

가스화공정 개발용 파이로트급 테스트설비 설계

정재화*, 서석빈, 서혜경, 지준화, 이중원
한전전력연구원
(jhchung@kepri.re.kr*)

Design of a Pilot Test Facility for Developing IGCC Gasification Process

Jaehwa Chung*, Seokbin Seo, Haikyung Seo, Junhwa Chi, Joongwon Lee
Korea Electric Power Research Institute
(jhchung@kepri.re.kr*)

서론

석탄가스화 복합발전(IGCC)은 발전효율이 높고, 유해환경물질의 배출이 적은 장점이 있으며, 온실가스인 이산화탄소를 경제적으로 제거할 수 있어서 최근 선진국들을 중심으로 상용화를 위한 다양한 개발 프로젝트가 추진되고 있다. 국내에서는 2006년부터 정부 주도로 IGCC 사업단을 발족하여 한국형 300MW급 IGCC 플랜트를 설계하고 태안에 건설하는 프로젝트를 수행하고 있다.

IGCC에서는 가스화 공정이 핵심이 되고 있으며 이러한 가스화 기술개발을 위해 어느 규모 이상의 테스트 설비를 구축[1-3]하여 공정개발에 활용하는 것이 매우 필요하다. 본 연구에서는 국내 고유의 가스화기술 개발을 목적으로 기존 Chung 등[4]의 가스화공정 테스트베드 개념 및 설비별 공정구성 연구를 토대로 파이로트급(석탄처리량 20톤/일급) 테스트 설비를 설계한 결과를 정리하였다. 주요 설계내용으로 먼저 가스화공정 테스트 설비의 핵심인 가스화기를 기본설계하고 이를 바탕으로 석탄을 공급하는 석탄공급 설비, 가스화기 후단의 정제설비(탈황설비 및 집진설비), 생성된 석탄가스를 연소시키는 플레어 스택을 구성하였다. 세부적으로 전체 공정구성, 열 및 물질수지해석을 통해 전체 시스템 설계도 작성을 완료하였다.

본 연구에서 설계된 가스화공정 테스트 설비는 고유의 가스화 공정개발뿐 아니라 가스화기로 미분탄을 공급하는 미분탄 가압공급 기술, 가스화기 후단의 집진공정 및 탈황공정 등의 개발에 유용하게 활용할 수 있다.

Table 1 Basic design specifications

시스템 기본구성

본 파이로트급 가스화공정 테스트 설비는 기본적으로 경제적이고 운전성능이 우수한 가스화 공정 개발에 활용할 수 있는 석탄처리량 20톤/일급 규모의 설비구축을 목적으로 시스템을 구성하였다. 테스트 설비의 설계를 위한 주요규격들은 Table 1에 요약하였으며, 시스템 구성도는 Figure 1에 나타내었다. Figure 1의 구성도에서 석탄이 미분된 후 질소로 가압되어 석탄가스화기로 수송되며, 미분탄은 석탄가스화기 내에서 산소와 반응하여 석탄가스가 생성된다. 석탄가스는 가스 냉각기에서 냉각되고 집진과 탈황 과정을 거쳐 정제된 후, 플레어스택에서 연소된다. 테스트 설비의 부대설비로 산소 및 질소 공급설비, 석탄가스화기 하단에서 생성되는 슬래그 처리설비, 가스냉각기의 냉각수를 공급하고 발생 증기를 응축하는 설비, 테

◆ 석탄전처리 설비
▪ 미분기: 용량 3ton/hr
▪ 건식 석탄공급 설비: 4방향 분배기 2대
◆ 가스화기
▪ 석탄처리량: 최대 20ton/day
▪ 가스화기 Type: 상향식 2단 건식 분류층
▪ 석탄버너: 건식버너 하단 4개, 상단 2개
▪ 설계압력: 25bar
▪ 가스화기 온도/출구온도: 1,500℃/900℃
▪ 주요기능: 모듈화 설계(핵심부품 교체 용이), Syngas 재순환 및 회 재순환 기능
◆ 가스정제설비
▪ 집진설비: 사이클론/세라믹 필터 병행
▪ 탈황설비: COS Hydrolysis/습식탈황 공정

스트 설비에서 발생하는 폐수를 처리하는 폐수처리 설비 등을 포함하여 설계하였다.

