

변동에 강인한 공회전속도 제이에 관한 연구

A Study on the Idle Speed Control under Load Disturbance

° 최후락*, 장광수**

*홍익대학교 기계공학과 대학원 (Tel: 320-1117; Fax:336-5527)

**홍익대학교 기계공학과 (Tel: 320-1494; Fax:336-5527)

Abstracts The objective of this paper is to study on the idle speed control using the fuzzy logic controller under load disturbance. The inputs of the fuzzy controller are error of rpm and rpm variation. The output of fuzzy controller is an ISC motor step. The airflow is controlled by the ISC motor movement and the idle speed is controlled by the airflow control. During the control, air to fuel ratio was checked by LAMBDA sensor. All experiments were carried in real vehicle.

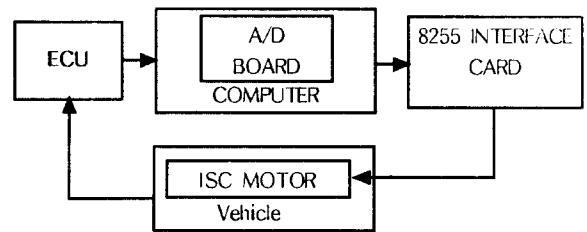
Keywords ISCV, Idle Speed Control, Fuzzy Control, LAMBDA Sensor

1. 서론

최근 차량의 증가와 시내 교통의 익화로 인해 도심에서 차량 엔진이 공회전 되는 상황이 많이 발생하고 있다. 이에 따른 배기가스와 연비규제를 만족시키고 엔진의 고효율을 추구하기 위하여 기존 카브레타 방식의 엔진을 M.P.I(Multi Point Injection)엔진으로 대체하고 이를 정밀제어하기 위하여 E.C.U.(Electronic Control Unit)를 장착하여 출하고 있다. E.C.U.는 꾸준히 연구개발하여 최상의 데이터를 탑재함으로써 최적의 조건을 유지토록 하고 있다. E.C.U.는 엔진의 운전상태를 각기 센서들로부터 받아들여 MAP DATA로부터 최상의 조건을 선택하여 연료분사시기와 분사량, 점화시기, I.S.C.(Idle Speed Control)밸브 개폐각도 등을 조정한다. 그리고, 공회전시 엔진의 회전수에 영향을 주는 요인은 공기량, 연료량, 냉각수 온도, 스파크 타이밍 등이 있고, 작용 부하로써는 전기적인 부하는 라디에이터 팬 부하, 파워 윈도우, 송풍기 등이 있고, 기계적인 부하는 에어컨 부하, 파워 스티어링(Power Steering)부하 등이 있다. 여기서 기계적인 부하란 엔진에서 출력되는 토크를 이용하여 작동되는 기계적 요소에 의한 부하를 의미한다. M.P.I.엔진 차량에서 운전상태가 부드럽게 유지하면서도 낮은 엔진 회전수와 이에 부합되는 공연비를 유지하기 위해선 적절한 제어장치가 필요하며, 본 연구에선 퍼지 논리를 이용한 퍼지 제어를 구성하여 공회전시 적용될수 있는 전기적, 기계적 부하에 따른 공회전 속도 제어를 하였다.

2. 실험장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 실제 차량과 온도 측정 장치, 스텝 모터 구동회로, 자료 취득 장치, 공회전 속도 제어 모터등



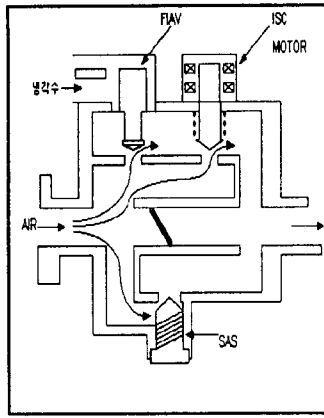
[그림 1] 제어 모델 구성도

으로 구성되어 있으며 그 구성도는(그림 1)과 같다.

