

## 초소형 연소기에서의 연소 현상 실험적 연구

나한비\* · 김세훈\*\* · 최원영\*\* · 권세진\*\*\*

### Experimentally Investigation on Combustion Phenomena in Micro Combustor for the Application of Power MEMS

HanBee Na, Sehoon Kim, Wonyoung Choi, and Sejin Kwon

#### ABSTRACT

The characteristic of constant volume micro combustor was investigated experimentally. The shape of micro combustor was cylindrical and has row aspect ratio or has relatively large diameter compared with chamber height. Diameter and chamber height was varied to investigate the geometric effect of combustor on the flame propagation. Diameter of 15 mm and 7.5 mm was designed while chamber height was designed to be 1mm, 2mm, and 3mm. The effect of initial pressure was also investigated parametrically from 1bar to 3bar. The gas used in this study was stoichiometric mixture of methane and air. The maximum pressure achieved in down scaled combustors was lower than that of conventional combustor because heat loss to wall was dominant as expected. The maximum pressure responded favorably with the change of height of combustor and the initial pressure, the maximum pressure was also increased. The flame propagation was possible when the specific condition was satisfied. Although the quenching distance of stoichiometric mixture of CH4 and Air is 2.5 mm, the flame could propagate even under quenching distance as the initial pressure increased.

#### 1. 서 론

초소형 연소기는 일반적인 연소기에 비해 크기가 매우 작아서 연소기의 크기가 화염의 소멸 거리에 근접하거나 혹은 더 작은 경우의 연소기를 의미한다.

이러한 연소기가 관심을 끌게 된 계기는 MEMS 기술이 발달함에 이것을 이용하여 에너

지를 생산하는 Power MEMS 장치에 대한 연구가 활발히 진행되었기 때문이다. Power MEMS 장치로서는 연료의 연소반응을 이용하여 기계적 에너지를 얻어내는 초소형 엔진이 있고 촉매 반응을 이용하는 초소형 반응기와 초소형 연료 전지 등이 있다.

Power MEMS를 이용하여 전력원을 만들고자 하는 시도는 현존하는 초소형 이동 장치의 전력

\* 한국항공우주연구원 추진제어그룹

\*\* KAIST 항공우주공학전공 대학원

\*\*\* KAIST 항공우주공학전공 부교수

## 2 본 론

원인 2차 전지의 에너지의 밀도가 매우 낮기 때문에 이것을 극복하고자 하는 노력들 때문이다. Figure 1는 2차 전지의 에너지 밀도와 탄화수소 연료의 에너지 밀도 등을 비교 하고 있다. 2차 전지인 리튬 전지는 옥탄에 비해 에너지 밀도가 매우 낮기 때문에 사용시간에 제약이 있다. MEMS 기술을 이용하여 초소형 전력 공급원을 만들어서 에너지 공급원을 만든다면 훨씬 높은 에너지 밀도를 지니게 될 것이다.

초소형 엔진중에는 터빈 장치를 이용하여 장치 중에 화석연료를 연소하여 기계적 에너지를 얻어내는 초소형 가스 터빈 엔진 (Micro gas turbine engine)[1]과 내연기관으로는 초소형 로터리 엔진 (Micro rotary engine)[2], 과 KAIST에서 연구중에 있는 초소형 왕복 엔진 (Micro Reciprocating engine)[3]등이 있다. 본 연구의 대상은 초소형 왕복엔진과 같이 정적타입의 연소기이다.

본 연구는 Lee et al. 에 의해 수행된 연구[4]의 바탕으로 진행된 것이다. 연소기의 형상은 동전과 같이 납작한 실린더 형상으로, 연소기의 높이의 영향을 알아보기 위하여 여러 가지 크기의 연소기를 제작하였다. 사용된 연료는 메탄이며 여러 가지 초기 상태 및 연소기 형상에 대해서 실험을 수행하여 초소형 연소기의 실험 데이터를 얻어 내었으며 이러한 결과들로 인해서 초소형 연소기 내에서의 연소 현상에 대해 고찰할 수 있었다.

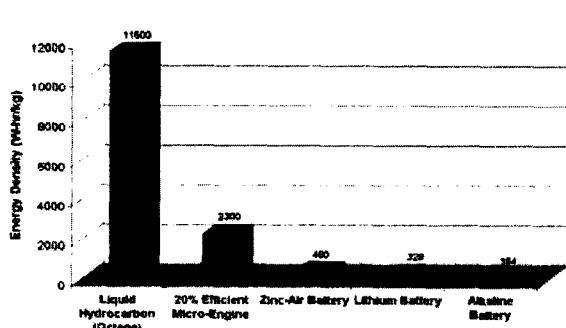


Figure 1. Energy Density of various energy sources

### 2.1 실험 장비

본 연구의 초점은 연소기의 형상이 매우 작을 때의 연소 특성에 관심이 있으므로 연소기를 MEMS 로써 연소기를 제작할 필요가 없었고, 기계가공을 통해서 연소기 형상을 제작하였다. Figure 2는 초소형 연소기의 개략도이다.

