

정유석유화학공정의 boiler plant의 동적 모사

김윤식, 모경주, 이기백, 윤인섭
서울대학교 공과대학 화학공학과

Dynamic Simulation of Boiler Plant in Refinery/Petrochemical Processes

Y.S. Kim, G.J. Mo, G.B. Lee, E.S. Yoon
Dept. of Chemical Engineering, Seoul National University

서론

정유화학공정은 계속적인 증기의 공급을 필요로 하며 이를 위해서 별도의 보일러 플랜트를 가지고 있다. 이러한 보일러 플랜트는 증기를 생산하는 보일러와 증기를 이용하여 전기를 생산하는 터빈을 말한다. 보일러 플랜트에서 생산된 고압 증기는 하부생산공정에서의 가열이나 분리에 필요한 열원을 공급한다.

따라서 보일러 플랜트의 안정적인 운전은 작게는 제품의 품질에 영향을 미치게 되고 크게는 타 공정의 안정성에 직접적인 영향을 미쳐 공정의 조업정지를 야기하여 공장에 큰 경제적인 손실을 끼친다.

이러한 보일러 플랜트의 이상 상황에서의 보일러 플랜트의 시스템 동특성을 파악하는 것이 요구된다. 이러한 문제의 해결은 동적 모사를 통해서 해결할 수 있다. 동적 모사를 통해 시스템의 동특성을 알게 되면 실제로 공정을 테스트하는데 따른 어려움을 극복하고 경제적 손실을 막을 수 있다. 또, 이와 같은 모사를 통해 공정의 안정성을 향상시킬 수 있으며, 제어 가능성으로 대변되는 조업성을 분석할 수 있게 된다.

기존의 보일러에 대한 동적 모사는 보일러의 드럼과 상승관/하강관에 중점을 두어 주로 간단한 모델을 통해 외란 시 보일러의 압력이나 증기 생산량의 변화를 예측하는데 중점이 두어졌다. 또 최근에는 과열기와 헤더 등을 포함한 좀더 넓은 범위의 연구도 수행되어 왔다[1]. 하지만 보일러에 공급되는 용수의 수위제어부, 고압/중압/중저압 헤더 그리고 연료 제어부 등을 포함한 전 보일러 플랜트에 걸친 폭넓은 동적 모사에 대한 필요성이 제기되고 있다[2].

본 연구에서는 보일러 플랜트를 크게 급수부(Feed Water System), 보일러 드럼 수위 조절부(Drum level control system), 연료용 오일 및 가스 조절부(Fuel oil control & Fuel gas system), 증기 공급부(Steam supply system), 연소용 공기 조절 및 연소가스부(Combustion air control & flue gas system)로 나누고 각각의 서브시스템에 포함되는 모델을 개발하고 상용모사기를 통해 동적 모사를 실시했다.

이론

1. 보일러 플랜트의 구조

여기서 다루고 있는 보일러 플랜트는 정유석유화학공정의 유틸리티 시스템에서 일반적으로 사용되는 드럼형태의 보일러 중에서 자연순환에 의한 보일러를 연구 대상으로 한다[3]. 보일러 플랜트의 구조는 다음과 같이 나누어진다. 보일러 플랜트의 전체 구조는 Fig. 1.에서 보는 바와 같다.

- ① 급수부(feed water system)
물탱크, 헤더 펌프, 수위제어기
- ② 보일러 드럼 수위 조절부(drum level control system)
질탄기(economizer), 드럼, 제1과열기(superheater)
desuperheater, 제2과열기

- ③ 연료용 오일 및 가스 조절부(fuel oil control & fuel gas system)
연료용 오일 제어기, 연료 가스 제어기, 버너, 공기에 열기, 히터
- ④ 증기 공급부(steam supply system)
압력 조절기, 고압 헤더, 중압 헤더, 중저압 헤더,
저압 헤더, 터빈, 파이프
- ⑤ 연소용 공기 조절 및 연소가스부(combustion air control & flue gas system)
연소용 공기 조절기, 팬

