

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(11), 975-988(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.11.975

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

한국의 큐브위성 개발 현황 분석

한상혁*, 최연주**, 조동현**, 최원섭**, 공현철**, 김해동**, 최기혁**

Analysis of Cubesat Development Status in Korea

Sanghyuck Han*, Yeonju Choi**, Dong-Hyun Cho**, Won-Sub Choi**,

Hyeon Cheol Gong**, Hae-Dong Kim** and Gi-Hyuk Choi**

Korea Aerospace Research Institute* ,**

ABSTRACT

Since 2000, about 750 cubesats have been launched as of August 2017 and development and the launch of cubesat increased exponentially. Since standard of cubesat has been proposed in 1999, cubesats have grown considerably beyond the scope of education and technology verification to commercial use in the area of space exploration and earth observation, and the variety of cubesat mission and type has increased recently. In Korea, some universities and individuals have independently developed cubesats since 2000, and cubesat contests which were organized by KARI and sponsored by Ministry of Science and ICT from 2012 highly contributed to cubesat development in Korea. In addition, domestic institutes such as KARI, KASI started to develop cubesats for space science and exploration mission. Nineteen cubesats have been progressed or completed in development until now. In this paper, we present the technical trend and describe all cubesats in Korea.

초 록

2000년 이후로 발사된 큐브위성의 수는 약 750기(2017년 8월 기준)로 큐브위성의 제작과 발사가 급증하였다. 1999년 큐브위성의 규격이 발표된 이래로, 큐브위성은 단순한 교육 및 기술 검증 목적을 넘어 우주탐사나 지구관측 등 상업용으로 사용될 만큼 괄목할 만한 성장을 이뤘으며, 최근에는 그 형태나 임무의 다양성이 더욱 증가되고 있다. 국내에서는 2000년 부터 일부 대학교 및 개인이 독자적으로 큐브위성 제작을 수행하였고, 2012년 들어 과학기술정보통신부 주최, 한국항공우주연구원 주관으로 큐브위성 경연대회를 개최하면서 큐브위성 개발을 본격화하였다. 또한, 한국항공우주연구원, 한국천문연구원 등 국내 연구소에서도 우주과학 및 우주탐사에 활용하기 위해 큐브위성 제작을 시작하였다. 국내에서 2017년 8월 현재까지 제작완료하거나 제작중인 큐브위성은 총 19기이며, 본 논문에서는 큐브위성의 기술동향과 국내에서 현재까지 제작된 큐브위성에 대해 자세히 살펴본다.

Key Words : Cubesat(큐브위성), Cubesat contest in Korea(큐브위성 경연대회), Cubesat trend(큐브위성 동향)

† Received : September 4, 2017 Revised : October 26, 2017 Accepted : October 27, 2017

* Corresponding author, E-mail : shan@kari.re.kr

I. 서론

일반적으로 위성을 무게를 기준으로 구분 하는 경우 1,000kg 이상은 대형 위성, 500kg 이상 1,000kg 이하는 중형 위성, 100kg 이상 500kg 이하는 소형 위성, 1kg 이상 100kg 이하는 나노/마이크로 위성(이하 초소형 위성)으로 분류하고 있다[1]. 최근, 전자부품 기술의 발전에 따른 저가, 소형화로 인해 쉽게 제작이 가능한 1kg 이상 100kg 미만의 초소형 위성의 연구 및 상용화가 활발히 진행되고 있다. 1999년 미국의 칼폴리(Cal Poly) 대학과 스탠포드(Stanford) 대학에서 큐브위성의 규격을 발표하였으며[2], 초소형 위성의 발전은 큐브위성과 함께 시작되었다고 볼 수 있다. 큐브위성의 규격은 1U(Unit)당 크기를 $10 \times 10 \times 10\text{cm}^3$ 및 무게는 1.3kg 이하로 정하고 있으며, 이는 큐브위성에 탑재되는 서브시스템간의 호환성을 높이고 제작기간을 단축하는 효과를 가져왔다. 이러한 큐브위성의 개발은 최첨단 소자의 소형화와 IT기술 발전으로 가능해졌으며 중·대형 위성에 비해 개발 및 발사 비용 절감 및 개발 기간이 짧아 우주에서의 기술 검증, 과학적 목적, 상업적 목적 등 다양하게 활용이 가능하다.

초기의 초소형 위성은 대학생들에게 위성 개발경험을 제공하기 위한 교육적 목적으로 시작되었으나, 최근에는 초소형 위성의 제작 및 발사에 이르기까지 시장이 확대되고 관련 기업도 다수 출현하고 있다. 2000년 이후 2017년 8월 현재까지 발사된 큐브위성의 수는 약 750여기이며, 2013년 이후 발사가 급증하고 있다. 이러한 추세는 Fig. 1과 같이 지속될 것으로 예상된다[3].

특히, Fig. 2와 같이 최근 발사된 큐브 위성 중 상용 목적의 큐브위성이 45.5%로 상당한 비중을 차지한다[3].

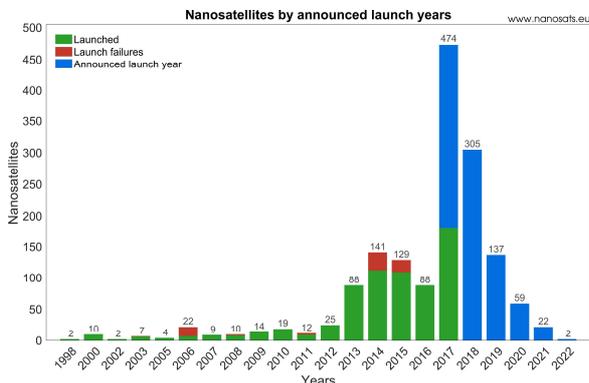


Fig. 1. Number of nanosatellite announced launch years[2]

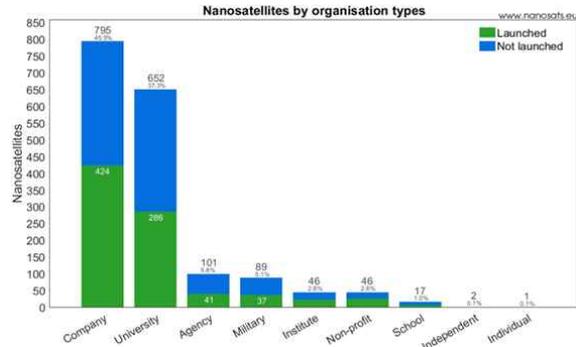


Fig. 2. Nanosatellites by organisation types[3]

대표사례로서, 플래닛(Planet)사는 미국 스타트업 기업으로 100기 이상의 3U 큐브위성을 위성군 형태로 운영하여 지구관측영상을 실시간으로 제공한다.

국내에서는 2000년 초부터 현재까지 19기의 큐브위성을 제작 완료 또는 제작 중에 있으며, 이 중 6기가 발사되었다. 2017년 5월 국제우주정거장(ISS, International Space Station)으로부터 궤도에 투입된 2012 큐브 위성 경연대회 선정팀 KAIST의 2U 큐브 위성 LINK는 HK(House Keeping) 데이터를 수신하여 위성의 상태를 확인하였고, 2017년 8월 현재 임무를 수행 중에 있다.

