

Sasaki 퍼지제어기에 대한 개선된 구성방법에 관한 연구

A Study on the Modified Construction Method for Sasaki Fuzzy Controller

卞基寧*, 車文哲*, 金興壽*

Gi-Young Byun*, Wen-Zhe Che*, Heung-Soo Kim*

요 약

본 논문에서는 계산기를 제거한 Sasaki의 퍼지제어기로 부터 제어기의 소자 수를 줄일 수 있는 새로운 퍼지제어기(fuzzy controller)의 구성 방법을 제안하였다. 퍼지제어회로 구성에 필요한 무게 중심법에 대하여 Sasaki는 새로운 연산자를 정의하여 계산 회로를 제거한 바 있다. 본 논문에서 제안한 퍼지화 및 비 퍼지화 방법을 통해 Sasaki의 회로에 비해 더욱 간단한 회로를 구성하였고, 퍼지화 및 비 퍼지화 과정이 서로 역 연산이 되게 하여 논리상의 일치를 유지하였다. 이를 통해 퍼지논리 추론에 큰 영향을 주지 않는 한계 값 부분들을 제거할 수 있는 새로운 설계방법 및 제어기 구조를 제시하였다. 본 논문에서 제안한 설계방법을 물탱크(water tank)의 수위조절에 관한 퍼지제어에 적용하여 Sasaki가 제안한 제어기와 본 논문에서 제안한 제어기의 성능을 비교하고 검증하였다. 결과를 통해 Sasaki 연산회로와 대등한 결과를 가지면서도 제어기의 블록수와 소자수가 감소되어 보다 간략화 된 회로 구성이 가능함을 보였다. 본 논문에서 제안한 기법과 회로는 전진부의 수와 언어변수의 개수가 많아질수록 제안된 방법이 더욱 효과적이라 할 수 있다.

Abstract

In this paper, we proposed a new circuit construction method that reduces the number of circuit devices of fuzzy controller. Sasaki had defined a new operator to eliminate the divide circuit comparing with the center of gravity method which often using to design the fuzzy controller. In this paper we obtained the more compacted fuzzy controller's circuit by using the proposed definition of fuzzification and defuzzification than using the Sasaki's method and the fuzzification and defuzzification are reverse operation each other. Using these definitions we exhibit the new design method and circuit structure that can eliminate the bounded product(BP) circuit included in Sasaki's circuit. Using the proposed method to level controlling of the water tank, we verified the fuzzy controller's performance by using existent method and proposed method. As a result that are calculated by using the proposed fuzzy controller to level controlling of the water tank, total numbers of blocks and devices were decreased. If the number of variables and antecedents are getting larger, this method is more efficient.

Key words : fuzzy controller, fuzzification, defuzzification, bounded product

* 仁荷大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Engineering, Inha Univ.)

接受日:2002年 3月 11日, 修正完了日:2002年 7月 18日

1. 서 론

일반적인 자연계의 시스템은 시변(time-variant), 비

선형(non-linear), 비인가관계(non-causal)로 대변되는 불규칙성을 갖는다. 이와 같이 항상 변화하는 시스템의 특성을 감지하고 감지된 특성으로부터 새로운 제어규칙을 구성하는 적응 제어기법은 오래 전부터 많은 사람들의 관심을 끄는 연구분야로서 발전되어 왔다. 이러한 적응제어기법의 시도로서 1965년 Zadeh에 의해 퍼지이론이 제안되었고^[1], 이를 계기로 퍼지제어에 관한 많은 연구결과들이 축적되었다. 퍼지제어는 인간의 경험적 지식을 기초로 해서 정의되는 일종의 인간 감각적 제어방식이라 할 수 있다. 퍼지제어의 핵심인 귀속도 함수(membership function)의 정의방법에서 설계자의 경험과 지식을 통하여 보다 유연하고 변화에 효율적 적응력을 갖춘 회로의 설계가 가능한 장점을 갖는다^[2]. 그러나, 퍼지제어 알고리즘자체가 수학적 근거와 논리성을 갖고 있지 못하고 설계자의 경험과 지식에 의존하므로 제어행위가 주관적이며, 최적의 제어시스템을 결정하는데 까지 상당한 노력이 요구된다^[3]. 또한, 제어하려는 대상이 복잡할수록 그 계산량이 한계에 부딪히게 되었다.

