

정적연소기에서 라디칼 유도분사를 이용한 희박혼합기의 연소특성에 관한 연구 (2)

박종상^{*1)} · 강병무¹⁾ · 이명준²⁾ · 하종률³⁾ · 정성식³⁾

동아대학교 기계공학과 대학원¹⁾ · 양산대학 자동차과²⁾ · 동아대학교 기계산업시스템공학부³⁾

A Study on the Combustion Characteristics of Lean Mixture by Radicals Induced Injection in a Constant Volume Combustor (2)

Jongsang Park^{*1)} · Byungmu Kang¹⁾ · Myungjun Lee²⁾ · Jongyul Ha³⁾ · Sungsik Chung³⁾

¹⁾Graduate School, Dong-a University, Busan 604-714, Korea

²⁾Department of Automotive Engineering, Yangsan College, Yangsan 626-740, Korea

³⁾Department of Mechanical Engineering, Dong-a University, Busan 604-714, Korea

(Received 13 November 2003 / Accepted 25 March 2004)

Abstract : A prior fundamental study was executed using a constant volume chamber to improve the burning properties of lean pre-mixture by the injection of active radicals generated in the sub-chamber. In consequence, RI method shows remarkable progress in the aspects of burning velocity and combustible lean limit compared with SI method. In this study, the necessary additional works have been performed to be based on the former results. We changed parameters as the initial temperature and the initial pressure of mixture. And the effects of residual gas at issue in a real engine were investigated. As a result, the effects of initial temperature were significant, but on the other hand, those of initial pressure were slight. The correlation of passage hole number between overall passage hole area was grasped. And the more detailed analysis is required on residual gas.

Key words : Radicals induced injection(라디칼 유도분사), Sub-chamber(부실), Passage hole(연락공), Lean burn(희박연소), Constant volume combustor(정적연소기), Residual gas(잔류가스)

1. 서론

예혼합기의 희박연소를 위한 방법으로서 통상의 스파크점화가 아닌 새로운 방식을 시도하였다.

동일당량비의 혼합기가 주실 및 부실(sub-chamber)에 공급된 후 부실에서의 스파크에 의해 생성된 연소생성물들은 연락공(passage holes)을 통해 주실로 분사된다. 즉, 부실 내 예혼합기의 연소는 통상의 스파크점화에 의하고, 주실 내 예혼합기의 연

소는 부실에서의 연소생성물에 의해 유발되는 2단계 연소가 진행되는 것이다.

P. Higelin 등은 이와 같은 연소방식에서 부실로부터의 연소생성물들은 에너지 준위가 높고 반응성이 좋은 활성라디칼을 다량 함유하고 있어 주실 내 희박예혼합기의 착화를 유도하고 급격연소를 실현하여 희박연소의 결점인 느린 연소속도를 극복할 것으로 기대하였다.^{1,2)}

본 연구에서는 라디칼 유도분사식(radicals induced injection) 연소기술의 실엔진 적용에 앞서 정적연소기를 이용하여 엔진의 구동에 필요한 데이터

*To whom correspondence should be addressed.
duck@mail.donga.ac.kr

를 확보하기 위하여 기초실험을 실시하였다. 선행 연구에서 수행된 부실의 제작, 연락공의 직경 및 혼합기의 당량비 변화에 따른 실험결과를 바탕으로 보다 세부적인 실험이 행해졌다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 정적연소기

Fig. 1은 본 실험에 사용된 정적연소기(constant volume combustor)의 단면도이다. 정적연소기는 알루미늄합금(AL7075)으로 제작되었고, 주실의 형상은 엔진의 연소실을 모방한 원통형으로서 110×48.5mm의 직경과 높이를 가지며 그 상부에 부실이 장착된다. 또한 부실로부터의 연소분출물과 주실에서의 연소화염의 가시화를 위하여 주실의 양측면에 원형의 석영창을 설치하였다.

연소실 내에 정확한 당량비의 예혼합기 형성은 수증기 제거 필터와 서지탱크 및 압력 레귤레이터를 거친 압축공기와 주실 하부에 장착된 GDI 엔진용 고압 인젝터에 의한다. 또한 혼합기의 가열을 위해 주실과 부실 외벽에 각각 2.8kW, 1.2kW 용량의 카트리지 히터(cartridge heater)를 삽입하였으며 설정온도의 제어를 위해 K-타입 CA 열전대를 주·부실에 각각 삽입하였다.