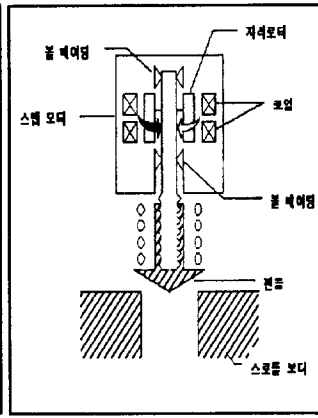
엔진 회전수에 영향을 주는 공기량을 제어 변수로 선정하였으며 연료분사량과 스파크 타이밍은 공기량에 따라 ECU에서 처리해 주는 방식을 이용하였다. 현재 실험하고자 하는 엔진의 공회전 속도 제이는 스로틀을 제어하던 옛방식에서 벗어나 by-pass 되는 공기량을 Stepping Motor에 달린 ISCV(Idle Speed Control Valve)라는 밸브를 이용하여 미세한 공기량을 제어하고 있다. [그림 2]는 엔진의 공기가 공회전시 by-pass되는 구조를 나타낸 개략도이다. [그림 3]은 공회전 속도 조절 서보모터의 개략도이다. 이 ISCM터는 회전운동을 직선왕복운동으로 바꿔주는 핀틀이 부착되어 있으며 총 124 스텝을 움직이며 스텝당 0.04mm정도의 변위를 갖는다. [표 1]은 ISCM터의 여자 패턴을 나타내었다. ISCM터의 스텝당 엔진의 RPM변화는 평균 15RPM정도이며 기초실험 결과를 [표 2]에 나타내었다.

3. 퍼지제어 알고리즘

3.1 퍼지제어의 개요



[그림 2] by-pass 구조도



[그림 3] ISC 모터 구조도

[표 2] ISC 모터 스텝 응답 변화량

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

[표 1] ISC Motor 여자 패턴

coil No. step	a	b	c	d
1	off	on	off	on
2	on	off	off	on
3	on	off	on	off
4	off	on	on	off

1 → 2 → 3 → 4 : 핀틀의 전진
4 → 3 → 2 → 1 : 핀틀의 후진

퍼지제어 알고리즘의 특징은 모델화된 수학적식이 필요없으며, 엔진과 같이 비선형성을 가진 시스템에 적용하기에 쉬우며 선제부에 다양한 입력요소를 수용할 수 있고 전문가적인 경험을 쉽게 반영하여 최적제어가 수행되도록 성능개선이 가능하다. 또한 IF ~ THEN ~ 형의 논리적 언어로 구성되어, 실제로 구두로 가르치는 것을 바로 규칙으로 적용하기 때문에 그 시스템과 인과관계를 알기 쉽다.

