

T-operators를 이용한 Fuzzy Control System의 설계 및 응용

김 일* · 이 상 배*

The Design and application of Fuzzy control System using T-operators

Il Kim · Sang-Bae Lee**

<목 차>	
Abstract	IV. Fuzzy Logic Controller의 설계
I. 서론	V. 컴퓨터 시뮬레이션 결과
II. 전형적 T-operators	VI. 결론
III. T-operators를 이용한 퍼지 추론 방법	

Abstract

In this paper, The Fuzzy Logic Controller based on T-operators is designed. Some typical T-operators and their mathematical properties are studied. A generalized fuzzy inference model is proposed by introducing the general notion of T-operators into the conventional one which is based only on the Min and Max operators.

Fuzzy Logic Control algorithms based on the T-operators are suggested. Then, by computer simulations, the effect of various T-operators on the performance of the fuzzy logic controller are studied.

The purpose of these simulation studies were to observe the flexibility and system responses using the processed class of T-operators in the fuzzy inference mechanisms. This observation was made on parameters such as speed of reponses, steady-state behavior and non oscillatory responses.

I. 서론

인간의 사고나 추론, 인식, 지각 과정에서 애매함과 불확실함은 인간의 의사결정과정에서 중요한

역할을 하고 있다. 고전적 분석도구들은 통계적으로 불확실성을 해결할 수 있었지만 인간과 유사한 시스템을 구현하기란 불충분하였다. 이와 같이 인간의 사고와 행동에 관련된 부정확하고 애매한 현

* 한국해양대학교 전자통신공학과

상을 연구하는 방법을 수학적으로 접근하기 위해 생겨난 이론이 퍼지집합 이론이다. 퍼지집합이론은 의학진단, 설계를 위한 사회과학분야등 광범위한 분야에서의 응용을 통하여 급속히 성장되었다. 특히 언어적 제어기 설계분야 퍼지집합 응용은 가장 활발한 영역의 하나이며, 이것을 간단히 말해서 퍼지제어기라 부른다.

퍼지제어의 idea는 1968년에 Zadeh[1]에 의해 제시되었고 Mamdani[2]가 Fuzzy Logic Controller를 증기엔진에 처음 적용하면서 Fuzzy Logic System의 연구는 크게 고무되었다. 그후 1980년 중반부터 가전제품, 열차운전, 자동차, 산업용로봇 등에 적용하여 상품화하기 시작하면서 퍼지논리 이론에 대한 새로운 관심과 열기를 불러 일으켰다. 더구나 퍼지추론 기관의 하드웨어 구현, 퍼지칩의 개발등 퍼지논리제어기용 하드웨어와 소프트웨어의 발전으로 일반적인 Fuzzy Logic 사용의 급속한 확장을 초래하였다.

퍼지제어의 객체는 그 시스템에 수반된 수학적 인 모델링에 의한 것이 아니라 그 시스템에 대해 결정할 수 있는 전문인으로부터 이에 유용하게된 지식을 실행함으로써 의사결정을 자동적으로 해결하기 위한 것이다. 그러나 Fuzzy Logic Controller가 지난 20년에 걸쳐 이론과 응용 면에서 굉장한 발전을 가져왔을지라도 이것은 고전적 제어에 비해서 완전하고 성숙된 것이라고는 볼 수 없다. 그러므로 고전적 Fuzzy Logic Controller의 단점을 제거하거나 최소화할 필요가 있다.

이 논문의 목적은 Fuzzy Logic Controller와 퍼지추론법들의 설계를 위해서 퍼지 집합의 Min과 Max 그리고 negation의 수학적 표현인 T-operators의 이론을 활용하는 것이다. T-operators의 기초 이론을 확장하여 새로운 Fuzzy Logic Controller 알고리즘을 개발하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 Fuzzy Logic Controller의 실행에 대한 T-operators의 효과를 연구하였다. 마지막으로 몇몇 중요한 결론을 도출하였고 차후의 연구 방향을 제시하였다.

II. 전형적 T-operators

Zadeh[3]가 $\text{Min}(x,y)$, $\text{Max}(x,y)$ 그리고 $(1-x)$ 를 퍼지 집합의 교집합, 합집합 그리고 negation으로 각각 사용되는 것을 제안한 이래로 이것에 대해 많은 연구들이 이루어 졌다. 특히 T-norm과 T-conorm들의 개념이 퍼지 집합 이론에서 소개된 이후로 다른 대체 연산자들이 제시되었다. 이 연구에서 이용할 5가지의 T-operators는 다음과 같다. 여기서 T는 T-norm T^* 는 T-conorm 그리고 N은 negation 함수를 의미한다.

