

다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓 수

[예제 4]

다음은 사람의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

- (가)는 서로 다른 2개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되며, A, a, B, b는 7번 염색체에 있다.
- (가)의 표현형은 ① 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 남자 P의 ①과 여자 Q의 ①의 합은 6이다. P는 d를 갖는다.
- P와 Q 사이에서 @가 태어날 때, @에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 3가지이고, @가 가질 수 있는 ①은 1, 3, 5 중 하나이다.

Q의 ① ÷ P의 ① 값은?

[인강]



다인자 유전  
 Schema 5  
 최대 표현형 가짓 수

[예제 4]

(가)는 서로 다른 2개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되며, A, a, B, b는 7번 염색체에 있으므로 염색체 모식도를 그리자.



(∵ P는 d를 갖는다.)

P와 Q 사이에서 ㉠가 태어날 때, ㉠에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 3가지이고, ㉠가 가질 수 있는 ㉡은 1, 3, 5 중 하나라고 했으므로 1, 3, 5는 1:2:1의 표현형 간 비율을 나타낸다.

따라서 1:2:1에서 상댓값(비중)의 합은 4이므로 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍은 2쌍만 등장해야함을 알 수 있다.

1, 3, 5는 표현형 간 대문자 수 차이 2가 2번 나타나므로 부모의 상동 염색체 중 상인 연관된 염색체를 2쌍 가져야 한다.



대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍이 2쌍 등장했으므로 남은 독립인 상동 염색체 쌍은 모두 동형 접합성이 되어야 한다.

∴ P의 독립인 상동 염색체쌍은 dd이다.

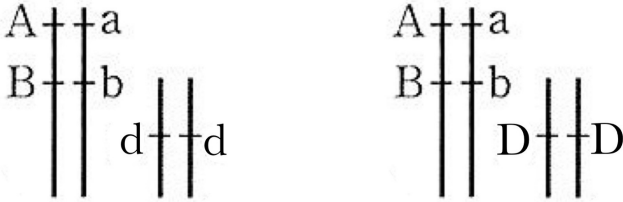


[인강]



다인자 유전  
 Schema 5  
 최대 표현형 가짓 수

이때 남자 P의 ㉠과 여자 Q의 ㉡의 합은 6이므로 Q의 독립인 상동 염색체쌍이 결정된다.



∴ Q의 ㉡ ÷ P의 ㉠ 값은 2이다.

[인강]



다인자 유전  
Schema 6  
표현형 간 비

세 유전자가 모두 다른 염색체에 있는 3성 다인자 유전에서  
동형 접합성 개수( $A$ )와 이형 접합성 개수( $A^C$ )의 합은 항상  $6(U)$ 이다.

동형 접합성 개수에 의해  $B(n, p)$ 에서  $n$  값이 결정되고  
이항분포의 확률분포는 결정된 비율관계의 연속으로 이는 암기 후 활용할 수 있다.

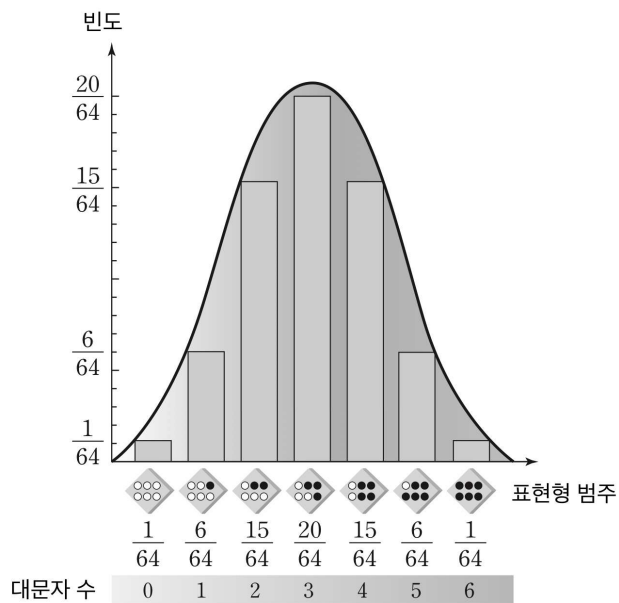
[파스칼의 삼각형]

