

## 퍼지추론기법을 이용한 탱크 레벨 제어

°지 석 준, 전 부 찬, 박 두 환, 이 준 탁  
동아대학교 전기·전자·컴퓨터공학부

### Tank Level Control using Fuzzy Inference Technique

°Seok-Jun Ji, Pu-Chan Jeon, Doo-Hwan Park, Joon-Tark Lee  
Department of Electrical · Electronic · Computer Eng, Dong-A Univ.  
E-mail:jtlee@seunghak.donga.ac.kr

Abstract - This paper describes a control method of tank level using Fuzzy Inference Technique. In General, to control tank level without a dangerous overflow and with a high accuracy is difficult because of high order time delay and nonlinearity. None the less, the hardware controller using 80586 Microprocessor with DT-2801 board in this paper was successfully implemented. through a series of simulations and experiments, the superiority of the proposed fuzzy controller to a conventional PID one was investigated.

#### 1. 서론

퍼지 논리는 전문가의 지식을 언어적인 애매한 규칙들로 표현할 수 있다.

그러나, 실제의 프로세스는 큰 시간 지연을 가지며, 점도 등의 현저한 차이로 인해 오버 플로우 등의 위험이 따르고 있다. 따라서, 제어의 목적은 탱크내로의 유입량을 부드럽게 변화시키고, 탱크 레벨을 안정하게 유지하는 것으로 요약될 수 있다. 그러나, 이들은 서로 상치되고 있다. 따라서, 이러한 문제점은 숙련된 조작자의 경험을 이용하여 목표 탱

크 레벨을 예측하고 탱크 레벨이 안정되도록 하는 것이다.

따라서, 본 논문에서는 플랜트의 과도 특성을 예측할 수 있고 유입량의 급격한 변화를 제어할 수 있는 퍼지 제어를 설계하고, Matlab을 이용하여 시뮬레이션을 행함은 물론, 이를 80586 마이크로 프로세서로 실현하여 종래의 PID제어기에 비하여 과도 상태 및 정상 상태에서 좋은 결과가 얻어질 수 있음을 보이고자 한다.

#### 2. 탱크레벨 제어 시스템

##### 2.1 수학적 모델링

시스템의 모델은 탱크 안으로 들어간 유입량  $Q_i$ 와 밸브 B를 통해 나간 유출량  $Q_b$ 로 결정한다.

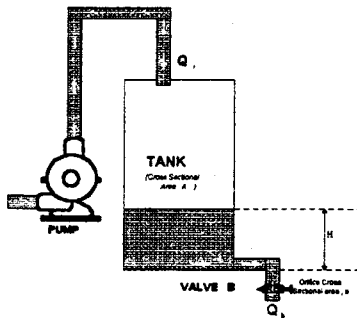


그림1. 탱크레벨 제어시스템의 구성도  
그러므로,

$Q_i - Q_b =$  탱크에서의 유출입량의 차

$$Q_i - Q_b = \frac{dV}{dt} = A \frac{dH}{dt} \quad (2-1)$$

여기서,

A : 탱크의 단면적 [cm<sup>2</sup>]

V : 탱크에서의 유량 (V = AH) [cm<sup>3</sup>]

Q<sub>i</sub> : 펌프로 부터의 유입량 [cm<sup>3</sup>/min]

Q<sub>b</sub> : 밸브 B로 나간 유출량 [cm<sup>3</sup>/min]

그림2는 탱크 시스템을 블록선도로 나타내었다.



그림2 탱크레벨 제어시스템 블록선도

표준 일차 전달함수

$$y(s) = \frac{G}{Ts+1} v(s) \quad (2-2)$$

가 얻어진다. 단, G : 시스템이득

## 2.2 PID 이득계수 결정

Ziegler-Nichols (1942, 1943) 등은 대부분의 제어 시스템에서 그림과 같은 S자형의 계단 응답특성을 나타낸다는 사실을 확인 하였다. 이 곡선은 실제의 실험적 데이터나 시뮬레이션 결과로 얻게 되는데, 이같은 플랜트의 전달함수는 실제로는 고차이나, 다음과 같은 1차 시스템과 시간지연  $t_d$ 에 의해 근사적으로 표현된다.

$$\frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{Ke^{-t_d s}}{Ts+1} \quad (2-3)$$

식 (2-3)에서의 상수들은 플랜트의 계단 응답으로부터 결정되어진다.

