

# 레이저 구동 관내 가속장치 (LITA)의 성능에 대한 연구

김수겸\* · 정인석\*\*

## Performance of Laser-driven In-Tube Accelerator

Sukyum Kim and In-Seuck Jeung

### ABSTRACT

We studied the vertical launch performance of the Laser-driven In-Tube Accelerator (LITA). This device is primarily characterized by accelerating a projectile in a tube. Owing to the confinement effect, the thrust performance is enhanced. The driver gas can be specified and its pressure be turned so that the impulse performance is optimized. In the experiments, a 3.0-gram projectile was vertically launched. The effects of the projectile exit condition, the laser beam incident direction and the driver gas species were experimentally studied

Key Words : Laser, Propulsion, LITA, Impulse

### 1. 서 론

일반적인 레이저 추진에서 물체의 가속은 열린 공간에서 이루어지며 레이저빔은 지상에서 공급된다. 레이저빔을 한점에 집중시킴으로써 그 지점에서의 에너지 밀도가 한계치를 넘어서게 되면 자유전자가 발생하게 된다. 이들 자유전자들은 레이저 빔의 흡수를 더욱 촉진시키고 전자들이 얻은 에너지는 충돌을 통해 주변의 입자들에 전파된다. 이러한 과정을 거쳐서 초점 주위에 플라즈마 코어가 형성되고 이 플라즈마 코어의 급격한 팽창을 통해 블라스트 웨이브가 생성된다. 블라스트 웨이브는 발사체 후면에 고압영역을 생성하고 탄체의 전면과 후면의 압력차에 의해 추력이 발생하게 된다.

1972년 Kantrowitz는 이러한 원리를 최초로 제안하였으며 최근에는 고출력 CO<sub>2</sub> 레이저를 이용해 실제로 물체를 가속시키는 실험들이 여러 곳에서 수행되고 있다.

실용적인 관점에서 지금까지의 레이저 추진들은 다음과 같은 결점들이 있다. (1) 추진 성능이 만족스럽지 못하다. (2) 추적 장치와 자세 제어가 필요하다. (3) 레이저빔에 의한 위험, 소음, 진동 및 공기 오염과 같은 환경문제 등이다.

레이저 관내 가속장치(LITA)는 Sasoh에 의해 처음으로 제안 되었다. 이 장치는 물체를 관내에서 가속시키는 특징을 가지고 있다. 이에 따라 구동기체의 종류와 관내 압력을 원하는 추력 성능에 따라 자유롭게 바꿀 수 있다. 추적 장치와 자세 제어는 필요하지 않으며 레이저빔에 의

\* 서울대학교 기계항공공학부 대학원

\*\* 서울대학교 항공우주공학과

한 위험이나 소음 등은 경감될 수 있다. 이 논문에서는 다양한 조건 하에서의 LITA의 작동 특성에 대해 다루게 될 것이다.

## 2. 본 론

### 2.1 작동원리

LITA의 작동원리는 Fig. 1에 나타나 있다. Fig. 1a는 레이저빔의 전방조사의 경우를 나타내고 있고 Fig. 1b는 후방조사의 경우이다. 탄체는 가속관내에 위치하고 있으며 가속관은 구동기체로 채워져 있다. 레이저빔은 발사체의 앞면 혹은 뒷면으로부터 조사되고 발사체의 뒤면에 초점이 존재한다. 초점 주변에서는 구동기체의 breakdown이 발생하게 되고 이에 따라 blast wave가 발생하게 된다. 레이저빔은 반복적으로 공급되므로 추력도 반복적으로 발생하게 된다.

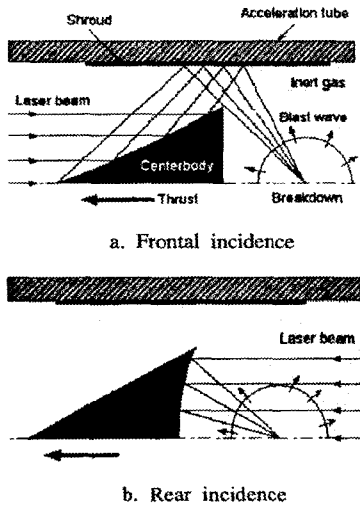


Fig. 1 LITA operation principle and methods of laser beam incidence

### 2.2 실험장치

#### 2.2.1 탄체

전방 및 후방조사를 위한 발사체는 Fig. 2에 나타나 있다. 발사체는 중심의 centerbody와 shroud 그리고 그 둘을 연결하는 세 개의 strut로

이루어져 있다. 재료로는 알루미늄 합금 A7075-T6가 사용되었고 이것은 높은 반사율을 가지고 있다. centerbody의 형태는 7.9mm 후방에 초점이 생기도록 설계되었다. 각각의 질량은 전방조사의 경우 2.1g, 후방조사의 경우 3.0g이다.

