

기술논문

## 우주용 로봇 팔 기술 개발 동향

원대희<sup>1</sup>, 소병록<sup>1†</sup>, 김해동<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국생산기술연구원

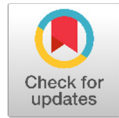
<sup>2</sup>경상국립대학교 항공우주 및 소프트웨어공학부

### A Survey of Space Robotic Manipulator

Daehee Won<sup>1</sup>, Byung-Rok So<sup>1†</sup>, Hae-Dong Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Korea Institute of Industrial Technology, Ansan 15588, Korea

<sup>2</sup>Department of Aerospace and Software Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea



Received: October 17, 2022

Revised: October 31, 2022

Accepted: November 4, 2022

†Corresponding author :

Byung-Rok So

Tel : +82-31-8040-6313

E-mail : newmal@kitech.re.kr

Copyright © 2022 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

Daehee Won

<https://orcid.org/0000-0002-7134-8720>

Byungrok So

<https://orcid.org/0000-0001-8529-3348>

Hae-Dong Kim

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

#### 요약

우주 로봇틱스 기술은 '70년에 소련의 최초 행성 탐사 위성에 로봇 팔을 장착하여 임무에 성공한 이후 최근까지 지구 궤도상의 위성 및 우주정거장에서 우주 파편 제거, 부품 교체/수리, 연료 재급유, 궤도 변경, 우주 정거장 건설 등 다양한 지구 궤도상에서 임무 서비스에 활용하기 위해 연구개발되고 있으며, 달, 화성 등 행성 탐사 프로젝트에서는 행성의 광물 시료 채취, 기지건설 등에 활용하기 위해 다양한 우주용 로봇 팔이 연구개발되고 있다. 최근, 지구의 궤도상 또는 행성에서 직/간접적인 임무 수행을 위한 다양한 우주용 로봇 팔의 활용도가 증가하고 있으며, 각 우주기술 선진국에서도 이를 이용한 새로운 계획을 수립하고 추진 중에 있다. 본 기고문에서는 우주 선진국의 다양한 우주개발 프로젝트에 활용되었고, 또 활용 예정인 주요 우주용 로봇 팔의 기술개발 동향 및 기능에 대해 소개하고자 한다.

#### Abstract

In the 1970s, space robotics was used to attach a robotic manipulator to the first planetary exploration satellite of the Soviet Union. Since then, it has been developed to use various on-orbit services such as space debris removal, parts replacement/repairing, refueling, orbit changing, and construction of a space station in Earth orbit. In planetary exploration projects such as the Moon and Mars, various space robotic manipulators are being designed and developed to be used in the collection of samples and building bases on Mars. Recently, the use of various space robotic manipulators to perform missions in the Earth orbit or on the planet has been increasing. Countries with state-of-the-art space technology plan and implement new space-related projects. In this article, we would like to introduce the technology development trends and functions of space robot manipulators that have been used in various space challenge projects in advanced space technology countries.

**핵심어** : 우주용 로봇 팔, 로봇 위성, 궤도상 서비스, 우주 쓰레기 제거

**Keywords** : space robotic arm, robotic satellite, on-orbit servicing, active debris removal

## 1. 서론

우주 로봇틱스 기술은 '70년에 소련의 최초 행성 탐사 위성인 Luna 시리즈에 로봇 매니플레이터를 장착하여 임무를 성공한 이후 최근까지 지구 궤도상의 위성/우주정거장에서의 임무 서비스를 위해 우주인의 이동성을 제공하거나, 달, 화성 등 행성에서의 시료 채취 등의 목적으로 다양한 우주용 로봇 매니플레이터가 연구개발되었다. 미국항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)과 유럽연합우주청(European Space Agency, ESA)는 중장기적인 계획 하에 화성 및 소형 행성의 샘플 채취를 위해 중점을 두고 우주 로봇틱스 기술을 발전시키고 있으며, 중국, 인도 등과 같은 우주 개발 국가들은 달을 테스트 베드로 한 로봇 미션을 주도하고 있다. 우주 선진국에서 '35년까지 계획된 우주 파편 제거, 궤도 변경/이탈, 조립 및 수리, 연료 재급유 등 많은 궤도상 서비스 프로그램에서는 다양한 고급 우주 로봇틱스 기술개발을 요구하고 있으며, 또한, 이러한 궤도상 서비스를 위한 로봇 임무는 지구 궤도상에서의 다양한 탐사 활동을 직/간접적으로 지원할 수 있도록 개발 중이다.

