

한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전: 2026-2035
The Decadal Survey for Korean Astronomy (2026-2035)

한국천문학회 장기발전연구위원회 최종 보고서



한국천문학회 장기발전연구위원회
(2025-10-15)

발간사

대한민국 천문학의 현재 모습을 진단하고 미래의 비전을 조망하는 장기 발전보고서의 발간을 진심으로 기쁘게 생각합니다. 이번 장기발전보고서는 2026년부터 2035년까지의 10년을 내다보는 발전 계획을 담고 있습니다. 앞서 발간된 보고서가 2013년부터 2022년까지의 계획을 담고 있음을 생각하면 새로운 보고서는 2023년부터의 계획을 담는 것이 마땅하지만, 전 세계를 휩쓴 코로나 19 기간과 국제천문연맹총회 한국 개최 등으로 인해 활동이 다소 지연되었습니다. 이번에 발간하는 보고서는 지난 6월에 발간한 예비보고서에 이어 미래 도전을 위한 새로운 연구 계획들에 대해 고찰하고 제안된 계획들의 중요도와 우선 순위를 추가한 최종 보고서입니다. 지난 1년 동안 여러 번의 회의와 워크숍, 공청회를 거쳐 장기발전 계획을 도출하기 위해 힘써 주신 한국천문학회 장기발전연구위원회의 노고에 감사드립니다. 아울러 장기발전연구위원회의 활동은 우주항공청의 후원이 큰 힘이 되었습니다. 대한민국 천문학의 미래에 대한 우주항공청의 관심과 지원에 깊은 감사를 드립니다.

21세기 현대 천문학이 추구하는 궁극적인 의문은 우주와 생명의 기원에 관한 것입니다. 전 세계 천문학자들이 다양한 분야에서 핵심 의문에 대한 해답을 구하기 위해 노력하고 있고, 이러한 노력에는 최첨단의 대형 연구 시설과 장비가 필수적입니다. 지상 대형 광학망원경과 전파망원경 배열, 대형 우주망원경, 중력파와 중성미자와 같은 다중신호 검출기, 그리고 고성능의 컴퓨터와 자료저장시설 등 현대 천문학이 필요로 하는 연구시설들은 대부분 막대한 자본과 인력이 소요되는 거대과학 프로젝트입니다. 수 천억 원에서 수조 원의 비용과 수백 명의 인력, 수십 년이 걸리는 이러한 거대과학 프로젝트는 한 국가가 감당할 수 있는 규모를 훨씬 넘어섭니다. 이런 관점에서 장기적인 비전에 기반한 국가 차원의 투자와 지원, 그리고 국제적인 협력을 통한 최첨단 연구개발은 필수적인 요소라 할 수 있습니다.

우리나라 천문학계의 미래 비전은 세계 천문학계의 흐름과 다르지 않습

니다. 최초의 중력과 검출, 사건지평선 망원경을 이용한 최초의 블랙홀 영상 촬영 등 노벨상급 연구들에 우리나라 천문학자들이 세계 유수의 연구자들과 나란히 이름을 올리고 있습니다. 미국 나사와 함께 개발한 적외선 우주망원경 스피어엑스의 성공적인 발사는 한국형 우주망원경에 대한 기대를 한층 더 높여주고 있습니다. 2030년대에 완성될 예정인 지상 거대 광학망원경과 전파망원경 배열은 대형 우주망원경과 협업하여 천대미문의 새로운 연구 결과를 양산하게 될 것입니다. 이미 우리나라 천문학자들이 이러한 연구시설의 건설과 이를 활용한 연구에 동참하고 있습니다. 이제 다가올 미래에는 최첨단 연구를 우리 천문학자들이 주도할 수 있기를 바랍니다. 이번 장기발전보고서는 우주항공청이 발표하는 우주탐사로드맵의 수립 과정에서도 중요한 참고자료로 활용되었습니다. 우리나라 천문학과 우주과학 정책을 총괄하는 우주항공청이 천문학계의 장기 발전 계획에 지대한 관심을 보이고 있는 것은 매우 다행한 일이며 고무적이라고 생각합니다.

이 보고서의 발간을 위해 많은 시간과 노력을 투자한 임명신 위원장님과 80여 명의 위원님들, 원고를 검토하고 의견을 주신 자문위원님들과 위원회 활동에 도움을 주신 많은 회원님들, 그리고 이 활동을 적극 지원해주신 우주항공청에 다시 한번 깊은 감사를 드립니다.

2025년 10월 15일

사단법인 한국천문학회 회장 박병곤

『한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전: 2026-2035』 발간을 맞이하여

안녕하십니까, 우주항공청 우주항공임무본부장 존 리입니다.

한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전의 발간을 진심으로 축하드리며, 그 수립에 헌신해 주신 모든 관계자 여러분께 깊이 감사드립니다. 특히 이번 계획을 주도적으로 이끌어 주신 한국천문학회장님과 장기발전연구위원회 위원장님을 비롯한 여러 전문가 여러분의 노고에 경의를 표합니다.

천문학은 우주를 이해하고 미래를 준비하는 핵심 학문으로, 장기적인 안목과 안정적인 정책 지원이 필수적입니다. 대규모 예산과 장기 임무 수행이 요구되는 분야인 만큼, 국가 차원의 체계적인 접근과 국민적 공감대 형성이 무엇보다 중요합니다. 이번에 마련된 중장기 발전계획은 국내 전문가들의 주도 아래 천문학 연구의 독립적인 방향을 설정하고, 연구 분야 간 우선순위를 합리적으로 도출함으로써 향후 정책 수립의 중요한 기준점이 될 것으로 기대합니다. 우주항공청은 이 계획이 실제 정책으로 이어질 수 있도록, 현장의 목소리에 더욱 귀 기울이고자 합니다.

한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전이 한국 천문학의 지속 가능하고 전략적인 발전을 위한 의미 있는 출발점이 되기를 바라며, 이 과정에서 수렴된 모든 의견이 우리나라 우주과학탐사의 미래를 위한 귀중한 주춧돌이 되기를 기대합니다.

감사합니다.

2025년 10월 15일

우주항공청 우주항공임무본부장 존 리

장기발전연구위원회 최종보고서를 발간하며

이 보고서는 2024년 가을부터 본격적인 활동을 시작한 한국천문학회 장기발전연구위원회가 정리한 한국 천문학 장기발전 방안을 담고 있습니다. 이 보고서 외에도 연구 분야별로 구성된 워킹그룹이 작성한 9개의 워킹그룹 보고서를 별책으로 준비하였습니다. 워킹그룹 보고서를 통해 이 보고서에 개략적으로 제시된 사항에 관한 상세하면서도 추가적인 내용을 볼 수 있을 것입니다.

장기발전연구위원회는 천문학 여러 분야 전문가인 80여 명의 위원들이 모두 9개의 워킹그룹으로 나누어 활동하였습니다. 워킹그룹은 연구 분야에 따라 4개, 연구시설과 프로젝트 중심으로 5개로 구성하였습니다. 또한 장기발전연구위원회 활동에 참여하지 않으신 전문가 11분을 외부 검토 자문위원으로 모시고 이 보고서와 워킹그룹 보고서 내용에 대한 검토를 받았습니다. 많은 분이 수고해 주신 덕택에 총괄보고서 격인 이 보고서와 9개의 워킹그룹 보고서를 합쳐 약 500페이지에 이르는 방대한 내용의 장기발전계획을 마련할 수 있었습니다.

그동안 수십 차례에 걸쳐 있었던 편집위원회 및 워킹그룹 회의와 장기발전연구위원회 워크숍, 그리고 공청회에서 나온 의견들을 담은 장기발전 보고서는 두 번에 나누어 발간하게 되었습니다. 우선 연구 분야에 따라 현재 천문학계에서 가장 중요하게 연구되는 주제에 대해 살펴 보고 이들 주제의 향후 발전 동향과 연구를 실현하기 위해 필요한 시설이나 장비들이 어떤 것이 있는지에 대해 고찰하는 내용으로 이루어진 예비보고서를 지난 2025년 6월에 발간한 바 있습니다. 그 후속 작업으로 이번에 발간하는 최종 보고서에는 도전적 연구의 목표 달성을 위해 제안된 여러 가지 새로운 연구 계획들의 내용에 대한 고찰과 제안된 계획들에 대한 구체적인 중요도를 추가하였습니다.

마지막으로 우주항공청의 신규 프로젝트 탐색연구사업 지정 과제 중 하나인 “천문연구 분야 수요를 기반으로 한 중장기 발전계획 수립” 과제의 지원이 장기발전연구위원회 활동에 큰 도움이 되었음을 밝힙니다. 그리고

이 자리를 빌려 한국 천문학의 장기발전계획이 잘 작성될 수 있도록 수고
해 주신 장기발전연구위원회 위원들 모두와 보고서 내용에 대한 소중한
조언을 주신 외부 검토위원님들과 천문학회원님들께 감사의 말을 전합니
다.

2025년 10월 15일

한국천문학회 천문학 장기발전연구위원회 위원장 임명신

<목 차>

발간사	박병곤
『한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전: 2026-2035』발간을 맞이하여	존 리
장기발전연구위원회 최종보고서를 발간하며	임명신
요약문	1
Executive Summary	17
1. 천문학의 중요성과 현대 천문학 - Why Astronomy?	37
2. 최근 천문학의 추세	39
2.1. 우주의 과거, 그리고 미래의 모습은?	46
2.2. 우리는 어디서 왔는가? 우주에는 또 다른 생명체가 있을까?	48
2.3. 현대 천문학의 핵심 주제 연구를 위한 새로운 연구시설들	50
3. 최근 한국 천문학의 발전상	53
4. 한국 천문학계가 도전할 난제	65
4.1. 외부은하 및 우주론	67
4.2. 은하천문학	76
4.3. 태양계 천문학 - 태양계 및 외계 천체	80
4.4. 태양 및 태양권	82
5. 난제 해결을 위해 필요한 연구시설	91
5.1. 기존 관측시설	96
5.2. 건설 중인 시설	103
5.3. 미래 시설	106

5.4	꾸준히 추진되어야 할 시설과 활동	123
6.	인력 양성 및 과학 문화 확산	125
6.1.	천문학과 과학교육	125
6.2.	대학 및 대학원 교육에 대한 제언	126
6.3.	진로 탐색	128
6.4.	천문학 대중화	129
6.5.	국제 사회의 과학 문화 창달과 지식 보급	129
7.	미래 한국 천문학을 위한 시설 및 활동 중요도 순위	131
7.1.	중요도 순위 결정 과정	131
7.2.	P1(중요도 최상, Top Priority)	133
7.3.	P2(중요도 상, Very High Priority)	135
7.4.	P3(중요도 중, High Priority)	137
7.5.	O(그 외 중요한 시설 및 활동)	139
8.	앞으로의 과제	141
부록 1.	한국천문학회 장기발전연구위원회 구성	144
부록 2.	외부검토 자문위원회(External Review Committee)	145
부록 3.	장기발전연구위원회 활동일지	146
부록 4.	영문 약어	153

요약문

천문학은 우주와 우주 천체들의 원리를 이해하여 우주에 관한 인간의 근원적 호기심을 채워주는 자연과학 학문이다. 현대에 와서 천문학은 극한의 우주를 연구하기 위해 최첨단 기술을 활용하여 우주를 정밀 측정하는 최첨단 과학으로 발전하였다. 이제 천문학은 우주를 이해하여 인류의 호기심을 채워주고 인류 인식의 지평을 넓혀준다는 자연과학 첨병의 역할 뿐만 아니라 최첨단 과학기술 인력의 양성에도 크게 기여하고 있는 주요 과학 분야로 자리매김하고 있다. 우리나라도 우주항공청 개청을 계기로 과학 발전과 최첨단 과학기술 인력의 양성에 기여하는 천문학의 중요성에 대한 인식이 더욱 높아질 것으로 예상된다.

지난 10년 동안 한국 천문학은 비약적인 발전을 해왔다. 한국우주전파 관측망(Korea VLBI Network, KVN)이나 외계행성 연구를 위한 망원경 네트워크인 외계행성탐색시스템(Korea Microlensing Network, KMTNet)과 같은 첨단 지상 관측시설을 국내 기술로 건설하였고 소형 우주망원경 미션을 수행하면서 관측 인프라 구축 능력을 향상시켰다. 또한 광학천문학 분야에서 세계 최대급인 8m 광학망원경을 갖춘 제미니 국제천문대, 전파천문학 분야에서 세계 최대의 밀리미터파 전파 배열인 알마(Atacama Large Millimeter /submillimeter Array, ALMA)의 운영에 참여하면서 우리나라 천문학자들이 활용할 수 있는 연구 인프라는 획기적으로 늘어났다. 이러한 연구 인프라의 확장을 토대로 우주론, 은하 진화, 블랙홀, 우리은하, 별 생성, 태양계, 태양권 연구 등 천문학 연구 거의 전 분야에서 한국 천문학자의 세계적 연구 성과가 미디어에서 소개되는 모습을 흔히 접할 수 있게 되었다. 다만 급격하게 발전하고 있는 세계 천문학 추세에 뒤처지지 않게 우리도 더 큰 도약을 준비해야 할 시점이다.

이렇게 중요한 시기를 맞아 한국천문학회와 장기발전연구위원회는 2024년 10월부터 앞으로 10년간 우리나라 천문학계가 도전할 천문학 연구와 이러한 도전에 필요한 연구시설의 구축 계획을 의논해 왔다. 세계적으로

큰 관심이 집중되어 있으면서 우리나라가 추구할 천문학 난제로 (1) 우주의 과거와 미래의 모습, (2) 우주적인 시각에서 본 인류의 기원의 2가지를 들 수 있다. 첫 번째 도전과제인 “우주의 과거와 미래의 모습” 연구는 한마디로 우주의 역사와 구성 물질을 이해하기 위한 연구다. 우주는 138억 년 전 일어난 빅뱅 이후 현재 계속 팽창하고 있는데 이러한 팽창의 과거와 미래의 모습을 알기 위해서는 우주를 이루고 있는 구성 물질이 무엇인지 이해할 필요가 있다. 특히 우주의 구성 물질 중 약 3분의 2를 차지하고 있는 암흑에너지와 나머지 3분의 1의 대부분을 차지하고 있는 암흑물질이 무엇인지를 밝히기 위한 세계적인 노력에 동참함은 물론 세계를 선도하는 연구 성과를 창출하고자 한다. 동시에 과거 은하와 블랙홀의 모습을 상세히 알아내어 다양한 우주 모델들을 검증할 것이다. 블랙홀과 같은 고밀도 고중력 천체 부근에서 일어나는 현상을 관측함으로써 중력에 관한 물리법칙에 대한 검증도 가능할 것이다. 또한 빛이 아닌 새로운 매체를 이용하여 우주를 관측하여 그동안 알려지지 않았던 과거 천체의 모습을 밝혀낼 것이다.

두 번째 도전과제인 “우주적인 시각에서 본 인류의 기원”에 대한 연구는 인류의 궁극적인 기원을 우주적인 시간과 규모에서 이해하기 위한 연구이다. 생명체를 이루는 주요 구성 원소의 대부분은 별이 진화하는 과정에서 만들어진 것이다. 따라서 별의 진화에 대한 이해는 생명체를 만든 재료의 기원을 밝히며, “우리는 어디에서 왔는가?”라는 인류의 원초적인 호기심에 대한 해답을 제공할 것이다. 별이 탄생하는 과정과 죽어가는 과정에 대한 이해를 통해 행성들이 어떻게 만들어졌는지, 그리고 생명체를 만들기 위한 무거운 원소들이 어떻게 우주로 퍼져나가게 되었는지 알 수 있을 것이다. 그리고 우주와 같은 극한적인 환경에서 생명체가 살기에 적합한 환경이 조성된 행성이 존재하는 것이 어떻게 가능하였는지를 이해하기 위해 태양계 천체와 외계행성을 탐색하고 태양활동이 태양계 천체에 미치는 영향에 대하여 다각적으로 연구할 것이다.

위와 같은 도전적인 연구를 통해 우주에 대한 획기적으로 새로운 지식

을 얻기 위해서는 그동안 우리가 알지 못한 우주의 새로운 모습을 밝혀줄 수 있는 새 연구시설이 필요하다. 우주 연구에 새로운 돌파구를 열어줄 시설의 유형으로는 크게 4가지가 있다: (1) 다양한 파장의 빛에서 극한의 우주를 관측할 수 있는 초대형 지상 관측시설, (2) 빛이 아닌 중력파나 중성미자와 같은 새로운 매체를 이용하여 우주를 새로운 시각에서 연구할 수 있게 하는 관측시설, (3) 한국 천문학회 주도의 연구와 역량 강화를 가능하게 해주는 한국 주도 창의적 관측시설 구축, 그리고 (4) 우주 공간에서의 관측시설이 바로 그것이다. 한편, 새롭게 얻은 막대한 자료의 분석이나 이론적인 계산을 위해서는 대용량 자료 저장 및 분석시설과 고성능 계산시설의 구축이 필요하다.

초대형 지상 관측시설은 아직 인류가 접하지 못한 먼 과거 우주의 모습을 보거나 외계행성과 같은 천체를 자세히 관측하기 위해 꼭 필요한 시설이다. 그러나 그러한 시설의 구축은 시설의 대형화와 첨단화로 인한 기술적인 어려움뿐만 아니라 건설과 운영에 수조 원이 넘는 예산이 투입되어야 할 정도로 예산 면에서도 매우 도전적이다. 따라서 한 국가가 그러한 시설을 만들기는 어려운 상황이다. 한국의 경우, 경제 규모나 천문학계의 규모로 볼 때 단독으로 초대형 관측시설의 구축은 매우 힘들어 보인다. 이러한 시설에 대해서는 국제협력을 적극 추진하는 것이 현실적이다. 단기적으로는 현재 한국이 국제 공동 운영 주체로 있는 제미니 천문대와 ALMA에 최소한 현재 수준의 지분을 가지고 계속 참여해야 할 것이다. 다만 내년부터 본격적으로 가동될 루빈 천문대의 경우 타 관측시설과의 시너지가 크게 예상되기 때문에, 더 많은 한국 천문학자가 루빈 천문대를 활용할 수 있게 하는 것이 바람직하다. 이러한 망원경은 앞으로 10년간 다양한 천문학 분야에서 국제경쟁력을 유지할 것이며, 연구 인력 양성에도 크게 이바지할 것이다. 중기적으로 볼 때 현재 한국이 참여하여 건설 중인 거대마젤란망원경과 SKA 같은 거대 시설의 지분 확보가 계획대로 이루어지도록 하여 2030년대 전후에 이러한 망원경을 이용한 최신 연구를 수행할 수 있게 하는 것이 중요하다. 국제협력 형태의 초대형 관측시설을 활용할 때 한국 천문학계가 주도할 수 있는 과학임무를 특정하고 해당 임

무를 위한 관측기기나 요소 기술을 개발하여 국제협력 대형 망원경 시설에서 활용하는 것이 바람직하다. 그렇게 할 수 있다면 추후 후속 연구를 위한 기술 축적과 한국 주도의 연구 역량 신장에 크게 도움이 될 것이다. 장기적으로 볼 때에는 대형 관측시설 건설을 한국이 주도하는 데에도 도전해 볼만하다. 제안된 연구시설 중 다천체 분광탐사 망원경의 경우, 과학 임무나 기술 개발 등의 측면에서 큰 파급력이 예상되기 때문에 그 구축 가능성에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 보인다.

관측 매체의 다양화는 빛이 아닌 새로운 매체로 우주를 살펴보는 것이다. 최근 관측 기술의 발달 덕분에 중력과 중성미자를 통해 우주를 연구할 수 있게 되었는데, 블랙홀 병합과 같은 미지의 천체 현상을 다수 발견할 수 있음은 물론 우주 팽창에 관한 여러 난제도 새로운 시각으로 풀 수 있는 매우 잠재력 있는 연구 방법으로 주목을 받고 있다. 새로운 매체로 우주를 연구하는 분야는 앞으로 급격하게 발전할 것으로 예상되므로 한국 천문학회도 크게 관심을 가져야 할 것이다. 단기적으로는 기존 중력과 천문대나 중성미자 천문대 관측연구 역량을 높이고 중력과 원이나 중성미자 천체를 후속 관측할 수 있는 시설의 구축을 통한 다중신호 천문학 수행 능력도 키워나가야 할 것이다. 중장기적인 관점에서는 차세대 중력과 검출기 사업을 국제협력으로 수행하여 이 분야의 경쟁력을 높이는 한편, 한국 주도로 초전도 텐서 중력검출기를 개발하여 중력과 관측의 새로운 주파수를 개척하거나 한국 중성미자 천문대를 건설하여 이 분야에서 주도적인 역할을 해나갈 수 있도록 노력해야 할 것이다.

한국이 주도하여 구축한 연구시설로서 대표적인 것으로 한국천문연구원이 구축한 KVN과 KMTNet이 있다. 대학 시설의 경우, 서울대학교가 한국천문연구원과 태양 관측용으로 공동 개발한 고속영상태양분광기, 다중신호 천문학을 염두에 두고 개발한 7차원 망원경(7-Dimensional Telescope, 7DT) 등이 있다. 기구축된 시설들이 앞으로 경쟁력을 유지할 수 있도록 꾸준한 관리와 업그레이드를 할 수 있도록 하여야 할 것이다. 경쟁력을 유지하기 위해 보현산천문대, KMTNet 등 한국천문연구원과 대학이 보유

하고 있는 지상 관측시설을 대폭 현대화하여 네트워크화하는 것이 한 방안이라 할 수 있다. 이러한 프로젝트를 통해, 대형 관측시설을 구축하는 대규모 프로젝트 수행에 필수적인 연구 인력과 관측시설의 관리, 보수, 기기 개발 전문 인력의 양성과 역량 강화가 이루어질 수 있을 것이다. 축적된 전문 역량은 지상 관측시설뿐 아니라 우주망원경 및 우주 관측 체계 개발 및 시험에도 직접적으로 기여할 수 있으므로 우주탐사 및 우주개발의 중요성이 강조되는 시점에 그 중요성이 더욱 드러날 것이다.

우주 공간에 관측시설을 갖다 놓으면 지상에서 할 수 없는 매우 다양한 형태의 관측이 가능하다. 우주망원경을 활용하면 지상에서 하지 못하는 적외선이나 자외선 관측을 통해 별과 행성 탄생의 비밀을 밝혀낼 수 있음은 물론, 지구 대기의 흔들림에 영향받지 않고 먼 과거 은하의 모습을 높은 해상도의 관측으로 상세히 알아낼 수 있다. 우리나라는 그동안 한국천문연구원의 핼스(FIMS), 미리스(MIRIS), 니스(NISS)와 같은 소형 우주망원경 미션을 통해 우주망원경 개발에 관한 기술을, 해외 우주망원경 활용을 통해 우주망원경을 이용한 연구 능력을 키워왔다. 이렇게 키워낸 역량을 바탕으로 스피어엑스(SPHEREx)라는 세계 최고 성능의 분광영상 탐사 우주망원경을 NASA와 함께 개발하는 성과를 거두었다. 단기적으로는 스피어엑스의 관측 결과물을 최대한 활용하여 연구 성과를 극대화하여야 할 것이다. 중장기적으로는 한국 주도 우주망원경을 개발하여 관측 영역의 획기적인 확장은 물론 우주망원경 기술력을 높여나가야 할 것이다. 향후 한국 주도의 우주망원경을 확보하게 되면, 국내 천문학계는 독자적 관측 자산을 기반으로 우주론, 은하 진화, 별의 형성 과정 등 한국 천문학계가 설정한 주요 과학 난제에 도전할 연구 역량을 획기적으로 강화할 수 있을 것이다. 또한 그렇게 얻은 기술력을 바탕으로 더 큰 국제협력 프로젝트의 참여도 가능해질 것이다. 분광 및 영상 관측 기능을 갖춘 다목적 1-2m급 우주망원경과 같은 중형 우주망원경 미션, 그리고 기술 개발 목적을 겸하면서 특정 과학 목적을 달성하기 위한 소형 우주망원경 미션을 추진하여 우리나라 우주망원경 기술력과 관측 역량을 높여갈 것을 추천한다. 또한 태양권 관측연구에 새 획을 그을 수 있는 L4 미션도 추진할 가

치가 높다고 할 수 있다. 또 다른 한편으로 우리나라 우주망원경 개발 능력을 십분 활용할 수 있는 국제협력 미션을 추진하여 우주관측 역량을 계속 유지 및 발전시켜야 할 것이다.

마지막으로 위와 같은 다양한 시설에서 얻은 빅데이터를 저장하고 분석할 수 있는 자료저장 시설의 구축이 시급하다. 현대 천문학은 데이터 과학이라고 불리는 만큼 한국 관측시설에서 생성된 관측자료를 체계적으로 관리하는 시스템을 구축하는 것도 매우 중요하다. 또한 나날이 세밀화되고 있는 관측자료의 분석과 해석을 위해서는 천체에 대한 수치 모의실험도 정밀화되어야 한다. 현재 천문학계가 다른 분야 연구자들과 함께 사용하고 있는 국가 공용 계산시설은 이미 포화 상태라 천문학 계산 연구 수요를 전담하여 뒷받침할 수 있는 고성능 계산시설(High Performance Computing, HPC)의 구축도 서둘러야 할 것이다.

위와 같은 천문학계의 수요를 바탕으로 다음과 같이 연구시설 구축을 위한 추천 사항을 제시한다.

✓ **추천 사항 1:** 국제협력/한국 주도 구분 없이 한국 천문학계가 보유한 기존 관측시설은 모두 향후 10년간 국제경쟁력을 갖출 것이며 천문학 난제 해결에 활발히 사용될 시설로 활약이 기대된다. 특히 인력 양성, 기술 개발과 같은 면에서도 큰 역할이 예상되기에 Gemini, ALMA, 베라루빈 천문대, KVN, 스피어엑스, 1.6m 태양망원경 등 기존 관측시설에 대한 안정적인 지원은 물론 성능 향상을 위한 지원이 이루어져야 할 것이다.

✓ **추천 사항 2:** 거대마젤란 망원경, SKA, 차세대 중력과 천문대 등 한국 천문학계가 관여하고 있는 차세대 대형 관측시설은 모두 준공 시 세계 최고 수준의 관측시설이 되어 한국 천문학계의 연구 역량을 크게 강화할 것이다. 따라서 비교적 높은 우선순위를 두어 이러한 시설에 대한 한국의 기여도와 지분을 높일 수 있도록 지원해야 할 것이다.

✓ **추천 사항 3:** 2030년대 중후반을 목표로 계획되고 있는 시설들은 모두 준공 시 세계 최고 수준의 관측시설이 되어 한국 천문학계의 연구 역량을 크게 강화할 것이다. 하지만 대부분 프로젝트의 높은 기술적 난이도로 볼 때 장기적인 관점에서 단계적으로 추진하는 전략을 세워야 할 것이다. 한국 주도 우주망원경의 경우 한국 천문학의 관측연구 역량을 획기적으로 늘릴 수 있을 것으로 보이기에 비교적 높은 우선순위를 두고 추진하되 면밀한 검토를 거쳐 경쟁력과 실현성이 높은 미션을 선정해야 할 것이다.

✓ **추천 사항 4:** 저장 및 계산시설 구축, 관측기기 개발, 창의적 프로젝트 지원은 모두 한국 천문학의 발전을 위해 필요한 활동이므로 비교적 높은 중요도를 두어 꾸준히 추진해야 할 것이다. 특히 자료 및 계산시설의 경우, 한국 천문학계에서도 그 중요성이 매우 높아진 시점이기에 높은 우선순위를 가지고 추진되어야 할 것이다.

장기발전연구위원회는 위와 같이 설정한 과학적 도전과제 내용과 그것을 이루기 위한 추천 사항들을 바탕으로 워킹그룹 및 편집위원회 논의를 거쳐 다음과 같이 여러 시설 및 활동에 대한 중요도 순위를 정하였다. 중요도는 P1(중요도 최상, Top Priority), P2(중요도 상, Very High Priority), P3(중요도 중, High Priority), 그리고 O(그 외 중요한 시설 및 활동, Other Important Facilities and Activities)의 4가지로 나누었다. 각 중요도 순위는 미래 시설과 현재 추진 또는 활용 중인 시설로 나누어 기술하였다. 각 중요도 내에서 제시한 시설 및 활동의 순위는 부록 1에 제시한 워킹그룹 관여 순으로 하였다. 각 시설 옆에 밀접한 관련이 있는 워킹그룹명도 표시하였다. 태양계 탐사 미션의 경우, 그 융합적인 성격으로 별도의 우선순위 지정 논의가 있어서 아래 중요도 순위에 포함하지 않았다.

✓ **P1(중요도 최상, Top Priority)**

선정 기준: 세계적으로 가장 앞서는 기술 개발을 하면서 세계를 선도할 수 있는 혁신적인 과학임무를 수행할 연구시설. 학계의 전폭적인 지원 및 매우 높은 파급력과 활용도가 예상되어야 함.

A. 미래 시설

1. 분광탐사 6.5m 광학망원경(외부은하/우주론, 우리은하, 지상 광학망원경): 우주론 연구 분야에서 높은 연구 성과의 창출을 기대(High scientific return for cosmological studies). 한국 내 다수의 은하, 은하단 연구 인력을 바탕으로 분광탐사 망원경 건설, 분광기 제작, 데이터 확보, 연구 수행 등 연구 단계 전체를 수행하고자 하는 야심 찬 프로젝트. 기술적 노하우 확보, 연구 인력 양성, 연구 경쟁력 확보 등 다양한 파급효과 기대.

2. 한국 중형 우주망원경(외부은하/우주론, 우리은하, 우주망원경): 기술적 준비도가 매우 높은 1-1.5m급 범용 우주망원경. 가시광선 및 적외선 영역의 분광영상 관측을 바탕으로 우주론, 은하 진화, 외계행성, 다중신호 천문학, 시간영역 천문학 연구에서 독보적 연구 성과 기대. 많은 국내 천문학자의 과학적 요구를 충족하고 한국 천문학계의 관측 역량을 획기적으로 발전시킬 것으로 전망. 기술 개발 및 과학 연구 인력 양성을 위해 대형 국제 우주망원경 프로젝트에 소규모로 참가하는 것도 이러한 활동의 일부가 될 수 있음.

3. 차세대 중력과 천문대(외부은하/우주론, 다중신호 관측시설): 중력과 다중신호 연구의 지평을 크게 확장하고 천문학, 물리학의 중요한 발견 및 다양한 첨단기술의 발전을 견인할 세계 최고의 중력과 관측시설 확보(Einstein Telescope, Cosmic Explorer, LISA 등). 국내 다수의 중력과 연구자들이 LIGO, KAGRA 활용을 통해 역량을 축적해 왔기 때문에 시설의 활용도와 파급효과가 높을 것으로 기대.

4. 자료 및 계산시설(외부은하/우주론, 우리은하, 태양계, 자료 및 계산시설): 한국이 참여하는 SKA 및 LSST과 같은 대형 탐사 프로젝트가 이미 사업 및 관측을 시작한 상황에서 시의성이 매우 높음. 계산시설의 경우 다양한 과학 연구 분야에서 관측자료와 시너지 효과가 높음. 자료시설과 서로 상호 보완적이며, AI 시대 새로운 연구 분석에 필요.

5. L4 미션(태양권): 1) 태양관측을 통한 전략적 과학임무 수행, 2) 태양 관측 데이터 확보를 위한 과학 탑재체 개발, 3) 태양 탐사를 위한 궤도 설계 및 한국형 위성 개발, 4) 우주 관측 데이터 통합 관리 체계 마련, 5) 우주탐사 시대에 대응하는 차세대 우주과학 연구 기반 마련 및 국제 우주 협력의 선도국으로 도약이 가능한 시설.

B. 현재 활용 또는 건설 참여 중인 시설

1. Giant Magellan Telescope(외부은하/우주론, 우리은하, 태양계, 지상 광학 관측시설): 한국 관측천문학의 미래 경쟁력 확보를 위해 반드시 필요한 거대 지상 관측시설. 건설과 운영에 필요한 안정적인 예산 확보 필요.

2. SKA(외부은하/우주론, 우리은하, 지상 전파 관측시설): 국제협력 프로젝트로 건설 진행 중, 고감도 고속 탐사 성능의 전파간섭계로 향후 넓은 연구 분야에 걸쳐서 과학적/기술적으로 중요한 결과가 나올 것으로 예상됨. 우리나라는 25년부터 참여하여 국내 연구진이 주도하는 과학 연구/기술 개발을 통한 연구 경쟁력 강화 필요.

✓ **P2(중요도 상, Very High Priority)**

선정 기준: 과학적 및 기술적 중요도에서 P1 만큼 중요하나, 파급력이나 활용도 측면에서 P1 대비 조금 더 제한적이거나 장기적인 관점에서 추진해야 할 시설 및 활동.

A. 미래 시설

1. 전천 탐사 관측시스템(외부은하/우주론, 태양계, 지상 광학 관측시설): 국내기관이 운영하는 관측시설의 현대화를 통해 관측기기 전문인력 양성과 관련 기술적 노하우 축적을 꾀하는 동시에 소형망원경 네트워크를 이용한 변광천체, 지구근접천체, 인공위성감시 등 한반도 현지에 필요한 관측연구를 수행. 다중신호 관측시설(7DT 등)를 포함하면서 다중신호 천문학 시대에 독자적이고 경쟁력 있는 역할을 통해 크게 기여할 수 있을 것으로 기대.

2. ngVLA(외부은하/우주론, 우리은하, 지상 전파 관측시설): ALMA와 SKA 중간 대역을 대상으로 하는 고감도 간섭계로 미국 주도로 건설 추진 중. 아직 사전 연구 단계로 본격적인 건설 시작은 미국의 예산 상황에 따라 유동적임. 주 연구 주제에 대해 국내 연구 그룹이 형성되어 있으며 공통 주파수 대역을 갖는 KVN과 연계한 시너지도 가능. 이미 여러 나라가 사전 연구 프로젝트에 참여하고 있으며 국내에서도 체계적인 준비 필요.

3. 소형 우주망원경 미션(외부은하/우주론, 우주망원경): 과학적 중요성이 높은 특정 과학적 목적을 가진 소형 우주망원경 미션으로 기술 개발을 겸하게 됨. Ices Explorer 미션이 높은 우선순위로 논의 되었으나 S-KMTNet, S-Drift, Capella 등 다양한 미션이 제안된 것을 고려하여 공개 공모를 통해 구체적인 미션을 선정할 것을 제안함.

4. 월면 중력과 검출기(외부은하/우주론, 다중신호 관측시설): 월면 중력과 검출기(LGWA)로 활용할 새로운 중력과 검출기 기술 개발. 새로운 중력과 관측 주파수 영역을 개척하여 중요한 과학적 기여 및 파급효과가 기

대. LGWA 계획의 목표는 2030년대 중반 발사.

5. ATHENA(태양권): 현재 부정확하고 정밀하지 않은 우주환경 예측 성능을 개선하기 위한, 광시야 오로라 영상 및 고층대기 물리 변화에 대한 정보를 제공하는 미션. ROKITS 미션을 통해 광학기기 개발기술의 성숙도와 시의성이 높은 매우 중요한 미션이며, 이미 개발된 기술이 있으므로 가까운 미래에 추진할 수 있는 최적의 미션이라 판단함.

B. 현재 이용 중이거나 현재 한국이 건설에 참여 중인 시설

1. 제미니 국제천문대(외부은하/우주론, 우리은하, 태양계, 지상 광학 관측시설): 현시점에서의 경쟁력 있는 관측연구를 위해 필수적인 지상 관측 시설. 연구인력 양성, 전문기술 확보를 위해 장기적으로 안정적인 운영이 중요.

2. KVN 및 ngEHT(외부은하/우주론, 우리은하, 지상 전파 관측시설): KVN은 국내 주도로 개발된 관측시설로 기술적인 파급 효과와 인력양성 효과가 우수함. KVN을 통해 입증된 다주파수 수신 방식은 VLBI 관측 기술의 혁신으로 해외 시스템에서도 도입 추진 중. 다주파수 수신기와 KVN 고주파수 업그레이드 등을 통해 ngEHT 연구에 크게 기여할 수 있을 것임.

3. ALMA(외부은하/우주론, 우리은하, 지상 전파 관측시설): 국제협력으로 건설된 세계 최고 성능의 전파간섭계로 영향력 있는 많은 연구 결과가 나오고 있음. 국내에 폭 넓은 사용자 그룹이 있으며 분광기 개발에 기여하였음. 국내 천문학자가 주도하는 대형 연구를 통해 대형 연구성과 창출에 도전.

✓ P3(중요도 중, High Priority)

선정 기준: 기술적 과학적인 측면에서 중요하며, 장기적인 관점에서 P1 급이 될 잠재력이 있는 시설 및 활동. 또는 과학적 중요도는 매우 높으나 기술개발 측면의 파급력이 P1, P2 대비 상대적으로 약한 시설.

A. 미래 시설

1. 남극천문대(외부은하/우주론, 우리은하, 지상 광학 관측시설, 지상 전파 관측시설): 극지 환경에 광학 및 전파 관측시스템을 구축하고 운영하여 기존 망원경 네트워크와 연결해 관측연구를 수행하는 계획. 광학 관측시설의 경우 남극의 안정적인 기상조건을 활용한 관측연구 효과에 더해서 극한 환경 내구성이 필요한 우주기술 등을 시험할 수 있음. 전파망원경의 경우 THz 대역 관측이 가능한 6미터급 전파망원경을 건설하여 남극의 독보적인 대기 조건을 활용한 연구 수행. 장기적인 관점에서 우리나라의 남극 개발 계획과 연계하여 추진 필요.

2. 3m급 이상 우주망원경(외부은하/우주론, 우리은하, 태양계, 우주망원경): 현재 우리나라의 수준을 고려할 때 야심 찬 우주망원경 프로젝트로 외계행성 연구, 우주론 연구 등을 주요 연구 목표로 상정. 장기적인 관점으로 추진해야 할 시설.

3. 태양권 미션(태양권): 장기적인 관점으로 추진할 가치가 있는 태양권 미션들로서, 자기권 저온 플라스마 원천과 순환 탐사 미션인 MagPIE, 오로라 현상과 고층대기의 고분해능 동시관측을 통해 우주환경을 연구하는 GAC, 여러 행성의 오로라 연구를 하는 EAE 등이 제안됨. 추후 면밀한 검토를 통해 미션 선정 필요.

B. 현재 이용 중이거나 한국이 건설에 참여 중인 시설

1. Rubin/LSST(외부은하/우주론, 우리은하, 태양계, 지상 광학 관측시설): 현재를 기준으로 향후 10+년간 활용할 수 있는 경쟁력 있는 연구데이터

를 확보할 수 있는 중요 프로젝트. 안정적 데이터 확보를 위한 현물기여 프로그램 운영과 경쟁력 있는 연구결과를 제때 산출하기 위한 활동이 중요.

✓ O(그 외 중요한 시설 및 활동)

선정 기준: P1, P2, P3에 속하지 않은 기기개발, 연구지원, 주목적이 천문학이 아닌 시설이지만 P1, P2, P3 만큼 중요도가 인정되는 시설 또는 활동. 각 항목에 P1, P2, P3 기준을 부여하였음.

1. 관측기기 개발[P2](모든 워킹그룹 해당): 거대 관측시설에 필수적인 다양한 관측기기 개발, 유지보수 등이 이 분류에 포함되며, 다른 프로젝트와 동일하게 우선순위를 비교할 수 없으나, 거대 관측시설이 제 기능을 하고 좋은 관측데이터를 생산하기 위해서는 우수한 관측기기가 필수. 다양한 관측기기/기술개발 프로젝트를 지원하여 관측기기를 개발, 운영, 유지보수 할 수 있는 전문인력 양성에 적극 투자하는 것이 매우 중요.

2. 창의적 도전 프로젝트 지원[P2](모든 워킹그룹 해당): 대학 및 연구소의 개별 PI 수준에서 (상대적으로) 소규모 예산으로 경쟁력 있는 연구 프로젝트를 수행할 수 있음. 7DT가 좋은 사례임. 대규모 프로젝트와 우선순위를 비교할 수 없으나, 소규모 창의적 연구 프로젝트 지원을 적극 권장.

3. Rollable Mirror Telescope[P3](우주망원경): Rollable 거울 기술을 활용한 새로운 개념의 우주망원경으로, 기술개발이 성공할 경우 적은 예산으로 대구경(~10미터)의 우주망원경 개발을 가능케 할 것으로 기대. 단, 지상에서 아이디어 검증, 소형 우주망원경(RMT-Pathfinder)을 먼저 시도하는 것을 추천.

4. 다목적 심우주안테나[P3](지상 전파 관측시설): 우주탐사선 위치 추적 목적인 40미터급 2-100GHz 대역 안테나를, 심우주 탐사선 교신에 활용하지 않는 시간 동안 천문관측 목적으로 활용하는 프로젝트. 단일경 관측 또는 VLBI로 활용 가능. 향후 우주탐사 미션에 필요한 기반 인프라로 설계와 건설 단계를 주도하거나 적극 참여 협력 필요.

5. 한국중성미자망원경[P3](다중신호 관측시설): 물리 연구시설이면서 천문학 응용 가능성이 높은 시설로 국내 중성미자 천문학 기반을 확보하고

중성미자 연구에 크게 기여할 수 있음. 다만 해당 분야에서 세계적으로 확실한 주도를 하기보다는 여러 중성미자 관측시설들과 함께 동참하는 성격이고, 아직 국내 천문학회에 연구자 기반이 적으며 물리학회에서도 연구분야가 한정적이라는 한계를 극복할 필요가 있음

6. 대학-연구소 협력 사업 강화[P2]: 대형 관측시설의 구축과 운영이 연구소 중심으로 이루어지고 있는 한편, 사용자 그룹 상당수가 대학에 산재하는 우리나라 연구생태계 특성상 대학과 연구소 간의 긴밀한 협력 체계 구축이 필요. 소규모 학연사업을 뛰어넘어 더욱 영향력 있는 과학 연구와 기기 개발 등을 효율적으로 할 수 있도록 새로운 형태의 대규모 학연 협력 체계를 구축하는 것을 추천.

