

큐브위성 경연대회(1~5회) 15기의 임무수행 결과 및 향상방안 고찰

문귀원^{1,†}, 구철희¹, 구인회¹

¹한국항공우주연구원

Mission Performance Results of 15 CubeSats at the Contests(1st ~ 5th) and Consideration of an Improvement Scheme

Guee Won Moon^{1,†}, Cheol Hea Koo¹ and In Hoi Koo¹

¹ Korea Aerospace Research Institute

Abstract

The Cube Satellite Contest has been held six times as of August 2023, and a total of 21 teams have been selected. Fifteen Cube Satellites selected in previous contests were successfully launched and entered into low-Earth orbit. The six Cube Satellites selected in the sixth contest in 2022 are currently undergoing detailed design, and are scheduled to be launched in 2025 using a Korean launch vehicle. In this study, we analyzed the initial operation reports submitted by the selected teams of the Cube Satellite Contest in 2012, 2013, 2015, 2017, and 2019 to assess mission performance and identify causes of mission failure. Based on the submitted reports, an improvement scheme to enhance mission success for future Cube Satellites is proposed.

초 록

큐브위성 경연대회는 2023년 현재까지 6회 개최되어 총 21팀이 선정되었고 이 중 5회 대회까지 선정된 큐브위성 15기는 모두 성공적으로 발사되어 지구 저궤도에 진입하였다. 2022년 6회 경연대회에서 선정된 큐브위성 6기는 상세설계를 진행중이며 한국형 발사체에 탑재되어 2025년에 발사될 예정이다. 본 연구에서는 2012년, 2013년, 2015년, 2017년, 2019년 5회 대회까지 큐브위성 경연대회 선정팀이 제출한 초기운영 보고서를 기반으로 큐브위성 15기의 발사 후 임무수행 결과와 임무실패 원인을 분석하였고, 이를 바탕으로 향후 개발될 큐브위성의 발사 후 임무성공 향상 방안을 제시하였다.

Key Words : CubeSat(큐브위성), Ground Station(지상국), Frequency(주파수), Band(대역), Noise(잡음)

1. 서 론

큐브위성 경연대회 프로그램은 국내 대학(원)생 및 국내 산업체에게 큐브위성을 직접 제작할 기회를 제공하여 초소형 위성에 대한 이해를 제고하고, 우주개발 전문 인력 양성 및 우주기술의 저변을 확대하기 위하여 과학기술정보통신부 주최, 한국항공우주연구원 주관으로 지구 저궤도에서 운용되는 큐브위성 개발 경연

프로그램으로, Table 1과 같이 2023년 현재까지 6회 개최되어 총 21팀이 선정되었고 이 중 5회 대회까지 선정된 큐브위성 15기는 모두 성공적으로 발사되어 지구 저궤도에 진입하였다[1].

본 연구에서는 2012년, 2013년, 2015년, 2017년, 2019년 5회 대회까지 큐브위성 경연대회 선정팀이 제출한 초기운영 보고서[2-16]를 기반으로 큐브위성 15기의 발사 후 임무수행 결과와 임무실패 원인을 분석하였고, 이를 바탕으로 향후 개발될 큐브위성의 발사 후 임무성공 향상 방안을 제시하였다.

Received: Mar. 13, 2023 Revised: Aug. 01, 2023 Accepted: Aug. 03, 2023

† Corresponding Author

Tel: +82-42-860-2455, E-mail: aeromoon@kari.re.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

Table 1 CubeSat Contest Selection Teams and Launch Status

경연대회	연도	선정팀수	현황
1회	2012	3	발사완료
2회	2013	3	
3회	2015	3	
4회	2017	2	
5회	2019	4	
6회	2022	6	상세설계 진행 중

2. 경연대회 큐브위성의 임무수행 결과

2.1 경연대회 큐브위성의 발사현황

2012년, 2013년, 2015년, 2017년, 2019년 5회 대회까지 경연대회 선정팀들의 큐브위성 15기의 발사현황은 Table 2와 같다.

