

## 한국형 초소형위성 발사관 기술고도화 - I : 위상최적화 설계와 적층제조

탁경모<sup>1\*</sup>, 박현주<sup>1</sup>, 차원호<sup>2</sup>  
스페이스베이(주)<sup>1</sup>, KAIST 인공위성연구소<sup>2</sup>

### Advanced Technology of Korean NanoSatellite Dispenser - I : Topology Optimization and Additive Manufacturing

Gyungmo Tahk<sup>1\*</sup>, Hyeonju Park<sup>1</sup>, Wonho Cha<sup>2</sup>

**Key Words :** 초소형위성(NanoSatellite), 큐브위성(CubeSat), 발사관(Dispenser), 모듈러 디자인(Modular Design), 위상최적화(Topology Optimization), 적층제조(Additive Manufacturing)

#### 서론

초소형위성 발사관은 다수의 큐브위성을 우주발사체에 탑재하고 분리하는 목적으로 사용된다. 2018년에 스페이스베이(주)와 KAIST 인공위성연구소 공동으로 발사관 국산화 개발을 시작하여 3U 발사관 시제품 개발을 완료하였으며,<sup>[1]</sup> 2020년부터 발사관 기술고도화를 목표로 6U 발사관 개발, 경량화 설계기술, 비폭발식 분리기술, 진동 및 각속도 저감기술을 개발하고 있다. 특히, 발사관에 적용된 위성 진동 및 각속도 저감 기술에 대한 한국과 미국 특허권을 확보하여 2010년대 들어서 미국과 유럽 기업들을 중심으로 집중적으로 개발되고 있는 유사기술과 특허를 회피함으로써 국내에서 자력으로 한국형 발사관 기술을 개발할 수 있는 토대를 마련하였다.

본 논문에서는 3U 발사관 국산화 개발 이후에 진행된 기술고도화 내용 중 위상최적화에 의한 경량화 설계와 금속적층제조 결과를 소개한다.

#### 위상 최적화 설계

Fig. 1은 2020년에 시제품으로 개발된 3U 발사관을 나타내며, 발사관은 캐니스터(Canister), 킥스프링(Kick Spring), 킥 플레이트(Kick Plate), 레일(Rail)과 위성고정장치, 도어(Door)로 구성된다.<sup>[1]</sup> 발사관 기술고도화에서는 Table 1과 같은 새로운 기술을 적용하여 발사관의 무게와 부품수를 줄이고 강성을 최적화하였다. 특히, 모듈러 디자인을 통하여 6U 발사관의 개발기간과 비용을 50%이상 줄이는 효과를 얻었다.

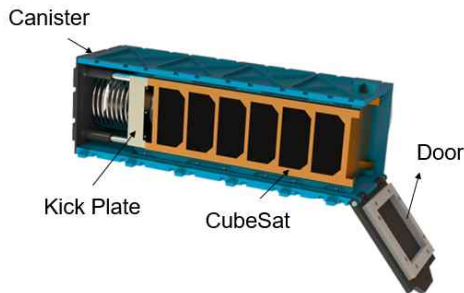


Fig. 1. 3U CubeSat Dispenser (2020)

Table 1. Advanced Design Strategies

설계기술	효과
위상최적화	무게 감소, 강성 최적화
모듈러 디자인	부품수 및 개발비 감소
초경량 복합소재	무게 감소, 비강성 증가
구속형 킥 매커니즘	위성 각속도 최소화

위상최적화는 전체 구조의 위상을 변화시켜 주어진 제한조건을 만족하면서 목표값이 최대화 되는 설계영역 내의 분포를 찾는 최적화 기법이며(이론적으로 '위상'은 변형가능한 물리적 영역을 의미한다), Fig.2와 같이 초기 설계영역을 많은 수의 요소로 이산화시키고 반복 계산을 통해서 불필요한 요소를 선택적으로 삭제하여 최적의 구조를 얻는다.<sup>[2]</sup> 본 연구에서는 위상최적화 유한요소해석을 통하여 발사관의 경계조건과 무게 목표값을 만족하면서 고유진동수를 최대화할 수 있는 형상을 도출하였으며, 이러한 최적화 과정은 식 1과 같이 나타낼 수 있다.<sup>[2]</sup> 식 1에서,  $f$ 는 고유진동수(Natural Frequency),  $K$ 와  $M$ 은 각각 강성 및 질량행렬,  $\lambda$ 는 고유치(Eigenvalue),  $y$ 는 고유벡터(Eigenvector),  $m_{total}$ 은 전체 질량,  $m_0$ 는 목표 한계질량,  $c$ 는 체적분율(Volume Fraction)을 의미하며, 본

$$\begin{aligned} \text{Maximize} & : f_i(c_j) \\ \text{Subject to} & : K(c_j)y = \lambda M(c_j)y \\ & m_{total}(c_j) - m_0 \leq 0 \\ & c_{max} \geq c_j \geq c_{min} > 0, j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \tag{1}$$

