

퍼지제어 시스템의 제어값표 가감 동조방법

崔 漢 秀 , 鄭 憲

The Look-up table Plus-Minus Tuning Method of Fuzzy Control Systems

Han Soo Choi , Heon Jeong

요 약

퍼지제어시스템에 영향을 미치는 주요 요소들은 제어규칙, 소속함수, 퍼지추론, 비퍼지화 그리고 입 출력이득요소이다. 구성요소들 각각에 의한 동조방법은 요소들 중 일부만을 동조하기 때문에 동조대상 이외의 요소들에 대한 오류와 파라메타의 부적절한 설정등에 의해 적절한 동조가 이루어지지 못할 수 있으며 각 요소들간의 상관관계를 고려하여 동조를 수행해야 하는 어려움이 있다. 입 출력단에서 작용하는 이득요소들은 제어시스템에 직접적인 영향을 미치기 때문에 이들의 선정은 신중을 기해야 한다. 본 연구에서는 퍼지제어시스템의 동조를 위한 제어기 스스로 입 출력이득요소를 산출하는 방법과 퍼지제어기의 구성요소들에 의해 얻어진 초기의 제어값들을 원하는 목표치에 빨리 수렴할 수 있도록 동조하는 방법을 제안하였다.

ABSTRACT

In constructing fuzzy control systems, there are many parameters such as rule base, membership functions, inference method, defuzzification, and I/O scaling factors. To control the system in properly using fuzzy logic, we have to consider the correlation with those parameters. This paper deals with self-tuning of fuzzy control systems. The fuzzy controller has parameters that are input and output scaling factors to effect control output. And we propose the look-up table based self-tuning fuzzy controller. We propose the PMTM(Plus-Minus Tuning Method) for self tuning method, self-tuning the initial look-up table to the appropriate table by adding and subtracting the values.

Key Words: Fuzzy Control, Scaling Factor, Look-up table self-tuning

1. 서 론

동조의 목적은 요구된 설계기준에 만족하는 시스템응답을 얻기 위해 제어기의 모든 파라메타들을 적절히 선택하는 것이다. 퍼지제어시스템에 영향을 미치는 주요 요소들로 제어규칙, 입 출력이득요소, 소속함수, 퍼지추론 그리고 비퍼지화 방법등을 들 수 있다. 퍼지추론은 Mamdani, Tsukamoto, Takagi, Sugeno 등⁽¹⁾에 의해 체계화 되었으며 비퍼지화방법은 하나의 수치로 제어입력값을 발생시켜 주는 수단으로서 무게중심법, 최대치평균법등의 방법이 연구되어 체계적으로 정리되어있다. 따라서 퍼지제어시스템의 동조는 제어규칙, 소속함수, 입 출력이득요소의 구성과 선정에 관한 문제로 귀결되어진다. Mamdani와 Assilian⁽²⁾은 퍼지집합의 소속함수

들에 대한 애매한 정도의 범위를 조정하여 제어규칙에 부분적 수정을 가한 후 그때의 시스템출력을 평가하는 과정을 반복하면서 동조시킬 수 있는 규칙을 찾는 방법을 제시하였다. King과 Mamdani⁽³⁾는 위상평면에 각 규칙을 관련시킴으로써 규칙을 개선해가는 방법을 고안하였으며 Baaklini와 Procyk⁽⁴⁾, T.Jespersen⁽⁵⁾, S.B.Nielsen⁽⁶⁾, E.N. Anderson⁽⁷⁾ 등은 자동학습기능을 제어기에 도입함으로써 규칙들을 자동으로 수정하도록 제어기를 구성하였다.

Isaka와 Sebald⁽⁸⁾는 퍼지제어기의 소속함수를 설계하는 알고리즘을 제시했다. 소속함수의 폭은 퍼지한 정도를 결정하기 때문에 퍼지제어시스템의 성능에 중요한 영향을 미친다. Karr⁽⁹⁾는 소속함수의 폭을 동조하는데 유전알고리즘(genetic algorithm)을 적용하였으며, Zhen Yu Zhao⁽¹⁰⁾은 소속함

수의 폭을 선택하는데 있어 오버슈트와 정정시간을 성능평가로 하고 입 출력단에 3개의 이득요소를 모두 동조시키는 방법을 사용하였으나 최적의 성능을 보장할 수 없다는 문제점이 지적되었다. Maeda등⁽¹¹⁾은 성능평가를 오버슈트, 도달시간 그리고 진폭으로하고 이 세가지 요소를 모두 만족할 때의 소속함수 폭을 최적의 값으로 하였다. 이 연구에서 초기이득의 설계방법이 분명치 않다. 이 밖에도 퍼지제어 시스템의 파라미터들을 동조하기 위한 연구들^(12,16)이 이루어져 오고있다.

지금까지 서술한 제어규칙을 수정하는 규칙동조와 소속함수의 모양과 퍼지한 정도의 범위를 조정하는 동조방법에서는 입 출력 이득요소를 시행착오에 의해 선정하였다. 따라서 입 출력이득요소를 구할 수 있는 체계적인 방법이 필요하다. 입력이득요소는 시스템에서의 오차와 오차변화량을 퍼지제어기의 양자화레벨간에 환산계수로 작용하여 서로를 맵핑시켜주는 요소이며, 출력이득요소는 제어값을 제어대상에 부합하는 크기로 변환시켜주기 위한 요소이다. 퍼지제어기의 입 출력단에서 작용하는 이득요소들은 제어시스템 출력에 직접적인 영향을 미치기 때문에 이들의 선정은 신중을 기해야한다. 제어규칙, 소속함수 각각에 의한 동조방법은 퍼지 구성요소들 중에서 일부분만을 동조하기 때문에 동조대상 이외의 요소들에 대한 오류와 파라미터의 부적절한 설정등에 의하여 동조가 적절히 이루어지지 못할 수 있으며, 각 요소들 간의 상호관계를 고려하여 동조를 수행 해야하는 어려움이 있다. 그러므로 구성요소들의 각각에 대한 동조방법 보다 이들 구성요소들에 의해 얻어진 결과값을 동조하는 것이 더 합리적인 동조방법이라 할 수 있다.

본 연구의 목적은 퍼지제어 시스템의 동조를 위해 적절한 값으로 스스로 동조하여 입 출력이득요소를 산출하고, 퍼지제어기의 주요 구성요소들의 각각을 동조하는 것보다 더 합리적인 동조방법으로서 퍼지 구성요소들에 의해 얻어진 초기의 제어값표를 동조하는 방법을 도입하여 보다 개선된 시스템출력을 얻을 수 있는 퍼지제어기를 설계하고자 한다.

