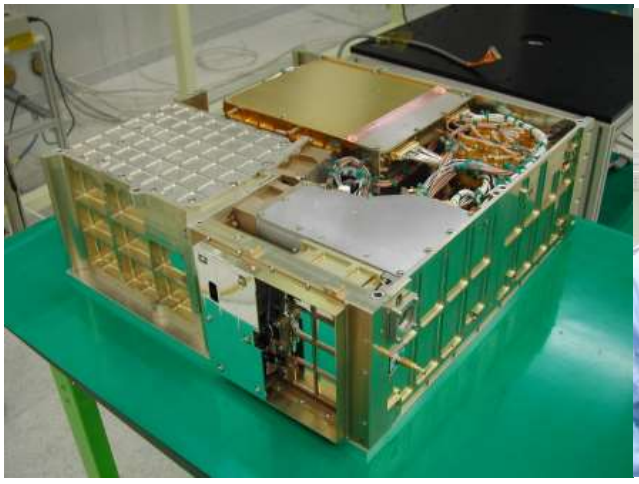
우리나라 최초의 우주망원경
-원자외선 방출선으로 우주의 비밀 밝히는 원자외선분광기(FIMS)

(전문) “내가 더 멀리 보았다면 이는 거인들의 어깨 위에 올라 서 있었기 때문이다”는 아이작 뉴턴의 명언이 있습니다. 과거의 뛰어난 지식이나 기술을 바탕으로 후대에 뜻을 이루었을 때 이 표현을 쓰곤 합니다.
과학기술계에도 과거의 뛰어난 기술을 바탕으로 새로운 발견을 이룬 경우가 많습니다. 이번 호에 소개할 내용은 2003년에 발사된 과학기술위성 1호의 탑재체, 원자외선분광기(이하 FIMS; Far-ultraviolet IMaging Spectrograph)와 이를 통해 최근에 새로 발견한 분자구름(이하 분자운)에 관한 이야기입니다.

#주요 키워드 # FIMS

원자외선분광기

우리나라 최초의 우주망원경으로 과학기술위성 1호(STSAT-1)의 주탑재체로 2003년 발사됐다. FIMS는 발사 후 2년간 우주공간에서 활동하면서 세계 최초로 원자외선 영역에서의 전천 지도를 작성하고, 우리은하 내부에 산재하는 고온 및 저온 가스체의 구조와 분포, 그 들 사이의 물리적 상호작용을 규명하는 연구에 활용됐다.



FIMS 실물 사진
(출처: 한국천문연구원)



FIMS가 실린 과학기술위성 1호 모습. 위성체의 위에서 1/4-1/2 구간에 FIMS가 실려있다.
(출처:인공위성연구소)

▶ 선광일 박사님 소개 먼저 부탁드립니다.

저는 별과 별 사이의 공간에 존재하는 물질(‘성간물질’) 그리고 은하 바깥의 공간에 존재하는 물질(‘은하주변 물질’ 과 ‘은하간 물질’)의 특성을 밝혀내고 있는 천체물리학자입니다. 석사과정 때는 플라즈마 물리학을, 박사과정 때는 중성자별와 보통의 별로 이루어진 쌍성계에서 발생하는 X-선에 대해 연구했습니다. 박사 학위 취득 후에는 KAIST 인공위성연구센터(현 인공위성연구소)에서 우리나라 최초의 우주망원경인 과학기술위성 1호의 주 탑재체인 FIMS 개발을 시작했고 한국천문연구원으로 자리를 옮기면서 FIMS 개발에 본격적으로 뛰어들었습니다. FIMS 연구팀은 초창기에 한국과학기술원(KAIST) 물리학과의 민경욱 교수님과 학생들, 그리고 캘리포니아 버클리대학의 Jerry Edelstein 박사님 연구팀으로 구성된 소규모 연구팀에서 출발해 한국천문연구원이 참여하면서 견고한 연구팀으로 구성될 수 있었습니다.

