

## 단기통 모터사이클 엔진 제어용 ECU에 관한 연구

정 태 균<sup>\*1)</sup> · 채 재 우<sup>2)</sup>

부산기능대학 카일렉트로닉스과<sup>1)</sup> · 인하대학교 기계공학과<sup>2)</sup>

### A Study on the ECU for Controlling One Cylinder Motorcycle Engine

Taegyun Jung<sup>\*1)</sup> · Jacou Chac<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Department of Carelectronics, Busan Polytechnic College, Busan 616-814, Korea

<sup>2)</sup>Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received 7 December 2004 / Accepted 8 August 2005)

**Abstract :** The most typical fuel control devices of motorcycle engines have carburetors, they are simple in structure and reliable in work. Most of the motorcycle engines have used carburetors in the fuel system, but the fuel economy and the emissions of those engines are bad when we compared with automobile engines. According to stricter emission regulations and higher requirements for fuel economy, the application of the carburetor on the motorcycle engines would be limited. In this paper, we studied about the ECU of motorcycle engine controlled by indirect method. A new engine system was designed and experiments were carried out. The experimental results for both carburetor type and ECU type were compared. Maximum torque of 1.053kg · m at 6500rpm was measured. The engine torque controlled using ECU was increased by 10% compared with the carburetor type.

**Key words :** CPS(Crank Position Sensor, 크랭크포지션센서), CDI(Capacitive Discharge Ignition, 콘덴서방전점화), IDI(Inductive Discharge Ignition, 자기유도방전점화), MAP(Manifold Absolute Pressure, 매니폴드 절대압력), CPU(Central Processing Unit, 중앙처리장치), ISCV(Idle Speed Control Valve, 공전속도조절밸브)

### 1. 서론

현재의 모터사이클 엔진은 연소실로의 연료공급이 카브레터(Carburetor)에 의해 기계적으로 이루어지고, 점화는 단순히 CPS의 신호를 받아 컨트롤 유닛(Control Unit)에 의해 이루어지기 때문에 연비의 저감과 출력향상, 배출가스의 저감에는 한계가 있을 수밖에 없다. 더욱이, 모터사이클에서 발생하는 배기량은 중형자동차의 1/20 정도 밖에 되지 않지만 일산화탄소(CO)의 배출량은 자동차의 4배 정도이고, 탄화수소(HC)의 배출량은 무려 17배 이상

발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 현재와 같이 카브레터에 의해 연료가 기계적으로 제어되고, 비교적 간단한 컨트롤 유닛에 의해 점화가 제어되는 시스템으로는 앞으로 강화될 배출가스 규제에 대응하기란 불가능하다.

Table 1과 Table 2는 유럽과 일본의 모터사이클에 대한 배출가스 규제의 변화 및 앞으로의 규제 목표를 나타내고 있다. Table 2에서 보듯이 향후 일본의 모터사이클에 대한 배출가스 규제는 매우 엄격하여 주목된다. 과거의 모터사이클에 대한 연구는 출력, 미관 등을 중심으로 이루어졌지만, 오늘날에 와서는 환경과 에너지 문제를 중심으로 이루어지고 있는데 세계 모터사이클의 발전 및 연구추세를 살펴

\*To whom correspondence should be addressed.  
tgjung@kopo.or.kr

Table 1 The comparison of emission regulation (EURO I, II, III)

	Engine type (displacement)	Application year	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)
EURO I	ECE R40 (2 stroke)	1999.6.17	8	4	0.1
	ECE R40 (4 stroke)		13	3	0.3
EURO II	<150cc	2003.1.1	5.5	1.2	0.3
	≥150cc	2003.1.1	5.5	1.0	0.3
EURO III	<150cc	2006.1.1	2.0	0.8	0.15
	≥150cc		2.0	0.3	0.15

Table 2 The aim of Japanese new motorcycle

Displacement	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	Target year
Displacement <50cc	2.0	0.5	0.15	2006
50cc ≥ Displacement <125cc	2.0	0.5	0.15	2007
125cc ≥ Displacement <250cc	2.0	0.3	0.15	2006
250cc ≤ Displacement	2.0	0.3	0.15	2007

