

<http://www.iass-workshop.org/>

Program Book of the IASS Workshop 2021

천문우주관측기기 워크숍

온라인 디지털 포럼

Instrumentations for Astronomy and Space Science (IASS) Workshop



한국천문학회
THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY



(사)한국우주과학회



한국천문연구원
Korea Astronomy & Space Science Institute

환영사

Welcome Address

한국우주과학회 천문우주관측기기분과 2021 워크숍에 참여하신 여러분을 환영합니다. 올해 코로나 19 백신이 접종되고는 있지만 아직 기승을 부리고 있습니다. 이 때문에 천문우주관측기기 워크숍은 작년과 마찬가지로 온라인으로 진행하게 되었습니다. 이렇듯 여러 가지 힘든 상황에서도 본 워크숍에 참여하신 여러분들에게 다시 한 번 감사를 드립니다. 분과장이신 박수종 교수님과 함께 준비하신 여러분들께도 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

천문우주관측기기 분과는 우주과학회의 가장 활발하고 중요한 분과입니다. 이 번 워크숍에 총 5편의 초청강연과 19편의 구두 발표, 그리고 다수의 기업이 참여하고, 디지털 포럼 등의 프로그램이 산학연 협력으로 이뤄질 예정으로 알고 있습니다. 이러한 참여의 훌륭한 질과 양이 그 중요성을 반증한다고 하겠습니다.

올해는 대한민국 우주개발 2.0 시대의 원년입니다. 금년 3월 국내 최초 민간주도의 차세대중형위성 1호가 성공적으로 발사되었고, 10월에 국산 한국형발사체 발사가 성공하면 국가의 우주개발 능력이 급상승하는 새로운 전기를 맞게 됩니다. 이러한 위성과 발사체 기술을 바탕으로 이제 본격적으로 우주탐사에 나서야 한다는 국민적 공감대가 이루어지고 있습니다. 이에 따라 천문연을 중심으로 아포피스 소행성 탐사 준비가 진행되고 있습니다. 또한 항우연은 22년 달 궤도선을 발사하여 본격적인 우주탐사를 시작할 것입니다. '30년경에는 달착륙선, 그리고 '35년에는 소행성 샘플리턴 임무가 국가계획으로 수행하도록 되어있습니다.

아울러 '20년대에는 유인달탐사와 '30년대 유인화성 탐사 국제협력 참여가 예상되고 있습니다. 이를 위해 금년 5월 대통령의 방미시 국제공동 유인 달탐사 계획인 Artemis에 참여하기로 하였습니다. 이렇듯 우주선진국으로 나아가는 우리에게 천문우주관측기기의 개발과 활용능력은 미래 우주개발과 우주탐사의 필수적인 핵심요소가 되고 있습니다. 특히 이 분야는 사이언스와 엔지니어링이 융합되어 있어 기업체의 참여가 필요하고 경제적으로도 산업화가 가능한 유망한 우주개발 분야이기도 합니다.

오늘 워크숍에 참여하시는 과학자와 엔지니어분들은 소속 기관은 물론 국가적으로 소중한 인재들이십니다. 앞으로 더 훌륭한 과학기술적 성과를 내시기를 성원합니다. 앞으로도 한국우주과학회는 천문우주관측기기분과에 많은 지원을 아끼지 않을 것입니다.

이제 한여름의 무더위는 지나가고 있고 코로나 19 백신 접종이 가속화 되면서 연말쯤에는 어느 정도 정상 생활이 회복되지 않을까 기대해 봅니다. 그럼에도 여러분들은 긴장을 풀지 마시고 건강에 각별한 주의를 기울이시기를 바랍니다. 다시 한 번 이번 워크숍을 준비하신 우주과학회 천문우주관측기기분과 여러분들과 온라인으로 참여하신 모든 분들에게 감사와 성원의 마음을 전해 드립니다.

한국우주과학회장 최 기 혁

축사

Congratulatory Address

오늘 열 다섯 번째 국내 천문우주관측기술 워크숍을 개최하게 된 것을 축하드립니다. 조금 아쉬운 것은 작년에 이어 올해도 코로나 팬데믹으로 온라인으로 워크숍이 개최된 것입니다. 그럼에도 불구하고 천문우주관측기술을 개발하겠다는 의지와 열정으로 뭉쳐진 관계자 여러분의 노력으로 이번 워크숍 역시 많은 분들이 참여하여 성황리에 열리게 된 것을 진심으로 축하드립니다. 특히 코로나로 무척 어렵고 힘든 나날을 보내시는 기업인 여러분의 참여에 깊은 감사와 응원을 보냅니다.

현대 천문학이 발전하면서 관측 인프라가 다양해지고, 특히 관측기기는 우주를 보려는 지적 호기심을 충족시키기 위해 빠르게 발전하는 첨단기술과 연계하여 극한의 천체관측을 가능하게 하고 있습니다. 그러나 천문우주관측기술을 개발하는 국내 연구자들의 상호 기술을 소개하며 소통할 수 있는 공간이 여의치 않은 상황에서 천문우주관측기기 워크숍은 기술 개발을 위한 소통의 문화를 확산하며 이제는 정착 단계에 이르게 되었다고 생각합니다.

국내 천문우주관측기술 연구자가 중심이 되어 지난 2007년부터 시작한 워크숍은 2018년부터는 한국 우주과학회와 천문학회의 관측기기분과가 공동으로 주최해오고 있으며, 작년에는 코로나 팬데믹으로 인하여 온라인으로 진행되었음에도 16개 기업과 100여 명의 학생 및 연구자가 적극적으로 참여하여 초청 강연, 기업홍보 및 연구발표가 내실 있게 진행되었습니다. 올해에도 5개의 초청강연과 18개 구두발표, 기업홍보 및 100명이 넘는 천문우주과학 기술인들의 참여로 풍성한 교류의 장이 될 것으로 기대됩니다.

저희 한국천문연구원에서는 광학, 전파, 우주 분야의 천문관측 기술개발 연구자들이 매달 자신들의 연구개발 분야를 소개하고 교류하기 위해 2018년 4월부터 자발적인 모임을 시작하였고, 2020년 5월부터는 이른바 '연개소문'이라는 이름으로 지속적으로 진행되어 원 내·외 연구자들의 과거 경험이나 NASA 등 국내·외 최첨단 연구기관의 기술 분야를 소개하며 내부적으로 기술과 지적 역량을 높이며 미래를 준비하고 있습니다.

이제 우리나라는 매년, 그리고 매달 천문우주관측기술 연구자들의 교류가 정기적으로 개최되고 있으며, 이를 통하여 국내 천문우주과학 기술 분야는 한층 성숙한 기술 역량을 갖추게 될 것입니다. 그리고 이러한 성숙된 기술의 역량을 바탕으로 개발되는 새로운 기술들은 우리나라의 관측기술에 대한 국제적 위상을 꾸준히 향상시킬뿐만 아니라 국제적으로 관측기술의 선도적 역할을 하는 바탕이 될 것입니다.

지금 우리는 중력파 검출기술을 비롯한 다중신호 관측 기술과 초고분해능 전파관측 기술 등 선진 관측기술들을 확보하고 있습니다. 한편 우주개발 기술 분야에서도 2020년대 후반에 아포피스 탐사선이 우주를 향해하며, L2를 넘어 L4로 가는 미션에 참여하여 우주탐사 역량을 확보

하게 되면 우리나라의 우주개발기술이 선진국 대열에 진입하는데 크게 기여하게 될 것입니다. 이와같이 끊임없이 발전하는 우리의 선진 관측기술들은 우리나라의 천문우주과학이 세계적인 선도연구를 수행하는 밑거름이 되어 우리나라 천문우주과학이 끊임없이 변하는 미래 천문우주과학 연구의 패러다임을 주체하는 힘이 될 것입니다.

그 중요한 시작점에 동참하며 소중한 동반자로서 이 자리에 참여하시는 모든 분께서 주역이 되시길 바라며, 저희 천문연구원은 국내 천문학계가 큰 비전을 품고 나아가는데 가능한 모든 지원을 아끼지 않으며 응원하겠습니다.

이번 워크숍을 통하여 서로의 기술개발 분야에 대한 이해의 폭을 넓히고 상호 존중과 진솔한 대화를 통하여 공감대를 형성하면서 축하하는 축제의 장이 되고 장차 국제 워크숍 등 명품 워크숍으로 발전할 수 있기를 기원하며 다시 한번 뜻깊은 자리가 마련된 것을 축하합니다.

한국천문연구원장 박 영 득

축사

Congratulatory Address

한국천문학회 천문관측기기분과와 한국우주과학회 우주관측기기분과가 한국천문연구원과 함께 2021년 천문우주관측기기 워크숍을 개최하게 되어 축하드립니다. 최근 천문우주과학은 지상거대관측장비, 우주관측장비 등을 활용한 첨단 관측을 중심으로 재편되면서, 관측기기 개발이 한층 더 중요해지고 있습니다. 특히 이런 관측장비는 국제공동으로 개발되면서, 참여 국가의 역할은 국가과학기술 수준의 척도가 되고 있습니다. 이런 상황에 대처하여, 국내에서 관련 연구자들이 2007년부터 관측기기 워크숍을 개최하고 있으며, 이번에는 2021년 천문우주관측기기 워크숍을 개최하여 기쁘게 생각합니다.

이번 워크숍은 COVID-19로 인해 온라인으로 개최됨에도, 5편의 초청강연과 19편의 구두 발표, 그리고 다수의 기업 참여, 디지털 포럼 등의 산학연 협력이 예정되어 있어, 알차게 진행될 것으로 봅니다. 이 워크숍을 통해 관측기기 분야의 국내외 동향을 파악하고, 나아가 앞으로 국제공동 프로젝트를 주도할 수 있는 기반을 마련할 것으로 기대합니다.

