

## 직류 서보계의 퍼지제어와 $\alpha$ -레벨 퍼지집합 분해에 의한 퍼지추론 연산회로 구현

이요섭† · 홍정표\* · 홍순일\*\*

(원고접수일 : 2004년 4월 26일, 심사완료일 : 2004년 6월 22일)

### Fuzzy Control of DC Servo System and Implemented Logic Circuits of Fuzzy Inference Engine Using Decomposition of $\alpha$ -level Fuzzy Set

Yo-Seob Lee† · Jeng-pyo Hong\* · Soon-ill Hong\*\*

**Abstract** : The purpose of this study is to develop a servo system with faster and more accurate response. This paper describes a method of approximate reasoning for fuzzy control of servo system based on the decomposition of  $\alpha$ -level fuzzy sets. We propose that fuzzy logic algorithm is a body from fuzzy inference to defuzzification in cases where the output variable  $u$  directly is generated PWM. The effectiveness for robust and faster response of the fuzzy control scheme are verified for a variable parameter by comparison with a PID control and fuzzy control. A position control of DC servo system with a fuzzy logic controller is demonstrated successfully.

**Key words** : Decomposition of  $\alpha$ -level set, Generated PWM, Fuzzy logic circuits.

#### 1. 서 론

종래의 PID 제어는 산업의 많은 분야에 이용되고 있지만 제어대상이 비교적 단순한 시스템에 많이 사용되고 시스템이 근사적으로 수식화가 가능하지 않으면 안 된다. 또한 제어 파라미터를 어느 제어대상에 맞추어 결정해 놓으면 제어대상이 변한 경우 원하는 응답을 얻을 수 없고 제어계의 건설성에 관한 문제점이 있다. 따라서 수식으로 명확히 기술할 수 없는 대상을 제어하는 경우에는

종래의 PID 제어는 적용할 수 없고, 다른 제어방식이 필요하게 된다.

퍼지이론은 경계가 불명확한 일반적인 퍼지집합으로 나타내는 방법과  $\alpha$ -컷 분해에 의한  $\alpha$ -레벨 집합으로 나타내는 방법이 있다. 퍼지제어에서 가장 중요한 것은 퍼지추론이고  $\alpha$ -레벨 집합에 의한 추론은 소속함수를 2치로 양자화하여 연산을 행하기 때문에 하드웨어 구현이 쉽다. 또한 연산을 할 때 각  $\alpha$ -레벨 집합군을 병렬적으로 처리할 수 있기 때문에 고속연산이 가능하다<sup>[1], [2]</sup>.

† 책임저자(부경대학교 전기공학과 박사과정), E-mail : sihong@pknu.ac.kr, T : 051)620-1431

\* 부경대학교 기계공학부 박사과정

\*\* 부경대학교 전기제어 계측공학부

최근 퍼지이론을 고속 하드웨어로 취급하기 위한 연구가 진행되고 있으며 하드웨어는 크게 나누어 디지털회로에 의한 것과 아날로그 회로에 의한 것이 있다. 퍼지제어에서 연산 시간을 줄이기 위해 시스템이 복잡하여 프로그램 처리 시간이 많이 소요되는 연산은 소프트웨어로 처리하고 일반적인 퍼지논리는 퍼지로지 전자회로로 연산을 행하는 것이 필요하다<sup>[3], [4]</sup>.

서보계는 파라미터 변동과 부하외란에 대해 건실성과 빠른 응답이 요구되지만 일반적인 PI제어는 계통 파라미터 변동에 민감하여 순간적으로 인가되는 부하외란에 대해 빠른 과도응답을 갖지 못하여 건실성이 떨어진다<sup>[5], [6]</sup>.

본 연구의 목적은 서보 시스템에 퍼지제어를 적용하고 퍼지제어기를 전자회로화 하여 제어계의 건실성을 얻고 고속, 정확히 제어하는 것이다.

본 논문에서는 min · max에 의한 퍼지추론과 중심법에 의한 비퍼지화로서 α-레벨집합을 이용하여 퍼지추론과 비퍼지화 계산식을 도출하였고 퍼지추론에서 비퍼지화까지 일체적으로 PWM 조작성호를 출력하는 방법을 제안하였다. 그리고 이 계산식에 기초하여 퍼지제어기를 전자회로로 실현하였다.

