

자동차 기관용 전자제어 연료분사 및 점화시기 제어기 개발

Development of Electronic Control Fuel Injection and Spark Timing Controller for Automobile Engine

김 태 훈*·민 규 식*·양 성 환*·장 형 성*
T. H. Kim·G. S. Min·S. H. Yang·H. S. Jang

ABSTRACT

In this paper, an electronic control unit is developed using 16 bit microcomputer for automobile engine. This system incorporate AFS(Air Flow Sensor) of Hot Wire type, DIS(Direct Ignition System), ISC(Idle Speed Control) system, CAS(Crank Angle Sensor) and other peripheral device. This system includes hardware and software to facilitate precision control of both fuel injection and ignition timing. Especially, this controller consists of position signal(180 teeth) and 4 REF signals. Present system has maximum 720°CA delay. But this system has maximum 180°CA. Thus, this system is able to precision control both fuel injection and ignition timing.

1. 서 론

80년대 후반부터 자동차의 생산량이 급격히 늘어나면서 여러가지 문제가 발생하고 있다. 그중에서도 자동차의 배출가스에 의한 대기오염은 날로 심각해지고 있다. 자동차의 배출가스중에서 유해 성분인 HC, CO, NO_x는 각 나라마다 일정한 기준을 정해서 법으로 규제하고 있다. 이미 서구 선진국에서는 엄격한 자동차 배출가스 규제법과 연료 소비율 기준을 만들어 규제하고 있다. 국내에서도 자동차 배출가스에 의한 규제를 대폭강화하여 전차량에 적용하고 있다. 이러한 국,내외 추세에 따

라 이를 만족하기 위해서는 엔진을 전자제어 해야 하는 고도의 기술이 필요하다. 이는 기관의 저공해, 저연비는 물론 고출력, 운전성, 안전성 등 까지도 함께 요구하는 추세이다. 특히 유해 배출가스와 연비규제를 만족하기 위해서는 기관용 전자제어장치(ECU)에 의해 제어를 해주어야 한다. 이 ECU는 엔진의 운전상태를 각종센서로부터 받아들여 최적의 연료분사시기, 분사량, 점화시기, 공전속도제어(I.S.C)밸브 개폐각도등을 조정한다. 한편, 현재 기관용 전자제어장치를 포함한 자동차 전자제어장치는 자동차의 원가의 비율이 점차 크게 차지하고 있기 때문에 전자제어장치의 자체개

* 마산전문대학 자동차과

발동 국산화가 필요하다. 그러나 국내 여건은 전자제어장치의 개발이 후발주자로서 독자개발의 기술적 기반이 성숙되어 있지 못해 기술적 어려움이 뒤따르고 있으며, 선진 자동차 공업국들의 기술이전 기피와 국내 기술개발의 미비로 인해 외국에 의존하고 있는 실정이다. 이는 새로운 자동차의 국산화 개발에 있어서 장애요소가 되고 있다. 또한 자동차 제작에 있어서도 전자화 분야가 분리됨에 따라 제작의 개선시기 및 비효율성을 초래하게 되었으며 특히, 실험분야에 있어서도 이미 구축되어 있는 제어 시스템의 변경은 거의 불가능하여 자유스러운 실험환경은 어려운 실정이다. 한편, 이러한 추세는, 성능의 극대화를 위해서는 하드웨어적인 측면이라 볼 수 있는 기계적 메카니즘과 소프트웨어적인 측면으로 볼 수 있는 제어분야와는 개발 초부터 상호연관성을 가지고 동시개발이 요구된다.

본 연구는 전자제어장치의 핵심이며 가장 복잡한 연료분사, 점화시기에 대한 전자제어장치 및 제어 알고리즘을 함께 구성하였다. 점화시기 제어 방식은 기존의 장치와는 다르게 크랭크각 신호를 하드웨어적으로 180개로 세분화하였고 기준신호도 4개의 기준신호로써 기통판별을 빠르게 하였다. 점화방식은 전자식 직접점화방식(DIS)을 채용하여 기계식 점화방식의 배전기의 로터에서 발생하는 전압손실을 없게 하였고 노킹 제어등과 같은 급격한 점화진각제어시 응답성을 향상시킬 수 있도록 하였다. 공기유량 측정방식은 비정상유동시 시스템의 응답성이 좋으며 센서의 특성상 주위온도에 따른 별도의 보상이 없이도 정밀한 측정이 가능한 질량유량방식인 열선식 에어플로 센서를 사용하였으며 연료분사방식은 순차방식이고 인젝터는 전압 구동방식이다. 따라서 본 연구는 히다치사 16비트 마이크로 컴퓨터를 이용하여 효율적인 자동차 기관용 전자제어 연료분사 및 점화시기 제어장치를 개발하였다. 따라서 이를 토대로 엔진의 고유제어 로직개발 및 자체설계능력을 키우고, 새로운 엔진 개발시 필요로하는 제어장치 변경이 가능할 뿐만 아니라 나아가서 자동차 기관용 전자제어 연료분사 및 점화시기 제어장치의 국산화도 기여하고자 한다.

2. 제어 알고리즘

2.1 기본제어 알고리즘

기본제어 알고리즘은 연료분사, 점화시기제어이고 이들 알고리즘은 각각 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다.

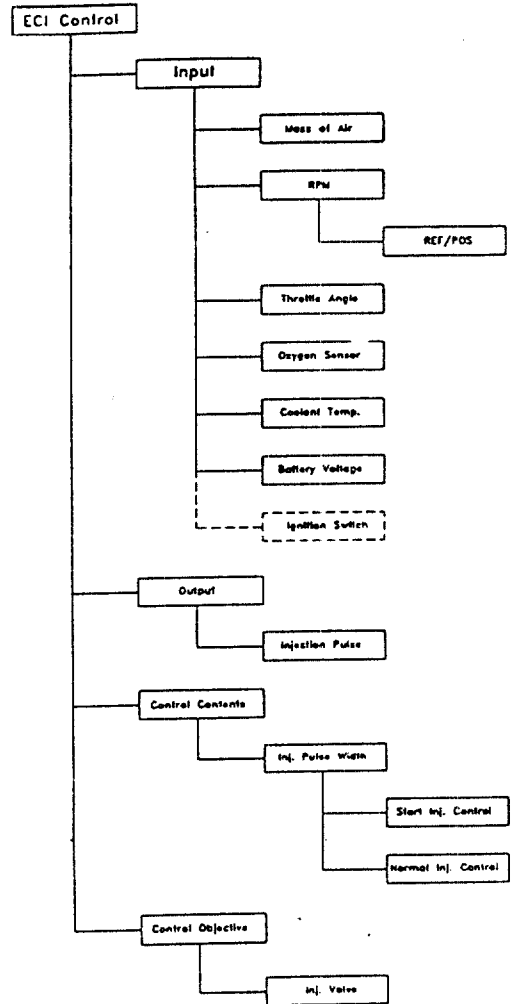


Fig. 1 Algorithm of electronic control injection

2.2 기준 신호

기준신호(reference signal)는 연료분사, 점화시기 제어 및 기관의 회전수 측정 등에 기준이 되는 신호로서, 배전기 내장형인 크랭크각 센서(CAS)에서 Fig. 3과 Fig. 4처럼 하드웨어적으로 구성한 기준(REF)신호와 각도(POS)신호와와의 조합에 의