① Zadeh의 T-operators[3]

$$T_1(x, y) = \text{MIN}(x, y)$$

$$T_1^*(x, y) = \text{MAX}(x, y)$$

$$N_1(x) = 1 - x$$

② Weber와 Bandler의 확률적 operators[4][5]

$$T_2(x, y) = xy$$

$$T_2^*(x, y) = x + y - xy$$

$$N_2(x) = 1 - x$$

③ Lukasiewicz Logic operators[6]

$$T_3(x, y) = \text{MAX}(x + y - 1, 0)$$

$$T_3^*(x, y) = \text{MIN}(x + y, 1)$$

$$N_3(x) = 1 - x$$

④ Giles의 T-operators[6]

$$T_4(x, y) = \frac{xy}{x + y - xy}$$

$$T_4^*(x, y) = \frac{x + y - 2xy}{1 - xy}$$

$$N_4(x) = 1 - x$$

⑤ Weber의 T-operators[4]

$$T_5(x, y) = \begin{cases} x, & \text{if } y = 1 \\ y, & \text{if } x = 1 \\ 0, & \text{기타} \end{cases}$$

$$T_5^*(x, y) = \begin{cases} x, & \text{if } y = 0 \\ y, & \text{if } x = 0 \\ 1, & \text{기타} \end{cases}$$

$$N_5(x) = 1 - x$$

이외에도 잘 알려진 몇몇 T-operators들이 있으나 각각 매개 변수의 범위를 조절하면 위의 5가지 T-operators로 대체될 수 있다.[4][7][8]

위 5가지의 T-operators의 특징을 그림2.1에서 그림2.6에 나타내었다.

