

Prologue

Present 교재는 다음과 같은 책임입니다.

1. 과학'탐구' 과목의 출제 경향이 반영되었습니다.

최근 트렌드의 생명과학 시험에서 변별력을 가지는 문항은 순수 교과 지식만으로 해결하기 어렵습니다. 이는 교과 지식뿐만 아니라 논리를 바탕으로 한 자료 해석과 수리 추론을 요구하기 때문입니다. 따라서 본 교재는 수능 과학탐구 영역의 추론형 문항을 체계적으로 정복할 수 있도록 도움을 주는 것을 목표로 집필되었습니다.

[Mind]와 [Bridge]는 각각 [수리 추론형]과 [자료 해석형] 문항의 사고체계와 해석 도구이고, [Schema]는 유형의 발전 양상부터 출제된 배경 지식, 실전 개념, 미출제 요소의 집합입니다. 본 교재에서 제시하는 내용들을 충분히 반복, 체화하신다면 원하는 시험에서 훌륭한 결과를 거두실 수 있을 거라 자부합니다.

2. 기본 개념과 실전 개념을 모두 제시합니다.

본 교재는 PSAT의 자료 해석 영역의 IDEA를 기반으로 출제되는 문제를 쉽고 빠르게 해제하도록 돕습니다. 그러나 결국 추론과 해석은 교과 개념이 바탕이 되어야 합니다. 따라서 교과 개념도 실전 개념과 시너지를 이룰 수 있도록 충분히 수록하였습니다.

3. 필요하다면 충분히 Deep하게

교과서 상 할당된 분량이 적을지라도 이해에 도움이 된다고 판단된다면 충분히 자세히 서술하였습니다. 세포생물학, 유전학, 동물생리학, 분자생물학 등 전공 지식이 개념의 심층적 이해나 새로운 관점, Shortcut에 도움이 된다고 판단되면 수록하였으며 교과 외 내용인 것을 인지할 수 있도록 교육과정 외 내용은 Common Sense로 표시하였습니다.

4. 개념과 문항의 연결, 그리고 일관성

특정 개념과 문제 풀이 방법을 연결시킬 수 있도록 바로 뒤에 관련 문항을 수록했으며, 해설 또한 일관된 방식으로 서술하여 교재 내용의 체화를 도왔습니다.

다른 과학탐구 과목들도 쉽지 않지만,

생명과학 2는 자료 해석을 극한으로 요구하는 문항들이 출제됩니다.

그럼에도 불구하고 생명과학 2와 본 교재를 선택한 여러분께
선물과 같은 교재이길 기원합니다.

이삿별 드림



Contents

Theme 0 Mind setting

개념과 문항의 간극을 잇는 Bridge와 Mind 수록

- 문항 분류	008	
- 수리 추론형	Bridge 1	정량값, 상댓값 012
	Bridge 2	비율 013
	Bridge 3	조건부확률 015
	Bridge 4	내분 018
- 수리 추론형	Mind 1	비율 → 정량값 020
	Mind 2	자연수의 활용 023
	Mind 3	직접 vs 여사건 025
- 자료 해석형	Bridge 1	표 030
	Bridge 2	그래프 034
	Bridge 3	약어 037
- 자료 해석형	Mind 1	결정된 것(Fixed) 우선 040
	Mind 2	실험군과 대조군의 비교-대조 044
	Mind 3	직접 vs 여사건 048

Theme 2 유전자 발현과 조절

- 출제 경향 & 서술 방향	054
-----------------	-----

Theme 2 ① 유전자와 단백질의 관계

- 단원 목표	055
- 유전 정보와 유전 부호	056
- 유전 부호의 해독 실험	059
- 붉은빵곰팡이 실험	070
- 1유전자 1효소설의 발전	072
- Common Sense : 1유전자 1폴리펩타이드설의 예외	073
- 붉은빵곰팡이 실험	Schema 1 앞돌뒤물 076
	Schema 2 아르지닌 083
	Schema 3 선후 관계 085
	Schema 4 돌연변이 095

[수리 추론형]

Mind 3 직접(A) vs 여사건(A^c)

어떤 값을 도출할 때 직접 구할 수도, 전체-여사건으로 구하는 것이 유리할 때도 있다.

[예시 ①]

다음은 이중 가닥 DNA X와 X 위에 있는 유전자 x 에 대한 자료이다.

○ 가닥 ㉠과 ㉡으로 구성된 X의 염기 서열은 다음과 같다.

5'-CGATCTGACCGATGACCGAACGGTATGGCCAT -3' ...㉠
3'-GCTAGACTGGCTACTGGCTTGCCATACCGGTA -5' ...㉡

○ x 에 포함된 염기 중 A의 비율은 0.25이고, x 에서 염기 사이의 수소 결합 총개수는 60개이다.

[구하는 것] x 에서 ㉠ 기준 3' 말단으로부터 7번째 뉴클레오타이드의 염기는?

[교과 개념]

1. DNA의 염기에는 아데닌(A), 타이민(T), 구아닌(G), 사이토신(C)이 있다.
2. 아데닌(A)은 타이민(T)과 2개의 수소 결합을, 구아닌(G)은 사이토신(C)과 3개의 수소 결합을 한다.
3. 유전 정보를 암호화하는 DNA의 특정 염기 서열을 유전자라고 한다.

교과 개념과 주어진 자료를 활용하여 각각의 조각의 염기 개수를 구해본 후 다음 페이지로 넘어가자.

Mind setting

좌위

유전자가 위치하는 자리

[해제]

2중 가닥 DNA에서 A의 비율이 0.25이므로
모든 염기의 비율이 동일하다.

\therefore AT 염기쌍 수 = GC 염기쌍 수

유전자 x 부분에서 염기 사이의 수소 결합 총개수는 60개이므로
 $2 \times (\text{AT 염기쌍 수}) + 3 \times (\text{GC 염기쌍 수}) = 60$ 개 이다.

따라서 x 부분의 AT 염기쌍 수와 GC 염기쌍 수는 12쌍이다.

$\therefore x$ 의 염기쌍 수 = 24쌍

x 의 좌위를 알아내기 위해 AT 염기 또는 GC 염기를 Counting해보자.

```

      . . . . .
5'-CGATCTGACCGATGACCGAACGGTATGGCCAT-3'
3'-GCTAGACTGGCTACTGGCTTGCCATACCGGTA-5'

```

5쌍씩 끊어세면 DNA X의 총 염기쌍 개수는 32쌍이고
한 가닥의 G+C 염기 개수를 세면 18개인 것을 알 수 있다.

따라서 DNA X는 AT 염기쌍 14쌍, GC 염기쌍 18쌍으로 구성된다.

