

전력설비의 제어 응답특성 개선을 위한 퍼지 추론 기법의 적응조정

Improvement of Control Response Characteristics for Power Facility using the Adaptive Sizing of Fuzzy Inference Method

이 현 재* · 김 동 은* · 손 진 근†
(Hyun-Jae Lee · Dong-Eun Kim · Jin-Geun Shon)

Abstract - In this paper, proposed a method to improve of control characteristics for power facility using the adaptive sizing of fuzzy inference method. In the use of the controller based the fuzzy logic, a basic mamdani fuzzy controller is applied. However, when the maximum value and the minimum value have to taken, the fuzzy controller can not take a normal value because of formalized grouping form. In this paper, we combine the conventional methods with single valued sets to compensate for the disadvantage caused by the mamdani method control. Simulation results show that the proposed method has better overshoot and steady state arrival time than the conventional control method.

Key Words : Adaptive sizing, Fuzzy controller, Fuzzy logic, Mamdani method control, Overshoot, Power facility

1. 서 론

고도의 산업 및 정보화 시대가 발전하고 첨단 기술력이 발전함에 따라 전기 자동차 산업, 로봇 산업 및 자동화 산업 등이 꾸준히 발달하고 있다[1]. 이러한 산업 중에서 CNC 등 전동기 설비 및 제어 자동화 설비 등의 전동력설비는 이러한 산업의 중요한 요소이며 이를 얼마나 정밀하고 안정감 있게 제어하느냐에 따라 생산품의 품질 및 성능이 결정된다고 할 수 있다. 이렇게 만들어진 생산품이나 기기 또한 프로그래밍된 언어에 따라 사용자가 원하는 목표에 도달하기 위한 마스터/슬레이브 기능의 서보적인 제어기법은 필수적이다. 이러한과 같이 현 시대에서 제어기법 및 제어 요소는 그 중요성이 지속적으로 증가하면서 다양한 분야에 대하여 이에 대한 연구도 매우 활발히 진행되고 있다.

최근에는 사용자가 원하는 목표 값에 정확하고 정밀하게 도달하기 위하여 다양한 제어 변수의 튜닝, MEMS기반의 하드웨어 및 퍼지 추론기법 등 AI 소프트웨어 기술 등이 적용 방안이 강구되고 있는 실정이다[2,3]. 이 중에서 전달함수에 대한 제어기의 파라미터 튜닝에서는 주로 PI 제어기나 PID 제어기가 주로 사용되는데, 이는 설계한 회로 구성에 맞는 이득값을 튜닝하여 목표값에 최적으로 도달할 수 있는 제어기 선정과정을 의미한다. 하지만 최적의 이득값을 튜닝하기 위하여 시행착오법 등 다소의 시간이 소요되며 회로 구성의 변화 및 파라미터의 변형에 따라 그 이득값

튜닝 또한 다시 이루어져야 한다는 단점을 지니고 있다[4,5].

이러한 문제점의 지속적 존재에 따라 변수 간의 연관성을 고려하고 사람과 같은 유사한 논리로 추론 및 적절 튜닝을 도출할 수 있는 퍼지 논리(fuzzy logic)가 적용된 퍼지 제어가 다양하게 활용되고 있음은 이미 오래전이다[6,7,8]. 특히 전동력 설비와 같은 속응성 및 안정적 도달성을 주 제어목표로 설정하는 전력설비에서의 퍼지 제어기는 목표값에 도달하기 위한 이득값이 가변되는 구조의 장점이 있으며 다양한 변수를 사용하여 최적의 제어기 설계가 가능하다고 할 수 있다.

이에 따라 본 논문에서는 개선된 퍼지 추론 기법의 적응조정 기법에 기반하여 전기자동차 및 서보전동기 등 전력설비의 제어 응답 특성을 향상시키는 새로운 제어 기법을 제안한다. 제안된 기법은 종래의 퍼지 논리의 과정 중 역퍼지화하는 과정에 있어서 출력값 범위의 축소가 발생하는 단점을 적응 조정하는 것으로 전통적으로 적용되는 맘다니형 추론 방식[9]에 스케노형 추론 방식[10]을 복합하여 어떠한 결론을 추론하는 기법이다.

