

〈論 文〉

희박혼합기에 대한 다점점화의 점화능력 및 연소특성

이상준* · 나성오** · 한성빈*** · 이용균**** · 이종태*****

(1994년 8월 11일 접수)

Ignitability and Combustion Characteristics of Lean Mixture by Multi-Point Ignition

Sang Joon Lee, Sung Oh Ra, Sung Bin Han, Yi Yong Gyun and Jong Tai Lee

Key Words : Multi-Point Ignition(다점점화), Ignitability(점화능력), Combustion Characteristics(연소특성), Schlieren Photograph(슐리렌사진), Rate of Heat Release(열발생률), Combustion Duration(연소기간), Heat Loss(열손실)

Abstract

The influences of number of spark plug on ignitability, combustion characteristics and combustion promotion effect were examined to establish the design conception of spark ignition system for lean burn. Ignitability was increased remarkably by increasing of number of spark plug at combustion wall. Combustion duration was shortened and maximum combustion pressure was increased in accordance with increasing of spark plug number. Rate of overall combustion promotion considered of combustion duration and combustion pressure was 28% in two point ignition and 40% in four point ignition. It was verified that heat release, heat loss and combustion duration were affected by flame area, heat transfer area and maximum flame travel distance respectively.

1. 서 론

가솔린기관에 있어서 배기가스 및 연비의 규제에 대처하기 위하여 초희박 연소 기관의 개발이 진행되고 있다. 초희박연소를 실현하기 위해서는 우선 점화능력을 향상시켜야 한다. 이를 위한 방법으로는 근본적으로 희박혼합기의 낮은 피점화성을 해결하기 위한 점화성을 높일수 있는 점화장치의 개선이 요구된다.⁽¹⁾

희박연소기관을 실현하기 위한 점화장치 개선의 노력은 다방면에서 수행되어지고 있으며,⁽²⁻⁵⁾ 이러한 점을 개선하기 위한 방법으로는 점화에너지를 증가시키거나, 점화플러그 갯수를 증가시키는 방법이 있다. 점화에너지를 증가시키는 방법은 가장 단순한 방법이지만, 고점화에너지를 발생시키기 힘들며, 점화플러그의 내구성이 저하된다.

점화플러그 갯수를 증가시키는 다점점화는 다수 점화에 의한 착화율의 증가에 따른 점화능력 향상을 꾀할수 있으며, 다수화염이 벽면에 접하는데 기인하여 열손실의 증가로 최고가스온도가 낮아져 NO_x가 감소된다. 또한 점화플러그가 연소실 벽면 쪽에 위치하는데 기인하여 화염이 연소실 벽 부근으로 부터 중앙으로 전파함에 따라 피스톤링의 틈새로 미연혼합기가 누출되는 것을 억제할 수 있어

*정회원, 국립공업기술원 산업기계과

**정회원, 성균관대학교 대학원

***정회원, 인덕전문대학 기계과

****정회원, 기아기술센터 엔진연구실

*****정회원, 성균관대학교 기계공학과

HC가 저감되는 효과가 있다.

본 연구에서는 희박연소용 점화시스템을 확립하기 위한 전초단계로서 벽면에 점화플러그를 갖는 다점점화에 대한 점화능력 및 연소특성을 해석하고, 연소속진 효과를 평가하였다. 그리고 다점점화에 따른 연소의 차이는 화염면적, 열전달면적 및 화염전파거리에 기인하는 것으로 판단되므로 열발생율, 열손실 및 연소시간과 이들의 관계를 규명하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험장치는 정적연소기, 점화장치, 솔리덴장치, 예혼합기 제조장치, 데이터 측정장치 및 해석장치로 구성되며, 그 개략은 Fig. 1과 같다.

정적연소기는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 기관의 연소실 체적을 고려하여 지름 80 mm, 높이 22 mm의 원통형으로 하였으며, 재질은 SM45C로 하였다. 화염전파를 솔리덴 촬영하기 위해 연소실의 양 측면에 두께 19 mm의 경화유리를 설치하였다. 또한 정적연소기의 외측에는 다수의 스파크플러그,

흡기 및 배기밸브와 압력변환기가 설치되어 있다.

스파크플러그는 통상의 자동차용 점화플러그의 중심선주 끝에 지름 2 mm의 황동선을 길게 연장하여, 연소실내에 스파크플러그가 소정의 점화위치를 잡도록 하였다. 스파크플러그의 전극간극은 0.8 mm, 전극선단의 방전면은 평면으로 하였다.

흡기 및 배기밸브는 밸브 끝부분의 공간이 연소실에 노출되면 연소실내 예혼합기가 그 공간에도 충전되므로 밸브니들 선단이 밸브 끝에 위치하도록 하였다.

연소기 외측벽에는 연소실벽 초기온도를 일정하게 유지하기 위하여 판히터(200W×2개)를 설치하였다. 이때 연소실내의 초기온도는 연소실 내벽면으로 부터 3 mm 떨어진 위치에 열전대(K type)를 삽입하여 확인하고, 자동온도 조절장치를 이용하여 연소실의 초기온도를 일정하게 유지시켰다.

