

〈論 文〉

## 정적연소에서 점화에너지와 당량비와 유동과의 관계

이중순\* · 이태원\* · 윤수한\*\* · 이상석\*\*\* · 하종률\*\*\*\*

(1995년 1월 7일 접수)

### Relations Among Discharge Energy, Equivalence Ratio and Turbulent Intensity at a Constant Volume Combustion

Joong-Soon Lee, Tae-Won Lee, Soo-Han Yoon, Sang-Suk Lee and Jong-Yul Ha

**Key Words :** Discharge Energy(방전에너지), Equivalence Ratio(당량비), Turbulent Intensity(난류강도), Combustion Duration(연소기간), Combustion Pressure(연소압력), Lean Burn(희박연소)

#### Abstract

We studied the effects on the ignitability of mixture, the combustion duration, and the maximum combustion pressure, of various initial combustion factors such as temperature, pressure, and each equivalence ratio in order to identify the combustion characteristics of lean mixture and improve ignitability through the proper control of the ignition energy. It is concluded that there is an optimum turbulent intensity that enables the combustion to have the best ignitability and the shortest duration under each equivalent ratio, and the combustion duration is only dependent upon the distribution and magnitude of discharge energy within the limit of inflammability.

#### 기 호 설 명

- $T_{ci}$  : 연소실내 초기온도(K)
- $\rho_{ia}$  : 대기온도에서 이소옥탄의 밀도(kg/m<sup>3</sup>)
- $\phi$  : 당량비
- $R_i$  : 이소옥탄의 기체상수(N·m/kg·K)
- $V_c$  : 연소실 체적(m<sup>3</sup>)
- $P_i$  : 연소실내의 이소옥탄의 초기분압(Pa)
- $P_{H_2O}$  : 포화수증기압(Pa)

#### 1. 서 론

전기점화기관은 3원촉매 시스템의 채용으로 현행

의 배기가스 규제 기준을 만족하고 있지만, 앞으로 적용하게 될 캘리포니아주 대기자원국(CARB) 등에서의 배기가스 규제 기준인 TLEV, LEV, ULEV를 만족하기 위해서는 저연비와 배기가스 정화를 위한 노력이 한층 더 필요하게 되었다. 이러한 요구에 대응하기 위해서는 저연비 실현 및 혼합기의 희박화가 가장 효과적인 것으로 제안되고 있고, 현재로서는 희박연소를 실현함에 있어 성층연소를 그 대안으로 생각하고 연구를 수행하고 있다. 성층연소의 개념으로 희박연소 범위를 확대하기 위해서는 점화플러그 부근에 농후한 혼합기를 형성시켜야 하는데, 점화플러그 부근은 화염의 중심부이고 온도가 가장 높기 때문에 NOx의 생성비율이 높은 곳인데, 그 위치에 다시 농후한 혼합기가 생성되도록 하는 것은 NOx의 배출면에서 불리하다. 또, 배기

\*정회원, 동아대학교 대학원

\*\*동명전문대학

\*\*\*부산전문대학

\*\*\*\*정회원, 동아대학교 기계공학과

가스 중에 다량의 산소를 포함하는 경우 현재의 촉매기로서는 만족한 NOx의 환원이 불가능한 것으로 알려져 있다. 이 문제를 해결하기 위한 연구가 행해지고 있고 새로운 촉매제 개발을 통한 해결의 가능성도 엿보이지만 그러나, 아직은 해결해야 할 문제점들이 많이 남아 있다.<sup>(1-3)</sup>

그래서, 균일 회박혼합기의 연소특성에 대한 연구도 필요하게 되고 따라서 점화에너지 개선을 통한 점화성 향상과 혼합기의 적정 유동을 통한 연소속도의 제어 등에 대한 연구가 필요하다.<sup>(4)</sup>

본 연구에서는 이러한 과제를 해결하기 위한 한 방법으로서, 강제유동의 제어가 가능한 정적연소기와 방전에너지의 분포와 크기가 상이한 3종의 점화장치를 제작하여, 당량비와 유동의 크기를 변화시킬 때 상호의 관계가 혼합기의 착화 및 연소특성에 미치는 영향을 밝히고, 점화초기의 착화특성을 알아보기 위하여 1 MHz의 속도까지 촬영이 가능한 고속사진기를 사용하여 착화초기의 유동영향을 가시화하여 분석하였다. 또, 혼합기의 당량비를 변화시켜 점화에너지에 따른 가연한계를 밝히고 회박가

