

퍼스날 컴퓨터를 이용한 전자엔진 제어

함영국 류태우 서병철 이양희 최준영
(한양대학교 *, 생산기술연구원, 한양대학교, 생산기술연구원, 생산기술연구원)

Electronic Engine Control by use of Personal Computer

Y.K. HAHM T.U. YU B.S. SUH Y.H. YEE J.Y. CHOI
(KAITECH, KAITECH, HANYANG UNI., KAITECH, KAITECH)

Abstract

The purpose of this paper is to perform the engine driving well with controlling the IAC (Idle Air Control) valve which controls the demand-air when the abrupt increasing or decreasing and the idling, the fuel by controlling the injector, and the spark timing. This plant is the complex system because this should be controlled each other and each one affects other. We have controlled this system effectively by using Personal Computer in order to reduce the exhaust gas and improve the engine performance.

있는 실정이다.

본 기술개발은, 엔진 전자제어 장치 및 부대장치(Electronic Engine Management System)의 개발을 목표로 하고 있으며 기존 ECU개발의 엔진 전자제어장치에 보다 진일보한 다양한 엔진에 적용될 수 있는 System을 개발하기 위한 것이다. (여기서 부대장치는 Sensor와 Actuator를 포함하는 모든 부대장치들을 말하나 본 기술개발의 범위는 Mass Flow Meter만을 개발하는 것으로 제한하고자 한다.)

2. Electronic Engine Management System(EMS)

2.1 Electronic Engine Management System의 개요

그림 2.1에서 보는바와 같이 Electronic Engine Management System (EMS)는 엔진의 흡기, 연소, 배기 과정에서 발생하는 배기가스를 최소화하고, 출력, 연비를 향상시키는 것을 기본 목표로 하고 있으며 이와함께 엔진 ↔ Transmission ↔ 차량을 통한 자동차의 최적 운전성(Driveability)도 목표로 하고 있다.

이러한 목표를 위해 EMS는 엔진 및 차량으로 부터 Sensor를 통해 많은 정보를 받고(그림2.2) Microcomputer의 CPU(Central Processing Unit)에 의해 각종 제어 변수값들을 계산 하고 Actuator를 구동시킨다. EMS는 최적 제어를 위해 Actuator로 구동시킨 결과를 받고 Feed Back하여 다시 Actuator로 내보낸다.

2.2 EMS 제어 기능

• 연료분사량 제어

전자식 엔진은 연료 분사 위치에 따라 크게 TBI(Throttle Body Injection)시스템과 MPI(Multi Point Injection) 시스템으로 나눌 수 있다. TBI 시스템은 기존 기화기의 벤츨리 위치에 흡기 부압으로 벤츨리의 노즐을 통하여 연료가 분무되는 것과 같이 인젝터를 설치하여 연료를 가압 분사하는 시스템이다. TBI 엔진은 인젝터를 사용하는 것으로써 기계식 기화기 엔진과 큰 차이가 없으나 전자 제어를 함으로써 중연비를 프로그래밍에 의하여 쉽게 바꿀 수 있고 구조 면경에서

비용이 들지않는 장점이 있다. 그러나 인젝터로부터 실린더까지 거리가 멀어 엔진 응답속도가 느리고 각 실린더도의 연료 분배가 다른 단점이 있다. MPI System은 이러한 TBI System의 약점을 보완하기 위하여 실린더 입구의 흡기 밸브 가까운 곳에 각 실린더 전용의 인젝터로 연료를 분사함으로써 응답 속도를 빠르게 하고 연소실 공간에 공급되는 연료량 편차를 줄일 수 있는 등의 장점이 있다. 그러나 인젝터 수가 많아지고 연료를 좀 더 미세하게 분사시켜야 하고 제어장치 및 기타 부품들을 포함한 전체적인 가격이 비싸지는 단점이 있다.

한편, 컴퓨터에서 연료분사량 결정의 기준이 되는 흡입 공기량 측정은 그 방식에 따라 MAP(Manifold Absolute Pressure)센서를 사용 흡기 부압을 측정하여 공기유량을 계산하는 간접 측정방식과 Mass Flow 센서를 이용하여 공기 유량을 직접 측정하는 방식이 있다. MAP 센서를 사용할 경우 MAP은 실린더에 흡입되는 공기의 밀도를 의미하므로 실제 흡입되는 공기량은 MAP값과 엔진 회전속도와 충전 효율을 곱하여 계산한다. 이 방식은 MAP센서와 엔진 배기량에 관계없이 동일하며 부하 위치도 자유스러운 점동의 장점이 있으나 엔진의 노후 등에 의한 충전 효율의 변화나 배기계의 부하됨에 따라 흡입공기량의 보정이 필요한 단점이 있다. 이에 비하여 Mass Flow 센서를 사용하는 경우는 흡입공기량을 정확히 측정할 수 있으나 센서 자체의 내구성과 불순물의 오염으로 인한 특성 문제가 있다. 연료 분사량 제어를 통한 최적연소 및 최소 배기량을 위해서는 흡기관을 통해 연소실로 흡입되는 공기량에 적합한 연료를 분사해 주면 된다. 그러나 실제 Intake System에서는 연소실에 흡입되는 공기량을 직접 측정할 수 없고 간접적으로 트로틀 위치에서 Mass Flow 센서를 이용 흡입공기량을 측정하거나 흡기관 압력을 측정하여 흡입공기량을 (Speed-Density 식) 계산하고 있다.

1. 서론

자동차는 초기의 간단한 기계장치로 부터 최근에는 다양한 성능을 가진 복합장치로 발달되어 왔다. 특히 전자기술의 발전과 더불어 새로운 개념의 자동차가 계속 개발되고 있다. 자동차에 응용되어지고 있는 전자기술은 자동차의 성능, 편의성, 공해, 안전도 등의 당면과제들을 해결하는데 주역할을 하고 있으며 수요자의 다양한 욕구를 충족시키고 있다. 앞으로 이러한 자동차 전자화의 추세는 전자기술의 발전 속, GaAs와 같은 고성능 반도체, 광통신 및 초세대 Computer 기술의 개발과 더불어 계속 확대될 것이다.

