

PID 제어기의 On-Line 퍼지 자동동조

On-Line Fuzzy Auto Tuning for PID Controller

黃炯秀* · 崔正乃** · 李元赫***

(Hyung-Soo Hwang · Jeong-Nae Choi · Won-Hyok Lee)

Abstract - In this paper, we proposed a new PID tuning algorithm by the fuzzy set theory to improve the performance of the PID controller. The new tuning algorithm for the PID controller has the initial value of parameter K_c, τ_I, τ_D by the Ziegler-Nichols formula using the ultimate gain and ultimate period from a relay tuning experiment. We get error and error change of plant output correspond to the initial value and new proportion gain(K_c) and integral time(τ_I) from fuzzy tuner. This fuzzy tuning algorithm for PID controller considerably reduced overshoot and rise time compare to any other PID controller tuning algorithms. In real parametric uncertainty systems, the PID controller with Fuzzy auto-tuning give appreciable improvement in the performance. The significant properties of this algorithm is shown by simulation In this paper, we proposed a new PID tuning algorithm by the fuzzy set theory to improve the performance of the PID controller.

Key Words : PID, Fuzzy, Ziegler-Nichols, Relay Tuning

1. 서 론

근래에 보다 정교한 제어이론들이 개발되었음에도 산업현장의 엔지니어들이 최적제어, 적응제어 등의 현대제어이론보다 PID 제어 알고리즘에 친숙해져 있으며, PID 제어기의 운전과 동조에 관한 많은 경험을 갖고있고, 또한 새로운 제어이론을 적용하였을 경우 이에 따른 경제적 이득을 예측할 수 없는 등의 여러 가지 이유로 PID 제어기는 아직도 산업 현장에서 가장 보편적으로 운영되는 제어알고리즘이며, 대부분의 쾌환 루우프들은 이 알고리즘이 내장된 PID 제어기에 의하여 제어된다.

그러나 PID 제어 알고리즘은 화학공정 같은 비선형 특성이 크거나, 시정수가 큰 공정에는 적합하지 못하다. PID 제어기는 비 선형성이 적거나, 동작 영역이 적은 범위로 제한되어있을 때에 종종 적합하게 사용될 수 있고, 동작 영역이 큰 비 선형 공정에 대해서는 선형구간으로 분할하여 각각의 선형영역에 대한 제어기를 구성하고, 적합한 제어기를 선정하여 사용하는 Gain scheduling 기법을 사용하거나, Model-based 비선형 제어 기법을 사용하여 제어할 수 있지만, 이러한 방법은 정확한 공정모델을 필요로 한다. 또한 최적의 성능을 얻을 수 있는 PID 제어기의 파라미터를 결정하는 방법이 아직까지 연구되어 지고 있으며, 현재까지도 1942년

Ziegler -Nichols[1]에 의해 제안된 Ziegler-Nichols 동조법이 제시된 후, Astrom 과 Hagglund 에 의해서 릴레이 실험에 의한 동조법등, PID제어기의 동조법에 대한 많은 연구가 이루어졌으며, 현재 Ziegler-Nichols 동조법을 개선한 몇몇 방법들이 사용되고 있다.[2-6]

비선형 시스템을 제어하기 위한 방법의 하나로서, 퍼지집합 이론을 제어기 설계에 응용한 퍼지제어 이론들에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 기존의 연속시간 선형PD제어기로부터 유도된 퍼지PD제어기[8], 퍼지 Two-term 제어기를 개선한 간략화된 Three-term제어기[9], 그리고 Two-level 동조 방법에 의한 퍼지 PID 제어기[10]등 퍼지 제어기들은 제어입력을 결정하기 위해 퍼지 이론을 적용함으로써 비선형공정에 우수한 특성을 나타낸다.

