

〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0104

퍼지 논리를 이용한 자동차 기후제어기 개발에 관한 연구

A Study on the Development of Automotive Climate Controller Using Fuzzy Logic

이운근*, 이준웅**, 백광렬***
Unkun Yi, Joonwoong Lee, Kwangryul Baek

ABSTRACT

These days, the fuzzy logic or the fuzzy set theory has received attention from a number of researchers in the area of industrial applications. Moreover, the fuzzy logic control has been successfully applied to a large numbers of control problems where the conventional control methods had failed. Using this control theory we designed a climate controller for an automotive climate control system whose mathematical model is difficult. This paper describes an automotive climate control where the fuzzy control has been used to stabilize parameter uncertainties and disturbance effects. To show the validity and effectiveness of the proposed control method, the fuzzy logic controller was implemented with a Philips 80C552 microcomputer chip and tested in an actual vehicle. From the experimental results, it could be conducted that the proposed controller is superior to conventional controllers in both control performance and thermal comfort. The climate control system in cars is difficult to model mathematically so we tested a fuzzy logic control system which promised better results.

주요기술용어 : Climate Control(기후제어), Fuzzy Control(퍼지제어), Thermal Comfort (열쾌적), Air Conditioning(공기조화), Heating(난방)

1. 서 론

현대사회에 있어서 우리는 대부분의 시간을 인공적인 기후로 만들어진 공간 즉, 가정 및 사무

실, 자동차, 비행기 등에서 생활하게 되었다. 이러한 인공기후는 냉난방장치 및 가습기 등의 적절한 제어로 이루어지게 된다. 특히 근년에는 가정 및 사무실의 기후제어(climate control)에 단순한 설정온도 추종을 벗어나 보다 쾌적하고 성(省)에너지 향상을 위한 퍼지나 뉴로-퍼지 제어 같은 비선형 제어가 행해지고 있으며, 이의 제어성은 양호한 것으로 보고되고 있다.^{1),2)}

-
- * 회원, 부산대학교 전자공학과
 - ** 회원, 전남대학교 산업공학과
 - *** 회원, 부산대학교 전자전기정보컴퓨터공학부

한편, 자동차의 경우에도 제 3의 생활공간으로 인정되고 있으며, 안락한 승차감과 쾌적한 운전 환경의 요구에 따라 열적 쾌적한 공간을 창출하기 위한 연구가 진행되고 있다.

이에 대한 연구결과를 보면, Hara와 Ishihara는 차 실내의 풍속분포를 파악하기 위하여 레이저 라이트 시트(laser light sheet)를 사용해 공조기류를 가시화 하는 방법과 그 가시화 화상을 처리하여 속도 벡터를 구하는 방법을 제시하였다.³⁾ 이러한 연구는 차 실내가 주택 등의 건물환경과 달리 방사 열부하의 영향이 크기 때문에 차 실내의 풍속은 상당히 높음을 나타내며, 특히 열의 이동과 직접적인 관계가 있는 인자에 대한 해석으로 열쾌적(thermal comfort)을 얻기 위하여 중요하다. 또한, Chermg 등은 자동차의 열 부하를 3차원 메시 그리드(mesh grid)로 모델링하여 수치적 방법으로 해석하였다.⁴⁾ 그 외에도 자동차 기후제어 시스템의 성능 및 평형성, 내외부 환경변화에 따른 차량 실내온도 등을 예측할 수 있는 프로그램 개발 및 온열환경과 온감에 대한 정량화를 위한 많은 연구들이 진행되고 있으며 이러한 연구는 자동차 기후제어 시스템의 성능향상과 쾌적한 열 환경을 도모하기 위한 연구로 필수적이다.^{5)~8)}

그리고, Kakinuma와 Musou 등은 차 실내외의 환경조건 즉, 내외기온도, 일사 수광량, 증발기 토출온도, 히터코어 온도, 실내습도 등을 마이크로 컴퓨터에서 감지하고 선형 피드백 제어이론을 적용한 오토 에어컨을 개발하였다.^{9),10)} 이는 풍량제어, 냉난방 혼합비 제어 및 압축기를 자동으로 제어하여 설정온도를 유지하는 시스템 개발이라는 점에서는 의미가 있으나 열 쾌적성이 고려되지 않고, 주위환경의 변화 즉, 외기 온도, 일사량, 차량 속도 등에 따른 설정온도 도달특성이나 응답 특성 등의 제어 특성 개선에는 한계가 있으며, 또한 시스템의 비선형성 때문에 PID 게인 설정 및 외란에 대한 적응성 등의 문제점을 안고 있다.