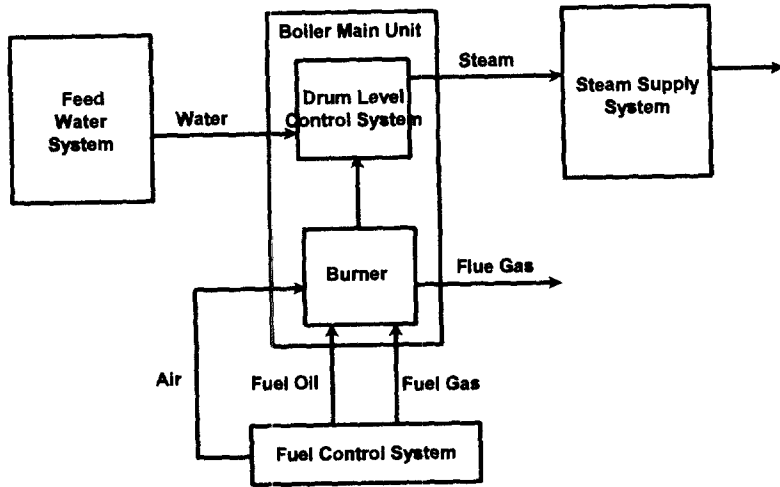


Fig. 1. Structure of Boiler System

2. 보일러 플랜트의 주요 모델의 가정

① 드럼

기액 간에 열평형이 이루어져 있다. 즉, 상부드럼에 들어있는 물과 증기의 온도가 같다고 한다. 또 상부 드럼과 하부 드럼 사이에 위치한 하강관과 상승관의 흐름 특성 및 열전달 특성은 무시한다. 여기서는 드럼의 수위변화가 연구의 중심이 아니므로 이 가정을 도입한다. 수위에 대한 역응답은 고려하지 않는다. 역응답은 외란이 들어온 초기에 나타나는데 이 연구는 외란이 들어왔을 때 전체 보일러 플랜트가 어떻게 변화하는지를 알고자 하므로 타당하다.

수증기는 시스템이 운전되는 압력 변화 범위 내에서 비압축성이다. 일반적으로 유체의 압력변화가 평균압력의 10-20% 미만이면 이러한 가정은 타당하다.

② 과열기

과열기 내의 개개 튜브의 열전달 특성은 무시한다.

③ 버너

버너의 연소 효율은 일정하다고 가정한다. 연료가 연소되어 발생한 열이 상승관이나 하강관, 과열기 등에 전달되는 것은 적절한 지연 시간을 가진 일차 시스템이다

④ 터어빈

터어빈은 정상 상태로 가정한다. 그리고 터어빈의 효율은 일정하다고 한다.

⑤ 기타

급수와 연료용 오일은 비압축성이므로 수송지연(transportation lag)은 고려하지 않는다.

3. 보일러 플랜트의 제어 시스템

보일러 플랜트의 제어목적은 공정에서 요구하는 증기량을 안정적으로 공급하는 것이다. 이러한 제어 목적을 충족시키기 위해서는 주요 헤더의 압력을 측정하여 증기생산에 필요한 급수와 연료용 오일과 가스의 유량을 조절하게 된다. 그리고 이와 더불어 이에 따른 공기와 연소가스의 제어와 급수 탱크의 수위 제어가 이루어진다. 여기서는 보일러 플랜트의 제어 시스템에서 가장 중요한 압력제어 시스템과 수위제어 시스템에 대해 자세히 설명한다.

① 압력제어시스템

고압헤더의 압력을 제어하기 위한 제어시스템은 steam pressure controller, master controller, total calorie controller, fuel oil controller 가 순서대로 연결되어 있다. 제어 시스템의 측정변수는 헤더의 압력, 개개 보일러의 증기생산량, 연료용 오일과 가스의 유량이며 조작변수는 연료용 오일의 유량제어밸브의 위치이다. 최종적인 제어 출력은 연료용 오일제어기에서 나오며, 제어의 구조는 Fig. 2와 같다.

② 수위제어시스템

수위제어시스템은 삼원소 제어방식을 취하며 측정변수는 수위, 보일러의 증기생산량, 급수의 유량이고 조작변수는 급수유량제어밸브의 위치이다. 제어의 구조는 Fig. 3과 같다.

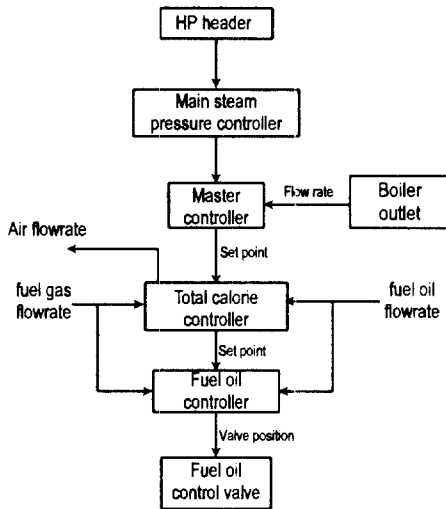


Fig. 2. Header Pressure Control System

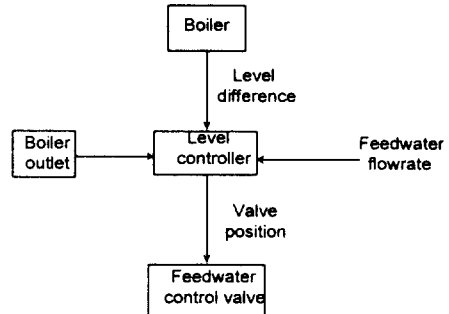


Fig. 3. Drum Level Control System

4. 동적 모사기

이 연구에서 사용된 동적 모사기는 이제까지 발표된 동적 모사기 중에서 가장 일반적으로 사용되는 SPEEDUP이다[4,5]. 이 상용모사기는 구조적으로는 방정식 중심접근법(Equation-oriented approach)을 사용하므로 대상공정에 관련된 모든 대수식과 미분식을 동시에 풀게 된다. 물성치 데이터는 상용 물성치 데이터 서비스인 PPDS-2를 이용하였다[6].