저는 FIMS 개발과정의 처음 설계단계부터 마지막 과학 연구까지 참여하였습니다. 조금 더 구체적으로는 과학 목표 설정, FIMS의 개념 설계, 위성 운영 및 관측 방법 설계, 광학계 및 광기계부 설계와 분석, 그리고 마지막으로 FIMS 자료 구축 등을 수행했습니다. FIMS로부터 관측자료가 나오기 시작하면서부터는 위성체의 자세 정보와 FIMS 자료를 결합하여 천문학 연구를 위해 사용이 가능한 형태로 가공했을 뿐 아니라 검교정(calibration) 처리, 과학 연구 등을 수행했습니다. FIMS 자료를 이용한 연구가 본격화된 후에도 FIMS로부터 얻어진 대부분의 연구에 주도적인 역할을 했기 때문에 제 손을 거치지 않은 것이 없다고 해도 과언이 아닙니다.

FIMS 자료를 활용한 연구가 어느 정도 마무리된 후에는 그동안의 FIMS를 활용한 ‘성간물질’ 연구를 좀 더 큰 스케일의 ‘은하 주변 물질’ 및 ‘은하간 물질’로 연구주제로 확장하였습니다. 최근에는 외계행성 대기에 관심을 기울이고 있으며 UST(과학기술연합대학원대학교)의 한국천문연구원 스쿨의 대표 교수로서 천문우주과학 분야의 후학 양성에도 힘을 쓰고 있습니다.



FIMS를 과학기술위성1호 본체에 조립하는 모습 (2003.03.20. 오른쪽이 선광일).
가장 윗부분 금색 부분이 FIMS.

▶ FIMS 프로젝트와 과거 FIMS 프로젝트 연구팀 소개 바랍니다.

FIMS는 우리나라 최초의 우주망원경으로 과학기술위성 1호(STSAT-1)의 주탑재체로 2003년 발사됐습니다. FIMS는 발사 후 2년간 우주공간에서 활동하면서 세계 최초로 원자외선 영역에서의 전천 지도를 작성하고, 우리은하 내부에 산재하는 고온 및 저온 가스의 분포 및 물리적 성질을 규명하는 연구에 활용됐습니다. KAIST의 민경욱 교수팀은 과학기술위성 1호의 개발이 1997년 10월 공식적으로 시작되기 전부터 캘리포니아 버클리 대학과 함께 FIMS의 개념 설계, 기본 광학 설계 등을 준비하고 가능성을 탐색했으며 한국천문연구원이 합류하면서 개발이 본격화되었습니다. FIMS의 대부분은 순수한 국내 기술력이며, 한국천문연구원과 한국과학기술원이 함께 개발했고, 캘리포니아 버클리 대학이 공동으로 참여하여 기술적인 자문과 함께 한국에서 개발 불가능한 원자외선 검출기인 MCP를 개발하고 시험했습니다. NASA는 FIMS 관측자료가 원자외선 파장의 관측자료로써 희귀성과 과학적으로 중요한 가치를 가짐에 따라 천문관측위성 자료를 보존하는 MAST(Milkulski Archive Space Telescopes)에 2023년부터 저장해 전 세계 천문학자들이 활용할 수 있도록 했습니다.

※ FIMS 개발자: 한원용, 남욱원, 박장현, 육인수, 선광일, 진호, 이대희, 김일중, 신종호, 박성준(KASI), 민경욱, 선종호, 유광선, 이진근, 임여명(KAIST), Jerry Edelstein, Eric Korpela, Kaori Nishikida(U.C. Berkeley) 등이 FIMS 개발에 참여하였고, 우주항공청 현 강경인 우주과학탐사 부문장은 당시 인공위성연구센터에서 과학기술위성 1호 본체 개발에서 중요한 역할을 담당하였습니다.



FIMS 개발팀 단체 사진 (앞줄 왼쪽부터: 선광일, 남욱원, 한원용, 민경욱, 유광선, 뒷줄 왼쪽부터: 이진근, 선종호, 이대희, 진호, 오승한, 박장현, 육인수, 박영식, 신종호)

▶ 우주에서 왜 원자외선 영역을 관측해야 하나요?

