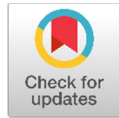


논문

한국형 우주망원경 개발을 위한 공동기획

Working Group 제안

한정열^{1,2+}, 박우진¹, 전유라¹, 김지현¹, 김윤종¹, 최성환¹, 김영수¹, 백지혜¹, 문봉곤¹, 장비호¹, 김재우¹, 홍성욱¹, 정연길¹, 박수종³, 정소영⁴



Received: October 8, 2021
Revised: October 29, 2021
Accepted: November 4, 2021

†Corresponding author :

Jeong-Yeol Han
Tel : +82-42-865-2147
E-mail : jhan@kasi.re.kr

Copyright © 2021 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

Jeong-Yeol Han
<https://orcid.org/0000-0003-3689-1485>
Woojin Park
<https://orcid.org/0000-0001-8012-5871>
Youra Jun
<https://orcid.org/0000-0002-9591-2533>
Jihun Kim
<https://orcid.org/0000-0002-7548-6100>
Yunjong Kim
<https://orcid.org/0000-0003-0009-5161>
Seonghwan Choi
<https://orcid.org/0000-0002-1946-7327>
Young-Soo Kim
<https://orcid.org/0000-0002-5351-3964>
Ji-Hye Baek
<https://orcid.org/0000-0002-0230-4417>
Bongkon Moon
<https://orcid.org/0000-0002-5106-0156>

¹한국천문연구원
²과학기술연합대학원대학교 천문우주학과
³경희대학교 우주탐사학과
⁴위즈랩

Proposal of Joint Planning Working Group for Development of Korean Space Telescopes

Jeong-Yeol Han^{1,2+}, Woojin Park¹, Youra Jun¹, Jihun Kim¹, Yunjong Kim¹, Seonghwan Choi¹, Young-Soo Kim¹, Ji-Hye Baek¹, Bongkon Moon¹, Biho Jang¹, Jae-Woo Kim¹, Sungwook E. Hong¹, Youn Kil Jung¹, Soojong Pak³, Soyoung Chung⁴

¹Korea Astronomy and Space Science Institute, Daejeon 34055, Korea
²Department of Astronomy & Space Science, University of Science and Technology, Daejeon 34113, Korea
³School of Space Research, Kyung Hee University, Yongin 17104, Korea
⁴Wyslab, Daejeon 34109, Korea

요약

미국 NASA(National Aeronautics and Space Administration)와 유럽의 ESA(European Space Agency)에서는 미지의 세계를 탐구하려는 인류의 지적 호기심을 충족하는 목적과 더불어, 우주를 안전하고 지속가능한 환경으로 개척하려는 원대한 꿈을 모토로 하여 다양한 연구개발에 착수하고 있다. 2020-30 년대에는 10 미터급 우주망원경이 개발되는 등 첨단 거대관측장비가 가동될 것으로 예상하며, 한국에서도 0.15 m 급 NISS(near-infrared imaging spectrometer for star formation history) 개발에 이어 0.2 m 급 SPHEREx(spectro-photometer for the history of the universe, epoch of reionization, and ices explorer) 등 소형탐사망원경에 국제협력 파트너로 참여하고 있다. 그러나, 아직 우주망원경의 개발과 운영에 있어 국내 경험은 부족하고, 한국에서 주도하여 망원경을 개발하기 위한 장기적인 계획이 부재한 상황이다. 우리 손으로 만든 장비를 사용하여 인류가 경험하지 못한 미지의 세계에 대한 질문에 답하려면, 산학연관 관계자 간 긴밀한 협력을 통해 우주망원경 건설의 기획과 준비가 절실히 필요하다. 본 연구에서는 한국형우주망원경 개발의 필요성, 배경과 개발목표 및 기대효과를 개념적으로 정리하며, 장기적 안목에서 기획을 준비하는 워킹그룹을 제안한다. 이를 통하여 한국형 우주망원경 개발계획을 우리나라가 주도하여 수립하고, 우주개발 기술연구 분야에서 국가의 방향성을 수립하기 위한 소중한 발걸음을 시작하며, 한국형 우주망원경 워킹그룹이 우리나라의 우주천문학의 이정표를 세우는 기점이 되기를 기대한다.

Biho Jang

<https://orcid.org/0000-0002-4889-0044>

Jae-Woo Kim

<https://orcid.org/0000-0002-1710-4442>

Sungwook E. Hong

<https://orcid.org/0000-0003-4923-8485>

Youn Kil Jung

<https://orcid.org/0000-0002-0314-6000>

Soojong Pak

<https://orcid.org/0000-0002-2548-238X>

Soyoung Chung

<https://orcid.org/0000-0002-2887-002X>

Abstract

In order to satisfy the intellectual curiosity of mankind to explore the unknown, National Aeronautics and Space Administration (NASA) in the United States and European Space Agency (ESA) in Europe are embarking on various R&D under the motto of the grand dream of pioneering space into a safe and sustainable environment. In the 2020s and 30s, it is expected that advanced giant observation equipment will be in operation, such as the development of a 10-meter-class telescope in space. In Korea, following the development of the 0.15 m Near-Infrared Imaging Spectrometer (NISS), Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI) is also participating a 0.2 m Spectro-Photometer for the History of the Universe, Epoch of Reionization, and Ices Explorer (SPHEREx) as an international cooperation partner in small exploration telescope. However, domestic experience in the development and operation of the space telescopes is still insufficient, and there is no plan with long-term prospects for constructing telescopes. In order to answer questions about the unknown world that mankind has not experienced using our own equipment, planning and preparation for the construction of a space telescope through close cooperation among industry-university-institute-government is urgently needed. In this paper, the necessity, background, development goals, and expected effects of the development of the Korean Space Telescope are summarized conceptually, and a working group (WG) is also proposed. In the WG activities, Korea shall take the lead in establishing the Korean-style space telescope development plan, and will start a valuable step to establish the national direction in the field of space astronomy and related technologies. We hope that the WG will be another milestone in Korea's space development.

핵심어 : 거대관측장비, 우주망원경, 워킹그룹, 개발계획, 우주개발

Keywords : giant observation equipment, space telescope, working group, development plan, space development

1. 서론

2030년대에는 자외선부터 적외선까지 관측 가능한 10 m 급 우주망원경(Large UltraViolet Optical InfraRed surveyor, LUVOIR[1]) 개발 계획이 있으며, 지상에서는 30 m 급 거대망원경인 GMT(giant magellan telescope)[2], TMT(thirty meter telescope)[3] 및 E-ELT (European Extremely Large Telescope)[4]가 건설되는 등 첨단 거대관측장비가 천문우주 관측을 시작할 것으로 예상된다(Fig. 1). 미항공우주국(National Aeronautics and Space Administration, NASA)과 유럽우주국(European Space Agency, ESA)에서는 인류의 지식을 넓히는 동시에, 우주를 안전하고 지속가능한 환경으로 개척한다는 비전으로 다양한 연구개발을 시도하고 있다[5]. 한국에서도 30 m 급 지상망원경인 거대마젤란망원경(GMT)의 건설에 국제협력 파트너로서, 과학 연구주제 개발 뿐만 아니라 분광관측기기 개발에도 참여하고 있다[6]. 우주망원경으로는 0.15 m 급 NISS(Near-Infrared Imaging Spectrometer)[7]를 개발하여 차세대소형위성 1호에 실어 발사한 바 있으며, SPHEREx(Spectro-Photometer for the History of the Universe, Epoch of Reionization, and Ices Explorer)[7] 등 소형탐사망원경 개발에 국제협력 파트너로 참여하고 있다. 그러나, 아직 우주망원경의 개발과 운영에 있어 국내 경험은 부족하고, 한국에서 주도하여 망원경을 건설하기 위한 장기적 계획이 부재한 상황이다.

