은하의 진화를 추적하는 우주 속 거대한 순환 고리

(전문)**우리가 밤하늘에서 보는 은하들은 얼핏 보면 영원히 변치 않을 것처럼 보입니다.** 그러나 실제 은하는 가스와 먼지, 별들이 끊임없이 순환하며 격렬하게 움직이는 살아있는 시스템입니다. 이 복잡한 시스템의 진화는 별의 탄생과 죽음, 그리고 물질의 순환이 맞물린 '바리온 순환 과정'으로 이해됩니다.

우주 속에서 별은 어떻게 탄생하고, 은하는 어떤 과정을 거쳐 진화하는가에 답하기 위해서는 우주의 가장 기본적인 원소인 **중성수소가 별의 직접적인 연료가 되는 수소분자로 변환되는 핵심 단계**를 이해하는 것이 중요합니다.

이번 우주과학탐사 인사이드에서는 이 거대한 순환 고리 중에서도 별의 탄생을 결정짓는 핵심 단계를 연구하고, 인류 최대 규모의 전파망원경 SKA 프로젝트를 통해 우주과학의 새 시대를 여는 한국천문연구원 이민영 박사님의 이야기를 들어보았습니다.

▶ 현재 연구하고 계시는 분야를 간단하게 설명해주세요

은하를 멀리서 보면 마치 고요하게 떠 있는 것처럼 보이지만, 실제로는 다양한 물리적 현상들이 동시에 폭발적으로 일어나고 있는 매우 복잡하고 역동적인 시스템입니다. 이처럼 복잡한 은하 시스템이 어떻게 진화해왔는지는 주로 '바리온 순환 과정(Baryon Cycle)'이라는 큰 틀로 이해할 수 있습니다.

이 순환 과정은 크게 네 단계로 설명할 수 있습니다:

1. **유입**: 은하 주변의 물질이 은하 내부로 흘러들어 옵니다. 이때 물질들은 유입 과정에서 발생하는 열 때문에 온도가 높은 이온화된 가스 형태로 은하에 도달합니다.
2. **변환 및 냉각**: 이온화된 가스가 점차 온도가 낮아지면서 중성수소와 수소 분자로 변환됩니다.
3. **별 생성**: 다량의 수소분자가 모여 있는 분자운이 자체 중력으로 수축하면서 마침내 별과 행성을 만들어 냅니다.
4. **피드백 및 유출**: 별들은 생성 초기에는 강한 바람을, 그리고 생의 마지막에는 폭발을 통해 성간가스와 먼지를 다시 은하 공간으로 환원시킵니다.

이렇게 환원된 물질은 은하 중심에 있는 초대질량블랙홀의 강력한 활동을 통해 최종적으로 은하 밖으로 유출되면서 순환을 마무리합니다.

저는 이 과정 중에서도 중성수소가 수소분자로 변환되는 중요한 단계를 연구하고 있습니다. 수소분자는 별이 태어나는 데 필요한 연료로, 이 변환 과정을 이해하는 것이 별과 은하의 진화를 연구하는 데 있어 핵심적인 부분이기 때문입니다.

이토록 중요한 과정임에도 불구하고, 중성수소가 수소분자로 변환되는 연구는 크게 두 가지 이유로 더디게 진행되어 왔습니다.

1. 중성수소의 특성 파악하기 위한 관측이 어렵다.

중성수소는 크게 차가운 중성수소(온도 낮고 밀도 높음)와 따뜻한 중성수소(온도 높고 밀도 낮음)의 두 가지 상태로 존재합니다. 이 두 상태의 물리적 특성(예: 광학적 깊이, 스핀 온도, 밀도 등)을 정확히 알아내려면 중성수소의 방출선 관측과 흡수선 관측이 모두 필요합니다.

Arecibo 망원경과 같은 단일경 전파망원경을 사용하면 방출선 관측은 비교적 손쉽게 수행할 수 있습니다. 그러나 정확한 특성 분석에 필요한 흡수선 관측은 VLA와 같은 고분해능을 갖춘 전파간섭계를 사용해야 하며, 반드시 강한 **전파원**이 있는 방향에서만 관측이 가능하다는 한계가 있습니다. 주로 크기가 작고 신호 세기가 강한 초대질량 블랙홀을 전파원으로 사용하는데, 이 전파원이 하늘에 무작위로 분포되어 있어 분자운 내부의 중성수소 특성을 파악하기가 어렵습니다.

