

고 표면적-체적 비를 가지는 소형 연소실 환경에 서의 연소특성

이대훈* · 최권형** · 권세진***

Combustion characteristics in small combustion chamber that has high surface to volume ratio

Dae Hoon Lee, Kwon Hyoung Choi and Sejin Kwon

Key Words : Surface to volume ration, small combustor, Micro combustion, MEMS.

Abstract

Combustion phenomenon in scale-downed combustor is investigated. As the combustor volume decreases surface to volume ratio increases. for increased surface to volume ratio means increased heat loss and this increased heat loss affects reaction in combustion chamber. Plastic mini combustor is made. Stoichiometrically premixed Hydrogen / air gas is used as fuel. Initial chamber pressure and chamber size are varied and the effects are evaluated. Peak pressure decreases with the decrease in chamber height. As initial chamber pressure decreases peak pressure decreases. And this change is more important than scale down effect till the chamber height of 1mm. With this result and further information following the experiments design parameter for micro engine can be established.

1. 서 론

미세 가공 기술과 정밀 기계 기술의 발달과 함께 다양한 시스템들에 대해 축소화 정밀화 하는 기술이 개발되고 있다.[1] 이러한 기술 추세에 따라 MEMS

가공 기술의 발달과 함께 초정밀 미세 장치를 제작할 수 있는 가능성이 열리면서 스케일 다운된 다양한 시스템 개념들이 제안되게 되었다.[2] 초기 MEMS 기술은 정적 구조물에 해당하는 센서나 액추에이터를 제작하는 기술이 주를 이루었으나 기술의 발달과 함께 움직일 수 있는 시스템을 이러한 기술을 이용해 제작하려는 시도들이 시작되었다. 미세 비행체, 미세 로봇 등이 이러한 시스템의 대표적인 예이다. 이처럼 작

* KAIST 항공우주공학전공 대학원

** KAIST 항공우주공학전공 대학원

*** KAIST 항공우주공학전공

동하는 장치의 전기적, 기계적 동력원을 제공하는 장치로는 배터리를 들 수 있다. 배터리는 실제 현재 상용화 된 동력원으로 소형, 경량화가 가능한 거의 유일한 대안이다. 하지만 배터리는 동적 시스템의 에너지원으로서 기계적 작동을 요하는 시스템의 경우 표 1.에서 보는 바와 같이 낮은 에너지 밀도로 인하여 작동 시간과 활용 범위가 제한된다는 한계가 있다. [3]

Table. 1 energy density

Device	Power density (MW/m ³)
Micro Lithium battery	0.4
Micro solar cell	1
Micro-elastic motor	1.7
Micro-reactor	20
Macro combustor	40
Micro channel reactor	150
Micro-combustor	2000

또한 배터리를 사용할 경우 폐건전지의 처리 과정에서 환경 문제를 야기하는 치명적 한계를 지니고 있다. 이러한 한계를 극복할 수 있는 대안으로 최근 Power MEMS 가 주목받고 있다. Power MEMS 는 MEMS 가공기술을 이용해 제작된 미세화된 연소장치에 대한 개념이다.[4] 이는 화학반응을 통해서 얻을 수 있는 에너지의 밀도가 기존에 사용되는 배터리의 수천배에 달한다는 사실을 생각할 때 가공상의 어려움이나 제작상의 개발 난점에도 불구하고 Power MEMS 가 가지고 있는 매력적인 장점이다. 하지만 미세한 크기의 연소실을 제작할 경우 기존의 연소기에서는 고려하지 않았던 문제들이 발생하게 된다.

연소실에서 발생하는 열발생량은 연료의 반응양에 따라 증가하므로 체적에 비례하게 된다. 반면 연소실에서 발생하는 열 손실량은 벽면을 통한 열전달을 통해 발생하므로 연소기의 면적에 비례하게 된다. 따라서 연소기의 표면적-체적 비를 정의 할 때 연소실 크기가 작아질수록 길이 스케일에 비례해서 열 손실량이 증가하게 되는 것을 알 수 있다. 기존의 연소현상에 대한 해석의 방법에서 연소 속도는 벽면 열 손실을 고려하지 않은 방법들을 사용해 왔다.[5] 하지만 벽면 열 손실의 증가로 인해 연소 속도의 변화 및 화염 전파 특성의 변화가 발생하게 된다. 본 연구에서는 이러한 연소실 환경 변화에 따른 화염의 특성을 실험을 통해 관찰하였다.