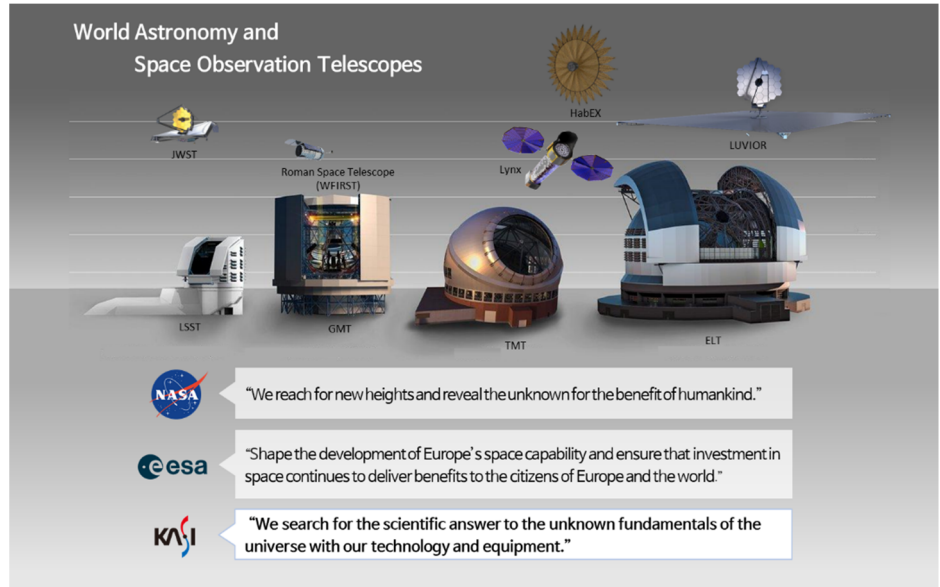


Fig. 1. World Astronomy and Space Observation Telescopes in 2020–30s.

제임스 웹 우주망원경(James Webb Space Telescope, JWST)에 대한 구글 트렌드 분석에 따르면, 최근 들어 우주망원경에 대한 관심도가 늘어나고 있음을 알 수 있으며(Fig. 2a), 대표 되는 우주망원경들의 개발기간은 12–20년이 소요되었다(Fig. 2b). HabEX(Habi-table Exoplanet Observatory)[10], Lynx(Lynx X-ray Observatory)[11], LUVOIR[12], OST(origins space telescope)[13] 등 다수의 차세대 우주망원경은 2036–2039년도에 걸쳐 개발 및 발사될 계획이다. 한국과 주요 선진국 간의 기술격차가 10년 이상이 되는 현 상황(Fig. 2c)에서 2030년대에 도 자체 기술력 부재 시 2040년 이후 다음 세대의 우주과학 및 천문학 분야는 절대적으로 해외에 종속될 가능성이 높다. 이와 같은 상황에 직면하지 않으려면, 우주망원경의 개발/제작 기간을 고려할 때 조속한 시일 내에 개발을 시작해야 하며, 이와 같은 골든타임을 놓칠 경우 격차를 따라잡기는 사실상 불가능해질 것이다.

더욱이 기술적 역량은 단시일 내에 얻어지는 것이 아니며, 오랜 시간과 많은 노력이 투입되어야

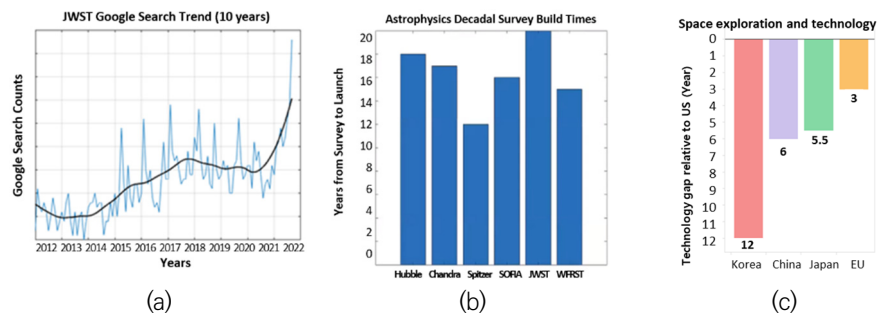


Fig. 2. Technology trend and urgency of the development of space telescopes. (a) James Webb Space Telescope (JWST) search frequency identified by Google Trend, (b) years from survey to launch [8] and (c) technology gap between major advanced countries for space telescope development [9].

한 단계씩 확보하고 전진할 수 있다. 세계 최고의 우주기술을 보유하고 있는 NASA도 개발 규모에 따라 차이가 있지만 우주개발 임무를 진행할 때에는 임무 기획부터 개발, 테스트, 발사까지 최소 십 수년이 걸린다. 예를 들어 JWST의 경우, 20년 넘게 수많은 기술 개발 및 테스트를 진행하고 있다. 또한 NASA의 태양관측 임무인 SDO(solar dynamics observatory)의 경우, 임무 기획부터 발사까지 10년이 걸렸으며, 시스템 개념을 정의하고 필요 기술을 분석하는 A단계(phase A)에서 개념설계 단계인 B단계(phase B)로 넘어가는 기간만도 2-3년이 소요되었다[14]. 우리나라에서도 한국형 우주망원경 개발을 위해서는 관련 기술의 기술준비수준(technology readiness level, TRL)을 분석하고, 각 기술의 TRL을 높일 수 있는 충분한 시간이 필요하다. 그렇기 때문에 2030년대 관측을 목표로 한다면 하루 빨리 관련 기반기술 개발을 시작해야 한다.

우주망원경은 지상관측의 한계를 극복하며 높은 분해능을 가지고 상시관측이 가능한 장점을 가진다. 지상에서는 감마선, 엑스선, 자외선 파장대의 복사가 대기에 의해 흡수되어 관측이 불가능하며, 적외선도 증적외선과 원적외선은 관측할 수 없고, 근적외선 일부만 관측 가능하다. 그러나 우주공간에서는 전자기파의 모든 파장대역에 대한 관측이 가능하다[15]. 더욱이 최근에는 스타링크(Starlink)와 같은 다량의 큐브셋(CubeSat)이 지상관측을 방해[16]하고 있기 때문에 우주망원경을 활용한 관측 필요성은 시간이 갈수록 증가할 것으로 전망된다.

한국천문연구원에서는 지난 1998년부터 과학기술위성 FIMS(Far-ultraviolet Imaging Spectrograph, 2003년 발사)와 MIRIS(multi-purpose infrared imaging system, 2013년 발사)를 개발했다. 이를 통해 자외선 광학계 및 분광기술, 검출기 제어기술을 확보했고, 2012년부터 차세대 소형위성 1호에 탑재되는 NISS(2018년 발사)를 개발하며 비구면 설계/제작 기술, 탑재체 냉각 열구조 설계 기술 등을 확보했다. 2013년부터 우주용 초경량 탄화규소(SiC) 소재가 적용된 반사광학계 개발(2013-2016), SiC 소재의 피니싱(Finishing) 공정기술(2016-2018), 우주용 초경량 비축비구면 반사경 기초연구(2018-2021)를 통하여 초경량화가 가능한 SiC 소재를 국내 개발하는 과정에서, 연마기술, 본딩(bonding) 체결 및 조립정렬 기술을 확보하였다. 국제우주정거장에서 사용될 태양코로나그래프 개발(2017-2023)을 통해 카메라, 전자제어 및 소프트웨어 기술을 개발하고, 조각거울, 적응광학 및 초소형 분광기의 기반기술을 개발하는 슈퍼아이(Super Eye) 관측 플랫폼 구축을 위한 실증 중심의 정밀관측 융합 요소 기술 개발(2019-2022)을 수행하고 있다. 더불어, 한국형 우주망원경 기획연구(2020-2021)를 통하여 과학목적 및 사양을 탐색하고 있으며, 초고해상 광학면 조각거울 및 위상제어 기술개발(2021-2024) 사업을 수행하며 조각거울 기술을 개발하는 등 꾸준히 우주탑재체에 소요되는 핵심적인 요소기술들을 개발해왔다[17]. 위와 같은 프로젝트들을 통하여 광학망원경 조립체(optical telescope assembly, OTA), 프로젝트 매니지먼트(project management, PM) 및 시스템 엔지니어링(systems engineering, SE), 그리고 전개시스템의 기반기술을 확보함으로써, TRL 2-4 수준까지 끌어올린 것은 큰 성과라고 할 수 있다. 그 외 우주망원경을 구성하는 관측기기(science instrument), 비행 소프트웨어(flight software) 및 조립과 테스트(integration and testing) 분야는 상대적으로 한국의 우주산업분야에서 반사광학계의 크기가 작더라도 해당분야를 개발해 온 경험이 있으므로 TRL 5 이상의 기술을 확보한 것으로 판단할 수 있다. 한국천문연구원의 광학탑재체 개발 사업과 해당사업을 통해 분야별로 확보한 TRL을 Fig. 3에 간단히 정리하였다.