워크숍 준비를 위해 수고하시는 한국천문학회 천문관측기기분과, 한국우주과학회 우주관측기기분과, 한국천문연구원 관계자분들께 감사드립니다. 이번 워크숍이 한국 천문우주관측기기 발전의 계기가 되기를 바라며, 다시 한번 축하드립니다.

한국천문학회장 류 동 수

위원회

공동위원장 (Chairs)

박수종 경희대학교 (Soojong Pak, Kyung Hee University)

문봉곤 한국천문연구원 (Bongkon Moon, Korea Astronomy and Space Science Institute)

SOC 위원 (Members)

박수종 (천문학회 분과위원장, Chair)

문봉곤 (우주과학회 분과위원장, Co-Chair)

한정열 한국천문연구원 (Jeong-Yeol Han, Korea Astronomy and Space Science Institute)

강용우 한국천문연구원 (Yong-woo Kang, Korea Astronomy and Space Science Institute)

남옥원 한국천문연구원 (Uk-won Nam, Korea Astronomy and Space Science Institute)

박명구 경북대학교 (Myung-gu Park, Kyungpook National University)

박상영 한화 (Sang-young Park, Hanwha)

육인수 한국천문연구원 (In-Soo Yuk, Korea Astronomy and Space Science Institute)

이대희 한국천문연구원 (Dae-hee Lee, Korea Astronomy and Space Science Institute)

이형권 레오솔루션즈 (Albert H.K. Lee, LeO Solutions)

임명신 서울대학교 (Myung-shin Im, Seoul National University)

진 호 경희대학교 (Ho Jin, Kyung Hee University)

LOC 위원 (Members)

강현우 한국천문연구원 (Hyunwoo Kang, Korea Astronomy and Space Science Institute)

고미희 한국우주과학회 (Mihee Ko, The Korean Space Science Society)

김일훈 에스엘랩 (Ilhoon Kim, SLLAB Inc.)

김지훈 메타스페이스 (Jihoon Kim, MetaSpace)

민병희 한국천문연구원 (Byeong-Hee Mihn, Korea Astronomy and Space Science Institute)

양희수 한국천문연구원 (Heesu Yang, Korea Astronomy and Space Science Institute)

윤누리 한국천문연구원 (Nuri Yoon, Korea Astronomy and Space Science Institute)

이충욱 한국천문연구원 (Chung-Uk Lee, Korea Astronomy and Space Science Institute)

조보영 한국천문학회 (Boyoung Cho, The Korean Astronomical Society)

차상목 한국천문연구원 (Sang-Mok Cha, Korea Astronomy and Space Science Institute)

최성환 한국천문연구원 (Seongwhan Choi, Korea Astronomy and Space Science Institute)

홍성욱 한국천문연구원 (Sungwook E. Hong, Korea Astronomy and Space Science Institute)

일정표

Time Table

온라인 홈페이지: <https://iass-workshop.org/IASS2021> (로그인/등록 후 접속가능)

8월 19 (목) 발표 일정

시 간	제 목	발표자	좌 장
13:00 - 13:30	개회식 (Opening Ceremony) / 축하	천문학회장 우주과학회장 천문연원장	박수종 (경희대)
13:30 - 14:05	2021 천문우주관측 망원경기술 과제현황 소개	한정열	오재석 (KASI)
14:05 - 14:25	휴식		
14:25 - 14:55	Invited Talk 1: Instrumentation Suite for Maunakea Spectroscopic Explorer	Alexis Hill	오희영 (KASI)
14:55 - 15:10	KASI-Deep Rolling Imaging Fast-optics Telescope(K-DRIFT) Pathfinder 개발과정과 시험관측 결과	김윤종	
15:10 - 15:25	A Progress Report on the Development of Multi-Object Spectrographs for the All-sky Spectroscopic Survey of Nearby Galaxies	황호성	
15:25 - 15:45	휴식		
15:45 - 16:15	Invited Talk 2: System Engineering for Space Mission	김윤진	문봉곤 (KASI)
16:15 - 16:30	Performance and Application of the Radio Telescope of Gwacheon National Science Museum	조재일	
16:30 - 16:45	21cm 중성수소 선 관측을 통한 우리 은하의 회전 곡선 연구	김정훈	
16:45 - 17:05	휴식		
17:05 - 17:20	SPECTR: 투과스펙트럼 관측을 위한 분광측광기	박명구	백지혜 (KASI)
17:20 - 17:35	IMSNG Science Data System: Data Reduction Pipeline gppy	백승학	
17:35 - 17:50	IMSNG Science Portal for Rapid Follow-up of Transients	장서원	
17:50 -	1 일차 Closing / Event		

8월 20일 (금) 발표 일정

시 간	제 목	발표자	좌 장
09:00 - 09:30	온라인 디지털 포럼 준비 및 참석자 온라인 대기/접수		
09:30 - 10:00	Invited Talk 3: Using modern DevOps tools for astronomical software development in the Sloan Digital Sky Survey	José Sánchez-Gallego	정하은 (U.Arizona)
10:00 - 10:15	Design and development plan for the Observing Software of IGRINS-2	이혜인	
10:15 - 10:30	다이렉트 드라이브 적도의식 1.2m 망원경 개발	김정현	
10:30 - 10:50	휴식		
10:50 - 11:20	Invited Talk 4: The Core Flight System (cFS): A Reusable Flight Software Framework	Elizabeth J. Timmons	최성환 (KASI)
11:20 - 11:35	Development of Optomechanical Structure of Confocal Off-Axis Reflective Telescope for Unmanned Aerial Vehicle	한지민	
11:35 - 11:50	12U 큐브위성용 PolCube 편광탐재체 개발	문봉곤	
11:50 - 13:00	점심		
13:00 - 13:15	천문우주기술훈터 현황	한정열	이덕행 (KASI)
13:15 - 13:30	Beyond Tens and SKA	강현우	
13:30 - 13:45	중력파 검출기 기술개발 및 국제협력	이성호	
13:45 - 14:00	Super Eye 플랫폼 구축을 위한 실증 중심의 정밀관측 융합 요소기술 개발 진행현황 소개	한정열	
14:00 - 14:20	휴식		
14:20 - 14:50	Invited Talk 5: 무인이동체 원천기술 추진 및 산학연 협업 현황	강왕구	이혜인 (KASI)
14:50 - 15:05	KIAS Chamnun Telescope (KCT) : A Remotely-Operated Robotic System in Chile	임구	
15:05 - 15:20	7-Dimensional Telescope (7DT) for Multi-Messenger Astronomy	임명신	
15:20 - 15:40	휴식		
15:40 - 16:40	천문우주관측기기 개발 현황 및 산학연 네트워크 협력 강화를 위한 자유 토론		박수종 (경희대)
16:40 - 16:45	폐회		

목 차

Contents

환영사 / 축하(Welcome Address / Congratulatory Address).....	3
위원회(Committees)	7
일정표(Time Table)	8
초록(Abstract)	
천문우주관측 망원경/기기/기술개발 과제현황 소개	15
Instrumentation Suite for Maunakea Spectroscopic Explorer	16
KASI-Deep Rolling Imaging Fast-optics Telescope(K-DRIFT) Pathfinder 개발과정과 시험관측 결과.....	17
A Progress Report on the Development of Multi-Object Spectrographs for the All-sky Spectroscopic Survey of Nearby Galaxies	18
System Engineering for Space Mission	19
Performance and Application of the Radio Telescope of Gwacheon National Science Museum (국립과천과학관 전파망원경 성능과 활용)	20
21cm 중성수소 선 관측을 통한 우리 은하의 회전 곡선 연구	21
SPECTR: 투과스펙트럼 관측을 위한 분광측광기.....	22
IMSNG Science Data System: Data Reduction Pipeline gppy.....	23
IMSNG Science Portal for Rapid Follow-up of Transients	24
Using modern DevOps tools for astronomical software development in the Sloan Digital Sky Survey	25
Design and development plan for the Observing Software of IGRINS-2.....	26
다이렉트 드라이브 적도의식 1.2m 망원경 개발	27
The Core Flight System (cFS): A Reusable Flight Software Framework	28
Development of Optomechanical Structure of Confocal Off-Axis Reflective Telescope for Unmanned Aerial Vehicle	29
12U 큐브위성용 PolCube 편광탐재체 개발.....	31

천문우주기술센터 현황	32
Beyond Tens and SKA.....	33
중력파 검출기 기술개발 및 국제협력.....	34
Super Eye 플랫폼 구축을 위한 실증 중심의 정밀관측 융합 요소기술 개발 진행현황 소개.....	35
무인이동체 원천기술 추진 및 산학연 협업 현황	36
KIAS Chamnun Telescope (KCT) : A Remotely-Operated Robotic System in Chile	37
7-Dimensional Telescope (7DT) for Multi-Messenger Astronomy	38
천문우주관측기기 개발 현황 및 산학연 네트워크 협력 강화를 위한 자유 토론	39
발문(Postface)	43



IASS

Abstract

천문우주관측 망원경/기기/기술개발 과제현황 소개

한정열¹, 문봉곤¹, 최성환¹, 강현우¹, 이충욱¹, 박찬¹, 민병희¹, 이대희¹,
진호², 박수종², 김일훈³

¹ 한국천문연구원, ² 경희대학교, ³ 에스엘랩

천문우주관측을 위해 첨단 망원경과 관측기기를 개발하며 기술개발을 수행하고 있는 학계, 산업계 및 연구계 수행과제와 계획과제를 정리하여, 상호 기술자문 등 국내 산학연 소통을 강화하고 향후 최첨단 망원경광학계 구현 시 긴밀한 협력을 도모하고자 한다. 2020 년에 이어 2021 년에 새롭게 추진하고 있는 과제나 종료되는 사업 등 현황을 확인할 수 있으며, 특히 국내 천문우주관측기술이 도약할 수 있는 협력의 토대가 세워지고, 미래를 준비하며 생산적이며 활발한 토론의 장이 마련되기를 기대한다.

