

---

# 퍼지 제어 기법을 이용한 차량의 연료 제어

김광백\* · 우영운\*\* · 하상안\*\*\*

## Fuel Injection Control of Vehicles Using Fuzzy Control Technique

Kwang-Baek Kim\* · Young Woon Woo\*\* · Sang-An Ha\*\*\*

### 요 약

자동차의 연료분사에 관여하는 전자제어 센서에는 공기유량 센서, 흡기온도 센서, 대기압 센서, 냉각수 온도센서, 스로틀 포지션 센서, 모터 포지션 센서 등이 있다. 본 논문에서는 흡기온도 센서의 온도 변화와 공기와 연료의 혼합비율인 공연비에 대해 퍼지 제어 기법을 적용하여 차량의 연료 소비를 제어하는 방법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 각각의 공기 유입량과 연료 분사량을 이용하여 공연비 수치를 구한 후, 공연비, 흡기온도, 최종 연료 보정량에 대해 설정된 퍼지 소속 함수와 퍼지 추론 규칙에 따라 차량 연료가 제어된다. 제어하는 방법을 제시하였다. 시뮬레이션을 통한 일반적인 차량의 연료 제어 방법과 비교 분석한 결과, 제안된 방법이 차량의 연료제어에 있어 효과적임을 확인하였다.

### ABSTRACT

In general, there are many sensors for fuel injection control such as an air flow sensor, an air intake temperature sensor, a cooling water temperature sensor, a throttle position sensor, and a motor position sensor. In this paper, we proposed a method for controlling the amount of fuel consumption in cars using fuzzy control technique by temperature change of an air intake temperature sensor and air-fuel ratio, the ratio of air and fuel mixture. In the proposed method, the amount of fuel injection is controlled by fuzzy membership functions and fuzzy inference rules established for air-fuel ratio, air intake temperature, and final fuel compensation, after computing air-fuel values using each amount of air intake and each amount of fuel injection. We verified that the proposed method is more efficient than conventional methods in fuel injection control from the results of the simulation program.

### 키워드

Fuel injection control, Fuzzy control technique, Fuzzy inference

### I. 서 론

기본 국제유가가 연일 최고치를 경신하고 있다. 국제유가 전문가들은 이러한 양상이 언제까지 지속될지 예측조차 못하고 있는 실정이다. 해가 갈수록 변화가 심해

지는 자연재해와 국제협력관계 등이 더욱 국제유가 상승을 부채질하고 있다.

휘발유 가격이 리터 당 1500원을 넘어서면서 자동차 운전용 하기에다 사실 휘발유 가격이 부담스러워지기 시작했다. 그로 인해 연료 소비를 줄이기 위해 많은 연구

---

\* 신라대학교 컴퓨터정보공학부  
\*\* 동의대학교 멀티미디어공학과  
\*\*\* 신라대학교 환경공학과

가 진행되었으며, 대체 에너지의 개발도 시급해졌다.

자동차 연료분사 제어는 공기유량 센서, 흡기온도 센서, 대기압 센서, 냉각수 온도 센서, 스로틀 포지션 센서, 모터 포지션 센서 등에 의해서 이루어진다. 자동차의 중앙처리 장치인 ECU는 이들 센서에서 보내오는 정보를 이용해 연료분사를 제어한다[1].

본 논문에서는 공기유입량과 연료 분사량의 정보를 이용하여 공연비의 수치를 계산하여 공연비에 대한 퍼지 소속 함수와, 온도에 대한 소속 함수, 최종적으로 연료분사 조정량에 대한 퍼지소속 함수를 설계하였다. 또한 이들 소속 함수의 소속도를 이용하여 퍼지 제어 규칙에 적용한 후, 연료를 제어한다. 그리고 무게 중심법을 이용하여 비퍼지화를 수행하여 최종 연료 보정량을 계산한다.

## II. 차량의 흡기 온도에 따른 연료 증량비

일반적인 차량의 연료 제어 구조는 그림 1과 같다. 엔진 ECU는 각종 센서로부터 신호를 입력받아 필요한 계산을 한 후, 현재의 기관 상태에 알맞은 제어 값을 출력하여 연료의 분사 시기, 분사량 등을 제어한다[2].

본 논문에서는 차량의 흡기 온도 센서의 정보에 대해서 퍼지 제어 기법을 적용시켜 연료의 분사를 조절한다.

