

점화에너지 방전특성이 희박연소한계에 미치는 영향

Effects of Ignition Energy Discharge Characteristics on the Lean Flammability Limit

이 중 순*, 김 진 영**, 이 종 승**, 정 성 식***, 하 종 룰***
J. S. Lee, J. Y. Kim, J. S. Lee, S. S. Chung, J. Y. Ha

ABSTRACT

A new ignition system concept was developed to improve ignition performance, accuracy of control and the reliability of the ignition system. This new ignition system has high frequency discharge characteristics with 1.5-2.0 ms discharge duration, in place of the usual solitary longer duration event. We applied the system to a commercial engine to study its influence on the maximum combustion pressure attained during the cycle, when this peak pressure occurred, imep, variation rate of the engine speed and the flammability limit of a lean mixture. In this study, we clarified that the new ignition system had a beneficial effect on the lean mixture flammability limit. Also for a given mixture strength we found that the new ignition system gave a higher peak cylinder pressure than in the case of the conventional ignition system.

주요기술용어 : Lean Mixture(희박혼합기), Flammability Limit(가연한계), Ignition Energy(점화에너지), High Frequency Ignition System(고주파점화장치), Cycle Variation(사이클 변동), Air-Fuel Ratio(공연비)

1. 서 론

자동차 배기가스 및 연비규제의 강화에 대응하기 위하여 마이크로 컴퓨터를 이용한 전자진각

제어 시스템을 GM사가 채용한 이후 국내외적으로 점화계의 고신뢰성, 고점화에너지 성능 및 복잡한 진각 특성을 만족하기 위한 많은 연구가 행해지고 있다.

Warner 등¹⁾은 희박혼합기의 착화성 향상을 목표로 다회수 방전 점화시스템을 이용하여 연구한 결과, 이론공연비 영역의 혼합기에 비하여 보다 많은 에너지의 공급이 필요함을 밝힌 바

* 정회원, 동명대학 기계과
** 정회원, 동아대학교 대학원 기계공학과
*** 정회원, 동아대학교 기계공학과

있고, Richard 등²⁾은 유도성 성분을 길게 하여 점화에너지를 증가시킨 결과 희박연소 한계의 확장은 물론 안정된 연소 현상을 보인다고 보고한 바 있다.

또한, 한 등³⁾은 용량방전방식의 다회수 점화장치를 개발하여 희박연소를 행한 결과, 점화에너지와 방전기간의 증가에 기인하여 희박가연한계의 확장과 함께 기관의 사이클변동 현상이 현저히 감소한다는 사실을 밝혔다. 또한, 최근에는 강력한 스위칭 트랜지스터의 개발로 인해 1차전류를 매우 크게 할 수 있기 때문에 유도불꽃 지속기간을 길게 한 점화장치를 개발하여 널리 사용하고 있는 실정이다.⁴⁾

점화계의 기본적인 기능이 혼합기 착화를 위한 점화불꽃 공급 기능과 함께 필요한 시기에 점화불꽃을 제공해 줄 수 있는 점화시기 제어 기능으로 크게 분류하여 볼 수 있다. 따라서, 주변의 각종 노이즈에 의한 영향을 최소화하여, 정밀제어가 가능하면서도 기관의 다양한 운전조건에 능동적으로 적용할 수 있는 점화에너지의 방전 형태와 점화에너지의 변화가 가능한 점화시스템의 개발이 필요함을 알 수 있다.

본 연구에서는 점화능력, 점화시기 제어기술 및 제어의 신뢰성 향상 등의 개선을 위하여 점화시스템을 개발하고, 이를 기관에 적용시켜 희박연소를 행한 후 점화에너지의 방전 특성을 분석한다. 또, 점화에너지의 방전특성이 연소최고압력, 연소최고압력 발생시기, 도시평균유효압력, 기관회전수 등의 변동률 등과 희박가연한계에 미치는 영향을 규명함으로써, 점화에너지 방전특성이 희박혼합기의 연소에 미치는 영향을 밝힌다.

2. 고주파점화장치의 원리 및 특성

희박한 혼합기의 착화성 향상을 위해서는 점화플러그 주변의 혼합기 농도 분포 및 연소실 내 혼합기의 유동특성에 적용할 수 있는 적합한 형태의 점화에너지 방전 특성과 점화에너지가 필요하다. 즉, 기관의 전 운전영역에 적용 가능할 수 있도록 하기 위해서는 짧은 시간 동안에 다수회의 불꽃방전을 형성하고, 이를 통한 충분한 양의

에너지가 화염핵 생성 초기의 혼합기에 공급될 수 있도록 고주파수의 펄스를 연속적으로 스위칭 트랜지스터에 공급하는 개념을 채택하였다.

