

지능제어기 보상을 위한 유전 알고리즘 이용에 관한 연구

A Study on the Use of Genetic Algorithm for Compensate a Intelligent Controller

신위재*, 문정훈**

Wee-Jae Shin*, Jeong-Hoon Moon**

요 약

퍼지제어, 신경망, 유전알고리즘은 시스템의 지능을 좀 더 높게 만들기 위한 알고리즘들이다. 본 논문은 원하는 응답을 얻기 위해 유전알고리즘을 사용해서 퍼지제어기를 최적화시켰다. 또한, 보상된 퍼지제어기는 두 개의 제어규칙을 갖는다. 하나의 제어규칙은 오버슈트와 과도응답영역에서 일어나는 상승시간을 감소시키기 위해 사용하고 다른 하나는 정상상태오차를 줄이고 수렴영역에서의 수렴을 빠르게 가져가기 위해 사용된다. 유전알고리즘 제어기는 두 개의 퍼지 룰 베이스의 최적한 교체시기를 찾기 위해 사용하며 퍼지-유전알고리즘 제어기는 재생산, 교배와 변이의 과정을 갖는다. 그리고 유압서보 모터 제어시스템에 적용하여 제안한 알고리즘을 실험하였다. 실험 결과 보상된 FUZZY- GA제어기가 두 개의 룰 베이스를 갖는 퍼지제어 기술에 비해 좋은 제어성능을 가짐을 관찰하였다.

Abstract

The fuzzy control, neural network and genetic algorithm(GA) are algorithms to make the intelligence of system more higher. In this paper, we optimized the fuzzy controller using a genetic algorithm for desire response. Also a compensated fuzzy controller has dual rules. One control rule used to decrease the overshoot and rise time occurring in transient response region and another fuzzy control rule use to decrease the steady state error and rapidly to converge at the convergence region. GA is necessary to optimal the exchange time of the two fuzzy control rule base. Fuzzy- GA controller have a process of reproduction, crossover and mutation and we experimented by hydraulic servo motor control system. We could observe that compensated Fuzzy - GA controller have good control performance compare to the fuzzy control technique have two rule base table .

Keywords : Genetic algorithm(GA), Two fuzzy control rules, Hydraulic servo motor, Fuzzy-GA controller

I. 서 론

퍼지 제어기의 핵심적인 부분은 일련의 언어적 형식의 제어규칙이며, 여기에는 퍼지 연관관계가 포함되어 있고, 퍼지 합성 규칙에 의해서 제어입력이 생성된다. 결국 퍼지 제어기는 전문가의 제어지식을 언어적 형태로 기술한 제어규칙대로 제어기가 동작하도록 역할을 바꾸어 주는 기능을 하는 것이다. 일반적으로 퍼지 제어기는 시스템의 특성이 복잡하여 기존의 정량적인 방법으로는 해석할 수 없거나 얻어지는 정보가 정성적이고, 불확실한 경우에 기존 제어기들보다 우수한 제어 결과를 나타내는 것을 알 수 있다. [1][2] 하지만 기본 퍼지 제어규칙보다 더 나은 성능을 갖

도록 하기 위해서는 기본 퍼지 제어규칙을 수정할 필요가 있다. 이러한 수정을 할 경우 상승시간을 줄이기 위해서는 최대 오버슈트가 증가하는 것을 감수해야 하거나 오버슈트를 감소시키기 위해 상승시간이나 정정시간의 증가를 감수해야 한다. 따라서 본 논문에서는 상승시간과 정정시간을 감소시키면서 오버슈트를 감소시키기 위해서 두 개의 퍼지 제어규칙을 작성하고[5][6] 유전 알고리즘을 이용하여 적절한 교체시기를 선택하고[3][4] 이를 유압 서보 모터에 적용하였다.

II. 퍼지-유전알고리즘 제어 이론

1. 퍼지 제어 기법

그림 1은 제어 규칙 Rule1과 Rule2를 가지는 퍼지 제어기의 구조를 나타내고 있다. Rule1은 상승시간을 줄이기 위한 규칙이고, Rule2는 오버슈트를 감소시키기 위한 규칙이다. $e(k)$ 는 오차로써

* 경남대학교 전자공학과 ** (주)우레아텍

접수일자 : 2009. 1. 8 수정 완료 : 2009. 1. 27

계재확정일자 : 2009. 1. 28

**이 연구결과는 2007학년도 경남대학교 학술진흥 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

$$e(k)=r(k)-y(k) \tag{1}$$

이고, 오차변화율 $\Delta e(k)$ 과 제어대상 입력 $u(k)$ 은 각각 식(2)와 식(3)이 된다.