점화장치는 용량방전 점화장치(capacitor discharge ignitor)를 사용하였으며, Fig. 3에 회로도를 나타낸다. 전원으로부터의 1차 전압은 1차 승압기를 거쳐 4배로 승압된 후 정류기를 거쳐 콘덴서(1 μ F)에 저장된다. 저장된 전압은 SCR에 Trigger 신

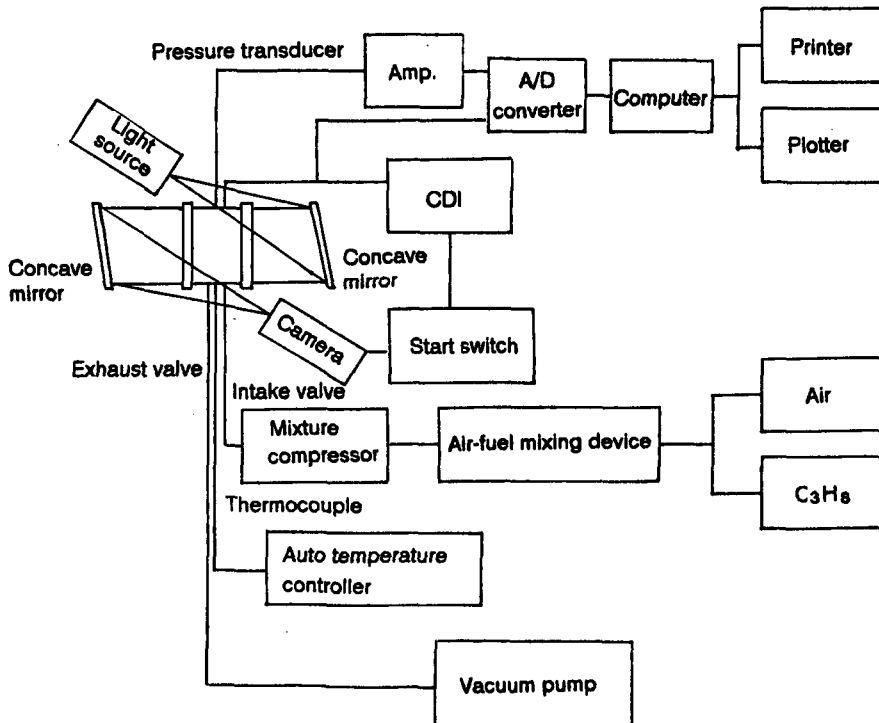


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

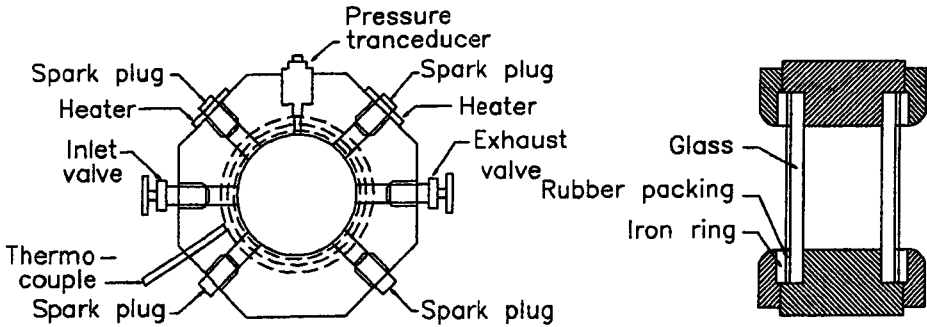


Fig. 2 Constant volume combustion chamber

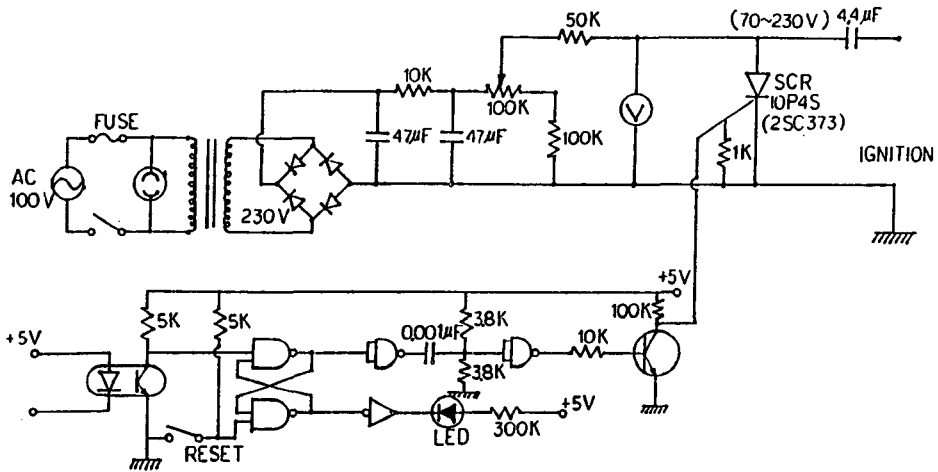


Fig. 3 Circuit of capacitor discharge ignitor

호를 줌으로써 2차 승압기를 거쳐 방전된다. 이와 같은 점화장치는 각 점화플러그에 하나씩 별도로 장착하였다. 점화에너지는 콘덴서에 저장된 에너지가 모두 방출되는 것으로 가정하여, 점화에너지 $E = \frac{1}{2} C \cdot V^2$ 으로 부터 구하였으며, 따라서 점화에너지는 공급된 에너지를 의미한다. 여기서 C 는 콘덴서의 충전용량, V 는 충전전압이다.

연료-공기 예혼합기는 체적법에 의한 예혼합기 제조장치를 사용하여 만든다.

