

자동차용 연소식 프리히터의 온도제어를 위한 퍼지 제어기 설계

*정원근, **이한욱, **이상준, **김주호
김광열, *조원래, **이건기

Fuzzy Controller design of fuel fired heater for vehicle to control temperature

*W. G. Jeong, **H. W. Lee, **J. S. Lee, **J. H. Kim,
G. Y. Kim, *W. R. Jo and **G. K. Lee

요 약

본 논문은 버스에 사용되는 연소식 프리히터(Fuel Fired Heater) 퍼지 제어기(Fuzzy controller)를 설계하였다. 프리 히터는 얼마나 빠른 시간 안에 설정한 온도에 다다르는지와 공간내의 온도 편차가 얼마나 작게 발생하는지의 두 가지가 가장 중요한 요소이다. 기존의 연소식 프리히터의 온도 제어 방식으로 사용된 PI 제어기의 온도편차를 줄임과 동시에 응답 특성을 개선한 퍼지 제어기를 설계하여 그 성능을 평가하였다. 설계된 퍼지 제어기에서 온도를 설정하면 기존의 PI 제어방식에서는 25℃의 도달시간이 12분 소요되었으나 퍼지 제어방식에서는 9분 20초 소요되어 기존의 제어기보다 퍼지제어기가 2분 40초의 빠른 응답 성능으로 향상됨을 확인하였다. 난방의 온도 편차에서도 기존의 PI 제어 방식에서는 2.4℃의 편차를 보인 반면 설계된 퍼지 제어기에서는 1.6℃로 온도 편차 또한 개선되었음을 확인하였다.

ABSTRACT

The fuzzy controller of the FFH(Fuel Fired Heater) used for vehicle is designed in this study. Two of the most important things of the pre-heater are how fast it can be at the set temperature and how to reduce the temperature deviation in the space to a minimum. The temperature deviation of the existed FFH with PI controller for temperature controller was reduced. Also, the fuzzy controller improved the response characteristics, and then the performance was inspected. When setting the temperature in this designed fuzzy controller, it took 12 minutes in the existed PI control method to reach 25℃. However, it took 9 minutes and 20 seconds in the fuzzy control method. Therefore, it is proved that the fuzzy controller is better than the existed one with fast response performance as 2 minutes 40 seconds. The temperature deviation was 2.4℃ in the existed control method but 1.6℃ in the designed fuzzy controller. Accordingly, the temperature deviation was improved too.

Key Word

FFH(Fuel Fired Heater), fuzzy controller, temperature controller, bus heater, PI controller

* 경남도립남해대학 로봇항공전자과

** 국립경상대학교 공과대학 전자공학과(gklee@gsnu.ac.kr)

*** 마산대학 자동차공학부

**** 포항대학 기계시스템과

#논문번호 : KIIECT2009-04-07

#접수일자 : 2009.10.19

#최종논문접수일자 : 2009.11.20

1. 서 론

최근의 가파른 유가 인상과 더불어 버스 차량이 주요 운송 수단으로 자리 잡으면서 객실 공간의 쾌적한 온도 환경에 대한 관심이 증가되고 있다. 승합차 및 버스, 대형트럭 등에서 적용되고 있는 난방 시스템은 기존의 엔진의 동력과 엔진 열을 이용한 난방을 하는 방식에서 독립 난방 방식인 프리히터(Pre-Heater) 시스템을 장착하고 있다. 히터 시스템은 가열 방식에 따라 여러 방식으로 나뉜다. 연소열을 열원으로 하는 냉각수 가열식과 공기 가열식이 있으며, 전기를 열원으로 하는 PTC소자 (Positive Temperature Coefficient thermistor heating elements), 고주파 가열식 등이 있다. 이러한 히터 시스템은 빠른 난방, 친환경성, 소음, 쾌적성 등의 성능적인 측면과 정비성, 경제성, 안전성 등도 동시에 고려되어 설계 되어야 한다. 특히 이 중에서 히터의 가동 후 빠른 시간 내에 적절한 온도가 되도록 하는 난방 성능은 매우 중요한 항목이다.



그림 1. 연소식 히터 어셈블리 구조도
Fig 1. Structure of the FFH assembly

현재 대형 버스에서 주로 사용되고 있는 냉각수 가열방식의 히터 유닛(heater unit)는 열교환을 위한 발열체(heating element), 공기 유도판(air guide), 공기의 강제순환을 위한 송풍기(blower), 히터 라디에이터(heater radiator)등 다양한 변수에 의해 히터 유닛 내부의 열전달 및 유동특성에 지대한 영향을 미치며, 난방성능에 많은 영향을 준다. 이러한 히터 시스템은 에너지 효율을 높이기 위해서 많은 제어 기법이 개발되었으나 복잡한 비선형적 특성을 가지고 있어 고전적 PI제어나 직접적인 디지털 제어 방법이 현장에 많이 이용되고 있다. 이 기법은 오랜 기간 사용 시 에너지 효율이 많이 떨어지는 단점을 지니고 있다[1,2].