이처럼 자동차의 기후제어는 건물내의 기후제어에 비해 습열 환경의 폭이 넓고, 복사부하, 전도부하 등의 복잡한 열전달 특성을 갖는다는 점,

공조(空調) 대상물의 특성 및 공조 부하량의 정확한 계산이 어렵다는 점, 실내환기에 있어서는 자동차의 외형, 크기, 환기장치의 위치 및 모양, 실내 좌석배치, 승객위치 등을 고려한 차 실내 유동장 및 온도장 변화에 대한 정확한 지식이 요구된다는 점, 그리고 풍량제어, 풍향제어, 내외기 제어, 냉난방 혼합비 제어 및 압축기 제어 등을 통합적으로 제어해야 한다는 점 등에 기인하여 현실적으로 어렵다.

본 논문에서는 기존의 제어방법이 다양한 차 실내 환경의 변화에 대하여 적절한 제어가 어려웠던 자동차 기후제어 시스템에 가정용 기후제어 시스템의 제어기에 적용되어 정확한 수학적 관계식이나 모델을 근거로 하는 종래의 제어방법과 달리 인간의 사고방식과 유사하고 모델이 정확하지 않는 시스템의 제어에 좋은 성능을 나타내고 있는 퍼지제어(fuzzy control) 이론을 자동차 기후제어 시스템에 적용하여 이의 제어를 구현한다. 그리고, 인간의 의사결정 방식에 보다 가까운 제어를 실현함으로써 인하여 기존 제어방법에 비해 외부환경의 급격한 변화에도 안정성이 뛰어난을 보인다. 또한 실차 실험을 통해서 유용성을 입증한다.

2. 자동차 기후제어기의 설계

2.1 기후제어 시스템의 구성

차 실내외의 환경조건 즉, 실내외온도, 일사량, 주행조건 등이 변하더라도 사용자가 요구한 열 환경에 맞게 토출풍온, 풍량 등을 자동 제어하여 차 실내를 항상 쾌적하게 유지하기 위한 자동차 기후제어 시스템은 표 1과 같이 여러 보조 시스템으로 구성되어지며, 그림 1은 이의 전체 구성도를 나타낸다.

자동차 기후제어 시스템은 가정 및 사무실의 기후제어 시스템과 같이 냉방(cooling)과 난방(heating)을 개별 독립적으로 제어하는 것이 아니라 사용자의 요구 열환경 조건을 얻기 위하여 송풍 모터의 속도제어에 의한 토출 풍량제어, 냉난

방 혼합비 제어 댐퍼에 의한 토출 온습도제어, 풍향모드 전환 도어에 의한 토출 풍향제어, 흡입 및 토출구 전환 도어에 의한 내외기 도입제어 및 압축기의 제어를 통합적으로 제어하여야 한다. 특히 그림 1에서와 같이 냉난방 혼합비 제어는 증발기를 통과한 공기와 히터코어를 통과하는 공기의 양을 혼합비 제어 댐퍼에 의해 조절하여 냉풍과 온풍의 비율을 미세하게 제어하며, 이와 동시에 히터코어를 흐르는 온수의 양도 제어한다. 이는 제습 난방과 함께 냉방에서 난방으로의 연속적인 제어가 가능하다.

Table 1 Automotive climate control system

항 목	구 성 요 소
냉방장치	압축기(compressor), 응축기(condenser), 증발기(evaporator) 등
난방장치	히터 코어(heater core), 워터 밸브(water valve), 냉난방 혼합비 제어 댐퍼(air mix damper), 풍향모드 전환 도어(mode door) 등
송풍장치	송풍 모터(blower motor), 송풍 덕트, 흡입 및 토출구 전환 도어(intake door) 등
제어장치	제어 판넬(control panel), 각종 센서 및 전환도어 구동용 액츄에이터 등

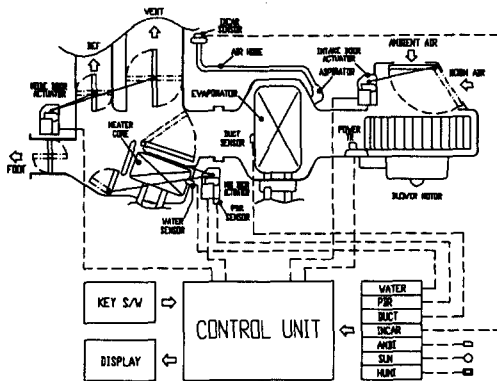


Fig. 1 Schematic diagram of the automotive climate control system

그리고, 쾌적한 실내환경 창출을 위한 피드백

제어 인자 중 가장 중요한 인자인 차 실내 평균 온도를 정확히 감지하기 위한 실내 온도센서는 써미스트(thermistor)를 사용하였으며, 이때 실내 온도센서의 장착 위치결정이 매우 중요하므로 본 연구에서는 풍동실험을 통하여 토출구에서 송풍되는 직접적인 바람의 영향이 적은 보조석 대쉬보드 왼쪽 중간지점에 장착하여 에어호스로 에스퍼레이터(aspirator)에 연결하였다. 에스퍼레이터는 에바포레이터 내의 송풍압력을 이용하고 분무기 원리로 부압을 발생시켜 센서 주위에 항상 차 실내 공기를 흐르게 한 것으로써 정확한 실내 평균온도 측정이 가능하다.

