

39.

DNA 상대량과 유전자 매칭 [K]

사람의 유전 형질 ㉔는 3 쌍의 대립유전자 D와 d, E와 e, F와 f에 의해 결정된다. 표는 남자 I과 여자 II, I과 II 사이에서 태어난 자손의 세포 (가)~(마)가 갖는 유전자 D, e, f, ㉑, ㉒, ㉓의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. (가)~(라) 중 2개는 I의 세포이고, 나머지 2개는 II의 세포이다. ㉑~㉓은 d, E, F를 순서 없이 나타낸 것이다.

세포	DNA 상대량					
	D	e	f	㉑	㉒	㉓
(가)	1	0	0	0	㉔	0
(나)	2	2	?	0	2	㉕
(다)	1	1	0	0	1	1
(라)	1	㉖	1	1	1	?

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?  
(단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, D, d, E, e, F, f 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.)

<보기>

- ㄱ. (나)는 I의 세포이다.
- ㄴ. ㉖은 d이다.
- ㄷ. ㉔ + ㉕ + ㉖ = 1이다.

**[Comment 1] (다)와 (라)의 핵상 파악**

(다)와 (라)에는 ②의 유전자가 절반보다 많은 4개가 있으므로, 핵상이  $2n$ 이다(핵상이  $n$ 인 세포의 경우, D와 d 중 하나, E와 e 중 하나, F와 f 중 하나를 각각 갖는 것이 최대로 가질 수 있는 경우로, 총 최대 3개의 유전자만 가질 수 있다.).

(다)와 (라)는 각각 I 과 II 세포 중 하나인데, 두 세포 모두 6개의 유전자 중 4개의 유전자를 보유하므로, (다)와 (라) 중 ⑧여자 II의 세포에는 무조건 D와 d 중 하나, E와 e 중 하나, F와 f 중 하나는 최소한으로 갖고 있어야 한다. 이에 따라 성염색체에 있는 유전자가 있을 경우, Y 염색체에 있는 유전자는 없다. 이를 통해 (다)에서 ①이 F일 수 없다. (핵상이  $2n$ 이면서 F+f가 0인 경우는 해당 세포가 여자의 세포이며, 해당 유전자가 Y 염색체에 있는 경우뿐이다. 따라서 ①은 d와 E 중 하나이다.

**[Comment 2] (가)와 (나)의 핵상 파악, 유전자 위치 파악**

F는 ㉠과 ㉡ 중 하나인데, 둘 중 어느 경우건 핵상이  $2n$ 인 세포 (다)에서 F+f가 1이므로, F와 f는 성염색체에 있고, (다)는 남자 I의 세포, (라)는 여자 II의 세포이다. 여자인 II가 f를 갖고 있으므로 F와 f는 X 염색체에 있다.

(다)에서 ①이 d라면, D+d가 1이고 E+e가 2이다. ①이 E라면 E+e가 1이고 D+d가 2이다. 어느 경우건 D와 d, E와 e 중 1쌍은 성염색체에 있고, 나머지 1쌍은 상염색체에 있다. 앞서 ⑧를 통해 D와 d, E와 e 중 성염색체에 있는 유전자는 X 염색체에 있는 것을 알 수 있다.

(가)에서 ③에 대한 유전자를 3가지보다 적게 가지므로, (가)에는 Y 염색체가 있고, D만 있는 세포이며, D와 d가 상염색체에 있는 유전자임을 알 수 있다. 따라서 (가)는 핵상이  $n$ 인 남자 I의 세포이고, 남은 (나)는 여자 II의 세포이다. (라)에는 ①이 있는데 (다)는 ①이 없으므로 (다)는 핵상이  $n$ 이다.

(나)를 통해 ㉠이 F이고, E와 e가 X 염색체에 있으므로 (다)를 통해 ①이 E, 남은 ㉡이 d임을 알 수 있다.

