

리뷰논문

행성탐사용 (초)소형 로버 개발 동향

구건우, 김해동[†]

경상국립대학교 항공우주 및 소프트웨어공학부

Trends in Development of Micro Rovers for Planetary Exploration

Keon-Woo Koo, Hae-Dong Kim[†]

Department of Aerospace and Software Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea



Received: July 9, 2023

Revised: July 28, 2023

Accepted: August 1, 2023

[†]Corresponding author :

Hae-Dong Kim

Tel : +82-55-772-71641

E-mail : haedkim@gnu.ac.kr

Copyright © 2023 The Korean Space Science Society. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Keon-Woo Koo

<https://orcid.org/0000-0001-9468-368X>

Hae-Dong Kim

<https://orcid.org/0000-0001-9772-0562>

요약

무인 탐사로버는 지구가 아닌 타 행성체에서 인간을 대신해 광물자원의 조사와 채굴 또는 여러 가지 과학 미션을 수행하는 도구로써 사용되고 있다. 최근에는 미국이 아닌 일본, 인도, 중국 등 여러 국가에서 우주 개발을 위한 무인 행성 탐사로버의 개발을 시도하거나 실제 타 행성체에서 주행에 성공하는 사례가 생기며 우주로 향한 개발열풍이 가속화되고 있다. 하지만 여전히 행성을 탐사하기 위한 무인 로버의 개발과 운용은 천문학적 비용이 수반되는 위험도가 높은 계획이며, 국가나 정부차원의 주도가 아닌 대학 또는 기업에서 독자적으로 개발을 시도하기에는 현실적인 제약이 크게 따른다. 본 논문에서는 기존의 큐브위성의 개념과 정의를 계승한 큐브로버와 (초)소형 로버의 최근 개발동향을 소개하고 큐브로버 개발의 필요성과 함께 현재 진행되고 있는 행성탐사 사례를 들어 큐브로버의 가능성과 기대사항을 소개하고자 한다.

Abstract

Unmanned exploration rovers serve as tools for investigating mineral resources, mining, and carrying out various scientific on celestial bodies beyond Earth, acting on behalf of humans. Recently, not only the United States but also other countries such as Japan, India and China have been attempting to develop unmanned planetary exploration rovers for space development or have successfully operated them on other celestial bodies. This has accelerated the enthusiasm for space exploration and development. However, the development and operation of unmanned rovers for planetary exploration still entail significant costs and high risks, making it difficult for universities or companies to undertake such project independently without the guidance of financial backing from government entities. In this paper, we describe the recent development trends of micro-rovers, known as Cube Rovers, which inherit the concepts and definitions of traditional Cube Sat. We also introduce the potential and expectations of Cube Rovers through the necessity of their development and ongoing planetary exploration cases.

핵심어 : 행성탐사, 무인 로버, 큐브로버, 초소형 로버

Keywords : planetary exploration, unmanned rover, Cube Rover, micro-rover

1. 서론

로버(rover)란, 천체 표면을 이동하며 탐사하는 탐사선으로, 사실상 차륜이 존재하기 때문에 차량의 일종이라고 정의할 수 있으며, 이러한 로버는 크게 무인 로버와 유인 로버로 구분이 가능하다[1].

행성 탐사용 로버의 임무는 1970년 11월 17일 소련이 개발한 무인 로버 Lunokhod 1호가 달에 착륙하며 미션을 진행했던 사례를 시작으로, 1971년 7월 26일 미국의 Apollo 15호에 탑재된 유인 로버인 월면차가 달에서 최초로 주행을 성공하면서 유인 로버의 계보가 시작되었다[2].

하지만 이후 1986년 Challenger호와 2003년 Columbia호의 폭발사고로 기존 우주탐사의 고비용, 고위험성에 대해 고민하게 되는 계기가 되었고, 이로 인해 이후의 우주탐사 임무를 무인 로버와 로봇이 행성체에 접근하여 자원을 조사하거나 채광하는 등의 대안을 생각하게 되는 새로운 국면을 맞이하였다[3-5].

이러한 상황 속에서 최근 무인 로버를 개발하는 국가들의 동향으로는 미국을 제외한 인도나 중국에서도 꾸준히 착륙선과 무인 로버를 개발하며 행성체에 접근하는 시도를 하고 있다[6,7].

그러나 여전히 무인 로버를 개발하는 비용은 천문학적인 지원이 있어야 하기 때문에 아직은 대학이나 기업이 독자적으로 무인 로버를 개발하기에는 막대한 위험이 수반된다고 할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 기존의 무인 로버가 갖는 개발과정에서의 고비용으로 인해 발생하는 문제점을 해소하기 위한 (초)소형 로버와 큐브(Cube) 위성의 개념으로부터 출발한 큐브로버의 동향을 다루고자 한다.

2. 행성탐사용 초소형 로버 국외 개발 동향

일반적으로 중, 대형 인공위성처럼 기존의 중, 대형 탐사 로버는 개발비용과 기간이 막대하기 때문에 일반적인 대학과 기업에서 개발하기에는 많은 제약사항이 존재한다. 따라서 현재 다양한 연구소와 기업에서는 탐사 로버 자체를 소형화하여 개발비용과 기간에 타협하여 탐사 로버를 개발해야 하는 필요성이 존재한다. 그 중 다양한 초소형 탐사로버 중 큐브위성의 개념을 계승한 큐브로버가 Carnegie Mellon University의 William Red Whittaker 교수팀에 의해 제안되었다[6].

2.1 Cube Rover Utilizing Passive Tail

해당 큐브로버는 두 개의 독립적으로 구동되는 차륜 바퀴와 예측할 수 없는 지형에 대해 안정적으로 주행하기 위한 passive tail로 구성되어 있다[7].