퍼지제어에 의한 직류 서보계의 시뮬레이션 검토 결과 퍼지제어가 PID제어 보다 응답 특성을 개선할 수 있음을 알 수 있었다. 퍼지제어를 이용한 서보계는 튜닝된 PID제어와 같은 속응성을 나타내고 PID제어 보다 시정수 등의 변화에 영향이 적고 건실성이 있는 것을 확인하였다. α-레벨 집합 분해에 의한 퍼지제어에서 필요한 소속함수의 분할 수는 비교적 적은 분할 수인 α-컷 4단계에서 적절한 제어결과가 얻어짐을 알 수 있었다. 퍼지제어기 로직회로를 실현하여 직류 서보계에 실현하여 퍼지제어의 유용성을 확인하였다.

## 2. α-레벨 집합에 의한 퍼지제어 계산

### 2.1 α-레벨 집합에 의한 퍼지추론

추론방법은 많이 사용되고 있는 min · min ·

max 법을 취하고 이것은 순서대로 전건부 · 후건부 변형 · 후건부합성의 각 연산법을 의미한다. 비퍼지화는 중심법으로 한다.

퍼지추론은 오차 e와 오차 변화분 Δe를 입력으로 하여 제어규칙이 n개라 하면 (1)과 같이 표현한다.

$$\begin{aligned} R_i &: \text{if } e \text{ is } A_i \text{ and } \Delta e \text{ is} \\ B_i &\text{ then } u \text{ is } C_i \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $A_i$ ,  $B_i$ ,  $C_i$ 는 퍼지집합이고, if 절에 주어진 e, Δe는 전건부(antecedent part), then 절에 주어진 u를 후건부(consequents part)라 한다. min · max 법에 의한 퍼지추론 계산은 (2)로 표현된다.

$$\begin{aligned} \mu_{C'}(u) &= \bigvee_{i=1}^n [\mu_{A_i}(e) \wedge \mu_{B_i}(\Delta e)] \wedge \mu_{C_i}(u) \\ &= \bigvee_{i=1}^n \mu_{C'_i}(u) \end{aligned} \quad (2)$$

여기서,  $\mu$  : 퍼지집합의 소속함수

$C'_i$  : 각 제어규칙의 추론결과 퍼지집합

$C'$  : 최종 추론결과 퍼지집합

퍼지집합 F의 α-레벨 집합  $F_\alpha$ 는 (3)으로 정의되고 α-컷이라 한다.

$$F_\alpha = \{x \mid \mu_F(x) \geq \alpha\}, \quad \alpha \in [0, 1] \quad (3)$$

여기서  $0 < \alpha < 1$  이다. (2)는 (3)의 α-레벨 집합을 이용하여  $C'_\alpha$ 를 나타내면 아래와 같다.

$$\begin{aligned} C'_\alpha &= \{u \mid \mu_{C'}(u) \geq \alpha\} \\ &= \bigcup_{i=1}^n \{u \mid \mu_{C'_i}(u) \geq \alpha\} \\ &= \bigcup_{i=1}^n C'_{i\alpha} \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, 각 규칙의 추론결과  $C'_{i\alpha}$ 는 제어규칙 수를 m, α-컷 양자화수를 n( $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $\alpha = 1, 2, \dots, n$ )라 하면 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} C'_{i\alpha} &= \{u \mid (\mu_{A_i}(e) \wedge \mu_{B_i}(\Delta e)) \wedge \mu_{C_i}(u) \geq \alpha\} \\ &= \begin{cases} C'_{i\alpha} & \mu_{A_i}(e) \wedge \mu_{B_i}(\Delta e) \geq \alpha \\ \emptyset & \text{otherwise} \end{cases} \\ &= \begin{cases} C'_{i\alpha} & e \in A_{i\alpha} \text{ and } \Delta e \in B_{i\alpha} \\ \emptyset & \text{otherwise} \end{cases} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, 퍼지집합  $A_{ia}, B_{ia}, C_a, C'_{ia}$ 는  $\alpha$ -레벨 퍼지집합이고  $\psi$ (불록) 조건을 취한다.  $\psi$  퍼지집합의  $\alpha$ -레벨 집합은 폐구간이 되므로 구간 단점의 연산이고 최종 추론결과  $C'_a$ 는 (6)이 된다.

$$C'_a = [l_a, r_a] \quad (6)$$

단,  $l_a, r_a$ 는 후건부 퍼지집합의 좌단치와 우단치이다.

