

노이즈가 있는 공정에 대한 FOPTD Identification

주승민, 김성진, 변정욱, 전대웅, 이지태*, 성수환
 경북대학교
 (jtlee@knu.ac.kr*)

FOPTD Identification of Process with a Noise

Seungmin Ju, Sung Jin Kim, Jeonguk Byeon, Daewoong Chun, Jietae Lee*, Su Whan Sung
 Kyungpook National University
 (jtlee@knu.ac.kr*)

서론

FOPTD(First order process time delay) Identification의 경우 실제 공정의 정확한 전달함수를 구할 수는 없지만, 다른 방법에 비해서 간편하게 Identification 할 수 있다는 장점이 있어 현장에서 널리 쓰이고 있다. 현재 노이즈가 없는 경우 FOPTD Identification의 방법은 여러 가지가 제시되어 있고, 또한 많이 사용되고 있지만, 실제 공정에서는 노이즈로 인해 쉽게 적용할 수 없다는 단점이 있다. 본 논문에서는 대표적으로 사용되는 FOPTD Identification 3가지(Step Response Method, 면적법, Ramp Response Method)를 이용, 여러 가지 실험을 통해 각 실험 방법을 이용할 때 가장 최적화된 방법을 제시해 보고, 각각의 장단점에 대해 논해 보고자 한다.

이론

FOPTD Identification의 방법에는 Step Response Method(Figure 1, SRM), 면적법(Figure 2), Ramp Response Method(Figure3, RRM), 과 같은 방법이 있다. 그 방법들을 간략히 설명하면 다음과 같다.

SRM(Figure 1)는 먼저 static gain(k)의 기준을 정한다음 Process Output(y)값이 k의 63.2%에 도달할 때 까지 걸리는 시간(t_2)과 28.3%에 해당하는 시간(t_1)의 값을 찾은 후, time constant(τ)와 time delay(θ)는 다음 식에 의해 구해진다.

$$\tau = 1.5 \times (t_2 - t_1), \quad \theta = t_2 - \tau$$

면적법(Figure 2)도 역시 먼저 k값의 기준을 정한 다음, 공정이 Steady State(SS)상태로 될 때까지 k값과 y값의 차이를 적분한 값(A_1)을 구하고, 다시 A_1 값의 크기에 해당하는 시간 까지 적분한 값(A_2)을 구한 후, τ 와 θ 는 다음 식에 의해 구해진다.

$$\tau + \theta = A_1/k, \quad \tau = 2.7183 \times A_2/k$$

RRM(Figure 3)은 Step Response에서 y값과 Process Input(u)의 값을 적분하여 나타낸 다음 Figure 3과 같이 나타낸다. 그 후 k, τ , θ 는 다음기준에 의해 구해진다.