보면, 첫째 모터사이클 엔진의 전자제어화가 필수, 둘째 고속, 고출력과 가변기술을 조합한 모터사이클의 개발, 셋째 엄격한 배기가스 규제를 만족시키기 위해서는 엔진의 전자제어화에 더해 촉매기술의 조합, 넷째 LPG 및 천연가스를 연료로 한 대체연료 모터사이클의 개발, 마지막으로 연료전지 오토바이의 개발 등으로 설명할 수 있다. 따라서 현재는 모터사이클의 전자제어화가 필수적인 상황에 처해 있으며, 이를 위해서는 고속형인 모터사이클에 알맞은 ECU(Electronic Control Unit)의 개발이 반드시 필요하며 본 연구에서는 이에 대해 고찰하고자 한다.

## 2. 입출력 설계

### 2.1 입력 인터페이스의 설정

모터사이클 엔진을 전자제어화 하기 위해서는 우선 입력 센서의 신호를 받아 엔진의 현재 상태를 파악하는데 필요한 입력 인터페이스가 필요하다. 우

선 본 연구에서 모터사이클 엔진을 전자제어화 하기 위해 적용한 센서를 살펴보면, 첫째 크랭크 앵글을 감지하기 위한 CPS, 둘째 트로틀 밸브의 열림량을 감지하여 운전자의 의지를 파악하기 위한 TPS (Throttle Position Sensor), 셋째 흡입공기량을 간접적으로 감지하여 연료분사량과 점화시기를 제어하기 위한 MAP 센서, 넷째 흡입공기의 온도를 감지하여 연료량을 보정하기 위한 ATS(Air Temperature Sensor), 다섯째 촉매의 배출가스 정화효율을 극대화하기 위해 이론공연비로 제어하기 위한 산소 센서, 여섯째 단기통 모터사이클의 경우 공랭식이므로 엔진의 온도를 간접적으로 확인할 수 있는 OTS(Oil Temperature Sensor), 마지막으로 배터리의 전압변화를 고려하여 전압을 보정하기 위한 배터리 전압보정회로 등이 있으며, 각 센서와 관련한 인터페이스도 노이즈 등을 고려하여 설계하였다.

## 2.2 입력 인터페이스

### 2.2.1 CPS 입력 인터페이스

처음 엔진의 CPS에서 출력되는 신호는 Fig. 1과 같은 형태의 원시 아날로그 파형이다.

최초 CPS로부터 발생하는 원시출력신호는 파형 정형회로에서 노이즈(noise)를 제거하기 위해 노이즈 필터(noise filter)를 거친 후, 입력되는 전압의 크기가 0.9V 이상이면 5V가 출력되도록 비교기(comparator)를 거쳐 Fig. 2와 같은 회로로 구성하였다.

또, 보다 정확한 파형을 얻기 위해 슈미트 트리거 인버터(schmitt trigger inverter)를 사용하여 최종적으로 CPU에 입력되기 전 Fig. 3과 같은 정형파형이 출력되도록 설계하였다.

