

퍼지논리를 이용한 차량용 공조제어기 개발에 관한 연구

이 용중, 이 윤근**, 이 양범***
 창원기능대학 전기과*, 동한산업(주)**, 울산대학교 전기과***

Development of Automobile Air Conditioner Controller based on the Fuzzy Logic

Yong Joang Lee*, Un Kun Lee**, Yang Bum Lee***

*Dept. of Electric Eng.

**Dept. of Electric Eng

Chang Won Polytechnic College, *Dong Han Inc., ****Ulsan University

This paper describes an air conditioner control method using a fuzzy control theory. The fuzzy control method was implemented with Philips 80C552 one chip microcomputer and tested in an actual vehicle. Experiments showed that proposed control method is superior to the conventional PID control method especially in the environments with abrupt disturbance and parameter variation of the control system. Fuzzy-Based control method was proved to maintain a stable and improved temperature control in an abrupt environmental changes

1. 서론

생활의 질적 향상으로 자동차는 현대 문명의 빼놓을 수 없는 중요한 구성 요소가 되었다. 자동차에 관련된 기술 개발의 동향을 보면 과거에는 자동차 자체에 대한 성능 향상에 주력하였으나, 현재에는 자동차의 고급화 추세에 따라 보다 쾌적한 차내 공간을 창출하기 위하여 실내 에어 컨디셔닝에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다. 유사한 연구 사례를 보면 Hara와 Ishihara는 차실내가 주택 환경과 달리 방사열 부하의 영향 때문에 차실내의 풍속이 상당히 높게됨을 알고 차실내의 풍속 분포를 파악하기 위하여 레이저 라이트 시트를 사용하여 공조기류를 가시화하고, 가시화된 화상을 처리하여 속도 벡터를 구하였다[1]. 또한, Cherng는 자동차의 열 부하를 3차원 메시 그리드로 모델링하여 수치적 방법으로 해석하였다[2]. 그 외에도 자동차용 공조장치를 자동으로 제어하기 위하여 자동차용 공조장치의 성능과 평형성 및 내·외부 환경 변화에 따른 차량 실내온도등을 예측할 수 있는 프로그램 개발과 병행하여 온열 환경과 온감에 대한 정량화를 위한 많은 연구들이 진행되고 있다 [3,4,5]. 이러한 연구 결과로서 Kakinuma는 차실 내·외의 환경 조건 즉, 내·외기 온도, 일사 수광량, 증발기 토출 온도, 히터코어 온도, 실내 습도등을 마이크로 컴퓨터에서 감지하고 PD, PID제어 이론을 적용한 오토어어콘을 개발하였다[6]. 그러나 이 시스템은 주위 환경의 변화에 따른 목표치 달성이나 응답성 등에 따른 제어 특성 개선에는 한계가 있고, 외란에 대한 적응성이나 시스템의 비선형성으로 인하여 제어할 때 계산 시간이 요구되는 등의 많은 문제점을 안고 있다. 또한 현존하는 공조 시스템에 적용되고 있는 PID 제어는 차량의 복잡한 전열 특성과 폭 넓은 습열환경으로 인하여 제어대상의 수학적 모델을 얻기가 어렵고, 수학적 모델로 설계한 제어기는 실제 제어 대상과의 모델링 오차 때문에 실제환경에서 설계성능을 만족하지 못하는 문제점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 가정용 공조 시스템에서 쾌적성 향상이나 성(省)에너지 향상을 위하여 널리 적용되고 있으며, 정확한 수학적 모델링이 불필요하고 구성이 비교적 간단한 공조제어기를 개발하였다. 개발된 이 시스템은 기존의 제어 이론과 달리 인간의 직관과 경험으로부터 얻은 언어적 제어 규칙을 기반으로 하는 퍼지 제어 이론을 이용하였다. 연구한 결과를 실차에 장착하여 여러 가지 실험을 했는데 실험을 거친 결과 외부 환경의 급격한 변화에도 강인한 특성을 보였고, 기존의 공조 시스템이 안고 있는 여러 가지 문제점이 개선되었음을 입증할 수 있었다[7,8,9,10].

