우주 생성의 신비를 밝히는 거대마젤란망원경

차세대 거대 망원경 GMT가 이끄는 미지의 우주 탐사

DOI: 10.3938/PhiT.24.059

이재준·황나래·양유진·이호규

Universe Opened to New Scientific Exploration by the Giant Magellan Telescope

Jae-Joon LEE, Narae HWANG, Yujin YANG and Ho-Gyu LEE

Since Galileo Galilei glanced the night sky with his small telescope in 1609, the size and the capability of astronomical telescopes have been greatly developed, which has led to an explosion in our knowledge of the Universe. Now, we are preparing for another innovation in human knowledge of the Universe by building the Giant Magellan Telescope (GMT), the next generation extremely-large ground-based telescope with a diameter of 25.4 m. The large diameter of the new innovative big telescope will open the new discovery space that used to be beyond the power of smaller telescopes, heralding a new era of scientific inquiry to find the origins of cosmological structures and life forms. In this paper, we introduce some major scientific capabilities of GMT

and some important science cases that we aim to address with the state-of-the-art instruments of GMT in the 2020's.

서 론

1609년 갈릴레오 갈릴레이가 천체 관측을 위해 사용한 굴절 망원경은 렌즈 직경이 37 mm에 불과했고, 1668년 아이작 뉴턴이 처음 만든 반사망원경은 구경이 50 mm이었다. 400년이 지난 지금, 국내에서 가장 큰 광학망원경의 구경은 1.8 m이고, 세계에서 가장 큰 광학망원경은 구경이 약 10 m인데, 하와이에 설치된 켄(Keck) 망원경이 대표적인 예이다. 자연에서 새로운 지식을 탐구하려는 인간의 욕망과 호기심은 더 큰 망원경을 만들려는 노력으로 발현되어 이제 구경 25 m의 거대 마젤란 망원경에 투영되고 있다. 밑에서 우리는 왜 더 큰 망원경을 인간이 필요로 하는지 그리고 GMT같은 거대망원경이 어떤 과학적 지평을 열게 될지에 대해 간단하게나마 기술하려 한다. 내용 중 일부는 GMT 참여기관들이 공동으로 집필한 GMT Science book^[1]의 내용을 재해석하여 기술하였다.

저자약력

이재준 박사는 서울대학교에서 천문학으로 이학박사를 취득하였고, 펜실베이니아 주립대학교 연구원을 거쳐 현재 한국천문연구원 대형망원경사업단에 근무하면서 GMT의 과학자문위원(SAC)으로 활동하고 있다. (leejjoon@kasi.re.kr)

황나래 박사는 서울대학교에서 천문학으로 이학박사를 취득하였다. 일본국립천문대(NAOJ) 연구원으로 근무하였고 현재 한국천문연구원 대형망원경사업단 과학연구그룹장으로 근무하며 한국천문학회 GMT 활용 연구주제 개발을 주도하고 있다. (nhwang@kasi.re.kr)

양유진 박사는 애리조나 주립대학교에서 천문학으로 이학박사를 취득하였다. 독일 Bonn 대학교 연구원으로 근무하였으며 현재 한국천문연구원 광학천문연구부 선임연구원으로 근무하며 GMT를 이용한 Ly α 방출선 연구를 구성하고 있다. (yyang@kasi.re.kr)

이호규 박사는 서울대학교에서 천문학으로 이학박사를 취득하였다. 동경대학교 연구원을 거쳐 현재 한국천문연구원 대형망원경사업단 선임연구원으로 근무하며 한국천문학계의 GMT 활용 연구주제 개발을 지원하고 있다. (hglee@kasi.re.kr)

집광력(Collecting Power = 빛을 모으는 능력)

인류가 관측할 수 있는 우주의 범위는 망원경의 구경이 커지면서 함께 확장되어 왔다. 그 가장 큰 이유는 더 큰 면적으로부터 빛을 모아 조금이라도 어두운 천체를 가능한 한 짧은 시간 내에 관찰하기 위함이다. 망원경의 성능을 표현하는 잣대 중 하나는 주어진 밝기의 천체를 원하는 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)로 관측하는 데 걸리는 시간이다. 잡음의 주요 원인에 따라 관측시간은 구경(D)의 적당한 승에 반비

REFERENCES

- [1] Giant Magellan Telescope Organization (GMTO), GMT Science Book (2012). http://www.gmto.org/Resources/GMT-SCI-REF-00482_2_GMT_Science_Book.pdf.

