

講 座

퍼지 시스템의 농업 응용과 전망 Application and Prospect of Fuzzy System in Agriculture

조 성 인

서울대학교 농업생명과학대학 농공학과 농업기계전공

1. 서 론

퍼지 이론(fuzzy theory)은 정보의 애매성을 다루는 학문으로 과학에 주관성이 도입된 형태의 새로운 학문 분야이다. 인간의 사고를 수치화하고 이를 언어적으로 처리할 수 있는 퍼지 이론은 인공지능(artificial intelligence)의 한 분야로서, 1965년 Lofti Zadeh 교수에 의하여 창안되었다. 초기 기초 연구 중심의 단계에서 현재에는 첨단 전자공학의 발달과 함께 퍼지 제어기의 농업 및 산업 응용이 활발해지고 있으며, 퍼지 칩이나 퍼지 컴퓨터의 개발까지 연구가 진행되고 있다.

농업환경은 자연현상과 생리변화 등 다루어야 할 대상이 매우 많으며 복잡하고, 대부분의 경우가 알려져 있지 않다. 이들의 정보 또한 정확한 것이 아닌 불확실하거나 애매한 정보를 다루는 경우가 많다. 퍼지이론은 농업의 이러한 불확실하고 애매한 정보나 농업전문의 사고를 수치화 하여 유용한 정보를 처리할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이러한 최신의 퍼지 이론을 농업에 응용함으로써 정보처리에 입각한 국내 농업의 선진화를 기할 수 있을 것이다. 본 강좌에서는 농업응용을 위한 퍼지 시스템(fuzzy system)의 이론과 배경 및 국내외의 응용사례와 향후 전망 등에 대하여 알아본다.

2. 퍼지 이론(fuzzy theory)

사전적 의미로서의 'fuzzy'는 '애매모호한'이라는 뜻을 갖고 있으며 퍼지이론에서는 '크다', '빠르다' 처럼 주관적인 판단이 결합된 애매모호한 정보를 다룬다. 퍼지 이론에서는 언어의 의미를 정량화하고 있다. 두 개의 값이 아닌 0과 1사이의 실수 값

으로, 어떤 언어의 의미를 그 언어의 속성을 가진 전체 집합에 속하는 정도로 표현한다. 그러므로, 퍼지 이론은 그 의미는 알고 있으나, 개개의 대상물에 대해서 그 성질의 유무를 결정하려고 하면 '예', '아니오'만으로는 대답하기 어려운 애매한 성질을 취급할 때 편리하다.

퍼지 이론은 1965년 Zadeh교수에 의해 시작되었으며, 이후 미국 쪽에서는 이론적 바탕을 제공하는 기초연구를 많이 수행하고, 일본 쪽에서는 실제 응용인 퍼지 제어기의 개발에 대한 연구가 수행되어 많은 퍼지관련 제품들이 생산되고 있다.

가령 '키가 작다' 라는 언어적 표현(linguistic description)을 나타내는 집합을 퍼지 집합을 써서 어떻게 나타내는가를 생각해 보자. 전체 집합을 U 라하고, 각각의 원소에 '키가 작다'라는 정도를 나타내는 값(귀속도, membership degree, membership grade)을 μ 로 나타내어 $[0, 1]$ 사이의 임의의 실수값을 할당하면,

$$\mu_A(x), \forall x \in U \quad \text{ex) } \mu_A(x) = 0.9$$

μ : 귀속도 함수(membership function)

이들 각각의 귀속도를 취하는 원소들로 구성되는 집합 A 는 아래와 같이 구성된다.

$$A = \{(x, \mu_A(x)), \forall x \in U$$

예로서 다음과 같이 '키가 작다'는 퍼지 집합을 정의할 수가 있고 이를 그림 1에 나타내었다.