2. PID 제어기의 초기 파라미터 동조

PID 제어기의 식은 식(1) 과 같다.

$$u_c = K_c \left(e(t) + \frac{1}{\tau_I} \int_0^t e(t)dt - \tau_D \frac{dy_f}{dt} \right) \quad (1)$$

$$e(t) = y_r(t) - y(t)$$

$$Y_f(s) = \frac{1}{1 + \tau_D s / N} Y(s)$$

$Y_f(s)/Y(s)$ 는 필터의 전달함수 이고, N 은 잠음 필터링 상수이며 보통 3에서 10의 범위에서 사용한다. 식(1)은 이상형 PID 제어기와는 달리 미분항이 완전미분형태로 되어있어 설정값의 갑작스런 변화에 제어기의 출력이 급격히 커지는 것을 억제한다. PID 제어기의 초기 파라미터는 Ziegler-

*正 會 員 : 圓光大 電氣電子工學部 正教授 · 工博
 **準 會 員 : 圓光大 制御計測學科 碩士卒業
 ***準 會 員 : 圓光大 制御計測學科 碩士卒業
 接受日字 : 1999年 3月 18日
 最終完了 : 2000年 1月 14日

Nichols(Z-N) 동조법을 사용하는데, 이 방법을 적용하기 위해서는 공정의 임계이득과 임계주기를 구해야 한다. 이러한 두 가지의 값을 구하는 방법으로는 시행착오 동조법, 연속진동법, 릴레이동조법등이 있다.

표 1 Z-N 동조 관계식

Table 1 Ziegler-Nichols Tuning

	K_c	τ_I	τ_D
P	$0.5K_{cu}$		
PI	$0.45K_{cu}$	$0.85P_u$	
PID	$0.6K_{cu}$	$0.5P_u$	$0.125P_u$

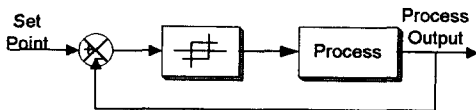
임계이득을 구하기 위해서 공정이 진동하게 될 때까지 이득을 계속 증가시켜야 하는데, 이 방법은 엔지니어들의 많은 주의를 요구한다. Åström과 Hägglund는 임계이득과 임계주기를 자동적으로 구하기 위해 릴레이 동조법을 제안하였으며, 본 논문에서 초기의 공정 출력을 구하기 위해 PID 제어기의 파라미터 값(초기치)을 구하기 위하여 이 방법을 적용하였다.

릴레이 동조 실험은 그림 1 (a)에 보인 것과 같이, 공정진동을 생성하기 위해 불감영역을 갖는 릴레이를 사용한다. 릴레이는 공정출력의 오차가 설정 값 보다 크면 최소 값을 가지고, 오차가 설정값보다 적으면 최대 값을 가지도록 동작한다. 릴레이 동조 실험결과 공정의 출력과 릴레이의 출력이 그림 1 (b)에 있다. 이 출력 파형으로부터 임계주기 P_u , 그리고 식 (2)를 이용하여 임계이득을 구할 수 있다.

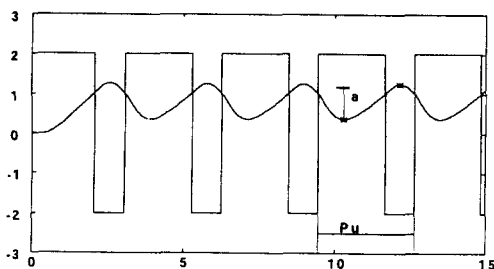
$$K_{cu} = \frac{4d}{\pi a} \quad (2)$$

여기서 d 는 릴레이의 진폭이고, a 는 측정된 공정진동의 진폭이다.

릴레이 동조 실험에 의하여 구해진 K_{cu} 와 P_u 를 표 1의 Z-N 동조 관계식을 이용하여 PID 제어기의 초기 파라미터를 구한다.



(a). 릴레이동조 실험 블록선도



(b). 릴레이동조 실험파선

그림 1 릴레이 동조실험

Fig. 1 Relay tuning experiment

3. 퍼지 자동 동조기

본 논문에서 제안한 방법은 Åström과 Hägglund가 제안한 동조실험을 통하여 임계이득과 발진주기를 구하고, 이 두 가지의 값을 이용한 Z-N 동조법에 의해 구해진 파라미터를 초기 값으로 하여, 공정 출력상태에 따라 PID 제어기의 파라미터의 값을 On-line으로 변화시킨다.

퍼지동조기는 기존의 퍼지 PI 제어기와 비슷한 형태를 가진다. 차이점은 퍼지 제어기는 제어기의 출력을 퍼지이론을 이용하여 추론하지만, 퍼지 동조기는 PID 제어기의 파라미터를 추론한다는 점이다. 퍼지 동조기 구조와 공정에 적용 형태를 그림 2에 도시하였다. 퍼지 동조기는 오차와 오차의 변화율을 입력으로 비례이득의 변화량 $\Delta K_c(k)$ 와 적분시간의 변화량 $\Delta \tau_I(k)$ 를 추론하여 이전의 값과 더하여 새로운 $K_c(k)$ 와 $\tau_I(k)$ 를 구한다.

