

# <원핵 생물의 유전자 발현 조절>

## - 젖당 오페론

### (1) 원핵생물의 유전자 발현 조절

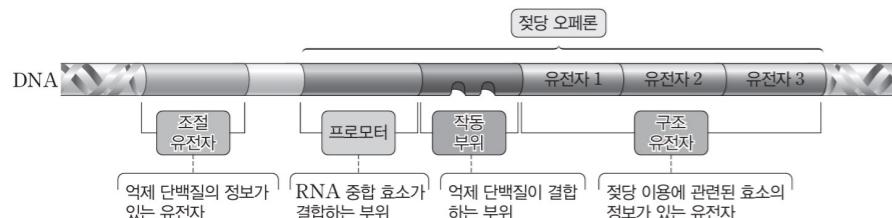
① 대장균의 에너지원 이용: 대장균은 배지에 포도당과 젖당이 모두 있으면 에너지원으로 포도당을 먼저 이용하지만, 젖당만 있으면 젖당을 에너지원으로 이용하기 시작한다.

• 젖당 이용 시의 변화: 대장균이 젖당을 이용하기 위해서는 젖당을 세포막 안으로 들여오는 투과 효소, 젖당을 포도당과 갈락토스로 분해하는 젖당 분해 효소 등이 필요하다. 젖당을 이용하지 않을 때에는 이 효소들의 합성이 억제되지만, 젖당을 에너지원으로 이용할 때에는 이 효소들의 합성량이 모두 급격히 증가한다.

• 젖당 오페론: 젖당 이용에 관련된 세 효소의 유전자는 염색체에서 하나의 프로모터 아래에 이어져 배열되어 있고 하나의 mRNA로 함께 전사된다. 젖당 이용에 관련된 세 효소의 유전자와 이들의 발현에 관여하는 프로모터와 작동 부위를 젖당 오페론이라고 한다.

• 오페론: 하나의 프로모터와 여러 개의 유전자를 포함하는 유전자 발현의 조절 단위이다. 원핵생물에서 나타나며 젖당 오페론 외에도 여러 종류가 있다.

### ② 젖당 오페론의 구조



• 프로모터: RNA 중합 효소가 결합하는 부위이다.

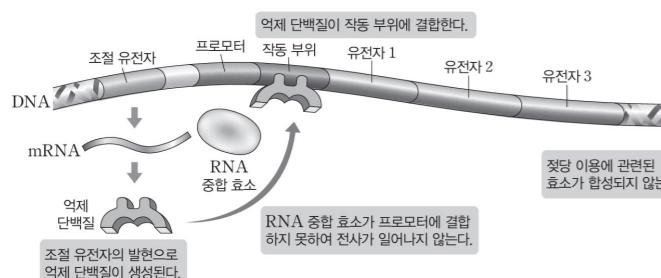
• 작동 부위: 억제 단백질이 결합하는 부위이다.

• 구조 유전자: 젖당 이용에 관련된 세 효소의 암호화 부위이다.

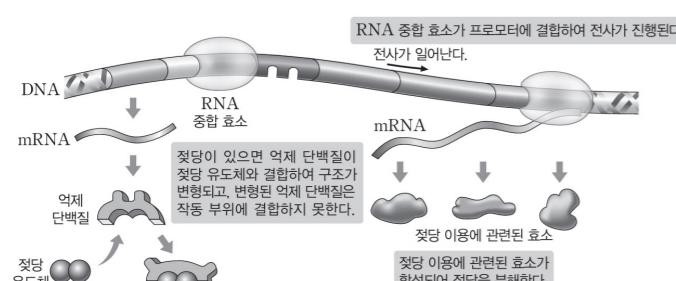
※ 조절 유전자: 젖당 오페론의 작동에 관여하는 억제 단백질의 암호화 부위로 항상 발현되며, 젖당 오페론에 포함되지 않는다. 억제 단백질은 작동 부위에 결합할 수 있다.

### ③ 젖당 오페론의 발현 조절

• 젖당이 없을 때: 억제 단백질이 작동 부위에 결합하여 RNA 중합 효소가 프로모터에 결합하는 것을 방해하므로 구조 유전자의 전사가 일어나지 않는다. 즉, 젖당이 없을 때에는 젖당 오페론의 작동이 억제된다.



