

③ 우주 초기의 역사(2)

태양 질량 25% 이상 아기별이 단계별로 진화

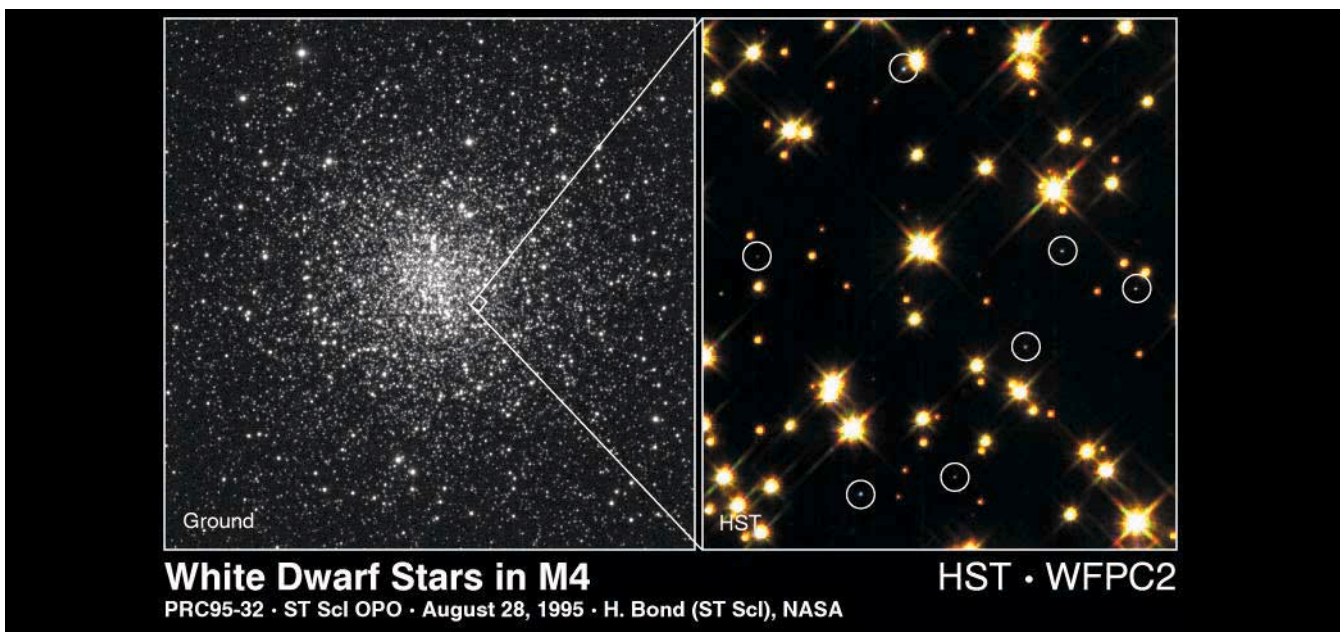
글 | 임성빈 _ 명지대학교 교수 sbimm@mju.ac.kr

별의 겉껍질을 만들며 다시 시작된 핵융합으로 만들어지는 헬륨 핵이 중심핵에 자꾸 쌓이면 중심핵의 밀도가 높아져 축퇴된 중심핵의 가장 안쪽에서 작게나마 헬륨 핵융합이 일어나게 된다. 헬륨 핵융합으로 헬륨 핵 두개가 합성되면 양성자와 중성자가 각각 네 개씩인 베릴륨이 만들어져야 되겠지만 이 핵은 너무 불안정하여 만들어진지 100조분의 1초 안에 해체되어 버린다. 그래서 헬륨 핵이 안정적으로 핵 합성을 하는 유일한 방법은 헬륨 핵 세 개

가 거의 동시에 만나 양성자와 중성자가 각각 여섯 개씩인 탄소 핵을 만드는 것이다. 이 때에도 역시 탄소 핵의 질량은 헬륨 핵 세 개의 질량보다 약간 작고 이렇게 줄어드는 질량이 열에너지로 바뀌는 것이다. 이것을 삼중알파반응이라고 한다.

