

소형 2행정 가솔린엔진용
디지털 콘덴서 스파크 방식 적용에 관한 연구
A Study on the Application of New developed
Digital CDI for small 2-stroke Gasoline Engine

황재원*, 박재근*, 갈한주*, 김만호*, 채재우*
Jaewon Hwang, Jaekeun Park, Hanjoo Kal, Manho Kim, Jacou Chae

ABSTRACT

A digital CDI(Capacitive Discharge Ignition) system on small two stroke motorcycle engine was developed in this paper. This CDI system with microprocessor as its main part has more flexible spark timing than the conventional CDI system because of its programmable characteristics. The principle of this digital CDI system and the design methods of hardware and software were presented in this paper. Two stroke small engine was tested to investigate the performance of digital CDI system And also this system was investigated to optimize the engine performance. Also comparison between conventional CDI system and digital CDI system was investigated. The results show that this digital CDI can provide better spark timing variation than the conventional system. The part and full load test results show that the engine power was increased about 10-20% and fuel consumption was decreased about 10-20% simultaneously. Furthermore, this digital CDI system has simple structure, low cost and very little modification are required. It is a promising technology to substitute for the widely used conventional CDI system.

주요기술용어 : Digital CDI(Capacitive Discharge Ignition)system(디지털 커패시터방식 점화장치), Spark timing(점화시기), Microprocessor(마이크로프로세서)

1. 서론

* 정회원, 인하대학교 기계공학과

일반적으로 가솔린 2행정엔진은 4행정엔진에 비하여 비출력(출력/마력)이 크고 기계 구조가 간단하며, 매 사이클 연소에 의한 균일한 회전력 및 적은 펌핑손실 등의 장점이 있다. 그러나 미연 탄화수소의 다량배출과 연료소비율이 좋지 않기 때문에 소형 2륜차, chain saw, 제초기 및 레저용 등 그 용도가 제한되고 있다. 그 이유는 피스

톤과 실린더 벽의 포트(port)를 통하여 흡배기과정을 하는 크랭크케이스 펌핑방식의 기화기식 2행정기관은 소기과정중에 유입된 신기의 일부가 연소실에 갇히지 않고 배기공을 통하여 바로 유출되는 즉 short circuiting에 의해 사용연료의 약 25-40%가 미연소 상태로 배출되어 탄화수소의 배출이 심해지고 이로 인해 연료가 과다 소모된다. 이러한 short circuiting은 점화시기의 최적화로 어느정도는 극복할 수 있다고 보고되고 있다. 또한 이러한 연구 이외에 엔진의 성능을 향상시키기 위하여 실린더내로 연료를 직접분사하는 방식, 소기방식의 변화 및 공연비의 정밀제어 등도 소개되고 있다[1]-[5]. 소형 2행정 엔진의 점화 방식은 크게 2가지로 나눌 수 있는데[6], 하나는 현재 2행정용으로 많이 쓰이고 있는 CDI 시스템이고 다른 하나는 2행정 엔진과는 달리 배기량이 큰 일반 차량용에 쓰이는 Coil Ignition(CI) 시스템이다. 한편 이러한 엔진의 조건에 따라 최적의 점화 시기가 존재한다는 것은 이미 널리 알려진 사실이다[7],[8]. 일반 차량에서는 배전기가 엔진의 회전수와 부하에 따라 점화시기를 변화시키나 소형 2행정 엔진에서는 배전기와 같은 점화 진각 기구가 없기 때문에 점화시기를 제한적으로 변화시킨다. 현재 생산되는 많은 2행정 엔진들은 CDI 시스템을 채택하고 있는데 이 시스템은 엔진 회전수만을 이용하여 점화시기를 변화시키며 그 변화폭이 매우 좁다. 한편 배기가스 배출물은 점화시기에 영향을 받기 때문에 이를 최적화 해야 할 필요가 있다. 따라서 강화되고 있는 배기가스 규제를 해결하고 엔진 성능을 보다 향상시키기 위해 기존 CDI 시스템을 개량해야만 한다. 이에 본 연구에서는 시험 엔진의 최적의 점화 시기를 찾아 이를 microprocessor가 내장된 CDI 시스템에 입력하여 엔진 회전수에 따른 점화시기의 결정을 전자화 하였다. 또한 가솔린 2행정엔진은 저속, 저부하 영역에서 실화나 불완전 연소에 의해서 사이클마다 변동이 심하기 때문에 분사장치나 점화계의 재현성이 실현되기 힘들고 성능 관련인자의