우주에 존재하는 기체는 대략 세 가지의 서로 다른 온도를 갖는 성분으로 구성되어 있다고 알려져 있습니다. 고온(hot) 기체의 온도는 약 100만 도(1,000,000도) 이상이고, 차가운(cold) 기체는 수백 도(100도), 미지근한(warm) 기체는 약 1만 도(10,000도)의 온도를 갖습니다. 고온의 기체는 우주공간 대부분을 채우고 있는데 고온 기체와 미지근한 기체의 경계에서는 3번 이온화된(3개의 전자를 잃은) 탄소 및 5번 이온화된(5개의 전자를 잃은) 산소 등에서 강한 원자외선을 만들어 냅니다. 별이 탄생하고 죽는 과정에서 고온의 기체가 발생하고 다시 식어서 저온의 기체가 별 탄생으로 이어지는 순환 과정을 거칩니다. 따라서 원자외선 관측을 통해 이러한 물질의 순환을 가장 잘 알 수 있습니다.

분자 상태로 존재하는 분자운은 별이 탄생하는 장소이기 때문에 분자운을 관측하는 것은 별 탄생 연구에서 가장 중요한 첫걸음입니다. 분자 상태의 물질 중 우주에서 가장 흔하고 많이 존재하는 것은 수소 분자이기 때문에 수소분자 관측이 중요합니다. 그러나 수소 분자는 원자외선을 제외한 다른 파장에서는 관측이 거의 불가능합니다. 이 때문에 천문학자들은 수소 분자 대신 일산화탄소(CO) 분자를 관측함으로써 간접적으로 수소 분자의 양과 분자운의 질량을 유추합니다. 하지만 일산화탄소 분자는 분자운의 비교적 안쪽 영역에만 존재하기 때문에 분자운의 전체 질량과 분포를 연구하는 데는 한계가 있을 수밖에 없습니다. 즉, 일산화탄소 분자를 관측하여 유추한 분자운의 질량은 부정확합니다. 따라서 별 탄생의 요람인 분자운 연구를 위해서는 원자외선을 이용하여 수소 분자를 직접 관측하는 것이 가장 확실합니다.

다시 말하자면 원자외선 관측은 고온 기체를 통한 물질의 순환 과정 뿐만 아니라 별 탄생의 요람인 분자운을 직접 연구하는 데 가장 효율적인 방법입니다. FIMS는 고온 기체를 추적하는 산소원자와 탄소원자에서 발생하는 원자외선뿐만 아니라 수소분자에서 발생하는 원자외선을 전체 하늘의 70%에 달하는 지역에 걸쳐 관측하는 데 성공했고 이는 현재까지도 유일무이한 자료입니다.