례해서 줄어든다. 일반적으로 잡음의 주원인이 배경하늘 또는 천체 자체의 포아송(Poisson) 잡음인 경우, 천체 신호의 세기는 D^2 에 비례하고 잡음은 D 에 비례하게 되며 관측시간은 D^2 에 반비례해 줄어든다. 이 경우는 시상(점광원인 천체가 망원경의 광학계를 통과한 후 만들어지는 상의 크기; seeing)이 망원경의 구경과 무관하다고 가정한 경우인데, 고전적인 망원경에서 시상의 크기는 지구 대기의 요동에 의한 효과가 크므로 망원경의 구경과 무관하다 할 수 있다.

공간 분해능

지구에 대기가 존재하지 않는 이상적인 경우라면 시상의 크기는 관측하는 빛의 파장 λ 에 비례하여 커지고 망원경의 구경 D 에 비례하여 작아지게 된다. 그 이유는 간섭효과에 의해 시상의 크기가 λ/D 에 의해 결정되기 때문이다. 즉, 망원경의 구경이 클수록 더 작은 천체의 구조를 연구할 수 있게 된다. 개선된 시상 효과는 더 나아가 점광원의 관측시간을 효과적으로 단축시키게 되는데, 천체로부터 오는 빛이 좀 더 집중됨에 따라 상대적으로 배경하늘 잡음의 영향이 줄어들게 되어 관측시간은 D^4 에 반비례하여 줄어들게 된다. 현대의 첨단 광학망원경은 적응광학(adaptive optics; AO) 기술을 활용하여 지구 대기에 의해 시상이 악화되는 효과에 적극적으로 대응하고 있으며, GMT의 경우 적외선 영역과 파장이 긴 가시광 영역에서 대기에 의한 효과를 충분히 극복하여 이론적 한계에 가까운 성능을 내도록 설계되어 있다.

광시야

망원경으로 한 번에 관측할 수 있는 영역을 시야각(Field of View; Ω)이라고 한다. 현대의 관측기기들은 제한된 망원경 시간을 효율적으로 사용하기 위한 방편으로 천구상의 보다 많은 영역 또는 보다 많은 천체를 동시에 관측할 수 있는 다천체 관측기능을 극대화하는 방향으로 진화하고 있다. 이러한 탐사 관측에 특화된 망원경의 성능을 나타내는 척도의 하나가 에땅두($\text{étendue} = A\Omega$; $A \equiv \text{집광면적} \propto D^2$)이다. 망원경의 시야각은 일반적으로 구경에 반비례해 작아지지만, 광학계 디자인에 따라 많은 차이를 보이게 된다. 오목거울 부경을 활용하는 그레고리안(Gregorian) 방식의 GMT 광학계 디자인은 현재 계획 중인 다른 어떤 거대 망원경보다도 우수한 에땅두를 제공하여 대규모 탐사 관측에 유리하다. 그레고리안 광학계의 또 다른 장점은, 지표층 적응광학(Ground Layer Adaptive Optics; GLAO) 시스템을 활용하여 넓은 시야각에 대해 (최적은 아니지만) 균일한 시상보정을 할 수 있다는 점이다. 시상이 1/2로만 줄어들어도, 노출시간

이 1/4로 줄어든다는 면에서 GLAO 시스템을 이용한 광시야 분광 관측은 GMT의 장점을 극대화하는 좋은 예이다.

GMT의 1세대 관측기기들

GMT 프로젝트에서는 2012년 기기 개발 자문위원회의 추천에 따라 1세대 기기로 네 개의 관측기기를 선정하였다. 이 중 두 개는 가시광 영역의 관측기기로 적응광학 시스템에 의한 시상 보정 없이 관측하며, 다른 두 개의 기기는 적외선 영역 관측기기로 적응광학 시스템을 필요로 한다.

◦ G-CLEF(GMT Consortium Large Earth Finder)

가시광선 영역 전체를 분광분해능($R \equiv \Delta\lambda/\lambda$) 100,000으로 관측할 수 있는 고분산분광기이다. 속도 정밀도가 매우 안정적인 분광자료를 얻기 위해 망원경의 움직임에 따른 중력변화를 최소화하도록 설계되어 있다. 천체의 시선속도를 10 cm/sec의 정확도로 측정하는 것을 목표로 한다.

