

퍼지 기반 신경망 제어 기법을 이용한 아이들 스탑-앤-고 적응 제어

최 성 호^{*1)} · 최 세 범¹⁾ · 손 명 희²⁾한국과학기술원 기계공학과 ^{*1)} · 한국과학기술원 기계공학과 ¹⁾ · 한국전자통신연구원²⁾

Adaptive Neural Network Based Fuzzy Control For Idle Stop And Go

Sungho Choi^{*1)} · Seibum Choi¹⁾ · Myunghee Son²⁾¹⁾Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology,
335 Gwahangno, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea²⁾IT Convergence Service Future Technology Research Group, Electronics & Telecommunications Research Institute, 161
Gajeong-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-350, Korea**Abstract** : The engineering technology of automotive system is currently edging toward improving fuel economy.

Idle stop and go (ISG) is one of the major technology which focuses on preventing unnecessary fuel consumption up to 17% and reducing emissions due to unnecessary engine idling. The traveling model of a vehicle in mathematical form is needed to control vehicle idling condition. However, it is almost impossible to model the vehicle traffic condition as well as the driver behavior which is somewhat random and highly nonlinear. Therefore, alternative design with fuzzy neural network for ISG which is close to driver's perception is suggested to improve overall efficiency of the control system. Traveling data is acquired at traffic-jammed areas. A fuzzy clustering method is applied to make the representative characteristic of training data using traveling data. Also, a hybrid method of neural network is applied to tune fuzzy parameters for the optimization of ISG controller. Finally, the performance of an adaptive neural network based fuzzy ISG controller is verified with various experimental data gathered at real traffic congestion areas.

Key words : Idle(공회전), Fuzzy inference system(퍼지 추론시스템), Clustering(군집화), Adaptive Network Fuzzy Inference System(퍼지 신경망 적응추론시스템), Hybrid Method(하이브리드기법)

Nomenclature

F_e : fuel efficiency(%)
 F_i : fuel consumption during idling (cc/s)
 F_r : fuel consumption by restarting engine (cc)
 F_s : saved fuel consumption(cc)
 F_t : total fuel consumption
 T_i : idling stop period (s)
 T_r : times of restarting engine
 D_B : Distance between bumper to bumper (m)
 H_s : Host vehicle speed (m/s)
 T_A : Target vehicle acceleration (m/s²)

Subscripts

e: efficiency
 i: engine idling
 r: engine restart
 t: total
 B: bumper
 S: speed
 A: acceleration

1. 서론

차량 연비는 현재 및 향후 유가상승으로 운전자들에게 가장 민감한 사안으로 부각되어 차량을 비교하는 척도로 연비가 중요한 요소로 인식되고 있

* 최성호, E-mail: josh_choi@kaist.ac.kr.

다. 자동차의 연료 소모를 줄이는 것은 연비를 향상시키는 것이며 자동차의 연비향상은 배기가스를 적게 배출하여 지구 온난화의 주범인 CO₂를 줄이는 것이다. 따라서 전 세계 완성차 회사에서도 획기적인 연비향상을 차세대 자동차 산업의 최우선 역점 목표로 인식하고 있으며, 지구환경 보존의 노력과 향후 더욱 심화될 고유가 시대를 대비하기 위한 기술개발을 하고 있다. 자동차 연비향상을 위한 완성차 제작 회사의 선행 기술 개발도 중요하지만 자동차 운행시 연료를 절약하기 위한 경제 운전을 함으로써 많은 연료를 절약할 수 있다.

DOE(U.S. Department of Energy) 및 EPA(U.S Environmental Protection Agency)자료에 따르면 엔진에서 소모되는 연료 중 약 12.6%만이 차량운행에 직접 사용되고 나머지는 모두 차량의 구동과는 관계가 없다.¹¹⁾ 대부분은 엔진에서 열이나 마찰 등(62.4%)으로 없어지고 그 다음 동력장치 등에서의 손실(5.6%), 그리고 신호나 교통정체로 인한 불필요한 공회전(17.2%)으로 소모되는 것으로 나타났다.¹²⁾

주로 차량이 많은 대도시에서는 차량 정체로 인한 서행 또는 정지하고 있는 차량이 많을 뿐만 아니라 복잡한 신호체계로 운전 중 많은 시간을 신호대기로 소요되며 이때 엔진은 공회전 상태로 운전된다. 공회전시의 엔진은 연소안정을 위해 이론 공연비보다 조금 높은 조건에서 연소가 이루어지며 이는 자동차의 운행과는 관계없이 연료가 낭비되는 것이다.

