

〈論 文〉

## 고주파점화장치를 사용한 착화성 향상에 관한 연구

이중순\* · 강병무\* · 윤수한\*\* · 하종률\*\*\*

(1995년 5월 26일 접수)

### A Study on an Improvement of the Ignitability Using the High Frequency Ignition System

J. S. Lee, B. M. Kang, S. H. Yoon and J. Y. Ha

**Key Words** : Inflammability Limit(가연 한계), High Frequency Ignition System(고주파점화장치), Ignition Energy(점화에너지), Breakdown Voltage(절연파괴전압), Breakdown Energy(절연파괴에너지), Inductive Energy(유도성에너지)

#### Abstract

For fuel economy and pollutant reduction, the interests in lean burn has increased recently. The purpose of this research is to develop a High Frequency Ignition System (HIS) that can make powerful ignition. We studied relations between performance of HIS and probability of inflammation under various ignition conditions. It is concluded that the portion of capacitance energy to the total energy is comparatively larger and that the optimum spark interval and spark duration are dependent upon conditions of Constant Volume Combustion Chamber.

#### 기 호 설 명

$E_B$  : 절연파괴에너지 (mJ)

$E_T$  : 전점화에너지 (mJ)

$V_B$  : 절연파괴전압 (kV)

$SD$  : 점화지속기간 (ms)

$\phi$  : 당량비

#### 1. 서 론

자동차로 인해 야기되는 환경오염에 대한 규제의 강화에 대응하기 위하여 NOx 등을 포함한 각종 유해 배기물질의 저감을 위한 연구가 국내외에서 활발히 이루어지고 있다. 그 중에서도 특히, 희박연소는 연비향상과 아울러 NOx 발생농도의 저감

이 가능하지만, 희박혼합기의 착화성이 저하되고 화염전파속도가 떨어져 연소의 불안정을 초래할 수 있다. 따라서 이를 개선하기 위한 목적으로 저자들은 강제유동분위기의 형성이 가능한 연소기를 사용하여 관련 연구를 수행한 결과, 혼합기의 착화성 향상과 연소기간의 단축 등 안정된 연소를 위해서는 당량비 조건에 따른 각각의 적정 난류강도가 존재하고, 동일혼합기 조건에서 연소최고압력은 최적 유동조건에 접근할수록 증가함을 보고한 바 있다.<sup>(1)</sup>

또한, 희박혼합기의 착화성 향상을 위한 연구의 일환으로, I. Ishii 등<sup>(2)</sup>은 점화에너지 개선을 통한 희박혼합기의 가연한계 확대를 위하여, 주류가 존재하지 않는 유동장내에서 점화에너지 구성 성분 중의 유도성분과 용량성분이 착화에 미치는 영향을 연구한 결과, 전(全)점화에너지 중에서 유도성분의 에너지 비율이 클수록 점화능력이 높음을 보고하였고, C. Arocoumanis 등<sup>(3)</sup>은 정적연소기내에서 점화전극에 대한 혼합기의 유동방향과 점화시기와의

\*회원, 동아대학교 대학원

\*\*회원, 동명전문대학

\*\*\*회원, 동아대학교 기계공학과

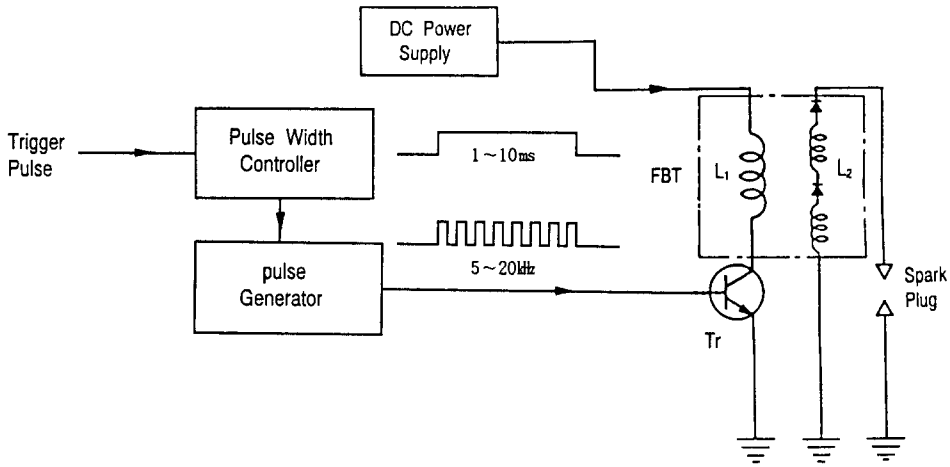


Fig. 1 Block diagram of HIS circuit

관계를 연구한 결과, 점화전극 근처에서의 난류강도가 클수록 연소기간이 짧아지는 현상 등을 보고하였다. K. Momose 등<sup>(4)</sup>은 회박가연한계를 넓히기 위한 연구의 일환으로 복합방전에 의한 고온가스핵 생성과정의 연구를 행한 결과, 방전초기의 압력파의 형성에 용량성분이 중요한 역할을 하고, 방전후기의 고온가스핵의 온도유지에는 유도성 성분이 필요함을 보고한 바 있다.

