삶을 마감하는 별이 밝힌 휘황찬란한 형광등

(전문) 하늘에 떠 있는 별들도 우리처럼 언젠가 생을 마감합니다. 태양처럼 크지 않은 별들은 나이를 먹으면 몸집이 커지고 불안정해져서 바깥으로 많은 가스를 뿜어내는데, 이것을 **행성상 성운**이라고 부릅니다. 이때 별의 중심은 뜨겁게 달아올라 강한 빛을 내뿜고, 주변에 퍼져 있는 가스들을 반짝이게 만듭니다. 마치 우주에 커다란 형광등이 켜지는 것 같죠. 우리가 밤하늘에서 보는 화려한 우주 사진 속 형형색색의 행성상 성운들이 바로 이런 장면입니다.

이런 빛 속에는 별의 생애와 우주의 비밀을 풀어낼 수 있는 단서들이 숨어 있습니다. 별빛을 낱낱히 분석하는 과정을 **천체 분광학**이라고 부르는데, 이는 별의 나이뿐 아니라, 어떤 성분으로 이루어져 있는지, 얼마나 빠르게 움직이고 있는지까지 알 수 있는 과학의 핵심 도구입니다.

이번 우주과학탐사 인사이드에서는 별이 내뿜는 빛을 낱낱히 분석하는 천체 분광학을 주제로 세종대학교 이희원 교수님과 함께 별의 마지막 순간과 그 빛 속에 담긴 이야기를 들어보았습니다.

▶ 천체 분광학이란 무엇인가요?

분광학은 '빛을 쪼개어 그 속에 담긴 정보를 읽어내는 학문'입니다. 빛이 프리즘을 통과하면 무지개처럼 다양한 색깔의 띠로 퍼져 나오는 것을 볼 수 있는데, 이 빛의 띠를 **스펙트럼**이라고 부릅니다. 스펙트럼의 특정 위치에 나타나는 밝거나 어두운 선들을 **분광선**이라고 하며, 이 분광선을 분석하면 천체의 구성 원소나 움직임 같은 과학적 정보를 얻을 수 있습니다. 천체 분광학은 별이나 은하처럼 멀리 있는 천체가 내뿜는 스펙트럼을 분석하여 그 속에 숨겨진 과학적 정보를 얻는 분야죠.

사실 분광학, 즉 'spectroscopy'라는 용어는 범죄 현장의 물질 성분 분석부터 우주의 거대한 구조를 밝히는 연구까지, 현대 과학 연구 전반에 걸쳐 널리 활용되는 보편적인 도구입니다. 수소를 비롯한 많은 원자와 이온들의 전자 움직임은 이들이 보여주는 분광선과 양자역학적 지식을 결합해 상당히 상세한 수준으로 분석되고 있습니다.

수천 광년 떨어져 삶의 마지막 단계에 있는 별조차도, 최첨단 관측 기기에서는 점처럼 보이는 경우가 많습니다. 하지만 그 작은 점이 내뿜는 스펙트럼 속에는 그 모습만으로는 알 수 없는 **흥미로운 이야기들**이 숨어 있습니다.

스펙트럼에서 많은 정보를 얻으려면 다양한 기초 과학 지식이 필요하며, 『나의 문화유산답사기』의 유홍준 선생께서 강조하셨듯 '아는 만큼 보인다'는 말이 분광학 연구에서 그대로 실감됩니다.

▶ 별의 진화와 형광 현상

태양처럼 크지 않은 별들은 중심부에서 수소 핵융합 반응을 통해 빛과 열을 내며 살다가, 결국 거성의 단계로 진입합니다. 이 단계에 이르면 별은 불안정한 내부 구조로 인해 별 자체가 팽창과 수축을 반복하며 외피를 구성하는 물질을 우주 공간으로 계속해서 방출합니다. 이 물질들은 다음 세대 별이나 행성의 재료가 되어 우주의 순환을 돕게 되죠.