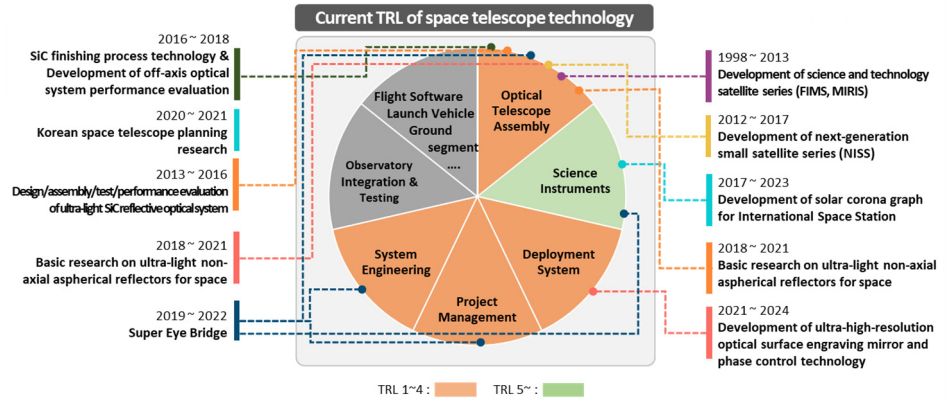


Fig. 3. Space Telescope technology readiness level (TRL) distribution map obtained by a project promoted by Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI).

2020년 9월부터는 산학연 관계기관과 망원경 기술개발모임을 통해 우주/지상 망원경 개발에 필요한 핵심기술을 소개하고 개발 방향성을 토의하고 있으며, 한국천문연구원, 카이스트 및 한국항공우주연구원과 더불어 개최하고 있는 심우주탐사연구연합회(Beyond the Moon, BtM)에서는 우주망원경 공동기획을 위한 워킹그룹 구성을 제안하여, 관심있는 연구자를 모집 중이다. 본 논문에서는 우리나라 주도의 첨단관측장비로 신우주(new space) 시대에 우주를 개척할 수 있는 도전적이지만 현실적인 우주망원경의 개발목표를 제안하고, 우주망원경 개발을 통한 파급효과를 예측하였으며, 현 실정에 맞는 산학연관의 공동기획을 위한 워킹그룹을 제안하고자 한다.

2. 우주망원경의 개발목표안

우주망원경 개발을 위한 필요기술을 식별하기 위해 Fig. 4와 같이 JWST의 업무분할구조(work breakdown structure, WBS)를 참조하였다[18]. 이 중 탑재체와 관련된 범위를 빨간 점선으로 표기했으며, 요소기술 항목 중 국내에서 기술력이 상대적으로 낮으나, 국제협력으로

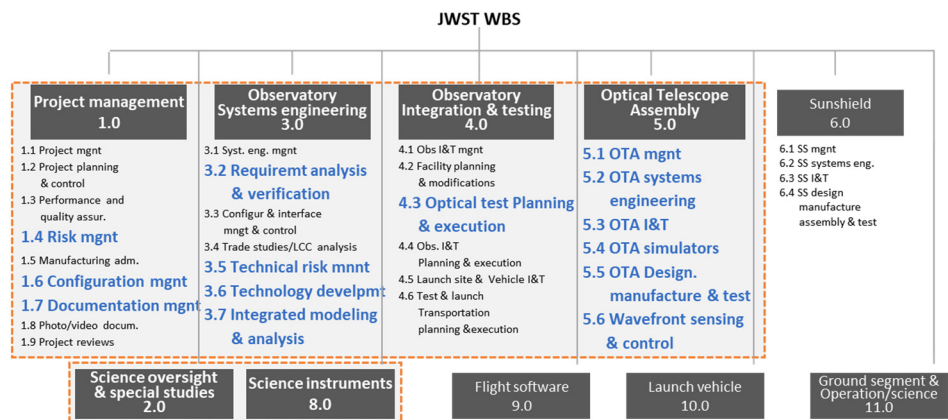


Fig. 4. Work Breakdown Structure (WBS) of James Webb Space Telescope (JWST) and key development items marked in blue.

기술력의 향상이 용이한 분야를 파란색으로 표기하였다. 전반적인 개발분야에 대한 성숙도를 향상시켜야 할 필요가 있겠으나, 본 논문에서 제안하려는 OTA 분야 기술개발을 보다 중점적으로 개발하되, PM, SE 및 조립과 테스트 등 우주망원경 시스템 개발 시 반드시 수반되는 영역도 파란색으로 표기했다.

천문관측 임무의 설계 및 수행을 위해서는 민감도(sensitivity), 분해능(resolution), 유연성(flexibility), 고대비 이미징(high-contrast imaging) 등의 항목이 종합적으로 고려되어야 한다. 일반적인 우주임무에서 민감도와 분해능을 주도하는 기술적 요소는 개구(aperture), 즉 반사경의 직경이며, 유연성은 파장대역 및 시야각 등의 요소가 주도하고, 고해상도 이미징을 위해서는 무엇보다도 위성체의 정밀자세제어가 주요한 요소이다[19].

허블 우주망원경은 지난 1990년에 발사되어 현재 30년 넘게 운용되며, 인류가 관측하지 못했던 우주의 모습을 촬영하여 지식의 지평을 넓혀왔다. 우주왕복선을 이용하여 여러 차례 궤도상 보수를 거듭하며 운용된 점도 우주망원경의 최대 단점을 극복한 경이적인 사례라고 할 수 있다. 올 해에는 허블 우주망원경의 역할을 대치하는 JWST가 발사될 예정이다. 2.4 m 직경의 허블 우주망원경보다 직경으로는 2배가 넘고 면적으로는 7배가 넘는 크기를 가진 JWST(Fig. 5)는 라그랑지 2(Lagrange 2; L2, Fig. 6) 지점에서 주로 적외선 파장대역 관측을 하며 깊은 우주에 대한 관측역량을 인류에게 제공해 줄 것으로 기대한다. 우리가 개발하려는 우주망원경이 L2 지점으로 바로 이동하기는 어렵기 때문에, 허블과 유사한 저궤도(low earth

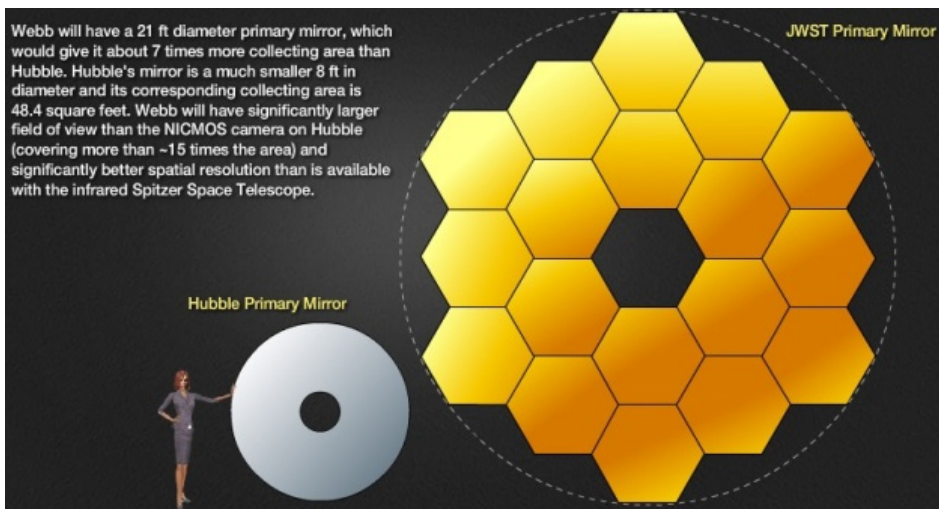


Fig. 5. James Webb Space Telescope (JWST) vs. Hubble Mirror Comparison [20].

