

다회수 스파크 점화기관의 기관성능에 관한 연구

A Study on the Engine Performance in a Multiple Spark Ignition Engine

이 성 열*, 한 병 호**
S . Y . Lee ; B . H . Han

ABSTRACT

The ignition quality of ignition system is influenced by spark energy, discharge pattern of spark energy and spark duration.

In this paper, the characteristics of multiple spark ignition system have been investigated for various number of spark and spark interval.

The results, which were compared with those obtained with a standard single spark ignition, show that engine output is increased, and lean misfire limit is extended with the multiple spark ignition system.

The most effective number of spark at the most effective spark interval that are determined by engine performance test, were 6 times spark at 0.20ms spark interval.

For the above condition of spark, engine torque was increased about 20% comparing with conventional ignition system and lean misfire limit was extended to air-fuel ratio 22.5:1.

This study researched the rate of heat release and quantity of heat release influenced by a condition of spark on the mass burned in order to investigate the relationship between the rate of mass burned and number of spark times.

1. 서 론

스파크 점화기관에 있어서 열효율을 높이기 위한 방법으로 회박연소를 들 수 있다. 그런데 회박연소에서는 화염속도의 저하가 문제로 되며, 또한 연소의 불안정을 초래하게 된다. 이것은 회박혼합기의 피점화성이 저하되기 때문이다. 따라서 확실한 스파크 점화가 필요하

며 또한 연료소비량의 저감에 따른 운전성 향상을 위해서도 확실한 점화와 사이클 변동이 적은 연소가 요구된다.

이러한 요구에 따라서 점화계의 고성능화가 필요하게 되며 이러한 점화장치를 예로 들면 high energy spark plug¹⁾, plasma jet igniter²⁻⁴⁾, laser igniter⁵⁾, torch igniter⁶⁾ 및 flame jet igniter⁴⁾ 등이 있다.

* 정회원, 성균관대학교 공과대학

** 정회원, 영남공업전문대학

그러나 이들 점화방식의 대부분은 높은 점화에너지가 요구되며 이로 인한 전극침식등의 장애가 있을 뿐만 아니라 높은 점화에너지 발생을 위한 특별한 부가장치를 필요로 하기 때문에 경제성에 대한 문제의 검토와 실제기관에 대한 적용성 여부도 검토 되어야 한다.

점화계의 점화능력 향상을 위한 다른 방법으로는 스파크 에너지 방출패턴을 개선하거나⁷⁻⁸⁾, 스파크 플러그를 개선하거나^{9,10)} 또는 다점점화를¹¹⁾ 하는 경우가 있다. 다점점화는 연소실의 구조를 변경해야 하고 스파크 플러그의 개선 등이 따라야 한다. 따라서 기존의 연소실을 변경해야 하거나 또는 기존의 점화계를 크게 변경해야 하는 등의 복잡성을 피하고 되도록 기존의 점화계를 살리면서 강력한 점화능력을 발휘할 수 있는 점화장치의 개발이 필요하다.

본 연구는 이와 같은 필요에 따라 기존 유도점화방식을 개선하여 적절한 스파크 간격으로 스파크 회수를 증가시킬 수 있고 스파크 회수와 스파크 간격을 조정함으로써 스파크 지속시간과 스파크 에너지 방출패턴을 변화시킬 수 있는 장치에 착안하여 다회수 스파크 점화장치를 사용하여 기관 성능실험을 수행하여 스파크 회수 및 스파크 간격 변화가 기관출력에 미치는 효과와 연소특성을 규명하고자 한다.

2. 다회수 스파크 점화장치의 설계

2.1 설계의 기본원리

통상의 유도방전 점화방식은 점화코일의 1차쪽에 흐르는 전류를 단속함으로써 2차쪽에 높은 점화전압이 발생한다. 따라서 단속기의 1회 개폐신호로 다수의 펄스신호를 발생시키

