

# Multi-port 하이브리드 로켓의 포트 병합특성에 관한 연구

김기훈\* · 김수중\* · 이정표\* · 조정태\* · 문희장\*\* · 성홍계\*\* · 김진곤\*\*

## A Study on Merge Characteristics with Multi-port Hybrid Rocket

Gihun Kim\* · Soojong Kim\* · Jungpyo Lee\* · Jungtae Cho\* · Heejang Moon\*\* · Hong-Gye Sung\*\* · Jin-Kon Kim\*\*

### ABSTRACT

This study was performed for merge characteristic of Hybrid Rocket with multi-port. PE(Poly Ethylene) is fuel with 4 and 5 port grain and GOX(Gas Oxygen) is oxidizer. This study according to number of ports The multi-port grain merge with other grains during a combustion, then Hybrid Rocket performance is changed by change of a combustion area.

### 초 록

본 연구에서는 multi-port를 가진 하이브리드 연료의 포트간 병합특성에 관하여 수행하였다. 연료는 4 또는 5 port를 갖는 PE(Poly Ethylene), 산화제는 GOX를 사용하였다. port수에 따른 병합 특성에 대해서 연구하였다. Multi-port는 연소 중에 포트간 병합이 되어 연소 면적의 변화에 따라 로켓의 성능에 영향을 미친다.

Key Words: Regression Rate(후퇴율), Hybrid Rocket(하이브리드 로켓), multi-port(다공포트), Merge (병합)

### 1. 서 론

하이브리드 로켓은 액체 및 기체 산화제와 고체 연료를 적용한 추진 시스템으로 경제성, 안전성, 추력 제어성 등의 많은 장점이 있다. 하지만 낮은 고체연료 후퇴율과 낮은 연소효율, 연소중

O/F 변화 등의 단점을 가지고 있다. 이 중에서 특히 하이브리드 로켓의 단점으로 대두되고 있는 낮은 후퇴율을 보완하기 위하여 많은 연구가 이루어져 왔다. 후퇴율을 증대 시키는 방법들 중 하나는 multi-port 그레이인을 통해 연소면적을 증가시켜 고체 연료의 연소량을 증가시키는 방법이 있다. 하지만 multi-port는 연소가 진행됨에 따라 결국 연료 그레이인의 포트는 서로 병합되고 이로 인하여 형상이 single-port로 변화하게 된다. 이러한 port 형상의 변화는 하이브리드 로켓

\* 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학부

\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

연락처, E-mail: jkkim@kau.ac.kr

성능에 영향을 준다.

따라서 본 연구에서는 원통형 형상을 가진 multi-port 그래인을 사용하여 연소실험을 통한, multi-port의 포트간 병합 특성에 관한 연구를 수행했다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 실험 장치는 산화제 공급 장치, 점화 장치, 데이터 획득장치 및 연소기로 구성하였다. 산화제인 GOX는 압력 조절기와 초킹 오리피스를 이용하여 일정한 유량으로 공급 된다. 산화제 공급 유량은 TFM (Turbine Flow Meter)을 이용하여 측정하였다. 점화 장치는 전방 연소실 일체형 토치식 점화기를 제작하여 부탄, 산소 혼합 가스에 Spark를 가해 점화하는 방식을 사용하였다. 실험은 PLC (Program Logic Control)를 통해 제어되며 DAQ 보드를 이용하여 각 센서로부터의 데이터를 획득하였다. 추력 측정을 위하여 연소기를 LM (linear motion) 가이드 위에 장착하고 로드셀을 이용하여 추력을 측정하였다.

연소기는 전방연소실, 후방연소실, 연료 그래인, 노즐로 구성하였으며, 전방연소실과 후방연소실에 각각 압력 센서를 장착하였고 노즐은 구리로 제작하여 물냉각을 하였다.

실험 조건은 Table. 1과 같으며 실험에 사용한 연료의 그래인은 4 개와 5 개를 갖는 port를 사용하였으며 배열 형상과 축방향 단면 형상을 Fig.1에 나타내었다.



Fig. 1 Multi-port Solid Fuel Configuration

### 2.2 후퇴율

후퇴율 계산은 연소시간동안 연소된 연료의 총 연소량을 측정하여 연료 밀도를 이용해서 체적변화량을 계산한 후 시·공간 평균 후퇴율을 도출하였다. 그리고 single-port와 비교하기 위해 port 당 후퇴율로 multi-port의 후퇴율을 도출하였다.