k : SS에 도달한 시점부터 y적분값에 해당하는 접선의 기울기 / u적분값의 기울기

$\tau + \theta$: 접선의 x절편에 해당하는 시간
 τ : x절편에 해당하는 y적분값의 크기 $\times \exp(1) / k$

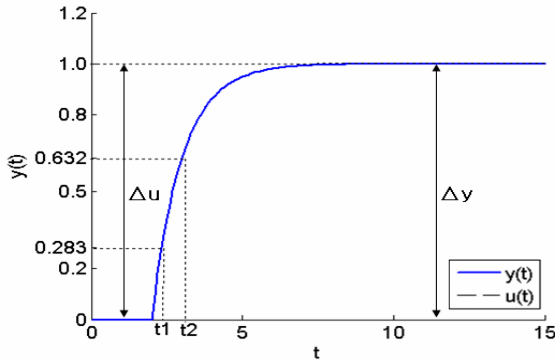


Figure 1. Step Response Method

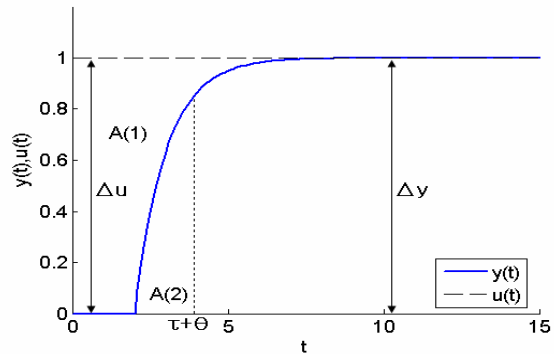


Figure 2. 면적법

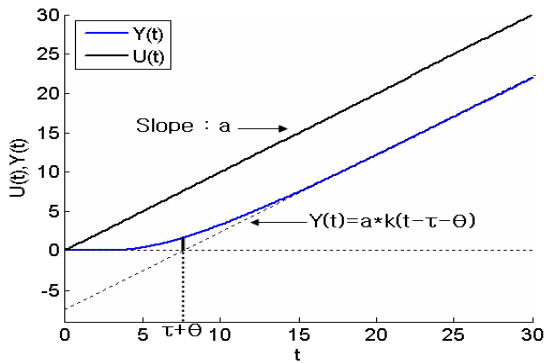


Figure 3. Ramp Response Method

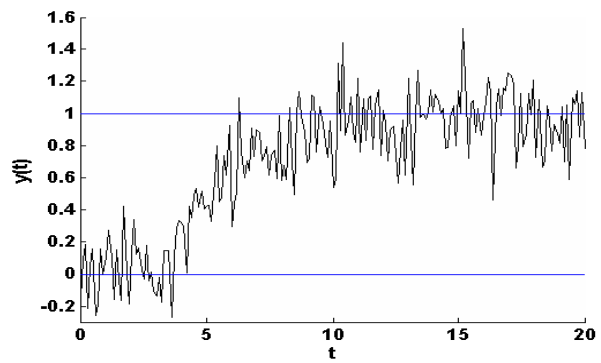


Figure 4. 노이즈가 있는 공정

실험

실험은 1차 전달함수를 가지는 공정에 대해서 실험을 실시하였으며, 각 실험에서 기준값은 Noise가 없을 때 임의로 정해진 값으로 정의 하였고, Noise의 경우는 실제 공정과 가깝게 Normalize 된 Random 방식의 Noise를 이용하여 표현하였다. 오차의 경우에는 아래의 식과 같이 표현 하였으며, 아래 식에서 기준공정은 기준값을 바탕으로 Step Response를 구한 노이즈가 없는 값을 말하며, 이론공정의 경우 실험을 바탕으로 구한 Parameter를 통해 Step Response를 구한 값을 말한다.

$$\text{오차} = \frac{\sum (\text{Noise가 있는 공정} - \text{이론공정})^2}{\sum (\text{Noise가 있는 공정} - \text{기준공정})^2}$$

Noise가 있을 때 SRM의 경우 k값은 SS에 도달하였을 때를 기준으로 해서 50개의 데이터를 산술평균 하여 나타내었고, t₁과 t₂의 경우 k값의 28.3%와 63.2%에 해당하는 선을 그은 다음 그 선에 걸리는 Step Response 값의 처음과 마지막 값의 중간값으로 정의를 하여 구하였다. 면적법의 경우 k값은 SRM과 동일하게 구하였고, 나머지는 이론에서 설명된 방법 그대로를 사용하여 나타내었다. RRM의 경우에도 이론에서 설명된 방법 그대로를 사용하여 나타내었다.

모든 실험은 step input을 넣은 step response data를 사용하였다. 그리고 그 밖의 기타 실험 조건으로 모든 데이터의 수집 시간은 30초로 하였으며, 시간 간격은 0.1초로 하였다.

그리하여 0초부터 30초까지의 실험 한번마다 총 301개의 데이터를 수집하여서 오차를 구하는데 사용하였다.

