

# Flame-holder를 장착한 Dump Type Ram-combustor의 연소성능 향상에 관한 연구

이대웅\* · 윤현진\* · 문수연\* · 손창현\* · 이충원\*

## A Study on the Improvement of Combustion Performance in Dump type Ram-combustor Equipped for Flame-holder

D. W. Lee\* · H. J. Youn\* · S. Y. Moon\* · C. H. Sohn\* · C. W. Lee\*

### Abstract

In the experiment of dump type Ram-combustor equipped for flame-holder which is designed for development of combustion performance, temperature of center of exit decreases in the case of short length( $L_c=300\text{mm}$ ) of combustor while does not decrease in the case of  $L_c=500\text{mm}$  and flame still remains under the center of combustor. With V-gutter, temperature distribution of exit becomes uniform. In the case of  $L_c=300\text{mm}$ , combustion efficiency of combustor with V-gutter increases a few but the influence of V-gutter is small.

### 초 록

Dump type Ram-combustor의 성능 개선을 위한 화염 안정화 장치인 V-gutter를 장착하고 그 영향을 파악하기 위한 본 실험에서 V-gutter가 없고, Ram-combustor의 길이가 짧을 경우( $L_c=300\text{mm}$ )에는 출구중앙의 온도가 감소하는 경향이 나타났고 Ram-combustor의 길이가 증가하면( $L_c=500\text{mm}$ ) 중앙에서 온도가 감소되는 현상은 나타나지 않지만 화염은 아직도 Ram-combustor의 아래 부분에 치우쳐있다. V-gutter가 장착된 경우 Ram-combustor 출구의 온도 분포는 훨씬 균일하게 분포되었다. 그리고 Ram-combustor의 길이가 짧을 때( $L_c=300\text{mm}$ ) 연소효율의 경우 V-gutter를 장착한 경우 연소효율은 약간 증가하지만 큰 영향은 없음을 알 수 있다.

### 1. 서 론

램젯엔진은 터보추진기관의 개념이 필요 없는 가장 간단한 형태의 추진기관으로, 그 구조가 산화제인 공기를 대기로부터 직접 흡입하여 고속의 공기유동을 초음속 디퓨저에 의해 감속시켜 압축을 하므로 비행체의 크기와 중량을 줄이고 비행거리를 증대시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.<sup>(1),(2)</sup> 그러나, 램젯엔진의 개발은 그 규모와 시험기술면에서 쉽게 접근할 수 없는 재원과 기술의 장벽이 존재하기 때문에 우리나라의 경우 실험을 통한 연구가 이루어지지 못하고 주로 수치적 유동해석에 의존한 연구가 이루어져

왔으며 그 결과 램젯엔진 연구의 균형 있는 발전이 불가능했다.

따라서 본 연구에서는 램젯엔진 연구의 실험적 접근방법으로서 램젯엔진의 핵심적 요소라 할 수 있는 Ram-combustor의 성능 개선을 위해서 화염 안정화 장치인 V-gutter를 장착하고 그 영향을 실험적으로 연구하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

#### 2.1 실험장치

Fig. 1은 본 실험장치의 전체 개략도를 나타낸 것으로, 실험장치는 공기와 연료를 공급하기

\* 경북대학교 기계공학부(Kyungpook National University, School of Mechanical Eng.)

위한 가스공급부, 실제 램젯의 비행조건과 같은 고온·고속의 공기를 발생시키기 위한 Vitiated Air Heater(VAH), VAH에서 생성된 공기와 kerosine을 이용하여 실제 연소가 이루어지는 Dump type Ramjet combustor 등으로 구성된다.

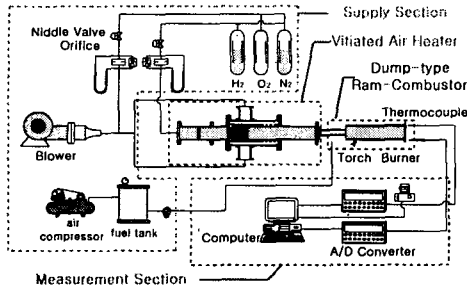


Fig. 1 Experimental apparatus.

