

Bench급 석탄가스화공정의 동적모사 및 제어

유희중, 김원배, 윤용승
고등기술연구원 에너지/환경연구실

Dynamic Simulation and Control for the Bench-Scale Coal Gasification Process

Hee-Jong Yoo, Won Bae Kim, Yongseung Yun
Energy & Environmental Technology Lab., Institute for Advanced Engineering

요 약

본 연구에서는 현재 운용되고 있는 bench급 석탄가스화공정 전체에 대하여 개발된 동적모델을 사용하여, 대상공정에 포함된 조작변수들의 변동에 따른 주요 공정변수들의 동특성 해석 및 대상공정의 제어로직 설계에 활용된 결과를 설명하였다. 가스화기의 부하변동에 따른 주요 공정변수들의 변동경향 및 시상수에 대한 신뢰성있는 모사결과를 얻을 수 있었으며, 개발된 모델을 사용하여 cascade 및 ratio 방식의 온도제어로직을 설계하였고, 실공정 적용실험을 통하여 모사결과 및 안정된 운전특성을 검증할 수 있었다.

1. 서론

일반적으로 플랜트공정에서 동적모사를 사용하는 이유는, 정상상태 자료들을 기본으로 하여 설계된 플랜트에서 각각의 단위공정들에 대한 입계상황을 검증하고 신규 플랜트들에 대한 startup 및 shutdown 절차를 설계할 수 있을 뿐만 아니라 공정전체의 제어로직 설계에 필요한 단위공정들의 상호 연관성 및 공정의 동특성 자료를 얻을 수 있기 때문이다. 최근에는 이러한 플랜트공정 동적모사의 중요성이 점차 강조되고 있는 추세이다. 특히, 여러 가지 단위공정들이 복잡하게 집적된 IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle) 플랜트에서 단위공정들 사이의 상호작용을 이해하고, 운전대안 및 제어로직을 설계함에 있어서 대상공정에 대한 상세한 동적모사는 매우 가치있는 자료를 제공할 수 있다.

이러한 목적에 따라 본 연구에서는 IGCC 플랜트를 구성하는 가스화기 및 주

변장치들에 대한 신뢰성 있는 모델들을 개발하고, 이를 통하여 설계된 운전대안 및 제어로직을 검증하기 위하여 현재 조업중인 3톤/일급인 BSU(Bench Scale Unit) 가스화공정을 대상공정으로 하여 동적모사를 수행하였다. 본 동적모사를 위하여 개발된 BSU 단위공정 각각에 대한 동적모델들 및 이에 대한 검증자료는 기발표된 참고문헌[1]에 자세히 기록되어 있기 때문에 본 논문에서는 기술하지 않았다.

본 연구에서는 BSU 가스화공정을 구성하는 각각의 설비에 대한 모델들을 대상공정과 동일하게 통합하고, 밸브들을 포함한 각각의 설비들을 연결하는 수력망을 모델링하여 일차적으로 대상공정에 대한 열린루프 응답특성을 해석하였다. 또한, 개발된 모델을 사용하여 가스화기의 온도 및 부하변동에 대한 안정된 제어로직을 설계하였으며, 이러한 결과들을 BSU 실공정 조업에 적용하였다.

2. 대상공정 개요

본 연구의 대상공정은 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 미분탄을 가스화기로 주입하는데 사용하는 4기의 미분탄 주입설비, 가스화기, 생성가스 냉각기, 슬랙 처리설비 및 집진설비 등을 포함하며 이외에 각각의 공정을 연결하는 배관 및 각종 밸브류 등을 포함한다.

3. 동적모사 결과

상용급 IGCC 공정에서 석탄가스화공정의 주요 조작변수 및 제어변수들은 대부분 공정전체의 동특성에 큰 영향을 주기 때문에 대상공정에 포함된 주요 조작변수들의 변동에 따른 주요 공정변수들의 동특성에 대한 해석결과는 IGCC 전체공정의 설계에 있어서 매우 중요한 자료로 활용될 수 있다. 특히, 가스화기의 부하변동에 따른 주요 공정변수들의 동특성은 IGCC 전체공정의 제어로직 설계에 있어서 가장 중요한 자료로 요구된다.