Table 2 Launch Details of Contest Selection CubeSats

대회	위성명	크기 (U)	발사일	발사체
1회	LINK	2	2017년 4월18일	Atlas V (미국)
	KAUSAT-5	3		
	CANYVAL-X	2+ 1		
2회	KHUSAT-03	3	2018년 1월12일	PSLV (인도)
	CNUSAIL-1	3		
	STEP Cube Lab	1		
	SNUSAT-2	3		
3회	SNUGLITE	2	2018년 12월3일	Falcon 9 (미국)
	Vision Cube	2		
	KMSL	3		
4회	CubeSat Yonsei	2+ 1	2021년 3월22일	소유즈-2 (러시아)
	LANDEV	3		
5회	SNUGLITE-II	3	2022년 6월21일	누리호 (한국)
	MIMAN	3		
	STEP Cube Lab-II	6		
	STEP Cube Lab-II	6		

2012년 1회 경연대회의 LINK 위성은 벨기에 VKI(Von Karman Institute)에서 주관하는 QB50 프로그램에도 참여하고 있었기에 2017년 4월 미국 버지니아에서 Atlas V 발사체로 ISS로 발사된 후, 2017년 5월 궤도에 성공적으로 투입되었다. 2012년 1회와

2013년 2회 경연대회 선정 6팀중 LINK 위성을 제외한 5팀의 큐브위성들은 2018년 1월에 인도의 사티시다완에서 ISRO의 PSLV 발사체에 탑재되어 성공적으로 발사되었다. 2015년 3회 경연대회 선정 3팀의 큐브위성들은 2018년 12월에 미국 반덴버그에서 SpaceX사의 Falcon 9 발사체에 탑재되어 성공적으로 발사되었다. 2017년 4회 경연대회 선정 2팀의 큐브위성들은 2021년 3월에 카자흐스탄 바이코누르 발사기지에서 소유즈-2 발사체로 발사가 완료되었다. 2019년 5회 경연대회 선정 4팀의 큐브위성들은 한국형발사체(누리호, KSLV-II)에 탑재되어 대한민국 고흥 나로우주센터에서 2022년 6월 21일 최종 발사된 후, 성능검증위성으로부터 6월 29일부터 이틀 간격으로 정상 사출되어 궤도에 안착하였다.

2.2 경연대회 큐브위성의 상·하향 통신주파수 대역

5회 경연대회까지 선정된 큐브위성 15기의 상·하향 통신 주파수대역은 Table 3과 같으며, 실물은 Fig. 1과 같다.

Table 3 Communication Frequency bands of Contest Selection CubeSats

대회	위성명	통신
1회	LINK	VHF(↑), UHF(↓)
	KAUSAT-5	VHF(↑), UHF(↓), S-band(↓)
	CANYVAL-X	UHF(↑&↓)
2회	KHUSAT-03	VHF(↑), UHF(↓)
	CNUSAIL-1	VHF(↑), UHF(↓)
	STEP Cube Lab	UHF(↑&↓)
3회	SNUSAT-2	UHF(↑), S-band(↓)
	SNUGLITE	UHF(↑&↓), S-band(↓)
	Vision Cube	VHF(↑), UHF(↓)
4회	KMSL	VHF(↑), UHF(↓)
	CubeSat Yonsei	UHF(↑&↓)
5회	LANDEV	VHF(↑), UHF(↓), S-band(↓)
	SNUGLITE-II	VHF(↑), UHF(↓), S-band(↓)
	MIMAN	UHF(↑&↓), S-band(↓)
	STEP Cube Lab-II	UHF(↑&↓), S-band(↓)



Fig. 1 Actual CubeSats of Contest Selection Teams

2.3 경연대회 큐브위성의 임무수행 결과 분석

5회 대회까지 경연대회 선정팀 큐브위성 15기의 발사 후 통신 임무수행 통계결과는 Table 4와 같으며, 상세결과는 Table 5와 같다. 임무수행 결과에 의하면 임무 일부분의 기능 확인은 가능했지만 예정된 임무가 모두 온전히 성공한 케이스는 발견되지 않았다.

