

정적연소기에서 라디칼 유도분사를 이용한 희박혼합기의 연소특성에 관한 연구 (1)

박종상^{*1)} · 이태원²⁾ · 하종률³⁾ · 정성식³⁾

동아대학교 기계공학과 대학원¹⁾ · 창원전문대학 자동차과²⁾ · 동아대학교 기계산업시스템공학부³⁾

A Study on the Combustion Characteristics of Lean Mixture by Radicals Induced Injection in a Constant Volume Combustor (1)

Jongsang Park^{*1)} · Taewon Lee²⁾ · Jongyul Ha³⁾ · Sungsik Chung³⁾

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

²⁾Department of Automotive Engineering, Changwon College, Changwon 641-771, Korea

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

(Received 13 November 2003 / Accepted 26 February 2004)

Abstract : An experimental study was carried out to obtain the fundamental data about the effects of radicals induced injection on premixture combustion. A constant volume combustor divided to the sub-chamber and the main chamber was used. The volume of the sub-chamber is set up to occupy less than 1.5% of that of whole combustion chamber. Radial twelve narrow passage holes are arranged between the main chamber and the sub-chamber. The products including radicals generated by spark ignition in the sub-chamber will derive the simultaneous multi-point ignition in the main chamber. While the equivalence ratio of pre-mixture in the main chamber and the sub-chamber is uniform. We have examined the effects of the sub-chamber volume, the diameter of passage hole, and the equivalence ratio on the combustion characteristics by means of burning pressure measurement and flame visualization. In the case of radical ignition method(RI), the overall burning time including the ignition delay became very short and the maximum burning pressure was slightly increased in comparison with those of the conventional spark ignition method(SI), that is, single chamber combustion without the sub-chamber. The combustible lean limit by RI method is extended to more ER=0.25 than that by SI method. Therefore the decrease of every emission including NOx and the improvement of fuel consumption is anticipated due to lean burn.

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

1. 서론

가솔린엔진에서 예혼합기의 희박연소는 배기의 청정화와 열효율의 향상 측면에서 매우 현실적인 기술로 인정받고 있다. 이와 더불어 실화의 우려와

함께 느린 연소속도로 인해 사이클 변동이 크고 출력이 낮으며 미연탄화수소가 다량 배출되는 등의 단점들도 수반하고 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 여러 가지 방법들이 제안되었는데, 연소실 내 혼합기의 유동제어¹⁾, 연료 분사시기의 제어, 연소실 형상의 최적화 등과 같이 혼합기의 피점화성을 증대시키는 방법과 점화

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

장치의 개선을 통해 점화성을 강화시키는 방법^{2,3)} 등의 연구결과로 희박예혼합기의 연소기술은 많은 진보를 가져 왔으나 근본적으로는 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 주실 상부에 별도의 부실을 설치하여 주실 내 희박혼합기의 연소개선을 꾀하려고 하는 이른바 라디칼 유도분사 기술을 개발하려고 한다.

이것은 통상적인 스파크점화로써 화염핵을 생성하여 자생력을 가진 화염으로 성장시켜 이후의 화염전파에 의존하는 기존의 가솔린 엔진의 연소방식과 구별되는 것으로서 부실에서 생성된 연소물질을 주실의 예혼합기에 분출하여 급격연소를 실현하는 것이다.⁴⁾ 즉, 부실에서의 점화에 의하여 다수의 연락공을 통해 주실로 분출된 고온의 연소물질은 활성물질인 각종 라디칼을 다량 포함하고 에너지 밀도가 높아 예혼합기의 착화성을 증대시킬 뿐 아니라 분출가스에 의한 주실 내의 유동을 유발하여 초기화염면을 확장시킴으로써 희박예혼합기의 급속연소를 가능케 할 것으로 생각된다.

물론 예혼합기의 연소에 부실을 도입한 연구는 70년대 Honda의 CVCC 이후 비교적 오랜 기간 동안 지속되고 있다.⁵⁾ 그러나 대부분의 연구에서 부실의 체적이 전체연소실 체적의 10% 이상을 차지하고, 혼합기가 층상급기 방식으로 형성되므로 장치가 복잡하여 현 엔진의 대폭적인 설계변경이 없이는 도입이 불가능하였다. 또한, 주실과 부실이 연결되는 연락공이 단공이기 때문에 분출화염은 주실의 특정 부분에만 편중되어 부실의 의미를 살릴 수 없었을 뿐만 아니라 이의 개선책 역시 찾지 못하였다.

본 연구에서는 상술한 바와 같은 라디칼 유도분사 기술의 실현에 앞서 필요한 기초정보를 확보하기 위하여 정적연소기를 이용한 일련의 기초연구를 수행하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 연구가 추구하는 궁극적인 엔진의 개념도를 Fig. 1에 나타낸다.