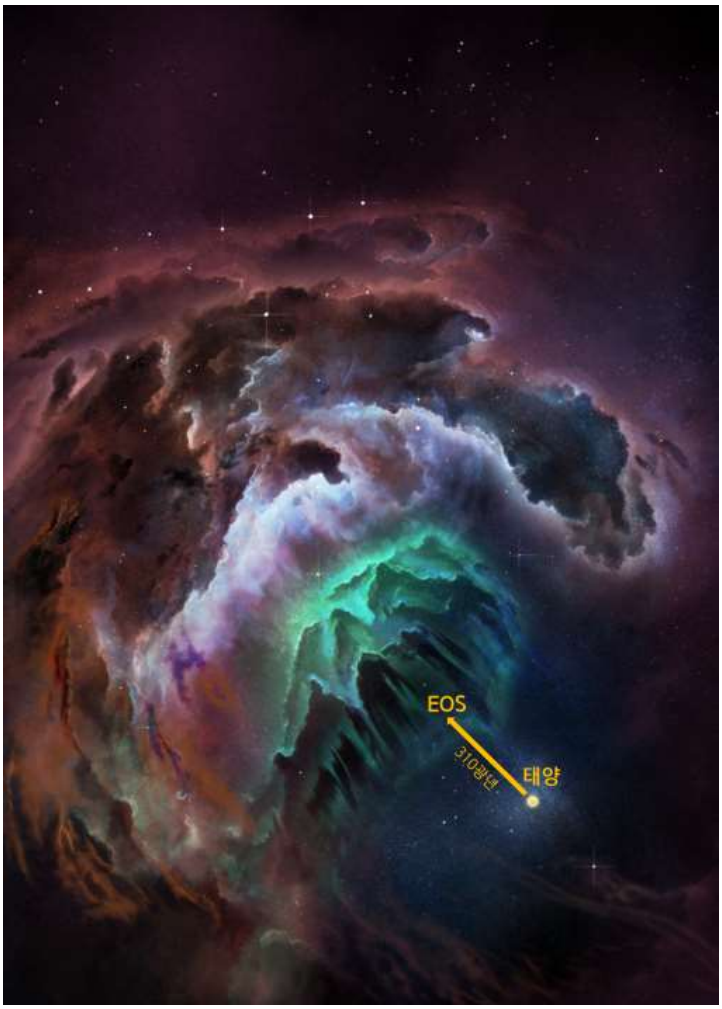
▶ 최근에 NASA와 협업해 태양에서 가장 가까운 분자구름을 발견했습니다. 그 의미와 협력 연구 과정에 대한 설명 바랍니다.

제가 함께한 국제공동 연구진은 FIMS 자료를 이용해 새로운 분자운을 발견하고, 이를 ‘EOS’라고 명명했습니다. EOS는 수소분광 방출선으로 우리은하 분자운을 관측하기 위한 연구프로젝트의 이름이면서, 동시에 이번에 발견한 분자운에 명명한 이름입니다. EOS라는 이름은 그리스 신화 속 새벽의 여신 이름에서 착안했습니다.

EOS는 원자외선 수소분자 방출선으로 발견된, 태양에서 가장 가까운 분자운입니다. 해당 분자운은 지구로부터 약 310광년 떨어져 있으며, 태양을 둘러싸고 있는 뜨거운 국부거품(Local Bubble)의 경계에 위치합니다.

해당 연구는 NASA의 소형망원경(SMEX) 미션에 제안된 수소분자 형광방출선 관측을 통해 우리은하의 분자운 관측을 위한 프로젝트를 수행하던 EOS 연구팀이 이끌었습니다. EOS 연구팀은 FIMS의 원자외선 관측자료를 기반으로 EOS 프로젝트의 필요성과 정당성을 확보하기 위해 선행연구 차원에서 자료를 자세하게 들여다보는 과정에서 기존에 알려져 있지 않은 특이한 수소 분자운을 발견했으며 추가로 다파장 관측자료를 활용해 이

분자운의 위치, 질량, 별 탄생 가능성 등을 확인했습니다. 한국천문연구원 연구진이 참여한 해당 논문은 천문학 분야 최상위급 학술지인 네이처 아스트로노미(Nature Astronomy Journal) 4월 28일자에 게재됐습니다.

