

크랭크 각 기준의 엔진 제어시스템 설계 · 제작에 관한 연구

A study on Design and Development of an Engine Control System Based on Crank Angle

윤 팔 주*, 김 명 준**, 선 우 명 호***
Paljoo Yoon, Myoungjune Kim, Myoungho Sunwoo

ABSTRACT

A crank angle-based engine control system has been developed for use as an engine research tool to provide precise control of the fuel injection(timing and duration) and ignition(timing and dwell) in real-time. The engine event information is provided by the engine shaft encoder, and the engine control system uses this information to generate spark and injector control signals for relevant cylinders. Eight different engine types and four different rotary encoder resolutions can be accommodated by this system. Also this system allows a user to individually control the ignition and fuel injection for each cylinder in a simple manner such as through a keyboard or in a real-time operation from a closed-loop control program.

주요기술용어 : Engine Control System(엔진 제어시스템), Time-based Control(시간 기준 제어), Crank Angle-based Control(크랭크 각 기준 제어), Individual Cylinder Control(실린더별 독립제어), Timer/Counter(타이머/카운터)

1. 서 론

자동차에서 발생하는 유해 배출물로 인한 환경오염 문제가 심각한 사회적 관심사로 대두되면서, 세계 각국은 자국의 환경보호를 위해 유해 배출가스에 대한 규제를 한층 강화하는 동시에

유해 배출가스 저감기술의 개발에 더욱 노력을 경주하고 있다. 이와 같이 엄격해져가는 배출가스 규제를 만족시키기 위해서는 저공해 엔진 자체의 개발뿐만 아니라 이를 정밀하게 제어할 수 있는 제어기술의 개발이 병행되어야 한다. 그러나 기존의 엔진 제어방식에서는 각 실린더간의 연소조건과 연소상황과 같은 특성의 차이를 고려하지 않고 모든 실린더의 점화시기와 연료분사를 동일하게 제어하기 때문에 정밀하게 엔진을 제어할 수 없으며, 또한 시간기준(Time-based)으로

* 한양대학교 대학원 기계공학과
** 만도기계 중앙연구소
*** 정희원, 한양대학교 자동차공학과

엔진을 제어하므로, 제어의 정확도가 떨어지고 특히 급가·감속과 같은 과도상태에서 엔진상태를 신속하게 파악할 수 없는 제어성능상의 한계가 있다.

일반적으로 가솔린 엔진에서 발생하는 출력토크는 연소상황이 매 사이클 또는 각 실린더마다 다르기 때문에 평균 출력 토크에 실린더간 및 사이클간의 변동량이 중첩된 형태로 나타나며¹⁾, 이러한 편차에 의해 발생된 출력토크의 불균형은 운전성 향상을 위해서 반드시 극복되어야 할 문제이다. Fig.1은 각 실린더별 점화시기에 따른 IMEP를 표시한 그림으로, 각 실린더별로 MBT가 일치하지 않음을 보이고 있다. 이 결과에서 알 수 있듯이 동일한 점화시기로 각 실린더를 제어하는 경우 MBT의 불일치에 따른 출력토크의 불균형으로 인해 진동 및 운전성이 악화되는 것은 당연하다 할 수 있다.

유해 배기가스의 정화에 사용되는 삼원촉매장치의 경우도 이론공연비 부근에서 최대의 전환 효율을 보인다고 알려져 있다. 그러나 평균 공연비가 이론공연비를 유지하더라도 각 실린더간의 흡기특성 차이 및 인젝터의 가공오차등이 존재하기 때문에 실린더별 공연비는 이론공연비에 대해 회박 또는 농후영역에서 운전될 수 있다.²⁾

따라서 내연기관의 연소 및 성능 실험과 새로운 엔진개발을 보다 효과적으로 수행하기 위해서는 각 실린더별로 점화 및 연료분사를 효과적으로 제어하여, 엔진실험을 자유롭게 실행할 수 있는 실험 환경을 제공해 주는 엔진 제어 시스템

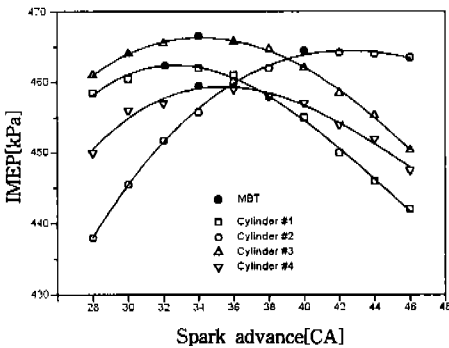


Fig.1 Illustration of different MBTs for an L4 engine

템(Engine Control System, ECS)의 개발이 반드시 선행되어야 한다.

이 연구에서 개발된 엔진 제어시스템은 엔진의 크랭크 각도에 따라 각각의 실린더별로 연료와 점화 제어를 독립적으로 수행할 수 있는 환경을 제공한다. 이러한 독립제어는 연료 분사량과 점화시기를 실린더별 연소상황에 따라 개별적으로 결정함으로써 엔진연소를 한층 안정시킬 수 있으며, 이에 따라 각 실린더간의 연료 및 흡입 공기량의 불균형과 토크 불평형에 의한 연소 불안정과 운전성의 악화 및 유해 배출물 증가와 같은 문제점들을 해결할 수 있을 것이다.

2. 엔진 제어시스템의 개요

이 엔진 제어시스템의 주요 제어 특성은 아래와 같다.

- 1) 엔진과 제어 시스템의 동기에 의한 크랭크 각 기준의 제어를 위하여 1pulse/cycle(1ppc), 1pulse/revolution(1ppr) 및 360ppr의 출력을 발생하는 rotary shaft encoder를 사용한다.
- 2) rotary shaft encoder는 엔진 특성 및 제어목적에 따라 360, 720, 1,800 또는 3,600ppr의 것을 선택하여 사용할 수 있다.
- 3) 다양한 종류의 엔진(4행정 단기통, L4, L6, V6-60°, V6-90° 및 V8, 2행정 L3) 제어에 적용이 가능하다.
- 4) 분사시기(Injection Timing)는 크랭크 각도(Crank Angle) 단위로 BTDC 360에서 ATDC 360°까지 어떤 위치에서도 그 값이 설정될 수 있으며, 각 실린더가 독립적으로 제어된다.
- 5) 분사기간(Injection Duration)은 각 실린더에 1μsec 단위로 0.001msec에서 64.999msec까지의 값을 독립적으로 지정할 수 있다.
- 6) 점화시기(Spark Timing)는 BTDCF 90°에서 ATDCF 20° 사이의 값으로 설정될 수 있으며, 역시 각 실린더가 독립적으로 제어된다.
- 7) 점화코일의 충전시간(Dwell Time)은 최

대 6,000msec까지 1 μ sec 단위로 설정할 수 있다.