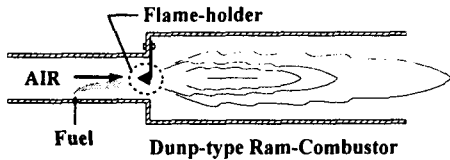


Fig. 2 Details of Ram-combustor and V-gutter.

본 실험에서 사용된 V-gutter는 밑변의 직경이 15mm인 원추 모양을 사용하였다. 또, 연료는 Ram-combustor 앞 100mm지점에서 Plate Fuel Injector를 이용하여 Ram-combustor 하단 벽면에서 분사된다. Fig. 2는 V-gutter가 장착된 Dump type Ram-combustor를 나타낸다.

### 2.2 실험방법 및 범위

본 실험에서 사용된 VAH의 성능은 램젯의 실제 비행 조건과 유사한 속도범위 120m/s, 온도범위 400~800K에서 안정된 Vitiated Air의 공급이 가능하도록 설계되었다.<sup>(3)</sup>

본 연구에서는 화염을 안정화시키기 위한 방법으로 V-gutter를 사용하였다. V-gutter 내부에서 발생하는 wake는 Recirculation zone과 Mixing zone 2개의 영역으로 구분되는데 화염의 안정화는 Mixing zone에서 Cool unburned gas와 Hot burned gas 사이의 열 및 물질전달의 균형에 의해 이루어진다. 본 실험에서 사용된 V-gutter는 Oates, D에 의해 제안된 여러 가지 실험값들과 Residence time에 대한 자료들, 그리고 V-gutter의 형상비에 따른 화염안정화 이론을 바탕으로 하여 결정되었다.<sup>(5)</sup> 이상의

실험조건을 정리하면 Table 1과 다음과 같다.

Table 1. Experimental Condition

VAH	mass flow-rate of air( $m_a$ ) = 0.238 kg/s Temperature of inlet air( $T_o$ ) = 500 K Temperature of inlet air( $V_o$ ) = 120 m/s
Ram	Dia. of combustor inlet( $D_i$ ) = 50 mm Dia. of combustor exit( $D_o$ ) = 100 mm Length of inlet( $L_c$ ) = 300 mm, 500 mm
Fuel Injector	$m_f$ = 2.6, 3.9, 5.2 g/s Dia. of injector tip( $D_f$ ) = 0.92 mm
V-gutter	Wedge half angle( $\alpha$ ) = 30° Aspect Ratio(AR) = 0.125 Dia. of V-gutter( $D_v$ ) = 15 mm

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 분무기구

램젯엔진에서의 연소특성에 영향을 미치는 연료와 공기의 혼합특성은 크게 흡입공기의 유동특성과 연료분사조건에 의해 좌우되는 분무특성, 특히 연료와 주류공기의 운동량비에 의해 결정되는 침투깊이에 의해 영향을 받는다.

Kashiwagi<sup>(6)</sup>는 실험을 통해 고온·고속기류에서의 제트의 침투 깊이를 식(1)과 같이 표현하였다. 그리고 T. Inamura 등은<sup>(7)(7)</sup> 기류의 온도가 높을 수록 연료의 침투깊이가 증가함을 확인하였다.

$$\frac{h}{d} = 1.375 \times 10^{-3} (1 + 203d) a^{0.36} \frac{\rho_j}{\rho_a} \times \ln \left\{ 1 + (1.56 + 480d) \frac{Z_h}{d} \right\} \quad (1)$$

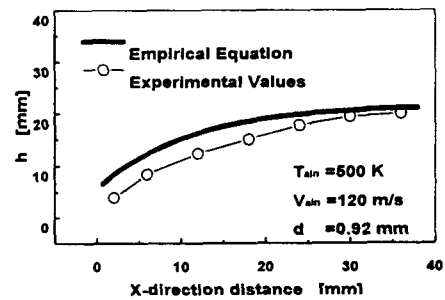


Fig. 3 Comparisons of jet penetration between measurements and equation.

