

Fuzzy 제어기술 현황과 전망

姜 明 植

〈大田工業大 教授〉

金 東 和

〈韓國原子力研究所 先任研究員〉

1. 서 론

1965년 버클리 대학교수인 Zadh는 오늘날 fuzzy 제어의 기초가 되는 fuzzy 집합론에 대한 논문을 그가 집필위원으로 있는 Information and control 논문지에 발표하였으나 그 당시 fuzzy 집합론은 그다지 관심을 받지 못했던 것으로 전해지고 있다¹⁾.

Fuzzy 집합론이 이와같이 관심밖의 대상이었던 것은 인류가 명확한 수학적 방법으로 사물의소속 상태를 기술하게 된후 그 당시까지 지배하던 집합론에 대한 고정관념과 당시의 판단기준으로 새로운 fuzzy 집합론은 신통치 못한 학문적 발상으로 취급되었기 때문인 것으로 기술되고 있다^{1), 2)}.

그 후 Zadeh의 이의 관련 논문의 연속적인 발표와 1969년 일본의 제씨^{3)~5)}의 관련 연구등을 거쳐, 본격적으로 fuzzy제어가 관심을 갖게 된 것은 1974년 영국의 Mamdani가 스팀엔진에 fuzzy 추론을 이용한 fuzzy 제어기를 설계, 실용화 하면서 부터이다⁹⁾.

알려진 바와 같이 스팀엔진의 시스템 동특성은 대단히 비선형 특성일 뿐 아니라 시스템의 모델 또한 어렵고 또 어렵게 모델링하여 얻은 파라미터도 시스템의 출력에 따라 변하게 되어 Crisp한 제어 이론으로는 정확한 제어기설계,

자동화 응용에 문제점이 있던 것으로 지적되어 왔다. 이에 대해 fuzzy 제어는 선형특성인 시스템은 물론 비선형 특성, 또는 시스템의 정확한 동특성의 기술이 어려운 시스템에 대해서도 대단히 유용한 것으로 전해지고 있다.

이러 80년대 들어서는 이의 응용분야가 제어에 국한되지 않고 공학계(엔지니어링 설계, 지적제어, 신호처리, 패턴인식, 이상진단), 사회계(의사결정, 의료, 행동과학, 경제, 사회모델), 자연계(기상, 지도, 생태계, 물리 화학적 현상 규명)등 다방면에 걸쳐 유용하게 응용될 수 있다는 것이 입증되어 활발히 연구중에 있다. 현대제어 이론이 제안된후 이론적인 연구는 많은 사람들에 의해 수행되어 확립되어 왔으나 그 실용적인면에 대해서는 시스템 모델링, 시스템의 온라인 계산에 필요한 컴퓨터 용량 및 속도에 대한 제한, 경제성 등으로 인해 지극히 미약한 상태에 있는것은 부인할 수 없는 사실이다.¹⁰⁾

이에 반해 fuzzy 제어는 1974년 유용성이 실플랜드에 의해 입증된후 Linguistic algorithm의 도출을 제외하고는 실용화가 대단히 간편하여 학문적 이론보다는 오히려 실용화가 앞서있는 실정이다. 이와 같은 여러가지 잇점과 유용성 때문에 유럽, 일본 등에서는 이의 관련연구를 위해 연구소의 설립, 국가적 차원에서의

연구 프로젝트 설정등 본격적으로 전 분야에 이의 응용 및 관련 연구를 연구해 오고 있다¹⁾. 그러나 국내에서는 아직 제반 학술지에 이렇다 할 관련 논문, 기술 해석 등이 없는점으로 보아 연구실적은 대단히 미약한 것으로 생각된다.

그러나 필자의 소견으로는 이의 관련기술이 향후 급속히 확산될 것으로 판단되어 국외의 기술자료를 분석하여 이의 관련 연구에 기여하고자 한다.

2. 본 론

1. fuzzy집합이란?

1) 고전적인 집합

고전적인 집합(fuzzy집합에 대해 기존의 집합을 이와 같이 부른다.)에서는 집합 A의 요소 $x_i(i=1, 2, 3, \dots, n)$ 가 A에 속하는 상태가 명확하여 속할때를 "1", 속하지 않을때는 "0"으로 기술한다. 즉 A의 집합이 $A=(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10)$ 의 정의정수일때 요소2가 A에 속할때 "1" 속하지 않을때를 "0"으로 기술하고 이의 표현을 그림으로 나타내면 그림1과 같다.

이때 요소2는 집합A에 속하므로 $2 \in A$ 라고 쓸수있고 또 다른 집합 $B=(5, 6, 7, 8, 9)$ 가 있을때 2는 B에 속하지 않으므로 $2 \notin B$ 로 나타낸다. 또 집합 $C=(1, 2, 3, 4, 5, 6)$ 이 있을때 합집합은 $C \cup B=(1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9)$ 공통집합은 $C \cap B=(5, 6)$ 가 된다.

