

최적의 연료분사와 점화시기 제어를 위한 자동차 엔진용 전자제어장치 설계 및 개발

김 태 훈* · 김 광 열*

Design and Development of an Electronic Control Unit of the Automobile Engine for Optimal Fuel Injection and Spark Timing Control

T-H Kim* · G-Y Kim*

Key words : ECU(전자제어장치), Fuel injection(연료분사), Spark timing(점화시기), REF signal(기준신호), POS signal(위치신호)

Abstract

In this paper, an electronic control unit of the automobile engine for optimal fuel injection and spark timing control has been designed and developed. This system includes hardware and software for a precise control of fuel injection and ignition timing. Especially, the crank angle sensor provides two separate signals : One is the position signal(POS) which indicates 180 degree pulses per revolution, and the other is the reference signal(REF) that represents each cylinder individually. Consequently, the developed engine control system has been able to control fuel injection and ignition timing more quickly and accurately. Through the experiment, it has been found that the fuel injection duration and the position of MBT have been influenced by coolant temperature, air flow rate and engine speed.

1. 서 론

오늘날 자동차 엔진에 관한 기술은 고출력, 저연비 및 저공해에 중점을 두고 있으며, 특히 에너지 절약과 환경보호 운동의 일환으로 자동차 배출가스 등에 대한 각종 신규제가 대폭적으로 강

화되고 있다. 이러한 요구에 부응하기 위하여 종래의 제어방식으로는 이에 대한 달성이 어렵고, 특히 모든 운전조건에 대하여 연료분사 제어, 최적 점화시기 제어, 공연비 제어, 공전속도 제어 등 정밀도 높은 제어의 확보와 배출가스의 규제치를 허용범위 내로 유지하는 것도 또한 어려운 일이

* 정회원, 마산대학 자동차계열(원고접수일 : 2001년 3월)

다. 이러한 관점에서 전자제어기술을 응용, 이를 적용함으로써 저연비화의 일환인 연비규제와 배출가스 규제를 허용범위 내로 정확하게 규제할 수 있었고 지속적이며 안정된 제어가 가능하게 되었다.

한편, 급속한 전자제어기술과 마이크로컴퓨터의 발전으로 제너럴 모터스(GM)사는 정기적인 정비를 필요로 하지않는 마이크로컴퓨터를 이용한 전자점화 시스템(MISAR)¹⁾을 개발한 이래 엔진제어의 또 다른 부분인 연료장치의 전자제어 시스템이 개발되면서 최근 수년 동안 차량의 전자화²⁾는 매우 빠른 속도로 발전되고 있다. 현재 엔진 전자제어장치를 비롯한 자동차의 조향장치와 능동형 서스펜션, 차고조정 등 전자제어장치는 자동차의 원가에 있어서 차지하고 있는 비율이 커지고 있고, 또한 이들 전자제어장치의 개발이 절실한 처지에 있으나 국내 여건으로는 전자제어장치에 대한 독자 개발의 기술적 기반이 성숙되어 있지 못하여 기술적 어려움이 뒤따르고 있는 실정에 있다. 이는 향후 자동차 산업의 차원 높은 성장의 측면에서 장애요소가 되고 있으며 시판 차량에 탑재된 전자제어장치에 관한 특성을 충분히 파악하지 못함은 물론 실험 분야에 있어서도 이미 구축되어 있는 제어 시스템의 변경은 거의 불가능하여 자유스러운 실험 환경을 만드는 것이 어려운 실정이다. 그러므로 이러한 추세는 성능의 제고를 위해서는 하드웨어적인 측면이라 볼 수 있는 기계적 메카니즘과 소프트웨어적인 측면으로 볼 수 있는 제어 분야와는 개발초부터 상호 연관성을 가지고 동시에 개발 되어야 한다. 이와같은 관점에서 기존의 전자제어 시스템의 기능을 보완하고, 보다 정확한 제어를 할 수 있는 장치를 개발하는 것은 전자제어장치 및 엔진성능 향상을 위하여 매우 중요하다.

본 연구에서는 엔진제어에 있어서 기본이 되고 있고 가장 중요한 연료분사, 점화시기 등을 제어하는 제어알고리즘과 엔진 전자제어장치를 설계 및 제작하여 엔진 회전수, 흡입공기량, 냉각수 온도 등의 엔진 운전조건의 변화에 따른 연료의 분사시기, 연료분사량, 점화시기제어 등에 미치는 영향을 검토하고 분석함으로써 이를 토대로 엔진 전자제

어장치의 고유제어 로직개발 및 자체설계 능력을 키우고자 한다.

2. 소프트 및 하드 웨어의 구성

2.1 크랭크각 센서의 구조

본 연구에서는 기준(REF)신호의 하강 간격을 하드웨어적으로 다르게 설정하여 각 실린더별로 신속하고 정확하게 판별함으로써 운전패턴에 대하여 정밀하게 제어할 수 있는 특징이 있다. 즉 크랭크각 센서 내부의 디스크는 그림1 에서와 같이 얇은 금속제 원판으로 되어 있고 그 디스크 외주에는 엔진 회전수를 검출하기 위하여 180개의 등간격의 슬릿과 안쪽에는 피스톤 상사점 위치 검출을 위하여 90° 간격으로 길이가 각각 다른 4개의 윈도우(윈도우 폭은 각각 32-4-18-4 teeth)를 하드웨어적으로 설정하여 실린더 판별이 최대 180°CA의 지연만이 발생하므로 기존 방식보다 실린더 판별이 빨라 시동시 동시분사에서 신속히 순차분사로 진입이 가능하여 연료의 분사량 낭비를 막을 수 있다.

