



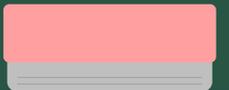
**PART 14. 별의 진화와 에너지원**

**03. 별의 에너지원과 내부 구조**

## PART 14. 별의 진화와 에너지원

### 03. 별의 에너지원과 내부 구조

- (1) 중력 수축 에너지
- (2) 수소 핵융합 반응
- (3) 헬륨 핵융합 반응
- (4) 질량에 따른 주계열성의 내부 구조



## PART 목표 [PART 14. 별의 진화와 에너지원]

- 질량에 따른 별의 진화 과정을 비교할 수 있다.
- 질량에 따른 별의 종말의 차이를 설명할 수 있다.
- 주계열성의 에너지원을 설명하고, 질량이 다른 주계열성의 내부 구조를 비교할 수 있다.

## 수업 학습 목표 [03. 별의 에너지원과 내부 구조]

- 중력 수축 에너지를 이해하고, 이를 통해 태양의 수명을 설명할 수 있다.
- 수소 핵융합 반응을 p-p 반응과 CNO 순환 반응으로 구분하고 각각의 특징을 설명할 수 있다.
- 헬륨 핵융합 반응의 대략적인 과정을 설명할 수 있다.
- 질량에 따른 주계열성의 내부 열 전달 구조를 비교할 수 있다.

# 중력 수축 에너지

## 중력 수축에 따른 에너지 생성

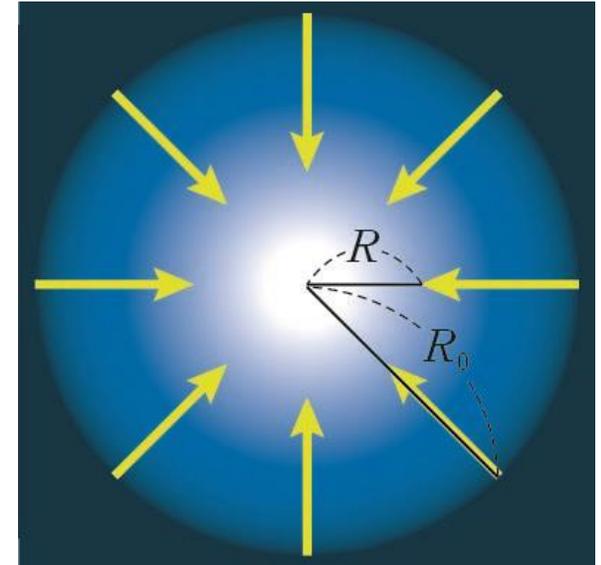
- 중력의 영향으로 천체의 크기가 줄어드는 과정에서 천체가 지닌 **위치 에너지**가 **복사 에너지**로 전환
- 이 과정에서  $\Delta E = \frac{1}{2} \frac{GM^2}{R}$  만큼의 복사 에너지 생성

## 중력 수축의 역할

- 중력 수축이 일어나는 영역의 온도는 점차 (상승 / 하강)
- 중력 수축에 따라 발생하는 복사 에너지가 외부로 방출

## 태양의 에너지원에 대한 고민

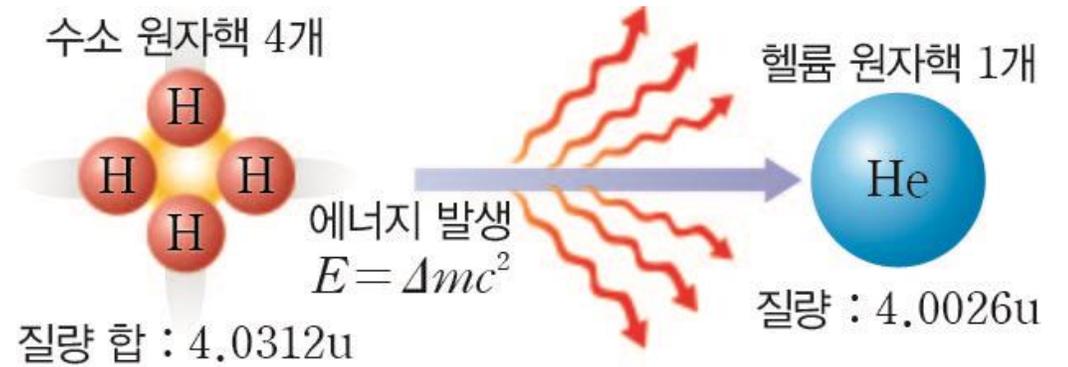
- 중력 수축 에너지로 태양의 광도를 설명하려면 수명이 1600만년 → 다른 에너지원 도입 필요



