

퍼지 규칙기반제어기에서 시스템의 성능평가

김영철*, 최중수, 최한수*, 김성중**

전북대학교 전기공학과, * 조선대학교 제어계측공학과,

** 전북대학교 제어계측공학과

The Performance Evaluation of Fuzzy Rule-Based System

Young-Chul Kim, Jong-Soo Choi, Han-Soo Choi, Sung-Joong Kim

Dept. Electrical Eng. Chonbuk National Univ.

* Dept. Control & Instrumentation Eng. Chosun Univ.

** Dept. Control & Instrumentation Eng. Chonbuk National Univ.

ABSTRACT

In designing the fuzzy rule-based system, it has effected by the four significant factors such as the choice of membership function, scaling factor, the numbers of fuzzy control rule, the method of defuzzification. In this paper we design the fuzzy rule based system and evaluate by three factors, as follows reaching time, overshoot, and amplitude. And then we will show that the significant factors are the choice of scaling factor and the numbers of fuzzy control rule, and the system performance can be improved by the proper selection of the scaling factors.

1. 서론

퍼지이론은 L. A. Zadeh에 의해 퍼지집합론[1]을 제안하였고, 1974년의 E. H. Mamdani는 퍼지 논리 제어기(Fuzzy Logic Controller)에 대한 개념[2]을 제시하였다. 그 후로 퍼지논리 제어시스템은 공정제어와 비선형시스템등의 제어에 대해 기존의 제어시스템보다 우수한 성능이 있음을 보여주었다[3]. 규칙기반제어기의 설계는 자동제어와 인공지능분야(Artificial intelligence)가 결합한 새로운 방법[4]으로 제시되었고 이러한 규칙기반제어기의 개념을 이용하여 D.C. 서보모터의 제어기설계에 적용하여 퍼지 규칙기반제어기를 설계한다. 퍼지 규칙기반제어기를 설계할때 영향을 미치는 변수는 크게 4가지의 중요한 요소에 의해 영향을 받는다. 즉 멤버십함수의 영향, 환산계수(Scaling factor)의 영향, 퍼지제어규칙의 영향, 비퍼지화방법의 영향등이다. 이 논문에서는 퍼지 집합이론과 퍼지논리를 이용하여 퍼지 규칙기반제어기를 설계하고, D.C 서보 시스템의 속도 제어의 모의실험을 통하여 퍼지 규칙기반제어기를 구성하는 각 요소들이 시스템의 성능에 미치는 영향을 3가지 평가요소에 따라 평가하고, 최적의 퍼지제어기 설계를 위한 변수설정 방법에 대해 고찰한다. 또한, 가장 크게 영향을 미치는 요소가 퍼지 제어 규칙(Fuzzy control rules)과 환산계수(Scaling factor)임을 보이고 최소한의 제어규칙의 선정과 환산계수의 조정을 통하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있음을 보인다.

2. 퍼지 규칙기반 제어기의 설계

D.C 서보 시스템의 속도제어를 위한 퍼지 규칙기반 제어기의 설계는 다음과 같은 과정을 통하여 설계한다.

[단계1] 제어기의 입, 출력변수정의

[단계2] 멤버십함수 및 퍼지제어규칙의 설계

[단계3] 퍼지추론

[단계4] 비퍼지화와 규칙기반표(LOOK-UP TABLE)를 형성
여기에서 설계된 규칙기반표를 이용하여 D.C. 서보 시스템의 속도를 제어한다.

이 논문에서 제안한 퍼지규칙기반 제어기의 블록선도는 그림.1과 같다.

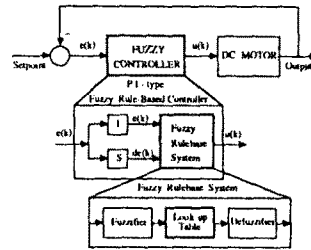


그림 1. 제안한 퍼지 규칙기반제어기의 블록선도

fig.1 Block diagram of fuzzy rule-based controller

제어기의 입력변수는 오차 $e(k)$ 와 오차의 변화량 $de(k)$ 로 선정하고, 출력변수는 퍼지제어기의 출력 $du(k)$ 으로 선정한다. 멤버십함수는 설계자의 경험과 지식에 의하여 주관적으로 정의되어지고, 입, 출력변수 $e(k)$, $de(k)$, $du(k)$ 에 대한 언어변수(Linguistic variable)는 다음과 같이 7개의 용어집합(Term set)으로 정의한다.