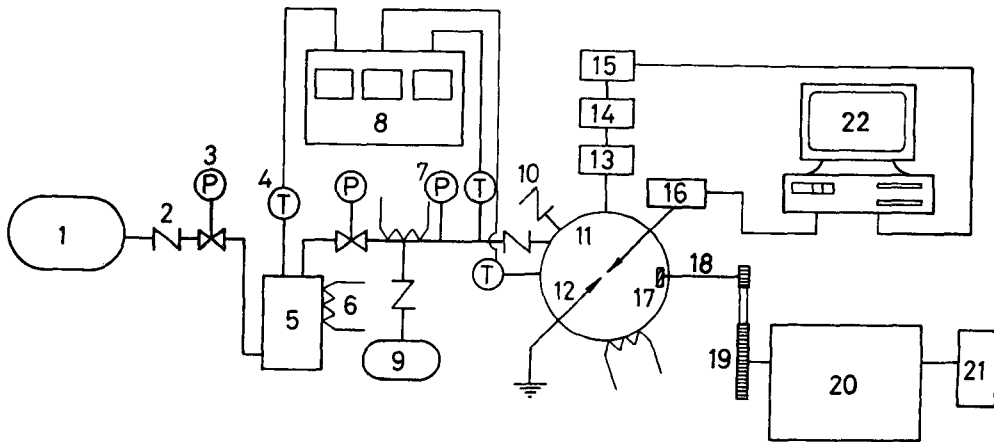
연한계에서의 연소특성을 밝혔다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 연소실 및 주변장치

Fig. 1은 본 연구에 사용한 실험장치의 개략도이다. 실험에 사용된 정적연소실은  $\phi$  65 mm, 폭 50 mm인 원통형으로 체적이 175 cc이며, 연소실내 압력 6 MPa까지 기밀이 유지됨을 확인하였다.

점화위치는 연소실 중앙 또는 벽면이고, 중앙부 점화시에는  $\phi$  1 mm인 피아노선을, 벽면점화에서는 상용 점화플러그를 사용하였다. 연소실 바깥둘레에 용량 100 W인 8각형의 판히터 2개를 부착하여 연소실내부를 설정온도로 제어하였고, 연소실내부에 공급된 공기와 연료의 혼합 및 난류강도의 변화를 위하여 연소실내에 회전수를 0~12,000 rpm까지 제어할 수 있는 팬을 설계 제작하여 설치하였다. 공기압축기에 의해 가압된 공기는 공기 중의 수분을 제거하여, 대용량의 예열탱크 내에서 설정온도로 예열하였다.



- |                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| 1. Air compressor       | 2. Check valve      |
| 3. Pressure gauge       | 4. Thermo-couple    |
| 5. Surge tank           | 6. Heater           |
| 7. Pressure gage        | 8. Temp. controller |
| 9. Vacuum pump          | 10. Fuel adapter    |
| 11. Comb. chamber       | 12. Ignition plug   |
| 13. Pressure trans.     | 14. Amplifier       |
| 15. A/D converter       | 16. Ignition device |
| 17. Fan                 | 18. Spindle unit    |
| 19. Timing pulley       | 20. DC Motor        |
| 21. DC Motor controller | 22. Computer        |

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Ignition energy

Ignition system	Breakdown energy(mJ)	Arc-glow energy(mJ)	Total energy(mJ)	Discharge duration(ms)	Ignition condition
SIS(2.3 ms)	1.5	7.9	9.4	0.54	T <sub>1</sub> =373 K P <sub>1</sub> =0.69 MPa
CDI(540 V)	1.2	15.3	16.5	0.20	T <sub>1</sub> =373 K P <sub>1</sub> =0.69 MPa
HIS(10 ms)	1.8	78.5	80.4	6.20	T <sub>1</sub> =373 K P <sub>1</sub> =0.69 MPa

점화장치는 방전기간이 짧고 축전기에 충전되는 충전전압을 변화시켜 점화에너지를 크기변화가 가능하도록 제작한 축전기 방전식 점화장치(CDI)와 상용점화장치의 1차 코일 통전시간을 제어하여 방전기간을 변경할 수 있도록한 단발점화장치(SIS)와 20 KHz의 속도로 10 ms동안 다수회점화가 가능하도록 제작한 고주파점화장치(HIS)를 사용하였다. 일정조건에서 연소시의 각 점화장치의 방전에너지를 Table 1에 제시하였다.

