

〈論 文〉

## 부실블이 정적연소실의 연소촉진 효과

이상준\* · 김삼석\*\* · 이종태\*\*\* · 이성열\*\*\*

(1991년 10월 8일 접수)

### The Effect of Combustion Promotion in Constant Volume Combustion Chamber with Sub-chamber

Sangjoon Lee, Samsuk Kim, Jongtai Lee and Songyol Lee

**Key Words :** Sub-chamber(부실), Combustion Promotion(연소 촉진), Pre-mixture Combustion(예혼합 연소)

#### Abstract

The effect of combustion promotion in a constant volume combustion chamber with sub-chamber located in the vicinity of spark plug, was analyzed for variables such as sub-chamber volume and diameter of orifice, and was also compared and evaluated with that of the chamber with sub-chamber which spark plug was located in the sub-chamber. Consequently, it was shown that decrease of duration of combustion in the latter case was larger than that in the former case, but comparing by rate of overall combustion promotion that duration of combustion and pressure were both considered, the optimum configuration factor and the effect of combustion promotion were almost same in both cases.

### 1. 서 론

내연기관의 유해 배기가스 저감과 연료 경제의 향상을 위해 사용하고 있는 희박 연소에 있어서 문제가 되는 연소불안정 및 연소속도저하를 해결하고자 여러 방법이 제안되고 있으며, 그 중 하나가 화염분출에 의한 연소촉진 방법이다<sup>(1~4)</sup>.

부실로 부터 주연소실로 분출되는 고온의 화염은 주연소실쪽의 미연가스에 대하여 화염생성원이 되어 희박혼합기의 착화성을 증진시킬뿐만 아니라, 기·미연 가스의 유동 및 난류를 증가시켜 급속연소가 되고 이로 인한 연소기간의 감소로  $\text{No}_x$ 도 감소되는 효과가 있다.

부실로 부터 화염을 분출시키는 방법은 부실쪽에 서 점화하는 방식<sup>(5)</sup>과 부실과 주연소실을 연결하는 오리피스 출구 근방의 주연소실쪽에서 점화하는 방식으로 대별할 수 있다<sup>(6~7)</sup>.

전자의 방식은 부실쪽에서 부터 압력이 상승하므로 큰 화염분출속도를 얻을 수 있다. 후자의 경우는 주연소실 및 부실쪽으로 화염이 동시에 전파하여 두 연소실의 체적차이에 따른 압력상승의 차이로 부실쪽의 화염이 주연소실쪽으로 분출되므로 화염분출시기 및 분출속도가 전자에 비해 다소 느리다. 그렇지만, 이 방식들을 기관에 사용하는 경우, 전자의 방식은 부실쪽에 스파크플러그를 설치하고 혼합기를 도입시키기 위하여 현용기관의 구조를 대폭적으로 개조하여야 하는데 반하여 후자의 방식은 스파크플러그 부근에 화염분출실만을 설치하면 되므로 구조적으로 간단하다.

그러므로 두 방식의 연소촉진효과가 거의 대등하

\*정회원, 성균관대학교 대학원

\*\*정회원, 현대자동차

\*\*\*정회원, 성균관대학교 기계공학과

거나 그리 큰 차이가 없다면 주연소실쪽에서 점화하는 부실불이 연소실이 유리하다. 그러나 많은 연구에도 불구하고<sup>(8-13)</sup> 이들에 대한 비교연구 및 연소실 체적이 부실을 설치하여도 부실이 없는 경우와 동일한 경우에 대해서는 아직 상세히 밝혀지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 주연소실쪽의 오리피스 근방에서 점화를 하는 부실불이 연소실에서 부실의 크기, 오리피스 크기를 변수로 하여 화염분출이 연소에 미치는 영향을 파악하였다. 또한 이들의 결과를 부실쪽에서 점화하는 경우와 비교하여 주연소실 쪽 점화방식의 화염분출효과를 평가하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

Fig. 1에 부실불이 정적연소기의 개략을 나타낸다. 부실불이 정적연소기는 지름 80mm의 주연소실, 지름 51mm인 반원형의 부실로 되며, 주연소실과 부실을 연결하는 오리피스로 이루어져 있다. 주연소실과 부실의 높이는 모두 30mm이다.

주연소실과 부실의 크기는 요구하는 체적비에 해당하는 황동링을 주연소실과 부실에 각각 삽입함으로써 변화시킬 수 있다. 또한 오리피스의 크기는 주연소실과 부실사이에 삽입되는 지름이 다른 오리피스 판(60(w)×30(h)×2(t))을 교환하여 변화시킬 수 있다. 연소기에는 흡입 및 배기밸브, 스파크

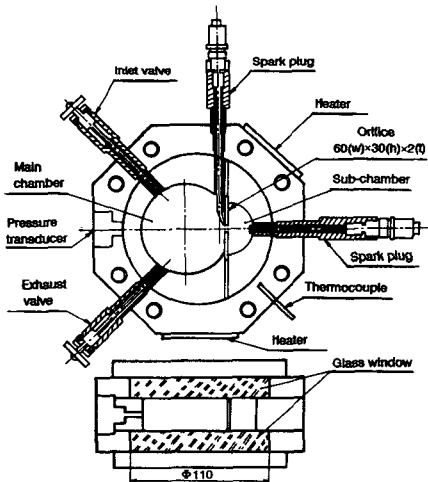


Fig. 1 Constant volume with sub-chamber

플러그, 압력변환기를 설치하였다. 흡입 및 배기밸브의 제작에 있어서 밸브 끝 부분의 공간이 연소실에 노출되면 연소실내 예혼합기가 그 공간에도 충전되므로 밸브 니들 선단이 밸브끝에 위치하도록 유의하였다. 스파크 플러그는 주연소실쪽과 부실쪽에 각각 삽입하고 주연소실 점화시는 주연소실쪽