2. 공조 제어시스템의 구성과 제어

차량용 공조시스템은 차 실내·외의 온도와 일사량, 주행 조건 등이 변하더라도 차실내는 항상 쾌적하게 유지되어야 한다. 따라서 사용자가 설정한 온도 조건에 맞게 토출 풍온과 풍량 등이 자동적으로 제어가 되어야 한다. 이를 위한 차량용 공조시스템의 전체 구성도는 그림 2.1과 같다[11].

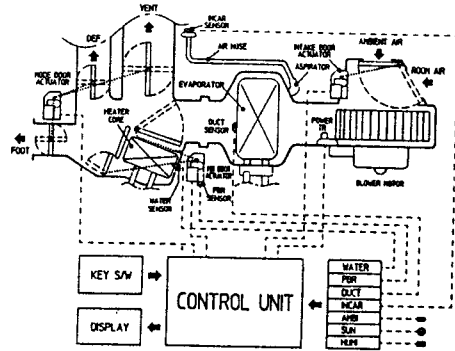


그림 2.1 차량용 공조시스템의 전체 구성도
 Fig.2.1 Schematic diagram of air conditioning system

그림 2.1을 보면 냉방 장치(Cooling Unit)는 콤프레서(Compressor), 콘덴서(Condenser), 에바포레이터(Evaporator) 등으로 구성되고, 난방 장치(Heating Unit)는 히터코어(Heater Core)와 워터밸브(Water Valve)등으로, 송풍 장치(Blower Unit)는 블라워 모터(Blower Motor), 송풍덕트, 흡입 및 토출 구 절환 도어등으로 구성된다. 또한 제어 장치(Control Unit)는 컨트롤 패널(Control Panel)과 각종 센서 및 각종 절환도어 구동용 액츄에이터등으로 구성된다. 본 연구에서 적용한 차실내의 온도제어는 그림 2.1과 같은 에어믹스 방식을 적용한다. 에어믹스 방식은 히터코어를 통과하는 공기량을 에어믹스 도어로 조절하여 냉풍과 온풍의 비율을 제어하고, 히터코어에 흐르는 온수의 양도 제어한다. 따라서 이러한 에어믹스 방식은 제습난방과 더불어 연속적인 온도조절도 가능하다. 그리고, 피드백 제어인자 중에서 차실내의 평균온도를 정확히 감지하기 위한 실내 온도센서는 써미스트(Thermistor)를 적용하였고, 그림 2.1과 같이 에어호스를 통하여 에스퍼레이터(aspirator)에 접속하였다. 에스퍼레이터는 에바포레이터내의 송풍압력을 이용하여 분무기와 같은 원리로 부압을 발생시켜 센서주위에 차실내 공기를 항상 흐르게 하여 정확한 실내온도 측정을 용이하게 한다. 한편, 본 연구에서 제안하는 공조 시스템의 제어부는 그림 2.2의 제어 블록선도와 같이 사용자의 키 스위치 선택과 차 실내외의 센서입력을 이용한다.

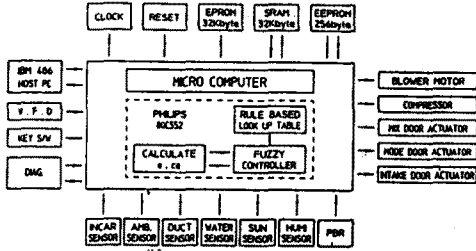


그림 2.2 제어 블록선도
Fig. 2.2 Control block diagram of air conditioning system

이러한 입력 데이터는 필립사의 원칩 마이크로 컴퓨터인 80C52를 이용하여 사용자가 요구하는 사항과 환경 조건을 분석하고 처리한 다음, 블라쉬 모터와 콤프레서 및 각종 액츄에이터와 같은 주변장치들을 통합제어한다. 따라서 토출온도와 풍량, 토출구의 흡입구등을 자동으로 제어하여 사용자에게 더 이상의 번잡한 조작으로부터 벗어날 수 있도록 하므로써 사용자에게 편의성과 경제성, 쾌적성 및 승차감을 향상시켜 최적의 환경조건을 유지할 수 있도록 한다.