연소기는 크게 5가지 부품으로 이루어져 있다. 연소기는 실린더 형상의 축의 수직 방향으로 대칭 되어 있다. 가운데 있는 부품은 아세탈로 제작되었고 연소기의 형상을 유지하고 있다. 이 부품을 통하여 예혼합 가스의 주입 및 배출, 점화장치의 연결과 압력 센서가 연결되어 있다. 이것을 기준으로 쿼츠가 양쪽에 있어서 연소기의 벽면을 이룬다. 이것을 통해 skilering image를 이용하여 화염의 가시화를 하였다. 제일 바깥에 있는 부품 1쌍을 이용하여 5개의 부품을 고정하였다.

### 2.2 실험 조건

초소형 연소기의 크기가 연소 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 여러가지 크기의 연소기를 제작하였다. 연소기의 높이의 영향을 고찰하기 위해서 연소기의 지름이 15mm 에 대해서 높이가 각각 1mm, 2mm, 3mm 인 연소기를 제작하여 실험하였다. 사용된 예혼합 가스는 당량비 1인 메탄과 공기의 혼합 기체이다. 연소기의 초기 압력은 1bar(abs), 1.5bar, 2bar, 3bar 으로 설정하여서 초기 압력에 따른 연소 특성도 알아보았다.

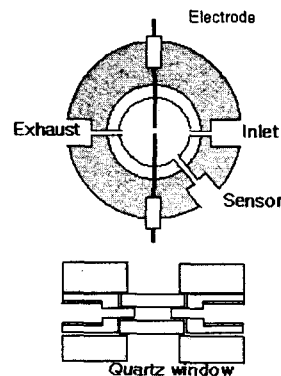


Figure 2. Schematic of Micro Combustor

### 23 실험 결과

#### Pressure Transition

Figure 3에서부터 Figure 5는 연소기의 지름이 15 mm 인 경우에 연소기의 높이가 1mm, 2mm, 3mm 일때의 결과이다. 각각의 그림은 초기 압력이 1bar(abs)에서 3bar(abs)인 경우의 압력변화 곡선을 함께 나타내고 있다.

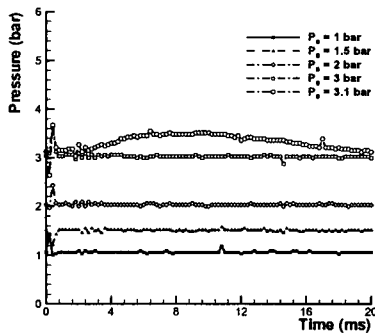


Figure 3. Pressure Transition (H=1mm, D=15mm)

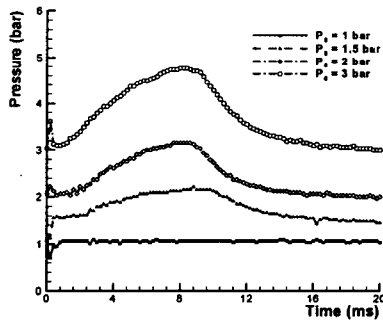


Figure 4. Pressure Transition (H=2mm, D=15mm)

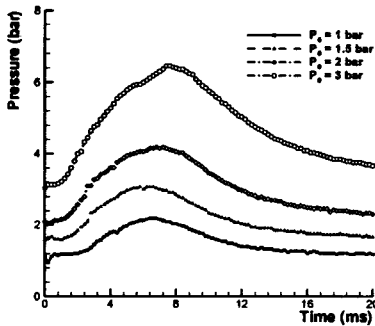


Figure 5. Pressure Transition (H=3mm, D=15mm)

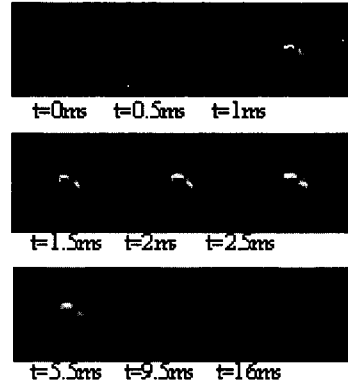
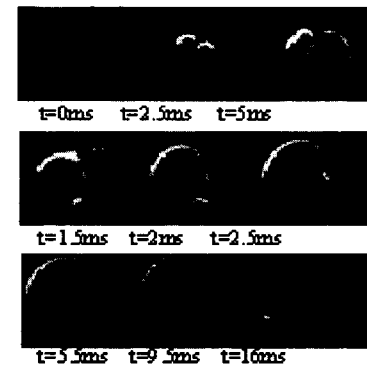