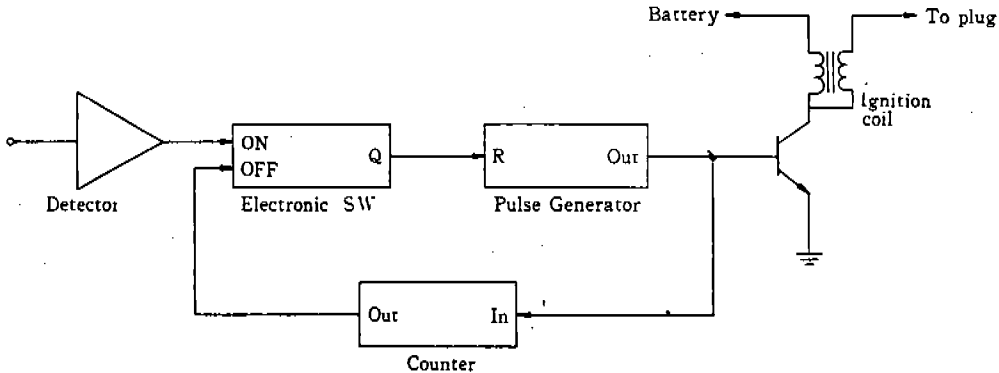


Fig. 1 Block diagram of designed circuit.

고 이 펄스신호를 이용하여 1차쪽 전류를 단속하도록 하면 다회수 스파크를 일으킬 수 있다. 이와 같은 기본 개념으로부터 다회수 스파크 점화장치를 설계하였으며 이것을 블록선도로 표시하면 Fig.1 과 같다.

Fig.1에서 보는 바와 같이 검출기(detector)는 단속기 개폐신호를 검출하고 검출기 신호는 펄스발생 제어스위치(electronic switch)로 인가되어 동작되고 이 스위치의 출력이 펄스발생기(pulse generator)로 인가되어 다회수의 트리거 펄스를 발생한다. 발생된 트리거 펄스는 계수기(counter)에 의하여 계수

되고 계수기의 출력은 펄스발생 제어스위치로 인가되어 OFF되고 펄스발생기는 계수된 회수만큼의 펄스를 발생하게 된다. 이 트리거 펄스는 트랜지스트에 의하여 점화코일의 1차 전류를 단속함으로써 요구되는 회수의 스파크를 발생시킨다.

2.2 설계된 회로 및 특성

Fig. 1의 block diagram에 따라 설계된 다회수 스파크 점화장치의 회로는 Fig.2와 같다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이 IC1은 전압비교기(voltage comparator)로 만들어진 검출

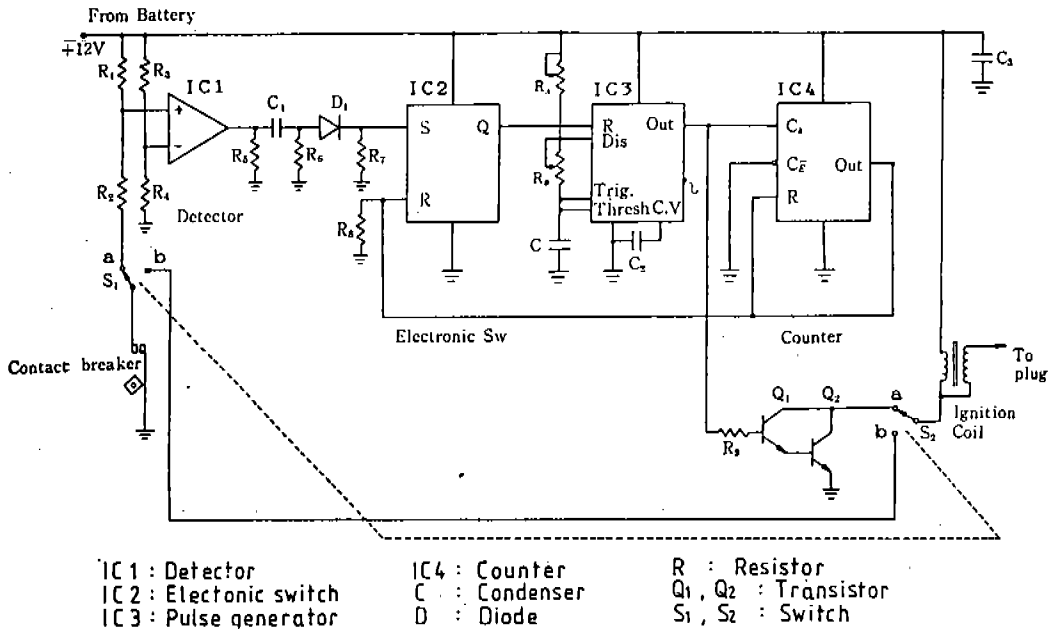


Fig. 2 Schematic diagram of designed circuit.

