

## 공정제어 교육과 연구를 위한 개선된 액위제어 시스템

이지태\*, 임유경, 이용제<sup>1</sup>, 양대륙<sup>1</sup>  
 경북대학교 화학공학과; <sup>1</sup>고려대학교 화공생명공학과  
 (Corresponding Author: [jtlee@knu.ac.kr](mailto:jtlee@knu.ac.kr)\*)

### Improved Liquid Level System for Process Control Education and Researches

Jietae Lee\*, Yugyeong Lim, Yongjeh Lee<sup>1</sup>, Dae Ryook Yang<sup>1</sup>  
 Dept. Chemical Engineering, Kyungpook National University;  
<sup>1</sup>Dept. Chemical & Biological Engineering, Korea University  
 (Corresponding Author: [jtlee@knu.ac.kr](mailto:jtlee@knu.ac.kr)\*)

#### 서론

공정제어 과목은 공정의 특성과 매우 밀접한 것으로 실험을 곁들이면 교육 효과가 배가될 수 있다. 이를 위해서는 교육이 진행되는 강의실에서 동시에 실험이 이루어질 수 있도록 소형이며 폐기물이 발생하지 않는 실험 장치가 필요하다. 기계 혹은 전기 분야의 제어에서는 이런 공정이 다수 있으나, 공정 분야에서는 마땅한 실험 장치를 찾기 어렵다. 액위시스템이 여기에 아주 적합하나 현재 제작되고 있는 액위시스템은 다소 크고 기능이 단순한 것들이 대부분이다[1-3].

Johanson 등은[4,5] 4개의 탱크, 2개의 제어 가능한 펌프, 4개의 수동 밸브 등으로 구성된 four-tank 액위시스템을 제안하였는데, 이는 액위시스템의 단순한 기능을 타파하는 교육과 연구에 매우 적합한 것으로 인정받고 있다. 이를 이용한 다수의 연구 논문이 발표되고 있다[6-8].

본 연구는 four-tank 액위시스템 보다 더 기능이 많으면서 소형으로 공정제어 교육과 연구에 두루 응용될 수 있는 액위시스템을 제안한다. 목표하는 장치의 기능은 공정제어 교과서에서 나타나는 대부분을 구현할 수 있게 하는 데, 다음을 포함한다.

일차/이차/삼차 공정

적분공정

역응답공정

Overshoot 공정

시간지연공정

불안정공정

Half-Order 공정

여기에 다음의 비선형 공정을 구현할 수도 있다.

Gain Scheduling이 필요한 비선형 공정

Van de Vusse 공정

Hysteresis 공정

Chaotic 공정

그리고 본 장치를 둘 연결하여 cascade 시스템, 고차 시스템, 상호간섭이 있는 다변수 시스템 등을 포함한다.

## 액위시스템 구성 및 실험

### [액위제어시스템]

다양한 실험을 위하여 아크릴원통, 원터치피팅, 플라스틱튜브를 사용하여 조립식으로 액위시스템을 구성한다.

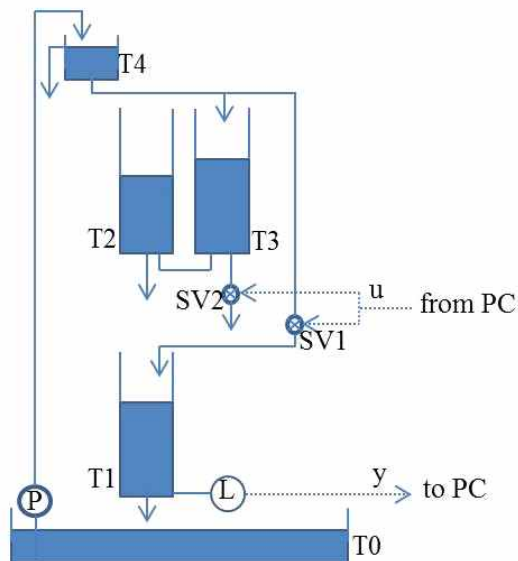
유량의 조작성은 가격과 선형성을 위하여 Solenoid Valve를 PWM방식으로 구동하여 이루어진다.

액위는 소형 압력센서를 사용하여 측정한다.

