



두산중공업

2011 대구 국제 그린에너지 엑스포

## 300MW IGCC 가스화 플랜트 Engineering 및 기술개발 현황



2011. 04. 06

백민수

# Contents

---

**I.**

**IGCC 가스화플랜트 개요**

**II.**

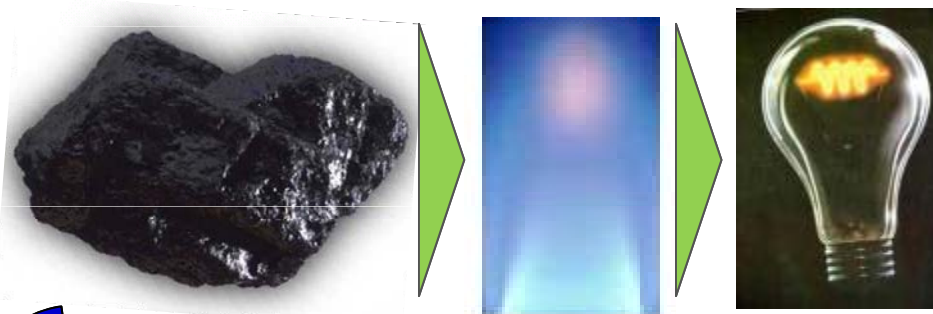
**석탄 가스화플랜트 주요 공정특성**

**III.**

**가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황**

# I. IGCC 가스화플랜트 개요

## ● IGCC의 정의



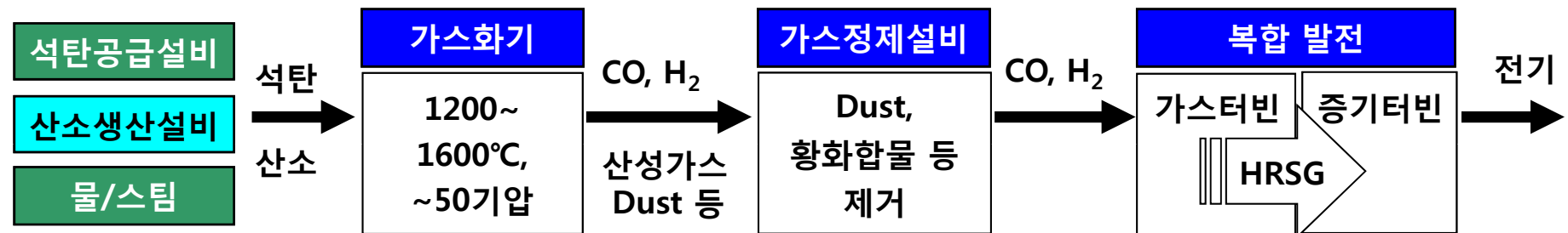
- 고 효율 : 발전효율 40~45% (@HHV\*기준)
- 우수한 환경특성 : 천연가스 수준, CO2 Capture 용이
- 사용연료 다양성 : 저급 석탄 사용가능
- 다양한 응용분야 : CTL\*\*, Chemical , 수소생산 등

\*HHV : Higher Heating Value

\*\*CTL : Coal To Liquid

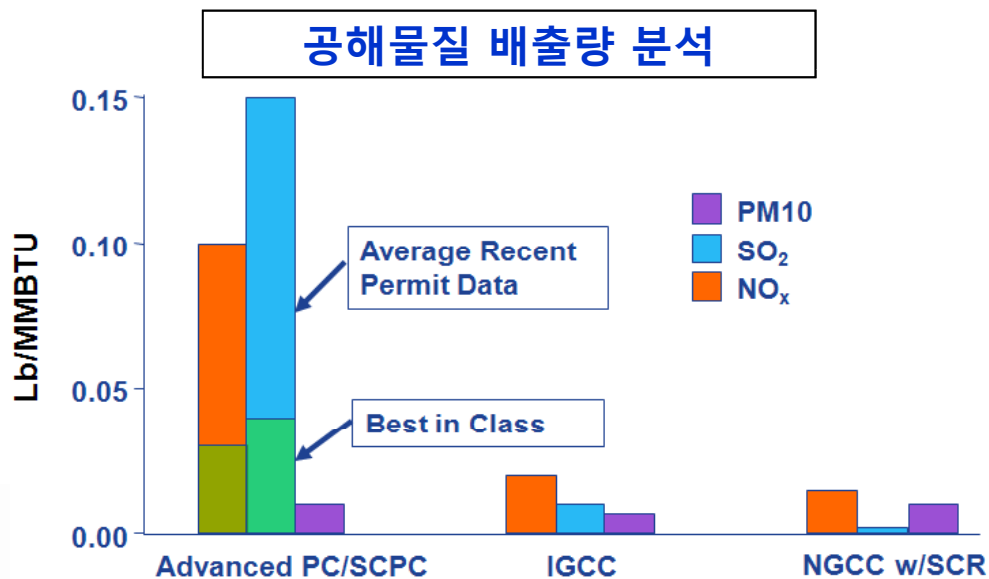
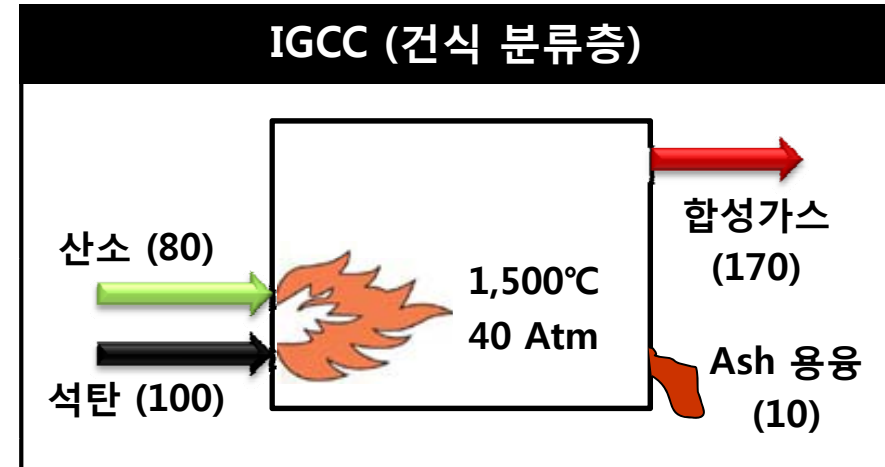
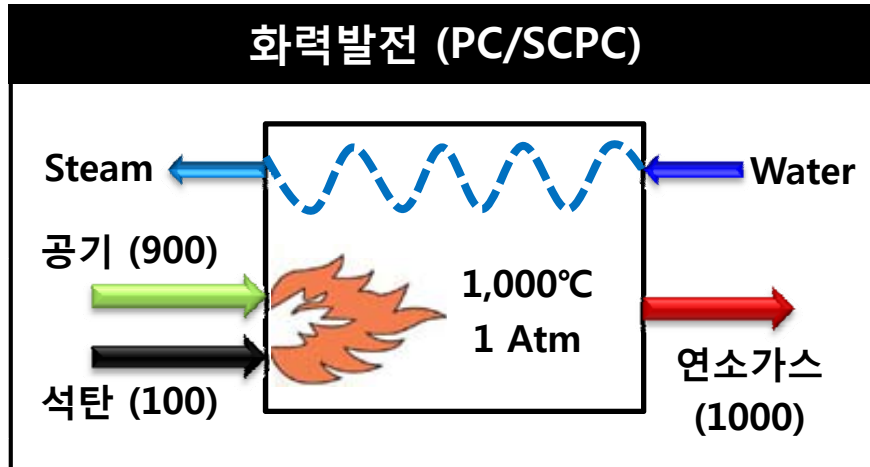
IGCC란 석탄 등 고체연료를 합성 연료가스( $\text{CO} + \text{H}_2$ )로 전환/정제 후, 복합 발전하는 시스템

### [공정 개념]



# I. IGCC 가스화플랜트 개요

## ● 기존 석탄 화력발전과의 차이점



## I. IGCC 가스화플랜트 개요

### ● 상용 운전 중인 석탄 IGCC 발전소 현황

- 전세계 상용급 석탄 IGCC는 미국 2기, 유럽 2기 등 총 4기가 운전 중임.
- 최근 일본은 정부 주도의 250MW 석탄 IGCC 발전소를 Nakoso에 건설완료하여, 현재 운전 중임.



