Chapter 3

실전 개념

: 다인자 유전 (1)

[디올패스]

다인자 유전

다인자 유전은 크게 5가지 유형으로 분류된다.

Ⓐ 순수 다인자 [★★★]

부모의 유전자 지도를 채우거나 생식 세포 형성에 대한 이해를 요구하는 문항이 출제되곤 한다.

14. 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 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- (가)의 표현형이 서로 같은 P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 5가지이고, ⓐ의 표현형이 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{8}$이며, ⓐ의 유전자형이 AABbDD일 확률은 $\frac{1}{8}$이다.

ⓐ가 유전자형이 AaBbDd인 사람과 동일한 표현형을 가질 확률은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

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

22학년도 6월 평가원 - 연관 다인자

15. 다음은 사람의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

- (가)는 서로 다른 3개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정된다.
- (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- (나)는 대립유전자 E와 e에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다. (나)의 유전자는 (가)의 유전자와 서로 다른 상염색체에 있다.
- P와 Q는 (가)의 표현형이 서로 같고, (나)의 표현형이 서로 다르다.
- P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ의 표현형이 P와 같을 확률은 $\frac{3}{16}$이다.
- ⓐ는 유전자형이 AABBDDEE인 사람과 같은 표현형을 가질 수 있다.

ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형의 최대 가짓수는? (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.) [3점]

① 5 ② 6 ③ 7 ④ 10 ⑤ 14

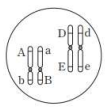
22학년도 9월 평가원 - 독립 다인자

Ⓑ 타 유전 현상 연관 [★★]

중간 유전, 완전 우성 유전, 복대립 유전과 연관된 다인자 유전 현상이 출제된다.

17. 다음은 사람의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

- (가)는 대립 유전자 A와 a에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다.
- (나)를 결정하는 데 관여하는 3개의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있으며, 3개의 유전자는 각각 대립 유전자 B와 b, D와 d, E와 e를 갖는다.
- (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립 유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 그림은 어떤 남자 P의 체세포에 들어 있는 일부 염색체와 유전자를 나타낸 것이다.



- 어떤 여자 Q에서 (가)와 (나)의 표현형은 P와 같다. P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 10가지이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.) [3점]

〈보 기〉

ㄱ. (나)의 유전은 다인자 유전이다.
ㄴ. Q는 A와 b가 연관된 염색체를 갖는다.
ㄷ. ⓐ에서 (가)와 (나)의 표현형이 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{10}$ 이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

18학년도 9월 평가원 - 중간 유전 연관

14. 다음은 사람의 유전 형질 ㉠과 ㉡에 대한 자료이다.

- ㉠을 결정하는 데 관여하는 3개의 유전자는 상염색체에 있으며, 3개의 유전자는 각각 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d를 가진다.
- ㉠의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립 유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- ㉡은 대립 유전자 E와 e에 의해 결정되며, E는 e에 대해 완전 우성이다.
- ㉠과 ㉡의 유전자형이 AaBbDdEe인 부모 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 11가지이고, ⓐ가 가질 수 있는 유전자형 중 aabbddee가 있다.

ⓐ에서 ㉠과 ㉡의 표현형이 모두 부모와 같을 확률은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.) [3점]

① $\frac{3}{11}$ ② $\frac{1}{4}$ ③ $\frac{1}{8}$ ④ $\frac{3}{32}$ ⑤ $\frac{1}{16}$

20학년도 9월 평가원 - 완전 우성 유전 연관

[Remark 1] 필자는 조심스럽게 복대립 유전 연관 출제될 때가 되었다고 생각하는 바이며 주간 디올 8권에 고난도 예제를 수록해두었다...!

© 세포 대응 복합형 [★★★★]

세포 대응(염색체 그림, DNA 상대량, 유전자 유무)를 활용하여 다인자 유전을 해석하는 문항이 출제된다.

14. 다음은 같은 종인 동물(2*n*=6) Ⅰ~Ⅲ과 유전 형질 ⓐ에 대한 자료이다.

- 수컷 Ⅰ과 암컷 Ⅱ 사이에서 Ⅲ이 태어났다. 이 동물의 성염색체는 수컷이 XY, 암컷이 XX이다.
- ⓐ는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되고, 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 그림은 세포 (가)~(라)에 들어 있는 모든 염색체를 나타낸 것이다. (가)~(라)는 각각 Ⅰ~Ⅲ의 세포 중 하나이고, Ⅰ~Ⅲ의 ⓐ의 표현형은 모두 다르다. ㉠은 B와 b 중 하나이다.

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

<보 기>

ㄱ. ㉠은 b이다.
ㄴ. (다)는 Ⅰ의 세포이다.
ㄷ. Ⅰ과 Ⅱ 사이에서 Ⅳ가 태어날 때, Ⅳ의 ⓐ의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 1일 확률은 $\frac{1}{4}$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

24학년도 수능 대비 주간 어싸

17. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

- (가)는 서로 다른 상염색체에 있는 2쌍의 대립유전자 H와 h, T와 t에 의해 결정된다. (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 표는 이 가족 구성원의 체세포에서 대립유전자 ⓐ~ⓓ의 유무와 (가)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수를 나타낸 것이다. ⓐ~ⓓ는 H, h, T, t를 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠~㉤은 0, 1, 2, 3, 4를 순서 없이 나타낸 것이다.

구성원	대립유전자				대문자로 표시되는 대립유전자의 수
	ⓐ	ⓑ	ⓒ	ⓓ	
아버지	○	○	×	○	㉠
어머니	○	○	○	○	㉡
자녀 1	?	×	×	○	㉢
자녀 2	○	○	?	×	㉣
자녀 3	○	?	○	×	㉤

(○: 있음, ×: 없음)

- 아버지의 정자 형성 과정에서 염색체 비분리가 1회 일어나 염색체 수가 비정상적인 정자 P가 형성되었다. P와 정상 난자가 수정되어 자녀 3이 태어났다.
- 자녀 3을 제외한 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

23학년도 수능 - 대립유전자 유무 & 다인자

Ⓓ 돌연변이 [★★★★]

돌연변이를 활용하여 다인자 유전을 해석하는 문항이 출제된다.

19. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 ㉠에 대한 자료이다.

- ㉠을 결정하는 데 관여하는 3개의 유전자는 모두 상염색체에 있으며, 3개의 유전자는 각각 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d를 갖는다.
- ㉠의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립 유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 표 (가)는 이 가족 구성원의 ㉠에 대한 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수를, (나)는 아버지로부터 형성된 정자 Ⅰ~Ⅲ이 갖는 A, a, B, D의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. Ⅰ~Ⅲ 중 1개는 세포 P의 감수 1분열에서 염색체 비분리가 1회, 나머지 2개는 세포 Q의 감수 2분열에서 염색체 비분리가 1회 일어나 형성된 정자이다. P와 Q는 모두 G_1기 세포이다.

구성원	대문자로 표시되는 대립 유전자의 수
아버지	3
어머니	3
자녀 1	8

(가)

정자	DNA 상대량			
	A	a	B	D
Ⅰ	0	?	1	0
Ⅱ	1	1	1	1
Ⅲ	2	?	?	?

(나)

- Ⅰ~Ⅲ 중 1개의 정자와 정상 난자가 수정되어 자녀 1이 태어났다. 자녀 1을 제외한 나머지 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

20학년도 수능 - 다인자 & 돌연변이

17. 다음은 어떤 가족의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

- (가)는 서로 다른 상염색체에 있는 2쌍의 대립유전자 H와 h, T와 t에 의해 결정된다. (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 표는 이 가족 구성원의 체세포에서 대립유전자 ⓐ~ⓓ의 유무와 (가)의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수를 나타낸 것이다. ⓐ~ⓓ는 H, h, T, t를 순서 없이 나타낸 것이고, ㉠~㉤은 0, 1, 2, 3, 4를 순서 없이 나타낸 것이다.

구성원	대립유전자				대문자로 표시되는 대립유전자의 수
	ⓐ	ⓑ	ⓒ	ⓓ	
아버지	○	○	×	○	㉠
어머니	○	○	○	○	㉡
자녀 1	?	×	×	○	㉢
자녀 2	○	○	?	×	㉣
자녀 3	○	?	○	×	㉤

(○: 있음, ×: 없음)

- 아버지의 정자 형성 과정에서 염색체 비분리가 1회 일어나 염색체 수가 비정상적인 정자 P가 형성되었다. P와 정상 난자가 수정되어 자녀 3이 태어났다.
- 자녀 3을 제외한 이 가족 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

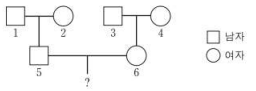
23학년도 수능 - 다인자 & 돌연변이

Ⓔ 가계도 [★★★★]

가계도를 활용하여 다인자 유전을 해석하는 문항이 출제된다.

17. 다음은 사람의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

○ (가)를 결정하는 데 관여하는 3개의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있으며, 3개의 유전자는 각각 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d를 갖는다.
○ (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수가 다르면 (가)의 표현형이 다르다.
○ 가계도 구성원 1~6의 유전자형은 모두 AaBbDd이고, 가계도에는 (가)의 표현형은 나타내지 않았다.



○ 5의 동생이 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형은 최대 7가지이다.
○ 6의 동생이 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형은 최대 3가지이다.

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

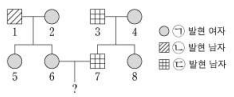
〈보 기〉

ㄱ. (가)의 유전은 복대립 유전이다.
ㄴ. 6의 동생이 태어날 때, 이 아이의 (가)의 표현형이 6과 다를 확률은 $\frac{1}{2}$이다.
ㄷ. 5와 6 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 (가)의 표현형은 최대 5가지이다.

17학년도 9월 평가원 - 순수 다인자 가계도

17. 다음은 어떤 집안의 유전 형질 (가)와 (나)에 대한 자료이다.

○ (가)는 대립유전자 E와 e에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다. (가)의 3가지 표현형은 각각 ㉠, ㉡, ㉢이다.
○ (나)는 3쌍의 대립유전자 H와 h, R와 r, T와 t에 의해 결정된다. (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
○ 가계도는 구성원 1~8에게서 발현된 (가)의 표현형을, 표는 구성원 1, 2, 3, 6, 7에서 체세포 1개당 E, H, R, T의 DNA 상대량을 더한 값(E+H+R+T)을 나타낸 것이다.