분 류	국제협력 여부	명 칭	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36~	'40~		
기존 시설	국제협력	8m급 광학망원경	가동											추후 활용결정		
		루빈/LSST	가동											자료활용연구		
		<u>알마(ALMA)</u>	가동 및 업그레이드											추후 활용결정		
		1.6m 태양망원경(GST)	가동 및 업그레이드											추후 활용결정		
		<u>스피어엑스(SPHEREx)</u>	가동	연장미션 및 자료 활용					자료활용 연구							
	한국주도	외계행성탐색시스템(KMTNet)	가동 및 기존시설 업그레이드											추후활용결정		
<u>한국우주전파관측망(KVN)</u>		가동 및 기기 업그레이드											추후활용결정			
건설 중인 시설	국제협력	거대마젤란망원경(GMT)	건설											가동		
		<u>평방킬로미터배열(SKA)</u>	건설	확장 건설 및 가동												
		<u>차세대중력파검출기</u>	건설											가동		
미래 시설	국제협력	차세대 대형전파망원경배열(ngVLA)	희망 활용 시기 : 2030 – 2040년대													
	한국주도	아테나(ATEHNA)														
		전천 원격관측시스템														
		한국 우주망원경														
		<u>다천체 분광탐사망원경</u>														
		<u>초천도 텐서중력센서</u>														
		<u>한국 중성미자천문대</u>														
		다중신호 관측네트워크														
		L4 태양 미션														
		태양계 및 태양 미션														
지속적으로 유지할 시설 또는 분야	한국주도	자료저장 / 계산시설	구축 및 활용/지속적 확장													
		관측기기 개발	지속적 개발 및 활용													
		창의적 관측 프로젝트	지속적 개발 및 활용													

<미래의 난제 해결을 위한 한국 천문학계의 연구시설들>

Executive Summary

Astronomy is a natural science that seeks to satisfy humanity's fundamental curiosity about the universe by understanding the principles governing space and celestial bodies. In modern times, astronomy has evolved into a cutting-edge science that uses advanced technology to precisely measure and study the extreme conditions of the universe. Today, astronomy not only plays a vital role as a forefront discipline in natural science that broadens human understanding of the cosmos but also contributes significantly to the cultivation of highly skilled professionals in advanced science and technology. With the establishment of the Korea Aerospace Administration (KASA), it is expected that awareness of the importance of astronomy in promoting scientific development and training next-generation experts in high-tech fields will grow even further in Korea.

Over the past decade, Korean astronomy has made remarkable progress. Advanced ground-based observatories such as the Korea VLBI Network (KVN) and the Korea Microlensing Telescope Network (KMTNet) for exoplanet research have been constructed using domestic technology, enhancing Korea's capabilities in building observational infrastructure. Furthermore, by participating in space missions involving small-scale space telescopes, Korea has continued to advance its observational infrastructure. In addition, Korea's involvement in major international facilities such as the International Gemini Observatory (Gemini) which operates two 8.1 meter optical telescopes, and the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array (ALMA) which is the world's largest radio array, has significantly expanded the research infrastructure available to Korean astronomers. Based on this growing infrastructure, Korean researchers are now producing globally recognized achievements across nearly all fields of astronomy including cosmology, galaxy evolution, black holes, the Milky Way, star formation, the

Solar system, and the heliosphere, many of which are frequently highlighted in the media. However, as global astronomy continues to advance at a rapid pace, it is now time for Korea to prepare for an even greater leap forward to stay at the forefront of this evolving field.

At this critical juncture, the Strategic Planning Committee of the Korean Astronomical Society (KAS) has been discussing the astronomical research challenges that Korea's astronomy community should tackle with over the next ten years, as well as the infrastructure needed to support these endeavors since October 2024. Among the grand astronomical challenges that are attracting significant global interests and that Korea aims to address, two stand out: (1) understanding the past and future of the universe, and (2) uncovering the origins of humanity from a cosmic perspective.

The first major challenge, "**understanding the past and future of the universe**", centers on investigating the history and composition of the cosmos. Since the Big Bang 13.8 billion years ago the universe has been expanding, and in order to understand both its past and its future expansion, it is crucial to identify the components that make up the universe. In particular, Korea aims to contribute to and lead global efforts to unveil the nature of dark energy which accounts for about two-thirds of the universe's composition and dark matter, which constitutes most of the remaining parts.

In parallel, Korean researchers will strive to reconstruct detailed images of galaxies and black holes in the early universe to test various cosmological models. Observing phenomena near high-density, high-gravity objects like black holes will also allow for experimental validation of the laws of gravity. Additionally, by observing the universe utilizing new messengers other than light astronomers aim to uncover previously unknown aspects of ancient celestial objects offering a new window into the universe's past.

The second major challenge, "**understanding the origin of humanity from a**

cosmic perspective", seeks to explore humanity's ultimate origins in the context of cosmic time and scale. Most of the key elements that make up living organisms were forged during the life cycles of stars. Therefore, gaining a deeper understanding of stellar evolution will help trace the origin of the very materials that gave rise to life, offering insights into one of humanity's most fundamental questions: *"Where do we come from?"*

By studying how stars are born and how they die, astronomers can uncover how planets are formed and how heavy elements essential for life are dispersed throughout the universe. This knowledge is crucial for understanding the cosmic processes that led to the creation of life-supporting environments. In addition, to understand how planets capable of sustaining life could exist in such extreme conditions as space, researchers will explore celestial bodies within our Solar system as well as exoplanets beyond it. They will also conduct multifaceted studies on how Solar activity affects Solar system bodies, which in turn may provide key insights into the conditions necessary for habitability across the cosmos.

To acquire groundbreaking new knowledge about the universe through such ambitious research endeavors, it is essential to develop new research facilities capable of revealing aspects of the cosmos that have remained hidden until now. Four major types of facilities are considered crucial to opening new frontiers in space research:

1. **Next-generation, large-scale ground-based observatories** capable of observing the extreme universe across a wide range of wavelengths.
2. **Observational facilities using new messengers other than light**, such as gravitational waves or neutrinos, which enable exploration of the universe from entirely new perspectives.
3. **Creative, Korea-led observational facilities**, which not only enhance national leadership in astronomy but also strengthen the research

capabilities of the Korean astronomical community.

4. **Space-based observatories**, which offer unique vantage points above Earth's atmosphere for observing the universe in unprecedented detail.

In addition, to process and analyze the massive volume of data generated by these new facilities and to support theoretical modeling and simulations it is imperative to establish large-scale data storage and analysis infrastructure along with high-performance computing facilities.

Next-generation, large-scale ground-based observatories are essential for observing the distant early universe and for conducting detailed studies of celestial bodies such as exoplanets. However, the construction of such facilities presents major challenges not only due to their immense scale and the sophisticated technologies involved but also because of the enormous costs involved which often amounts to several trillion Korean won. As such, it is difficult for a single nation to develop and operate such observatories independently. For Korea, considering its current economic size and the scale of its astronomical community, building such mega-facilities alone would be extremely challenging. Therefore, active participation in international collaborations is a more realistic and strategic approach. In the short term, Korea should continue participating in international observatories where it already holds a stake, namely Gemini and ALMA, at least at the current level of involvement. Moreover, with the Vera C. Rubin Observatory beginning full operations in 2025 and expectations of strong synergy with other facilities and projects, it would be beneficial to ensure broader access for Korean astronomers to the survey data that the Rubin will produce. Facilities like Rubin are expected to remain internationally competitive across various fields of astronomy for the next decade and they will also play a key role in training the next generation of researchers. In the medium term, Korea must secure its planned shares in large-scale international facilities such

as the Giant Magellan Telescope (GMT) and the Square Kilometre Array (SKA), both of which are currently under construction with Korean participation. This will allow Korean astronomers to conduct cutting-edge research using these powerful observatories around the 2030s. Furthermore, when engaging in international collaborations on large-scale facilities, it is highly desirable for Korea to define specific scientific missions that it can lead and to develop the instrumentation or key enabling technologies for those missions. This will not only allow Korean research goals to be integrated into global observatories but will also facilitate technological development and strengthen Korea's leadership capacity for future research. In the long term, Korea may consider boldly pursuing its own large-scale observatory project. For instance, a multi-object spectroscopic survey telescope is expected to have a major scientific impact, and a thorough feasibility study on such a facility would be a meaningful step forward.

Thanks to recent advances in observational technology, it has become possible to explore the cosmos other than electromagnetic wave (i.e., light). Gravitational waves and neutrinos are emerging and highly promising messengers that offer the potential to uncover previously unseen cosmic phenomena such as black hole mergers, and to approach unresolved questions about cosmic expansion from entirely new perspectives. As this field is expected to grow rapidly in the coming years, the Korean astronomical community must engage actively and strategically. In the short term, Korea should focus on enhancing its research capabilities in existing gravitational wave and neutrino observatories, establishing facilities capable of conducting follow-up observations of gravitational wave sources and neutrino-emitting celestial objects, and developing multi-messenger astronomy capabilities that combine data from light, gravitational waves, neutrinos, and other signals to achieve a more complete understanding of cosmic events. In the medium to long term, Korea should aim to participate in next-generation gravitational

wave detector projects through international collaboration, thereby securing competitiveness in this cutting-edge domain. Additionally, the country should lead the development of novel technologies, such as superconducting tensor gravitational wave detectors to open up new frequency ranges for gravitational wave observation and reveal previously undetectable phenomena. Furthermore, exploring the construction of a Korean neutrino observatory would position Korea as a leader in neutrino astrophysics and help shape the global future of multi-messenger astronomy. By investing in these areas, Korea can secure a prominent role in the emerging frontier of astronomy, expanding not only our view of the universe but also our scientific and technological capabilities.

Among the research facilities that Korea has independently established and led, two key examples are KVN and KMTNet, both built by the Korea Astronomy and Space Science Institute (KASI). In the university sector, notable facilities include Seoul National University's Fast Imaging Solar Spectrograph (FISS) installed at the 1.6 meter Goode Solar Telescope (GST) in the United States, which was developed jointly with KASI for Solar observations, and the 7-Dimensional Telescope (7DT), designed with multi-messenger astronomy in mind. To ensure that these already established facilities remain competitive, continuous maintenance and regular upgrades are essential. One effective strategy would be to modernize and network Korea's existing ground-based observatories such as Bohyunsan Optical Astronomy Observatory (BOAO) and KMTNet which are being operated by KASI, and small telescopes operated by various universities. Such initiatives would not only promote the domestic research capabilities but also help train essential personnel for large-scale projects including scientists, engineers, and technicians specialized in managing, maintaining, and developing advanced astronomical instruments. They would also strengthen the institutional capacity required for operating and advancing large-scale observatories, while supporting the development and testing of space telescopes and space-based

observation systems, thereby directly contributing to national efforts in space exploration and technological advancement. As the importance of space exploration and space industry continues to grow, the accumulated expertise from managing and upgrading domestic observatories will become even more valuable, laying the groundwork for Korea to play a leading role in the broader realm of astronomical and aerospace innovation.

Placing observatories in space opens up entirely new possibilities for astronomical observation that are not feasible from the ground. Space telescopes enable high-resolution observations free from Earth's atmospheric distortion and allow access to wavelengths such as infrared and ultraviolet that are largely obstructed by the atmosphere. This makes it possible to unravel the secrets of star and planet formation and to observe distant galaxies from the early universe in unprecedented detail. Over the years, Korea has gradually built up its capabilities in this field through small-scale space telescope missions led by KASI including Far-ultraviolet IMaging Spectrometer (FIMS), Multi-purpose IR Imaging System (MIRIS), and Near-infrared Imaging Spectrometer for Star formation history (NISS) which helped develop foundational space telescope technologies. At the same time, Korean astronomers have gained valuable experience in space-based research through participation in international telescope missions. These accumulated efforts culminated in Korea's joint development with NASA of Spectro-Photometer for the History of the Universe, Epoch of Reionization and Ices Explorer (SPHEREx), a recently launched space telescope with world-leading spectro-imaging capabilities. In the short term, it will be crucial to maximize scientific output by fully leveraging SPHEREx's observational data. Looking toward the mid-to-long term, Korea should aim to develop a Korea-led space telescope, which would not only expand our observational capabilities but also further advance domestic space telescope technologies. Such an independently operated facility will become a foundation for

addressing core scientific challenges in cosmology, galaxy evolution, and star formation, fields identified as key priorities by the Korean astronomical community. By strengthening research capabilities through ownership of independent observational assets, Korea will shift from being a participant in international projects to a driver of scientific missions. Building on the technological expertise acquired through such a mission Korea can secure its place in larger-scale international collaborations in the future. By taking these steps, Korea can solidify its position as a global leader in space-based astronomy while contributing meaningfully to the broader goals of space science and exploration. Therefore, we recommend to advance our nation's space telescope technology and observational capability by pursuing flagship missions such as multipurpose 1-2m-class space telescopes equipped with both spectroscopic and imaging capabilities, as well as small space telescope missions aimed at achieving specific scientific goals while also serving technology development purposes. In addition, the L4 mission, which could open a new chapter in heliospheric research, is considered highly worthwhile to pursue. At the same time, Korea should engage in international missions that fully leverage its space telescope development capabilities, thereby sustaining and further enhancing its space observation capacity.

Lastly, there is an urgent need to establish data storage and analysis infrastructure to handle the big data generated from the various observatories and telescopes mentioned above. As modern astronomy is increasingly intertwined with data science, it is essential to build a systematic data management platform that can effectively store, organize, and provide access to observational data generated by Korean facilities. Moreover, as astronomical data becomes more detailed and complex, it is necessary to conduct high-resolution numerical simulations to interpret and analyze the observations accurately. However, the national shared computing resources, which are currently used across various scientific disciplines including

astronomy, have already reached their capacity. This means Korea urgently needs to build dedicated High Performance Computing (HPC) facilities specifically tailored to meet the growing computational demands of astronomical research.

Based on the current and future needs of the Korean astronomical community, we make the following four key recommendations:

■ Recommendation 1

Regardless of whether the facilities are internationally collaborative or led by Korea, all existing observational facilities available to the Korean astronomical community are expected to remain internationally competitive over the next 10 years and to play a vital role in tackling major astronomical challenges. In particular, they are anticipated to significantly contribute to the training of personnel and development of technologies. Therefore, stable and continuous support, along with performance enhancement efforts, should be provided for facilities such as Gemini, ALMA, the Vera C. Rubin Observatory, KVN, SPHEREx, and GST.

■ Recommendation 2

Next-generation large-scale observatories in which the Korean astronomical community is currently involved, such as GMT, SKA, and next-generation gravitational wave observatories, are all expected to become world-leading facilities upon completion. These will significantly boost Korea's astronomical research capabilities. Therefore, these projects should be given relatively high priority, and efforts should be made to increase Korea's contributions and shares in them.

■ Recommendation 3

Facilities planned for the mid-to-late 2030s are also projected to be among the world's most advanced upon completion and will greatly enhance the Korean astronomical community's research capacity. However, due to the high technical complexity of most of these projects, a long-term, phased strategy is required. In particular, the development of a Korea-led space telescope is expected to significantly expand Korea's observational research capacity. Therefore, this project should be pursued with relatively high priority.

■ Recommendation 4

The development of data storage and computing infrastructure, instrumentation, and support for creative projects are all essential for the advancement of Korean astronomy and should be consistently pursued with relatively high importance. In particular, the need for data and computational facilities has become especially urgent for the Korean astronomical community and should therefore be addressed with high priority.

Based on the scientific challenges set forth above and the recommended actions to achieve them, discussed within the working groups and the editorial committee, the Strategic Planning Committee of KAS established the following priority (importance) rankings for various facilities and activities. The priorities are divided into four categories: P1 (Top Priority), P2 (Very High Priority), P3 (High Priority), and O (Other Important Facilities and Activities). Each priority level is further divided into future facilities and currently ongoing or being utilized facilities. Within each priority category, the order of facilities and activities follows the involvement order of the working groups, as presented in Appendix 1. The name of the closely related

working group is also indicated next to each facility. In the case of Solar System exploration missions, they are not included in the rankings below, due to their integrative nature and separate discussions on prioritization.

■ P1 (Top Priority)

Selection Criteria: Research facilities capable of developing world-leading technologies and carrying out transformative scientific missions that can lead the global community. They must be expected to produce high impact and wide-ranging utility with overwhelming support from the academic community.

A. Future Facilities

1. Large Spectroscopic Survey Telescope (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Ground-Based Optical/IR Facilities): An ambitious project to construct a spectroscopic survey telescope (6.5 m or larger in aperture size), develop multi-object spectrographs, secure data, and carry out research across a full range of activities, leveraging Korea's strong research community in galaxies and galaxy clusters. Expected to deliver high scientific return in cosmology as well as broad benefits including technological development, human resource training, and competitiveness.

2. Korean Medium-Sized Space Telescope (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Space Telescope, Multi-Messenger Facilities): A 1 m to 1.5 m class general-purpose space telescope with very high technological readiness. By performing wide-field imaging and spectroscopic observations in both optical and infrared, it is expected to deliver breakthrough results in cosmology, galaxy evolution, exoplanets, multi-messenger astronomy, and time-domain astronomy. It will meet the scientific demands of many Korean

astronomers and significantly enhance the observational capability of the community. To achieve this goal, small-scale involvement in large international space telescope projects will be helpful for technology and manpower development.

3. Next-Generation Gravitational-Wave Observatory (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Multi-Messenger Facilities): A world-leading gravitational-wave observatory (e.g., Einstein Telescope, Cosmic Explorer, LISA) that will greatly expand the horizons of gravitational-wave and multi-messenger research, enabling major discoveries in astronomy and physics, and advancing cutting-edge technologies. Given the accumulated expertise of domestic researchers through LIGO and KAGRA participation, high utilization and strong impacts are expected.

4. Data and Computational Facilities (Extragalactic Astronomy/Cosmology, Our Galaxy, Solar System, Data & Computation Facilities): This is an urgent facility needed, considering ongoing activities of large-scale survey projects like SKA and LSST in which Korea participates already underway as well as other Korean-led projects. Computational facilities are crucial across many research areas, creating synergy with observational data. Data facilities complement them and are essential for new AI-driven analysis methods in the coming decade.

5. L4 Mission (Heliospheric Science):

This is a mission to (1) conduct strategic scientific missions through Solar observations; (2) develop scientific payloads for Solar observation data; (3) design orbits and developing Korean satellites for Solar exploration; (4) establish integrated management systems for space observation data, and (5) build a foundation for next-generation space science in the exploration era and advancing Korea into a leading country in international space collaboration.

B. Facilities Currently Being Utilized or Under Construction With Korean Involvement

1. Giant Magellan Telescope (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Solar System, Ground-Based Optical/IR Facilities): An indispensable giant ground-based facility to secure Korea's future competitiveness in observational astronomy. Stable funding for construction and operations must be ensured.

2. Square Kilometre Array, SKA (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Ground-Based Radio Facilities): An international project under construction. As a highly sensitive, fast survey interferometer, it is expected to deliver important scientific and technological results across many research areas. Korea joined SKA in 2025. We recommend strengthening research competitiveness for domestic-led science and technology development.

■ P2 (Very High Priority)

Selection Criteria: Facilities of scientific and technological importance comparable to P1, but with somewhat more limited impact or utilization, or requiring a longer-term perspective.

A. Future Facilities

1. All-Sky Survey Observation System (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Solar System, Ground-Based Optical Facilities, Multi-Messenger Facilities): This is a project to modernize Korean-owned observatories to train technical staff and accumulate expertise while performing essential research such as time domain astronomy that includes studying energetic transients such as gravitational-wave sources, monitoring variable objects, near-Earth objects, and satellites with a network of small or

moderately sized telescopes. This includes multi-messenger facilities such as 7DT, and this system is expected to play an independent and competitive role in the era of multi-messenger astronomy.

2. ngVLA (Extragalactic/Cosmology, Our Galaxy, Ground-Based Radio Facilities): A high-sensitivity interferometer covering the intermediate band between ALMA and SKA, currently in early planning under U.S. leadership. Construction depends on U.S. circumstances. Domestic groups are active in related science, and synergy is possible with KVN. Korean involvement is highly desired and related activities need to be supported.

3. Small-Scale Space Telescope Missions (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Space Telescope): Small space telescope missions for specific high-return science goals. These missions are also aimed for technology development. Several missions have been proposed (Ices Explorer, S-KMTNet, S-Drift, Capella, etc.), and a careful selection of the mission is needed with an open call for proposals and feasibility studies.

4. Lunar Gravitational-Wave Antenna (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Multi-Messenger Facilities): Development of new gravitational-wave detection technology for eventual deployment on the Moon (LGWA). It will open a new observational frequency band and is expected to deliver major scientific contributions. Desired operation at mid-2030s.

5. Aurora-THErmosphere-ioNosphere for spAce weather, ATHENA (Heliospheric Science): A magnetosphere mission aimed at improving current inaccurate and low-resolution space weather predictions, providing wide-field auroral imaging and information on upper atmospheric changes. Building on advanced optical technologies developed in the ROKITS mission, ATHENA is considered timely and feasible for near-future implementation.

B. Facilities Currently Being Utilized or Under Construction with Korean Involvement

1. International Gemini Observatory (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Solar System, Ground-Based Optical Facilities): A critical large ground-based observatory for competitive research in Korea for science, instrument development, and manpower education & training. Long-term stable participation is essential to train researchers and secure expertise in all areas of astronomy.

2. Korean VLBI Network (KVN) and ngEHT (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Ground-Based Radio Facilities): KVN, developed domestically, has significant technical impact and educational benefits. Its multi-frequency receiving system is innovative and is being adopted abroad. With proper upgrades, KVN can make major contributions to ngEHT.

3. Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, ALMA (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Ground-Based Radio Facilities): A world-leading interferometer with many influential science results. Korea has a broad user base and has contributed to ALMA spectrograph development. Stronger domestic leadership in large projects such as this can yield major achievements in the next decade.

■ P3 (High Priority)

Selection Criteria: Scientifically and technologically important facilities with potential to become P1-level in the long term, or facilities of very high scientific importance but with relatively weaker technological or community impact.

A. Future Facilities

1. Antarctic Observatory (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Ground-Based Optical & Radio Facilities): Plans to establish optical and radio systems in Antarctica, linking them with existing telescope networks. Optical observations will benefit from stable seeing, while also serving as testbeds for space technology requiring robust durability under extreme conditions. Radio facilities include a 6 m THz telescope to exploit Antarctica's unique atmospheric conditions. Should be pursued in connection with Korea's Antarctic development plans.

2. 3m-class or Larger Space Telescope (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Milky Way, Solar System, Space Telescope): A bold project targeting exoplanet and cosmology research. Requires a long-term perspective, with a possibility for international collaboration.

3. Mid-scale Heliosphere Missions (Heliospheric Science): Long-term heliospheric missions of scientific value, such as MagPIE (Magnetosphere cold plasma source and circulation study), GAC (simultaneous high-resolution aurora and upper-atmosphere observations), and EAE (multi-planet auroral studies). Mission selection requires careful review.

B. Facilities Currently Being Utilized or Under Construction with Korean Involvement

1. Vera Rubin Observatory and Legacy Survey of Space and Time, LSST (Extragalactic Astronomy and Cosmology, Our Galaxy, Solar System, Ground-Based Optical Facilities): A large-scale survey project providing highly competitive research data of the southern hemisphere for 10+ years for research all across astronomy. Stable participation through in-kind contribution programs and timely delivery of results are crucial. High synergy with GMT,

Gemini, and Large Spectroscopic Survey Telescope.

■ O (Other Important Facilities and Activities)

Selection Criteria: Facilities or activities not in P1-P3, such as instrument development, research support, or facilities not primarily for astronomy, but recognized as comparably important. P1-P3 criteria are applied accordingly.

1. Astronomical Instrument Development [P2] (All Working Groups): Essential instrument development and maintenance for large facilities fall here. Though difficult to rank against other projects, high-quality instruments are indispensable for successful ground-based and space borne facility projects. Investment in training personnel specialized in instrument development, operation, and maintenance is critical.

2. Support for Creative, Exploratory Projects [P2] (All Working Groups): Enables PI-level projects at universities and institutes with relatively small budgets but strong competitiveness. 7DT is a prime example. Though not comparable in scale to large projects, small-scale creative projects should be actively encouraged.

3. Rollable Mirror Telescope [P3] (Space Telescope): A novel concept using rollable mirror technology to build 10m-class space telescopes at reduced cost, if successful. Recommended first to test on the ground or with a small space mission (RMT-Pathfinder).

4. Multipurpose Deep-Space Antenna [P3] (Ground-Based Radio Facilities): A 40m-class antenna (2-100 GHz) primarily for deep-space probe tracking and communication, but also usable for astronomy when idle. Can function as a single-dish or VLBI station. Korean astronomical community should lead or actively participate in its design and construction for its use for astronomy.

5. Korean Neutrino Telescope [P3] (Multi-Messenger Facilities): A physics-oriented facility with strong potential for astronomical applications, laying the foundation for domestic neutrino astronomy. It would contribute significantly to neutrino research, though participation will be collaborative rather than globally leading. Researcher base remains limited in both astronomy and physics.

6. Strengthening University-Institute Collaborative Activities [P2]: While the construction and operation of large observational facilities are centered around nationally supported research institutes, a significant portion of the user community in Korea is based in universities. Given this research ecosystem, it is essential to establish a close collaboration framework between universities and institutes. It is recommended to move beyond small-scale university-institute projects and build a new form of large-scale collaboration system that can more efficiently enable impactful scientific research and instrument development.

Time Scale	Category	Name	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36~	'40~	
Sustain	International Collaboration	8m-class optical telescope	Operation										TBD		
		Rubin/LSST	Operation										Archive Usage		
		ALMA	Operation & Upgrade										TBD		
		1.6m GST	Operation & Upgrade										TBD		
		SPHEREx	Operation	Extended mission & Archive Usage					Archive Usage						
	Korea-led	KMTNet	Operation & Upgrade										TBD		
		KVN	Operation & Upgrade										TBD		
Near Future	International Collaboration	GMT	Construction										Operation		
		SKA	Construction	Extended Construction and Operation											
		Next gen. GW Observatory	Construction										Operation		
Future	International Collaboration	ngVLA	Expected Commissioning Time : 2030 – 2040												
		ATEHNA													
	Korea-led	All-sky Tel. Network													
		Space Telescope													
		Large Spectroscopic Survey Tel.													
		Superconducting Tensor GW detector													
		Korea Neutrino Obs.													
		MMA Network													
		L4 Solar Mission													
		Solar and Solar system missions													
Continuing Investment	Korea-led	Data Storage / HPC Facility	Construction & Utilization / Continued Expansion												
		Instrumentation	Continued Development and Utilization												
		Creative observation projects	Continued Supports and Investment												

<Research Facilities in Korean Astronomy for Future Challenges>

1. 천문학의 중요성과 현대 천문학 - Why Astronomy?

천문학은 우주와 우주 천체들의 원리를 이해하여 우주에 관한 인간의 근원적 호기심을 채워주는 자연과학 학문이다. 과거 천문학은 과학의 발전을 이끌어 왔다고 해도 과언이 아니다. 우주가 제공하는 극단적인 환경은 지구에서 도출된 과학적 지식을 검증하기에 안성맞춤이다. 행성운동에 대한 이해로부터 새로운 중력 및 운동법칙이 도출되었고 그것을 밑거름으로 한 과학 발전이 산업혁명으로 이어졌다, 20세기 초반에는 수성의 근일점 변화를 이해하기 위한 과정에서 일반 상대성이론이 만들어졌으며 오늘날 상대성이론의 지식은 GPS 등 현대 기술의 이해에 필수적이다. 이렇게 천문학은 과학과 인류 발전을 위한 첨병 역할을 해왔다.

현대에 와서 천문학은 순수학문으로서 과학을 발전시키는 데에 머물러 있지 않다. 현대 천문학은 극한의 우주를 이해하기 위하여 극미광 탐지 기술, 우주 위성 기술, 고에너지 및 전파 관측 기술, 중력과 탐지 기술 등 최첨단 기술을 활용하는 첨단 과학이다. 또한 천문관측에서 얻은 막대한 자료의 분석과 우주에 대한 수치 모의실험 계산을 위해 빅데이터 분석 기술, 인공지능, 고성능 계산시설 등 최신 컴퓨터 기술이 적극적으로 활용되고 있는 학문 분야이기도 하다. 그 외에도 현대 천문학은 우주 안에서 지구의 환경을 이해하게 하여 우주 기상 정보와 지구 충돌 위험 천체 감지 등 인류 생활에 필요한 정보는 물론 우주개발과 같은 국가 전략적 분야에 핵심적 지식을 제공하는 역할을 하고 있다.

이처럼 다양한 분야에 활용되고 있는 현대 천문학은 최첨단의 기술 인력을 양성하는 역할도 하고 있다. 실제 세계적으로 흥미로운 최신 연구 성과가 발표되는 것 외에도 천문학 전공자들이 첨단 기업에 취업하는 사례가 늘고 있고 광학, 기계, 전자, 제어, 컴퓨터, 인공지능 등 다양한 분야의 전문 인력들이 천문학 프로젝트에 참여하는 사례가 급증하면서 천문학에 관한 관심이 높아지는 추세이다.

우리나라도 2024년 우주항공청의 출범을 계기로 우주개발과 탐사를 위한 본격적인 행보에 나섰다. 우주항공청의 출범과 함께 우주의 이해와 최

첨단 산업 발전에 기여하는 현대 천문학의 중요성에 대한 인식이 우리나라에서 그 어느 때보다 높아졌다고 할 수 있다.

2. 최근 천문학의 추세

지난 10여 년 동안 천문학의 발전은 눈부시다. 이는 최근 노벨상을 받은 천문학 연구 성과가 급증하고 있다는 사실만 봐도 쉽게 알 수 있다. 2010년대부터 노벨상이 수여된 연구 성과는 2011년 초신성 관측으로부터 우주의 가속 팽창 입증, 2015년 태양 관측으로 얻어낸 중성미자 진동 발견, 2017년 블랙홀 합병으로 발생한 우주 중력과 최초 검출, 2019년 외계행성 발견과 우주론 이론 연구, 2020년 우리은하 중심부 거대질량 블랙홀의 발견 등 매우 다양하다.

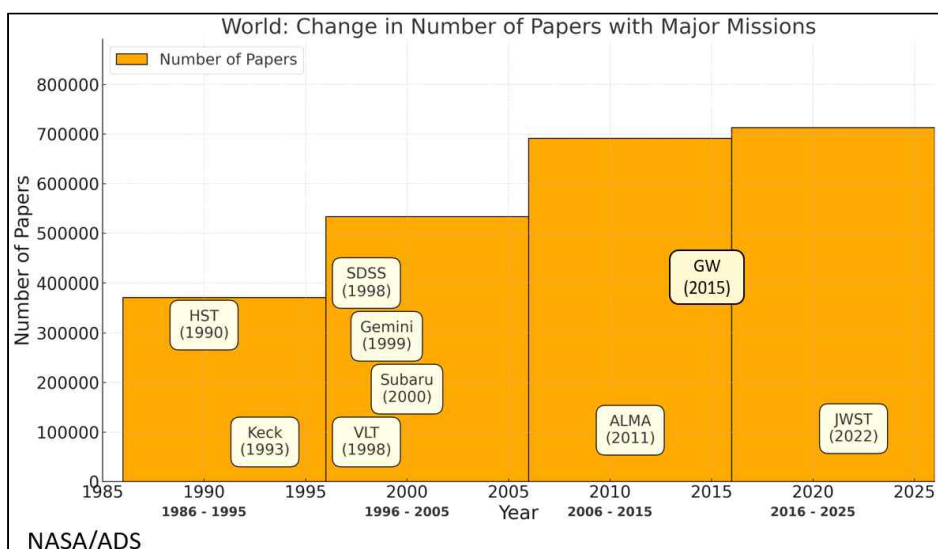


그림 1. 전 세계 천문학 연구 논문 수를 10년 단위로 나타낸 그림. 여러 대형 관측시설이 가동된 시기도 함께 나타냈다. 1995년을 전후하여 여러 대형 관측 시설이 나타나면서 출판된 논문 수가 급격히 늘어나는 것을 알 수 있지만 2015년 전후로 대형 시설의 등장이 뜸해지면서 출판 논문 수가 정체 기미에 있는 것을 알 수 있다. [NASA/ADS 통계 활용]

이러한 성과를 거둔 데에는 대형 관측시설이나 창의적 프로젝트가 큰 역할을 해왔다. 8-10m급 구경의 대형 광학망원경, 허블 우주망원경을 비롯한 NASA, ESA, JAXA의 우주망원경 미션, 중력과 중성미자를 검출할 수 있는 다중신호 관측시설, 외계행성 발견을 위한 고해상도 분광 관측기술 및 외계행성 탐사 특화 망원경 프로젝트 등이 위와 같은 혁혁한 발견

을 뒷받침하는 시설들이다. 이러한 경향은 대형 연구시설들이 등장한 연도와 전 세계 천문학 논문 수를 10년 간격으로 나타낸 것을 보여주는 그림 1에서 잘 볼 수 있다. 허블 우주망원경과 10m급 지상 광학망원경이 우후죽순처럼 나타난 1995년 전후를 기점으로 천문학 논문 수는 급격히 늘어난 데 비해 대형 시설의 등장이 뜸해진 2005 - 2015년부터는 논문 출판수가 정체되어 가는 것을 알 수 있다.

그렇지만, 전망은 나쁘지 않다. 최근 들어서도 우주에 관한 새롭고 놀라운 사실들이 속속 발견되고 있는데 이러한 발견을 뒷받침하는 것은 2010년대부터 가동을 시작한 대형 관측시설들이다. 2021년에 발사된 제임스웹 우주망원경은 그동안 이론적으로 예상하지 못한 다양한 천체들이 우주 초창기에 있음을 새롭게 발견하였는데 이는 그동안 널리 퍼져있던 우주 빛은하 형성 모델에 대한 커다란 도전이 되고 있다(그림 2). 2009년에 발사된 케플러(Kepler), 2018년에 발사된 테스(TESS) 미션 등은 우리가 알고 있는 외계행성의 수를 수천 개 수준으로 획기적으로 늘리며 지구와 같은 외계행성의 존재를 탐색하는 기틀을 잡아가고 있다(그림 3). 외계행성을 거느린 항성들에 대한 분광 관측으로부터 외계행성의 대기 특성 연구도 크게 진전하고 있다.

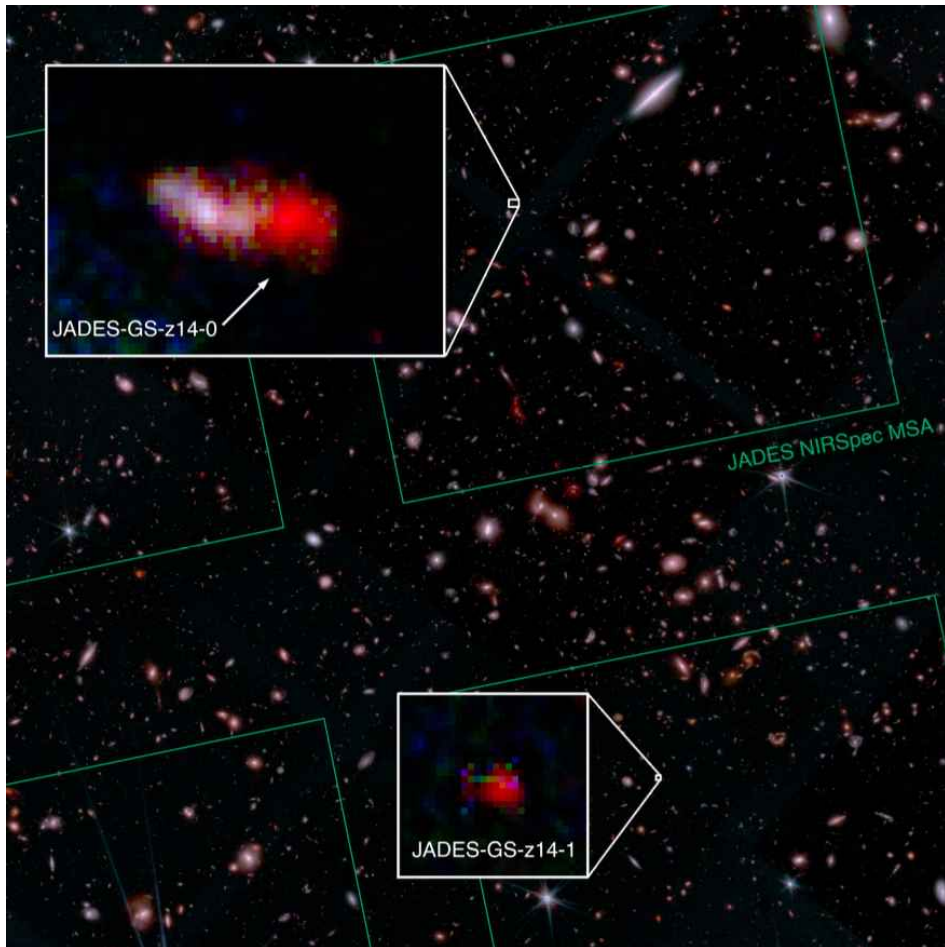


그림 2 지금까지 발견된 은하 중 가장 먼 곳에 있는 JADES-GS-z14-1 은하. 우주의 나이가 3억 살, 즉 현재 나이의 약 2%에 불과할 때의 은하 모습이며, 이를 통해 우주 천체들의 형성이 어떻게 시작되었으며 우리가 아는 물리법칙에 기초한 우주 모형이 과연 이런 현상을 설명할 수 있는지 알아낼 수 있다. [그림 출처: JWST/ESA/NASA/JADES Collaboration]

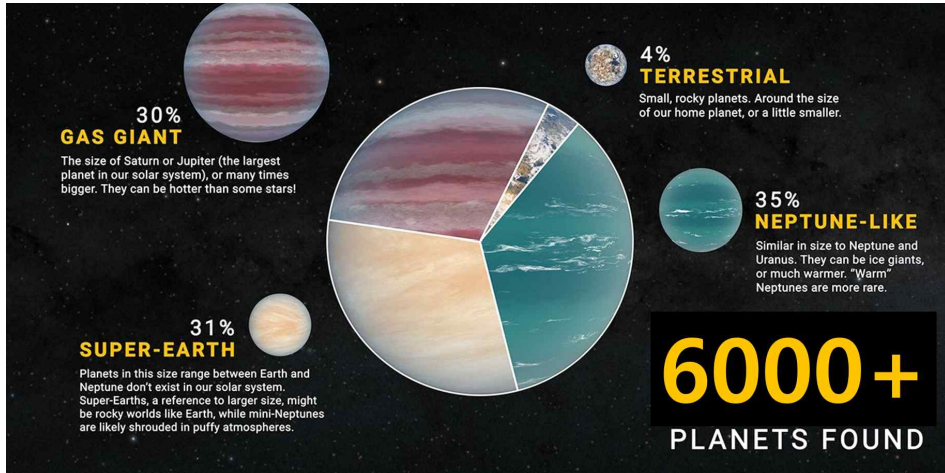


그림 3 현재까지 발견된 6000여 개의 외계행성들을 분류한 사진. 목성과 같은 거대한 가스형 행성(Gas Giant)이 30%, 해왕성과 같은 얼음을 포함한 중규모 가스형 행성(Neptune-like)가 35%, 지구보다 2, 3배 더 크면서 암석이 주성분일 수 있는 슈퍼지구(Super-Earth)가 31%, 그리고 지구와 같은 암석형 행성(Terrestrial)이 4%를 차지한다. 관측기술의 발달로 지구형 행성이 더 많이 발견될 것이며 이들의 대기 특성으로부터 외계 생명체 존재 여부를 가리는 날도 멀지 않았다. [그림 출처: NASA. 편집위원회가 일부 수치를 최근값으로 업데이트]

블랙홀 연구에도 많은 진전이 있었다. 대형 광학망원경과 적응광학계를 이용한 고해상도 관측은 우리은하 중심부에 커다란 블랙홀이 있다는 사실을 밝혀냈다(그림 4). 지구 각지에 흩어진 전파망원경을 연계하여 구축한 밀리미터파 전파간섭계 망원경인 사건지평선 망원경은 외부은하와 우리은하 중심부에 있는 거대질량 블랙홀 그림자의 촬영에 성공함으로써 일반 상대성이론을 검증할 수 있었다. 2013년 말 발사된 ESA의 가이아(Gaia) 미션은 우리은하 별들의 3차원 분포 지도를 밝혀내면서 항성천문학과 은하 구조 연구 등 우리은하 연구에도 많은 발전이 예상된다(그림 5).

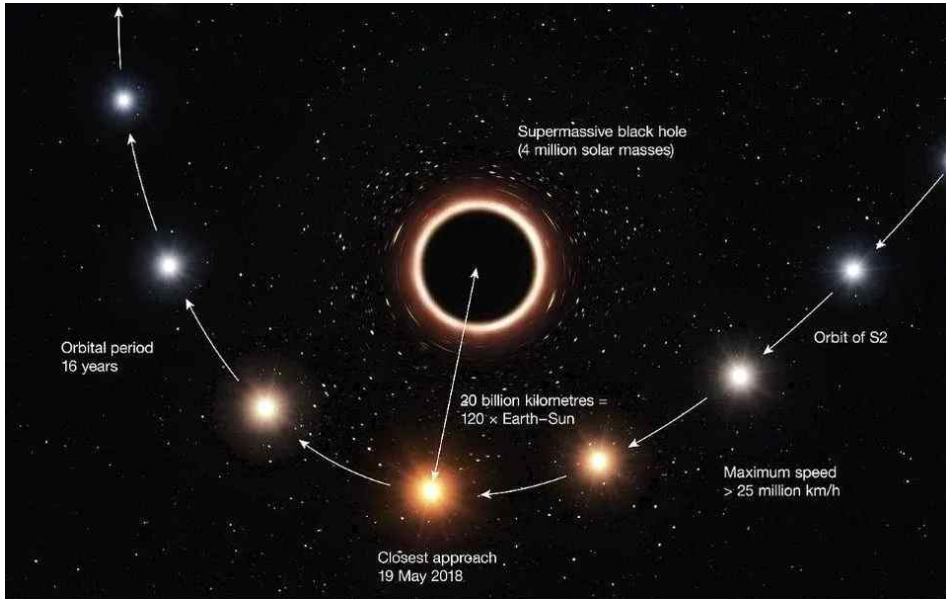


그림 4 우리은하 중심부 거대질량 블랙홀(가운데) 주위의 별이 시시각각 움직이는 모습을 묘사한 일러스트레이션. 이러한 별의 움직임을 초정밀 관측함으로써 우리은하에 태양 질량보다 400만배 무거운 거대질량 블랙홀이 있음을 밝혀낼 수 있었다. [그림 출처: ESO/M. Kornmesser]

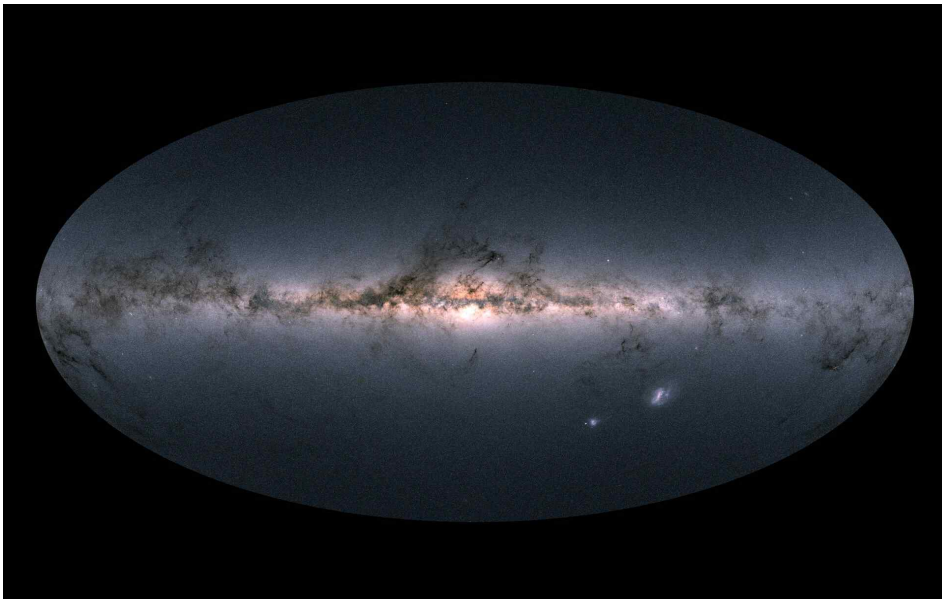


그림 5 유럽우주기구(European Space Agency, ESA)의 가이아 미션이 제공한 우리은하의 정밀 지도. 우리은하 형성 과정 등을 새로이 밝혀주고 있다. [그림 출처: ESA]

한편, 2015년 최초의 중력과 검출을 계기로 천문학에서 우주를 보는 창은 기존의 전자기파에서 중력파나 중성미자와 같은 새로운 매개체로 확장되었다. 중력파는 중력의 급격한 변화가 파동 형태로 시공간에 퍼져가는 것으로, 빛으로 볼 수 없는 블랙홀과 같은 고응집 천체의 병합 모습, 우주 초기의 모습, 별이 폭발할 때 내부에서 일어나는 중력 변화 등을 관측할 수 있게 한다. 유령입자라고 불리는 중성미자 역시 그 이름에 걸맞게 다른 물질과 상호작용을 거의 하지 않아, 폭발하는 초신성의 내부에서 일어나는 물리 현상과 같이 빛으로 볼 수 없는 현상을 볼 수 있게 한다. 2015년 가동을 시작한 향상된 라이고(Advanced LIGO) 중력파 천문대는 태양보다 수십 배 무거운 블랙홀들의 합병 사건을 우주 곳곳에서 발견하면서 중력파 천문학의 문을 열었다(그림 6). 라이고와 비르고(Virgo)가 2017년 8월 발견한 중력파 사건 GW170817은 두 개의 중성자별이 병합하면서 발생한 중력파 신호로서, 감마선, X-선, 가시광선, 적외선, 전파 등 거의 모든 전자기파 파장대에서 관측이 가능한 물리적 현상을 동반하였다. 이로부터 빛과 빛 이외의 매체를 사용하여 다각적으로 천체 현상을 연구하는 다중신호 천문학이라고 하는 새로운 연구 분야가 태동하였다. 곧이어 2017년 9월에는 고에너지 중성미자 사건 IceCube-170922가 검출되어 고에너지 중성미자와 전자기파에서 동시에 천체 현상을 연구할 수 있게 되면서 다중신호 천문학의 다양화를 촉진하였다.