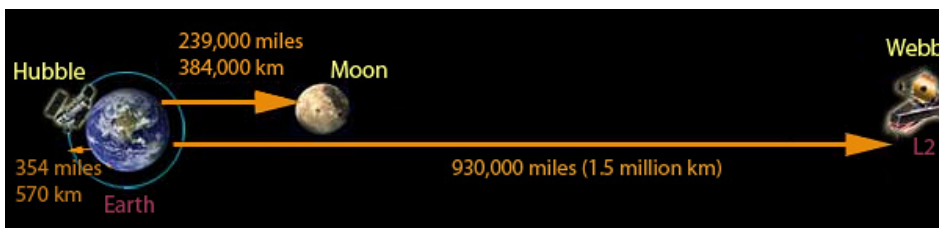


Fig. 6. James Webb Space Telescope (JWST) relative to the Hubble telescope's orbit around the Earth [Credit: National Aeronautics and Space Administration (NASA)] [21].

orbit, LEO)에서 운용되는 경우를 가정한다면, 허블 우주망원경보다 경쟁력이 있는 관측역량을 보유해야 할 것이다. 그러므로 과학임무 수행을 위한 기술요소 중 반사경의 직경, 파장대역, 시야각 및 정밀제어 등 핵심적인 기술적 요구사항 중 경쟁력 있는 부분에 주목해야 한다.

조각거울은 지난 2019년부터 국가과학기술연구회(NST) 창의형융합연구사업으로 지정되어 한국천문연구원이 주관으로 개발 중인 이른바 슈퍼아이브릿지(Super Eye Bridge) 사업을 통하여 핵심기술 및 조각의 크기가 100 mm 인 시제품을 개발 중이고, 이보다 더 큰 크기의 조각거울을 한국연구재단의 스페이스챌린지(Space Challenge) 사업을 통하여 개발 중이다. 조각거울의 불모지였던 우리나라에서 핵심적인 조각거울 기술들이 개발을 시작하면서 우리나라도 여건이 마련되면 얼마든지 더 큰 크기의 반사경을 확보할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 반사경의 직경을 크게 하기 위한 기술개발이 이미 시작되고 있는 것이다.

국내 영향력 있는 천문우주 관계자 95인을 대상으로 설문조사한 바에 따르면, 다양한 과학임무 수행을 위한 한국형 우주망원경의 요구가 있었으며, 필요사양을 다음 Table 1과 같이 도출하였다[22].

국내의 핵심기술개발역량을 기반으로 하여, 국제협력을 통해 확보할 수 있는 기술력 등을 종합적으로 고려하여, 2030년 이전에 구현이 가능한 조각거울 우주망원경을 개념 설계하였으며, 단위 조각 반사경의 크기는 국내 개발성공경험이 있는 700 mm 로 하였다. 주 반사경은 18개 조각거울[Fig. 7(a)]을 사용하고, 광학성능이 우수하여 일반적인 우주망원경 개발에 활용되고 있는 Korsch 형 광학계[Fig. 7(b)]를 채용하여, 다음 Table 2와 같은 사양을 제안한다.

Table 1. Korean Space Telescope Survey

Categories	Necessity	Specifications	Science goals
Results	- Requiring space telescope observations, which overcomes the spatial resolution of ground-based telescopes	- Wide field of view photometric exploration using small aperture telescopes	- Active galactic nuclei: accretion disk, black hole mass
	- Requiring multi-band observations, which overcomes telluric absorptions in UV and IR bands	- Narrow field of view but deep photometry and spectroscopy observations in UV, visible, and near-infrared bands	- High-energy phenomena: white dwarfs, intergalactic medium, interstellar medium at halos
	- Synergy with large telescopes, e.g., GMT	- Beyond the retirement of HST around 2030s	- Gravitational lens: exoplanets, galaxy clusters, cosmology, galaxy evolution, low surface brightness features, solar system, multi-messenger astronomy
	- Acquiring cutting-edge space technology and spreading public outreach of astronomy	- Large field of view (>30 arcmin) observations with large aperture (> 3 m) telescopes	
		- Wide spectral ranges in UV, visible, and near-infrared bands	
		- Wide field of view photometry with high-resolution spectroscopy	

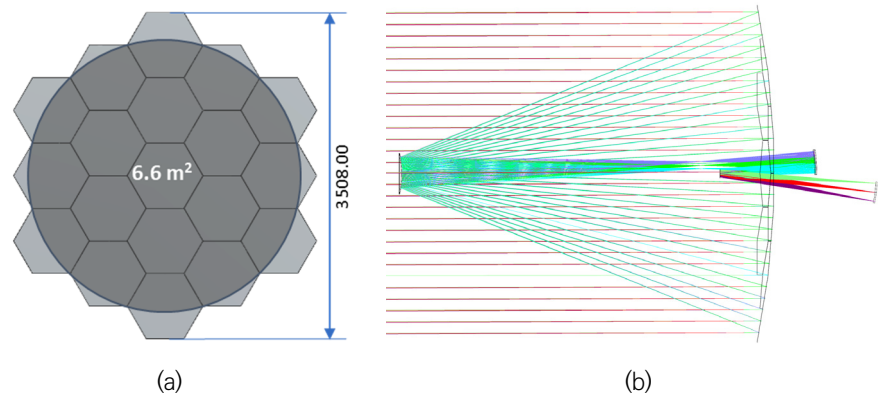


Fig. 7. Optical layout of segment mirror system. (a) Segment mirror size, shape and collection area and (b) optical layout of optical system.

Table 2. Draft specifications of optical telescope assembly (OTA) for Korea Space Telescope

Item	Specification (TBC)
Optical configuration	Korsch type
Diameter of primary mirror	3.5 m (outer diameter) 2.9 m (inner diameter)
Segment size (edge to edge)	700 mm
Number of segments	18
Wavelength coverage	0.3–1.0 μm (2.5 μm)
Field of view	10–30 arcmin
Focal length	73 m (F/20)
Collection area	8.06 m ² (segment area) 6.6 m ² (inner circle area)

최종 탑재체는 현 시점에서 구체화하기는 어려운 점이 많으나, 한국형 발사체 사용을 가정한다면, 허용 부피(3.05 m × 10 m)와 허용 무게(3,700 kg) 내에서 조각거울 주경부와 부경부 전개를 고려하여 Fig. 8과 같이 해당 공간에 수용 가능할 것으로 기대한다. 발사체를 고려한 한국형 우주망원경 탑재체의 사양은 다음 Table 3과 같이 제안할 수 있다.

초기 설계된 우주망원경 사양(안)에 따르면 파장대비 구경[Fig. 9(a)], 파장대비 민감도[Fig. 9(b)] 및 직경대비 파장별 시야각(Fig. 10)의 관점에서 경쟁력이 있음을 알 수 있다. 즉, Fig. 9(a)에서 알 수 있듯이, 2030년대 후반에 개발할 우주망원경들을 제외하고는 주반사경 구경 크기에서 경쟁력이 있다. 또한 허블우주망원경 대비 직경이 크고, 파장대역이 근적외선부터 근적외선까지 관측 가능할 경우, 지상거대망원경을 포함한다 하더라도 이제까지 관측하지 못한 탐사영역에 대해 민감도(sensitivity) 측면에서 독보적인 관측영역이 있다[Fig. 9(b)]. Fig. 10은 우주망원경을 구경과 시야각(Field Of View, FOV) 및 Etendue(빛이 퍼지는 면적과 각도를 나타내는 물리량)로 표현했으며, 광학(optical)/근적외선(NIR)에서는 구경이나 FOV가

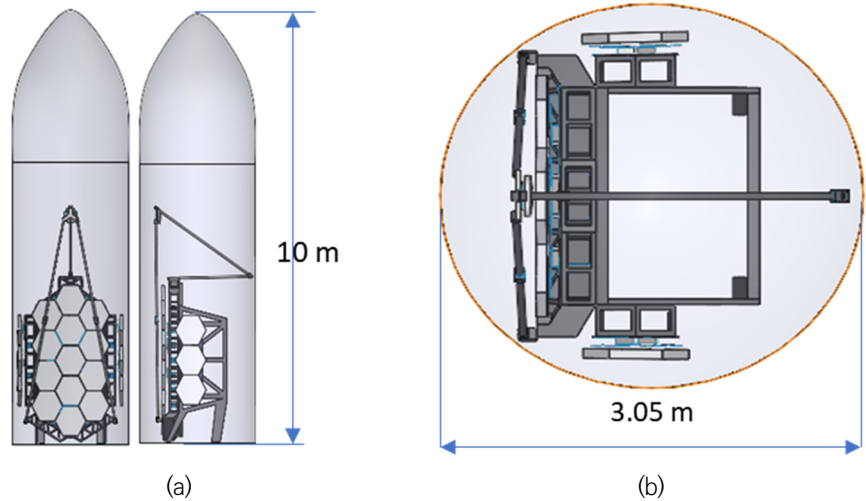


Fig. 8. Review of allowed space of Korea launch vehicles for Korean Space Telescope. (a) side view and (b) top view.