2.2 퍼지제어 알고리즘

퍼지제어기는 퍼지화(fuzzification), 제어규칙(rule), 추론(inference) 및 비퍼지화(defuzzification) 부분으로 구성이 되며, 그림 2는 본 논문에서 사용된 퍼지제어기의 블록 다이어그램을 나타낸다.¹¹⁾

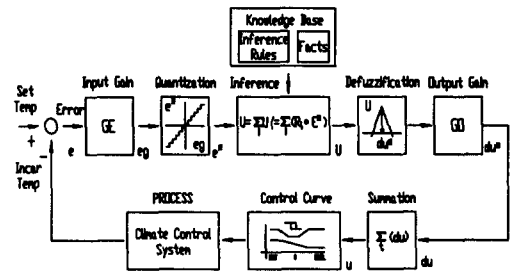


Fig. 2 Block diagram of the fuzzy climate controller

입력변수는 현재의 차 실내 평균온도와 사용자 설정 온도와의 차 즉, 오차 (e)와 오차의 변화량 (ce)을 사용하며, 다음과 같이 정의한다.

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

$$ce(k) = e(k) - e(k-1) \quad (2)$$

여기서, $r(k)$ 는 k 번째 샘플링에서의 사용자 설정온도, $y(k)$ 는 k 번째 샘플링에서의 차 실내 평균온도이며, $e(k)$ 는 오차(error), $ce(k)$ 는 오차

의 변화량(change in error)을 나타낸다.

출력변수 du 는 기후제어 시스템의 여러 보조 장치를 통합 제어하기 위한 최적화 된 조작량을 나타낸다.

2.2.1 퍼지화

퍼지화는 차량에 장착된 각종 센서로부터 입력 변수의 값을 측정하여 이것을 퍼지추론을 할 수 있는 전체집합(universe of discourse)으로 크기 변환(scale mapping)을 하고 입력 데이터를 적절한 언어적인 값으로 나타내는 것이며, 본 논문에서는 입력값의 퍼지화 방식으로 구현하기 쉽고, 타 퍼지집합과 연산이 간단하게 처리되는 퍼지단일값(fuzzy singleton)방법을 사용하였다.

퍼지 언어 변수는 7단계, 즉 PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB로 정하였으며, 그림 3과 같이 입출력에 대한 7개의 기본 언어 변수에 따른 삼각형 모양의 소속함수를 갖도록 하였다.

그리고, 소속함수의 값은 그림 7의 (b)에 나타난 시뮬레이션 결과와 같이 차 실내 공간의 쾌적성을 고려하여 오버슈트(overshoot) 없이 목표온도에 빠르게 수렴되어 안정성이 좋은 값을 반복 시뮬레이션에 의해 정하였다.

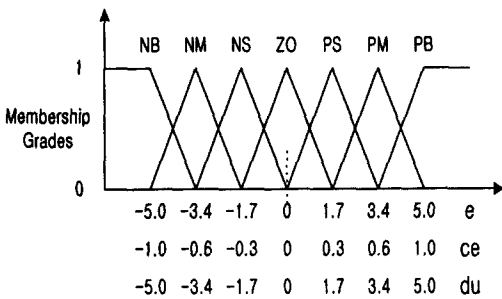


Fig. 3 Membership function of e, ce, du in the fuzzy climate controller

2.2.2 퍼지추론

표 2는 퍼지 기후제어기의 제어규칙을 나타내

는데, 여기서 행렬의 각 요소들은 입력변수 e (error), ce (change in error)와 출력변수 du 를 나타낸다.

Table 2 Control law of the fuzzy climate controller

		Change in Error ce						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
Error e	NB	NB	NB	NB	NB	ZE	ZE	ZE
	NM	NB	NM	NM	NM	ZE	ZE	ZE
	NS	NB	NM	NS	NS	PS	PS	PS
	ZE	NS	NS	NS	ZE	PS	PS	PS
	PS	NS	NS	NS	PS	PS	PM	PB
	PM	ZE	ZE	ZE	PM	PM	PM	PB
	PB	ZE	ZE	ZE	PB	PB	PB	PB

그리고, 추론법에는 Mandani가 제안한 Max-Min 합성규칙을 사용하였고, 이의 합의와 추론은 다음과 같다.

$$\mu_R(e, ce, du) = \text{Min}(\mu_E(e), \mu_{CE}(ce), \mu_{DU}(du)) \quad (3)$$

$$\mu_{DU}(du) = \text{Max} - \text{Min}(\mu_E(e'), \mu_{CE}(ce'), \mu_{DU}(du')) \quad (4)$$

여기서, e' , ce' 및 du' 는 각각 제어기 입력의 실수치이며, μ 는 소속함수를 가리킨다.