국내에서 개발된 큐브위성을 시기적으로 살펴 보면 2000년 초반에는 한국항공대학교의 HAUSA T-1,2, 경희대학교의 KHUSAT-01,02(CINEMA 2,3호) 등 대학교에서 독자적으로 큐브 위성 개발을 시도하였고, 2012년부터 과학기술정보통신부 주최, 한국항공우주연구원(이하 항우연) 주관으로 시작된 큐브 위성 경연대회를 통해 9기의 큐브 위성이 제작 및 발사되는 등 다수의 위성 개발이 이루어지고 있다. 또한, 항우연, 한국천문연구원(이하 천문연) 등 국내 연구소에서 우주탐사 및 과학기술 검증용 6U 크기의 큐브 위성을 제작 중에 있다.

국내의 큐브 위성 개발 시작은 외국에 비해 다소 늦었지만, 다수의 큐브 위성 개발을 수행하고 있어 기술 격차가 많이 줄어들 것이다. 앞으로, 독창적인 임무를 가진 큐브 위성의 발사 및 운영이 이루어진다면 외국과의 경쟁도 충분히 가능할 것으로 보인다. 본 논문에서는 큐브 위성 기술동향과 함께 국내에서 개발 완료되거나 진행 중인 19기의 큐브 위성에 대해 상세히 살펴보고자 한다.

II. 큐브 위성 기술동향

2.1 개요 및 현황

큐브 위성은 $10 \times 10 \times 10\text{cm}^3$ 정육면체를 1U

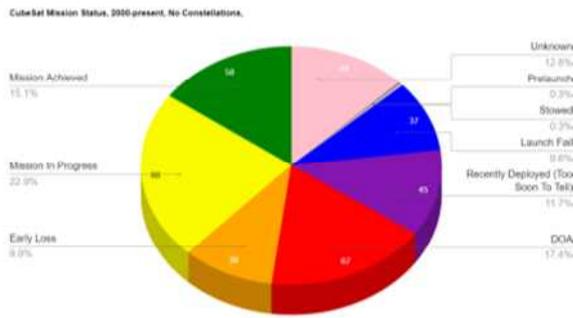


Fig. 3. Cubesat mission status[4]

표준으로 규격화함에 따라 기술의 확대를 유도하였으며, 이를 바탕으로 초소형 위성 분야의 기술 개발을 주도하고 있다. 초기에는 1~3U 크기의 큐브위성이 다수를 차지했으나, 최근에는 6U 이상의 큐브위성도 증가하고 있다.

큐브위성은 공간상의 제약이 있고, 적합한 개발 체계가 정립되지 않아 기존 위성 개발의 체계를 일부 적용하는 경우가 많으며, 위성이 발사되어 운영하는 시점에 오류가 잔재되는 경우가 있어 신뢰성이 낮은 편이다. 그렇지만 중대형위성에 비해 개발 비용이 낮고 개발 기간이 짧다. 따라서 단기간에 저비용으로 다양한 기술 검증과 새로운 시도를 해 보는 것이 가능하다.

큐브위성의 발사는 2013년 이후 매년 80기 이상 급증하고 있다. 이는 큐브위성의 표준화 및 상용 서브시스템의 사용으로 개발기간이 단축되고, SpaceX 등 민간 발사 시장의 성장으로 인해 발사 기회가 많아졌기 때문이다.

큐브위성의 임무 성공률을 살펴보면 Fig. 3과 같이 임무가 최종 성공한 것은 15.1%, 임무가 수행중인 경우는 22.9%로 아직까지 성공률이 높은 수준은 아니다. 또한 발사 실패 및 초기 운영시 위성을 잃어버리는 등의 비율이 약 20% 수준임을 감안할 때 아직 기술적인 안정화가 요구된다.

2.2 큐브위성의 궤도 투입 방식

큐브위성은 일반적으로 고도 400km ~ 700km 에서 운용되는데, 대표적인 방법으로 피기백(Piggyback) 방식과 ISS를 활용하는 방식이 있다. 대부분의 큐브위성은 발사체의 측면에 피기백 방식으로 장착되어 궤도에 투입된다. 이 때 Fig. 4 와 같이 POD(Picosatellite Orbital Deployer)라고 하는 분리장치를 이용하게 되며, 해당 POD의 상단이 전기신호에 의해 열리면 POD 하단에 설치된 용수철의 힘으로 궤도에 투입된다.

ISS에서 위성을 궤도에 투입하는 방식은 Fig. 5와 같다[7]. 이와 같이 ISS에서 궤도에 투입할

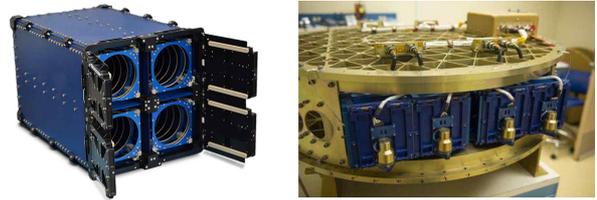


Fig. 4. Cubesat Deployer (ISIS Quadpack[5] and NASA Launch Adapter[6])



Fig. 5. Cubesat Deployment from International Space Station[7]

경우 운영 고도가 400km 수준이기 때문에 위성 수명이 6개월에서 1년 정도로 짧지만, 발사 비용이 저렴하여 이를 이용하는 사례도 많아지고 있다.

2.3 큐브위성의 임무

큐브위성은 교육용으로 시작했지만, 최근에는 그 가능성을 바탕으로 다양한 임무에 적용이 가능해지면서 적용 분야가 확대되고 있다.

대표적인 큐브위성의 활용 분야로는 지구 관측분야를 들 수 있다. 기존에는 중대형위성에 고해상도 광학카메라를 탑재하여 지구 영상을 취득하였으나, 최근에는 다수의 큐브위성으로 지구 영상을 실시간으로 취득하여 상용서비스를 제공

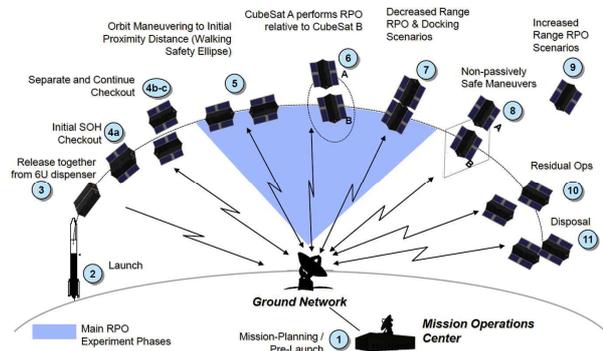


Fig. 6. Cubesat Mission for RVD(Rendezvous and Docking)[12]

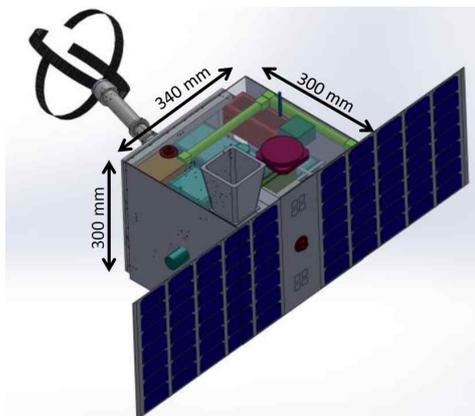


Fig. 7. CleanSpace One Configuration[14]



Fig. 8. Solar Sail Deployment Test of LightSail-1[15]

하는 사례들도 늘고 있다. 이러한 흐름에 맞춰 기존의 큐브위성의 영상 분해능의 한계를 극복하고 고해상도의 영상을 얻기 위한 연구가 지속되고 있다[8]. 또한, 이러한 고해상도 영상분야의 적용을 위해서 큐브위성용 고속 데이터 통신 기술[9], 고전력 태양전지판 전개기술 등의 기반 기술들이 함께 발전하고 있다[10].