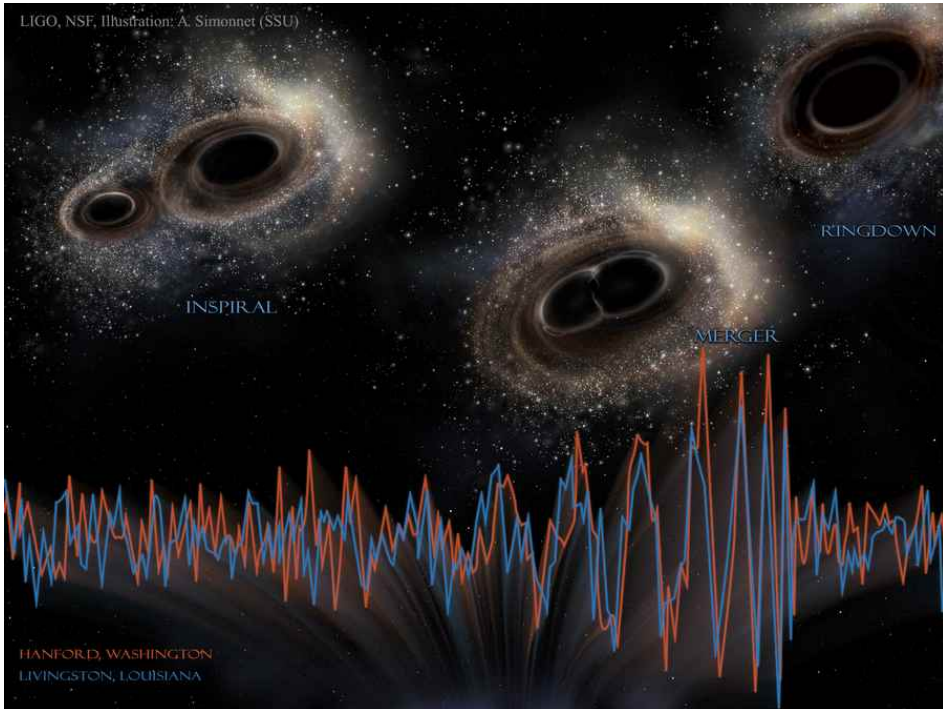


그림 6 인류 최초로 발견한 중력파 사건 GW150914의 모식도. 왼쪽에서 오른쪽으로 두 개의 블랙홀이 병합하는 과정을 보여주고 있으며, 아래 파형은 각 병합 단계에 해당하는 중력파형을 보여준다. 2015년 9월 14일, 이 사건이 발견된 이래 200개가 넘는 중력파 사건이 포착되었으며, 2030년대에는 중력파 사건 발견 숫자가 연간 수만 개 이상으로 늘어날 것으로 예상된다. [그림 출처: LIGO/Virgo/KAGRA/Aurore Simonnet (Sonoma State University)]

요약하자면, 2020년대 세계 천문학계의 주요 대형 연구 프로젝트에서 거의 공통으로 추구하는 핵심 연구 주제는 크게 두 가지로 축약될 수 있다. 그 첫 번째는 우리가 살고 있는 우주의 초기 모습과 역사 및 미래에 대한 의문이며, 두 번째는 우주 생명의 근원에 대한 의문이다. 이 두 가지의 핵심 연구 주제와 이를 추구하기 위한 새로운 연구시설과 장비에 대한 전망에 대해 살펴보기로 한다.

2.1. 우주의 과거, 그리고 미래의 모습은?

현대 천문학에서 우주는 빅뱅으로 시작하여 급격히 팽창한 후 감속이 거듭되다가 수십억 년 전부터 팽창 속도가 가속되었다는 사실이 알려져 있다. 우주의 팽창을 결정짓는 것은 우주의 구성 성분이다. 현재 우주의 구성 성분 중 약 4%만이 우리가 흔히 아는 보통의 물질이며, 약 24%는 질량이 있지만 아직 그 본질은 수수께끼에 싸인 암흑물질로 구성되어 있다. 그리고 나머지 약 72%는 암흑에너지라고 부르며 이것은 우주를 가속 팽창하게 하는 불가사의의 에너지이다. 이 구성 성분들의 양과 특성에 따라 우주의 과거와 미래의 팽창 과정이 결정되기 때문에 천문학자들은 아직 그 정체를 모르는 암흑에너지와 암흑물질의 특성을 알아내기 위한 노력을 크게 기울이고 있다(그림 7). 앞으로 10년, 그리고 그 이후에도 암흑물질의 정체는 무엇인지, 이 우주에 암흑물질이 어떻게 분포해 있는지, 암흑에너지란 무엇인지, 암흑에너지가 우주에서 차지하는 양은 얼마나 되며 그것은 시간에 따라 어떻게 변하는지에 대한 연구가 세계적으로 활발히 진행될 것이다.

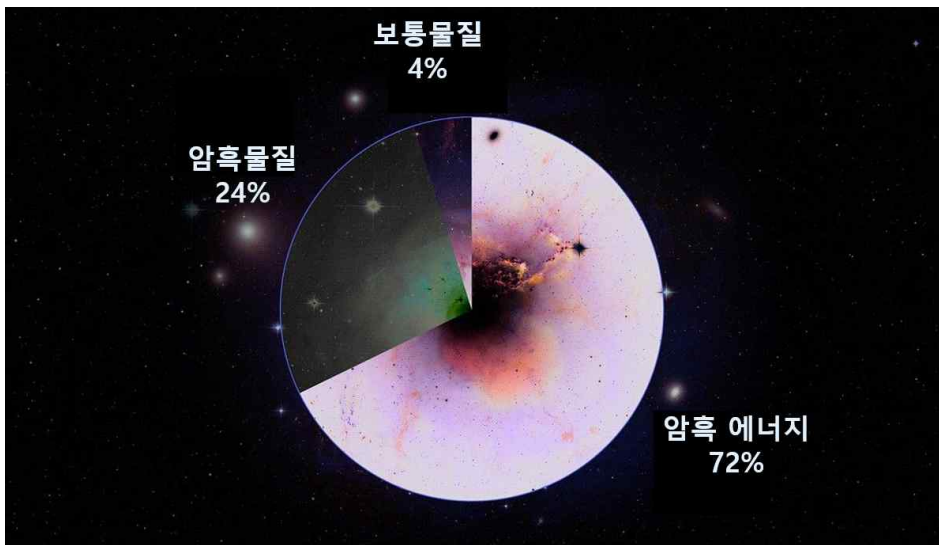


그림 7 우주의 구성 성분 비율을 종류별로 나타낸 그림. 별, 지구, 우리를 이루는 보통 물질 외 우주를 구성하는 나머지 성분의 정체는 아직 오리무중이며 이를 밝히기 위한 노력이 계속되고 있다. [그림 출처: NASA/Goddard Space Flight Center. 편집위원회가 최근 수치로 업데이트]

빛의 속도는 유한하기에 빛이 먼 곳에서 지구까지 도달하려면 그만큼 오랜 시간이 걸린다. 더 먼 우주를 관측한다는 말은 더 옛날의 우주를 관측한다는 말과 같은 의미이다. 따라서 천문학자들이 관측한 먼 우주의 천체들은 과거의 우주 모습을 보여준다. 관측을 통해 알아낸 우주 초창기 은하의 모습과 그들의 공간적인 분포로부터 천문학자들은 은하의 형성 및 진화에 관한 이론적인 모델이 얼마나 실제 우주의 모습을 재현할 수 있는지 검증할 수 있다. 오늘날 고성능 컴퓨터와 컴퓨터 수치 모의실험의 발전에 따라 은하 진화를 재현하는 은하 형성 및 진화 모델은 매우 정교해졌다. 은하 하나하나의 내부에서 일어나는 항성 진화와 이에 영향을 주는 초신성, 블랙홀과 같은 은하 내부의 에너지 방출, 그리고 은하의 진화에 영향을 줄 수 있는 이웃 은하와 우주 거대구조와 같은 외부 요인까지 이론적으로 다룰 수 있게 되었다. 이론적인 모델이 정교해짐에 따라 은하단을 구성하는 은하 하나하나를 공간적으로 분해하여 그 특성을 살펴보는 관측연구 역시 은하 진화를 이해하는 측면에서 더욱 정밀해지고 그 중요성이 강조되고 있다. 은하단을 구성하는 개별 은하와, 은하를 구성하는 천체뿐 아니라 은하 중심부에 존재하는 거대 블랙홀에 대한 직접 촬영 기술을 통해 은하 중심부에서 일어나고 있는 물리 현상에 대한 이해를 높이려는 노력 역시 꾸준히 이어질 것이다.

최첨단 관측 기기를 이용하여 얻은 관측 결과와 정교한 이론적 모델을 결합함으로써 현대 천문학은 우주 팽창의 기원과 과정, 그리고 미래의 모습에 관해 연구하고 우주를 구성하는 은하와 은하를 구성하는 별과 성간물질 등 구성 물질이 어떻게 형성되고 진화해 가는지를 이해하기 위해 도전을 이어갈 것이다(그림 8).

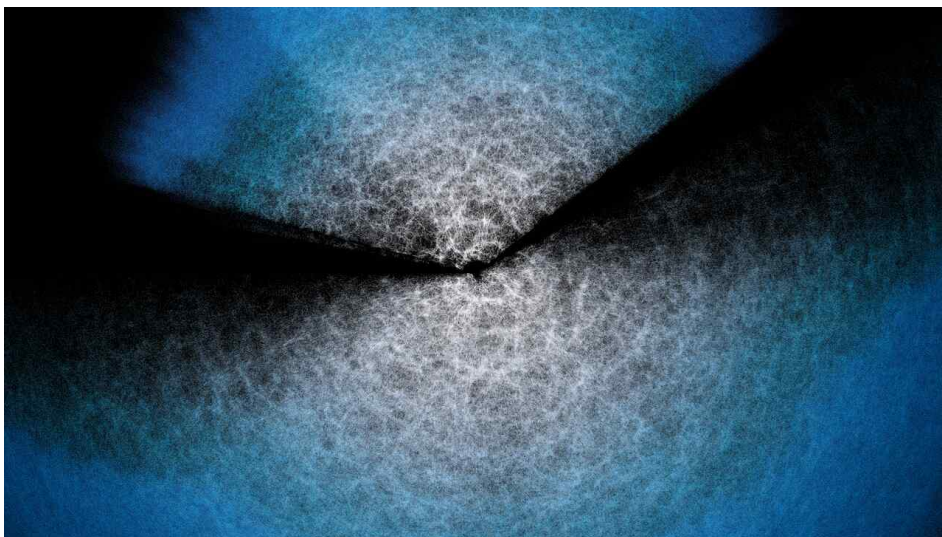


그림 8 암흑에너지분광장비(DESI) 프로젝트가 관측한 우주 속 은하의 3차원 정밀 지도. 작은 점 하나하나가 은하의 위치를 보여준다. 이러한 대규모 은하 지도를 분석한 결과, 우주의 가속 팽창을 이끄는 암흑에너지가 점차 약해지고 있어 우주가 다시 수축할지도 모른다는 가능성이 제시되고 있다. 앞으로도 관측 우주론과 은하 진화 연구를 통해 우주의 팽창 역사를 제대로 이해하고자 하는 노력이 계속될 것이다. [그림 출처: DESI/NOIRLab]

2.2. 우리는 어디서 왔는가? 우주에는 또 다른 생명체가 있을까?

지구와 지구상 생명체를 이루는 원소 중 수소와 헬륨을 제외한 대부분은 별이나 다른 천체 현상을 통해 만들어졌다. 우주에서 처음으로 수소와 헬륨보다 무거운 원소를 만들어 낸 것은 우주 최초의 별일 것이다. 현대 천문학의 핵심 주제 중 하나는 바로 우주 최초의 별이 언제 어떻게 만들어졌는지를 연구하는 것이다. 초기 우주의 별에는 수소와 헬륨보다 무거운 원소가 희박하지만, 시간이 지남에 따라 별을 구성하는 무거운 원소는 증가한다. 우주 초기에 만들어진, 중원소의 양이 적은 별을 우리 은하계 안에서 찾고 이 별들의 기원을 연구하는 것 역시 중요한 연구 주제 중 하나이다. 별의 내부에서 핵융합으로 만들어지는 원소 중 가장 무거운 것은 철이다. 철보다 무거운 금과 은 같은 원소들은 수명이 다한 별이 폭발하는 초신성이나 킬로노바 같은 우주의 폭발 현상을 통해 만들어진 것으로 알려져 있다. 새로운 탐사 관측시설이 속속 만들어지면서 이러한 폭발 현

상과 같은 돌발천체 및 변광천체 연구가 비약적으로 발전하고 있다.

최초의 별의 형성과 우주를 구성하는 많은 원소의 생성 기원을 밝히는 것만큼이나 중요한 것은 별의 주위에 존재하는 외계행성과 외계행성의 대기 구성 물질이다. 2025년 현재 5,800여 개의 외계행성이 발견되었고 이들의 특성, 특히 대기의 구성 성분을 이해하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. 외계행성의 대기 구성 성분 연구로부터 생명체가 존재할 수 있는 환경인지를 알아낼 수 있기 때문이다. 외계행성 연구는 인류의 궁극적인 호기심인 ‘우주에는 우리만 있을까’라는 질문에 해답을 줄 수 있을 것이다. 외계행성의 대기 연구 외에도 우리 태양계의 태양과 태양계 천체에 관한 연구를 통해 우주에서 행성을 거느리는 항성의 특징과 모항성이 외계행성에 미치는 영향을 알아낼 수 있다. 다른 행성을 이해함으로써 궁극적으로 지구의 미래에 대한 예측도 가능할 수 있을 것이다(그림 9).

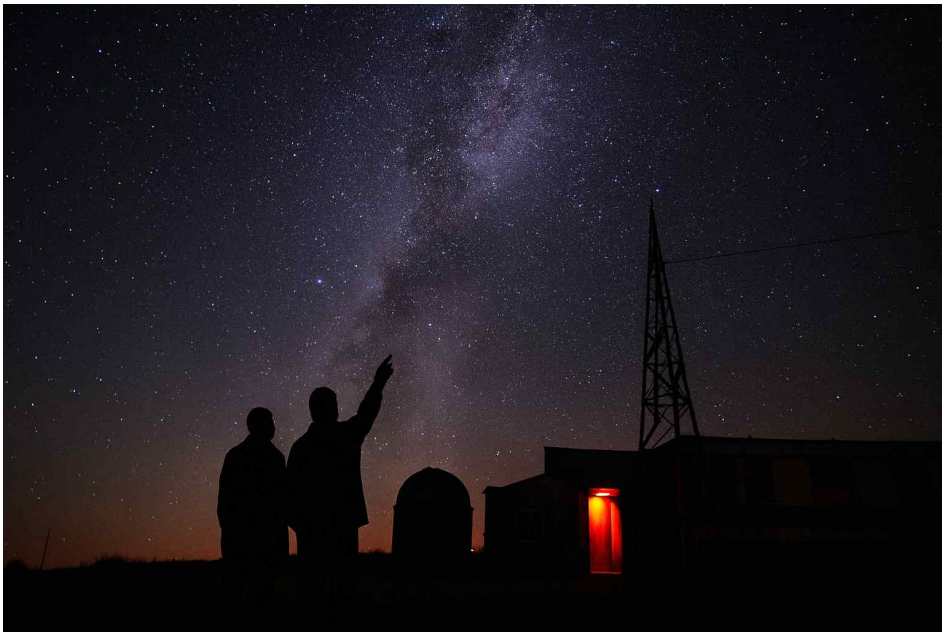


그림 9 우주에 우리 말고도 생명체가 있는지, 그리고 우주적 관점에서 지구 생명체의 궁극적인 기원은 무엇인지와 같은 근원적인 질문에 해답을 구하려는 노력이 세계적으로 이루어지고 있다. [그림 출처: 김도형(부산대학교)/우즈베키스탄 마이다낙 천문대의 밤하늘]

2.3. 현대 천문학의 핵심 주제 연구를 위한 새로운 연구시설들

서두에서 밝혔듯이 앞으로 10년간 새로운 관측시설이 가동되면서 인류의 우주에 대한 인식은 획기적으로 확장될 것이다. 현재 최대 구경 광학망원경은 모두 10m 안팎의 구경을 갖춘 망원경이지만, 2030년 전후로 구경 30m급의 거대 광학망원경이 가동될 것이다. 이러한 거대 망원경은 영상 해상도를 획기적으로 높여주는 적응광학계를 갖추고 있어서, 기존 10m급 망원경의 3배, JWST의 5배에 이르는 공간 해상도를 얻을 수 있게 하는 등 각종 천체에 대한 정밀 관측 능력이 획기적으로 높아질 것이다(그림 10). 8.4m 구경 광시야 탐사 전용 망원경을 갖춘 베라 루빈 천문대가 2025년 본격적인 가동을 앞두고 있는데, 베라 루빈 천문대가 수행할 LSST(Legacy Survey of Space and Time) 탐사 관측은 돌발천체를 비롯한 시간영역 천문학과 은하와 항성, 태양계 천체 연구에 새로운 장을 열어줄 것이다. 또한 넓은 시야에 들어오는 여러 천체의 스펙트럼을 동시에 획득할 수 있는 대형 다천체 분광 관측 망원경을 건설하기 위한 계획도 진행되고 있다. 서브밀리미터(submm) 및 전파망원경의 경우, 기존 ALMA와 초장기 간섭계 기기들의 업그레이드는 물론 저주파 주파수 영역에서 독보적인 성능을 갖춘 SKA(Square Kilometre Array)의 가동이 예정되어 있어 초기 우주 연구에 획기적인 발전이 있을 것이다. JWST, 유클리드, 스피어엑스 우주망원경을 비롯한 기존 우주망원경은 물론 미국 NASA가 제작하고 있는 2.4m 구경의 광시야 탐사용 로만 우주망원경, 2m 구경을 갖춘 중국의 순천 우주망원경(China Space Station Survey Telescope, CSST) 등 각종 우주망원경과 달, 소행성, 화성 등 태양계 탐사 미션이 지속적으로 준비되고 있다. 2030년대에는 차세대 중력과 천문대들도 계획되고 있어서 중력파를 이용한 우주 관측에서 큰 진전이 예상된다.

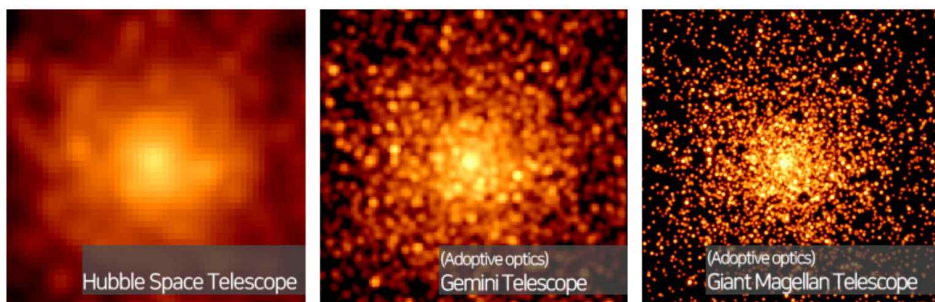


그림 10 거대 광학망원경과 적응광학계를 이용하면 천체에 대한 초정밀 관측이 가능해진다. 왼쪽 그림은 허블 우주망원경으로 촬영한 Cen A 주변 구상성단의 모습이다. 이를 제미니 망원경(8.1m 구경) 적응광학계로 관측하면 개개의 별 모양이 뚜렷해지는데(가운데), 미래 시설인 거대마젤란 망원경(25m 구경)으로 관측할 경우 3배 더 정밀하게 이 구상성단 별을 볼 수 있다. [그림 출처: GMTO]

3. 최근 한국 천문학의 발전상

우리나라의 천문학에 대한 오랜 인식 중 하나는, 연구 역량과 잠재력은 세계 수준에 손색이 없음에도 불구하고 거기에 걸맞은 연구 성과를 창출하기에는 연구 장비와 시설이 매우 열악하다는 것이었다. 그러나 지난 10여 년 사이에 많은 변화가 이루어졌다. 구경 8미터 광학망원경을 갖춘 제미니 국제천문대와 세계 최대의 전파망원경 알마(ALMA)의 운영에 참여함으로써 우리 천문학계는 지상 광학천문학과 전파천문학 분야에서 세계 최대의 연구시설을 확보하였다. 이를 통해 한국 천문학계의 연구 범위는 획기적으로 넓어지고 심화되었다. 이전에는 꿈도 꾸기 힘들었던 초기 우주의 퀘이사 발견, 중간질량 블랙홀의 질량 측정, 별탄생 지역의 정밀 탐사, 외계행성 대기의 정밀 측정 등 다양한 연구 성과가 이로써 가능해졌다(그림 11).

국제협력으로 운영하는 이들 연구시설뿐 아니라 자체 운영하는 한국우주전파관측망(KVN, 그림 12)과 외계행성탐색시스템(KMTNet, 그림 13) 등을 활용하여 세계적으로 주목받을 만한 연구 성과를 달성하기도 하였다. 특히 KVN은 사건지평선 망원경(EHT) 프로젝트에 참여하여 세계 최초로 블랙홀의 그림자를 촬영한 연구의 관측 결과를 해석하는 데에 필요한 중요한 관측자료를 제공하였고(그림 14), KMTNet은 미시중력렌즈 현상을 이용한 외계행성 탐색 연구 분야에서 세계를 선도하고 있다(그림 15). 태양과 우주환경 연구 역시 눈부시게 발전하고 있다. 첨단 지상 태양망원경인 1.6m GST(Goode Solar Telescope) 망원경과 국제우주정거장에서 태양의 코로나를 연구하는 CODEX(CORonal Diagnostic EXperiment)를 활용하여 태양 표면 활동 연구 및 지구 근처 우주환경 변화에 대한 실시간 감시와 예보가 활발하게 진행되고 있다.

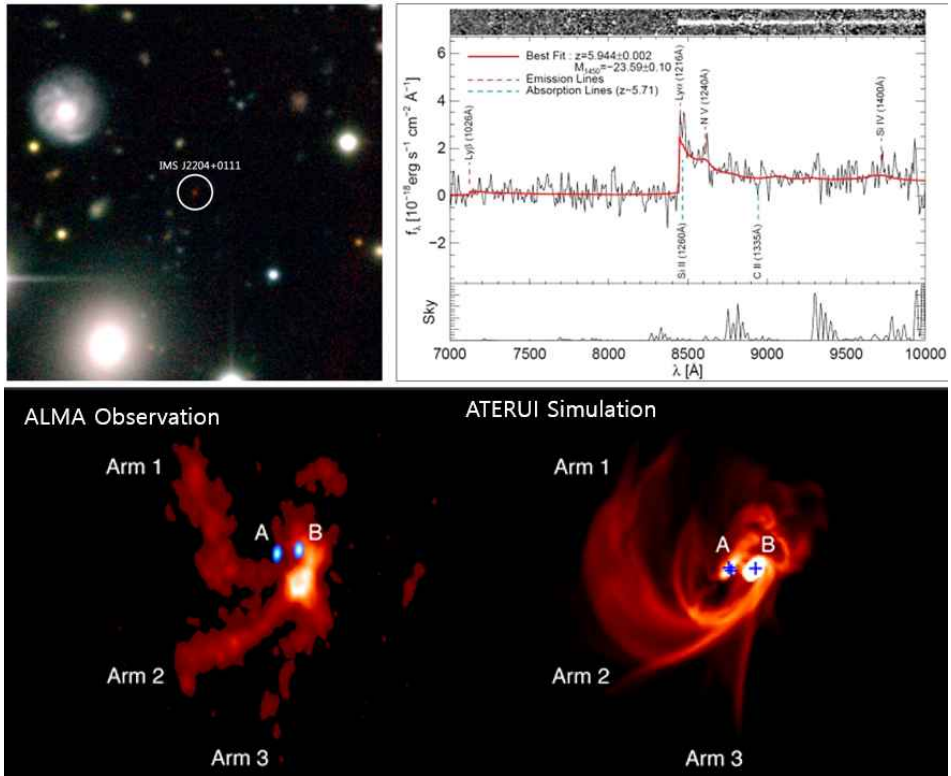


그림 11 (위) 제미니 천문대의 8m 망원경으로 발견한 초기 우주 퀘이사(적색 이동 5.944) IMS J2204+0111의 영상(위 왼쪽) 및 스펙트럼(위 오른쪽). 우리나라가 제미니 천문대를 공동 운영하면서 거둔 첫 번째 성과다. [그림 출처: NOIRLab/Y. Kim et al. 2015, Astrophysical Journal Letters, 814, L35]; (아래) ALMA SO 분자 방출 관측을 통해 밝혀낸 삼중 원시별 IRAS 04239+2436 주변의 기체 분포도(왼쪽) 및 수치 모의실험 결과(오른쪽). 이 연구를 통해 Streamer라는 난류가 포함된 성간 기체 구름 속에서 다중성이 탄생할 수 있음을 알 수 있다. [그림 출처: J. E. Lee, et al. 2023, The Astrophysical Journal, 953, 82]



그림 12 KVN(왼쪽)과 동아시아 VLBI 관측망(오른쪽) 구성 망원경 [그림 출처: KVN/EAVN 홈페이지/한국천문연구원]



그림 13 외계행성탐색시스템(KMTNet) [그림 출처: 한국천문연구원]

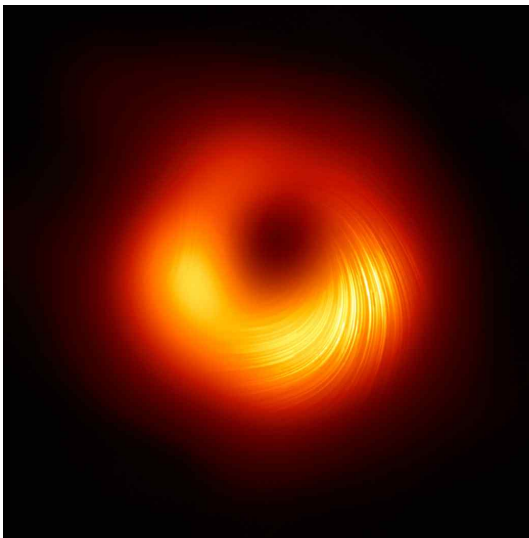


그림 14 M87 은하 중심부에 있는 초대 질량 블랙홀의 모습. 중심의 검은 부분이 사건의 지평선을 포함한 그림자이며, 빛나는 고리는 블랙홀 중력에 의해 휘어진 빛이다. 나선의 선들은 M87 블랙홀 주변 자기장과 연관된 편광 방향이다. KVN은 다파장 동시 관측 시스템을 갖춘 성능 덕분에 이 연구에 핵심적인 역할을 할 수 있었다. [그림 출처: 한국천문연구원 /The EHT MWL Science Working Group 2021, The Astrophysical Journal Letters, 911, L11]

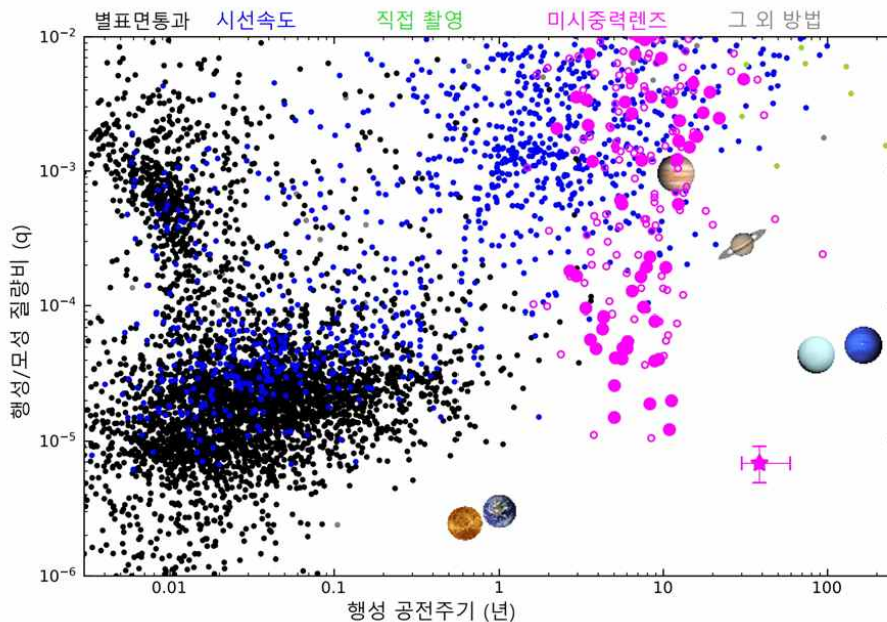


그림 15 2023년 7월 30일까지 발견된 외계행성 약 5000여 개에 대한 행성 공전주기에 따른 행성/모성 질량비(q) 분포. 검은색, 청색, 녹색 점은 각각 별표면 통과(Transit), 시선속도(Radial Velocity), 직접 촬영(Imaging) 방법에 의해 발견된 외계행성을 가리킨다. 자주색 점은 KMTNet이 미시중력렌즈(Microlensing) 방법으로 발견한 외계행성이며, 자주색 빈 원은 KMTNet 이외의 연구팀이 미시중력렌즈 방법으로 발견한 외계행성을 의미한다. 회색점은 그 외 방법으로 발견된 외계행성이다. 그래프 내 자주색 원 속에 표시한 점은 장주기 슈퍼지구 외계행성 'OGLE-2016-BLG-0007Lb'을 나타내며, 이 외계행성을 통해 장주기 외계행성 중 지구형 행성이 많음을 알 수 있었다. [그림 출처: W. Zhang, YK Jung, et al. 2025, Science, 388, 400]

우주망원경 분야에서는 자외선 우주망원경 펄스(FIMS), 적외선 우주망원경 미리스(MIRIS)와 니스(NISS) 개발을 통해 축적된 연구 및 기술 개발 역량이 미국 NASA의 적외선 전천 분광탐사 우주망원경 스피어엑스(SPHEREx) 참여로 이어지고 있다(그림 16).



그림 16 우리나라 우주망원경 개발 역사. 대학 차원에서는 자외선 및 적외선 우주망원경 국제 공동 연구로 과학적 역량을 키워왔으며 한국천문연구원은 소형 우주망원경을 꾸준히 개발하면서 우주망원경 기술을 축적해 왔다. 이것은 NASA와 공동 개발한 스피어엑스(SPHEREx) 우주망원경 과학임무 수행으로 이어지고 있다. 이를 통해 점차 더 큰 규모의 국내 주도 또는 국제협력 우주망원경 미션(예: 원적외선 국제협력 미션 PRIMA, 협력 검토 중) 수행으로 이어질 수 있을 것이다. [그림 출처: 정웅섭(한국천문연구원)]

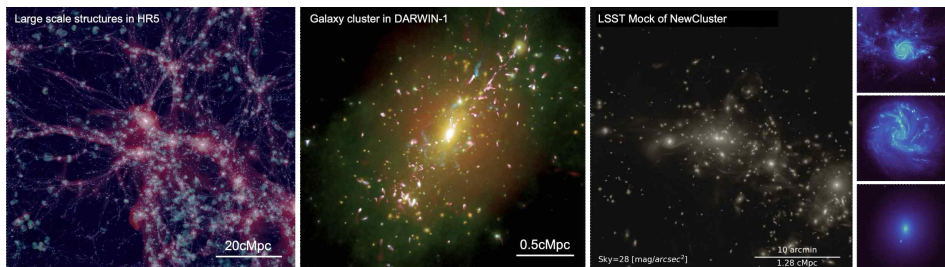


그림 17 국내에서 수행된 우주론적 유체역학 모의실험 Horizon Run 5(왼쪽), DARWIN-1(가운데)와 NewCluster(오른쪽)의 이미지. 세 개의 모의실험은 모두 세계 최고 수준의 대규모 모의실험이다 [그림 출처: J. Lee, et al. 2021, Astrophysical Journal, 908, 11; 한국천문연구원; S. Han, et al. 2025, arXiv:2507.06301]

새롭게 떠오르는 연구 분야로는 고성능 계산시설을 활용한 수치 모의실험과 다중신호 천문학을 들 수 있다. 고성능 수치 모의실험은 초기 우주의 모습과 그 후 진화 과정을 정밀하게 재현하는 수준에 이르렀고(그림 17), 2015년 세계 최초의 중력과 검출을 계기로 출발한 중력과 천문학 분야에는 국내 연구그룹이 초기부터 참여하여 활동하고 있다. 태양계 내의

행성, 위성, 소천체를 연구하는 태양계 천체 연구는 국가 우주탐사 정책과 맞물려 가까운 달과 화성의 직접 탐사 연구가 떠오르고 있고, 태양계 천체에 대한 이해를 확장하여 외계행성과 외계 생명체 연구에 접목하는 방향으로 발전하고 있다.

세계 수준의 연구 성과 창출 외에도 관측 기기를 개발하는 기술 역시 세계 수준으로 발전하였다. 한국천문연구원이 미국 텍사스대학교와 함께 개발한 근적외선 고분산분광기 IGRINS는 세계 최고 수준으로 평가받고 있으며(그림 18), KVN에 부착한 다파장 동시 관측 수신기는 순수 국내 기술로 개발하여 세계적인 유수의 천문대에 수출되기도 하였다. 또한 ALMA 천문대를 위한 GPU 분광기와 수신기를 국내 기술로 개발하여 공급하였다. 한국천문연구원과 서울대학교는 태양망원경 GST를 위한 고속 영상태양분광기를 개발하여 10년 이상 안정적으로 활용하고 있다.



그림 18 한국천문연구원이 개발하여 제미니 8m 광학망원경에 설치한 IGRINS 근적외선 고분산 분광기 [그림 출처: 한국천문연구원]

다만 한국은 현대 천문학 후발 주자인 만큼 아직 천문학 선진국들에 비해 성장할 여지가 많이 남아있다. 그림 19는 우리나라 주요 천문 연구시설이 가동된 시기와 한국 천문학자가 발표한 논문을 10년 단위로 보여주는 그림이다. 앞서 전 세계 천문학 논문 발표 건수가 2015년부터 정체되

는 모양을 보였던 것에 반해서 한국의 천문학 논문 수는 2015년 이후에도 계속 증가세를 보여주고 있는데, 이는 2005년 전후 및 2015년 전후에 천문학 선진국 대비 뒤늦게 대형 연구 인프라를 갖추게 된 것과 시기가 맞아떨어진다. 그림 20은 우리나라 논문 수 증가율을 1986-1995년 기간의 논문 수를 기준으로 나타낸 것이다(1986-1995년 기간 대비 얼마나 더 많은 논문이 발표되었는지를 나타냄). 우리나라는 타 천문학 연구 선진국 대비 논문 수에서 매우 가파른 성장세를 보인다. 1986년-1995년 대비 2015-2020년 논문 수가 약 20배 늘어났으며 이는 급격한 성장세를 보이는 중국을 제외하고는 대부분의 국가에서 같은 기간 논문 수 증가율인 5배를 훨씬 넘어서는 수치이다.

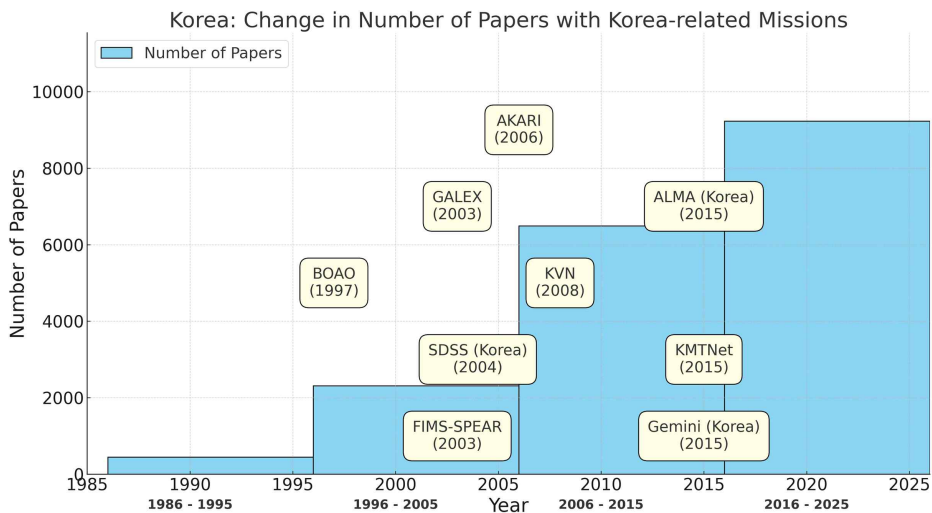


그림 19 한국 천문학 연구 논문 수를 10년 단위로 나타낸 그림. 여러 대형 관측시설이 가동된 시기도 표시하였다. 우리나라 천문학 분야 논문 수는 현재까지 상당한 증가세를 보이며, 이는 우리나라 대형 천문 연구시설의 증가와 궤를 같이한다. NASA/ADS 통계.

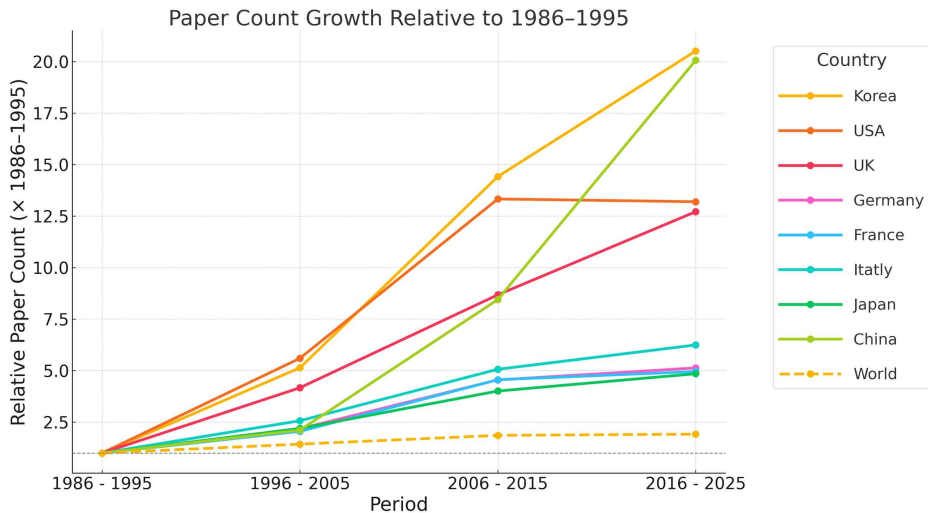


그림 20 10년 단위로 1986-1995년 기간 대비 여러 나라가 발표한 논문 수 증가 비율. 주황색으로 나타난 우리나라는 중국을 제외한 타 국가 대비 가파른 성장세를 보인다. 논문 수 추적에는 NASA/ADS 통계를 활용하였다.

천문학 교육을 통한 학문 후속 세대의 양성은 지난 10여 년 사이에 더욱 활성화되고 심화되었다. 학위과정을 통한 정규 교육 이외에 현재 진행 중인 각종 프로젝트, 즉 K-GMT 여름학교, 계산천문학 여름학교, ALMA 사용자 교육 등 특정 연구 분야 맞춤형의 계절학교를 통한 심화 교육이 이루어지고 있다. 또한 한국 천문올림피아드의 정규 교육 과정 개설과 국제 천문올림피아드 지속 참여를 통한 중고교 학생 교육, 국제천문연맹의 천문교육분과(OAE) 참여, 과학관과 시민천문대 연계 등을 통해 일반 대중과 국제사회에 대한 천문학 확산에도 기여하고 있다. 다만 천문학자 수를 놓고 볼 때, 아직 성장할 수 있는 여지가 충분히 있다고 판단한다. 그림 21은 여러 국가의 GDP 대비 국제천문연맹(International Astronomical Union, IAU)에 등록된 천문학자 수를 비교한 그림이다. 다른 국가들에 비해 우리나라는 아직 GDP 대비 IAU 회원 수가 2~3배 적음을 알 수 있는데, 이는 천문학에 대한 투자가 아직 비교 대상 국가 수준에 미치지 못함에 기인한 것이라고 추론할 수 있다.

