〈논 문〉 SAE NO. 97370091

부하변동에 강인한 엔진 공회전 속도제어에 관한 연구

A Study on the Idle Speed Control under Load Disturbance

최 후 락*, 장 광 수**
H. R. Choi, K. S. Chang

ABSTRACT

The objective of this paper is to study on the idle speed control using the fuzzy logic controller under load disturbance. The design procedure for fuzzy logic controller depends on the expert's knowledge or trial and error. The inputs of the fuzzy controller are error of rpm and variation of rpm. The output of the fuzzy controller is an ISC motor step and ignition timing. The airflow is controlled by the ISC motor movement and the idle speed is controlled by the airflow control and ignition timing control. During the control, air to fuel ratio was checked by LAMBDA sensor. All experiments were performed in a real vehicle.

주요기술용어 : Engine Control(엔진 제어), ISCV(Idle Speed Control Valve), Idle Speed Control(공회전 속도제어), Ignition Timing Control(점화시기 제어), Fuzzy Control(퍼지 제어), LAMBDA Sensor(공연비 센서), Air-Fuel Ratio(공연비)

1. 서 론

최근 차량의 증가와 시내 교통의 악화로 인해 도심에서 차량엔진이 공회전 되는 상황이 많이 발생하고 있다. 이러한 엔진의 공회전이 많이 발생하는 이유로 인해 여러 제어이론을 도입한 공회전 속도제어에 관한 논문이 많이 보고되고 있다.[1),2),3),4),5)] 최근 생산되는 차량의 엔진은 배기가스와 연비규제를 만족시키고 엔진의 고효율을 추구하기 위하여 기존 캬브레타 방식의 엔진을 MPI(Multi Point Injection)엔진으로 대체하고 이를 정밀제어하기 위하여 ECU(Electronic Control Unit)를 장착하여 출하하고 있다. ECU는 꾸준히 연구 개발하여 최상의 데이터를 탑재함으로써 최적의 조건을 유지토록 하고 있으며, 엔진의 운전상태를 각기 센서들로부터 받아들여 맵-데이터[6)]로부터 최상의 조건을 선택하여 연료분사시기와 분사량, 점화시기, ISC(Idle Speed Control)밸브 개폐각도 등을 조정한다.

*홍익대학교 기계공학과 대학원
**정회원, 홍익대학교 기계공학과

공회전시 엔진회전수에 영향을 주는 인자들은 공기량, 연료량, 점화시기가 있으며, 엔진에 적용되는 부하로는 라디에이터 팬 부하, 파워 윈도우, 송풍기 등의 전기적인 부하가 있으며, 에어컨 부하, 파워 스티어링(Power Steering)부하 등의 기계적인 부하가 있다. 여기서 기계적인 부하란 엔진에서 출력되는 토크를 이용하여 작동되는 기계적 요소에 의한 부하를 의미하며, 전기적인 부하[7]란 발전기의 전기를 사용함에 있어 엔진이 운전되는 동안 전기의 과잉소비로 전기로 작동되는 기계요소가 제 성능을 완벽히 발휘 못하는 원인(연료분사량의 감소, 점화코일의 불충분 충전 등으로 인한 엔진속도의 감소)으로 발생하는 부하를 의미한다. MPI엔진차량에서 운전상태가 부드럽게 유지되면서도 낮은 엔진 회전수와 이에 부합되는 공연비를 유지하기 위해서는 맵-데이터에 완전히 의존하여 제어하는 차량의 ECU 대신에 엔진의 상태와 제어자의 의도에 따라 제어가 가능하도록 하기 위한 적절한 제어장치가 필요하다. 또한 제어이론을 도입하는 과정에서 기존제어이론이 수학적 모델링에 기초를 두고 있기 때문에, 작동변수가 많아 정확한 모델링이 어려운 엔진제어에는 이러한 수학적 모델링이 필요 없이 전문가적 지식이나 기초실험에 의한 데이터를 기반으로 하는 퍼지제어이론을 사용하게 됐다. 퍼지 제어 이론은 언어적인 표현이기 때문에 제어기와 제어대상의 안정성이나 강인성을 수학적으로 입증하기는 어려우나, 기존의 제어이론으로 해결하기 어렵고 복잡하거나 또는 제어대상의 모델이 정확하게 알려지지 않은 경우에도 성공적인 결과를 얻고 있음이 많이 보고 되고 있다.[8),9),10)] 본 연구에서는 퍼지 논리를 이용한 퍼지 제어기를 구성하여 공회전시 적용될 수 있는 전기적, 기계적 부하에 따른 공회전 속도제어를 실험하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구는 1800cc 배기량을 가진 현대 엘란트라 DOHC 실제 차량에서 수행하였고, 엔진의 정상상태를 판단하기 위해 냉각수의 온도 측정 장치로 써모커플 T type을 냉각수 출구의 써모스태트 아래에 설치하였으며, 제어이론에 의해 계산된 제어신호의 입력을 위하여, 본 연구에서 사용하는 제어변수인 공기량조절에 사용할 공회전 속도조절밸브를 구동시키는 스테핑모터 구동회로, 엔진의 점화시기를 제어하기 위해 제작한 점화시기제어 구동회로, 엔진의 센서로부터 나오는 신호를 취득하기 위한 자료 취득장치로 데이터

