

논문 2008-45CI-5-7

고성능 제어를 위한 하이브리드 퍼지 제어기

(Hybrid Fuzzy Controller for High Performance)

조준호*, 황형수**

(Joon Ho Cho and Hyung Soo Hwang)

요약

본 논문은 제어성능 향상을 위하여 하이브리드 퍼지 제어기 설계를 제안 하였다. 하이브리드 퍼지 제어기 설계 방법은 PID 제어기와 퍼지제어기를 병렬로 결합한 방법으로, 본 논문에서는 PID 제어기는 IMC 구조를 갖는 PID 제어기로 성능지수 (IAE, ITAE, IATAE)값이 최소가 되도록 자동 동조 하였고, 퍼지 제어기의 환산계수(GE, GD, GH, GC)값은 유전자 알고리즘을 이용하여 구하였다. 시뮬레이션을 통하여 다양한 공정에 대하여 본 논문에서 새롭게 제안된 방법이 기존의 방법보다 우수함을 확인 할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we propose a hybrid fuzzy controller for high performance. Hybrid fuzzy controller are combined Fuzzy and PID controller. In tuning the controller, the parameters of PID and the factors fuzzy controllers were obtained from the model identification and by using genetic algorithms, respectively. Simulation examples demonstrated a better performance of the proposed controller than conventional ones.

Keywords : IMC Controller, Model identification, Fuzzy Controller, Genetic

I. 서론

PID(Proportional Integral Derivative) 제어기는 근래 보다 정교한 현대 제어이론이 개발되었음에도 산업계 현장 엔지니어들이 최적제어, 적응제어 등의 현대 제어 이론들 보다는 PID 제어알고리즘에 친숙해져 있으며 PID 제어기의 운전과 동조에 관한 많은 경험을 가지고 있고, 제어기의 구조가 간단하여 실현하기가 용이하다^[1~5]. 하지만 PID 제어기로는 비선형성이 큰 시스템이나, 지연시간이 큰 시스템에 적용했을 경우 만족할만한 성능을 얻기가 쉽지 않다.^[6]

퍼지 제어기는 인간의 경험과 지식에 근간한 언어적 제어규칙을 사용 할 수 있으며, 이로 인하여 선형공정 뿐만 아니라, 비선형 공정 제어시의 적합함과 우수성이

입증되어 왔다. 그러나 퍼지 집합의 조정에 의한 최적 퍼지 제어규칙을 구성하기 위해, 시행착오를 통한 매우 숙련된 기술이 요구되며, 또한 퍼지 제어기의 제어출력은 이를 표현하는 언어적이 될 수 있다.^[7]

따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 가중치에 따라 과도상태에서는 퍼지 제어기를 주로 사용하고 정상상태에서는 PID 제어기를 주로 사용하여 각 제어기의 장점을 이용한 하이브리드 퍼지 제어기의 필요성이 제기 되었다^[8]. 하이브리드 퍼지 제어기(HFC)는 가중치에 따라 과도상태에서는 퍼지 제어기를 주로 사용하고 정상상태에서는 PID 제어기를 주로 사용하는 장점을 갖고 있다. 따라서 하이브리드 퍼지 제어기는 기존의 제어기에 보다 과도 및 정상 상태에서의 더 우수한 제어 성능을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 비선형성을 보상주기 위해서 퍼지 제어기와 IMC 제어기 구조를 갖는 PID 제어기를 병렬로 결합한 하이브리드 퍼지 제어기 설계를 제안 하였다. 하이브리드퍼지 제어기 설계에 있어 어려운 점으로는 PID 파라미터, 퍼지 제어 규칙, 환산 계수, 멤버

* 정희원, ** 평생회원, 원광대학교 전기전자및정보공학부
(School of Electrical, Electronics and Information Engineering, Wonkwang University)
접수일자: 2008년8월20일, 수정완료일: 2008년9월3일

쉽 함수, HFC의 하중 계수 등과 같은 제어 파라미터값을 결정하는 것이다. 이와 같은 제어 파라미터값을 구하기 위해서 모델 동정을 통한 IMC 구조를 갖는 PID 제어파라미터 값과 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지제어기의 하중계수를 구하는 것을 제시하였다. 먼저 모델 동정 알고리즘에서는 최종값의 정리와 유전자 알고리즘을 이용하여 실제 모델과 축소 모델의 정상 상태 응답의 일치 및 과도상태 응답의 오차를 개선된 방법을 사용하였다. 본 논문에서는 첫째, IMC 구조를 갖는 최적의 PID 제어기 설계 방법은 제어 성능을 향상시키기 위해서 성능 지수 (IAE, ITAE, IATAE) 값이 최소가 되도록 제어기를 설계하는 방식이다. 여기서 제어 파라미터 값은 수치적 해석에 의해 축소 모델의 파라미터값으로 직접 구하여 사용하였다. 둘째, 퍼지 제어기의 환산계수 (GE, GD, GH, GC)값은 유전자 알고리즘을 통하여 구하는 방법을 제안하였다. 본 논문의 구성은 하이브리드 퍼지 제어기, 제안된 하이브리드 제어기 설계, 시뮬레이션 및 고찰, 결론으로 구성되어 있다.