<실험1> $k=1, \tau=1, \theta=0.2$

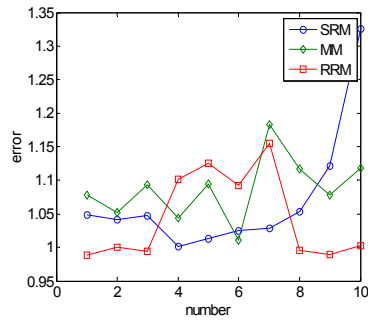


Figure 5. Noise×0.05

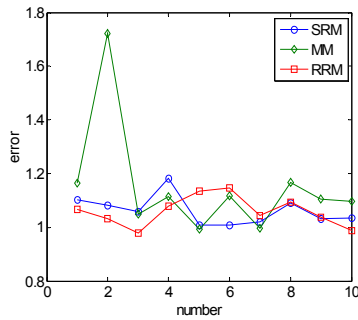


Figure 6. Noise×0.1

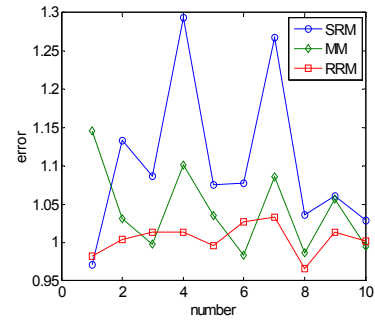


Figure 7. Noise×0.2

<실험2> $k=1, \tau=1, \theta=0.5$

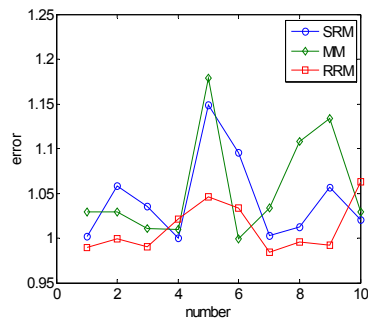


Figure 8. Noise×0.05

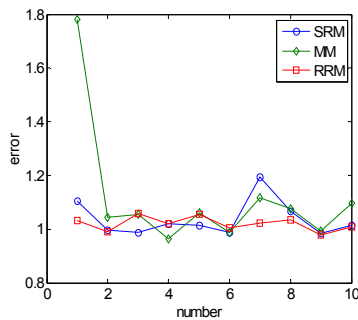


Figure 9. Noise×0.1

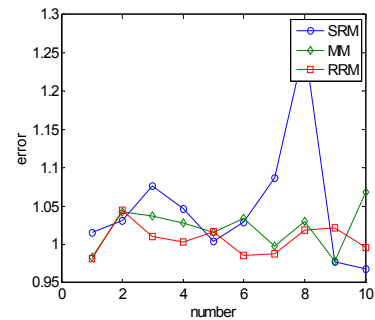


Figure 10. Noise×0.2

<실험3> $k=1, \tau=2, \theta=2$

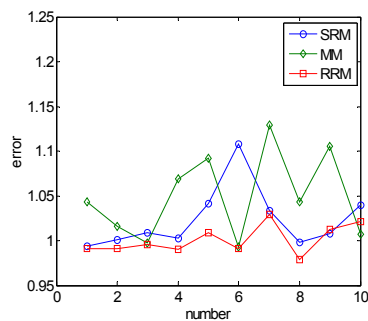


Figure 11. Noise×0.05

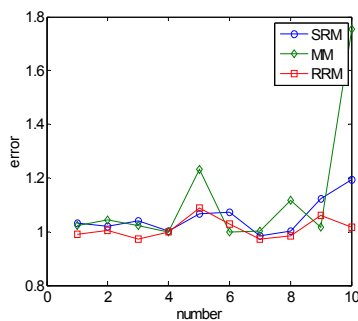


Figure 12. Noise×0.1

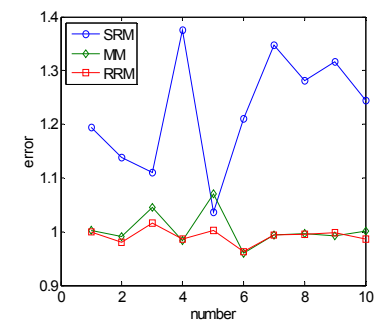


Figure 13. Noise×0.2

※ SRM(Step Response Method), MM(변적법), RRM(Ramp Response Method)