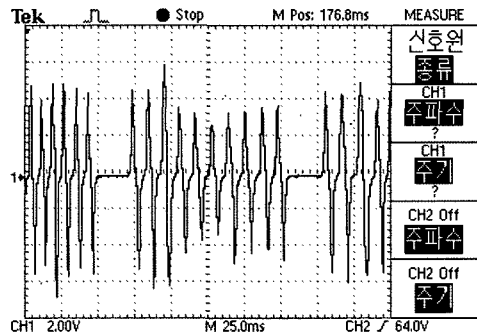


Fig. 1 Original CPS waveform of motorcycle engine

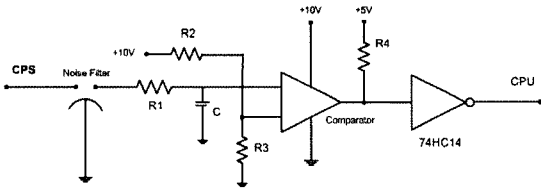


Fig. 2 Input interface circuit of CPS

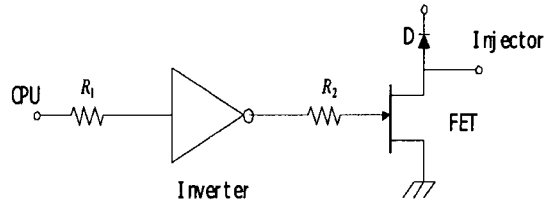


Fig. 5 Fuel injection circuit

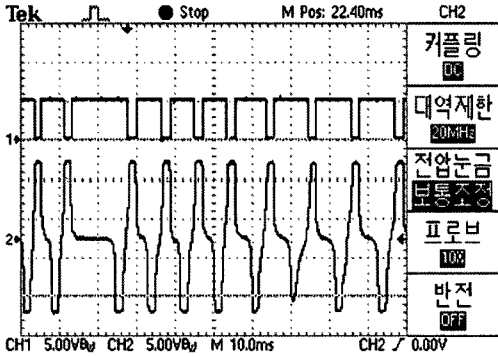


Fig. 3 Original and rectangular waveform of CPS

터를 제어하도록 하였는데 CPU의 출력은 Low Active 로서 최종적으로 Fig. 5와 같이 FET의 드레인에 연결된 인젝터를 작동하도록 하였다.

### 2.3.2 CDI 점화회로

본 실험에 사용한 CDI점화회로는 PNP TR, SCR, Coil, Condenser등의 반도체소자의 특성을 이용한 것으로서 Fig. 6에서 보는 것처럼 제어회로부, 고압 방전회로부, 발진회로부를 구성하여 점화가 가능한 전압으로 승압하였다.

### 2.2.2 기타 신호 입력 인터페이스

TPS, MAP, ATS, O<sub>2</sub> Sensor, OTS 등의 입력은 0~5V 범위에서 변동되며, 센서로부터 입력되는 전압을 출력전류와 관계없이 정확하게 검출하기 위해 Fig. 4와 같이 부귀환 버퍼회로를 거치도록 설계하였다. 또한, 전자제어화 모터사이클 엔진 실험시 주어진 조건에서 최적의 연료량과 점화시기를 검출하고 실시간으로 데이터를 제어하기 위해 필요한 연료분사량 및 점화시기 가변제어회로도 Fig. 4와 같도록 설계하였다.

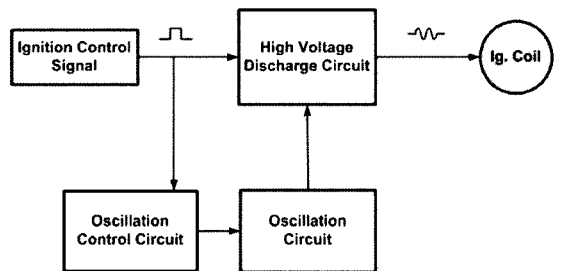


Fig. 6 CDI ignition circuit

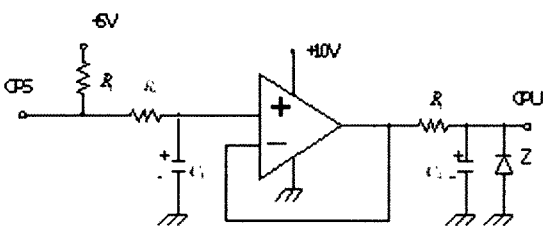


Fig. 4 Input interface circuit of TPS

## 2.3 출력 설계

### 2.3.1 연료분사 인터페이스

연료분사는 슈미트 트리거 인버터와 FET(Field Effect Transistor, 전계효과 트랜지스터)를 거쳐 인젝

여기서 TR은 코일을 제어하여 250V 1.5μF 콘덴서에 고전압이 충전되도록 하거나 콘덴서에 충전된 고전압을 제어신호에 동기하여 SCR을 제어함으로써 고전압이 방전되도록 제어하는 역할을 하게 되고, 발진회로는 콘덴서에 고전압이 충전될 때까지 코일의 작동을 제어하는데 콘덴서에 충전이 되면 제너다이오드에 의해 발진회로의 작동이 멈추게 된다.