본 논문에서는 시스템의 제어시스템 출력에 직접적인 영향을 미치는 입출력 요소를 적절히 설정하고, 설정된 입출력이득요소를 고정된 후 가감동조를 통하여 제어시스템의 성능향상효과를 얻을 수 있는 새로운 개선된 제어값표를 얻어 제어에 적용할 수 있는 제어기를 설계하였다. 입 출력단 이득요소 산출방법은 입력단의 이득요소 즉 오차에 대한 이득요소와 오차변화량에 대한 이득요소는 오차와 오차변화량의 값과 이들에 대한 양자화레벨에 선형으로 맵핑하는 방법으로 산출하였으며, 출력이득요소는 산출한 입력이득요소를 고정된 상태에서 임의의 초기치를 주고 시스템의 출력과 목표치와의 관계를 평가하여 목표치에 수렴할 수 있는 최적의 출력이득요소를 산출하였다. 또한 제안한 제어값표 동조방법을 통하여 일반적인 퍼지제어기의 설계과정을 통해 얻어진 제어값을

가감동조를 이용하여 각각의 퍼지 구성요소들에서 부적절하게 설정되었던 것들에 대한 종합적 검색 및 보완에 의해 시스템의 성능개선을 행한다. 가감동조의 방법은 제어값표중에 직접 시스템의 출력에 적용되고 있는 제어값들을 탐색하여 적절한 값으로 증가 또는 감소를 통하여 플랜트의 응답특성을 보다 향상시킬 수 있는 방법이다. 본 논문에서 제안한 제어값표 동조방법을 적용하여 제어값들을 플랜트 특성에 적절한 값으로 개선하는 가감동조방법과, 플랜트 입력값에 영향을 미치는 출력이득요소 동조방법을 적용하여 플랜트의 특성을 최대한 반영시킨 개선된 제어값들을 도출하였다. 산출한 입 출력이득요소들과 동조한 제어값들을 1차계, 2차계, 3차계와 DC servo motor 모델을 대상으로 모의실험한 결과 만족할 만한 특성을 나타냄으로써 알고리즘의 타당성을 입증하였다.

2. 퍼지제어기의 구성

본 논문에서는 제어값들을 동조하여 플랜트에 적합한 제어값들로 변환시킴으로써 개선된 퍼지 응답특성을 나타낼 수 있는 퍼지제어기를 설계하였다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 제안한 퍼지제어기의 블록도는 일반 퍼지제어기의 상층부에 K3값을 적당한 값으로 동조하는 K3값 동조 블록, 초기의 일반적인 제어값표를 시스템에 적합한 제어값표로 동조하는 가감동조(PMTM, Plus-Minus Tuning Method)블럭, 가감동조에 발생하는 여러응답 곡선에 대한 성능 향상 유무에 대해 지표값을 산출하여 주는 성능평가(performance index)블럭을 탑재한 구조를 갖는다. 가감동조방법으로 2차원 제어값표(Look-up table)상의 제어값을 동조함으로써 퍼지제어 과정 중에서 최적화 되지못했거나 부적절하게 설정되었던 퍼지제어를 위한 주요 구성요소들을 종합적으로 검토, 보완한다.

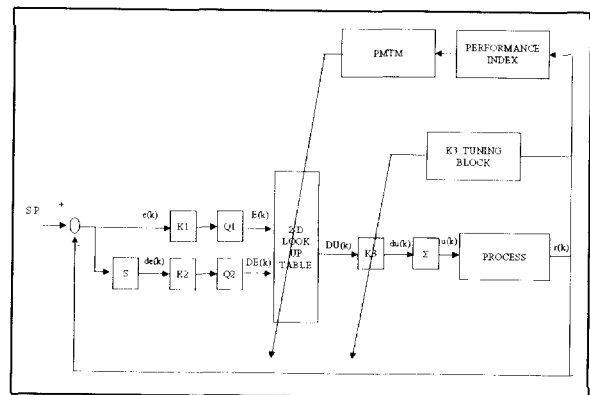


그림 1 제어값표 기반 퍼지 제어기

Fig. 1 Lookup table based fuzzy controller

제어기의 구조는 오차와 오차변화량을 입력으로 하여 구성된 PI형 퍼지제어기이며 오차와 오차변화량은 다음과 같이 정의한다.

$$e(k) = \text{setpoint} - y(k) \quad (1)$$

$$de(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

초기의 제어값표 산출을 위하여 제어규칙은 플랜트의 퍼지

표 1 규칙기반
Table 1 Rule base

Δe e	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
NS	NB	NM	NM	NS	ZO	PS	PM
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PS	NM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB
PM	NS	ZO	PS	PM	PB	PB	PB
PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

표 2 소속 함수
Table 2 Membership function

level	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
-6	1.0	0.3	0	0	0	0	0
-5	0.7	0.7	0	0	0	0	0
-4	0.3	1.0	0.3	0	0	0	0
-3	0	0.7	0.7	0	0	0	0
-2	0	0.3	1.0	0.3	0	0	0
-1	0	0	0.7	0.7	0	0	0
0	0	0	0.3	1.0	0.3	0	0
1	0	0	0	0.7	0.7	0	0
2	0	0	0	0.3	1.0	0.3	0
3	0	0	0	0	0.7	0.7	0
4	0	0	0	0	0.3	1.0	0.3
5	0	0	0	0	0	0.7	0.7
6	0	0	0	0	0	0.3	1.0

모델에 의한 방법으로 제어규칙을 체계화한 MacVicar-Whelan의 규칙기반을 근거로 표 1과 같은 퍼지제어규칙을 기반을 사용하였으며, 추론에 적용한 퍼지입력은 singleton이며 추론방법은 Max-Min합성법을 이용하였고, 소속함수는 표 2와 같이 13개의 양자화레벨(-6~6)에 대한 삼각형태를, 비퍼지화방법은 무게중심법(COG)을 적용하였다. 이와같은 방법들을 적용하여 퍼지추론을 수행하고 비퍼지화과정을 거

표 3 초기의 제어값표
Table 3 The initial look-up table

		△ERROR													
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
E	R	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
	R	-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	R	-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	R	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2
	R	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2
	R	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3
O	R	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3
	R	1	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4
	R	2	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4
	R	3	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
	R	4	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
	R	5	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6
R	R	6	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

쳐 제어신호 DU를 얻어내고, 이 값들을 제어값표로 정리하면 표 3과 같이된다. 이제 이 제어값표가 초기의 제어값이되며 그림 1의 2차원 제어값표가 되어 제어신호를 발생시킨다. 오차신호에 입력이득요소 K1을 곱하면 오차의 양자화레벨 중 하나에 맵핑되어 오차의 엔트리(entry)가 되고, 오차 변화량 de에 K2를 곱하면 오차변화량의 양자화레벨 중 하나에 맵핑되어 오차변화량의 엔트리가 된다. 제어값표에서 두개의 엔트리에 해당하는 값이 제어신호 DU가 되는데 이 신호는 출력이득요소 K3와 곱해져 $du(k) = K3 \times DU(k)$ 가 되고 식 (8)에 의해 제어입력신호 $u(k)$ 를 산출하게 된다.