Table 4 Communications Performance Statistics of Contest Selection CubeSats

	통신			
	비콘	TM	TC	임무 data
성공	9기	6기	6기	3기
실패	6기	9기	9기	12기

Table 5 Mission Performance Details of Contest Selection CubeSats

대회	위성명	비콘	TM	TC	임무 Data
1회	LINK	○	○	○	△
	KAUSAT-5	×	×	×	×
	CANYVAL-X	×	×	×	×
2회	KHUSAT-03	×	×	×	×
	CNUSAIL-1	×	×	×	×
3회	STEP Cube Lab	○	×	×	×
	SNUSAT-2	○	○	△	×
	SNUGLITE	○	○	×	△
4회	Vision Cube	×	×	×	×
	KMSL	○	○	○	△
5회	CubeSat Yonsei	×	×	×	×
	RANDEV	○	×	○	×
	SNUGLITE-II	○	○	○	×
	MIMAN	○	○	○	×
	STEP Cube Lab-II	○	×	×	×

3. 경연대회 큐브위성의 임무실패 분석

3.1 수신 실패팀의 경우

(1) 수신 실패팀의 지상대응 패턴

큐브위성 경연대회 선정 15팀 가운데 위성데이터 수신에 실패한 6팀의 지상대응 패턴과 그 이유를 분석한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6 Responding Pattern and Reason of Teams on the Failure of Telemetry Reception

분류	지상대응 패턴과 이유
지상국 재검증	신호감쇄 최소화를 위해 건물내 임무관제 및 RF 시스템을 옥상 안테나 옆으로 이동
	안테나 지향 확인/변경후 트래킹 시도
	위성신호 모니터링을 위해 트래킹 안테나외에 무지향 안테나 추가 혹은 Mono-yagi를 Cross-yagi 안테나로 교체 설치
	안테나부터 Transceiver까지의 구간 신호감쇄 최소화를 위해 저잡음앰프(LNA) 장착
	지상국 자체 무결함 확인을 위해 타위성 비콘(CW) 신호 양호 확인
	주파수 도플러 효과를 고려해 임의의 주파수 Offset을 주며 송수신 시도
	지상 송수신기 출력을 최대한으로 조절하여 교신 시도
해외 아마추어 무선국 활용	Half-duplex의 경우 송수신 데이터 패킷크기 조절하여 송수신 신호지연 조절하며 교신 시도
	위성판별을 위해 해외 SatNOGS 커뮤니티 활용하여, 해당 무선국에서 녹음된 음성파일 (.wav)을 GNURadio로 디코딩
간이 이동식 지상국 구성	SDR(Software Defined Radio)과 전방향성의 다이폴 안테나 이용하여 간이이동식 지상국 구성하여 신호수신 시도
궤도 시뮬레이션	위성궤도 추적을 위해 발사체 및 NORAD 제공 추정 TLE(궤도정보)로 STK(System Tool Kit) 이용하여 궤도 시뮬레이션 반복
Ping-pong 통신시도	위성식별을 위해 OBC(On Board Computer)를 거치지 않고 통신모듈 자체 Ping-pong 통신 시도

이와 같은 조치는 발사체로부터 사출 후 위성으로부터 아무런 신호도 잡히지 않은 답답한 상황이었으므로

지상에서 시도할 수 있는 최선이었으나, Table 6에서 분류된 대응의 많은 부분은 큐브위성 발사전에 타위성 등을 활용하여 미리 확인할 수 있기에 향후 큐브위성 개발시에 대비할 사항이라고 판단된다.

**(2) 수신 실패팀의 임무실패 예상 원인
(수신된 위성데이터가 없는 상태에서의 예상)**

큐브위성 경연대회 선정 15팀 가운데 위성데이터 수신에 실패한 6팀의 발사 후 contingency에 따른 임무수행 실패 원인을 예상한 경우는 Table 7과 같다.

위성으로부터 아무런 신호도 잡히지 않아 문제점을 특정할 수 없어 임무실패 원인을 명확한 근거에 의해 확정할 수는 없었으나 Table 7과 같이 여러가지 가능성을 추정하였다.