CDI Type의 점화방식은 동일한 양의 점화에너지를 방전시킬 경우, 방전시간이 짧을수록 연료소비율이 감소하며 연소시간도 짧아져<sup>1)</sup> Motorcycle과 같은 고속형 엔진의 급속연소에 유리하다. 현 CDI 회로에서는 인위적으로 방전시간을 제어하기는 어

럽고 콘덴서의 용량을 변화시키면 방출되는 점화에너지도 변화되어 엔진의 성능에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, IDI 방식에 비해 콘덴서에 충전되는 시간이 매우 짧으므로(약  $5 \times 10^{-5}$  msec 이내),<sup>1)</sup> 배출가스 저감을 위해 IDI 방식의 점화장치에서 적용하기 어려운 다중점화방식도 적용할 수 있다.

CDI 회로를 제어하기 위한 마이크로프로세서의

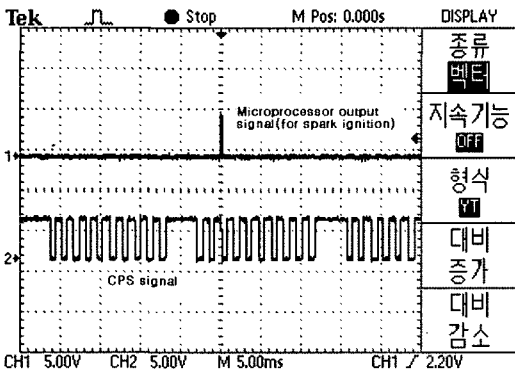


Fig. 7 Ignition output waveform of cpu

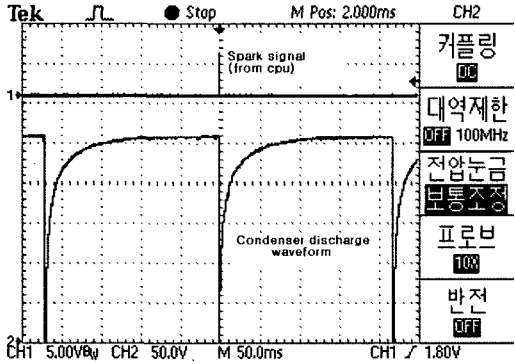


Fig. 8 Output voltage variation of CDI condenser

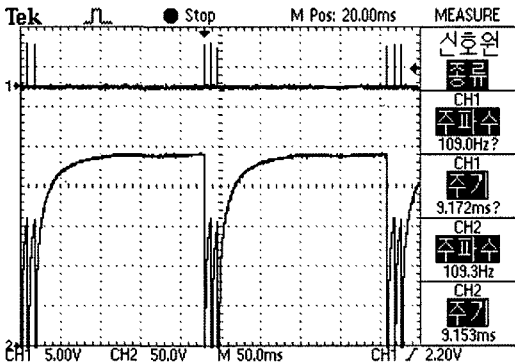


Fig. 9 Sequential ignition waveform(3 times)

Output Port의 출력과형은 Fig. 7과 같은 과형으로 나타나며 Fig. 8은 실제 점화코일을 제어하기 위한 콘덴서 출력전압의 변화를 나타내며 Fig. 9는 초기 엔진 시동시 여러 가지 원인에 의해 시동성능이 저하되는데<sup>3)</sup> 시동성능을 향상시키기 위해 제어프로그램을 수정하여 30도 간격으로 3회 연속점화를 행할 경우의 콘덴서 방전전압 과형을 나타낸다.

### 2.3.3 ISCV 제어 회로

모터사이클 엔진의 공회전속도를 1400±100 rpm으로 유지하기 위한 ISCV는 스텝모터 제어 방식을 사용하였으며, ECU에서 이를 구동하기 위해 Fig. 10과 같이 L297, L298을 조합하여 제어하는 방식을 이용하였다.

