

마이크로 컴퓨터를 이용한 구형 탱크의 액위 제어

강 원 영, 오 민, 이 태 희  
연세대학교 공과대학 화학공학과

Liquid Level Control in a Spherical Tank  
by Microcomputer

Won-Young Kang, Min O and Tae-Hee Lee  
Department of Chemical Engineering, Yonsei University

Abstract

The liquid level in a spherical tank was controlled with a micro-computer and the dynamic behavior of this non-linear system due to the variation of set point was studied.

The adaptive control theory was used and the real values of controlled variables were compared with the theoretical values from a mathematical model.

1. 서 론

화학공정에서의 공정제어는 원하는 제품의 효율적 생산을 위하여 그 필요성이 요구된다. 특히 앞으로의 화학공정은 에너지의 폭동 제품의 다품종 및 소생산의 양상으로 인하여 정작하면서도 어떤 상태에서나 적용이 가능한 제어 방식을 요구하고 있다.

그러나 현재까지의 화학공정 제어에 있어서 그 주종을 이루어 왔던 아날로그 제어 방식은 공정의 조업변수가 바뀌어짐에 따라, 그 하드웨어(hardware)의 변경이 불가피하여 계가 비선형적이 경우에는 제어의 적용범주와 정확도가 문제로 되어 왔다.

이러한 문제점에 대한 해결책으로 마이크로 컴퓨터를 이용한 디지털 제어방식이 대두 되었으며, 이것은 적용범위가 넓어서 다변수 제어에서도 성능이 우수함을 나타내고 있다. 또한 70년대의 마이크로 일렉트로닉스(micro-electronics)의 급속

발전은 디지털 제어 시스템의 주요 구성 부분인 마이크로 컴퓨터, 아날로그-디지털 변환기, 디지털-아날로그 변환기등의 가격을 실용적인 선까지 낮추어 줌으로써 그 실현이 가능하게 되었다.

화학 공정에 있어 디지털 제어의 필요성이 시급한 점을 감안하여, 본 연구는 마이크로 컴퓨터를 이용하여 비선형적이거나 여러 상수가 시간과 설정치 변화에 따라 바뀌는 구형 탱크에서 액위를 제어하고, 시간에 따른 액위 변화를 분석하여 제어의 타당성을 검토한다.

- 1) 공정을 마이크로 컴퓨터로 제어하기 위한 하드웨어 제어 시스템을 제작하고 제어 시스템을 작동하기 위한 소프트웨어(software)를 개발한다.
- 2) 적응제어 이론을 이용하여 제어기를 움직이는 프로그램을 만든다.
- 3) 위의 결과를 이용, 설정치 변화에 따라 제어된 값을 시간의 함수로 알아보고 이를 토대로 계의 동특성을 파악한다.
- 4) 계의 수학적 모델을 제시하고 설정치 변화에 따른 제어치의 이론적 값을 알아보고 이를 3)의 결과와 비교, 본 연구의 제어 알고리즘(algorithm)의 타당성을 검토 한다.

II. 이론

II-1. 블록선도

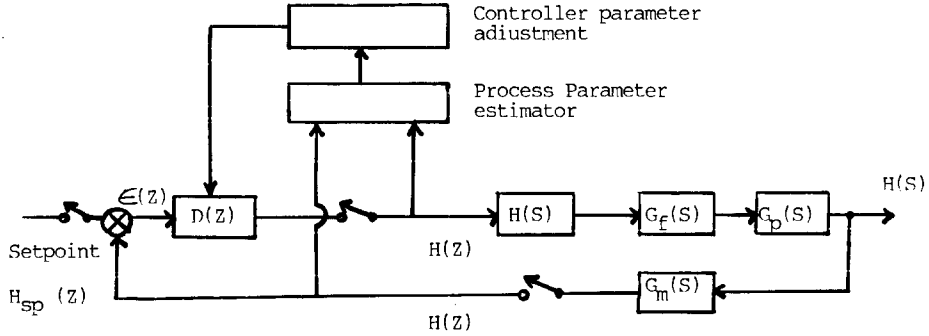


Fig.1

II-2. 수학적 모델에 의한 적응제어 이론 적용

1) 각 요소들의 전달함수 계산

○ 공정 : 구형 탱크의 전달 함수

$$G_p = \frac{K_p}{S}$$

(단,  $K_p = f(h_s) = \frac{1}{\pi h_s (R - h_s)}$ )

hs : 정상 상태에서의 액위값 )

○ 제어기 : 비례 적분 제어기

$$G_c = K_c \left( 1 + \frac{1}{\tau_I S} \right)$$

가정 : 조절기와 측정기의 전달함수  $G_m, G_f$ 는

1 이다.

