

---

# 유전자 알고리즘을 이용한 최적의 퍼지제어기 설계방식

손동설\*, 이용구\*\*, 엄기환\*\*\*

## Optimal Fuzzy Controller Design Method using the Genetic Algorithm

Dong-Seol Son\*, Yong-Gu Lee\*\*, Ki-Hwan Eom\*\*\*

### Abstract

In this paper proposes the optimal fuzzy controller design method using the genetic algorithm. Proposed method is that fuzzy rules and input-output scaling factors of the fuzzy controller are determined by using genetic algorithm that is very effectively in the optimization problem. The optimal fuzzy rules of servo system uses the fitness function which are the performance index in fuzzy controller. In order to verify excellent control performances of the proposed control method, we compare the control performance and characteristics about the proposed control method with a conventional fuzzy control method through a lot of simulations and experiments with one link manipulator.

### 요 약

본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용한 최적의 퍼지 제어기 설계에 대한 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 최적화 문제에 매우 효과적인 유전자 알고리즘을 이용하여 퍼지 제어기의 퍼지규칙, 입·출력 스케일링 팩터를 결정하는 방식이다. 서보 시스템에 적합한 퍼지 규칙은 퍼지 제어기의 성능지표인 적합도 함수를 사용한다. 제안된 제어 방식의 유용성을 확인하기 위하여 단일 링크 매니퓰레이터를 제어 대상으로 시뮬레이션 및 실험을 하여 일반적인 퍼지 제어 방식과 제어 성능 및 특성을 비교 검토한다.

---

\* 유한대학 전자과

\*\* 한림정보산업대학 전자통신과

\*\*\* 동국대학교 전자공학과

접수일자 : 1999년 4월 10일

## I. 서론

1965년 zadeh교수에 의해 제안된 퍼지이론은 1974년 Mamdani가 최초로 제어에 응용하였으며, 1980년대 이후 하드웨어의 발전과 더불어 제어 및 통신 등 여러 분야에서 많은 발전을 이루었다. 특히 제어분야에서 퍼지 논리 제어(Fuzzy Logic Control : FLC)는 퍼지 알고리즘과 언어 모델링으로서 시스템모델에 크게 구애받지 않는 장점으로 시스템 모델링이 부정확한 시스템, 파라미터가 부분적으로 알려져 있거나 알려지지 않은 시스템, 비선형 시스템 등의 제어에 많은 연구가 진행되어 왔다.[1,2,3,4]

유전자 알고리즘은 1970년대에 미국의 John Holland에 의해 정립된 이론으로 자연 세계의 진화 과정을 컴퓨터 상에서 시뮬레이션 함으로써 복잡한 실세계의 문제를 해결하고자 하는 계산 모델이다. 일반적으로 유전자 알고리즘은 전역적(global) 최적해를 발견할 높은 가능성과 목적함수에 대한 수학적 제약이 거의 없기 때문에 최적화 문제, 적응적 탐색과 학습, 분류 시스템, 신경회로망의 학습 문제, 퍼지 규칙 베이스의 자동 생성 등의 여러 응용분야에 적용되고 있다[5,6,7].

퍼지 제어시스템은 퍼지 제어 규칙의 구성에 많은 시간과 경험이 필요하며, 제어 대상이 복잡하거나 특별한 환경일 경우 그 구성에 많은 어려움을 갖는다. 그러므로 퍼지 제어기 설계에 사용될 소속함수 관계, 입·출력 스케일링 팩터 등은 여러 번의 시행 착오를 거듭하면서 설정하여야 하는 문제점이 있다. 또한 이러한 제어방식으로는 구성된 제어시스템이 최적의 제어성능을 갖는지 보장할 수 없다.

본 논문에서는 서보 시스템을 위한 최적의 퍼지 제어기 설계에 대한 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 최적화 문제에 매우 효과적인 유전자 알고리즘을 이용하여 퍼지 소속함수의 관계 파라미터, 입·출력 스케일링 팩터를 자동 설정한다. 퍼지 소속함수는 인근 소속함수와 50[%] 겹침을 갖는 삼각형 형태를 사용하고 최소한의 파라미터를 조정하여 퍼지 소속함수의 관계를 최적화 할 수 있게 하였다. 제어기의 입력으로 이용되는 오차와 오차

의 변화량에 각각 곱해지는 입력 스케일링 팩터, 제어기의 출력에 곱해지는 출력 스케일링 팩터 역시 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화 할 수 있게 하였다.

