

Bench급 중잔유 가스화 공정의 동적모사

이봉렬, 이승중, 윤용승
고등기술연구원 플랜트엔지니어링 센터

Dynamic Simulation for the Bench-Scale Heavy Residual Oil Gasification Process

Bong-Ryeol Lee, Seung-Jong Lee, Yongseung Yun
Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering

요 약

본 연구에서는 검증된 Bench급 석탄 가스화 공정에 대하여 개발된 동적모사 프로그램을 중잔유 가스화 공정 모델에 적용하여 가스화 성능에 크게 영향을 미치는 주요변수, 즉 시료 투입비, 산소 공급비, steam 공급비 및 압력조절밸브 열림레도의 영향을 파악하고, 공정변수들의 동특성을 해석하였다. 가스화기의 부하변동에 따른 주요 공정 변수들의 변동경향 및 시상수에 대한 신뢰성있는 모사결과를 얻을 수 있었으며, 개발된 모델을 사용하여 중잔유 가스화 공정설계를 위한 기초 자료를 마련하였다.

1. 서론

가스화 복합발전(Integrated Gasification Combined Cycle, IGCC) 시스템이란 석탄 및 중잔유(heavy residual oil), petroleum coke, biomass 등 저급의 고체 및 액체 연료를 고온·고압 조건에서 불완전 연소 및 가스화 반응시켜 일산화탄소(CO)와 수소(H₂)가 주성분인 저분자 가연성 기체로 변환시키는 가스화공정, 생성가스 내에 포함되어 있는 회분 및 유황성분을 제거하는 가스정제공정, 정제된 가스를 연료로 사용하여 일차적으로 발전에 이용하는 가스터빈공정과 이곳에서 배출되는 폐열과 가스화기 및 가스정제공정의 단위공정에서의 사용 가능한 열원을 이용하여 고압증기를 생성하여 2차적으로 발전시키는 증기터빈공정으로 구성된 복합적 개념의 발전 시스템이다. 이러한 IGCC 기술은 고효율, 고정정의 차세대 환경친화적인 발전기술로서 미국, 유럽 및 일본 등의 기술 선진국들은 각국의 정부지원에 힘입어 설계/건설/운전 단계에 이르렀으며, 기술 우위를 확보하기 위해 노력하고 있다. 국내에서도 가스화 복합발전 시스템의 상업화를 위한 기초 및 응용 연구 개발에 관심이 집중되고 있으며, 가스화 복합발전 시장에서 우리 나라가 선진국들과 경쟁하기 위해서는 IGCC 시스템

에 대한 요소기술 및 시스템 종합기술의 확보에 노력을 기울여야 할 것이다.

가스화 반응의 가장 큰 장점은 시료로부터 연료가스로 에너지를 회수함과 동시에 잔류물인 무기물(회재)을 환경적으로 무해한 슬래크로 재활용도 가능하도록 하는 복합기술이면서 향후 폐기물처리의 잔존에너지 재활용 측면과 다이옥신 발생이 없고 SOx/NOx 발도 현저히 감소시킬 수 있는 환경 적합한 기술이라는 점이고, 특히 시료 내 유황성분이 연소 반응에서는 공해 물질인 SOx로 발생되나 가스화 반응에서는 유황으로 회수가 가능한 H₂S의 형태로 생성된다는 점이다. 중잔유(Heavy Residual Oil)는 원유 정제 후 남은 원유의 잔여물로써, 세계적으로 정제공정과 정제물의 질에 대한 환경규제가 계속 강화되고 있는 추세에 비추어 다른 유류나 석탄에 비해 유황과 중금속을 많이 포함하고 있는 중잔유를 환경 친화적으로 활용하는 방안이 강구되어지고 있다.

