

웹기반 공정진단 및 자동조율 시스템 개발

이기홍, 이문용*, 이승현
 영남대학교 응용화학공학부
 (mynlee@yu.ac.kr*)

Development of Web based Process Assessment and Auto Tuning System

Kihong Lee, Moonyong Lee*, Seunghyun Lee
 School of Chemical Engineering and Technology, Yeungnam University
 (mynlee@yu.ac.kr*)

서론

산업 현장에서는 무수히 많은 공정이 존재하며, 또한 각 공정에는 수많은 제어루프들이 존재한다. 이 제어루프 중 일부는 사용자가 원하는 정도의 성능을 내며 조업되며, 일부는 그렇지 못하다. 그러나 실제 데이터만을 가지고 공정루프의 성능이 원하는 정도를 내고 있는지를 판단한다는 것은 매우 어려운 일이며, 판단을 위한 기존 software들은 고가이며, 사용하기가 쉽지 않은 실정이다.

본 연구에서는 공정루프의 성능을 평가하기 위한 방법론으로서 데이터의 주파수를 분석하는 Power Spectral Density Analysis(이하 PSD) 및 Minimum Variance Control에 입각한 Control Performance Index(이하 CPI)를 이용하여 공정의 성능을 평가하는 방법을 제시하였다. 또한 공정의 모델링을 위한 방법론을 Luvenberg-Marquardt Optimization을 이용하여 공정의 데이터로부터 FOPTD 및 SOPTD model의 parameter를 구하는 방법을 연구하였다.

본론

제어루프 성능평가 및 조율절차

제어루프의 성능을 평가하고, 제어기 튜닝을 하는 절차는 아래와 같다.

1. 공정데이터 획득
2. 여러 가지 방법에 의한 Time Series Plot 및 PSD, CPI등의 분석
3. 2번의 단계에서 성능이 만족스러운 경우 종료, 그렇지 않은 경우 다음단계로
4. 원인을 파악하여 Hardware에 문제가 있는 경우, Hardware개선. 제어기 조율값에 문제가 있는 경우 다음 단계로
5. 공정데이터가 모델링에 유효한 정보를 담고 있지 않은 경우, 여러 가지 테스트법을 이용하여 추가 공정 데이터 획득
6. 획득된 데이터로부터 공정 모델링 수행
7. 얻어진 공정 모델을 이용하여 제어기 조율

Control Loop Assessment - Power Spectral Density & Control Performance Index

1. Power Spectral Density

얻어진 공정 데이터를 Fourier transform을 통하여 여러 주파수 대역에서의 signal들의 합으로 분리할 수 있다. Spectrum들은 식 (1)에서처럼 일반화된 주파수의 항목으로 나타낼 수 있다.

$$S_{xx}(\omega) = \sum_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(m)e^{-j\omega m} \quad (1)$$

식 (1)은 $\omega = 2\pi f / f_x$ 의 관계를 이용하여 물리적인 주파수(예, Hz)의 항목으로 나타낼 수 있다. 여기서 f_x 는 sampling frequency를 나타낸다.

$$S_{xx}(f) = \sum_{-\infty}^{\infty} R_{xx}(m)e^{-2\pi jfm/f} \quad (2)$$

이렇게 얻어진 Spectrum들을 그림 (1)과 같이 제어기 조율 전, 후로 분석함으로써 제어기 조율 후, 공정의 성능이 향상되었는지의 여부를 판단할 수 있다.



