

가솔린 기관에서 최적의 시동 및 공회전 속도제어를 위한 전자 제어장치 개발에 관한 연구

김 태 훈*

A Study on the Development of an Electronic Control System for Optimal Start and Idle Speed Control in Gasoline Engines

T - H Kim*

Key words : Electronic control system(전자제어장치), Idle speed control(공회전속도제어), CAS(크랭크각 센서), Roughness(아이들 안정성)

Abstract

An electronic control system of the automobile engine for optimal start and idle speed control has been developed. This system employs the microcomputer-based electronic control unit and crank angle sensor for precise control on fuel injection, ignition timing, and idle speed more quickly and accurately at the start and idling. Consequently, the number of misfire can be reduced during the cold start. Through the experiment, it has been discovered that the optimal idle speed has been affected by air flow rate, idle quality(roughness), spark timing, fuel injection, water temperature, and load. Thus, this electronic control system strives to reach the optimal idle operating point, defined the lowest idle speed(fuel economy) and idle quality(roughness), under any engine operating conditions.

1. 서 론

최근에 자동차는 국내외적으로 배기가스에 대한 새로운 규제가 대폭 강화되고 고출력화, 저연비화 및 편리한 운전성등이 요구되는 추세이다. 따라서 선진 자동차공업국에서 이에 대응하기 위해 구

조변경을 통한 연소상태의 개선과 운전상태에 따라 최적의 상태로 정밀하게 제어할 수 있는 전자제어장치⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾를 개발하고 있다. 특히 전자제어장치의 개발은 절실한 처지에 있으나 국내 여건으로는 전자제어장치의 독자 개발의 기술적 기반이 성숙되어 있지 못하고 선진자동차 공업국들의 기술이전

* 정회원, 마산대학 자동차계열

기피와 국내기술개발의 미비로 기술적 어려움이 뒤따르고 있는 실정에 있다. 이는 향후 자동차 산업의 차원 높은 성장의 측면에서 장애요소가 되고 있으며, 또한 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 것은 어려운 실정이다.

한편 최근 도시에서 차량의 증가로 자동차가 신호 대기하는 시간이 길어지고 또한 도로교통사정이 좋지 않아 공회전이 되는 경우가 많이 발생하고 있다. 공회전속도가 지나치게 낮으면 회전이 불안정하여 운전자에게 불쾌한 진동, 소음⁶⁾을 주고 그리고 발전시에는 엔진 스톱(Stall)현상이 유발되며, 역으로 공회전속도가 지나치게 높으면 연비가 악화⁶⁾ 된다. 이러한 문제점을 방지하기 위해 적정의 공회전속도를 유지시켜야 한다. 따라서 엔진의 전자제어장치를 통해 공회전시 연소의 안정성을 유지하면서 저연비, 저공해를 달성하기 위해 공회전속도를 정밀제어 해야 한다.

본 연구는 시동 및 공회전속도에 중점을 두어 엔진제어에 있어 가장 중요한 연료분사, 점화시기, 공회전속도를 정밀하게 제어하기 위하여 제어알고리즘을 개발하고 이를 구현하기 위하여 ECU를 구성, 제작하였다. 또한 연료분사시기와 점화시기 제어를 시동시와 아이들 운전시로 나누어 각 운전패턴에 맞추어서 제어하도록 하였으며 이를 위하여 180°의 위치신호와 기통판별을 위해 90° 간격으로 된 슬릿의 길이가 각각 다른 구조를 가진 크랭크각 센서로 기준신호를 매 BTDC 110° 마다 일정하게 발생하도록 하드웨어적으로 구성하여 전자제어장치가 점화시기, 연료분사시기, 피스톤위치 등을 정밀하게 제어할 수 있도록 하였다.

따라서 본 연구는 엔진과 전자제어장치와의 매칭기술, 시동시 연료시간 및 공회전시 흡입공기량, 아이들 안정성, 냉각수온도, 연료분사시기, 점화시기, 부하 등 관련인자 상호간의 연관성을 파악하여 저연비, 저공해가 이룩되는 가솔린 기관용 전자제어장치 개발은 물론 이를 토대로 엔진전자제어 장치의 고유제어 로직개발 및 자체설계능력을 키울 수 있으며 실험 분야에 있어서도 제어 시스템의 변

경이 가능하여 자유스러운 실험 환경을 만들고자 한다.

2. 제어대상의 설계사양 및 전자제어장치 개발

2.1 시동시 분사시간(T_{ist})

시동시 및 저운시는 공기와 연료의 기화나 혼합이 불량하여 공연비를 농후하게 하므로 연소가 되기 쉬운 혼합기를 만들어야 한다. 따라서 점화 폭발되기 전 또는 시동시 분사시간의 특성식은 식(1)과 같으며 이때 통상시 분사시간(T_i)은 시동시 분사시간(T_{ist})으로 된다.

$$T_{ist} = T_{strtr} \times K_{qst} \times K_{tst} \quad (1)$$

식(1)에서 T_{strtr}는 수온 변화량에 상응하는 시동 펄스폭을 나타내는 값이고, K_{qst}는 시동후의 흡입공기량 보정계수이며, K_{tst}는 시동시의 시간 보정계수이다.

2.2 시동시 통전각

시동시 통전시간(DWLL)은 엔진회전수와 축전지 전압에 의해 구해지는데 그림1과 같이 엔진회전수가 200rpm 이하일 때는 드웰(DWELL)각을 40°로 고정하며 엔진회전수가 200rpm이상일 때는 식(2)에 의해 구해진다.

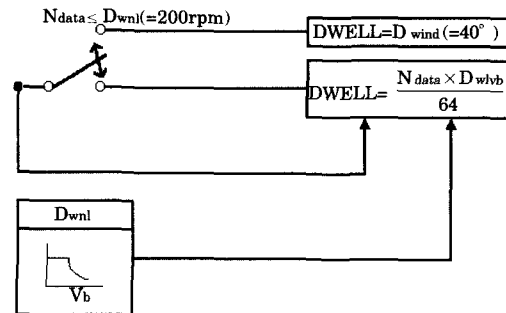


Fig.1 Diagram of dwell at the start

$$DWELL = \frac{N_{data} \times D_{wlvb}}{64} \quad (2)$$

여기서 N_{data}는 엔진 회전수이고, D_{wlvb}는 축전지

전압 변화에 상응하는 값이다.

2.3 시동시 진각

점화 스위치를 스타트 위치로 돌려서 엔진을 크랭킹하여 폭발시키고자 할 때, 스스로 폭발 할 수 있는 것이 필요하므로 이를 위하여 점화진각을 냉각수온에 따라 선택한다. 본 제어에서는 점화 폭발전의 점화진각(ADV)은 8°로 고정한다.