세포	DNA 상대량					
	D	e	f	①(E)	㉠(F)	㉡(d)
(가), $n$ , I	1	0	0	0	③(0)	0
(나), $n$ , II	2	2	?(0)	0	2	⑥(0)
(다), $2n$ , I	1	1	0	0	1	1
(라), $2n$ , II	1	㉢(1)	1	1	1	?(1)

**[Comment 3] 선지 판단**

- ㄱ. (나)는 II의 세포이다. (×)
- ㄴ. ㉢은 d이다. (○)
- ㄷ. ③는 0, ⑥는 0, ㉢는 1이므로 ③+⑥+㉢=1이다. (○)

답은 ㄴ, ㄷ이다.

## 47.

## 일반 유전과 복대립 유전의 연관 [K]

다음은 사람의 유전 형질 (가)~(다)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 A와 A\*에 의해 결정되며, A는 A\*에 대해 완전 우성이다.
- (나)는 대립유전자 B와 B\*에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다.
- (다)는 1 쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립유전자에는 D, E, F가 있고, 각 대립유전자 사이의 우열 관계는 분명하다. (다)의 표현형은 3 가지이다.
- (가)와 (다)의 유전자는 같은 상염색체에 있고, (가)와 (나)의 유전자는 서로 다른 상염색체에 있다.
- 유전자형이 ㉠ AA\*BB\*DE인 아버지와 AA\*BB\*EF인 어머니 사이에서 ㉡가 태어날 때, ㉡에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 6 가지이다.
- 유전자형이 A\*A\*BB\*DF인 아버지와 AA\*BBEF인 어머니 사이에서 ㉢가 태어날 때, ㉢의 표현형이 아버지와 같을 확률은  $\frac{1}{4}$ 이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?  
(단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

<보기>

- ㄱ. ㉠에서 A\*, B, D를 모두 갖는 정자가 형성될 수 있다.
- ㄴ. 유전자형이 DD인 사람과 유전자형이 DF인 사람의 (다)에 대한 표현형은 같다.
- ㄷ. ㉢의 (가)~(다)의 표현형이 모두 ㉠과 같을 확률은  $\frac{1}{4}$ 이다.

**[Comment 1] 첫 번째 설정은 일반성을 잃지 않는다.**

(A'는 a로, B'는 b로 두고 해설합니다.)

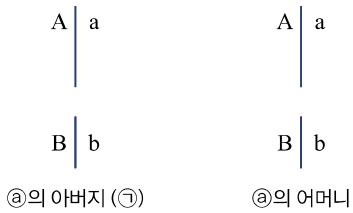
㉓에게서 나타날 수 있는 (나)의 표현형은 3가지이므로, (가)와 (다)에서 나타날 수 있는 표현형은 2가지이다. 이때 퍼넷 사각형을 이용해 교배 결과를 나타낼 수 있다.

아버지의 생식세포 어머니의 생식세포	좌	우
좌	좌좌	좌우
우	우좌	우우

이때 아버지에서 A가 있는 염색체를 '좌' 염색체, a가 있는 염색체를 '우' 염색체, 어머니에서 A가 있는 염색체를 '좌' 염색체, a가 있는 염색체를 '우' 염색체로 설정해도 일반성을 잃지 않는다.

(∵ 첫 번째 설정은 일반성을 잃지 않는다.)

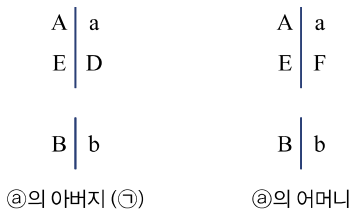
이를 염색체 지도로 나타내면 다음과 같다.



**[Comment 2] ㉓에게서 나타날 수 있는 표현형 가짓수의 해석**

이때 '좌좌', '좌우', '우좌'는 모두 [A] 표현형이고 '우우'는 [a] 표현형이다. (가)와 (다)에서 나타날 수 있는 표현형 2가지를 만족시키기 위해서 '좌좌', '좌우', '우좌'에서 (나)의 표현형은 모두 같아야 한다. 이 세 경우 모두 (나)의 표현형이 같기 위해선 부모 모두에 보이는 유전자인 E로 이루어진 [E] 표현형으로만 같을 수가 있다. 따라서 E가 D, F에 대해 완전 우성이다. 이때 아버지의 '좌'에 D가 있을 경우, 3가지 경우의 [A] 표현형 중 [E] 표현형이 나타날 수 있는 경우는 최대 2가지가 되어 모순이다. 따라서 아버지의 '좌'에는 E가, '우'에는 D가 있다.