II. 하이브리드 퍼지 제어기(HFC)

1. 하이브리드 퍼지 제어기(HFC)의 구조

HFC는 퍼지제어기와 PID 제어기가 하중계수로 결합된 병렬 구조로 구성되어 있다. 기존의 PID 제어기와 퍼지 제어기의 장점을 융합한 것으로, 본 논문에서는 유전자 알고리즘과 2차의 지연시간을 갖는 모델 동조를 이용한 하이브리드 퍼지 제어기의 성능을 향상 시켰다. 시스템에 대한 제어 입력은 퍼지 제어기 및 PID 제어기 출력에 대한 퍼지 변수의 컨벡스 결합으로 각 제어기 출력에 하중값을 곱한 합성치를 이용하였다. 하이브리드 퍼지 제어기의 기본 요소는 PID 파라미터, 환산계수, 언어적 제어 규칙, 하중계수 값이다. 그림 1은 HFC의 구성도이다.

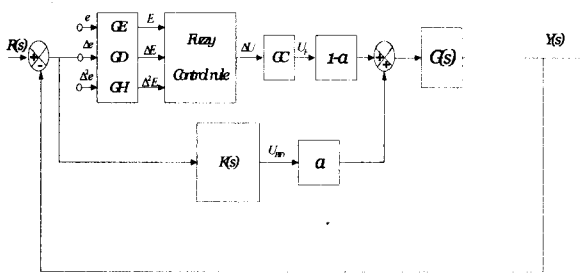


그림 1. 하이브리드 퍼지 제어기의 구성도
Fig. 1. The scheme of a hybrid fuzzy controller.

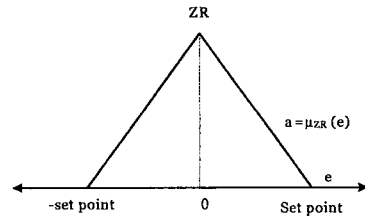


그림 2. 하중계수의 멤버쉽 함수
Fig. 2. Membership function of weighting coefficient.

여기서, e : 오차값, Δe : 오차의 변화 값, $\Delta^2 e$: 변동오차의 변화, ΔU 는 제어 출력의 변화, GE, GD, GH, GC는 퍼지 환산계수, $K(s)$ 는 PID 제어기이며, $(1-\alpha)$ 는 퍼지 제어기의 하중계수, α 는 PID 제어기의 하중계수, UPID는 제어기의 출력, UF는 퍼지제어기의 제어 출력 U 는 두 제어 출력이 결합된 하이브리드 퍼지 제어기의 제어 출력이다.

하이브리드 퍼지 제어기의 성능 향상을 위해서 PID 제어기와 퍼지 제어기를 하중 계수 (α)를 이용하여 결합 하였다. 그림 2는 하중계수의 멤버쉽 함수를 나타내었다. 설정치와 공정 출력의 절대 오차가 크면 하중계수는 작으므로 퍼지 제어기의 영향이 크고, 오차값이 작으면 PID 제어기의 영향이 크게 된다. 이와 같이 하중계수인 이 가중치로부터 과도 상태 부근에서는 퍼지 제어기의 영향이 커지며, 정상상태 부근에서는 PID 제어기의 영향이 커지게 된다. 하이브리드 퍼지 제어기는 이 하중 계수에 의한 제어 출력 특성의 상호 깊은 균형 으로부터 공정 출력성능을 향상시키며, 이 합성 제어 출력은 식(1)과 같다.

$$U = \alpha \cdot UPID + (1 - \alpha) \cdot UF \quad (1)$$

가. 퍼지 제어기의 규칙 동조 알고리즘

HFC는 식(2)와 같은 퍼지 논리 규정에 의하여 n 개의 퍼지 규칙으로 구성된다.

$$R_i: \text{IF } E \text{ is } A_i \text{ and } \Delta E \text{ is } B_i \text{ and } \Delta^2 E \text{ is } C_i, \text{ THEN } \Delta U \text{ is } D_i \quad (2)$$