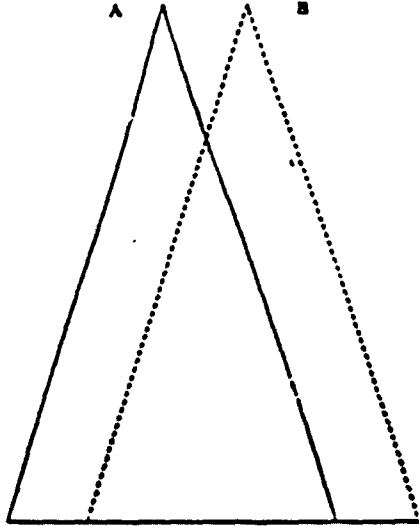


Fig. 2.1 Fuzzy triangular numbers A and B

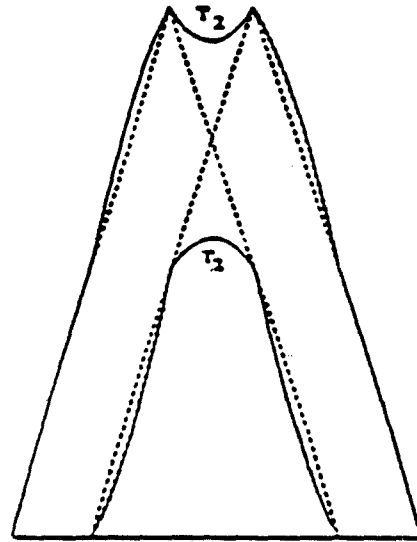


Fig. 2.3 Intersection and union of A and B calculated using T_2 and T_2^*

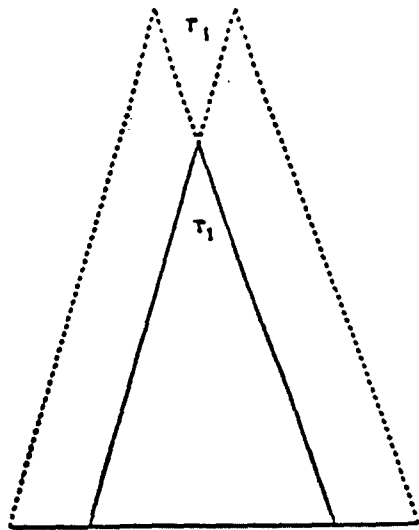


Fig. 2.2 Intersection and union of A and B calculated using T_1 and T_1^*

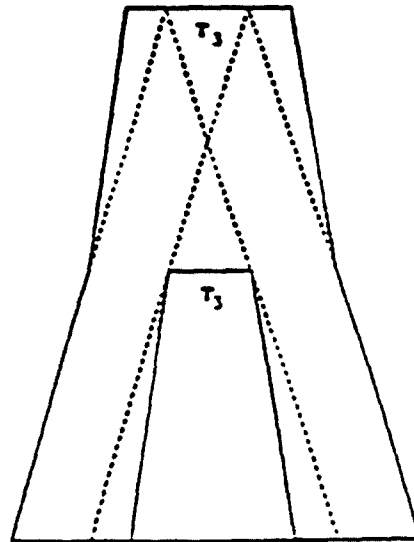


Fig. 2.4 Intersection and union of A and B calculated using T_3 and T_3^*

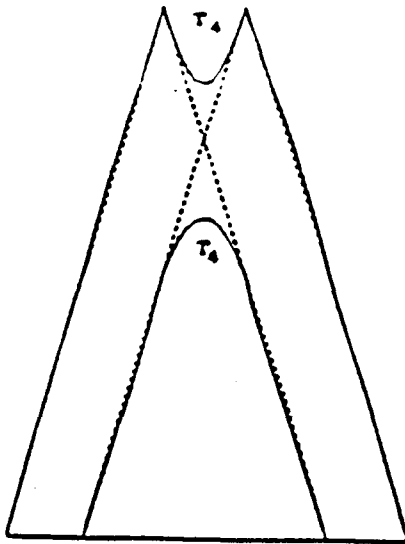


Fig. 2.5 Intersection and union of A and B calculated using T_4 and T_4^*

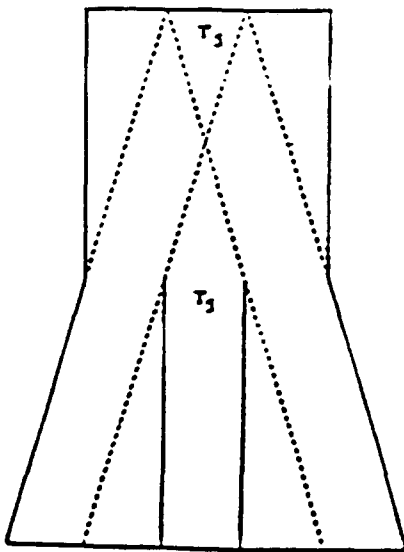


Fig. 2.6 Intersection and union of A and B calculated using T_5 and T_5^*

III. T-operators를 이용한 퍼지 추론 방법

이 장에서는 MIN과 MAX operators가 널리 사용된 고전적 퍼지 추론 알고리즘을 T-operators의

일반적 개념으로 확장함으로써 일반화된 퍼지 추론 방법을 제시하였다. 그리고 Mamdani의 함축 함수를 이용하여 실행하기 쉽게 단순화하였다. Fuzzy Logic Controller는 인간의 제어 능력을 접속함으로써 인간의 전문지식의 활용을 시도하는 것이다. 그러므로 Fuzzy Logic Controller를 설계하는 첫 단계인 "if-then" 규칙의 형태로 정의되는 전문지식을 명확하게 하기 위해 인간 숙련자의 경험으로부터 공정에 대한 정성적 정보를 습득하는 것이다. 제어 규칙이 다음과 같이 주어졌다고 가정하자.

$$\bigcup_{i=1}^N \text{if } x = A_i \text{ then } y = B_i$$

여기서 x 와 y 는 언어변수이며 A_i 그리고 B_i 는 각각 전체집합 X, Y 의 영역에서의 퍼지 집합이고 \cup 는 union을 의미한다.

그리고 주어진 제어조건 A_i 와 B_i 의 퍼지관계 $R_{A_i \rightarrow B_i}$ 를 T-operators로 표현하면 다음과 같다.

$$\mu_{R_{A_i \rightarrow B_i}}(x, y) = T(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y)) \quad (3.1)$$

여기서 T 는 임의의 T-norm이고 식 (3.1)은 Mamdani의 함축함수의 일반화된 형태이다. 함축 함수의 일반적 표현인 $f, (\dots)$ 의 형태로 표현하면

$$\mu_{R_{A_i \rightarrow B_i}}(x, y) = f_{\rightarrow}(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y)) \quad (3.2)$$

그리고 전체 퍼지 관계 R 은 다음과 같이 정의된다.

$$\mu_R(x, y) = T^* \left(\mu_{R_{A_i \rightarrow B_i}}(x, y) \right) \quad (3.3)$$

결과 제어동작 B' 는 전제조건 A' 와 추론의 합성 공식에 의한 퍼지관계 R 로부터 추론되며 다음과 같이 정의된다.

$$B' = A' \circ R \quad (3.4a)$$

$$\text{혹은 } \mu_{B'}(y) = \sup_x T(\mu_{A'}(x), \mu_{R_{A_i \rightarrow B_i}}(x, y)) \quad (3.4b)$$

여기서 \circ 는 합성 연산자를 의미한다. 식 (3.1)
 (3.3) 그리고 (3.4b)를 이용해 식 (3.5)와 같은 일반
 화된 퍼지 추론 알고리즘이 유도될 수 있다.