Table 1처럼 큐브위성의 개념을 차용하였기 때문에 큐브위성과 같이 2 kg의 목표하중을 초과하지 않도록 설계되었으며, 이후 착륙선에서 전개된 후 20 m 반경까지 나선형 패턴으로 착륙지점을 조사하고 일정 온도 이상에서는 로버가 일시중단 되는 등의 기능을 갖는다[7]. 해당 큐브로버는 두 바퀴로만 주행을 하더라도 안정적인 주행이 가능하도록 후방으로 뻗어 있는 passive tail를 장착하였기 때문에 복잡한 구조의 서스펜션을 사용하지 않아 Fig. 1과 같이 로버의 형상이 단순하다는 특징을 갖는다. 큐브위성의 개념에서 출발된 초창기 큐브로버의 형

Table 1. Specifications of the IRIS Cube Rover [7]

Rover name	Cube Rover (passive tail Cube Rover)
Target mass	2 kg
Total mass	1.937 kg

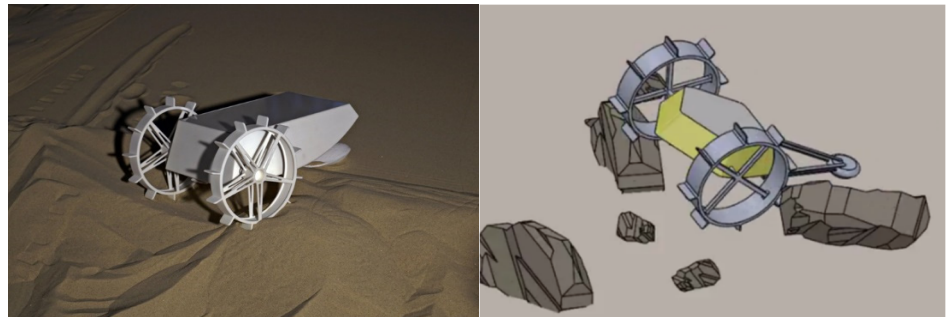


Fig. 1. Early Cube Rover Equipped with a Passive Tail. The Passive tail-equipped Cube Rover (Left) and Simulation environment for testing obstacle climbing (Right) [7].

상은 Fig. 1처럼 장착된 서스펜션 대용의 passive tail때문에 큐브위성의 규격과 형상과는 외견상 달라 보이는 것이 특징이다. 또한 passive tail을 사용하는 큐브로버의 관련 기사를 통해 태양전지패널을 제거하여 경량화와 공간절약을 시도했음을 확인할 수 있었으며, 태양전지판이 제거된 이후 대신 더 큰 방열판을 탑재하고자 하는 시도를 확인할 수 있었다[8].

2.2 IRIS Cube Rover

Passive tail을 사용하는 큐브로버는 기존의 큐브위성처럼 큐브 형태의 플랫폼을 확장하는 방식을 계승하였다고 보기에 무리가 있다. 하지만 Astrobotic의 Peregrine 달 착륙선에 최종적으로 수납되어질 IRIS 큐브로버는 기존의 passive tail을 사용하는 큐브로버와 달리 독립적으로 움직이는 차륜 바퀴 4개가 존재하며, 그 형태는 Fig. 2와 같고 Table 2에서와 같이 총 2 kg의 질량을 가지고 있다고 알려져 있으며, 큐브형태의 25 cm × 17.5 cm × 10.5 cm 규격을

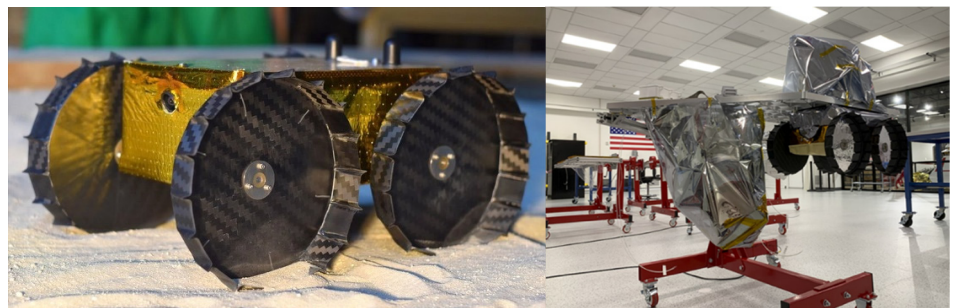


Fig. 2. Carnegie Mellon University's Cube Rover. The first flightworthy IRIS Cube Rover (left) and IRIS Cube Rover installation process (right) [10,11].

Table 2. Specifications of the IRIS Cube Rover

Rover name	IRIS Cube Rover
Mass	2 kg (4.4 lb)
Dimensions	250 mm × 175 mm × 105 mm

가지고 있어 초창기 큐브위성과 달리 외견과 형상이 큐브위성과 흡사해 겹침을 확인할 수 있었다[6,9].

Passive tail을 사용하는 기존의 큐브로버는 무거운 차륜 바퀴를 대체하기 위해 고안되었으나, 주행 시 오히려 더 많은 항력을 발생시키는 문제점이 존재했다[6]. 이에 Carnegie Mellon University의 William Red Whittaker 교수팀은 카본복합재료를 활용하여 병뚜껑 형태의 가벼운 차륜 바퀴를 제작하였고, 이후 passive tail을 제거하고 최종적으로 해당 차륜 바퀴를 장착한 큐브로버를 제작했다[6,9-11].

2.3 Astrobotic Cube Rover

Astrobotic은 IRIS 큐브로버를 수납하게 될 Peregrine 착륙선을 개발한 회사다[12]. 하지만 Astrobotic은 Peregrine 착륙선 외에도 독자적인 큐브로버 개발을 진행하고 있는데, 그 형상과 개념은 Fig. 3처럼 기존의 큐브위성과 가장 흡사하다.

Astrobotic의 큐브로버는 다양한 제원의 큐브로버가 존재하는데, 본 동향조사에서는 2U, 4U, 6U의 총 세 가지 규격의 큐브로버가 존재함을 확인하였다. 또한 Fig. 4와 Table 3에서 보여주는 것처럼 해당 큐브로버는 두 개의 외부 카메라를 사용하여 큐브로버가 주행할 때마다



Fig. 3. An Introduction to the Cube Rover Developed by Astrobotic [13,14].

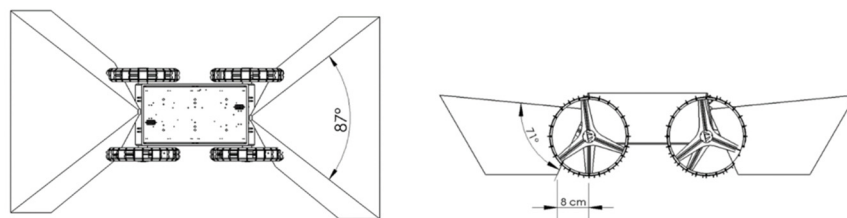


Fig. 4. Vertical and horizontal fields of view the Astrobotic Cube Rover Camera [15].