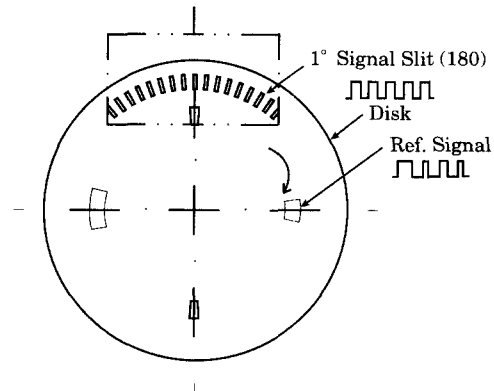


Fig. 1 Schematic diagram of disk for crank angle sensor

2.2 엔진회전수 산출

엔진이 N[rpm]으로 회전할 때 T초당 회전하는 크랭크각도는 식(1)로 표시할 수 있다.

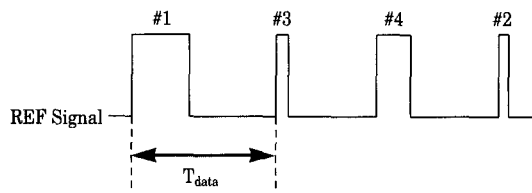


Fig. 2 Measurement of engine rpm

$$\theta[\text{deg}] = 6 \times N[\text{rpm}] \times T[\text{S}] \quad (1)$$

엔진회전수의 산출은 그림2 에서 처럼 크랭크각 센서의 기준(REF) 신호를 받아 기준 신호가 상승하고 나서 그 다음에 입력되는 상승신호까지의 시간을 계산하여 구한다. 즉 엔진이 1/2 회전(180°)에 요구되는 시간(T_{data})과 본 연구에서 이용된 타이머에서 분주된 시간인 3.2 μs를 고려하면 식(2)와 같다.

$$180 = 6 \times N[\text{rpm}] \times T_{\text{data}} \times (3.2 \times 10^{-6}) \quad (2)$$

따라서 엔진회전수(N)는 그림2 에서 구한 T_{data}에 의해서 식(3)과 같이 구한다.

$$N[\text{rpm}] = \frac{9375000}{T_{\text{data}}} \quad (3)$$

2.3 엔진의 흡입공기량

4 사이클 가솔린 엔진의 흡입공기량 Q_a⁽⁶⁾는 충전 효율을 η_c, 실린더 수를 Z, 엔진 회전수를 N 이라 하면 식 (4)로 표시할 수 있다.

$$Q_a = \frac{\eta_c Q_0 Z N}{120} \quad (4)$$

식(4)에서 Q₀⁽⁶⁾는 표준상태에서 행정체적을 채우는 신기의 중량이며, 식(5)로 정의할 수 있다.

$$Q_a = \frac{P_0 V_h}{T_0 R_t} \quad (5)$$

여기서 R_t는 신기에 대한 가스상수이며, P₀와 T₀는 각각 표준상태에서 압력과 온도이고, V_h는 행정체적이다.

또한 식(4)에서 충전 효율 η_c⁽⁵⁾는

$$\eta_c = \frac{P_B}{P_0} \frac{T_0}{T_B} \frac{\epsilon}{(\epsilon - 1)} \left[1 - \frac{T_B}{T_r} \left(\frac{P_r}{P_B} \frac{1}{\epsilon} \right) \right] \quad (6)$$

가 된다. 여기서 ε는 압축비, P_r은 잔류가스의 압력(배압), T_r은 잔류가스의 온도이다.

식(6)의 압축초의 온도 T_B⁽⁶⁾는 식 (7)으로 표시된다.

$$T_B = \frac{328 + 0.67t}{1 - 0.58 \left(\frac{P_r}{P_B} \frac{1}{\epsilon} \right)} \quad (7)$$

식 (5),(6),(7)을 식 (4)에 대입하여 흡입공기량을 구하면 다음과 같이 표시된다.

$$Q_a = \frac{P_B}{84800 + 173t} \frac{\epsilon}{(\epsilon - 1)} \left[1 - 0.87 \left(\frac{P_r}{P_B} \frac{1}{\epsilon} \right) \right] \sum V_h N \quad (8)$$

여기서 t는 흡기온도이며, ∑V_h는 총배기량이다.

기본 분사시간(T_p) 계산에 이용되는 흡입공기량 Q_{as}은 식(8)의 흡입공기량(Q_a)의 맥동 및 노이즈를 제거하기 위해 식(9)에서와 같이 10ms 마다 여과 처리하여 구한다.

$$Q_{as} = Q_{\text{gain}} \times (Q_{\text{anew}} - Q_{\text{asold}}) + Q_{\text{asold}} \quad (9)$$

식 (9)에서 Q_{anew}는 여과 처리된 최신의 흡입 공기량이고, Q_{asold}는 10ms 전의 기본 분사시간 계산에 사용된 여과 처리된 흡입공기량을 나타내며, Q_{gain}는 필터량을 나타내는 값이다.

2.4 기본연료분사 시간

식(9)의 Q_{as}를 엔진회전수로 나누면 식(10)와 같다.

$$\frac{Q_{sa} [0.2\text{g/min}]}{N[\text{rev/min}]} = \frac{Q_{as}' [g]}{5N'[\text{rev}]} \quad (10)$$

식(10)는 360°를 측정 한 값이므로 180°의 값은 1/2을 곱하고 또한 180° 동안 흡기는 2번 일어나므로 1/2을 곱한 값을 Q_{as1}라 하면

$$Q_{as1} = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{Q_{as}'}{5N'} \quad (11)$$

이다. 식(11) Q_{as1}을 이론공연비(14.7)로 나누면 연료량이 되고, 또한 연료의 밀도(0.748 g/cc)로 나누어 연료질량을 체적(유량)으로 한산한 것을 Q'_{as1}라

하면 식(12)과 같다.

$$Q_{as1}' = \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{Q_{as}'}{5N'} \times \frac{1}{14.7} \times \frac{1}{0.748} \quad (12)$$