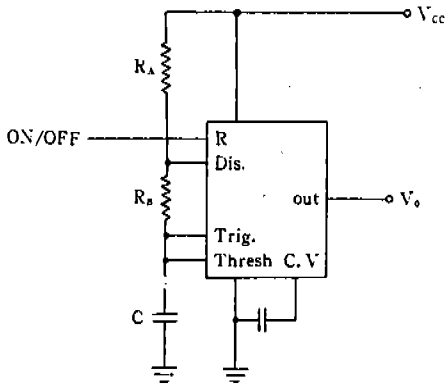
기이다. 이 전압비교기는 반전입력단자 (inverting input terminal)와 비반전입력단자 (noninverting input terminal)의 두개의 단자를 가지고 있으며 두 단자 사이의 전압차에 의하여 동작된다. 여기서 점화전원인 축전지 전압이 12볼트인 경우 전압비교기의 비반전 입력단자인 정의 단자를 단속기 접점 개폐에 의한 전압단자로 하고 반전입력단자인 부의 단자에 $12(V) \cdot R_3 / (R_3 + R_4)$ 의 전압을 가하여 기준전압 (V_{ref})으로 정하면 단속기 접점이 닫힐 때는 정의 단자전압이 부의 단자전압보다 낮게 되어 전압비교기 출력 단자전압은 0볼트가 되고 단속기 접점이 열릴때는 정의 단자전압이 부의 단자전압보다 높게 되어 전압비교기 출력 단자전압은 12볼트가 된다. 따라서 단속기에서 체터링 (chattering) 현상이 일어나면 기준전압보다 낮으면 0볼트가 되고 높으면 12볼트로 스위칭 되므로 체터링 현상에 의한 영향이 없으므로 기관 회전수 증가에 따른 2차전압의 감소와 실화를 방지할 수 있다.

이렇게 검출된 출력은 저항 R_6 와 콘덴서 C_1 에 의하여 날카로운 펄스신호로 되고, 다이오

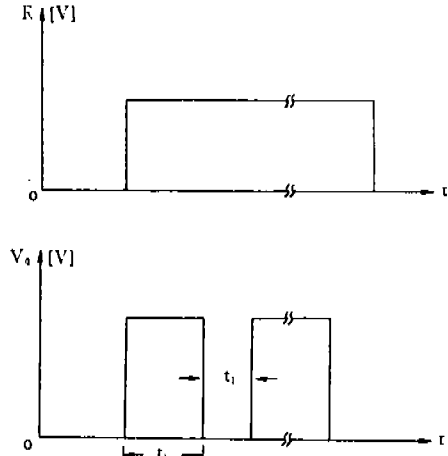
드 (diode) D_1 에 의하여 정의 펄스만 통과하여 펄스발생 제어스위치 IC2의 S 단자로 인가되면 스위치는 ON 되어 Q 단자에는 전원의 전압인 12볼트로 출력된다. 이 출력신호는 펄스발생기 (pulse generator) IC3의 R 단자로 인가되어 펄스를 발생한다.

이 펄스발생 제어스위치는 S 단자에 신호가 인가되고 R 단자에 입력되는 신호가 없으면 Q 단자는 출력되어 S 단자에 신호가 입력되며, R 단자에 신호가 인가되면 Q 단자에서의 출력은 없다. 따라서 S 단자에 인가된 정의 펄스신호에 의하여 스위치는 ON 되고, 계수기의 출력이 R 단자에 인가되면 스위치는 OFF된다.

전자스위치 IC2의 출력이 펄스발생기 IC3의 R 단자에 인가되면 가변저항 ($R_A + R_B$)를 통하여 콘덴서 C 는 충전된다. C 점의 전압이 상승하여 threshold 단자의 전압이 상승되면 펄스발생기 IC3의 내부 동작에 의하여 C 에 충전된 전하가 저항 R_B 를 통하여 discharge 단자로 방전한다. 이때 출력은 high (12볼트)에서 low (0볼트)로 되며 방전이 끝난후 다시 콘덴서 C 가 충전되면서 출력은 다시 low에서 high로 된다. R 단자가 12볼트로 인가



(a) Schematic feature of pulse generator



(b) Output wave form

Fig. 3 Pulse generator.

되면 이와 같은 동작이 계속 반복하므로 펄스 출력파형이 발생된다.

