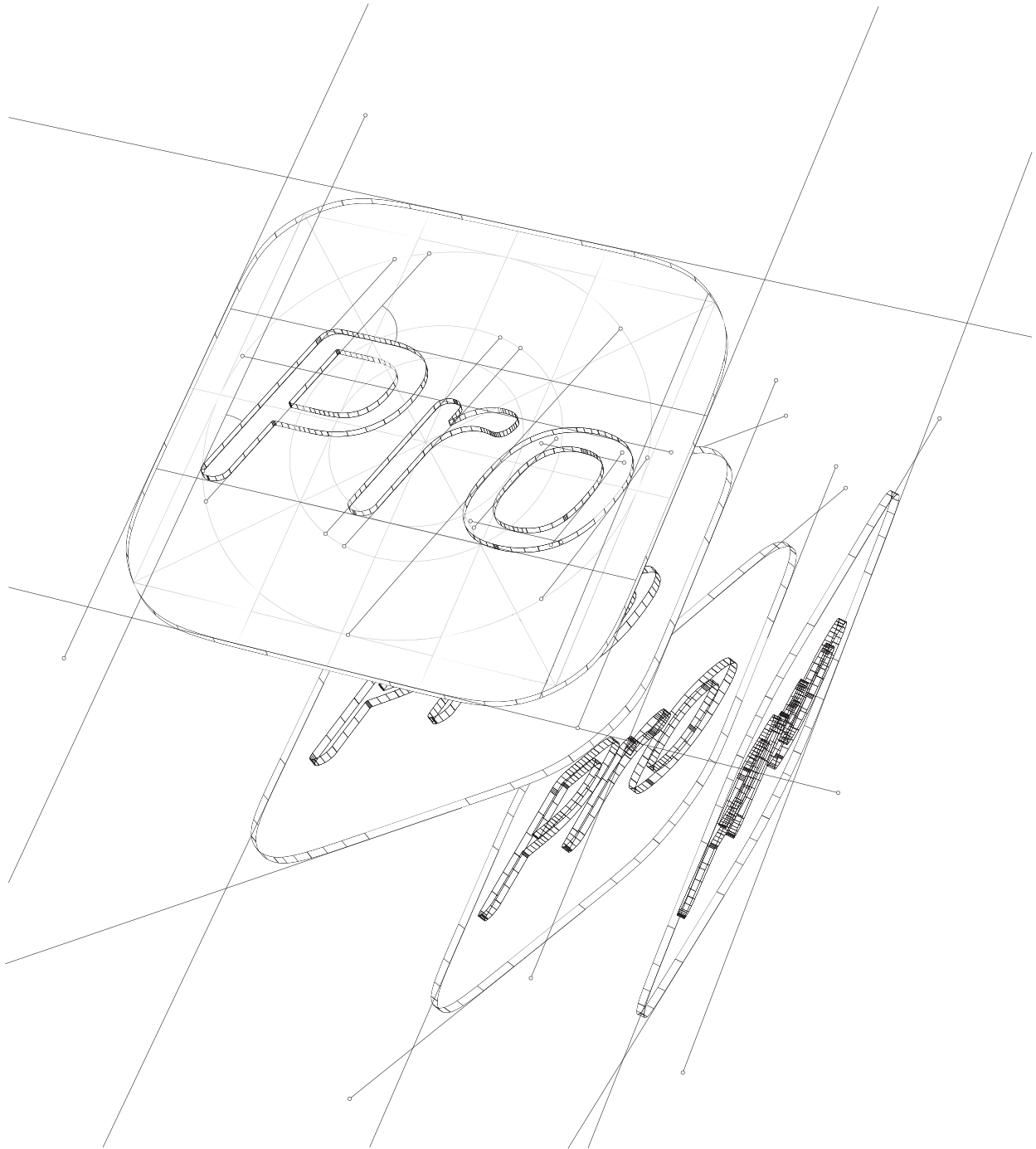


On The Field series 1 간단 해설

2025.07.22.



