

## 음향 공진 열 발생에 대한 실험 결과

배종열\* · 서성현\*<sup>†</sup> · 강상훈\*\*

### Experimental Results of Thermoacoustic Resonance Heat Generation

Jong Yeol Bae\* · Seonghyeon Seo\*<sup>†</sup> · Sang Hun Kang\*\*

#### ABSTRACT

An ignitor for the initiation of burning propellants becomes one of the most critical components for the operation of liquid rocket engines. The important phenomenon of the igniter is thermoacoustic resonance. This paper mainly includes experimental results on thermoacoustic resonance phenomenon from distance between nozzle and resonance tube. The ultimate goal is to develop an ignitor capable of multiple ignitions based on research results about the usage of the thermoacoustic resonance phenomenon.

#### 초 록

액체 로켓 엔진을 작동하기 위해서는 추진제 점화를 위한 점화기가 필수적이다. 이 점화기의 중요한 현상은 열 음향 공진이다. 본 논문에서는 주로 열 음향 공진 현상에 대한 노즐과 공진관 사이의 거리에 따른 실험 결과를 다루었다. 이 연구의 최종적인 목적은 이 현상을 이용하여 다중 점화가 가능한 점화기 개발에 있다.

Key Words: Resonance(공진), Heat Generation (열 발생), Ignition(점화), Thermoacoustic(열음향)

#### 1. 서 론

액체 로켓 엔진이 점화를 하기 위해서는 추진제에 점화시켜주는 점화기가 필수적이다. 사용되는 점화기의 종류로는 대표적으로 스파크 토치식과 접촉 발화식 등이 있다. 로켓을 지구의 궤도로 올리기 위해서는 한 번의 점화로는 불가능하다. 따라서 여러 번의 점화가 가능해야만 한

다. 기존의 방식들은 단점들이 노출되었다. 이 연구에서 다룰 현상은 열 음향 공진 현상이다. 이 현상을 이용하여 점화를 위한 열원을 공급하는 장치가 따로 필요하지 않는 점화기 방식을 구현하기 위한 주 현상이다. 따라서 열 음향 공진 현상을 이용하여 안정적인 다중 점화를 가능하도록 한다. 이번 논문에서는 열 음향 공진 현상에 대한 실험적 연구 중 노즐과 공진관 사이의 거리에 따른 실험적 결과 및 추후 실험에서 보완해야 할 사항 등을 다루고 있다.

\* 한밭대학교 기계공학과

\*\* 세종대학교 항공시스템공학과

<sup>†</sup> 교신저자, E-mail: shseo@hanbat.ac.kr

## 2. 실험적 설계

Figure 1는 열 음향 공진 현상을 실험하기 위한 노즐과 공진관의 주요 인자들이다. 이 인자들을 고려하여 실험 장치들을 설계하였다. 초기 설계와 2차 설계는 Table 1과 같다. 또한 노즐과 공진관 사이의 유동의 흐름을 측정하기 위해서 쉘리렌 시스템을 탑재하여 유동의 현상을 초고속 카메라로 촬영하도록 설계를 하였다.[1][2][3]

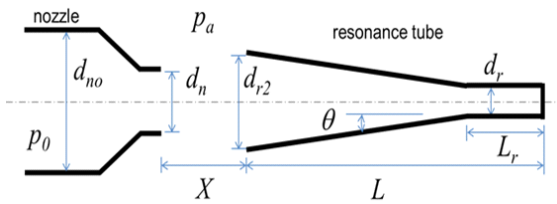


Fig. 1 Main factor of nozzle and resonance tube concerning thermoacoustic resonance

Table 1. Main Factor of nozzle and resonance tube

	1차	2차
$d_{no}$ (mm)	50	50
$d_n$ (mm)	10	5
$L-L_r$ (mm)	67.9	35
$L_r$ (mm)	40	35
$d_r$ (mm)	3	1.5
$d_{r2}$ (mm)	12.5	6.5
$\theta$ (degree)	4	4

## 3. 쉘리렌 시스템

1차 제작품과 2차 제작품의 노즐을 이용하여 유동이 어떤 형상을 형성하고 있는지 쉘리렌 시스템을 이용하여 초고속 카메라로 촬영을 진행하였다. 1차 제작품과 2차 제작품의 노즐 출구 직경은 Table 1과 같다. 실험 조건은 Table 2과 같이 설정을 하였다. 사용 렌즈는 AF MICRO NIKKOR 105 mm를 사용하였다. Fig. 2과 Fig. 3을 비교하여 보았을 때, 노즐 출구 직경이 1/2으로 감소함으로써 노즐 내부의 압력이 약 4배 정