- 8) 다양한 용도로 사용될 수 있는 5-9 채널의 보조 제어신호를 제공한다.
- 9) 8개의 아날로그 입력 채널을 구비하여 펄프 제어에의 응용이 용이하다.

3. 엔진 제어시스템의 하드웨어 구성

Table 1에서 보여주는 바와 같이 엔진 제어시스템은 크게 5가지의 subsystem으로 구성된다. 그 첫번째는 signal conditioning subsystem으로, 이 회로는 엔진 실험중 발생하는 전기적 노이즈 제거를 위하여 입력신호의 filtering과 정격신호 처리를 주로 하고, 두번째 subsystem은 reference signal generation unit으로 여러 다른 종류의 엔진제어를 위한 환경설정을 용이하게 하여 주는 회로로 구성되어 있다. 세번째 subsystem은 엔진제어 신호를 발생시키기 위한 것이며, 네번째는 엔진제어에서 가장 문제가 되는 전기적 노이즈를 차단하기 위한 시스템으로 opto-isolation 회로를 이용하여 입력측 단의 전도성 노이즈는 물론 각종 엔진 노이즈의 차단을 목적으로 설계되었다. 마지막 부분은 아날로그 신호 입력부로, 신호처리를 위한 증폭회로와 능동 필터를 통하여 신호가 입력되며, 시간 기준 또는 크랭크 각 기준의 샘플링이 가능하다.

이 제어시스템은 2-layer PCB로 설계·제작

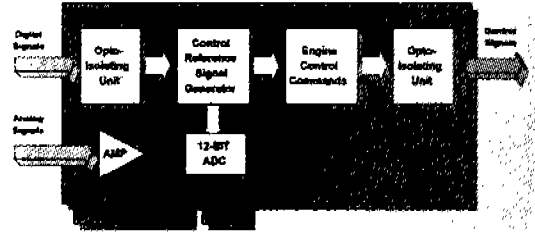


Fig.2 ECS hardware

되었으며, 8개의 AMD Am9513 타이머와 4개의 EPLD(Erasable Programmable Logic Device)를 사용함으로써 보드의 크기를 획기적으로 줄였다. 한 개의 Am9513 타이머는 5개의 16-bit 카운터를 포함하고 있으며, EPLD는 600개의 게이트를 포함³⁾하고 있는 programmable logic device로서 복잡한 디지털 로직회로를 단일 칩에 프로그래밍할 수 있게 하여준다. 이 엔진 제어시스템은 PC/AT bus를 이용함으로써 쉽게 PC에 접속하여 사용할 수 있다. Fig.2는 엔진 제어시스템 하드웨어의 블록도이다.

3.1 Am9513 타이머/카운터

AMD Am9513⁴⁾은 엔진 제어시스템의 하드웨어에서 가장 중요한 역할을 하는 타이머/카운터로서 위에서 언급했듯이 5개의 16-bit 카운터로 구성되어 있으며, 기존의 PC 기반 제어 시스템에서 많이 사용되던 Intel 8253에 비해 초기

Table 1 Description of each subsystem of ECS

Name of Subsystem	Functions
Signal conditioning unit	Noise filtering of the Input signals
Reference signal generation unit	Reconfiguration Circuit for various engine types
Control signal generation unit	Main part of the Engine Control System
Opto-isolation unit	Enhancing Noise Immunity
Analog input unit	Acquisition of Analog Signals

Table 2 Characteristics of Intel 8253 and Am9513 Timer/Counters^{4),5)}

Items	Intel 8253	AMD Am9513
Number of Counters	3 independent 16-bit counters	5 independent 16-bit counters
Counter Mode	6 (Mode 0~Mode 5)	24 (Mode A ~ Mode X)
Initialization Sequence	Initialize→Load→Latch→Read	Fig. 3
Features	• Count binary or BCD	• Count binary or BCD • Tapped Frequency Scaler • Internal concatenation (80 bit Counter Length)

화에 좀더 많은 단계가 필요하지만, Table 2와 같이 상대적으로 많은 장점을 가지고 있기 때문에 엔진 제어시스템의 구현에 적합하다.

Am9513을 사용하기 위해서는 제어(Control) 및 데이터 포트(Data Port)라는 연속된 두 개의 I/O 포트가 필요하며, 제어 포트를 통해서 상태 레지스터(Status register), 명령 레지스터(Command register) 및 데이터 지시 레지스터(Data pointer register)를 접근할 수 있고, 데이터 포트는 마스터 모드(Master mode), 카운터 모드(Counter mode), 로드 레지스터(Load register) 및 홀드 레지스터(Hold register)에 접근할 때 사용된다.

각 카운터를 이용하기 위해서는 Fig.3 과 같이 먼저 제어포트를 통해 데이터 지시 레지스터를 설정하고 데이터 포트를 통해서 쓰거나 읽기를 하면 된다.