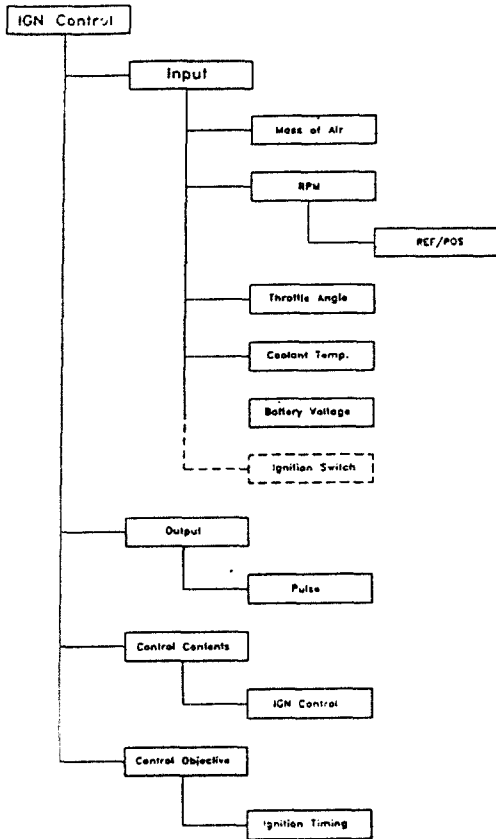


Fig. 2 Algorithm of electronic control ignition

하여 측정된다. 즉 엔진 회전수 검출은 엔진이 작동하면서 디스크도 회전하기 때문에 디스크에 설치되어 있는 180개의 슬릿을 통하여 디스크 1 회전마다 360번의 ON-OFF 펄스 전압의 발생으로 엔진회전수를 검출한다. 또한 피스톤 위치의 검출은 디스크 안쪽에 설치되어 있는 4개의 슬릿으로부터 점멸 신호를 감지하여 기준신호를 검출하게 되는데 디스크 1 회전당 4개의 슬릿을 통하여 90°마다 ON-OFF 펄스가 4번 발생된다. 그러므로 이 펄스 신호는 각 피스톤의 정확한 위치에서 발생되며 이로 인해 각 기통의 피스톤 위치가 검출된다. 연료분사 및 점화시기는 기준(REF)신호의 상승(rising edge)이 기준이며, 이의 위치는 각 기통마다 BTDC 110°에 고정되어 있고, 기통신호의 폭을 달리함으로써 하강(falling edge)의 위치를 구별하여 각 기통에 대한 정보를 얻을 수 있다.

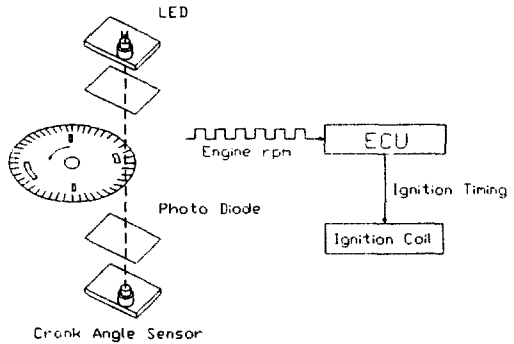


Fig. 3 Schematic diagram of crank angle sensor and circuit

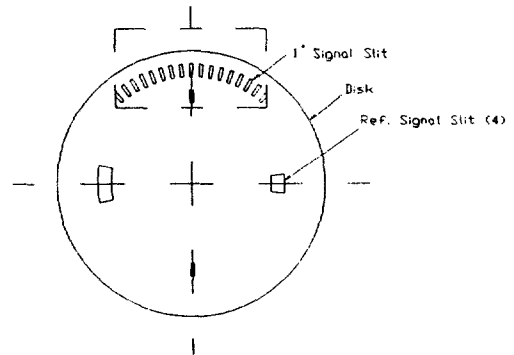


Fig. 4 Schematic diagram of disk for crank angle sensor

2.3 제어를 위한 기본계산

2.3.1 엔진회전수 산출

엔진회전수의 산출은 Fig. 5에서처럼 크랭크각 센서의 기준(REF)신호를 받아 기준신호가 상승하고 나서 그 다음에 입력되는 상승신호까지의 시간을 계산하여 구한다. 즉 엔진이 1/2 회전에 요구되는 시간(T_{data})을 Fig. 5에서 구하여 이 T_{data} 에 의해서 엔진회전수(N)를 다음과 같이 구한다.

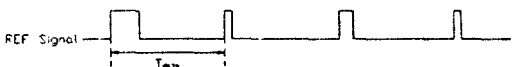


Fig. 5 Measurement of engine RPM

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

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

$$N \text{ [rpm]} = 9375000 / T_{data} [3.2 \mu\text{s}] \dots\dots\dots (3)$$

2.3.2 흡입공기량(Q_a) 계산

흡입공기량 계산은 에어플로 센서(air flow

sensor)의 출력전압 V_{qa} [mv]를 2[ms]마다 표본추출(sampling)하여 출력전압에 맞는 테이블을 참조한 후 A/D 변환하면 출력전압 V_{qa} 를 구할 수 있다. 이 V_{qa} 에 대응하는 값을 map 데이터를 참조하여 흡입공기량 Q_a 를 구한 후, 식(4)에서의 1/4 가 증평균 처리한 값을 흡입공기량으로 한다.

· 1/4 가중 평균처리

$$Q_a = 1/4 \times (Q_{anew} - Q_{aold}) + Q_{aold} \dots\dots\dots (4)$$

Q_{anew} : 에어플로 센서의 출력전압(V_{qa})에 대한

테이블(Q_{ath})을 참조하여 구한값

Q_{aold} : 2[ms] 전의 흡입공기량(Q_a)

2.3.3 연료분사량 계산

$$T_p = K_{ti} \times Q_a \times T_{data} \dots\dots\dots (5)$$

T_p : 기본연료분사시간

Q_a : 흡입공기량

$$K_{ti} : \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{Q_a}{5N} \times \frac{1}{14.7} \times \frac{1}{0.748} \times K_i$$

K_i : injector 특성 상수

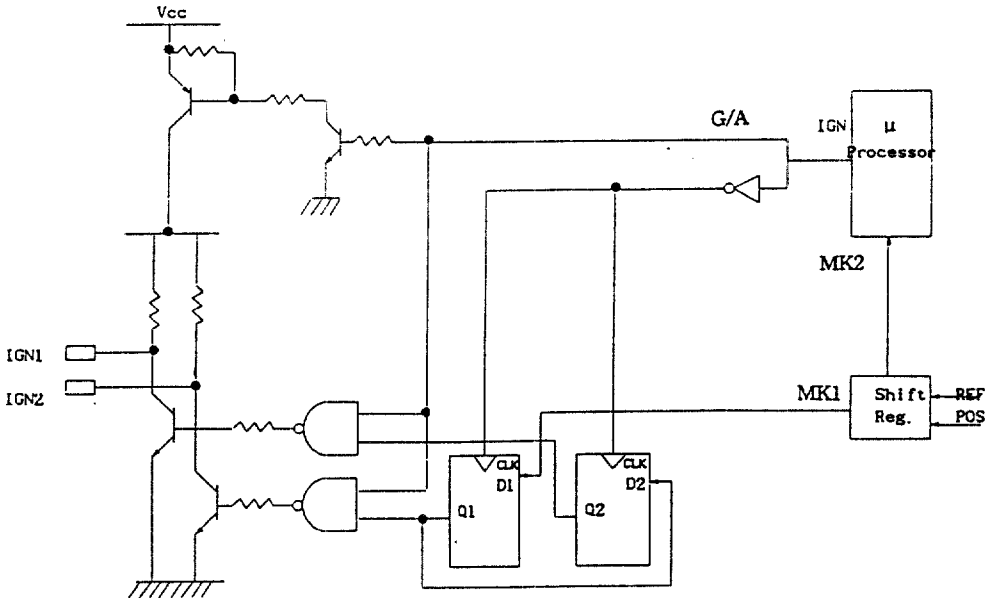


Fig. 6 Ignition timing control circuit

2.4 기통판별

연료분사의 제어는 크게 2가지로 나눌 수 있는데 시동이 걸리고 기통판별이 되기 전인 동시분사와 기통판별이 된 후인 순차분사방식으로 나눌 수 있다. 기통판별방법은 REF 신호(reference signal), POS 신호(position signal) 및 IG(ignition) 신호를 사용하고 Fig. 6처럼 하드웨어에서 기통판별을 행한다. 또한 기통판별조건은 Fig. 7에서 보는바와 같이 점화신호인 IG신호의 하강 끼워들기 처리과정(falling edge interrupt routine)에서 기통판별 신호인 MK2의 높이(level)를 판정하고 high이면 1번 실린더로 판정한다. 최초의 기통판별 후 실린더 계산값을 지우고 그 실린더 계산값을 0으

로 설정한후 다음 기준신호가 상승할때마다 실린더 계산값이 증가(0→1→2→3→0→1→)한다. 따라서 점화순서는 1→3→4→2의 순서대로 결정된다.