A. On The Field S1 #9 [문제] **Pro**

9. 다음은 외부 은하 A, B, C에 대한 설명이다. 세 은하는 허블 법칙을 만족하고, 적색 편이량은 $\left(\frac{\text{관측 파장} - \text{기준 파장}}{\text{기준 파장}}\right)$ 이다.

- A와 B 사이의 거리는 24Mpc이다.
- A에서 관측할 때 B와 C의 시선 방향은 90° 를 이룬다.
- B 안에 포함된 Ia형 초신성의 겉보기 밝기 최댓값은 A에서 관측할 때가 C에서 관측할 때의 5배이다.
- C에서 측정한 A의 후퇴 속도는 3456km/s이다.

이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 빛의 속도는 $3 \times 10^5 \text{ km/s}$ 이다.) [3점]

<보 기>

- ㄱ. 허블 상수는 72 km/s/Mpc 이다.
- ㄴ. B에서 측정한 C의 후퇴 속도는 1728 km/s 이다.
- ㄷ. B에서 측정한 A의 적색 편이량은 $5.76 \times 10^{-3} \text{ km/s}$ 이다.

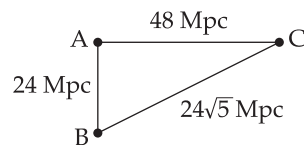
- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

A. On The Field S1 #9 [문제] **Pro**

Ia형 초신성은 절대 밝기의 최댓값이 모두 서로 같으므로, 겉보기 밝기의 최댓값은 은하 사이의 거리에 따라 달라진다.

은하의 겉보기 밝기는 거리의 제곱에 반비례하므로 세 번째 조건에 의해 B와 C 사이의 거리는 B와 A 사이의 거리의 $\sqrt{5}$ 임을 알 수 있다.

첫 번째, 두 번째, 세 번째 조건에 의해 A, B, C의 배치는 다음과 같음을 알 수 있다.



네 번째 조건에 따라 허블 상수를 구할 수 있다.

$$3456 = H \times 48 \Rightarrow H = 72$$

ㄱ. 허블 상수는 72 km/s/Mpc 이다.(○)

ㄴ. B에서 측정한 C의 후퇴 속도는 $1728\sqrt{5} \text{ km/s}$ 이다.(×)

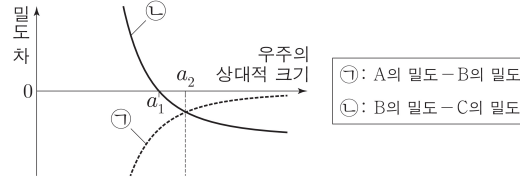
ㄷ. A와 B 사이의 거리는 48 Mpc의 절반인 24 Mpc이므로 B에서 측정한 A의 후퇴 속도는 1728 km/s 이다.

$$1728 = (\text{적색 편이량}) \times (\text{빛의 속도}) \Rightarrow \text{적색 편이량} = 5.76 \times 10^{-3}$$

따라서 적색 편이량은 5.76×10^{-3} 이다.(○)

B. On The Field S1 #10 [문제] Pro

10. 그림은 표준 우주 모형에 따라 우주가 팽창하는 동안 물리량 ㉠과 ㉡의 변화를 나타낸 것이다. A, B, C는 보통 물질, 암흑 물질, 암흑 에너지를 순서 없이 나타낸 것이다. 우주 팽창 속도는 우주의 상대적 크기가 a_2 일 때가 a_1 일 때보다 빠르다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보 기>
- ㄱ. A는 항성 질량의 대부분을 차지한다.
 - ㄴ. 우주가 팽창하는 동안 $\frac{C의 총량 \times ㉡}{C의 밀도}$ 은 일정하다.
 - ㄷ. 우주 팽창 속도는 우주의 상대적 크기가 a_2 일 때가 현재보다 빠르다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

B. On The Field S1 #10 [해설] Pro

우주의 상대적 크기가 a_1 보다 작을 때, 우주 구성 요소의 상대적 비율의 대소는 다음과 같다.

$$B > A, B > C$$

우주의 상대적 크기가 a_2 보다 클 때, 우주 구성 요소의 상대적 비율의 대소는 다음과 같다.

$$C > B > A$$

보통 물질의 상대적 비율은 1등이 된 적이 없으며 앞으로도 영원히 1등이 될 수 없으므로 A는 보통 물질이다. 과거에는 암흑 물질의 상대적 비율이, 특정 시점 이후에는 암흑 에너지의 상대적 비율이 1등이므로 B는 암흑 물질, C는 암흑 에너지이다.

