

< 논 문 >

희박연소용 점화장치에 대한 기초연구

이상준* · 나성오** · 이종태***

(1996년 1월 30일 접수)

A Basic Study on Ignitor for Lean Burn

Sang Joon Lee, Sung Oh Ra and Jong Tai Lee

Key Words : Constant Volume Combustion Chamber(정적연소기), Capacitor Discharge Ignitor(용량방전 점화장치), Multi-Point Spark(다점점화), Multiple Spark(다회수 점화), Spark Interval(스파크 간격)

Abstract

In order to establish the ignition system for lean burn, the influence of the number of spark plug, spark times and spark intervals on discharge pattern of spark energy on ignitability and combustion characteristics were evaluated. It showed that, ignitability remarkably increased with the case of multiple spark ignition system than with the case of single spark and the lean limit extended fuel/air equivalence ratio by 0.1, the increase of magnitude and lasting time of capacity component and inductance component was multi spark discharge in a row.

1. 서 론

자동차용기관 특히 승용차용 가솔린기관에서 배출가스 규제 및 연비 규제 등과 같은 범규제와 엔진 성능 향상요구에 대처하기 위하여 희박연소 엔진의 개발이 진행되고 있다. 희박연소기관을 실현화하기 위한 방법으로는 점화장치의 점화성을 증가시키는 방법과 희박혼합기의 피점화성을 증가시키는 방법이 있다.

희박혼합기의 점화성은 점화가 이루어져 화염핵이 형성된 후의 문제로서 근본적으로 점화가 이루어지지 않으면 초희박연소엔진의 실현은 불가능하게 된다. 이러한 관점에서 보면 점화장치의 점화성을 어떻게 향상시키는가 하는 것이 중요한 문제이다.^(1,2)

점화장치의 점화성을 향상시키기 위한 방법으로는 대표적으로 점화에너지의 증가방식, 점화플러그 개수의 증가방식과 다회수 스파크 점화방식을 고려할 수 있다.

점화에너지를 증가시키는 방법은 가장 간단한 방법이지만 희박혼합기에 화염핵을 형성시켜 화염이 전파할 정도의 고점화에너지를 얻기가 용이하지 않고, 또한 스파크플러그의 내구성이 현저히 떨어지는 점이 있다.⁽³⁾

점화플러그 개수를 증가시키는 방법, 즉 다점점화는 다수의 점화위치에서 동시에 스파크를 튀겨 희박혼합기가 점화되는 확률을 높이는 방식이다. 최근 Mazda자동차에서는 연소실 벽면에 다수의 점화플러그를 삽입하는 방법(surrounding combustion process)을 사용하여 희박연소의 실현을 추구한 바 있다.⁽⁴⁾ 이와 같은 방법은 최고 연소가스 온도를 낮출 수 있고, 피스톤링의 틈새로 미연 혼합기가 누출되는 것을 억제할 수 있는 효과가 있다. 또한 다점 점화에 의한 연소기간의 감소와 착

*회원, 국립기술품질원 산업기계과

**회원, 성균관대학교 대학원

***회원, 성균관대학교 기계공학과

화율의 증가로 회박한계가 확장되는 장점이 있다고 밝히고 있다. 그렇지만 이 방법은 연소실의 구조적인 문제로 인해 실용상 채택이 용이하지 않다.

다회수 스파크 점화장치를 사용하는 방법은 연소실의 한 지점에서 여러번의 스파크를 일으킴으로써 착화율을 향상시키는 방법이다. 이에 대한 연구는 미국 Ford자동차에서 수행된 바 있으며, 회박 한계가 확장되는 것을 밝혔다.⁽⁵⁾ 또한 본 연구실에서도 전류차단식 다회수 스파크 점화장치를 사용하여 연구한 결과 스파크 횟수, 간격 및 지속시간이 회박한계와 같은 연소특성에 영향을 미친다는 것을 해석한 바 있다.⁽⁶⁾

이와 같이 각 점화방식은 서로 장단점이 있으므로 상기의 세 가지의 방식에 대하여 정적연소기를 대상으로 하여 프로판 공기에혼합기의 점화능력과 연소특성을 파악하여 최적의 회박연소엔진용 점화시스템의 설계개념을 확립하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 점화장치

점화에너지, 점화플러그 개수와 스파크 횟수 및 간격의 변화에 대한 점화능력을 해석하고자 구성한 점화장치는 다음과 같다.

점화장치는 용량방전 점화장치(capacity discharge ignitor)를 사용하였다. 용량방전 점화장치는 콘덴서에 고압의 전압을 충전시키고, 점화시기에 콘덴서에 충전된 에너지를 2차 코일에 방전시켜 스파크가 튀는 방식이다.

Fig. 1은 점화장치의 회로도를 나타낸 것이다. 용량방전 점화장치는 고압의 직류 전압을 발생하는 정류기, 에너지를 충전과 방전하는 콘덴서, 콘덴서의 전하를 2차 코일에 방전시키는 SCR, SCR의 게이트 신호를 제어하는 스파크 제어장치 그리고 1차 코일 및 2차 코일로 구성된다.

1차 전압은 1차 승압기에서 200V~410V로 승압

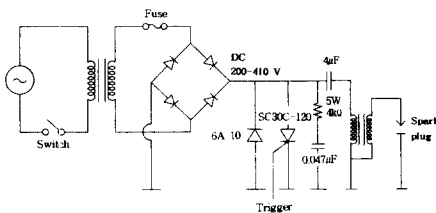


Fig. 1 Circuit of capacitor discharge ignitor

된 후 정류기를 거쳐 콘덴서에 저장된다. 저장된 전압은 점화시기에 해당되는 시기에 SCR(1200V, 25A)에 Trigger 신호를 줌으로써 방출되어 2차 승압기를 거쳐 스파크가 일어나게 된다.

점화에너지를 증가시키는 경우 이와같은 용량방전식 점화장치의 콘덴서 개수와 공급되는 입력 전압을 변화시켰다.

점화플러그 개수를 변화시키는 경우는 각각의 점화플러그에 동등한 점화에너지를 공급하여야 한다. 따라서 전술한 바와 같은 용량방전식 점화장치를 각각의 점화플러그에 연결한 후 동시에 스파크를 일으키도록 점화장치를 구성하였다. 여러 개의 점화장치를 동시에 작동시키기 위하여 SCR에 트리거 신호를 동시에 줄 수 있도록 회로를 구성하였다.

다회수 스파크 점화의 점화장치인 경우는 스파크를 튀는 횟수에 해당하는 수만큼의 용량방전식 점화장치가 독립적으로 있고 한 개의 스파크플러그에 요구되는 스파크 횟수 및 간격으로 점화장치를 연속적으로 작동시켜 다회수 스파크가 가능하게 하는 점화장치를 구성하였다.