제안된 퍼지 추론기법의 타당성을 입증하기 위하여 전동기 플랜트에 해당되는 전달함수를 선정하여 모의실험을 진행하였다. 이의 결과 기존의 제어 기법보다 빠른 응답시간과 낮은 오버슈트를 갖는 응답을 확인할 수 있었기에 이에 대한 전력설비의 속도 제어분야에 그 활용 가능성이 높다고 예상할 수 있었다.

2. 전력설비에 적용하기 위한 기존 퍼지 제어기의 구성 기법과 특성

그림 1은 전력설비에 적용하기 위한 기본적인 퍼지 제어기 구

† Corresponding Author : Dept. of Electrical Engineering, Gachon University, Korea.
E-mail: shon@gachon.ac.kr

* Dept. of Electrical Engineering, Gachon University, Korea
Received: August 29, 2018; Accepted : September 14, 2018

성의 간단한 블록다이어그램이다. 그림과 같이 퍼지 제어를 위한 퍼지화(fuzzification)입력값은 두 가지로 나뉘는데 입력값에 해당하는 x 는 e 와 같은 것으로서 오차값을 의미한다. y 는 오차값을 미분한 오차변화율을 의미한다.

또한 퍼지 제어기는 기본적으로 4가지로 구성된다. 입력 데이터를 퍼지 데이터로 변환하는 ‘퍼지화’, 전문가의 지식을 바탕으로 입력간의 규칙을 설정하는 ‘룰 베이스’, 퍼지화된 다수의 입력 데이터를 하나로 융합하는 과정인 ‘추론’, 퍼지화로 표현된 데이터를 현실값으로 변환하는 과정인 ‘역퍼지화’로 구성되어 있다.

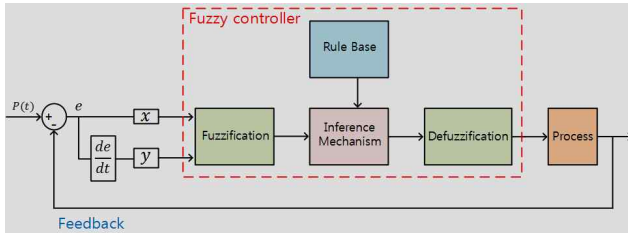


그림 1 퍼지 제어기의 블록 다이어그램
Fig. 1 Block diagram of the fuzzy controller

2.1. 입력값의 퍼지화(Fuzzification)

퍼지 제어를 사용하기 위해서는 각 센서 데이터의 변환 단계인 퍼지화 과정을 거쳐야 하는데 이는 멤버십 함수(membership Function)와 소속도(membership of degree)로 나타내는 과정이다. 여기서 멤버십 함수란 범위에 따라 임의적으로 나는 부분집합을 나타내며 각 원소들의 소속도를 수식으로 나타낸 함수를 의미한다.

그림 2에서는 전력설비에 적용하기 위한 제어기에서의 오차값,

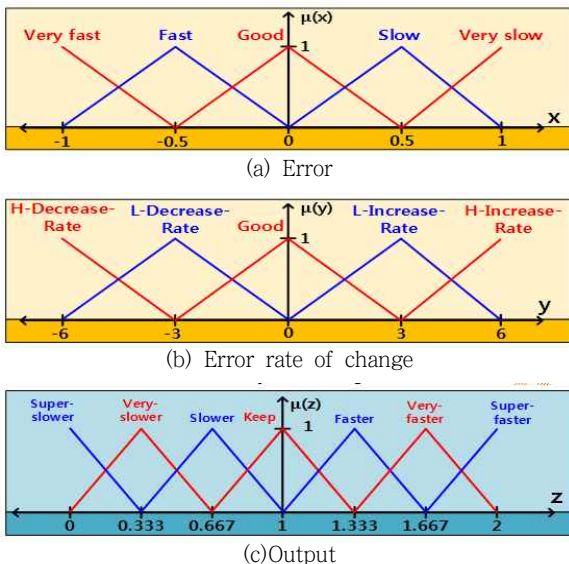


그림 2 입력과 출력에 대한 멤버십 함수
Fig. 2 membership function about input and Output

오차변화율, 출력값에 대한 멤버십 함수를 나타낸다. 그림 2(a)는 오차값에 대한 멤버십 함수를 보여준다. 오차값의 멤버십 함수는 5개로 이루어지며 그림 2(b)는 오차값에 대한 변화율을 5개의 멤버십 함수로 나타낸 모습이다. 그림 2(c)는 출력값을 위한 멤버십 함수를 나타낸다. 정밀한 퍼지 제어를 위하여 7개의 멤버십 함수로 구성하였다.