$$\Delta e(k)=e(k)-e(k-1) \tag{2}$$

$$u(k)=u(k-1)+\Delta u(k) \tag{3}$$

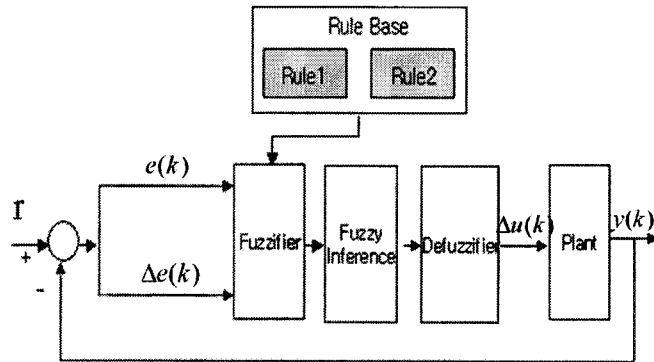


그림 1. 이중 제어규칙을 갖는 퍼지 제어기 구조
Fig. 1. A structure of fuzzy controller using dual control rules

본 논문에서 사용된 입출력변수와 언어변수에 대한 퍼지 제어규칙은 다음과 같다.

“ IF e is Be AND Δe is Bde THEN Δu is Bu ”
여기서,Be,Bde,Bu는 언어변수를 나타내는 Fuzzy set 언어변수의 소속함수에 가우스 함수를 사용하였으며 식(4)에서 X^* 는 가우스 함수의 중심을 나타내고 σ 는 가우스 함수의 폭을 결정한다. 그림 2,그림 3 는 각각의 입력변수의 소속함수 형태를 보여준다.

$$\exp\left\{-\frac{1}{2}\left(\frac{X-X^*}{\sigma}\right)^2\right\} \tag{4}$$

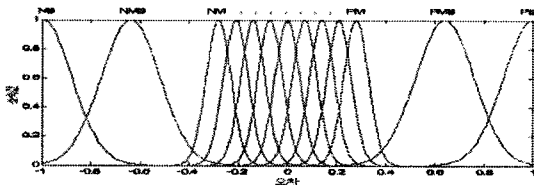


그림 2. 오차(e)의 소속함수
Fig. 2. A membership function of error(e)

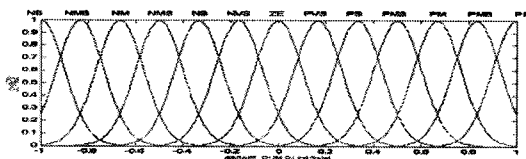


그림 3. 플랜트의 입력변화분(Δu)의 소속함수
Fig. 3. A membership function of rate of change of input of plant

2. 유전 알고리즘

유전 알고리즘은 각각의 자손은 부모해로부터 재생산

(Reproduction), 교배(Crossover),변이(Mutation)의 과정을 거쳐 생성된다. 이러한 과정을 반복하여 의미 있는 값을 지니는 해를 찾거나 최선의 해를 찾는다.

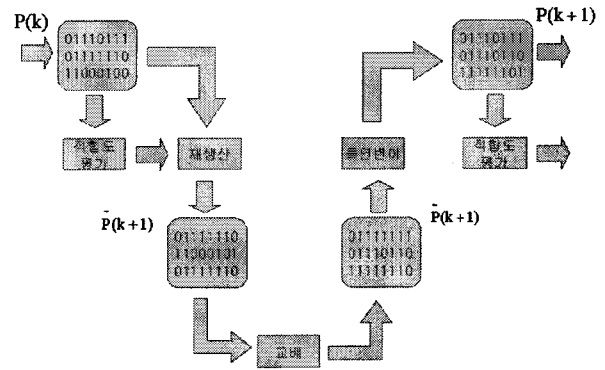


그림 4. 유전알고리즘의 구조
Fig. 4. structure of genetic algorithm

2.1 염색체

유전 알고리즘은 후보 해들의 고정된 크기로 이루어진 모집단을 반복적으로 처리하며 각 후보 해는 생물학적 체계에서 유추한 염색체라 불리는 고정된 크기의 문자열에 의해 표현된다. 각 염색체는 목적함수에 의해 평가된 적합도 값을 가지고 있으며, 한 염색체의 적합도는 그들이 생존하고 자식을 생산할 수 있는 능력을 결정한다. 즉, 적합도 이상의 값을 갖는 개체는 자손을 만들기 위해 살아남지만 그렇지 못한 개체는 도태된다. 각 염색체는 유전자의 일련으로 구성되어 있으며, 일반적으로 그림 5와 같이 비트들의 일련으로 표현된다. 본 논문에서의 염색체의 구조는 퍼지룰이 교체되는 시기의 리스트들로 구성되었다.