본 논문에서는 기존에 개발된 제어방식에서 사용할 수 없는 상태값을 퍼지 시스템을 설계하여 설정 온도에 최적화 할 수 있는 퍼지 제어기를 제안하며, 기존 제어기와 비교 분석하여 에너지 효율을 높일 수 있는지를 성능 평가한다.

II. 연소식 프리히터 퍼지 제어기의 구성

본 연구에서는 버스 내부의 일정한 상태의 온도를 유지하기 위하여 퍼지 제어를 이용하였으며, 온도 제어 시스템의 구조는 그림 2와 같다.

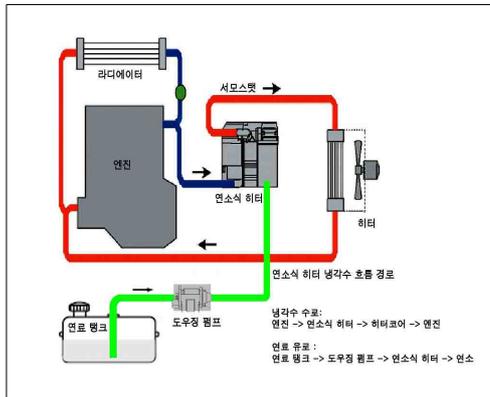


그림 2. 연소식 프리히터 개념도
Fig 2. Schematic of the FFH

온도의 설정에 따라 버너, 히터 라디에이터 밸브, 송풍기, 환기팬이 동작하게 되며, 실내온도, 실외온도 및 온수온도의 온도센서가 온도를 측정하며 히터 라디에이터에서 송풍기를 통하여 온도를 전달한다. 측정된 온도는 현 상태와 전 상태의 온도를 비교하여 오차값의 온도에 따라 히터를 제어하여 일정한 온도를 유지하게 된다.

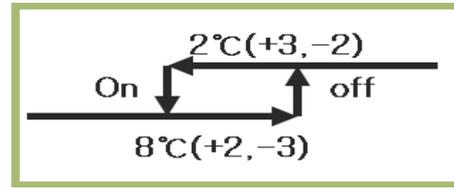


그림 3. 실외 온도에 따른 작동 조건
Fig 3. The working conditions of outdoor temperature variations

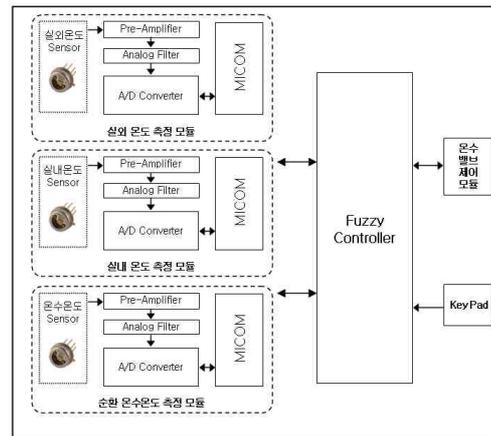


그림 4. 온도 제어 시스템의 블록도
Fig 4. A block diagram of temperature control system

온도를 일정하게 유지하기 위한 온수 조절에는 온도의 변화에 입각한 조절, 분량이나 양의 변화에 따른 조절과 두 가지를 혼합한 조절 방법이 있다. 본 연구에서는 실외 온도 및 실내 온도와 온수 온도의 변화에 따른 온수량을 조절하였다. 그림 5는 퍼지제어 구조를 나타내고 있다. 퍼지제어는 크게 퍼지화, 퍼지 추론 제어 엔진, 비퍼지화로 구분할 수 있다. 퍼지화를 위해서 본 연구에서는 퍼지 입력변수는 3개이며, 각 입력변수는 X_1 = 실내온도상태, X_2 = 실외온도상태, X_3 = 순환온수온도상태, X_4 = 순환온수밸브상

태를 나타낸다. 그리고 퍼지 출력변수로 $Y_1 =$ 온수밸브 조절 전압을 나타낸다.