2.2 룰 베이스(Rule base)의 설정과 추론(Inference)

표 1은 전력설비에 적용하기 위한 제어기의 룰 베이스 설정을 위한 규칙 기반표이다. x 는 5개의 멤버십 함수, 입력 y 는 5개의 멤버십 함수, Output은 7개의 멤버십 함수로 나누어 설정하였으므로 규칙 기반표는 아래의 표 1과 같이 표현할 수 있다.

표 1 룰 베이스 설정을 위한 규칙 기반표
Table 1 Rule-base table for rule base setting

Rule base table	Error rate of change				
	High decrease	Low decrease	Good	Low increase	High increase
Error	Very fast	Keep	Slower	Very slower	Super slower
	Fast	Faster	Keep	Slower	Super slower
	Good	Very faster	Faster	Keep	Slower
	Slow	Super faster	Super faster	Faster	Keep
	Very slow	Super faster	Super faster	Very faster	Faster

이때 룰 베이스의 형태는 If-Then 형식의 언어적 제어 규칙으로 표현가능하며 식(1)과 같은 형태가 이용된다. 여기서 x 가 오차값, y 가 오차변화율, z 가 출력값 일 때 룰 베이스는 다음과 같다.

$$R_n : \text{If } x \text{ is } A_n \text{ and } y \text{ is } B_n \text{ Then } z \text{ is } C_n \quad (1)$$

$$R_1 : \text{If } x \text{ is V-fast and } y \text{ is H-Decrease Then } z \text{ is Keep.}$$

$$R_2 : \text{If } x \text{ is Fast and } y \text{ is H-Decrease Then } z \text{ is Faster.}$$

⋮

$$R_{24} : \text{If } x \text{ is Slow and } y \text{ is H-increase Then } z \text{ is slower.}$$

$$R_{25} : \text{If } x \text{ is V-slow and } y \text{ is H-increase Then } z \text{ is Keep.}$$

이처럼 총 25가지로 형성된 룰 베이스와 오차값, 오차 변화율로 생성된 입력 퍼지 데이터를 사용하여 추론 과정을 진행한다. 일반적인 추론의 방법으로 대표적인 맘다니 방식(mamdani method)[9]이 있으며 이 중 최소값-최대값 방식을 사용한다.

2.3 역퍼지화(Defuzzification)

룰 베이스와 입력 퍼지 데이터를 사용하여 얻은 출력 퍼지 데이터는 실제 제어입력으로 사용할 수 없는 값이기 때문에 이를

제어에 사용할 수 있는 명확한 값으로 변환하기 위하여 역퍼지화 과정을 거친다. 역퍼지화 방법으로는 무게중심법[8-10]이 사용되며 식(2)을 이용하여 퍼지 제어의 최종적인 출력인 μ^{crisp} 를 계산할 수 있다.

$$\mu^{crisp} = \frac{\sum_{z=a}^b \mu_{C'}(z)z}{\sum_{z=a}^b \mu_{C'}(z)} \quad (2)$$

무게중심법은 통합된 출력 멤버십 함수의 표본을 추출하여 계산함으로써 μ^{crisp} 의 값을 합리적으로 추정할 수 있다. 여기서 a 는 통합된 출력 멤버십 함수 중에서 가장 작은 z 값, b 는 출력 멤버십 함수 중에서 가장 큰 z 값을 의미한다. 즉, a 에서 b 사이에 생성된 멤버십 함수의 표본을 추출하여 무게중심을 계산해 최종적인 결과 값을 얻는 것이다.

3. 제안하는 퍼지 추론기법의 적응조정과 설계검증

3.1 일반적인 퍼지 제어기 사용의 문제점 도출

2장에서와 같이 전력설비에 적용하기 위한 퍼지 제어기의 사용에 대하여 일반적인 퍼지 제어기를 이용하여 전동력 제어설비에 출력값을 도출하면 무게중심법을 사용함으로써 생기는 단점이 발생한다.

