

## 자동차용 공기조화기의 퍼지 제어에 관한 연구

### A Study on Fuzzy Control for Vehicle Air Conditioner

\*김양영\*, 봉재경\*, 정백훈\*, 진상호\*\*

\*(주)두원공조 기술연구소 (Tel : +82-418-530-0981; Fax : +82-418-41-6031)

\*\*두원공업전문대학 기계과 (Tel : +82-334-70-7134 ; Fax : +82-334-70-7134)

**Abstract** In this paper, the control of the temperature for the vehicle air conditioner is implemented with the fuzzy controller using a micro controller. The linguistic control rules of the fuzzy controller are separated into two out variables(multi input multi output ; MIMO) : one is those for the blower motor, and the other is those for air mix door. The error in fuzzy controller, the input variable is defined as difference between the reference temperature and the actual temperature in the cabin room. The fuzzy control rules are established from the human operator experience, and based engineering knowledge about the process. The method of the center of gravity is utilized for the defuzzification.

**Keyword** fuzzy controller, vehicle air conditioner, MIMO, blower motor, air mix door

## 1. 서 론

최근 우리나라의 자동차 보유 대수가 천만대를 돌파하면서 이제 차량은 단순히 공간적 이동이나 운송의 개념을 벗어나 확장된 생활 공간으로써 그 개념이 변화되었다. 운전자는 주행 중에 보다 쾌적한 환경을 요구하고 있고, 이는 차량의 필수 조건이 되었다. 이러한 운전자의 요구를 충족시키기 위한 일환으로 차량에서는 공기조화기가 필수적이라 할 수 있다. 과거의 냉난방 기능을 갖춘 자동차용 공기조화기는 조작자가 레버나 스위치의 수동 작동에 의해 원하는 온도를 조작하였으나 작동 시 주위 환경에 맞추어 조작하여야 하며 운전시 주의력을 떨어뜨리는 단점이 있다. 그러나 전자 기술의 발달로 현재는 마이크로컴퓨터를 이용한 자동 온도 제어가 가능하도록 실차에 적용하여 운전자의 요구를 충족시키고 있다.

현재 사용되고 있는 온도 제어 방식은 각종 센서로부터 수집된 정보를 입력으로 하여 설정 온도에 따른 피드 포워드 및 피드백 제어를 적용하고 있다. 그러나 이 방법은 설정 온도의 수렴 및 응답성 등의 제어 특성에 한계가 있고, 센서들의 검출값에 대한 편차가 작아지게 되면 조작량이 주로 피드 포워드 값에 의해 결정되므로 특정 환경 이외의 영역에서는 정상 상태의 설정 온도에 대한 지속적인 편차가 발생할 수 있을 뿐만 아니라 상수의 값을 결정하는데 많은 경험과 실험이 요구되는 단점이 있다. 또한 공기조화기 시스템의 입출력 특성이 비선형적인 특성을 나타내기 때문에 정량적인 수학적 모델링에 한계가 있다[1].

따라서 입출력 관계의 정량적인 분석이 어려운 제어 시스템에서 퍼지 논리에 기초를 둔 퍼지 제어기를 사용하여 기존 시스템의 단점을 보완하고자 하는 연구가 진행되고 있다[2].

본 연구는 퍼지 논리를 기반으로 한 퍼지 제어기의 구현을 위해 조작자의 전문가적 경험과 지식을 바탕으로 하여 입력과 출력을 기술하였고, 설정 온도와 현재 온도의 편차와 편차의 절대값을 입력 변수로 하였으며 출력 변수로는 에어 믹스 도어 (air mix door)와 블로워 모터(blower motor)를 선정하였다. 또한 입출력 변수에 대하여 MIMO 시스템으로 설계하였고 이를 위하여 출력 변수에 따른 각각의 제어 규칙을 정하였다. 이러한 제어 규칙을 마이크로컨트롤러에 적용시키기 위하여 양자화를 하였고, 비퍼지화에는 무게 중심법을 적용하였다.