$n$ 의 의미

미결정 유전자 자리 수  
이형 접합 대립유전자쌍 수

이항계수의 합 (상댓값의 합)	이항계수 (표현형 간 비)								
$2^0 (n=0)$	1								
$2^1 (n=1)$	1	1							
$2^2 (n=2)$	1	2	1						
$2^3 (n=3)$	1	3	3	1					
$2^4 (n=4)$	1	4	6	4	1				
$2^5 (n=5)$	1	5	10	10	5	1			
$2^6 (n=6)$	1	6	15	20	15	6	1		
$2^7 (n=7)$	1	7	21	35	35	21	7	1	
$2^8 (n=8)$	1	8	28	56	70	56	28	8	1

앞서 가장 특수한 경우의 교배  $AaBbDd \times AaBbDd$  에 대해 가장 먼저 알아보았고  
이 경우 비율관계는 다음과 같았다.



확률(상댓값) 합의 의미

확률(상댓값) 합, 즉 분모의 64  
는 2의 6승, 분리되는 유전자  
형이 이형 접합인 상동 염색체  
쌍의 개수를 의미한다.

이러한 합의 관점은 독립인 상  
항보다도 연관 추론 상황에서  
유용하게 활용할 수 있다.

확률의 상댓값 :	대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
	확률(상댓값)	1	6	15	20	15	6	1

[인강]





다인자 유전  
Schema 6  
표현형 간 비

동형 접합성 유전자형은 유전자 자리의 개수를 줄인다.

이를 활용하여 4성 다인자 유전에서

동형 접합성 개수와 이형 접합성 개수에 따른 비율관계를 일반화하면 다음과 같다.

이항계수의 합	부모의 동형 개수	이항계수
$2^0 (n=0)$	8	1
$2^1 (n=1)$	7	1 1
$2^2 (n=2)$	6	1 2 1
$2^3 (n=3)$	5	1 3 3 1
$2^4 (n=4)$	4	1 4 6 4 1
$2^5 (n=5)$	3	1 5 10 10 5 1
$2^6 (n=6)$	2	1 6 15 20 15 6 1
$2^7 (n=7)$	1	1 7 21 35 35 21 7 1
$2^8 (n=8)$	0	1 8 28 56 70 56 28 8 1

4성 다인자 유전

부모의 염색체 상에서 4쌍의 대립유전자쌍이 관여하는 다인자 유전

[다인자 독립 - 비율 관계]

이항계수의 합	부모의 이형 개수	이항계수
$2^0 (n=0)$	0	1
$2^1 (n=1)$	1	1 1
$2^2 (n=2)$	2	1 2 1
$2^3 (n=3)$	3	1 3 3 1
$2^4 (n=4)$	4	1 4 6 4 1
$2^5 (n=5)$	5	1 5 10 10 5 1
$2^6 (n=6)$	6	1 6 15 20 15 6 1
$2^7 (n=7)$	7	1 7 21 35 35 21 7 1
$2^8 (n=8)$	8	1 8 28 56 70 56 28 8 1

동형 접합 개수를 통해 비율 관계(상댓값)로 풀 수 있다고 판단되면 비율관계를 떠올려서

확률의 정량값을 빠르게 구해야 할 경우

이형 접합 개수와 우성 동형 접합 개수를 활용해 다음 공식에 적용하자.

$$\text{확률 값(정량값)} : P(X=r) = {}_n C_r \left(\frac{1}{2}\right)^r \left(\frac{1}{2}\right)^{n-r} = \frac{{}_n C_r}{2^n}$$

( $n$ 은 부모의 이형 접합성 개수,  $r$ 은 대문자 개수 - 부모의 대문자 동형 접합성 개수)

[인강]



다인자 유전  
Schema 6  
표현형 간 비

다인자 독립과 연관인 상황에서 등장하는 비율관계를 정리하면 다음과 같다.