3.2 엔진과의 동기방법

ECS가 엔진과 동기되어 정상적으로 운전되기 위해서는 3개의 입력신호가 주어져야 한다. 1ppc는 엔진의 캠축에 장착된 캠 위치 센서에서 매

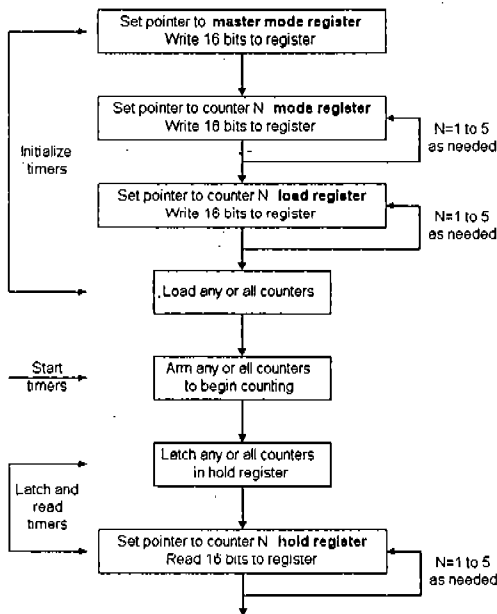


Fig.3 Sequence of operations for Am9513⁵⁾

사이클마다 1회 발생하는 신호이고, 1ppr 신호는 엔진의 매회전마다 1회 발생하며, 360ppr 신호는 각 크랭크각 마다 발생하는 신호이다. 1ppc 신호는 1번 실린더의 압축상사점에서 발생하는 1ppr 신호보다 최소한 1° 이전에 발생해야 하며, 적절한 phasing을 위해서는 1ppr의 0[V]→5[V]로의 천이가 Fig.4에서와 같이 상사점에서의 360ppr 신호의 천이보다 최소한 0.5° 앞서 발생해야 한다. 따라서 encoder 신호의 Z상이 1ppr, A상이 360ppr에 각각 대응되도록 encoder를 크랭크축에 설치해야 한다.

4. 엔진 제어시스템의 소프트웨어 구성

4.1 엔진 제어시스템 소프트웨어 개요

엔진 제어시스템 소프트웨어의 주요 기능은 사용자에게 엔진제어에 필요한 여러 기능을 최대한 지원함으로써 시스템의 유연성 향상에 주안점을 두었다. 즉 이 엔진 제어시스템은 여러 종류의 엔진에 쉽게 응용될 수 있을 뿐만 아니라 엔진이 운전 중인 실시간에 엔진제어 변수들을 실린더 별로 새로이 지정할 수 있으며, 이러한 새로운 제어 값들은 매 180°CA마다 갱신된다. 이를 위하여 5개의 interrupt service routine이 엔진과 동기되어 실행된다.

사용의 편의성을 높이기 위하여 소프트웨어의 모든 기능을 pop-up/pull-down menu를 통해 선택할 수 있도록 하였으며 숙련된 사용자를 위하여 단축키(Short-cut key) 또한 제공된다. 엔

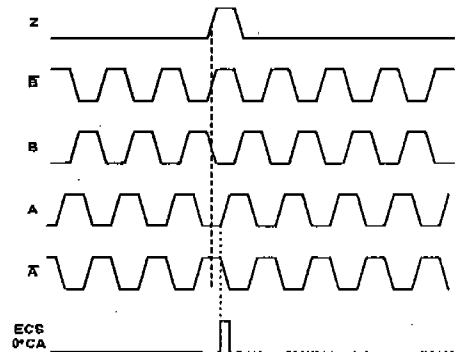


Fig.4 Illustration of encoder phasing

진 제어시스템의 setup 상태를 파일에 저장하거나 파일로부터 불러들일 수 있게 하여 같은 조건에서의 반복 실험시 번거로운 초기화 작업을 피할 수 있게 하였다.

이 소프트웨어는 MS-DOS기반의 프로그램으로, 언어는 C++를 이용하였으며, 크게 foreground routine과 background routine으로 나누어 볼 수 있다.

1) foreground routine은 화면을 통해 사용자로부터 제어 명령을 받아들이고 이에 따라 엔진 제어시스템의 엔진 제어변수(연료 분사시기 및 기간, 점화시기 및 충전시간 등)들을 갱신하며, RPM과 같은 엔진 관련 정보를 표시한다.

2) background routine은 Fig.15에서 보여 주는 바와 같이 이러한 제어변수들을 Am9513 카운터 등으로 보내 주는 5개의 interrupt service routine으로 구성되어 있으며, PC의 IRQ4, IRQ5, IRQ10, IRQ11 그리고 IRQ12를 이용한다.

위와 같은 두 개의 routine 이외에 Am9513을 제어하기 위한 부분과, 화면 입출력을 담당하는 함수들의 집합 등 2개의 보조 모듈이 있다. Fig.5에 ECS 소프트웨어의 구성도를 나타내었다.

Fig.6은 foreground routine의 순서도를 간략하게 나타내고 있으며, background routine에 대해서는 다음에 상세하게 다루게 된다.

또한, 엔진 제어시스템 소프트웨어는 두 가지

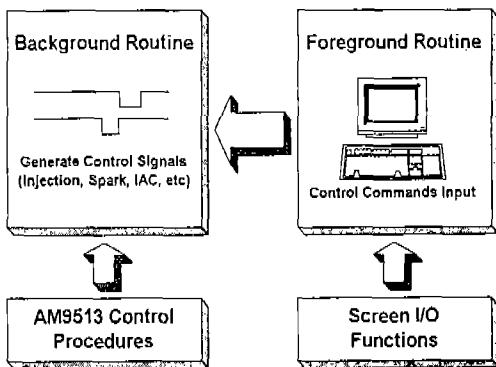


Fig.5 ECS S/W configurations

모드(제어 모드와 그래픽 모드)의 user-interface를 가진다.

1) 첫번째는 제어모드로 엔진제어 변수들을 설정 및 변경하는 모드이다.

2) 두번째는 엔진으로부터 입력되는 신호들을 실시간으로 보여주는 그래픽 모드이다.

기본적으로 제어모드에서 엔진제어에 관련된 모든 일을 하게 되며 입력되는 신호들을 확인해 보고자 할 때에는 화면을 그래픽 모드로 전환하면 된다.