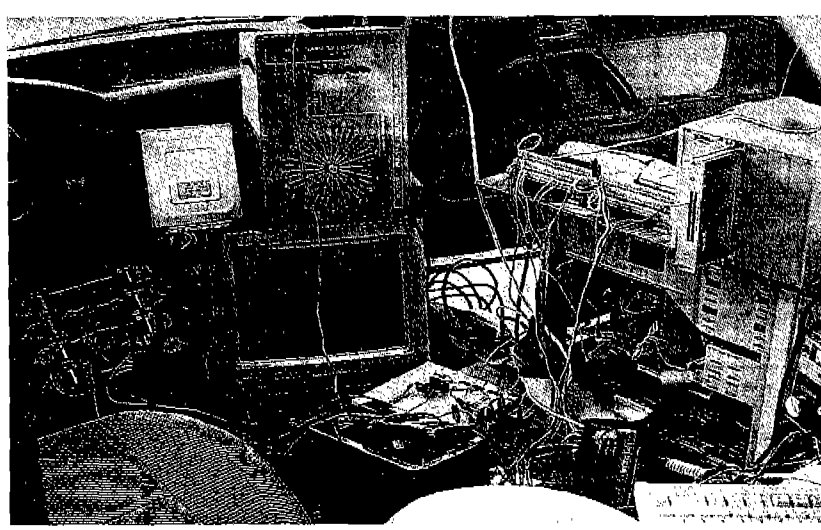

Photo 1 The Experimental Equipment in a Real Vehicle

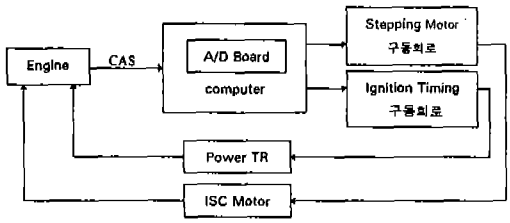

Fig.1 Block Diagram of Experimental Apparatus

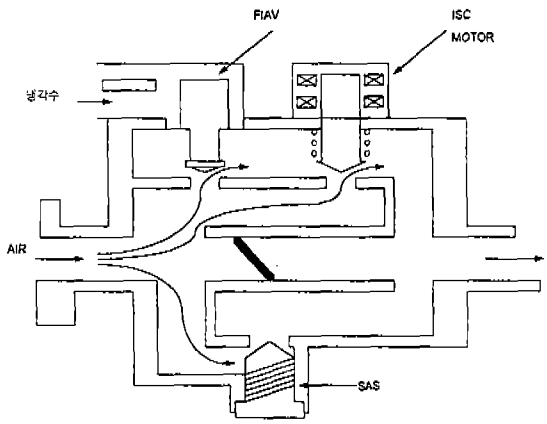

Fig.2 Schematic Diagram of the Throttle Body

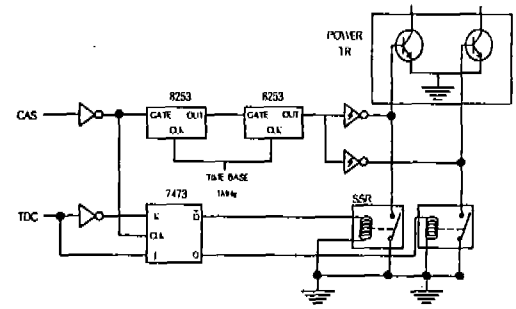

Fig.3 Circuit for Driving Power Transistor

Table 1 Variation of RPM per ISCV Step

STEP	RPM	변화량	STEP	RPM	변화량
1	755	0	11	929	19
2	773	18	12	939	10
3	802	29	13	954	15
4	812	10	14	973	19
5	835	23	15	989	16
6	847	12	16	1004	15
7	866	19	17	1027	23
8	875	9	18	1043	16
9	895	20	19	1052	9
10	910	15	20	1067	15

취득장치(Data Acquisition Board, AT-MIO-16D, National Instrument Co.)를 사용하였다. 또한 자료저장과 제어프로그램 구동을 위해 486DX2-66 데스크탑 컴퓨터를 차량에 장착하였다. 실험장치의 개념도와 장치도를 Fig.1과 Photo 1에 각각 나타내었다.

본 연구에서 실험에 필요한 제어변수는 엔진 회전수에 영향을 주는 주된 세 가지 요소인 공기량, 연료량, 점화시기 중에서 공기량과 점화시기로 선정하였으며, 연료분사량은 공기량에 따라 ECU가 처리해 주는 방식을 사용하였다. 현재 실험하고자 하는 차량은 공회전 속도제어를 쓰로틀로 제어하던 방식에서 벗어나 쓰로틀 바디를 우회하는 공기량을 스테핑모터에 달린 ISCV(Idle Speed Control Valve)라는 밸브를 이용하여 미세한 공기량을 제어하고 있다. Fig.2에 엔진으로 흡입되는 공기가 공회전시 쓰로틀 바디를 우회하는 구조를 나타낸 개략도를 나타내었다. 이 ISC 모터는 회전운동을 직선왕복운동으로 바꿔주는 핀틀이 부착되어 있고 총 124 스텝을 움직이며 스텝당 0.04mm정도의 변위를 갖는다. ISC모터의 스텝당 엔진의 RPM변화는 평균 15RPM정도이며 기초실험 결과를 Table 1에 나타내었다. Fig.3은 PC로 점화시기를 프로그래밍이 가능하도록 설계한 파워트랜지스터 구동 회로도[11]이며, 실험 차량에 맞게 무배전기 2코일 점화방식(디스트리뷰터에 의해 점화플러그로 고전압을 분배하는 것과 달리 파워트랜지스터에 의해 1, 4번과 2, 3번 실린더의 점화플러그로 전기를 배분하는 방식)으로 설계하였다. 또한 CAS(Crank Angle Sensor)신호를 근거로 하여 프로그래밍된 펄스의 출력형태를 Fig.4에 나타내었다.

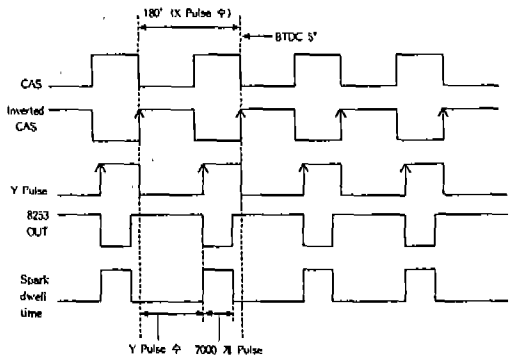

Fig.4 Timing Chart of Crank Sensor Signal and Igniton Timing Signal

Table 2 Variation of RPM per Ignition Timing

BTDC(°)	RPM	변화량
0	742	0
5	745	3
10	750	5
15	754	4
20	762	8

파워트랜지스터 구동 펄스 회로의 사양은

Time base source=1*MHz*

Spark dwell time=7*msec*(7000개 *Pulse*로 고정)

엔진*BTDC*=[180(*X Pulse*수−*Y Pulse*수+7000개 *Pulse*)/*X Pulse*수]+5

Pulse수/deg=측정된 *X Pulse*수/180

와 같으며, 위의 사양을 기초로 하여 프로그래밍된 점화시기를 출력하기 위한 공식을 식(1)에 나타내었다. 위에서 *X Pulse*는 1*MHz*의 베이스 펄스를 기초로 크랭크 축이 180°회전하는 동안의 펄스를 헤아린 수를 의미한다.

$$Y\ Pulse\text{수} = X\ Pulse\text{수} - [7000 + (X\ Pulse\text{수}/180) * (\text{퍼지출력}BTDC - 5)] \quad (1)$$

점화시기에 따른 RPM의 평균변화량을 기초실험에 의해 구하여 Table 2에 나타내었으며, 이 실험은 ISCV의 개도와 인젝션량을 일정하게 놓고 실험하였으며, 그 결과, BTDC(Before Top Dead Center) 0°에서 BTDC 15°까지 RPM 변화량이 선형성을 이루며 총 20RPM정도 변화량을 가짐을 알 수 있었다. BTDC 15°까지는 약 3~5RPM으로 변화하지만 20°에선 약 8~10RPM의 큰 폭의 변동이 있음을 알 수 있었다. 이 기초실험에 의하여 구한 데이터는 퍼지제어기에서 필요한 퍼지 멤버쉽 함수 설계의 근거가 된다.