[다인자 연관 - 비율 관계]

표현형 가짓수	가능한 상댓값 간 비율	가능한 경우
1	1	
2	1 : 1	
3	1 : 2 : 1	1 : 2 : 1 (2연관 인 × 인)
4	1 : 1 : 1 : 1 1 : 3 : 3 : 1	1 : 1 : 1 : 1 (3연관) 1 : 3 : 3 : 1 (3독립, 2연 2연, 3연 1독 등)
5	1 : 4 : 6 : 4 : 1 1 : 2 : 2 : 2 : 1	1 : 4 : 6 : 4 : 1 (3독립, 2연 1독 등) 1 : 2 : 2 : 2 : 1 (2연관 1독립 : 인×반, 3연 1독 등)
6	1:5:10:10:5:1 1:3:4:4:3:1 1:2:1:1:2:1 1:1:2:2:1:1	차이 양상에 따라 다양한 상황에서 등장할 수 있다. 첫 번째 비율은 n=5일 때 두 번째 비율은 n=4일 때 세 번째, 네 번째 비율은 n=3일 때 나타난다.
7	1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1 1 : 4 : 7 : 8 : 7 : 4 : 1 1 : 2 : 3 : 4 : 3 : 2 : 1 1 : 3 : 3 : 2 : 3 : 3 : 1 1 : 1 : 1 : 2 : 1 : 1 : 1	차이 양상에 따라 다양한 상황에서 등장할 수 있다. 첫 번째 비율은 n=6일 때 두 번째 비율은 n=5일 때 세 번째 비율은 n=4일 때 네 번째, 다섯 번째 비율은 n=3일 때 나타난다.
8	1:7:21:35:35:21:7:1 1:5:11:15:15:11:5:1 1:3:5:7:7:5:3:1 1:2:2:3:3:2:2:1 1:3:1:3:3:1:3:1 1:1:3:3:3:3:1:1	차이 양상에 따라 다양한 상황에서 등장할 수 있다. 첫 번째 비율은 n=7일 때 두 번째 비율은 n=6일 때 세 번째 비율은 n=5일 때 네 번째~여섯 번째 비율은 n=4일 때 나타난다.

⇒ 연관 관계가 다른데 동일한 비율이 나오는 이유는 차이 양상이 같아질 수 있기 때문

⇒ 상댓값 간 비율 뿐만 아니라 상댓값의 합은 차이 양상을 판단할 수 있게 해주는 중추로 작용하는 경우가 많으니 함께 인지하도록 하자.

[인강]

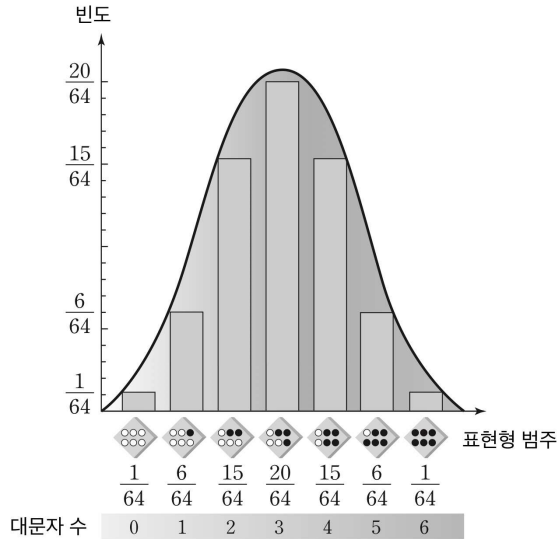


다인자 유전  
Schema 7  
중양값

다인자 독립인 경우 중앙에 오는 확률(중양값)은 항상 극댓값이다.

다인자 연관

연관이 섞인 경우 중양값이 극댓값이 아닐 수 있다.



이는 다인자 독립인 경우 표현형 간 확률(상댓값)은 서로 이항분포의 양상을 나타내기 때문이다.