그러므로 분사되는 연료량 K_{ti} 는

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{Q_{as}'}{5N'} \times \frac{1}{14.7} \times \frac{1}{0.748} \times K_i = K_{ti} \quad (13)$$

K_i : injector 특성 상수

이상의 식들을 이용하여 기본 연료분사시간(T_p)을 구하면 식(14)와 같다.

$$T_p = K_{ti} \times Q_{as} \times T_{data} \quad (14)$$

2.5 실린더 판별

시동시의 동시분사와 통상시의 순차분사를 판단하고, 또한 본 연구에서는 배전기가 없는 직접점화(DLI)방식이므로 마이크로프로세서 내부에서 발생하는 점화신호(IGN)를 IG_1 (제1, 제4번 실린더), IG_2 (제2, 제3번 실린더)로 분리하여 점화하기 위해서는 실린더 판별이 필요하다. 이 때 실린더의 판별 방법은 위치신호(POS : Position signal), 기

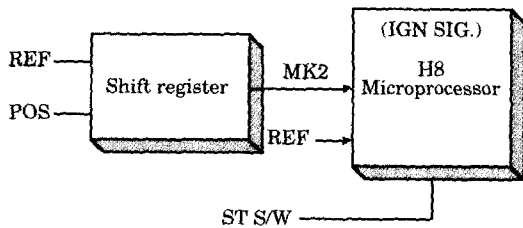


Fig. 3 Block diagram of cylinder discrimination

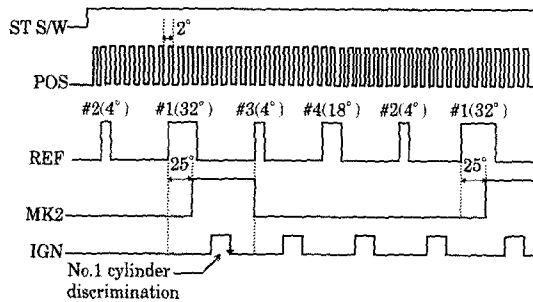


Fig. 4 Timing diagram for cylinder discrimination

준신호(REF : Reference signal), 점화신호, 실린더 판별신호(MK2)를 사용하여 그림3에서와 같이 하드웨어적으로 처리하여 실린더 판별을 한다. 그림4는 연료분사시기와 점화시기를 제어하여 주는 신호들을 나타낸 것이다. 실린더 판별 조건은 그림4에서 보는바와 같이 점화 신호인 IGN 신호의 하강 처리 과정에서 #1 REF(32°) 신호발생후 25° 카운터후 발생하는 실린더 판별신호(MK2)의 상승 펄스폭을 판정하고 높이가 "High" 일 때 이를 1번 실린더로 판정한다. 최초의 실린더 판별 후 실린더 계산값을 지우고, 그 실린더 계산값을 0으로 설정한 후 다음 기준신호가 "High"가 될때마다 실린더 계산값이 0 → 1 → 2 → 3 → 0 → 1 → ---와 같이 증가한다. 따라서 점화순서는 1 → 3 → 4 → 2의 순서대로 결정된다.

2.6 연료분사 제어

통상시의 연료분사방법은 순차분사방식이고 분사시기는 8비트 타이머에 의한 기준신호(REF)로 결정되며, 분사시간은 최소분해능이 3.2μs를 갖는 16비트 타이머에 의하여 제어된다. 그림5는 분사 제어 방식을 나타낸 선도이다. 그림에서 처럼 기준(REF)신호 발생시 8비트 카운터값과 레지스터(Register)값이 같을때 레지스터 B에 오프셋(Offset) 값을 설정한다. 오프셋 값을 설정한 후 6.4μs(2clock)후 연료를 분사하기 시작하여 16비트 카운터 값과 Injection counter 값이 같을때 연료분사를 종료시킨다. 따라서 기존 분사방식은 2개의 레지스터를 사용하여 한개의 개시점을 처리

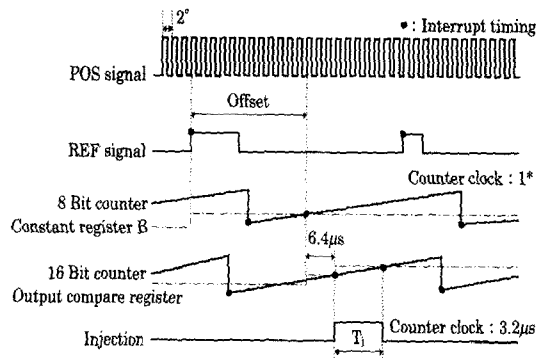


Fig. 5 Timing diagram of fuel injection control

하고 다른 한개는 종료점을 처리하는 반면에 그림 5에서 보는바와 같이 본 제어방식은 1개의 레지스터로 연료분사 개시점과 종료점을 처리하므로 메모리의 갯수를 줄일 수 있다. 또한 16비트 카운터값과 Injection counter값이 같을때 연료분사를 종료시키므로 분사시작제어로 연료분사폭을 결정하는 기존 제어방식과 달리 분사종료 제어를 기준해서 연료 분사폭을 결정하므로 흡기밸브가 닫혀도 계속해서 연료가 분사되는 단점을 보완할 수 있어 엔진의 공연비 제어에 미치는 벽류(Wall flow)⁶⁾ 영향을 줄일 수 있다.

그림6은 기준신호가 2번 또는 4번으로부터 입력된 경우 분사시기를 나타낸 그림이다. 단, 그림6은 첫번째 입력 기준신호인 2번(4°), 4번(18°)신호가 처음부터 입력되지 않고, 중간에서 입력될 경우를 대비해서 첫번째 기준신호는 무시한다. 그림6에서처럼 실린더 판별신호인 MK2가 25° 카운트를 하고 나서도 그 다음 기준신호의 상승신호가 들어오지 않을 경우는 바로 실린더 판별을 하고 연료는 순차분사 된다.

