

한국형발사체 경량화를 통한 궤도 투입성능 예측

김혜성* · 양성민* · 오세종* · 최정열*†

Estimation of Orbit Injection Performance with Weight Lightening of KSLV-II

Hye-Sung Kim* · Seong-Min Yang* · Se-Jong Oh* · Jeong-Yeol Choi*†

ABSTRACT

A trajectory analysis program was developed using a 3 DOF model to analyze KSLV-II performance with the reducing weight. The program estimates the injection performance on the SSO orbit, which is determined as payload weight for the orbit, with various vehicle structural ratios. The KSLV-II can transport 2.58 ton to the target orbit with a reduced structural ratio similar to the Angara rockets.

초 록

발사체 경량화에 따른 한국형발사체 발사성능 해석을 위해 3 자유도 모델을 이용한 궤적계산 프로그램을 작성하였다. 이를 이용하여 단 별 구조비 감소에 따른 태양동기궤도 투입성능을 추정하였으며, 성능 지표는 투입 가능한 탑재체 무게를 기준으로 하였다. 구조비를 Angara 로켓과 유사한 수준까지 경량화 할 경우 목표 궤도에 2.58 ton을 투입할 수 있을 것으로 보인다.

Key Words: KSLV-II(한국형발사체), Structural Ratio(구조비), Trajectory Analysis(궤적해석)

1. 서 론

우주개발 중장기계획에 따르면 국내에서 2040년까지 Korea Space Launch Vehicle (이하 KSLV) - II, III, IV를 개발하여, 저궤도에서 정지궤도까지 다양한 목적의 발사를 계획하고 있다. 발사체 상업시장에서 대한민국의 경쟁력을 위해 경량화로 성능 개선이 필요하기에, 본 연구에서는 구조비에 따른 궤도 투입성능을 예측하였다.

2. 궤적 계산방법

본 궤적계산에 사용한 프로그램에서는 3 자유도 모델을 적용하여, 5가지 변수(비행경로각, 속도, 위도, 경도, 방위각)에 대해 RK 4차로 수치적분하였다. Eqs. (1)-(5) 미분방정식은 이전의 문헌[1]에 자세히 소개한 적이 있으며, 발사장 조건과 지구자전효과, 원심력 등을 고려하였다.

$$\frac{d\gamma}{dt} = \left\{ \frac{T \sin \alpha + L}{m} + \left(\frac{v^2}{R_E + H} - \frac{\mu_E}{(R_E + H)^2} \right) \cos \gamma \right. \\ \left. + (R_E + H) \omega_E^2 (\cos \gamma \cos^2 \lambda + \sin \gamma \sin \lambda \cos \lambda \cos \chi) \right. \\ \left. + 2\omega_E v \cos \lambda \sin \chi \right\} / v \quad (1)$$

* 부산대학교 항공우주공학과

† 교신저자, E-mail: aérochoi@pusan.ac.kr

$$\frac{dv}{dt} = \frac{T \cos \alpha \cos \beta - D}{m} - \frac{\mu_E}{(R_E + H)^2} \sin \gamma \quad (2)$$

$$+ (R_E + H) w_E^2 (\sin \gamma \cos^2 \lambda - \cos \gamma \sin \lambda \cos \lambda \cos \chi)$$

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{v \cos \gamma \cos \chi}{R_E + H} \quad (3)$$

$$\frac{dA}{dt} = \frac{v \cos \gamma \sin \chi}{(R_E + H) \cos \lambda} \quad (4)$$

$$\frac{d\chi}{dt} = \left\{ \frac{T \cos \alpha \sin \beta}{m} + \frac{v^2}{R_E + H} \cos^2 \gamma \tan \lambda \sin \chi \right. \quad (5)$$

$$+ (R_E + H) w_E^2 \sin \lambda \cos \lambda \cos \chi$$

$$\left. + 2w_E v (\cos \gamma \sin \lambda - \sin \gamma \cos \lambda \cos \chi) \right\} / (v \cos \gamma)$$

프로그램 검증을 위해 항공우주연구원에서 제시한 KSLV-II 임무(KARI)[1]와 본 프로그램 계산결과(PNU 2016)를 비교하였다. 고도 700 km, 경사각 98.1°에 1.5톤을 정확히 수송하며, 진행 양상차이는 추력방향조절에 의한 것으로 보인다.

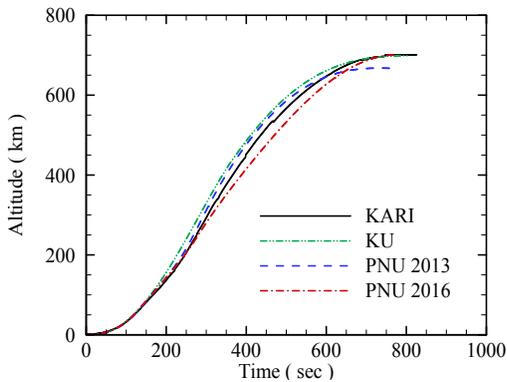


Fig. 1 Comparison of altitude for KSLV-II

3. 계산결과

외나로도에서 경량화 된 KSLV-II를 발사하여 목표 궤도인 고도 700 km에 투입 가능한 탑재 중량을 예측해보았다. 경량화 지표는 발사체 각 단의 구조비 감소로 설정하였으며, Angara A5 수준의 30% 및 40%까지 입력 값을 구성하였다. 구조비에 따른 궤적계산 결과, 30% 감소 시 2.58 ton 및 40% 감소 시 3.01 ton으로 각각 72% 및

2배 가량 향상된 투입성능을 도출하였다.

Table 1. Payload of KSLV-II with reducing weight.

lighting	0%	10%	20%	30%	40%
$\epsilon_{s,1st}$ (%)	10.41	9.37	8.33	7.29	6.25
$\epsilon_{s,2nd}$ (%)	12.65	11.38	10.12	8.85	7.59
$\epsilon_{s,3rd}$ (%)	14.29	12.86	11.43	10.00	8.57
m_{pay} (ton)	1.50	1.85	2.22	2.58	3.01

4. 결 론

본 연구에서는 3 자유도 궤적계산 프로그램을 작성하여 KSLV-II 경량화에 따른 투입성능을 계산하였다. Angara 수준까지 구조비를 낮출 경우 현 대비 72% 무거운 탑재체를 수송할 수 있다.

후 기

본 연구는 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단 선도연구센터지원사업(NRF-2013R1A5A1073861)에 의한 서울대학교 “차세대 우주 추진 연구센터” 및 우주핵심기술개발사업(2013M1A3A3A02042430)의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. M. Hong, S.-M. Yang, H.-S. Kim, Y. Yoon and J.-Y. Choi, “Comparison of the Mission Performance of Korean GEO Launch Vehicles for Several Propulsion Options,” *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 21, No. 2, pp. 60-71, Apr. 2017.
2. W.R. Roh, S.B. Cho, B.C. Sun, K.S. Choi, D.W. Jung, C.S. Park, J.S. Oh and T.H. Park, “Mission and System Design Status of Korea Space Launch Vehicle-II succeeding Naro Launch Vehicle,” *Proceedings of the KSAS Fall Conference*, pp. 233-239, Nov. 2012.