

보상형 퍼지 제어기 설계에 관한 연구

추연규* · 탁한호*

A Study on the Design of Compensated Fuzzy Controller

Yeon-Gyu Choo · Han-Ho Tack**

Abstract	4. 시뮬레이션
1. 서론	5. 결론
2. PID 제어기	참고문헌
3. 보상형 퍼지 제어기 설계	

Abstract

In servo-system which need fast response and accuracy, PID controller has a good steady-state performance, but has a poor transient response performance causing a load be changed. Compared to these features, FLC(Fuzzy Logic Controller) has a good transient response performance for changed load, but has a little poor steady-state performance. In this paper, Compensated Fuzzy Controller which consists of PID controller and FLC is proposed to modify these disadvantages and is examined through simulation to evaluate its functions.

1. 서론

퍼지 제어기는 불확실한 왜란 특성을 감소시키기 위해 마치 인간과 같은 결정형태로 제어기를 구성할 수 있다. 인간의 직관 및 전문가의 경험적 지식과 종래의 제어기법을 결합한 퍼지 제어기는 수학적 모델이나 파라미터 값을 알지 못하더라도 제어가 가능하다. 그러나 퍼지 제어기를 사용할

경우 PID 제어기 등의 고전적인 제어기에 비해 비선형성 시스템에서는 유연한 제어성능을 발휘하고 있으나, 갑작스런 제어환경의 변화에 대해서는 초기에 설정된 규칙의 선정 및 제어변수의 양자화 Level 선정 등에 있어서 문제점이 지적되고 있다.^[1]

속응성과 정확성이 요구되는 서보 시스템을 PID 제어기를 사용하는 경우 정상상태편차는 적

* 진주산업대학교 전자공학과

지만 부하변동에 의한 과도응답이 문제가 된다.^[2] 이에 비해 퍼지 제어기는 부하변동에 대해 과도특성은 양호하지만 목표치에서 오차가 존재하는 결점이 있다.^[3] 이와 같은 단점을 보완하기 위해 PID 제어기와 퍼지 제어기를 결합한 보상형 퍼지 제어기를 제안하였다. 본 논문에서 제안된 제어기의 성능을 평가하기 위하여 시뮬레이션을 통해 단순 PID 제어기와 비교 검토하였다.

2. PID 제어기

연속시간 제어시스템의 설계에 널리 이용되고 있는 제어기의 하나는 PID 제어기이다. 여기서 PID란, 비례(Proportional), 적분(Integral), 미분(Derivative)제어를 의미한다. 여기서 적분제어의 기능은 정상상태오차를 감소시키는 동작을 행하게 되며, 미분제어의 기능은 응답의 오버슈트를 감소시키는 예측동작을 행한다.

디지털 PID 제어는 DDC(Direct Digital Control)에 속하는 제어방식으로, 제어대상 시스템의 조작량을 결정하는 것에 제어편차에 대한 비례, 적분, 미분의 3항 동작을 이용하는 방식으로, 그 원리는 연속시간 제어를 확장하여 이용되고 있는 방식이다.^{[4][5]}

이산시간 제어시스템에 있어서의 속도형 디지털 PID 알고리즘은 식(1)과 같다.

$$\begin{aligned}
 u(n) = & u(n-1) \\
 & + K_P(e(n) - e(n-1)) \\
 & + K_I e(n) \\
 & + K_D(e(n) - 2e(n-1) + e(n-2))
 \end{aligned} \dots\dots (1)$$

여기서, $u(n)$ 과 $e(n)$ 은 이산시간 n 에서의 제어입력과 오차이고 K_P , K_I , K_D 는 PID제어기의 비례, 적분, 미분 파라미터이다.

식(1)에서 기준입력과 출력의 차인 오차 $e(n) = r(n) - y(n)$ 을 대입하고 Z변환하면 식(2)으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 U(z) = & -K_P Y(z) + K_I \frac{R(z) - Y(z)}{1 - z^{-1}} \\
 & - K_D(1 - z^{-1})Y(z)
 \end{aligned} \dots\dots (2)$$

속도형은 적분항에 따른 조작량의 오버슈트를 억제하는 역할을 하며 제어기의 동작특성이 향상되고 목표치의 큰폭의 변화에 대하여 좋은 동작을 보인다.

그림 1은 이산시간 속도형 제어시스템에 있어서의 디지털 PID 제어기 구조를 나타낸 것이다.