이러한 별의 진화 과정과 함께 형광 현상은 우주 과학에서 중요한 개념입니다. '형광'이라는 단어의 **형**은 반딧불이를 뜻하는 한자 '螢'에서 유래했으며, 뜨거움을 동반하지 않고 빛을 내는 현상을 의미합니다. 영어로는 fluorescence라고 하는데, 이는 자외선을 받으면 가시광선을 방출하는 광물인 형석(fluorite)에서 이름을 따온 것입니다.

우리가 사용하는 형광등도 바로 이 원리를 이용합니다. 전극에 높은 전압을 걸면, 자유 전자들이 원자들과 빠르게 충돌하며 자외선을 방출합니다. 이 자외선은 등 내부에 도포된 형광 물질에 부딪히면서 우리가 눈으로 볼 수 있는 가시광선으로 변환됩니다. 이와 마찬가지로, 멀리 있는 별의 마지막 순간에 방출되는 자외선이 주변의 가스나 먼지에 부딪혀 형광 현상을 일으키면서 마치 거대한 우주의 형광등처럼 아름답게 빛나는 모습을 우리 눈에 보여주기도 합니다.

▶ 행성상 성운과 분광학의 역할

점근 거성 단계란 별의 진화 중 마지막 단계로, 이 단계에서 별은 더 이상 안정적인 상태를 유지하지 못하고 몸집이 크게 부풀어 오르며 불안정해집니다. 그리고 외피 물질을 초속 수십 킬로미터의 느린 속도로 바깥으로 계속 내보내는데, 이것을 마치 별에서 오는 바람과 같다고 하여 **항성풍**이라고 부릅니다.

이렇게 점근 거성 단계를 지나면서 별은 외피 물질을 잃고, 중심부는 매우 뜨겁고 밀도가 높은 상태로 변해갑니다. 천문학자들은 이 단계의 천체를 **'행성상 성운(planetary nebula)'**이라 부르는데, 이는 천왕성을 발견한 윌리엄 허셸이 낮은 해상도에서 이 천체를 행성처럼 보았기 때문에 붙인 이름입니다. 실제 행성과는 관련이 없지만 이 명칭이 오랫동안 그대로 사용되고 있습니다.

행성상 성운의 뜨거운 중심부에서는 강한 자외선 복사가 일어나 주변의 항성풍 물질을 이온화합니다. 이 과정에서 방출된 전자들이 주변 원자들과 충돌하면서 빛을 내게 되죠. 결국 행성상 성운은 우리 태양계보다 훨씬 거대한 규모로 주변 공간을 밝히는 '우주의 형광등'이라 할 수 있습니다. 하지만 이 빛은 영원하지 않습니다. 중심부의 별은 점차 식어 백색왜성이 되고, 주변 물질이 흩어지면서 수만 년의 시간이 지나면 이 우주 형광등은 서서히 사라지게 됩니다



그림1 윌리엄 허셸(1738-1822)
천왕성을 발견하였으며, 행성상 성운이라는 명칭을 고안하였다.

▶ 분광학의 위대한 발견들

분광학을 통해 우리는 놀라운 발견들을 해냈습니다. 19세기 후반, 과학자들은 태양 스펙트럼에서 지구의 어떤 원소와도 일치하지 않는 587.7nm의 분광선을 발견했습니다. 이 분광선은 태양에만 있는 원소라 여겨져 태양을 뜻하는 'helios'에서 이름을 따 **헬륨(Helium)**이라 명명되었습니다. 이후 우라늄 같은 방사성 핵종이 포함된 광물에서 헬륨이 발견되면서 지구에도 존재하는 원소임이 확인되었죠. 헬륨은 우주에서 수소 다음으로 흔한 원소이지만, 지구에서는 대기 중의 헬륨이 지구 중력을 뿌리치고 사라지기 때문에 지하에 매장된 귀한 자원입니다.