2.4 기통 판별

본 제어에서 연료분사의 제어는 크게 2가지로 분류하는데 시동이 걸리고 기통판별이 되기 전인 동시분사와 기통판별이 된 후인 순차분사방식으로 나눈다. 기통판별 방법은 REF신호(Reference signal), POS신호(Position signal) 및 IGN(IGNITION)신호를 사용하고 그림2와 같이 하드웨어에 의해 기통판별을 행한다. 그림과 같이 마이크로 컴퓨터가 레지스터로부터 기준신호와 위치신호를 받아 기통판별신호인 MK2가 발생되고 마이크로 컴퓨터는 MK2신호에 의해 내부에서 점화신호인 IGN을 발생시키고 있으며, 직접점화방식이므로 동시점화신호인 IGN1 과 IGN2로 분리되어 점화한다.

그림3은 엔진 회전수, 피스톤위치, 연료분사제어, 점화제어 등에 관계되는 옵티컬 방식의 크랭크각 센서이다.

제어의 정밀성을 높이기 위하여 그림과 같이 본 연구에서 180°의 위치신호(Position signal : POS 신호)와 90° 간격으로 된 슬릿의 길이가 각각 다른 구조(32-4-18-4 teeth)를 가진 크랭크각 센서로 기준신호(Reference signal : REF신호)를 각 실린더당 때 BTDC 110° 마다 일정하게 발생하도록 하드웨어적으로 구성하였다. 따라서 본 연구에서는 각 실린더별로 REF신호가 BTDC 110° 마다 발생하므로 기통판별이 최대 180° CA의 지연이 발생하므로 기통판별이 빨라 시동시 동시분사에서 신속히 순차분사로 진입이 가능하여 동시분사시 발생하는 분사량의 낭비를 막을수 있으며, 이로 인해 냉간 시동시 과대 분사에 의한 점화 플러그의 젖음현상이 적어 실화의 가능성과 기통간의 공연비 차이에 의한 폭발력의 차이가 줄어 안정된 시동이 가능

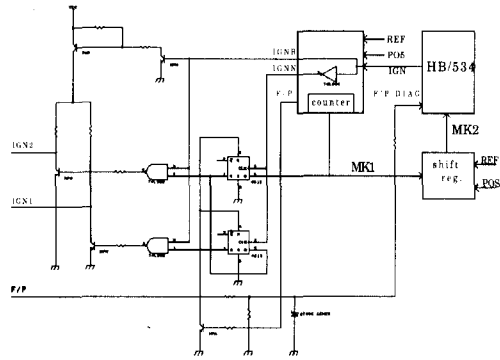


Fig.2 Block diagram of cylinder discrimination

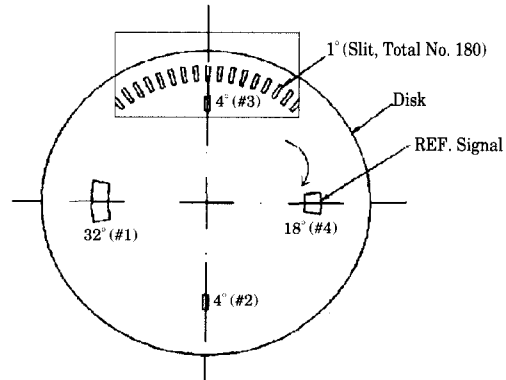


Fig.3 Schematic diagram of the disk for crank angle sensing

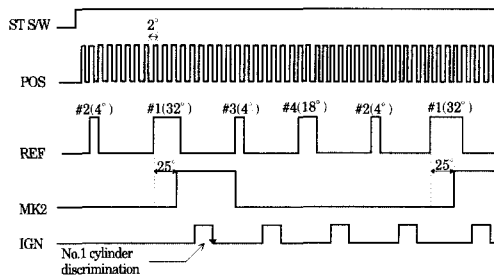


Fig. 4 Timing diagram for cylinder discrimination

하다.

그림4는 연료분사시기와 점화시기를 제어하여 주는 기통판별 선도를 나타낸 것이다. 기통판별 조건은 그림4에서 보는바와 같이 점화 신호인 IGN 신호의 하강 처리 과정에서 #1 REF(32°)신호가 발생하고 바로 이어서 25° 카운터 후 발생하는 기통판별 신호(MK2)의 상승 펄스폭을 판정하고

그 높이가 "High" 일 때 이를 1번 실린더로 판정한다. 최초의 기통판별 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.

2.5 연료분사를 위한 출력타이밍

그림 5는 분사시기 제어 기준 및 분사 모드를 나타낸 것이다.

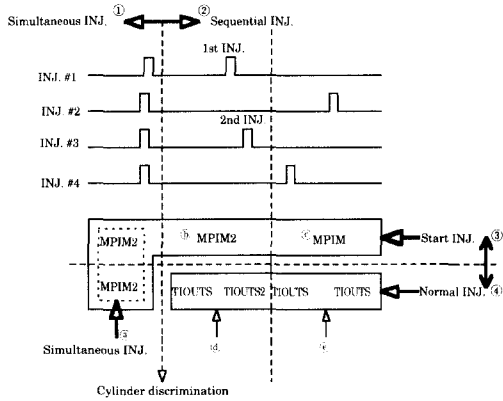


Fig.5 Block diagram of the injection mode

그림처럼 본 제어는 기통판별 하기 전에 4개의 인젝터에서 연료를 동시에 분사하는 동시분사(①)와 기통판별한 후 분사순서에 의해 한 기통씩 분사하는 순차방식(②)으로 나눌 수 있고, 또한 기관이 완폭 전인 시동시 분사(③)와 기관이 완폭한 후 통상시 분사(④)로 나누어 진다. 여기서 기통판별이 되기 전인 동시분사(①)와 기통판별이 된 후 시동시 분사(③, ④) 및 통상시 분사중 최초 2회(②)는 기존 전자제어 기관처럼 분사시기 제어 기준을 연료 분사시작제어로 제어기준을 설정하고, 그 이외의 통상시 연료분사(④)는 연료분사시기 기준을 기존의 시스템과 달리 분사시작제어가 아닌 분사 종료제어로 설정하였다. 또한 아이들 OFF시 분할 분사, 시동시 동시분사를 제외하고 엔진이 1/2회전마다 1회의 타이밍으로 순차적으로 연료를 분사하며 시동개시로부터 엔진이 폭발할때 까지는 분할분사를 한다.