$$\mu_{B'}(y) = \sup_x T(\mu_{A'}(x), T^*_{i=1}^N (f_{-}(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y)))) \quad (3.5)$$

$f_{-}(\cdot, \cdot)$ 을 식(3.1)에 의해 다시 나타내면 식
 (3.6)과 같은 가장 단순화된 퍼지 추론 알고리즘을
 구할 수 있다.

$$\mu_{B'}(y) = \sup_x T(\mu_{A'}(x), T^*_{i=1}^N (T(\mu_{A_i}(x), \mu_{B_i}(y)))) \quad (3.6)$$

만일 $N=1$ 이면 식 (3.6)은 다음과 같이 더 간단
 하게 될 수 있다.

$$\mu_{B'}(y) = T(a, \mu_{B}(y))$$

여기서 $a = \sup_x T(\mu_{A'}(x), \mu_{A_1}(x))$ 이다. (3.7)

A' 와 A_1 이 유한 퍼지 집합이면 $a = \bigvee_x T(\mu_{A'}(x), \mu_{A_1}(x))$ 와 같이된다.

여기서 \bigvee 는 MAX operator를 나타낸다.

식(3.7)의 T대신 T_1 에서 T_5 로 대체하면 아래와
 같은 다섯 가지의 다른 퍼지 추론 방법을 얻을 수
 있다.

(i) $\mu_{B'} = a \wedge \mu_{B}(y),$
 $a = \sup_x (\mu_{A'}(x) \wedge \mu_{A_1}(x)),$
 (여기서 $\wedge = MIN operator$)

(ii) $\mu_{B'} = a \mu_{B}(y),$
 $a = \sup_x (\mu_{A'}(x) \mu_{A_1}(x))$

(iii) $\mu_{B'} = MAX(a + \mu_{B}(y) - 1, 0),$
 $a = \sup_x MAX(\mu_{A'}(x) + \mu_{A_1}(x) - 1, 0)$

(iv) $\mu_{B'}(y) = \frac{a \mu_{B}(y)}{a + (1-a) \mu_{B}(y)},$
 $a = \sup_x \frac{\mu_{A'}(x) \mu_{A_1}(x)}{\mu_{A'}(x) + (1 - \mu_{A'}(x)) \mu_{A_1}(x)}$

(v) $a, \quad \text{if } \mu_{B}(y) = 1,$
 $\mu_{B'} = \mu_{B}(y), \quad \text{if } a = 1$
 $0, \quad \text{기타}$
 $\sup_x \mu_{A'}(x), \quad \text{if } \mu_{A_1}(x) = 1$
 $a = \sup_x \mu_{A'}(x), \quad \text{if } \mu_{A_1}(x) = 1$
 $0, \quad \text{기타}$

IV. Fuzzy Logic Controller의 설계

일반적으로 Fuzzy Logic Controller는 제어될
 공정에 관한 전문가들로부터 습득한 언어 조건문
 들과 규칙의 집합으로 구성된다. 이 문장은 통상
 "if-then" 규칙에 의해 제어 조건과 제어 동작을 연
 결한다. 예를 들면 적용될 제어 입력 (Δu)를 변화
 시키기 위한 오차(e)와 오차의 변화(c)로 구성된
 제어 규칙을 다음과 같이 기술한다.

IF 오차(e) = LARGE and 오차의 변화(c) = SMALL
 THEN 제어입력(Δu) = MEDIUM ;
 ALSO IF 오차(e) = SMALL and 오차변화(c) = ZERO
 THEN 제어입력(Δu) = SMALL ;
 ALSO IF

여기서 $e, c,$ 그리고 Δu 는 언어적변수이고 그들
 의 값은 LARGE, MEDIUM, SMALL, ZERO들과
 같은 퍼지집합들이며 각각 전체 집합 E, C, 그리고
 U에서 $E_i, C_i,$ 그리고 U_i 로 표기된다.

N개의 규칙을 가진 Fuzzy Logic Controller는
 다음과 같이 표현된다.

$$U \text{ if } e = E_i \text{ and } c = C_i \text{ then } \Delta u = U_i$$

$i = 1$

i 번째 규칙은 전체 영역 $E \times C \times U$ 에서 퍼지
 관계 R_i 로 기술될 수 있으며 이것의 소속함수는 다

음과 같다.

$$\mu_{R_i}(e, c, \Delta u) = f_{\rightarrow}(\mu_{E_i}(e), \mu_{C_i}(c), \mu_{U_i}(\Delta u)) \quad (4.1)$$