정적연소기에서의 혼합기형성과 점화 및 배기 등 일련의 실험과정은 마이컴(Micom, PIC16C74)에 의해 제어되며, 연소압력의 계측은 압전식 압력변환기(Kistler Co, 6051B)와 증폭기(Kistler Co, 5011) 및 오실로스코프에 의한다. 이후 실험이 종료된 연소 가스는 진공펌프에 의해 주·부실 외부로 배출된다.

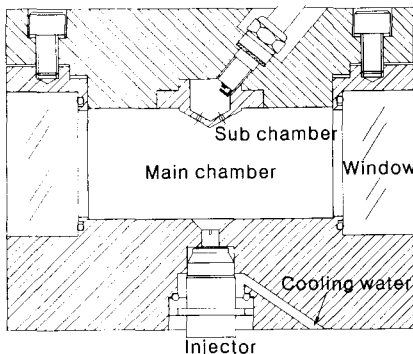


Fig. 1 Sectional view of the constant volume combustor

2.2 연락공의 개수(N_h), 전체단면적(A_h) 및 직경(D_h)의 변화

선행 연구^{3,4)}에서, 부실의 체적 V_s 를 2.2, 4, 7cc로 변화시키고 연락공의 직경 D_h 을 각각 1.0, 1.5, 1.8, 2.1, 2.4mm로 변경시키면서 연락공의 개수 N_h 는 12개로 고정시키고 연소특성을 고찰한 결과, $V_s=4cc$, $D_h=1.8mm$ 인 조건이 주실 혼합기의 연소기간의 단축과 희박한계의 확장 면에서 전반적으로 가장 적절하다고 판단된다. 본 연구에서는 선행연구의 실험변수 외에 주실 혼합기의 연소특성에 영향을 미칠 것이라고 예상되는 초기압력(P_i), 초기분위온도(T_i) 뿐만 아니라 연락공의 개수와 직경 및 전체단면적에 관한 추가적인 정보가 필요하다고 판단하고 선행연구의 $V_s=4cc$, $N_h=12$, $D_h=1.8mm$ 인 경우(전체 연락공 단면적의 합, $A_h=30.5mm^2$)를 기준으로 추가 실험을 행하였다.

주실 및 부실의 초기온도와 초기압력을 각각 383K, 403K 및 423K과 0.3MPa, 0.5MPa, 0.7MPa로 변경하면서 실험을 수행하였고, 연락공의 개수와 직경 및 전체단면적에 관한 실험은 Fig. 2(a)와 같이 연락공의 전체단면적 $A_h=30.5mm^2$ 로 고정된 상태에서 연락공의 개수 N_h 와 연락공의 직경 D_h 가 변화하는 경우와 Fig. 2(b)와 같이 $D_h=1.8mm$ 로 고정된 상태에서 N_h 와 A_h 가 변화하는 경우로 나누어 실험하였다.

이상의 실험조건을 종합하여 Table 1에 나타낸다. 사용 연료는 n-헵탄(C_7H_{16})이며, 주실과 부실 내 혼합기의 당량비는 동일하며 희박가연한계, 희박 영

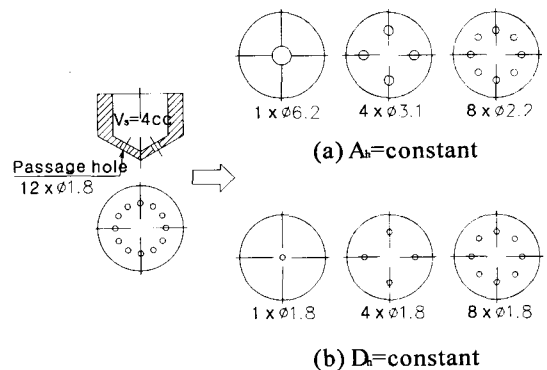


Fig. 2 Variation of N_h , D_h , and A_h for the sub-chamber of $V_h=4cc$, $N_h=12$ and $D_h=1.8mm$

역, 이론혼합비 영역으로 나누어 실험을 수행하였다.

Table 1 Experimental conditions

Fuel	n-heptane	
Initial pressure(P _i)	0.3, 0.5, 0.7MPa	
Initial temperature(T _i)	383, 403, 423K	
Equivalence ratio(ER)	Lean limit, 0.8, 1.0	
Volume of comb. chamber	Main(V _m)	487cc
	Sub(V _s)	4cc
Number of passage hole(N _h)	1, 4, 8, 12	
Diameter of passage hole(D _h)	1.8~6.2mm	

2.3 잔류가스의 농도조절

부실 내부에 존재하는 잔류가스의 소기는 본 연소시스템이 앞으로 해결되어야 할 큰 문제점으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 정적연소에서 잔류가스의 농도를 조절하면서 그 영향을 고찰하고자 하였다.