# 수소 핵융합 반응

## 수소 핵융합 반응의 기본 과정

- 4개의 수소 원자핵이 융합하여 1개의 헬륨 원자핵을 만들 때 생기는 질량 차이가 에너지로 전환
- 핵융합 온도 조건 : ( )K
- 질량 결손율 : 수소 전체 질량의 약 0.7%
- [질량-에너지 등가 원리] :  $E = \Delta mc^2$
- [질량-에너지 등가 원리]로 태양의 광도를 계산  
→ 태양의 수명은 약 100억년으로 예상



## 수소 핵융합 반응의 종류

- 중심핵의 온도와 구성 원소의 특성에 따라 2가지의 다른 과정이 존재
- ① p-p 연쇄 반응(양성자-양성자 연쇄 반응)
  - ② CNO 순환 반응(탄소-질소-산소 순환 반응)

# 수소 핵융합 반응

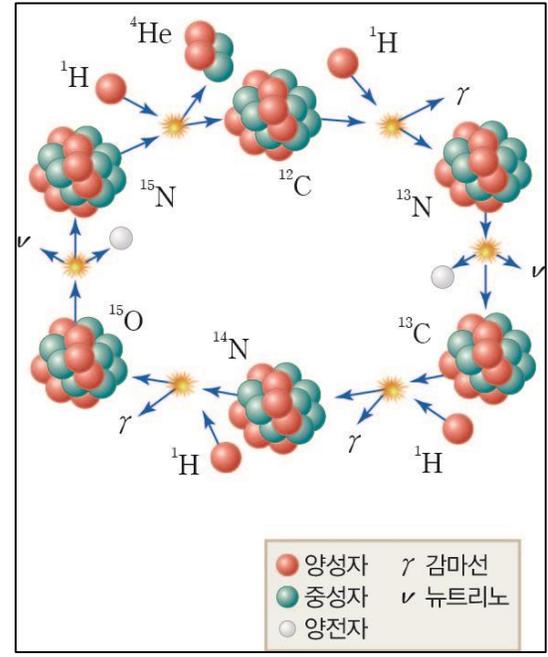
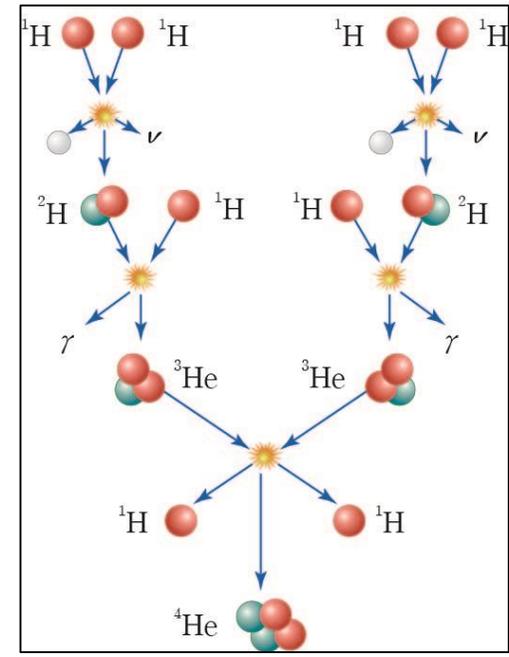
## p-p 연쇄 반응

