

# 다중 증발기를 갖는 에어컨시스템에 대한 최적화된 Multi-Fuzzy 제어기 설계

## Design of Optimized Multi-Fuzzy Controllers for Air-Conditioning System with Multi-Evaporators

정승현 · 최정내 · 오성권

Seung-Hyun Jung, Jeoung-Nae Choi, Sung-Kwun Oh

수원대학교 전기공학과

### 요 약

본 논문은 에어컨시스템의 효율과 안정도에 영향을 주는 과열도와 저압을 제어하기 위한 다중 퍼지제어기 설계를 소개한다. 시스템 에어컨은 압축기, 응축기 및 여러 대의 증발기와 확장 밸브로 구성되며, 냉매의 상태가 달라지면 시스템 전반적으로 그 영향이 파급되어 제어가 쉽지 않다. 이에 3대의 확장밸브와 1대의 압축기에서 동시에 과열도와 저압을 효과적으로 제어하는 다중 퍼지제어기를 설계한다. 제안된 퍼지 제어기는 연속형 간략추론 방식과 이산형 lookup\_table 방식을 사용하고, 실수코딩 유전자 알고리즘(GAs)을 이용하여 최적의 퍼지제어기의 환산계수를 구한다. 그리고 기존 방식의 결과와 연속형 간략추론 방식 및 이산형 lookup\_table 방식의 시뮬레이션 결과를 성능관점에서 상호 비교한다.

### Abstract

In this paper, we introduce an approach to design multi-fuzzy controllers for the superheat and the low pressure that have an influence on energy efficiency and stabilization of air conditioning system. Air conditioning system is composed of compressor, condenser, several evaporators and several expansion valves. It is quite difficult to control the air conditioning system because the change of the refrigerant condition give an impact on the overall air conditioning system. In order to solve the drawback, we design multi-fuzzy controllers which control simultaneously both three expansion valve and one compressor for the superheat and the low pressure of air conditioning system. The proposed multi fuzzy controllers are given as two kinds of controller types such as a continuous simplified fuzzy inference type and a discrete fuzzy lookup\_table type. Here the scaling factors of each fuzzy controller are efficiently adjusted by real coding type Genetic Algorithms. The values of performance index of the conventional type are compared with the simulation results of discrete lookup\_table type and continuous simplified inference type.

**Key Words** : HVAC(heating, ventilating, and air conditioning), air conditioning system, real coding type Genetic Algorithms(GAs), fuzzy inference type, multi-fuzzy controllers

## 1. 서 론

퍼지 이론이 1965년 Zadeh에 의해 제창된 이래 여러 분야에서 응용이 시도되었다. 그 중 눈에 띄는 결과를 내놓는 분야가 제어분야이다. 퍼지 제어기[1,3]는 인간의 지식과 경험을 이용한 지적 제어 방식으로 IF-THEN 형식의 규칙으로부터 제어 입력을 결정하는 병렬형 제어이다. 이는 과도상태에서 큰 오버슈트없이 설정치에 도달하게 하는 속응성과 강인성이 좋은 제어기법으로 비선형성이 강하고 불확실하며 복잡한 시스템을 쉽게 제어 할 수 있는 장점을 가진다.

에어컨은 냉·난방 및 공기 조화를 통해 사용자가 원하는 온도 및 상태를 만들어 주는 시스템이다. 최근 생활수준의 향상으로 인해 주거 환경에 대한 쾌적성의 요구가 높아짐에

따라 에어컨의 사용이 필수화되어지고 있으며 더 나아가 1가구 1대에서 1실 1대로 되어가고 있는 실정이다. 하지만 한 가구에 여러 대의 에어컨을 설치하는 경우 초기 비용이 많이 들 뿐만 아니라, 특히 도시지역의 경우 많은 실외기를 설치할 공간상의 문제와 운전 시 소비전력 증대 등의 문제들이 발생할 수 있다. 이러한 배경에 의해서 에너지 효율, 설치공간의 절약, 미관성, 공사비의 절감 등등 냉방능력에 대해 실외기 1대에 여러 대의 실내기를 사용한 시스템 에어컨[2-3]이 많은 연구 및 개발이 이루어지고 있다. 이에 따라 시스템 에어컨이 급속하게 발전하고 있고 또한 근래에 인버터 기술의 발전에 따라서 시스템 에어컨에 사용되는 압축기의 구동에 인버터를 적용한 제품이 선진국을 중심으로 널리 사용되고 있다. 부하변동에 따라 압축기의 용량을 가변 제어하는 인버터의 도입은 ON/OFF 제어만으로 작동되던 기존의 압축기를 넓은 영역에서 가 변속 운전을 할 수 있도록 함으로써, 에너지 효율 및 제어 성능의 향상을 가져다준다. 그러나 가변요소가 다양하고 이들 사이에 많은 의존성이 존재하는 시스템 에어컨에 인버터형의 압축기를 사용하므로 사용자의 요구에 만족시키는 제어 로직의 결정이 더욱 어려워졌다. 또