2.6 연료분사 제어

통상시의 연료분사방법은 순차분사방식이고 그림 6은 분사제어 방식을 나타낸 선도이다. 여기서 8비트 카운터는 점화시기와 연료분사시기를 제어하고 16비트 카운터는 3.2μs의 시간단위로 카운터하므로 8비트 카운터로 부터 연료분사 시기를 지원받아 연료분사폭(시간)을 제어한다. 즉, 그림에서 처럼 기준(REF)신호 발생시 8비트 카운터(Counter)값과 레지스터(Register)값이 같을때 RegisterB 에 Offset값을 설정한다. Offset값을 설정한후 6.4μs(2 clock)후 연료를 분사하기 시작하여 16비트 카운터값과 Output compare register 값이 같을때 연료분사를 종료시킨다. 따라서 기존 분사방식은 2개의 레지스터를 사용하여 한개는 개시점을 처리하고 다른 한개는 종료점을 처리하는 반면에 그림처럼 본연구에서 제어방식은 1개의 레지스터로 연료분사 개시점과 종료점을 처리하므로 메모리의 갯수를 줄일 수 있다. 또한 16비트 카운터값과 Output compare register 값이 같을때 연료분사를 종료시키므로 분사시작 제어(①기준)로 연료분사폭을 결정하는 기존 제어방식과 달리 분사종료 제어(②기준)를 기준해서 연료 분사폭을 결정하므로 흡기밸브가 닫혀도 계속해서 연료가 분사되는 단점을 보완할 수 있어 엔진의 흡기포트나 흡기밸브에 연료가 흐르는 벽류(Wall flow)⁶⁾ 영향을 줄일 수 있으므로 최적의 연료분사량이나 공연비 제어를 할 수 있다.

그림 7은 기준신호가 2번 또는 4번으로 부터 입력된 경우 분사시기를 나타낸 그림이며 첫번째 입력 기준신호인 2번(4°), 4번(18°) 신호가 처음부터 입력되지 않고 중간에서 입력될 경우를 대비해서 첫번째 기준신호는 무시한다. 그림 7에서처럼 기통판별신호인 MK2 가 25° 카운트를 하고 나서도 그 다음 기준신호의 상승신호가 들어오지 않을 경우는 바로 기통판별을 하고 연료는 순차분사 된다.

한편 그림6과 7에서 기통판별이 된 후 통상시 분사시간(Ti)은 식(3)과 같다.

$$T_i = 2 \times \{T_p \times Coef \times (\alpha + \beta) \times (1 + K_i) \times K_{dec} + T_{add}\} + T_s \quad (3)$$

여기서 T_i 는 통상시 분사시간[ms], T_p 는 기본 분사시간 [ms], $Coef$ 는 Open loop 보정계수, α 는 Feedback 제어 보정계수, β 는 Feedback clamp시 보정계수 K_i 은 학습 보정계수, T_s 는 무효 분사시간, K_{dec} 는 감속 보정계수, T_{add} 는 가속증량 분사시간이다.

2.7 공회전속도 제어

엔진이 공회전할 때 스로틀 밸브는 전폐 상태이며 밸브보디와 틱 또는 스로틀밸브를 바이패스하는 통로를 지나 공기가 공급된다. 이때 흡입공기량은 스로틀링이 가장 큰 상태이고 연료 분사량은 최소이다. 엔진 공회전수는 가능한 한 가장 낮은 값으로 하는 편이 연비나 소음 면에서 유리하나 저속 회전이어서 출력이 작은 데다가 엔진 자체의 마찰

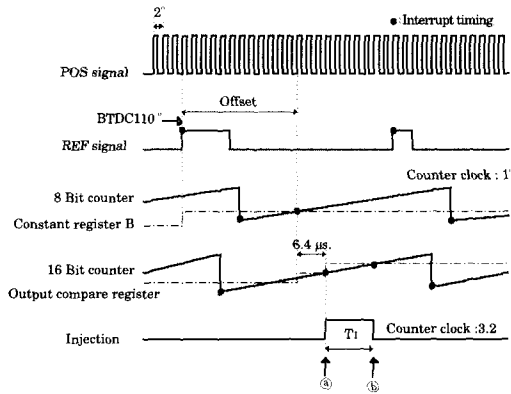


Fig.6 Timing diagram of fuel injection control

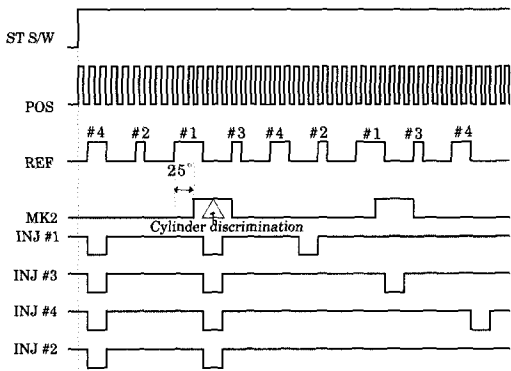


Fig. 7 Timing diagram of injection control based on REF #2 and #4 signals

저항과 에어컨, 자동변속기 등에 대한 부하 변동의 영향을 받아 엔진의 회전수 변동을 일으키기 쉽다. 이와같은 문제를 방지하기 위해서 바람직한 공회전수를 유지하는 기능을 가지도록 공회전 속도를 제어하여야 한다.

2.7.1 공회전속도 듀티 산출

출력장치는 비례 슐레노이드식 공회전속도 제어장치이며, 공회속도제어(ISC : Idle Speed Coontrol)에 필요한 펄스 입력신호는 크랭크각 센서에서 발생하는 REF신호이다. 출력 제어 신호는 6.4ms주기를 갖는 PWM(Pulse Width Modulation) 신호의 ON/OFF 과형에서 PWM신호의 ON 시간의 비율(Duty율)을 기준으로 하고 이때 ON Duty(ISC_{on})를 산출한다. 그림8은 공회전속도 제어변수의 출력선도이다. 이 루틴은 ISC밸브를 구동시키는 PWM신호의 ON Duty를 산출하는 루틴이며 운전상태의 모드에 상관없이 항상 수행 되는 루틴이고 ISC ON듀티의 산출과정은 다음과 같다.

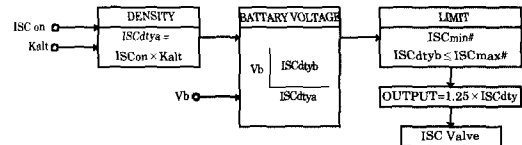


Fig.8 Block diagram of ISC output

그림 8에서 나타남바와 같이 높은지형등의 고지에서 밀도보정은 식(4)와 같다.

$$ISC_{dtya} = ISC_{con} \times K_{alt} \tag{4}$$

여기서 ISC_{dtya} 는 고지 보정을 위한 ISC ON Duty 출력을 나타내며, ISC_{con} 는 공회전속도 기본 제어 량이고, K_{alt} 는 밀도 보정계수이다.

또한 그림에서 ISC_{dtya} 는 제어신호의 배터리 전압보정을 위한 ISC ON duty 출력을 나타내며, 이는 ISC 배터리 전압보정 MAP 데이터(ISC_{dtya}, V_b) 값을 참조한다. 또한 공회전속도 제어의 ON, OFF 듀타의 상하한 제한은 $ISC_{min\#}(10\%) \sim ISC_{max\#}(85\%)$ 로 실시하고 PWM출력신호는 ISC ON duty(ISC_{dty})의 1.25배로 출력한다.

