

에어컨시스템에 대한 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘을 이용한 최적화된 다중 퍼지제어기 설계

Design of Optimized Multi-Fuzzy Controllers by Hierarchical Fair Competition-based Genetic Algorithms for Air-Conditioning System

정 승 현, 최 정 내, 오 성 권*, 김 현 기

(Seung-Hyun Jung, Jeoung-Nae Choi, Sung-Kwun Oh, and Hyun-Ki Kim)

Abstract : In this paper, we propose 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 with multi-evaporators. Air conditioning system with multi-evaporators 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 a kinds of controller types such as a simplified fuzzy inference type. Here the scaling factors of each fuzzy controller are efficiently adjusted by Hierarchical Fair Competition-based Genetic Algorithms. The values of performance index of the simulation results of the A company type compare with simulation results of simplified inference type.

Keywords : HVAC(Heating, Ventilating, and Air Conditioning), air conditioning system, HFCGAs(Hierarchical Fair Competition-based Genetic Algorithms), fuzzy inference type, multi-fuzzy controllers

I. 서론

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, 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 다중 증발기를 갖는 에어컨시스템[1-4]이 많은 연구 및 개발이 이루어지고 있다. 이에 따라 다중 증발기를 갖는 에어컨시스템이 급속하게 발전하고 있고 또한 근래에 인버터 기술의 발전에 따라서 에어컨시스템에 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 함으로

써, 에너지 효율 및 제어 성능의 향상을 가져다준다.

그러나 가변요소가 다양하고 이들 사이에 많은 의존성이 존재하는 에어컨시스템에 인버터형의 압축기를 사용하므로 사용자의 요구에 만족시키는 제어 로직의 결정이 더욱 어려워졌다. 또한 시스템의 복잡성, 비선형성 및 시스템 상호연동성 등으로 인한 시스템의 수학적 분석이 매우 복잡할 뿐 아니라 제어기의 설계에도 많은 어려움이 있어 기존의 에어컨의 성능향상을 위한 연구는 제어기 설계보다는 냉매에 대한연구나 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 추가적인 효과를 위해 효율적인 제어기의 설계에 많은 관심을 기울이고 있다.

퍼지 이론이 1965년 Zadeh에 의해 제창된 이래 여러 분야에서 응용이 시도되었다. 그 중 눈에 띄는 결과를 내놓는 분야가 제어분야이다[5,6]. 퍼지 제어기[7]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. 퍼지제어기는 PID제어기와 비슷한 형태의 제어 파라미터들을 가지고 있다. 그러나 이 퍼지 제어기의 파라미터들은 수식에 의해 결정될 수 없어서, 시행착오를 거쳐 구하거나 유전자 알고리즘 같은 최적화 알고리즘을 이용하여 구한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 1. 25., 채택확정 : 2007. 2. 17.

정승현, 최정내, 오성권, 김현기 : 수원대학교 전기공학과
(jinhealim@suwon.ac.kr/cjn9828@hanmail.net/ohsk@suwon.ac.kr/hkkim@suwon.ac.kr)

※ 본 논문은 2006년 교육인적자원부의 지원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2006-311-D00194).

일반적으로 유전자 알고리즘[8]은 전역 해를 찾을 수 있는 최적화 알고리즘으로 잘 알려져 있으며, 많은 응용에 성공적으로 사용되고 있다. 그렇지만 탐색공간이 크거나 파라미터 수가 많은 경우 세대가 증가하여도 더 좋은 최적 해를 찾지 못하고 지역 해에 빠지는 조기수렴 문제를 내재하고 있다. 조기 수렴을 억제하고 전역 해를 찾기 위한 해결 방안으로써 병렬 유전자 알고리즘이 개발되었으며, 특히 병렬 유전자 알고리즘의 한 구조인 계층적 공정 경쟁 구조 [9-11]는 큰 탐색공간을 갖는 문제에 효과적이다.

이에 본 연구에서는 다중 증발기를 갖는 에어컨 시스템의 압축기와 확장밸브마다 비선형성이 강하고 불확실하며 복잡한 시스템을 쉽게 제어할 수 있는 퍼지 제어를 구성하고, 앞서 설명한 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘을 이용하여 제어기들의 환산계수를 튜닝한 최적화된 퍼지 제어기를 설계한다. 에어컨시스템은 냉매의 상태가 달라지면 시스템 전반적으로 그 영향이 파급되기에 확장밸브와 압축기에서 동시에 과열도와 저압을 제어하는 multi-controller 형태를 갖는다. 본 논문에서 사용한 다중 증발기를 갖는 에어컨은 한 개의 실외기에 3대의 실내기가 연결된 시스템으로써 제어대상이 4개가 있으며, 각각의 제어대상에 간략추론 방식으로 구현한 fuzzy PI 제어기를 사용하고, 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘을 사용하여 4개의 제어기를 동시에 최적화 한다. 그리고 기존의 A사 방식의 결과와 제안된 방식의 시뮬레이션 결과를 비교한다.

