

총계오차관별 및 데이터 보정 적용 사례 및 시스템

포항공대 화학공학과 김정환
서울대학교 응용화학부 한종훈

본 회에서는 데이터 보정 기법의 현장적용사례, 데이터보정 시스템 구성 및 상용소프트웨어 등에 관하여 소개하고자 한다.

1. 산업체 적용사례

Hydrocarbon Processing誌에 소개된 Crude Oil Distillation Unit에 대한 정상상태 데이터 보정 사례에 대하여 소개하고자 한다. 중국 Lanzhou petroleum refinery 공장에 적용된 사례로서 데이터보정을 통한 정량적 기대효과로서 약 \$ 0.5 Million 를 보고하고 있다. 대상시스템 내 장치 수는 21 개, 59 개의 스트림이 존재하였다. 이 프로젝트를 통하여 설치된 데이터보정 시스템의 구조는 그림 1 과 같이 4 개의 단계를 거치고 있다. 즉, DCS 를 통하여 Raw Data 를 수집한 후, 정상상태 확인 (Steady-State Identification), 데이터 분류 과정을 거친 후, 총계오차관별과 데이터보정을 수행함으로써 신뢰성 있는 데이터를 얻은 후, 이를 이용하여 실시간 최적화를 적용하여 제어시스템으로 최적화 결과를 내리는 방식으로 전체 시스템이 구성되었음을 알 수 있다.

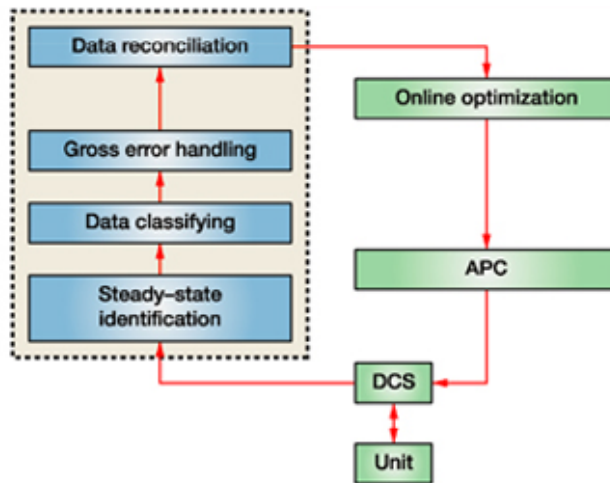


그림 1. 데이터보정 및 최적화 시스템 구조

정상상태 온라인 데이터 보정의 경우, 대상 프로세스가 불안정한 전이상태가 아닌 정상상태에서의 데이터 보정을 수행하는 것이므로 현재의 상태가 정상상태인지 혹은 전이상태인지에 대한 판단이 필요하다.

Narasimhan 등 (1987)이 제안했던 Composite Statistical Test Method 를 비롯하여 통계적 방법에 기초를 둔 여러 정상상태 판별법이 제안되었지만 본 사례에서는 다이나믹 필터를 이용한 방법을 이용하였다. 즉, Low-pass 다이나믹 필터를 이용하여 변동폭이 작은 운전범위를 선택하는 방식을 택하고 있다.

실제 산업계에서 운전시 정상상태를 파악하는 방법은, 공정의 정상상태에 가장 큰 영향을 미친다고 생각되는 주요 변수들의 변동폭을 파악하는 방법이다. 본 시스템의 경우, 원유입력유량, 입력원유 온도, 상압 컬럼의 탑상 압력이 전체 시스템의 정상상태를 판별할 수 있는 주요변수임을 운전경험으로부터 파악하여 이 주요변수들이 안정화된 구간을 정상상태로 판별하였다. <그림 2>의 경우 탑상 압력이 불안정하여 정상상태로 가기 위한 전이상태임을 알 수 있으며 <그림 3>의 경우 주요변수들이 안정되게 운전되는 정상상태로 판별이 되는데, Low-pass 다이나믹 필터를 이용하여서도 같은 결과를 얻었다.