제안된 제어방식의 유용성을 입증하기 위하여 단일 링크 매니퓰레이터를 제어대상으로 시뮬레이션 및 실험을 하여 일반적인 퍼지 제어방식과 제어성능 및 특징을 비교 검토한다.

## II. 유전자 알고리즘과 퍼지제어기

### 1. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 자연 선택과 유전학에 기반한 탐색 방법으로 풀고자하는 문제에 대한 가능한 해들을 염색체(chromosomes)로 표현한 다음 이들을 점차적으로 변형함으로써 점점 더 좋은 해들을 생성한다. 각각의 가능한 해를 하나의 개체(individual)로 보며, 이들의 집합을 개체군(population)이라 한다. 하나의 개체는 보통 한 개 또는 여러 개의 염색체로 구성되며 염색체를 변형하는 연산자들을 유전 연산자(genetic operators)라 한다. 이 알고리즘이 기존의 탐색 방법과 구별되는 점 중의 하나는 점에 의한 탐색이 아니라 군(population)에 의한 탐색이라는 것이다.

자연계에 있는 생물의 진화 과정에 있어서 어떤 세대(generation)를 형성하는 개체(individual)들의 집합, 즉 개체군(population) 중에서 환경에 대한 적합도(fitness)가 높은 개체가 높은 확률로 살아남아 재생산(reproduction)할 수 있게 되며, 이때 교배(crossover) 및 돌연변이(mutation)를 거쳐 다음 세대의 개체군을 형성한다[5,6].

재생산은 각각의 스트링이 가지는 적합도에 따라 그 스트링을 복제하는 과정이며 이 때 적합도 함수는 사용자가 최대화하기를 원하는 어떠한 형태의 함수도 가능하다. 이 과정은 적합도가 높은 개체일수록 다음 세대에 더 많은 자손을 가질 확률이 높음을 의미하며, 이는 주어진 환경에 더 잘 적응하는 개체만이 살아남는다는 자연 선택의 원리를 담고 있다.

자연계에서 자손은 부모 세대로부터 유전자를 이어받으면서도 부모와는 전혀 다른 형질을 가지

듯이 유전자 알고리즘에서도 이 과정을 모방한 것이 교배 과정이다. 이는 교배율(crossover rate : Pc)을 가지는 확률적 과정임에도 불구하고 재생산과 함께 쓰여 개체간의 정보를 교환하고 스트링의 좋은 부분을 결합하는 효과적인 수단이 된다. 즉 적합도가 높은 개체들을 빠르게 결합하여 현재 집단의 전역에 확산시키는 역할을 하며, 다른 최적화 알고리즘에 없는 유전자 알고리즘에서 가장 중요하고 독특한 과정이다.

재생산과 교배 과정은 집단의 개체들이 현재 가지고 있는 정보들을 이용해서 결합하고 탐색하는 것에 비해, 돌연변이 과정은 현재 집단에 존재하지 않는 새로운 정보를 제공해 준다. 이는 아주 낮은 돌연변이율(mutation rate : Pm)로 스트링의 한 비트를 0에서 1로 혹은 1에서 0으로 우연히 바꿈으로써 구현된다. 이 과정은 과거에 잃어버렸던 중요한 정보를 되찾을 수도 있으며 탐색의 방향이 지역적 극값으로 향할 경우 여기서 벗어나도록 도움을 준다. 자연계에서와 마찬가지로 돌연변이는 유전자 알고리즘에서 아주 드물게 일어나는 부가적인 역할을 하며 재생산 및 교배 과정과 함께 사용될 때 전역적 탐색 성능을 더욱 향상시킨다.