또한, 다수의 큐브위성을 이용한 정보 획득의 효율을 높이기 위한 편대비행 기술분야에서도 많은 발전이 이루어지고 있다[11]. 이러한 편대비행 기술을 활용하여 Fig. 6과 같은 랑데부/도킹 및 궤도상 서비스에 대한 기반 연구에 큐브위성이 활용되고 있으며[12,13], Fig. 7과 같이 우주파편 제거시스템의 기술 개발에도 활발히 활용되고 있다[14].

이와 같이 큐브위성을 이용한 우주기술의 발전은 그 대상이 지구에서 우주로 넘어가고 있으며, 이에 따라 심우주 탐사를 위한 기술개발에도 활용되기 시작했다. 일례로 태양돛(Solar Sail)기술 개발을 위해 2015년 발사된 LightSail-1은 Fig. 8과 같이 3U 크기의 큐브위성으로 태양돛 전개 시험을 마쳤다. 그리고 본 임무 수행을 위한 Lig

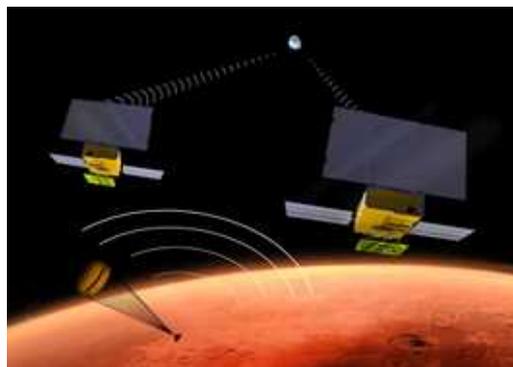


Fig. 9. MarCO(Mars Cubesat One) Mission[17]

htSail-2를 2018년에 발사 할 예정이다[15,16]. 또한, 최근 미국 NASA JPL(Jet Propulsion Laboratory)에서는 최초의 심우주 탐사용 큐브위성 프로젝트로 Fig. 9와 같이 화성탐사를 위한 2개의 6U급 큐브위성인 MarCO(Mars Cube One) 개발을 진행 중이다. 해당 위성은 2018년에 발사예정인 In sight와 함께 화성으로 보내진 후 화성주위를 돌면서 화성과 지구사이의 통신중계 역할을 수행할 예정이다[17].

2.4 큐브위성 시장 확대

이와 같이 학계와 연구소 등의 활발한 연구가 진행됨에 따라 큐브위성 시장이 확대되고 새로운 산업체들의 시장진입이 활발해지고 있다.

대표적으로 큐브위성 시장의 초기 진출기업인 GOMSpace사는 큐브위성용 부품의 생산을 시작으로 큐브위성 시장에 진출한 이후, 큐브위성용 플랫폼 생산 및 각종 서비스를 제공하고 있다. 이에 최근에는 SAS(Sky and Space Global), Aarhus 대학, AISTECH 및 Aerial&Maritime 등과 함께 큐브위성의 군집비행을 통한 전세계적 통신 및 항공관제 서비스 등을 제공하기 위한 기술계약을 진행하고 있다[18].

또한, 플래닛사는 2010년 소규모 팀으로 창설한 이후 2013년에 Dove 위성을 성공적으로 발사한 이후 매년 규모를 키워 2015년에 100여개의 큐브위성을 발사함에 따라[19] 전지구적인 영상을 모으기 시작했으며, 2017년에는 ISRO의 PSLV 발사체로 88개의 큐브위성을 추가로 발사함에 따라 큐브위성 시장 확대에 크게 기여하고 있다.

이외에도 Pumpkin, Clyde Space, BCT, ISIS, AAC Microtec, Adcole Maryland Aerospace, Bussek, BST, SkyFox labs 등 많은 기업들이 큐브위성 시장에서 그 영역을 확대하고 있다.

국내에서도 큐브위성의 시장에 대한 관심이 고조됨에 따라 큐브위성 전문 기업이 늘어나고 있다.

Table 1. Domestic cubesat development status

Satellite	Organization	Mission	Size [U]	Development Status (Launch Date)	Launcher	Payload	Shape
CNUSAIL-1	Chungnam National University	Deployment the solar sail, Data acquisition for the effect of deployment	3	Done (2017.12, TBD)	PSLV	Deployment System of Solar Sail, Camera System	
HAUSAT-1	Korea Aerospace University	Educational, GPS data acquisition	1	Done (2006.6.28., Failure of launch vehicle)	Dnepr	Space-borne GPS Receiver, Solar Panel Deployment, Sun Sensor	
HAUSAT-2	Korea Aerospace University	Animal tracking, Measurement of Space Plasma	-	Done (Undetermined)	-	Animal Tracking System, Electric Plasma Probe, Star Tracker, Total Ionizing Dose Meter, Plug-and-Play type BEU development	
KAUSAT-5	Korea Aerospace University	Earth observation, Space radiation measurement	3	Done (2017.12, TBD)	PSLV	IR Camera, Geiger Muller	
HIREV	Korea Aerospace Research Institute	Earth observation, Acquisition of high resolution image and video	6	Under Development	-	Optical Camera	
K ² SAT	Korea Air Force Academy/ KAIST	Earth observation, Voice repeating	3	Under Development (2018.2~4 quater, TBD)	Falcon 9	Nanocam C1U, FM Repeater SatComm TP0	
KHUSAT-01 KHUSAT-02	Kyung Hee University	Particle detection, Measurement of Space radiation	3	Done (2013.11.21. launch, 2014.11.28. operation end)	Dnepr	Magnetometer, Electron & Ion Particle Detector	
KHUSAT-03	Kyung Hee University	Measurement of space radiation and magnetic field	3	Done (2017.12, TBD)	PSLV	Magnetometer, Tissue Equivalent Proportional Counter	
LINK	KAIST	Measurement of mass and particle temperature/density at ionosphere	2	Done (2017.4.18. launch 2017.4.22. ISS Docking 2017.5.1. into Orbit)	Atlas-V	Ion/Neutral Mass Spectrometer, Langmuir Probe	
OSSI-1	Song Hojun (Personal)	Transmission of Moss code signal	1	Done (2013.4.19.)	Soyuz 2-1a	4 LEDs, Microcontroller, Li-ion battery	
SNIFE	Korea Astronomy and Space Science Institute /Korea Aerospace Research Institute /Yonsei University	Measurement ionosphere, Magnetic field measurement, Satellite constellation	6	Under Development	-	Solid State Telescope, Langmuir Probe, Magnetometer	
SNUGLITE	Seoul National University	L1/L2 GPS development, Seismic observation	2	Under Development (2018.2-3 quater, TBD)	Falcon 9	L1/L2 Dual Frequency GPS Receiver, Magnetometer	
SNUSAT-1/ SNUSAT-1b	Seoul National University	QB50/ Oxygen detection	2	Done (2017.4.18.)	Atlas-V	FIPEX(φ-Probe-Experiment)	
SNUSAT-2	Seoul National University	Early observation of region of interest	3	Under Development (2018.2-3 quater, TBD)	Falcon 9	Wide Angle Camera, High Resolution Camera, Star Tracker	
STEP Cube Lab.	Chosun University	Verify the technical effectiveness of payloads	1	Done (2017.12, TBD)	PSLV	Holding & Release Mechanism, MEMS-based Solid Propellant Thruster, Concentrating Photovoltaic System, Variable Emittance Radiator, Phase Change Material	
Tom & Jerry	Yonsei University	Demonstration virtual telescope with two cubesats	2/1	Done (2017.12, TBD)	PSLV	4 Laser Diodes, Visible Camera	
VisionCube	Korea Aerospace University	Images of TLEs, Development of VSCMG	2	Under Development (2018.2-3 quater, TBD)	Falcon 9	Camera, TLE Detector, VSCMG	