행성상 성운에서도 비슷한 사례가 있었습니다. 천문학자 윌리엄 허긴스는 고양이 눈 성운이라는 별명을 가진 행성상 성운 NGC6543의 스펙트럼에서 495.9nm와 500.7 nm의 초록색 분광선을 발견했습니다. 그는 이 분광선을 내는 원소가 성운에만 있는 원소라고 간주하여 **네뷸륨(Nebulium)**이라는 명칭을 사용했습니다. 그러나 헬륨과는 달리, 이 분광선은 이미 우리에게 익숙한 산소 원자에서 전자 두 개가 빠져나간 산소 이온이라는 사실이 밝혀졌습니다. 이 두 초록색 분광선은 행성상 성운을 대표하는 밝은 분광선으로, 현재에도 성운 탐사 관측에 중요한 역할을 하고 있습니다.



그림2 행성상 성운 NGC 6543의 허블우주망원경과 찬드라 X-선 우주망원경의 합성 영상
이 행성상 성운의 스펙트럼에서 허긴스는 네뷸륨 분광선(산소 이온 금지선)을 발견하였다.

▶ 질량 손실과 수소 원자의 추적

우리 연구실에서는 갓 형성된 어린 행성상 성운에서 수소 원자를 추적하는 연구를 수행하고 있습니다. 점근 거성 단계에서 느린 항성풍으로 쏟아낸 많은 물질 중 먼지나 분자 성분은 적외선이나 전파 망원경으로, 이온화된 지역은 자외선이나 가시광선 영역으로 관측이 가능합니다. 그러나 수소 원자는 직접 관측하는 것은 매우 어렵습니다.

그래서 이 문제를 해결하기 위해 **라만 산란(Raman scattering) 관측** 방법을 사용합니다. 라만 산란은 자외선이 수소 원자에 부딪혀 가시광선이나 적외선으로 바뀌는 현상, 즉 형광 작용의 한 종류입니다. 특히 어린 행성상 성운에서는 헬륨이 방출하는 자외선이 수소 원자와 충돌해 가시광으로 바뀌는 라만 산란이 효과적으로 일어납니다.

이 연구를 위해 국내 최대 망원경인 보현산 천문대 1.8m 망원경과 고분산 분광기 BOES를 사용하여 어린 행성상 성운에서 라만 산란선을 검출하고, 이를 통해 수소 원자의 분포와 속도를 파악하고 있습니다. 또한 칠레에 있는 8m Gemini 망원경과 고분산 분광기 GHOST를 활용하여 높은 품질의 스펙트럼 자료를 확보하고 있습니다.

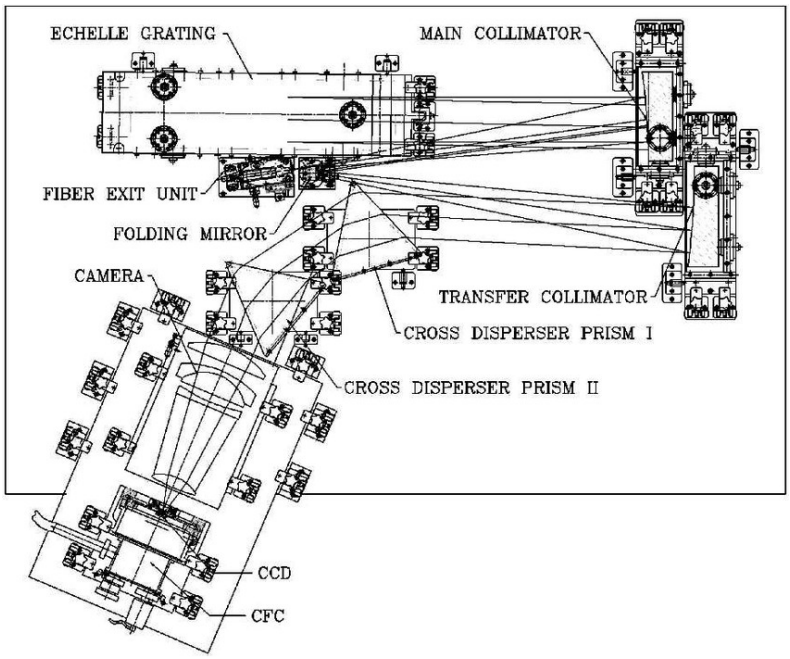


그림3 보현산 1.8미터에 장착된 고분산 분광기 BOES의 설계도.