여기서, R_i : i 번째의 제어 규칙 ($i=1,2,\dots,n$), E : 오차 (error)값, ΔE : 오차의 변화 값, $\Delta^2 E$: 변동오차의 변화 값, ΔU : 제어 입력의 변화값, A_i, B_i, C_i : 퍼지 변수, D_i : 싱글톤 (singleton)

각 각의 규칙에 있어 전반부의 적합도는 식(3)과 같

고, 퍼지 제어기의 비퍼지화 과정을 거친 후반부 추론 값은 식(4)와 같다.

$$W_i = \min\{\mu_{Ai}(E), \mu_{Bi}(\Delta E), \mu_{Ci}(\Delta^2 E)\} \quad (3)$$

$$U^* = \frac{\sum_{i=1}^N w_i D_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (4)$$

전반부 언어적 제어변수가 오차 (E), 오차의 변화값 (ΔE)일 경우 멤버십 함수는 NB(Negative Big), NM(Negative Middle), NS(Negative Small), ZO(Zero), PS(Positive Small), PM(Positive Middle), PB(Positive Big)의 7개로 구성되고 오차 (E), 오차의 변화값(ΔE), 변동 오차의 변화값 ($\Delta^2 E$)일 경우 멤버십 함수는 N(Negative), Z(Zero), P(Positive)의 3개로 구성되며, 후반부의 제어 출력의 변화값 (ΔU)은 NB(-m3),

NM(-m2), NS(-m1), ZO(0), PS(m1), PM(m2), PB(m3)로 7개의 싱글톤 (singleton) 멤버십 함수를 사용한다. 후반부 멤버십 함수의 초기값 즉, 규칙을 동조하기 전의 멤버십 함수는 m1 =1/3, m2= 2/3, m3=1의 값을 가진다. 전체적인 제어 규칙은 표 1과 같다.

식 (2)의 제어규칙에서 입·출력 변수의 멤버십 함수는 각각 그림 3과 같이 [-1,1]에 의해 표준화된 삼각형 형태와 싱글톤을 사용한다.

나. IMC 구조를 갖는 PID제어기

IMC 제어기는 내부 안정도, 강인 안정도 및 강인 성능을 고려하여, 주파수 영역에서 설계되어지며, 그림 4와 같이 구성되어있다.

IMC 제어기의 구조는 일반적인 PID 제어기에 내부 모델 $\hat{G}(s)$ 이 첨가된 형태이며, 식 (5)와 같이 구성되어 있다.

$$\hat{G}(s) = G_m(s)G_d(s) \quad (5)$$

여기서, $G_d(s)$ 는 지연시간과 우반면에 존재하는 모든 영점을 포함하며, 정상상태 이득이 1인 비 최소위상 공정이며, $G_m(s)$ 는 최소위상 공정이다.

내부모델 제어기 $K_{IMC}(s)$ 는 식(6)과 같이 구성되어 있다.

$$K_{IMC}(s) = \frac{F(s)}{G_m(s)} \quad (6)$$

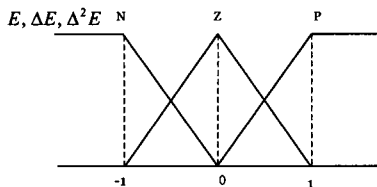
여기서, F(s)는 전체 폐루프 시스템의 안정성과 강인성을 위해 첨가되는 정상상태 이득이 1인 저역 통과 필터이다.

$$F(s) = \frac{1}{(\tau_f s + 1)^r} \quad (7)$$

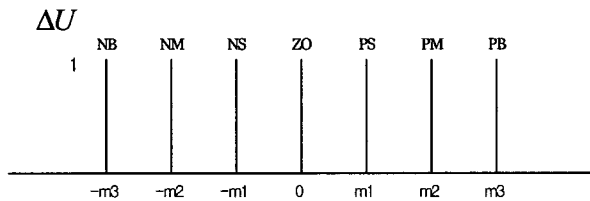
여기서, τ_c 는 원하는 페루프의 시상수 이며, r은 차수이다.

표 1. 퍼지 제어규칙
Table 1. Fuzzy Control Rules.

		$\Delta^2 E = N$			$\Delta^2 E = Z$			$\Delta^2 E = P$		
		ΔE			ΔE			ΔE		
		N	Z	P	N	Z	P	N	Z	P
E	N	-m	-m	-m	-m	-m	-m	-m	-m	-m
	Z	3	3	2	3	2	1	2	1	0
	P	-m	-m	0	-m	1	0	m1	2	1
E	N	2	1	0	1	0	m1	0	m1	m2
	Z	0	m1	m2	m1	m2	m3	m2	m3	m3
	P	0	m1	m2	0	m1	m2	0	m1	m2



(a) 전반부 입력 멤버십 함수



(b) 후반부 출력 멤버십 함수

그림 3. 전반부 입력변수의 멤버십 함수 및 후반부 출력 멤버십 함수

Fig. 3. Membership function of premise input variable and consequence output variable.