영향과악이 어렵게 되므로 본 연구에서는 기존의 점화방식으로 주로 쓰이는 CDI 시스템을 사용하여 점화시기를 엔진의 회전수의 변화에 따라 변할 수 있게 microprocessor를 이용하여 소형 2행정 엔진에 부착한 후 엔진의 외부조건에 따라 점화시기를 바꾸어 가면서 그 시기를 최적화하는 방식으로 실험하였다.

2. 기본 원리

현재 사용되고 있는 점화시스템은 직류점화장치 방식과 교류점화방식이 사용되고 있다. 직류점화방식에는 단속기 방식과 트랜지스터방식이 있으며 이중에서는 주로 기계적 마모와 chattering등을 고려할 때 대부분이 트랜지스터 방식을 사용한다. 교류점화 방식에는 마그네토방식과 CDI방식이 있다. 마그네토점화방식은 소형 가솔린기관에 주로 사용되고 있고 CDI 시스템은 소형이며 영가이기에 주로 2륜차로 사용되고 있다. CDI 점화시스템은 수백볼트를 발생하는 직류 또는 교류 전원을 사용하여 캐패시터에 에너지를 충전시키고 점화시기에 반도체 스위칭 소자인 SCR을 통하여 점화코일에 통전하여 고전압을 발생시키는 방식이다. 이때 캐패시터에 충전되는 에너지 수준은 다음의 식과 같다.

$$W_s = C \cdot \frac{V^2}{2} \quad (1)$$

여기서 W_s 는 캐패시터에 저장되는 에너지, C 는 capacitance 및 V 는 캐패시터의 충전 전압을 나타낸다. 이 시스템은 배터리를 사용하지 않고 자석발전기로부터 직접 200-500V의 고전압을 얻을 수 있는 교류 CDI가 일반적으로 사용되고 있다. CDI시스템의 특징은 수백 볼트의 전압을 순간적으로 점화코일에 통전하여 고전압을 발생시키고 있기 때문에 다른 점화방식에 비해 2차전압의 상승이 극히 빠르고 크기 때문에 스파크플러그의 오손 등에 의한 전기절연 저하에 대하여 유리하다. 반면 방전지속기간이 0.4ms이하이며 다른 점화방식에 비하여 짧기 때문에 연소시 점

화에너지가 충분하게 요구되는 희박연소에는 적합하지 않다고 한다. 기존의 점점식 코일 점화장치나 트랜지스터 점화장치에서는 기관의 회전속도가 높아지면 즉 스파크의 횡수가 높아지면 점화전압이 급격히 강해진다. 그러나 CDI 점화장치에서는 스파크 횡수에 상관없이 거의 일정한 점화전압을 유지한다. Fig. 1은 여러 가지의 점화시스템에 대해서 분당 스파크횡수에 따른 점화전압의 변동을 나타낸 것이다. 기존의 점점식 코일 점화장치나 트랜지스터 점화장치에서는 기관의 회전속도가 높아지면 즉 스파크 횡수가 증가하면 점화전압이 급격히 강해진다. 그러나 CDI점화장치에서는 스파크 횡수에 상관없이 거의 일정한 점화전압을 유지한다. Fig. 2는 점화시스템에 따른 2차전압을 표시한 것이다. 2차 최대전압에 도달하는 기간은 CDI점화장치에서는 약 $10\mu s$, 트랜지스터 코일 점화시스템에서는 $80\mu s$, 점점식 코일 점화장치에서는 약 $130-170\mu s$ 정도 소요된다. 따라서 CDI점화장치는 스파크플러그의 오손 등으로 2차회로의 누설이 많은 경우에도 2차 전압의 강하가 적다는 특징을 가지고 있다. 이와 같은 이유로 비교적 엔진의 회전수가 빠른 2행정 사이클에서 주로 이러한 시스템이 사용된다.