## 2. 우주용 로봇 팔 개발 동향

우주에서 다양한 임무 수행을 위해 우주기술 선진국에서는 다양한 로봇 팔이 개발되어 사용되고 있으며, 그 중에서 우주의 미세 중력환경에서 우주 정거장 등 대형 우주 시스템 조장이 필요한 곳에는 로봇 팔의 길이가 8 m 이상인 로봇 팔이 주로 사용되며, 중소형 위성, 착륙선 및 로버와 같이 행성 표면에서 작업이나 시료 채취 용도로는 8 m 이내의 짧은 로봇 팔이 사용되고 있으며, 대표적인 우주용 로봇 팔은 다음과 같다.

### 2.1 Canadarm 시리즈[1]

우주정거장에서 사용되는 중대형/고정밀 매니플레이터의 대표적인 사례로는 우주 환경에서 원격조작에 의해 우주인을 비행시키거나 우주정거장 건설을 위한 SSRMS(Space Station Remote Manipulator System)인 미국 NASA와 캐나다 우주국(Canadian Space Agency, CSA)의 Canadarm(The Canadian robotic arm) 시리즈가 대표적이며, '81년 우주왕복선 콜롬비아(STS-2)호에 처음 탑재되었고, 국제우주정거장(International Space Station, ISS) 등 30년 이상 임무 수행하였으며, Fig. 1은 실제 우주정거장에서 운용되고 있는 모습을 보여준다.

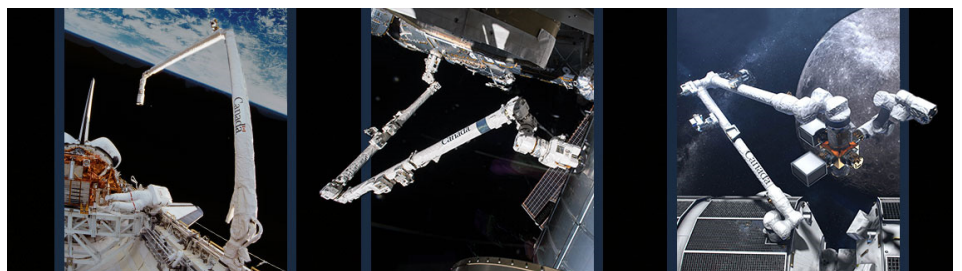


Fig. 1. Canadarm series and Space Station Remote Manipulator System.

**Table 1.** Canadarm series specifications

	Canadarm	Canadarm2	Canadarm3
설치 위치	우주왕복선에 설치 운용되다가 지구로 귀환	국제우주정거장(ISS)에 영구적으로 설치 및 운영	향후 달 궤도의 우주 정거장 Luna Gateway에 설치 및 운영 예정
자유도	어깨 관절 2개 팔꿈치 관절 1개 손목 관절 3개	어깨 관절 3개 팔꿈치 관절 1개 손목 관절 3개	어깨 관절 3개 팔꿈치 관절 1개 손목 관절 3개
길이	15 m	17 m	8.5 m
중량	410 kg	1,497 kg	약 715 kg
제어	우주왕복선의 우주 비행사에 의해 제어	지상 또는 국제우주정거장의 우주비행사에 의해 제어	자율로 제어되며, 지상 또는 Lunar Gateway의 우주비행사에 의해 제어
카메라	2개	4개	6개(4 K)
운영자	미국	캐나다, 미국	캐나다
수리	지구에서 수리	우주에서 수리할 수 있도록 설계 우주에서 개별적으로 교체할 수 있는 이동식 섹션으로 구성	Lunar Gateway 내부에서 수리할 수 있는 섹션이 자가분리 되도록 설계

ISS, International Space Station.

캐나다 우주국에서는 미국 NASA 주도의 유인 우주 탐사를 위해 2024년 발사예정인 달 궤도의 우주 정거장 Lunar Gateway에 인공지능 기반의 로봇 시스템인 Canadarm3를 제공할 예정이며, Table 1은 Canadarm 시리즈의 주요 사양 데이터이다[2].

CSA는 팔을 만들기 위해 MDA(MacDonald, Dettwiler and Associates)와 계약을 맺고 Canadarm2와 3를 만들었고, 이전 자회사인 Spar Aerospace는 Canadarm을 만들었다.

## 2.2 Dextre[2]

“Dextre”는 Canadarm2, ISS 또는 이동 베이스에 장착할 수 있는 특수 목적의 더 작은 양 팔 로봇으로 SPDM(Special Purpose Dexterous Manipulator)이며, 구성 형상 및 주요 사양은 Fig. 2와 같다.

Dextre의 로봇 팔과 그 전동 공구는 섬세한 조립 작업이 가능하고, 현재 우주 유영 중에 우주 비행사에 의해 궤도 교체 장치(ORU)를 교체할 수 있으며, Canadarm2는 “inchworm motion”으로 스테이션 주위를 이동할 수 있지만 Dextre가 장착되지 않으면 아무것도 운반할 수 없다. Dextre는 캐나다 우주국과 MDA에서 팔 길이 3.35 m, 7 자유도로 개발되었으며, 2008년에 처음으로 우주에서 사용되었다.