결과 및 토론

총 90회의 실험을 통해 각 각의 방법에 대해서 장점 및 단점을 확인 할 수 있었고 그 결과분석을 통해 노이즈가 있을 때 가장 적절한 Identification 방법을 찾아보았다.

SRM의 장점은 어떠한 공정에서도 손쉽게 적용할 수 있다는 점이다. 하지만 노이즈가 있는 경우 k 값과 t_1 , t_2 값을 정확하게 찾는 데 어려움이 있었다. 따라서 SRM 방법은 노이즈가 있을 때 방법을 적용하는 사람마다 파라미터의 값이 다를 수 있다.

면적법과 RRM을 비교하면 면적법은 SS까지의 면적을 구해야하기 때문에 충분한 데이터를 얻은 뒤에 Identification을 해야 하는 단점이 있다. 반면에 RRM은 계속 실시간으로 데이터를 수집하면서 Identification 할 수 있다는 장점이 있다. 그리고 면적법은 일반적으로 노이즈가 있을 때 가장 널리 사용하는 방법이지만 그러한 범용성에도 불구하고 노이즈가 클 경우 A1의 면적이 음수가 나와서 사용이 불가능한 경우도 발생한다는 단점을 확인 할 수 있었다. 그리고 SRM과 마찬가지로 k 의 값을 구하는데 어려움이 있었다. 하지만 RRM은 적분된 그래프의 기울기로 k 값을 구하기 때문에 일관성이 있으며 안정성이 있다. 뿐만 아니라 그래프를 보면 실험마다 노이즈가 달라짐에 따라 SRM 및 면적법의 오차의 범위가 큰 것을 확인 할 수 있다. 하지만 RRM은 모든 실험에서 안정적인 오차 값을 가지며 가장 안정적인 방법임을 확인 할 수 있었다.

결론

실제 공정에는 수많은 노이즈가 발생한다. 그 크기가 작을 수도 있지만 매우 클 수 있다. 따라서 본 논문에서 노이즈의 크기에 따라 실험을 해보았고 그러한 경우 가장 적절한 Identification 방법을 찾아보았다.

Identification은 공정을 확인하는 방법이고 제어를 위해 Tunig Rule을 적용하거나 할 때 한번만 실행한다. 실제 공정의 경우 그 횟수뿐만 아니라 시간까지 제약을 받게 된다. 결과적으로 노이즈가 있는 공정의 Identification에서 가장 중요한 것은 일관성이며 안정성이다.

만약 노이즈가 있는 특정 공정에서 SRM이나 면적법을 사용할 경우 결과 및 토론에서 언급했듯이 그 파라미터 값들이 정확할 수도 있고 다를 수도 있다. 반면에 RRM은 파라미터를 구하는 방법에 있어서 상당한 일관성과 안정성을 보였으며, 따라서 RRM방법이 노이즈가 포함된 다양한 동특성을 가지는 실제 공정에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 함덕영, "증류법 제어를 위한 연속시간 쌍일차 모델의 확인", 경북대학교 석사 학위 논문, 25-27(2002)
2. Seborg, Dale E., Edgar, Thomas F., Mellichamp, Duncan A., "Process Dynamics and Control", 2nd ed., WZLEY John Wiley & Sons Inc.(2004)
3. Su Whan Sung, Jietae Lee, In-Beum Lee, "Process Control, System Identification and PID Controllers", 1nd ed., TextBooks(2007)