본 연구에서는 이를 라디칼 유도분사식 엔진이라 칭하며, 흡입행정 중에 유입된 연료·공기 혼합기는 압축행정 초기에 부실로 유입되고 이후 주실과 부실에는 동일한 당량비의 혼합기가 형성된다. 압

축행정 말기에 부실에는 스파크점화로 연소가 진행되어 OH, CH, C₂로 대표되는 다량의 활성라디칼을 포함한 연소생성물이 주실로 분출된다. 이는 주실 내 희박혼합기의 동시다점착화를 유발하여 급격연소를 유도할 것이다.

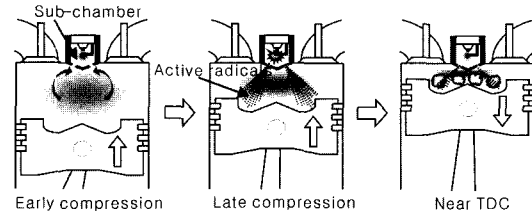


Fig. 1 Operation concept of radicals induced injection engine

2.1 실험장치

Fig. 2는 본 연구를 위해 제작된 정적연소기의 개략도이다.

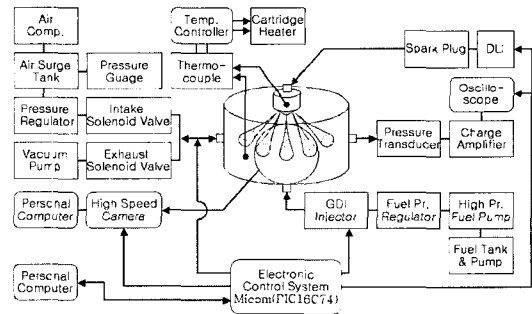


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

정적연소기의 본체 및 부실은 알루미늄합금(AL7075)으로 제작되었고 주실의 형상은 엔진의 연소실을 모방하여 원통형이다. 주실의 직경과 높이는 110×48.5mm이고 내부 용량은 487cc로서 측면에 충분한 가시창의 확보와 상부에 부실의 장착이 용이하도록 하였다.

Fig. 3에는 실험장치의 구성도를 나타내었다.

주실과 부실로 구분된 정적연소기 본체를 중심으로 연료공급장치, 흡기 및 배기부, 공기공급장치, 가열장치, 점화장치, 전자제어장치, 압력계측장치 및 가시화장치 등으로 구성되어 있다.

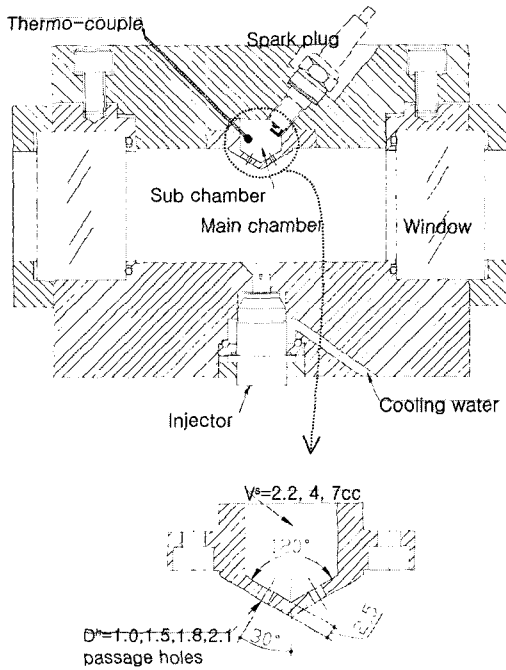


Fig. 3 Sectional view of the constant volume combustor

연소실 내에 정확한 혼합비의 예혼합기 형성을 위한 연료공급을 목적으로 GDI 엔진용 인젝터를 주실에 장착하였으며, 예혼합기용 공기는 수증기 제거 필터와 서지탱크를 거쳐 레귤레이터에 의해 압력이 조절되어 솔레노이드 밸브가 열리면 주실에 공급된다. 또한 연소가스의 배출은 진공펌프를 이용하였다.

혼합기의 가열을 위해 주실과 부실 벽면에 각각 2.8kW, 1.2kW 용량의 카트리지 히터(cartridge heater)를 장착하였으며 실험온도의 제어를 위해 소선경 100 μm의 K-타입 CA 열전대를 주·부실 내부에 각각 삽입하였다.

본 실험은 연소속도의 계측 등 빠른 응답성을 요구하므로 12bit A/D와 8KB EEPROM이 내장된 마이크로컴(Micom, PIC16C74)을 사용하였고, 제어대상은 GDI 인젝터, 흡·배기용 솔레노이드밸브 및 DLI 점화장치 등이다.