2.2.3 비퍼지화

제어기의 출력값은 퍼지변수로서 소속함수로 표현되는 반면에 실제 제어계에는 퍼지변수가 적합하지 않으므로 제어계에 적합한 보통값(crisp value)으로 변환하는 과정인 비퍼지화 단계가 필요하다. 일반적인 비퍼지화 방법으로는 최대 평균법(Mean of Maximum Method)과 무게 중심법(Center of Area Method)이 많이 사용되는데, 본 논문에서는 무게중심법을 이용하고, 이산적인 계산을 수행하기 위해서는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$du_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(du_j) \cdot du_j}{\sum_{j=1}^n \mu(du_j)} \quad (5)$$

여기서, n 은 제어입력 변화량에 대한 양자화 단계이고, du_j 는 j 번째 양자화단계에서 제어입력 변화량을 의미하며, $\mu(du_j)$ 는 그 변화량에 대한 소속함수 값을 나타낸다.

2.3 기후제어기의 통합 제어

폐지 기후제어기로부터 연산에 의해 출력된 제어량 u 는 통합 제어 명령에 의해 기후제어 시스템의 냉방장치 및 난방장치 등의 보조시스템에 전달되어 통합적으로 제어가 이루어진다. 본 논문에서 사용된 통합 제어 명령은 그림 4와 같으며, 이것은 쾌적한 환경설정에 대한 표 3의 통계적인 사항을 토대로 그림 5와 같이 여름 및 겨울철 등의 환경 모드가 가능한 풍동실험을 통하여 기후제어 시스템의 각 보조장치에 대한 제어량을 경험적으로 최적화 하였다.¹²⁾

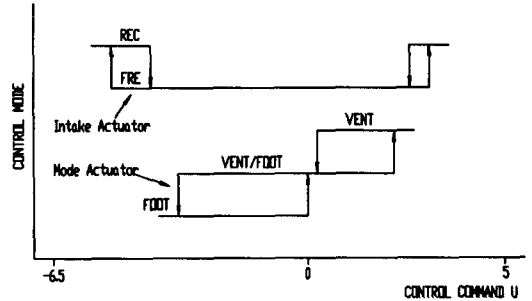
Table 3 Statistical data on thermal comfort

항 목	내 용
여름철	햇빛이 있을 때 : 18 ~ 20℃ 햇빛이 없을 때 : 20 ~ 22℃
겨울철	26 ~ 30℃, 난방시에는 신체의 상반신과 하반신의 온도차 : 6 ~ 8℃인 두한족열(頭寒足熱) 고려
불쾌지수	68 ~ 73

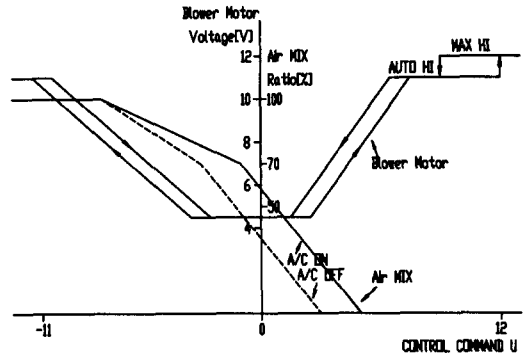
그림 4에서 블라워 모터의 변화량이 통합 제어 명령에 대하여 기울기가 다른 것은 난방성능과 냉방성능의 차이를 보여주며, 차량 실내의 열적 평형을 이룬 상태에서는 토출풍량이 0, 즉 블라워 모터에 인가되는 전압이 0[V]가 되어야 하나 일사, 승차 인원의 발열 등의 열손실에 대한 보충과 내기의 순환을 위하여 0의 값으로 하지 않고

풍속 0.5m/sec를 유지할 수 있도록 하였다.

그리고, 냉난방 혼합비 제어는 압축기의 작동시, 열원의 온도변화에 대한 토출온도 변화를 고려하여 압축기의 작동여부에 따라 통합 제어량을 차별화 하였다.



(a) Control command of intake and mode door



(b) Control command of air mix ratio and blower motor speed

Fig. 4 Control command graph

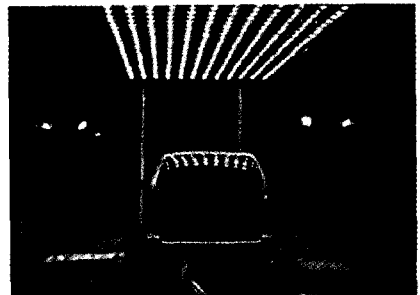


Fig. 5 Environment of the wind tunnel test

3. 퍼지 기후제어기의 제어특성 평가

3.1 기존 기후제어기

기존 기후제어 시스템에 적용된 일반적인 제어 방법은 식 (6)에 나타낸 온도 밸런스 식에 의해 얻어진 종합신호 T 에 의해 제어되었으며, 그림 6은 이의 제어 블록 다이어그램을 나타낸다.

$$T = \alpha(T_{room} - 25) + \beta(T_{amb} - 25) + \gamma(T_{set} - 25) - \rho \quad (6)$$

여기서, α , β , γ , ρ 는 이득 보정 계수를 나타내며, 이들의 값은 반복 실험에 의해 결정한다.

