

비균일 멤버십 함수를 이용한 분산 퍼지제어 성능 향상

Performance Improvement of Distributed FLC by Nonuniform Membership Functions

박 회 경 , 공 성 곤

승실대학교 전기공학과

Hee-Kyoung Park and Seong-Gon Kong

Department of Electrical Engineering

Soongsil University

e-mail : phk@elecprw.soongsil.ac.kr

ABSTRACT

This paper presents a performance improvement of distributed fuzzy control systems by changing the triangular membership function widths according to the input variables. The control region consists of 4 parts according to the sign of error and change of error terms. Each control part is operated by the suitable nonuniform triangular membership function. Through the simulation for the boiler-turbin model of a fossil power plant using decentralized control, it is verified this proposal.

I. 서 론

퍼지 제어 시스템은 전문가 지식을 손쉽게 수용-기계화 하여 보다 높은 차원의 자동화 시스템을 구현하는 것이 가능하고 외란이나 파라미터 변화에 대해 기존의 제어 방법보다 강인한 성능을 보여주며 특히 내재된 비선형성 때문에 선형 제어기에 비해 효과적인 제어가 가능하다는 잇점이 있다.[1][2]

보일러의 동적 특성은 설정치나 외란 등에 영향을 많이 받으며, 변수들의 결합성이 큰 시변 비선형 계통으로 알려져 있어 선형화된 보일러 모델에 기초하는 제어 방식으로는 만족할만한 성능을 얻을 수 없다.[3][4] 이에 퍼지제어기를 여러개의 부시스템으로 구분되어 있는 분산제어방식의 발전소-보일러 모델에 적용한다.

본 논문에서는 일정한 크기의 멤버십 함수를 가지

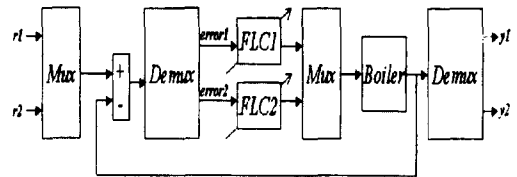


그림 1: 퍼지제어 시스템의 구성도

고 있는 일반적인 퍼지 제어기의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 멤버십 함수의 비균일성을 제안한다. 즉 밑변의 길이가 일정한 삼각형 멤버십 함수 대신 각각의 멤버십 함수의 밑변의 길이가 서로 다른 비균일 삼각형 멤버십 함수를 사용한다.

그림 1은 퍼지제어기 시스템의 전체적인 구성을 나타낸다. 플랜트는 수위제어와 출력제어를 하는 두 개의 부시스템으로 나누어져 있으며 r_1 , r_2 와 y_1 ,

y2는 각 부시스템의 기준입력과 실제출력이다. 퍼지 제어기는 입력으로 오차와 오차의 변화량이 사용되며 출력은 보일러 모델의 입력의 변화량이 된다. 출력의 과도응답 특성에 따라 각각의 퍼지제어기의 파라미터를 가변시킨다.

II. 퍼지제어 시스템 구성

여기서 사용된 퍼지제어기는 입력변수로 오차와 오차의 변화량을 사용하고 출력변수는 플랜트에 대한 제어입력의 변화량을 사용한다.

오차는 기준입력과 실제출력의 차로써 정의하고 오차의 변화량은 현재의 오차와 직전오차와의 차로 정의한다.

$$e(k) = r(k) - y(k) \quad (1)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

출력은 오차와 오차변화량을 입력으로 하여 퍼지 제어 시스템에서의 모든 추론과정을 나타내는 비선형 함수 F로 표현할 수 있다.

$$\Delta u(k) = F(e(k), \Delta e(k)) \quad (3)$$

표 1: 퍼지제어 규칙

	Δe						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	ZE
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	PS
NS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
ZE	NM	NM	NS	ZE	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZE	PS	PS	PM	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB

입출력 변수는 모두 [-1, 1]로 정규화하였고 각각의 입출력 변수들은 7개의 언어레벨 NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB로 분할하였으며 삼각형 멤버십 함수를 사용하였다. 규칙은 표 1과 같이 MacVicar-Whelan 규칙을 변형하여 사용하였고 퍼지화 방법으로는 싱글톤 방법, 퍼지추론 방식은 Mamdani 형태의 max-min, 그리고 비퍼지화방법은 무게 중심법을 사용하였다.[5]