## 2.2 실험방법

가압, 가열된 공기는 정적연소실내에 설정압력으로 주입된다. 점화플러그 간극에서의 유속의 측정은 점화플러그의 설치위치에 열선(φ5 μm)을 부착한 열선프로브를 설치한 후 정온도형 열선유속계로써 측정하였다. 또한 난류강도의 계산은 참고문헌(4)와 동일하다. 점화는 컴퓨터로부터의 신호로 이루어지고, 이때의 방전에너지를 고전압프로브(HV-P30, Iwatsu electric Co.)와 고전류프로브(CP-502, Iwatsu electric Co.)를 사용하여 측정, 산출하였다. 연소실내의 혼합기 형성은 진공펌프로 연소실내의 압력을 부압으로 만든 후, 연료주입구를 통하여 마이크로리터 주사기(용량 10, 50, 100 μl, 최소단위 0.2, 1.0 μl)로써 설정 연료량(Isooctane; Octane number 100)을 공급한 후, 설정된 압력과 온도로 조정된 공기를 공급하여 연료 공기를 균일하게 혼합시킨 후 연소를 행했다.

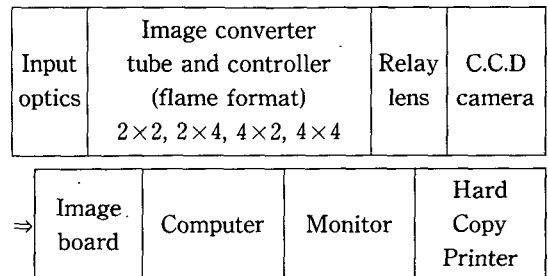
대기온도에서 연소실에 주입되는 연료(이소옥탄)량을 체적혼합비(V<sub>i</sub>)로 표시하면 다음과 같다.

$$V_i = \frac{1.67 \times (P_i - P_{i0}) \times V_c}{100 \times (P_{ia} \cdot R_i \cdot T_{ci})} \quad (1)$$

연소실내의 압력변화를 측정하기 위하여 Fig. 1

에서와 같이 압력측정장치를 사용하였다. 압력의 측정은 압력변환기(Piezo type 6061A, Kistler Instrumental Co.)로 채취하여, 증폭기를 거쳐 증폭시킨 후, A/D변환기(샘플링속도 8 KHz)를 통하여 컴퓨터에 입력시키며, 점화시작 시간을 명확히 하기 위하여 점화신호와 압력 채취 프로그램의 진행신호를 동시에 채취할 수 있도록 하였다.

점화전극에서 커널 형성과정과 연소실내에서 난류강도의 크기에 따른 초기화염의 가시화를 위하여 슬리렌 광학장치와 MFC(multi frame camera)를 사용하였다. 슬리렌의 광원은 300 mW 출력의 Argon Ion Laser(Model ILT 5500A-00, USA)를 사용하였고, 촬영부는 시간분해능 1 μs, 최대 16프레임까지 촬영할 수 있는 Image Intensifier 일명 MFC와 CCD(charge coupled device)카메라, 제어부로 구성된다. 본 실험에서의 촬영조건은 25,000 FPS, 16 Frames로 하였고, 사용된 MFC의 구성은 다음과 같다.



## 3. 실험결과

Fig. 2(a, b)에 정지와 유동분위기에서의 초기화염 사진을 보인다. 사진의 간격은 600 μs(1,667 FPS)로서 점화시작부터 4.25 ms까지를 나타낸다. 본