2. 실험

표면적-체적 비를 증가시키기 위해 체적 변화가 가능한 연소기를 제작하였다. 점화를 위한 전극이 연소실 내부에 설치되어야 하므로 전극을 설치하기 위해서는 전기적 절연이 중요한 문제가 된다. 전극 주변에 절연막을 만들 경우 절연막의 파괴로 인한 문제와 와 연료 기밀을 얻기 어렵게 되는 문제가 발생하므로 연소기의 재질은 아세탈로 선택하였다. 연소 반응에 걸리는 시간이 짧기 때문에 열로 인한 문제는 고려하지 않아도 되고 아세탈은 기계적 성질이 좋아 형상이 변형에 강한 특성이 선택의 이유가 되었다. 연소실은 실린더 형태를 가지고 연소실 높이를 조절할 수 있도록 제작하여 연소실의 체적 변화를 얻을 수 있게 하여 표면적-체적 비를 변화시킬 수 있도록 설계 하였다. 설계

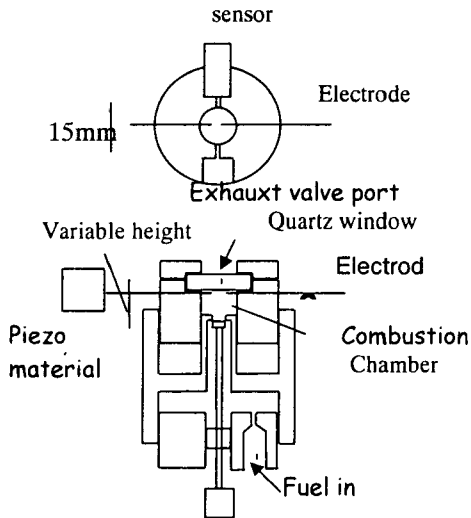


Fig. 1 Schematic of combustor

실험에 사용된 연료는 수소와 공기가 이론혼합비로 예혼합된 가스이다. 실험에 이용된 파라미터는 연소실의 높이와 연소실 초기 압력이다. 연소실 높이는 1mm 에서 4mm 로 변화시키면서 수행하였고 연소실 초기 압력은 10 psi 에서 40 psi 로 변화시키면서 수행하였다. 실험조건표는 표 2. 와 같다.

Table. 2 Test condition matrix

초기압력 (psi)	10	20	30	40
연소실 높이(mm)	1	2	3	
표면적/체적(cm)	5.67	3.17	2.21	

전체적인 실험장치의 구성은 아래 그림 2. 와 같다. 수소와 공기의 예혼합 가스가 퍼지 탱크에 들어오고 밸브를 통해 연소기로 들어간다. 전극에서 방전을 통해 점화를 시키고 연소반응이 일어나면 반응 전후의 압력변화를 센서를 이용해서 얻어낸다

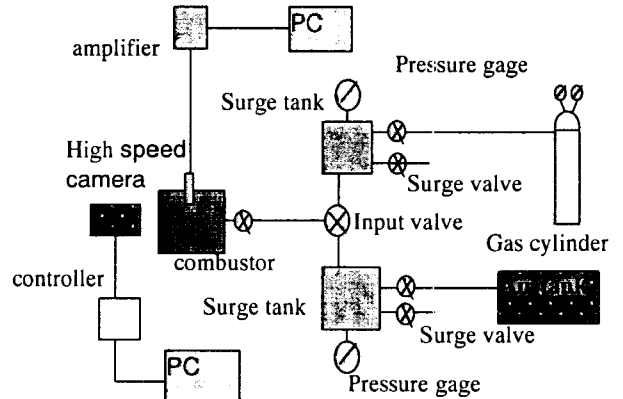


Fig. 2 Schematic of Test apparatus

3. 결과

전반적으로 표면적-체적비가 큰 연소실 환경에서 연소반응 전후의 대표적인 압력변화 곡선은 그림 3. 과 같은 형상을 가진다. 일반적인 연소실에서의 압력변화가 그림 4. 와 같다는 것을 고려해 볼 때 증가된 열손실량이 압력강하에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수가 있다. 증가된 열손실량은 압력 강하에 직접적 영향을 끼쳐 압력이 감소 되는 정도가 수십에서 수백배 정도 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