Tampa 250MW 미국-GE Energy 공정



Buggenum 253MW 네덜란드-Shell 공정



Wabash 252MW 미국-Conocophillips 공정



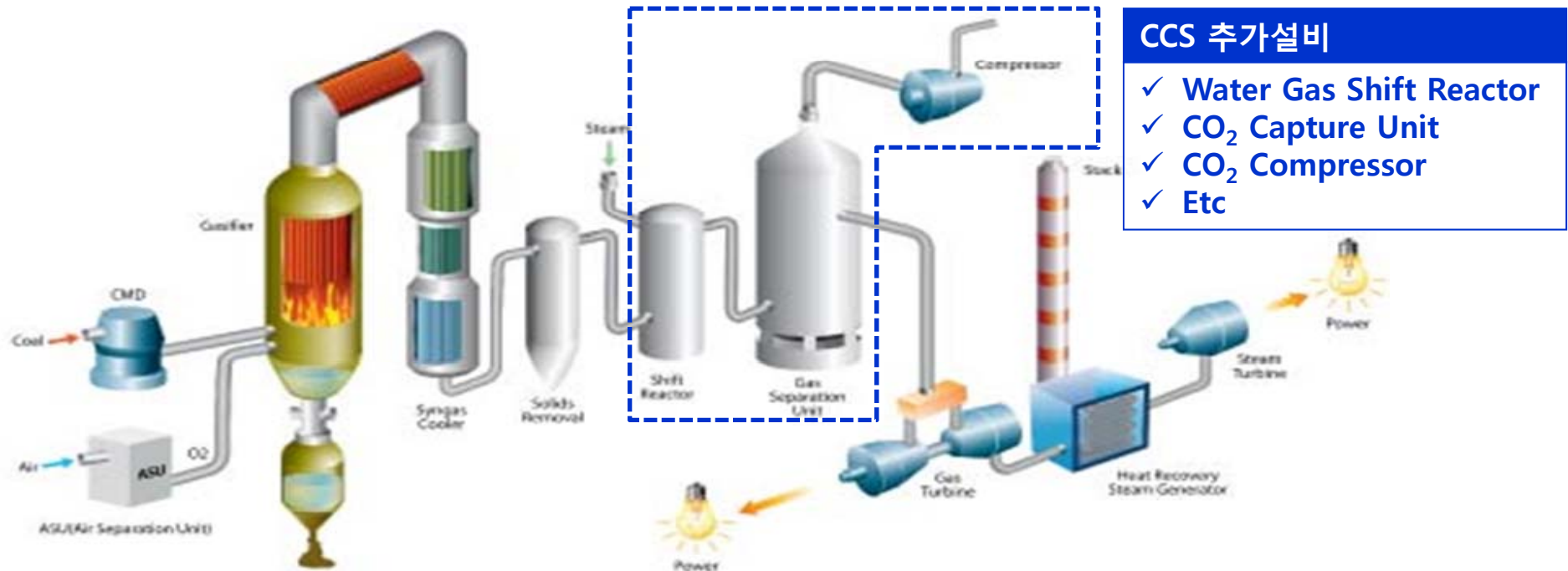
Puertollano 300MW 스페인-Prenflo 공정



Nakoso 250MW 일본-MHI 공정

# I. IGCC 가스화플랜트 개요

## ● IGCC+CCS 기술 특성

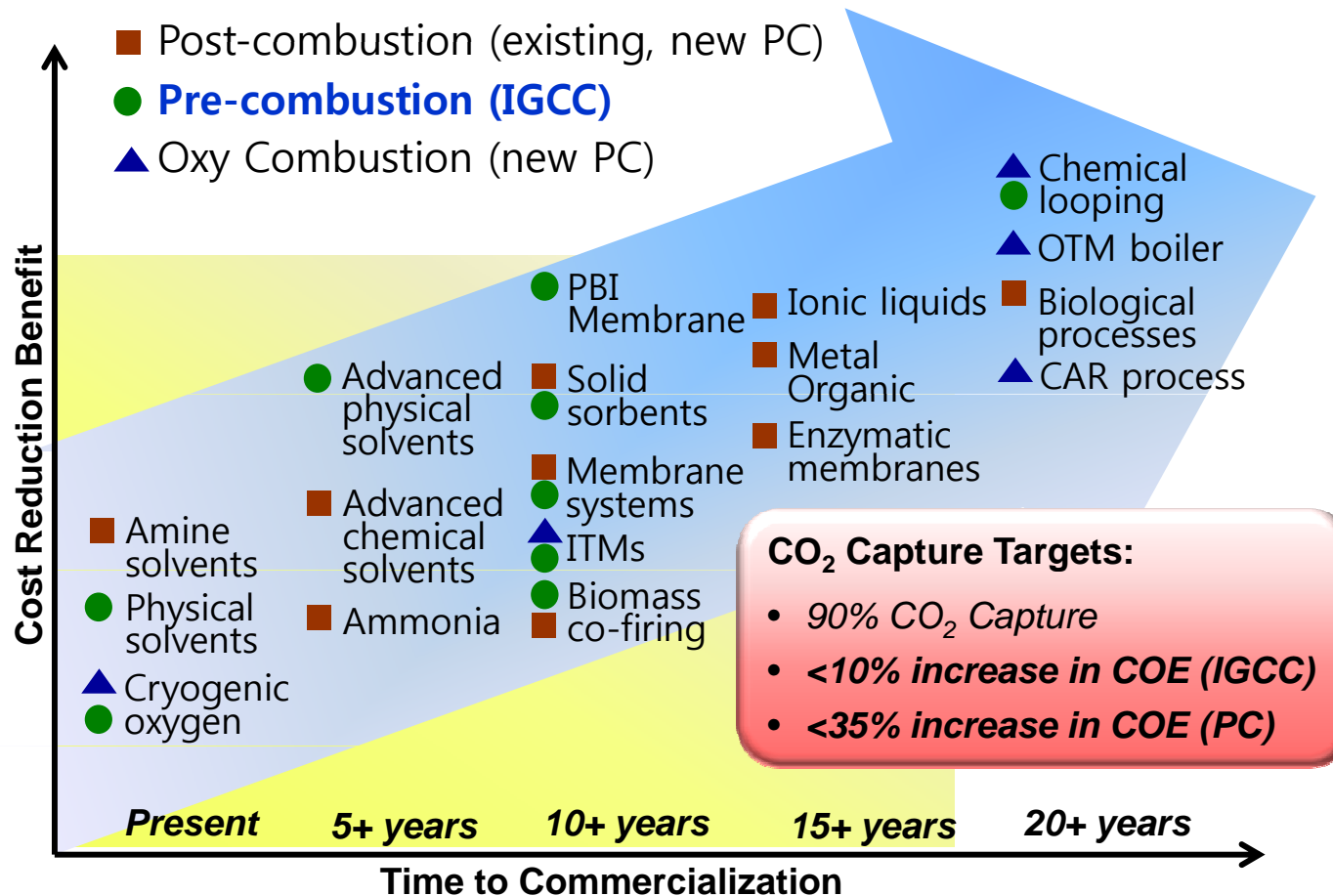


- CO<sub>2</sub> Capture 기술 중 USC 등의 Post Combustion 기술은 개발단계 있으며, IGCC에 적용되는 Pre-Combustion 기술은 실증단계에 있음.
- IGCC+CCS 기술은 Cost Of Electricity(COE) 측면에서 PC+CCS 보다 뛰어남.
- IGCC+CCS 기술은 배출가스 측면에서 현재 USC+CCS 기술보다 청정한 것으로 보고되고 있음.



# I. IGCC 가스화플랜트 개요

## ● IGCC+CCS 기술 특성



### IGCC CO<sub>2</sub> 포집 기술

단기 (5년 이내)

- Physical Solvents
- Cryogenic oxygen

중기 (5 ~ 15년)

- Adv. Physical Solvents
- PBI membranes
- Solid sorbents
- Membrane Systems
- ITMs
- Biomass co-firing

장기 (20년 이후)

- Chemical Looping

Source : The Status of CO<sub>2</sub> Capture and Storage Technology, DOE, 2010.7.12

## I. IGCC 가스화플랜트 개요

### ● 설계/건설 진행중인 상용급 IGCC+CCS Project



- Edwardsport IGCC+CCS
- Operation : 2012, 620MWe
- Plant Owner : Duke Energy
- Gasification Process: GE Energy

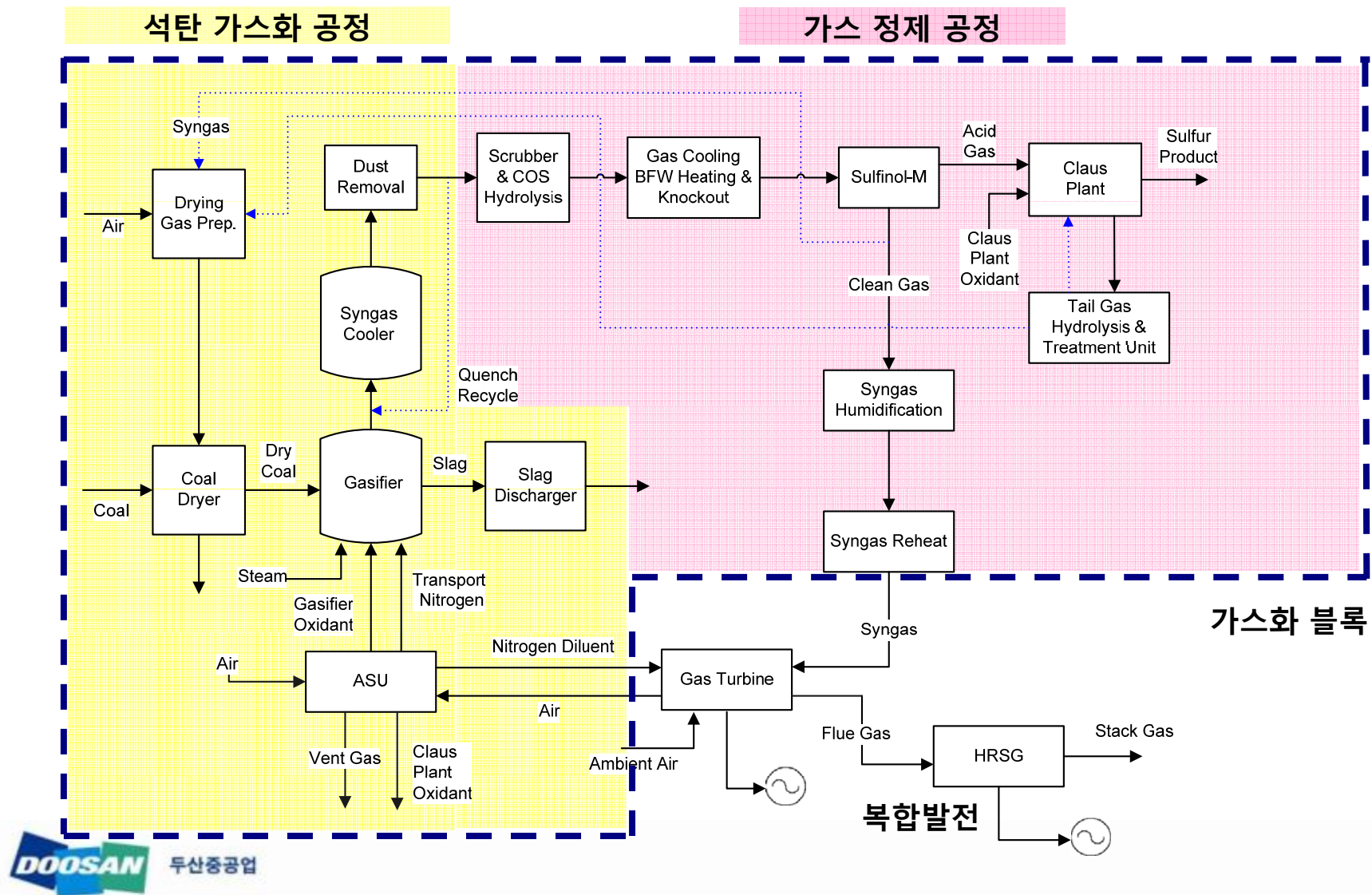


- Kemper IGCC+CCS
- Operation : 2013, 560MWe
- Plant Owner : Mississippi Power
- Gasification Process : KBR



## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● IGCC 석탄 가스화플랜트 공정도



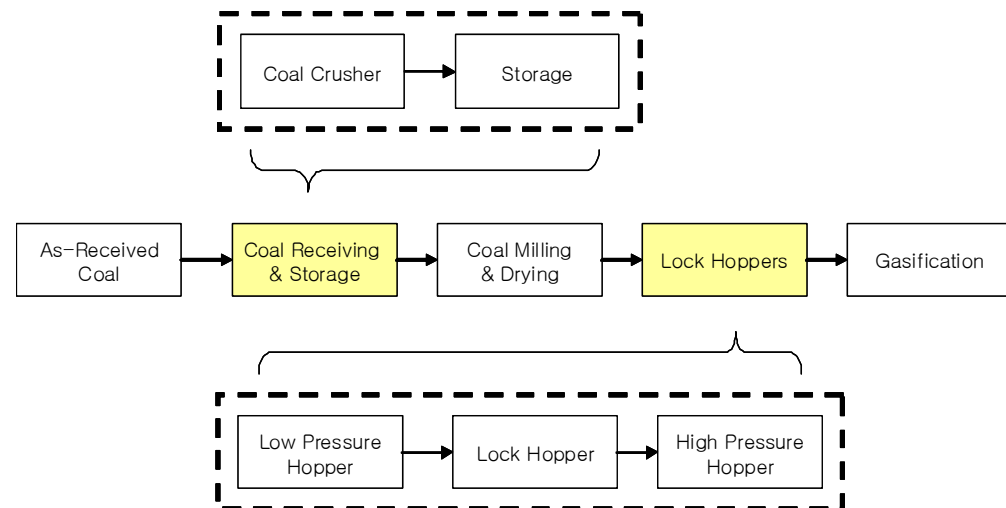
## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 석탄 가스화 공정\_석탄 분쇄/건조/이송설비



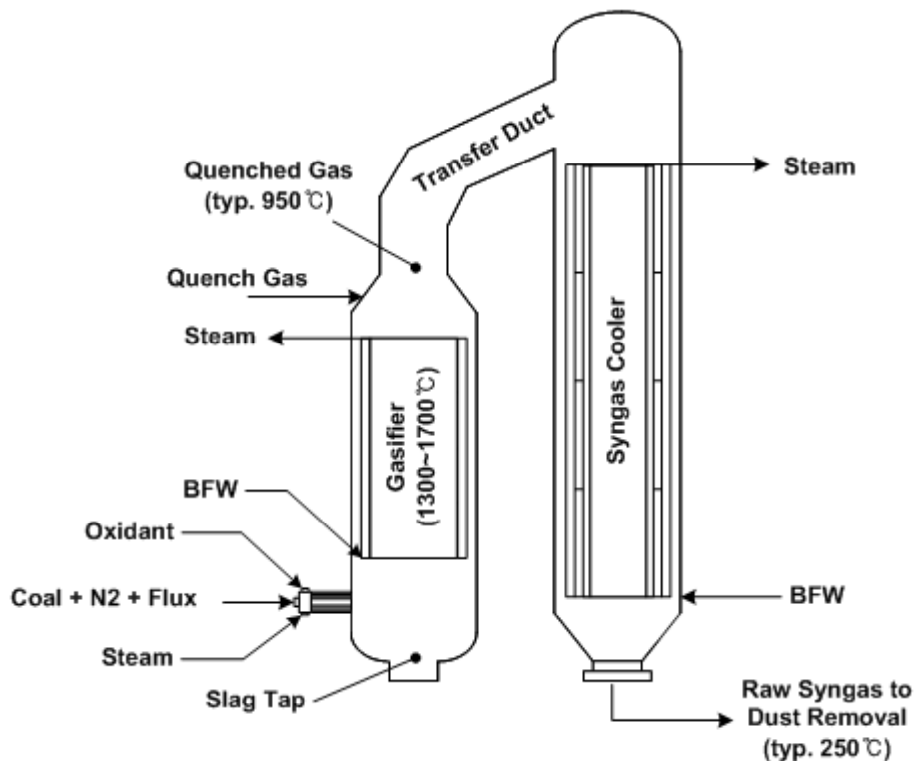
#### Characteristics

- 미분기 출구 석탄 입자 크기 : 200 Mesh 이하
- 건조기 출구 석탄 내 수분 함유율 : 0~5%
- 가압 방식 : 질소를 이용한 Lock Hopper 가압 방식
- Nitrogen/Coal ratio (Wt) : 0.1~0.3
- 가스화기 운전 압력 대비 2~6 bar 이상 가압



## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 석탄 가스화 공정\_가스화 시스템 (핵심 기자재)

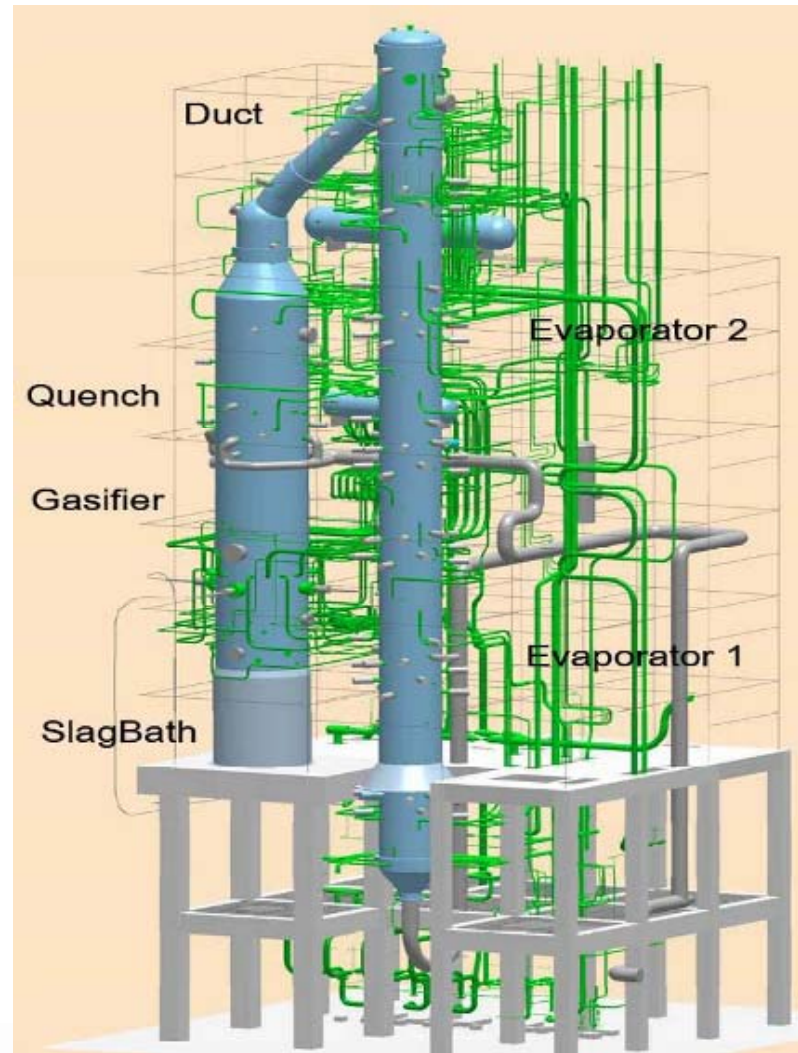


#### Characteristics

- 가스화기 운전 온도 : 1300~1700°C
- 합성가스 조성 : CO + H<sub>2</sub> 몰 비율 70% 이상
- 운전 조건 (Coal as fired basis, Wt ratio)
  - O<sub>2</sub>/Coal ratio : 0.5~0.9
  - Steam/Coal ratio : 0~0.3
  - Flux/Coal ratio : 0~0.2
- 가스화기 출구 합성가스 온도 : 1200~1600°C
- 가스화기 출구 합성가스 냉각을 위한 합성가스 재순환
- 합성가스 냉각기 출구 측 온도 : 200~350°C
- Gasifier wall type : Membrane wall
- Flux 투입을 통한 슬래그 점도 조절
- 슬래그 배출점도 : 80~250 Poise 이하

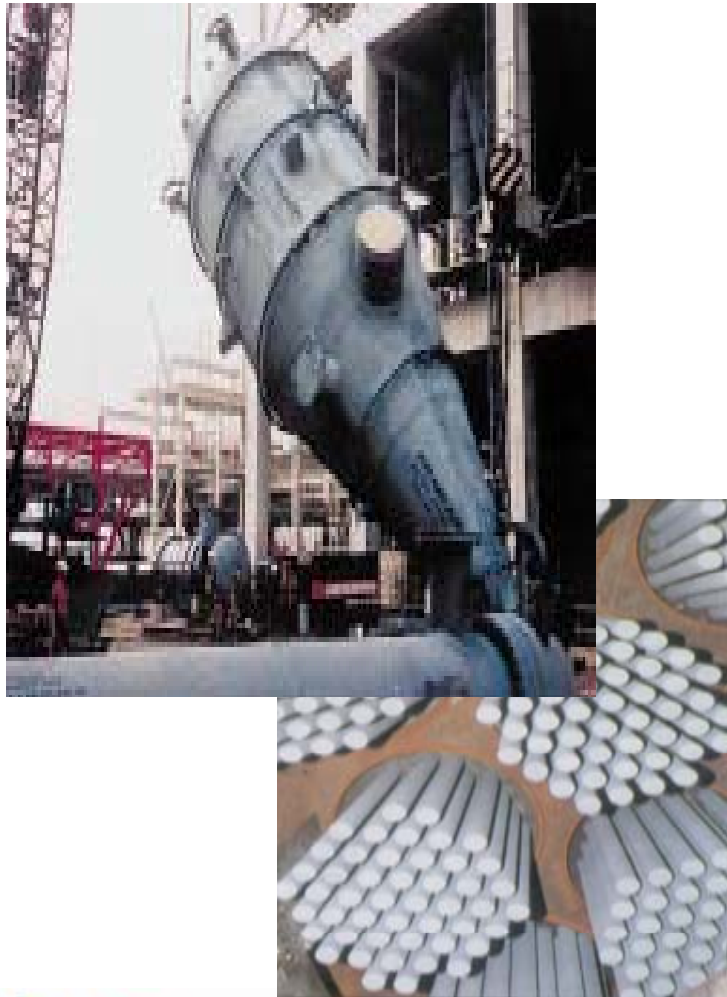
## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 석탄 가스화 공정\_가스화 시스템 (핵심 기자재)



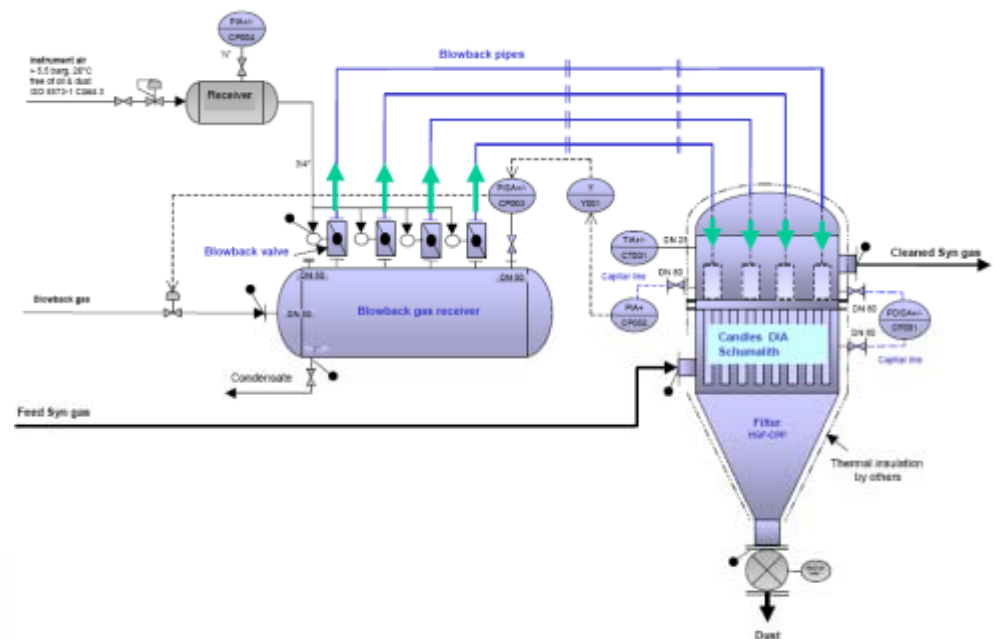
## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 석탄 가스화 공정\_ 고온고압 집진 설비



#### Characteristics

- 합성가스 내 분진 제거 효율 : 99% 이상
- 고온 집진 필터 : 약  $5\mu\text{m}$  크기의 분진 제거
- 운전 온도 / 압력 :  $250^{\circ}\text{C}$  / 42barg
- 필터 수명 : 1.5년 이상
- 필터 재질 및 형상 : Ceramic / Candle Type





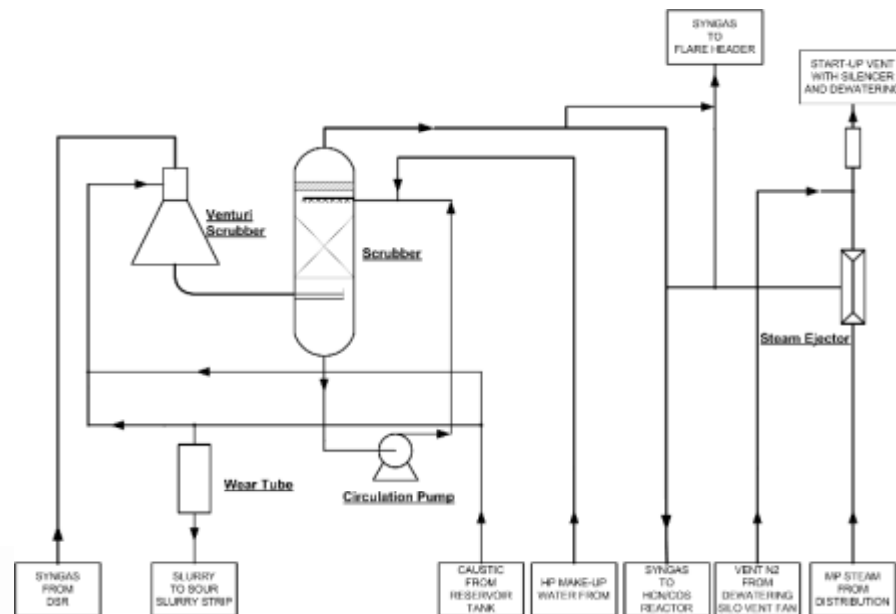
## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 석탄 가스화 공정\_수세정 설비