접수일자 : 2006년 11월 18일

완료일자 : 2006년 12월 22일

감사의 글 : 본 연구는 교육인적자원부 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2006-311-D00194)

한 시스템의 복잡성 및 비선형성으로 인한 시스템의 수학적 분석이 매우 복잡할 뿐 아니라 제어기의 설계에도 많은 어려움이 있어 에어컨의 성능향상을 위한 연구는 제어기 설계보다는 냉매에 대한 연구나 기계적인 장치의 개선에 치중되었으며, 제어기로써는 시행착오나 경험을 바탕으로 설계된 PID 제어기나 간단한 Fuzzy 제어기가 사용되고 있다. 그러나 시스템이 더욱 복잡해짐에 따라 최적의 환경과 더불어 에너지 절감, 수명 연장 등의 부가적인 효과를 위해 효율적인 제어기의 설계에 많은 관심을 기울이고 있다.

본 논문에서는 다중 증발기를 갖는 에어컨의 제어를 위하여 실수코딩 유전자 알고리즘을 이용한 최적화된 Multi - Fuzzy PI 제어기를 설계하였다. 본 논문에서 사용한 다중 증발기를 갖는 에어컨은 한 개의 실외기에 3대의 실내기가 연결된 시스템으로써 제어대상이 4개가 있으며, 각각의 제어대상에 Fuzzy PI 제어기를 사용하였다. 그리고 실수코딩 유전자 알고리즘[4-5]을 사용하여 4개의 제어기를 동시에 최적화하였다. 퍼지 제어기의 추론법으로는 Mandani 추론법을 이용한 이산형 lookup\_table 방식과 연속형 간략추론법 두 가지 방식을 이용하여 구현했으며 기존의 A社 방식의 결과와 두 추론 방식의 시뮬레이션 결과를 비교한다.

## 2. 시스템 에어컨

에어컨은 냉매의 상태를 변화시킴으로써 발생하는 열에너지의 흡수 및 방출현상을 이용하여, 내부의 열에너지를 흡수 내부로 방출 또는 외부의 에너지를 흡수하여 내부에 방출함으로써 실내의 온도를 조절할 수 있는 시스템이다. 에어컨은 크게 압축기(Compressor), 응축기(Condenser), 증발기(Evaporator), 확장 밸브(Expansion Valve)로 구성되며 동관으로 서로 연결되어있다. 냉매가 각 장치를 통과하면서 압축기에서 압력조절, 응축기에서 액화, 확장밸브에서 유량조절, 증발기에서는 기화가 된다. 응축기에서는 냉매의 열을 방출함으로써 액체상태로 변하게 되며, 증발기에서는 에너지를 흡수하여 기체상태로 변하게 된다. 냉매의 순환이 반복하여 실내의 에너지를 흡수하여 실외로 방출함으로써 실내의 온도를 사용자가 원하는 온도로 낮출 수 있다.

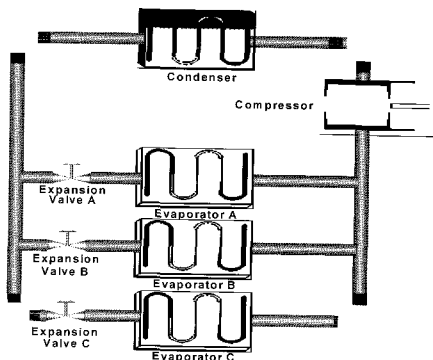


그림 1. 3개의 증발기를 갖는 에어컨의 구성도  
Fig. 1. Schematic diagram of air-conditioning for three evaporator

에어컨의 각각의 장치들은 비선형성이 매우 강한 MIMO(Multy Input Multy Output) 시스템이며 각 장치마다 별도의 제어가 요구된다. 또한 한 장치의 제어에 의한

출력의 변화는 다른 장치의 제어기에 외란으로 작용하게 되어 네 가지의 장치를 제어하는 것은 매우 어려운 문제이다.

최근 생활수준의 향상으로 인해 에어컨의 수요가 많아지면서 그림 1과 같은 하나의 실외기에 여러 대의 실내기, 즉 압축기 한대에 여러 대의 확장밸브와 증발기를 가지는 시스템 에어컨[2-3]이 개발되어지고 있고, 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 다중 증발기를 갖는 에어컨은 한 가정에서 각각의 공간에 에어컨을 설치할 경우, 또는 회사에서 사무실마다 에어컨을 설치할 때, 실내기마다 실외기를 설치할 필요가 없어, 에너지 효율 측면이나, 설치공간의 절약, 미관성, 공사비의 절감 등등 여러 장점을 가지고 있다. 그러나 비선형성이 매우 강한 MIMO 시스템인 에어컨에 더욱 많은 변수가 추가된 시스템 에어컨의 제어는 더욱 어려워졌다.

