

에어콘의 효과적인 퍼지 제어 시스템의 설계

김 일* · 이 상 배** · 이 철 영***

The Design of Efficient Fuzzy Logic Control System for Air-Conditioner

Il, Kim · Sang-Bae, Lee** · Cheol-Yeong, Lee****

〈 목 차 〉

- | | |
|---------------------------|---------|
| I. 서 론 | V. 실험결과 |
| II. 퍼지 제어 에어컨 시스템의 구조 | VI. 결 론 |
| III. 다변수 구조 퍼지 제어 시스템 | 참고문헌 |
| IV. 에어컨의 다변수 구조 퍼지 제어 시스템 | |

Abstract

A practical application of a fuzzy control system is described for an air-conditioning system. Air-handling units are being widely used for improving the performance of central air-conditioning systems. The fuzzy control system has two controlled variables, temperature and humidity, and three control elements, cooling, heating, and humidification. In order to achieve high efficiency and economical control, especially in large offices and industrial buildings, two controllable parameters, temperature and humidity, must be adequately controlled by the three final controlling elements. In this paper a fuzzy control system was described for controlling air-conditioning systems efficiently and economically.

I. 서 론

제어시스템의 설계를 위한 퍼지 집합이론의 응용에 대한 연구는 가전제품, 열차운전, 자동차, 산업용 로봇등에서 상품화되기 시작하면서 퍼지 논리 제어 이론에 대한 새로운 관심과 열기를 불러 일으켰다.

본 논문은 퍼지 제어 이론을 에어컨 시스템에 적용시킨 새로운 퍼지 제어 에어컨 시스템을 제시하였다.

종래의 에어컨 시스템은 이슬점을 이용한 제어 방식과 릴레이에 의한 제어 방식을 주로 사용하고 있는데 이슬점에 의한 제어 방식은 동작 특성은 양호하지만 경제성이 없는 단점을 갖고 있다.

* 한국해양대학교 전자통신공학과

** 정희원, 한국해양대학교 전자통신공학과

** 정희원, 한국해양대학교 항만운송공학과

반면에 릴레이에 의한 제어 방식은 경제성은 있으나 효율적인 면에서 이슬점 제어 방식보다 낮다.

본 논문은 퍼지 논리 제어기를 에어컨 시스템에 적용하여 기존 시스템의 단점을 개선하고자 하였다. 제안된 제어 시스템에서는 실제 온도와 습도의 값을 측정하여 이를 입력 변수 값으로 취하여 퍼지 논리 추론을 하였으며 이것으로 출력 유니트를 제어하였다. 추론은 Zadeh 가 제안한 Min 과 Max 연산자를 토대로한 다단 추론 방식을 이용하였다.

이 논문의 II장에서는 퍼지 논리 제어 에어컨 시스템의 구조를 제시하였고 III장에서는 다변수 구조 퍼지 제어 시스템의 추론부의 블럭도와 퍼지 추론 알고리즘을 나타내었다. 그리고 IV장에서 본 논문에서 제안한 에어컨을 위한 다변수 구조 퍼지 제어 시스템을 제안하였다.

V장에서는 시뮬레이션에 의한 실험으로 제시된 알고리즘의 타당성을 검토하였고 VI장에서는 결론을 나타내었다.

II. 퍼지 제어 에어컨 시스템의 구조

퍼지 논리 제어기를 적용한 퍼지 제어 에어컨 시스템은 그림 1에서 보여주는 것과 같이 센서로부터 온도와 습도의 값을 입력으로 받아들여 이들을 입력 변수 값으로 취하여 퍼지 논리 추론을 하여, 이것으로 출력 유니트(unit)를 제어한다.

여기에서

- X1 : 온도상태
- X2 : 습도상태
- X3 : cooling valve 상태
- X4 : heating valve 상태
- X5 : humidifying valve 상태
- $\Delta Y1$: colling valve 조절량
- $\Delta Y2$: heating valve 조절량
- $\Delta Y3$: humidifying valve 조절량

으로 정의된다.