다회수 스파크 점화장치는 스파크 횟수 및 간격과 점화에너지를 변화할 수 있도록 설계하였다. 용량방전식 다회수 스파크 점화장치의 개략을 Fig. 2에 나타낸다. 다회수 스파크 점화장치는 다수의 용량방전식 점화장치와 스파크간격 및 횟수를 제어할 수 있는 제어부로 구성된다. 제어부는 비교기, 필

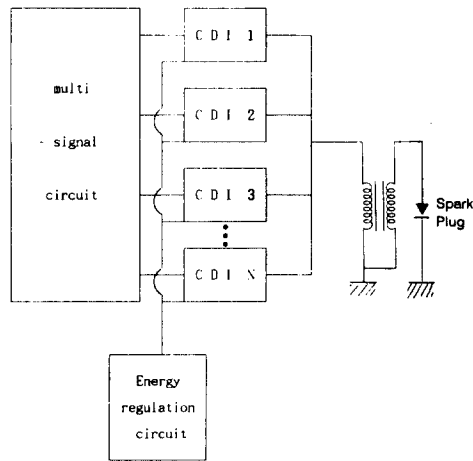


Fig. 2 Schematic diagram of multi spark capacitor discharge ignitor(MSCDI)

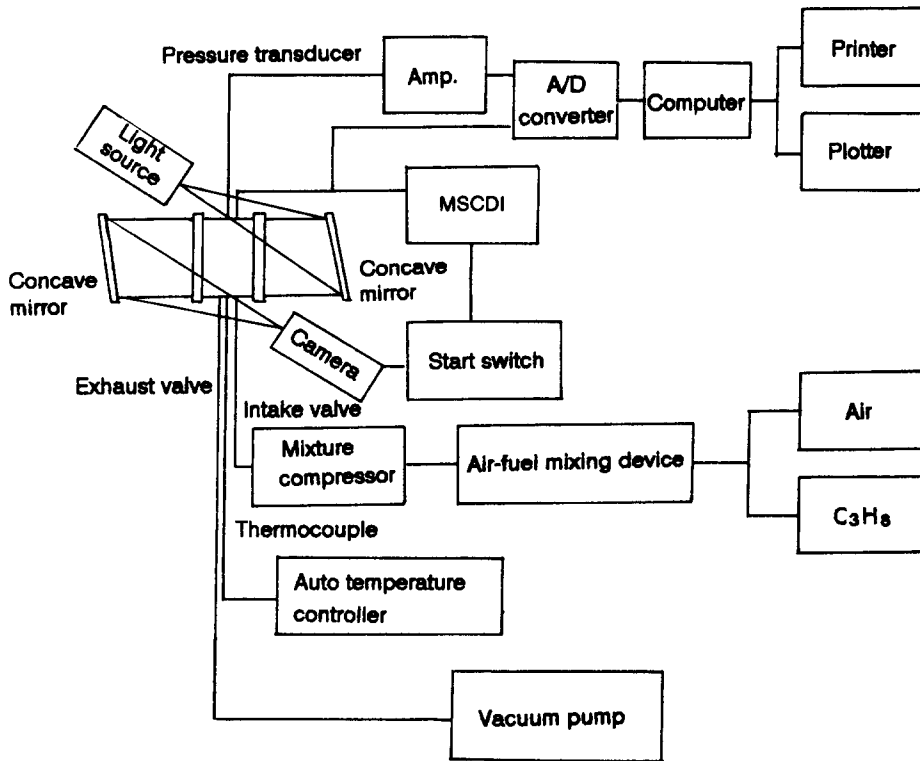


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

스발생기, 펄스발생제어장치 그리고 계수기로 구성된다.

스파크 횡수와 간격은 2차 전압의 방전시기를 결정하는 펄스의 폭과 횡수를 조절함으로써 결정하였다.

펄스의 간격과 횡수가 정해지면 계수기의 신호는 SCR 게이트용 파형정형회로를 거쳐 SCR의 게이트 신호로 사용된다. 이 신호에 의해서 콘덴서에 저장된 에너지가 연속적으로 방전된다.

2.2 실험장치 및 방법

Fig. 3은 실험장치의 전체적인 개략이다. 실험장치는 정적연소기, 예혼합기 제조장치, 혼합기 압축장치, 숄리렌장치, 데이터 측정장치 및 해석장치로 구성된다.

Fig. 4는 정적연소기의 개략도이다. 정적연소기는 기관의 연소실을 고려하여 지름 80mm, 높이 22mm인 원통형으로 제작하였으며, 연소실 체적은 110cm³이고 재질은 S45C이다. 정적연소기 외측에는 스파크플러그, 흡입밸브, 배기밸브, 압력변환기

및 팬히터를 설치하였다. 연소실의 양쪽면에는 화염이 전파하는 과정을 숄리렌 촬영하기 위하여 두께 19mm의 경화유리를 설치하였다.

스파크플러그는 통상의 자동차용 점화플러그의 중심선주 끝에 지름 2mm의 황동선을 길게 연장하여, 소정의 위치에 점화위치를 잡도록하였다. 스파크플러그의 전극 간극은 0.8mm, 전극 선단의 방전면은 평면으로 하였다.

흡·배기밸브는 밸브 끝부분의 공간이 연소실에 노출되면 연소실내 예혼합기가 그 공간에 충전되므로, 밸브의 니들선단이 밸브 끝에 위치하도록 제작하였다.

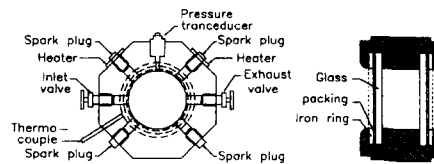


Fig. 4 Schematic diagram of constant volume combustion chamber

연소실의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 200 W 용량의 팬히터 두 개를 연소기의 외측벽에 설치하였다. 이때 연소실의 온도를 측정하기 위하여 연소실의 내벽면으로부터 3mm 떨어진 위치에 열전대($\phi 1.6\text{mm}$, K Type)를 삽입하였다.

화염전파의 가시화에는 슬리덴장치, 고속카메라, He-Ne-Laser 광원(20mW)을 사용하였으며, 고속카메라의 셔터 열림시기는 짐화신호와 동기시켜서 사용하였다. 고속카메라의 촬영속도는 2500fps로 하였다.

점화에너지의 방출과형을 파악하기 위하여 고전압 프로브(Tektronics Inc. P6015, 1000X)와 메모리스코프(Tektronics Inc. 5223)를 이용하여 2차 전압과형을 메모리스코프에 저장한 후 카메라로 촬영하였다.

점화에너지 E는 콘덴서에 저장된 에너지가 승압된 후 전부 방전된다는 가정으로부터 $E=1/2C \cdot V^2$ 으로 구하였다. 여기서 C는 콘덴서의 용량, V는 콘덴서에 충전되는 전압이다.

각각 점화방식에 대한 실험방법은 다음과 같다.

점화에너지를 변화시키는 경우에는 점화장치에 공급되는 전압과 콘덴서의 용량을 변화시킴으로써 변화시킨다. 전압은 200V~410V의 범위에서 6단계로 변화시켰다. 또한 콘덴서용량은 1 μF 의 용량을 갖는 콘덴서를 병렬로 연결하여 변화시켰다. 콘덴서용량은 2 μF , 3 μF , 4 μF 인 3경우이다. 이 경우 점화위치는 연소실의 중앙으로 하였다.

