

큐브위성 발사관(3U) 국산화 개발현황 및 기술적 차별성에 대한 고찰

탁경모^{1*}, 차원호²

스페이스베이(주)¹, KAIST 인공위성연구소²

Advances in Deployment Mechanism of the Localized 3U Cubesat Deployer

Gyungmo Tahk^{1*}, Wonho Cha²

Key Words : P-POD(Poly Picosatellite Orbital Deployer), 큐브위성(CubeSat), 발사관, 위성 고정장치

서론

큐브위성 발사관(P-POD)은 우주 궤도에서 다수의 큐브위성을 우주발사체로부터 분리하는 목적으로 사용된다. 해외 우주발사체 보유 국가들과 큐브위성을 전문적으로 생산하는 일부 기업에서는 자체 기술로 개발된 발사관을 사용하고 있으며 그동안 국내에서 개발된 큐브위성 발사에는 모두 해외에서 제공된 발사관이 사용되었다. KAIST 인공위성연구소에서는 큐브위성과 발사관의 발사환경시험을 수행하면서 발사관의 잠재적 결함에 의해서 큐브위성의 파손과 기능 고장 및 분리 장애와 같은 문제들이 발생할 수 있다는 것을 확인하였다. 이에 따라 KAIST 인공위성연구소와 스페이스베이(주)(구.㈜버추얼랩)에서는 정부의 기술사업화 지원하에 산학공동으로 해외 발사관의 기능적인 단점을 근본적으로 개선할 수 있는 국산 3U 발사관을 개발하고 있으며 그 결과를 순차적으로 공개하고 있다.^(1,2) 본 논문에서는 이미 두 차례 공개된 발사관 국산화 개발과정 이후에 진행된 일부 내용과 해외 발사관 대비 차별화된 핵심 기술을 소개한다.

시스템 구성

큐브위성 발사관은 Fig.1과 같이 컨테이너, 푸시스프링(Push Spring), 위성 고정장치, 도어장치로 구성된다. Table 1은 발사관의 구성과 기능구현 방법을 나타내며 위성 고정장치는 해외 발사관 대비 차별화된 기능을 구현하는 장치로 발사관 내에서 위성의 비정상적인 진동을 방지하여 위성 발사과정에서 발생할 수 있는 위성의 파손과 기능 고장을 방지한다. 위성 고정장치는 위성의 종방향과 횡방향으로 동작하는 장치로 구분되며 각각 토크 조절식 스크류 방식과 도어의 개폐동작에 따라 위성의 고정-해제기능이 자동으로 이루어지는 자동 고정식 스프링 방식으로 구현되었다.

푸시스프링 성능 최적화

푸시스프링은 Fig.1과 같이 코일스프링(Coil Spring)이 사용되며 발사관 내에서 위성을 도어 방향으로 밀어내는 장치이다. 코일스프링의 설계 사양에 따라서 위성의 발사속도가 결정되므로 위성의 목표 발사속도에 따른 코일스프링의 강성설계와 설계 적합성 검증이 이루어졌다.^(1,2) Table 2에서는 푸시스프링의 설계 변

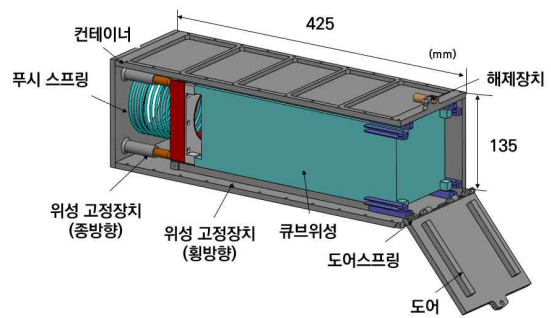


Fig. 1. System Layout of 3U P-POD

Table 1. Functional Design Concepts

시스템 구성		기능 구현 방법
컨테이너		밀폐식
푸시스프링		코일스프링(압축)
위성 고정장치	종방향	토크 조절식 스크류
	횡방향	자동 고정식 스프링
도어장치	도어스프링	코일스프링(비틀림)
	해제장치	파이로(Pyro)

수를 소재와 버클링 안정성(Buckling Stability)으로 각각 구분하였다. 위성과 발사관이 조립되면 푸시스프링이 완전히 압축되므로 이 상태에서 코일에 발생하는 비틀림 응력은 해당 소재의 항복응력을 초과하지 않아야 하며 코일스프링의 과도한 압축변형 과정에서 발생할 수 있는 버클링을 방지할 수 있도록 설계되어야 한다.⁽³⁾ Fig.2는 푸시스프링 압축과정에서 발생하는 버

Table 2. Design Parameters of Push Spring

형상	안정성	설계변수
	소재	탄성계수
		전단계수
		평균지름 (D)
		코일직경 (d)
		유효감김수 (n)
		피치 (P)
버클링	버클링	자유길이가 (L)
		임계힘
		임계변위

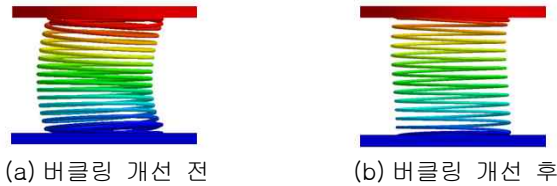


Fig. 2. FE Buckling Analysis Results

클링의 개선 전·후 상태(a, b)를 유한요소해석을 통하여 가시화한 결과를 나타내며 Table 2의 설계변수 최적화를 통하여 코일스프링의 횡방향 변형력을 감소시키는 방법으로 버클링을 최소화하였다.