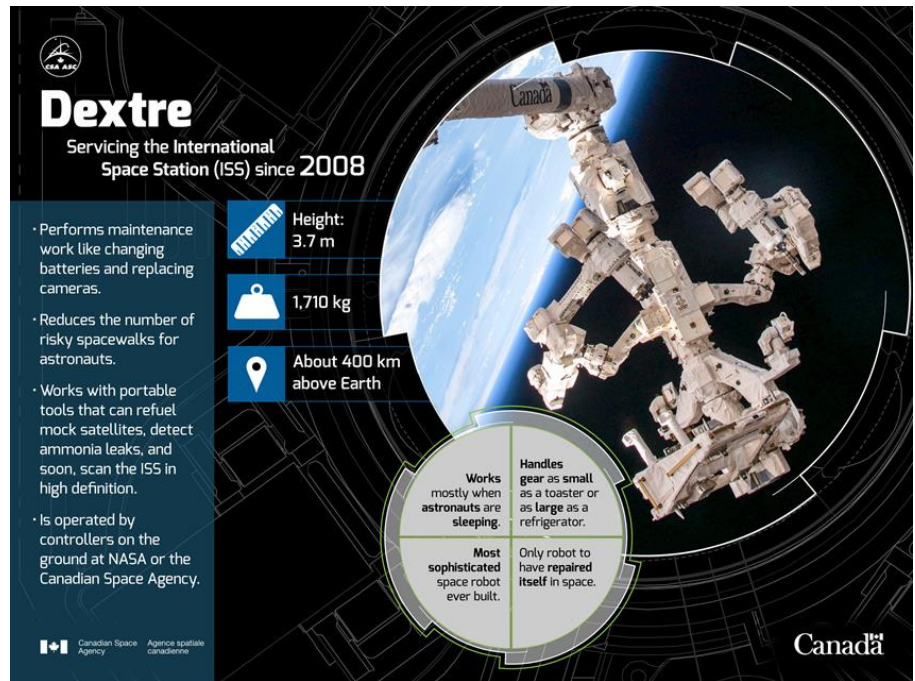


Fig. 2. Dextre Special Purpose Dexterous Manipulator.

### 2.3 European Robotic Arm(ERA)[3]

ERA(European Robotic Arm)는 러시아의 새로운 에어록과 함께 작동하여 작은 탑재체를 국제 우주 정거장 내부에서 외부로 직접 옮기는 작업을 수행하며, 이럴 경우 우주 유영 중인 우주 비행사의 설정 시간이 줄어들고, ERA가 우주 비행사와 함께 작동할 수 있다. 또한, 많은 작업을 자동 또는 반자동으로 수행할 수 있으며, 우주 정거장 내부 또는 외부에서 제어할 수 있으며, 실시간으로 제어하거나 미리 프로그래밍하여 제어가 가능하다.

ERA는 Fig. 3과 같이 Dutch Space에서 팔 길이 11.3 m, 7 자유도로 개발되었으며, 2021년 처음으로 우주에 사용되었다.

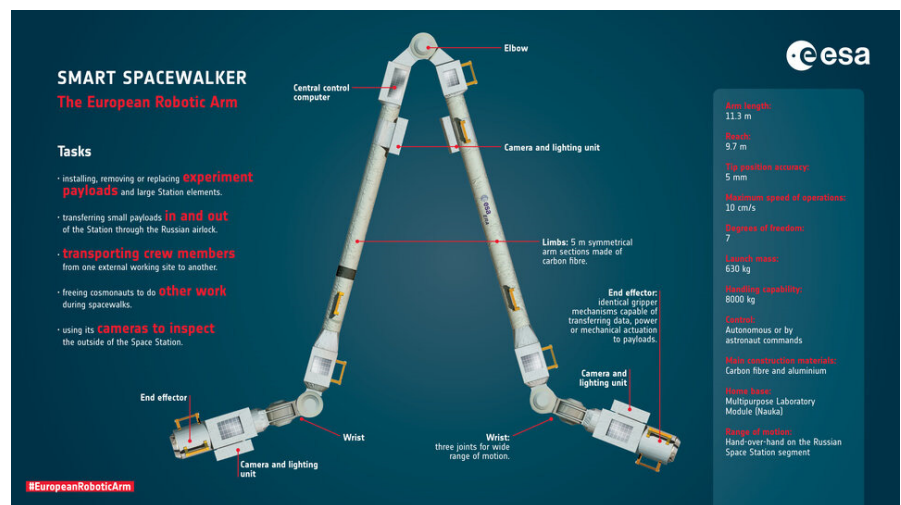


Fig. 3. European Robotic Arm (ERA).