AT 염기쌍 12쌍, GC 염기쌍 12쌍인 부분이 등장하려면
양쪽 말단에서 AT 염기쌍 2쌍과 GC 염기쌍 6쌍이 빠져야 한다.

따라서 유전자 x 의 좌위는 다음과 같다.

```

      . . . . .
5'-CGATCTGACCGATGACCGAACGGTATGGCCAT-3'
3'-GCTAGACTGGCTACTGGCTTGCCATACCGGTA-5'

```

$\therefore x$ 에서 ㉠ 기준 3' 말단으로부터 7번째 뉴클레오타이드의 염기는 아데닌(A)이다.

AT 염기쌍 12쌍, GC 염기쌍 12쌍을 직접 세는 것보다는
AT 염기쌍 2쌍, GC 염기쌍 6쌍을 파악하여 제외하는 게 더 유리함을 한 눈에 알 수 있다.

Mind setting

[자료 해석형]

Mind 2 실험군과 대조군의 비교-대조

변인 통제된 조건에서 차이에 집중하여 특정 정보를 추출할 수 있다.

19. 그림은 붉은빵곰팡이에서 아르지닌이 합성되는 과정을, 표는 최소 배지에 물질 ㉠ 또는 ㉡의 첨가에 따른 붉은빵곰팡이 야생형과 돌연변이주 I 과 II의 생장 여부와 물질 ㉢의 합성 여부를 나타낸 것이다. I은 유전자 $a \sim c$ 중 어느 하나에 돌연변이가 일어나고, II는 그 나머지 유전자 중 하나에 돌연변이가 일어난 것이다. ㉠~㉢은 각각 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌 중 하나이다.

전구 물질

유전자 $a \rightarrow$ 효소 A

↓

오르니틴

유전자 $b \rightarrow$ 효소 B

↓

시트룰린

유전자 $c \rightarrow$ 효소 C

↓

아르지닌

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉢ 합성	생장	㉢ 합성	생장	㉢ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

17 수능

[평가원 선지]

- ㄱ. II는 b에 돌연변이가 일어난 것이다.
 ㄴ. ㉢을 합성하는 효소는 A이다.
 ㄷ. ㉢은 아르지닌이다.

교과 개념과 주어진 자료를 활용하여

선지의 정오에 대해 충분히 생각해본 후 넘어가자.

[교과 개념]

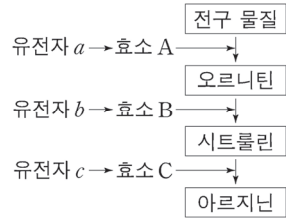
- 붉은빵곰팡이의 생장은 아르지닌이 필수적이다.
 생장한다 = 아르지닌이 첨가되거나 합성된다.
 생장하지 않는다 = 아르지닌이 첨가되지 않았고 합성되지 않았다.
- 최소 배지에서는 야생형 붉은빵곰팡이의 생장에 필요한 전구 물질이 들어있다.
- 야생형 붉은빵곰팡이에서는 전구 물질로부터 순서대로 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌이 합성된다.

되거나 vs 고

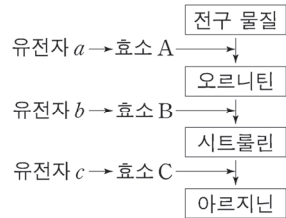
A이거나 B이다.
 = A or B

A이고 B이다.
 = A and B

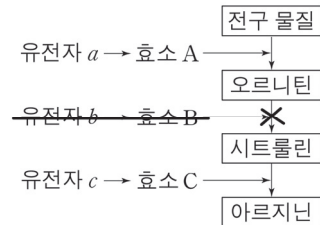
4. 전구 물질로부터 어떤 물질이 합성될 때 특정 유전자가 관여한다.
 예를 들어 전구 물질로부터 오르니틴이 합성될 때 유전자 a가 관여하고
 오르니틴으로부터 시트룰린 합성될 때 유전자 b가 관여한다.



5. 조절 유전자로부터 합성된 효소에 의해 특정 물질의 합성이 일어난다.
 예를 들어 유전자 a로부터 효소 A가 합성되고, 효소 A에 의해 전구 물질으로부터 오르니틴이 합성
 된다.



6. 특정 유전자가 결실된 돌연변이는 전구 물질로부터 어떤 물질을 합성하지 못한다.
 예를 들어 유전자 b가 결실된 돌연변이는 오르니틴으로부터 시트룰린을 합성하지 못한다.



7. 특정 유전자가 결실된 돌연변이라도 어떤 물질을 첨가하면 다른 물질을 합성할 수도 있다.
 예를 들어 유전자 b가 결실된 돌연변이는 최소 배지에서 오르니틴을 합성할 수 있고,
 최소 배지에 시트룰린이 첨가된다면 아르지닌을 합성하여 생장할 수 있다.

구분	최소 배지, 시트룰린	
	생장	아르지닌 합성
야생형	+	○
유전자 b 결실 돌연변이	+	○

전구 물질

1. 초기 물질
2. 이전 물질

Mind setting

[해설]

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

㉠을 첨가하고, ㉡이 합성되었지만 생장하지 않는다.

즉, 아르지닌이 첨가되거나 합성되지 않았다.

∴ ㉡은 아르지닌이다.

(∴ Mind 3 A vs A^c)

∴ II는 유전자 c 돌연변이이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

㉠ 첨가 이외에 다른 변인은 모두 동일하다.

이는 조작 변인 ㉠의 유무가 종속 변인 ㉡ 합성에 영향을 주었다는 것을 알 수 있다.

(∴ Mind 2 대조군과 실험군의 비교-대조)

따라서 ㉠이 ㉡의 전구 물질임을 알 수 있다

∴ ㉠(오르니틴) → ㉡(시트룰린) → ㉢(아르지닌)

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

㉠(오르니틴) 첨가 이외에 다른 변인은 모두 동일하다.

즉, ㉠(오르니틴) 첨가가 돌연변이주 I 생장에 영향을 주었다는 것을 알 수 있다.

따라서 I은 오르니틴으로부터 아르지닌이 합성되는 경로에 돌연변이가 일어나지 않았다.

∴ I은 유전자 a 돌연변이이다.

구분	최소 배지		최소 배지, 오르니틴		최소 배지, 아르지닌	
	생장	시트룰린 합성	생장	시트룰린 합성	생장	시트룰린 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I(유전자 a 돌연변이주)	—	×	+	○	+	×
II(유전자 c 돌연변이주)	—	○	—	○	+	○

(+: 생장함, —: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

[평가원 선지]

- ㄱ. II는 b에 돌연변이가 일어난 것이다. (X)
- ㄴ. ㉠을 합성하는 효소는 A이다. (O)
- ㄷ. ㉡은 아르지닌이다. (X)

Mind setting

전체집합의 파악

그대로 주어질 수도
축소되어 주어질 수도 있다.