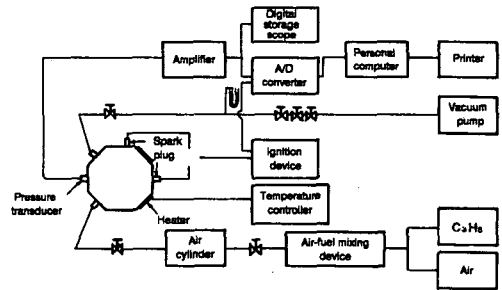


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

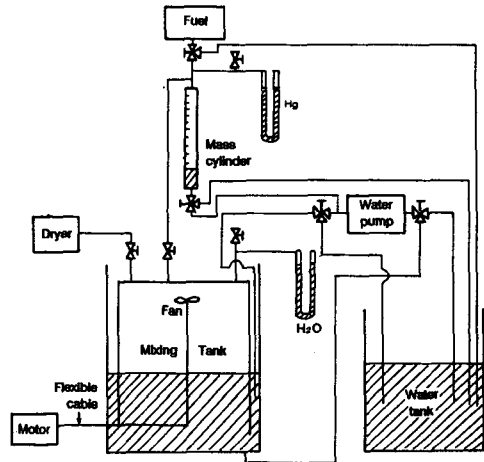


Fig. 3 Air-fuel mixing device.

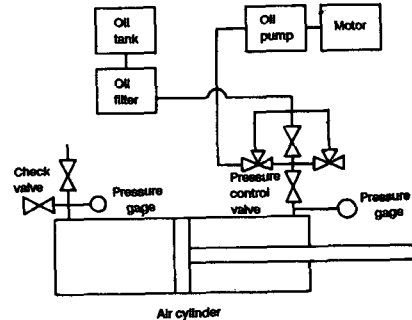


Fig. 4 Air-fuel mixture compressor

스파크 플러그를 사용하며, 부실쪽 점화시는 부실 쪽 스파크 플러그를 사용한다. 스파크 플러그는 자동차용 점화플러그의 중심 전극 끝에 지름 1mm의 황동선을 연결하여 사용하였다. 연소실벽의 초기온도를 일정하게 유지시키기 위하여 200W의 판 히터를 2개 설치하였고, 이 온도를 파악하기 위해 열전대를 연소실의 내면으로 부터 3mm 깊이에 삽입하였다.

Fig. 2는 실험장치의 구성도이다. 실험장치는 부실불이 정적연소기, 예혼합기 제조장치, 점화장치 및 데이터 해석장치로 구분된다.

연소실내의 압력은 Strain-gage식 압력변환기 (Kyowa PB-100Np type)로 측정하며, 이 데이터는 O.P. Amp.로 증폭된 후 A/D Converter (ADM-1198BPC 12bit : 샘플링 속도 100kHz)를 통하여 컴퓨터 (NEC PC-9801)에 입력시켜 해석하였다. 연소실로 부터 연소된 가스를 배출시키기 위하여 진공펌프를 설치하였다.

공기와 연료를 예혼합하기 위하여 Fig. 3과 같은 예혼합기 제조장치를 제작하여 사용하였다. 혼합비의 결정은 체적법에 의하여 결정한다. 즉 혼합 탱크내에 소정의 공기를 충전시키고, 다음 순수한 연료를 메스 실린더에 충전시켜 대기압으로 감압한 후, 만들고자하는 혼합비에 해당하는 양의 연료를 혼합탱크에 유입시켜, 교반기로 충분히 교반시킴으로써 균일한 예혼합기를 만든다. 이때 연료 및 혼합기의 유입 및 출입은 물치환법으로 행한다. 예혼합기 제조장치로 만든 예혼합기의 압력은 대기압이므로 Fig. 4와 같은 혼합기 압축장치를 사용하여 실험에 필요한 소정의 압력으로 가압하였다. 혼합기 압축장치는 직경 250mm, 행정 700mm의 에어실린더를 개조한 것이며, 에어실린더를 구동시키기 위한 유압펌프와 압축압력을 조절하기 위한 압력조

절밸브를 설치하였다.

점화장치는 용량방전 점화장치를 사용하였다.

## 2.2 실험방법

실험은 부실불이 정적연소실에 균일한 예혼합기를 0.15MPa로 충전시키고, 3분 정도의 시간이 경과한 후, 정지한 혼합기에 점화를 하여 그때의 압력 및 연소시간을 측정하는 것이며, 실험변수는 다음과 같다.

부실의 크기 : 부실의 크기는 식(1)과 같이 온 연소실체적에 대한 부실체적의 비로 정의한 체적비  $R_v$ 로 환산하여  $R_v=2.5\%$ ,  $5\%$ ,  $10\%$ ,  $15\%$ ,  $20\%$ 의 5종류이다.

$$R_v = \frac{\text{부실의 체적}}{\text{주연소실 및 부실의 체적}} (\%) \quad (1)$$

이 경우, 주연소실 및 부실에 삽입되는 황동링을 동시에 교환하여 온 연소실은 모두  $150\text{cm}^3$ 로 동일하게 하였다. 각 체적비에 대한 주연소실 및 부실의 지름과 연소실 표면적은 Table 1과 같다.