## 2.4 KRAKEN[4]

KRAKEN은 소형 위성 또는 우주선에 탑재하여 우주에서 조립, 제조 및 서비스 임무를 수행할 수 있는 소형 로봇 팔이며, 운용개념 및 팔의 구성은 Fig. 4와 같다.

미국의 Tethers Unlimited(Bothell, WA, USA)가 팔 길이 1 m, 7 자유도, 중량 4.2 kg, 19 cm × 27 cm × 36 cm 부피에 수납이 가능하고, 말단도구 교체가 가능한 인터페이스와 관절의 힘 감지/제어 기능을 제공하도록 개발하였으나, 현재 연구실 수준에서 검증되었으며, 우주 환경에 시험 사례는 없다. KRAKEN은 제어에 EtherCAT 통신을 적용하여 자유도 변경 및 다양한 팔 길이의 로봇 팔 구성이 가능하다.

## 2.5 Mars Exploration Rover Robotic Arms[5]

IDD(Instrument Deployment Device)는 NASA/Maxar/MDA에서 화성 탐사 로버(MER)가 화성 환경에서 암석과 토양에 물리적으로 접근할 수 있도록, Fig. 5와 같이 설계된 로봇 팔 길이 0.9 m, 5자유도의 로봇 팔이며, 2004년 처음 발사되어 사용되었다.

IDD의 말단부에 장착된 4개의 개별 기기를 과학적 조사를 위해 선택된 지질 표본에 심자선을 표시하고, 안전하게 정렬하고 4개의 기기를 배치한다. 또한 각 기기의 끝단에는 기기가 지질 표본과 접촉했을 경우 로봇 팔의 모터가 정지하도록 하게 하는 정밀 접촉센서가 장착되어 있다.

## 2.6 Mars Science Laboratory(MSL) Robotic Arms[6]

화성 과학 실험실 임무는 다른 행성에 대한 NASA의 가장 눈에 띄는 과학 임무로 MSL은 Pathfinder 임무와 Sojourner 로버, 쌍둥이 화성 탐사 로버 및 Phoenix Lander에서 많은

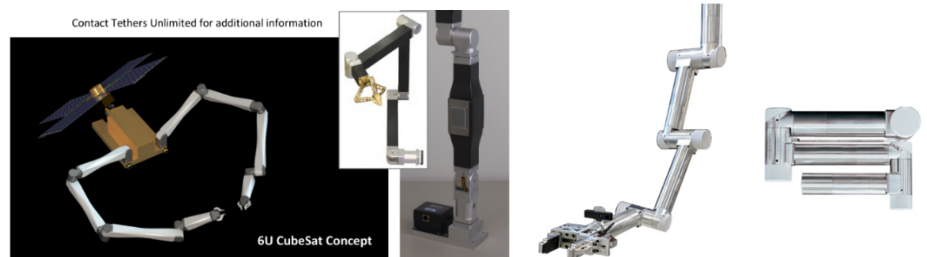


Fig. 4. KRAKEN Robotic Arm.

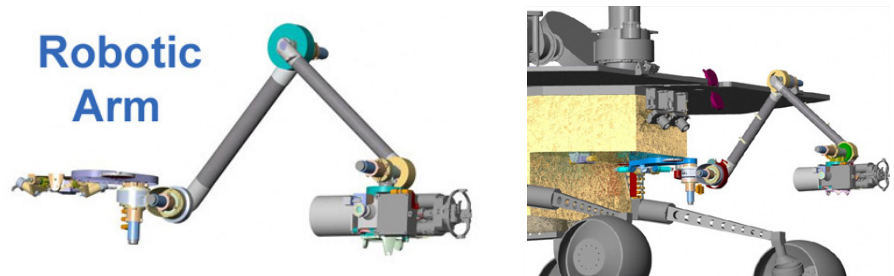


Fig. 5. Mars Exploration Rover Robotic Arm.



경험을 바탕으로 설계되었다. MSL 로봇 팔 역시 화성 탐사 로버의 로봇 팔과 같이 화성 환경에서 암석과 토양에 물리적으로 접근할 수 있도록 Maxar/MDA에 의해 설계되었으며, Fig. 6과 같이 로봇 팔 길이 2.1 m, 5 자유도의 로봇 팔의 형상을 가지며, 2020년 우주에서 처음 사용되었다.

로봇 팔 말단에는 있는 “Hand turret(포탑)”에는 과학 카메라, 광물 및 화학 분석기 등 5종의 측정/분석기기가 탑재되어 있으며, 이는 화성에서의 거주 가능성을 연구하고 과학적으로 가장 가치 있는 샘플을 채취하고 보관이 가능하다. 화성 암석 코어 시료 채취를 위해 직경 27 mm 구멍을 뚫을 수 있는 회전식 충격 드릴이 장착되어 있다.