대상공정의 부하변동에 대한 동특성을 해석하기 위하여 첫 번째로 아역청탄인 Alaska Usibelli탄을 기준으로 열린루프 응답특성을 모사하였다. Fig. 2는 가스화기의 압력 및 온도가 각각 30기압 및 1460℃인 정상상태 초기조건하에서 산소/석탄비, 수송용 질소유량, 스팀유량 및 후단의 압력조절밸브 열림패도 모두를 일정하게 유지하면서 가스화기로 공급되는 미분탄 유량을 계단으로 5% 증가시켰을 때 얻은 대상공정의 열린루프 응답특성을 보여준다. Fig. 2에서 볼 수 있는 바와 같이 가스화기의 압력은 약 30분의 시상수를 보이면서 5% 증가하였고,

온도는 초기 약 2%의 급격한 증가를 보인후 최종적으로 약 1.5% 증가함을 알 수 있었다. 이는 가스화기의 압력이 열린루프로 유지되고 있었기 때문에 가스화기 열부하 증가로 인하여 나타난 현상으로 판단된다. 이러한 과정에서 생성가스의 조성중 일산화탄소 및 수소는 초기에 각각 2.8% 및 2.2% 증가하였다가 최종적으로 모두 약 2% 증가하는 현상을 볼 수 있었다. 초기에 나타난 결과는 온도증가에 따른 영향으로 판단되며, 최종적인 결과는 미분탄 및 산소의 유량은 일정비로 5% 증가한 반면에 이외의 수송용 질소등은 일정하게 유지되어 상대적인 비율이 증가한 영향으로 해석될 수 있다.

대상공정의 안정된 부하변동을 위한 제어로직을 설계하기 위하여 다양한 방식의 부하변동에 대한 조업특성을 모사한 결과 부하변동 속도가 ramp로 분당 약 1%일 때 가장 안정된 조업특성을 얻을 수 있었다. 가스화기의 압력은 후단에 설치된 압력조절밸브에 의해서 부하변동에 관계없이 일정하게 제어될 수 있는 모사결과를 얻을 수 있었다. 또한, 가스화기로 주입되는 미분탄 성분의 불균질성 및 유량의 변동에 따라 변화될 수 있는 가스화기의 온도를 일정하게 제어하기 위하여 cascade 및 ratio 방식이 혼합된 형태의 제어로직을 설계하여 모사한 결과 가스화기의 온도를 일정하게 유지할 수 있었다. 상기한 바와 같이 설계된 제어로직을 실공정에 적용하였으며, 모사결과로부터 도출된 PID 제어기의 parameter값들은 실공정 제어기의 초기 tuning값으로 사용하였다.

Fig. 3은 앞서 설명된 제어로직들이 설치된 조건하에서 동적모사를 통해서 얻은 자료와 동일한 조업조건의 BSU 실공정 조업자료를 비교한 결과이다. 본 실험에서는 미국산 Cypurus탄을 사용하였고, 가스화기의 압력은 대상공정의 후단에 설치된 압력조절밸브에 의해서 설정치 16.8기압으로 일정하게 제어되었으며, 가스화기의 온도는 cascade로 구성된 산소/석탄비 제어기에 의해서 설정치 150 $^{\circ}$ C로 일정하게 제어되었다. 가스화기로 주입되는 석탄의 유량이 55.5kg/h이고 산소/석탄비가 0.78인 정상상태 운전조건하에서 가스화기의 부하변동에 따른 동특성을 파악하기 위하여 분당 0.75kg의 ramp 속도로 초기부하의 약 16%까지 증가시켰고, 증가된 부하조건하에서 약 15분간 유지하였으며 다시 동일한 ramp 속도로 초기 정상상태 부하의 45%까지 감소시켰다. 동적 모사결과 가스화기의 온도와 압력이 모두 설정치의 $\pm 0.05\%$ 내에서 제어된 결과를 볼 수 있으며, BSU 실공정 조업결과와 비교한 경우 온도와 압력이 모두 설정치의 $\pm 1\%$ 내에서 제어된 결과를 볼 수 있다. 이러한 부하변동 과정에서 주요 조작변수인 산소/석탄비는 실공정 조업자료와 모사자료를 비교한 결과 저부하 구간에서 최대 5%의 오차를 보이며 비교적 유사한 경향을 보임을 볼 수 있다.