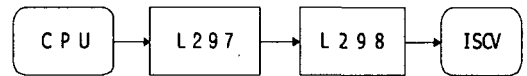


Fig. 10 .ISCV control block diagram

## 3. 마이크로프로세서 주변장치 구성

### 3.1 80C196KC 마이크로프로세서

80C196KC의 내부 데이터 램은 256 바이트의 상위 데이터 램, 232 바이트의 Register File, 2 바이트 SP(Stack Pointer), SFR (Special Function Register)로 구성되어 있으며 상위 데이터 램은 데이터를 임시로 저장하는데 사용되며, Register File은 주로 데이터 전송 및 연산에 이용된다. 그리고 모든 입출력 장치들은 SFR을 이용하여 제어한다.

Fig. 11은 자체 제작한 ECU의 마이크로프로세서와 그 주변장치를 나타낸다.

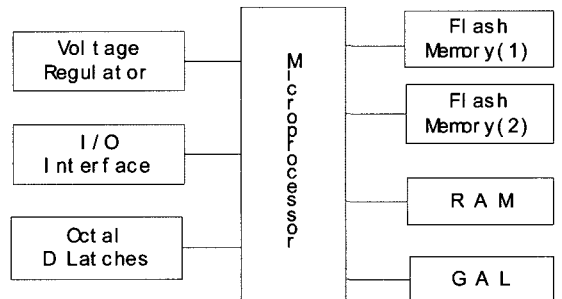


Fig. 11 CPU connecting block diagram

### 3.2 LM1675 Voltage Regulator Circuit

이 회로는 배터리의 12V 전압을 이용하여 단기통 엔진을 제어하는 ECU의 작동에 필요한 5V의 전압으로 바꾸어 주는 Voltage Regulator Circuit이다. 안정된 5V 출력을 ECU로 공급하기 위해 출력단자에 100 $\mu$ H의 Coil과 470 $\mu$ F의 Capacitor를 연결하여 큰 전력소비에도 견딜 수 있도록 설계하였다.

### 3.3 A29040L 플래시 메모리

A29040L 플래시 메모리는 512 $\times$ 8비트 CMOS 5 Volt-only로서 엔진을 제어하기 위한 프로그램을 저장하거나, ECU 시스템(LCD display 등)을 작동 가능한 상태로 만들기 위해 ECU를 초기화하는 등의 기능을 하도록 하였다. 80C196KC에 연결된 외부 메모리로서 A29040L이 작동되기 위해서는 CE(Chip Enable)이 GAL 16V8과 연결되어 Chip이 선택되어야 하고, 80C196KC와 연결된 OE(Output Enable), WE(Write Enable)가 선택되어야 한다.

### 3.4 A623308M 램

A623308M은 램으로 일반적인 PC의 램과 같은 역할을 하며, 엔진 실험에서 최적 데이터를 얻기 위해 실시간으로 연료분사량, 점화시기, RPM 제어시 램을 거쳐 LCD로 표시할 수 있도록 설계하였다.

### 3.5 GAL 16V8

GAL 16V8은 PLD(Programmable Logic Device)로서 2개의 플래시 메모리와 램 등의 작동을 제어한다.

RAM AREA	4000	0XFFFF
		0XBFFF
FLASH AREA	7000	0X4FFF
BOOT AREA	2F80	0X2000
NOT USER		0X1FFF
USER_CS4		0X1EEB
USER_CS3		0X1D00
USER_CS2		0X1C00
USER_CS1		0X1B00
LCD_CS		0X1A00
SYSTEM AREA		0X01FF
REGISTER FILE	200	0X0000

Fig. 12 Address memory map

ECU에서는 2개의 29040L 플래시 메모리, 램 A623308M, LCD 장치를 사용하고 있으며 이들의 Address를 GAL 16V8을 이용하여 Fig. 12와 같이 디코드 하였다.

### 3.6 74LS573

74LS573은 80C196KC의 Port 3과 연결되어 있으며 Address 신호와 Data 신호를 분류하여 Address 신호를 Address Bus에 Latch하도록 한다.