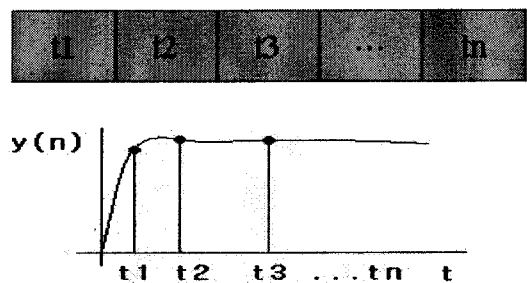


그림 5. 룰 교체시기를 위한 염색체
Fig. 5. chromosome for rule change time

대부분의 유전알고리즘들은 자연 진화과정을 충실히 반영하기 위해 두 개의 공간, 즉 부호공간(coding space)과 해공간(solution space)상에서 동작되도록 고안되어 왔다. 유전 연산자들은 이진스트링을 기반으로 부호공간상에서 동작되고 개체의 능력을 평가 하는 적합도 계산은 파라미터를 기반으로 해공간에서 이루어진다. 식(5)는 해공간에서 부호공간으로 사상시키는 부호화 함수를 나타내며 식(6)은 부호공간에서 해공간으로 사상시키는 복호화 함수를 나타낸다.

$$u_j = \frac{2^{l_j}-1}{x_j^{(U)}-x_j^{(L)}}(x_j-x_j^{(L)}) = \Theta_j^{-1}(x_j) \quad (1 \leq j \leq n) \quad (5)$$

변수 x_j 를 선형적으로 $[0, 2^{l_j}-1]$ 사이의 정수 u 로 사상

$$x_j = x_j^{(L)} + \frac{x_j^{(U)}-x_j^{(L)}}{2^{l_j}-1}u_j = \Theta_j(u_j) \quad (1 \leq j \leq n) \quad (6)$$

각 변수에 대응되는 스트링을 10진수화한 u_j 를 구간

$[x_j^{(L)}, x_j^{(U)}]$ 사이의 실수 x_j 로 사상

$[x_j^{(L)}, x_j^{(U)}]$ 는 j 번째 변수의 Lower 및 Upper

2.2 재생산

재생산은 만들어진 해들 중에서 가장 우수한 해들을 골라 이를 그대로 자식 세대에 물려주는 것이다. 이것의 의미는 좋은 형질을 그대로 보존하는 것에 있다. 재생산 단계에서는 얼마만큼 자식세대에게 물려 줄 것인가를 결정해야 한다. 그리고 이 비율에 따라서 세대가 진화하면서 생기는 해의 수렴도가 변화가 되는데 재생산 비율이 높을 경우 빨리 안정된 수렴을 하지만 해가 부분 극점에 수렴하는 경우도 있다. 반면 재생산 비율이 낮을 경우는 좀 더 다양한 해를 탐색하기 때문에 더 나은 질의 해를 제공할 수 있으나 해의 수렴속도는 떨어지며 일반적으로 이 값은 가변적으로 쓰일 수도 있다. 즉 세대 초기에서는 재생산 비율을 크게 하여 수렴을 빨리 하도록 하고 어느 정도 수렴이 이루어졌을 경우에는 이 비율을 낮게 줄여 다른 가능성을 탐색하는 것이다. 본 논문에서는 재생산하기 위한 개체를 선택하기 위해 룰렛 휠 선택방법(적합도 비례 선택 방법)을 사용하였다. 재생산하기 위해서 개체들이 선택되어질 횟수의 숫자는 개체의 적합도를 개체 집단의 평균 적합도로 나눈 것이다. 적합도를 구하기 위한 목적함수는 식(7)이며, 각 염색체에 대한 응답의 오차제곱의 총합을 나타내는 함수를 사용하였다. 오차의 총량이 적을수록 적합도 값을 크게 하기 위해 식(8)을 사용하였고 Υ 는 는 적합도의 값이 항상 0보다 크거나 같게 하는 상수이다. 각 염색체에 대한 적합도를 $f(s)$ 라 하면 개체집단의 총 적합도는 식(9)와 같으며 개체의 기대치는 식(10)과 같다.