구성원	E+H+R+T
1	6
2	ⓐ
3	2
6	5
7	3

○ 구성원 1에서 e, H, R는 7번 염색체에 있고, T는 8번 염색체에 있다.
○ 구성원 2, 4, 5, 8은 (나)의 표현형이 모두 같다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, E, e, H, h, R, r, T, t 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. ⓐ는 4이다.
ㄴ. 구성원 4에서 E, h, r, T를 모두 갖는 생식세포가 형성될 수 있다.
ㄷ. 구성원 6과 7 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 (나)의 표현형은 최대 5가지이다.

23학년도 6월 평가원 - 중간 + 다인자 가계도

이과 같이 다인자 유전은 다채롭게 "타 고난도 출제 유형의 기반"이 되는 단원이므로 심층적으로 학습할 필요가 있다.

[Remark 2] 23학년도 6월 평가원에서 중간 유전 + 다인자 유전 가계도가 출제되었고
23학년도 수능에서 다인자 유전 + 돌연변이가 출제되었으며
23학년도 수능에서 복대립 반성 가계도가 출제되었다.

23학년도 EBS에서 다인자 반성 가계도가 이미 출제된 바가 있고
24학년도 평가원에서 다인자 반성 가계도가 등장할 수 있으니 공부해두도록 하자.

ⓐ 순수 다인자

Schema 1에서 13까지는 순수 다인자 문항에 대해 다루고 있으며
이러한 경우 다음 알고리즘을 활용하도록 하자.

1st 범위 압축

표현형 종류 조건을 통해 △ 값(총 차이 량)이 적어도 얼마만큼 와야하는지
주어진 대립유전자 쌍을 통해 △ 값이 최대 얼마까지 가능한지 판단할 수 있다.

[예시]

14. 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 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- (가)의 표현형이 서로 같은 P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 5가지이고, ⓐ의 표현형이 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{8}$이며, ⓐ의 유전자형이 AABbDD일 확률은 $\frac{1}{8}$이다.

ⓐ가 유전자형이 AaBbDd인 사람과 동일한 표현형을 가질 확률은? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

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

22학년도 6월 평가원 - 연관 다인자

표현형이 최대 5종류까지 존재하므로 비율 관계나 벌어진 비율 관계 두 가지 경우 모두
△ 값이 적어도 4만큼은 존재해야 한다. 2연관 1독립이므로 △ 값은 최대 6까지 올 수 있다.

따라서 △의 범위는 4에서 6까지 가능하다.

2nd 확률 & 유전자형 조건 해석

여러 Schema를 활용하여 확률 조건을 해석한다.

표현형이 부모와 같을 확률이 $\frac{3}{8}$ 이므로 1331 또는 14641이 가능하다

표현형 종류가 5종류이므로 후자에 해당한다.

ⓐ의 유전자형이 AABbDD일 확률이 $\frac{1}{8}$ 이므로 $\frac{1}{2}\times\frac{1}{4}$ 또는 $\frac{1}{4}\times\frac{1}{2}$ 이다.

표현형 비율이 14641이므로 상댓값의 합은 16이고, 그에 따라 전자로 결정된다.

3rd 기타 요소 판단

여러 Schema를 활용하여 추후 논리를 전개한다.

7권에서 배울 Schema, 그리고 뒷 교재 들에서 배울 Schema를 정리하면 다음과 같다.

Schema 1 퍼네트 사각형
Schema 2 비중 표
Schema 3 상댓값의 합
Schema 4 양극단의 비
Schema 5 대칭성
Schema 6 최대 표현형 가짓수
Schema 7 비율관계
Schema 8 벌어진 비율관계
Schema 9 이항 계수
Schema 10 중앙값
Schema 11 종류 표
Schema 12 차이 양상
Schema 13 특수한 확률
Schema 14 중간 유전 연관
Schema 15 완전 우성 유전 연관
Schema 16 복대립 유전 연관
Schema 17 매개 문자
Schema 18 세포 대응
Schema 19 다인자 가계표
Schema 20 다인자 가계도

(다인자 돌연변이는 사람의 유전 돌연변이에서 다루겠습니다 :))

퍼네트 사각형

[중요도 ★★★]

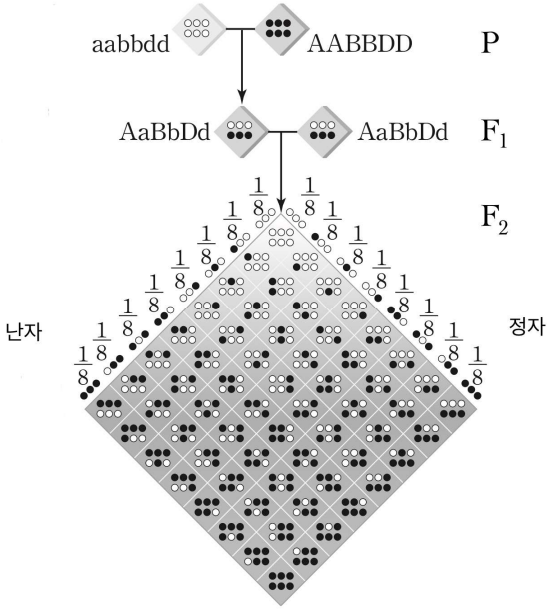
생식 세포 형성에 대한 이해, 분리 법칙, 독립 법칙을 내포하는 퍼넷 사각형에 대해 이해하자.

퍼넷 사각형은 생식 세포의 유전자를 x, y축으로 나란히 배열하여 생식 세포의 전달 상황을 나타낼 수 있는 표로 한 칸의 비중이 모두 동일하여 "칸의 개수"로 "비중(차지하는 비율)"을 판단할 수 있다.

($\because$ 분리 법칙에 의해 생식 세포가 전달될 확률은 $1/2$로 동일)

예를 들어 3독립 & 부모의 모든 유전자형이 이형 접합성인 상황에서 생식 세포의 전달 양상을 퍼네트 사각형으로 나타내면 다음과 같다.

[퍼네트 사각형 : 유전자형 AaBbDd인 부모]



[퍼네트 사각형]

대문자 개수(Q) / 대문자 개수(P)	3	2	2	2	1	1	1	0
3	6	5	5	5	4	4	4	3
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
0	3	2	2	2	1	1	1	0

Schema 1
퍼네트 사각형

[퍼네트 사각형 : 확률]

생식 세포 확률(Q) / 생식 세포 확률(P)	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{8}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$
$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$	$\frac{1}{64}$

퍼네트 사각형에서 칸 수는 해당 표현형이 등장할 경우의 수와 동일하다.

퍼네트 사각형에서 등장하는 표현형과 비율 관계를 가로 표로(행으로) 표현하면 다음과 같다.

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (특정 칸 개수)	1	6	15	20	15	6	1
상댓값의 합 (칸 수)	64						
표현형 확률	1/64	6/64	15/64	20/64	15/64	6/64	1/64

표현형 간 비율은 퍼네트 사각형의 특정 칸 수
상댓값의 합은 총 칸 수
표현형 확률은 퍼네트 사각형의 특정 칸 수 / 총 칸 수와 동일하다.

퍼네트 사각형

2연관 상황에서 생식 세포의 전달 양상을 퍼네트 사각형으로 나타내면 다음과 같다.

[Case 1 – 상인 × 상인]

	P (상인)		Q (상인)
연관 상태			
표기	2/0	×	2/0

[퍼네트 사각형]

대문자 개수(Q) / 대문자 개수(P)	2	0
2	4	2
0	2	0

[칸 간 비중 동일]

생식 세포 확률(Q) / 생식 세포 확률(P)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

[결과]

표현형 종류	3종류		
표현형 대문자 개수	4	2	0
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1

[Case 2 – 상인 × 상반]

	P (상인)		Q (상반)
연관 상태			
표기	2 / 0	×	1 / 1

[퍼네트 사각형]

대문자 개수(Q) / 대문자 개수(P)	1	1
2	3	3
0	1	1

[칸 간 비중 동일]

생식 세포 확률(Q) / 생식 세포 확률(P)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

[결과]

표현형 종류	2종류	
표현형 대문자 개수	3	1
표현형 간 비 (상댓값)	1	1

.

[Case 3 – 상반 × 상반]

	P (상반)	×	Q (상반)
연관 상태			
표기	1 / 1	×	1 / 1

[퍼네트 사각형]

대문자 개수(Q) / 대문자 개수(P)	1	1
1	2	2
1	2	2

[칸 간 비중 동일]

생식 세포 확률(Q) / 생식 세포 확률(P)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

[결과]

표현형 종류	1종류
표현형 대문자 개수	2
표현형 간 비 (상댓값)	1

.

[Case 4 – 독립]

	P (독립)	×	Q (독립)
연관 상태	A | a		A | a
	B | b		B | b
표기	1 / 0 1 / 0	×	1 / 0 1 / 0

[퍼네트 사각형]

대문자 개수(Q) / 대문자 개수(P)	2	1	1	0
2	4	3	3	2
1	3	2	2	1
1	3	2	2	1
0	2	1	1	0

[칸 간 비중 동일]

생식 세포 확률(Q) / 생식 세포 확률(P)	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$

[결과]

표현형 종류	5종류				
표현형 대문자 개수	4	3	2	1	0
표현형 간 비 (상댓값)	1	4	6	4	1

퍼넷 사각형에서 표현형 종류를 셀 때는 ㄱ 카운팅을 활용하면 유용하다.

다인자 유전

Schema 1

퍼네트 사각형

.

1.

(가)는 2쌍의 대립유전자에 의해 결정된다. (가)의 유전자에는 각각 대립 유전자 A와 a, B와 b가 있으며 (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수가 다르면 표현형도 다르다. ㉠ 유전자형이 AaBb인 수컷과 AaBb인 암컷 사이에서 자손(F_1)이 태어날 때, 이 자손(F_1)에서 나타날 수 있는 표현형은 최대 3가지이다.

F_1에서 유전자형이 ㉠과 같을 확률은?

.

