② 우주 초기의 역사(1)

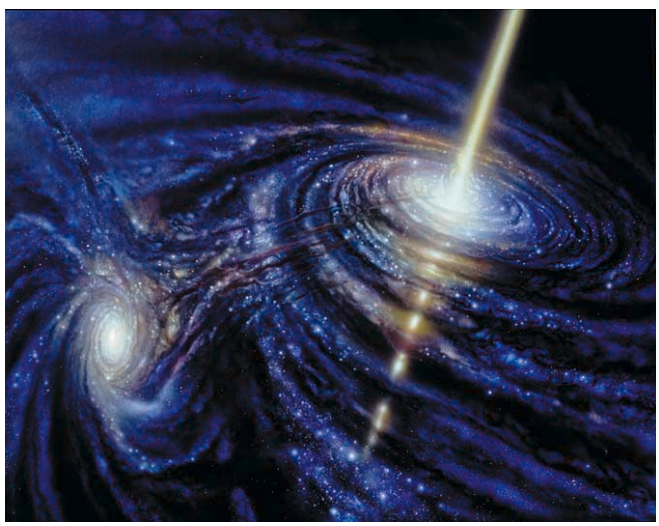
순식간의 중력붕괴로 거대 블랙홀 탄생

글 | 임성빈 _ 명지대학교 교수 sbimm@mju.ac.kr

우주공간의 결절점에 해당하는 곳에 모인 거대한 원시가스구름은 가스가 균일하게 분포된 것이 아니어서 어떤 부분은 다른 부분보다 밀도가 더 높아 더 큰 중력으로 물질들을 자기 쪽으로 끌어당기며 중력수축을 일으켜 밀도는 점점 더 높아지고 밀도가 높아지면 높아질수록 중력도 더 강해져서 주변의 물질들을 더 잘 끌어당기게 되었다.

원시은하와 별들의 탄생

이렇게 중력수축이 진행되면서 가스가 가열되어 온도가 1천°K를 넘어서자 수소원자들이 짝을 지어 수소분자를 형성하였으며, 수소원자들이 충돌할 때 적외선이 방출됨으로써 가스의 가장 밀도가 높은 부분이 냉각되기 시작하였다. 그리고 온도가 200~300°K로 떨어지자 이 지역의 압력이 감소함으로써 가스가 중력에 의해 덩어리를 이루게 되었다.



인접한 은하를 빨아들이는 거대 블랙홀과 퀘이사

이 과정에서 냉각된 수소 등 정상물질은 원시우주의 중심부에 아마도 원반 형태로 모여 작은 원시은하를 만들어 나가게 되고, 아무런 에너지도 잃지 않은 암흑물질은 제자리에 남은 채 정상물질과 분리되어 은하를 둘러싼 암흑후광이 되었을 것이다.

원시은하의 중심부에 모인 가스덩어리는 온도가 높기 때문에 중력에 의하여 별이 되려면 질량이 태양의 100~1천배쯤은 되어야 한다. 이들은 중력수축이 진행되는 과정에서 어느 순간 부피는 급속히 줄고 밀도는 급격하게 높아지는 중력붕괴를 일으키게 되는데, 이 때 중력압으로 인하여 많은 열이 발생하며 이 열이 중력압과 정수평형을 이뤄 매우 크고 밝은 최초의 별들이 만들어지게 되었다.

이 별들은 지름이 태양의 4~14배, 밝기는 100만~3천만 배, 표면온도는 약 17배인 10만~11만°K, 그리고 수명은 약 300만 년 정도였을 것이다. 매우 뜨거운 이 별들은 자외선을 방출하여 주위에 있는 중성의 수소 및 헬륨가스들을 가열하고 이온화하게 되며 이 과정을 천문학자들은 '우주부흥'이라고 한다.