Table 3. Payload specification of Korea Space Telescope

Item	Specification (TBC)
Dimension	2.8 m(L) × 2.5 m(W) × 4.6 m(H)
Launch mass	3,000–4,000 kg
Orbit	LEO
Components	OTA + Bus + FPI*(3–4 ea)
Power	1,000–2,000 W
Pointing accuracy	Sub-arcsec (HST)

(Fine Guidance Camera might be considered)

LEO, low earth orbit, OTA, optical telescope assembly; FPI, focal plane instrument.

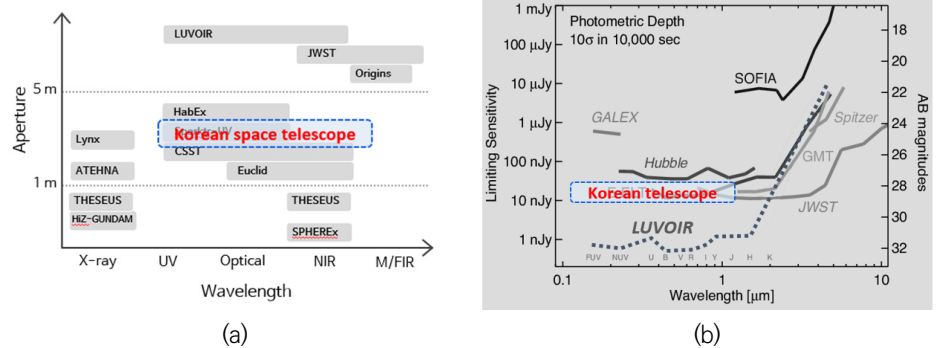


Fig. 9. Telescope distribution according to (a) wavelength versus aperture and (b) sensitivity versus wavelength.

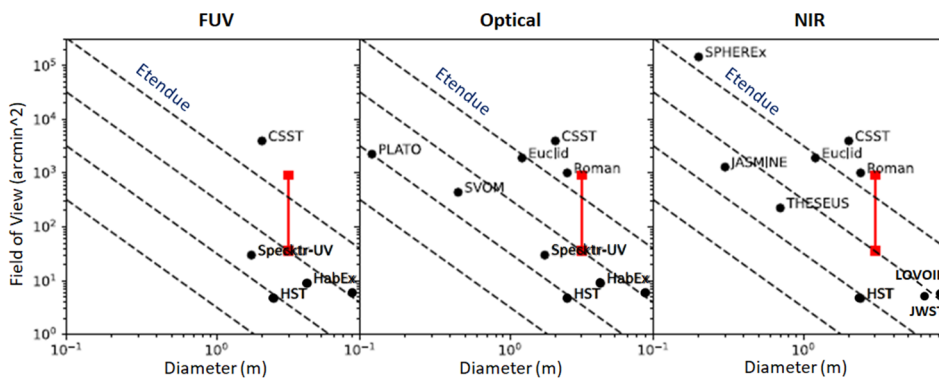


Fig. 10. Aperture, field of view, and etendue. Red lines show expected performance of the Korean Space Telescope.

비슷하거나 더 큰 다른 해외 탐사임무가 제안되었으나, 원자외선(FUV)에서는 FOV가 대부분의 계획된 해외 탐사임무보다 크다. 또한 모든 파장대에서 본 기기는 대부분의 계획된 해외 탐사임무에 비해 같은 구경에서 FOV가 더 넓거나, 같은 FOV에서 구경이 더 크다. 이에 따라 중국우주망원경(CSST)과 함께 본 기기는 다른 해외 탐사임무보다 같은 기간에 더 넓고 깊은 우주를 관측할 수 있다.

3. 기대효과 및 활용분야

3.1 기대효과

한국형 우주망원경은 다양한 연구주제를 포괄적, 종합적으로 연구하는 거대과학(big science)의 연구토대를 마련할 수 있다. 파장대역이 넓기 때문에 특정 파장에서 관측한 결과를 다른 파장대역에서 동시 관측함으로써 물리현상에 대한 정확한 분석이 가능하다. 기존 장비를 사용하여 관측한 자료와 한국형우주망원경을 사용하여 관측한 자료를 함께 활용하면 종합적인 해석이 가능하기 때문에, 아직 구축하지 않은 민감도와 파장대역의 천문현상을 관측함으로써 전 세계 다수의 연구자가 연합하여 탐구하는 거대과학 주제 및 융합연구 토대를 마련할 수 있을 것으로 기대한다. 예를 들어 지구형 외계행성은 반사경의 구경이 커질수록 발견확률이 증가하며[Fig. 11(a)], 외계행성 대기의 직접 관측 및 분석이 가능[Fig. 11(b)]하여 외계생명체 탐색분야에 큰 기여를 할 것으로 기대한다.

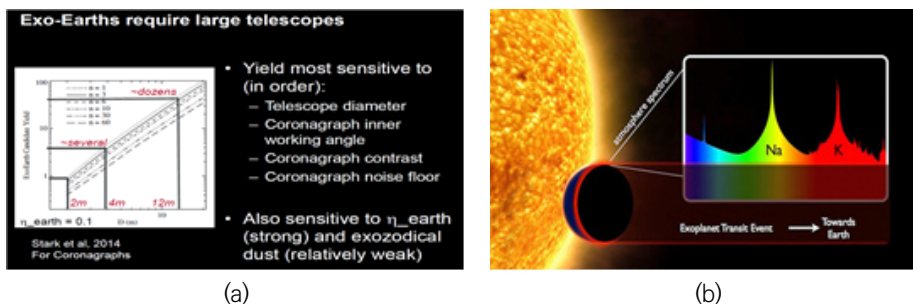


Fig. 11. Relationship between telescope size and exoplanet exploration. (a) The larger aperture, the greater probability of finding terrestrial exoplanets [23] and (b) Direct observation and analysis of exoplanet atmospheres [24].

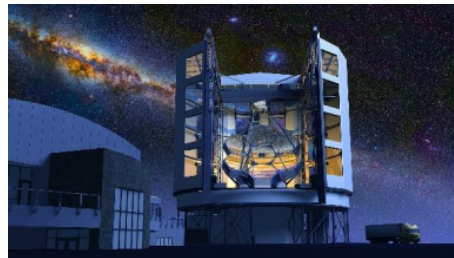
또한 한국주도의 대형광학계 개발과정을 통해 확보한 기술들은 우주개발 기술자립의 기반이 마련될 것으로 기대한다. 또한 한국형 우주망원경 개발과정에서 신기술을 개발할 경우, 천문관측기술 연구분야에서 세계를 주도할 수 있는 독자영역을 선점하여 타국의 기술개발을 도울 수도 있을 것으로 기대한다.

지금까지의 천문관측 분야의 국제협력은 일정 예산을 투입하여 해외 첨단관측시설의 관측 시간을 확보하는 전략으로 진행되었다. 기술력이 부족했기 때문에 협력의 형태를 다각화하기에 한계가 있었을 것으로 판단된다. 그러나 한국형 망원경 개발계획이 수립되고 진행된다면, 주도적인 개발경험을 기반으로 국내 연구진도 국제무대에서 참여 가능한 다양한 분야에서 역량을 발휘할 수 있을 것이다. 한국형 우주망원경의 개발경험이 축적된다면, 2040년대에 계획하는 차세대 관측 프로그램에는 우리나라도 적극적으로 의사를 개진하며 참여할 수 있을 것이다.