PB: Positive Big, PM: Positive Medium, PS: Positive Small, Z0: Zero, NS: Negative Small, NM: Negative Medium, NB: Negative Big

설계한 멤버십함수는 삼각형형태(Triangular form)로 설계하고, 용어집합에 대한 퍼지분할은 표 1, 표2와 같이 2가지의 이산적인 형태를 정의하고, 제어기의 입, 출력변수에 대한 전체 집합(Universe of discourse)U는 13개의 레벨로 양자화한다.

$$U = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$$

퍼지제어규칙은 전문가의 지식을 기반으로 한 언어적문장으로 구성된다. 전문가의 지식은 퍼지조건문을 퍼지논리로 쉽게 표현할 수 있는 "IF - THEN" 형태의 규칙으로 형성하며, 여기에서는 Macvicar-Whelan이 제안한 Meta-Rule[4]을 이용하여 그림 2.와 같이 49개의 제어규칙을 형성한다.

퍼지추론 및 비퍼지화과정을 통하여 입력값으로부터 출력값을 추론하게 된다. 추론의 합성규칙(Compositional rule of inference)은 최대-최소 합성법(Max-Min composition)을 이

용한다. 비퍼지화방법은 무게 중심법과 최대치 평균법을 이용하여 실제 제어기의 출력을 계산할 수 있다. 각각의 오차와 오차의 변화량에 따라 계산되어진 제어기의 출력은 표 3., 표 4. 와 같은 규칙제어표(LOOK-UP TABLE)표를 형성한다.

LOOK-UP TABLE을 이용하여 모터의 속도제어를 하는 과정에 대한 블록 다이어그램은 그림 3.과 같다. 여기에서 고려해야 할 중요한 요소는 환산계수(Scaling factor)이다. 퍼지 규칙 기반제어기의 LOOK-UP TABLE은 다음과 같은 2차원 행렬로 구성되어있다.

$$DU(k) = F[e(k), de(k)] \dots\dots\dots (1)$$

여기에서 연산자 $F[\cdot]$ 는 LOOK-UP TABLE을 나타낸다. 시스템에서 측정된 $e(k)$ 와 $de(k)$ 는 환산계수(Scaling factor)를 곱함으로써 다음과 같이 $E(k)$ 와 $DE(k)$ 로 Scaling mapping된다.

$$E(k) = Q(GE \cdot e(k)) \dots\dots\dots (2)$$

$$DE(k) = Q(GCE \cdot de(k)) \dots\dots\dots (3)$$

여기에서 Q 는 양자화(Quantization)를 의미하며 GE, GCE, GU 는 환산계수를 의미한다. 또한 비퍼지화된 제어기의 출력은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$du(k) = GU \cdot DU(k) \dots\dots\dots (4)$$

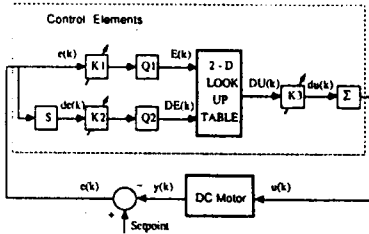


그림 3. 퍼지 규칙기반 제어기의 구조
fig.3 The structure of fuzzy rule based controller

3. 퍼지 규칙기반제어기에서의 시스템의 성능평가

앞 절에서 제시한 퍼지 규칙기반제어기설계 알고리즘을 D.C 서보 시스템에 적용한 모의 실험의 결과는 그림 5.의 A와 같고 사용한 D.C. 모터의 파라미터는 표5.와 같다. 이 절에서는 퍼지 규칙기반제어기를 설계할때 영향을 미치는 요소들을 제시하고, 그 요소들이 시스템의 성능에 주는 영향에 대해 알아보고 그 결과를 고찰한다. 여기에서 시스템의 성능을 평가하기 위하여 그림 4.과 같이 Overshoot(이하 OV), Reaching time(이하 RT), Amplitude(이하 AM)의 3가지 요소에 의해 평가한다.