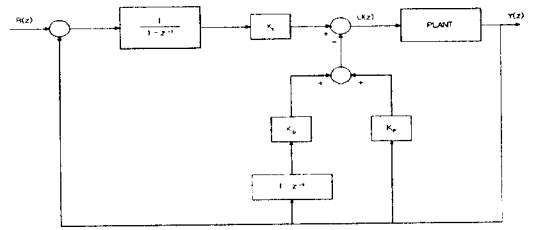


그림 1. 디지털 PID 제어기 구조

이산시간 제어시스템의 속도형에서 위치형의 1 샘플링 주기의 변화분만을 생각하면 위치형 디지털 PID 알고리즘은 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \Delta u(n) = & u(n) - u(n-1) \\
 = & K_P(e(n) - e(n-1)) \\
 & + K_I e(n) \\
 & + K_D(e(n) - 2e(n-1) + e(n-2))
 \end{aligned} \dots\dots (3)$$

PID 제어기는 아날로그 시스템에 있어서, 스텝 응답 데이터에 바탕을 둔 PID 제어기의 파라미터들을 결정하는 간단한 방법들이 Ziegler와 Nichols에 의해 발견되어 왔었다. Ziegler-Nichols 동조규칙은 다른 많은 시스템을 모의실험 해봄으로써 경험적으로 발견되어 왔었다. 이산시간 시스템에 있어서 Takahashi는 Ziegler-Nichols 방법에 바탕을 둔 특별한 방법을 소개했다. 그러나 Ziegler-Nichols 동조규칙은 폐루프 시스템에 너무나 약하게 영향을 준다는 결점을 가지고 있다. 어떠한 프로세스에서도 정교한 제어 수행을 얻기 위해서는 PID 제어기

의 다양한 파라미터들이 시도되어야 하고 수동적으로 동조 되어야 한다. 이러한 수동적인 동조방법은 적절한 제어기 파라미터를 얻기위해 시행착오로 인한 시간 소요가 많으므로 효과적이지 못한 결점이 있다. 이에 자기동조 제어방법이 나타나기 시작했다. 자기동조 제어기의 큰 장점으로는 플랜트를 효율적으로 제어하기 위해 적절한 제어기 파라미터를 추정할 수 있다. 그림 2는 자기동조 제어기의 블록도를 나타내고 있다.

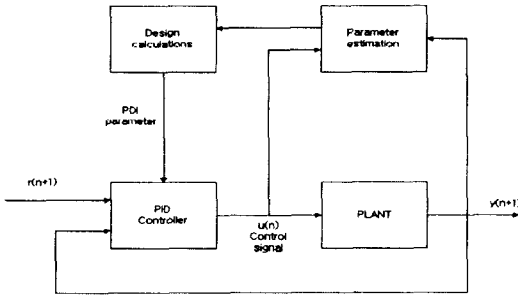


그림 2. 자기 동조 제어기

3. 보상형 퍼지 제어기 설계

보상형 퍼지 제어기는 일반적인 제어기(예를 들어 PID제어기와 같은)에 퍼지 제어기를 결합하는 것이다. 퍼지 제어기의 장점은 적절한 규칙설정에 의해 플랜트를 구동할 수 있고, 기존의 제어기와 사용할 때 그 제어기를 수정, 또는 보완할 필요가 없다는 것이다. 따라서 원하는 응답특성에 정확히 근사시킴으로써 보다 정밀한 제어특성을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 이러한 퍼지 제어기의 장점을 사용하여 PID 제어기와 결합된 보상형 퍼지 제어기를 설계한다.

3.1. 퍼지 제어기의 설계

퍼지 제어기는 대상 시스템의 정확한 수학적 모델링이 필요없는 장점이 있기 때문에 플랜트의 이득이나 구조의 불확실성이 존재하는 시스템에 적용되고, 제어기의 구성시 퍼지 규칙과 입출력 파라미터는 설계자의 경험이나 지식에 의존하여 주관

적으로 결정되므로 제어규칙의 구성에 있어서 자유로움이 있다.^{[6][7][8]}

본 논문에서 사용한 FLC(Fuzzy Logic Controller)는 두 개의 입력과 1개의 출력을 가지고 있으며, 그림 3은 입력 오차 e와 오차변화량 ce의 퍼지소속함수이고, 그림 4는 출력 ci의 퍼지소속함수를 나타낸 것이다.