3.2 활용 분야

지상에서 천문우주관측, 우주물체, 인공위성 등 관측 시 대구경 망원경을 필요로 할 때 조각거울 기술을 활용하여 집광력을 확보할 수 있으며[Fig. 12(a)], 태양광 집광 시 다수의 반사경이 활용되며, 다수의 반사경이 하나의 초점으로 에너지를 전달할 때 조각거울 기술을 활용하면 효과적으로 에너지를 전달할 수 있을 것으로 기대한다[Fig. 12(b)].

또한 조각거울 및 관측기기 정밀구동 시 정밀제어기법 개발을 위해 액츄에이터(actuator)와 플렉서(flexure) 메커니즘을 결합하면 초정밀 가공[Fig. 12(c)] 시 산업계에서 요구하는 초정밀제어 정밀도를 달성하는데 기여할 수 있으며, 비폭발식 힌지 전개기술을 활용하면 차세대 폴더블 디스플레이의 핵심기술[Fig. 12(d)]로 활용할 수 있을 것이다.



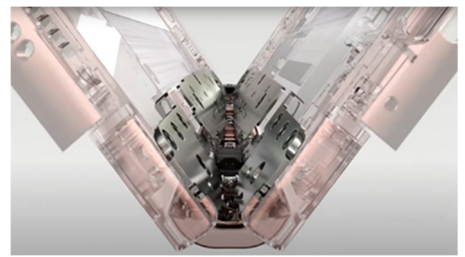
(a)



(b)



(c)



(d)

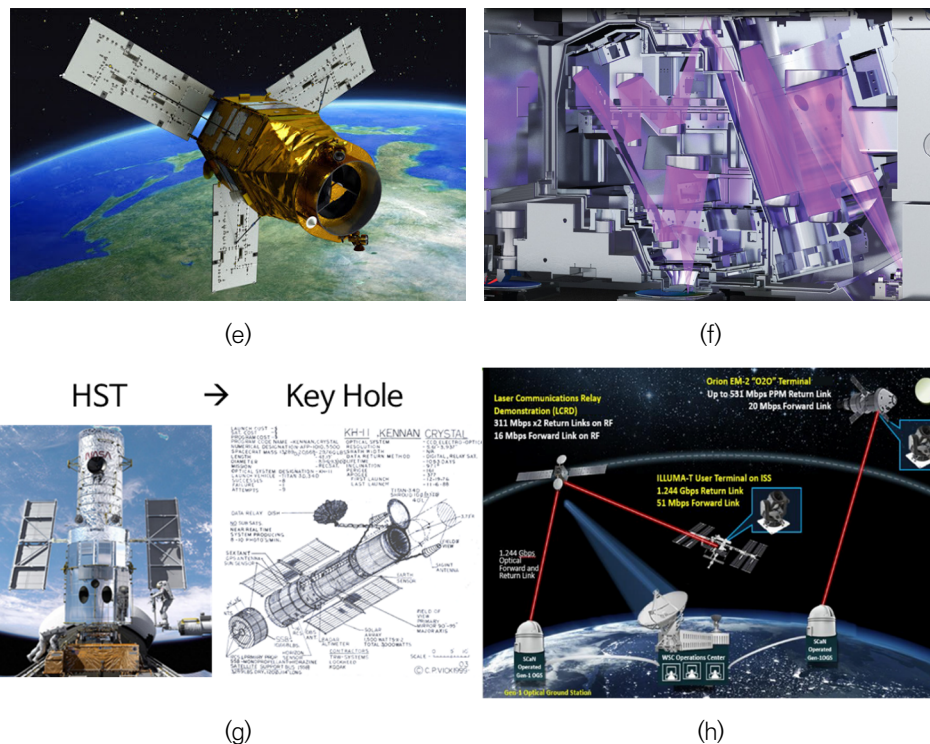


Fig. 12. Applications of element technologies for Space Telescope. (a) Astronomical Telescope with segmented mirror [2], (b) solar concentrating system with large number of mirrors [25], (c) Ultra-precision machining with multi-axis precision control [26], (d) foldable display using Hinge mechanism of deployment technology[27], (e) Earth Observation Satellite (EOS) for environmental monitoring [28], (f) optical layout of Lithography with off-axis aspheric mirrors [29], (g) Hubble Space Telescope (HST) and Key Hole as a spy satellite application [30], and (h) concept for Free Space Optical Communication with precise optical performances [31].

현재 우리나라는 환경분야 관측을 위해 GOCI(Geostationary Ocean Color Imager) 시리즈를 운용하며 해양생태계 관측을 수행하고 있다. 지상의 물체를 더욱 정교하게 관측하기 위해서는 반사경의 크기가 확대되어야 하며, 초대형 지구관측위성[earth observation satellite, EOS; Fig. 12(e)] 개발 시 본 우주망원경 개발경험이 기반이 될 것이다.

반도체 리소그래피(Lithography) 장비에는 회로 선폭의 미세한 각인을 위하여 다수의 비축 비구면 초정밀 광학부품이 사용된다[Fig. 12(f)]. 비축 비구면 또는 자유곡면 광학면은 기본적으로 연마가 어렵고 측정은 더욱 어려우며, 특히 측정의 신뢰성을 나노미터(nm) 이하까지 높이는 것은 매우 어렵다. 우주망원경이 조각거울로 구성될 경우, 필연적으로 비축 비구면 광학면이 채용되며, 신뢰성있는 비축 비구면 광학계 개발이 가능할 것으로 기대한다. 이와 같은 기반기술개발은 신뢰성있는 제품생산에 기여하게 되며, 초정밀 리소그래피 장비 개발에 도움이 될 것으로 기대한다.

지상관측용 인공위성 중 관측대상을 가장 정교하게 시각화해야 하는 분야 중 하나가 정찰 분야일 것이다. 일반적으로 정찰위성급 해상도를 구현하는 것은 상업적 기술력의 한계를

넘어서는 요구사항이 적용되기 때문에 기존의 기술로 구현하기 어렵다. 따라서 기술력 상승을 위한 천문관측용 망원경을 선개발한 후 축적된 기술력을 기반으로 정찰위성을 개발한 사례가 있으며[Fig. 12(g)의 허블우주망원경의 정찰위성 적용 사례 참조], 이러한 이유로 천문관측용 망원경 개발에 선진국이 큰 규모의 국가적인 예산배정과 민간참여를 유도하고 있다. 한국형 우주망원경이 개발된다면 개발된 기술력을 기반으로 정찰위성분야에 크게 기여할 것으로 예상된다.

자유공간 광통신 시 인공위성, 지상 송수신부 등 다양하며, 정교한 광학관측 플랫폼에 기반한 시스템 개발을 해야 하며[Fig. 12(h) 개념도 참조], 우주망원경 개발에 적용한 광학계, 통신부, 위성체 등 인공위성 및 지상 송신부 개발에 해당기술이 활용될 것으로 기대한다.

4. 워킹그룹(Working Group) 제안

우주망원경을 구성하는 요소는 위성체, 탑재체와 발사체로 크게 구분할 수 있으며, 탑재체 개발을 목적으로 관심있는 연구원을 중심으로 워킹그룹을 구성하고자 한다. 탑재체 중에서도 본 워킹그룹은 광학망원경조립체(OTA)를 주요 개발 주체로 고려한다. 한국형 우주망원경은 특정 그룹이나 집단의 독립적인 활용이 될 수 없고, 국내 커뮤니티 전체가 효율적으로 활용해야 하므로, 대표되는 주제가 있을 수 있겠으나, 관측목적이 하나로 특화되어 개발되기는 어렵다. 그러므로 관측목적에 부합한 관측기기는 크게 측광, 분광을 기본으로 탑재하고, 추가적인 관측기기는 여건을 고려하여 개발할 수 있을 것이다. 따라서 측광기 및 분광기를 개발하기 위한 워킹그룹은 별도로 운영하는 것이 효과적일 것이다.

한편, 국내 위성체 기술은 성숙단계의 수준인 것으로 파악되며, 지속적인 개발 및 응용이 되어야 하겠으나, 우주망원경에서는 매우 정교한 지향(pointing) 능력이 요구되므로, 고정밀 자세제어기술은 추가적으로 개발하는 것이 필요하다고 판단된다. 따라서, OTA를 DM(development model) 수준으로 개발하기 위해서는 Fig. 13과 같은 WBS를 기반으로 개발계획을 수립하고 관심있는 연구자와 계획을 수립하고 개발을 시작할 수 있을 것이다.