본 연구에서는 이미 개발 검증된 3톤/일급인 BSU 가스화 공정에 대한 동적모델을 중잔유 가스화 공정에 적용하여 정상운전 하에서 중잔유, 산소의 가스화 반응을 통하여 일산화탄소(CO) 및 수소(H₂)가 주성분인 연소성 가스의 생성을 주목적으로 하여 일차적으로 대상 공정에 대한 열린루프(open loop)의 응답특성으로써 주요 조작변수인 feeding 조건(중잔유, 산소/중잔유비)과 steam, 압력조절의 밸브 열림 궤도를 계단 증가시켜 각각의 온도, 압력, 생성가스의 조성 및 생성량에 대한 응답특성을 해석하였다

2. 시스템 구성 및 전산 해석 방법

(1) 대상공정개요

본 연구의 대상 공정은 Fig.1에서 볼 수 있는 바와같이 중잔유를 가스화기로 주입하는 중잔유 주입설비, 산소 주입기, 가스화기, 생성가스 냉각, 슬래크처리설비 등을 포함하며 이외에 각각의 공정을 연결하는 배관 및 각종 밸브류 등을 포함한다.

(2) 가스화기의 주요 입출력변수

중잔유 가스화 공정의 입출력 변수는 대상 공정의 중잔유 가스화 공정에 대하여 공정에 직접적으로 관계하는 주요 조작변수로 연료인 중잔유의 유량, 산소유량, steam 유량 및 압력조절 밸브 열림 궤도로 요약될 수 있으며 목적으로 하는 주요 피 제어변수는 가스화기의 압력, 가스화기 온도, 생성가스의 조성 및 유량으로 구분될 수 있다.

(3) 동특성 해석

대상 공정에 대한 입출력 변수간의 동적특성을 해석하기 위하여 정상상태 867kPa, 1387℃로 운전 중인 중잔유 가스화 공정에 대한 주요 조작변수 설정치의 계단증가 변화에 대한 전산모사를 실시하였다. 이는 생성가스 조성의 안정성, 가스화기 부하변동에 대한 안정성, 조업조건 변동에 따른 안정성을 확보하는데 중요한 자료로 활용될 수 있다.

3. 결과

상용급 IGCC 공정에서 가스화 공정의 주요 조작변수들은 대부분 공정전체의 동특성에 큰 영향을 주기 때문에 대상 공정에 포함된 주요 조작변수들의 변동에 따른 주요 공정 변수들

의 동특성에 대한 해석결과는 전체 공정의 설계에 있어서 매우 중요한 자료로 활용될 수 있다. 증잔유 가스화 공정에 사용된 시료의 성분은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical compositions of the heavy residual oil*

C	H	O	N	S	Ash
83.80	9.65	-	0.31	6.20	0.04

주) * 4.3° API Vac Residual Oil

또한 867kPa, 1387℃의 정상상태에 얻어지는 생성가스의 조성은 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Syngas compositions at steady state(867kPa, 1387℃)

CO	CO ₂	H ₂	H ₂ O	H ₂ S
44.029	4.274	26.0524	9.0687	9.0687

Fig.2는 증잔유 가스화 공정의 부하변동에 대한 동특성을 해석하기 위하여 정상상태 초기 조건 하에서 산소/oil, steam 유량 및 후단의 압력조절밸브 열림패도 모두를 일정하게 유지하면서 가스화기로 공급되는 증잔유의 유량을 계단으로 5% 증가시켰을 때 얻은 대상공정의 열린루프 응답특성을 보여준다. 가스화기의 압력은 시료 투입이후 서서히 증가하여 약 7.6% 정도까지 증가하였고, 온도는 초기에 약 0.7%까지 급격한 증가를 보인 후 최종적으로 약 1.0%에서 안정되는 것을 볼 수 있다. 이는 가스화기의 압력이 열린루프로 유지되고 있기 때문에 가스화기 열부하 증가로 인하여 나타난 현상으로 판단된다. 생성가스의 유량은 시료의 투입량이 증가하면서 결과적으로 약 4.3%까지 증가한다. 생성가스의 조성을 살펴 보면, 일산화탄소 가스는 온도 변화와 비슷한 경향을 보이며 정상상태보다 약 1.1%정도 증가하였고, 수소 가스는 약 0.53%의 증가를 보이고 안정화 되었다. 반면 이산화탄소 가스는 약 1.23% 정도로 감소하는 경향을 보인다. 이러한 생성가스 조성의 변화는 초기에 온도 증가에 따른 영향으로 판단되며, 최종적인 결과는 연료 및 산소의 유량은 일정한 비율로 5% 증가한 반면에 이외의 factor 들이 일정하게 유지되어 상대적인 분율이 증가한 영향으로 해석될 수 있다.