Fig.1은 본 연구에 사용된 고주파점화장치의 개략도를 나타낸 것이다. 연속점화를 위해서는 높은 주파수의 단속신호가 필요하며 그 주파수에서 최대의 효과를 얻을 수 있는 회로를 구성하여야 한다. 높은 주파수의 단속신호를 얻기 위하여 주파수의 가변 영역이 광범위한 특징을 갖고 있는 NE555를 사용하여 구형파를 발생시키고, 이 신호를 고전압 발진용 트랜지스터의 베이스에 단속신호로 입력을 하면 단속신호의 High 부분에서는 트랜지스터가 On되어 1차측 코일에 전류 i_1 이 흐르게 되며, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$i_1 = \frac{V}{R} (1 - e^{-\frac{t}{L_1}}) \quad [A] \quad (1)$$

시간 t 가 증가할수록 전류 i_1 은 증가하며, 증가의 속도는 시정수 $\tau = L_1/R$ 의 값에 따라 결정된다.

i_1 의 크기변화는 2차코일에 상호유도 기전력 v_2 를 발생시키며 그 값은 식 (2)와 같다.

$$v_2 = -M \frac{di_1}{dt} \quad [V] \quad (2)$$

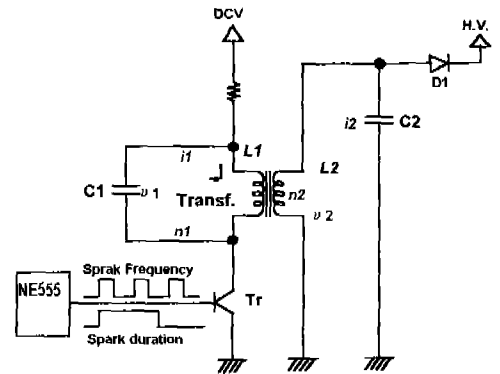


Fig.1 Schematic diagram of HIS

여기서, v_2 : 2차전압, $i_1=1$ 차전류, t : 시간, M : 상호 인덕턴스를 각각 의미한다.

식(2)에서 볼 수 있는 바와 같이 짧은 시간에 i_1 을 급격히 변화시키면 높은 값의 v_2 를 얻을 수 있다. 1차코일과 2차 코일에서의 누설 자속이 없다고 가정한다면, v_2 는 식 (3)과 같이 코일의 권선비로 나타낼 수 있다.

$$v_2 = \frac{n_2}{n_1} v_1 \text{ [V]} \quad (3)$$

여기서, n_1 : 1차 코일 권선수, n_2 : 2차 코일 권선수이다.

권선비를 크게 함으로써 v_2 를 높일 수 있지만, $i_1 \cdot v_1 = i_2 \cdot v_2$ 의 관계로부터 전압이 높으면 전류가 작게되어 전체적인 에너지는 동일하게 됨을 알 수 있다.

일반적으로 트랜스포머의 주파수 특성은 저주파와 고주파부분에서 전달특성이 다소 저하되는 경향을 갖고 있다. 따라서, 본 연구의 범위에서는 가청주파수를 벗어난 고주파 부분에서 전달 특성을 좋게 하기 위하여 15~25kHz 영역에서 동조결합을 할 수 있도록 공진회로를 구성하였다.

공진 주파수 f_0 는 코일의 인덕턴스 L 과 정전용량 C 의 크기에 따라 결정되며 식 (4)와 같이 표현된다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1C_1}} \text{ [Hz]} \quad (4)$$

Fig.2는 개발한 공진회로를 이용하여 대기압, 상온인 조건에서 공기 중에 점화불꽃을 방전시킨 경우의 주파수 변화에 따른 2차전압 크기의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 주파수 변화에 따른 2차전압은 16~18kV의 값을 보이는 반면, 공진 주파수 영역인 15~25kHz 영역에서 다소 높은 2차전압을 보임을 알 수 있다. 이와 같이 공진주파수 영역에서 높은 전압값을 보이는 것은 공진주파수 영역에서 유도리액턴스와 용량리액턴스의 조합인 임피던스가 작아지기 때문이다.

점화에너지는 점화플러그 방전 전압 및 전류를 연소압력과 함께 실시간 샘플링 제측한 후 산출하였다. 본 연구에서 사용한 계측 시스템의 경우는 응답성 및 샘플링 속도(200MHz)의 한계로 인하여 매우 짧은 기간인 수ns에 일어나는 용량 방전 현상을 정확하게 측정하는 것은 불가능하다. 따라서 계측된 절연과피전압과 2차 정전용량으로부터 계산에 의하여 브레이크다운 에너지를 구하고 이후 성분을 유도성분 에너지로 결정하였다. 특히 본 점화장치는 방전회수 및 방전 기간의 제어가 가능하기 때문에 브레이크다운 에너지 및 유도성 에너지의 크기 및 조성을 변화시킬 수 있는 특징을 갖고 있다.