수평가지별, 점근선가지별

축퇴된 헬륨으로 이루어진 중심핵에서는 처음에는 핵융합이 조



M4에 있는 백색왜성들(www.stsci.edu)

금씩 퍼져나가지만 어느 정도 이상 확산이 되면 순식간에 전체로 확산되면서 중심핵 내부의 온도는 수 시간 내로 수억°K까지 올라가며 폭발을 일으킨다. 이런 폭발을 헬륨 섬광이라고 하는데 그러나 이 폭발은 별을 산산이 흩어버릴 정도의 에너지를 방출하지는 못하기 때문에 별은 온전히 유지된다. 다시 말해서 헬륨 섬광은 중심핵 밖으로까지는 나오지 못하고 중심핵 안에서 전자들이 축퇴된 상태를 풀어주는 역할을 하게 된다. 이로 인하여 중심핵은 팽창하게 되고 온도는 1억°K 정도로 떨어지며 안정된 삼중알파반응을 지속하여 탄소 핵을 만들어내게 된다. 그리고 그 주위를 비활성 헬륨 층이 둘러싸게 되며 수소핵융합이 진행되는 층과 비활성 수소 층은 점점 더 얇어지게 되는데 이 단계에 이른 별을 수평가지별이라고 한다. 적색거성에 비해 표면온도는 훨씬 높지만 밝기는 비슷해서 이런 이름이 붙게 되었다. 태양과 비슷한 질량을 가졌던 별은 수평가지별로서도 약 1억년 정도를 지내게 된다.

중심핵에서 만들어진 탄소에 인하여 핵 중심부의 압력이 높아지면 중심핵은 또 다시 뜨거워지면서 이번에는 탄소 핵과 헬륨 핵이 융합하여 양성자와 중성자가 각각 여덟 개씩인 산소 핵을 만드는 탄소 핵융합을 일으키게 된다. 그러나 중심부의 헬륨이 고갈될 무렵이 되면 삼중알파반응과 탄소 핵융합이 점점 약해지다가 결국은 중단되며 다시 한 번 평형이 깨어지게 된다. 따라서 탄소와 산소로 이루어진 중심핵이 중력붕괴를 일으키면서 탄소와 산소는 축퇴상태로 들어가게 된다.

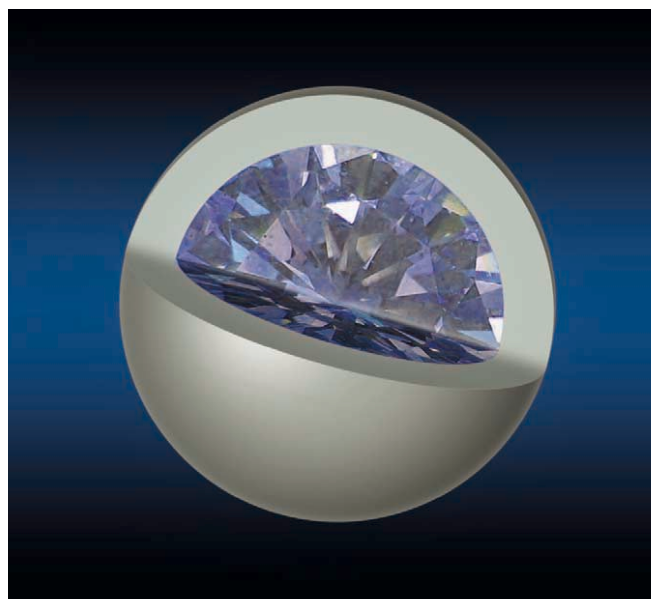
중심핵이 축퇴상태가 되면 이제는 압력이 증가하면서 온도가 상승해도 부피가 증가하지 않기 때문에 온도가 낮아지는 것이 아니라 더 높아져서 중심핵에 쌓이게 된다. 그러다가 중심핵을 둘러싸고 있던 비활성 헬륨 층이 갑자기 수축한 중심핵의 표면으로 무너져 내리면서 압축되고 다시 삼중알파반응을 일으켜 탄소가 만들어지면서 열로 인하여 헬륨 층의 바깥 부분이 팽창하게 된다. 이 과정은 주계열별에서 수소가 고갈되어 갈 때와 매우 유사한데 이 단계에 이른 별을 점근선가지별이라고 하며, 수평가지별에 비해 표면온도는 낮아지지만 표면적이 훨씬 더 크기 때문에 더 밝아진다. 태양과 비슷한 질량을 가졌던 별은 점근선가지별로서는 약 1천만 년 정도를 지내게 된다.