Table 3. Specifications of the Astrobotic Cube Rover [15]

Rover name	Astrobotic Cube Rover (2U)
Rover mass	Up to 5 kg
Dimensions	40 cm × 50 cm × 28 cm
Payload-rover protocol	Serial RS-422
Rover-lander protocol	2.4 GHz WiFi
Normal speed	4 cm/sec
Camera	Front and rear view, 16-megapixel resolution
Localized precision	0.06 mm/m
Payload loading power	0.5 W/kg, peak: 10 W (2U)
Battery interface	DC 28 V Lithium-ion (2U)

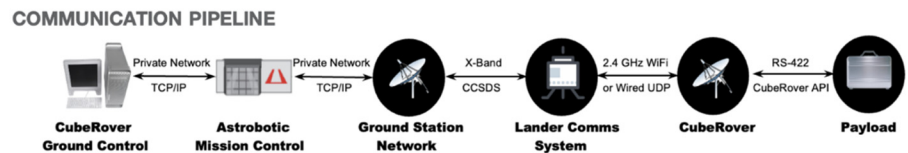


Fig. 5. The communication pipeline of Astrobotic Cube Rover [15].

다양한 크기와 압축률을 가진 이미지를 전송할 수 있다. Astrobotic은 navigation과 localization을 위해 16-megapixel 카메라가 사용되고 로버가 움직일 때마다 지상국에서 로버의 주변 상황을 쉽게 인식하도록 할 수 있다[15]. 추가적으로 Astrobotic의 큐브로버는 큐브로버로부터 얻어진 이미지의 특정 영역을 잘라낼 수 있는 기능을 가지고 있어, 전체 해상도 이미지를 전송할 필요 없이 큐브로버의 데이터 전송 효율을 최적화 할 수 있으며 구체적인 지상국과 큐브로버 간의 통신 파이프라인을 Fig. 5와 Table 3과 같이 제시하였다[15].

3. 행성탐사용 초소형 로버 국내 개발 동향

3.1 한국원자력연구원 소형 채광로봇

인류의 화성탐사 또는 심우주 탐사의 전진기지 역할을 기대할 수 있는 달 기지의 지속가능한 운영을 위해 달 현지에서 직접 자원을 확보하는 미션은 중요하게 여겨진다[5]. 따라서 Fig. 6과 같이 한국원자력연구원은 달 기지의 운영을 위해 달 표토를 채광할 수 있는 장치를 개발하였으며, 해당 로봇은 달 표토를 채광할 수 있는 장소까지 이동하며 최종적으로 달 표토를

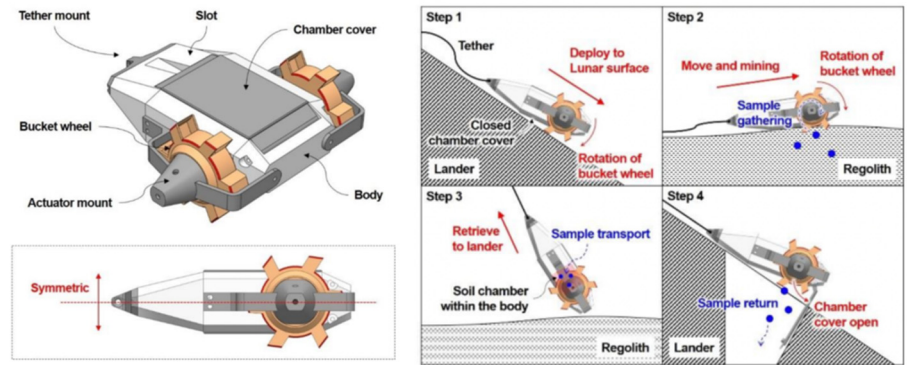


Fig. 6. Small-Scale Mining Robot by the Korea Atomic Energy Research Institute. Mining robot for regolith extraction (left), regolith mining methods of mining robots (right) [5].

채광하는 임무를 갖는다. 해당 로봇의 구동부이자 달 표토를 채광하기 위한 장치인 두 개의 Bucket Wheel는 달 표토를 로봇 내부로 이송하여 보관할 수 있다. 이후 충분한 채광이 완료 되면 해당 채광로봇이 착륙선에 복귀할 때 보관된 달 표토 샘플들을 착륙선 내 수집된 표토를 주입할 수 있는 장치에 떨어뜨리며 임무를 완수하게 된다.

3.2 한국과학기술연구원 달 탐사로버

2030년 한국형 달 탐사 임무 완수 미션을 위해 한국과학기술연구원에서 개발된 소형 달 탐사로버의 형상은 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 좌측의 초창기 POC(proof of concept) 모델은 13 kg의 무게를 가지며, Table 4와 같이 500 mm × 700 mm × 250 mm 크기에 4 cm/sec의 속도로 이동할 수 있으며 2015년, 달 환경을 고려한 로버 개발모델(DM)의 1차 버전 개발 이후 Fig. 6에서 우측의 이미지와 같이 기존의 1차 버전의 모터수를 8개에서 4개로 감소시키고 구동부 풀링 메카니즘, FPGA(Field Programmable Gate Array) 기반 로버 주행 모터 제어 시스템을 추가해 최종적으로 로버의 목표 하중과 최적 기구부 조합을 도출하여 현재의 2차 버전으로 발전되었다[16-18]. 현재 개발된 해당 2차 버전의 로버는 총 12.85 kg의 무게를 가지고 있으며, 24 V 50 W DC 모터를 사용하며 지구와 달 탐사 로버 간 원격통신을 가정하여 로버를 원격으로 제어하는 실제 테스트까지 진행되었다[19,20].