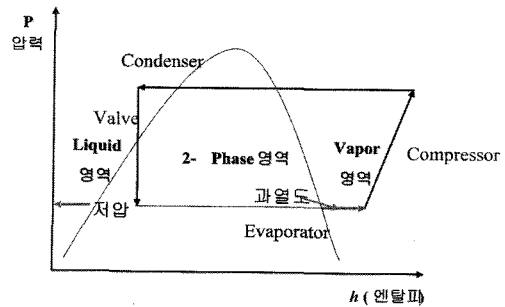


그림 2. 에어컨 공정 사이클 및 모리엘 선도(p-h선도).  
Fig. 2. Process cycle of air-onditioning and p-h chart

그림 2는 에어컨 공정 사이클을 모리엘 선도(p-h 선도) 상에 표시해 놓은 것으로 그림에서 사다리꼴 모양이 에어컨 시스템의 공정 사이클이고, 포물선은 냉매의 포화곡선이다. 포화곡선의 안쪽은 2상(기체와 액체의 혼합) 상태이고 왼쪽은 액체, 오른쪽은 기체 상태이다. 이 에어컨 공정 사이클에서 중요한 점은 증발기를 거친 냉매는 모두가 기체 상태이어야 하고, 응축기를 거친 냉매는 액체상태가 되어야 한다. 그렇지 않으면 효율 저하, 기계의 수명 단축 및 고장의 원인이 된다.

그림 2에서 포화곡선과 증발기의 출구온도 차이가 과열도이고, 증발기의 내부 압력이 저압이다. 과열도, 저압에 대해 자세히 기술하자면 액체 상태의 냉매가 압축기로 들어가면 압축기의 고장을 유발하고 압축 효율을 저하시키므로, 이를 방지하기 위하여 증발기를 통과한 냉매가 압축기로 가는 과정에서 온도를 올려주어 완전한 기체 상태로 만들어 준다. 이때 올려주는 온도를 과열도(SH)라고 한다. 저압(LP)은 압축기에서 냉매의 유량을 조절하는 과정에서 생기는 압력 변화를 의미하는데 시스템 에어컨은 어떤 부분에서 냉매의 상태가 바뀌면 그 영향이 과급되기에 저압 역시 제어해야 한다.

본 논문에서는 제어목표는 실내의 온도가 아니라 시스템 에어컨의 효율과 안정도에 많은 영향을 주는 과열도와 저압을 제어목표로 하여 Fuzzy PI 제어기를 설계하였다. 과열도는 확장밸브에서 개도 변화를 통해 제어를 하고, 저압은 압축기의 용량을 가변 제어하는 인버터의 주파수 변화를 통하여 제어한다. 그림 1에서와 같이 1대의 압축기에 3대의 확장밸브와 증발기를 갖는 에어컨의 과열도와 저압을 제어하기 위해 압축기내의 인버터의 주파수 제어를 위한 1대의 Fuzzy PI 제어기와 확장밸브들의 개도를 제어하기 위한 3개의 Fuzzy PI 제어기로 구성된 Multi - Fuzzy PI 제어구조를 사용하였다.

### 3. Multi-Fuzzy 제어기 설계

그림 3은 Multi - Fuzzy PI 제어기의 기본 구성도를 나타낸 것이다. 시스템 에어컨의 압축기와 3 대의 확장밸브에 각각의 제어기를 구성하고 동시에 제어하도록 하였다. 여기서  $e$ 는 설정치와 공정 출력의 오차,  $\Delta e$ 는 오차의 변화분,  $\Delta U$ 는 플랜트 제어 입력의 변화분이다. GE, GE1, GE2, GE3 및 GD, GD1, GD2, GD3는 각각의 제어기에서 표준화된 퍼지 값으로 표현하는 수치를 의미하는 오차변화의 퍼지 환산 계수이고, GC, GC1, GC2, GC3는 퍼지 추론 규칙의 출력을 공정의 차원과 일치시키는 제어 출력의 퍼지 환산계수이다. 환산 계수들은 최적의 제어기 설계에서 가장 중요한 관건으로 본 논문에서는 다음 장에서 설명하는 실수코딩 유전자 알고리즘을 이용하여 동조하였다.

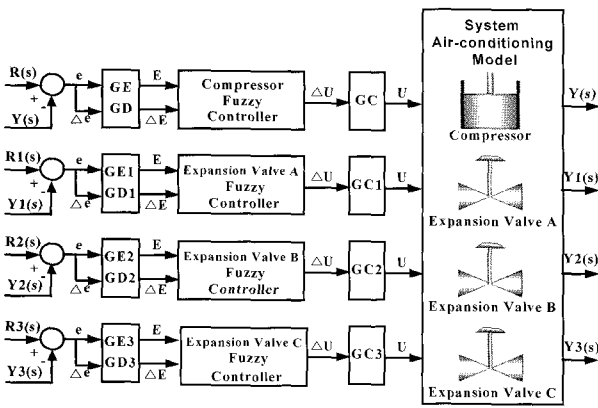


그림 3. Multi-Fuzzy 제어기  
Fig. 3. Structure of Multi-fuzzy Controller for air-conditioning system