본 기술개발은 자동차의 전자화 중 Microcomputer가 가장 먼저 적용된 엔진(특히 SI엔진)의 전자화를 위한 Electronic Engine Management System(EMS)을 개발하기 위한 것이다.

엔진의 전자화는 엔진의 운전에 필요한 여러가지 조절기능을 종래 기계식 장치 대신 컴퓨터에 의해 제어하도록 하는 방법을 의미하여 공기/연료 혼합비, 점화시기, 연료량, 공회전 속도등 여러가지를 조절한다. 기계식 기화기를 사용하는 엔진의 경우 공기/연료 혼합비를 기계적으로 제어하나 엔진의 성능 개선을 위해 요구되는 여러가지 조건들을 충족시키기 위해서는 기화기의 구조가 매우 복잡하게 되었다. 따라서 기계식 기화기로는 최근 세계각국에서 강화 하기 시작한 배기가스 규제를 만족시키기에는 한계에 도달하여 전자식 제어 장치의 사용이 불가피하게 되었다.

전자식 엔진제어 장치는 1970년대 이후 꾸준히 개발되어 왔으며, 지난 7-8년전부터 보편화 되기 시작 했다. 현재 주요 생산차는 독일의 Bosch, GM계열의 Delco, Bendix 등이며 일본의 Nippon Denso, Mitsubishi등도 제품을 판매하고 있다. 최근에는 이러한 전자식 엔진제어 장치기 고기능화 되고 있고 16bit, 32bit Microprocessor의 개발 및 보편화로 그 성능 및 제어 범위가 넓어지고 있다. 또한, 전자식 엔진 제어 장치의 개발 및 보편화와 더불어 Distributor가 없는 직접점화장치(DIS:Direct Ignition System 또는 Distributorless Ignition System)가 개발되고 있으며 연소실별 연료분사 장치(MPI=Multi Point Fuel Injection)와 더불어 엔진 연소실을 독립적으로 제어할 수 있게 되었다. 또한 Valve Timing 제어, 가변형 흡기관 제어, 엔진고장 자기 진단기능도 가능하게 되고 있다.

한편, 국내는 1987년 대우자동차의 트림에 장착된 ECU(Electronic Control Unit)를 시조로 현재는 거의 모든 국내 차종에 ECU가 장착되고 있다. 그러나 전종의 국산 제품을 수입 허가된 외국기업과 합작한 기업(KEFI Co. : 현대, 일본의 MEL Co., Bosch)의 합작 : 한국자동차전장, 대성, SIEMENS (Bendix)와 합작)에서 설계 및 제조기술을 도입 생산하여 사용하고 있다. 그러나 아직 전자제어 장치의 Hardware 및 Software를 자체 설계 할 수 있는 기술을 확보하지 못하고 있으며 이 때문에 엔진을 개발하는데 막대한 시간과 경비를 추가적으로 낭비하고 있다. 이러한 엔진전자제어 장치는 단순히 전자적인 제어 기술만으로 개발되는 것이 아니고 전자기술도 병행되어서 융화 되어야 실용화 할 수 있다. 그러나 지금까지는 한국에서 기술 이전을 기피하는 상황에서 어느한쪽 기술로만 개발이 시도되어 실용화가 되지 못하고

◦ 점화 시기 제어

기계식으로 점화 시기를 전진(Advance) 시키는 경우 진자 범위와 진자 특성을 임의로 조절하기 어려운 점에 비하여 전자식으로 점화시기를 제어할 경우에는 컴퓨터에서 판정할 수 있는 모든 엔진 조건에서 최적의 점화시기를 얻을 수 있는 장점이 있다. 컴퓨터를 사용하여 점화시기를 제어하기 위해서는 엔진의 크랭크 각도 및 엔진 회전속도, 흡기 부압 등으로 엔진 운전 상태를 판단하고 점화 신호에 따라 점화가 가능한 전압으로 증압, 분배하는 장치가 필요하다. 크랭크 각도를 읽는 장치로서는 일반적으로 Optical 센서 또는 Magnetic 센서 등이 사용되고 있다. 흡기부압은 일반적으로 연료분사 게이지 기준으로 사용하는 MAP 센서나 공기량 센서의 신호를 이용하여 경우에 따라서는 컴퓨터에서 계산한 연료 분사량 값을, 변수로 대신 사용하기도 한다.

◦ 공회전 속도 제어

기계식 기화기에서는 엔진이 공회전 중일 때 공급되는 최소 공기량을 트로틀 판의 최대 단급 위치와 공회전 연료 공급 회로의 통로 면적을 각각 나사로 조절함으로써 공회전비를 조절하여 안정한 공회전 상태가 되도록 한다. 공회전 속도의 결정에 있어서 공회전 연료 소모량을 줄이기 위해서는 기급적 공회전 속도를 낮추어야하나 공회전 안정성 면에서 보면 속도를 높이는 것이 좋다. 기계식 기화기에서는 공회전 시에 동작하는 공회전용 연료공급 회로가 별도로 있어서 엔진의 공회전 성능을 향상시키고 있다. TBI System에서는 인젝터 1 개로 넓은 범위의 출력에 대처하기에는 성능이 충분치 못하며 특히 공회전시의 안정성 확보가 어렵다. 따라서 공회전시의 안정성 확보 및 연료 소모량 감소를 위하여 부하에 따라서 공회전 속도를 가변화하는 장치가 필요하다. TBI System에서는 일반적으로 Stepping 모터 등의 보조 트로틀 장치를 사용하여 공회전 속도를 조절한다.

◦ Diagnostics 기능

엔진 작동중 엔진이 이상 징후가 되면 매우 위험한 상황을 초래할 수도 있다. 엔진이 정상 작동하기 위하여 필요한 운전 조건, Sensor 들 및 Actuator 등의 Controller 주변 장치의 상황 등을 점검하여 필요한 운전자에게 그 사실을 알려주고 또는 제어 장치를 비상수단으로 자동 전환하는 등의 안전을 확보해야 한다. 그리고 EMS는 정비사의 엔진 점검을 돕기 위하여 외부 통신 Port를 통해 제어기의 제반 상황을 외부로 알려주는 기능을 보통 채용하고 있다.