3.1 멤버십함수(Membership function)의 영향

멤버십함수에서는 크게 멤버십함수의 형태와 퍼지분할을 다르게 할때 시스템의 성능에 영향을 미치나 멤버십함수의 형태는 시스템의 성능에 크게 영향을 주지 않는 것으로 알려져 있고[5], 여기에서는 계산을 편리하게 하기 위하여 삼각형 형태의 멤버십함수를 이용한다. 퍼지분할을 다르게 할때 나타나는 제어기의 출력의 변화는 그림 5.와 같다. 그림 5.의 A는 표 1.과 같은 형태의 멤버십함수를 이용하고, 그림 5.의 B는 표 2.와 같은 형태를 이용하였다. 이때 환산계수는 $K1=0.06, K2=0.06, K3=4$ 이며 COG를 이용하였다.

3.2 환산계수(Scaling factor)의 영향

표 1.과 같이 멤버십함수를 일정하게 퍼지분할하고, 환산계수 $K1, K2, K3$ 의 영향에 대한 평가를 한다. 그림 5.의 A를 기준으로 하고 각각의 환산계수의 값을 변화시켜 이 계수들이 시스템의 성능에 미치는 영향을 평가한다. 퍼지추론은 COG방법을

이용하였다.

먼저 $K1$ 의 영향은 모의 실험 결과에 의하여 $K1$ 이 증가하면 OV 가 커지고 RT 가 빨라진다. 또한 Oscillation(AM)이 커짐을 알 수 있다. 이때 $K2$ 는 0.06이고, $K3$ 는 4이며, $K1$ 은 0.03, 0.2, 1.0으로 증가하고 그 결과는 그림 6.의 A, B, C이다.

$K2$ 의 영향은 모의 실험결과 의하여 $K2$ 가 증가할수록 RT 이 느려지고, OV 나 AM 에 대하여는 무관하며, 정상상태 오차가 커짐을 알 수 있다. 이때 $K1$ 은 0.06이고, $K3$ 는 4이며, $K1$ 은 0.2, 2.0, 4.0으로 증가하며 그 결과는 그림 7.의 A, B, C와 같다.

$K3$ 의 영향은 모의 실험 결과에 의하여 $K3$ 가 증가하면 RT 가 빨라지고 OV 가 커지며, AM 이 증가한다. 실험결과를 통하여 어느 정도의 범위까지는 OV, AM 이 없다가 $K3$ 가 4를 넘어서면 OV, AM 이 증가함을 알 수 있다. 이때 $K1$ 은 0.06이고, $K2$ 는 0.06이며, $K3$ 는 2, 8, 10, 15로 증가하고 그 결과는 그림 8.의 A, B, C, D이다.

이상의 결과를 통하여 퍼지제어기에서의 환산계수의 영향은 기존의 PID제어기의 파라미터와 같은 중요한 기능을 행하며 시스템의 성능에 중요한 영향을 미침을 알 수 있다.

3.3 퍼지제어규칙(Fuzzy control rules)에 따른 영향

퍼지제어기를 설계할때 가장 중요한 요소중의 하나가 퍼지제어규칙의 유도이다. 퍼지제어규칙을 얻는 방법은 4가지의 방법이 크게 제시되고 있다[4]. 첫째, 경험자의 지식과 경험, 둘째, 조작자의 제어동작, 셋째, 공정의 퍼지모델, 넷째, 학습에 기초한 방법등이 제시되고 있다. D.C 서보시스템제어를 위하여 Macvicar-Whelan이 제안한 Meta-Rule을 이용[4]하여 퍼지 규칙기반을 설계한다. 여기에서는 규칙의 갯수가 시스템의 성능에 미치는 영향을 평가한다. 그림 9.의 결과에서 A는 49개의 규칙을 사용하고 B는 13개의 규칙을 사용한다. 또한 규칙의 갯수를 9개로 줄이면 시스템의 출력이 나오지 않는다. 따라서 그림 9.의 결과에서 퍼지제어기의 동작을 위한 최소한의 규칙이 있고, 그 규칙의 갯수의 감소가 시스템의 성능에 중대한 영향을 미치지 않을때 최소한의 규칙을 이용하는 것이 제어기 전체 동작시간을 줄일 수 있다. 이때 $K1=0.06, K2 = 0.06, K3 = 4$ 이고, 멤버십함수의 형태는 표 1.을 이용하고 비퍼지화 방법은 COG를 사용하였다.

3.4 비퍼지화 방법에 대한 영향

비퍼지화방법은 최대값방법(Maximum criterion method), 최대치 평균법(Mean of Maximum method: MOM), 무게 중심법(Center of Gravity method: COG)등이 있으며 여기에서는 최대치 평균법과 무게중심법을 비교하여 그 결과를 그림 10.과 같이 제시하였다. COG와 MOM은 같은 결과를 나타냈다. 이때 $K1 = 0.06, K2 = 0.06, K3 = 4$ 이다. 멤버십함수의 형태는 표 1.의 값을 취한다.