이렇게 하여 점점 더 많은 별들이 만들어지고 이온화된 가스거품들은 합쳐졌으며, 은하 사이의 가스들도 이온화되어 또 다른 수

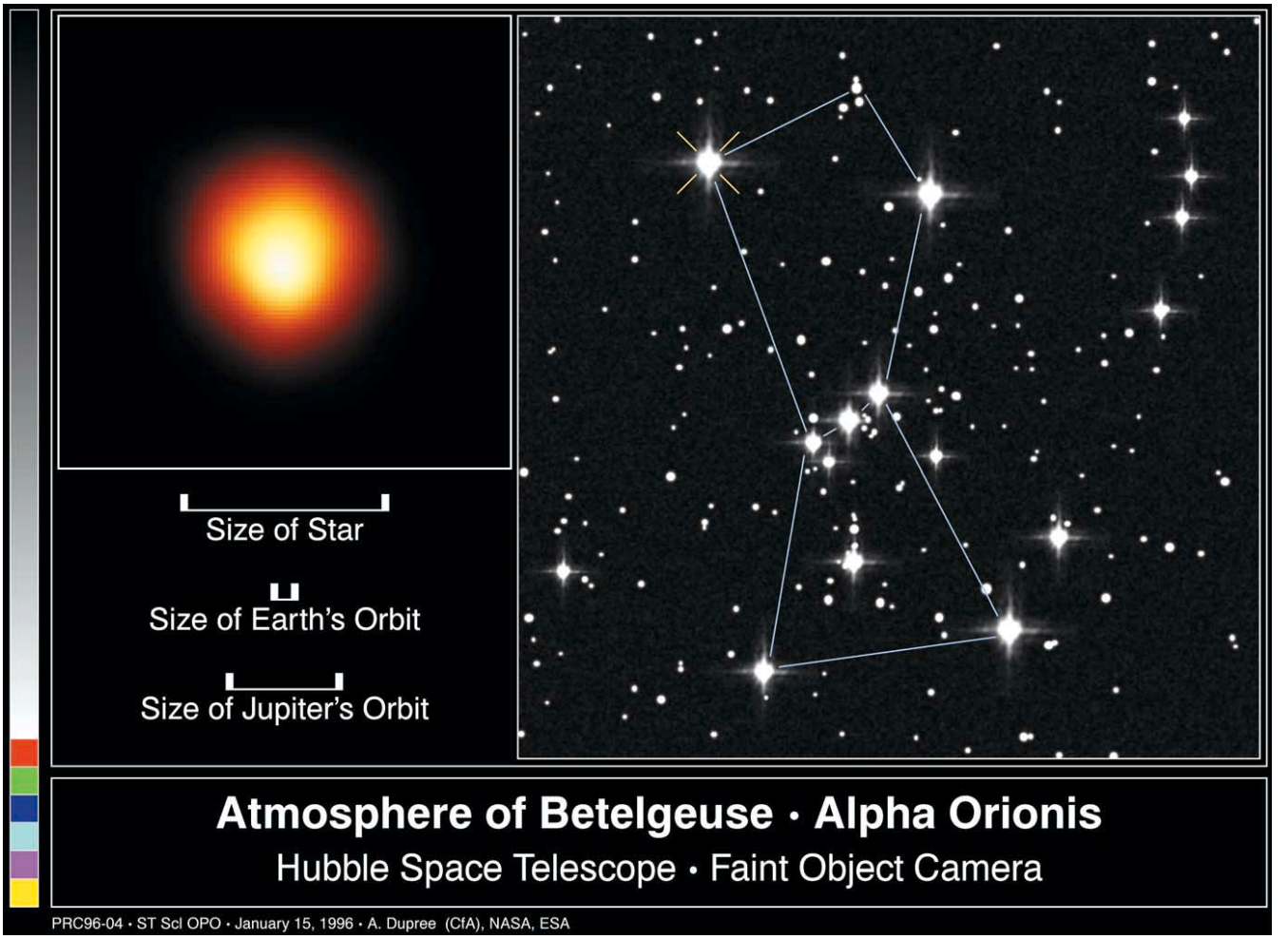
없이 많은 별들이 만들어졌는데, 이 별들이 어떤 일생을 겪게 되느냐 하는 것은 전적으로 그들의 질량에 달려 있다. 그리고 이렇게 만들어진 별들이 모여 은하를 형성하게 된다.