Fig.3은 공연비 18.2 : 1인 혼합기에 점화시 채취한 점화파형의 일례를 나타낸 것이다. 점화장치의 방전 조건은 점화주파수 20kHz, 방전기간 1ms, 방전회수 20회인 조건으로 1차전압은 120V를 공

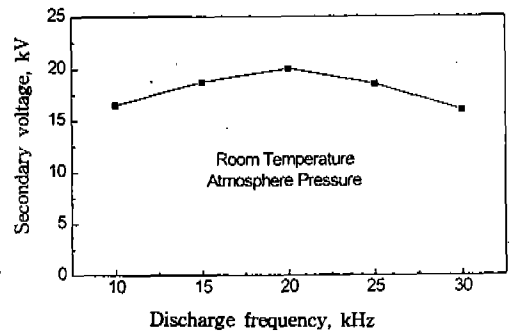


Fig.2 Relations between discharge frequency and secondary voltage

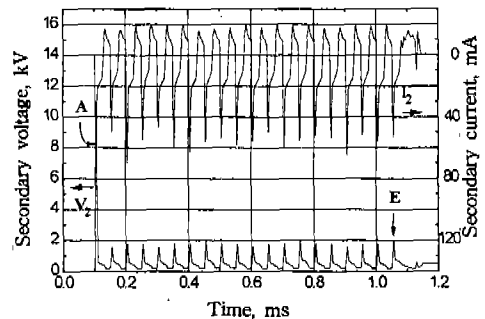


Fig.3 Typical waveforms of secondary voltage and current for HIS device

급한 경우이다.

그림의 A에서 점화가 시작되어 E점에서 방전이 종료되며, V_2 는 시간경과에 따른 2차유도전압을, I_2 는 점화2차코일과 점화플러그 사이에서 측정된 2차유도전류를 각각 나타낸다. 진보⁵⁾의 방전파형과 비교하여 볼 때, 진보의 경우에는 전압을 인가한 후 절연파괴가 일어날 때까지의 기간인 스파크 방전 형성시간을 거쳐 절연파괴가 일어나는 것에 비하여 본 그림의 경우에는 전압인가와 동시에 절연파괴가 일어남을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 점화회로 누설 에너지의 차단 및 1차전류의 증대로 인한 결과이다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치의 구성

Fig.4는 실험에 사용된 장치의 개략도를 나타낸 것이다. 연소를 위한 실험장치는 단기통기관과 0~3,000rpm까지 제어할 수 있는 직류전동기(132D-15kW)부분, 엔진과 전동기사이의 동력단속 및 일정 회전수 제어를 위한 전자클러치 및 제동부, 기관 주변장치들을 제어하는 제어부 및 연소해석장치 등으로 구성되어 있다. 공기-연료 혼합비는 광역산소센서(UEGO Sensor, NGK

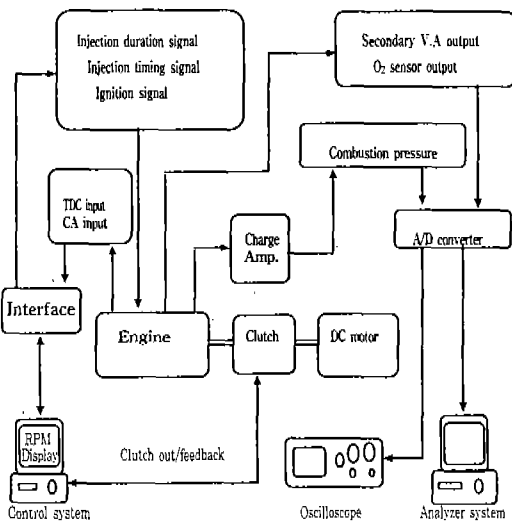


Fig.4 Schematic diagram of experimental apparatus

Spark Plug Co.)를 사용하여 배기가스 중의 산소 농도로부터 구하였다. 또, 연료의 기화를 돕기 위해 실린더의 상부 라이너와 흡기 매니폴드에 히터를 설치하고, 공급공기는 180ℓ 용량의 공기 예열탱크를 사용하여 333K으로 예열한 후 공급하였으며, 크랭크축의 위치를 검출, 제어하기 위하여 엔코더를 설치하여 기준 신호로 사용하였다.

연소시의 2차 전압 및 전류의 계측을 위하여 점화플러그 선단에 고전압 프로브(HV-P30, Iwatsu electric Co.)를, 점화플러그와 점화코일 사이의 고압 케이블에 전류 프로브(CP-502, Iwatsu electric Co.)를 각각 설치하여 연소기간의 점화 파형을 연소압력과 동기화시켜 실시간 계측하면서 점화에너지의 사이클 변동 성분을 관찰하였고, 측정된 결과로부터 점화에너지를 구하였다. 시간경과에 따른 연소실 내의 연소압력은 압력 변환기와 증폭기를 사용하여 설정 사이클동안 계측한 후 분석하였다.