III. 멤버십 함수의 비균일성 조정

3.1 멤버십 함수의 비균일성

퍼지 제어기의 성능은 여러 가지 요인으로 결정되어지며 퍼지제어 성능에 가장 영향을 많이 미치는 것중 하나인 멤버십 함수를 비균일하게 만들어 성능을 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 여러 가지 형태의 멤버십 함수중에서 계산이 단순하고 위치와 폭으로 파라미터화할 수 있는 장점을 가진 삼각형 멤버십 함수를 사용하여 비균일 멤버십 함수를 구성한다.

일반적인 삼각형 멤버십 함수는 크기와 형태가 똑같은 삼각형을 사용한다. 이런 멤버십 함수는 각각의 언어라벨에 똑같은 멤버십 함수가 사용되기 때문에 일정한 성능밖에 기대할 수 없고 따라서 각각의 삼각형 멤버십 함수의 밑변의 길이가 서로 다른 비균일 멤버십 함수를 제안한다.

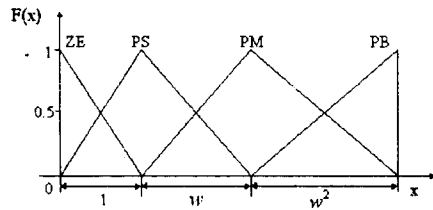


그림 2: 비균일 멤버십 함수

그림 2에서는 비균일 멤버십 함수의 형태를 보여주고 있다. 비균일 삼각형 멤버십 함수란 원점을 기준으로 대칭이 되게 하고 각각의 삼각형 함수의 밑변은 하나의 파라미터 w로 정의할 수 있으며 원점에서 멀어질수록 각각 밑변의 비가 1, w, w², ...이 되게 만든다. 어떤 삼각형 멤버십 함수의 꼭지점은 이전 삼각형의 밑변의 양 끝점과 일치하고 각 삼각형은 항상 멤버십값이 0.5인 점에서 교차하게 된다. 따라서 w가 1일때는 균등한 삼각형 함수의 형태가 되고 w의 값이 1보다 클때는 원점에서 멀어질수록 밑변의 크기가 커지는 형태의 삼각형 함수가 되고 w의 값이 1보다 작을때는 원점에서 멀어질수록 밑변의 크기가 작아지는 형태의 삼각형 함수가 된다.

3.2 과도응답 특성에 따른 비균일성 조정

일반적으로 삼각형 멤버십 함수에서 중심부근으

로 갈수록 삼각형의 밑변의 크기가 작아지는 형태의 멤버십 함수는 입력의 크기가 작을 때 정밀도가 높다.[6]

삼각형 멤버십 함수로 퍼지제어기를 구성할 때 입력이 큰 범위에서는 중심에서 멀어질수록 폭이 감소하는 멤버십 함수를 사용하여 개략적인 퍼지제어 시스템을 적용하고 입력이 작은범위에서는 중심에서 멀어질수록 폭이 증가하는 멤버십 함수를 사용하여 미세제어를 하는 퍼지제어 시스템을 적용한다. 또한 입력이 작은 범위에서는 오차와 오차변화량의 부호에 따라 다시 4개의 세부구간으로 나누어 각 구간에서의 비균일성을 조정하여 성능을 향상시킨다.

표 2: 과도응답 특성에 따른 제어구간

	오차	오차의 변화량
구간 1	+(-)	-(+)
구간 2	-(+)	-(+)
구간 3	-(+)	+(-)
구간 4	+(-)	+(-)

입력의 범위가 작은 경우에는 표 2와 같이 오차와 오차변화량의 부호에 따라 4개의 세부구간으로 나눈다. 표 2는 기준입력이 실제 출력보다 높은 경우를 나타내고 있고 가로안의 부호는 기준입력이 실제 출력 보다 낮은 경우를 나타내고 있다.