Data acquisition system으로는 Arduino Embedded CPU를 이용하였다. 통신은 C 언어로 Arduino Embedded CPU에 내장되며, 제어는 MATLAB을 이용한다.

### [액위제어시스템 실험예: Overshoot공정]

실험장치 결선도:



<그림 1> Overshoot을 보이는 공정 결선.

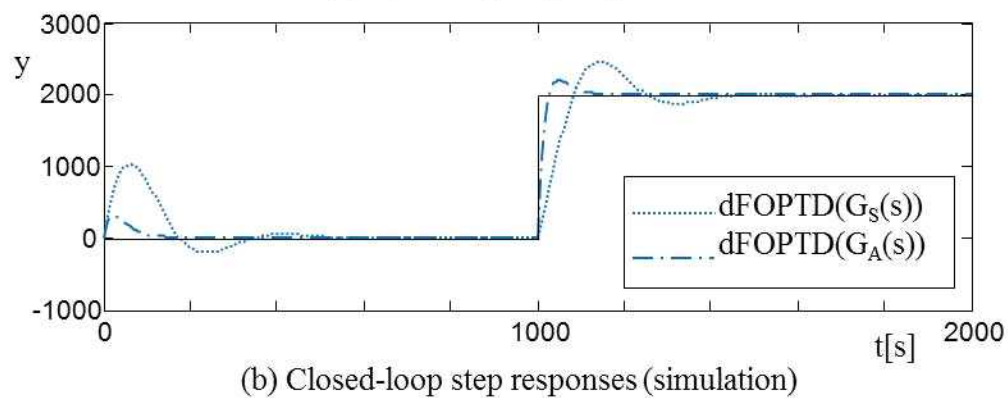
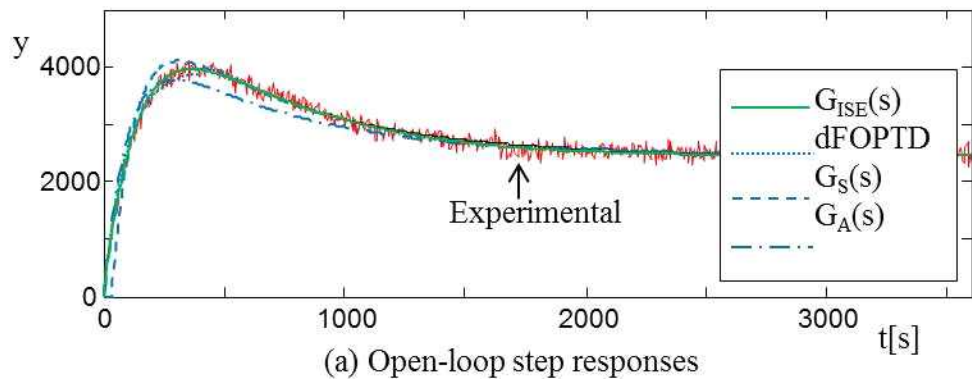
이 액위시스템에 대한 모델식은 다음과 같다.

$$A_T \dot{h}_1(t) = -a_{12} \sqrt{2gh_1(t)} - a_{13} \sqrt{2g(h_1(t) + \xi_2)} + a_{01u} \sqrt{2g(\xi_1 - h_1(t))} u(t)$$