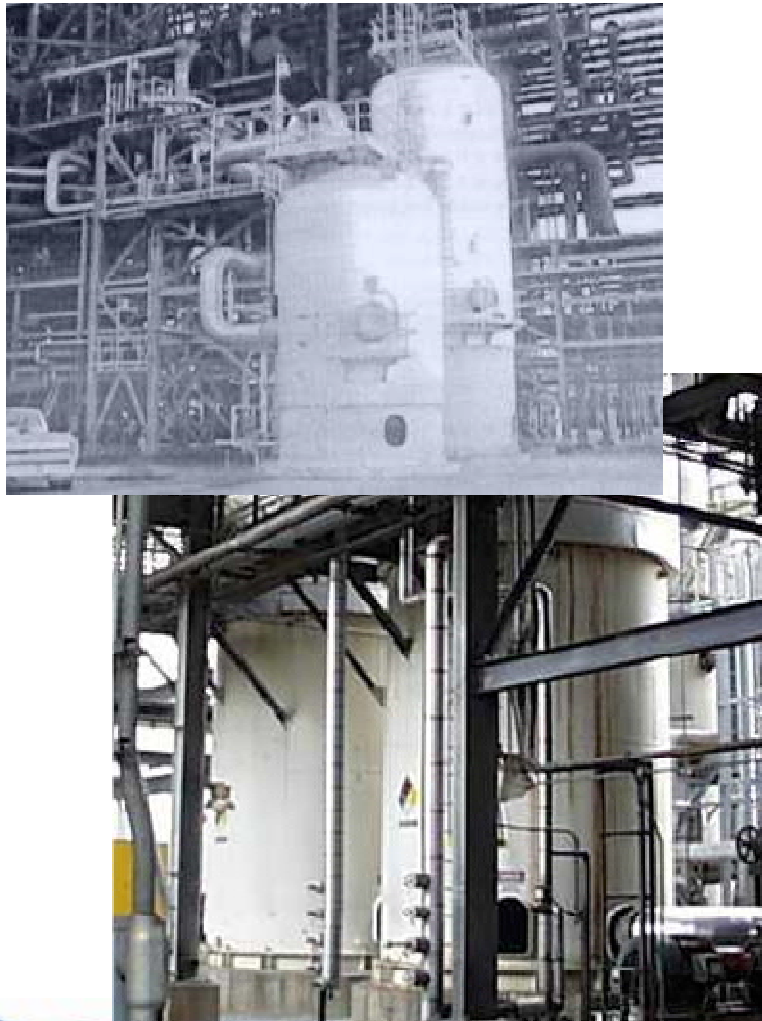
#### Characteristics

- Scrubber : 150~300 $\mu$ m의 Mist 분사
- Scrubber Type : Venturi & Packed type
- Scrubber 성능 :
  - 0.2 $\mu$ m 이상의 분진 95% 이상 제거
  - HCl, NH<sub>3</sub> 등 수용성 물질 99% 이상 제거



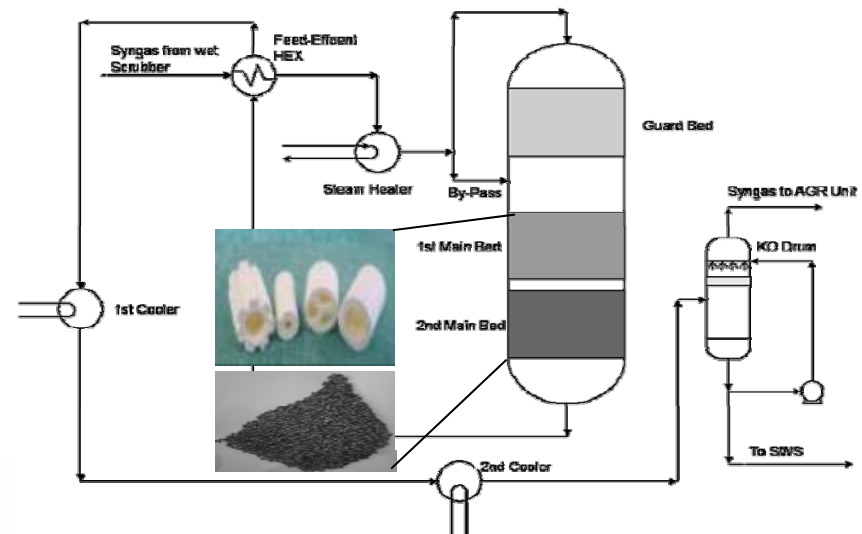
## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 합성가스 정제 공정 \_ HCN/COS 전환설비



#### Characteristics

- COS/HCN 가스를 각각 H<sub>2</sub>S/NH<sub>3</sub> 가스로 전환
- AGR 공정의 Solvent Degradation 방지
- Reaction Mechanism
  - $\text{COS} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$
  - $\text{HCN} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2$
- COS Conversion Rate : 99% 이상
- 운전온도 : 170~250°C



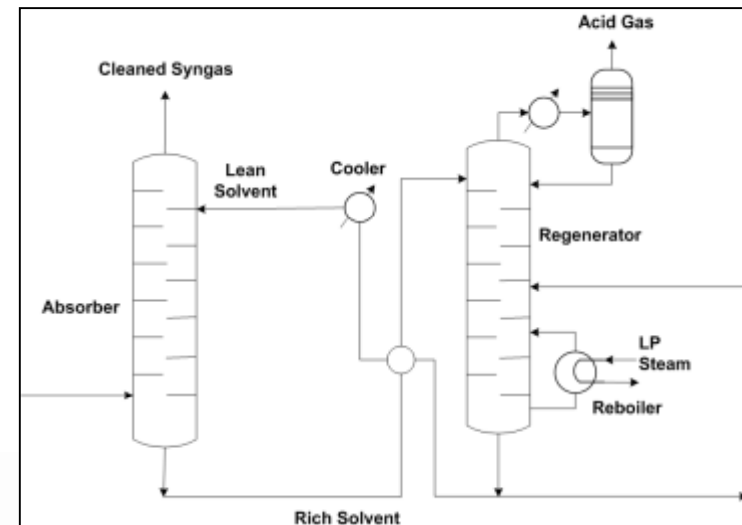
## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 합성가스 정제 공정 \_ 산성가스 제거설비 (Sulfinol-M Process)



#### Characteristics

- MDEA는  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  몰 비율이 5이상일 경우 부적합
- 합성가스에 포함된  $\text{CO}_2$  함량이 낮은 경우 Sulfinol 공정이 적합
- Sulfinol-M 은 MDEA에 비해 낮은 용매 유속, 작은 칼럼 크기, 높은  $\text{CO}_2$  슬립양 등의 이점이 있음
- Sulfinol-M 은 MDEA 보다 재생에너지 요구량 적고 물리용매보다 엄격한 환경 규제를 만족함



## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

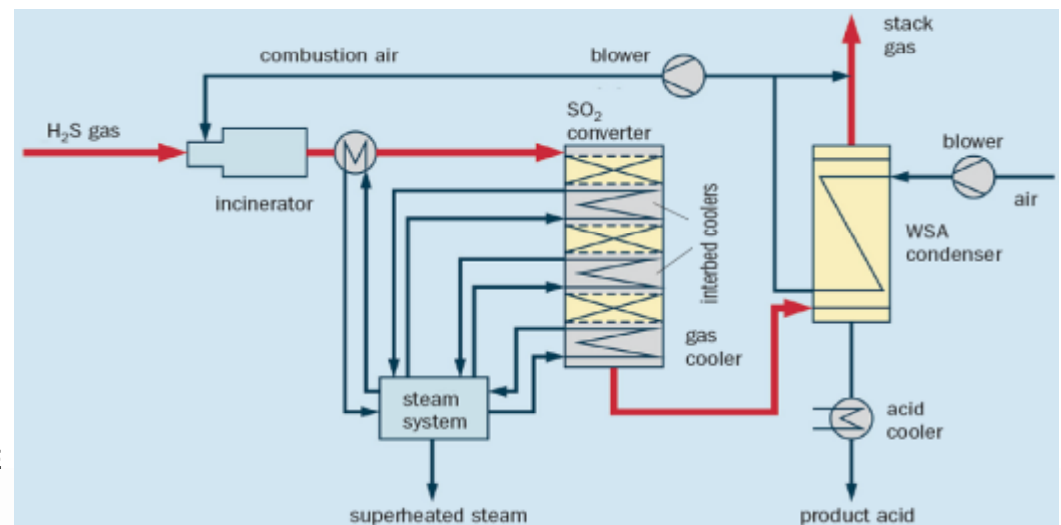
### ● 합성가스 정제 공정 \_ Wet Sulfuric Acid 공정



Source : "WSA-Meeting industry demands" HALDOR TOPSOE

### Characteristics

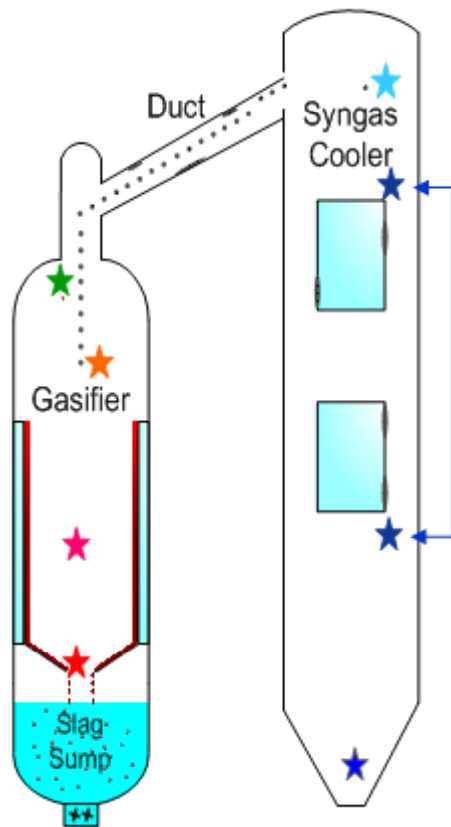
- 유독한 H<sub>2</sub>S 가스를 연소/촉매반응을 통해 황산으로 전환
  - $\text{H}_2\text{S} + 1.5 \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$
  - $\text{SO}_2 + 0.5 \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_3$
  - $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
- 연소 시에 발생하는 SO<sub>x</sub>를 99.5% 까지 황산으로 전환
- 별도의 Chemicals, 용수, 증기 공급 불필요
- 폐수발생 없으며, 부지 소요면적이 작음



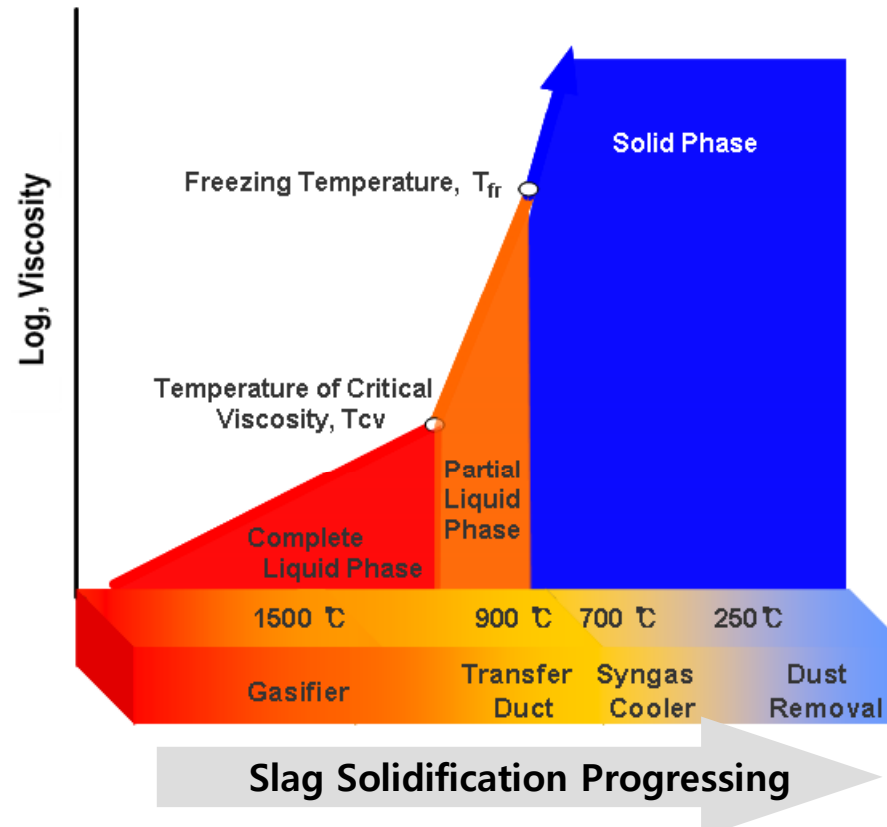
## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 가스화 공정 내 슬래그 거동 특성

- Slag Tap 막힘 방지를 위해 가스화기 Tcv 혹은  $T_{250}$  이상에서 운전
- Transfer Duct Deposit 방지를 위해  $T_{fr}$  이하로 가스를 냉각 시킴.



