온 하늘을 102개 컬러로 관측하다

- 한미 협력 우주망원경 스피어엑스(SPHEREx)

(전문) 지난 3월 12일 미국 캘리포니아주 밴덴버그 우주군 기지에서는 NASA의 중요한 과학 탑재체 2기가 스페이스X의 팰컨9 발사체를 통해 발사됐습니다. 그중 하나는 우주망원경 스피어엑스였습니다. 발사가 8번이나 미뤄졌던 스피어엑스는 12일 드디어 발사체에서 분리돼 고도 약 650km 태양동기궤도에 도달했으며, 성공적으로 시험 운영하면서 아름다운 첫 시험 관측(First Light) 이미지들을 지구로 보내왔습니다.

우주망원경의 대명사로는 허블망원경과 그 뒤를 이어 초고화질 천체사진을 선보이는 제임스웹이 대표적인데요. 이제 새로운 차원의 우주망원경 스피어엑스가 본격적으로 활동하게 됨에 따라 또 어떤 새로운 우주를 보게 될지 천문학자들의 기대를 모으고 있습니다. 특히 이 망원경은 우리나라가 기획부터 공동 참여해 개발했고, 과학연구도 함께 이어 나가고 있습니다. 이번 호에서는 스피어엑스 속 핵심 기술과 우주망원경으로 풀어야 할 우주의 비밀에 대한 이야기를 나눠봅니다.



#주요 키워드 # 스피어엑스

스피어엑스(SPHEREx , Spectro-Photometer for the History of the Universe, Epoch of Reionization and Ices Explorer)

스피어엑스는 세계 최초로 전 하늘에 대한 적외선 영상과 분광 정보를 동시에 얻고자 하는 '전천 적외선 영상분광탐사 우주망원경'이다. 주관기관인 캘리포니아공과대학과 우주항공청 산하 한국천문연구원이 국제 공동으로 기획해 NASA 중형 미션으로 선정되어 개발했으며, 본격 관측을 앞두고 있다.

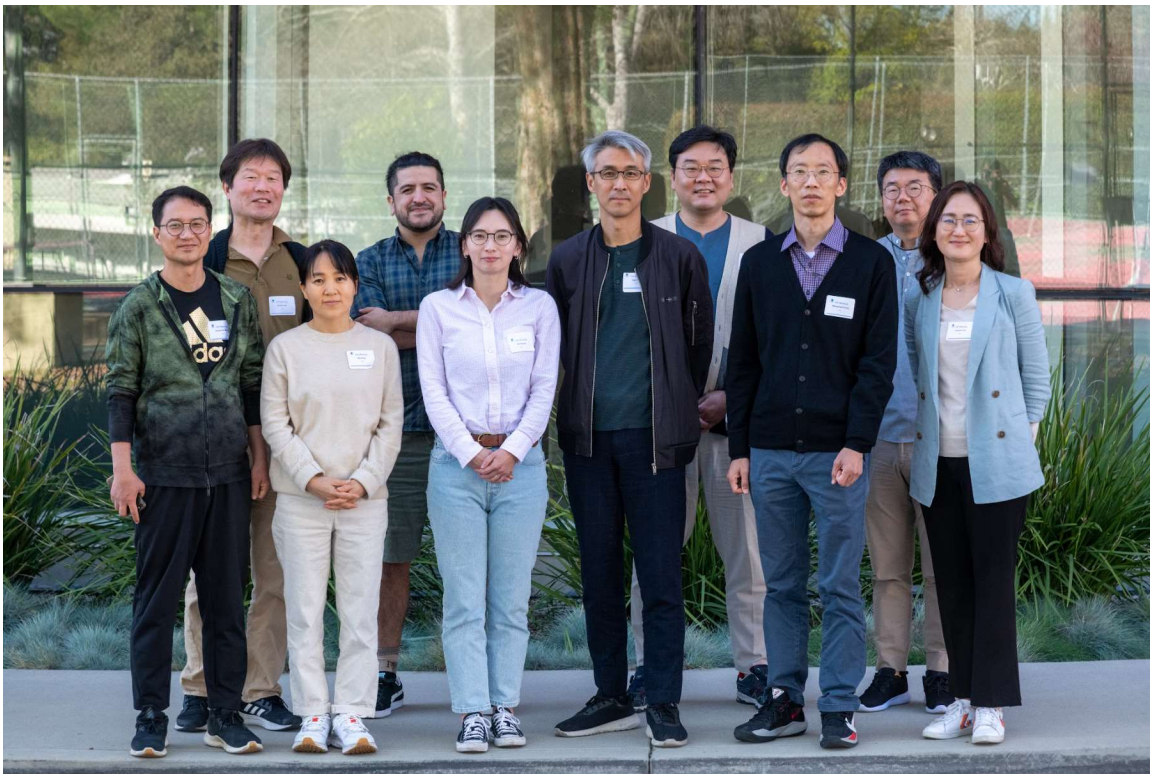
▶ 박사님과 연구팀에 대해서 간략한 소개를 부탁드립니다.