2. 퍼지제어기

일반적인 퍼지 제어 시스템의 구조는 그림 1과 같다.[1]

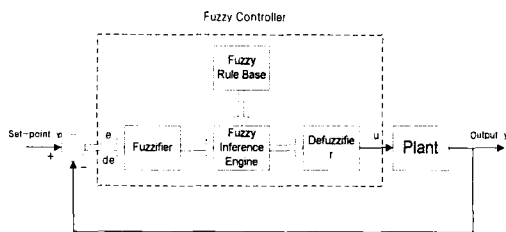


그림 1. 퍼지 제어 시스템의 블록 선도  
Fig. 1 Block diagram of fuzzy control system

그림 1에서 set-point  $y_d$  는 시스템의 제어를 위해 설계자에 의해 주어지는 목표값으로 시간의 따라 일정한 기준신호이며, output  $y$  는 제어대상

인 플랜트의 출력으로 센서에 의해 검출되어 입력 측으로 되먹임되어 오차신호  $e$  와 오차의 변화량  $de$  를 생성한다. 발생된 2개의 신호  $e$  와  $de$  는 퍼지제어기의 입력으로 사용되어 출력신호  $u$  를 발생시키며, 이 신호가 플랜트에 가해지는 제어입력신호로 식 (1)로 된다.

$$u = \frac{\sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \cdot s \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $n$  은 제어규칙의 수이고,  $w_i$  는 퍼지 제어규칙에 의한 적합도,  $z_i$  는  $i$  번째 제어규칙에서 추론된 후의 퍼지집합의 지지값(support),  $s$  는 scaling constant 이다. 그러나 그림 1과 같은 일반적인 퍼지 제어방식은 입력신호  $e$  와  $de$  를 정규화하는 과정 및 식 (1)의 출력신호의 발생과정에서 최적의 스케일링 팩터를 결정하여야 하며 일반적으로 시행착오법에 의한 방식을 사용하고 있다. 그러나 이러한 시행착오법에 의한 방식은 많은 시간적인 노력을 필요로 하며 결정된 스케일링 팩터가 최적의 값인지를 판정하기가 어렵다. 또한 입력신호  $e$  와  $de$  의 퍼지화 과정에서 사용되는 소속함수의 관계 파라미터의 결정도 시행착오법에 의해 결정되므로 최적의 파라미터를 결정하기가 어려운 실정이다. 따라서 본 논문에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 퍼지제어기의 입·출력 스케일링 팩터 및 소속함수의 관계 파라미터에 대한 최적값을 탐색하려한다. 이러한 최적의 파라미터를 갖는 제안된 퍼지제어기의 성능을 검토하고자 비선형 시스템인 단일 링크 매니플레이터를 제어대상으로 25개의 퍼지 제어규칙을 사용하여 기존의 49개의 퍼지 제어규칙을 사용한 제어방식과의 제어성능을 비교·검토한다.

Ⅲ. 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지제어기 설계

본 논문에서는 퍼지 제어기의 입·출력 변수의 scaling factor 및 퍼지 소속함수 관계의 최적화를 수행하기 위하여 유전자 알고리즘을 이용하는 설계 방식을 제안한다. 퍼지 추론을 위한 퍼지제어

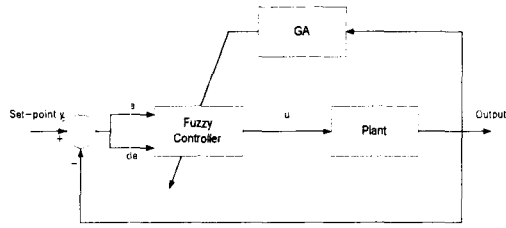


그림 2. 제안된 제어 시스템의 블록선도  
Fig. 2 Block diagram of the proposed control system

규칙은 기존의 잘 정립된 퍼지 제어 규칙을 이용한다[8]. 그림 2는 제안된 퍼지 제어기를 갖는 전체 제어시스템의 블록선도이다.

그림 2에서  $y_d$ 는 set-point로 원하는 기준값으로 시간의 변화에 대하여 일정한 값이고,  $y$ 는 시스템의 출력,  $u$ 는 퍼지제어기의 출력으로 Plant에 가해지는 제어입력신호이다. 퍼지제어기의 입력신호인  $e$ ,  $de$ 는 각각 오차와 오차의 변화량이다. 퍼지 제어기는 퍼지 제어규칙을 기반으로 퍼지화, 퍼지추론, 비퍼지화 과정을 거쳐서 시스템의 제어 입력신호로 사용된다. 시스템의 오차와 오차의 변화량을 퍼지화하는 과정에서 삼각형 형태의 퍼지 소속함수를 사용하고, 인근 소속함수와 50[%] 겹침을 갖는 퍼지 소속함수를 이용한다. 퍼지 규칙에서 사용된 언어 변수는 다음과 같다.

$$L = \{NB, NS, ZE, PS, PB\}$$

즉, NB(Negative Big), NS(Negative Small), ZE (Zero), PS(Positive Small), PB(Positive Big) 이고, 그림 3은 퍼지 언어 변수의 소속함수를 나타낸다.