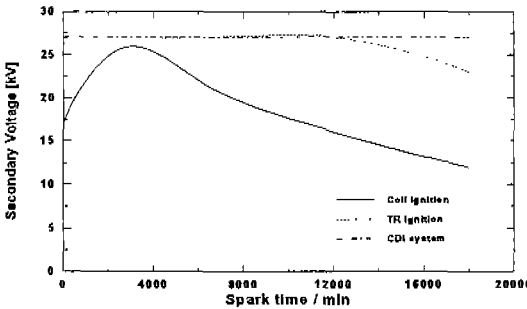


Fig. 1 Secondary voltage characteristics varied with spark time

본 연구에서 사용된 CDI 시스템은 magneto, CDI control unit, 점화코일 및 스파크 플러그 등으로 구성이 되어 있으며 작동 원리를 살펴보

면 CDI는 처음에 전압을 정류기에 거친 후 오실레이터나 변압기를 이용하여 전압을 400V로 높인 후 이 전압을 캐패시터에 충전한다. 이렇게 충전된 전압은 점화시기에 커패시터는 1차 코일로 빠르게 방전을 한다. 이 때 방전되는 전압을 2차 코일에 높은 전압을 발생시킨다. 이 방식은 기존의 코일 점화방식과 비교하여 불 때 매우 빠른 동작 특성을 갖는다. 일반적으로 코일점화방식이 $300-500V/\mu s$ 인데 반해 CDI는 $3-10kV/\mu s$ 의 빠른 동작을 한다. 이처럼 매우 빠른 속도와 높은 전압은 탄소나 연료의 연소에 의해 포집된 플러그로도 점화를 가능하게 하나 엔진의 배기가스를 줄이고 성능을 향상시키기 위한 최적 점화 시기를 제공해 주지 못한다는 단점이 있다. 따라서 정밀한 점화진각 기구를 필요로 한다. 본 연구에서는 2행정 소형가솔린엔진에 주로 사용되는 CDI 점화시스템에서 정밀한 점화진각 기구를 사용하는 것이 아니라 microprocessor를 이용하여 점화시기를 디지털화 하는데 목적이 있다.

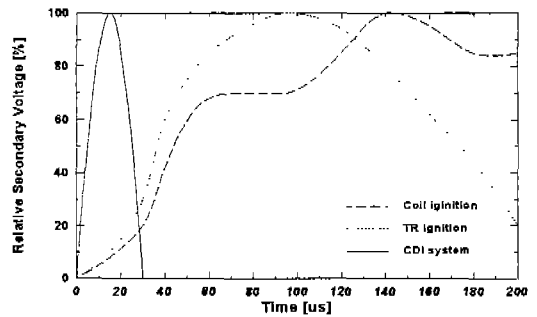


Fig. 2 Secondary voltage formation time(Maximum voltage 100%)

3. 실험 장치 및 방법

본 연구에서는 2행정 90cc 공냉식 엔진을 사용하였으며 실제 상황과 비슷하게 하기 위하여 오토트랜스미션 이후에 동력계를 설치 하였다. Table 1에 실험에 사용한 엔진의 사양을 나타내었다. 동력계의 회전수는 오토 트랜스미션을 통

해 나오기 때문에 엔진의 실제 회전수를 알기 위해 엔진의 플라이휠에 속도계를 따로 설치하였다. 또한 연료소비율을 측정하기 위해 뷰렛형식의 유량계를 부착하였고 크랭크 케이스 표면에 점화시기를 확인 할 수 있도록 indicator를 부착하였다. 점화시기는 inductive timing light를 이용하여 측정하였다.