각 구간에 알맞는 비균일 멤버십 함수를 찾는 방법은 다음과 같다. 먼저 정상상태 근처에서 사용될 비균일 멤버십 함수를 w 값을 달리하는 몇 개의 비균일 함수로 정의한다. 제어성능에 가장 영향을 많이 미치는 구간이 1구간이므로 다른 구간의 비균일성은 일정하게 유지하고 구간 1에서 여러 가지의 비균일 멤버십 함수를 사용하여 가장 특성이 좋게 나타난 비균일 멤버십 함수를 찾는다. 찾은 비균일 멤버십 함수를 1구간에 사용하고 구간 2에서 다시 가장 성능이 좋게 나타나는 비균일 멤버십 함수를 찾는다. 이런 방법으로 4 구간까지 가장 알맞은 비균일 멤버십 함수를 찾는다.

IV. 시뮬레이션

시뮬레이션에 사용된 모델은 드럼형 석탄연소 방

식인 보령화력 발전소(# 1,2호기)의 보일러-터빈 모델이다.

발전소 보일러 모델은 수위 제어계와 출력 제어계 두 개의 부시스템으로 구분하였다. 각각의 시스템을 개별제어 및 총괄제어를 하고 그것을 다시 조합한 분산제어 방식을 사용한다. 수위 제어계의 기준입력은 17.2[m³]로 고정되어 있으며 출력 제어계의 기준입력은 시간에 따라 400[MW]와 500[MW]를 반복하게 되고 초기에는 480[MW]로 운전하고 있다.

표 3은 구간 1에서부터 구간 4까지 여러 가지 비균일 멤버십 함수를 사용하였을 때의 출력 제어계의 성능을 비교하였으며 성능지표는 절대오차의 적분(IAE), rise time, peak overshoot를 사용하였다. [7] 수위 제어계에 대한 성능 비교도 똑같은 결과를 얻을 수 있다.

표 3: 구간별 비균일성 조정에 대한 성능지표

구간	구간 1	구간 2	구간 3	구간 4	IAE	rise time [sec]	POS [%]
	1	2	3	4			
1	2.5	2.5	2.5	2.5	877	10	1.34
2	2.0	2.5	2.5	2.5	851	9	3.44
3	1.5	2.5	2.5	2.5	837	8	6.44
4	1.25	2.5	2.5	2.5	828	8	6.23
5	1	2.5	2.5	2.5	829	9	7.06
6	1.25	2.5	2.5	2.5	831	8	6.23
7	1.25	2.0	2.5	2.5	849	8	8.21
8	1.25	1.5	2.5	2.5	863	8	10.17
9	1.25	1.25	2.5	2.5	868	8	10.86
10	1.25	2.5	2	2.5	828	8	6.23
11	1.25	2.5	1.75	2.5	827	8	6.23
12	1.25	2.5	1.5	2.5	828	8	6.23
13	1.25	2.5	1.75	2.5	827	8	6.23
14	1.25	2.5	1.75	2	827	8	6.25
15	1.25	2.5	1.75	1.75	827	8	6.25
16	1.25	2.5	1.75	1.5	827	8	6.25

4개의 구간에서 사용될 비균일 멤버십 함수는 미세제어에 적당한 멤버십 함수를 사용해야하기 때문에 w 값이 1보다 큰 비균일 멤버십 함수($w = 1.25, w = 1.5, w = 1.75, w = 2.0, w = 2.5$)를 사용한다. 표 3에서 1번부터 5번까지는 구간 1에서의 비균일성을 찾는 과정이고 6번부터 9번까지는 구간 2에서의 비균일성, 10부터 12까지는 구간 3에서의 비균일성, 13번부터 16번까지는 구간 4의 비균일성을 찾는 과정이다. 구간 1에서 w 값을 1.25로 하는 것이 가장

성능이 좋게 나타났다. 구간 1에서의 비균일 멤버십 함수의 w 값을 1.25로 고정시키고 구간 2의 비균일성을 변화시켜 구간 2에서의 알맞은 비균일 멤버십 함수를 다시 찾는다. 이렇게 해서 가장 좋은 성능을 보이는 비균일성을 찾은 결과 구간 1에서부터 구간 4까지의 비균일성 멤버십 함수의 w 값은 1.25, 2.5, 1.75, 2.5로 나타난다.