주실의 연소압력은 주실벽면에 설치된 압전식 압력변환기(Kistler Co, 6051B)로 측정되어 증폭기(Kistler Co, 5011)를 거쳐 오실로스코프에 출력·저장된다. 이때 선행된 검증실험에서 압력변환기의

설치 위치에 따른 영향은 나타나지 않았다. 한편, 주실 내 화염의 가시화는 고속도 디지털카메라(Kodak, maximum framing rate:20000fps)로 촬영하였다.

2.2 실험방법 및 조건

실험은 전자제어에 의해 다음과 같이 순차적으로 진행되었다.

먼저, 진공상태로 된 주실 및 부실 내의 설정온도가 403K로 유지되면, 주실 하부에 장착된 인젝터는 설정당량비에 따라 연료를 5회로 나누어 분사한다. 그 직후 흡입용 솔레노이드밸브가 열리고 압력레귤레이터에 의해 설정된 압력의 건공기가 주실로 유입되면 이미 증발한 연료증기와 공기는 10초간의 혼합시간을 거쳐 균질혼합기를 생성함과 동시에 내부 유동이 정지된다. 이후 스파크플러그의 방전에 의해 부실의 혼합기는 점화되어 연소가 일어나고, 부실 내부의 급격한 압력상승과 함께 다량의 라디칼을 포함한 연소생성물들이 연락공을 통해 주실로 분출된다. 이때 점화신호와 동기화되어 연소압력이 계측된 후 배기밸브가 열리면 실험은 종료된다.

Table 1은 본 연구의 실험조건을 나타낸다. 사용한 연료는 n-헵탄(C_7H_{16})이며, 주·부실의 초기압력(P_i) 및 분위기온도(T_i)는 각각 0.5MPa과 403K로 고정하였다. 주실과 부실 내 혼합기의 당량비는 동일할 것으로 생각되며 실제 이의 성분분석은 하지 않았고 이론당량비 영역, 희박 영역 및 희박가연한계로 나누어 실험을 수행하였다.

또한, 부실로부터 주실로의 연소생성물 분출에 가장 큰 영향을 미칠 것으로 예상되는 변수인 부실

Table 1 Experimental conditions

Fuel	n-heptane	
Initial pressure(P_i)	0.5MPa	
Initial temperature(T_i)	403K	
Equivalence ratio(ER)	Lean limit, 0.8, 1.0	
Volume of combustion chamber	Main(V_m)	487cc
	Sub(V_s)	2.2, 4, 7cc
Number of passage hole	12	
Diameter of passage hole(D_h)	1.0~2.4mm	

의 체적(V_s)과 연락공의 직경(D_h)을 변화시키면서 실험하였다. 부실의 체적 $V_s=2.2, 4, 7\text{cc}$ 로, 연락공의 직경은 각 부실에 대하여 $D_h=1.0\sim 2.4\text{mm}$ 로 변화시켰다. 연락공은 그 개수와 길이를 각각 12개와 2.5mm로 고정하였으며 부실의 중심 축을 기준으로 방사형으로 배열되어 있다.

3. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 주실 상부에 설치된 소형 부실로부터의 연소생성물로서 주실 내 혼합기의 연소개선을 도모하는 이른바, 라디칼유도분사(Radical induced Ignition, 이하 RI)에 의한 주실혼합기의 기초 연소특성을 주실의 벽면에서 연소압력을 계측함과 동시에 화염가시화를 통해 파악하고자 하였다. 또한, 이의 보다 명확한 규명을 위하여 부실을 제거한 상태 즉, 연소실은 주실만 존재하며 스파크플러그를 주실에 직접적으로 노출시킨 통상의 스파크점화방식의 경우(Conventional Spark Ignition, 이하 SI)에서의 실험을 병행하여 그 결과를 RI의 경우와 비교하였다.

Fig. 4는 연소압력의 시간특성을 나타내는 예로서 0ms 시점이 점화시기이며, 점화시기부터 연소최고압력 발생시기까지를 전체연소기간(τ_{Pmax})으로 가정하였다. 또한, 점화시기에서 압력상승 시작시기까지를 착화지연기간(τ_{ID}), 연소최고압력의 10%까지 상승하는데 소요되는 시간을 초기연소기간(τ_{10}), 10%에서 90%까지 상승하는데 소요되는 시간을 주연소기간(τ_{90-10})으로 각각 정의하였다.