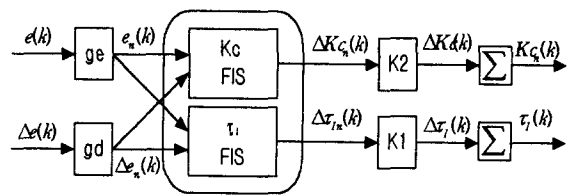
공정 출력의 오차에 의한 오차의 변화율은 식(3)과 같이 계산되며

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (3)$$

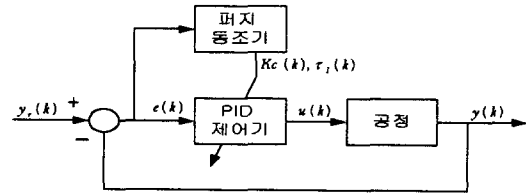
본 논문에서 제시한 이득 파라미터($K_c(k)$)와 적분시간 파라미터($\tau_I(k)$)는 식(4)와 같으며 퍼지동조기는 그림2와 같다.

$$K_c(k) = K_c(k-1) + \Delta K_c(k)$$

$$\tau_I(k) = \tau_I(k-1) + \Delta \tau_I(k) \quad (4)$$



(a) 퍼지 동조기의 구조



(b) 퍼지 동조기의 적용

그림 2 퍼지 동조기의 구조 및 적용

Fig. 2 The structure of fuzzy tuner

퍼지 PID 제어기는 그림 3과 같은 형태를 가지고 있다. 제어입력 $u(k)$ 를 퍼지 추론을 이용하여 구한다. 속도형 퍼지 PID 제어기의 제어입력은 다음과 같다.

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k)$$

제어 입력의 변화량 $\Delta u(k)$ 는 오차 ($e(k)$), 오차의 변화

량($\Delta e(k)$), 가속 오차($\Delta^2 e(k)$)를 입력으로 하여 퍼지 규칙 베이스에 의하여 추론한다.[10], 그림 3에서 ge, gd, gc, gh는 퍼지 PID 제어기의 이득값들 이며, 퍼지 PID 제어기의 성능에 큰 영향을 준다. 이러한 이득값을 구하기 위한 방법들로는 매뉴얼 동조, PID 제어기 파라미터와의 관계식 으로부터 유도, 유전자 알고리즘, 퍼지 동조등 많은 방법들이 있고, 현재에도 많이 연구되고 있다.[8-10]

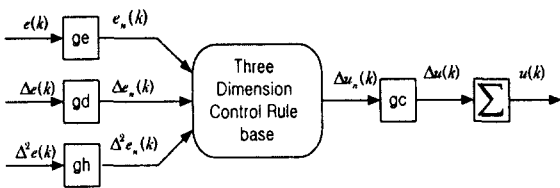


그림 3 퍼지 PID 제어기의 구조
Fig. 3 The structure of the fuzzy PID controller

PID 제어기나 퍼지 제어기는 일단 동조되면 파라미터는 변화가 없고, 공정의 오차와 오차의 변화율로부터 제어기의 출력을 결정하게 되는데 이 값은 오차와 오차의 변화율에 대해 선형적인 특성을 가진다. 그렇지만 본 논문에서 제안된 퍼지 동조기를 적용하였을 경우 PID 제어기의 파라미터가 변화게되며 제어기의 출력이 오차와 오차의 변화율에 대하여 비선형적인 특성을 가지게 되어 PID 제어기나 퍼지 제어기보다 성능을 향상시키게 된다.

3.1 퍼지 규칙 정의

공정 출력의 오차와 오차의 변화율을 이용하여 구해진 비례이득의 변화량 $\Delta K_c(k)$ 와 적분시간의 변화량 $\Delta \tau_I(k)$ 를 추론하여 이전의 값에 더하여 새로운 $K_c(k)$ 와 $\tau_I(k)$ 를 구할 때 퍼지 규칙은 다음과 같다.