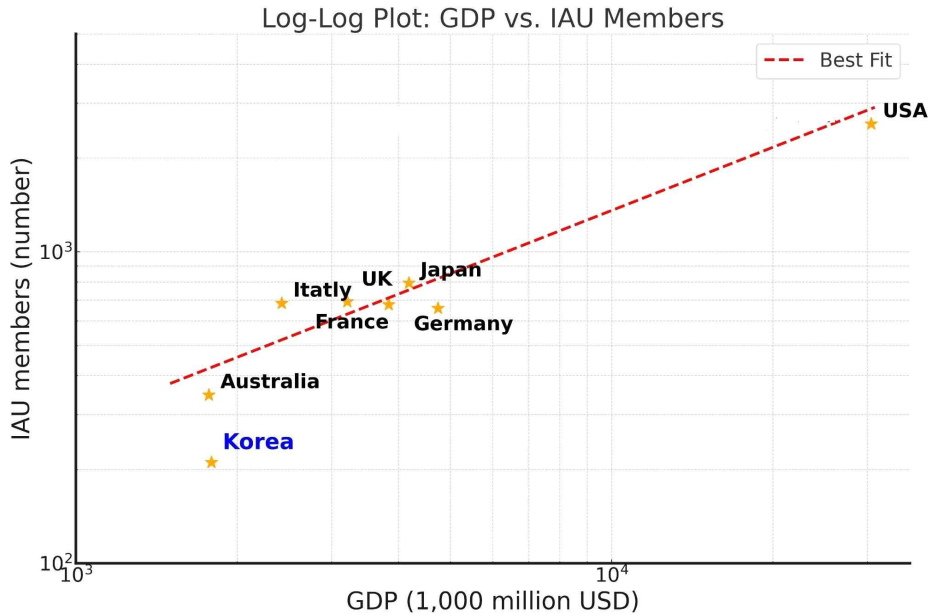


그림 21 각 국가 GDP 대비 국제천문연맹(IAU) 회원 수. GDP 통계는 IMF 2025년 추정치이며, IAU 회원수는 IAU 홈페이지에서 가져온 것이다. 타 국가와 비교할 때 한국의 GDP 대비 IAU 회원 수가 현저히 적음을 알 수 있다.

한편, 한국 천문학계에서 활발하게 이루어지고 있는 연구 분야는 한국 천문학회 학술대회의 연구 발표 통계를 살펴보면 알 수 있다. 한국천문학회는 매년 봄과 가을에 학술대회를 개최하고 있다. 2020년 가을부터 2025년 봄까지 한국천문학회 학술대회에서 발표된 논문의 수를 각 연구 분야별로 정리해 보면 그림 22와 같다.

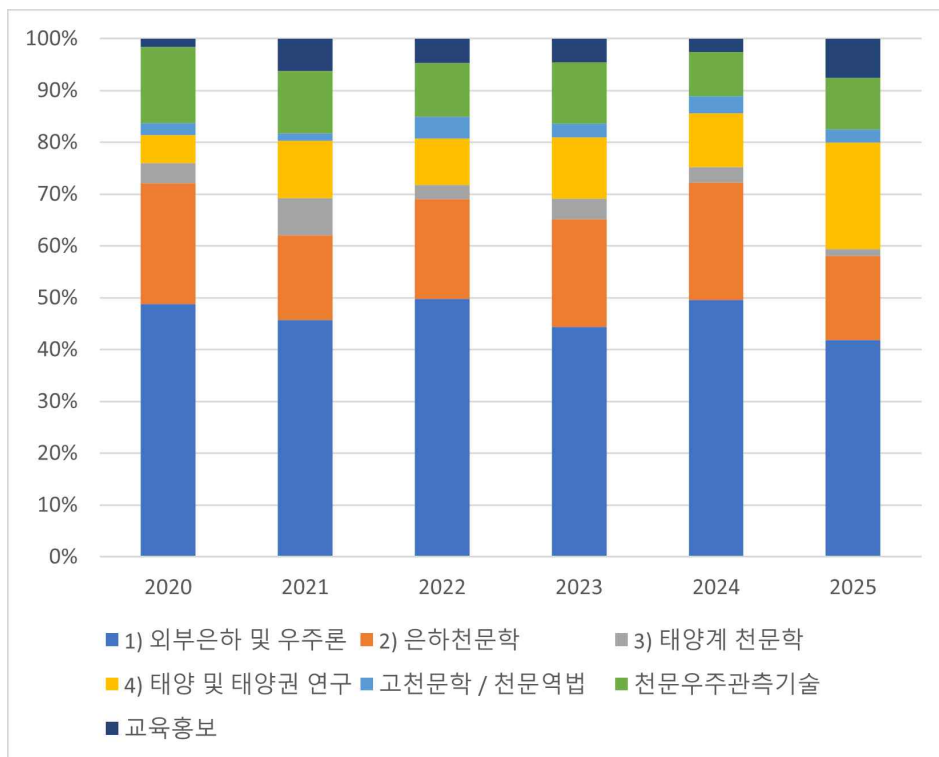


그림 22 한국천문학회 학술대회에서 발표된 연구 논문의 연구 분야별 분류

그림 22에서 연도별 논문의 수는 봄과 가을에 발표된 논문을 합친 것이며 구두 발표와 포스터 발표를 따로 구분하지 않고 합산한 것이다. 장기발전연구위원회에서는 연구 분야를 총 4개의 워킹그룹으로 나누었는데, 이들 워킹그룹에 해당하는 분야에는 각각 번호를 매겨 표시하였다. 위 통계자료로부터 한국 천문학회에서는 외부은하와 우주론 워킹그룹 분야의 논문이 전체의 40~50%를 차지하고 있음을 알 수 있다. 이것은 이 분야의 연구가 활발한 이유도 있지만, 외부은하와 우주론으로 분류한 연구 분야가 우주론, 은하단, 은하 진화, 활동성은하핵 등 매우 다양한 연구 분야를 포함하고 있기 때문이다. 매우 많은 연구 분야를 포함하고 있음에도 불구하고 이들이 하나의 큰 그룹으로 묶일 수밖에 없는 것은 이들 연구 분야의 연구 방법과 연구 장비 등이 서로 밀접하게 연관되어 있기 때문이다. 마찬가지로 은하천문학 워킹그룹 분야의 논문이 꾸준히 20% 정도를 차지하고 있는데 이 분야에는 우리 은하계와 성간물질, 별 생성, 항성과 항성

계, 외계행성 등의 연구 분야를 포함하고 있다. 주목할 만한 것은 태양 및 태양권 연구 워킹그룹 분야의 논문 발표가 최근 들어 늘어나고 있는 점으로 이 분야의 연구 활동이 상대적으로 활발해지고 있다는 것을 나타낸다. 태양계 천문학 워킹그룹 분야의 논문은 양은 많지 않지만, 그동안 꾸준히 발표되어 온 것을 알 수 있다.

장기발전연구위원회에서 워킹그룹으로 분류되지 않은 분야로 고천문 연구와, 국가천문이라고도 부르는 천문역법 분야에서도 꾸준히 일정 수준의 연구 발표가 있어 왔고 천문학 교육 및 홍보 분야의 발표도 간과할 수 없다는 점을 보여준다. 천문우주 관측 기술 분야는 봄과 가을의 정기 학술대회 이외에 천문우주 관측기기 워크숍에서 많은 학술 발표가 이루어지기 때문에 이 통계자료만으로는 자세한 평가를 하기가 어렵고 별도의 통계 분석이 필요할 것으로 생각된다. 별도의 워킹그룹으로 분류하여 다루지는 않았으나 고천문과 국가천문, 천문우주 관측 기술, 교육 및 대국민 과학문화 확산 등 역시 지속적인 투자가 유지되어야 할 것이다.

지금까지 살펴본 바와 같이 우리나라 천문학은 지난 10여 년 동안 세계 수준의 연구 장비와 시설 확보를 토대로 다양한 연구 분야에서 괄목상대할 만큼 발전하였다. 다음 장에서는 각각의 연구 분야에서 어떤 성과를 이룩하였으며 현재 당면한 한계는 무엇인지, 다음 10년 동안의 도전적 과제는 무엇이며 이를 달성하기 위해 어떤 자원이 필요한지에 대해 고찰해 본다.

4. 한국 천문학계가 도전할 난제

앞선 3장에서는 지난 10여 년간 우리나라 천문학의 발전상에 대해 관측 시설과 장비를 기준으로 살펴보았다. 본 장에서는 관점을 조금 바꾸어 각 연구 분야에서 어떤 연구 성과가 이루어지고 있는지, 다음 10년 동안 도전할 과제는 무엇인지, 이들 과제의 달성에 필요한 요소는 어떤 것이 있는지에 대해 논의한다.

우선, 한국 천문학계는 지난 10년간의 발전상을 토대로 현재 세계 천문학계가 도전하고 있는 “우주의 과거와 미래의 모습”이라는 질문과 “우주적인 시각에서 본 인류의 기원”이라는 물음에 대한 답을 얻기 위한 연구를 선도할 수 있는 역량을 갖추게 되었다. 이에 따라 이 두 가지 물음을 한국 천문학계가 도전해야 할 두 가지 큰 과제로 설정하고자 한다.

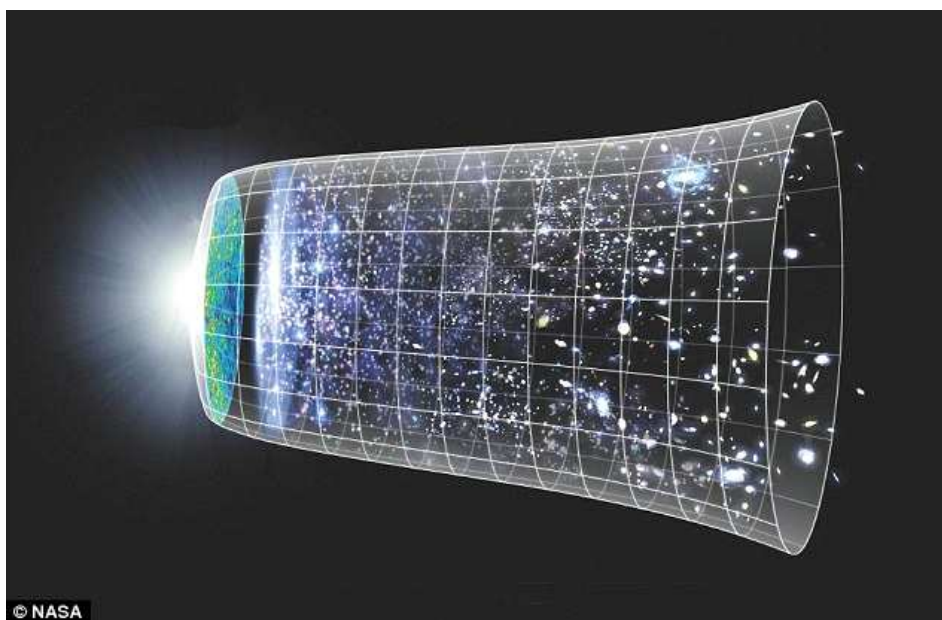


그림 23 우주의 역사를 보여주는 그림. 빅뱅으로 시작하여 현재 가속 팽창하고 있는 우주의 구성 성분과 천체의 역사를 이해하는 것을 한국 천문학의 첫째 도전과제로 설정하였다. [그림 출처: NASA]

첫 번째 도전과제인 “우주의 과거와 미래의 모습” 연구는 한마디로 우주의 역사와 구성 물질을 이해하기 위한 연구다. 우주는 138억 년 전 일어

난 빅뱅 이후 현재 계속 팽창하고 있는데 이러한 팽창의 과거와 미래 모습을 알기 위해서는 우주를 이루고 있는 구성 물질이 무엇인지 이해할 필요가 있다. 특히 우주의 구성 물질 중 약 3분의 2를 차지하고 있는 암흑에너지와 나머지 3분의 1의 대부분을 차지하고 있는 암흑물질이 무엇인지를 밝히기 위한 세계적인 노력에 동참함은 물론 세계를 선도하는 연구 성과를 창출하고자 한다. 동시에 과거 은하와 블랙홀의 모습을 상세히 알아내어 다양한 우주 모델들을 검증할 것이다(그림 23). 블랙홀과 같은 고밀도 고중력 천체 부근에서 일어나는 현상을 관측함으로써 중력에 관한 물리법칙을 검증하는 일도 가능할 것이다. 또한 빛이 아닌 새로운 매체를 이용하여 우주를 관측하여 그동안 알려지지 않았던 과거 천체의 모습을 밝혀낼 것이다. 아래에 기술하는 “4.1 외부은하 및 우주론 연구”는 이러한 물음에 답하기 위한 연구의 구체적인 내용을 담고 있다.

두 번째 도전과제인 “우주적인 시각에서 본 인류의 기원”에 대한 연구는 인류의 궁극적인 기원을 우주적인 시간과 규모에서 이해하기 위한 연구이다(그림 24). 생명체를 이루는 주요 구성 원소의 대부분은 별이 진화하는 과정에서 만들어진 것이다. 따라서 별의 진화에 대한 이해는 생명체를 만든 재료의 기원을 밝히며, “우리는 어디에서 왔는가?”라는 인류의 원초적인 호기심에 대한 해답을 제공할 것이다. 별이 탄생하는 과정과 죽어가는 과정에 대한 이해를 통해 행성들이 어떻게 만들어졌는지, 그리고 생명체를 만들기 위한 무거운 원소들이 어떻게 우주로 퍼져나가게 되었는지 알 수 있을 것이다. 그리고 우주와 같은 극한 환경에서 생명체가 살기에 적합한 환경이 조성된 행성이 존재하는 것이 어떻게 가능하였는지를 이해하기 위해 태양계 천체와 외계행성을 탐색하고 태양활동이 태양계 천체에 미치는 영향에 대하여 다각적으로 연구하는 것이 중요하다. 아래 “4.2 은하천문학”, “4.3 태양계 천문학”, “4.4 태양 및 태양권 연구”에 우주적인 관점에서 본 인류의 기원을 밝히기 위하여 한국 천문학계가 수행할 구체적인 연구 내용을 담았다.

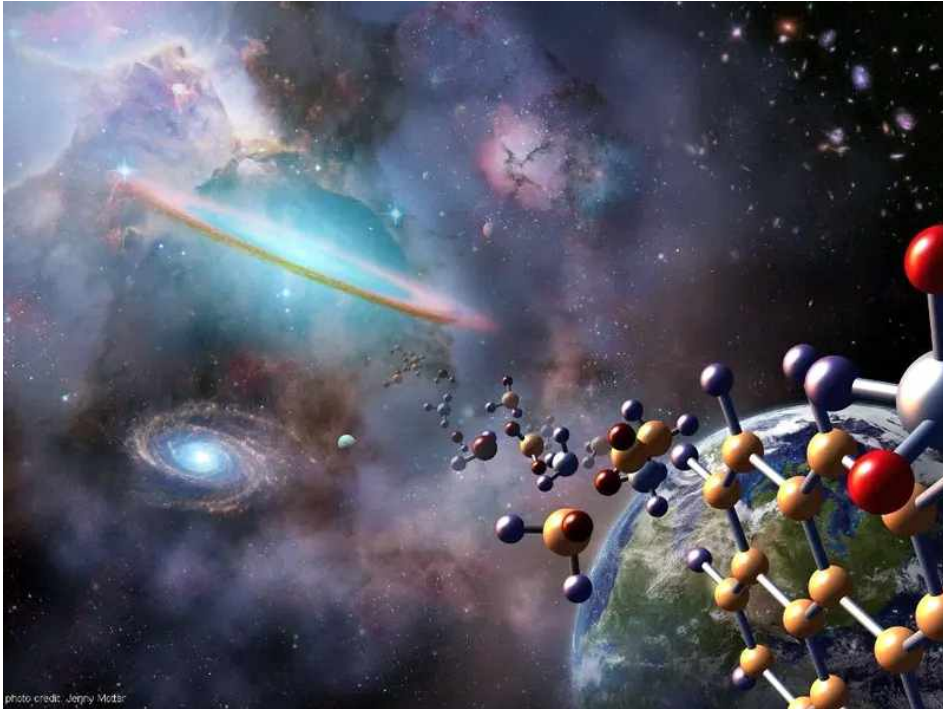


그림 24 인류의 궁극적인 기원을 우주적인 시간과 규모에서 이해하기 위한 연구를 한국 천문학의 두 번째 도전과제로 설정하였다. 지구 생명체를 이루는 재료들의 기원, 태양계를 포함한 우주에 생명체가 존재할 가능성, 항성의 기원과 행성계의 탄생 과정, 지구를 둘러싼 우주환경 등이 구체적인 연구 주제가 된다. [그림 출처: NASA]

4.1. 외부은하 및 우주론

(1) 우주론

우주론은 우주의 기원과 과거, 현재, 그리고 미래를 과학적으로 연구하는 학문이다. 우주의 가속 팽창이 밝혀진 현재, 우주론이 당면한 문제는 다음 3가지로 크게 나눌 수 있다: (i) 우주의 가속 팽창을 일으키는 암흑 에너지란 무엇인가; (ii) 우주 암흑물질의 분포와 특성 파악; (iii) 현재 우주의 팽창률은 어떻게 되는가? 이 3가지 질문에 답하기 위한 연구가 세계적으로 진행 중이며, 대형 탐사 관측시설을 이용한 은하 탐사 및 초신성 연구, 우주배경복사 관측을 이용한 연구, 중력파와 전자기파를 이용한 다중신호 천문학 연구 등이 주된 연구 방법이다.

한국 천문학회계의 우주론 분야가 향후 10년 동안 주목해야 할 주요 현안들은 다음과 같이 정리할 수 있다. 우주의 가속 팽창과 밀접한 연관이 있는 암흑물질의 구성과 역할 및 암흑에너지의 성질과 우주 팽창에 미치는 영향, 우주 초기의 급가속 팽창을 설명할 수 있는 우주론 모델의 개발, 중력과 중력파, 중성미자가 우주 구조의 형성 및 변화에 미치는 영향 등이다.

이러한 주요 현안들을 해결하기 위해 다음과 같은 노력을 기울여야 할 것이다. 2025년 개시되는 LSST 관측자료를 활용한 거대 규모 초신성 탐사 및 중력렌즈 현상 연구로부터 우주 팽창의 역사와 암흑에너지의 특성을 밝힌다. 또한 다천체 분광탐사 기능을 갖춘 대형 광학망원경을 활용한 대규모 은하 군집 연구로부터 암흑물질과 암흑에너지가 우주 거대구조의 성장과 진화에 어떤 영향을 미치는지를 연구한다(그림 25). 우주 역사의 가장 초기부터 빛을 내는 천체가 형성되는 시기까지에 해당하는 우주 재이온화 시기에 관한 연구는 우주론 분야에서 매우 중요한 영역 중 하나이며 우리나라가 참여하는 SKA에 의한 우주 초기의 중성수소 전파 연구를 통해 우주 최초의 별과 은하를 구체적으로 이해할 수 있게 할 것이다.

한국 천문학계는 지난 20여 년 동안 우주론 분야에서 괄목할 만한 성장을 거듭해 왔으며, 일부 거대 국제 공동협력에서는 이미 주요 과학 주제를 선도하는 연구그룹이 형성되었다. 이러한 발전을 발판 삼아, 한국 천문학계가 향후 10년간 우주론 연구 방법론에서도 중요한 역할을 할 것으로 기대한다. 이를 위해서 다파장 및 다중신호 국제협력 관측 연구를 꾸준히 전개하면 국제 경쟁력을 유지할 수 있을 것이다. 특히 탐사 관측시설 구축을 위한 국내 기술 역량 개발을 통해 궁극적으로 우리나라의 독자적인 다천체 분광탐사 망원경 시설을 확보한다면, 한국 연구진이 우주론 난제 해결에 주도적인 역할을 할 수 있는 날도 올 것이다.

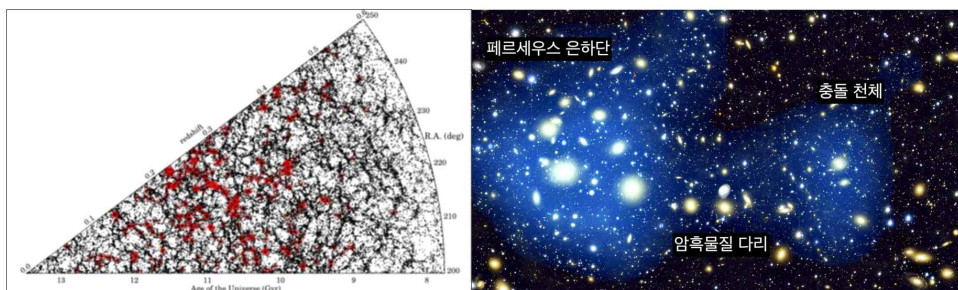


그림 25 (왼쪽) HectoMap 연구팀이 작성한 우주 지도의 모습(왼쪽). 은하단 총 질 과정에서 생겨난 암흑물질 다리(오른쪽). 위와 같은 연구를 통해 우주의 주요 구성 물질인 암흑에너지와 암흑물질의 정체를 탐색하는 것이 가능하다. [출처: HectoMap 팀; H.H. Kim, M.J. Jee, et al. 2025, Nature Astronomy, 9, 925]

(2) 은하 진화

은하의 형성과 진화 연구는 별 생성과 관련된 물리적 과정부터 우주 거대구조 형성과 관련된 우주론까지, 다양한 규모의 현상을 종합적으로 이해해야 하는 학문이다. 은하 진화 연구는 한국천문학회 학술대회 발표 연구 분야 중 큰 비중을 차지하고 있으며, 이 분야에 상대적으로 인적 자원이 풍부한 것이 강점이다. 은하 진화와 관련하여, 작은 규모에서는 다음과 같은 세 가지 핵심 질문이 있다. (i) 은하는 어떤 과정을 거쳐 현재의 형태, 운동학적 구조, 그리고 항성 종족의 공간 분포를 갖게 되었는가? (ii) 은하 중심부, 외곽, 그리고 주변 환경을 포함하여 물질은 어떻게 이동하고 변화하는가? (iii) 가까운 우주의 깊고 어두운 영역에 아직 발견되지 않은 외부은하 천체들이 존재하는가? 반면, 보다 큰 규모에서는 다음과 같은 주요 질문이 제기된다. (i) 은하들은 은하단 내외의 환경에 따라 어떻게 서로 다른 진화 양상을 보이는가? (ii) 은하단을 포함한 우주 거대구조는 어떤 과정을 통해 형성되고 변화하는가? (iii) 약한 중력렌즈를 활용하여 암흑물질을 포함한 우주의 질량 분포를 어떻게 정확하게 측정할 수 있는가?

이러한 질문에 답하기 위해서는 가시광선에서 전파에 이르는 다파장 관측, 대규모 영상 및 분광탐사 관측, 그리고 고성능 슈퍼컴퓨터를 활용한

은하 형성 수치 모의실험이 필요하다. 현재 한국 천문학자가 활용할 수 있는 시설 및 자료로는 8m 제미니 망원경, SDSS 분광탐사 관측자료, KVN과 ALMA, Horizon Run과 DARWIN 수치 모의실험 등이 있다(그림 26). 향후 보다 깊은 연구를 위해서는 베라 루빈 천문대의 LSST 영상 탐사 관측자료(그림 27), A-SPEC과 Subaru/PFS 분광탐사 관측자료 등을 활용할 수 있다. 나아가서는 GMT의 완공과 SKA 가동 이후 기존에 얻을 수 없었던 어두운 천체를 포함한 대규모 자료를 확보할 수 있을 것으로 기대된다(그림 28). 더욱 정밀한 수치 모의실험을 위해서는 더 빠른 슈퍼컴퓨터와 대용량의 자료 저장 장치의 안정적인 확보가 필수적이다. 이를 통해 암흑물질의 정체와 은하 중심의 블랙홀이 은하 진화에 미치는 영향 및 은하 진화의 물리적인 기작과 우주 거대구조가 형성되는 과정에 대한 이해와 같이 도전적인 연구를 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

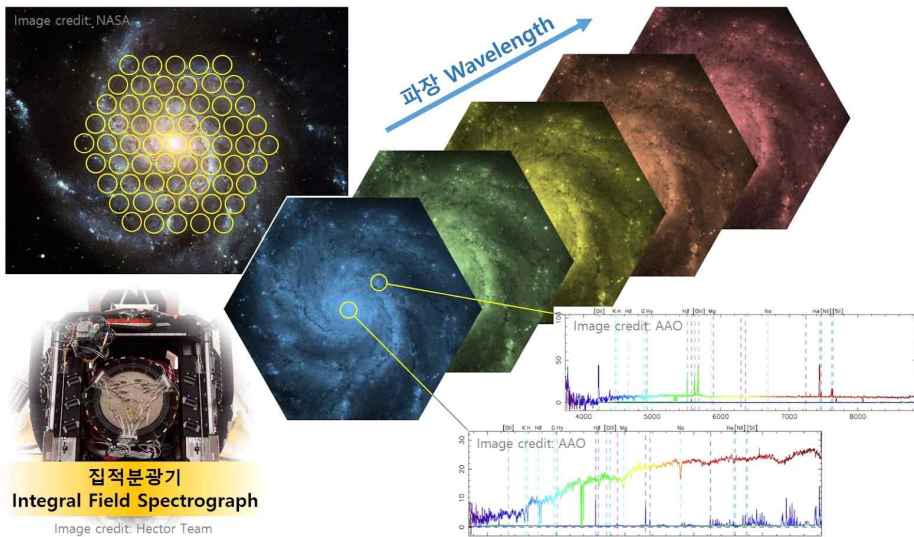


그림 26. 은하의 집적분광 관측 분석 개념도. 은하 내부의 여러 위치에서 각각 얻은 스펙트럼으로부터 물리량을 측정하여, 은하 내 물리량들의 공간 분포를 연구할 수 있다. [그림 출처: Hector 팀]



그림 27. 깊은 저광도 영역에서 은하 병합 과정이나 은하 진화의 이해에 대한 많은 새로운 발견이 기대된다. 남반구 하늘에 고감도 누적 영상을 제공할 베라 루빈 천문대나 우주망원경으로 그런 발견을 이루고자 한다. [그림 출처: Vera Rubin Observatory/한국천문연구원]

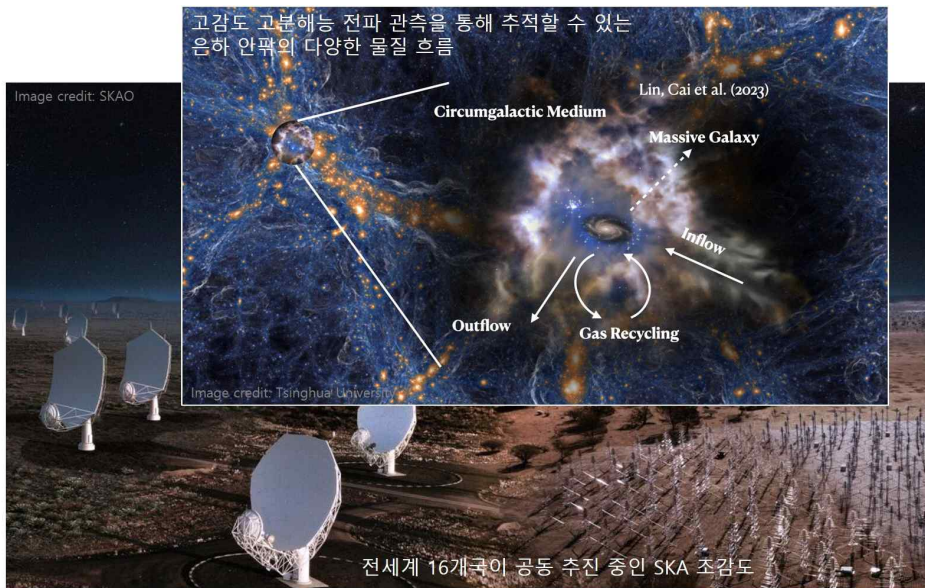


그림 28. 차세대 고분해능/고감도 전파 간섭계 시스템 SKA와 이를 통해 관측 가능한 은하 안팎의 물질 흐름 개념도 [그림 출처: Tsinghua University, SKA Collaboration]

(3) 블랙홀 및 활동은하핵

초대질량 블랙홀(Supermassive Blackhole)은 태양보다 약 백만 배 이상 무거운 블랙홀이다. 무거운 은하의 중심에 존재하는 초대질량 블랙홀은 강한 중력장에 의해서 나오는 높은 에너지와 모은하와의 연관성 때문에 연구 가치가 매우 높은 천체이다. 활동은하핵(Active Galactic Nuclei, AGN)은 은하 중심에 자리 잡은 블랙홀이 활동성을 띠며 높은 에너지를 방출하는 상태를 뜻한다. 초대질량 블랙홀을 포함한 블랙홀과 활동은하핵에 대해서 다음과 같은 연구가 활발하게 진행되고 있다: (i) 초대질량 블랙홀을 가지고 있는 활동은하핵의 중심 구조, (ii) 초기 은하의 형성 및 진화에서 초대질량 블랙홀의 역할, (iii) 초대질량 블랙홀과 고에너지 입자 발생의 관계, (iv) 영상 촬영을 통한 블랙홀 물리량의 정밀 측정 및 일반상대론의 검증 등이 바로 그것이다. 활동은하핵과 블랙홀을 관측하기 위하여 다파장 관측자료를 활용한 융합 연구, 변광 연구, 반향효과 연구 등이 발전해 왔으며, 최근에는 사건지평선 망원경(Event Horizon Telescope, EHT)을 통해 초대질량 블랙홀 주변 구조를 실제 영상화하는 중요한 진전이 이루어졌다. 한편, 제임스웹 우주망원경 관측 이후 우주 초기에 기존 예상보다 훨씬 많은 어두운 AGN이 존재할 가능성이 제기되어, 블랙홀-은하 공진화(co-evolution) 모델에 대한 새로운 검증이 요구되고 있다. 또한 TeV-PeV급 고에너지 중성미자가 AGN 방향에서 검출되면서, 다중신호 천문학 분야에서 AGN 제트의 발사와 가속 과정에 대한 이해 및 입자 물리학과의 협력 연구 가능성이 주목받고 있다.

이러한 질문에 답하기 위해서 향후 10년간 다파장 영역에서 획득한 대규모 탐사 관측자료 및 다중신호를 활용한 연구가 활발히 수행될 것으로 기대된다(그림 29). 한국 천문학회계의 규모에 비해 초대질량 블랙홀 관련 연구자가 최근에 비약적으로 늘어나고 있으며, 다양한 국제협력 연구를 통해서 연구 역량도 향상되었다. 따라서 앞으로 한국 천문학계가 주목해야 할 분야로 판단한다. AGN 중심 구조 연구(그림 30), 초기 우주에 숨겨진 AGN 탐사, 그리고 상대론적 제트 및 다중신호 천문학 연구를 심도 있

게 다루기 위해서는 베라 루빈 천문대, 7DT, SPHEREx, 확장 한국우주전파관측망(E-KVN), 평방킬로미터배열(SKA), 사건지평선 망원경(EHT) 등 우리나라 주도 또는 우리나라가 참여 중인 국제협력 차세대 관측 시설과 이론 연구 협력 체계를 통한 연구가 효과적일 것이다. 이를 통해 한국 천문학계가 블랙홀 주변부 물리 현상, 은하 진화, 우주 고에너지 현상에 대해 선도적인 성과를 창출할 수 있을 것이다.

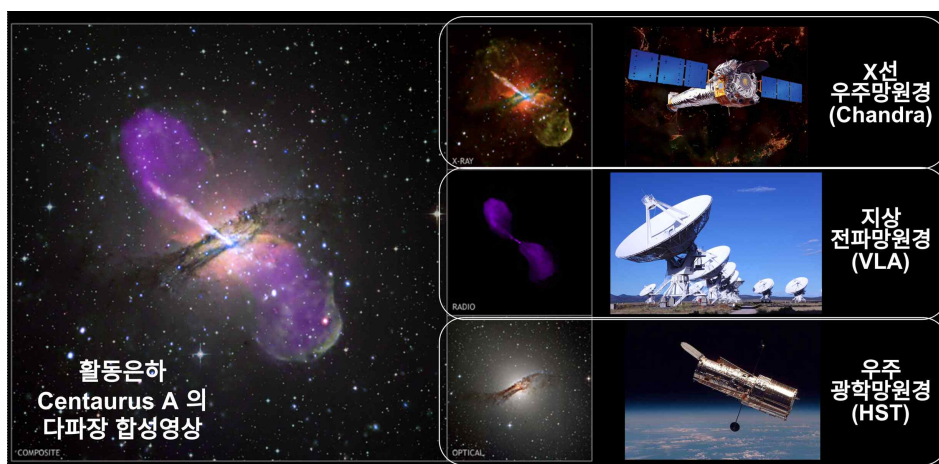


그림 29. 대표적인 활동은하 중 하나인 Centaurus A 은하를 X선, 전파, 광학 망원경으로 관측하여 합성한 영상. 활동은하 및 활동은하핵은 대표적인 다파장 발광/변광천체이며, 전모를 파악하려면 전 파장에서 지상 및 우주 관측을 통해 연구하는 것이 필수적이다. [그림 출처: NASA; NRAO; ESO]

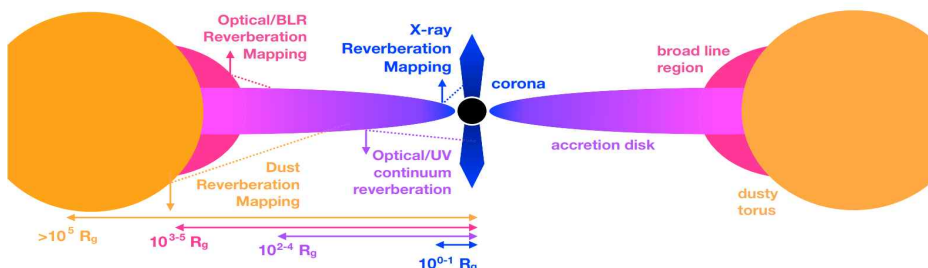


그림 30. 활동은하핵을 구성하는 초대질량 블랙홀, 부착원반, 토러스 등 여러 세부 구조와 이들이 주로 빛을 방출하는 파장 대역의 모식도. [그림 출처: Cackett et al. 2021]

(4) 다중신호 천문학

다중신호 천문학은 기존의 전자기파에 더해 중력과, 고에너지 우주선, 중성미자 등 우주에서 오는 다양한 신호를 함께 관측하여 천체 현상을 종합적으로 이해하고자 하는 새로운 천문학 분야이다. 엄밀히 말하면 다중신호 천문학은 천문학 연구 방법론이며, 미국 국립과학원이 2021년 공개한 천문학 및 천체물리학 분야의 장기발전계획 조사(약칭 Astro2020)에서 다중신호 천문학을 "New Messengers and New Physics"의 핵심 분야로 선정하였다. 여기서 다중신호 천문학은 블랙홀, 중성자별, 백색왜성 병합 현상, 초신성 폭발 현상, 감마선 폭발 현상, 활동은하핵의 블레이자 등 우주의 가장 극단적인 현상뿐만 아니라 암흑물질, 암흑에너지, 우주 급팽창과 같은 우주론의 핵심 문제와 우주 탄생 초기의 물리적 과정 및 원소의 기원까지 포괄적으로 이해할 수 있는 새로운 연구 방법으로 주목받고 있다. 향후 10년 동안 다중신호 천문학 분야에서 해결해야 할 난제들은 초대질량 블랙홀 병합, 중간질량 블랙홀 생성 및 성장 과정, 우주론적 중력과 배경 신호 및 암흑물질과의 관계, 감마선 폭발 및 블랙홀 제트와 같은 고에너지 천체 현상 간의 상관관계 등 다양하게 존재하며, 이를 위해 중력과 검출기의 감도 증가와 저주파 영역 확장(그림 31), 중성미자 검출 성능 향상, 지상과 우주를 통합하는 전 지구적 다파장 전자기파 후속 관측 네트워크의 구축도 필요하다. 한국에서도 중력과 천문학 연구그룹이 관련 연구를 활발히 진행하고 있으며, 7차원 망원경(7DT)과 같은 한국 주도 다중신호 천문학 연구시설도 운영되면서 이 분야 연구 역량이 성장하고 있다(그림 32). 이와 같은 새로운 연구 분야가 태동하고 그에 따른 과학적 성과의 잠재력이 큰 시대에 우리나라가 다중신호 천문학의 핵심 연구 국가로 자리 잡고 글로벌 연구 네트워크에서 주도적인 역할을 할 수 있도록 지속적인 투자와 협력이 필요하다. 이를 위해서는 국제협력 대형 다중신호 연구 프로젝트에 핵심 요소 기술을 가지고 참여하면서 역량을 강화하는 한편, 한국 주도 다중신호 관측시설을 구축하기 위한 준비를 해나가야 할 것이다.

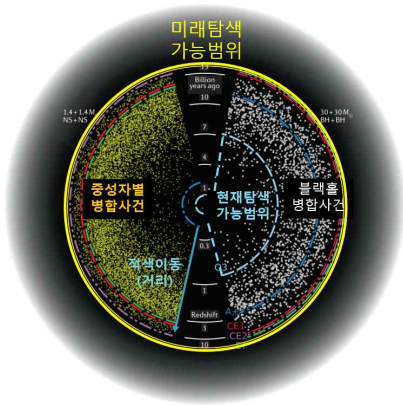


그림 31 현재 탐색 가능한 중력과 사건의 범위(하늘색 점선)와 차세대 중력과 천문대로 탐색이 가능한 범위 비교. 왼쪽에 중성자별 병합 사건을, 오른쪽에 블랙홀 병합 사건을 배치하였다. 현재는 우리은하와 인접한 지역에서만 탐색이 가능한 데 반해서 근미래에는 우주 초창기까지 연간 수만 개에 이르는 중력과 사건 포착이 예상된다. [그림 출처: M. Bailes et al. 2021, Nature Reviews Physics, 3, 344]



그림 32 다중신호 천문학 연구 예시. 2017년 8월 17일에 약 1억 3000만 광년 떨어진 곳에서 있었던 중성자별 병합 사건이 발생시킨 중력파를 중력파 천문대 라이고 및 비르고가 검출한 후 여러 파장을 망라하는 70여 개의 지상 및 우주 관측시설이 전자기파 신호를 포착하였다. 이 연구를 통해 우주의 팽창률, 허블 상수를 새롭게 측정하는 방법 등 수많은 연구가 이루어졌다. 앞으로 중력파 천문대가 발전하면, 1년에 수천 개에 이르는 이러한 사건이 발견될 것으로 보이며, 이로부터 2030년대에는 중력파 및 다중신호 천문학의 르네상스가 도래할 것으로 예상된다. [그림 출처: 서울대학교/한국천문연구원]

4.2. 은하천문학

(1) 성간물질과 별/행성 형성

성간물질은 별과 행성 형성의 중요한 원료로, 그 진화 과정에서 다양한 물리적, 화학적 특성이 나타나며, 이러한 특성은 생명체 존재 가능성에 대한 중요한 실마리를 제공한다. 최신 고해상도 관측 기술과 이론적 모델의 발전 덕분에 성간물질의 분포와 물리적, 화학적 성질을 더욱 정밀하게 파악할 수 있게 되었다(그림 33). 이 연구 분야에서 해결해야 할 주요 문제는 크게 세 가지로 나눌 수 있다: (i) 질량에 따라 별의 형성 과정이 어떻게 달라지는가, (ii) 다양한 물리적, 화학적 특성을 가진 행성의 기원은 무엇인가, (iii) 행성 대기와 생명체를 구성하는 복합 유기 분자가 우주 공간에서 언제 어떻게 형성되는가. 이러한 문제에 답하기 위해 Gemini, JWST, ALMA, KVN 등 최첨단 장비를 활용하여 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 장기적으로는 거대마젤란 망원경(GMT), E-ELT, 로마 우주망원경, HWO, SPHEREx 등 차세대 장비를 통해 더 심도 있는 연구가 진행되어야 할 것이다. 이러한 연구는 외계 생명체의 존재 가능성과 우리은하 내에서 태양계의 특수성 또는 보편성을 판단하는 데 중요하게 기여할 것이다.

(2) 항성천문학

항성천문학은 우주를 구성하는 기본 단위인 별의 구조와 진화 과정을 탐구하는 학문으로, 별 표면의 화학적 조성, 항성 종족의 특성, 별 내부에서 일어나는 핵 합성과 원소의 기원, 밀집성(compact stellar object) 및 초신성을 포함한 격변 변광성까지 다양한 주제를 포괄한다. 별의 진화는 우주의 역사와 별 생애의 다양한 국면을 반영하며, 항성천문학은 이러한 과정을 이해함으로써 우주의 화학적 진화와 구조 형성을 밝히는 데 중요한 기여를 한다. 이 분야에서 해결해야 할 주요 연구 과제는 다음과 같다: (i) 중원소함량비와 질량 손실이 무거운 별의 진화에 미치는 영향 연구, (ii) 별의 후기 진화 단계에서 발생하는 물질 분출 현상을 관측하고 이론적으로 해석하는 연구, (iii) 밀집성 쌍성계에서 물질 유입과 상호작용을 이해하기 위한 체계적 관측연구. 이러한 연구들은 Gemini, ALMA, KVN,

GMVA, KaVA, EAVN, KMTNet, LIGO-Virgo-KAGRA 등 최첨단 관측 장비를 활용하여 활발히 이루어지고 있으며, 향후 GMT, SPHEREx, LSST, 7DT, E-KVN, ngVLA, SKA와 같은 국제협력 또는 우리나라 주도 차세대 장비의 구축을 통해 더욱 심도 있는 연구가 가능할 것으로 기대된다. 이러한 연구는 우주의 화학적 진화와 밀집성 천체물리학에 대한 깊이 있는 이해를 제공하며, 초신성과 같은 극한 천체 현상의 근원을 밝히는 데 중요한 역할을 할 것이다.