[자료 해석형]

Mind 3 직접(A) vs 여사건(A^c)

주어진 자료를 해석하는 데 있어 상황을 직접 관찰할 수도 있으나

나머지 부분을 통해 상황을 해석할 수 있다.

이때 여사건이라는 용어는 여사건(A^c)으로 해석하기 전

전체 집합(U)의 파악이 중요하다는 걸 내포한다.

[예시 ①]

19. 그림은 붉은빵곰팡이에서 아르지닌이 합성되는 과정을, 표는 최소 배지에 물질 ㉠ 또는 ㉡의 첨가에 따른 붉은빵곰팡이 야생형과 돌연변이주 I 과 II의 생장 여부와 물질 ㉢의 합성 여부를 나타낸 것이다. I은 유전자 $a \sim c$ 중 어느 하나에 돌연변이가 일어나고, II는 그 나머지 유전자 중 하나에 돌연변이가 일어난 것이다. ㉠~㉢은 각각 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌 중 하나이다.

유전자 $a \rightarrow$ 효소 A	전구 물질	구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	오르니틴		생장	㉢ 합성	생장	㉢ 합성	생장	㉢ 합성
유전자 $b \rightarrow$ 효소 B	시트룰린	야생형	+	○	+	○	+	○
유전자 $c \rightarrow$ 효소 C	아르지닌	I	-	×	+	○	+	×
		II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

17 수능

㉠을 첨가하고, ㉡이 합성되었지만 생장하지 않는다.

즉, 아르지닌이 첨가되거나 합성되지 않았다.

㉠~㉢은 오르니틴, 시트룰린, 아르지닌을 순서 없이 나타낸 것이므로

㉠과 ㉡이 아르지닌이 아니면 ㉢이 아르지닌이다.

[예시 ②]

- I ~ V는 모두 동물 중 Q로 이루어진 개체군이며, 이 중 3개는 하디-바인베르크 평형이 유지되는 집단이다.
- 다음은 각 집단 I ~ IV에서 유전자형 DD와 DD*의 빈도를 나타낸 것이다.

집단	I	II	III	IV
유전자형				
DD	0.32	0.49	0.22	?
DD*	0.5	?	0.36	0.32

21학년도 Present 모의고사 일부

멘델 집단에서는 다음과 같은 비율관계가 성립한다.

$$p : q \Leftrightarrow p^2 : 2pq : q^2$$

또한 집단 I 과 III은 두 유전자형의 빈도가 결정되어 있다.

(∵ 자료 해석 - Mind 1 결정된 것 우선)

집단 \ 유전자형	I	II	III	IV
DD	0.32	0.49	0.22	?
DD*	0.5	?	0.36	0.32

따라서 두 유전자형의 빈도를 이용해 I 과 III이 멘델 집단이 아님을 알 수 있다.

(∵ 개체군의 유전 Schema 2)

이때 5개 집단(U) 중 3개 집단이 멘델 집단이고, I 과 III이 멘델 집단이 아니므로 나머지 II, IV, V가 멘델 집단임을 알 수 있다.

[예시 ③]

- 유전자 a, b, c 는 각각 전사 인자 A, B, C를 암호화하며, A, B, C는 w, y 의 전사 촉진에 관여한다.
- 세포 (가)에서는 y 의 전사가 일어나며, 세포 (나)에서는 w 와 y 의 전사가 모두 일어나고, 세포 (다)에서는 w 의 전사는 일어나고 y 의 전사는 일어나지 않는다.
- (가)에서는 a, c 만 발현되고, (나)에서는 a, b, c 가 모두 발현되고, (다)에서는 a, b 만 발현된다.
- 표는 (가), (나), (다)에서 a, b, c 의 발현을 인위적으로 억제할 때 w, y 의 전사 여부를 나타낸 것이다.

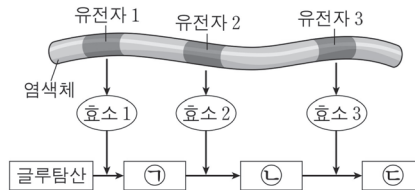
세포	(가)	(나)			(다)	
억제된 유전자	a	a	b	c	a	b
w	×	×	×	○	㉠	×
y	×	○	○	×	×	㉡

(○ : 전사됨, × : 전사 안 됨)

① 유전자와 단백질의 관계

붉은빵곰팡이 실험
Schema 1

앞돌뒤물



구분	최소 배지	최소 배지 + 아르지닌	최소 배지 + 시트룰린	최소 배지 + 오르니틴
야생형	○	○	○	○
I	×	○	○	○
II	×	○	×	×
III	×	○	○	×

(○ : 성장함, × : 성장 못 함)

(단, I~III은 각각 유전자 1~3 중 하나에만 돌연변이가 일어난 것이다.)

① 앞에 돌연변이가 일어날수록 돌연변이주들이 많이 성장

유전자 1 돌연변이주가 유전자 2 돌연변이주보다 더 많이 성장하고
유전자 2 돌연변이주가 유전자 3 돌연변이주보다 더 많이 성장한다.

∴ I 은 유전자 1 돌연변이주, III은 유전자 2 돌연변이주, II 는 유전자 3 돌연변이주이다.

② 뒤의 물질을 공급할수록 돌연변이주들이 많이 성장

하나의 유전자에 돌연변이가 일어난 돌연변이주 세 종류에서
아르지닌을 넣으면 세 종류의 돌연변이주가 모두 성장하고
시트룰린을 넣으면 두 종류의 돌연변이주가 성장하며
오르니틴을 넣으면 한 종류의 돌연변이주가 성장한다.

∴ ㉠은 오르니틴, ㉡은 시트룰린, ㉢은 아르지닌이다.

한 개 이상의 유전자에 돌연변이가 일어나거나 일부 돌연변이만 주어지는 경우에도
앞돌뒤물 은 변하지 않는다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	성장	㉢ 합성	성장	㉢ 합성	성장	㉢ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+ : 성장함, - : 성장 못함, ○ : 합성함, × : 합성 안 됨)

∴ ㉠이 ㉡의 선구 물질이다.

오페론

기능적으로 연관된 유전자들이 하나의 전사단위로 묶여 서로 이웃하여 존재하는 구조의 기능적 단위를 의미한다.

젓당 오페론의 경우 프로모터, 작동 유전자, 구조 유전자를 통틀어 말하며, 원핵생물의 유전자 발현 조절에서 나타난다.