한편, 회박가연한계의 확대 및 회박혼합기의 연소특성 연구를 위하여, S. Ono 등<sup>(5)</sup>은 회전연소기와 복수점화장치를 사용하여 점화방식이 변하는 유동분위기 조건에서 혼합기의 점화와 연소특성을 분석하였고, 李 등<sup>(6)</sup>은 다회수 스파크 점화장치를 사용한 결과, 기관출력의 향상과 회박연소영역의 확장이 가능함을 보고하였다. 또, 村瀬 등<sup>(7)</sup>은 Pulsed Jet Igniter와 Plasma Jet Igniter 등의 점화장치를 사용하여 점화 및 회박한계 연소특성을 연구한 결과 회박가연한계가 확장됨을 밝힌 바 있다. 이와 같이 회박혼합기의 착화성과 점화장치의 점화성 향상을 위한 연구는 예전부터 많이 수행되어 왔으나, 연소실내의 가스 유동장을 고려한 해석 기술이 아직 완전하게 확립되지 않은 실정이며, 특히, 점화에너지의 크기와 분포특성이 착화에 미치는 영향은 물론, 난류강도와 회박연소와의 상관관계도 명백하게 정립되어 있지 않은 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 점화능력 개선을 통한 가연한계의 확장을 위하여 점화주파수와 점화지속기간의 제어가 가능한 강력한 점화능력을 발휘할 수 있는 고주파점화장치를 개발하여, 연소실의 초기압력, 난류

강도 및 당량비 등에 따른 점화에너지의 크기와 분포특성을 실험적으로 확인하고, 점화에너지 조건과 혼합기 조건이 착화성에 미치는 영향을 밝혀, 회박연소 실험을 위한 가연한계 확장 및 연소개선에 필요한 기초정보를 제공한다.

## 2. 고주파점화장치의 설계

### 2.1 고주파점화장치의 개념

Fig. 1은 고주파점화장치의 개략도를 나타낸다. 고주파점화장치는 점화 능력 향상을 위하여 점화주파수와 점화 횟수를 변화시켜, 점화에너지 방출패턴과 점화지속기간을 자유롭게 변화시킬 수 있는 장치이다. 점화주파수(다회수점화간격)는 5 kHz ~ 20 kHz까지 조절이 가능하며, 설정된 점화 횟수(점화지속기간)가 펄스발생기에 입력되면 설정 주파수를 갖는 횟수의 펄스가 생성된다. 설정 횟수만큼 생성된 펄스는 전력발진부에 인가되는데, 이 때 0~160 V까지 변화가 가능한 정격 1A의 직류전원이 고속용 점화코일의 1차코일에 펄스 횟수만큼 인가된다. 1차전류의 단속이 펄스 횟수만큼 이루어지면 2차코일에 2차전압이 유기(최고 35 kV까지 가능)되고, 스파크 플러그에서 설정 횟수만큼 방전된다.

### 2.2 회로의 구성 및 특성

#### 2.2.1 펄스발생부

Fig. 2는 펄스발생부의 회로를 나타낸다. 그림에

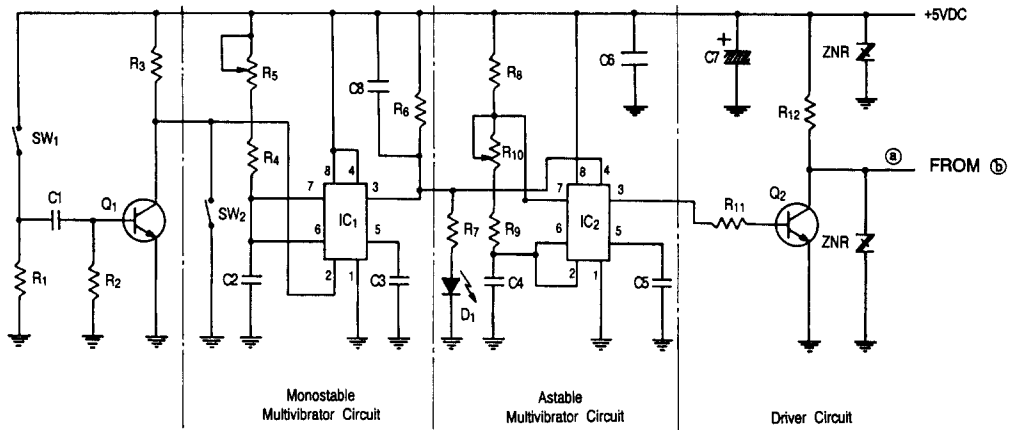


Fig. 2 Schematic diagram of pulse generator circuit

서 보는 바와 같이 펄스발생부의 회로는 트리거펄스를 발생하는 미분기(differentiator), 펄스폭(방전기간)을 조절하는 단안정 멀티바이브레이터(monostable multivibrator), 설정 주파수의 다회수 점화용 펄스 발생용으로 비안정 멀티바이브레이터(astable multivibrator)를 각각 사용하였고, 출력을 완충시키기 위하여 드라이버(driver) 부분을 추가하여 4부분으로 구성하였다.

단안정 멀티바이브레이터는 입력 트리거 펄스에 의해 설정된 폭의 사각파가 만들어지는데, 본 회로에서는 1~10 ms 범위에서 조정가능하도록 하였고, 설정 시간의 폭은 저항  $R_4$ ,  $R_5$  및 콘덴서  $C_2$ 에 의해 결정되며 아래의 식 (1)에 따른다.