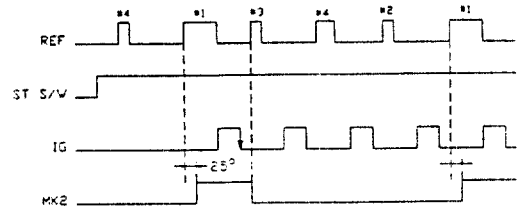


Fig. 7 Schematic diagram of cylinder determine

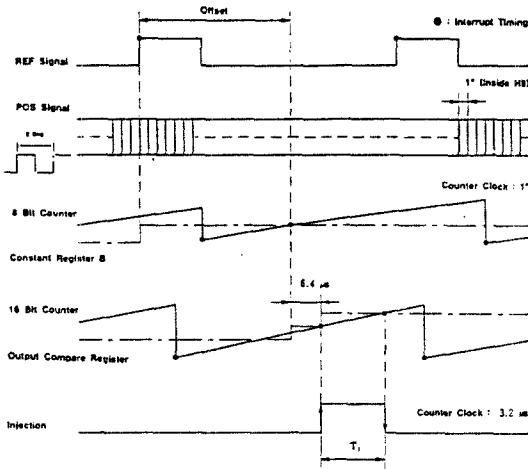


Fig. 8 Schematic diagram of fuel injection control

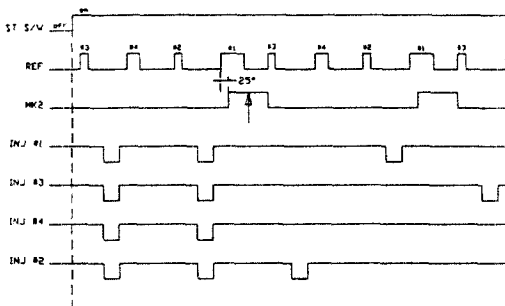


Fig. 9 Schematic diagram of injection timing for Ref. #1, #3

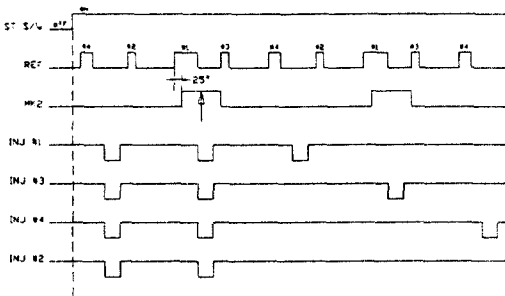


Fig. 10 Schematic diagram of injection timing for Ref. #2, #4

2.5 연료분사제어

통상시는 순차분사방식이고 분사시기는 8 비트

타이머에 의한 기준신호(reference signal)로 결정되며, 분사시간은 최소분해능이 3.2[μs]을 갖는 16 비트 타이머에 의하여 제어된다. Fig. 8은 분사 제어방식을 나타낸 선도이다. 그림에서 보는바와 같이 기준(REF)신호 발생시 8비트 카운터값과 register값이 같을때 register B에 off set값을 설정한다. off set값을 설정한 후 6.4 μs(2 clock)후 연료를 분사하기 시작하여 16비트 카운터값과 injection 카운터 값이 같을때 연료분사를 종료시킨다. 따라서 기존 분사방식(63계)은 2개의 register를 사용하여 한개는 개시점을 처리하고 다른 한개는과 종료점을 처리하는 반면에 Fig. 8에서 보는바와 같이 본제어 방식은 1개의 register로 연료분사개시점과 종료점을 처리하므로 메모리의 갯수를 줄일 수 있다. 또한 16비트 카운터값과 injection 카운터 값이 같을때 연료분사를 종료시키므로 분사시작제어로 연료분사폭을 결정하는 기존 제어방식과 달리 분사종료제어를 기준해서 연료 분사폭을 결정하므로 흡기밸브가 닫혀도 계속해서 연료가 분사되는 단점을 보완할 수 있어 엔진의 공연비제어의 미치는 벽류(wall flow)영향을 줄일 수 있다. Fig. 9과 10은 각각 기준신호가 1번 또는3번으로 부터 입력된 경우와 기준신호가 2번 또는 4번으로 부터 입력된 경우 분사시기를 나타낸 그림이다. Fig. 9와 10에서 보는바와 같이 기통판별신호인 MK2가 25°카운트를 하고 나서도 그다음 기준신호의 상승신호가 들어오지 않을 경우는 바로 기통판별을 하고 연료는 순차 분사된다.

2.6 점화시기제어

점화시기는 점화코일 외부에 부착된 트랜지스터에서 출력된 신호를 측정하여 알아낸다. 시동진각을 제외하고 BTDC 65° 입력시에 전회의 BTDC 97°의 펄스로부터 현 BTDC 65°까지의 시간을 이용해 진각 데이터로 변경한다. 시동시는 BTDC 65°에 통전개시하고 BTDC 10°에 점화하며 통상시 및 아이들시 진각은 (6), (7)식과 같다. Fig. 11은 점화시기제어 논리를 나타낸 것이다.

2.6.1 통상시 진각

시동시진각 및 아이들시진각을 제외한 통상시 점화진각은 식(6)에 의해 구한다.

$$ADV_s = SPK_{std} + SPK_{tw} + ADV_{sug} - SPK_{fcr} - IGD_{ec} + ADV_{adj} + DEC_{adv} - RT_{dat} \dots (6)$$

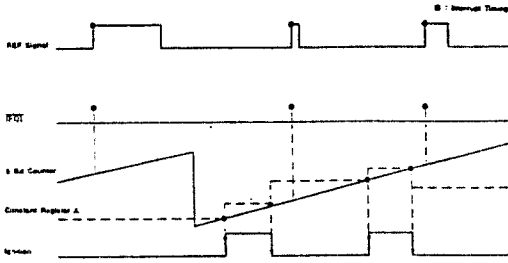


Fig. 11 Schematic diagram of ignition control

- SPK_{std} : 기본점화진각
- SPK_{tw} : 수온 보정
- ADV_{sug} : 안정화 보정
- SPK_{fc} : 연료 회복 보정시
- IGD_{ec} : 가속회복보정
- ADV_{adj} : 최종 출력 점화시기 조정
- DEC_{adv} : 감속시 진각 보정
- RT_{dat} : 토크 저감 실행량

2.6.2 아이들시 점화시기

$$ADV_s = ADV_{ido} + SPK_{twi} + ADV_{sug} - SPK_{fc} + ADV_{adj} + DEC_{adv} - RT_{dat} \dots\dots\dots (7)$$