3. 퍼지제어 시스템의 설계 및 동조방법

본 논문에서는 시스템의 제어시스템 출력에 직접적인 영향을 미치는 입출력 요소를 적절히 설정하고, 설정된 입출력이득요소를 고정된 후 가감동조를 통하여 제어시스템의 성능향상효과를 얻을 수 있는 새로운 개선된 제어값표를 얻어 제어에 적용할 수 있는 제어기를 설계하였다. 본 내용에서는 입출력단 이득요소 산출방법과 일반적인 초기의 제어값표를 제어시스템에 적합한 제어값표로 동조하는 가감동조방법에 대하여 기술하였다.

3.1 입력이득요소 산출

입력이득요소 K1, K2는 2차원 제어값표에 대한 엔트리로서 맵핑시키기 위해 퍼지제어기에 대한 두개의 입력인 오차와 오차변화량에 곱하는 상수이다. 오차와 오차변화량에 대한 양(+)의 최대치가 제어값표의 양의 최대치에, 음(-)의 최대치가 제어값표의 음의 최대치에 맵핑되도록 하는 상수를

결정하기 위해 시스템에서 발생할 수 있는 오차와 오차변화량의 양과 음의 최대치를 파악하여 제어값표의 오차와 오차변화량에 대한 양자화레벨의 절대최대치와의 관계에 의해 산출할 수 있다. 식(3)과 식(4)는 오차와 오차변화량에 대한 각각의 양자화레벨 간에 선형맵핑 처리하기 위한 입력이득요소 K1, K2를 산출하기 위함이며, 식(5)와 식(6)은 임의의 오차와 오차변화량을 맵핑계수 K1, K2에 곱하면 양자화레벨의 양의 최대값과 음의 최대값 사이의 레벨값 중 하나가 되어 제어값표에 대한 2차원 배열의 엔트리를 얻기 위한 식이다.

$$K1 = MEQL / Me \tag{3}$$

$$K2 = MDEQL / Mde \tag{4}$$

$$e * K1 = \text{one of EQL} \tag{5}$$

$$de * K2 = \text{one of DEQL} \tag{6}$$

MEQL : 오차 양자화레벨의 최대치

MDEQL : 오차변화량 양자화레벨의 최대치

EQL : 오차 양자화레벨

DEQL : 오차변화량 양자화레벨

Me : 오차의 최대치

Mde : 오차변화량의 최대치

3.2 출력이득요소 동조방법

오차에 K1을 오차변화량에 K2를 곱하면 2차원 배열 제어값표의 엔트리가 결정되고 제어값표 상에서 이 엔트리에 해당하는 하나의 값이 채택되는데 이 값이 제어입력신호 $u(k)$ 를 얻기 위한 전단계의 값 $DU(k)$ 가 된다. 본 논문에서는 소속함수의 범위를 -6 ~ 6 사이의 정수를 택했기 때문에 제어값표 상의 값 $DU(k)$ 는 -6 ~ 6 사이의 정수이다. 그러나 시스템의 제어대상에 따라 제어입력신호의 범위가 달라지기 때문에 $DU(k)$ 가 직접 제어입력신호가 될 수 없으며 따라서 제어대상에 맞는 값으로 변환 되어져야만 하는데 $DU(k)$ 를 변환하기 위한 파라메타로서 출력이득요소 K3가 작용한다. 식(7)은 해당 제어값표 상의 한 값 $DU(k)$ 에 제어대상에 부합하는 크기로 변환하는 과정의 식이며, 식(8)은 현재의 제어입력신호를 얻기위해 바로 전 과정의 제어입력신호에 식(7)에서 산출한 $du(k)$ 를 합하므로써 현재의 제어입력신호를 얻어내는 식이다.

$$du(k) = DU(k) * K3 \tag{7}$$

$$u(k) = du(k) + u(k-1) \tag{8}$$

입력이득요소 K1, K2를 고정된 상태에서 목표치에 일치하는 시스템출력을 얻기위한 출력이득요소 K3는 식(9)에 의해 구해진다. 식(7)과 식(8)으로 부터 알 수 있듯이 K3는 제어입력신호 $u(k)$ 와 비례관계에 있으므로 시스템 출력과 K3 역

시 비례관계이다. 출력이득요소 K3가 최적의 값보다 적을 경우에는 K3를 증가시키고 최적의 값보다 클 경우에는 감소시켜서 목표치에 일치하는 출력을 얻기위한 K3를 스스로 찾는 알고리즘을 적용하였다. 목표치와 시스템의 정상상태 값과의 차를 오차로 하였으며, 오차의 절대치가 허용오차보다 클 경우 오차의 부호에 따라 K3는 증가 또는 감소한다. 오차가 양인 경우는 시스템 출력이 목표치에 미치지 못한 상태이므로 증가하고, 오차가 음인 경우는 출력이 목표치를 초과한 상태이므로 감소하여 허용오차 e^* 범위에 이르는 K3를 찾는다. 여기서 α 는 최적의 K3를 찾기위해 증가와 감소량을 조절하는 증감율이다. 증감율은 적을수록 좋지만 너무 적을 경우 최적의 K3를 찾는 시간이 길어지므로 시스템에 따라 조정해야할 필요가 있다.

$$K3(k+1) = K3(k) - \alpha(e^* - e(k)) \tag{9}$$

본 논문에서는 식(9)를 이용하여 K3값을 적절한 값으로 동조를 하고, 동조결과 얻어진 K3를 고정한 후 제어값표를 동조하는 방법을 제시하였다.

3.3 가감동조방법(PMTM, Plus-Minus Tuning Method)

소속함수, 규칙기반, 퍼지추론, 비퍼지화의 과정에 의해 생성된 결과값을 미리 표로 작성 하여 각각의 입력에 대한 제어값을 얻을 수 있도록 한 표, 즉 제어값표를 이용 한다면 오차와 오차변화량이 입력으로 들어 올때마다 추론 해야만하는 많은 계산량을 줄일 수 있으며 온라인으로 실시간 처리를 원활하게 할 수 있다. 하지만 각각의 제어값은 소속함수, 규칙기반, 퍼지추론, 비퍼지화과정을 거쳐 생성되기 때문에 이러한 요소들 중 어떤 부분의 잘못된 설계로 인하여 퍼지제어기의 성능을 저하시킬 수 있다. 표 3의 제어값표는 MacVicar-Whelan에 의해 제시된 규칙기반과 무게중심법의 비퍼지화과정과 이산삼각형 소속함수를 사용하여 얻은 제어값표를 나타낸 것이다. 표 3과 같은 초기의 제어값표를 사용하여 특정 플랜트의 최적응답을 기대하기란 어렵다. 보다 향상된 응답 특성을 얻기 위해서는 처리과정의 각 단계에 대한 파라메타들의 선정이 최적이어야 할 것이며, 한가지의 파라메타라도 플랜트에 적합하게 설정되지 않았다면 원하는 결과를 기대하기가 어렵다. 이러한 파라메타들의 동조는 각각의 요소 및 요소들간의 상호 연관관계에 영향을 미치므로 동조를 위한 파라메타의 선정을 위해 시행착오를 거쳐야만 한다. 이미 언급한 바와 같이 제어값표는 퍼지과정을 통해서 얻어진 것이므로 이 방법에 의해 제어값을 동조함은 퍼지과정의 전 요소들을 적절히 동조한 결과라고 말할 수 있다. 이렇게 제어값표의 값을 동조함으로써 일반적으로 각 파라메타들을 설정해서 계