◦ GMACS(GMT Areal Camera and Spectrograph)

분광분해능 $R=2,000$ 의 범용 가시광 분광기로서, 시야각 $5'9''$ 넓이의 하늘에 있는 최대 100개의 천체를 동시에 분광할 수 있는 기능을 보유하고 있다.

◦ GMTIFS(GMT Integral Field Spectrograph)

적응광학을 활용하여 대상 천체를 5 mas(mas는 1각초의 천분의 1) 단위의 높은 정밀도로 근적외선 영상관측과 집적필드 분광관측을 수행하는 기기이다.

◦ GMTNIRS(GMT Near-IR Spectrograph)

적응광학을 활용하여 파장이 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 인 적외선 영역에서 고분산($R=100,000$) 분광 관측을 수행하는 관측기기이다.

GMT의 과학연구

천문학의 다양한 연구활동은 근본적으로 우주와 그 속에 존재하는 다양한 구조물, 즉 천체의 기원과 진화 과정을 알아내는 것을 목표로 하는데, GMT의 경우도 예외가 아니다.

우주의 구조물(structure)은 매우 넓은 범위의 밀도, 크기, 질량에 걸쳐 계층적으로 생성되는 것으로 생각된다. 이러한 계층적 구조물 생성(structure formation)은 우주 탄생 초기의 우주배경복사에 각인된 밀도 요동을 시발점으로, 우주 거대 구조, 은하단, 은하, 성단, 그리고 작게는 고밀도의 기체 원반에서 탄생하는 별과 그 주변을 도는 행성에 이르는 모든 천체에 적용된다. 즉, 우주의 모든 영역에서 GMT는 그 거대한 반사 거울과 최첨단 관측기기를 활용해 새로운 발견으로 우주에 대

한 인류의 이해를 혁신할 것으로 기대된다. 한편, 이러한 기대는 GMT 건설을 주도하는 GMTO와 파트너 기관들이 모여 발간한 “GMT Science Book”^[1]과 한국천문연구원 대형망원경사업단이 한국천문학회 여러 학자들의 제안을 받아 발간한 “K-GMT 과학백서 2015”^[2]에도 잘 반영되어 있다. 여기서는 GMT를 활용한 다양한 노력 가운데 두 가지를 소개하려 한다.

우주 거대 구조에서 나오는 매우 어두운 Ly α 발광 연구

어느 광고의 “수소, 우주의 75%”라는 문구는 천문학적으로 논란의 여지가 있다. 우주는 우리가 직접 관측할 수 없는 암흑 물질과 암흑에너지에 지배되고 있으며 수소의 양은 이들에 비하면 미미하기 때문이다. 다만, 우리가 “볼 수 있는” 우주의 구성 물질은 그 대부분이 수소이다. 당연히 우주에서 가장 많이 발생하는 빛 중 하나는 수소원자에 속박되어 있는 전자가 주양자수 2에서 1로 천이할 때 나오는, 121.6 nm 파장의 라이만 알파(Lyman Alpha; Ly α) 방출선이다. 가장 많이 방출되는 빛인 반면, 무수히 많은 수소 원자들에 의해 가장 많이 흡수되기도 한다. 우리 은하 내에서 방출되는 Ly α 방출선은 주변의 중성 수소나 별들 사이의 공간에 존재하는 먼지들에 의해 너무나 쉽게 흡수되어 관측하기 쉽지 않다. 역설적으로 우주 초기의 먼 은하에서 나오는 Ly α 방출선은 쉽게 관측이 되는데, 이는 우주 팽창 때문이다. 초기우주의 은하에서 나온 Ly α 방출선의 파장은 적색편이로 인해 원래의 파장보다 훨씬 길어져, 더 이상 우리 은하의 중성수소나 먼지들에 의해 쉽게 흡수되지 않는다.