그림 3에서 소속함수는 ZE 를 중심으로 {PS, PB}는 {NS, NB}와 좌우 대칭이 되며, 유전자 알고리즘을 이용하여 제어성능이 개선될 수 있도록 a값을 결정한다. 따라서 최적의 a파라미터를 결정하므로써 최적의 소속함수의 관계를 결정하게 된다. 그림 3의 소속함수는 추론전 오차와 오차의 변화량에 대한 소속함수이며, 추론 후 제어 입력 변수의 소속함수로 이용된다. 이러한 퍼지 언어 변수의 소속함수는 최대 1, 최소 -1의 값을 갖도록 정

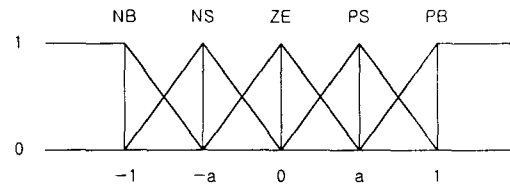


그림 3. 퍼지 언어 변수의 소속함수  
Fig. 3 Membership function of the fuzzy linguistic variables

규화 한다. 따라서 퍼지 제어기의 입력 변수인 오차와 오차의 변화량 및 퍼지 제어기의 출력 변수에 적절한 상수인 스케일링 팩터를 곱해 주어야 한다. 일반적으로 이러한 스케일링 팩터는 여러 번의 시뮬레이션을 통하여 결정하게 되는데, 본 논문에서는 이러한 스케일링 팩터를 유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 값을 탐색한다. 그러므로 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화 할 변수는 퍼지 소속함수의 a 및 오차에 대한 스케일링 팩터 b1, 오차의 변화량에 대한 스케일링 팩터 b2, 퍼지 제어기 출력 변수에 대한 스케일링 팩터 b3 모두 4개의 변수이다. a, b1, b2, b3의 값을 각각 8 비트씩 할당하여 이진 스트링으로 표현한 것이 그림 4이다.

32	31	...	25	24	23	...	17	16	15	...	9	8	7	...	1
b3				b2				b1				a			

그림 4. 파라미터의 이진 스트링 표현  
Fig. 4 Binary string representation of the parameter

서보 시스템의 목적은 최소한의 상승시간(rise time), 정정시간(settling time), 그리고 오버슈트(overshoot)를 가져야 하므로, 이 조건을 퍼지 제어기의 퍼지 규칙을 생성하는데 기준으로 사용한다. 즉 목적함수는 상승시간, 정정시간 그리고 오버슈트 시간의 합으로 표기된다.

그림 4에서 표현된 이진 스트링의 a, b1, b2, b3의 최적 탐색을 위하여 식 (2)의 적합도 함수를 설정하여 유전자 알고리즘을 수행한다.

$$Fitness(i) = \frac{1}{H+1} \dots\dots\dots (2)$$

단  $i$ 는 문자열을 나타내며  $H$ 는 상승시간, 정정시간 및 오버슈트 시간의 합으로 음수가 아니기 때문에  $H$ 가 최소 값일 때 최대의 적합도 함수를 얻을 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션

본 연구에서 제안한 제어방식의 타당성을 입증하기 위하여 식 (3)으로 표현되는 단일 링크 매니플레이터에 대하여 IBM-PC 586 상에서 C-언어를 사용하여 시뮬레이션하고 기존의 퍼지 제어 방식과의 특성을 비교 검토한다.

$$ml^2 \ddot{\theta} + \delta \dot{\theta} + mgl \cos(\theta) = \tau \dots\dots\dots (3)$$

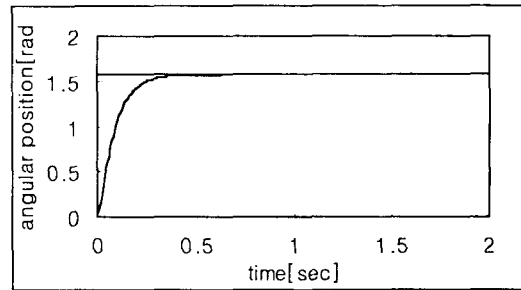
여기서  $\theta$ ,  $\dot{\theta}$ ,  $\ddot{\theta}$ 는 각각 매니플레이터의 각 변위, 각속도, 각각속도를 나타내고,  $\tau$ 는 매니플레이터의 관절에 가해지는 토크이며  $m$ ,  $l$ ,  $\delta$ ,  $g$ 는 각각 매니플레이터 링크의 질량, 길이, 마찰계수, 중력가속도이며,  $m=0.2[Kg]$ ,  $l=0.15[m]$ ,  $\delta=0.4[Kg \cdot m^2/s]$ ,  $g=9.8[m/s^2]$ 의 사양을 갖는다.