화염전파의 가시화에는 고속카메라(Cordin 350, 25000 fps) 및 He-Ne-Laser (30 mW) 광원을 사용하였으며, 고속카메라의 셔터 열림시기는 점화신호와 동기시켜서 사용하였다.⁽⁶⁾

예혼합기 제조장치에 의해 혼합된 예혼합기는 에어실린더를 개조하여 제작한 혼합기 압축장치를 사용하여 임의의 압력으로 압축한다. 압축된 예혼합기를 흡입밸브를 통하여 연소실에 충전시켜 시간을

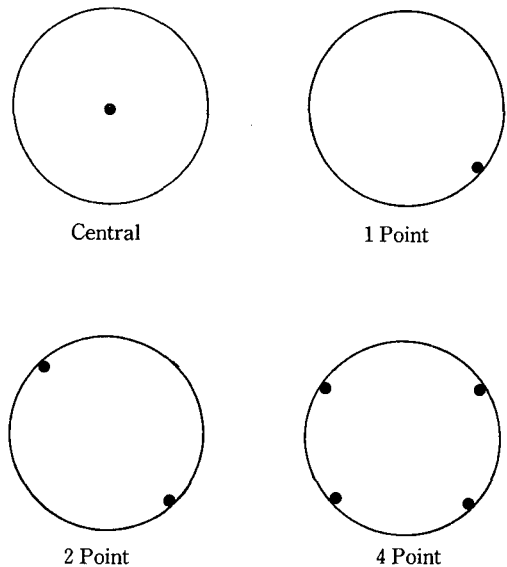


Fig. 4 Spark position

충분히 경과시킨 후, 정지된 혼합기에 점화를 시킨다. 이때 연소실내의 압력을 압력변환기(piezo type)로 측정하며, 측정된 압력은 증폭기(charge amp.)와 A/D 변환기(sampling speed 250 kHz)를 통하여 컴퓨터에 입력시킨 후 해석하였다. 연소된 가스는 배기밸브와 진공펌프를 사용하여 밖으로 배출한다.

실험은 점화플러그의 개수와 위치를 변화시켰으며, 그 위치와 개수는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 연소실의 벽쪽에 1개, 2개, 4개, 그리고 연소실의 중앙에 위치하는 경우이다. 이후 이들을 각각 1점 점화, 2점 점화, 4점 점화 그리고 중심점화라고 칭한다.

혼합기는 프로판 공기에 혼합기를 사용하였고, 공기연료비는 연료공기 당량비 $\phi=1.1$ 로 부터 점화가 되지 않는 희박한 연료공기 당량비까지 실험하였다. 연소실의 초기압력은 2.0 bar, 초기온도는 313 K로 고정하였다.

3. 다점점화의 연소특성 및 점화능력

3.1 연소특성

Fig. 5는 연소실 벽면에 점화플러그 개수가 1개, 2개 및 4개인 경우의 화염형상을 점화후 시간 경과에 대하여 나타낸 것이다. 이 경우 연료공기당량비는 1.1이다.⁽⁵⁾

점화플러그가 연소실 벽면에 1개 있는 1점점화 경우의 화염형상은 점화위치로부터 거의 원형으로 미연혼합기를 향해 전파하는 것을 나타내며, 화염면적은 증가하다가 연소중반기 이후 감소하는 경향이다.

그러나 다점점화로서 벽면에 스파크플러그가 2개 있는 2점 점화의 경우는 두 지점으로 부터 화염이 발달하므로 1점점화에 비하여 화염면적이 급격히 증가하는 것을 나타낸다. 또한 화염형상은 화염이 전파함에 따라서 화염전면의 미연혼합기가 기연가스에 의해 압축되는 영향으로 인하여 타원형을 나타낸다.

4점 점화의 경우는 화염이 연소실 벽면의 4지점으로 부터 동시에 원형으로 발달한 후, 시간이 경과함에 따라 앞과 좌우측에 있는 화염의 영향으로 인하여 부채꼴로 변화하며 화염면적은 가장 빠르게 증가함을 나타낸다. 그렇지만 연소 후반기에는 화염이 전파함에 따라 화염전면의 미연혼합기가 압축

되는 영향으로 인하여 화염전파가 지연되어, 2점 점화와 4점점화의 경우 연소 종료되는 시기는 거의 차이가 없음을 나타내고 있다.

Fig. 6은 점화후 시간경과에 따른 연소실내의 압력을 각각의 점화방식에 대하여 나타낸 것이다. 연소실내의 최고압력은 연소실벽면에 점화위치를 갖는 1점점화의 경우가 가장 낮으며, 다점점화가 될수록 현저히 증가하지만 중심점화에 비해서는 전체적으로 낮은 경향이다. 최고연소압력은 4점점화의 경우라도 2점점화의 경우와 거의 같은 값을 나타낸다.

연소시간은 1점점화의 경우가 가장 길며 2점점화, 4점점화의 순으로 감소하여 4점점화의 경우는 중심점화의 경우와 거의 비슷한 것을 나타낸다.

이와같은 결과는 각 점화방식에 따른 화염전파거리 및 화염면적의 차이에 의한 것으로 생각되며, 또한 이것은 연소실 벽면에 다수의 점화플러그를 갖는 다점점화가 중심점화에 비하여 연소시간의 감소없이 연소압력을 낮추어 연소온도를 낮출 수 있는 유용한 방법이라는 것을 나타내는 것이다.

3.2 점화능력

Fig. 7은 각각의 연료공기 당량비에 있어서 점화 에너지 변화에 따른 점화능력을 나타낸 것이다. 여기서 점화위치는 중심점화의 경우이며, 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 점화 에너지를 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 에너지에 비하여 약 2배정도 요구되는 것을 나타내고 있다.