도 상승한 것을 볼 수가 있다. 또한 유동의 형상이 1차 제작품 노즐에 비해 2차 제작품 노즐로 실험한 것이 Mach disk나 Reflected Shock이 더 잘 형성됨을 볼 수가 있었다.[4]

Table 2. Conditions of experiment

	1차	2차
프레임(FPS)	5000	
노즐 출구 직경(mm)	10	5
노즐 가압 압력(barg)	17	
노즐 내부 압력(barg)	2.68	9.49

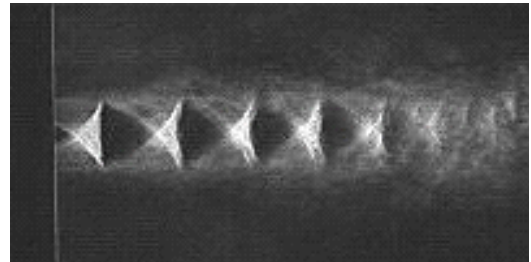


Fig. 2 Picture of supersonic flow from 1st nozzle

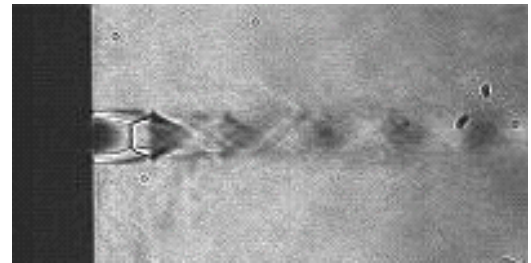


Fig. 3 Picture of supersonic flow from 2nd nozzle

## 4. 실험 결과

2차 제작품으로 실험을 진행하였다. 실험 조건은 다음과 같다. Table 4는 실험 조건을 나타낸 것이고, Table 5는 실험에 대한 결과값을 정리하여 나타낸 것이다. 초기에 3 mm부터 실험을 진행하였으나 온도 상승이 미비하였다. 노즐과 공진관 사이의 거리 약 10 mm정도부터 온도가 본격적으로 상승하기 시작하는 것을 확인할 수가

있다. 또한 거리가 16 mm에서 가장 온도 상승이 높았다. Fig. 4는 노즐이 열리고 닫히는 시간을 계산하여 각거리마다 온도 상승률을 나타낸 것이다. 온도 상승률은 약 36 °C/sec 로 측정되었다.

Table 3. Conditions of experiment

거리(mm)	10~18
노즐 평균 압력(barg)	17
Sampling Rate(Hz)	200
사용 가스	질소
공진관/노즐 직경(mm)	6.5/5

Table 4. Results of experiment

거리(mm)	10	11	12
노즐내부압력(barg)	10.05	9.89	10.08
초기온도(°C)	20.38	19.06	21.57
최대온도(°C)	40.80	55.80	67.12
온도 상승(°C)	20.41	36.74	45.54
거리(mm)	13	14	15
노즐내부압력(barg)	10.01	10.03	9.93
초기온도(°C)	20.63	20.53	20.97
최대온도(°C)	87.25	108.73	114.66
온도 상승(°C)	66.62	88.20	93.68
거리(mm)	16	17	18
노즐내부압력(barg)	10.00	10.04	9.97
초기온도(°C)	22.24	21.07	18.63
최대온도(°C)	131.13	118.52	91.39
온도 상승(°C)	108.89	97.45	72.76

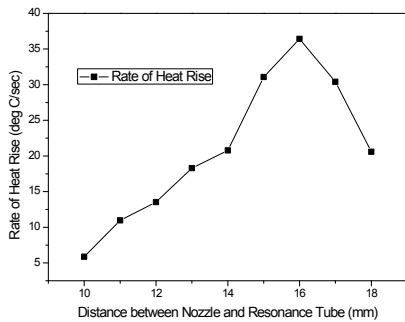


Fig. 4 Rate of Heat Rise from distance

Table 5. Conditions of experiment

거리(mm)	17
노즐 평균 압력(barg)	17
Sampling Rate(Hz)	200
사용 가스	질소
공진관/노즐 직경(mm)	6.5/5

Table 6. Results of experiment

스테인리스 스틸	
거리(mm)	17
노즐 평균 압력(barg)	10.05
초기온도(°C)	18.22
최대온도(°C)	106.18
온도 상승(°C)	87.97
구리합금	
거리(mm)	17
노즐 평균 압력(barg)	10.18
초기온도(°C)	21.37
최대온도(°C)	168.59
온도 상승(°C)	147.22
알루미늄 합금	
거리(mm)	17
노즐 평균 압력(barg)	10.02
초기온도(°C)	21.50
최대온도(°C)	119.11
온도 상승(°C)	97.62