3.5 시스템의 성능개선

멤버십함수 영향을 환산계수를 이용하여 개선함을 보인다. 그림 5. B는 멤버십함수를 표 2.와 같이 택할때의 결과이다. 그림 5. B에서 $K1$ 을 고려하면 RT 를 빠르게하고 AM 과 OV 가 증가하고 정상상태오차가 발생한다. 그림 11. A는 결과를 나타낸다. 이때 $K1 = 0.2, K2 = 0.2, K3 = 4$ 이다. 앞의 결과를 RT 는 느리지만 정상상태오차와 Overshoot를 개선하면 그림 11. B와 같다. 이때 $K1 = 0.6, K2 = 0.06, K3 = 1$ 이다. 비퍼지화방법은 COG를 사용한다.

퍼지제어규칙의 수를 13개로 할때 그림 12.의 A의 결과를 보인다. 여기에서 $K1$ 을 고려하여 RT 와 정상상태오차를 줄일 수 있고 그 결과는 그림 12. B와 같다. 이때 $K1 = 0.065, K2 = 0.06, K3 = 4$ 이다.

실험결과를 통하여 멤버십함수와 퍼지제어규칙의 갯수의 영향, 환산계수를 조정하여 시스템의 성능을 개선할 수 있다.

4. 결론

이 논문에서는 D.C 서보시스템제어를 위한 퍼지 규칙기반제어를 설계하고, 퍼지 규칙기반제어기의 설계시 시스템의 성능에 영향을 미치는 요소들을 3가지의 평가요소를 도입하여, 모의실험을 통하여 시스템의 성능을 평가하여 보았다. 멤버십함수의 경우 멤버십함수의 형태는 크게 영향을 미치지 못하고, 멤버십함수의 퍼지분할을 다르게 할때 정상상태 오차와 Oscillation이 발생함을 알 수 있고, 비퍼지화 방법에 의해서는 전혀 영향이 없음을 알 수 있다. 또한, 제어기의 설계에 있어서 시스템의 성능에 가장 중요한 영향을 미치는 요소는 환산계수(Scaling factor)의 선정과 퍼지제어규칙(Fuzzy control rules)의 갱수임을 알 수 있었다. 환산계수의 영향에서 K1은 정상상태오차(Steady state error)의 감소, Reaching time이 증가, Oscillation에 관계한다. K2는 K1에 비하여 훨씬 적게 영향을 미치고 K2는 Reaching time과 정상상태 오차와 관계하며 OV나 AM에 대하여는 무관하다. K3는 Reaching time의 증가와 Overshoot의 감소와 관계가 있다. 공정의 과도응답에 따라 적절하게 환산계수를 조정함으로써 제어기의 성능을 개선할 수 있다. 또한 멤버십함수, 퍼지제어규칙, 비퍼지화방법등은 환산계수의 영향을 고려하여 조절하면, 시스템의 성능을 향상할 수 있음을 알 수 있다. 앞으로 제시한 알고리즘을 이용하여, D.C 서보모터 퍼지 규칙기반제어시스템과 차기동조 퍼지제어기(Self-Tuning Fuzzy Controller)를 구현하는 것이 과제로 남아있다.

참고 문헌

- [1] L. A. Zadeh, "Fuzzy Sets", Inform. Contr., vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [2] P. J. King and E. H. Mamdani, "The Application of Fuzzy Control Systems to Industrial Process", Automatica, vol. 13, pp. 235-242, 1977.
- [3] C. C. Lee, "Fuzzy Logic In Control Systems: Fuzzy Logic Controller-Part I and II", IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., vol. 20, no. 2, pp. 404-435, March/April 1990.
- [4] P. J. Macvicar-Whelan, "Fuzzy Sets for Man-machine interaction", Int. J. Man-Machine Studies, vol. 8, pp. 687-697, Nov. 1976.
- [5] 변중남, " 퍼지논리를 이용한 제어시스템과 응용사례 ", KAIST, 1991.
- [6] 최중수, 김성중, 최한수, " D.C. 모터의 속도제어를 위한 퍼지 알고리즘 ", KACC, vol. 1, pp. 676 - 680, 1991.
- [7] Y. F. Li and C. C. Lau, "Development of Fuzzy Algorithm for Servo Systems. ", IEEE Control Systems Magazine, pp. 65 - 71, April, 1989.