2.2 중심법에 의한 비퍼지화

$u$ 의 적분은  $u$ 의 대집합  $U$  전체를 적분 범위로 하는 정적분을 나타내고  $\alpha$ -컷 집합을 이용하여 나타내면 (7)과 같다.

$$u = \frac{\int_M u da du}{\int_M 1 da du} = \frac{\int_0^1 \left[ \int_{C'_a} u du \right] da}{\int_0^1 \left[ \int_{C'_a} 1 du \right] da} \quad (7)$$

[  $M = \{(\alpha, u) \mid u \in C'_a\}$  ]

$$u = \frac{\int_0^1 1/2(r_a^2 - l_a^2) da}{\int_0^1 (r_a - l_a) da} = \frac{\int_0^1 (w_a g_a) da}{\int_0^1 w_a da} = \frac{N}{D} \quad (8)$$

3.  $\alpha$ -레벨 양자화 영향평가

Fig. 1은 퍼지제어에 의한 직류 서보계의 각변위  $\theta$  [rad]의 위치제어 구성도이다. 이용된 서보 전동기의 전달함수는  $G(s) = \frac{K_m}{s(1+T_m s)}$  이고 2차 지연계에 근사하였다.

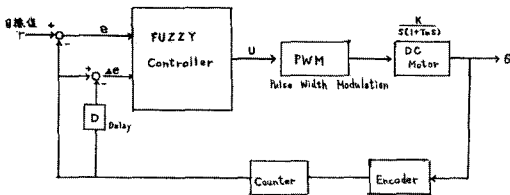


Fig. 1 System configuration of fuzzy controlled DC servo drive.

여기서, 전동기 이득정수  $K_m=5$ , 시정수  $T_m=0.05$ [sec] 그리고 관성모우먼트  $J=0.28$  [kg·cm<sup>2</sup>]이다. 퍼지제어기의 입력은  $e=(\theta^* - \theta)$  [rad]와  $\Delta e$ 이며 샘플링 주기  $\Delta T=0.05$  [sec] 이다. 그리고 조작량  $u$ 는 전압 [V] 이다.

Fig. 2는 전건부와 후건부의 소속함수를 나타내고 Table 1은 제어규칙을 라벨로 나타낸 것이다.

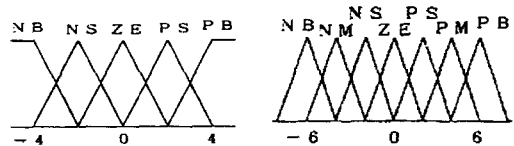


Fig. 2 A Membership function of antecedents and consequents.

소속함수는  $e$ 와  $\Delta e$ 을 횡축에 나타내었으며 전동기에 설치된 인코더의 출력을 업다운 카운터에서 읽어 그 값을  $e$ 와  $\Delta e$ 로 양자화한 것이고, 제어기 출력  $u$ 의 소속함수 횡축은 전압값으로 양자화한다.

Table 1 Control rules.

$\Delta e \backslash e$	NB	NS	ZE	PS	PB
	u				
NB	NB	NB	NB	NB	NB
NS	PM	ZE	NS	NM	NB
ZE	PB	PS	ZE	NS	NB
PS	PB	PM	PS	ZE	NM
PB	PB	PB	PB	PB	PB

여기서 각 라벨은 다음과 같다.

