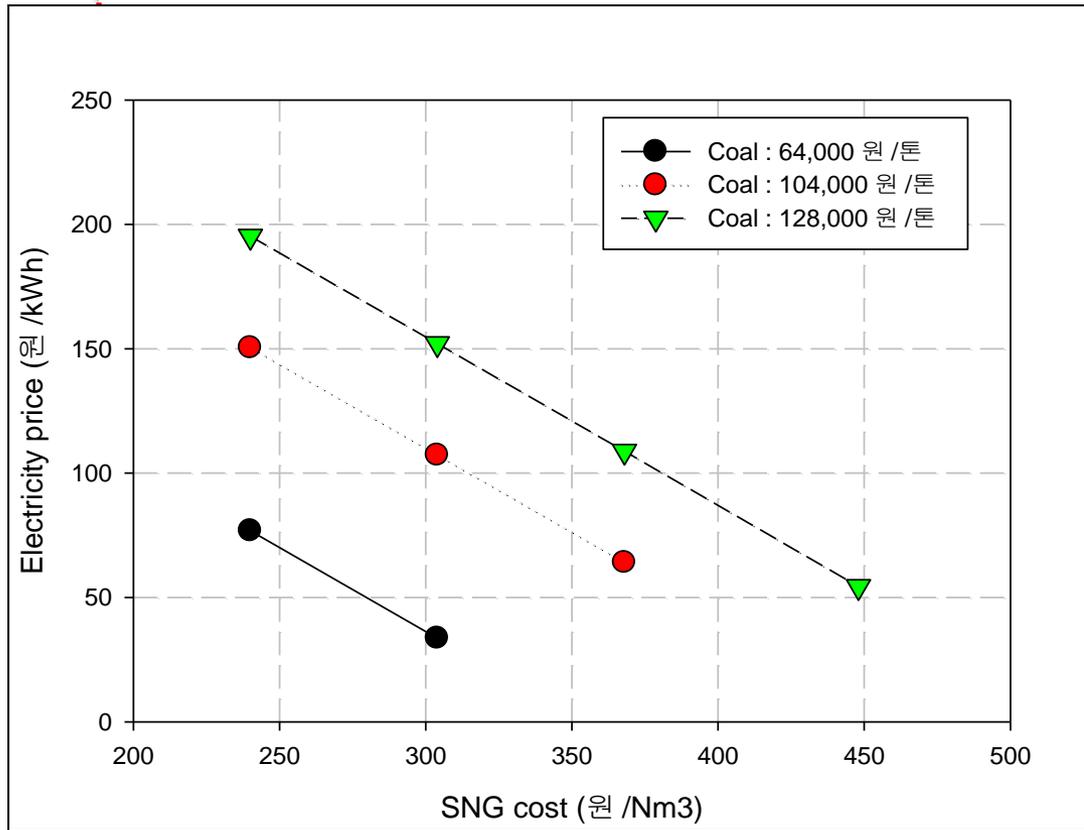
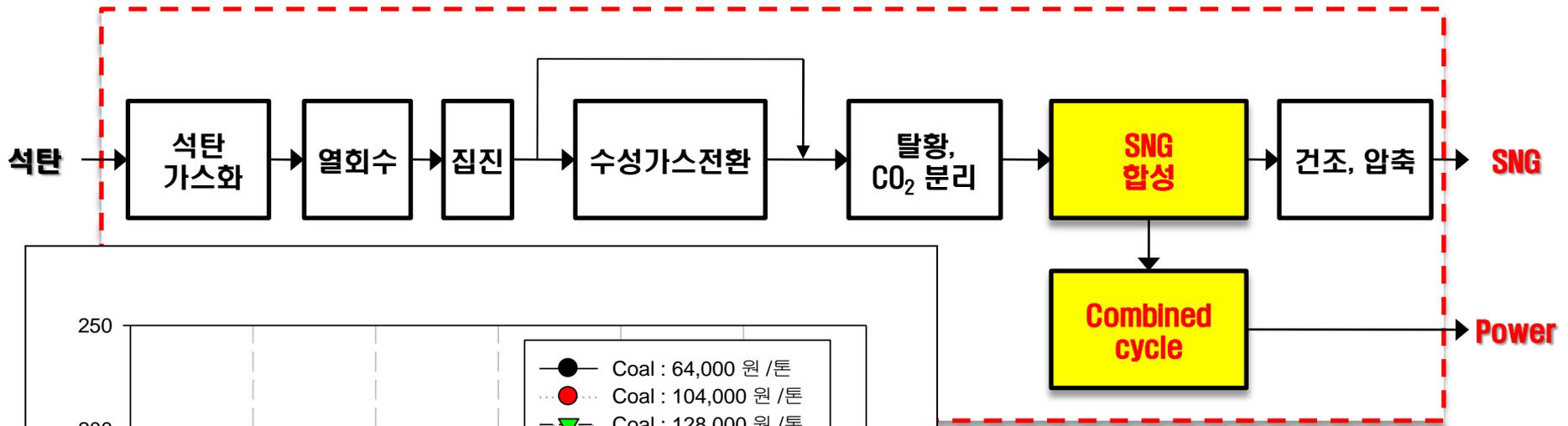
SNG 생산 가격



- 습식가스화 적용(내몽고지역)
 - SNG : 16 억Nm³/y 용량
 - SNG 제조 원가
 - 석탄비용 : 53%
 - 감가상각비 : 20%
- 건식가스화 적용(산둥지역)
 - SNG : 40 억Nm³/y 용량
 - SNG 제조 원가
 - 석탄비용 : 59%
 - 감가상각비 : 15%

- 1) 석탄으로부터 천연가스 제조의 경쟁력 분석 (2010년 1월, 중국 Coal-To-SNG conference 발표자료)
1 위안 = 160원, 1 \$ = 1100원
- 2) 현재 천연가스 배관을 통한 공급 가격 : 서기동수 1선 : 84원/Nm³, 섬경 1, 2선 : 109원/Nm³ 임
- 3) 현재 건설중인 배관을 통한 공급 가격(예상) : 서기동수 2선 353원/Nm³ (\$8.5/MMBTU, 유가 \$80 기준)

천연가스와의 동시 생산 (Hybrid IGCC) 경제성 분석



1) 석탄으로부터 천연가스 제조와 병합발전 기술의 경제성 분석 (2010년 1월, 중국 Coal-To-SNG conference 발표자료)