본 연구에서는 설계한 퍼지 제어기를 실제 공기조화기 시스템에 적용하기 위하여 제어기로는 NEC 78 계열 8비트 마이크로컨트롤러를 사용하였으며 제어기의 속도를 빠르게 하기 위하여 입출력 관계를 미리 계산하여 참조표에 저장하는 방법을 사용하였다[3].

## 2. 자동차 공기조화기의 구조

자동차에 사용되는 공기조화기는 냉방과 난방을 위한 장치 및 이를 제어하기 위한 HVAC(heating, ventilating, and air conditioning)으로 나눌 수 있다. 냉방을 위한 장치는 증발기 (evaporator)에서 뿜은 열을 응축기로 이동시키는 압축기 (compressor)와 증발기에서 뿜은 열을 외부로 방출하는 응축기 (condenser), 냉매를 증발하기 쉬운 저온의 액체 상태로 팽창시켜주는 팽창 밸브(expansion valve), 주위의 열을 빼앗아 공기를 냉각시켜주는 증발기로 구성되어 있으며 난방을 위한 장치로는 라디에이터(radiator)와 히터(heater)로 분류할 수 있다. 이들은 실제 차량에서는 단독으로 사용이 불가능하고 차량과 매칭된다.

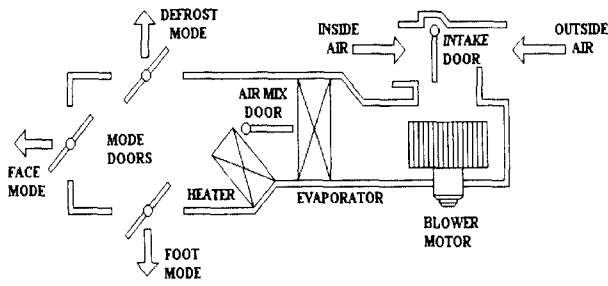


그림 1. HVAC 의 구성  
Fig. 1. Construction of Air Conditioner

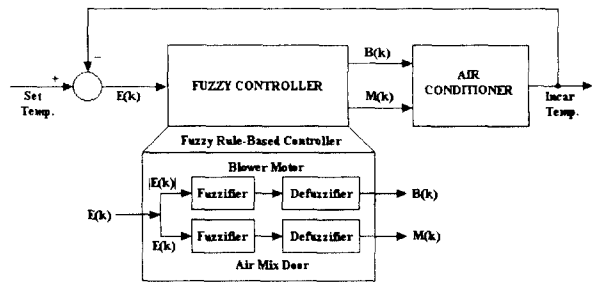


그림 2. 퍼지 제어기의 블럭선도  
Fig.2. Block diagram of fuzzy controller

또한 공기조화기의 온도 제어를 위한 HVAC 은 블로워 모터 (blower motor), 에어 믹스 도어(air mix door), 인테이크 도어 (intake door), 모드 도어(mode door), 증발기(evaporator), 히터 (heater) 등으로 구성되어 있으며 이를 그림 1에 도시하였다.

HVAC 을 구성하는 각각의 기능을 살펴보면 다음과 같다. 차 내부로 유입되는 공기를 선택하기 위한 인테이크 도어는 내기 순환 모드와 외기 유입 모드로 구성되며 블로워 모터는 인테이크 도어를 통해 유입된 공기를 토출구를 통해 차내부로 불어주는 역할을 하고 증발기는 냉방을 하기 위한 장치로서 냉매가 순환되는 통로이다. 증발기에서는 냉매가 저압 저온의 액체 및 기체의 혼합 상태로 유입되어서 저압 저온의 기체 상태로 상변화를 일으키는 냉동 사이클이 구성되고 이때 증발기는 주위의 열을 빼앗아 공기를 냉각시켜주는 역할을 수행한다. 히터는 차량 엔진의 온도를 하강시키기 위한 냉각수의 통로인 라디에이터와 연결되어 있어서 히터에서 발생하는 발열로 공기 온도를 상승시킨다. 에어 믹스 도어는 증발기와 히터를 통과한 서로 다른 온도의 공기를 혼합하여 조작자가 원하는 온도의 공기를 만들 수 있으며 모드 도어는 에어 믹스 도어를 통해 혼합된 바람이 탑승자가 원하는 방향으로 토출 될 수 있도록 방향을 설정하는 기능을 가지고 있다.