맥동변광성, 행성성운

적색거성이 된 이후에는 그 단계에 따라 중심핵에서 덩그러진 플라즈마가스가 대류를 통하여 겉껍질에 도달하면 겉껍질은 바깥쪽



세페이드변광성을 가진 은하 중 가장 먼 NGC 4603(www.stsci.edu)



다이아몬드 별

으로 약간 팽창을 하면서 밝아지고 이들이 식으면 다시 안쪽으로 수축을 하면서 어두워지기를 반복하게 되는데 이러한 별을 맥동변광성이라고 한다. 여기에는 1일 이하의 주기로 변광하는 거문고자리 RR형 변광성 또는 성단형 변광성, 수일에서 100일 이내의 주기를 가지는 세페이드변광성, 100일 이상의 주기를 보이는 장주기 변광성 외에 주기가 불규칙하게 바뀌는 변광성도 있다. 세페이드변광성은 세페우스자리에서 처음 발견되어 이런 이름이 붙었으며, 그 별이 속한 은하까지의 거리를 측정하는데 이용된다. 우주에는 또 쌍둥이별이 매우 많은데 이들이 서로 공전을 하면서 일식이나 월식과 마찬가지로 한 별에 가려서 다른 별의 밝기가 달라지는 것을 식변광성이라고 한다.

열로 인하여 팽창하던 헬륨층은 팽창함에 따라 온도가 낮아지

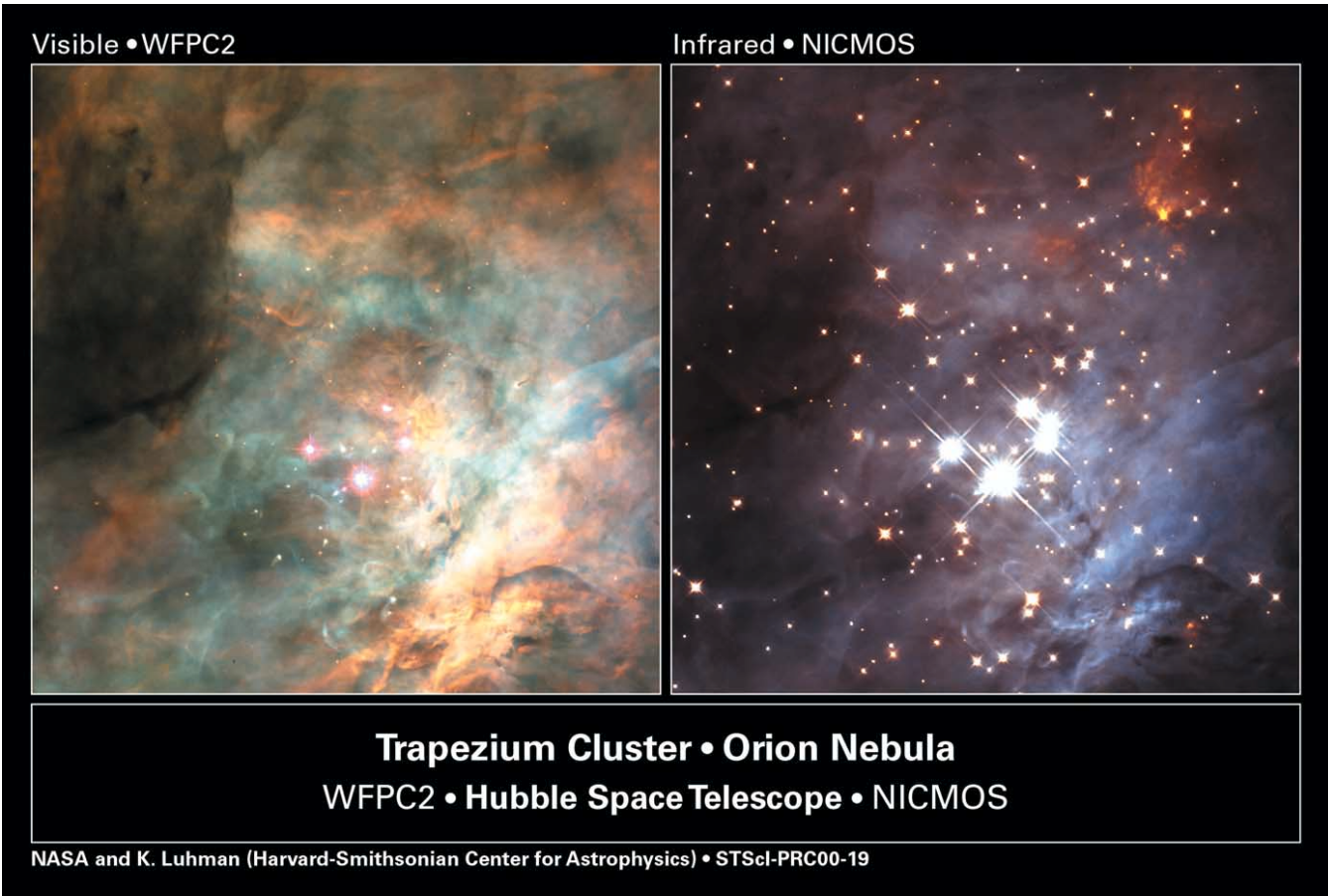
고, 온도가 낮아지면 수축을 일으켜 다시 온도가 올라가는 과정을 반복하면서 중심핵으로부터 완전히 분리되어 버린다. 중심핵으로부터 분리된 헬륨층은 빠른 속도로 팽창하여 헬륨겉껍질이 되고 수소 핵융합을 계속하고 있던 별의 겉껍질을 더 바깥쪽으로 밀어내면서 행성성운(행성모양의 성운)을 형성한다. 이런 과정에서 수소 핵융합에 의해 겉껍질에서 합성된 헬륨이 헬륨겉껍질로 떨어지게 되는데 이렇게 모인 헬륨의 양이 충분하면 폭발이 발생하게 된다. 이것을 헬륨 껍질 섬광이라고 하는데, 이 섬광 때문에 갑자기 온도가 증가하면서 팽창과 수축을 반복하는 열 맥동이 발생하게 된다.