점화플러그 개수를 변화시키는 경우에는 점화플러그가 연소기 벽면에 1, 2, 3, 4인 경우이다. 점화위치는 연소실 벽면에 위치하며 각 점화플러그의 중심선주를 약 4mm 돌출되도록 설치하였다. 이후 이 점화방식을 각각 1점, 2점, 3점 그리고 4점 점화라고 칭한다. 이때 점화장치는 각각의 점화플러그에 독립적으로 설치한다.

그리고 스파크 횟수 및 간격을 변화시키는 경우에는 스파크 점화횟수는 1회로부터 4회까지, 스파크간격은 0.05ms, 0.1ms, 0.2ms, 0.5ms와 1ms로 하였다.

다회수 스파크인 경우 스파크횟수를 증가시킴에 따라 점화에너지가 증가하게 된다. 이로인해 스파크횟수를 증가시킨 경우의 점화능력에는 점화에너지 증가에 대한 영향분이 포함되어 있다. 따라서 필요한 경우 스파크횟수가 증가해도 총점화에너지가 변화하지 않도록 매 스파크의 점화에너지를 조

절하였다. 점화위치는 스파크플러그가 연소실중앙에 위치하는 중심점화로 하였다.

혼합기는 프로판 공기에 혼합기를 사용하였고, 연료공기당량비는 1.1 부터 점화가 용이하지 않은 희박한 혼합기까지 단계적으로 변화시켰다. 연소실의 초기압력은 1.0bar, 초기온도는 313K로 고정하였다.

3. 점화방식의 변화에 따른 점화능력 및 연소특성

3.1 점화에너지 증가 방식

3.1.1 점화능력

Fig. 5는 각각의 연료공기 당량비에 있어서 점화에너지 변화에 따른 점화능력을 나타낸 것이다. 여기서 점화능력은 여러번 스파크를 시켜 점화가 되는 확률, 즉 착화율을 백분율(%)로 정의한 것이다.

통상적으로 알려진 바와 같이 점화에너지가 증가함에 따라 점화능력은 증가하는 경향이며, 전체적으로 연료공기 당량비가 희박해짐에 따라 점화능력은 저하되는 것을 나타낸다.

실례로 당량비 1.1에서 점화능력이 100%인 점화에너지를 당량비 0.8인 희박혼합기에 대하여 점화시키면 점화되는 확률은 약 반으로 떨어지며, 이 혼합비에 있어서 점화능력을 100%로 향상시키기 위해서는 점화에너지가 당량비 1.1의 경우의 점화

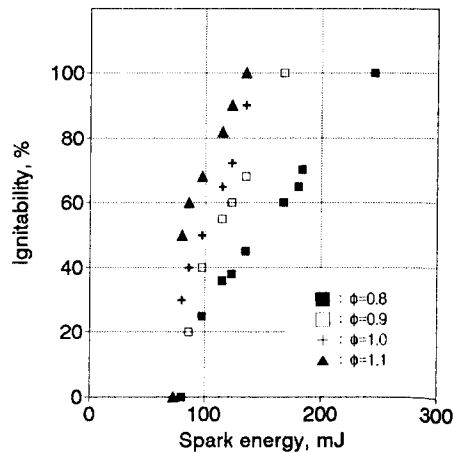


Fig. 5 Ignitability as a function of spark energy at each fuel/air equivalence ratio

에너지에 비하여 약 2배 정도 요구되는 것을 나타내고 있다.

점화에너지는 충전용량 또는 충전전압을 증가시키는데 따라 증가되는데, 점화에너지를 증가시키더라도 어느 것을 증가시키는 것이 점화능력 향상에 보다 유리한가를 파악하였다.

Fig. 6에 동일 점화에너지에 있어서 충전용량과 충전전압을 변화시킨 경우의 점화능력을 연료공기당량비에 대해 나타낸다. 여기서 점화에너지는 대표적으로 115mJ과 135mJ에 대해 파악하였으며, 충전용량을 증가시키면서 충전전압을 감소시켜 점화에너지를 일정하도록 하였다.

전술한 바와 같이 혼합비가 희박해짐에 따라 점화능력은 전체적으로 감소하는 경향이다. 그러나 동일 점화에너지에 있어 콘덴서 용량과 전압을 변화시킨 경우의 점화능력은 각각의 혼합비에 대하여 약간의 차이가 있지만, 전체적으로 그리 큰 차이가 없는 것으로 볼 수 있다.

점화에너지가 동일하여도 충전용량과 충전전압이 변화하면 점화에너지 방출파형이 변화할 것이므로 Fig. 7에 점화에너지 방출파형을 나타낸다.

그림에서 나타난 바와같이 점화에너지의 방출파형은 모두 초기에 도전로가 형성될 때까지 높은 전압으로 상승된 후 방출하면서 급격히 떨어지고, 그 후 낮은 전압으로 방출이 지속되는 것을 알 수 있다. 이와 같은 점화에너지의 방출파형은 두 영역으로 구분할 수 있다. 최초의 큰 파형은 용량방전에 의한 용량성분이며, 후반부에 작은 값은 유도방전에 의한 유도성분이다.

충전용량과 전압을 변화시키면 두 성분의 크기는 약간의 차이를 나타낸다. 즉, 충전용량이 증가함에 따라 전압의 최고치는 감소하고, 용량성분 및 유도성분의 지속시간이 증가하는 경향이다. 그리고 전압이 증가함에 따라 전압의 최고치는 증가하고 용량성분 및 유도성분의 지속시간이 감소하는 경향이다. 점화능력은 용량성분 및 유도성분의 크기와 지속시간에 좌우된다. 그런데 충전용량과 충전전압을 변화시킨 경우 점화능력이 큰 차이를 나타내지 않는 것은 전압의 최고값과 방전의 지속시간이 충전용량과 충전전압에 대해 반비례관계가 있어, 충전용량과 충전전압을 변화시켜도 용량성분 크기가 대체로 동일하기 때문이라고 생각된다.