Fig. 5는 주실의 연소압력을 스파크점화로부터

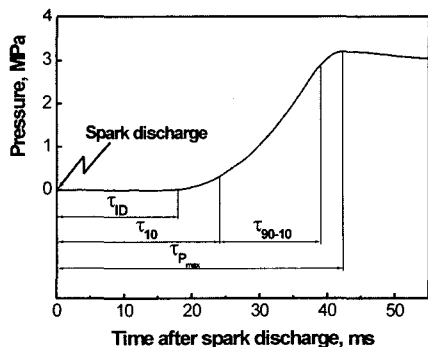


Fig. 4 Typical traces of overall pressure signal output

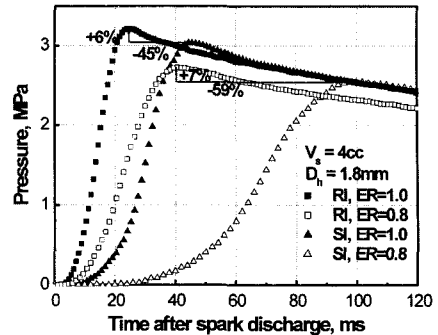


Fig. 5 Comparison of exemplary combustion characteristics of RI and SI method according to equivalence ratio

시간경과에 대하여 RI 방식과 SI 방식을 비교하여 나타낸 것이다. 실험의 조건은 초기압력 $P_i=0.5\text{MPa}$, 초기온도 $T_i=403\text{K}$ 이고 당량비는 희박조건인 $ER=0.8$ 과 이론당량비 조건인 1.0으로 나누어 실험하였다. RI 방식의 경우에서 부실체적 $V_s=4\text{cc}$ 이며 연락공의 직경 $D_h=1.8\text{mm}$ 이다.

주·부실 혼합기의 당량비 $ER=0.8$ 인 조건에서 SI 방식의 경우 점화지연기간 τ_{ID} 가 22ms 정도인 반면, RI 방식의 경우는 5ms 정도로 나타나며, $ER=1.0$ 에서는 SI 방식과 RI 방식의 경우 τ_{ID} 가 각각 10ms와 3ms 정도이다. 이는 RI 방식의 경우 최초의 점화 위치가 부실 내부인 조건에도 불구하고 그 위치가 주실인 SI 방식보다 압력상승 시작을 유발하는 초기화염의 생성이 오히려 유리함을 뜻한다.

한편, 연소최고압력 발생시기는 $ER=0.8$ 에서 SI 방식의 경우 98.8ms 지점인 반면, RI 방식의 경우는 40.4ms이며, 이때의 압력은 각각 2.55MPa, 2.73MPa이다. $ER=1.0$ 에서는 SI 방식과 RI 방식의 경우 각각 44.4ms와 24.4ms 지점에서 연소최고압력을 보이며, 이때의 압력은 3.04MPa과 3.22MPa이다. 따라서, RI 방식의 전체연소기간 τ_{Pmax} 는 SI 방식에 비하여 $ER=0.8$ 과 1.0에서 각각 약 59%와 45% 만큼 크게 단축됨을 알 수 있으며, 연소기간의 단축에 의한 연소최고압력의 증가폭은 SI 방식 대비 6~7% 정도로서 연소기간의 단축이 벽면으로의 방열기간을 단축시킨 결과로 생각된다.