Table 1 Specification of Test Engine

Items	Specification
Engine type	Spark Ignition, 2 Stroke
Stroke	49.6mm
Displacement	90cc
Bore	48mm
Connecting Rod Length	91mm
Compression Ratio	6.3 : 1
Port Open and Close Timing	T(Ex) : 165 ° T(Scb) : 116 °

Fig. 3에 개략적인 실험 장치를 도시하였다. 그림에서 Digital CDI 회로의 특성을 실시간으로 파악하기 위하여 오실로스코프를 이용하였다.

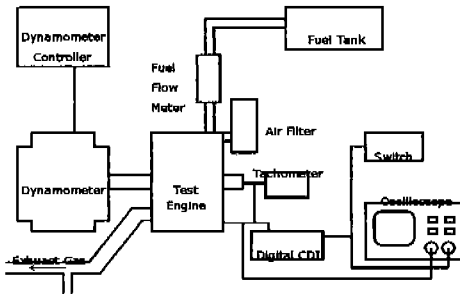
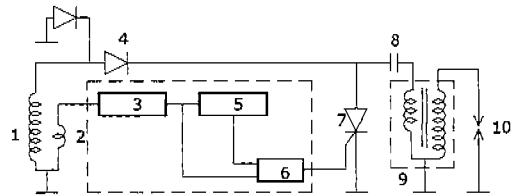


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

본 연구에서는 기존의 CDI 시스템을 제거한 상태에서 직접 본 연구실에서 제작한 회로를 엔진에 연결하였고, 실험에 앞서 기존의 시험 엔진의 점화 시기를 취득하였다. 우선 점화 시기를 변화시킬 수 있는 button을 회로위에 부착하였고,

스로틀밸브 위치를 고정시킨 상태에서 동일 엔진 회전수에서 점화 시기를 바꾸어 가면서 MBT(minimum advance for the best torque)를 동력계를 통하여 확인하였다. 엔진의 회전수는 8000rpm까지 측정하여 얻은 데이터를 바탕으로 하여 어셈블리 언어를 이용하여 프로그램화한 다음 microprocessor에 ROM-writer를 사용하여 입력시켰다. 다음의 Fig. 4는 본 연구에서 사용된 Digital CDI의 회로도를 간략히 나타낸 것이다.



1. Magneto Charge coil
2. Magneto triggering coil
3. Signal shaping circuit
4. Diode
5. Micro-controller block
6. NAND gate
7. SCR(thyristor)
8. Capacitor
9. Ignition coil
10. Spark plug

Fig. 4 Diagram of Digital CDI circuit

그림에서 회로의 작동원리를 살펴보면 Magneto charge coil(1)로부터 발생한 신호는 Signal shaping 회로(3)를 통하여 NAND gate(6)로 들어가게 된다. 이때 micro-controller(5)가 프로그램된 점화 진각량을 출력하면 NAND gate를 통해 나온 trigger 신호가 thyristor(7)를 동작시켜서 캐패시터(8)의 충전된 전압을 방전시킨다.

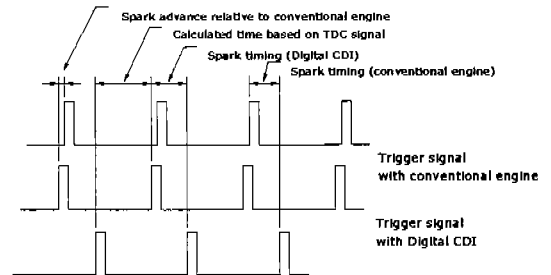


Fig. 5 Ignition timing decision method with Digital CDI system

Fig. 5는 본 연구에서 사용된 Digital CDI 시스템을 이용하여 점화시기를 결정하고 변화시키는 방법을 그림으로 나타낸 것이다. 그림에서 첫 번째 신호는 기존의 엔진에서 나오는 trigger 신호를 나타내며 이 신호를 바탕으로 하여 두 번째 그림에서 상대적인 점화진각량을 구한다. 따라서 실제 진각량은 두가지의 진각량을 합하여 구하게 된다. 다시 말해서 기존의 신호를 취득하여 합해진 진각량을 360도에서 제한값이 실제 엔진의 trigger 신호가 된다.