따라서 점화능력은 충전용량 및 충전전압의 크기에 상관 없이 점화에너지가 동등하다면 대체로 일

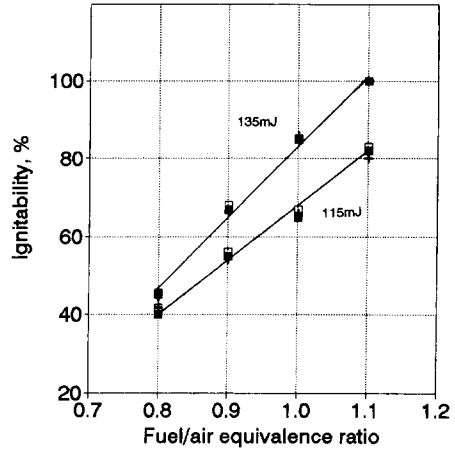


Fig. 6 Ignitability as a function of fuel/air equivalence ratio at spark energy 115mJ and 135mJ

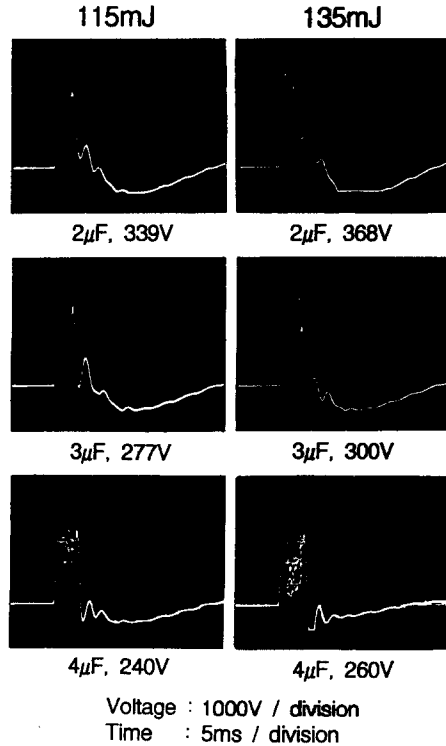


Fig. 7 Discharge pattern of spark energy as a function of charge voltage and capacitor

정하다는 것을 알 수 있었다.

3.1.2 연소압력 및 연소기간

Fig. 8은 각각의 연료공기당량비에 있어서 점화

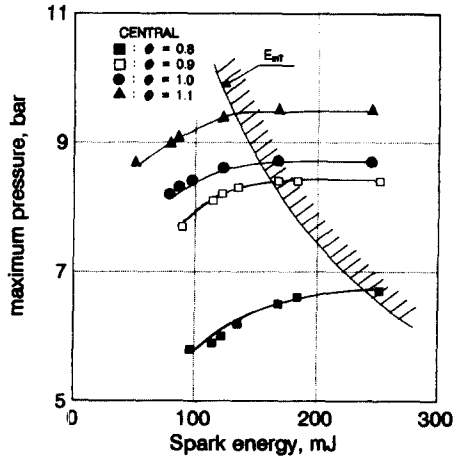


Fig. 8 Maximum pressure as a function of spark energy at each fuel/air equivalence ratio

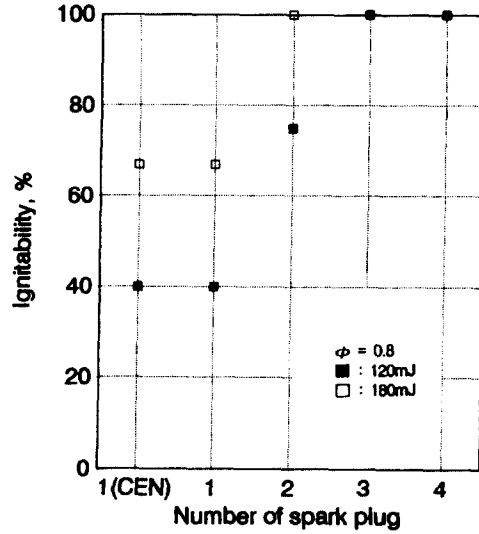


Fig. 10 Ignitability as a function of number of spark plug at spark energy 120mJ and 180mJ

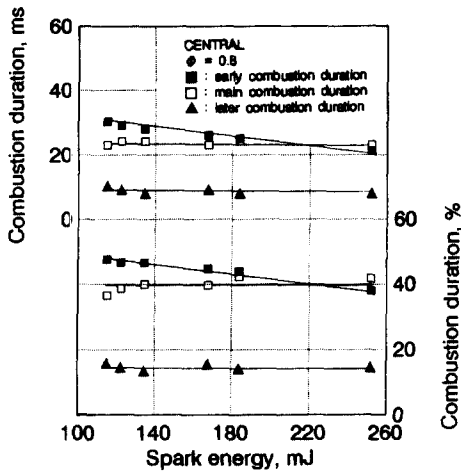


Fig. 9 Combustion duration as a function of spark energy

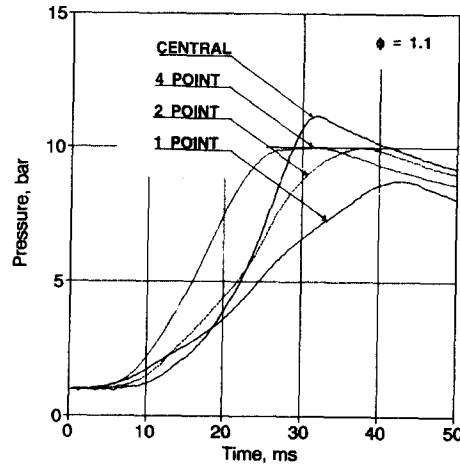


Fig. 11 Pressure as a function of time at each number of spark plug

에너지의 변화에 따른 최고연소압력을 나타낸 것이다. 점화에너지를 증가시키면 최고연소압력은 증가하는 경향이다. 그러나 어느 정도 이상 점화에너지를 증가시키면 거의 일정한 경향(E_{eff})을 나타낸다. 이것은 연소압력의 최고치를 얻기 위해 소요되는 점화에너지의 최소치가 있음을 나타내는 것이며, 이 점화에너지의 최소치는 연료공기당량비가 희박해짐에 따라 증가하는 경향이다. 이 점화에너지의 최소치를 전술한 바 있는 점화능력이 100%되는 점화에너지와 비교하면 거의 일치하는 경향을

나타내고 있다.

이와 같이 점화에너지를 증가시킴에 따라 최고압력이 차이를 나타내는 것은 연소기간의 대소에 따른 열손실의 차이에 기인하는 것으로 볼 수 있으므로, 점화에너지에 대한 연소기간의 변화를 해석하였다.

Fig. 9는 점화에너지의 변화에 대한 연소기간을 각각 초기연소기간, 주연소기간 및 후연소기간으로 구분하고, 또한 이들을 전연소기간(0~100%)에 대한 백분율로 나타낸 것이다. 여기서 초기, 주, 후

연소기간은 각각 질량연소율 0~10%, 10~90%, 90~100%까지의 기간으로 정의하였으며, 연료공기당량비는 0.8이다.

점화에너지가 증가함에 따라 초기연소기간은 감소하며, 주연소기간 및 후연소기간은 큰 변화가 없는 경향이다. 또한 각각의 연소기간을 전연소기간에 대한 비로 나타내 보아도 초기연소기간의 비는 감소하는 경향이며, 주연소기간의 비는 증가, 후연소기간의 비는 거의 변화가 없다. 따라서 점화에너지

의 증가에 따른 전연소기간의 감소는 초기연소기간의 현저한 감소에 영향을 받는 것으로 판단된다. 그러므로 점화에너지의 증가는 초기연소기간을 감소시켜 전 연소기간중의 열손실을 감소시킴으로써 연소실내의 최고압력을 증가시키는 것으로 생각된다.

