

정압제어를 위한 최적 Fuzzy PI 제어기 설계

조세희*, 정대형**, 오성권***, 김현기****
수원대학교

Design of Optimized Fuzzy PI Controller for Constant Pressure Control

Se-Hee Jo*, Dae-Hyung Jung**, Sung-Kwun Oh***, Hyun-Ki Kim****
The University of Suwon

Abstract - 본 논문에서는 요구되는 성능을 만족시키는 최적 Fuzzy PI 제어의 정압제어로의 효율적인 적용 및 성능 향상을 위하여 유전자 알고리즘(GA: Genetic Algorithm)을 이용한 제어 설계 방법을 제시 한다. PID제어기는 이해가 쉽고 구조가 간단하여, 실제 구현이 용이하여 공정 산업분야에서 가장 널리 사용되고 있는 제어기이다. 따라서 단일 입·출력 선형 시스템에서는 우수한 성능을 보이나 동적 시스템, 고차 시스템 및 수학적 모델 선정이 어려운 시스템에서는 비효율적이다. 반면, Fuzzy 제어기는 인간의 지식과 경험을 이용한 지적 제어방식으로 IF-THEN형식의 규칙으로부터 제어 입력을 결정하는 병렬형 제어기이다. 이는 과도상태에서 큰 오버슈트 없이 설정치에 도달하게 하는 속응성과 강인성이 좋은 제어기법으로 비선형성이 강하고 불확실하며 복잡한 시스템을 쉽게 제어 할 수 있다는 장점을 지닌다.

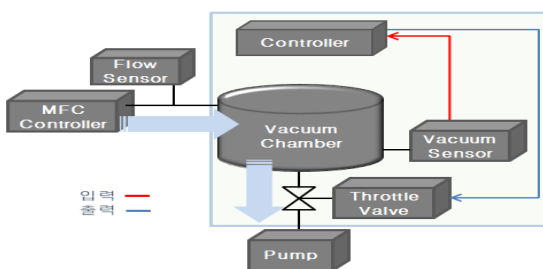
1. 서 론

공정 산업의 대부분의 기계장치들은 고차원의 비선형성과 불확실성을 가지고 있다. 따라서 산업의 기계장치들은 고차원의 비선형 시스템의 제어 이론과 제어기 설계에 어려움이 있어왔다. 제어기 설계상의 어려움을 극복하기 위해 다양한 구조의 제어기가 개발 되었으며, 그 중 비선형 시스템의 퍼지 논리 제어기(FLC: Fuzzy Logic Controller)가 급격하게 성장하여 많은 분야에 성공적으로 적용되었다. 기존의 PID제어기가 선형 시스템에서 우수한 성능을 나타내지만 고차원 비선형 동적 시스템의 수학적 모델 설계에 있어서는 비효과적인 특징을 가지고 있다. 이의 단점을 보완하기 위한 퍼지논리제어기는 인간의 언어적 표현 및 지식과 경험을 이용한 논리적 제어 방식으로써 IF-THEN형식의 규칙으로부터 제어입력을 결정하는 병렬형 제어 방식을 가진다. 퍼지논리제어기는 견실성, 속응성과 강인성이 좋은 제어기법으로 비선형성이 강하며 불확실하고 복잡한 시스템을 쉽게 제어할 수 있다는 장점을 가진다. 퍼지논리제어기는 시계열 예측, 의사결정, 언어모델링과 음성인식 등의 여러 분야에서 우수한 성능을 나타내며 퍼지제어 분야에서는 이동로봇 제어, 무인자동차 제어 및 비행체 제어 등에 적용되어지고 있다. 퍼지논리제어기 설계의 어려움은 언어적 제어 규칙(RULE), 환산계수(SF: Scaling Factor)와 멤버쉽 함수와 같은 최적 제어 파라미터를 유도하는 것으로 최적의 제어 파라미터는 제어기성능을 크게 좌우한다. 전문가로부터 얻은 지식은 보통의 경우 최적화 되었다고 가정하나 관찰이나 실험의 경우 최적화의 판단이 애매하고 많은 실패와 반복이 요구되어 시간 부담이 증가된다. 이러한 문제점 때문에 제어규칙과 멤버쉽 함수를 자동으로 얻기 위한 연구가 진행 되었으며, 유전자 알고리즘(GA: Genetic Algorithm)과 입자 군집 최적화(PSO: Particle Swarm Optimization)등이 제안 되었으며 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 제어 파라미터 최적화에 적용한다.

