

# 지상시험 모델용 달착륙선 플룸 해석을 통한 추력기간의 간섭 효과 분석

최지용\*† · 이재원\* · 김수겸\*\* · 한조영\*\* · 유명종\*\*

## Analysis of Plume Impingement Effect of Lunar Lander

Jiyong Choi\*† · Jaewon Lee\* · Sukyum Kim\*\* · Choyoung Han\*\* · Myoungjong Yu\*\*

### ABSTRACT

Two types of thrusters(Descent Control Thruster (DCT) for reducing landing speed and Attitude Control Thruster (ACT) for attitude control) are mounted on the propulsion system of Ground test model lunar lander. In this paper, plume impingement effect and ground effect between DCT Modules are analyzed using numerical method when the impact occurred close to the ground.

### 초 록

지상시험 모델용 달착륙선에 사용되는 추진시스템은 기체의 착륙 속도를 감소시키기 위한 Descent Control Thruster (DCT) 와 착륙 과정에서의 자세제어를 위한 Attitude Control Thruster (ACT) 등 두 종류의 추력기 모듈이 장착 되어 있다. 본 논문에서는 수치해석을 이용하여 착륙선의 특성상 좁은 공간에서 배치된 DCT 간에 발생 될 수 있는 플룸의 간섭 효과에 의한 영향과 지면에 근접 할 경우 발생 될 수 있는 영향에 대해 분석 하였다.

Key Words: Descent Control Thruster (DCT), Attitude Control Thruster (ACT), Plume Impingement, Lunar Lander(달착륙선)

### 1. 서 론

일반적인 인공위성 추진 시스템은 위성에서 발사체가 분리된 후 임무궤도에 정착하기 위한 추력을 제공하고 임무 궤도에서 위성의 자세 제어를 위한 추력을 제공하는 역할을 목적으로 한다. 달착륙선에 사용되는 추진시스템의 경우는

지구 주위를 도는 인공위성과 달리 달에 진입하기 위한 궤도 조정과 착륙선의 안전한 착륙을 위해 자세 제어 및 착륙 속도 감소를 주목적으로 한다. 이러한 추진시스템의 구성은 기체의 목적 및 질량에 따라 필요한 추력기 모듈의 조합 및 개수, 추력의 크기 등이 결정된다. 달 착륙선의 경우는 달궤도 진입과 착륙방식에 따라 필요한 추진제 양이 크게 변할 수 있기 때문에 달착륙선의 임무요구조건에 부합하는 최적의 추진제를 선정하고 구성하기 위해서는 착륙선의 중량,

\* (주)한화 대전사업장

\*\* 한국항공우주연구원 위성시험실

† 교신저자, E-mail: jondow@hanwha.co.kr

발사체 성능, 달궤도 진입방식, 국내 관련 기술 수준, 작동 신뢰성 등과 같은 다양한 요구조건을 추가적으로 고려되어야 한다.

현재 지상시험을 목적으로 제작되고 있는 달 착륙선의 경우 총 질량이 약 100Kg 이며, 이를 띄우기 위한 추진시스템은 기체의 착륙 속도를 감소시키기 위한 Descent Control Thruster (DCT) 와 착륙 과정에서의 자세제어를 위한 Attitude Control Thruster (ACT) 등 두 종류의 추력기 모듈로 구성되어 있다. 상대적으로 좁은 공간안에 두종류의 추진 모듈이 장착되어야 하기 때문에 추력기간 플룸의 간섭현상의 발생이 예측 된다. 이러한 간섭 현상은 플랫폼에 부착된 모듈 및 관측기기 등에 열적 문제를 야기할 수 있다. 추진 시스템에서 플룸의 해석인 필요한 이유는 크게 두가지로 요약할 수 있는데 (1) 플룸으로 인한 지면효과(Ground Effect)의 영향과 (2) 추력기간의 간섭 현상으로 인한 영향 등을 파악하기 위해서 이다. Frampton과 Oittinen[1] 등은 CFD 시뮬레이션을 통해 플룸의 간섭 현상을 분석 하였으며, Marichalar과 Prisbell[2], Lumpkin[3] 등은 CFD/DSMC(Direct Simulation Monte Carlo) 시뮬레이션을 통해 달표면에서의 지면 효과에 대한 분석을 수행하였다.