Instrumentation Suite for Maunakea Spectroscopic Explorer

Alexis Hill

Maunakea Spectroscopic Explorer
National Research Council of Canada/Herzberg Astronomy and Astrophysics

Maunakea Spectroscopic Explorer (MSE) is an upgrade of the existing 3.6-m Canada France Hawaii Telescope (CFHT) to an 11.25-m segmented primary mirror with a 1.5 square degrees field-of-view at the telescope's prime focus. MSE will observe 4,332 astronomical targets in every pointing using individually positioned fiber optics to pick up the light in the field of view and transmit it to a bank of low/moderate ($R=3,000/6,000$) resolution spectrographs in optical to near-infrared wavelengths and a bank of high ($R=30,000$) resolution spectrographs in optical wavelengths. Piezo actuators have been selected to position the fibers and are compact enough to enable simultaneous full field coverage for both resolution modes. A calibration system will ensure stable and repeatable results. With this unique, dedicated instrument suite, MSE will collect a massive amount of data: millions of spectra every month. During the Conceptual Design Phase for this instrumentation, it was recognized that the spectrographs would be challenging to build and that calibration would require careful planning. For example, the low/moderate resolution spectrographs include optical and NIR combined arms, necessitating cooling of each spectrograph. As well, the high resolution spectrographs include a grating with a line density and size that has not previously been manufactured. MSE has been conducting studies and exploring design options and configurations to address these challenges. Also, science teams were consulted, with the result being re-evaluation (and relaxation) of some Science Requirements. At this time, the spectrograph design teams have proposed alternative designs to meet the science requirements. MSE's Instrumentation Suite will be presented, including comparisons of the baseline versus alternative spectrograph designs and the latest considerations for calibration.

KASI-Deep Rolling Imaging Fast-optics Telescope(K-DRIFT) Pathfinder 개발과정과 시험관측 결과

김윤종¹, 고종완¹, 김재우¹, 박홍수¹, 변우원¹, 선광일¹, 유재원¹,
이용석¹, 이충욱¹, 전영범¹, 한정열¹, 장승혁²,
김도훈³, 이형권³, 김일훈⁴

¹ 한국천문연구원, ² 스마트 IT 융합시스템 연구단, ³ 그린광학, ⁴ SLLAB Inc.

표준우주모형이 예측하는 천체의 성장 역사를 추적하기 위해서는 보통의 밤하늘 밝기보다 약 1000 배 어두운 저휘도(Low Surface Brightness, LSB) 우주 탐사가 필요하지만, 관측기술의 한계로 아직 저휘도 우주는 거의 미지의 세계에 있다고 할 수 있다. 한국천문연구원에서는 저휘도 천체 관측에 최적화된 직경 300 mm K-DRIFT Pathfinder 망원경을 개발하였고 시험관측을 수행하였다. 저휘도 천체는 ~28 mag/arcsec² 보다 어두운 천체로 표면밝기가 매우 낮기 때문에 망원경 내부의 미광(stray light)을 최소화하는 것이 중요하다. 이를 구현하기 위해 K-DRIFT Pathfinder 망원경에는 선형 비점수차가 제거된 비축 자유곡면 삼 반사경 형태를 적용하였다. 본 연구를 통해 가시광 영역에서 선형 비점수차가 제거된 비축 자유곡면 삼 반사 망원경의 설계, 제작 및 측정 가능성을 검증하였으며 시험관측을 통해 저휘도 천체의 관측 가능성을 국내최초로 확인하였다. 본 발표에서는 K-DRIFT Pathfinder 망원경의 개발 과정 및 시험관측 결과와 향후 연구계획을 소개한다.

A Progress Report on the Development of Multi-Object Spectrographs for the All-sky Spectroscopic Survey of Nearby Galaxies

Ho Seong Hwang^{1,2}, Jae-Woo Kim¹, Young-Man Choi³, Moo Young Chun¹, Sang-Hyun Chun², Haeun Chung⁴, Sungwook E. Hong¹, Donghui Jeong^{5,6}, Ueejeong Jeong², Kang-Min Kim², Donggok Kim², Yunjong Kim¹, Jongwan Ko¹, Chung-Uk Lee¹, Ho-Gyu Lee¹, Jong Chul Lee¹, Sungho Lee¹, Yongseok Lee¹, Hyun-Ho Lim³, Heeyoung Oh¹, Chan Park¹, Changbom Park⁶, Junsup Shim⁶, Hyunmi Song⁷, Yongmin Yoon⁶

¹Korea Astronomy and Space Science Institute, ²Seoul National University,

³Ajou University, ⁴University of Arizona, ⁵Pennsylvania State University,

⁶Korea Institute for Advanced Study, ⁷Yonsei University

We present a progress report on the development of multi-object spectrographs for the all-sky spectroscopic survey of nearby galaxies. The survey is to construct a complete spectroscopic sample of galaxies with $KS < 13.75$ in the local universe where the contribution of dark energy to the energy budget of the universe is expected to be the maximum. To conduct the survey, we started a project developing multi-object spectrographs for two 1–2 m class telescopes in northern and southern hemispheres. Here we introduce the current status of the design and development of the spectroscopic system focusing on the KMTNet telescope, which includes fiber positioners, mounting plates, wide-field correctors, fiber view camera, and guiding/focusing modules.

System Engineering for Space Mission

Yunjin Kim

In this presentation, we will discuss the system engineering approach for a space mission. It includes the requirement development, trade studies, verification and validation, technical resources management, risk management, and fault management. The objective of system engineering is to design, build, and operate a space system in the most cost-effective manner with an acceptable risk. The effectiveness of the system engineering approach is demonstrated using several examples. The system engineering approach must be tailored for each space mission. In order to avoid the burden of a document-centric process, a model-based systems engineering approach is described. The systems engineering architecture can be constructed using a set of interconnected models using the model-based system engineering. The impact of any technical changes can be assessed efficiently using the model-based approach.

Performance and Application of the Radio Telescope of Gwacheon National Science Museum (국립과천과학관 전파망원경 성능과 활용)

Jaecil Cho¹, Jung-Hoon Kim², Ji-Hye Lee², Myunghee Han¹

¹Gwacheon National Science Museum

²SETsystem, Inc.

Gwacheon National Science Museum(GNSM) has a 7.2m radio telescope, which is only one possessed by a science museum in Korea. In 2020, performance of the telescope had been upgraded in the way of a new antenna control system, receiver system, control and analysis software. New AC motors, limiters and encoders were installed and the new receive system can observe L-band(1.4GHz) and S-band(2.8GHz). Using theses upgraded system we have developed educational programs, which are 'The Sun seen in radio' and 'The Universe seen in radio'. In the former, the sun is observed with several methods to show analyzed data to participants. In the latter, HI gas, 21cm line, is observed. In addition, results of survey conducted to participants were discussed. Finally, we plan to receive an observation proposal from students and allocate time.

21cm 중성수소 선 관측을 통한 우리 은하의 회전 곡선 연구

김정훈¹, 안지은¹, 이지혜¹, 조재일²

¹㈜에스이티시스템, ²국립과천과학관

국립과천과학관이 보유한 전파망원경(직경 7.2m)은 2008 년에 설치되었으며, 2020 년에 성능개선을 진행하였다. ㈜에스이티시스템은 국립과천과학관 전파망원경의 성능개선사업에 참여하여 구동시스템, 수신시스템을 교체하고 제어 및 분석 프로그램을 개발하였다. 개선된 전파망원경의 활용도를 높이고자 일반인 대상으로 운영되었던 기존 교육 프로그램에 중고등학생 및 대학생 대상의 원격관측 프로그램을 신설하여 운영할 예정이다.

이를 위해 ㈜에스이티시스템은 국립과천과학관 전파망원경으로 관측한 우리 은하의 중성수소 자료를 이용하여 우리 은하의 회전 곡선에 대한 연구를 진행하였다. 다음은 우리 은하의 회전 곡선을 도출하는 과정이다.

1. 나선팔에 분포하고 있는 중성수소영역에서 방출하는 전파를 스캔 관측한 후, 신호 처리 과정을 거쳐 도플러 속도 분포 그래프를 그린다.
2. 중성수소영역의 시선속도 값을 구하기 위해 노이즈가 제거된 도플러 속도 분포를 4 개의 가우시안 분포 곡선으로 근사하여 나타낸다.
3. 관측자의 움직임 등을 보정한 시선속도 값을 회전 속도 계산식에 대입한 후, 거리에 대한 속도 그래프를 그린다. 그 결과, 은하 중심에서 4kpc 이상 떨어진 곳에서부터 회전 속도가 일정하다는 것을 확인하였다.

본 연구 결과를 통해 국립과천과학관 전파망원경이 관람 용도뿐만 아니라 전파관측 경험 및 자료처리·분석 기술 습득 등이 가능하며, 전파천문 연구에도 활용할 수 있음을 보였다.

SPECTR: 투과스펙트럼 관측을 위한 분광측광기

박명구¹, 김강민², 최연호¹, 박찬², 장비호², 장정균², 정의정²,
유영삼², 이병철², 한인우²

¹경북대학교, ²한국천문연구원

지난 20 여 년간의 천문학적 관측을 통해 우주 대부분 별에 외계행성이 존재하는 것으로 확인되었다. 이 같은 외계행성에 생명체가 과연 존재할 수 있는지 확인할 수 있는 방법 중 하나가 행성대기를 투과한 별 스펙트럼을 분석하는 방법이다. SPECTR 는 1.8m 보현산망원경을 이용하여 파장 별 시계열 광도변화를 매우 정밀하게 측정하기에 적합하게 제작되었다. Slit assembly, collimator, VPHG, imaging lens, CCD 로 구성된 SPECTR 는 Cassegrain Interface Module 에 카트리지 형태로 손쉽게 장 · 탈착할 수 있으며 슬릿이 10'으로 길게 설계되어 비교성과 목적성을 동시에 관측할 수 있다. 현재 SPECTR 는 제작이 거의 완료되어 종합적인 시험 및 조정을 하는 단계에 있다.