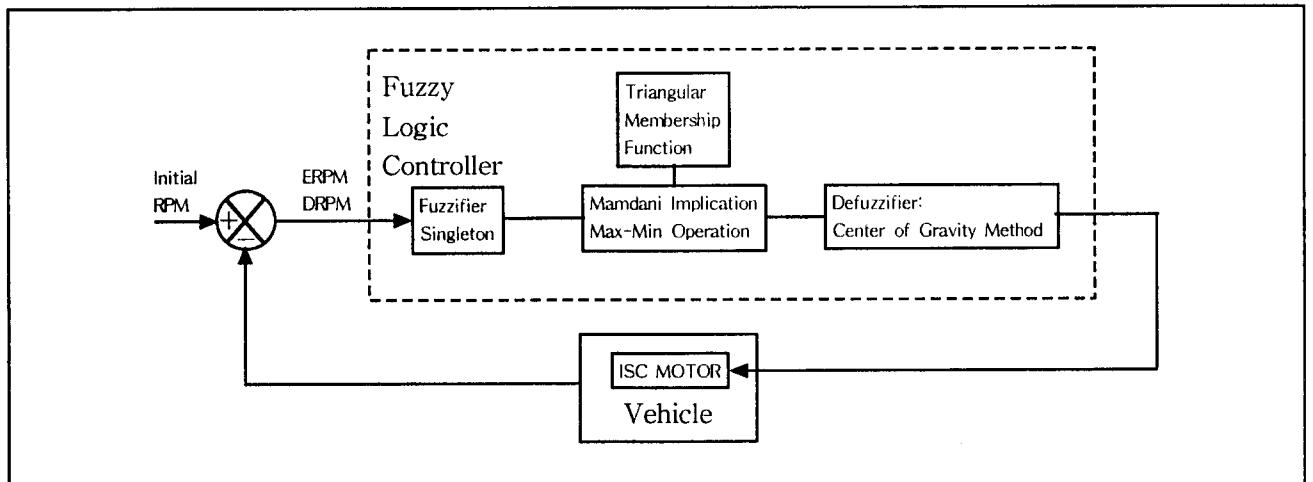
3.2 퍼지 논리 제어기(FLC)의 구성

본 연구에서는 연산 시간을 줄일수 있고 직접 귀속도를 찾는 Singleton방법을 이용하였다. 그 다음에 입력변수들을 식(1)에 의하여 멤버십 함수에 따라 퍼지화한다.

$$ERPM(k) = RPM(k) - TARGET\ RPM$$

$$DRPM(k) = RPM(k) - RPM(k-1) \quad (1)$$

퍼지추론부에선 Mamdani의 최대-최소(Max-Min)추론법을 사용하였으며, 퍼지집합으로 얻은 결과를 하나의 값으로 계산하는 과정을 비퍼지화 한다고 하는데 이 방법에 식(2)에 나타난 무게중심법(Center of Gravity Method)⁽⁴⁾을 이용하였다.



[그림 4] 퍼지 제어 개념도

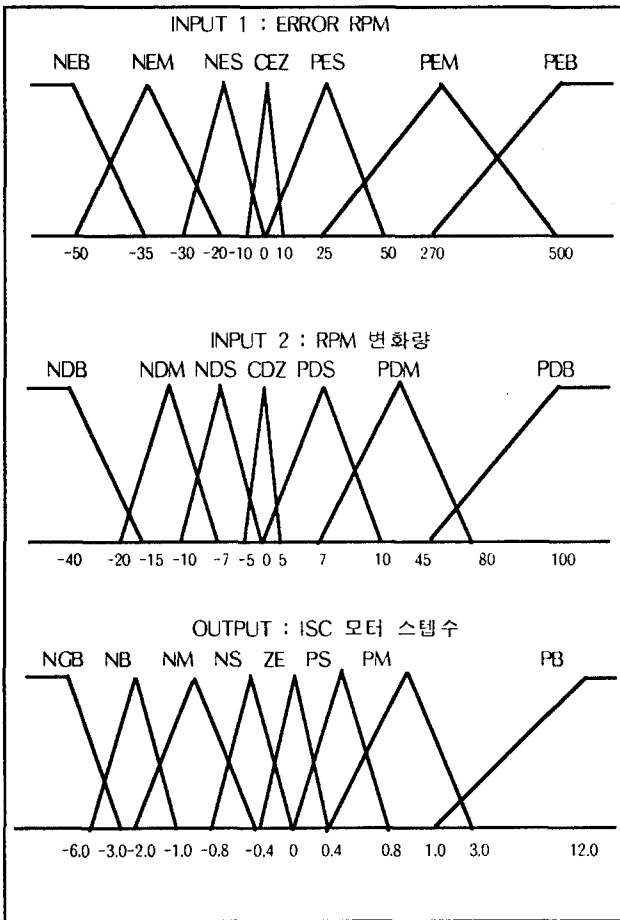
$$y = \frac{\sum_{i=0}^n m_z(x_i) \cdot x_i}{\sum_{i=0}^n m_z(x_i)} \quad (2)$$

x_i : 출력 퍼지 집합의 도상까지의 거리

$m_z(x_i)$: 출력 퍼지 집합의 넓이

n : 출력의 정량화 단계수

(그림 4)는 퍼지 제어 개념도를 나타냈으며, (그림 5)는 본 실험에서 쓰인 입력부와 출력부의 멤버십 함수이고 [표 6]은 지식베이스에 저장된 제어규칙을 보여주고 있다.