3.2 다점점화 방식

Fig. 10은 연료공기당량비 0.8에 있어서 점화플

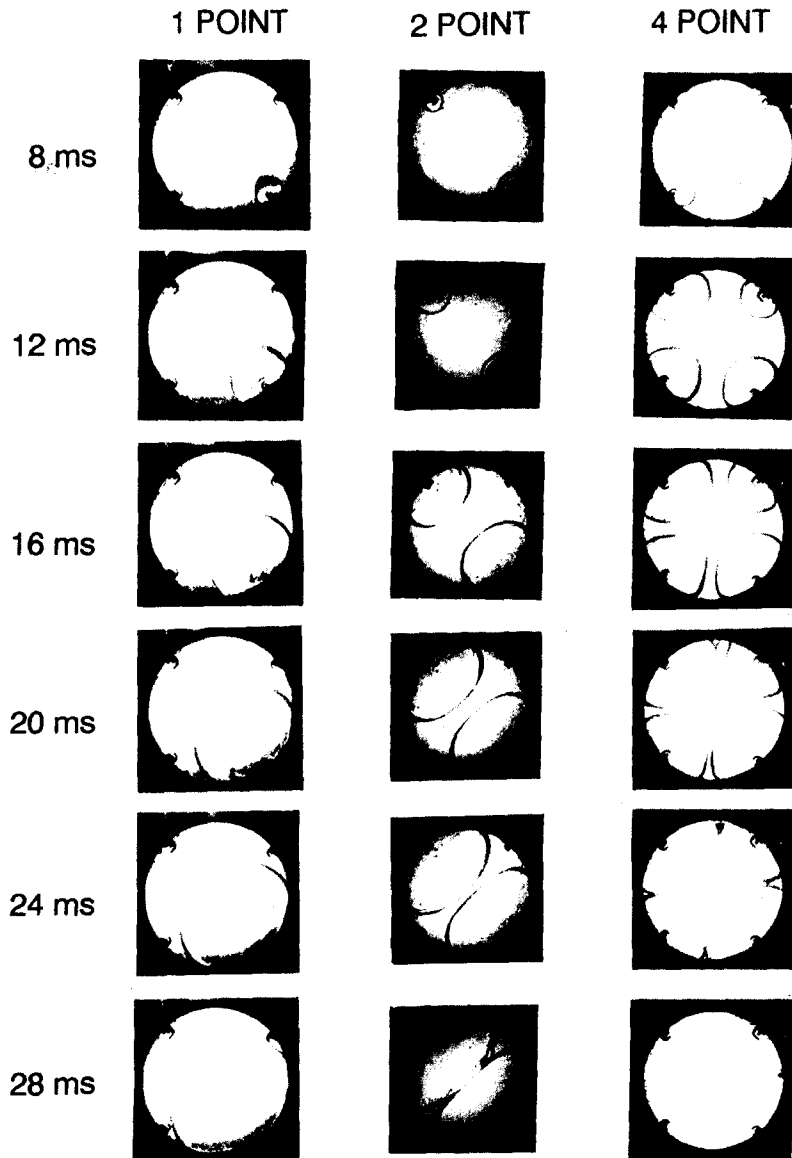


Fig. 12 Photographs of flame propagation as a function of number of spark plug

러그 개수의 변화에 대한 점화능력을 나타낸 것이다. 이 경우 점화에너지는 120mJ과 180mJ인 경우로 하였다.

점화플러그 개수가 1개인 1점점화의 경우 점화위치가 연소실 중앙이거나 벽면에 위치한 경우나 점화능력은 거의 차이가 없는 것을 나타낸다. 이와같은 경향은 점화에너지가 변하여도 동일하다. 그렇지만 1점점화에서 4점점화가 됨에 따라 즉 점화플러그 개수가 증가함에 따라 점화능력은 증가한다. 점화에너지를 증가시키면 점화능력이 100%를 나타내는 점화플러그 개수가 감소하지만, 점화플러그 개수가 증가함에 따라 점화능력이 증가되는 경향은 동일하다.

다점점화의 경우 각각의 점화플러그에 동일한 점화에너지를 별도로 공급시키므로 점화플러그 개수를 증가시키는 것은 점화횟수를 증가시키는 것과 동일한 의미를 갖는다고 볼 수 있다.

Fig. 11은 점화후 시간 경과에 따른 연소실내의 압력을 각각의 점화방식에 대하여 나타낸 것이다. 먼저 중심점화의 경우는 화염전파에 따라 화염면적이 계속 증가하므로 최고압력은 가장 크고 연소기간은 짧은 것을 나타낸다. 그러나 다점점화의 경우는 화염면적이 증가하다 감소하고 화염전파거리가 증가하는데 기인하여 최고압력은 중심점화보다 전체적으로 낮으며 연소기간도 증가하고 있다. 최고압력은 1점점화의 경우가 가장 낮지만 점화플러그가 두 개인 경우 현저히 증가하며, 4점점화의 경우는 2점점화와 거의 같은 값을 나타낸다. 연소기간은 화염전파거리가 가장 긴 1점점화의 경우가 가장 길며, 2점점화 및 4점점화의 순으로 감소하여 4점점화의 경우는 중심점화의 경우와 거의 비슷하다. 이와 같은 결과는 4점점화가 중심점화에 비하여 연소기간의 감소 없이 연소압력을 낮추어 연소온도를 낮출 수 있는 유용한 방법이라는 것을 나타내는 것이다. 다점점화 경우에 있어서 점화플러그 개수가 증가하면 초기연소구간의 압력상승률은 중심점화 경우에 비하여 점차로 증가하는 경향이다.

이와 같이 점화플러그 개수의 변화에 따른 점화능력과 연소특성의 차이는 연소과정의 변화에 기인하므로 점화플러그 개수의 변화에 따른 연소과정을 가시화하여 Fig. 12에 나타낸다. 이 경우는 점화플러그 개수가 1개, 2개 및 4개인 경우의 화염형상을 점화후 시간 경과에 대하여 나타낸 것이다. 이 경우 연료공기당량비는 1.1이다.

점화플러그가 연소실 벽면에 1개 있는 1점점화의 경우는 점화후 화염면적이 연소실의 중앙으로부터 화염이 원형으로 전파하여 증가하다가 연소중반기 이후 감소하는 경향이다.

2점점화의 경우는 두 지점으로부터 화염이 발달하므로 1점점화에 비하여 화염면적이 급격히 증가하며 화염형상은 화염이 전파함에 따라서 화염전면의 미연혼합기가 기연가스에 의해 압축되는 영향으로 인하여 타원형을 나타낸다.

4점점화의 경우는 화염이 연소실 벽면의 4지점에서 동시에 원형으로 발달한 후, 시간이 경과함에 따라 앞과 좌우측에 있는 화염의 영향으로 인하여 부채꼴로 변화하며 화염면적은 가장 빠르게 증가함을 나타낸다.

이와같이 압력경과곡선이 차이를 나타내는 것은 화염의 전파 형상 차이에 기인하는 것으로 판단되며, 점화플러그 개수의 증가로 인하여 최대 화염전파 거리의 감소로 연소기간이 감소하는 경향을 나타내는 것으로 판단된다.