온도 제어는 블로워 모터의 속도 제어를 통한 풍량과 에어 믹스 도어의 개도(開度)를 조절하여 가능해지고 인테이크 도어와 모드 도어는 탑승자의 쾌적성을 위해 조절하고 있다. 블로워 모터는 DC 모터를 사용하고 있고, 각각의 도어는 소형 DC 모터를 사용하며 도어와는 링크 구조로 연결되어 있다. 특히 에어 믹스 도어의 개도를 감지하기 위한 센서로 포텐셔미터 (potentiometer)를 사용하여 이를 제어부로 피드백 시키고 있는 구조로 되어있다.

또한, 냉방시에는 냉매의 압축과 순환을 위해 차량의 ECU(electronic control unit)로 신호를 발생하면 ECU 에서는 엔진 풀리와 연동되어 있는 컴프레서의 마그네틱 클러치를 동작시켜 냉매의 압축을 시작한다. 난방을 위한 히터에는 상시 엔진 냉각수가 순환되고 있으므로 별도의 장치를 요구하지 않는다.

### 3. 퍼지 제어기 설계

퍼지 제어의 제어 규칙을 구성하기 위해서는 입력 변수와 출력 변수의 선정이 요구된다. 공기조화기는 운전자가 설정한 온도로 차량의 온도를 유지시키는 것이 목적이다. 따라서 본 연구에서는 제어기의 입력 변수를 오차  $E(k)$ 와 오차의 절대값  $|E(k)|$ 로 선정하고, 풍량을 제어하기 위한 블로워 모터의 속도  $B(k)$ 와 토출 바람의 온도를 제어하기 위한 에어 믹스 도어의 개도  $M(k)$ 를 출력 변수로 선정하였다. 이는 일입력 일출력 시스템이 병렬로 구성되어 다중 입력과 다중 출력을 가지는 MIMO 시스템으로 그림 2와 같이 구성되어 있다.

멤버십 함수는 전문가의 경험과 지식에 의해 언어적 규칙으로 정의되고, 제어 변수  $E(k)$ ,  $|E(k)|$ ,  $B(k)$ ,  $M(k)$ 에 대한 언어 변수 (linguistic variable)를 정의하였으며, 여기에서 사용하는 언어 변수는 시스템 전문가가 사용하는 언어에 대응하는 것을 의미한다. 사용한 입출력 언어 변수는 다음과 같다.

$$E(k) = \{ NVB, NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB, PVB \}$$