한편 공회전속도의 기본제어량 ISC_{con} 은 운전상

태에 맞게 시동모드와 폭발모드 및 엔진 정지 모드에 따라 다음과 같이 제어한다.

2.7.2 시동 모드

시동 스위치 ON 또는 엔진 회전수가 200rpm 이하 일때는 식(5), (6)에 따르지 않고 공회전속도 기본제어량 ISC_{on} 은 시동시 제어량으로 한다.

2.7.3 폭발모드

폭발모드시의 공전속도 기본제어량 ISC_{on} 은 개회로(Open loop)와 폐회로(Closed loop) 판정조건에 맞게 식 (5), (6)으로 산출된다. 따라서 개회로 제어시의 공전속도 기본제어량은 식(5)로, 폐회로 제어시의 ISC_{on} 공전속도 기본제어량은 식(6)으로 산출된다.

$$ISC_{on} = ISC_{as} + ISC_{ac} + ISC_{at} + ISC_{ps} + ISC_{el} + ISC_{dsp} + LN_{isc} [\%] \quad (5)$$

$$ISC_{on} = ISC_{as} + ISC_{ac} + ISC_{at} + ISC_{ps} + ISC_{el} + ISC_{bev} + ISC_i + ISC_p + ISC_d [\%] \quad (6)$$

여기서 ISC_{ac} 는 에어컨 보정량 [%], ISC_{at} 는 A/T Drive 영역 보정량 [%], ISC_{ps} 는 Power Steering 보정량 [%], ISC_{el} 는 전기부하 보정량 [%], ISC_{as} 는 시동후 보정량 [%], ISC_{bev} 는 부압 보정량 [%], ISC_{dsp} 는 Dash Pot 보정량 [%], LN_{isc} 는 학습 보정량 [%], ISC_i 는 Closed loop 적분분 보정량 [%], ISC_p 는 Closed loop 비례분 보정량 [%], ISC_d 는 Cloded loop 비례분 보정량 [%]이다. 또한 ISC_{ac} 에서 ISC_{el} 까지는 공통항, ISC_{as} 에서 LN_{isc} 까지는 Open loop 제어량, ISC_i 에서 ISC_d 까지는 Closed loop 제어량이다.

2.7.4 엔진 정지모드

엔진 정지모드는 ISC_{on} 을 0으로 고정해서 제어를 정지한다.

2.8 아이들시의 점화진각

트로틀밸브의 아이들 점점이 ON상태인 아이들시는 다음과 같은 점화진각을 설정하고 있다. 아이들 스위치가 ON상태에서 차속이 5km/h 이하 일때와 아이들 스위치가 ON상태에서 D/N스위치가 ON상태일 때 점화진각은 다음의 특성식(7)에 의

하여 산출되어 진다.

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

여기서, ADV_{ido} 는 공회전시 진각, SPK_{twi} 는 공회전시 진각수온 보정, ADV_{sug} 는 공회전시 안정화 보정, SPK_{fcr} 은 연료 차단 회복시 보정, ADV_{adj} 는 최종출력 점화시기 조정, DEC_{adv} 는 감속시 진각보정, RT_{dat} 는 토크저감 실행량이다.

2.9 전자제어장치

전자제어장치(Electronic Control Unit : ECU)는 센서로부터 입력되는 신호를 변환하는 입력 인터페이스부, 정해진 순서에 따라 입력 데이터의 산술연산 또는 논리연산을 행하는 컴퓨터부(마이크로컴퓨터) 및 그 결과를 작동 신호로 변환하는 출력 인터페이스부로 구성된다. 사진1은 본 연구에서 제작한 ECU이며 그림9는 ECU에 적용된 마이크로컴퓨터 블럭선도이다. ECU는 각종 센서에 신호에 따라 기관 상태에 상응하는 연료분사량을 결정, 이 분사량에 알맞는 인젝터의 분사시간을 제어한다. 먼저 기관으로 흡입되는 흡입공기량과 기관의 회전속도로 부터 기본분사량을 계산하고 이것에 각 센서로부터의 신호에 의한 보정을 가하여 총분사 시간(연료분사량)을 결정한다. ECU에 적용된 마이크로컴퓨터는 H8⁷⁾ 고속 16비트 원 칩을 사용하여 연료분사 제어뿐만 아니라, 점화시기 제어, 공회전속도제어 등을 구사하여 기관제어를 할 수 있게 제작하였다.

주된 특징은 내부 16비트 데이터 처리 능력을 강화하고 내장 메모리에 16비트로 접근(access)하여 명령 실행속도의 향상을 도모함으로써 실제 엔진의 제어에 있어서 요구되는 운전 조건의 변화에 대한 제어의 정확도를 향상시킬 수 있으며 응답성 또한 빠른 특징을 가지고 있다. 통신 기능으로는 데이터 전송장치인 DTC(Data Transfer Controller)를 갖추고 있다. 따라서 현재 엔진의 제어 요구 사항에 대하여는 16비트 마이크로컴퓨터 기능과 최대 6기통 분사가 가능하다. 또한 16비트 타이머 기능으로 Output Compare Interrupt는 Output Port의 출력을 설정(또는 반전)시킬 수 있게 구성



Photo.1 ECU board

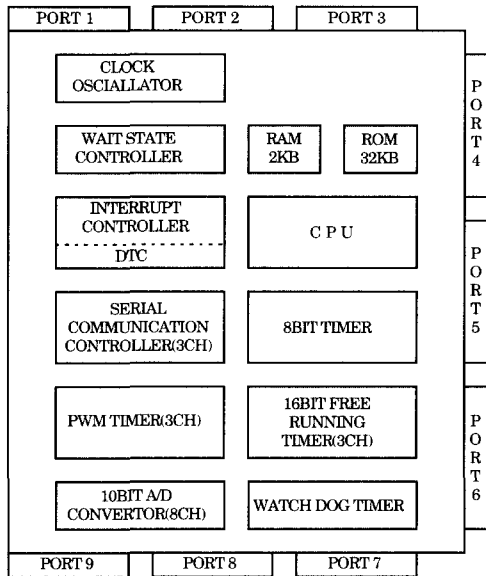


Fig.9 Block diagram of H8 microcomputer

되어 있어서 시간 단위로 제어되는 펄스를 만들 수 있다. 이는 연료 분사에 필요한 펄스를 만드는데 매우 적합하며, Input Capture Interrupt로써 카운터 값을 읽어 낼 수 있어서 특성 신호의 주기(또는 Duty)를 측정할 수 있다. 그리고 이 기능은 기통신호의 주기를 측정함으로써 엔진 회전수의 계측에 이용할 수 있고 타이머는 내, 외부 클락(clock)을 사용할 수 있게 되어있다. 외부 클락으로 크랭크각을 입력하여 각도 단위의 제어에 적합한 신호를 만들 수 있으며, Compare Match Interrupt에 의한 펄스 출력 기능을 이용하여 점화