Fig.3은 산소/oil, 산소 투입량 및 후단 압력조절밸브의 열림패도를 일정하게 유지하면서 유입되는 steam의 유량을 5% 계단 증가 시켰을 때의 응답을 나타낸 것이다. 가스화기의 압력은 steam 유입량의 증가에 따라 약 3.17%의 증가를 보이면서 점차 안정되고, 생성가스 역시 최종적으로 약 1.8%의 증가를 보인다. 가스화기 내부의 온도는 steam 유입량이 증가하면서 상대적으로 온도가 약 0.19%로 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그렇게 큰 영향을 보이지는 않지만 steam의 유입으로 인한 가스화기 온도감소는 당연한 결과라 하겠다. 한편 생성가스 조성의 변화는 일산화탄소 가스가 약 0.3%정도 감소하였고, 이산화탄소 가스는 약 1.17%정도, 수소 가스는 아주 미미하지만 약 0.006%정도 증가하는 것을 볼 수 있다. 일산화탄소와 수소 가스의 변화량은 크게 나타나지 않지만 이산화탄소 가스의 변화량이 상대적으로 큰 변화를 보이는 것은 생성가스 조성에서 볼 수 있듯이 이산화탄소 가스의 발생량이 그리 크지 않기 때문에 적은 변화에도 민감하게 나타나게 된다. 하지만 가스화기 온도 변화는 생성가스의 조성 변화에 아주 절대적인 영향을 미치는 변수임을 앞에서 설명한 시료의

계단 증가와 steam 유량의 증가 영향에서 볼 수 있다.

4. 결론

상기한 바와 같이 BSU 증잔유 가스화 공정의 동적 모사는 가스화기의 부하변동에 따른 주요 공정 변수들의 변동경향 및 시상수에 대한 신뢰성있는 모사결과를 얻을 수 있었으며, 개발된 모델을 사용하여 증잔유 가스화 공정설계를 위한 기초 자료를 마련하였다. 이는 대상 공정의 운전대안 및 제어로직의 설계에 활용될 수 있으며, 현재 개발되어 사용중인 모델은 향후 계속해서 BSU 실공정 조업자료를 이용하여 개선될 것이다.

5. 참고 문헌

1. 이승중, 윤용승, "주요 운전 변수에 따른 증잔유 가스화의 성능 예측", 한국에너지공학회지, 제10권, 제2호, 2001
2. C. Depew, et al., "Dynamic Simulation for IGCC Process and Control Design", Hydrocarbon Processing, January, 1998
3. "Entrained Gasification Combined-cycle Control Study", EPRI Final Report, AP-1422, June, 1980

감 사

본 연구는 산업자원부 산하 에너지자원 기술개발지원 센터에서 지원한 '가스화 복합발전 시스템 연계 실증 및 모사기술 개발' 연구의 일부로 수행되었습니다. 지원에 감사드립니다.