산된 퍼지제어 과정 중 최적화 되지 못했거나 부적절하게 설정되었던 것들을 종합적으로 검토 수정하는 방법이라 할 수 있으며 다른 파라메타의 동조방법보다 더 합리적이라 할 수 있다.

본 논문에서는 일반적인 제어값표의 값을 초기상태로하여 대상 플랜트에 적합한 제어값을 얻기위해 제어값표를 동조하는 퍼지제어기를 설계하였으며, 이를 위해 가감동조방법을 제어값표의 동조방법으로 제안하였다. 이 방법을 통하여 기존의 퍼지 제어요소 각각의 동조로는 얻을 수 없었던 좋은 결과를 기대할 수 있다. 가감동조방법은 사용제어값 검토부, 증가동조부, 감소동조부로 구성하였으며, 증가와 감소의 변화폭은 제어값에 대한 수치가 정수이므로 정수의 기본단위인 1로 선정하였다.

3.3.1 사용 제어값 검토부

가감동조를 사용하여 적은 횟수의 반복동조과정으로도 최적의 해를 찾을 수 있으나, 사용 제어값 검토부를 추가함으로써 동조과정 횟수의 감소를 도모하였다. 설계자의 의도와 제어기에 대한 정확도의 요구에 따라 제어값표의 구성 갯수가 달라지겠지만 본 논문에서는 169(13×13)개의 셀로 구성하였다. 이렇게 많은 셀로 이루어져 있으나 제어대상인 한 플랜트를 제어하는데 제어값표의 일부 값만이 사용된다. 또한 사용되었던 값만이 가감동조시 변화 가능성이 있으며 제어과정에 사용되지 않은 제어값들은 동조를 하여도 응답특성 개선에 영향을 주지 못한다. 만약 사용 제어값 검토부를 첨가하지 않고 가감동조만을 사용하였을 경우 시스템제어에 사용되고 있지않는 제어값표의 셀들은 가감동조가 필요하지 않음에도 불구하고 전체 셀의 가감동조를 실시하므로써 시간을 소모하게 된다. 본 논문에서는 이런 무효의 값을 동조를 하지 않음으로써 동조 시간의 단축을 도모할 수 있다. 제어값표에 의한 제어과정시 사용된 제어값의 정보는 큐 구조(queue)에 저장되고, 동조 가능 셀로서 가감동조에 반영하도록 하였다.

3.3.2 증가 동조부

사용 제어값 검토 과정에서 검색된 사용 값들을 순차적으로 동조하여 플랜트의 응답 특성을 조사한다. 증가동조는 사용 제어값 검토과정에서 얻어진 제어값들을 1씩 증가하여 동조하는 방법이다. 어떤 제어값을 1 증가시킨 후 개선된 응답특성을 나타내면 1을 더 증가시키고, 증가시킨 후 개선된 응답특성이 얻어지면 계속 1씩 증가시키는데 그 때 마다 성능검사를 실시하면서 제어값을 증가시키는 동조를 실행한다. 그러나 1을 증가하여 개선된 응답을 얻지 못하면 2를 증가하였을 경우에도 원하는 특성을 얻지 못한다는 가정하에 증가 전의 값으로 환원하고 다음 순서의 제어값으로 이동한다. 증가동조방법으로 개선된 응답을 얻지 못했다면 다음의 과정인 감소의 효과를 파악하는 감소동조를 시행하도록 하였다. 시스템응답특성이 개선되었다는 것은 플랜트의 응답특성에 대한

정정시간의 단축과 오버슈트를 줄이는것을 의미한다.

3.3.3 감소 동조부

증가 동조방법에서 개선된 응답을 얻지 못했을 경우 이 방법에서는 제어값을 1씩 감소하여 응답특성을 개선하고자 한다. 이 방법 또한 1을 감소하여 특성이 개선되지 않으면 2를 감소하였을 때에도 특성개선을 기대할 수 없다고 가정하고 감소 전의 값으로 환원한 후 다음의 제어값으로 이동 하도록 하였다. 이 방법을 통하여 제어값을 감소시킴으로써 플랜트 응답특성에 대한 과도현상의 개선과 시스템출력의 목표치에 대한 수렴을 도모하고자 한다.

3.4 성능평가(Performance Index)

제어값 동조를 하는 중에 많은 응답 특성 곡선이 발생되는데 이렇게 발생된 응답 특성 곡선들을 비교하고 개선의 유무를 판단하기 위해서는 성능평가 함수가 필요하게 된다.

성능평가함수로서는 오차의 분산 값인 오차제곱 함수와 오차값 절대치를 구하는 방법이 있으나, 본 논문에서는 시간과 오차제곱의 적분 값을 사용하였다. 성능의 향상 유무 및 그 정도를 판단하기 위해 여러 가지의 지표 설정할 수 있다. 오버슈트 및 언더슈트가 적게 발생한 응답곡선을 기준으로 설정할 수 있고, 정정 오차의 발생을 유무 및 그 정도를 보고 곡선의 성능 향상 정도를 설정할 수 있다. 또한 이 두가지의 요소를 종합적으로 검사하여 성능의 향상을 판단할 수 있다. 본 논문에서는 오버슈트의 발생 정도와 정정 오차 및 상승시간을 종합적으로 검토하여 성능 개선정도를 나타내는 지표값을 구하였으며, 이런 지표값을 얻을 수 있도록 하기 위해 식 (10)과 같은 시간과 오차의 적분값을 사용하였다. 즉 상승시간이 길거나, 오버슈트가 크면 오차의 양이 큰 경우이므로 오차의 값을 적분함으로써 상승시간 및 오버슈트의 양을 지표값으로 계산할 경우 큰 지표값을 얻게되며, 시간이 지났는데도 오차를 나타내고 있으면 시간과 오차의 계산을 통하여 큰 지표값을 얻는다. 이렇듯 시간과 오차를 함께 사용한 성능평가를 사용함으로써 상승시간과 오버슈트 및 정정오차를 동시에 평가하는 효과를 얻을 수 있다.