◦ 기타

엔진과 관련하여 EMS는 자동 변속기 장착 차량의 경우 Torque Converter Clutch를 전자 제어하는 기능과 Fuel Pump Switch, Aircon Switch 등의 장치를 제어 할 수도 있다.

3. Electronic Engine Management System의 S/W 개발

3.1 연료분사량 계산

3.1.1 연료분사속 계산

본 기술개발에서는 TBI(Throttle Body Injection)에 MAP센서를 사용하는 System을 개발 대상으로 선정하였다. 이 방식은 MAP센서에서 측정된 공기 밀도에 따라 기본 분사량이 결정되고, 총 연료량이 엔진 속도에 비례하게 된다. 본 S/W는 계산된 연료량을 엔진 냉각수 온도에 따라 보정하고, 가속, 감속, 시동모드 등 각각의 경우에 적합한 연료 제어방식을 결정하고, O₂ 센서로 연소 상태의 농부 혹은 희박을 판정하여 Feedback제어로 연료량을 정밀하게 조절한다. 연소실로 흡입되는 공기량은

$$M_{a0}(t) = K_s \cdot VE(t) \cdot M_a(t) \cdot \omega_e(t) \\ M \cdot MAP$$

여기서 $M_a = \frac{V_m}{R \cdot T_m}$

Injector를 통해 분사 되는 연료량 $M_{fc}(t)$ 은 $M_{a0}(t)$ 에 비례하게 결정된다고 가정하면,

$$M_{fc}(t) = M_{a0}(t) \cdot \left(\frac{1}{A/F} \right) \quad (3-1)$$

1 개의 엔진 Cylinder로 분사되어야 하는 연료량은 M_{f1} 은

$$M_{f1} = M_{fc} \left(\frac{\pi}{\omega_e} \right) \quad (3-2)$$

연료량 1개당 연료분사 시간폭(FIW)은

$$FIW = C \cdot M_{f1} \quad (3-3) \\ FIW = C_{FIW} \cdot MAP \cdot VE \left(\frac{1}{A/F} \right) \left(\frac{1}{T_m} \right) \text{가 된다.}$$

상수 C_{FIW} 는 이론적으로 구할 수 있으나 여기서는 실험을 통해서 구하였다. C_{FIW} 를 구하기 위해 PC-엔진 Monitoring 장치 통해 정속 조건에서 FIW를 측정 하였으며 시간에 대한 척분값으로 그림 3.1이

으로 그림 3.1이 표시하였다. 사용한 엔진에 대한 VE는 그림 3.2에서 RPM과 MAP의 함수로 주어지므로 식 3-3에서 C_{FIW} 를 계산할 수 있다

3.1.2 가감속 보정

◦ 가속 보정

엔진가속 성능을 좋게하기 위하여 추가적인 연료를 분사하게 하였으며 그 조건은 다음과 같다.

- Enable 조건
- (MAP - FILT (MAP)) > 5 % 이거나
- (TPS - FILT (TPS)) > 5 %

- Disable 조건

- Enable조건이 만족치 않을경우
 위에서 FilT()는 해당 변수를 일정 Time Constant로 Filtering 하는 함수를 의미한다.

이 조건이 만족되면

$$FADD = (FADMAP + FADTHROT) \\ FADMAP = K_{mp} \cdot MAP \cdot TPS \quad (3-4) \\ K_{mp} : 6 \times 10^{-4} \\ MAP : KPa \\ TPS : \% \\ FADTHROT = K_{TH} \cdot TPS \\ K_{TH} : 2 \times 10^{-2}$$

여기서 상수 K_{mp} , K_{TH} 는 실험 결과에 따라 바꿀 수 있다. Step 가속 성능에 대한 결과가 그림 3.3에 보여주고 있다.

◦ 감속시 연료공급차단(DOFF)

급격한 감속에 불필요한 연료 공급을 줄이기 위하여 감속 연료공급 보정을 하였다.

- Enable조건
- TPS < 5 % 이고
- RPM > 2,000 일경우
- 차속조건은 일단 제외
- Disable조건
- TPS > 5 % 이거나
- RPM < 1,700 일경우

Enable 되면 Disable 될 때까지 연료분사를 정지시켰다. 그림 3.4에서는 임의의 감속상태에서 연료 분사 변화를 보여주고 있다.

3.1.3 비례 적분 제어

O₂ Sensor 값에 의한 Feedback 제어는 비례적분 제어로 하며 한 예가 그림 3.5에 보여주고 있다.

3.2 Spark Dwell 계산

3.2.1 Spark Dwell 계산

Dwell은 동적 Dwell과 정적 Dwell의 합으로 나타낼 수 있다. 즉,

Dwell = 동적 Dwell + 정적 Dwell
 RPM의 실용적 범위안에서 정적 Dwell은 다음과 같이 표현하였다.

정적 DWELL = [2.5 + REF/15] asec
 여기서 REF는 Reference Pulse간의 시간(ms)을 의미한다.

동적 Dwell은 다음과 같이 RPM의 변화율에 따라 보정해 주었다.

동적 DWELL = DELTAREF/20
 DELTAREF는 Crankshaft의 Reference Pulse의 변화시간을 나타낸다.

3.2.2 Spark Advance 계산

Spark Advance는 엔진 RPM과 부하에 따라 결정된다.

3.3 S/W의 구조

엔진의 모든 정보를 받고 엔진제어에 필요한 연료량 및 Spark 값을 계산하는 Program을 개발하였다.

◦ 초기화

S/W의 각종 변수들을 초기화 하고, Interrupt Vector Table에 Interrupt Service Routine의 주소를 설정하였다.

◦ Sensor 값측정

차의 상태를 알려주는 물리량(MAP, Throttle Position, 냉각수 온도, O₂량, Battery)등 각 Sensor를 통해 A/D Conversion을 한후 들어오는 Input Data를 읽는다.

◦ 엔진 RPM 계산

차에서 들어오는 Reference Pulse를 통해 엔진 RPM을 계산한다.

◦ 연료 분사량 (FIW) 계산

연료 분사량 및 가감속 보정을 한다.

◦ Spark Timing 계산

Sensor를 통해 받아들인 물리량을 고려하여 점화시기와 Dwell을 계산한다.

◦ Feedback 보정

배기가스 O₂ 양에 의한 정보를 Feedback하여 연료분사량을 조절한다.