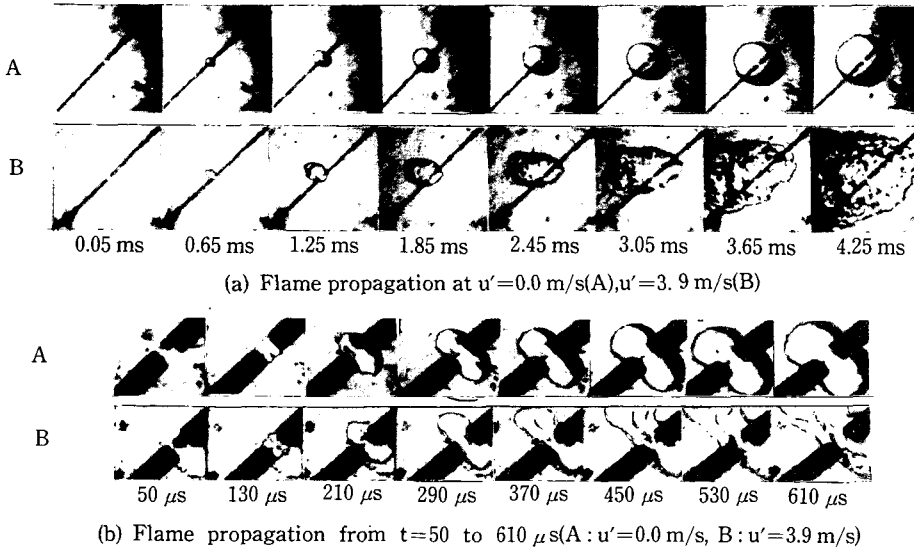


Fig. 2 Schlieren photographs from high-speed movies at  $T_1 = 373 \text{ K}$ ,  $P_1 = 0.49 \text{ MPa}$

실험조건에서의 유동특성은 점화전극을 중심으로 타원형의 형태로 회전하는 주류가 존재하는 유동이며 특히, 점화전극 부근의 유동은 주류의 영향이 적은 회전의 중심부에 해당하는 유동이다. 정지분위기에서의 화염이 진원으로 발달하는데 비하여 유동분위기에서는 화염이 타원형으로 성장하며 또한, 화염표면에 유동에 의한 영향인 작은 돌기로 인해 화염의 표면적이 증가하고, 전체적인 화염의 체적도 유동분위기가 정지분위기에 비해 현저하게 발달하고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 화염의 성장특성은 유동의 특성과 매우 일치함을 알 수 있다.

특히, 전기점화로부터 커널 생성, 착화, 화염성장의 과정을 알아보기 위하여 점화후  $50 \mu\text{s}$ 와  $650 \mu\text{s}$  사이의 화염의 성장과정을  $50 \mu\text{s}$  간격으로 동일 혼합기조건에서 촬영하여 Fig. 2(b)에 제시한다. 점화가 시작되고서  $90 \mu\text{s}$ 가 경과하면 커널이 발생하고, 공기 중에 점화하여 커널의 성장과정을 촬영한 결과와 비교하면  $130 \mu\text{s}$ 에서는 혼합기에 화염이 생성된 것을 알 수 있다. Fig. 2(a)에서도 알수있는 바와 같이  $650 \mu\text{s}$ 까지의 초기에는 화염의 크기가 유동의 유무에 관계없이 거의 동일한 체적을 보이고 있다. 이 시간대의 화염의 성장과정을 Fig. 2(b)로부터 관찰하면 착화시기는 정지, 유동 두조건에서 동일하고 화염의 발생초기에는 전극으로의 냉각손실과 전극에 의한 화염면 이동의 방해 등으로 전극 양쪽으로 두개의 구가 생성되는 형상으로 발달

해감을 알 수 있다. 특히, 桃瀬 등의 보고에서는 방전에너지중 용량성분에너지의 비율이 20% 이하의 조건에서는 전극으로의 열손실량은 총 공급에너지의 20~30%에 달하는 것으로 밝혔다.<sup>(5)</sup> 이 보고는 본 화염사진에서도 정성적으로 확인이 가능하다. 이것은 유동분위기에서도 동일한 결과를 보이거나 전체체적 비교에서는 초기에 화염에 대한 유동의 영향으로 화염면의 성장이 오히려 둔화되는 경향을 보인다. 이것은 일종의 오버스웰의 영향으로 추측된다. 그러나 화염이 어느정도 성장하여 반응대에 공급할 수 있는 열량이 확보됨에 따라서 유동은 순방향의 영향을 주게 되고, 화염체적의 크기도 유동분위기에서 현저하게 증가해 짐을 알 수 있다.

Fig. 3에 연소실내의 연소압력의 시간경과와 동일시간에서 화염의 연소실에 대한 체적비를 나타낸다. 화염의 크기와 압력의 감지시기와의 관계를 알아보기 위하여 압력센서에서 압력이 감지될 때의 화염의 크기를 정지분위기와 유동분위기에 대하여 나타내었다. 정지분위기에서는 압력이 감지될 때의 화염의 체적비는 0.3%에 달하고 유동시에는 0.1% 정도의 값을 보인다. 이 지연기간은 전체연소기간의 20~30% 정도를 나타낸다.