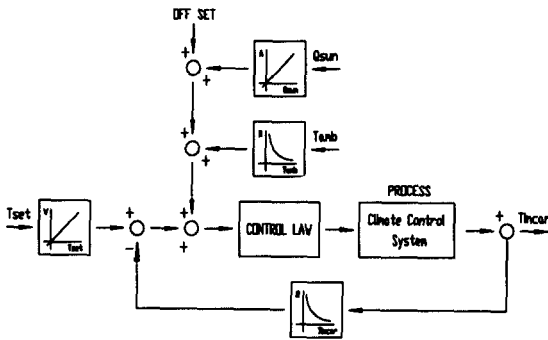


Fig. 6 Block diagram of a conventional climate controller

그리고, 산업분야의 자동제어 분야에 널리 사용되어진 PID 제어에 의한 피드백 제어가 이루어지고 있으며, 다음의 식(7)과 같다.

$$u = K \left\{ \Delta T + \frac{1}{\gamma\tau} \int \Delta T dt + \gamma d \cdot \frac{d\Delta T}{dt} \right\} \quad (7)$$

여기서, u : PID 제어식에 의한 제어신호
 ΔT : (설정-실내)에 대한 시간의 함수
 K : 비례 계인
 $\gamma\tau$: 적분 시간
 γd : 미분 시간
 t : 시간

을 나타낸다. 그리고, 식(7)을 마이크로컴에서 처리가

능한 디지털 제어식으로 근사하면 식(8)과 같으며, 사용된 비례정수는 시뮬레이션 및 실험을 통하여 결정하였다.

$$u(kT) = K \left\{ \Delta T(kT) + \frac{T}{\gamma\tau} \sum_{i=0}^k (it) + \frac{\gamma d}{T} [\Delta T(kT) - \Delta T(kT-1)] \right\} \quad (8)$$

여기서, T 는 샘플링 주기를 나타낸다.

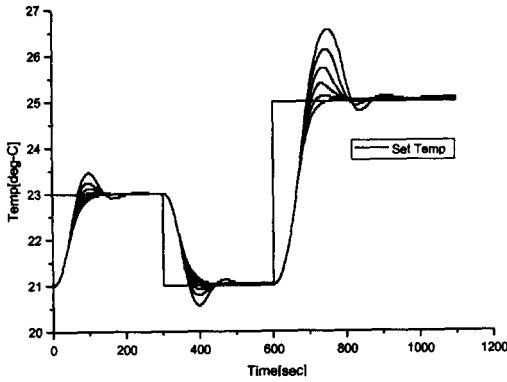
3.2 제어특성 비교

본 논문에서 시뮬레이션을 위해 사용된 에너지 열 평형식은 참고문헌[8]에 나타낸 것과 같으며, 차량 내부의 열 환경 변화 및 유지를 도모하기 위하여 이를 만족하여야 한다. 시뮬레이션에서는 차량 내부로 유입되는 에너지원은 공조기에서 발생시킨 것 뿐이며, 에너지의 크기는 유입온도 및 풍량으로 한정하였다. 여기서, 유입온도는 송풍기 유입 공기온도, 증발기 표면 공기온도, 히터 코어 표면 공기온도 및 도어의 각도에 따라 변화하며, 도어의 각도는 액츄에이터 전압에 의해 결정되게 된다.

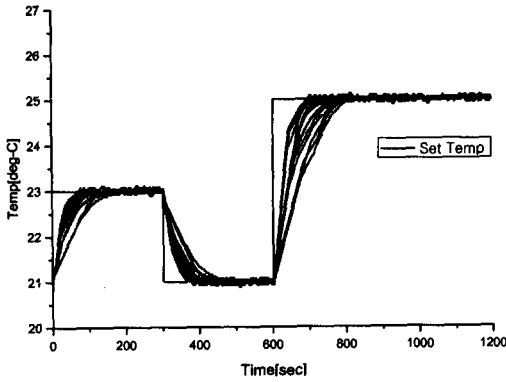
시뮬레이션에서는 도어의 각도를 고정시킨 이후의 효과에 대해서만 고려하였다. 이것은 토출구의 변화에 따라 평균온도가 달라짐을 나타낸다. 따라서 실내 온도센서 부근의 가상영역의 온도와 풍속을 구하여 이 영역에서 센서까지의 열 전달을 계산하여 그 출력특성을 시뮬레이션 하였다.

그림 7은 기존 제어기 및 퍼지 기후제어기의 응답특성을 비교한 결과를 나타낸 것으로 (a)는 PID 제어기에서 비례정수의 변화에 따른 출력특성을, (b)는 퍼지제어기에서 소속함수 값의 변화에 대한 출력특성을 나타낸다. 그리고, (c)는 PID 및 퍼지제어기의 시뮬레이션 결과 중 제어특성을 양호하게 만족한 결과의 비교를 나타낸다.