한편 그림5와 6에서 실린더 판별이 된 후 통상시 분사시간(T_i)은 식 (15)와 같다.

$$T_i = 2 \times \{T_p \times \text{Coef} \times (\alpha + \beta) \times (1 + K_1) \times K_{dec} + T_{add}\} + T_s \quad (15)$$

여기서, T_i : 통상시 분사시간[ms]
T_p : 기본 분사시간 [ms]

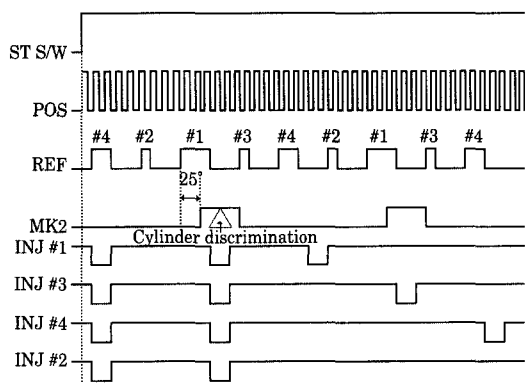


Fig. 6 Timing diagram of injection control based on Ref. #2 and #4 signals

- Coef : 개회로 보정계수
- α : 피드백 제어 보정계수
- β : 피드백 clamp시 보정계수
- K₁ : 학습 보정계수
- T_s : 무효 분사시간
- K_{dec} : 감속 보정계수
- T_{add} : 가속증량 분사시간

2.7 점화시기 제어

그림7은 8비트 타이머가 점화시기 제어를 하고 있는 것을 나타낸 것이다. 그림에서처럼 점화진각은 8비트 타이머를 통해 제어되며, 점화시기를 1[deg]단위로 정밀하게 제어할 수 있다. 점화신호의 실린더 분배는 기준신호의 길이를 시프트 레지스터(shift register)를 통하여 카운터 함으로써 2개의 그룹으로 나눈다. 이것은 각 실린더마다 기준신

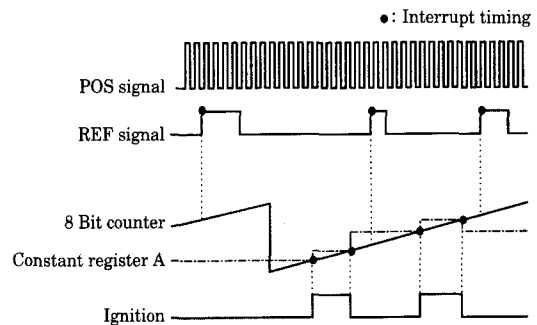


Fig. 7 Timing diagram of ignition control

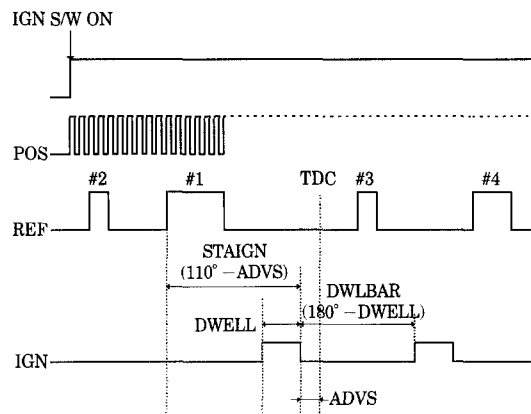


Fig. 8 Diagram of ignition timing control

호의 길이를 다르게 설정함으로써 가능하게 된다.

그림8은 점화시기 선도를 나타낸 것으로 점화시기의 출력은 점화코일 밖에 부착된 트랜지스터에 의해 제어되고, 출력타이밍은 엔진 1/2회전마다 발생하는 기준(REF)신호를 기준으로 하여 그림8에서 나타난 통전시간(DWELL)에서 ON으로 된 후 ADVS에서 OFF된다.

본 제어에서 점화시기의 처리 타이밍은 10ms이며 점화에 관한 데이터의 최소 분배는 1°로 하고 점화시기의 범위는 BTDC 41°~ATDC 6°이다. 그림8의 점화시기 선도에서 통전시간(DWELL)은 엔진회전수와 축전지 전압에 따라 식(16)에 의하여 구해지는데, 엔진회전수가 200rpm미만일때는 드웰(DWELL)각을 40°로 고정하며, 엔진회전수가 200rpm이상일때는 식(16)에 의해 구해진다.

$$DWELL = \frac{N_{data} \times D_{wlvb} \div 25}{64} \quad (16)$$

여기서 N_{data} 는 엔진 회전수이고, D_{wlvb} 는 축전지 전압 변화에 대응하는 그림9의 테이블 (D_{wtbl})값을 참조한다.

또한 본 제어에서는 점화하여 폭발하기전의 점화진각(ADVS)은 8°로 고정하며 실린더 판별이 된 후 통상시 점화진각은 식(17)에 의해 구해진다.

$$ADVS = SPKSTD + SPKTW + ADVSUG - SPKFCR - IGDEC + ADVADJ + DECADV - RTDAT \quad (17)$$

여기서, SPKSTD : 기본 점화 진각

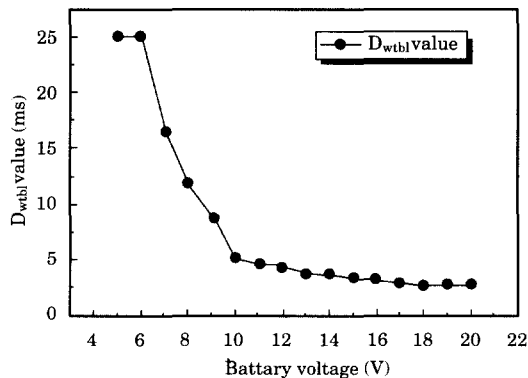


Fig. 9 Dwtbl value with respect battery voltage

- SPKTW : 수온 보정
- ADVSUG : 안정화 보정
- SPKFCR : 연료 회복 보정시
- IGDEC : 가속회복보정
- ADVADJ : 최종 출력 점화시기 조정
- DECADV : 감속시 진각 보정
- RTDAT : 토크 저감 실행량