제어목적은 식 (3)의 단일 링크 매니플레이터 초기 각변위가 0 라디안 위치에 있고, 빠르고 정확하게 1.5718 라디안의 위치로 이동시키는 것이다. 이 목적을 수행하기 위하여 일반적인 제어기는 시행착오 과정을 통하여 얻은 표 1과 같은 49개의 퍼지 제어규칙을 사용한다.

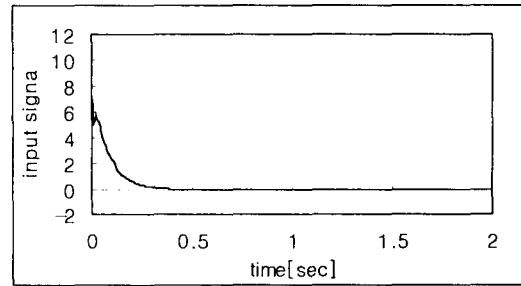
표 1. 퍼지 제어기에서 사용된 퍼지 제어 규칙  
Table 1. Fuzzy control rules used in the Fuzzy Logic Control

e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
de	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NM	NM	NS	ZE	PS	PM
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

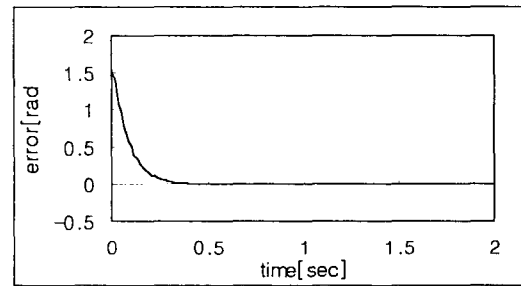
표 1의 퍼지 제어 규칙을 적용하여 시뮬레이션한 것은 그림 5와 같다.



(a) set-point 제어성능



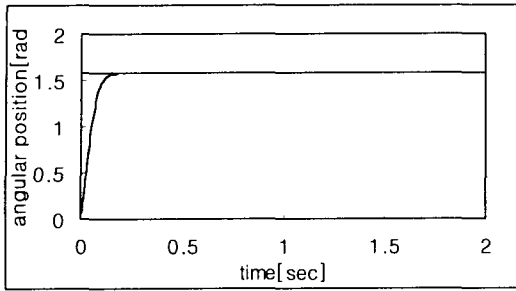
(b) 제어 입력 신호



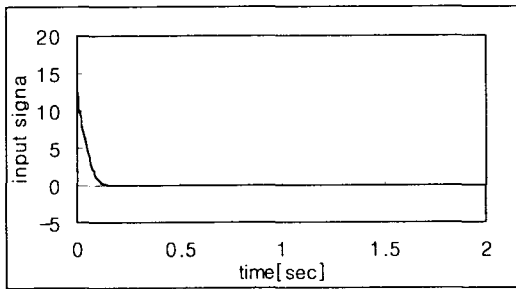
(c) 오차 특성

그림 5. 퍼지 제어시스템의 제어성능  
Fig. 5 Control performance of the fuzzy control system

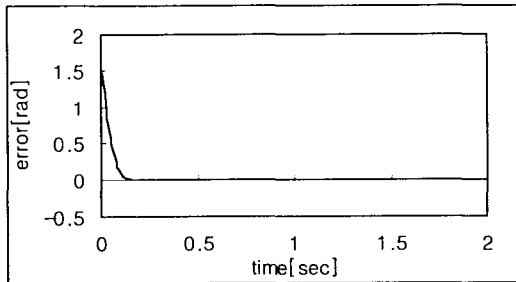
퍼지 제어기 파라미터  $a$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  각각의 파라미터를 8비트씩 32비트의 스트링으로 표현하고, 개체군은 100개, 교배 확률 0.9, 돌연변이 확률 0.01, 세대수를 500세대로 한 제안된 제어방식에 대한 시뮬레이션 결과는 그림 6이다.