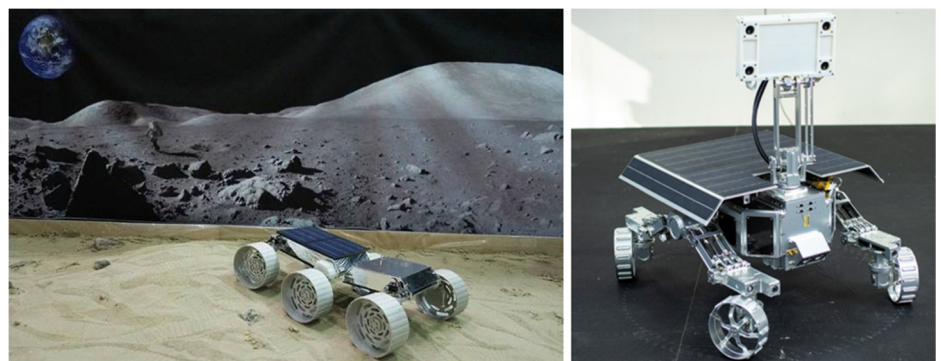


Fig. 7. Lunar Exploration Rover developed by KIST [16-18]. KIST, Korea Institute of Science and Technology.

Table 4. Specifications of the Lunar Exploration Rover Developed by KIST [19–21]

Rover name	Korea Lunar Exploration Rover (second version)
Mass	12.85 kg
Dimensions	50 cm × 70 cm × 40 cm
Motor	DC 24 V
Normal speed	4 cm/sec

KIST, Korea Instituts of Science and Technology.

또한, 달에서의 우주방사선에 대응하기 위해 내부 전자회로의 피복을 두겹게 만들고 그 위를 납과 같은 차폐재로 감싸는 별도의 보호장치도 제작되어 적용되었다(Table 4)[21].

3.3 무인탐사연구소 탐사로버

무인탐사연구소에서 개발한 탐사로버는 소형 탐사로버로 개발되었으며, 그 형상은 Fig. 8과 같다. 해당 Fig. 8과 같이, 무인탐사연구소에서는 각각 차륜이 두 개의 로버인 Scarab과 바퀴가 4개로 구성되어 있는 탐사로버인 Haetae의 프로토타입을 개발하였다[22]. 중, 대형의 탐사로버의 경우 rocker-bogie 타입의 suspension 구조를 가지지만 이와 같은 소형 탐사로버의 경우에는 공간적으로 이를 구현하기가 불리하여 Scarab 탐사로버는 Carnegie Mellon University의 초창기 큐브로버와 유사하게 passive tail처럼 서스펜션 구조를 대체하는 tail stabilizer가 존재하는 것을 확인할 수 있었다. Haetae 탐사로버의 경우 rocker가 연결된 3개의 베벨기어를 통해 이를 서스펜서로 사용해 바퀴마다 토크전달과 접지력을 유지할 수 있도록 설계되었으며, Scarab과 Haetae 탐사로버의 규격과 성능은 Table 5와 같다[22–24].

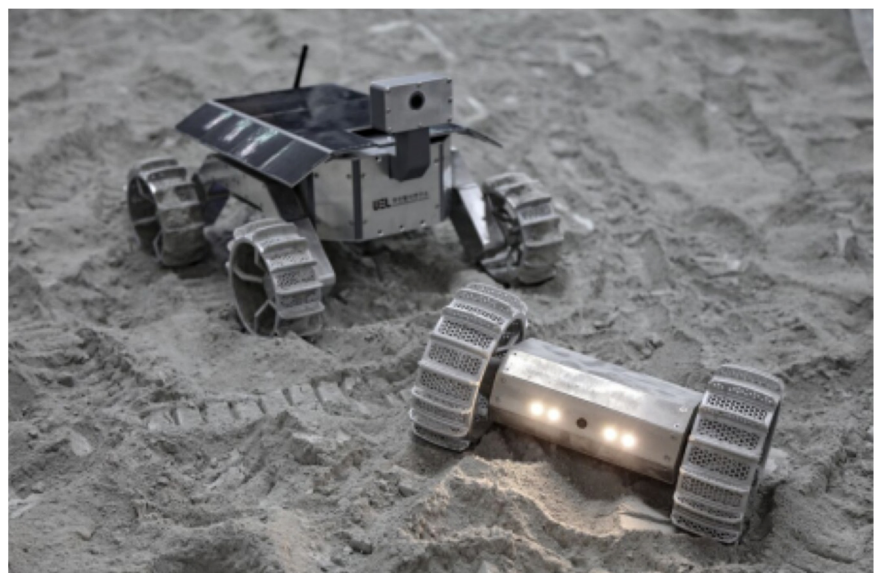


Fig. 8. Introducing the Exploration Rover Developed by the UEL [25].

Table 5. Specifications of the Exploration Rover developed by the UEL [22]

Rover name	Item	Specification
Scarab	Mass	2–5 kg
	Dimensions	25–45 cm × 15–25 cm × 15–25 cm
	Operational range	150 m/charge
	Maximum speed	200 cm/min
	Camera	800 megapixel camera
Haetae	Mass	10–15 kg
	Operational range	400 m/charge
	Maximum speed	400 cm/min
	Camera_1	IR camera
	Camera_2	Stereo vision camera

또한 소형 탐사로버의 특성상 중, 대형 탐사로버와 달리 바퀴 면적이 작다는 특징을 가지고 있다. 따라서 작은 바퀴를 가지고 있는 소형 탐사로버는 달의 저중력 상태로 인한 수직항력 감소와 부드러운 월면토 위에서 마찰력이 부족하게 되어 바퀴가 헛도는 현상이 발생할 수 있다. 이를 위해 무인탐사연구소는 갈퀴 형태 구조로 설계된 바퀴 안쪽에 월면토가 쌓이는 현상을 방지하고 바퀴의 접지력을 높이기 위해 Fig. 9와 같은 Honeycomb 구조의 mesh를 바퀴에 적용해 주행실험을 진행하고 있다[23–25].