Fig.7은 엔진 제어시스템의 화면구성을 나타

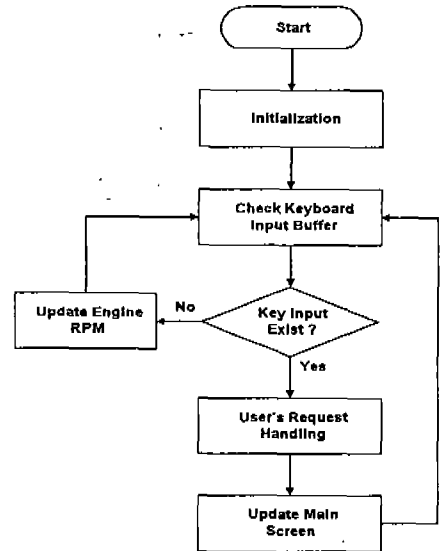


Fig.6 Flow chart of the foreground routine

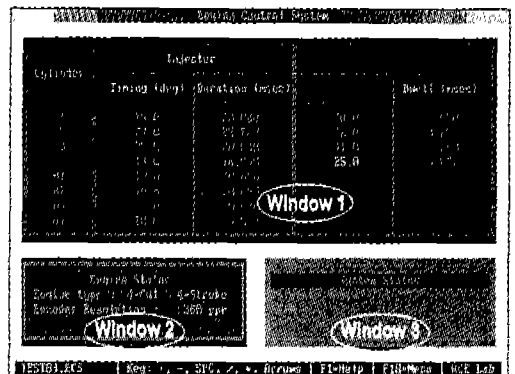


Fig.7 Screen structure of the ECS

내며, 크게 세 개의 window로 나누어 볼 수 있다. window1은 현재 설정된 각각의 엔진제어 관련 변수들을 표시하거나 변경할 수 있게 해주는 main window이고, window2는 엔진의 종류와 crank shaft encoder의 형식을 나타내는 engine status window, 그리고 window 3은 엔진 제어시스템의 작동상태를 나타내는 system status window이다.

엔진 제어시스템의 작동 상태는 RUN, HOLD 그리고 STOP 세 가지로 구분된다. RUN과 STOP은 엔진의 기동 여부를 나타내는 것이며 HOLD는 엔진 제어시스템에서의 설정 값이 엔진에 영향을 미치는 않는 상태를 나타낸다. 즉 엔진 제어변수를 변경하는 동안 엔진에 영향을 주지 않고 모든 변수 값이 설정된 후, 이 값이 동시에 엔진에 영향을 미치게 하고자 할 때 사용하는 경우이다.

4.2 엔진 제어시스템의 소프트웨어 운용

4.2.1 기능 선택

이 시스템의 소프트웨어는 모든 기능을 메인 메뉴에서 선택할 수 있도록 구성되어 있으며, 메인 메뉴는 F10 키를 눌러 실행시키게 된다. 다음의 Fig.8에 메인 메뉴를 나타내었다. 각 메인 메뉴에서 원하는 항목을 선택하면 이에 해당하는 서브메뉴가 나타나며, 여기서 사용자가 희망하는 운전모드나 제어변수들을 용이하게 변경할

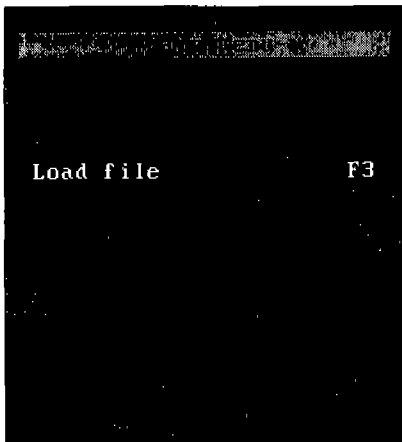


Fig.8 Main menu

수 있다.

이러한 방법으로 메인 메뉴에서 기능을 선택하는 방법 이외에도 각 항목 오른쪽에 표시되어 있는 단축키를 사용하면, 메인 메뉴를 거치지 않고 곧바로 원하는 기능을 실행시킬 수 있다. 이 단축키는 메인 메뉴가 활성화 되어있는 상태에서도 사용 가능하다.

4.2.2 엔진 및 encoder 설정

새로운 엔진이나 encoder를 이용하여 실험을 하고자 하는 경우에는 이 엔진 제어시스템에서 지원하는 엔진과 encoder 중에서 하나를 선택해야 하며 이러한 작업은 Fig.9, 10과 같은 화면을 통해 이루어진다.

4.2.3 제어변수 설정

엔진 제어변수들은 Fig.7의 화면에서 각각의 변수나 혹은 복수 개의 변수를 선택한 후 +, - 키를 이용하여 가감할 수 있으며, 다음의 Fig.11에서와 같이 새로운 값을 직접 입력할 수도 있다. 위 그림에서 선택된 번호의 실린더(1, 2, 4)의 해당 제어변수가 새로운 값으로 변경된다.

4.2.4 Crank Shaft Offset 보상기능

일반적으로 encoder를 크랭크축과 연결하는

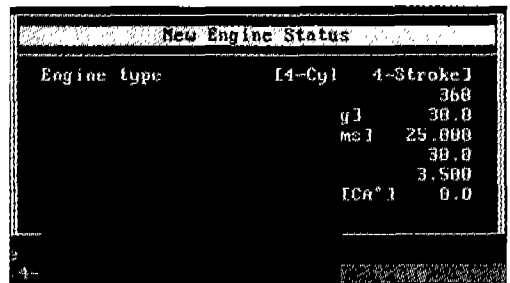


Fig.9 Selection of engine type

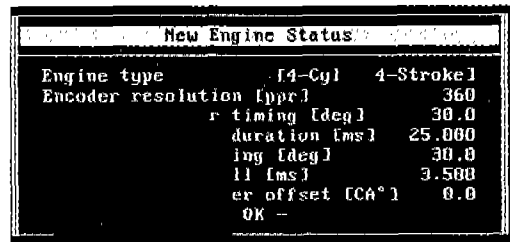


Fig.10 Selection of encoder type

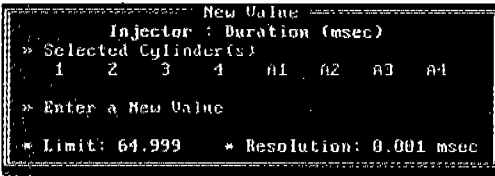


Fig.11 Modification of control parameters

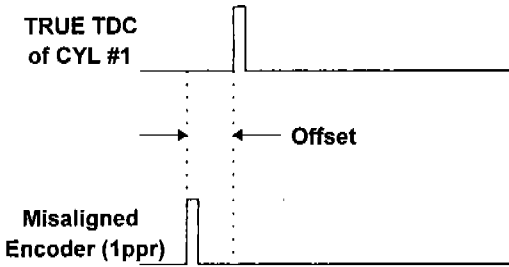


Fig.12 An example of encoder offset



Fig.13 Crank shaft offset compensation

과정에서 상호간의 위상을 정확히 일치시키지 못하여 Fig.12에서와 같이 실제 엔진의 상사점과 ECS가 인식하는 상사점이 다른 경우가 생길 수 있는데, 이 시스템에서는 이러한 오차를 보상할 수 있는 기능을 제공한다.