거대 블랙홀의 탄생과 준성

별들이 만들어지는 과정에서 중력붕괴를 일으키는 범위가 넓어 그 질량이 태양의 수백만~수십억 배에 달하면 너무 큰 중력으로 인하여 중력붕괴는 순식간에 이루어지고 붕괴를 일으킨 질량과 같은 질량의, 빛조차도 빠져나갈 수 없는 거대 블랙홀이 탄생하게 된다. 블랙홀은 일반상대성이론으로 설명이 어려운 일종의 특이점인데 일반적으로 은하들은 많은 원시은하들이 결합하여 이루어졌을 것이나 먼저 이들 거대 블랙홀들이 만들어지고 이들을 중심으로 은하들이 형성되기도 하였을 것이다. 블랙홀에서 흡수된 물질들은 블랙홀과 웜홀로 연결되어 있는 화이트홀을 통하여 방출되며 이들이 새로운 우주를 만들어 다중우주를 구성하는데, 우리 우주는 그 중의 하나라는 다중우주론도 제기되고 있다.

거대 블랙홀은 중력이 매우 커서 주위에 있는 가스구름은 물론이고 별들까지도 엄청난 양을 빨아들이는데 이런 물질들은 블랙홀에 가까이 접근하면 할수록 가속도가 붙고 많은 에너지를 방출하면서 X선 등의 전자파와 함께 굉장히 밝은 빛을 발산한다. 어떤 것은 밝기가 그 은하계 전체의 별빛을 합친 것보다 1천 배 이상 밝은데 별은 아니지만 빛을 발하기 때문에 준성이라고 한다. 지금까지 발견된 준성은 약 2만 개 정도인데 그 위치가 모두 지구로부터 100억 광년이 넘는 곳이어서 그 빛들은 우주 초기에 그들 은하에서 떠난 것임을 알 수 있다.

준성은 블랙홀이 주위의 물질들을 다 빨아들이고 나서 더 이상



적색거성

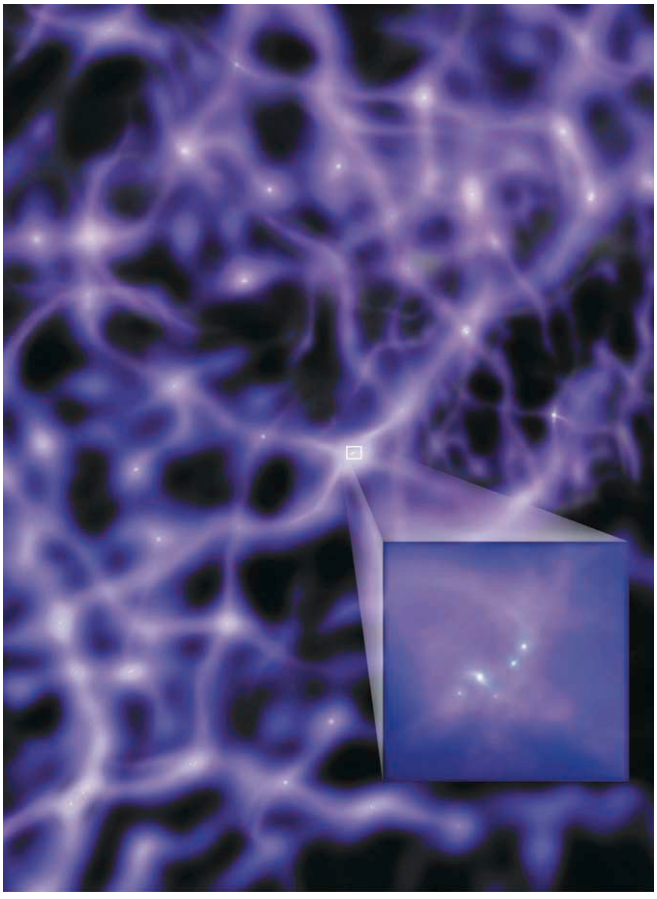
빨아들일 것이 없을 때는 사라지게 되지만 블랙홀이 다시 다른 물질들을 만나 흡입을 재개하게 되면 준성도 다시 등장하게 된다. 한편 준성이 만들어진 부근에서는 준성이 주위의 가스에 에너지를 공급해 다른 곳보다 더 쉽게 별들이 만들어졌다.

별 진화과정에서 '주계열별'로 100억년 지내

중력에 의해 만들어진 아기별의 중심부 온도가 중력압에 의해 1천만°K 이상에 달하게 되면 전기적으로 중성이었던 수소원자나 분자는 수소핵과 전자로 분리되고, 수소 핵이 대폭발 초기 때와 같은 융합을 시작하여 헬륨 핵(이것을 알파입자라고도 함)을 만들게 되는데, 그 과정을 좀 더 자세히 설명하면 다음과 같다.