그리고 그림 2에서는 퍼지 제어시스템의 퍼지 추론 과정을 구체적으로 나타내었다.

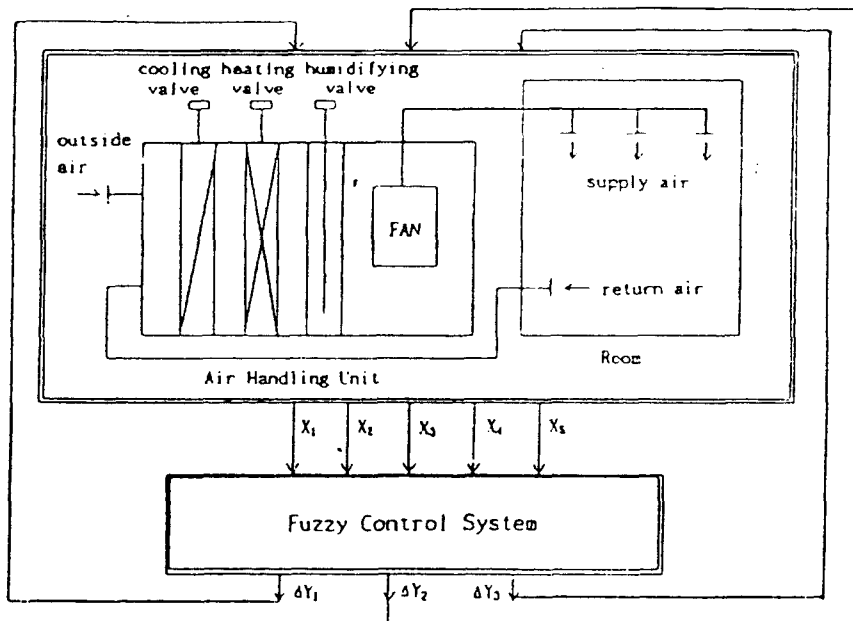


그림1. 퍼지 제어 에어컨 시스템

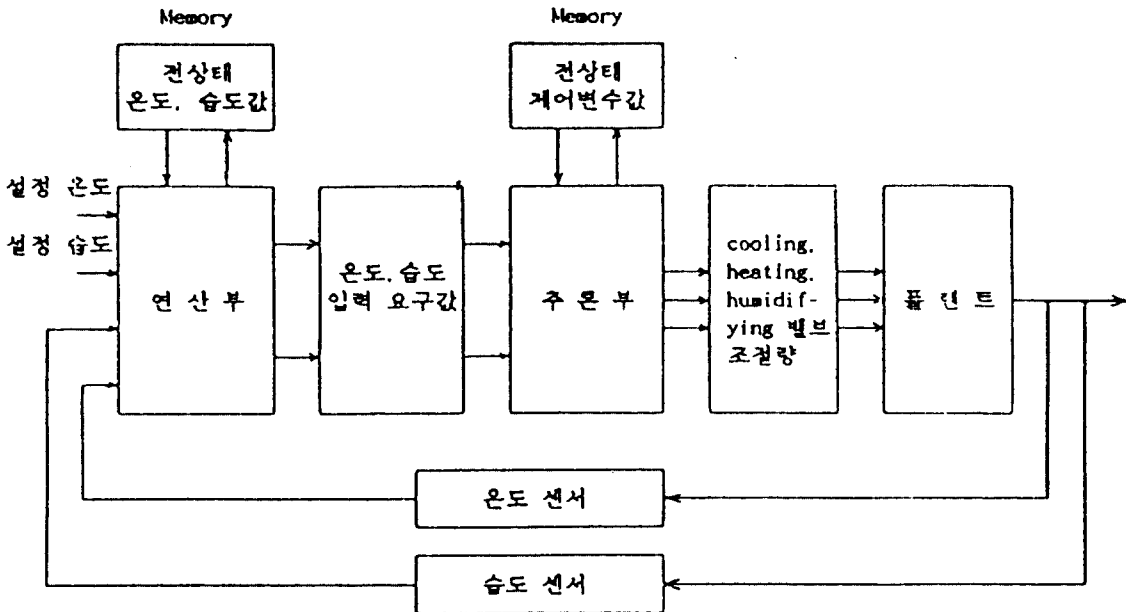


그림2. 퍼지 추론의 구조

먼저 연산부에서는 센서에 의해 측정된 측정치와 전상태의 값 그리고 설정치로 계산하여 온도 및 습도의 요구치를 계산하고 추론부에서의 퍼지 추론을 통하여 cooling, heating, humidifying 밸브 조절량을 계산하여 실제 플랜트에 적용한다.

III. 다변수 구조 퍼지 제어 시스템

다입력 다출력의 퍼지 제어 시스템의 블록도를 그림 3에 나타내었다.

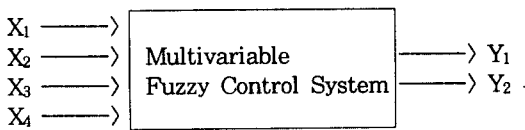


그림3. 다입력 다출력 퍼지 제어 시스템

다입력, 다출력을 가지는 퍼지 제어 시스템은 다음과 같은 일반적인 형태의 퍼지 제어 규칙을 가진다.

IF $X_{1(i)}$ AND $X_{2(i)}$ AND $X_{3(i)}$ THEN $Y_{1(i)}$

AND $Y_{2(i)}$

ALSO

IF $X_{1(i)}$ AND $X_{2(i)}$ AND $X_{3(i)}$ THEN $Y_{1(i)}$
AND $Y_{2(i)}$

IF $X_{1(n)}$ AND $X_{2(n)}$ AND $X_{3(n)}$ THEN $Y_{1(n)}$
AND $Y_{2(n)}$

여기에서 $X_{k(i)}$ 와 $Y_{j(i)}$ 는 각각 언어적 규칙부의 가정과 결론부의 규칙들을 나타내고, k는 입력 변수의 갯수, j는 출력변수의 갯수, n은 추론 규칙의 갯수를 나타낸다.

그리고 입력 X_k 와 관계 행렬 R_{kj} 이 주어질 때 계산되는 출력값 Y_j 는 다음과 같이 정의된다.

$$Y_1 = X_1 \circ R_{11} \wedge X_2 \circ R_{21} \wedge X_3 \circ R_{31}$$

$$Y_2 = X_1 \circ R_{12} \wedge X_2 \circ R_{22} \wedge X_3 \circ R_{32}$$

이때 각각의 입력 X_k 와 출력 Y_j 에 대한 관계 행렬 R_{kj} 는 다음과 같이 정의된다.