시기제어와 연료분사시기 제어에 응용할 수 있다. 외부 클락을 사용할 때는 상승신호와 하강신호에 의해 모두 카운트할 수 있게 만들어져 입력 클락보다 두배의 분해능을 얻을 수 있다. 8비트 PWM 타이머는 PWM(Pulse Width Modulation) 펄스를 발생시킬 수 있는 타이머로서 듀티(duty) 제어, 솔레노이드 밸브 등의 제어에 이용되며 이의 분해능은 0.4%의 정밀도를 가지고 있다. 또한 펄스 주기는 내부 클락을 분주하여 사용하고 9.8Hz~20Hz의 펄스까지 출력할 수 있는 3개의 채널이 있으며 공회전속도 최적 제어를 위한 비례제어가 가능하다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치 구성

본 연구에서 사용한 가솔린 엔진의 구성은 그림 10과 같고 새로 제작한 전자제어장치(ECU)와 크랭크각센서(CAS)를 그림과 같이 장착하였다. 각종 센서로부터 전기적 신호를 받은 후 운전 상태에 적합한 연료분사량, 분사시기, 점화시기, 시동 및 공회전시의 엔진 회전수 등을 제어하며 엔진이 가열되면 O₂센서로부터 배기가스 중의 산소농도를 측정 판단하여 연료분사량을 자동적으로 조절하는 기능을 갖는다.

또한 장착한 CAS는 기준(REF)신호의 하강 간격을 하드웨어적으로 다르게 설정하여 각 기통별로 신속하고 정확하게 판별함으로써 운전패턴에 대하여 정밀하게 제어할 수 있는 특징이 있다. 즉 크랭크각 센서 내부의 디스크는 사진2 처럼 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 설정하였다.

3.2 데이터 취득장치

데이터 취득장치는 그림11과 같이 구성되어 있으며 실험시 엔진의 전자 제어장치와 통신하여 엔

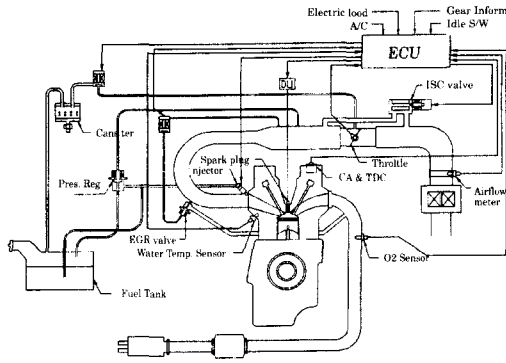


Fig.10 Pictorial diagram of engine management system

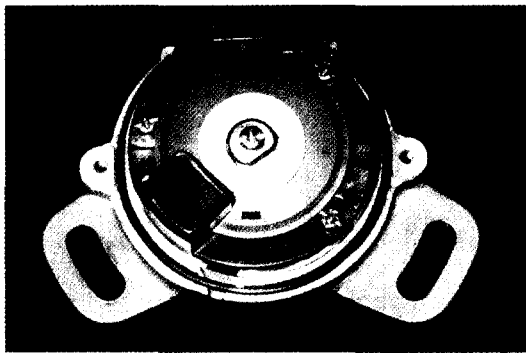


Photo.2 Crank Angle Sensor

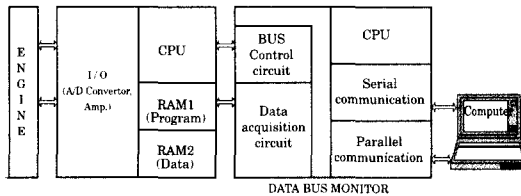


Fig.11 Block diagram of engine control and data acquisition system

진의 운전 조건의 변경 및 현재의 운전 상황을 퍼스널 컴퓨터를 통해 모니터링할 수 있게 하였다.

데이터 취득장치의 CPU는 16비트 범용 마이크로프로세서 MC68000을 사용하였고, 통신기능으로써 직렬통신 및 전용 하드웨어에 의한 병렬통신을 채용하여 데이터 수집 속도를 향상시켰다. 데이터 저장 능력은 최대 8메가 바이트까지 확장 가능하며 운전성 평가시 차량에 탑재하여 stand alone 형태로 사용할 수 있도록 하였다. 또한 최대 8채널

의 아날로그 데이터를 처리 가능할 수 있으며 시험 목적에 따라 최대 1ms 간격으로 수집이 가능한 시간 주기 변경 방식과 엔진의 기준신호와 동기하여 엔진상태 중심으로 측정할 수 있도록 하여 시험의 정확성과 효율성을 향상시켰다. 그리고 DMA(Direct Memory Access)기능을 이용하여 엔진을 운전하는 중에도 운전조건 변경이 가능하도록 하여 자유스러운 실험 환경을 만들 수 있어 실험의 연속성 및 조건의 신뢰성을 가질 수 있게 하였다

3.3 실험방법

본 실험에서는 ECU 하드웨어의 새로운 구성과 이를 구동할 수 있는 소프트웨어를 개발하여 각종 센서 특성을 고려한 엔진 시뮬레이터로 엔진 모사 실험을 수행하였다. 본 연구에서 제작한 ECU를 장착한 엔진 시뮬레이터를 통해 엔진회전수, 부하, 냉각수온, 스로틀밸브 위치 등을 실제 엔진의 운전 조건과 같이 설정하는 것이 가능하므로 시동 및 공회전시 위치(POS)신호, 기준(REF)신호, 실린더 판별신호(MK2), 흡입공기량, 듀티율, 점화시기, 연료 분사량 및 연료 분사시기 등을 퍼스널 컴퓨터를 통해 모니터링 할 수 있게 하였다. 엔진모사 실험 후 기존 엔진의 ECU, CAS를 제거하고 제작한 ECU와 CAS를 장착하여 벤치(bench)테스트 하였다. 본 연구는 공회전시는 크랭크축의 변동폭을 정의하고 공회전 안정성을 나타내는 Roughness를 구해 안정된 공회전 속도를 설정한 뒤 이 공회전 상태의 흡입공기량, 연료분사량, 듀티율, 점화시기 등의 상관관계를 구하였다. 또한 본 제어장치의 타당성을 검증하기 위해 공회전 상태에서 난기시 상용 ECU와 개발된 ECU간의 목표회전수 및 흡입 공기량을 비교하였다. 개발된 ECU와 CAS에서 발생하는 위치(POS)신호, 기준(REF)신호, 기통판별신호(REF), 연료분사시기, 점화시기, Duty율은 디지털 오실로스코프를 통하여 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

그림12와 13은 개발한 전자제어장치가 정확히 POS, REF, 실린더 판별신호(MK2),점화신호

(IGN)를 감지하고, 각종신호들이 올바르게 검출되는지의 타당성을 검증하기 위해 개발된 ECU를 장착한 시뮬레이터를 통해 모사 실험한 것이다.