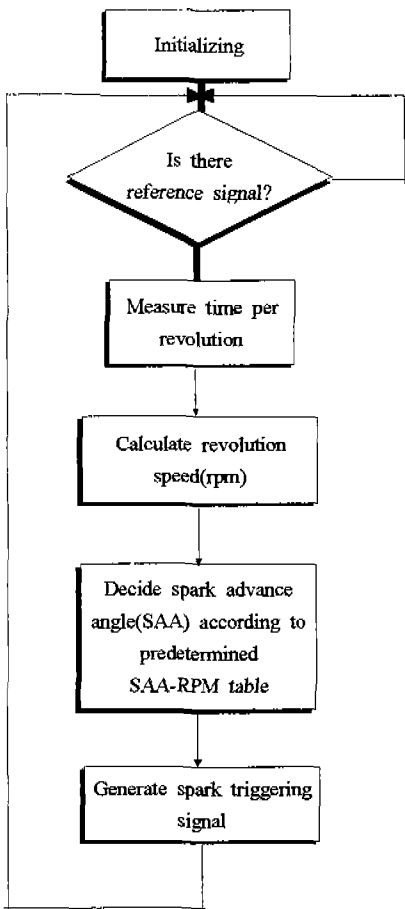


Fig. 6 Block diagram of ignition control method

Fig 6은 본 프로그램을 작성하기 위한 블록 다이어그램이다. 기존 엔진의 CDI용 trigger신호를

reference로 하고 이를 이용하여 1회전에 걸리는 시간을 측정하여 엔진의 회전수를 계산한다. 만약 현재의 크랭크 각도가 프로그램에 의해서 미리 최적화 된 점화 시기의 크랭크 각도와 일치하면 점화 코일로 trigger신호를 보낸다. 그림에서 기준신호가 발생하면 이것을 이용하여 엔진의 회전수를 알 수 있으며, 엔진의 회전수에 따른 진각량을 미리 정해진 Table에 의해서 구한다.

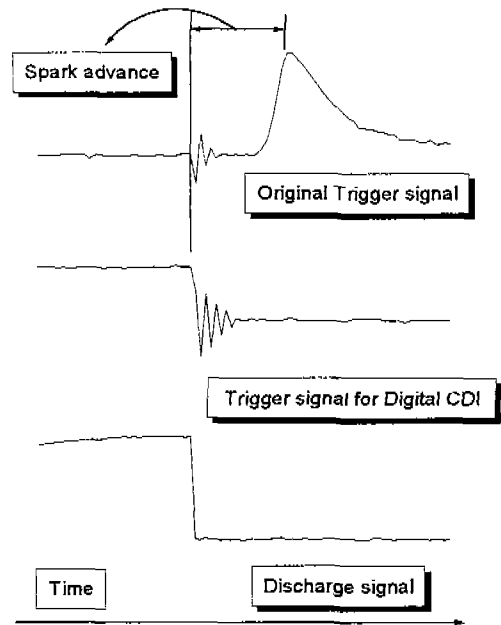


Fig. 7 Trigger signal and discharge signal

Fig. 7은 기존 엔진의 trigger신호, Digital CDI용 trigger신호 및 캐패시터에서 방전되는 방전전압을 나타낸 것이다. 첫 번째 나오는 신호는 기존엔진의 trigger신호이며 두 번째 신호는 첫 번째 신호를 기준으로 점화 진각량을 계산하여 thyristor로 보내는 신호이다. 그림에서 보는 바와 같이 첫 번째 신호와 두 번째 신호의 위상 차이만큼이 기존 점화 시기보다 더 진각된 양이 된다.