III. 국내 큐브위성 개발현황

3.1 개요

국내 큐브위성 개발현황은 Table 1과 같이 총 19기의 큐브위성이 제작 완료되거나 제작 진행 중에 있다. 큐브위성 제작 초기에는 대학교 및 개인이 독자적으로 제작하는 사례가 많았다. 이후 2012년부터 과학기술정보통신부 주최, 항우연 주관으로 우주기술 전문인력 양성과 저변확대를 위한 큐브위성 경연대회를 개최하여 9기의 큐브위성의 개발 완료 및 개발 중에 있으며, 이 중 1기(KAIST LINK 큐브위성)는 2017년 5월에 ISS로부터 궤도에 성공적으로 투입되었다[27]. 또한, 항우연, 천문연 등에서 6U 크기의 표준형 큐브위성 개발과 과학 임무 수행을 위한 편대비행용 큐브위성을 개발 하고 있다. 2017년 상반기 3기 발사(KAIST LINK, 서울대학교 SNUSAT-1,1b)에 이어 2017년 하반기부터 2018년까지 9기의 큐브위성이 발사될 예정이다. 이 중, 경연대회 선정팀인 2012, 2013팀의 큐브위성 5기가 2017년 하반기에 발사 예정이며, 2015팀의 큐브위성 3기와 공군사관학교의 K²SAT이 2018년에 발사될 예정이다.

3.2 초기 큐브위성 제작

2000년에 들어서며 큐브위성의 표준화와 저비용으로 인하여 위성 개발이 현실화 되면서 여러 대

학교 및 개인이 큐브위성 개발을 독자적으로 시도하였다. 대학교에서는 학생들에게 실무적 위성 설계/개발 경험을 제공하기 위한 교육적 목적으로 위성 개발을 시작했으며, 대표적으로 한국항공대학교의 HAUSAT-1,2와 경희대학교의 KHUSAT-01, 02가 있다.

HAUSAT-1은 한국항공대학교에서 개발한 국내 최초 1kg급의 큐브위성이다. 우주용 GPS를 이용하여 위성의 위치 획득, 태양 전지 패널 전개 매커니즘의 우주 인증, 연구실에서 기 개발한 태양 센서의 우주 인증 등을 목표로 하였으나, 발사체 발사 실패로 위성을 궤도에 올리는데 실패하였다. 또한 동 연구실에서 개발한 HAUSAT-2는 25kg급의 소형위성으로 대학수준에서 두 번째로 수행되는 위성 개발 프로젝트였다. 동물의 활동과 생태



Fig. 10. Status check of KAIST LINK

Table 2. Development of Cubesats in early of 2000

	HAUSAT-1	HAUSAT-2	KHUSAT-01,02
Organization	Korea Aerospace University	Korea Aerospace University	Kyunghee University
Mission	Educational, GPS data acquisition	Animal tracking, Measurement of space plasma	Particle detection, Measurement of space radiation
Launch Date	2006.6.28 (Failure of launch vehicle)	Undetermined	2013.11.21
Launcher	Dnepr	-	Dnepr
Orbit[km]	-	-	600 x 755
Size[U]	1	-	3
Size Detail[mm ³]	100x100x100	320x320x400	100x100x340.5
Mass[kg]	1	25	3.14
Power[W]	1.3	20	3
Payload	Space-borne GPS Receiver, Solar Panel Deployment, Sun Sensor	Animal Tracking System, Electric Plasma Probe, Star Tracker, Total Ionizing Dose Meter, Plug-and-Play type BEU	Magnetometer, Electron & Ion Particle Detector
Frequency [MHz]	145.84(up) 435.840(down)	145.84(up) 435.840(down)	450(up) 2.2~2.3GHz(down)

를 연구할 수 있도록 추적 시스템 구축과 전기 플라즈마 탐침을 이용한 우주 플라즈마 환경 측정을

주 임무로 개발완료 하였으나 발사는 미정인 상태이다. 이 두 프로젝트는 학생들에게 다학제간의 통합 설계 수행의 기회를 제공하고, 학생들 중심의 위성 설계, 제작 및 발사에 이르는 전 과정을 체험하게 했다는데 큰 의미가 있다[20,21].

Table 3. K²SAT and OSSI-1

	K ² SAT	OSSI-1
Organization	Korea Air Force Academy/ KAIST	Song Hojun (Personal)
Mission	Earth observation, Voice repeating	Transmission of Moss code signal
Launch Date	2018.2~4 quarter(TBD)	2013.04.19
Launcher	Falcon 9	Soyuz 2-1a
Orbit[km]	-	575
Size[U]	3	1
Size Detail[mm ³]	100x100x300	100x100x100
Mass[kg]	3.4	0.95
Power[W] (Production/Consumption)	8.21	-
Payload	Nanocam C1U, FM Repeater SatComm TP0	4 LEDs, Microcontroller
Frequency[MHz]	145.835(up) 435.835(down)	435.525(down)

경희대학교의 큐브위성 KHUSAT-01,02는 각각 가로, 세로, 높이 10 x 10 x 34cm³의 위성으로, 미국의 버클리 대학교와 우주 기후 관측을 목표로 하는 CINEMA 프로젝트로 개발되었다. 버클리 대학교는 CINEMA 1호를 개발하고, 경희대학교는 KHUSAT-01,02(CINEMA 2,3호)를 개발하였다. CINEMA 프로젝트의 주 임무는 지구 근접 우주 환경 및 우주과학 연구와 에너지 입자 검출, 지구 자기장의 변화를 검출하는 것으로 초소형 입자 측정기를 탑재하였다. KHUSAT-01, 02는 2013년 11월 발사에 성공하였으나, 임무 데이터를 수신하지 못한채 2014년 11월 위성 운영을 종료하였다[22].

이외에도 개인이나 대학교에서 독자적으로 제작한 OSSI-1, K²SAT이 있다. OSSI-1은 예술가인 송호준이 2008년부터 개인이 개발 및 발사한 세계 최초의 위성으로, 2013년 발사되었다. "OS0 DE OSSI1 ANYOUNG"로 시작하는 모스부호 비콘을 전송하고, 오픈 프로토콜을 사용해 이를 비출수 있는 4개의 LED를 탑재하였다. 그러나, 발사 후 위성의 신호를 수신하는데 실패하였다[23,24].