$$T = 0.693 (R_4 + R_5) C_2 \quad (1)$$

집적회로 IC<sub>1</sub>의 출력은 비안정 멀티바이브레이터

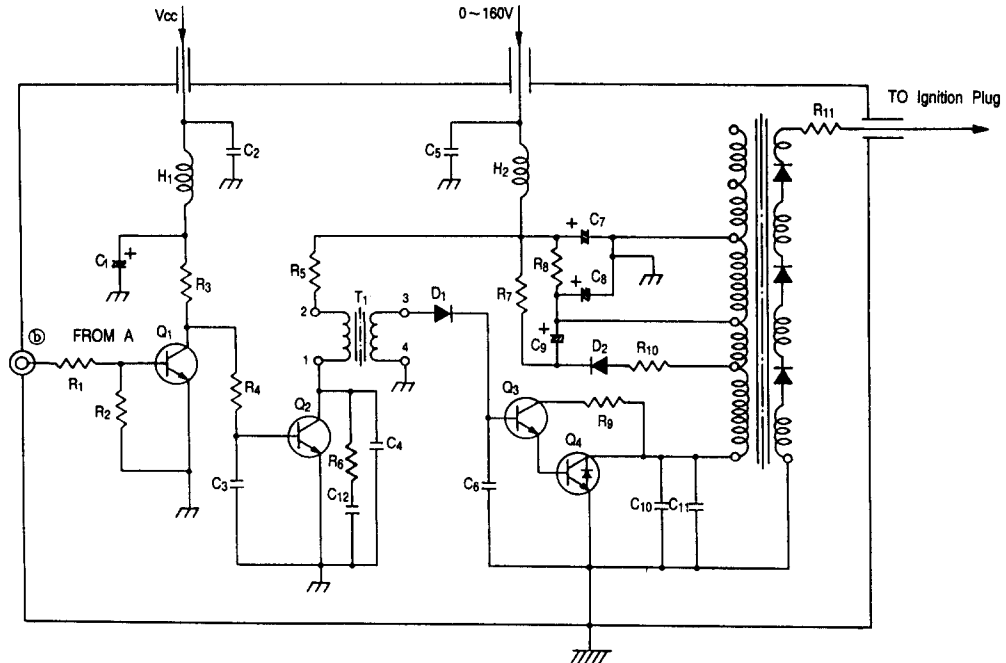


Fig. 3 Schematic diagram of high-voltage circuit

인 IC<sub>2</sub>를 제어한다. 비안정 멀티바이브레이터는 순차적으로 ON, OFF의 상태를 되풀이하는 회로이며, 본 회로에서는 펄스발생기로 이용하였고, ON 상태로 유지하는 시간인 t<sub>1</sub>(enable time)과 OFF 상태로 지속되는 시간인 t<sub>2</sub>(disable time)의 비율인 듀티비(duty rate)를 식 (2)와 (3)을 이용하여 결정하였다.<sup>(8)</sup>

$$t_1 = 0.693(R_8 + R_9 + R_{10})C_4 \quad (2)$$

$$t_2 = 0.693(R_9 + R_{10})C_4 \quad (3)$$

$$T = t_1 + t_2 = 0.693[R_8 + 2(R_9 + R_{10})]C_4 \quad (4)$$

발진 주파수는 회로 정수에 의하여 변화시킬 수 있는데, 계산은 식 (4)에 따른다. 본 회로에서는 R<sub>10</sub>을 조정하여 5~20 kHz 영역에서 변화 가능하도록 하였다. IC<sub>2</sub>의 발진 출력은 드라이버 회로로 전달되는데, 드라이버 회로는 전력 증폭단을 충분히 동작시키기 위한 회로이며, 트랜지스터 Q<sub>2</sub>를 통과한 신호는 고전압 발생부에 전달된다.

### 2.2.2 고압발생부

Fig. 3은 고압발생부의 회로를 나타낸다. 펄스발생부로부터 설정 점화주파수와 점화지속기간으로 제어된 펄스가 고압발생회로의 ⑥부에 입력되면, 펄스신호가 트랜지스터 Q<sub>1</sub>에서 완충되어 R<sub>4</sub>를 통하여 Q<sub>2</sub>의 베이스 단자에 입력되는데, 이 때 Vcc 전원 라인의 노이즈(noise)를 감쇠하기 위하여, 회로상에 초크코일 H<sub>1</sub>과 콘덴서 C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>로 π형 필터

를 구성하였다. Q<sub>4</sub>는 전력증폭을 위하여 전류이득률(h<sub>fe</sub>)이 높은 반도체를 사용하였고, 직류전원은 0~160 V 범위에서 설정된 값으로 1차 코일에 인가되며, Q<sub>4</sub>의 발진에 의하여 점화 횟수만큼 1차 전류가 단속을 계속하고 그 결과 동일 횟수의 2차 점화전압이 유도되어 스파크플러그에서 방전된다.

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 실험장치

Fig. 4는 본 연구에 사용한 실험장치의 개략도이다. 실험에 사용한 연소실은 실제기관의 연소실을 단순화한 정적연소실로 ϕ 65 mm, 폭 50 mm의 원통형으로 체적은 165 cc이다. 점화플러그는 상용의 플러그에 ϕ 1 mm인 피아노선을 연장한 후, 단면은 평면가공하였으며, 점화위치는 연소실 중앙으로 하였다. 연소실은 팬히터를 부착하여 연소실 내부를 설정온도로 제어하였고, 공급공기와 연료의 균질한 혼합과 난류강도의 변화를 위하여 연소실내에 0~12,000 rpm까지 회전수를 제어할 수 있는 팬을 설치하였고, 점화는 2장에서 설명한 고주파점화장치를 사용하였다.