천문학자들은 초기 은하를 이해하기 위한 한 가지 방법으로 초기 은하를 구성하고 있는 수소 기체가 근처의 별이나 블랙홀과 같은 뜨거운 에너지원에 의해 이온화되었다가 재결합하면서 나오는 Ly α 방출선을 연구한다. 하지만 이러한 Ly α 방출선은 초기우주의, 밀도가 매우 높은 일부 영역에서만 나온다는 단점이 있다. 나머지 대부분의 공간을 채우고 있는 중성수소는 뜨거운 에너지원에 의한 들뜸이 아니라, 초기 우주 공간을 채우고 있던 UV 배경복사에 의한 들뜸으로 Ly α 방출선을 내는 것으로 생각된다.^[3] 다만, 이러한 Ly α 발광현상은 그 세기가 약해 현재까지 검출되지 않았다. 이런 약한 Ly α 방출선 검출을 통해서 비로소 초기 우주의 물질 분포 상태를 이해하고, 이후 우주의 구조가 어떻게 진화했는지를 가늠할 수 있다. GMT의 큰 집광력을 이용하면 마침내 이렇게 어두운 Ly α 방출선들을 검출할 수 있을 것으로 기대된다.

태양과 같은 별 주위를 돌고 있는 지구형 행성 탐색

행성을 가지고 있는 별은, 행성의 중력적 영향으로 별의 운

Fig. 1. Numerically simulated map of fluorescent Ly α emission by UV background radiation (Kollmeier, *et al.*, 2010).^[3] [left] Ly α emission from the large scale structure in cosmological simulation at $z=2$ and $z=3$. The color represents the Ly α surface brightness of the structure. [right] 2D spectrum with the slit along the y direction.

동속도가 변하게 된다. 그래서 천문학자들은 별의 시선속도 변화를 관측하여 행성을 찾는 방법을 오랫동안 사용해왔고, 아직도 이 방법이 가장 확실한 방법으로 알려져 있다. 2015년 현재 시선속도 관측을 통해 약 600개의 외계행성이 발견되었다. 최근 몇 년 사이에 각광받기 시작한 행성 탐사 방법으로는 공전하는 행성이 별 전면을 지나면서 별빛이 어두워지는 별가림(transit) 현상을 관측하는 방법이 있다. 나사의 케플러 우주망원경이 이 방법으로 행성을 찾는 대표적인 망원경으로서, 대기가 없는 우주 공간에서 별빛의 미세한 변화를 관측하여 2009년 궤도에 올라간 이후 현재까지 천 개가 넘는 행성을 발견했다. 다만, 별가림 현상으로 행성 후부를 발견하더라도 모성의 시선속도 변화를 관측한 후에야 행성의 존재를 확정할 수 있고, 행성의 질량과 반경 등의 물리량을 측정할 수 있다.

현재까지 발견된 외계 행성 중 지구의 환경과 가장 가까운 행성으로는 “케플러-452b”를 들 수 있다.^[4] 표면 온도가 섭씨 5500도로 태양과 비슷한 별을 공전하는 이 행성의 크기는 지구의 약 1.5배이며 지구와 태양 사이의 거리보다 5% 먼 거리에서 385일의 주기를 가지고 공전하고 있다. “케플러-452b”의 질량과 구성이 아직 정확히 알려져 있지는 않지만, 아마도(목성과 같은 기체가 아니라) 지구와 같은 암석으로 이루어진 행성일 것으로 여겨지고 있다.

REFERENCES

- [2] Korea Astronomy and Space Science Institute(KASI), K-GMT Science White Paper 2015 (2015). <http://kgmtscience.kasi.re.kr/drupal/sites/default/files/KGMTSWP15.05.07.pdf>.
- [3] J. A. Kollmeier, *et al.*, *Astrophysical Journal* **708**, 1048 (2010).
- [4] J. M. Jenkins, *et al.*, *Astronomical Journal* **150**, 56 (2015).

Fig. 2. Earth's Bigger, Older Cousin Kepler-452b (Artistic Concept). Image credit: NASA/Ames/JPL-Caltech/T. Pyle.^[4]

GMT는 제1세대 관측기기인 G-CLEF와 GMTNIRS를 이용한 관측연구를 통해 이러한 외계행성 탐색에 매우 중요한 역할을 할 것이다. 행성에 의하여 별의 시선속도가 변하는 효과는 행성의 질량이 클수록, 그리고 별과 행성의 거리가 가까울수록 많이 일어나게 된다. 당연히 현재까지 발견된 대부분의 행성들은 상대적으로 발견하기 쉬운, 지구보다 질량이 크거나 지구보다 공전반경이 작은 행성들이다. 이에 비하여 GMT의 G-CLEF는 초속 10 cm급의 초고정밀도로 시선속도를 측정하여 지구형 행성의 탐색에 최적화된 기기로서 기존의 지구형 행성 탐색에 혁신적인 변화를 불러올 것으로 기대한다.