Table 4. Selected Teams of 2012 Cubesat Contest

	LINK	KAUSAT-5	Tom & Jerry
Organization	KAIST	Korea Aerospace University	Yonsei University
Mission	Measurement of mass and particle temperature/density at ionosphere	Earth observation, Space radiation measurement	Demonstration Virtual with Telescope with two Cubesats
Launch Date	2017.4.18. launch 2017.4.22. ISS docking 2017.5.1. into orbit	2017.12(TBD)	2017.12(TBD)
Launcher	Atlas-V	PSLV	PSLV
Orbit[km]	400	505.563	505.563
Size[U]	2	3	2/1
Size Detail [mm ³]	100x100x227(before) 791.6x255.6x227(after)	300x100x100	112.4x113.2x244.7 (1) 517.1 x 517.1 x 244.7(2) 107.4x107.6x117(before/after)
Mass[kg]	2.253	< 4	2.25/0.81
Power[W] (Production/Consumption)	4.16/3.3	13/6.5	13/2.5 2/1.8
Payload	Ion/Neutral Mass Spectrometer, Langmuir Probe	IR Camera, Geiger Muller	Visible Camera, 4 Laser Diodes
Frequency [MHz]	145.885(up) 436.030(down)	145.84(up) 437.265(down) 2.413GHz(down)	435(1U up/down) 435.020(2U up/down)

K²SAT은 3U 큐브위성으로 공군사관생도 교육을 위해 공군사관학교와 KAIST가 공동으로 개발 중이며, 2018년 발사할 예정이다. K²SAT의 임무는 카메라를 활용한 지구 관측이며, 음성 반복을 위해 FM repeater를 탑재하였다[25].

3.3 경연대회를 통한 큐브위성 제작

3.3.1 2012 큐브위성 경연대회

우주개발에 관심있는 대학(원)생들에게 위성 개발 및 발사 참여 기회를 제공하고자 진행된 큐브위성 경연대회의 1회 선정 팀은 KAIST, 한국항공대학교, 연세대학교가 차지하였으며, 이에 대한 임무 및 시스템 특징은 Table 4와 같다.

KAIST의 LINK는 2U 크기의 큐브위성으로 2012 경연대회에서 선정되었으며, 서울대학교의 S NUSAT-1과 마찬가지로 국제 큐브위성 프로그램인 QB50에도 선정되어 열권 및 이온층 대기 관측을 목표로 제작되었다. LINK 위성은 이온/중성자 질량 분광기 및 이온층의 전자 밀도와 온도를 측정하기 위한 랑뮈어 탐침기를 탑재하여 동시간대의 데이터를 함께 측정하고자 하였다[26]. LINK는 2017년 5월 ISS에서 궤도에 진입하였고, 당일 비콘 수신을 통해 위성의 정상동작을 확인하였다[27].

한국항공대학교의 KAUSAT-5는 3U 크기의 큐브위성으로 5 μ m ~12 μ m 파장대역의 적외선 카메라로 지구를 관측하고 가이거-뮐러(Geiger Muller) 계수기를 활용한 방사능 측정장비를 통해 우주 방사능 측정을 주 임무로 한다. 자체 제작한 제어 모멘트 자이로와 퍼지 로직(Fuzzy logic) 기반의 최대전력 추력기를 우주에서 검증하는 부가 임무를 포함하고 있다. 특히 한국항공대학교는 기존의 위성제작 경험을 바탕으로 위성 버스에서 송신기를 제외하고는 모든 부품을 자체 제작하였다[28].

연세대학교의 Tom & Jerry는 분리형 우주 망원경의 핵심 기술을 2기(2U: Tom, 1U: Jerry)의 큐브위성에 적용하여 우주 공간상에서 검증하고자 개발되었다. 분리형 우주 망원경의 경우 기존 단일 위성에서 초점거리 조절에 대한 한계를 극복하고자 개발되었으며, 위성의 편대 비행을 통해 목표 분해능에 도달할 수 있는 차세대 우주망원경의 형태이다. 두 위성의 상대 위치와 상대 자세를 동시에 일치 시키는 관성 정렬 상태를 유지해야 하며, 이를 위해 비전 정렬 시스템을 이용하였다. 이밖에도 상대궤도 결정을 위해 위성간 통신이 이루어져야 하며 추력기를 이용하여 궤도 제어를 수행한다. Tom은 가시광선 카메라,

전기 추력기 및 반작용 휠을 탑재하였고, Jerry는 레이저 비콘을 탑재하였다. 두 위성은 묶여서 POD에 탑재되며 발사 후 열에 의해 분리된다. Tom이 Jerry의 속도, 위치 데이터를 수신 및 차분하여 궤도를 결정하고, 추력기를 통해 궤도 제어를 수행한다[29].

3.3.2 2013 큐브위성 경연대회

2013년도에 진행된 큐브위성 경연대회의 2회 선정팀은 경희대학교, 충남대학교, 조선대학교이며, 이에 대한 임무 및 시스템 특징은 Table 5와 같다.

경희대학교의 KHUSAT-03은 3U 크기로 개발된 2.95kg의 큐브위성으로 우주방사선에 의한 Linear Energy Transfer 스펙트럼을 측정하고 우주 환경에서의 등가선량을 도출하기 위한 주 탑재체로 TEPC(Tissue Equivalent Proportional Counter)를 개발하였다. 이는 우주 공간에서의 방사선이 인체에 미치는 영향을 위한 연구에 큰 역할을 할 것으로 기대된다. 또한 자기장 센서는 큐브위성에 적합하도록 기존의 다른 위성에서 활용되던 것을 소형화 하여 설계하였으며, 1nT의 분해능과 $\pm 50,000$ nT의 측정 범위를 갖으며 이를 활용하여 우주 자기장을 측정할 계획이다. 특히 소형화에 따른 자기장 센서의 노이즈를 최소화 하여 개발한 것이 특징이다[30].

CNUSAIL-1은 충남대학교에서 개발한 3U 크기의 큐브위성으로 저궤도에서 태양돛을 전개하는 것을 주 임무로 한다. 또한 이를 통해 태양돛 전개와 태양돛 운용에 따른 위성의 자세/궤도 변화를 확인하는 임무를 추가적으로 수행할 예정이다. 태양돛은 우주비행체에서 태양 복사압의 편향으로 추진되는 방식이며, 연료의 한계를 해결하고자 도입된 개념이다. 기존에 대형 태양돛 기반의 심우주 탐사 임무를 위한 테스트 베드의 역할을 수행하게 될 것이다.

특히, CubeSail에서와 같이 임무 종료 이후 태양돛에 의해 발생하는 항력을 이용하여 지구로 재진입 시키는 임무와 마찬가지로 CNUSAIL-1도 궤도 진입후 태양돛을 전개 및 자세 위치 데이터를 획득하고, 임무 말에 태양돛을 이용하여 지구로 재진입 하는 임무를 계획하고 있다. 태양돛의 전개 과정 및 상태를 감시하기 위한 두 대의 카메라가 함께 장착되어 있다[31].