(그림 5) 퍼지 멤버십 함수

4. 공회전 속도 제어 실험

본 실험의 공회전 유지속도는 750 ± 15 RPM으로 설정하였다. 공회전 속도 제어의 목적은 낮은 회전수를 유지하며 적은 연료 소비를 실현하는 것이다. 본 실험에서 제어되는 공기량에 대한 연료 분사량을 LAMBDA 센서에 의해 이론 공연비 유지를 검증

[표 6] 퍼지 규칙 테이블

	NEB	NEM	NES	CEZ	PES	PEM	PFB
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

하였다. 공회전시 발생할 수 있는 부하중 전기적인면에서 가장 큰 부하인 라디에이터 부하와 기계적인 면에서 가장 빈번하면서도 큰 부하인 파워스티어링 부하를 적용하여 현 ECU가 제어하는 것과 퍼지제어를 비교 분석하였다.

샘플링 시간의 선정은 모델식이 없는 관계로 기초 실험에 의해 선정하였다. Isermann⁽¹⁾에 의하면 동적 시스템의 샘플링 주기는 스텝 응답에서 정상치의 95%에 도달하기까지의 시간의 약 0.067~0.2배의 범위로 하면 적당하다고 알려져 있다. 1step의 구동신호를 주고 응답시간을 측정된 결과 약 1초의 시간이 걸렸으며, 이에 따라 0.1초의 시간을 샘플링 시간으로 선정하였다.

실험은 냉각수온을 $90 \pm 5^\circ\text{C}$ 로 유지시킨 후 정상상태에서 수행하였다.

5. 실험결과 및 해석

5.1 공회전 속도 제어

무부하 상태에서 초기 시동시 ECU와 FUZZY의 제어를 비교한 결과, 공회전 속도에 도달하는데 ECU는 42초인 반면(그림 6)에 FUZZY는 5초만(그림 7)에 도달하여 약 12%의 수렴속도 개선을 이루었다.

750RPM 근처에서 RPM의 요동(Fluctuation)이 ECU보다 심한 이유는 ECU가 출력하는 ISCv 구동펄스가 적용이 안됨으로 인하여 연료분사시간과 스파크 타이밍의 부적절한 배합으로 인함이며, 이는 추후에 앞 두 요소를 개별 제어함으로써 충분히 ECU보다 낫은 결과를 얻을 수 있을것으로 사료된다. 또한 이때의 공연비를 LAMBDA 센서로 검증한 결과, ECU보다는 못하지만, 일반적인 매연 정화범위 50%이내(14.7 ± 0.3)⁽²⁾를 유지함을 보인다.

5.2 파워스티어링 부하

파워스티어링 부하는 공회전시 대표적인 기계적 부하로써 ECU는 오일압력스위치의 부하 감지에 의해서 정해진 RPM을 상승시킴으로써 ERROR RPM을 유지,보정한다. 이 실험에서도 순간적인 부하가 발생하였을 때 퍼지 제어기는 곧바로 작동하여 빠른 수

럼을 보임을 알 수 있다. 단지 오버슈트가 발생하는 현상은 공기량제어만으로는 순간적인 부하를 회복하기 어려움으로 추정되고 따라서 연료분사 및 스파크타이밍 제어가 공기량제어와 병행하여 수행되어야 할 것이다.(그림 8)(그림 9)

5.3 라디에이터 팬 부하

라디에이터 팬 부하는 전형적인 전기부하이며, 이 부하는 ECU가 부하에 따른 RPM변화를 느껴야만 제어 가능함으로 퍼지제어와 그 성능을 비교하기에 적절한 실험이다. 실험에서 얻은 결과를 분석해 보면 ECU가 제어할 때 RPM이 ± 30 RPM 변화와 4초의 느린 수렴시간을 수반하는데 비해 FUZZY는 0.5초의 수렴시간을 유지함을 보였다.(그림 10)(그림 11)

6. 결론 및 향후 과제

6.1 결론

본 논문에서는 퍼지 논리를 이용하여 엔진의 공회전 속도를 공기량 조절에 의한 방식으로 제어하여 ECU제어와 비교하였으며, 그결과 다음과 같은 결론을 얻어냈다.