개선의 유무 판별은 일정 시간의 가격함수를 이용하여 가격의 값을 가지는 응답 특성이 개선된 제어값표를 사용한 퍼지제어기로 판정을 하고 보다 개선된 제어값표를 도출할 수 있다.

$$J = \sqrt{\sum_{i=0}^k (t \times error(t))^2} \quad (10)$$

5. 모의실험 및 고찰

모의실험에서는 선정된 플랜트모델에 입 출력이득요소에

의한 동조와 가감동조방법을 적용하여 플랜트의 출력이 목표치에 수렴하는 정도를 조사하였으며, 본 논문에서 제안한 입출력이득요소 동조방법과 가감동조방법을 사용한 퍼지제어기의 검증을 위해 식(11), 식(12), 식(13), 식(14)와 같은 1차계, 2차계, 3차계와 DC servo motor의 모델에 적용하였다.

$$G(s) = \frac{3.3}{(s + 0.9)} \tag{11}$$

$$G(s) = \frac{1}{(s + 0.3)(s + 3.3)} \tag{12}$$

$$G(s) = \frac{1}{(s + 1)(s + 2)(s + 3)} \tag{13}$$

$$G(s) = \frac{K_t}{R_a B_m (1 + \frac{L_a}{R_a s})(1 + \frac{J_m}{B_m s}) + K_t K_c} \tag{14}$$

R_a : 전기자 저항 L_a : 전기자 인덕턴스 J_m : 모터 관성
 B_m : 마찰감쇠 계수 K_t : 토오크 상수 K_c : 역기전력 상수

입출력이득요소 K1, K2, K3의 동조를 위해 오차와 오차 변화량의 최대치 Me와 Mde는 목표치인 100으로 설정하였으며, 허용오차 e^* 는 ± 0.001 로, K3의 증감을 α 는 0.01로, 모델의 차분방정식을 위한 sampling time은 1 (sec)로 설정하였다. K1, K2는 식(3)과 식(4)에 의해 산출하였으며 K3의 값은 식(9)에서 0.01씩 증가 또는 감소시키면서 출력이득요소 동조를 실시하였다.

본 모의 실험과정은 1차계에서 초기의 일반적인 제어값표를 이용한 퍼지 제어기, 출력이득요소만을 동조하는 퍼지제어기, 가감동조만을 행하는 퍼지제어기, 출력이득요소와 가감동조를 행하는 퍼지제어기들에 대한 비교를 행하였으며, 2차계에서는 출력이득요소의 동조과정시 출력이득요소의 증가동조와 감소동조를 통한 가감동조의 성능향상을 검토하였으며, 3차계와 DC servo motor에서는 출력이득요소만 동조하였을 경우와 출력이득요소를 동조한 후 가감동조에 의한 성능향상의 유무를 비교하는 실험을 실시하였다.

5.1 1차계의 모의 실험

그림 2는 1차계를 대상으로 입력이득요소 K1, K2를 0.06으로 고정한 상태에서 최적의 K3를 얻기위해 출력이득요소를 동조하는 과정을 나타낸 것이다. K3의 초기치 K03를 0.0으로주고 동조하였을때 시스템출력이 허용오차 범위내의 값으로 목표치에 수렴하는 최적의 K3는 표 4에서 알 수 있는 바와 같이 0.998314 이다.

이제 가감동조방법을 적용하여 동조할 수 있음을 확인하기 위해 최적의 K3가 아닌 0.25를 출력이득요소로 고정하고 제

표 4 입출력 이득요소 (1차계)
 Table 4 Input/output scaling factors (1st order)

K1	K2	K03	K3
0.06	0.06	0.0	0.998314

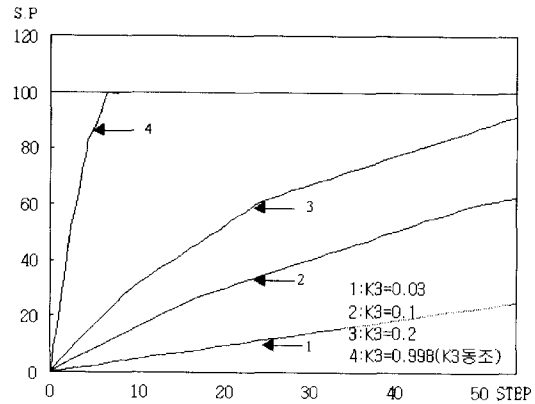


그림 2 K3의 최적치와 비최적 치에 대한 응답 (1차계)

Fig. 2 Response for optimal and non-optimal value of K3 (1st order)

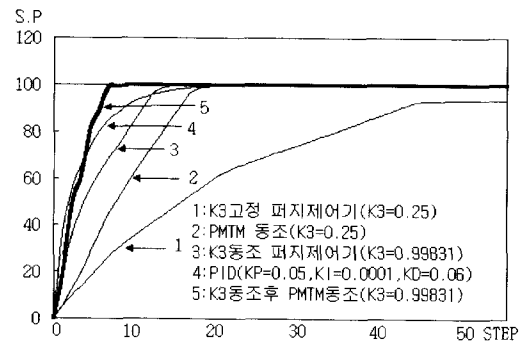


그림 3 K3 동조와 PMTM 동조결과(1차계)

Fig. 3 Response for K3 tuning and PMTM tuning (1st order)

어값표를 동조하였다. 그 결과 표 5와 같은 제어값표를 얻었다. 여기에서 채색된 부분만 제어값으로 사용되었으며 초기의 제어값인 표 3과 비교하였을때 가감동조 후 엔트리 [1,0] [2,0] [3,0] [4,0] [5,0] [6,0]에 대한 제어값의 변화가 있었음을 알 수 있다. K3동조를 통해 얻은 0.998314를 이용한 가감동조결과 표 6과 같은 제어값표를 얻었다. 표 5와는 다른 위치의 값들이 동조되었음을 볼 수 있다. 초기의 제어값인 표 3과 비교하였을때 가감동조 후 엔트리 [1,0] [2,-1] [5,-1]에 대한 제어값의 변화가 있었음을 알 수 있다.