저는 적외선 우주망원경을 만드는 천문학자 정웅섭입니다. 박사 재학시절 일본 적외선 우주망원경 미션인 AKARI 프로젝트 참여부터 시작해 이후 한국천문연구원에 들어와 국내 주도의 소형 우주망원경인 ‘MIRIS(다목적 적외선 영상시스템)’, ‘NISS(근적외선 영상분광기)’를 개발해왔습니다. 이 경험이 NASA의 스피어엑스 프로젝트 합류에 힘이 됐습니다. 한 20여 년을 적외선 우주망원경만 보고 온 것 같아요.

스피어엑스 한국 연구팀은 크게 하드웨어 기여로 스피어엑스 검교정 장비 개발, 자료처리 파이프라인 구축 및 주요 과학 연구 주제 참여를 통해 역할을 담당하였으며, 프로젝트 전반에 걸쳐 전문가 30여 명이 참여하고 있습니다.

스피어엑스 컨소시엄은 캘리포니아 공과대학을 주관으로 NASA JPL, BAE 시스템즈 등 총 12개 기관이 참여하고 있습니다. 그중에서 국제 협력 기관으로는 우리 팀이 유일합니다.



스피어엑스 연구팀 사진

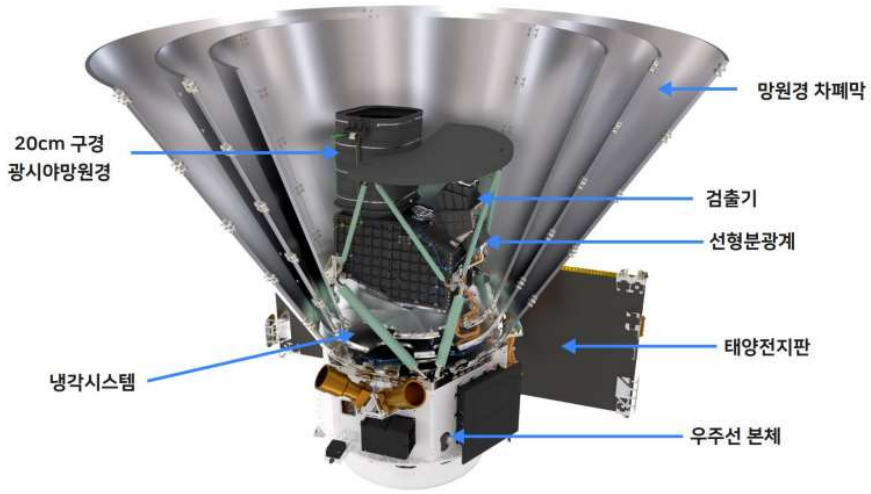


스피어엑스 컨소시엄 공동 연구팀 사진

▶ 스피어엑스 우주망원경은 영상분광 기술을 이용해 온 하늘(전천, 全天)을 총 102개의 색깔로 촬영할 수 있다고 하는데, 영상분광 기술이란 무엇인가요?