2.8 전자제어장치

본 연구에서 제작한 전자제어장치(ECU : Electronic Control Unit)는 각종센서로부터 입력되는 신호를 변환하는 입력 인터페이스부, 정해진 순서에 따라 입력 데이터의 산술연산 또는 논리연산을 행하는 컴퓨터부(마이크로프로세서)와 그 결과를 작동 신호로 변환하는 출력 인터페이스부로 구성된다.

그림10은 본 연구에서 제작한 전자제어장치이고, 그림11은 전자제어장치의 CPU 보드의 일부를 나타낸 것이다. 즉 ECU는 먼저 엔진으로 흡입되는 흡입공기량과 엔진의 회전속도로부터 기본 분사량을 계산하고, 각종 센서로부터 전기적 신호에 보정을 받은 후 운전상태에 적합한 연료 분사량을 결정, 이 분사량에 알맞는 인젝터의 통전시간, 점화시기 및 엔진 회전수를 제어하고, 엔진이 가열된 후 산소센서로부터 배기중의 산소농도를 판단하여 연료분사량을 자동적으로 조절하는 기능을 갖도록 제작하였다

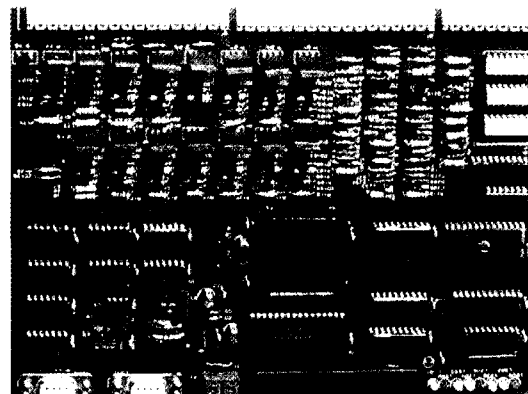


Fig. 10 Photograph of ECU.

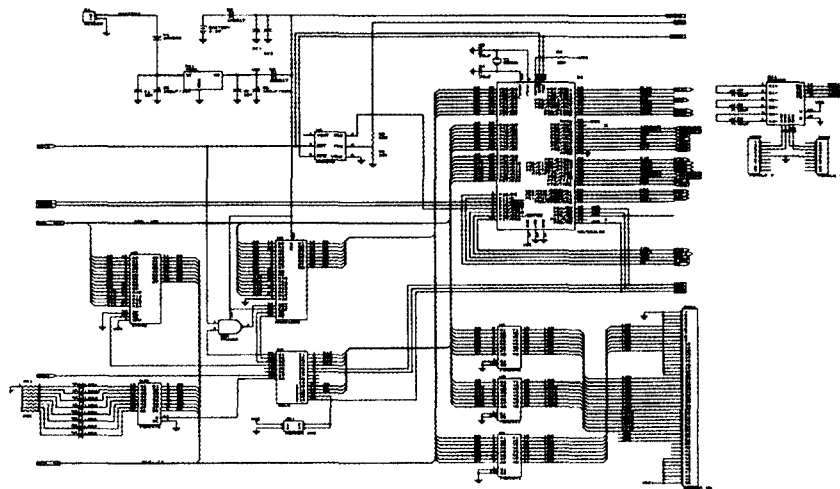


Fig. 11 Wiring diagram of ECU main board

Table 1 H8 I/O module

	I/O module		Princlpal Use
1	I/O PORT (9Channel)		<ul style="list-style-type: none"> • DI(Digital Input) • DO(Digital Output)
2	16Bit Free Timer(3Chnnel)		<ul style="list-style-type: none"> • INJ #1~INJ #4(6) Injection Time • REF Period
3	PWM(Pulse Width Modulation) (3Channel)		• ISC Output, Duty Output
4	8Bit Timer(1Channel)		<ul style="list-style-type: none"> • ISC Output, Injection Timming Control • POS Count
5	SCI(Serial Communication Interface)(1Channel)		• Development Tool Communcation
6	10 Bit A/D Convertor (8Channel)		• AI(Analog Input) →Digital Conversion
7	WDT(Watch Dog Timer) (1Channel)		• Interval Timmer
8	INST (Interrupt Controller)	First Ranking Control	• First Ranking Control
		DTC(Data Transfer Controller)	• Communication(Data Transfer Unit)

2.9 마이크로프로세서

본 연구에서 사용된 마이크로프로세서는 일본 히타치사의 H8 고속 8/16 비트 원칩 마이크로프로세서로서⁷⁾ 모듈별 용도는 표 1에 나타내었다.

주된 특징은 내부 16비트 데이터 처리능력을 강화하고 내장 메모리에 16 비트 Access를 가능케하여 명령실행속도의 향상을 도모함으로써 실제 엔진의 제어에 있어서 요구되는 운전조건의 변화에 대한 제어의 정밀도를 향상 시킬수 있어 응답성이 빠르다. 한편 기능을 살펴보면 16비트 Free

Running 타이머는 연료분사 펄스폭과 회전수 측측에 관계있는 REF신호주기를 제어하며, 최대 6 실린더 분사까지 가능하다. PWM 타이머는 PWM(Pulse Width Modulation) 펄스를 발생시킬 수 있는 타이머로 듀티 제어 솔레노이드 밸브등의 제어에 이용되며 이의 분해능은 0.4%이다.