[해설 및 정답]

유전자형이 AaBb인 수컷과 AaBb인 암컷 사이에서 자손($\mathrm{F_1}$)이 태어날 때, 이 자손($\mathrm{F_1}$)에서 나타날 수 있는 표현형은 최대 3가지이므로 수컷과 암컷 모두 A와 B가 상인 연관되어 있다.

따라서 $\mathrm{F_1}$에서 유전자형이 ㉠과 같을 확률은 $\frac{1}{2}$이다.

.

2.

다음은 사람의 유전 형질 ㉠에 대한 자료이다.

- ㉠은 서로 다른 상염색체에 존재하는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정된다.
- ㉠의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 ㉠의 표현형이 서로 다르다.

유전자형이 AaBbDd인 두 개체 사이에서 자손이 태어날 때, 이 자손에게서 나타날 수 있는 최대 표현형 가짓수는?

.

[해설 ①]

유전자형이 AaBbDd인 개체에서 나타나는 생식 세포의 유전자형은
각각 ABD, ABd, AbD, Abd, aBD, aBd, abD, abd이다.

㉠의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되므로
생식 세포의 유전자형을 대문자 개수로 바꿔 퍼네트 사각형을 그리면 아래와 같다.

대문자 개수(P) \ 대문자 개수(Q)	3	2	2	2	1	1	1	0
3	6	5	5	5	4	4	4	3
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
0	3	2	2	2	1	1	1	0

따라서 표현형 가짓 수는 7종류이다.

[해설 ②]

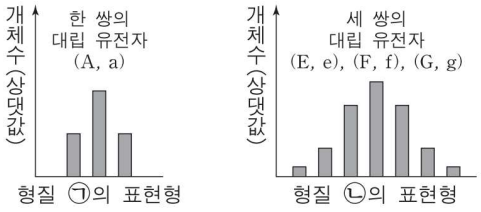
3독립이고 이형 접합 수가 총 6이므로 △1×6 7종류이다.
Schema 5의 내용을 앞으로 당겨왔으나 미리 익혀두자.

총 표현형 가짓 수는 모든 염색체가 독립일 때 이형 접합 수+1이다.

.

3.

어떤 동물에서 형질 ㉠은 한 쌍의 대립유전자에 의해, 형질 ㉡은 세 쌍의 대립유전자에 의해 결정된다. 그림 (가)는 ㉠의, (나)는 ㉡의 표현형에 따른 개체 수를 나타낸 것이다. ㉡의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자 수가 다르면 ㉡의 표현형이 다르다. A, E, F, G 유전자는 서로 다른 상염색체에 있다.



유전자형이 AaEeFfGg인 부모 사이에서 자손이 태어날 때, 이 자손이 부모와 표현형이 같을 확률은?

퍼네트 사각형

.

[해설 ①]

유전자형이 EeFfGg인 개체에서 나타나는 생식 세포의 유전자형은
각각 EFG, EFg, EfG, Efg, eFG, eFg, efG, efg이다.

㉠의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되므로
생식 세포의 유전자형을 대문자 개수로 바꿔 퍼네트 사각형을 그리면 아래와 같다.

대문자 개수(P) \ 대문자 개수(Q)	3	2	2	2	1	1	1	0
3	6	5	5	5	4	4	4	3
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
0	3	2	2	2	1	1	1	0

퍼네트 사각형의 칸 수가 경우의 수이므로 형질 ㉡에서 대문자 수가 3인 표현형이 나올 확률은 $\frac{20}{64}$이고 형질 ㉠에서 [Aa] 표현형이 나올 확률은 $\frac{1}{2}$이므로 이 자손이 부모와 표현형이 같을 확률은 $\frac{10}{64}$이다.

[해설 ②]

3독립 & EeFfGg 간 교배는 △1×6이고 1:6:15:20:15:6:1 비율 관계가 결정되어 있다.
따라서 $\frac{20}{64}$이고 Aa 간 교배에서 [A]:[Aa]:[a]=1:2:1이므로 형질 ㉠에서 [Aa] 표현형이 나올 확률은 $\frac{1}{2}$이다. 따라서 이 자손이 부모와 표현형이 같을 확률은 $\frac{10}{64}$이다.

비율관계는 Schema 6 내용이나 실전적 해설을 위해 미리 가져왔다.

.

4.

다음은 어떤 동물의 유전 형질 ㉠과 ㉡에 대한 자료이다.

- ㉠은 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정된다.
- ㉠의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 ㉠의 표현형이 서로 다르다.
- ㉡은 대립유전자 E와 e에 의해 결정되며, E는 e에 대해 완전 우성이다.
- A, B, D, E 유전자는 각각 서로 다른 상염색체에 있다.

다음을 구하시오.

① 유전자형이 AaBbDdEe인 개체에서 형성될 수 있는 생식 세포의 최대 유전자형 가짓 수
② 유전자형이 AaBbDdEe인 개체에서 형성될 수 있는 자손의 최대 표현형 가짓 수
③ 유전자형이 AaBbDdEe인 개체와 aabbddee인 개체 사이에서 자손이 태어날 때, 이 자손에게서 나타날 수 있는 최대 표현형 가짓 수
④ 유전자형이 AaBbDdEe인 암수를 교배하여 자손(F_1)이 태어날 때, 이 자손의 표현형이 부모와 같을 확률

[해설]
형질 ㉠에서 자손에게서 나타날 수 있는 최대 표현형 가짓수는 예제 2에 의해
대문자 개수가 6개부터 0개까지 총 7가지이다.

㉡은 한 쌍의 대립유전자 E와 e에 의해 독립적으로 유전되므로
최대 표현형 가짓수는 2가지이다.

∴ 독립 법칙에 의해 표현형은 14가지

① 유전자형이 AaBbDdEe인 개체에서 형성될 수 있는 생식 세포의 유전자형은 2×2×2×2=16가지이다.
② 유전자형이 AaBbDdEe인 개체에서 형성될 수 있는 자손의 최대 표현형 가짓 수는 14가지이다.
③ 유전자형이 AaBbDdEe인 개체와 aabbddee인 개체 사이에서 태어난 자손(F_1)의 ㉠ 형질은 4가지 표현형이 가능하고, ㉡ 형질은 2가지 표현형이 가능하므로 이 자손에게서 나타날 수 있는 표현형은 4×2=8가지이다

④ 유전자형이 AaBbDdEe인 암수를 교배하여 태어난 자손(F_1)의 ㉠ 표현형이 부모와 같을 경우를 퍼네트 사각형으로 나타내면 다음과 같다.

대문자 개수(P) \ 대문자 개수(Q)	3	2	2	2	1	1	1	0
3	6	5	5	5	4	4	4	3
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
0	3	2	2	2	1	1	1	0

따라서 ㉠ 표현형이 부모와 같을 확률은 $\frac{20}{64}$이고

㉡ 표현형이 부모와 같을 확률은 $\frac{3}{4}$이다.

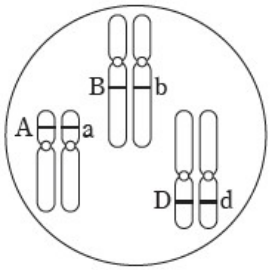
∴ 전체 표현형이 부모와 같을 확률은 $\frac{5}{16}\times\frac{3}{4}=\frac{15}{64}$이다.

.

5.

다음은 어떤 동물의 유전 형질에 대한 자료이다.

- 피부색을 결정하는 데 관여하는 3개의 유전자는 각각 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d를 갖는다.
- 피부색의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 피부색의 표현형이 다르다.
- 유전자형이 AABBDD인 수컷과 유전자형이 aabbdd인 암컷 사이에서 ㉠ 자손(F_1)이 태어났다.
- 그림은 개체 P의 피부색을 결정하는 세 쌍의 상염색체와 대립유전자를 나타낸 것이다.



㉠과 P를 교배하여 자손(F_1)이 태어났을 때, 이 자손(F_1)이 ㉠보다 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 많을 확률은?

[해설 ①]

P와 ㉠이 형성할 수 있는 생식 세포의 유전자형은
각각 ABD, ABd, AbD, Abd, aBD, aBd, abD, abd이다.

생식 세포의 전달에 따른 퍼네트 사각형을 그리면 다음과 같다.

구분	ABD	ABd	AbD	Abd	aBD	aBd	abD	abd
ABD	6	5	5	4	5	4	4	3
ABd	5	4	4	3	4	3	3	2
AbD	5	4	4	3	4	3	3	2
Abd	4	3	3	2	3	2	2	1
aBD	5	4	4	3	4	3	3	2
aBd	4	3	3	2	3	2	2	1
abD	4	3	3	2	3	2	2	1
abd	3	2	2	1	2	1	1	0

따라서 자손(F_1)이 ㉠보다 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 많을 확률은 $\frac{11}{32}$이다.

[해설 ②]

대문자 개수(Q) / 대문자 개수(P)	3	2	2	2	1	1	1	0
3	6	5	5	5	4	4	4	3
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
0	3	2	2	2	1	1	1	0

자손(F_1)이 ㉠보다 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 많을 확률과
자손(F_1)이 ㉠보다 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 적을 확률은 동일하다.

(∵ 도수분포표의 칸 분포가 대칭적이다.)

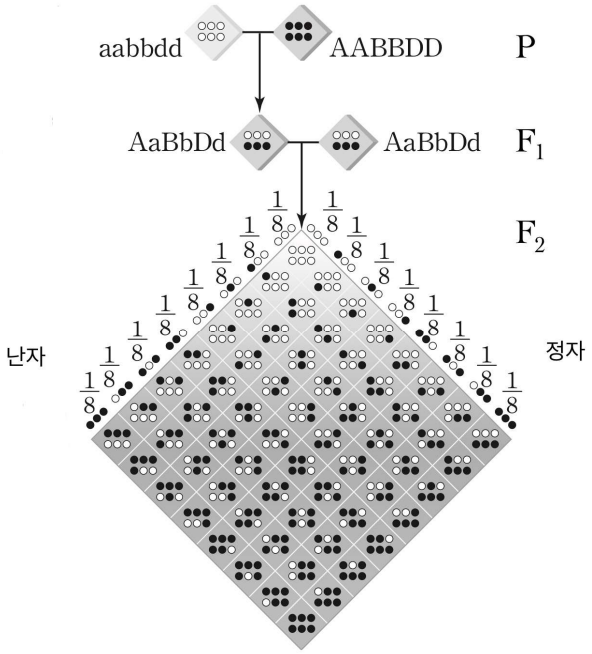
따라서 1-(자손(F_1)이 ㉠보다 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 같을 확률)을 2로 나눠도 같은 답을 얻을 수 있다.