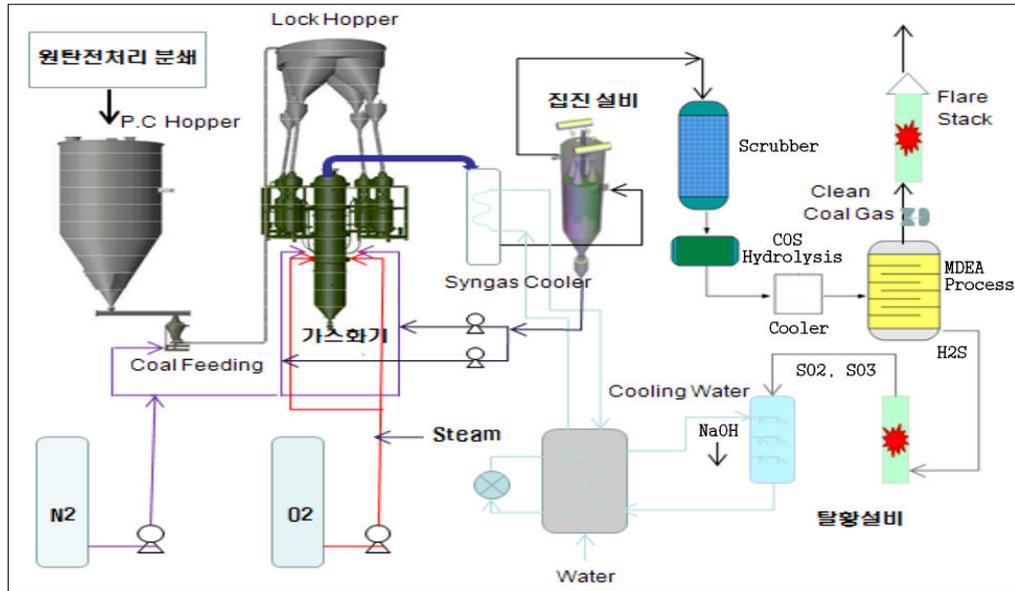


Figure 1. Main components of the pilot test facility

시스템 열 및 물질수지 해석

테스트 설비의 기본설계를 위하여 주요공정들(가스화 공정, 정제공정 등)을 Aspen plus로 시뮬레이션하기 위한 모델을 구성하여 열 및 물질수지(H&M balance)를 해석하여 생성가스량, 열량, 가스 조성 등을 예측하였다. 가스화 시스템에 대한 공정구성은 개념설계시[4] 결정된 석탄 가스화기 주입조건과 공정들을 반영하였으며, 해석에 사용한 미분탄은 태안화력에 건설예정인 IGCC 실증플랜트의 대상탄을 사용하였다. 열 및 물질수지 해석을 위해 각 단위 공정의 전체 흐름을 Figure 2와 같이 크게 4개의 부분 즉, 석탄분쇄 공

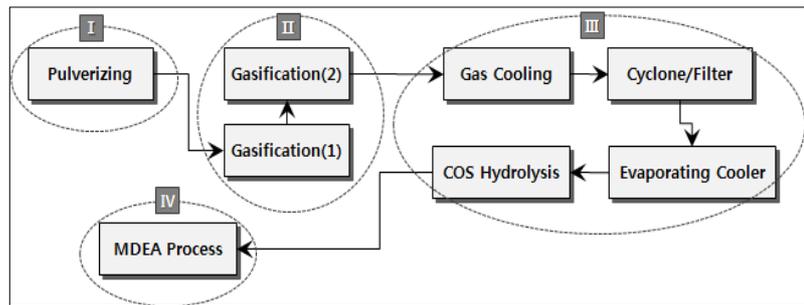


Figure 2. Process flow diagram of the gasification test facility for simulation by Aspen_plus