- NB : negative big, NM : negative medium
- NS : negative small, ZE : zero
- PS : positive small, PB : positive big
- PM : positive medium

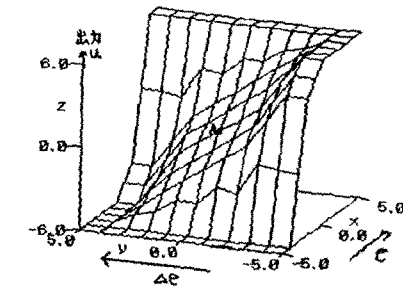
표로부터 알 수 있는 것과 같이 편차  $e$ 가 PB 및 NB인 경우에는  $\Delta e$ 에 관계없이 출력  $u$ 는 PB 및 NB 하여 속응성을 높이고 있다.

3.1 퍼지제어와 PID 제어의 규칙비교

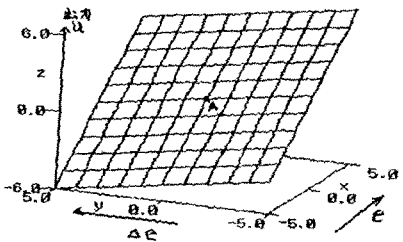
구성된 서보제어 시스템에서 퍼지제어와 PID 제어의 제어규칙을 비교해서 그 차이를 조사한다. PID 제어의 샘플링 제어에서 시간  $t = n \times \Delta T$  에서 조작량  $u_n$ 은 (9)가 된다.

$$u_n = k_p \{e_n + (e_n \times \Delta T) / k_i + k_d(e_n - e_{n-1}) / \Delta T\} \quad (9)$$

여기서  $e_n$ 은 시간  $t$ 에서 편차이고  $k_p, k_i, k_d$ 는 각각 비례, 적분, 미분의 계수이다. 또 편차의 변화분  $\Delta e_n$ 은  $e_n - e_{n-1}$ 으로 나타낸다. 지금  $e_n, \Delta e_n$ 의 범위는 퍼지제어의 경우와 같이 규격화하여  $[-5, 5]$ 의 폐구간으로 놓고 제어한다. 시뮬레이션에 이용한 정수는 각각  $k_p \approx 0.63, k_i = 0.57, k_d = 0.78$  및  $\Delta T = 0.05$  [sec]로 한다.



(a) Fuzzy control



(b) PID Control

Fig. 3 Input/output characteristics by fuzzy and PID control.

Fig. 3 (a)은 퍼지제어기 입력  $e, \Delta e$ 에 대한 조작량  $u$ 의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 점 A는  $e = 0, \Delta e = 0$ 의 경우  $u = 0$ 이 되는 점을 나타내고 있다. PID 제어는  $e$ 와  $\Delta e$ 의 평면 좌표상에 평면을 형성하고 있으나 이 것에 대해 퍼지제어는凹凸이 있는 비선형의 모양을 형성하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 퍼지제어의 경우 비선형 제어를 실현하고 있는 것이라 할 수 있다.

3.2 직류 서보계의 응답특성 비교

위치제어는 퍼지제어와 PID제어로 시뮬레이션을 실행하고 제어방법의 차이에 따라 응답의 변화를 조사했다. 퍼지제어의 소속함수 및 제어규칙은 Fig. 2 및 표 1에 표시한 것을 이용하고 추론은 min·max·중심법을 이용한다. 그리고 PID 제어에는 (9)를 이용했다.

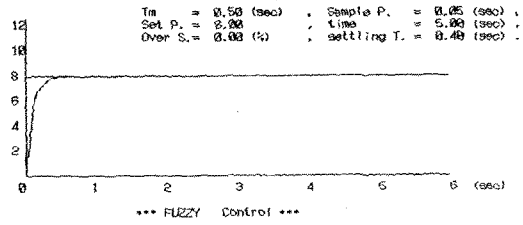


Fig. 4 Step response by fuzzy control.

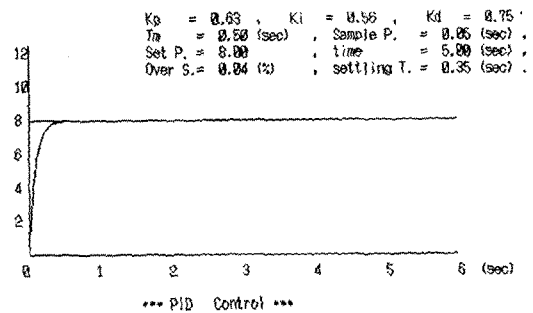
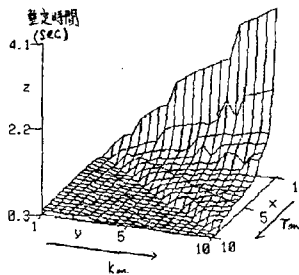


Fig. 5 Step response by PID control.