Slag Temperature Distribution  
(Gasifier & Syngas cooler)



Slag Solidification Progressing

\*Tcv : 온도가 낮아지면서 슬래그에 결정상이 생겨 점도가 급격하게 증가하는 온도

\*\*T<sub>fr</sub> : 슬래그가 완전히 고체화되는 온도

\*\*\*T<sub>250</sub> : 슬래그 점도가 Tap 막힘이 발생하지 않는 다고 알려져 있는 250poise 될 때의 온도



## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 가스화 공정 내 주요 운전 정지 요인\_가스화기 내부

벽면 Water Jacket



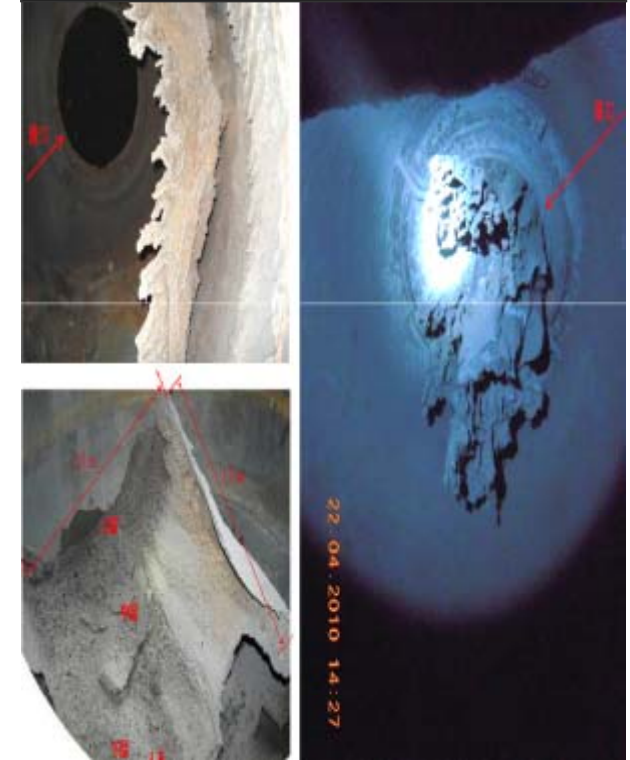
- 벽면 슬래그 코팅 불량으로 인한 Water Jacket 손상

Burner Muffle



- Muffle로의 과도한 열전달로 인한 Muffle 내 냉각수 유출

Slag 배출구



- 슬래그 용융을 위한 충분한 운전온도 유지 불량으로 인한 배출구 막힘

## II. 석탄 가스화플랜트 주요 공정특성

### ● 가스화 공정 내 주요 운전 정지 요인

합성가스 냉각기 내부



- Fly Ash로 인한 Fouling 발생

Ceramic Candle Filter



- 고 점착성의 Fly Ash 유입 및 분진 가교로 인한 필터 파손

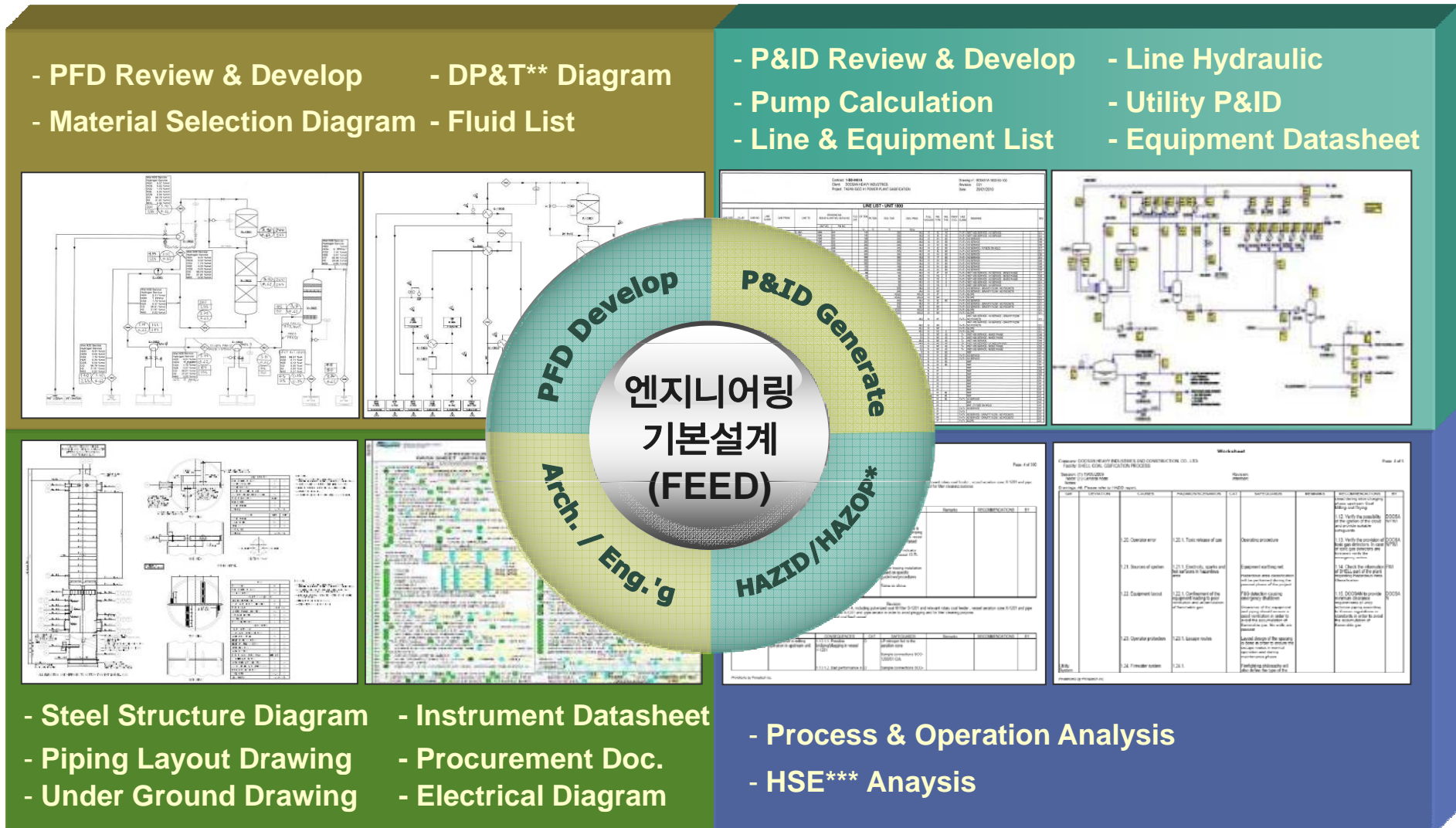
합성가스 콤프레서 필터



- Fly Ash 유입 과다로 인한 콤프레서 내부 필터 눈 막힘.

### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

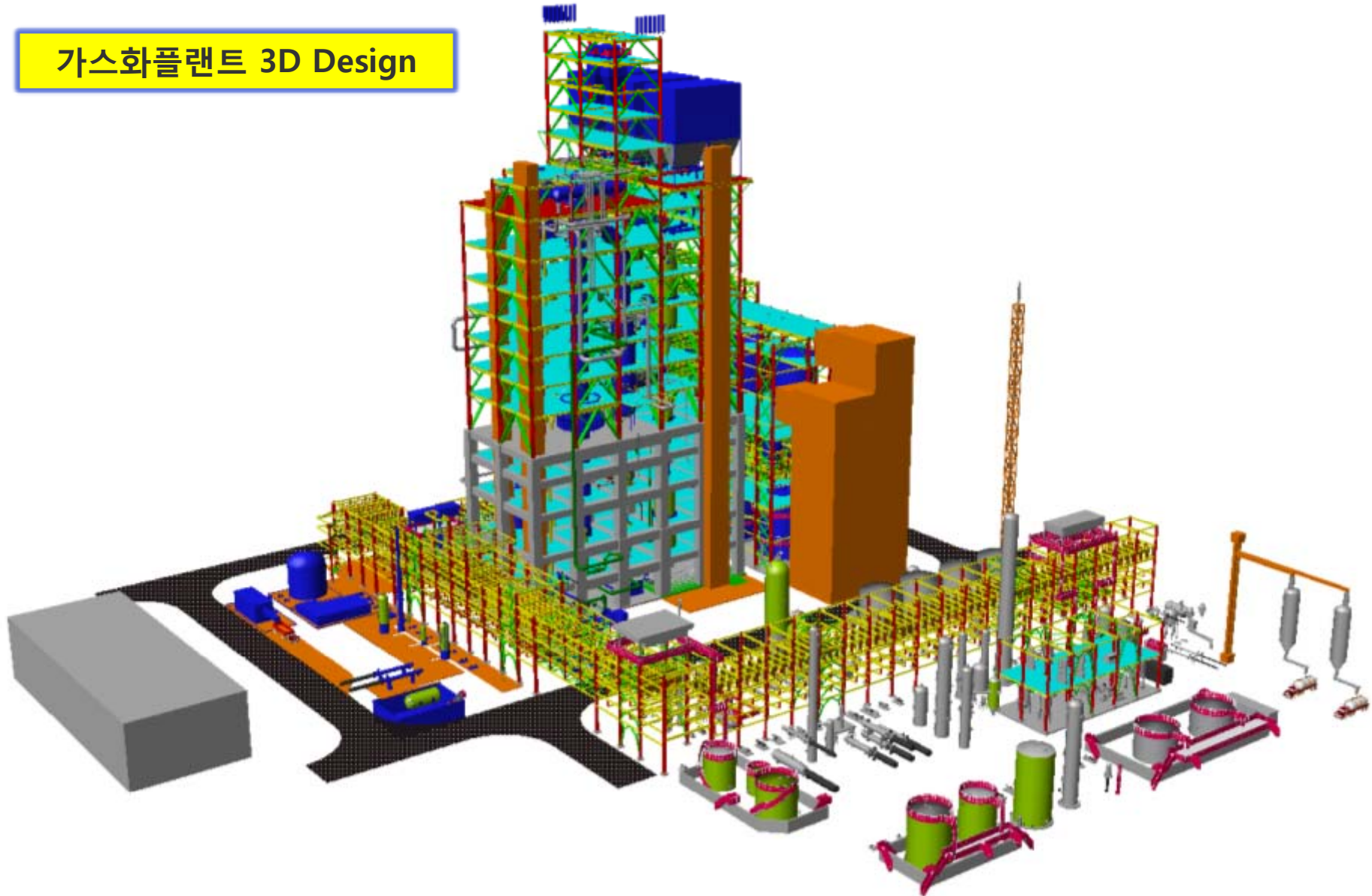
#### ● 엔지니어링 기본설계(FEED) 수행 내용





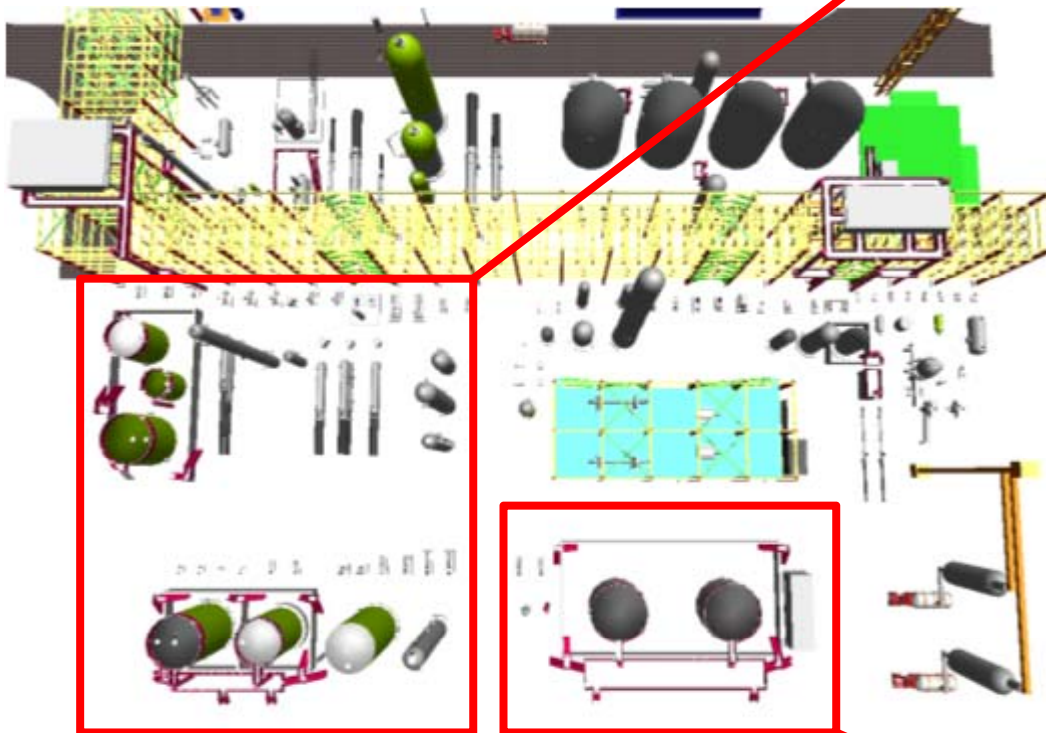
### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