3. 퍼지제어 알고리즘

퍼지제어기는 그림 3.1의 블록 다이어그램과 같이 퍼지화(fuzzification), 제어규칙(rule), 추론(inference) 및 비퍼지화(defuzzification) 부분으로 구성된다.

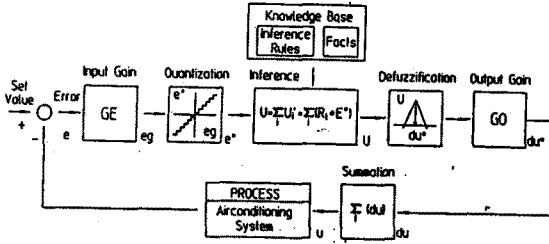


그림 3.1 퍼지제어기의 블록 다이어그램
Fig. 3.1 Block flow diagram of the Fuzzy Logic Controller

입력변수는 현재의 차실내 온도와 설정온도와의 차 즉, 오차(e)와 오차의 변화량(ce)을 사용하며, 다음과 같이 정의한다.

$$e(k) = r(k) - y(k), \quad ce(k) = e(k) - e(k-1) \quad (1)$$

여기서

$r(k)$: k번째 샘플링에서의 설정온도

$y(k)$: k번째 샘플링에서의 실내온도

$e(k)$: 오차(error)

$ce(k)$: 오차의 변화량(change in error)

그림 3.1에서 퍼지화는 센서로부터 입력변수의 값을 측정한 다음, 이 데이터로 퍼지추론할 수 있는 전체집합(universe of discourse)으로 크기를 변환(scale mapping)하고 입력 데이터를 적절한 언어적인 값으로 나타내는 것이다. 따라서 본 연구에서 적용한 퍼지화는 구현이 쉽고 타 퍼지집합과 연산이 간단하게 처리되는 퍼지단일값(fuzzy singleton)방법을 사용하였다

또한 퍼지 언어 변수는 그림 3.2와 같이 입력력에 있어서의 7개의 기본 언어 변수에 대한 삼각형 모양의 소속함수(Membership Function)를 표시하였다.

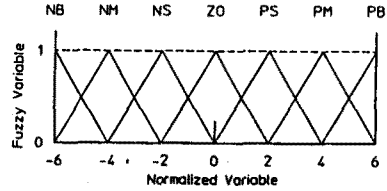


그림 3.2 압출력의 대한 7개의 기본 언어 변수에 대한 소속함수
Fig. 3.2 Membership function of e, ce, du in Fuzzy Logic Controller

즉, PB(Positive Big), PM(Positive Medium), PS(Positive Small), ZO(Zero), NS(Negative Small), NM(Negative Medium), NB(Negative Big)로 정하였다. 이 소속함수는 연속 또는 이산적인 언어적 값과 모양에 따라 여러 가지 형태가 있으나, 본 논문에서는 계산이 용이하고 데이터 메모리의 크기를 줄일 수 있는 이산적인 삼각형 소속함수를 적용하였다. 적용된 퍼지변수들은 정규화 되었으며, 정규화된 퍼지집합은 오차(e)와 오차의 변화량(ce) 및 추론 결과(du)의 전체집합을 -6에서 6까지 단일화한 것이다. 정규화를 하게 되면 추론부분이 독립적으로 구동될 수 있으므로 서브루틴화가 가능하고 수치문제가 간결해진다. 따라서 서브루틴 출력을 적절한 이득(scale factor)을 곱해주면 실제 집합의 원소가 된다. 한편, 그림 3.1과 같이 퍼지제어기의 각 행렬의 요소로 입력변수 e(error), ce(change in error)와 출력변수 du를 나타내는 제어규칙은 그림 3.3과 같다. 여기에서 사용한 제어규칙은 전체 49개의 규칙중 현실적으로 있을 수 없는 것과 du와 같이 속도형을 가지므로 하나의 규칙이 넓은 영역을 포함하는 21개이다.