표 5 K3=0.25 고정시 가감동조 결과 제어값표 (1차계)
Table 5 Look-up table of PMTM result with fixing K3=0.25 (1st order)

		△ERROR													
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
E R R O R	E	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	
	R	-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	R	-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	O	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2
	R	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2
	R	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	3	1	2	2	3
	O	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3
	R	1	-3	-2	-2	-1	-1	0	4	1	2	2	3	3	4
	R	2	-2	-2	-1	-1	0	1	4	2	2	3	3	4	4
	R	3	-2	-1	-1	0	1	1	4	2	3	3	4	4	5
R	4	-1	-1	0	1	1	2	6	3	3	4	4	5	5	
R	5	-1	0	1	1	2	2	6	3	4	4	5	5	6	
R	6	0	1	1	2	2	3	6	4	4	5	5	6	6	

표 6 K3동조후 가감동조 결과 제어값표 (1차계)
Table 6 Look-up table of PMTM result after tuning K3 (1st order)

		△ERROR													
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	
E R R O R	E	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	0	
	R	-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	R	-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	O	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2
	R	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2
	R	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	3	1	2	2	3
	O	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3
	R	1	-3	-2	-2	-1	-1	0	2	1	2	2	3	3	4
	R	2	-2	-2	-1	-1	0	4	1	2	2	3	3	4	4
	R	3	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
R	4	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	
R	5	-1	0	1	1	2	2	6	3	3	4	4	5	5	
R	6	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6	

표 7 성능평가값 (1차계)
Table 7 Performance Index (1st order)

제어기 종류	1	2	3	4	5
성능평가값(J)	5476.24	1204.60	620.20	377.85	310.54

그림 3에서 1 은 출력이득요소 K3를 최적의 값이 아닌 0.25를 적용하여 얻은 출력이고, 2 는 그 결과에 가감동조방법(PMTM)을 적용하여 얻은 결과이고, 3 은 K3동조 퍼지제

어기의 결과이며, 5 는 3에의한 K3동조 결과를 가감동조한 결과이다. 또한 4 는 PID의 결과이다.

5.2 2차계의 모의 실험

2차계의 경우 출력이득요소 동조방법으로는 작은 값부터 점차적으로 증가시키는 방법과 비교적 큰값부터 시작하여 점차 감소시키면서 허용오차 범위에 드는 시스템출력을 얻을 수 있는 출력이득요소 K3를 구하고 그 K3를 적용하여 동조한 후 가감동조방법을 실행함으로써 정정시간과오버슈트를 줄일 수 있음을 보였다.

표 8에서와 같이 입력이득요소 K1, K2를 0.06으로 고정된 상태에서 출력이득요소의 초기값을 충분히 작은값 0.0 부터 점차적으로 증가 하도록 한 경우와 목표치의 2배인 200 으로부터 감소시킨 결과 K3의 동조값은 각각 1.80188과 3.94402를 얻었다.

여기에서 두 값의 차가 발생하는것은 허용오차 때문이다. 즉 정상상태의 시스템출력이 목표치보다 큰 상태에서 목표치에 접근하면서 허용오차 범위에 드는 경우와 목표치보다 적은 상태에서 목표치에 접근하면서 허용오차 범위에 접근하는 경우 모두 최적치가 되기 때문이다.

K3의 초기값 K03을 0.0 으로부터 증가시키면서 얻은 출력 이득요소의 동조값 K3를 1.80188로 고정된 상태에서 가감 동조방법을 사용하여 제어 값을 동조한다. 동조후 새롭게 얻 어진 제어값표는 표 9 이며 표 3과 비교하였을 때 제어값표 상의 엔트리 [5,-1] [6,0] [6,6]의 값에 변화가 있었음을 알 수 있다.

표 8 입 출력 이득요소 (2차계)
Table 8 Input/output scaling factors (2nd order)

	K1	K2	K03	K3
K3증가동조	0.06	0.06	0.0	1.80188
K3감소동조	0.06	0.06	200	3.94402

그림 4에서 1은 초기의 제어값표에 출력이득요소의 증가동 조를 통하여 얻어진 K3값 1.80188을 적용한 시스템출력이 며, 2는 K3를 1.80188로 고정된 상태에서 제어값 동조를 통 하여 새로이 얻어진 표 9의 제어값표를 사용한 시스템출력을 나타낸 것이다. 또한 3은 기존제어방법 PID제어기 (Kp=0.08, Kd=0.09, Ki=0.0001)에 대한 시스템 출력이 다. 표 10은 그림 3에서 얻은 출력곡선들의 성능평가 값이다. 성능 평가값 중 K3를 동조한 후 가감동조를 실시한 퍼지 제 어기가 가장 작은 성능평가값을 나타냄을 알 수 있다

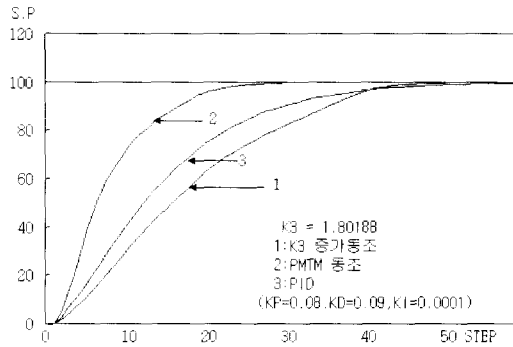


그림 4 K3 증가동조와 PMTM 동조결과(2차계)
 Fig. 4 Response for K3 increase tuning and PMTM tuning (2nd order)

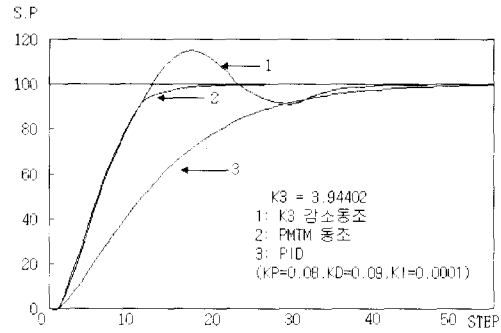


그림 5 K3 감소동조와 PMTM 동조결과(2차계)
 Fig. 5 Response for K3 decrease tuning and PMTM tuning (2nd order)

표 9 가감 동조 결과 제어값표 (2차계, K3증가동조)
 Table 9 Look-up table of PMTM result (2nd order, K3 increase tuning)

		△ERROR												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
E R R O R	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
	-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2
	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2
	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3
	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3
	1	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4
	2	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4
	3	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
	4	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
	5	-1	0	1	1	2	3	3	4	4	5	5	6	6
	6	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

표 10 성능평가값 (2차계, 증가동조)
 Table 10 Performance Index (2nd order)

제어기 종류	1	2	3
성능평가값(J)	3162.88	1018.49	2351.88

표 11 가감동조 결과 제어값표 (2차계, K3감소동조)
 Table 11 Look-up table of PMTM result (2nd order, K3 decrease tuning)

		△ERROR												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
E R R O R	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
	-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2
	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2
	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3
	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3
	1	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4
	2	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4
	3	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
	4	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
	5	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6
	6	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

표 12 입 출력 이득요소 (2차계, 감소동조)
 Table 12 Input/output scaling factors (2nd order)

제어기 종류	1	2	3
성능평가값(J)	1184.44	871.06	2351.88

두번째로 K3의 값을 큰 값인 200 부터 증감율인 0.01씩 감소시키면서 동조하였다. 동조 결과 K3값이 3.94402에서 설정한 허용오차 0.001 범위이내의 값으로 목표치에 수렴하였으며, 얻어진 K3값 3.94402를 고정하고 표 3의 초기 제어값표를 동조하여 표 11과 같은 동조된 새로운 제어값표를 얻었

다. 또한 동조된 이 제어값표를 사용하여 그림 5와 같은 응답 특성을 얻었다. 1은 초기의 제어값에 K3를 감소동조하여 얻은 3.94402를 적용한 결과이며 2는 그 결과에 제어값동조를 실행한 제어값표에 의한 시스템출력이며, 3은 PID제어기를 사용한 시스템 출력 결과이다.