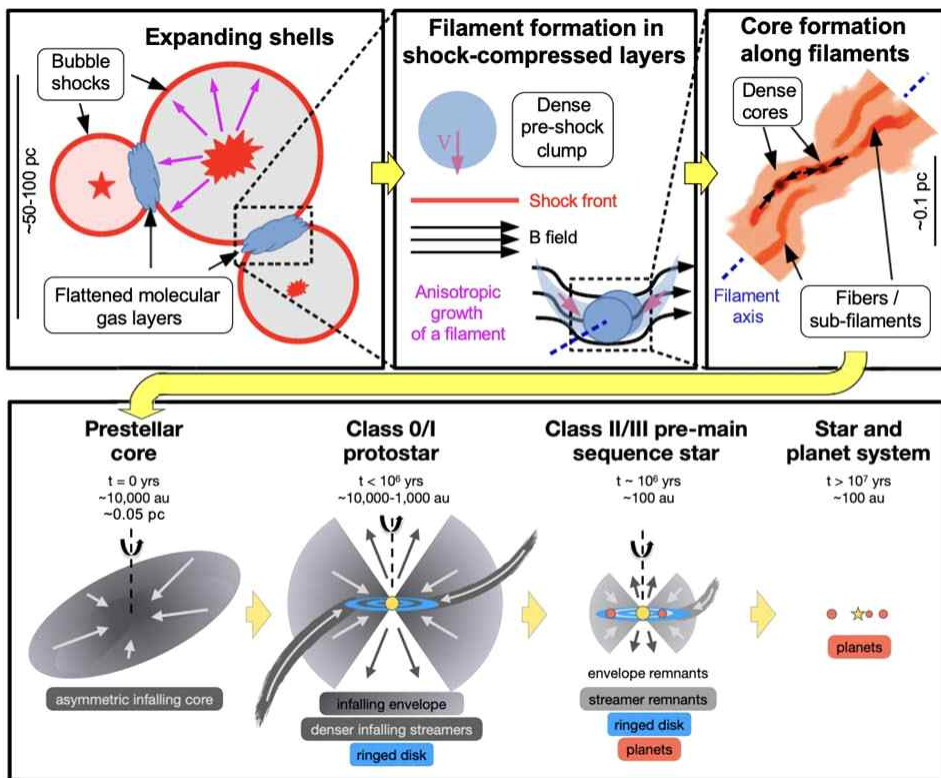


그림 33 성간물질 내에서 밀도 구조의 비대칭적인 성장이 별과 행성계 형성으로 이어지는 과정

(3) 우리은하의 구조 및 진화

우리은하는 나선은하의 전형적인 구조를 가지며, 우리은하를 공전하는 작은 위성 은하들과 함께 우주의 주요 은하 유형 중 하나로서 중요한 연구 대상이다. 특히 우리은하와 주변 위성 은하는 높은 공간 분해능을 통

해 개별 별들을 관측하고 분석할 수 있는 독보적인 장점을 가지고 있어, 은하 구조와 진화 연구에 중요한 기회를 제공한다. 이 분야의 주요 연구 주제는 다음과 같다: (i) 은하 막대 구조 형성 조건과 진화 과정에 관한 연구, (ii) 전천 관측자료를 기반으로 우리은하 별들의 위상 공간 분포를 체계적으로 분석하는 연구, (iii) 별들의 정밀한 화학 조성 분석과 운동역학 특성을 연구하여 우리은하의 합병 역사와 진화를 이해하는 연구 등이다. 현재 이러한 연구들은 다양한 전천 탐사자료뿐만 아니라, IGRINS와 IGRINS-2 같은 고분산 분광기를 활용하여 이루어지고 있으며, 향후 KLST, GMT/GMTNIRS와 같은 차세대 분광 장비의 도입을 통해 더욱 심도 있는 연구가 가능해질 것으로 기대된다. 이러한 연구를 통해 우리은하의 구조적 특성과 진화 과정뿐만 아니라, 막대나선은하의 구조적 특성, 화학 조성의 특징, 그리고 위성 은하의 상호작용을 구체적이고 세밀하게 탐구할 수 있을 것으로 기대된다(그림 34).



그림 34 우리은하 관련 주요 연구 주제

(4) 외계행성

외계행성 연구는 2000년대 들어서 급격히 발전하기 시작한 학문 분야이다. ‘지구 외에도 우주에 또 다른 외계 생명체가 있을까?’라는 근원적인

질문에 대한 대답을 가능하게 하는 것이 바로 외계행성 연구로서, 그 연구의 중요성을 반증하듯이 2019년 태양과 비슷한 별 주변에 있는 외계행성을 발견한 성과에 대하여 노벨 물리학상이 수여되었다. 1992년 외계행성이 최초로 발견된 이후 2025년 9월 현재 6,000여 개가 알려져 있고, 이 중 일부는 지구 질량을 가지고 있는 “제2의 지구”일 수 있다. 최근 외계행성 연구는 이들의 물리적 특성, 그중에서도 외계행성의 대기 성분을 분석하여 생명체가 존재할 수 있는 환경인지를 밝히는 데에 집중되어 있다. 특히 제임스웹 우주망원경이 본격 관측을 시작한 이래 투과 분광 관측으로 대기 성분을 분석한 외계행성들이 늘어나고 있다. 앞으로 로만 우주망원경이 발사되고 지상 초거대 광학망원경이 가동을 시작하면 지상 광학망원경에 의한 가시광선 관측과 우주망원경에 의한 적외선 관측이 협업하여 생명체가 존재할 가능성이 있는 외계행성에 관한 연구는 더욱 활발해질 전망이다. 우주 생명의 근원을 밝히는 궁극적인 의문에 대한 도전이라는 점에서 세계 천문학계의 화두라고 할 수 있는 분야이지만 국내에서는 이 분야의 연구 인력이 그리 많지 않아서 앞으로 우리나라 천문학자들이 관심을 가지고 인력 양성에 힘을 쏟을 필요가 있다(그림 35).



그림 35 우리나라 보현산 천문대 1.8m 망원경(왼쪽)으로 발견한 외계행성을 2019년 국제천문연맹이 외계행성을 “한라”, 외계행성의 모항성을 “백두”라 명명하기로 하였다(오른쪽). 이 행성계는 지구로부터 520광년 떨어진 곳에 있으며, “한라”는 지구보다 약 477배 무거운 가스형 행성이다. 우리나라도 외계행성의 탐색과 그들의 대기 성분을 이해할 수 있는 연구 역량을 갖추고 있으므로 연구 인력 확충을 통해 이 분야의 연구를 국제적으로 선도하는 일에 도전할 만하다. [그림 출처: 전영범/한국천문연구원]

4.3. 태양계 천문학 - 태양계 및 외계 천체

태양계 천체 연구는 우리 태양계 내 행성, 위성, 소천체(소행성, 혜성, TNO)와 이들의 환경을 탐구하여 생명체 존재의 증거를 찾고 가능성을 이해하고자 하는 분야이다. 우주탐사는 실질적인(직접) 탐사가 가능한 대상을 연구한다는 측면에서 다른 천문학 분야와 다른 특수성이 있다. 즉, 지구에서 관측, 실험, 모사(모의실험)를 통한 연구와 우주 공간에서 천체를 직접 방문 및 탐사하여 자료를 획득하고 분석하는 연구가 모두 가능하다.

태양계 천문학 분야의 대표적인 장기 계획 사례로 미국의 행성과학과 우주생물학 분야의 10년 장기 계획(Decadal Survey)인 “Origins, Worlds, and Life: A Decadal Strategy for Planetary Science and Astrobiology 2023-2032”와 천문학 및 천체물리학 분야의 10년 장기 계획인 “Pathways to Discovery in Astronomy and Astrophysics for the 2020s (Astro2020)”가 있다. 두 장기 계획 모두 태양계 천체를 다루고 있다는 점에서 유사하나, 전자는 직접 탐사에 대해, 후자는 지상 및 우주망원경에 의한 관측연구에 대해 다루고 있다는 점에서 차이가 있다. 우리나라 태양계 천문학 분야의 장기 계획에서는 미국과 달리 연구 주제의 특성과 상황에 맞도록 지상 및 우주망원경에 의한 관측, 직접 탐사 등 연구 방법에 제한을 두지 않고 자유롭게 기술하였다.

현재 지구의 환경은 어떻게 만들어진 것이며, 지구의 미래는 어떻게, 우주에 또 다른 지구가 있을지 이해하기 위해, 태양계 내에서 지구와 가장 가까운 금성과 화성의 지표와 대기를 실측과 원격 관측으로 이해하고, 과거부터 현재까지의 대기 진화를 파악하는 것이 필수적이다. 이는 지구뿐 아니라 지구형 외계행성의 환경을 유추하는 데도 아주 중요하다. 또한 NASA와 ESA에서 향후 10년 내 높은 우선순위로 추진하고 있는 대상인 목성, 토성, 천왕성과 같은 거대 행성과 그들의 위성의 대기, 표면 얼음과 액체에 관한 연구도 시급히 추진해야 할 분야이다. 이와 함께 태양계 소천체의 표면, 물리적 특성과 동역학적 진화, 그리고 직접 탐사를 통한 연구는 태양계 형성과 진화의 초기 조건을 밝히는 데 핵심적인 역할을 한

다. 최근 LSST, SPHEREx, 세종 망원경 등 국제 및 국내 기반을 활용한 대규모 감시, 탐사 계획이 준비 중이며, 근지구 소행성 감시, 샘플 리턴 임무 등이 전략적 우주탐사의 핵심 분야로 주목받고 있다.

달과 대기 없는 태양계 천체의 표면은 우주 풍화, 태양풍, 유성체 충돌 등으로 지속적인 변화를 겪는다. 이들 천체의 화산 지형, 자기이상 지역 및 달 자원(물얼음, KREEP 지형 등)은 천체의 진화와 구성을 이해하는 데에 필수적이다. 또한 최근 국내외에서 활발히 진행되고 있는 달-화성 탐사를 대비하기 위해서 달 궤도에 관한 우주환경 및 우주방사선 환경 연구는 매우 중요하다.

화성과 해양성 천체(Ocean Worlds; 유로파, 엔셀라두스와 같은 두꺼운 얼음 아래 바다가 존재할 것으로 추정되는 천체)에서의 생명현상 직접 탐색 연구는 최근 우주생물학(Astrobiology) 및 우주탐사 분야에서 관심도가 매우 높다. 또한, 성간 천체는 중요한 연구 대상 중 하나이다. 이들은 외계행성계에서 기원하여 태양계를 잠시 방문하였다가 빠르게 떠나는 천체로, 행성계와 성간물질의 형성과 진화, 지구 생명의 기원 및 우주 생명현상을 이해하는 데 중요하다(그림 36). 이러한 성간 천체를 직접 탐사함으로써 성간 천체의 물리적 성질, 행성계와 성간물질의 형성과 진화, 지구 생명의 기원과 우주 생명현상을 이해하는 데 도움을 줄 것이다.

이렇듯 태양계 천체의 연구는 우리와 우리가 사는 태양계의 기원을 알려줄 수 있으며 인류의 미래를 점칠 수 있는 행성 현상을 이해할 수 있게 한다는 의미에서 매우 뜻깊다. 태양계 연구는 지상관측뿐만 아니라 우주탐사라는 직접적인 탐사가 가능한 연구 분야이다. 우리나라의 독자적인 관측시설과 해외 탐사 관측 프로젝트, 지상 및 우주망원경 미션 참여와 같은 국제협력 연구를 통해 우리나라도 이 분야에 크게 기여할 수 있을 것이다. 직접적인 우주탐사의 경우 우리나라는 아직 걸음마 단계인 만큼 국제협력을 통해 기술적 역량을 키우면서 점차 독자적인 미션을 수행할 수 있는 준비를 해나가야 할 것이다.

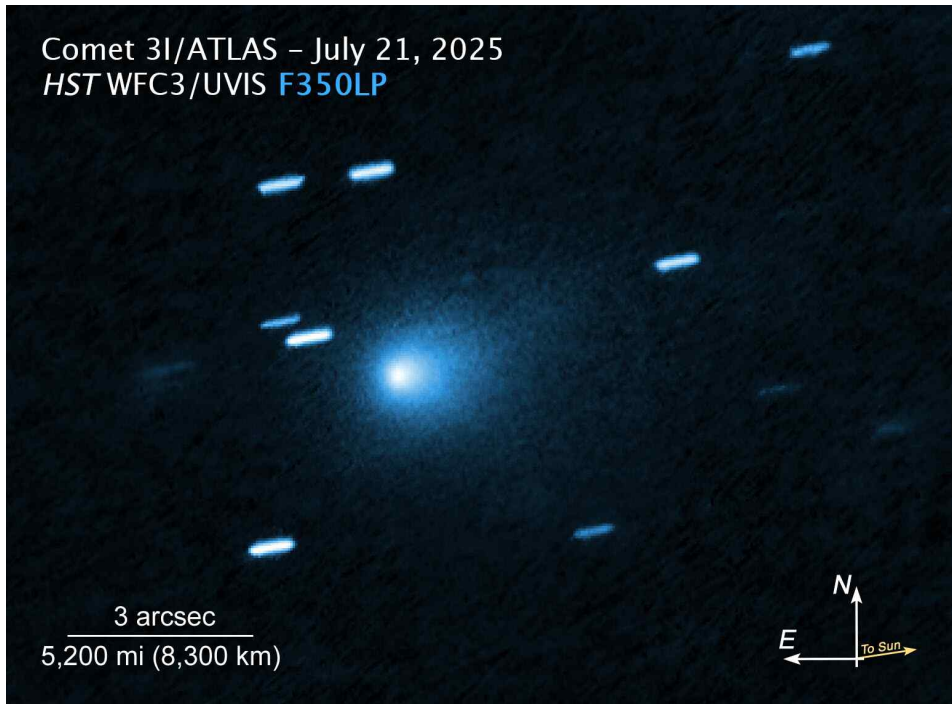


그림 36 2025년 발견된 태양계 밖에서 온 혜성, 3I/ATLAS의 허블 우주망원경 영상. 태양계 밖에서 온 천체를 포착한 것은 이번이 3번째인데, 이러한 천체를 통해 행성계 형성의 실마리를 얻을 수 있다. [그림 출처: NASA, ESA, David Jewitt (UCLA); Image Processing: Joseph DePasquale (STScI)]

4.4. 태양 및 태양권

태양은 가장 가까운 항성으로, 여기서 기원한 물질과 에너지는 지구 그리고 태양계 내 잠재적인 생명체의 탄생과 번성의 근원이 된다. 이러한 물질과 에너지의 흐름은 태양풍(solar wind)의 형태로 우주 공간으로 퍼져 나가며, 태양으로부터 영향을 받는 거대한 물리적 시스템을 이루는데 이를 태양권(heliosphere)이라 한다. 태양권은 우리 은하의 성간 물질과 상호작용하고 있으며, 외부에서 유입되는 대표적인 물질과 에너지의 흐름이 우주선(cosmic ray)이라고 부르는 고에너지 입자이다. 우리는 이 태양권 내부에 살고 있기에, 태양과 행성을 포함하는 태양권은 인류가 직접 세밀하게 관측하고 실측할 수 있는 유일한 천문학적 연구대상이다. 따라서 태양권 연구는 항성, 행성 간 공간, 외계행성, 생명 가능성 등 천문학 전반의 연구에 핵심적인 실측자료(ground

truth)를 제공한다.

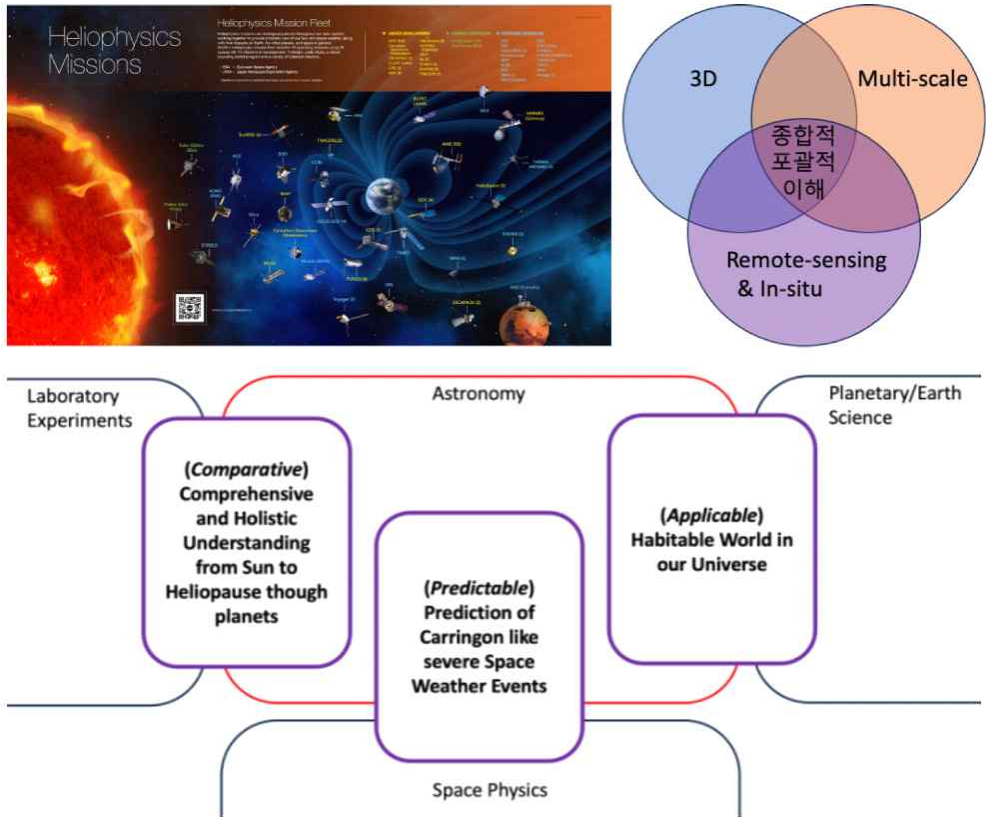


그림 37 (위 왼쪽)NASA의 태양권 임무 선단[그림 출처: NASA], (위 오른쪽)최근 태양권 연구의 경향성 요약, (아래)향후 10년동안 추진할 과학질문 체계

한편, 태양의 활동과 태양권의 상태는 근지구 우주환경(space environment)을 결정하며, 지구 자기권과의 상호작용을 통해 오로라를 동반하는 지자기 폭풍 등의 다양한 현상을 유발한다. 이러한 과정은 위성 운영, 통신 시스템, 항공 항법, 지상 전력망 등 현대 사회의 주요 기술 인프라에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 태양 및 태양권 천문학은 전통적으로 순수 천문학의 영역에서 연구되어 왔으며, 최근에는 인류의 삶이 태양활동에 민감하게 반응하는 첨단 기술에 크게 의존하게 되면서, 태양과 지구 고층대기의 변화를 예측하고 이해하는 응용 연구의 중요성이 더욱 부각되고 있다.

태양 및 태양권 천문학의 연구 현황을 요약하면 물질과 에너지가 시공

간에서 어떻게 전달되며, 각각의 물리적인 시스템이 이에 어떻게 반응하는가이다. 여기서 물리적인 시스템이란 중력적, 자기적, 그리고 구성 입자적 특성(예, 중성입자 또는 플라스마)에 의해 결정되는 공간을 말한다. 현재까지의 연구 분야는 이러한 시스템을 기준으로 분리되어 이루어져 왔으며, 따라서 전통적으로는 태양의 내부(대류권), 채층, 코로나, 행성간 공간, 행성 자기권, 전리권, 열권에 관한 연구가 독립적으로 이루어져 왔다고 할 수 있다.

현대에 와서는 우주 기술의 발달로 태양권 천문학에서는 전통적인 천문학의 특성인 2차원 및 원격탐사(remote-sensing)의 한계를 극복하는 연구가 주도적이다. NASA 및 우주 선진국의 태양권 우주 임무가 선단(fleet)을 이루어 진행되고 있으며, 이는 위의 개별 시스템을 하나의 거대 시스템 안에서 종합적, 포괄적 이해를 추구하는 방향으로 연구 경향성이 발전하고 있다(그림 37, 위). “선단”이라는 표현과 같이 다른 위치에서 여러 임무가 동시 관측을 수행함으로써, 3차원, 다중 스케일, 원격 탐사 대상의 실측(in-situ) 관측 연구가 가능하게 되었다.

현재까지 태양권 천문학은 연구 대상의 시간적, 공간적 스케일이 전통적인 천문학의 그것과 간극이 커, 전통적인 천문학과 구별되는 것으로 여겨져 왔다. 그러나, 관측 기술의 발달로 이러한 간극은 좁혀지고 있으며, 따라서 미래 도전과제의 큰 축이 된 “우주적인 시각에서 본 인류의 기원”의 문제에 있어 태양권 천문학은 실측자료 및 비교 대상을 제공하기에 태양권 천문학에서 쌓아온 지식이 중요하다. 이에 미래 10년 동안 추진할 과학질문의 체계는 전통적인 천문학 분야부터 실험물리, 공간물리, 행성 및 지구과학의 연결지점을 제공하며(그림 37, 아래), 이를 위해 비교적 관점(Comparative), 예측적 관점(Predictable), 응용적 관점(Applicable)에서 앞으로 해결해야 할 난제를 제시하였다.

- ◆ **Comparative:** 자기재연결, 파동, 충격파 현상은 다양한 공간적, 시간적 스케일에서 어떤 양상으로 나타나며, 이들의 시작, 강화, 약화 하는 물리적 기작은 무엇인가? 이들이 고에너지입자를 어떻게 가속하는가?

- ◆ **Predictable:** 태양에서 “Carrington” 이벤트와 같은 현상은 어떻게, 어떠한 주기로 발생할 수 있으며, 다른 다양한 타입의 항성에서는 어떻게 발생하며, 어떠한 주기로 발생하는가?
- ◆ **Applicable:** 태양의 Flare, 충격파, 고에너지입자 현상은 행성에서의 생명의 발생에 어떠한 영향을 주는가? 우주의 어느 행성계에서 생명 발생의 가능성과 안정적 진화 가능성이 높은가?

(1) 국가적 수치모델링 역량의 체계적 강화를 통한 종합적 포괄적 이해

태양의 활동과 그로부터 방출되는 물질·에너지는 행성의 자기권, 전리권, 열권으로 연속적으로 전달되며, 이 상호작용의 결과로 우주환경이 형성된다. 태양의 폭발적 사건에서 시작된 자기재연결, 충격파, 고에너지입자 가속 등의 물리 과정은 태양풍을 따라 전파되고 각 행성의 자기권과 대기는 이에 반응하여 오로라·지자기 폭풍·전리층 교란 등 다양한 현상으로 나타난다. 이처럼 복잡적이고 다층적인 상호작용을 종합적·포괄적으로 이해하기 위해서는 거대 수치모델을 통한 연구가 필수적이다.

이러한 모델은 태양에서 행성으로 이어지는 거시적 에너지 전달뿐 아니라, 미시적 플라즈마, 파동의 상호작용의 과정을 동시에 해석할 수 있어야 한다. 다시 말해, 태양 코로나의 자기장 재연결, 플레어와 CME의 발생, 충격파 전파, 행성 자기권 내의 에너지 축적과 방출, 전리층·열권의 반응까지 하나의 연속적인 물리 과정으로 다루는 통합 시뮬레이션 체계가 필요하다.

우리 학계의 모델링 역량은 이러한 전주기적 해석을 수행하기에 아직 충분하지 않으며, 이는 우주기상 예측과 국제 공동연구 주도력 확보의 걸림돌로 작용하고 있다. 미국의 CGS(Center for Geospace Storms), SWMF(Space Weather Modeling Framework)와 같은 선진 사례를 참고하여, 국가 차원의 Heliophysics 모델링 센터를 설립하고, 다양한 스케일을 아우르는 통합적 수치모델 개발 체계를 갖추는 것이 시급하다.

구체적으로는 태양 코로나와 태양풍의 거시 동역학을 다루는 MHD 모

델, 미시적 파동-입자 상호작용을 기술하는 PIC(Particle-In-Cell) 및 Hybrid 모델, 태양풍-자기권-전리권-열권을 결합적으로 모사하는 다영역 연계 모델이 필요하다. 또한 실시간 관측 자료를 반영하여 예측력을 높이는 데이터 동화 기법, 인공지능·기계학습 기반의 보조 예측모델 개발도 필수적이다.

이러한 통합 모델링 역량은 태양-지구 시스템을 넘어 다양한 지상 실험실 연구와의 비교를 가능하게 하고, 극한 사건의 발생과 진화를 예측하며, 이들 지식을 다양한 항성 및 행성에 적용하여 생명 환경에 대해 연구할 수 있는 토대를 제공할 것이다.

(2) 대형 임무 준비와 태양권 기반 연구 강화

위에 설정한 난제들을 해결하기 위한 기초는 태양 및 태양권 물리 현상의 이해 강화이며, 이를 위해서는 새로운 관측자료가 필요하다. 우리가 중요하게 고려할 것은 미래 연구의 중요 트렌드로 도출한 3차원, 다중스케일, 원격/in-situ 결합 관측이다. 이는 전통적인 태양-지구 방향의 관측이 아닌, 제3의 관측 지점을 필요로 한다. 이러한 필요에서 NASA 주도의 STEREO 우주선이 2006년에 발사되어 현재까지도 운용되고 있으며 많은 새로운 지식을 창출했다. 이러한 맥락에서 국제적으로 기획하고 있는 L4, L5, 태양 극지역 임무 등 새로운 시선방향 관측은 미래 태양권 천문학 연구의 핵심축이 될 것으로, 우리나라가 이 분야의 국제적인 리더가 될 수 있도록 기반 연구를 강화해야 한다.

이에 태양권 천문학계는 현재 비슷한 개념의 임무 자료들을 적극적으로 활용해야 한다(STEREO, Parker Solar Probe, Solar Orbiter 등). 이를 통해 태양의ダイ나모와 같은 이론적인 연구에서부터 Flare, CME, 충격파 등의 폭발적인 현상, 태양풍의 거대/미세구조, SEP(Solar Energetic Particles)의 발생과 확산 등의 연구, 그리고 이들을 지구 및 다양한 행성 관측자료와 함께 분석하여 항성-행성의 물질, 에너지의 상호 작용 등, 우리 태양권 내 물리 현상에 대한 지식을 축적하고 이해를 심화해야 한다.

(3) 오로라 연구를 통한 항성-행성계 상호작용 및 극한 우주환경 이해

태양풍으로부터 유입된 에너지가 어떻게 극지방의 오로라를 통해 열권과 전리권에 전달되고, 다시 지구의 중성대기와 결합하여 우주기상 변동을 유발하는지, 나아가 이러한 과정이 타 행성계에서도 어떤 형태로 나타나는지는 태양권 천문학이 향후 해결해야 할 가장 중요한 과학적 질문 중 하나이다. 오로라는 이 복잡한 에너지 전달의 과정을 시각적으로 드러내는 자연 실험실이며, 스톱, 서브스톱과 같은 극단적 사건의 진화를 추적하고, Carrington급 사건과 같은 극한 우주환경을 예측하는 데 핵심적 단서를 제공한다. 또한 외계행성의 오로라 관측은 그 행성의 자기권 존재와 대기 조성, 항성풍과의 상호작용을 간접적으로 파악할 수 있는 수단으로, 항성계의 생명 거주 가능성을 평가하는 데에도 결정적인 역할을 한다. 또한, (초)저궤도 위성 운영 영역인 열권의 수직적인 중성 대기 정보 예측 능력은 현재 국제적으로 큰 관심사인 Very Low Earth Orbit(VLEO) 위성의 미래 운영이라는 실용적인 측면에서도 중요하다.

이를 위해 향후 연구는 지구 극지방 상층대기의 오로라와 전리권-열권 간 결합 과정을 정밀하게 이해하는 방향으로 나아가야 한다. 광시야 오로라 영상과 열권의 중성 대기 수직 구조 정보를 동시에 확보할 수 있는 관측체계는, 에너지 유입 및 전파 과정을 다중 스케일에서 추적하는 데 필수적이다. 현재 미국 NASA를 중심으로 추진 중인 GDC, EZIE(Electrojet Zeeman Imaging Explorer), TRACERS(Tandem Reconnection and Cusp Electrodynamics Reconnaissance Satellites), DYNAMIC(DYnamical Newtral Atmosphere-Ionosphere Coupling) 등은 이러한 접근의 국제적 흐름을 보여주지만, 여전히 오로라 영상과 열권 결합에 대한 직접적 정보가 부족하다. 따라서 우리 연구 공동체는 이러한 국제적 노력의 틀 안에서, 오로라 영상과 열권 구조 관측을 결합한 분석 기법을 고도화하고, 기존 위성·지상 관측자료를 통합적으로 활용하여 지구 내·외부 에너지 전달 과정을 정량적으로 해석하는 연구를 강화해야 한다.

또한 외계행성의 오로라 연구는 항성-행성 상호작용의 보편적 물리를

규명하고, 항성풍이 대기과 자기권에 미치는 영향을 통해 생명 거주 가능성을 추정하는 연구의 중요한 기틀이 된다. 이를 위해 지구 및 태양계 행성의 오로라를 고해상도 다과장 영상, 분광 관측, 전파탐지 등 다양한 방식으로 관측하고, 수치모형과 결합해야 한다. 이를 통해 외계행성 오로라의 직접 관측을 위한 전략을 마련해야 하며, 자료 해석을 위한 틀을 마련해야 한다. 이러한 통합 연구는 태양권의 복합적 에너지 흐름을 이해하는 동시에, 항성-행성계의 물리적 상호작용과 생명 환경 형성의 보편적 법칙을 규명하는 데 기여할 것이다.

(4) 다중위성 편대비행을 이용한 multi-scale 연구

태양에서 방출된 에너지와 물질이 지구 자기권, 전리권, 열권으로 전달되며, 그 과정에서 오로라·지자기 폭풍·전리층 교란과 같은 현상을 유발하는 메커니즘을 규명하는 것은 향후 10년간 태양권 천문학이 해결해야 할 핵심 과제이다. 이 에너지·질량·운동량의 흐름은 지역적으로는 미시적 플라즈마 상호작용으로, 전지구적으로는 전류계와 대기 순환의 변화로 나타나며, 시공간적으로 매우 급격하고 비선형적인 특성을 보인다. 이러한 복합적 과정은 태양-지구 시스템에서만 아니라, 다른 항성-행성계에서도 유사하게 일어날 가능성이 높으며, 따라서 다양한 높이·위도·시간 스케일에서 관측을 결합해, 이 복잡한 에너지 전달의 연속성을 규명하는 것이 핵심이다.

단일 지점이나 단일 시점의 관측으로는 이러한 다중 스케일 과정을 완전히 해석하기 어렵기 때문에, 향후 연구는 동시 다점 관측, 다층적 데이터 융합, 지상-우주 복합 분석 체계를 결합한 통합적 접근으로 나아가야 한다. NASA가 추진 중인 Geospace Dynamics Constellation(GDC) 등은 이러한 연구 패러다임의 중요성을 보여주는 사례로, 지역적 변동과 전 지구적 변동의 상호작용을 동시에 파악하는 새로운 연구 방향을 제시한다.

향후 학문적 노력은 다중 위성·지상 관측자료를 활용하여, 오로라 전류계의 3차원 구조, 플라즈마 밀도와 전류계 변동, 전리권 난류와 중성대기의 반응, 입자 강하에 따른 열권의 에너지 변화 등을 정량적으로 해석할 수 있는 분석 기법을 발전시켜야 한다. 이러한 연구는 에너지 전달의 시

공간적 경로를 규명함으로써, 극한 우주환경 사건의 발생 과정을 물리적으로 이해하고, 현상 기반의 우주기상 예측을 물리 기반 모델로 고도화하는 연구의 핵심 기반이 된다.

한편, 자기권의 저온 플라즈마는 전체 질량의 대부분을 차지하지만, 그 분포와 순환, 손실 과정은 아직 충분히 이해되지 못했다. 저온 플라즈마는 파동 전파와 입자 가속의 주요 매질로 작용하며, 태양풍 에너지가 지구 자기권에 어떻게 저장되고 방출되는지를 결정짓는 중요한 열쇠이다. 따라서 향후 연구에서는 ENA(Energetic Neutral Atom) 영상관측, 자외선 분광, radio sounding 등 다양한 원격·현장 관측 기법을 융합하여 저온 플라즈마의 시공간적 변화를 추적하고, 자기권-전리권-열권 간의 연계 메커니즘을 정량적으로 규명해야 한다.

이러한 노력은 태양권 천문학의 핵심 과학 질문, 자기재연결·파동·충격파의 다중 스케일 진화, 극단적 사건의 발생 예측, 그리고 행성 환경에 대한 영향 등에 대한 실질적 해답으로 이어질 것이다.

(5) New Space 시대 소형 탑재체를 활용한 심우주 환경 연구

또한 우리는 10년간 본격화될 달, 화성, 소행성 등 다양한 딥 스페이스 우주탐사 미션의 확대에 창출될 많은 과학 탑재체 수요에 대응하기 위해, 우리 태양권천문학 공동체가 소형탑재체를 이용해 할 수 있는 차별적인 과학 주제와 새로운 관측기법, 관측 물리량을 도출하는 것을 추천한다. New Space 시대가 시작됨에 따라 SpaceX로 대표되는 민간 발사체 기업의 발사 횟수가 대폭 증가될 것이며 따라서 CubeSat과 SmallSat을 비롯한 소형 탑재체의 발사 기회의 문턱이 크게 낮아질 것이다. 또한 1950년대에 시작된 미국, 구소련의 많은 행성 탐사에 탑재된 관측기기를 통해 태양풍 등의 연구가 급격히 발전할 수 있었던 것처럼, 현재 우주 선진국에서 계획하는 달, 화성, 소행성 등의 딥스페이스 미션에도 태양권 천문학 탑재체의 수요가 많이 있을 것으로 예상된다.

이에 따라 우리 학계는 소형 탑재체를 통해 해결할 수 있는 차별적인 과학 질문을 조기에 도출하고 이에 대한 선행 연구를 집중적으로 수행해

야 한다. 특히 태양풍과 행성 대기 및 자기권의 상호작용, 소규모 플라즈마 파동-입자 과정, 방사선과 먼지 환경의 시공간 변동과 같은 주제는 소형 탑재체가 독창적인 기여를 할 수 있는 분야이다. 저비용이면서도 고효율적인 관측 전략을 마련하고, NASA나 ESA의 국제 탐사 프로그램에 과학 탑재체를 제공할 수 있는 기술적·조직적 역량을 확보하는 것이 필요하다. 이러한 준비는 다중 행성 탐사 시대에 우리 연구자들이 전략적으로 참여하고 과학적 기여를 확대하는 데 결정적인 역할을 할 것이다.

5. 난제 해결을 위해 필요한 연구시설

위와 같은 도전적인 연구를 통해 우주에 대한 획기적으로 새로운 지식을 얻기 위해서는 그동안 우리가 알지 못한 우주의 새로운 모습을 밝혀줄 수 있는 새 연구시설이 필요하다. 우주 연구에 새로운 돌파구를 열어줄 시설의 유형으로는 크게 5가지가 있다: (i) 다양한 파장의 빛에서 극한의 우주를 관측할 수 있는 초대형 지상 관측시설, (ii) 빛이 아닌 중력파나 중성미자와 같은 새로운 매체를 이용하여 우주를 새로운 시각에서 연구할 수 있게 하는 관측시설, (iii) 한국 천문학회 주도의 연구와 역량 강화를 가능하게 해주는 한국 주도 창의적 관측시설 구축, 그리고 (iv) 우주 공간에서의 관측시설, (v) 새롭게 얻은 막대한 자료의 분석이나 이론적인 계산을 위한 대용량 자료 저장 시설과 고성능 계산시설의 구축이 바로 그것이다.

초대형 지상 관측 장비는 아직 인류가 접하지 못한 먼 과거 우주의 모습을 보거나 외계행성과 같은 천체를 자세히 관측하기 위해 꼭 필요한 시설이다. 그러나 그러한 시설의 구축은 대형화와 첨단화로 인한 기술적인 어려움뿐만 아니라 건설과 운영에 막대한 예산이 투입되어야 할 정도로 예산 면에서도 매우 도전적이어서 한 나라가 단독으로 그러한 시설을 만들기는 어렵다. 한국의 경우, 경제 규모나 천문학계의 규모로 볼 때 단독으로 초대형 관측시설의 구축은 매우 힘들어 보인다. 이러한 시설에 대해서는 국제협력을 적극 추진하는 것이 현실적이다. 단기적으로는 현재 한국이 국제 공동 운영의 주체로서 참여하고 있는 제미니 천문대와 ALMA에 최소한 현재 수준의 지분을 가지고 계속 참여해야 할 것이다. 2025년 말부터 본격적으로 가동될 베라 루빈 천문대의 경우 타 관측시설과의 시너지가 크게 예상되기 때문에, 더 많은 한국 천문학자가 활용할 수 있도록 지원하는 것이 바람직하다. 이러한 망원경은 앞으로 10년간 다양한 천문학 분야에서 국제적인 경쟁력을 유지할 것이며, 연구 인력 양성에도 크게 기여할 것이다. 중기적으로 볼 때 현재 한국이 참여하여 건설 중인 거대마젤란 망원경(GMT)과 SKA와 같은 거대 시설의 지분 확보가 계획대로

이루어지도록 하여 2030년대 전후에 이들을 활용한 첨단 연구를 수행할 수 있게 하는 것이 중요하다. 국제협력으로 초대형 관측시설을 활용할 때 한국 천문학계가 주도할 수 있는 과학임무를 특정하고 해당 임무에 맞는 관측기기의 직접 개발 또는 요소 기술의 적용과 같은 형태로 참여하는 것이 바람직하다. 그렇게 할 수 있다면 추후 후속 연구를 위한 기술 축적과 한국 주도의 연구 역량 신장에 크게 도움이 될 것이다. 장기적으로 볼 때에는 대형 관측시설 건설을 한국이 주도하는 데에도 도전해 볼만하다. 제안된 연구시설 중 다천체 분광탐사 망원경의 경우, 과학임무나 기술 개발 등의 측면에서 큰 파급력이 예상되기 때문에 그 구축 가능성에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 보인다.

두 번째 유형인 관측 매체의 다양화란 빛이 아닌 새로운 매체로 우주를 살펴보는 것이다. 최근 중력파와 중성미자의 관측을 통해 우주를 연구할 수 있게 되었는데 이는 블랙홀 병합과 같은 미지의 천체 현상을 다수 발견할 수 있음은 물론 우주 팽창에 관한 여러 난제도 새로운 시각으로 풀 수 있게 해주는 매우 잠재력 있는 연구 방법으로 주목받고 있다. 새로운 매체로 우주를 연구하는 분야는 앞으로 급격하게 발전할 것으로 예상되므로 한국 천문학계도 크게 관심을 가져야 할 것이다. 단기적으로는 기존 중력파 천문대나 중성미자 천문대의 관측연구 역량을 높이고 중력파 원이나 중성미자 천체를 후속 관측할 수 있는 시설의 구축을 통한 다중신호 천문학 수행 능력도 키워나가야 할 것이다. 중장기적인 관점에서는 차세대 중력파 검출기 사업을 국제협력으로 수행하여 이 분야의 경쟁력을 높이는 한편, 한국 주도로 초전도 텐서 중력검출기와 같은 새로운 개념의 검출기를 개발하여 중력파 관측 연구의 새로운 영역을 개척하거나 한국 중성미자 천문대와 같은 국내 연구자들의 제안을 자세히 검토하고 기초 연구를 수행하게 하여 실현 가능성을 높여나가는 노력이 이루어져야 할 것이다.

세 번째 유형인 한국 주도 연구시설의 경우, 현재 대표적인 것으로 한국천문연구원이 구축한 KVN과 KMTNet이 있다. 대학 시설의 경우, 서울

대학교가 한국천문연구원과 태양 관측용으로 공동 개발한 고속영상태양분광기, 다중신호 천문학을 염두에 두어 개발된 7차원 망원경(7DT) 등이 있다. 기구축된 시설들이 앞으로 경쟁력을 유지할 수 있도록 꾸준한 관리와 업그레이드를 할 수 있도록 하여야 할 것이다. 보현산천문대, KMTNet 등 한국천문연구원과 대학이 보유하고 있는 지상 관측시설을 대폭 현대화하여 네트워크화하는 것이 한 방안이라 할 수 있다. 이러한 프로젝트를 통해, 대형 관측시설을 구축하는 대규모 프로젝트 수행을 위해 필수적인 연구 인력과 관측시설의 관리, 보수, 기기 개발 전문 인력의 양성과 역량 강화가 이루어질 수 있을 것이다. 축적된 전문 역량은 지상 관측시설 뿐 아니라 우주망원경 및 우주 관측 체계 개발 및 시험에도 직접적으로 기여할 수 있으므로 우주탐사 및 우주개발의 중요성이 강조되는 시점에 그 중요성이 더욱 드러날 것이다.

우주 공간에 관측시설을 올려놓으면, 지상에서 할 수 없는 매우 다양한 형태의 관측이 가능하다. 우주망원경을 활용하면 지상에서 하지 못하는 적외선이나 자외선 관측을 통해 별과 행성 탄생의 비밀을 밝혀낼 수 있음은 물론, 지구 대기의 흔들림에 영향받지 않고 먼 과거 은하의 모습도 높은 해상도의 관측으로 상세히 알아낼 수 있다. 우리나라는 그동안 한국천문연구원의 FIMS, MIRIS, NISS와 같은 소형 우주망원경 미션을 통해 우주망원경 개발에 관한 자체 기술을 축적해 왔고 다른 한편으로는 해외 우주망원경 사업에 대한 참여와 활용으로부터 우주망원경을 이용한 연구 능력을 키워왔다. 이렇게 키워낸 역량을 바탕으로 스피어엑스라는 세계 최고 성능의 분광 영상 탐사 우주망원경을 NASA와 함께 개발하는 성과를 거두었다. 단기적으로는 스피어엑스의 관측 결과물을 최대한 활용하여 연구 성과를 극대화하여야 할 것이며 중장기적으로는 한국 주도 우주망원경을 개발하여 관측 영역의 확장은 물론 우주망원경 기술력을 높여나가야 할 것이다. 향후 한국 주도의 우주망원경을 확보하게 되면, 국내 천문학계는 독자적 관측 자산을 기반으로 우주론, 은하 진화, 별의 형성과정 등 한국 천문학계가 설정한 주요 과학 난제에 도전할 연구 역량을 획기적으로 강화할 수 있을 것이다. 또한 그렇게 얻은 기술력을 바탕으로 더 큰 국제

협력 프로젝트의 참여도 가능해질 것이다.

마지막으로 위와 같은 다양한 시설에서 얻은 빅데이터를 저장하고 분석할 수 있는 시설의 구축이 시급하다. 현대 천문학은 데이터 과학이라고 불리는 만큼 한국 관측시설에서 생성된 관측자료를 체계적으로 관리하는 시스템을 구축하는 것도 매우 중요하다. 또한 나날이 세밀화되고 있는 관측자료의 분석을 위해서는 천체에 대한 수치 모의실험도 정밀화되어야 한다. 그러나 현재 천문학계가 다른 분야 연구자들과 함께 사용하고 있는 국가 공용 계산시설은 이미 포화 상태라 천문학 계산 연구 수요를 전담하여 뒷받침할 수 있는 고성능 계산시설(High Performance Computing, HPC)의 구축도 서둘러야 할 것이다.

한국 천문학계가 도전할 난제 해결을 위해 필요한 연구시설에 대한 구체적인 내용을 9개 워킹그룹에서 제안된 내용을 바탕으로 “5.1 기존 시설”, “5.2 진행 중인 시설”, “5.3 미래 시설”, “5.4 꾸준히 추진되어야 할 주요 장비와 시설” 등 네 가지로 나누어 제시하고자 한다. 다음 페이지의 표에 주요 연구시설과 활동에 대한 구축 및 활용 일정을 요약하였다.