고전압프로브(HV-P30, Iwatsu electric Co.)와 고전류프로브(CP-502, Iwatsu electric Co.)를 사용하여 2차전압과 2차전류를 측정 한 후, 점화에너지를 산출하였으며, 측정값은 고속 디지털 스토리지 오실로스코프(VC-6275, 금성정밀(주), 샘플링

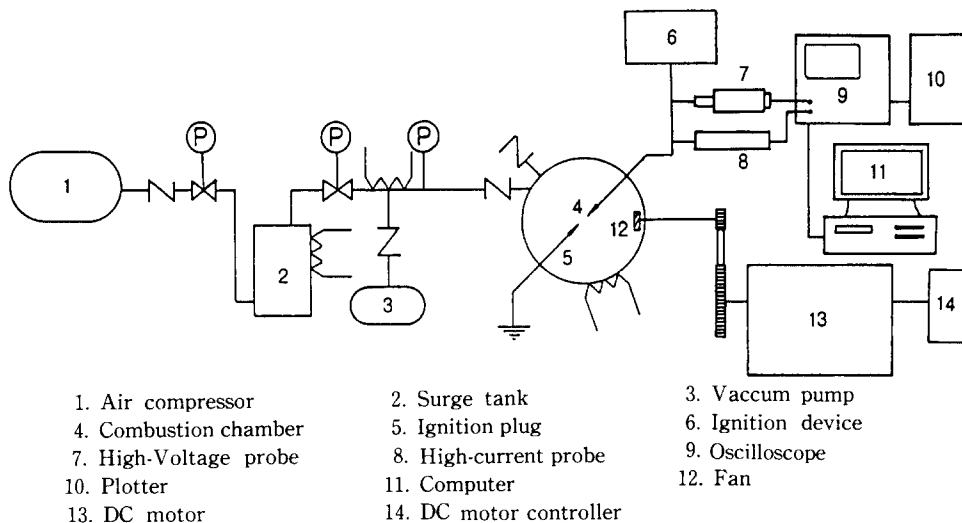


Fig. 4 Schematic diagram of experimental apparatus

속도 200 MHz)의 두 개의 채널을 통하여 각각을 동시에 입력하였다. 디지털 출력은 GPIB-Interface를 이용하여 컴퓨터로 전송하여 분석하였고, 파형의 출력은 X-Y레코드용 플로터(SP3040DX, Illi Co.)를 사용하였다.

### 3.2 실험방법

가압, 가열된 공기는 정적연소실내에 설정압력으로 주입된다. 실기관과 유사한 운전조건의 실현을 위하여 정적연소기의 온도는 373K까지, 초기압력은 0.9 MPa까지로 각각 설정하였다. 연소기내의 혼합기 형성은 진공펌프로 연소실내의 압력을 부압으로 만든 후, 마이크로리터 주사기(용량 10, 50, 100  $\mu$ l, 최소단위 0.2, 1.0  $\mu$ l)를 이용하여 연료주입구를 통하여 설정 연료량의 메탄올을 연소실에 공급하고, 설정된 압력과 온도로 조정된 공기를 공급하여 연료 공기를 균일하게 혼합시킨 후 연소를 행했다. 연소를 위한 혼합기의 초기조건으로서는 당량비, 초기압력 및 난류강도를 변화시켰고, 점화조건으로는 점화주파수는 5, 10, 15, 20 kHz, 점화지속시간은 1.0, 1.5, 2.0, 10.0 ms로 하였다.

## 4. 실험결과

방전현상은 전극의 금속표면을 개재하여 기체, 액체 등의 절연체 중에 생기는 전기유도현상이며, 절연체 중에 전기 전도가 이루어지기 위해서는 전도를 유지하는 작용으로서 음극으로부터의 전자방출이 필요하다. 절연파괴의 과정은 전자방출이 활발해짐에 따라 전리증식(電離増殖)과정인 전자사태(電子沙汰)의 성장에 따라 전자의 여기작용(勵起作用)에 기인하는 전자가 새로운 전자사태를 형성하며, 전자사태 선단의 공간전하(空間電荷)에 의한 전계가 충분히 크게 되면 새로 만들어진 전자사태가 원래의 전자사태와 결합하여 streamer인 plasma狀의 통로를 형성한다. 대향전극(對向電極)에서는 streamer가 형성되면 streamer선단에 생기는 전자사태가 순차로 streamer와 결합하여 성장하고, 결국은 streamer가 교량 역할을 하여 절연파괴(breakdown)에 이른다.<sup>(9)</sup>

Fig. 5에 임의조건에서 측정된 고주파점화장치의 2차전압 및 전류파형을 예로서 제시한다. 그림은 약 1 ms의 점화기간을 나타내며, 그림의 A에서 점화가 시작되어 E에서 종료된다.  $I_2$ 는 점화 2차코

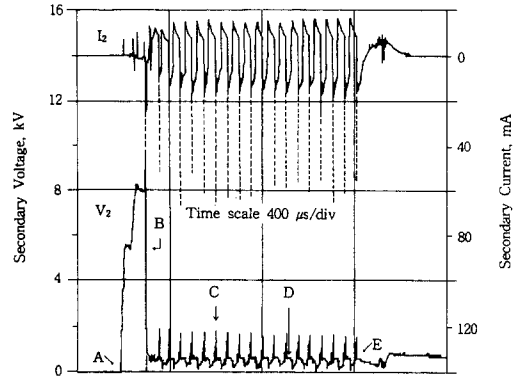


Fig. 5 Typical waveforms of secondary voltage and current for HIS device

일과 점화플러그 사이에서 측정된 2차유도전류 시간경과를,  $V_2$ 는 2차유도전압의 시간경과를 각각 나타낸다. B점이 절연파괴가 일어나는 순간의 파형이며, 2차유기전압파형은 절연파괴전압에 도달할 때까지 수회분의 방전용량이 충전되는 스파크 방전 형성시간(전압을 인가하여 절연파괴가 완료될 때까지의 시간)이 지난 후 1  $\mu$ s 이내의 짧은 시간에 절연파괴가 발생하며, 커널이 생성된 후에는 설정된 횟수만큼 설정 주파수로 점화가 이루어진다. 점화기간 중 매점화마다 절연파괴 현상이 생겨 용량성분과 유도성분이 존재함을 알 수 있다. 또한, 실험을 통하여 절연파괴 발생 지연기간은 초기압력에 직선적으로 비례하고, 1차전압에 직선적으로 반비례함을 확인할 수 있었는데, 그 값은 본 연구 범위에서 0.02~1 ms 정도의 값을 가지며, 절연파괴 발생 지연기간은 전술한 요인과 방전분위기의 온도, 습도, 전극 표면의 형상, 압력 및 혼합기의 밀도 등에도 의존함을 알 수 있었다.