4. PC-EMS의 개발 및 실험

4.1 개요

PC-EMS가 수행하고자 하는 주요기능은 연료 분사량 제어, 연료 분사 시기, 점화시기 제어, 점화 Dwell제어, Idle Speed제어등이다. H/W는 엔진에 필요로 하는 제어기능을 가능한 한 S/W에 많은 자유도를 부여하면서 S/W가 기대하는 시각에 계산한 출력 값을 정확히 수행할 수 있어야한다. 따라서, 연료제어에 있어서 연료 분사량과 분사 시기의 동시 제어를 가능하게 하고, 그리고 동기분사와 비동기 분사를 모두 가능하게 하려면 injector 구동 출력 신호의 상승 시각과 하강 시각을 자유로이 지정할 수 있어야하고, S/W에 최상의 부담을 요구하면서 H/W는 필요한 기능을 수행하는 구조이어야한다. 그리고 점화제어 장치의 구조도 연료 제어기와 거의 유사한 기능이 요구된다.

EMS에서 연료와 점화 제어 장치는 모두 시간의 제어에 있어서 정밀도가 요구되므로 시각 기준을 유지하는 H/W 시간 기준을 별도로 준비하고 이 시간과 각종 엔진 조건을 동기시키기 위하여 Multi Level Interrupt를 사용할 수 있게 하였다.

그리고, EMS의 범용성을 위하여 IBM-PC를 중심으로 시스템을 구성하였다.

4.2 제어 방법

4.2.1 연료분사

연료분사방법에는 기준펄스에 동기시켜 분사시키는 동기식(Synchronous)연료분사와 동기시키지 않고 분사시키는 비동기식(Asynchronous)연료 분사의 두가지 방식을 혼합하여 사용하였다.

o 동기식 연료분사

개발된 S/W에서 계산된 기준펄스에 인젝터 구동시 소요되는 Bias를 더하여 그 시간 만큼 인젝터를 구동시킨다. 이때 배전기에서 기준펄스를 받은후 기준펄스에 동기시켜 연료를 분사시키는데 시간 지연이 발생되어 이 시간을 고려해야 한다.

o 비동기식 연료분사

차가 가속으로 부가연료가 필요하거나, 기준 펄스폭이 너무 작아 동기시켜 연료를 분사시키지 못하는 경우, 기준 펄스와 상관없이 일정시간 간격으로 연료를 분사시켜주게 된다. 비동기식 연료는 다음과 같은 경우를 고려하여 계산된다.

ASYNFIW = FIW + FADMAP + FADTHROT

- FADMAP : 가속시 흡기압 인력 변화에 따라 부가되는 연료
- FADTHROT : 가속시 트로틀 밸브 위치 변화에 따라 부가되는 연료

4.2.2 Spark Timing계산

o Spark Timing Control

- 개발된 S/W에서 계산된 Dwell 과 Spark Advance를 이용한다.
- 점의 Spark Advance와 Dwell값들과 보정을 하여 Hardware로 보낼 값을 결정한다.
- 계산된 값을 펄스폭으로 Hardware로 보낸다.
- 엔진의 점화시기는 엔진속도와 흡기부압에 크게 영향을 받으므로 이 두가지 엔진변수에 대하여 점화시기를 결정하는것이 중요하다. 또 각 상태에서의 Coolant Temperature와 운전 상태에 각각의 요소들을 보정하여 점화시기를 결정한다.

4.3 PC-EMS의 구조

PC-EMS 시스템은 IBM PC/AT 호환기종인 현대 386C 모델 컴퓨터를 사용하였다. 그림 4.1은 엔진과 컴퓨터와의 관계를 보여주고있다. 실험용 자동차에 장착된 여러 센서 및 Actuator를 그대로 이용하기 위해 여러 회로들을 설계 및 제작하여 PC-EMS Board를 구성하였다.

PC-EMS는 엔진 속도와 부하에 따른 Spark Timing 및 연료분사를 제어하기 위해, AD Board를 통해 TPS, 냉각수 온도, 흡입 공기량, 현재의 연소 상태에 관한 여러 값을 받아들인다.

제어 프로그램은 9.5msec 주기의 Time Interrupt 신호에 의해 반복적으로 계산되고, 계산된 Spark Dwell, Spark Advance, FIW, Fuel Advance 값들이 Fuel 및 Spark Interrupt Service Routine에 값을 넘겨준다.

Interrupt Service Routine은 Spark와 Fuel의 상태를 실질적으로 변화시키기 위해 사용한다. Reference Pulse가 인가되는 시간들 기준으로 엔진의 속도가 계산되어 이를 기초로 Spark 및 Fuel Injection 이 일어날 시간을 결정한다. Spark 및 Fuel Interrupt Service Routine은 각각의 상태 변화, Time Interrupt Service Routine에서 계산된 값을 기초로 상승 및 하강 시간을 각각 결정하여 H/W로 출력하면 해당하는 기능이 수행될 수 있도록 H/W를 제작하였다.

4.3.1 PC-EMS의 중앙제어장치

엔진의 전자 제어 장치중 가장 중요한 부분으로서 본 연구에선 IBM-PC 호환기종인 현대 386-DX(20MHz) 컴퓨터를 콘트롤러의 본체로 하고, 센서로부터의 신호를 받아들이고 Actuator를 구동하기 위하여 제작한 카드와 기존의 A/D 보드를 확장 슬롯에 끼워 구성하였다.

센서의 아날로그신호를 받아 들이기 위한 Analog to Digital(A/D) Converter Board를 사용하였으며, 연료 분사 인젝터, 점화장치, 공회전 제어등을 구동하기위한 Counter와 Timer Controller (CTC) 소자 2개와 8255 I/O 소자와 구동 I/O 카드가 중요한 부분이다. 그리고 Reference Pulse 펄스, 공회전 펄스, 점화펄스, 인젝터 펄스 등의 디지털 신호를 받아들이기 위한 별도의 I/O카드를 사용하였다. 이들 소자들과 컴퓨터가 상호 자료를 주고 받을 수 있는 주변 부품들이 중앙 제어 장치에 포함되어 있다.