그림12는 위에서부터 차례로 시간에 대한 POS 신호와 REF 신호, 실린더 판별신호(MK2), 점화신호(IGN)이며 그림12의 REF신호는 왼쪽에서부터 차례로 2번, 1번, 3번, 4번이다.

그림13은 그림12의 POS신호와 REF신호중 4번 실린더 REF신호의 한 예를 나타낸 것이며 그림처럼 Teeth가 9개이고 Tooth 1개가 2°를 나타내므로 실린더 판별신호는 Rising edge에서 Falling edge까지 정확히 18°도이며, 이는 4번 실린더 REF신호가 정확히 검출됨을 알 수 있다.

그림14는 냉각수온 변화에 따른 시동시 분사량(시간)을 나타낸 것이다. 시동시는 흡입공기량이 적어 에어플로미터에서 흡기량의 정확한 검출이 불가능하므로 연료분사시간에서 기본분사시간을 결정할 수 없다. 또한 시동시 분사시간은 주로 냉

각수온에 의해 결정되고 저온시 일수록 엔진오일의 점도가 커져서 엔진의 섭동계의 전달력이 커지고 이것은 마찰력으로 나타나기 때문에 마찰력을 이겨 엔진출력을 증가시키기 위해 연료분사량을 증가시키고, 엔진이 냉각되어 벽에 부착되는 연료가 기화하기 어렵기 때문에 공연비를 농후하게 하여 연소되기 쉬운 혼합기를 만들어야 하므로 저온 쪽에서 연료분사량이 증가됨을 알 수 있다.

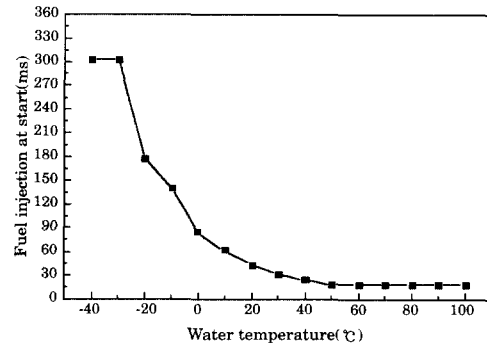


Fig.14 Fuel injection with respect to water temperature at the start

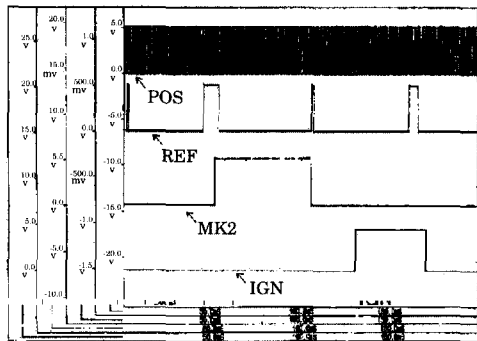


Fig.12 Signals of POS, REF, MK2, and IGN

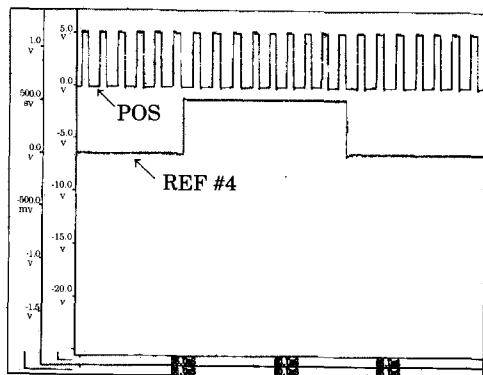


Fig.13 Signals of POS and REF #4

또한 그림과 같이 냉각수온이 50°C를 경계로 그 이하이면 시동 기본 분사 펄스를 이용하는데, 이 시동 분사 펄스는 대단히 길기 때문에 기통판별이 늦는 경우, 그대로 크랭킹을 계속하면 연료분사량이 과대하여 점화플러그 젖음현상 때문에 실화의 가능성이 크다. 따라서 기존의 크랭크각 센서는 각 실린더 마다 크랭크각고의 판별이 불가능하나 본 연구에서는 180°의 위치(POS) 신호와 90° 간격으로 된 슬릿의 길이가 각각 다른 (32-4-18-4 teeth) 구조를 가진 크랭크각 센서를 사용함으로써 기준 신호를 각기통별로 매 BTDC 110°마다 일정하게 펄스를 발생하도록 하드웨어적으로 구현함으로써 기통판별이 빨라 시동시 동시분사에서 신속히 순차분사로 진입이 가능하도록 하였다. 이렇게 함으로써 동시분사시 발생하는 분사량의 낭비를 막을 수 있으며, 이로 인해 냉간 시동시 과대 분사에 의한 점화 플러그의 젖음현상이 적어 실화의 가능성과 기통간의 공연비 차이에 의한 폭발력의 차이가 줄어들어 안정된 시동이 가능하다.

그림 15는 냉각수변화와 엔진 회전수 변동에 따른 Roughness(공회전 안정성)를 나타낸 것이다.

Roughness⁽⁸⁾⁻⁽⁹⁾는 크랭크축의 속도변동폭을 정의하며 불규칙한 연소등에 의한 각실린더별의 출력 변화의 지표로서 최적의 공회전 상태를 규정하는 한 방법이다. 본 연구에서는 적정의 Roughness를 만족시키는 기관의 회전속도를 최적 공회전속도로 규정한다. 그림과 같이 냉각수온이 저하됨에 따라 Roughness가 커짐을 알 수 있다. 이는 냉각수온이 저하됨에 따라 연소가 안정되지 않아 이에 의한 불규칙한 기관의 출력에 의한 결과로 판단되며 난기가 완료되는 85℃에서는 대체적으로 Roughness가 적어짐을 알 수 있는데 이는 연소성능이 개선되기 때문인 것으로 볼 수 있다. 또한 Roughness는 1050rpm에서 850rpm로 저하될수록 높아지나 850rpm이하에서는 기관의 회전속도가 저하될수록 오히려 떨어진다. 그러나 650rpm