[중요도 ★★★]
도수분포표와 퍼넷을 적절히 변형한 비중 표를 적절히 활용할 수 있다.

퍼네트 사각형은 한 칸의 비중이 모두 동일하여
칸의 "개수"로 "비중"을 판단할 수 있다는 장점이 있지만
상댓값의 합만큼 칸을 그려야한다는 단점이 있다.

앞서 살펴본 3독립 (모두 이형) 상황의 퍼네트 사각형은 다음과 같이 64칸을 필요로 한다.

[퍼네트 사각형 : 3독립 (모두 이형)]



표현형 간 확률의 비중을 고려한 표인 도수분포표를 활용하여
행렬 내 정보를 좀 더 효율적으로 판단할 수 있다.

[도수분포표 : 확률의 비중]

	확률의 비중	1	3	3	1
확률의 비중	생식 세포 대문자 수(Q) / 생식 세포 대문자 수(P)	3	2	1	0
1	3	1	3	3	1
3	2	3	9	9	3
3	1	3	9	9	3
1	0	1	3	3	1

Schema 2
비중 표

[Remark 1] 도수분포표의 정의는 자료를 일정한 수의 범위로 나누어 분류하고, 각 범위별로 수량을 정리한 표이다.

[Remark 2] 도수분포표를 활용하면 부모의 생식 세포 전달 양상을 직관적으로 확인할 수 있다는 장점은 유지한 채로 상황을 더욱 간단하게 파악할 수 있다.

[도수분포표 : 표현형의 대문자 개수]

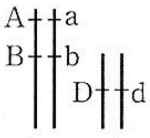
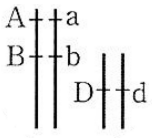
	확률의 비중	1	3	3	1
확률의 비중	생식 세포 대문자 수(Q) / 생식 세포 대문자 수(P)	3	2	1	0
1	3	6	5	4	3
3	2				2
3	1				1
1	0				0

도수분포표에서 등장하는 표현형과 표현형 간 비율 관계를 가로 표로(행으로) 표현하면 다음과 같다.

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (대문자 수에 대응하는 비중의 합)	1	6	15	20	15	6	1
상댓값의 합 (칸 수)	64						
표현형 확률	1/64	6/64	15/64	20/64	15/64	6/64	1/64

표현형 간 비율은 대문자 수에 대응하는 비중의 합
상댓값의 합은 총 비중의 합
표현형 종류는 ㄱ자 내 칸 개수
표현형 확률은 대문자 수에 대응하는 비중의 합 / 총 비중의 합과 동일하다.

다인자 유전
Schema 2
비중 표

	상인 연관		상인 연관
연관 상태			
표기	2/0 1/0	×	2/0 1/0

2연관 1독립 : 상인 연관×상인 연관인 상황에서
생식 세포의 이동을 표현한 퍼네트 사각형과 도수분포표는 다음과 같다

[퍼네트 사각형 : 상인 × 상인]

생식 세포의 대문자 개수(Q) / 생식 세포의 대문자 개수(P)	(AB / D) 3	(AB / d) 2	(ab / D) 1	(ab / d) 0
(AB / D) 3	6	5	4	3
(AB / d) 2	5	4	3	2
(ab / D) 1	4	3	2	1
(ab / d) 0	3	2	1	0

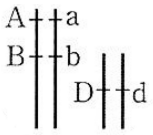
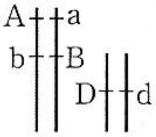
[도수분포표]

	비중(비율)	1	2	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	4	2	0
1	2	6	4	2
2	1	5	3	1
1	0	4	2	0

[결과]

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						

다인자 유전
Schema 2
비중 표

	상인 연관	×	상반 연관
연관 상태		×	
표기	2/0 1/0	×	1/1 1/0

2연관 1독립 : 상인 연관×상반 연관인 상황에서
생식 세포의 이동을 표현한 퍼네트 사각형과 도수분포표는 다음과 같다

[퍼네트 사각형 : 인 × 반]

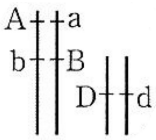
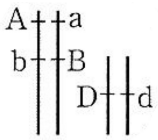
생식 세포의 대문자 개수(Q) / 생식 세포의 대문자 개수(P)	(Ab / D) 2	(Ab / d) 1	(aB / D) 2	(aB / d) 1
(AB / D) 3	5	4	5	4
(AB / d) 2	4	3	4	3
(ab / D) 1	3	2	3	2
(ab / d) 0	2	1	2	1

[비중 표]

	비중	1	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	2	1
1	3	5	4
1	2	4	3
1	1	3	2
1	0	2	1

[결과]

표현형 종류	5종류				
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	2	2	1
상댓값의 합	8				

	상반 연관	×	상반 연관
연관 상태		×	
표기	1 / 1 1 / 0	×	1 / 1 1 / 0

2연관 1독립 : 상반 연관×상반 연관인 상황에서
생식 세포의 이동을 표현한 퍼네트 사각형과 도수분포표는 다음과 같다

[퍼네트 사각형 : 상반 × 상반]

생식 세포의 대문자 개수(Q) / 생식 세포의 대문자 개수(P)	(Ab / D) 2	(Ab / d) 1	(aB / D) 2	(aB / d) 1
(Ab / D) 2	4	3	4	3
(Ab / d) 1	3	2	3	2
(aB / D) 2	4	3	4	3
(aB / d) 1	3	2	3	2

[도수분포표]

	비중	1	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	2	1
1	2	4	3
1	1	3	2

[결과]

표현형 종류	3종류		
표현형 대문자 개수	2	3	4
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1
상댓값의 합	4		

다인자 유전
Schema 2
비중 표

	3독립	×	3독립
	A| a		A| a
연관 상태	B| b	×	B| b
	D| d		D| d
	1 / 0		1 / 0
표기	1 / 0	×	1 / 0
	1 / 0		1 / 0

3독립인 상황에서 생식 세포의 이동을 표현한 퍼네트 사각형과 도수분포표는 다음과 같다

[퍼네트 사각형 : 3독립]

대문자 개수(P) \ 대문자 개수(Q)	3	2	2	2	1	1	1	0
3	6	5	5	5	4	4	4	3
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	3	3	3	2
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	2	2	2	1
0	3	2	2	2	1	1	1	0

[도수분포표]

	비중	1	3	3	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	3	2	1	0
1	3	6	5	4	3
3	2	5	4	3	2
3	1	4	3	2	1
1	0	3	2	1	0

[결과]

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (상댓값)	1	6	15	20	15	6	1
상댓값의 합	64						

Schema 3
상댓값의 합

[중요도 ★★★★]
각각을 보는 관점(A)도 중요하나 전체 상댓값의 합(S)이 키인 경우가 의외로 많다.

2연관에서의 3가지 Case 표현형 간 비(상댓값)의 합은 다음과 같다.

[Case 1 – 상인 × 상인]

	상인 연관		상인 연관
연관 상태			
표기	2 / 0	×	2 / 0

표현형 종류	3종류		
표현형 대문자 개수	4	2	0
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1
상댓값의 합	4		

[Case 2 – 상인 × 상반]

	상인 연관		상반 연관
연관 상태			
표기	2 / 0	×	1 / 1

표현형 종류	2종류	
표현형 대문자 개수	3	1
표현형 간 비 (상댓값)	1	1
상댓값의 합	2	

Schema 3
상댓값의 합

[Case 3 – 싱반 × 상반]

	상반 연관	×	상반 연관
연관 상태			
표기	1 / 1	×	1 / 1

표현형 종류	1종류
표현형 대문자 개수	2
표현형 간 비 (상댓값)	1
상댓값의 합	1

상댓값의 합은 2의 n승 꼴의 영향을 나타내며
n은 상동 염색체 간 대문자 수가 다른 상동 염색체 수에 의해 결정된다.

즉, 대문자 수의 차이가 있는 상동 염색체 수에 의해 결정되는 것을 확인할 수 있다.

[Remark 1] 상댓값의 합은 특정 표현형이 등장할 확률의 분모값이다.

= 특정 표현형이 등장할 확률
= 표현형 간 비/상댓값의 합

Schema 3
상댓값의 합

2연관 1독립의 상황으로 돌아가보자.

[퍼네트 사각형 : 상인 연관 × 상반 연관]

대문자 개수(Q) / 대문자 개수(P)	2	1	2	1
(AB / D) 3	5	4	5	4
(AB / d) 2	4	3	4	3
(ab / D) 1	3	2	3	2
(ab / d) 0	2	1	2	1

[칸 간 비중 동일]

생식 세포 확률(Q) / 생식 세포 확률(P)	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$

상인 연관 × 상반 연관 교배 상황에서는 퍼네트 사각형 상
1열과 3열, 2열과 4열의 양상이 동일하게 나타나는 것을 알 수 있다.

[퍼네트 사각형 : 상인 × 상반]

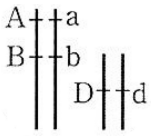
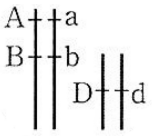
대문자 개수(Q) / 대문자 개수(P)	2	1	2	1
3	5	4	5	4
2	4	3	4	3
1	3	2	3	2
0	2	1	2	1

즉, 다인자 독립 상황에서 동형 접합성 유전자형을 갖는 상동 염색체쌍과 유사하게
연관된 염색체에서 대문자의 수 차이가 동일한 상동 염색체쌍은
상댓값의 합에 영향을 주지 않는다.

= 유전자형의 관점에서 생식 세포는 2종류이다. ($Ab \neq aB$)
= 다인자 유전의 표현형의 관점에서 생식 세포는 1종류이다. ($Ab = aB$)
= 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 k이면 상댓값의 합은 2의 k 승이다.