Table 2 Experimental conditions for the effects of the density of residual gas

Fuel	n-heptane
Initial pressure(P _i)	0.3MPa + α
Initial temperature(T _i)	403K
Equivalence ratio(ER)	1.0
Number of passage hole(N _h)	12
Diameter of passage hole(D _h)	1.8mm
Density of residual gas(δ)	0, 7.3, 11.2, 13.6, 20.1, 24%

실험조건을 Table 2에 나타내었다. 부실은 V_s=4cc, N_h=12, D_h=1.8mm인 경우이고, T_i=403K, ER=1.0으로 고정하였다. 초기압력은 잔류가스 농도에 따라 P_i=0.3MPa+α로 변화되는데 여기서 0.3MPa은 연료공기혼합기가 차지하는 압력이며 α는 잔류가스가 차지하는 압력을 의미한다. 잔류가스의 농도 δ는 0, 7.3, 11.2, 13.6, 20.1 및 24%로 변화시켰으며 그 산출 식을 다음과 같이 나타낸다.

$$\delta = \frac{\text{잔류가스 중량}}{\text{연료공기 혼합기 중량} + \text{잔류가스 중량}} \times 100\%$$

잔류가스의 농도를 조절하기 위한 방법은 δ=24%인 경우를 예를 들어 설명하면 다음과 같다.

먼저, 본 실험을 행하기에 앞서 초기압력 0.3MPa과 잔류가스 농도 0%를 제외한 나머지 조건은 Table 1과 같은 조건에서 연소실험을 행한다. 이때 주·부실 내의 혼합기는 완전연소 된다고 가정하였다. 즉 n-헵탄의 연소가스는 N₂ 71.9%, CO₂ 19.1% 및 H₂O 9.0%의 중량비로서 존재한다고 할 수 있다. 이를 403K, 0.1MPa으로 조절하여 주·부실에 잔류시킨 다음 설정량의 연료를 분사한다. 그 후 잔류가스를 제외한 연료공기 혼합기의 압력이 0.3MPa이 되도록 흡기용 압력조절기로서 공기를 주·부실에 추가 유입시킨다. 따라서 주·부실 내에는 0.4MPa의 혼합기체가 형성되고 여기에는 0.1MPa의 잔류가스와 0.3MPa의 연료공기 혼합기가 공존한다. 또한 403K, 0.1MPa, 당량비=1.0에서의 연료공기 혼합기와 n-헵탄 완전연소가스의 비중량을 계산한 결과 각각 약 0.91kgf/m³과 0.86kgf/m³이므로 잔류가스 농도는 약 24%가 된다.

3. 실험결과 및 고찰

RI 방식 연소시스템의 기초연소특성을 보다 명확하게 파악하기 위하여 부실을 제거한 상태 즉, 스파크플러그를 주실에 직접적으로 노출시킨 통상의 스파크점화방식인 SI 방식의 실험을 병행하여 그 결과를 RI 방식과 비교하였다.

3.1 초기온도와 초기압력의 영향

Fig. 3은 부실의 체적 V_s=4cc, 연료공의 직경 D_h=1.8mm, 연료공의 개수 N_h=12개, 초기압력 P_i=0.5MPa인 조건에서 혼합기의 당량비 ER을 0.8과 1.0으로 초기온도 T_i를 383K, 403K 및 423K으로 변화시키면서 점화 이후의 주실 내 연소압력을 측정하고 이를 질량연소율로 나타내었다. 또한 Fig. 4는 Fig. 3에서와 같은 제원의 부실을 사용하고 T_i=403K으로 고정하고 당량비와 초기압력을 바꾸면서 그 영향을 고찰하였다.

Fig. 3에서 초기온도 즉, 연소장의 분위기온도를 높일수록 연소속도가 빨라지는 일반적인 결과를 보여주었다. 이론당량비 영역에서 초기온도가 낮아지면 연소기간은 비례적으로 길어지는데 ER=0.8 영역에서는 초기온도 하락에 따라 그 차이가 매우 크