1. $\Delta K_c(k)$ 에 대한 추론 규칙은 식 (5)와 같다.
 R^i : If $e(k)$ is A_j and $\Delta e(k)$ is B_l
 Then $\Delta K_c(k)$ is $C_{j,l}$ (5)
 $i(i = 1, \dots, 9)$ 는 규칙 수

2. $\Delta \tau_I(k)$ 에 대한 추론 규칙은 식 (6)와 같다.
 R^i : If $e(k)$ is A_j and $\Delta e(k)$ is B_l
 Then $\Delta \tau_I(k)$ is $D_{j,l}$ (6)

후반부 파라미터는 PID 제어기에서 비례이득 K_c 가 증가하면 오버슈트가 증가하고, 상승시간이 감소하게 되며, 적분 시간 τ_I 가 증가하면 상승시간(rise time)이 감소하게 되는 특징을 이용하여 그림 4의 공정의 오차 곡선으로부터 각 구간에 대하여 규칙을 정의하였다

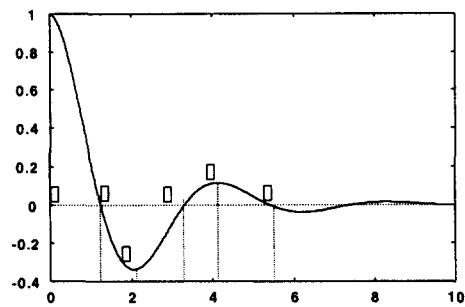


그림 4 공정의 오차곡선
Fig. 4 Error curve of the output

K_c 에 대한 후반부 변수를 각 구간에 대하여 다음처럼 정의하였다.

- ① - ② 구간 : $K_c(k)$ 값을 크게 하여 출력을 증가,
- ② - ③ 구간 : $K_c(k)$ 를 작게 하여 출력을 감소,
- ③ - ④ 구간 : $K_c(k)$ 를 적게 하여 출력을 감소,
- ④ - ⑤ 구간 : $K_c(k)$ 를 크게 하여 출력이 증가하도록 하였으며, 위의 규칙을 정리하면 표 2와 같다.

τ_I 에 대한 후반부 변수는 그림 4에 의해서 각 구간에 대하여 다음과 같이 정의하였다.

- ① - ② 구간 : $\tau_I(k)$ 를 적게 하여 출력을 증가,
- ② - ③ 구간 : $\tau_I(k)$ 를 크게 하여 출력을 감소,
- ③ - ④ 구간 : $\tau_I(k)$ 를 크게 하여 출력을 감소,
- ④ - ⑤ 구간 : $\tau_I(k)$ 를 작아지도록 하여 출력이 증가하도록 하였으며, 위의 규칙을 정리하면 표 3과 같다.

표 2 K_c 에 대한 후반부 변수
Table 2 Consequence of variable of the K_c

$\Delta e(k) \backslash e(k)$	N	Z	P
N	N	P	N
Z	P	Z	N
P	P	N	P

표 3 τ_I 에 대한 후반부 변수
Table 3 Consequence of variable of the τ_I

$\Delta e(k) \backslash e(k)$	N	Z	P
N	P	N	P
Z	N	Z	P
P	N	P	N

3.2 전반부 소속함수의 정의

전반부의 소속함수는 $e(k)$ 와 $\Delta e(k)$ 에 대해서 각각 그림

5 (a)와 그림 5 (b)와 같이 삼각형 형태를 가지도록 정의하였다.

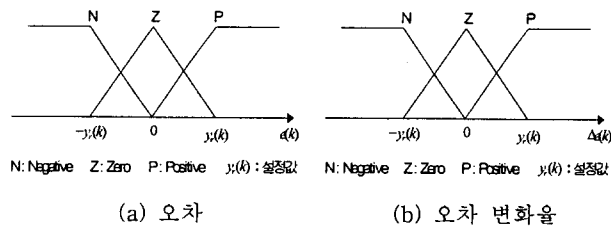


그림 5 전반부 소속함수
Fig. 5 Membership function of the premise

3.3 추론 방법

본 논문에서 사용한 추론방법은 후반부에 선형식을 이용한 추론법의 특수한 경우인 후반부를 간략화 한 추론법을 사용하였다.[11]

$\Delta K_c(k)$ 의 추론식은 식 (7)와 같다.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i C_{i,l}}{\sum w_i} \quad (7)$$

n 은 규칙 수, $C_{i,l}$ 는 $\Delta K_c(k)$ 의 무게 중심값 이고, w_i 는 i 번째 규칙에 대한 전반부 적합도이며 식 (8)처럼 구한다.

$$w_i = \mu_{A_i}(e(k)) \times \mu_{B_i}(\Delta e(k)) \quad (8)$$

$j = 1, 2, 3, \quad l = 1, 2, 3$

$\Delta \tau_I(k)$ 의 추론식은 식 (9)과 같고, $\Delta K_c(k)$ 와 같은 방법으로 추론한다.