오리피스의 크기 : 주연소실과 부실을 연결하는 오리피스의 크기는 오리피스의 지름이 3mm, 5mm, 7mm에 상당하는 3종류이다. 오리피스의 길이는 모두 2mm이며, 분출위치는 연소실 높이의 중앙이다.

스파크 플러그 위치 : 스파크 플러그 위치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 주연소실쪽의 오리피스 중심 부근과 부실 중심에 따라 내벽면에 설치한 2종류이다. 따라서 점화는 주연소실쪽 점화와 부실쪽 점화의 두 경우가 된다.

혼합기는 연료-공기 당량비  $\phi=1.1$ 인 프로판-공기 예혼합기를 사용하였다. 연소실의 초기온도는 313K, 초기압력은 0.15MPa로 하였다.

Table 1 Specification of sub-chamber and main chamber

Volume ratio $R_v$ , %	0	2.5	5	10	15	20
Diameter of main chamber, mm	80	79	78	76	74	72
Diameter of sub-chamber, mm	0	18	25	36	44	51
Surface area of combustion chamber, $\text{mm}^2$	17593	18891	19327	20030	20490	20905

### 3. 주연소실쪽 점화에 의한 연소촉진효과

#### 3.1 부실 크기의 영향

주연소실쪽 점화에 있어서 각 부실의 크기에 대해서 측정된 연소실내 압력의 일례를 Fig. 5에 나타낸다. 이 경우 오리피스 지름은 7mm이다.

최고압력까지 도달하는 시간은 부실이 없는 경우 ( $R_v=0\%$ )에 비하여 부실이 있는 경우가 전체적으로 짧으며, 부실의 크기가 증가함에 따라 점차로 짧아져 주연소실쪽 점화가 연소촉진에 효과가 있음을 나타낸다.

그리고 최고압력은 각 부실의 크기에 대하여 약간 차이가 있지만, 압력경과곡선의 구배는 점화후 압력상승이 시작되는 부분과 최고압력이 나타나는 부근을 제외하면 부실의 크기에 상관없이 거의 일치하는 경향이다.

연소시간을 구분하기 위하여 압력경과곡선에서 최고 압력의 0~10%, 10~90%, 90~100%까지의 기간을 각각 초기연소기간, 주연소기간, 후연소기간으로 정의한다.

Fig. 6은 각 부실크기에 대한 연소시간 변화를 초기연소기간, 주연소기간, 후연소기간으로 구분하여 나타낸 것이다.

부실의 크기가 증가함에 따라 초기연소기간, 주연소기간, 후연소기간 모두 감소하는 경향이지만 초기 및 주연소기간의 감소가 현저하다. 부실이 있는 경우의 연소시간을 부실이 없는 경우와 비교하면 부실이 있는 연소실이 초기연소기간은 약 45%, 주연소기간은 약 20%, 후연소기간은 약 10%정도

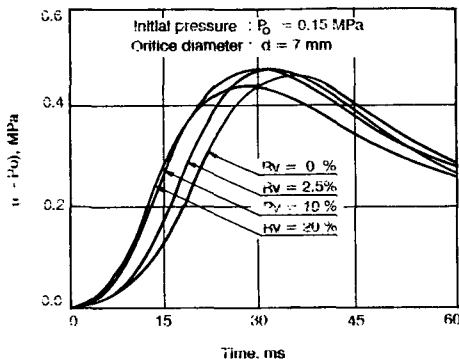


Fig. 5 The typical pressure records of various sub-chamber volumes

감소되고 있다. 이 결과로부터 부실의 설치에 의한 연소촉진효과는 초기연소를 촉진시키는데 유효함을 알 수 있다.

Fig. 7은 부실 크기  $R_v$ 의 변화에 대한 연소기간

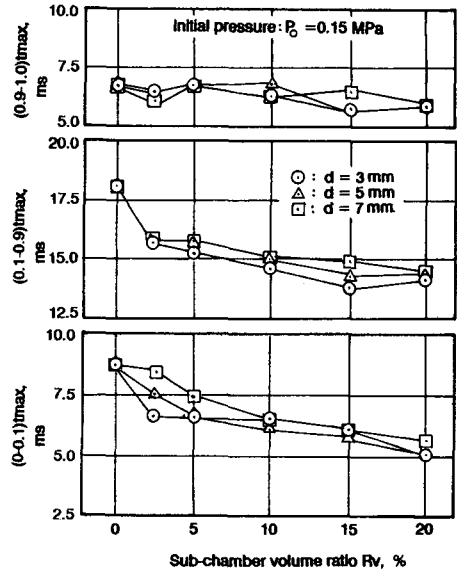


Fig. 6 Early combustion period (0-0.1)  $t_{max}$ , main combustion period (0.1-0.9)  $t_{max}$  and later combustion period (0.9-1.0)  $t_{max}$  for sub-chamber volumes

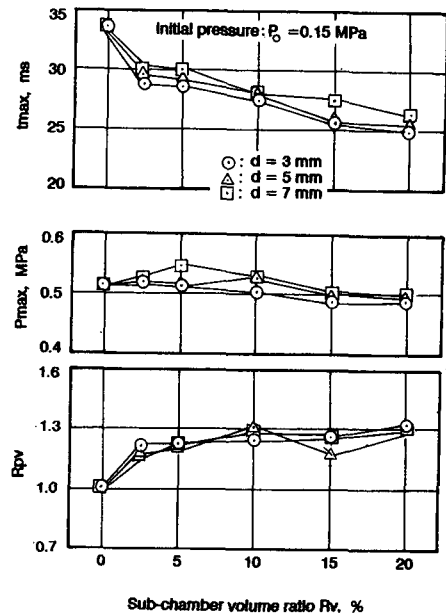


Fig. 7 Duration of combustion  $t_{max}$ , maximum pressure  $P_{max}$  and ratio of pressure gradient  $R_{pv}$  versus sub-chamber volumes

$t_{max}$ , 최고압력  $P_{max}$  및 압력 상승율의 비  $R_p$ 를 각 오리피스 크기에 대하여 나타낸 것이다. 여기서  $t_{max}$ 는 점화후  $P_{max}$ 에 도달할 때까지의 시간이다.  $R_p$ 는 부실이 없는 경우의 90%  $P_{max}$ 까지의 압력 상승율( $dp/dt$ )에 대한 부실이 있는 경우의 것과의 비이다.