## 4. 엔진 제어 알고리즘

### 4.1 압축상사점(TDC)감지

CPS를 통해 출력되는 크랭크앵글을 CPS 입력 인터페이스를 거쳐 변환된 사각파형을 받아 CPU에서 16비트 타이머를 사용하여 펄스의 간격을 측정하고 이를 토대로 미싱투스(missing tooth)를 구별하며 또한 이 미싱투스를 비교하여 엔진 2회전에 1회 발생되는 압축상사점을 판별할 수 있었다.

### 4.2 RPM 계측

CPS에서 발생하는 펄스를 기초로 하여 고속회전 시에는 한 펄스의 주기를 측정하고, 저속회전 시에는 1회전시의 시간을 측정하여 RPM을 계산하도록 하였다.

### 4.3 초기시동제어

엔진 RPM이 일정값 이하일 경우 시동시로 판단하여 시동시 제어를 행하고 시동성을 향상시키기 위해 3회 연속적으로 점화가 이루어지도록 프로그램 하였다.

### 4.4 연료분사 및 점화제어

일반적으로 메인 루프에서 기본적인 입력사항을 처리하도록 하였다. 즉, 흡입공기량 간접제어 방식인 MAP 센서로부터의 신호, TPS신호 및 RPM신호를 토대로 하여 기본적인 연료분사량과 점화시기를 결정하고 그 외의 센서로부터의 신호를 받아 보정 분사량을 결정하여 제어하도록 프로그램 하였다. 또, CPS 입력 인터페이스로부터 출력되는 펄스의 매 하강에지에서 인터럽트가 발생되어 연료 및 점

화제어 서브루틴으로 이동하고 이때 이 펄스의 수를 세어 정해진 시기에 연료분사와 점화가 이루어지도록 프로그램 하였다. 최적 연료분사량이나 점화시기의 데이터는 미리 엔진 동력계에서 그 엔진의 제어 조건에 알맞은 최적의 값을 일정한 간격으로 구해 미리 제어프로그램에 맵핑시켜 놓고 이 값을 참고로 하여 선형보간법에 의해 각 엔진조건에 따른 최적의 값을 계산하여 제어하도록 하였다.

### 5. 연료분사 및 점화제어 가변 장치

엔진의 회전속도, 연료분사량 및 점화시기를 실시간으로 확인이 가능하도록 하기위해 Fig. 13과 같이 LCD Display 장치를 부가적으로 제작 ECU에 설치하였다. 이 장치는 실시간으로 연료분사량과 점화시기를 변화시킬 수 있도록 설계되어 있어 최적 연료분사량과 점화시기를 측정하기가 용이하며 이렇게 구한 최적 값을 ECU의 플래시 메모리에 기억시켜 엔진을 제어하도록 하였다.

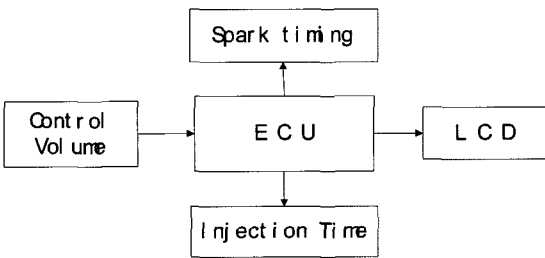


Fig. 13 LCD control block diagram

### 6. ECU의 작동 확인 및 방법

단기통 모터사이클 엔진을 제어하기 위해 자체 제작한 ECU가 의도한 대로 작동이 되는 지를 확인하기 위해 125cc 엔진에 적용하여 엔진 실험을 수행하였다. 하드웨어 시스템과 소프트웨어가 정상적으로 작동하여 연료분사 및 점화제어 액츄에이터가 미리 프로그램 된 대로 작동하는지 등의 그 프로그램 추종성을 확인하였다.

#### 6.1 연료분사 제어의 신뢰성

엔진 회전속도가 2800rpm 일 때, 연료분사 시작시기가 n=14(14번째 CPS 구형파형)에서 분사시간

4ms로 분사하도록 프로그램 했을 때, ECU의 지시에 의해 실제로 인젝터가 작동되는 파형을 Fig. 14와 같이 오실로스코프로 관측하여 확인하였다. Fig. 14에서와 같이 분사시작시기와 분사시간은 제어 프로그램에서 지시한 대로 제어되는 것을 확인할 수 있었다.