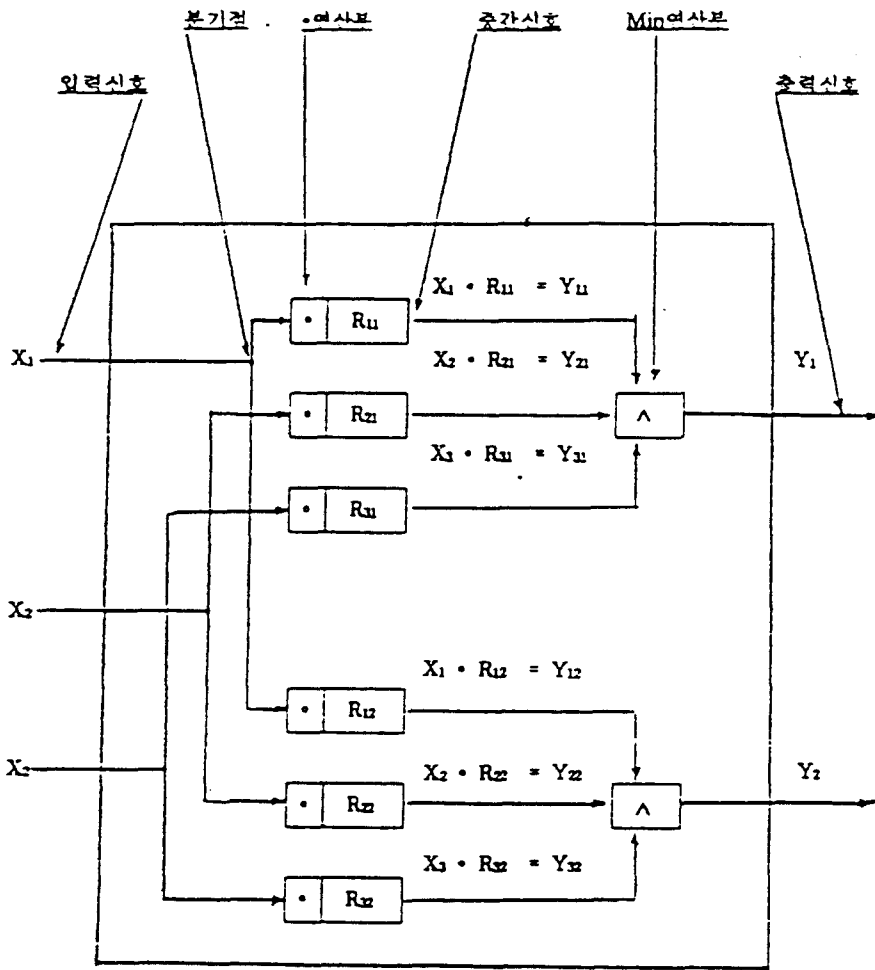


그림4. 다변수 퍼지 제어 시스템의 구조

$$R_{k\omega} = \bigvee_{i=1}^n X_{k(i)} \wedge Y_{j(i)}$$

(K = 1, 2, 3, J = 1, 2)

그림 4에서는 관계 행렬로 표현된 다변수 퍼지 제어 시스템을 나타내었다.

VI. 에어컨의 다변수 구조 퍼지 제어 시스템

에어콘 시스템에 이용될 다변수 구조 퍼지 제어 시스템의 블럭도는 그림 5에 나타 내었다. 입력 변수 X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 에 대한 출력변수

$\Delta Y_1, \Delta Y_2, \Delta Y_3$ 의 언어적 표현의 퍼지 모델을 다음과 같은 형식으로 구성한다.

- 1) IF $X_1 = SM$ and $X_2 = SM$ and $X_3 = M$ and $X_4 = S$ and $X_5 = SM$
THEN $\Delta Y_1 = Z$ and $\Delta Y_2 = ZP$ and $\Delta Y_3 = ZP$
- 2) IF $X_1 = SM$ and $X_2 = M$ and $X_3 = SM$ and $X_4 = SM$ and $X_5 = M$
THEN $\Delta Y_1 = ZP$ and $\Delta Y_2 = ZP$ and $\Delta Y_3 = P$
- 3) IF $X_1 = ZS$ and $X_2 = M$ and $X_3 = MB$ and $X_4 = Z$ and $X_5 = M$

THEN $\Delta Y_1 = P$ and $\Delta Y_2 = ZN$ and $\Delta Y_3 = P$
 4) IF $X_1 = B$ and $X_2 = ZS$ and $X_3 = Z$ and $X_4 = B$ and $X_5 = ZS$
 THEN $\Delta Y_1 = P$ and $\Delta Y_2 = N$ and $\Delta Y_3 = ZP$

5) IF $X_1 = ZS$ and $X_2 = B$ and $X_3 = MB$ and $X_4 = Z$ and $X_5 = B$
 THEN $\Delta Y_1 = NZ$ $\Delta Y_2 = ZP$ and $\Delta Y_3 = N$
 :