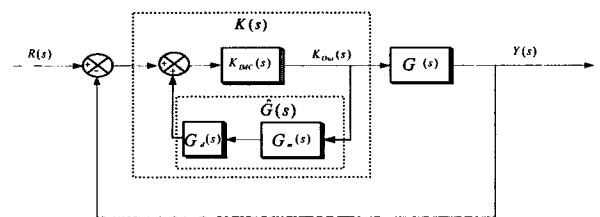


그림 4. IMC 제어기의 구조

Fig. 4. Structure of IMC controller.

$K(s)$ 는 제어기의 전달함수로 식(8)과 같다.

$$K(s) = \frac{K_{IMC}(s)}{1 - K_{IMC}(s)\hat{G}(s)} = \frac{F(s)}{G_m(s) - F(s)G_d(s)} \quad (8)$$

식(4)에서 알 수 있듯이 PID 제어기의 파라미터 값은 동정된 내부 모델 값과 1차 저역 통과 필터의 파라미터 τ_f 의 값으로 구성되어 있다. 따라서 IMC 제어구조를 갖는 PID 제어기를 설계하는 것은 내부 모델을 동정하는 것과 필터의 파라미터 τ_f 를 결정하는 것으로 설명할 수 있으며, 다음과 같은 순서를 따른다.

첫째, 실제 모델에 대하여 정확한 내부 모델을 구하는 것이며, 둘째는 저역통과 필터의 τ_f 의 값을 결정하는 것이다. 본 논문에서는 IMC 제어구조를 갖는 PID 제어기를 설계에 있어 내부 모델을 2차의 지연시간을 갖는 공정으로 동정하는 알고리즘과 이렇게 구한 내부 공정을 사용하여 성능지수 IAE와 ITAE 값이 최소가 되도록 하는 새로운 PID 제어기 설계 법을 제안 하였다.

III. 제안된 하이브리드 퍼지 제어기(HFC) 설계

하이브리드 퍼지 제어기는 가중치에 따라 과도상태에서는 퍼지 제어기를 주로 사용하고 정상상태에서는 최적화 PID 제어기를 주로 사용되어 최적의 제어 성능을 보여주는 장점을 갖고 있다. 따라서 하이브리드 퍼지 제어기는 기존의 제어기에 비해 정상 및 과도 상태에서의 각 제어출력의 정성적 특성 사이의 상호 균형으로부터 더 우수한 제어 성능을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 제어 파라미터의 동조 방법으로 PID 파라미터는 2차의 지연시간을 갖는 모델을 동조하여 동조된 모델의 값을 이용한 IMC 구조를 갖는 최적화 PID 제어기를 이용하여 설계하였고, 환산 계수 및 HFC의 하중계수는 비선형 최적화 알고리즘인 GA(Genetic Algorithms)를 사용하여 최적의 값을 구하여 설계하였다.

1. 2차의 지연 시간을 갖는 내부 모델 동정

서로 다른 동특성을 갖는 공정들을 2차의 지연시간을 갖는 모델로 동정해야 하는 이유는 시스템의 시간 응답에서 나타날 수 있는 오버슈트 및 언더슈트를 표현할 수 있기 때문이다^[9-13]. 식(9)는 2차의 지연시간을 갖는 내부 모델이다.

$$\hat{G}(s) = \frac{e^{-sL}}{as^2 + bs + c} \quad (9)$$

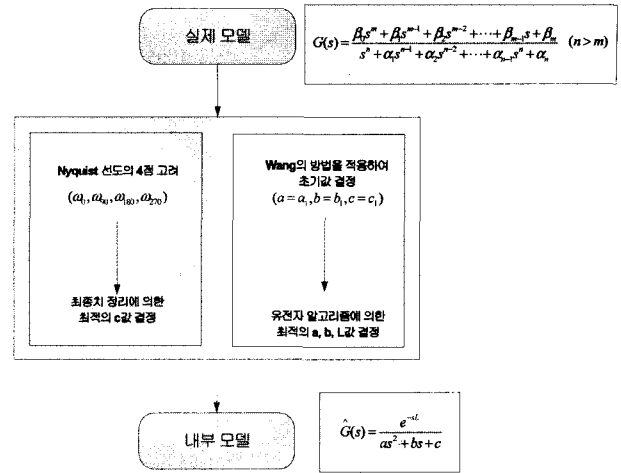


그림 5. 내부 모델 동정 알고리즘
Fig. 5. Algorithm of internal model identification.