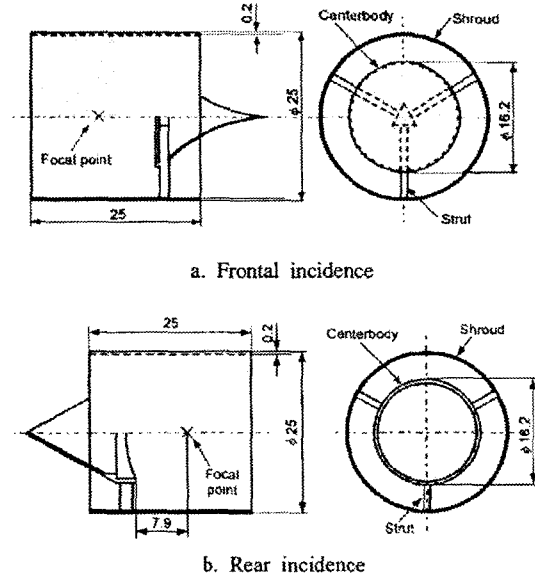


Fig. 2 Projectile

#### 2.1.2 가속관

수직 발사 실험과 벽면 압력 측정 실험에는 고주파수 pulse CO<sub>2</sub> TEA 레이저를 사용되었다. 이 레이저는 최대 5J/pulse의 에너지를 가진 레이저빔을 생성하고 최대 반복 주파수는 100Hz이며 레이저빔의 파장은 10.6μm이다. 에너지 미터(Gentic ED-500LIR)로 측정한 실제로 실험에 사용되는 에너지의 범위는 대략 2.4J/pulse에서 2.9J/pulse이다.

Fig. 3은 가속관의 형태를 보여주고 있다. 레이저빔은 레이저에서부터 수평으로 실험 장치로 공급되고 평면 물리브덴 거울을 통해 수직으로 가속관내로 입사된다. 가속관은 아크릴로 제작되었으며 내경은 25.2mm에서 25.4mm이고 길이는 0.5m 또는 1.0m이다. 가속관의 끝은 NaCl로 만든 두께 약 5mm의 window로 밀폐되어 있고 다른 한쪽 끝은 금속 플랜지로 밀폐되어 있다. 압력측정을 위한 압력계는 발사체의 초기

위치의 아래쪽에 위치하고 있다.

압력측정 장치의 자세한 모양은 Fig. 4와 같다. 압력계는 알루미늄 관에 고정되어 있고 알루미늄 관의 내경은 24.6mm로써 발사체의 외경인 25mm보다 작게 되도록 설계되어 있다. 압력계는 레이저빔의 초점보다 15.7mm아래에 설치되어 있고 압력측정 실험은 후방조사에서 한 번의 레이저 펄스의 경우만을 수행하였다.

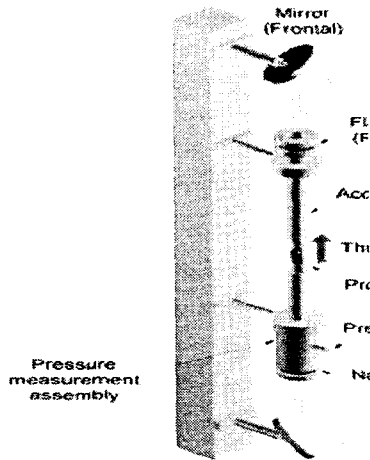


Fig. 3 Acceleration tube assembly for frontal incidence operation

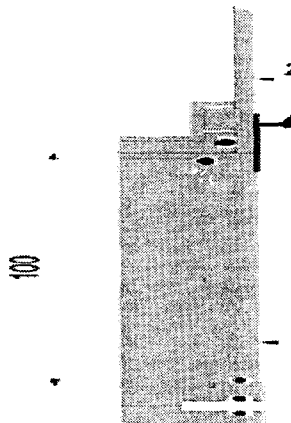


Fig. 4 Pressure measurement assembly, lengths ara in mm

### 3. 결과

#### 3.1 모멘텀 결합계수

추력성능을 나타내기 위해서 모멘텀 결합계수 (Momentum coupling coefficient)를 정의하였다. 이는 발사체에 입사되는 레이저 파워와 추력의 관계를 나타낸 것으로 본 연구에서 추력은 호버링 조건에서 결정될 수 있고 식은 다음과 같이 변환된다.

$$C_m = \frac{mg}{(f \times E)_{hover}}$$

#### 3.2 분자량에 따른 효과

##### 3.1.1 수직발사 실험

구동기체의 효과를 알아보기 위해 수직발사 실험을 수행하였다. 실험에는 Ar, Kr, Xe가 사용되었다. Fig. 5는 관내압력 100kPa에서의  $C_m$ 과 음속간의 관계를 보여주고 있다. 여기서 음속은 각 구동기체의 음속을 나타낸다. Fig. 5에서  $C_m$ 은 음속에 거의 반비례하는 것을 확인할 수 있다.