- 양성자 4개가 융합하여 헬륨 원자핵을 생성하는 반응

## CNO 순환 반응

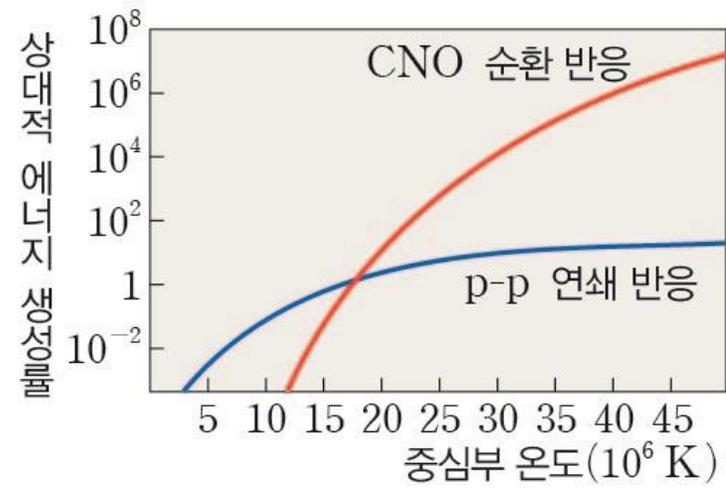
- 탄소 원자핵과 수소 원자핵의 충돌을 시작으로 질소, 산소 원자핵을 거쳐 헬륨 원자핵을 생성하는 반응

- 별이 ( , ) 원자를 갖고 있어야 반응 가능



## 수소 핵융합 반응의 에너지 생성률

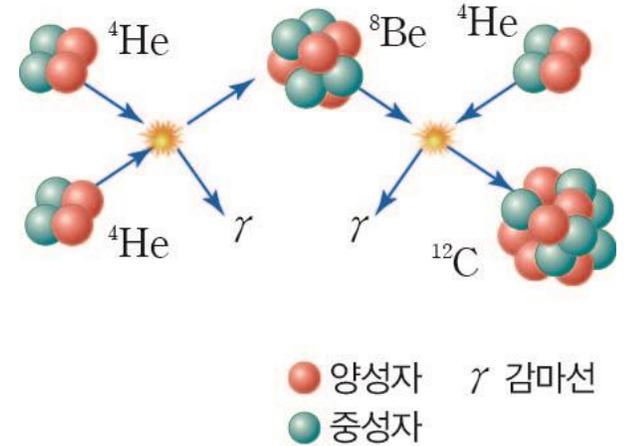
- 전환점 : p-p 연쇄 반응보다 CNO 순환 반응이 우세해지는 온도
- 전환점의 온도 : ( )K
- 전환점의 주계열성 질량 : ( ) $M_{\odot}$
- 현재 태양의 중심부 온도 : ( )K → 우세한 반응 =



# 헬륨 핵융합 반응

## 기본 과정

- 헬륨 원자핵 3개가 융합하여 1개의 탄소 원자핵을 생성하는 반응
- 핵융합 온도 조건 : (      )K
- 이 과정에서도 역시 질량 결손에 따라 복사 에너지 생성



## 핵융합 반응 Quiz

- 1) 수소 핵융합 반응은 (                      )과 (                      )으로 구분된다.
- 2) 수소 핵융합 반응 에너지 생성률 전환점의 온도 조건은 (                      )K 이다.
- 3) 태양은 주로 (                      )을 이용하여 에너지를 생성한다.
- 4) 태양에서는 CNO 순환 반응이 일어나지 않는다. ( O / X )
- 5) 태양은 특정 진화 단계에서 헬륨 핵융합 반응을 개시할 수 있다. ( O / X )

# 질량에 따른 주계열성의 내부 구조

## 열에너지의 전달 방식의 종류

### ① 전도(Conduction)

- 물체간 접촉으로 열에너지를 전달하는 방법

### ② 대류(Convection)

- 기체나 액체 등 열에너지를 지닌 매질이 이동하여 열에너지를 전달하는 방법
- 주로 불투명도가 **높고**, 온도 경도가 ( 큰 / 작은 ) 상황에서 이용