- ADV_{ido} : 아이들시 진각
- SPK_{twi} : 아이들시 진각수온보정
- ADV_{sug} : 아이들 안정화 보정
- SPK_{fc} : 연료 차단 회복시 보정
- ADV_{adj} : 최종출력 점화시기 조정
- DEC_{adv} : 감속시 진각보정
- RT_{dat} : 토크저감실행량

3. Hardware

3.1 전자제어장치(ECU)

ECU(Electronic Control Unit)는 센서로부터 입력되는 신호를 변환하는 입력 인터페이스, 정해진 순서에 따라 입력 데이터의 산술연산 또는 논리연산을 행하는 컴퓨터 부(마이크로 컴퓨터)와 그 결과를 작동 신호로 변환하는 출력 인터페이스 부로 구성된다. Fig. 12는 본 연구에서 제작한 전자제어장치이다. Fig. 13은 전자제어 장치의 개략적인 구성을 나타낸 것이고 Fig. 14는 전자제어 장치의 CPU Board를 나타낸 것이다. 본 연구의 ECU 적용된 마이크로 컴퓨터는 히다치사 16비트 원칩

을 사용하여 연료분사 제어뿐만 아니라, 점화시기 제어, 아이들 회전속도제어 등 많은 성능을 구사하여 기관제어를 할 수 있게 제작하였다.

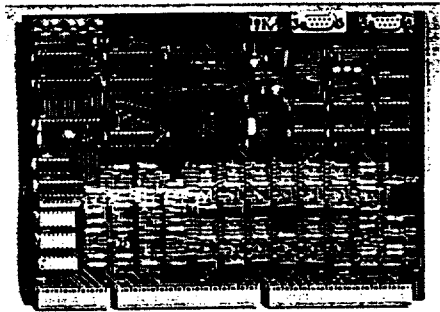


Fig. 12 Photograph of ECU

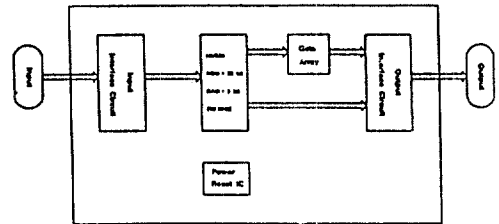


Fig. 13 Schematic diagram of ECU

3.1.1 입력 인터페이스

센서로부터의 신호는 먼저 Fig. 15와 같이 입력 회로에 입력이 된다. 컴퓨터는 디지털 값으로 사용하더라도 센서로부터 출력되는 디지털 신호를 그대로 입력할 수 없다. 자동차에서 사용되는 컴퓨터는 ECU의 내부에서 만들어지는 안정된 +5V 전원으로 작동시키기 때문에 Fig. 15의 (a)~(d)와 같은 여러가지 형태의 입력신호를 컴퓨터가 처리할 수 있도록 정형해 줄 필요가 있다. ECU로 들어오는 입력 신호는 입력종류별로는 analog, digital 및 frequency의 형태를 지니고 있다.

3.1.2 A/D 컨버터

컴퓨터는 디지털 값 밖에 취급할 수 없기 때문에 아날로그 값으로 출력하는 센서의 신호를 A/D 컨버터에 의해 디지털 값으로 변환할 필요가 있다. 본 연구에서는 열선식 에어플로 센서로부터 입력되는 공기유량신호의 경우, 고 분해기능 고 정도가 요구되기 때문에 10비트 정밀도를 채용하였다.

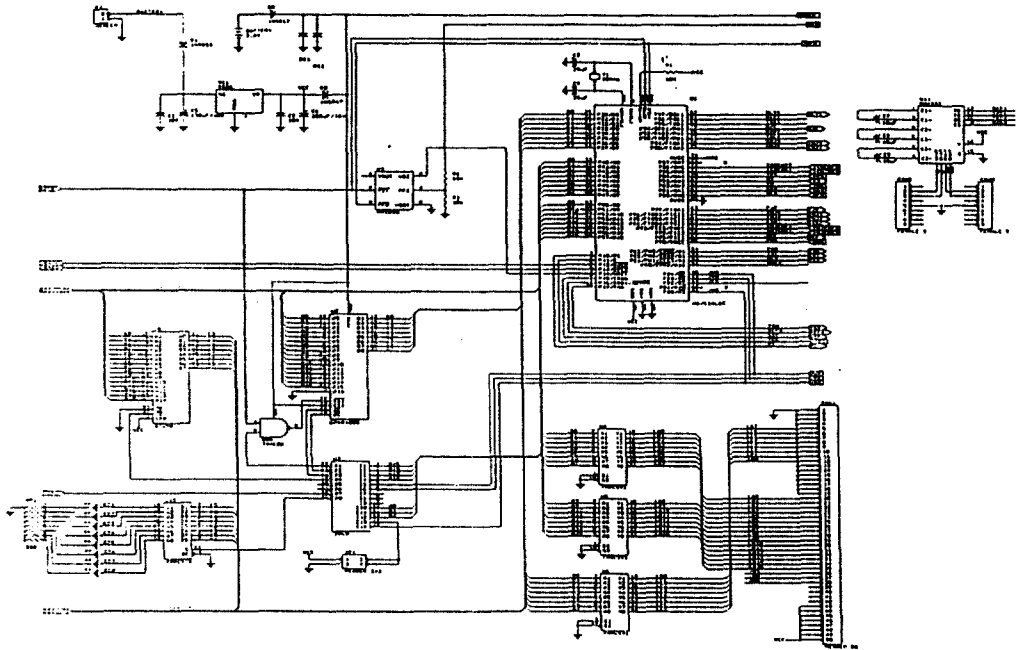


Fig. 14 CPU board circuit for ECU

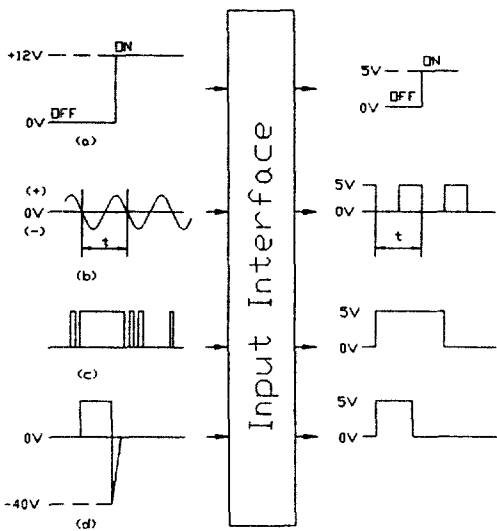


Fig. 15 Schematic diagram of input interface circuit

이것은 에어플로 센서의 아날로그 출력의 최고 전압값을 2^{10} 까지 양자화하고 2진 코드로 출력한다.

3.1.3 출력 인터페이스

컴퓨터에서 출력신호를 증폭하여 액츄에이터를

작동시키는 것으로 컴퓨터의 출력은 미소 전류이어서 큰 일을 하는 액츄에이터를 직접 구동할 수 없다. 따라서 인젝터에 ON신호를 가하면 인터페이스는 인젝터 구동 전압레벨을 조정한다. Fig. 16은 출력 구동회로를 나타낸 것으로 연료량 및 점화시기 등의 신호를 ECU에서 받아서 인젝터나 스파크 플러그를 구동시킨다.