2.2 실험방법

입력변수로 선정한 RPM 변화량을 제어 프로그램으로 입력하기 위해, 센서에서 ECU로 입력되는 신호들 중에서 CAS의 신호를 데이터 측정장치로 입력한다. 이렇게 입력되어 계산된 RPM은 점화시기 제어기와 제어프로그램의 입력신호로 사용된다. 또한, O_2 센서의 신호와, 배기다기관에 설치한 LAMBDA 센서로부터 공연비가 측정되게 되며, 이렇게 측정된 공연비 데이터는 실험결과 분석시 저연비와 저공해측면에서 이득 산출근거가 된다. 수온센서와 엔진의 냉각수 출구측에 설치한 써모커플로부터 엔진의 온도를 측정하여 엔진의 정상상태임을 판별한다. 본 연구는 엔진의 냉각수온이 90±5℃ 이상에서 실행하였다. 그 이유는 90±5℃ 이하 온도의 엔진상태는 빠른 정상상태에 도달할 목적으로 ECU가 고의로 1000RPM이상의 높은 회전속도를 유지하기 위해 연료분사시간을 늘려 분사한다. 따라서 본 연구에서는 엔진의 냉간상태시는 제어대상범위에서 제외시키고 이때의 연료량제어기능은 ECU에 맡긴다. 즉 본 연구는 정상상태에서의 제어에 그 목적을 두고 있다.

파워스티어링 신호와 라디에이터 팬 부하가 걸렸는지의 여부를 판단하기 위하여, 임의로 설치한 릴레이로부터 ON/OFF 출력을 얻어 데이터 판별에 사용한다. 그리고, 실험시 대기온도는 25±3℃에서 실험하였다.

제어로직의 순서는 먼저, CAS센서로부터 신호를 입력받아 ERPM과 DRPM을 구한 후, 퍼지로직 프로그램에서 ISCV가 조정 가능한 영역

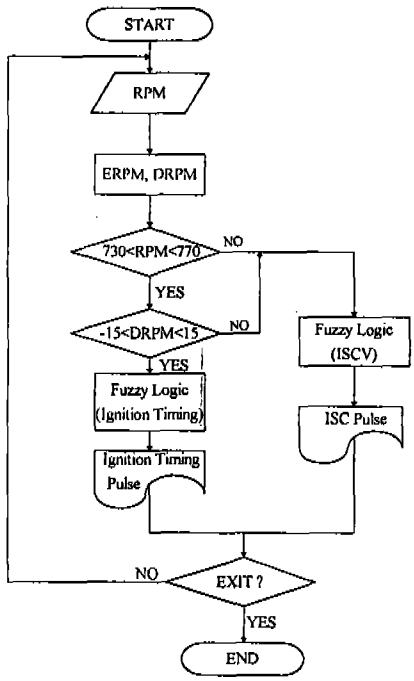

Fig.5 Software Flowchart of Engine Control Program

밖의 미세조정영역(750−15<DRPM<750+15)인가를 판별하여 이에 합당하면 점화시기 제어로직을 실행시키고, 그렇지 않으면 ISCV퍼지제어로직을 실행시키는 방식을 사용한다. 이에 따른 순서도를 Fig.5에 나타내었다. 그리고, 점화시기 구동 드라이버는 CAS신호와 TDC(Top Dead Center)신호를 이용하여, 점화될 점화플러그의 순서와 점화시기를 퍼지로직 프로그램의 결과를 반영하여 출력하도록 설계되어있다.

3. 퍼지제어 알고리즘

3.1 퍼지제어의 개요

퍼지이론을 기초로한 학문으로써 최근 대두되고 있는 제어이론이 퍼지제어이다.[12] 퍼지제어 알고리즘의 특징은 모델식이 필요없다는 것이다. 또한, 엔진과 같이 비선형성을 가진 시스템에 적용하기에 쉬우며 퍼지제어기의 전제부에 다양한 입력요소를 수용할 수 있고, 전문가적인 경험을 쉽게 반영하여 최적제어가 수행되도록 성능개선이 가능하다. 또한 IF~THEN~형식의 논리적 언어로 구성되어, 실제로 구두로 가르치는 것을 바로 규칙으로 적용하기 때문에 그 시스템과 인과관계를 알기 쉽다.

3.2 퍼지 논리 제어기(Fuzzy Logic Controller)의 구성

본 연구에서는 입력변수값을 계산하여 퍼지화시키는 과정에 있어서, 직접 귀속도를 찾고 연산시간을 줄일 수 있는 Singleton방법을 채택하였다. 그 다음에 입력변수들인 목표RPM과 현재 측정된 RPM의 차인 ERPM(Error RPM)의 계산식(2)와 바로 전에 샘플링된 RPM과 현재 RPM과의 차인 DRPM(Difference RPM)의 계산식(3)에 의하여 멤버쉽 함수에 따라 퍼지화(Fuzzifier)한다.

$$ERPM(k)=RPM(k)-TARGET\ RPM \tag{2}$$

$$DRPM(k)=RPM(k)-RPM(k-1) \tag{3}$$

이렇게, 퍼지화되어 선택된 두입력의 귀속도 값에 따른 적용규칙을 규칙-테이블(Rule table)에 적용하여 선택한다. 퍼지추론부에선 최대-최소 추론법(Max-Min Inference Method)을 사용하였으며, 퍼지집합으로 얻은 결과를 하나의 값으로 계산하는 과정을 비퍼지화(Defuzzifier)한다고 하는데 이 방법에 식(4)에 나타낸 무게중심법(Center of Gravity Method)[13]을 이용하였다.

$$y=\frac{\sum_{i=0}^{n} m_z(x_i)\cdot x_i}{\sum_{i=0}^{n} m_z(x_i)} \tag{4}$$

여기서, x_i : 출력 퍼지 집합의 도심까지의 거리

$m_z(x_i)$: 출력 퍼지 집합의 넓이

n : 출력의 정량화 단계수

최종적으로 무게중심법에 의해 구해진 출력값은 ISCV 스테핑모터의 펄스수와 점화시기값으로써 각각 쓰로틀바디에 장착된 스테핑모터와, 점화 파워트랜지스터에 적용되어 구동시키게 된다.