RI 방식에서의 연소특성을 보다 면밀하게 관찰하기 위하여 부실의 체적 및 연락공의 직경을 변경함과 동시에 연소실 내 혼합기의 당량비를 희박한 영

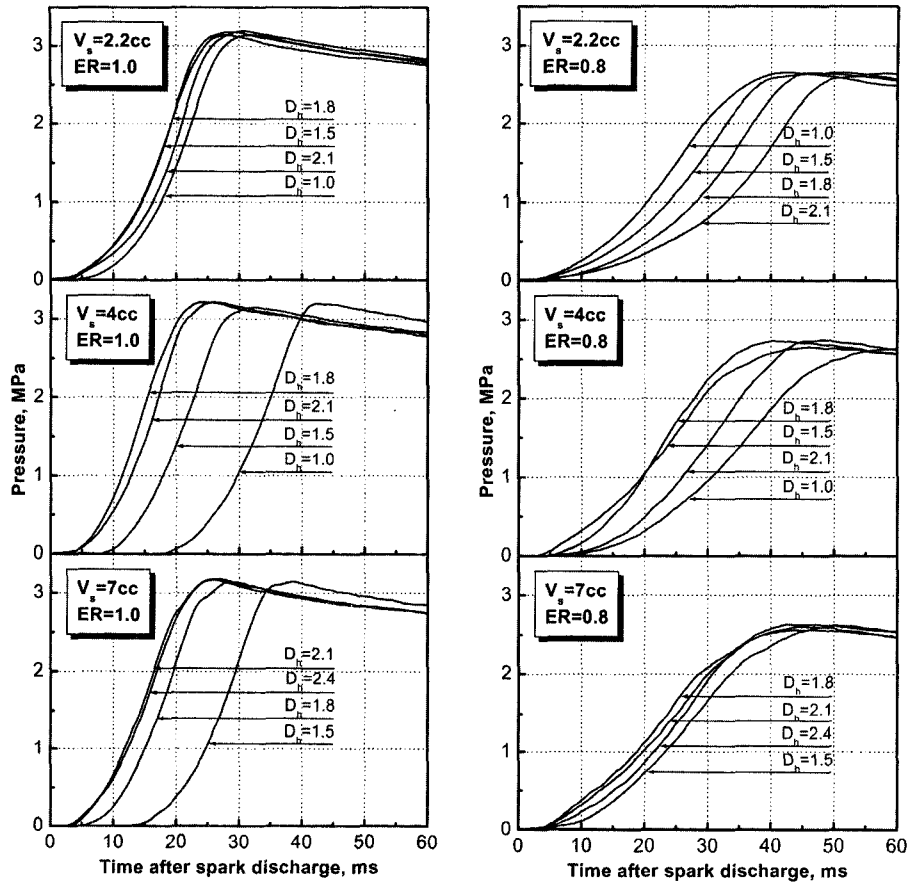


Fig. 6 Comparison of pressure variation according to diameter of passage hole in the case of RI method

역인 0.8과 이론당량비인 1.0으로 조절하고 주실에서 연소압력을 취득하였다.

Fig. 6은 초기조건 $P_i=0.5\text{MPa}$, $T_i=403\text{K}$ 에서 당량비를 $ER=0.8$ 과 1.0 으로, 부실의 체적을 $V_s=2.2, 4, 7\text{cc}$ 로, 연락공의 직경을 $D_h=1.0\sim 2.4\text{mm}$ 로 변화시킨 경우 RI 방식의 P-t 선도를 나타낸 것이다.

Fig. 6에서 RI 방식의 연소압력이력들은 당량비와 부실 체적 및 연락공의 직경에 따라 연소시간 측면에서 많은 차이점을 보인다. 그럼에도 불구하고 연소종료시점 $\tau_{P_{max}}$ 를 보면 동일한 실험조건인 Fig. 5에 나타낸 SI 방식에 비하여 $ER=1.0$, $V_s=4\text{cc}$, $D_h=1.0\text{mm}$ 인 경우를 제외하고는 모두 단축되는 경향을 보인다.

여기에는 거시적으로 착화지연기간 τ_{ID} 및 압력 상승률 dP/dt 가 복합적으로 영향을 미치는 것을 알

수 있는데, 예를 들어 $V_s=4\text{cc}$ 의 경우를 보면 $ER=1.0$ 인 조건에서는 τ_{ID} 의 지연이 주연소기간 τ_{90-10} 의 구배변화를 거의 거치지 않고 $\tau_{P_{max}}$ 의 연장으로 이어지기도 하지만 $ER=0.8$ 인 조건에서는 τ_{ID} 가 비슷하다고 할지라도 이후의 압력구배에 의하여 $\tau_{P_{max}}$ 가 결정된다. 또한, $ER=0.8$, $V_s=4\text{cc}$ 의 $D_h=1.5\text{mm}$ 와 $D_h=1.8\text{mm}$ 인 경우를 비교하면, $D_h=1.8\text{mm}$ 의 τ_{ID} 및 τ_{10} 이 상대적으로 김에도 불구하고 주연소기간 τ_{90-10} 으로 접어들면서 압력구배가 급상승하여 $\tau_{P_{max}}$ 를 단축시키고 P_{max} 를 높이는 결과를 초래하기도 한다.

주실의 연소에 미치는 부실의 체적 V_s 와 당량비의 영향을 보면, 이론당량비 조건에서는 $V_s=2.2\text{cc}$ 의 경우와 같이 V_s 가 작을수록 연소압력의 변동폭이 줄어들고 동시에 $\tau_{P_{max}}$ 도 전체적으로 앞당겨지는

것에 반하여 희박한 조건에서는 $V_s=7\text{cc}$ 의 경우와 같이 V_s 가 클수록 변동폭이 줄어들고 동시에 τ_{Pmax} 도 대체적으로 앞당겨진다.

한편, 연락공의 직경 D_h 변화는 동일한 부실 체적과 당량비에서도 그 영향이 상당한 편차를 보이고 있다. 물론 $ER=1.0$, $V_s=2.2\text{cc}$ 의 $D_h=1.5\text{mm}$ 와 $D_h=1.8\text{mm}$ 인 경우를 포함한 몇몇 결과들은 거의 일치된 연소압력이력을 보이기도 하는데, 이와 같이 좁은 범위 내에서 D_h 의 영향은 어느 정도 배제된다고 할 수 있다.

$ER=1.0$ 에서 $V_s=4\text{cc}$, $D_h=1.0\text{mm}$ 와 $V_s=7\text{cc}$, $D_h=1.5\text{mm}$ 인 경우, τ_{Pmax} 가 다른 조건들에 비해 매우 연장되는 경향을 보이는데, 이는 부실체적에 비해 상대적으로 협소한 연락공으로 인해 발생하는 교축손실의 증가가 부실에서의 연소생성물 분출을 억제시키기 때문으로 생각된다. 또한, 동일조건에서 $ER=0.8$ 의 경우를 보면 그 영향이 다소 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 부실의 희박연소로 인해 이론 공연비 조건보다 주·부실의 압력차가 감소하여 교축손실을 줄이기 때문으로 판단된다.