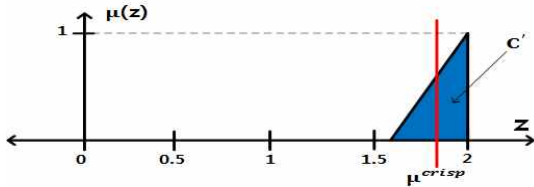


그림 3 무게중심법 사용에 의하여 생성된 집합 C' 의 결과
Fig. 3 Result of generated set C' using centroid of gravity method

그림 3은 출력값을 도출하기 위하여 무게중심법 사용에 의하여 생성된 집합 C' 를 나타내기 위한 도형이다. 이는 식(2)를 이용함으로써 생기는 단점의 발생으로써, 만약 오차값 x 가 1이고 오차변화율 y 가 -6일 때 생성되는 집합 C' 는 그림 3에서 보이는 음영부분과 같다.

이렇게 생성된 집합 C' 와 식(2)를 이용하여 최종적인 결과인 μ^{crisp} 를 계산하면 식 (3)과 같다.

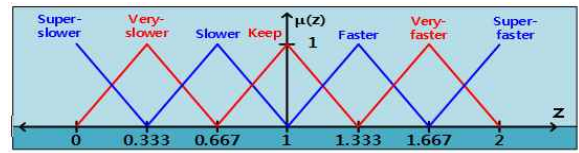
$$\mu^{crisp} = \frac{\sum_{z=1.667}^2 \mu_{C'}(z)}{\sum_{z=1.667}^2 1} = 1.895 \quad (3)$$

식 (3)의 결과와 같이 선정 목표값인 출력값의 최대값은 '2'를

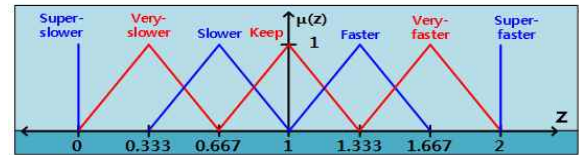
출력하는 것이 가상 이상적이며 목표값에 최대한 빠르게 도달할 수 있는 상황이지만 기존의 맵다니 방식과 무게중심법을 사용하면 최종결과인 크리스프값이 1.895로써 0.105만큼 낮은 값이 출력되는 모습을 볼 수 있다. 이는 출력값의 범위가 제한되어 버리는 현상이 발생한 것이며 목표값에 도달하는 시간이 지연되는 단점으로 나타나게 됨을 확인할 수 있다.

3.2 제안하는 퍼지 추론기법의 적응조정(Adaptive Sizing)

본 논문에서는 출력값의 최대값과 최소값이 제한되는 경우를 극복하기 위하여 출력 멤버십 함수 중 최소 범위와 최대 범위의 멤버십 함수 형태를 단일값으로 적응조정하는 기법을 제안한다.



(a) Conventional method



(b) Proposed method

그림 4 기존의 방식 (a)와 제안하는 방식 (b)의 멤버십 함수
Fig. 4 The membership function of (a) conventional method and (b) proposed method

그림 4는 퍼지 추론기법의 적응조정에 대한 출력 멤버십 함수의 구성을 나타낸다. 그림 2(c)에 나타나 있는 출력 멤버십 함수와 비교해 보면 super-slower의 멤버십 함수와 super-faster의 멤버십 함수의 형태가 다른 모습을 볼 수 있다. 이는 삼각형 집합 형태가 아닌 단일값 형태로 구성된 모습이며 무게중심법으로 역퍼지화하면 설정된 실수값이 그대로 출력되므로 더욱 빠르게 목표값에 도달할 수 있다. 이로 인해 출력값의 범위가 제한되는 현상을 극복할 수 있으며 목표값에 도달하기 위한 세팅링 시간을 줄이고 더욱 넓은 출력 범위를 이용하여 오버슈트를 감소시킬 수 있다.