Fig. 8은 연료공기 당량비 0.8에 있어서 점화플러그 갯수의 변화에 대한 점화능력을 나타낸 것이다. 이 경우 점화에너지는 120 mJ과 180 mJ인 경우로 하였다.

점화플러그 개수가 1개로서 점화위치가 연소실 중앙이거나 벽면에 위치한 경우나 점화능력은 거의

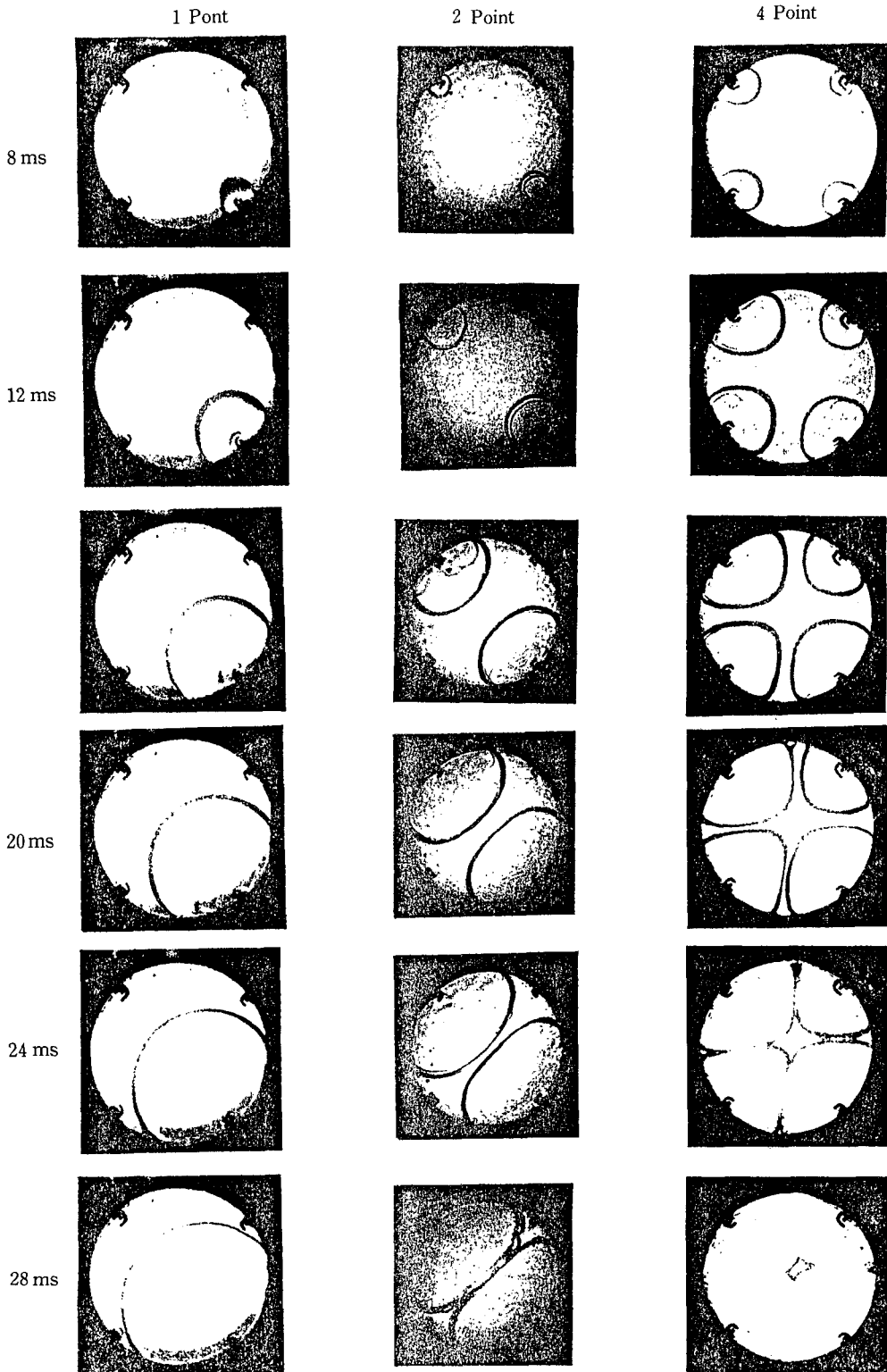


Fig. 5 Schlieren photographs of flame propagation

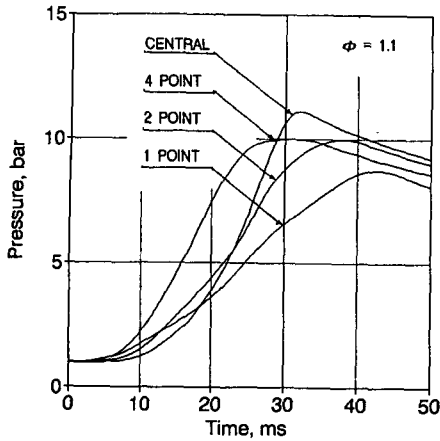


Fig. 6 Gas pressure as a function of time at each number of spark plug

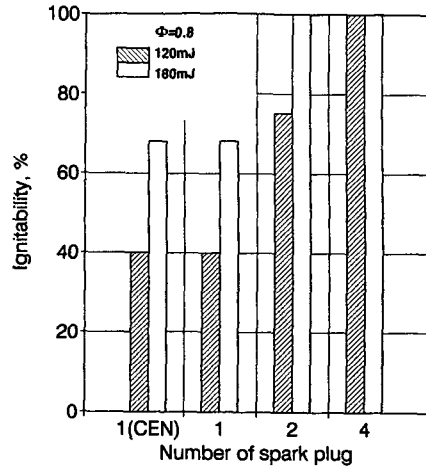


Fig. 8 Ignitability as a function of number of spark plug at spark energy 120 mJ and 180 mJ