IMSNG Science Data System: Data Reduction Pipeline gppy

Gregory S.H. Paek^{1,2}, Myungshin Im^{1,2}, Seo-won Chang^{1,2}, Changsu Choi^{1,2},
Gu Lim¹, Sophia Kim^{1,2}, Mankeun Jung^{1,2}, Sungyong Hwang^{1,2},
Joonho Kim^{1,2}, Hyun-il Sung³, and IMSNG team^{1,2}

¹Astronomy Program, Department of Physics & Astronomy, Seoul National University,
1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Korea

²SNU Astronomical Research Center, Seoul National University,
1 Gwanak-ro, Gwanak-gu, Seoul 08826, Korea

³Korea Astronomy and Space Science Institute,
776 Daedeokdae-ro, Yuseong-gu, Daejeon 34005, Korea

Although the era of very large telescopes has come, small telescopes still have advantages for fast follow-up and long-term monitoring observation. Intensive monitoring survey of nearby galaxies (IMSNG) aims to understand the nature of the supernovae (SNe) by catching the early light curve from them with the network of small telescopes from 0.4-m to 1.0-m all around the world. To achieve the scientific goals with different facilities, three factors are important. First, automatic processes as soon as data is uploaded will increase efficiency and shorten the time. Second, searching for transients is necessary to deal with newly emerged transients for fast follow-up observation. Finally, the Integrated process for different telescopes gives a consistent output, which will eventually make connections with the database easy. Here, we introduce the integrated pipeline, 'gppy' based on Python, for nearly 10 different facilities having various configurations and its performance. Processes consist of image pre-process, photometry, image align, image combine, photometry, and transient search. The future work will be suggested to improve the performance and usability on the other projects, gravitational wave electromagnetic wave counterpart in Korea Observatory (GECKO), and small telescope network of Korea (SOMANGNET). The next speaker will show the connection between pipeline and database.

IMSNG Science Portal for Rapid Follow-up of Transients

Seo-Won Chang^{1,2}, Gregory S. H Paek, Gu Lim, Sophia Kim, and Myungshin Im

¹SNU Astronomy Research Center, Seoul National University

²Astronomy Program, Department of Physics & Astronomy, Seoul National University

We describe the IMSNG science portal that allows to ingest data streams from a diversity of telescopes, identify potential transient candidates, enable rapid follow-up observations and generate summary statistics on survey progress and complementary information. All processed data is aggregated in near real-time and pushed into the science portal based on the Django web framework. This portal was developed in the context the IMSNG to support the discovery of early supernova emission. Here, we introduce its architecture and current status including real-world examples.

Using modern DevOps tools for astronomical software development in the Sloan Digital Sky Survey

José Sánchez-Gallego

"In the era of large astronomical surveys it has become increasingly important to adopt software development strategies that enable collaboration across large, distributed teams. In this talk I will give a brief overview of the hardware and instrumentation for the the fifth iteration of the Sloan Digital Sky Survey (SDSS-V) before discussing the development of the operations software for the project. I will focus on how we have adopted common industry techniques and tools to facilitate code development within our team while reducing deployment costs. Finally, I will discuss what we have learned from this experience and how it can be applied to other projects."

Design and development plan for the Observing Software of IGRINS-2

Hye-In Lee¹, Ueejeong Jeong¹, Moo-Young Chun¹, Heeyoung Oh¹, Jae-Joon Lee¹,
Hwihyun Kim², Francisco Ramos², Chan Park¹, Young Sam Yu¹, Sanghyuk Kim¹,
Jae Sok Oh¹, Yunjong Kim¹, In-Soo Yuk¹, and Sungho Lee¹

¹Korea Astronomy and Space Science Institute

²Gemini Observatory

The original IGRINS has been operated for more than 6 years since 2014, including the recent visit to the Gemini South. The IGRINS-2 will be developed as a Gemini facility instrument based on the original IGRINS design. The IGRINS-2 observing software consists of the Instrument Control System Hub (ICSHub), the House Keeping Package (HKP), the TCSPProxy, the Slit Camera Package (SCP), the Data Taking Package (DTP), Quick Look Tool (QLT), and Ancillary Tools (AT). Since the hardware and electronic part such as the sub-systems of the HKP and the interface cards for the detector will be upgraded from the original IGRINS to IGRINS-2, the observing software should be modified for them. The IGRINS-2 software should communicate with Gemini Master Process (GMP) through the Gemini Instrument Application Programmer Interface (GIAPI) as the Gemini facility instrument system. In this presentation, we will show the observing software design of IGRINS-2 including the GIAPI and a development plan for it.

다이렉트 드라이브 적도의식 1.2m 망원경 개발

김정현¹, 김일훈¹, 강선아¹, 윤요셉²

¹주식회사 에스엘랩, ²국립광주과학관

(주)에스엘랩에서는 국내에서 제작된 망원경 중 최대 구경인 1.2m 망원경을 2020년 국립광주과학관에 설치 완료하였다.

이 망원경은 보정렌즈가 포함된 초점거리 10,000mm 리치크레티앙 광학계와 다이렉트 드라이브 모터를 이용한 구동부로 제작되었다. 광학계는 6K sCMOS의 사용을 위해 지름 100mm인 유효상면 내에서 3 μ m 미만으로 결상되도록 설계했고 $\lambda/8.7$ 의 정밀도로 가공되었다. 마운트는 Blind-Tracking 촬영이 가능한 ± 0.1 arcsec의 추적정밀도, 전천에서 RMS 4arcsec 이내의 도입정밀도를 구현하였다.

본 발표에서 이 망원경의 광학 성능 및 마운트의 추적 성능을 소개하고자 한다.

The Core Flight System (cFS): A Reusable Flight Software Framework

Elizabeth Timmons¹

¹NASA Goddard Space Flight Center

Flight software is the specialized code that runs onboard a spacecraft and it plays a critical role in mission success. The needs of flight software systems are similar regardless of the size of the spacecraft on which they run. NASA GSFC's core Flight System (cFS) provides a reusable, platform-independent software framework that scales to accommodate the needs of a broad range of spacecraft. With its fully open source Apache 2.0 license, cFS has expanded into a wide range of projects.

There are three key aspects to the cFS architecture: a dynamic run-time environment, a layered software architecture, and a component-based design. The dynamic run-time environment manages resources across the software system. The layered architecture isolates the applications from the operating system and hardware platform. The component-based design allows missions to easily augment the "out of the box" functionality for their specific mission needs. The combination of these key aspects makes cFS suitable for reuse on any number of flight projects and embedded software systems.

Development of Optomechanical Structure of Confocal Off-Axis Reflective Telescope for Unmanned Aerial Vehicle

Jimin Han¹, Sunwoo Lee², Woojin Park³, Bongkon Moon³, Geon Hee Kim⁴, Youngjae Kim⁴, Seunghyuk Chang⁵, Dae-Hee Lee³, and Soojong Pak¹

¹School of Space Research and Institute of Natural Science, Kyung Hee University,

²Korea Basic Science Institute,

³Korea Astronomy and Space Science Institute,

⁴Hanbat National University

⁵Center for Integrated Smart Sensors, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST),

Ground and space observation using small Unmanned Aerial Vehicles (UAV) or Cubesat satellites is developing with advantages of cost reduction and ease of development. Such small flights require miniaturization of the payloads due to spatial and physical constraints. In particular, in the case of a telescope for optical observation, the size and configuration of the optical system need to be minimized and simplified.

In terms of simplifying the optical system, a freeform reflector can be used to remove high-order aberrations without additional corrective lenses. Also, through LAF-TMS, the off-axis reflective optical system can achieve higher-image quality than the on-axis reflective optical system without linear astigmatism for a Wide Field of View (FoV). In addition, to firmly support such an optical system during the mission and maintain the target optical performance, the optomechanical part must be well designed.

We are developing the infrared (MWIR, LWIR) spectrograph for wide FoV ground observation via UAV. The system has an entrance pupil diameter of 40 mm, F-ratio of 1.9, and FoV of $8.25^\circ \times 6.21^\circ$. It applies LAF-TMS configuration and freeform surface for all mirrors.

The system has three mirror modules on a base frame and each module consists of the mirror, the mirror holder, and the adapter. The mirror holder has a V-groove to assembly with the triangular ear of the mirror. The mirror modules are assembly with the base frame via the adapter. The base frame supports the entire structure through the plane frame structure.

The mirrors have a duplex layer structure to minimize the surface deformation by the bolting effects during the assembly process. The mirror has two layers, an optical layer that has the freeform surface and an assembly layer that has a triangular ear for bolting assembly. The gap between the layers restrains the stress transport from the assembly layer to the optical layer. Also, the triangular ear on the backside of the mirror has a role of constraint surface for precision assembly with the mirror holder.

The material of all components is aluminum (Al 6061-T6). It has an advantage of the Coefficient of Thermal Expansion (CTE) matching system that the optical performance is not affected by the external temperature environment.

We manufactured proto model of the optomechanical part and the freeform mirrors of the system. The level of surface RMS error of the mirror is under 100 nm and it satisfy our requirement.

In this presentation, we introduce the optical and optomechanical design of the infrared spectrograph for the UAV and the current state of the manufacturing.