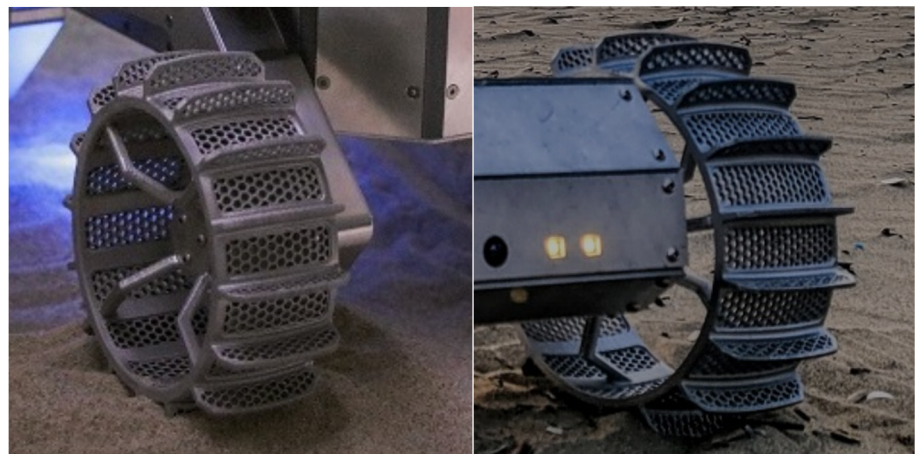


Fig. 9. Wheels of UEL's Exploration Rover with Honeycomb structured and mesh [26].

4. 경상국립대학교 행성 탐사용 큐브로버 소개

본 논문에서는 앞의 사례와 같이, 경상국립대학교 우주시스템연구실에서는 큐브위성의 규격과 개념을 계승하여 보다 저렴하게 행성체에 접근할 수 있는 큐브로버에 대한 연구 및 개발을 진행하고 있다.

해당 큐브로버는 기존의 큐브로버보다 큐브위성의 규격과 개념에 더욱 유사한 내, 외부 형태를 가지고 있으며 다양한 유체의 1U 규격의 탑재체를 수납할 수 있는 공간이 존재한다.

4.1 Gyeongsang National University_G-NU(Demo) 큐브로버 소개

경상국립대학교 우주시스템연구실(space systems lab, SSL)에서 개발한 G-NU 큐브로버는 3U 규격으로, Fig. 10과 같은 형상과 Table 6와 같은 성능을 가지고 있다.

현재 제작된 G-NU 큐브로버의 최종적인 형상과 구성부품은 추후 변경될 가능성이 있으나 4개의 독립적인 구동이 가능한 주행 Wheel과 사용자의 임무 요구사항에 대응할 수 있도록 1U 규격의 추가적인 탑재체를 수납할 수 있는 내부 공간이 존재한다. 해당 Fig. 10의 큐브로버와 같이 사용자의 임무 요구사항에 대응할 수 있는 1U 규격의 추가적인 탑재체를 모사하기 위해 임의로 장착한 LiDAR 센서처럼, 향후 타 천체에서의 외부 환경을 기록할 수 있는 LiDAR 또는 depth camera 등을 사용하여 자율주행을 구현하는 것을 목표로 하고 있다.

또한, Carnegie Mellon University의 초창기 큐브로버와 IRIS 큐브로버와 같이, 큐브로버의 내부 온도가 적정온도인 약 50°C-60°C 이상의 온도일 때, 극한의 저온 환경인 달의 밤 기간 일 때, 자동으로 운행이 종료되는 등의 기능을 추가하여 달과 같은 타 행성체에서 정상적인 운용을 위한 기초적인 기능을 구현하여 적용할 예정이다[27-29].

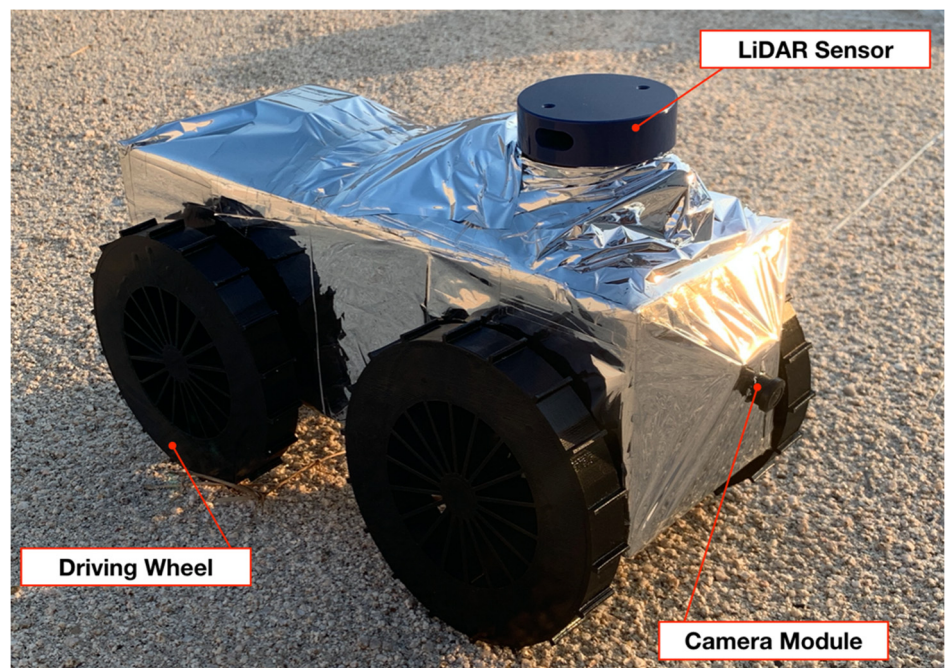


Fig. 10. Introducing the G-NU CubeRover developed by the Gyeongsang National University.

Table 6. Specifications of the Lunar Exploration Rover developed by GNU

Rover name	G-NU Cube Rover_3U (Demo)
Mass	Up to 2.8 kg
Dimensions	16 cm × 15 cm × 31 cm
Operational range	2,400 m/charge
Maximum speed	4 cm/sec
Camera	2 megapixel camera
Battery	5,000 mAh, 5 V

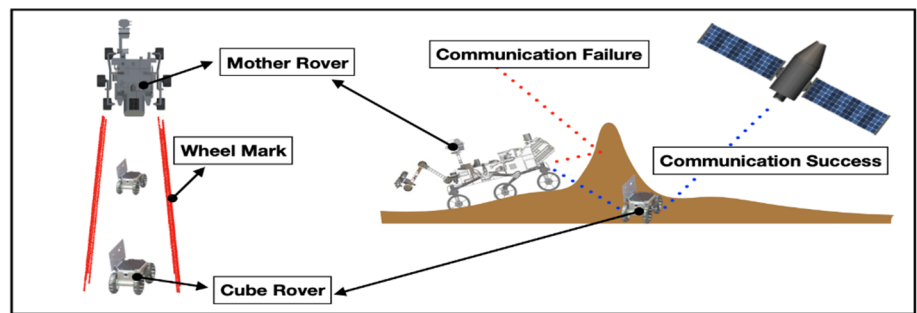


Fig. 11. Introducing the G-NU CubeRover Mission by the Gyeongsang National University.