여기서 $f_{\rightarrow}(\dots)$ 는 함축함수의 일반적 표현이며 $e \in E, c \in C$ 그리고 $\Delta u \in U$ 이다. 이 논문에서는 Mamdani의 함축함수를 이용하였으며 이 함축 함수에 T-operators를 사용하면 식(4.2)와 같이 확장할 수 있다.

$$\mu_{R_i}(e, c, \Delta u) = T_0 [\mu_{E_i}(e), \mu_{C_i}(c), \mu_{U_i}(\Delta u)] \quad (4.2)$$

그리고 전체 퍼지 관계 R은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\mu_R(e, c, \Delta u) = \bigcap_{i=1}^N T^* [\mu_{R_i}(e, c, \Delta u)] \quad (4.3)$$

여기서 모든 제어 규칙들은 하나의 퍼지 관계 R로 정의되었다. 그리고 실제 오차, 오차변화 그리고 공정에 입력될 변화를 각각 퍼지값 E', C' 그리고 U' 라 하면 U' 는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$U' = E' \circ C' \circ R \quad (4.4a)$$

이것을 다시 표현하면

$$\mu_{U'}(\Delta u) = \sup_x [\mu_{E'}(e), \mu_{C'}(c), \mu_R(e, c, \Delta u)] \quad (4.4b)$$

가된다.

식(4.4a)는 추론의 합성규칙의 일반화된 형태이며 식(4.4b)는 T-operators를 사용한 일반화된 퍼지 제어 알고리즘이다.

그림 4.1은 T-operators를 이용한 Fuzzy Logic Controller의 블록도이다.

그리고 제어기에 이용될 제어 규칙의 집합을 다음과 같이 구성하였다.

- 1) IF $e = NE$ and $C = NC$ THEN $\Delta u = NU$
- 2) IF $e = NE$ and $C = PC$ THEN $\Delta u = ZU$

- 3) IF $e = PE$ and $C = NC$ THEN $\Delta u = ZU$
- 4) IF $e = PE$ and $C = PC$ THEN $\Delta u = PU$

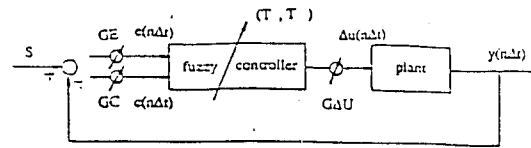


Fig. 4.1 Block diagram of the Fuzzy Logic Controller as a function of T-operators

위의 제어 규칙에 포함된 퍼지 개념을 표현하기 위한 퍼지 집합들은 다음과 같으며 그들에 대한 소속함수는 그림 4.2에 나타내었다.

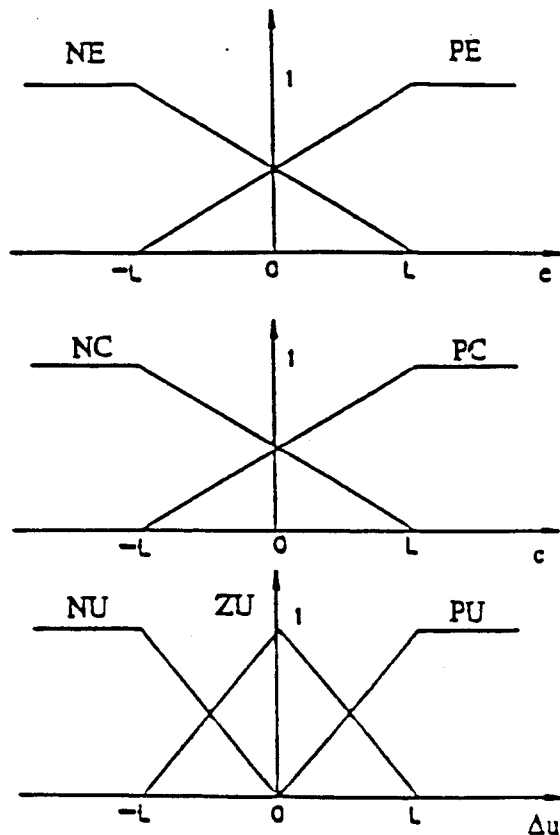


Fig. 4.2 Membership functions of Fuzzy set.