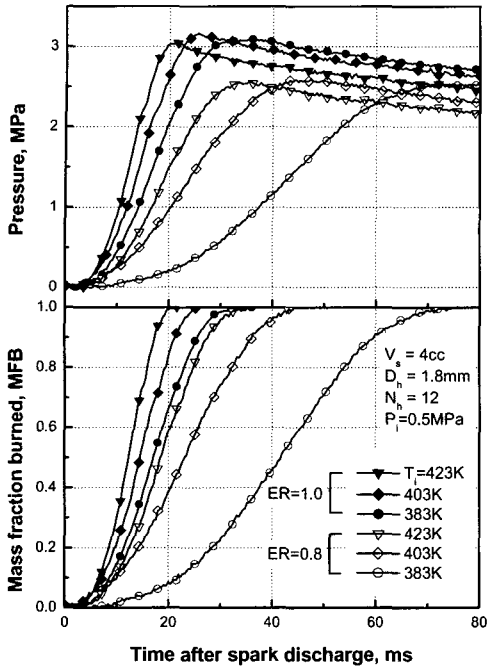


Fig. 3 Effects of initial temperature on mass fraction burned

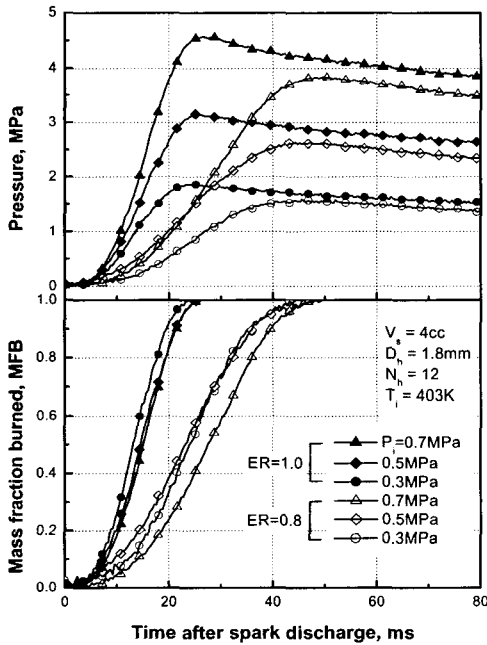


Fig. 4 Effects of initial pressure on mass fraction burned

게 나타난다. 이로써 본 연소기술에서 희박연소는 주위온도에 크게 지배받을음을 알 수 있다.

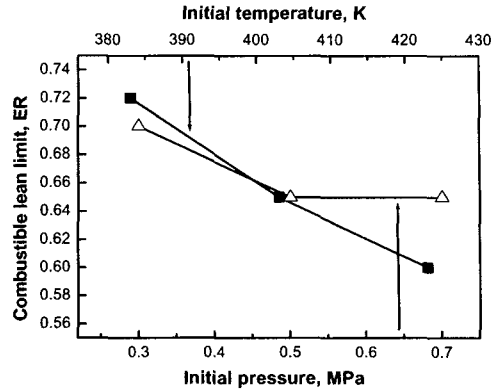


Fig. 5 Effects of initial temperature and initial pressure on combustible lean limit

한편, Fig. 4와 같이 초기압력을 변화시킨 결과 기존의 연구에서와 같이 고압일수록 연소기간은 길어진다. 그러나 그 차이는 3% 전후로 극히 미미하게 나타났다.

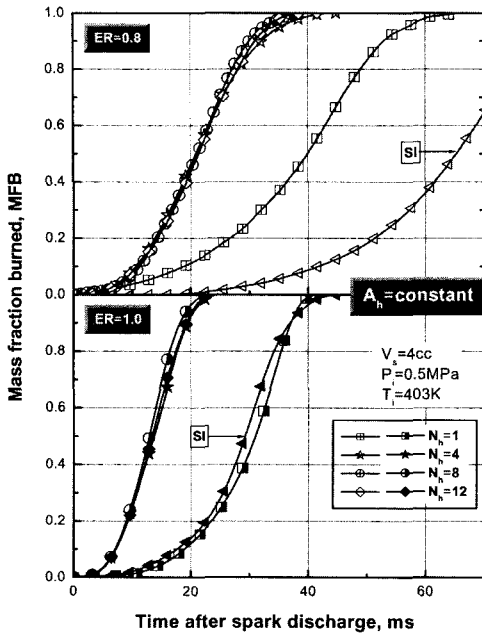
Fig. 5에는 초기온도와 초기압력의 변화가 주실 혼합기의 희박가연한계에 미치는 영향을 나타내었다. 희박가연한계는 10회 실험하여 9회 이상 실패 없이 정상연소가 가능한 당량비를 기준으로 하였다.

본 실험조건 하에서 희박가연한계는 초기온도가 높아짐에 따라 약 0.60 정도까지 선형적으로 확장되고 초기압력 상승에는 약간 확장되는 경향을 보였다.

