암흑물질과 SKA, 보이지 않는 우주를 향한 탐사

(전문) 최근 사상 첫 민간인 우주 유영에 성공한 스페이스X의 '폴라리스 던' 프로젝트에 참가한 한 우주인은 "우주에서 본 지구는 정말 완벽한 세상처럼 보인다"라고 감탄하였습니다. 생중계된 우주의 모습은 마치 아무것도 없는 무의 공간처럼 보이지만, 현대 천문학에 따르면 우리 우주에는 우리가 볼 수 있는 별, 가스, 먼지와 같은 일반물질보다 6배 이상 많은 '암흑물질'이 존재한다고 합니다. 암흑물질은 우리 눈에 보이지 않지만, 약 138억 년 전에 시작된 우주의 과거, 현재, 그리고 미래의 운명을 좌우하는 중요한 역할을 합니다.

21세기 현대 과학이 풀어야 할 가장 중요한 수수께끼 중 하나인 암흑물질에 관한 연구는 현재 천문학계에서 활발히 진행되고 있습니다. 이번 우주과학탐사 인사이드에서는 전파망원경을 사용해 외부 은하의 암흑물질을 연구하고 있는 세종대학교 물리천문학과의 오세헌 교수를 만나 그의 연구와 우리 우주에 관한 이야기를 들어보았습니다.

▶ 교수님의 주요 연구 분야와 연구 그룹에 대한 간략한 소개 부탁드립니다.

저는 외부 은하에서 암흑물질이 어떻게 분포하고, 그 분포가 은하의 별 생성 과정에 어떤 영향을 미치는지를 중점적으로 연구하고 있습니다. 은하 내 가스와 먼지가 별로 변하고, 그 별이 다시 가스와 먼지로 순환하는 과정, 즉 '은하 생태계'에 대해 연구하고 있습니다. 암흑물질은 일반물질들이 모여 별이 되고, 별들이 모여 은하가 되는 과정에서 중요한 역할을 하는 것으로 예상됩니다. 이 과정에서 암흑물질은 일반물질의 움직임을 지탱하는 역할을 합니다. 예를 들어, 초기 우주에서 수소 가스가 모여 별을 만들고, 그 별들이 모여 은하를 이룰 때 암흑물질이 그 주위를 감싸면서 이 모든 과정을 중력으로 뒷받침해 주는 것입니다. 암흑물질이 없다면 은하는 오늘날의 모습으로 만들어지지 못했을 것입니다.

암흑물질은 별과 가스처럼 전자기파를 통해 직접적으로 관측하기 어렵지만, 은하의 회전 곡선이나 중력 렌즈 효과 등을 통해서 그 존재를 확인할 수 있습니다. 우리 연구 그룹은 '은하의 암흑물질과 별 생성'이라는 주제로 연구하고 있습니다. 여러 전파망원경을 통해 수집한 관측 데이터를 분석하고, 이를 현대 우주론을 바탕으로 한 은하 모델들과 비교하는 연구를 진행하고 있습니다. 암흑물질 연구는 외부 은하 연구에서 매우 중요한 분야일 뿐만 아니라, 우주의 거대 구조를 이해하는 데 중요한 단서를 제공하는 연구입니다.



*그림 1. **왼쪽**: 오세헌 교수 (세종대학교, 물리천문학과), **오른쪽**: 미국의 전파망원경 VLA를 사용하여 고분해능으로 관측한 외부 은하 NGC 2403의 중성수소 가스 전파 이미지*

"최첨단 전파망원경으로 은하 중심의 암흑물질 분포 연구"

특히, 저는 은하 중심 부분에서 암흑물질이 어떻게 분포되어 있는지를 연구하고 있습니다. 우리가 흔히 보는 외부 은하들의 사진은 주로 별빛, 즉 별이 방출하는 가시광선 영역의 전자기파를 관측한 것입니다. 하지만 암흑물질은 이러한 별들의 분포를 넘어 은하 전체를 10배 이상 넓은 영역에서 구형으로 감싸고 있으며, 은하 중심부로 갈수록 그 밀도가 증가하는 것으로 알려져 있습니다.

현대 천문학에서 널리 사용되는 우주론 모델에 따르면, 암흑물질은 외부 은하의 중심부로 가까이 갈수록 밀도가 급격히 증가하는 "커스프(cusp)" 형태를 가져야 합니다. 그러나 전파망원경을 사용하여 중성수소 가스를 고해상도로 관측한 자료를 분석해 보니, 은하 중심부로 갈수록 암흑물질의 밀도가 다소 완만하게 증가하는 "코어(core)" 형태로 나타났습니다. 이 차이를 '커스프/코어 문제'라고 부르며, 이는 현대 우주론 모델이 해결해야 할 중요한 과제 중 하나입니다.