### 2.7 Luna(or Lightweight) Surface Manipulator System[7]

NASA의 Langley 연구 센터는 Fig. 7과 같이 크레인 형태의 리프팅 장치와 로봇 매니퓰레이터 등 2가지 기능을 갖는 하이브리드 특성의 새로운 리프팅 및 정밀 포지셔닝 장치이다.

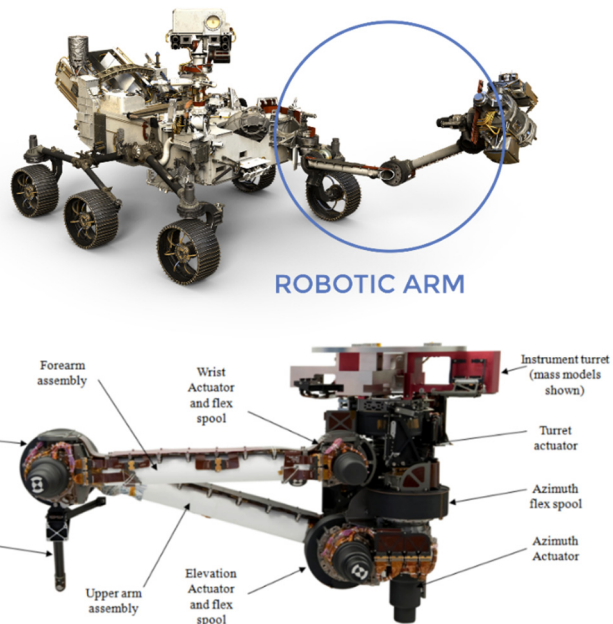


Fig. 6. Mars Science Laboratory Robotic Arm.

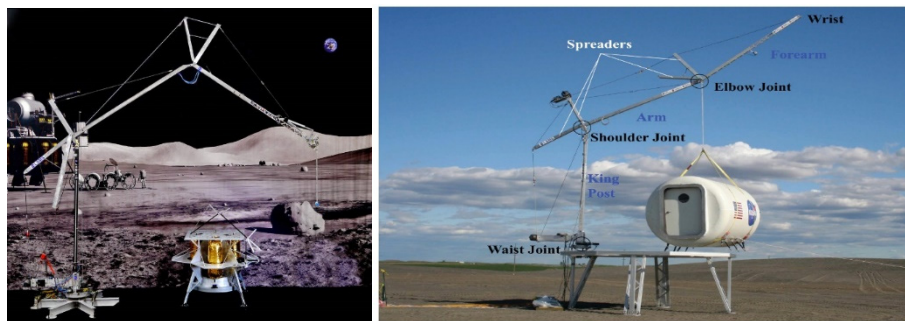


Fig. 7. Lunar Surface Manipulator System (LSMS).

LSMS(Lunar Surface Manipulation System)의 설계를 통해 페이로드의 병진 및 회전 모듈을 완벽하게 제어하여 정밀한 위치 지정이 가능하며, 버킷, 팔레트 포크, 그리퍼, 센서 및 영상 센서, 로봇 팔과 같은 다양한 특수 목적 도구를 말단에 쉽게 추가할 수 있으며, 이를 사용하여 다양한 작업이 가능하도록 설계되었다.

## 2.8 xLink Robotic Arm[8]

xLink™는 NASA/JPL(Jet Propulsion Laboratory)의 Mars 2020 Perseverance Rover용 로봇 팔을 개발한 동일한 팀이 만든 로봇 팔로써 위성 탑재 형상과 로봇 형태는 Fig. 8과 같다.

Motiv Space System의 xLink 로봇 팔의 길이는 1~3 m, 자유도는 4~7 자유도까지 가변이 가능한 모듈형의 확장 가능한 로봇 팔로써 운용 용도에 따라 다양 형태의 로봇 팔 구성이 가능한 유연성을 가지고 있다. 로봇 팔 말단에는 카메라, LiDAR, 적외선 카메라 등 장착이 가능하며, 이를 이용하여 궤도상에서의 부품 수리/교체, 재급유, 우주 쓰레기 제거, 위성 궤도 변경 등 다양한 서비스를 목표로 개발되었으나, 현재까지 우주에서의 비행시험은 이루어지지 않았다. 그러나, NASA의 OSAM-2(On-Orbit Servicing, Assembly, and Manufacturing 2) 프로젝트의 일환으로 지구 궤도를 도는 동안 3D 프린팅된 태양 전지판 건설을 위한 우주선에 실려 2023년 발사가 예정되어 있다.