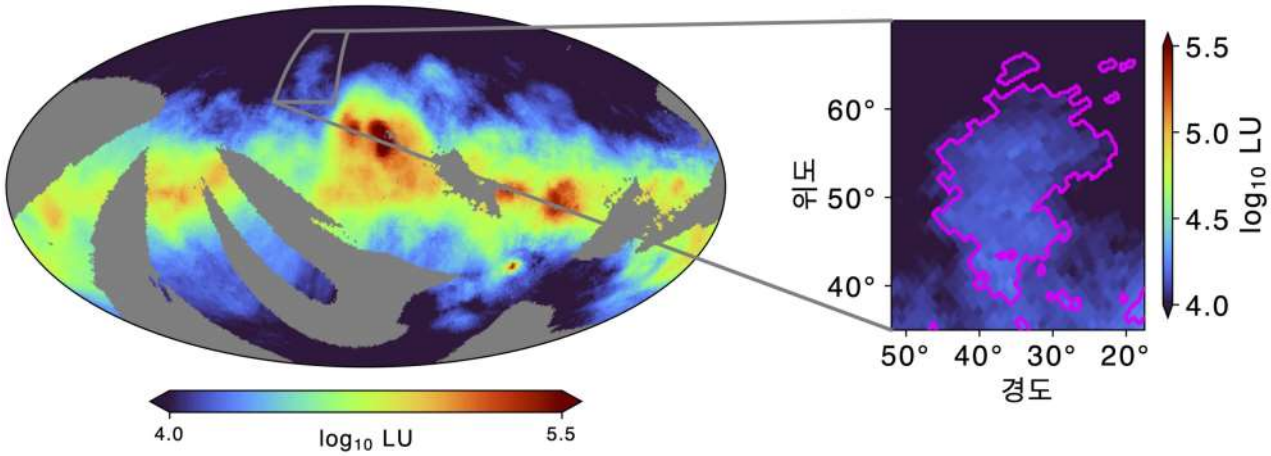


이번에 태양에서 가장 가깝게 발견된 분자운 EOS의 거리.
태양으로부터 약 310광년 떨어져 있다.

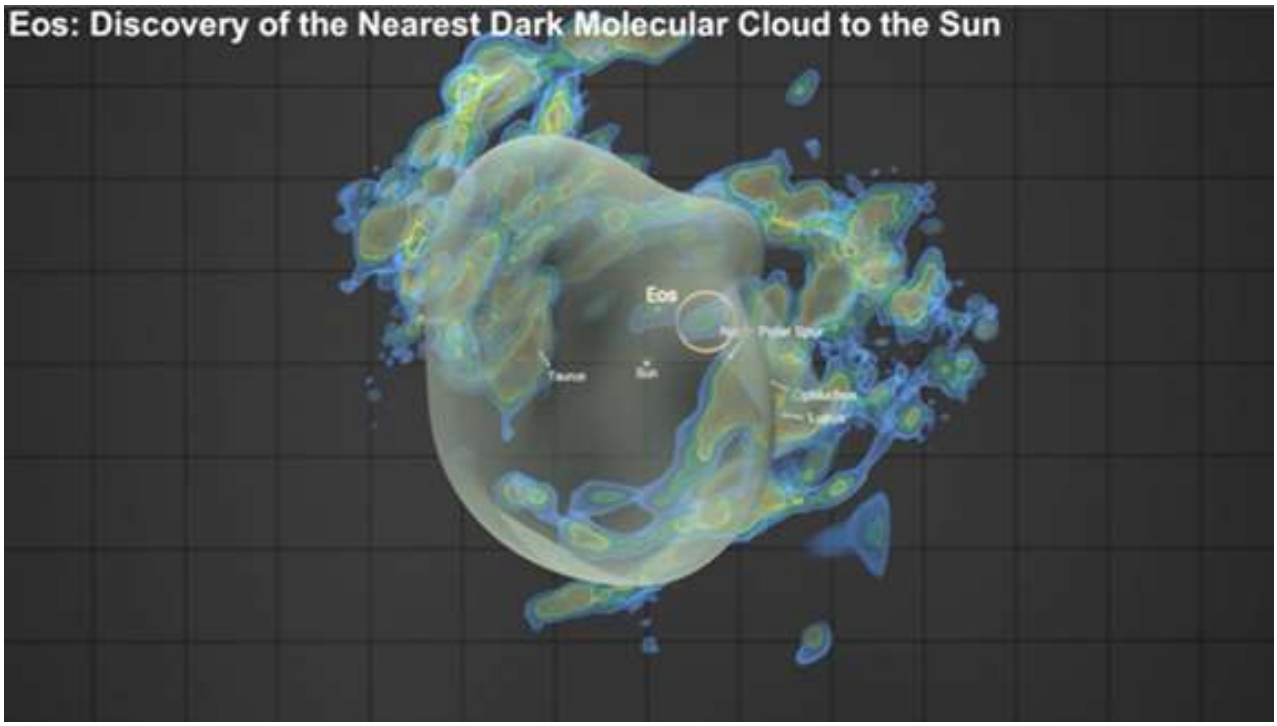
이번에 발견된 EOS 분자운은 첫째, 수소 분자 관측을 통해 발견된 최초의 분자운이라는 점, 둘째 기존의 일산화탄소 분자로는 보이지 않지만, 수소 분자로는 보이는 최초의 분자운이라는 점 그리고 마지막으로 태양에서 가장 가까운 분자운이라는 점에서 천문학적인 의의가 있습니다.