예를 들면 encoder의 1ppr 신호 발생위치가 엔진의 실제 상사점보다 2° 앞선 경우 Fig.13과 같이 보상각을 입력하면 실제 연료분사 또는 점화시기는 보상된 상사점 위치를 기준으로 발생하게 된다.

4.2.5 기타 주요 기능

이 엔진 제어시스템은 시스템을 사용하는데 필요한 정보들을 제공해 주는 help 기능과 엔진 운전 모드를 파일로 저장·호출이 가능토록 한 파일 입출력 기능을 갖추고 있다.

Table 3 List of Engine Types

No.	Engine Type
0	4-Cylinder 4-Stroke
1	60° V6 4-Stroke
2	90° V6 4-Stroke
3	V8 4-Stroke
4	1-Cylinder 4-Stroke
5	3-Cylinder 2-Stroke
6	V8 4-Stroke
7	L6 4-Stroke

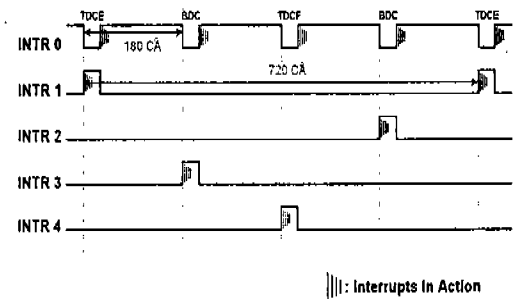


Fig.14 Timing diagram of interrupt signals

5. 엔진 제어신호의 발생 방법

이 엔진 제어시스템은 각 실린더의 점화와 연료분사를 독립적으로 정밀하게 제어할 수 있으며 Table 3에 나타낸 다양한 종류의 엔진에 적용이 가능하다. Table 3에 포함되지 않은 종류의 엔진에 대해서도 점화순서만 알면 EPLD의 프로그램 변경만으로 쉽게 적용할 수 있기 때문에 시스템의 확장성이나 유연성이 매우 우수하다 할 수 있다.

5.1 Interrupt 신호⁵⁾

이 제어시스템은 실시간으로 엔진을 제어하기 위하여 Fig.14에서와 같은 5개의 하드웨어 interrupt 신호를 사용하며, 이에 따라 빠른 속도

로 새로운 제어 신호 발생할 수 있다.

이 interrupt 신호들은 엔진과 동기되어 발생되는 것으로써 크랭크축에 장착된 encoder 신호를 이용하여 Table 1에서 설명한 reference signal generation unit에서 발생시킨다. 즉 INTRO 신호는 매 180°CA 마다 발생되며, INTR1~4 신호는 매 720°CA 마다 발생되므로 각 신호들은 180°CA의 offset을 갖게 된다. 이 INTR 신호들이 활성화될 때마다 ECS는 PC의 CPU에 interrupt service를 요구하게 된다.

각 interrupt 신호의 역할은 Fig.15와 같다. 먼저 크랭크 각 180°CA마다 발생하는 INTRO 신호에 의하여 interrupt service routine이 실행되고, 이 routine은 사용자의 입력을 받아들여 새로운 데이터를 매 180°CA마다 버퍼로 전달한다. INTR 1~4 신호에 의해 실행되는 service routine들은 한 사이클마다 각 실린더의 연료분사 및 점화제어에 필요한 데이터를 버퍼로부터 Am9513 카운터로 분담하여 전달하게 되는데, 각 interrupt가 맡아 처리하게 될 엔진제어 데이터는 엔진 종류 및 점화순서에 따라 미리 프로그램되어 있으며, 이와 같이 전달된 데이터로부터 각 카운터들이 연료분사 및 점화제어 신호를 발생시키게 된다

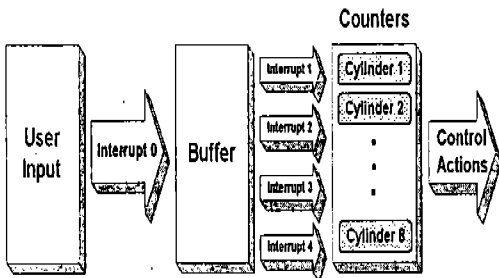


Fig.15 Functions of interrupt service routine

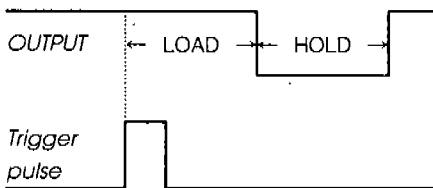


Fig.16 Counter output for injection duration

5.2 연료분사 제어

연료분사를 제어하기 위해서는 분사시기와 분사시간을 담당하는 두 개의 카운터가 사용되며, 각각의 카운터에 적절한 작동모드의 선택이 요구된다. Am9513은 다른 카운터에 비해 보다 많은 19개의 작동모드를 제공하며, 연료 분사시기를 제어하기 위해서는 non-retriggerable one-shot mode를 사용하며 이때 카운터 입력 펄스는 360ppr 신호가 된다. 즉 원하는 분사시각만큼 기준위치로부터 360ppr 신호의 펄스수를 센 후 Fig.16의 trigger pulse를 발생시킨다. 분사시간에는 hardware-triggered delayed pulse one-shot mode가 사용되며, 이 때의 카운터 출력은 Fig.16과 같다. 즉 trigger pulse에 의해 계수가 시작되면 로드 레지스터의 값만큼 지연된 후에 홀드 레지스터의 값만큼 계수를 하게 되며, 이 기간동안 출력이 low가 되도록 설정하였다.

여기서 trigger pulse는 분사시기를 담당하는 카운터의 출력이 되고, 실제로 지연시간은 필요치 않으므로 로드 레지스터의 값은 0이 되어야 하나, 카운터 작동에 필요한 최소 로드 레지스터의 값은 2이다. 따라서 분사시간의 단위 clock은 2MHz이므로 2μsec의 불가피한 지연이 생기게 되어, 분사시각값은 이 시간에 해당하는 만큼의 오차를 포함하게 되는데, 이 오차는 6,000rpm일 때 약 0.072°CA, 그리고 600rpm일 때 약 0.0072°CA에 해당하는 값이다. Fig.17에 연료분사 제어신호의 발생과정을 나타내었다.