탄 가스화기 주입조건과 공정들을 반영하였으며, 해석에 사용한 미분탄은 태안화력에 건설예정인 IGCC 실증플랜트의 대상탄을 사용하였다. 열 및 물질수지 해석을 위해 각 단위 공정의 전체 흐름을 Figure 2와 같이 크게 4개의 부분 즉, 석탄분쇄 공 급(I), 가스화(II), 석탄가스냉각, 집진 및 COS Hydrolysis(III)[5], MDEA 공정(IV)[5]으로 나누어서 모델링하였다. 공정 해석시 석탄은 분쇄 및 건조되어 가스화기로 주입되도록 해석모델을 구성하였다. Figure 3은 Figure 2의 공정 구성도에 표시된 공정 중 일부인 석탄가스 냉각과정, 집진과정 및 COS Hydrolysis 공정해석(III), MDEA 공정(IV)을 Aspen plus로

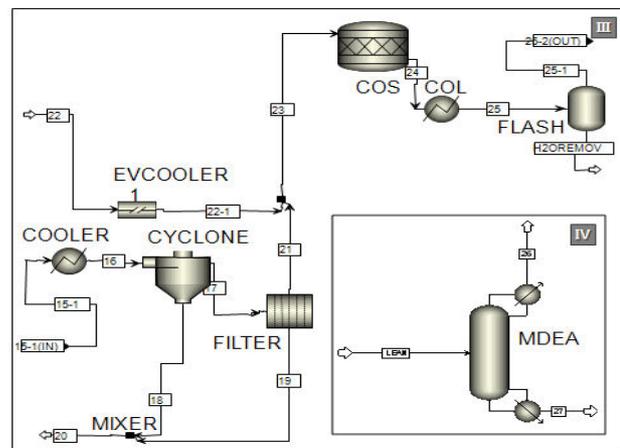


Figure 3. Process model of gasification test facility by Aspen plus (cooling and gas cleaning)

해석하기 위한 공정모델을 보여준다. 가스화기에서 생성된 고온의 합성가스는 냉각장치에서 냉각된 후 사이클론과 집진장치에서 비산재가 제거되도록 구성하였다. 비산재가 제거된 합성가스는 200℃ 이상의 운전조건에서 Scrubber를 거친 후 COS 가수분해 장치로 유입되어 COS가 H₂S로 전환되어 저온탈황공정(MDEA 공정)에서 H₂S가 제거된 후 플래어스택으로 유입되어 대기 중으로 방출되도록 구성하였다. Table 2는 Aspen plus로 해석하여 예측한 가스화기 후단의 질량 유량과 생성가스의 조성이다.

열 및 물질수지해석 결과는 파이로트 설비 시스템의 공정상 중요한 변수들의 변화에 따른 시스템의 성능 변화를 파악할 수 있고 성능 개선이나 문제 발생시 적용할 수 있으며, 새로운 용량의 가스화 시스템을 설계에도 활용될 수 있다.

가스화기 및 전체 시스템 설계

가장 중요한 핵심설비인 가스화기는 기본설계 형상을 바탕으로 석탄 주입노즐 및 산소 주입노즐 등 노즐의 각도 및 위치에 따른 간섭과, 내화재 시공에 따른 가스화기 내부의 간섭을 검토하여 가스화기 형상을 3차원 설계하였다.