Schema 3
상댓값의 합

[상인 × 상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 4쌍]

	상인 연관	상인 연관
연관 상태		
	2/0	2/ 0
표기	차이 있음	차이 있음
	1/0	1/0
	차이 있음	차이 있음

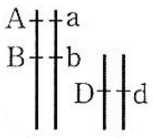
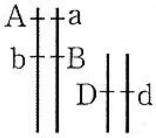
∴ 상댓값의 합 16 (2의 4승)

[상댓값의 합 의미]

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						

Schema 3
상댓값의 합

[상인 × 상반 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 3쌍]

	상인 연관	상반 연관
연관 상태		
표기	2/0 차이 있음 1/0 차이 있음	1/1 차이 없음 1/0 차이 있음

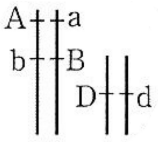
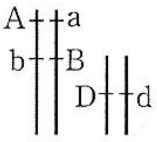
∴ 상댓값의 합 8 (2의 3승)

[상댓값의 합 의미]

표현형 종류	5종류				
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	2	2	1
상댓값의 합	8				
의미	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 3쌍				

Schema 3
상댓값의 합

[상인 × 상반 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

	상반 연관	×	상반 연관
연관 상태		×	
표기	1 / 1 차이 없음 1 / 0 차이 있음	×	1 / 1 차이 없음 1 / 0 차이 있음

∴ 상댓값의 합 4 (2의 2승)

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

⇒ 염색체 쌍(S)은 대문자 수 차이가 있는 염색체(A)와
대문자 수 차이가 없는 염색체(A^C)로 분류할 수 있다.

[A가 결정하는 것]
⇒ 상댓값의 합 2^n에서 n은 대문자 차이가 있는 상동 염색체쌍 수와 동일하다.

[A^C가 결정하는 것]
⇒ 표현형 대문자 개수 중 대문자로 표시되는 대립유전자 수가 가장 적은 표현형을 결정한다.

Schema 3
상댓값의 합

대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍은
다인자 유전의 관점에서 생식 세포를 2 종류 만들어낼 수 있다.
그에 따라 상댓값의 합에 비중 2 를 부여할 수 있다.

예를 들어 상댓값의 합이 16이면 부모의 두 가지 생식 세포 조합을 만드는 상동 염색체가 4쌍이며 상댓값의 합이 8이면 두 가지 생식 세포 조합을 만드는 상동 염색체가 3쌍이다.

비중에 대해 3가지 Case를 통해 알아보자.

[Case 1 - 상인 × 상인]

	P		Q
연관 상태			
표기	2/0	×	2/ 0
대문자 수 차이	있음		있음
상댓값의 합에 주는 비중	2	×	2

[Case 2 - 상인 × 상반]

	상인 연관		상반 연관
연관 상태			
표기	2/ 0	×	1/ 1
대문자 수 차이	있음		없음
상댓값의 합에 주는 비중	2	×	1

Schema 3
상댓값의 합

[Case 3 – 상반 × 상반]

	상반 연관	×	상반 연관
연관 상태			
표기	1 / 1	×	1 / 1
대문자 수 차이	없음		없음
상댓값의 합에 주는 비중	1	×	1

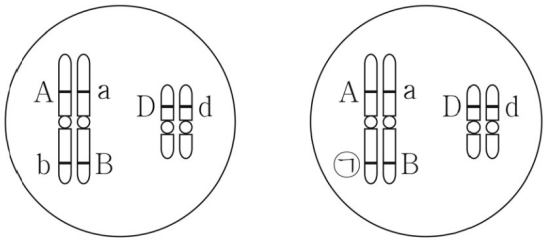
⇒ 상댓값의 합을 통해, 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 수를 역추론할 수 있다는 것을 의미한다.

Schema 3
상댓값의 합

6.

다음은 어떤 사람의 유전 형질에 대한 자료이다.

- (가)를 결정하는 3개의 유전자는 각각 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d를 갖는다. (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 그림은 남자 P와 여자 Q의 체세포 각각에 들어 있는 일부 염색체와 유전자를 나타낸 것이다. ㉠은 B와 b 중 하나이다.



- P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ의 표현형이 P와 같을 확률은 $\frac{3}{8}$이다.

㉠은?

Schema 3
상댓값의 합

[풀이 – ①]

퍼넷 사각형에 생식 세포 내 유전자 이동으로 가능한 경우를 표현하면 다음과 같다.

생식 세포의 유전자형(Q) / 생식 세포의 유전자형(P)	A㉠ / D	A㉠ / d	aB / D	aB / d
Ab / D				
Ab / d				
aB / D				
aB / d				

Q의 ㉠이 있는 칸을 배제하고 자녀 ⓐ의 표현형에 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3인 칸을 채우면 다음과 같다.

생식 세포의 유전자형(Q) / 유전자형 대문자 수(P)	A㉠ / D	A㉠ / d	2	1
2				3
1			3	
2				3
1			3	

만약 ㉠이 b라면 오른쪽 8개의 칸과 왼쪽 8개의 칸 경향이 동일하여 확률이 1/2가 되어 모순이다.

생식 세포의 유전자형(Q) / 유전자형 대문자 수(P)	2	1	2	1
2	4	3	4	3
1	3	2	3	2
2	4	3	4	3
1	3	2	3	2

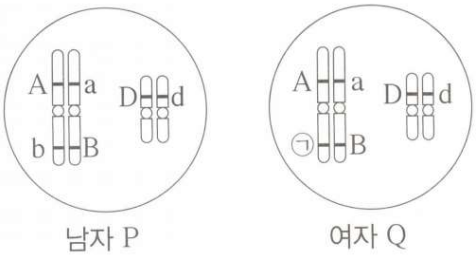
따라서 ㉠은 B일 것이고 B일 때 칸의 분포를 보면 6/16으로 주어진 조건에 부합하는 것을 알 수 있다.

생식 세포의 유전자형(Q) / 유전자형 대문자 수(P)	3	2	2	1
2				3
1		3	3	
2				3
1		3	3	

[풀이 – ②]

– ⓐ의 표현형이 P와 같을 확률은 $\frac{3}{8}$

상댓값의 합이 최소 8(2의 3승)이므로 부모의 상동 염색체에 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 수가 최소 3쌍 있어야 한다.



남자 P에는 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 수가 1쌍이고
여자 Q에는 D/d로 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 수가 1쌍 확정으로 있다.

따라서 대문자 수 차이를 주기 위해 ㉠은 B이다.

와 같이 귀납적으로 퍼넷 사각형의 전수 나열하지 않고도
연역적으로 ㉠이 B임을 파악할 수 있다.

Schema 3
상댓값의 합

7.
다음은 어떤 사람의 유전 형질에 대한 자료이다.

- (가)는 상염색체에 존재하는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정된다.
- (가)의 표현형은 유전자형에서 ㉠ 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- ㉠이 동일한 부모 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 ㉮가지이며. ⓐ의 유전자형이 aabbDd일 확률은 $\frac{1}{32}$이다.

㉮ 값은?

Schema 3
상댓값의 합

[해설]

- ⓐ의 유전자형이 aabbDd일 확률은 $\frac{1}{32}$이다.

상댓값의 합이 최소 32(2의 5승)이므로
부모의 상동 염색체에 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 수가 최소 5쌍 있어야 한다.

∴ 염색체 위 유전자의 관계는 3독립

유전자형으로부터 부모의 유전자 구성을 역추적하면 다음과 같다.

a	a
b	b
D	d

만약 왼쪽 부모의 유전자 구성이 DD라면 다른 상동 염색체들은 모두 차이를 가져야 하므로 ㉠이 동일한 부모 조건에 모순이다.

마찬가지로 오른쪽 부모의 유전자 구성이 dd라면 다른 상동 염색체들은 모두 차이를 가져야 하므로 ㉠이 동일한 부모 조건에 모순이다.

따라서 부모의 D와 d의 구성은 각각 Dd, Dd이다.

a	a
b	b
D d	D d

Dd × Dd에서 유전자형이 Dd가 나오는 경우의 수는 2가지이다.
따라서 $\frac{1}{32}$는 $\frac{2}{64}$이고 모든 상동 염색체에 대문자 수 차이가 존재해야 하는 것을 알 수 있다.

A a	A a
B b	B b
D d	D d

∴ 가능한 표현형 범위는 6에서 0까지이므로 ㉮는 7이다.

Schema 4
양극단의 비

[중요도 ★★★★]

도수분포표와 퍼네트 사각형에서 모두 양극단의 표현형은 좌상단, 우하단 극단에서만 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 양극단의 비(상댓값)은 항상 1이다.

[퍼네트 사각형 : 3성 다인자, 모든 유전자형 이형 접합]

대문자 개수(Q) / 대문자 개수(P)	3	2	2	2	1	1	1	0
3	6							
2								
2								
2								
1								
1								
1								
0								0

[도수분포표 : 표현형과 비율]

	확률의 비중	1	3	3	1
확률의 비중	생식 세포 대문자 수(Q) / 생식 세포 대문자 수(P)	3	2	1	0
1	3	6 (1)	5 (3)	4 (3)	3 (1)
3	2	5 (3)	4 (9)	3 (9)	2 (3)
3	1	4 (3)	3 (9)	2 (9)	1 (3)
1	0	3 (1)	2 (3)	1 (3)	0 (1)

따라서 도수분포표에서 표현형과 비율 관계를 가로 표로(행으로) 표현할 때 양극단의 비(상댓값)는 항상 1이다.

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (대문자 수에 대응하는 비중의 합)	1	6	15	20	15	6	1
상댓값의 합	64						

Schema 5
대칭성

[중요도 ★★★]

다인자 유전에서 표현형 간 비(상댓값)은 표현형 가짓 수가 홀수 개이면 중앙값을 기준으로 대칭성을 나타내고, 표현형 가짓 수가 짝수 개이면 평균 값을 기준으로 대칭성을 나타낸다.

이때 알아내고 싶은 부분만 특정해서 대칭성을 판단할 수 있다.