3.1.4 마이크로 컴퓨터

본 연구에서 사용된 마이크로 컴퓨터의 모듈별 용도는 Table 1에 나타내었다. 주된 특징은 내부 16비트 데이터 처리능력을 강화하고 내장 메모리에 16 비트 access를 가능케하여 명령실행속도의 향상을 도모함으로써 실제 기관의 제어에 있어서 요구되는 운전조건의 변화에 대한 정밀제어의 정도를 향상시킬 수 있는 응답성이 빠르다. 통신기능으로는 데이터 전송장치인 DTC(data transfer controller)를 갖추고 있다. 따라서 현재 기관의 제어요구 사항에 대해서는 16 비트 마이크로컴퓨터 기능과 최대 6 기통 분사가 가능하다. 또한 16 비트 타이머 기능으로 Output compare interrupt는 Output port의 출력을 설정(또는 반전)시킬 수 있

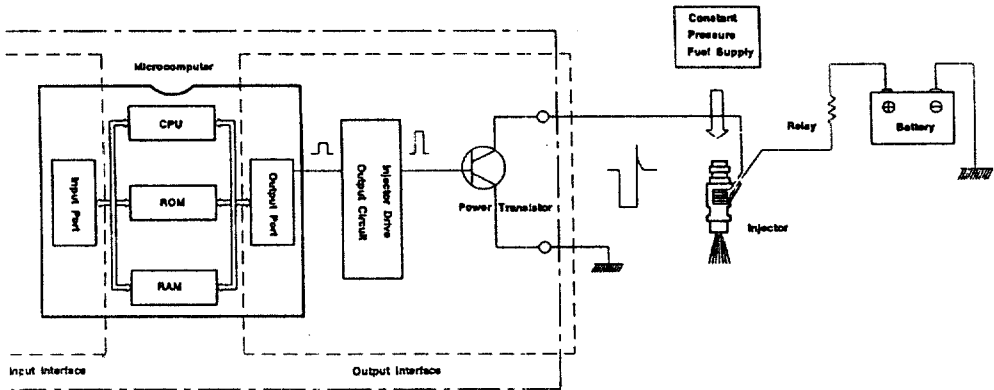


Fig. 16 Schematic diagram of output driver

Table 1 H8 I/O module

| I/O module | | Principal use |
|------------|--|--|
| 1 | I/O PORT(9Channel) | ●DI(Digital Input), DO(Digital Output) |
| 2 | 16 Bit Free Running Timer(3Channel) | ●Inj #1-Inj #4(6) Injection Time ●REF period |
| 3 | PWM(Pulse Width Modulation) (3Channel) | ●ISC Output, Duty Output |
| 4 | 8 Bit Timer(1Channel) | ●IGN Output, Injection Timing Control ●POS Count |
| 5 | SCI(Serial Communication Interface) (1Ch) | ●OBD-2, Development Tool Communication |
| 6 | 10 Bit A/D Converter(8Channel) | ●AI(Analog Input) →Digital Conversion |
| 7 | WDT Watch Dog Timer(1Channel) | ●Interval Timer |
| 8 | INTC (Interrupt Controller) | ●First Ranking Control |
| | DTC(Data Transfer Controller) | Communication(Data Transfer unit) |

게 구성되어 있어서 시간단위로 제어되는 펄스를 만들수 있다. 이 펄스는 연료분사에 필요한 펄스를 만드는데 매우 적합하며, Input capture interrupt로써 카운터 값을 읽어냄으로써 특성신호의 주기(또는 duty)를 측정할 수 있다. 이 기능은 기동신호의 주기를 측정함으로써 엔진 회전수의 계측에 이용할 수 있다. 타이머는 내·외부 clock을 사용할 수 있게 되어있다. 외부 clock으로 크랭크각을 입력함으로써 각도 단위의 제어에 적합한 신호를 만들 수 있다. compare match interrupt에 의한 펄스 출력기능을 이용하여 점화시기제어와 연료분사시기 제어에 응용할 수 있다. 외부 clock을 사

용할 때 상승신호(rising edge)와 하강신호(falling edge)에 의해 모두 count 할 수 있게 만들어져 입력 clock보다 두배 분해능을 얻을 수 있다. 8 비트 PWM timer는 PWM(pulse width modulation) 펄스를 발생시킬 수 있는 타이머로 duty 제어 솔레노이드 밸브 등의 제어에 이용되어지며 이의 분해능은 0.4%로, 펄스 주기는 내부 clock을 분주하여 사용하며 9.8Hz~20Hz의 펄스까지 출력할 수 있는 3개의 channel이 존재하며 공회전은 물론 EGR 및 Purge의 최적제어를 위한 비례제어가 가능하다.

4. 실험

4.1 실험장치의 구성

본 연구에서 사용한 가솔린용 기관의 구성은 Fig. 17과 같다. 본 연구에서 개발한 자동차 기관용 전자제어장치를 Fig. 17과 같이 기관에 장착하여 각종 센서로부터 전기적 신호를 받은 후 운전상태에 적합한 연료분사량, 분사시기, 점화시기 및 공회전시엔진 회전수를 제어하고 엔진이 가열된 후 산소센서로부터 배기가스 중의 산소농도를 판단하여 연료분사량을 자동적으로 조절하는 기능을 갖는다. 주요 장착장치들은 다음과 같다.

4.1.1 CAS(Crank Angle Sensor)

크랭크 각도센서는 발광 다이오드 식으로 엔진의 회전속도와 피스톤의 상사점 위치를 검출하여 ECU에 입력하면 ECU는 흡입공기량 신호와 함께 연산하여 연료분사량과 연료분사시기 및 점화시기 등을 조절한다. 크랭크각 센서의 구조는 Fig. 3과