생성가스의 조성에 대한 실공정 조업자료와 모사자료를 비교하였을 때 수소

합량의 경우 실측치와 비교하여 최대 5%의 다소 큰 오차를 보이고 있으나 부하 변동에 따른 조성변화의 경향은 유사함을 볼 수 있다. 이외에 생성가스의 유량은 모사결과의 경우 가스화기의 부하변동 형태와 동일한 형태로 변화됨을 볼 수 있으나, 실공정 조업결과의 경우 모사값 주변에서 다소 진동함을 볼 수 있으며, 이러한 결과는 앞서 설명한 가스화기의 압력변동 주기와 일치함을 볼 수 있다. 이와 같은 실측치에 대한 모사결과의 오차는 일정한 스크류의 회전수하에서 가스화기로 주입되는 미분탄의 유량 및 성분변동이 고려되지 않았다는 점과 가스화반응의 모델에 속도론을 고려하지 않고 석탄의 전환율이 95%로 일정하다는 가정 이외에 현재 BSU 공정에서 생성가스의 냉각방식으로 사용하고 있는 냉각수의 직접분사에 대한 효과가 모델에 포함되지 않았던 사항들 등에 의해서 기인한 것으로 판단된다. 그러나, 상기한 모사결과의 오차는 실공정에서 발생하는 가스화반응 등의 복잡성을 고려할 때 비교적 크지 않고, 모사결과와 실공정 조업결과의 제어변수 및 조작변수들 모두에 대한 변동경향 및 시상수가 매우 잘 일치하기 때문에 조업변동에 따른 대상공정의 동특성 해석 및 제어로직 설계 등에 본 모사가 신뢰성 있게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

상기한 바와 같이 BSU 가스화공정의 동적 모사결과는 실공정 조업자료를 통하여 신뢰성이 검증되었으며, 대상공정의 운전대안 및 제어로직의 설계에 활용될 계획에 있고, 현재 개발되어 사용중인 모델은 향후 계속해서 BSU 실공정 조업자료를 이용하여 검증 및 개선될 것이다.

참 고 문 헌

1. 유희중, 김원배, 윤용승, "석탄가스화공정의 동적모델링", 한국에너지공학회 추계학술발표회 논문집, 1997
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 산업자원부에서 지원하는 '석탄가스화 복합발전 기반기술개발' 과제의 '98년도 사업으로 지원되었습니다. 이에 감사드립니다.