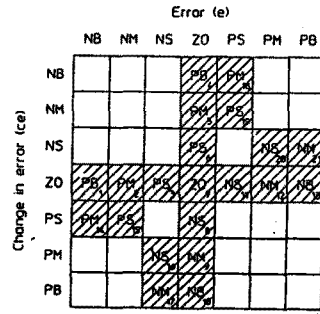


그림 3.3 퍼지제어기의 제어규칙
Fig. 3.3 Fuzzy control law of Fuzzy Logic Controller

또한 그림 3.1에 언급된 추론은 어떤 주어진 사실이나 관계로부터 새로운 사실이나 관계를 유추해내는 과정을 의미한다. 그러므로 제어기의 입력과 제어규칙으로부터 추론의 합성규칙(compositional rule of inference)을 이용하여 정확한 제어기의 출력값을 구할 수 있다. 추론의 합성규칙에는 주로 MAX-MIN 합성규칙과 MAX-PRODUCT 합성규칙이 사용되는데, 본 논문에서는 Mamdani가 제안한 MAX-MIN 합성규칙을 사용하였다

한편, 비퍼지화는 제어기의 출력값이 퍼지변수로서 소속함수로 표현되고 있다. 그러나 실제 제어계에는 퍼지변수가 적합하지 않으므로 제어계에 적합한 보통값(crisp value)으로 변환하는 단계로 볼 수 있다. 일반적으로 많이 사용되는 비퍼지화 방법으로 최대 평균법(Mean of Maximum Method)과 무게 중심법(Center of Area Method)이 있다. 일반적으로 무게 중심법이 다른 비퍼지화 방법에 비하여 성능이 우수하고, PID제어기와 비슷한 특성을 나타낸다. 이와 반면에 최대 평균법은 과도기간의 응답이 우수하고 멀티 레벨 시스템과 유사한 동작특성을 나타낸다. 따라서 본 연구에서는 이러한 장, 단점을 비교하여 다음과 같이 이산적인 계산을 수행하는 무게 중심법을 적용한다.

$$dU_0 = \frac{\sum_{i=1}^n u(dU_i) \cdot dU_i}{\sum_{i=1}^n u(dU_i)} \quad (2)$$

여기서

- n : 제어입력 변화량에 대한 양자화 단계
- dU_i : j 번째 양자화 단계에서 제어입력 변화량
- $u(dU_i)$: dU_i 의 변화량에 대한 소속함수 값

실용성 있는 퍼지 제어를 구현하기 위하여 실차에 적용코저 할 때 실시간 영역에서 퍼지출력을 계산하는 것은 시간 소모가 많아지기 때문에 문제가 될 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 배제하기 위한 방안으로 그림 3.4와 같이 입력값의 가능한 모든 경우의 조건을 우선적으로 출력시키는 룩업 테이블을 적용하여 제어주기를 짧게 하였다.

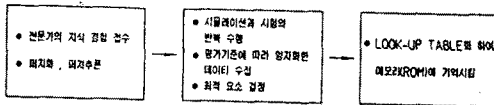


그림 3.4 룩업 테이블
Fig. 3.4 Generation of Look-up table

따라서 그림 3.4와 같이 입력정보로부터 퍼지제어 출력까지의 순서와 결과를 간단히 하기 위하여 발생 가능성이 있는 현상의 조합을 최대한 포함시켜 시뮬레이션과 각종 시험의 평가로부터 최상의 요소를 얻어 룩업 테이블 화하여 ROM에 기억시켰다. 그러므로 그림 3.5와 같이 입력정보에 따라 룩업 테이블의 데이터를 메모리 어드레싱하여 각 공조기의 조작량을 출력한다.