3.2 제안하는 퍼지 추론기법의 설계와 검증

본 논문에서 제안하는 전력설비에의 적용에 대한 개선된 퍼지 제어 방식이 종래의 제어기에 대한 단점을 극복할 수 있다는 것을 검증하기 위해 다양한 조건에서의 모의실험을 진행하였다. 제안하는 퍼지 제어기의 모의실험을 위하여 MATLAB 시뮬레이션 프로그램을 사용하였다. 그림 5는 전력설비에의 적용을 위한 제안하는 방식의 활용 제어블럭도의 모습을 보여준다.

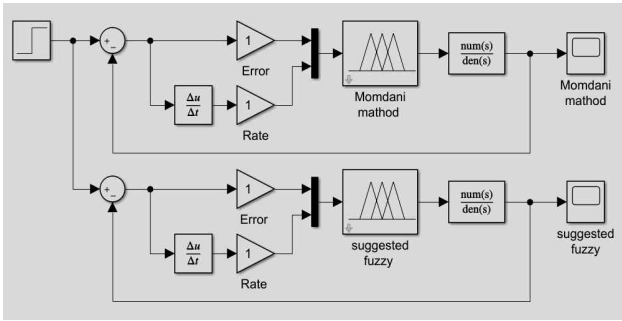
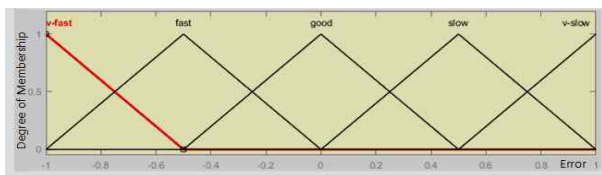
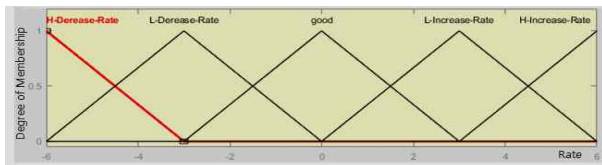


그림 5 MATLAB Simulink를 이용한 퍼지 제어기 회로
 Fig. 5 Fuzzy controller circuit using MATLAB simulink

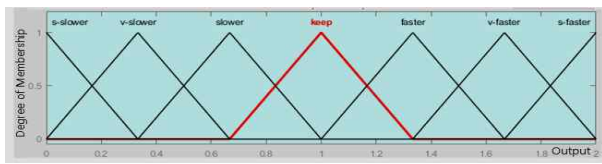
또한 그림 6은 그림 5에 기반된 MATLAB 구성의 각 입력과 출력에 관한 멤버십 함수를 나타낸 것이다. 그림 6(a), (b)는 설정에 대한 각 오차값과 오차변화율에 관한 멤버십 함수이고 (c)는 기존의 방식에 대한 출력 멤버십 함수이며 (d)는 제안한 방식에 대한 출력 멤버십 함수이다. 특히 그림 6(d)는 (c)와 비교해보면 super-slower와 super-faster의 멤버십 함수가 삼각형으로 생긴 형태가 아닌 단일값으로 조정되어 나타내어 있다.



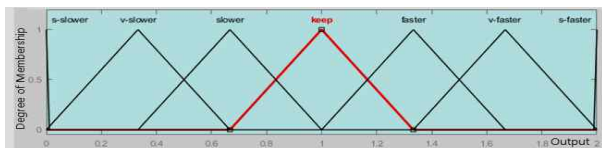
(a) Error



(b) Error rate of change



(c) Conventional output



(d) proposed output

그림 6 제어기의 입출력에 대한 멤버십 함수의 구성
 Fig. 6 Configuration of membership functions with the input/output of controller.

이 때에 비교되는 두 가지 제어 방식의 입출력의 범위와 멤버십 함수는 동일하게 설정하여 모의실험을 진행하였다. 다양한 조건에서의 모의실험 진행은 표 2와 같이 3가지의 2차 전달함수를 플랜트 파라미터 변수로 사용하였으며 평가함수의 결과를 동시에 나타내었다.