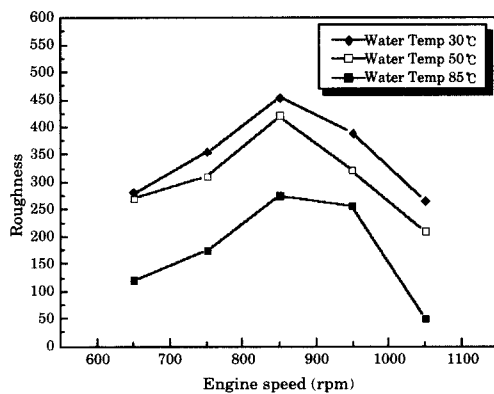


Fig.15 Roughness with respect to engine speed and water temperature

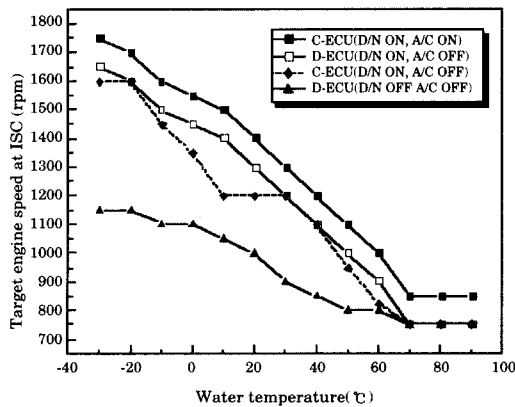


Fig.16 Target engine speed of ISC with respect to water temperature and load

이하의 영역을 적정한 공회전속도로 선택하면 연비면이나 Roughness측면에서 낮은 값이므로 만족하나 심각한 배기가스와 출력부족으로⁽⁸⁾⁻⁽⁹⁾ 적절하지 않으므로 본 연구에서는 연비와 아이들 안정성을 만족하는 750rpm을 최적의 공회전속도로 설정하였다.

그림16은 통상시 냉각수온과 부하변동(자동변속기 D/N 레인지, 에어컨)에 따른 아이들 상태에서 최적의 상태로 유지하기 위한 목표회전수를 나타낸 것이며, 그중 D/N ON, A/C OFF 일 때 본 연구에서 개발된 ECU(Developed ECU : D-ECU)와 상용 ECU(Conventional ECU : C-ECU)와 비교하였다.

그림17에서 그림18은 D/N ON, A/C OFF 경우 통상시 냉각수온과 부하에 따른 목표회전수에 대한 공회전시 D-ECU와 C-ECU의 흡입공기량을 비교한 것이다.

그림과 같이 엔진이 냉간시는 조기위밍업을 하기 위해 흡입공기량이 많아 엔진회전수를 규정 회전수보다 높혀 조기위밍업을 함을 알 수 있고, 엔진이 위밍업후에는 엔진에 가해지는 부하에 의해 출력부족으로 인한 부조현상을 방지하기 위해 엔진에 가해진 부하로 인해 떨어진 회전수만큼 회전수를 높혀 엔진의 흡입공기량과 목표 공회전속도가 결정됨을 알 수 있다. 따라서 본 연구의 실험결과 위밍업후(85±5℃) 안정된 공회전속도 제어를 위한 목표회전수는 750rpm이며 이때 필요 흡입공기량은 182 l/min 이다

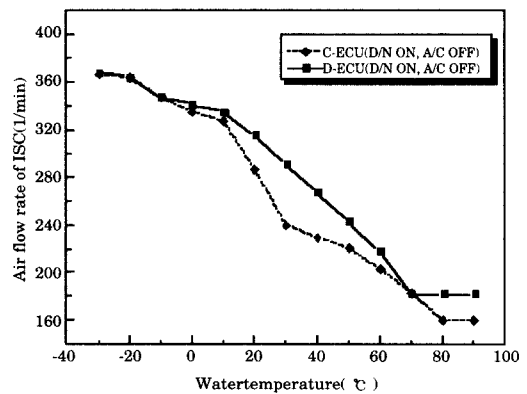


Fig.17 Air flow rate of ISC with respect to water temperature and load

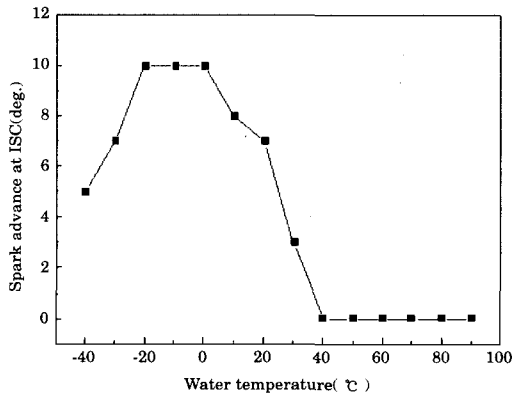


Fig.18 Spark advance of ISC with respect to water temperature

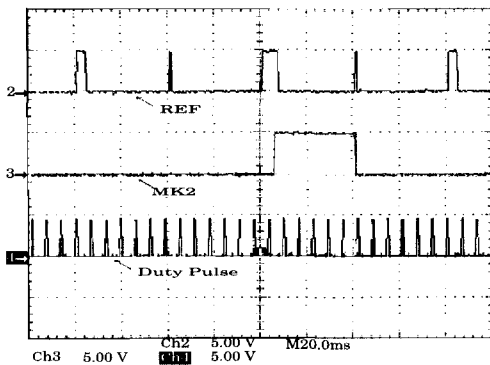


Fig.19 Signal of REF, MK2, and Duty pulse at 750rpm

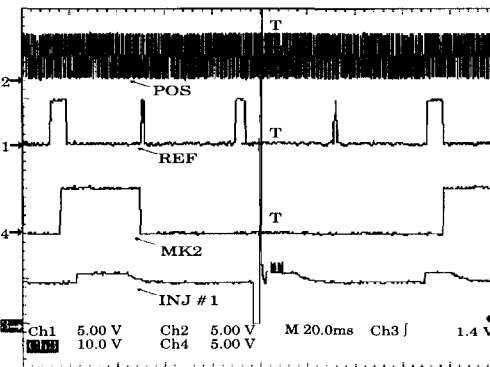


Fig.20 Signals of POS, REF, MK2, and INJ #1 at 750rpm.

그림 18은 공전속도(750rpm)시 냉각수온에 따른 점화진각 각도를 나타낸 것이다. 그림 처럼 냉각수온이 40℃이하이면 수온저하와 함께 진각도를 크게하여 난기를 촉진시키며 40℃이상일때는

엔진의 과열을 방지하기 위해 점화시기를 지각시킴을 알 수 있다.

그림 19에서 22는 기존 엔진의 ECU, CAS를 제거하고 본 연구에서 제작한 ECU와 CAS를 장착하여 벤치(bench)테스트 한 결과이다.

그림19는 워밍업이 되고난 후(냉각수온은 85℃) 안정된 공회전시(750rpm)일 때 시간에 따른 REF 신호(Ch2), 기통판별신호인 MK2(Ch3), Duty 펄스폭(Ch4)을 나타낸 것이다. 펄스 입력신호는 크랭크각 센서에서 발생하는 REF(기준)신호이므로 그림처럼 REF신호(Ch2)가 #4(18°) → #2(4°) → #1(32°) → #3(4°) → #4(18°) → ---- 순서로 발생됨을 알 수 있다.