이와같은 2치이론(二值理論) 개념에 바탕을 둔 고전 집합론은 분해율, 결합율, 이중부정율, 排中率, 桑盾率, De Morgan을 등의 연산법칙이 가능하다.

2) fuzzy 집합

이미 기술한 바와 같이 고전집합에서는 정수 및 요소의 소속관계가 명확하게 구분되어 기술되나, fuzzy 집합론에서는 이의 소속관계가 명확하지 않고 소속정도에 따른 비율 즉 membership 함수에 따라 정해진다.

집합 $X=(0, 1, 2, 3, \dots, 10)$ 을 생각하여 이

의 요소 $x_i(i=1, \dots, n)$ 가 fuzzy집합 A에 속하는 비율은 이 비율을 $hA(x)$ {membership함수}라 할때

$$A = hA_i(X)/X_i(i=1, \dots, n) \text{ 이 된다.}$$

즉 fuzzy 집합A에 위의 집합의 요소(0, 1, 2, ..., 10)가 속하는 비율은 membership 함수를 $hA(0)=hA(1)=1, hA(2)=0.8, hA(3)=0.7, hA(4)=0.6, hA(5)=0.2, hA(6)=\dots hA(10)=0$ 이라 할때

$A = 1/0 + 1/1 + 0.8/2 + 0.7/3 + 0.6/4 + 0.2/5$ 와 같이 나타낼 수 있다. /의 왼쪽은 등급(grade)을, 오른쪽은 대집합(X의 요소로서 제어기에서는 제어기의 이득에 관계되는 수가된다)을 나타내고 "+" 기호는 V(max)을 의미한다.

즉 $0.4/4 + 0.6/4 = (0.3 \vee 0.6)/4 = 0.6/4X$ 가 된다. 이와같이 해서 기술되는 fuzzy 집합과 membership 함수는

$A = \sum hA(x_i)/A_i(X$ 의 값이 이산치 즉 유한 집합인 경우) 또는 $A = ShA(x)/x(X$ 의 값이 실수의 집합 즉 무한집합인 경우)로 나타낸다.

또한 fuzzy 집합에서도 고전집합에서 이용되는 가환율, 결합율, 분배율, 2중부정률, De Morgan을등의 연산법칙이 가능하다.

2. fuzzy 집합의 언어적 표현

가. 언어적 표현기법

Fuzzy 제어는 위에서 언급한 fuzzy 논리를 이용해 플랜트에서 얻는 정보의 취급 알고리즘을 단일 식으로(즉 二值理論)하지 않고 몇개로 구분하여 If-Then의 언어적 논리형식으로 기술한다.

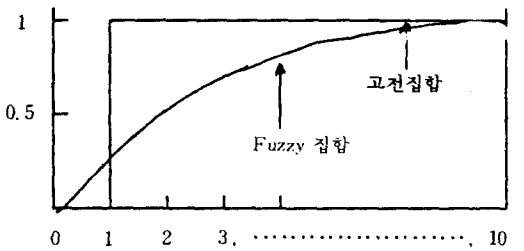


그림 1. 고전집합

일반적으로 언어의 표현은 “x는 A이다(X is A)”와 같이 주어 X, 술어 A로 주어 진다. 즉 1) “X는 짝수이다.” 2) “X는 적은 정수이다.” 를 비교해 볼때 (1)은 crisp한 명제이고 (2)는 fuzzy 명제이다.

지금까지의 고전적인 집합에 의한 명제는 짝수라는 의미는 개개인의 의견에 따라 이론의 여지가 없으나 fuzzy 술어에서는 개인의 주관에 따라 적다는 의미의 기준이 다르게 되므로 적은 정수의 표현 방법은 다르게 된다. 즉 명제(1)의 짝수라는 의미는 명백히 판명되므로 그 진위는 {0, 1}로 판가름 되는 반면 (2)의 적은 정수 의미는 적다는 의미를 0과 1로 확정하지 않고 그 명제의 의미를 묻게 된다. 이와같은 언어적 표현을 fuzzy 집합의 표현방법인 fuzzy 限量子(∀X: 전체의 X., ∃X: 어느 X가 존재한다.), fuzzy 진리치(“완전히 진, 약간 틀림”), fuzzy 술어 수식어(“X는 적은 정수”라는 술어 수식어 표현은 x is mA 때우: $A=A^2$, 약간 적은: $A=A^{\frac{1}{2}}$, 아니다: $A=1-A$)로 표현한다.