분 류	국제협력 여부	명 칭	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35	'36~	'40~		
기존 시설	국제협력	8m급 광학망원경	가동											추후 활용결정		
		루빈/LSST	가동											자료활용연구		
		<u>알마(ALMA)</u>	가동 및 업그레이드											추후 활용결정		
		1.6m 태양망원경(GST)	가동 및 업그레이드											추후 활용결정		
		<u>스피어엑스(SPHEREx)</u>	가동	연장미션 및 자료 활용					자료활용 연구							
	한국주도	외계행성탐색시스템(KMTNet)	가동 및 기존시설 업그레이드											추후활용결정		
		<u>한국우주전파관측망(KVN)</u>	가동 및 기기 업그레이드											추후활용결정		
건설 중인 시설	국제협력	<u>거대마젤란망원경(GMT)</u>	건설											가동		
		<u>평방킬로미터배열(SKA)</u>	건설	확장 건설 및 가동												
		<u>차세대중력파검출기</u>	건설											가동		
미래 시설	국제협력	차세대 대형전파망원경배열(ngVLA)	희망 활용 시기 : 2030 – 2040년대													
	한국주도	아테나(ATEHNA)														
		전천 원격관측시스템														
		한국 우주망원경														
		<u>다천체 분광탐사망원경</u>														
		<u>초천도 텐서중력센서</u>														
		한국 중성미자천문대														
		다중신호 관측네트워크														
		L4 태양 미션														
		태양계 및 태양 미션														
지속적으로 유지할 시설 또는 분야	한국주도	자료저장 / 계산시설	구축 및 활용/지속적 확장													
		관측기기 개발	지속적 개발 및 활용													
		창의적 관측 프로젝트	지속적 개발 및 활용													

<미래의 난제 해결을 위한 한국 천문학계의 연구시설들>

5.1. 기존 관측시설

(1) 8m급 광학망원경 - 국제협력

현재 한국 천문학회에는 남반구와 북반구에 1대씩 설치되어 있는 현존 세계 최고 수준의 광학망원경인 구경 8.1m 제미니 망원경을 사용 중이다(그림 38). 특히 제미니 망원경의 대기열(queue mode) 운영 방식은 다중신호 천문학이나 LSST와 같은 시간영역 탐사 관측연구에서 발견될 돌발 천체들의 특성 파악을 위한 신속한 후속 관측에 매우 효율적인 관측 방법이다. 앞으로 10년간 다중신호 천문학과 시간영역 탐사 관측 연구가 크게 발전할 시점에 제미니 망원경과 같은 8m급 망원경이 돌발 천체 후속 관측을 위한 주력 시설이 될 것으로 예상된다. 또한 제미니 망원경은 차세대 거대 광학망원경을 이용하여 관측을 수행할 학문 후속 세대 양성에도 큰 역할을 하고 있다. 이러한 점은 제미니 망원경을 활용하기 시작한 2015년부터 2024년 말까지 이 망원경의 관측자료를 활용한 국내 대학의 박사학위 논문이 최소 10건에 이르는 것에서 잘 드러난다. 앞으로 10년 동안 제미니 망원경과 같은 8m급 광학망원경 관측시설을 활용한 연구 인력의 역량 제고와 신진 연구 인력 양성이 지속적으로 이루어지는 것이 중요하다.



그림 38 8.1m 구경 광학망원경인 제미니 망원경. 남반구와 북반구에 각각 1대씩 설치되어 운영되고 있는 망원경으로 2030년대에도 천문 연구의 최전선에서 활약할 것으로 예상된다.

[그림 출처: International Gemini Observatory/NOIRLab/AURA]

(2) 베라 루빈 천문대 및 LSST - 국제협력

우주공간탐사(Legacy Survey of Space and Time, LSST)는 국제공동 탐사 관측 전용 시설인 베라 루빈(Vera Rubin) 천문대에서 2025년부터 본격적인 관측을 통해 수행할 대규모 우주탐사 프로젝트이다(그림 39). 남반구 전 하늘을 대상으로 가시광선 파장 영역에서 가장 깊은 영상 관측자료를 매일 제공하는 매우 야심 찬 탐사 프로젝트이다. 한국도 이 프로젝트의 관측 운영 참여, 데이터 센터 제공, 보조 관측시설 관측 시간 제공 등을 통해 학계 일부 그룹이 LSST 자료 접근 권한을 확보한 상태이다. 앞으로 10년간 LSST가 제공할 최고 품질의 시계열 영상 관측자료는 앞서 언급한 대부분의 난제 해결에 매우 유용할 것으로 예상된다. LSST 자료에서 발견한 흥미로운 천체를 거대마젤란 망원경, 제미니 망원경과 같은 대형 광학 관측시설로 후속 관측한다면 한국 관측 천문학의 연구 역량을 더욱 높일 수 있을 것이기에 LSST 자료 접근 권한을 지속적으로 유지하거나 확대하는 것이 바람직하다.



그림 39 LSST를 수행할 베라 루빈(Vera Rubin) 천문대의 모습. 8m 구경의 광시야 대형 광학망원경을 사용하여 남반구 하늘 탐사를 한다. 한국도 천문대 운영과 LSST 수행에 일정 부분 기여하여 제한적으로나마 자료 접근을 할 수 있으며, 제미니 망원경, 거대마젤란 망원경 등과의 시너지가 기대된다. [그림 출처: 임명신/서울대학교]

(3) KVN - 한국 주도

KVN의 다파장 동시 관측 방식은 VLBI 관측에 혁신을 불러일으키고 있으며 이 기술을 해외 망원경 또는 더 높은 주파수까지 확장하고 있다. 현재 일본과 중국을 포함한 동아시아 VLBI 협력이 활발히 이루어지고 있으며 사건지평선 망원경(EHT) 협력으로부터 주목할 만한 연구 성과들을 만들고 있다. 앞으로도 EHT, 해외 전파망원경, 우주 VLBI 망원경 등과 공동 관측을 통해 초대질량 블랙홀과 제트 방출 기작 연구에 큰 성과가 기대된다. 또한 돌발 천체나 별 탄생 연구와 같은 난제 해결에도 KVN이 계속 세계적인 경쟁력을 유지할 수 있을 것으로 예상된다. KVN의 운영과 국제 VLBI 관측 협력이 안정적으로 수행될 수 있도록 지속적인 투자가 필요하다.

(4) ALMA - 국제협력

ALMA 전파망원경은 칠레 아타카마 사막에 건설된 세계 최대의 전파 관측시설 중 하나로 국제 컨소시엄에 의해 건설, 운영되고 있다(그림 40). 2011년 첫 관측을 시작한 이래 성공적인 운영을 통해 초기에 수립된 주요 과학 목표를 달성하였으며, 2018년에 은하, 복잡한 유기 분자, 그리고 행성의 기원을 밝히는 새로운 과학 목표를 수립하였다. 이 목표를 달성하기 위하여 광대역 감도 업그레이드(Wideband Sensitivity Upgrade) 프로그램을 2030년까지 진행할 예정이다. 한국은 2013년부터 ALMA에 참여하고 있으며 국내 전파천문학 연구자들의 핵심 시설 중 하나로 활용하고 있다. 한국천문연구원에서는 ALMA 성능 업그레이드에 기여하기 위해 ALMA 전력 배열 (Total Power Array)용 GPU 분광기/상관기를 개발 중이다. 국내 연구자들이 활발하게 사용하고 있는 ALMA를 앞으로도 안정적으로 활용할 수 있도록 지속적인 지원이 필요하다.



그림 40 해발고도 5000미터의 칠레 아타카마 사막에 설치된 ALMA 망원경
[출처: ALMA 홈페이지]

(5) 스피어엑스(SPHEREx) - 국제협력

스피어엑스는 NASA와 한국천문연구원이 공동 개발하여 2025년 3월에 발사한 우주망원경이다(그림 41). 전 하늘에 대한 근적외선 분광 영상 탐사를 목표로 하는 망원경으로 그 관측자료는 현대 천문학의 난제인 우주론 연구, 은하 진화 연구, 우리은하 별탄생 지역 연구 등 다양한 분야에서 활용될 것으로 예상된다. 뛰어난 성능과 우수한 내구성을 가진 망원경이기에 당초 계획된 2년의 미션 기간 후에도 연장 활용할 수 있도록 미국 NASA와 적극 협조하고 필요한 지원이 이루어질 수 있도록 해야 할 것이다. 아울러 스피어엑스가 획득한 자료를 국내 연구자들이 최대한 활용할 수 있게 해주는 '우주망원경 공용 자료 활용 연구' 지원 체계를 수립해야 할 것이다.

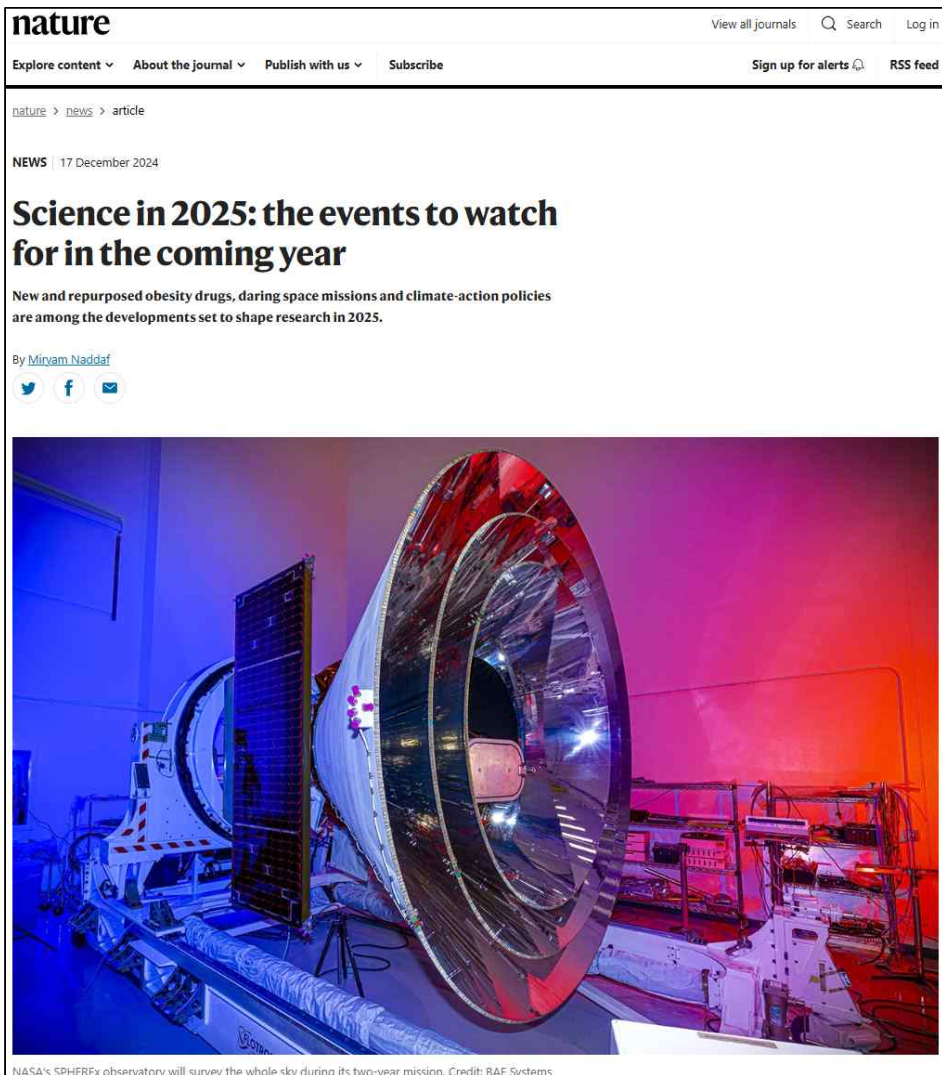


그림 41 학술지 네이처가 2025년 주목할 이벤트 중 하나로 보도한 SPHEREx 우주망원경의 모습. 한국천문연구원은 유일한 국제협력 국가로 참여하였으며, 관측기기의 검교정을 위한 핵심 장비 제공을 포함하여 SPHEREx 프로젝트 전반에 참여하고 있다. [그림 출처: 네이처]

(6) 1.6m 태양관측망원경 (Goode Solar Telescope; GST) - 국제협력

현재 한국천문연구원이 공동 운영에 참여하고 있는 미국 빅베어 태양관측소의 1.6m 태양망원경 GST는 현재 운용 중인 태양망원경 중 4m DKIST 망원경에 이어 세계에서 두 번째로 큰 태양망원경으로 높은 공간 및 시간 분해능을 자랑한다. 특히 세계 최대 태양망원경인 4m DKIST의

시상 환경이 장기간 안정적이지 못하다는 것과 세계적인 수요가 많아 관측 시간 확보가 쉽지 않다는 점을 고려할 때 현재 GST 관측 시간 중 연 21일을 한국에서 고정적으로 활용할 수 있다는 것은 매우 큰 이점이 아닐 수 없다. 광구 영상관측기와 태양물리학의 여러 가지 난제 해결을 위해 필수적인 고분해능 자기 편광 관측기, 복잡한 채층의 동역학의 이해를 위해 필요한 채층 영상 분광기 등이 구비되어 있다. 특히 대표적 채층 분광선인 가시광 에이지알파선과 적외선 칼슘선을 동시에 고분산 분광 관측할 수 있는 고속영상태양분광기(Fast Imaging Solar Spectrograph; FISS)는 한국 천문연구원과 서울대학교가 공동 개발하여 10년 이상 성공적으로 운용한 관측 장비이다. 한국의 채층 동역학 연구 분야를 이끌었으며, 여러 우주 기반 관측기와 공조 관측을 통해 활발히 활용되고 있다(그림 42). 태양의 낮은 대기에서 일어나는 여러 동역학적 현상들에 관한 분광학적 연구의 중요도가 높아진 세계적 동향을 고려하고 향후 개발이 예정된 여러 분광 관측기에 대한 프로젝트 진행을 고려할 때 해당 기기의 과학적 가치와 기여는 앞으로 더 증가할 것이라고 기대한다. 따라서 이와 같은 지상 기반의 과학적 가치가 높은 관측기에 대한 지원과, 이 기기의 성능 향상을 위한 꾸준한 기술개발 지원이 요구된다.



그림 42 빅베어 천문대 1.6m 태양망원경과 이에 설치된 고속영상태양분광기가 촬영한 흑점의 수소 알파선 및 칼슘선의 분광 영상 (출처: 빅베어천문대 및 한국천문연구원/서울대학교)

✓ **추천 사항:** 국제협력/한국주도 구분 없이 모두 향후 10년간 국제 경쟁력을 갖출 것이며 천문학 난제 해결에 활발히 사용될 연구시설로 활약이 기대된다. 특히 인력 양성, 기술개발과 같은 면에서도 큰 역할이 예상되기에 기존 관측시설에 대한 안정적인 지원은 물론 성능 향상 또는 업그레이드를 위한 지원이 이루어져야 할 것이다.

5.2. 건설 중인 시설

본 절에서는 우리나라 천문학계가 건설에 참여하고 있는 세계 최대급의 첨단 연구시설 중 한국 천문학계가 현대 천문학의 난제 해결에 도전하기 위해 갖추어야 할 필수적인 시설들을 소개한다. 2030년대 중반쯤 가동이 예상되는 이러한 시설들은 여러 나라가 협력해서 추진해야만 할 정도로 비용이 많이 들며 난이도가 높은 기술이 필요한 연구시설로서 국가 차원의 관심이 필요하다. 한국 천문학이 지속적인 발전 동력을 유지하기 위해서는 이들에 대한 정부 차원의 관심과 지원이 이루어져야 할 것이다.

(1) 거대마젤란 망원경(Giant Magellan Telescope, GMT) - 국제협력

예상 가동 시작 시기: 2030년대 중반

한국 천문학계가 도전적인 난제들을 해결하여 국제적인 연구를 선도하기 위해서는 최고 성능 광학망원경 시설의 확보가 필수적이다. 한국은 2009년부터 거대마젤란 망원경(Giant Magellan Telescope, GMT)의 공동 건설을 위한 국제 컨소시엄에 참여하고 있다(그림 43). 거대 광학망원경은 높은 집광력과 해상도를 가지고 있어, 기존 시설로는 불가능했던 희미한 천체를 매우 정밀한 수준에서 연구할 수 있게 해준다. 거대마젤란 망원경은 대형 우주망원경과의 협력 연구를 통해 우주 진화 초기의 별과 은하 생성이나 외계행성의 대기 연구를 통한 우주 생명의 기원 연구 등 새롭고 중요한 천체 현상을 발견하고 근본적인 물리법칙의 한계를 시험할 수 있게 할 것이다.



그림 43 거대마젤란 망원경 상상도 [그림 출처: GMTO]

(2) SKA - 국제협력

예상 가동 시작 시기: 2030년 전후

현재 건설 중인 SKA는 저주파수 전파 영역에서 고감도 광시야 관측이 가능한 장비로 2030년대 연구를 이끌 세계 최대 관측 인프라로 꼽힌다(그림 44). 우리나라도 2025년부터 SKA 참여를 시작하게 되었다. 한국은 SKA-VLBI를 비롯한 SKA의 확장과 성능 향상에 기여하는 계획을 수립 중이다.

SKA는 초기 우주 재이온화기 연구, 펄서와 초대질량 블랙홀을 이용한 중력 이론 검증, 전파 돌발 천체 (FRB) 연구, 외부은하의 형성과 진화 연구, 블랙홀의 형성과 진화, 그리고 우주 생명의 기원 및 징후 탐색 등 난제 해결에 필요한 새로운 관측자료를 제공할 것으로 기대된다.



그림 44 SKA-mid(좌)와 SKA-low(우)의 상상도 [그림 출처: SKAO]

(3) 차세대 중력과 검출기 - 국제협력

예상 가동 시작 시기: 2035 ~ 2040

2030년대 중반 완성을 목표로 개발 중인 차세대 중력과 검출기들로는 Einstein Telescope, Cosmic Explorer, LISA 등이 있다(그림 45). 이 차세대 검출기들은 우주 최초의 별 탄생 이전 시기까지 블랙홀 병합 현상을 관측할 수 있는 성능에 도달하며, 중력과 관측 스펙트럼을 더 낮은 주파수 대역으로 확장하게 해준다. 이들은 가까운 우주를 넘어 우주 전체 범위에 대한 중력과 관측을 통해 표준 우주 모델 검증, 암흑에너지에 대한 이해 증진 등 현대 우주론의 난제를 해결하는 중력과 우주론 연구, 블랙홀 생성 과정의 정밀한 이해, 중성자별 내부의 극한 물질 상태 파악 등 기존 천문학에서 불가능했던 연구를 가능하게 만들어 줄 것이다. 이러한 비약적인 발전의 시대에 우리나라가 선도적인 지위를 확보하기 위해서는 차세대 중력과 검출기 계획에 적극적으로 동참해야 하며, 특히 검출기 자체의 설계, 제작 및 관련 기술 개발에 대한 기여가 필수적으로 요구된다.

✓ **추천 사항:** 모두 준공 시 세계 최고 수준의 관측시설이 되어 한국 천문학계의 연구 역량을 크게 강화할 것이다. 따라서 이러한 시설들의 건설과 운영에 국내 연구자들이 적극적으로 참여할 수 있게 하는 지원이 이루어져야 한다.

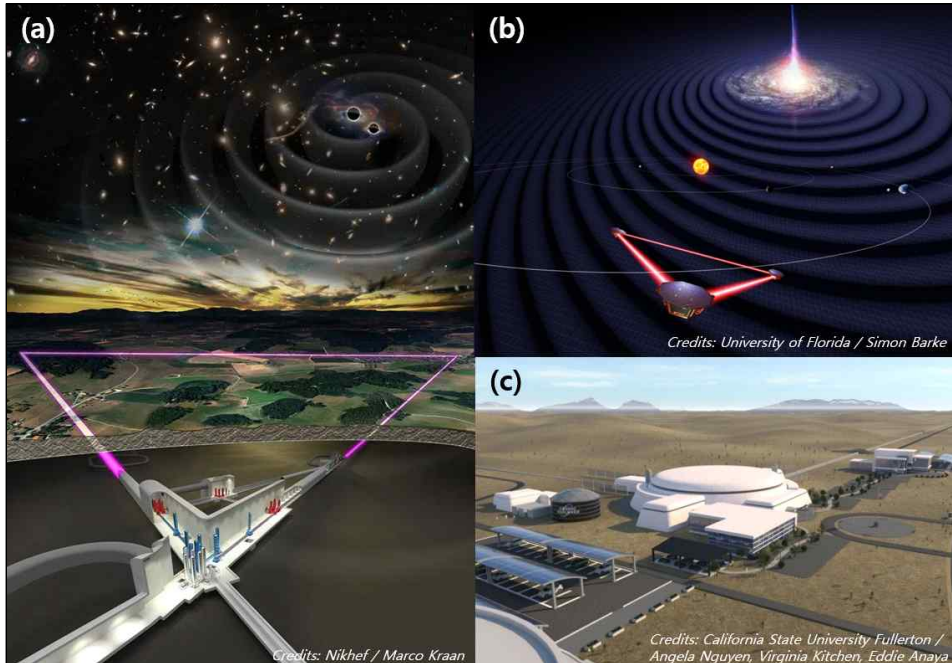


그림 45 대표적인 차세대 중력파 관측시설 (a) 아인슈타인 중력파 망원경 (Einstein Telescope) (b) 리사 우주 중력파 안테나 (Laser Interferometer Space Antenna: LISA) (c) 코스믹 익스플로러 중력파 관측소 (Cosmic Explorer) [그림 출처: 각 그림 속에 표기]

5.3. 미래 시설

이 절에서는 현재 구상 중이거나 계획 중인 미래의 연구시설들을 소개한다. 여러 연구 분야에서 제안된 계획들은 소요 비용과 필요한 기술, 국내 주도와 국제협력 등 매우 다양하게 구성되어 있다. 어떤 연구시설은 개념적인 구상 단계에 머물러 있고 어떤 시설들은 이미 구체적인 계획이 수립되어 정부에서 실시하는 타당성 조사를 거친 계획도 있으며, 어떤 분야에서는 다양한 계획들이 제시되어 우선순위에 대한 논의가 진행 중인 경우도 있다.

■ 한국 우주망원경 - 한국 주도

우주망원경은 지상에서 관측이 어려운 파장 영역이나 고해상도 데이터를 대기의 흡수 및 왜곡 없이 안정적으로 확보할 수 있게 해주는 최첨단

관측 장비이다. 향후 한국 주도의 우주망원경을 확보하게 되면, 국내 천문학계는 독자적 관측 자산을 기반으로 우주론, 은하 진화, 별의 형성 과정 등 주요 과학 난제에 도전할 연구 역량을 획기적으로 강화할 수 있을 것이다. 이에 따라, 소형 및 중형 우주망원경의 개발을 국내 주도로 단계적으로 추진할 것을 제안한다.

중형 우주망원경(구경 1m - 2m)은 한국 천문학계의 다양한 관측 수요를 맞출 수 있는 범용 플랫폼으로 설계되어야 하며, 소형 우주망원경은 특정 과학 목표에 특화된 임무를 설정하고, 이를 위해 필요한 핵심 요소 기술의 시험 및 검증을 병행하는 기술 축적형 접근을 통해 기술을 개발하여 이를 중·대형 우주망원경에 적용하는 것이 바람직하다. 현재 천문학계에서 제안된 중형 및 소형 우주망원경 미션들의 상세 내용은 워킹그룹의 보고서에 수록되어 있으며 미션 우선순위에 대한 제안도 담고 있다. 현재 우선순위가 높은 우주망원경은 중형 우주망원경으로 분광 기능과 다파장 광시야 영상 기능을 갖춘 중형 가시광/근적외선 망원경(Korea Space Telescope, KST, 그림 46), 그리고 소형망원경으로 우주 얼음과 생명의 기원 탐색이 목적인 적외선 우주망원경 Ices Explorer이다. 다만, 워킹그룹 보고서에 기술된 바와 같이, 다양한 과학적 가치와 기술적 참신성을 갖춘 흥미로운 우주망원경 아이디어에 대해 한국 천문학계의 폭넓은 요구를 포괄하고, 천문학 및 우주항공 산업의 발전에 기여할 수 있는 우주망원경 사업을 체계적으로 면밀한 검토를 거쳐 선정해야 할 것이다. 또한 우리나라 우주망원경 헤리티지와 과학적 수요를 바탕으로, 상대적으로 큰 예산 지출 없이 참여할 수 있는 국제협력 우주망원경 미션도 적극적으로 고려할 필요가 있다.

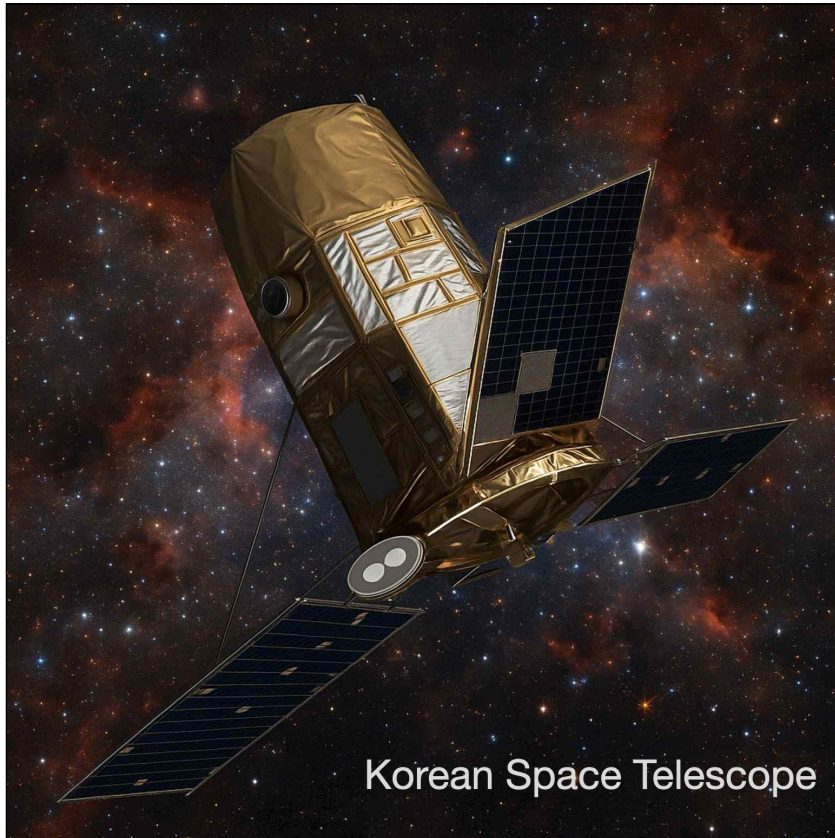


그림 46 한국 중형 우주망원경 상상도[출처: 지명국/연세대학교. AI 활용]

■ 다천체 분광탐사 망원경(Korean Large Spectroscopic Telescopes, KLST) - 한국 주도

KLST는 대한민국 주도의 차세대 다천체 분광탐사 계획으로, 구경 6.5m 급 망원경 2대 또는 동급의 집광력(구경 9.2m 단일경 수준)을 가진 관측 시설을 이용해 남반구 하늘 천체를 $r=21-22$ 등급까지 분광탐사하는 것을 1단계 목표로 하는 프로젝트이다(그림 47). 빠르면 2030년대 후반 가동을 목표로 하고 있다. 남반구 관측소의 성격, 프로젝트의 예산 규모, 기술적 난이도 등을 고려했을 때, 미국 NOIRLab 등 해외 협력 기관과 긴밀한 국제협력이 필요한 도전적인 프로젝트이다. 최근 암흑에너지의 진화 가능성을 밝혀낸 DESI(4m급 망원경)보다 한층 더 업그레이드된 시설로 암흑에

너지의 특성을 밝히는 천문학적 난제를 한층 더 정밀하게 추진하고 은하 진화, 항성 진화 등 다양한 천문학 과제 해결에 활용될 수 있다. 단, 해외 연구진이 추진하고 있는 비슷한 성격의 프로젝트(예: Spec-S5)와의 연구 협력 및 경쟁 관계 설정, 상대적으로 규모가 큰 비용과 광범위한 프로젝트 범위(망원경과 분광기의 건설부터 운영, 관측, 연구 자료 생성까지) 등은 이 시설의 도전적 요소라 할 수 있다.



그림 47 다천체 분광탐사 망원경 상상도[출처: 홍성욱/한국천문연구원, AI 활용]

■ ngVLA - 국제협력

ngVLA는 ALMA와 SKA의 관측 주파수 중간을 메우는 대형 전파관측 인프라로 별과 행성의 생성, 생명의 기원에 대한 연구를 주도할 것으로 예상되고 있다. 미국이 주도하여 건설을 계획하고 있으며 아직 구체적인 건설 일정이 확정되지는 않았지만 이미 여러 나라에서 참여를 결정하고 관련된 사전 연구를 수행하고 있다. ngVLA는 KVN과 관측 주파수 대역이 겹치기 때문에 KVN을 활용한 사전 연구와 기술 테스트, KVN과 공동 VLBI 관측 등 큰 시너지가 예상된다. 2040년대 전파천문학 연구를 주도할 ngVLA에 대한 체계적인 준비를 시작해야 할 시기이다.

■ 남극 극야 망원경 프로젝트 - 한국 주도

남극 내륙에 구경 1m의 광시야($1^\circ \times 1^\circ$) 망원경과 1억 화소 CCD 카메라로 구성된 광학 관측시스템을 설치하여, 남극 극야 기간에 24시간 연속 관측이 가능한 관측시스템을 구축하는 것이다. 남극 극야 망원경은 현재 칠레, 남아공, 호주에서 운영 중인 KMTNet 및 2027년 가동이 예상되는 로만 우주망원경(Nancy Grace Roman Space Telescope) 등과 협력 연구를 계획하고 있다. 이 지상-우주 관측망으로 관측한 미시중력렌즈 광도곡선에 나타나는 시차(parallax) 분석으로부터 외계행성의 질량을 정밀하게 결정하는 능력을 크게 높일 수 있다. 그 결과로 나홀로행성(Free Floating Planet)과 같이 지상망원경 단독으로는 검출이 어려운 외계행성의 발견 등 우수한 성과를 효과적으로 거둘 수 있을 것으로 기대된다. 이 프로젝트는 남극의 극한 환경에서 광학 관측시스템을 안정적으로 운영해야 한다는 기술적인 어려움이 있다. 따라서, 극한 환경에서 운영할 수 있는 시스템을 구축하는 기술적 과제를 극복하는 동시에 남극 기지를 운영하는 극지연구소와의 협력이 필수적이다.

■ 월면 중력과 망원경을 위한 초전도 텐서중력센서 개발 - 한국 주도

우리나라가 독자적으로 중력과 관측시설을 구축하기 위해서는 장기적인 연구 계획과 예산 확보가 필수적이다. 초전도 중력경사계 기술을 이용한 초전도 텐서중력센서(Superconducting Tensor Gravity Sensor; STGS) 개발은 Einstein Telescope과 같은 차세대 중력과 망원경의 뉴턴 잡음 저감뿐만 아니라 월면 중력과 망원경 프로젝트에 활용될 기술로서 추진될 수 있다(그림 48). 이러한 검출기를 갖춘 중력과 천문대가 건설되면 기존에 계획되고 있는 검출기들로는 불가능한 0.1~10Hz 대역의 중력과 관측이 가능해지므로, 이를 통해 중간질량 블랙홀 병합, 별질량 블랙홀/중성자별 병합, 우주배경복사 중력과 원 탐사 연구를 선도할 수 있을 것으로 기대된다.

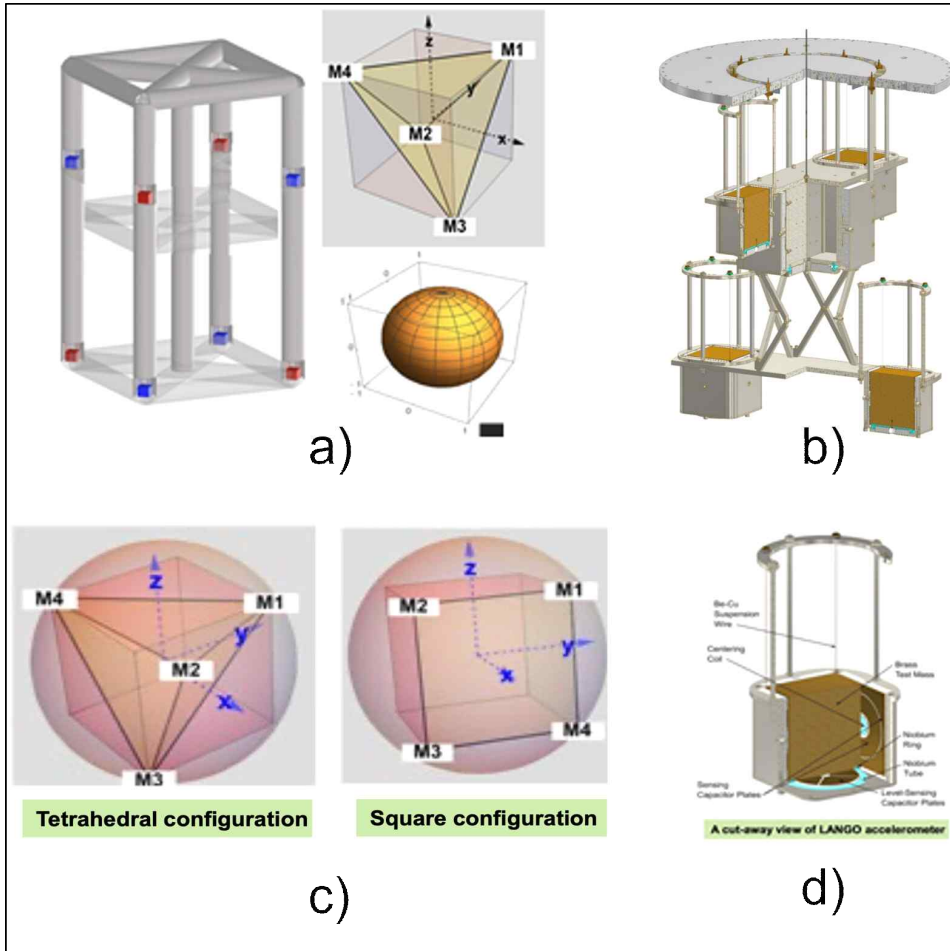


그림 48 a) 초전도 텐서중력센서의 정사면체 구성과 자기부양 플랫폼 디자인. 중력센서의 안테나 패턴은 전 방향 성질을 가진다. b) 초전도 텐서중력센서의 진자모형 디자인 c) 초전도 중력센서를 이용한 월면중력파 안테나 디자인인 LANGO (Lunar Accelerometer Network for Gravitational-wave Observatory) 제안의 사면체 구성 및 정육면체 구성. 각 꼭지점에 d)의 가속도계를 배치하고 전 월면을 텐서 중력센서 형태로 구축하여 중력파에 의한 달의 자유진동 모드 섭동을 측정한다.

■ 한국 중성미자 관측소(Korean Neutrino Observatory; KNO) - 한국 주도

한국 중성미자 관측소(Korean Neutrino Observatory)는 예비타당성 사전 기획연구를 통해 준비 중인 중성미자 관측 실험 계획이다. 세계 최대 규모의 초순수 중성미자 검출 장치를 건설하는 계획이며 현재 일본이 건설

중인 기존 최대 규모의 하이퍼-카미오칸데보다 검출기의 부피가 약 2배 크다. KNO가 계획대로 건설된다면 세계적인 연구 성과 창출 및 기초과학 분야에서 노벨상급의 성과에 도전하는 핵심 수단이 될 것이다. KNO는 중력과 및 전자기와 관측과 협력을 통해 초신성 폭발의 원인과 진행 과정 이해, 폭발 후 남는 블랙홀과 중성자별의 형성 환경 연구, 무거운 별의 진화 경로와 다양한 원소들의 기원 연구, 표준 태양 모델의 확립을 통한 항성 진화 모델의 완성, 우주선과 감마선 폭발의 기원 탐색 등에 기여할 것으로 기대된다(그림 49).

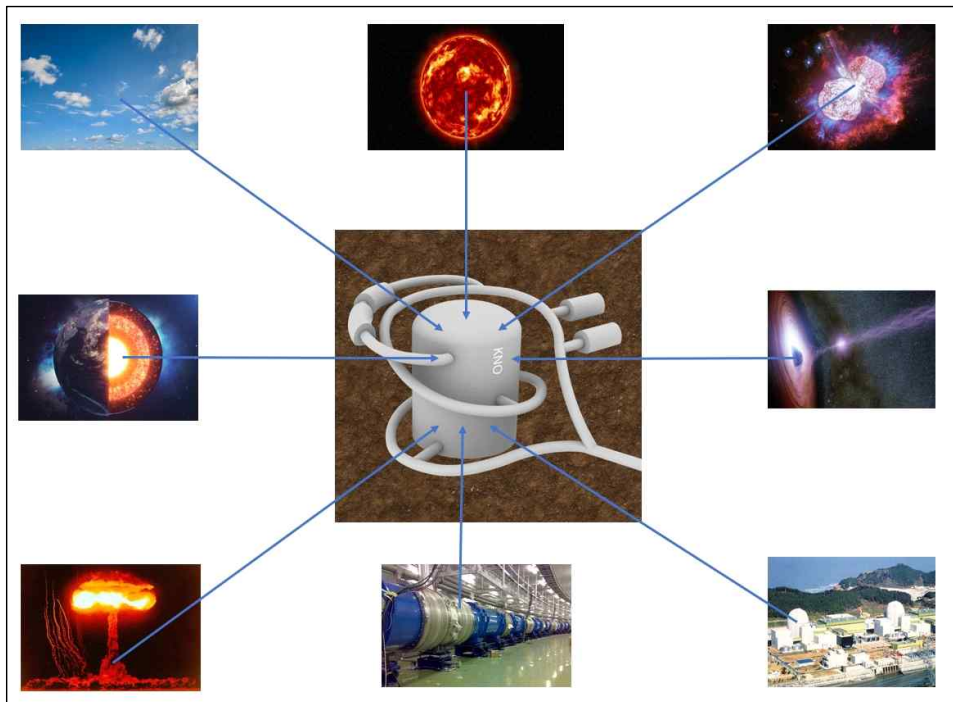


그림 49 한국 중성미자 천문대 과학 연구 개요도. 빛이나 전파와는 달리 중성미자는 다른 물질과 거의 상호작용을 하지 않고 직진하기 때문에 우주를 관측하는 새로운 창(window)을 제공하고 있다. 중성미자는 태양 중심부, 초신성(supernova), 블랙홀(black hole), 중성자별(neutron star) 등 우주의 극한 현상에서도 엄청난 수가 방출될 것으로 예상되고 있는데, 앞으로 이러한 극한 우주 현상 연구에 중성미자가 크게 활용될 것으로 보인다. [출처: KNO 홈페이지, <https://www.kno.or.kr/>]

■ 다중신호 관측 네트워크의 확장과 고도화 - 한국 주도

우리나라는 중력과 검출기를 자체 보유하고 있지 않지만 중력과 원의 전자기파 대응 천체 관측을 위한 KMTNet, 7DT(그림 50) 등의 광학 관측 시설은 국제 수준의 경쟁력을 갖추고 있다. 그러나 현재의 대응 천체 관측시설들은 모두 남반구에 있다는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 북반구의 최적 관측지에 7DT-North 구축을 추진할 필요가 있다. 기존 7DT 사양과 동일한 0.5m급 20기 망원경 시스템을 구축하거나 국제 경쟁력 강화를 위해 1m급 시스템으로의 확장을 고려할 수 있다. 또한 향후 수많은 중력과 대응 천체와 초신성 등의 후속 분광 관측 수요가 급증할 것에 대비하여 Gemini와 같은 대형 광학망원경 관측 시간을 현재 수준보다 대폭 확대하고, Palomar/SEDMS(Spectral Energy Distribution Machine)이나 ANU WiFeS(Wide Field Spectrograph) 망원경과 같은 IFU(Integral Field Unit)가 장착된 전용 분광 관측시설 확보를 통해 더욱 효율적인 후속 관측 체계를 구축할 필요가 있다. 우주-지상 다중신호 관측 네트워크 구축을 위한 국내 주도의 노력도 필요하다. 기존 미국의 감마선 관측 위성들이 노후화되고 있는 반면, 중국은 GECAM(Gravitational wave high-energy Electromagnetic Aounterpart All sky Monitor)과 SVOM(Space Variable Objects Monitor)과 같은 3m 미만 소형 감마선 관측 위성들을 성공적으로 개발하여 운영 중이며 헝가리의 GRBalpha(Gamma-Ray Burst alpha)나 체코의 VZLUSAT-2(Výzkumný a Zkušební Letecký Ústav - Czech Aerospace Research Center Satellite 2)와 같은 큐브위성들이 감마선 폭발 관측 분야에서 새로운 성과를 보여주고 있다. 우리나라가 국내 주도의 우주-지상 다중신호 관측 네트워크를 구축하기 위해서는 큐브위성급 이상의 감마선 전용 우주망원경과 가시광-적외선 측광/분광이 가능한 1m급 우주망원경이 필요할 것으로 예상된다.



그림 50 다중망원경 시스템, 7DT가 남반구 밤하늘을 관측하고 있는 모습 [그림 출처: 서울대학교 중력파 우주연구단]

■ L4 태양관측 미션 - 한국 주도

지난 50년여 간의 태양권 우주환경 예보는 지구 위치에서의 관측에 기반을 두고 있었기 때문에 태양권 전체를 예측하는데 한계가 있었다. 이를 극복하기 위해 유럽우주기구는 2032년 L5 지점에 위성을 발사할 예정이며, L1 지점과의 다중 관측을 통해 우주환경 예보의 정확도를 크게 향상시킬 것으로 기대된다. 이와 더불어 근지구 우주환경에 영향을 미치는 SEP의 발생지점을 관측하기 위해 “L4 지점”에서 원격 관측 및 현장 관측을 지원하는 L4 우주관측소 개발 임무가 반드시 필요하다(그림 51). L4-L1-L5 다중 지점 관측은 태양 고에너지 입자 방출의 3차원 실시간 감시 및 예측과 더불어, 근지구 우주환경을 교란하는 CME의 3차원 전파 방향 예측에도 필수적이다. 이는 근지구 우주환경에 직접적인 피해를 주는 것은 물론 달과 화성 탐사와 같은 심우주 탐사에 큰 위협이 되는 우주방사선 오염과 태양권 우주환경 교란을 종합적으로 감시하는 데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다. 따라서 한국이 L4 지점에 우주관측소를 구축한다면 태

양 관측 연구 분야에서 독보적인 위치를 확보할 수 있을 것이다.