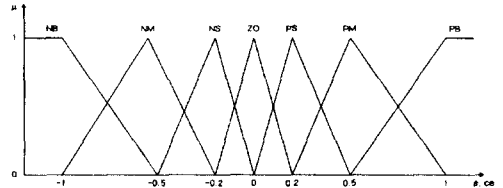


그림 3. e, ce의 퍼지소속함수

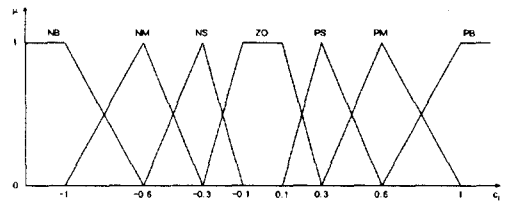


그림 4. ci의 퍼지소속함수

퍼지 제어기에서 사용한 규칙은 표 1과 같으며, 추론 방법은 일반적으로 많이 사용하는 Mamdani의 Max-Min법을, 비퍼지화는 무게중심법을 사용하였다. 그림 5는 퍼지 제어기의 Look-up table을 보여주고 있다.

표 1. 규칙표

e \ ce	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NS	NS	PS
NM	NB	NB	NM	NS	NS	PS	PS
NS	NB	NM	NS	NS	PS	PS	PM
ZO	NM	NM	NS	ZR	PS	PM	PM
PS	NM	NS	NS	PS	PS	PM	PB
PM	NS	NS	PS	PS	PM	PB	PB
PB	NS	PS	PS	PM	PB	PB	PB

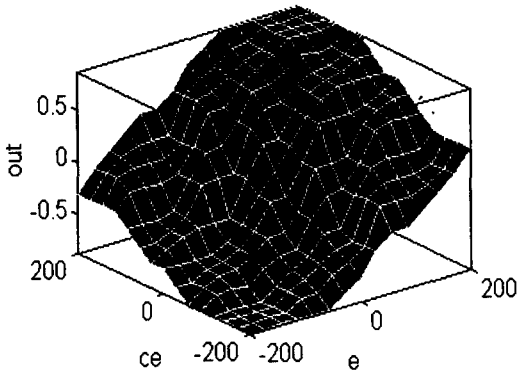


그림 5. Look-up Table

3.2. 보상형 퍼지 제어기의 설계

그림 6은 보상형 퍼지 제어기를 사용한 제어 시스템에 대한 블록도를 나타내고 있다. 레퍼런스 신호와 플랜트의 출력과 차인 오차 e와 오차의 변화량 ce에 따라 앞절에서 설계된 퍼지 제어 방법에 따라 FLC를 구성하여, PID 제어기와 결합하여 보상형 퍼지 제어기를 구성하였다.

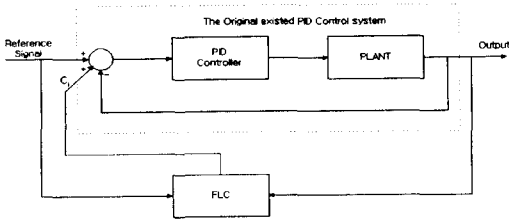


그림 6. 보상형 퍼지 제어기 구조

FLC는 PID 제어기의 앞단에 사용되어 제어 상태가 변화되었을 때 PID 제어기의 출력을 보상해주는 역할을 한다. 여기서 사용된 PID 제어기의 각 파라미터의 값은 다음과 같다.

$$K_p = 10, K_i = 1, K_d = 1.21$$

4. 시뮬레이션

본 논문에서 제안된 보상형 퍼지 제어기의 성능 평가를 위하여 식(4)와 같은 DC-서보모터의 가상

플랜트를 도입하고, 단위계단입력에 대하여 단순 PID 제어기와 제안된 제어기를 사용하였을 때의 출력파형을 시뮬레이션을 통하여 비교 평가하였다.

$$y(k) = 0.005u(k-1) + 0.005u(k-2) + 1.9y(k-1) - 0.9y(k-2) \dots \dots \dots (4)$$

그림 7과 8은 무부하시 단순 PID 제어기와 본 논문에서 제안한 보상형 퍼지 제어기를 사용한 출력파형 및 그 오차를 나타낸 것이다. 본 논문에서 제안한 보상형 퍼지 제어기를 사용한 출력 응답 PID 제어기를 사용했을 때보다도 오버슈터는 커지만 상승시간, 지연시간, 정정시간이 더 양호함을 알 수 있다. 그림 9와 10은 부하시 PID 제어기와 보상형 퍼지 제어기를 사용하였을 때의 출력파형으로서 무부하시와 비교하여 과도상태시 다소간의 오차가 발생하지만, 이 역시 PID 제어기를 사용하였을 때보다도 더 우수함을 확인할 수 있었다.

