

석유화학공장의 에너지 분배 시스템 모사

유영호, 이희석, 여영구, 김명길*, 양홍석*, 정광필*
 한양대학교 화학공학과, 대림산업(주)여천공장*

 Modeling and Simulation of Energy Distribution System
 in a Petrochemical Plant

Young-Ho Yoo, Hee-Suk Lee, Yeong-Koo Yeo,
 Myung-Kill Kim*, Hong-Suk Yang*, Kwang-Pil Chung*
 Dept. of Chemical Engineering, Hanyang University
 Yochon Plant, Daelim Industrial Co., Ltd.*

서론

Steam은 대부분의 화학공장에서 가장 널리 사용되는 열 전달의 매개체로서 각 단위 공정에 열을 공급하고 이 공급된 열을 이용하여 단위 공정에서 가열이나 분리에 이용하는 등 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 따라서 공장의 총괄적인 steam 수급의 최적화는 전체적인 공장 조업 경비 가운데 에너지 경비가 차지하는 비율을 감안할 때 가장 우선적으로 다루어져야 할 부분이다. 본 과제에서는 최적의 steam 수급의 균형을 유지할 수 있는 운전 방안을 조업자에게 제시하기 위하여 steam 발생기 부분의 모사와 steam header balance의 모사를 통한 최적의 운전 조건을 추적하여 공장의 운전비용을 낮추고 steam balance 스케줄링 시간을 줄이는데 목적을 두고 있다. steam 발생기 모사 부분에서는 steam 수급 balance를 세우기 위해 필요한 보일러 자체의 steam 소비량 즉, steam air heater, 고압급수 가열기, 탈기 등 steam 소비량과 사용연료인 벙커-C유의 소비량을 예측하여 각 steam header의 균형을 유지하기 위한 기초 자료로 사용하게 되며, steam header balance 모사 부분에서는 header balance를 유지함과 동시에 letdown량을 최소화할 수 있도록 펌프의 운전 모드를 결정하게 된다.

Steam 발생기 모사

steam 발생기는 크게 나누어 탈기, 보일러, 공기 가열기의 세부분으로 구성하였으며, 기본 수치식으로 물질 수치식과 엔탈피 수치식을 이용하였다. 수처리 설비를 거친 공급 용수가 탈기로 유입되고 공기 가열기와 고압 급수 가열기로부터 나오는 응축수가 더해지고 여기에 가열을 위해 저압증기가 공급된다. 탈기로부터 나온 탈기된 공급수는 보일러와 letdown desuperheater 및 turbine 발전기의 spray water 그리고 각 단위 공장의 공급수로 제공된다. 탈기의 물질 수치식과 엔탈피 수치식은 다음과 같다.

$$F_{BFW} + F_{PLT} = F_{WTR} + F_{SAH} + F_{DEA} + F_{HPH}$$

$$(F_{BFW} + F_{PLT})H_{DEA} = F_{WTR}H_{WTR} + F_{HPH}H'_{MS} + F_{DEA}H_{LS} + F_{SAH}H'_{MS}$$

탈기에서 나온 물은 고압 급수 펌프를 거쳐 고압 급수 가열기로 공급되어 증압 증기에 의해 가열된 후 보일러로 공급되며 고압급수 가열기에서 사용된 증압 증기는 포화상태의 물로 되어 탈기로 들어간다.

$$F_{BFW}(H'_{HPH,o} - H'_{HPH,i}) = F_{HPH}(H_{MS} - H'_{MS})$$

초고압 증기를 생산하기 위해 보일러에서 공급수에 가해주어야 하는 열량은 다음과 같다.

$$F_{BFW} = F_{SS} + F_{CBD}$$

$$\Delta H = F_{SS}H_{SS} + F_{CBD}H_{CBD} - F_{BFW}H_{BFW}$$

여기서 F_{CBD} 는 blow down되는 물의 양이며 이는 수처리용 첨가제에 의한 장치의 손상을 막기 위해 보일러 드럼에서 물을 연속적으로 뽑아내는 것이다. 보일러 공급수가 초고압증기와 blow down water로 배출되는데 필요한 에너지 즉, ΔH 와 연소 가스로 나가는 에너지를 벙커-C유와 연소용 공기로부터 공급받아야한다.

$$\Delta H + F_{Comb}H_{Comb,g} = F_{BC}H_{BC} + F_{Air}H_{Air}$$

Steam header balance 모사

화학 공장에서 사용하는 super heated steam은 온도와 압력에 따라 다음 네 가지로 구분할 수 있다.

