

비연소성 다이어프램의 설치 위치에 따른 하이브리드 연소기의 연소 특성 연구

김학철* · 문근환* · 문희장** · 성홍계** · 김진곤**†

A Study on Combustion Characteristic of the Hybrid Combustor with Non-Combustible Diaphragm Position

Hakchul Kim* · Keunhwan Moon* · Heejang Moon** · Honggye Sung** · Jinkon Kim**†

ABSTRACT

The hybrid combustion were performed with the different diaphragm position for the experimental studies on characteristic of regression rate and combustion efficiency. The diaphragm was installed in 25% and 50% of fuel length from the front of solid fuel, respectively. As results of experiments, the position of diaphragm has small effect on the regression rate and combustion efficiency. It is considered that the diaphragm has local effect near the diaphragm.

초 록

본 연구에서는 비연소성 다이어프램의 설치 위치에 따른 하이브리드 연소기의 후퇴율 및 연소효율 특성에 관한 연소실험을 수행하였다. 고체 연료의 전방으로부터 25%, 50%에 설치하였을 때 설치 위치에 따른 후퇴율 및 연소 효율은 큰 차이가 없었으며 다이어프램 설치로 인한 효과는 국부적인 영향을 주었을 것으로 판단된다.

Key Words: Regression Rate(후퇴율), Diaphragm(다이어프램), O/F Ratio(O/F 비), Vortex(와류)

1. 서 론

하이브리드 로켓은 경제성과 안정성 면에서 다른 로켓 시스템에 비해 많은 장점을 가진 추진 시스템으로, 최근 실용화를 위한 활발한 연구가 진행되고 있다. 하이브리드 로켓의 실용화를

위해서 해결해야 할 단점 중 크게 대두되는 것이 낮은 후퇴율(regression rate)로 인해 추진 성능이 낮다는 것이다. 낮은 후퇴율을 개선하기 위해 사용되는 대표적인 방법으로는 멀티포트 그레인, 스웰 인젝터 사용, 용융성(liquefying) 연료 사용, 금속 분말을 첨가등의 연구가 진행되고 있다.[1]

최근에는 하이브리드 고체 연료의 사이에 다이어프램을 장착하여 고체 연료의 연소율 및 연소 효율을 높이는 연구가 진행 중이다. 고체 연료

* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

† 교신저자, E-mail: jkkim@kau.ac.kr

사이에 위치한 다이어프램의 전, 후방에서는 연료포트와 다이어프램 포트와의 직경차이로 인해 와류(vortex)가 발생하며 이 와류로 인한 열전달의 증가와 다이어프램을 통과하는 산화제의 난류강도 증가에 따른 연료와 산화제의 혼합증대는 연소 효율의 상승을 일으킨다.[2,3,4]

본 연구에서는 고체 연료 HDPE(High Density PolyEthylene)에 비 연소성인 카본 다이어프램을 제작하여 실험을 수행하였으며, 다이어프램 설치 위치에 따른 연소특성 변화를 알아보기 위한 연구가 수행 되었다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험장치

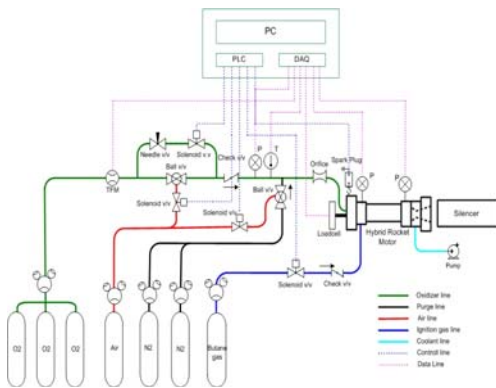


Fig. 1 Schematic of the Experimental System

본 연구에서 사용한 하이브리드 연소 실험 장치는 Fig. 1과 같이 산화제 공급 시스템, 점화 시스템, 연소기 시스템, 데이터 획득 및 제어 시스템의 네 부분으로 구성 되어있다. 산화제로는 기체산소를 사용하였으며 압력조절기와 오리피스를 통해 기체 산화제는 일정한 유량으로 공급되며, 산화제의 유량은 터빈유량계(Turbine Flow Meter)로 측정하였다. 점화는 프로판, 산소 혼합 가스에 스파크를 가해 점화하는 토치식 점화기를 사용하였다. 실험의 전 과정은 PLC(Program Logic Control)를 통해 제어 되며 DAQ 보드와 Labview 프로그램을 이용하여 각 센서의 데이터

를 획득하였다. 실험조건은 Table. 1 과 같다.