본 논문에서는 지상시험 모델용 달착륙선의 추진시스템의 플룸 간섭 효과와 지면효과를 CFD 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

## 2. 추진 시스템 개요

### 2.1 추진 시스템의 구성

지상시험 모델용 달착륙선에서는 100kg 의 기체를 들어 올리기 위해 5개의 지상 추력 200N급 DCT 와 자세 제어를 위한 8개의 지상 추력 3N 급의 ACT 추력기가 장착되어 있다. Fig. 1은 이를 바탕으로 추진 시스템의 Schematic 작성한 것이며, Fig. 2는 현재 설계된 3D 모델링 모습이다. DCT 와 ACT 모두 플랫폼 아래쪽에 모여있는 구성으로 되어 있으며 상대적으로 좁은 공간 아래 장착되기 때문에 플룸 간섭현상에 대한 분

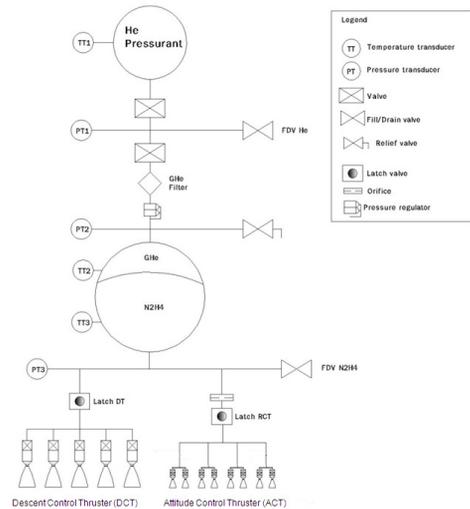


Fig. 1 추진 시스템 Schematic

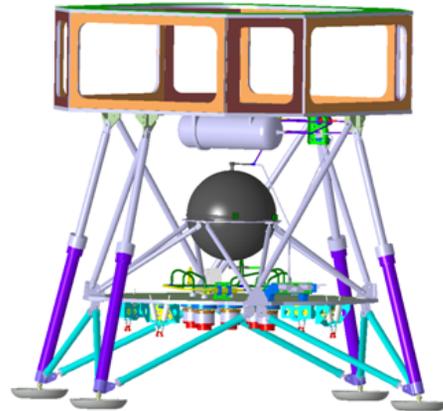


Fig. 2 추진 시스템 모델링

석 필요하다.

### 2.2 추력기의 배열

Figure 3과 Fig. 4는 플랫폼 하단에 배치된 DCT 와 ACT의 배열을 나타내고 있다. DCT 의 경우 가운데 장착된 추력기를 기준으로 각 추력기 사이에 200mm 거리를 두고 배치되어 있다. ACT의 경우는 플랫폼 중심에서 DCT와 같은 라인에 각 두 조씩 550mm의 거리를 두고 배열되

며 x축을 기준으로 15도 기울어져 장착되었다.

본 논문에서는 플럼 간섭 현상의 분석 과정으로 DCT의해 발생하는 영향에 대해서 CFD 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

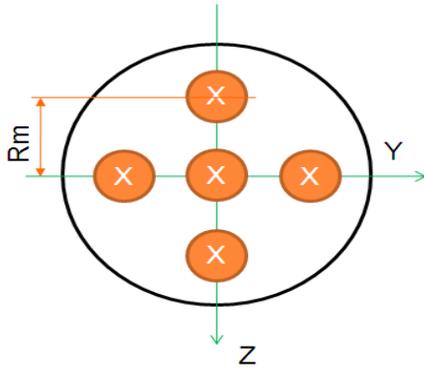


Fig. 3 Descent control thruster(DCT) location (Rm=0.2m)

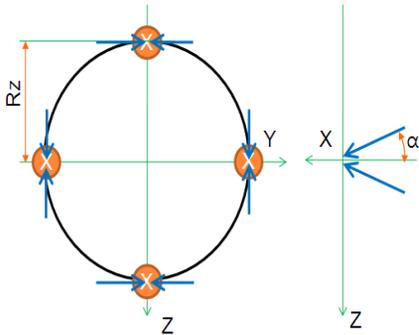


Fig. 4 Attitude control thruster(DCT) location (Rz=0.55m,  $\alpha=15^\circ$ )

### 3. 해석 결과

#### 3.1 해석 조건

해석 모델은 최초 설계된 진공 추력 200N 추력기를 기준으로 모델링을 하였으며, 상용코드인 Fluent를 이용하여 해석 하였다. 구성된 격자계는 Fig. 5와 같으며 총 92000개의 hexa 메쉬가 사용되었으며 Symmetric 조건을 사용한 2D 해석을 수행하였다.

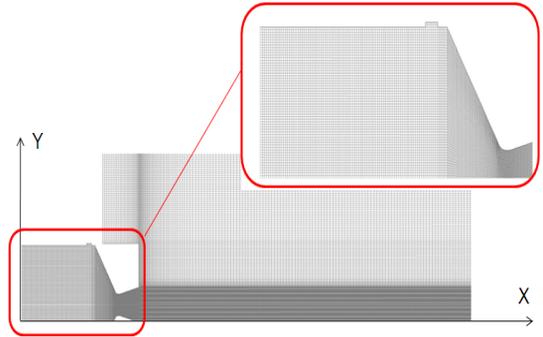


Fig. 5 Grid System

착륙시 환경을 모사할 위한 지면 효과 분석을 위해 노즐 끝단에서 거리에 따라 Table 1 과 같이 케이스를 정의 하였다.