Fig. 6은 일정 초기조건하의 초기압력과 절연파괴전압과의 관계를 점화지속시간에 대하여 나타낸 것이다. 절연파괴전압(絶縁破壊電壓: breakdown voltage)은 연소실 초기압력이 증가함에 따라 점화지속시간에 무관하게 증가하며, 최초의 절연파괴전압은 8 kV~15 kV 정도인 반면, 2회째부터 발생하는 점화에서의 절연파괴전압은 0.8 kV~3 kV 정도의 낮은 분포를 보인다. 점화기간 중 최초에 발생하는 절연파괴전압에 비해 2회째부터의 절연파괴전압은 10~21% 정도의 낮은 값을 보이고, 전보<sup>(10)</sup>에서 보고한 커널의 사진으로부터 분석할 때, 이와 같은 현상은 최초의 절연파괴전압 및 유도전압, 전

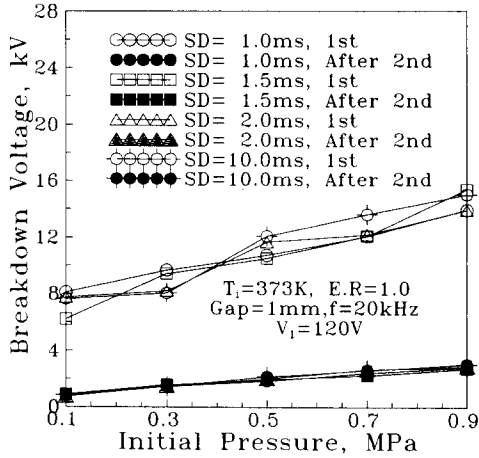


Fig. 6 Relations between breakdown voltage and initial pressure at various spark duration

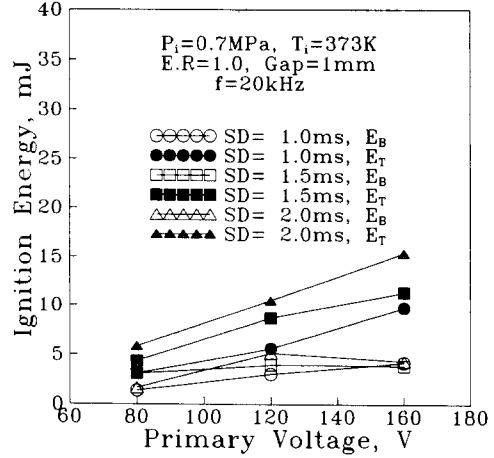


Fig. 7 Relations between ignition energy and primary voltage

류의 에너지에 의해 점화플러그의 전극간에 이미 plasma狀의 streamer가 형성되었고, 또 그 분위기가 완전히 소멸되기 전에 연속하여 재차 에너지가 공급됨에 따라 streamer의 형성이 상대적으로 용이하기 때문인 것으로 판단된다.

또, 본 연구를 통하여 1차전압이 증가함에 따라 절연파괴전압 ( $V_B$ )은 증가함을 확인하였고, 본 연구 범위에서는 연소실의 초기온도 변화가 절연파괴전압의 변화에 미치는 영향은 무시할 수 있을 정도였다.

Fig. 7은 1차전압에 따른 점화에너지의 변화를 확인하기 위하여, 일정 초기조건에서 점화지속시간 (SD)을 변화시킨 경우의 결과이다. 1차전압이 증가함에 따라 점화에너지는 증가하는 경향을 보이며, 점화지속시간이 1~2 ms인 조건에 비하여 상대적으로 매우 긴 10 ms의 경우에, 점화에너지는 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이러한 결과로 볼 때, 본 장치를 사용하여 점화지속시간을 길게 하면, 점화에너지를 증가시킬 수 있지만, 혼합기의 착화 와 가연한계의 확대 능력 및 방전기간을 고려해 본다면, 2 ms 이상의 점화지속시간은 착화성 향상에는 그다지 의미가 없는 것으로 판단되고, 1차전압의 영향은 120~160 V의 범위에서 큰 변화가 없음을 알 수 있었다.

Fig. 8은 점화플러그의 간극에 따른 점화에너지 특성의 규명을 위하여 점화주파수를 변경시킨 경우의 절연파괴전압을 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 점화플러그의 간극을 1 mm에서 2

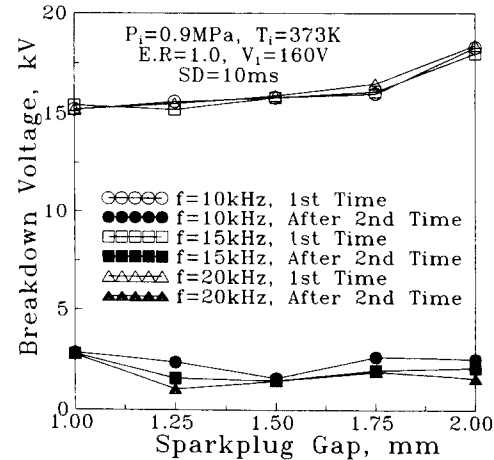


Fig. 8 Relations between breakdown voltage and spark plug gap

mm까지 0.25 mm 단위로 변화시킨 경우, 점화플러그 간극이 증가함에 따라 최초의 절연파괴전압은 증가하며, 점화주파수와 무관하게 거의 비슷한 값을 나타낸다. 한편, 동 조건에서의 가연한계 변화를 확인해 본 결과, 점화플러그 간극이 2 mm인 경우가 1 mm인 경우에 비하여 정지 및 유동의 범위에서 당량비 0.02 정도 확대되었다. 이와 같이 희박가연한계는 점화플러그 간극이 일정값까지 증가함에 따라 확대되었다.