3.3 다회수 스파크 점화방식

3.3.1 점화에너지 방출 특성

Fig. 13은 용량방전식 다회수 스파크 점화장치의 경우 스파크 횟수의 변화에 따른 점화에너지 방출 파형을 나타낸 것이다. 이 경우 각 스파크에 대한

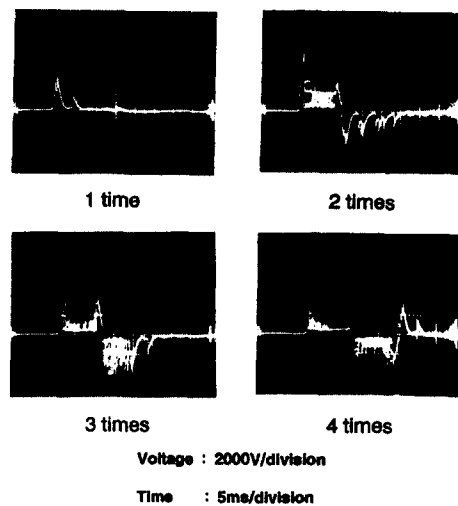


Fig. 13 Discharge pattern of spark energy at each spark times

점화에너지는 60mJ, 스파크 간격은 0.1ms이다. 따라서 스파크 횟수의 증가에 따라 총 점화에너지는 증가하게 된다.

그림에 나타난 바와 같이 용량방전식 다회수 스파크 점화장치의 경우는 콘덴서에 저장된 점화에너지

가 연속적으로 방출되므로 두번째 이상의 스파크에 의해서도 높은 2차전압이 발생되고 그 지속시간도 길어지는 것을 나타낸다.

방출전압은 코일의 인덕턴스의 특성상 극이 역전되고 있으나 전압이 급격히 감소되는 시점까지는

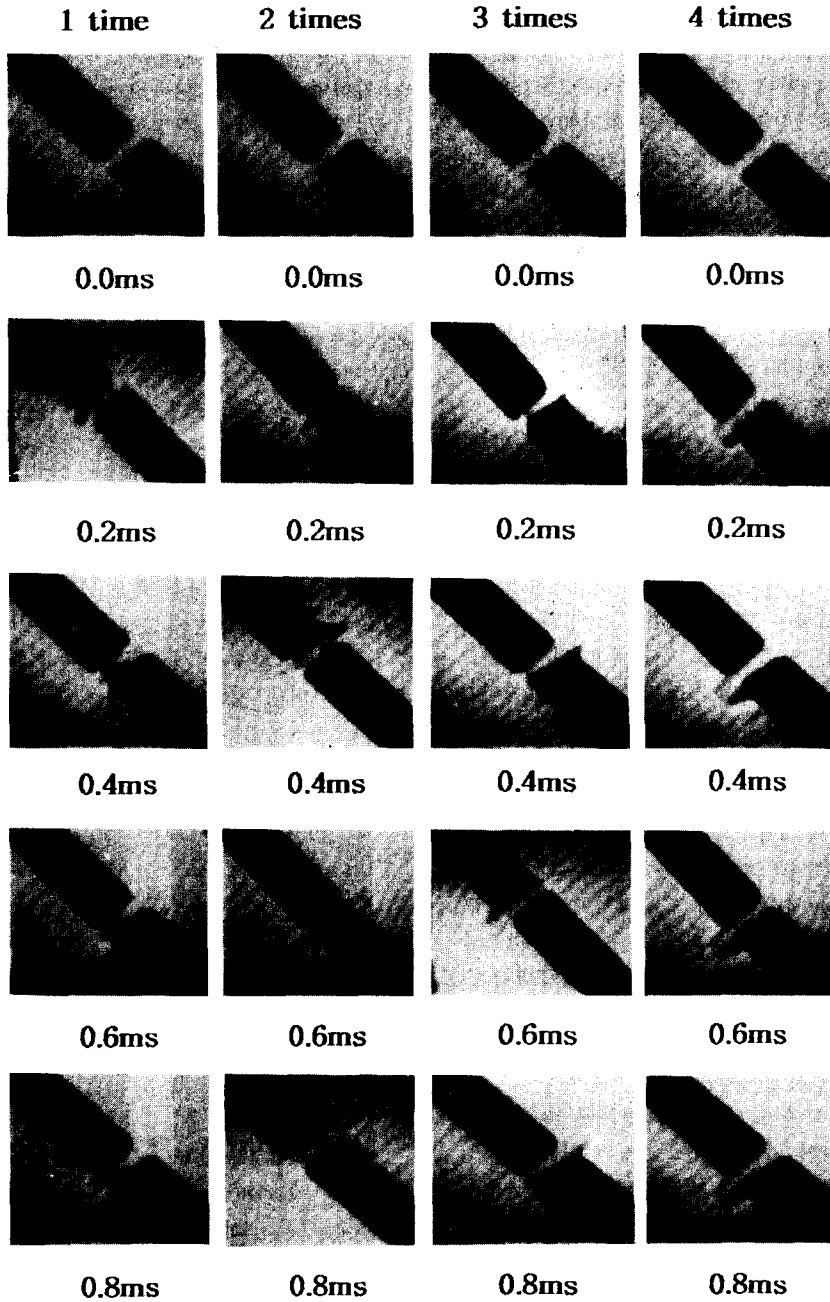


Fig. 14 Photographs of spark as a function of spark times(spark interval : 0.1ms/spark)

용량성분이다. 따라서 이러한 점화에너지 방출파형으로부터 용량방전식 다회수 점화장치는 용량성분의 지속시간을 증가시키는 효과가 있음을 알 수 있다.⁽⁷⁾

스파크 간격의 변화에 따른 점화에너지의 방출 패턴의 차이를 규명하기 위하여 스파크가 방출되는 과정을 가시화하였으며, 그 결과를 Fig. 14에 나타낸다. 이 경우 연소실내에는 공기만이 있다. 스파크 횟수는 1, 2, 3, 4회이며, 스파크 간격은 0.1 ms, 점화에너지는 90mJ이다.

스파크를 일으킨 후 임의 시간이 경과한 후 스파크플러그 전극간극으로부터 스파크가 발생하여, 전극의 직각방향으로 돌출하는 형상을 나타낸 후 소멸하는 경향을 나타낸다. 스파크 횟수가 증가함에 따라 스파크의 돌출부분의 크기는 그리 큰 차이는 없지만, 발광이 지속되는 기간은 길어지는 것을 나타낸다. 스파크 크기 및 밝기가 스파크에너지의 크기에 좌우된다고 가정하면, 스파크 횟수가 증가됨에 따라 스파크에너지 방출기간이 증가하는 것을 가시화 결과로부터도 확인할 수 있다.

Fig. 15는 스파크 간격의 변화에 따른 점화에너지의 방출파형을 나타낸 것이다. 이 경우 스파크 횟수는 2회이다.