우리나라 녹색교통운동에서 발표한 자료에 의하면 자동차 1대가 매일 5분씩 연간 300일을 공회전하는 경우 공회전으로 인한 '97년 한 해 동안 연료 낭비가 약 3,500억 원이라고 한다.¹³⁾ 통계청 발표에 의하면 2000년도 한 해에 엔진 공회전으로 인한 연료의 낭비가 약 1조 7000억 원에 달한다고 한다.¹⁴⁾

본 연구는 기존의 주행 차량의 정보만을 이용하지 않고 앞 차량의 정보를 추가적으로 이용할 것을 제안하였다. 이를 위하여 차간 거리와 앞 차량의 가속도 정보가 사용되었다. 이렇게 이용된 도로 주행 정체 상황 데이터를 퍼지 제어기의 입력으로 사용한다. 이를 통해 정차시나 신호 대기 시 엔진의 공회전을 줄일 수 있도록 퍼지 제어를 설계함으로써

경제 운전에 의한 연료의 저감을 예측하여 보고자 수행하였다. 퍼지 클러스터링 기법과 신경망의 하이브리드 기법을 이용하여 전문가적 지식기반의 퍼지 제어기를 조정하여 새로운 아이들 스탭 제어기를 설계하여 정체 구간에서 공회전으로 발생하는 연료 절감 효과를 목적으로 한다.

2. 시험 자동차 및 방법

2.1 시험 자동차

본 시험을 위하여 사용된 자동차는 Fig.1에 나타난 1400cc 뉴프라이드 가솔린 자동차이다. 상세한 제원은 Table. 1과 같으며 변속기는 자동인 자동차를 이용하였다.



Fig. 1 Test Vehicle - kia new pride 1.4 DOHC

Table 1 Specification of the test engine

구분	1.4 DOHC
배기량(CC)	1,399
공차중량(kg)	1,077
최고출력(ps/rpm)	95/6,000
최대토크(kg. m/rpm)	12.7/4,700
변속 방식	자동4단
연 비(km/l)	13.1
CO ₂ 배출량(g/km)	178
등급	2

2.2 시험 방법

Fig.2는 시험자동차에 장착된 측정시스템이며 자동차의 연료소모를 측정하기 위한 유량계는 Ono Sokki사의 FP-2240H와 FM-1500 연료 유량계를 이용하였다. 연료 측정은 시험 자동차에 장착된 연료 유량계를 통하여 연료가 공급되도록 함으로써 전체 주행 중 소모되는 연료의 유류량을 측정하기 위해 수회 반복시험을 수행하였으며 다음과 같은 식을 이용하여 연비 효율을 계산하였다.