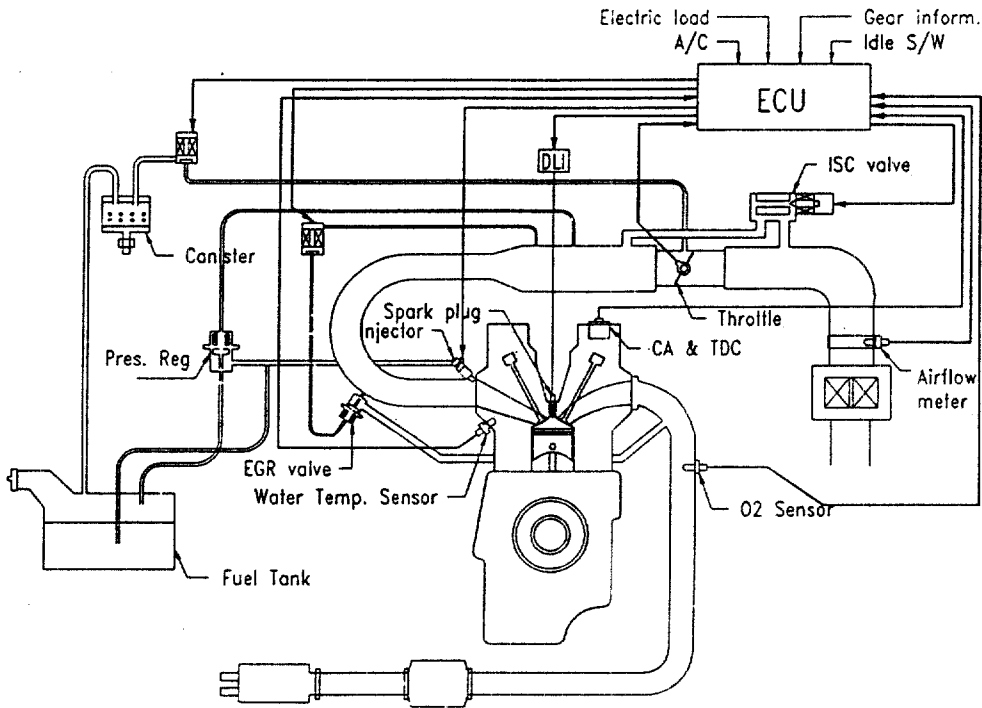


Fig. 17 Schematic diagram of engine management system

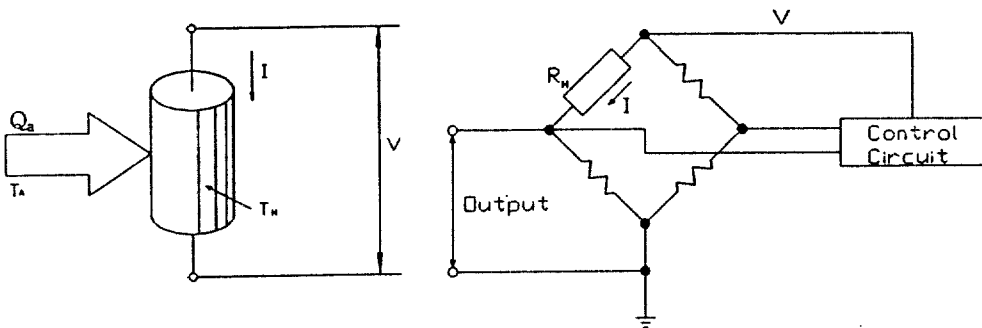


Fig. 18 Measurement principle of hot wire type AFS

Fig. 4에 보는바와 같이 그림이 크랭크각 센서는 디스크와 배전기축과 함께 회전하는 디스크를 발광 다이오드와 포토 다이오드 사이에 끼우도록 설치된 유닛으로 구성되어 있다. 디스크는 얇은 금속제 원판으로 디스크 외주에는 엔진회전 속도를 검출하기 위한 간격의 슬릿 180개와 안쪽에는 피스톤 상사점 위치(reference)를 검출하기 위한 90°

간격의 길이가 각각 다른 4개의 슬릿 구조(TDC의 길이는 각각 32-4-18-4 teeth)를 가지고 있어 기존 시스템에 비해 정확한 크랭크 각도 신호와 점화기통 판별 시간의 단축으로 기존 시스템에서 급가감속시 비정상상태에 일어나는 실제상태와 제어상태와의 편차를 최소화 하였다. 기관의 시동시 기관의 위치판별시간을 단축시켜 기통 판별전의 동시

분사 모드에서 발생하는 과대연료분사량을 최대한 줄였으며 이로 인한 시동성능향상 및 배출가스의 억제효과를 가져올 수 있다. 유닛에 설치된 포토 다이오드는 축전지 전류가 흐르면 빛이 발생하는 다이오드이고 포토 다이오드는 발광 다이오드에서 빛을 보내면 전압이 발생한다. 이때 배전기축이 회전하면서 디스크도 회전하게 되므로 발광 다이오드에서 발생하는 빛은 디스크 슬릿에 의해 투광, 차광을 반복하기 때문에 포토 다이오드는 전압이 발생되거나 발생되지 않는다. 이 전압이 ON-OFF펄스로 변환하여 엔진의 회전속도 및 점화순서의 실린더를 판별한다.

4.1.2 AFS(Air Flow Sensor)

일반적인 연료분사방식은 에어플로 센서에서 공기의 질량을 측정, 기본적인 연료분사량을 구한후 배기부의 O₂ 센서에 의하여 feed back 신호를 기준으로 하여 연료량을 재보정한 후 제어하는 방식이므로 정확한 공기의 측정은 매우 중요하다. 본 실험에서 사용한 공기량 센서는 발열체와 공기사이에서 일어나는 열전달의 현상을 이용한 열선식 에어플로 센서이다.

기본 원리에 대해서는 Fig. 18과 같이 공기의 흐름속에 놓여진 발열체(hot wire)로 부터 공기로의 전열계수는 다음 관계로 나타내어진다.

$$h = \alpha + \beta \sqrt{Q_a} \dots\dots\dots (8)$$

여기서, h : 전열계수
 α, β : 상수
 Q_a : 공기의 질량유량

이와 같은 관계에 다시 hot wire에 가해지는 전력(발열량)의 열평형을 생각하면 다음과 같다.

$$VI = (\alpha + \beta \sqrt{Q_a})A(T_H - T_A) \dots\dots\dots (9)$$

여기서, V : 열선인가전압[V]
 I : 열선 전류[A]
 A : 열선 전열면적[m²]
 T_H : 열선온도[°C]
 T_A : 흡기온도[°C]

그리고 여기서 온도차($T_H - T_A$)를 열선과 흡기 온도계의 저항치 변화는 wheastone bridge를 구성하여 검출하고 온도차가 일정하게 되도록 전류 I를 제어하고 있다. 온도차($T_H - T_A$)가 일정하면 식(9)로부터

$$VI \propto \alpha + \beta \sqrt{Q_a} \dots\dots\dots (10)$$

로 된다. 열선에 걸리는 전압 V는

$$V = IR_H \dots\dots\dots (11)$$

여기서, R_H : 열선의 저항치[Ω]

이므로 전류 I를 검출하는 출력은

$$I \propto \sqrt{\alpha + \beta \sqrt{Q_a}} \dots\dots\dots (12)$$

로 된다. 이 출력은 직접 질량유량의 함수로 되기 때문에 공기밀도의 보정등은 필요로 하지 않게 된다. Fig. 19는 hot wire의 출력 특성 예를 나타낸 것이다.

4.1.3 DIS(Direct Ignition System)

트랜지스터 식을 포함한 모든 점화장치에서는 1개의 점화코일에 의해 고전압을 발생시켜, 배전기와 점화 케이블을 통해 점화 플러그에 공급한다. 그러나 고전압을 배전하는 과정에서 기계적인 부분이 남아있기 때문에 전압강화와 누전이 발생되며, 배전기 내에는 로터와 집전간극사이에 공기절연(air-gap)을 뛰어 넘어야 하기 때문에 고전압 손실 및 전파잡음의 원인이 된다. 이와 같은 배전기식에서의 고전압 배전중에 발생된 단점을 보완하기 위해 본 실험에서는 배전기를 제거하고 대신에 컴퓨터를 이용한 전자배전방식인 DIS장치를 채용하여 고속의 안정된 점화에너지를 얻을수 있다. Fig. 20은 DIS시스템의 점화회로를 나타낸 것이다.