예를 들면, $P=x \text{ is } a, x \in X$ 이면 A는 X의 fuzzy 부분집합으로 P가 A의 명제이고 $X=(1, 2, 3, \dots, 10)$ 일때 x is small(integer)는 small integer = $1/1 + 1/2 + 0.8/3 + 0.6/4 + 0.4/5 + 0.2/6$ 으로 나타낼 수 있다. 명제 P의 변형 형태(modifier)로는 이미 언급한 A에 작용하는 not, very, more or less 등의 언어를 이용하여

$P=x \text{ is } mA = X \text{ is } A_+$ 로 하면

$A = \text{small integer}$ 이면

- m = not 일때

$$A_+ = 1 - A = 0.2/3 + 0.4/4 + 0.6/5 + 0.8/6 + 1/7 + 1/8 + 1/9 + 1/10$$

- m = very 일때

$$A_+ = A^2 = 1/1 + 1.2/3 + 0.64/4 + 0.36/5 + 0.16/6 + 0.04/7$$

- m = more or less 일때

$$A_+ = A^{\frac{1}{2}} = 1/1 + 1/2 + 0.89/3 + 0.77/4 + 0.63/5 + 0.45/6 \text{ 이 된다.}$$

여기서 $1-A, A^2, A^{\frac{1}{2}}$ 은 membership 함수의

값으로 modifier rule이라 불린다(그림2참조).

이와 같은 방법들을 이용해 언어적 표현이 가능하다.

3. fuzzy 제어

위에서 언급한 바와 같은 fuzzy 집합론의 언어적 표현기법을 이용해 플랜트를 제어하고자 하는 fuzzy 제어기의 형식은 전건부와 후건부의 형식, fuzzy 변수의 형, 추론방법등 3가지 방법에 의해 결정되나 이들 3가지 인자는 서로 독립적으로 존재하는 것이 아니고 상호 의존 관계에 있다.

가. 추론형식

지금까지 개발된 fuzzy 추론 형식중 제어에 사용되는 추론을 요약 정리하면 다음 3가지가 있다.

1) 추론법 I

이 추론법은 fuzzy 관계의 합성법칙에 기초를 둔 것으로 Mamdani가 최초로 응용한 것이다. 이 방법에서 이용되는 fuzzy 변수는 연속형과 이산형이 있다. 연속형의 fuzzy 변수는 membership 함수가

$$A(X) = \exp\{-1/a^2(x-b)^2\} \dots\dots\dots(1)$$

로 나타내는 종형(鐘型)과

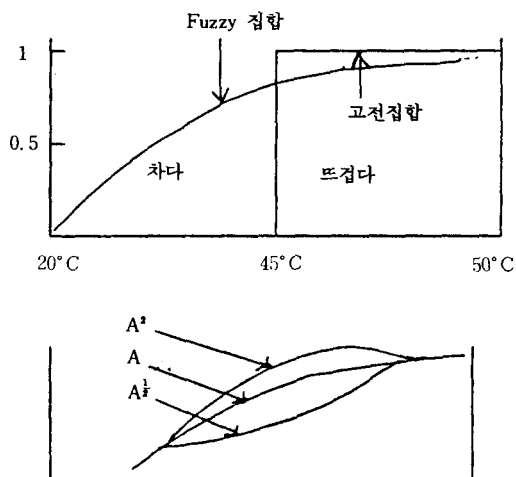


그림 2. Fuzzy 집합의 언어적 표현

$A(X) = 1/a(-|x-b| + a) \vee 0, a > 0 \dots\dots(2)$
 으로 나타내지는 3각형형이 있다(그림3). 그림에서 fuzzy집합의 Label은 NB=Negative Big, NM=Megative Mdiun의 의미이다.

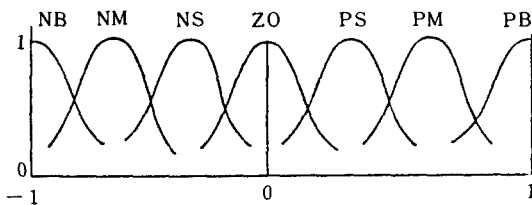
식(1), (2)있어서 parameter b는 어느것이고 membership 함수의 grade가 1인 X의 값이고, a는 membership함수의 넓이를 의미한다. 그림에서는 fuzzy집합의 대집합(大集合)을 구간 $[-1, 1]$ 로 규격화 한 것인데 fuzzy제어에서는 fuzzy 변수로서 표준화한 것을 사용하고 대집합도 규격화 한것이 많다.

규격화 할때는 정(+)값만을 변량으로 취하는 것은 구간 $[0, 1]$ 로, 정부(+, -)의 값을 갖는것은 $[-1, 1]$ 로 규격화 한다.