Table 1. Test case

TEST No.	Chamber P. [psia]	지상부터 노즐까지의 거리(cm)
SIM_1	201	$\infty$
SIM_2	201	60
SIM_3	201	30

#### 3.2 해석 결과

Figure 6은 각 케이스별 마하수 분포를 나타낸다. 지면에서 충분히 멀리 떨어진 경우에 비해 지면에 가까워 질수록 플룸의 폭이 줄어들고 있으며 지면에 도달한 플룸이 외부로 빠지지 못하고 주변 추력기에서 발생된 플룸에 의해 착륙선 쪽으로 상승되어 지고 있는 것을 확인 할 수 있다. 지면에서 30cm 떨어진 경우에는 더욱 강한 상승기류가 발생되어 지고 있는 것을 확인 할 수 있다.

Table 2 는 각 케이스별 결과를 나타내고 있다. 결과를 살펴보면 지면에서 30cm 떨어진 경우 추력이 상대적으로 감소하는 현상을 나타내었다. 이는 노즐 출구쪽의 플룸이 갇히게 되면서 대기압보다 높은 압력의 분포가 형성되기 때문에 추력 감소 현상이 발생하는 것으로 파악된다.

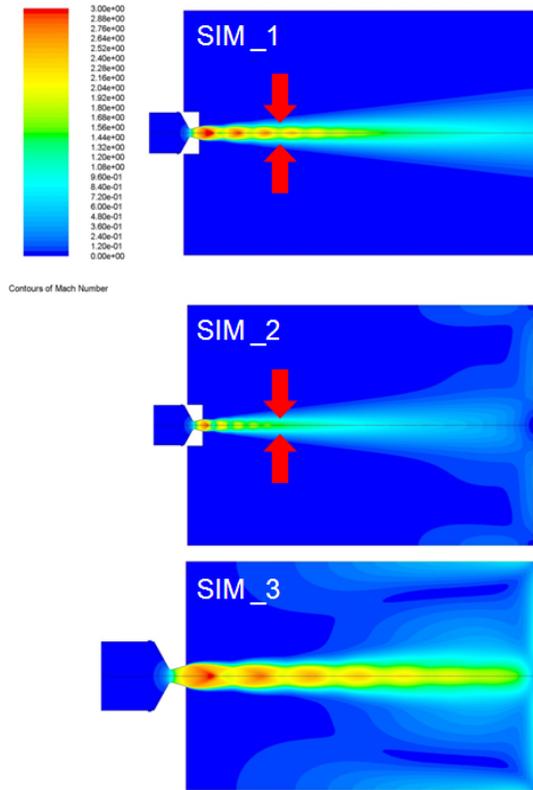


Fig. 6 Contour of Mach Number

Table 2. Result of each case

TEST No.	Chamber P. [psia]	Flow Rate [g/s]	Thrust [N]
SIM_1	201	104	157.2
SIM_2	201	102	152.7
SIM_3	201	101	147.8

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 지면에서 충분히 떨어진 경우 DCT 추력기 간의 플룸 간섭 현상은 크게 발생되지 않는 것으로 확인 되었다. 그러나 지면에 가까워 질수록 플룸이 착륙선쪽으로 상승 기류가 발생되며 이로 인해 추력 감소 현상도 발생하는 것을 확인 하였다.

향후 3D 해석 및 Transient 해석을 통해 좀더 상세한 간섭 현상을 분석할 예정이며 이를 바탕으로 최적화된 DCT와 ACT의 배열을 구성하는데 자료로 활용 될 수 있을 것으로 기대 된다.

#### 참 고 문 헌

1. Robert Frampton<sup>1</sup>, Karl Oittinen, James M. Ball, Abdollah Khodadoust, David Kirshman, Garry Grayson, Pichuraman Sundaram "Planetary Lander Dynamic Model for GN&C," AIAA 2009
2. J. Marichalar, A. Prisbell, F. Lumpkin, G. LeBeau "Study of Plume Impingement Effects in the Lunar Lander Environment" AIP Conf. Proc. May 20, 2011, Volume 1333, pp.589-594
3. Forrest Lumpkin "Plume Impingement to the Lunar Surface: A Challenging Problem for DSMC" presented at the Direct Simulation Monte Carlo, Theory, Methods, and Applications Conference, Santa Fe, NM, 30 Sept, 3 October 2007