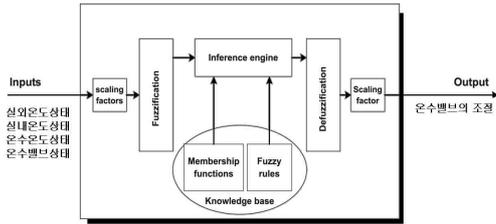


그림 5. 퍼지 제어기의 구조
Fig 5. Structure of fuzzy controller

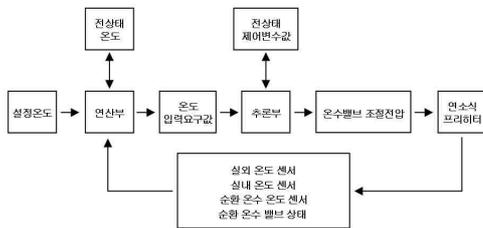


그림 6. 퍼지 제어 시스템의 추론 과정
Fig 6. The inference process of fuzzy control system

3.1 퍼지화

퍼지제어기는 퍼지논리를 응용하므로 하나의 명확한 값 즉 크리스프한 값 (Crisp value)으로 측정된 입력 변수 값을 적절한 퍼지 값(Fuzzy set)으로 변환시킨다. 일반적으로 센서로부터 측정된 값을 그대로 입력부의 퍼지 변수영역으로 사용하기보다는 이를 퍼지제어를 할 수 있도록 미리 정해놓은 입력퍼지변수의 전체집합에 맞추어 주는 것이 편리하다. 이때 전체집합에 따라서 적절히 크기를 변환시키는 작업(Scale mapping)이 필요하다[3]. 먼저 입력변수의 상태를 각 센서로부터 받아들이고 각 상태의 변

화량의 범위를 그에 해당하는 전체 공간 값으로 변환한다. 그림 7, 그림 8, 그림 9, 그림 10은 입력변수에 대한 멤버십 (Membership) 함수를 나타내고 있다. 온도 데이터의 멤버십 함수는 삼각형 연속 퍼지 변수 형태로 그림 7과 같이 표현하였다. 각 기호는 VVC=Very Very Cold, VC=Very Cold, NC=Normal Cold, SC=Small Cold, ZE=Zero 이다. 실내온도와 실외온도의 차이는 쾌적한 실내 환경의 유지와 에너지의 경제적 사용에 중요한 변수가 된다. 즉 실내와 실외 온도 차이가 너무 많이 나게 되면 인체 건강 상에도 나쁜 영향을 미칠 뿐만 아니라 에너지를 낭비하게 된다. 그림 8은 실내온도와 실외온도차에 따른 퍼지 멤버십 함수의 표현이며, 각 기호는 온도의 차이가 VS=Very Big, NB=Normal Big, NS=Normal Small, VS=Very Small을 나타낸다.

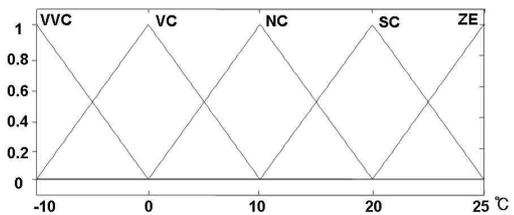


그림 7. 추위에 대한 멤버십 함수
Fig 7. Membership function of coldness

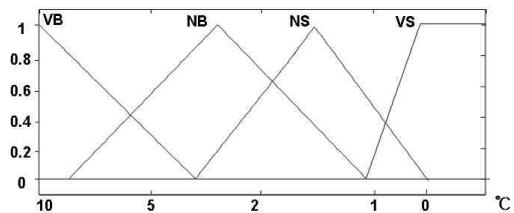


그림 8. 실내온도와 실외온도에 대한 멤버십 함수
Fig 8. Membership function of indoor and outdoor temperature

그림 9는 순환온수의 현온도와 전온도의 온도차에 대한 멤버쉽 함수의 표현이다. 버너의 순환펌프는 0에서 1까지의 정수값을 대표값으로 하여 아래와 같이 4개의 언어 변수들로 출력값을 정하였다.

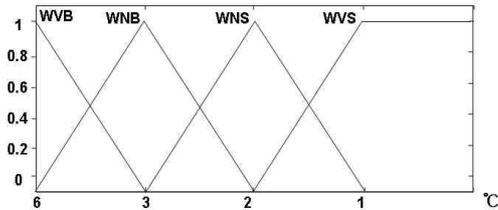


그림 9. 순환용수의 입구와 출구의 온도차에 대한 멤버쉽 함수
Fig 9. Membership function of water temperature difference

각 기호는 WVb=Water temperature difference is Very Big, WNB=Water temperature difference is Normal Big, WNS=Water temperature difference is Normal Small, WVS=Water temperature difference is Very Small을 나타낸다.