영상분광 기술이란 넓은 영역을 동시에 관측할 수 있는 '영상 관측(Imaging)'과 개별

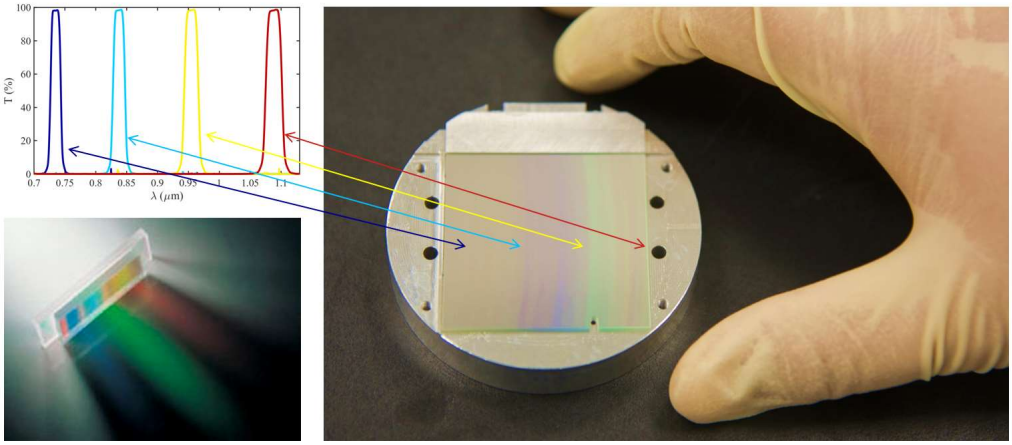
천체의 파장에 따른 밝기의 변화를 측정하는 ‘분광 관측(Spectroscopy)’이 통합된 기술을 말합니다.



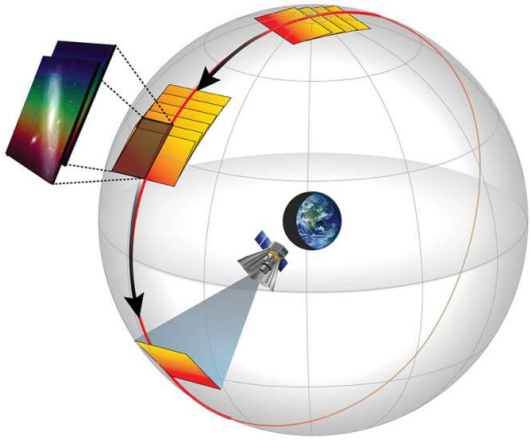
스피어엑스 구성도

스피어엑스 영상 관측은 한번 관측으로 보름달 150개 정도를 포함할 수 있는 넓은 영역을 관측할 수 있는 20cm 광시야 망원경을 통해 수행합니다. 하늘을 일정한 시야로 나누어 102개의 색으로 관측하고, 이를 6개월에 걸쳐 반복하면 결국 전 우주를 다 찍을 수 있는 방식입니다.

분광 관측은 빛을 파장에 따라 세분화하는 방식으로 하나의 천체 전체를 프리즘처럼 볼 수 있습니다. 이러한 ‘스펙트럼’을 통해 파장에 따른 적외선 별빛을 102가지 색깔로 자세하게 관측할 수 있는 것입니다. 파장을 세밀하게 분리할수록 천체의 성분·온도·나이·움직임 등을 판단하는 많은 정보를 얻을 수 있습니다. 그렇지만 온 하늘을 관측해야 하기 때문에, 적절한 개수의 색으로 나눌 수밖에 없습니다. 또한 나누어진 102장 필터 모두 망원경에서 구동하기는 어려워, 기존에 한국천문연구원이 개발해 NISS에 세계 최초로 선형분광필터(Linear Variable Filer)를 광시야 관측에 적용했던 적외선 영상분광 관측기술이 중요하게 활용됐습니다. 선형분광필터는 필터 위치에 따라 특정 파장의 빛만 투과시키는 필터로, 일반적인 분광을 위해 필요한 프리즘, 회절격자 없이 간편하고, 효율적인 분광 구현이 가능한 장점이 있습니다. 스피어엑스는 6개의 선형분광필터로 0.75~5.0마이크로미터(㎛) 파장 영역을 102개로 색으로 나누어 관측할 수 있습니다. 스피어엑스는 전 하늘을 102개 파장별로 측정한다는 점에서, 전례 없는 우주 관측 방식을 제시하는 첫 임무입니다.