II. 에어컨 시스템

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 압축기는 증발기에서 나온 냉매를 고온 고압의 상태로 만들어 주며, 응축기는 압축기

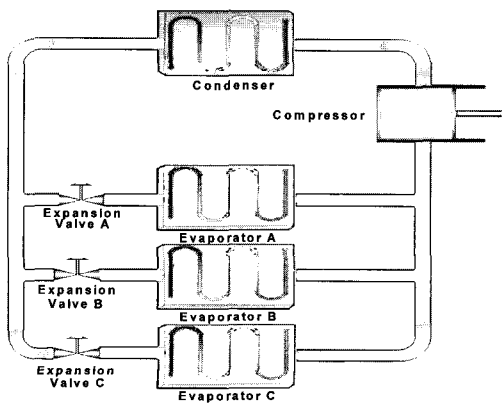


그림 1. 3개의 증발기를 갖는 에어컨의 구성도.
Fig. 1. Schematic diagram of air-conditioning for three evaporator.

에서 나온 고온 고압의 기체 냉매를 저온 고압의 액체 냉매로 만들어준다. 기체는 압력을 높이면 쉽게 액화하는 성질을 이용한 것으로, 응축기에서의 역할은 기체에서 액체로의 상변화를 통해 에너지를 실외로 배출하는 것이다. 확장밸브는 응축기에서 나온 저온 고압의 액체 냉매를 압력을 낮추어 저온 저압의 2상 상태의 냉매를 만들어 준다. 또한 확장밸브는 여러 대의 증발기가 쓰이는 에어컨 시스템에서 증발기 대수만큼 필요하며 압력을 변화시켜주는 역할 뿐만 아니라 각 증발기에 들어가는 유량을 조절하는 역할을 한다. 마지막으로 증발기는 확장밸브에서 나온 저온 저압의 냉매를 고온 저압의 기체 냉매로 만들어준다. 액체는 압력을 낮추면 쉽게 증발하는 성질을 이용한 것으로, 증발기에서의 역할은 액체에서 기체로의 상변화를 통해 실내의 에너지를 흡수하는 것이다. 냉매의 순환이 반복하여 실내의 에너지를 흡수하여 실외로 방출함으로써 실내의 온도를 사용자가 원하는 온도로 낮출 수 있다.

에어컨은 압축기, 응축기, 확장밸브, 증발기의 조합에 따라 새로운 시스템(난방기, 냉방기)을 구성하게 되며 각 장치마다 별도의 제어기가 요구된다. 각각의 장치들은 비선형성이 매우 강한 MIMO(Multi-Input Multi-Output) 시스템이며, 한 장치의 제어에 의한 출력의 변화는 다른 장치의 제어기에 외란으로 작용하게 되어 네 가지의 장치를 제어하는 것은 매우 어려운 문제이다.

또한, 최근 생활수준의 향상으로 인해 에어컨의 수요가 많아지면서 그림 1과 같은 하나의 실외기에 여러 대의 실내기, 즉 압축기 한대에 여러 대의 확장밸브와 증발기를 가지는 시스템 에어컨이 개발되어지고 있고, 많은 연구가 이루어지고 있다. 이 다중 증발기를 갖는 에어컨은 에너지 효율 측면이나, 설치공간의 절약, 미관성, 공사비의 절감 등등 여러 장점을 가지고 있지만, 시스템의 복잡성 및 비선형성으로 인한 시스템의 수학적 분석이 매우 복잡할 뿐 아니라 제어기의 설계에도 많은 어려움이 있어, 기존의 연구는 제어기 설계보다는 냉매에 대한 연구와 기계적인 개발에 치중되어 있었다. 그러나 시스템이 더욱 복잡해짐에 따라 최적의 환경과 더불어 에너지 절감, 수명 연장 등의 효과를 위해 효율적인 제어기의 설계가 꼭 필요하다.

