

KAIST의 마이크로 열기관 요소 기술 개발

이대훈* · 박대은** · 윤의식** · 권세진*⁺

Development of Component of Micro Thermal Device in KAIST

Dae Hoon Lee, Dae-Eun Park, Euisil Yoon, Sejin Kwon*⁺

Key Words : Micro Thermal device(마이크로 열장치), MEMS(미소기전집적시스템), Micro Engine(마이크로엔진), Micro Reactor(마이크로 반응기).

ABSTRACT

Development projects in KAIST related to the micro thermal device is introduced. Multi disciplinary research team is composed by combustion group and semiconductor group in KAIST and catalyst research center in KRICT to develop micro thermal/fluidic device and various items are on development. Among the projects, various kind of components that is required by the micro thermal devicesystem is introduced. Technology related to development of micro combustor, Micro ignitor, micro fabrication of 3D structure, micro reactor and micro catalyst preparation is introduced.

1. 서론

마이크로 열기관 장치에 대한 개념이 제시된 이후 가능 기술로서의 장치 개발에 대한 다채로운 연구들이 시도되고 있다. 이러한 열 동력 장치에는 엔진, 반응기, 로켓 등 다양한 형태와 개념의 장치들로 부터 전력 생산, 물질 생산, 추력 생성 등의 다양한 응용분야에 적용하기 위한 연구가 진행되어지고 있다. 마이크로 열기관 장치는 세계적으로도 90년대 후반에 개발이 시작된 장치로 국내에서도 KAIST 연구진에 의해 관련 연구가 시작되었다. 장치의 특성상 마이크로 열기관 장치는 다양한 학제적 협력연구의 특성을 가진다. 장치 개념을 실험하기 위해서는 열기관의 특성상 연소특성, 열전달 특성 및 열에너지 생산에 대한 이해와 해석 혹은 예측 방법이 확보되어야 하며 실제 장치를 제작하기 위해서는 특정한 형태의 동적, 정적 구조물에 대한 MEMS 가공 기술이 수립되어야 한다. KAIST에서는 이리

한 특성을 고려하여 항공우주공학전공의 연소 추진 그룹과 전기전자공학전공의 반도체 그룹의 공동 연구를 통해 관련 장치를 개발하는 연구를 수행해 오고 있다.

본 논문에서는 KAIST 연구진에 의해 수행되어져 오고 있는 마이크로 열장치 요소 기술 개발 내용에 대해 소개한다.

2. 마이크로 연소기

마이크로 스케일에서의 연소 현상을 이해하고 해석하기 위해 모델 마이크로 연소기를 이용한 연소 실험을 수행하고 열손실 및 소염 현상을 예측하기 위한 해석 모델을 개발하였다. 결과는 마이크로 연소기 개발에 직접 설계 자료와 성능 해석 방법으로 적용된다.

2.1. 마이크로 연소기 실험

마이크로 연소기의 경우 늘어난 표면적대 체적 비로 인해 열손실이 증가하게 된다. 이의 영향을 알아보기 위해 mm 스케일에서 종횡비와 표면적대 체적비를 파라미터로 하는 다양한 형태의 연소기를 제작하여 연소

* KAIST 항공우주공학전공

** KAIST 전기전자공학전공

E-mail : melody@kaist.ac.kr

실험을 수행하였다. 실린더 형의 연소기에 점화를 위한 전극과 연료 흡/배기를 위한 포트, 압력 센서를 부착하기 위한 포트를 만들었다. 다양한 실험조건에서 수소/공기 예혼합 가스를 연료로 하여 연소 실험을 수행하였다.[1] Table 1 은 실험에 사용된 연소기 형상 조건에 대한 표이다.

연소기 실험으로부터 마이크로 연소기에서의 열손실 특성이 압력 변화에 미치는 영향을 알아 보았다. Fig. 1은 연소기종횡비가 고정되었을 경우 각 연소실 초기 압력 조건에 대해 표면적대 부피비가 압력상승에 미치는 영향을 보여주는 그림이다.