• 젖당이 있을 때(포도당 없음): 억제 단백질은 젖당 유도체와 결합하여 구조가 변형되어 작동 부위에 결합하지 못하게 된다. 이로 인해 RNA 중합 효소는 프로모터에 결합하여 구조 유전자를 전사한다. 즉, 젖당이 있을 때에는 젖당 오페론의 작동이 활성화된다.



## 1. 오페론:

- Oper- = 작동시킬까 말까를 조절하는
- -on = 입자(분자, 덩어리)

2. 젖당 오페론은 필요에 따라 즉, 젖당이 있으면 ON  
젖당이 없으면 OFF

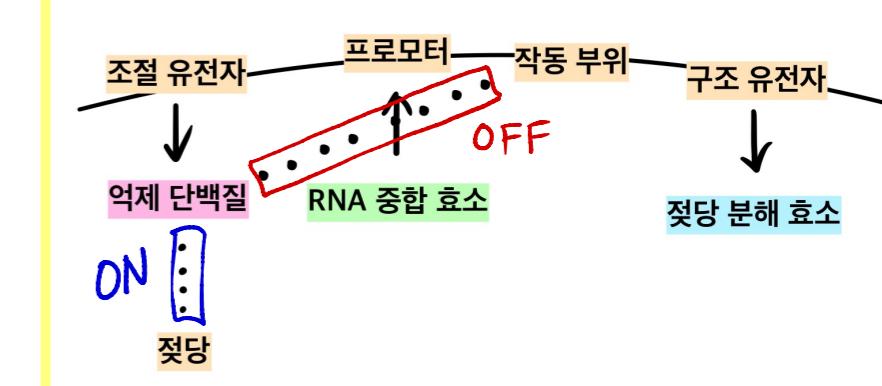
## 3. ON / OFF by 억제 단백질

4. 억제 단백질은  
젖당이 있으면 젖당과 결합.  
젖당이 없으면 오페론의 작동 부위와 결합.

# 왜 조절?

쓸데없이 많이 전사, 번역해서 낭비되지 않도록

필요한 만큼만 전사, 번역하기 위함.



## 젖당 O:

1. [억제 단백질 - 젖당] 결합 O
2. [1.] 때문에 [억제 단백질 - 작동 부위] 결합 X
3. [ RNA 중합 효소 - 프로모터 ] 결합 O
4. [ 구조 유전자 ] 전사 O = 젖당 분해 효소 생성

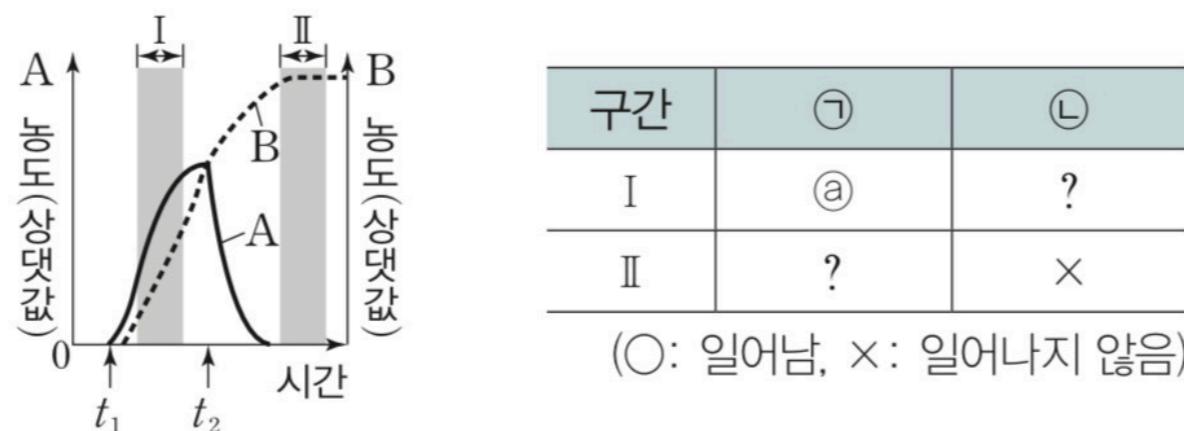
## 젖당 X:

1. [억제 단백질 - 젖당] 결합 X
2. [1.] 때문에 [억제 단백질 - 작동 부위] 결합 O
3. [ RNA 중합 효소 - 프로모터 ] 결합 X
4. [ 구조 유전자 ] 전사 X = 젖당 분해 효소 생성 못함.