4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 8은 엔진회전수의 변화에 따라 MBT를 기존의 엔진과 Digital CDI를 적용했을때를 비교하여 나타낸 그림이다. 그림에서 보면 기존의 시스템은 엔진의 회전수의 변화에 따라 거의 변화가 없음을 알 수 있었다. 또한 Digital CDI를 적용할 경우에는 부하에 따라 약간의 차이는 나타나지만 대체적으로 기존의 엔진보다 엔진의 회전수의 증가에 따라 점화진각량이 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

Fig. 9는 위에서 구한 MBT를 적용하였을 때 출력의 변화량을 엔진의 회전수에 따라 나타내었다. 엔진의 출력은 전반적으로 Digital CDI시스템에서 향상되었으며 부하가 높을수록 출력의 향상폭이 커짐을 알 수 있었다. 또한 엔진의 회전수가 과도할때는 오히려 출력이 낮아지는 경향을 보였다.

Fig. 10은 같은 조건에서 연료소비율을 엔진의 회전수 변화에 따라 나타낸 그림이다. 그림에서 보는바와 같이 전반적으로 Digital CDI시스템을 적용했을 때 연료소비율이 향상 되었으나 저부하 저회전수에서는 오히려 연료의 소비율이 악화되는 것을 볼 수 있었다. 이는 본 연구에서 사용된 carburetor방식의 특성상 저부하시 불안정된 성능을 보여주었다고 사료된다.

Fig. 11에서는 열효율을 엔진의 회전수와 부하의 변화에 따라 기존의 엔진과 비교하여 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 때 저부하 저회전수 구역을 제외하고는 전반적으로 열효율이 향상되었음을 알 수 있었다.

Fig. 12에서는 출력과 연료소비율의 상관관계를 부하에 따라서 나타낸 그림이다. 그림에서 볼 때 Digital CDI 시스템의 적용은 연료소비율과 출력을 동시에 향상시키는 가장 확실한 방법이라고 말할 수 있다.