$$A = \{(150, 0.9), (155, 0.7), (165, 0.5), (175, 0.1)\}$$

즉, 집합의 각 원소가 그 집합에 속하거나 속하지 않는 둘 중 하나로 결정되지 않고 그 원소가

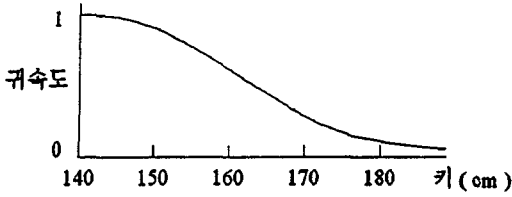


그림 1. '키가 작다'는 퍼지 집합

		B	
		a	b
A	a	1	0.5
	b	0.7	0.5

그림 2. 퍼지관계

어느 정도 그 집합에 속하는가를 나타내게 된다. 예로서 '10보다 꽤 큰 수'의 집합이나 '아름다운 여성의 집합'도 퍼지 집합이 될 수 있다. 이렇게 볼 때 일반집합(칸톨의 정의에 의한 집합)은 애매한 형태로 그 집합에 귀속되는 것이 아닌 0 또는 1의 귀속도만을 가진다고 볼 수 있으므로 아래와 같이 퍼지 집합의 특수한 형태로 볼 수 있으며, 퍼지 이론은 이러한 인간의 주관적인 언어표현을 처리할 수 있는 특징을 갖는다.

$$\{(a, 1), (b, 1), (c, 1), \dots\}$$

3. 퍼지추론

1) 퍼지 관계(fuzzy relation)

퍼지 관계는 어떤 대상과 대상 사이의 애매한 관계를 퍼지 집합 개념을 사용하여 나타낸 것으로 퍼지 집합의 2차원 확장 형태로서 행렬과 모양이 비슷하며 n차원으로의 확장이 가능하다. 이는 다음과 같이 정의된다.

$$R, R = \{(x, y), \mu_R(x, y)\}$$

예로서 전체집합을 $U = \{a, b\}$ 라고 하고 집합 A를 '키가 크다'는 퍼지 집합, 집합 B를 '무겁다'는 퍼지 집합으로 하고 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} U &= \{a, b\} \\ A &= \{(a, 1), (b, 0.7)\} \\ B &= \{(a, 1), (b, 0.5)\} \end{aligned}$$

만약 '키가 크면 무겁다'의 관계(relation)를 정의하고 싶다면 다음 그림 2와 같이 할 수 있다.

여기서 'a가 키가 크면 a는 무겁다'는 관계는 a의 키가 큰 정도가 1이고 a가 무거운 정도가 1이므로 그 관계값($\mu_R(a, a)$)을 1로 할당할 수가 있다. 다른 관계인 'a가 키가 크면 b는 무겁다'라는 보기에는 다소 이상한 관계를 수치화하고 싶으면 a가 키가 크다는 귀속도 값인 1과 b가 무겁다는 귀속도 값인 0.5중 위의 표와 같이 작은 값을 택하여 0.5로 할 수 있고(퍼지교집합), 큰 값을 선택하여 1로 할 수 있으며(퍼지합집합), 또는, 그 곱을 취하여 0.5를 선정할 수도 있다(퍼지곱집합). 위의 표에서 다른 관계값들은 모두 퍼지 교집합을 이용하여 계산한 것이다. 이렇게 정의를 하면 위의 관계 R을 이용하여 이미 알고 있는 애매한 퍼지 집합 A로부터 잘 알지 못하는 퍼지 집합 B를 근사적으로 추론해 낼 수 있다.

2) 근사 추론

추론은 보통 'P이면 Q'라는 것을 이용하여 행하여지며, modus ponens와 modus tollens의 2가지 종류가 있다. modus ponens는 'P이라면 Q가 참'일 때, 'P가 참'이라면 'Q는 참'이라는 것을 추론하는 것으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} (a) & P \quad (\text{fact}) \\ (b) & P \rightarrow Q \quad (\text{rule}) \\ \hline (c) & Q \\ & (P \text{ and } (P \rightarrow Q)) \rightarrow Q \end{aligned}$$

modus tollens는 modus ponens의 대우로 'P→Q가 참'이고, 'Not Q가 참'일 때 'Not P는 참(P는 거짓)'인 것을 추론하는 것이다.