[홀수 개 : 대칭성]

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (대문자 수에 대응하는 비중의 합)	1	6	15	20	15	6	1
상댓값의 합	64						

[홀수 개 : 일부 대칭성]

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (대문자 수에 대응하는 비중의 합)	1	6	15	20	15	6	1
상댓값의 합	64						

[짝수 개 : 일부 대칭성]

자손 최대 표현형 가짓 수	4종류				
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5
표현형 간 비 (상댓값)	1	1	0	1	1
상댓값의 합	4				
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍				
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 4 그러나 중간에 대문자가 2이 4로 건너뛰어져 총 차이+1 의미가 소실됨 이런 경우를 벌어진 비율관계라고 하자.				

8.
다음은 어떤 식물의 꽃 색 유전에 대한 자료이다.

- 꽃 색은 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되며, 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 개수가 다르면 표현형이 다르다.
- 꽃 색을 결정하는 유전자는 서로 다른 상염색체에 존재한다.
- 표는 대문자로 표시되는 대립유전자의 개수에 따라 나타나는 표현형을 (가)~(다)로 구분한 것이다.

구분	대문자로 표시되는 대립유전자의 개수 (개)
(가)	5, 6
(나)	3, 4
(다)	0, 1, 2

- 유전자형이 AaBbDd인 개체와 (다)의 한 개체를 교배하여 얻은 ㉠ 자손(F_1) 400개체에서 (나)에 해당하는 개체 수와 (다)에 해당하는 개체 수의 비는 1 : 1이다.

㉠에서 전체 개체 중 대문자로 표시되는 대립유전자를 4개 갖는 개체의 비율은?

[해설]

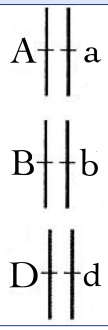
(나)에 해당하는 개체 수와 (다)에 해당하는 개체 수의 비가 1 : 1이므로 표현형 종류가 짝수 개로 나타나야 하고, 총 △ 범위가 최소 2에서 최대 6까지 가능하므로 가능한 비율 관계는 △1×3 이거나 △1×5이어야 한다.
이때 (나)에 해당하는 개체의 종류와 (다)에 해당하는 개체의 종류가 동일해야 하므로 다음일 수밖에 없다.

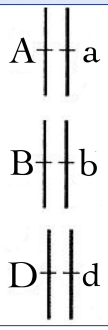
자손 최대 표현형 가짓 수	4종류			
표현형 대문자 개수	1	2	3	4
표현형 간 비 (상댓값)	1	3	3	1
상댓값의 합	8			
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 3쌍			

따라서 ㉠에서 전체 개체 중 대문자로 표시되는 대립유전자를 4개 갖는 개체의 비율은 $\frac{1}{8}$이다.

Schema 6
최대 표현형 가짓수

[부모에서 각각 n쌍의 대립유전자가 서로 독립적으로 유전될 때 자손이 가질 수 있는 최대 표현형 개수는 부모의 유전자형이 모두 이형 접합일 때 $2n+1$개로 나타난다.

	아빠 (父)
염색체	
표기 (대문자 유/무)	1 / 0 1 / 0 1 / 0

유전자형	엄마 (母)
염색체	
표기 (대문자 유/무)	1 / 0 1 / 0 1 / 0

예를 들어 다음과 같이 3쌍의 대립유전자를 갖는 유전자형이 AaBbDd인 부모가 교배했을 때 나타나는 최대 표현형의 종류는 7종류이다.

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비	1	6	15	20	15	6	1
상댓값의 합	64						
표현형 확률	1/64	6/64	15/64	20/64	15/64	6/64	1/64

Schema 6
최대 표현형 가짓수

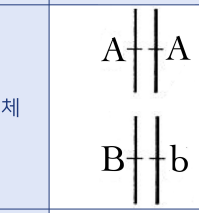
[중요도 ★★★★]

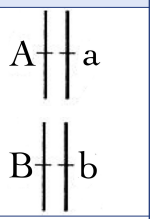
부모 유전자에 있는 동형 접합 개수만큼 최대 표현형 개수는 감소하며 다음과 같이 생각할 수 있다.

① $2n+1-$ (부모의 동형 접합 개수)
② 부모의 이형 접합 개수 $+1$
③ 미결정 자리 $+1$
④ 총 차이의 개수 $+1$ (총 △ 수 $+1$)

이때 부모의 유전자형에 동형 접합이 n개 포함되어 있을 경우
최대 표현형 개수는 n개 감소한다.

예를 들어 아버지의 유전자형이 AABb, 어머니의 유전자형이 AaBb라고 하면 염색체 구성은 다음과 같다.

	아빠 (父)
염색체	
표기	1/1 1/0
수식	△1×2

유전자형	엄마 (母)
염색체	
표기	1/0 1/0
수식	△1×2

[Remark 1] △(Delta)는 변화량이라는 뜻의 기호이며 예를 들어 표현형 분포가 1~7일 때 총 차이는 일반적인 비율 관계 1:6:15:20:15:6:1에서 △1×6이고 6+1=최대 표현형 가짓 수가 성립한다.

표현형 분포가 1~7일 때 벌어진 비율 관계 1:0:3:0:3:0:1에서 △2×3이고 6+1=최대 표현형 가짓 수(4가지)가 성립하지 않는다.

[Remark 2] 비율 관계는 Schema 7에서
벌어진 비율 관계는 Schema 8에서 상술된다.

Schema 6
최대 표현형 가짓수

이형 접합 유전자쌍은 자손에게 대문자(1)와 소문자(0)를 모두 제공할 수 있지만
동형 접합 유전자쌍은 대문자 또는 소문자 중 하나만 제공할 수 있다.

즉, 동형 접합 유전자는 유전자 자리 중 일부 자리를 결정해준다.

[결정된 자리]

A			
결정된 자리	미결정 자리		

부모의 유전자 중 A 한 개는 생식 세포로 확정적으로 전달되므로
자손의 표현형은 1에서 4까지 가능하며 이는

① 미결정 자리가 3개이므로 최대 표현형 가짓수가 4종류이다
② 부모의 상동염색체 쌍에서 대문자 수 차이가 3이므로 최대 표현형 가짓수가 4종류이다

와 같이 생각할 수 있다.

⇒ 동형 접합성 개수는 양극단의 표현형 개수를 줄이며
이형 접합성 개수는 표현형 개수를 줄이지 않는다.

⇒ 부모 염색체 내 동형 접합인 유전자는 자손의 유전자 자리 일부를 결정한다.

⇒ 총 차이 수 + 1은 일반적인 경우 최대 표현형 가짓수와 동일하다.

9.
다음은 어떤 사람의 유전 형질 (가)에 대한 자료이다.

- (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.
- P의 유전자형은 AABBDd이고, Q의 유전자형은 AabbDD이다.

P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 자손의 최대 표현형 개수는?

Schema 6
최대 표현형 가짓수

[해설]

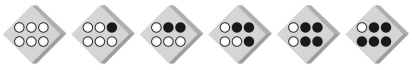
3성 다인자 유전에서 최대 표현형 개수는 7개이다.

표현형 범주

대문자 수	0	1	2	3	4	5	6

이때 열성 동형 접합이 1쌍(bb) 존재하므로
자손에게 반드시 b가 전달된다.

따라서 대문자 개수 6개가 나올 수 없다.



대문자 수	0	1	2	3	4	5

우성 동형 접합이 3쌍(AA, BB, DD) 존재하므로
자손에게 반드시 A, B, D가 각각 1개씩 전달된다.

따라서 대문자 수 0, 1, 2개가 나올 수 없다.

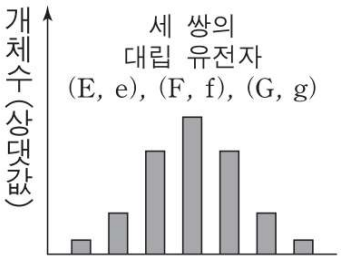
3	4	5

[답]

∴ 가능한 표현형은 3, 4, 5로 ⓐ에게서 나타날 수 있는 자손의 최대 표현형 개수는 3개이다.

Schema 6
최대 표현형 가짓수

10.
어떤 동물에서 형질 ㉠은 세 쌍의 대립유전자에 의해 결정된다. 그림은 ㉠의 표현형에 따른 개체수를 나타낸 것이다. ㉠의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 ㉠의 표현형이 다르다. E, F, G 유전자는 서로 다른 상염색체에 있다.



㉡의 유전자형이 EeFfGg인 개체와 eeffgg인 개체 사이에서 자손이 태어날 때, 이 자손에게서 나타날 가능성이 있는 최대 표현형 가짓수는?

[답]
이형 접합 수가 3개이므로 $3+1=4$이다.

Schema 6
최대 표현형 가짓수

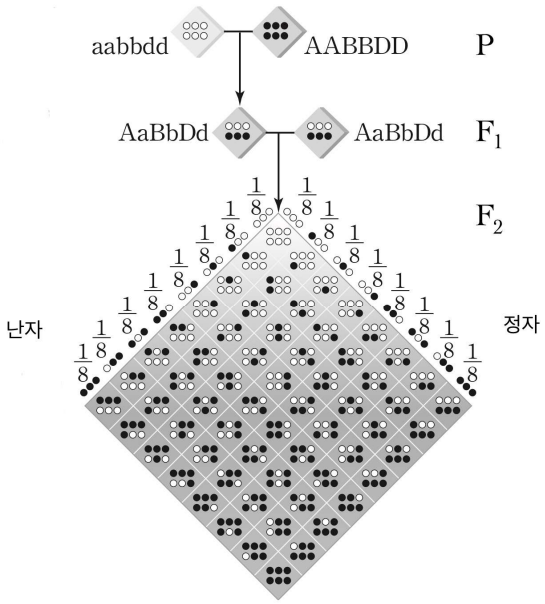
대문자의 개수를 X라 할 때 자식의 표현형 확률을 일반화하면 다음과 같다.

확률 값 : ① $\dfrac{\text{특정 자손이 나오는 경우의 수}}{2^n}$ (이때 n은 분리되는 상동 염색체 쌍 개수)

② $\dfrac{\text{특정 자손이 나오는 경우의 수}}{2^n}$ (이때 n은 유전자 자리 개수)

③ $\mathrm{P}(X=r)={}_nC_r\left(\frac{1}{2}\right)^r\left(\frac{1}{2}\right)^{n-r}=\frac{{}_nC_r}{2^n}$

(n은 이형 접합성 수, r은 표현형의 대문자 개수)



예를 들어 위와 같이 부모의 유전자형이 모두 AaBbDd일 때

표현형이 3인 자손이 나올 확률은 $\dfrac{{}_6\mathrm{C}_3}{2^6}=\dfrac{20}{64}$이고

표현형이 4인 자손이 나올 확률은 $\dfrac{{}_6\mathrm{C}_4}{2^6}=\dfrac{15}{64}$이다.