각 전자기파에 따라 천체는 다른 모습을 보입니다. 따라서 우주에 있는 다양한 특성을 갖는 물질의 분포나 상호작용을 파악하기 위해서는 다파장(여러 파장 대역) 관측이 필요합니다. 그런데 원자외선 파장은 지구 대기의 강력한 흡수 및 산란 효과 때문에 지상에서의 관측은 거의 불가능하며, 우주망원경을 이용한 관측이 필요합니다. 우주에서의 원자외선 관측 또한 기술상의 한계로 이제껏 관측 시도가 적었습니다. 지금까지도

희소한 FIMS의 원자외선 분광 자료를 기반으로 한 이번 연구 결과가 우리은하 별 탄생 연구에 중요한 단서가 되는 셈입니다.



FIMS 원자외선 수소분자 형광 방출선 전천 지도(왼쪽)와 이번에 새로 발견된 분자운 EOS 부분 확대 영상(오른쪽).



동영상 다운로드: http://210.110.233.66:8081/api.link/3d_baLoKG7vHWuEI_sl~.mp4

영상 설명: 태양을 둘러싼 뜨거운 국부거품(local bubble)의 3차원 형상과 그 주변을 둘러싸고 있는 다양한 기체 물질들의 형상 그리고 이번에 새로 발견된 분자운 EOS의 위치. 관측을 위해 사용된 자료들을 동영상으로 제작했다.

▶ 20년 전에 관측한 데이터가 현재 시점에서도 유용하다는 점에서 보람을 많이 느끼실 것 같습니다. 소감 한마디 전해주신다면?

2003년 발사된 한국 최초의 천문관측 위성은 당시의 기준으로 보더라도 턱없이 적은 예산으로 개발된 작은 크기의 인공위성이었습니다. FIMS는 5번 이온화된(5개의 전자를 잃은) 산소 원자를 관측하기 위한 단파장(짧은 파장) 채널과 3번 이온화된(3개의 전자를 잃은) 탄소 원자를 관측하기 위한 장파장(긴 파장) 채널의 두 개의 채널로 구성되어 있습니다. 당시 FIMS의 눈금 조정(calibration) 실험을 위해 미국에 FIMS를 보냈었는데 현재까지도 명확하지 않은 이유로 단파장 채널의 민감도에 심각한 문제가 발생해 산소 원자에서 발생하는 원자외선을 관측하기 위한 성능이 급격하게 감소하게 되었고 이로 인해 매우 밝은 신호만 관측할 수 있었던 점이 아쉬운 점입니다.

FIMS를 발사한 후 운영 과정이나 자료를 받아보았을 때도 다양한 문제들에 직면해 자료처리에 애를 먹었던 기억이 납니다. 당시 초기 FIMS 자료는 동일한 별이 2개로 보이는 등의 다양한 오류를 포함하고 있었습니다. 이를 천문학적으로 의미 있는 자료로 가공하기 위한 알고리즘을 개발하면서 고생했던 기억이 생생합니다. 어느 정도 알고리즘 개발이 완료된 후에는 당시 KAIST 대학원생이었던 김일중, 박성준, 조영수 박사 등이 오랜 시간의 수작업에 가까운 자료 보정 작업과 눈금조정 단계를 거쳐 현재 NASA의 MAST에 보관되어 있는 자료를 완성할 수 있었습니다. 뿐만 아니라, 한국 연구팀의 끈질긴 과학적인 노력으로 현재까지 50여 편에 이르는 SCI 논문을 출판할 수 있었습니다. 이는 한국 천문학계에서 주도적으로 수행한 천문관측기기 개발 프로젝트로는 믿을 수 없는 성과라 할 수 있습니다.