또한 공전속도 제어방식은 스톱/스타트 바이패스 하는 공기량을 엔진상태에 따라 듀티(Duty) 제어하는 방식을 채택하였으므로, 출력 제어신호인 PWM(Pulse Width Modulation)신호(Ch4)가 6.4ms 주기로 ON/OFF 과형을 발생하여 그림(Ch4)처럼 펄스전압의 1사이클에 있어서 밸브 열림시간 듀티비(ON Duty: ISCon)에 의해 공기량을 제어함을 알 수 있다.

그림20은 냉각수온 85℃, 공회전시(750rpm)의 시간에 대한 각도(POS)신호(Ch2), 기준(REF) 신호(Ch1), 기통판별신호(Ch4), 연료분사신호(Ch3)를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와같이 1번 기준신호인 REF신호(Ch1)가 상승할 때로부터 250카운터 한 후 기통판별신호인 MK2 신호(Ch4)가 상승하여 기통판별을 하며 기통판별후 바로 순차분사방식으로 바뀌어 1번 실린더가 연료(Ch3)를 분사함을 알 수 있고, 이때 연료분사시간은 2.67ms이었다.

그림21은 냉각수온 85℃, 750rpm에서의 시간에 대한 REF(Ch2), 기통판별신호(Ch4), 점화신호(IGN)(Ch3)를 나타낸 것이다.

그림과 같이 점화신호가 하강할 때 Ch4인 기통판별신호의 레벨이 "High" 이므로 그 실린더는 1번 실린더를 판정하는 것을 알 수 있고 그 다음 기통판별신호의 레벨이 "High" 일 때까지 차례로 3번, 4번, 2번 실린더 순으로 4개의 실린더의 점화순서가 정해짐을 알 수 있다

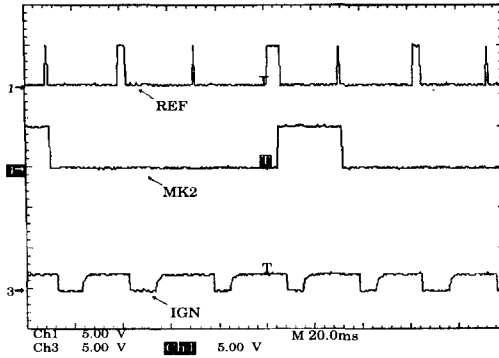


Fig.21 Signals of REF, MK2 and IGN for 750rpm

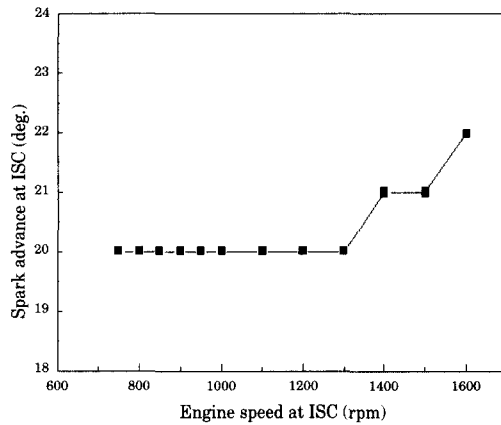


Fig.22 Spark advance of ISC with respect to engine speed

그림22는 공전속도때 조기위밍업시 엔진회전수에 따른 점화진각을 나타낸 것이다. 그림에서처럼 엔진의 회전속도가 높아짐에 따라 점화시기가 앞세워 점화함을 알 수 있다. 이는 엔진의 회전속도가 빨라짐에 따라 연소속도도 빨라져 연소압력을 출력으로 유효하게 전환시키키 위해 진각됨을 알 수 있다

5. 결 론

본 연구에서는 시동 및 공회전속도에 중점을 두어 엔진제어에 있어 가장 중요한 연료분사, 점화시기, 공회전속도 조절 등에 대하여 보다 정확도를 높힐 목적으로 제어알고리즘을 개발하였고 이에 맞도록 하드웨어적인 제어장치인 ECU를 구성, 제

작하여 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 각 실린더별로 REF 신호가 매 BTDC 110° 마다 발생하여 기통관별이 최대 180° CA의 지연이 발생하므로 기통관별이 빨라 시동시 동시분사에서 신속히 순차분사로 진입이 가능하여서 동시분사시 발생하는 분사량의 낭비를 막을 수 있으며, 이로 인해 냉간 시동시 과대 분사에 의한 점화 플러그의 젖음현상이 적어 실화의 가능성이 줄어든다. 또한 기통간의 공연비 차이에 의한 폭발력의 차이가 줄어 안정된 시동이 가능하다. 한편 기존의 ECU를 사용하여 실험할 때는 전자제어장치의 변경이 불가능하므로 실험시 제약요소가 많지만, 본 연구에서 개발한 ECU는 흡입공기량은 물론 점화시기, 연료분사시기, 엔진회전속도 및 냉각수온도 등 변경할 수 있어 관련인자 상호간의 연관성을 파악하여 공회전시 엔진의 지연비, 저공해가 이룩되는 최적의 공회전속도를 결정할 수 있다. 본 연구 결과 공회전시 냉각수온이 85℃±5℃로 유지될 때 아이들안정성과 연비를 만족시키는 최적의 공회전속도는 750rpm이었고, 이때 필요공기량은 182 l/min이며 연료분사시간은 2.67ms이었다. 또한 엔진의 관련인자 상호간의 연관성 파악에 의하여 성능을 극대화 시킬 수 있는 전자제어장치의 제작과 고유 제어로직의 기초자료를 얻을 수 있어 자체 설계능력을 키울 수 있다.

참고문헌

- (1) Grimm, R. A., Bremer, R. J., and Stonestreet, S. P., "GM Micro-computer Engine Control System", SAE Paper No. 800053, 1980.
- (2) Salamon, P. F., "Real-Time Electronic Engine Control(EEC) Microprocessor Software Productivity", SAE Paper No 840444, 1984.
- (3) Jan Lillielund and Elbert Hendricks, "A PC Engine Control Development System", SAE Paper No. 910259, 1991.
- (4) Max Fuchs, et al., "Advanced Design and Validation Techniques for Electronic Control Units", SAE Paper No. 980199, 1998.
- (5) Mihelc, W. P., and Citron, S. J., "An Adaptive Idle Mode Control System", SAE Paper No.

- 840443, 1984.
- (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) Mihelc, W. P., and Citron, S. J., "An ON-Line Engine Roughness Measurement Technique", SAE Paper No. 840136, 1984.
 - (9) Mihelc, W. P., and Citron, S. J., "An Adaptive Idle Mode Control System", SAE Paper No. 840443, 1984.
 - (10) Yamaguchi, H., et al., "Analysis on Idle Speed Stability in Port Fuel Injection Engine", SAE Paper No. 861389, 1986.

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.