Table 1. Specification of the combustion test

Oxidizer		Gas Oxygen
Solid Fuel		Poly Ethylene(PE)
Solid fuel density		951kg/m <sup>3</sup>
Combustion time		1~11 sec
Fuel Grain Configuration	Initial Port Diameter(Di)	10 mm
	Outer Diameter(Do)	50 mm
	Grain Length(Li)	200 mm
	Grain Port Number(N)	4, 5

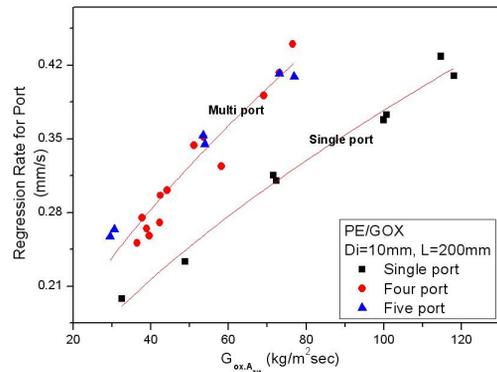


Fig. 2 Regression Rate of Single-Port and Multi Port

Figure 2는 산화제 유속에 따른 4 port와 5 port, single-port의 후퇴율을 나타낸다. Fig 2에서 볼 수 있듯이 4 port와 5 port의 후퇴율은 single-port 보다 높게 나타난다. single-port와 multi-port와의 연소 특성을 비교하기 위해 port 당 산화제 유량에 따른 후퇴율을 비교하였으며 사용한 single-port의 실험 data는 ref. 1의 실험 결과를 참조하였다.

Equation 1, 2는 각각 산화제 질량유속에 대한 single-port의 후퇴율 식과 multi-port의 후퇴율 식을 나타낸다. 두 식의 오차는 5% 미만이다.

$$\dot{r} = 0.02306 G_{o,A_{ave}}^{0.60687} \quad (1)$$

$$\dot{r} = 0.02969 G_{o,A_{ave}}^{0.61133} \quad (2)$$

Port당 동일한 산화제 유량임에도 불구하고 multi-port의 포트 당 후퇴율이 single-port의 후퇴율보다 큰 이유는 다음 두 가지로 설명 될 수 있다. 첫째로, 고체 연료 내로의 전도 열전달량과 저유속 구간에서의 후퇴율에 대한 압력 영향을 들 수 있다. 일반적인 하이브리드 후퇴율식은 화염으로부터 고체연료로의 열전달 중 대류 열전달만 고려하고, 연료 고체내부로 전달되는 전도 열전달과 복사 열전달은 고려하지 않는다.[2] 하지만 Fig. 1의 연료 그레이н 형상을 보면 multi-port의 포트간 간격이 가깝고, 연소가 진행됨에 따라 간격이 점점 근접해지므로 고체 연료 내부로의 전도 열전달은 작아지고 이 차이는 대류 열전달의 증가로 나타난다고 판단된다.

후퇴율 증가의 또 다른 원인으로는 저 산화제 유속의 구간에서, 압력 상승에 따라 증가한 복사 열전달에 의해 후퇴율이 높아지는 것이다.[3,4] 연료의 총 연소량은 포트 갯수의 배수만큼 커지게 되고, 이로 인해 포트당 동일한 산화제 유속에서 multi-port의 압력이 single-port의 압력보다 커지게 된다.

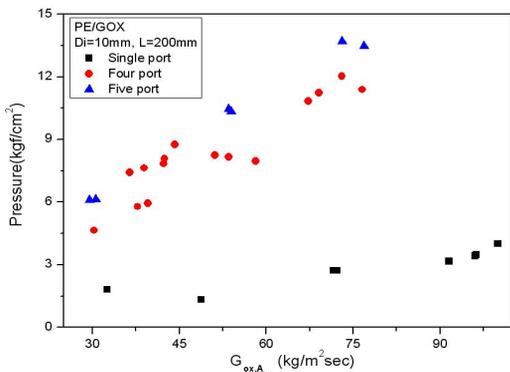


Fig 3. Pressure Effect in Low Mass Flux

Fig. 3에서는  $100 \text{ kg/m}^2 \text{ sec}$  이하의 저 산화제 유속 구간에서, 동일 산화제 유속일 경우 multi-port의 압력이 single-port의 압력보다 높게 나타남을 확인 할 수 있다.

### 23 연소특성

Multi-port 연료는 연소가 진행됨에 따라 각 포트 간 병합이 발생하고, 결국 하나의 포트로 병합 되는 현상이 발생한다. 병합되는 시점에서는 multi-port 그레이ん이 하나의 포트를 갖는 그레이ん의 형상으로 바뀌게 되고 연소 단면적이 급격히 변해 하이브리드 로켓 모터 성능에 영향을 준다. Fig. 4는 4 port 연료에서의 연소 시간에 따른 압력과 추력을 나타낸 것이다. 병합이 되는 시점에서부터 압력과 추력이 급격하게 감소하는 것을 확인 할 수 있다.