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n w_i D_{j,l}}{\sum w_i} \quad (9)$$

4. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제시한 퍼지 동조기의 성능을 시뮬레이션하기 위한 플랜트로서 공정 파라메터가 변하는 DC 서보 모터를 대상으로 하였으며, 설정치 변화시에 과도한 제어기의 출력을 억제하는 추정치 미분 선형 PID 제어기, 퍼지 PID 제어기, 본 논문에서 제안한 퍼지 동조기를 적용한 PID 제어기에 대하여 제어기 출력, 공정출력, 성능지수를 비교하였다. DC서보 모터의 전달함수는 식 (10)과 같다.[17]

$$\frac{\Theta(s)}{V(s)} = \frac{K}{LJs^3 + (RJ + BL)s^2 + (K^2 + RB)s} \quad (10)$$

여기서, L : 아마츄어 인덕턴스, R : 아마츄어 저항,

K : 모터 상수, J : 인너셔의 모멘트
 B : 기계적 마찰계수이다.

모터에서 J 와 B 의 값이 공정에 따라서 아래와 같은 범위에서 변한다고 정의한다.

$$q_1 = J, \quad q_2 = B, \quad q_1 \in [0.03 \ 0.15], \quad q_2 \in [0.001 \ 0.03]$$

Nominal(공칭) 값은 $J=0.042$, $B=0.01625$, $K=0.9$, $L=0.025$, $R=5$ 이다.

불확정 플랜트에 대한 전달함수는 식 (11)과 같다.

$$P(s, q) = \frac{0.9}{0.025q_1s^3 + (5q_1 + 0.0025q_2)s^2 + (0.81 + 5q_2)s} \quad (11)$$

Nominal 플랜트의 전달함수는 식 (12)와 같다.

$$P(s) = \frac{0.9}{0.00105s^3 + 0.2104s^2 + 0.8913s} \quad (12)$$

4.1 릴레이 동조실험

앞에서 정의한 모터에 대하여 릴레이 동조실험을 한 결과 $a=0.0361$, $P_u=0.26$, $d=4$ 가 구해졌으며, 이 세 가지의 값으로부터 임계이득과 발진주기를 구하면 다음과 같다.

$$K_{ca} = \frac{4d}{a\pi} = 141.1525 \quad P_u = 0.26$$

이 값으로부터 Ziegler-Nichols 동조 테이블을 이용하여 PID 제어기의 초기 파라미터를 구하면

$K_c=84.6915$, $\tau_I=0.1300$, $\tau_D=0.0325$ 이다.

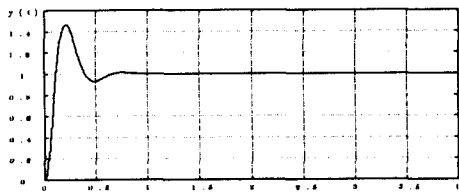
4.2 공칭치 공정에 대한 PID 제어기, 퍼지 제어기, 퍼지 동조기를 적용한 PID 제어기의 비교

Z-N 동조법을 이용하여 구한 파라메터를 적용한 추정치 미분선형 PID 제어기, 퍼지 PID제어기와 퍼지동조기를 적용한 추정치미분형 PID 제어기를 적용한 경우 각각의 공정 출력을 그림 6, 제어기의 출력을 그림 7에 보인다. 표 4에 제어기의 파라메터, 표 5에는 각 제어기에 대한 성능지수를 나타내었다. PID 제어기나 퍼지 PID 제어기는 파라메터가 결정되면 그 값이 계속적으로 사용되지만, 퍼지 동조 PID 제어기의 경우에는 초기값을 기준으로 하여 그 값이 공정 특성에 따라 변하게 된다. 공정출력에 대한 파라메터의 변화를 그림 8에 보인다.