여기서 $G_m(s) = \frac{1}{as^2 + bs + c}$, $G_d(s) = e^{-sL}$ 이다.

2차의 지연 시간을 갖는 내부 모델을 구하는 방법으로 주파수 영역의 Nyquist 선도를 이용할 수 있다. Nyquist 선도 상에서 $0, -\pi/2, -\pi$, 그리고 $-3/2\pi$ 인 4개의 점에서 실제 모델과 내부 모델이 일치하도록 그림 5와 내부모델 동정 알고리즘을 적용하였다^[14].

2. IMC 구조를 갖는 제어기 파라미터 동조

본 논문에서는 2차의 지연시간을 갖는 내부 모델에 대하여 성능지수 IAE와 ITAE과 IAE와 ITAE값을 결합한 IATAE 값이 최소가 되도록 제어기를 설계 하였다. 내부 모델 제어기 $K_{IMC}(s)$ 는 앞 절에서 동정된 내부 모델인 식(9)를 식(10)에 대입하면 구할 수 있다.

$$K_{IMC}(s) = \frac{as^2 + bs + c}{\tau_f s + 1} \quad (10)$$

PID 제어기의 전달함수는 식(7)과 식(10)를 식(8)에 대입하면 식(11)과 같이 구할 수 있다.

$$K(s) = \frac{as^2 + bs + c}{(L + \tau_f)s} \quad (11)$$

여기서 $G_d(s) = e^{-Ls}$ 는 1차의 테일러 급수를 적용하였다.

PID 제어기의 파라미터 값은 식 (12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} K_P \\ K_I \\ K_D \end{bmatrix} = \frac{1}{L + \tau_f} \begin{bmatrix} b \\ c \\ a \end{bmatrix} \quad (12)$$

결론적으로 IMC 구조를 갖는 PID 제어기 설계 문제는 내부 모델인 2차의 지연시간을 갖는 공정을 동정하는 한 뒤, 1차의 저역 통과 필터 τ_f 값의 결정 문제로 한정된다고 할 수 있다. 본 논문에서는 내부 모델 동정과 수치적 계산에 의한 방법으로 성능지수 IAE, ITAE, IATAE값을 최소로 하는 τ_f 값을 구하는 방법을 제시한다. 성능지수 값을 최소로 하기 위해서 그림4에서 IMC 제어기 구조의 페루프 전달함수를 먼저 구해야 한다. 식 (13)는 페루프 전달함수 이다.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_{IMC}(s)G(s)}{1 + K_{IMC}(s)[G(s) - \hat{G}(s)]} \quad (13)$$

여기서 $G(s)$ 는 실제 공정, $\hat{G}(s)$ 는 내부 모델을 의미하며, 위의 구조에서 실제 공정과 내부 모델이 일치한다고 가정하면, 즉, $G(s) \approx \hat{G}(s)$ 라면, 식(13)은 식(14)처럼 근사화 된다.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} \approx K_{IMC}(s)\hat{G}(s) \quad (14)$$

식(9)와 식(10)를 식(14)에 대입하여 정리하면 식(15)과 같다.

$$\frac{Y(s)}{R(s)} \approx \frac{ke^{-sL}}{s+k} \quad (15)$$

여기서 $k = \frac{1}{\tau_f}$ 이다.

가. IAE값이 최소가 되는 제어 파라미터 동조

식 (15)에서 입력이 단위계단 함수이고 설정치가 y_r 이라 하면, IAE에 대한 정의로부터 구하면 식(16)과 같다.

$$IAE = \frac{y_r}{k} e^{kL} \quad (16)$$

미분을 이용하여 IAE가 최소가 되는 τ_f 는 식(17)과 같다.

$$\tau_f = L \quad (17)$$

나. ITAE 값이 최소가 되는 제어 파라미터 동조

식 (16)과 같은 방법으로 ITAE를 구하면 식(18)과 같다.

$$ITAE = \frac{y_r}{k^2} e^{kL} \quad (18)$$

미분을 이용하여 ITAE가 최소가 되는 τ_f 는 식(19)와 같다.

$$\tau_f = \frac{L}{2} \quad (19)$$

다. IATAE값이 최소가 되는 제어 파라미터 동조
IATAE값은 성능지수 IAE와 ITAE값을 식(20)과 같이 결합한 것으로 제어 응답에 따라 우수한 성능을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 λ 의 값을 0.5로 한정하여 사용하였다.

$$\tau_f = \lambda \times L + \lambda \times \frac{L}{2} \quad (20)$$

지금 까지 설명한 다양한 성능지수 IAE, ITAE, IATAE값을 최소로 하는 τ_f 의 값을 정리하면 표2와 같다.