위성 고정장치의 기능과 효과

큐브위성 발사관 내부에는 Fig.3과 같이 위성을 고정하는 장치가 설치되어 있으며 이 고정장치는 종방향으로 위성을 고정하는 장치와 횡방향으로 고정하는 장치로 구분된다. 이들 고정장치는 발사관 내에서 위성의 고정상태 불량으로 인한 비정상적인 진동과 충격을 최소화하여 위성의 파손과 기능 고장을 방지한다. 특히 이들 장치는 발사관과 위성의 조립과정에서 발생하는 다양한 형태의 기구적인 유격의 크기에 상관없이 항상 일정한 힘으로 위성을 고정할 수 있는 가변 토크식 능동형 고정장치인 것이 특징이다. 또한 별도의 해제장치 없이 발사관 도어의 개폐 동작만으로 위성의 고정과 해제기능이 구현되도록 설계되었다. Fig.4는 발사관 내에서 위성에 작용하는 종방향 고정력(F_L)과 횡방향 고정력(F_H)을 나타낸 것으로 위성의 모든 수직면 방향으로 고정력이 작용하고 도어의 열림 동작에 의해서 자동으로 해제되어 위성을 발사관으로부터 안전하게 분리할 수 있다.

Fig.5와 Table 3은 위성 고정장치 유무에 따라 위성에서 발생하는 진동 응답의 크기를 정현파 진동시험을 통해 비교한 결과이다. 고정장치가 있는 조건에서

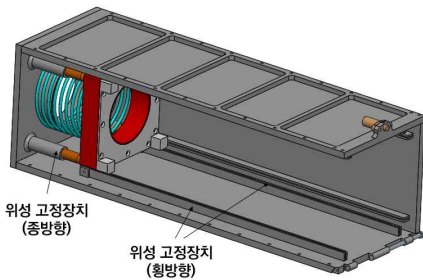


Fig. 3. CubeSat Clamping System

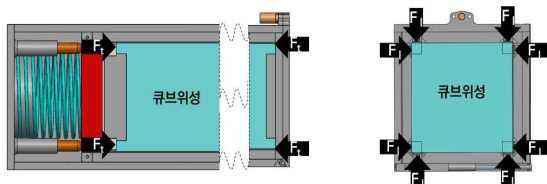


Fig. 4. CubeSat Clamping Forces

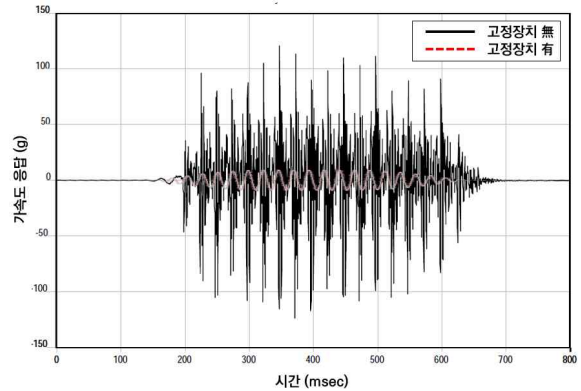


Fig. 5. Sinusoidal Vibration Test Result

Table 3. Comparison of Vibration Response

비교항목	고정장치 無	고정장치 有
최대응답가속도	100 g	11 g
고유진동수	160 Hz	370 Hz

진동 응답의 크기가 최대 9배 이상 작고 위성의 고유진동수가 2배 이상 높게 나타났으며 반복 시험 전·후에 흔히 발생하던 고유진동수의 불규칙한 변화가 억제되어 일정한 고유진동수가 나타났다.

결론

본 논문에서는 현재 개발 중인 큐브위성 3U 발사관의 시스템 구성과 기능구현 방법을 소개하였다. 발사관의 핵심 부품인 푸시스프링의 성능을 최적화하고 국산 발사관의 차별화 기능인 위성 고정장치의 효과를 실험적으로 검증하여 큐브위성 발사 적합성을 부분적으로 입증하였다. 이러한 결과를 바탕으로 큐브위성 발사 적합성 평가를 위한 종합시험이 진행될 예정이며 3U 발사관 개발결과와 특허기술을 응용하여 6U 발사관 개발에 착수할 계획이다.

후기

본 논문은 중소벤처기업부와 중소벤처기업진흥공단의 2019년도 ‘창업성공패키지 사업화 지원’ 2차년도 사업비 지원으로 수행한 연구결과입니다.

참고문헌

- 1) Wonho Cha, Gyungmo Tahk, “Localized Proto-type Model Development of Cubesat Deployer”, *Proceeding of the 2018 KSAS Fall Conference*, 2018, pp.363~364.
- 2) Wonho Cha, Gyungmo Tahk, “Prototyping and Design Verifications for Cubesat Deployer”, *Proceeding of the 2019 KSAS Spring Conference*, 2019, pp.426~427.
- 3) Harold Carlson, “Spring Designer’s Handbook”, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 1978, pp.177~184.