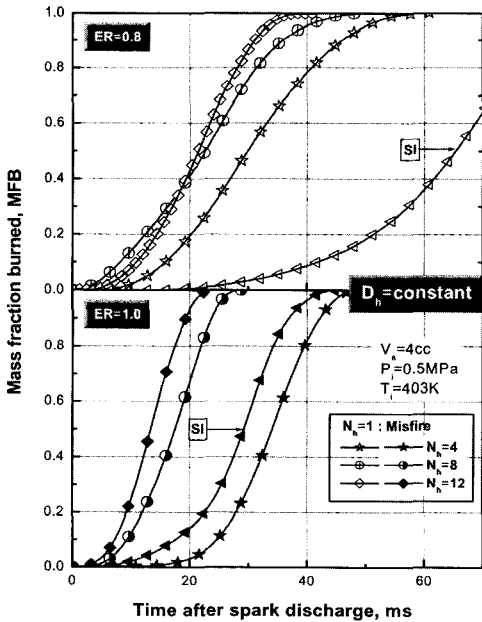
3.2 연락공의 개수(N_h), 전체단면적(A_h) 및 직경(D_h)의 영향

Fig. 6은 연락공의 개수와 직경 및 단면적의 영향을 동시에 파악하기 위해 $V_s=4cc$, $N_h=12$, $D_h=1.8mm$ 인 조건을 기준으로 연락공의 전체단면적의 합 ($A_h=30.5mm^2$)을 고정한 상태에서 연락공의 개수를 변경한 경우(a)와 연락공의 직경($D_h=1.8mm$)을 고정한 상태에서 개수를 변경한 경우(b)에 대해 실험한 결과를 질량연소율로 나타내었다.

(a)의 단공의 경우 SI 방식보다는 연소기간이 짧으나 다른 조건에 비해서는 연소기간이 확연하게 길어지고 있는데 이는 연락공이 너무 커짐으로 인해 부실로부터의 분출물 유속이 느려져 주실 내 혼합기의 유동이 작아질 뿐 아니라 착화점이 한곳에



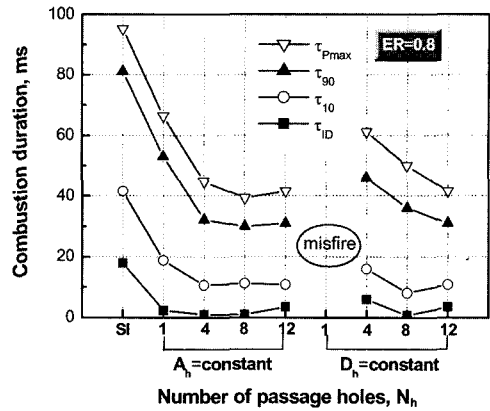
(a) $A_h = \text{constant} = 30.54 \text{mm}^2$



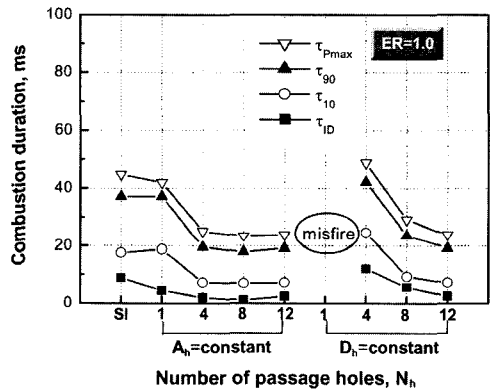
(b) $D_h = \text{constant} = 1.8 \text{mm}$

Fig. 6 Mass fraction burned with the number of passage holes in cases of $A_h = \text{constant}$ and $D_h = \text{constant}$

만 집중되기 때문으로 보인다. 그러나 단공을 제외하고는 당량비에 상관없이 SI 방식에 비해 거의 일치되게 향상된 결과를 보여준다.



(a) $ER = 0.8$



(b) $ER = 1.0$

Fig. 7 Effects of passage hole number and passage area on each combustion duration

또한 연락공의 개수와 단면적의 합은 면밀한 상관성을 지님을 보여주는데 4개 이상의 다공일 경우 동일한 연락공 단면적은 비슷한 연소특성을 보임을 알 수 있다. 이러한 결과는 (b)에서도 알 수 있는데, 비록 4홀 이상의 다공이지만 전체단면적의 축소에 따라 연소기간은 증가한다. 이와 같이 연락공의 개수 N_h 가 일정 값 이상이 되면 적절한 임계단면적이 존재함을 파악할 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 6의 시간특성을 보다 상세히 파악하기 위해 나타낸 것인데, 점화시기부터 연소최고압력 발생시기까지를 전체연소기간(τ_{Pmax})으로 가정하고, 점화시기에서 압력상승 시작시기까지를 착화 지연기간(τ_{ID}), 연소최고압력의 10%까지 상승하는데 소요되는 시간을 초기연소기간(τ_{10}), 10에서 90%