다음 식은 이와 같은 교축손실을 설명하기 위한 것이다. T_1 과 P_1 은 부실에서의 온도 및 압력이고, T_2 와 P_2 는 분출 후 주실에서의 온도 및 압력이다. 교축에 의한 온도강하($T_1 - T_2$)는 T_1 과 P_1 에 비례하여 증가하는 것을 설명한다.

$$T_1 - T_2 = \frac{\chi - 1}{\chi} \cdot T_1 \left(1 - \frac{P_2}{P_1} \right)$$

또한 교축손실의 증가는 부실로부터의 연소생성물 분출유량을 감소시켜 결과적으로 초기의 분출물이 주실혼합기의 착화직전까지 주실내부와 주실벽면에 머무르는 시간을 연장시켜 벽면열손실을 증가시킬 것이다. 이것은 결국 초기화염의 생성에 필요한 착화에너지원의 감소로 이어져 τ_{10} 의 연장과 더불어 τ_{Pmax} 의 연장으로 이어진다.

이러한 결과들을 종합해보면, 연소기간을 단축시키는데 적합한 연락공의 직경은 동일 당량비 조건에서 부실체적이 커질수록 조금씩 증가하고, 동일 부실체적 조건에서는 이론당량비에서 약간 증가하는 경향을 보인다. 이는 연락공의 단면적과 부실체적 및 당량비에는 서로 밀접한 관련성이 있다는

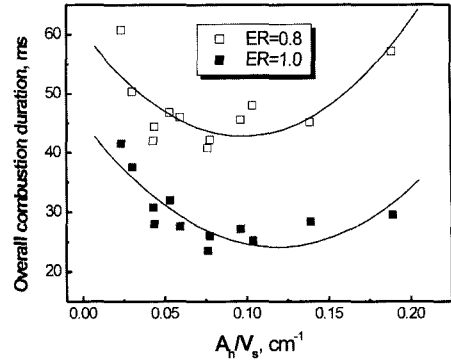


Fig. 7 Overall combustion duration with A_h/V_s ratio

것을 의미한다.

Fig. 7은 RI 방식에서 연락공의 단면적과 부실체적비(A_h/V_s)에 따른 전체연소기간을 나타낸 것이다.

부실체적은 2.2cc, 4cc 및 7cc로 연락공의 직경은 각 부실체적에 대하여 1.0~2.4mm로 변화시키고 연락공의 개수는 12개로 연락공의 길이는 2.5mm로 고정한 조건이다.

당량비 0.8과 1.0인 조건에서 전체연소기간 즉, 최고연소압력 발생시점은 일부 산발적이긴 하지만 전체적인 경향성을 지니고 있다. 이는 급격연소 측면에서 볼 때, 연락공의 단면적과 부실체적의 관계에서 적절한 비율이 존재한다는 것을 말해준다. 또한, 혼합기의 당량비에 따라서도 적정 A_h/V_s 가 이동되는 것을 볼 수 있는데, 당량비 0.8인 경우에는 $A_h/V_s=0.101\text{cm}^{-1}$ 정도에서 전체연소기간 $\tau_{Pmax}=42.8\text{ms}$ 정도로 그리고 당량비 1.0인 경우에는 $A_h/V_s=0.122\text{cm}^{-1}$ 정도에서 $\tau_{Pmax}=24.1\text{ms}$ 정도로 수렴된다.

이상과 같이 주실에서 취득한 연소압력이력을 통한 분석과 함께 주실 내 화염을 가시화하여 SI 방식과 RI 방식의 연소현상을 비교 고찰하고자 하였다.

Fig. 8은 SI 방식과 RI 방식의 $V_s=4\text{cc}$, $D_h=1.5\text{mm}$ 인 조건에서 자발광을 가시화한 것이다. 첫 번째 사진은 RI 방식에서 부실의 연소생성물이 주실로 분출되는 시점을 기준으로 하였고, 이후 τ_{10} 과 τ_{90-10} 및 τ_{Pmax} 에서의 사진을 나타낸다.