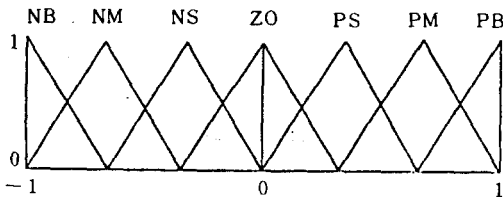
2) 추론법 II

이 fuzzy 이론은 명제의 진리치로서 “꽤긴” “조금은 틀림”과 같은 fuzzy 집합으로 나타내는 fuzzy 값을 취급하기 위한 논리로 명제는 fuzzy이고 crisp 집합을 fuzzy 집합으로 확장하기 위한 것이다. 이 fuzzy 논리에 기초를 둔 추론을 간접법이라 불린다.

membership 함수는 단조감소 또는 단조증가로 그림 4(a)은 직선형, 그림 4(b)은 arctan형이다.



(a) 종 모양의 fuzzy변수



(b) 3각형 fuzzy변수

그림 3. Fuzzy 변수의 형태

3) 추론법 III

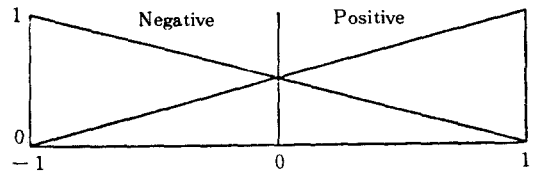
이 방법에서 사용되는 규칙의 전건부는 추론법 1과 같은 fuzzy 명제로 되고, 후건부는 보통의 선형식이 된다. 전건부에서 사용되는 fuzzy 변수는 그림5에 나타낸 대집합형의 membership 함수를 갖는다.

나. fuzzy 제어기 설계

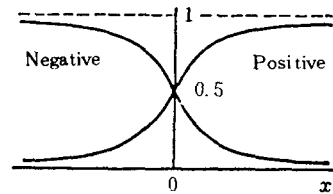
1) 표준형 제어규칙을 사용하는 경우

Fuzzy 제어를 실제에 응용할때 가장 문제로 되는 것은 제어기의 설계, 즉 fuzzy 제어규칙을 어떻게 만드는가 하는 것이다.

그림6과 같은 응답이 예상되는 단일 입·출력의 정치 제어계의 fuzzy 제어기 설계문제에서 제어규칙의 형식은 추론법 I을 이용하고 전



(a) 직선형



(b) 단조형

그림 4. 직선 및 단조형 추론법 표시

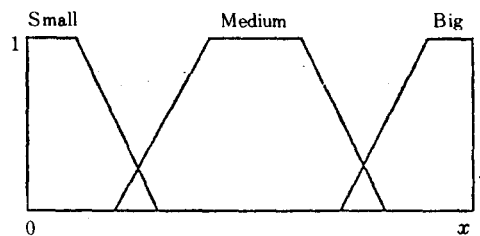


그림 5. 대형형 fuzzy 변수

건부 변수로서 출력의 편차와 1 Sampling 시간에 있어서 E의 변화분dE을 생각하여 시각 n에 있어서 출력은 Y_n , 편차를 E_n , 조작량을 U_n , 설정치를 R이라 하면

$$dE = E_n - E_{n-1} = (R - Y_n) - (R - Y_{n-1}) = Y_{n-1} - Y_n$$

$dU = U_n - U_{n-1}$ 이 된다. dE는 출력 Y의 구배의 부호를 반대로 한것으로 출력이 상승 하였을 때는 $dE < 0$, 하강하였을 때는 $dE > 0$ 이다.

Fuzzy 제어기의 입·출력 관계는 E, $dE \rightarrow U$ 로 이것은 U의 시간미분 즉 속도에 상당하는 dU를 출력으로 하는 제어 algorithm으로 속도형이라 부른다. 제어기 구조로서 U의 값을 후건부 변수로 하는 위치형을 채용할수가 있으나, E의 적분값을 후건부 변수로 하여야 하므로 계산이 대단히 복잡하고 속도형의 방법이 제어 규칙의 수가 적어도 되는 잇점이 있다.

그림에서 알수있는 바와 같이 이용답은 4가지 경우 I, II, III, IV의 반복으로 구성되어 있고 1 cyde에 비해 2 cycle에서는 plant 출력의

크기가 감소한다.

우선 각 cycle의 특징적인 점을 선정, 요약하여 fuzzy 제어규칙의 전건부가 특징점을 기술하도록 한다. 예를들면 1cycle phase I의 a1 부근에서는 편차(설정치-출력)는 (+)로 크고, plant 출력은 거의 입상하지 않았으므로 dE는 영에 가깝다.

이것을 $E=PB$ and $dE=ZO$ 와 fuzzy 변수의 값을 이용하여 기술한다. 이 부근에서는 당연히 조작량은 가장크게 $U=PB$ 로 나타낸다. 같은방법으로 phase II의 점 b1, III의 c1, IV의 d1 등의 부근에 관해서도 제어규칙을 만들면

a1 : if $E=PB$ and $dE=ZO$ then $dU=PB$

b1 : if $E=ZO$ and $dE=NB$ then $dU=NB$

c1 : if $E=NB$ and $dE=ZO$ then $dU=NB$

d1 : if $E=ZO$ and $dE=PB$ then $dU=PB$

이 된다.