까지 상승하는데 소요되는 시간을 주연소기간(τ_{90-10})으로 각각 정의하였다.⁵⁾

연락공의 직경을 고정시키고 개수를 변경한 경우를 보면 전체연소기간을 비롯한 거의 모든 연소구간들은 연락공 개수의 감소에 비례적으로 증가함을 보이는데 특히, 이론공연비에서 더욱 뚜렷한 경향을 보인다. 이와 같이 착화지연(D_h)을 비롯한 각 연소기간의 증가는 협소한 연락공으로 인해 발생하는 교축손실의 증가가 부실에서의 연소생성물 분출을 억제시키기 때문으로 생각된다. 또한 교축손실의 증가는 부실로부터의 초기분출물이 주실혼합기의 착화직전까지 주실내부와 주실벽면에 머무르는 시간을 연장시켜 벽면열손실을 증가시킬 것이다. 이것은 결국 초기화염의 생성에 필요한 착화에너지원의 감소를 초래하고 τ_{10} 의 연장과 더불어 τ_{Pmax} 의 연장으로 이어진다고 판단된다.

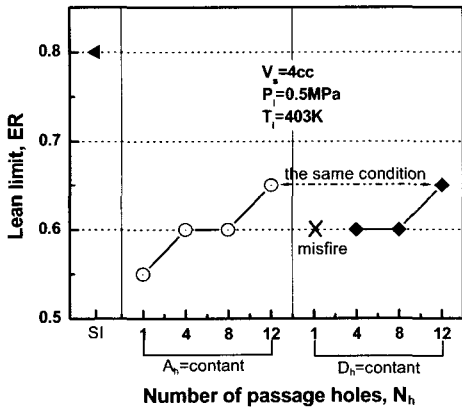


Fig. 8 Effects of passage hole number and passage area on lean combustible limit

Fig. 8은 연락공의 개수와 연락공 단면적 변화에 따른 회박가연한계를 나타낸 것이다. 연락공의 단면적 변화와 관계없이 연락공 개수가 줄어들수록 회박가연한계는 확장되는데, 이는 연락공 개수가 줄어들므로 인해 불출물의 집중도가 좋아지고 혼합기의 유동이 적어 초기화염생성에는 유리하기 때문으로 보인다. 반면 부실로부터의 연소생성물에 의한 주실 내 유동과 초기화염면적이 줄어들므로 인해 이후의 주연소기간 및 전체연소기간은 오히려 길어지게 된다.

이상과 같이 본 장에서의 실험은 급속연소 즉 전체연소기간의 단축과 회박가연한계의 확장이라는 측면에서 향상된 연소특성을 규명하는 방향으로 수행되어왔다. 그러나 한편으로 Fig. 6(b)의 $N_h=1$, $D_h=1.8\text{mm}$ 경우와 같이 비록 단공이라 할지라도 주실에서 실화되는 현상이 관찰됨에 따라 그 원인을 실험적으로 고찰할 필요성이 있다고 판단된다. 여기에는 여러 가지 인자들이 작용하겠지만 부실의 체적과 내부형상이 동일한 경우 연락공의 직경(D_h)과 개수(N_h)에 의해 결정되는 연락공의 전체단면적(A_h), 연락공의 길이(L_h) 및 연락공의 배치 등이라고 추정된다.

먼저 Fig. 6(b)와 같은 초기조건과 $ER=1.0$, $D_h=1.8\text{mm}$ 의 경우, N_h 를 2와 3으로 변경시켰을 때 실화가 발생하였다. 또한 L_h 를 기존의 2.5mm에서 2.0→1.5→1.0mm로 축소시켜보았지만 역시 실화가 발생하였다. 따라서 이 조건의 경우 연락공의 개수는 최소한 4개 이상일 경우에만 정상적인 연소가 가능할 것으로 생각되고, 연락공의 길이는 본 실험 범위 내에는 예상보다 큰 영향이 없는 것으로 생각된다.

마지막으로 연락공의 개수를 단공($N_h=1$)으로 고정하고 연락공의 직경(D_h)을 3.6부터 6.2mm까지 증가시키면서 실험을 수행하였다. 여기서 $D_h=3.6\text{mm}$ ($A_h=10.2\text{mm}^2$)는 Fig. 6 (b)에서 정상적으로 착화된 $N_h=4$, $D_h=1.8\text{mm}$ 인 경우의 전체단면적($A_h=10.2\text{mm}^2$)을 기준으로 하였고, $D_h=6.2\text{mm}$ 는 Fig. 6 (a)에서 정상연소된 $D_h=6.2\text{mm}$, $N_h=1$ 이다. 그 결과를 Fig. 9와 Fig. 10으로 나타낸다.