그림 2는 에어컨 공정 사이클을 모리엘 선도(p-h선도)상

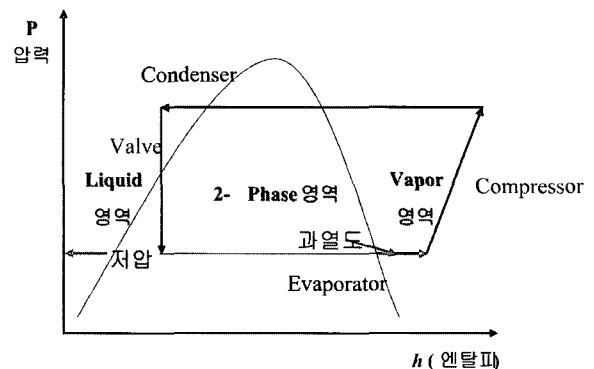


그림 2. 에어컨 공정 사이클 및 모리엘 선도(p-h선도).
Fig. 2. Process cycle of air-conditioning and p-h chart.

에 표시해 놓은 것으로 그림에서 사다리꼴 모양이 에어컨 시스템의 사이클이고, 포물선은 냉매의 포화곡선이다. 모리엘 선도는 에어컨 시스템의 evaporator와 condenser에서 교환되는 열량 및 compressor의 압축량을 표시하며, 온도와 압력의 변화에 따른 엔탈피의 차를 구하는 데 편리하며 에어컨 시스템의 분석에 많이 사용된다. 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 파급되기에 저압 역시 제어해야 한다.

본 논문에서는 제어목표는 실내의 온도가 아니라 다중 증발기를 갖는 에어컨 시스템의 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.

III. Multi-Fuzzy 제어기 설계

제어의 기본이론인 고전 제어나 이를 개선시킨 현대 제어 이론들은 모두 수식에 의존하고 있는 반면, 퍼지 제어기 [7]는 인간의 지식과 경험을 이용한 지적 제어 방식으로 IF-THEN 형식의 규칙으로부터 제어입력을 결정하는 병렬적 제어이다.

그림 3은 multi-fuzzy PI 제어기의 기본 구성도를 나타낸 것이다. 다중 증발기를 갖는 에어컨 시스템의 압축기와 3대의 확장밸브에 각각의 제어기를 구성하고 동시에 제어하도록 하였다. 여기서 e는 설정치와 공정 출력의 오차, Δe는 오차의 변화분, ΔU는 플랜트 제어 입력의 변화분이다. GE, GE1, GE2, GE3 및 GD, GD1, GD2, GD3는 각각의 제어기에서 표준화된 퍼지 값으로 표현하는 수치를 의미하는 오차변화의 퍼지 환산계수이고, 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

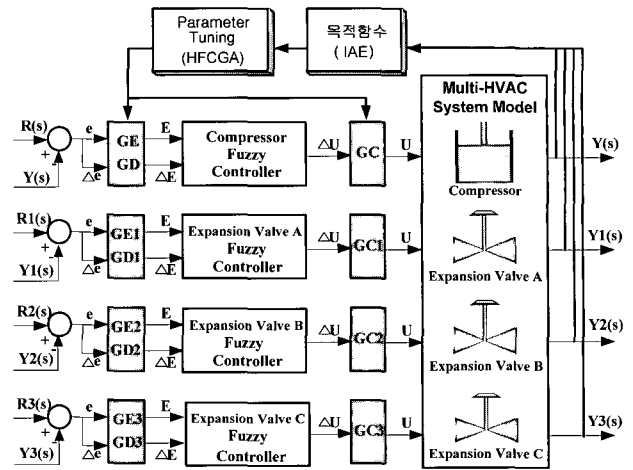


그림 3. 최적화 multi-fuzzy 제어기.

Fig. 3. Structure of optimized multi-fuzzy controller for air-conditioning system.

설명하는 실수코딩 기반 계층적 공정경쟁 유전자 알고리즘을 이용하여 동조하였다.

퍼지 제어의 알고리즘은 일반적으로 (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.

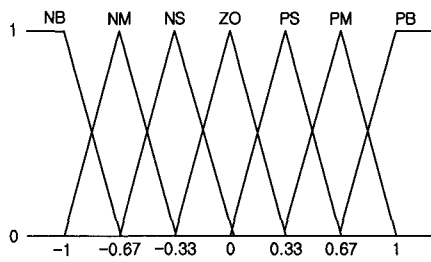
$$R^i: \text{IF } E \text{ is } A_i \text{ and } \Delta E \text{ is } B_i, \text{ THEN } \Delta U \text{ is } C_i \quad (1)$$

- Rⁱ: i번째 제어규칙(i=1,2,..,N),
- E: 오차값,
- ΔE: 오차의 변화분
- ΔU: 제어출력의 변화값
- A_i, B_i: 퍼지 변수,
- C_i: 퍼지 변수 또는 실수

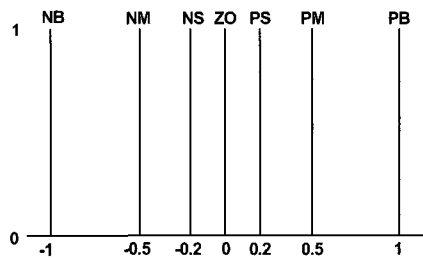
표 1. 제어규칙표.