또한 펄스 주기는 내부 Clock을 분주하여 사용하며 9.8~20Hz의 펄스까지 출력할 수 있는 3개의 채널이 존재한다. 8비트 타이머는 점화시간과 분사시간제어 및 위치신호인 POS신호를 카운터 하

는 기능을 하며, SCI(Serial Communication Interface)는 ECU와 테스터 간의 통신에 관계된다. 10비트 A/D Converter는 ECU로 입력되는 센서가 대부분 아날로그 신호이므로 10비트의 디지털신호로 변환시켜 주는 기능을 하며, 센서로부터 신호를 8개까지 입력이 가능하다. WDT(Watch Dog Timer)은 인터럽트가 생기지 못하도록 감시 기능을 하며, 통신기능으로는 데이터 전송장치인 DTC (Data Transfer Controller)를 갖추고 있다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서 사용한 벤치(bench)테스트 대상 엔진은 그림12와 같이 1500cc DOHC 엔진이며, 기



Fig. 12 Photograph of experimental apparatus

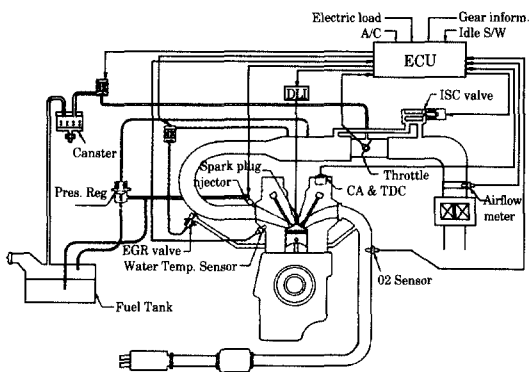


Fig. 13 Pictorial diagram of engine management system

존의 ECU와 크랭크각 센서를 제거하고 본 연구에서 제작한 ECU와 크랭크각 센서를 장착하였으며, 구성도는 그림13과 같다.

3.2 실험방법

본 실험에서는 ECU 하드웨어의 새로운 구성과 이를 구동할 수 있는 소프트웨어를 개발하여 각종 센서 특성을 고려한 엔진 시뮬레이터로 엔진 모사 실험을 수행하였다. 엔진 모사실험 목적은 제작된 ECU의 신뢰성을 검토하고, 실제 엔진에 장착시 발생 될 수 있는 문제점을 해결하는데 있다. 즉 본 연구에서 제작한 ECU에 의하여 위치(POS)신호, 기준(REF)신호, 실린더 판별신호(MK2), 흡입공기량의 측정, 점화시기, 연료 분사량 및 연료 분사시기 등을 엔진 시뮬레이터를 통해 실제 엔진의 운전조건에 맞추어 실험하여 엔진회전수, 부하, 냉각수온, 스로틀밸브 위치 등을 실제 엔진 조건과 같이 설정하는 것이 가능하도록 하였고, 데이터 취득 장치는 실험시 엔진의 전자 제어장치와 통신하여 엔진의 운전 조건의 변경 및 현재의 운전 상황을 측정할 수 있도록 퍼스널 컴퓨터를 통해 모니터링 할 수 있게 하였다. 따라서 엔진 모사실험을 통하여 그 타당성을 검증한후 기존의 ECU, CAS(크랭크각 센서)를 제거하고, 본 연구에서 제작한 ECU와 CAS를 장착하여 벤치(bench)테스트 하였고 벤치 실험시 새로이 개발된 ECU의 각 신호들은 디지털 오실로스코프를 통하여 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

그림14와 15는 본 연구에서 개발한 전자제어장치가 정확히 POS, REF, 실린더 판별신호(MK2)를 감지하고, 각종신호들이 올바르게 검출되는지의 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이터를 통해 모의 실험한 것이다.

그림14와 15는 위에서부터 차례로 시간에 대한 POS신호와 REF신호, 실린더 판별신호(MK2)이다. 그림14의 REF신호는 차례로 1번, 3번, 4번이며, 그림15는 그중 1번에 대한 REF신호를 확대한 그림이다. 그림에서 처럼 POS신호의 Teeth가 16개 이고 Tooth 1개가 2°를 나타내므로 실린더 판

별신호는 Rising edge에서 Falling edge까지 정확히 32°도이며, 이는 1번 실린더 REF신호가 정확히 검출됨을 알 수 있다.

그림16과 17은 기존 엔진의 ECU를 제거하고, 본 연구에서 제작한 ECU를 장착했을때 엔진의 회전속도가 각각 800rpm, 1000rpm에서 시간에 대한 각도(POS)신호(Ch2), 기준(REF) 신호(Ch1), 실린더 판별신호(Ch4), 연료분사 신호(Ch3)를 나타낸 것이다. 그림 17에서처럼 1번 기준신호(Ch1)가 상승 할 때로부터 정확히 25° 카운터한 후 실린더 판별신호인 MK2 신호(Ch4)가 상승하