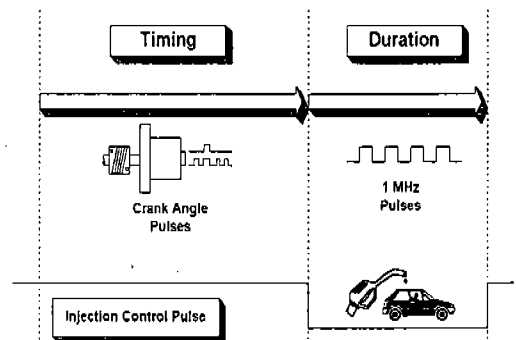


Fig.17 Fuel injection signal generation

5.3 점화제어

일반적으로 점화코일의 충전시간은 시간단위(msec)로 입력받지만 점화시기가 크랭크 각도로 주어지면 점화시기에서 충전시간을 각도로 환산한 값을 뺀 값이 충전이 시작되는 각도이므로, 실제로는 크랭크 각도 단위로 환산하여 이용된다. 결과적으로 충전시간의 단위는 encoder 분해능에 따라 다르지만 360ppr encoder의 경우는 1°CA 이며, 6,000rpm에서 시간의 단위로는 0.027ms가 되고 600rpm에서 0.277ms가 된다. 점화제어 신호는 점화시기와 충전시간의 단위가 크랭크 각도로 같기 때문에 하나의 카운터만으로도 제어가 가능하며 hardware-triggered delayed pulse one-shot mode를 사용한다. Fig. 18에 점화 제어신호의 발생과정을 나타내었다.

충전시간의 단위를 ms에서 크랭크 각도로 바꾸는 작업은 INTR1에서 처리하며 매 사이클마다 충전 시간에 해당하는 크랭크 각도 값이 갱신되고, 이것에 의하여 점화제어 신호가 발생된다. 여기에 사용되는 두 개의 카운터는 각각 software-triggered strobe with no hardware gating mode와 software-triggered strobe with level gating mode로 작동된다. Fig.19에 이에 대한 블록도를 나타내었다. Am9513의 각 카운터는 계수 대상 파형이 입력되는 SRC와 계수의 시작을 알려주는 GATE 및 실제 출력이 발생하는 OUT의 3가지 입출력핀이 가장 중요한 역할을 수행하도록 되어 있으며, 사용자가 입력한 ms 단위의 충전시간이 크랭크 각도단위로 환산

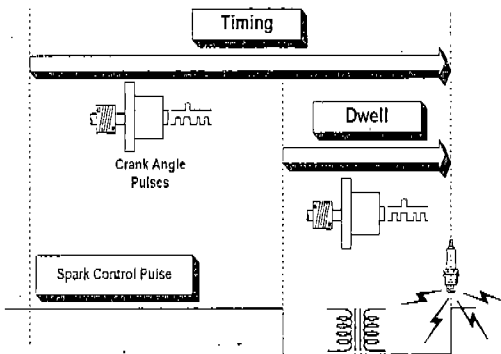


Fig.18 Spark signal generation

된 후 제어 프로그램은 그 값을 참조하여 점화신호를 발생시키게 된다.

5.4 Real value와 Counter value

여기에서 real value라 함은 크랭크 각도(분사·점화시기)나 시간(분사기간 또는 충전시간)으로 표현되는 값을 의미한다. 이에 반해 counter value는 이름에서 알 수 있듯이 Am9513 카운터에 실제로 입력될 값을 나타낸다. 이 연구에서는 이러한 두 가지 형태의 변수를 사용하여, real value로 사용자의 입력을 받고 그 값에 변화가 있을 때마다 counter value를 갱신하는 방식을 사용하기 때문에 real value를 counter value로 변환하는 과정이 필요하다. 분사기간과 충전시간의 경우는 real value의 단위가 ms이고 counter value의 단위는 μsec 이므로 1,000을 곱하는 것으로 변환과정은 완료된다. 그러나 분사 및 점화시기의 경우는 좀 더 복잡한 과정을 거쳐야 한다. 분사 및 점화시기의 경우, real value의 단위는 크랭크 각도이고 counter value의 단위는 encoder 신호이다. 이 연구에서 사용되는 encoder의 분해능은 360, 720, 1800, 및 3,600ppr이며, 각각의 경우에 1°CA 에 해당하는 카운터의 값은 1, 2, 5, 그리고 10이 되는데 이를 *Count_per_Degree* 라는 변수로 표현한다.

또한, 모든 실린더는 각각 하나의 interrupt와 연계되어 제어되며, 해당 interrupt pulse의 rising edge로부터 그 실린더의 압축 상사점에는 일정한 크랭크 각도의 차이가 존재한다. 이 값은 엔진

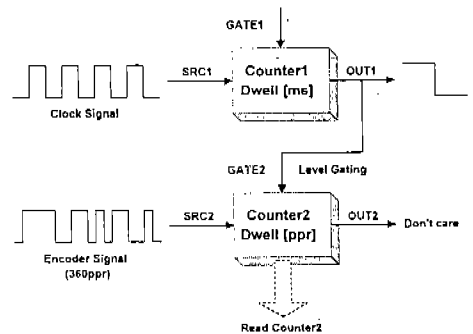


Fig.19 Spark dwell calculation(ms→CA)

타입에 따라 그리고 실린더에 따라 달라지며, 이 연구에서는 *TIMING_OFFSET*이라는 map을 설정하여 이 값을 이용한다. interrupt timing과 엔진의 점화순서 등을 고려해 보면, 연료분사 및 점화시기에 이용되는 카운터의 값이(*TIMING_OFFSET-Real_Value*)×*Count_per_Degree*가 됨을 알 수 있으며⁶⁾, 분사 및 점화시기와 counter value와의 상관관계에 대한 이해를 돕기 위하여 다음에 타이밍도를 나타내었다.