그림 (1) Power Spectral Density (Manual/Before Tuning(Auto)/New Tuning(Auto))

2. Control Performance Index

Minimum Variance Control에 입각한 higher order MA stochastic model식은 다음의 식(3)과 같이 주어진다.

$$y(t) = e(t) + c_1 e(t-1) + L + c_d e(t-d) + L + c_{n_c} e(t-n_c) \quad (3)$$

여기서 얻어진 식을 이용하여 실제 데이터와 얻어진 이상 모델간의 variance의 비를 Control Performance Index라 하고, 식(4)와 같이 주어진다.

$$CPI = \frac{(1+c_1^2+L+c_d^2)E[e^2(t)]}{E[y^2(t)]} \quad (4)$$

Process Modeling – Luvenberg-Marquardt Optimization

공정의 모델링을 위하여 Luvenberg-Marquardt 최적화 기법을 사용하였다. 공정의 모델을 아래의 식 (5)와 같이 가정하면,

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{x}(t)}{dt} &= \hat{A}\hat{x}(t) + \hat{B}u(t - \hat{d}) \\ \hat{y}(t) &= C\hat{x}(t) \end{aligned} \quad \hat{y}(s) = \frac{(\hat{b}_1s + \hat{b}_2) \exp(-\hat{d}s)}{s^2 + \hat{a}_1s + \hat{a}_2} u(s) \quad (5)$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} \hat{b}_2 \\ \hat{b}_1 \end{bmatrix}$$

목적함수는 아래의 식 (6)과 같이 정의할 수 있다.

$$\min_{\hat{A}, \hat{B}, \hat{d}} \left[V(\hat{A}, \hat{B}, \hat{d}) = \frac{0.5}{N} \sum_{i=1}^N (y(t_i) - \hat{y}(t_i))^2 \right] \quad (6)$$

식 (6)의 목적함수의 parameter를 구하기 위하여 식 (7)과 같이 Luvenberg-Marquardt Optimization을 적용한다.

$$\begin{aligned} \hat{\theta}(j) &= \hat{\theta}(j-1) - \left[\frac{\partial^2 V(\hat{\theta}(j-1))}{\partial \hat{\theta}^2} + \alpha I \right]^{-1} \left[\frac{\partial V(\hat{\theta}(j-1))}{\partial \hat{\theta}} \right] \\ \hat{\theta} &= [\hat{a}_1 \ \hat{a}_2 \ \hat{b}_1 \ \hat{b}_2 \ \hat{d}]^T \end{aligned} \quad (7)$$

위의 식(7)에서 얻어진 $\hat{a}_1 \ \hat{a}_2 \ \hat{b}_1 \ \hat{b}_2 \ \hat{d}$ 들이 식 (5)에서 SOPTD model의 parameter가 된다. 얻어진 SOPTD model은 간단한 최적화에 의해 FOPTD model로 전환할 수 있다.

기타 통계적 분석방법 및 제어기 tuning, 개발된 package의 Web화.

얻어진 공정데이터를 이용하여 간단한 통계적인 방법(데이터의 min/max값, average, standard deviation, variance등) 및 여러 종류의 plot(time series plot, scatter plot, op-pv bivariate frequency diagram, cross-correlation plot)들을 통해서도 어느 정도의 제어기의 성능을 평가할 수 있다. 예로서 공정 데이터의 histogram분석을 통하여 공정의 hysteresis 혹은 control valve의 stiction들을 확인할 수 있다.

또한 위의 단계에서 얻어진 공정 모델로부터 여러 가지 제어기 조율 방법을 이용하여 PID제어기 조율값들을 쉽게 구할 수 있다.

결론

본 연구에서는 공정 루프의 성능을 진단 및 평가, 적절한 데이터를 이용한 공정 모델링, 모델링된 결과로부터 제어기의 조율값을 구하는 절차들을 통합하여 하나의 패키지화 하고, 개발된 패키

지를 웹에 기반하여 계산 engine은 server에 두어 사용자는 개인의 PC에서 web browser를 통하여 쉽게 사용할 수 있는 package를 개발하였다.