Fig 9는 $N_h=1$ 일 때 $D_h=5.0\text{mm}$ 의 경우 및 $D_h=5.4\text{mm}$ 의 경우 점화방전 이후 주실의 연소압력을 각 5회 채취하여 나타낸 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 $D_h=5.4\text{mm}$ 의 경우는 거의 편차가 없는 결과를 보이는 반면 $D_h=5.0\text{mm}$ 의 경우는 매우 불규칙적인 연소압력을 보인다. 이러한 현상은 $D_h=4.0$ 과 4.2인 경우에서도 비슷하게 나타났고 10번 중 2~3번 정도는 실화를 동반하였다. 이는 곧 단공에서 신뢰성 있는 착화가 가능한 연락공의 직경은 5.4mm 정도가 경계인 것을 의미한다.

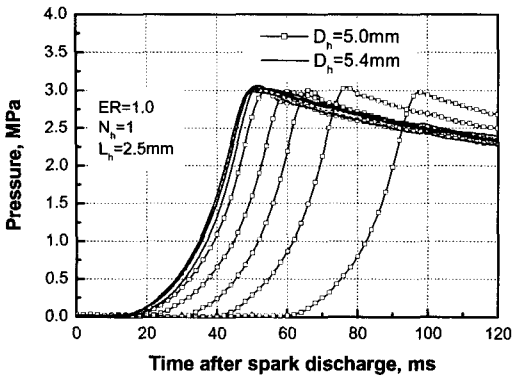


Fig. 9 P-t diagram for $D_h=5.0\text{mm}$ and $D_h=5.4\text{mm}$ in the case of $N_h=1$

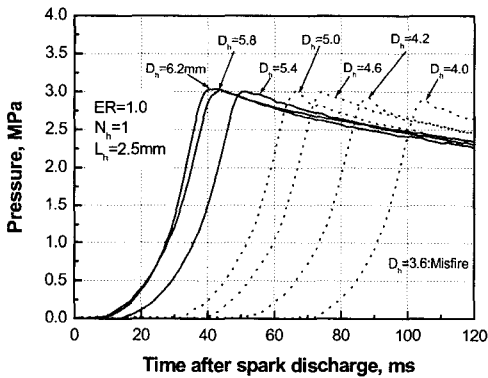


Fig. 10 P-t diagram with D_h in the case of $N_h=1$

Fig. 10은 단공의 연락공 직경을 3.6~6.2mm로 변화시키면서 취득한 주실의 연소압력을 평균치로 나타낸 것이다. $D_h=5.0\text{mm}$ 이하는 Fig. 9에서 설명한 바와 같이 양상불 평균이 불가능하므로 최고압력발생시기, $\tau_{P_{max}}$ 의 평균값에 근사한 데이터를 나타내었다. $D_h=3.6\text{mm}$ 인 경우는 실화되었고, 그 나머지는 D_h 증가에 따라 $\tau_{P_{max}}$ 는 감소하고 P_{max} 는 증가하는 경향을 보이다가 $D_h=5.8$ 이상에서는 큰 변화가 없다는 것을 볼 수 있다. 또한 주연소기간의 기울기 즉, 압력상승률(dP/dt)은 큰 차이점이 없다는 것을 볼 수 있는데, 이는 $\tau_{P_{max}}$ 의 증감에는 착화지연기간, τ_D 의 영향이 지배적임을 말해준다. 이상과 같이 단공의 경우에는 다공의 경우와 비교하여 실화의 우려 및 τ_D 의 연장으로 인한 긴 연소기간을 지니고 있어 대부분 SI 방식보다 불리한 방법임을 확인할 수 있었다.

3.3 잔류가스의 농도

Fig. 11은 부실 내 잔류가스의 소기 문제를 파악하기 위해 정적연소기에서 잔류가스의 농도(δ)를 0, 7.3, 11.2, 13.6, 20.1 및 24%로 변화시키고 그 결과를 P-t 선도와 압력상승률(dP/dt)로 나타낸 것이다.