저는 박사 과정과 박사후 연구원 기간 동안 미국의 VLA 전파망원경을 사용하여 외부 은하들의 중성수소 가스를 고분해능으로 관측하는 국제 프로젝트인 THINGS와 LITTLE-THINGS에 참여했습니다. 이를 통해 우리은하로부터 약 삼천만 광년 이내에 위치한 외부 은하들의 중성수소 가스 전파 관측 자료를 분석하고, 이를 바탕으로 은하 내 암흑물질 분포를 도출하였습니다. 특히, 저는 이 연구를 통해 외부 은하의 중심부에서 암흑물질이 완만하게 증가하는 "코어" 형태의 밀도 분포를 보인다는 것을 확인했습니다. 이는 이론과 상당한 차이를 보이는 관측 결과로, 은하 중심부에서 암흑물질 분포를 이해하는 데 있어 중요한 연구로 학계에서 평가받고 있습니다.



그림 2. ***위-왼쪽****: 우주 거대구조에서 은하들로 유입될 것으로 예상되는 차가운 중성수소 가스 (ESA-AOES Medialab),* ***위-가운데****: 중국의 500m 전파망원경 FAST로 관측한 외부 은하 그룹 주변의 중성수소 가스 전파 이미지(Jing Wang 외, 오세헌, 2023),* ***위-오른쪽****: VLA 전파망원경 관측으로 얻은 외부 은하 중심 영역의 암흑물질 밀도 분포(오세헌 외, 2015).* ***아래****: MeerKAT(남아공), FAST(중국), ASKAP(호주) 전파망원경.*

"SKA 프리커서 및 패스파인더 전파망원경을 활용한 SKA 과학 연구 주제 개발"

지난 10여 년 동안 저는 호주와 남아프리카공화국에 새로 만들어진 차세대 전파 간섭계인 아스캅(ASKAP)과 미어캣(MeerKAT) 전파망원경, 그리고 중국의 500m 전파망원경인 FAST를 활용하여 외부 은하의 중성수소 가스 전파 관측 연구를 진행해 왔습니다. 아스캅 전파망원경은 기존 전파 간섭계보다 더 넓은 하늘을 한 번에 관측할 수 있어, 외부 은하들의 중성수소 가스 분포와 운동을 빠르게 관측할 수 있습니다. 이를 통해 고립 은하, 쌍 은하, 은하 그룹, 은하단 등 다양한 환경이 은하의 별 생성 과정에 어떤 영향을 미치는지를 연구하고 있습니다.

남아프리카공화국의 미어캣 전파망원경은 뛰어난 관측 감도와 분해능으로 은하 내 중성수소 가스의 분포와 운동을 세밀하게 관측할 수 있습니다. 이를 통해 은하 중심부에서의 암흑물질 분포를 보다 면밀하게 연구하고 있습니다. 이와 함께 중국의 FAST 500m 전파 망원경을 활용한 관측 자료를 분석하여 거대 암흑물질 필라멘트 구조에서 은하들로 유입되고 있을 것으로 예상되는 차가운 중성수소 가스가 실제로 존재하는지, 그리고 이러한 가스가 별 생성 과정에 어떤 영향을 미치는지를 연구하고 있습니다.

이 연구들은 첨단 전파망원경을 활용한 국제 협력 연구 프로젝트로, 세종대학교 물리천문학과에서 저와 함께 연구하는 대학원생들과 학부생들이 참여하고 있습니다. 저희 연구팀은 국제 협력 프로젝트를 통해 국내외 학계를 이끌어갈 차세대 천문학자를 양성하며, 즐겁고 의미 있는 연구를 계속해 나가고 있습니다.

▶ 현재 국제 천문학계에서 차세대 전파망원경인 SKA를 건설 중이라고 들었습니다. SKA에 대해 소개해 주실 수 있을까요?

"SKA: 우주에 대한 이해의 지평을 넓혀 줄 지구에서 가장 큰 전파망원경"

SKA(Square Kilometre Array) 프로젝트는 우주에 대한 다양한 질문에 답하기 위해 현재 남아프리카공화국과 호주의 사막 지역에 건설 중인, 지구상에서 가장 큰 전파망원경입니다. 이 프로젝트는 2022년에 착공하여 2027년 완공을 목표로 활발히 진행되고 있습니다.