표 3에서 찾은 비균일 멤버십 함수는 입력의 범위에 따른 구간을 구별하지 않고 사용한 결과이다. 따라서 처음에 제안한 방법을 사용하여 입력의 범위가 큰 부분은 w 값이 작은 비균일 멤버십 함수를 사용하여 표 3의 13번에 적용하게 되면 전체 제어 성능은 향상된다. 즉 입력의 절대값이 0.3 보다 큰 영역에서는 w 값이 0.5인 비균일 멤버십 함수를 사용하고 입력의 범위가 0.3 보다 작은 영역에서는 표 3의 13번과 같이 비균일성을 조정하면 IAE는 816, rise time은 8[sec], POS는 5.36[%]로 향상된다.

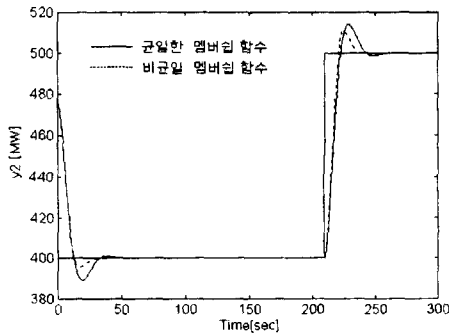


그림 3: 출력 제어계 결과

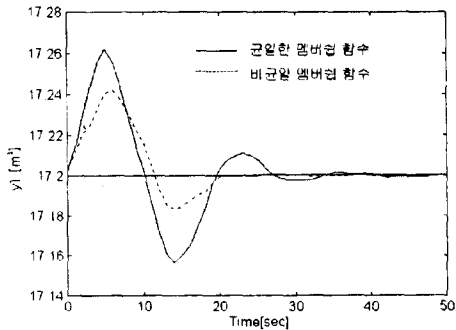


그림 4: 수위 제어계 결과

그림 3에서는 출력 제어계에 대해서 가장 좋은 성능을 보이는 비균일 멤버십 함수를 사용한 결과와 균일한 멤버십 함수를 사용한 결과를 나타내었고 그림 4에서는 수위 제어계에 대하여 균일한 멤버십 함수와 비균일 멤버십 함수를 사용했을 때의 결과를 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 제어대상의 과도응답 특성에 따라 구간을 나누고 각 구간별로 비균일성을 변화시킴으로써 제어성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 입력의 범위가 큰 경우에는 개략제어에 적당한 멤버십 함수 즉 원점에서 멀어질수록 폭이 좁아지는 비균일 멤버십 함수를 사용하고 입력의 범위가 작은 경우에는 오차와 오차변화량의 부호에 따라 4개의 구간으로 나누고 각 구간별로 비균일성을 변화시켰다. 실험에 의해서 정상상태 각 구간에서 비균일성에 대한 파라미터 w 를 1.25, 2.5, 1.75, 2.5로 변화시켰을 때 성능이 향상되어지는 것을 확인할 수 있었다.

VI. 참고 문헌

- [1] 변중남, 퍼지논리 제어, 홍릉과학 출판사, 1997.
- [2] 엄정국, 원성현, 기초 퍼지 이론과 응용 퍼지 시스템, 정보시대 출판부, 1992.
- [3] 유형근 외, "퍼지 논리를 이용한 드럼형 보일러의 자동기동에 관한 연구," 전자공학회 논문지, 제 30권, 제 2호, pp87-95, 1993. 2.
- [4] 권만준, 이재혁 외, "전문가 지식을 이용한 화력 발전소 드럼형 보일러 PI 제어기의 퍼지 자동.동조에 관한 연구," 전자공학회 논문지, 제 28권, 제 11호, pp90-103, 1991. 11.
- [5] R. Yager and P. Filev, *Essentials of Fuzzy Modeling and Control*, Interscience Publication, 1994.
- [6] 이규택, 이상규, "삼각 퍼지 멤버십 함수의 특성," 한국 퍼지시스템학회 논문지, 제 5권, 제 1호, pp15-20, 1995. 3.
- [7] M. Shinnars, *Modern Control System Theory and Design*, Interscience Publication, 1992.