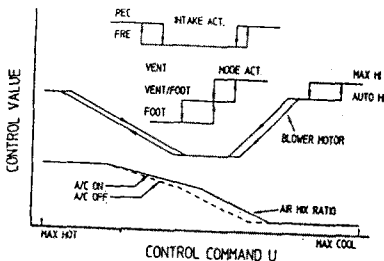


그림 3.5 공조기의 조작량
Fig. 3.5 Control command table

4. 퍼지 공조제어기의 제어특성 평가

4.1 PID 제어기와 제어방법 및 제어특성 비교

현존하는 공조시스템에 적용되는 PID 제어는 그림 4.1의 제어 블록 다이어그램과 같이 온도 밸런스 식으로 얻은 종합신호 T 에 의해 식 (3)으로 각종 출력장치를 통합제어한다.

$$T = \alpha(T_{실내온도} - 25) + \beta(T_{실외온도} - 25) + \gamma(T_{설정온도} - 25) - \rho \quad (3)$$

여기서, α , β , γ , ρ 는 이득 보정 계수이고, 이들의 값은 시뮬레이션과 실차 실험을 통하여 결정된다.

또한 PI, PID 제어를 위한 수식은 식 (4)와 (5)와 같이 표현되고, 비례계수는 시뮬레이션과 실험을 통하여 결정된다.

$$X = K \left\{ \Delta T + \frac{1}{\gamma t} \int \Delta T dt \right\} \quad (4)$$

$$Y = K \left\{ \Delta T + \frac{1}{\gamma t} \int \Delta T dt + \gamma d \cdot \frac{d\Delta T}{dt} \right\} \quad (5)$$

여기서

- X, Y : PI, PID 제어식에 의한 제어신호
- ΔT : (설정온도 - 실내온도)에 대한 시간의 함수
- K : 비례 이득
- γt : 적분 시간
- γd : 미분 시간
- t : 시간

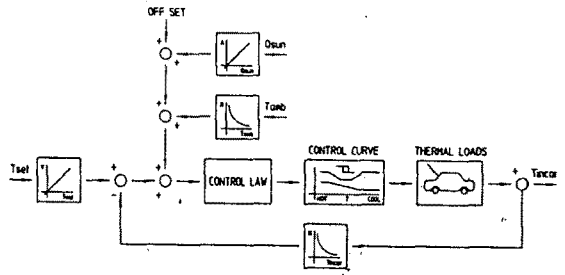


그림 4.1 PID 제어 블록 다이어그램
Fig. 4.1 Block diagram of PID controller

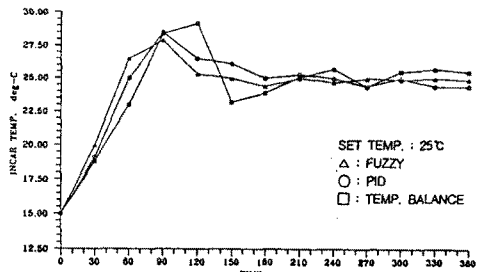


그림 4.2 PID 제어기와 비교
Fig. 4.2 Comparison with PID control

따라서 기존의 PID 제어기와 퍼지제어기에 대한 응답특성을 그림 4.2와 같이 비교한 결과를 보면, 처음에는 PID 제어기와 퍼지제어기가 비슷한 제어특성을 나타내지만 퍼지제어기의 경우 설정온도에 도달한 후 약간의 오버슈트가 있으나 짧은 시간 내에 설정온도에 도달한 후 안정되어 정상상태를 유지한다. 또한 온도 밸런스 식으로 얻은 종합신호 T 에 의한 피드백제어는 안정성은 좋으나 설정온도 도달성은 좋지 못하다. 이것은 편차가 적어지면 조작량은 예측항에서 결정되기 때문에 특정조건 이외의 환경에서는 정상편차가 발생하기 때문이다. PID 제어기는 설정온도 도달성은 좋으나 안정성이 약간 부족하다. 이것은 미분항의 영향인 것으로 판단되며, 미분항을 크게 하면 응답성은 향상되지만 안정성은 나빠짐을 알 수 있다. 따라서 이러한 시뮬레이션 결과를 볼 때 퍼지제어기는 설정온도를 추종할 때, PID 제어기에 비하여 정상편차를 작게 할 수 있으며 안정성도 확보할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 외란에 대한 응답성 비교

설정온도 도달 특성을 비교하기 위하여 설정온도가 25 °C로 유지되고 있는 차실내 환경을 창문을 개폐하여 실내온도를 급변시킨 다음, 그림 4.3과 같이 급격히 변화하는 환경에 대한 응답특성을 비교하였다.