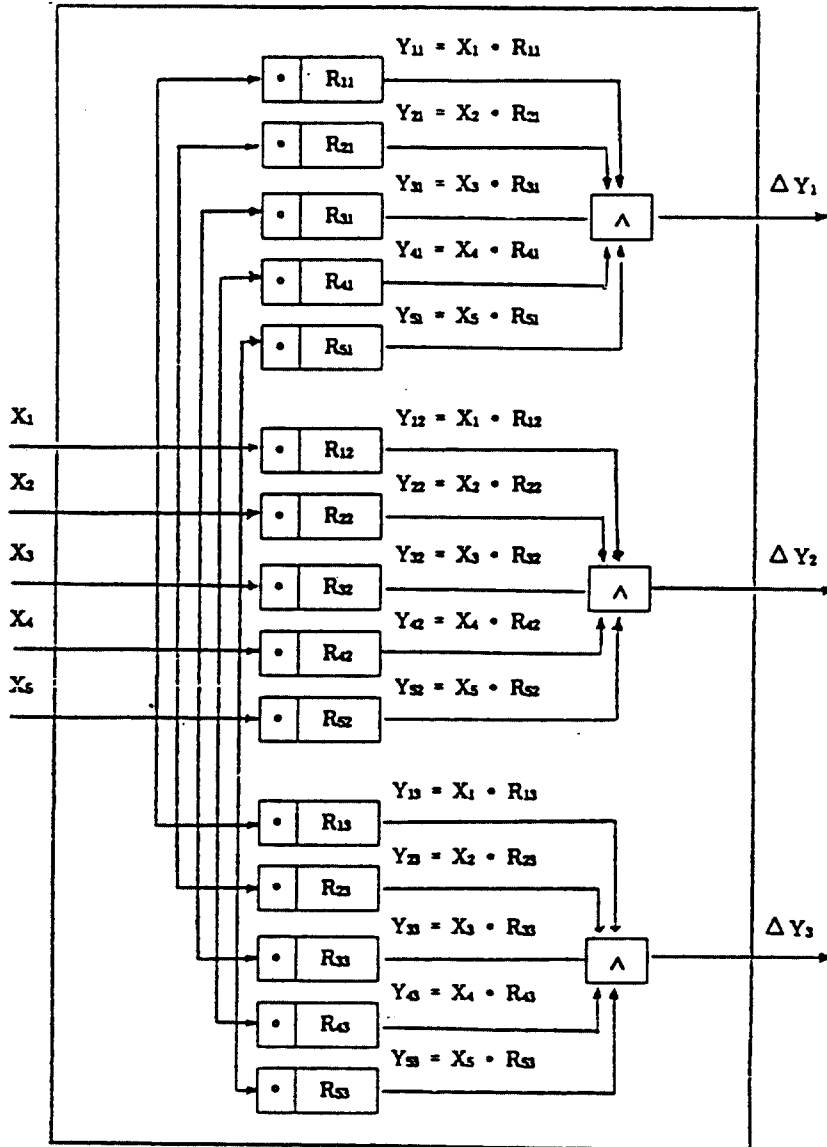


그림5. 에어컨에 이용될 다변수 구조 퍼지 제어 시스템

그리고 입력과 출력 변수의 소속함수를 표1, 표2와 같이 구성하였다.

표 1. Fuzzy Sets for X_1, X_2, X_3, X_4, X_5

Universe	Z	ZS	S	SM	M	MB	B
1	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0
4	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0	0.5
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.0

여기서 Z = Zero, ZS = between Zero and Small, S = Small, SM = between Small and Medium, M = Medium, MB = between Medium and Big, B = Big 이다.

표 2. Fuzzy Sets for $\Delta Y_1, \Delta Y_2, \Delta Y_3$

Universe	N	NZ	Z	ZP	P
-3	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0
-2	1.0	1.0	0.5	0.0	0.0
-1	0.5	1.0	1.0	0.0	0.0
0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0
1	0.0	0.0	1.0	1.0	0.5
2	0.0	0.0	0.5	1.0	1.0
3	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0

여기서 N = Negative, NZ = between Negative and Zero, Z = Zero, ZP = between Zero and Positive, P = Positive 이다.

그림 6에서는 추론에 사용될 퍼지 추론 알고리즘을 제시하였다.