$$\begin{aligned} (a) & \text{Not } Q \\ (b) & P \rightarrow Q \end{aligned}$$

(c) Not P

퍼지시스템에서 사용하는 추론에서는 불확실한 정보인 언어변수를 사용하기 때문에 일반적인 전문가 시스템(Expert System)의 추론 방법과는 구별된다. 아래의 그림 3에서 볼 수 있듯이 전문가 시스템에서는 A와 B가 서술문 또는 명백한 명제이고 규칙에서의 A와 사실에서의 A는 동일하며 또한 규칙에서의 B와 결론에서의 B도 동일하다. 이와는 달리 근사추론에서는 규칙에서의 A, B와 사실에서의 A, 결론에서의 B는 모두 퍼지집합이고 언어변수이며, 규칙의 A와 사실의 A, 규칙의 B와 추론결과인 B는 서로 다른 형태로 표현된다.

Rule : If X is A Then Y is B

Fact : X is A

Conclusion : Y is B

<전문가 시스템의 추론 방식>



Rule : If X is A Then Y is B

Fact : X is A'

Conclusion : Y is B

<퍼지 시스템의 추론 방식>

그림 3. 전문가 시스템과 퍼지시스템의 추론과정

근사 추론의 한 예를 들자면 다음 그림 4와 같다.

규칙 : 만일 토마토가 빨갳다면

그 토마토는 익었다.

사실 : 이 토마토는 매우 빨갳다.

결론 : 이 토마토는 매우 익었다.

그림 4. 퍼지추론의 예

위의 예와 같이 '토마토가 매우 빨갳다'는 사실을 이용하여 '토마토가 매우 익었다'는 결론을 얻을 수 있다.

근사 추론 방법은 위에서 언급한 퍼지관계를 이용한다. 여러 가지 방법이 있으나 한 예로서 최대-최소 합성법을 소개한다(그림 5)⁽⁵⁾ 'x는 y와 상당히 가깝다'라는 퍼지관계 R을 이용하여 'x는 3에 상당히 가깝다'라는 퍼지집합 A와 합성하면 'x에 상당히 가까운 y'의 퍼지집합 B를 만들어 낼 수 있다. 그림 5에서 퍼지 관계 R이 퍼지 집합 A를 통과하면 이것이 필터의 역할을 하여 퍼지 관계 R의 세로 방향으로 퍼지 집합 A의 원소보다 큰 값들은 A의 원소값으로 잘려나오게 되고 그보다 작은 값들은 그냥 통과된다. 이것에 다시 왼쪽에서 빛을 쬐이면 가로방향으로 가장 큰 값의 그림자 만이 오른쪽으로 투영되며 이 값들이 추론된 퍼지 집합 B를 구성하게 된다.

이를 식으로 표현하면 다음과 같으며,

$$B = R \cdot A$$

이 결과 x의 3에 상당히 가까운 수는 y의 3이 가장 근접하고(귀속도 1) y가 2와 4인 경우가 그 다음으로 가깝다(귀속도 0.8)는 것을 알 수 있다.

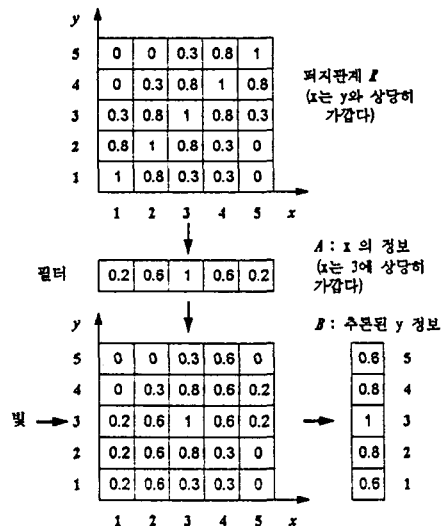


그림 5. 최대-최소 합성법

4. 퍼지 논리 제어 (fuzzy logic control)

퍼지 이론의 응용 분야로서 가장 빨리 활용되어 성공을 거둔 분야이다. 퍼지 논리 제어는 인간 전문가의 지식과 경험에 기초한 제어 지식을 언어적으로 퍼지 규칙화하고 퍼지 추론을 통하여 대상 시스템을 제어하는 것을 말한다.