표 2 다양한 성능을 고려한 동조 방법
Table 2. Tuning Method considered multiple performance.

구분	성능지수		
	IAE	ITAE	IATAE
τ_f	L	$\frac{L}{2}$	$\lambda \times L + \lambda \times \frac{L}{2}$

다. 퍼지 환산 계수 동조

하이브리드 퍼지 제어기의 환산계수 (GE, GD, GH, GC)값을 구하기 위해서는 HFC 구조에서 구해야 되므로, 앞 절에서 구한 제어 파라미터 값과 예측기의 계수 값을 적용한 뒤 제어기 환산계수 값들을 구해야 한다. 본 논문에서는 퍼지 제어기의 환산계수 값들을 유전자 알고리즘을 이용하여 평가함수 ITAE값이 최소가 되도록 자동동조 하였다. 그림 6는 유전자 알고리즘을 사용하여 HFC의 환산계수를 자동 동조하는 구성도를 나타내었다.

여기서, 환산계수 ((GE, GD, GH)값은 공정 출력과 설정치와 오차를 퍼지규칙의 전반부 소속함수로 표현하기 위한, [-1, 1]의 규준화된 퍼지값 (E, ΔE, Δ2E)으로 표현하는 수치를 의미한다. 그리고 GC는 퍼지 추론 규칙의 출력을 공정의 차원과 일치시키는 환산 계수 이

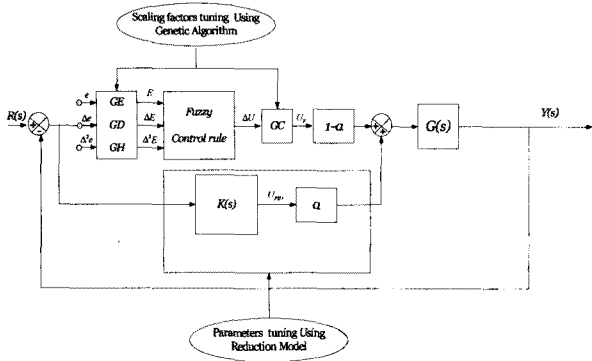


그림 6. 환산계수를 자동 동조하는 하이브리드 퍼지 제어기의 구성도
 Fig. 6. The scheme of auto-tuning hybrid smith controller with scaling factors.

다. 퍼지 규칙에 있어 각각의 전·후반부 환산계수의 표현은 식(21)~(24)와 같다.

$$E(kT) = \text{error}(kT) \times GE \tag{21}$$

$$\Delta E(kT) = [\text{error}(kT) - \text{error}((k-1)T)] \times GD \tag{22}$$

$$\Delta^2 E(kT) = [\text{error}(kT) - 2\text{error}((k-1)T) + \text{error}((k-2)T)] \times GH \tag{23}$$

$$U(kT) = U((k-1)T) + \Delta U(kT) \times GC \tag{24}$$

지금까지 설명한 HSFC는 다음의 단계적 절차를 통하여 설계되어진다.

- [단계 1] 제어 공정을 2차의 지연시간을 갖는 모델로 동정한다.
- [단계 2] 동정된 모델을 이용하여 IMC 구조를 갖는 최적의 PID 제어기의 파라미터 값을 결정한다.
- [단계 3] 퍼지 제어기의 전·후반부 멤버십 함수 및 제어규칙을 결정한다.
- [단계 4] 퍼지제어기의 환산계수 (GE, GD, GH, GC)값들을 유전자 알고리즘을 통하여 동조한다.

IV. 시뮬레이션 및 고찰

본 장에서는 실제 공정이 지연시간이 포함된 공정에 대해서 2차의 지연시간을 갖는 모델을 동조하는 것과 성능사양 IAE, ITAE 그리고 IATAE값을 최소로 하는 제어기의 설계방법을 기존의 방법과 시뮬레이션을 통하여 비교하여 제안된 방법의 우수성을 증명한다.

1. 모델 동정에 대한 시뮬레이션

$$\text{공정} : \frac{1}{(s+1)(s+5)^2} e^{-0.5s}$$

표 3은 실제 공정을 2차의 지연시간을 갖는 모델로 동정한 것이며, 표 4는 실제 모델과 동정된 모델간의 성능을 주파수 영역에서의 절대 오차의 합(N)과 시간 영역에서의 절대 오차의 합(T), 정상상태 오차(S)를 각각 비교한 것이다.