4.3.2 PC-EMS H/W의 각부 설명

o 기본 주파수 및 제어 주파수
기본 주파수를 4.19MHz로 선정하고, 8254를 통해 분주하여 제어에 필요한 130938Hz의 SYSCLK와 9.5msec Time Interrupt Request 신호를 발생한다.

o 카운터

생성된 SYSCLK 신호를 16 bit 무한 카운터의 Clock으로 사용한다. Reference Pulse신호가 Interrupt Request 신호를 발생하면, PC가 그때의 Counter 값을 읽어 그 전에 발생한 Interrupt 신호에 의한 Counter 값과의 차이를 이용해 엔진의 회전 속도를 구하기 위해 사용한다.

o Analog신호

PC-EMS에 필요한 Analog 신호는 O₂, MAP, 트로틀 값, Battery, 냉각수 온도등 5가지이며, 이 값을 측정하기 위해 Metrabyte사의 A/D Board DASH-16을 사용하였으며 이것이 대한 사양은(표 5-1)과 같다.

표 4-1 A/D 및 D/A Board 사양

Channel 수	16(Single-ended), 8(differential)
resolution	12 bit
CMRR	30dB
Data 전송방식	Polling, interrupt, DMA
D/A	2Channel
Digital I/O	4bit(Input) Output : 4 bit
maximum throughput	60KHz (DMA)

A/D Board의 분해능은 12 bit이나 Data의 크기 및 계산 상의 시간과 Overflow 문제를 줄이기 위해 상위 8 bit만을 사용하였다.

Analog 신호를 프로그램상에서 원하는 시간에 읽도록 Polling 방식을 사용하였다. Polling 방식은 세 가지 방식중 가장 느린 단점이 있지만 Time Interrupt 마다 5가지 Data를 한 번씩 받아들이기 때문에 가장 적절한 방식이다.

o Digital I/O

- 8254 출력

프로그램에서 계산된 Fuel과 Spark의 시간을 8254에 쓰면 그 시간이 경과한 후 Trigger 신호가 나오게 된다. 이 신호는 J F/F의 Clock 에 인가되어 FUELOUT=FUEL, SPARKOUT=SPARK가 되도록 한다.

o Interrupt요구

PC에서 Interrupt신호는 Intel 8259 Chip에 의해 관리되며 보통 상태는 Daisy Chain이 허용되지 않기 때문에 이를 사용하기 위하여, Full Nested Mode, Edge-Trigger Mode로 설정하였다.

PC-EMS에서 사용되는 Interrupt Request 신호 수는 5개이다. 따라서 이들 Interrupt신호에 대한 Priority Level을 할당해야 하는데 높은 순서는 Reference Pulse, Spark, Fuel, 차속, Time Interrupt 순서로 설정되었다.

할당된 Interrupt 신호는 높은 순서로 다음과 같이 배치하였다.

표 4.2 Interrupt Request Priority Level

신호	Priority Level	상태
Reference Pulse	IRQ10	상위
Spark	IRQ11	
Fuel	IRQ12	
차속	IRQ15	
Time Interrupt	IRQ3	하위

o 연료 분사 및 Spark Timing 제어

TBI 시스템에서 연료 분사량을 조절하는 방법은 4사이클 4실린더 엔진에서 크랭크 각도 180° 회전마다 연료를 1 회씩 분사하고 메쉬 분사시마다 인젝터의 개폐 기간을 컴퓨터로 조정하여 분사량을 제어한다. 컴퓨터의 CPU에서 분사량이 결정되면 확장 카드의 8254CTC소자로 분사 시간 명령을 내리게 되며 이 명령에 의하여 CTC는 실제 시간에 해당하는 on-off신호를 만들어 내게 된다. 이 on-off신호는 미안하므로 이를 별도의 구동회로에서 증폭한 후 인젝터를 구동한다. CTC가 기준 시각으로 사용하는 주파수는 130938 KHz이며 CTC는 16bit에 가까운 처리하므로 1회 분사시 프로그램 할 수 있는 펄스폭은 7.6μsec 단위로 0 sec부터 500 msec까지 제어 가능하다. 컴퓨터의 분사 신호는 Power FET를 통하여 배터리 12V 전원을 on-off하여 직접 분사 노즐을 구동한다. 연료분사가 끝나면 다음 연료분사의 시작 시기를 계산하게 되며 연료분사가 끝나면 다음 연료분사의 시작 시기를 계산하고 이 계산은 실제 동작이 일어날 때까지 몇 번이고 가능하다. 따라서 동기 또는 비동기분사 모드를 모두 지원한다.

제어프로그램에서 계산된 Fuel 신호 값을 D F/F에 보내면 8254에 130938Hz의 정수배가 되는 시간 값을 보낸다. 그 시간이 지나면 8254의 출력신호가 7.6μsec동안 Low가 되는 신호에 의해 D F/F를 Trigger 하여 FUELOUT이 FUEL과 같게 된다.

따라서 현재의 FUEL신호는 FUELOUT에 영향을 미치지 않고 제어 프로그램에서 계산된 시간후에 영향을 미치도록 설계하였다.

SPARK도 FUEL과 동일하게 설계되었다. (SPARK, SPARKOUT, FUEL,

FUELOUT은 H/W 신호 변수)

◦ 점화 콘트롤

점화시기 콘트롤은 파워트랜지스터를 이용하여 점화 코일 일차 전류를 단속함으로써 이루어지는데, 파워트랜지스터는 ECU의 출력으로 콘트롤된다.

- 시동

엔진이 시동할 때, 450rpm 이하에서는 Reference Pulse에 의해 점화 시기가 결정되며 이것은 안전한 점화가 이루어져 시동이 빨리 걸리기 위함이다.

- 정상상태

ECU는 여러 센서들로부터 정보를 입력받아 점화시기 진전, 후퇴 보정을 한다. 점화시기는 일단 크랭크 앵글 센서의 레퍼런스 신호로부터 크랭크 각도 1도당 시간을 계산하면, 점화 시기 각도에 해당하는 시간을 알 수 있으므로, 이 시기에 점화가 되도록 타이머를 이용하여 파워트랜지스터를 신호를 보낸다.