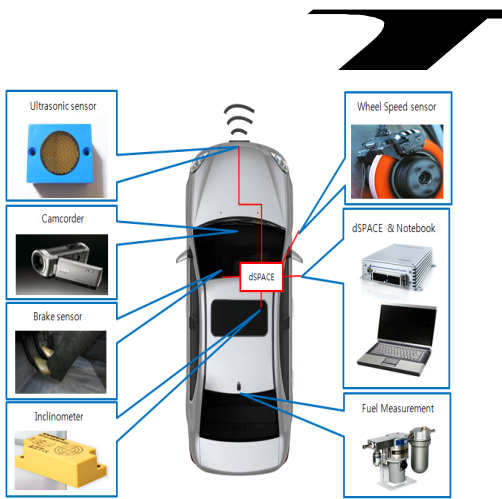


Fig. 2 Sensors mounted in the test vehicle

차간 거리를 측정하기 위해서 차량 적응순항제어 시스템(ACC), 서행/정지 시스템을 위하여 사용하는 77 혹은 27 Ghz의 레이더센서가 아닌 Fig. 2 와 같이 Polaroid사의 Ultra Sonic Sonar Sensor를 이용하였다. 이를 이용하여 수집한 데이터를 분석한 결과를 살펴보면 10km/h 이하의 서행을 반복하는 정체구간에서 차량 공회전으로 인한 정지 상황을 파악하는데 필요한 차간거리 데이터의 신뢰성은 충분하다고 판단되었다. 휠 스피드 센서를 이용하여 주행차량의 속도를 수집하였다. 이렇게 얻은 차간 거리와 주행 차량의 속도를 이용하여 Fig. 3에서 보는 바와 같이 앞 차량의 속도와 가속도 정보의 예측이 가능하다. 추가적으로 불필요한 공회전으로 인한 연료 낭비 데이터를 보다 정확히 얻어 내기 위하여 차속뿐만 아니라 브레이크 센서를 통해서 얻은 신호를 통해

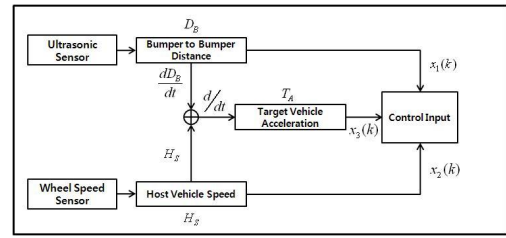


Fig. 3 Diagram of control inputs

서 정지 상황을 파악하여 공회전 주행 상황을 제시하였다. 엔진 off로 인해 발생할 수 있는 운전자의 위험을 사전에 예방하기 위하여 경사도 센서를 이용하여 주행 도로의 경사를 측정하였다.

3. 공회전 방지를 위한 제어기 설계

본 연구에서 제안하는 제어기는 운전자의 특성 및 차량의 특성, 구간별 도로 정체 상황 정보 데이터가 정해져 있지 않고 이에 따른 차량의 동적 특성이 예측 불가능한 비선형성을 포함하고 있기 때문에 기존의 제어기법에서 흔히 사용하는 수학적 모델링은 불가능하다. 따라서 이러한 비선형성을 극복하고 도로 상황에 맞는 적응 제어를 위해 수학적 모델링에 의존하지 않고 제어 규칙(Rule-Base)에 의한 퍼지 제어기법을 사용하였다. 이러한 퍼지 제어기법은 운전자의 경험이나 사고에 의한 제어 규칙에 따라 대상 차량을 제어하게 됨에 따라 퍼지 제어기

Distance:	VC	CL	MD	FR	VF
(m)	1	1.5	2	2.5	3
Speed:	VS	SL	MD	FS	VF
(m/s)	0.56	1.12	1.67	2.22	2.78
FV's Accel:	NH	NL	ZR	PL	PH
(m/s^2)	-0.6	-0.3	0	0.3	0.6
Engine:	OF	PF	MB	PN	ON
(w.f)	0.1	0.3	0.9	0.6	0

Fig. 4 ISG fuzzy linguistic variables and factors

의 설계는 제어대상에 대한 지식에 크게 의존하

게 된다. 이를 위해 2장에서 소개된 시험을 통하여 주행 차량의 속도(H_s), 차간 거리(D_B) 뿐만 아니라 앞 차량의 가속도(T_A)를 추정하여 차량 정보($X_n(k)$)로 사용하였다. 시험을 통하여 얻은 차량 정보데이터를 통하여 Idle stop 상황을 파악하고 simulation을 통한 trial and error와 전문가적 지식을 기반으로 하여 Fig. 4와 같이 퍼지 제어기의 입력에 따른 언어 변수, weighting factor를 조정하였다.

3.1 퍼지 규칙 기반 모델

전문가적 지식 기반의 ISG 퍼지제어기의 경우 가장 일반적인 “Mamdani” 가 제한한 방법을 이용하였으며 전체적인 시스템의 구성은 Fig.5와 같다.