3.2 실험 방법

점화시기, 연료분사시기, 압력채취는 캠각을 시간단위로 제어한다. 제어용 컴퓨터에 연속운전을 위한 사이클 회수와 각 조건의 설정값을 입력시킨 후 프로그램을 실행시키면 인터페이스를 통하여 출력된 신호가 전자클러치를 동작시켜 엔진을 구동시킨다. 이 때, 엔코더로부터 TDC와 CA 신호가 인터페이스를 통하여 제어용 컴퓨터로 입력되면 설정 회전수에 도달할 때까지 10사이클 동안의 공회전 후, 11번째 사이클에 입력되는 TDC를 시작신호로 CA를 계수 하게 된다. 제어용 컴퓨터는 입력되는 매 CA(cam angle 1°)마다 프로그램 초기치 설정 값과 그 때의 크랭크 각도를 비교하여 각 제어내용의 해당시기에 동작 신호를 출력한다. 단, 연료의 분사시기는 크랭크 각도 기준으로 제어되지만, 연료분사시간은 회전 각속도 변화에 따른 연료분사량의 불균일에 대응하기 위해 리얼 타임 클럭(real time clock : 122μs)으로 제어하였다.

4. 결과 및 고찰

전압을 상승시키면 반드시 섬락(discharge)이 일어난다. 그러나 임펄스에서는 1회의 전압인가로 섬락이 일어나기도 하고 일어나지 않기도 한다. 평균적인 섬락전압이나 그의 편차를 구하기 위해서는 반드시 전압을 여러 번 인가시킬 필요가 있다. 같은 임펄스 전압을 N회 인가하여 n회 섬락이 일어날 때 n/N 을 섬락률 또는 방전율이라 하며, 인가전압 V를 횡축으로 하여 %로 나타낸 섬락률 곡선을 제시한다.

이 때, $n/N=0.5$ 로 되는 임펄스 전압을 50% 섬락전압(V_{50})이라 하고, 임펄스 전압에 대한 절연 내력을 나타내는 대표적인 전압으로 표현한다.⁶⁾ Fig.5는 회박혼합기에 대한 착화성공률을 확인하기 위하여 일정 초기 조건의 혼합기에 방전시간과 점화주파수를 변수로 하여 방전시킨 경우의 방전을 확인을 위하여 나타낸 섬락률 곡선이다. 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 점화주파수 15kHz인 경우 섬락을 일으키는 1차전압은 45V를 보이는 반면, 점화주파수 20kHz인 경우에는 55V 정도의 다소 높은 전압을 보인다. 이와 같이 섬락을 일으키는 1차전압에 폭이 있는 것은 전압을 인가할 때마다 방전개시점이나 방전의 진전에 있어 있을 수 있는 여러 가지 편차를 가지는 확률적 현상에 기인함은 물론, 점화주파수가 높은 20kHz의 경우에는 15kHz인 경우에 비하여 단시간의 전압인가에 따른 1차전류 회복

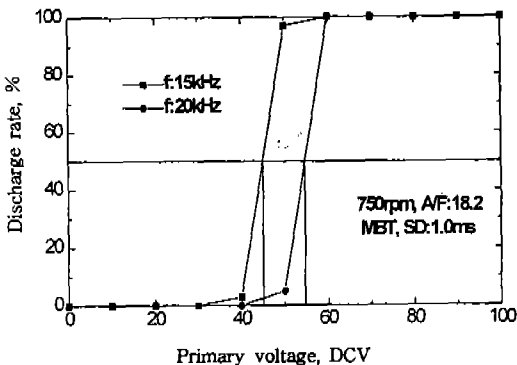


Fig.5 Relations between primary voltage and discharge rate

시간이 짧아지기 때문에 상대적으로 높은 1차전압이 필요한 것으로 판단된다.

Fig.6은 점화에너지의 변동 성분 확인을 위하여 일정 초기조건에서 연속하여 40회의 연소를 행하면서 실린더 내의 연소압력과 함께 실시간 샘플링 계측한 점화에너지의 크기를 연소회수에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 전체 브레이크다운 에너지란 본 점화장치의 특성상 설정된 회수만큼의 방전에 대한 브레이크다운 에너지의 총합을 말하며 최초의 브레이크다운 에너지란 커널 형성을 위한 최초의 방전시 에너지를 말한다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 전체 브레이크다운 에너지 및 최초의 브레이크다운 에너지의 평균값은 각각 3.45mJ, 1.85mJ 정도의 값을 나타내는 반면, 본 연구수행 결과 매 사이클당의 점화에너지 변화를 표시하는 표준편차변화율은 최초의 브레이크다운 에너지의 경우가 3% 미만, 전체 브레이크다운 에너지는 5% 정도임을 알 수 있었다.