$t_{max}$ 는  $R_v$ 가 증가하는데 따라서 한결같이 감소하는 경향이다. 이것은 부실의 체적증가에 따른 화염 분출속도 및 분출기간의 증가로 주연소실내의 기연 및 미연가스의 이동속도와 화염대의 난류가 증가하는데 따른 연소속진효과에 기인한 것으로 볼 수 있다.

$P_{max}$ 는  $R_v$ 의 증가에 따라서 약간 증가하다 감소하는 경향이며, 이것은 다음과 같이 설명할 수 있다. 연소실내의 압력은 혼합기가 연소하는데 따른 열발생량에 의하여 상승하지만, 동시에 연소가스로부터 벽면으로의 열손실은 압력을 감소시키는 주요 원인이 된다. 그런데 부실률이 정적연소기의 온체적은  $R_v$ 의 크기에 상관 없이 모두 동일하므로 각 경우에 대하여 연소 효율이 동일하고 화염분출에 소요되는 내부에너지의 감소가 그리 크지않다고 가정하면, 각 변수에 대한 압력상승에 기여하는 에너지의 차이는 주로 연소기간과 열전달 면적의 대소에 따라 생기는 연소가스로부터 벽면으로의 열손실이라할 수 있다. 따라서  $R_v$ 의 증가로 인해  $P_{max}$ 가 약간 증가하는 경향은 주로 연소기간의 감소에 기인하는 연소가스로부터 벽면으로의 열손실 감소에 의한 것이라고 생각된다.  $R_v$ 가 10%이상인 경우  $t_{max}$ 의 현저한 감소에도 불구하고  $P_{max}$ 가 약간 감소하는 경향은 Table 1에서 나타낸 바와 같이  $R_v$ 가 증가하는데 따른 연소실 표면적 증가의 영향과 화염이동속도의 증가로 화염선단이 연소실벽에 도달하는 시간이 빨라져 화염이 연소실벽면에 직접 접하는 시간이 길어지는데 따른 열손실의 증가가 주요한 원인이라 판단된다. 그러나  $R_v$ 의 증가에 따른  $P_{max}$ 의 감소는 그다지 크지않다.

각 부실의 크기에 대한  $t_{max}$ 의 감소 범위는 부실이 없는 경우에 비해 약 10~26%이며,  $P_{max}$ 는 최대 7%의 증가가 있다. 그리고  $t_{max}$ 가  $R_v$ 의 증가에 따라 현저히 감소하고  $P_{max}$ 가 그다지 큰 증감을 나타내지 않는 것으로 보아, 연소속진효과는 부실의 크기가 클수록 크다고 판단된다.

### 3.2 오리피스 크기의 영향

오리피스 크기의 변화에 대한 연소기간  $t_{max}$ , 최

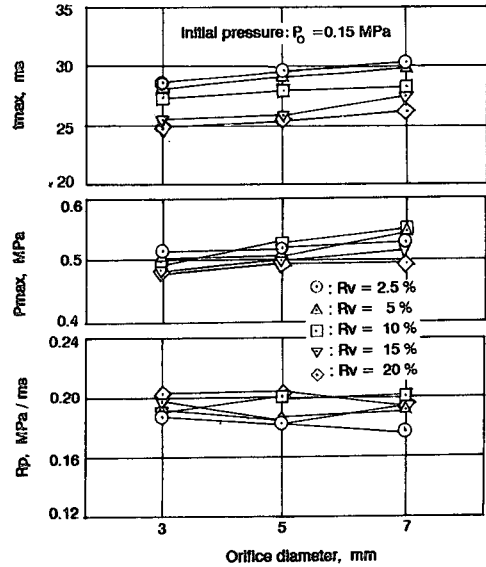


Fig. 8 Duration of combustion  $t_{max}$ , maximum pressure  $P_{max}$  and pressure gradient  $R_p$  versus various orifice diameters

고압력  $P_{max}$  및 압력상승율  $R_p$ 를 각 부실의 크기 별로 비교한 것이 Fig. 8에 나타나 있다.

오리피스의 크기 변화에 대한  $P_{max}$ 와  $t_{max}$ 는 각 부실의 크기에 있어서 약간 차이가 있지만 오리피스의 크기가 작아짐에 따라 약간 감소의 경향이며,  $R_p$ 는  $P_{max}$ 와  $t_{max}$ 의 변화에 따라 대체로 일정한 값을 나타낸다.

$t_{max}$ 가 오리피스의 크기가 작아짐에 따라서 감소하는 것은 화염분출구의 면적이 감소하는데 따른 화염분출속도의 증가로 연소속진효과의 증가가 증가하는데 의한다. 또한  $P_{max}$ 가  $t_{max}$ 의 감소에도 불구하고 현저히 감소하는 것은 전술한 바와 같이 화염분출속도의 증가에 따른 열전달률의 증가와 화염이 벽면에 닿는 시간이 길어지는데 기인하는 열손실량 증가의 영향이 연소속진의 영향보다 크게 작용하는데 의한 것으로 볼 수 있다.