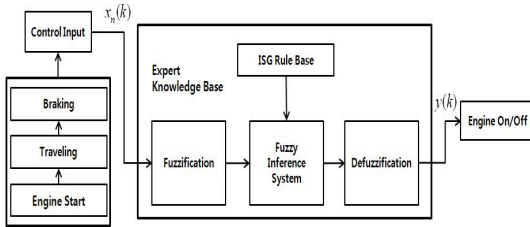


Fig. 5 Diagram of Expert knowledge based ISG fuzzy controller

도로 정체상황을 가장 잘 표현할 수 있도록 가능한 모든 규칙의 수인 125개로 세분화하여 구성하였으며 이를 지면관계상 표현하지 못하므로 한 예를 들면 다음과 같다.

입력 변수를 이용하여 입출력 관계를 퍼지 규칙으로 결정한 후에 퍼지 추론 시스템에 적용한다. 일반적으로 퍼지화 단계에서 소속 함수의 구성은 제어 시스템의 랜덤 노이즈가 있는 경우에 매우 유용한 싱글톤 방법(이등변 삼각형법)이 가장 많이 사용되지만 에러 값이 급격히 변화하는 경우 이에 대한 속응성이 떨어지기 때문에 이를 보완하기위해 어떤 비선형 함수에 대해서도 universal approximator가 될 수 있고, multidimensional 의 경우 학습과정에서 1차원 함수의 product으로 쉽게 나뉘질 수 있는

가우시안 함수를 사용하였다. 전문가적 지식 기반의 ISG 퍼지 제어 규칙과 가우시안 소속 함수, 연산자로 product, 집합은 sum, 비퍼지화는 centroid를 적용하여 전체 퍼지 추론 시스템의 구조는 Fig. 6의 형태로 구성되며 이에 따른 입/출력 관계와 소속 함수의 구성은 Fig. 7 과 Fig.8과 같다.

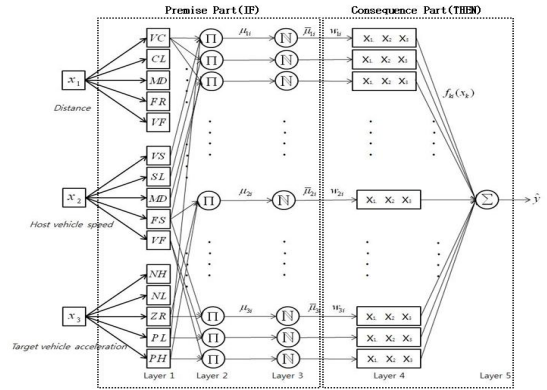


Fig. 6 Structure of ISG fuzzy inference system (Expert knowledge based)

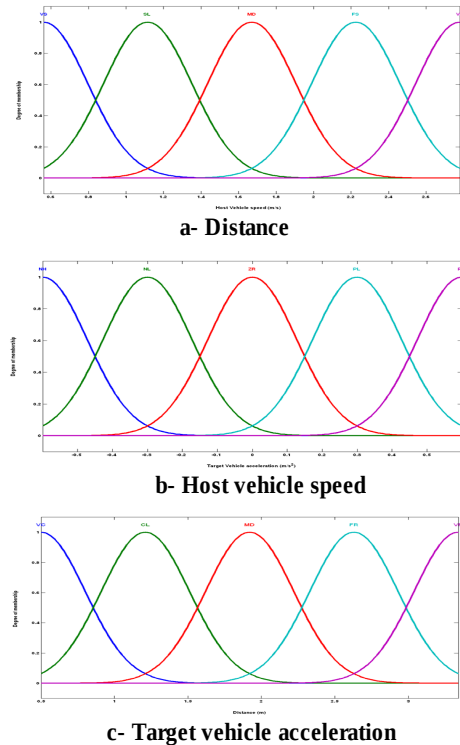
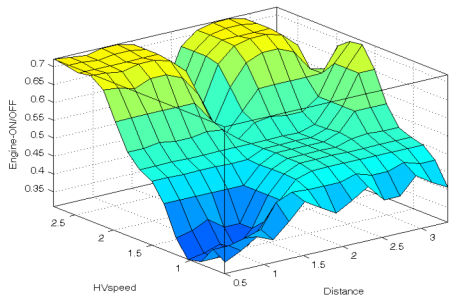
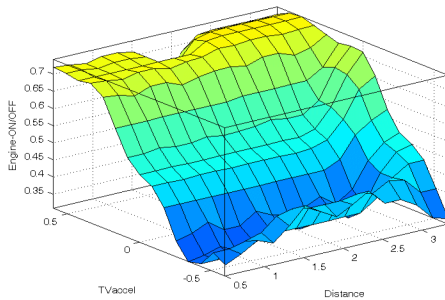