붉은빵곰팡이 실험
Schema 2

아르지닌(R)

아르지닌이 있어야 **생장**한다,
즉, 표에서 해석할 때 **아르지닌 유무 = 생장 여부**이다.

다른 물질(오르니틴, 시트룰린)은 중간 산물이지만
아르지닌은 **최종 물질**이므로 물질 중 **먼저 생각하면 유리**하다.

⇒ 아르지닌이 합성되거나 직접 넣어주어야 생장할 수 있다.

구분	최소 배지, ㉠	
	생장	㉡ 합성
I	-	○

⇒ 역으로 ㉠을 첨가하고 ㉡이 합성된 배지에서 돌연변이주가 생장하지 못한다면, 남은 물질 ㉡이 아르지닌이다.

① **생장 조건**

1. R을 첨가해준 붉은빵곰팡이는 모두 생장한다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

∴ 붉은빵곰팡이는 아르지닌이 첨가되면 생장.

2. 최소 배지에서 생장 여부는 아르지닌 합성 여부와 동일한 조건이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	-	×
II	-	×	+	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

∴ 붉은빵곰팡이는 아르지닌이 합성되어야 생장.

3. 미지의 두 물질이 있지만 생장하지 않는다면 나머지 물질이 아르지닌(R)이다.

구분	최소 배지		최소 배지, ㉠		최소 배지, ㉡	
	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성	생장	㉡ 합성
야생형	+	○	+	○	+	○
I	-	×	+	○	+	×
II	-	○	-	○	+	○

(+: 생장함, -: 생장 못함, ○: 합성함, ×: 합성 안 됨)

∴ 붉은빵곰팡이는 아르지닌이 합성되지 않으면 생장하지 못함.

③ 원핵생물의 유전자 발현 조절

[Common Sense]

포도당의 유무

젖당 오페론에서 전사가 활발하게 일어나기 위해 몇 가지 인자가 RNA 중합효소와 함께 프로모터에 결합해야 하는데, 이러한 인자들은 **포도당이 없을 때에만** 프로모터에 결합할 수 있기 때문이다.

따라서 후에 젖당 오페론 돌연변이를 판별할 때 포도당의 유무는 고려하지 않아도 무방하다.

5. 대장균의 증식

대장균은 **포도당과 젖당의 유무**에 따라 사용하는 에너지원이 다르다.

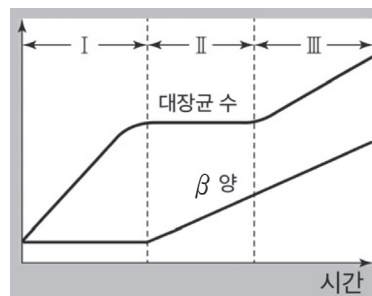
이는 포도당이 있으면 포도당을 주 에너지원으로 사용하면 되기에 젖당 분해 효소에 관련된 효소와 관련이 있는 유전자를 발현시킬 필요가 없으나 포도당이 없고 젖당이 있다면 젖당을 에너지원으로 활용하기 위해 젖당 분해 효소가 암호화된 유전자를 발현시켜야 하기 때문이다.

포도당과 젖당이 모두 포함된 배지에서 대장균을 배양하면 대장균 수는 다음과 같이 변한다.

구간 I 포도당을 에너지원으로 대장균이 증식하여 젖당 오페론이 작동하지 않는다.

구간 II 포도당이 고갈되어 증식이 멈추고, 젖당 오페론의 작동이 시작되어 세 효소의 합성이 증가하기 시작한다.

구간 III 젖당을 에너지원으로 성장한다.



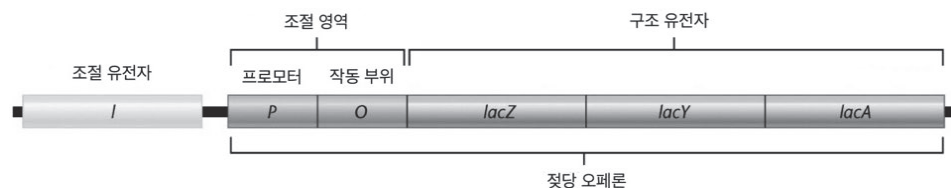
(단, β 는 젖당 분해 효소이다.)

⇒ 포도당은 없고 젖당은 있는 배지에서 대장균의 수는 젖당 분해 효소의 양과 비례하는 것을 알 수 있다.

6. 젖당 오페론(*lac Operon*)

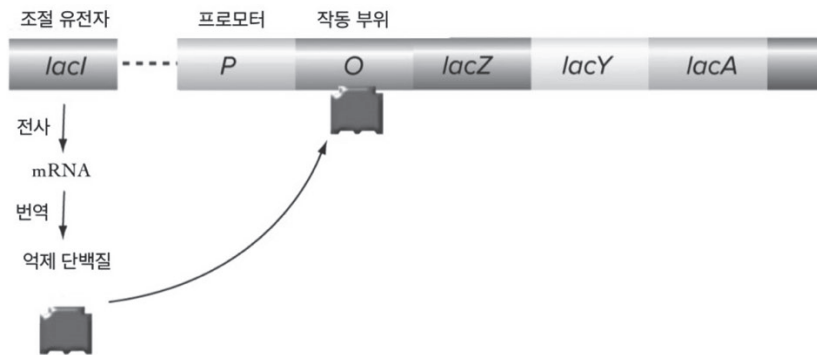
대장균이 젖당을 에너지원으로 이용하기 위해서는 이당류인 젖당을 단당류인 포도당과 갈락토스로 가수 분해할 수 있는 젖당 분해 효소와 젖당을 세포 안으로 투과시키는 젖당 투과 효소, 젖당을 분해할 때 보조 기능을 수행하는 아세틸기 전이 효소의 세 가지 효소가 필요하다.

이러한 효소는 각각 *lac Z*, *lac Y*, *lac A*에 의해 암호화되는데 *lac Z*, *lac Y*, *lac A*를 통틀어 **구조 유전자**라고 한다. 이렇게 젖당 분해에 관여하는 효소들의 아미노산 서열을 암호화하는 **구조 유전자**, 구조 유전자의 발현을 조절하는 하나의 **프로모터와 작동 부위**를 통틀어 **젖당 오페론**이라고 한다.