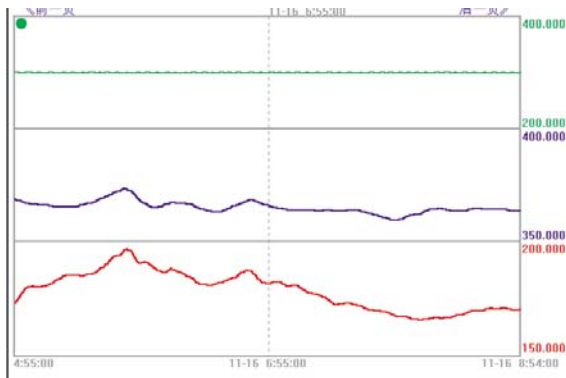


그림 2. 주요변수 운전현황 (불안정)

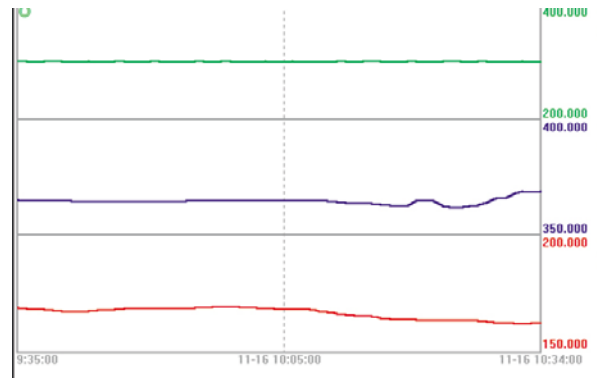


그림 3. 주요변수 운전현황 (정상상태)

정상상태임을 판별한 후에는 총계오차판별 및 데이터보정을 수행하게 되는데, 우선 데이터보정을 온라인으로 처리하기 위해서 Data classification 작업을 수행하였다. 데이터보정 문제에 Unobservable 한 변수가 존재하게 되면 Singularity

문제가 생기기 때문에 제대로 문제를 풀기가 힘들며, 따라서 Projection Matrix 법을 이용하여 Redundant 하고 Observable 한 변수들로만 데이터보정 문제가 구성되도록 데이터 Classification 작업을 수행하였다.

Data Classification 을 통하여 unobservable 한 변수를 제거한 후, 총계오차를 제거하는 단계를 거쳤다. 일반적으로 산업체 공정의 경우, Spatial Redundancy 가 부족하며 총계오차가 하나의 센서에만 존재하는 것이 아니라 여러 곳에 존재하고 또한 각 센서들이 캘리브레이션 작업 등이 이루어지지 않아서 오랜 기간 동안 조금씩 쌓여진 오차가 존재하여 (IGE: Integral Gross Error), 이를 제거하기 위한 방법으로 기존에 제안되었던 방법인 Measurement Test, Constraint Test, Global Test 등 일반적인 방법을 이용하지 않고 Correcting Coefficient 법을 이용하였다. 이 방법을 이용하여 각 변수에 존재하는 IGE 를 파악하여 이를 보정해 주는 작업을 수행한 후 데이터보정 단계로 넘어가도록 하였다. <그림 4>는 측정장치의 고장으로 총계오차가 발생한 센서의 트렌드를 보여주고 있으며, 총계오차판별 기법을 이용하여 이 센서를 확인할 수 있었다.



그림 4. 측정장치의 고장으로 인한 총계오차발생

데이터 보정단계에서는 일반적인 데이터보정 문제를 풀어서 측정값에 대한 보정을 수행하고 미측정 observable 한 변수에 대한 값을 구하도록 하였다. 그림 5 는 데이터보정의 적용으로 인하여 물질수지를 잘 맞추도록 보정이 됨을

보여주고 있다. (굵은 선으로 표현된 것이 데이터 보정을 수행한 경우이며, 점선으로 표현되어 있는 부분은 원데이터를 이용한 경우임)