조선대학교의 STEP Cube Lab.은 우주기반 기술 검증용 큐브위성으로 1U 크기의 1kg 미만이다. 위성의 주요 임무는 기 수행된 국내의 우주 핵심기술을 발굴 및 탑재하여 궤도상에서 검증하는 것이며, 이를 위해 다수의 탑재체가 장착되었

Table 5. Selected Teams of 2013 Cubesat Contest

	KHUSAT-03	CNUSAIL-1	STEP Cube Lab.
Organization	Kyung Hee University	Chungnam National University	Chosun University
Mission	Measurement of space radiation and magnetic field	Deploy the solar sail and data acquisition for the effect of deployment	Verify the technical effectiveness of payloads
Launch Date	2017.12(TBD)	2017.12(TBD)	2017.12(TBD)
Launcher	PSLV	PSLV	PSLV
Orbit[km]	505.563	505.563	505.563
Size[U]	3	3	1
Size Detail [mm ³]	100x100x340.5(before) 400x900x1040(after)	100x100x300(before) 2000x2000x300(after)	112.02x111.16x113.5(before) 258.08x258.08x118.11(after)
Mass[kg]	2.95	3.5	0.92
Power[W] (Production/ Consumption)	3.399/2~3	4/3	2.126/1.74
Payload	Tissue Equivalent Proportional Counter, Magnetometer	Deployment System of Solar Sail, Camera System	Holding & Release Mechanism, MEMS-based Solid Propellant Thruster, Concentrating Photovoltaic System, Variable Emittance Radiator, Phase Change Material
Frequency [MHz]	435.780(up) 145.210(down)	145.840(up) 437.100(down)	437.485(up/down)

다. 첫째로 무충격 구속 분리장치는 기존 큐브위성에 적용된 나일론 커팅 방식에 비해 높은 체결력과 낮은 충격량을 지니며, 적용 방법에 따라 동시 구속 및 분리가 가능한 장점을 갖는다. MEMS 집광형 태양전지 시스템은 태양광 사각지대에서의 집광을 통해 전력 생성 효율성을 증가시킨다. 또한 작은 사이즈로 전력 공급과 동시에 점화되어 압력을 통해 추력을 발생시키는 MEMS 기술 기반의 고체 추력기가 포함된다. 기존 히트파이프의 설계 제약 조건을 완화하고, 다양한 형상 제작이 가능한 진동형 히트 파이프가 있으며, 기존의 방사율이 고정된 라디에이터와 달리 저온에서 임무 장비 허용온도 유지를 위한 별도의 히터 전력 소모가 불필요한 장점을 가진 가변 방사율 라디에이터가 장착되었다[32].

3.3.3 2015 큐브위성 경연대회

2015년에 개최된 큐브위성 경연대회의 선정팀은 총 3팀으로 서울대학교 SNUGLITE, SNUSAT, 한국항공대학교 VisionCube이다. 각 팀에서 개발중인 3개의 큐브위성의 임무 및 시스템 특징은 Table 6과 같다.

SNUGLITE 큐브위성은 2U 크기 위성으로 큐브위성용 이중주파수 GPS 수신기를 개발하고, 이를 이용한 전리층 변화 감지를 위해 실제 저궤

도 환경에서의 운용을 검증하는 것을 목표로 하고 있다. 자세결정 및 제어 알고리즘을 개발하여 이를 다양한 탑재체에 적용시키는 기술적 임무를 포함하고 있다. 또한 부 탑재체인 자기장 센서를 관심 영역에 대하여 전리층/자기장 정보 수집에 활용하여, 지진 관측 및 지진의 전조 현상등을 파악에 도움이 될 것으로 보인다[33].

SNUSAT-2 큐브위성은 3U 크기 위성으로, 관심 지역 조기 탐지 임무를 위해 개발중에 있다. 특히 관심지역에 대한 탐사를 위하여 카메라로 얻은 영상에서 정규수분 지수인 NDWI(Normalized Difference Water Index)를 얻어, 이를 통해 하천범람 등을 탐지할 수 있을 것으로 기대된다. 한편 부 탑재체인 NanoStar는 별 감지 및 위치 정보를 얻는데 활용 할 예정이다.

VisionCube 큐브위성은 2U 크기 위성으로, 고층대기 극한방전 현상(TLE:Transient Luminous Events)의 선별적 이미지 획득을 주임무로 한다. 넓은 영역에서 불규칙적으로 발생하는 메가번개를 탐지하여 영상 이미지를 획득하고 온보드 처리하여 압축된 영상을 지상국으로 전송한다[34]. 운용 시나리오는 메가 번개의 크기, 지속시간 및 발생 빈도를 고려하여 설정하였으며, 번개 탐지 검출기로 MaPMT를 사용하였다. 또한 번개 검출 및 영상 확보를 위하여 정밀 자세제어 시스템 및

Table 6. Selected Teams of 2015 Cubesat Contest

	SNUSAT-2	SNUGLITE	VisionCube
Organization	Seoul National University	Seoul National University	Korea Aerospace University
Mission	Early observation region of interest	L1/L2 GPS development, seismic observation	Images of TLEs and development of CMG
Launch Date	2018 2-3 quarter(TBD)	2018 2-3 quarter(TBD)	2018 2-3 quarter(TBD)
Launcher	Falcon 9	Falcon 9	Falcon 9
Orbit[km]	575(TBD)	575(TBD)	575(TBD)
Size[U]	3	2	2
Size Detail[mm ³]	100x100x340(before) 340x140x340(after)	200x100x100(before) 700x100x100(after)	100x100x227(before) 277x227x227(after)
Mass[kg]	3.63	2.1	2.25
Power[W] (Production/ Consumption)	7.2/4	3.6/2.49	4.73/3.74
Payload	Wide Angle Camera, High Resolution Camera, Star Tracker	L1/L2 Dual Frequency GPS Receiver, Magnetometer	Camera, TLE Detector, VSCMG
Frequency[MHz]	430(up) 2.4GHz(down)	437.275(up/down) 2.405GHz(down)	144(up) 435(down)

Table 7. International Contest team

	SNUSAT-1/1b
Organization	Seoul National University
Mission	QB50/ Oxygen detection
Launch Date	2017.04.18
Launcher	Atlas-V
Orbit[km]	400
Size[U]	2
Size Detail[mm ³]	100x100x200
Mass[kg]	2
Power[W] (Production/ Consumption)	3.399/2~3
Payload	FIPEX(Φ-Probe-Experiment)
Frequency[MHz]	145(up)/430.950(down)

3개의 micro-CMG를 사용하여 3축 자세제어를 수행할 예정이다.

각 팀은 큐브위성 제작을 2017년에 완료하고,

2018년에 미국 SpaceX사의 Falcon 9 발사체로 발사할 예정이다.

3.3.4 국제 경연대회 QB50

QB50은 다수의 큐브위성을 네트워크로 연결하는 프로젝트로서, 벨기에의 VKI(Von Kalman Institute)에서 주관하며, 전세계 대학교에서 약 50개의 위성을 동시에 제작/발사하여 저궤도(90~380km) 열권 및 이온층 대기의 여러 특성을 동시에 측정하고자 하는 목표를 가지고 있다. 이들 위성은 발사 후 국제 우주 정거장에서 순차적으로 발사되며, 진주 목걸이 형태로 배치되어 공동 임무를 수행한다. 한국에서는 KAIST와 서울대학교가 프로젝트 팀으로 참여하였다[35].

서울대학교의 SNUSAT-1/1b는 2U 크기의 쌍둥이 큐브위성으로 약 90일 동안 열권 저층부 탐사를 진행하는 과학 임무와 구동기 센서의 고장 검출, 분리 및 복구(FDIR, Fault Detection, Isolation, and Recovery) 등 기술적 임무를 목표로 개발되었다. SNUSAT-1/1b 위성은 KAIST의 LINK와 함께 2017년 5월에 궤도에 투입되었다[36].