Linguistic Variables	Quantization Levels												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
NB	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NM	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NS	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZO	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
PM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3	0.0	0.0
PB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.7	0.3

표 1. 멤버십함수의 이산적인 표현(Type 1)
table 1. Discrete representation of membership functions

Linguistic Variables	Quantization Levels												
	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
NB	1.0	0.9	0.7	0.5	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NM	0.0	0.5	1.0	0.8	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NS	0.0	0.3	0.5	0.8	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
ZO	0.0	0.0	0.0	0.3	0.7	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.8	0.5	0.3	0.0	0.0
PM	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5	0.8	1.0	0.5	0.0	0.0
PB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	0.0

표 2. 멤버십함수의 이산적인 표현(Type 2)
table 2. Discrete representation of membership functions

		Change in Error(DE)						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
Error(E)	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZO
	NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	PS
	NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PM
	ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
	PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
	PM	NS	ZO	PS	PM	PM	PB	PB
	PB	ZO	PS	PM	PB	PB	PB	PB

그림 2. 설계한 규칙기반
fig. 2 The designed rule base

DE \ E	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-5.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	0.0
-5	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-5.0	-5.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	0.0
-4	-6.0	-6.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-3.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	1.0
-3	-6.0	-6.0	-5.0	-4.0	-3.0	-3.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	2.0
-2	-5.0	-5.0	-4.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	3.0
-1	-5.0	-5.0	-4.0	-3.0	-2.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	4.0
0	-4.0	-4.0	-3.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0
1	-4.0	-3.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0
2	-3.0	-3.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	5.0	5.0
3	-2.0	-2.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	6.0	6.0
4	-1.0	-1.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	4.0	4.0	5.0	6.0	6.0	6.0
5	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0
6	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	5.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0

표 3. 무게 중심법을 이용한 추론 결과(COG방법을 이용)
Table 3. Decision table using the center of gravity method

DE \ E	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-6.0	-3.0	-3.0	-2.0	-2.0	-1.0	0.0
-5	-6.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	0.0	1.0
-4	-6.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
-3	-6.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-4.0	-1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0
-2	-6.0	-5.0	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-3.0	0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0
-1	-5.0	-5.0	-4.0	-4.0	-4.0	-3.0	-2.0	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0	3.0
0	-4.0	-4.0	-4.0	-3.0	-3.0	-2.0	0.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	4.0
1	-3.0	-1.0	-1.0	-1.0	0.0	1.0	3.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0
2	-3.0	-1.0	0.0	0.0	1.0	2.0	3.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0
3	-2.0	-1.0	0.0	0.0	1.0	2.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0
4	-2.0	0.0	0.0	0.0	1.0	2.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0
5	-1.0	0.0	0.0	1.0	1.0	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	6.0
6	0.0	1.0	2.0	2.0	3.0	4.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0

표 4. 면적 중심법을 이용한 추론 결과(MOM방법을 이용)
Table 4. Decision table using the mean of maximum method

Armature Resistance	$R_a = 3.5$	[Ω]
Armature Inductance	$L_a = 10 \times 10^{-3}$	[H]
Torque Constant	$K_t = 1.088$	[Nm/A]
Back emf Constant	$K_b = 1.1$	[V/Rad/Sec]
Rotor Inertia Motor	$J_m = 0.0945$	[Kg·m ²]

표 5. D.C 모터의 파라미터
Table 5. Parameters of D.C. Motor

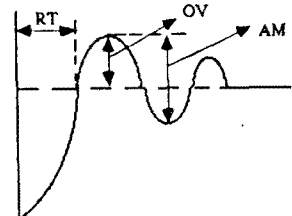


그림 4. 제어시스템의 성능평가 요소
fig. 4 The elements of performance measure of the control system