젖당이 없을 때

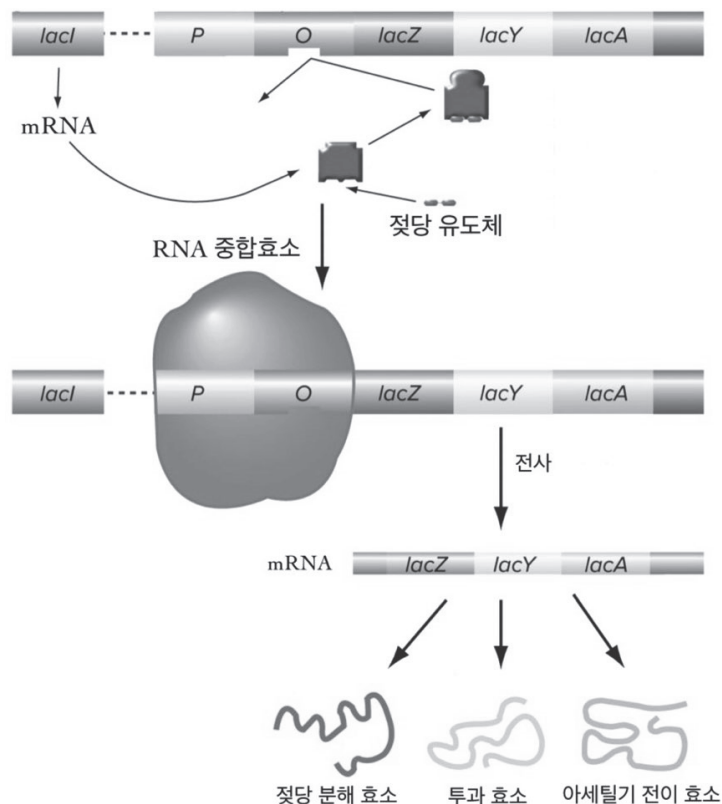
조절 유전자에 의해 발현된 억제 단백질이 작동 부위에 결합하여 RNA 중합효소가 프로모터에 결합하는 것을 막는다. 그로 인해 구조 유전자로부터 mRNA의 전사가 일어나지 않고, 젖당 이용에 필요한 효소들이 합성되지 않는다.



젖당이 있을 때

젖당 유도체가 억제 단백질에 결합하여 억제 단백질의 입체 구조를 변형시킴으로써 억제 단백질이 작동 부위에 결합하지 못하게 한다. 그에 따라 프로모터에 RNA 중합효소가 결합할 수 있고, RNA 중합효소가 이동함에 따라 구조 유전자의 전사가 일어난다.

구조 유전자의 전사가 일어나 *lac* mRNA가 생성되고 거의 동시에 *lac* mRNA의 번역 과정이 일어나 젖당 이용에 필요한 세 가지 효소를 모두 합성하게 된다.



WT vs 돌연변이주

주로 젖당 오페론에서 추론형 문항은 돌연변이주의 정체성을 결정하는 문항이 출제된다.

붉은빵곰팡이 실험과 유사하게 자료 해석 Mind가 활용된다.

[Common Sense]

젖당 유도체

억제 단백질과 결합하는 젖당 유도체는 젖당의 이성질체

억제 단백질과 결합하여 억제 단백질의 구조를 변형시키는 물질이다.

③ 원핵생물의 유전자 발현 조절

[Common Sense]

구조 유전자에서 발현되는 효소

젖당 오페론이 암호화하는 세 효소의 정확한 명칭은 EBS에 수록되어 있다. 하지만 평가원 시험만을 대비한다면 젖당 분해를 보조하는 효소들로만 이해해도 무방하며, 효소의 암호화부위가 한꺼번에 조절되는 것만 이해해도 충분하다.

lac Z, *lac Y*, *lac A*의 유전자 순서와 효소의 합성 순서의 경우 현 교육과정에서는 Common Sense 정도로 받아들이어도 괜찮다.

그럼에도 *lac I*나 *lac Z*를 제시하는 이유는 교과 내용에 대한 깊은 이해와 Speed이다.

해당 용어를 숙지하면 추후의 문항에서 해당 약어를 사용할 때 훨씬 이해가 용이하고 문항 해제도 간결해진다.

PEET Lac operon 약어

PEET 시험과 유전학 교재의 조건에서는 다음과 같은 약어를 제시한 바 있다.

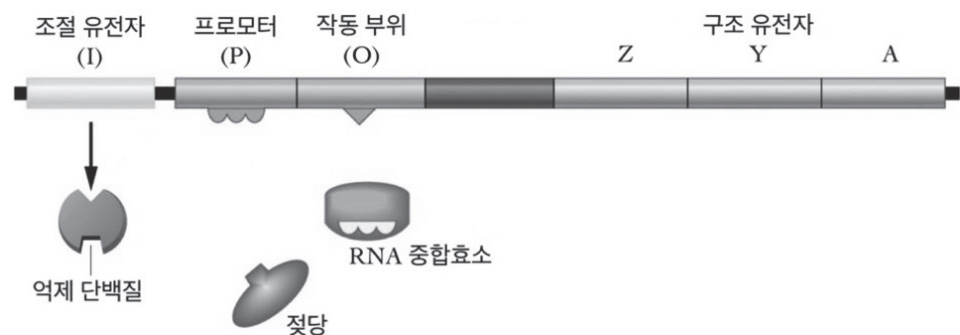
I : 조절 유전자(*lac I*)
 P : 프로모터(*lac P*)
 O : 작동 부위(*lac O*)
 Z : 젖당 분해 효소 유전자(*lac Z*)

7. 젖당 오페론 자료 정리

[1906] I과 II는 젖당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이와 젖당 오페론의 프로모터가 결실된 돌연변이를 순서 없이 나타낸 것이다. ①~④는 억제 단백질과 젖당(젖당 유도체)의 결합, 억제 단백질과 작동 부위의 결합, 젖당 분해효소의 생성을 순서 없이 나타낸 것이다.

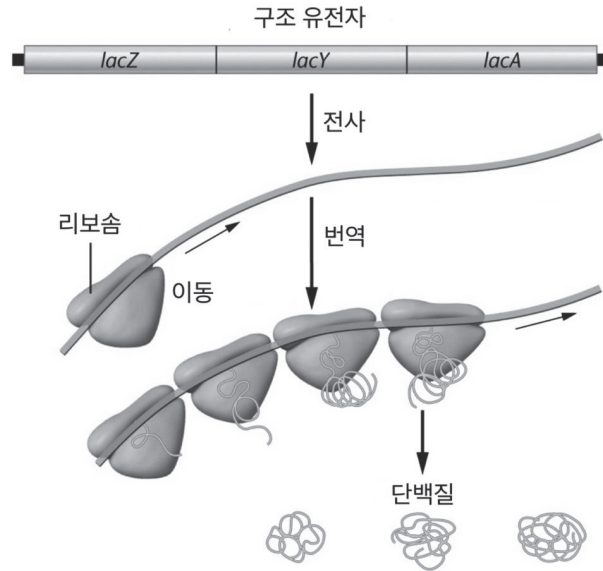
자체를 기억하여 문제를 해결하는 건 ①~④에 빠르게 적절한 것을 대응하기도 어렵고, 생각의 유연성도 떨어진다.