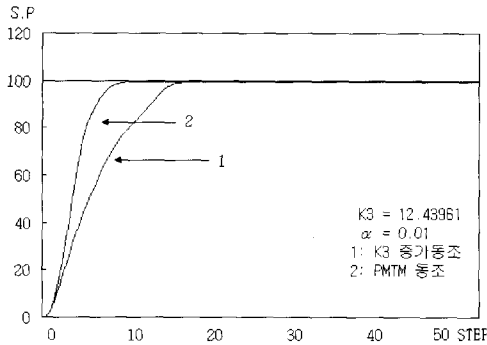


그림 6 K3 동조 와 PMTM 동조결과(3차계)
Fig. 6 Response for K3 tuning and PMTM tuning (3rd order)

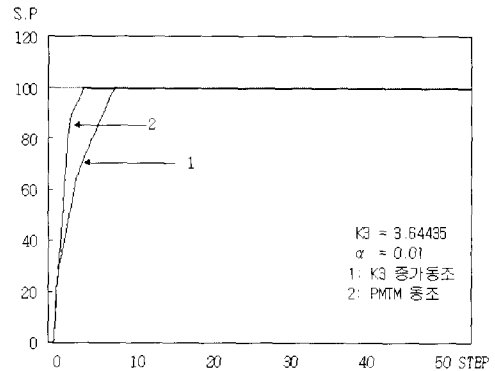


그림 7 K3 동조 와 PMTM 동조결과 (DC Servo Motor)
Fig. 7 Response for K3 tuning and PMTM tuning (DC Servo Motor)

표 13 K3동조후 가감동조 결과 제어값표 (3차계)
Table 13 Look-up table of PMTM result after tuning K3(3rd order)

		△ERROR												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
E R R O R	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
	-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2
	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2
	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	3	1	2	2	3
	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3
	1	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4
	2	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4
	3	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
	4	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
	5	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6
	6	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

표 14 성능평가값 (3차계)
Table 14 Performance Index (3rd order)

제어기 종류	1	2
성능평가값(J)	2294.8	1132.34

표 15 K3동조후 가감동조 결과 제어값표 (DC Servo Motor)
Table 15 Look-up table of PMTM result after tuning K3(DC Servo Motor)

		△ERROR												
		-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
E R R O R	-6	-6	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0
	-5	-6	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1
	-4	-5	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1
	-3	-5	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2
	-2	-4	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2
	-1	-4	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	3	1	2	2	3
	0	-3	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3
	1	-3	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4
	2	-2	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4
	3	-2	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5
	4	-1	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
	5	-1	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6
	6	0	1	1	2	2	3	3	4	4	5	5	6	6

표 16 성능평가값 (DC Servo Motor)
Table 16 Performance Index (DC Servo Motor)

제어기 종류	1	2
성능평가값(J)	901.1887	501.6125

5.3 3차계의 모의 실험

3차계에 대한 모의실험을 하였다. 먼저 K3값을 동조하였으며, 그 결과 12.43961을 얻었다. 그림 6에서 1번 곡선은 K3 값이 12.43961일 경우의 응답특성곡선이다. 다음으로 K3값을 12.4396으로 고정하고 가감동조에 의한 제어값동조를 하

였다. 그림 6에 2번 곡선과 같은 개선된 응답곡선을 얻었다.

5.4 DC servo motor 제어 모의 실험

다음으로 DC servo motor 모델에 대한 모의실험을 하였다. 모의 실험을 위한 파라미터는 다음과 같이 설정하였다.

먼저 K3값을 동조하였으며, 그 결과 12.43961을 얻었다. 그림 6에서 1번 곡선은 K3값이 12.43961일 경우의 응답특성곡선이다. 다음으로 K3값을 12.4396으로 고정하고 가감 동조에 의한 제어값동조를 하였다. 그림 6에 2번 곡선과 같은 개선된 응답곡선을 얻었다.

5.5 고 찰

지금까지의 모의실험에서 임의의 1차계, 2차계와 3차계와 DC servo motor를 제어대상으로 선정하여 퍼지제어기의 출력이득요소를 동조하였으며, 초기의 제어값표를 이용한 퍼지제어기 보다 가감동조에 의한 제어값 동조에 의해 새로이 생성된 제어값표를 적용한 퍼지제어기의 성능이 오버슈트의 감소 및 정정시간 단축으로 개선된 응답특성을 나타낼 수 있었다.

그림 3의 1과 2에서는 목표치에 수렴하지 못한 시스템에 가감동조를 적용하여 제어값표 중 일부의 값을 바꾸어줌으로써 시스템출력을 목표치에 수렴시킬 수 있음을 확인하였다. 그림 3의 3과 5는 K3를 동조한 결과를 이용하여 가감동조 실행시 보다 개선된 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다. 그림 3의 4와 5는 기존의 제어방식인 PID제어기와 비교를 한 것이며 기존의 PID제어기 보다 더 나은 성능을 얻을 수 있었다. 표 7은 그림 3에서 얻은 출력곡선들의 성능평가값이다. 성능 평가값 중 K3를 동조한 후 가감동조를 실시한 퍼지 제어기가 가장 작은 성능평가값을 나타낼 수 있다.

2차계의 경우에서는 출력이득요소 동조방법으로는 작은 값부터 점차적으로 증가시키는 방법과 비교적 큰값부터 시작하여 점차 감소시키면서 허용오차 범위에 드는 시스템출력을 얻을 수 있는 출력이득요소 K3를 구하고 그 K3를 적용하여 동조한 후 가감동조방법을 실행함으로써 정정시간과 오버슈트를 줄일 수 있음을 보였다.

3차계와 DC servo motor 모델의 경우에도 플랜트의 특성에 적합하도록 일부의 제어값이 동조된 표 13과 같은 새로운 제어값표를 얻음을 확인하였으며, 가감동조에 의한 표 14와 같이 성능평가값이 작아졌음을 확인하였다.

최적이 아닌 출력이득요소를 적용한 상태에서 가감동조방법을 적용하여 제어값표를 동조함으로써 목표치에 수렴시킬 수 있었으며, 최적의 출력이득요소를 출력이득요소 동조를 적용하여 구한 다음 가감동조방법을 적용 할 경우에도 보다 개선된 응답곡선을 얻을 수 있음을 확인하였다. 초기의 제어값표를 적용하였을 때 보다 상승시간, 정정시간, 오버슈트 등이 개선되었음을 보았으며, 또한 PID제어기와 제안한 퍼지 제어기를 서로 비교하였다.