이를 염색체 지도로 나타내면 다음과 같다.



유전 현상

[Comment 3] 단위 확률 분해

㉔의 (나)의 표현형이 아버지와 같을 확률은  $\frac{1}{2}$ 이다.

이때 ㉔의 표현형이 아버지와 같을 확률은  $\frac{1}{4}$ 이므로

(가)와 (다)의 표현형이 아버지와 같을 확률은  $\frac{1}{2}$ 이다.

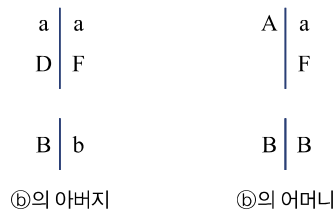
(가)의 표현형이 같기 위해선 어머니는  $\frac{1}{2}$ 의 확률로

㉔에게 a가 있는 염색체를 물려주어야 하는데,

이때 a가 있는 염색체에 E가 있을 경우

㉔의 (가)와 (다)의 표현형이 아버지와 같을 확률은 0이 되므로 모순이다.

따라서 a가 있는 염색체에 F가 있으며, ㉔에게서 [a] 표현형일 때 (다)의 유전자형은 DF와 FF가 있다.

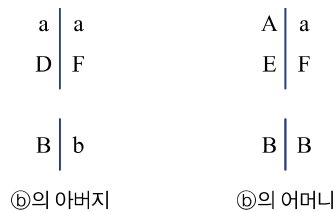


[Comment 4] 단위 확률 분해

이때 두 유전자형에 따른 표현형은 같아야 하므로 F가 D에 대해 완전 우성이다.

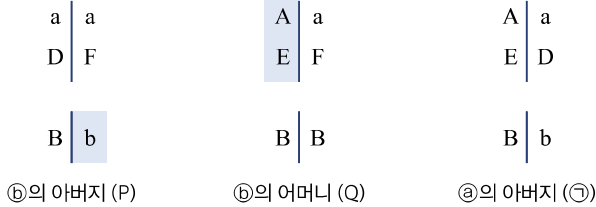
따라서 (다)의 유전자 사이의 우열 관계는 E > F > D이다.

우열 관계를 통해 ㉔에서 어머니의 (가)와 (다)의 연관 형태는 AE/aF와 AF/aE 중 AE/aF일 때만 조건을 만족시킬 수 있는 것을 추론할 수 있다.



**[Comment 5] 선지 판단**

- ㄱ. ㉠에서 A\*, B, D를 모두 갖는 정자가 형성될 수 있다. (○)
- ㄴ. 유전자형이 DD인 사람과 DF인 사람의 표현형은 다르다. (×)
- ㄷ. ㉡의 (가)~(다)의 표현형이 모두 ㉠과 같을 확률은  $\frac{1}{4}$ 이다. (○)



**Tip)** 확률 계산에 있어 P의 독립 염색체와 Q의 왼쪽 염색체 분리비만 고려해도 일반성을 잃지 않는다.

(By 11' 염색체, 이형 × 동형 교배)

답은 ㄱ, ㄷ이다.

**[Comment 6] 닭은꼴 문항**

닭은꼴 문항과 함께 본 문항의 논리를 복습해보자.

**[24학년도 9평]**

13. 다음은 사람의 유전 형질 (가)~(다)에 대한 자료이다.

- (가)~(다)의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있다.
- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해 결정되며, A는 a에 대해 완전 우성이다.
- (나)는 대립유전자 B와 b에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다.
- (다)는 1쌍의 대립유전자에 의해 결정되며, 대립유전자에는 D, E, F가 있다. D는 E, F에 대해, E는 F에 대해 각각 완전 우성이다.
- (가)와 (나)의 유전자형이 AaBb인 남자 P와 AaBB인 여자 Q 사이에서 ㉠이 태어날 때, ㉡에게서 나타날 수 있는 (가)와 (나)의 표현형은 최대 3가지이고, ㉠이 가질 수 있는 (가)~(다)의 유전자형 중 AABBFF가 있다.
- ㉢의 (가)~(다)의 표현형이 모두 Q와 같을 확률은  $\frac{1}{8}$ 이다.