퍼지 제어의 알고리즘은 일반적으로 식 (1)의 형태를 취하는 N개의 독립적인 제어 규칙들로 구성되고, 멤버십 함수는 각각 NB:Negative Big, NM:Negative Medium, NS:Negative Small, ZO:Zero, PS:Positive Small, PM:Positive Medium, PB:Positive Big 의 7개로 구성되며, 균등분배 또는 차등분배를 하게 된다. 또 한 삼각형, 가우시안 등의 멤버십 함수의 모양을 결정해야 하는데 보통 표준화된 삼각형이 주로 쓰인다. 전체적인 제어 규칙은 설계자가 경험에 의해 작성한 표 1과 같은 제어 규칙 표를 통해 결정된다.

$$R^i: \text{IF } E \text{ is } A_i \text{ and } \Delta E \text{ is } B_i, \text{ THEN } \Delta U \text{ is } C_i \quad (1)$$

$R^i$  : i번째 제어규칙( $i=1,2,\dots,N$ ),  $E$  : 오차값,  
 $\Delta E$  : 오차의 변화분,  $\Delta U$  : 제어출력의 변화값,  
 $A_i, B_i$  : 퍼지 변수,  $C_i$  : 퍼지 변수 또는 실수

다음 단계로는 퍼지추론 방식을 결정해야 한다. 추론방법에는 직접추론, 간략추론, 선형추론, 변형된 선형추론 등 여러 가지 방법이 있고, 입력의 특성에 따라 이산형(Discrete Type)과 연속형(Continuous Type)이 있다. 본 논문에서는 비선형성이 매우 강한 시스템 에어컨의 과열도와 저압을 제어하기 위해 Fuzzy 추론방법 중 Mandani 추론을 이용한 이산형 lookup\_table 방식과 연속형 간략추론 방식, 이 두 가지 방식으로 각각의 Fuzzy 제어기를 설계하고 시뮬레이션 결과를 비교하였다.

표 1. 제어 규칙 표.

Table 1. Rule table for fuzzy controller

		$\Delta E$						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS
	NM	NB	NB	NM	NM	NS	NS	ZO
	NS	NM	NM	NS	NS	ZO	ZO	PS
	ZO	NM	NS	ZO	ZO	ZO	PS	PM
	PS	NS	ZO	ZO	PS	PS	PM	PM
	PM	ZO	PS	PS	PM	PM	PB	PB
	PB	PS	PM	PM	PB	PB	PB	PB

#### 3.1 Mandani 추론을 이용한 이산형 lookup\_table 방식

먼저 Mandani 추론을 이용한 이산형 lookup\_table 방식으로 본 논문에서 3대의 과열도 제어기 모두 오차( $e$ )와 오차의 변화분( $\Delta e$ )은  $[-6, 6]$ , 개도 변화율( $\Delta U$ )은  $[-15, 15]$ 를 7개의 멤버십으로 구성하였고 퍼지 제어 규칙은 표 1을 사용하였다. 저압 제어기의 오차( $e$ )와 오차의 변화분( $\Delta e$ )은  $[-90, 90]$ , 인버터의 주파수 변화율( $\Delta U$ )은  $[-24, 24]$ 를 7개의 멤버십으로 구성하였고 퍼지 제어 규칙은 표 1을 사용하였다. 그림 4는 lookup\_table 방식의 오차( $e$ )와 오차의 변화분( $\Delta e$ ), 개도 변화율( $\Delta U$ )의 멤버십 함수를 나타낸 것이다.

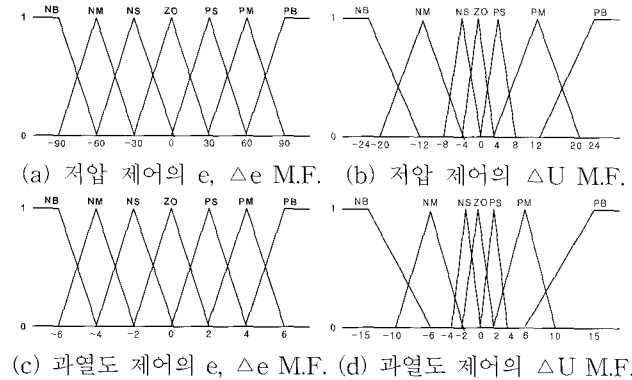


그림 4. lookup\_table 방식에 대한 멤버십 함수  
Fig. 4. Membership functions for discrete lookup\_table type

Mandani 추론의 가장 큰 특징은 후반부 변수가 퍼지수라는 점이다. Mandani 추론의 전반부 적합도는 아래 식 (2)와 같이 연산되고, 후반부 퍼지 집합에 반영한 개개의 규칙 추론 결과는 식 (3)과 같다. 최종적인 추론결과는 식 (4)와 같이 각 규칙에서 구해진 적합도 값 중에서 가장 큰 값을 취하고, 마지막으로 식 (5)와 같은 무게중심법을 통해 비퍼지화를 한다.

$$w_i = u_{A_i}(E) \wedge u_{B_i}(\Delta E) \quad (2)$$

$$y_i = w_i \wedge u_{C_i} \quad (3)$$

$$\mu_C(\Delta U) = y_1 \vee y_2 \vee \dots \vee y_N, \quad N \text{은 규칙수} \quad (4)$$

$$\Delta U_o = \int \mu_C(\Delta U) \cdot \Delta U d\Delta U / \int \mu_C(\Delta U) d\Delta U \quad (5)$$

이산형 lookup\_table 방식은 특정입력에 대하여 출력 값을 미리 계산하여 테이블로 작성한다. E와  $\Delta E$ 를 분해능에 따른 입력을 주고 위의 식을 통해 출력을 구한 후 입력에 따른 출력을 테이블로 만든 것이 Lookup\_table이다. 이러한 이산형 제어기는 입력이 실수이므로 Lookup\_table 안의 support element 값에 해당하도록 양자화(Quantization)를 한다.