Table 1. Rule table for fuzzy controller.

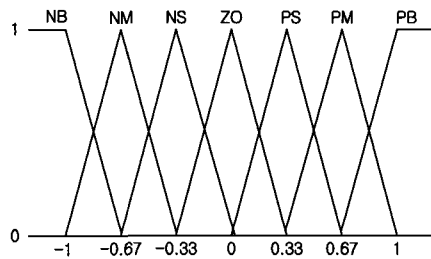
		ΔE						
		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS
	NM	NB	NB	NM	NM	NS	NS	ZO
	NS	NM	NM	NS	NS	ZO	ZO	PS
	ZO	NM	NS	ZO	ZO	ZO	PS	PM
	PS	NS	ZO	ZO	PS	PS	PM	PM
	PM	ZO	PS	PS	PM	PM	PB	PB
	PB	PS	PM	PM	PB	PB	PB	PB



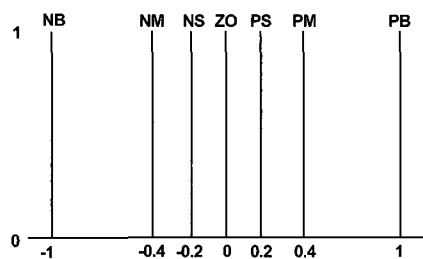
(a) 저압 제어의 e, Δe 멤버십 함수



(b) 저압 제어의 ΔU 멤버십 함수



(c) 과열도 제어의 e, Δe 멤버십 함수



(d) 과열도 제어의 ΔU 멤버십 함수

그림 4. 간략추론 방식의 e, Δe, ΔU 멤버십 함수.

Fig. 4. Membership functions for continuous simplified inference type.

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 에어컨 시스템의 과열도와 저압을 제어하기 위해 그림 3에서 볼 수 있듯이 1대의 저압 제어기와 3대의 과열도 제어기를 구성하였고, 4대의 제어기 모두 연속형 간략추론 방식으로 각각의 fuzzy 제어기를 설계하였다.

그림 4는 간략추론 방식의 저압 제어기와 과열도 제어기

의 오차(e)와 오차의 변화분(Δe), 제어출력의 변화분(ΔU)의 멤버십 함수를 나타낸 것이다. 간략추론 방식은 후반부 변수로 실상수를 사용한다. 각각의 확장멤버에서 제어하는 3대의 과열도 제어기 모두 같은 멤버십 함수를 사용하였고, 그림에서 알 수 있듯이 7개의 멤버십 함수들로 구성하였다. 그리고 퍼지 제어 규칙은 표 1을 사용하였다.

전반부에서는 (2)와 같이 입력의 적합도에 대해 min연산을 취하고, 후반부에서는 (3)에서 볼 수 있듯이 구한 적합도와 후반부 적합도를 product 연산을 통해 최종 추론결과를 구한다.

$$w_i = u_{A1}(E_i) \wedge u_{B1}(\Delta E_i) \quad (2)$$

$$\Delta U = \left(\sum_{i=1}^n w_i \times u_{C_i} \right) / \sum_{i=1}^n w_i, \quad \forall c \in C \quad (3)$$

IV. 실수코딩 기반 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘을 이용한 Multi-Fuzzy PI 제어기의 최적화

1. 실수코딩 유전자 알고리즘(real coding genetic algorithm)

유전자 알고리즘은 자연 세계의 진화과정을 모방한 병렬 탐색 알고리즘이며 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 염색체의 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[8]을 사용하여, 염색체 표현을 좀 더 해 공간으로 접근시켜 연산자 설계를 용이하게 하고, 제약조건을 다루기 위한 도구를 설계하는 것이 쉽도록 함으로써 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. 그리고 계산환경에 따라 다르지만 일반적으로 이진코딩의 경우보다 정밀도가 훨씬 우수하고, 제약조건을 다루기 위한 도구를 설계하는 것도 더 쉽다.