GRADE	온도(K)	압력(bar)
Super high pressure steam(SHP steam)	798.0	118.7
High pressure steam(HP steam)	663.0	41.2
Medium pressure steam(MP steam)	568.0	16.7
Low pressure steam(LP steam)	473.0	4.9

보일러는 위 네 가지의 등급의 스팀을 모두 생산하지 않고 초고압 증기만을 생산하며 초고압 증기 header에 공급한다. 공급된 초고압 증기는 단위 공장과 steam turbine 발전기에서 사용된다. Steam turbine 발전기는 초고압 증기를 이용하여 전기를 생산하고 중압 증기(MS), 저압 증기(LS), 응축수(SC)로 추기(extraction)된다.

고압 증기는 초고압 증기 header로부터 letdown desuperheater를 거쳐서 공급된다. 이때 고압 증기 header의 온도와 압력을 유지하기 위해 초고압 증기는 냉각수를 사용하여 냉각시킨다. 고압 증기는 각 단위 공장과 utility pump와 연결된 steam turbine에서 사용하게 된다. Utility pump는 구동을 위해 steam turbine과 electric motor중 하나를 선택하게된다. Pump를 구동하는데 있어서 각 header의 steam 수급을 맞추기 위해 turbine을 이용할 수도 있고 motor를 이용할 수도 있다.

중압 증기는 steam turbine과 steam turbine 발전기로부터 공급되며 주로 공기 가열기(SAH), 고압 급수 가열기(HPH) 그리고 각 단위 공장에서 사용한다.

저압 증기는 주로 steam turbine 발전기와 steam turbine의 추기에 의해 공급된다.

보일러에서 생산한 초고압 증기는 가지고 있는 높은 에너지를 이용한 후 보다 낮은 에너지를 가진 고압 증기(HS), 중압 증기(MS), 저압 증기(LS)로 된다. 각 steam header마다 물질 수지를 맞추어 대기 증기로의 steam vent를 방지하기 위해서 letdown desuperheater로 많은 양의 steam을 보내는 경우가 있다. 그러나 steam distribution system의 특성을 고려해 볼 때 letdown이 증가함에 따라 에너지의 손실은 그만큼 커지게 되며 전체 system의 에너지 효율을 감소시키게 된다. Utility pump의 적절한 운전과 steam turbine 발전기의 추기량을 조절함으로써 letdown양을 줄이고 vent되는 양을 제거할 수 있다.

각 steam header마다 물질 수지를 세우면 다음과 같다.

$$m_{FT} + m_{OPump} + m_{Fan} + m_{BFWPump} + m_{FDFan} + m_{AC} + m_{DWPump} + m_{PWPump} + m_{LS'} + m_8 = m_{DA} + m_{MISC} + m_{OH} + m_{LSUser}$$

$$m_{CWPump} + m_{MS'} + m_6 = m_{SAH} + m_{HPH} + m_{AS} + m_{AD} + m_{FS} + m_{OPump} + m_7 + m_{MSUser}$$

$$m_3 + m_4 = m_{CWPump} + m_{Fan} + m_{BFWPump} + m_{FDFan} + m_{AC} + m_{DWPump} + m_{PWPump} + m_5 + m_{HSUser}$$

$$m_{gen} = m_{SS} + m_1 + m_2 + m_{SSUser}$$

각 단위 공장마다 사용하게 될 steam의 양과 steam turbine 발전기의 계산을 위한 LP steam 추기량, SC 추기량은 미리 결정해 주어야 한다.

MP steam header에서 LP steam header로 letdown 되는 양을 최소화하기 위해서는 다음과 같은 최적화를 수행하여야 한다.

$$\max. [A^T B + C^T D]$$

$$\text{Subj. to } \left[\begin{array}{l} A^T B + C^T D \leq W \\ A_i = 0, 1, 2, 3 \dots \\ C_i = 0, 1, 2, 3 \dots \end{array} \right]$$

A : 운전되는 steam turbine의 개수

B : 한 대의 pump를 구동하는데 steam turbine이 사용하는 steam의 양

C : 운전되지 않는 steam turbine의 개수

D : Steam turbine을 warming up하는데 필요한 steam의 양

W : 물질 수지와 letdown desuperheater의 최소 운전량으로부터 결정되는 상수

중압 증기 header에서는 C.W. pump와 steam turbine 발전기의 extraction에 의해서 공급받는다. C.W. pump는 steam turbine으로 구동되는 것이 네 대가 있지만 용량이 매우 커서 운전 mode의 변경에 의해 MP steam header의 letdown을 줄일 수 없으므로 steam turbine 발전기에서 추기되는 양을 변경하여 만족할 만한 결과를 얻을 수 있다.