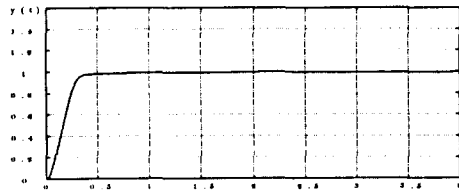
표 4 제어기의 파라메터

Table 4 The parameter of the controller

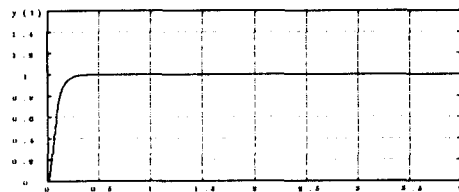
	$K_c / \tau_I / \tau_D$	ge/gd/gv/gc
PID 제어기	81.92/0.1315/0.0329	
퍼지 제어기		0.87/0.9/6.0/6.9
퍼지동조 PID 제어기	변함	0.33/0.33/0/1



(a) PID



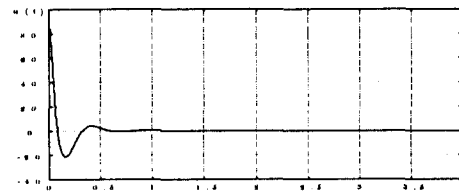
(b) Fuzzy PID



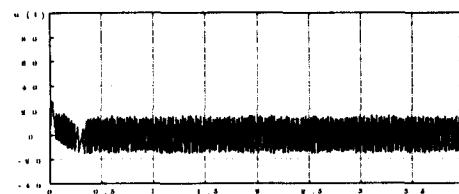
(c) 퍼지동조 PID

그림 6 제어기에 따른 공정들의 출력비교

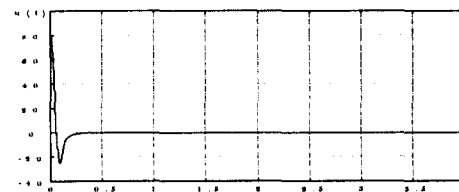
Fig. 6 Process output comparison between PID, Fuzzy PID, Fuzzy tuned PID



(a) PID



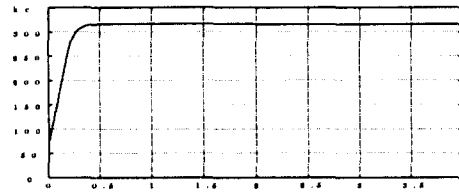
(b) Fuzzy PID



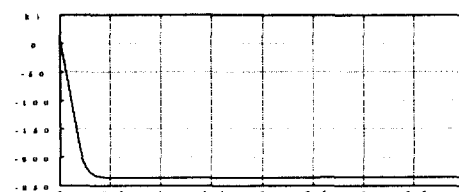
(c) Fuzzy tuned PID

그림 7 제어기 출력비교

Fig. 7 Controller output comparison between PID, Fuzzy PID, Fuzzy tuned PID



(a) Variation of K_c



(b) Variation of τ_I

그림 8 퍼지 동조 PID 제어기의 파라미터 변화 곡선

Fig. 8 The parameter (K_c, τ_I) curve of the Fuzzy Tuned PID controller

표 5 제어기의 성능 평가

Table 5 Performance index of the controller

	오버슈트	상승시간	지연시간	ISE	IAE	ITAE
PID 제어기	46%	0.07	0.07	0.079	0.157	0.027
퍼지 PID제어기	1.5%	0.22	0.16	0.118	0.181	0.046
퍼지동조 PID 제어기	0%	0.13	0.07	0.057	0.088	0.008

4.3 불확실성 공정에 대한 PID 제어기, 퍼지 제어기, 퍼지 동조기를 적용한 PID 제어기의 비교

공정의 파라미터 q_1 이 0.03~0.15의 범위에서 변하는 불확실성 공정에 대하여 PID 제어기, 퍼지제어기, 퍼지 동조 PID 제어기에 대하여 각각 비교를 하고 그림 8에 이를 도시하였다. PID 제어기의 경우에는 q_1 이 0.08에서는 안정하나, q_1 이 증가함에 따라 오버슈트가 증가하고, 감쇠비가 감소하게 되어 설정값에 수렴하게 되는 정정시간이 길어져 q_1 이 0.12이상이면 불안정하게된다. 결국 이 제어기는 Nominal 플랜트에 대해 구한 파라미터는 적합하지 않게 되므로, 새로운 파라미터를 찾아야한다.