출력이 high (12 볼트)로 유지되는 시간을 t_h 로 하고 low(0 볼트)로 유지되는 시간을 t_l 로 하면 이들 각각의 시간은 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$t_h = \ln 2 (R_A + R_B) \cdot C \dots\dots\dots (1)$$

$$t_l = \ln 2 (R_B \cdot C) \dots\dots\dots (2)$$

식(1)과 식(2)에서 t_h 및 t_l 는 R_A , R_B , C 에 따라 정해지므로 이들 값을 조절함으로써 요구하는 펄스형태로 변화시킬 수 있다.

Fig. 3은 펄스발생기의 출력파형을 나타낸다.

계수기 IC4는 펄스발생기에서 발생된 펄스를 계수하며 요구되는 회수를 계수하면 계수된 출력신호는 계수기의 R 단자와 펄스발생 제어스위치 R 단자로 인가되어 계수기는 다음의 펄스를 계수할 준비를 하고 펄스발생 제어스위치는 OFF되어 Q 단자 출력전압이 0볼트가 된다. 따라서 펄스발생기는 더 이상의 펄스를 발생하지 않는다.

펄스발생기에서 발생된 트리거 펄스는 트랜지스터 Q_1 , Q_2 에 의하여 점화코일의 1차전류를 단속함으로써 2차쪽에 다회수 스파크를 발생하게 된다. 그리고 스위치 S_1 과 S_2 는 일체

로 된 전환스위치로 a 쪽의 단자로 전환하면 다회수 점화장치로 동작되며 b 쪽으로 전환하면 통상의 1회 스파크 점화장치로 동작된다.

3. 실험장치 및 실험방법

3.1 실험장치

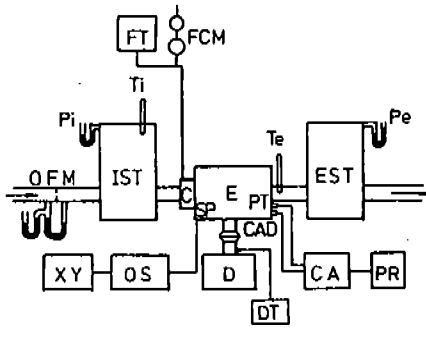
기관성능실험에 사용한 기관은 단기통이며 공냉식 직립형 기관으로 그 주요제원은 Table. 1과 같다.

Fig. 4는 실험장치의 개략도이다.

그림에서 보는 바와 같이 실험기관은 직류 동력계 (input : 7.5kw)와 직결하였고, 흡입 공기량은 오리피스 유량계 ($\phi 12$, round type)로 측정하고 연료소비량은 전자식 감응장치에 의한 디지털 연료소비량계로 측정함으로

Table. 1 Specification of engine used.

Engine type	Four stroke cycle engine, Air cooled, Vertical type L-Head chamber
Bore × Stroke	90 × 70 mm
Stroke volume	445cc
Compression ratio	4.5
Number of cylinder	1
Length	133 mm



OFM : orifice flow meter
 IST : inlet surge tank
 EST : exhaust surge tank
 FCM : fuel consumption meter
 CAD : crank angle detector
 FT : fuel tank
 CA : combustion analyzer
 PR : printer
 OS : oscilloscope
 XY : x-y recorder
 DT : digital tachometer
 SP : spark plug
 PT : pressure transducer
 Pi : inlet pressure
 Pe : exhaust pressure
 Ti : inlet temperature
 Te : exhaust temperature
 E : test engine
 C : carburetor
 D : dynamometer

Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus.

써 공기연료비를 산출한다.

기관을 포함해서 온도 측정이 필요한 부분에 CA 열전대 (피복외경 1.6mm) 삽입하여 온도 측정을 하도록 하였으며 특히 장시간 운전으로 축전지 전압이 낮아지는 것을 방지하기 위하여 정전압장치를 부가하였다.

다회수 스파크 점화장치의 1차 점화파형은 점화코일 1차단자에 저전압 측정용 프로브 (TEXTRONIX, 10X)를 사용하여 프로브에 검출된 신호를 오실로스코프 (HEWLETT PACKARD 1741 A, 100 MHZ)에 입력시켜 1차 점화파형을 측정하였고, 2차 점화파형은 스파크 플러그 단자에 고전압 측정용 프로브 (TEXTRONIX 5223, 40KV, 100 X)를 사용하여 이 프로브의 검출신호를 오실로스코프에 입력시켜 2차 점화파형을 측정하도록 하였다.