1974년 세계 최초로 맘다니⁽⁸⁾가 스팀엔진모형을 퍼지제어기로 제어하는데 성공한 이후로 지금은 전 세계에서 많은 응용 연구와 제품이 소개되고 있다.

1) 구조

퍼지 제어기는 크게 4가지 요소로 구성되어 있다. 첫째, 퍼지화 단계(fuzzification), 둘째, 지식베이스 구성단계(knowledge base), 셋째, 추론단계(fuzzy inference), 넷째, 비퍼지화단계(defuzzification)이다. 제어에 필요한 입력 값들을 퍼지 집합으로 바꾸어 주는 것이 퍼지화이며, 지식베이스를 이용하여 퍼지추론을 하고, 추론 결과인 퍼지집합을 실제 제어에 사용하기 위한 출력으로 바꾸어 주는 과정이 비퍼지화이다(그림 6)⁽³⁾.

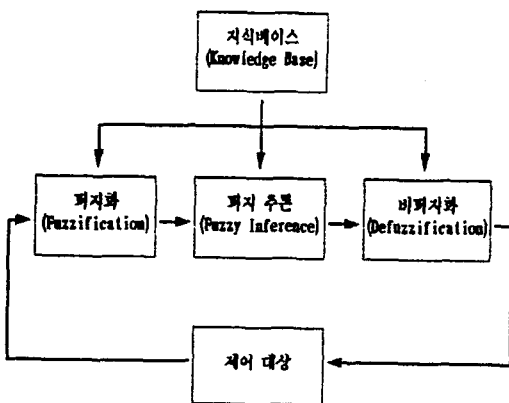


그림 6. 퍼지 제어기의 기본 구성도

제어 규칙(knowledge base)은 IF <조건>, THEN <결론> 형식을 취하며 조건부와 결론부

모두가 하나 또는 그 이상의 변수를 인자로 가질 수가 있다. 규칙은 어떤 특수한 영역에서 전문적인 지식을 가지고 있는 인간전문가의 숙달된 경험적 지식을 바탕으로 작성된다.

퍼지제어기의 동작과정은 다음과 같다. 먼저 제어하려는 대상으로부터 입력 값을 얻고 이것이 퍼지화 과정을 거치면서 퍼지값이 계산된다. 이 퍼지값은 퍼지추론에서 여러 개의 퍼지규칙을 거치면서 각각의 규칙에 알맞은 퍼지값을 돌려주게 되고 이 여러 개의 퍼지값들이 비퍼지화 과정을 거치면서 실제로 제어가능한 상태의 값으로 바뀌게 된다.

다음 그림 7은 퍼지제어에 사용되는 추론과정이다⁽⁹⁾.

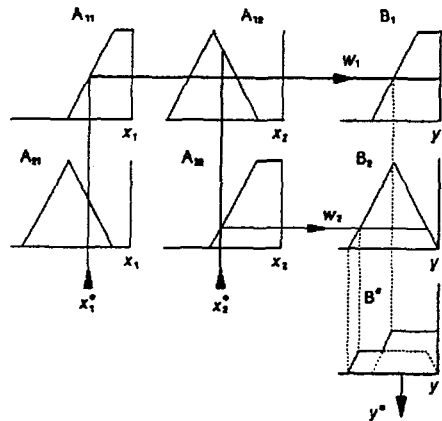


그림 7. 퍼지제어기의 추론

퍼지 제어 규칙이 n 개 있고, 다음과 같이 or로 연결되어 있다고 하면

- R_1 : if x_1 is A_{11} and x_2 is A_{12} then y is B_1 or
- R_2 : if x_1 is A_{21} and x_2 is A_{22} then y is B_2 or
- \vdots
- R_i : if x_1 is A_{i1} and x_2 is A_{i2} then y is B_i
- \vdots
- R_n : if x_1 is A_{n1} and x_2 is A_{n2} then y is B_n