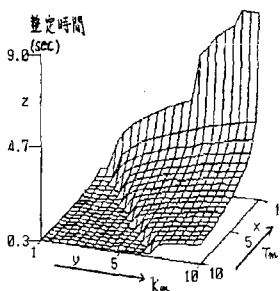
Fig. 4, 5는 퍼지제어와 PID 제어에서 목표치 8(rad)일 때 출력 위치[rad]의 단위 계단응답을 나타내고 시정수를 0.5 [sec]로 하였다. 시뮬레이션에서 샘플링 주기는 0.5 [sec]이다. PID제어

는 퍼지제어보다 오버슈트가 0.04% 크고 정정시간은 거의 비슷하게 되었다. PID제어는 어떤 하나의 조건하에서는 최적화 제어를 실현할 수 있으나 조건이 변화했을 때의 대응에는 대단히 어려운 것을 알 수 있다. 그러나 퍼지제어의 특징인 비선형 제어를 이용하면 전동기 시정수 등의 정수 변화에 잘 추종하고 있는 것을 알 수 있다. 응답 특성에서 정정시간은 속응성을 나타내는 하나의 지표가 되기 때문에 서보계의 시정수와 이득의 변화에 대한 정정시간을 조사하여 두 제어방법의 건설성을 조사했다.

Fig. 6 (a), (b)는 서보계의 시정수  $T_m$ 과 이득  $K_m$ 의 값을 [1, 10]의 폐구간에 두고 그 때의 PID제어와 퍼지제어에서 각각의 정정시간을 나타낸 것이다. 그림에서 퍼지제어 쪽이 전체적으로 정정시간이 짧고 정정시간이 약 0.3 [sec]로 종료되는 영역이 넓은 것을 알 수 있고 이것은 퍼지제어 쪽이 시정수 등의 파라미터의 변화에 대하여 건설성이 높다고 말할 수 있다.



(a) PID control

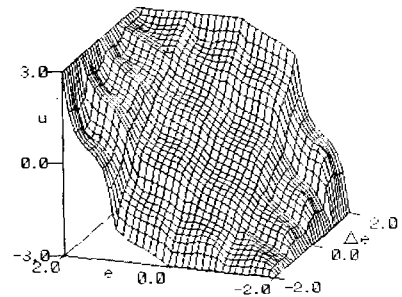


(b) Fuzzy control

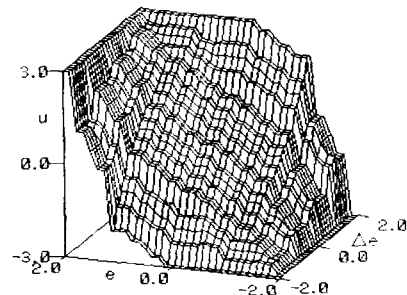
Fig. 6 Settling time by comparison with a PID and fuzzy control.

### 3.3 $\alpha$ -컷 분해수의 영향

Fig. 7은  $\alpha$ -컷 분해수 변화에 대해 제어기 입력  $e$ ,  $\Delta e$ 와 출력  $u$ 의 퍼지추론 관계의 시뮬레이션 결과로서 (a)는 양자화 단계를 50으로 한 경우이고 (b)는 4단계로 한 경우이다. 양자화의 영향은  $\alpha$ -레벨 50단계에서는 입력에 대하여 출력의 제어표면이 평탄하고 선형에 가깝게 나타나고  $\alpha$ -레벨 4단계의 경우에 출력의 제어표면이 계단모양의 단층이 많은 것을 알 수 있다.