대개의 퍼지 정보처리는 기존 디지털 컴퓨터를 사용하여 소프트웨어로 다루어 질 수 있으나 처리속도, 전력소비, 함수밀도 등에서 최적의 효과를 얻을 수 없다. 따라서 퍼지 정보처리를 위한 퍼지 하드웨어 시스템 구성의 필요성이 제기 되었고 이를 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되었다^[4-8]. 퍼지하드웨어 구성에 있어 퍼지 제어기의 결과는 하나의 수치로 표시되는 확정치를 필요로 하며 추론결과를 확정치로 변환하는 과정에서 무게중심법(Center Of Gravity, COG)이 가장 일반적으로 사용된다^[9]. COG 연산과정에 필요한 계산기는 하드웨어의 크기를 크게 증가시키고 처리속도를 저하시키는 주된 요인이 된다. 계산에 따른 연산량과 시간에 대한 문제를 해결하기 위한 연구들이 진행되었고, 그 결과 Sasaki 등은 계산기를 제거한 퍼지 제어 회로를 제안하였다^[10]. Sasaki는 새로운 형태의 T-Norm연산자를 제안하여 추론과정 중 COG연산에

필요한 계산 기능을 제거할 수 있음을 증명하였다. 한편, Lemaitre 등은 퍼지수(fuzzy number)와 퍼지단위(fuzzy unit)를 적용한 새로운 형태의 퍼지화(fuzzification)와 비퍼지화(defuzzification)의 개념을 정립하여 귀속도 함수를 생성하는 기법을 제안하였다^[11].

본 논문에서는 Lemaitre의 연구결과를 Sasaki가 제안한 퍼지제어기에 도입하여, 귀속도함수 연산회로의 수를 대폭 감소시켰으며, 또한 Sasaki의 퍼지제어기에서 계산기 제거에 사용된 한계값 회로를 또 다시 제거시킴으로써 구성회로를 대폭 감소시킬 수 있었다. 본 논문에서 제안한 퍼지제어기 구성의 유효성을 입증하기 위하여 시뮬레이션을 통한 성능비교를 하였으며 비교결과 동등한 성능을 가짐을 확인하였고 그 결과를 보였다.

본 논문의 구성을 간략히 정리하면 1장의 서론에 이어 2장에서는 일반적인 퍼지제어기의 기본 구성에 대하여 간략히 논하였다. 3장에서는 본 논문에서 제안한 퍼지제어기의 구성에 대하여 논하였고 4장에서 시뮬레이션 결과를 보였다. 5장에서는 본 논문과 비교문헌의 퍼지제어기 성능을 비교하였고 6장에서 결론을 맺었다.

II. 퍼지제어기의 기본구성과 해석

퍼지제어기는 그 적용대상에 따라 다양하게 변형된 형태를 가질 수 있으나, 가장 전형적인 형태로 제시되는 기본 구조는 그림 1과 같다.

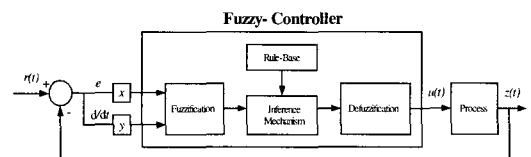


그림 1. 퍼지제어기의 기본 구조
Fig. 1 A Basic structure of fuzzy controller.

1. 퍼지화 부(fuzzification)

센서 등과 같은 입력장치를 통해 입력값 $r(t)$ 가 입력될 때, 이를 현재의 상태 $z(t)$ 와 비교를 통해 그 편차(error)와 그 편차의 변화율(de/dt)을 퍼지제어의 대상으로 설정한다. 본 논문에서는 편차와 편차의 변화율을 간단한 기호 x, y 로 표현하기로 한다. 이들 두 입력에 대하여 퍼지화부(fuzzification)에서는 적절한 귀속도함수(membership function)를 통해 퍼지제어기에서 다룰 수 있는 새로운 정보값(퍼지값)으로 변환하게 된다. 즉, 퍼지제어기의 입력을 0과 1사이의 값으로 코딩화(encoding)하는 작업이라 볼 수 있다. 이러한 퍼지값으로의 변환을 위해 입력 x 와 y 를 적절한 범위에 대하여 “아주 크다”, “조금 작다” 등의 언어묘사(linguistic description)를 통해 언어변수(linguistic value)를 정의한다. 언어변수는 얼마나 정교한 제어를 설계하고자 하는가에 따라 다양하게 세분화할 수 있으며 표 1을 통해 일반적으로 적용되는 7단계의 구분을 보였다. 또한, 퍼지제어기의 연산을 위해 이들 언어변수를 각각 3, 2, ..., -3까지의 정수값들로 설정하였다.

표1. 7 단계로 구분한 언어변수
Table 1. Classified Linguistic values with 7 stages

언어묘사	언어변수	적용값
매우크다	PL (Positive Large)	3
크다	PM (Positive Middle)	2
조금크다	PS (Positive Small)	1
적당하다	ZE (Zero)	0
조금작다	NS (Negative Small)	-1
작다	NM (Negative Middle)	-2
매우작다	NL (Negative Large)	-3

표 1의 언어변수들에 대한 각각의 귀속도함수를 그림 2와 같이 정의한다.