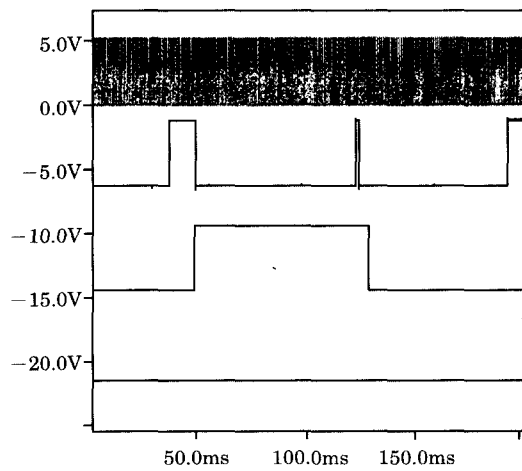


Fig. 14 Signals of POS, REF and MK2

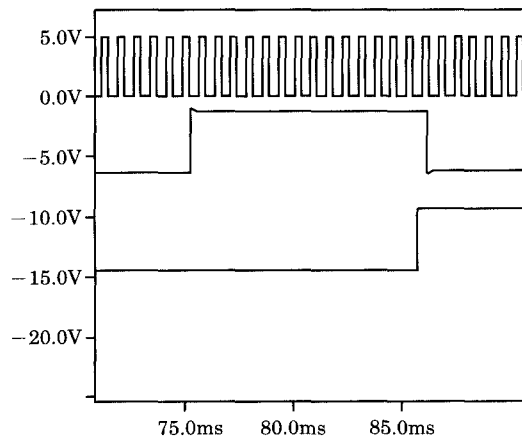


Fig. 15 Signals of POS, REF #1 and MK2

여 실린더 판별함을 알 수 있고, 실린더 판별후 바로 순차 분사방식으로 바뀌어 1번 실린더가 연료 분사함을 알 수 있으며, 또한 엔진속도가 800rpm에서 1000rpm으로 증가하여 분사시간 차이가 있음을 알 수 있다.

그림18은 1500rpm에서의 시간에 대한 위치신호(Ch2), 기준신호(Ch1), 실린더 판별신호(Ch4), 점화신호(IGN)(Ch3)를 나타낸 것이다. 그림에서처럼 점화신호가 하강할 때, Ch4인 실린더 판별신호의 레벨이 "High" 이므로 그 실린더는 1번 실린더를 판정하는 것을 알 수 있고, 그 다음 실린더 판별신호의 레벨이 "High" 일 때까지 차례로 3번, 4번, 2번 실린더 순으로 4개의 실린더의 점화 순서가 정해짐을 알 수 있다.

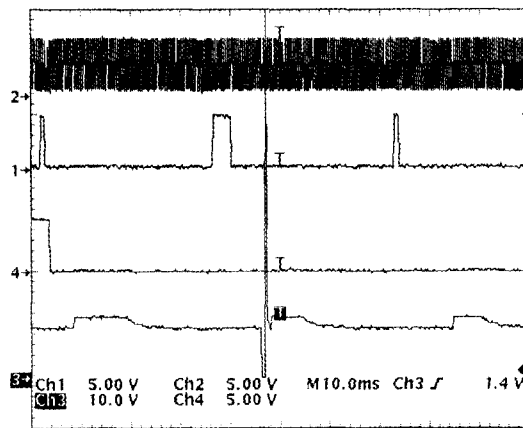


Fig. 16 Signals of POS, REF, MK2 and INJ #1 at 800rpm.

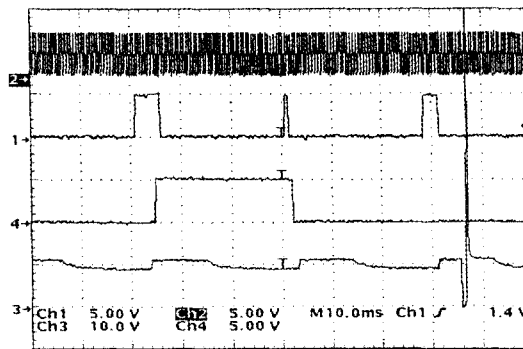


Fig. 17 Signals of POS, REF, MK2 and INJ #1 at 1000rpm.

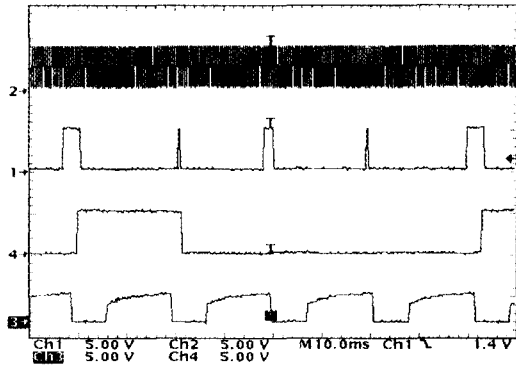


Fig. 18 Signals of POS, REF, MK2 and IGN for 1500rpm

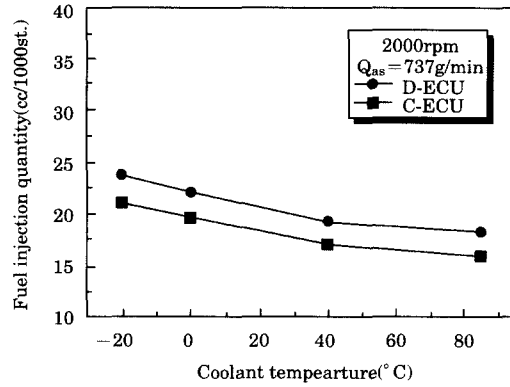


Fig. 20 Comparison between the fuel injection quantity of conventional ECU and developed ECU with respect to coolant temperature

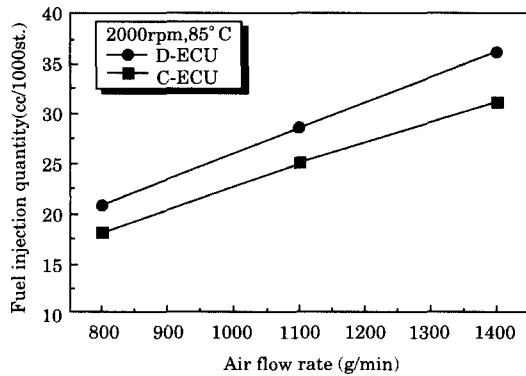


Fig. 19 Comparison between the fuel injection quantity of conventional ECU and developed ECU with respect to air flow rate