그리고 중심핵과 겉껍질 사이에는 대류현상이 발생하여 여기서 만들어지는 탄소는 중심부에 남아있는 별로 떨어져 질량을 증가시키므로써 별을 더 밝게 만드는 역할을 하게 되며, 또 중심핵에서 생성된 탄소먼지들은 핵의 바깥쪽으로 배출되면서 겉껍질에서 이는 별 바람에 실려 우주공간에 흩어지게 된다. 그러다가 시간이 지남에 따라 중심부의 껍에 남아있던 수소마저 다 소진되면 대류현상이

중단되면서 행성성운은 중심부에 남은 별과는 완전히 분리된 상태가 된다. 이와 같은 행성성운으로 인해 별이 잃는 질량은 태양 정도의 질량을 가졌던 별의 경우 전체의 약 40% 정도가 되며 약 1만년 내에 모두 우주공간으로 흩어지게 된다.

백색왜성, 다이아몬드별, 흑색왜성

한편 껍에 남아있던 수소마저 다 소비하고 모든 핵융합이 중단되어 탄소와 산소만 남은 중심부의 별은 중력으로 인하여 크기가 줄어들게 된다. 그런데 보통의 별은 질량이 클수록 중력이 크지만 핵융합반응도 마찬가지로 격렬하게 일어나 많은 열을 발생시키기 때문에 평형을 이룰 수 있으나 이 별은 핵융합반응이 일어나지 않기 때문에 중력과 축퇴압이 균형을 이룰 때까지 줄어들며 질량이 클수록 중력도 커서 부피는 더욱 작아지게 된다. 이러한 단계가 된 별은 초기에는 잔류 열과 함께 수축 때 발생하는 열로 인하여 빛을 발하기 때문에 백색왜성(작은 별)이라고 하는데 태양과 비슷한 질