이를 간단히 표현하면

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_n$$

w_i 를 적합도라 하고 이를 다음과 같이 정의한다.

$$w_i = \min(A_{i1}(x^i), A_{i2}(x^i))$$

$$B_i = \min(w_i, B(y))$$

라 하면, n 개의 추론 결과 B^i 는 B 에서 B_i 의 합으로 나타내어진다.

$$B^* = B \cup B_1 \cup \dots \cup B_n$$

B^* 를 다음과 같이 해석하여 하나의 수치 y^0 로 변환하여 실제 제어에 이용하게 되는데 이것이 비퍼지화이다.

$$y^0 = \frac{\int B^*(y)y dy}{\int B^*(y) dy} = \frac{\sum \mu y}{\sum \mu}$$

추론 process는 다음과 같다. 우선 전제 x^i, x^j 가 주어지고 각 규칙의 적합도 w_i 를 계산한다. 다음에 규칙마다 추론 결과 B_i 를 구하고, 이들의 결과를 종합하여 B^* 를 구한다. 그 무게 중심으로서 규칙 전체의 추론 결과 y^0 를 계산하면 원하는 결과를 얻게 된다.

2) fuzzy xontrol vs. PID control

퍼지제어와 PID제어의 큰 차이점은 PID제어의 경우 제어대상을 수식으로 모형화하여 제어하는 방식이고, 퍼지제어는 전문가의 지식과 경험을 바탕으로 언어적으로 모형화하여 제어하는 방식이라는 것이다.

PID제어란 제어대상을 전달함수(transfer function)라는 수식으로 모형화(modeling)한 후, 이 전달함수를 바탕으로 출력치의 차이인 오차에 비례(proportional), 적분(integral), 미분(differential) 연산을 수행하고, 이 연산의 결과를 제어기의 출력으로 제어하는 방법이다.

PID제어를 실현함에 있어서 중요한 일은 제어대상의 모형화와 제어계의 안정성 및 응답성을 고려한 PID 상수의 결정이다. 전달함수의 형태로 모형화가 이루어져야만 PID상수를 결정할 수 있기 때문에 매우 복잡한 형태의 공정에 대해서는 전달함수를 구하는 작업만으로도 많은 시간, 비용, 노

력이 필요하며 경우에 따라서는 불가능한 경우까지 생기게 된다.

일반적으로 많은 제어대상이 수식으로 모형화하기가 용이하지 않다는 점에서 비선형적인 시스템의 제어에 퍼지제어의 장점이 있다. 실제로 PID가 원활한 제어에 성공하지 못한 많은 분야에서 퍼지제어는 좋은 성능을 보인 사례도 있다. 또한, 퍼지제어기는 입력으로 받아들이는 정보가 퍼지화라는 과정을 거치게 되므로 입력값이 부정확하거나 애매한 경우, 불안정한 경우나 잡음이 심한 경우에도 안정된 출력을 낼 수가 있고, 하나의 규칙이 아닌 여러 개의 규칙이 동시 다발적으로 추론되어 최종 제어값을 결정하는 데 기여를 하게 되므로 비정상적이거나 터무니없는 결과를 출력하지 않는 장점이 있다. 작고 중간 정도 등과 같이 애매하게 구획을 나누어 언어로 집약하여 표현하면 훨씬 메모리를 절약할 수 있고 또 필요에 따라 상기하기 쉽게 된다. 인간의 지식 표현에 있어서 언어를 사용하는 것, 그리고, 그 언어는 애매하다는 것은 당연한 것이며 이를 처리하는 퍼지 이론은 인간의 사고를 모사할 수 있는 것이다.

그러나 퍼지제어는 전문가에게서 필요한 제어규칙을 이끌어 내는 것이 용이한 작업은 아니고, 제어를 위한 퍼지규칙의 생성이 많은 시행착오를 필요로 하며, 퍼지규칙의 수가 증가할 경우에는 추론에 많은 시간이 필요로 하여 응답성능에서 문제가 발생할 수 있다. 또한 퍼지라는 개념이 애매성을 다루기 위한 것이므로 제어계가 오랫동안 정상 상태에 머무르는 경우에는 PID제어에 비해 제어 성능이 떨어질 수가 있다.