12U 큐브위성용 PolCube 편광탐재체 개발

문봉곤¹, 최영준¹, 이대희¹, 정민섭¹, 김우진^{1,2}, 박원기¹, 박영식¹, 심채경¹,
신지혜³, 김성수⁴, 강경인⁵, 한희정⁶, 서효진⁷, 배상수⁷,
Rosemary Baiz⁸, PolCube NASA LaRC team⁸

¹한국천문연구원(KASI) 우주과학본부, ²충남대학교(CNU) 항공우주공학과,
³한국천문연구원(KASI) 광학천문본부, ⁴경희대학교(KHU) 우주탐사학과, ⁵한국과학기술원(KAIST)
인공위성연구소, ⁶한국해양과학기술원(KIOST) 해양위성센터,
⁷부산테크노파크(BTP) 스마트해양기술단, ⁸NASA Langley Research Center

한국천문연구원은 2019년부터 NASA LaRC와 국제협력 구도에서 부산시 민간수탁으로 12U 큐브위성용 PolCube 편광탐재체를 개발해오고 있다. PolCube 탐재체는 KPLO PolCam의 개발경험을 활용하여 한반도 미세먼지 분석 및 지구온난화 연구를 하는 지구관측용 탐재체이다. PolCube 탐재체 개발은 현재 CDR 단계에 있으며, EQM 제작 및 시험을 준비하고 있다. PolCube 탐재체는 운영개념을 고려하여 10도의 화각을 가지는 2개의 동일 광학모듈이 서로 50도의 각도로 위성에 마운트되어 있으며, 각각의 광학모듈에는 색편광필터와 CMOS 검출기가 탑재되어 있다. 관측파장은 410nm, 555nm, 670nm, 864nm이며, 이 파장에서 0도, 60도, 90도, 120도 선형편광필터를 조합배치하여 편광을 동시에 관측할 수 있다. 이 탐재체의 Swath Width는 태양동기 근지구궤도 567km를 가정하여 94km이며, 검출기 해상도 GSD는 388m이다. PolCube 탐재체는 우주환경을 고려하여 설계되었으며, 12U 위성 구조물과의 인터페이스를 고려하여 설계되었다. PolCube를 탑재한 위성은 NASA 발사체를 이용하여 2023년(TBD)경에 발사될 예정이다. 본 발표에서는 PolCube 개발현황을 소개하고, 그 기대효과를 논하고자 한다.

천문우주기술센터 현황

한정열, 최성환, 이성호, 강현우, 김지현, 성현철, 문봉곤, 이재한, 강용우, 송민규, 백지혜,
김윤중, 박종엽, 정문희, 박준규, 제순규, 박우진, Gajanan, 전유라, 김영수

한국천문연구원 천문우주기술센터

천문우주기술센터는 설립 목적 및 역할을 기술개발 중장기 계획 수립 및 추진 등 7 개로 정하고, 기술 로드맵 작성, 기기개발 지원, 연구장비 공동활용 극대화를 위한 스마트랩(Smart Lab.), 포괄적 산학연 협력, 천문우주기술관련 워크숍/연구모임 주관, 기술주도형 연구개발 과제 수행 등 천문연구원과 국내 천문학계의 기술개발활동을 견인하고 있다. 본 발표에서는 센터의 비전과 역할을 소개하고 진행현황과 향후계획을 소개하여, 국내 천문우주기술 발전을 위한 산학연 연구자의 건설적인 의견 수렴과 장기적이고 가치 있는 기술개발연구의 계획을 소개하고자 한다.

Beyond Tens and SKA

강현우¹, 강용우¹, 송민규¹, 정문희¹, 최지훈¹, 염재환¹, 윤영주¹, 김순욱¹, 김정숙¹

¹한국천문연구원

2021년 7월 1일부로 Square Kilometre Array Observatory (SKAO)가 건설 시작을 공식적으로 개시하였다. 한국은 아직 공식 회원 국가는 아니지만 Low Network 건설을 맡게 되었다. 이는 호주에 세워질 13만개의 안테나와 주변 두 개의 도시를 잇는 네트워크를 설치하는 임무이다. SKAO 회원국으로 선정되면 SKAO 건설을 위한 회원 분담금의 70% 이상을 국내 업체에 배분하게 된다. 이와 병행하여 SKAO 산하 Science Regional Center (SRC) 개발을 위한 Steering Committee (SC), 즉 SRCSC가 진행되고 있다. 관측으로부터 생성되는 빅데이터는 현재 컴퓨팅 기술로 처리할 수 있는 양을 넘어선다. 2030년 즈음을 대비해 2단계 프로세스로 5년 단위의 프로그램 및 하드웨어 개발을 진행 중이다. 천문연구원은 그동안 축적한 기술을 바탕으로 전파 망원경의 기본 기술인 신호 변환, 전송, 저장 및 분석 시스템 기술을 현실화 및 고도화할 계획을 수립하였다. 이를 바탕으로 SKAO 및 SRCSC 개발과 면밀한 협력을 기대하고 있다.

중력파 검출기 기술개발 및 국제협력

이성호¹, 김윤중¹, 박준규¹, 성현철¹, 정의정¹, 제순규¹, 한정열¹, 곽근희², 김창희²,
고병윤², 노찬², 라영식², 윤영도²

¹한국천문연구원, ²한국과학기술원

2015년 최초로 관측에 성공한 중력파는, 불과 5년 만에 평균 주 1회 이상의 빈도로 관측되고 있으며 중력파 검출기들의 성능이 계속 향상됨에 따라 관측 범위와 빈도가 계속 상승하는 추세에 있다. 이제 중력파는 전자기파 외에 우주를 보는 새로운 창으로서 확고한 지위를 구축하고 있으며 향후 무궁무진한 발전의 가능성을 보여주고 있다. 이러한 잠재력과 파급력을 일찌감치 내다본 미국과 유럽의 선도 국가들은 현재 성공적으로 운영 중인 LIGO와 Virgo 검출기를 지속적으로 업그레이드하면서 동시에 차세대 거대 검출기 계획들을 착실하게 추진하고 있으며, 일본, 인도, 중국, 호주 등도 속속 뛰어들어 제각기 다양한 중력파 검출기 개발을 진행하고 있다. 우리나라에서는 한국천문연구원이 한국과학기술원과 협력하여 차세대 핵심기술의 확보와 중력파 검출기 국제공동개발 참여를 목표로, 최근 필수적인 기술로 자리잡고 있는 양자잡음 저감기술을 연구하고 있다. 본 발표에서는 한국천문연구원의 중력파 검출기술 개발 현황 및 국제 중력파 검출기 공동개발 참여 현황을 소개한다.

Super Eye 플랫폼 구축을 위한 실증 중심의 정밀관측 융합 요소기술 개발 진행현황 소개

한정열¹, 최성환¹, 이성호¹, 김지현¹, 백지혜¹, 박종엽¹, 김상혁¹, 김윤종¹, 김창희¹, 박찬¹,
성현철¹, 오재석¹, 유영삼¹, 육인수¹, 장정균¹, 정의정¹, 천무영¹, 김강민¹, 장비호¹,
박성준¹, 김수진¹, 양희수¹, 최영준¹, 조정석¹, 문일권², 이윤우², 양호순², 송재봉²,
이혁교², 김학용², 김영식², 강필성², 안희경², 전병혁², 이회운², 이재협², 경재현³,
장승원³, 김민겸³, 김도훈³, 이형권⁴

¹한국천문연구원, ²한국표준과학연구원, ³그린광학, ⁴레오솔루션즈

국가과학기술연구회(NST)에서 창의형융합연구사업으로 진행 중인 “Super Eye 플랫폼 구축을 위한 실증 중심의 정밀관측 융합 요소기술 개발” 사업의 진행현황과 계획을 소개하고자 한다. 본 사업은 기관 간 융합연구를 통한 차세대 관측 플랫폼 기술을 확보하고, 기술이전 및 상용화를 위한 요소기술의 극한환경시험을 위해 300 mm 급 SiC 태양망원경을 개발한다. 총 3년간 65.1 억원의 예산과 총 41 명의 연구원이 참여하며, 각 연구원이 현재까지 시도하지 않았던 기술을 창의적으로 개발함으로써, 향후 극한 환경에서 원거리 지향물을 선명하게 관측하면서 빠른 속도로 자료를 전송하여 자동화된 독립적 관측플랫폼을 개발할 수 있는 핵심기술을 개발하고자 한다.

무인이동체 원천기술 추진 및 산학연 협업 현황

강왕구

한국항공우주연구원

드론, UGV, 무인선박 등으로 이루어진 무인이동체는 항공, 자동차, 조선 기술과 전기모터, 디지털센서, 이차전지, AI, 빅데이터 등의 신기술이 융합되면서 급속하게 발전하고 있다. 과기정통부를 중심으로 국내 산학연 전문가들은 무인이동체의 핵심기술에 대한 기술로드맵을 작성해, 무인이동체 산업혁신을 위한 청사진을 제시한 바 있다. 무인이동체 원천기술은 탐지 및 인식, 통신, 동력원, 자율지능, Human-Machine Interface, 시스템 HW, 시스템 SW 등으로 구분되며, 각각의 분야에서 신기술을 접목하기 위한 기술개발 방안이 제시되었다. 과기정통부와 항우연은 무인이동체 신산업의 성장을 지원하기 위해 2016년부터 국내 산업실태조사, 기업체 디렉토리북 작성, 핵심부품 국산화 방안 등도 마련해 오고 있다. 본 발표에서는 2015년부터 이루어진 국내 무인이동체 원천기술개발 전략 및 산업혁신을 위한 산학연 협업 현황 등을 소개한다.

KIAS Chamnun Telescope (KCT) : A Remotely–Operated Robotic System in Chile

Gu Lim^{1,2}, Myungshin Im^{1,2}, Changbom Park³, Jinguik Seo^{1,2}, Mankeun Jung^{1,2},
Gregory S. H Paek^{1,2}, Seo–Won Chang^{1,2}, Franck Jobard⁴, Cédric Thomas⁴, Changsu
Choi^{1,2}

¹SNU Astronomy Research Center, Seoul National University, Korea

²Astronomy Program, Department of Physics & Astronomy, Seoul National University, Korea

³Korea Intitute for Advanced Study, 85 Hoegiro, Dongdaemun–Gu, Seoul 130–722, Korea

⁴DeepSkyChile, Pichasca, LT7 Com. Inga Pichasca
Rio Hurtado, Chile

We introduce a system of the 0.36–m KIAS Chamnun* Telescope (KCT) installed in Chile in March 2020 for the first time. KCT is a robotic system that is remotely–operated for observing astrophysical objects in the southern sky. A CCD (SBIG STX16803) is now attached on this telescope, providing a pixel scale of 0.”724/pixel and a field of view of 49.4’ x 49.4’. In this talk, we present an overall description of this system, basic characteristics of data (image depth, seeing, point spread functions, and tracking accuracy, etc.), and the observing status of this system. In addition, scientific topics now ongoing will be provided such as a follow–up of supernovae in the Intensive Monitoring Survey of Nearby Galaxies (IMSNG) program and gamma–ray bursts (GRBs), showing KCT can contribute to identifying the origin of these mysterious transients.