(a) set-point 제어성능



(b) 제어 입력 신호



(c) 오차 특성

그림 6. 제안된 제어시스템의 제어성능  
Fig. 6 Control performance of the proposed control system

그림 5의 기존의 퍼지 제어 방식의 제어성능에 비하여 그림 6의 제안된 제어 방식은 퍼지 규칙의 감소에도 시간적으로 보다 빠르게 정상 상태에 도달하였다. 이러한 원인으로서는 기존의 퍼지 제어 방식에서는 여러번의 시행 착오를 거듭하면서 파라미터 값을 설정하였지만 설정된 파라미터가 최적의 파라미터가 아니라는 사실을 추측할 수 있다.

또한 제안된 제어 방식에서는 유전자 알고리즘을 사용하여 최적의 파라미터를 자동 추출할 수 있으므로 제어규칙의 수를 25개 만을 사용하였음에도 불구하고 49개의 제어규칙을 사용한 기존의 제어 방식보다 우수한 제어성능을 갖음을 확인하였다.

V. 실험 결과

표 2의 사양을 갖는 DC 서보 모터를 액츄에이터로 사용하여 단일 링크 매니플레이터를 제작하였다.

표 2. DC 서보모터의 사양  
Table 2. Specification of DC servo motor

Moment of inertia (motor plus gearbox)	$32 \times 10^{-6} \text{ Kg m}^2$
Back-emf constant of motor	$67 \times 10^{-3} \text{ Kg m}^2$
Torque constant of motor	$68 \times 10^{-3} \text{ V s rad}^{-1}$
Motor static friction torque	$10 \times 10^{-3} \text{ N m}$
Motor armature resistance	5.5 Ohms
Motor armature inductance	$7.2 \times 10^{-3} \text{ H}$
Gear ratio N	1/30

제작된 단일링크 매니플레이터에 대한 실험장치의 구성도는 그림 7과 같다.

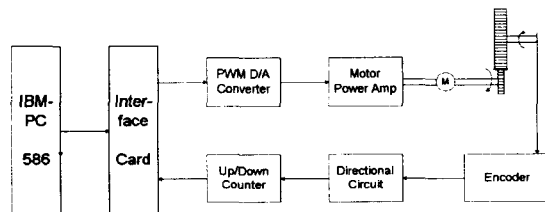


그림 7. 실험장치 구성도  
Fig. 7. Configuration of experimental setup

그림 7에서 인터페이스 카드는 2개의 8255를 사용하여 병렬 입출력 포트가 최대 6개, 하드웨어 인터럽트를 3개 사용가능토록 하였다. 프로그래머에 의한 I/O와 인터럽트방법에 의한 I/O방식을 선

택가능토록 하였으며, 어드레스 디코딩에 변화를 줄 수 있도록 설계하였다. 모터 구동부는 PWM 방식의 D/A 변환기와 구동 전력 증폭기로 구성하였다. 전력 증폭기에서 모터 구동시 생길 수 있는 노이즈가 전체회로에 전달되는 것을 방지하기 위해, 그리고 D/A 변환기의 부하를 감소시키기 위하여 D/A 변환기와 전력 증폭기 회로는 포토커플러로 연결하였다. PWM 방식의 D/A 변환기의 입력펄스 주파수는 4 [MHz], 데이터는 8 bit, 변환전압범위는 0~10 [V], 변환시간은 64[ $\mu$ s], 정밀도는 39.0625 [mV]로 설계하였다. 모터 구동 전력증폭기 회로는 FET를 사용하여 설계하였고, 프리휠링 다이오드를 사용하여 역기전력을 방지할 수 있도록 하였다. 매니플레이터의 각변위를 측정하기 위한 센서로는 1회전당 1000 [pulse]의 출력을 갖는 로타리 엔코더를 사용하였고, 이 엔코더로부터 발생하는 펄스의 방향을 판별하기 위해 D 플립플롭 2개와 2개의 AND 게이트를 사용하여 방향을 판별하는 UP/DOWN 펄스를 발생시키고, 이 방향을 판별하여 얻어진 UP/DOWN 펄스를 UP/DOWN 카운터에 연결하여 각변위를 측정하였다. 실험을 위한 하드웨어의 단순성을 기하기 위하여 각변위  $\theta$  만을 로타리 엔코더로 센싱하고, 각속도  $\dot{\theta}$  는 식 (4)로 계산한다.