지압선도해석을 위하여 연소실에 압력변환기 (kistler 601A)를 삽입하여 연소해석장치 (ONOSOKKI, CB 366)로부터 해석한다.

3.2 실험방법

실험기관의 운전조건은 기화기의 드로틀 밸브를 전개로 하고 기관 회전수는 최대 토크 발생 회전수인 1,600rpm으로 고정하였으며 점화시기는 최적 점화시기로 하였다. 공기연료비는 흡입공기량과 연료소비량의 측정으로 산출하며 공기연료비의 변화는 기화기의 조량 오리피스 (metering orifice)에 설치된 니이

들 밸브로 조정하며 사용한 연료는 가솔린이며 연료의 공급은 연료탱크에서 중력식으로 공급된다.

실험변수로는 공기연료비와 스파크 회수 및 스파크 간격으로 하였으며 스파크 회수는 2회, 4회, 6회 및 8회로 하였다. 또한 스파크간격은 0.15ms, 0.20ms 및 0.25ms로 하였다.

이와 같은 운전조건 및 실험변수에 따라서 실험을 수행하였으며 각각의 운전 상태에서 기관 성능해석에 필요한 측정치를 측정하고 연소해석장치로부터 연소특성을 해석하기 위한 자료를 얻었다.

4. 기관성능

4.1 스파크 회수의 효과

다회수 스파크 점화기관에서 스파크 회수가 기관 토크에 미치는 효과를 규명하기 위하여 스파크 회수와 공기연료비를 실험변수로 하여 기관 성능실험을 한 결과는 Fig. 5와 같다.

Fig. 5는 스파크 간격이 0.20ms 일때 스파크 회수를 2회, 4회, 6회, 8회로 변화시킨 경우 기관의 토크를 공기연료비 변화에 대하여 나타낸 것이다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 스파크 회수가 1회인 경우에 비하여 스파크 회수를 2회로 한 경우의 토크는 크게 증가하며 이보다 스파크 회수를 증가하면 토크 증가율은 둔화된다. 여기서 대표적으로 공기연료비가 15:1

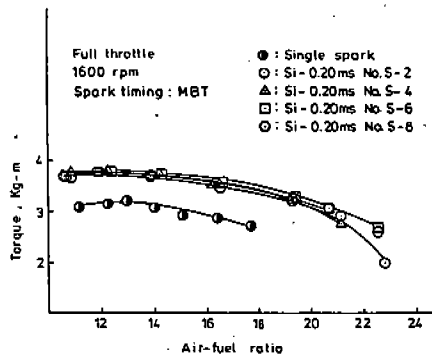


Fig. 5 Torque vs. air-fuel ratio and number of spark.

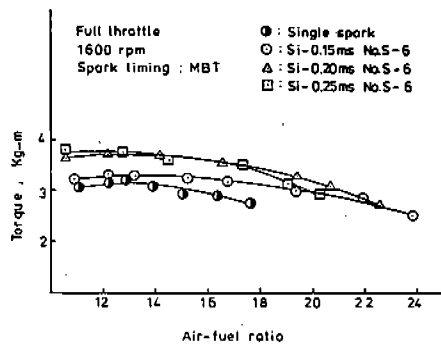


Fig. 6 Torque vs. air-fuel ratio and spark interval.

일때 1회 스파크와 다회수 스파크를 비교하면 1회 스파크에 비하여 2회인 경우는 21%의 토크가 증가하고 4회 및 6회인 경우는 23%정도 토크가 증대하며, 8회 스파크의 경우는 21% 정도로서 스파크 회수가 6회인 경우보다 토크 증가율은 적다. 또한 이 경우보다 희박한 공기연료비에서도 경향은 동일하다. 따라서 최적 스파크 회수는 실험기관에 있어서는 6회이다.

이 경우에 있어서 희박연소한계는 공기연료비 22.4:1로서 1회 스파크에 비하여 희박연소 영역이 27%정도 확대된다.

이와 같이 다회수 스파크는 1회 스파크에 비하여 토크가 크게 증가하고 희박연소영역이 크게 확장되므로 혼합기 변화에 대한 토크의 변동이 적으며 희박혼합기에서 연소의 안정영역이 확대될 수 있다.