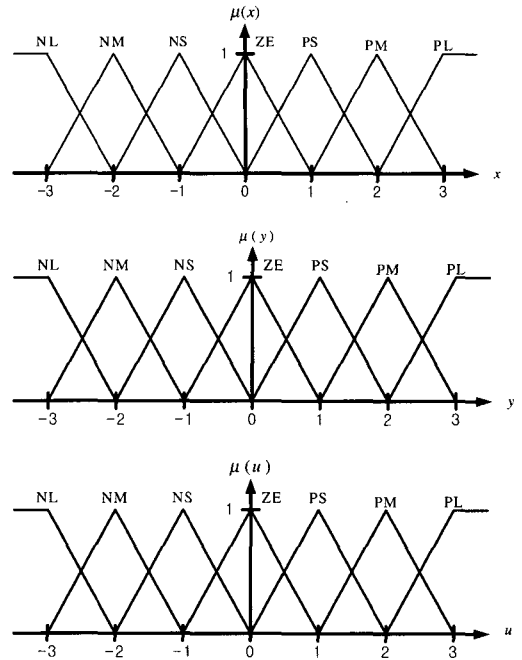


그림 2. 삼각형 끝의 귀속도 함수
Fig. 2 A triangular-shaped membership function

귀속도 함수 역시 적용하고자 하는 퍼지제어기에 따라 마름모꼴, 가우시안꼴, 좌우비대칭꼴 등 다양한 형태로 정의될 수 있다. 함수해석의 선형성과 용이성, 연산속도, 구현회로의 복잡도, 동작특성 등 다양한 척도를 통해 최적의 귀속도함수를 선별하여 적용할 수 있으나 그림 2의 삼각형꼴이 가장 일반적으로 선택되는 귀속도 함수이며 본 논문에서도 이를 적용하기로 한다.

2. 규칙기반(rule-base)

설계자의 경험과 지식에 따라 적절하다고 판단되는 선택에 의해 규칙기반이 설정되고, 퍼지화된 입력에 대하여 적절한 퍼지제어의 결과를 도출하도록 한다. 두 입력 x, y 에 대하여 표 1의 언어변수를 적용한 규칙기반의 한 예를 들면, “If x is PS and y is PS, then u is NS”과 같다. 이때, If 절을 전건부(premise),

then 절을 후건부(consequent)라한다. 이러한 규칙기반 받은 (언어변수의 수)^(입력의 수) = 7² = 49개가 발생하며 이를 표 2를 통해 정리하였다.

표2. 2개 입력과 7개 언어변수에 대한 규칙기반 표
Table 2. Rule base table for 2 inputs and 7 linguistic values.

u		x						
		-3	-2	-1	0	1	2	3
y	-3	3	3	3	2	1	1	0
	-2	3	3	2	1	1	0	-1
	-1	3	2	1	1	0	-1	-1
	0	2	1	1	0	-1	-1	-2
	1	1	1	0	-1	-1	-2	-3
	2	1	0	-1	-1	-2	-3	-3
	3	0	-1	-1	-2	-3	-3	-3

3. 추론(inference)

추론이란 입력에 대한 분석과 설계자의 경험을 통해 어떠한 확정치의 결론을 유도할 것인가의 문제라 할 수 있다.

[예제 1] 입력 x=1.3와 y=0.8를 가정하여 그림 2와 표 2를 통해 다음과 같은 규칙기반을 고려할 수 있다.

- R1 : If x is PS and y is PS then u is NS.
- R2 : If x is PS and y is ZE then u is NS.
- R3 : If x is PM and y is PS then u is NM.
- R4 : If x is PM and y is ZE then u is NS. (1)

전건부의 언어적 "and" 연산을 정량화 시키기 위해 최소연산자(MINimum operator:MIN)나 스칼라 곱(scalar product)이 주로 사용되나, 본 논문에서는 MIN연산을 사용하기로 한다. 그림 2를 통해 식 (1)의 R1~R4의 전건부는 각각 식 (2)와 같이 그 확정치를 구할 수 있다.

- R1 : MIN{ $\mu_{PS}(x=1.3)=0.7, \mu_{PS}(y=0.8)=0.8$ }
- R2 : MIN{ $\mu_{PS}(x=1.3)=0.7, \mu_{ZE}(y=0.8)=0.2$ }
- R3 : MIN{ $\mu_{PM}(x=1.3)=0.3, \mu_{PS}(y=0.8)=0.8$ }
- R4 : MIN{ $\mu_{PM}(x=1.3)=0.3, \mu_{ZE}(y=0.8)=0.2$ }

4. 비퍼지화부(defuzzification)