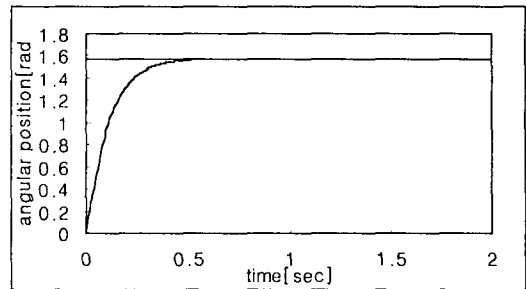
$$\dot{\theta} = \frac{\theta^{present} - \theta^{past}}{h} \dots\dots\dots (4)$$

여기서  $\theta^{present}$ ,  $\theta^{past}$  는 각각 엔코더로부터 센싱된 현재의 각변위와 바로 전에 센싱된 각변위이고, h는 step size를 나타낸다. 표 1과 같은 퍼지 제어 규칙을 사용하여 실험 한 결과는 그림 8이다.

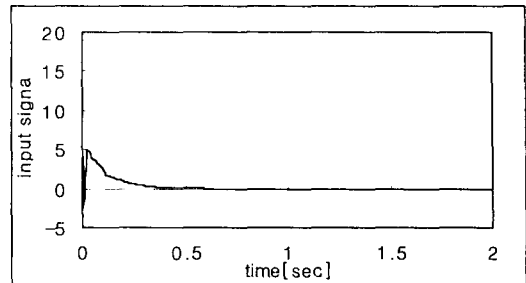
그림 8의 (a), (b), (c)는 각각 퍼지 제어기를 갖는 제어 시스템의 set-point 제어 성능, 제어 입력 신호, 오차 특성을 나타낸다. 적합도 함수가 최대화 되도록 퍼지 제어기 설계 파라미터 a, b1, b2, b3를 유전자 알고리즘으로 최적화 한 후 이 설계 파라미터를 퍼지 제어기에 설정하여 실험한 제안된 제어 시스템의 제어 성능은 그림 9이다.

그림 9의 제안된 퍼지 제어시스템의 제어 성능은 그림 8의 퍼지 제어시스템에 비하여 퍼지 제어

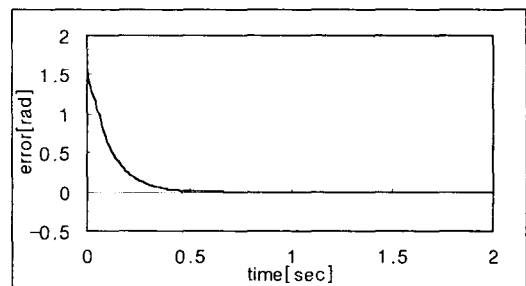
규칙의 감소에도 빠른 응답 특성을 나타내었다. 시뮬레이션 연구와 실험 결과를 종합하여 볼 때, 본 연구에서 제안한 유전자 알고리즘을 이용한 퍼지 제어시스템은 최적의 퍼지제어기의 파라미터를 자동 추출하므로써 시행 착오법에 의존하는 일반적인 퍼지 제어시스템 보다 빠른 응답 특성을 갖음을 확인하였다.