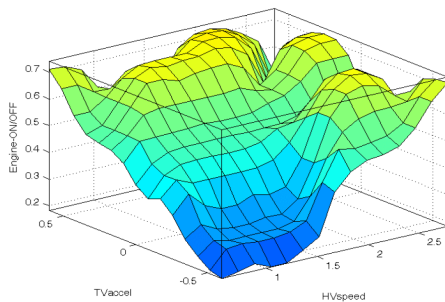
Fig. 7 ISG fuzzy membership function partition (Expert knowledge based)



a- Distance and Host vehicle speed surface



b- Distance and Target vehicle acceleration surface



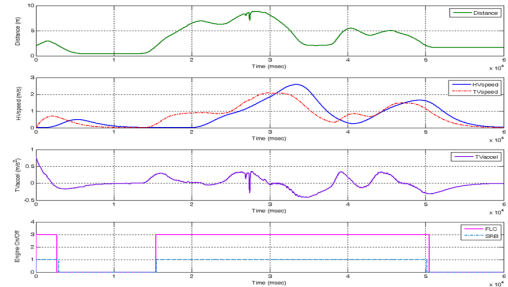
c- Host vehicle speed and Target vehicle acceleration surface

Fig. 8 ISG fuzzy input and output surface (Expert knowledge based)

제안된 전문가적 지식기반의 ISG 퍼지 추론 시스템의 유용성을 보이기 위해서 주행정보 실험 데이터에 적용하여 도로 정체 상황에 따른 차량 시동 모드결과가 운전자의 상황 판단 직관과 부합됨을 Fig.9를 통해서 확인하였다. 결과 데이터는 1분 동안의 도로 정체 상황에 따른 제어결과를 의미한다. 각 결과 그래프의 구성은 순서대로 차간거리, 주행차량의 속도와 앞 차량의 속도(점선), 앞 차량의 가속도, 전문가적 지식기반의 퍼지 추론 제어기의 출력

(0은 시동 OFF, 그 이외의 구간은 시동 ON)과 기존의 단순 룰 기반 제어기의 출력(점선)을 의미한다.

Case a.



Case b.

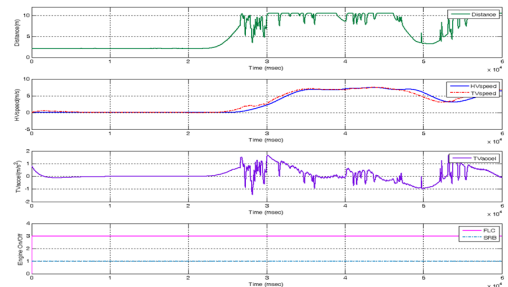


Fig. 9 Expert knowledge based Fuzzy control result

3.2 신경망을 이용한 파라미터 조정

전문가적 지식기반의 퍼지 추론 시스템은 운전자의 상황판단 직관을 잘 표현하였으나 소속 함수의 구성, 변수들의 조정에 어려움이 있고, 많은 규칙에서의 중요도를 계산하기 위해 시간소모가 너무 크기 때문에 이를 실제 차량에 적용할 수 없다. 따라서 센서의 입력에 따른 전문가적 지식기반의 퍼지 추론 시스템의 결과로 구성된 학습데이터에 퍼지 클러스터링기법과 신경망의 하이브리드 기법을 적용하여 시스템의 성능을 향상시킬 수 있도록 퍼지 추론 시스템을 재구성하였다.