추론에 의해 얻은 전건부의 조건에 대하여 가장 적절한 제어기의 출력을 만드는 과정으로, 추론과정에서 만들어진 정보를 구체적인 수치로 표현하는 일종의 디코딩(decoding)이라 할 수 있다. 식(1)의 R1에서 전건부의 x가 PM이고 y가 PS이면 출력 u는 NM로 나타내기로 규칙기반을 설정하였다. 이때, 전건부의 x가 PM인 정도(certainty)가 0.7이고 y가 PS인 정도가 0.8에 대하여 추론의 과정에서 MIN연산을 통해 전건부의 퍼지값을 0.7로 연산하였다. 이는 출력 u를 NM의 출력을 내기 위한 정도 역시 0.7정도로 설정함이 타당할 것이다. 따라서, 전건부의 퍼지값에 따라 이를 다시 후건부에서 MIN{0.7, $\mu_{NM}(z)$ }를 통해 출력의 정도를 나타낼 수 있으며, 식 (2)의 R1~R4에 대한 후건부의 MIN연산의 결과를 그림 3에 나타내었다.

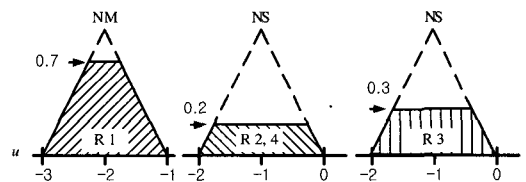


그림 3. 식 (2)에 의한 출력의 정도 값
Fig. 3 The certainty value of output from Eq. (2)

그림 3과 같이 출력의 정도(퍼지값)에 대하여 확정값을 얻는 일반적인 방법으로 무게중심법(Center Of Gravity : COG)이 사용되며 이를 식 (3)에 나타내었다.

$$u_{crisp} = \frac{\sum_i b_i \int \mu(i)}{\sum_i \int \mu(i)} \quad (3)$$

여기서, u^{crisp} 은 출력의 확정치를 말하며, b_i 는 규칙 i 에 대한 출력의 정도 값을 나타낸 귀속도함수의 중심이며 $\mu_{(i)}$ 는 출력의 정도 값의 면적을 나타낸다. 그림 3에 대하여 식(3)을 통해 출력의 확정치(crisp value)를 구하면 식 (4)와 같다.

$$u^{crisp} = \frac{-2 \times 0.91 - (0.36 + 0.51 + 0.36)}{0.91 + 0.36 + 0.51 + 0.36} = -1.4 \quad (4)$$

III. 퍼지제어기의 설계

1. Sasaki 등의 퍼지제어기 구성

앞 장을 통해 살펴본 퍼지제어기의 구성에 대하여 Sasaki등은 비 퍼지화 과정에서 필요한 식 (3)의 COG 연산에 주목하였다. 제산 연산을 소거함으로써 그 하드웨어구현을 간략화하기 위해 “1. 임의의 한 입력 값에 대한 전건부의 귀속도함수들의 총합은 1이고 (orthogonal condition), 2. 서로 중복되는 귀속도 함수들의 수가 둘 이하”라는 두 조건을 전제하여 식 (5)와 같이 새로운 T-Norm연산자를 정의하였다.

$$\mu(x) \cap \mu(y) = \frac{(\mu(x) \wedge \mu(y)) + (\mu(x) \odot \mu(y))}{2}$$

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

$$\mu(x) \odot \mu(y) = (\mu(x) + \mu(y)) - 1, \text{ if } \mu(x) + \mu(y) \geq 1$$

$$= 0 \quad \text{otherwise} \quad (5)$$

식 (5)의 \cap , \wedge , \odot 는 각각 T-Norm, MIN, 그리고 한계 곱(Bounded Product:BP) 연산자의 정의이다. 식 (5)의 T-Norm 연산자를 통해 식 (3)의 $\sum_i \int \mu_{(i)} = 1$ 이 되므로, 출력 u^{crisp} 를 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$u^{crisp} = \sum_i b_i \int \mu_{(i)}$$

$$\mu_{(i)} = \mu_i(x) \cap \mu_i(y) \quad (6)$$

본 논문에서는 $\sum_i \int \mu_{(i)} = 1$ 에 대한 증명은 생략하며 이에 관한 내용은 참고문헌[10]을 참조하기로 한다.

Sasaki등은 식 (6)을 통해 입력 x, y 에 대한 귀속도 함수 발생기(Membership Function Circuit : MFC)와 T-Norm연산에 필요한 MIN과 한계곱(BP) 연산기를 적용한 퍼지제어기를 제안하였다. 7개의 언어변수를 갖는 2 입력 퍼지제어기의 블록도는 그림 4와 같다.