(a) set-point 제어 성능

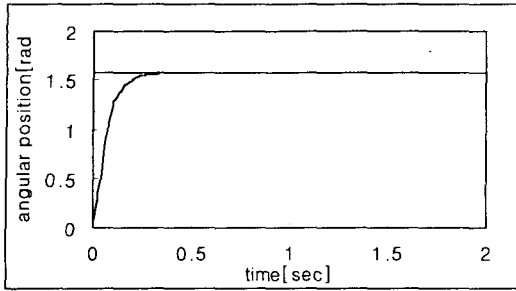


(b) 제어 입력 신호

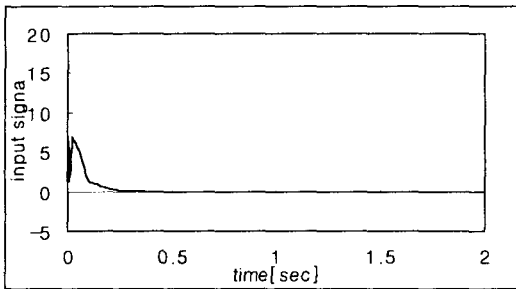


(c) 오차 특성

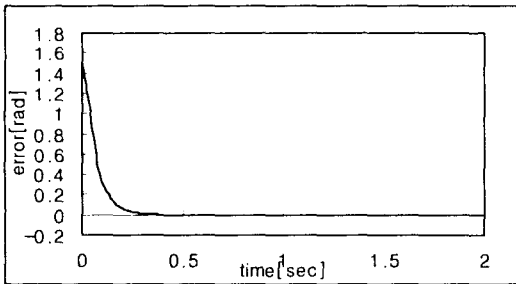
그림 8. 퍼지 제어시스템의 제어성능  
Fig. 8 Control performance of the fuzzy control system



(a) set-point 제어성능



(b) 제어 입력 신호



(c) 오차 특성

그림 9. 제안된 제어시스템의 제어성능  
Fig. 9 Control performance of the proposed control system

VI. 결 론

본 논문에서는 일반 퍼지 제어기에서 시행 착오 과정에서 설정하는 퍼지 소속함수의 관계 파라미터, 입·출력 스케일링 팩터를 유전자 알고리즘을 이용

하여 자동 설정하였다. 사용된 퍼지 소속함수의 관계를 최적화할 수 있도록 1개의 파라미터, 입·출력 스케일링 팩터 3개 모두 4개의 설계 파라미터 각각 8비트씩 32비트의 스트링을 구성하였다.

제안된 제어방식을 단일 링크 매니플레이터를 제어대상으로 시뮬레이션 및 실험한 결과 제안된 제어방식은 기존의 제어방식 보다 빠른 응답특성을 갖음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] R.JHONSTON , " FUZZY LOGIC CONTROL ", GEC JOURNAL OF RESEARCH, VOL. 11 ,NO.2, PP.99-109 , 1994 .
- [2] HAO YING , " Practical Design of Nonlinear Fuzzy Controllers with Unknown Mathematical Models " , Automatica , VOL. 30, NO.7, PP.1185-1195 , 1994 .
- [3] Ming Kun Gu , et al., "A Cascade Architecture Of Adaptive Fuzzy Controllers For Inverted Pendulms " , FUZZ · IEEE , VOL 2 ,PP.1514-1519 , 1994.
- [4] Y. F. Li, C. C. Lan, "Development of Fuzzy Algorithms for Servo Systems, " IEEE Control Syst. Mag., pp.65-72, 1989.
- [5] Holland, J.H., "Adaptation in Natural and Artificial Systems," University of Michigan Press, 1975.
- [6] Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning," Addyson-Wesley, 1992.
- [7] Man, Tang, Kwong, Halang, "Genetic Algorithms for Control and Signal Processing," Springer, 1997.
- [8] Yong-Gu Lee, Dong-Seol Son and Ki-Hwan Eom, "Hybrid Fuzzy Control Method for Motion Control", 1st International Workshop on Advaced Mactronics, pp.92-95, 1995.12.1





손 동 설(Dong-Seol Son)  
1978년 2월 동국대학교 전자공  
학과(공학사)  
1981년 2월 동국대학교 전자공  
학과(공학석사)  
1994년 2월 동국대학교 전자공  
학과(공학박사)

1989년 3월~1999년 현재 유한대학 전자과 교수

\* 관심분야 : DSP 및 인공지능



엄 기 환(Ki-Hwan Eom)  
1972년 2월 동국대학교 전자공  
학과(공학사)  
1986년 2월 동국대학교 전자공  
학과(공학박사)  
1978년 3월~1994년 유한대학  
전기공학과 교수

1994년 3월~1999년 현재 동국대학교 전자공학과  
교수

\* 관심분야 : 인공지능 및 자동화 시스템 설계



이 옹 구(Yong-Gu Lee)  
1987년 2월 동국대학교 전기공  
학과(공학사)  
1993년 2월 동국대학교 전기공  
학과(공학석사)  
1997년 2월 동국대학교 전자공  
학과(공학박사)

1996년 3월~1998년 2월 유한대학 전자과 겸임전  
임강사

1998년 3월~1999년 현재 한림정보산업대학 전자  
통신과 전임강사

\* 관심분야 : 신경회로망, 퍼지 논리 시스템, 유전  
자 알고리즘, 시스템 식별 및 제어