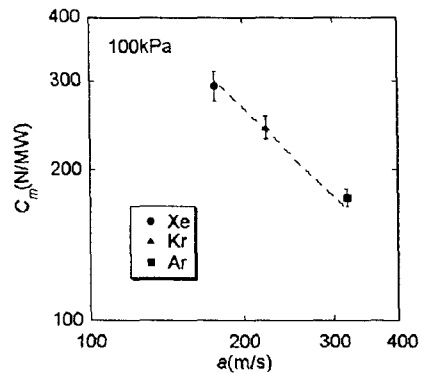


Fig. 5  $C_m$  vs. a

##### 3.1.2 압력측정 실험

압력측정 실험은 Fig. 4와 같은 장치를 이용해 수행되었다. 본 연구에서 관내압력은 100kPa로 설정하였고 레이저빔은 발사체의 후방으로부터 조사되었다. Fig. 6은 압력의 시간에 따른 변화를 보여주고 있다. Fig. 6에서 압력 변화는 블라스트 웨이브가 벽면 및 발사체에 반사되는 영

향에 의해 매우 복잡하게 나타나고 있지만 Fig. 7에서 확인할 수 있는 바와 같이 시간축에 음속을 곱하게 되면 waveform이 거의 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다.

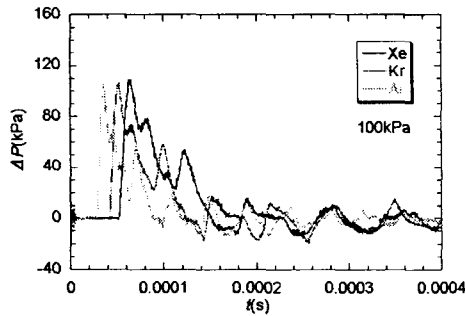


Figure 6. Overpressure history, measured on acceleration tube wall

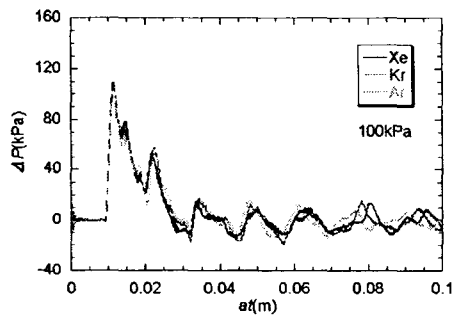


Figure 7. Overpressure history on the scaled time coordinate

Fig. 8은 지속시간  $\tau$ 와 음속의 관계를 나타내고 있다. 여기서  $\tau$ 는 압력값이 양의 값을 유지하는 부분까지의 시간을 의미한다. 점선은 반비례 관계를 의미하고 그림에서 나타나는 것처럼 거의 일치하고 있는 것을 알 수 있다. 이것은 압력값은 화학종과는 무관하고, 지속시간에 의존하며 지속시간은 음속시간에 반비례한다는 것을 나타낸다. 그러므로 추력은 음속에 반비례함을 알 수 있다.

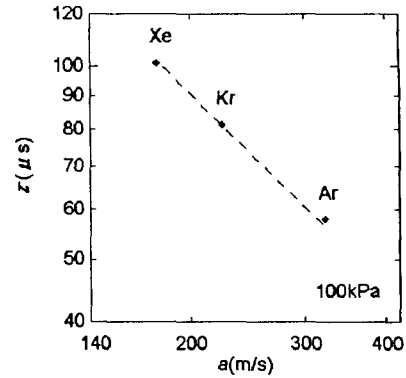


Figure 8.  $\tau$  vs.  $a$ , broken line;  $\tau \sim 1/a$

#### 4. 결론

서로 다른 구동기체에 따른 LITA의 추력성능을 실험적으로 분석하였다. 이를 통해  $C_m$ 은 음속에 거의 반비례하고, 압력측정을 통해 압력값은 음속과는 무관하며 힘이 가해지는 시간은 음속에 반비례함을 알 수 있다.

#### 참고문헌

1. A. Kantrowitz, "Propulsion to Orbit by Ground-Based Lasers", *Astronautics and Aeronautics*: Vol.10, pp.74-76, 1972.
2. L.N. Myrabo, D.G. Messitt, and F.B. Mead Jr., "Ground and Flight Tests of a Laser Propelled Vehicle", *AIAA paper*: pp.98-1001, 1998.
3. A. Sasoh, "Laser-driven in tube accelerator", *REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS*: Vol. 72, No.3, 1893-1898, 2001.
4. A. Sasoh, N. Urabe, and S. Kim, "Laser-Driven In-Tube Accelerator Operation Using Monoatomic Gases", *AIAA paper*: pp.2002-2201, 2002.
5. A. Sasoh, N. Urabe, S. Kim, and I-S. Jeung, "Impulse scaling in laser-driven in-tube accelerator", *Applied Physics A*: 77, pp349-352.