3.2.1 Transfer Function(1)의 모의실험 결과 분석

전력설비에의 적용을 위한 퍼지추론 기법의 적응조정에 대한 결과를 검증하기 위하여 표 1과 같이 3가지의 2차 전달함수를 플랜트 파라미터 변수로 사용하여 모의 실험을 진행하였다. 그림 7은 역 퍼지화된 크리스프값에 대한 결과 그래프를 나타낸 것이다. 종래 방식인 맘다니 방식의 최대 크리스프값이 1.895인 반면 제안하는 방식의 최대 크리스프값은 2라는 것을 알 수 있다. 이는 0.015 높은 크리스프값을 사용할 수 있다는 것을 보여준 것으로 제안하는 방식이 더욱 빠르게 목표값에 도달할 수 있다고 예상할 수 있다.

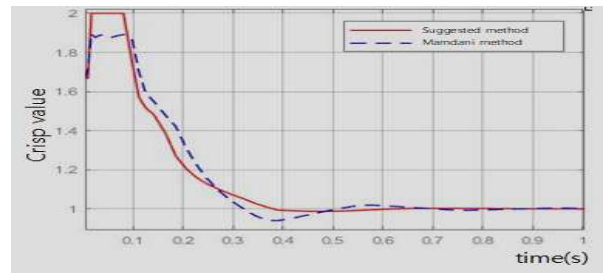


그림 7 역퍼지화를 통해 얻은 크리스프(crisp)값 (1)
 Fig. 7 The crisp value obtained by defuzzification (1)

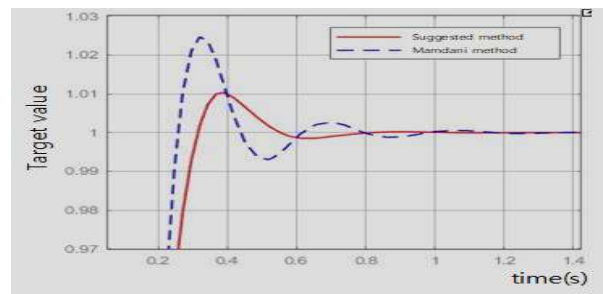


그림 8 정상상태 도달 시간 (1)
 Fig. 8 Time to reach steady state (1)

그림 8은 두 방식의 오버슈트와 정상상태 도달시간을 비교하여 보여주는 그래프이다. 제안하는 방식이 종래의 맘다니 방식보다 낮은 오버슈트와 더 빠른 정상상태 도달시간을 보여준다. 기존의 방식의 오버슈트는 1.025이고 정상상태 도달 시간은 1.354s이다. 그에 비해 제안된 방식의 오버슈트는 1.01이고 정상상태 도달 시간은 0.823s로 기존의 방식보다 오버슈트는 0.015 낮고 정상상태 도달시간은 0.531s 더 빨라지는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 제안하는 방식이 그림 7에서 보여준 크리스프값을 2까지

사용해 더욱 빠르게 목표값에 도달할 수 있다는 것을 보여준다.

3.2.2 Transfer Function(2)의 모의실험 결과 분석

그림 9는 Transfer function(2)일 때 역 퍼지화된 크리스프값에 대한 그래프를 나타내었다. 기존 방식의 최대 크리스프값은 1.891이었고 제안하는 방식의 최대 크리스프값은 2이다. 그림 10은 두 방식의 오버슈트와 정상상태 도달시간을 보여주는 그래프이다. 기존의 방식보다는 제안된 방식이 오버슈트는 0.017 더 낮고 정상상태 도달 시간은 0.568s 더 빨라지는 것을 확인할 수 있다.

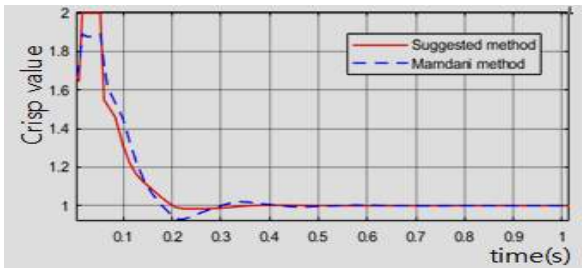


그림 9 역퍼지화를 통해 얻은 크리스프(crisp)값 (2)
 Fig. 9 The crisp value obtained by defuzzification (2)