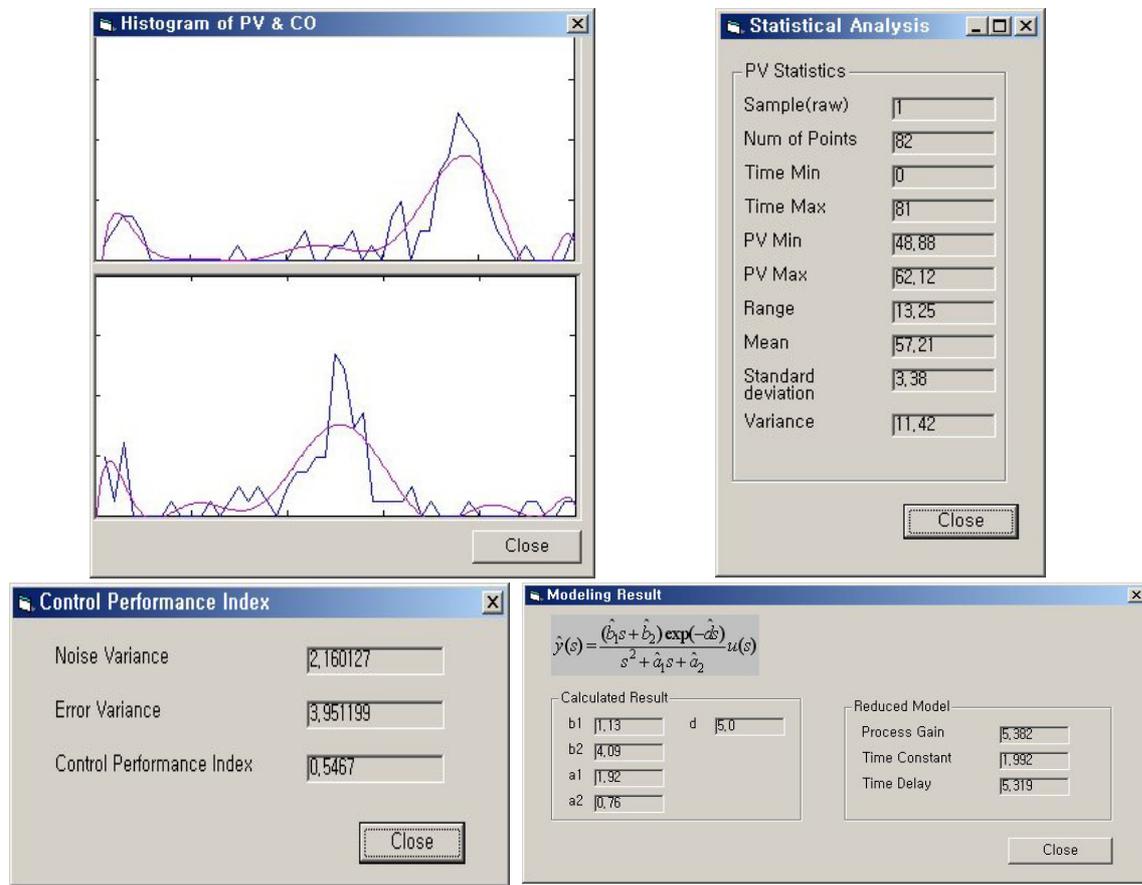


그림 (2) Histogram, Statistical analysis, CPI, Modeling Result

감사의 글

본 논문은 IMT2000과제(과제번호 : 00015993)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. Michael A. Paulonis, John W. Cox, A practical approach for large-scale controller performance assessment, diagnosis, and improvement, Journal of Process Control, Vol. 13, pp. 155-168, 2003
2. T.J. Harris, Assessment of control loop performance, Can. J. Chem. Eng. Vol 67, pp. 856-861, 1989
3. Alexander Horch, Alf. J. Isaksson, A modified index for control performance assessment, Journal of Process Control, Vol 9, pp. 475-483, 1999
4. Biao Huang, Sirish L. Shah, Practical issues in multivariable feedback control performance assessment, J. Proc. Cont., Vol. 8, pp. 421-430, 1998