Fig.6은 퍼지 제어 개념도를 나타냈다. Fig.7과 Fig.8은 본 연구에서 쓰인 ISCV퍼지제어(흡입 공기량만을 제어, 영문표기 : ISCV)와 병합퍼지제어(점화시기와 흡입 공기량을 동시에 제어, 영문표기 : ISCV&IGN)에 쓰인 입력부와 출력부의 멤버쉽 함수이다. Table 3과 Table 4는 ISCV퍼지제어와, 병합퍼지제어에 적용되어진 지식베이스에 저장된 제어규칙을 보여준다. 멤버쉽 함수와 제어규칙을 구성하기 위해 2.1절에서 제시한 기초실험 결과를 사용하였다. 퍼지 멤버쉽 함수의 입력과 출력은 RPM변화량과 제어목표값에 가중치를 부여하여 작성하게 되었으며, 규칙테이블은 두 개의 입력값들 사이에서 출력시 선택되어야 하는 값의 가중치를 선별하여 구성하게 되었다. 또한 직접 제어에 들어가서 일반적인 제어규칙의 적용이 부적절한 곳에는 알맞게 가중치를 부여하여 구성하게 되었다. 하나의 예로, 목표RPM과의 차가 양의 방향으로 크고(PEB), 전RPM과의 차가 또한 양의 방향으로 크다(PDB)면, 출력은 RPM을 급속히 감소시켜야 함으로 ISCV모터를 급히 전진시켜야 하는 PB을 선택하여 출력하도록 구성되어 있다.

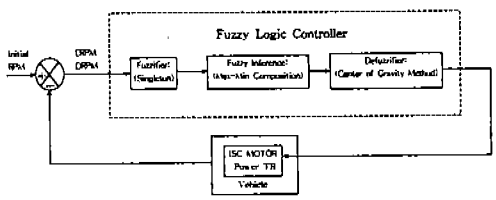

Fig.6 Block Diagram of Fuzzy Control

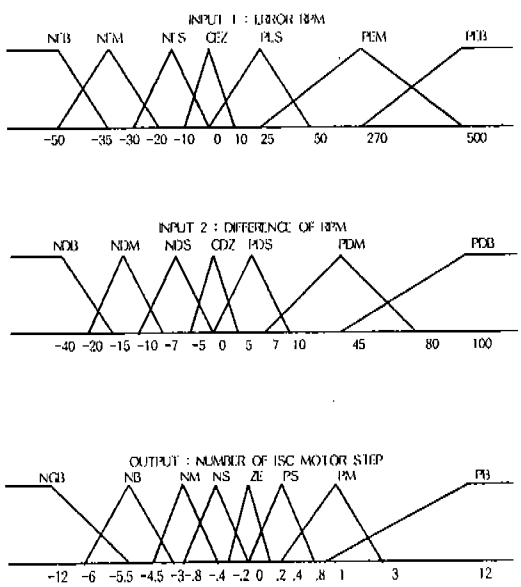

Fig.7 Membership Funciton of ISCV Control

4. 공회전 속도제어 실험

공회전 속도제어의 목적은 낮은 회전수를 유지하며 적은 연료 소비를 실현하는 것이다. 본 연구에서 엔진의 공회전상태에서 유지하여야 할 속도제어범위는 기존 ECU제어가 750±20RPM 이하인 상태를 유지하는데 반해, 공회전시 적용

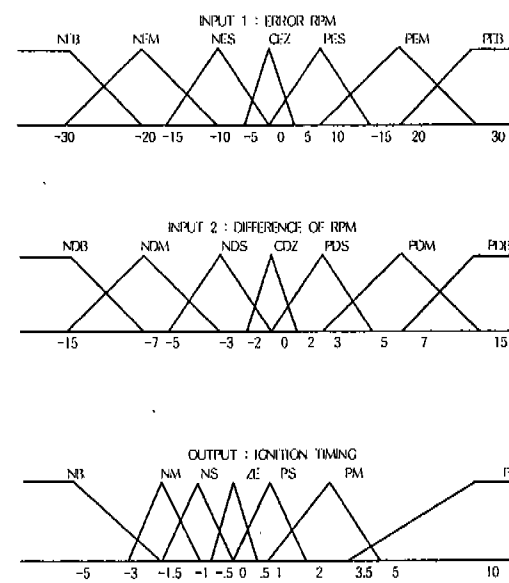

Fig.8 Membership Function of Ignition Timing Control

Table 3 Rule Table of ISCV Control

DEFERENCE RPM \ ERROR RPM	NEB	NEM	NES	CEZ	PES	PEM	PEB
NDB	NGB	NGB	NGB	NB	NM	NS	ZE
NDM	NGB	NB	NM	NM	ZE	ZE	PS
NDS	NB	NM	NS	NS	ZE	PS	PM
CDZ	NB	NM	NS	CE	PS	PM	PB
PDS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
PDM	NM	NS	ZE	PM	PB	PB	PB
PDB	NM	PM	PB	PB	PB	PB	PB

Table 4 Rule Table of Ignition Timing Control

DEFERENCE RPM \ ERROR RPM	NEB	NEM	NES	CEZ	PES	PEM	PEB
NDB	PB	PB	PB	PM	PS	ZE	ZE
NDM	PB	PB	PM	PS	ZE	ZE	NS
NDS	PB	PM	PS	PS	ZE	NS	NS
CDZ	PM	PS	PS	ZE	NS	NS	NM
PDS	PS	ZE	ZE	NS	NS	NM	NM
PDM	ZE	ZE	NS	NS	NM	NB	NB
PDB	ZE	NS	NS	NM	NB	NB	NB

될 수 있는 부하 중 어떠한 부하적용에 있어서도 750±15RPM 이하의 상태를 유지하는 것으로 설정하였다. 그리하여 공회전 속도 유지측면에서 적은 RPM변화량으로 연료소비를 감소시키는 것과 동시에 이론공연비로의 수렴과 운전자의 안락함을 도모하고자 한다. 또한, LAMBDA 센서를 배기다기관에 설치하여 제어되는 공기량에 대한 연료소비량을 측정하였고, 공연비를 검증하였다. 공회전시 엔진의 출력을 저하시키고, RPM의 변화를 발생시키는 부하중 전기적인 측면에서 가장 큰 부하인 라디에이터 팬 부하와 기계적인 면에서 가장 빈번하면서도 크게 작용하는 부하인 파워스티어링 부하, 그리고 많은 연료를 사용하고 가장 상태가 불안정한 엔진의 시동시기를 적용하여 (1) ECU만의 제어(ECU), (2) 흡입 공기량만을 제어하는 ISCV퍼지제어(ISCV), (3) 점화시기와 흡입 공기량을 동시에 제어하는 병합퍼지제어(ISCV&IGN)등 모두 3가지 형태를 실험하고 이를 비교 분석하였다.

샘플링 시간의 선정은 모델식이 없는 관계로 기초실험에 의해 선정하였다. Isermann[14]에 의하면 동적 시스템의 샘플링 주기는 스텝 응답에서 정상치의 95%에 도달하기까지의 시간의 약 0.067~0.2배의 범위로 하면 적당하다고 알려져 있다. ISCV 스텝모터에 1step의 구동신호를 주고 정상상태 응답시간을 측정한 결과 약 1초의 시간이 걸렸으며, 이에 따라 0.1초의 시간을 샘플링 시간으로 선정하였다.