2. 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘(Hierarchical Fair Competition GAs: HFCEGA)

유전자 알고리즘(GAs)는 많은 분야에 효과적으로 사용되었지만 복잡한 최적해 탐색 문제에 대해서는 세대가 증가해도 최적 해를 찾지 못하고 지역 해에 수렴하는 조기수렴 문제가 발생하게 되며, 이것은 진화 알고리즘에서 해결해야

할 문제이다. 조기수렴 문제를 해결하기 위한 방법으로써 여러 개의 집단을 사용하여 집단 간의 개체가 이주하는 구조를 갖는 병렬 유전자 알고리즘(PGA)이 많이 연구되고 있다. PGA에는 이주 과정에 따라 완전네트구조, 링구조, 이웃이주구조 그리고 본 연구에서 사용한 계층적 경쟁 방법(Hierarchical Fair Competition: HFC)을 도입한 HFCGA[9-11]가 있다. 이 방법은 사회적 교육 시스템에서 동등 수준을 가진 그룹으로 나누어 학습에 대한 경쟁을 하며, 우수한 인체는 상위 그룹으로 진급하는 체계를 병렬 유전자 알고리즘에 적용한 것으로써, 유전자 알고리즘의 수행과정에서 각 개체들을 적합도별로 나누어 경쟁을 시킴으로써 공평한 경쟁을 통해 처음 생성된 낮은 수준의 개체가 개선될 기회도 없이 탈락하는 경우를 방지한다. 왜냐하면 돌연변이 연산 등에 의해 처음 임의로 생성된 개체가 상당세대를 통해 진화된 높은 수준의 개체와 유사한 성능을 갖기는 매우 희박하기 때문이다. 낮은 수준의 개체도 다음 세대에서 높은 성능을 갖는 개체로 진화하면, 그 수준에 맞는 집단으로 바로 이동할 수 있다. 이와 같은 원리를 통해서 항상 아래 수준의 집단으로부터 높은 수준의 개체가 올라올 수 있는 통로를 만들어 놓음으로써, 조기 수렴을 최대 방지할 수 있다.

HFCGA는 여러 개의 집단이 계층적으로 구성되어 있으며, 각 집단은 특정 범위의 적합도를 갖는 개체들로 구성되어 있으며, 하위 수준의 집단으로부터 개체의 진입을 위한 문턱적합도를 갖고 있다. 그리고 진화과정은 기존의 유전자 알고리즘과 비슷하지만 이주과정이 있다는 것이 다른 점이다. HFCGA에서 이주과정은 정해진 일정한 세대 간격마다 수행하게 된다. 이주과정의 단계는 다음과 같다.

Step 1: 각각의 집단 개체들의 적합도를 정규화한다.

$$nf_{j,i} = f_{j,i} / f_{max} \tag{4}$$

$f_{j,i}$ 는 j집단(deme)의 i번째 개체 적합도, f_{max} 는 전체 집단의 최대 적합도이다.

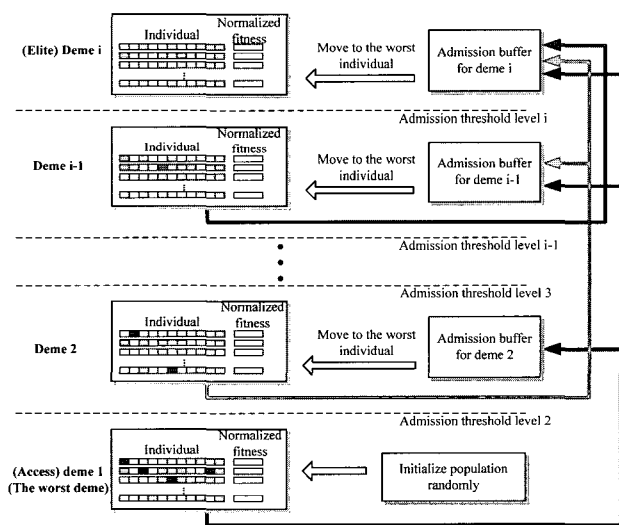


그림 5. HFCGA의 이주 구조.
Fig. 5. The migration topology of HFCGA.

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

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

Step 2: 정규화된 적합도를 정해진 문턱적합도들과 비교하여 적합도 수준에 맞는 임시버퍼(admission brffer)에 개체들을 저장한다.

Step 3: 각각의 임시버퍼에 저장된 개체들과 해당하는 집단의 낮은 수준의 개체들을 바꾸어준다. 그리고 최하위수준의 집단은 모든 개체들을 랜덤하게 다시 생성한다.

각 집단은 독립적으로 진화하게 되며 진화과정 중 우수한 개체는 자기수준에 맞는 상위 집단으로 이주하게 된다. 그림 5는 HFCGA의 이주구조를 보여주며 화살표는 개체들의 이동 가능한 방향을 의미한다. 가장 열등한 집단(access deme)이 개체는 모든 상위집단으로 이동할 수 있으며, 가장 우수한 집단(elite deme)은 단지 다른 집단으로부터 개체를 받을 수만 있다. 본 논문에서 사용된 HFCGA는 앞서 설명한 실수형 GAs를 기반으로 했으며, 각각 집단에서 선형 순위기반 선택, 수정된 단순교배, 균일 돌연변이 알고리즘을 사용하였다.