NE : negative error

- PE : positive error
- NC : negative change in the error
- PC : positive change in the error
- NU : negative change in the process input
- ZU : Zero change in the process input
- PU : positive change in the process input

퍼지추론부의 입력인 임의의 오차 $e(n\Delta t)$, 오차의 변화 $c(n\Delta t)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$e(n\Delta t) = (S - y(n\Delta t)) \text{ GE} \quad (4.5)$$

$$c(n\Delta t) = (y(n\Delta t) - y(n\Delta t - \Delta t)) \text{ GC} \quad (4.6)$$

여기서 S와 $y(n\Delta t)$ 는 각각 전체 system의 입력과 출력이며 Δt 는 표본시기가이고 GE 그리고 GC는 측정 계수들이다. $e(n\Delta t)$ 와 $c(n\Delta t)$ 는 항상 비퍼지값이므로 출력 U'를 얻기 위한 알고리즘인 식(4.4)는 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \mu_U(\Delta u) &= \mu_R [e(n\Delta t), c(n\Delta t), \Delta u] \\ &= \bigwedge_{i=1}^4 [\mu_{R_i}(e(n\Delta t), c(n\Delta t), \Delta u)] \end{aligned} \quad (4.7a)$$

그리고 식 (4.2)의 함축함수를 이용하면 다음과 같이된다.

$$\begin{aligned} \mu_U(\Delta u) &= \bigwedge_{i=1}^N [\bigwedge_{j=1}^4 \mu_{E_j}(e(n\Delta t), \mu_{C_j}(c(n\Delta t), \mu_{U_j}(\Delta u)))] \\ &= \bigwedge_{i=1}^N [\bigwedge_{j=1}^4 [\mu_{NE}(e(n\Delta t), \mu_{NC}(c(n\Delta t), \mu_{NU}(\Delta u))], \\ &\quad \mu_{PE}(e(n\Delta t), \mu_{PC}(c(n\Delta t), \mu_{ZU}(\Delta u))], \\ &\quad \mu_{PE}(e(n\Delta t), \mu_{NC}(c(n\Delta t), \mu_{ZU}(\Delta u))], \\ &\quad \mu_{PE}(e(n\Delta t), \mu_{PC}(c(n\Delta t), \mu_{PU}(\Delta u))]] \end{aligned} \quad (4.7b)$$

퍼지제어기는 주어진 두 비퍼지 입력 $e(n\Delta t)$ 와 $c(n\Delta t)$, 그리고 제어 규칙들로부터 U'를 추론한다. 그리고 플랜트의 입력은 확실한 값이 필요하므로 비퍼지화 알고리즘이 필요하다. 이 논문에서는

무게 중심법을 사용하였다. 따라서 플랜트 입력의 비퍼지값 $\Delta u(n\Delta t)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$\Delta u(n\Delta t) = \frac{\sum \mu_U(\Delta u) \Delta u}{\sum \mu_U(\Delta u)} \quad (4.8a)$$

식(4.8a)를 (-1,0), (0,0) 그리고 (0,1)의 세점에 대해 계산하면 다음과 같이 간략한 식으로 유도할 수 있다.

$$\Delta \mu_0 = \frac{\mu_4 - \mu_1}{\mu_1 + T^*(\mu_2, \mu_3) + \mu_4} \quad (4.8b)$$

여기서

$$\begin{aligned} \mu_1 &= T(\mu_{NE}(e(n\Delta t)), \mu_{NC}(c(n\Delta t)), \mu_{NU}(-1)), \\ \mu_2 &= T(\mu_{NE}(e(n\Delta t)), \mu_{PC}(c(n\Delta t)), \mu_{ZU}(0)), \\ \mu_3 &= T(\mu_{PE}(e(n\Delta t)), \mu_{NC}(c(n\Delta t)), \mu_{ZU}(0)), \\ \mu_4 &= T(\mu_{PE}(e(n\Delta t)), \mu_{PC}(c(n\Delta t)), \mu_{PU}(1)) \text{ 이다.} \end{aligned}$$

V. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

컴퓨터 시뮬레이션은 제시한 퍼지 제어기에 대 표적인 T-operators의 다섯 유형의 집합들을 적용하여 각각 효과를 실험하고 제어 시스템 응답의 차이점을 조사하였다. T-operators의 다섯 집합에 대해 어떤 표본 시기에서 오차 $e(n\Delta t)$ 와 오차 변화 $c(n\Delta t)$ 그리고 플랜트의 입력 변화 ΔU '는 다음과 같은 식으로 나타 낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mu_U(\Delta u) &= \bigwedge_{k=1}^4 T_j [\mu_{E_j}(e(n\Delta t)), \mu_{C_j}(c(n\Delta t)), \mu_{U_j}(\Delta u)] \\ &\quad i, j = 1, 2, 3, 4, 5 \end{aligned} \quad (5.1)$$

제어기의 성능에 대한 T-operators의 영향을 표시하기 위해 적용될 T-norm과 T-conorm의 25쌍을 표 5.1에 나타내었다. 이것의 목적은 제시된 Fuzzy Logic controller에 이 T-operators의 집합들을 각각 적용했을 때의 차이점을 조사하는 것이다. 본 논문에서는 아래와 같은 간단한 수학적 플랜트에 제시된 T-operators를 응용하여 컴퓨터 시

물레이션 하였다.

$$y' + y = u \quad (5.2)$$

표 5.1은 컴퓨터시물레이션에 적용한 T-norm과 T-conorm의 각 쌍과 각각의 응답속도를 나타내었으며 그 응답 결과는 그림 5.1에서 그림 5.6으로 나타났다.