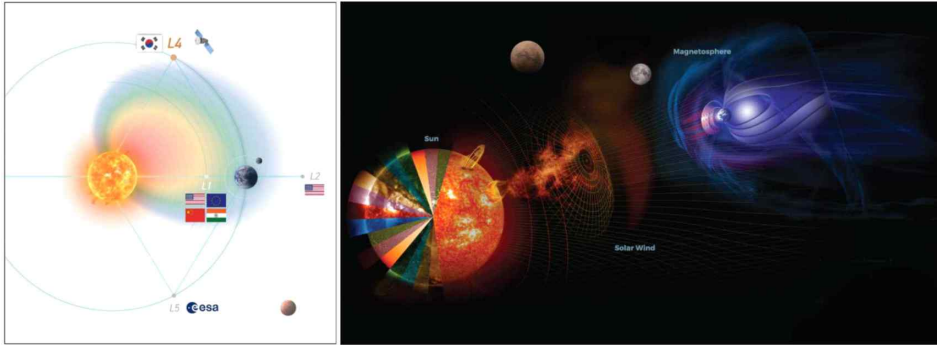


그림 51 L4 태양권 미션. 아직 탐사되지 않은 라그랑주점 L4에 한국 태양권 탐사선을 두어(좌), 태양의 활동이 활발해짐에 따라 발생하는 고에너지 입자가 지구와 우주환경에 미치는 영향을 밝히는 연구를 하게 될 것이다(우). [출처: 한국천문연구원]

■ Aurora-THERmosphere-ioNosphere for spAce weather (ATHENA) - 국 제협력

미국 NASA를 중심으로 우주 날씨 및 전리권/열권 관측을 위해 GDC, E ZIE, TRACERS, DYNAMIC 등의 위성 프로그램을 추진 중이지만 이 프로그램들은 외부로부터 지구로 유입되는 에너지를 대표하며 우주 날씨 모델에 필수 입력 자료인 오로라 영상을 제공하지 못하거나 제공 여부가 불확실하다. 따라서, 지구 내/외부에서 전리권/열권으로의 에너지 유입 및 전파 과정과 그로 인한 전리권/열권 변화 과정의 이해를 위한 우주 미션으로, 광시야 오로라 영상 관측자료와 열권의 중성 대기 수직 정보를 제공할 수 있는 ATHENA 미션이 필요하다(그림 52).

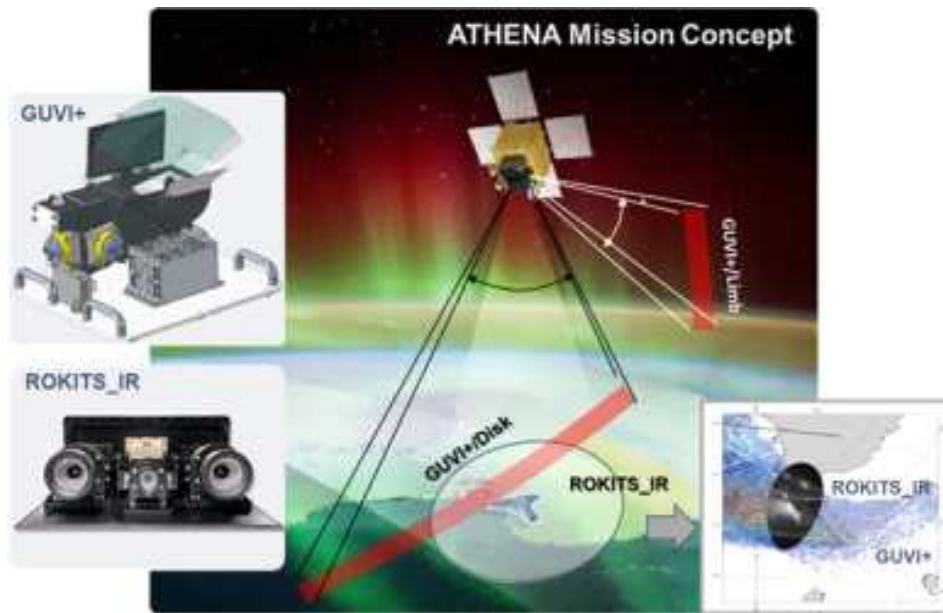


그림 52 ATHENA 미션 개념도 [출처: 한국천문연구원]

■ Geospace-Aurora-Constellation(GAC) 미션 - 한국 주도

자기권에서 유입되는 전자기 에너지(태양풍 기원 입자 및 전기장)와 저층 대기에서 상부로 전파되는 파동(조석, 중력파, 행성과 등)은 열권과 전리권에서 복잡한 에너지, 질량, 그리고 운동량의 전달 및 재분포 과정을 유도한다. 이 상호작용은 전 지구적 규모로 작용하면서도, 시공간적으로 극단적인 국지적 변화를 유발할 수 있으며, 오로라는 이러한 상호작용의 가장 시각적이고 에너지 밀도가 높은 형태의 현상이다. 특히, 고위도 지역에서는 전리권과 자기권의 연계가 강하게 일어나며, 중성 대기와 플라스마 간의 마찰 가열(줄 가열), 전리권 밀도 구조의 급격한 변화, 위성 항력의 증가, 통신 및 항법 시스템의 신호 교란 등의 현상이 빈번하게 발생한다. 이러한 현상들은 현대 사회의 기술 인프라에 직접적인 영향을 미치며, 이들의 예측 및 대응을 위한 과학적 기반이 요구된다.

Geospace-Aurora-Constellation(GAC) 미션은 이러한 배경에서 고위도 전리권-열권(ionosphere-thermosphere) 시스템의 동역학적 반응을 탐색하고, 자기권-태양풍 기원 에너지 유입의 영향을 정량화하며, 이 시스템 내부에서

일어나는 질량, 에너지, 운동량 재분포 기작을 해석하는 것을 주요 과학 목표로 한다. GAC 미션은 NASA의 Geospace Dynamics Constellation(GDC) 미션을 벤치마킹하여, 다중 궤도면에 소형 위성 6기 이상을 편대비행 형태로 운용함으로써 고해상도 시공간 데이터 확보를 가능하게 한다. 이러한 구성은 오로라 전류계의 3차원 구조, 플라스마 밀도 변화, 중성풍의 반응, 입자 강하의 열권 반응 등을 다양한 지역 시간대에서 동시에 추적할 수 있도록 설계되며, 지역적 변화와 전 지구적 변동의 상호작용 및 전파 경로 분석에 큰 강점이 있다. 또한, 지상 기반 관측 인프라(자기장 센서, All-sky imager, GPS TEC, 레이더 등)와의 연동을 통해 위성-지상 동시 관측 체계를 구축하여 이를 GAC와 연계하면 아래와 같은 과학적 성과가 기대된다.

◆ **자기권-열권-전리권 연계의 정량적 이해:** 오로라 전류와 자기권 입자 강하가 고위도 전리권의 전기장 구조와 밀도 분포를 어떻게 변화시키고, 이에 대한 중성 대기의 반응(바람 가속, 줄 가열, 밀도 변화 등)이 어떻게 나타나는지를 다중 지점에서 동시에 추적할 수 있다. 이는 자기권으로부터의 에너지 유입이 지구 대기에 어떻게 영향을 미치는지를 계량화하는 기반을 제공한다.

◆ **우주기상 모델 개선 및 예측 정확도 향상:** GAC는 전리권 및 열권의 동시 시공간 변동을 전례 없는 해상도로 관측함으로써, 기존 우주기상 예측 모델의 경계조건 및 전리권 응답 파라미터에 대한 경험적 데이터를 제공할 수 있다. 특히, 극지방 전기장 구조, SAPS (Sub-Auroral Polarization Streams), polar cap patch, TAD (Travelling Atmospheric Disturbance) 등의 형성 조건과 전개 양상에 대한 연구로부터 실시간 예보 능력 향상에 기여할 수 있다.

◆ **GPS 등 통신-항법 시스템 보호 기반 마련:** 전리권의 급격한 밀도 변화는 GPS 신호의 전파 경로에 영향을 주어 위치 오차를 유발하고, HF 통신의 반사 경로를 변경시켜 통신 장애를 일으킨다. 또한, 열권 밀도

증가로 인한 위성 항력 변화는 궤도 예측 오차 증가와 위성 미션 수명 단축 등의 문제를 발생시킨다. GAC는 이러한 물리적 원인을 실시간으로 추적할 수 있어, 항법 시스템 설계 및 위성 운용 최적화에 기여한다.

■ EXO-AURORA EXPLORER(EAE) - 한국 주도

외계행성의 오로라는 해당 행성의 자기장과 대기 상호작용을 나타내는 대표적인 지표로, 자기권에서 유입되는 고에너지 입자들과 외부 항성풍, 그리고 행성의 고층 대기 사이의 복잡한 물리적 연계 과정을 반영한다. 이러한 상호작용은 열권 및 전리권에서의 에너지, 질량, 운동량의 재분포를 유도하며, 외계행성의 오로라 관측은 해당 천체의 자기권 존재 여부, 대기 조성, 에너지 전달 경로를 간접적으로 추정할 수 있는 핵심 수단이 된다. Exo-Aurora Explorer (EAE) 미션은 외계행성의 오로라를 다파장대에서 정밀하게 관측하여 자기장 및 대기 구성 성분을 탐색하고, 장기적으로 외계 생명체 존재 가능성 평가에 기여하는 것을 주요 목표로 한다.

EAE 미션은 자외선 및 적외선 대역의 고해상도 분광 관측, 전파 신호 탐지, 고감도 영상화를 기반으로 다양한 외계행성 시스템에서 오로라의 시공간 분포와 스펙트럼 특징을 파악한다. 자외선 방출선(예: H, O, N₂)의 분석을 통해 대기 구성 요소를 추론하고, 전파 관측을 통해 자기장의 존재 여부를 간접적으로 입증할 수 있다. 특히, 오로라의 주기성과 위치 변화를 통해 자기장 강도와 위도 분포, 극 영역 커플링의 특징을 정량화할 수 있다. EAE는 현재 지상 또는 우주망원경을 활용한 외계행성 대기 연구의 한계를 보완하며, 고유의 오로라 특성 탐지를 통해 보다 깊이 있는 외계 환경 해석을 가능하게 한다.

EAE 미션을 통해 아래와 같은 과학적 성과를 기대할 수 있다.

- ◆ **외계행성 자기권 특성 연구:** 오로라 존재 유무와 그 시공간적 특성을 바탕으로 외계행성의 자기장 존재 여부, 강도, 공간 구조를 파악할 수 있으며, 이는 항성풍으로부터 행성을 보호할 수 있는 방어 기작 존재 가능성 평가에 기여

◆ **대기 조성 및 에너지 전달 이해:** 오로라 방출 스펙트럼의 분석을 통해 외계행성 대기의 주요 성분(O, N₂, H 등)과 이온화 구조를 추정할 수 있으며, 고에너지 입자의 침투에 따른 대기 에너지 수지 변화도 연구 가능

◆ **외계 생명체 탐색의 기초 자료 확보:** 행성 자기권은 대기를 유지하고 방사선으로부터 지표를 보호하는 생명체 친화적 환경의 필수 요소로 간주되며, EAE를 통해 확보되는 자료는 외계 생명체 탐색 대상 행성 선별 기준 정립에 중요한 단서를 제공

■ Magnetosphere Plasma Investigation Explorer (MagPIE) - 자기권 저온 플라스마 탐사 임무 - 한국주도

자기권 플라스마 질량의 대부분을 차지하는 저온 플라스마의 기원과 순환 과정은 무엇인가? 자기권에서 저온($T \sim eV$) 플라스마 입자들은 질량과 에너지 흐름에 기여할 뿐만 아니라, 중간 또는 미세 규모 물리 현상의 시공간적 척도를 결정하고 파동 현상이 전파하는 매질을 제공하는 중요한 역할을 한다. 따라서 저에너지 플라스마의 공급과 순환, 그리고 궁극적 손실 과정의 이해가 필수적이다. 그러나 자기권 순환 과정 동안 전리권, 플라스마 권, 환전류 대, 플라스마 시트의 복잡한 상호 작용이 발생하며, 기존 미션의 입자 관측기로는 질량의 대부분을 차지하는 저온 플라스마의 직접 관측이 어려웠던 점에서 연구자들이 원하는 만큼 이들 동역학의 기본적인 물리적 과정을 이해하지 못하고 있다. 과거 2000~2005년 동안 운영됐던 IMAGE(Imager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration) 미션에서는 ENA 영상 관측기, 헬륨 이온과 수소 이온의 자외선 영상 카메라, radio sounding 기술을 활용하여 유일하게 저에너지 플라스마와 환 전류를 구성하는 입자들의 전체적인 분포를 리모트 센싱(remote-sensing)으로 구성한 적이 있었다. 그 후 THEMIS(Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms), Van Allen Probes, MMS(Magnetospheric Multiscale Mission)와 같은 자기권 미션의 성과를 통해 당시보다 물리적인 이해가 깊어졌다. 이에 따라 중간 또는 미세 규모의 물리 현상을 일으키

는 저온 플라스마 분포와 순환 이해를 주목적으로, 과거의 IMAGE 같은 임무의 필요성이 대두되고 있다. 따라서, 과거 IMAGE 미션과 비슷한 개념에 현대의 multi-spacecraft 운용 기술을 접목하여, ENA 카메라와 자외선 카메라로 내부 자기권 플라스마의 전 지구적 분포와 고위도 전리권에서 유입되는 저에너지 입자 유입의 영향을 관측하면서, radio sounding 기법을 이용하여 여러 위성 간 시선 방향(line-of-sight) 내 플라스마의 구조를 중간 규모로 관측하는 임무를 생각해 볼 수 있다. 이러한 임무로부터 자기권 물리 이해의 큰 성과를 기대할 수 있다. 여기에 더해, 그동안 집중됐던 미세 규모의 물리 현상 탐사 임무라는 패러다임에서 벗어난 독자적이고 독창적인 임무라는 점에서 투자할 가치가 있다. MagPIE는 장시간 관측을 통하여 자기권 내 저온 플라스마의 시공간적 변화의 이해와 전리권과 태양풍 기원의 플라스마 유입을 정량화할 것이다. 그리고 동시대의 타 자기권 탐사 미션들과 협력을 통해 저온 플라스마가 자기권 현상에 미치는 영향을 정립하는 일에 크게 기여할 것이다.

■ 달 후면 전파망원경 - 국제협력

달의 뒷면은 (1) 대기가 거의 없어서, 지구의 경우 대기에 의해 차폐/훼손되는 저주파대역(<150MHz) 신호를 온전히 관측할 수 있으며 (2) 지구의 각종 전파 신호 간섭(RFI, Radio Frequency Interference)이 달 자체에 의해 차폐되므로 전파천문학 연구에 최적의 장소로 여겨진다. 달 뒷면에서는 아래와 같은 연구 수행이 가능하다. 초기 우주의 여명기(Cosmic Dawn) 및 재이온화 시기(Epoch of Reionization)의 21cm 중성수소선은 적색편이(redshift) 되어 저주파 대역(<150 MHz)에서 관측되므로, 우주의 여명기 및 재이온화 시기의 우주론 연구가 가능하다. 생명체가 존재할 가능성이 있는 외계행성의 자기권 관측연구와 외계 기술문명 징후 포착에도 이러한 망원경이 큰 활약을 하리라 기대된다. 다만 기술적 어려움이 있기에 10년 이상의 장기간에 걸쳐서 국제협력으로 프로젝트를 추진하는 것을 권고한다.

■ 성간천체(Interstellar Object) 직접 탐사 미션

성간천체(Interstellar Object)는 외계행성계에서 기원하여 태양계를 잠시 방문하였다가 빠르게 떠나는 천체로 행성계와 성간물질의 형성과 진화, 지구 생명의 기원 및 우주 생명현상을 이해하는 데 중요한 천체이다. (외계 기원 천체이지만, 태양계 진입 후 지구 근처에서 직접 탐사가 가능하므로 태양계 천문학 부분에 포함함)

현재까지 오우무아무아와 보리소프가 우연히 발견되었고, LSST를 이용한 체계적인 탐색 시스템이 가동되면 1년에 1개 이상 발견될 것으로 기대한다. 지구 근처에 도달한 성간 천체를 우주탐사선을 이용해 근접 및 직접 탐사한다면, 직접 외계행성계를 방문하지 않고도 해당 행성계의 물리적 증거를 수집할 수 있을 것이다.

■ 심우주 안테나 - 한국 주도

심우주 안테나는 지구 궤도를 벗어난 우주 탐사선과의 통신을 위한 핵심 인프라이다. 한국도 우주탐사 시대를 대비하면서 심우주 안테나 건설을 고려할 시기이다. 해외 여러 심우주 안테나의 사례에서 알 수 있듯이 심우주 안테나는 우주탐사 미션을 수행하는 시간 이외의 상당한 시간을 전파 천문관측 연구에 활용하고 있다. 이 경우 큰 집광력을 활용한 높은 감도의 관측이 가능하여 다른 전파 시설과 연결하여 큰 시너지를 얻을 수 있다. 따라서 심우주 안테나는 설계 단계에서부터 천문관측 목적의 활용을 고려하여 추진될 수 있도록 노력해야 한다.

■ 전천원격관측 시스템 구축을 통한 국내기관 보유 관측시설 현대화 - 한국주도

보현산천문대, KMTNet 등 한국천문연구원이 운영하는 광학망원경과 대학이 보유하고 있는 지상 광학망원경들을 대폭 현대화하여 네트워크화하는 프로젝트이다. 새로운 기기의 개발, 기존 기기의 업그레이드, 관측 자동화 및 원격 관측 지원을 망라한다. 이 프로젝트를 통해 한국 천문학계가 추구하는 다양한 분야의 관측기기 개발, 관측기기/시설 유지보수 능력

을 비약적으로 발전시킬 수 있을 것으로 예상하며, 초신성 등 다양한 변광천체에 대한 관측연구와 함께 다중신호 천문학에도 국내 관측시설을 활용해 기여할 수 있을 것으로 판단한다. 대형 관측시설 프로젝트를 수행을 위해서는 국내 연구 인력뿐만 아니라 관측시설의 관리, 보수, 기기 개발 전문 인력의 양성과 역량 강화가 필수적인데 이러한 프로젝트를 통해 그러한 목적을 달성할 수 있을 것이다. 이를 통해 축적된 전문 역량은 지상 관측시설의 발전에 국한되지 않고 우주망원경 및 우주 관측 체계 개발 및 시험에도 직접 관련되므로 우주탐사 및 우주개발의 중요성이 강조되는 시점에 그 중요성이 더욱 드러날 것이다.

✓ **추천 사항:** 모두 준공 시 세계 최고 수준의 관측시설이 되어 한국 천문학계의 연구 역량을 크게 강화할 것이다. 하지만 대부분 프로젝트의 기술적 난이도가 높아 장기적인 관점에서 단계적으로 추진하는 전략을 세워야 할 것이다. 한국 주도 우주망원경의 경우 한국 천문학의 관측연구 역량을 획기적으로 늘릴 수 있을 것으로 보이기에 비교적 높은 우선순위를 두고 추진하되 면밀한 검토를 거쳐 경쟁력과 실현성이 있는 미션을 선정해야 할 것이다.

5.4 꾸준히 추진되어야 할 시설과 활동

다른 모든 학문 분야도 마찬가지이겠지만 천문학에서도 지속적으로 유지해야 하는 연구 분야가 있다. 이들 분야는 반짝이는 아이디어와 첨단 장비를 활용한 획기적인 연구로 노벨상에 도전하는 연구에 토대가 된다. 건물에 비유하면, 화려한 외관을 갖춘 초고층 첨단 건물의 바닥에 숨겨진 철근 콘크리트 기초에 해당한다고 할 수 있다. 당장 눈에 띄는 실적이 보이지 않더라도 이러한 연구시설과 활동에 대한 투자는 미래를 보장한다는 측면에서 매우 중요하게 유지되어야 할 것이다.

(1) 자료저장 및 계산시설

최근 천문학 연구를 위한 대용량 관측자료가 폭발적으로 증가하고 있으며, 고성능 계산시설을 활용한 다양한 모사 연구가 진행되고 있다. 특히 한국 천문학계에서도 행성의 형성에서부터 은하의 진화, 우주의 거대구조에 이르기까지 다양한 주제에서, 대용량 관측자료 및 계산시설을 활용한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 향후 10 년간 이를 활용한 연구와 시설에 대한 요구가 빠른 속도로 늘어날 것으로 기대된다. 따라서 천문학 연구를 위해서 대용량 관측자료를 저장하고 활용할 수 있으며, 고성능 계산이 가능한 시스템 구축이 필수적이라 할 수 있다. SKA, LSST 를 비롯해 각종 한국 관측 장비들이 생성한 자료를 관리할 수 있는 대용량 관측자료 저장 및 공유 시스템의 구축은 매우 시급하다. 각종 관측시설과 이론 모사 실험에 필요한 고성능 컴퓨팅(HPC)을 기반으로 한 계산시설의 경우 기존 시설들이 이미 포화 상태에 달하고 있어서 천문우주 전용 HPC 시설의 구축이 또한 매우 시급하다.

(2) 관측기기 개발

관측시설에 필요한 첨단 장치의 집약도가 높아지고 대형화하면서 이의 건설과 운영에 막대한 예산이 필요하게 되었다. 따라서 한국의 경제 규모로는 단독으로 대형 관측시설을 구축하는 것이 쉽지 않은 상황이다. 이를 극복하는 방법으로 주요 연구 협력 파트너 기관과 국제협력으로 대형 망

원경 시설을 공동 건설하거나 공동 운영을 통해 활용하되, 한국 천문학회 가 주도할 수 있는 과학임무를 특정하고 해당 임무를 위한 관측기기를 개발하여 국제협력 대형 망원경 시설에서 활용하는 것을 들 수 있다. 한국 천문연구원이 개발한 적외선 고분산분광기 IGRINS와 KVN의 다파장 동시 관측 수신기가 좋은 사례이다. 이러한 사례를 발전시키기 위해서는 국제 공동 건설 및 국제 공동 운영 대형 관측시설과 함께 대형 관측시설에 적합한 첨단 관측 기기 개발 및 운영 역량이 동시에 필요하다. 따라서 우리나라 관측 기기 개발 및 운영 역량을 키울 수 있는 관련 프로젝트들을 발굴하고 자원과 인력을 적극 지원하는 것을 추천한다.

(3) 창의적인 관측연구 프로젝트 지원

새로운 과학적 실험과 프로젝트 기획에 있어서 과학적, 기술적 틈새를 효과적으로 활용하는 창의적이고 혁신적인 접근방식을 활용하는 것은 매우 중요하다. 특히 대규모 자금과 인력을 필요로 하는 거대 프로젝트는 연구소 또는 대학과 같은 기관 단위의 투자가 필요하지만, 소규모 혁신적인 프로젝트는 개인 연구책임자(PI) 과제 수준에서 새로운 개념을 시험하거나, 매우 창의적이고 도전적인 실험을 구현할 수 있는 매우 유용한 통로인데, 서울대학교가 주도하여 개발한 7차원 망원경(7-Dimensional Telescope)이 좋은 예이다. 한국 천문학회가 새로운 도전과 혁신을 통해 발전하기 위해서는 7DT의 사례처럼 PI 과제 수준에서 진행할 수 있는 소규모 창의적인 프로젝트를 활성화하는 것이 필요하다. 따라서 이를 위해 우주항공청이나 연구재단이 이러한 성격의 과제를 적극 지원할 것을 건의한다.

✓ **추천 사항:** 모두 한국 천문학의 발전을 위해 필요한 시설 및 장비로서 비교적 높은 중요도를 두어 꾸준히 추진해야 할 것이다. 특히 자료 및 계산시설의 경우 그동안 상대적으로 등한시 되어왔지만, 한국 천문학회에서도 그 중요성이 매우 높아진 시점이기에 비교적 높은 우선순위를 가지고 추진되어야 할 것이다.

6. 인력 양성 및 과학 문화 확산

천문학은 최신 기술의 집약체인 첨단 연구 장비를 활용하여 우주라는 무한한 상상력을 불러일으키는 대상을 연구한다는 점에서 국가의 과학 발전과 미래 세대의 성장에 크게 이바지해 왔다. 대형 지상망원경과 우주망원경으로 얻은 천체의 영상은 그 자체로 대한민국 과학기술의 우수함을 보여주어 국민의 자긍심을 고취한다. 천문학 정보의 전달과 해석은 현대 사회에서 꼭 필요한 과학적 문해력의 향상을 돕는다. 천문학은 학생들로 하여금 과학기술 분야로 진로를 선택하게 하는 동기를 부여함과 동시에, 과학적 소양을 함양하게 하고 이에 더해 지속가능성, 다양성과 포용성 등 사회적으로 필요한 가치들을 체득하게 하는 역할도 한다. 본 장에서는 교육을 통한 천문학의 보급과 전문 인력의 양성, 천문학의 국가와 사회에 대한 기여, 국제 사회의 과학 문화 창달과 지식 보급을 위해 한국 천문학계가 기울이는 노력과 지향점에 대해 정리한다.

6.1. 천문학과 과학교육

우리나라의 중등교육 과정에서 천문학은 독립된 교과목이 아니기 때문에 기초 천문 교육이 심도 있게 이루어지기 어려운 환경이다. 국가 수준의 중등 교육 과정 및 평가에 천문학이 비중 있게 다루어지도록 과학 과목 교육 과정 개정에 적극 관여하여 천문학계의 목소리를 전달할 필요가 있다. 이를 위해서는 교육 과정에 최신 천문학 연구 내용을 포함하도록 하고 다른 기초학문 분야와 연계성을 강조함으로써 과학 전반에 대한 흥미를 유도하고 진로 탐색에 도움이 되도록 하여야 한다. 현실적으로는 과학 특성화 중등학교에서 천문학 교육을 강화하도록 할 필요가 있다. 학교 밖에서의 천문학 교육으로는 한국 천문올림피아드 위원회에서 실시하는 정규 여름 및 겨울 학교와 인터넷 과정 참여를 적극 권장한다. 이와 함께 일반인을 대상으로 하는 공개 강연과 유튜브 콘텐츠 제작을 통해 학부모들의 관심을 제고한다. 대형 천문학 프로젝트에 초·중고 학생을 대상으로 하는 교육용 프로그램을 위한 예산을 포함하도록 하여 다양하고 지속 가능한 교육 프로그램 개발을 지원한다.

6.2. 대학 및 대학원 교육에 대한 제언

그동안 천문학 전문 인력을 양성하기 위한 교육은 대학교에서 천문학을 전공하는 학생을 위한 학과 차원에서 일차적으로 이루어지며, 대학원 과정에서 연구에 대한 전문적이고 실전적인 지식을 갖추는 식으로 진행됐다. 앞으로 10년의 기간에도 이러한 교육체계가 기본을 이루겠지만, 최근 대학 교육의 다양화와 신기술의 등장으로 이러한 교육체계에 대한 수정이 필요하다.

우선 대학교 학부 과정 교육의 경우 융합 지식을 갖춘 인력을 양성하기 위한 복수전공 또는 무전공 학제에 대한 중요성이 강조되면서 다양한 전공 지식 습득을 할 수 있는 교육 과정 개편에 대한 요구가 높아지고 있다. 천문학 전공에 필요한 교과목을 수강하여 입학한 학생 외에도 타 전공 학생들이 복수전공 제도를 통해 천문학 전문 지식을 갖추 수 있게 한다면 천문학 저변 확대에 긍정적으로 작용할 것이다. 전공 교육을 기본 과정과 심화 과정으로 이원화하여, 전공 교과 수강을 위해 필요한 기초 학력이 부족한 학생들이 천문학 학습에 필수적인 기본적인 지식을 습득할 수 있도록 한다면 타 전공 학생들을 천문학 분야로 유도하는 방안이 될 수 있다. 다만 이러한 교과 과정 개편은 기존 교원들의 수업 부담을 높일 게 되므로 교원 확충과 같은 제도적인 변화가 있어야 순조로운 교과 과정 개편이 이루어질 수 있을 것으로 본다.

세계적으로 대학 천문학 교육의 추세는 종합 학문으로서의 천문학 교육에 대한 수요 증대이다. 그림 53은 미국 물리학 연구소(American Institute of Physics)에서 2021년에 조사한 연도별 천문학 학사학위 수여자 수의 변화 추세이다. 미국에서 천문학 학사학위를 받은 사람 수가 2001년 200명에서 2021년 820명으로, 4배로 늘어났음을 알 수 있다. 이러한 증가 추세의 이유는 천문학 교육을 받은 인재가 산업계에서 인정을 받고 있기 때문으로 풀이된다. 천문학에서 요구하는 여러 과학적, 공학적 지식 습득을 통해 사물을 종합적으로 판단하여 문제를 해결할 수 있는 능력을 기를 수 있는 데다가 빅데이터를 다루는 최신 IT 기술도 익힐 수 있기 때문이다.

한국에서도 이러한 추세를 따라가기 위해서는 학부 교육 과정에 천문 빅데이터 활용법과 같은 최신 기술 교육을 적극적으로 도입해야 할 것이다.

대학원 교육 역시 학부 교육과 마찬가지로 다양한 진로를 택할 수 있도록 하는 다양한 교육 콘텐츠를 도입할 필요가 어느 정도 있으나 천문학 연구 자체가 최신 IT 기술이나 공학 기술을 필요로 하는 일이기 때문에 최신 천문학 연구에 대한 교육 자체가 다양한 진로를 열어줄 수 있는 가능성을 제공한다. 그것보다 더 시급한 것은 여러 천문학 난제 해결에 필요한 천문학 연구 인력 양성에 대한 의식적인 노력이다. 천문학 연구에서 외계행성 연구나 다중신호 천문학 연구의 중요도가 높아갈 것으로 예상되지만 이에 대한 교육을 받은 연구 인력의 수는 상대적으로 빈약하다. 그러한 연구를 장려하기 위하여 특정 분야 양성 목적을 가진 연구과제 공모를 고려할 수 있다. 또한 관측기기 개발이나 관측시설을 운영하는 인력 역시 수요에 비해서 공급이 모자라는 상황이다. 관측기기 개발을 할 수 있는 전공 교육을 받은 다양한 전공자들의 천문학 분야 유입을 장려하고 연구소와 대학이 협력하여 관측기기를 개발하여 필요한 연구 인력을 양성하는 것도 유용한 방법으로 보인다.

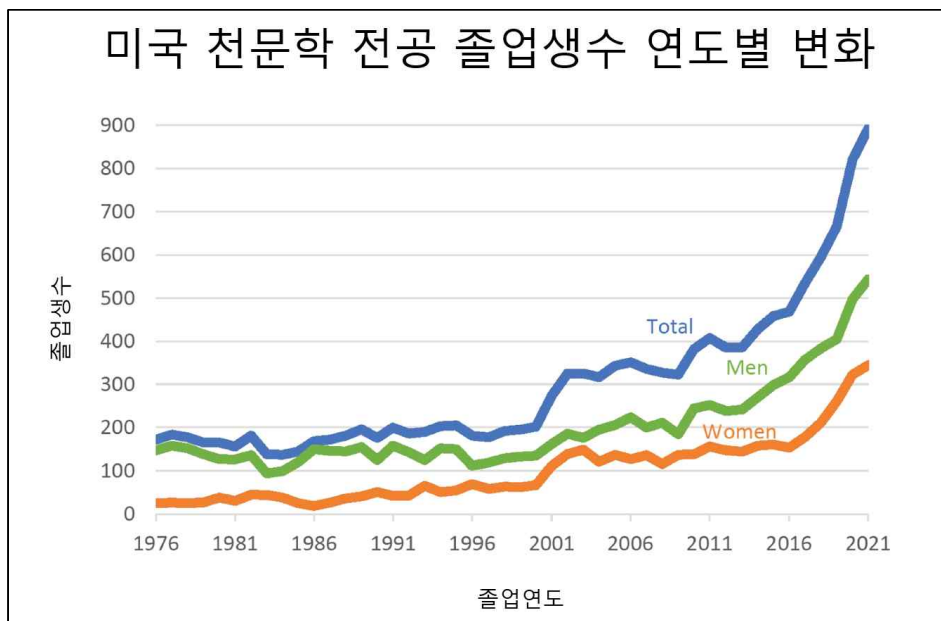


그림 53 미국 대학 천문학 학사학위 취득자 수의 연도별 변화 [출처: AIP]

6.3. 진로 탐색

10여 년 전까지 대학에서 천문학과 우주과학 관련 학과를 졸업한 학생들이 선택할 수 있는 진로는 매우 제한적이었다. 하지만 세계적으로 우주 탐사에 대한 관심이 높아지고 우리나라의 우주개발 프로그램도 정부 주도로 확대됨에 따라 천문우주 관련 스타트업 기업이 기하급수적으로 늘어나고 있다. 또한 정부에서 운영하는 과학관이나 지방자치단체가 운영하는 천문대 또는 과학관에서 천문학을 전공한 운영 인력 수요가 증가하고 있다. 2024년 개청한 우주항공청에서는 적극적으로 천문학을 전공한 전문 인력을 채용하고 있다. 즉, 천문학을 전공한 석사나 박사 인력은 물론 학부 졸업생에게도 진로 선택의 기회가 다양해지고 있다. 매년 한국천문학회와 한국우주과학회가 공동으로 개최하는 천문우주 관측기기 워크숍에 참여하는 스타트업 기업은 2025년 현재 30여 개에 달할 정도로 늘어났다. 문제는 대학의 학위과정만으로는 이처럼 다양해진 인력 수요에 대응할 수 있는 교육 기회의 제공이 어렵다는 점이다. 이전보다는 훨씬 다양해진 진로 지도를 위해 정부출연연구소, 특히 한국천문연구원에서 운영하고 있는

학생연수원 제도를 활용하여 보다 생생한 현장 학습의 기회를 제공할 필요가 있다. 또한, 각종 대형 프로젝트에서 실시하는 계절학교를 활용한 단기간 집중 교육을 통해 진로 선택에 필요한 각종 정보를 습득할 기회를 제공하는 것도 중요하다.

6.4. 천문학 대중화

천문학은 국가와 사회의 관심과 지원을 통해 성장하는 학문이다. 따라서 한국 천문학회계는 시민 사회의 천문학 지식 보급 및 확산을 위해 노력하여야 한다. 전문 천문학자에 의한 대중 강연, 과학 커뮤니케이터에 의한 천문학 정보 확산, 시민 천문대를 활용한 관측회는 시민 사회의 천문학에 대한 관심을 고취하고 최신 정보를 보급하는 데에 중요한 역할을 한다. 여기에서 한발 더 나아가 시민이 직접 참여하는 천문학 지식 확산 활동을 강화할 필요가 있다. 천문학 프로젝트를 통해 생산된 연구 자료를 일반 시민이 활용할 수 있도록 교육 콘텐츠를 개발하여 제공한다. 예를 들면 KMTNet으로 관측한 외계행성 탐색 자료를 이용해 시민이 직접 지금까지 알려지지 않은 새로운 외계행성을 탐색하도록 할 수 있다. 전문 천문학자들이 생산한 관측자료 데이터베이스를 시민들이 직접 활용하여 새로운 연구 결과를 도출하거나 이러한 자료를 소재로 한 콘텐츠를 개발하고 전파하도록 하는 것은 시민들이 천문학 대중화의 객체가 아니라 주체가 될 수 있는 기회를 제공한다.

6.5. 국제 사회의 과학 문화 창달과 지식 보급

천문학은 국제적인 학문이며 인류 사회의 기초과학 지식 보급을 위해 세계 천문학회계는 공동의 노력을 기울일 필요가 있다. 특히 상대적으로 열악한 저개발국가에 대한 지원은 매우 중요하다. 한국 천문학회계는 국제천문연맹의 천문교육분과(OAE)와 함께 국제 사회에 대한 천문학 확산을 위해 공동의 노력을 기울이고 있으며 OAE의 대한민국 지부(OAE Node of Korea)를 통해 캄보디아, 인도네시아, 베트남 등 상대적으로 소외된 국가의 천문학 교육 및 지식 보급을 위해 노력하고 있다. 한 편으로는 한국천문학회의 해외교육교류단 활동을 통해 동남아시아 국가의 천문학 활성화

를 지원하고 있다. 이러한 활동을 통해 한국 천문학계가 국제 사회의 과학 문화 창달과 기초과학에 대한 지식 보급에 기여할 수 있으며 나아가 천문학 선진국으로서 국민의 자긍심 고취에도 기여할 수 있다. 이러한 활동은 앞으로도 지속적으로 유지하고 지원하여야 한다.

7. 미래 한국 천문학을 위한 시설 및 활동 중요도 순위

위와 같이 설정한 과학적 도전과제 내용과 그것을 이루기 위한 시설 및 활동에 대한 여러 고려 사항을 토대로 워킹그룹 및 편집위원회 논의를 거쳐 다음과 같이 여러 시설 및 활동에 대한 중요도 순위를 정하였다. 이 장에서는 중요도 순위를 정하는 과정과 각 중요도 별 시설 및 활동을 기술할 것이다. 중요도는 P1(중요도 최상, Top Priority), P2(중요도 상, Very High Priority), P3(중요도 중, High Priority), 그리고 O(그 외 중요한 시설 및 활동, Other Important Facilities and Activities)의 4가지로 나누었다. 각 중요도의 순위는 미래 시설과 현재 추진 또는 활용 중인 시설로 나누어 기술하였다. 각 중요도 내에서 제시한 시설 및 활동의 순위는 부록 1에 제시한 워킹그룹 관여 순으로 하였는데, 각 중요도 내에서의 시설 순위는 우선순위와 무관하다. 각 시설 옆에 밀접한 관련이 있는 주제를 다루는 워킹그룹 이름도 표시하였다. 태양계 탐사 미션의 경우, 그 융합적인 성격으로 별도의 우선순위 지정 논의가 있어서 아래 중요도 순위에 포함하지 않았다.

7.1. 중요도 순위 결정 과정

각 워킹그룹에서 제시한 다양한 시설 및 활동들에 대해서 여러 가지 기준을 주고 점수를 매겼다. 그리고 그 점수를 바탕으로 각 워킹그룹이 자신들이 제시한 시설 및 활동을 4가지 중요도로 분류하였다. 태양계 워킹그룹의 경우 타 자연과학 연구 분야나 공학 분야와의 연계성을 고려하여 별도의 중요도 순위 결정을 추진하고 있어, 이번 장기발전연구위원회의 중요도 순위에 포함하지 않았다. 그리고, 우주망원경 워킹그룹의 경우, 별도의 워크숍 개최를 통해 ‘기술적 준비도’, ‘과학적 준비도’, ‘정책적 부합성’, ‘한국천문학회 이해’라는 4가지 항목에 대해 점수를 매기고 이에 따라 순위를 정하였다.

워킹그룹별 우선순위 결정 시에 사용한 점수 배점은 다음과 같다.

항목	소항목	점수	소계
1. 과학적 중요도	1-1. 인류 과학기술 증진과 도약에 얼마나 기여?	5	10
	1-2. 국제적 연구 경쟁력	5	
2. 파급효과	2-1. 천문학회 또는 과학계에서의 관심 및 활용도	3	10
	2-2. 전문가 그룹 성숙도(연구성과 창출 능력 등)	2	
	2-3. 인력 양성 기여도	2	
	2-4. 기술 개발 기여도	3	
3. 기술적 준비도	3-1. 얼마나 기술 확보된 상태?	3	10
	3-2. 핵심 기술 확보 가능성	4	
	3-3. 2030년대 활용 가능성	3	

그리고 중요도 분류 기준은 다음과 같이 정하였다.

중요도 분류	내용
P1(중요도 최상) Top Priority	세계적으로 가장 앞서는 기술 개발을 하면서 세계를 선도할 수 있는 혁신적인 과학임무를 수행할 연구시설 및 활동. 학계의 전폭적인 지원 및 매우 높은 파급력과 활용도가 예상되어야 함
P2(중요도 상) Very High Priority	과학적 및 기술적 중요도에서 P1 만큼 중요하나, 파급력이나 활용도 측면에서 P1 대비 조금 더 제한적이거나 장기적인 관점에서 추진해야 할 시설 및 활동
P3(중요도 중) High Priority	기술적 과학적인 측면에서 중요하며, 장기적인 관점에서 P1급이 될 잠재력이 있는 시설 및 활동. 또는 과학적인 중요도는 매우 높으나 기술적 개발 측면의 파급력이 P1, P2 대비 상대적으로 약한 시설
O(그 외 중요한 시설 및 활동) Other Important Facilities and Activities	P1, P2, P3에 속하지 않은 연구 개발 및 지원 활동이나, 주목적이 천문학이 아닌 시설이면서 P1, P2, P3 만큼 중요도가 인정 것들. 각 항목에 P1, P2, P3 기준을 부여

각 워킹그룹은 해당 워킹그룹이 제안한 시설에 대해 평가하여 점수를

매긴 후 시설들에 대한 중요도 분류를 하였다. 편집위원회는 각 워킹그룹이 제안한 중요도를 참고하여 전체적인 균형을 고려하면서 중요도에 대한 조정을 실시하였다. 중요도가 구분된 시설들은 다시 “미래 시설”과 “현재 활용하거나 구축이 진행 중인 시설”의 두 가지로 구분하여 분류하여, 새로이 추진해야 할 시설/활동이 무엇인지 명확해지게 하였다. 이러한 과정을 거쳐서 결정된 중요도별 시설은 다음과 같다.

7.2. P1(중요도 최상, Top Priority)

선정 기준: 세계적으로 가장 앞서는 기술 개발을 하면서 세계를 선도할 수 있는 혁신적인 과학임무를 수행할 연구시설. 학계의 전폭적인 지원 및 매우 높은 파급력과 활용도가 예상되어야 함.

A. 미래 시설

1. 분광탐사 6.5m 광학망원경:

6.5m급 망원경 2개 또는 동급 집광력을 갖춘 분광탐사 전용 망원경으로 남반구 하늘의 분광탐사 연구를 목적으로 한다. 외부은하와 우주론 연구를 비롯한 천문학 전 분야에서 활용이 가능할 것이며, 2035년 전후에 목표한 대로 가동을 개시하면 남반구 하늘의 분광탐사 연구를 선도할 수 있을 것으로 보인다. 한국 내 다수의 은하, 은하단 연구 인력을 바탕으로 분광탐사 망원경 건설, 분광기 제작, 데이터 확보, 연구 수행 등 연구 전 단계를 수행하고자 하는 야심 찬 프로젝트이다. 기술적 노하우 확보, 연구 인력 양성, 연구 경쟁력 확보 등 다양한 파급효과가 기대된다.