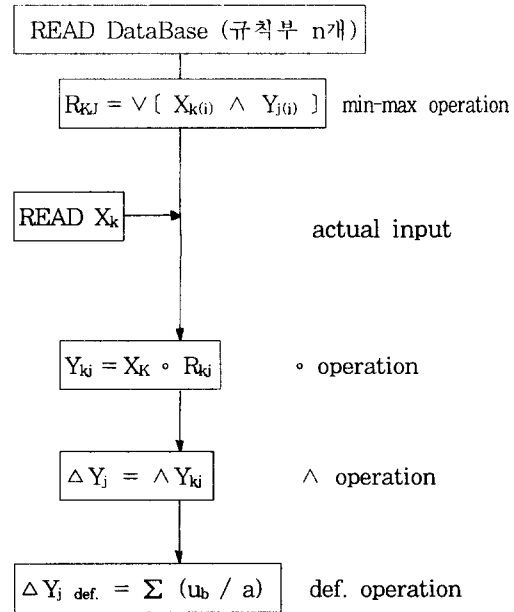


그림6. 퍼지 추론 알고리즘

퍼지 추론 결과는 제어 입력 전체 집합에서 정의된 퍼지 집합으로 출력된다. 그러나 실제 플랜트에 적용되는 값은 명확한 값이어야 한다. 그러므로 출력된 퍼지 제어 값을 명확한 비퍼지 값으로 변화시키기 위한 작업인 비퍼지화 또는 일점화 작업이 필요하다.

이 과정을 식으로 표현하면

$$U_0 = \text{defuzzifier}(U)$$

U : 퍼지 추론의 퍼지결과

U₀ : 제어 입력이 되는 비퍼지값

과 같이 된다. 비퍼지 방법에는 여러 가지가 있으나 대표적인 것으로는 출력된 퍼지 집합에서 소속 함수의 값이 가장 큰 부분에 해당되는 제어값을 취하는 최대값 방법과 출력되는 퍼지 집합에서 소속 함수가 최대값을 가지는 곳의 값들의 평

균을 내는 최대 평균법 그리고 합성된 출력 퍼지 집합의 무게 중심을 구하여 그 해당하는 제어값으로 사용하는 무게 중심법 등이 있다.

본 논문에서는 이 세방법을 적용시켜 본 결과 그 중 최대 평균법에 의한 방법이 가장 효율적인 결과를 얻을 수 있었다.

따라서 본 논문에서는 일점화 하기 위한 방법으로 최대 평균법을 사용하였다. 이는 다음식으로 정의한다.

$$U_0 = \sum_{b=1}^a \frac{\mu_b}{a}$$

μ_b : 소속값이 최대가 되는 제어값
 a : 최대값이 되는 제어값의 개수

V. 실험결과

이장에서는 본 연구에서 제안한 퍼지 추론 알고리즘을 이용한 추론의 결과를 보여준다.

예 1) $X_1 = M, X_2 = S, X_3 = Z, X_4 = Z, X_5 = Z$ 일때

$$\Delta Y_1 = [0.0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0] \cong ZP$$

$$\Delta Y_2 = [0.0 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0 \ 0.5 \ 0.5] \cong Z$$

$$\Delta Y_3 = [0.0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0] \cong ZP$$

비퍼지값

$$\Delta Y_1 = 2.0$$

$$\Delta Y_2 = 0.0$$

$$\Delta Y_3 = 2.0$$

예 2) $X_1 = M, X_2 = S, X_3 = S, X_4 = M, X_5 = SM$ 일때

$$\Delta Y_1 = [0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0] \cong ZP$$

$$\Delta Y_2 = [0.5 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0 \ 0.5 \ 0.5] \cong Z$$

$$\Delta Y_3 = [0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0] \cong ZP$$