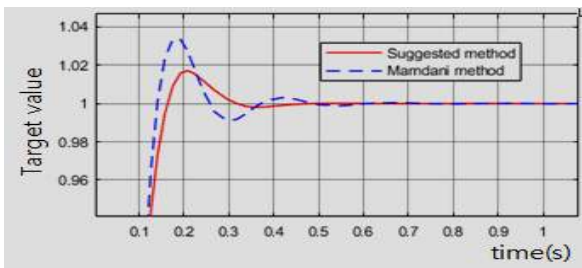


그림 10 정상상태 도달 시간 (2)
 Fig. 10 Time to reach steady state (2)

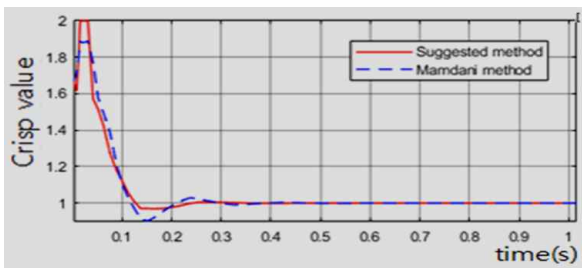


그림 11 역퍼지화를 통해 얻은 크리스프(crisp)값 (3)
 Fig. 11 The crisp value obtained by defuzzification (3)

3.2.3 Transfer Function(3)의 모의실험 결과 분석

그림 11은 Transfer function3일 때 역 퍼지화된 크리스프값

에 대한 그래프다. Transfer function3에서의 기존 방식의 최대 크리스프값은 1.885이고 제안하는 방식의 최대 크리스프값은 2이다. 그림 12는 두 방식의 오버슈트와 정상상태 도달시간을 보여주는 그래프이다. 제안된 방식이 기존의 방식보다 오버슈트는 0.021 더 낮고 정상상태 도달 시간은 0.285s 더 빨라지는 것을 확인할 수 있다.

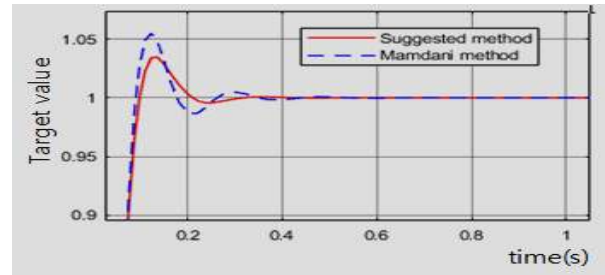


그림 12 정상상태에 도달하는 그래프 (3)
 Fig. 12 Time to reach steady state (3)

표 2는 이에 대한 모의실험 결과를 종합하여 나타낸 것이다. 비교되는 두 가지 제어 방식 모두 동일조건에서 3가지의 2차 전달함수를 플랜트 파라미터 변수로 사용하여 비교하였다. 그 결과 세 가지의 변형 조건 모두 제안된 방식이 오버슈트 및 정상상태의 도달시간에서 각각 양호하게 나타남을 확인할 수 있었다.

표 2 3가지 전달함수에 대한 평가지수의 분석 결과
 Table 2 Analysis results of 3 type transfer function

Transfer function	Performance Index	Proposed method(A)	Conventional method(B)	Diff. (B-A)
$\frac{200}{s^2 + 50s + 200}$	Overshoot	1.01	1.025	0.015
	Normal state arrival time	0.823	1.354	0.531
$\frac{500}{s^2 + 70s + 500}$	Overshoot	1.017	1.034	0.017
	Normal state arrival time	0.632	1.2	0.568
$\frac{900}{s^2 + 85s + 900}$	Overshoot	1.034	1.055	0.021
	Normal state arrival time	0.42	0.705	0.285

4. 결 론

본 논문에서는 전기자동차 및 서버 기기 등 전동력 위주의 전력설비에 대한 제어 응답특성을 향상하기 위하여 개선된 퍼지 추론 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 전통적인 퍼지 논리의 추론과정을 사용하는 과정에서 퍼지화 이후의 과정 즉 역퍼지화하는 과정에 있어 제어변수에 대한 출력값 범위가 축소된다는 문제점을 도출하여 이의 단점을 개선하는 방식이다. 이의 기법은 출력 멤버쉽 함수를 구성하는 과정에서 최소값과 최대값으로 생성

되는 집합 함수 부분을 단일값 형태로 적응 조정하여 설계에 반영하는 기법이 된다.