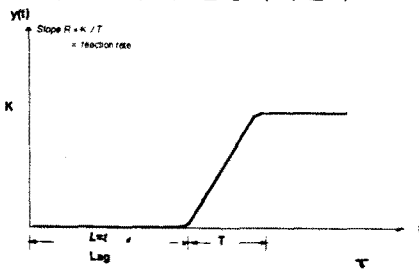


그림3 시스템 응답곡선

각 이득계수는 표 1로 결정된다.

표 1. Z-N 이득 조정법

제어기 종류	최적이득
P	$K_P = 0.5K_u$
PI	$K_P = 0.45K_u$ $T_I = 1/1.12P_u$
PID	$K_P = 0.6K_u$ $T_I = 1/2P_u$ $T_D = 1/8P_u$

## 2.3 퍼지 제어기의 설계

그림 1의 탱크 시스템으로 부터 퍼지 제어기는 전건부 변수인 두 개의 입력 즉, 탱크 레벨의 오차  $E_L$  및 오차의 변화율  $CE_L$ 과 후건부 변수인 한 개의 출력 즉, 제어 전압  $U(t)$ 로 표현된다.

여기서, 오차의 변화율  $CE_L$ 는 오차가 감소하고 있을 때는 음(-)이고 오차가 증가하고 있을 때는 양(+)이다. 즉, 임의의 시각  $t$ 에서 출력을  $\theta(t)$ , 목표레벨을  $\theta^*$ 라고 하면  $CE_L$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} CE_L &= E_L(t) - E_L(t-1) \\ &= (\theta^* - \theta_{new}) - (\theta^* - \theta_{old}) \\ &= \frac{de_L}{dt} \approx \frac{(E_{L_{max}} - E_{L_{old}})}{T} \end{aligned} \quad (2-4)$$

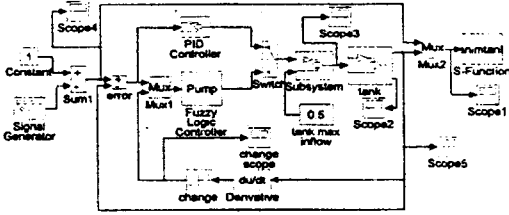
이상을 숙련된 조작자의 경험에 기반한 복수 개의 IF-THEN 규칙으로 표로 정리하면 표 2와 같다.

표 2. 퍼지제어 규칙

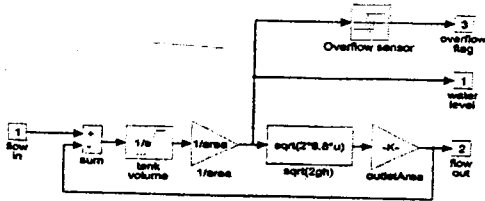
CE <sub>L</sub> U E <sub>L</sub>	Positive	Zero	Negative
	EL	EL	EL
Negative	Zero	Small	Big
CEL	U	U	U
Zero	Zero	Zero	Large
CEL	U	U	U
Positive	Zero	Medium	Big
CEL	U	U	U

### 3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

탱크레벨 제어에 사용된 시스템의 구성도는 그림 4와 같으며, 스위치 조작으로 PID 제어 및 퍼지 제어를 선택적으로 사용가능하도록 구성되었다.