SI 방식의 경우 전 영역에서 구면상의 매끈한 화염면을 갖는 층류화염전파를 하고 있는 반면, RI 방식의 경우 부실로부터 각종 연소생성물이 연락공을

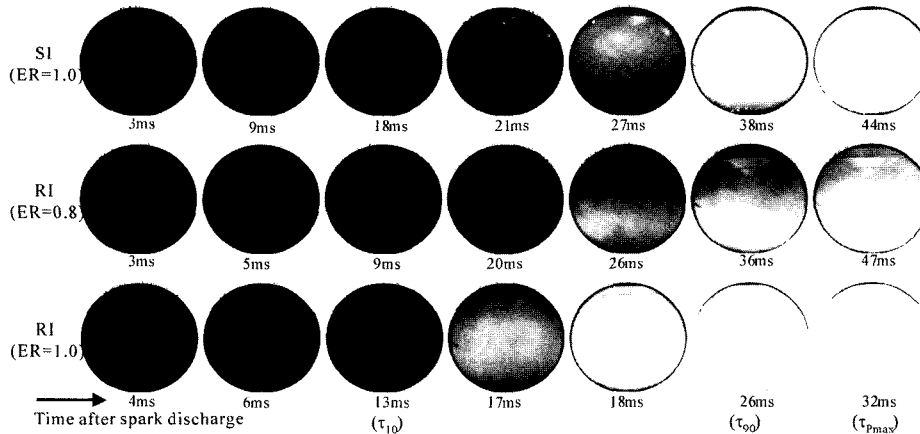


Fig. 8 Visualized images of flames in the main chamber in the cases of SI and RI($V_s=4cc$, $D_h=1.5mm$)

벗어나 주실 내로 분출되면서 초기연소기간 전·후까지 강한 난류를 형성한다. 이와 동시에 다량의 활성화학종을 포함한 연소가스가 주실 전역에 걸쳐 분산됨으로써 폭발적으로 반응하는 초분산 반응대(well-dispersed burning zone)⁶⁾가 청염과 함께 관찰되고, 이후 벌크연소의 형상을 띠는 다점착화현상이 이어진다. 또한 이후의 주 연소방향은 SI 방식과는 달리 부실에서의 연소가스 분출방향과 역으로 주실에서의 난류에 편승하여 연락공 쪽으로 향하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 9는 부실의 체적과 연락공의 직경변화에 따른 주실에서의 연소압력을 시간이력으로 구분하고 이를 적산하여 나타낸 것이다.

RI 방식의 경우 거의 모든 조건에서 SI 방식에 비하여 τ_{10} 를 포함한 τ_{10} 이 매우 단축되며 전체연소기간의 단축에 지배적인 영향을 미친다. 그러나 이론당량비 영역에서 $V_s=4cc$, $D_h=1.0mm$ 및 $V_s=7cc$, $D_h=1.5mm$ 의 경우에는 τ_{10} 가 SI 방식보다 오히려 연장되는 경향을 보이기도 한다. 한편, 연소기간을 단축시키는데 적합한 각 부실체적에 대한 연락공의 직경은 당량비에 따라서도 다소 이동하지만, 본 실험조건 내에서는 $V_s=4cc$, $D_h=1.8mm$ 인 경우가 가장 최적치로 판단된다. 이와 더불어 부실체적의 감소 측면에서, $V_s=2.2cc$ 는 전체 연소실체적의 약 0.45% 정도임에도 불구하고 RI 방식의 연소기술을 실현하는데 있어 큰 무리가 없음을 보여준다.

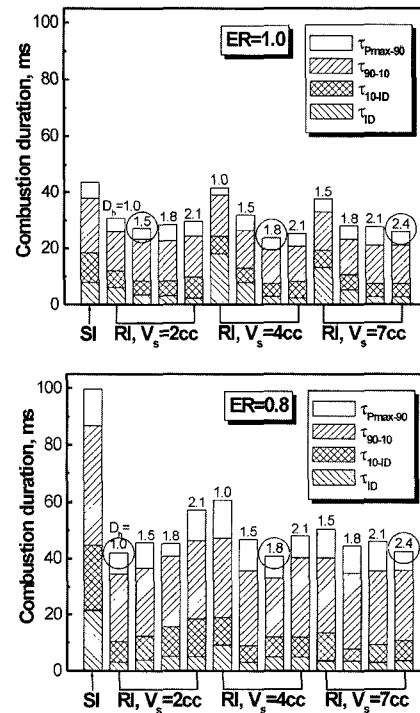


Fig. 9 Details of combustion duration with hole diameter in each volume of sub-chamber

Fig. 10은 RI 방식에서 부실의 체적 및 연락공의 직경변화와 연소최고압력의 상관관계를 SI 방식의 경우와 비교하여 나타낸 것이다. RI의 경우, Pmax의 증가는 τ_{Pmax} 의 감소를 감안할 때 SI에 비해 그 값이 미미하다. 이는 주실의 전 영역에 걸쳐 분산된 초기

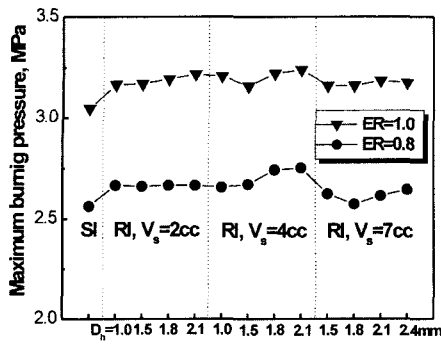


Fig. 10 Effects of hole diameter and sub-chamber volume on maximum combustion pressure