3. 염색체 구조 및 목적함수

실수코딩 기반 계층적 공정 경쟁 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 기반 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘에서 목적함수를 평가하기 위해 각 제어기에 대한 성능지수로써 IAE(Integral of the Absolute magnitude of the Error)를 사용하였으며 6과 같이 각 제어기에 대한 IAE의 합을 목적함수 값(f)으로 사용하였다. COPM는 압축기의 제어기를 의미하고 LEV1, LEV2, LEV3은 각각의 확장밸브 제어기를 의미한다.

$$IAE = \int |E(t)|dt \tag{5}$$

$$f = IAE_{COMP} + IAE_{LEV1} + IAE_{LEV2} + IAE_{LEV3} \tag{6}$$

V. 시뮬레이션 및 결과 고찰

본 논문에서는 A사에서 에어컨의 분석 및 제어기 설계를 위해 그림 7과 같은 Matlab의 Simulink를 기반으로 구현한 선형화된 에어컨 모델을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 선형화된 에어컨 모델을 기반으로 하여 연속형 간략추론 방식을 사용한 multi-fuzzy PI 제어기를 설계하고, 실수 코딩 기반 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘(HFCGAs)을 이용하여 fuzzy 제어기의 최적화를 수행하였다. 그리고 구현된 연속형 간략추론 방식의 multi-fuzzy PI 제어기와 기존 A사에서 개발된 제어기의 성능을 비교하였다.

실수코딩 기반 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘의 파라미터 및 수행 전략은 표 2와 같다.

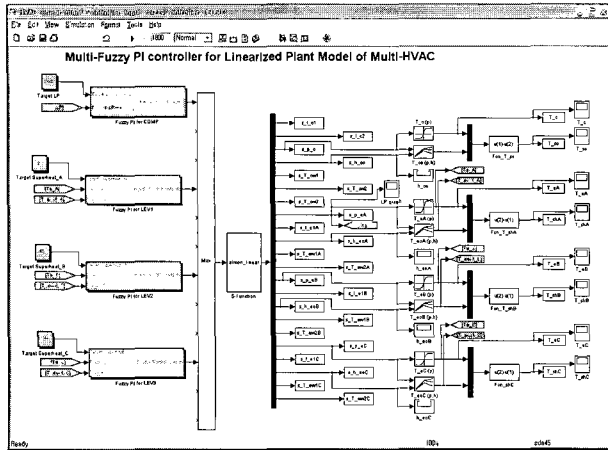


그림 7. 선형화된 에어컨 모델.

Fig. 7. Linear model of air-conditioning system.

표 2. 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘의 파라미터.

Table 2. Parameters and operators of HFCGAs.

Parameter	세대수	100				
	이주	전체 세대수의 10%마다				
	집단크기(150=30×5)	30	30	30	30	30
	문턱적합도	0	0.1	0.3	0.5	0.85
	교배율	0.95	0.75	0.65	0.65	0.65
	돌연변이율	0.2	0.15	0.1	0.1	0.1
Operator	선택 연산자	선형 순위 선택알고리즘				
	교배 연산자	수정된 단순교배 알고리즘				
	돌연변이 연산자	균일 돌연변이 알고리즘				
	엘리트 전략	사용				

표 3. 탐색 초기범위 및 최적화된 환산계수.

Table 3. Initial search range and optimized scaling factor.

탐색 초기범위		
환산계수	GE, GE1, GE2, GE3	0 - 1
	GD, GD1, GD2, GD3	0 - 1
	GC, GC1, GC2, GC3	0.1 - 5
최적화된 환산계수		
저압	GE	0.07957
	GD	0.20743
	GC	1.6631
A(5°C) 과열도	GE1	0.61671
	GD1	0.53551
	GC1	2.6976
B(10°C) 과열도	GE2	0.79559
	GD2	0.49217
	GC2	3.9249
C(15°C) 과열도	GE3	0.64928
	GD3	0.60964
	GC3	4.7782

시뮬레이션 초기값으로는 expansion valve 개도를 500 pulse, compressor 의 주파수를 70Hz으로 주었고, 시뮬레이션 시간은 300sec으로 하였다. 제어주기는 저압 제어는 20sec, 과열도 제어는 3대의 제어기 모두 5sec를 주었다. 그리고 목표치를 각 evaporator 의 과열도 A=5°C, 과열도 B=10°C, 과열도 C=15°C 로 설정하고, 저압은 641KPa로 설정하여 시뮬레이션 하였다.