㉢의 (가)~(다)의 표현형이 모두 P와 같을 확률은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.) [3점]

- ①  $\frac{1}{16}$     ②  $\frac{1}{8}$     ③  $\frac{3}{16}$     ④  $\frac{1}{4}$     ⑤  $\frac{3}{8}$

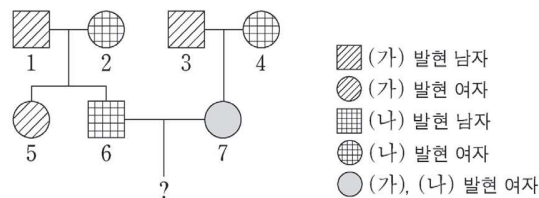
정답은 ②  $\frac{1}{8}$ 이다.

58.

일반 가계도 + 유전자 매칭 + DNA 상대량 합 [K]

다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)~(다)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립유전자 B와 b에 의해, (다)는 대립유전자 D와 d에 의해 결정된다. A는 a에 대해, B는 b에 대해, D는 d에 대해 각각 완전 우성이다.
- (가)~(다)의 유전자 중 2 개는 X 염색체에, 나머지 1 개는 상염색체에 있다.
- 가계도는 구성원 1~7 에게서 (가)~(다) 중 (가)와 (나)의 발현 여부를 나타낸 것이다.



- 표는 2, 3, 6 에서 체세포 1 개당 대립유전자 ㉠~㉣ 중 2 개의 DNA 상대량을 더한 값을 나타낸 것이다. ㉠~㉣은 a, B, d를 순서 없이 나타낸 것이다.
- 5 에서는 (다)가 발현되었고, 4 에서는 (다)가 발현되지 않았다. 1 과 7 의 (다)의 표현형은 서로 같다.

구성원	2	3	6	
DNA 상대량을 더한 값	㉠+㉡	3	2	?
	㉢+㉣	1	2	0

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?  
(단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, A, a, B, b, D, d 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.)

<보기>

- ㄱ. ㉠은 a이다.
- ㄴ. (가)~(다)는 모두 열성 형질이다.
- ㄷ. 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)~(다) 중 두 가지 형질만 발현될 확률은  $\frac{1}{2}$ 이다.

**[Comment 1] 각 유전자의 DNA 상대량 파악하기**

2의 체세포 1개당 ㉠의 DNA 상대량이 2일 경우 ㉠+㉡에 대한 표에서 모순이 발생한다. 따라서 2의 체세포 1개당 ㉠의 DNA 상대량은 1, ㉠은 2, ㉡은 0이다.

㉠이 B일 경우, 2와 5에서 모순이 발생한다. 따라서 B는 ㉠과 ㉡ 중 하나이다. 둘 중 어떤 것이 B가 되었건 6은 B를 갖지 않으므로 (나)는 열성 형질이고, 3과 7을 통해 (나)의 유전자는 상염색체에 (가)와 (다)의 유전자는 X 염색체에 있다.

2는 B를 가지면 안 되므로 ㉠은 B일 수 없어 ㉡이 B이다. 3의 체세포 1개당 B의 DNA 상대량은 1이므로 3의 체세포 1개당 ㉠~㉡의 상대량은 모두 1이다.

㉠과 ㉡ 중 어떤 것이 a와 d가 되었건, 3의 연관 형태는 ad/Y가 되어 (가)는 열성 형질이다. 2의 (가)의 유전자형은 Aa이므로 ㉠은 a일 수 없어 ㉡이 a이고, ㉠은 d이다.

**[Comment 2] 각 구성원의 연관 형태 및 나머지 형질의 우열 파악**

2의 연관 형태는 Ad/ad이므로 5의 연관 형태는 a?/ad, 3의 연관 형태는 ad/Y이므로 7의 연관 형태는 a?/ad이다.