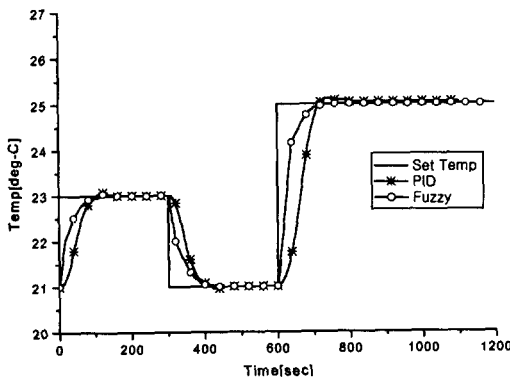
그림 7의 (c)에서 보듯이 설정온도를 23→21→25℃로 가변하여 시뮬레이션을 한 결과, 퍼지제어의 경우는 설정온도에 도달한 후 약간의 오버



(a) PID controller output as a function of gain



(b) Fuzzy controller output as a function of the membership value.



(c) Comparison between PID and fuzzy controller

Fig. 7 Comparison with a conventional climate controller

슈트가 있으나 짧은 시간내에 설정온도에 도달한 후 안정되어 정상상태를 유지한다. PID 제어는 설정온도 도달성은 좋으나 안정성이 약간 부족하다. 이것은 미분항의 영향으로 미분항을 크게 하면 응답성은 향상되지만 안정성은 나빠짐을 알 수 있다. 특히 설정온도를 23℃로 설정했을 때 보다 25℃로 설정했을 경우 오버슈트 및 정상상태 오차가 커짐을 알 수 있는데 이것은 시스템의 특성이 시간에 따라 변화하여 PID 제어를 할 경우 PID 이득을 재조정하여야 함을 나타낸다.

이상의 시뮬레이션 결과와 같이 퍼지 기후제어는 설정온도를 추종할 때 기존 제어에 비해 정상편차를 작게 할 수 있고, 안정성도 확보할 수 있다는 것을 알 수 있다.

4. 실차 실험결과 및 고찰

4.1 퍼지 기후제어기의 구현

본 논문에서 제안된 퍼지 기후제어기의 유용성을 평가하기 위하여 필립스(Philips)사의 원칩 마이크로 컴퓨터인 80C552에 의해 구현하였다. 그림 8은 제작된 기후제어기의 제어 블록선도를 나타내며, 제어기의 기본적인 흐름을 나타내고 있다. 이때 실시간 영역에서 퍼지출력의 계산은 시간 소모가 많기 때문에 입력값의 가능한 모든 경우에 대해 우선적으로 출력을 계산함으로써 형성된 룩업 테이블(Look-Up table)을 채용하여 제어 주기를 짧게 하였다.

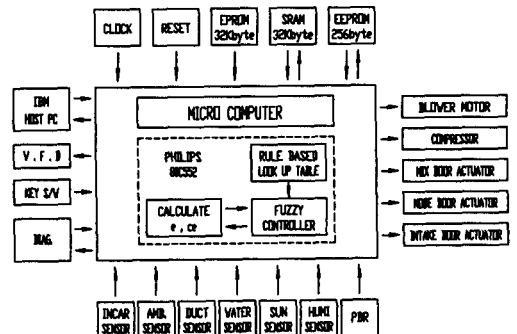


Fig. 8 Block diagram of the automotive climate controller

4.2 실험장치 구성

본 논문에서 구현된 퍼지 기후제어기를 실차 장착하여 주행실험을 하였다. 그림 9는 실험장치의 구성도를 나타내며, 효과적인 데이터 관리 및 데이터의 실시간 처리를 위하여 PC에서 운영되어지는 전용의 소프트웨어를 구성하였다.

실험에 사용된 온도센서는 T형 열전대를 사용하였으며, 센서의 장착위치는 다음과 같다. 각 토출구의 토출온도 측정을 위해 VENT(LH, RH, CTR) 및 FOOT(LH, RH) 토출구에 5개, 운전자 및 보조석 승객의 얼굴과 다리 부근의 온도 측정을 위해 4개, 뒷자석 온도 측정에 4개, 외기온도 측정에 3개, 그리고 중심온도 측정에 2개, 총 18개의 센서를 장착하였다.

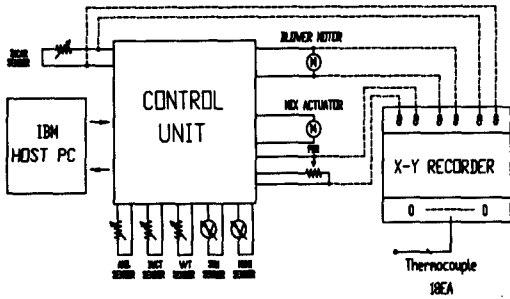


Fig. 9 Schematic diagram of the experimental apparatus

그림 10은 실험차량의 내부를 나타내며, (a)는 실험에 사용된 계측장비를 (b)는 VENT 토출구의 센서 장착 상태를 (c)는 운전자 얼굴 부근의 온도 측정을 위한 센서 장착 상태를 그리고, (d)는 중심온도 측정을 위한 센서 장착상태를 나타낸다.