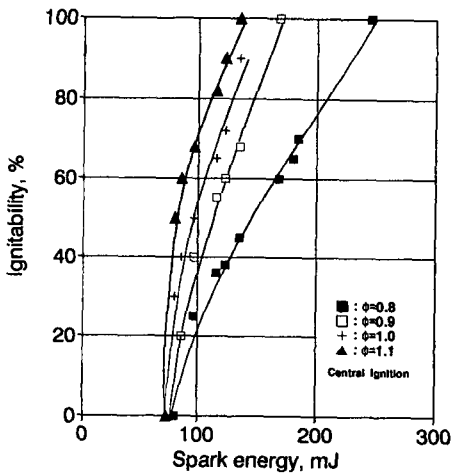


Fig. 7 Ignitability as a function of spark energy at each fuel/air equivalence ratio

차이가 없는 것을 나타낸다. 이와 같은 경향은 점화에너지가 변하여도 동일하다.

그렇지만 1점 점화에서 다점점화가 됨에 따라 즉, 점화플러그 개수가 증가함에 따라 점화능력은 증가한다. 점화에너지를 증가시키면 점화능력이 100%를 나타내는 점화플러그 개수가 감소한다.

다점점화의 경우 각각의 점화플러그에 동일한 점화에너지를 별도로 공급시키므로 점화플러그 개수를 증가시키는 것은 점화횟수를 증가시키는 것과 동일한 의미를 갖는다고 볼 수 있다. 따라서 점화능력은 대체로 점화플러그 개수의 증가에 따라 비례하는 경향을 나타낸다. 이러한 결과로부터 점화

플러그 개수의 증가에 의한 점화능력의 향상은 점화횟수를 증가시키는 효과에 기인하는 것으로 생각할 수 있다.

또한 Fig. 7에서 논술한 바와같이 연료공기 당량비가 1.1에서 0.8로 됨에 따라 점화능력이 100%가 되기위한 점화에너지는 2배 요구되어, 고에너지 공급방법 및 점화플러그의 열적강도에 문제점이 야기되지만, 다점점화의 경우에는 저점화에너지로 동일한 점화능력을 얻으므로 다점점화가 점화능력을 향상시킬 수 있는 유용한 방법이라고 판단된다.

3.3 연소축진 효과

다점점화가 됨에 따라 연소기간이 감소하고 최고 연소압력은 증가하며, 이로 인해 기관의 출력이 변화하게 된다. 따라서 점화플러그 개수의 변화에 따른 연소의 차이는 다음과 같은 총괄 연소축진율을 정의하여 평가한다.⁽⁷⁾

$$\phi = \frac{\Delta PS_{(m,s)}}{PS_{(s)}} \quad (1)$$

여기서, $PS_{(s)}$ 는 1점점화시의 출력이며, $\Delta PS_{(m,s)}$ 는 다점점화와 1점점화의 출력의 차이이다.

상식에서 기관의 출력은 평균유효압력 및 기관회전수에 따라 좌우되고, 이것은 연소실내의 압력 P 와 연소기간 t 에 비례하므로, 연소전의 초기압력이 1점점화와 다점점화시 동일하고 정적연소인 경우 체적 V 가 일정하다는 것을 고려하면 식(1)은 다음과 같이 표시된다.

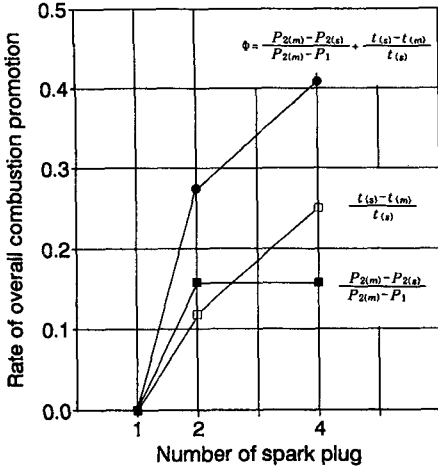


Fig. 9 Rate of overall combustion promotion as a function of number of spark plug

$$\phi = \frac{P_{2(m)} - P_{2(s)}}{P_{2(m)} - P_1} + \frac{t(s) - t(m)}{t(s)} \quad (2)$$

여기서, P_1 는 초기압력이며, P_2 는 최고압력이다. 그리고 철자(s)와 (m)은 1점점화와 다점점화에 대한 것이다.

Fig. 9는 1점점화에서 다점점화가 됨에 따른 연소촉진효과를 연소압력 및 연소시간의 변화율과 총괄 연소촉진율을 나타낸 것이다. 벽면에 점화플러그가 있는 1점점화에서 다점점화가 됨에 따라 연소시간 변화율은 지속적으로 증가하나, 최고연소압력 변화율은 증가하다 감소하는 경향이다. 따라서 연소촉진의 크기를 연소시간 또는 최고연소압력만으로 평가하는 것보다, 이 두 인자를 복합적으로 고려한 총괄 연소촉진율로 평가하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

총괄 연소촉진율 ϕ 는 연소시간의 변화율이 계속적으로 증가하는 경향이지만 최고연소압력의 변화율이 증가하다 감소하는 경향으로 인하여 2점점화까지 급격히 증가하다 이후 완만한 증가를 나타낸다.