[확률분포표]

$X$	0	1	2	...	$n$	계
$P(X=x)$	${}_nC_0 p^0 q^n$	${}_nC_1 p^1 q^{n-1}$	${}_nC_2 p^2 q^{n-2}$		${}_nC_n p^n q^0$	1

[확률의 상댓값]

	0	1	2	...	$n$	계
확률의 상댓값 = 이항 계수	${}_nC_0$	${}_nC_1$	${}_nC_2$		${}_nC_n p^n q^0$	1

[상댓값 간 나열]

이항계수의 합	이항계수										
$2^0 (n=0)$	1										
$2^1 (n=1)$		1		1							
$2^2 (n=2)$			1	2	1						
$2^3 (n=3)$			1	3	3	1					
$2^4 (n=4)$			1	4	6	4	1				
$2^5 (n=5)$			1	5	10	10	5	1			
$2^6 (n=6)$			1	6	15	20	15	6	1		
$2^7 (n=7)$			1	7	21	35	35	21	7	1	
$2^8 (n=8)$			1	8	28	56	70	56	28	8	1

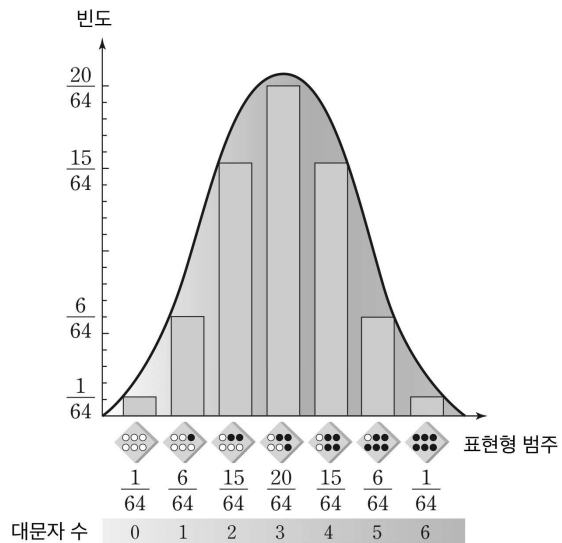
[인강]



다인자 유전  
Schema 7  
중양값

또한 독립, 연관과 관계없이 부모의 표현형이 서로 같은 경우, 부모의 표현형은 출현 가능한 자녀의 표현형 분포 중 중양값과 동일하다.

예를 들어 유전자형이 AaBbDd(대문자 수 3)인 부모로부터 태어나는 자손의 표현형 범주는 아래와 같고, 중양값은 대문자 수 3인 자손이다.



[예제 5]

- (가)는 서로 다른 3개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정된다. (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자 수가 다르면 표현형이 다르다.
- P와 Q는 (가)의 표현형이 서로 같고, P와 Q 사이에서 @가 태어날 때, @의 표현형이 P와 같을 확률은  $\frac{3}{8}$ 이다.

@에게서 나타날 수 있는 표현형의 최대 가짓수는?

[인강]



다인자 유전  
Schema 7  
중양값

[예제 5 해설]

알고 있는 확률 간 관계들을 활용해보자

$\frac{3}{8}$ 은 1:3:3:1 이나 1:4:6:4:1에서 등장하는 확률이다.

이때 ①의 표현형이 P, Q와 같다고 했으므로

$\frac{3}{8}$ 은 표현형 분포 상 정중앙에서 등장하는 확률이고 가능한 확률은 1:4:6:4:1으로 귀결된다.

따라서 ①에게서 나타날 수 있는 표현형의 최대 가짓수는 5가지이다.

[인강]



---

다인자 유전  
Schema 7  
중양값

---

**[예제 6]**

- (가)는 서로 다른 염색체에 있는 2쌍의 대립 유전자 A와 a, B와 b에 의해 결정된다.
- (가)에 대한 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수가 다르면 (가)에 대한 표현형이 다르다.
- 유전자형이 AaBb으로 동일한 개체 P와 Q를 교배하여 개체 ①를 얻을 때, ①에게서 나타날 수 있는 (가)에 대한 표현형은 최대 ⑦가지이다.

①의 (가)에 대한 표현형이 P와 다를 확률은?