$$F(x) = \sum_{n=1}^N (r(n) - y(n))^2 \quad (7)$$

$$f(s) = \frac{1}{F(x) + \Upsilon} \quad (8)$$

여기서 선택될 확률이 가장 높은 것은 면적이 가장 넓은 부분이 된다. 여기서 면적은 적합도라 할 수 있다. 즉 면적이 가장 큰 P5가 적합도가 가장 높고 룰렛을 돌렸을 때 선택될 확률이 가장 높다는 것을 의미한다. P5의 기대치는 식(15)를 사용하여 전체 P1에서 P9까지의 적합도의 합중의 P5의 적합도가 된다

$$f_{sum}(k) = \sum_{i=1}^N f_i(k) \quad (9)$$

$$P_s(s_i(k)) = \frac{f_i(k)}{f_{sum}(k)}$$

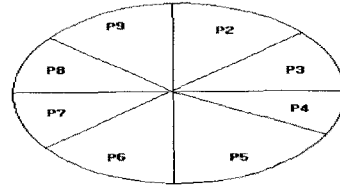


그림 6. 룰렛 휠
Fig.6. Roulette Wheel

2.3 교배

교배 연산은 우수한 두 형질의 염색체를 교배했을 때 역시 우수한 형질의 결과가 나올 것이라는 가정에서 이루어지는 연산이다. 즉 우수한 형질을 공유함으로써 좀 더 우수한 형질을 찾아내고자 하는 시도이다. 교배 연산에서는 부모의 선택뿐만 아니라 어떠한 부분을 교배할 것인가가 중요하다. 본 논문에서는 대표적인 교배연산인 일점 교배 연산을 하였으며 길이가 n 인 일차원 문자열로 된 염색체 상에서 일점 교배로 자르는 방법의 총 수는 $n-1$ 가지이다.

2.4 돌연변이

돌연변이 연산자는 기존의 형질과는 다른 새로운 형질을 만들어서 탐색 공간을 넓히려는 시도이다. 돌연변이는 해가 어느 정도 수렴되었을 때 중요하게 작용하는 연산이다. 돌연변이가 이루어질 비트는 임의의 확률로 선택되며, 1->0, 0->1로 바뀌면서 돌연변이가 이루어진다.

III. Rule Table 교체시기

탐색의 후반에 개체들이 유사해진다. 마지막 세대에서의 각 개체들은 적합도가 높은 염색체로 선택되어지므로 중복성을 가지는 것이다. 이 개체들을 선택하여 복호화하며 이를 사용하여 이중제어규칙을 가지고 있는 퍼지제어기의 룰 교체시기를 결정한다.

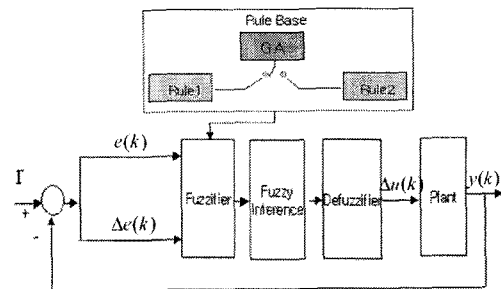


그림 7. 제안한 유전알고리즘 구조를 갖는 퍼지시스템
Fig. 7. Proposed Fuzzy system with GA structure

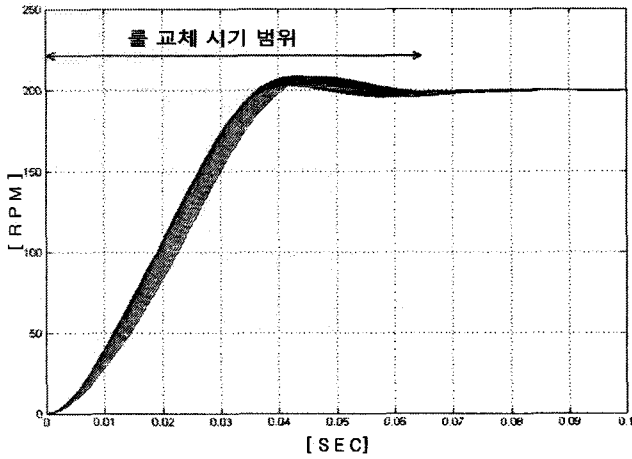


그림 8 룰 교체시기 범위

Fig. 8. A Category of the rule change time

그림 7은 기존의 연구에서 계단응답의 특징점에서 교체 사용한 2개의 퍼지 룰 베이스의 최적의 교체시기를 찾기 위해 유전알고리즘을 사용한 퍼지-유전알고리즘 제어계통을 보였다.