또, 연소실 내에 방출된 점화에너지가 변동하는 원인을 확인하기 위하여 일정 초기조건을 가진 실기관에서 점화를 행한 경우와 기관의 혼합비와 동일한 혼합비로 설정된 연료를 정적연소기에 공급한 후, 점화플러그를 포함한 동일 점화시스템을 이용하여 각각 계측한 브레이크다운 전압의 크기를 점화회수에 따라 Fig.7에 나타내었다. 실험을 행한 결과 실기관에서 점화 신호를 인가하는 시점의 압축압력이 0.8MPa이었기 때문에 정적연소기의 초기압력을 동일하게 설정하고 연

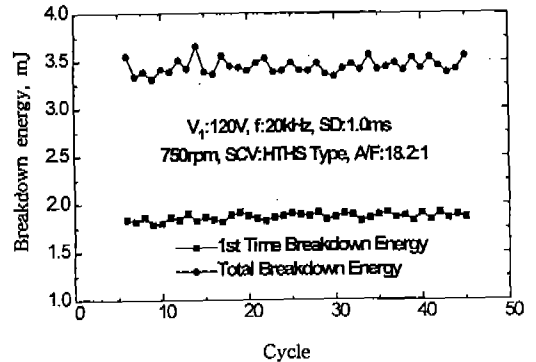


Fig.6 Relations between combustion numbers and breakdown energy

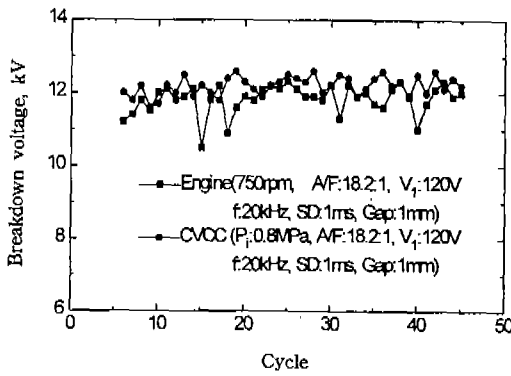


Fig.7 Comparison of breakdown voltage between engine and CVCC

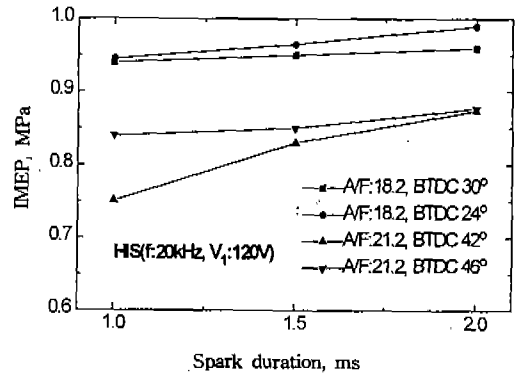


Fig.9 Relations between IMEP and ignition energy

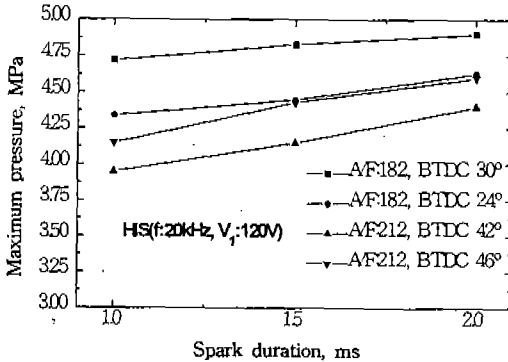


Fig.8 Effects of spark durations on the maximum combustion pressure

소실험을 행한 경우의 결과를 보면, 브레이크다운 전압은 두 조건 모두 12kV 내외의 비슷한 값을 보이는 반면, 각 사이클당의 브레이크다운 전압 변동성분은 실기관의 경우가 다소 크게 나타나는 경향을 볼 수 있다. 이와 같이 실기관에서의 브레이크다운 전압 변동성분이 다소 높게 나타나는 것은 점화조건은 물론 동일한 점화플러그를 사용하였기 때문에 점화시스템에 의한 영향을 배제할 경우에 실기관의 연소실 내 유동분위기 조건이 정적연소기를 사용한 경우에 비하여 보다 복잡하기 때문인 것으로 판단된다. 또한, 실기관을 사용한 경우에 간헐적으로 낮은 전압 영역에서 브레이크다운이 일어나는 현상을 볼 수 있는데, 이는 연소실 내에 남아있는 잔류가스의 영향에 의하여 상대적으로 낮은 전압 영역에서 방전

이 일어나기 때문으로 보인다. 이와 같은 결과를 미루어 볼 때, 연소실 내의 잔류 가스 및 유동은 방전에 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다.