Fig. 4는 설계된 20톤/일급 파이로트 설비의 가스화기 그림이며 노즐 장착시 서로 간섭 등이 발생하지 않도록 가스화기의 내부구조를 설계하였다. 설계된 가스화기 높이는 약 16m이며, 공정개발 실험의 자유도를 높이기 위해서, 플랜지를 사용하여 전체적으로 6개 부분(Shell)으로 분해될 수 있도록 하여 중요한 부분의 교체가 용이한 구조로 설계하였다. 가스화기내 반응영역별 온도분포를 측정하기 위하여 반응영역에 각각 수 개의 온도측정용 플랜지를 설치하였으며, 가스화기 상부에도 온도측정이 가능하도록 측정 플랜지를 설치하였다. 가스화기 벽면은 내화물로 설계하였다. 내화물은 내마모성 및 내열성이 우수한 크롬 60% 이상을 함유하는 WMCT 소재 계열을 내벽에 사용하였으며, 온도범위에 따라 내화재 층을 여러 개로 변경하여 설계 적용하고 가장 외벽에 HTB 소재로 마감처리하였다.

가스화기 하부는 하부의 슬래그 냉각용 물이 분사되는데 이 부위에는 슬래그의 원활한 배출상태를 감시하기 위하여 슬랙 탭 하부에 감시창과 카메라를 설치하여 연소상태가 상시 모니터링될 수 있도록 설계하였다.

앞의 열 및 물질수지 해석 결과를 기반으로 각 기기별 용량과 재질 등을 선정하여 세부적인 설계를 하였다. Figure 5는 가스화공정 테스트를 위한 파이로트 설비의 전체 시스템 설계결과를 보여주는 그림이다. 테스트 설비는 전체 길이 약 100m이며, 높이는 30m, 폭은 20m의 공간에 설치될 수 있도록 설계하였다. 또한 각 기기별 배치는 향후 유지보수를 위한 공간 확보 등도 고려하여 설계에 반영하였다.

Table 2 H&M simulation result (after gasifier)

Total mass flow (kg/hr)	2206.69	
Temperature (°C)	912.6	
Pressure (kg/cm ²)	15	
Mass flow (kg/hr)	CO	1065.778
	H ₂	40.7944
	CO ₂	332.655
	N ₂	489.4905
	H ₂ O	154.9899
	H ₂ S	6.3247
	COS	0.9595
	O ₂	1.23E-15
	CH ₄	12.59
	Ar	0.062
NH ₃	0.2096	