그림 8은 화살표 부분의 범위 안에서 룰을 교체 할 경우 모든 교체시기에 따른 응답특성을 나타낸다. 즉 위 그래프들 중에서 적합도가 가장 높은 하나의 응답특성을 탐색하는 것이 본 알고리즘의 목적이다. 시뮬레이션은 1ms 간격으로 룰 교체시기를 나누었고 0에서 0.064초까지의 범위 안에서 룰을 교체 할 수 있게 하였다. 적절한 룰 교체시기를 위하여 적합도가 가장 높은 특성을 결정하는 방법은 응답특성에 있어서 오차의 총합이 가장 적은 것이 적합도가 가장 높은 것으로 가정한다. 즉 그림 9에서 화살표로 표시된 두 영역중에서 오른쪽 면적이 높은 적합도를 나타낸다. 그림 10처럼 무작위로 룰 교체시기를 나타내는 초기집단을 생성하고 그림9를 토대로 적합도를 계산하며 유전 알고리즘을 실행하면 세대가 지날수록 어떤 한시기로 수렴하는 것을 그림11에서 알 수 있다.

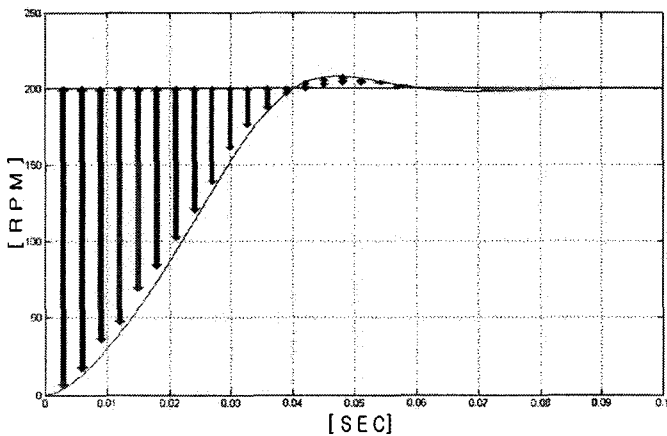


그림 9 적합도 계산을 위한 오차영역

Fig.9. An error area for calculation a fitness degree

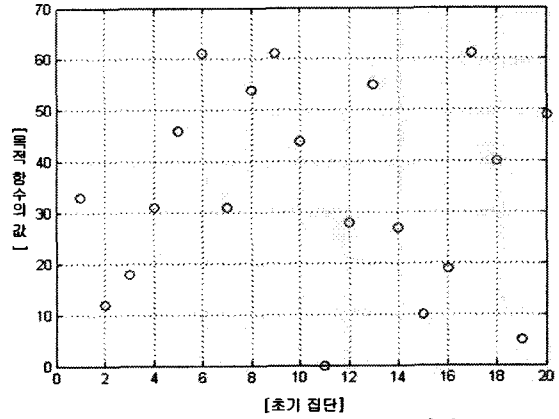


그림 10. 염색체의 초기 집단

Fig. 10. Initial group of a chromosome

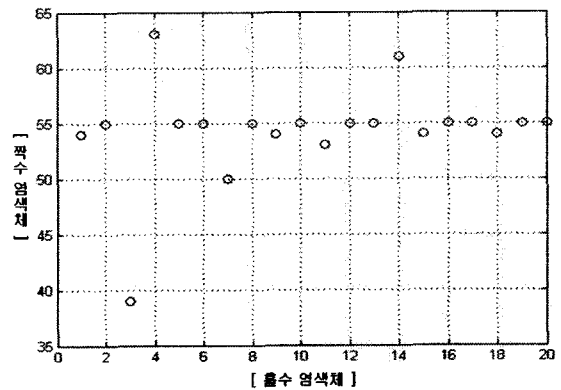


그림 11. 염색체의 80세대 집단

Fig.11. 80 generation group of a chromosome

그림 12는 80세대까지 룰 교체시기를 나타내는 유전자들의 변화 추이를 나타낸 그림으로 세대가 지날수록 어느 한 시기로 수렴함을 볼 수 있다.