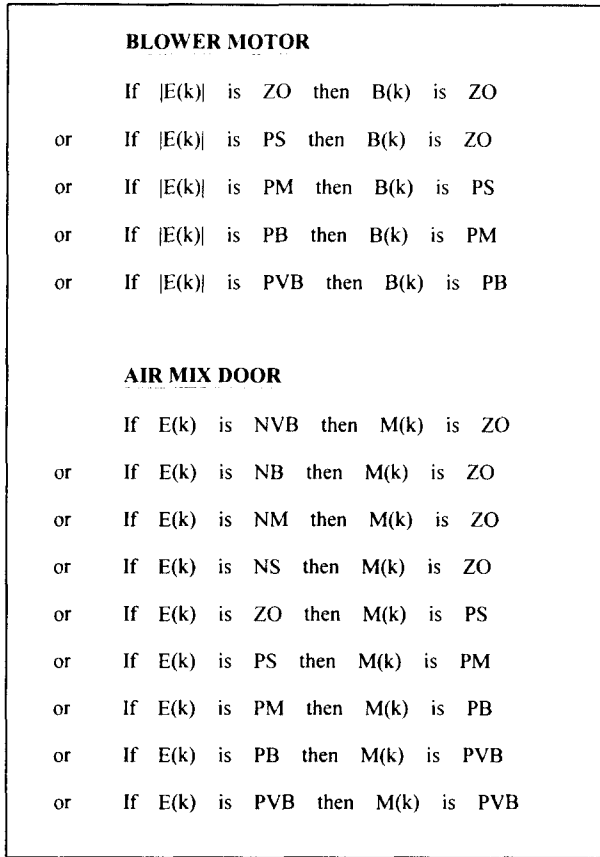
$$|E(k)| = \{ ZO, PS, PM, PB, PVB \}$$

$$B(k) = \{ ZO, PS, PM, PB \}$$

$$M(k) = \{ ZO, PS, PM, PB, PVB \}$$

- 여기에서, PVB : Positive very big  
PB : Positive big  
PM : Positive medium  
PS : Positive small  
ZO : Zero  
NS : Negative small  
NM : Negative medium  
NB : Negative big  
NVB : Negative very big

전문가의 경험과 지식으로부터 추출한 제어 규칙은 온도 편차의 절대치와 블로워 모터의 관계, 온도 편차와 에어 믹스 도어의 관계로써 이는 "If ~ then"문 형식을 가진 언어적으로 기술될 수 있다.



언어 변수를 퍼지화하기 위해서 각각의 입출력 변수에 대한 멤버십 함수를 삼각형 형태로 설계하였다. 그림 3은 퍼지 제어기의 멤버십 함수를 나타낸다.

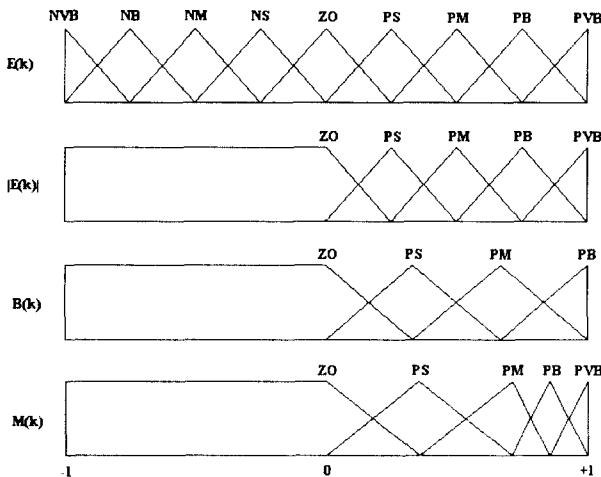


그림 3. 퍼지 제어기의 멤버십 함수

Fig. 3. Membership functions for fuzzy controller

측정된 입력 변수값으로부터 등급을 구하기 위해 대집합을 이산화 시킴으로써 양자화를 하였다. 이때 이산화된 전체 집합의 각각의 원소에 소속값을 부여함으로써 퍼지 집합을 정의하였다. 그리고 측정된 입력 변수의 범위를 이산화한 전체 집합에 정규화 시켰다.

퍼지 제어기는 복수개의 퍼지 규칙과 퍼지 추론을 통해서 제어 입력을 찾는다. 본 논문에서는 출력에 대한 입력 변수가 한 개씩으로 구성된 일입력 일출력의 병렬 구조를 채택하고 있으므로 퍼지 추론에서 입력 변수의 등급이 바로 적합도가 된다.

추론의 결과로써 얻어지는 것은 퍼지 집합이며 기본적으로 비퍼지화는 출력의 대집합으로 대응시키는 것이다. 비퍼지화 방법으로는 무게 중심법을 적용하였다.

#### 4. 제어 시스템 구성

공기조화기의 퍼지 제어를 구성하기 위하여 그림 4와 같이 설계하였다. 제어부는 센서 입력부와 스위치 입력부, 디스플레이부, 마이크로컨트롤러, 드라이브 회로부, ECU 신호부로 구성된다.