Fig. 4에 초기화염의 체적변화율을 정지와 유동분위기에 대하여 비교해서 제시한다. 초기온도와 압력은 실기의 운전조건에 접근하도록 설정했다. 체적변화율은 연소실내에서 연소된 가스에 의하여

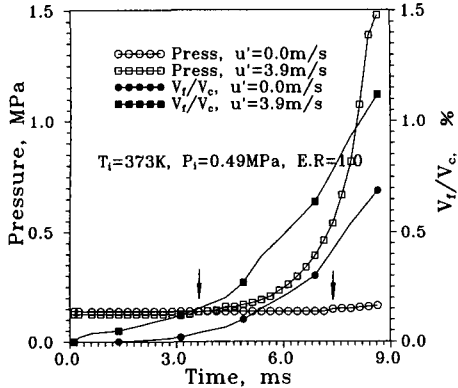


Fig. 3 Pressure and  $V_t/V_c$  as a function of time at  $u' = 0.0 \text{ m/s}$ ,  $u' = 3.9 \text{ m/s}$

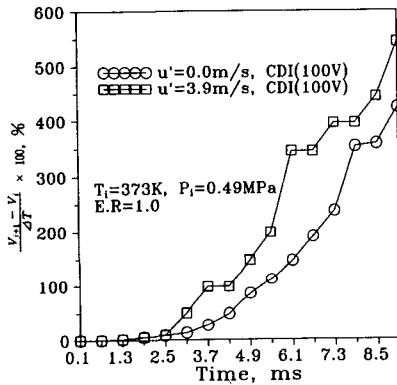


Fig. 4 Unit volume changes as a function of time at  $u' = 0.0 \text{ m/s}$ ,  $u' = 3.9 \text{ m/s}$

점유되는 체적의 변화를 단위시간에 대하여 나타낸 것으로, 본 실험에서는 Image intensifier에 의하여 촬영되어진 2차원상의 화염사진으로부터 해당 화염의 면적을 구한 후, 그 체적을 산출하였다. 앞의 사진에서도 알 수 있듯이, 초기화염에서는 유동이 오히려 화염전파의 방해요인이 됨으로써 초기의 체적변화율은 정지분위기와 거의 비슷한 시간경과를 보이나, 화염이 그 형태를 확보하게 되는 크기에서 유동이 화염성장에 순기능의 역할을 함을 알 수 있다. 이것은 희박혼합기 가연한계가 유동의 크기가 감소함에 따라서 가연범위가 확대되는 것에서도 알 수 있다. 또한, 정지와 유동의 두 조건에서 연소기간이 각각 33.9 ms, 11.5ms로 유동조건이 정지분위기에 비하여 약 1/3로 감소하는 것을 고려하면 체적변화율은 초기부터 시간경과와 함께 점점 큰 차이를 보일 것으로 추측된다.

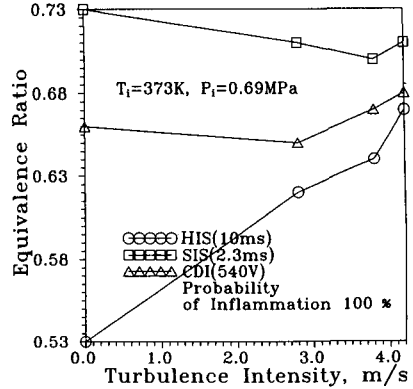


Fig. 5 Relations between ignitability equivalence ratio and turbulence intensity at various ignition systems

Fig. 5에 점화장치의 방전에너지 분포 및 크기와 유동의 크기에 따른 회박가연한계를 나타낸다. 점화에너지의 크기는 Table 1에 제시한 바와 같고, SIS는 9.4 mJ의 방전에너지를 650  $\mu\text{s}$ 동안 방전하고 CDI는 16.5 mJ의 에너지를 180  $\mu\text{s}$ 동안 방전하며 HIS는 80.4 mJ의 방전에너지를 6 ms동안 방전한다. 특히, HIS는 연속점화의 형태로 50  $\mu\text{s}$ 마다 1회의 점화를 하게되고 6 ms동안 계속되며 약 120회의 점화가 이루어지고 매 점화시마다 용량성과 유도성이 존재하면서 적은 에너지를 오래동안 지속시키는 형태의 방전이다. 특히, 桃瀬 등의 보고에 의하면 용량성에너지를 포함하는 경우에는 유도성분만의 경우에 비하여 방전초기에 매우 강한 압력파가 관찰되고, 그 결과 고온가스핵이 방전축의 수직방향으로 성장함을 밝혔다.

