

## 초음속 유동장에 놓인 공명관의 가열특성 연구

이정민\* · 권민찬\*\* · 신동순\*\*\*

### Study on The heat characteristics of Resonator in Supersonic Flow

LEE JUNGMIN\* · KWON MINCHAN\*\* · SHIN DONGSUN\*\*\*

#### ABSTRACT

This work is experimental study about a nozzle part in the aerodynamic igniter using only compressible gas. In study, constructions of the aerodynamic igniter using a supersonic nozzle and an aerospike nozzle have been introduced, and experimental results(mainly max. heating temperature characteristics) have been presented. Using of the supersonic nozzle leads to faster and higher temperature in same mass flow, and the aerospike nozzle works in wide variable range of pressure.

#### 초 록

에너지원으로써 압축공기만을 사용하는 공기역학 점화기의 주요 구성요소 중 노즐부에 관한 실험 연구로써 노즐로 초음속 노즐과 스파이크 노즐을 사용하여 각각의 구조적인 특성을 소개하고 최대 가열온도를 주요 성능 특성으로 하여 고찰한 실험결과를 나타내고 있다. 초음속 노즐은 기존의 음속 노즐의 사용에 비해 동일한 유량으로 보다 높은 온도에 더 빠르고 도달하며, 스파이크 노즐의 사용을 통해 작동유량의 넓은 변화범위에서도 큰 성능저하 없이 사용할 수 있는 특성을 확인할 수 있다.

Key Words: Aerodynamic Igniter(공기역학 점화기), Resonator(공명관), Aerospike Nozzle(스�파이크 노즐)

#### 1. 서 론

공기역학 점화기는 한쪽 끝이 막힌 공명관 내부로 제트류가 유동하면서 발생하는 충격파와

반사파등이 서로 상호작용을 일으켜 형성된 압력맥동이 관 끝단부에 에너지 축적을 야기하여 열에너지로 변화하는 현상을 이용하여 구현한 점화기라고 할 수 있다.

이러한 현상은 하트만[1]에 의해 1916년 최초로 소개되었는데, 공명관의 형태변화와 같은 구조적인 개선, 다양한 작동유체의 사용등을 통해 연구범위의 확대와 함께, 점점 효율적이며,

\* 정회원, 모스크바항공대 박사과정  
shocknjet@paran.com

\*\* 모스크바항공대 석사과정

\*\*\* 한국항공우주연구원 선임연구원

효과적인 점화장치로 개선되고 있다.

공기역학 또는 열음향 점화기와 같은 새로운 개념의 점화기는 기존의 광범위하게 사용되어 온 전기스파크 형식의 점화기를 특수 분야에서 보완, 대체할 수 있는 장점을 지니고 있다. 전기스파크 형식의 점화기는 탄화수소계열 연료의 연소시 발생하는 카본과 같은 연소생성물로 인해 점화실패도 저하를 유발하며, 극한(極寒) 지역이나 조건하에서 연소가 잘 이루어지지 않는 단점을 지니고 있다. 또한, 로켓엔진의 경우 공기역학 점화기의 사용은 각종 전기적 부속장치로 인한 중량 및 설계시 다른 장치들간의 공간 배치등의 문제를 해결해 주며, 이로 인한 실패도 저하를 예방할 수 있다.

이와 같은 장점에도 불구하고, 미소한 관내부에서 발생하는 기체의 복잡한 유동 현상으로 인해 이론적 규명이 어려워 체계적인 연구에 많은 장애가 있으며, 보다 범용적인 사용을 위한 연구들도 계속적으로 수행되어야 할 것이다. 따라서, 복잡한 유동을 만들어 내는 공급원이기도 한 노즐에 대한 고찰을 통해 미소노즐의 특성과 공명관과의 관계를 순차적으로 고려한 연구가 필요하며, 나아가 공기역학 점화기의 실제 적용시에 보다 유리한 사용특성을 지닌 장치의 개발이 본 연구의 목적이라 할 수 있다.

## 2 본 론

### 2.1 공기역학 점화기

Fig.1과 같이 공기역학 점화기는 노즐과 공명관으로 구성되며, 이 둘 사이를 연결부가 체결하고 있는 구조로 되어 있다. 주요 설계변수로는 노즐출구에서 공명관까지의 거리의 비( $L$ ), 이형공명관(원추형부분과 원통형부분으로 구성된)의 원추형 부분 경사반각( $\theta$ ), 노즐출구직경( $d_n$ )과 공명관입구직경( $d_i$ )의 비율, 이형공명관의 직경비( $d_2/d_1$ )와 효율적인 길이( $x_2$ ) 등이 있다. 그러나 이러한 일반적인 설계변수들 이외에도 노즐의 선택에 따라 다양한 변수를 추가적으로 고려하여야 하는데, 얼마 전까지 연구들에서 음속

노즐만을 주로 이용한 경우와 비교할 때, 초음속 노즐의 사용은 이론적, 실험적 고찰등에서 많은 어려움을 지니고 있다. 노즐의 팽창반각( $\beta$ ) 변화뿐 아니라, 출구직경 또는 팽창부의 길이가 마찰손실등과 함께 고려되어야 하며, 유동의 균일성을 위해 노즐목부분을 어느 정도의 길이로 해야 하는가 등도 고려사항이라 할 수 있다.