일반적으로 흡기 온도에 의한 ECU의 연료제어는 20°C를 기준으로 20°C 이하면 컴퓨터에 큰 전류를 흐르도록 하여 연료의 분사량을 늘리며, 20°C 이상이면 분사량을 줄인다[3]. 그림 1은 기본적인 차량의 연료제어 구조를 나타내었으며, 그림 2는 온도에 의한 연료의 증량비를 나타내었다.

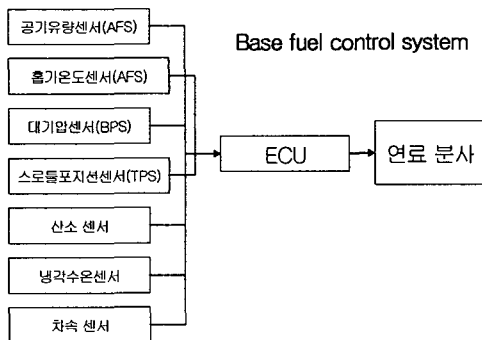


그림 1. 연료 제어의 기본 구조  
Fig. 1. The basic structure of fuel injection control

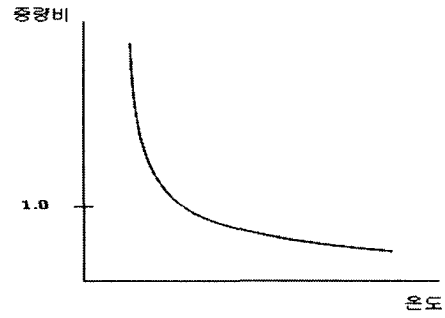


그림 5. 온도에 따른 연료 증량비  
Fig. 2. Fuel increase ratio by temperature

일반 차량의 흡기온도 센서에 대해 분사량의 조정은 그림 2와 같이 조절되며, 또한 엔진의 분사량은 식(1)과 같이 계산된다.

$$\text{분사량} = \text{기본분사량} \times \text{증량비} \quad (1)$$

## III. 퍼지제어를 이용한 자동차 연료 제어

본 논문에서 제안하는 퍼지 제어 기법의 구조는 그림 3과 같다.

흡기온도 센서의 온도의 소속도와 공연비의 농후함에 대한 소속도를 이용하여 퍼지 제어 규칙을 적용하여 최종 연료 조정량을 계산한 후, 계산된 조정량을 기존의 일반 차량의 연료 분사량에 반영시킨 후 연료분사 밸브에서 분사한다.

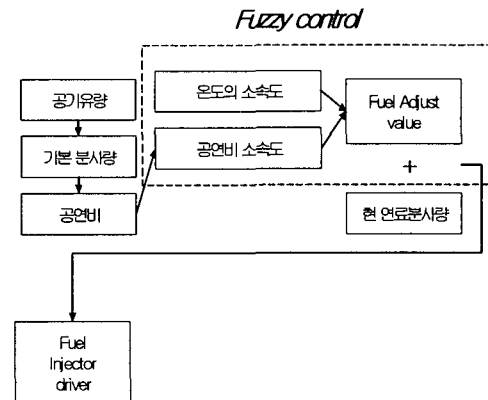


그림 3. 퍼지 제어 시스템  
Fig. 3. A fuzzy control system

제안된 퍼지 제어 기법을 이용한 차량의 연료 제어 구성도는 그림 4와 같이 흡기 온도 센서, 공기 유량 센서, 연료 압력 정보를 받아서 공연비 수치를 구한 후에 온도와 공연비 정보를 퍼지 제어 시스템에 적용한다.

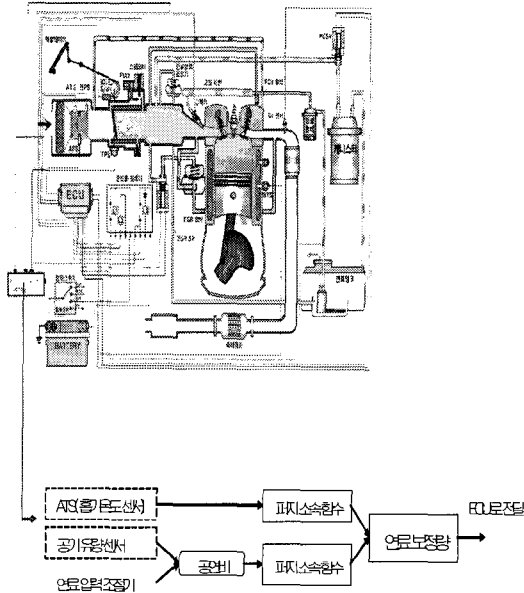


그림 4. 퍼지 제어 시스템을 이용한 차량 연료 제어  
Fig. 4. Fuel injection control of vehicles using a fuzzy control system

**3.1 온도의 소속 함수**

온도에 대한 소속도를 계산하는 식은 아래와 같으며, X를 온도의 입력값으로 사용한다.