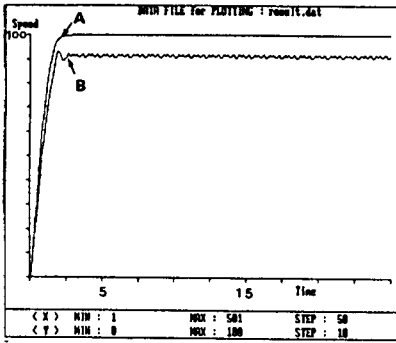


그림 5. 멤버십함수의 변화에 의한 결과
fig. 5 results of the change of membership functions

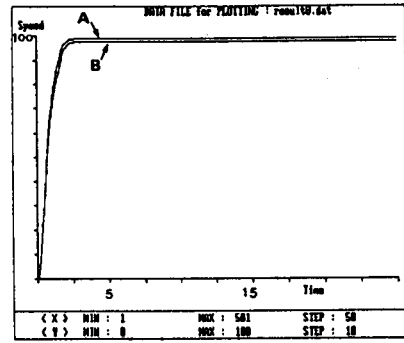


그림 9. 퍼지제어규칙의 수에 의한 영향 평가
fig. 9 The influences of numbers by fuzzy control rule

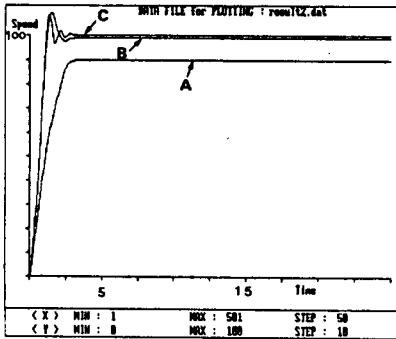


그림 6. 환산계수의 영향 평가(K1의 영향)
fig. 6 The influences of scaling factors

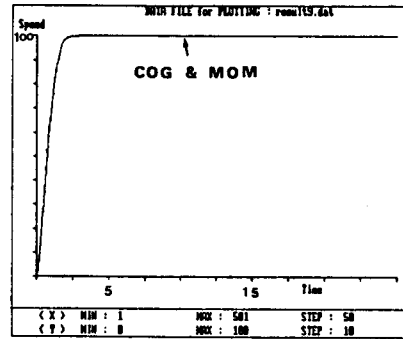


그림 10. 비퍼지화 방법에 의한 영향 평가
fig. 10 The influences of methods by defuzzification

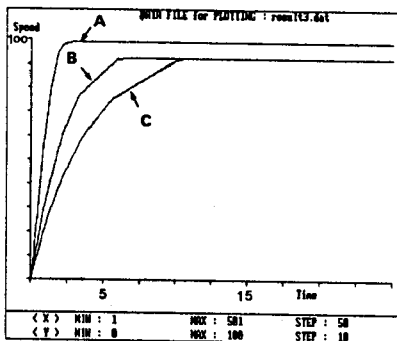


그림 7. 환산계수의 영향 평가(K2의 영향)
fig. 7 The influences of scaling factors

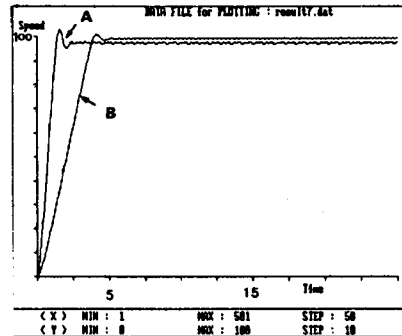


그림 11. 멤버십함수의 영향에 대한 성능개선
fig. 11 The improvement of effect by membership function

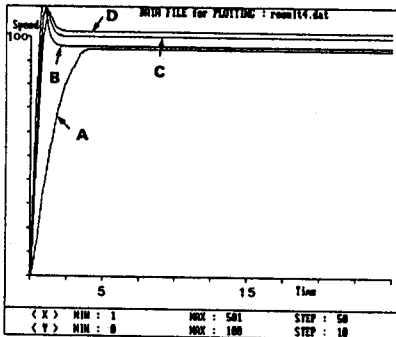


그림 8. 환산계수의 영향 평가(K3의 영향)
fig. 8 The influences of scaling factors

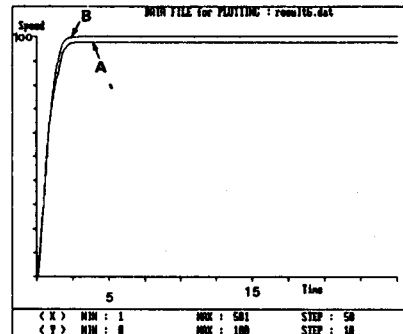


그림 12. 퍼지제어규칙의 개수에 대한 성능개선
fig. 12 The improvement of effect by numbers of fuzzy control rule