2. L4 미션[태양권]: L4 태양권 관측선의 과학적 성과와 기술 자립을 통해 대한민국의 우주개발 분야 주도권 및 연구의 중심 지위를 확보하기 위한 미션이다. 2035년 전후에 가동을 목표로 하며 다음과 같은 파급효과가 예상된다. 1) 태양 관측을 통한 전략적 과학임무 수행, 2) 태양 관측 데이터 확보를 위한 과학 탑재체 개발, 3) 태양 탐사를 위한 궤도 설계 및 한국형 위성 개발, 4) 우주 관측 데이터 통합 관리 체계 마련, 5) 우주

탐사 시대에 대응하는 차세대 우주과학 연구 기반 마련 및 국제 우주 협력의 선도국 도약.

3. 한국 중형 우주망원경: 기술적 준비도가 매우 높은 1-1.5m급 범용 우주망원경 미션이다. 고해상도 및 광시야 영상 및 분광 관측을 가시광선 및 적외선에서 수행하여 우주론, 은하 진화, 외계행성, 다중신호 천문학, 시간영역 천문학 연구에서 독보적 연구 성과가 기대된다. 많은 국내 천문학자들의 과학적 요구를 충족하고 한국 천문학계의 관측 역량을 획기적으로 발전시킬 수 있을 것으로 보인다.

4. 차세대 중력과 천문대: 중력과/다중신호 연구의 지평을 크게 확장하고 천문학, 물리학의 중요한 발견 및 다양한 첨단기술의 발전을 견인할 세계 최고의 중력과 관측시설(Einstein Telescope, Cosmic Explorer, LISA 등) 확보에 관한 계획이다. 국내 다수의 중력과 연구자들이 LIGO, KAGRA 활용을 통해 축적한 연구 역량을 통해 시설의 활용도와 파급효과가 높을 것이다. 2030년대 중후반 가동할 차세대 중력과 관측시설 구축에 기술적인 기여를 통해 참여함으로써 우리나라 중력과 천문학의 기술 역량도 높이고자 한다.

5. 자료 및 계산시설: 차세대 관측자료를 보관/배포하는 시설과 계산 연구를 위한 시설을 통합 구축하고 관리하여 시너지를 낼 수 있는 프로젝트이다. 한국이 참여하는 SKA 및 LSST과 같은 대형 탐사 프로젝트가 이미 사업 및 관측을 시작한 상황에서 시의성이 매우 높다. 계산시설의 경우 다양한 과학 연구 분야에서 관측자료와 시너지 효과가 높으며 시설 측면에서 자료 시설과 서로 상호 보완적이므로 자료와 계산시설 구축을 공동으로 진행하는 것을 추천한다. 빅데이터를 다루는 천문학 분야에서 AI를 활용한 연구에 필수적인 시설이다.

B. 현재 활용 또는 건설 참여 중인 시설

1. Giant Magellan Telescope: 세계 최대급 차세대 지상 거대 광학 관측시설이며 한국 천문학계의 미래 관측연구 경쟁력을 담보할 미래 거대 프로젝트이다. 대규모 예산이 수반되는 국제 공동 건설 프로젝트인 만큼, 건설과 운영에 필요한 안정적인 예산 확보를 위한 노력이 꾸준히 있어야 할 것이다.

2. SKA: 50MHz - 15GHz 대역 고감도 고해상도 전파간섭계: 국제협력 프로젝트로 건설이 진행 중이며, 고감도 고속 탐사 성능의 전파간섭계로 향후 넓은 연구 분야에 걸쳐서 과학적/기술적으로 중요한 결과가 나올 것으로 예상된다. 우리나라는 2025년부터 참여하기 시작하였는데 국내 연구진이 주도하는 과학 연구/기술 개발을 통한 연구 경쟁력 강화가 필요하다.

7.3. P2(중요도 상, Very High Priority)

선정 기준: 과학적 및 기술적 중요도에서 P1만큼 중요하나, 파급력이나 활용도 측면에서 P1 대비 조금 더 제한적이거나 장기적인 관점에서 추진해야 할 시설.

A. 미래 시설

1. 전천 탐사 관측시스템: 국내기관이 운영하는 관측시설의 현대화를 통해 관측기기 전문 인력 양성과 관련 기술 노하우 축적을 꾀하는 동시에 소형망원경 네트워크를 이용한 변광천체, 지구 근접 천체, 인공위성 감시 등 한반도 현지에 필요한 관측연구를 수행하는 프로젝트이다. 새로 구축할 다중신호 관측시설(예: 7DT) 등을 포함하여 다중신호 천문학 시대에 독자적이고 경쟁력 있는 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

2. ngVLA[전파]: ALMA와 SKA 중간 대역인 1-116GHz 파장대를 메우는 고감도 간섭계로 미국 주도로 건설 추진 중인 시설이다. 아직 사전 연구

단계로 본격적인 건설 시작은 미국 상황에 따라 유동적인 면이 있다. 주 연구 주제에 대해 국내 연구 그룹이 형성되어 있으며 공통 주파수 대역을 갖는 KVN과 연계한 시너지도 가능한 장점이 있다. 이미 여러 나라가 사전 연구 프로젝트에 참여하고 있으며 국내에서도 체계적인 준비가 필요한 시점이다.

3. 소형 우주망원경 미션: 과학적 중요성이 높은 특정 과학 목적을 가진 소형 우주망원경 미션으로 기술 개발을 겸하는 미션을 추천한다. 우주 얼음과 생명의 기원을 탐사하기 위한 Ices Explorer 미션이 상대적으로 높은 과학/기술 준비도에 따라 1순위 미션으로 워킹그룹에서 선정되었다. 그러나 그 외 S-KMTNet, S-Drift, Capella 등 과학적 잠재력이 큰 다양한 미션들이 제안된 것을 고려하면 공개 공모를 통해 구체적인 미션을 선정하는 것이 바람직하다.

4. 월면 중력과 검출기: 월면 중력과 검출 안테나(Lunar Gravitational Wave Antenna)로 활용하는 것을 궁극적인 목표로 하는 새로운 중력과 검출기 기술 개발 프로젝트이다. 타 중력과 검출기가 감지할 수 없는 새로운 중력과 관측 주파수 영역 개척을 통해 매우 큰 과학적 기여 및 파급효과가 기대된다. LGWA는 2030년대 중반 발사를 목표로 한다.

5. ATHENA: 현재 부정확하고 정밀하지 않은 우주환경 예측 성능을 개선하기 위한, 광시야 오로라 영상 및 고층대기 물리 변화에 대한 정보를 제공하는 미션이며, 현재 ROKITS(Republic Of Korea Imaging Test System)라는 미션을 통해 광학기기 개발 기술의 성숙도가 높다. 시대적인 요구 측면에서도 매우 중요한 미션이라 판단하며, 현재 개발된 기술이 있으므로 가까운 미래에 추진할 수 있는 최적의 미션이라 판단한다.

B. 현재 이용 중이거나 현재 한국이 건설에 참여 중인 시설

1. Gemini Observatory: 현재부터 향후 10년 이후까지(~2033+) 한국 천문학계가 경쟁력 있는 관측연구를 위해 활용할 수 있는 현존 최대급(구경 8m) 지상 광학 관측시설이다. 현시점에서 경쟁력 있는 관측연구를 위해 필수적인 지상 관측시설이기도 하므로, 장기적으로 연구 인력 양성과 전문 기술 확보를 위한 안정적인 운영을 유지하는 것이 중요하다.

2. KVN 및 ngEHT: KVN은 국내 주도로 개발된 관측시설로 기술적인 파급효과와 인력 양성 효과가 우수한 시설이다. KVN을 통해 입증된 다주파수 수신 방식은 VLBI 관측 기술의 혁신으로 해외 시스템에서도 도입을 추진하고 있다. 다주파수 수신기와 KVN 230 GHz 고주파수 업그레이드 등을 통해 블랙홀 그림자 관측을 할 국제 공동프로젝트 ngEHT 연구에 크게 기여할 수 있을 것으로 보인다. 투자 대비 과학적 중요성과 파급효과가 우수하며, 경쟁력 있는 국내 연구진과 기술 개발 그룹이 형성되어 있다는 것이 장점이며, 대표 연구 주제인 블랙홀은 학술적 대중적 관심도가 높은 대상이기도 하다.

3. ALMA: 국제협력으로 건설된 세계 최고 성능의 전파간섭계로 파급력이 큰 연구 결과가 나오고 있다. 국내에 폭 넓은 사용자 그룹이 있으며 분광기 개발에 기여하고 있다. 2030년대에도 계속 활용하여 국내 주도 대형 연구 추진을 통한 대형 성과 창출에 도전할 만하다.

7.4. P3(중요도 중, High Priority)

선정 기준: 기술적 과학적인 측면에서 중요하며, 장기적인 관점에서 P1 급이 될 잠재력이 있는 시설 및 활동. 또는 과학적인 중요도는 매우 높으나 기술 개발 측면의 파급력이 P1, P2 대비 상대적으로 약한 시설

A. 미래 시설

1. 남극천문대: 극지 환경에 광학 및 전파 관측시스템을 구축하고 운영하여 기존 망원경 네트워크와 연결해 관측연구를 수행하는 계획이다. 광학 관측시설의 경우 남극의 안정적인 기상 조건을 활용한 관측연구 효과에 더해서 극한 환경에서 내구성이 필요한 우주기술 등을 시험할 수 있다는 장점이 있다. 전파 관측시설의 경우 THz 대역 관측이 가능한 6미터급 전파망원경을 건설하여 남극의 독보적인 대기 조건을 활용한 연구를 수행할 수 있다. 장기적인 관점에서 우리나라의 남극 개발 계획과 연계하여 추진하는 것을 추천한다.

2. 3m급 이상 우주망원경: 야심 찬 우주망원경 프로젝트로 외계행성 연구, 우주론 연구 등을 주요 과학 목표로 상정하고 있다. 장기적인 관점으로 추진해야 할 시설이다. P1 및 P2 시설로 분류된 소형 및 중형 우주망원경에서 축적한 기술을 바탕으로 해외의 대형 우주망원경과 국제협력 프로젝트로 개발하는 방안도 고려해 볼만하다.

3. 태양권 미션: 장기적인 관점으로 추진할 가치가 있는 태양권 미션들이며, 자기권 저온 플라스마 원천과 순환 탐사 미션인 MagPIE, 오로라 현상과 고층대기의 고분해능 동시 관측을 통해 우주환경을 연구하는 GAC, 여러 행성의 오로라 연구를 하는 EAE 등이 제안되었다. 추후 면밀한 검토를 통해 미션을 선정하는 것을 추천한다.

B. 현재 이용 중이거나 현재 한국이 건설에 참여 중인 시설

1. Rubin/LSST: 현재를 기준으로 향후 10년 이상 활용 가능한 경쟁력 있는 연구데이터를 확보할 수 있는 중요한 국제협력 프로젝트이다. 안정적으로 데이터를 확보하기 위한 현물 기여 프로그램 운영과 경쟁력 있는 연

구 결과를 제때 산출하기 위한 활동이 중요하며, GMT, Gemini 등과 같은 P1, P2 시설에서 관측할 주요 관측 대상 발굴에 필수적인 과학적 잠재력이 매우 높은 프로젝트이다. 다만 기술 개발 측면의 파급력이 상대적으로 낮은 점이 고려되어 P3 시설로 분류되었다.

7.5. O(그 외 중요한 시설 및 활동)

선정 기준: P1, P2, P3로 분류하기 애매한 기기 개발, 연구지원이나 활동, 또는 주목적이 천문학이 아닌 시설. O로 분류된 항목 역시 P1, P2, P3 만큼 중요도가 인정되는 시설 또는 활동이기에 각 항목에 P1, P2, P3 기준을 적용하였음.

1. 관측기기 개발[P2]: 거대 관측시설에 필수적인 다양한 관측기기 개발, 유지보수 등이 이 분류에 포함된다. 다른 프로젝트와 같이 우선순위를 비교할 수는 없으나, 거대 관측시설이 제 기능을 하고 좋은 관측데이터를 생산하기 위해서는 우수한 관측기기가 필수적이므로 매우 중요한 활동이라 할 수 있다. 다양한 관측기기/기술 개발 프로젝트에 대한 지원을 통해 관측기기를 개발, 운영, 유지보수 할 수 있는 전문 인력 양성에 적극 투자하는 것은 한국 천문학계의 역량을 키우는 데 매우 중요하다.

2. 창의적 도전 프로젝트 지원[P2]: 대학의 개인 연구자나 연구소의 개별 연구자 PI 수준에서 (상대적으로) 소규모 예산으로 수행할 경쟁력 있는 연구 프로젝트를 뜻한다. 7DT를 좋은 사례로 들 수 있다. 우주탐사에서 한국이 주도하는 혁신적인 연구 성과는 이러한 소규모 프로젝트에서 출발할 수 있다. 국내 우주탐사 예산은 한정되어 있고 큰 규모의 프로젝트를 수행할 기회가 귀하기 때문에, 혁신적인 연구 과제가 도출되기 위해서는 다양한 새로운 기술의 개발과 창의적인 아이디어들이 정기적으로 기회를 얻을 수 있는 풍토가 마련되어야 한다. 대규모 프로젝트와 우선순위를 비교하기는 쉽지 않으나, 소규모의 창의적 연구 프로젝트 지원을 P2 급으로 적극 추천한다.

3. Rollable Mirror Telescope[P3]: Rollable 거울 기술을 활용한 새로운 개념의 우주망원경으로, 기술개발이 성공한다면 적은 예산으로 대구경(~10미터)의 우주망원경 개발을 가능케 할 것으로 기대된다. 단, 지상에서 아이디어 검증을 거친 후, 소형 우주망원경(RMT-Pathfinder)을 먼저 시도하는 것을 추천한다.

4. 다목적 심우주안테나[P3]: 우주탐사선 위치 추적 목적인 40미터급 2-100GHz 대역 안테나를 심우주 탐사선 교신에 활용하지 않는 상당 시간 동안 천문관측 목적으로 활용하는 프로젝트이다. 단일경 관측 또는 VLBI로 활용이 가능하므로 천문관측 시설 개발에 드는 비용을 절감할 수 있다. 향후 우주탐사 미션에 필요한 기반 인프라므로 시설의 설계와 건설 단계를 주도하거나 적극적인 국제협력을 추진할 필요가 있다.

5. 한국 중성미자망원경[P3]: 물리 실험의 성격이 강한 연구시설이면서 천문학 응용 가능성이 높은 시설로 국내 중성미자 천문학 기반을 확보하고 중성미자 연구에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 다만 해당 분야를 세계적으로 확실히 주도하기보다는 여러 중성미자 관측시설의 연구에 동참하는 수준이다. 아직 국내 천문학계에 연구자 기반이 적으며 물리학계에서도 저변이 한정된 연구 분야라는 점을 고려할 필요가 있다.

6. 대학-연구소 협력 사업 강화[P2]: 대형 관측시설의 구축과 운영이 연구소 중심으로 이루어지고 있는 한편, 사용자 그룹 상당수가 대학에 산재해 있는 우리나라의 연구생태계 특성을 고려하면 대학과 연구소의 긴밀한 협력 체계 구축이 필요하다. 기존의 소규모 학연사업을 넘어 더욱 영향력 있는 과학 연구와 기기 개발 등을 효율적으로 할 수 있도록 새로운 형태의 대규모 학연협력 체계를 구축하는 것을 추천한다.

8. 앞으로의 과제

이상과 같이, 한국 천문학이 도전할 과학적 연구 주제와 그 연구에 필요한 시설 및 활동을 각 시설/활동의 중요도까지 포함하여 알아보았다. 이제 보고서에 담긴 계획을 실천에 옮겨 한국 천문학의 발전을 도모하는 일이 우리가 해야 할 일이다. 이러한 일이 실현되도록 하기 위한 몇 가지 숙제는 다음과 같다.

우선 각 시설 및 활동을 좀 더 구체화할 계획이 필요하다. 본격적인 시설 구축 계획을 세울 때 과학적 내용에 대한 국제 경쟁력과 과학적 파급력, 실현 가능성에 대한 설득력 있는 논리 및 자료 제시는 물론 우리 시설을 한국 주도로 구축할 수 있는 기술적 기반이나 기술적 구현 가능성에 대해서도 더 면밀한 검토가 이루어져야 할 것이다. 도전적인 시설의 경우 필요한 기술 확보를 할 수 있는 패스파인더(pathfinder) 미션과 같은 전 단계 사업을 구상에 포함하는 것이 성공적인 시설 구축에 도움이 될 수 있다.

그리고 여러 시설 구축에 대한 다양한 아이디어를 제안할 수 있도록 하여 연구자들의 창의성과 도전 정신을 높일 필요가 있다. 그렇게 제안된 다양한 안들 중 국제 경쟁력과 과학적 파급력이 가장 높은 시설을 선정할 공정하고 면밀한 검토 및 미션 선정 시스템을 확립해야 할 것이다. 이런 점에서 NASA나 ESA와 같은 선진 우주 기관의 우주망원경 선정 절차를 참조할 만하다. 예컨대 우주망원경 선정을 아이디어 구체화 정도에 따라 Pre-Phase A(개념설계, 1단계)부터 Phase A(예비 설계, 2단계) 단계로 나누어 진행하고, 2단계 예비설계 최종 선정 과정에서는 우주항공청, 한국천문연구원, 한국항공우주연구원 등 관련 기관과 학회(천문학회 등)의 전문가 위원회를 통해 평가 기준을 설정하고 우선순위를 도출하는 것을 생각해 볼 수 있다. 그 후 Phase B(정의 단계), Phase C/D(설계 및 개발 단계), 그리고 Phase E(운영 단계)로 사업을 진행한다면 그만큼 그 미션의 성공 확률을 높일 수 있을 것이다. NASA가 우주망원경 미션을 선정할 때 이러한 과정을 주도적으로 이끄는 것처럼, 이러한 작업에 우주항공청의 큰 역할

을 기대해 본다.

장기발전계획을 실행하는 과정에 유연성을 발휘하여 급변하는 주변 조건에 능동적으로 대처할 수 있게 해야 할 것이다. 이 보고서에 담긴 장기발전계획은 앞으로 나아가야 할 큰 틀을 제시한 것이지 세부적인 내용이 꼭 이대로 추진되어야 한다는 것은 아니다. 현대 과학의 발전 속도는 매우 빠르며, 창의적인 새로운 시설 계획이 언제든지 등장할 가능성이 있기 때문에, 필요에 따라 장기발전계획을 10년보다 짧은 주기로 수시로 업데이트할 필요가 있다. 또한, 국제정세의 급변에도 유연한 대처를 해야 할 것이다. 특히 비교적 적은 예산으로 큰 효과를 볼 수 있는 여러 시설 계획(특히 국제협력 사업)에 대한 기회가 갑작스레 나타나기도 하는데, 그러한 기회를 잘 포착할 수 있도록 해야 할 것이다. 다만 그런 계획들이 생겼을 때 학계의 의견이 충분히 반영되어야 할 것이다.

장기발전계획을 세우는 과정에서 젊은 학자들의 역할도 커져야 할 것이다. 이들은 장기발전계획 속의 프로젝트들을 직접 수행할 당사자들이라 할 수 있다. 젊은 학자들이 이러한 수립 과정에 보다 폭넓게 참여하여 자신들이 도전할 과학 난제를 푸는 데 활용될 미래 시설에 대해서 더 많은 생각을 하고 의견을 반영한다면, 그들이 앞으로 천문학계의 미래를 이끄는 데 큰 도움이 될 것이다. 이러한 점에서 앞으로는 미래 계획을 세울 때 젊은 세대들의 참여를 더 독려할 방안을 마련해야 할 것이다.

다양한 분야의 연구와 시설에 대한 장기발전계획을 약 1년이라는 비교적 짧은 기간에 세우기 위해서 천문학 연구와 시설 구축에 대한 보고서 내용 작성에 집중하였다. 그 결과 미래 인력 양성이나 산업계와의 협력, 학회 발전 방안과 같은 부분을 상대적으로 덜 다루게 되었는데, 그렇다고 인력 양성과 같은 활동이 연구와 시설 활동보다 덜 중요한 것은 아니다. 우리나라는 아직 천문학 선진국 대비 GDP 규모당 천문학 연구 인력이 적고 천문학과 연계된 산업 기반이 약한 만큼, 미래 인력 양성과 산학연 협동 방안에 대한 논의가 앞으로 심도 있게 이루어져야 할 것이다.

마지막으로 한국천문학회와 한국천문연구원, 그리고 우주항공청의 역할

에 대한 고찰이 필요하다. 현재의 우리나라 연구지원 체계는 고가의 대형 연구시설과 장비를 한국천문연구원이 주도적으로 구축 및 운영하고 학계는 그것을 이용한 연구를 수행하는 식으로 천문학 생태계가 꾸려져 있다. 이번 장기발전계획은 천문학회에서 주도하였지만 실제로 장기발전연구위원회에 참여한 위원들의 태반이 한국천문연구원 소속인 것도 그러한 이유 때문이다. 자연스럽게 한국천문연구원이 추진할 사업과의 연계성이 생기기도 했지만, 그렇지 못한 부분도 존재한다. 이번에 수립된 장기발전계획이 한국천문연구원의 대형 연구시설 및 장비 구축 사업을 진행하는 데에 중요한 기초자료로 활용되기를 희망한다. 우주항공청 역시 학회와 연구소가 희망하는 연구와 시설에 대한 지원에 이 보고서를 적극 활용하기를 바란다. 다만 느슨한 조직인 학회에서 세울 수 있는 계획의 구체성에는 한계가 있기 때문에 제안된 사업의 구체화와 실행에 한국천문연구원이, 여러 제안된 유사한 과제 선정 시스템 구축에 우주항공청이 큰 역할을 해야 할 것이다. 마지막으로 연구소만이 아니라 대학에서도 여러 대형 장비 구축에 대한 아이디어가 있기 때문에 이러한 수요를 반영할 수 있는 시스템 구축을 위한 고민이 필요할 것이다.

이 보고서 내용이 모두 실현된다면 한국 천문학이 앞으로 10년 후 큰 도약을 이룰 것임을 믿어 의심치 않는다. 한국 천문학이 계속 앞으로 나아가기 위해서는 꾸준히 더 나은 계획의 수립을 위한 노력을 이어가야 할 것이다.

부록 1. 한국천문학회 장기발전연구위원회 구성

위원장: 임명신:
자문위원: 이형목(전임 장기발전계획위원장), 박병곤(한국천문학회장)

편집위원회
 위원장, 자문위원 2명, 워킹그룹장(황호성, 김웅태, 김주현, 권윤영, 황나래, 변도영, 이성호, 정웅섭, 김민진)

9개 워킹그룹

	외부은하/우주론	우리은하	태양계/외계행성	태양권	지상광학망원경	지상전파망원경	다중신호관측시설	우주망원경	자료및계산시설
그룹장	황호성(서울대)	김웅태(서울대)	김주현(항우연)	권윤영(천문연)	황나래(천문연)	변도영(천문연)	이성호(천문연)	정웅섭(천문연)	김민진(경북대)
그룹멤버	김민진(경북대)	이정은(서울대)	심채경(천문연)	곽영실(천문연)	양유진(천문연)	김기태(천문연)	김정리(이화여대)	양유진(천문연)	이보미(천문연)
	김재영(UNIST)	이창원(천문연)	정안영민(천문연)	김수진(천문연)	신윤경(천문연)	김중수(천문연)	강궁원(중앙대)	지명국(연세대)	신지혜(천문연)
	박홍수(천문연)	권우진(서울대)	이연주(IBS)	김정현(천문연)	김지훈(서울대천문)	김준한(KAIST)	오정근(수리연)	정태현(천문연)	김신영(천문연)
	손봉원(천문연)	배재한(Univ. Florida)	김민선(천문연)	민경국(충남대)	김재우(천문연)	김재영(UNIST)	이형목(서울대)	김민진(경북대)	이창희(천문연)
	손주비(서울대)	안덕근(이화여대)	최영준(천문연)	박경선(충북대)	안교훈(천문연)	오세현(세종대)	김상철(천문연)	김지훈(서울대)	김영민(천문연)
	신윤경(천문연)	윤영주(천문연)		박재홍(천문연)	이충욱(천문연)	박종호(경희대)	노창동(성균관대)	이상성(천문연)	장서원(서울대)
	오세현(세종대)	윤성철(서울대)		서정준(천문연)	오희영(천문연)	정애리(연세대)	장서원(서울대)	이보미(천문연)	김용휘(KISTI)
	이성국(서울대)	이희원(세종대)		이창섭(극지연)	조혜전(연세대)	정태현(천문연)	김항배(한양대)	양성철(천문연)	김태선(연세대)
	이준협(천문연)	이영선(충남대)		임은경(천문연)	임범두(공주대)	손봉원(천문연)		고종완(천문연)	김지훈(서울대물리)
	이형목(서울대)	홍경수(천문연)			홍성욱(천문연)			한정열(천문연)	김주한(고등과학원)
	정애리(연세대)	임동욱(연세대)			임명신(서울대)			류동욱(항우연)	전명원(경희대)
	지명국(연세대)	양성철(천문연)							
	홍성욱(천문연)	김정리(이화여대)							
	Arman Shafieloo(천문연)	김기태(천문연)					2중복 15		
	David Parkinson(천문연)						3중복 1		
							편집위 2		

*2025/2까지 그룹장

과학교육 및 대중화 집필: 심현진(경북대)

부록 2. 외부검토 자문위원회(External Review Committee)

- 천문학 장기발전보고서의 내용을 검토하여 수정사항 제안
- 장발위에 참여하지 않았던 천문학회 회원 전문가 11명으로 구성

외부검토 자문위원회 위원 명단(가나다순)

1. 강혜성(부산대학교)
2. 문홍규(한국천문연구원)
3. 박수종(경희대학교)
4. 박용선(서울대학교)
5. 박창범(고등과학원)
6. 안홍배(천문학회)
7. 이대영(충북대학교)
8. 이명균(서울대학교)
9. 이석영(연세대학교)
10. 이유(충남대학교)
11. 채종철(서울대학교)

부록 3. 장기발전연구위원회 활동일지

- 2024년 7월 - 9월
 - 2013년-2022년 장기발전계획 수립 이후 코로나 19 시기 및 국제천문연맹총회 개최 때문에 연기되었던 차기 장기발전계획 수립을 결정
 - 위원장 및 자문위원을 중심으로 학계 여러 의견을 수렴하여 활동 체계 초안을 수립하고 워킹그룹장 섭외
 - 우주항공청 신규프로젝트 탐색연구사업 지정과제 중 하나로 “천문연구 분야 수요를 기반으로 한 중장기 발전계획 수립” 과제 공고 (8월 28일)
 - 천문학 장기발전계획을 우주항공청 과제와 연동하기로 결정하고, 우주항공청 신규 프로젝트 탐색연구사업 계획서 준비
- 2024년 10월 - 11월
 - 우주항공청 신규 프로젝트 탐색 과제 기획 착수(10월 1일)
 - Decadal Survey 작성을 목적으로 한 장발위 편집위원회 1, 2차 회의 개최(10월10일 및 11월 4일)
 - 활동 체계 확립(11월 4일)
 - 장기발전연구위원회(이하 장발위) 활동에 대한 1차 공청회 개최(10월 17일)
 - 장발위 위원 구성 완료(태양 및 태양계 워킹그룹 제외)
 - * 약 70명의 위원을 공모를 통해 섭외
 - * 한국천문연구원, 한국항공우주연구원, 국가수리연구소, 기초과학연구원 등 여러 출연연구소와 서울대, 연세대, 이화여대, 중앙대, 경희대, 세종대, 충남대, 경북대, 공주대 등 국내 대부분의 천문학 관련 대학교, 해외 대학(플로리다 대학) 등 다양한 기관의 연구자 참여
- 2024년 11월 - 12월
 - 각 워킹그룹마다 워킹그룹 회의를 1, 2회 진행하여 활동 내용 및 계획 수립
 - 신규 프로젝트 탐색사업 협약 완료(12월 10일)
 - 장발위 편집위원회 3차 회의 개최(12월 20일): 워킹그룹 활동 상황 점

검 및 워킹그룹 보고서 작성 계획 공유

- 2025년 1월 - 3월
 - 장발위 워크숍 개최(2월 7일, 서울대학교 28동)
 - 장발위 편집위원회 4, 5차 회의 개최(2월 24일 및 3월 28일) - 워킹그룹 보고서 작성 및 전체 보고서 작성 논의
 - 각 워킹그룹마다 워킹그룹 회의를 2, 3회 진행
- 2025년 4월 - 5월
 - 장발위 2차 공청회(4월 10일)
 - 보고서 초안 작성 : 워킹그룹별 자체 보고서 작성 및 종합 보고서 작성
 - 종합 보고서는 연구 주제 중심으로 예비 보고서를 발행하고 이후 미래 프로젝트 발굴과 우선순위 부여를 담아 최종 보고서를 발행하기로 함
- 2025년 6월 - 8월
 - 장기발전연구위원회 예비보고서 발행(6월 2일)
 - 편집위원회 7차 회의(7월 1일)
 - 워킹그룹 보고서 양식 통일을 위한 추가 편집 작업(7월-8월)
 - 시설 우선순위 결정을 위한 워킹그룹 활동(7월 - 8월)
 - 시설 우선순위 결정을 위한 편집위원회 8차 회의(8월 11일)
 - 최종보고서 작성(8월)
- 2025년 9월 - 10월
 - 최종보고서 완성(9월 중순)
 - 최종보고서에 대한 3차 공청회(9월 26일)
 - 최종보고서 공개(10월 중하순)
 - 우주항공청 신규 프로젝트 탐색연구사업 과제 종료 (9월 30일)
 - 최종보고서 내용 소개(한국천문학회 가을학술대회, 10월 15일)

주요 활동 요약

(1) 장발위 1차 공청회 및 계획발표

일시: 2024년 10월 17일 12:30 - 13:30

장소: 스카이에이 경포, 한국천문학회 가을학술대회 제1발표장

참석자: 임명신(서울대), 황나래(천문연), 양유진(천문연), 양성철(천문연), 박병곤(천문연), 김종수(천문연), 지명국(연세대) 외 약 30여명

- 장발위 활동 계획 발표
- 질의응답을 통해 학계의 의견 수렴



<장발위 1차 공청회(2024-10-17)>

(2) 장발위 워크숍

일시: 2025년 2월 7일 09:20 - 18:00

장소: 서울대학교 28동 302호

참석자: 장기발전연구위원회 위원 30여 명

- 워킹그룹 논의 내용 발표
- 워킹그룹 활동 내용에 대한 토의

(3) 장발위 2차 공청회

일시: 2025년 4월 10일 14:00 - 15:30

장소: 경주 한국천문학회 봄학술대회장

참석 대상자: 모든 학회원

- 장기발전보고서 발표, 패널토론 및 질의응답

패널리스트: 박병곤(한국천문학회장/천문연), 채종철(차기 한국천문학회장/서울대), 이형목(전임 장기발전연구위원회 위원장/서울대), 곽영실(천문연 기초천문연구본부장), 강현우(우주항공청 우주과학탐사임무 설계프로그램장)



<장발위 워크숍(2025-02-07)>



<장발위 2차 공청회 패널토론(2025-04-10)>

(3) 예비보고서 발표

일시: 2025년 6월 2일

내용: 연구 분야에 따라 현재 천문학회에서 가장 중요하게 연구되는 주제에 대해 살펴 보고 이들 주제의 향후 발전 동향과, 연구의 실현을 위해 어떤 시설과 장비가 필요한지 고찰하는 내용을 담음. 한국천문학회에서 보도자료 배포 및 언론 보도.

보도자료 2025. 6. 2.(월) 09:00		사단법인 한국천문학회 The Korean Astronomical Society
	사)한국천문학회 사무국 조보영 ☎ 042-865-3395 🌐 https://www.kas.org ✉ kas@kasi.re.kr	
<문 의> 📞 한국천문학회 총무이사 석지연 박사 042-869-5823 📞 한국천문학회 장기발전연구위원장 임명신 교수 02-880-6585		
한국천문학회, 장기발전보고서 발표 - 한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전 제시 - 2026년부터 10년간 천문학계가 주목할 도전적 연구 주제 발굴		
■ 한국천문학회(학회장: 박병곤)는 대한민국 천문학계의 중장기 비전을 담은 장기발전보고서를 공식 발표했다. 우주항공청의 지원 아래 한국천문학회 장기발전연구위원회가 주관한 장기발전보고서는 2026년부터 2035년까지의 기간에 우리나라 천문학계가 주목해야 할 도전적인 연구 주제를 담고 있다. 이번 보고서는 천문학계의 각 연구 분야별로 향후 10년 동안 가장 중요하다고 생각하는 주제들을 담은 예비 보고서의 성격이며 미래 도전을 위해 제안된 프로젝트들의 상세한 내용을 담은 최종 보고서가 추가로 발표될 예정이다.		

동아사이언스

과학

韓 천문학회, 10년간 우주 기원·외계 생명체 탐구 주력

2025.06.02 10:04

| '한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전: 2026~2035' 발표

카 가

🔍



한국천문학회

THE KOREAN ASTRONOMICAL SOCIETY

한국천문학회 로고, 한국천문학회 제공

국내 천문학계가 향후 10년간 우주 모델과 물리 법칙을 검증해 우주의 기원을 밝히고, 외계생명체 존재 가능성을 포함해 인류의 기원을 탐구하는 데 주력한다.

한국천문학회는 국내 천문학계 중장기 비전과 발전 계획을 담은 장기발전보고서 '한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전: 2026~2035'를 2일 발표했다. 천문학계의 각 연구 분야별로 향후 10년 동안 가장 중요하다고 생각하는 주제들을 담은 예비 보고서로 제안된 프로젝트들의 상세 내용과 우선순위를 담은 최종 보고서가 추가로 발표될 예정이다.

(4) 장발위 3차 공청회

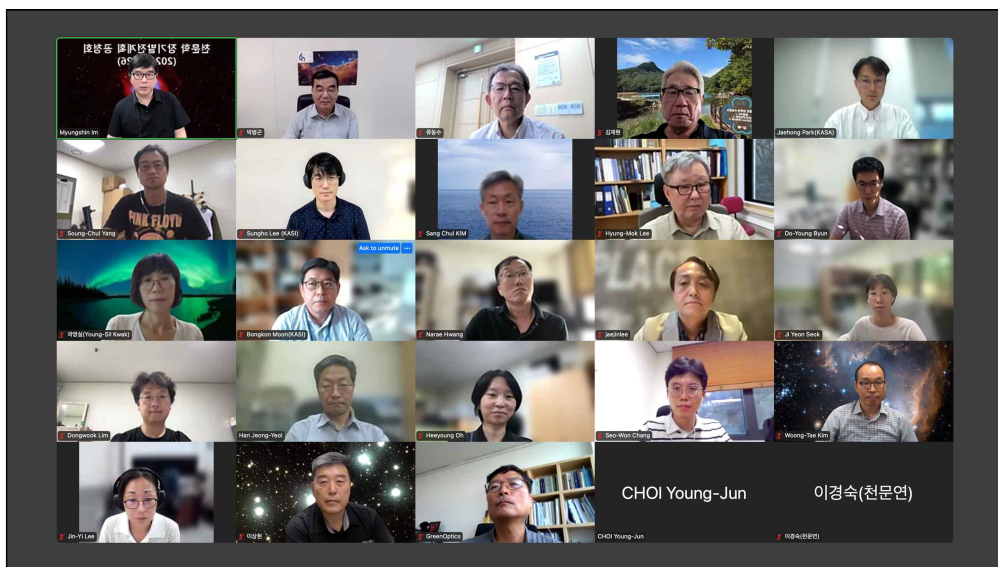
일시: 2025년 9월 26일 16:00 - 17:45

장소: 온라인 zoom회의

참석대상자: 모든 학회원

- 장기발전보고서 연구시설 우선순위 발표 및 이에 대한 의견 수렴
- 패널리스트 : 이형목(전임 장기발전연구위원회 위원장/서울대), 류동수(전임 한국천문학회장/UNIST), 곽영실(한국천문연구원 기초천문연구본부장), 박재홍(우주항공청 우주과학탐사임무설계프로그램 사무관)

보도자료 2025. 9. 26.(금) 13:00	 사단법인 한국천문학회 The Korean Astronomical Society
	사)한국천문학회 사무국 조보영 ☎ 042-865-3395 https://www.kas.org ✉ kas@kasi.re.kr
<문 의> ☎ 한국천문학회 총무이사 석지연 박사 042-869-5823 ☎ 한국천문학회 장기발전연구위원장 임명신 교수 02-880-6585	
한국천문학회, 장기발전계획 공청회 개최 - 2026년부터 10년간 천문학 난제 해결을 위한 연구시설 중요도에 대한 학계의 의견 수렴	
■ 한국천문학회(학회장: 박병곤)는 2026년 9월 26일, 대한민국 천문학계의 중장기 비전을 담은 장기발전보고서에 대한 공청회를 개최했다. 앞서 2025년 6월 2일, 한국천문학회는 2026년부터 2035년까지의 기간에 우리나라 천문학계가 주목해야 할 도전적인 연구 주제를 담은 예비보고서를 발표한 바 있다. 이번 공청회는 미래 도전을 위해 제안된 프로젝트들의 상세한 내용과 중요도 순위를 담은 최종 보고서 초안에 대한 의견 수렴을 목적으로 개최되었다. 공청회에서 나온 의견을 반영한 최종 보고서는 오는 10월 중순에 일리는 한국천문학회 가을 학술대회 때 공개될 예정이다. □ 한국천문학회는 우주항공청의 지원 아래, 대한민국 천문학계가 2026년부터 2035년까지 10년을 내다보는 발전 계획을 담은 “한국 천문학 발전을 위한 중장기 비전: 2026~2035”라는 제목의 천문학 장기발전보고서를 집필하고 있다.	



<장발위 3차 공청회(2025-09-26)>

부록 4. 영문 약어

Acronym	Full Name
7DT	7-Dimensional Telescope
A-SPEC	All-sky SPECtroscopic Survey of nearby galaxies
AGN	Active Galactic Nucleus
AI	Artificial Intelligence
ALMA	Atacama Large Millimeter/submillimeter Array
ANU	Australian National University
ATHENA	Aurora-THErmopshere-ioNosphere for spAce weather
ATLAS	Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System
BOAO	Bohyunsan Optical Astronomy Observatory
CGS	Center for Geospace Storms
CME	Coronal Mass Ejection
CODEX	COronal Diagnostic EXperiment
CSST	Chinese Space Station Survey Telescope
DARWIN	DAzzling Realization of dWarf galaxies In the Next generation of cosmological hydrodynamic simulations
DESI	Dark Energy Spectroscopic Instrument
DKIST	Daniel K. Inouye Solar Telescope
DYNAMIC	DYnamical Newtral Atmosphere-Ionosphere Coupling
E-ELT	European Extremely Large Telescope
E-KVN	Extended KVN
EAE	Exo-Aurora Explorer
EAVN	East Asian VLBI Network
EHT	Event Horizon Telescope
ENA	Energetic Neutral Atom
ESA	European Space Agency

ET	Einstein Telescope
EZIE	Electrojet Zeeman Imaging Explorer
FIMS	Far-ultraviolet IMaging Spectrometer
FISS	Fast Imaging Solar Spectrograph
FRB	Fast Radio Burst
GAC	Geospace-Aurora-Constellation
GDC	Geospace Dynamics Constellation
GDP	Gross Domestic Product
GECAM	Gravitational wave high-energy Electromagnetic Counterpart All sky Monitor
GMT	Giant Magellan Telescope
GMTNIRS	GMT Near Infrared Spectrograph
GMTO	GMT Organization
GMVA	Global mm-VLBI Array
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphic Processing Unit
GRBalpha	Gamma-Ray Burst alpha
GST	Goode Solar Telescope
HF	High Frequency
HPC	High Performance Computing
HWO	Habitable World Observatory
IAU	International Astronomical Union
IFU	Integral Field Unit
IGRINS	Immersion GRating INfrared Spectrometer
IMAGE	Imager for Magnetopause-to-Aurora Global Exploration
IT	Information Technology
JADES	JWST Advanced Deep Extragalactic Survey

JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JWST	James Webb Space Telescope
K-GMT	Korean GMT
KAGRA	KAmioka GRAVitational-wave detector
KAS	Korean Astronomical Society
KASI	Korea Astronomy and Space Science Institute
KaVA	KVN and VERA Array
KLST	Korean Large Spectroscopic Telescopes
KMTNet	Korea Microlensing Telescope Network
KNO	Korean Neutrino Observatory
KREEP	K (potassium), REE (Rare Earth Elements), P (phosphorus)
KST	Korea Space Telescope
KVN	Korea VLBI Network
L1	Lagrange Point 1
L4	Lagrange Point 4
L5	Lagrange Point 5
LANGO	Lunar Accelerometer Network Gravitational Observatory
LGWA	Lunar Gravitational Wave Antenna
LIGO	Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory
LISA	Laser Interferometer Space Antenna
LSST	Legacy Survey of Space and Time
MagPIE	Magnetosphere Plasma Investigation Explorer
MHD	MagnetoHydroDynamics
MIRIS	Multi-purpose IR Imaging System
MMS	Magnetospheric Multiscale Mission
MWL	Event Horizon Telescope Multi-Wavelength (MWL) Working Group
NASA	National Aeronautics and Space Administration

ngEHT	next generation EHT
ngVLA	next generation Very Large Array
NISS	Near-infrared Imaging Spectrometer for Star formation history
NOIRLab	National Optical IR Laboratory
NRAO	National Radio Astronomy Observatory
OAE	Office of Astronomy Education
PFS	Primary Focus Spectrograph
PI	Principal Investigator
PIC	Particle-In-Cell
RFI	Radio Frequency Interference
RMT	Rollable Mirror Telescope
ROKITS	Republic Of Korea Imaging Test System
S-Drift	Spaceborne Deep Rolling Imaging Fast-optics Telescope
S-KMTNet	Spaceborne KMTNet
SAPS	Sub-Auroral Polarization Streams
SDSS	Sloan Digital Sky Survey
SEDM	Spectral Energy Distribution Machine
SEP	Solar Energetic Particles
SKA	Square Kilometer Array
Spec-S5	Stage 5 spectroscopic experiment
SPHEREx	Spectro-Photometer for the History of the Universe, Epoch of Reionization and Ices Explorer
STEREO	Solar TERrestrial RELations Observatory
STGS	Superconducting Tensor Gravity Sensor
SVOM	Space-based multi-band astronomical Variable Objects Monitor
SWMF	Space Weather Modeling Framework
TAD	Travelling Atmospheric Disturbance

TEC	Total Electron Content
TESS	Transiting Exoplanet Survey Satellite
THEMIS	Time History of Events and Macroscale Interactions during Substorms
TNO	Trans-Neptunian Object
TRACERS	Tandem Reconnection and Cusp Electrodynamics Reconnaissance Satellites
Virgo	Name of a large interferometer for detecting gravitational wave
VLBI	Very Long Baseline Interferometer
VLEO	Very Low Earth Orbit
VZLUSAT-2	Výzkumný a Zkušební Letecký Ústav (Czech Aerospace Research Center) SATellite
WiFeS	Wide Field Spectrograph