Fig.8은 일정 초기조건에서 방전기간에 따른 연소최고압력을 공연비와 점화시기를 변수로 하여 나타낸 것이다. 두 조건의 공연비 모두 점화시기를 적정 영역까지 진각시킴에 따라 연소최고압력은 증가하는 경향을 보인다. 특히, 방전기간을 1.0ms에서 2.0ms로 증가시킴에 따라 공연비 18.2:1인 영역에서는 평균 6% 정도의 압력 증가를 보이는 반면, 보다 희박한 영역인 공연비 21.2:1인 영역에서는 11%의 압력 증가 현상을 나타낸다. 또한, 동일한 공연비 조건에서 점화시기의 변화에 따른 연소최고압력의 변화량을 살펴보면 방전기간 1.0ms인 조건에 비하여 2.0ms인 경우가 다소 줄어지는 현상도 확인할 수 있었다. 이로 볼 때, 방전기간이 길어짐에 따른 점화에너지의 증가 현상은 연소최고압력의 상승에 기여하며, 이러한 현상은 혼합기가 희박해질수록 크게 나타남을 알 수 있다.

Fig.9는 Fig.8과 동일한 조건에서의 결과로부터 구한 도시평균유효압력을 공연비와 점화시기를 변수로 하여 나타낸 것이다. 두 조건의 공연비 모두 방전기간이 길어짐에 따라 도시평균유효압력이 증가하는 현상을 보인다. 일반적으로 가솔린 가솔린 기관의 평균유효압력에 영향을 미치는 인자들은 대표적으로 연료소비율, 압축비, 공기과잉률, 회전속도, 점화시기 등을 들 수 있는

데, 본 조건의 경우에 방전기간의 증가에 따른 도시평균유효압력의 증가는 고주파 점화장치 방전 특성상 다수회의 점화를 행하기 때문에, 방전기간에 따른 점화에너지의 증가는 초기의 커널형성 및 초기화염전파속도를 빠르게 하여 압력발생 지연기간이 짧아짐과 동시에 연소압력의 기울기가 급격해지기 때문인 것으로 판단하였다. 따라서 고주파 점화장치를 사용할 경우 점화시기의 지각이 가능하며 이는 연소시간의 단축을 초래하게 되어 시간손실을 최소화할 수 있다. 즉, 후연소가 적어지기 때문에 도시평균유효압력의 상승에 기여한다고 판단된다. 한편, 공연비 조건이 18.2인 혼합기의 경우를 Fig.8과 비교하여 보면, 점화시기를 BTDC 30°로 한 경우에 연소최고압력은 BTDC 24°인 경우보다 높은 반면, 도시평균유효압력은 낮게 나타남을 알 수 있다. 일정범위에서 연소최고압력은 점화시기의 진각에 비례하지만 점화진각을 크게 하면 최고압력은 높아지며 노킹 발생율이 증가한다. 반면에 점화를 지각시키면 느린 연소가 되기 때문에 연소최고압력이 낮아지고 최고압력의 발생시기는 상사점에서 멀어진다. 따라서, 본 연구에서는 일정 운전 조건에서 점화시기를 변화시키면서 기관을 구동한 경우 얻어지는 데이터로부터 연소최고압력과 도시평균유효압력을 구하고, 이를 이용하여 최적 점화시기를 결정하였다.

Fig.10은 연소안정성과 점화에너지의 관계를 확인하기 위하여 공연비에 따른 도시평균유효압

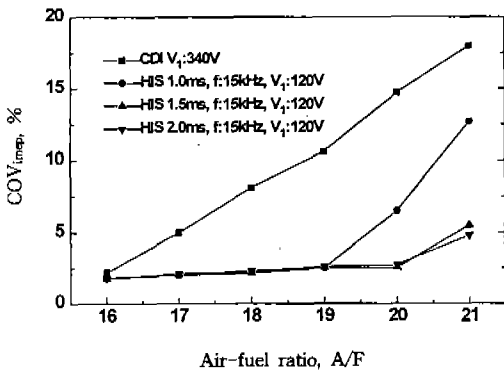


Fig.10 Relations between ignition energy and COV of imep on the each A/F

력의 사이클 변동률을 나타낸 것이다. 이론혼합비에 근접한 공연비 16인 조건에서는 2% 정도의 도시평균 유효압력을 보이는 반면, 혼합비가 희박해짐에 따라 사이클 변동률은 크게 나타남을 알 수 있다. 그러나, 고주파점화장치를 사용한 경우는 비교적 넓은 범위의 희박영역까지 낮은 사이클 변동률을 유지하고 있고 특히, 방전기간이 1.5ms 이상인 조건에서는 도시평균유효압력의 사이클 변동치가 최대 5.5% 정도로 아주 희박한 공연비에도 충분히 대응할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 희박한 혼합비 영역에서도 도시평균유효압력의 사이클 변동률이 낮게 나타나는 현상은 Fig.9에서 설명한 바에 기인한 결과이며, 고주파 점화장치를 사용할 경우에 희박영역에서 안정된 연소가 가능하다는 사실을 입증하고 있다. 또한, 제시 외의 결과로부터 확인한 바 있는 기관의 회전수 변동률도 동일한 경향을 보였다.