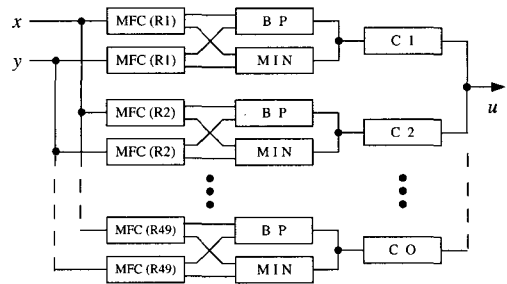


그림 4. Sasaki의 퍼지제어기 블록도
Fig. 4 Block diagram of Sasaki's fuzzy controller

[예제 1]에서 다루어진 동일한 입력 조건($x=1.3, y=0.8$)에 대하여 식 (5)와 (6)의 Sasaki 퍼지제어 연산식을 통한 결과는 식 (7)과 같다.

$$u^{crisp} = \frac{(-2 \times 0.6)}{R1} + \frac{(-1 \times 0.1)}{R2} + \frac{(-1 \times 0.2)}{R3} + \frac{(-1 \times 0.1)}{R4} = -1.6 \quad (7)$$

2. 제안된 퍼지제어기의 구성

제산기를 제거하기 위한 Sasaki 등의 T-Norm연산자의 두 전제조건들로부터 추론식과 설계 방법을 개선허 수 있다.

2.1 BP 연산회로를 제거하기 위한 퍼지화와 비 퍼지화 방법 원리

자연수 0, n사이의 임의의 실수를 입력으로 갖는 x 에 대하여 식 (8)과 같이 표현 가능하다^{[11], [12]}.

$$x = \mu_1 + \dots + \mu_i + \dots + \mu_n$$

$$\mu_x = \begin{cases} 1 & x \geq 1 \\ 0 & x \leq i-1 \\ x-(i-1) & i-1 < x < i \end{cases} \quad (8)$$

식 (8)로 부터 0 보다 큰 임의의 한 실수는 여러 개의 1과 [0, 1]사이의 소수로 구성된다고 볼 수 있다. 이러한 실수가 정수인 경우 그 소수부분이 0이며, i 를 임의의 한 정수로 고정시키면 μ_i 는 x 의 함수 $\mu_i(x)$ 로 표현 가능하다. 또한, $\mu_i(x)$ 에 대하여 $\overline{\mu_i(x)}$ 를 $1-\mu_i(x)$ 로 정의할 수 있다. 따라서, $\mu_i(x)$ 와 $\overline{\mu_i(x)}$ 를 통해 새로운 귀속도 함수를 식 (9)과 같이 정의할 수 있다.

$$F_i(x) = \mu_i(x) \wedge \overline{\mu_{i+1}(x)} \quad (9)$$

i 가 임의의 고정 값을 가질 때 $F_i(x)$ 는 “ x 는 약 i 와 같다”라는 의미를 갖는 퍼지집합의 귀속도함수이다. $F_i(x)$ 의 함수곡선은 중점이 i 에 있고 밑변의 길이가 2인 2등변 삼각형이다. 이는 x 가 i 보다 크거나 작은 두 가지 경우에서 i 로 접근하는 정도를 나타낸다. 따라서 한 실수 x 는 식 (10)로 나타낼 수 있다.

$$x = \sum_i F_i(x) \cdot i \quad (10)$$

식 (9)은 x 의 퍼지화 과정이고 식 (10)는 비 퍼지화 과정이며 이 두 과정은 서로 역 연산이다. 식 (9)와 (10)을 통해 연속된 자연수를 퍼지집합의 중심으로 취하여 새로운 퍼지화과정과 비 퍼지화 과정을 보였다. 이는 임의의 등간격의 실수 d 를 각각의 귀속도 함수의 중심값으로 취하는 경우로 확장하여 응용할 수 있다. 임의의 등간격을 실수 d 로 취한 식 (9)와 (10)의 일반화된 식은 각각 식 (11)과 (12)와 같다.

$$F_i(x) = \begin{cases} \frac{|x-i|}{d} & |x-i| \leq d \\ 0 & otherwise \end{cases} \quad (11)$$

$$x = \sum_i F_i(x) \cdot i = \sum_i |x-i| \cdot \frac{i}{d} = \frac{1}{d} \cdot \sum_i |x-i| \cdot i \quad (12)$$

식 (12)의 마지막 항에서 $1/d$ 는 상수 값이므로 변수의 계산연산이 아니다. 또한, 식 (12)의 합 연산은 오직 i 가 0이 아닌 $F_i(x)$ 에 대해서만 진행되므로, 후건부 언어변수가 ZE인 규칙들은 생략 가능하다. 또한, Sasaki의 퍼지제어기에 비해 본 논문에서 제안한 퍼지화 과정에서는 BP연산이 제거됨으로 그 구성을 보다 간략화 할 수 있다. 예제 1에서 다루어진 입력조건에 대하여 제안한 퍼지제어기 설계방법을 통한 결과는 식(15)과 같다.

$$u^{crisp} = \frac{(-2 \times 0.7)}{R1} + \frac{(-1 \times 0.2)}{R2} + \frac{(-1 \times 0.3)}{R3} + \frac{(-1 \times 0.2)}{R4} = -2.1 \quad (13)$$

2.2 제안된 퍼지제어기의 구조

그림 5은 본문에서 제안한 방법으로 구성된 2 변수 7전건부의 퍼지제어기의 구조이다. 그림 4와 비교할 때 연산블록은 49개에서 42개로 감소되었고 동시에 49개의 BP연산회로를 제거하였다.