전체 전달 함수

$$G_{(overall)} = H/H_{sp} = \frac{\tau_I s + 1}{\tau_I^2 s^2 + 2\zeta \tau_I s + 1}$$

(단,  $\tau = \sqrt{\frac{\tau_I}{K_p K_c}}$ )

$$\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\tau_I K_p K_c}$$

이를 설정치의 계단 입력 변화에 대한 액위의 변화를 나타내면

$$H(t) = 1 + \frac{e^{-\zeta t/\tau}}{\sqrt{1 + \zeta^2}} \left[ \frac{\tau_I}{\tau} \sin\left(\sqrt{1 - \zeta^2} \frac{t}{\tau}\right) \right]$$

$$- \sin \left( \sqrt{1 - \zeta^2} \frac{t}{\tau} + \tan^{-1} \frac{\sqrt{1 - \zeta^2}}{\zeta} \right)$$

2) 정상 상태의 액위 변화에 따른 프로세스 계인의 변화는 Fig.2와 같다.

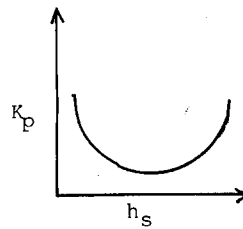


Fig.2

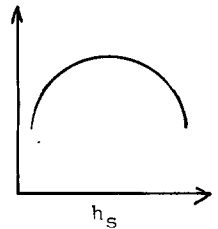


Fig.3

3) 프로세스 계인의 변화에 따른 제어기 계인의 변화는

one quarter decay ratio =

$$\exp\left(\frac{-2\pi\zeta}{1 - \zeta^2}\right) = \frac{1}{4}$$

에서 구할 수 있다.

이는 그림 Fig.3에서 보여진다.

II-3. 실험에 대한 적응제어 이론 적용

1) 프로세스 모델의 차수와 변수 추정

조절기와 측정기의 동특성은 정확히 알 수 없으므로 프로세스와 함께 이것을 하나의 프로세스로 간주한다.

이 프로세스를 1차로 가정하면

$$H_n = a_1 H_{n-1} + b_1 F_{n-1} \quad (1)$$

회귀 분석에 의한 변수  $a_1$ 과  $b_1$ 값을 결정한다.

$$P = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \left\{ H_n - a_1 H_{n-1} - b_1 F_{n-1} \right\}^2 \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial a_1} = \frac{\partial P}{\partial b_1} = 0 \quad (3)$$

$a_1$ 과  $b_1$ 의 값을 식(2)에 대입하면  $P=0$ 가 되는 지를 확인한다.

만일  $P=0$ 가 성립하지 않는다면 프로세스를 2차로 가정 하면

$$H_n = a_1 H_{n-1} + a_2 H_{n-2} + b_1 F_{n-1} + b_2 F_{n-2}$$

같은 방법으로  $P=0$ 일때 차수와 변수를 결정한다.

2) 프로세스이 차수와 변수 결정후 제어 변수를 결정

(7) 프로세스가 2차 일때

one quarter decay ratio에 의해 제어 변수 결정

(4) 프로세스가 2차 일때

integral of square error에 의해 제어 변수 결정

$$\text{Min. ISE} = \int_0^{\infty} [H_{sp} - H(t)]^2 dt$$

$$\frac{\partial(\text{ISE})}{\partial \tau} = \frac{\partial(\text{ISE})}{\partial \xi} = 0$$

최적  $\tau$ 와  $\xi$ 의 값을 결정한다.

### III. 실험장치 및 방법

#### III-1. 실험장치

- |                   |                     |
|-------------------|---------------------|
| 1. Feed tank      | 9. monitor          |
| 2. Valve          | 10. disk driver     |
| 3. Flow meter     | 11. D/A converter   |
| 4. Spherical tank | 12. bottom tank     |
| 5. float          | 13. control valve   |
| 6. impedance bar  | 14. recycle pump    |
| 7. A/D converter  | 15. real time clock |
| 8. micro-computer |                     |