다음을 활용하자.



I : 조절 유전자(*lac I*)
 P : 프로모터(Promoter)
 O : 작동 부위(Operator)
 Z : 구조 유전자(*lac Z*)
 L+ : 젖당 유도체(젖당)가 있는 배지(Lactose)
 L- : 젖당 유도체(젖당)가 없는 배지
 R : 억제 단백질(Repressor)
 RP : RNA 중합효소 (=RNA Polymerase)
 β : 젖당 분해 효소 (= β -Galactosidase)
 - : 결합 WT : 야생형(Wide Type)

8. 구조 유전자와 조절 유전자의 전사와 번역

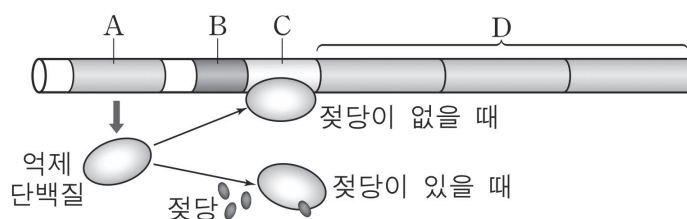


조절 유전자와 구조 유전자도 특정 단백질을 암호화하는 DNA 염기 서열이다.

즉, 유전자의 발현이 일어날 때 **프로모터에서 전사가 시작되고, 개시 코돈에서부터 번역이 시작된다**. 구조 유전자의 앞부분에 독자적인 프로모터가 존재하여 전사가 진행되는 것처럼 조절 유전자의 앞부분 혹은 조절 유전자 내에 프로모터가 존재한다는 것이다. 조절 유전자의 프로모터에 RNA 중합효소가 결합하면 조절 유전자의 전사와 번역이 일어나 억제 단백질을 생성한다.

[문제 37]

그림은 대장균에서 젖당 오페론과 이를 조절하는 유전자를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

< 보 기 >

- ㄱ. 젖당 오페론은 A+B+C이다.
- ㄴ. 포도당과 젖당이 모두 있는 시험관에서, 대장균은 젖당을 우선적으로 에너지로 사용한다.
- ㄷ. 포도당은 없고 젖당이 있는 시험관의 대장균에서 A의 전사가 일어나지 않는다.
- ㄹ. 젖당 분해 효소의 아미노산 서열은 C에 암호화되어 있다.
- ㅁ. 포도당은 없고 젖당이 있는 시험관에서 RNA 중합 효소가 B에 결합된 후 D로 이동한다.
- ㅂ. 젖당이 있을 때, A에 RNA 중합 효소가 결합한다.

③ 원핵생물의 유전자 발현 조절

[문제 37] 답. □ 또는 □, ▢

[해설]

< 보 기 >

ㄱ. 젖당 오페론은 A+B+C이다. (X)

젖당 오페론은 B+C+D이다.
조절 유전자는 젖당 오페론에 포함되지 않는다.

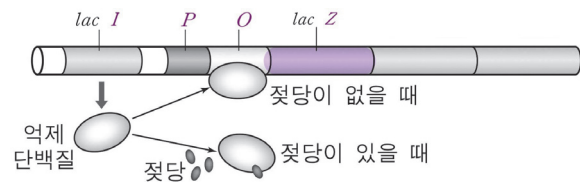
ㄴ. 포도당과 젖당이 모두 있는 시험관에서, 대장균은 젖당을 우선적으로 에너지로 사용한다.
(X)

포도당과 젖당이 모두 있으면 대장균은 포도당을 우선적으로 에너지로 사용한다.

ㄷ. 포도당은 없고 젖당이 있는 시험관의 대장균에서 A의 전사가 일어나지 않는다. (X)
젖당의 유무와 관계없이 야생형 대장균에서 항상 A의 전사가 일어난다.

ㄹ. 젖당 분해 효소의 아미노산 서열은 C에 암호화되어 있다. (X)

젖당 분해 효소의 아미노산 서열은 구조 유전자(D) 중 *lac Z* 부분에 암호화되어 있다



ㅁ. 포도당은 없고 젖당이 있는 시험관에서 RNA 중합 효소가 B에 결합된 후 D로 이동한다. (O)

젖당이 있을 때, RNA 중합효소가 프로모터에 결합하고 프로모터에 결합한 RNA 중합효소는 구조 유전자로 이동하여 젖당 분해 효소의 아미노산 서열을 암호화하는 mRNA를 합성한다.

ㅂ. 젖당이 있을 때, A에 RNA 중합 효소가 결합한다. (X 또는 O)

[15학년도 수능]

발표된 공식 정답은 (O)이었다. 평가원의 입장은 '조절 유전자'에서도 mRNA의 전사를 통해 억제 단백질의 유전 정보가 리보솜을 통해 번역되어 억제 단백질로 발현된다는 Central dogma(유전 정보의 중심 원리)로 보인다.

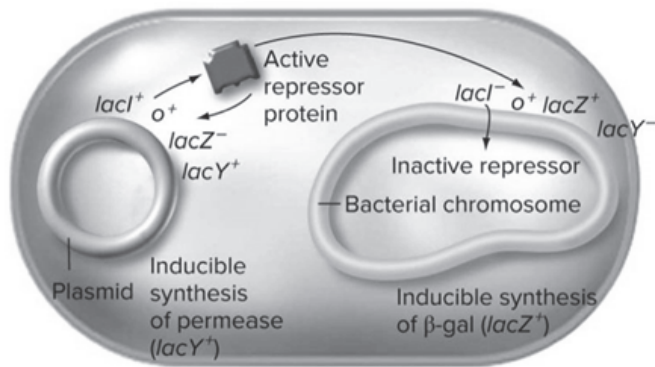
젖당의 유무와 관계없이 조절 유전자는 전사되기 때문에 조절 유전자의 프로모터에 RNA 중합 효소가 존재한다는 입장인 것이다.
(X)로 보는 입장의 견해는

자료를 제시할 때 구조 유전자와 프로모터(㉠)를 구분하여 제시한다는 것이다.

이와 마찬가지로 조절 유전자도 특정 유전자의 조절을 받는 유전자이기 때문에 억제 단백질의 발현을 조절하는 별도의 조절 유전자와 프로모터가 존재한다고 추론할 수 있으나 제시된 조절 유전자에 조절 유전자를 조절하는 프로모터 부위가 포함되어 있는지는 알 수 없는 것이다.