실험에서 각 센서의 데이터 측정주기는 1초로 하였으며, 이를 통하여 구현된 제어기의 제어 성능에 대한 실내환경 변화를 관찰하였다.

4.3 실험결과 및 고찰

실차 주행실험은 워밍업(warm up)과 쿨다운(cool down)에 대한 설정온도 도달성 및 안정성



(a) Test equipment



(b) Measurement of the VENT temperature



(c) Measurement of the temperature around driver's face



(d) Measurement of the temperature around center of vehicle

Fig. 10 Test vehicle

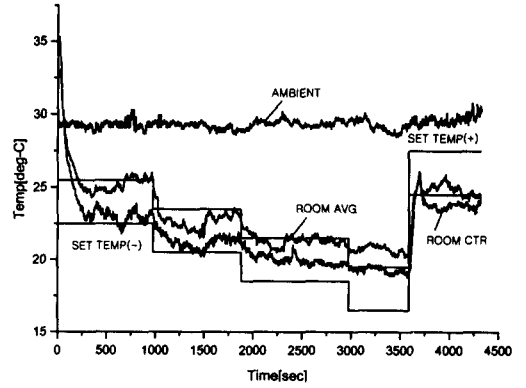
등을 평가하기 위하여 2차에 걸쳐 수행되었다. 이때 승차인원은 3명, 주행속도는 80Km/h를 유지하였다. 그림 11은 주행 중 설정온도를 25→23→21→19→25℃로 가변하여 얻은 쿨 다운 및 워업 시의 제어성능 실험결과를 나타낸다.

본 논문에서 구현된 제어기의 유용성을 평가하기 위한 평가요소는 차 실내 평균온도(Room AVG)와 중심온도(Room CTR)이며, 평균온도는 실내에 장착된 센서 중 운전자 및 보조석 승객의 얼굴과 다리 부근의 온도측정을 위해 사용된 4개의 센서 값을 평균하였으며, 중심온도는 중심온도 측정을 위해 장착된 2개의 센서 값을 평균하였다.

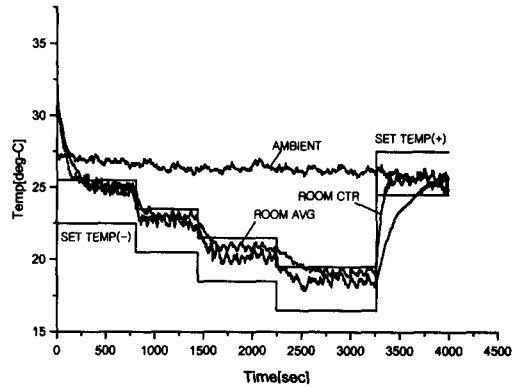
그리고, 평가항목으로는 설정온도에 대한 평균온도 및 중심온도의 추종성과 평균온도와 중심온도의 일치성 등이다. 여기서 일치성을 고려하는 이유는 차 실내의 전체적인 열환경 조화를 평가하는 것으로 이들 온도가 설정온도를 잘 추종하면서 이들 온도변화의 갭(gap)이 적은 제어기는 시스템의 제어량 즉, 토출온도, 토출풍향 및 토출풍량을 적절히 조화롭게 제어한 시스템이라 할 수 있기 때문이다. 그림 11과 표 4의 실험결과는 본 논문에서 구현된 퍼지 기후제어기의 성능이 기존 PID 제어기에 비해 설정온도 추종성이 빠르며, 정상상태에서 안정성 즉, 설정온도에 대한 평균온도와 중심온도의 차가 평균적으로 0.87, 1.2℃인 PID 제어에 비해 퍼지제어기가 0.69, 0.64℃로 양호함을 알 수 있다.

평균온도와 중심온도의 일치성은 퍼지제어기 0.57℃, PID 제어기 1.10℃로 일치성 또한 퍼지제어기가 뛰어난을 알 수 있다. 여기서 그림 11의 (b)를 보면 평균온도와 중심온도의 차이는 설정온도가 낮을수록 커짐을 알 수 있는데 이것은 기후제어 시스템의 통합 제어시, 풍향조절을 두한족열(頭寒足熱)에 근거하여 사람의 얼굴 쪽으로 향하기 때문이다.