◦ IAC(Idle Air Control) 모터 Driver

공회전 공기 제어 목적은 엔진의 부하 변화로 인해 심하면 시동이 꺼질 수 있는 불안정한 엔진 상태인 저속의 공회전 속도에서 엔진 RPM을 제어 하기 위함이다.

엔진의 공회전 속도 조절을 위하여 트로틀 밸브외에 핀들이 부착된 Linear Stepping모터를 사용하여, 트로틀 밸브가 최대 닫혀있는 상태에서, 보터로 엔진에 흡입되는 공기양을 조절하여 공회전 속도를 맞춘다. 공회전 밸브는 위치 센서가 필요없이 최대 움직일 수 있는 거리를 200 step으로 나누어 컴퓨터로 위치 제어를 한다. 공회전 밸브는 원래 TBI의 본체에 장치되어 있으며 구동 회로를 제작하여 컴퓨터로 모터를 작동시킨다.

스텝 모터의 초기 상태는 핀들이 밸브를 완전히 막은 상태이다. 공회전 공기제어 장치를 구동하는데 중요한 변수는 트로틀 밸브의 위치 값이며 이를 기초로 컴퓨터는 모터를 구동하게 되고 엔진이 정지하면 초기상태로 돌려줌으로써 일을 마친다.

이 모터를 제어 하기 위해 SGS-Thomson사의 L297, L298 전용 Step Motor Driver를 사용하였다. 이 회로에 대한 입력은 IAC 모터 방향, 이동 거리가 필요하며, 방향은 8255출력에서, 거리는 9.5msec 주기의 신호를 입력으로하는 8254의 0 mode를 이용한다.

4.4 실험 결과 및 비교

PC-EMS를 대우 자동차의 르망차종에 설치하여 Automatic TBI(Throttle Body Injection)엔진과 연결하여 실험하였다. Oscilloscope 상으로 PC-EMS로부터 나오는 출력과 기존 EMS 제품에서 나오는 출력이 매우 유사함을 확인하였다.

실험 결과를 기존제품의 성능과 보다 더 정확하게 비교하기 위해 PC Engine Monitoring으로 엔진 상태 Data와 기존제품의 ECU 출력을 기록한 뒤, 기록한 엔진상태 Data를 PC-EMS의 입력으로 넣고, PC-EMS의 출력(Spark와 연료)을 기존 ECU와 비교하였다.

그림 4.2은 Idle(1500RPM), 그림 4.3는 주행중 가속 및 고속 주행의 경우의 결과를 기존 ECU 제품의 출력과 비교하고있다. 각각의 그림은 엔진 상태 Data(a), 시간에 대해 적분한 것(b), 시간에 대한 변화 폭 및 연료 펄스와 펄스간의 시간 거리의 변화(c), 시간에 대한 Spark Advance 및 Dwell의 변화(d)를 비교하고있다. 각 그림 c,d의 상단은 기존 제품의 결과이다.

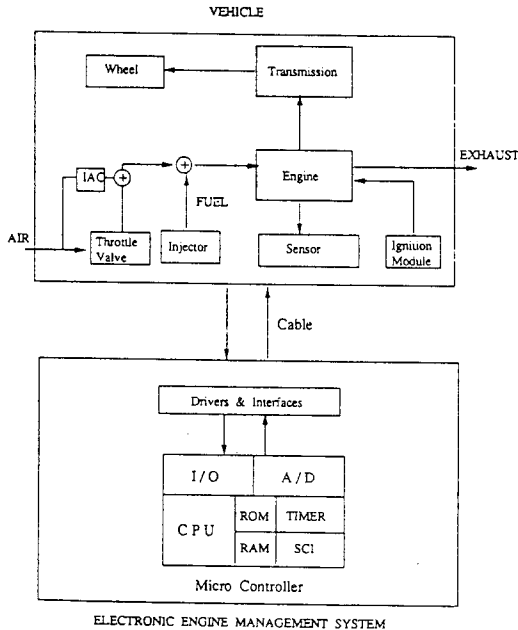


그림 2.1 Electronics Engine Management System (EMS)의 개략도

INPUT SIGNALS

OUTPUT CONTROLLED

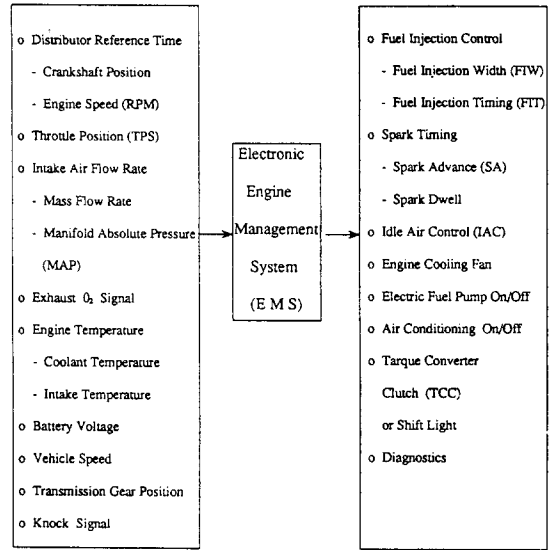


그림 2.2 Electronic Engine Management System (EMS)의

입출력 계통도

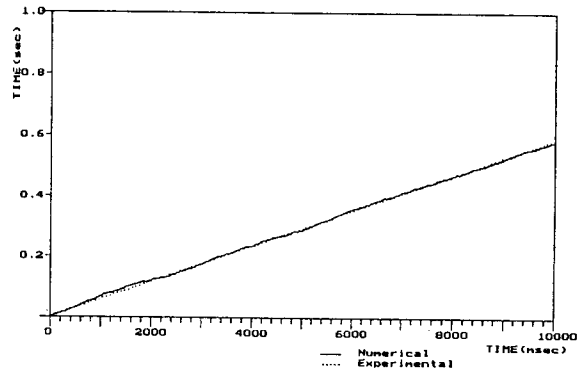


그림 3.1 연료 분사 폭(FIW)누적량(엔진 속도 > 1500 RPM)