그림에서 제시된 바와 같이 에너지밀도가 높은 CDI의 경우에는 정지상태이거나 유동이 미약한 조건에서 가연한계가 넓고, 방전에너지의 절대량이나 에너지밀도가 적은 SIS에서는 가연한계도 좁을 뿐더러 오히려 유동이 큰 쪽에서 가연한계가 넓어지는 현상을 보인다. 방전에너지의 절대량이 큰 HIS의 경우에는 단위시간당의 방전에너지는 적으나 방전기간이 길어서 가연한계가 가장 넓은 값을 나타낸다. 특히, 유동이 적을수록 가연범위가 넓어지는 것은 방전기간이 길어도 균일혼합기이기 때문에 유동의 효과를 얻기가 어렵고, 오히려 정지분위기의 경우가 커널의 생성 및 유지에 유동으로 인한 온도구배가 완만해짐을 피할 수 있기 때문으로 판단된다. 특히, 다수회 점화로 인한 고온가스핵의 성장

에 큰 영향을 미치는 용량성 에너지가 매 점화마다 발생하는 효과도 있을 것으로 생각된다. 이는 동일 조건에서 혼합기 대신 공기중에 방전을 행한경우의 커널사진으로부터도 확인하였다. 즉, 정지시에 비교하여 유동시에는 동일 방전에너지에서 고온가스 부가 확산함으로써 체적이 증가하게 되고 그로 인해 온도구배가 완만해지게 될 것으로 추측된다.<sup>(5)</sup>

Fig. 6에는 점화에너지의 크기가 가연한계에 미치는 영향을 유동의 크기에 따라서 제시한다. 동일한 점화장치를 사용하여 방전에너지만을 변화시킨 경우 가연한계는 방전에너지의 크기에 비례해서 확대되는 것을 알 수 있다. 이 경우의 가연한계는 점화시 100% 착화를 의미한다. 난류강도가 클수록 가연한계에 대한 방전에너지의 영향이 줄어드는 것은 난류강도가 증가할수록 가연한계가 좁아지기 때문이다. 축전기의 충전전압이 100 V, 340 V 조건인 경우의 총 방전에너지는 각각 9.7 mJ, 10.7 mJ, 브레이크다운에너지는 1.7 mJ, 1.4 mJ의 크기이다.

Fig. 7에는 점화장치에 따라 방전에너지의 분포와 크기가 연소기간에 미치는 영향을 유동의 크기에 따라 비교해서 보인다. 정적연소기를 사용하기 때문에 연소기간은 점화시작으로부터 연소최고압력이 발생할 때까지로 했으며 CDI(340 V)의 경우는 점화와 동시에 팬의 회전을 정지시킨 경우와 계속 회전시킨 경우를 의미한다. 그림에서 알 수 있듯이 점화장치에 따른 방전에너지의 분포나 크기가 연소기간에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있고, 이는 이론혼합비 부근에서는 방전에너지의 크기나 분포가 연소기간에는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

Fig. 8에 이론혼합비( $\phi=1.0$ )와 희박혼합비( $\phi=0.75$ ) 영역에서 방전에너지의 연소기간에 대한 영향을 보인다.  $\phi=1.0$ 에서나  $\phi=0.75$ 에서도 실험적 오차의 범위내의 변화를 제외하고는 방전에너지가 연소기간에 미치는 영향은 무시할 정도임을 알 수 있고, 이는 앞의 그림에서와 같이 희박한 혼합비 범위에서도 착화가 이루어지면 방전에너지의 연소기간에 미치는 영향은 무시할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 9에 혼합비가 연소기간에 미치는 영향을 알아보기 위하여  $\phi=1.0$ 에서의 연소기간에 대한 각 희박혼합비에서의 연소기간의 비( $\tau_{pmax}(\phi=1.0-0.65)/\tau_{pmax}(\phi=1.0)$ )를 유동조건에 따라서 백분율로 나타낸