ㄱ. A(보통 물질)은 항성 질량의 대부분을 차지한다.(○)

ㄴ. 우주가 팽창함에 따라 암흑 에너지의 총량은 우주의 부피에 비례하여 증가하며, 암흑 에너지의 밀도는 일정하게 유지된다.

또한, 우주가 팽창함에 따라 물질의 밀도는 우주의 부피에 반비례하여 감소한다. 따라서 $\frac{C의 총량 \times ㉠}{C의 밀도}$ 은 일정하다.(x)

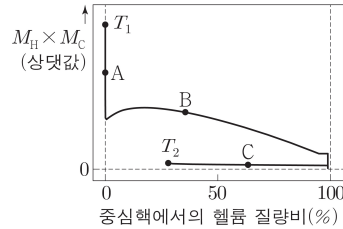
ㄷ. 표준 우주 모형에서는 우주가 감속 팽창하다가 특정 시점 이후부터는 가속 팽창한다고 알려져 있다.

어느 두 시점이 모두 감속 팽창이라면, 이전 시점의 팽창 속도가 이후 시점의 팽창 속도보다 빨라야 한다. 문제의 조건에서는 우주의 상대적 크기가 a_2 일 때가 a_1 일 때보다 빠르다고 되어 있으므로, 우주의 상대적 크기가 a_2 일 때는 우주가 가속 팽창을 하고 있음을 알 수 있다. 단, 우주의 상대적 크기가 a_1 일 때 우주가 감속 팽창인지 가속 팽창인지는 알 수 없다. 단순히 물질 총량과 에너지 총량의 대소로 우주 팽창의 감·가속 여부를 알 수 있는 것이 아니며, 이에 관한 자세한 내용을 지구과학 I에서 다루지 않는다.

한편, 우주의 상대적 크기가 a_2 일 때, ㉠과 ㉡의 값이 서로 같다. 이는 현재보다 과거임을 의미한다. 어느 두 시점이 모두 가속 팽창이라면, 이전 시점의 팽창 속도가 이후 시점의 팽창 속도보다 느려야 한다. 현재 우주는 가속 팽창을 하고 있기 때문에 우주 팽창 속도는 우주의 상대적 크기가 a_2 일 때가 현재보다 느리다.(x)

C. On The Field S1 #13 [문제] **Pro**

13. 그림은 태양 질량의 별이 주계열 단계 시작 직후부터 t_1 까지 진화하는 동안 별 전체에서의 수소 질량비(M_H)와 탄소 질량비(M_C)를 곱한 값과 중심핵에서의 헬륨 질량비 변화를 나타낸 것이다. A, B, C는 이 별이 진화하는 동안의 서로 다른 시기이고, t_1 은 T_1 과 T_2 중 하나이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

—<보 기>—

- ㄱ. 별 전체에서 수소가 차지하는 질량은 A가 B보다 크다.
 ㄴ. A일 때 별 내부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어난다.
 ㄷ. 중심핵 온도는 B가 C보다 높다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

C. On The Field S1 #13 [해설] **Pro**

주계열 단계 시작 직후 중심핵에서 헬륨이 차지하는 질량비는 0이 아니다. 따라서 이 그래프는 T_2 에서 시작하여 T_1 에서 마무리된다고 해석할 수 있다.(수소:헬륨이 약 3:1)

C일 때 중심핵에서 수소 핵융합 반응이 일어나 중심핵에서의 헬륨 질량비가 증가한다.

B일 때 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나 중심핵에서의 헬륨 질량비가 감소한다. 또한, B를 지나는 동안 수소 껍질 연소로 M_H 는 감소할 수 있지만, 중심핵에서 헬륨 핵융합 반응이 일어나므로 M_C 가 증가하여 전체적으로 $M_H \times M_C$ 의 값이 증가한다고 해석할 수 있다.