Fig.11은 연소최고압력의 발생시기에 미치는 점화에너지의 영향을 확인하기 위하여 계측한 결과를 정리하여 나타낸 것이다. 그림은 각각의 공연비 조건에 따른 최적점화시기를 구하여 연소를 행한 경우이며, 방전기간이 길어짐에 따라 연소최고압력의 발생시기 변동폭도 다소 좁아지는 경향을 볼 수 있다. 특히, 동일한 공연비 조건에서 점화주파수가 15kHz에서 20kHz로 높아짐에 따라 전반적으로 연소최고압력 발생시기가 약간 진각되는 경향을 볼 수 있다. 이와 같은 현상은 점화 주파수가 높아짐에 따라 상대적으로 방전회수 및

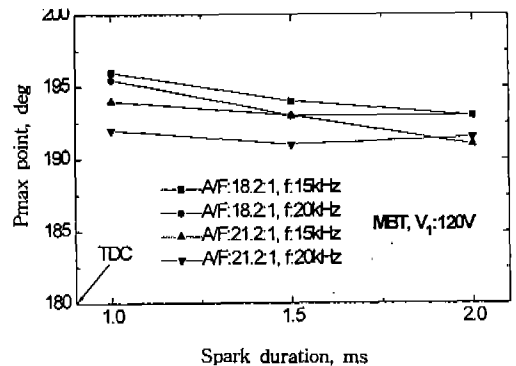


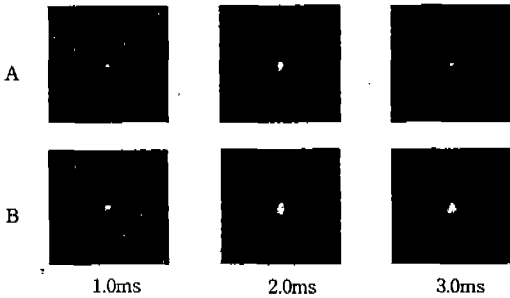
Fig.11 Relations between spark duration and Pmax appearance point

점화에너지가 증가하여 연소안정성이 개선되었기 때문이며, 이로 인해 연소최고압력 발생시기의 사이클 변동이 줄어드는 것으로 볼 수 있다.

Fig.12는 점화장치에 인가하는 1차전압의 크기가 혼합기의 착화에 미치는 영향을 확인하기 위하여 공연비 18.2:1인 회박혼합기의 착화과정을 가시화한 결과이다. 본 사진의 경우는 자발광을 디지털 고속 비디오 카메라(MEMRECAMci, NAC inc.)로 1,000fps의 속도로 촬영하였으며 점화신호를 인가한 후 초기의 3.0ms까지의 화염이다. 다른 조건이 동일할 때 1차전압 80V를 공급한 경우에 비하여 상대적으로 높은 120V의 1차전압을 가한 경우에 초기부터 큰 점화커널을 형성하면서 주변 혼합기에 착화한 후 초기화염이 발달해 가는 과정을 볼 수 있다. 특히, 본 조건은 방전간격을 2.0ms로 한 경우로 두 조건 모두 2.0ms까지는 비교적 밝은 화염핵을 보이나, 점화커널이 소멸되는 3.0ms 영역의 화염에서는 초기에 점화커널이 작게 형성되었던 1차전압 80V의 경우는 주변 혼합기에 착화되면서부터 자발광의 강도가 현

저히 저하되는 현상을 볼 수 있다.

Fig.13은 일정 초기조건에서 점화에너지의 공급방법에 따른 회박가연한계의 변화를 확인하기 위하여 축전기 방전식 점화장치와 고주파점화장치를 사용하여 점화에너지를 변화시키면서 실험을 행한 결과이다. 각 조건에서 계속한 파형으로부터 계산에 의하여 구한 점화에너지는 Table 1과 같다. 축전기 방전식 점화장치를 사용한 경우 공연비가 회박해짐에 따라 착화성은 현저하게 떨어지는 반면, 고주파점화장치를 사용한 경우는 비교적 넓은 범위의 회박영역까지 높은 착화성을 유지하고 있고 특히, 방전기간이 1.5ms 이상인 조건에서는 아주 회박한 공연비에도 충분히 대응할 수 있음을 알 수 있다. 이와 같이 고주파점화장치를 사용한 경우에 전점화에너지는 작음에도 불구하고 회박가연한계가 확대되는 것은 짧은 기간동안 다수회의 방전이 일어나기 때문에 점화커널의 체적 증가와 함께 연소실 내 유동에 따른 혼합기의 공간적 농도 분포에도 대응할 수 있기 때문인 것으로 생각되며, 특히 축전기 방전식 점