선형분광필터와 분광 예시 이미지



스피어엑스에서 시도하는 전천 영상분광 기술

- 영상분광 기술 설명 영상: https://spherex.caltech.edu/video/survey-lvf

▶ 스피어엑스 우주망원경 개발에 해외기관으로는 우주항공청 한국천문연구원만 참여했다는 점이 인상적입니다. 그 과정과 역할에 대한 설명 바랍니다.

한국천문연구원은 앞서 설명한 NISS를 통해 적외선 영상분광 기술을 개발하던 중에 스피어엑스 주관기관인 캘리포니아공과대학으로부터 기획연구에 대한 국제협력 참여를 제안받았습니다. NASA 미션들은 예산 규모 등에 따라 플래그쉽(Flagship)급, 최근 신설된 프루브(Probe)급, 익스플로러(Explorer)급으로 나누어지는데, 스피어엑스는 소형과 중형급으로 다시 나누어지는 익스플로러급에 지원하였습니다. 2014년 1,000억원 규모 소형 미션 공모과제에 제안했다가 탈락했습니다. 탈락 이유는 제안 기술이 부족해서라기보다 1,000억 원 규모 소형미션으로 진행되는 공모과제로는 제안 내용을 감당하기 어렵다는 것이었습니다. 이후 NASA 측은 오히려 해당 아이디어를 3,000억 원 규모 중형미션에 제안하라고 평가 의견을 주었습니다. 이에 2016년 중형미션 공모 때 이를 다시 제안, 검토와 수정을 거쳐 2019년 최종 선정되며 본격적인 공동연구에 돌입했습니다.

한국팀이 NASA의 중형미션에서 하드웨어, 자료처리, 과학연구 등 전반에 걸쳐 기여한 것은 이번이 처음이라, 맡은 역할을 반드시 성공적으로 수행해야 한다는 부담이 컸는데요. 특히, 우리가 담당한 하드웨어 기여 중 하나인 스피어엑스 검교정 장비의 국내 개발은 기존에 NISS 개발을 통해 이미 검교정 장비를 개발해 본 저희 팀으로서도 많은 도전이 따랐습니다. 우주에서 극미광 적외선을 관측하려면 한층 저온에서의 정밀한 광학/분광 측정이 필요한데, 우리 연구팀이 스피어엑스에 최적화해 개발한 검교정 장비는 망원경이 우주에서 운용될 영하 190도 이하의 극저온 진공상태를 진공챔버를 통해 구현하며, 스피어엑스 망원경과 극저온 광학 장비들을 넣고 시험을 하여 망원경의 초점 정확도와 센서 전체에서의 파장별 반응도를 검증하는 데 사용됐습니다.

극저온 진공챔버와 광학장비들은 설계 해석을 바탕으로 주문 제작 방식으로 개발됐으며, 국내에서 전적으로 제작해야 했기 때문에 NASA의 엄격한 기술 요구사항과 천문 관측 기기의 특수 개념을 반영한 정밀한 구현이 필수적이었습니다. 국내 기업의 기존 기술력만으로는 이를 충족시키는 데 한계가 있었지만, 여러 어려움 속에서도 팀원들의 헌신과 협력을 통해 마침내 개발 3년 만에 미국으로의 성공적인 납품을 이뤄낼 수 있었습니다. 스피어엑스 프로젝트 진행 중에 처음으로 완성된 하드웨어 장비였기에 스피어엑스 공동 연구팀에 큰 활력을 불어넣은 계기가 됐습니다.