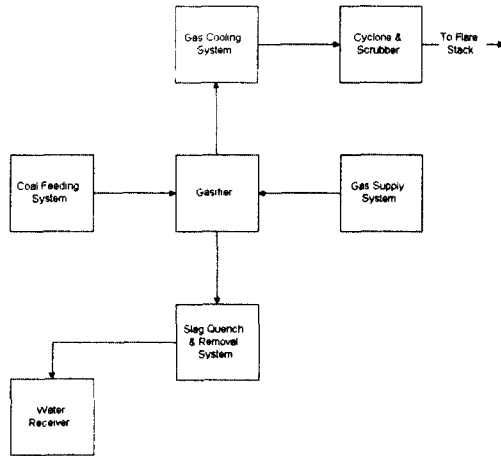


Fig. 1. Schematic diagram for the BSU coal gasification process

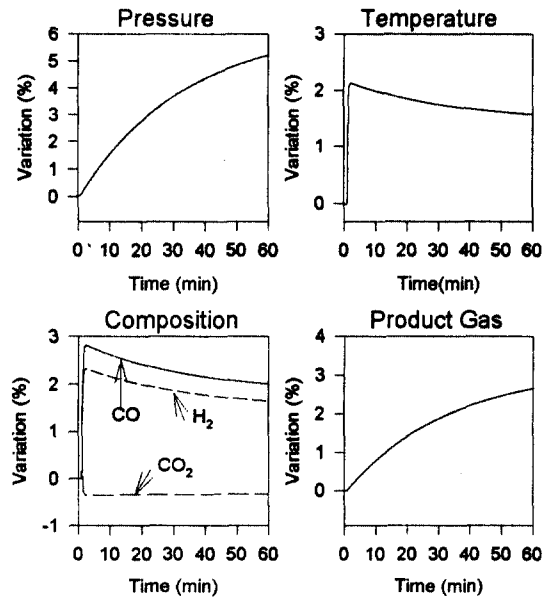


Fig. 2. Dynamic responses with 5% step increase in the coal feeding rate

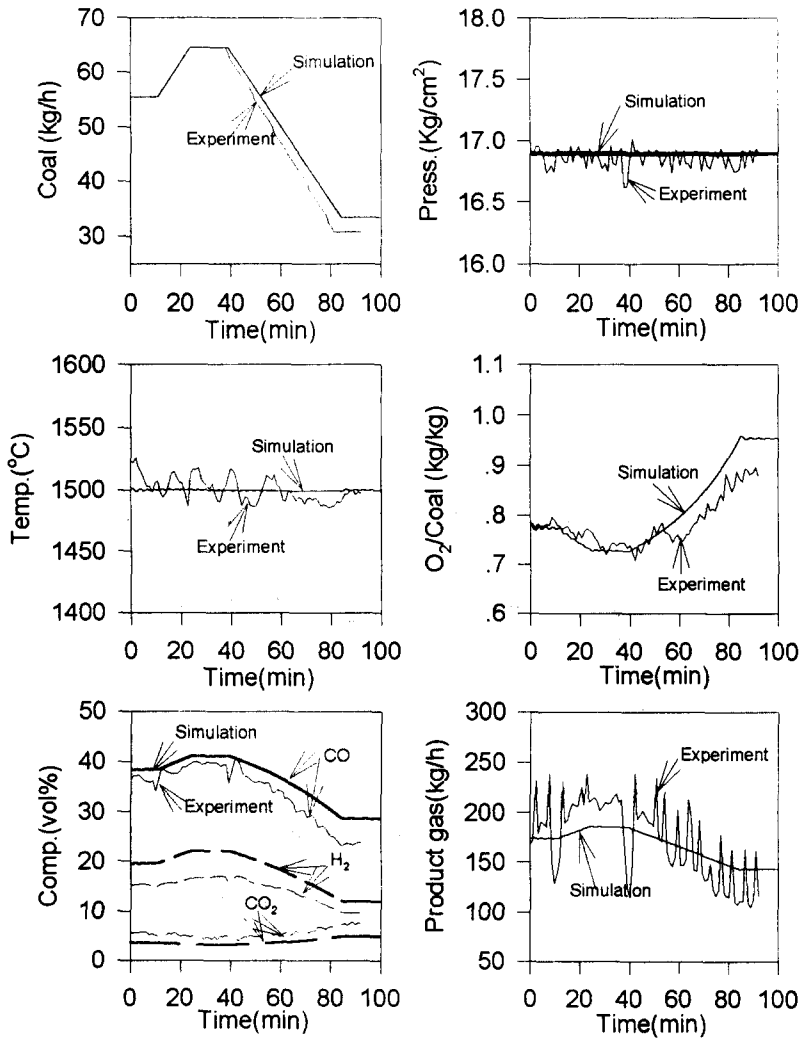


Fig. 3. Dynamic responses for the gasifier load change