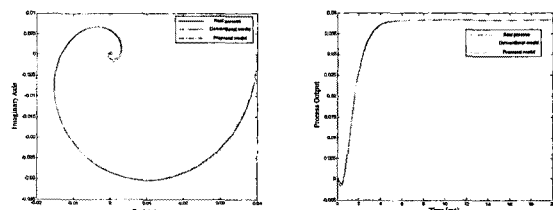
그림 7은 시뮬레이션 공정 대하여 실제 모델과 동정된 모델을 주파수 영역 및 시간 영역에서의 응답을 각각 그래프로 나타 낸 것이다. 표 4에서 확인할 수 있듯이 주파수 영역, 시간영역, 정상상태 응답 모두에서 우수함을 확인할 수 있다.

표 3. 시뮬레이션 공정 및 축소 모델의 계수 비교
 Table 3. Definition of Process and Coefficient of reduced model.

	$\hat{G}(s) = \frac{e^{-sL}}{as^2 + bs + c}$							
	기존의 방법				제안된 방법			
	L	a	b	c	L	a	b	c
공정	0.60	7.66	32.34	25.15	0.60	7.77	32.65	25
	2	4	0		8	6	0	

표 4. 축소 모델들의 성능 비교
 Table 4. Performance comparison of reduced models.

	기존의 방법			제안된 방법		
	N	T	S	N	T	S
공정	1.893	0.865	0.0003	1.145	0.086	0



(a) 주파수 응답 (b) 페루프 단위 계단 응답

그림 7. 공정에 대한 모델 동정의 응답 비교
 Fig. 7. Response comparison of model identification for process.

2. 하이브리드 퍼지 제어기 설계와 관련된 시뮬레이션
 본 논문에서는 고차 모델을 2차의 지연시간을 갖는 모델로 동정한 뒤 동정된 모델을 이용하여 IMC 구조를 갖는 PID 제어기를 설계 할 수 있음을 앞 장에서 설명

표 5. 제안된 방법의 PID 제어기 파라미터 동조
Table 5. PID parameters tuning of Proposed method.

		제안된 방법							
		τ_f	K_p	K_I	K_D	GE	GD	GH	GC
공정	IAE	0.608	26.85	20.56	6.382	0.094	2.781	0.913	29.93
	ITAE	0.304	35.80	27.41	8.509	0.030	0.265	0.552	28.26
	IATAE	0.456	30.69	23.50	7.293	0.088	2.581	0.834	30.13

표 6. 공정1에 대한 성능지수 비교
Table 6. Comparison of performance index for process.

	기존의 방법	제안된 방법 (IAE)	제안된 방법 (ITAE)	제안된 방법 (IATAE)
IAE	130.2514	132.5803	120.9113	124.9862
ISE	101.2989	95.9907	96.8418	94.0147
ITAE	1.3025	1.3258	1.2091	1.2499
Over-Shoot	0.0358	0	0.0103	0

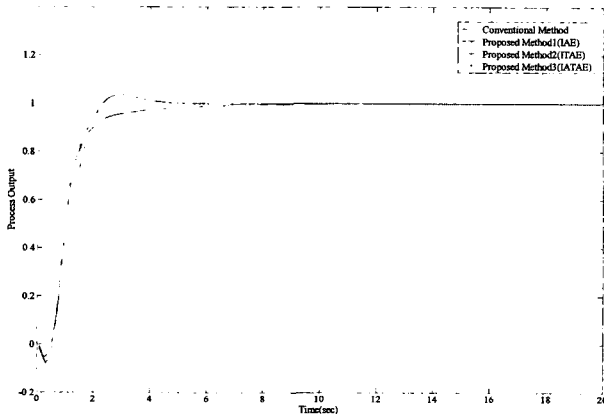


그림 8. 제어 공정에 대한 제안된 방법 적용
Fig. 8. Application of Proposed method for process.

하였다. 본 장에서는 동정된 모델을 이용하여 하이브리드 퍼지 제어기에 대하여 시뮬레이션 하였다. 공정에 대해서 제안된 방법을 적용하여 표 5와 같이 PID 파라미터 값 및 퍼지 제어기의 환산계수 (GE, GD, GH, GC) 을 구하였고, 표 6은 기존의 방법^[9]과 성능지수를 비교하여 그림 8에 나타내었다.

표 5는 제안된 방법을 적용하여 제어 공정에 대해서 하이브리드 퍼지제어기 파라미터 값을 구한 것이다. 표 5의 PID 파라미터 값은 동정된 모델 값을 이용하여 구하였고 퍼지 제어기의 환산계수 (GE, GD, GH, GC)값들을 유전자 알고리즘을 이용하여 동조 하였다.