Volumetric Efficiency

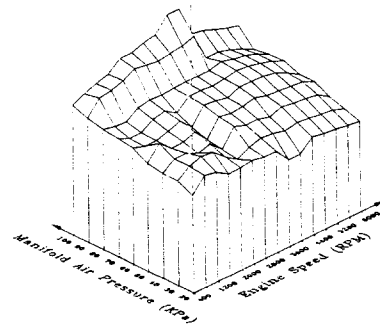


그림 3.2a 엔진 속도와 부하에 따른 흡기효율(Part Throttle)

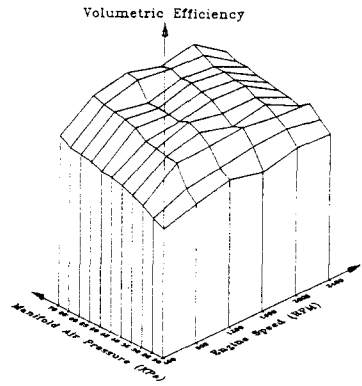
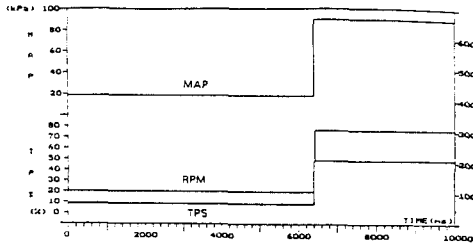
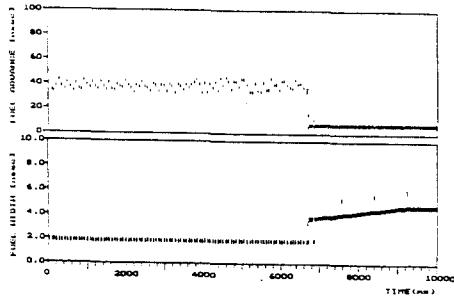


그림 3.2b 엔진 속도와 부하에 따른 용기효율(idle)

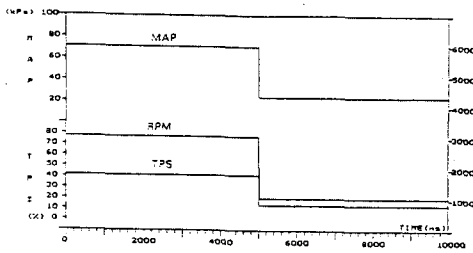


(a) 일회적 엔진 가속 상태

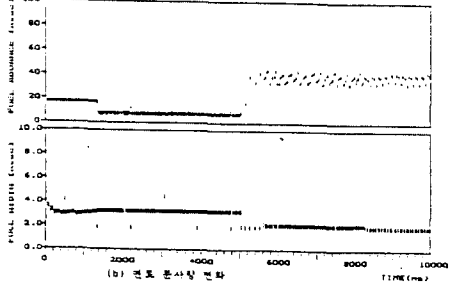


(b) 연료 분사량 변화

그림 3.3 일회적 가속 엔진 상태에 대한 연료 분사량 변화



(a) 일회적 엔진 가속 상태



(b) 연료 분사량 변화

그림 3.4 일회적 급속 엔진 상태에 대한 연료 분사량 변화

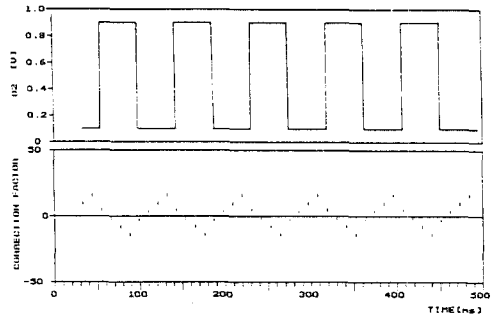


그림 3.5 O₂ 신호 변화에 따른 연료 분사량 변화량

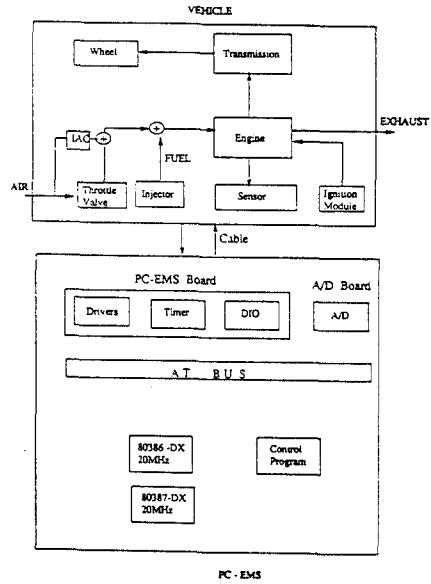


그림 4.1 PC-EMS와 차체의 개략도

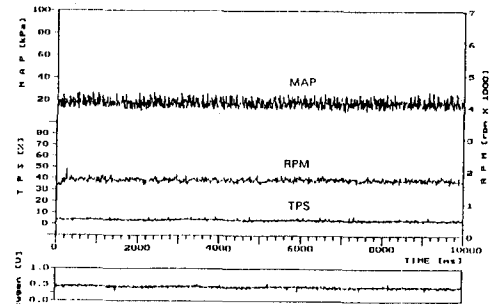


그림 4.2 a 엔진상태 Data (Idle-1500RPM)

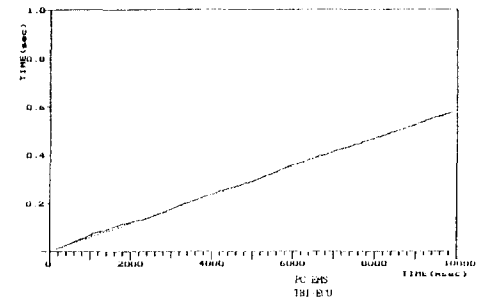


그림 4.2 b 연료분사 누적량 (Idle-1500RPM)

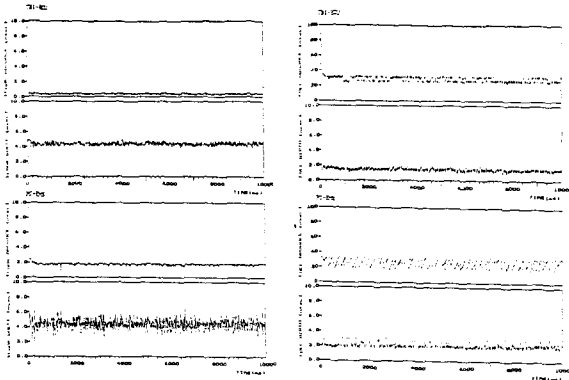


그림 4.2 c 연료분사 폭(FIW)의 변화 (Idle-1500RPM)