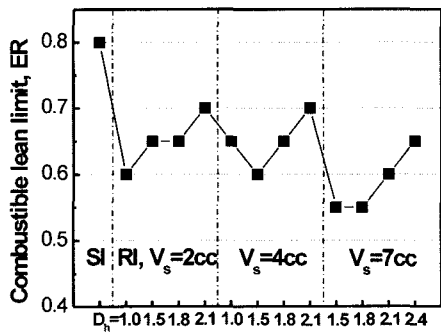


Fig. 11 Effects of hole diameter and sub-chamber volume on combustible lean limit

화염이 SI에 비해 주연소실 벽면에 접촉하는 기간이 길어져 벽면으로의 냉각손실이 증가하기 때문에 생각된다.

Fig. 11은 부실의 체적 및 연락공의 직경변화가 희박가연한계의 확장에 미치는 영향을 SI 방식의 경우와 비교하여 나타낸 것이다. 희박가연한계는 RI 방식의 경우가 약 당량비 0.1~0.25 만큼 확장되는데, 이는 작은 체적의 부실에서 1 차적으로 점화가 됨으로써 상대적으로 화염전파거리가 긴 SI 방식에 비해 부실 내에서 화염핵의 냉각에 의한 실화 가능성이 줄어들고, 부실에서 생성된 연소에너지가 주실 내 희박혼합기의 특정공간에 집중적으로 공급되어 초기화염의 발달을 촉진하기 때문으로 생각된다. 이와 더불어 동일 부실체적에서 D_h/V_s 가 작을수록 희박가연한계가 확장되는 경향을 보이는데, 이는 동일 부실체적에서 생성된 같은 양의 착화원이 라고 할지라도 주실의 희박혼합기에 공급될 때, 연락공의 직경 축소에 의한 유속의 감소와 이로 인한

공급시간의 연장이 희박가연한계의 확장에 오히려 유리하게 작용하기 때문으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 희박혼합기의 급격연소 및 희박가연한계의 확장과 같은 연소개선을 꾀하고자 부실에서 생성된 라디칼을 포함한 연소생성물을 주실의 예혼합기에 분사하는 라디칼 유도분사 기술을 시도하였다. 정적연소기를 이용하여 기초정보 획득에 필요한 일련의 실험을 수행하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

- 1) 라디칼 유도분사 방식은 주실 및 부실 내 예혼합기의 당량비 0.8, 부실체적 4cc, 연락공직경 1.8mm에서 SI 방식에 비하여 전체연소기간을 최대 59% 정도 단축시키며, 이론당량비에서는 최대 45% 정도 단축시킨다. 한편 연소최고압력은 당량비에 따라 6~7% 증가한다.
- 2) 전체 연소실체적의 약 0.45% 정도인 부실체적만으로 RI 방식에 의한 급격연소가 실현 가능하였다.
- 3) 급격연소 측면에서 전체연소기간의 단축에는 당량비에 따라 적절한 연락공의 단면적과 부실의 체적비(A_h/V_s)가 존재한다.
- 4) 주실에서의 가시화 사진에 의하면, SI 방식은 전 영역에서 통상적인 매끈한 구면의 화염전파를 보이는데 반하여, RI 방식은 부실로부터 분출된 활성화화학종과 연소생성물로 인해 초기연소기간 전·후 주실전역에서 난류화염면과 폭발적인 반응대를 형성하여 급격연소를 유발한다.
- 5) 착화지연기간을 포함한 초기연소기간의 감소가 전체연소기간의 감소에 지배적인 영향을 미친다.
- 6) RI 방식에 의한 희박가연한계는 당량비 0.25 정도 확장되어 NO_x 의 저감과 연료소비를 개선이 예상된다.

후 기

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

References

- 1) M. Kn J. Abthoff, R. Kemmler, T. Kaiser, "Influence of the Inlet Port and Combustion Chamber Configuration on the Lean-burn Behavior of a Spark-ignited Gasoline Engine," SAE 960608, 1996.
- 2) C. S. Bae, J. S. Lee, J. Y. Ha, "High-Frequency Ignition Characteristics in a 4-Valve SI Engine with Tumble-Swirl Flow," SAE 981433, 1998.
- 3) M. H. Kim, J. S. Park, J. H. Lee, "Combustion Characteristics of Plasma Jet Ignition for Different Swirl Velocity in a Constant Volume Vessel," Transactions of KSAE, Vol.9, No.2, pp.75-83, 2001.
- 4) 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) 9935761, 1999.
- 5) T. Date, S. Yagi, "Research and Development of the Honda CVCC Engine," SAE 740605, 1974.
- 6) S. Yamaguchi, N. Ohiwa, Y. Nishie, "Combustion Mechanism in Prechamber Combustor," JSAE, Vol.47, No.419, pp.1390- 1399, 1981.