2.2. 열손실, 소염 예측을 위한 연소기 해석 모델

언어진 실험 결과를 해석하고 소염 현상을 예측하기 위해 에너지 평형 식을 기반으로 한 해석 모델이 개발되었다.[2] 열손실은 식 (1) 과 같이 모델링 되었으며 열손실 계수는 상수로 가정되었다. 이 모델에 바탕해서 대류항의 형태로 모델링 된 열손실 항에서 연소기의 열 손실 특성을 보여주는 열손실 계수가 구해졌다. Fig. 2는 직경 15mm 인 연소기 조건에서 각 초기 압력 조건에서 연소기 높이에 따른 열손실 계수의 변화를 보여준다. Fig. 3은 연소기 직경 15mm 인 경우에 연소실 높이에 따른 소염 현상을 예측한 것이다. 각 조건에서 화염의 소염시까지 연소에 참여하는 연료의 비율을 보여준다.

Table 1 Test condition matrix

Aspect ratio		Diameter (mm)		
		7.5	15	22.5
Height (mm)	1	7.500	15.000	22.500
	2	3.750	7.500	11.250
	3	2.500	5.000	7.500
	4	1.875	3.750	5.625

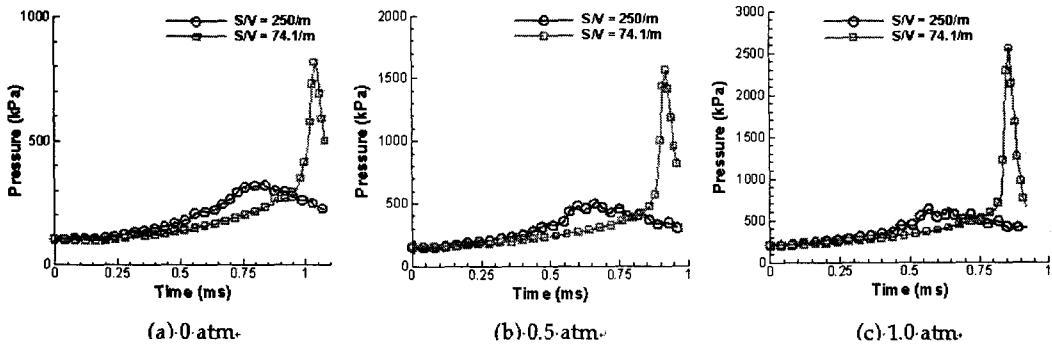


Fig. 1 S/V effect on pressure history in each initial pressure condition

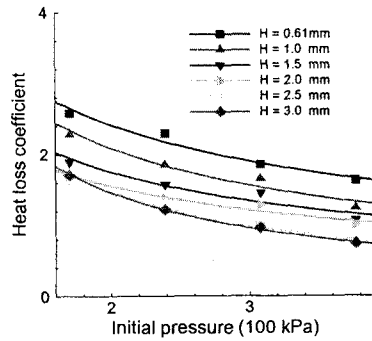


Fig. 2 Heat transfer coefficient in each test cases

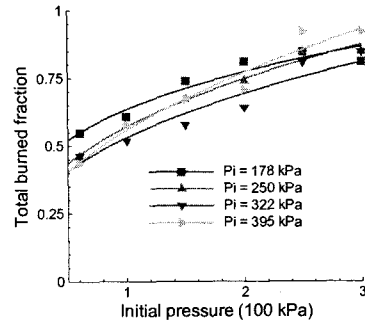


Fig. 3 Predicted total burned fraction in experiment

3. 3차원 마이크로 구조체 가공

마이크로 엔진을 제작하기 위한 구조체 가공을 위해 감광유리(photosensitive glass)를 이용해 3차원 구조체를 설계하고 공정을 확립한 후 제작하였다.[3] 구조체 내에 움직이는 피스톤 구조물을 설치하기 위해 다층 접합 기술이 적용되었다. Fig. 4 는 구조체 형태의 개략도이다. 유리 감광 및 식각 기술과 도금, 기술을 통해 점화 장치가 부착된 마이크로 엔진 구조체를 제작하였다. 제작된 구조체의 결과는 Fig. 5 에 나와 있다.