또한, 별가림 관측과 시선속도 관측을 통해 행성의 질량과 반경을 측정한다 하더라도, 그 행성에 생명체가 살 수 있는 환경이 존재하는지를 알아내기 위해서는 또 다른 관측 연구가 필요하다. 천문학자들은 GMT의 G-CLEF와 GMTNIRS를 사용하여, 행성에 의한 별가림 현상이 진행되는 동안 항성의 빛이 행성의 대기를 통과하면서 발생하는 흡수선을 관측함으로써 이러한 흡수선을 만들어내는 행성 대기 중의 특정 원소나 분자 등 행성 대기의 구성 성분을 조사하고, 더 나아가 행성이 어떻게 만들어졌는지를 연구할 수 있을 것이다.^[5]

다가올 GMT 시대의 시너지

천체 망원경의 세계에 독불장군은 존재하지 않는다. GMT는

다른 여러 지상망원경과 우주망원경과의 공동연구를 통해 그 시너지를 극대화 할 것이다. GMT가 본격 가동될 시기에는, 현재의 허블우주망원경을 대신하여 구경 6.5 m의 제임스 웹 우주망원경(James Webb Space Telescope; JWST)이 가동될 예정이다. 허블 망원경이 그랬듯이, 지구 대기의 영향을 받지 않는 우주공간에 있는 JWST를 이용한 관측은 지상관측의 한계를 여러 면에서 극복할 것이다. JWST가 우주 공간이 제공하는 우수한 관측 환경을 극대화하는 반면, GMT는 JWST에 비해 훨씬 큰 구경의 이점을 극대화하는 방향으로 설계되었다. 예를 들어, 적응광학을 통해 대기효과를 보정한 GMT의 영상은 JWST보다도 선명할 것이며, 여러 가지 제약으로 우주공간에서는 하기 힘든 고분산 분광관측이나 광시야 다천체 분광관측을 GMT가 수행할 수 있을 것이다. GMT가 본격적으로 가동된다고 해서 작은 지상 망원경들이 쓸모가 없어지는 것도 아니다. 연구 분야에 따라 오히려 구경이 작은 망원경을 장시간 활용하는 것이 유리한 경우도 있다. 그러한 대표적인 예가 탐사 관측이다. 미국 국립과학재단(National Science Foundation)과 에너지부(Department of Energy)가 추진 중인 구경 8 m Large Synoptic Survey Telescope(LSST)는 광시야 영상관측에 특화된 망원경으로서, 3기가 픽셀 카메라를 활용하여 보름달 40개가 들어갈 수 있는 아주 넓은 하늘을 한 번에 관측할 수 있다. 또한 LSST는 전체 밤하늘을 단 3일만에 관측할 수 있는 능력을 보유하고 있어서, 수 년간 반복하여 관측한 자료를 모아 만든 밤하늘의 동영상은 인류에게 선보일 예정이다. LSST가 시시각각 변화하는 광대한 하늘의 모습을 보여준다면, GMT는 변화하는 특정 천체를 자세히 관측하여 그 변화의 원인을 규명해 줄 것이다.

GMT를 비롯한 JWST와 LSST는 다가올 새로운 천문관측 시대의 한 단면에 불과하다. 지금 이 순간에도 전 세계의 천문학자들은 인류가 품고 있는 우주의 신비에 답을 구하기 위해 다양한 관측 기기를 구상하고, 4~10 m급의 다양한 망원경을 이용해 연구하고 있다. GMT는 이러한 천문학자들의 끊임없는 노력으로부터 탄생한 첨단 과학의 산물로서, 2020년대 인류가 생명과 우주의 기원을 더 잘 이해할 수 있는 세상을 펼쳐나갈 것이다.

REFERENCES

- [5] A. Szentgyorgy, *et al.*, "A Preliminary Design for the GMT-Consortium Large Earth Finder (G-CLEF)", SPIE Proc. 9147-78 (2014). http://www.gmto.org/SPIE_2014/G-CLEF_Paper_Submitted_140527_ASz.pdf.