RNA 중합 효소가 결합하는 프로모터가 ㉠에 있는지 ㉠에서 떨어진 곳에 존재하는지 알 수 없다는 견해가 인정되어 복수정답으로 답이 수정되었다.

[Common Sense - 부분 이배체 균주]



자코브와 모노는 *lac operon*의 구조와 기능을 규명하기 위해 부분 이배체 균주를 사용하였다. 두 세균의 접합이 일어날 때 작은 원형 DNA 조각(플라스미드)이 다른 세균으로 전달되어 플라스미드를 전달받은 수용체 세균은 *lac operon*의 복사본을 2개 갖게 되어 부분 이배체 균주가 된다.

이렇게 세균과 플라스미드의 DNA에 서로 다른 조합의 돌연변이가 존재하게 하는 방법을 이용하여 여러 가지 *lac operon*의 돌연변이를 규명하였다.

[문제 59 - 22학년도 EBS 변형]

다음은 야생형 대장균과 돌연변이 대장균에 대한 자료이다.

- 대장균 I과 II는 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자가 결실된 돌연변이와 젓당 오페론의 작동 부위가 결실된 돌연변이를 순서 없이 나타낸 것이다.
- 젓당 오페론을 조절하는 조절 유전자와 조절 유전자의 프로모터가 포함된 플라스미드 P를 I, II에 각각 도입한다.
- 야생형 대장균과 P의 도입 여부가 다른 I, II를 서로 다른 배지에서 배양하였을 때, 젓당 오페론 구조 유전자의 발현 여부는 다음과 같다. ㉠과 ㉡는 ‘P 있음’ 과 ‘P 없음’ 을 순서 없이 나타낸 것이다.

구분	포도당과 젓당이 없는 배지		포도당은 없고 젓당이 있는 배지	
	㉠	㉡	㉠	㉡
야생형	×	?	○	?
I	㉠	×	?	○
II	?	○	㉡	?

(○ : 발현됨 × : 발현 안 됨)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

(단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이는 고려하지 않는다.)

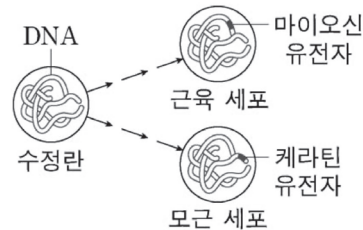
< 보 기 >

- ㄱ. ㉠은 ‘P 없음’이다.
- ㄴ. ㉠과 ㉡은 모두 ‘○’이다
- ㄷ. I은 젓당 오페론의 작동 부위가 결실된 돌연변이이다.
- ㄹ. 포도당은 없고 젓당이 있는 배지에서 P가 있는 I에서는 RNA 중합 효소가 젓당 오페론의 프로모터에 결합한다.

④ 진핵생물의 유전자 발현 조절

4. 유전체의 동일성

배아 내 모든 체세포들은 수정란의 연속적 체세포 분열에 의해 형성되기 때문에 돌연변이와 같은 예외를 제외하면 모든 체세포는 수정란과 동일한 유전정보를 갖는다.



5. 유전자의 선택적 발현(Differential Gene Expression)

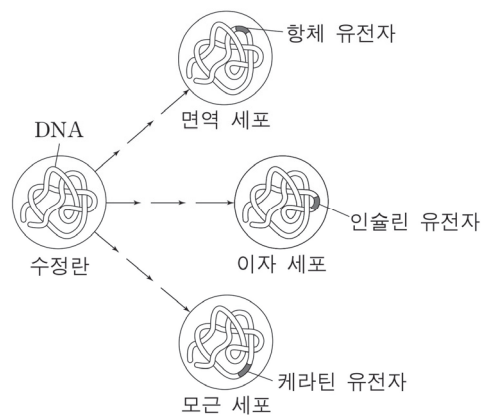
진핵세포의 기능과 모양이 다양한 이유는 여러 개의 조절 부위와 전사 인자를 사용함으로써 유전자를 선택적으로 발현시키기 때문이다. 예를 들어 근육 세포와 모근 세포에는 모두 마이오신 유전자와 케라틴 유전자가 있다.

그러나 근육 세포는 마이오신 유전자의 발현에 필요한 전사 촉진 인자를 모두 가지고 있어 마이오신 유전자는 발현되지만 케라틴 유전자의 발현에 필요한 전사 촉진 인자 중 일부를 가지고 있지 않아 케라틴 유전자는 발현되지 않는다.

이는 모근 세포에서도 같은 원리에 의해, 케라틴 유전자는 발현되지만 마찬가지로 마이오신 유전자는 발현되지 않는다.

수정란과 특정 체세포 내의 유전체는 서로 동일하지만 세포에 있는 전사 인자의 차이에 따라 특정 유전자만 발현된다는 것이다. 이렇게 특별히 정해진 세포에서 정확한 시기에 정확한 유전자를 켜고 끄는 일이 발생 과정에서의 핵심 문제가 된다.

발생 과정에서 수정란의 세포 분열로 생겨난 세포들은 혈구, 근육 세포와 같이 형태와 기능이 다양한 세포들이 되는데 이를 세포 분화라 한다. 세포 분화를 거쳐 분화된 세포들의 유전체는 수정란의 유전체와 완전히 동일하므로 분화된 세포도 하나의 개체를 형성할 수 있는 완전한 유전체를 가진다.



⇒ '세포에 따라 필요한 기능과 형태가 다르기에, 유전자가 선택적으로 발현된다'