(다)가 우성 형질일 경우 1은 5에게 a와 D가 연관된 염색체를 물려줘야 하고, 1과 7의 (다)의 표현형은 서로 같으므로 4도 a와 D가 연관된 염색체를 7에게 물려주어야 하나, 4는 (다)를 발현하지 않으므로 모순이 발생한다. 따라서 (다)는 열성 형질이고, 1과 7은 모두 (다)를 발현하였다.

**[Comment 3] 선지 판단**

- ㄱ. ㉠은 d이다. (×)
- ㄴ. (가)~(다)는 모두 열성 형질이다. (○)
- ㄷ. 6과 7의 (나)의 유전자형은 모두 bb이므로 이들 사이에서 태어난 자손은 무조건 (나)를 발현한다. 6의 연관 형태는 Ad/Y, 7의 연관 형태는 ad/ad이므로 이들 사이에서 (가)와 (다) 중 한 가지만 발현될 확률은  $\frac{1}{2}$ 이다. (○)

답은 ㄴ, ㄷ이다.



70.

유전자 치환 돌연변이 [K]

다음은 어떤 가족의 유전 형질 (가)~(다)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립유전자 H와 h에 의해, (나)는 대립유전자 R와 r에 의해, (다)는 대립유전자 T와 t에 의해 결정된다. H는 h에 대해, R는 r에 대해, T는 t에 대해 각각 완전 우성이다.
- (가)~(다)의 유전자는 모두 X 염색체에 있다.
- 표는 아버지를 제외한 나머지 가족 구성원의 성별과 (가)~(다)의 발현 여부를 나타낸 것이다. 자녀 3 과 4 의 성별은 서로 다르다.

구성원	성별	(가)	(나)	(다)
어머니	여	×	×	×
자녀 1	남	○	×	?
자녀 2	?	×	?	○
자녀 3	?	○	○	○
자녀 4	?	○	○	×

(○: 발현됨, ×: 발현안됨)

- 부모 중 한 명의 생식세포 형성 과정에서 대립유전자 ㉠이 대립유전자 ㉡으로 바뀌는 돌연변이가 1 회 일어나 ㉡을 갖는 생식세포가 형성되었다. 이 생식세포가 정상 생식세포와 수정되어 ㉢가 태어났으며, ㉢는 자녀 3 과 4 중 하나이다. ㉠과 ㉡은 (가)~(다) 중 한 가지 형질을 결정하는 서로 다른 대립유전자이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?  
(단, 제시된 돌연변이 이외의 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

<보기>

- ㄱ. ㉢는 자녀 3이다.
- ㄴ. ㉡은 R이다.
- ㄷ. (나)와 (다)는 모두 우성 형질이다.

**[Comment 1] (가)~(다)의 일부 우열 파악**

어머니에게서 (가)가 발현되지 않았는데, 남자인 자녀 1에게서 (가)가 발현되었으므로 (가)는 열성 형질이다.

자녀 3과 4를 제외하고 해석했을 땐 여기까지가 최대이므로, 각 구성원의 유전자형을 써가며 풀어나가야 한다. 어머니는 자녀 1에게 h와 (나)를 발현시키지 않는 유전자가 연관된 X 염색체를 물려주었고, 어머니는 H를 갖는다. 이때 자녀 3과 4 중 아들은 h와 (나)를 발현시키는 유전자가 연관된 X 염색체를 갖는데, 이 염색체는 정상적으로 어머니한테 받을 수 없으므로, @는 아들이다.

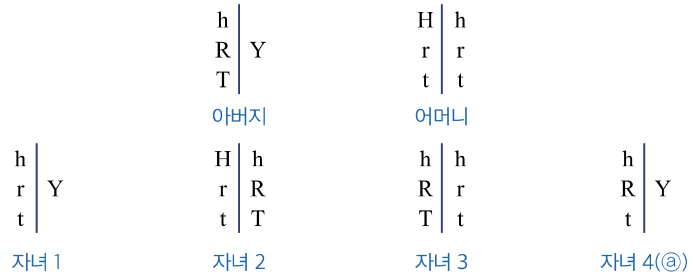
자녀 3과 4 중 딸은 정상적으로 태어났고, 어머니로부터 h와 (나)를 발현시키지 않는 유전자가 연관된 X 염색체를 물려받았는데, (나)를 발현했으므로 (나)는 우성 형질이다.