#### 가스화플랜트 3D Design

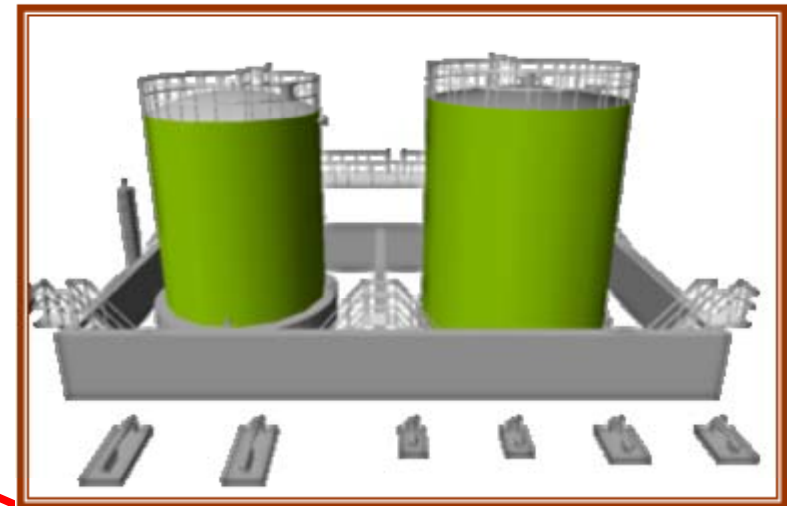
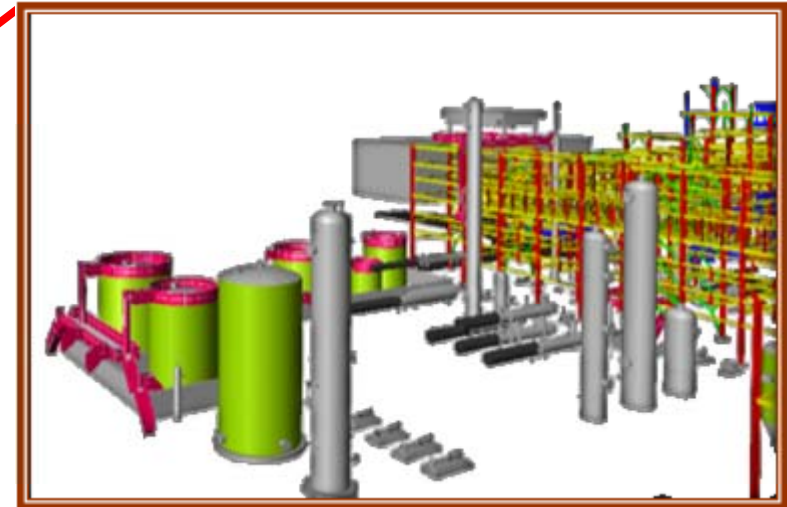


### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

#### 합성가스 정제공정 3D Design



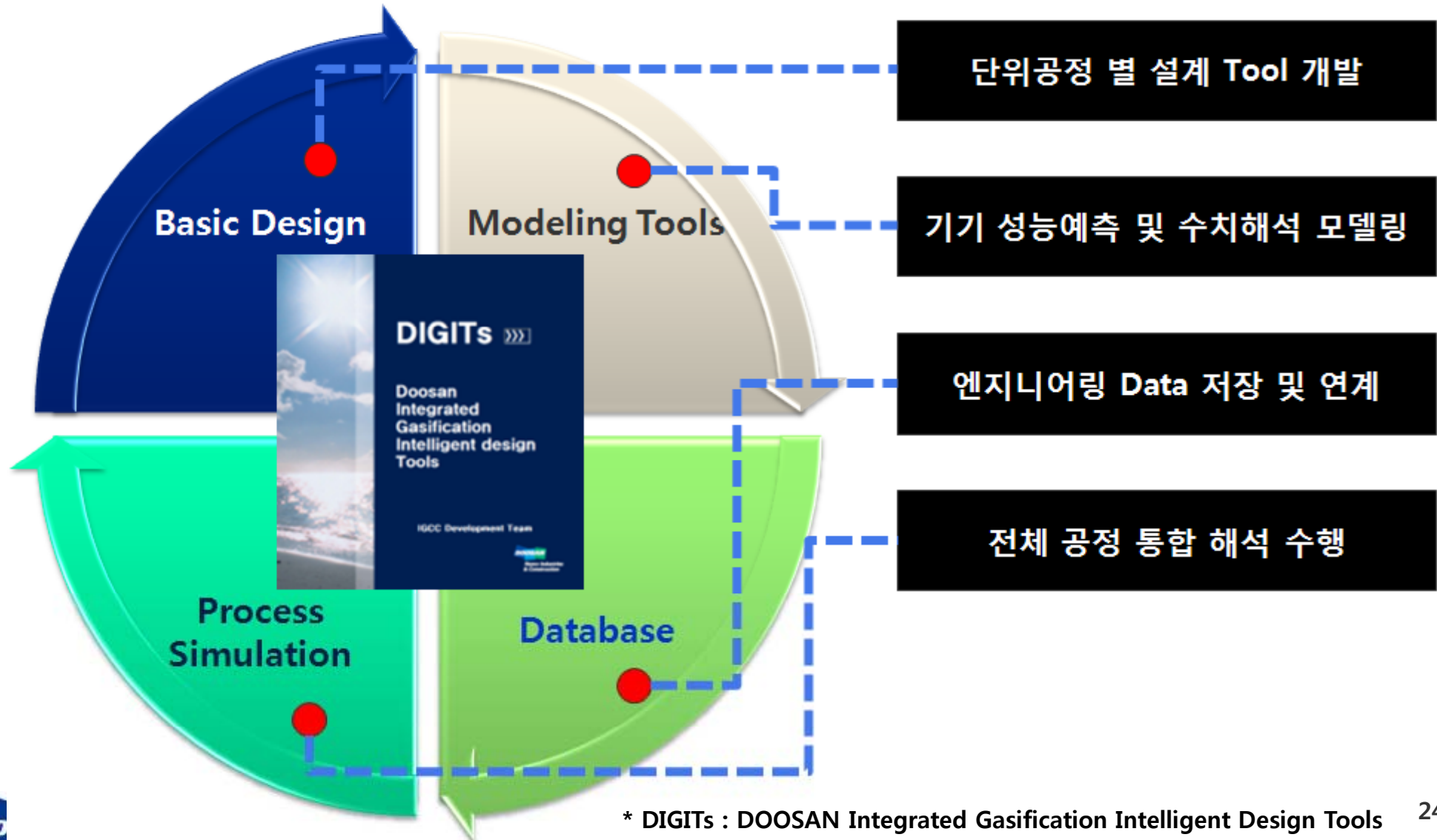
- Acid Gas Removal
- Saturator
- Solution Tank





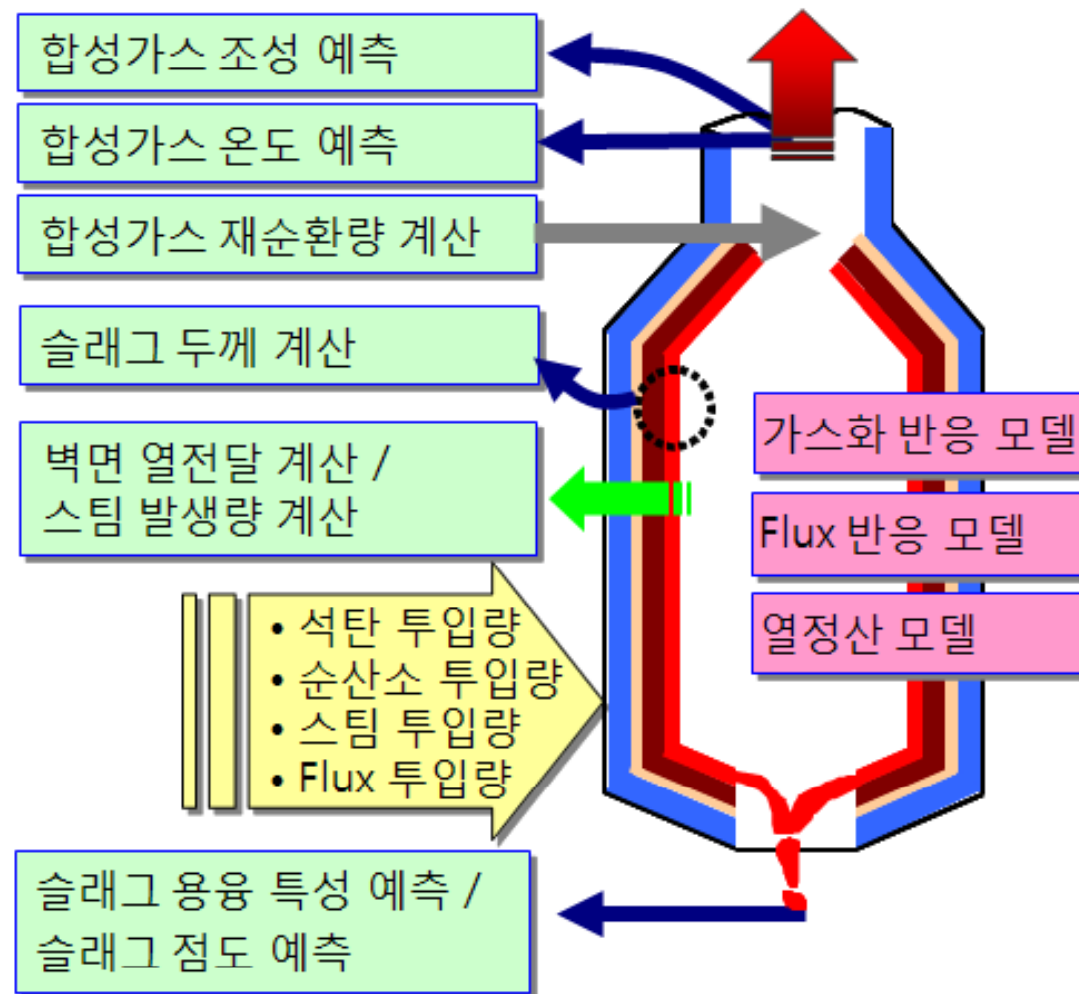
### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