A일 때 중심핵에서의 헬륨 질량비가 0에 가까워 탄소핵이 형성되었음을 알 수 있다. 또한, A를 지나는 동안 $M_H \times M_C$ 의 값이 증가하는 것을 보아 헬륨 껍질 연소에 의한 탄소 생성이 계속적으로 일어나고 있음을 알 수 있다.

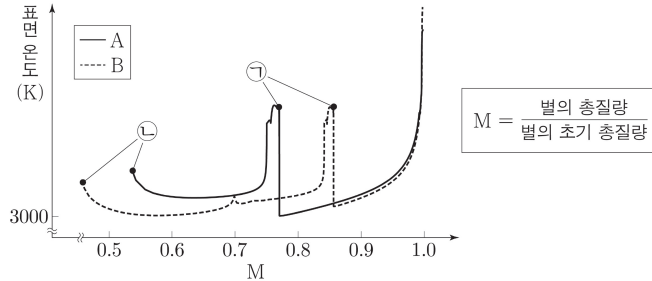
ㄱ. 별 전체에서 수소가 차지하는 질량은 별이 진화함에 따라 줄곧 감소한다.(×)

ㄴ. A일 때 별 내부에서 헬륨 핵융합 반응이 일어난다.(○)

ㄷ. 중심핵 온도는 헬륨 핵융합 반응이 일어나는 B가 수소 핵융합 반응이 일어나는 C보다 높다.(○)

E. On The Field S1 #16 [문제] **Pro**

16. 그림은 별 A와 B가 주계열 단계가 시작한 직후부터 거성 단계가 끝날 때까지의 물리량 M 과 표면 온도 변화를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 A와 B가 진화하는 동안의 서로 같은 진화 단계를 나타낸 것이고, A와 B의 초기 총질량은 각각 태양 질량의 1배와 1.2배 중 하나이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

- <보 기>
- ㄱ. A는 태양 질량의 1.2배인 별이다.
 - ㄴ. 주계열 단계 시작 직후부터 ㉠까지의 기간 동안 별 질량의 평균 감소 속도는 A가 B보다 느리다.
 - ㄷ. 주계열 단계 시작 직후부터 ㉡까지의 질량 감소량은 태양 질량의 1배인 별이 1.2배인 별보다 적다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

E. On The Field S1 #16 [해설] **Pro**

주계열성이라면 질량이 클수록 표면 온도가 높다. 따라서 $M=1$ 일 때의 표면 온도가 더 높은 B가 태양 질량의 1.2배인 별이고 A가 태양 질량의 1배인 별이다.

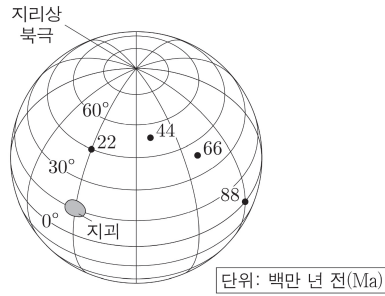
ㄱ. A는 태양 질량의 1배인 별이다.(x)

ㄴ. 주계열 단계 시작 직후부터 ㉠까지의 기간은 질량이 작은 A가 B보다 길고, 질량 감소량은 A가 B보다 적다. 따라서 해당 시기 동안 별 질량의 평균 감소 속도는 A가 B보다 느리다.(○)

ㄷ. ㉡일 때 M의 감소량은 A가 0.2보다 크고, B가 0.15 가량이다. B의 질량이 A의 1.2배임을 고려하더라도 질량 감소량은 A가 태양 질량의 0.2보다 크고, B가 태양 질량의 0.2보다 적다.(○)

F. On The Field S1 #17 [문제] Pro

17. 그림은 어느 지괴의 현재 위치와 현재 지괴의 위치를 토대로 추정된 시기별 고지자기극의 위치를 나타낸 것이다. 지괴는 동일 경도를 따라 이동하였다.