오리피스의 크기가  $d=7\text{mm}$ 인 경우에 비하여  $d=3\text{mm}$ 인 경우의  $t_{max}$  및  $P_{max}$ 의 감소 범위는  $t_{max}$ 가 약 2~8%,  $P_{max}$ 가 3~9%이다.

### 3.3 연소 속진율

화염분출에 의한 연소속진효과는 다음과 같은 연소속진율  $\beta$ 를 정의하여 평가하였다. 즉

$$\beta = \frac{t_{max(o)} - t_{max(n)}}{t_{max(o)}} \quad (2)$$

여기서  $t_{max(o)}$ 와  $t_{max(n)}$ 은 각각 부실이 없는 경우와 있는 경우에 대한 연소기간이다.

각 오리피스 크기에 있어서 부실의 크기 변화에 대한 연소촉진율  $\beta$ 를 Fig. 9에 나타낸다. 연소촉진율  $\beta$ 는  $R_v$ 가 증가함에 따라 대체로 지수 함수적으로 증가하며, 부실이 없는 경우( $R_v=0\%$ )에 비하여  $R_v$ 가 20%인 경우 약 40%정도 연소가 촉진됨을 나타낸다. 그리고 오리피스의 직경 7mm의 경우를 기준으로 할 때, 오리피스 직경  $d=5\text{mm}$ ,  $d=3\text{mm}$ 인 경우에 있어서  $\beta$ 의 증가가 약 12~16% 정도라는 것을 고려하면, 화염분출에 의한 연소촉진효과로 연소기간을 단축시키기 위해서는 부실의 크기를 크게하는 것이 오리피스의 크기를 작게하는 것보다 유리함을 알 수 있다.

부실물이 연소실에 있어서 연소기간의 변화는 화염 분출의 영향으로 화염전파속도  $S_f$ 와 화염면적  $A_f$ 가 증가하는 것과 또한 화염면적내에 난류가 생기는데 의한 열전달율  $\alpha$ 의 증가로 전열과 활성분자의 이동이 촉진되어 미연혼합기쪽으로의 에너지 전달이 활발히 일어나는 것에 주요한 원인이 있다고 생각된다. 따라서 연소 촉진율은  $S_f$ ,  $A_f$ ,  $\alpha$ 의 함수로 표시할 수 있다. 여기서  $S_f$  및  $A_f$ 는 화염분출속도에 의존하며, 이 화염분출속도는 부실의 체적  $V_s$ 에 비례하고, 오리피스 면적  $A$ 에 반비례한다. 그리고  $\alpha$ 는 초기연소기간에 있어서 기연 및 미연가스의 물성치가 크게 변하지 않는다면 레이놀즈수  $Re$ 의 함수가 되며,  $Re$ 는 화염분출속도에 따

라 좌우되므로  $\alpha$ 도 역시  $V_s/A$ 의 변화에 비례하게 된다.

따라서 연소촉진율은 다음과 같은 근사식으로 표시할 수 있다.

$$\beta = a \cdot \left\{ \frac{V_s}{A \cdot H} \right\}^b \quad (3)$$

여기서  $a$ ,  $b$ 는 상수이며,  $H$ 는 정적연소기의 두께로서 ( $V_s/A$ )의 항을 무차원화 하기 위하여 사용하였다.

상기의 관계식에 각 오리피스 크기에 있어서 부실크기의 변화에 대한 연소촉진율  $\beta$ 를 대입하면,  $a=0.0038$ ,  $b=0.38$ 을 얻었다.

### 3.4 최적 형상인자의 결정

Fig. 10에서 나타난 바와 같이 연소기간  $t_{max}$ 는 부실의 크기가  $R_v=20\%$ , 오리피스 크기가  $d=3\text{mm}$ 에서 최소이지만, 최고압력  $P_{max}$ 는  $R_v=5\%$ ,  $d=7\text{mm}$ 인 곳에서 최대치를 나타낸다. 그러므로 연소촉진에 최적인 부실 및 오리피스의 크기 즉 최적형상 인자를 결정하기 위해서는 단순히 연소기간만을 고려해서는 안된다.

기관에 있어서 출력 PS는  $PS = \frac{P_m \cdot V_d \cdot N}{9000}$ 과 같은 형태로 표시된다. 여기서  $P_m$ 은 평균유효압력,  $V_d$ 는 행정체적,  $N$ 은 기관 회전수이다.  $P_m$ 은 연소실내의 압력  $P$ 에 의존하고,  $N$ 은 혼합기의 연소기간  $t$ 에 의존하므로, 기관의 출력은  $P$ 와  $t$ 의 합