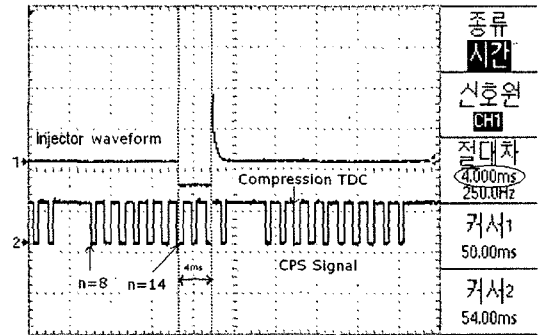


Fig. 14 Waveform at 4ms injection time

#### 6.2 점화제어의 신뢰성

엔진의 회전속도가 2800rpm일 때 점화시기를 BTDC 17°로 제어하도록 프로그램 하였을 때 실제로 점화지시신호가 프로그램 된 대로 정확하게 제어되는 지를 오실로스코프를 통하여 관찰하였다. Fig. 15에 의하면 CPS 신호 1사이클(30°) 경과시간은 1.8ms 이고 압축상사점에서 점화시작까지의 시간은 약 1ms 로서 실제 ECU의 제어 프로그램에서의 점화시기 BTDC 17°와 비교하였을 때 약 0.33° 정도의 오차가 발생하나, 이것은 단기통 모터사이클 엔진의 특성에 의한 저속시 회전 각속도 편차에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

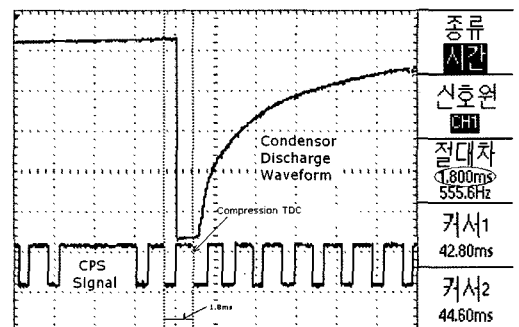


Fig. 15 Spark waveform at BTDC 17° spark time

### 6.3 노이즈의 처리

엔진 제어 중 CPS 입력회로에 외부 노이즈가 입력될 경우 연료분사와 점화시기에 영향을 주어 엔진 성능에 치명적인 영향을 미치게 되므로, 하드웨어적으로 노이즈를 제거할 수 있도록 필터링을 하여야 하며, 그에 더해 소프트웨어적으로 제어프로그램을 수행하는 과정에서 주기적으로 미싱투스를 감지하여 압축상사점을 확인하도록 하고 노이즈에 의해 제어 위치가 틀러질 경우 제어 프로그램의 분사나 점화시기를 수정할 수 있도록 프로그램하였다.

Fig. 16은 엔진 회전속도 7000rpm, 점화시기 BTDC 30°일 때 점화제어 파형과 CPS 신호를 나타낸다. 엔진 실험 중 노이즈 발생에 의해 점화시기가 지각되면 5500rpm 이상에서 배기가스의 온도가 정상시보다 100°C 이상 상승함으로 배기관이 과열되어 위험하게 될 수 있으며 노이즈가 여러 번 반복적으로 입력되면 시동이 꺼지게 된다.

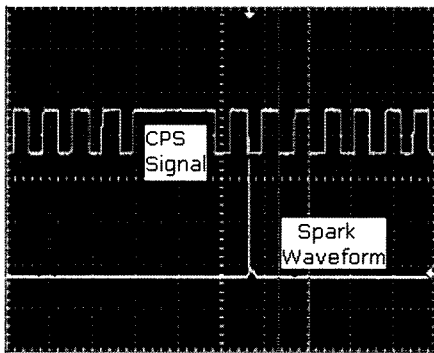


Fig. 16 Ignition waveform at high speed (7000rpm)

### 6.4 엔진 출력성능시험

TPS 출력전압을 기준으로 한 엔진 RPM에 따른 토크의 변화는 Fig. 17과 같으며, 전자제어화 엔진의 최대 토크는 W.O.T(트로틀 밸브 전개), 6500rpm에서 1.053 kg · m(4단 변속)인 것으로 나타났으며, 동 엔진의 카브레터 방식의 출력과 비교하여 약 10% 출력이 향상되는 것으로 나타났다.