이 지괴에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 고지자기극은 고지자기 방향으로 추정된 지리상 북극이고, 지리상 북극은 변하지 않았다.) [3점]

<보 기>

- ㄱ. 22Ma부터 현재까지 지괴의 이동 방향은 남쪽이다.
 ㄴ. 66Ma ~ 22Ma동안 지괴는 시계 방향으로 회전하였다.
 ㄷ. 88Ma에 생성된 암석으로 구한 고지자기극의 위치는 22Ma일 때가 현재보다 더 북쪽에 위치한다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

F. On The Field S1 #17 [해설] Pro

- ㄱ. 22Ma의 고지자기극은 현재의 고지자기극(지리상 북극)보다 가깝다. 따라서 22Ma에서 현재로 갈수록 지괴와 고지자기극은 점점 멀어지므로 다음과 같은 관계에 의해 22Ma부터 현재까지 지괴의 이동 방향은 남쪽임을 알 수 있다.(○)

암석의 고지자기복합정보		암석에 대한 해석	지괴에 대한 해석	
고지자기 복합 정보	고지자기 복합 크기		지괴에 대한 해석 1 (위도 관점)	지괴에 대한 해석 2 (고지자기극 관점) 고지자기극=고지자기 방향으로 추정된 지리상 북극
(+)	작아진다	모든 암석이 북반구에서 생성되었고, 생성 시기가 최근일수록 위도가 낮아진다.	북반구 내에서 저위도로(남쪽으로)이동하였다.	고지자기극과 점점 멀어진다. 단, 고지자기극과의 각거리가 90° 미만이다.

- ㄴ. 현재에 가까운 22Ma부터 더 먼 과거인 66Ma까지, 고지자기극은 시계 방향으로 변하였다. 따라서 지괴는 66Ma부터 22Ma까지 시계 방향으로 회전하였음을 알 수 있다.(○)

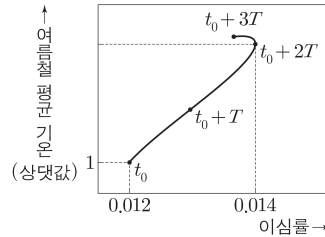
- ㄷ. 지괴가 분리되지 않았다면, 고지자기극들과 암석 사이의 상대적인 위치 관계는 동일하여야 한다.

현재 88Ma의 고지자기극과 지괴 사이의 각거리는 90°, 88Ma의 고지자기극과 22Ma의 고지자기극 사이의 각거리도 90°이다. 이는 22Ma의 고지자기극이 생성된 후라면 언제나 유지되어야 하는 관계이다.

따라서 22Ma일 때 88Ma의 고지자기극의 위치는 현재와 동일하여야 한다.(x)

G. On The Field S1 #18 [문제] Pro

18. 그림은 t_0 부터 t_0+3T 까지의 시간 동안 지구 공전 궤도 이심률과 35°N 의 여름철 평균 기온 변화를 나타낸 것이다. t_0 일 때 근일점에서 35°N 의 계절은 봄이고, 세차 운동의 주기는 26000년이다. $2T$ 와 $3T$ 중 하나는 6500년이다.



이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 공전 궤도 이심률과 세차 운동 이외의 요인은 변하지 않는다고 가정한다.) [3점]

- <보 기>
- ㄱ. 35°S 에서 기온의 연교차는 t_0+3T 가 t_0 보다 작다.
 - ㄴ. $\frac{\text{태양과 원일점 사이의 거리}}{\text{태양과 근일점 사이의 거리}}$ 는 t_0 부터 t_0+3T 까지 점차 증가한다.
 - ㄷ. t_0+6T 일 때 원일점에서 35°S 의 계절은 가을이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

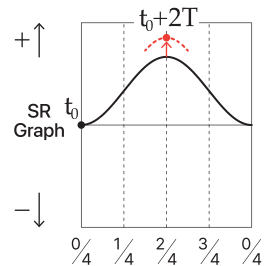
G. On The Field S1 #18 [해설] Pro

공전 궤도 이심률과 세차 운동 이외의 요인은 변하지 않는다고 가정하므로 SR Graph만으로 문제를 해석할 수 있다.