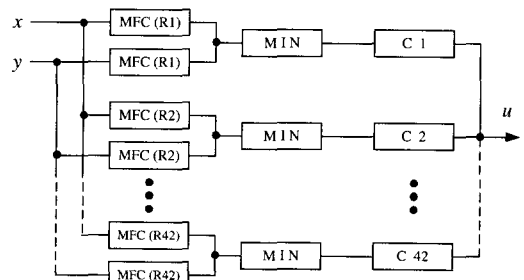


그림 5. 제안된 퍼지제어기 블록도
Fig. 5 The proposed block diagram of fuzzy controller.

IV. 시뮬레이션 결과

앞 장에서 언급한 COG, Sasaki의 퍼지제어 기법, 그리고 본 논문에서 보인 기법 등 3가지 퍼지화와 비 퍼지화 방법의 제어성능을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 실행하였다.

4.1 퍼지제어 모형

If-then 규칙들의 조건부에 관한 퍼지 연산자의 적용을 나타내는 문제로서 물탱크(water tank)의 수위 조절에 관한 퍼지 제어문제를 고려하였다. 물탱크는 밸브와 연속적인 방수를 통해 채워지게 된다. 물의 수위가 측정되고, 수위의 오차를 나타내는 점과 비교된다. 이러한 오차는 측정된 수준이 바람직한 수준이 될 수 있도록 밸브를 조절하는데 이용된다. 탱크의 역학적인 성질은 수위의 제공근에 비례하기 때문에 비선형문제이다. 물탱크 제어를 위한 다음 방정식들은 시뮬레이션 모형으로 나타내는데 사용하였다^[23].

$$h = \frac{V_{in} - V_{out}}{Area}$$

$$Area = \pi * R^2 = A_k$$

$$V_{out} = K\sqrt{h}$$

$$V_{in} = f(u)$$

$$h = \frac{f(u) - K\sqrt{h}}{A_k} \Rightarrow f(u) = hA_k + K\sqrt{h}$$

여기서, h 는 물탱크의 수위의 높이, $Area$ 는 물탱크의 면적, K 는 배수구 파이프의 저항이다. 실험에 적용할 규칙기반을 표 3에 보였다.

표 3에서 오차와 오차의 변화를 각각 변수 x 와 y 라 하였고, 입력변수들에 대한 추론의 결과 u 는 밸브 위치를 나타낸다. u 에 대한 언어변수는 VVH(Very Very High), VH(Very High), H(High), M(Medium),

L(Low), VL(Very Low), VVL(Very Very Low)와 같이 7개를 적용하였다.

표 3. 2개의 입력과 7개의 언어변수에 대한 물탱크 퍼지제어기의 규칙기반 표.

Table 3. Water tank fuzzy controller's rule base table for 2 inputs and 7 linguistic value.

u		x						
		NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL
y	NL	VVH	VVH	VVH	VH	H	H	M
	NM	VVH	VVH	VH	H	H	M	L
	NS	VVH	VH	H	H	M	L	L
	ZE	VH	H	H	M	L	L	VL
	PS	H	H	M	L	L	VL	VVL
	PM	H	M	L	L	VL	VVL	VVL
	PL	M	L	L	VL	VVL	VVL	VVL

4.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 하기 위해 오차의 범위를 [-36,36]으로, 오차의 변화를 [-40,40]으로, 그리고 밸브의 위치범위를 [-5,1]로 설정하였다. 그리고, 물탱크의 초기 수위는 11 inch, 목표 수위는 20 inch로 설정하였다. 무게중심법(COG)를 적용한 퍼지제어기, Sasaki의 퍼지제어기, 그리고 본 논문에서 제안한 제어기의 동작 성능에 관한 시뮬레이션 결과는 각각 그림 6, 7, 8과 같다.