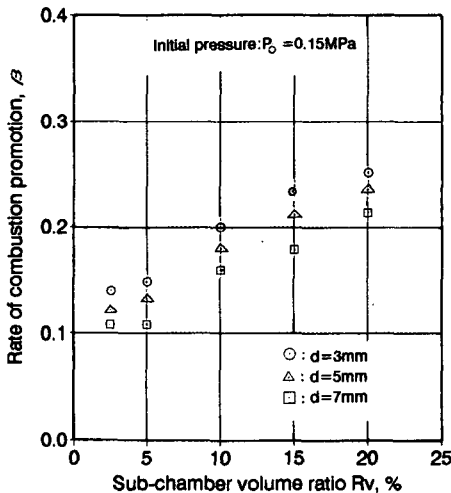
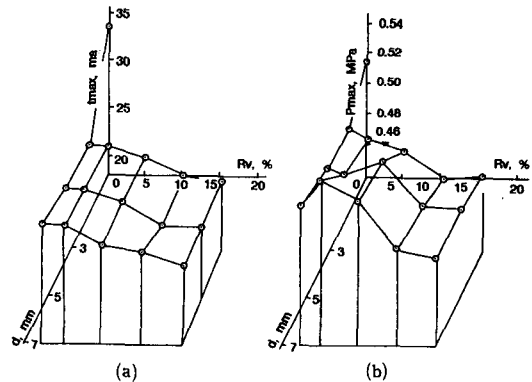


Fig. 9 Rate of combustion promotion for sub-chamber volume ratio



(a) Duration of combustion  $t_{max}$   
(b) Maximum pressure  $P_{max}$

Fig. 10 Duration of combustion  $t_{max}$  and maximum pressure  $P_{max}$  for sub-chamber volumes and orifice diameters

수로 된다. 연소를 촉진하고자 하는 것은 결과적으로 출력을 증가시키는데 목적이 있으므로, 최적 형상인자의 결정에는 상기와 같은 관계로부터 연소압력 및 연소 기간을 복합적으로 고려하여 다음과 같은 총괄연소촉진율  $\phi$ 를 정의하였다.

$$\phi = \frac{\Delta PS_{(n,o)}}{PS_{(o)}} \quad (4)$$

여기서  $PS_{(o)}$ 는 부실이 없는 경우의 출력이며,  $\Delta PS_{(n,o)}$ 는 부실이 있는 경우와 없는 경우의 출력 변화량이다.

상식에서  $PS_{(o)}$ 는 평균유효압력이  $Pm = W^\circ / V_d = C_p \cdot (P_2 V_2 - P_1 V_1) / V_d$ 로 표시되고, 기관회전수  $N$ 과 연소기간  $t$ 는 대체적으로 선형적인 관계가 있다는 것을 고려하면 다음과 같이 표시된다.

$$PS_{(o)} = k \cdot (P_{2(o)} \cdot V_2 - P_{1(o)} \cdot V_1) \cdot t_{(o)} \quad (5)$$

여기서 첨자  $o$ 는 부실이 없는 연소실의 경우에 대한 것이며,  $k$ 는 상수이다.

그리고  $\Delta PS_{(n,o)}$ 는 기관출력이 연소실내의 압력  $P$ 와 연소기간  $t$ 의 함수이므로 부실이 있는 경우와

없는 경우에 있어서 팽창전의 압력을  $P_{1(o)} = P_{1(n)}$ 이라 하면 다음과 같다.

$$\Delta PS_{(n,o)} = k \cdot V_2 (P_{2(n)} - P_{2(o)}) t_{(o)} + k (P_{2(o)} \cdot V_2 - P_{1(o)} \cdot V_1) \cdot (t_{(o)} - t_{(n)}) \quad (6)$$

따라서 식(4)에 식(5)와 식(6)을 대입하고, 정적연소실의 경우에 적용하여  $V_1 = V_2$ ,  $P_1$ 을 초기압력  $P_o$ ,  $P_2$ 를 최고 압력이라 하면, 총괄연소촉진율  $\phi$ 는 다음과 같이 표시된다.

$$\phi = \frac{P_{(n)} - P_{(o)}}{P_{(n)} - P_o} + \frac{t_{(o)} - t_{(n)}}{t_{(o)}} \quad (7)$$

여기서  $t_{(n)}$  및  $P_{(n)}$ 는 임의의 부실크기와 오리피스 크기를 갖는 연소실에 있어서의  $t_{max}$ ,  $P_{max}$ 이며,  $t_{(o)}$  및  $P_{(o)}$ 는 부실이 없는 연소실에 있어서  $t_{max}$ ,  $P_{max}$ 이다.

Fig. 11에 각 부실 및 오리피스의 크기에 대한 총괄연소촉진율  $\phi$ 를 나타낸다.  $\phi$ 의 변화를 Fig. 9의 연소촉진율  $\beta$ 와 비교하면, 부실의 크기가 증가하는 경우는 대체로 같은 경향이나 오리피스 크기가 변화하는 경우는 반대의 경향이다. 즉 오리피스의 크기가 작아짐에 따라  $\beta$ 는 증가하지만,  $\phi$ 는 약간 감소 또는 대체로 일정한 데, 이것은 오리피스 크기의 감소에 의한 연소기간 감소의 영향이 압력 감소의 영향으로 상쇄되기 때문이다.

$\phi$ 의 최대치는  $R_v = 10\%$ ,  $d = 7mm$ 인 곳에서  $\phi = 0.21$ 이며,  $\phi$ 의 최소치는  $R_v = 5\%$ ,  $d = 5mm$ 인 곳에서  $\phi = 0.14$ 이다.

이 결과로부터 본 연구에서 사용된 주연소실쪽 점화방식 부실불이 연소실의 최적 부실크기 및 오리피스의 크기는  $R_v = 10\%$ ,  $d = 7mm$ 라고 판단된다.

또한  $\phi$ 의 최소치가 약 14% 정도이므로 주연소실쪽 점화방식 부실불이 연소실은 어떤 부실 및 오리피스를 사용하더라도 연소촉진에 유용함을 알 수 있다.