그리고, 쿨 다운 성능 실험 후 즉, 차 실내 온도를 19℃로 유지 후 다시 설정온도를 25℃로



(a) Test result of the PID controller



(b) Test result of the fuzzy controller

Fig. 11 Actual vehicle test results

Table 4 Analysis of the actual vehicle test results

단위 : [℃]

		설정 - 평균		설정 - 중심		평균 - 중심	
		PID	Fuzzy	PID	Fuzzy	PID	Fuzzy
설 정 온 도	25	1.11	1.01	1.91	0.79	1.53	0.39
	23	0.51	0.24	1.47	0.39	0.98	0.34
	21	0.43	0.31	1.01	0.75	0.76	0.61
	19	1.70	0.44	0.30	0.45	1.41	0.45
	25	0.62	1.44	1.39	0.81	0.83	1.04
	Total	0.87	0.69	1.22	0.64	1.10	0.57

변경할 때 기존 제어기는 설정온도에 빠르게 도달하나 내외기 절환도어를 적절히 제어하지 못하여 텅텅한 느낌을 주었다. 그러나 제안된 퍼지 기후제어기는 열쾌적을 고려하여 설계되어 외기온도와 실내온도의 차가 많은 경우의 뒀업 제어시에는 절대습도가 낮은 외기를 도입하여 냉난방 혼합비를 적절히 제어하여 제습기능을 수행하면서 설정온도를 추종하므로 설정온도 도달성은 다소 늦으나 열쾌적을 얻을 수 있었다.

마지막으로 구현된 퍼지 기후제어기를 실차에 장착하고 시뮬레이션 결과에 기반하여 제어시스템을 튜닝할 때 PID 제어기의 경우 각 비례정수의 적절한 조정을 위해 많은 노력(시간, 비용)이 필요하며, 다양하게 변하는 차 실내 환경에 대한 최적해를 찾기가 어려웠다. 이에 반해 퍼지 기후제어기는 눈에 보이는 구체적인 사항을 통해 "무엇을 하면 좋겠는가"라는 알고리즘으로 이루어져 있기 때문에 시스템 튜닝이 다소 쉬웠다.

5. 결 론

기존 기후제어 시스템에 적용된 제어이론은 차량의 복잡한 열전달 특성 및 폭 넓은 습열 환경으로 인하여 제어대상의 수학적 모델을 얻기가 어려웠다.

특히 자동차 기후제어 시스템을 수학적 모델로 설계한 제어기는 비선형성이 강하고 특성이 시간에 따라 변하여 실제환경에서 설계성능을 만족하지 못하고 비례 계인을 재조정하여야 하는 문제를 안고있다.

본 논문에서는 자동차 기후제어 시스템과 같이 비선형성이 강한 시스템에 실세계에 근사적이고 불확실한 현상을 기술하는데 효과적인 퍼지이론을 이용하여 퍼지 기후제어기를 구현하였다.

실차 주행 실험결과는 열쾌적을 고려한 퍼지 기후제어기의 통합 제어가 온도 밸런스 식 및 PID 제어에 비해 설정온도 추종과 안정성에서 우수함을 나타냈다. 이것은 PID 제어기와 같이 하나의 식으로 제어 알고리즘을 기술하는 것에 비

해 퍼지제어기는 복수개의 제어규칙들의 집합에 의해 구성되어 있기 때문에 섬세한 제어가 가능하기 때문이다.

향후 연구과제로는 인간이 주변환경에 대해서 느끼는 열쾌적을 지능제어를 통하여 정량화시켜 사용자가 기존의 설정온도를 재 설정하는 반복과정을 거치지 않고 사용자에게 쾌적한 실내공간을 제공하기 위한 설정온도 생성에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- 1) 박민용, "퍼지이론의 산업적 응용", 대한전기학회지, Vol. 39, No. 12, pp. 33~40, 1990.
- 2) 이상배, "Fuzzy-Neuro Controller for Control of Air-Conditioning System", 한국퍼지 및 지능시스템학회 논문지, Vol. 5, No. 1, pp. 33~42, 1995.
- 3) 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.
- 4) J. G. Cherng and W. J. Wu, "Design Tool for Climatic Control of an Automotive Vehicle", SAE Paper No. 891966, 1989.
- 5) 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.
- 6) G. L. Davis, "Computer Simulation of Automotive Air Conditioning Components, System, and Vehicle", SAE Paper No. 720077, 1972.
- 7) 오상한, 이창원, 원성필, "자동차 열부하

- 의 계산", 한국자동차공학회 1995년도 추계학술대회 논문집 No. 953839, 1995.
- 8) 윤팔주, 이형규, 권길식, "자동차용 공조장치 성능해석 및 차량 실내온도 예측에 관한 연구", 한국자동차공학회 1994년도 추계학술대회 논문집 No. 943926, 1994.
- 9) A. Kakinuma, "Micro-computer-controlled Air Conditioner", JSAE Review, Vol. 40, No. 2, pp. 189~197, 1986.
- 10) M. Musou, K. Kawashima and Y. Sawahata, "Automatic Air Conditioner of Automobile", JSAE Review, Vol. 27, No. 346, pp. 57~66, 1988.
- 11) C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control System : Fuzzy Logic Controller Part I and II", IEEE Trans. Sys. Man. Cybern., Vol. 20, No. 2, pp. 404~435, 1990.
- 12) P. O. Fanger, "Thermal Comfort Analysis and Applications in Environmental Engineering", McGraw Hill, 1972.