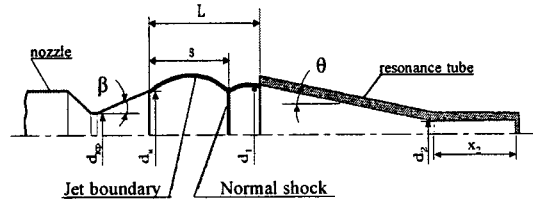


Fig. 1 점화기의 개략도

### 2.2 초음속 노즐

연구에 사용된 주요 초음속 노즐은 노즐목 직경이 3mm의 소형 노즐이며, 이에 따라 가공의 편의를 위해 노즐의 팽창부는 원추형으로 제작하였다. 따라서 노즐내부에 마찰 및 유동 불균일로 인한 손실이 늘어날 것으로 판단된다.

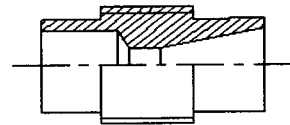


Fig. 2 초음속 노즐

실험을 위해 팽창반각이 8°, 12°, 14°, 20°, 30°인 다양한 노즐출구직경을 갖는 노즐을 제작하였다.

### 2.3 스파이크 노즐

공기역학 점화기로 초음속 노즐의 고려는 동일한 유량을 이용하여 더 많은 압력맥동의 에너지 지원을 확보하려는데 그 목적이 있는데 반하여, 스파이크 노즐의 사용은 초음속 노즐이 갖는 태생적 한계, 즉 노즐의 설계시 정의된 압력하에서만 최적의 성능을 갖게 되는 단점을 보완하여 임의의 작동압력에서도 점화기로서 성능을 유지할 수 있는 장점을 지닌다.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 작동유체는 스파이크 노즐의 원형 간극(h)을 통과하며 팽창하여 중심축면을 따라 충격파가 형성되어 외부압력에 거의 무관한 유동영역을 구성하게 된다.

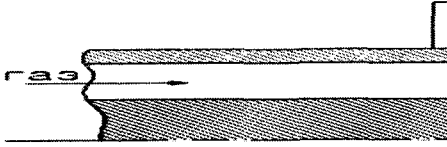


Fig. 3 스파이크 노즐을 이용한 공기역학 점화기

#### 2.4 실험장치 및 실험결과

실험장치의 개략도는 Fig. 4에 도시한 것과 같다. 작동유체로는 압축공기를 사용하였으며, 압축탱크1에 저장되어 있던 공기가 전기적인 신호에 의해 열린 개폐밸브6를 따라 레귤레이터에서 일정한 압력으로 조정되어 실험 모듈13으로 유입된다. 공명관의 가열온도를 측정하기 위해 공명관 끝단에서 3mm후방 표면에 Cr-Al 열전대14를 부착하였으며, 여기서 얻어진 신호는 레코더15에 저장된다. 작동압력( $P_K$ )은 0.3-2.0MPa로 변화시켜 실험을 실시하였으며, 공명관은 입구직경이 8mm인 것이 사용되었다.

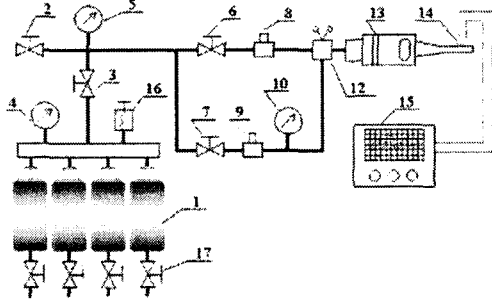


Fig. 4 실험장치 개략도

Fig. 5와 6은 초음속 노즐을 사용한 공기역학 점화기에 각각의 작동압력 1.0과 1.5MPa에서 실험한 결과이며, Fig. 7과 8은 스파이크 노즐을 사용한 결과이다. Fig. 7과 8에서 가로축은 스파이크 노즐의 유동 출구면에서부터 공명관의 입구까지의 거리이다.

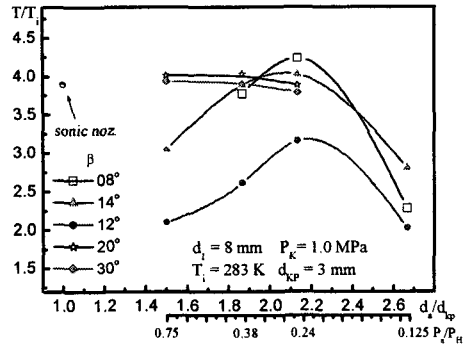


Fig. 5 초음속 노즐의 실험결과( $P_K=1.0\text{MPa}$ )