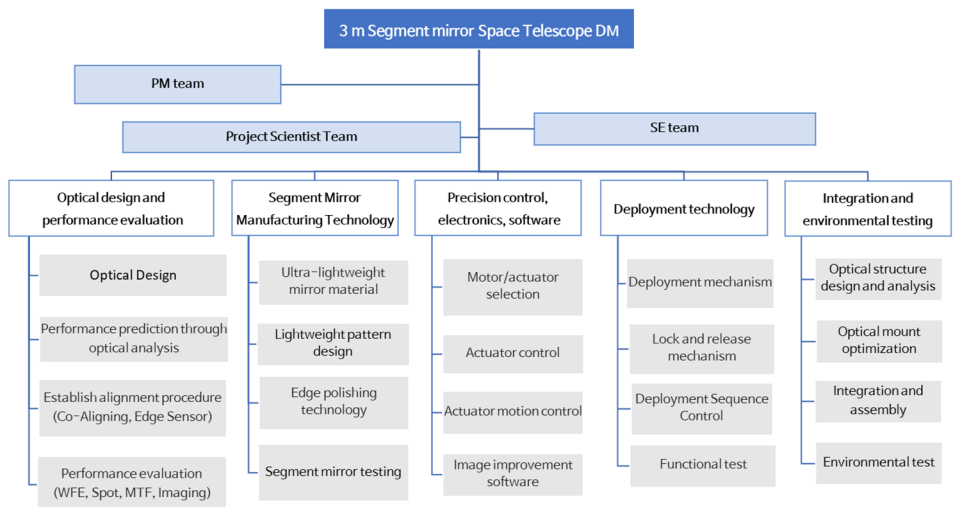


Fig. 13. Work breakdown structure (WBS) of Development Model (DM) Model for 3 m class segmented mirror space telescope. DM, development model.

한국형우주망원경의 궤도는 다른 우주망원경을 기반으로 고려할 때, LEO와 L2를 생각할 수 있으며, 종합적인 기술역량을 고려할 때 LEO 궤도가 유력하다. 또한 허블 우주망원경이 LEO에 위치함으로써 서비스 임무를 통한 관측역량의 보장이 가능했기 때문에, 우주망원경임에도 유지보수가 가능했던 점은 매우 큰 장점이라고 할 수 있다. 우리나라가 당장에 서비스 임무수행은 어렵고, 현재는 그 수요가 없지만, 게이트웨이 프로젝트(gateway project)를 통하여 달에 거점을 확보하는 국제 여건 및 흐름을 고려할 때, LEO 궤도에 위치함으로써 우주개발의 거점을 확보한다는 측면에서 의미가 있다고 할 수 있다.

한국형 우주망원경 워킹그룹은 우선적으로 탑재체의 OTA를 중심으로 구성을 시작하여 TRL을 향상시키기 위한 목표로 역량을 개발하고, 점진적으로 관측기기, 위성체, 발사체 분야에서도 유관기관과 관련 연구진의 참여로 한국형 우주망원경의 최종 개발목표 및 필요 사양을 공유하고 심도 있게 논의하여 실제 개발사업으로 빠른 시일 내에 이어질 수 있기를 기대한다.

5. 결론

본 논문에서는 2030년대 세계 천문우주관측 환경을 기반으로 한국의 천문학계 뿐 아니라, 뉴스페이스라는 시대 흐름을 따라, 우리나라에서도 반드시 2020년대 초반에 한국형우주망원경 개발을 시작해야 하는 국내외적 환경을 조사하였다. 현재의 국내 기술개발역량을 기반으로 현실적인 우주망원경 사양을 제시했으며, 선진기관의 개발경험을 참고하여 필수적인 요소 기술을 식별하였다. 해당기술들은 국제적인 경쟁력을 갖추며 국제사회에 기여함은 물론, 우리나라가 주도하는 빅사이언스 토대를 마련할 기회가 될 것이며, 환경, 산업, 안보 및 통신 등 전반적인 국가 전략분야 기술개발에 획기적으로 기여할 것으로 기대한다.

지난 날의 눈부신 과학기술발전을 기반으로 다양한 기술적 역량이 상당한 수준에 도달했음에도 불구하고, 국내 자체 기술력을 바탕으로 한 한국형우주망원경은 개발과 신뢰성 확보 측면에서 넘어야 할 과제가 많다. 본 논문을 통해 어려운 여건이지만 뜻을 함께 할 연구자들이 워킹그룹으로 모여 개발을 시작할 수 있기를 기대한다.

감사의 글

본 연구는 2021년 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 스페이스챌린지사업(NRF-2021M1A3B8078940), 국가과학기술연구회 창의형 융합연구사업(No. CAP19013-000)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1. National Aeronautics and Space Administration, Large UV/Optical IR Surveyor (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://asd.gsfc.nasa.gov/luvoir/>
2. GMTO, Giant Magellan Telescope (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.gmto.org/telescope>

3. TMT International Observatory, Thirty Meter Telescope (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.tmt.org/telescope-systems>
4. European Southern Observatory, European Extremely Large Telescope (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://elt.eso.org/telescope>
5. NASA, About NASA (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.nasa.gov/careers/our-mission-and-values>
6. Korea Astronomy and Space Science Institute, Center for Large Telescopes (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <http://www.kasi.re.kr/eng/pageView/87>
7. KASI, NISS and SPHEREx (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.kasi.re.kr/kor/publication/post/newsMaterial/10875>
8. Howard JM, Current and Future NASA Space Telescopes Presentation of 2021 Optical Design and Fabrication Congress, Washington, DC, 27 June 2021.
9. Jongmin Han et al., 2018 Evaluation of Technology Level, KISTEP report, KISTEP 2018-040 (2019), available from: https://www.kistep.re.kr/reportDetail.es?mid=a10305010000&rpt_no=RES0220190146
10. Jet Propulsion Laboratory, Habitable Exoplanet Observatory (HabEx) (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.jpl.nasa.gov/habex/>
11. X-ray Observatory, LYNX (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.lynxobservatory.com/>
12. NASA, Large Ultraviolet Optical Infrared Surveyor (LUVOIR) (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.luvoritelescope.org/>
13. ipac, et al., Origins Space Telescope: from first stars to life (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://origins.ipac.caltech.edu/>
14. NASA, SDO mission (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://sdo.gsfc.nasa.gov/mission/project.php>
15. GIS Geography, Why the atmospheric window matters in Earth science (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://gisgeography.com/atmospheric-window/>
16. Stuff, Elon Musk's SpaceX satellites to light up sky for those living in North Island (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.stuff.co.nz/science/124536207/elon-musks-spacex-satellites-to-light-up-sky-for-those-living-in-north-island>
17. KASI, Space astronomy (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <http://www.kasi.re.kr/eng/pageView/67>
18. Pierre B, The Design and Construction of Large Optical Telescopes (Springer, New York, 2003).
19. Garrett JW, The LUVOIR Decadal Mission Concept: Technology Needs (Mirror Tech Days, El Segundo, CA, 2018).
20. LessThan3ley, Field trip: NASA Goddard Space Flight Center, the James Webb Space Telescope (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://lessthan3ley.wordpress.com/2016/07/20/field-trip-nasa-goddard-space-flight-center-the-james-webb-space-telescope/>

21. NASA Mission News, 'L2' will be the James Webb Space Telescope's Home in Space (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.nasa.gov/topics/universe/features/webb-l2.html>
22. Korea Astronomy and Space Science Institute, Generic technology development for space telescope system, KASI Report, KASI 2020185004 (2020).
23. Stark CC, Roberge A, Mandell A, Robinson TD, Maximizing the exoEarth candidate yield from a future direct imaging mission, *Astrophys. J.* 795, 122 (2014). <https://doi.org/10.1088/0004-637X/795/2/122>
24. Sing DK, Characterising exoplanet atmospheres through transmission spectroscopy, Presentation of ExoClimes2010 Exploring the Diversity of Planetary Atmospheres, Exeter, UK, 7-10 Sep 2010.
25. Wikipedia, Concentrated solar power (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: https://en.wikipedia.org/wiki/Concentrated_solar_power
26. Prevassist, MÁQUINAS USADAS (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 26, available from: <https://prevassist.com/produtos/>
27. Daily Economy, '1mm part' that can withstand 200,000 times... 9 years of research on the Galaxy Fold 2 hinge (2020) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://www.mk.co.kr/news/it/view/2020/09/970310/>
28. KARI, Multi-purpose satellite (2021) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: https://www.kari.re.kr/kor/sub03_02_01.do
29. Bakshi V, EUV Lithography (SPIE Press, Washington, DC, 2018).
30. Astrobites, Two telescopes free to good home (2012) [Internet], viewed 2021 Oct 25, available from: <https://astrobites.org/2012/06/08/two-telescopes-free-to-good-home/>
31. Seas A, Robinson B, Shih T, Khatri F, Brumfield M, Optical communications systems for NASA's human space flight missions, Proceedings of the SPIE, International Conference on Space Optics, Chania, Greece, 9-12 Oct 2018.