이와 같이 해서 fuzzy 제어규칙을 만들면 표 1과 같다.

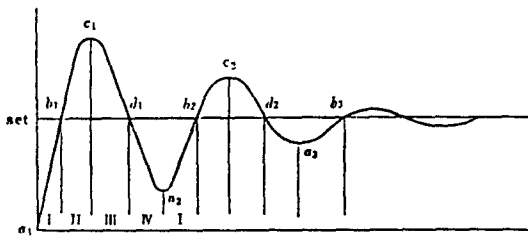


그림 6. 플랜트 출력의 시간응답

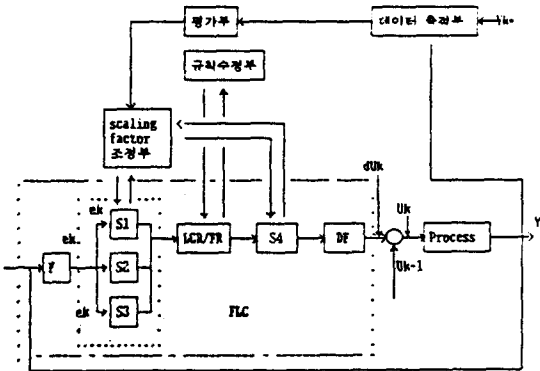


그림 7. Fuzzy기 구조

표 1. 제어규칙표

구 분		dE						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB							NB
	NM							NM
	NS							NS
	ZO	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
	PS							PS
	PM							PM
	PB							PB

(a)

구 분		dE						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB							+6
	NM							+4
	NS							+2
	ZO	+6	+4	+2	0	-2	-4	-6
	PS							-2
	PM							-4
	PB							-6

(b)

4. fuzzy제어의 현황

가. 종래 제어방식의 문제점

종래 crisp한 제어시스템 설계에서는 설계자가 제어목표를 설정하고 이를 만족 하도록 제어대상(plant)에 대한 모델링 및 선형화 작업, 목표치와 제어기구조, 제어정수등을 결정하여 설계한다. 또한 제어기는 처음부터 정해진 평가함수에 의해 목표치와 상태량 X와의 편차를 평가하면서 목표치에 정확히 추종될 수 있도록 제어명령을 결정한다.

최적응답, 최소 오차를 갖기위한 제어기 정수의 결정등은 지금까지 개발된 제어계의 설계 및 시뮬레이션용 CAD를 이용해 손쉽게 수행할 수 있으나 그 제어결과가 본래의 제어목적에 어느정도 만족되는지에 대한 평가는 쉽게 할 수 없는 실정이다. 또한 선형 시스템을 동정했을 경우도 선형작업, 동정오차 등이 발생하고 또 동정에 의해 얻어진 시스템 일지라도 복잡한 상태변수 및 변수상호간의 관계를 손쉽게 on-line으로 계산할 수 있는 컴퓨터 용량의 한계 및 속도, 가격 등에 의해 실용성에는 상당한 어려움이 뒤따르고 있다. 더우기 시스템 제어시 선형화된 모델일지라도 외란 및 기타여건으로 인하여 순간적으로 비선형으로 변하고 특히 그 구조 자체가 비선형 특성이거나 시스템을 모델링하기 어려운 불명확한 대상 또는 제어 제어변수가 대단히 많은 선형시변형과 같은 대상의 제어는 대단히 곤란하다. 물론 상황에 따라 제어정수를 교체 한다면 관측자에 의해 알 수 없는 상태변수를 추정하기도 하나 이의 응용에는 상당한 어려움이 따르게 된다. 또한 열차의 운전제어, 비행기의 이착륙 제어와 같이 운전자의 know-how 경험에 의한 제어(expert)가 많은 경우 man-machine Interface 상호간의 시스템 모델링 및 제어는 사실상 불가능 하다고 볼 수 있다.

나. fuzzy 제어의 발전과정

1) 일본

1968년 水本, 風田, 田中씨에 의한 fuzzy 집합론에 대한 긍정적 검토와 1971년 자동제어학회에서의 심포지움등을 거쳐 1972년 현 동

경공업대 교수인 菅野道夫씨의 fuzzy측도 및 fuzzy 적분에 관한 논문이 발표되었다고 이어 1972년 fuzzy system 연구회가 동경공대에서 처음으로 연구가 시작되었다.

1970년대 후반에는 이에 관한 연구활동이 활발하게 진행되어 1980년대에 들어서는 본격적으로 이에 관한 연구가 시작된 것으로 볼 수 있다.