아버지는 자녀 3과 4 중 딸에게 h와 R가 연관된 X 염색체를 물려주었다. 이때 자녀 2는 (가)를 발현하지 않았으므로 어머니로부터 H와 r가 연관된 X 염색체를 물려받는다. 이때 자녀 2는 어머니와 (다)의 표현형이 서로 다르므로, 어머니는 자녀 2에게 t를 물려주었다. (T를 물려줄 경우, 둘 다 우성 표현형이 되어 발현 여부가 서로 같아야 한다.)

돌연변이

[Comment 2] ㉔ 해석 및 (다)의 우열 파악

어머니는 ㉔에게 ㉔h와 r가 연관된 X 염색체를 물려주는 과정에서, 대립유전자 r(㉔)가 R(㉔)로 바뀌는 돌연변이가 일어났다. 이때 (다)의 유전자에는 이상이 없어야 한다. 어머니는 자녀 3과 4 중 딸에게도 ㉔를 물려주는데, ㉔와 자녀 3과 4 중 딸의 (다)의 표현형은 서로 다르므로, ㉔에는 t가 있다. 어머니의 (다)의 유전자형은 tt인데, (다)를 발현하지 않았으므로 (다)는 우성 형질이다. 따라서 ㉔는 자녀 4이다.



[Comment 3] 선지 판단

- ㄱ. ㉔는 자녀 4이다. (×)
- ㄴ. ㉔은 R다. (○)
- ㄷ. (가)는 열성 형질, (나)와 (다)는 모두 우성 형질이다. (○)

답은 ㄴ, ㄷ이다.

[Comment 4] **답은꼴 문항**

답은꼴 문항과 함께 본 문항의 논리를 복습해보자.

[18학년도 수능]

19. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 ㉠~㉢에 대한 자료이다.

○ ㉠은 대립 유전자 H와 H\*에 의해, ㉡은 대립 유전자 R과 R\*에 의해, ㉢은 대립 유전자 T와 T\*에 의해 결정된다. H는 H\*에 대해, R는 R\*에 대해, T는 T\*에 대해 각각 완전 우성이다.

○ ㉠~㉢을 결정하는 유전자는 모두 X 염색체에 있다.

○ 감수 분열 시 부모 중 한 사람에게서만 염색체 비분리가 1회 일어나 ① 염색체 수가 비정상적인 생식 세포가 형성되었다. ①가 정상 생식 세포와 수정되어 아이가 태어났다. 이 아이는 자녀 3과 자녀 4 중 하나이며, 클라인펠터 증후군을 나타낸다. 이 아이를 제외한 나머지 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

○ 표는 구성원의 성별과 ㉠~㉢의 발현 여부를 나타낸 것이다.

구성원	성별	㉠	㉡	㉢
부	남	○	?	?
모	여	?	×	?
자녀 1	남	×	○	○
자녀 2	여	×	×	×
자녀 3	남	×	×	○
자녀 4	남	○	×	○

(○: 발현됨, ×: 발현되지 않음)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 염색체 비분리 이외의 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.) [3점]

— <보기> —

ㄱ. ㉡과 ㉢은 모두 열성 형질이다.  
 ㄴ. 클라인펠터 증후군을 나타내는 구성원은 자녀 4이다.  
 ㄷ. ①는 감수 1분열에서 염색체 비분리가 일어나 형성된 정자이다.

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

[선지 판단]

- ㄱ. ㉠~㉢은 모두 열성 형질이다. (○)  
 ㄴ. 클라인펠터 증후군을 나타내는 구성원은 3이다. (×)  
 ㄷ. 3에게 전달된 X 염색체는 서로 다른 대립유전자를 가진 2개의 X 염색체이므로 ①는 어머니의 감수 1분열 때 성염색체 비분리에 의해 형성된 난자이다. (×)

답은 ① ㄱ이다.