일상에서 발생하는 데이터에는 노이즈와 관측 오류, 불확실성, 주관적인 판정 등으로 인해서 데이터 자체에 애매함이 포함되는 경우가 많다. 이러한 애매함을 표현하는 클러스터링은 데이터의 특성 추출, 데이터의 압축 등을 목적으로 동일 클러스터에 속하는 데이터간에는 유사성이 크도록 하면서 다른

클러스터에 속하는 데이터간에는 유사성이 작도록 데이터를 군집화 하는 것이다. 이러한 클러스터링을 이용하여 퍼지 규칙의 수를 최소화하고 소속 함수를 재구성하였으며 신경망의 오차역전파법과 최소자승법을 이용한 하이브리드 기법을 적용하여 오차를 효과적으로 대응하고 퍼지 규칙의 파라미터를 조정하였다. 이렇게 재구성된 퍼지 추론 시스템의 입/출력 관계와 소속 함수의 구성은 Fig. 9 과 Fig.10 과 같다.

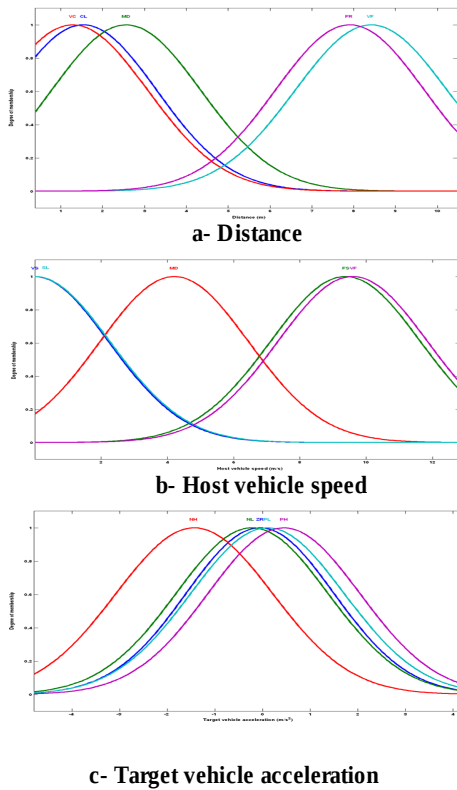
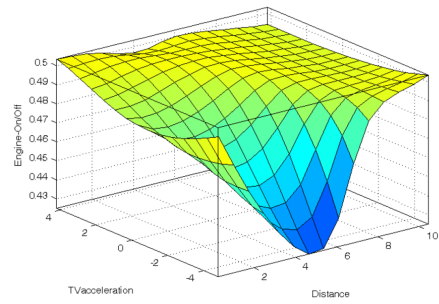
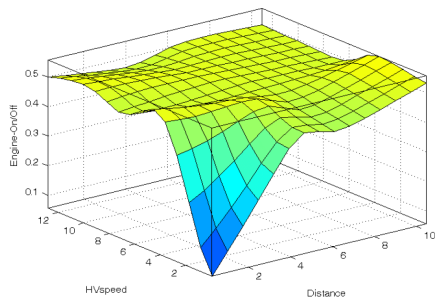
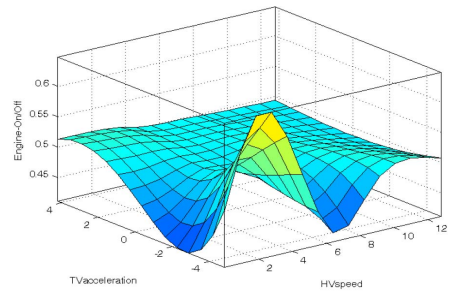


Fig. 10 ISG fuzzy membership function partition



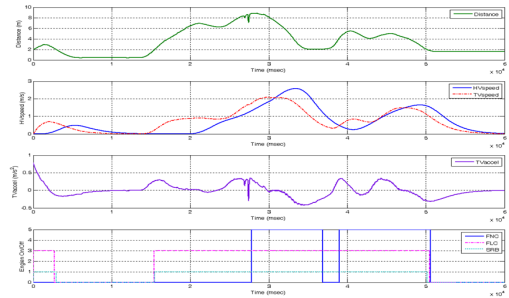
b- Distance and Target vehicle acceleration surface



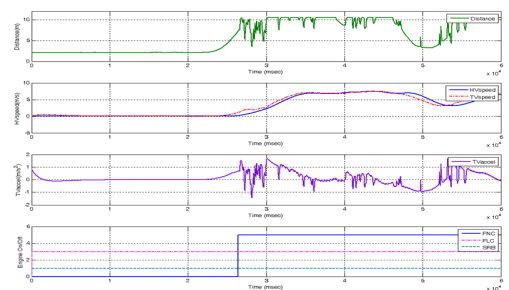
c- Host vehicle speed and Target vehicle acceleration surface

Fig. 11 ISG fuzzy input and output surface (Expert knowledge based)

Case a.