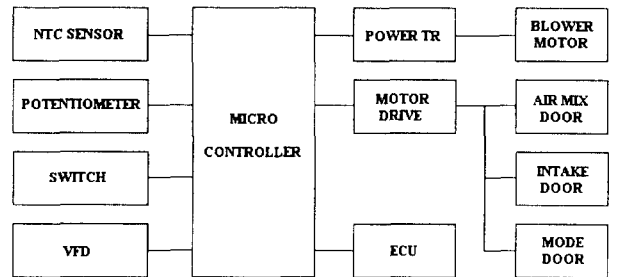


그림 4. 제어 시스템의 블럭도

Fig. 4. Block diagram of control system

설계한 퍼지제어를 실제 공기조화기 시스템에 적용하기 위하여 제어기로는 8비트 분해능을 가진 A/D 변환기와 PWM 출력, 내부 메모리를 가지고 있는 NEC 78 계열 8비트 마이크로컨트롤러를 사용하였다. 또한 제어기의 속도를 빠르게 하기 위하여 입출력 관계를 미리 계산하여 참조표에 저장하는 방법을 사용하였다.

센서 입력부에는 차내부의 실내 온도를 측정하기 위하여 NTC 타입의 써미스터(thermistor)를 사용하였고 에어 믹스 도어의 개도를 감지하기 위한 센서로 포텐시미터를 설치하였으며, 이들 아날로그 신호량을 A/D 변환하여 디지털 처리 하였다. 특히 온도 센서는 그 출력이 비선형적인 특성을 가지고 있어서 온도 데이터를 메모리에 참조표로 입력하였다.

스위치 입력부는 조작자가 원하는 실내 온도를 설정하기 위하여 온도의 상승과 하강을 스위치로 설정하게 된다. 설정 영역은 18℃에서 32℃까지 가능하도록 하였다. 또한 공기조화기

의 동작 상태를 표시하기 위한 디스플레이 장치로는 진공 형광 표시기(vacuum fluorescent display : VFD)를 사용하였고 여기에는 공기조화기의 동작 정보를 표시하였으며, VFD와 마이크로콘트롤러는 동기식 시리얼 통신으로 데이터를 전송하고 있다.

블로워 모터는 정격 12[V]용 DC 모터이고 최대 16[A]의 전류를 필요로 한다. 이를 구동하기 위해 마이크로콘트롤러의 PWM 신호를 D/A 변환기를 거쳐 전력용 트랜지스터의 베이스로 인가하였다. 에어 믹스 도어, 인테이크 도어, 모드 도어는 소형 DC 모터를 사용하여 구동하는데, 에어 믹스 도어는 양방향 회전이 가능하도록 설계하였다.

냉방을 위한 압축기와 응축기 팬의 작동은 차량 ECU에서 제어를 하기 때문에 별도의 신호선을 할당하여 정보를 준다. 또한 계속된 냉방으로 인한 증발기의 동결을 방지하기 위해 NTC 온도 센서를 설치하여 압축기를 제어하도록 하였다.

### 5. 실험 및 결과 고찰

설계한 퍼지 제어기의 성능 평가를 위한 실험은 실제 차량에 장착된 후 주행 테스트를 거쳐 최종 검증이 되어져야 한다. 따라서 이를 위한 선행 실험으로 그림 5와 같이 실차 조건과 유사한 실험 장치를 제작하여 실험을 수행하였으며 실험에 사용된 시스템은 현재 양산 중인 차량을 대상으로 하였다. 압축기의 RPM 제어는 차량에서는 엔진 풀리에 연동되지만 실험 장치에서는 AC 모터로 구동하고 있으며 인버터를 사용하여 속도 제어를 하고 있다. 또한 히터에 온수를 공급하기 위한 장치로는 냉각수 대신 별도의 온수를 만들어 펌프로 순환시켜주는 구조로 제작하였다.