표 5.1 six columns of T and T* and the simulation result

응답 분류	1	2	3	4	5	6
속도빠름	T_3, T_3^*	T_1, T_1^*	T_2, T_1^*	T_3, T_1^*	T_4, T_1^*	T_5, T_1^*
속도늦음	T_5, T_5^*	T_1, T_1^*	T_2, T_1^*	T_3, T_1^*	T_4, T_1^*	T_5, T_1^*
	T_2, T_2^*	T_1, T_2^*	T_2, T_2^*	T_3, T_2^*	T_4, T_2^*	T_5, T_2^*
속도늦음	T_1, T_1^*	T_1, T_5^*	T_3, T_5^*	T_3, T_5^*	T_4, T_5^*	T_5, T_5^*
	T_1, T_1^*	T_1, T_5^*	T_2, T_5^*	T_3, T_5^*	T_4, T_5^*	T_5, T_5^*

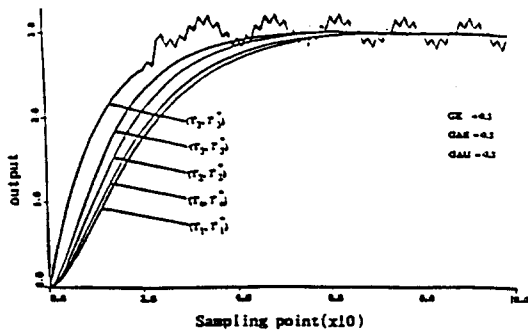


Fig. 5.1 Output of plant $y' + y = u$ (Column 1)

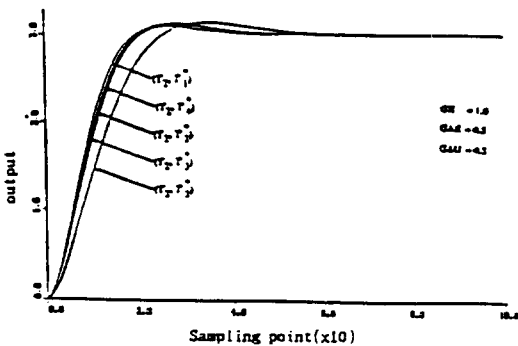


Fig. 5.2 Output of plant $y' + y = u$ (Column 2)

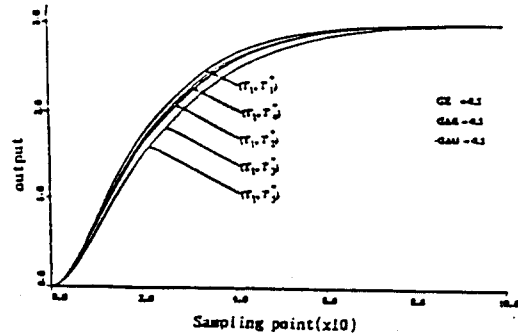


Fig. 5.3 Output of plant $y' + y = u$ (Column 3)

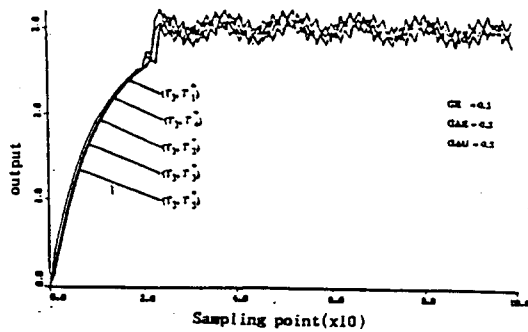


Fig. 5.4 Output of plant $y' + y = u$ (Column 4)

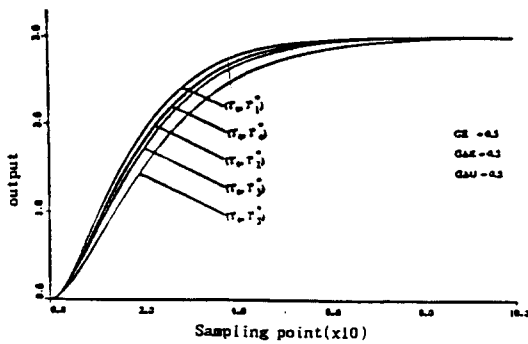


Fig. 5.5 Output of plant $y' + y = u$ (Column 5)