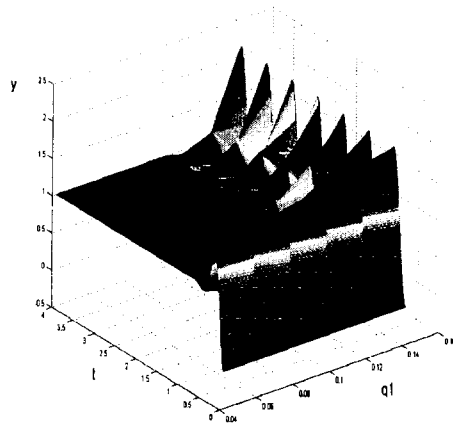
퍼지 PID 제어기는 q_1 이 0.15가 되면 오버슈트가 증가하고 상승시간도 증가하지만 공정이 불안정하게 되지는 않는 비교적 우수한 특성을 보인다. 본 논문에서 제시한 퍼지 동조 PID 제어기 또한 과도응답 부분에서 오버슈트가 증가하나 퍼지 PID 제어기 보다 상승시간, 지연시간 등에서 우수한 특성을 보인다. 즉, 퍼지 PID 제어기나 퍼지 동조 PID 제어기는 공정이 변하여도 안정하게 동작하는 강인성을 가지고 있다.

5. 결 론

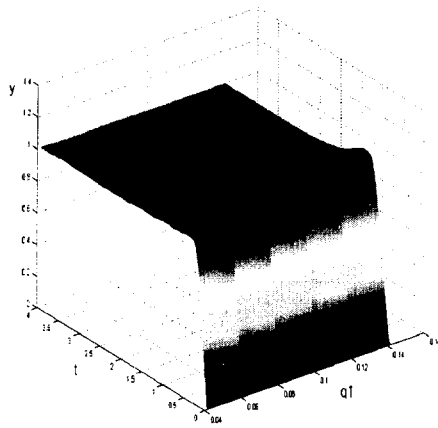
PID 제어기의 동조법은 아직까지도 많은 연구를 요구하는 분야이다. 현재까지도 경험에 의한 방법들을 많이 사용하고 있으며, 좋은 성능을 요구하는 경우에는 Ziegler-Nichols 동조법등의 이론을 통하여 동조하는 것이 대부분이다.

본 논문에서는 PID 제어기의 파라미터를 동조하기 위한 방법으로 퍼지이론을 도입하였다. 이 방법은 먼저 Ziegler-Nichols 동조법에 의한 파라미터 값을 초기 값으로 하고, 공정 출력의 오차 및 오차의 변화율을 퍼지 동조기의 소속 함수 값으로 하여 공정 출력의 오차 및 오차 변화율에 따라 파라미터를 on-line으로 동조하도록 함으로써 성능을 개선하도록 하였다.

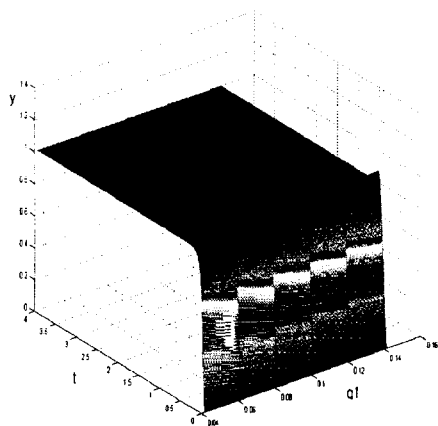
시뮬레이션 결과 본 논문에서 제시한 방법으로 동조했을 경우 공칭치 공정에서 PID 제어기보다 성능이 월등하게 좋고, 퍼지제어기에 대해서도 상승시간, 지연시간면에서 우수한 성능을 가짐을 알 수가 있었다. 파라미터가 변하는 불확실성 공정에 적용했을 때 본 논문에서 제시한 퍼지 동조 PID 제어기 또한 파라미터의 변화가 큰 부분에서는 퍼지 PID 제어기와 같이 오버슈트가 증가하지만 안정하게 동작하는 강인성을 갖는다.