## 2.9 Front-End Robotics Enabling Near-Term Demonstration(FREND) Robotic Arm[9]

FREND 로봇 팔은 궤도상 위성 서비스, 소행성 포획, 우주에서 대형 망원경 조립 및 서비스와 같은 다양한 임무에 사용하기 위해 미국 방위고등연구계획국(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)와 미국 해군연구소(Naval Research Laboratory, U.S. NRL)에 의해 개발되었고, OSAM-1/Restore-L 및 RSGS(Robotic Servicing of Geosynchronous Satellites)에서 사용될 계획을 가지고 있으며, Fig. 9는 로봇 팔 구성 형상과 캡처 기능 시험 모습을 보여준다.

FREND 로봇 팔은 과거 화성 탐사선 임무에도 사용되었으며, 시스템 설계는 2000년대 중반 DARPA의 우주 궤도 수정을 위한 우주선 및 FREND 프로그램을 위해 개발된 비행 인증



Fig. 8. xLink robotic arm.



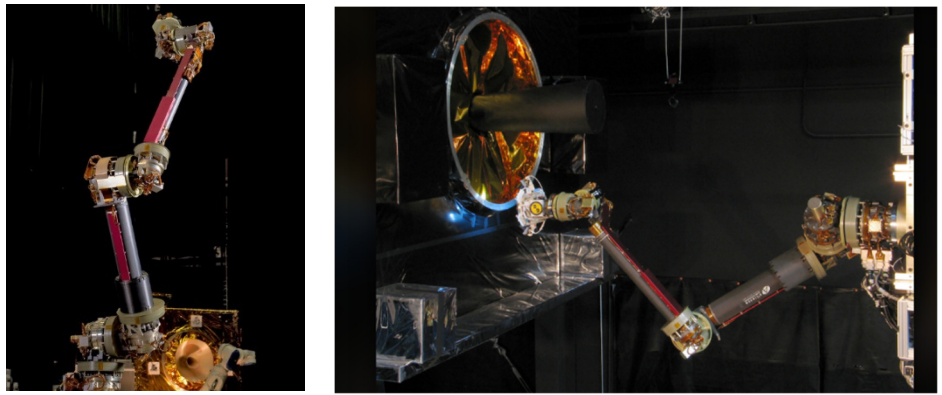


Fig. 9. FREN D robotic arm. FREN D, Front-end Robotics Enabling Near-term Demonstration.

로봇 팔로써 그 활용도가 매우 크다. 특히 모션 제어, 로봇 소프트웨어 프레임워크, 힘-토크 센서, 관절 설계 및 비행 운영 경험에 대한 이전 NASA 및 DARPA 투자를 기반으로 개발되었다. FREN D 로봇 팔은 어깨 관절 3축, 팔꿈치 1축, 손목 관절 3축 등 7 자유도로 구성되어 있으며, 팔 말단은 6축 힘/토크 센서와 데이터, 전원 및 영상 센서 인터페이스를 제공하며, 로봇 팔 길이는 2 m, 자중 78 kg, 가반하중 10 kg, 말단 속도 15 cm/sec의 사양을 가지고 있으며, 지구 표면 1 g 환경에서 시험 가능하도록 설계되었다.

## 2.10 Space Infrastructure Dexterous Robot(SPIDER)[10]

OSAM-1 우주선에는 SPIDER(Space Infrastructure Dexterous Robot)라는 탑재체가 장착되어 있다. NASA는 Maxar Technologies와 통신 안테나를 로봇으로 조립하고 궤도에서 우주선 빔을 제조하는 1억 4,200만 달러 규모의 계약을 체결하였고, 이 기술 시연은 저궤도에서 위성을 서비스하고 연료를 재급유하도록 설계된 NASA의 Restore-L 우주선에서 진행될 예정입니다. Restore-L 우주선은 SPIDER라는 탑재체를 수용하도록 수정될 것이다. 이 탑재체에는 5미터의 경량형 로봇 팔이 포함된다. NASA Tipping Point 파트너십의 지상 시연 단계에서 이전에 Dragonfly로 알려졌던 SPIDER는 3미터의 통신 안테나를 구축하기 위해 7개의 구성요소를 조립할 것이며, 그 모습은 Fig. 10과 같으며, 로봇으로 조립된 안테나는 지상국과 함께 Ka 대역 전송 시연을 할 예정이다.

이 탑재체는 또한 KRAKEN 로봇 팔을 개발 업체인 Tethers Unlimited가 개발한 기술을 사용하여 10미터 경량 합성 빔을 제조할 것이며, 이러한 시연의 제조요소를 통해 궤도에서 대형 우주선 구조물을 건설할 수 있는 능력을 검증할 것이다.