#### ● DIGITs 개요 및 개발 현황



### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

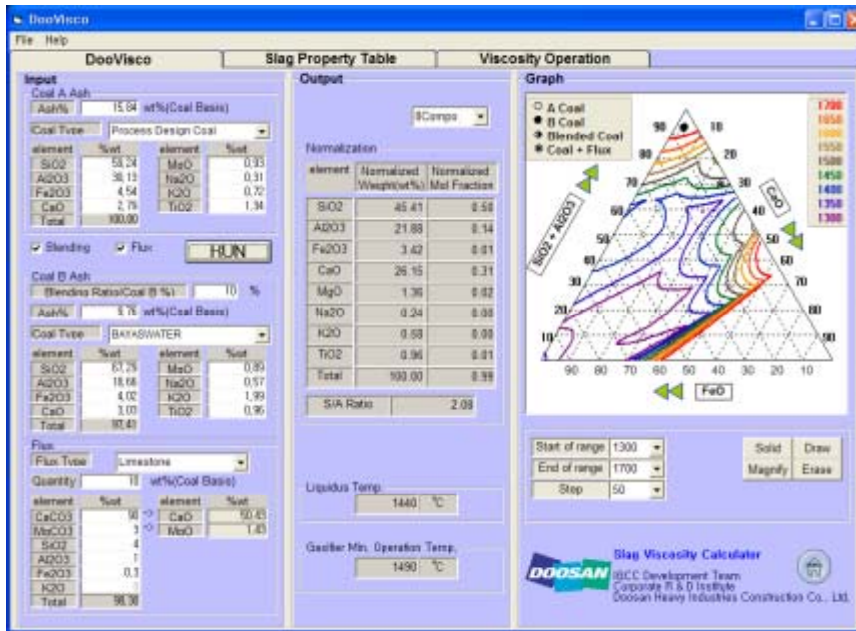
#### ● 가스화기 성능예측 Tool 개발



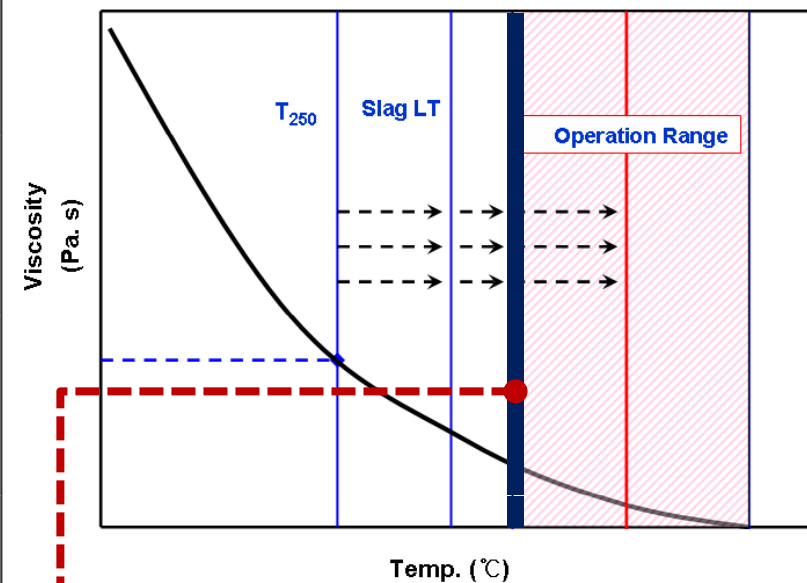
### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

#### ● 가스화기 성능 예측 Tool 개발\_최소 운전온도 결정

##### 슬래그 용융 특성 예측 Tool



##### 가스화기 운전온도 범위 결정

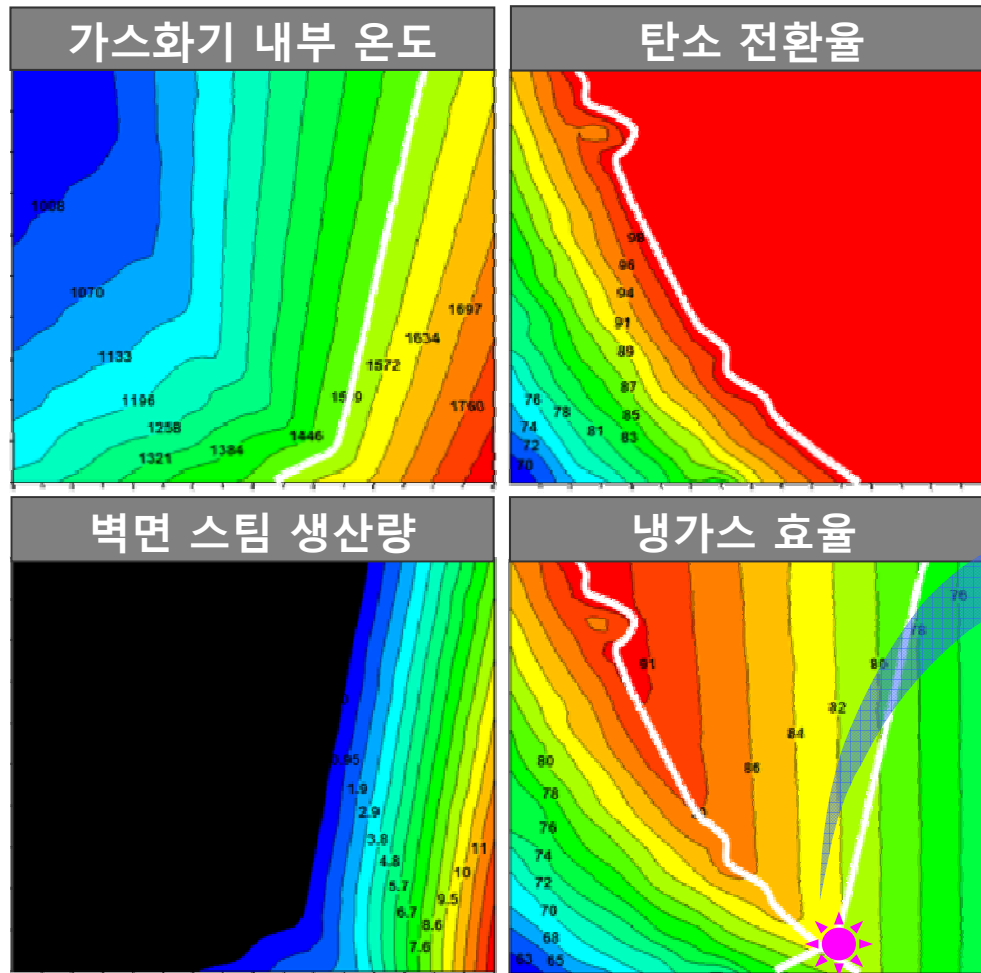


---● 원활한 슬래그 배출을 위한 최소 온도

- 탄종, 혼탄 여부 및 Flux 종류에 따른 슬래그 용융 특성 예측
- 가스화기 내부 안정적인 용융 슬래그 배출을 위한 최소 운전 온도 결정 !!

### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

#### ● 가스화기 성능예측 Tool 개발



- 탄종 선택 및 혼탄에 따른 성능예측
- 운전 Load 변화에 따른 성능예측 (예)

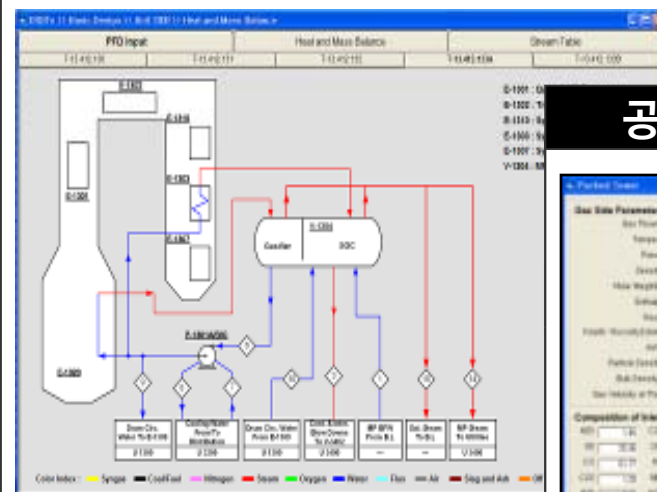
#### 최적 운전조건 자동 도출

- Gasifier temperature : 1,530 °C
- Oxygen/Coal : 0.78 (As-Fired Base)
- Steam/Coal : 0.05
- Cold gas efficiency : 82%
- Flux/Coal : 0.11
- Flux Type : Limestone

### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

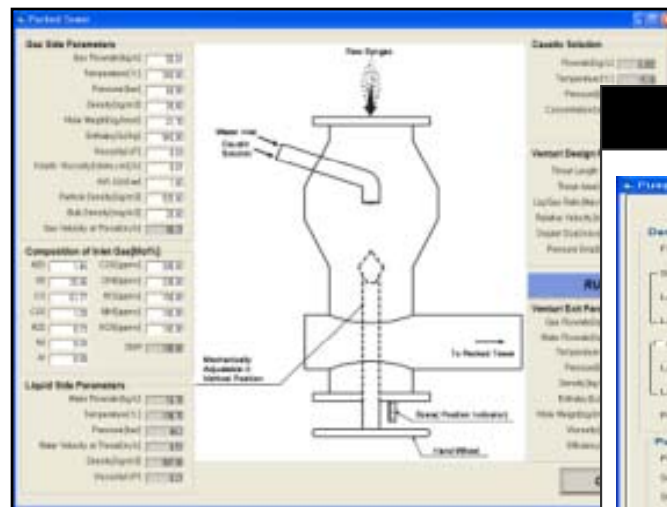
#### ● 가스화플랜트 단위공정 별 설계 Tool 개발

##### 단위공정 열물질정산



- 단위 설비 별 개발

##### 공정 내 주요기기 성능 예측



- 주요기기에의 상세 성능 예측

##### 공정 내 공통기기 성능 예측

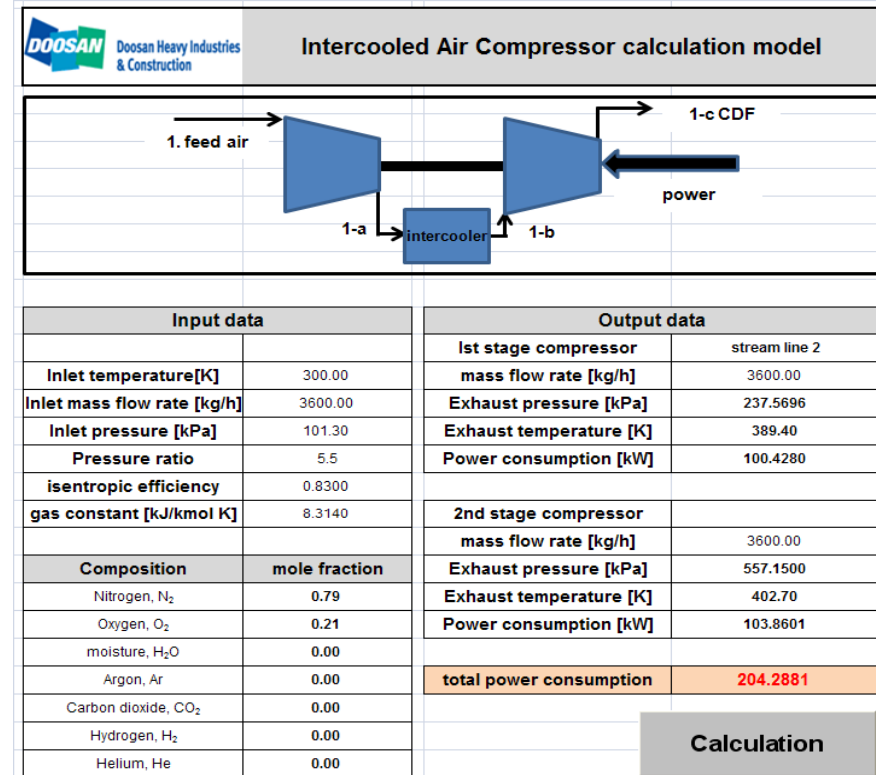
The screenshot displays a 'Pump Calculation' window. It contains several input fields for 'Design Point' (Flowrate, Suction Vessel Pressure, etc.) and 'Output' (Discharge Pressure, Motor Power, etc.). There are also sections for 'Pump Selection' and 'Liquid Properties'. The interface is designed for calculating the performance of pumps and compressors.