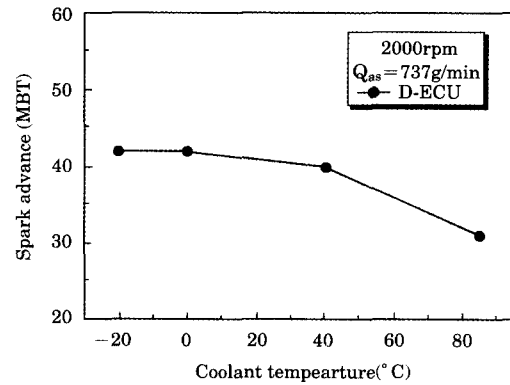


Fig. 21 Variation of MBT with respect to coolant temperature

그림19는 엔진 회전수가 2000rpm, 냉각수온이 85°C일때의 흡입공기량에 따른 연료분사량을 나타낸 것으로, 본 연구에서 제작한 ECU(Developed ECU : D-ECU)의 실험치와 상용 ECU(Conventional ECU : C-ECU)의 실험치를 비교한 것이다. 그림에서 처럼 엔진 회전수가 일정할 때 흡입공기량이 증가함에 따라 부하가 증대되어 연료의 분사량이 증가함을 알 수 있다.

그림20은 엔진 회전수가 2000rpm, 흡입공기량이 737g/min일 때 냉각수온의 변화에 따른 연료분사량을 본 ECU(D-ECU)의 실험치와 상용 ECU(C-ECU)와 비교한 결과이다. 그림에서 처럼 엔진이 워밍업 되기 전은 연소가 불안정하므로 이를 방지하기 위하여 연료량이 증가 되나 엔진이

워밍업 되면서 연소가 점차 안정화됨에 따라 연료량이 감소됨을 알 수 있다.

그림21은 엔진회전수가 2000rpm, 흡입공기량이 737g/min일 때 냉각수온의 변화에 따른 MBT (Minimum Spark Advance for Best Torque)를 나타낸 것이다. 그림에서 처럼 냉각수온이 높아짐에 따라 열효율과 출력(토크)이 최대 발생시키는 점화시기(MBT)도 늦어짐을 알 수 있다. 이는 본 전자제어장치가 이들 변화에 대하여 항상 최적의 MBT가 되도록 자동 제어함으로써 연비의 개선 효과가 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

가솔린 엔진용 전자 제어장치의 제어 시스템의 정밀도를 높이기 위하여 180°의 위치신호 및 90°간격으로 윈도우 폭이 각각 다른 구조를 갖는 크랭크각 센서와 전자 제어장치를 제작하여 연료분사시기, 연료분사량, 점화시기, 공기유량 등 제어 특성을 실험한 결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 크랭크각 센서에서 나오는 신호를 하드웨어적으로 일정하게 발생시킴으로써 가속 및 감속시의 위상간격이 기존의 시간 기준 크랭크각 센서에 비해 비교적 등간격으로 신호를 처리할 수 있으므로 높은 정확도의 제어가 가능하다.
- (2) 각 실린더별 판별에 의하여 점화시기 및 분사시기를 정밀하게 제어하기 위하여 기준신호를 매 BTDC 110°마다 일정하게 발생시키고, 또한 윈도우폭을 달리한 크랭크각 센서로 실린더 판별이 빨라 보다 정확하고 신속한 점화 및 연료분사를 할 수 있다.
- (3) 연료분사시 기존의 제어장치가 연료분사 개시점과 종료점을 처리하기 위해 레지스터를 2개 이용하는 반면, 본 연구에서는 1개의 레지스터로 연료분사 개시점과 종료점을 처리할 수 있어 메모리의 절약 및 처리속도를 향상시킬 수 있다.
- (4) 엔진의 실험시 제약 요소인 점화시기, 연료분사시기 등 엔진 관련인자 상호간의 연관성 파악에 의하여 그 성능을 제고시킬 수 있는 ECU의 제작과 엔진의 고유 제어로직의 기초 자료를 얻을 수 있어 전자제어장치 및 실험환경을 자유롭고 효율적으로 할 수 있다.

참고문헌

(1) Thomas, W. E., Donald, G. G. , "MISAR-The Microprocessor Controlled Ignition System",

SAE Paper No. 780666, 1978.

- (2) Fukui, T., et al. , "A New Type Electronically Controlled Fuel Injection System", SAE paper No. 811418, 1981.
- (3) Salamon, P. F. , "Real-Time Electronic Engine Control(EEC) Microprocessor Software Productivity", SAE Paper No 840444, 1984.
- (4) Jan Lillielund, Elbert Hendricks, "A PC Engine Control Development System", SAE paper No. 910259, 1991.
- (5) 栗野誠一, 內燃機關工學, 山海堂, 昭和56.
- (6) Hatsuo N., et al., "An Analysis Wall Flow and Behavior of Fuel in Induction Systems of Gasoline Engines", SAE Paper No. 890837, 1989.
- (7) 千葉憲昭, H8 活用全科, 技術評論社, 1990.
- (8) John James, et al., "Microprocessor Based Data Acquisition for Analysis of Engine Performance", SAE Paper No. 870386, 1987.
- (9) Hendricks, E., Sorsenson, S. C., "Mean Value Modeling of Spark Ignition Engines", SAE Paper No. 900616, 1990.

저 자 소 개



김태훈(金台勳)

1962년 11월 8일생. 1986년 한양대학교 공과대학 기계공학과 졸업(공학사). 1988년 한양대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학석사). 1995년 한양대학교 대학원 기계공학과 졸업(공학박사). 1994년~현재 마산대학 자동차계열 조교수. 당학회 회원.



김광열(金光烈)

1963년 12월생. 1990년 경남대학교 공과대학 전자공학과 졸업. 1989. 12~1999. 2월 기아중공업(주) 기아기계기술연구소 선임연구원. 1998년 경상대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1999년~현재 경상대 대학원 전자공학과 박사과정. 1999. 3~현재 마산대학 자동차계열 교수. 당학회 회원.