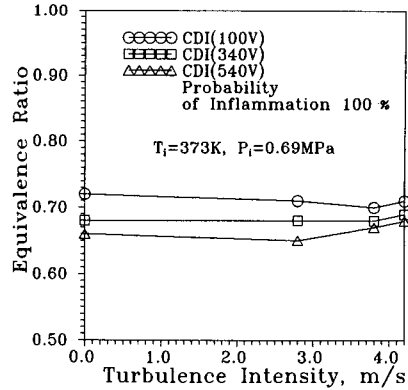


Fig. 6 Relations between ignitability equivalence ratio and turbulence intensity at various discharge energy

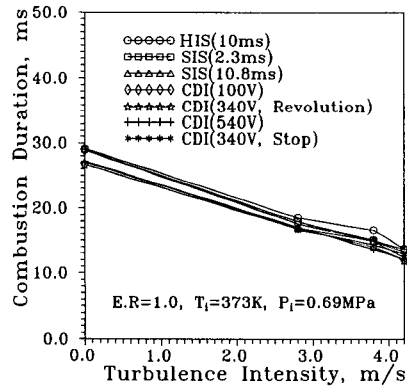


Fig. 7 Relations between combustion duration and turbulence intensity at various ignition systems and discharge energy

다. 연소기간 지연비와 당량비의 관계에서 전체적인 경향은 지수함수적인 관계를 보이나 희박가연한계 부근에서는 연소기간이 직선적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 희박연소를 실험관에 적용할 때를 감안하면, 적정의 연소조건으로 생각한  $\phi=1.0$ 의 연소기간에 비교하여 혼합비가 희박할수록 연소기간비는 길어져서 가연한계 부근에서는 150~300%의 값을 보인다. 또한, 난류강도가 증가할수록 연소기간비는 증가함을 알 수 있다. 현재 희박한계에서의 연소지연을 유동으로 해결하려고 시도하고 있지만, 이러한 결과로 볼때 희박혼합기 조건에서 연소기간 단축을 위하여 유동 이외의 방법으로도 대책이 강구되어야 할 것이다.

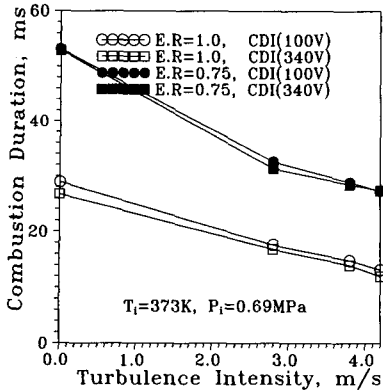


Fig. 8 Relations between combustion duration and turbulence intensity

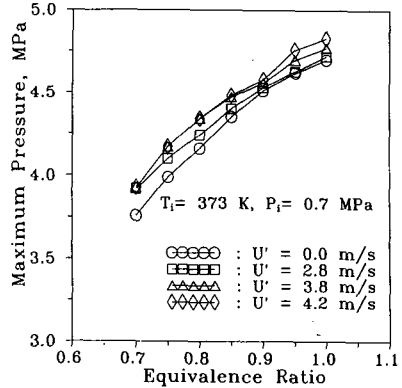


Fig. 10 Relations between maximum pressure and equivalence ratio at various turbulence intensities

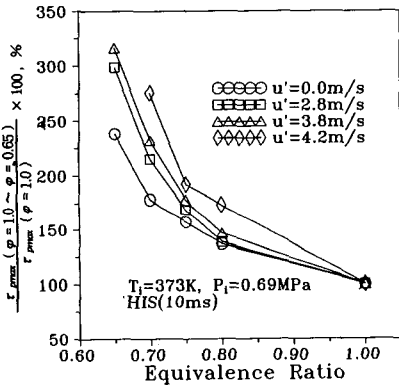


Fig. 9 Relations between the rate of combustion duration and equivalence ratio at various turbulence intensities

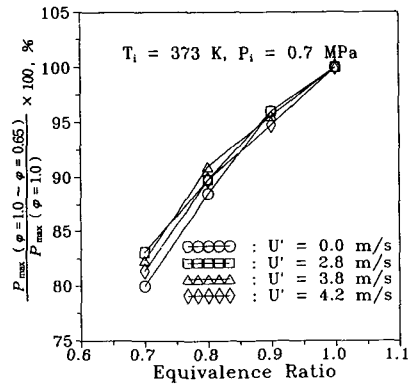


Fig. 11 Relations between the rate of combustion pressure and equivalence ratio at various turbulence intensities