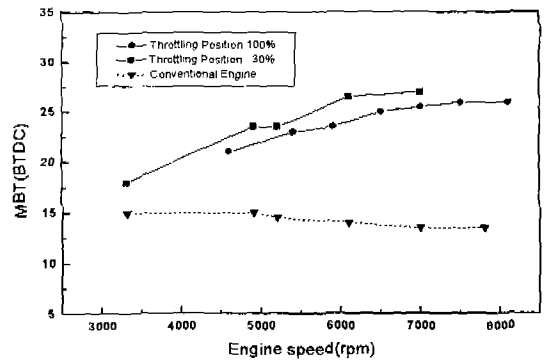


Fig. 8 MBT characteristics varied with engine speed and load

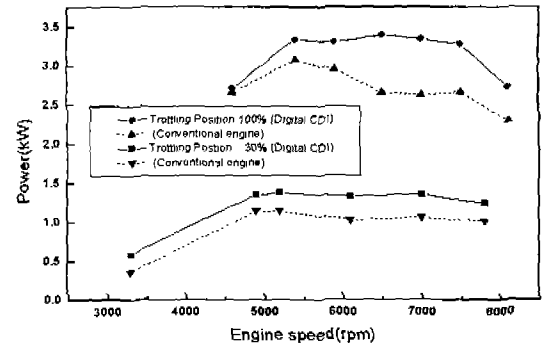


Fig. 9 Power characteristics varied with engine speed and load

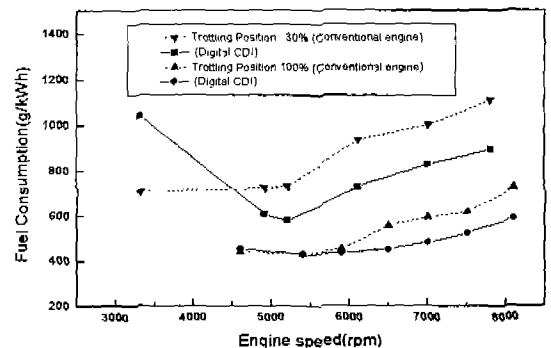


Fig. 10 Fuel consumption characteristics varied with engine speed and load

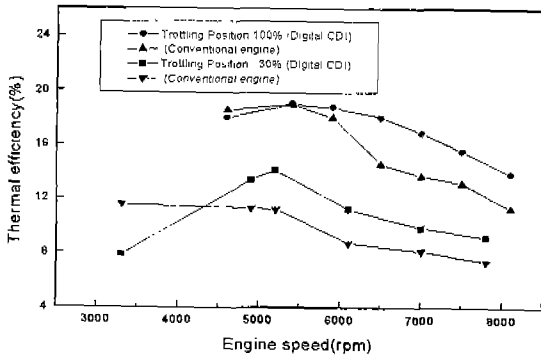


Fig. 11 Thermal efficiency characteristics varied with engine speed and load

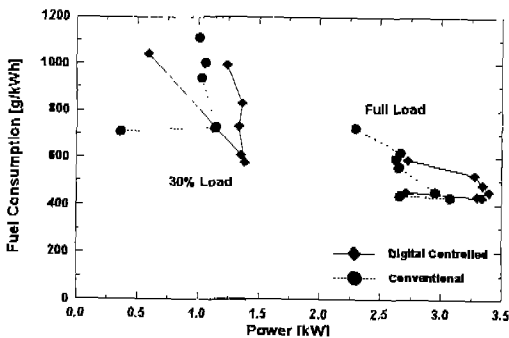


Fig. 12 Fuel consumption characteristics varied with engine power and load

5. 결 론

본 연구의 최종목표는 단기통 가솔린엔진에 주로 사용되고 있는 기계적으로 고정된 점화시스템을 Microprocessor를 이용하여 프로그래밍하고 그 결과를 기존의 엔진과 비교하여 나타냄으로써 점화의 진각이 엔진의 성능에 어떻게 변화하는지는 보여주고, 그에 따른 성능의 차이를 보여주는 데 있다. 또한 이를 위하여 CDI 시스템에 다른 점화진각기구를 사용하지 않고 본 연구실에서 제작한 프로그램이 가능한 점화진각기구를 소개하는데 있다. 이를 이용하여 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 기존의 4~5° 에 불과하던 점화 시기를 microprocessor를 사용하여 최적의 점화시기로 엔진을 작동시킬 수 있었다.

2) 최적의 점화시기를 결정하고 이를 엔진의 회전수에 따라 변하게 하는 프로그램의 알고리즘을 개발하였다.

3) 저속 저부하 영역을 제외한 엔진의 조건에서 Digital CDI 시스템은 연료소비율과 출력이 동시에 향상되었다.

4) 엔진의 부하별로 성능을 살펴볼 때 throttling position이 30% 및 100%에서 출력이 10~20% 향상되었으며 연료소비율과 열효율 또한 10~20% 향상되었다.

5) 위의 결과를 바탕으로 CDI system을 MSD(Multi Spark Ignition)시스템의 가능성을 확인하였다. 이는 CDI system을 사용할 경우 아주 짧은 rising time과 이를 제어하는 알고리즘으로써 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Orbital Co. "Pneumatic Fuel Injection Spurs Two Stroke Revival" Automotive engineering 1986.
2. F.Laimbock, "The potential of small loop-scavenged spark ignition single cylinder two stroke engine" SAE paper 910675.
3. X.sun, G.Brereton, K.morrison, "Emission analysis of small utility engines" SAE 952080.
4. J.Heywood. "Internal combustion fundamental" McGraw-Hill, 1988.
5. R.S.Spindt. "Air-Fuel ratios from exhaust gas analysis" SAE 650507.
6. BOSCH "Automotive Handbook" 3rd edition 1993 pp 455~463.
7. Tom denton. "Automobile Electrical & Electronic Systems". SAE international, 1995.
8. Ronald K. Jurgen. "Automotive Electronics Handbook". McGraw-Hill, 1997.