---

[인강]



다인자 유전  
Schema 7  
중양값

[예제 6 해설]

2독립인 상황이고 대문자 수 총 차이가 - 4이므로  
비율관계는 1:4:6:4:1이고 ①은 5이며 상댓값의 합은 16이다.

①의 (가)에 대한 표현형이 P와 같을 확률은 중양값인  $\frac{6}{16}$ 이므로

①의 (가)에 대한 표현형이 P와 다를 확률은  $\frac{16-6}{16} = \frac{5}{8}$ 이다.

[인강]



다인자 유전  
Schema 7  
중양값

[예제 7]

- (가)는 대립 유전자 A와 a에 의해 결정되며, 유전자형이 AA, Aa, aa인 개체의 표현형은 서로 다르다.
- (나)는 2쌍의 대립 유전자 B와 b, D와 d에 의해 결정된다.
- (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 (나)의 표현형이 다르다.
- (가)와 (나)를 결정하는 유전자는 서로 다른 3개의 상염색체에 존재한다.

유전자형이 AaBbDd인 부모 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)와 (나)의 표현형이 부모와 같을 확률은? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

[예제 7 해설]

2독립인 상황이고 대문자 수 총 차이가 -4이므로  
비율관계는 1:4:6:4:1이고 ①은 5이며 상댓값의 합은 16이다.

①의 (가)에 대한 표현형이 P와 같을 확률은 중양값인  $\frac{6}{16}$ 이므로

①의 (가)에 대한 표현형이 P와 다를 확률은  $\frac{16-6}{16} = \frac{5}{8}$ 이다.

[인강]





다인자 유전  
Schema 7  
중양값

[예제 8]

- (가)는 대립 유전자 A와 a에 의해 결정되며, 유전자형이 AA, Aa, aa인 개체의 표현형은 서로 다르다.
- (나)는 2쌍의 대립 유전자 B와 b, D와 d에 의해 결정된다.
- (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립 유전자의 수가 다르면 (나)의 표현형이 다르다.
- (가)와 (나)를 결정하는 유전자는 서로 다른 3개의 상염색체에 존재한다.

유전자형이 AaBbDd인 부모 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 (가)와 (나)의 표현형이 부모와 같을 확률은? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

[예제 8 해설]

2독립인 상황이고 대문자 수 총 차이가 - 4이므로  
비율관계는 1:4:6:4:1이고 ①은 5이며 상댓값의 합은 16이다.

(나)에 대한 표현형이 부모와 같을 확률은 중양값인  $\frac{6}{16} = \frac{3}{8}$ 이고

(가)에 대한 표현형이 부모와 같을 확률은  $\frac{2}{4} = \frac{1}{2}$ 이므로

(가)와 (나)의 표현형이 부모와 같을 확률은  $\frac{3}{16}$ 이다.

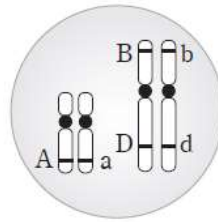
[인강]



다인자 유전  
Schema 7  
중양값

[예제 9]

- ㉠을 결정하는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d는 서로 다른 2개의 상염색체에 존재한다.
- ㉠의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 남자 P와 여자 Q의 ㉠에 대한 유전자형은 같고, Q의 체세포에 들어있는 염색체에서 ㉠에 대한 유전자의 위치는 그림과 같다.



- P와 Q 사이에서 ㉠이 태어날 때, 이 아이의 ㉠에 대한 표현형이 부모와 같을 확률은  $\frac{1}{4}$ 이다.

㉠의 동생이 태어날 때, ㉠이 가질 수 있는 최대 표현형 가짓수는?

[인강]



다인자 유전  
Schema 7  
중양값

[예제 9 해설]

아이의 ㉔에 대한 표현형이 부모와 같을 확률은  $\frac{1}{4}$  이므로,  $\frac{1}{4}$ 은 상인×상인 교배의 비율의 중양값에서 나타나고 남자 P의 체세포에 들어 있는 염색체에서 ㉔에 대한 유전자의 위치도 Q와 동일한 것을 알 수 있다.