즉, 이에 관한 많은 전문서적이 발간되었고 국제학술 회의의 개최(1984) 및 참가(1985) 등으로 연구는 많은 사람들에 의해 확산되었다. 1989년도에는 일본의 fuzzy학회의 창립과 통산성 산하에 국제 fuzzy 공학연구소가 발족, 6년간의 연구계획(연구비 50억원)을 개시하였고 과학기술청에서도 5년간 약 10억엔을 투입하여 fuzzy 시스템의 기반 및 응용연구를 시작하였다.

2) 유럽

유럽에 있어서 fuzzy제어의 획기적인 전환기는 1970년 중반 런던의 Queen Mary college의 Mamdani와 Cambridge 대학의 Richard Tong에 의해 시작된 것으로 볼 수 있다. 이들의 초기 연구 대상은 기존의 제어기 설계 알고리즘으로서 모델링하기 어려운 시스템에 초점을 두어 연구한 것으로 스팀엔진에 응용한 것이 최초이다.

또한 1977년도 Mamdani는 위에서 언급한 스팀엔진 제어에 SOC(self-organizing controller)를 이용하였고 같은해 King & Mamdani는 Batch 케미컬 반응기를 모델링한 혼합탱크(Stirred tank)의 온도제어에 Linguistic 제어 규칙을 이용한 fuzzy 제어를 개발하였다. fuzzy 제어모델을 일반산업분야가 아닌 것에 응용한 것으로는 Pappis & Mamdani의 교통망 제어, 패턴인식, 경제모델 등이 있고, 현재에는 로봇 제어, 각종 비선형 제어제에 대한 지적제어, 운전원의 경험을 플랜트 제어에 응용하기 위한 연구등을 수행하고 있다.

다. Fuzzy제어기 구현현황

1) fuzzy 제어의 구현방법

이미 전절에서 언급한 바와 같이 기존의 제

어시스템 설계로는 여러가지 제한적 요건을 가진 숙련자의 지적활동에 관한 제어는 불가능하나 fuzzy 제어는 숙련자의 제어에 관한 지적활동을 fuzzy 집합론에 의해 정량화하여 계산기 제어화 할 수 있다.

이에는 상태평가 fuzzy 제어, 예견 fuzzy 제어의 2가지가 제안되고 있다.

상태평가 fuzzy 제어는 대상 system의 구조가 불명확하여 model화가 곤란한 대상에 대해서, 예견제어에서는 현재 및 장래의 제어 목적을 예견하기 위한 시스템에 이용된다.

2) fuzzy 제어장치

Fuzzy 제어기는 추론방식, fuzzy algorithm 등에 의해 다소 차이가 있으나 일반적으로 나타내면 그림 7의 구조와 같다.

그림에서 LCR(Logic control Rule)은 fuzzy 제어 rule, FR(fuzzy Reasoning)은 fuzzy 추론부, S1, ...S4는 scaling factor로 fuzzy제어 장치의 정적(靜敎) 이득을 결정하는 값이다.

Δe , $\Delta^2 e$ 는 제어편차의 1계 차분, 2계 차분을 의미하고, F는 fuzzifier, DF는 defuzzifier로 각각 fuzzy 및 비fuzzy화를 행한다. 즉 F와 DF는 내부 데이터(fuzzy)와 외부데이터(비fuzzy) 사이의 변환기 역할을 하고 scaling factor는 데이터 형식의 변환, 차원(단위) 변환에 의한 실제 외부 데이터 크기와 내부 데이터 사이의 크기 변환 역할을 한다.

3) fuzzy제어의 H/W

Mamdani가 fuzzy 집합론을 실제의 플랜트에 응용할때 이용한 컴퓨터는 PDP-8이었고 이어 F.L.Smith는 16비트 제어용 컴퓨터와 fuzzy 추론용 S/W를 이용해 시멘트 킬른 자동제어의 문제점을 대폭적으로 개선하였다. 1980년 전후에는 일본의 기업들(日立製作所, 富士電氣)이 여러방면의 제어 시스템에 fuzzy 제어를 응용하였으나 이때까지의 응용기법은 기존의 제어용 컴퓨터와 fuzzy 추론용 S/W를 이용한 것이었다. 세계 최초로 fuzzy 추론용 전용 칩이 개발된 것은 1985년으로 AT & T Bell 연구소에 의해서 이다. 이들은 Max과 Min의 기본적인 fuzzy 이론 연산을 이용해 fuzzy 추론용

VLSI CHIP을 개발하였는데 Membership 함수의 값[0, 1]을 4bit로 이산 표시한 CMOS digital chip으로서 Max, Min 합성의 fuzzy 추론을 8만 FLIPS(fuzzy Logical Inferenceper Secend)로 할 수 있는 능력을 갖고 있고 1칩당 16를을 실행할 수 있는 것으로 알려지고 있다.