4.2 스파크 간격의 효과

스파크 간격이 기관 토크에 미치는 효과를 규명하기 위하여 스파크 간격과 공기연료비를 실험변수로 하여 기관 성능실험을 한 결과는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6은 스파크 회수가 6회인 경우로서 (No.5-6) 스파크 간격Si을 0.15ms, 0.20ms 및 0.25ms로 증가함에 따라 기관 토크를 공기연료비 변화에 대하여 표시한 것이다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 스파크 간격 변화에 대한 토크를 1회 스파크의 경우와 비교하면 다회수 스파크의 경우가 1회 스파크에 비하여 토크는 증가하며, 또한 희박연소한계가 확대된다. 여기서 대표적으로 공기연료비가 15:1일때 통상의 1회 스파크의 경우에 비하여 스파크 간격이 0.15ms일때는 6.5% 증가하고 0.20ms와 0.25ms의 경우는 거의 같은 20%의 토크 증가 효과가 있다. 또한 이보다 희박한 공기연료비인 20:1의 경우는 스파크 간격이 0.15ms의 경우에 비하여 0.20ms의 경우는 8.5%증가하나 0.25ms일 경우는 오히려 감소되어 0.15ms의 경우와 같은 토크를 가지게 된다.

따라서 스파크 간격이 0.20ms인 경우가 토크가 최대가 되며, 희박연소한계는 22.5:1로 확장된다.

이상과 같이 스파크 간격이 0.20ms의 경우가 최대의 토크를 발생시키는 스파크 조건임을 밝힐 수 있다. 따라서 스파크 간격을 취하는데 있어서도 기관성능과 희박연소영역의 확대에 대하여 최적의 스파크 간격이 존재함을 알 수 있다.

5. 다회수 스파크에 의한 연소특성

스파크 회수 및 스파크 간격이 기관토크에 미치는 효과를 규명한 결과 기관토크에 있어서 가장 높은 값을 가지는 스파크 조건은 스파크 간격이 0.20ms 이고 스파크 회수가 6회인 경우이다. 이와 같은 스파크 조건에 대한 지압선도해석으로 열발생율을 구하고 이

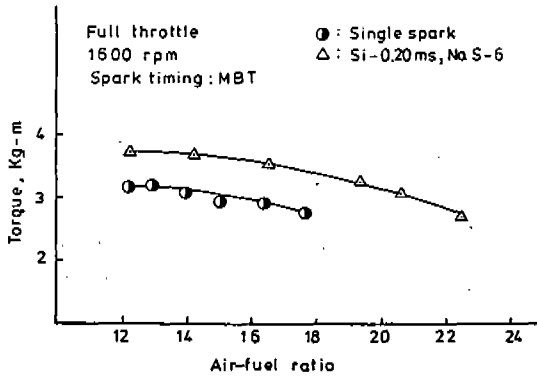


Fig. 7 Torque vs. air-fuel ratio and number of spark.

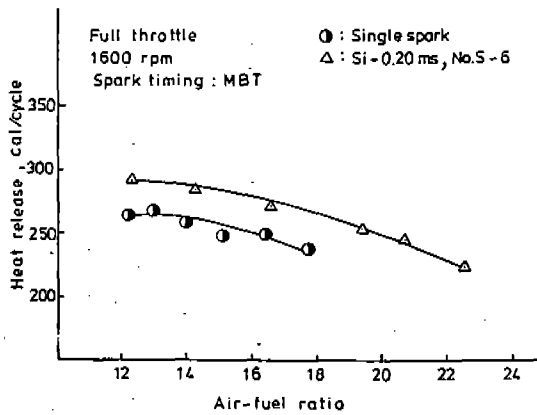


Fig. 8 Heat release with air-fuel ratio and number of spark.

것으로 질량연소율을 구하여 다회수 스파크에 대한 연소특성을 규명하고 통상의 1회 스파크의 경우와 비교 고찰하고자 한다.

Fig. 7은 스파크 간격이 0.20ms이고 스파크 회수가 6회인 경우와 통상의 1회 스파크와의 기관토크를 비교한 것이다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 6회 스파크의 경우가 1회 스파크의 경우에 비하여 토크가 20% 향상되며 또한 희박연소한계는 1회 스파크의 경우 17.7:1인데 비하여 6회 스파크의 경우는 22.5:1까지 확대된다.