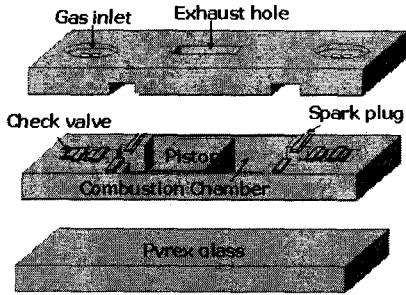


Fig. 4 Schematic of proposed engine structure

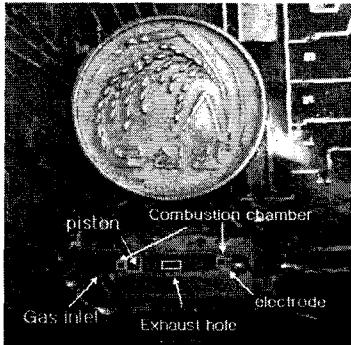


Fig. 5 Fabrication result of engine structure

전체적인 공정 프로세스는 유리 비등방 식각을 위한 자외선 노광과 형상 패터닝, 전기도금, 다층 접합 등으로 구성된다.

4. 마이크로 점화 장치 제작

4.1 마이크로 스파크 점화 전극

마이크로 엔진의 점화 장치를 위해 통합공정으로 제작이 가능한 마이크로 스파크 점화 장치를 제작하였다.[4] 전극의 폭과 길이, 전극간의 간격을 형상 파라미터로 하여 100~500마이크로미터 간극, 폭의 전극을 두께 40 마이크로미터로 전기 도금을 통해 제작하였다. 재료로는 산화특성과 내구성이 좋은 니켈을 선정하였다. 전기도금을 통해 전극을 제작하기 위해서는 두꺼운 PR 작업을 통해 두께 45마이크로미터의 몰드를 제작하여야 한다. 제작된 전극에 대해서 방전 특성을 알기 위해 형상과 전극 간격에 대한 방전 실험을 수행하였으며 전극의 내구성을 확인하기 위한 안정성 실험도 수행하였다. 제작된 전극에 대해 방전 내구성 실험 전후의 결과에 대한 SEM 사진이 Fig. 6 과 Fig. 7 에 나와 있다. 점화를 위한 시스템은 일반적인 코일 점화 시스템을 사용하였다.

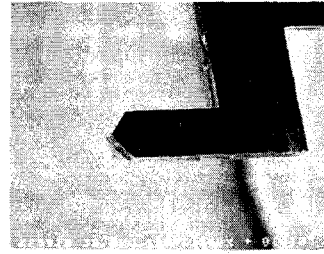


Fig. 6 SEM image of fabricated electrode before reliability test



Fig. 7 SEM image of fabricated electrode after reliability test (1kHz, 10⁶ cycles)

4.2 마이크로 히터 점화 장치

마이크로 히터의 응용범위는 마이크로 고체 로켓의 점화 장치, 각종 센서의 반응영역 등이다. 마이크로 히터를 제작하기 위해 백금 sputtering을 통해 저항 발열체를 제작하였다. 히터 성능을 최적화 하기 위해 다양한 형태의 기하학적 파라미터를 설정하였다. 두께 0.1 마이크로로 증착된 백금 마이크로 히터의 제작 결과는 Fig. 8 과 같다. 제작된 히터에 대해서 인가된 전력에 대한 온도 반응을 측정하였다. Fig. 9 는 전력이 인가된 상태에서 가열된 마이크로 히터의 사진이다.



Fig. 8 Fabricated micro heater



Fig. 9 High temperature spot of micro heater

5. 마이크로 촉매 코팅

5.1 나노 입자 촉매 합성 및 기관 코팅

마이크로 반응기를 제작하기 위해 나노 입자 촉매를 합성하였다. Perovskite 계 물질인 $\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CoO}_3$ 을 졸겔 법을 이용해 합성하였다. 스핀 코팅을 통해 표면 처리된 유리 기관위에 촉매를 코팅하는 연구를 수행하였다. Fig. 10 은 유리 웨이퍼에 코팅된 촉매의 SEM 사진 결과이다. 표면처리, 합성시의 물질 농도, 금속 질산화물을 합성할 때 첨가하는 PAA(Poly Acrylic Acid)의 농도 등에 따라 표면 성질이 결정된다.