비퍼지값

$$\Delta Y_1 = 2.0$$

$$\Delta Y_2 = 0.0$$

$$\Delta Y_3 = 2.0$$

예 3) $X_1 = Z, X_2 = MB, X_3 = B, X_4 = Z, X_5 = MB$ 일때

$$\Delta Y_1 = [1.0 \ 1.0, 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.0] \cong N$$

$$\Delta Y_2 = [0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0] = P$$

$$\Delta Y_3 = [1.0 \ 1.0 \ 1.0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.0] \cong NZ$$

비퍼지값

$$\Delta Y_1 = -2.5$$

$$\Delta Y_2 = 2.5$$

$$\Delta Y_3 = -2.0$$

예 4) $X_1 = SM, X_2 = SM, X_3 = M, X_4 = S, X_5 = SM$ 일때

$$\Delta Y_1 = [1.0 \ 1.0, 1.0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5] \cong NZ$$

$$\Delta Y_2 = [0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0] \cong ZP$$

$$\Delta Y_3 = [0.5 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0 \ 0.5 \ 0.5] = Z$$

비퍼지값

$$\Delta Y_1 = -2.0$$

$$\Delta Y_2 = 2.0$$

$$\Delta Y_3 = 0.0$$

예 5) $X_1 = B, X_2 = ZS, X_3 = Z, X_4 = B, X_5 = ZS$ 일때

$$\Delta Y_1 = [0.0 \ 0.0, 0.0 \ 0.0 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0] = P$$

$$\Delta Y_2 = [1.0 \ 1.0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.0] \cong N$$

$$\Delta Y_3 = [0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 0.0 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0] = ZP$$

비퍼지값

$$\Delta Y_1 = 2.5$$

$$\Delta Y_2 = -2.5$$

$$\Delta Y_3 = 2.0$$

예 6) $X_1 = MB, X_2 = S, X_3 = S, X_4 = M, X_5 = S$ 일때

$$\Delta Y_1 = [0.5 \ 0.5, 0.5 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0] \cong ZP$$

$$\Delta Y_2 = [1.0 \ 1.0 \ 1.0 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5] \cong NZ$$

$\Delta Y_3 = [0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5 \ 1.0 \ 1.0 \ 1.0] \cong ZP$

비퍼지값

$$\Delta Y_1 = 2.0$$

$$\Delta Y_2 = -2.0$$

$$\Delta Y_3 = 2.0$$

VI. 결 론

본 논문에서는 다변수 구조의 퍼지 논리 제어기를 에어컨 시스템에 적용시켜 그 타당성을 검토하였다.

먼저 다변수 퍼지 논리 제어기의 구조를 설명하고 적용된 에어컨의 퍼지 제어 시스템의 구성 및 그 추론 알고리즘을 제시하였다. 그리고 제시된 알고리즘의 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 기대한 결과를 얻을 수 있었으며 본 논문에서 제시한 다변수 구조 퍼지 제어 시스템은 다른 산업적 제어 시스템에서도 적용하면 좋은 결과를 얻을 수 있을

것으로 사료된다.

특히 제시된 다변수 구조 추론 방식은 많은 변수를 수반한 복잡한 시스템에서도 간단하고 쉽게 수행될 수 있다는 장점을 가지고 있다.

“이 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모 과제 연구비에 의하여 연구되었음.”

참 고 문 헌

- 1) W. Cheng, S. Ren, C. Wu, and T. Tsuei, "An expression for fuzzy controller" in Fuzzy information and Decision Processes, M.M. Gupta and E. Sanchez, Eds. Amsterdam: North-Holland, 1982
- 2) W. Cheng, S. Jen, C. Wu, and T. Tsuei, "The intersection of fuzzy subsets and the robustness of fuzzy control" in Proc. 1980 int. Conf. Cybern. Soc., 1980.
- 3) E. Czogala and H. J. Zimmermann, "Some aspects of synthesis of probabilistic fuzzy controllers" Fuzzy Sets and Systems. vol. 13, 1984
- 4) D. Dubois and H. prade, Fuzzy Sets and System : Theory and Applications. New York : Academic, 1980.
- 5) E.E. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant" in Proc. IEEE Control Sci., vol. 1221. no. 12, 1974.