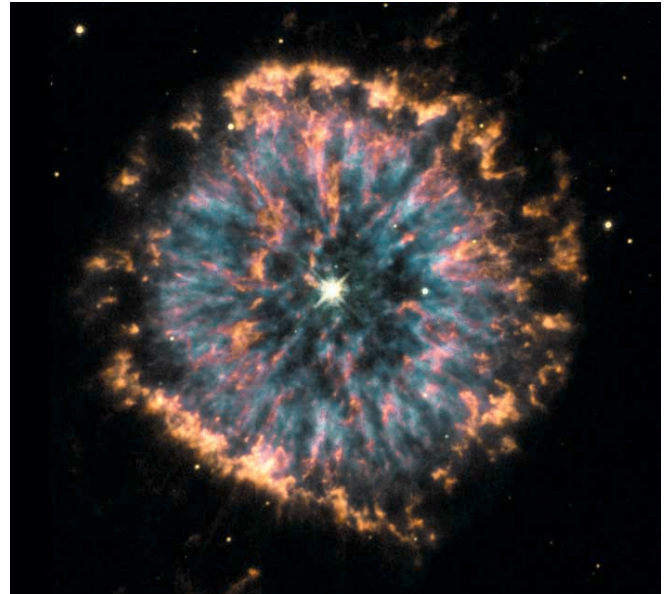


오리온 성운에 있는 갈색왜성들과 아기별들(www.stsci.edu)



Artist's View of Planet Around Star Gliese 876
NASA and G. Bacon (STScI) • STScI-PRC02-27

적색왜성(www.stsci.edu)



행성성운 NGC 6751(www.stsci.edu)

량을 가졌던 별의 경우 수십만 분의 일로 줄어들어 지구만한 크기가 된다.

이와 같이 탄소가 주성분인 백색왜성은 엄청난 압력으로 인하여 탄소의 대부분이 다이아몬드로 바뀌기 때문에 다이아몬드별이라고도 한다. 그러나 백색왜성은 초기에는 행성성운에 가려 보이지 않다가 행성성운이 팽창하면서 얇어지면 서서히 모습을 드러내게 되며 행성성운이 우주공간으로 흩어져버리면 홀로 남게 된다. 백색왜성은 시간이 지남에 따라 식어가면서 노란빛을 방출하다가 붉은색으로 바뀌게 되며 더 식게 되면 아무런 빛도 발하지 않게 되는데 이 단계를 흑색왜성이라고 한다. 흑색왜성은 고체 상태로서 우주에 남게 된다.

적색왜성, 갈색왜성

지금까지는 질량이 태양의 1.4배 이하인 별들이 일반적으로 겪게 되는 일생이지만 이러한 일생을 겪으려면 아기별의 질량이 적어도 태양의 25% 이상은 되어야 한다. 아기별의 질량이 태양의 25%보다 작지만 8%보다는 클 때에는 수소 핵이 헬륨 핵으로 합성되는 핵융합이 어느 정도 활발하게 일어나며 표면온도도 4천°K까지 이르는 하지만 그 다음 단계인 적색거성으로까지 진화하지는 못하는데 이런 별들은 크기가 작고 온도가 낮아 붉은색을 띠기 때문에 적색왜성이라고 부른다. 적색왜성은 서서히 연료를 소모하면서 수

백억년 내지 수천억년을 살 수가 있다. 적색왜성은 주계열별에 포함되기는 하지만 가장 막내라고 볼 수 있으며 헬륨으로 된 백색왜성이 되었다가 흑색왜성으로 일생을 마치게 된다.

그리고 어린별의 질량이 태양의 8%보다 작지만 1%보다는 클 때에는 약간의 핵융합이 일어나며 표면온도는 2천500°K 정도가 되어 초기에는 중력수축이 지연되고 어느 정도 빛을 발산하게 되는데 이런 별들을 갈색왜성이라고 부른다. 갈색왜성의 중심부에서는 핵융합 대신에 급격한 수소들의 들끓음, 즉 대류현상이 발생하고 이로 인하여 자전운동을 하게 되며 자기장도 발생시킨다. 갈색왜성은 빛을 발산하지 수백만 년이 지나면 다시 서서히 중력수축을 일으키게 되고 그로 인하여 열을 발산하며 식어가게 되는데 그렇게 해서 행성과 같은 별이 된다. 만일 처음에 모인 질량이 태양의 1%에도 못 미치면 그것은 스스로 빛을 내는 별로 진화하지 못하고 행성이 되어 버린다. ④



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.