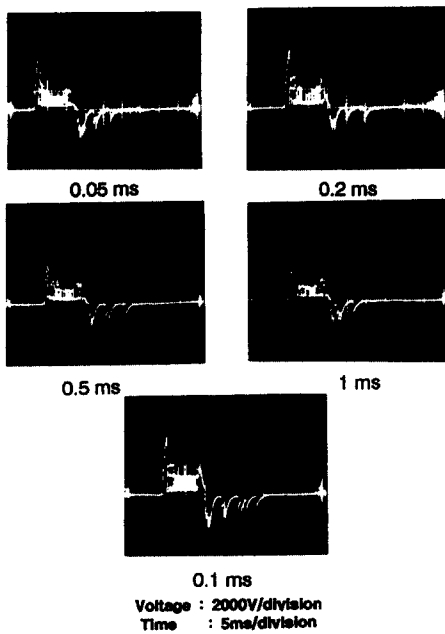


Fig. 15 Discharge pattern of spark energy at each spark interval

스파크 간격의 변화에 따라서 방전기간이 변화하는 것을 나타내며, 스파크 간격이 0.1ms인 점을 정점으로 해서 스파크 간격이 더 커지거나 더 작아지며 지속기간이 감소하는 것을 알 수 있다.

3.3.2 점화능력

Fig. 16은 스파크 횟수의 변화에 따른 점화능력을 나타낸 것이다. 여기서 연료공기 당량비는 0.8과 0.7이며, 매 스파크마다의 점화에너지는 60mJ과 120mJ인 두 경우이다. 스파크 간격은 0.05ms인 경우이다.

점화능력은 스파크 횟수가 증가할수록 증가하는

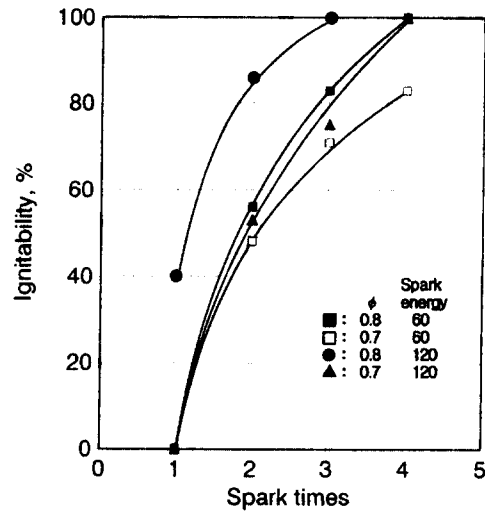


Fig. 16 Ignitability as a function of spark times

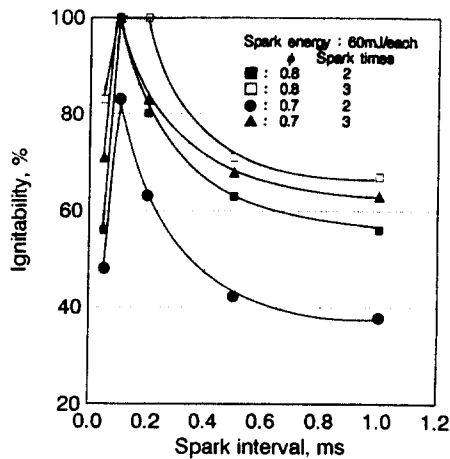


Fig. 17 Ignitability as a function of spark interval

경향이며, 점화에너지가 감소함에 따라 또한 연료 공기당량비가 희박해짐에 따라 전반적으로 저하되는 것을 나타내고 있다.

점화에너지 60mJ인 경우 점화횟수가 1회인 경우는 이론 혼합비에 있어서도 점화가 거의 되지 않았으나, 스파크 횟수가 증가함에 따라 점화능력이 증가하는 경향을 나타내고 있다.

용량방전식 다회수 스파크인 경우 점화에너지는 스파크수에 비례하여 증가하게 되므로 스파크 횟수를 증가시킨 경우의 점화능력향상에는 점화에너지가 증가하는데 따른 영향분이 포함되어 있다. 스파크 횟수에 의한 영향만을 파악하기 위해서는 스파크수가 증가하여도 총점화에너지의 크기는 동일하여야 한다.

즉 각 스파크마다의 점화에너지가 120mJ이고 스파크 횟수가 2회인 경우와 각 스파크마다의 점화에너지가 60mJ이고 스파크 횟수가 4회인 경우를 비교하면 점화에너지의 총량은 거의 비슷하다. 따라서 연료공기당량비가 0.7인 경우에 대해서 두 경우의 점화능력을 비교하면 전자의 경우는 점화능력이 약 54%인데 반하여 후자의 경우는 83%로 현저히 증가하는 것을 나타내고 있다.

점화에너지의 총량을 동일하게 하고 스파크 횟수를 증가시킨 경우는 모두 이와 같이 점화능력이 증가하고 있다. 이것은 다회수 스파크 전압파형에 나타난 바와 같이 스파크 횟수가 증가함에 따른 용량방전 지속시간의 증가에 기인하여 화염의 형성 발달이 촉진된 것에 기인한다고 생각한다.

이와 같은 결과로부터 판단하면 한 개의 점화플러그에서 큰 점화에너지를 방출시키는 것보다 작은 에너지를 여러 번 방출시키는 것이 희박혼합기의 점화능력을 향상시키는데 유리할 것으로 생각된다. 또한 점화플러그의 열적 강도 및 기계적강도의 측면에서 보아도 다회수 스파크 점화방식이 고점화에너지를 1회 방출하는 점화방식에 비하여 유리한 것으로 생각된다.

Fig. 17은 스파크 간격에 따른 점화능력을 나타낸 것이다. 여기서 연료공기 당량비는 0.8과 0.7, 각 스파크의 점화에너지는 60mJ이며, 스파크 횟수는 2회 및 3회의 경우를 대표적으로 나타낸 것이다.

점화능력은 스파크 간격이 0.05ms에서 1ms로 증가함에 따라 점차로 증가한 후, 0.1ms를 기점으로 감소의 경향을 나타낸다. 이와 같은 경향은 연

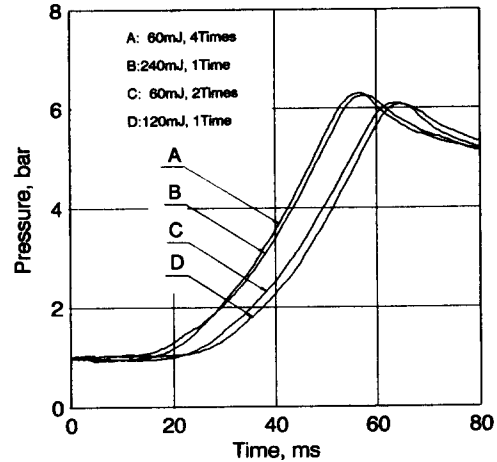


Fig. 18 Pressure as a function of time at each spark energy with the same energy

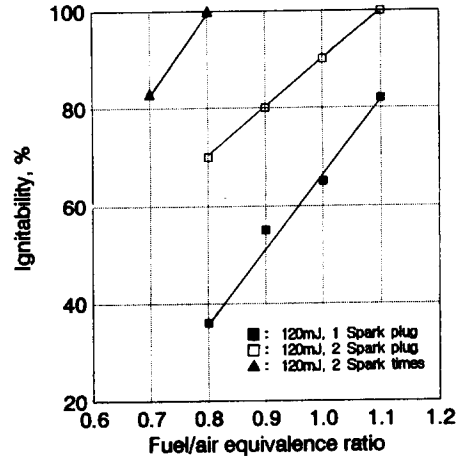


Fig. 19 Ignitability as a function of spark energy at each fuel/air equivalence ratio

료공기당량비나 점화횟수가 변하여도 동일하다. 스파크 간격이 0.1ms에서 점화능력이 가장 큰 것을 나타내는 것은 전술한 바와 같이 이 경우 점화에너지의 방전기간이 가장 긴 것에 기인하는 것으로 볼 수 있다.