3.4 연구소 중심의 큐브위성 제작

최근 미국 NASA 및 유럽우주청 ESA 등의 초

Table 8. Development Cubesat by Institute

	HiREV	SNIPE
Organization	Korea Aerospace Research Institute	Korea Astronomy and Space Science Institute
Mission	Earth Observation Acquisition of high resolution image, video	Measurement ionosphere, Magnetic field measurement, Satellite constellation
Launch Date	TBD	2020.10(TBD)
Launcher	-	-
Orbit[km]	>400	>600
Size[U]	6	6 x 4
Size Detail[mm ³]	300x200x100	300x200x100
Mass[kg]	>8	>12
Power[W] (Production/ Consumption)	48.3/30.62	40(TBD)/26.19(TBD)
Payload	Optical Camera	Solid State Telescopes, Langmuir Probe, Magnetometer
Frequency[MHz]	Undetermined	Undetermined

소형 위성을 활용한 우주탐사 프로젝트를 진행하고 있는 가운데, 항우연에서도 저비용의 우주탐사 임무수행에 활용하기 위해 6U급의 초소형 위성 플랫폼을 개발하고 있으며, 이를 이용한 첫 6U급 초소형 위성인 HiREV(High REsolution Image & Video Cubesat)를 개발 중에 있다[35]. 해당 위성은 6U 크기로 설계되었으며, 약 3U의 공간에 5m급 컬러영상 이미지와 고해상도 동영상 촬영을 위한 광학탑재체를 포함하고 있으며, 나머지 3U의 공간에 해당 탑재체의 운용을 위한 버스 시스템을 Fig. 11과 같이 탑재하고 있다. 해당 위성의 탑재체는 상용 카메라와 망원렌즈를 이용하여 Fig. 12와 같이 국내에서 제작하였다.

또한, HiREV 위성은 추후 저비용 우주탐사 임무에 활용이 가능한 표준 버스 플랫폼의 개발을

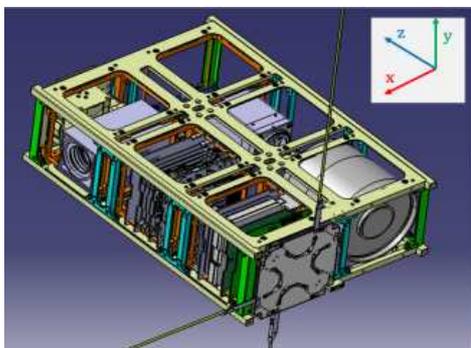


Fig. 11. HiREV Bus Configuration[37]



Fig. 12. Optical Payload for HiREV

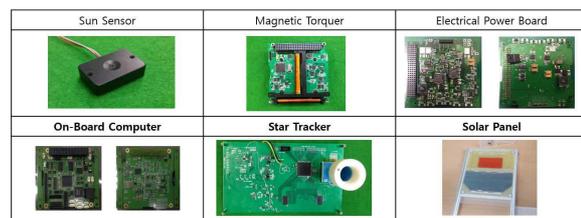


Fig. 13. Domestic Developed Part of HiREV[37]

목적으로 서브시스템에 대한 국산화 및 고성능화를 진행하였다. 그 결과 Fig. 13과 같이 탑재컴퓨터, 태양센서, 자기토키, 반작용휠, 전력계 보드, 별센서, 태양전지판 등의 부품을 국산화 하였다.

일례로 OBC(On-Board Computer)의 경우 큐브위성에 많이 사용되는 400MHz급 프로세서보다 고성능인 866MHz 프로세서를 탑재하여 제작하였다. 또한, 광학탑재체에서 대량의 영상 이미

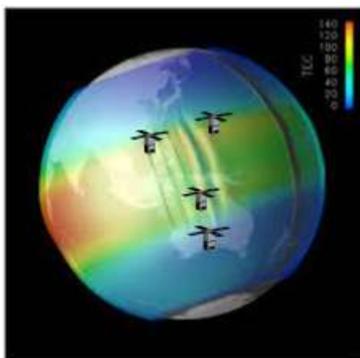


Fig. 14. Formation Flying for SNIPE Mission[39]

지 및 센서 데이터 처리를 위해 상용 OBC도 탑재하고 있다. 위성 시스템의 소프트웨어 부분에서도 미국 NASA에서 공개한 CFS(Core Flight Software)를 적용하여 표준화된 탑재 비행소프트웨어 개발 플랫폼을 제공함으로써 안정성 및 재생산성 등의 활용성을 확보하였다.

한편, 천문연을 주축으로 항우연과 연세대학교에서는 4개의 초소형 위성의 군집비행을 통해 지자기권 및 전리층의 미소 변화에 대한 관측 임무인 SNIPE(Small scale magNetospheric and Ionospheric Plasma Experiment) 프로젝트를 수행하고 있다[38,39].

고도 600km 부근의 이온층 상부에서는 수많은 입자과동 현상이 관측되고 있으며, 이에 대한 분석을 위해 다수의 위성을 이용한 관측이 시도되었다. 하지만, 대다수가 100km 이상의 큰 간격의 군집 운영으로 인해 입자과동 현상에 대한 분석의 한계가 있다. 따라서 SNIPE 프로젝트에서는 총 4개의 초소형 위성을 이용해서 Fig. 14와 같이 궤도에 수직, 수평방향으로 2개씩 정렬한 후 위성간 거리를 10km에서 100km로 늘려가면서 관측된 데이터를 바탕으로 관측된 입자과동의 시간/공간적 분해능을 갖는 관측데이터를 얻음으로써 Electron Microburst, Trough & Polar Cap Patches, Equatorial Plasma Bubble, Electro-Magnetic Ion Cyclotron Waves 등의 현상의 원인을 규명하고자 한다.

이를 목적으로 천문연에서는 SST, LP, MAG의 3개의 탑재체를 1U 크기로 개발하고 있다. 또한, 항우연에서는 해당 관측임무의 수행을 위해 HiREV를 통해 개발한 표준 버스 플랫폼을 활용하여 4개의 6U급 위성 버스 개발 및 전체 조립을 담당하고 있다. 또한, 연세대학교에서는 군집비행을 위한 알고리즘 개발을 담당하고 있다. 이외에 미국의 NASA, 일본의 JAXA와 협력하여 1U의 크

기의 탑재체를 개발하여 탑재할 예정이다. 해당 프로젝트는 2017년 시작했으며 2020년 10월 발사를 목표로 개발 중이다.

IV. 결 론

지금까지, 큐브위성의 기술동향과 국내에서 개발완료 및 개발중인 19기의 큐브위성에 자세히 살펴보았다. 국내에서 초기에는 교육적 목적으로 대학교 단독으로 개발하는 사례가 많았으나, 큐브위성 경연대회를 통한 큐브위성 제작과, 최근에는 항우연, 천문연 등 출연연에서도 우주연구를 위한 큐브위성 제작중에 있다.

아직까지는 발사 및 운영까지 성공적으로 수행된 사례가 많지 않으나, 2017년 5월에 궤도에 투입된 KAIST LINK 큐브위성은 위성과의 데이터 송수신과 일부 임무를 성공적으로 수행함으로써 큐브위성의 기술적인 검증을 확인하였고, 2017년 말부터 2018년 사이에 발사될 9기의 큐브위성의 운영이 성공하게 된다면 국내 큐브위성의 기술 수준을 확인할 수 있게 될 것이다.