온도에 대한 퍼지 소속 구간은 총 3구간이며 온도가 낮은 구간은 T1, 보통인 구간은 T2, 높은 구간은 T3로 분류한다. 온도에 대한 소속 함수는 그림 5와 같다.

**(1) 온도가 낮은 경우 소속도**

$$IF(X \leq 0) \text{ Then } \mu(X) = 1$$

$$\text{Else } IF(X > 20) \text{ Then } \mu(X) = 0$$

$$\text{Else } \mu(X) = \frac{-1}{20-0} (X-20)$$

**(2) 온도가 보통인 경우 소속도**

$$IF(X \leq 0) \text{ or } (x \geq 40) \text{ Then } \mu(X) = 0$$

$$\text{Else } IF(X < 20) \text{ Then } \mu(X) = \frac{1}{20-0} (X-0)$$

$$\text{Else } IF(X \geq 20) \text{ Then } \mu(X) = \frac{-1}{40-20} (X-40)$$

**(3) 온도가 높은 경우 소속도**

$$IF(X \leq 20) \text{ Then } \mu(X) = 0$$

$$\text{Else } IF(X \geq 40) \text{ Then } \mu(X) = 1$$

$$\text{Else } \mu(X) = \frac{1}{40-20} (X-20)$$

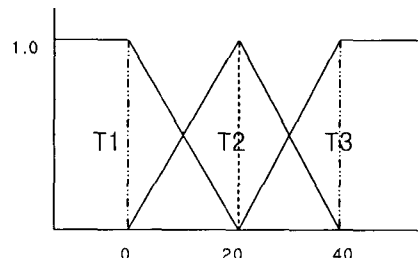


그림 5. 온도에 대한 소속 함수  
Fig. 5. Membership functions on temperature

**3.2 공연비의 소속 함수**

공연비는 공기와 연료의 혼합비율로써 이론 공연비인 14.7:1일 때 가장 연료의 효율이 좋다[4]. ECU에서는 혼합기의 혼합비율을 최대한 이론 공연비에 맞추도록 제어한다.

본 논문에서는 공연비의 농후함에 따라 소속도를 계산하여 추후 최종 연료 보정량을 조절한다.

공연비에 대한 소속도를 구하는 식은 아래와 같으며 Y를 공연비의 입력값으로 사용한다. 공연비에 대한 소속구간 역시 3구간으로 구분하며, 연료가 상대적으로 농후한 구간은 G1, 보통인 구간은 G2, 옅은 구간은 G3로 분류한다. 공연비에 대한 소속 함수는 그림 6과 같다.

**(1) 공연비가 낮은 경우 소속도(연료가 농후)**

$$IF(Y \leq 11) \text{ Then } \mu(Y) = 1$$

$$\text{Else } IF(Y > 14) \text{ Then } \mu(Y) = 0$$

$$\text{Else } \mu(Y) = \frac{-1}{14-11} (Y-14)$$

**(2) 공연비가 보통인 경우 소속도**

$$IF(Y \leq 11) \text{ or } (Y \geq 17) \text{ Then } \mu(Y) = 0$$

Else IF(Y<14) Then  $\mu(Y) = \frac{1}{14-11} (Y-11)$

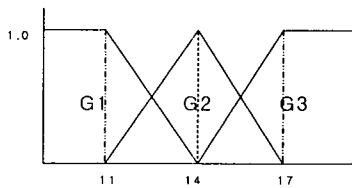
Else IF(Y>=14) Then  $\mu(Y) = \frac{-1}{17-14} (Y-17)$

(3) 공연비가 높은 경우 소속도(연료가 희박)

IF(Y <= 14) Then  $\mu(Y) = 0$

Else IF(Y >= 17) Then  $\mu(Y) = 1$

Else  $\mu(Y) = \frac{1}{17-14} (Y-14)$



G1 : 농후 G2 : 보통 G3 : 희박

그림 6. 공연비에 대한 소속 함수

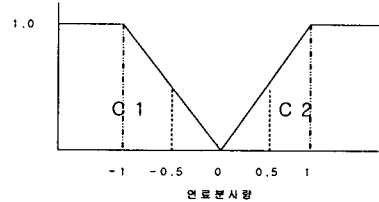
Fig. 6. Membership functions on air-fuel ratio

온도와 공연비의 소속도  $\mu(X), \mu(Y)$ 가 구해지면 아래의 퍼지 제어 규칙을 적용하고 Max\_Min 방법으로 추론한다.