5. 농업 응용

퍼지 이론은 제어, 고장진단, 패턴인식, 화상처리, 안정성 해석, 시스템 설계, 컴퓨터 등에서 많은 연구가 이루어지고 있으며 특히 제어부분에의 응용이 주된 분야이다. 농업 및 산업에 많은 응용예를 가지고 있는데 이는 크게 퍼지제어기 분야와 퍼지 전문가 시스템 분야로 나눌 수가 있다.

다음은 퍼지 이론의 응용예 들이다.

1) 건조중의 옥수수 균열 제어 전문가 시스템⁽¹⁰⁾

건조 과정 중에서 stress crack과 균열정도를 조절하기 위하여 옥수수 건조기내의 flow rate, 건조 온도를 결정하는 것이 필요하며, 건조기 작동에 필요한 전문가의 경험과 지식을 이용하는 것이 필요하다. 옥수수의 품질에 영향을 주는 변수로는 기후나 옥수수의 종류 등과 같은 많은 요소들이 있으며 이러한 제어변수들은 약간의 불확실한 정도를 가지고 있다. 이를 제어하는데 퍼지 전문가 시스템을 이용하여 옥수수의 균열 가능성을 제어한다.

2) pH의 제어⁽⁶⁾

pH의 제어는 비선형적이며, 상황에 따라 적절한 pH를 설정하여 공정을 제어해야 하는 어려움이 있다. 실험실이나 화학공업에서 주요 제어 대상이 되는 pH를 퍼지제어를 이용하여 제어한다. 변화하는 pH에 빠르게 적용하여 응답특성을 향상시키기 위하여 유전알고리즘을 이용한다. 변화한 pH를 제어하기 위한 적절한 귀속도함수를 찾아내는데 유전알고리즘이 사용된다.

3) 활성 슬러지 공법에서의 퍼지전문가 시스템의 이용⁽⁷⁾

식품산업에서 나오는 폐수를 처리하는 활성 슬러지 공법에서 슬러지의 처리 과정에 퍼지 제어를 이용하였으며 각각의 상황에 해당하는 처방방법도 제시하여 전문가 시스템의 역할도 수행한다.

4) 트랙터-트레일러의 후진제어⁽⁴⁾

트랙터의 뒷부분에 트레일러가 부착된 경우 후진을 할 때에는 트랙터를 다년간 운전해 본 경험이 있는 사람도 핸들을 조향하여 목적지까지 안전하게 들어가는 것이 어렵다. 이를 퍼지제어를 사용하여 목적지까지 일직선으로 정확히 후진한다. 또한, 후진시 제어규칙에서 사용되는 적절한 귀속도함수를 시행착오를 거쳐 찾아내는 대신 유전알고리즘을 사용하여 최적의 귀속도 함수를 찾아낸다.

5) 전동기의 속도제어⁽¹⁾

서보전동기의 속도를 제어하기 위하여 퍼지제어를 이용한다. 먼저 전동기의 PID제어기를 설계하여 비례상수, 미분상수, 적분상수를 결정하고 제어에 따른 오차와 오차의 변화를 이용하여 각각의 상수를 변화시키는 데에 퍼지제어를 이용한다.

6. 향후 전망

퍼지 이론은 인간의 생각을 수치화 할 수 있다는 장점을 가지고 있고 입력 정보의 불확실성을 극복할 수 있다는 장점을 가지므로 이를 이용하여 앞으로 농업분야에서 많은 발전을 기대할 수가 있다.