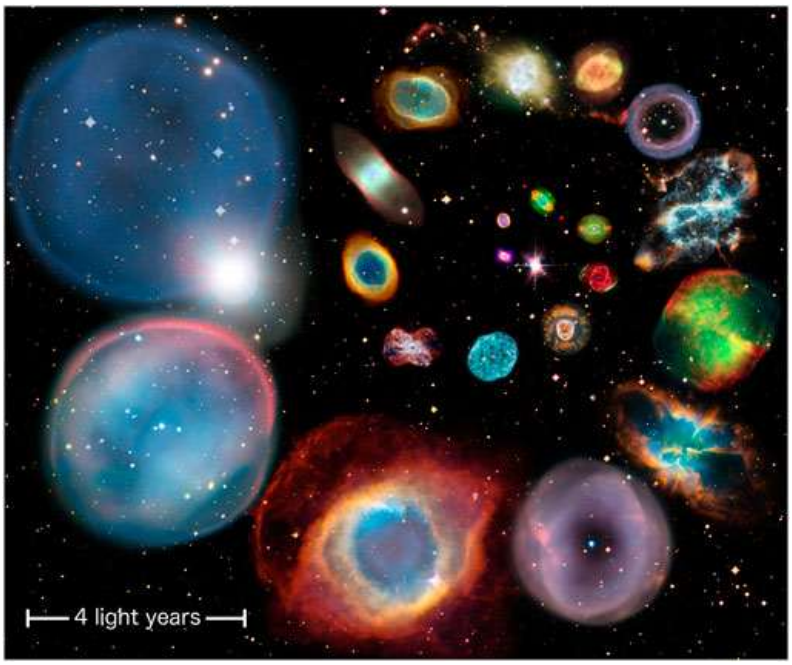


그림 4 실제 크기를 고려해서 나타낸 22개 행성상 성운의 영상
(Credit: ESA/Hubble and NASA, ESO, NOAO/AURA/NSF)

▶ 맺음말

분광학의 첫 인상이 매우 어렵고 전문가들만의 영역이라는 느낌을 갖기 쉽지만 사실은 우리 일상 속에도 깊숙이 있습니다. 예를 들어 낮에 하늘이 밝은 이유는 태양빛이 대기의 분자들과 부딪히며 사방으로 퍼지기 때문입니다. 이 과정에서 파장이 짧은 푸른 빛이 특히 잘 산란되기 때문에 하늘이 파랗게 보이는 것이죠. 아침이나 저녁에 해가 낮게 걸릴 때는 긴 거리를 통과하면서 푸른 빛이 대부분 산란되어 사라지고, 상대적으로 붉은 빛이 많이 남아 우리의 눈에 들어오기 때문에 노을이 붉게 보이는 것입니다.

특히, 우리나라가 편서풍 지역에 있다는 사실을 알면, 저녁에 보이는 아름다운 붉은 노을은 단순한 경치가 아니라 날씨를 가늠하는 힌트이기도 합니다. 서쪽 지역이 맑게 개어 있다는 뜻이므로, 편서풍을 타고 다음 날 맑은 날씨가 이어질 가능성이 크다는 오랜 삶의 지혜가 담겨 있는 것이죠.

우리 연구실에서 진행하는 질량 손실의 라만 분광법 또한 이와 같은 원리에 기반합니다. 마치 형광등의 원리처럼, 보이지 않는 자외선이 수소 원자와 만나 산란하는 빛을 모아 최첨단 분광기로 분석합니다. 이를 통해 평범한 별이 삶을 마감하고 다음 세대의 항성계에 재료가 되는 과정에 대한 이해를 증진하고 있습니다.