- 극저온 진공챔버 실험 영상: https://spherex.caltech.edu/video/tvac1-timelapse



스피어엑스 한국 연구팀이 개발한 극저온 진공챔버



발사 전 최종 점검을 마친 스피어엑스 실물 사진 (출처: NASA/JPL-Caltech)

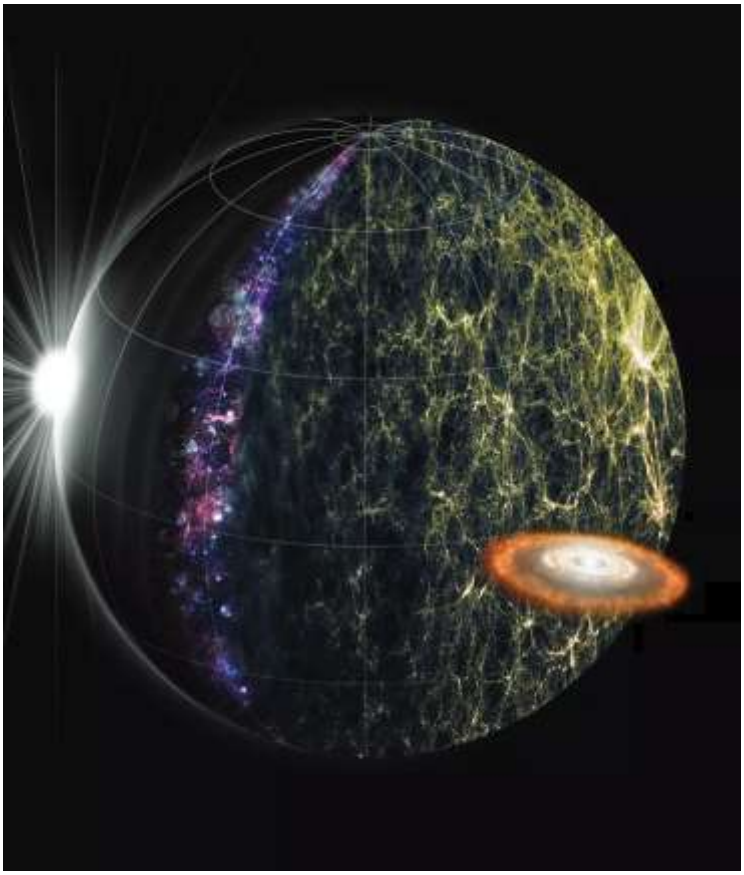
▶ 온 우주를 적외선으로 관측하는 이유는 뭘까요?

빛은 파장의 길이에 따라 감마선, X선, 자외선, 가시광선, 적외선, 전파 등으로 나눌 수 있으며 그 중 가시광선은 인간의 눈으로 볼 수 있는 색을 지닌 파장입니다. 반면에 적외선은 가시광보다는 길고 우리 눈으로는 볼 수 없습니다. 그런데 지구로부터 멀리 위치한 은하일수록 빛이 지구로 도달할 때 파장이 긴 적외선으로 이동하기 때문에, 우주 초기의 빛들을 보고 싶으면 적외선 관측이 필요합니다. 또한, 가시광선은 우주에 있는 먼지에 의해서 흡수되고 산란 되지만, 적외선은 먼지를 투과할 수 있어서 은하 중심부나 별 형성 영역 등의 연구도 가능합니다.

▶ 유명한 제임스웹도 적외선망원경인데 차이점은 무엇인가요?

스피어엑스가 단체사진이라면 제임스웹은 개인 여권사진이라고 비유할 수도 있겠습니다. 숲과 나무에 비유할 수도 있고요. NASA의 대표적인 플래그쉽 미션을 약 12조의 예산이 투입된 제임스웹 망원경의 구경은 6.5m로 20cm 구경을 가지는 스피어엑스와 해상도와 감도에서 큰 차이가 있어, 제임스웹은 고해상도/고감도에 특화되어 먼 우주에 있는 은하나 초기 우주를 개별적으로 관측하는 것이 가능합니다. 반면, 스피어엑스는 매우 넓은 시야를 가지고 있어서 한번 관측으로 보름달을 150개 정도가 포함되는 넓은 영역을 촬영할 수 있어 제임스웹 근적외선 카메라가 한 번에 보름달의 1/75 크기를 관측할 수 있는 것과 비교하면 어마어마한 광시야 관측이 가능합니다. 그렇기에 제임스웹은 좁은 시야로 더 먼 우주 관측이 가능하고, 스피어엑스는 우주의 전 하늘 관측이며 102개 색깔로 관측이 가능한 이유입니다.