*“Chamnun” is a Korean word for “True eye” meaning the eye that can see the truth.

7-Dimensional Telescope (7DT) for Multi-Messenger Astronomy

Myungshin Im¹

¹Astronomy Research Center, Astronomy Program, Dept. of Physics & Astronomy,
Seoul National University

The 7-dimensional Telescope (7DT) is an innovative multiple telescope system that can perform a rapid identification of optical counterparts of gravitational-wave (GW) sources and a number of other astronomical studies. This telescope is now being developed under one of the recently approved Grand Challenge programs, with a full operation planned at the end of 2023. The word 7-dimension stands for x, y, z positions, the radial velocity, the time, the wavelength, and the flux of astronomical sources, implying the telescope's capability of performing a time-series wide-field, IFU-type spectroscopic observation. The telescope is a multiple telescope system made of about twenty 0.5-m wide-field telescopes with which one can obtain spectral-imaging data at 40 different wavelengths to the depth of 20 AB mag for a given epoch. In this talk, we will introduce the telescope system, and outline its scientific capabilities with an emphasis on multi-messenger astronomy and a few other key science topics.

천문우주관측기기 개발 현황 및 산학연 네트워크 협력 강화를 위한 자유 토론

참석 패널: 박수중, 김정훈, 김정현, 유정훈, 임명신, 강현우, 김영수, 강왕구,
홍성욱, 문봉곤

본 내용은 토론 내용을 기록에 남김으로서 지속적인 관심과 문제 해결을 위한 논의를 이끌어내고자 기록하였으며,
요약 과정에서 객관성을 유지하고자 개조식 및 흐름 순으로 기록하였습니다. (요약 : 홍성욱, 편집 : 강현우)

[진행 박수중]

산학연 연계가 쉽지 않음. 천문연 측에서는 워크숍에서 발표를 많이 했으므로, 산/학 측의 의견을 우선 많이
듣고자 함.

[SET System 김정훈]

천문연에서 '패밀리기업'을 모집하여 10 여개 기업과 협업한 적이 있었으나 사업이 연속적으로 지속되지
않음. 연속적인 교류가 필요함. 본 워크숍이 연속성을 담보해 주면 좋을 듯 함.

서류 처리 등의 행정적 절차가 하나의 장벽이 될 수 있음. 사람들이 자유롭게 참여할 수 있고, 연대를 이룰
수 있는 시스템이 필요함. 예를 들어 이번 워크숍과 같이 Slack 을 활용하면 보다 효율적으로 소통할 수
있을 듯, 천문연과 기업들이 Slack 에 모여 복잡한 절차 없이 의견 공유, 수평적인 네트워크 운영,
아이디어를 제시하고 채널을 만들어 효율적으로 의견을 나눌 수 있음

[에스엘랩 김정현]

업체에서는 전문가의 협력이 필요할 때, 누구와 협력 해야할지 파악하는게 쉽지 않음. 예를 들어 우리가
마운트를 만들더라도 소프트웨어나 전자제어 등 여러 분야에 대한 도움이 필요한데 각 전문가인지에 대한
정보가 없어 어려움. 보다 쉽게 해당 전문가를 파악하고 협력할 수 있는 네트워크/플랫폼 필요

[그린광학 유정훈]

천문연에서 요구되는 메트롤로지 수준이 일반적인 민수나 방산에서 해왔던 방법보다 훨씬 높아서,
어려움이 있었음. 초기에는 천문연에서 도움(측정 자료 분석/피드백)을 받아 진행했으나, 결국 사내에서도
메트롤로지 전문가가 필요하다 판단되어 영입함. 그러나 30 나노까지 가능한 엔지니어는 많지만, 연마
최종단계에서 필요한 보다 높은 수준의 10 나노 메트롤로지가 가능한 사람은 1 명 밖에 없는 상황이고 일이
몰려 번아웃 될 정도임. 보다 많은 메트롤로지 전문가의 영입이 필요하나, 메트롤로지 전문가를 구하기
어려움.

[진행 박수중]

학계에서도 의견 주시기를 부탁

[서울대 임명신]

이번 워크숍에서 산업계의 동향을 알 수 있어서 좋은 기회가 되었음. 천문연에서 일어나고 있는 일에 대해서는 기존에 접했던 부분이 많았지만 이번 기회에 더 잘 정리할 수 있었고, 산업계에서는 어떤 일이 일어나고 있는지는 많이 접하기 힘들었는데 이번에 많이 접할 수 있는 좋은 기회가 되었음.

산업계와 직접적인 협력이 어려웠음. 학교에서 연구비 수주를 위해 빠른 과학적인 결과가 필요하여 연구 기간에 제한이 있음. 그래서 새로운 구축 보다는 기존에 개발되어 있는 시스템을 이용하게 됨. 구축하고자 하면 2-3년 만에 할 수 있겠는가에 대한 질문이 따름. 따라서 국내 기업과 뭔가 새로 개발 한다는게 쉽지 않고, 안타까운 점으로 생각함. 기술개발을 지원할 수 있는 체계가 필요함.

이번에 발표한 광시야 0.5m 망원경과 CMOS 카메라의 경우 마음만 먹으면 국내 업체에서도 만들 수 있다고 생각하지만, 시스템 안정성까지 확인하려면 몇 년이 걸릴 수 있어, 국내업체와 협력할 수 없었던 점이 아쉬움. 예를 들어, 국내에서는 천문학용 카메라를 만드는 회사가 별로 없음. 사용하려던 소니 CMOS 칩으로 카메라를 만드는 업체는 있었으나, 산업용으로 12-bit 카메라만 만들고 있었음. 천문용 16-bit 카메라를 제안하기에는 국내 수요도 적고 개발 시간도 소요될 수 있기에 어려움. 학계, 연구소, 업체가 연계하여 어떤 수요가 있는지 미리 예측하여 새로운 연구/기술개발을 한다면, 업체 및 산업계와 협력할 수 있는 길이 더 열릴 수 있음. 이러한 방향으로, 또한 이번 1.2M 망원경과 같이 기술 축적이 많이 된 회사들이 점점 늘어난다면 국내와 같이 시스템을 구축 할 수 있을 것으로 생각함.

[진행 박수종]

학계와 산업계를 연결하는, 중간에서 천문연구원이 할 수 있는 역할이 있을 것. 지금까지 나온 여러가지 제안에 대해 천문연의 답변, 혹은 다른 제안이 있는지.

[천문연 강현우]

천문연 내에서는 "연개소문"을 통한 기술교류/협력 활성화가 이루어짐. 산학연이 참여하는 연개소문의 확장판과 같이, 산학연 기술교류/협력 활성화를 위해 체계적으로 오픈 된 공간(유동적인 체계성)이 필요함. 학회/워크숍이나 산학연 연개소문과 같은 open section 과 family 기업 등 closed section 을 모두 잘 구축해야 함. Closed section 을 통해 산학연 연계 프로젝트 키우기 및 구체화 등을 진행, e.g. 융합 프로젝트, Closed section 은 현재 천문연 기술센터에서 주도적으로 해보려 하고 있음. closed section 만으로는 아는 업체와 만 할 수 있으므로, 새로운 업체 및 학계와의 교류/협력을 위해 Open section 도 필요

[천문연 김영수]

산학연 관련해서는 천문우주 관련 기술 수준이 아직 초기단계라고 생각, 기술개발 관련하여 천문연에도 많은 분들이 인력들이 확보가 되고 있고 기술센터도 마련이 되어 확장이 되고 있는 단계지만 아직까지는 보다 많은 기술개발 인력이 필요함.

우리의 기술 수준이 아직 많이 발전해야 하며, 천문연을 비롯한 연구소에서 개발한 기술들을 빠르게 산업체에 이전해야 할 필요가 있음. 산업체를 기술개발이 활성화되어야 서로간에 상생할 수 있음. 우리 후배 연구자 분들이 어제 오늘 발표를 보며 굉장히 발전했다는 느낌을 가지고 있지만, 앞으로도 더 많은 발표와 기술 교류가 필요하다 생각 함.

국제협력 관련하여 SPIE telescope conference 의 국내 개최를 시도해 보는 것은 어떤가? 내년 IAU general assembly 부산에서 개최, IAU Division D(instrumentation 분야, 올해부터 위원회 멤버로 활동)에서 논의 제안.

[진행 박수종]

산업계: 대등한 관계에서 서로 플랫폼을 가지고 공동 연구를 하자

천문연: 필요성 동의, 노력하는 중

학계: 국내에 많진 않아도 수요가 있지만, 사용자는 국내보다는 외국 것을 쓰게 되는 미스매치가 있음.

산업계가 중요함, 대학입장에서 천문우주관련 기업에 학생들이 취업하는 것도 중요함(사이언스 또한).

다른 분야, 제 3자의 입장에서 강왕구 박사님의 조언 요청

[항우연 강왕구]

드론 개발 산학연과 관련하여 비슷한 경험이 있어 공유. 국내 드론을 만드는 업체는 많지만 부품을 만드는 업체는 거의 없음. 기술적인 측면뿐만 아니라 마인드 및 비즈니스 측면에서도 글로벌화 되어 있고, 수익성이 없으면 들어오려 하지 않음. 따라서 프로젝트를 설계할 때 기업에 수익성을 줄 수 있는지를 보여주는 것이 중요. (예: 가능한 수익창출 시나리오) 드론분야의 경우에는 현재 빠르게 산업화되고 있는 경우라 이러한 접근이 가능. 드론에서도 광학/탐지가 굉장히 중요한 부분, 천문 쪽에서도 광학/탐지는 산업/국방에 매우 중요하므로, 이것을 강조하는 것이 어떤가?