그림 4.2 d Spark Timing의 변화 (Idle-1500RPM)

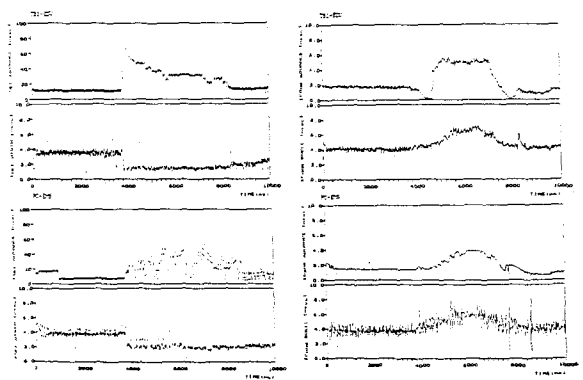


그림 4.3 c 연료분사 폭(FIW)의 변화 (주행-Fast가속)

그림 4.3 d Spark Timing의 변화 (주행-Fast가속)

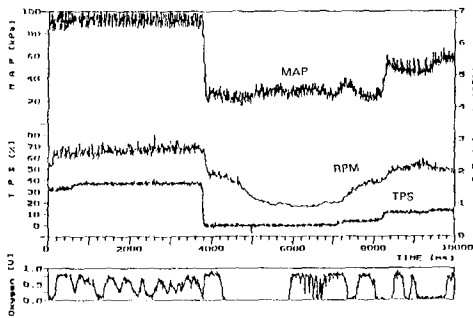


그림 4.3 a 엔진상태 Data (주행-Fast가속)

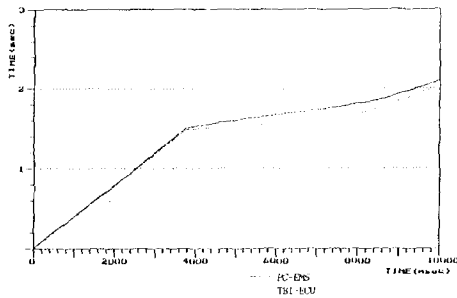


그림 4.3 b 연료분사 누적량 (주행-Fast가속)

5. 결론

1. Electronic Engine Management System(EMS)를 위한 제어이론 해석, 전자 제어용 S/W, H/W를 개발 하였다.
2. 먼저 비례적분, Adaptive 제어 등 몇가지 Feedback 제어 이론을 연료분사 제어에 적용 각각의 특성을 해석해 보았으며 향후에 EMS S/W 개선을 위해 적용할 계획이다.
3. 기본적인 연료분사 및 점화 제어이론을 구축 하여 EMS를 위한 S/W를 개발 하였다. 정속, 가속, 시동 등 다양한 운전조건과 엔진 상태에 적용할 수 있도록 개발하였다.
4. PC-EMS를 개발완료하였으며 향후에 계획되어있는 엔진 및 실차 실험을 일부 수행하였다. PC-Monitoring 장치를 통해 확보된 Data를 PC-EMS에 연결하므로 기존제품의 성능과 비교 할 수 있었으며 개발된 S/W의 성능이 기존제품의 $\pm 10\%$ 이내로 접근함을 확인할 수 있다.
5. 향후, 개발된 S/W를 개선시키고 최신 제어 이론을 적용시키므로 기존제품보다 진일보한 다양한 엔진에 적용할 수 있는 S/W를 개발하고자 한다.

참고 문헌

- [1] CHO, D. I., "Automotive Powertrain Modeling for Control", PH. D. MIT, 1987.
- [2] Moskwa, J. J., "Automotive Engine Modeling for Real Time Control," MIT, 1988.
- [3] 성낙원, 박신현외, "국산 자동차 엔진용 전자식 CONTROL 시스템 개발", 과학 기술처 특정연구 보고서, 1987.
- [4] Bosch, "Automotive Electric/Electronic System", SAE, 1988.
- [5] Byers, R., "Air-Fuel Ratio Sensor Utilizing Ion Transportation in Zirconia Electrolyte", SAE-910501, 1991.
- [6] Tanaoki, A., "Temperature Sensor for Vehicle", SAE 910493, 1991.
- [7] 대우자동차, "TBI 시스템 트림 정비지침서", 대우자동차, 1988
- [8] 대우자동차, "전자제어 연료분사 장치", 대우자동차, 1988
- [9] Shiga, H., 외 1인 "Car Electronics" ALCA, 1988.
- [10] Prolost, C. O., "Bosch Fuel Injection Management", Robert Bectley SAE, 1989.
- [11] Sekozawa, T. 외 2인 "An Adaptive Engine Control Algorithm for Acceleration Response", SAE 910256, 1991.
- [12] Hendricks, E., "SI Engine Control and Mean Value Engine Modeling", SAE, 910258, 1991.
- [13] Lillelund, J., "A PC Engine Control Development System", SAE 910259, 1991.
- [14] 구동현, "AT 하드웨어 특성과 활용", 크라운 출판사, 1991.
- [15] Thelliez, M., 외 1인, "Modeling of Unsteady Multiphase Flow in the Intake Manifold of Spark Ignition Engines", SAE 910392, 1991.
- [16] J. J., 외 1인, "Intake and ECM Submodel Improvements for Dynamic SI Engine Models", SAE 910074, 1991.
- [17] Fujieda, M., 외 2인, "Study on Variable Injection Pattern Control System in a Spark Ignition Engine", SAE 910080, 1991.
- [18] Reppich, A., 외 2인, "New Approaches to Electronic Throttle Control", SAE 910085, 1991.
- [19] Yamaguchi, H., 외 2인, "Controller for Experimental Vehicle Using Multi-Processor System", SAE 910086, 1991.
- [20] Hooby Electronics, "OP 알프회로 마스터", 가남사, 1988.
- [21] 한성규, "IBM PC 기술사전", 정문당, 1989.
- [22] Intel, "Microprocessor and Peripheral Handbook", Vol. 1, 2, 1987.