그 결과 표 6에서 확인할 수 있듯이 제안된 방법이 기존의 방법보다 성능지수(IAE, ISE, ITAE)에서 우수함을 알 수 있고, 그림 8에서 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 지연 시간과 비선형성을 보상주기 위해서 IMC 구조를 갖는 최적의 PID 제어기와 퍼지 제어를 결합한 하이브리드 스미스 퍼지 제어기 설계를 제안 하였다. 2차의 지연시간을 갖는 모델 동정하여 IMC 구조를 갖는 PID 제어기의 파라미터값을 구할 때 사용 하였다. 최적의 성능을 얻기 위한 제어기 방법으로 하이브리드 퍼지 제어기를 설계 하였으며, 기존의 방법은 PID 파라미터 및 퍼지 환산계수의 동정을 모두 유전자 알고리즘을 사용하였지만, 제안된 방법은 동정된 모델을 이용하여 최적의 PID 제어기의 파라미터 값, 퍼지 환산계수 부분은 유전자 알고리즘을 이용하여 구함으로써, 기존의 방법보다 성능뿐만 아니라 시간적으로 많이 단축할 수 있었다. Matlab을 이용한 시뮬레이션 결과 기존의 방법보다 우수한 성능을 확인 할 수 있다.

참고 문헌

- [1] K.J.Astrom and T.Hagglund, "Automatic tuning of simple regulators with specifications on phase and amplitude margins", Automatica, vol. 20, no. 5, pp. 645-651,1984.
- [2] W.K.Ho, C.C.Hang, W.Wojsznis, and Q.H.Tao, "Frequency domain approach to self-tuning PID control", Contr.Eng. Practice, vol, 4, no.6, pp.807-813, 1996.
- [3] W.K.Ho, O.P.Gan, E.B.Tay, and E.L.Ang, "Performance and gain and phase margins of well-known PID tuning formulas", IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., vol. 4, pp. 473-477, 1996.
- [4] M.Zhuang and D.P.Atherton, "Automatic tuning of optimum PID controllers", Proc. Inst. Elect. Eng., vol. 140, pt. D, no. 3, pp. 216-224, May 1993.
- [5] K.J.Astrom, "Automatic tuning of PID regulators", Instrument Soc. Amer., 1998.
- [6] J.Malers and Y.S.Sherif, " Application of fuzzy set theory" IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics., Vol.Smc-15, No. 1, 1985.
- [7] Kevin M. Passino and Stephen yurhovich, " Fuzzy control" Addison Wesley Longman, Inc, 1998.
- [8] Sungkwun Oh, Teachon Ahn, Hyungsoo Hwang, Jongin Park and Kwangbang Woo, " Design of a Hybrid Fuzzy Controller with the Optimal Auto-tuning Method." Journal of Control, Automation and Systems Engineering, Vol.1, No.

1, September, 1995.

[9] K.Y.Kong, S.C.Goh, C.Y.Ng, H.K.Loo, K.L.Ng, W.L. Cheong, and S.E.Ng, "Feasibility report on frequency domain adaptive controller", Dept. Elect. Eng., Nat. Univ. Singapore, Internal Rep., 1995.

[10] Q.G.Wang, T.H.Lee, H.W.Fung, Q.Bi and Y. Zhang, "PID tuning for improved performance", IEEE Trans. Contro. Syst. Technol., vol. 7, no.4, pp. 457-465, July 1999.

[11] Y.Shamash, "Model reduction using the Routh stability criterion and the Pade approximation technique", Int. J. Control, vol. 21, No. 3, pp. 475-484, 1975.

[12] David E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison - Wesley Publishing Company, Inc, 1989.

[13] Qing-Guo Wang, Chang-Chieh Hang, and Qiang Bi, "A Technique for Frequency Response Identification from Relay Feedback", IEEE Trans. Contro. Syst. Technol., vol.7, no.1, January 1999, pp.122-128

[14] 조준호, 황형수, "개선된 모델 축소 방법에 의한 범용적 제어기 설계," 대한전자공학회 논문지, 제 44권 SC편 5호, 2007년 9월, pp. 1-10

저 자 소 개



조 준 호(정회원)
 2002년 원광대학교 제어계측 공학과 석사 졸업.
 2006년 원광대학교 제어계측 공학과 박사 졸업.
 2007년 원광대학교 전기전자및 정보공학부 전임강사

<주관심분야 : 퍼지 및 지능제어, 모델링>



황 형 수(평생회원)
 1983년 전북대학교 전기공학과 석사 졸업.
 1987년 전북대학교 전기공학과 박사 졸업.
 1998년 원광대학교 전기전자및 정보공학부 교수

<주관심분야 : 퍼지 및 지능제어, 이산사건 시스템 및 제어>