Schema 6
최대 표현형 가짓수

부모의 유전자형에 동형 접합이 있는 경우 자손의 일부 유전자 자리에 올 대립유전자가 결정된다.

예를 들어 아버지의 유전자형이 AABb, 어머니의 유전자형이 AaBb인 경우 표현형의 확률은 미결정 자리에만 영향을 받는다.

[결정된 자리]

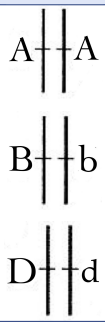
A			
결정된 자리	미결정 자리		

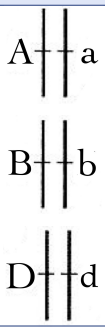
확률 값 : ① $\frac{\text{특정 자손이 나오는 경우의 수}}{2^n}$ (이때 n은 미결정 유전자 자리 개수)

② $\mathrm{P}(X=r)={}_nC_r(\frac{1}{2})^r(\frac{1}{2})^{n-r}=\frac{{}_nC_r}{2^n}$

(n은 부모의 이형 접합성 수, r은 표현형의 대문자 개수-부모의 대문자 유전자형 개수)

예를 들어 예를 들어 아버지의 유전자형이 AABbDd, 어머니의 유전자형이 AaBbDd라고 하면 염색체 구성은 [표1]과 같고, 대문자가 3개인 자손과 대문자가 4개인 자손이 등장할 확률은 [표2]와 같다.

	아빠 (父)
염색체	
표기	1/1 1/0 1/0
수식	△1×2

유전자형	엄마 (母)
염색체	
표기	1/0 1/0 1/0
수식	△1×3

Schema 6
최대 표현형 가짓수

[대문자의 개수가 4인 자손이 나올 확률] $\frac{{}_5\mathrm{C}_3}{2^5}=\frac{10}{32}$

[대문자의 개수가 5인 자손이 나올 확률] $\frac{{}_5\mathrm{C}_4}{2^5}=\frac{5}{32}$

예제에서 이형 접합이 2쌍 존재했고 이는 다음 상황과 동일하다.

"대문자 또는 소문자를 주는 시행이 2회 존재"

따라서 이형 접합성이 2개인 부모의 경우, 대문자의 개수를 X라 할 때 자식의 표현형 확률은 다음과 같다.

[표현형 개수]

이항분포에서 확률변수가 갖는 값의 개수는 $n+1$이므로
표현형의 개수는 3개다.

[확률 값]

$$\mathrm{P}(X=r)={}_2C_r\left(\frac{1}{2}\right)^r\left(\frac{1}{2}\right)^{2-r}=\frac{{}_2C_r}{4}$$

(r은 대문자 개수 - 부모의 대문자 동형 접합 개수)

$\Rightarrow$ 이항분포 $\mathrm{B}\left(2,\ \frac{1}{2}\right)$를 따른다.

표현형 최대 개수 : $k+1$

(k은 부모의 이형 접합성 개수)

확률 값 : $\mathrm{P}(X=r)={}_nC_r\left(\frac{1}{2}\right)^r\left(\frac{1}{2}\right)^{n-r}=\frac{{}_nC_r}{2^n}$

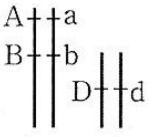
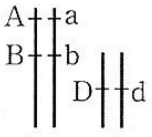
(n은 부모의 이형 접합성 개수, r은 대문자 개수 - 부모의 대문자 동형 접합성 개수)

이때 부모의 표현형이 같다면, 부모의 이형 접합성 개수가 동일하므로
$n=2k$의 양상을 나타내며 표현형 개수는 홀수로 나타난다.

Schema 6
최대 표현형 가짓수

다인자 유전을 발현하는 유전자가 연관된 경우에도
독립 상태에서 이형 접합성 개수를 대문자 차이의 총 합으로 바꾸면
최대 표현형 갯수로 활용할 수 있다.

[상인 × 상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 4쌍]

	상인 연관	상인 연관
연관 상태		
표기	2/0 차이 있음 대문자 차이 -2 1/0 차이 있음 대문자 차이 -1	2/ 0 차이 있음 대문자 차이 -2 1/0 차이 있음 대문자 차이 -1

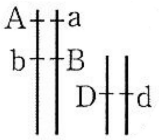
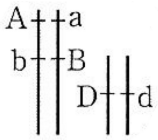
∴ 상댓값의 합 16 (2의 4승)

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	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						
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 4쌍						
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 6 = 부모가 갖는 차이의 총합						
수식	△2×2+△1×2						

최대 표현형 가짓수

[상반 × 상반 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

	상반 연관	상반 연관
연관 상태		
표기	1 / 1 차이 없음 대문자 차이 0 1 / 0 차이 있음 대문자 차이 -1	1 / 1 차이 없음 대문자 차이 0 1 / 0 차이 있음 대문자 차이 -1

∴ 상댓값의 합 4 (2의 2승)

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	3종류		
표현형 대문자 개수	2	3	4
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1
상댓값의 합	4		
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍		
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 2 = 부모가 갖는 차이의 총합		
수식	△1×2		

비율 관계

[중요도 ★★★]

다인자 독립에서는 이항분포의 확률분포를 따르고 이는 결정된 비율관계의 연속으로 이는 이해 그리고 암기 후 활용할 수 있다.

다인자 연관에서는 이항계수의 확률분포를 따르고 이는 추론해낼 수 있는 비율관계의 연속으로 이는 이해 후 끌어낼 수 있다.

부모 유전자에 있는 동형 접합 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.

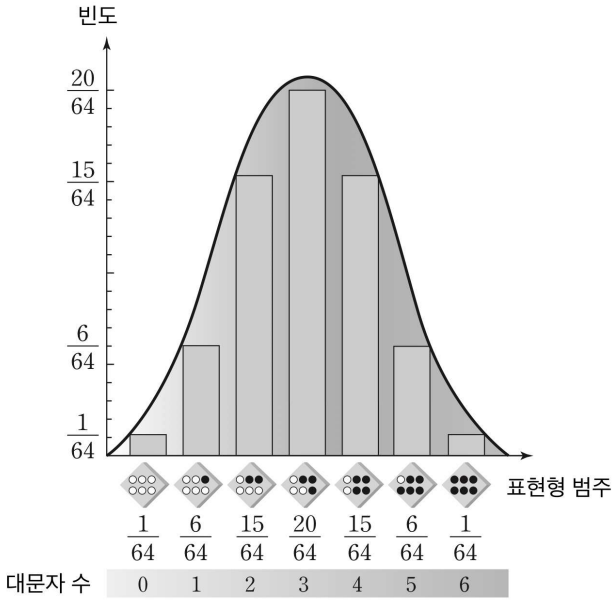
동형 접합성 개수에 의해 $B(n,\ p)$에서 n 값이 결정되고
이항분포의 확률분포는 결정된 비율관계의 연속으로 이는 암기 후 활용할 수 있다.

[파스칼의 삼각형]

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 $(n=7)$				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 × AaBbDd 에 대해 가장 먼저 알아보았고
이 경우 비율관계는 다음과 같았다.

다인자 유전
Schema 7
비율 관계



확률의 상댓값 :

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

동형 접합성 유전자형은 유전자 자리의 개수를 줄인다.

이를 활용하여 4성 다인자 유전에서
동형 접합성 개수와 이형 접합성 개수에 따른 비율 관계를 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	

[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.

확률 값(정량값) : $\mathrm{P}(X=r)={}_nC_r(\frac{1}{2})^r(\frac{1}{2})^{n-r}=\frac{{}_nC_r}{2^n}$

(n은 부모의 이형 접합성 개수, r은 대문자 개수 - 부모의 대문자 동형 접합성 개수)

비율 관계

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.

Schema 8
벌어진 비율 관계

[중요도 ★★★]

대체로 표현형이 갖는 최대 대문자 차이는 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수와 상관관계를 갖는다. 그러나 2연관, 3연관과 같이 독립인 염색체가 대문자 수 차이를 보정해주지 못하는 경우 벌어진 비율관계가 나타난다.

[상인 × 상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

	상인	상인
연관 상태		
표기	2 / 0 차이 있음 대문자 차이 2	2 / 0 차이 있음 대문자 차이 2

∴ 상댓값의 합 4 (2의 2승)

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	3종류				
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4
표현형 간 비 (상댓값)	1	0	2	0	1
상댓값의 합	4				
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍				
내포된 의미 ②	최대 대문자 차이 4 그러나 중간에 대문자가 0이 2로 건너뛰어져 의미가 소실됨				
수식	△2×2				

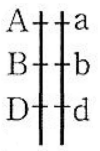
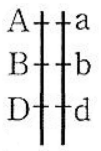
이와 같은 경우 최대 대문자 수 차이의 의미는 소실되지만
(∵ 표현형 대문자 개수가 연속적 분포가 아님)

대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수의 의미는 사라지지 않으며
(∵ 상동 염색체 차이 유무는 생식 세포 종류와 연관이 있으므로)

다음과 비율관계가 동일한 것을 알 수 있다.

벌어진 비율 관계

[상인상인 × 상인상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

	상인상인	상인상인
연관 상태		
표기	3 / 0 차이 있음 대문자 차이 3	3 / 0 차이 있음 대문자 차이 3

∴ 상댓값의 합 4 (2의 2승)

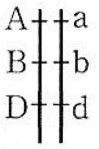
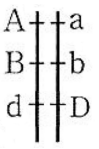
[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	3종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (상댓값)	1	0	0	2	0	0	1
상댓값의 합	4						
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍						
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 6 그러나 중간에 대문자가 0이 3으로 건너뛰어져 의미가 소실됨						
수식	△3×2						

이는 상동 염색체 유무 분포가 정확하게 동일하기 때문으로
대문자로 표시된 대립유전자가 몇 개 올려져 있는지는 표현형 대문자 개수에 영향을 주지
생식 세포가 퍼넷 사각형으로 조합되는 상황은 동일하게 나타나기 때문이다.