탐색 초기 범위 및 구한 환산계수는 표 3과 같고 각 방식에 따른 4대의 제어기 탐색 초기 범위는 동일하다. 그리고 다른 환산계수들과 달리 GC의 초기범위를 0.1부터 설정하는 이유는, GC는 퍼지 추론 규칙의 출력을 공정의 차원과 일치시키는 제어 출력의 퍼지 환산계수로서 0.1이하로 환산계수를 설정하게 되면 제어기가 작동하지 않는 미세한 값이 나오기 때문이다.

표 4는 1800sec 동안 시뮬레이션한 각 방식에 따른 각 제어기의 IAE값을 나타내는데 A사 제어 방식보다 구현된 간략추론 방식의 값이 더 작음을 알 수 있다. 값이 작음은 결과가 더 좋음을 의미한다.

그림 8은 A사 제어 방식과 간략추론 방식의 저압과 과열

표 4. 제어기의 IAE 값(1800sec).

Table 4. IAE of controller for continuous simplified inference type.

	A사 제어 방식	간략추론 방식
저압 제어	37253	3823.7
A(5°C) 과열도 제어	4166.2	113.95
B(10°C) 과열도 제어	4150.3	310.65
C(15°C) 과열도 제어	4488.5	403.88
합	50058	4652.18

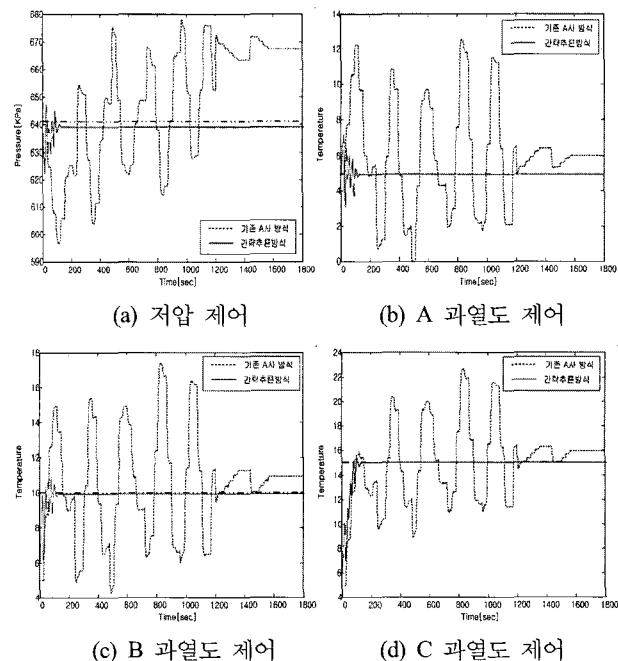


그림 8. 시뮬레이션 결과 비교.

Fig. 8. Simulation results.

도 결과를 비교한 그림이다. A사의 제어 방식에서는 1600 sec 이후에 수렴하는 반면 제안된 간략추론 방식은 120sec에서 수렴함을 볼 수 있다. 진동 폭은 저압에서 A사의 제어 방식은 약 80KPa이고 간략추론 방식은 약 22KPa이며, 과열도에서는 A사의 제어 방식은 약 12°C이고 간략추론 방식은 약 2°C임을 볼 수 있다. 그리고 오버슈트 역시 제안된 간략추론 방식이 더 작음을 알 수 있다. 또한 A사의 제어 방식은 제어기 마다 정상상태 오차가 존재하지만, 간략추론 방식은 저압 제어를 제외한 다른 제어기들은 정상상태 오차가 거의 없음을 알 수 있다.

시뮬레이션 결과와 IAE 값의 비교를 통해 본 논문에서 구현한 방식이 A사의 제어 방식보다 더 좋은 성능을 가짐을 알 수 있다.

VI. 결론

다중 증발기를 갖는 에어컨 시스템은 비선형성이 매우 강한 MIMO 시스템이며, 어떤 부분에서 냉매의 상태가 달라지면 시스템 전반적으로 그 영향이 파급된다. 이러한 시스템의 복잡성, 비선형성 및 시스템 상호 연동성 등으로 인해, 제어기의 설계에 많은 어려움이 있는 에어컨 시스템을 본 논문에서는 연속형 간략추론 방식의 multi-fuzzy PI 제어기를 통한 시스템의 성능 개선을 시도하였다. 3대의 expansion valve와 compressor에서 동시에 제어를 하는 multi controller를 설계하고, 실수코딩 기반 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘(HFCGAs)을 이용해 환산계수의 최적화를 수행하여, 에어컨 시스템의 안정성과 효율성에 영향을 주는 과열도와 저압을 제어하였다.