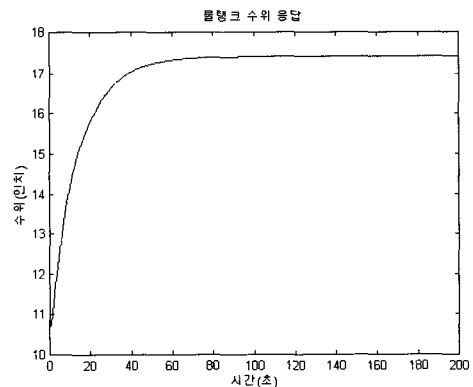


그림 6. COG을 사용한 퍼지제어기의 시뮬레이션 결과. Fig. 6 Simulation result of fuzzy controller using COG.

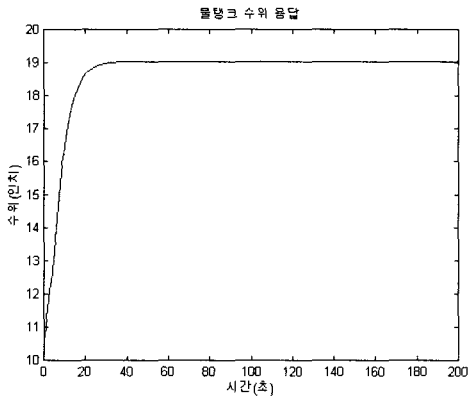


그림 7. Sasaki의 퍼지제어기의 시뮬레이션 결과
Fig. 7 Simulation result of Sasaki's fuzzy controller

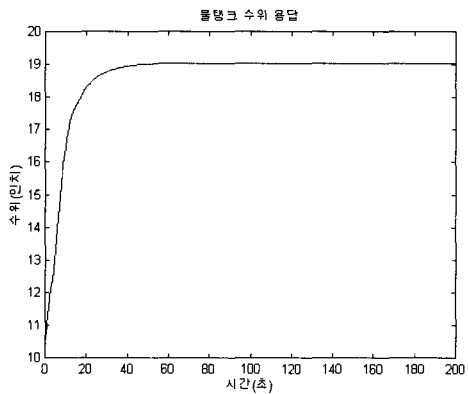


그림 8. 본 논문에서 제안한 퍼지제어기의 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Simulation result of proposed fuzzy controller in this paper.

실험결과를 통해 알 수 있는 바와 같이 sasaki의 방법과 본 논문에서 논의한 방법으로 만든 퍼지제어기가 물탱크에 대한 조절효과는 큰 차이가 없었다. 다시 말하면 제어기의 각종 성능은 비슷하며 반대로 전통적인 무게중심법으로는 위의 두 가지 경우보다 효과가 좋지 않았다.

V. 비교 및 검토

본 논문에서 제안한 회로 구성방법을 이용하면 전진부의 개수(입력 변수)가 n 개로 증가하고 각 전진부

의 퍼지변수들이 p 개로 증가할 때, 기존의 방법을 이용할 경우 블록수가 $2 \cdot p^n$ 개이고 본 논문에서 제안한 회로는 p^n 개이다. 일반적으로, 무게중심법으로 설계한 제어기의 구조가 가장 복잡하다. 적절한 비교를 위해서는 퍼지 제어기의 기본적인 구조가 같아야 하므로 Sasaki의 t-norm연산자를 이용한 퍼지 제어기 블록수를 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하여 구성한 퍼지제어기와 비교하면 표 4와 같다.

표 4. 블록 수 비교 표

Table 4. Comparison table of the number of blocks.

	Sasaki		본 논문	
변수, 전진부 개수	7, 2	n, p	7, 2	n, p
MIN	49	p^n	42	p^n
한계값	49	p^n	0	0
총 블록수	98	$2 \cdot p^n$	42	p^n

본 논문에서 제안된 방법을 사용할 경우 Sasaki에 의해서 제안된 회로와 비교할 때 회로의 전체 블록수가 감소함을 알 수 있다. 전체블록의 개수가 감소하는 것은 퍼지변수가 증가할수록 더 효과적임을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 새로운 퍼지화와 비퍼지화방법으로 이 두 과정이 서로 역연산이 되게 하여 논리상의 일치를 유지하였다. 이 방법을 도입하여 기존의 방법에 비해 추론에 큰 영향을 주지 않는 한계값 부분들을 제거할 수 있는 새로운 설계방법 및 제어기 구조를 제시하였다. 제안된 알고리즘에 의해서 설계된 퍼지제어기는 전체적인 퍼지제어기의 구조가 간략화 되고, 퍼지제어기의 블록수와 소자수가 감소하지만, 퍼지제어기의 제어성능은 본 논문에서 비교하고자 하는

Sasaki에 의해서 제안된 퍼지제어기와 큰 차이가 없다. 그리고 전진부의 수와 언어변수의 개수가 많아질 수록 제안된 방법이 더욱 효과적이었다.