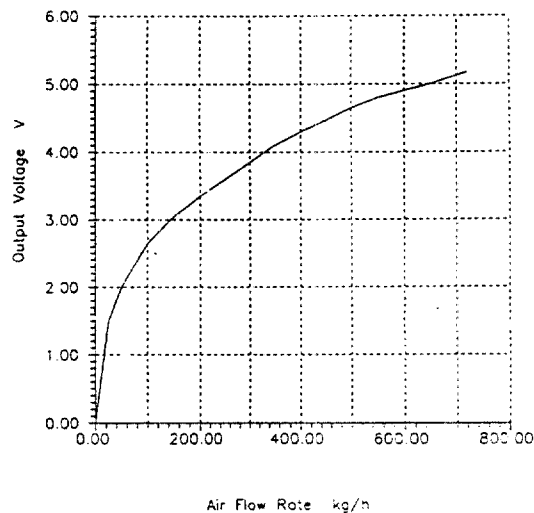


Fig. 19 Characteristic curve of hot wire air flow sensor

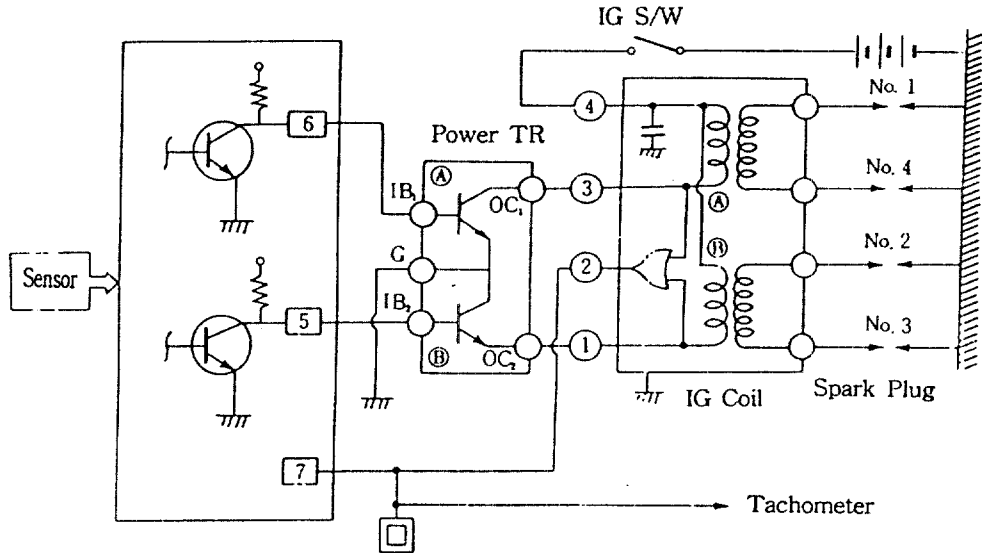


Fig. 20 DIS circuit diagram

4.2 실험 방법

본 연구에서 개발한 전자제어장치를 시험하기 위해 사용한 대상 엔진은 1500cc DOHC엔진이며 기존의 ECU, CAS, AFS, Ignition System, ISC를 제거하고 본연구에서 개발한 전자제어장치와 본제어를 위한 센서들을 장착하였다. 실험방법은 전자제어장치의 핵심이며 가장 복잡한 연료분사, 점화시기에 대한 평가하였다. 우선 본 연구에서 개발한 ECU가 정확히 제어알고리즘처럼 제어할 수 있는지를 검증하기 위해 시간에 대한 POS, REF, 기통판별신호, 점화시기 신호, 연료분사신호를 시뮬레이터를 통해 모의 실험하였다. 타당성을 검증한 후 Fig. 21처럼 실제엔진에서 전자제어장치를 포함한 중요 센서들을 본 제어에 맞게 장착하여 연료분사시기에 대한 평가를 하였다. 이때 신호들은 디지털 오실로스코프 통해 측정하였다.

5. 결과 및 고찰

5.1 시뮬레이터를 통한 실험

Fig. 22에서 Fig. 25는 본 연구에서 개발한 전자제어장치가 정확히 POS, REF, 기통판별신호(MK2), 점화시기 신호, 연료분사신호를 감지하

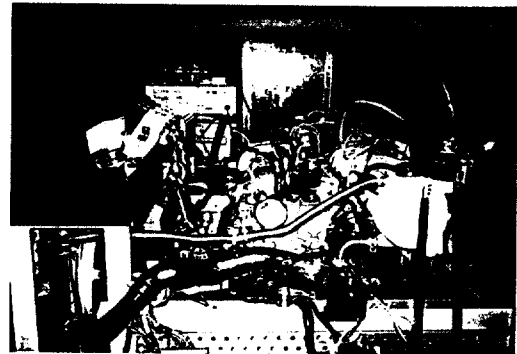


Fig. 21 Photograph of experimental apparatus

는지 타당성을 검증하기 위해 시뮬레이터를 통해 모의 실험한 것이다. Fig. 22와 Fig. 23은 위에서부터 차례로 시간에 대한 POS신호와 REF신호, 기통판별신호이다. Fig. 22에서 보느냐와 같이 POS신호의 teeth가 16개이고 tooth 1개가 2°를 나타내므로 기통판별신호는 rising edge에서 falling edge까지 정확히 32°도이며 이는 1번 실린더 REF신호가 정확히 검출됨을 알 수 있다.

Fig. 23는 기통판별신호는 rising edge에서 falling edge까지 정확히 4°도이며 이는 3 또는 2번 실린더 REF신호임을 알 수 있다.

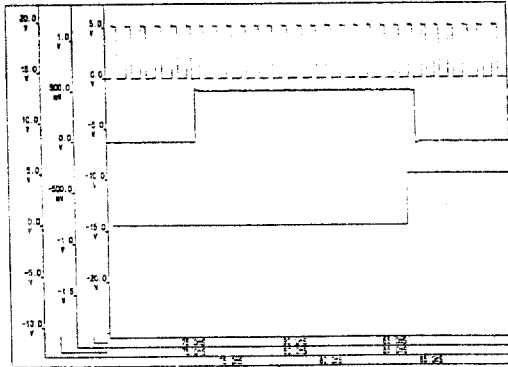


Fig. 22 Signal of POS, 1# REF, MK2

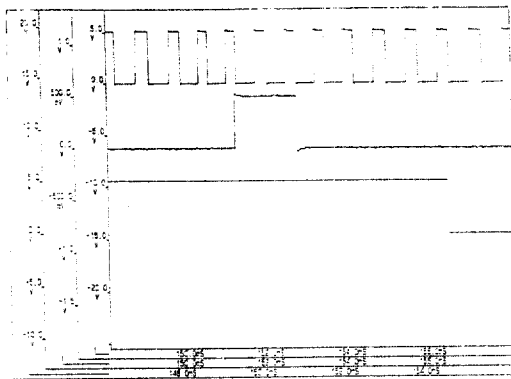


Fig. 23 Signal of POS, 3# REF, MK2

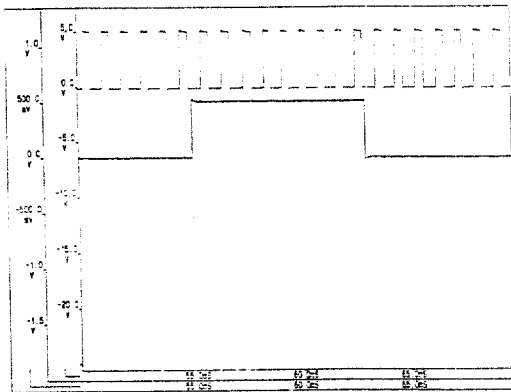


Fig. 24 Signal of POS, 4# REF

Fig. 24 역시 기통판별신호가 rising edge에서 falling edge까지 정확히 18°이므로 4번 REF 신호임을 알 수 있다.

Fig. 25는 1000rpm일때, 시간에 따른 연료분사

와 점화시기의 파형을 동시에 나타낸 것이다. 맨 위의 파형은 REF신호이고 밑의 파형은 기통 판별 신호, 그 아래는 점화신호, 맨 아래는 연료분사 신호이다.

이상의 결과로부터 POS신호, REF, 기통판별 신호, 연료분사와 점화시기신호들을 ECU가 정확히 판단할 수 있음을 확인할 수 있었다.

5.2 연료분사 및 점화시기

Fig. 26에서 Fig. 27은 기존 엔진의 ECU를 제거하고 본연구에서 개발한 ECU를 장착했을때 기관의 회전속도가 각각 800rpm, 1000rpm에서 무부하시, 시간에 대한 각도(POS)신호, 기준(REF) 신호, 기통판별신호, 연료분사신호를 나타낸 것이다. Fig. 26은 기관의 회전속도가 800rpm일때 기준신호가 2번 4번으로 부터 입력된 경우, 위에서 부터 차례로 시간변화에 따른 REF신호, 기통판별 신호(MK2), 1번 실린더 연료분사신호를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와같이 1번 기준신호가 상승할때로부터 정확히 25° 지난후에 기통판별 신호인 MK2 신호가 상승하여 기통판별을 함을 알 수 있고 기통판별후 바로 순차분사방식으로 바뀌어 1번 실린더가 연료를 분사함을 알 수 있다.