그림 10은 순환 용수 펌프에 대한 출력 변수값을 정하였다. 각 기호는 PBL=Pump Big Low, PML=Pump Medium Low, PMH=Pump Medium High, PBH=Pump Big High를 나타낸다.

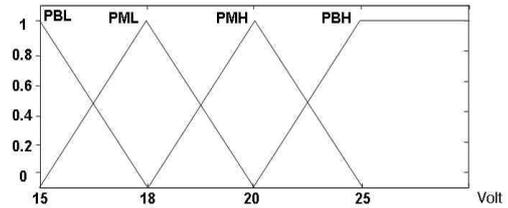


그림 10. 순환 용수 펌프의 멤버쉽 함수
Fig 10. Membership function of water pump

3.2 퍼지룰(Fuzzy rule) 및 퍼지 추론 방법

퍼지추론을 하기 위해서 퍼지룰을 기준에 현장에서 사용되던 경험 데이터를 바탕으로 18개의 룰을 만들었으며, 퍼지 추론은 맘다니의 Min-Max법을 이용하여 추론하였다.

$$Y_j = \bigwedge Y_{kj} \tag{1}$$

$$Y_{kj} = X_k \circ R_{kj}$$

$$= \bigvee_{i=1}^{18} [X_k \wedge R_{kj}]$$

$$R_{kj} = \bigvee_{i=1}^{18} [X_{ki} \wedge Y_{ji}]$$

여기서, $X_{ki} = i$ 번째 추론 규칙에 대한 k 번째 퍼지 입력변수

$Y_{ji} = i$ 번째 추론 규칙에 대한 j 번째 퍼지 입력변수

$Y_{kj} = k$ 번째 추론 규칙에 대한 j 번째 퍼지 입력변수

$X_k =$ 퍼지 입력변수 $Y_j =$ 퍼지 출력변수

$X_{ki} = i$ 번째 추론 규칙에 대한 k 번째

퍼지 입력변수

식 (1)은 맘다니의 최대 최소법을 나타내고 있다. 본 연구에서는 18개의 룰을 사용하였다. 각각의 퍼지 입력변수인 실내온도상태, 실외온도상태, 순환온수온도상태, 순환온수밸브상태와 그에 따른 퍼지 관계변수(R_{kj})와 'o' 연산을 수행하면 입력에 대한 각각의 퍼지출력(Y_{kj})이 나오며 최종적으로 '^' 연산을 함으로써 첫 번째 퍼지출력 변수인 가열장치 밸브 조절량(Y_1)이 출력된다.

3.4 비퍼지화(Defuzzification)

퍼지추론을 거쳐 생성된 제어값은 퍼지값이므로 실제적인 제어를 하기위한 비퍼지화를 한다. 비퍼지화는 퍼지추론의 합성법으로 많이 사용되는 맘다니의 Min-Max법을 이용하고[4,5], 퍼지 추론부의 퍼지출력 신호값을 실제 시스템에 적용하기 위해 명확한 비퍼지 제어 조작량으로 바꾸어 주는 비퍼지화 작업은 식 (2)와 같이 최대 평균법을 사용하였다.

$$Y_{j \text{ def.}} = \sum_{b=0}^a \frac{U_b}{a} \quad (2)$$

여기서, $Y_{j \text{ def.}}$: j 번째 퍼지출력에 대한 비퍼지화

U_b : 소속함수값들이 최대가 되는 제어값

a : 최대값이 되는 제어값의 개수

II. 실험 및 결과

본 연구에서는 버스 내의 온도가 설정되었을 때 그 상태를 유지하고 승객들의 탑승에 따라 온도의 변화가 있더라도 빠르게 설정된 온도가 유지될 수 있도록 하기 위하여 퍼지 제어를 이용하였다. 그림 11은 PI방식의 기존 제어방식과 퍼지 제어를 사용했을 때 설정 값에 얼마나 빨리 도달하는지를 실험한 결과이다. 실험은 20인승 마을버스를 기준으로 수행되었으며, 승객의 승차 및 하차시의 도어 개방에 따라 변화하는 온도에 대한 응답 특성을 20회 반복 실시하여 평균값을 이용하였다. 온도를 일정한 값으로 설정하면 기존의 PI 제어방식에서는 2.5°C의 도달시간이 12분 소요되었으며 퍼지 제어방식에서는 9분 20초가 소요되어 기존 사양대비 2분 40초의 빠른 응답 성능으로 향상됨을 확인하였으며, 난방의 온도 편차에서도 기존의 PI 제어 방식에서는 2.4°C의 편차를 보인 반면 설계된 퍼지 제어기에서는 1.6°C로 온도 편차 또한 개선되었음을 확인하였다.