## 2026 대비 수능특강 p.131 8번

[25029-0185]

08 그림은 대장균을 포도당이 없는 배지에서 젖당 유무를 변화시키며 배양할 때 시간에 따른 물질 A와 B의 농도를, 표는 구간 I과 II에서 ㉠과 ㉡ 여부를 나타낸 것이다. A와 B는 각각 젖당 분해 효소와 젖당 오페론의 구조 유전자로부터 전사된 mRNA 중 하나이고,  $t_1$ 과  $t_2$ 는 각각 배지에 젖당을 첨가한 시점과 제거한 시점 중 하나이며, ㉠과 ㉡은 억제 단백질과 작동 부위의 결합, 젖당 오페론의 프로모터와 RNA 중합 효소의 결합을 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

(보기)

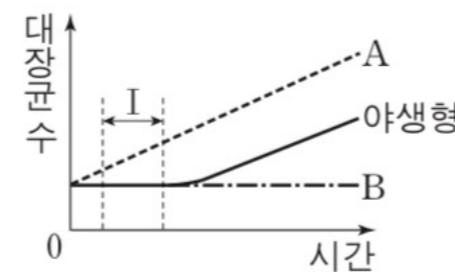
- ㄱ. B는 젖당 오페론의 구조 유전자로부터 전사된 mRNA이다.
  - ㄴ. ⓐ는 '✗'이다.
  - ㄷ. I에서 억제 단백질과 젖당 유도체가 결합한다.
- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ
- ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 15 수능 8번

8. 그림 (가)는 야생형 대장균의 젖당 오페론과 조절 유전자를 나타낸 것이다. ⑦과 ⑨은 각각 조절 유전자와 프로모터 중 하나이다. 그림 (나)는 야생형 대장균과 돌연변이 대장균 A와 B를 포도당이 없는 젖당 배지에 동일한 양으로 넣고 배양한 결과를 나타낸 것이다. A와 B는 각각 ⑦과 ⑨ 중 하나만 결실된 대장균이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은?

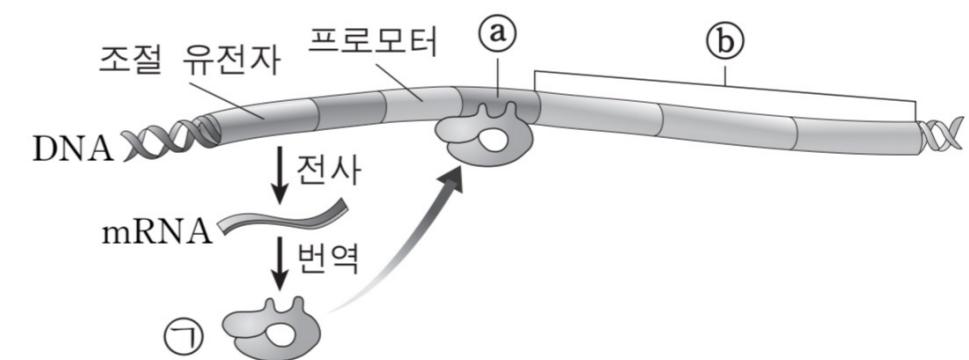
<보기>

- ㄱ. 젖당이 있을 때 야생형 대장균에서 RNA 중합 효소는 ⑦에 결합한다.
- ㄴ. B에서 결실된 부위는 ⑨이다.
- ㄷ. (나)의 구간 I에서 세포당 젖당 분해 효소( $\beta$  갈락토시 데이스)의 합성량은 야생형 대장균이 A보다 많다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄴ      ⑤ ㄴ, ㄷ

## 16 6월 11번

11. 그림은 젖당이 없을 때 조절 유전자와 젖당 오페론의 작용을 나타낸 것이다. ⑨와 ⑩는 각각 작동 부위와 구조 유전자 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은?