(a) 전체 시스템의 블럭선도

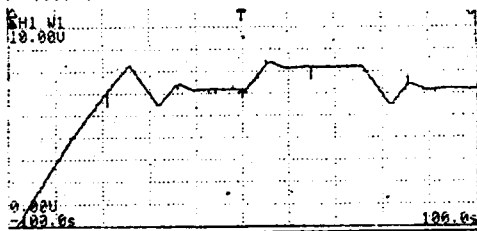


(b) 탱크레벨 시스템의 블록선도

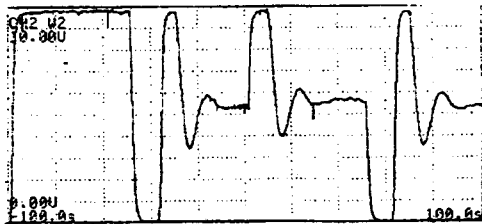
그림 4. 탱크레벨 제어 시스템의 구성도

#### 3.1 PID 제어시

전술한 Ziegler-Nichols 동조법에 의하여  $K_F=10$ ,  $K_I=5$ ,  $K_D=0$ 로 구하여 시뮬레이션한 결과는 그림 4에서 나타내었다.



(a) 스텝상의 지령치 변화시 응답 특성

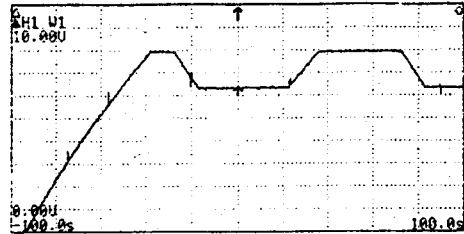


(b) 유속

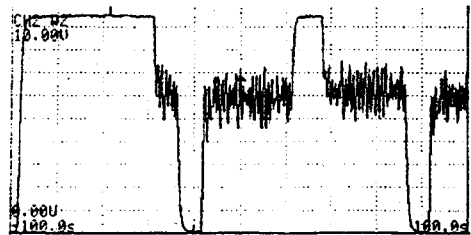
그림 5. PID 제어기의 응답특성

#### 3.2 퍼지 제어시

퍼지 제어 알고리즘에 의해 설계된 퍼지제어기의 시뮬레이션 결과를 그림 5에 나타내었다.



(a) 스텝상의 지령치 변화시 응답 특성



(b) 유속

그림 6. 퍼지제어기의 응답특성

앞의 시뮬레이션 결과에서 보는 바와 같이 일반적인 PID 제어기의 경우보다도 응답특성이 오버슈트 및 진동없이 작은 정상상태 잔류편차로 목표치에 약 20 [sec]정도 빨리 도달함을 알 수 있다.

### 4. 결론

본 논문에서의 각종 냉동장치나 여과장치등의 탱크레벨 제어 시스템은 비선형성이 강하며, 장시간지연 및 점도등의 현저한 차이로 인해 오버플로우등의 위험이 따르게 된다.

따라서, 본 논문에서는 탱크레벨을 목표레벨에 고속이면서 정확하게 추종시킬수 있도록 퍼지 추론기법을 이용하였다. 시뮬레이션 및 실험을 통하여, PID 제어기는 스텝응답시, 목표치에 다소의 오버플로우가 발생하지만 목표치에 수렴하였다. 그러나, 동일한 제어 파라미터

로 스텝상의 지령치 변화에 적용한 경우에는 목표치에 도달하지 못하였다.

한편, 퍼지제어기에서는 스텝응답시나, 스텝상의 지령치 변화에서도 오버플로없이 목표치에 빠르게 도달하였다.

이처럼 제안한 퍼지제어기는 제어가 용이하고 축적된 현장 기술자의 경험과 지식을 이용함으로써 종래의 PID 제어기보다 우수함을 확인하였다.

## 5. 참고문헌

- [1] Ziegler J.G and Nichols N.B. : "Optimum setting for automatic controllers", Trans ASME, pp. 533-444. 1942.
- [2] GREY, J.P. : "A comparison of PID control algorithms", Control Eng. pp. 102-105, 1987.
- [3] M. Sugeno, Ed. : "Industrial Applications of Fuzzy Control", North-Holland. 1985.
- [4] José M. Fernandes, Carlos E. De Souza and Graham C. Goodwin : "Adaptive Control of A Coupled Tank Apparatus", International Journal of Adaptive Control and Signal Processing, vol.3, 319-331, 1989.