점화플러그가 다수인 다점점화로 한 경우 총괄연소촉진율이 1점점화에 비하여 2점점화시 약 28%, 4점점화시 약 40% 정도 증가한다.

4. 다점점화의 연소에 관여하는 주요 인자

4.1 열발생률과 화염면적의 관계

Fig. 10에 점화후 시간경과에 따른 열발생률을 각각의 점화방식에 대해 나타낸다. 1점점화에서 다

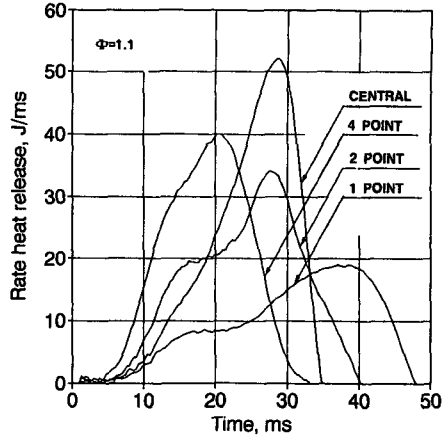


Fig. 10 Rate of heat release as a function of time at each number of spark plug

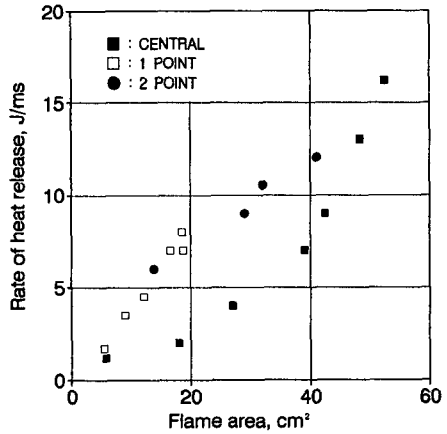


Fig. 11 Rate of heat release as a function of flame area at each number of spark plug

점점화가 됨에 따라 열발생률은 급격히 증가한 후 감소하며, 각 점화방식에 대한 열발생률의 최고값이 나타나는 시기는 최고압력의 발생시기 순서와 일치한다.

1점점화의 경우 열발생률은 중심점화의 경우보다 전체적으로 낮은 값이다. 그러나 2점점화와 4점점화 경우의 열발생률은 중심점화의 경우에 비하여 연소초기에는 크지만 화염이 전파함에 따라 오히려 작아지는 경향이며, 4점점화의 경우에 있어서 열발생률의 감소는 현저하다. 열발생률은 질량연소율에 좌우되고 본 실험이 유동이 없는 정지혼합기에 대한 연소실험이므로 질량연소율에 영향을 미치는 인자인 층류연소속도는 각 점화위치에 대해 크게 변하지 않는다고 간주하면 열발생률의 차이는 화염면

적에 좌우될 것이다.

따라서 열발생률과 화염면적과의 관계를 파악하였으며, 그 결과를 Fig. 11에 나타낸다. 화염면적이 증가함에 따라 열발생률은 증가하는 경향이다. 중심점화의 경우 열발생률과 화염면적은 지수함수적인 관계가 있으며, 1점점화와 2점점화의 경우는 대체로 비례하는 경향이다.

그러므로 다점점화의 경우 연소말기 구간에 있어서 열발생률이 감소하고 지연되는 경향은 화염의 가시화 결과에 설명한 바와 같이 연소실 벽면에서 점화하여 화염이 전파하는데 따른 화염면적의 감소와 다수 발생한 화염에 의해 화염전면의 미연혼합기가 압축되어 이로 인하여 화염전파가 지연되는 데 그 원인이 있다고 판단된다.

4.2 열손실과 기연가스의 열전달면적과의 관계

점화플러그 개수의 차이에 따른 최고압력의 변화는 화염전파중의 열손실에 기인하므로, 이 열손실이 어떤 인자에 의해 좌우되는가 파악하기 위하여 화염전파중의 열손실 Q_L 을 구하였다.

화염전파중의 열손실 Q_L 은 연소된 연료의 발생열량과 압력상승에 이용된 열량과의 차이로서 다음과 같은 식으로 구한다.^(8,9)

$$Q_L = Q^* - Q_p \tag{3}$$

여기서, Q^* 는 연소된 연료의 발생열량, Q_p 는 압력상승에 이용된 열량이며,^(10,11) 다음과 같이 결정한다.

$$Q^* = \eta_c \cdot \left[m \cdot \left(\rho_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{\frac{1}{n}} (V_0 - V_b) \right) \right] \left(\frac{1}{\gamma_{av} + 1} \right) \cdot h_u^* \tag{4}$$

$$Q_p = \int_{t_1}^{t_2} \frac{V_0}{k-1} \left(\frac{dP}{dt} \right) dt \tag{5}$$

여기서, V_0 : 정적연소기의 체적

k : 비열비

η_c : 연소효율

ρ : 혼합기 밀도

m : 혼합기의 전질량

γ_{av} : 공기-연료비

V : 체적

n : 폴리트로픽지수

P : 압력

h_u^* : 열해리를 고려한 발열량

$0,6$: 초기상태, 기연가스

상식에서 연소효율 η_c 는 연료공기당량비를 고려하여 결정한다. 또한 기연가스체적 V_0 및 폴리트로픽지수 n 은 솔리텐 화염사진으로 부터 구한다. 열해리를 고려한 발열량 h_u^* 는 프로판과 공기의 연소 반응식으로부터 계산하였다. 그리고 비열비 k 는 열해리를 고려하여 구한 연소생성물의 정압비열 C_p 와 정적비열 C_v 로부터 구한다.