A : HIS. $V_1=80V$. $f=20kHz$. $SD=2.0ms$. $A/F=18.2:1$
 B : HIS. $V_1=120V$. $f=20kHz$. $SD=2.0ms$. $A/F=18.2:1$

Fig.12 Formation of flame kernel by ignition condition

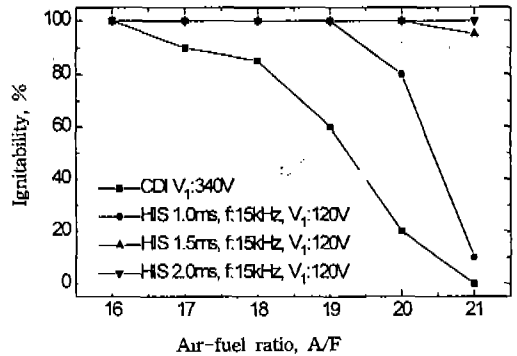


Fig.13 Lean inflammability limit for each ignition method

Table 1 Comparison of ignition energy

Ignition Device	Discharge Duration (ms)	Breakdown energy (mJ)	Arc-Glow Energy (mJ)	Total Energy (mJ)
CDI($V_1:340V$)	0.2	2.55	14.47	17.02
HIS (1.0ms)	1.0	3.45	10.05	13.50
HIS (1.5ms)	1.5	4.02	10.73	14.75
HIS (2.0ms)	2.0	4.53	11.12	15.65

화장치에 비해 브레이크다운 에너지가 높기 때문에 확실한 점화커널의 생성이 가능하며 Fig.10에서 고찰한 바와 같이 회박영역에서도 도시평균유효압력의 사이클 변동률이 낮게 나타나는 현상과 함께 회박가연한계가 확대되는 것으로 본다.

5. 결 론

- 1) 회박 혼합기의 착화성 향상을 위해 개발한 고주파점화장치의 공진 주파수는 15~25kHz 영역이며, 공진 영역에서 다소 높은 2차전압을 보였다.
- 2) 실기관에서의 브레이크다운 전압 변동성분이 정적연소기에서의 결과보다 다소 높게 나타나는 것은 점화시스템에 의한 영향을 배제할 경우에 실기관의 연소실 내 유동분위기 조건이 정적연소기를 사용한 경우에 비하여 보다 복잡하기 때문인 것으로 판단되며 또한, 실기관을 사용한 경우에 간헐적으로 낮은 전압 영역에서 브레이크다운이 일어나는 현상은 연소실 내에 남아있는 잔류가스의 영향인 것으로 판단된다.
- 3) 방전기간이 길어짐에 따른 점화에너지의 증가 현상은 연소최고압력의 상승에 기여하며, 이러한 현상은 혼합기가 회박해질수록 크게 나타났다.
- 4) 점화장치에 따른 방전 패턴 및 점화에너지의 절대값은 혼합비가 회박해질수록 기관의 운전특성에 영향을 크게 미친다.
- 5) 동일한 공연비 조건에서 점화주파수가 15kHz에서 20kHz로 높아짐에 따라 전반적으로 연소최고압력 발생시기가 약간 진각되는 경향을 보였다.

본 연구는 통상산업부와 과학기술처에서 시행한 G7 차세대자동차기술 공동기반과제중 흡기포트 및 연소실 설계기술 개발 사업의 결과로서 관계자 제위에게 사의를 표한다.

참 고 문 헌

1. R. S. Warner, "Multiple Discharge-A More Effective Ignition", ASME Paper pp. 1~8, 1970.
2. Richard R. Burgett, Joseph M. Leptich and Karma V. W. Sangwan, "Measuring the Effect of Spark Plug and Ignition System Design on Performance", SAE Trans., pp. 48~66, 1972.
3. S. B. Han, K. H. Choi, S. O. Ra, S. J. Lee, J. T. Lee, "Ignitability and Combustion Characteristics of the Multi Spark Capacitor Discharge Ignitor for a Lean Burn Engine", SAE 952396, 1995.
4. Shintaro Otsuka, Tsutomu Oda, Kazuhiko Fujita, "Studies on the CDI System(Part 1, The Effects of the Cut Off of Primary Current), Internal Combustion Engine in Japan, Vol. 32, No. 408, pp. 115~120, 1993.
5. 이종순, 강병무, 윤수환, 하종률, "고주파점화장치를 사용한 착화성 향상에 관한 연구", 대기환경학회 논문집(B), 제20권, 제1호, pp. 359~368, 1996.
6. 이복희, "고전압대전류공학", 청문각, pp. 10~30, 1993.