5. 실험결과 및 해석

5.1 시동시 공회전 속도 제어

Fig.9는 무부하 상태에서 시동시 각각 ECU와 ISCV퍼지제어, 병합퍼지제어의 목표공회전 속도 수렴결과를 나타내었다. 이 결과, 목표공회전 속

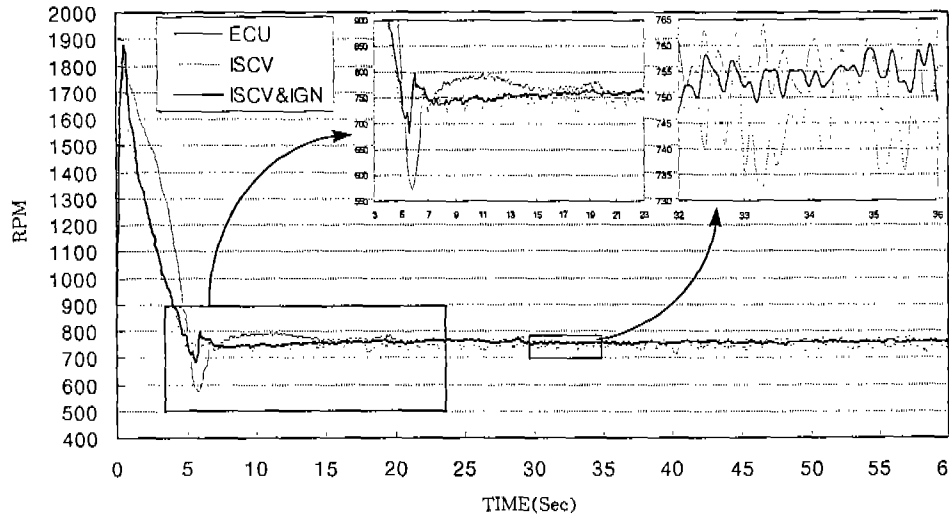

Fig.9 Variation of RPM from Starting Engine for ECU, ISCV, Ignition Timing Control

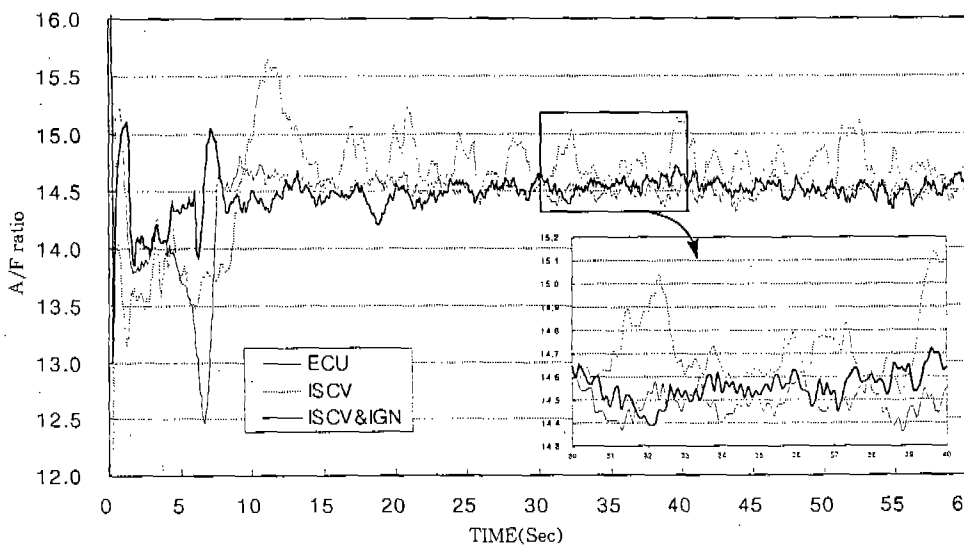

Fig.10 Variation of A/F Ratio from Starting Engine for ECU, ISCV, Ignition Timing Control

도에 도달하는데 ECU는 20초가 걸리는 반면에 FUZZY제어는 5초만에 도달하여 약 15초의 수렴속도 개선을 이루었다. 또한 ECU는 관성에 의한 영향으로 580 RPM까지 떨어지는 심한 요동(Fluctuation)을 보였으나 ISCV퍼지제어, 병합퍼지제어는 거의 요동이 없었다. 목표공회전 속도 유지와 이론공연비 유지(Fig.10에 나타냄)측면에서 보면 ISCV퍼지제어보다는 ECU, ECU보다는 병합퍼지제어가 나은 효과를 보였다. 공연비 개선 측면에서 보면, 적절한 공기량과 점화시기의 제어만으로도 시동시에 배출되는 배기가스의 오염도를 현격히 감소시킬 수 있음을 실험의 결과로써 알 수 있었다. 또한 ISCV만의 제어가 750RPM 근처에서 RPM의 요동이 ECU보다 심

한 이유는 ISCV에 쓰인 스텝모터의 제어범위인 15RPM/PULSE을 제어할 수 없기 때문이며, 이를 개선하기 위하여 점화시기제어를 제어로직에 추가하여 ISCV의 허용제어범위를 넘는 부분의 정밀제어를 실시하였다. 이 결과, ECU보다 퍼지제어가 공회전 속도 측면에서나 이론공연비 개선 측면에서 매우 우수함을 알 수 있었고, 공연비를 LAMBDA 센서로 검증한 결과, 실험치 모두 일반적인 배연 정화범위 50% 이내(14.7±0.3)[15]를 유지함을 보였다.

5.2 파워스티어링 부하

Fig.11과 Fig.12는 파워스티어링 부하가 작용할 때 각각 ECU제어와 병합퍼지제어의 목표공

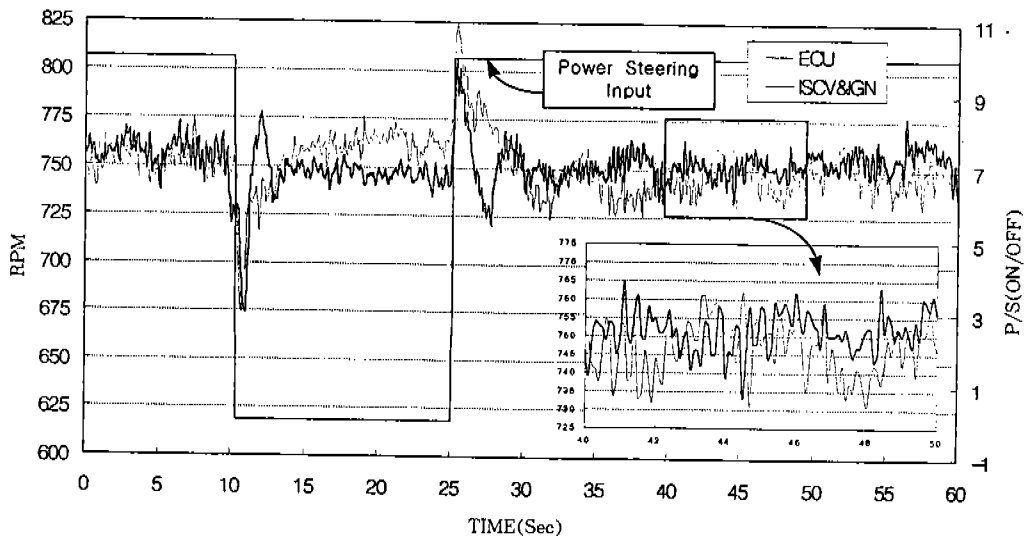

Fig.11 Variation of RPM According to Power Steering Load for ECU and Ignition Timing Control