SKA 프로젝트는 우리 우주의 첫 별들과 은하들이 어떻게 만들어졌는지, 그리고 우주가 어떻게 변해왔는지를 밝혀내고, 암흑 에너지와 암흑물질의 비밀을 밝히고자 합니다. 또한, 우리가 알고 있는 물리 법칙이 우주의 다양한 환경에서 제대로 적용되는지 확인하고, 은하와 우주 전체에 존재하는 자기장의 역할을 이해하는 것을 목표로 합니다. 더 나아가, 다른 별 주위에서 생명체가 살 수 있는 행성이 만들어지는 조건을 연구하고, 먼 우주에서 갑자기 발생하는 강한 전파 신호와 같은 우리가 아직 발견하지 못한 새로운 천체를 탐구하려고 합니다. SKA는 이러한 연구를 통해 우주에 대한 우리의 이해를 획기적으로 넓혀 줄 것입니다.

이 망원경은 우주에서 방출되는 저-주파수(50 ~ 350 메가헤르츠)에서 중-주파수(350 메가헤르츠 ~ 15 기가헤르츠)에 이르는 전파 영역의 전자기파를 관측하기 위해 설계되었습니다. SKA는 약 13만여개의 저-주파수 안테나들과 200여개의 중-주파수 전파망원경들로 구성됩니다. 전체 집광 면적이 약 1제곱킬로미터에 달하기 때문에 'Square Kilometre Array'라는 이름이 붙었습니다.

SKA는 기존 전파망원경들에 비해 기술적으로 획기적인 성능 향상을 제공합니다. 우선, 관측 해상도가 대폭 향상되어 더 정밀하게 우주 구조와 천체들을 관측할 수 있으며, 감도 또한 기존 망원경들보다 수십 배에서 수백 배까지 높아져 먼 우주의 희미한 신호까지 포착할 수 있습니다. 또한, 한 번에 관측할 수 있는 하늘의 영역이 크게 확장되어 더 넓은 범위의 우주를 효율적으로 탐사할 수 있게 됩니다.

SKA는 이러한 뛰어난 관측 성능을 바탕으로, 단순한 망원경 건설을 넘어선 연구 플랫폼으로서, 전 세계 과학자들이 협력하여 우주를 탐구할 수 있는 새로운 표준을 제시할 것입니다. SKA 프로젝트는 21세기 국제 과학/기술 연구 협력의 상징이자, 첨단 기술이 결집한 천문학 연구의 새로운 장을 열어갈 것입니다.



그림 3. 현재 남아프리카공화국(SKA-Mid)과 호주(SKA-Low)에 건설 중인 SKA 전파망원경의 상상도. 전체 SKA 전파망원경의 약 10%를 건설하는 1단계(SKA Phase-1)는 2027년 완공을 목표로 하고 있다. 2027년 이후에는 나머지 90%의 안테나를 건설하는 2단계(SKA Phase-2)가 계획되어 있다.

▶ SKA 시대에 발맞추어, 교수님께서 앞으로 계획하고 계신 연구에 대해 말씀해 주실 수 있을까요?

"SKA 전파망원경 시대의 새로운 도전과 기회"

SKA(Square Kilometre Array) 프로젝트는 21세기 천문학 연구의 새로운 시대를 열 것입니다. 저는 SKA 프리커서와 패스파인더 전파망원경을 활용한 연구를 통해 SKA 시대를 준비하고 있습니다. 호주의 아스캅(ASKAP), 남아프리카공화국의 미어캣(MeerKAT), 그리고 중국의 500m 전파망원경 FAST를 활용한 외부 은하 중성수소 가스 관측은 은하의 별 생성 과정, 암흑물질 분포, 그리고 은하 간 상호작용을 연구하는 데 필수적입니다. 저는 이러한 연구 주제들을 미리 탐구하며 SKA 시대를 대비하고 있습니다. 이를 통해 한국이 주도할 수 있는 SKA 연구 주제를 개발하고, 이를 수행할 핵심 연구 집단을 형성하는 데 기여하고자 합니다. 이러한 노력은 한국 천문학의 발전에도 도움이 될 것이라 생각합니다.

특히, 이 연구들은 차세대 천문학자를 꿈꾸는 학부생들과 대학원생들에게 다양한 기회를 제공할 것입니다. 연구에 참여하는 학생들은 SKA와 관련된 국제 공동연구 프로젝트에 자연스럽게 연결되고, 이 연구 네트워크를 통해 천문학의 최전선에서 활동할 기회를 얻게 될 것입니다. SKA 시대는 과학적 발견을 넘어, 새로운 세대의 국내 연구자들이 국제 연구 무대에서 활약할 수 있는 중요한 전환점이 될 것입니다.



그림 4. 2024년 8월에 개최된 SKA-Korea 워크숍: 지난 10여 년 동안 한국천문연구원 및 국내 대학 소속 연구자들로 구성된 SKA-Korea 워킹 그룹은 한국형 SKA 과학 연구 주제 개발 및 한국의 SKA 참여를 위해 꾸준히 노력해오고 있다.