▶ 적외선 관측을 통해 알고 싶은 것은 무엇인가요? 스피어엑스의 목표가 궁금합니다.



스피어엑스 관측을 통해 얻어질 적외선 3차원 우주지도 가상도 (출처: NASA/JPL-Caltech)

목표를 크게 세 가지로 정리하자면, 첫 번째 목표는 우주의 생성의 기원을 밝히는 것입니다. 스피어엑스는 개별 은하의 위치와 은하까지의 거리를 측정하기 때문에, 이들 은하로부터 3차원 우주지도 제작하여 3차원 분포를 측정할 수 있습니다. 이를 바탕으로 은하가 얼마나 균일하게 퍼졌는지를 추정할 수 있고, 우주 초기 인플레이션 이론을 검증할 수 있을 것으로 기대합니다. 두 번째, 은하의 형성과 진화를 밝히기 위해 은하에서 나온 빛의 총량을 측정합니다. 일반적인 은하 연구는 주로 관측되는 은하들로부터 이루어져 왔지만, 스피어엑스는 관측되는 은하들은 제거하고 오히려 아무것도 안보이는 영역에 집중합니다. 그 어두운 부분에서도 덜 어둡고 더 어두운 차이가 있는데요. 이 우주의 적외선 각 파장별로 모든 희미한 빛이 합쳐진 부분을 통계적인 분포를 측정하면 이들 희미한 빛들이 최초 생성된 별이나 은하에서 왔는지, 더 가까운 우주에서 형성됐는지를 구분할 수 있습니다. 세 번째, 우주공간에 생명체의 기원이 되는 물, 이산화탄소 등을 포함하는 우주얼음 분포를 탐사하는 것입니다. 스피어엑스는 성운이나 성단 태양계 스케일의 큰 범위를 관측해 얼음이 포함된 분자운이나 원시 항성계를 찾습니다. 제임스웹의 경우 기존 관측 결과를 토대로 수백 개 정도의 우주얼음을 지닌 천체들에 대한 연구가 가능하지만, 스피어엑스는 전 하늘 탐사가 가능해 약 1,000만 개의 장소에서 우주얼음을 찾을 수 있습니다. 이런 광범위한 탐색으로 흥미로운 우주얼음

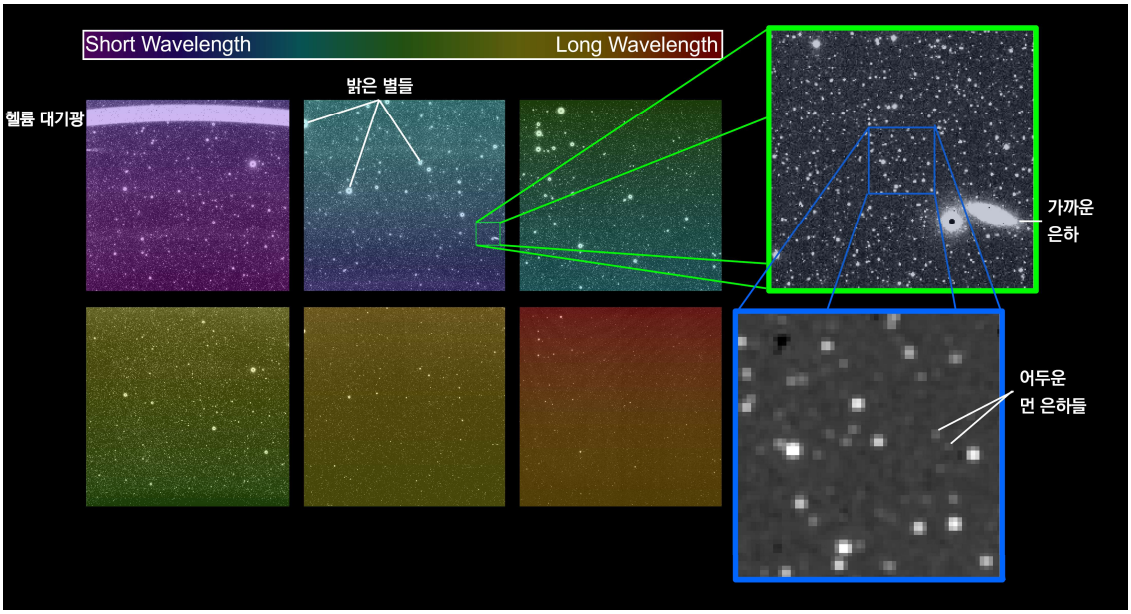
천체들을 찾아내면, 제임스웹을 이용해 더 자세한 관측이 가능해집니다. 우주공간에 있는 주변 물질이 중력으로 모여 별이 생성될 때 원반을 만들고, 여기에서 행성도 만들어집니다. 이때 우주공간에 존재하는 얼음이 행성 형성에 포함돼 물의 기원이 되기 때문에, 물을 기반으로 우주 생명체에 대한 단서도 얻을 수 있습니다.