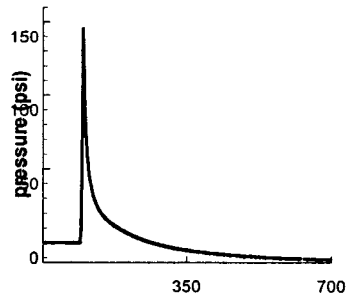


Fig. 3 Typical pressure history

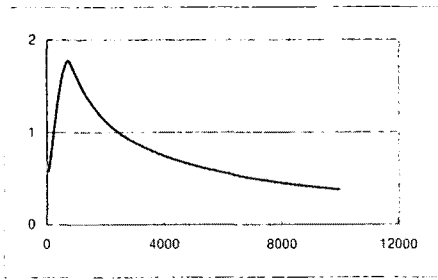


Fig. 4 pressure change in 10 cm scale typical combustor

연소실에서 연소반응에 의한 에너지 생성을 일로 전환하기 위해서는 연소반응에 소요되는 시간과 연소반응에 의한 연소실내 압력, 온도 등이 중요한 파라미터가 된다. 본 연구에서는 연소실 환경을 변화시켜 가면서 연소반응에 의한 최고 압력과 최고 압력에 이르는 시간을 확인하였다. 연소실의 크기를 변화시켜 가면서 실험을 수행하였다. 연소실 크기 변화에 대한 반응 압력의 최고값 변화에 대한 결과는 그림 5. 과 같다. 연소실 크기가 작아질수록 반응 영역이 줄어들고 이에 따라 최고압력의 크기가 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

연소 반응에 의한 전체적인 압력변화의 형상은 연소실 크기 2mm 일때의 결

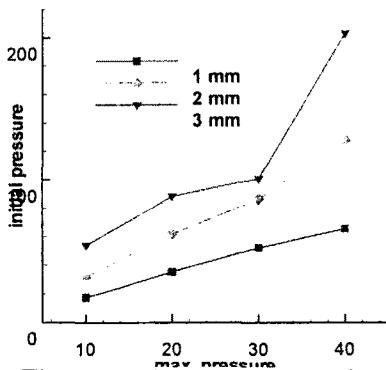


Fig. 5 Maximum pressure change by varying chamber size and initial pressure

과인 그림 6 과 같다.

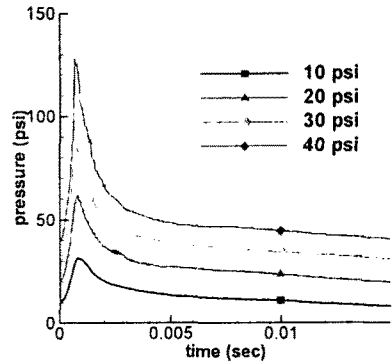


Fig. 6 Pressure change by reaction

조건의 변화에 대해 최고 압력에 도달하는 시간은 영향을 받지 않는 것으로 확인되었다.

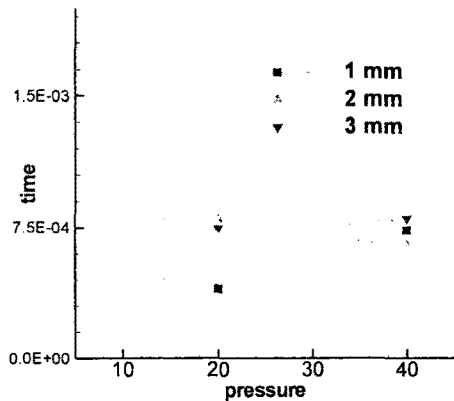


Fig. 7 Time to reach maximum pressure

4. 결론

소형 연소기를 제작하여 연소기의 크기 축소에 따른 연소환경의 변화가 연소 반응에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 연소실 크기가 작아지면서 열손실량이 증가하여 연소반응에 의해 증가한 연소실내 압력이 감소할 때 일반적인 연소기보다 급격히 감소하는 것을 확인하였다. 연소기의 높이와 연소실

초기 압력을 변화시켜 가며 수행한 실험에서 연소실 초기 압력이 연소반응으로 인한 최고 압력에 큰 영향을 미치는 것을 확인하였으며 연소실의 크기가 줄어들수록 최고 압력이 감소하는 것을 확인하였다. 소염거리에 해당하는 1mm 이하의 연소실 높이에 대해 추가적인 실험을 통해 마이크로 엔진을 제작하기 위한 설계 파라미터를 확보할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- (1) G. T. A. Kovacs, micromachined transducers, McGraw-Hill, 1998.
- (2) 이대훈, 권세진, 윤의식, “마이크로 엔진 개발 현황”, 한국군사과학기술학회 추계 학술대회, 육군 사관학교, 2000.
- (3) Epstein, A. H. et al., "Power MEMS and Microengines", IEEE International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Chicago, June 16-19, 1997.
- (4) K.Y.Kuo, Principles of Combustion, John Wiley, 1987.