- 펌프/컴프레서/열교환기 등



### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

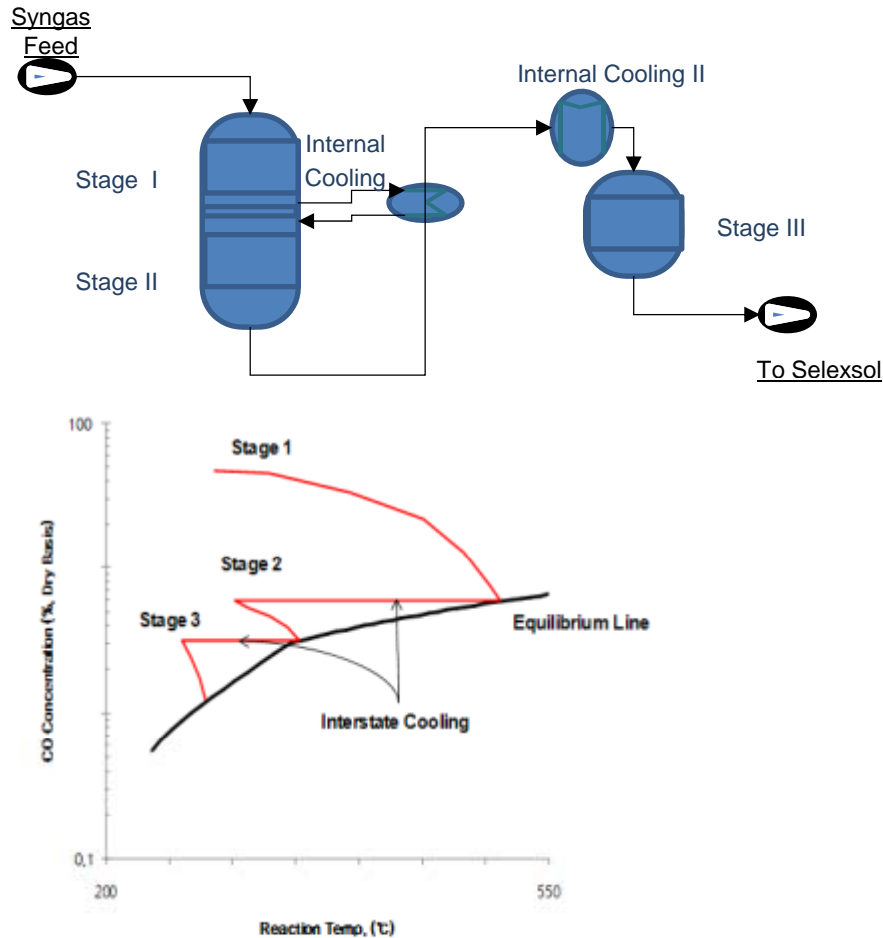
#### ● 산소분리공장(ASU) 내 Main Air Compressor(MAC) 성능 예측 Tool 개발



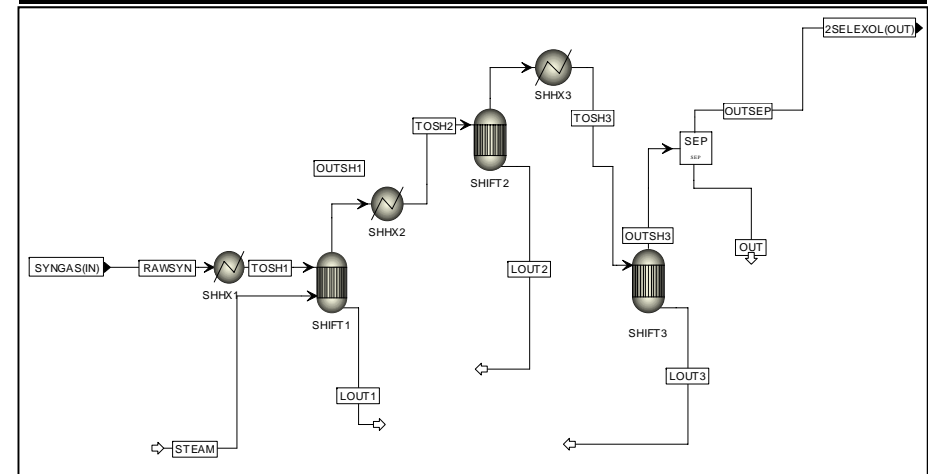
- MAC의 소모동력 및 토출 온도 계산

### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

#### ● CCS Ready를 위한 Water Gas Shift Reactor(WGSR) 모델링



#### Aspen Plus를 이용한 WGS 공정 모델



- 300MW IGCC 용 3단 반응기와 Intercooler의 용량 예측
- 촉매 반응기 내 CO의 수소 전환율은 98% 임.
- 주요반응식



### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

#### ● Engineering 설계 Tool 개발\_Flare K.O. Drum

##### Flare K.O. Drum

- 가스 성분만을 스택으로 보내기 위한 기액분리 설비
- 600 $\mu$ m 액적 크기로 유입되는 액체를 30분 정도 저장할 수 있는 용량으로 설계
- 유입되는 액체가 모두 기화되어 배출되는 응급 상황을 가정하여 증기 출구 노즐의 직경이 결정됨.



**DOOSAN** Heavy Industries & Construction

### Flare K.O. Drum

This Tool is the informational asset of Doosan Heavy Industries & Construction. Thus, unauthorized access, revision, distribution and copying of this Tool are strictly prohibited.

Input			Output		
Purpose	O To Prove	Q To Design			
<b>Operation Condition</b>					
Operating Temperature	°C	69.6	Minimum Drum Length	m	12.8809764
Operating Pressure	bara	1.433	Minimum Drum Diameter	m	N/A
Liquid Holding Time	min	30	Liquid Holding Volume	m <sup>3</sup>	12.1399840
Liquid Drain Volume	m <sup>3</sup>	1.8	Liquid Holding Time	min	N/A
Vapor Outlet Maximum Allowable Velocity	m/sec.	100	Evaluation	--	
Drum Type	Horizontal		Vapor Outlet Nozzle Diameter	m	1.13072749
<b>Drum Size</b>			Drum Head Volume	m <sup>3</sup>	32.7249166
Length (L)	m	N/A	Drum Total Volume	m <sup>3</sup>	327.249166
Diameter (D)	m	N/A	<b>Qualified Drum Size</b>		
High Liquid Level (HLL)	m	N/A	Diameter (m)	Length (m)	Minimum Length (m)
Low Liquid Level (LLL)	m	N/A			
Design Margin	%	5			
<b>Working Fluid Condition</b>					
Vapor Flowrate	kg/h	N/A			
Vapor Molecular Weight	kg/mol	N/A			
Vapor Viscosity	cP	N/A			
Liquid Flowrate	kg/h	N/A			
Liquid Density	kg/m <sup>3</sup>	N/A			
Total Flowrate	kg/h	818000			
Liquid Droplet Size					
<b>Fluid Composition</b>					
H2					
CO					
CO2					
H2O					
N2					
CH4					
H2S					
CO5					
Ar					
MDEA					
NH3					
HCN					
Total		1.00000			
<b>Build-Up Calculation DataBase</b>					
			YES		
<b>Calculation</b>					
Last Access Time : 2011.02.23 5:38:58 PM Contact us : bongkeun.kim@doosan.com					

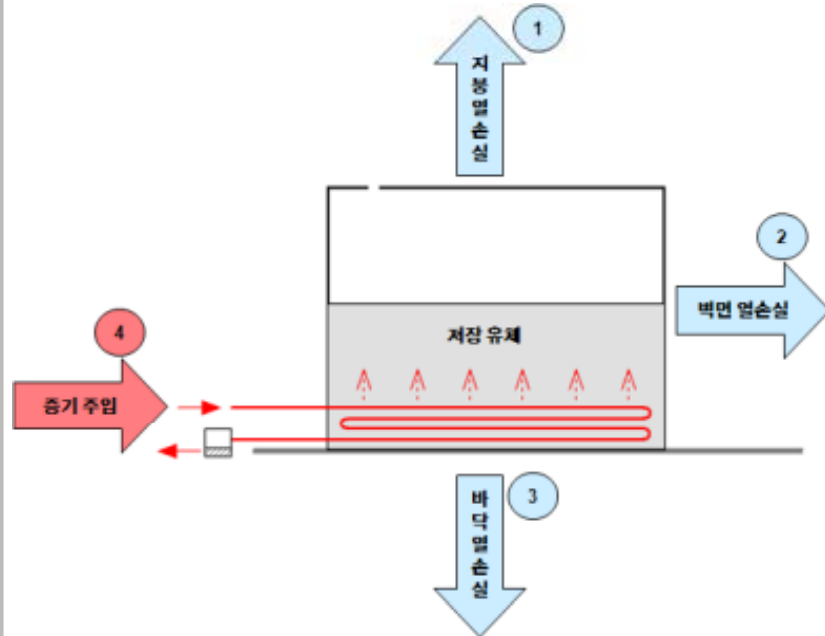
- 액적의 항력계수 및 낙하속도 계산
- 작동 유체의 기액 상평형 계산
- Drum의 최소길이 계산 (Lmin)
- Drum의 최종 길이/직경 설계

### III. 가스화플랜트 설계 및 기술개발 현황

#### ● Engineering 설계 Tool 개발\_Tank Heating Coil

##### Tank Heating Coil

- Tank 내 유체를 보온하기 위해 필요한 스팀의 유량 및 Coil의 설치 길이/면적을 설계
- 적용 기기 : 디젤 및 Solvent 저장 탱크 등



##### Tank Heat Loss & Heating Coil Calculation

INPUT				OUTPUT	
<b>1. UNIT SELECTION</b>				<b>1. TANK HEAT LOSS</b>	
2. ENVIRONMENTAL CONDITION				Tank Floor Heat Loss	
Ambient Air Temperature	°C	5		kcal/hr	272.01
Wind Velocity	m/sec	10		kcal/hr	48382.92
3. WORKING FLUID SELECTION				Tank Roof Heat Loss	
AUTO		LIQUID	WAPOR		kcal/hr
MANUAL		Water	Steam		2672.18
4. OPERATING CONDITION				<b>Total Tank Heat Loss</b>	
Operation Temperature	°C	39		kcal/hr	51327.11
Operation Pressure	kg/cm2g	10		<b>2. Required Steam Amount</b>	
5. TANK DESIGN DATA				Required Steam Amount	
Tank Diameter	m	3.36		kg/hr	101.64
Tank Height	m	5		3. Required Coil Area	
Tank Type		Fixed Roof	Cone Roof (1:4)	Coil Surface Temperature	°C
6. TANK INSULATION DATA				Required Coil Area	
Insulation Type		Insulated Wall and Roof		m2	0.41
Insulation Material		Galvanised Iron		Required Heating Coil Length	
Insulation Thickness for Wall	m	0.003		m	43.71
Insulation Thickness for Roof	m	0.003			
7. STEAM DATA					
Steam Inlet Pressure	kg/cm2g	3.8749208			
Steam Inlet Temperature	°C	150.407558			
8. TUBE/COIL DATA					
Steam Heat Transfer Coefficient	kcal/hr m2 °C				
Tube/Coil Diameter (Inner Diameter)	m				
Tube/Coil Diameter (Outer Diameter)	m	0.003			
Fouling Resistance	m	0.00035			
9. THERMAL PROPERTY					
	m2 hr C/kcal	LIQUID	WAPOR		
Density	kg/m3	993.0316318	2.574073087		
Specific Heat	kg/m3	0.997456419	0.573128186		
Viscosity	kg/m3	0.585603007	0.015008003		
Thermal Conductivity					
Thermal Expansion Coefficient					
10. STEAM PROPERTY for Higher He					
Steam Outlet Temperature					
Enthalpy					
Density					
Specific Heat					
Viscosity					
Thermal Conductivity					
Thermal Expansion Coefficient					
Latent Heat					

DOOSAN Doosan Heavy Industries & Construction

Programed by JH KOO in IGCC Development Team

Calculate!

- Tank의 외부 열손실 계산
- Heating Coil의 단면적 계산
- Heating Coil의 Total Length 계산
- 최종 Steam 요구량 계산



---



**감사합니다.**

**minsu.paek@doosan.com**