최근 1~2년 사이에 나라스페이스테크놀로지, 드림스페이스, 솔탑 등 국내에서 큐브위성 관련 전문기업이 생기는 등 산업적인 효과도 이루어지고 있다. 국내의 큐브위성 개발은 외국에 비해 다소 늦은 면이 있지만 기술의 난이도보다 수행하는 임무를 중심으로 개발 완료된 수기의 큐브위성의 발사 및 운영이 이루어진다면 외국과의 경쟁도 충분히 가능할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2016년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 '큐브위성 경연대회 및 개발' 과제 수행결과의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

References

- 1) Xue, Y., Li, Y., Guang, J., Zhang, X. and Guo, J., "Small satellite remote sensing and applications - history, current and future," *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, No. 15, 2008, pp.4339-4372
- 2) *Cubesat Design Specification REV. 13*, California Polytechnic State University, 2015

- 3) Nanosatellite & Cubesat Database (www.nanosats.eu)
- 4) Cubesat Database (<https://sites.google.com/a/slu.edu/swartwout/home/cubesat-database>)
- 5) ISIS QuadPack (<https://www.isispace.nl/product/quadpack-cubesat-deployer>)
- 6) NASA Nanosatellite Launch Adapter (<http://www.nasa.gov/centers/ames/news/2013/NLAS-ready-for-flight.html>)
- 7) Cubesat Deployment from International Space Station (https://www.nasa.gov/mission_pages/station/research/news/cubesat_deployment)
- 8) Turner, C. G., "NPS TINYScope Program," *Master's Thesis in Naval Postgraduate School*, 2010
- 9) Lokman, A. H., et al., "A Review of Antennas for Picosatellite Application," *International Journal of Antennas and Propagation*, Vol. 2017, Article ID 4940656, 2017
- 10) Rief, A. W., et al., "High-Power Solar Arrays for NanoSats," *Proceeding of GAINSTAM Workshop*, 2010
- 11) Bandyopadhyay, S., et al., "A Review of Impending Small Satellite Formation Flying Missions," *Proceeding of AIAA SciTech Forum*, 2015
- 12) Bowen, J., Villa, M. and Williams, A., "CubeSat Proximity Operations Demonstration (CPOD) Mission Update," *Proceeding of Aerospace Conference IEEE*, 2015
- 13) Franquiz, F. J., et al., "Attitude Control System Design for Multi-Mode Proximity Operations and Imaging with a 6U Cubesat," *Proceeding of AAS GNC Conference*, 2015
- 14) Richard, M., et al. "Uncooperative Rendezvous and Docking for MicroSats," *Proceeding of 6th International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 2013.
- 15) Ridenoure, R. W., et al. "Testing The LightSail Program: Advancing Solar Sailing Technology Using a CubeSat Platform." *Journal of Small Satellites*, Vol. 5, No. 2, 2016, pp.531-550
- 16) Davis, J., "Meet LightSail 2, The Planetary Society's new solar sailing CubeSat," *Internet Article in The Planetary Society*, 2016
- 17) JPL MarCO Mission Website (<https://www.jpl.nasa.gov/cubesat/missions/marco.php>)
- 18) GomSpace Website (<https://gomspace.com/home.aspx>)
- 19) Planet Website (<https://www.planet.com>)
- 20) Hwang, K.-L., Min, M.-I., Moon B.-Y. and Chang, Y.-K., "Mechanical System Design and Development of the HAUSAT-1 Picosatellite," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 32, No. 9, 2004, pp. 103-113
- 21) Moon, B.-Y., Lee, B.-H. and Chang, Y.-K., "Low-Cost Small Satellite Research and Development as an Education Tool," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 34, No. 10, 2006, pp. 80-91
- 22) Cubesat Development Team Website of KHUSAT (<http://khusat.khu.ac.kr>)
- 23) OSSI-1 Wikipedia (<https://ko.wikipedia.org/wiki/OSSI-1>)
- 24) Open Source Satellite Initiative Wikipedia (<http://opensat.cc/wiki/index.php>)
- 25) Shin, M.-G., et al., "Efficiency Analysis and Validation of Telecommunication Design Between K²SAT and Ground Station at Republic of Korea Air Force Academy," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference (in Korean)*, November 2014, pp. 1519-1523
- 26) Kim, J., Jung, Y., Lim, Y., Bang, H. and Marin, M. "Development and Verification for Flight Model of CubeSat LINK," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 45, No. 2, 2017, pp. 114-123
- 27) KAIST, CubeSat LINK Launch Preparation and Operation Results, Report(in Korean), 2017
- 28) Kim, H., Yum, S.-R., Kim, H.-M., Chae, K.-B., Lee, S.-Y. and Chang, Y.-K., "Lessons Learned from the Development of KAUSAT-5," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Spring Conference (in Korean)*, April 2016, pp. 325-329
- 29) Park, J.-P., et al., "System Development for CANYVAL-X(CubeSat Astronomy NASA and Yonsei by using Virtual telescope Alignment-eXperiment) Mission," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Spring Conference (in Korean)*, April 2016, pp. 334-339
- 30) Lee, S., et al., "The Result of Development and Environment Test for the KHUSAT-03 (SIGMA)," *Proceeding of The Korean Society for A*

eronautical and Space Sciences Spring Conference (in Korean), April 2016, pp. 340-343

31) Koo, S., et al. "Mission and Conceptual System Design of Solar Sail Testing Cube Satellite CNUSAIL-1," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 42, No. 7, 2014, pp. 586-593

32) Kwon, S.-C., et al., "Preliminary System Design of STEP Cube Lab. for Verification of Fundamental Space Technology," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 42, No. 5, 2014, pp. 430-436

33) Kim, O.-J., et al., "Mission and Payload Developments of SNUGLITE Cubesat," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Fall Conference (in Korean)*, November 2016, pp. 442-443

34) Kim, S., et al., "Preliminary Design Results of the VisionCube System for Observing Megalightning," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences Spring Conference (in Korean)*, April 2016, pp. 322-324

35) QB50 Website (<http://www.qb50.eu>)

36) Kim, M.-G., et al., "Simulator Design for Verification of SNUSAT-1 Attitude Control Algorithm," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Fall Sciences Spring Conference (in Korean)*, November 2014, pp. 411-414

37) Kim, H.-D., Choi, W.-S., Cho, D.-H., Kim, M.-K., Kim, J.-H., Sim, E.-S., Lim, S.-M. and Kim E.-J., "Current Status of the Development of 6U CubeSat for High REsolution Image and Video (HiREV CubeSat)," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Fall Sciences Spring Conference (in Korean)*, November 2016, pp. 444-445

38) Hwang, J., Lee, J., Shon, J., Park, J., Kwak, Y.-S., Nam, U.-W. and Park, W.-K., "Small scale magnetospheric and Ionospheric Plasma Experiments: SNIPE mission," *Proceeding of The Korean Space Science Society Spring Conference*, April 2017, pp. 40-41

39) Cho, D.-H., "Geo-magnetic Field Pointing Control of SNIPE for Electron Microbursts Observation," *Proceeding of The Korean Society for Aeronautical and Spring Sciences Spring Conference (in Korean)*, April 2017, pp. 275-276