## 2.11 K-Space Robot Manipulator

한국생산기술연구원(KITECH)과 한국항공우주연구원(KARI)이 개발한 초소형 위성 탑재 가능한 로봇 팔이며, 주요 사양으로는 자중 4.2 kg과 총 7 자유도를 가지며, 위성 내부에 수납 상태에서 외부로 전개하기 위한 슬라이딩 1축, 그리퍼 1축의 자유도를 추가로 가지고 있다. 또한, 총 탑재 공간은 12 U 크기 초소형 큐브 위성의 4 U 안에 수납이 가능하도록 설계되었으며, Fig. 11은 로봇 팔의 수납 구조 및 1 g 환경에서의 기능 시험 모습을 보여준다.



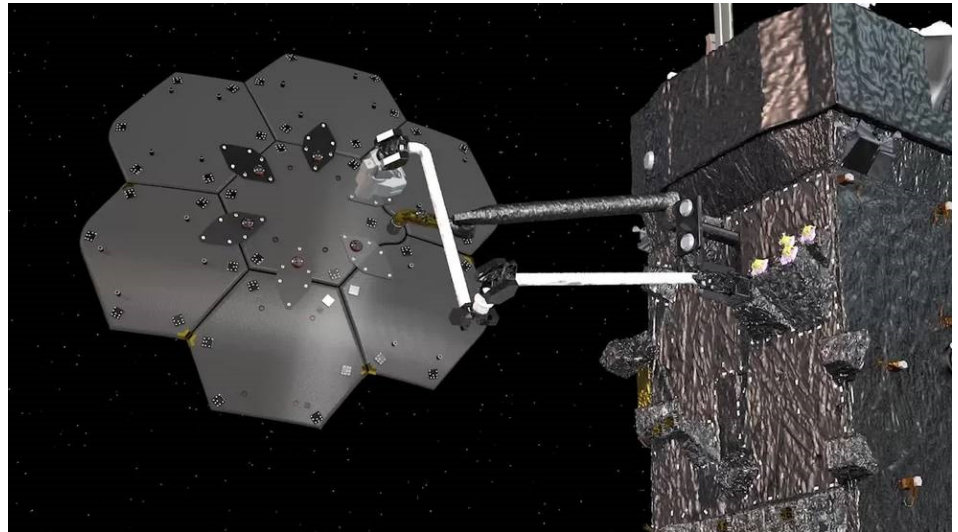


Fig. 10. SPIDER robotic arm. SPIDER, Space Infrastructure Dexterous Robot.

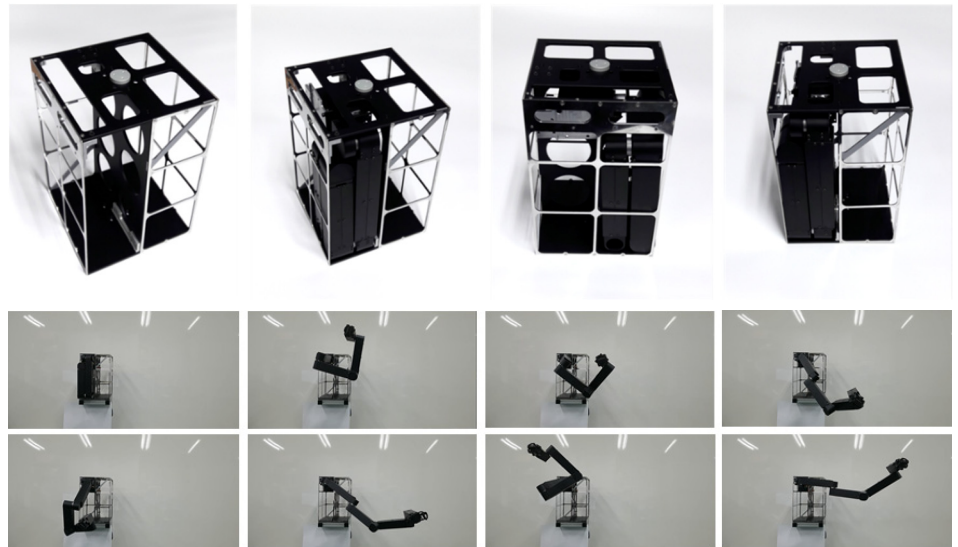


Fig. 11. K-Space Robot Manipulator.