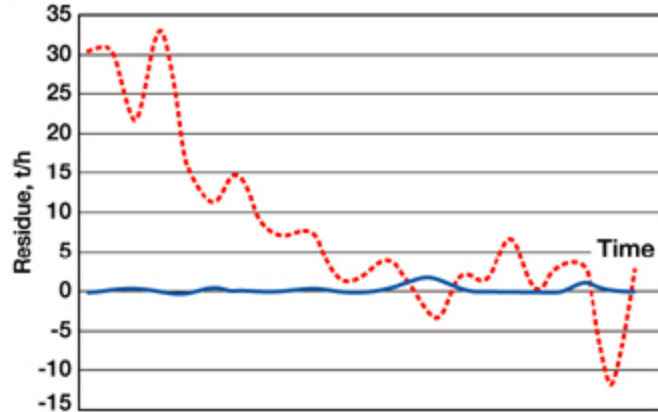


그림 5. 데이터보정 적용으로 인한 잔차 감소

데이터보정을 통하여 데이터의 신뢰성을 향상시킴으로써 함께 진행된 온라인 최적화의 기초를 제공하여 연간 약 \$ 0.5 Million 의 비용절감을 이루었다.

총계오차판별을 위하여 제안된 여러 방법들은 나름대로 장, 단점이 있으며, 실제로 대규모 프로세스에서 모든 경우에 총계오차판별 및 데이터보정을 성공적으로 수행해 내는 방법은 아직 없다. 성공적인 데이터 보정을 위해서는 데이터 보정을 위해서 사용하는 제약조건의 모델이 정확해야 하며 (물질수지식이나 에너지수지식 이외에 열역학식이나 기타 경험식을 쓸 경우), 가장 영향을 많이 끼치는 요소는 데이터의 Redundancy 이다.

2. 데이터 보정 시스템 구성

데이터보정 시스템을 현장에 구성할 때의 전체적인 구조는 <그림 6>과 같이 분산(distributed) 형태 및 계층적(hierarchical) 구조를 가진다. 그 이유는 부분적인 데이터 보정의 에러가 다른 부분으로 확산되는 것을 막기 위함이다. 데이터 보정을 수행하기 위하여 실시간으로 측정이 되지 않는 정보의 경우 수동으로 입력하거나

농도 등 랩에서 측정하는 경우 LIMS(Laboratory Information System)를 통해서 데이터보정에 필요한 정보를 수집하게 된다.

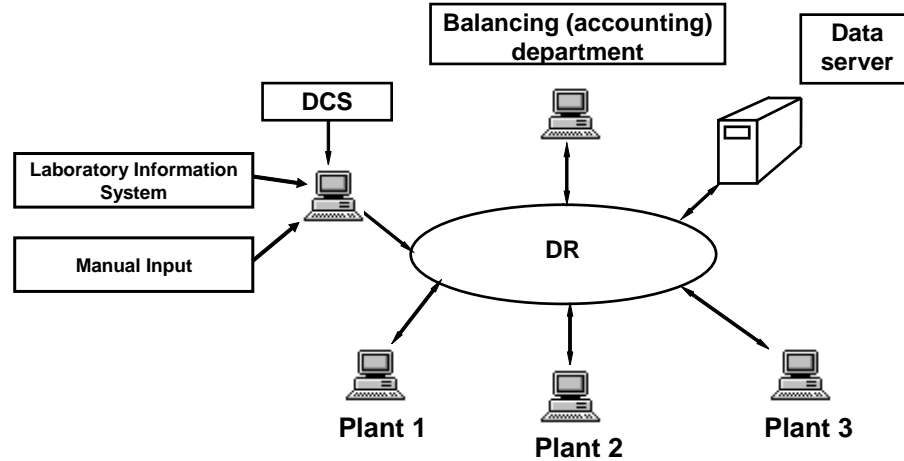


그림 6. 분산시스템 및 계층적 구조

3. 상용 총계오차 판별 및 데이터 보정 소프트웨어

상용 소프트웨어로는 ChemPlant Technology 의 IBIS (Single Component Mass & Utility Balancing)와 RECON (Multi-component Mass & Heat Balancing), SimSci 의 DATACON, PROFIMATICS 의 PIROS, BelSim 의 VALI 등 여러 프로그램이 있다.

데이터보정 및 총계오차판별에 관한 보다 자세한 여러 기법들에 관해서는 다음의 Reference 를 참고하기 바랍니다.

- 1) Data reconciliation & gross error detection, Shankar Narasimhan and Cornelius Jordache, Gulf Pub., 2000.
- 2) Data Processing and Reconciliation for Chemical Process Operations, Romagnoli, Jose A./ Sanchez, Mabel Cristina , Academic Pr, 1999.