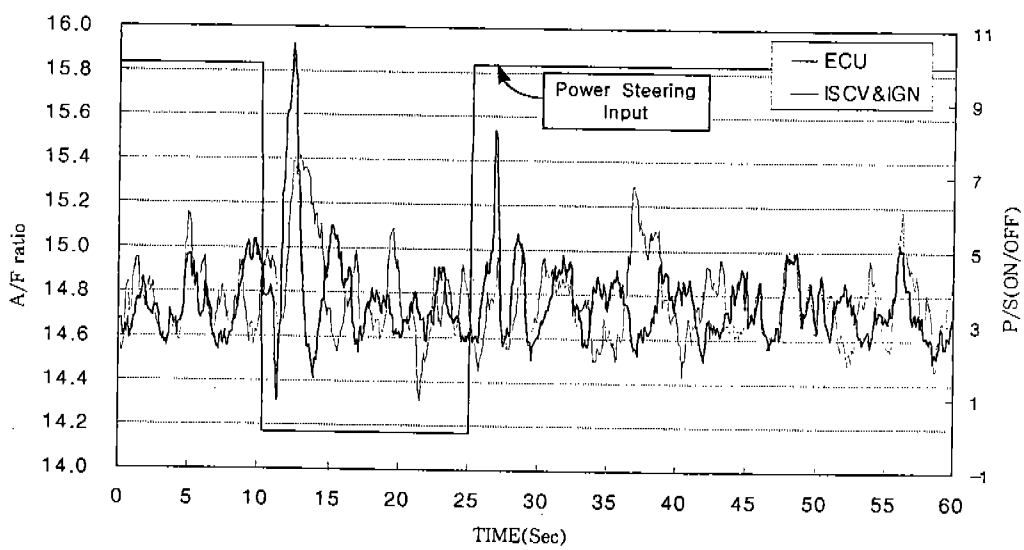

Fig.12 Variation of A/F Ratio According to Power Steering Load for ECU and Ignition Timing Control

회전 속도 수렴결과와 이론공연비 수렴결과를 나타내었다. 공기량만 제어하는 ISCV퍼지제어의 목표공회전 속도 수렴결과와 공연비 결과는 병합퍼지제어와 부하적용시 빠른 수렴을 갖는다는 결과를 갖지만 병합퍼지제어에 비하면 개선된 양을 비교, 표현하기 어려울 정도로 적은 개선이므로 성능곡선에서 그 결과를 기재하며 공기량제어만의 특성을 찾는 것에 의미를 갖는다.

파워스티어링 부하는 공회전시에 엔진에 적용되는 대표적인 기계적 부하로써, ECU는 파워스티어링에 부착된 오일압력스위치의 작용으로, 부하에 따른 출력전압을 측정하여 부하가 적용되었음을 감지하고, 이에 따라서 정해진 RPM을 상승시킴으로써 ERROR RPM을 유지, 보정한다. 그러한 선취되는 신호에 따른 제어 없이 부하가 발생하였을 때 RPM의 변화량을 측정하여 제어하는 퍼지 제어기는 곧바로 작동하여 ECU제어보다 빠른 수렴을 보임을 알 수 있다. 단지, 목표공회전 속도로 수렴시 발생하는 RPM초과량(Overshoot)은 ECU나 퍼지제어가 모두 공통이며, 이는 기계적 관성이므로 어느 정도 개선의 범위를 벗어난 제어는 오히려 목표공회전 수렴이나 연료소비측면에서 나쁜 결과를 가져오기 때문에 목표공회전 속도에 빨리 수렴시키는 것을 추구함이 더욱 효과적이다. ECU제어와 병합퍼지제어에서 보면, 후자가 목표공회전 속도로의 수렴속도 측면에서 ECU제어가 5초 가량 걸린 반면, 병합퍼지제어는 약 2초의 수렴속도를 보여 3초의 개선을 이루었을 뿐만 아니라, 목표공회전 속도 유지측면에서 ECU제어가 750±20 RPM인 반면 병합퍼지제어는 750±10RPM의 공회전 속도유지 개선을 이루었다. Fig.12에 ECU제어와 병합퍼지제어의 실험에 대한 공연비 결과를 나타내었다. 이론공연비 유지측면에서도 또한 ECU제어가 14.7±0.4를 유지하는 반면 병합퍼지제어는 14.7±0.2를 유지하였다.

5.3 라디에이터 팬 부하

Fig.13과 Fig.14는 라디에이터 팬 부하가 작용할 때 각각 ECU제어와 병합퍼지제어의 목표 공회전 속도 수렴결과와 이론공연비 수렴결과를 나타내었다.

라디에이터 팬 부하는 전형적인 전기부하이며, 이 부하는 퍼지제어와 같이 ECU가 부하가 적용됨에 따른 RPM변화를 느껴야만 제어 가능함으로 퍼지제어와 그 성능을 비교하기에 적절한 실험이다. 실험에서 얻은 결과를 분석해 보면, ECU제어가 4초의 수렴시간을 수반한데 비해

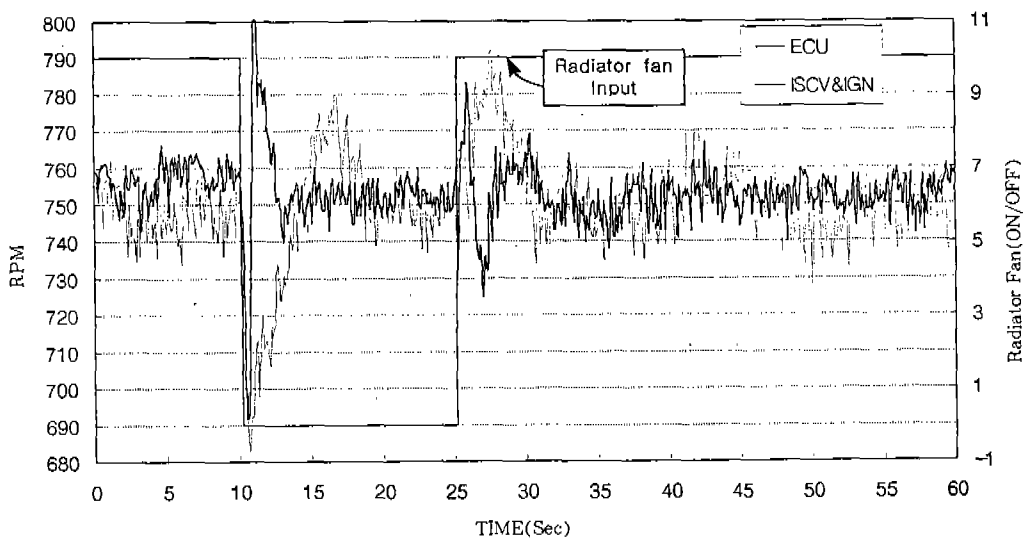

Fig.13 Variation of RPM According to Radiator Fan Load for ECU and Ignition Timing Control