그 결과를 보면 퍼지제어기는 급격한 환경변화에도 불구하고 조작량을 빠르게 변화시켜 설정한 실내온도로 신속하게 유지하고 있다. 또한 PID 제어기도 이러한 외란에 미분항의 유효한 작용으로 비교적 빠른 응답을 보인다. 그러나 PID 제어기는 종합신호 T 에 의한 피드백제어는 외란 후에 편차가 적으므로

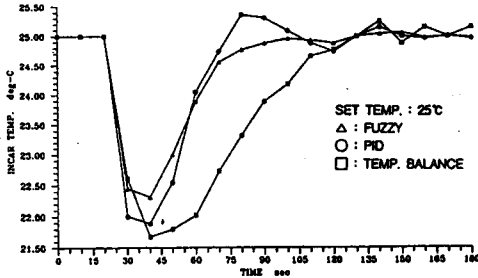


그림 4.3 급격히 변화하는 환경에 대한 응답특성
Fig. 4.3 The control response after sudden disturbance

인하여 비례제어항이 설정온도 추종에 큰 영향을 주지 못하기 때문에 응답이 늦고 제어성이 좋지 못한 것을 알 수 있다. 그러므로 퍼지제어기는 시스템에 가해지는 외란에도 응답특성이 뛰어난 것을 알 수 있다.

5. 실차 실험결과 및 고찰

본 연구에서 제안하는 퍼지 공조제어기의 유용성을 확인하기 위하여 그림 5.1과 같은 실험장치를 이용하여 실차실험을 하였다. 또한 효과적인 데이터 관리와 데이터의 실시간 처리를 위하여 PC에서 운영되는 전용 소프트웨어로 구성하였고, 데이터 처리주기는 10msec가 되었다.

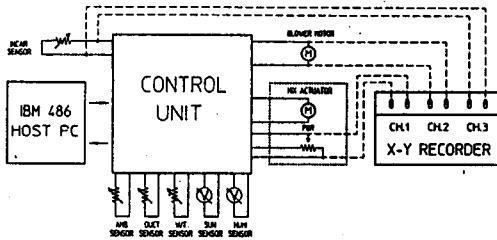


그림 5.1 실험장치를 이용한 실차실험
Fig. 5.1 Schematic diagram of experimental apparatus

퍼지 공조제어기에 적용된 제어 프로그램의 흐름은 그림 5.2와 같이 키 스위치로 설정온도를 입력하고, 오차와 오차의 변화량과 제어량에 대한 멤버십 함수를 설정한다. 그 다음 오차 (e)와 오차의 변화량 (ce)를 계산한 후, 퍼지제어부에서 퍼지 추론을 한다. 여기서, 퍼지화된 제어량은 무게중심법에 의해 비퍼지화한 값으로 계산되고, 각공조제어기의 제어신호로 출력된다.

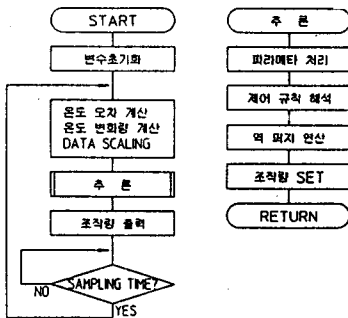


그림 5.2 제어 프로그램의 흐름
Fig. 5.2 Flow chart for Fuzzy Logic Controller

Warm up) 실험의 설정온도는 25°C로 하여 실내온도를 5°C와 20°C에서 각각 실행하고, Cool Down) 실험은 설정온도를 20°C로 하여 실내온도를 25°C와 35°C에서 각각 실행하였다. 따라서 그림 5.3와 같이 기존의 PID 제어기와 비교한 결과를 보면, 퍼지제어기가 응답성과 목표치 도달성 및 안정성 등에서 우수한 특성을 지니고 있음을 입증할 수 있었다.