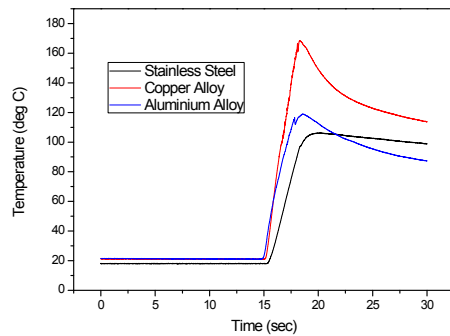


Fig. 5 Temperature of quality of the material

2차 제작품에서 공진관 끝단의 재질을 구리합금과 알루미늄 합금으로 변경하여 실험을 진

행하였다. Table 5는 실험 조건, Table 6는 실험 결과값을 나타낸 것이다. Fig. 5에 그래프에 나타나듯이 구리 합금이 열전도율이 높아 온도 측정이 가장 높게 측정된 것을 볼 수 있다. 즉 공진관 내부의 온도는 측정된 온도보다 높은 상태라고 예상할 수 있다.

### 5. 보완 사항 및 실험 계획

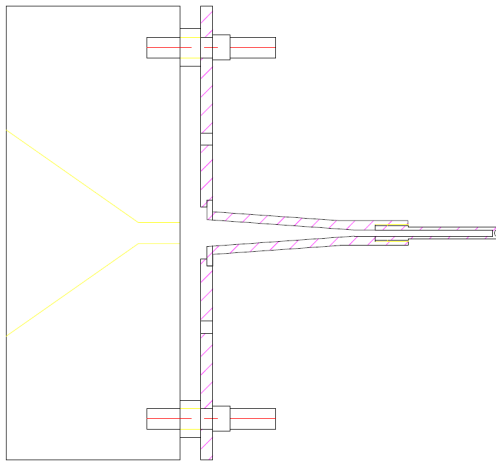


Fig. 6 Composition of experimental equipment

실험 중 공진이 일어나는 경우가 바로 위에 경우이다. 약 1.4 mm 깊이의 직경 12.5 mm 정도의 턱이 생겨야만 공진이 발생하였다. 이는 공진관 입구 직경이 공진이 일어날 정도로 충분하지 않은 경우와 턱이 어떠한 중요한 역할을 하는 경우가 있다고 판단이 되었다. 따라서 이러한 경우를 반영하여 추후 제작품을 통해 이러한 현상을 파악해야한다.

### 6. 맺음말

다중 점화가 가능한 점화기를 개발하기 위해서는 열 음향 공진 현상이 필수적이다. 열 음향 공진 현상에 대한 실험결과로는 공진관의 충분한 온도 상승이 없었다. 또한 열 음향 공진 현상이 일어나는 조건을 확인하는 것과 충분한 열 상승을 위한 제작품 제작이 필요하다.

### 후 기

본 연구는 한국연구재단(미래창조과학부)의 우주핵심기술개발사업(NRF-2015M1A3A3A02013 905)에 의해 지원받았습니다.

### 참 고 문 헌

1. K. Yu. Aref 'ev, A. V. Voronetskii and M. A. Il'chenko, "Dynamic Characteristics of a Resonant Gas-Dynamic System for Ignition of a Fuel Mixture", *Combustion, Explosion, and Shock Waves*, Vol. 49, No. 6, pp. 657 - 661, 2013
2. Przirembel, C.E.G. and Fletcher, L.S., "Aerothermodynamics of a Simple Resonance Tube," *AIAA Journal*, Vol. 15, No. 1, pp. 101-104, 1977.
3. Marchan, A.R., "Small-Scale Supersonic Combustion Chamber with a Gas-Dynamic Ignition System," *Combustion Science and Technology*, Vol. 183, pp. 1236-1265, 2011.
4. Kessaev, K., Vidal, R., and Niwa, M., "Gas Jet Heat Release Inside a Cylindrical Cavity," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 46, No. 10, pp. 1873-1878, 2003.