2. 본 론

2.1 플랜트의 구조 및 동작 분석

정압제어를 위하여 제작한 플랜트의 구조 및 연동관계는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 플랜트의 구조

2.2 플랜트의 모델링

i. 배기관 단면적 산출
밸브의 동작에 따른 배기관의 단면적을 산출한다.

$$Ac = \pi r^2 (1 - Cbs\Theta) \quad (1)$$

$$\Theta = \frac{\maxstep - \maxstep \cdot U(t)/10000}{317.445}$$

ii. 흐름저항(R) 및 콘덕턴스(C) 산출.
진공챔버의 형상, 배기관의 길이, 직경, 주선, 면적, 단면적 그리고 표면적 등을 측정하여 직렬 혹은 병렬로 연결되어있는 진공 배기관의 흐름저항을 산출한다.

$$R = \frac{2 \cdot 10^6 \cdot T}{64 \cdot Ac^2 \cdot \pi \cdot M} + \frac{6 \cdot 10^6 \cdot L \cdot U \cdot T}{64 \cdot Ac^3 \cdot \pi \cdot M} \quad (2)$$

$$C = \frac{1}{R} \quad (3)$$

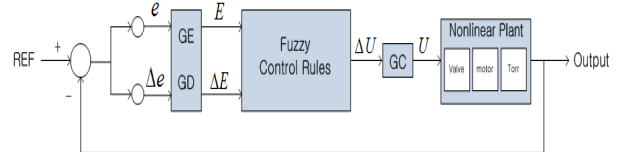
iii. 챔버 압력 산출
흐름저항, 콘덕턴스, 가스 주입량 및 배기량에 의한 압력을 산출한다.

$$P = (P_0 - K_0) \cdot \exp[-V/S_p] \cdot t/1 + (S_p/C) + K_0 \quad (4)$$

$$K_0 = [1 + S_p/C] \cdot P_0 + [1 + (S_p/C)] \cdot (Q_p/S_p)$$

2.3 제어기의 모델링 (FuzzyPI Controller)

i. 플랜트의 제어를 위하여 FuzzyPI Controller를 블록다이어그램으로 표현하면 <그림 2>와 같다..



<그림 2> 제어기의 구조

ii. 퍼지 규칙
 $R_k = IF E \text{ is } A_i \text{ and } \Delta E \text{ is } B_i \text{ THEN } \Delta U \text{ is } C_i \quad (5)$

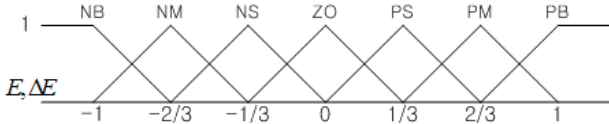
k = 제어 규칙 수 (1, 2, 3, 4) E = 오차값
 ΔE = 오차의 변화값 ΔU = 제어 입력의 변화값
 A_i = 퍼지변수 C_i = 싱글톤

iii. 퍼지제어 규칙(Fuzzy Control Rule)

		ΔE							
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	
E	NB	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
	NM	NB	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM
	NS	NB	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
	PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
	PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB
	PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB	PB

<그림 3> 퍼지 제어규칙

제어 규칙에서 입·출력 변수의 멤버십 함수는 각각 <그림 4>과 <그림 5>을 [-1,1]에 의해 규준화된 삼각형 형태를 사용한다.



<그림 4> 전반부 입력변수 $E, \Delta E$ 의 멤버십 함수



<그림 5> 후반부 출력변수 ΔU 의 멤버십 함수

각각의 규칙에 있어 전반부의 추론결과 값은 식 (6)과 같고 비퍼지화과정을 거친 후반부 추론 결과 값은 식(7)과 같다.

$$W_i = \min[\mu_{A_i}(E_k), \mu_{B_i}(\Delta E_k)] \quad (6)$$

$$\Delta U^* = \frac{\sum_{i=1}^N W_i C_i}{\sum_{i=1}^N W_i} \quad (7)$$

후반부 출력에서 추론은 간략추론으로 싱글톤(C_i)을 사용한다.

2.4 유전자 알고리즘(GA: Genetic Algorithm)

탐색 및 최적화 기법으로 사용되는 유전자 알고리즘(GA)은 풀고자 하는 문제에 대해 점차적으로 변형시켜 최적의 해를 구한다. 유전자 알고리즘은 파라미터 자체가 아닌 파라미터 집합을 코딩하고, 탐색공간에서 단일 해가 아닌 해집합을 사용한다. 또한, 확률적인 규칙을 사용하기 때문에 최적화 문제에서 건설한 최적의 해를 구할 수 있다. 제어를 위한 파라미터에는 여러 가지가 있으나 그 중 개체군의 크기(population size) 교배확률(probability of crossover), 돌연변이 확률(probability of mutation)이다. 개체군의 크기가 작으면 적합도 계산에 필요한 시간을 절약할 수 있으나 개체군의 다양성의 빠른 손실로 인해 최적해를 구하기 전에 지역 극소에 빠질 위험성이 있다. 반면 개체군의 크기가 크면 최적해에 도달할 확률은 높으나 많은 기억 용량과 계산시간을 필요로 한다. 일반적으로 큰 돌연변이 확률과 교배확률은 알고리즘의 탐색능력을 향상시킵니다. 동시에 정보의 이용 능력을 저하시킴으로써 어느 정도 좋은 해를 찾은 후에는 최적해로 수렴하는 데 있어서 수렴속도를 저하시키는 요인으로 작용할 수 있다. 이들 성능평가 항목을 모두 만족시켜 주는 최적의 개체군의 크기를 정하는 방법은 문제의 성격과 다른 제어 파라미터들의 값에 따라 다르다. 본 논문에서는 개체군의 크기 100, 일점 교배확률 0.8, 단순 돌연변이 확률 0.1을 적용하여 GE, GD, GC에 대한 최적 파라미터 탐색을 수행하였다.