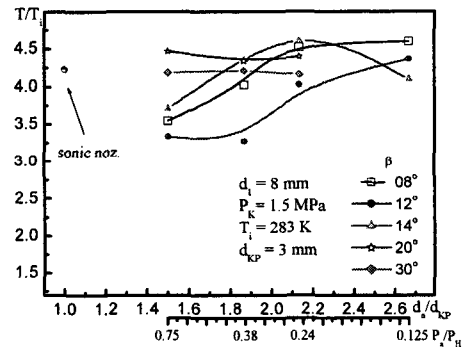


Fig. 6 초음속 노즐의 실험결과( $P_K=1.5\text{MPa}$ )

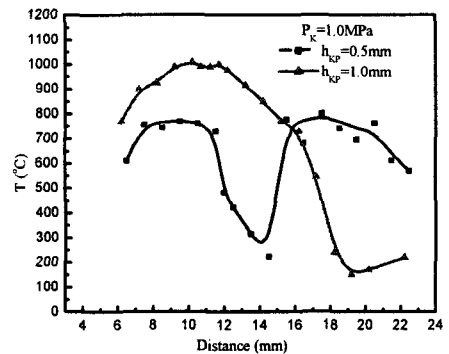


Fig. 7 스파이크노즐의 실험결과( $P_K=1.0\text{MPa}$ )

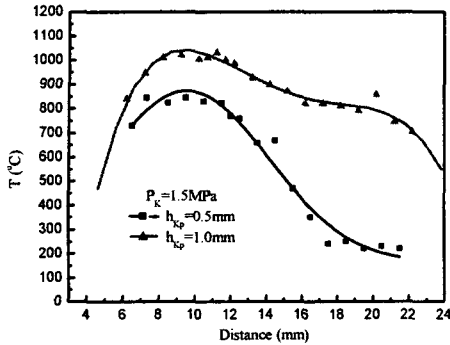
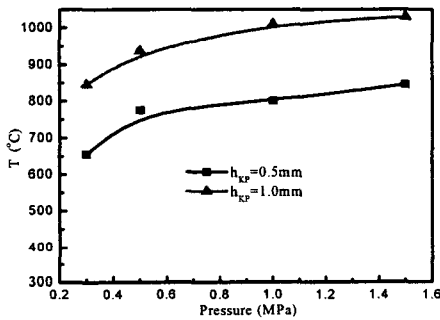


Fig. 8 스파이크노즐의 실험결과( $P_k=1.5\text{MPa}$ )



보는 바와 같이 초음속 노즐을 사용한 일부 경우에서 음속노즐을 사용한 경우보다 높은 가열 온도를 얻었으나, 최대가열온도는 1-2mm 정도의 범위에서 유지되는데 반하여 스파이크 노즐을 사용한 경우 4-5mm의 넓은 범위에 분포하고 있음을 알 수 있다. 이는 실제 장치를 구성하는데 있어서 다소 변화될 수 있는 여러 가지 변수들로부터 보다 자유로운 설정이 가능하다는 것을 보여 주는 것으로써 매우 공명관과 노즐사이의 거리를 조정함에 있어 많은 장점을 제공하게 된다. 또한, Fig. 9는 작동압력을 변화시켜 얻은 최대값을 도시한 것으로 보는 바와 같이 압력의 변화에 크게 영향을 받지 않는 것을 확인할 수 있다.

### 3. 결 론

지금까지 공기역학 점화기의 노즐부로서 초음속 노즐과 스파이크 노즐을 사용한 경우 최대가열 온도변화에 대해 살펴보았다. 초음속 노즐은 음속노즐을 사용한 경우와 비교하여 100K 가까이 높은 가열온도를 보이고 있으며, 스파이크 노즐의 사용은 작동압력의 변화에도 거의 일정한 최대 가열값을 보이고 있고, 노즐과 공명관 사이의 거리도 넓은 영역에서 일정한 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

이러한 향상된 성능의 공기역학 점화기는 보다 여러 가지 특수한 조건과 환경에서 사용가능한 작동특성을 제공하게 되며, 다양한 응용범위에서 사용할 수 있으리라 사료된다.

### 참 고 문 헌

- Hartmann, J., "On the production of acoustic waves by means of an air-jet of a velocity exceeding that of sound", the philosophical magazine, Vol. 11, 1931, pp. 926-948
- Sprenger H. Uder thermische Effekte in Resonanzrohren. Mitteilung aus dem Inst. fur Aerodynamik, ETH, Zurich, 1954, Nr21
- Ivanov I.E., Kryukov I.A. Oscillation mode of flow in gdsdynamic igniter. Mathematical modeling 1999. vol 11. N2.
- Lee Jungmin, Semenov V.V., Ivanov I.E. "Increase of efficiency in gasdynamic igniter for unselfignited fuel", 12th International Conference on computational mechanics and modern applied software systems, 2003, Vladimir, Russia.
- Lee Jungmin, Semenov V.V., Ivanov I.E., Kryukov I.A. "Improvement of effect of gasdynamic igniter for unselfignited fuel", 54th IAC of IAF, 2003, Bremen, Germany.
- Lee Jungmin, Semenov V.V. "Gasdynamic heater", Russian Patent No. 38899, July 10, 2004.