Fig. 9에 전점화에너지 ( $E_T$ )에 대한 절연파괴에너지 ( $E_B$ )의 비율과 초기압력과의 관계를 점화지속시간의 변화에 따라 도시하였다. 일정 초기조건에서

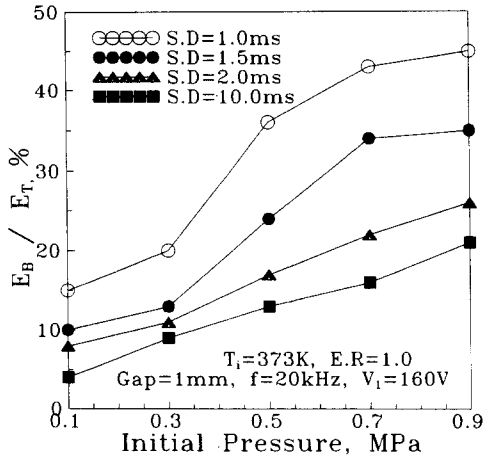


Fig. 9 Relations between the rate of breakdown energy and initial pressure at various spark duration

초기압력이 0.1 MPa에서 0.9 MPa로 증가함에 따라 절연파괴에너지(초기와 매회 발생된 절연파괴에너지의 합)의 구성비율은 점화지속시간에 관계 없이 세 배 정도 증가하며, 점화지속시간이 짧을수록 절연파괴에너지의 구성비율은 20~45%까지 증가하였다. 또, 점화지속시간이 길어질수록 점화에너지는 증가하나, 그 에너지 구성은 절연파괴에너지보다 유도성분 에너지의 증가 비율이 높게 나타났다.

Fig. 10은 본 점화장치의 점화에너지 구성 및 크기를 실차량의 것과 비교하기 위하여 제시한 것이다. 차량 A와 차량 B는 트랜지스터식 점화장치를 장착한 차량이며, 점화플러그를 교환하는 등의 점화계통의 정비점검을 행한 후, 기관이 정상온도에 달한 상태에서 공전속도 상태의 점화에너지를 1번 실린더에서 동일 측정장치로 측정하였다. 고주파점화장치는 초기압력 0.9 MPa, 초기온도 373 K, 점화플러그의 간극 1 mm, 점화주파수  $f=20$  kHz, 점화지속시간 1.5 ms(점화횟수 30회)인 경우에 이론혼합비 조건에서 연소를 행한 경우의 결과이다. 이 때 점화지속시간을 1.5 ms로 설정한 이유는, 비교 차량의 방전기간이 1.5 ms인 점을 감안하여 동일조건으로 하기 위해서 이다. 그림에서 보는 바와 같이, 차량 A와 B에 비하여 고주파점화장치의 경우는 1차전압에 관계 없이 절연파괴에너지 성분이 큼을 알 수 있고, 전점화에너지에 대한 절연파괴에너지성분의 비율이 높음도 알 수 있다. 또, 1차전압이 120 V 이상인 경우에는 차량 A와 B에 비하

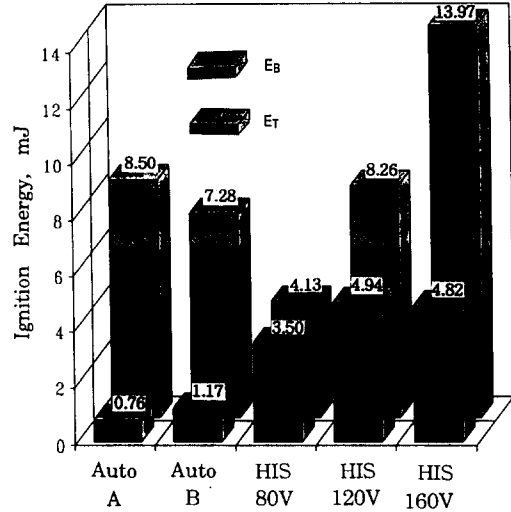


Fig. 10 Comparison of ignition energy at real engine and HIS device

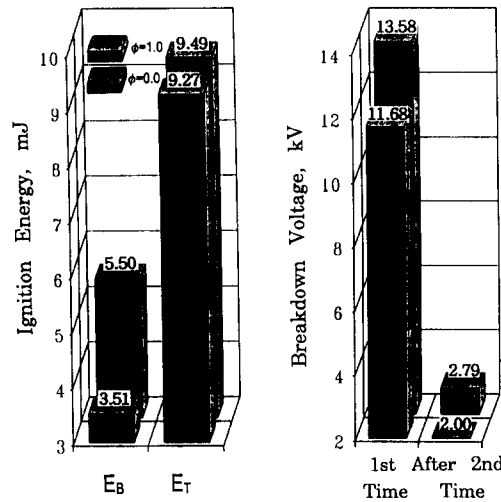


Fig. 11 Comparison of combustion state and non-combustion state

여 전점화에너지가 큰 점으로 보아 본 점화장치의 1차전압은 120 V 정도가 적당한 것으로 보인다.