다회수 스파크의 경우가 통상의 1회 스파크에 비하여 토크가 향상되는 이유는 Fig. 8에서 보는 바와 같이 발생열량이 다회수 스파크의 경우, 통상의 1회 스파크에 비하여 15

%정도 증대하며 이것이 토크 향상의 원인이 된다.

공기연료비 변화에 대한 열발생량의 변화는 Fig. 7의 토크 변화와 상사하다.

이상과 같이 통상의 1회 스파크에 비하여 다회수 스파크의 경우 기관토크가 향상된다는 것을 지적하였으며 그 원인을 열발생량의 증대에 기인하는 것이라고 지적하였다.

이 경우의 연소특성을 고찰하기 위하여 대표적으로 공기연료비 15:1일때의 다회수 스파크와 통상의 1회 스파크의 지압선도를 비교한 것이 Fig. 9이다.

Fig. 9에 있어서 다회수 스파크의 점화조건은 스파크 간격이 0.20ms이고 스파크 회수가 6회인 최적의 점화조건을 선택하였으며 점화시기는 다회수 스파크나 통상의 1회 스파크에 있어서 각각 최적의 점화시기를 취하였다.

그림에서 보는 바와 같이 통상의 1회 스파크의 경우는 사이클의 최고압력이 18.4kg/cm²인데 비하여 다회수 스파크의 경우는 22.5kg/cm²이며 최고압력이 22%정도 높게 된다.

또한 열발생율을 비교한 것이 Fig. 10이다. 그림에서 보는 바와 같이 통상의 1회 스파크에 비하여 열발생율의 최고값이 높고 점화지연기간이 통상의 1회 스파크가 13.9°인데 비하여 다회수 스파크는 10.5°이다. 따라서 점화성이 향상되고 있음을 확인할 수 있었고 총 열발생기간에 있어서도 통상의 1회 스파크는 72.8°인데 비하여 다회수 스파크는 64.8°이다. 이와 같이 다회수 스파크의 경우가 총 열발생기간이 짧다는 것은 연소기간 동안의 냉각손실을 감소시킬 수 있는 잇점이 있으므로 전술한 바와 같은 총 발생열량의 증대에 기여하여 결과적으로 기관토크에 향상을 가져온 것으로 판단된다.

또한 질량연소의 동태를 파악하기 위하여 질량연소율곡선을 비교한 것이 Fig. 11이다. 그림에서 보는 바와 같이 통상의 1회 스파크에 비하여 다회수 스파크의 질량연소가 앞당겨져 있으며 이것은 통상의 1회 스파크에 비하여 좀더 빠른 연소가 되고 있음을 뜻한다. 주연소기간 즉 질량 10% 연소로부터 90% 연소

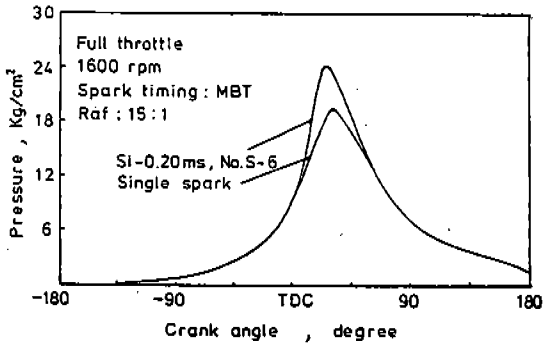


Fig. 9 P- θ diagram with number of spark at air-fuel ratio 15 : 1.

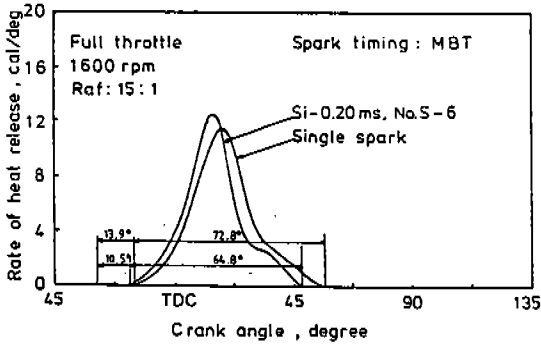


Fig. 10 Rate of heat release with number of spark at air-fuel ratio 15 : 1.