<보기>

- ㄱ. 젖당 분해 효소의 아미노산 서열은 ⑨에 암호화되어 있다.
- ㄴ. ⑨에 결합한 ⑩에 의해 ⑩의 전사가 촉진된다.
- ㄷ. ⑩는 젖당 오페론의 구성 요소이다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 17 6월 19번

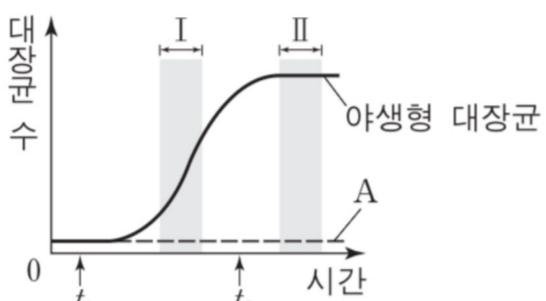
19. 그림은 야생형 대장균과 돌연변이 대장균 A를 포도당이 없는 젖당 배지에서 각각 배양한 결과를 나타낸 것이다. A는 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이와 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이 중 하나이다.  $t_2$ 는 야생형 대장균을 배양한 배지에서 젖당이 고갈된 시점이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은? (단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않으며, 야생형 대장균과 A의 배양 조건은 동일하다.)

### <보기>

- ㄱ. A는 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이이다.
- ㄴ.  $t_1$ 일 때 A에서 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자의 전사가 일어나고 있다.
- ㄷ. 야생형 대장균에서 젖당 오페론의 구조 유전자로부터 전사되는 mRNA 양은 구간 Ⅱ에서 구간 Ⅰ에서보다 많다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

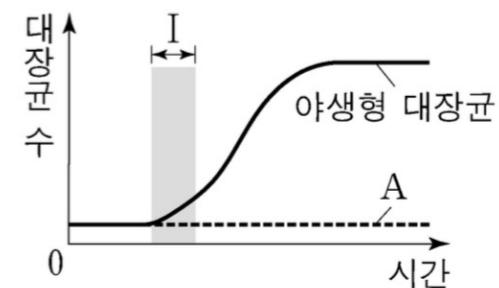


## 20 수능 20번

20. 그림 (가)는 야생형 대장균의 젖당 오페론과 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를, (나)는 야생형 대장균과 돌연변이 대장균 A를 포도당은 없고 젖당이 있는 배지에서 각각 배양한 결과를 나타낸 것이다. ①~⑤은 젖당 오페론의 구조 유전자, 젖당 오페론의 프로모터, 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를 순서 없이 나타낸 것이며, A는 ⑦과 ⑨ 중 하나가 결실된 돌연변이이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은? (단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않으며, 야생형 대장균과 A의 배양 조건은 동일하다.)

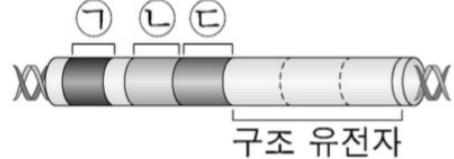
### <보기>

- ㄱ. 젖당 분해 효소의 아미노산 서열은 ⑦에 암호화되어 있다.
- ㄴ. A는 ⑨이 결실된 돌연변이이다.
- ㄷ. 구간 I에서 야생형 대장균은 젖당 오페론을 조절하는 억제 단백질을 생성한다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄴ      ⑤ ㄴ, ㄷ

## 22 6월 17번

17. 그림은 야생형 대장균의 젖당 오페론과 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를, 표는 야생형 대장균, 돌연변이 대장균 A와 B를 포도당은 없고 젖당이 있는 배지에서 각각 배양했을 때 억제 단백질과 젖당 분해 효소의 생성 여부를 나타낸 것이다. ⑦~⑩은 젖당 오페론의 작동 부위, 젖당 오페론의 프로모터, 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를 순서 없이 나타낸 것이다. A는 ⑦~⑩ 중 하나가, B는 그 나머지 중 하나가 결실된 돌연변이이다.