3.2 연속형 간략추론 방식

연속형 간략추론 방식의 과열도는 3대의 과열도 제어기 모두 오차(e)와 오차의 변화분(Δe)은 [-1, 1], 개도 변화율(ΔU)은 [-1, 1] 를 7개의 멤버쉽으로 구성하였고 퍼지 제어 규칙은 표 1을 사용하였다. 그리고 저압은 오차(e)와 오차의 변화분(Δe)은 [-1, 1], 인버터의 주파수 변화율(ΔU)은 [-1, 1] 를 7개의 멤버쉽으로 구성하였고 퍼지 제어 규칙은 표 1을 사용하였다. 그림 5는 간략추론 방식의 오차(e)와 오차의 변화분(Δe), 개도 변화율(ΔU)의 멤버쉽 함수를 나타낸 것이다.

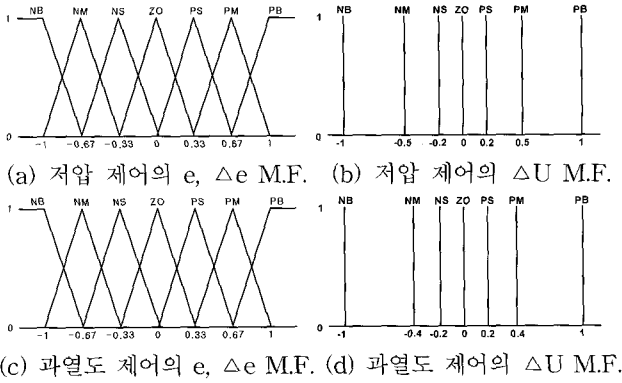


그림 5. 간략추론 방식에 대한 멤버쉽 함수  
Fig. 5. Membership functions for continuous simplified inference type

간략추론법은 위에서 설명한 Mandani 추론과 달리 후반부 변수로 실상수를 사용한다. 그리고 전반부에서는 식 (6)과 같이 Mandani 추론과 동일하게 입력의 적합도에 대해 min 연산을 취하는데, 후반부에서는 식 (7)에서 볼 수 있듯이 구한 적합도와 후반부 적합도를 product 연산을 한다는 것이 간략추론 연산의 다른 점이다. 간략추론법은 식 (7)을 통해 최종 추론결과를 구한다.

$$w_i = u_{A1}(E_i) \wedge u_{B1}(\Delta E_i) \quad (6)$$

$$\Delta U = \left( \sum_{i=1}^n w_i \times u_{C_i} \right) / \sum_{i=1}^n w_i, \quad \forall c \in C \quad (7)$$

실시간으로 오차와 오차의 변화율에 대하여 추론하는 연속형은 입력부분을 분해능에 의해 정하지 않고 입력에 대한 멤버쉽 함수값을 그대로 사용한다. 양자화 부분을 고려 안해도 된다는 의미이다.

4. 실수코딩 유전자 알고리즘에 기반한 Multi-Fuzzy PI 제어기의 최적화

유전자 알고리즘은 자연 세계의 진화과정을 모방한 병렬 탐색 알고리즘으로, 전역 해를 구할 수 있는 최적화 알고리즘으로 많이 알려졌으며 최근 많은 연구 분야에 적용되고 있다. 유전자 알고리즘은 코딩방법에 따라 크게 이진코딩, 심볼릭 코딩, 실수코딩 방식 세 가지가 있으며, 이진코딩 유전자 알고리즘이 보편적으로 많이 사용되고 있다.

이진 코딩 유전자 알고리즘은 여러 분야에서 널리 이용되고 있지만 탐색 영역이 크거나, 고 정밀도의 해를 요구하는 경우, 복잡한 제약 조건을 가지는 최적화 문제에는 적용하기가 매우 어렵다. 이는 정밀도를 높이거나 해에 대한 사전지식이 결여될 경우 큰 탐색구간이 선택되고, 탐색영역이 확대되어지면 탐색

체의 길이가 길어진다. 긴 염색체는 큰 탐색 공간을 만들어 유전자 알고리즘이 해를 찾는데 많은 시간을 요구하거나, 경우에 따라서는 실패하는 원인을 제공한다. 이진 코딩의 이러한 문제점들은 실수 코딩[4-5]을 사용하여 해결할 수 있다. 실수 코딩은 변수와 유전자간에 일대일 대응으로 프로그래밍이 간단해지고 이진 코딩에서 요구되는 부호화, 복호화 연산이 필요 없어 탐색속도를 높일 수 있고, 해에 관한 사전지식이 없는 경우에도 매우 큰 정의영역을 정하는 것도 가능하다.