Table 7 Analysis of Mission Failure on the Failure of Telemetry Reception

발사후 Contingency	임무실패 예상 원인
사출시 분리문제	POD(PicoSatellite Orbital Deployer)로부터 위성 사출시 Separation(or kill) Switch 오작동으로 위성전원 인가 실패
초기운용 전력문제	태양전지판 전개실패 또는 자세안정화 지연으로 인한 배터리 방전 및 충전 실패
시스템 오작동문제	발사 진동에 의한 통신 커넥터 파손 등으로 내부 데이터통신 전체 오작동 초래
통신기능 문제	안테나 전개 불량 또는 자세안정화 지연으로 송신신호의 세기가 약해 수신불가
TLE(궤도정보) 오차문제	발사체 및 NORAD 제공 추정 TLE(궤도정보)가 실제와 불일치하여 위성추적 실패
Battery 저온동작 문제	사출 후 저온에 노출된 배터리가 작동온도 범위 아래로 내려가 성능 저하 발생

3.2 수신 성공팀의 경우

**(1) 수신 성공팀의 임무실패 원인과 이유
(수신된 위성데이터를 기반으로 함)**

큐브위성 경연대회 선정 15팀 가운데 위성데이터 수신에 성공한 9팀의 임무수행 실패 원인과 이유를 분석한 결과는 Table 8과 같다.

비콘 혹은 TM 수신에는 성공하였으나, 임무수행에는 실패한 팀의 수신된 데이터를 기반으로 다각적인 분석을 통해 도출된 큐브위성의 개별 사례이므로, 발사된 큐브위성 임무 실패의 실질적인 원인을 확인할

수 있다. 특히, 임무 데이터를 수신한 경우에도 데이터 생성 과정 및 무결성에 발생한 문제로 수신 데이터를 적절히 활용할 수 없는 경우가 발생함을 알 수 있다.

Table 8 Analysis of Mission Failure Causes and Reasons on the Success of Telemetry Reception

위성명	임무실패 원인과 이유
LINK	2개의 탑재체 중 랑뮈어탐침 데이터 수신했으나, 잡음과 데이터 에러로 해석 불가
STEP Cube Lab	비콘 신호상의 위성 배터리 전압 정보 분석결과 태양전지판으로부터 전력생산 부족으로 배터리 방전. 이는 우주검증된 상용제품이라 믿고 태양전지판에서 배터리로의 충전 지상시험을 누락함에 기인
SNUSAT-2	Detumbling을 위한 자장토키 지속 가동으로 파워 손실과 불완전한 태양지향으로 배터리 방전
SNUGLITE	2개의 탑재체중 GPS수신기가 작동하여 위치/속도 정보를 수신했으나 수신시각이 GPS Time이 아니라 FSW time으로 정확한 시점 파악이 불가하며, 당초 임무인 전리층 정보 파악 불가 Half-duplex 통신방식에서 송신은 정상이므로, 발사 과정에서 진동에 의해 통신 Rx 모듈 파손
KMSL	2개의 탑재체 중 화염전파 시험 모듈 동작하여 화염전파 사진 데이터를 수신하였으나 화염전파 이전의 사진으로 판명되었고 이후 추가 사진 다운로드 실패 통신속도를 고려하여 임무데이터의 포맷을 압축포맷으로 사용함으로써 데이터 다운로드에서 부분 오류 발생 시 데이터 복원 불가
SNUGLITE-II	VHF/UHF 통신모듈 및 안테나와 OBC간 i2c 인터페이스의 하드웨어적 결함으로 인해 초기 안테나 전개가 수행되지 않았으며 지속적인 디지털 통신 오류가 발생

4. 향후 큐브위성의 임무성공 향상방안 고찰

2012년, 2013년, 2015년, 2017년, 2019년 선정팀이 제출한 초기운영보고서를 검토한 결과, 향후 개발될 큐브위성의 발사 후 임무성공 향상방안과 그 근거를 Table 9에 제시하였다.

Table 9에서 제시된 방안 및 근거는 향후 큐브위성

개발과 임무 성공에 활용될 수 있다.