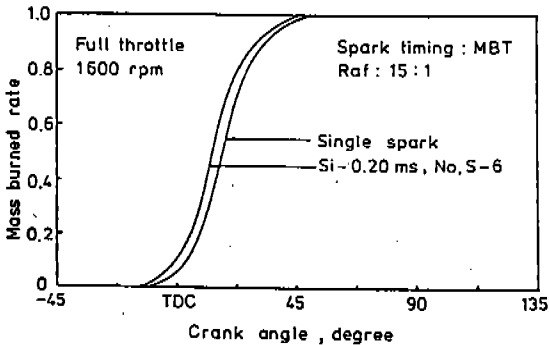


Fig. 11 Mass burned rate with number of spark at air-fuel ratio 15 : 1.

까지의 기간을 크랭크 각으로 비교하면 통상의 1회 스파크의 경우 32°인데 비하여 다회수 스파크의 경우는 29°로 된다.

이상과 같은 결과를 종합하면 다회수 스파크의 경우 점화지연기간이 짧은 것으로 보아 스파크 에너지의 증대에 의하여 연소기간이 단

축됨을 알 수 있다. 연소기간의 단축은 궁극적으로 냉각손실의 감소에 기여될 뿐만 아니라 질량연소가 촉진되고 있음을 말하며 이와 같은 두가지 요인에 의하여 총 발생열량의 증대로 이어지며 결과적으로 기관토크 향상에 기여하게 되는 것이다.

6. 결 론

이상의 연구 결과에 대한 결론은 다음과 같다.

(1) 설계 제작된 다회수 스파크 점화장치는 요구하는 스파크회수와 스파크 간격으로 변화시킬 수 있으며, 통상의 스파크 점화기관의 구조 변경없이 그 적용이 매우 우수하다.

(2) 다회수 스파크 장치의 스파크 회수 및 스파크 간격 변화에 대한 성능실험결과, 최적의 스파크 조건이 존재함을 알 수 있었고 본 실험 기관에 대하여는 스파크 회수 6회 및 스파크 간격 0.2ms의 경우가 최적이다.

(3) 최적의 스파크 조건을 주면 다회수 스파크 점화기간은 통상의 1회 스파크 점화기관에 비하여 기관 토크의 향상이 있고, 또한 희박연소 영역이 확대되어 희박연소가 가능하다.

(4) 다회수 스파크 점화기관의 연소 특성을 해석한 결과 통상의 1회 스파크 점화기관에 비하여 점화지연기간 및 연소기관이 단축되고, 또한 발생열이 증가한다. 이것이 토크 향상의 원인이 되는 것이다.

참 고 문 헌

1. B. Lewis and G. Von Elbe; Combustion Flames and Explosion of Gases, Academic Press, 2nd edition, 1961.
2. Dennis J. Fitzgerald; Pulsed Plasma Igniter for Internal Combustion Engine, SAE Tech. paper series 760764, 1976.
3. A.K. Oppenheim et al; Ignition of an Ultra-Lean Mixture, SAE Trans. 780637 pp.2416-2428, 1978.

4. J.R. Asick et al; Design of a Plasma Jet Ignition System for Automotive Application, SAE Trans. 770355, pp.1516-1530, 1977.
5. J.D. Dale et al; Laser Ignited Internal Combustion Engine-An Experimental SAE Trans. 780329, pp.1539-1548, 1978.
6. Jim G. Adams; Torch Ignition for Combustion Control of Lean Mixtures, SAE Tech. paper series 790440, 1979.
7. M.S. Hancock, D.J. Buckingham and M.R. Belmont; The Influence of Arc Parameters on Combustion in a Spark Ignition Engine, SAE Tech. paper series 860321, 1986.
8. Meroji Nakai, Yasuhiko Nakakawa, Kyugo Hamai and Masazumi Sone; Stabilized Combustion in a Spark Ignited Engine through a Long Spark Duration, SAE Tech. paper series 850075, 1985.
9. R.W. Anderson and Asik; Lean Air-Fuel Ignition System Comparison in a Fast-Burn Engine, SAE Tech. paper series 850076, 1985.
10. W.G. Rado et al; The Performance of a Multigap Spark Plug Designed for Automotive Application, SAE Trans. 760264, pp.1112-1122, 1976.
11. Noriko Nakamura et al; Multipoint Spark Ignition for Lean Combustion, JSAE Trans. No.33, pp.18-24, 1986.