본 논문에서 제안된 알고리즘을 검증하기 위하여, 퍼지화과정의 예에 해당하는 물탱크의 수위를 조절하는 문제를 Sasaki의 방법과 본 논문의 방법을 적용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과는 Sasaki의 방법과 본 논문의 방법이 퍼지화에 의한 결과는 유사하나 사용된 제어기의 전체 블록수가 감소하고 회로 구성이 단순해짐을 보였다. 따라서, 제어성능을 매우 정밀하게 필요로 하지 않는 퍼지제어기의 경우에는 본 논문에서 제안된 방법을 이용하면 적은수의 소자를 가지고 퍼지 제어기를 구성 할 수 있어 많은 소자를 이용한 기존의 퍼지 제어기에 비해 상대적으로 고장률을 줄일 수 있을뿐만 아니라 고집적도가 요구되는 퍼지 시스템에 효과적으로 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and Control*, vol. 8, 338-353, 1965.
- [2] 이광형, 오길록, *퍼지이론 및 응용 I, II*, 홍릉과학출판사, 1991.
- [3] L. Lemaitre, M. J. Patyra, D. Mlynek, "CMOS Fuzzy Logic Controller in Current Mode," *IEEE CICC'93, San Diego, CA*, 1993.
- [4] T. Yamakawa, T. Miki, F. Ueno, "The design and fabrication of the current mode fuzzy logic semi-custom IC in the standard CMOS IC technology," *Proc. of 15th IEEE Int. Symp. Multiple-Valued Logic*, pp. 76-82, 1985.
- [5] T. Yamakawa, T. Miki, "The current mode fuzzy logic integrated circuits fabricated by CMOS process," *IEEE Trans. on Computer*, vol. C-35, pp. 161-167, 1986.
- [6] M. Sasaki, F. Ueno, "A Fuzzy Logic Function Generator (FLUG) implemented with current mode CMOS circuits," *Proc. of 21st IEEE Int. Symp. Multiple-Valued Logic*, pp. 356-362, May 1991.
- [7] M. Togai, H. Watanabe, "A VLSI Implementation of Fuzzy Inference Engine : Toward and Expert System on a chip," *IEEE 2nd ICAIA*, 1985.
- [8] L. P. Maguire, T. M. McGinnity, L. J. McDaid, "From a Fuzzy Flip-Flop to a MVL Flip-Flop," *Proc. of 29th IEEE Int. Symp. Multiple-Valued Logic*, pp. 294-299, 1999.
- [9] K. M. Passino, S. Yurkovich, *Fuzzy Control*, Addison-Wesley, 1998
- [10] M. Sasaki, F. Ueno, "A Fuzzy Logic Function Generator(FLUG) Implemented with Current Mode CMOS Circuits," *Proc. of 21th IEEE Int. Symp. Multiple-Valued Logic*, pp. 356-362, 1991.
- [11] L. Lemaitre, M. J. Patyra, D. Mlynek, "Analysis and design of CMOS fuzzy logic controller in current mode," *IEEE J. of Solid-State Circuits*, vol. 29, no. 3, pp. 317-322, March 1994.
- [12] L. Lemaitre, M. J. Patyra, D. Mlynek, "Synthesis and design automation of analog fuzzy logic VLSI circuit," *Proc. of 23th IEEE Int. Symp. Multiple-Valued Logic*, pp. 74-79, 1993.
- [13] 이현엽, 문경일, *MATLAB을 이용한 퍼지-뉴로*, 아진, 1999,12.

저자 소개

卞基寧 (正會員)



1994년 2월 : 인하대학교
전자공학과 (공학사)
1998년 8월 : 인하대학교
전자공학과 (공학석사)
1999년 3월 ~ 현재 :
인하대학교 전자공학과
박사과정 수료
1994년 1월 ~ 1996년 8월 :
(주)LG전자 VCR 사업부 회로설계 연구원

<주 관심분야> 정보 및 부호이론, VHDL, 컴퓨터구조, 유한체 이론의 응용, 다치논리시스템, 퍼지제어시스템 등

車文哲 (正會員)



1995년 9월 : 중국 심양건축공정대학
자동제어학과 (공학사)
2002년 2월 : 인하대학교
전자공학과 (공학석사)
2002년 3월 ~ 현재 :
인하대학교 전자공학과 박사과정
<주 관심분야> 다치논리시스템,
퍼지제어시스템, 자동제어 등

金興壽 (正會員)



1962년 12월 : 인하대학교
전기공학과 (공학사)
1965년 10월 : 연세대학교
전자공학과 (공학석사)
1979년 2월 : 인하대학교
전자공학과 (공학박사)
1968년 6월 ~ 1979년 2월 :
국립항공대학교 교수
1979년 2월 ~ 현재 : 인하대학교

전자공학과 교수

1993년 9월 ~ 1994년 9월 : 일본 KEI-YO Univ. 교환
교수

<주 관심분야>

회로 및 시스템, 논리회로설계, 퍼지논리, 다치논리 등