6. 결 론

퍼지제어시스템에 영향을 미치는 주요 구성요소는 제어규칙, 소속함수, 퍼지추론, 비퍼지화, 입 출력이득요소이다. 퍼지제어에 대한 동조방법은 주로 제어규칙의 구성과 소속함수의 설정 그리고 입 출력이득요소의 산출방법에 의해 이루어지며, 퍼지추론과 비퍼지화방법 역시 플랜트의 특성에 따라 시스템출력에 영향을 미친다. 본 논문에서는 기존의 방법이 안고있는 문제점을 해결할 수 있는 입 출력이득요소의 동조방법과 퍼지제어과정 중 최적화되지 못했거나 부적절하게 선정되었던 퍼지제어를 위한 주요 구성요소들을 종합적으로 검토, 보완하여 응답특성의 개선을 도모할 수 있는 가감동조방법을 제안하였다.

모의실험에서는 1차계, 2차계, 3차계에 대한 모델을 설계하고, 입 출력이득요소를 산출할 수 있는 알고리즘을 적용하여 허용오차 범위이내의 오차값으로 목표치에 수렴할 수 있는 최적의 출력이득 값을 산출하는 실험과 제안한 가감동조방법을 통하여 초기의 일반적인 제어값을 동조하여 보다 개선된 응답을 나타내는 새로운 제어값표를 얻는 실험을 하였다. 실험 결과 1차계, 2차계, 3차계에서 모두 개선된 제어값표를 얻을 수 있었으며 초기의 제어값표를 사용하였을 때보다 약 두배이상의 향상된 가감동조 결과를 얻을 수 있었다. 특히 목표치에 수렴하지 못하는 시스템출력을 대상으로하여 제어값을 동조하므로써 목표치에 수렴시킬 수 있었으며, 또한 목표치에 수렴하는 시스템을 대상으로 하여 제어값을 동조하므로써 규칙기반, 소속함수, 비퍼지화, 퍼지추론방법등의 잘못된 설계와 오류에 의해 발생된 문제 즉 정정오차 발생으로인한 시스템의 불안정, 정정시간의 지연, 오버슈트등의 문제점을 효과적으로 극복하므로써 제안한 입 출력이득요소에 의한 동조와 제어값표 동조방법의 타당성을 입증하였다.

이 논문은 1997년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] T.Takagi, M.Sugeno, "Derivation of fuzzy control rules from human operator's control actions," Proc. of the IFAC symp. on Fuzzy Information, Knowledge Representation and Decision Analysis, Marseilles, France, July, pp.50-60, 1983
- [2] E.H.Mamdani and S.Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," Int.J.Man-Machine studies, vol.7, pp.1-13, 1975

- [3] P.J.King and E.H.Mamdani, "The application of fuzzy control systems to industrial processes," Automatica, vol.13, pp.1-13, 1975
- [4] T.J.Procyk, "A self-organizing controller for dynamic processors". Ph. D. thesis, Queen Mary College, London, 1977
- [5] T.Jespersen, "Self-organizing fuzzy logic control of a pH-neutralization process," Int. Rep. 8102, Electric Power Engineering Dept., Tech. Univ. of Denmark, 1980
- [6] S.B.Nielsen, "Mikrodatamatbaseret selvorganiserende fuzzy-regulering," Master thesis, Elect. Power Eng. Dept., Tech. Univ. of Denmark, 1981
- [7] E.N.Andersen, "Selvorganiserende fuzzy regulatorer," Master thesis, Lab. of Automatic Control Systems, Tech. Univ. of Denmark, 1982
- [8] S.Isaka, A.V.Se bald, "An optimization approach for fuzzy controller design," Proc. of the American Control Conf., San Diego, Ca., pp.1485-1490 May 23-25, 1990,
- [9] C.L.Karr, L.M.Freeman, D.L.Meredith, "Improved fuzzy process control of spacecraft autonomous rendezvous using a genetic algorithm," G. Rodriguez Ed., Intelligent Control and Adaptive systems, SPIE, vol.1, pp.274-288, 1996
- [10] Z.Y.Zhao, M.Tomizuka, S.Sagara, "A fuzzy tuner for fuzzy logic controllers," ACC/TP3, pp.2268-2272, 1992
- [11] M.Maeda, T.Sato, S.Murakami, "Design of the self-tuning fuzzy controller," Proc. of Int. Conf. on Fuzzy Logic & N. N., Iizuka, Japan, July 20-24, pp.393-396, 1990
- [12] Akihiro Ozeki, Hideji Fujikawa, Shin-ichi Yamada, Hiroaki Tanaka, "A Design Method of Self-Tuning Controller For Unknown Time-Delay System," IEEE, 1992
- [13] G.M. Abdelnourl, C.H. Chang, F.H. Huang and J.Y. Cheung, "Design of a fuzzy controller using input and output mapping factors." IEEE Trans. on systems, Man and Cybernetics, vol. 21, No. 5, sep./oct., 1991.
- [14] M. Maeda and S. Murakami, "A self-tuning fuzzy controller.," Fuzzy sets and system 51, pp. 29-40, 1992
- [15] W.C.Daughterity, B.Rathakrishnan, J.Yen, "Performance Evaluation of a Self-Tuning Fuzzy Controller," IEEE, 1992
- [16] G.G.Acosta, M.A.Mayosky, A.Miguel, J.M.Catalfo, "Fuzzy Logic and Pattern Recognition in a self-tuning Controller," Proc. of IEEE/RSJ Int. conf. on Intelligent and Robot Systems, Raleigh, NC July, pp.759-766, 1992
- [17] M.Yoshida, Y.Tsutsumi, T.Ishida, "Gain tuning method for design of fuzzy control systems," Proc. of Int. Conf. on Fuzzy Logic & N. N., Iizuka, Japan, July, pp.405-408, 1990.
- [18] M. Balazinski, M. Bellerose, E. Czogala, "Application of fuzzy logic techniques to the selection of cutting parameters in machining processes", Fuzzy Sets and Systems 63, PP.307-317, 1994

〈 저 자 소 개 〉



최한수(崔漢秀)

1954년 9월 30일생. 1980년 조선대학교 전기공학과 졸업 1994년 전북대학교 대학원 졸업(공학박사). 1985년 ~ 1986년 미국 Oregon Graduate Center 객원교수. 현재 조선대학교 공과대학 제어계측공학과 교수.



정헌(鄭憲)

1970년 10월 13일생. 1993년 조선대학교 제어계측공학과 졸업. 1996년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 1996년~현재 동 대학원 제어계측공학과 박사과정. 1992년~1995년 (주)금호사원. 1996년~1997년 한국기계연구원 위촉연구원. 1998년 ~ 현재 조선대학교 에너지자원기술연구소 전임연구원.