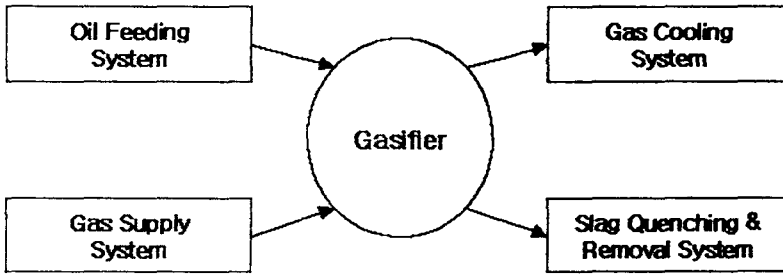


Fig.1 Block diagram for the bench-scale heavy residual oil gasification process

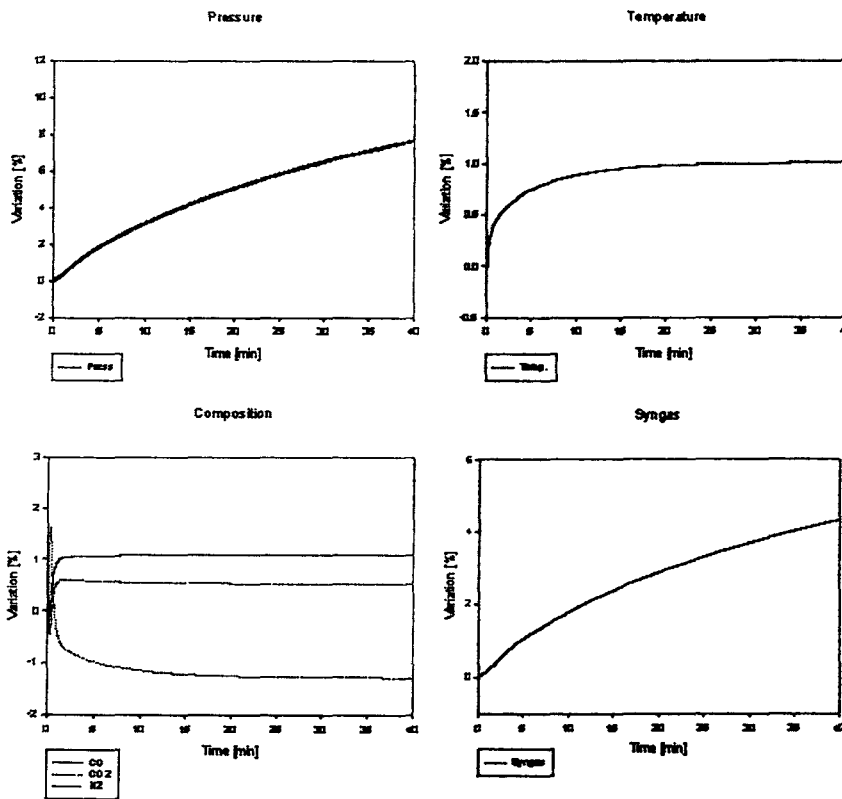


Fig.2 Dynamic responses with 5% step increase in the heavy residual oil feeding

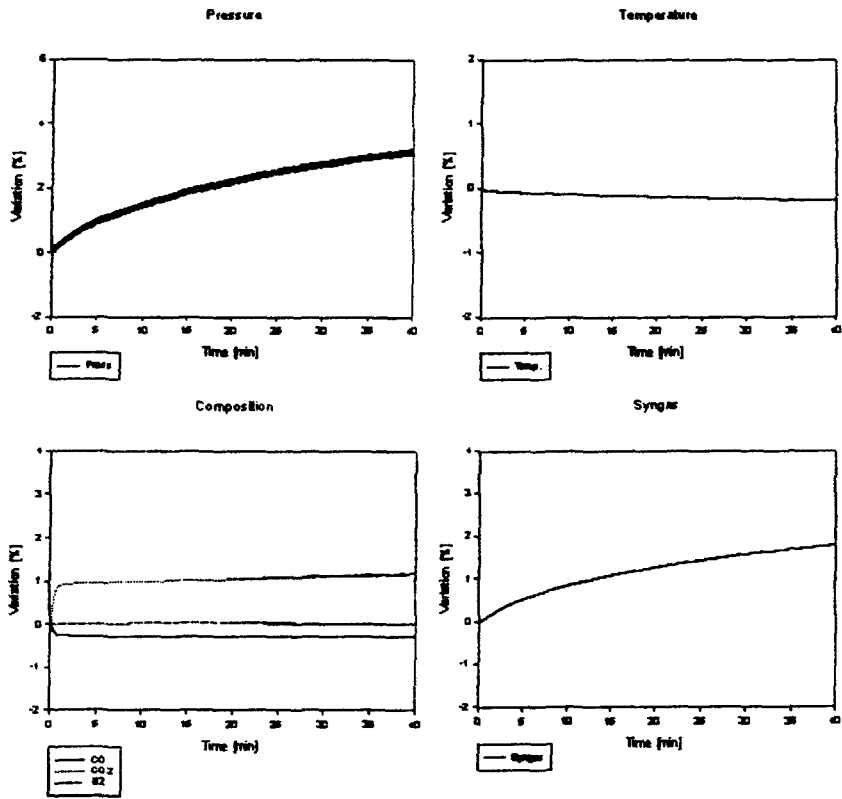


Fig.3 Dynamic responses with 5% step increase in the steam feeding