

## 섬세한 세경쌤의 한 장에 개념노트

학번 : \_\_\_\_\_ 이름 : \_\_\_\_\_

<b>PART 주제</b>	<b>PART 14. 별의 진화와 에너지원</b>
<b>PART 목표</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 질량에 따른 별의 진화 과정을 비교할 수 있다.</li> <li>- 질량에 따른 별의 종말의 차이를 설명할 수 있다.</li> <li>- 주계열성의 에너지를 설명하고, 질량이 다른 주계열성의 내부 구조를 비교할 수 있다.</li> </ul>

<b>소단원 주제</b>	<b>02. 별의 탄생과 진화(2)</b>
<b>수업 학습 목표</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 질량이 태양 정도인 별의 진화 과정을 핵융합 반응과 내부 힘의 관계를 통해 설명할 수 있다.</li> <li>- 질량이 태양보다 무거운 별의 진화 과정을 초거성과 초신성 폭발을 통해 설명할 수 있다.</li> <li>- 별의 질량에 따라 달라지는 별의 종말 단계에 대해 구분 지어 설명할 수 있다.</li> </ul>

### 수업 목차

PART 14. 별의 진화와 에너지원

02. 별의 탄생과 진화(2)

- (1) 주계열성의 진화( $M_{\star} \approx M_{\odot}$ )
- (2) 주계열성의 진화( $M_{\star} \gg M_{\odot}$ )
- (3) 별의 진화 최종 정리

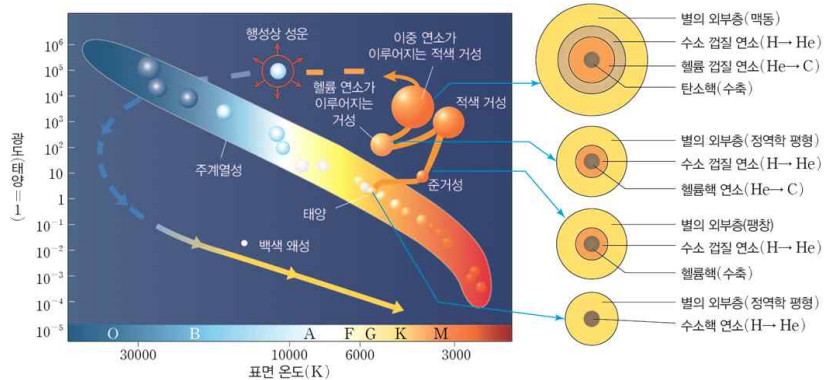
### 오늘의 핵심 개념

〈별의 탄생과 진화(2)〉

# 섬세한 세경쟁의 한 장에 개념노트

## 주계열성의 진화( $M_* \approx M_\odot$ )

**주계열성의 진화( $M_* \approx M_\odot$ )** : 주계열성 → 적색 거성 → 행성상 성운 → 백색 왜성

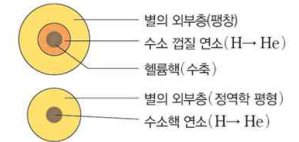


<1>

## 주계열성의 진화( $M_* \approx M_\odot$ )

### 주계열성 단계의 종료

- 중심핵에서 ( )가 모두 소진되면 주계열성 단계 종료
- 힘의 관계 : ( 기체 압력    중력 ) → ( ) **중심핵 수축**



### 적색 거성의 탄생(수소 껍질 연소 단계)

- 주계열 이후 헬륨핵은 중력 수축에 따라 온도 ( )
- 중심핵 주변 수소 껍질도 열에너지 전달에 따라 온도 ( )
- 수소 껍질의 온도가 1,000만K에 도달하면 **수소 껍질에서 ( ) 개시**
- 수소 껍질 연소로 별 외곽층에 에너지 전달 → **별의 외곽층이 급격히 ( )**
- 따라서 별의 광도는 ( )하고, 표면 온도는 ( )하여 **적색 거성** 탄생

<2>

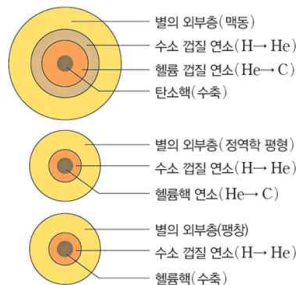
## 주계열성의 진화( $M_* \approx M_\odot$ )

### 적색 거성의 진화(헬륨핵 연소 단계)

- 헬륨 중심핵의 온도가 중력 수축에 따라 ( )K에 도달
- 중심핵에서 **헬륨 핵융합 반응** 개시

### 적색 거성의 진화(탄소핵 수축 단계)

- 별칭 : **Double Shell Burning** 단계
- 중심핵에서 ( )이 모두 소진되면 헬륨핵 연소 단계 종료
- 힘의 관계 : ( 기체 압력    중력 ) → ( ) **중심핵 수축**
- 중심핵 주변 헬륨 껍질도 열에너지 전달에 따라 온도 ( )
- 헬륨 껍질의 온도가 1억K에 도달하면 **헬륨 껍질에서 ( ) 개시**
- 헬륨 껍질과 수소 껍질에서 동시에 핵융합 반응 발생 (**Double Shell Burning**)
- 탄소핵은 계속 수축하며 열에너지를 쌓아 나가지만, 탄소 핵융합 반응을 할 온도에는 도달 X
- 따라서  $M_* \approx M_\odot$ 의 질량을 갖는 주계열성은 중심핵에서 **탄소(C)까지만 핵융합 가능**