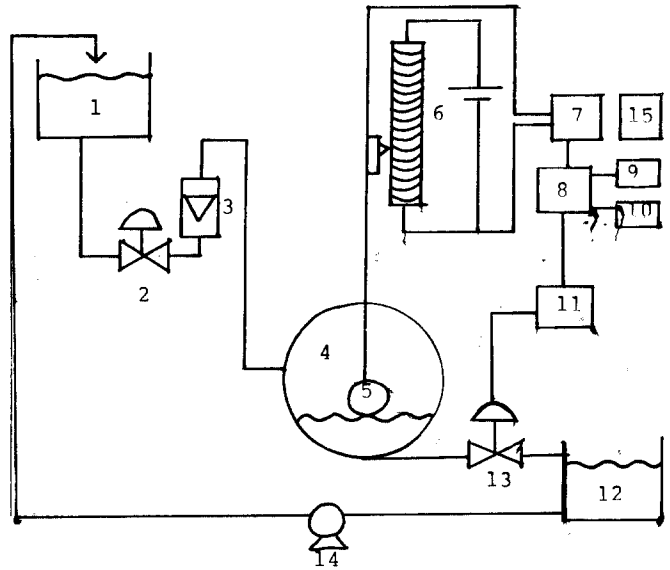


Fig. 4

#### III-2. 장치 설명

- |                                     |   |
|-------------------------------------|---|
| 1) 구형탱크                             | 직경 : 45 Cm<br>재질 : 스테인리스                              |
| 2) 측정기                              | D/P Cell을 대신함<br>부레(float):액위에 따라 수직 이동<br>저항막대 : 100 |
| 3) 아나로그 - 디지털 변환기                   | 0-5 V의 아나로그 신호를<br>0-256까지 변환                         |
| 4) 마이크로 컴퓨터                         | Apple II  |
| 5) 주변장치                             | 모니터<br>디스크 드라이버                                       |
| 6) 디지털 - 아나로그 변환기                   | 0-256의 디지털 신호를<br>0-5 V로 변환                           |
| 7) 컨트롤밸브                            |   |
| 8) real time clock-NMI interrupt 신호 |   |

#### III-3. 실험방법

저항 막대는 5V의 건전지에 의해 연결되었고 액위의 변화에 따라 부레(float)에 부착된 핀에 의해 저항 막대의 저항을 변화 시킨다.

이에 따라 0-5V의 아나로그 신호가 아나로그-디지털 변환기로 들어가고 이때 측정된 값과 마이크로 컴퓨터에서 비례 적분 연산후 디지털-아나로그 변환기로 가는 값을 축적하여 적응제어에 이용한다.

#### IV. 결 론

본 연구는 다음과 같은 경우에 활용할 수 있다.

- 1) 유량, 압력, 온도, 농도 등을 제어할 수 있으며 이들을 복합적으로 제어하는 다중 제어도 가능하다.
- 2) 또한 여러 상황에 따른 각종 조업 변수의 변환을 하드웨어 변화가 아닌 소프트웨어 변경으로 해결할 수 있으므로 조업 조건 변화에 대해 쉽게 적응 제어할 수 있다.
- 3) 정밀도가 요구되는 경우에는 마이크로 컴퓨터의 비트 (bit) 수를 증가 시킴으로써 해결할 수 있다.
- 4) 조작 변수가 시간의 함수로 나타내는 경우가 많은 화학공정의 경우 적응제어를 함으로써 안정성을 부여하고 계의 응답을 빠르게 할 수 있다.

#### V. 기호설명

$G_p$  : transfer function of process  
 $K_C$  : Controller gain  
 $K_p$  : process gain  
 $H_n$  : controller input  
 $F_n$  : controller output  
 $\xi$  : damping factor  
 $\tau$  : natural period of oscillation of the system  
 $\tau_I$  : integral time constant (or reset time)  
 $t$  : time

#### V. 참 고 문 헌

1. W.L. Schwer, Chem. Eng., pp 109 (Aug.5, 1985)
2. P.C. Badavas, Chem. Eng., pp 99

(Oct.5, 1984)

3. E.H. Bristol, Control Eng., pp 41 (Apr., 1973)
4. R. Isermann, Automatica, 18(5), 513 (1982)
5. R. Merrit, Instru. Technol., pp 29, (Aug., 1976)
6. C.D. Johnson, "Process control instrumentation, Technology", John Wiley & Sons. Inc., (1982)
7. G. Stephanopoulos, "Chemical process control" prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, (1984)
8. K.J. Astrom et al, "computer controlled systems theory and Design" prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, (1984)
9. R.Jaks, "Advanced 6502 programming", SYBEX Inc., (1982)
10. M.L. De Jong, "Programming & Interfacing the 6502 with Experiments", Howard W. Sams & Co., Inc., (1980)
11. Y.D. Landau, "Adaptic control-the model reference Approach", Marcell Dekker, Inc., (1977)
12. R.Zaks, "Programming the 6502", SYBEX Inc., (1983)
13. 오원진, Food Sci., 18(3), 32 (1985)
14. 장호남 외, Food Sci., 18(3), 14 (1985)
15. F.G. Shimskey, Control Eng., 21, 57 (1974)
16. D.W. Marquardt, J.Soc. Ind. Appl. Math., 11, 431 (1963)
17. Irven H. Rinard, Chem. Eng. pp 47 (Nov.29, 1982)