(a)  $\alpha$ -level=50 step



(b)  $\alpha$ -level=4 step

Fig. 7 Input/output characteristics by 50 step and 4 step in  $\alpha$ -level

Fig. 8은 퍼지제어기 양자화수 4와 50으로 하고 목표치  $\theta^* = 4\pi$  [rad]하여 직류서보전동기의 위치응답 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 대체적으로 응답의 차이가 적은 것을 알 수 있고 실제 양자화수 1의 경우에도 어느 정도의 제어 동작을 행하고 있었다. 이것은 퍼지 제어성능은 주로 제어 규칙 베이스의 구조에 따라 결정되고 증간의 소속함수

값은 미세 조정의 역할을 한다고 생각할 수 있다.

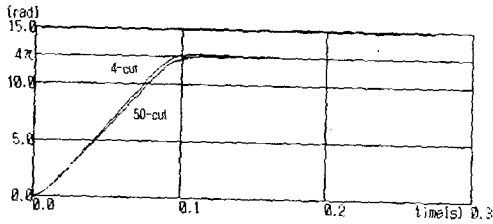


Fig. 8 Step response by  $\alpha=50$  step and  $\alpha=4$  step

이상 퍼지제어기 입출력 특성과 서보계의 위치 응답의 시뮬레이션 판단으로부터 양자화 수는 하드웨어를 구현 할 경우 회로의 간단성, 안정성 등을 고려하여 4단계  $\alpha$ -컷이 적합하다고 생각된다.

### 4. 퍼지제어기의 하드웨어 실현

퍼지제어기는 추론 블록과 비퍼지화 블록으로 구성되고 추론부는 입력부, 제어규칙부, 소속함수부 및 최대, 최소부가 있다. 소속함수  $\alpha$ -레벨 분할은 시뮬레이션 검토에 따라  $\alpha = 0.8, 0.6, 0.4, 0.2$ (전압분할)의 4단계이고  $\alpha$ -레벨 퍼지집합에서 구간의 단점을 전압으로 나타내며 전압은 전압분압 회로에서 얻는다. 추론블록은 각 단계를 병렬로 처리하기 위해 동일한 4개의 회로로 구성한다.

#### 4.1 퍼지추론 블록

(a). 제어기 입력신호는 펄스인코더에서 얻은 위치 정보를 10진 카운터한 디지털 출력을 DAC0800에서 0~5[V]의 아날로그 신호로 제어기 입력  $e$  와  $\Delta e$ 을 얻는다.

전진부 소속함수 합성은 입력이  $\alpha$ -레벨 집합을 나타내는 구간의 단점과 비교하여 그 범위에 있는지 없는지에 따라 출력한다. 이것은 광역 비교기(C339)를 이용해서 입력신호가 전진부 소속함수 값이 어떤 퍼지 레벨에 적합할지 레벨 컨버터(Level Converter)를 이용하여 설정한다. 비교

기 양단에는 전진부 소속함수의 전압값을 미리 설정해 둔다. Fig. 9 에 전진부 소속함수  $e$ 의 합성회로를 나타내며  $\Delta e$ 에 대한 회로도 동일하다.

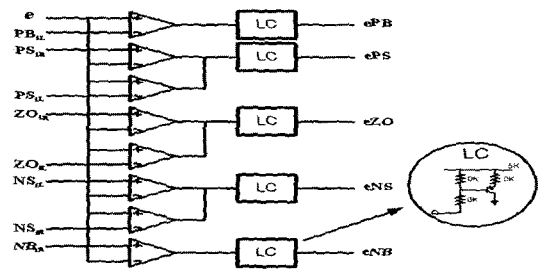


Fig. 9 Composition circuits of antecedent membership function.

(b). 제어규칙 회로는 (1)에 의해서 Table 1의 제어규칙에 대응하여 입력 2진 신호(라벨)를 논리곱(AND)으로 17개 규칙을 조합하여 그 결과 적용된 각 규칙의 전진부 소속함수 라벨의 전압을 구한다. 이 회로는 아날로그 멀티플렉서(Multiplexes, 4503)에서 대응하는 후건부 라벨의 단점 전압을 선택한다.