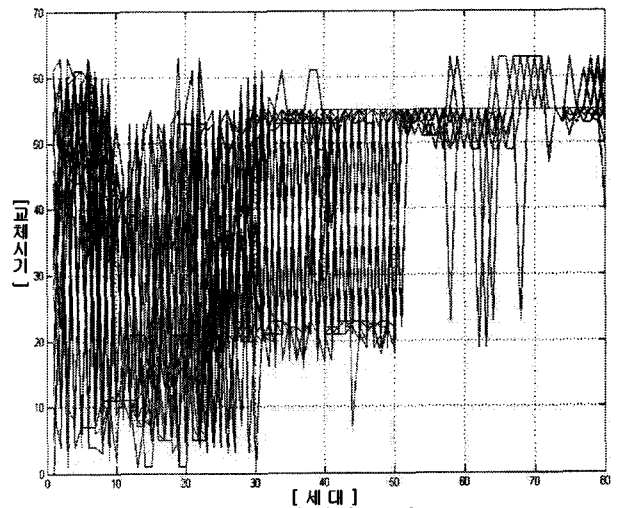


그림 12. 유전자 변화

Fig.12. Genetic variation

그림 13은 최종적으로 탐색된 룰 교체 시기와 룰 교체 시

기중 비교적 rule2가 빨리 적용된 경우와 비교를 해보았다. 최적화된 룰교체 시기를 적용한 경우가 상승시간이 빠르고 오버슈트가 작은 그래프이다. 상승시간이 빠른것은 rule1이 상승시간을 빠르게 하기 위한 rule이기 때문에 그 영향으로 상승시간이 빠르게 나타났고 적정시간에 룰을 교체하여 오버슈트를 줄였음을 나타낸다. 그러나 rule2가 빨리 적용된 경우에는 오버슈트가 비교적 높아 rule2의 규칙을 수정할 필요가 있으나, 유전알고리즘 상에서 오버슈트 부분도 고려되어서 교체하였기 때문에 유전알고리즘을 적용한 경우의 성능을 볼 수있게 두 그래프를 비교하였다.

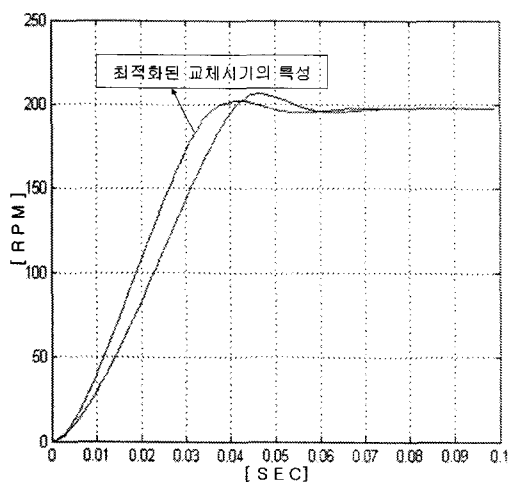


그림 13 응답특성 1
Fig.13. Response a characteristic 1

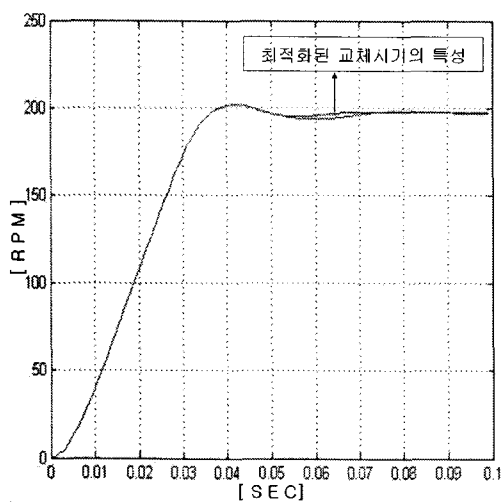


그림 14 응답특성 2
Fig.14. Response a characteristic 2

그림 14는 최종적으로 탐색된 룰 교체 시기와 룰 교체 시기중 비교적 rule2가 늦게 적용된 경우와 비교 해 보았다. 그림 10에서 언더슈트 후 설정값에 더 빨리 접근 하는 것

이 최적화된 교체시기를 가지는 경우이며, rule2에 의하여 나타난 성능이다.

IV. 유압 서보 제어 시스템에 적용

그림15,16은 DSP 프로세서로 유압 서보 모터의 속도제어를 위한 구성도와 실험 장치이고 설정치에 대한 응답특성을 그림17,18,19,20에 각각 보였다.

여기서, PC1은 ADSP-21020 계열 소프트웨어를 사용하여 C언어로 작성한 뒤 DSP 어셈블러언어로 번역하고 실행파일을 생성시켜 DSP 보드로 다운로드하여 알고리즘을 수행한다. PC2는 실험결과 기록용. D/A는 AD669와 A/D는 Lab-PC-1200/AI를 사용한다.