따라서 본 연구에서 개발한 ECU에 의한 모터사이클 엔진의 제어는 그 용도에 알맞게 작동되는 것으로 판단할 수 있다.

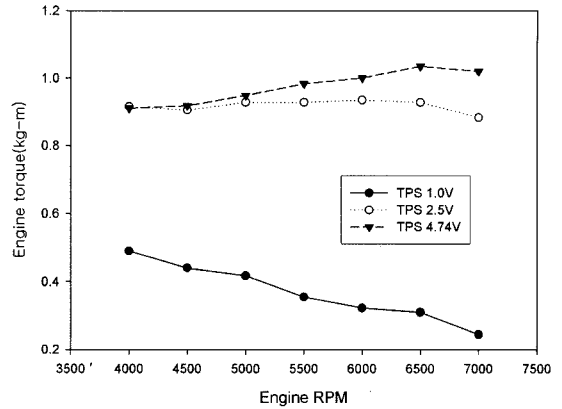


Fig. 17 Torque variation to engine rpm in each TPS output voltage

## 7. 결론

본 연구에서는 단기통 모터사이클 엔진을 전자제어화 하기 위해 필요한 ECU의 개발과 그 특성을 고찰하고 단기통 모터사이클 엔진에 적용이 가능한지를 실험하였으며 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 단기통 모터사이클 엔진의 크랭킹 시의 회전 각속도 차 특성을 이용하여 압축상사점을 정확히 구별할 수 있었다.
- 2) 카브레터 점화방식과는 달리 ECU를 장착한 전자제어화 단기통 모터사이클 엔진은 압축상사점을 정확히 감지하면 크랭크 축 2회전에 1회의 점화가 가능한 것을 확인할 수 있었다.
- 3) ECU 제어방식인 경우 카브레터 방식과 비교하여 엔진의 출력이 향상하는 것으로 나타났으며 본 실험에서는 약 10% 증가하였다.
- 4) CDI 방식의 경우, ECU제어에 의해 초기 냉간 시동성 향상, 배출가스 저감을 위한 다중점화제어의 적용이 가능한 것을 알 수 있었다.
- 5) 16bit 80C196KC를 이용하여 자체 설계한 ECU도 고속형 전자제어화 단기통 모터사이클엔진에 적용이 가능한 것을 확인할 수 있었다.
- 6) 엔진 작동 중 노이즈가 발생하여 제어시기가 변동되더라도 하드웨어 및 소프트웨어에 의해 노이즈 입력의 영향을 받지 않고 정상적으로 엔진의 작동이 가능하도록 제어할 수 있었다.

### References

- 1) J. H. Song, Y. H. Seo and M. H. Sunwo, "A study on the Effects of Ignition Energy and Discharge Duration on the Performances of Spark Ignition Engines," Transactions of KSAE, Vol.9, No.6, pp.40-46, 2001.
- 2) K. J. Kim and N. H. Kim, "A Study on the Improvement of Engine Starting Performance for Gasoline Engine Ignition System using Electronic Control," SAE 97370129, 1997.
- 3) T. H. Kim and J. H. Cho, "A Study on the Development of an Electronic Control Unit for a Gasoline Engine using Microcomputer," SAE 953795, 1995.
- 4) J. O. Chae, Y. S. Jung and J. S. Yang, "An Experimental Study on Electronic Injection System for Pollutant Reduction in a DI Diesel Engine," SAE 97370002, 1997.
- 5) Y. K. Kim, "Development Technics and Future Trend of Electronic Engine Control Unit," Transactions of KSAE, Vol.19. No.2. pp.26-32, 1997.
- 6) J. S. Lee, J. S. Lee and J. Y. Ha, "A Study on the Method of Air-Fuel Ratio by Immediate Control in SI Engine," SAE 98370145, 1998.