따라서 화염전파과정중 가스로 부터 연소실 벽면으로의 열손실은 식 (4)와 식 (5)로 부터 연소된 연료의 발생열량 Q^* 과 압력상승에 이용된 열량 Q_p 을 구하여 식 (3)으로부터 추정할 수 있다.

Fig. 12는 열손실 Q_L 을 시간의 경과에 대해서 대표적으로 1점점화 및 중심점화에 대해 나타낸 일례이다.

그림에서 나타난 바와 같이, 열손실 Q_L 은 초기에는 미미하다가 급격히 상승한다. 열손실이 급격히 상승하는 시기는 화염전파의 촬영결과, 화염이 벽면에 도달하는 시기와 일치하므로, 열손실은 화염이 벽면에 닿는 시점부터 현저히 증가됨을 알 수 있다. 열손실이 나타나는 시점은 1점점화, 중심점화 순이지만 화염전파가 진행됨에 따라서 열손실의 크기는 중심점화, 1점점화순으로 역전된다. 이 경향은 중심점화의 경우 화염이 사방으로 균일하게 전파되므로 벽면에 접하는 기연가스의 열전달면적이 1점점화의 경우에 비하여 시간이 경과함에 따라 급격히 증가하는데 기인하는 것으로 판단된다.

따라서 이와같은 점화방식에 따른 열손실의 차이는 열전달면적에 영향을 받는 것으로 예상되므로, 기연가스가 연소실 벽면에 접하는 면적과 열손실과

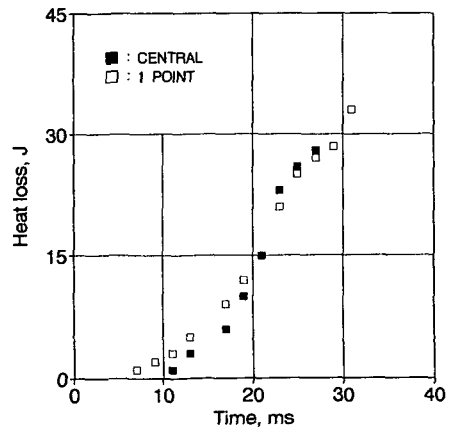


Fig. 12 Heat loss as a function of time

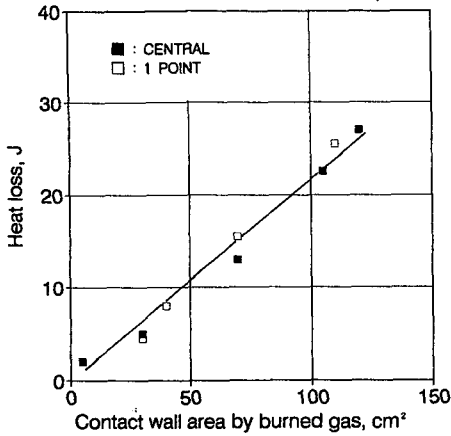


Fig. 13 Heat loss as a function of contact wall area by burned gas

의 관계를 파악하였으며 Fig. 13에 그 결과를 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 열손실은 점화위치에 따라서 약간의 차이는 있으나 대체적으로 점화 위치에 상관없이 열전달면적에 비례하여 증가하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 다점점화의 경우 열손실이 증가하는 것은 벽면에 접하는 기연가스의 면적, 즉 열전달면적이 증가하는데 주요한 원인이 있는 것으로 판단된다.

4.3 연소기간과 화염전파거리와의 관계

전술한 바와 같이 연소기간은 1점점화의 경우가 가장 길고, 2점점화 및 4점점화의 순으로 감소하고 있다. 다점점화의 점화방식에 따른 연소기간의 변화를 상세히 구분하기 위하여 질량연소율 0~10%, 10~90%, 90~100% 까지의 기간을 각각 초기연소기간, 주연소기간 및 후연소기간으로 정의하여 전연소기간(0~100%)에 대한 백분율로 나타내었다. 그 결과는 Fig. 14와 같다. 다점점화의 점화플러그 수를 증가시키에 따라 전연소기간에 대한 초기연소기간의 비는 거의 일정하며, 주연소기간의 비는 감소하고, 그리고 후연소기간의 비는 증가하고 있다.