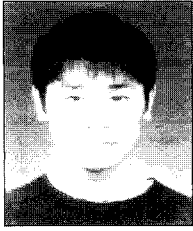
그리고 시뮬레이션 결과를 통하여 설계된 multi-fuzzy PI 제어기가 기존 A사에서 개발된 제어기의 성능보다 좋음을 확인하였다.

기존의 에어컨시스템은 냉매에 대한 연구 또는 기계적인 개발에 치중되어 왔다. 하지만 본 논문에서와 같이 제어기 부분의 연구를 통해서도 안정적이고 효율적인 에어컨시스템 개발의 발전 가능성을 확인하였다.

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

참고문헌

- [1] Alcalá, R., Benítez, J. M., Casillas, J., Cordon, O., Perez, R., "Fuzzy control of HVAC systems optimized by genetic algorithms." *Applied Intelligence*, vol. 18, pp. 155-177. 2003.
- [2] Alcalá, R., Casillas, J., Castro, J. L., Gonzalez, A., Herrera, F., *A Multicriteria Genetic Tuning for Fuzzy Logic Controllers*. *Math ware and Soft Computing* 8 (2), pp. 179-201. 2001.
- [3] R. Shah, "Dynamic modeling and control of single and multi-evaporator subcritical vapor compression systems" ACRC TR-216, Aug. 2003.
- [4] A. Batzaida and V. Miguel, "Nonlinear control of a heating, ventilating, and air conditioning system with thermal load estimation," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 56-63. 1999.
- [5] Adcock TA. What is fuzzy logic? An overview of the latest control methodology, TI Application Report, p. 1-7. January 1993.
- [6] M. Sugeno editor, *Industrial Applications of Fuzzy Control*. Amsterdam: North-Holland, 1985.
- [7] S.-K. Oh, *Fuzzy Model & Control System by C-programming*, Naeha Publishing Co., 2002.
- [8] K.-K. Jin, *Genetic Algorithms and Their Applications*, KyoWoo Press, 2002.
- [9] 최정내, 오성권 "적응형 계층적 공정 경쟁 유전자 알고리즘을 이용한 정보입자 기반 퍼지집합 퍼지모델의 최적화," *Proceedings of KFIS Autumn Conference 2006*, 16, no. 2, 2006.
- [10] S. C. Lin, E. Goodman, and W. Punch "Coarse-grain parallel genetic algorithms: categorization and new approach," *IEEE Conf. on Parallel and Distrib. Processing*. Nov. 1994.
- [11] J. J. Hu and E. Goodman, "The Hierarchical Fair Competition(HFC) model for parallel evolutionary algorithms," *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation: CEC2002. IEEE*. Honolulu, Hawaii, 2002.



정 승 현

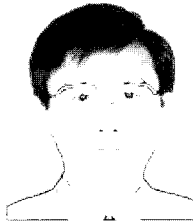
2006년 수원대 전기전자공학부 졸업. 2006년~현재 동 대학원 전기공학과 석사과정. 관심분야는 퍼지추론시스템, 신경회로망, 유전자 알고리즘 및 최적화이론, 지능시스템 및 제어 등.



최 정 내

1997년 원광대 제어계측과 졸업. 1999년 동 대학원 제어계측과 졸업(공학석사). 2004년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 2006년~현재 수원대학교 전기공학과 Post-Doc. 관심분야는 지능 제어, 최적화 기법, 퍼지이론, 신경망

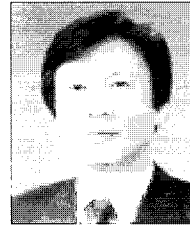
이론 등.



오 성 권

1981년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1983년~1989년 금성산전연구소(선임연구원). 1993년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1996년~1997년 캐나다 Manitoba대학 전기 및

컴퓨터공학과 Post-Doc. 1993년~2005년 원광대 전기전자 및 정보공학부 교수. 2005년~현재 수원대 전기공학과 교수. 2002년~현재 대한전기학회, 퍼지및지능시스템학회 및 제어·자동화·시스템 공학회 편집위원. 관심분야는 시스템 자동화, 퍼지이론, 신경회로망 응용 및 제어, 컴퓨터 지능 등.



김 현 기

1977년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1985년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1991년 동 대학원 졸업(공학박사). 1998년~현재 산업기술정책연구소 심의위원. 2000년~2004년 사단법인 산학연 컨소시엄 전국협의회 회장.

1989년~현재 수원대학교 전기공학과 교수. 관심분야는 시스템자동화 및 감시제어, 지능형모델링 및 제어 등.