Case b.



Case c.

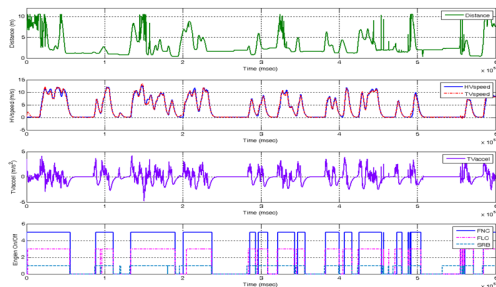


Fig. 12 ISG Fuzzy control result

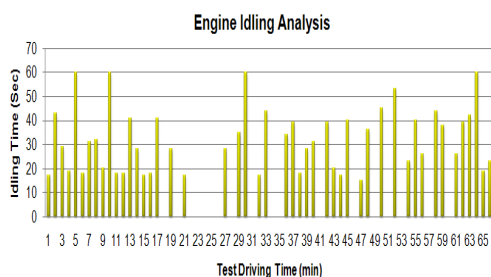


Fig. 13 Idling Time for 66 min

Fig. 9와 Fig. 12는 보면 같은 상황에 대한 결과 그래프이다. 차량의 속도와 앞 차량의 차간거리만을 이용한 기존의 단순 룰 베이스 idle stop control에 비하여 전문가적 지식을 기반으로 하여 운전자의 상황판단 직관을 표현하도록 한 퍼지 제어를 하였을 경우에 도로 상황에 맞는 적응 제어를 하는 결과를 확인할 수 있다. 그러나 신경망을 이용하여 파라미터를 조정하여 재구성된 퍼지 제어를 이용하여 제어를 했을 경우 Fig. 12의 Case. a와 Case. b를 통해 차간거리가 설정한 영역을 벗어난다 하더라도 앞 차 정보에 따라 좀 더 엔진 off영역을 넓게 확보하는 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 Case. C의 경우 10분 간의 데이터에 적용한 결과이다. 이를 통하여 신경망을 이용하여 재구성된 ISG 퍼지 제어기의 경우 센서의 노이즈에 보다 강인한 특성을 나타내며 앞 차 정보를 이용하여 가장 운전자의 판단에 근접한 결과를 보임으로써 반복하여 발생할 수 있는 시동 on/off 상황을 최소화함을 확인할 수 있다. Fig. 13은 신경망을 이용하여 생성된 퍼지 제어를 전체 실험 데이터에 적용하였을 경우 공회전을 방지할 수

있는 시간 그래프를 나타낸다. 이 데이터에는 1회 재시동시 소모되는 연료소모량(공회전 5초의 시간 동안 소모되는 연료량과 동일)이 포함되어 있으며 66분의 주행 시간 중 약 32%인 21분의 주행시간 동안 발생하는 공회전을 방지하여 연비 18%의 향상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 기존의 주행 차량의 정보만을 이용하지 않고 앞 차량의 정보를 추가적으로 이용하는 새로운 idle stop and go 시스템을 제안하였다. 도로 정체 상황을 인식하기 위하여 시험 차량을 통하여 필요한 시험 데이터 확보, 시스템 모델링과 제어기 설계 등의 절차를 수행하였으며, 그 결과는