5.5 ECS의 엔진제어 신호

다음에 몇 가지 엔진의 경우에 대하여 ECS에서 발생되는 엔진 제어신호의 유형을 나타내었다. 이때의 실험조건은 Table 4와 같으며, encoder 신호 발생기를 이용하여 3000[rpm]의 실제 운전상황을 모사하였다. Fig.21~Fig.26은 HP 6,500B Logic Analysis System으로 1, 4, 6 및 8기통 엔진에 대한 출력 파형을 측정된 결과를 나타낸 것으로, 각 경우 공회 점화순서에 따

Table 4 Engine Control Parameters

Engine Type	Spark Control		Injection Control		Firing Order
	Timing °BTDC	Dwell [ms]	Timing °BTDC	Duration [ms]	
CFR					1
L4					1342
V6-60°	15	3.5	90	8	123456
V6-90°					165432
V8					18436572
V8					12734568

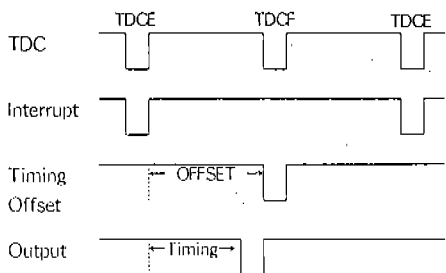


Fig.20 Timing diagram of injection & ignition

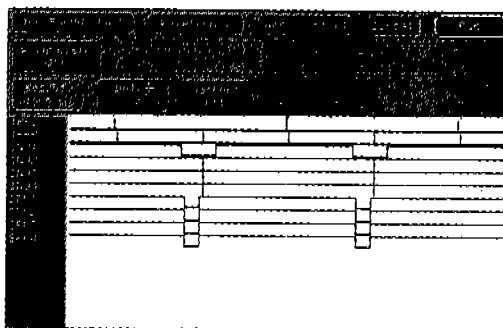


Fig.21 Control signals for 1 cylinder engine

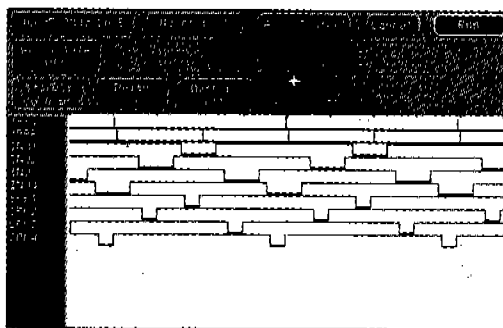


Fig.22 Control signals for 4 cylinder engine

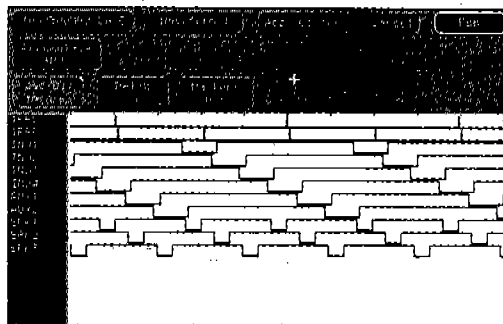


Fig.23 Control signals for V6-60° engine

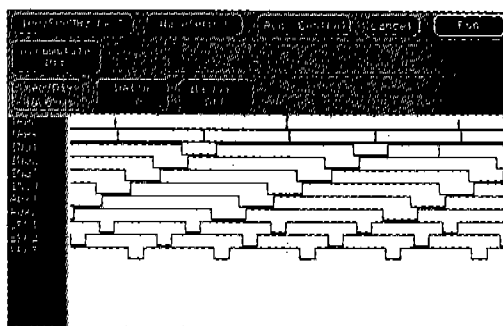


Fig.24 Control signals for V6-90° engine

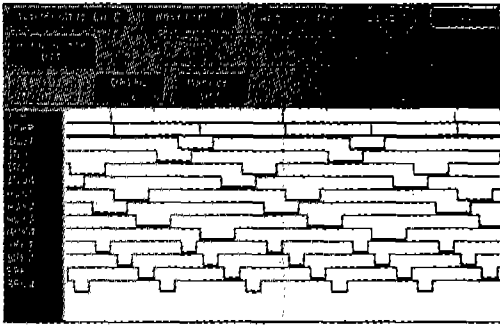


Fig.25 Control signals for V8 engine

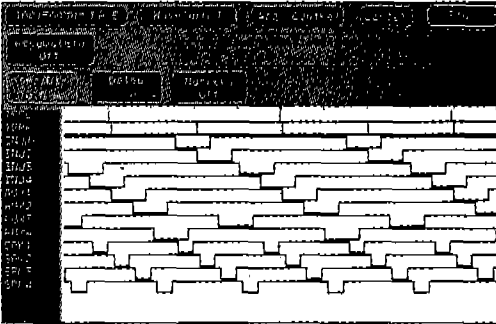


Fig.26 Control signals for 8 cylinder engine

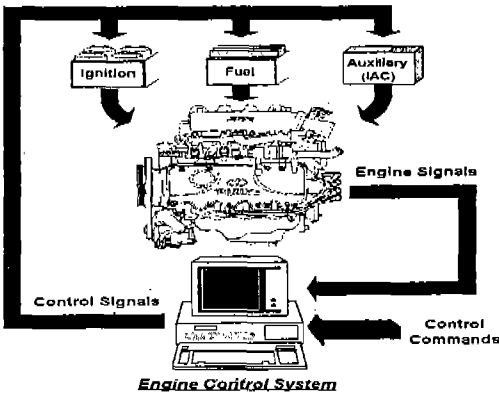


Fig.27 Experimental setup with ECS

라 정확한 시기 및 기간 동안에 엔진 제어신호가 출력되고 있음을 보이고 있다.

6. ECS의 응용

Fig.27에 ECS를 이용한 일반적인 엔진 실험의 블록도를 나타내었다.