- If X is T1 and Y is G1 then W is C1
- If X is T1 and Y is G2 then W is C2
- If X is T1 and Y is G3 then W is C2
- If X is T2 and Y is G1 then W is C1
- If X is T2 and Y is G3 then W is C2
- If X is T3 and Y is G1 then W is C1
- If X is T3 and Y is G2 then W is C1
- If X is T3 and Y is G3 then W is C2

추론 규칙에 의하여 연료의 분사를 결정하고, 식(2)의 무게 중심법[5]을 이용하여 비퍼지화를 수행한 후, 최종 연료 보정량 W를 결정한다. 그리고 계산된 연료 보정량을 기본 연료 분사량과 조합하여 연료분사를 하게한다. 그림 7은 연료 보정량을 계산하는 소속 함수이다.

$$W = \frac{\sum \mu(y)x}{\sum y} \tag{2}$$



C1 : 감소 C2 : 증가

그림 7. 연료 보정량 소속함수

Fig. 7. Membership functions on fuel compensation

#### IV. 실험 및 결과 분석

제안된 퍼지 제어 기법을 적용하여 자동차 연료 제어를 구현하기 위하여 Pentium III CPU가 장착된 IBM호환 PC상에서 Visual C++ 6.0으로 구현하였다.

제안된 방법을 실험하기 위해 온도에 대한 구간을 총 6구간으로 나누었으며, 일반 차량의 연료제어 방법과 퍼지 제어 기법을 적용한 연료 제어 방법을 시뮬레이션을 통하여 연료 소비량을 측정하였다. 두 경우에 대해서 속력과 주행거리 모두 일정하게 설정하였다. 그림 8은 제안된 방법을 실험하기 위한 차량 시뮬레이터 화면이다.

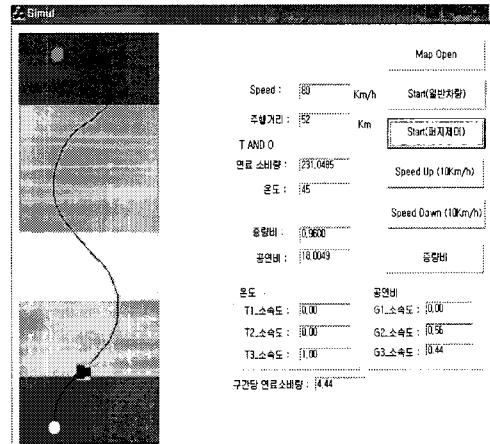


그림 8. 차량 시뮬레이션 화면

Fig. 8. Interface of a vehicle simulation program

표 1은 일반 차량의 흡기온도에 따른 증량비로 구해진 각 온도 구간의 연료 소모량과 퍼지 제어 기법을 적용한 차량의 연료 소모량을 비교한 결과이다.

표 1. 온도 구간에 따른 일반 제어 방법과 퍼지 제어 방법 간의 연료 소비량  
Table 1. The consumption of fuel on temperature intervals by a conventional control method and the proposed fuzzy control method

온도	일반적인 제어 방법에 의한 차량 연료소비량	제안된 퍼지 제어 방법에 의한 차량 연료소비량
4	0.0631	0.0699
7	0.0630	0.0681
8	0.0610	0.0675
15	0.0571	0.0671
16	0.0566	0.0566
17	0.0561	0.0561
24	0.0540	0.0540
29	0.0534	0.0534
38	0.0525	0.0450
41	0.0522	0.0444
42	0.0522	0.0444
45	0.0522	0.0444
47	0.0522	0.0444
51	0.0522	0.0444

표 2는 표 1에서 설정한 온도 구간의 1,024Km의 주행 거리를 주행했을 때 소비되는 총 연료소비량을 나타내었다. 표 1에서 온도가 4도에서 15도 사이에서는 일반 제어 방법이 연료소비가 낮게 나타났지만, 38도에서 51도 구간에서는 제안된 방법이 연료소비가 낮게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 퍼지 제어 기법이 낮은 온도에서는 일반적인 제어 방법 보다 비교적 연료의 소비가 높았지만 온도가 높을수록 연료 소비가 일반 제어 방법 보다 적게 소요되는 것을 표 1에서 확인할 수 있다. 표 2는 두 제어 방법 간의 총 연료 소비량을 비교한 결과이다. 표 2에서와 같이 총 주행거리를 모두 주행 할 경우에는 제안된

퍼지 제어 기법이 일반 제어 기법보다 연료의 총 소비량이 적게 소요되는 것을 확인할 수 있다.