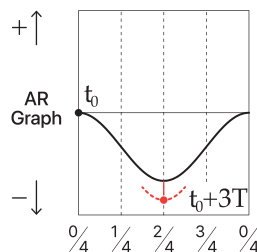
만약 $2T$ 가 6500년이라면, 오른쪽 그림과 같이 북반구 여름철 SR Graph상에서 극댓값을 가지면서 이심률도 최댓값을 갖게 된다.

따라서 다른 어떤 시점보다 SR Graph가 위 아래로 가장 많이 늘어나므로 t_0+2T 보다 여름철 평균 기온이 높은 시점은 존재할 수 없다.

그러나 이는 문제의 조건에 모순이므로 $3T$ 가 6500년이다.



- ㄱ. 이심률을 반영한 남반구 AR Graph를 나타내면 다음과 같다.(○)



- ㄴ. $\frac{\text{태양과 원일점 사이의 거리}}{\text{태양과 근일점 사이의 거리}}$ 는 이심률이 커질수록 커진다. 그러나 해당 기간 동안 이심률이 계속 증가하는 것은 아니다.(x)
- ㄷ. Season Location Finder에 따라 t_0 일 때 원일점에서의 남반구 계절인 봄을 [기준 계절]로 하자. 봄+[0+2]=가을이다.(○)

I. On The Field S1 #17 [문제] **Pro**

20. 표는 별 (가), (나), (다)의 물리량을 나타낸 것이다. (가), (나), (다) 중 주계열성은 2개, 거성은 1개이고, 태양의 절대 등급은 +4.8, 표면 온도는 5800K이다.

별	표면 온도(K)	반지름(상댓값)	지구로부터의 거리(pc)
(가)	()	4	()
(나)	2900	4	100
(다)	3200	1	()

이 자료에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

————<보 기>————

ㄱ. (나)는 주계열성이다.

ㄴ. 광도는 (나)가 (가)보다 작다.

ㄷ. (나)의 겉보기 등급은 +9.8보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

I. On The Field S1 #17 [해설] **Pro**

주계열성이라면 표면 온도와 반지름의 양의 상관관계에 있다. 따라서 (나)와 (다) 중 하나는 주계열성이 아니다.

(나)를 주계열성이라고 가정하면, (다)는 주계열성인 (나)보다 반지름은 작은데 표면 온도는 높으므로 거성이라고 볼 수 없다.(Star Classification 3에 의함.) 이는 문제의 조건에 모순이므로 (나)는 주계열성이 아니며 (다)가 주계열성이다.

ㄱ. (나)는 주계열성이 아니다.(×)

ㄴ. (가)는 주계열성이고 (나)는 거성이며 둘의 반지름은 서로 같다. Star Classification 5에서 정리한 다음과 같은 내용에 따라 표면 온도는 (나)가 (가)보다 낮다.

거성 또는 초거성이	[기준 주계열성]보다 표면 온도가 같거나 높으면	[기준 주계열성]보다 광도와 반지름도 크다.
	[기준 주계열성]보다 광도나 반지름이 같거나 작으면	[기준 주계열성]보다 표면 온도가 낮다.

반지름이 같은데 표면 온도가 낮으므로 광도도 작음을 알 수 있다.(○)

ㄷ. (다)는 주계열성인데 표면 온도가 태양보다 낮아 태양보다 반지름이 작은 별임을 알 수 있다. 이에 따라 표의 반지름 상댓값 1은 태양 반지름보다 작은 값을 의미한다.

한편, (나)의 표면 온도는 태양의 $\frac{1}{2}$ 배이고 반지름은 태양의 4배보다 작다. 여기까지의 내용을 종합해 보면 (나)는 태양보다 어두운 별임을 알 수 있다. 따라서 (나)의 절대 등급은 +4.8보다 큰 값을 갖는다.

지구로부터의 거리는 $\sqrt{\frac{\text{절대 밝기}}{\text{겉보기 밝기}}} \times 10 \text{ (pc)}$ 으로 정의된다. 이에 따라 (나)의 절대 밝기는 겉보기 밝기의 100배여야 하므로 (나)의 겉보기 등급은 절대 등급보다 5 큰 값을 갖는다. 따라서 (나)의 겉보기 등급은 +9.8보다 큰 값을 갖는다.(○)