연소기간에 영향을 미치는 주요인자는 화염전파거리이므로 Fig. 15에 연소기간과 화염전파거리의 관계를 점화플러그 개수에 대하여 나타내었다. 여기서 화염전파거리는 최대 화염도달거리로써 연소실형상과 점화플러그 위치 및 개수를 고려한 기하학적 형상으로부터 구하였다. 따라서 최대화염도달거리는 중심점화의 경우는 연소실의 반지름 r , 1점점화는 $2r$, 2점점화는 $1.4r$, 4점점화는 r 이며,

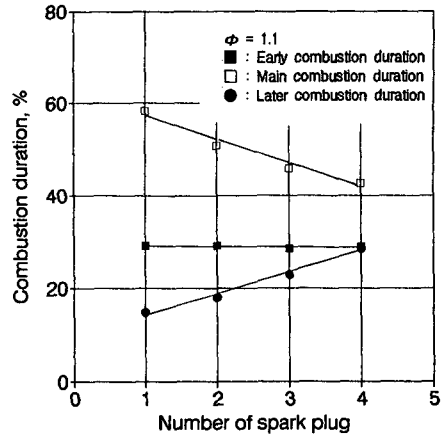


Fig. 14 Combustion duration as a function of number of spark plug

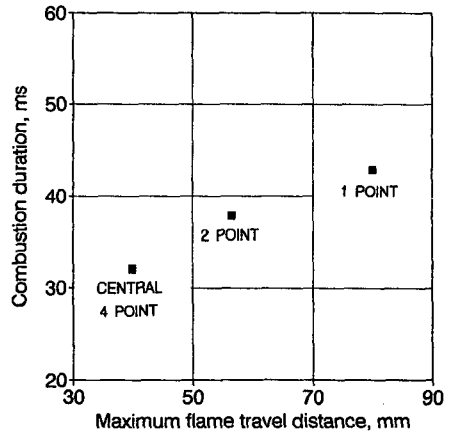


Fig. 15 Combustion duration as a function of maximum flame travel distance

다점점화의 경우 점화플러그 수가 4개 이상이면 r 이 된다. 연소기간은 최대 화염도달거리에 대체로 비례하는 경향으로써 그림에 나타난 바와 같이 최대 화염도달거리가 최소인 4점점화 및 중심점화의 경우에 최소를 나타낸다. 따라서 연소기간에 영향을 주는 주요 인자는 화염전파거리이며, 다점점화에 있어서 점화플러그가 4개 이상이면 연소기간이 중심점화의 경우와 대등해지는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

회박연소용 점화시스템을 확립하기 위한 전초 단계로서, 다점점화에 대한 점화능력 및 연소특성을 해석한 결과는 다음과 같다.

점화능력은 대체로 점화플러그 개수의 증가에 따라 비례하는 경향을 나타낸다. 이것으로부터 점화플러그 개수의 증가에 의한 점화능력의 향상은 점화회수를 증가시키는 효과에 기인하는 것이라 생각할 수 있다.

연소실 벽면쪽에 점화플러그 수가 4개인 4점점화의 경우에 있어서, 연소기간은 중심점화의 경우와 거의 비슷하지만 최고압력은 다소 낮은 경향이다. 이 결과는 다점점화방식이 연소기간의 감소없이 연소압력을 낮추어 연소온도를 감소시킬 수 있는 유용한 방법이라는 것을 나타내는 것이다.

다점점화로 인한 연소축진효과를 연소압력과 연소기간을 고려한 총괄 연소축진율로 평가하면, 2점점화시 약 28%, 4점점화시 약 40% 정도 증가함을 나타낸다.

다점점화의 경우에 있어서 연소말기의 열발생율이 감소하고 지연되는 경향은 연소중반 이후 화염면적이 감소하고 다수 발생한 화염에 의해 화염전면의 미연혼합기가 압축되어 이로 인해 화염전파가 지연되는데 기인하는 것으로 밝혀졌다.

그리고 열손실이 증가하는 것은 벽면에 접하는 기연가스의 면적, 즉 열전달면적이 증가하는데 주요한 원인 있으며, 열손실과 열전달면적은 비례관계를 나타내었다.

연소기간은 점화플러그의 위치와 수에 따른 최대 화염도달거리에 좌우되며, 점화플러그가 4개 이상 되면 다점점화의 연소기간이 중심점화의 경우와 대등해지는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 논문은 G7과제 희박연소용 점화시스템 개발 연구의 일환으로서 수행되었으며, 기아자동차의 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

(1) 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.

(2) Anderson R. W., and Asik J. R., 1983, “Ignitability Experimental in a Fast Burn, Lean Burn Engine,” *SAE Paper 830477*, pp. 390~404.

(3) 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 Paper 821220*, pp. 3826~3837.

(4) Yamamoto, H., Horita, S. and Matsuoka T., 1992, “Surrounding Combustion Process (SCP)-New Concept for Lean Burn Engine,” *SAE Paper 920058*, pp. 1~12.

(5) 이상준, 나성오, 한성빈, 김문현, 이종태, 1993, “SCP의 연소특성,” 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, pp. 487~492.

(6) 이상준, 한동호, 김문현, 이종태, 이성열, 1992, “충류화염전파중의 연소실 벽면으로의 열손실,” 대한기계학회논문집, 제16권, 제7호, pp. 1398~1407.

(7) 이상준, 김삼석, 이종태, 이성열, 1992, “부실 불이 정적연소실의 연소축진효과,” 대한기계학회 논문집, 제16권, 제3호, pp. 569~577.

(8) 一色尙次, 四脇信彦, 上條健, 1972, “密閉容器内の燃焼による熱傳達,” 日本機械學會論文集, 39卷 328號, pp. 3760~3770.

(9) Enomoto, Y. and Furuhashi, S., 1984, “Study on Thin Film Thermocouple Measuring Instantaneous Temperature on Surface of Combustion Chamber Wall in Internal Combustion Engine,” *JSME No. 453*, pp. 1353~1362.

(10) Heywood, J. B., 1988, *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Book Co., pp. 371~390.

(11) 古浜歴一, 1984, “内燃機關の燃焼室表面瞬間溫度測定用熱電對に關する研究,” 日本機械學會論文集, 50卷, 453號. pp. 1353~1362.