G-NU 큐브로버의 특징은 기본적으로 지상국의 제어를 통해 독립적인 주행이 가능하지만, Fig. 11과 같이 외부 카메라 모듈을 통해 앞서가는 중, 대형 또는 소형 탐사로버의 차륜자국을 인식하여 자율주행이 가능하다는 특징을 가지고 있다.

해당 기능은 현재의 큐브위성의 운용과 같이 큐브로버도 중, 대형 또는 소형 탐사로버와 행성체 표면에서 같이 전개되어 독립적 또는 협동 미션을 진행하는 것을 고려한 기능이다.

큐브로버가 앞서가는 주 탐사로버(mother rover)의 차륜자국을 따라 주행할 경우 큐브로버는 안전이 보장된 주행경로를 확보하여 Fig. 11처럼 주 탐사로버(mother rover)와 위성 간 원활한 통신연결을 보조하는 용도로 사용할 수 있다. 또는 주 탐사로버와 지상국간 통신이 두절이 되어 직접적인 제어가 어려운 상황에도 주 탐사로버(mother rover)를 안정적으로 주행할 수 있다는 장점을 기대할 수 있다.

4.2 G-NU 큐브로버 주행실험

제작된 G-NU 큐브로버의 주행성능을 확인하기 위해 임시로 제작한 실험장에서 주행실험을 진행하였다.

가로와 세로의 길이가 5 m 규격인 실험장에서 큐브로버와 같은 네트워크를 공유하는 master PC가 큐브로버에 원격접속해 직진, 좌회전, 우회전과 같은 큐브로버의 주행기능을 실험하였다.

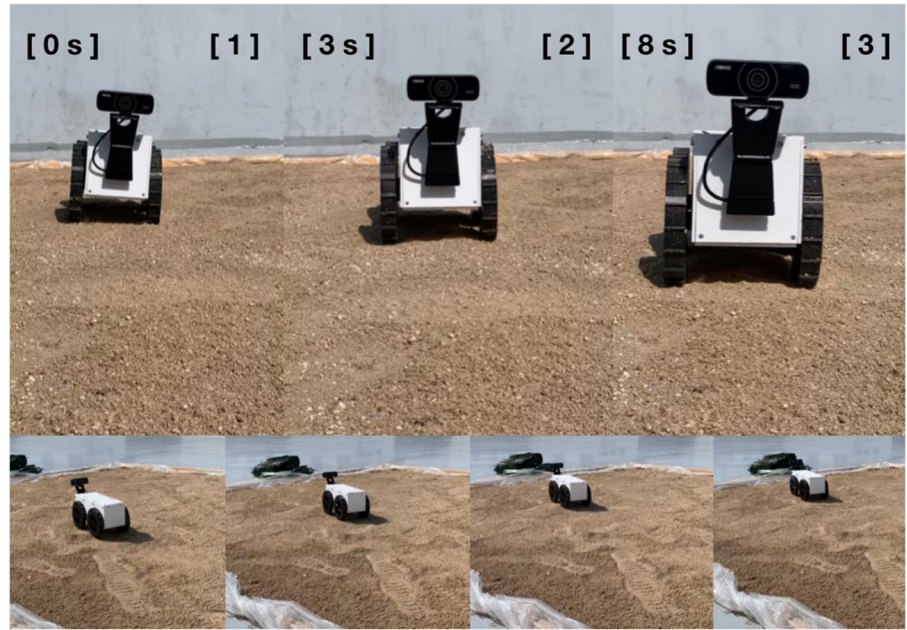


Fig. 12. G-NU CubeRover driving experiment & results.

그 결과, Fig. 12와 같이 약 초속 4 cm의 이동속도를 확인할 수 있었으며, 이는 Astrobotic의 큐브로버의 이동속도와 동등 또는 유사한 결과임을 확인할 수 있었다.

4.3 G-NU 큐브로버 향후연구

G-NU 큐브로버의 최종적인 목표는 행성체 표면에서 지상국간의 통신이 두절되는 상황에서도 자율주행을 통해 이를 극복하고자 하는 것이다.

하지만 큐브위성의 선례와 마찬가지로 큐브로버 또한 독자적으로 운영하는 방식보다는 비용적인 이유로 큐브로버가 중, 대형 또는 소형 탐사로버와 착륙선에 같이 수납되어질 것으로 예상되어진다[30].

착륙선의 착륙 후에는 큐브로버와 중, 대형 또는 소형 탐사로버가 각각 행성체 표면에 전개되어 독립적 또는 협동 미션을 진행하는 방식을 선택할 가능성이 높기 때문에, 타 행성체에서 자율주행을 구현할 때 큐브로버의 주행판단을 위한 주행 데이터를 인지하는 과정에서 안전하고 검증된 좋은 기준이 필요하다.

이러한 이유로 본 G-NU 큐브로버는 같이 타 행성체에 전개된 중, 대형 또는 소형 탐사로버의 주행경로를 기준으로 Fig. 13과 같이 기초적인 컴퓨터비전 기술을 통해 자율주행 기능을 실험적으로 구현하고자 한다.

Fig. 13의 결과와 같이, 행성체 표면에 남겨진 차륜자국을 G-NU의 자율주행 데이터로 사용하기 위한 mask image를 생성하는 과정 중 동일한 조건에서 contour tracing 기법을 사용하는 것이 양질의 차륜자국 mask image를 생성할 수 있었으며, 기타 다른 방법보다 더 높은 FPS(frame per second) 성능을 보여주었음을 확인하였다.

하지만 현재 G-NU 큐브로버의 주행실험을 위해 임시로 제작한 실험장은 타 행성체의 주행환경을 모사하였다고 보기에는 무리가 있다.