참 고 문 헌

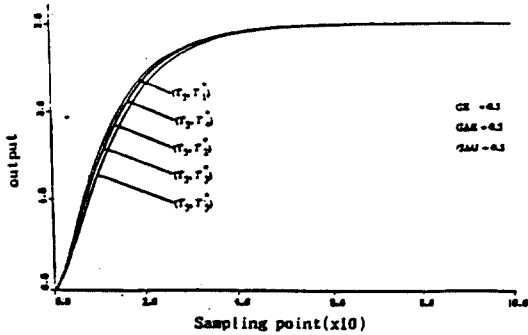


Fig. 5.6 Output of plant $y' + y = u$ (Comumn 6)

VI. 결 론

이 논문의 연구 목적은 T-operators의 이론을 연구하고 Fuzzy Logic Controller에 대한 퍼지 추론기구의 설계에서의 가능한 응용을 찾는 것으로 먼저 T-operators의 이론적 기초를 확장하고 그 속성을 연구하였으며, 대표적인 T-operators를 퍼지 추론 알고리즘과 Fuzzy Logic Controller의 설계에 이용하였다. 또한 T-operators를 사용한 퍼지 추론 방법을 이용하여 설계한 Fuzzy Logic Controller를 간단한 수학적 시스템 모델의 플랜트에 적용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 그 결과 T-operators는 Fuzzy Logic Controller와 다른 의사 결정 과정을 위한 퍼지 추론 방법의 설계에서 크게 유연하다는 것을 발견하였다.

이 컴퓨터 시뮬레이션으로 제시된 퍼지 추론 알고리즘의 시스템 응답은 관측할 수 있었지만, 어떤 오차기준을 근거로한 최적 응답을 평가하기 위한 방법을 제시 하는 것은 아니다.

실제 시스템의 응답은 플랜트의 형태와 작업환경에 따라 크게 좌우된다. 따라서 적용될 T-operator의 적합성을 분석하는 방법을 제시 하는것은 매우 중요한 일이다. 다만, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 수학적합수로써 연구 분석 할 수 있었다.

차후에는 본 연구의 결과를 좀 더 발전시켜 실제의 플랜트에 적용하여 그 효과를 증명하는 연구를 수행하고자 한다.

- [1] L.A.Zadeh, Fuzzy Algorithms, Inform, and Cont. Vol. 12(1968), pp. 94-102.
- [2] E.Mamdani and S. Assilian, An Experiment in Linguistic Synthesis with a Fuzzy Logic Controller, Int.J. Man-Mach. Stud. Vol.7 (1975), pp. 1-13.
- [3] L.A.Zadeh, Fuzzy Sets, Inform. and Cont. Bol.9(1965), pp.338-353
- [4] S.Weber, A General Concept of Fuzzy Connectives, Negations and Implications Based on T-norm and T-conorm, Fuzzy Sets and Systems11(1983), pp. 115-134.
- [5] W.Bandler and L.Kohout, Fuzzy Power Sets and Fuzzy Implications Operators, Fuzzy Sets and Systems 4(1980), pp. 13-30
- [6] R.Giles, Lukasiewicz Logic and Fuzzy Set Theory, International J.Man-Mach. Stud.8 (1976), pp. 313-327.
- [7] R.R.Yager, On a Geneal class of Fuzzy Connectives, Fuzzy Sets and System 4(1983), pp. 235-242.
- [8] J.Dombi, A General class of Fuzzy Operator, the De Morgan class of Fuzzy Operators and Fuzziness Induced by Fuzzy Operators, Fuzzy Sets and System 8(1982), pp.149-163
- [9] 김인수, 이상배 "에어콘에 이용될 다변수 구조 Fuzzy Control System의 설계" 1992년도 대한 전자공학회 추계종합학술회 논문집 vol.15, no.2, pp. 733-736.
- [10] 이병창, 박희철, 이상배 "가정용 공기 청정기의 퍼지 제어 마이컴 개발과 구현" 1993년도 대한전자공학회 하계 종합학술회 논문집 vol.16, no.1, pp. 570-573.
- [11] 김일, 이상배 "T-operators를 이용한 효과적인 Fuzzy Logic Controller의 설계" 1994년도 대한전자공학회 추계 학술대회 논문집 vol.17, no.2, pp. 1501-1504.
- [12] 김일, 이상배 "T-operators에 기초한 Fuzzy

10 韓國航海學會誌 第20卷 第1號, 1996

Logic Controller의 설계 및 응용” 1994년도
한국퍼지시스템 학회 추계 학술대회 논문집
vol.4, no.2, pp. 253-268.