- 스피어엑스 우주망원경 관측 가상 영상:

https://spherex.caltech.edu/video/spherexsurveyanimation

▶ 우주망원경이 첫 관측 이미지를 보내왔는데 설명 부탁드립니다. 앞으로 기대하는 점은 무엇인가요?

시험 관측 중인 스피어엑스가 보내온 첫 관측 이미지를 보고 연구팀 모두 놀랐습니다. 또렷한 초점과 어두운 천체까지 검출 가능한 감도로 망원경이 예상보다 훨씬 잘 동작하고 있음을 확인할 수 있었습니다.



스피어엑스가 공개한 첫 이미지 (출처: NASA/JPL-Caltech)

지난 4월 2일 공개한 6컷의 이미지(그림)는 광시야망원경인 스피어엑스가 관측한 전체 시야(3.5도×11.3도)를 보여주며, 스피어엑스가 관측한 적외선 색상 이미지에 가시광 색상을 부여해서 생성한 것입니다. 위와 아래 각각 3개 이미지는 같은 시야를 보는 것이며, 짧은 파장은 보라색-파랑색으로 표현했고, 긴 파장은 초록색-붉은색으로 나타냈습니다. 왼쪽 첫 번째 이미지 상단의 밝은 선은 지구 대기 헬륨에 의한 것입니다. 오른쪽 두 상자는 원본을 확대한 이미지인데, 초록색 상자에서 가까운 은하가 자세히 포착된 것을 볼 수 있고, 더 확대한 파란색 상자에서는 스피어엑스가 어둡고 먼 은하들도 관측할 수 있음을 확인할 수 있습니다. 이런 식으로 색상을 분할하면 관측된 천체의 구성 성분이나 은하까지의 거리를 알 수 있게 됩니다.

이제 곧 스피어엑스는 본격 관측 단계로 들어가 지구 극궤도를 98분 주기로 하루 14.5바퀴 공전하며 우주를 600회 이상 촬영합니다. 방대한 관측자료를 지구로 보낼 텐데요. 이를 연구할 세계 협업 연구인력은 80명, 이 중 우리나라 천문학자들이 20명으로 전체의 25%나 차지합니다.

그동안 다른 나라 우주망원경 자료를 주로 사용하던 우리나라가 이제 스피어엑스를 만드는 데 참여하고, 나아가 우수한 기술·인력으로도 기여하게 된 것입니다. 이전에 없던 우수한 데이터로 한국 천문학자들이 훌륭한 연구성과를 도출할 것을 기대하고 있습니다.

※ 참고 관련 사이트: 스피어엑스 홈페이지 https://spherex.caltech.edu/
※ 관련 문의 : 정웅섭 한국천문연구원 책임연구원 jeongws@kasi.re.kr