이어 일본의 山川烈丘 공대 교수가 기관상에 개별부품으로 조립한 것을 1개 칩으로 한 fuzzy 추론용 Chip, 히로다가오루 씨와 Micon사가 1988.8에 개발한 fuzzy 추론을 메모리화한 방식을 발표하여 1989. 2에 fuzzy 개발 기본용으로 시판하고 있는 것등이 있다.

4) fuzzy 추론용 S/W

이미 기술한 바와 같이 80년대 초반까지 fuzzy 제어를 응용한 것은 기존의 제어용 컴퓨터에 fuzzy 추론 S/W를 응용한 것이었으나 전용 fuzzy제어용 S/W는 현장 지식정보에 해당하는 전건부와 관측정보의 조합에 의한 후건부 정보에서 fuzzy추론 출력을 얻고 그 출력에서 확정치를 결정하여 비 fuzzy화를 수행하므로써 최종 추론결과를 얻게된다. 이러한 과정을 프로그램으로 기술하는 경우 fuzzy연산, fuzzy 추론 합성규칙, 비 fuzzy화 연산, membership 함수의 표현방식(정수 또는 소수), fuzzy 제어엘고리즘등을 어떻게 하느냐에 따라 여러 프로그램이 나올 수 있다. 이러한 관점에 따라 개발된 fuzzy 제어용 S/W에는 영국의 J. F. Baldwin Bridge 대학 교수가 개발한 FRIC(1987년부터 시판중인데 fuzzy 관계 데이터 베이스를 구축하는 Tool로서 퍼스컴에서 중형 컴퓨터까지 이용 가능하다.), Blue circle사의 LINK man, 일본 富士電企의 FRUITAX 등이 있다.

이외에 미국 Decision products사의 의사결정 지원 시스템(Max-Min합성중심 엘고리즘에 기초를 두고 있다), W.Silver교수가 Kemp Caray 심장 연구소에서 이의 응용에 관점을 두고 개발한 FLOPS가 있다.

대표적인 이의 사양을 요약하면 표2와 같다.

5) 제어기 개발현황

전향에서 기술한 fuzzy제어 관련 S/W와 유사한 점이 많으나 본 제어기 개발 현황은 제어

기 응용, 개발을 위한 소프트웨어 외에 플랜트에 적용할 수 있는 제어기 기능을 포함하고 있는 점이 좀 다르다.

제어기로서 개발되어 있는 제품으로는 FRUITAX(fuzzy RULE Information processing Tool for Advanced Control System), 明電 fuzzy제어 시스템, FZ-3000, 5000, LINK-man등이 있다.(표3 참조).

6) Fuzzy기술 응용현황

서론에서 언급한 바와 같이 fuzzy 집합은 여러 분야에 걸쳐 응용될 수 있기 때문에 각 분야에 대한 이용 또한 다양하다.

표 2. RPX-fuzzy사양

구 분	적 요
• 적용 O · S	MS-DOS(Package ORPX)
• 사용디스크	3.5/5" FDD, 520KB
• 적용H/W	IBM FA
• 추론법	전향 fuzzy 추론
• 제어규칙	If-Then 60조건/16결론, 최대 500규칙
• fuzzy label	입력변수용 5종, 출력변수용
• 출력엘고리즘	속도형
• 모니터링기능	ORPX표준기능
• 튜우닝기능	온라인 오프라인가능
• 가격	약 250만엔

표 3. 明電 fuzzy 제어 시스템 사양

구 분	적 요
• 제어기	i8086+u port(2MB) 4MB HDD, 1MB FDD
• Man-Machine	14" CRT, Keyboard, Mouse
• Process I/O	PIO port내장, 별도의 시퀀서, 80입력/48 출력
• 제어주기	0.1~999.9초 가변
• 추론법	Max-Min합성, 중심법
• 제어규칙	If-Then, 4조건/2결론, 최대250규칙
• fuzzy-label	15종
• 멤버십 함수	이산형
• 출력엘고리즘	속도, 위치형
• 모니터링기능	추론상태의 도형표시
• 튜우닝기능	규칙, 멤버십 함수의 온-라인 변경

현재까지 연구된 결과로 이용 가능한 분야는 다음과 같다.

• 플랜트 제어

현대제어 이론의 수학적 기술능력, 제어 시스템에 대한 응답특성등이 우수함은 이미 입증되어 제한적인 일반플랜트, 실험실 규모에서 이루어지고 있으나 플랜트제어는 실제의 PID 제어기를 기본 구조로 한 많은 루프로 구성, 설계되고 있다.

그러나 이의 운용은(설정치 설정, 튜우닝등) 노련한 숙련 기술자의 운전에 의할 수 밖에 없는데 이와 같이 운전원의 지적 경험이 요구되는 분야 또는 루프에 쉽게 이용한 것이 보고되고 있고 향후 좀더 다각적으로 응용하기 위한 연구가 진행중이다.