이렇게 피땀 어린 고생과 노력 끝에 얻어진 FIMS 관측데이터가 현재까지도 국제 천문학계에서 의미 있는 연구에 활용되고 있다는 점에서 한없는 보람을 느끼며, 개발부터 자료처리 분석 과정에서 함께 수고한 FIMS 팀원들이 자랑스럽습니다.

▶ 앞으로의 박사님 연구는? FIMS의 미래는?

현재 FIMS 자료를 이용해 연구는 대부분 마무리되었지만, 몇 가지 마지막 굵직한 연구를 진행 중이거나 계획 중입니다. 우선 진행 중인 연구 주제로는 우리은하의 성간먼지에서 별빛이 반사(산란)되어 관측되는 보이는 확산은하광(Diffuse Galactic Light)이라는 현상을 3차원 성간먼지 분포와 별의 분포 등을 이용해 분석하는 작업이 마무리되어 조만간 SCI 논문을 투고할 예정입니다.

계획하고 있는 연구로는 FIMS로 얻은 유일무이한 고온의 기체의 탄소원자(3번 이온화된 탄소)와 산소원자(5번 이온화된 산소)에서 발생하는 원자외선의 전천 하늘 지도와 분자운에서 발생하는 수소분자의 원자외선 지도를 이론적인 모델과 비교하는 연구를 계획 중입니다. 이를 통해 처음 FIMS 프로젝트를 계획했을 때의 과학목표 달성에 확고히 마무리하고자 합니다. 기존의 연구에서는 관측자료와 간단한 이론적인 배경으로부터 비교적 좁은 지역에 대한 현상을 이해하려고 했다면 이제는 좀 더 큰 은하 전체 스케일에서 구체적인 정량적인 계산을 통해 연구하고자 합니다. 이는 제가 '은하주변 물질' 및 '은하간 물질'을 연구하는 과정에서 개발한 이론적인 연구 방법을 우리은하에도 비슷하게 적용할 수 있게 되었을 뿐 아니라 한국천문연구원의 조영수 박사의 헌신과 노력으로 고온기체와 수소분자 원자외선 방출선 지도가 완성되었기 때문에 가능하게 되었습니다. 조영수 박사는 최근 우리은하 고온기체의 산소원자 및 탄소원자에서 방출되는 원자외선 지도와 분자운의 수소분자에서 나오는 원자외선 지도를 만들어 낸 장본인입니다. 이번에 EOS 발견도 조영수 박사가 만들어 낸 지도를 분석하는 과정에서 발견해낸 쾌거입니다. 조영수 박사와 함께 추가적인 모델 연구를 통해 우리은하 내의 수소분자의 형광방출선에 대한 이해와 수소분자의 분포, 그리고 고온기체의 분포에 대한 의미 있는 결과를 기대하고 있습니다.

더불어 본격 관측을 시작한 스피어엑스 및 K-DRIFT 등 전천 관측 우주망원경과 함께 관련 연구를 이어 나갈 예정입니다. K-DRIFT는 매우 어두운 표면 밝기를 갖는 천체를 관측하는 것을 목표로 하고 있습니다. K-DRIFT는 은하의 형성이론에서 명확히 밝혀지지 않은 은하 주변 및 은하단 내부의 어두운 천체를 관측함으로써 우주론적인 구조 형성 과정에서 이론과 관측이 일치하지 않는 문제를 해결하는 것을 과학적 목표로 하고 있습니다. K-DRIFT는 작지만 기존 거대 망원경의 약점을 극복해 어두운 천체관측에 적합하도록 개발하고 있는 망원경입니다. FIMS와는 과학적인 목적이 다르지만 한국만의 특화된 과학 연구를 할 수 있다는 면에서 공통점이 있다고 볼 수 있을 것 같습니다.
또한, 스피어엑스는 분광 분해능은 비록 낮지만, 적외선 파장에서 현재까지 유일하게 전체 하늘을 분광 관측함으로써 지금까지 보지 못한 다양한 연구를 수행할 것으로 기대하고 있습니다. 제가 관심 있는 연구주제를 예로 들자면 수소분자가 들떴다가 가라 앉으면서 원자외선을 방출한 후 추가로 더 낮은 에너지 레벨로 내려가면서 함께 방출되는 적외선을 스피어엑스로 관측할 수 있습니다. 이를 FIMS의 원자외선 관측자료와 비교하면 분자운의 수소 분자를 들뜨게 하는 메커니즘과 수소 분자가 해리(분해)되어 두 개의 수소 원자로 바뀌는 과정에 관한 자세한 연구가 가능할 것으로 예상합니다.