- 1) 도로 주행 실험을 통해서 1회 재시동시 소모되는 연료량은 0.94CC로서 약 5초의 공회전에 소모되는 연료와 같으며 퍼지 제어를 통하여 엔진시동 on/off를 하여 연비향상 효과를 분석해본 결과 총 주행시간 66분 중 약 21분으로 약 32%의 주행 시간 중 연료 낭비를 줄여 18%의 연비향상을 확인할 수 있었다.
- 2) 기존의 단순 룰 베이스 제어에 비하여 신경망을 이용하여 재구성된 idle stop 퍼지 제어의 경우 일정 거리나 속도 이상인 경우 시동이 켜진 상태를 유지하는 것과는 달리 앞 차량의 가속도 변화를 통해 차량의 유무를 판단하는 등 도로 상황에 따른 알맞은 판단을 내리는 것을 확인할 수 있었으며, 센서의 노이즈나 갑작스러운 상황(차량이 끼어들거나 차선 변경)하는 상황에서 시동을 켜거나 끄는 현상이 빈번하게 발생하지 않고 최적제어를 하는 것을 확인할 수 있었다.
- 3) 전문가적 지식을 기반으로 구성한 퍼지 제어시스템(총 125개 규칙과 5개의 언어변수로 구성된 소속 함수)은 많은 규칙과 최적화 되지 못한 파라미터의 구성으로 인하여 많은 계산 과정이 필요하여 실제 상황에 적용하는 것은 불가능했다. 그러나, 퍼지 클러스터링을 이용하여 유사 데이터간의 군집화와 신경망의 하이브리드 기법을 이용하여 구성한 퍼지 제어시스템은 최소화된 규칙(5개)과 소속 함수(언어 변수 5개)의 구성

으로 전문가적 지식 기반의 퍼지 시스템보다 뛰어난 상황판단과 성능을 확인하였다.

본 연구에서 수행한 결과는 시험 차량뿐만 아니라 어느 차량에서나 얻을 수 있는 데이터를 이용하여 제어기를 구성하였기 때문에 큰 의의가 있다고 할 수 있다. 향후 연구에서는 보다 많은 실제 도로 주행 상황 실험을 통하여 앞에서 제안한 ISG 퍼지 제어기의 성능과 효용성을 확인하고, 파라미터에 대한 고찰 등을 보완할 필요가 있다. 아울러 센서의 노이즈에 대한 신호 처리 부분을 하드웨어적으로 해결할 필요가 있다.

References

- 1) S.I. Horikawa, T.Furuhashi and Y. Uchigawa, " On Fuzzy Modeling Using Fuzzy Neural Networks with the Backpropagation Algorithm", IEEE Transactions on Neural Networks, Vol.3, No.5, pp 801-806, 1992.
- 2) Zhang Li-Quan, "An Adaptive Learning Method for Generation of Fuzzy Inference System from Data", Acta Automatica Sinica, Vol.34, No. 1 January, 2008
- 3) Hisao Ishibuchi, " A simple but powerful heuristic method for generating fuzzy rules from numerical data", Fuzzy sets and systems 86(1997) 251-270
- 4) Li-Xin Wang, "Generating Fuzzy Rules by Learning from Examples", IEEE Transactions on systems, Man and cybernetics, vol.22, No.6, November/December 1992
- 5) Chia-Feng Juang, " An On-Line Self-Constructing Neural Fuzzy Inference Network and Its Applications, IEEE Transactions on fuzzy systems, Vol. 6, No.1, February 1998.
- 6) V. Kreinovich, "Gaussian Membership Functions are most adequate in representing uncertainty in measurement"
- 7) Lim Eng Aik, " A study of Neuro-fuzzy system in Approximation-based problems", Matematika, 2008, Vol 24, No 2, 113-130
- 8) J.S.R. Jang, ANFIS: Adaptive-network-based Fuzzy Inference Systems, IEEE Trans, on systems, Man and Cybernetics, Vol 23, No 3, pp 665-685, 1993.
- 9) Homepage:
<http://www.insightcentral.net/encyclopedia/enidlestop.html>

[html](#)

- 10) Seong-Woo Cho, "An experimental study on the fuel consumption characteristics of passenger cars under various driving conditions', KSAE03-S0001, pp.3~8, 2003
- 11) Seminar: Iiyama, "Direct Injection Gasoline Engines", Wayne University, February 26, 1996
- 12) 최교남, "엔진 공회전과 시동 시 연비 및 배기 가스 특성 비교연구", 기계의 날 선포 및 2002년도 기계관련 산학연 연합심포지엄(한국자동차 공학회 편)
- 13) 보고서: 민만기, "자동차 공회전 금지법제화의 의의와 추진방안", 녹색교통운동
- 14) Homepage:
<http://fueleconomy.gov/feg/atv.shtml>