### ③ 복사(Radiation)

- 물체 자체에서 방출된 열에너지가 직접 전달되는 방법
- 주로 불투명도가 **낮고**, 온도 경도가 ( 큰 / 작은 ) 상황에서 이용

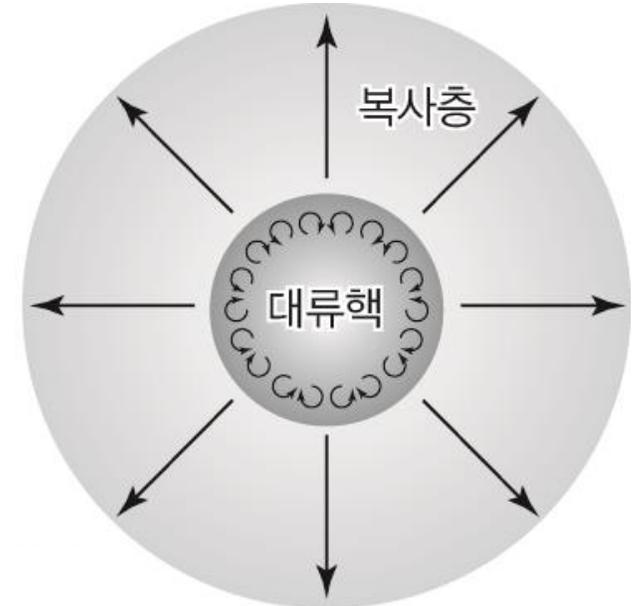
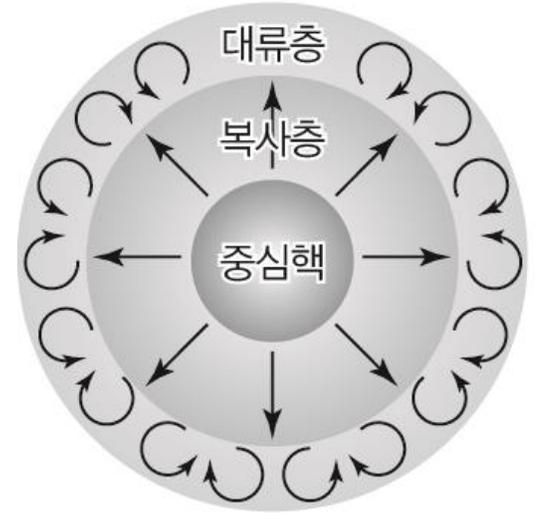
# 질량에 따른 주계열성의 내부 구조

## $[M_* < 2M_{\odot}]$ 조건의 주계열성

- 중심핵에서 생성되는 에너지량  
→ 상대적으로 ( **많음 / 적음** )
- 중심핵 주변의 온도 경도 (   )
- 중심핵 → (   ) → (   )

## $[M_* > 2M_{\odot}]$ 조건의 주계열성

- 중심핵에서 생성되는 에너지량  
→ 상대적으로 ( **많음 / 적음** )
- 중심핵 주변의 온도 경도 (   )
- 중심핵 → (   ) → (   )



## PART 목표 [PART 14. 별의 진화와 에너지원]

- 질량에 따른 별의 진화 과정을 비교할 수 있다.
- 질량에 따른 별의 종말의 차이를 설명할 수 있다.
- 주계열성의 에너지원을 설명하고, 질량이 다른 주계열성의 내부 구조를 비교할 수 있다.

## 수업 학습 목표 [03. 별의 에너지원과 내부 구조]

- 중력 수축 에너지를 이해하고, 이를 통해 태양의 수명을 설명할 수 있다.
- 수소 핵융합 반응을 p-p 반응과 CNO 순환 반응으로 구분하고 각각의 특징을 설명할 수 있다.
- 헬륨 핵융합 반응의 대략적인 과정을 설명할 수 있다.
- 질량에 따른 주계열성의 내부 열 전달 구조를 비교할 수 있다.



# Q & A