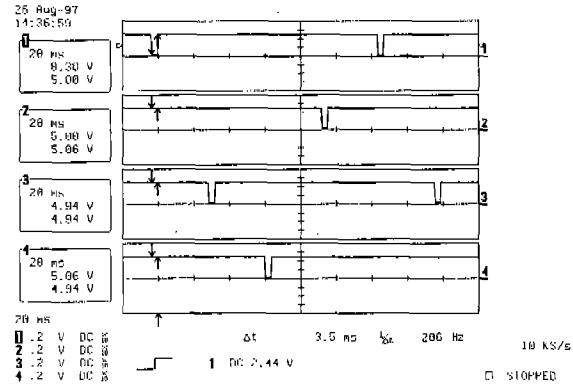


Fig.28 Spark control signal of L4 engine

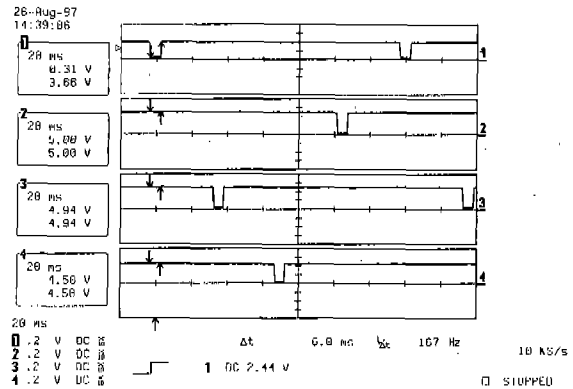


Fig.29 Injection control signal of L4 engine

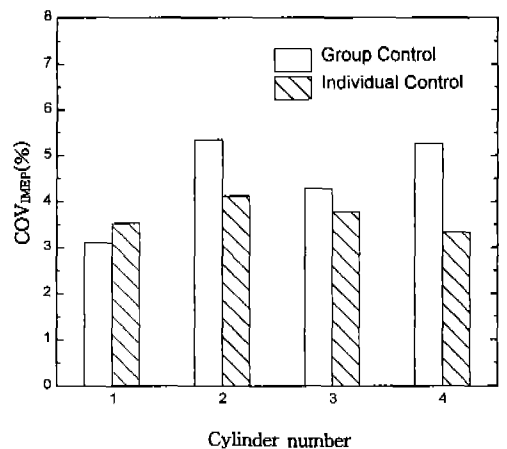


Fig.30 COV_{MEP} of each cylinder

6.1 제어신호의 안정성

다음의 Fig.28과 Fig.29은 직렬 4기통 엔진을 특정 조건에서 실제 운전하며 측정한 엔진 제어 시스템의 제어신호로, 연료분사 및 점화제어 신호가 주어진 분사기간(6msec)과 충전시(3.5msec)을 정확히 유지하면서 안정적으로 발생하는 것을 보이고 있다. 이 때 엔진 제어시스템 설계시 외부 시스템과 제어기간의 전기적 노이즈에 대한 차단 회로에 의하여 점화 노이즈와 같은 외부의 전기적 노이즈에 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

6.2 개별실린더 점화시기 제어

Fig.30은 직렬 4기통 엔진에 대해 각 실린더 별로 동일한 점화시기와 다른 점화시기일때의 50사이클 동안의 IMEP 특성을 나타낸 것이다. 일반적으로 사이클 변동의 척도는 식 (1)과 같이 COV_{IMEP} 로 표시되며⁷⁾, 이때 IMEP는 각 실린더 마다 압력센서를 설치하여 측정된 압력에 따라 식 (2)⁸⁾를 이용하여 구하였다.

$$COV_{IMEP} [\%] = \frac{\sigma_{IMEP}}{\overline{IMEP}} \cdot 100 \quad (1)$$

여기서, \overline{IMEP} 는 평균 IMEP, σ_{IMEP} 는 IMEP의 표준편차이다.

$$IMEP = \frac{1}{2V_s} \sum_{i=n1}^{i=n2} [P(i) + P(i+1)] [V(i+1) - V(i)] \quad (2)$$

여기서, P(i) : 크랭크각 i에서의 실린더 압력

V(i) : 크랭크각 i에서의 실린더 체적

V_s : 행정체적

n1 : 흡기 하사점 크랭크각

n2 : 배기 하사점 크랭크각

를 각각 나타낸다.

이 그림에서 알 수 있듯이 각 실린더별로 IMEP가 최대인 점화시기($SA_1=16^\circ CA$, $SA_2=23^\circ CA$, $SA_3=19^\circ CA$, $SA_4=22^\circ CA$)로 독립제어를 수행한 경우 COV_{IMEP} 가 동일한 점화시기 제어를 수행할

경우보다 약 18[%] 감소하여 운전성이 상당히 개선되었음을 알 수 있다.

7. 결 론

이 연구에서 개발된 엔진 제어시스템은 저공해 엔진과 그 제어 알고리즘 개발 및 연소 특성 해석을 보다 효과적으로 수행할 수 있는 환경을 제공할 수 있으며, 이 시스템의 개발에 대한 주요 결과는 아래와 같다.

- 1) 다양한 종류의 엔진 및 encoder에 적용될 수 있는 크랭크 각도 기반의 엔진제어 시스템을 개발하였다.
- 2) 연료분사기간 및 점화코일의 충전시간은 $1\mu sec$ 단위로, 연료분사 및 점화시기는 encoder의 분해 능에 따라 정밀하게 실린더별로 제어가 가능하다.
- 3) 시간 기준 또는 크랭크 각도 기준으로 샘플링이 가능한 고속 A/D 변환기를 내장하고 있기 때문에 펄스폭 제어에 용이하게 적용될 수 있다.
- 4) 엔진의 기본적인 연소특성을 분석하고 이를 해석함으로써 저공해 엔진설계의 기반을 제공한다.
- 5) 실린더별 제어에 따른 사이클간 연소 변동을 알 수 있으며, 이에 따른 제어 알고리즘 개발을 효과적으로 수행할 수 있다.

후 기

이 연구는 "G7 차세대 자동차 기술" 과제的一部分로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사를 포함합니다.

참 고 문 헌

1. W. B. Ribbens and M. A. Badalament, "Balancing IC Engine Torque via Individual Cylinder Spark Control", SAE970026.
2. K. J. Bush, et al, "Automatic Control of Cylinder by Cylinder Air Mixture Using

- a Proportional EGO Sensor”, SAE940149.
3. “Max+plus II User’s Guide”, Alters Corp.
4. “Am9513A User’s Manual”, Advanced Micro Device Inc.
5. S. E. Dorenzo, “Interfacing, A Laboratory Approach using the Microcomputer for Instrumentation, Data Analysis, and Control”, Prentice Hall, 1990.
6. 선우명호 외, “엔진 제어시스템 개발에 관한 연구”, 자동차공학회 추계학술대회 논문집, pp. 169~174, 1996.
7. N. Ozdor, et al, “Cyclic Variability in SI Engines ; A Literature Survey”, SAE940987.
8. M. F. Brunt and A. L. Erntage, “Evaluation of IMEP Routines and Analysis Errors”, SAE960609.