F/V Conv는 증분 광부호기의 출력펄스를 주파수에 비례하는 전압으로 변환시키며 F/V변환소자는 TC9400을 사용한다

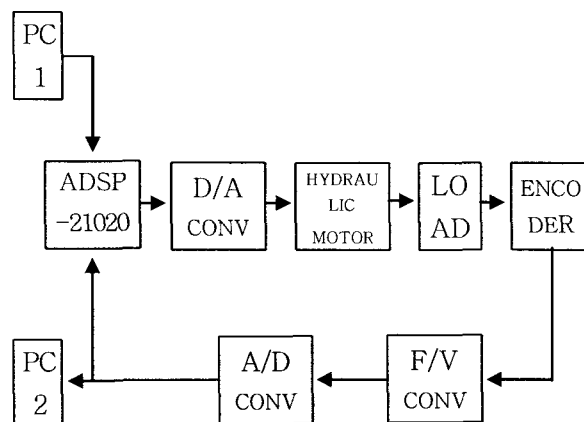


그림. 15 실험장치의 구성도.
Fig.15. Structure of experimental set

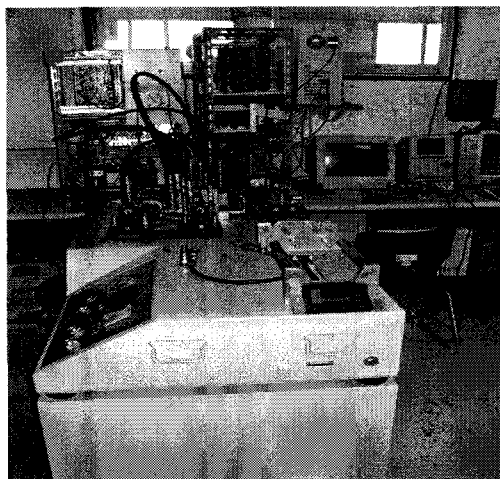


그림. 16 전체 실험장치.
Fig.16. Overall experimental set

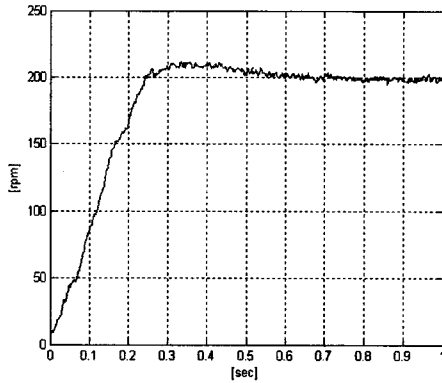


그림17. 200rpm에서 이중 Rule Table 퍼지제어기의 속도 응답

Fig.17. Speed characteristic of Fuzzy controller with Dual rule table(rpm200)

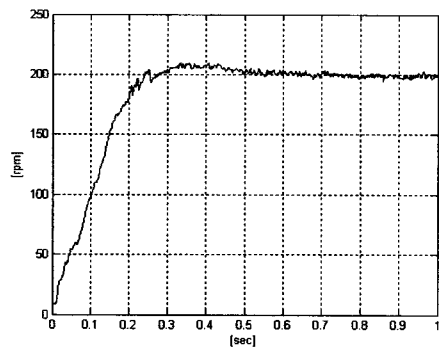


그림18. 설정치 200rpm에서 GA를 적용한 퍼지제어기의 속도 응답

Fig.18. Speed characteristic of Fuzzy controller with GA(rpm200)

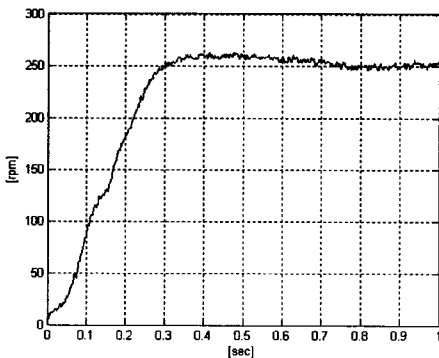


그림19. 250rpm에서 이중 Rule Table 퍼지제어기의 속도 응답

Fig.19. Speed characteristic of Fuzzy controller with Dual rule table (rpm250)

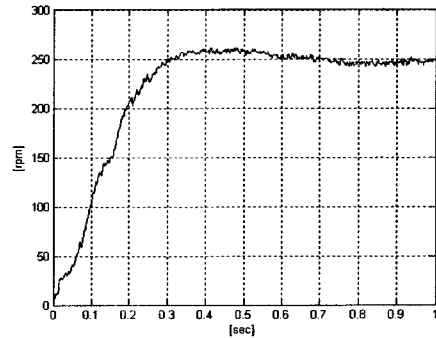


그림20. 설정치 250rpm에서 유전알고리즘을 적용한 퍼지제어기의 속도 응답 확대.

Fig.18. Speed characteristic in of Fuzzy controller with GA (rpm250)

표 1. 성능지수의 비교.