1. 엔진이 정상상태에서 목표 공회전속도로 유지함에 있어서 기존 ECU보다 12 %의 수렴시간 개선을 이루었다. 이는 연비 측면에서 많은 효과를 얻었다 할 수 있다.

2. ECU가 RPM의 변화를 느껴야만 제어가능한 전기적인 부하나 그밖의 돌발적인 부하에서 수렴속도가 ECU보다 빠름을 알 수 있었다.

3. 파워스티어링 부하와 같은 기계적부하는 부하가 작용하기 전에 미리 ECU가 신호에 의해 선행 제어를 수행함에도 불구하고 퍼지제어가 ECU보다는 빠른 수렴속도를 보였으나, 단지 제어기 특성상 오버슈트가 발생함을 알 수 있었다.

4. 공연비 유지 측면에서보면, FUZZY가 ECU보다 공연비가 ± 0.2 정도의 값이 더 크게 변화하였다. 이는 공기량, 연료량, 스파크타이밍의 제어3요소가 적절히 배합되면 개선될 것이다.

6.2 향후과제

RPM의 심한 요동을 감소시키고, 또한 이론 공연비로의 좀더 세밀한 제어는 공회전 제어 3요소 중 나머지 2요소(연료량, 스파크타이밍)를 공기량과 동시에 제어함으로써 기대효과를 얻을 수 있을 것이다.

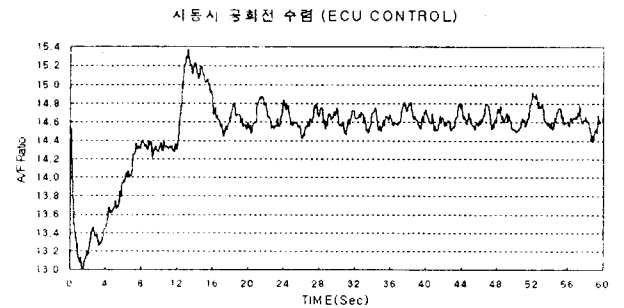
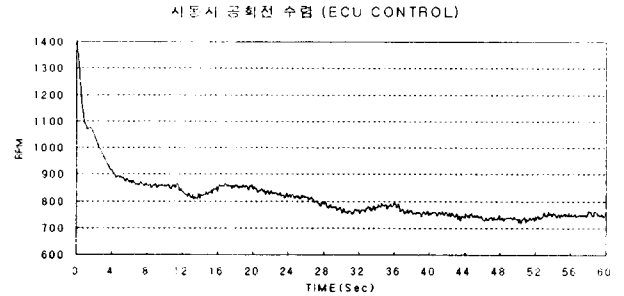
후기

본 연구는 1995년도 교육학술연구조성비(기계공학:ME95-D-22)에 의하여 연구되었음.

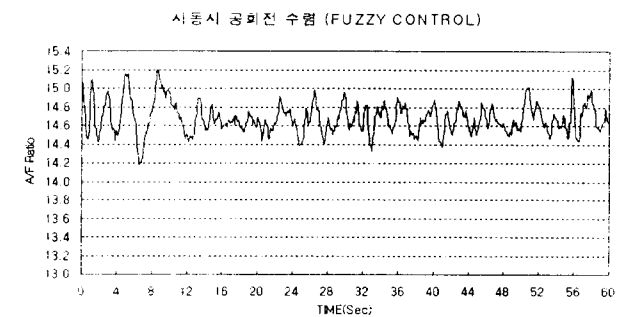
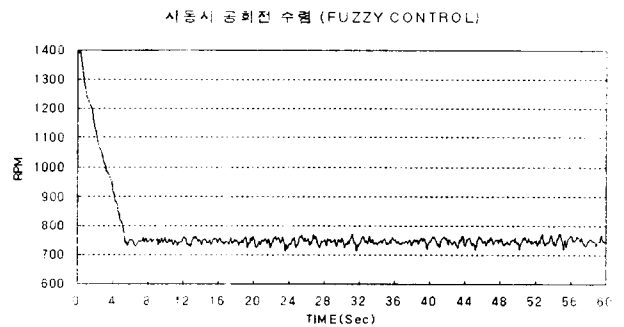
참고문헌