Fig. 11에는 혼합비가 연소( $\phi=1.0$ ), 비연소( $\phi=0.0$ )인 조건에서의 점화에너지 변화를 나타내었다. 연소실내의 초기온도 373 K, 초기압력 0.5 MPa, 점화플러그 간극 1 mm, 1차전압 120 V, 점화주파수  $f=20$  kHz, 점화지속시간 2 ms(40회)로 설정된 정지분위기 조건에서 연소실내에 이론혼합기를 공급한 경우와 공기만을 공급하여 방전한 경우의 점

화에너지 및 절연과괴전압을 비교하여 나타낸 것이다. 점화에너지의 변화는 연소시의 경우가 비연소시에 비하여 용량성에너지와 전점화에너지가 모두 감소하는 것을 볼 수 있다. 이러한 경향은 연소시가 비연소시보다 최초의 절연과괴가 낮은 전압에서 일어나고, 이에 따라 2차 절연과괴전압도 낮기 때문인 것으로 볼 수 있는데, 이 현상은 공기만이 압축된 경우에 비하여 혼합기의 경우에는 다소 낮은 에너지로 전리(電離)가 가능하기 때문일 것으로 추측된다.

Fig. 12는 유도성에너지와 초기압력과의 관계를 점화지속기간의 변화로써 나타낸 것이다. 점화에너지 중의 유도성 성분은 점화지속기간이 1ms에서 2ms로 증가함에 따라 약간 증가하는 경향이며, 전체적으로 3~5mJ 정도의 값을 보인다. 그러나 점화지속기간이 상대적으로 긴 10ms인 경우에는 점화지속기간이 짧은 경우에 거의 나타나지 않았던 초기압력의 영향이 나타남을 알 수 있고, 그 크기의 범위는 20~80mJ 정도를 보인다. 따라서 점화지속기간 2ms의 범위에서는 유도성에너지의 초기압력 영향은 거의 무시할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 13은 일정 초기조건에서 정지분위기와 난류강도 3.97m/s인 경우의 점화주파수에 따른 가연한계 당량비의 변화를 점화지속기간에 따라 표시한 것이다. 가연한계 당량비를 확인하기 위하여, 연소는 동일조건에서 10회씩 실시하여 100% 착화된 경우만을 데이터로 채택하였고, 착화 순간의 점화에너지의 재현성을 확인하기 위하여 2차전압과 2차전

류파형을 매회 관찰하였다.

점화주파수가  $f=5\text{ kHz}(200\ \mu\text{s})$ 인 경우에는 정지분위기와 유동분위기 모두 점화지속기간 10ms에서만 착화되는 반면,  $f=10\text{ kHz}(100\ \mu\text{s})$  이상인 조건에서는 정지분위기와 유동분위기 모두 점화지속기간 1ms에서부터 착화가능한 것으로 보아, 점화주파수가 증가함에 따라 가연한계는 넓어짐을 알 수 있다. 또한 점화지속기간이 길어짐에 따라 가연한계는 점차 증가함을 알 수 있는데, 점화주파수가 가장 높은  $f=20\text{ kHz}(50\ \mu\text{s})$  조건에서는 점화지속기간의 증가와 무관하게 동일한 가연한계를 보이고 있다. 이와 같은 경향으로 볼 때, 점화주파수를 높이면 점화지속기간이 짧아도 가연한계를 확대시킬 수 있을 것으로 판단되고, 점화지속기간이 적정값 이상 길어지는 경우에도 희박가연한계는 확대되지 않을 것으로 생각된다. 또, 본 연구에서 사용한 점화장치 조건에서는 점화주파수  $f=20\text{ kHz}$ 인 경우가 착화성이 가장 우수함을 알 수 있고, 동일조건에서 정지분위기와 난류강도 3.97m/s인 경우를 비교하면, 점화조건이 동일함에도 불구하고 난류강도가 3.97m/s로 증가함에 따라 가연한계 당량비는 0.1 정도 감소함을 볼 수 있는데, 이러한 유동에 의한 가연한계의 감소범위는 전보(前報)<sup>(1)</sup>의 결과를 고려해 보면 다른 초기조건이 적절할 때 가연한계 부근에서만 영향을 받는 것으로 판단된다.

고주파 점화장치의 1차전압과 점화지속기간의 변화에 따른 점화능력을 확인하기 위하여 실험을 행한 결과를 Fig. 14에 희박가연한계 당량비로써 표

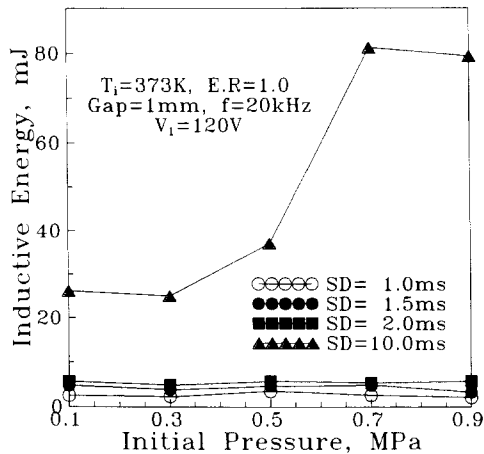


Fig. 12 Relations between inductive energy and initial pressure at various spark duration