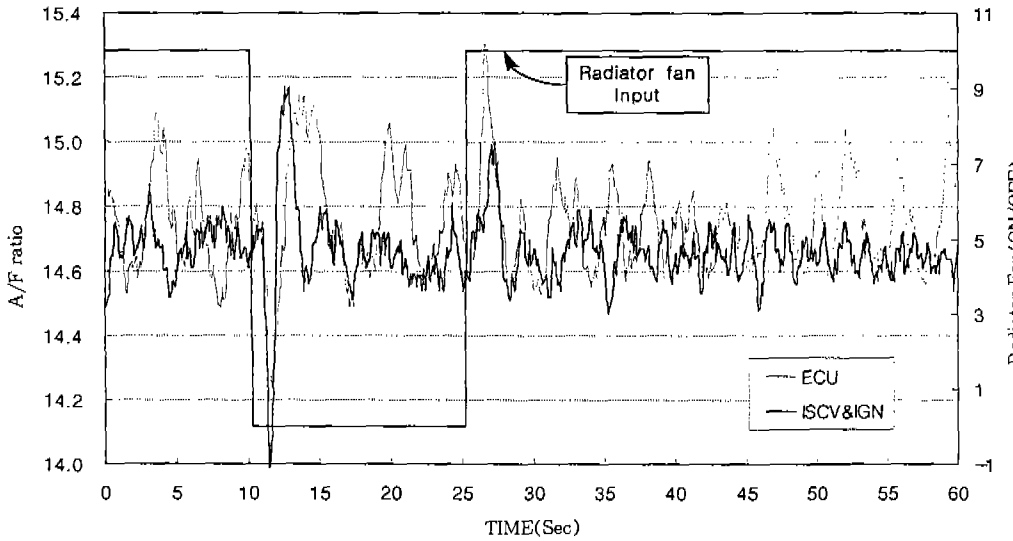

Fig.14 Variation of A/F Ratio According to Radiator Fan Load for ECU and Ignition Timing Control

FUZZY제어는 1초의 수렴시간을 유지함을 보였으며, 목표공회전 유지측면에서 보면 ECU가 750±20RPM을 유지하는 반면 병합퍼지제어는 750±10RPM으로 ±10RPM의 개선을 나타내었다. 이론공연비 유지측면에서도 ECU제어는 파워스티어링 부하적용시의 이론공연비유지와 거의 같은 결과를 보였지만, 병합퍼지제어는 14.7±0.1을 넘지 않았으며 ±0.1의 개선을 이루었다.

5.4 성능지수에 의한 비교

5.4.1 성능지수 산출법

목표공회전 속도(750RPM)로의 수렴이나 이론공연비유지(14.7;A/F Ratio) 측면을 비교해 볼 때, 목표공회전 속도와 이론공연비를 기준으로 측정값의 상하로의 변동은 효율의 저하를 가져오므로, 상하 변동의 합을 구하여 비교상대보다 변동 폭이 적은 것이 나은 성능을 보인 것이며, 백분율로 비교한다. 이론공회전속도 수렴 성능지수를 식(5)에 제시하였고, 이론공연비 수렴 성능지수를 식(6)에 제시하였다. 실험결과로 산출한 목표공회전 속도로의 수렴 성능지수와 이론공연비 수렴 성능지수를 각각 Fig.15, Fig.16, Fig.17에 나타내었다.

$$\text{성능지수} = \frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n} abs[750 - y(kt)] \qquad (5)$$

$$\text{성능지수} = \frac{1}{n}\sum_{k=0}^{n} abs[14.7 - y(kt)] \qquad (6)$$

5.4.2 성능지수 비교

목표 공회전 속도로의 수렴성능을 성능지수를 이용하여 비교한 결과, 시동시 제어에서 RPM변화의 개선량은 병합퍼지제어가 ECU제어에 비해 35.2% 향상됐으며, 파워스티어링 부하 적용시에 23.5%, 라디에이터 팬 부하 적용시에 31%의 성능향상이 있었다. 이러한 성능개선을 가져온 사유는 서론에서도 제시한 바 있듯, 범용적인 데이터를 기반으로 만들어진 맵-데이타를 사용한 ECU보다 퍼지제어는 기초실험을 바탕으로 하여 취득된 정보를 제어규칙에 적용하였기 때문이다. 또한 이러한 성능향상은 적은 연료소비와 정숙한 엔진회전을 유도하여 운전자의 안락함을 가져온 것이다.

이론공연비유지로의 수렴, 유지성능 또한 시동시 제어에서 ECU제어보다 병합퍼지제어가 15.8%, 파워스티어링 부하 적용시에 10.9%, 라디에

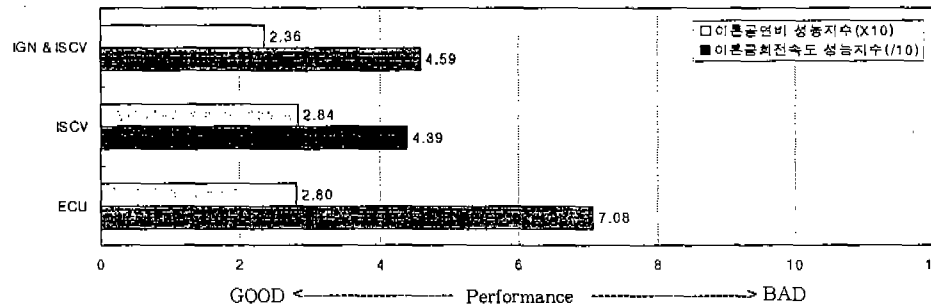

Fig.15 Performance index of idle speed control & Air-Fuel Ratio when Engine is Operating