전력설비에 대한 제어 응답특성의 향상을 입증하기 위하여 2차 전달함수에 의한 모의실험을 수행하였다. 이는 전통적인 종래의 퍼지 제어 방식보다 오버슈트를 감소시킬 수 있었으며 안정 상태에 도달하기까지의 세팅링 시간을 감소시킴을 확인할 수 있었다. 따라서 제안된 퍼지 추론의 적응조정 기법을 사용하여 전기자동차 또는 서보전동기 등 정밀의 전력설비 제어기에 본 퍼지 추론시스템을 적용한다면 보다 속응성 있고 안정된 제어 시스템을 구축할 수 있으리라 예상된다.

References

[1] A. G. A. Cruz, R. D. Gomes, F. A. Belo and A. C. Lima Filho, "A Hybrid System Based on Fuzzy Logic to Failure Diagnosis in Induction Motors", *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 15, No. 8, AUG. 2017.

[2] Ashutosh Mishra, N. S. Rajput and Guangjie Han, "NDSRT: An Efficient Virtual Multi-Sensor Response Transformation for Classification of Gases/Odors", *IEEE SENSORS JOURNAL*, Vol. 17, No. 11, June 1, 2017

[3] Sönke Thomsen, Nils Hoffmann and Friedrich Wilhelm Fuchs, "PI Control, PI-Based State Space Control, and Model-Based Predictive Control for Drive Systems With Elastically Coupled Loads - A Comparative Study", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 8, August 2011.

[4] Yao Xu, Fangxing Li, Zhiqiang Jin and Maryam Hassani Variani, "Dynamic Gain-Tuning Control (DGTC) Approach for AGC With Effects of Wind Power", *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 31, No. 5, SEPTEMBER 2016.

[5] M. C. Leiva and J. Rojas, "New Tuning Method for PI Controllers based on Pareto-Optimal Criterion with Robustness Constraint", *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 13, No. 2, FEB. 2015.

[6] Shiqing Tang, Yize Sun, Yujie Chen, Yiman Zhao, Yunhu Yang, and Warren Szeto, "An Enhanced MPPT Method Combining Fractional-Order and Fuzzy Logic Control", *IEEE Journal Of Photovoltaics*, Vol. 7, No. 2, March 2017.

[7] Evangelos Rikos, Mazheruddin Syed, Chris Caerts, Michel Rezkalla, Mattia Marinelli, Graeme Burt, "Implementation of fuzzy logic for mitigating conflicts of frequency containment control", *CIREN-Open Access Proceedings Journal*, Vol. 2017, Issue: 1, 10 2017.

[8] Papadimitriou, C., Vovos, N.: "A fuzzy control scheme for integration of DGs into a microgrid," *Proc. 15th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conf.*, 2010, pp.

872-877.

[9] Liviu-Cristian Dutu, Gilles Mauris and Philippe Bolon, "A Fast and Accurate Rule-Base Generation Method for Mamdani Fuzzy Systems", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 26, No. 2, April 2018.

[10] Hua Zuo, Guangquan Zhang, Witold Pedrycz, Vahid Behbood, and Jie Lu, "Fuzzy Regression Transfer Learning in Takagi-Sugeno Fuzzy Models", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, Vol. 25, No. 6, December 2017.

저 자 소 개



이 현 재 (Hyun-Jae Lee)

2018년~현재 가천대학원 전기공학과 석사 과정.
E-mail : lhj501@gc.gachon.ac.kr



김 동 은 (Dong-Eun Kim)

2017년~현재 가천대학원 전기공학과 석사 과정.
E-mail : dong6038@gc.gachon.ac.kr



손 진 근 (Jin-Geun Shon)

1990년 송실대학교 전기공학과 학부 졸업,
1992년 송실대학원 전기공학과 석사 졸업,
1997년 송실대학원 전기공학과 박사 졸업,
2002.1~2003.2 일본 가고시마대학 전기전자공학과(한국과학재단) Post-doc. 2009. 1~2010. 2 미시건 주립대학교 전력전자연구실 Visiting Scholar. 1997년~현재 가천대학교 전기공학과 교수.
E-mail : shon@gachon.ac.kr