[에스엘랩 김정현]

Software Bisque (Paramount 제작)사와 교류 경험 공유, Paramount M2 최근 10 년동안 2500 대 정도 판매함. 하지만 우리는 판매 대수가 몇 대가 안됨. 따라서 국내 개발 여건이 좋지 않음.

최근 개발한 LST 마운트 납품하면서 문제 파악 및 피드백으로 발전이 빠르게 이루어짐. 아직 완성되지 않은 제품이라면 최소한의 비용으로 제공하고 서로 같이 개발하는 방향은 어떨까 함. Software Bisque 또한 많은 피드백을 통해 많은 개선을 할 수 있었음. 많은 판매를 통한 많은 피드백이 당연하지만, 국내에서는 많은 판매가 없기 때문에 결국 미국 판매가 필요함. 미국에 한국 업체로 들어가기 어렵기 때문에 미국 업체와 협력하여 판매는 미국 업체에서 담당하도록 하는 전략으로 짜고 있음. 국내에서라도 도움을 준다면 개발에 힘이 될 듯. 규격 설정할 때 국내 기업 및 국내 개발 제품의 참여 기회 필요.

[진행 박수종]

천문연에서 마운트나 천문기기에 대해 인증 혹은 성능 검증을 위한 시스템이 있는지?

[천문연 한정열]

ISO 등에서 제시한 절차를 충실히 따라간다면 인증을 해 주는 것이 가능하다고 들었음 (확인 필요함)

[천문연 홍성욱]

다른 학계/산업계/연구소와의 네트워킹 확대 필요. 천문학회/우주과학회/기존 업체 외에도 더 IASS 워크숍을 홍보할 수 있는 장구를 찾을 수록 향후 커넥션이 좋아질 듯. e.g. 광학회, 기계과학회 등에 컨택하여 워크숍 홍보

[코멘트/답변]

다음 학회에서는 더 다양한 기업들에서 참여하면 좋을 듯

유정훈: 한국광학기기산업협회/한국광산업진흥회/한국광학회 링크 공유

[천문연 문봉곤]

매년 천문우주관측기기 워크숍 개최 중, 워크숍이 많이 안정화 되었음. SPIE 등 국제학회 유치 / 기존 산학연 협력모임과의 joint workshop 도 추진해 볼만 함. 향후 사업은 단일 기관에서 수행하기 어려우므로, 산학연이 (분기에 1 번 정도) 정기적으로 미팅을 할 수 있는 협의체가 필요함.

[천문연 강현우, LOC 위원장]

최종 공지 및 제안

산학연 협의체의 이름 제안.

모임(A.E.I.O.U) : 천문우주 관련 산학연 협력 위한 공개 모임

Astronomy and Space Science, Education, Industry's Open Unit

천문우주 기반의 공동모임이 될 것이기 때문에 한국천문학회, 한국우주과학회, 한국천문연구원
주도적으로 산학연 모임을 위한 노력을 해야 함.

Slack 채널 계속 운영 예정, 추후 정보나 논의는 Slack 에서 진행.

[경희대 박수중, SOC 공동위원장]

폐회

말

Postface

지구 상 인류의 삶이 전반적으로 같은 내용을 오래 겪기는 드문 일입니다. 하지만 그 속에서도 post-corona 시대를 향해 나아가는 흐름도 있습니다. 특히 천문우주 분야에서는 새로운 우주시대 (new space)를 맞아 많은 대규모 프로젝트 들이 준비되고 있습니다. 무엇보다도 무탈하시며 하시는 연구들이 잘 되시길 기원합니다.

천문우주관측기기 워크숍 (IASS)은 2007년 천문연구원 주도로 2014년까지 총 7회의 워크숍을 개최하였습니다. 잠깐의 휴지기 동안 천문우주 분야에서 많은 기기 관련 모임의 필요성이 대두되었습니다. 그리하여 한국천문연구원, 한국천문학회(천문관측기기분과), 한국우주과학회(우주관측기기분과)에서 뜻을 같이 하여 2018년에 워크숍을 재개하였습니다. 코로나19가 바로 찾아왔지만 많은 분들의 뜻이 모인 이 워크숍은 온라인 하에서도 많은 참여를 이끌어 냈습니다.

올해는 보다 유익한 시간을 갖기 위해 다섯 분의 초청 강연을 가졌습니다. 온라인으로 진행되다보니 마땅한 사례도 전혀없고, 시차가 있음에도 흔쾌히 강연을 수락해주신 분들께 다시한번 감사드립니다. 그리고 이 워크숍의 의미와 지속적인 발전을 응원해 주신 한국천문연구원장, 한국천문학회회장, 한국우주과학회장님께도 감사드립니다. 2021 천문우주관측기기 워크숍은 초청 강연 다섯 분 외 열 여덟 개의 일반 발표가 있었습니다. 온라인으로 인한 공개 질의응답의 한계를 극복하기 위해 Slack을 병행하여 참여자들의 참여도를 높이도록 노력하였습니다. 단순 발표로 끝나는 것이 아닌 정보 교류 및 문제 해결 등을 위한 시간이 되도록 노력하였습니다.

그러함에도 산학연에 계신 모든 분들의 갈증을 해소 할 수 없음은 다시 한번 느끼게 되었습니다. 천문우주관측기술 분야의 산학연 협력을 위해서는 보다 더 자주, 다양하게, 적극적으로 임할 수 있도록 노력해야 함을 공감할 수 있었습니다. 이를 위해 본 준비위원회 뿐만 아니라 많은 분들이 같이 장을 만들 수 있기를 기대하며, 저희 또한 이를 위해 최선을 다하겠습니다. 보다 더 밝은 앞 날을 희망하며, 내년에 다시 뵙겠습니다.

2021 천문우주관측기기워크숍 준비위원회

SOC : 박수중, 문봉곤, 한정열, 강용우, 남옥원, 박명구,
박상영, 육인수, 이대희, 이형권, 임명신, 진호

LOC : 강현우, 고미희, 김일훈, 김지훈, 민병희, 양희수, 윤누리,
이충욱, 조보영, 차상목, 최성환, 홍성욱

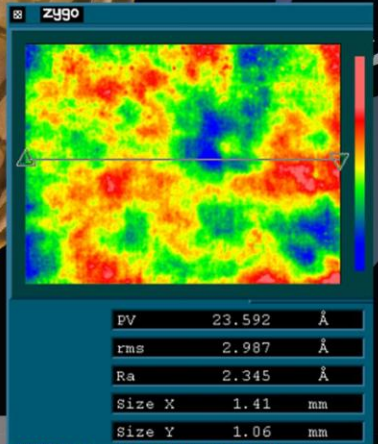
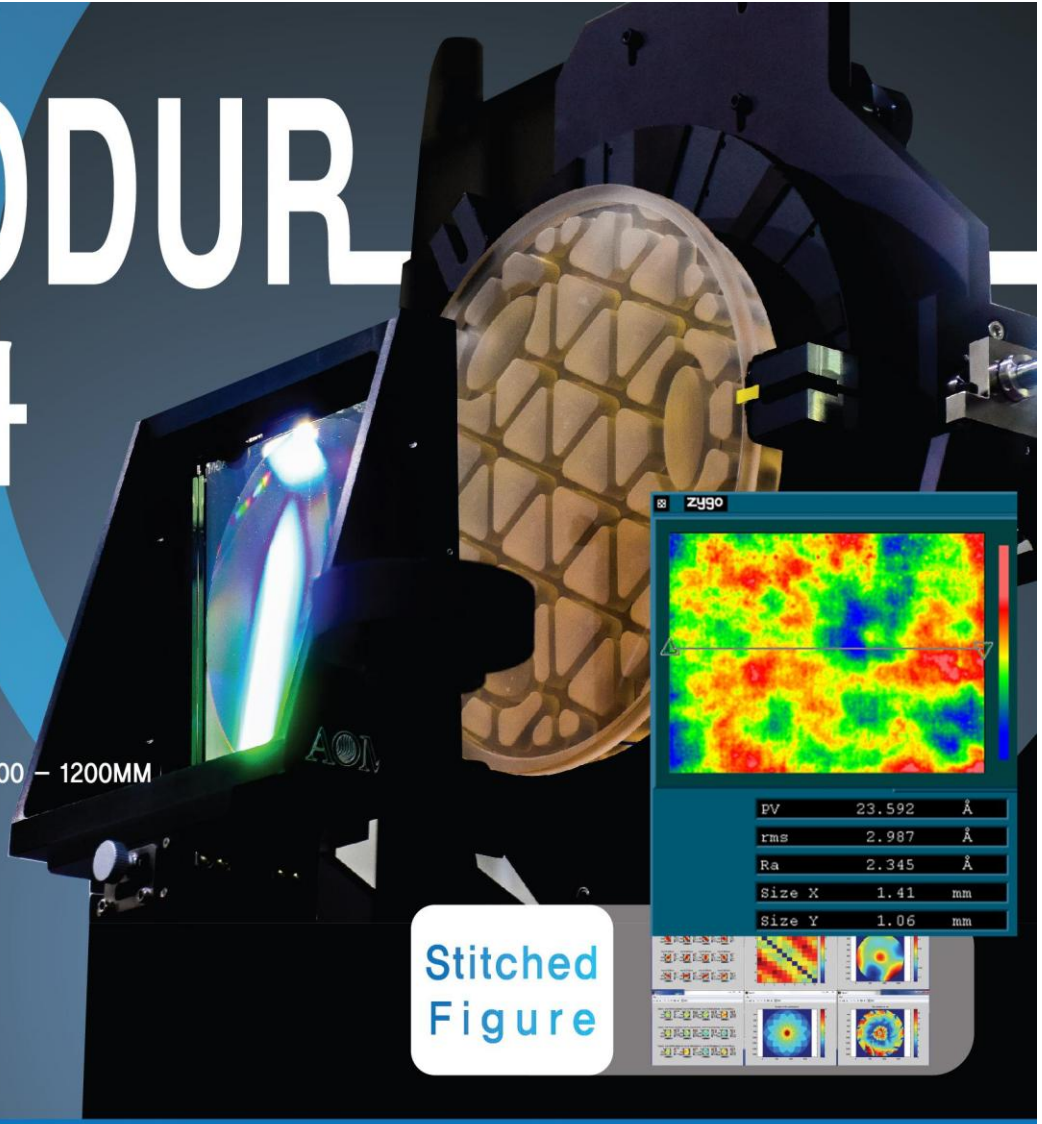
Instrumentations for Astronomy and Space Science Workshop