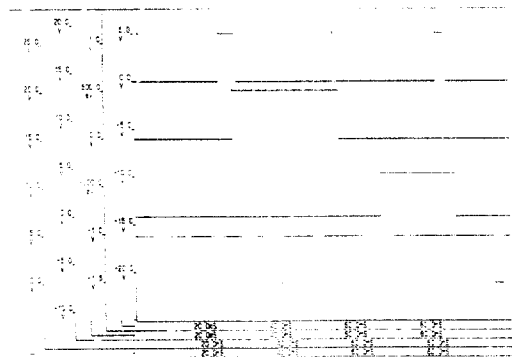


Fig. 25 Signal of REF, MK2, IGN, INJ

Fig. 27은 기관의 회전속도 1000rpm일때 시간변화에 따른 POS신호, REF신호, 기통판별신호, 1번 실린더 연료분사신호를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 800rpm과 같은 방식으로 연료분사를 하며 기관의 회전속도의 증가로 800rpm일때와 분사시간이 차이가 있음을 알 수 있다.

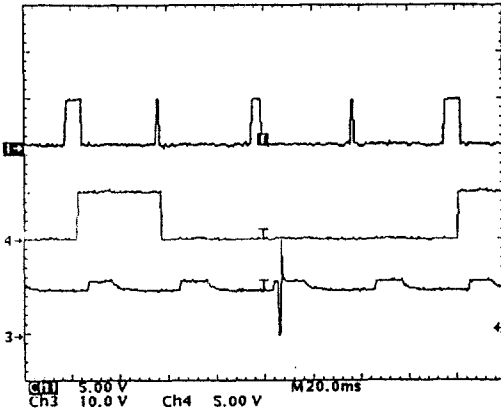


Fig. 26 Signal of REF, MK2, 1# INJ. at 800rpm

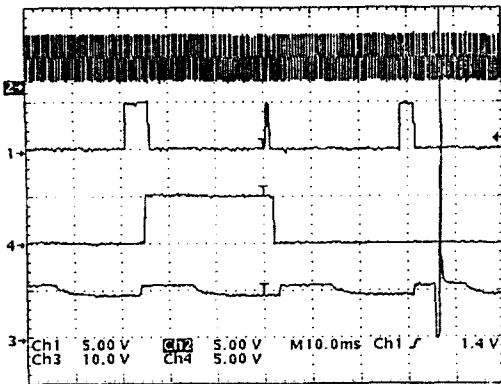


Fig. 27 Signal of POS, REF, MK2, 1# INJ at 1000rpm

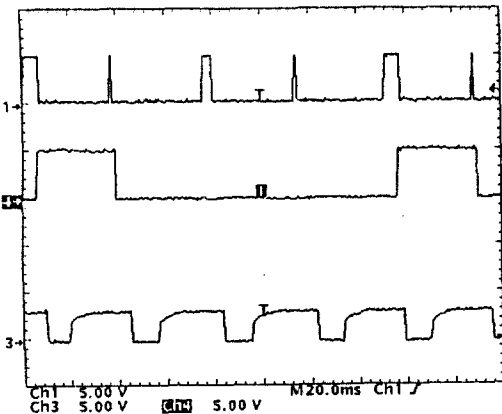


Fig. 28 Signal of REF, MK2, IGN. at 800rpm

Fig. 28에서 Fig. 29은 회전속도를 각각 800rpm,

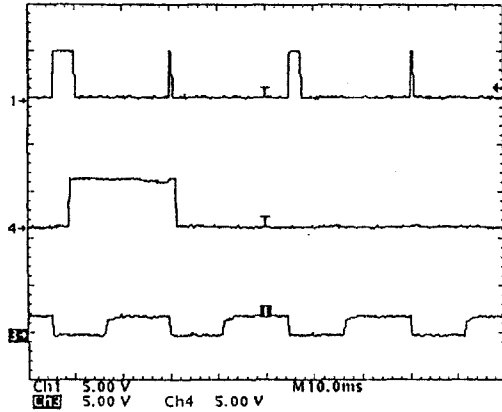


Fig. 29 Signal of REF, MK2, IGN. at 1000rpm

1000rpm에서 무부하시 시간에 대한 위치(POS)신호, 기준(REF)신호, 기통판별신호, 점화신호를 위에서부터 차례로 나타낸 것이다. Fig. 28은 기관의 회전속도 800rpm일때 시간 변화에 따른 REF신호, 기통판별신호, 점화신호를 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 점화신호가 하강할때 기통판별신호의 레벨이 high이므로 그 실린더는 1번 실린더임을 판정하는 것을 알 수 있고 그다음 기통판별신호의 레벨이 high일때 까지 차례로 3번, 4번, 2번 실린더 순으로 점화 순서가 정해짐을 알 수 있다.

Fig. 29는 각각 기관회전속도가 1000rpm일때 시간변화에 따른 REF신호, 기통판별신호, 점화신호 역시 800rpm일때와 같은 경향을 보이며 기관의 회전속도가 800rpm, 1000rpm으로 증가함에 따라 점화신호 간격이 차이가 있음을 알 수 있다.

6. 결 론

- 1) 연료분사시 기존의 마이크로컴퓨터가 연료분사 개시점과 종료점을 처리하기 위해 register를 2개 이용하는 반면 본 연구에서는 1개의 register로 연료분사 개시점과 종료점을 처리할 수 있어 메모리의 절약이 가능하다.
- 2) 내부 16비트 데이터 처리능력을 강화하고 내장 메모리에 16비트 access를 가능케하여 명령실행 속도의 향상을 도모함으로써 실제 기관의 제어에 있어서 요구되는 운전조건의 변화에 대한 정밀제어의 정도를 향상시킬 수 있어 응답성이 빠르다.

- 3) 기존 분사방식과 달리 분사시작제어를 기준으로 하여 연료분사폭을 결정하지 않고 분사종료 제어를 기준으로 연료분사폭을 결정하므로 흡기밸브가 닫혀도 계속해서 연료가 분사되는 단점을 보완할 수 있어 공연비 제어의 영향을 미치는 벽류현상을 줄일 수 있다.
- 4) 크랭크각센서에서 나오는 기준신호의 상승을 BTDC 110°마다 발생하도록 설정하고 또한 하강신호의 길이를 다르게 하여 기통관별을 함으로써 동시분사에서 순차분사의 전환이 빠르며 정확하고 신속 점화를 할 수 있다.

이 논문은 1994년도 마산전문대학 교내연구비에 의해 수행 되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) Fukui, T., et al, A New Type Electronically Controlled Fuel Injection System, SAE paper No. 811418, 1981.
- 2) Laurent, H., Hoonhorst, H., Fenix II-The Engine Control System of Tomorrow, SAE Paper No. 860483, 1986.
- 3) Jan Lillielund and Elbert Hendricks, A PC Engine Control Development System, SAE paper No. 910259, 1991.
- 4) Falk, C.,D., Mooney, J.J., Three-way Conversion Catalysts Effect of Closed Loop Feed-Back Control and other Parameters on Catalyst Efficiency, SAE Paper No. 800462, 1980.
- 5) Junichi Ishii, et. al, Wide Range Air-Fuel Ratio Control System, SAE paper No. 880134, 1988.
- 6) Sasayama, T., Hirayama, T., Amano, M., Sakamoto, S., Miki, M., Ninshimura, Y., Ueno, S., A New Electronic Engine Control System Using a Hot-wire Air Flow Sensor, SAE Paper No. 820323, 1982.
- 7) Hendricks, E, Sorsenson, S. C., Mean Value Modelling of Spark Ignition Engines SAE Paper No. 900616, 1990.
- 8) Tohru Takahashi, et al, A Simple Engine for Idle Speed Control, SAE paper No. 850291, 1985.
- 9) John James, et al, Microprocessor Based Data Acquisiton for Analysis of Engine Performance, SAE Paper No. 870386, 1987.