이진코딩유전자 알고리즘은 하나의 변수에 대하여 이진수를 갖는 스트링으로 염색체가 표현되지만 실수코딩방식은 하나의 변수 당 실수 값을 갖는 하나의 메모리공간이 사용되기 때문에 선택이나 엘리트전략은 같은 알고리즘을 사용할 수 있지만, 교배와 돌연변이 연산자는 실수코딩방식에 맞는 알고리즘이 사용되어야 한다. 본 논문에서 선택연산자는 룰렛 휠 알고리즘을 사용하였으며 교배와 돌연변이 연산자에 대하여서 설명한다.

4.1 수정된 단순교배 연산

이진 코딩에서는 특정 변수에 대응되는 스트링을 직접 절단하는 것이 가능하였으나, 실수 코딩에서는 이것이 불가능하다. 따라서 실수 코딩 유전자 알고리즘의 교배는 교배점에서의 요소는 일차결합 형태로 연산하고, 이후의 요소들은 기존의 방법과 같이 서로 교환한다. 본 연구에서는 하나의 교배점을 통해 두 부모의 염색체의 교배점 이후의 부분들을 서로 교차하여 갖는 수정된 단순 교배방식[5]을 사용하였다.

4.2 동적 돌연변이 연산자

기존 이진코딩에서는 비트를 0에서 1로 또는 1에서 0으로 반전시켜 줌으로써 돌연변이 연산을 수행하였지만, 실수코딩 유전자 알고리즘은 변수와 유전자 간에 일대일 대응을 하기 때문에 돌연변이 확률을 토대로 하여 탐색 공간 범위 내에서 임의의 발생된 실수로 교체한다. 본 연구에서는 초기에는 전 공간을 균등한 확률로 탐색하다가 세대수가 증가하면 지역적으로 탐색하도록 하는 dynamic 방식[5]을 사용하였다. 일명 불균등돌연변이라고도 불리우는 이 연산자는 정밀도를 높이기 위하여 미세 조정이 가능하도록 고안된 것으로, 초기에는 전 공간을 균등한 확률로 탐색하다가 세대수가 증가하면 매우 지역적으로 탐색하도록 해주는 특징을 가지고 있다.

4.3 염색체 구조 및 목적함수

실수코딩 유전자 알고리즘을 사용하여 탐색하고자 하는 값은 4개의 퍼지 제어기에 대한 환산계수(Scaling factor)이다. 염색체는 그림 6처럼 4개의 Fuzzy PI 제어기의 환산계수에 대한 정보를 갖도록 구성되어졌다.

실수코딩 유전자 알고리즘에서 목적함수를 평가하기 위해 각 제어기에 대한 성능지수로서 IAE (Integral of the Absolute magnitude of the Error)를 사용하였으며 식 9과 같이 각 제어기에 대한 IAE의 합을 목적함수 값(f)으로 사용하였다. COPM는 압축기의 제어기를 의미하고 LEV1, LEV2, LEV3은 각각의 확장밸브 제어기를 의미한다.

Compressor		Expansion Valve A			Expansion Valve B			Expansion Valve C			
Scaling factor		Scaling factor			Scaling factor			Scaling factor			
GE	GD	GC	GE1	GD1	GC1	GE2	GD2	GC2	GE3	GD3	GC3

그림 6. 염색체 구조  
Fig. 6. Structure of chromosome

$$IAE = \int E(t) dt \quad (8)$$

$$f = IAE_{COMP} + IAE_{LEV1} + IAE_{LEV2} + IAE_{LEV3} \quad (9)$$

### 5. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 논문에서는 A社에서 에어컨의 분석 및 제어기 설계를 위해 그림 7와 같은 Matlab의 Simulink를 기반으로 구현한 선형화된 에어컨 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 선형화된 에어컨 모델을 기반으로 하여 Mandani 추론을 이용한 이산형 lookup\_table 방식과 연속형 간략추론 방식을 사용한 Multi-Fuzzy PI 제어기를 설계하고, 실수 코딩 유전자 알고리즘(GAs)을 이용하여 Fuzzy 제어기의 최적화를 수행하였다. 구현된 두 방식의 Multi-Fuzzy PI 제어기와 기존 A社에서 개발된 제어기의 성능을 비교하였다.

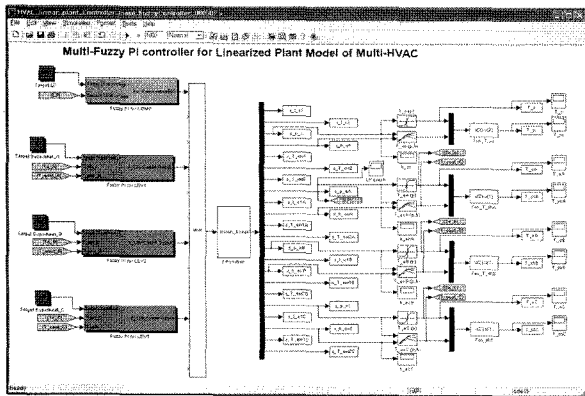


그림 7. 선형화된 에어컨 모델

Fig. 7. Linear model of air-conditioning system

실수코딩 유전자 알고리즘의 파라미터 및 수행 전략은 표 2와 같다.