<http://www.iass-workshop.org>

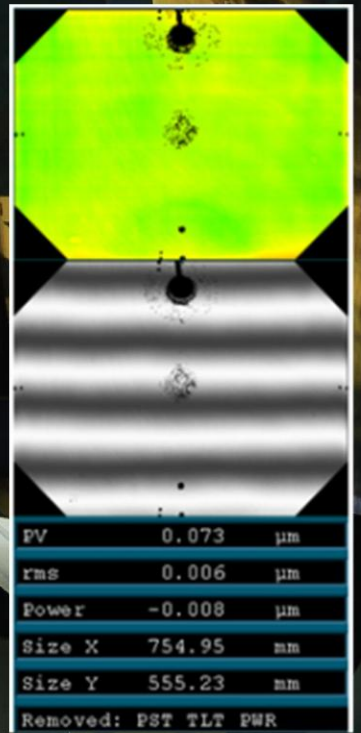
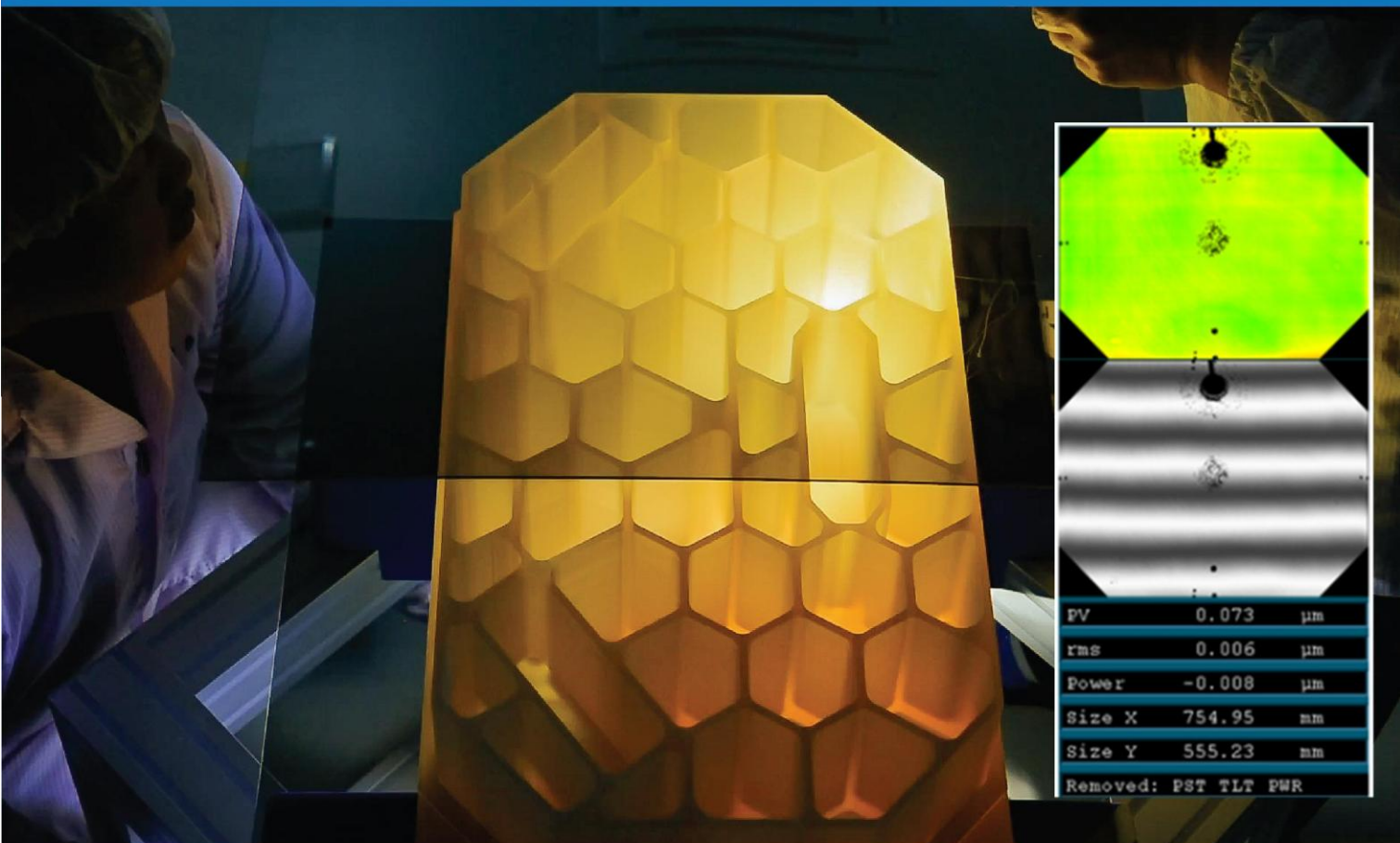
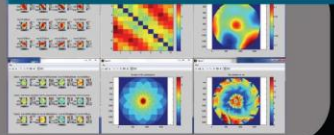
ZERODUR

경량화 미러

- ✓ 경량화 가능 사이즈: 직경 200 - 1200MM
- ✓ 경량화율: 85%까지 가능
- ✓ 리브두께: 1 mm 달성
- ✓ 경량화 설계



Stitched
Figure

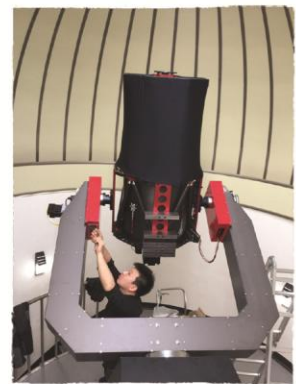




Introduction

Advanced imaging applications demand systems that can keep up, and the DeltaRho 350 is designed and made for uncompromising performance as a fast, wide-field optical system. Inspired by the challenges of Space Domain Awareness (SDA), astronomical research surveys, and demanding astro-photographers, PlaneWave's engineers developed an elegant, new optical design that meets PlaneWave standards for imaging performance and ease of use. The DeltaRho 350 offers Cassegrain focus of a 60mm image circle that is free from astigmatism, off-axis coma, and field-curvature at a focal-ratio of $f/3$. Born from our heritage and insight as one of the world's leading designers and manufacturers of high-performance telescopes, we believe you will find the innovation, resolution, and contrast of the DeltaRho just as amazing as its speed and field-of-view.

**LASERCOM
OPTIMIZED
RC-700**



METASPACE
Visualize your Imagination

Realization of the Future Astronomy!



에스엘랩

SPACE LIGHT LABORATORY

2020년 설립된 ㈜에스엘랩은 2020년 한국에서 가장 큰 망원경 (국립광주과학관 1.2m RC)을 제작한 회사가 되었습니다. 세계적인 수준의 망원경은 Ground Base 분야에 있어 대형 천체망원경 제작을 비롯하여 우주정찰, 추적 및 위험물체 감시로 적용 분야를 넓혀가고 있고 Space Base 사업인 소형 위성 및 월면 위성을 광학계, 성층권 망원경 등 특수 환경의 관측 시스템 연구를 진행하고 있습니다.

직접 운영 중인 다수의 천문대에서 학술적 성과를 이끌어내고 있으며 검증된 기술을 바탕으로 현대천문학이 필요로 하는 특수 광학계를 위한 다양한 트래킹 시스템과 자동화 솔루션을 제공하고 있습니다.

더불어 초정밀 제어가 가능한 다이렉트 드라이브 마운트 기술을 통해 초당 50도 이상의 추적속도를 구현하고 다양한 비행체의 추적을 현실화했으며 저궤도 위성추적, 우주감시를 위한 파편 추적 솔루션, 항공우주 방어 어플리케이션을 개발하고 있습니다.

■ Business Area

- Astronomical Research
- SST Solution Space Surveillance & Tracking
- SSA Solution Space Situational Awareness
- High Speed tracking system

한국인이 만든 최대 망원경
ASTERA 1200 (국립광주과학관)



Program Book of the IASS Workshop 2021

초판 1쇄 발행 2021년 9월 8일

지은이 박수종 (한국천문학회 천문관측기기분과 위원장)
문봉곤 (한국우주과학회 우주관측기기분과 위원장)

디자인 (주)위즈랩

펴낸이 김병호

발행처 주식회사 바른박스 5

출판등록 2019년 4월 3일 제 2019-000040호

주소 서울 성동구 연무장 5길 9-16, 301호(성수동 2가, 블루스톤타워)

ISBN 979-11-6545-500-2 (93450)

값 12,000원

책값은 뒷표지에 있습니다.

이 책은 저작권법에 따라 보호를 받는 저작물이므로 무단전제 및 복제를 금지하며,

이 책 내용의 전부 및 일부를 이용하려면 반드시 저작권자와 도서출판 바른박스의 서면동의를 받아야 합니다.

이 도서의 국립중앙도서관 출판예정도서목록(CIP)은 서지정보유통지원시스템 홈페이지(<http://seoji.nl.go.kr>)와
국가자료종합목록 구축시스템(<http://kolis-net.nl.go.kr>)에서 이용하실 수 있습니다.