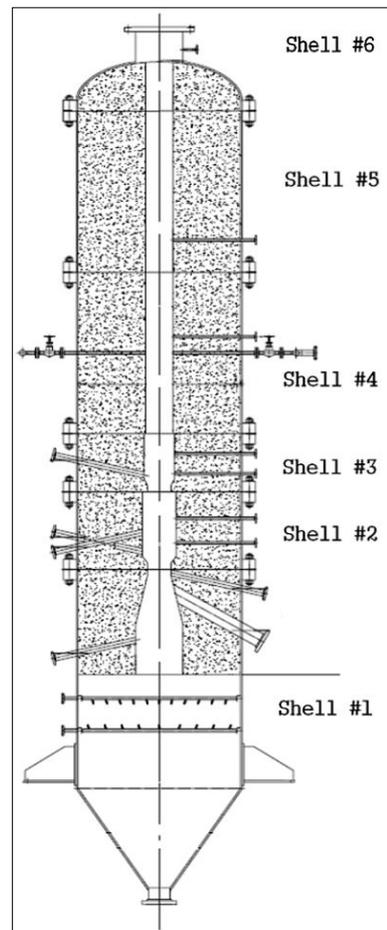


Figure 4. Gasifier section

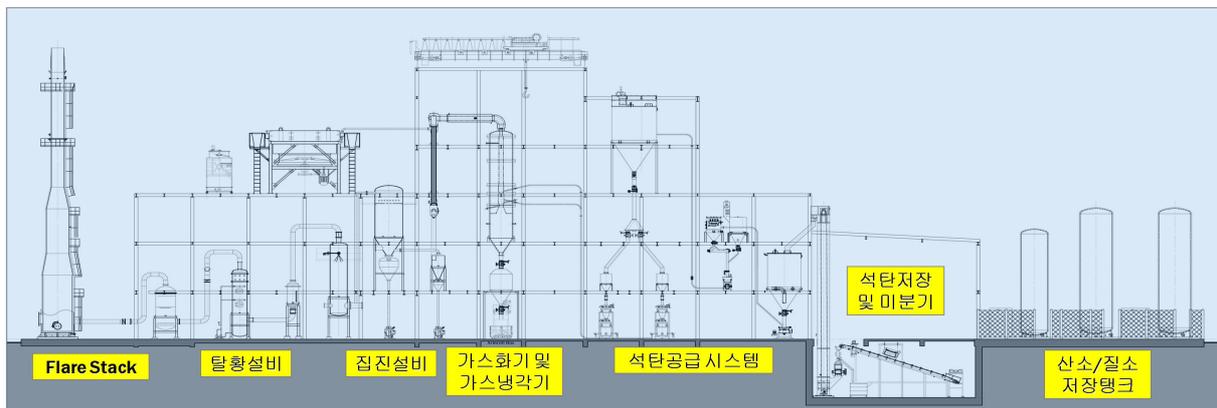


Figure 5. Equipment arrangement of 20tons/day gasification test facility

결론

본 연구에서는 IGCC의 핵심이 되는 가스화기술의 국내 고유공정 개발에 활용하기 위해 20톤/일급 파이로트 가스화공정 실험설비 구축을 위한 설계를 수행하였다. 먼저 테스트 설비의 핵심인 가스화기를 개념 설계하고 이를 토대로 석탄을 공급하는 석탄공급 설비, 가스화기 후단의 정제설비, 생성된 석탄가스를 연소시키는 플레어스택으로 구성하였다. 구성된 기본공정을 토대로 열 및 물질수지해석을 통해 각 기기별 용량과 재질 등을 선정하여 세부적인 설계를 진행하여 전체 시스템 설계도 작성을 완료하였다. 열 및 물질수지해석 결과는 파이로트 설비 시스템의 공정상 중요한 변수들의 변화에 따른 시스템의 성능 변화를 파악할 수 있고 성능 개선이나 문제 발생시 적용할 수 있으며, 새로운 용량의 가스화 시스템을 설계에도 활용될 수 있다. 본 연구에서 설계된 파이로트 설비는 석탄의 탄종별 가스화특성 실험, 가스화기의 최적 운전조건 도출, IGCC 시스템의 운전신뢰성 시험 등을 통해 국내 고유의 가스화 기술과 가스정제 기술의 개발에 다양하게 활용하고, 궁극적으로는 가스화기의 국산화 Scale-up 설계기술 개발에 효과적으로 적용될 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Hara, S., Kidoguchi, K., Ohtaka, M., Watanabe, H., Ichikawa, K., Oki, Y., Ashizawa, M., Inumaru, J. and Kajitani, S., "Development of 3T/D research gasifier for practical use of coal gasification technology", CRIEPI Report, M05009(2006).
- [2] Klemmer, K. D., "The Siemens gasification process and its application in the Chinese market", 2006 Gasification Technologies Conference(2006).
- [3] Felix, L., Farthing, W., Irvin, J., Snyder, T. and Walsh, P., "The real time measurements of gas concentration and composition for high temperature/pressure gasification processes", 2006 Gasification Technologies Conference(2006).
- [4] Chung, J. H., et. al., "Design of a test bed for the development of IGCC gasification process", 159-162, Spring conference on Korea Society of Mechanical Engineering, May, Busan(2009).
- [5] Higman, C. and Burgt, M., Gasification, Elsevier(2008).

후기

본 논문은 지식경제부에서 시행한 신재생에너지 기술개발사업을 통한 연구결과이며, 지원에 감사드립니다.