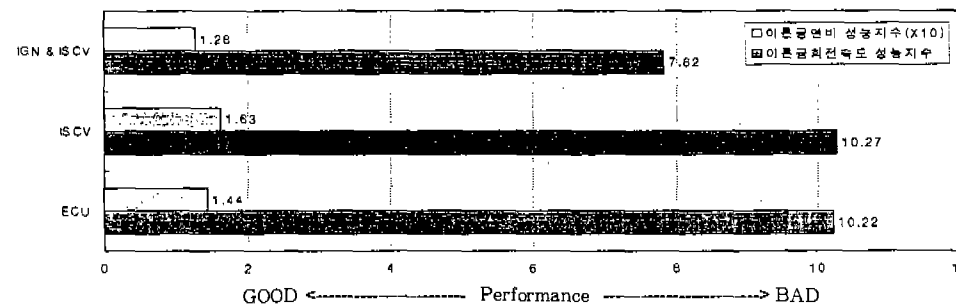

Fig.16 Performance Curve of Idle Speed Control & Air-Fuel Ratio when Power Steering Load is Applied

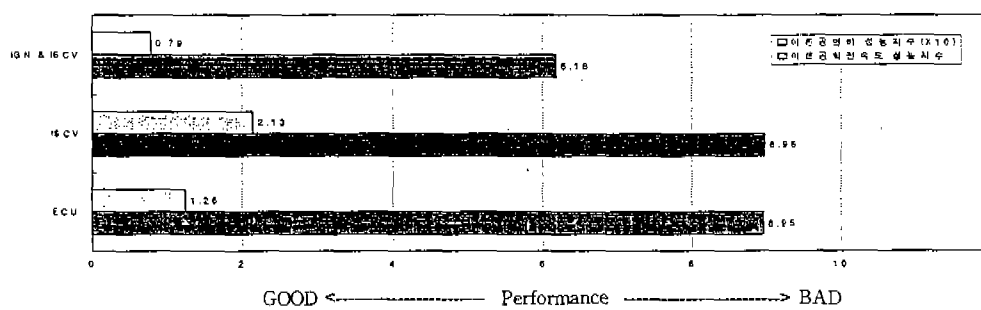

Fig.17 Performance Curve of Idle Speed Control & Air-Fuel Ratio when Radiator Fan Load is Applied

이터 팬 부하 적용시에 37.4%의 성능향상이 있었다. 이러한 성능향상 또한 연비개선과 배기가스의 매연을 줄이는 효과를 가져온 것을 의미한다.

6. 결 론

본 논문에서는 퍼지논리를 이용하여 엔진의 공회전 속도를 (1) 기존의 ECU제어 방식, (2) ISCV 밸브를 이용한 공기량제어 방식, (3) 공기

량제어 방식에 점화시기제어를 추가한 공기량과 점화시기 병합퍼지제어 방식으로 제어하였으며, 그 결과 다음과 같은 결론을 얻어냈다.

1) 엔진이 정상상태에서 시동시 목표공회전 속도로 수렴함에 있어서 기존 ECU제어보다 약15초의 수렴시간 개선을 이룸과 동시에 이론공연비 유지측면에서 또한 15.8%의 개선을 이룸으로써 저연비와 정숙한 운전 모드유지 측면에서 좋은 효과를 얻었다.
2) ECU가 RPM의 변화를 느껴야만 제어가능한 전기적인 부하나 그밖의 돌발적인 부하에서 수렴속도가 ECU제어보다 빠르며, 목표공회전 속도를 유지함과 이론공연비를 만족시키는 측면에서 각각 750±10 RPM과, A/F Ratio 14.7±0.1을 넘지 않는 공연비 유지를 보였다.
3) 파워스티어링 부하와 같은 기계적 부하는 부하가 작용하기 전에 미리 ECU가 신호에 의해 선행 제어를 수행함에도 불구하고 퍼지제어가 ECU보다는 빠른 수렴속도를 보였고, 단지 ISCV만으로 단독제어를 할 경우에는 제어기구의 특성상 점화시기의 병합퍼지제어가 필요함을 알 수 있었다.
4) 전반적으로 수렴속도측면에서 보면 전문가적 지식을 기초로 제어하는 퍼지제어는 모든부하에 대해서 ECU제어보다 빠른 수렴속도를 보였고, 이론공연비유지 측면에서 보면, 병합퍼지제어가 ECU보다 ±0.2의 값의 개선을 이루었으며, 공연비 14.7±0.3이 매연정화범위의 50%를 차지하는 것에 비교할 때, 이는 매연정화범위에서 많은 이득을 얻은 것이다.
5) 본 실험에서 적용한 퍼지이론이 기초실험에 의존한 형태이므로 완벽히 모든 부하에 결론에서 제시한 결과와 같이 좋은 결과를 얻는다고는 볼 수 없으므로 제어기가 학습하여 제어룰을 자동으로 바꿀 수 있는 Adaptive Fuzzy를 향후 적용하는 것이 고려되어야 할 것이다.

후 기

본 연구는 1995년도 교육부 학술연구조성비(기계공학 : ME95-D-22)에 의해 이루어진 것이며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. M. Abate, V. Di Nunzio, "Idel Speed Control Using Optimal Regulation", to be published in Proc. XXIII FISITA Congress, May 1990.
2. Y. Nishimura and K. Ishii, "Engine Idle Stability Analysis and Control", SAE Paper 860415, 1986.
3. T. Takahashi, T. Ueno, A. Yamamoto and H. Sanbuichi, "A Simple Engine Model for Idel Speed Conrtol", SAE Paper 850291, 1985.
4. 양병율, "스파크 점화기관의 공회전 속도제어에 관한 기초연구", 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1993.
5. 권세일, 장광수, "자동차 엔진의 공회전 속도제어", 한국 자동차 공학회 춘계 학술 대회, 1995.
6. 이재곤, 장익순, "HMC 엔진 전자 제어 시스템", 대한기계학회 춘계 학술 대회, 1992.
7. BOSCH, "AUTOMOTIVE HANDBOOK (3rd Ed.)", SAE, pp 759, 1993.
8. S. Chiu. V. Kraemer and R. Rattner, "A Fuzzy Logic Controller Development System", Proc. 7th Annual Meeting of the North American Fuzzy Information Processing Society, June 1988.
9. P. J. King, E. H. Mamdani, "The Application of Fuzzy Control Systems to Industrial Processes", Automatica, vol. 13, N. 3, pp.235~242, 1977.
10. M. Abate, N.Dosio, "Use of Fuzzy Logic for Engine Idle Speed Control", SAE 900594.

11. 박경석, "다중 분사식 가솔린 엔진의 공연비 제어에 관한 연구", 서울대학교 대학원 석사 학위 논문, 1991.
12. L.A. Zadeh, "Fuzzy Sets", Inform. Control, vol. 8, pp.338~353, 1965.
13. 엄정국, 원성현, "기초 퍼지이론과 응용퍼지 시스템" 정보시대 출판부, pp.248~251, 1992.
14. R. Isermann, "Parameter Adaptive Control Algorithm-A Tutorial", Automatica 18, 1992.
15. Richard Stone, "Internal Combustion Engines", SAE, 1994.