대장균	억제 단백질	젖당 분해 효소
야생형	○	○
A	○	×
B	×	○

(○: 생성됨, ×: 생성 안 됨)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은? (단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않으며, 야생형 대장균, A, B의 배양 조건은 동일하다.) [3점]

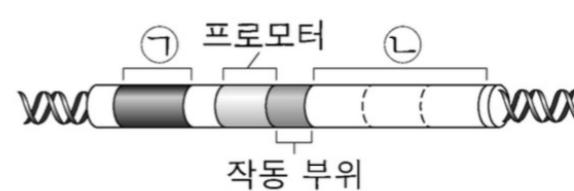
<보기>

- ㄱ. B는 ⑦이 결실된 돌연변이이다.
- ㄴ. A의 억제 단백질은 ⑩에 결합한다.
- ㄷ. 젖당 분해 효소의 아미노산 서열은 ⑩에 암호화되어 있다.

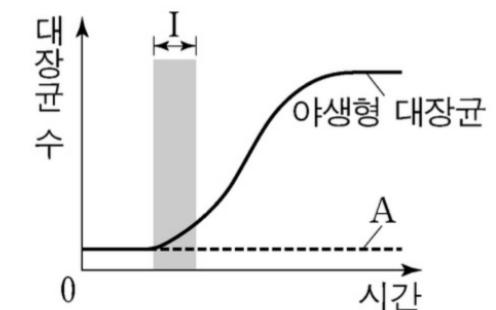
- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄴ      ⑤ ㄱ, ㄷ

## 23 6월 18번

18. 그림 (가)는 야생형 대장균의 젖당 오페론과 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를, (나)는 야생형 대장균과 돌연변이 대장균 A를 포도당은 없고 젖당이 있는 배지에서 각각 배양한 결과를 나타낸 것이다. ⑦과 ⑩은 각각 젖당 오페론의 구조 유전자와 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자 중 하나이며, A는 ⑦과 ⑩ 중 하나가 결실된 돌연변이이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은? (단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않으며, 야생형 대장균과 A의 배양 조건은 동일하다.)

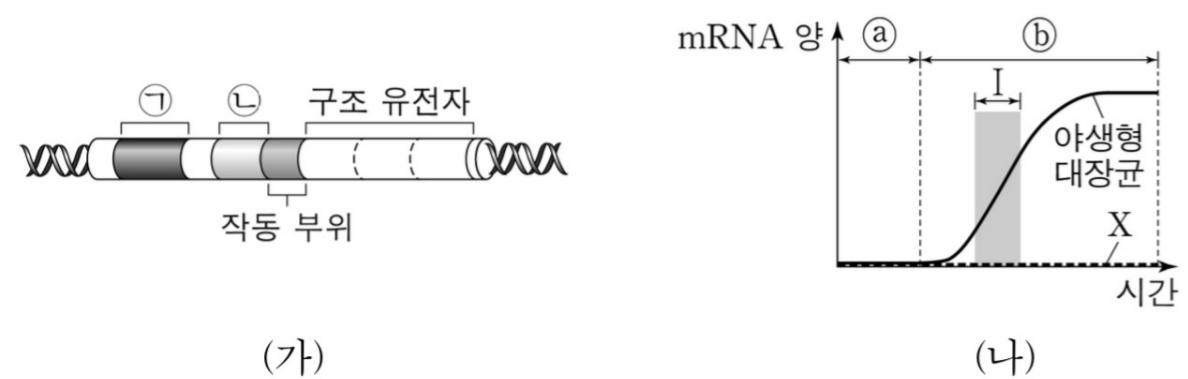
<보기>

- ㄱ. ⑦은 젖당 오페론에 포함된다.
- ㄴ. A는 ⑩이 결실된 돌연변이이다.
- ㄷ. 구간 I에서 야생형 대장균은 젖당 오페론을 조절하는 억제 단백질을 생성한다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 24 6월 20번