Fig. 3은 식(1)에 의해 제안된 연료의 침투깊

이와 본 실험에서의 분무조건에서 측정된 연료의 침투깊이를 비교한 것이다. 그 결과 전체 Ram-combustor 유입구 직경 50mm 중에서 연료의 침투깊이는 20mm정도에 불과하여 연료가 Ram-combustor 속에서 골고루 혼합되기에는 부족하다. 이러한 현상은 연소시에 화염이 Ram-combustor의 한 방향에 편중되는 결과를 초래한다.

### 3.2 출구 온도분포

본 실험조건인 Ram-combustor에서 연료의 침투깊이는 화염을 안정화시키기에는 충분하지 않다. 그 결과 출구의 온도분포가 Ram-combustor 아래에 편중되어 있는 결과가 나타난다.

Fig. 4는 V-gutter가 없을 때 Ram-combustor 출구에서의 축 방향 온도분포를 보여준다. 실험범위 전 영역에 걸쳐 화염이 아래로 치우쳐있는 까닭에 온도분포 또한 출구의 아래쪽으로 편중되는 현상을 보여준다. 그리고 Ram-combustor의 길이가 짧을 때( $L_c=300\text{mm}$ ) Ram-combustor 중앙의 속도가 크기 때문에 화염을 안정화시키지 못한다. 그 결과 Ram-combustor의 중앙에서 온도가 오히려 감소하는 경향을 나타내는데 이러한 현상은 연료분사량(연료의 침투깊이)이 증가 할 수록 작아진다. 하지만 Ram-combustor의 길이가 길어지면( $L_c=500\text{mm}$ ) 연료의 혼합이 Ramjet combustor의 내부에서 충분히 이루어져 Ram-combustor의 중앙에서 온도가 감소되는 현상은 나타나지 않는다.

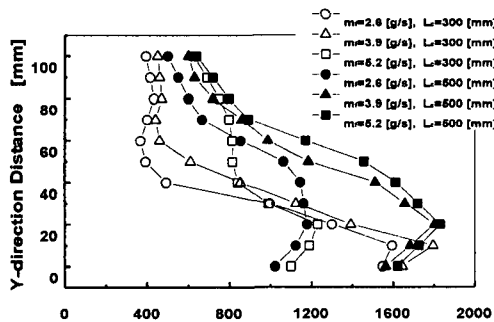


Fig. 4 The Temperature Profile without V-gutter

Fig. 5는 V-gutter가 장착된 Ramjet combustor에서의 출구 온도 분포를 나타낸다.

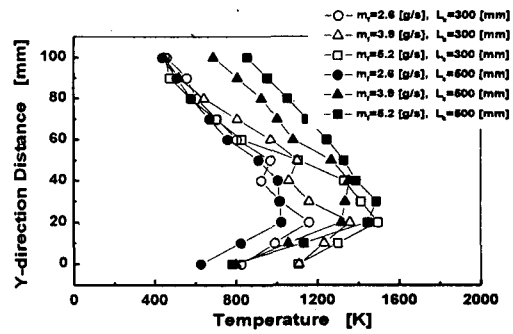


Fig. 5 The Temperature Profile with V-gutter

Ram-combustor의 길이가 짧을 때( $L_c=300\text{mm}$ ) 온도분포는 여전히 Ram-combustor의 아래 부분에 치우쳐 있지만 Ram-combustor의 중앙에 장착된 V-gutter에 의해 형성된 Recirculation Zone의 영향 때문에 V-gutter가 없을 때와 비교하여 훨씬 고른 분포를 나타낸다. 하지만 연료분사량이 적을 때는 Ram-combustor의 중앙 부분에서 여전히 온도가 조금 감소하는 영향을 보여주는데 이러한 현상은 Ram-combustor의 길이가 길어지면( $L_c=500\text{mm}$ ) 연료의 혼합능력이 향상되어 Ram-combustor의 중앙에서 온도가 감소하는 현상은 나타나지 않는다. 즉, V-gutter를 이용하여 연료의 혼합능력을 향상시킬 수 있었다.