### 3. 결론

다양한 우주용 로봇 팔의 기술개발 동향 및 기능을 본 기고문에서 살펴본 바와 같이 그 동안 통신 및 관측 기능 위주의 정적인 우주산업관련 기술에서 로봇 팔이 탑재되면서 우주환경에서 다양한 동적 서비스 지원을 위한 프로젝트들이 계획 및 실행되고 있다. 지구 환경과는 다르게 우주환경은 미세중력, 고/저온, 진공, 우주 방사선 등 로봇이 운용되기 위해 극복해야 할 환경적 요소가 많지만, 향후 많은 기술개발을 통해 부품 및 시스템 기술이 발전할 것으로 기대된다. 추가적으로 이러한 우주용 로봇 팔 탑재체의 상용화를 위해서는 우주환경에서 임무수명이 다할 때까지 성능 보장을 위해 지상 시험/검증 절차 및 시스템 관련 개발이 필수적

으로 요구되며, 이를 통해 개발 비용과 리스크를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 마지막으로 국내에서도 이러한 우주 로보틱스 기술 경쟁력 확보를 위해 다양한 산업분야에 활용되었던 로보틱스 기술을 우주로 보내기 위한 기술 고도화가 필요하며, 기존 위성 개발자들과 로봇 개발자들 간의 우주용 부품 및 기술 공유를 통한 협력이 필요할 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 한국항공우주연구원의 기본사업으로 수행 중인 ‘궤도상 서비싱 기반기술 개발’ 연구의 일부이며, 한국항공우주연구원의 지원에 감사드립니다.

## References

1. Government of Canada, Canadarm, Canadarm2, and Canadarm3: A comparative table (2009) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/canadarm2/canadarm-canadarm2-canadarm3-comparative-table.asp>
2. Government of Canada, About Dextre (2022) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: <https://www.asc-csa.gc.ca/eng/iss/dextre/about.asp>
3. European Robotic Arm [ERA], European Robotic Arm (2021) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: [https://www.esa.int/Science\\_Exploration/Human\\_and\\_Robotic\\_Exploration/International\\_Space\\_Station/European\\_Robotic\\_Arm](https://www.esa.int/Science_Exploration/Human_and_Robotic_Exploration/International_Space_Station/European_Robotic_Arm)
4. Tethers Unlimited, Robotic arm, KRAKEN (n.d.) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: <https://www.tethers.com/robotic-arm/>
5. MARS Exploration Rover, Rover Robotic Arm (2020) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: <https://mars.nasa.gov/mer/mission/rover/arm/>
6. MARS Science Laboratory, Robotic Arm (2020) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/rover/arm/>
7. National Aeronautics and Space Administration [NASA], Luna Surface Manipulator System (LAR-TOPS-73) (n.d.) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: <https://technology.nasa.gov/patent/LAR-TOPS-73>
8. Motiv Space Systems, Build the future of space with: xLink space-rated modular robotic arm system (2020) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: <https://motivss.com/products-capabilities/robotics/xlink/>
9. NASA'S Exploration & In-space Services, Robotic Servicing Arm (n.d.) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: [https://nexis.gsfc.nasa.gov/robotic\\_servicing\\_arm.html](https://nexis.gsfc.nasa.gov/robotic_servicing_arm.html)
10. National Aeronautics and Space Administration [NASA], NASA funds demonstration of assembly and manufacturing in space (2020) [Internet], viewed 2022 Sep 20, available from: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-funds-demonstration-of-assembly-and-manufacturing-in-space>

## Author Information

**원 대 희** daehee@kitech.re.kr



한양대학교 전기공학과에서 2015년 박사학위를 취득하였다. 2003년부터 현재까지 한국생산기술연구원 AI로봇연구부문에 재직 중이며, 제어시스템 연구개발을 수행하고 있다. 2005년부터 2006년 산업자원부 로봇산업팀에 근무하였으며, 주요 관심연구분야로는 로봇 및 비선형 시스템 제어이론, 우주로보틱스, 임베디드 제어시스템, 실시간 모션 네트워크이다.

**소 병 록** newmal@kitech.re.kr



한양대학교 전자전기제어계측공학과에서 2006년 박사학위를 취득하였다. 2006년부터 현재까지 한국생산기술연구원 AI로봇연구부문에 재직 중이며, 메커니즘 연구개발을 수행하고 있다. 주요 관심연구분야로는 휴머노이드, 우주로봇, 다자유도 로봇 메커니즘, 병렬메커니즘, 동작계획이다.

**김 해 동** haedkim@kari.re.kr



KAIST에서 2009년 항공우주공학 박사학위를 받았다. 1996년부터 2000년까지 (주)현대우주항공에서 근무한 후 2000년부터 2022년 8월까지 한국항공우주연구원에서 근무하면서 아리랑위성 관제시스템 개발에 참여하였으며, 우주쓰레기 위험분석 SW, 우주쓰레기 캡처시스템 지상시험모델, 6U급 초소형위성 개발, 궤도상서비성 과제들의 연구책임자를 맡았다. 2022년 9월부터 경상국립대학교 항공우주및소프트웨어공학부 교수로 재직하면서 뉴스페이스 시대 다양한 우주시스템들에 대한 연구개발을 지속하고 있다.