실험 조건은 초기 온도 29℃ 조건에서 목표 온도를 18℃로 설정하여 실험을 실시하였다. 압축기는 700 RPM으로 설정하여 열교환 측면에서 가장 악조건인 공회전(idling) 조건으로 하였고, 냉매는 신냉매인 R-134a 700[g]을 주입하였다. 온도 측정은 실험 장치 내부에 온도 센서 4개를 설치하여 PC를 통해 데이터를 수집한 뒤 전체 평균을 계산하여 내부의 평균 온도로 하였다. 그림 6은 실험 결과를 나타내고 있다.

실험을 통해 현재 온도가 설정 온도에 도달하는데까지는 약 140[sec]가 소요되었고, 압축기의 온오프 제어에 의한 정상 상태 편차와 오버슈트가 발생하는 것을 알 수 있었다.

### 6. 결 론

본 논문에서는 자동차용 공기조화기의 온도 제어를 위해 퍼지 제어기를 설계하였다. 제어 시스템은 일입력 일출력이 병렬로 구성된 MIMO 시스템으로 구성하였다. 제어 규칙은 전문가의 경험과 지식을 바탕으로 만들어졌으며, 퍼지 추론은 입력 변수의 등급이 제어 규칙의 적합도가 되었고 비퍼지화 방식은

무게 중심법을 사용하였다. 알고리즘의 구현은 입출력 관계를 미리 계산하여 참조표에 저장하는 방법을 사용하였다.

실험은 실차가 아닌 간이 실험 장치에서 실시하였으며 실험 결과 실내 온도가 목표 온도에 수렴하였고 압축기의 온오프 제어에 의한 정상상태 편차가 발생함을 알 수 있었다.

앞으로 많은 실험을 통한 제어 규칙의 개선과 입력 변수에 다른 요소를 추가하여 온도의 정상상태 편차를 줄이는 방법이 과제라고 남아있다.

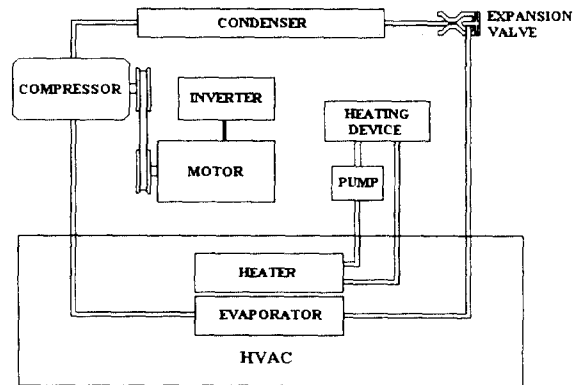


그림 5. 실험 장치 구성도

Fig. 5. Schematic diagram of experimental equipment

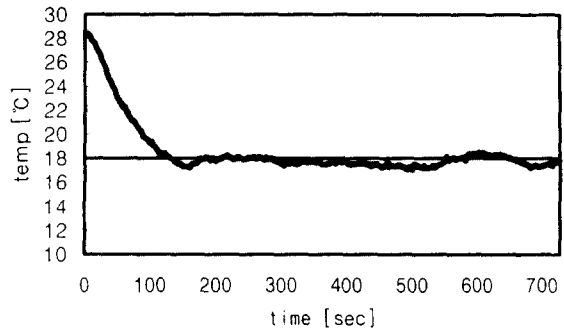


그림 6. 퍼지 제어기의 온도 제어

Fig. 6. Temperature control of fuzzy controller

### 참고 문헌

- [1] 이수훈, "Servo System에 대한 Fuzzy Control Algorithm의 연구", 한국자동제어학술회의논문집, pp.563~566, 1991
- [2] 김인익, "제한된 부채꼴에서의 비선형 개념을 이용한 퍼지 논리 제어기의 안정성 해석", 한국자동제어학술회의논문집, pp.573~578, 1991
- [3] 서동욱, "빠른 추론을 위한 퍼지 참조표에 관한 연구", 한국자동제어학술회의논문집, pp.704~709, 1993