하나의 수소 핵은 하나의 양성자로 이루어져 있고 하나의 헬륨 핵은 두 개의 양성자와 두 개의 중성자로 되어 있기 때문에 하나의 헬륨 핵을 만들려면 우선 네 개의 수소 핵이 필요하다. 그런데 수소핵, 즉 양성자들은 모두 양(+)전하를 띠므로 이들이 가까워지면 전기적인 반발로 서로 밀어내기 때문에 핵융합과정에서 핵들이 유착되기가 그렇게 쉽지만은 않다. 따라서 핵이 충분히 뜨거워져 빠른 속도로 강하게 충돌함으로써 전기적인 반발을 이겨내고 강한 핵력이 작용할 수 있는 거리까지 접근해야만 핵융합이 가능하게 된다.

먼저 충분한 열에너지로 인하여 두 개의 양성자가 전하의 반발력을 이기고 충돌을 일으키면 양성자 하나가 양전자와 중성미자를 하나씩 내놓으면서 중성자로 전환되며 이제 이들은 더 이상 서로를 밀어내지 않고 중양성자를 만들게 되는데 이 단계를 양성자–양성자 고리라고 한다. 이들은 다시 양성자와 결합하여 양성자 두 개와 중성자 한 개가 강한 핵력에 의하여 묶인 헬륨–3이 되거나 중성자와 결합하여 양성자 하나와 중성자 2개가 묶인 3중수소가 된다. 그리고 헬륨–3이 중성자와 결합하거나 중수소가 양성자와 결합하거나 또는 두 개의 헬륨–3이 충돌하면서 2개의 양성자를 방출하거나 두 개의 3중수소핵이 충돌하면서 2개의 중성자를 방출하거나 하여 헬륨 핵을 만들게 된다. 강한 핵력은 매우 짧은 거리에서만 작용하



초기 우주의 모습

최초로 별과 우주가 생성되는 모습

지만 전기적 반발을 상쇄시키고도 남을 만큼 충분히 강하기 때문에 일단 강한 핵력의 범위 안에 들게 되면 핵은 전기적 반발에서 벗어나 안정을 찾게 되는데, 이러한 과정을 양성자–양성자(p–p)반응에 의한 항성 핵융합이라고 한다.

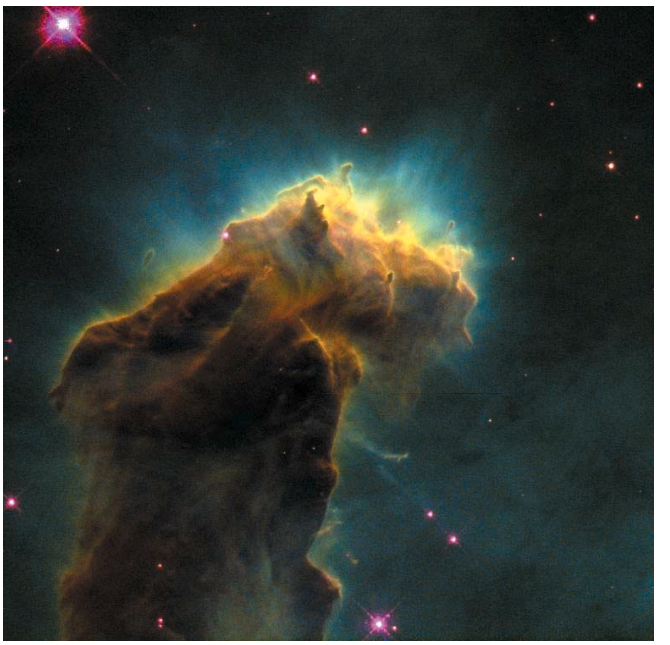
이렇게 네 개의 양성자가 하나의 헬륨 핵을 만들면서 질량이 0.7% 줄어드는데 이와 같이 줄어드는 질량은 아인슈타인의 공식 $E=mc^2$에 따라 모두 열에너지로 전환되어 방출된다. 그리고 이 열에너지는 중력의 작용을 상쇄시켜 정수평형을 이룸으로써 별이 더 이상 줄어드는 것을 막아주는 한편 핵연료가 남아있는 한 연소를 지속시켜 별을 안정적으로 정착시킨다. 이와 같이 별의 중심부인 핵에서 수소를 원료로 헬륨을 융합하는 반응이 진행되고 그 주위를 비활성수소가 둘러싸고 있는 별을 주계열별이라고 한다. 그러나 주계열별이 되려면 어린별의 질량이 적어도 태양의 8% 이상, 본격적인 주계열별이 되려면 태양의 25%는 되어야 한다. 별의 진화에서 주계열별의 수명이 차지하는 비율은 90% 이상인데 태양과 비슷한 질량을 가진 별은 주계열별로서 약 100억년 정도를 지내게 된다.