20. 그림 (가)는 야생형 대장균의 젖당 오페론과 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를, (나)는 야생형 대장균과 돌연변이 대장균 X를 포도당이 없는 배지에서 젖당 조건을 달리했을 때 젖당 오페론의 구조 유전자로부터 전사된 mRNA 양의 변화를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 젖당 오페론의 프로모터와 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를 순서 없이 나타낸 것이고, X는 ㉠과 ㉡ 중 하나가 결실된 돌연변이이다. ⓐ와 ⓑ는 젖당이 있을 때와 젖당이 없을 때를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은? (단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않으며, 야생형 대장균과 X의 배양 조건은 동일하다.) [3점]

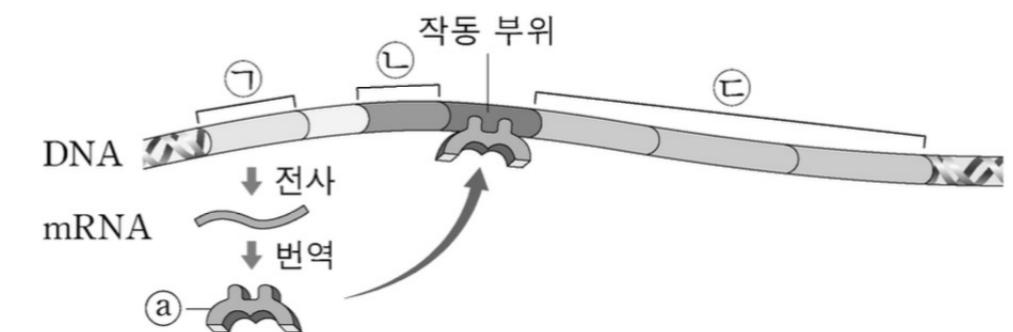
### <보기>

- ㄱ. X는 ㉠이 결실된 돌연변이이다.
- ㄴ. ⓑ는 젖당이 있을 때이다.
- ㄷ. 구간 I에서 야생형 대장균은 젖당 오페론을 조절하는 억제 단백질을 생성한다.

- ① ㄱ      ② ㄷ      ③ ㄱ, ㄴ      ④ ㄴ, ㄷ      ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

## 25 6월 20번

20. 그림은 젖당이 없을 때 야생형 대장균의 젖당 오페론과 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자의 작용을 나타낸 것이다. ㉠~㉢은 젖당 오페론의 프로모터, 젖당 오페론의 구조 유전자, 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은?

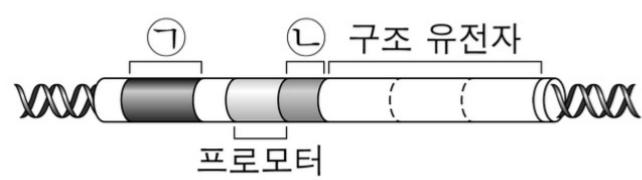
### <보기>

- ㄱ. ㉠은 젖당 오페론에 포함된다.
- ㄴ. ㉡은 젖당 오페론의 프로모터이다.
- ㄷ. 작동 부위에 결합한 Ⓛ에 의해 ㉢의 전사가 촉진된다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄴ      ⑤ ㄴ, ㄷ

## 26 6월 20번

20. 그림은 야생형 대장균의 젖당 오페론과 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를, 표는 배지 A와 B에서 야생형 대장균을 배양했을 때 젖당 분해 효소의 생성 여부를 나타낸 것이다. ①과 ②는 젖당 오페론의 작동 부위와 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자를 순서 없이 나타낸 것이고, A와 B는 포도당은 없고 젖당이 있는 배지와 포도당과 젖당이 있는 배지를 순서 없이 나타낸 것이다.



배지	젖당 분해 효소
A	생성 안 됨
B	생성됨

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는대로 고른 것은? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.) [3점]

—<보기>—

- ㄱ. ①은 젖당 오페론의 작동 부위이다.
- ㄴ. A는 포도당과 젖당이 없는 배지이다.
- ㄷ. B에서 야생형 대장균은 젖당 오페론을 조절하는 억제 단백질을 생성한다.

- ① ㄱ      ② ㄴ      ③ ㄷ      ④ ㄱ, ㄴ      ⑤ ㄴ, ㄷ