(c). 추론은 (5)에서  $\min \cdot \max$ 연산을 하는 것이고 하한  $l_i$ 에는  $\min$ 연산, 상한  $r_i$ 에는  $\max$  연산을 실현한다. 또한 적용된 각 규칙 후건부 소속함수를 취하여 그 양단 값을 구한다. 이 값도 0~5[V]의 전압으로 하고 아날로그 스위치(Tr.)로 실현한다.

#### 4.2 비퍼지화 블록

중심법에 의한 중심값  $u$ 의 계산은 (8)에서 나눗셈을 하지 않고 직접 조작량 PWM 조작신호를 얻는 회로를 실현한다. PWM 신호는 Fig. 10에 나타낸 것과 같이 (8)의 분모 D에 비례하는 진폭을 갖는 삼각파를 생성하고 이것과 분자 N을 비교기로 비교하여 그 결과 N/D에 비례한 평균 출력을 얻을 수가 있다.

Fig. 11은 (6)의 추론 결과를 받아 (8)의 분자 N과 분모 D에 해당하는 연산을 하여 직접 PWM 조작신호를 얻는 회로이다. 삼각파 발생은 적분기

와 히스테리시스 비교기를 사용한다. 기울기가 분모 D에 비례하는 삼각파를 발생시키므로 스위칭 주파수는 일정하게 유지된다.

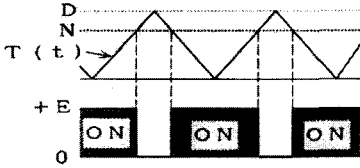


Fig. 10 PWM generation from numerator and denominator input.

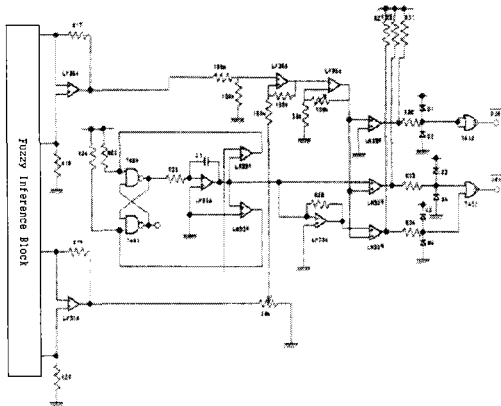


Fig. 11 Proposed PWM generation circuits.

4.3 하드웨어에 의한 실험

Fig. 12는 위치지령  $\theta^* = 100[\text{rad}]$ 으로 하고 직류 서보시스템에 하드웨어 퍼지로직 회로에 의해 제어한 경우의 응답을 나타낸다. 부동작 시간이 있고 응답속도는 무부하인 때 보다 느리다. 이것은 부하 관성과 외란, 초퍼 브리지의 영향 때문이라 생각된다. 그러나 오버슈트와 진동이 없이 안정하게 동작하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 13은 직류 서보시스템에 하드웨어 퍼지로직 회로에 의해 제어한 경우, 사다리꼴 속도지령 ( $\omega^*$ )에 대한 서보전동기 회전응답을 나타낸다. 응답 특성은 상승과 하강 시에 지령치와 거의 동일하게 일치하는 빠른 응답 특성을 나타내고 있으며 원활하게 제어되고 있음을 알 수 있다. 응답특성에 고조파가 발생하는 것은 DC/DC 컨버터의

PWM제어 시 반도체 스위칭 소자의 특성 때문이라 생각된다.

따라서 퍼지제어기에 의한 직류 서보전동기 PWM 제어시  $\alpha$ -레벨 양자화수는 회로 구성의 간편성 등을 고려하여  $\alpha$ -컷 4단계가 적합함을 본 실험을 통해서 규명하였다.

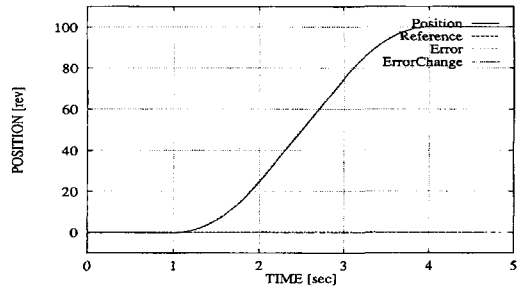


Fig. 12 Experiment result of position response.