표 2. 유전자 알고리즘의 파라미터 및 수행 전략.  
Table 2. Parameters and operators of GAs

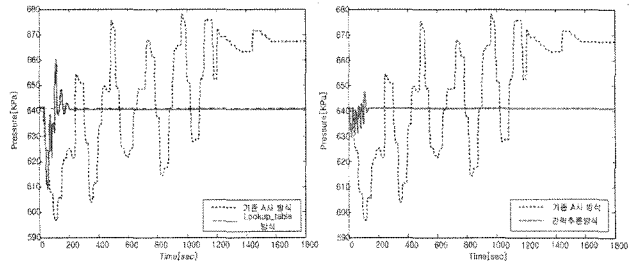
Parameter	세대수	200
	집단크기	50
	교배율	0.65
	돌연변이율	0.1
Operator	선택 연산자	룰렛 휠 선택알고리즘
	교배 연산자	수정된 단순교배 알고리즘
	돌연변이 연산자	동적 돌연변이 알고리즘
	엘리트 전략	사용

시뮬레이션 초기값으로는 Expansion Valve 개도를 500, Compressor의 Hz를 70으로 주었고, 시뮬레이션 시간은 1800sec으로 하였다. 제어주기는 저압 제어는 20sec, 과열도 제어는 3대의 제어기 모두 5sec를 주었다. 그리고 목표치를 각 Evaporator의 과열도 A=5°C, 과열도 B=10°C, 과열도 C=15°C로 설정하고, 저압은 641kPa로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

표 3은 1800sec 동안 시뮬레이션 한 각 방식에 따른 각 제어기의 IAE값을 나타낸다. A社 제어 방식보다 구현된 두 방식의 값이 더 작음을 알 수 있고, lookup\_table 방식보다 간략추론 방식의 값이 더 작음을 알 수 있다. 값이 작음은 결과가 더 좋음을 의미한다.

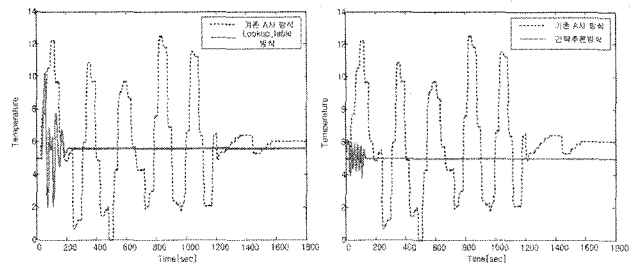
표 3. 각 방식에 따른 제어기의 IAE 값(1800sec)  
Table 3. IAE of Controller for discrete lookup\_table type and continuous simplified inference type

	A社 방식	lookup_table 방식	간략추론 방식
저압 제어	37253	2712.9	570.45
A 과열도 제어	4166.2	1236.2	119.57
B 과열도 제어	4150.3	1226.2	2129.1
C 과열도 제어	4488.5	1927.6	761.76
합	50058	7102.9	3580.9

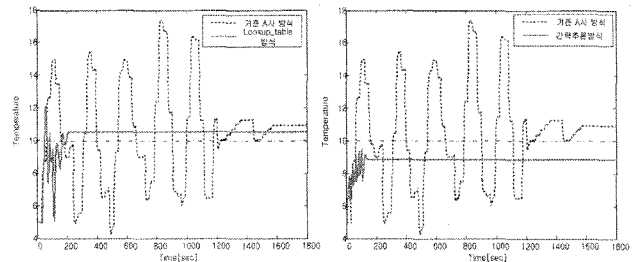


(a) lookup\_table 방식 (b) 간략추론 방식

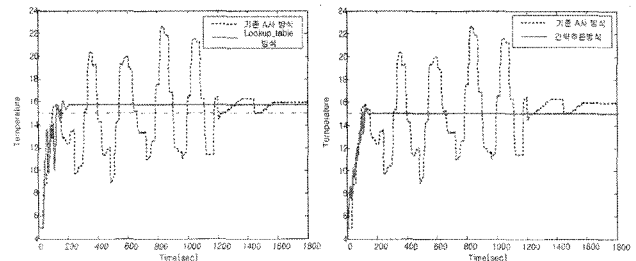
그림 8. lookup\_table 방식과 간략추론 방식의 저압  
Fig. 8. The low pressure of discrete lookup\_table type and continuous simplified inference type



(a) lookup\_table 방식 A 과열도 (b) 간략추론 방식 A 과열도



(c) lookup\_table 방식 B 과열도 (d) 간략추론 방식 B 과열도



(e) lookup\_table 방식 C 과열도 (f) 간략추론 방식 C 과열도

그림 9. lookup\_table 방식과 간략추론 방식의 과열도  
Fig. 9. The superheat of discrete lookup\_table type and continuous simplified inference type