<3>

## 주계열성의 진화( $M_* \approx M_\odot$ )

### 행성상 성운

- **헬륨 껍질 연소의 특성에 따라 별의 외곽층이 빠르게 우주 공간으로 방출되어 중심부에는 탄소핵, 주변에는 얇은 성운**이 감싼 듯한 모양을 보이는 천체

### ※ 헬륨 껍질 연소의 특성

- 헬륨의 핵융합 반응( $3\alpha$  과정)은 **온도 변화에 매우 민감**
- [별의 팽창] → [온도 감소] → [핵융합 반응 중지] → [별의 수축]
- [온도 증가] → [핵융합 반응 개시] → [별의 팽창] → ... 반복

### 백색 왜성

- 별의 외곽층이 모두 우주 공간으로 방출되어 **중심부의 탄소핵만** 존재하는 천체 → **계속된 중력 수축** → 천체의 밀도 ( )
- 탄소 핵융합 반응을 하지 못하는 주계열성의 마지막 진화 단계



<4>

## 섬세한 세경쟁의 한 장에 개념노트

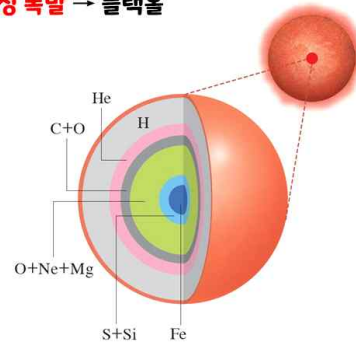
### 주계열성의 진화( $M_* \gg M_\odot$ )

#### 주계열성의 진화( $M_* \gg M_\odot$ )

- 주계열성 질량( $8 M_\odot$  이상) : 주계열성 → 초거성 → 초신성 폭발 → 중성자별
- 주계열성 질량( $25 M_\odot$  이상) : 주계열성 → 초거성 → 초신성 폭발 → 블랙홀

#### 질량이 크다 = 연료가 충분하다

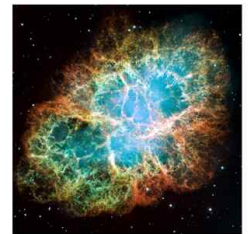
- 질량이 큰 주계열성은 중심핵의 온도가 계속해서 상승하며 <초거성 단계>로 진입
- 탄소 핵융합 반응을 넘어 그 이상의 원소를 생성
- 이로 인해 별은 양파 껍질 모양의 내부 구조를 가지게 되며 중심부로 갈수록 무거운 원소가 쌓여가지만, 핵융합 반응만으로는 철(Fe)까지만 생성 가능



### 주계열성의 진화( $M_* \gg M_\odot$ )

#### 초신성 폭발

- 핵융합 반응만으로는 철(Fe)까지만 생성 가능
- 철(Fe) 중심핵은 중력 수축에 따라 중심핵 밀도 점점 (상승 / 하강)
- 중심핵의 밀도가 너무 높아져 물리적 한계점에 도달하면 중심핵은 끝내 폭발
- 이때 엄청난 에너지가 생성되며 광도가 매우 높아지고, 철(Fe)보다 무거운 원소 합성 및 방출
- 폭발에 따른 충격파가 성간 물질을 압축하여 별 탄생을 촉진하기도 함



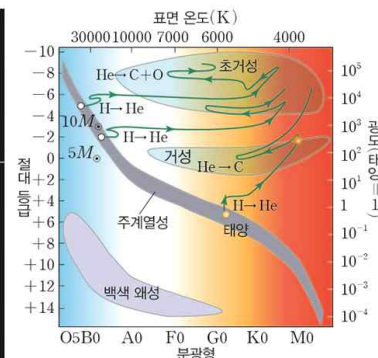
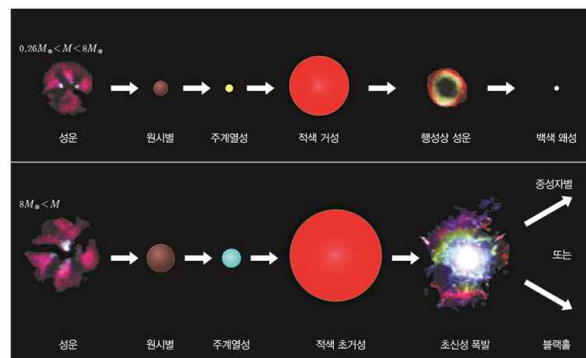
#### 중심핵의 질량에 따른 별의 최후

- 중심핵 질량 :  $1.4 M_\odot$  미만 → 백색 왜성
- 중심핵 질량 :  $1.4 M_\odot \sim 3 M_\odot$  → 중성자별
- 중심핵 질량 :  $3 M_\odot$  초과 → 블랙홀

<5>

<6>

### 별의 진화 최종 정리



<7>

Q & A

<8>