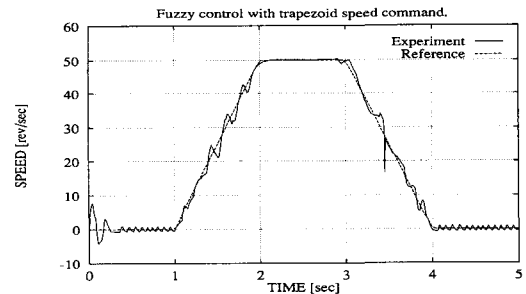


Fig. 13 Experiment result of speed response.

5. 결론

$\alpha$ -레벨집합을 이용하여 퍼지추론과 비퍼지화 계산식을 도출하였고 이 계산식에 기초하여 퍼지 제어기의 하드웨어를 실현하였다. 직류서보 제어에서 퍼지추론에서 비퍼지화까지 일체적으로 PWM제어 신호를 출력하는 방법을 제안하였다.

직류 서보계의 시뮬레이션 결과에서 퍼지제어에 의한 것이 PID제어 보다 응답 특성을 개선될 수 있음을 알 수 있다. 퍼지제어를 이용한 서보계는 튜닝된 PID제어와 같은 속응성을 나타내고 PID 제어 보다 시정수 등의 변화에 영향이 적고 견실성이 있다.

필요한 소속함수의  $\alpha$ -컷 분할 수는 시뮬레이션을 통하여 검토한 결과 비교적 적은 분할 수  $\alpha$ -컷 4단계에서 적절한 제어결과가 얻어짐을 알 수 있었다. 실험을 통해서 제안한 퍼지제어기 로직회로가 서보제어계의 제어에 유용함을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] Sang Yeal Lee and Hyung Suck Cho, "A Fuzzy Controller an Aeroload Simulator Using Phase Plane Method", IEEE Transactions on Control System the Technology, Vol. 9, No. 6, pp. 791~801, 2001.
- [2] T. Yamakawa and T. Miki, "The Current Mode Fuzzy Logic Integrated by the standard CMOS Process", IEEE, Trans. on Computer, Vol. C5-2, pp. 161~167, 1986.
- [3] Stamatis Bourasm, Manousos Kotronakis, "Mixed Analog -Digital Fuzzy Logic Controller with Continuous-Amplitude Fuzzy Inference and Defuzzification", IEEE Transaction on Fuzzy System, Vol. 6, No. 2, pp. 205~215, 1998.
- [4] 上原 "Analog/membership grade 變換機能お有する ファジイ推論 Engine", 情報處理學會 研究報告, Vol. AI- 60-4, 1990.
- [5] Shing-Jen Wu and Chin-Teng Lim, "Discrete-Time Fuzzy Controller Design : Global Concept Approach", IEEE Transaction on Fuzzy System, Vol. 10, No. 1, pp. 21~37, 2002.
- [6] Emmanuel G. Collins, and M. F. Selekwa "A Fuzzy Logic Approach to Design with Variance Constrains", IEEE Transactions on Control System the Technology, Vol. 10, No. 1, pp. 32~42, 2002.

### 저 자 소 개



#### 이요섭 (李堯燮)

2004년 현 부경대학교 전기공학과 박사과정, 1976년 부산대학교 전기공학과 졸업, 1997년 경성대학교 산업대학원 공학석사, 관심분야 퍼지 시스템설계, 서보시스템 설계



#### 홍정표 (洪正杓)

2004년 현 부경대학교 기계공학부 박사과정, 1998년 부경대학교 전기공학과 졸, 2001 부산대학교 대학원 공학석사, 관심분야 퍼지 시스템설계, 전동기 벡터제어, 리럭턴스 전동기 제어 설계.



#### 홍순일 (洪淳一)

2003 현 부경대학교 전기제어 계측공학부 교수, 1981 부산대학 공학석사(전력전자), 1986 한국해양대학 공학박사(제어공학) 1999 일본전기 통신대학 연구교수, 2000 대한전기학회 부산지부 회장. 관심분야 퍼지 시스템설계, 서보 시스템 설계, 전동기 벡터제어.