2. 수소분자의 분포 추적이 어렵다

수소분자는 두 개의 수소 원자가 완벽하게 대칭적으로 결합된 형태입니다. 이 대칭성 때문에 양자역학적으로 전기적 극성을 결정하는 쌍극자 모멘트가 없어 낮은 온도의 분자운 상태에서는 수소분자를 직접 관측할 수 없습니다. 따라서 보통은 수소분자 다음으로 양이 많은 일산화탄소(CO)의 신호를 대신 측정하여 분자 가스의 물리적 특성을 간접적으로 유추합니다. 문제는 수소분자와 일산화탄소의 생성 환경이 다르기 때문에, 일산화탄소로는 아예 추적할 수 없는 수소분자들이 많이 존재한다는 점입니다.

저는 이러한 중성수소-수소분자 변환 과정 연구의 관측적 한계를 극복하기 위해 Arecibo 및 VLA 전파망원경을 폭넓게 활용하여 태양 근방 분자운 내 중성수소의 특성을 연구해 왔습니다.

다양한 환경에 위치한 분자운 뒤편에 있는 수많은 전파원 방향으로 중성수소의 방출선과 흡수선을 모두 관측했습니다. 이렇게 얻은 스펙트럼은 복사 전달 방정식을 사용하여 정밀하게 분석함으로써, 차가운 중성수소와 따뜻한 중성수소의 물리적 특성을 성공적으로 도출했습니다.

나아가 중성수소의 물리적 특성을 일산화탄소 및 성간먼지 등 다른 파장대의 관측 자료와 비교하여, 수소분자가 생성되기 위해 필요한 중성수소의 구체적인 조건을 밝혀냈습니다. 이 연구를 통해 차가운 중성수소가 많이 존재하는 환경에서 수소분자의 형성이 훨씬 쉽다는 점을 관측적으로 입증했으며, 이는 차가운 중성수소와 수소분자 형성 사이의 관계를 밝힌 첫 번째 관측적 증거로 학계에서 높은 평가를 받고 있습니다

▶ SKA에 대해 소개해 주세요

SKA(Square Kilometre Array)는 현재 남아프리카공화국과 호주에 건설 중인, 지구상에서 가장 큰 국제 거대 프로젝트 전파망원경입니다. 한국을 포함해 총 16개국이 참여하며, 2029년 완공을 목표로 합니다.

SKA는 완공시 전체 집광 면적이 무려 1제곱킬로미터에 달하며, 기존 망원경보다 수백 배 높아진 민감도와 향상된 공간 분해능을 제공합니다. 이는 우주론, 은하의 생성 및 진화, 블랙홀 등 천문학 전 분야에서 획기적인 발전을 가져올 천문학자들의 오랜 꿈이 담긴 프로젝트입니다.

▶ 앞으로의 연구 계획은 어떻게 되시나요?

저는 앞으로 다가올 SKA 시대에 대비하기 위해 SKA의 핵심 전초기지인 패스파인더 망원경을 활용한 연구를 수행하고 있습니다. 특히 서호주에 위치한 **ASKAP**(Australian Square Kilometre Array Pathfinder) 전파간섭계를 주로 사용합니다. ASKAP의 가장 큰 특징 중 하나는 각각의 안테나에 설치된 위상 배열 피드로, 36개의 빔을 동시에 사용하여 1도에서부터 25도에 이르는 넓은 영역을 관측할 수 있습니다.

현재 저는 이 광시야를 활용하여 우리은하와 마젤란 시스템 내 중성수소를 관측하는 GASKAP-HI 서베이에 참여하고 있습니다. 테스트 관측 자료를 바탕으로 마젤란은하 내 중성수소의 특성 및 중성수소와 수소분자 형성 사이의 상관관계를 연구 중입니다.

몇 년 후 서베이 관측이 완료되면, 이 분석을 광범위한 서베이 영역 전체로 확대하여 다양한 환경에서의 중성수소 특성과 이것이 분자운 및 별의 생성에 미치는 영향을 알아보려고 합니다. 이러한 활동을 통해 SKA 시대에 수행할 수 있는 새로운 연구 주제를 개발하고, 국제 공동 연구 네트워크를 활용하여 차세대 연구 인력을 양성하는 것을 목표로 하고 있습니다. 현재 국내 중성수소 연구자는 극소수이지만, 앞으로 그 수가 늘어나 한국 전파천문학의 발전에 기여하기를 기대합니다.