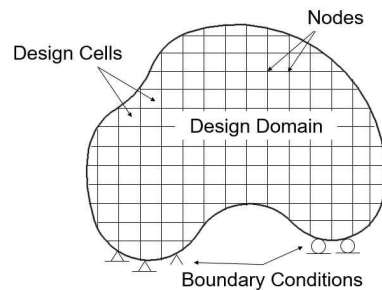


Fig. 2. Discrete Model of Design Space

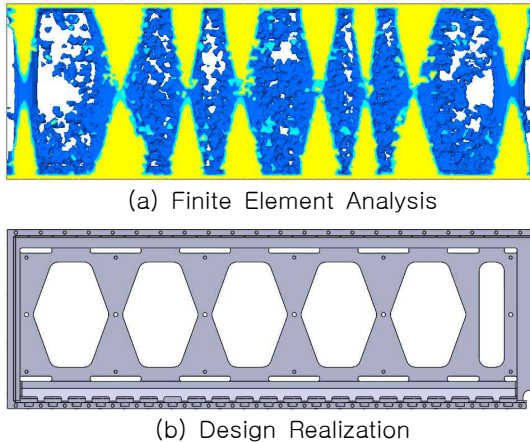


Fig. 3. Results from Topology Optimization

Table 2. Summary of Optimized Design

최적화변수	목표	최적화 전	최적화 후 (측정결과)	세계 최고수준
$m_o$ (kg)	< 4.0	4.8	3.5	3.3
$f_f$ (Hz)	>300	580	450	-

연구에서는 1차 고유진동수( $f_f$ )를 최대화하는 것을 목표로 정하였다. Fig.3은 위상최적화 유한요소해석결과(a)와 설계형상(b)을 나타낸다. Table 2는 위상최적화 전과 후 3U 발사관의 무게와 고유진동수 변화를 측정하여 비교한 결과로, 무게는 27% 경량화하여 세계 최고 수준과 동등한 결과를 얻었으며, 높은 강성으로 인해 기준값을 과도하게 초과하는 1차 고유진동수를 22% 감소시켰다.

### 적층제조

적층제조 기술은 우주발사체, 위성 등의 우주 분야에서 활용되고 있으며, 최근 금속소재를 이용한 적층제조가 가능해짐에 따라 적용범위가 급속히 확대되고 있다. 본 연구에서는 적층제조 장점인 저비용 다품종 소량 생산을 통하여 가격 경쟁력을 갖춘 한국형 발사관 공급을 목표로 한다. 최적설계 결과를 바탕으로 알루미늄 적층제조에 의해 발사관을 제작하였으며, 발사관 부품제조에 앞서, 동일 소재로 표준시편을 적층제조하여 기계적 물성을 측정하였다. Fig.4는 한국공업규격 KS B 0801에서 정하는 표준인장시편(시험 후)을 나타내며, KS B 0802에서 정하는 금속재료 인장시험 방법에 따라, 적층제조된 시편의 인장강도를 공인시험기관에서 측정하였다. Table 3은 시편의 인장강도와 알루미늄 6061의 표준 인장강도를 설계기준과 비

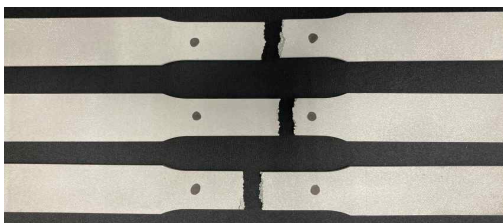


Fig. 4. Printed Tensile Test Specimen

Table 3. Comparison of Tensile Strength

설계기준	AL적층제조	AL6061
>200MPa (Yield)	250MPa	270MPa

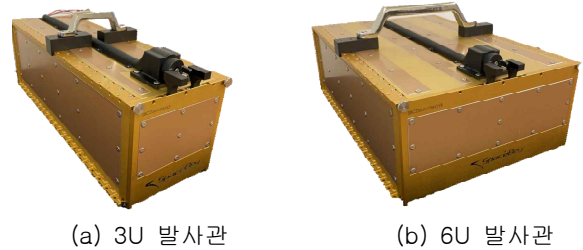


Fig. 5. Printed CubeSat Dispenser (2021)

교한 것으로 적층제조된 시편의 인장강도가 표준 인장강도보다 7.5% 작은 값을 나타내지만 설계기준을 만족하므로 발사관 소재로 사용가능함을 확인하였다. 이번 발사관 기술고도화에서는 Fig.5와 같이 3U 발사관의 성능을 개량하여 동등한 성능을 갖는 6U 발사관을 국내 최초로 제작하였다.

### 결론

본 논문에서는 한국형 초소형위성 발사관 기술고도화 결과 중 위상최적화 설계와 금속적층제조 결과를 소개하였다. 이번 연구를 통해서 해외 발사관과 동등한 수준의 무게와 분리능을 갖는 한국형 발사관을 제작하였으며, 3U 발사관 시제품 개발에 이어 6U 발사관으로 제품군을 확대하였다. 특히, 미국특허기술을 이용하여 개발된 일부 부품과 소재를 해외 위성분리시스템 전문기업에 수출하는 성과를 얻었다. 향후 당사에서는 12U 발사관으로 제품군을 확대하는 동시에 비폭발식 전개장치 국산화 개발을 통하여 발사관 성능을 단기간에 세계 최고수준으로 향상시키고 한국형 발사관에 최적화된 초소형위성 표준형 구조체를 상용화할 계획이다.

### 후기

본 논문은 중소벤처기업부의 2020~2021년도 ‘창업성장기술개발사업화’의 연구비 지원으로 수행한 결과입니다.

### 참고문헌

- 1) Gyungmo Tahk, Cheolhyun Park, Sumin Kim, Wonho Cha, "Localized Development and Future Advances of CubeSat 3U Dispenser," Proceeding of the KSPE Spring Conference, 2020, pp.120~124.
- 2) O Kaung Lim, Jin Sik Lee, "Structural Topology Optimization for the Natural Frequency of a Designated Mode," KSME International Journal. Vol. 14, No.3, 2000, pp. 306~313.