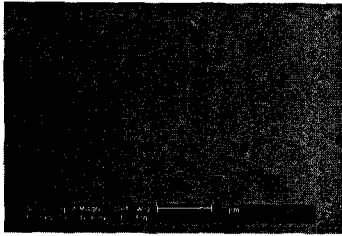


Fig. 10 SEM image of catalyst coated glass surface

5.2 나노 입자 촉매 패터닝

마이크로 반응기를 제작하려면 원하는 영역에서 원하는 반응을 얻을 수 있도록 촉매를 패터닝해야 한다. 이를 위해 금속 희생층을 이용한 선택적 패터닝 방식을 개발하였다.[5] 20 nm 두께로 우선 패터닝된 웨이퍼에 촉매를 스핀 코팅해서 두께 약 34nm 의 촉매 패터를 얻을 수 있었다. Fig. 11 은 얻어진 마이크로 스케일의 패터 형태이고 Fig. 12는 촉매층의 두께를 보여주는 촉매 코팅된 영역의 표면 프로파일이다. 촉매층의 두께는 코팅 회수, 희생층 두께 등에 의해 제어 될 수 있다.

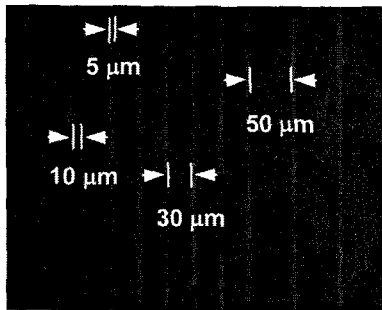


Fig. 11 Magnified image of patterned catalyst

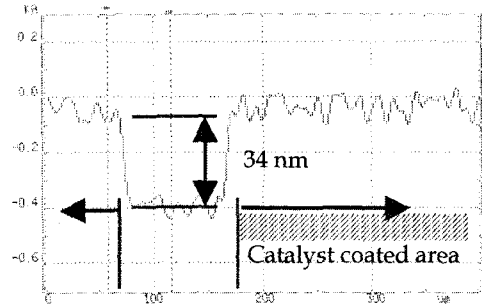


Fig. 12 Surface profile of catalyst coated area

6. 결론

본 논문에서는 KAIST에서 수행중인 마이크로 열기관 관련 요소 기술 개발에 대해 소개 하였다. 제시된 연구 요소 기술 들의 통합을 통해 향후 시스템 차원의 장치 개발을 위한 연구가 수행되어질 것이다.

참고문헌

- (1) Dae Hoon Lee, Kwon Hyoung Choi, Sejin Kwon, measurement and modeling of combustion in a microcombustor, 36TH AIAA Thermophysics conference, AIAA 2001-3077, Anaheim, California, 2001
- (2) Dae Hoon Lee and Sejin Kwon, "Heat transfer and quenching analysis of combustion in a micro combustion vessel," Journal of Microengineering and Micromechanics, V.12, No.5, pp.670-677, 2002.
- (3) Dae Hoon Lee, Dae Eun Park, Joon Bo Yoon, Sejin Kwon and Euisik Yoon, "Fabrication and Test of a MEMS Combustor and Reciprocating Device," Journal of Microengineering and Micromechanics, V.12, pp.26-34, 2002.
- (4) 이대훈, 박대은, 윤준보, 권세진, 한철희, "미세 연소기 개발(II) 미세동력 장치용 미세 전극의 제작과 성능평가," 대한기계학회논문집 B권 제26권 제4호 524-530, 2002
- (5) Dae Hoon Lee, Jeong Hun Cho, Dae-Eun Park, Jin Soo Hwang, Sang-Eon Park, Euisik Yoon and Sejin Kwon, "Micro Patterning of Perovskite Redox Catalyst ($\text{La}_{0.8}\text{Sr}_{0.2}\text{CoO}_3$) for a μ -Reactor," Power MEMS 2002, Tsukuba, Japan, 2002 .