Table 9 Proposed Improvement Scheme for Future CubeSat Mission Success

분야	임무성공 향상방안 및 근거
비콘	비콘에 지상으로부터의 Uplink에 대한 위성의 수신여부 확인할 수 있도록 수신정보(수신데이터 총량, 수신신호 세기) 등 통신보드 자체의 생존신호 포함
	Uplink 송신이 어려울 경우 대비하여 비콘에 다양한 위성데이터 포함(필수 생존 데이터 등)
	초기 운용시 비콘 수신이 필수적이므로, 짧게 자주 쏘아 동일한 전력으로 많은 지역에서 비콘이 관측될 수 있도록 비콘 신호 설계
자세 안정화	위성 사출 직후 각속도가 예상보다 클 수 있고, 이때의 전력 공급이 불안정하므로 Detumbling 과정의 소요시간과 전력마진을 충분히 확보
	위성 자세변화에 따른 전력계 영향성 분석으로 실제 상황시 예측
사출시 분리	위성전원을 위해 외부충격에 강건한 Separation(or kill) switch 작동 신뢰성 확보
지상국	위성의 지상국 상공 체류 시간이 짧으므로, 지상국 조작 간소화 및 장기간 연속 운용하여 신뢰성 사전 검증
통신링크	연속적으로 위성상태 확인을 위해 SatNOGS 등 지상국 네트워크 확보
	통신 실패를 방지하기 위해 지상국 접촉여부와 관계없이 Iridium 등 통신위성 링크 확보
비행 소프트웨어 (FSW)	초기 운영시 통신활성화를 통해 FSW 당초 설정외에 Override 기능으로 설정을 강제로 변경함으로써 소모 전력 최소화 등 대응
Far-field 시험	위성과 지상국간 거리에 따른 신호세기 감쇄를 고려한 Far-Field 시험 수행
	안테나 전개 실패시의 통신패턴 분석
	안테나 미전개 또는 일부전개 경우에 대한 시험결과를 분석하여 Worst case에 대한 지상 수신성능 개선
지상에 EM 통신 모듈 구비	궤도상에서 통신관련 문제 발생시 지상에서 확인 시험

상용보드 활용	상용보드 활용으로 하드웨어 개발문제 최소화
	OBC, 통신보드 등 중요도가 높은 부품에 대해서는 Heritage 및 신뢰성이 높은 부품 사용
태양전지판	태양전지판 전기생성 기능 지상확인
송/수신 분리	Half-duplex 방식이 아닌 Full-duplex 방식 혹은 위성내 통신모듈 추가하여 백업운용
전개장치	배터리 소모 최소화 방안 도출
	전개 매커니즘의 신뢰성 확보 및 전개과트 최소화
임무데이터	임무데이터 수신 시 일부 데이터의 손실을 감안하여 원본데이터 복원에 문제가 없도록 임무데이터 설계

5. 결 론

본 연구에서는 1회부터 5회까지의 경연대회에서 선정된 큐브위성 15기가 모두 성공적으로 발사되어 지구 저궤도에 진입한 후의 초기운영 보고서를 기반으로, 큐브위성 15기의 임무수행 결과와 임무실패 원인을 분석하였고 이를 바탕으로 향후 개발될 큐브위성의 발사 후 임무성공 향상 방안을 제시하였다.

특히, 위성데이터 수신에 실패한 후의 지상대응 패턴 대부분이 위성 발사전에 미리 점검할 수 있다는 점과 수신된 데이터를 기반으로 도출된 임무실패의 실질적인 원인과 이를 극복하기 위한 방안 및 근거는 향후 큐브위성 개발 및 임무 성공에 활용될 수 있다.

후 기

본 논문은 기상청(국가기상위성센터) 천리안위성 2A호 기상업무를 위한 관제사업의 지원으로 수행되었다.

References

- [1] <https://www.kari.re.kr/nanosat/launch-history>
- [2] Initial operation reports of CubeSat “LINK” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2012
- [3] Initial operation reports of CubeSat “KAUSAT-5” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2012
- [4] Initial operation reports of CubeSat “CANYVAL-X” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2012
- [5] Initial operation reports of CubeSat “KHUSAT-03”

- submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2013
- [6] Initial operation reports of CubeSat “CNUSAIL-1” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2013
- [7] Initial operation reports of CubeSat “STEP Cube Lab” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2013
- [8] Initial operation reports of CubeSat “SNUSAT-2” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2015
- [9] Initial operation reports of CubeSat “SNUGLITE” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2015
- [10]Initial operation reports of CubeSat “Vision Cube” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2015
- [11]Initial operation reports of CubeSat “KMSL” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2017
- [12]Initial operation reports of CubeSat “CubeSat Yonsei” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2017
- [13]Initial operation reports of CubeSat “RANDEV” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2019
- [14]Initial operation reports of CubeSat “SNUGLITE-II” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2019
- [15]Initial operation reports of CubeSat “MIMAN” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2012
- [16]Initial operation reports of CubeSat “STEP Cube Lab-II” submitted by the selected team of the Cube Satellite Contest in 2019