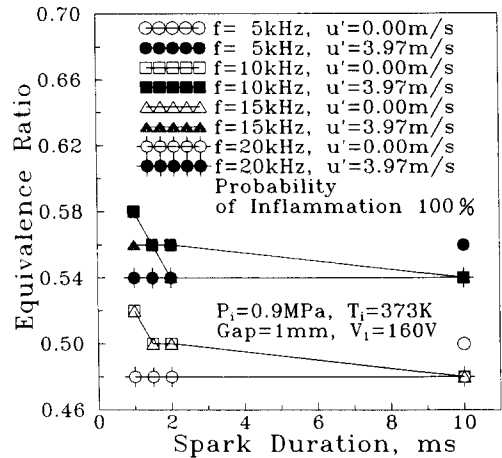


Fig. 13 Relations between ignitability equivalence ratio and spark duration



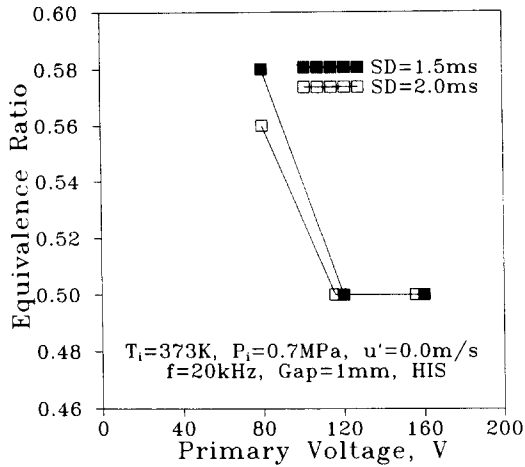


Fig. 14 Comparison of primary voltage and ignitability

현하였다. 초기조건이 동일한 경우에 1차전압이 증가함에 따라 가연한계는 확대되는데 이는 1차전압이 높아짐에 따른 방전에너지의 증가에 기인한 것으로 판단하였다. 그러나, 1차전압 120~160 V 범위에서는 가연한계가 일정한 것을 볼 수 있고 또한, 점화지속시간을 증가시킨 경우에도, 1차전압이 상대적으로 낮은 영역에서는 희박가연한계가 증가함에 비하여, 1차전압 120~160 V 범위에서는 가연한계가 일정함을 알 수 있다. 본 점화장치를 사용하는 경우 1차전압상승에 따른 가연한계 확대에는 한계가 있고, 그 적정 1차전압과 점화지속시간은 각각 120 V, 1.5 ms 정도임을 알 수 있다.

## 5. 결 론

고주파점화장치를 사용하여 난류강도, 점화플러그의 간극, 당량비, 연소실의 초기압력 및 점화장치의 1차전압, 점화주파수, 점화지속시간 등을 변화시켜 유동의 유무에 따른 점화에너지의 분포특성 및 점화에너지의 크기, 착화성을 측정, 확인한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 초기압력, 1차전압, 점화플러그의 간극 등이 증가함에 따라 절연파괴전압은 증가하고, 최초의 절연파괴전압은 2회째 이후에 발생하는 절연파괴전압의 5~10배 정도의 값을 나타내었다.
- 2) 초기압력이 증가함에 따라 절연파괴에너지의 구성비율은 점화지속시간에 관계 없이 3배 정도 증

가하며, 점화지속시간이 짧을수록 절연파괴에너지의 구성비율은 20~45%의 범위에서 증가하였다.

- 3) 동일 방전기간(1.5 ms인 경우)인 경우 고주파점화장치의 1차전압을 120 V로 설정하면, 점화에너지는 실기관의 값과 비슷해지나 절연파괴에너지는 5배 정도의 큰 값을 보였다.

- 4) 고주파점화장치는 점화지속기간의 조정이 가능하고, 점화지속기간이 길어지면 희박가연한계는 일정 범위에서 증가한다.

- 5) 동일조건에서 실기관과 본 점화장치와의 점화능력을 비교한 결과, 정지 및 유동분위기에서 가연한계가 당량비 0.02 정도 확대됨을 확인하였다.

- 6) 비연소시에 비하여 연소시의 점화에너지와 절연파괴전압은 모두 감소하며, 난류강도가 증가하면 희박가연한계는 좁아진다.

## 참고문헌

- (1) Lee, J. S., Ha, J. Y., Jung, S. S., Lee, T. W. and Lee, S. S., 1994, "Fundamental Study on Combustion Characteristics of Methanol Fuel in a Constant Combustion Chamber," *FISITA '94 Congress (China), Vehicle and Environment*, No. 945146, pp. 305~310.
- (2) 石井一洋 외 3명, 1991, "强流動場에 있어서可燃性混合氣의點火特性," 第9回內燃機關合同 Symposium 講演論文集(日本), pp. 15~20.
- (3) C. Arcoumanis, C-S. Bae, 1993, "Visualization of Flow/Flame Interaction in a Constant Volume Combustion Chamber," *SAE Paper* 930868.
- (4) 桃瀬一成 외 4명, 1993, "複合放電에 의한高溫 GAS 核生成過程의數值 Simulation," 日本機械學會論文集(B편), Vol. 59, No. 557, pp. 262~269.
- (5) Ono S. and Murase E. et al., 1994, "A Study on the Combustion Control in the Centrifugal Acceleration Environment by Means of Flame Initiation Process," *Proceedings of the 3th International Symposium COMODIA 94*, pp. 57~62.
- (6) 이성렬, 한병호, 1988, "다회수 스파크 점화기관의 기관성능에 관한 연구," *한국자동차공학회지*, Vol. 10, No. 4, pp. 322~329.
- (7) 村瀬英一 외 4명, 1992, "Pulsed Jet Ignition

- 에 의한 유동 회박혼합기의 연소,” 第10回 內燃  
 機關合同 Symposium 講演論文集(日本), pp.  
 79~84.
- (8) 平田邦男, 1983, “電子實驗,” 共立出版株式會  
 社, 東京, pp. 72~149.
- (9) 전춘생, 1993, “放電 高電壓工學,” 동명사, 서  
 울, pp. 22~198.
- (10) 이중순, 하종률, 김희산, 1994, “Multi  
 Frame Camera를 사용한 화염사진 촬영,” 제3회  
 광계측 기술 Workshop 논문집, pp. 116~131.