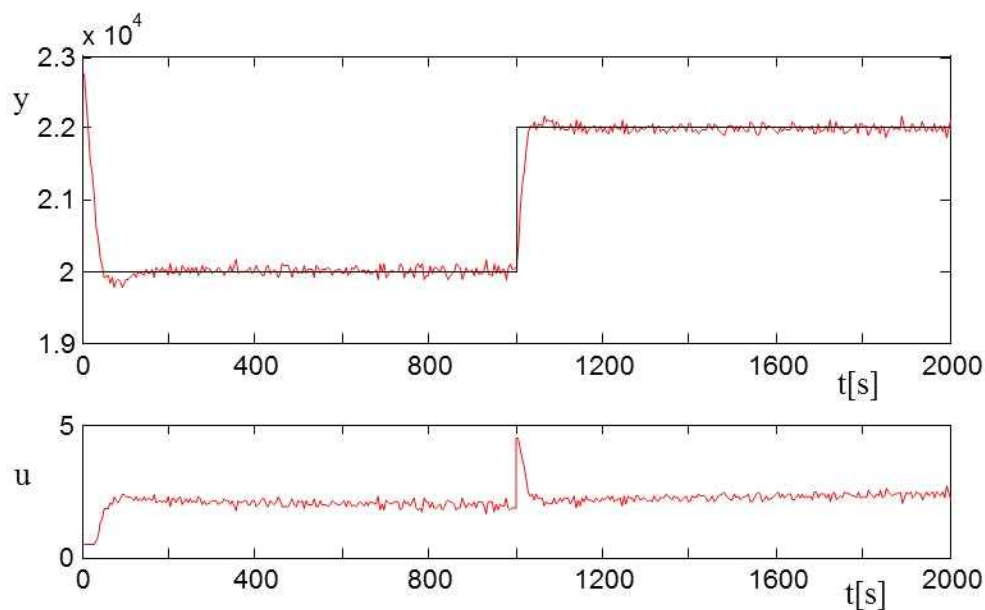
$$A_T \dot{h}_2(t) = a_{12} \sqrt{2gh_1(t)} - a_{23} \sqrt{2gh_2(t)} - a_{23u} \sqrt{2gh_2(t)} u(t)$$

$$y(t) = c_m h_2(t)$$

입력  $u$ 가 증가하면 SV1에 따라 T1의 액위가 빠르게 증가한다. 시간이 어느정도 지나면 SV2로 빠져나가는 유량이 많아져 T2로부터 유입되는 유량이 줄어들어 T1의 액위가 다시 줄어들게 된다. 즉  $u$ 의 계단입력에 T1의 액위가 Overshoot을 보이게 된다. 다음은 한 실험 결과를 나타낸다.



<그림 2> Overshoot을 보이는 액위공정의 실험 예.



<그림 3> Overshoot을 보이는 액위공정의 제어실험 예.

**결론**

아크릴원통, 윈터치피팅, 플라스틱튜브를 사용하여 조립식 공정제어 실험시스템을 구성하

였다. Data acquisition system으로는 Arduino Embedded CPU를 이용하였다. 매우 경제적으로 공정제어 교과서에 나타나는 거의 대부분의 동특성을 구현할 수 있었다. 화학공학 실험과 공정제어 연구에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- [1] Astrom, K. J. and Ostberg, A. B., "A Teaching Laboratory for Process Control," IEEE Control Systems Magazine, 6, 37-42 (1986).
- [2] Jung, J. H., Lee, M., Lee, J. and Han, C., "A Development of Experimental Education Program: Computer Control of Multi-Stage Level Control System," Comp. Chem. Eng., 24, 1497-1502 (2000).
- [3] Tan, K. K., Lee, T. H., Huang, S., Chua, K. Y. and Ferdous, R., "Improved Critical Point Estimation Using a Preload Relay," J. Process Control, (2005).
- [4] Johansson, K. H. and Nunes, J. L. R., "A Multivariable Laboratory Process with an Adjustable Zero," Proc. ACC, Philadelphia, PA, pp. 2045 (1998).
- [5] Johansson, K. H., "The Quadruple-Tank Process: A Multivariable Laboratory Process with an Adjustable Zero," IEEE Trans. Control Systems Technology, 8, 456-465 (2000).
- [6] Gatzke, E. P., Vadigepalli, R., Meadows, E. S. and Doyle III, F. J., "Experiences with an Experimental Project in a Graduate Control Course," Chem. Eng. Educ., 33, 270 (1999).
- [7] Mercangoz, M. and Doyle III, F. J., "Distributed Model Predictive Control of an Experimental Four-Tank System," J. Process Control, 17, 297-308(2007).
- [8] Kanter, J. M., Seider, W. D. and Soroush, M., "Real-Time, Nonlinear Control of a Constrained, Nonminimum-Phase Process," AIChE J., 48, 2247-2254 (2002).
- [9] Lee et al., "Advances in Liquid Level Systems for Process Control Education and Researches," 2015 AIChE Spring Meeting, April 26-30, Austin, Texas, U.S.A. (2015).
- [10] Seborg, D. E., Edgar, T. F. and Mellichamp, D. A., Process Dynamics and Control, 2nd ed., Wiley, New York, (2004).