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	3	4	3	2	1
상댓값의 합	16						
의미	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 4쌍						

따라서 ㉔의 동생이 태어날 때, ㉔가 가질 수 있는 최대 표현형 가짓수는 7가지이다.

[인강]

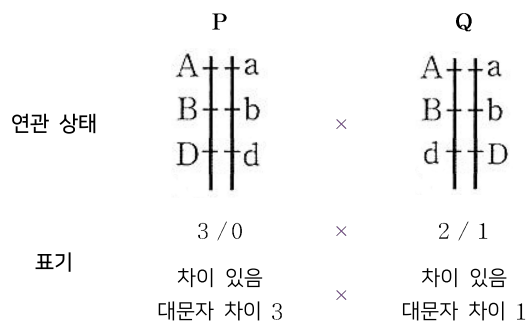


다인자 유전  
Schema 7  
중양값

자손의 표현형이 홀수 가지일 경우 항상 부모의 표현형 중양값과 등장할 수 있는 자손의 표현형 중양값이 동일하지만

자손의 표현형이 짝수 가지로 나오는 경우 부모의 표현형 간 중양값과 등장할 수 있는 자손의 표현형 중양값이 동일하지 않다.

그러나 등장할 수 있는 자손의 표현형 평균값과 부모의 표현형 간 중양값은 동일하다.



∴ 상댓값의 합 4 (2의 2승)

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가지 수	3종류			
표현형 대문자 개수	1	2	4	5
표현형 간 비 (상댓값)	1	1	1	1
상댓값의 합	4			
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍			

P와 Q의 중양값인 3이 자손의 표현형 대문자 개수에서 나타나지 않는 것을 알 수 있다. 그러나 최소(1)와 최대(5)의 평균값은 여전히 3으로 유효하다.

[인강]



다인자 유전  
Schema 7  
중양값

[예제 10]

- (가)는 서로 다른 3개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정된다. (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자 수가 다르면 표현형이 다르다.
- ㉠과 ㉡의 유전자형이 AaBbDd인 부모 사이에서 ㉢가 태어날 때, ㉢에게서 나타날 수 있는 ㉣의 표현형은 최대 4가지이다.

㉢에서 ㉣의 표현형이 부모와 다를 확률은?



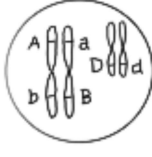




[인강]



[예제 10 해설]

연관 상태가 주어지지 않았을 때

①을 결정하는 3개의 유전자는 다음과 같이 세 가지 경우의 수가 가능하다.

	[Case 1] 3독립	[Case 2] 2연관 1독립
염색체 상태		 
	[Case 3] 3연관	
염색체 상태	   	

[Case 1]

3독립

3독립인 부모가 교배할 경우 부모 각각 상동 염색체의 대문자 차이가 - 3씩 있으므로 자손의 최대 표현형 가짓수는 7가지이다.

주어진 경우에 부합하지 않는다.

[Case 2]

2연관 1독립

염색체 상태가 2연관 1독립인 부모가 교배할 경우

상인 × 상인일 때, 7가지

상인 × 상반일 때, 5가지

상반 × 상반일 때, 3가지 이다.

주어진 경우에 부합하지 않는다.

[인강]



다인자 유전  
Schema 7  
중양값

		[Case 3]	
		3연관	
염색체 상태			
표기	3/0	2/1	
지칭	㉗	㉘	

[Case 3]  
3연관

염색체 상태가 3연관인 경우 대문자 수에 따라 크게 ㉗와 ㉘로 분류할 수 있다.

- ㉗ × ㉗일 때, 3가지 (자손 표현형 ⑥, ③, ①)
- ㉗ × ㉘일 때, 4가지 (자손 표현형 ①, ②, ④, ⑤)
- ㉘ × ㉘일 때, 3가지 (자손 표현형 ④, ③, ②)

이다.

따라서 구하는 경우는 ㉗ × ㉘일 때이고

부모의 표현형은 둘 다 ③이므로

㉗에서 ㉘의 표현형이 부모와 다를 확률은 1이다.

[인강]