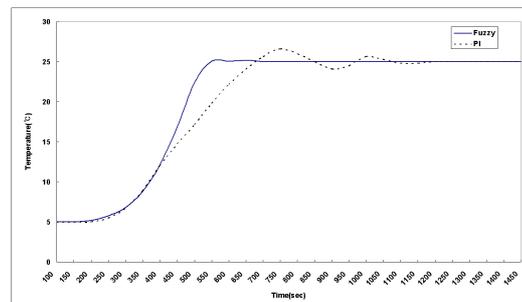


그림 11. 온도 응답특성
Fig 11. Response characteristics of temperature

II. 결 론

본 연구에서는 버스의 난방을 위해 사용되는 연소식 프리 히터의 온도 제어를 위한 제어기로서 응답특성 및 온도 편차를 개선하기 위하여 퍼지제어를 이용함으로써 기존의 PI 제어방식보다 설정치에 도달하는 응답특성이 개선되었으며, 온도 편차 또한 줄어들어 난방의 속효 성능이 보다 최적화 되어 보다 쾌적한 열환경을 갖는 객실공간을 제공함을 확인하였다. 이상의 연구를 통하여 퍼지 제어기를 사용한 연소식 프리 히터의 겨울철 차량 실내를 보다 쾌적하게 만들어 줄 수 있으리라 판단되며, 향후 온도뿐만 아니라 습도, 이산화탄소 등 객실환경과 밀접한 관계가 있는 다양한 환경변수도 적용하여 상호 교호작용을 고려한 최적의 객실 환경을 구성할 수 있는 연구가 필요하다.

본 논문은 교육과학기술부·지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학 육성사업의 연구결과입니다.

참고문헌

- [1] Thomas A. Trautzch, .Self-Tuning Temperature Control Using Fuzzy Logic., M.S. Thesis, Department of Electrical Engineering, Cleveland State University, June 1996
- [2] C.C. Lee, Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller Parts 1 & 2, IEEE Trans. on Sys. Man, and Cybernetics, Vol 20, No.2, pp404-435 March/April 1990.
- [3] Pekka Isomursu, Tapio Rauma, .Self-tuning fuzzy logic controller for temperature control of superheated steam, IEEE International Conference on Fuzzy Systems v 3 1994 p.1560-1563.
- [4] Yongmei Wang, Douglas J. Birdwell, .Nonlinear PID type controller utilizing fuzzy logic. Proc IEEE IFAC Jt Symp Comput Aided Control Syst Des 1994 p.89-94.
- [5] Seok-Yong Oh, Dong-Jo Park, .Self-tuning fuzzy controller with variable universe of discourse., Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics v 3 1995 p.2628-2632.

저자약력

정원근(Jeong Wongeun)



1997년 진주산업대학교
전자공학과 공학사.
2000년 경상대학교
전자공학과 공학석사.
2004년 경상대학교
전자공학과 공학박사
현재 경남도립남해대학
로봇항공전자과 교수

<관심분야> 신호처리, 시스템

김광열(Kim Gwangyull)



1990년 경남대학교
전자공학과 공학사.
1998년 경상대학교
전자공학과 공학석사.
2004년 경상대학교
전자공학과 공학박사.
현재 마산대학
기계자동차공학부 교수

<관심분야> 자동 제어

이한욱(Lee Hanwook)



1999년 경상대학교
전자공학과 공학사.
2001년 경상대학교
전자공학과 공학석사.
2009년 경상대학교
전자공학과 공학박사

<관심분야> 생체신호처리, HCI

조원래(Jo Wonrae)



1990년 경남대학교
전자공학과 공학사.
1992년 경상대학교
전자공학과 공학석사.
2001년 경상대학교
전자공학과 공학박사.
현재 포항대학
기계시스템과 교수

<관심분야> 자동 제어

이상준(Lee Sangjun)



2009년 진주산업대학교
전자공학과 공학사.
2009년 경상대학교
전자공학과 공학석사
재학중

<관심분야> 신호처리, 시스템

이건기(Lee Gunki)



1978년 연세대학교
전기공학과 공학사.
1980년 연세대학교
전기공학과 공학석사.
1990년 연세대학교
의용공학과 공학박사
현재 경상대학교
전자공학과 교수

<관심분야> 신호처리, 의용 전자

김주호(Kim Juho)



2009년 경상대학교
전자공학과 재학중

<관심분야> 신호처리, 시스템