표 2. 총 연료 소비량  
Table 2. Total consumption of fuel

구분	일반적인 제어 방법에 의한 총 연료소비량	제안된 퍼지 제어 방법에 의한 총 연료소비량
총연료 소비량	55.8727	52.9318

### V. 결 론

본 논문에서는 퍼지 제어 기법을 적용하여 자동차의 연료를 제어하는 방법을 제안하였다. 제안된 연료 제어 방법은 공기유입량과 연료 분사량의 정보를 이용하여 공연비의 수치를 계산하여 공연비에 대한 퍼지 소속 함수와, 온도에 대한 소속 함수, 최종적으로 연료 분사 보정량에 대한 퍼지소속 함수를 설계하였다. 또한 이들 소속 함수의 소속도를 이용하여 퍼지 추론 규칙을 설계하고 퍼지 추론 규칙을 이용하여 연료를 제어하였다. 그리고 무게 중심법을 이용하여 비퍼지화를 수행하여 최종 연료 보정량을 계산하였다.

제안된 방법에서 연료 소비량의 효율성을 분석하기 위하여 기존의 연료 제어 방법과 시뮬레이션을 통하여 분석한 결과, 기존의 연료 제어 방법 보다 제안된 방법이 연료 제어에 있어서 보다 효율적임을 확인할 수 있었다.

향후 연구 과제로는 일반 제어 방법보다 낮은 온도에서 연료 소비량이 많이 소요되는 부분을 개선하기 위하여 단순히 흡기온도 센서의 정보만을 이용하여 연료를 제어하는 것이 아니라 자동차의 여러 센서의 정보를 모두 퍼지 제어 기법에 적용하여 일반성을 가진 연료 제어 시스템을 개발할 것이다. 또한 다양한 환경 속에서 연료 소비량을 측정하여 효율성을 검증할 것이다.

참고문헌

- [1] 김청균, *자동차 엔진 공학*, 골든벨, 1998
- [2] 정태균, *ECU를 내 손으로 만들자*, 골든벨, 2001
- [3] 배태열, 하재기, 이철승, 문훈영, *자동차 가솔린 엔진*, 북두출판사, 2004
- [4] Copp D. G., Burnham K. J., Locket F. P. ,“Model Comparison for Feedforward Air/ Fuel Ratio Control,” *KACC International Conference on Control*, Vol.9, pp.670-675, 1998
- [5] Mohammad J., Nader V., Timoth J. R., *Fuzzy Logic and Control*, Prentice-Hall, Inc., 1993

저자소개



김 광 백(Kwang-Baek Kim)

1999년 부산대학교 전자계산학과 (이학박사)  
 1996년~1997년 동의공업대학 사무 자동화과 전임강사  
 1997년~현재 신라대학교 컴퓨터정보공학부 부교수  
 1999년~2000년 Biomedical Fuzzy Systems Association Associate Editors (Japan)  
 2005년~현재 한국해양정보통신학회 이사 및 논문지 편집위원  
 ※관심분야: Fuzzy Neural Networks and Application, Medical Imaging and Biomedical System, Bioinformatics, Fuzzy Logic, Support Vector Machines



우 영 운(Young Woon Woo)

1989년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1991년 8월 연세대학교 본대학원 전자공학과(공학석사)  
 1997년 8월 연세대학교 본대학원 전자공학과 (공학박사)  
 1997년 9월~현재 동의대학교 멀티미디어공학과 교수  
 ※관심분야: 인공지능, 영상처리, 의료정보



하 상 안(Sang-An Ha)

1990년 2월 동아대학교 환경공학과 (공학사)  
 1993년 독일 Paderbone 대학 열에너지공정공학(공학석사)  
 1997년 독일 Paderbone 대학 열에너지공정공학(공학박사)  
 2000년~2003년 경주대학교 건설환경시스템 공학부 조교수  
 2007년~현재 신라대학교 환경공학과 조교수  
 ※관심분야: 소각, 열분해, 유해물처리기술(고형폐기물, 토양, 유해가스), 폐지 시스템