• 플랜트 설계에 대한 응용

플랜트 설계 엔지니어링 분야에 이를 이용하여 설계 기술을 개선하기 위한 연구가 진행중이다.

• 이상진단

최근의 플랜트 및 시스템 구조가 커지고 이에 따른 안전성 문제가 중요하게 됨에 따라 이상진단에 각종 엑스퍼트 시스템이 동원되고 있다. 따라서 이상진단에 지적경험을 통하여 이루어지고 있는 분야에 이용할 수 있다.

• 안전성 평가

안전성의 평가는 확률론적으로 평가되는 경우가 많기 때문에 fuzzy 집합을 이에 이용하면 많은 개선을 이룩할 수 있음이 여러 연구에서 입증되어 이를 이용하기 위한 연구가 진행중이다. 이외에 전동차운전, 정수장 프로세스등 인간의 지적경험이 요구되는 분야에 많이 이용되고 있다.

7) Fuzzy 제어의 문제점

지금까지 요약한바와 같이 fuzzy제어는 지식 베이스의 규모에서 AI형 Expert 규모에 비해 컴팩트한 형태로 되고, 운전원과의 친밀감, 선형·비선형에 관계없이 시스템구축의 용이, fuzzy 규칙의 조정에 의해 쉽게 시스템을 변경시킬수 있는점등 많은 잇점이 있다.

그러나 추론 엘고리즘의 개발(지금까지는 최

대-최소 합성중심법이 주종을 이루고 있으나 논리적인 해석이 불충분한 것으로 되어 있다.), 다른 시스템 알고리즘과의 검토 즉 수식적 모델링 제어기 설계기법과 fuzzy제어기 설계 방식과의 상호 관련성에 대한 규명, 안전성에 대한 논리적인 규명(현재의 fuzzy제어는 시스템을 구축한후 동작 안전성을 시뮬레이션 또는 현장시험을 통해 하고 있다.)등이 더욱 연구되어야 할 사항으로 남아있다.

3. 결론

Fuzzy 집합론이 1965년 발표된후 70년대의 과도기를 걸쳐 1980년대는 하나의 첨단기술로 확고히 자리를 굳혀가고 있다. 특히 구미 및 일본 등에서는 제어뿐만아니라 의용 생체공학, 관리, 각종지식베이스에 대한 응용등 다방면에 걸쳐 응용 할 수 있다는 것이 입증됨에 따라 이를 다방면에 이용하기 위해 기초이론, 응용, 하드웨어 및 소프트웨어의 개발, 전용 칩개발 등 다방면에 걸쳐 연구를 수행 해오고 있다. 뿐만아니라 이에 대한 전용 연구소의 기 설립 또는 설립을 계획중이거나 국가적 차원에서의 연구비 지원등을 하고 있는 추세이다. 따라서 90년대는 이의 관련연구가 더욱 가속화 될 것으로 본다.

이미 언급한 바와 같이 종래의 제어기 설계 및 해석 이론은 많은 학자들에 의해 확립되어 있으나 그 실용적인 면에 대해서는 상당한 제약을 받고 있는 반면 fuzzy제어는 쉽게 응용이 이루어져 현재 실용화되어 운전중인 것도 상당수 있다.

그러나 국내에서는 아직 이에 관한 논문 및 연구결과 발표가 없는 점으로 보아 이에 대한

연구는 대단히 미흡하다 하겠다.

따라서 최소한의 기초연구만이라도 수행될수 있도록 이에 대한 적극적인 관심이 요망된다.

참고 문헌

- 1) "Fuzzy 제어의 기초와 응용", 계장 vol.31, no.5, p5~49, 1988.
- 2) "Fuzzy 제어의 기초와 응용", 오토메이션, vol.33, no.6, p1~73, 1988
- 3) 菅野道夫, "Fuzzy집합과 논리의 제어에의 응용", 계측과 제어, vol.18, no.2, p8~18, 1979.
- 4) 菅野道夫, "Fuzzy집합론(I)" vol.22, vo.1, p171~174, 1979.
- 5) 菅野道夫, "Fuzzy집합론(II)" vol.22, vo.5, p42~46, 1983.
- 6) 菅野道夫, "Fuzzy집합론(III)" vol.22, vo.6, p50~55, 1983.
- 7) D. Benlochen and M.Lamotte, "Afuzy automation synthesis method" Automatica, vol. 17, p279~306, 1981.
- 8) T.J.procyk and E.H.Mamdani, "A linguistic self-organizing process controller", Automatica, vol.15, p15~30, 1979.
- 9) E.H.Mamdani and Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", Int.j.man-machine studies, vol. 7, p1~13, 1975.
- 10) Kar johan Astron, "Process control-past, present, and future", IEEE control systems, vol.5, no.3, p1~9, 1985.
- 11) "일본의 fuzzy제어의 연구", 계측과 제어, vol.28, no.11, p41~44, 1989