그림 8과 그림 9는 A社 제어 방식과 lookup\_table 방식 및 간략추론 방식의 시뮬레이션 결과를 비교한 그림이다. A社 제어 방식보다 본 연구에서 구현한 방식들의 결과가 더 좋음을 알 수 있다. 구현한 두 방식의 결과를 비교해 보았을 때, lookup\_table 방식은 250sec 이후에 수렴하는 반면 간략추론 방식은 150sec 때 수렴함을 볼 수 있다. 진동 폭은 저압에서 lookup\_table 방식은 약 50KPa이고 간략추론 방식은 약 17KPa이며, 과열도에서는 lookup\_table 방식은 약 6~8°C이고 간략추론 방식은 약 2°C임을 볼 수 있다. 그리고 오버슈트 역시 lookup\_table 방식보다 간략추론 방식이 더 작음을 알 수 있다. 또한 lookup\_table 방식은 제어기 마다 정상상태 오차가 존재하지만, 간략추론 방식은 B 과열도를 제외한 다른 제어기들은 정상상태 오차가 거의 없음을 알 수 있다. 간략추론 방식의 B 과열도에서 생기는 정상상태오차와, lookup\_table 방식에서 생기는 오차는 유전자 알고리즘의 세대수를 증가시키면 개선되어질 것이라 생각한다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 시스템 에어컨의 안정성과 효율성에 영향을 주는 저압과 과열도를, Fuzzy 추론방법 중 Mamdani 추론을 이용한 이산형 lookup\_table 방식과 연속형 간략추론 방식, 이 두 가지 방식으로 각각의 Multi-Fuzzy 제어기를 설계하고 실수코딩 유전자 알고리즘(GAs)을 이용해 환산계수의 최적화를 수행하였다. 그리고 구현된 두 방식의 Multi-Fuzzy PI 제어기와 기존 A社에서 개발된 제어기의 성능을 비교하였다. 위의 결과에서 볼 수 있듯이 기존 A社의 제어기의 성능보다 연구된 방식의 결과가 더 좋았고, 목적함수 값, 수렴 속도, 오버슈트, 진동 폭, 정상상태 오차 등 연속형 간략추론 방식이 Mamdani 추론을 이용한 이산형 lookup\_table 방식보다 더 좋음을 알 수 있었다.

마지막으로 유전자 알고리즘의 세대수를 더욱 증가하거나 합성 목적함수 부분에 하중계수를 이용한다면 수렴 시간이나 정상상태 오차부분에서 더욱 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이라 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [1] S.-K. Oh, "Fuzzy Model & Control System by C-Programming", Naeha Publishing Co., 2002.
- [2] Rajat Shah, "Dynamic Modeling and Control of Single and Multi-Evaporator Subcritical Vapor Compression Systems" ACRC TR-216, Aug. 2003.
- [3] Piao, Y., Zhang, H., and Zeungnam, B., "A Simple Fuzzy Adaptive Control Method and Application in HVAC", proc. of the IEEE Int'l Conf. on Fuzzy Systems, Vol. 1., pp. 528-532. 1998.
- [4] De Jong, K. A. "Are Genetic Algorithms Function Optimizers?", Parallel Problem Solving from Nature 2, Manner, R. and Manderick, B. eds., North-Holland, Amsterdam, 1992.
- [5] K.-K. Jin, "Genetic Algorithms and Their Applications", KyoWoo Press, 2002

## 저 자 소 개



**정승현 (Seung-Hyun Jung)**

2006년 : 수원대 전기전자공학부 졸업.  
2006년~현재 : 동 대학원 전기공학과 석사과정.

관심분야 : 퍼지추론시스템, 신경회로망, 유전자 알고리즘 및 최적화이론, 지능시스템 및 제어 등

Phone : (031) 222-6544

E-mail : jinhealim@suwon.ac.kr



**최정내 (Jeoung-Nae Choi)**

1997년 : 원광대 제어계측과 졸업.  
1999년 : 동 대학원 제어계측과 졸업(공학 석사).  
2004년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(공학 박사).  
2006년~현재 : 수원대학교 전기공학과 Post-Doc.

관심분야 : 지능 제어, 최적화 기법, 퍼지이론, 신경망 이론 등.

Phone : (031) 222-6544

E-mail : cjn9828@hanmail.net



**오성권 (Sung-Kwon Oh)**

1981년 : 연세대학교 전기공학과 졸업.  
1983년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(공학 석사).  
1983~1989년 : 금성산전연구소(선임연구원).  
1993년 : 연세대 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사).

1996~1997년 : 캐나다 Manitoba대학 전기 및 컴퓨터공학과 Post-Doc.

1993~2005년 : 원광대 전기전자 및 정보공학부 교수

2005년~현재 : 수원대 전기공학과 교수.

2002년~현재 : 대한전기학회, 퍼지및지능시스템학회 및 제어자동화시스템 공학회 편집위원.

관심분야 : 시스템 자동화, 퍼지이론, 신경회로망 응용 및 제어, 컴퓨터 지능 등.

Phone : (031) 229-8162

E-mail : ohsk@suwon.ac.kr