Table 1. Specification of the combustion test

Oxidizer		Gas Oxygen
Solid Fuel		HDPE
Oxidizer mass flow rate (g/sec)		18 ~ 50
Solid Fuel Density(kg/m ³)		950
Combustion Time (sec)		10
Fuel Grain Configuration	Initial Port Diameter (mm)	15, 20
	Out Diameter(mm)	50
	Grain Length (mm)	200 (100+100 or 50+150)
Diaphragm Diameter (mm)		10, 15

2.2 비 연소성 다이어프램

본 연구에서 사용한 다이어프램은 연소 중에도 다이어프램의 내경을 유지하도록 하기 위하여 재질은 비연소성 이며 내열성이 좋은 카본(carbon)으로 선정 하였다.

다이어프램의 설치 위치에 따른 연소특성 변화를 알아 보기 위하여 다이어프램을 고체 연료 전방으로부터 25%, 50%의 위치에 설치하였으며 Fig. 3과 같다.

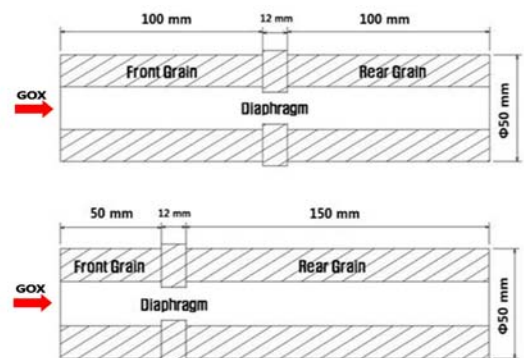


Fig. 3 Configuration of Fuel Grain and Diaphragm Position

3. 실험 결과

3.1 다이어프램 설치 위치에 따른 후퇴율

Figure 4는 다이어프램의 설치 위치에 따른 전체 후퇴율을 나타낸 것으로 실험결과 동일 산화제 유속에서 다이어프램을 설치하지 않은 경우에 비해 전체 후퇴율은 증가하지만 다이어프램의 설치 위치에 따른 전체 후퇴율은 차이를 보이지 않았다.

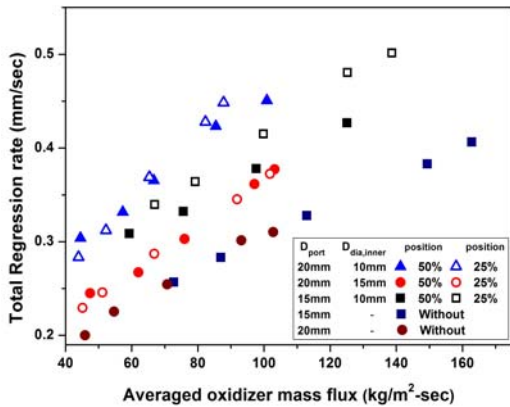


Fig. 4 Total Regression rate with different diaphragm position

실험 전 다이어프램을 설치함으로써 발생하는 열전달 및 난류강도의 증가 효과가 후방 연료에 전체적인 영향을 줄 것으로 판단하여, 다이어프램을 고체연료 전방으로부터 25% 위치에 설치할 경우의 전체 후퇴율이 50%에 설치할 경우에 비하여 더 증가할 것으로 예상하였다. 그러나 실험 결과 다이어프램의 설치 위치에 따른 전체 후퇴율의 차이가 크지 않았다. 따라서 다이어프램의 설치로 인한 효과는 다이어프램 후방에 전체적으로 영향을 주는 것이 아니라, 다이어프램 후방에 형성된 와류에 의하여 국부적으로 영향을 주는 것으로 판단된다.

Figure 5는 연료와 다이어프램의 직경 및 다이어프램 설치 위치에 따른 전·후방 연료의 후퇴율을 나타낸 것으로서, 동일 연소기 형상에서 다이어프램을 고체 연료 전방으로부터 25%에 설치

하였을 경우가 50%에 설치하였을 때 보다 상대적으로 전방 연료는 후퇴율이 증가하고, 후방 연료는 후퇴율이 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

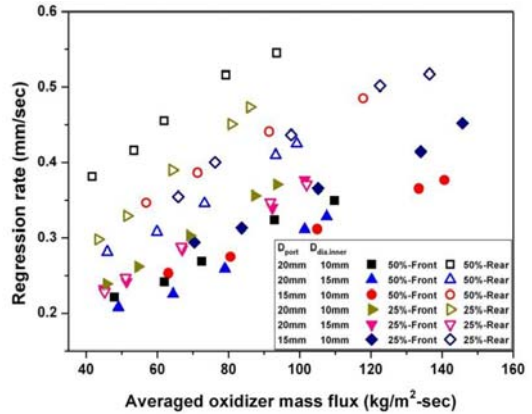


Fig. 5 Regression rate with different diaphragm position : Front & Rear

후방 연료의 후퇴율이 감소하게 된 원인은 다이어프램 설치로 인한 효과가 국부적으로 영향을 주었으며 다이어프램을 50%에 설치하였을 때 보다 25% 위치에 설치하였을 때 후방 연료의 길이가 길어 후방 연료 전체에 미치는 국부적 효과의 비율이 상대적으로 낮아 후퇴율이 감소한 것으로 판단된다.