#### 4. 주연소실쪽 점화방식 부실불이 연소실의 연소촉진효과에 대한 평가

주연소실쪽 점화방식은 주연소실과 부실쪽으로 동시에 화염이 전파하여 그 압력 상승의 차로 화염이 분출되므로 부실쪽에서 직접 점화하는 방식의 화염분출속도가 주연소실쪽 점화방식보다 크리라 생각된다. 따라서 주연소실쪽 점화방식의 연소촉진

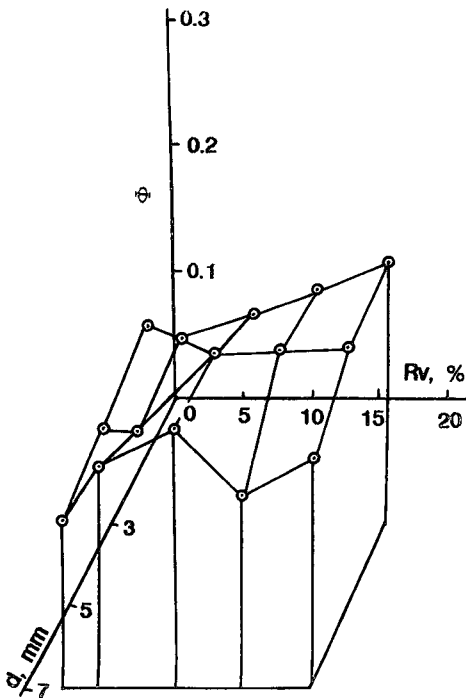


Fig. 11 Relation between rate of overall combustion promotion for sub-chamber volumes and orifice diameter

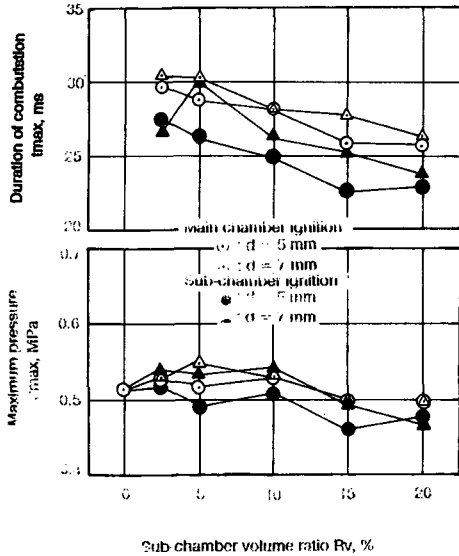


Fig. 12 Comparison of duration of combustion and maximum burning pressure for sub-chamber volumes in main and sub-chamber ignition position

효과를 부실쪽 점화방식과 비교평가 하였다.

Fig. 12는 주연소실쪽 점화방식 및 부실쪽 점화방식 부실불이 연소실에 있어서의 연소기간  $t_{max}$  및 최고압력  $P_{max}$ 를 각 부실 및 오리피스 크기에 대해서 나타낸 것이다.

두 종류의 점화방식 모두 부실의 크기가 증가하고 오리피스 크기가 작아짐에 따라  $t_{max}$  및  $P_{max}$ 는 대체로 감소하는 경향이며, 이것은 전술한 바와 같다.

그러나  $t_{max}$ 는 부실쪽 점화방식의 경우가 주연소실쪽 점화방식의 경우보다 전체적으로 작은 값을 나타내며,  $P_{max}$ 는 약간 작으나 이들의 차이는 그리 크지 않다. 부실쪽 점화방식의  $t_{max}$ 가 전체적으로 주연소실쪽 점화방식보다 작은 것은 부실쪽 점화방식에 있어서 부실내의 압력상승이 주연소실쪽 점화방식보다 빠르게 되어 이 결과 화염분출이 일찍 시작되고 또한 화염분출속도도 빠르게 되는데 기인하는 연소촉진효과의 차에 의한 것이라 생각된다.

한편 부실쪽 점화방식의  $P_{max}$ 가 주연소실쪽 점화방식보다 약간 낮은 값을 나타내는 것은 화염분출이 주연소실쪽 점화방식보다 일찍 시작되어 고온의 기연가스가 벽면에 접하는 시간이 길어지고, 또한 화염분출속도가 빠르게 되는데 따른 열전달을 증가로 가스로 부터 벽면으로의 열손실이 주연소실쪽

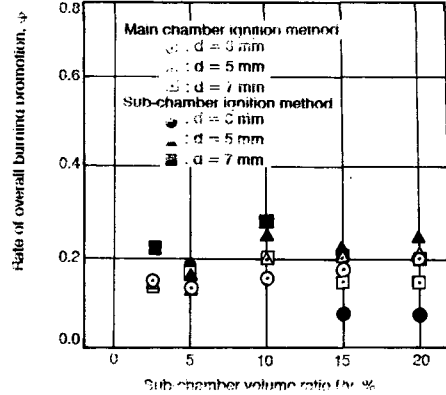


Fig. 13 Rate of overall combustion promotion for sub-chamber volumes and orifice diameters in main and sub-chamber ignition positions

점화방식보다 큰것에 의한 것으로 볼 수 있다.

부실쪽 점화방식 부실불이 연소실에 있어서  $t_{max}$ 의 감소는 부실이 없는 경우에 비하여 최대 약 32% 감소하며, 연소실내의 최고 압력은 약 10%의 증가가 있다. 식 (2)로 구한 부실쪽 점화방식의 연소촉진을  $\beta$ 는 주연소실쪽 점화방식보다 약 6% 정도 크다.