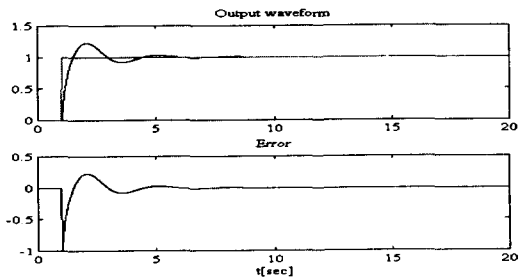


그림 7. 무부하시의 PID 제어시스템의 출력응답과 오차

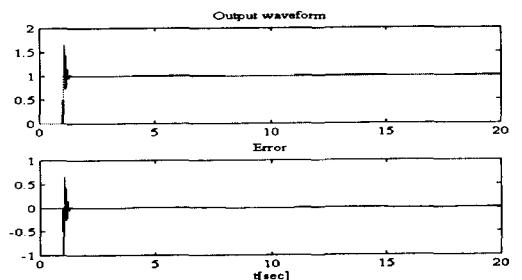


그림 8. 무부하시 보상형 퍼지 제어시스템의 출력 응답과 오차

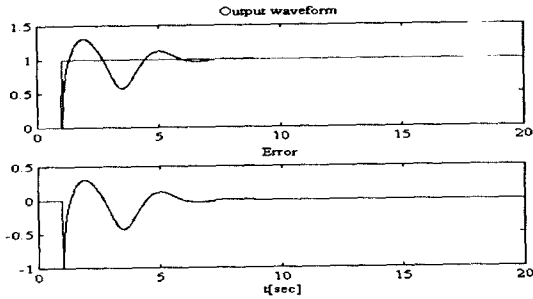


그림 9. 부하시의 PID 제어시스템의 출력응답과 오차

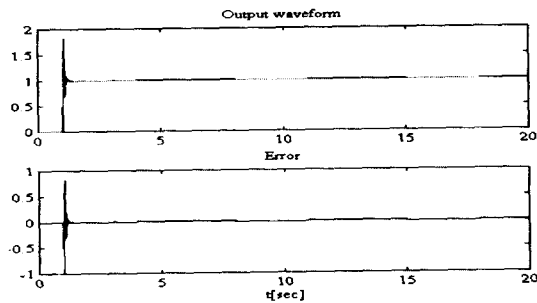


그림 10. 부하시 보상형 퍼지 제어시스템의 출력 응답과 오차

5. 결 론

본 논문에서는 보상형 퍼지 제어기를 설계하고, DC-서보모터를 구동시키기 위한 가상의 플랜트를 설정하여, 이를 모의 실험을 통해 살펴보았다. 또한 보상형 퍼지 제어기의 성능을 살펴보기 위해 단순 PID 제어기와 비교 평가하였다. 모의 실험 결과에서 본 논문에서 제안한 보상형 퍼지 제어기를 사용했을 때의 과도응답 특성이 우수함을 알 수 있었고, 특히 부하시에 대한 응답이 PID 제어기보다 매우 양호한 출력응답을 나타냄을 알 수 있었다. 향후 연구로서 실제의 비선형 시스템에 적용하여 그

성능을 살펴보는 것이다.

참고문헌

- [1] C. C. Lee, "Fuzzy Logic in control systems : Fuzzy Logic Controller-Part I,II", IEEE Trans. Syst. Man Cybern, vol. 20, No. 2, pp. 404~435, Mar./Apr., 1990
- [2] User Guide to Feedback Modular Servo system MS150, vol. 1-3, England: Feedback Instruments Ltd. Crowborough, 1st Edition, 1988
- [3] C. M. Lim and T. Hzyama, "Experimental Implementation of a Fuzzy Logic Control Scheme for a Servomotor", Mechatronics, vol. 3, No. 1, pp. 39~47, 1993
- [4] C. L. Phillips and H. T. Nagle, Digital Control System Analysis and Design, Reading, U.S.A.: Prentice-Hall International, Inc. 2nd Edition, 1990.
- [5] S. M. Shinnars, Modern Control System Theory and Application. Reading, Ma: Addison-Wesley Publishing company, Inc, 1978
- [6] E. C. Yeh and Y. J. Tsao, "A Fuzzy Preview Control Scheme of Active Suspension for Rough Road", Inc. J. of Vehicle Design, vol. 15, pp. 166~180, 1994
- [7] M. Sugeno Industrial Applications of Fuzzy Control, Amsterdam: North-Holland, 1985
- [8] M. Y. Shieh and T. -H. S. Li, "Integrated Fuzzy Logic Controller Design", Proc. of IEEE IECON'93, pp. 279~284, Maui, HW, 1993