2.5 성능지수(Performance Index)

설정치와 공정 출력의 오차를 최소화하기 위한 평가함수로 식 (8)과 같이 표현되는 ITAE를 사용하였다.

$$ITAE = \int_0^{\infty} t|e(t)|dt \quad (8)$$

2.6 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 논문에서는 최적화 알고리즘을 적용한 제어기의 성능 및 특성을 비교하기 위하여 다음과 같은 시뮬레이션을 수행하였으며, 적용한 유전자 알고리즘의 매개변수의 값은 다음 <표 1>과 같다.

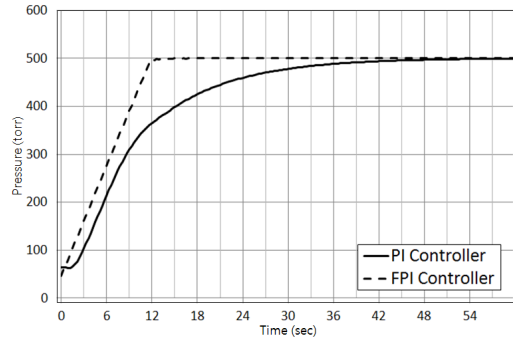
<표 1> 유전자 알고리즘의 매개변수

Parameter	Type	Value
No. of generations	-	100
No. of populations	-	100
Crossover	Two Point	0.8
Selection	Roulette Wheel & Elite	-
Mutation	Simple Mutation	0.1
Strategy	Elite Strategy	-

본 논문에서 제안하는 Fuzzy PI 제어기의 성능을 비교하기 위하여 공정 산업분야에서 가장 큰 비중을 차지하는 기준PI제어기를 대상으로 선정하였으며 유전자 알고리즘을 이용한 파라미터 최적화를 통한 성능을 <그림 4>에 나타냈으며 제어파라미터의 탐색 범위는 <표 2>와 같다.

<표 2> 제어파라미터 탐색범위

Controller	K_P	K_I	K_D
PI	[0 50]	[0 50]	[0 50]
Fuzzy PI	[0 10]	[0 10]	[0 10]



<그림 4> 각종 제어기의 성능비교

3. 결론

본 논문에서 우리는 정압제어를 위한 Fuzzy PI제어기를 설계하였다. 시뮬레이션을 통하여 환산계수 GE, GD, GC가 제어기의 성능에 상당히 중요한 영향을 미침을 알 수 있었다. GE를 증가시키면 rise time이 빨라지고 정상상태 오차가 줄어들으나 오버슈트가 커진다. GD는 GE만큼 수렴에 영향을 미치지 않으나 정상 상태에서 안정되게 하고 rise time에도 약간의 영향을 미친다. GC의 증가는 rise time을 감소시키고 오버슈트도 감소시킴을 알 수 있었다. 환산계수의 조절을 통한 제어기 성능의 향상을 위하여 유전자 알고리즘을 이용하여 환산계수 탐색을 하였으며 그에 따른 성능은 <그림 4>에서 보여 지는 바와 같이 기존의 PI제어기 보다 Fuzzy PI제어기가 과도상태 및 정상상태에서 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 앞으로의 과제로는 제어기의 성능에 영향을 미치는 환산계수(Scaling factors) GE, GD, GC의 영향에 대한 면밀한 검토와 환경 변화에 따른 제어기의 정상상태 및 과도상태에서의 우수한 성능 구현을 위한 Hybrid Controller설계 또한, 환경 변화에 따라 환산계수의 값을 스스로 동조하는 자기 동조 제어기의 설계 방법의 고찰이 요구되어 진다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2011년도 산학연 공동 기술개발사업(No. 00047279)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다 그리고 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2009-0074928)

[참 고 문 헌]

- [1] Sung-Kwun Oh and Seok-Beom Roh, "The Design of Fuzzy Controller Based on Genetic Optimization and Neurofuzzy Networks", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 5, No. 4, PP.653~665, 2010
- [2] Yanan Zhao and Emmanuel G. Collins, Jr., "Fuzzy PI Control Design for an Industrial Weigh Belt Feeder", IEEE, TRANSACTIONS ON FUZZY SYSTEMS, VOL. 11, NO. 3, JUNE 2003
- [3] Mohammed Obaid Ali, S.P.Koh, K.H.Chog, S.K.Tiong and Zeyad Assi Obaid, "Genetic Algorithm Tuning Based PID Controller for Liquid-Level System", Proceedings of ICoMMS, 11-13 October 2009
- [4] 오성권, "C프로그래밍에 의한 퍼지모델 및 제어시스템", 내하출판사, PP.391~396, 2002
- [5] 오성권, "프로그래밍에 의한 컴퓨터지능", 내하출판사, PP.165~182, 2002