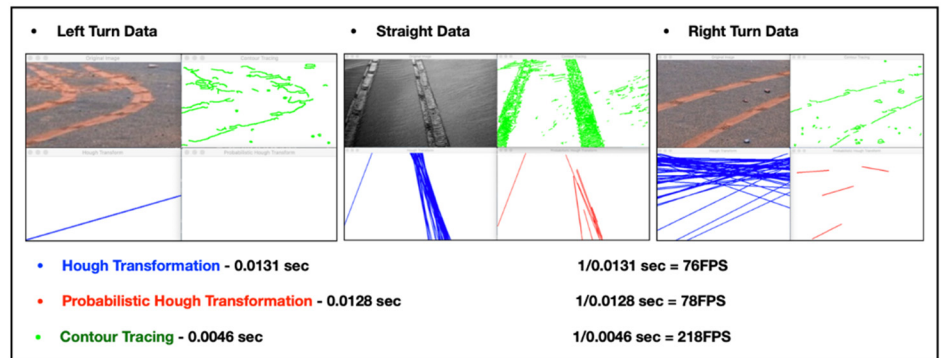


Fig. 13. Wheel mark recognition and tracking demonstration method for G-NU CubeRover.

따라서 추후 연구에서는 달의 저중력 환경 및 표토와 유사한 입자를 가진 토양을 사용하여 실험을 진행할 필요가 있다.

5. 결론

본 논문에서는 보다 저렴하게 천체에 접근할 수 있는 초소형 탐사로버 대한 소개와 이와 관련된 현재 큐브로버의 연구 및 개발 동향을 소개하였다.

또한 현재 경성국립대학교 우주시스템연구실(SSL)에서 진행 중인 큐브로버 관련 연구와 향후 연구에서 큐브로버의 자율주행에 대한 필요성을 제시하였다.

추가적으로 현재 연구중인 큐브로버가 지향하는 목표는, 최종적으로 G-NU 큐브로버가 앞선 탐사로버의 차륜자국을 tracking하여 주행하는 기초적인 자율주행뿐 아니라, 차륜자국이 라는 일종의 cheating data가 없는 독립적인 주행환경에서도 LiDAR 또는 depth camera와 같은 센서를 사용하여 안정적인 자율주행을 구현하는 것을 목표로 하고 있다.

이와 유사한 연구 사례로는 Carnegie Mellon University에서 IRIS 큐브로버의 개발을 주도한 William Red Whittaker 교수의 사례가 대표적이며, 추후 발사 예정인 초소형 무인 달 탐사선 MoonRanger에 다양한 기술을 실험적으로 적용해 앞으로 어두운 극지방 그림자 지역을 스스로 통과할 수 있도록 Fig. 14와 같은 navigation 경로 인식 기법 등을 활발하게 연구하고 있는 동향을 파악할 수 있었다[31].

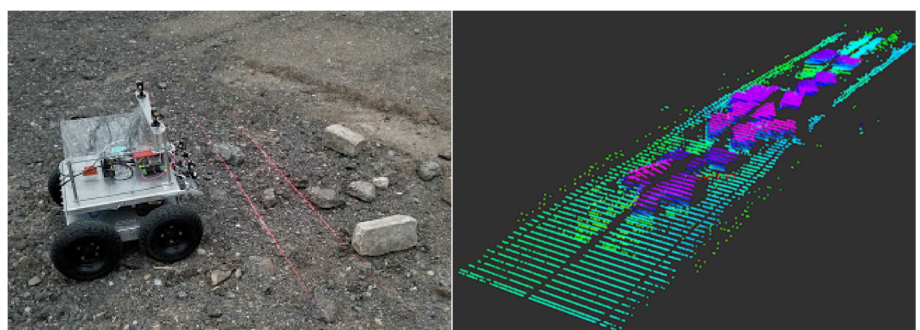


Fig. 14. Introducing about Carnegie Mellon University Rovers: Dual-laser setup on testing on a testing platform (Left) and integrated light striping reconstruction & pose estimator (Right).

이처럼 큐브로버의 다양한 기능 개발로 하여금 큐브위성의 사례와 같이 개발과 운용에 대한 리스크가 상대적으로 낮아짐으로써 앞으로 대학과 기업의 더욱 도전적이고 다양한 미션이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 경상국립대학교 2022년 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단 미래우주 교육센터(2022M1A3C2074536)의 지원을 받았으며 이에 감사드립니다.

References

1. Wikipedia, Rover (space exploration) (2022) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://ko.wikipedia.org/wiki/%ED%83%90%EC%82%AC%EC%B0%A8>
2. Ahn SM, Lee YG, Kim SP, Kim TS, Moon SM, Space rover development and domestic technology, *Curr. Ind. Technol. Trends Aerosp.* 6, 27-34 (2008).
3. Seong H, Hong SW, Moon SM, Between individuals and organizations: reinterpretation of the challenger explosion and finding the interface between STS and engineering ethics, *J. Eng. Educ. Res.* 15, 53-60 (2012). <https://doi.org/10.18108/jeer.2012.15.1.53>
4. Lee J and Rew D-Y, A Review of the Candidate Areas and Missions for Lunar Landing Sites based on NASA Workshop & Overseas Landing Missions, *J. Space Technol. Appl.* 1(3), 375-395(2021)
5. Lee WS, Ryu DS, Park JW, Shin HC, Conceptual design of bucket wheel typed compact mining robot for Lunar ISRU mission, *Proceedings of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 2023 Spring Conference*, Jeju, Korea, 19-21 Apr 2023.
6. Carnegie Mellon University News, Iris lunar rover meets milestone for flight (2020) [Internet], viewed 2023 Apr 1, <https://www.cmu.edu/news/stories/archives/2020/may/iris-meets-milestone.html>
7. Spaceflight Insider, Astrobotic spins out CubeRover, opens offices in Luxembourg (2018) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://www.spaceflightinsider.com/missions/commercial/astrobotic-spins-out-cuberover-opens-offices-in-luxembourg/>
8. Tallaksen A, CubeRover - 2-kg Lunar rover [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://andrewtallaksen.com/2018/02/19/cuberover-2-kg-lunar-rover/>
9. Tallaksen AP, Horchler AD, Bojrum C, Arnett D, Jones H, et al., CubeRovers for lunar exploration, in *Lunar Exploration Analysis Group (LEAG 2017) Conference*, Columbia, MD, 10-12 Oct 2017.
10. BBC News, Iris: student-built robot rover on track to explore the Moon (2022) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://www.bbc.com/news/science-environment-60231748>