Fig. 13은 주연소실쪽 점화방식 부실불이 연소실에 있어서 각 부실 및 오리피스 크기에 대한 총괄 연소촉진을  $\phi$ 를 부실쪽 점화방식과 비교한 것이다. 부실쪽 점화 방식에 있어서의  $\phi$ 는 주연소실쪽 점화방식의 경우에 비하여 큰 차이가 없으며, 경우에 따라서 오히려 작은 값을 나타낸다. 이것은 부실쪽 점화방식에 있어서의  $t_{max}$ 의 감소가 주연소실쪽 점화방식의 경우보다 크더라도  $P_{max}$ 의 감소가 약간 큰 데 기인한다.

부실쪽 점화방식 부실불이 연소실에 있어서의  $\phi$ 는 약 7~28%의 범위이다. 주연소실쪽 점화방식 경우의  $\phi$ 가 약 14~21%라는 것을 고려하면, 연소촉진의 측면에서 주연소실쪽 점화방식 부실불이 연소실이 부실쪽 점화방식의 경우와 그리 다를바가 없다고 판단된다. 이러한 결과로 부터 주연소실쪽 점화방식 부실불이 연소실이 부실쪽 점화방식에 비하여 큰 차이없이 연소촉진에 유효하다는 것을 알 수 있다.

부실쪽 점화방식 부실불이 연소실의 최적 형상인 자는 부실의 크기가  $R_v=10\%$ ,  $d=7mm$ 인 곳으로서 주연소실쪽 점화방식의 경우와 동일함을 나타낸다.



## 5. 결 론

스파크 플러그 근처에 부실이 있는 주연소실쪽 점화방식 부실불이 정적연소실의 연소속진효과를 부실 및 오리피스 크기에 대하여 해석하고, 또한 부실쪽에 점화위치를 갖는 부실쪽 점화방식 부실불이 연소실과 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부실의 크기가 클수록 연소기간은 현저히 감소하며, 연소실내의 압력은 약간 증가하다가 감소하는 경향이다. 부실의 체적비를 20% 증가시킨 경우 연소기간은 약 26% 감소한다.

(2) 오리피스 지름을 작게 할수록 연소기간 및 연소실내의 압력은 감소한다. 오리피스의 직경을 7 mm에서 3mm로 감소시킨 경우 연소기간은 약 10% 감소한다.

(3) 부실 및 오리피스 크기의 변화에 대한 연소기간의 감소를 연소속진을  $\beta$ 로 나타내어 정리하면  $\beta=0.0038\{V_s/(A \cdot H)\}^{0.38}$ 의 형태로 표시할 수 있었다.

(4) 연소기간 및 연소실내의 압력을 고려한 총괄 연소속진율을 정의하여 부실 및 오리피스 크기에 대한 최적형상인자를 결정할 수 있었다. 이 결과 주연소실쪽 점화방식 및 부실쪽 점화방식 부실불이 연소실의 최적 형상인자는 동일하고 주연소실쪽 부실불이 연소실이 부실쪽 점화방식과 거의 대등한 연소 속진효과가 있음을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단의 1988년도 신진 연구비 지원에 의하여 이루어졌으며, 동 재단의 연구 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) Rao Mittini, D.N. and Dabora, E.K. 1984, "Plasma Jet Ignition Studies," 20th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, pp. 169~177.
- (2) Orrin, J.E., Vince, I.M. and Weinberg, F.J. 1981, "A Study of Plasma Jet Ignition mechanism," Fifteenth Symposium (Int.) on Combustion, Combustion Inst., pp. 1755~1765.
- (3) Anderson, R.W. and Asik, J.R. 1985, "Lean Air-Fuel Ignition System Comparison in a Fast Burn Engines," SAE paper 850076, pp. 1~10.
- (4) 前川, 1978, "ダイハツシャレード用CB型機關, 內燃機關, Vol. 17, No. 205.
- (5) Egils A Purms, 1974, "Pre-chamber Stratified Charge Engine Combustion Studies," SAE paper 741159, pp. 3452~3468.
- (6) Noguchi, M., Sanda S., and Nakamura, N., 1976, "Development of Toyota Lean Burn Engine," SAE paper 760757, pp. 2358~2373.
- (7) 下浦昭 外3, 1978, "ダイハツの稀薄燃焼方式 (TGP)について", 自動車技術, Vol. 32, No. 11, pp. 1018~1024.
- (8) Shigeki Yamaguchi, Norio Ohiwa and Tatsuya Hasegawa, 1985, "Ignition and Burning Process in a Divided Chamber Bomb," combustion and Flame, Vol. 59, pp. 177~187.
- (9) Cattlica, R. and Vosen, S. 1987, "Combustion-Torch Ignition; Fluorescence Imaging of OH Concentration," Combustion and Flame, Vol. 68, pp. 267~281.
- (10) Cole, R.M. and Alkidas, A.C. 1982, "Inventory of Heat Losses for a Divided-Chamber Diesel Engine," SAE 821050, pp. 3307~3322.
- (11) 山口響起 外3, 1982, "副室式燃焼器内の燃焼機構, 噴流ノズル徑の燃焼過程に及ぼす影響", 日本機論 47卷 419號, pp. 1390~1397.
- (12) 李鍾泰, 吉田辛司, 齋間 厚, 1986, "定容容器における燃焼促進について", 日本燃焼學會, 第24回燃焼 Symposium, pp. 289~291.
- (13) Koji Yoshida, Lee Jong Tai and Atsushi Saima, 1988, "Combustion Promotion in Constant Volume Closed Vessel," 1st KSME-JSME Thermal and Fluids Engineering Conference, Vol. 1, pp. 395~400.