Author Information

한정열 jhan@kasi.re.kr



과학기술연합대학원 천문우주과학과에서 2008년 박사학위를 취득 후, 2008년부터 2011년까지 삼성탈레스에서 정찰용 대형광학계 광학부 개발을 수행했고, 2011년부터 한국천문연구원에서 천문우주관측용 광학망원경을 개발하며, 초경량 신소재 및 연마기술 개발을 수행하고 있다.

김지현 jihun@kasi.re.kr



University of Arizona에서 광학으로 박사학위를 취득한 후, 2013년부터 한국천문연구원서 천문우주 관측 기기 개발 업무를 수행하였으며, 현재는 태양 지상망원경과 우주 망원경 개발 업무를 수행하고 있다.

박우진 wipark@kasi.re.kr



경희대학교 우주탐사학과에서 우주망원경용 비축반사광학계 개발과 지상망원경용 관측기기개발을 주제로 2020년에 박사학위를 취득하였고, 현재는 한국천문연구원에서 차세대 거대 망원경용 광학/적외선 분광관측기기 개발에 관련된 연구를 수행하고 있다.

김윤종 yjkim@kasi.re.kr



과학기술연합대학원 한국표준과학연구원 캠퍼스에서 2014년 위성용 및 항공용 광학계 정렬로 박사학위를 취득한 후 2017년부터 한국천문연구원에서 망원경 및 관측기기 개발관련 업무를 수행하고 있다. 현재는 비축 자유곡면 광학계 정렬, 가시광 및 적외선 관측기기 설계 및 해석과 관련된 연구를 수행하고 있다.

전유라 youraj@kasi.re.kr



University of Arizona 기계공학과에서 2021년 석사 학위를 취득한 후, 2021년부터 천문우주 연구원에서 광기계 설계와 해석 업무를 수행하고 있다.

최성환 shchoi@kasi.re.kr



경희대학교 우주과학과를 졸업하고, 동대학원에서 박사학위를 취득하였다. 2004년부터 현재까지 한국천문연구원 책임연구원으로 재직 중이며, 천문우주 관측기술 연구를 수행하고 있다. 2012년부터 2014년까지는 미국 뉴저지 공과대학 빅베어태양천문대 객원연구원으로 태양망원경의 적응광학 시스템을 개발하였으며, 현재는 NASA와 공동프로젝트인 국제우주정거장 태양코로나그래프 개발 시스템 엔지니어로 한국측 기술 총괄을 담당하고 있다.

김영수 ykim@kasi.re.kr



런던대학교(UCL)에서 박사학위를 취득한 후, 유럽남천문대(ESO)에서 근무했고, 2000년에 귀국하여 한국항공우주연구원에서 2년여간 아리랑 2호의 탑재체를 개발하였다. 한국천문연구원으로 옮긴 후 거대마젤란망원경(GMT) 국제공동개발 사업(K-GMT)을 기획부터 계획, 초기 사업관리까지 하였다. 또한 GMT 부경 FSM의 시험모델을 개발하였다. 현재는 천문연에서 망원경 소재개발 등을 수행하고 있다.

장비호 bhjang@kasi.re.kr



1986년부터 한국천문연구원 태양우주환경그룹에서 망원경 제작과 분광기에 관련된 업무를 수행하면서 1993년 한밭대학교 제어계측학과에서 학사 학위 취득 후 현재는 분광기 제어에 관련된 업무를 수행하고 있다.

백지혜 jhbaek@kasi.re.kr



충북대학교 천문우주학과에서 석사학위를 받았으며, 충남대학교 컴퓨터공학과 박사과정을 수료하였다. 2005년부터 한국천문연구원 재직중이며, 데이터 파이프라인 개발 및 데이터 센터 구축 등의 기술 개발을 수행하였다. 최근에는 '국제우주정거장용 태양코로나그래프(CODEX)'의 지상 시스템 및 지상 소프트웨어 개발을 진행하고 있으며, SDO 데이터를 활용한 딥러닝 연구도 수행하고 있다. 관심분야는 데이터센터, 데이터정책, 컴퓨터비전, 딥러닝이다.

김재우 kjw0704@kasi.re.kr



영국 Durham 대학에서 박사학위를 취득한 후, 2016년부터 한국천문연구원 재직하고 있다. 현재는 외부은하 및 은하단에 대한 연구와 다천체분광기 개발사업을 진행하고 있다.

문봉곤 bkmoon@kasi.re.kr



2003년부터 한국천문연구원 우주용 적외선 관측기기 개발 관련 연구를 수행하면서 충남대학교 천문우주학과에서 2010년 박사학위를 취득했고, 2011년부터 한국천문연구원 우주과학본부에 재직하면서 과학기술위성 3호 탑재체 MIRIS, 차세대소형위성 1호 탑재체 NISS, 차세대소형위성 2호 탑재체 LEO-DOS, 달탐사선 KPLO 편광 탑재체 PolCam 등의 우주천문용 적외선 광기계 설계 연구 및 위성 탑재체 개발 연구를 수행하였으며, 탑재체 개발을 위한 SE, PM 등을 역임하였다. 현재는 천문연 천문우주기술훈센터와 겸직하면서 우주과학본부 우주탐사그룹에서 책임연구원으로 CubeSat 탑재체 PolCube 개발, K-CLPS 탑재체 개발, 아포피스 탐사 연구에 참여하고 있다.

홍성욱 swhong@kasi.re.kr



한국과학기술원 물리학과에서 2011년 박사학위를 취득한 후, 같은 해부터 충남대학교/고등과학원/한국천문연구원/서울시립대학교에서 수치계산을 활용한 우주론 및 우주거대구조 연구를 수행해 왔다. 현재는 한국천문연구원 수치계산과 인공지능을 활용한 우주론 연구 및 다천체분광기 개발에 참여하고 있다.

정연길 ykjung21@kasi.re.kr



충북대학교 물리학과에서 박사학위를 취득한 후, 2019년부터 한국천문연구원에서 선임연구원으로 재직하고 있다. 현재 미시중력렌즈 현상을 이용한 외계행성 탐색 업무를 수행하고 있으며, 관측 영상의 자료처리 및 분석 연구를 수행하고 있다.

정소영 soyoung@wyslab.com



서울과학기술대 화학공학과에서 학사 학위를 취득하고 (주)위즈랩에서 천문우주, 우주 환경, 적외선 분광기 분야의 사업 관리 업무를 수행하고 있다.

박수종 soojong@khu.ac.kr



서울대학교 천문학과를 졸업하고 미국 텍사스 주립대학교(University of Texas at Austin) 천문학과에서 석사와 박사 학위를 받았다. 독일 막스플랑크 연구소(Max-Planck-Institut fuer extraterrestrische Physik, Garching) 박사후 연구원, 서울대학교 천문학과 조교수, 한국천문연구원 선임연구원을 거쳐서 경희대학교 우주탐사학과 교수로 재직하고 있다. 가시광 및 적외선 관측기기 제작과 은하 중심, 별탄생 지역 등의 관측이 주요 연구 분야이다. 현재 SDSS-V/LVM과 GMT/GMACS의 소프트웨어 개발을 수행 중이다.