Figure 6. Schlieren image in case of initial



pressure of 3.0 bar

Figure 7. Schlieren image in case of initial pressure of 3.1 bar

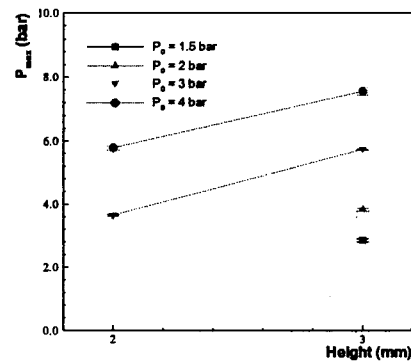


Figure 8. The effect of height on maximum pressure (D=15mm)

당량비 1인 메탄과 공기의 혼합기체의 경우 소염 거리는 약 2.5 mm 이다[5]. Figure 3, Figure 4 에서와 같이 연소기의 높이가 1mm 2mm 인 경우에는 초기 압력이 1bar (abs) 인 경우 화염이 전파가 발생하지 않았다. 하지만 연소기의 초기 압력을 증가 시킴으로써 화염의 전파가 발생하였는데 이러한 것을 나타낸 실험 결과가 Figure 6과 Figure 7이다. 두 그림은 연소기 높이가 1mm이고 지름이 15mm 인 경우 초기 압력이 3.0 bar 인 경우와 3.1 bar 인 경우의 화염 전파를 Shlierin image를 이용해서 가시화 한 것이다. 연소기의 높이가 소염 거리보다 작다고 하더라도 초기 압력을 일정한 값 이상으로 증가 시키면 연소기 전체에 화염이 전파 되는 것을 확인 하였다.

Figure 8는 연소기의 높이에 따라서 각각의 초기 압력에 대해 연소기의 최대 압력의 변화를 나타낸 것이다. 초기 압력이 2 bar 이하인 경우에는 연소기의 높이가 3 mm, 4mm 이상에서만 화염의 전파가 발생하였다. 연소 중의 최대 압력은 연소기의 높이가 증가할수록 증가한다. 연소기의 높이가 증가하면 연소기 내의 예혼합 가스의 질량이 증가하고, 실린더 축 방향의 온도 분포가 완만하게 되는 등의 영향으로 인해 열손실량이 적어지게 되어 상대적인 열손실량이 작아지므로 연소기 내의 압력을 높게 유지함을 고찰할 수 있다.

### 3. 결론

초소형 정적 연소기 내에서의 연소 특성을 실험을 통해 연구하였다. 사용된 예혼합 가스는 당량비 1인 메탄과 공기의 혼합물이었으며 연소기의 형상은 동전 모양의 실린더 형태였다.

초소형 연소기 형상에 따른 열손실 영향과 그에 따른 연소특성을 알아보기 위해 여러높이의 연소기를 제작하였고 각 연소기에 대해서 다양한 초기 압력에 대해 실험값을 얻어내었고 이러한 것들이 연소특성에 미치는 영향을 분석하였

다.

예혼합 가스가 대기압인 경우 연소기의 높이가 소염거리보다 낮을 경우 화염의 전파가 발생하지 않았지만 초기 압력을 일정값 이상으로 높임으로써 화염의 전파를 고찰하였다.

본 연구를 통해 초소형 연소기 특성에 영향을 미치는 형상과 초기 조건에 대해 고찰을 하였고 소염거리에 근접한 연소기에 대해 화염의 전파에 대한 실험을 수행하였다.

### 후 기

본 연구는 연소기술 연구센터(CERC)의 연구비 지원으로 수행되었다.

### 참 고 문 헌

1. A. Mehra, A.A. Ayon, I.A. Waitz, and M.A. Schmidt, "Microfabrication of High-Temperature Silicon Devices Using Wafer Bonding and Deep Reactive Ion Etching", IEEE Journal of MEMS, Vol.8, No.2, 152-160 (1999)
2. F.P. Carlos, <http://www.me.berkeley.edu/cpl>
3. D.H. Lee, D.E. Park, J.B. Yoon, S. Kwon and E. Yoon, "Fabrication and Test of a MEMS Combustor and Reciprocating Device", Journal of Microengineering and Micromechanics, Vol.12, pp.26-34 (2002)
4. D.H. Lee and S. Kwon, "Heat transfer and quenching analysis of combustion in a micro combustion vessel", Journal of Microengineering and Micromechanics, Vol.12, No.5, pp.670-677 (2002)
5. D.H. Lee, "Measurement and Analysis of Thermochemical Process for Micro Power Generation", Ph.D. Thesis, KAIST, (2003)