CDI점화장치를 사용한 경우, 주어진 초기조건에서 난류강도의 크기에 따른 연소최고압력과 당량비의 관계를 Fig. 10에 나타낸다. 이 그림은 이론혼합비로부터 희박가연한계까지의 연소최고압력의 변화를 도시한 것으로, 각 당량비조건에서 난류강도의 증가와 함께  $P_{max}$ 는 증가하며 난류강도가 4.2 m/s 근처에서 그 증가치는 한계를 보인다. 이와 같은 난류강도에 따른  $P_{max}$ 의 증가는 가연범위 내의 동일 당량비에서 거의 같은 경향을 보이며 특히, 정지분위기에서의  $P_{max}$ 값에 비하여 최고의  $P_{max}$ 값을 보이는 최적난류강도에서의  $P_{max}$ 는 4~7% 범위의 증가치를 보인다. 이와 같은 결과로 볼 때, 가연한계내에서 난류강도가 발화에 지장을 주지않

는 범위에서는 연소최고압력, 최단연소기간을 얻을 수 있는 최적의 난류강도조건이 존재함을 알 수 있다. 또 이론혼합비에서 가연한계까지의 범위에서 연소최고압력과 당량비는 거의 비례하며, 희박할수록 최고압력이 감소하는 현상을 보인다.

동일 행정체적을 가진 기관에서 희박연소를 행할 때의 연소최고압력 강화의 정도를 확인하기 위하여 이론혼합비에서의 연소최고압력에 대한 희박혼합비 영역에서의 연소최고압력의 비를 백분율로 표현하여 Fig. 11에 제시한다. 희박혼합비 범위에서 연소최고압력비는 이론혼합비 영역에 대하여 부(負)의 기울기로서 거의 직선적인 급격한 감소를 보임을 알 수 있다. 이와 같은 연소최고압력의 감소는 본

그림의 혼합비 범위에서 대략 20% 정도이며, 난류 강도가 적정치에 가까울수록 감소 경향은 줄고 희박가연한계에 접근할수록 압력감소에 미치는 난류 강도의 영향은 증가함을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

강제유동의 제어가 가능한 정적연소기를 제작하여 방전에너지의 분포와 크기가 상이한 3종의 점화 장치와 당량비와 유동의 크기를 변화시켜서 상호의 관계가 혼합기의 착화 및 연소특성에 미치는 영향을 밝혔다.

(1) 난류강도의 영향은 착화초기의 화염보다는 반응대에 충분한 에너지공급이 가능해지는 화염 크기에서 커진다.

(2) 착화성은 단위시간당의 방전에너지가 큰 경우에 양호하나 단위시간당의 방전에너지는 적어도 용량성과 유도성에너지가 매회 발생하는 고주파점화의 경우 더욱 양호해진다.

(3) 가연한계 부근을 제외한 착화 가능한 범위에서 연소기간은 방전에너지의 분포나 크기에 거의 영향을 받지 않는다.

(4)  $\phi=1.0$ 에서의 연소기간에 대한 희박가연한계까지의 연소기간비는 지수함수적으로 증가하며, 특히 가연한계 부근에서는 직선적으로 증가하고 난류강도가 증가할수록 비율은 증가한다.

(5)  $\phi=1.0$ 에서의 연소최고압력에 대한 희박가연한계까지의 연소최고압력비는 거의 직선적으로 감소한다.

#### 후 기

본 연구는 상공자원부에서 지원하는 G7과제 중 저공해공통기반기술 연구수행의 일환으로 얻어진 결과의 일부로서 관계자 여러분께 감사를 드립니다. 또한, 화염사진촬영에 협조해주신 V-TEK(주) 여러분의 협조에 감사의 뜻을 포함합니다.

#### 참고문헌

- (1) 井口 哲, 1992, "Lean Burn Gasoline Engine," 일본자동차기술회 Symposium, pp. 1~6.
- (2) 岩本 正和, 1992, "Lean Burn Gasoline Engine," 일본자동차기술회 Symposium교재, pp. 7~12.
- (3) Satoshi Iguchi, 1993, "Development of Lean Burn Engine Systems in Japan," *The 6th Kia Motors International Symposium, Korea*, Vol. 1.
- (4) Ha, J. Y., Jung, S. S., Lee, J. 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.
- (5) 桃瀬 一成 外 4名, 1993, "複合放電에 의한 高溫GAS核生成過程의 數値Simulation" *日本機械學會論文集(B편)*, Vol. 59, No. 557, pp. 262~269.