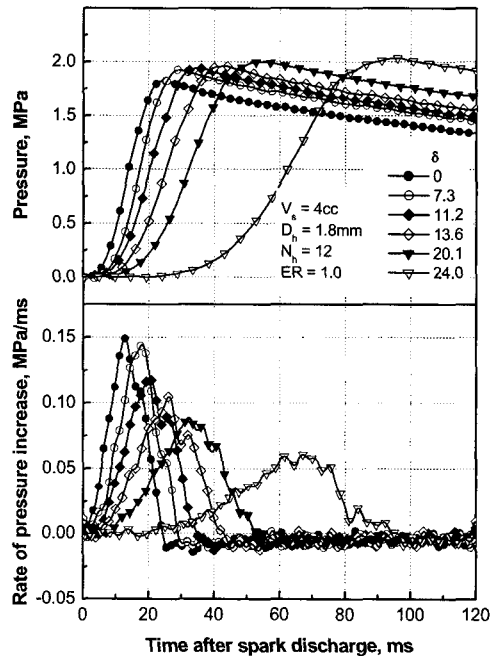


Fig. 11 Combustion pressure outputs and rate of pressure increase with residual gas density

δ 값이 증가할수록 전체연소기간은 조금씩 순차적으로 증가하다가 24%에서는 96.4ms로 대폭 증가하는 경향을 보이는데 이는 0%의 경우와 비교하면 약 4배에 해당한다. 또한 약 30% 정도가 되면 실화가 일어나는 현상을 보였다. 물론 실험의 한계상 주·부실을 동일한 잔류가스 농도로 설정한 점을 제외하더라도 실엔진의 부실 내 잔류가스 소기의 중요성은 본 실험으로도 미루어 짐작할 수 있다. 한편, δ 값의 상승에 따라 연소기간이 증가함과 동시에 $\delta=24\%$ 인 경우의 연소최고압력이 $\delta=0\%$ 대비 약 11.5% 정도 증가하는 경향을 보인다. 이것은 본 실험에서 잔류가스 농도의 산출식과 같이 잔류가스의 농도 증가에 따른 초기압력 상승의 영향으로 생각되며, 이는 전체연소기간의 연장에 의한 벽면열손실을 상쇄한다고 판단된다.

4. 결 론

부실에서 활성 라디칼을 생성하고 이를 주실의 희박혼합기에 분출시켜 연소개선을 도모하고자 한 본 연구에서의 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 혼합기의 연소속도에 미치는 초기온도의 영향은 비교적 큰 반면 초기압력의 영향은 미미하였다.
- 2) 연락공의 전체단면적(A_h)을 고정하고 연락공의 개수와 직경을 변경시킨 결과 단공인 경우에 연소기간이 확연하게 길어지는 반면 $N_h=4$ 홀 이상인 경우 당량비에 상관없이 거의 일치된 연소압력특성을 나타내어 적절한 임계단면적이 존재함을 확인하였다.
- 3) 연락공의 개별적인 직경(D_h)을 고정하고 연락공의 개수 및 전체단면적을 변경시킨 결과 각각의 연소기간은 전체단면적에 반비례한다.
- 4) 희박가연한계에 미치는 연락공 개수의 영향은 연소속도와는 반대로 개수가 적을수록 유리하게 작용하여 양자는 트레이드오프 관계에 있음을 보여준다.
- 5) 잔류가스 농도의 영향에서 $\delta=20\%$ 까지는 전체연소기간이 거의 비례적으로 증가하다가 24% 가 되면 급격한 증가를 보이며 30% 에서는 실화를 유발한다. 또한 연소기간의 증가에도 불구하고 연소최고압력은 $\delta=24\%$ 인 경우에 $\delta=0\%$ 대비 약 11.5% 정도 증가하는 경향을 보인다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구 과제 번호 R01-2000-000-00288-0에 의해 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사드립니다.

References

- 1) P. Higelin, C. Robinet, C. Mounaim-Rouselle, O. Pajot, B. Moreau, "A New Combustion Concept for Internal Combustion Engines," Proceedings of the 15th Internal Combustion Engine Symposium (International)/Seoul, 9935761, 1999.
- 2) T. Ma, H. Zhao, J. Li, N. Ladommatos, "Experimental Investigation of Controlled Auto-Ignition Combustion in a 4-Stroke Multi-Cylinder Gasoline Engine and Drive Cycle Simulations," IFP International Congress/Rueil-Malmaison, 2001.
- 3) J. S. Park, H. S. Choi, M. J. Lee, T. W. Lee, J. Y. Ha, S. S. Chung, "A Fundamental Study to Improve the Ignitability of Lean Mixture by Radical Induced Injection in a Constant Volume Chamber," FISITA/Helsinki, 2002.
- 4) S. S. Chung, J. S. Park, M. J. Lee, "An Experimental Study on Application of Radical Induced Injection Method to a Real Engine," IPC-12/Bangkok, 2002.
- 5) J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, pp.376-390, McGraw-Hill, New York, 1988.