이를 통해 별 탄생 과정에서 별 탄생의 효율 등을 자세하게 분석할 수 있을 것으로 기대합니다. 또한, 매우 작은 크기의 성간 먼지인 PAH(polycyclic aromatic hydrocarbon, 다환방향족탄화수소)에서 나오는 적외선을 관측할 수 있을 것이고 이는 우리은하 및 외부은하의 성간먼지의 물리적 특성을 연구하는 데 중요합니다. 성간먼지는 분자운과 함께 별의 탄생을 만들어 내는 필수적인 역할을 하기 때문에 현대 천문학에서 다양한 연구가 수행되고 있는 주제입니다.

▶ 후배들에게 하고 싶은 한 마디(혹은 이 전공을 꿈꾸는 학생들에게 하고 싶은 말)

하나의 의미 있는 과학적 성과를 얻기 위해서는 헌신과 노력이 있어야 한다고 생각합니다. 역사적으로 유명한 모든 연구는 비교적 소수의 추진력과 함께 연구자들의 많은 헌식과 노력이 없었다면 불가능했었습니다. FIMS도 미국 등의 연구진에 비하면 소수이지만 연구자들이 처음부터 끝까지 시간과 열정을 다하는 헌신이 있었기에 가능했습니다. 이 과정에서 좌절도 있었지만 극복해내고 끝까지 갔기 때문에 가능했습니다. 쉽게 좌절하고 쉬운 것만을 좇아서는 위대한 결과가 나오지 않는다고 믿고 있습니다. 누구나 관심을 가질 만한 연구에 투자하는 것도 중요하지만, 비교적 적은 예산과 인력으로도 가능한 한국만의 특화된, 그리고 의미 있는 과학적 연구주제가 무엇인지 고민하고 투자하는 노력도 함께 해야 한다고 생각합니다. 또한 당시에는 비교적 인기가 없을 수 있지만 미래를 내다볼 수 있는 눈도 있어야 할 것으로 생각합니다. 다만 한 가지 명심해야 할 것은 “내가 더 멀리 보았다면 이는 거인들의 어깨 위에 올라서 있었기 때문이다” 는 아이작 뉴턴의 명언과 같이 기존 연구를 간과하지 않고 그 위에서 우뚝 올라설 수 있어야 할 것입니다.

한국의 천문우주과학, 특히 인공위성을 이용한 천문 연구 수준은 미국, 유럽 등에 비하면 아직은 갈 길이 멉니다. 이는 한국의 천문우주과학 연구를 시작한 기간이 짧기도 하지만, 예산 및 인력 면에서도 비교할 수 없기 때문일 것입니다. 이를 극복하기 위해서는 우주항공청 등의 정부 기관에서 일회성의 보여주기식 프로젝트나 연구가 아니라 꾸준하고 변함없는 지원을 통해 지금은 비록 초라해 보이고 당장 결과가 안 보이지만 먼 훗날 국제적으로 의미 있는 연구자로 연구팀으로 성장할 수 있도록 할 수 있는 분위기를 마련해 주어야 합니다.

※ 관련 문의 : 선광일 한국천문연구원 기초천문연구본부 은하진화연구센터
책임연구원 kiseon@kasi.re.kr