11. Spacelight Insider, Astrobotic spins out CubeRover, opens office in Luxembourg (2018) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://www.spaceflightinsider.com/missions/commercial/astrobotic-spins-out-cuberover-opens-offices-in-luxembourg/>
12. International Astronautical Federation, John Thornton (2023) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://www.iafastro.org/biographie/john-thornton.html>
13. Collect Space, Astrobotic awarded more than \$1 million to advance CubeRover payloads (2020) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <http://www.collectspace.com/ubb/Forum35/HTML/001006.html>
14. Rundown R, Astrobotic deliver lunar micro rover to NASA for testing [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://rocketrundown.com/astrobotic-deliver-lunar-micro-rover-to-nasa-for-testing/>
15. Astrobotic Technology, Cuberover payload user's guide (2021) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://www.astrobotic.com/wp-content/uploads/2021/07/CubeRover-Payload-Users-Guide-v1.7.pdf>
16. HelloDD.com, KIST develops technology verification for Korean lunar exploration rover (2015) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://www.hellodd.com/news/articleView.html?idxno=52071>
17. Robot Media, Young robotics engineer, Dr. Woo Seob Lee(19) from KIST (2018) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <http://www.irobotnews.com/news/quickViewArticleView.html?idxno=15525>
18. Robot Media, [KRoC 2020] Invited lecture (2) by Dr. Woo Seob Lee and Professor Jung Kim featuring Korean lunar exploration rover and soft-actuated ankle assist device as topics (2020) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <http://www.irobotnews.com/news/articleView.html?idxno=21972>
19. Seo M, Lee W, Study on mobility of planetary rovers and the development of a lunar rover prototype with minimized redundancy of actuators, *J. Korean Soc. Prec. Eng.* 36, 339-348 (2019). <https://doi.org/10.7736/KSPE.2019.36.4.339>
20. KIST Artificial Intelligence and Robotics Institute, [Premium report] Journey into the field of robot development in Korea (2021) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://www.airi.kist.re.kr/news/activity/peurimieom-ripoteu-hangug-robos-gaebalyi-hyeonjange-gada?lang=ko>
21. Donga Science, [Premium report] Journey into the field of robot development in Korea (2020) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: https://v.daum.net/v/20200126060042155?s=print_news
22. UEL, Brochure (2023) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <http://www.uel.co.kr/>
23. Physics and Advanced Technology, Crossroads, planetary unmanned exploration and lunar soil experiment (2018) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: https://webzine.kps.or.kr/?p=5_view&idx=16773

24. Hong IS, Yi Y, Ju G, Lunar exploration employing a quadruped robot on the fault of the rupes recta for investigating the geological formation history of the Mare Nubium, *J. Space Technol. Appl.* 1, 64–75 (2021). <https://doi.org/10.52912/jsta.2021.1.1.64>
25. Science Chosun, [Space K] Part 3: “the era of lunar exploration started again… more opportunities opened for K rover” (2023) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://biz.chosun.com/science-hosun/technology/2023/04/24/QKQIIXAFYBFINO6WGKDELOGFFA>
26. Sankyungtoday, “Let’s go to the Moon”...’Unmanned Exploration Research Institute’ Building the only lunar exploration rover in Korea (2023) [Internet], viewed 2023 Jul 1, available from: <https://m.sankyungtoday.com/news/view/1065597007893783>
27. Brunch story, Fly to the moon interview with Jo Nam-seok, CEO of Unmanned Exploration Research (2021) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://brunch.co.kr/@c73ab1fb244e4d7/10>
28. IT World, “Dangerous if over 90 degrees!” checking CPU temperature and its countermeasures” (2021) [Internet], viewed 2023 Jul 19, available from: <https://www.itworld.co.kr/news/209167>
29. Kempenaar J, Novak K, Redmond M, Farias E, Singh K, et al., Detailed surface thermal design of the Mars 2020 rover, Proceedings of the 48th International Conference on Environmental Systems, Albuquerque, NM, 8–12 Jul 2018.
30. YTN Science, Performance verification satellite, ‘Nuri-ho’ successfully deployed CubeSat … world’s first attempt (2022) [Internet], viewed 2023 Apr 1, available from: <https://science.ytn.co.kr/program/view.php?mcd=0082&key=202206301137107354>
31. Jamal H, Gupta V, Khera N, Vijayarangan S, Wettergreen D, et al., Terrain mapping and pose estimation for polar shadowed regions of the moon, Proceedings of International Symposium of Artificial Intelligence, Robotics and Automation in Space, Pasadena, CA, 19–21 Oct 2020.

Author Information

구 건우 rnrjsdinspace@gnu.ac.kr



2020년 경상대학교 기계항공정보융합공학부 항공우주및소프트웨어공학전공으로 입학하였다. 2020년 10월부터 2021년 3월까지, 2021년 10월부터 2022년 2월까지 한국생산기술연구원 서남본부에서 실내 로봇의 자율주행을 위한 컴퓨터비전과 객체인식 딥러닝 연구를 시작하였다. 2023년부터 현재까지, 경상국립대학교 항공우주및소프트웨어공학부 우주시스템연구실 학부생 연구원으로 주로 초소형 탐사로버와 같은 우주로봇의 설계와 구현, 초소형 탐사로버의 타 행성체 오프로드 자율주행 기법 등을 연구하고 있다.

김해동 haedkim@gnu.ac.kr



2009년 KAIST에서 항공우주공학 박사학위를 받았다. 1996년부터 2000년까지 (주)현대우주항공에 아리랑위성 관제시스템 개발을 시작하였으며, 2000년에 한국항공우주연구원으로 이직하여 2022년 8월까지 22년 동안 아리랑위성 1,2,3,3A,5호 및 천리안 관제시스템 개발, 아리랑 1호, 2호 실무운영 책임자, 이외 초소형위성 개발, 우주쓰레기 충돌위험 분석 및 제거 기술 개발, 궤도상서비스 기술 개발을 위한 연구 책임자를 역임하였다. 2022년 9월부터 경상국립대학교 정교수로 부임하여 군집위성 임무/궤도 설계와 해석, 초소형위성을 이용한 궤도상서비스 및 지구 재진입, 위성폐기 기술들을 연구하고 있다.