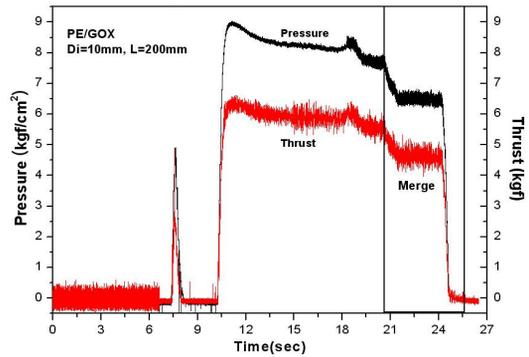


Fig. 4 Pressure and Thrust for 4 Port Grain

Figure 5는 5 port 연료에서의 연소시간에 따른 압력과 추력을 나타낸다. 이 그래프 역시 병합된 뒤에는 압력과 추력이 떨어지는 경향을 나타내고 있다. 그러나 Fig. 5의 압력과 추력의 감소폭은 Fig. 4의 압력과 추력의 감소폭과 비교하면 작게 나타난다.

4 port의 경우는 Fig. 6에서처럼 4 개의 포트 중앙에 위치한 잉여 연료 그레이ん이 떨어져 나가 연소 면적이 급격히 증가하여 압력과 추력이 크게 감소하는 것으로 판단이 된다. 하지만 잉여 그레이ん이 떨어져 나갈 때에는 모터에 영향을 끼치는 진동은 발생하지 않았다.

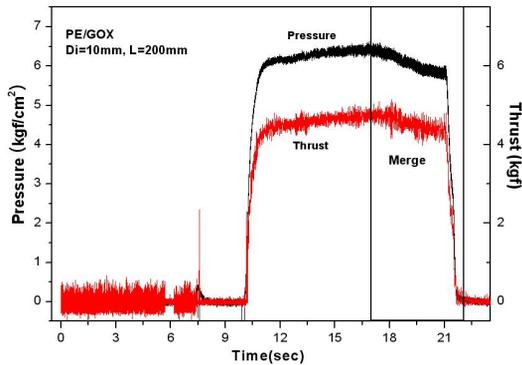


Fig 5 Pressure and Thrust for 5 Port Grain

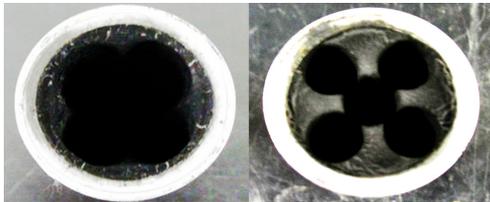


Fig. 6 Multi-Port Solid Fuel Configuration after Combustion

5 port는 포트 간 병합이 된 후에도 Fig. 6과 같이 초기의 형상과 비슷한 모양으로 연소가 되어 4 port의 결과와 달리 5 port 연료는 포트간 병합이 이뤄진 후에도 압력과 추력이 감소가 완만하게 이루어졌다.

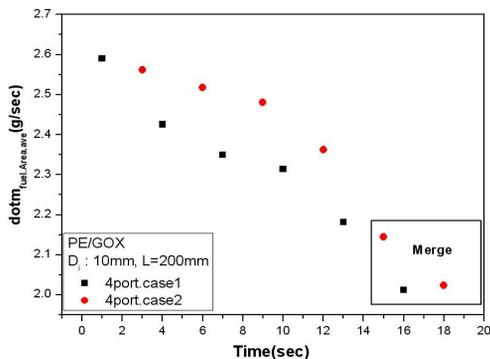


Fig. 7 According a Time Change of  $\dot{m}_{fuel}$

Figure 7은 하나의 4 port 연료를 가지고 연소 시간을 3초로 분할하여 포트간 병합이 될 때가

지 연소 실험을 수행하였고, 연소시간에 따른 고체연료의 연소량을 나타냈다. 연소된 연료량은 연소 시간이 누적됨에 따라 줄어들었고, 포트간 병합이 되는 시점에서 급격하게 줄었음을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 multi-port의 병합 시점에서의 연소 특성 변화에 대한 연구를 수행하였다. 실험 결과 4 port 연료는 병합 시점에서 잉여 그레이인이 떨어져 나가면서 추력과 압력에 급격한 감소가 생겼다. 반면 5 port 연료는 연소 중에 병합은 되지만 4 port와 같이 잉여 그레이인이 떨어져 나가는 것이 없어서 급격한 감소가 생기지 않는다는 것을 확인 하였다.

### 후 기

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

### 참 고 문 헌

1. 이정표, "Single-Port Hybrid Rocket Motor의 물질전달 수를 고려한 고체연료 연소율에 관한 연구", 한국항공대학교 석사학위논문, 2007
2. Marxman, G. A., Wooldridge, C. E., and Muzzy, R. J., "Fundamentals of Hybrid Boundary Layer Combustion", Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 15, AIAA, New York, 1964, pp. 485 - 522
3. Martin Chiaverini, Kenneth K. Kou "Fundamentals of Hybrid Rocket Combustion and Propulsion"
4. 유덕근, "산화제 공급유량과 압력에 따른 하이브리드 로켓 연소 특성에 관한 실험적 연구" 한국항공대학교 석사학위논문, 2004