1. R. Isermann, "Parameter Adaptive Control Algorithm - A Tutorial", Automatica 18, 1992

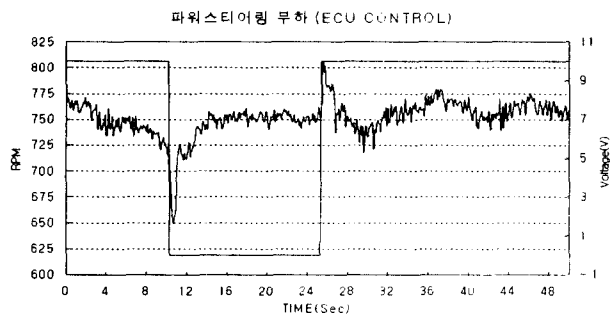
2. Richard Stone, "Internal Combustion Engines", SAE, 1994
3. M.Abate, N.Dosio, "Use of Fuzzy Logic for Engine Idle Speed Control", SAE 900594
4. 임정국, 원성현 지 "기초 퍼지이론과 응용퍼지 시스템." 정보시대 출판부, 1992
5. 양병윤, "스파크 점화기관의 공회전 속도제어에 관한 기초연구", 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1993
6. 권세일, 상권수, "자동차 엔진의 공회전 속도 제어", 한국 자동차 공학회 춘계 학술 대회, 1995



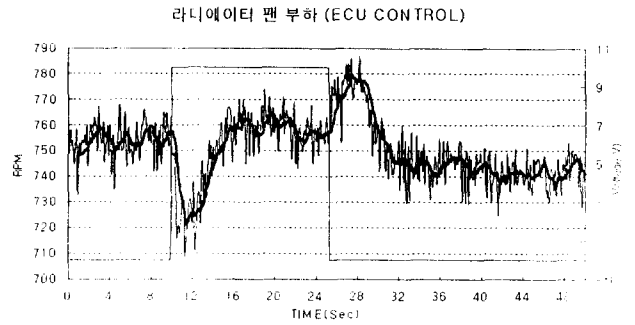
(그림 6) 공회전 속도 수렴 (ECU CONTROL)



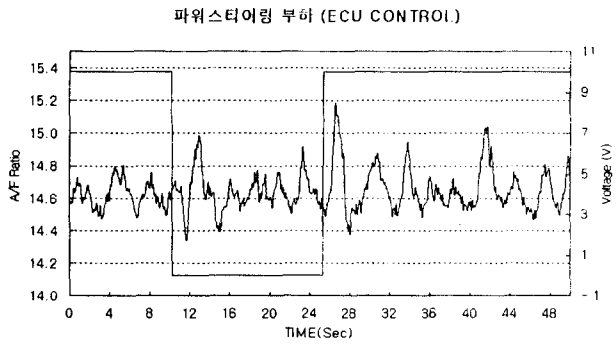
(그림 7) 공회전 속도 수렴 (FUZZY CONTROL)



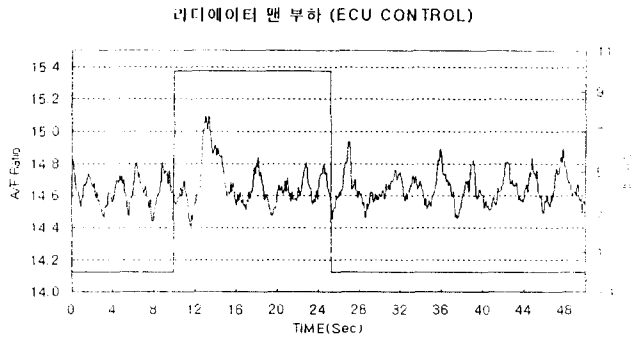
[그림 8] 파워스티어링 부하(ECU CONTROL)



[그림 10] 라디에이터 팬 부하(ECU CONTROL)



[그림 9] 파워스티어링 부하(FUZZY CONTROL)



[그림 11] 라디에이터 팬 부하(FUZZY CONTROL)