Table 1. A Comparison of Performance Index

	설정치 (rpm)	상승시간 (ms)	정정시간 (ms)	최대 오버슈트 (%)
이중 제어규칙 퍼지제어기	100	356.6	389.7	4.627
	150	440.1	568.6	4.476
	200	190.9	229.1	4.921
GA 구조를 갖는 퍼지제어기	100	251.0	380.9	4.852
	150	437.6	498.7	4.483
	200	182.7	212.0	4.972
	250	218.7	269.9	4.520

그림17과 그림18은 설정값 200 rpm에서 유압서보모터의 속도응답 특성을 통해 두 제어기의 제어성능을 비교하였다. GA 구조를 갖는 퍼지 제어기는 상승시간이 크지만 정정시간이 작았고 오버슈트가 없었다. 그림 19와 그림 20은 설정값 250rpm일 때의 속도 응답특성이다. 두 제어기 모두 오버슈트는 일어나지 않았으며 상승시간과 정정시간이 GA를 적용한 경우가 약간 작았다. 각 속도별 출력특성을 보았을 때 공통적인 특징은 GA를 적용한 경우 이중 룰 테이블을 갖는 퍼지제어기보다 오버슈트가 줄어서 더 나은 응답특성을 나타냄을 알 수 있다. 정상상태 응답에서 주기적으로 진동하는 리플은 유압서보모터와 부하를 연결하는 축이 스프링 커플러에 의해서 연결되어 있고 다른 끝에는 티타늄 커플러에 의해서 엔코더가 속도를 감지를 위해서 연결되어 있으므로, 유압모터와 축의 관성이 스프링의 진동을 흡수하지 못하여 생성된다. 즉 리플이 주기적으로 좀 더 크게 나타나는 것은 스프링 커플러에 의한 것이고, 큰 리플 속에 포함된 작은 리플은 제어기에서 디지털 회로가

동작할 때 나타나는 스위칭 잡음으로서 DSP 보드가 제어 알고리즘을 수행할 때 DSP 프로세서에 의해서 유도되는 잡음이다. 실험에서 리플의 크기는 제안한 알고리즘의 정확한 성능지수를 구하는 데 어려움을 주지만 정상상태 영역에서의 리플을 측정할 결과 그 오차가 $\pm 5\%$ 를 넘지 않는 것을 확인 하였다.

V. 결론

본 논문에서는 이중 룰 베이스를 사용한 제어기의 응답 특성을 개선하기 위해 각각의 룰 베이스 교체시기에 따라 제어대상의 응답특성이 달라진다는 점에 착안하여 최적한 교체시기를 찾기 위해 유전알고리즘을 사용하여 제어기를 설계하였다. 그리고 유압서보 시스템의 실험을 통해 스텝 응답의 특징점에서 룰 교체시기를 잡은 이중 룰 베이스 퍼지제어기와 유전알고리즘으로 교체시기를 결정한 Fuzzy-GA제어기의 성능을 비교해 본 결과 150rpm과 200rpm의 정정시간이 단축됨을 확인하였다

참 고 문 헌

- [1] E. H. Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", Int. J. Man-Machine Studies, Vol. 7, No. 1, 1975.
- [2] C. C. Lee, "Fuzzy logic in control systems : fuzzy logic in controller, Part I", Part II", IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Vol. 20, No. 2, pp. 404-435, 1990.
- [3] Zbigniew Michalewicz, "Genetic Algorithms", Springer-Verlag, pp. 89-123, 1996.
- [4] Melanie Mitchell, "An Introduction to Genetic Algorithms", Massachusetts Institute of Technology, 1997.
- [5] 박광목, "이중 제어규칙을 갖는 퍼지 제어기설계와 구현", 석사학위논문, 경남대학교 대학원 전자공학과, pp. 18-22, 1999
- [6] 신위재, 문정훈, "유압서보모터를 위한 $e-\Delta e$ 위상평면을 이용한 이중 퍼지 로직 제어기 설계", 신호처리.시스템 학회 논문지. Vol.8, No.3, pp222-226, 2007



신위재 (Wee-jae Shin)

1983년~현재 경남대학교 전자공학과 교수
 2000년 현재한국신호처리·시스템학회
 수석 부회장
 1998년 일본 Kyushu 대학 객원교수
 1998년~1999년 대한전자공학회 학술위원
 1996년~1997년 대한전자공학회부산경남지부장

1989년 동아대학교 전자공학과(공학박사)
 1979년 동아대학원 전자공학과(공학석사)
 1975년 동아대학교 전자공학과 졸업
 관심분야 : 시스템지능제어 및 자동화, 신호처리



문정훈 (Jeong-hoon Moon)

2005년 경남대학교 전자공학과 졸업
 (공학사)
 2007년 경남대학교 전자공학과
 (공학석사)

현재~ (주)우레아텍 부설연구소 연구원
 관심분야: 인공지능, 위치인식, 유압시스템, 지능로봇