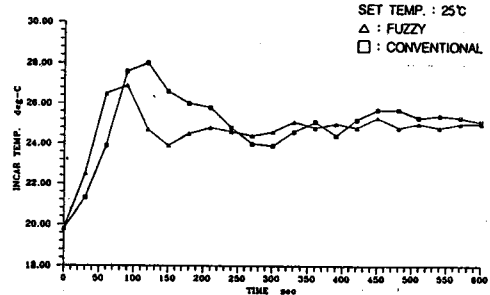


그림 5.3 실차실험
Fig. 5.3 Actual vehicle test results

6. 결론

본 연구에서는 비선형성이 강한 차량 공조시스템을 대상으로 퍼지이론을 이용하여 퍼지 공조제어기를 구성하였다. 이와 더불어 제안된 퍼지 공조제어기의 유용성과 제어특성을 평가하기 위하여 필립사의 원칩 마이크로 컴퓨터인 80C552로 구현하였다. 실차 실험결과 본 연구에서 구현한 퍼지 공조제어기가 온도 밸런스 식을 근간으로 운용되는 피드백 제어기와 PID제어기에 비해 외란이나 제어시스템의 파라미터 불확실성 변화에도 적응성이 탁월하였고, 급격히 변화하는 환경에도 제어성을 잃지 않고 설정한 온도를 추종하는 기능이 향상되었다. 향후 연구과제로는 시스템의 제어규칙을 스스로 생성할 수 있는 Self Organizing기능과 Neuro-Fuzzy제어기법을 부가시켜 보다 효율적으로 시스템을 자동제어할 수 있는 연구가 보완되어야 한다.

참고문헌

- [1] J. Hara and Y. Ishihara, "Visualization of Interior Airflow in a Passenger Compartment Using a Laser-Light-Sheet Method", JSAE Review, Vol. 47, No. 4, pp. 42-47, 1993.
- [2] J. G. Cherng and W. J. Wu, "Design Tool for Climatic Control of an Automotive Vehicle", SAE Paper No. 891966, 1989.
- [3] J. G. Ingersoll, T. G. Kalman and R. J. Niemiec, "Automobile Passenger Compartment Thermal Comfort Model - Part 1: Compartment Cool-Down/Warm-Up Calculation", SAE Paper No. 920265, 1992.
- [4] G. L. Davis, "Computer Simulation of Automotive Air Conditioning Components, System, and Vehicle", SAE 720077, 1972.
- [5] 오상환, 이창원, 원성필, "자동차 열부하의 계산", 한국자동차공학회 1995년도 춘계학술대회 논문집 No. 953839, 1995.
- [6] A. Kakinuma, "Micro-computer-controlled Air Conditioner", JSAE Review, Vol. 40, No 2, pp. 189-197, 1986.
- [7] 박민용, "퍼지이론의 산업적 응용", 대한전기학회지, 제39권 12호, pp. 33-40, 1990, 12.
- [8] K. Sugiyama, "Analysis and Synthesis of the Rule-Based Self-Organizing Controller", Ph. D Thesis, Queen Mary College, University of London, 1986.
- [9] S. Nakanishi, T. Takagi, K. Uehara and Y. Gotoh, "Self-Organizing Fuzzy Controllers by Neural Networks", Proc. of International Conference on Fuzzy Logic and Neural Networks, Vol. 1, pp. 187-191, 1990.
- [10] 김현정, "퍼지와 비례 제어를 결합한 HYBRID 제어기의 성능 향상에 관한 연구", 동아대학교 석사학위논문, 1993, 12.
- [11] M. Musou, K. Kawashima and Y. Sawahata, "Automatic Air Conditioner of Automobile", JSAE Review, Vol. 27, No. 346, pp. 57-66, 1988.