결과 및 토론

전체모사시간은 20분이고 외란은 모사 시작 후 1분40초에서 넣었다. 외란의 종류는 증기수요의 20%의 증가가 있는 경우였다. Fig. 4와 Fig. 5.에서는 증기수요의 증가에 따른 급수의 증가와 증기 생산량의 변화를 보이고 있다. 증기 수요를 빠르게 추적하고 있음을 알 수 있다. Fig. 6.에서는 보일러 전체 시스템의 안전성과 깊은 관련이 있는 보일러 내브의 압력변화를 나타내고 있다. Fig. 7.은 드럼의 수위를 나타내고 있다. 앞의 결과 모두 기존의 모사결과와 같은 경향을 보이고 있다.[1,2]

이상의 모사로 확인된 보일러 플랜트의 동적 모델은 공정의 움직임을 잘 나타내고 있으며 이러한 동적 모델을 이용함으로써 여러 가지 외란 시의 시스템의 동적 특성을 파악하여 공정의 안전성 및 조업가능성을 향상시키게 하는데 활용가능함을 알 수 있다.

참고문헌

1. 이기백, "화학공장 스팀 보일러 시스템의 동적 모델링 및 모사," 공학석사학위논문, 서울대학교, 1993
2. S. L. Gandi, J. Graham, M. A. Duffield and R. M. Cotes, "Dynamic Simulation Analyzes Expanded Refinery Steam System," *HYDROCARBON PROCESSING*, Nov. 1995
3. 서정윤, 오수철, 최국광, 증기공학, 청문각, 서울, 1989
4. SPEEDUP User Manual, Aspen Technology, Inc., 1994
5. SPEEDUP Library Manual, Aspen Technology, Inc., 1994
6. PPDS-2 USER Manual, Energy and Environment Centre

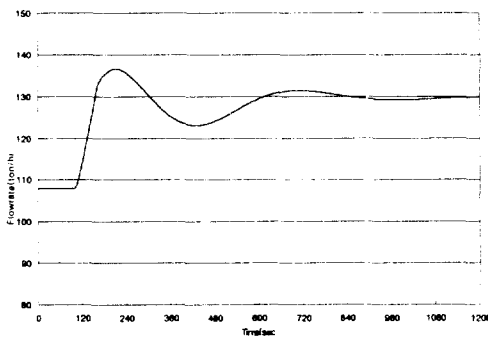


Fig. 4. Feed Water Flowrate Response

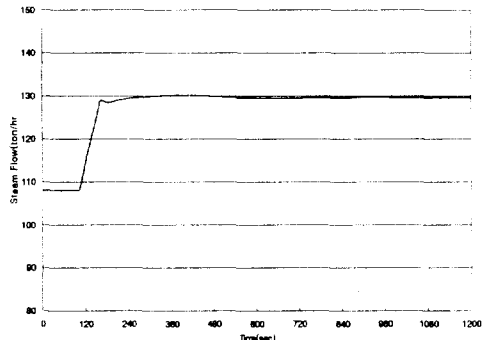


Fig. 5. Steam Flowrate response

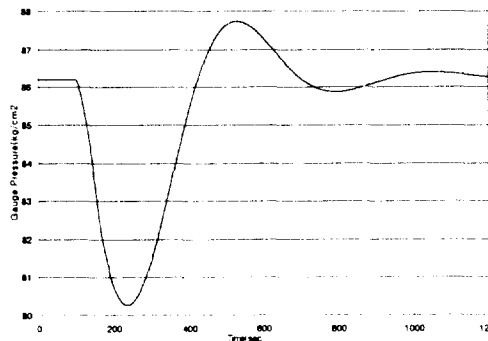


Fig. 6. Pressure response

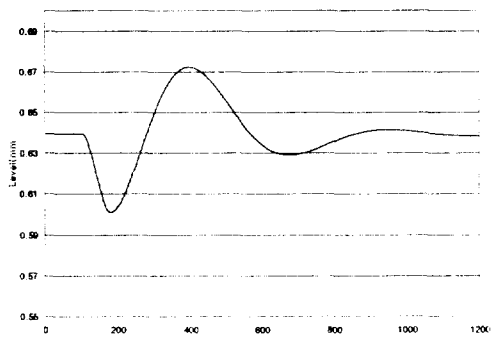


Fig. 7. Drum Level response