(a) PID



(b) Fuzzy PID



(c) Fuzzy tuned PID

그림 8 공정변화에 따른 출력비교

Fig. 8 Performance comparison of the uncertainty parameter between PID, Fuzzy PID and Fuzzy tuned PID

감사의 글

이 논문은 98년도 원광대학교의 교비지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다

참 고 문 헌

- [1] ZIEGLER, J.G.. and NICHOLS, N.B, "Optimum settings for automatic controllers", Trans. ASME, 1942, 65, pp. 433-444
- [2] HANG, C.C., LIM, C.C., and SOON, S.H., "A new PID auto-tuner design based on correlation technique". Proc. 2nd Multinational Instrumentation Conf., China, 1986
- [3] HANG, C.C., and Åström K.J, "Refinements of the Ziegler Nichols tuning formula for PID auto-tuners". Proc. ISA Conf., USA
- [4] Åström, K.J, C.C. HANG, P. PERSSON, W.K. HO, "Towards Intelligent PID Control", 1991 International Federation of Automatic Control
- [5] Åström, K.J. and C.C. Hang and P. Persson (1988), "Heuristics for assessment of PID control with Ziegler-Nichols tuning", Automatic Control, Lund Institute of Technology, Lund, Sweden.
- [6] Åström, K.J., and Hagglund, T, "Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins", Automatica, 1984, 20, pp.645-651
- [7] Åström, K.J., "Ziegler-Nichols auto-tuners", Report FRT-3167, Dept. of Automatic Control, Lund Inst. of Tech., Lund, Sweden. pp.245-254
- [8] Heidar A. Malki, Huaidong Li and Guanrong Chen, "New Design and Stability Analysis of Fuzzy

- Proportional - Derivative Control Systems." IEEE Trans. on Fuzzy Systems. Vol. 2 NO.4. November 1994. pp.245-254
- [9] Han X. Li and H. B. Gatland, "Conventional Fuzzy Control and Its Enhancement" IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics-part B, Vol.26, No.5, October 1996. pp 791-797.
- [10] George K. I. Mann, Bao-Gang Hu, and Raymond G. Gosine, "Analysis of Direct Action Fuzzy PID Controller structures" IEEE Trans. on Systems, Man, and cybernetics - part B: Cybernetics, Vol.29, No.3, June 1999. pp. 371-388.
- [11] W. Pedrycz, "An identification algorithm in fuzzy relational system", Fuzzy Sets Syst., Vol.13, pp. 153-167, 1984
- [12] R. M. Tong,, "Synthesis of fuzzy models for industrial processes", Int. J. Gen. Syst, Vol4, pp. 143-162, 1978
- [13] M. sugeno and T. Yasukawa, "Linguistic Modeling Based on Numerical Data", IFSA'91 Brussels, Computer, Management & System Science, pp. 264-267, 1991
- [14] Dale E. Serborg, Thomas F. Edgar, Duncan A. Mellichamp, "Process Dynamics And Control", Hohn Wiley & Sons, 1995
- [15] P.Dorato, L.Fortuna, G.Muscato, "Robust Control for Unstructured Perturbations An Introduction", Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1992
- [16] Doyle, J.C., Francis, B.A., and Tannenbaum, A.R., "Feedback Control Theory", Macmillan, New York, 1992
- [17] R. Tempo, F. Blanchini "Robustness Analysis with Real Parametric Uncertainty" The Control Handbook, CRC Press, Inc. 1996. pp. 495-504

저 자 소 개



황형수 (黃炯秀)

1955년 8월 2일 생. 1981년 전북대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1991-1992년 University of Ottawa, Canada (Post-Doc). 1988-현재 원

광대 전기전자공학부 교수.

관심분야 : 퍼지 및 지능제어, 이산사건시스템제어 등

Tel : 0653-850-6345, Fax : 0653-853-2196

E-mail : hshwang@wonms.wonkwang.ac.kr



이원혁 (李元赫)

1973년 1월 2일 생. 1997년 원광대 제어계측학과 졸업. 1999년 동대학원 제어계측학과 졸업(석사)

관심분야 : 지능제어 및 로봇틱스

E-mail : windfree1@hanmail.net



최정내 (崔正乃)

1974년 1월 15일 생. 1997년 원광대 제어계측학과 졸업. 1999년 동 대학원 제어계측학과 졸업(석사).

관심분야 : 지능제어 및 하드웨어설계

E-mail : cjn@wonms.wonkwang.ac.kr