주계열별에서 진화한 '적색거성' 수명 1억년

주계열별의 초기에는 중심핵에서 수소 핵융합이 일어나고 그 주위를 비활성 수소 층이 둘러싸고 있다. 이런 상태에서 수소 핵융합이 계속 진행되면 중심핵에는 수소 핵융합으로 만들어진 비활성 헬륨이 점점 더 많이 축적되고 수소 핵융합은 그 주위에서 일어나며 비활성 수소 층은 점점 더 엷어진다. 그러다가 핵융합이 차차 줄어들고 수소보다 약 4배 정도 무거운 헬륨이 증가하면서 온도가 낮아져 중심핵을 유지시키고 있던 평형이 깨어지게 된다. 그래서 핵융합이 중단될 때가 가까워지면 핵융합이 진행되는 동안에는 플라즈마 상태로 있던 원자핵과 전자가 다시 결합하게 된다. 그리고 중력압으로 인해 중력붕괴가 다시 시작되어 중심핵이 수축되면서 온도가 다시 높아져 부피가 증가하고, 부피가 증가하면 온도가 다시 떨어져서 중력압이 증가하는 열적 평형상태가 유지된다.

이런 과정에서 전자들은 원자핵과 단순히 결합만 하는 것이 아니라 전자가 차지할 수 있는 가장 낮은 에너지 자리부터 차곡차곡 채워 나가면서 전자가 채울 수 있는 모든 자리를 채워서 원자는 전기적으로 중성이 되고 에너지가 가장 낮은 상태인 축퇴상태가 되며, 헬륨은 더 이상 압축할 수 없는 액체상태가 된다.

별의 중심핵이 완전히 축퇴되기 전까지는 위와 같은 열적 평형상태가 유지되나 완전히 축퇴되면 사정은 달라진다. 이제는 압력이



M16에 있는 거대분자구름

증가하면서 온도가 상승해도 부피가 증가하지 않기 때문에 온도가 낮아지는 것이 아니라 더 높아져서 중심핵에 쌓이게 된다. 그러다가 중심핵을 둘러싸고 있던 비활성 수소 층이 갑자기 수축한 중심핵의 표면으로 무너져 내리면서 압축되어 다시 핵융합을 시작하고 이 열로 인하여 수소 층의 가장 바깥 부분이 엄청나게 팽창하여 별의 겉껍질을 만든다. 이 겉껍질은 팽창하면서 밀도가 점차 낮아지고 온도도 떨어지지만 수소 핵융합은 계속 이루어져서 우리가 그 빛을 볼 수 있게 되는데 겉껍질과 중심부 사이는 거의 진공에 가까우며 그 사이에서 대류가 이루어진다.

이와 같은 변화를 겪은 별은 겉껍질이 매우 크기는 하지만 표면 온도가 낮아 붉은 색을 띠기 때문에 적색거성(큰 별)이라고 하는데 그래도 표면적이 넓기 때문에 주계열별보다는 더 밝다. 태양과 비슷한 질량을 가졌던 별은 태양의 500배 정도인 적색거성이 되어 약 1억년 정도를 지내게 된다(다음호에 계속). ST

글쓴이는 서울대학교 토목공학과 졸업 후 동대학원에서 석사 · 박사학위를 받았다. 한국교통문제연구원 원장, 명지대학교 공과대학장 · 교통관광대학원장 · 문화예술대학원장 등을 지냈으며, 현재 서울특별시 무술협회 회장, 한국바둑학회장 등을 겸임하고 있다.