### 3.3 Combustion Efficiency

Fig. 6은 당량비에 따른 Ram-combustor의 연소효율을 나타낸다. 이때의 연소 효율은 단일화염온도를 이용하여 정의하였다.<sup>(7)</sup>

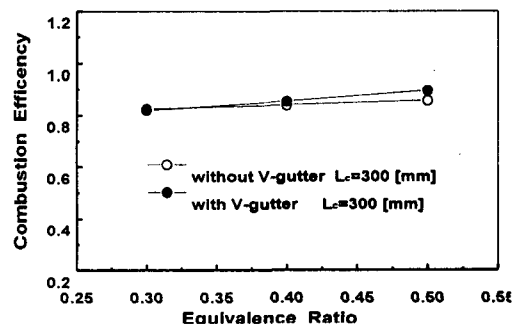


Fig. 6 The Combustion Efficiency vs Equivalence Ratio (at  $L_c=300\text{mm}$ )

Fig. 6에서 Ram-combustor의 길이가 짧을 때( $L_c=300\text{mm}$ ) 연소효율은 V-gutter가 장착되

있을 때 약간 증가되었는데 그 영향은 그다지 크지 않았다. 그 이유는 V-gutter는 화염의 안정화를 위한 장치이며 연소효율의 향상에는 큰 영향을 미치지 않기 때문이다.

#### 4. 결 론

Dump-type Ram-combustor의 성능 개선을 위해서 화염 안정화 장치인 V-gutter를 장착하고 그 영향을 파악하기 위한 본 실험에서 V-gutter가 없는 경우, Ram-combustor의 길이가 짧을 때( $L_c=300\text{mm}$ )에는 Ram-combustor 중앙의 높은 공기유동속도 때문에 중앙의 온도가 감소하는 경향이 나타났고 이러한 경향은 연료 분사량(연료침투깊이)이 증가할수록 줄어들었으며, Ram-combustor의 길이가 증가하면( $L_c=500\text{mm}$ ) 연료의 혼합성능이 증가하여 중앙에서 온도가 감소되는 현상은 나타나지 않지만 연료의 침투깊이가 작은 까닭에 화염은 여전히 Ramjet combustor의 아래 부분에 치우쳐있다. V-gutter가 장착된 경우 Ram-combustor 출구의 온도 분포는 훨씬 균일하게 분포하지만 아직도 Ramjet combustor의 길이가 짧고( $L_c=300\text{mm}$ ), 연료분사량이 작은 경우에는 Ram-combustor 중앙의 온도가 약간 감소하는 현상이 나타났다. 그리고 Ram-combustor의 길이가 짧을 때( $L_c=300\text{mm}$ ) 연소효율의 경우 V-gutter를 장착한 경우 연소효율은 약간 증가하지만 큰 영향은 없었다.

#### 참 고 문 헌

1. Roger Maguet, Charles Ecary, Phillip Cazin, "Studies and Test of Rocket Ramjets for Missile Propulsion" AIAA 79-7037(1979), pp297.
2. Jones, W.R. and Ranslem, G.R., "Firebird Ramjet Propulsion System Development", 8th JANNAF Combustion Meeting, VolIII(1981).
3. 윤현진, 손창현, 이충현, "램젯엔진의 지상시험용 Vitiated Air Heater의 특성에 관한 실험적 연구", 한국 추진 공학회지, 제 3권, 제4호(1999), pp51-57.
4. Murakami 등, "スクラムジェット試験用空気が加熱器" 航空宇宙 技術研究報告書(1986), TR-912.
5. Oates, G. C.. "The Aerothermodynamics of

Aircraft Gas Turbine Engines", AFAPL-TR-78-52, July 1978.

6. Kashiwagi, T, "Study on afterburner of aircraft engine", Ishikawajima-Harima Engineering Review, Vol.31, No.2,(1991) pp.109-114.
7. AGARD (Advisory Group For Aerospace Research &Development) AR-323. pp27.