1) 퍼지 컴퓨터(fuzzy computer)⁽²⁾

경계가 불명확한 문제를 처리하는 것이 퍼지 이론이므로 종래의 디지털 컴퓨터를 이용하는 것도 가능하지만 연산이 늦고, 특히 제어에 이용하는 데는 적합하지 않다. 이를 위한 컴퓨터 구조의 한계를 극복하기 위하여 퍼지 관련 하드웨어가 개발되고 있다. 퍼지 추론의 속도를 증가시키기 위하여 퍼지 추론만을 전용으로 수행하는 퍼지칩의 개발이라든가 처리속도를 빠르게 하기 위한 병렬처리를 위해 컴퓨터를 구성하는 것 등이 그 예이다. 또한, 퍼지 시스템을 개발하는데 소요되는 시간을 절약하고 손쉽게 룰베이스를 설계하기 위한 퍼지 시스템 개발 도구도 개발되어 현재 시판중이다.

2) 신경회로망, 유전알고리즘과의 결합

퍼지 이론은 제어에서 탁월한 능력을 발휘하는데 적용제어에서는 비교적 약한 점을 가지고 있어서, 학습을 필요로 하는 제어시스템이나 변화하는 환경에 적응해야 하는 상황에서는 퍼지 이론만으로는 시스템의 제어가 어렵거나 불가능한 경우가 발생하게 된다. 이경우 신경회로망과 유전알고리즘을 결합한 하이브리드 제어기를 설계하면 위의 문제점을 해결할 수가 있다. 신경회로망을 퍼지

이론과 결합하여 자율주행차량의 장애물 회피에 이용할 경우 장애물의 유형을 파악하는데 신경회로망이 사용될 수 있으며, 퍼지 제어기의 문제점 중의 하나인 적절한 귀속도함수를 결정하는 데에 유전알고리즘을 이용하여 시스템에 알맞은 최적의 귀속도함수를 설정할 수도 있다.

3) 퍼지 데이터베이스(fuzzy database)

효율적으로 많은 양의 데이터를 처리하기 위해서는 데이터를 통일성 있게 축적하고 처리해야 한다. 인간이 관여하는 분야에는 인간의 언어와 애매성에 의해 명확히 정의될 수 없는 많은 데이터가 존재한다. 지금까지의 데이터베이스가 다루어 오던 방법론으로는 이러한 데이터베이스를 다루기에는 너무 복잡하다. 이를 다루는 것이 퍼지 데이터베이스이다. 이를 이용하여 자연 언어 처리(natural language processing)나, 의사 결정(decision making), 비즈니스 등에 사용될 수 있다.

8. 참고문헌

1. 김동희 · 신위재. 1993. 3S Look-up Table을 이용한 서보전동기의 속도제어에 관한 연구. 한국퍼지시스템학회. Vol. 3, No. 3. pp 27-37.
2. 박민용 · 최항식. 1990. 퍼지시스템의 응용입문. 대영사. pp 265-292.
3. 엄정국 · 원성현. 1992. 기초퍼지이론과 응용퍼지시스템. 정보시대출판부. pp 238-301.
4. 조성인 · 기노훈. 1995. 퍼지논리와 유전알고리즘을 이용한 트랙터-트레일러의 후진제어 시뮬레이션. 한국농업기계학회. Vol. 20, No. 1. pp 87-94.
5. 퍼지기술연구회. 1992. 퍼지 이론 해설. pp 169-176.
6. Karr, C. L. · Gentry, E. J. 1993. Fuzzy Control of pH Using Genetic Algorithms. IEEE Trans. on Fuzzy Systems. Vol. 1, No. 1. pp 46-53.
7. Nam, S. W. · Kim, J. H. · Sung, U. K. · Lee K. S. 1993. Fuzzy Expert System for Bulking Prediction and Mitigation in the Activated Sludge Process. Fifth IFSA Congress(Korea). pp 1102-1105.
8. Mamdani, E. A. 1974. Application of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamic Plant. Proc. IEEE. 121, 12. pp 1584-1588.
9. Terano, T · Asai, K. · Sugeno, M. 1987. Fuzzy Systems Theory and its Applications. pp 159-165.
10. Zhang, Q · Letchfield, J. B. 1990. Fuzzy Expert System : A Prototype for Control of Corn Breakage during Drying. Journal of Food Process Engineering(12). pp 259-273.