3.3.3 연소압력

Fig. 18은 1회 스파크에서 점화에너지를 변화시킨 경우와 점화에너지는 이와 동일하게 하고 다회수 스파크시킨 경우의 압력경과곡선을 나타낸 것이다. 다회수 스파크인 경우는 매 스파크마다의 점화 에너지를 60mJ로 고정하고 스파크 횟수를 증가시

켜 점화에너지가 1회 스파크와 동일하게 하였다. 점화에너지가 증가함에 따라, 1회 및 다회수 스파크 모두 최고연소압력은 증가하고 연소기간은 감소한다. 그리고, 동일한 점화에너지라 하여도 한번에 점화에너지를 방출하는 것보다 다회수 스파크하는 경우가 연소압력이 높고 연소기간이 짧은 것을 나타낸다.

최고압력의 차는 연소기간의 대소에 따른 열손실의 감소에 기인하며, 스파크 횟수가 증가함에 따라 초기연소기간이 현저히 차이가 나는 것으로 보아, 스파크 횟수의 증가에 따른 최고연소압력의 차이는 초기연소기간의 현저한 감소에 의한 연소기간의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

4. 각 점화방식에 대한 점화능력의 비교 평가

Fig. 19는 점화에너지, 점화플러그 개수 및 다회수 스파크의 변화에 따른 회박한계를 파악하기 위하여, 연료공기 당량비 변화에 따른 점화능력을 나타낸 것이다.

점화에너지를 변화시키는 경우는 콘덴서 용량과 충전전압을 조절하여 120mJ로 하였으며, 점화플러그 개수를 변화시키는 경우는 120mJ의 동일한 점화에너지가 두 개의 점화플러그에서 동시에 방출되도록 하였다. 그리고 스파크 횟수를 변화시키는 경우는 스파크 1회에 60mJ의 점화에너지가 방출되도록 하였다. 이 경우 스파크 횟수는 2회로 하여 총 점화에너지가 다른 점화방식과 거의 같도록 하였으며, 스파크 간격은 최적 스파크 조건인 0.1ms로 하였다.

점화에너지를 변화시킨 경우와 점화플러그 개수를 변화시킨 경우를 비교하면 점화능력은 각각의 연료공기당량비에 있어서 점화에너지를 증가시킨 경우보다 점화플러그 개수를 증가시킨 경우가 전반적으로 큰 경향을 나타내나 점화가 가능한 연료공기당량비는 대략 0.8로 두 경우 모두 비슷하다. 그러나 다회수 스파크인 경우는 점화가 가능한 최소 연료공기당량비는 대략 0.7 근방으로서 전술한 두 가지의 점화방식의 경우에 비하여 약 0.1 정도가 확장되는 것을 나타내고 있다. 그리고 점화능력 또한 각각의 연료공기당량비에 있어서 다른 점화방식에 비하여 가장 큰 값을 나타내고 있다.

이상의 결과로부터 판단하면 회박연소의 회박한

계를 확장하기 위한 세 가지의 점화방식중 다회수 점화방식이 가장 우수한 것으로 평가되며, 추후 스파크 횟수를 더욱 증가시킨다면 회박한제도 다소 증가되리라고 예상된다.

5. 결 론

점화장치의 점화성 향상에 의한 초회박연소기관을 실현하기 위하여 점화에너지, 점화플러그수 그리고 스파크의 횟수 및 간격의 변화에 따른 점화능력과 연소특성을 해석함으로써 얻은 결론은 다음과 같다.

점화에너지를 증가시키는 경우 점화능력은 증가하며, 점화능력은 콘덴서의 용량 및 충전 전압의 크기에 점화에너지가 동일하다면 대체로 일정하다는 것을 알 수 있었다.

다점점화의 경우, 점화플러그 개수가 증가할수록 점화능력이 증가한다. 이것은 각각의 점화플러그에 동일한 점화에너지를 별도로 공급하므로 점화횟수를 증가시키는 것과 동일한 효과가 있기 때문이다. 그리고 다점점화방식이 연소기간의 감소 없이 연소압력을 낮추어 연소온도를 감소시킬 수 있는 유용한 방법이라는 것을 나타내는 것이다.

다회수 스파크 점화의 경우, 점화능력은 현저히 증가되며, 이것은 점화에너지 크기의 증가 및 에너지 방출기간의 증가에 의하여 화염의 형성 및 발달이 촉진되는 것에 기인하는 것이라 밝혔다.

상기와 같은 세 가지의 점화방식에 대한 점화능력, 연소특성 및 회박한계 등을 해석한 결과로부터 회박연소에 유용한 점화방식으로는 다회수 스파크 점화방식이 가장 우수한 것으로 나타났다.

참고문헌

- (1) Swords, M. D., Kalghatgi, G. T. and Watts, A. J., 1982, "An Experimental Study of Ignition and Flame Development in a Spark Ignited Engine," *SAE 821220*, pp. 3826~3837.
- (2) Dale, J. D. and Oppenheim, A. K., 1981, "Enhanced Ignition for I. C. Engines with Premixed Gases," *SAE 810146*, pp. 606~621.
- (3) Anderson, R. W. and Asik, J. R., 1983, "Ignitability Experimental in a Fast Burn, Lean Burn Engine," *SAE 830447*, pp. 390~404.

- (4) Yamamoto, H., Horita, S. and Matsuoka, T., 1992, "Surrounding Combustion Process (SCP) -New Concept for Lean Burn Engine," *SAE 920058*, pp. 1~12.
- (5) Harrington, J. A., Shishu, R. C. and Asik, J. R., 1974, "A Study of Ignition System Effects on Power, Emmisions, Lean Misfire Limit, and EGR Tolerance of a Single Engine-Multiple Spark Versus Conventional Single Spark Ignition," *SAE 740188*, pp. 837~845.
- (6) 이성열, 한병호, 1988, "다회수 스파크 점화기관의 기관성능에 관한 연구," 한국자동차공학회 자동차공학회지, Vol. 10, No. 4, pp. 66~73.
- (7) 浜井九五, 中井明朗兒, 中川泰彦, 1985, "火花放電時間と燃焼の安定性," 自動車技術, Vol. 39, No. 4, pp. 397~403.