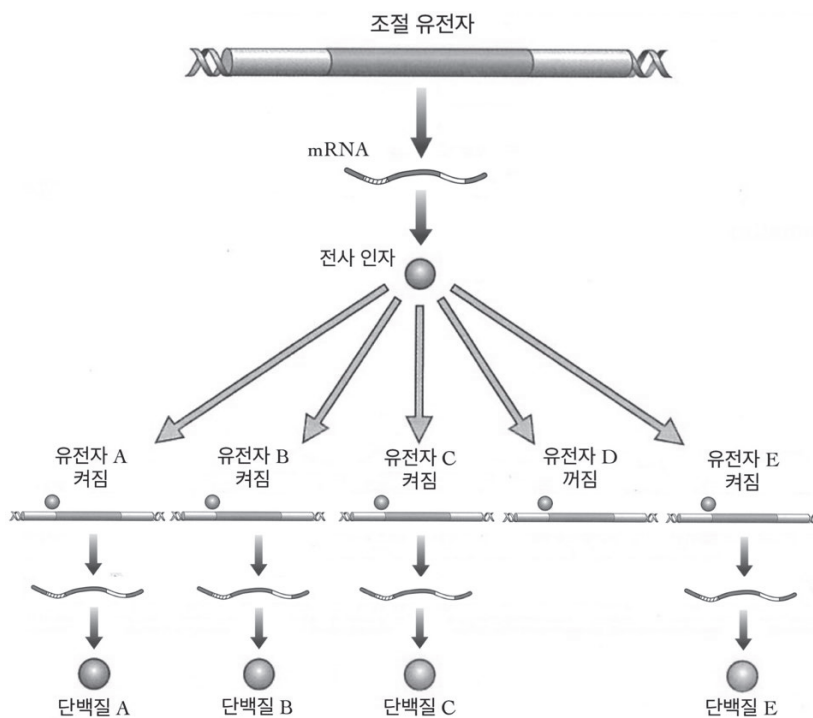
6. 운명의 결정

세포 분화가 일어나는 첫 단계로 어떤 세포가 될 것인지에 대한 **운명이 정해지는 것을 결정**이라고 한다. 결정이 일어났다는 것은 세포 내부의 상태에 안정적인 변화가 일어났다는 것을 의미하며 그에 따라 유전자 활동 양상이 변화해 세포에서 생산되는 단백질에 변화를 초래한다는 것이다. 또한 결정은 세포의 구조나 기능상의 변화가 일어나기 전에 일어나고, **한번 결정이 일어나고 나면 비가역적으로 어떤 세포로 분화할지 운명이 정해진다**.

7. 전사 인자와 유전자 발현 조절

근육 세포에 세포 분화가 일어날 때 마이오디 유전자(*myo D*)가 발현되면 t_2 시점에 전구 세포가 결정이 일어난 근육 모세포가 된다.

그러나 어떤 세포든지 마이오디 유전자(*myo D*)가 발현된다고 근육 세포로 분화되는 것은 아니다. 이는 특정 세포로 분화하려면 근육 세포의 핵심 조절 유전자인 마이오디 유전자(*myo D*)의 발현으로 합성된 단백질 외에도 다른 전사 인자들이 관여하기 때문에 다른 전사 인자의 유전자가 꺼진 세포는 *myo D* 유전자가 발현되어도 근육 세포로 분화하지 않는다.



세포 분화

세포 분열로 생겨난 세포들이 발생 과정을 통해 혈구, 근육, 표피 세포들과 같이 구조적이나 기능적으로 뚜렷한 다른 세포가 되는 것

[문제 88 - 21학년도 수능]

다음은 어떤 동물의 세포 I에서 유전자 x , y , z 의 전사 조절에 대한 자료이다.

- x , y , z 는 각각 전사 인자 X, 전사 인자 Y, 효소 Z를 암호화하며, $x \sim z$ 가 전사되면 $X \sim Z$ 가 합성된다.
- 유전자 (가), (나), z 의 프로모터와 전사 인자 결합 부위 A, B, C, D는 그림과 같다.

A	B	C		프로모터	유전자 (가)
A		C		프로모터	유전자 (나)
	B		D	프로모터	유전자 z

- (가)와 (나)는 각각 x 와 y 중 하나이다. $x \sim z$ 의 전사에 관여하는 전사 인자는 X, Y, ㉠, ㉡이다. X는 B와 D 중 어느 하나에만 결합하고, Y는 그 나머지 하나에만 결합한다. ㉠은 A와 C 중 어느 하나에만 결합하고, ㉡은 그 나머지 하나에만 결합한다.
- (가)의 전사는 전사 인자가 A~C 중 적어도 두 부위에 결합해야 촉진되고, (나)와 z 의 전사는 전사 인자가 A~D 중 하나에만 결합해도 촉진된다.
- 세포 I에서는 $X \sim Z$ 가 모두 발현되고, ㉠과 ㉡ 중 ㉠만 발현된다.
- 세포 I에서 A~D의 제거 여부에 따른 $x \sim z$ 의 전사 결과는 표와 같다.

유전자	제거된 부위			
	A	B	C	D
x	○	○	?	○
y	○	×	×	○
z	○	×	×	㉢

(○: 전사됨, ×: 전사 안됨)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

(단, 전사 인자 결합 부위의 제거 이외의 다른 요인은 전사 인자의 작용에 영향을 주지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. ㉢는 ‘○’이다.
- ㄴ. 유전자 (나)는 y 이다.
- ㄷ. 전사 인자 Y는 B에 결합한다.

71 다음은 애기장대의 꽃 형태 형성에 대한 자료이다.

- 유전자 a, b, c는 미분화 조직에서 꽃 형성에 필요한 전사 인자를 암호화하는 유전자이고, 각각 전사 인자 A, B, C를 암호화한다.
- 미분화 조직에서 ㉠만 발현되는 부위는 꽃받침이 되고, ㉠과 ㉡만 발현되는 부위는 수술이 되고, ㉠과 ㉢만 발현되는 부위는 꽃잎이 되며, ㉠만 발현되는 부위는 암술이 된다. ㉠~㉢는 a~c를 순서 없이 나타낸 것이다.
- 표는 돌연변이 식물체 I~III의 꽃에서 형성된 구조를 나타낸 것이다. I~III은 각각 a~c 중 1개 이상 결실이 일어난 식물체이다. II에서는 a가 결실되었으며, a~c 중 I, II 각각에 존재하는 유전자의 개수를 더한 값 a~c 중 III에 존재하는 유전자의 개수
은 2보다 작다.

구분	꽃에서 형성된 구조			
	꽃받침	수술	꽃잎	암술
I	?	○	?	×
II	×	?	?	○
III	㉠	?	×	○

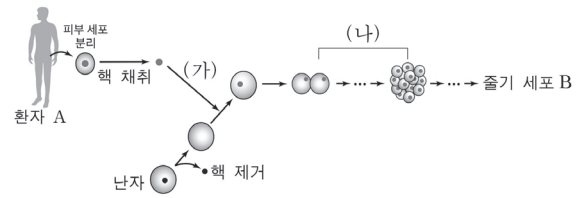
(○: 있음, ×: 없음)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

- <보 기> —
- ㄱ. ㉠은 ‘×’이다.
 - ㄴ. I은 b가 결실된 돌연변이이다.
 - ㄷ. 야생형의 이자 세포에는 b와 c가 모두 있다.

<Schema 복습>

72 그림은 생명 공학 기술을 이용하여 줄기세포를 얻는 과정을 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고르시오.

- <보 기> —
- ㄱ. (가) 과정에 DNA 연결 효소가 사용된다.
 - ㄴ. (나) 과정에 세포 융합 기술이 이용된다.
 - ㄷ. 줄기세포에는 A로부터 유래된 유전자가 있다.
 - ㄹ. B는 피부로만 분화한다.

<Schema 복습>