그리고 다이어프램을 25% 위치에 설치하였을 경우가 50% 위치에 다이어프램을 설치하였을 경우에 비하여 전방 연료의 후퇴율이 높은 것은 전방 연료의 길이가 짧기 때문에 다이어프램 전방에서 발생하는 와류로 인한 열전달 효과의 증가 및 고체 연료 전방에서 발생하는 End-burning 효과로 인해 후퇴율이 증가한 것으로 판단된다.

3.2 다이어프램 설치 위치에 따른 연소 효율

Figure 6은 O/F 비에 대한 특성속도를 나타낸 것으로 다이어프램의 설치 위치에 따라 동일 O/F 비에서 특성속도는 25% 위치에 다이어프램을 설치한 경우 약간 증가하였으나 큰 차이를 보이지 않는다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 다이어프램을 장착한 경우 다이어프램의 설치 위

치는 연소특성에 큰 영향을 주지 않은 것으로 판단된다.

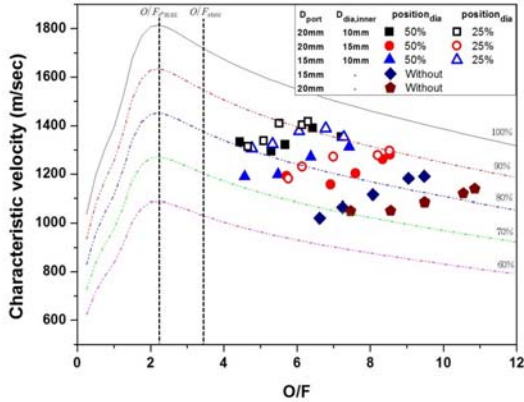


Fig. 6 Characteristic velocity vs O/F ratio : different position of diaphragm

4. 결론

본 연구에서는 다이어그램의 설치 위치에 따른 연소 특성에 대한 연구를 위해 실험을 수행하였다. 다이어그램을 고체 연료의 전방으로부터 각각 25%, 50%의 위치에 설치하였을 경우 다이어그램을 설치하지 않은 경우에 비하여 후퇴율 및 연소효율은 증가하지만 설치 위치에 따른 후퇴율 및 연소 효율에 큰 차이를 보이지 않았다.

본 연구를 통해 다이어그램 설치로 인한 열전달 효과가 연료의 연소율 및 연소 효율에 국부적으로 영향을 주는 것을 확인했다.

후 기

“이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구입(No. R0A-2007-000-10034-0(2007)).”

참 고 문 헌

1. Yuasa, s., Shimada, O., Imamura, T., Tamura, T., and Yamamoto, K., “A Technique for Improving the Performance of Hybrid Rocket Engines,” 35th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit, AIAA paper 99-2322, Los Angeles, CA, 1999.
2. 김학철, “용융성 다이어그램을 이용한 하이브리드 로켓의 연소 특성 연구”, 한국 항공대학교 석사 학위 논문, 2011
3. Matthias Grosse, "Effect of a Diaphragm on Performance and Fuel Regression of a Laboratory Scale Hybrid Rocket Motor Using Nitrous Oxide and Praffin." A I A A - 2 0 0 9 - 5 1 1 3 , 4 5 t h AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion conference and Exhibit, Colorado, Denver, August 2009.
4. 문근환 외, “비연소성 다이어그램을 적용한 하이브리드 연소기의 연소 특성 연구”, 한국 추진공학회 2011년 춘계학술대회 논문집, pp. 258-262
5. Krall, K. M., and Sparrow, E. M., "Turbulent Heat Transfer in the Separated Reattached and Redevelopment Regions of a Circular Tube", Journal of Heat Transfer, Vol. 88, No. 1, 1966, pp. 131-136
6. Fiebig, M., "Vortices and Heat Transfer", ZAMM-Journal of Applied Mathematics and Mechanics, Volume 77, Issue 1, 1997, pp. 3-18