Schema 8
벌어진 비율 관계

[상인상인 × 상인상반 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

	상인상인	상인상반
연관 상태		
표기	3 / 0 차이 있음 대문자 차이 3	2 / 1 차이 있음 대문자 차이 1

∴ 상댓값의 합 4 (2의 2승)

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓 수	4종류				
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5
표현형 간 비 (상댓값)	1	1	0	1	1
상댓값의 합	4				
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍				
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 4 그러나 중간에 대문자가 2이 4로 건너뛰어져 의미가 소실됨				
수식	△3×1+△1×1				

[3쌍의 대립유전자 - 최대 표현형 가짓 수 정리]

	3연관 (1쌍의 염색체)	2연관 1독립 (2쌍의 염색체)	모두 독립 (3쌍의 염색체)
상인×상인	3	7	7
상인×상반	4	5	
상반×상반	3	3	

Schema 8
벌어진 비율 관계

11.
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 ㉠ 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 남자 P의 ㉠과 여자 Q의 ㉠의 합은 6이다. 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 하나이다.

Q의 ㉠ ÷ P의 ㉠ 값은?

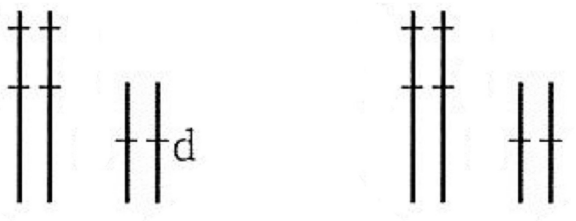
Schema 8
벌어진 비율 관계

[해설]

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

- 남자 P의 ㉠과 여자 Q의 ㉠의 합은 6이다. P는 d를 갖는다.

[조건 1]에서 2연관 1독립인 상황을 제시했고
[조건 3]에서 P는 d를 갖는다고 제시했으므로 염색체 모식도를 그라면 다음과 같다.

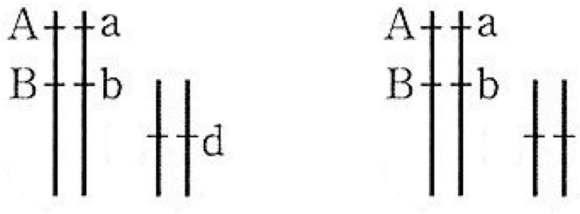


(∵ P는 d를 갖는다.)

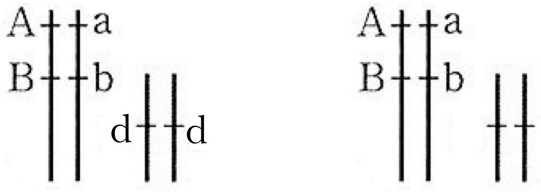
P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 3가지이고, ⓐ가 가질 수 있는 ㉠은 1, 3, 5 중 하나라고 했으므로 1, 3, 5는 1:2:1의 표현형 간 비율을 나타낸다.

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

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

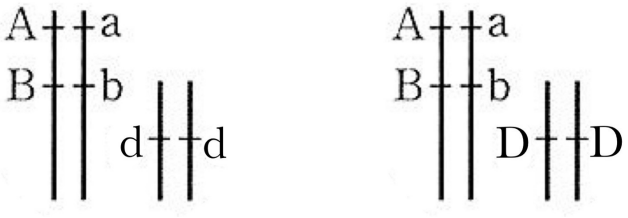


대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍이 2쌍 등장했으므로 남은 독립인 상동 염색체 쌍은 모두 동형 접합성이 되어야 한다.
∴ P의 독립인 상동 염색체쌍은 dd이다.



Schema 8
벌어진 비율 관계

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



∴ Q의 ㉠ ÷ P의 ㉠ 값은 2이다.

[중요도 ★★★★]

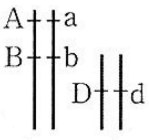
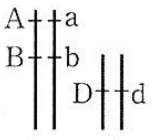
다인자 독립 상황에서 등장하는 비율관계는 이항분포의 비율 관계를 따르는 것처럼
다인자 연관 상황에서 등장하는 비율관계는 x에 대한 이항 계수의 비율 관계를 따른다.

이때 대문자 수와 x의 치수의 관계는 x의 치수$=x^{\text{대문자 수}}$ 이다.

분리 법칙에서 각 항이 움직일 확률은 $\frac{1}{2}$ $(1:1)$로 동일하므로

2/0은 x^2+1로, 1/0은 $x+1$로, 1/0은 $x+x$로 나타낼 수 있다.

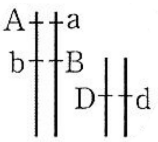
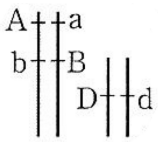
[상인 × 상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 4쌍]

	상인 연관	상인 연관
연관 상태		
표기	x^2+1 차이 있음 대문자 차이 -2	x^2+1 차이 있음 대문자 차이 -2
	$x+1$ 차이 있음 대문자 차이 -1	$x+1$ 차이 있음 대문자 차이 -1
다항식	$(x^2+1)(x^2+1)(x+1)(x+1)$	
수식	$\triangle 2\times 2+\triangle 1\times 2$	

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	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						
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 4쌍						
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 6 = 부모가 갖는 차이의 총합						

[상반 × 상반 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

	상반 연관	상반 연관
연관 상태		
표기	$x+x$ 차이 없음 대문자 차이 0	$x+x$ 차이 없음 대문자 차이 0
	$x+1$ 차이 있음 대문자 차이 -1	$x+1$ 차이 있음 대문자 차이 -1
다항식	$(x+x)(x+x)(x+1)(x+1)$	
수식	$\triangle 1\times 2$	

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓 수	3종류		
표현형 대문자 개수	2	3	4
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1
상댓값의 합	4		
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍		
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 2 = 부모가 갖는 차이의 총합		

[상인 × 상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

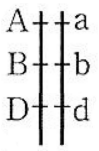
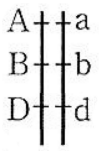
	상인	상인
연관 상태		
표기	x^2+1 차이 있음 대문자 차이 2	x^2+1 차이 있음 대문자 차이 2
다항식	$(x^2+1)(x^2+1)$	
수식	$\triangle 2\times 2$	

∴ 상댓값의 합 4 (2의 2승)

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	3종류				
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4
표현형 간 비 (상댓값)	1	0	2	0	1
상댓값의 합	4				
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍				
내포된 의미 ②	최대 대문자 차이 4 그러나 중간에 대문자가 0이 2로 건너뛰어져 의미가 소실됨				

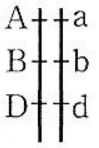
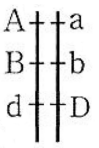
[상인상인 × 상인상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

	상인상인	상인상인
연관 상태		
표기	x^3+1 차이 있음 대문자 차이 3	x^3+1 차이 있음 대문자 차이 3
다항식	$(x^3+1)(x^3+1)$	
수식	$\triangle 3\times 2$	

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	3종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (상댓값)	1	0	0	2	0	0	1
상댓값의 합	4						
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍						
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 6 그러나 중간에 대문자가 0이 3으로 건너뛰어져 의미가 소실됨						

[상인상인 × 상인상반 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

	상인상인	상인상반
연관 상태		
표기	x^3+1 차이 있음 대문자 차이 3	x^2+x 차이 있음 대문자 차이 1
다항식	$(x^3+1)(x^2+x)$	
수식	$\triangle 3\times 1+\triangle 1\times 1$	

[표현형 종류 표]

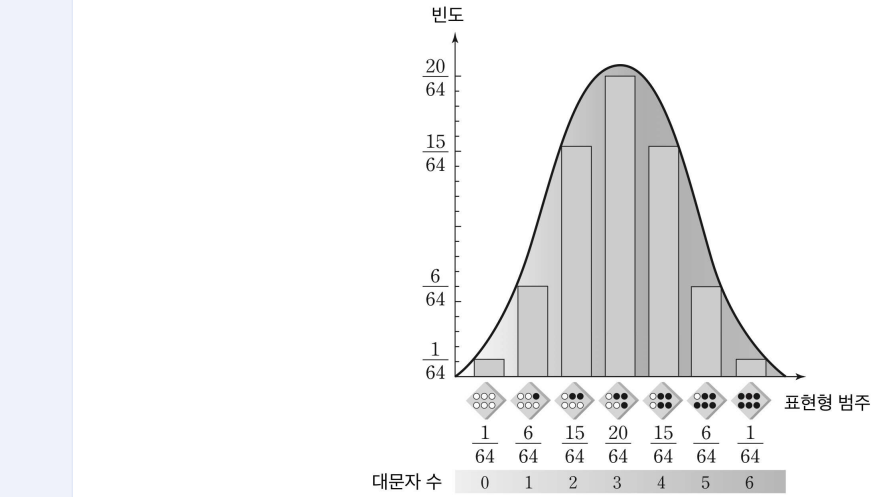
자손 최대 표현형 가짓수	4종류				
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5
표현형 간 비 (상댓값)	1	1	0	1	1
상댓값의 합	4				
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 2쌍				
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 4 그러나 중간에 대문자가 2이 4로 건너뛰어져 의미가 소실됨				

[Remark 1] 다항식에서는 분배법칙과 결합법칙이 성립한다.
그에 따라 연산 순서를 자유롭게 조절할 수 있다.

다인자 유전
Schema 10
중앙값

[중요도 ★★★]

다인자 독립인 경우 중앙에 오는 확률(중앙값)은 항상 극댓값이다. 또한 부모의 표현형이 같고, 어떤 자손의 ㉠ 표현형이 부모와 같을 확률을 질문할 때, ㉠은 중앙값이다.



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

[확률분포표]

X	0	1	2	⋯	n	계
$\mathrm{P}(X=x)$	${}_n\mathrm{C}_0 p^0 q^n$	${}_n\mathrm{C}_1 p^1 q^{n-1}$	${}_n\mathrm{C}_2 p^2 q^{n-2}$		${}_n\mathrm{C}_n p^n q^0$	1

[확률의 상댓값]

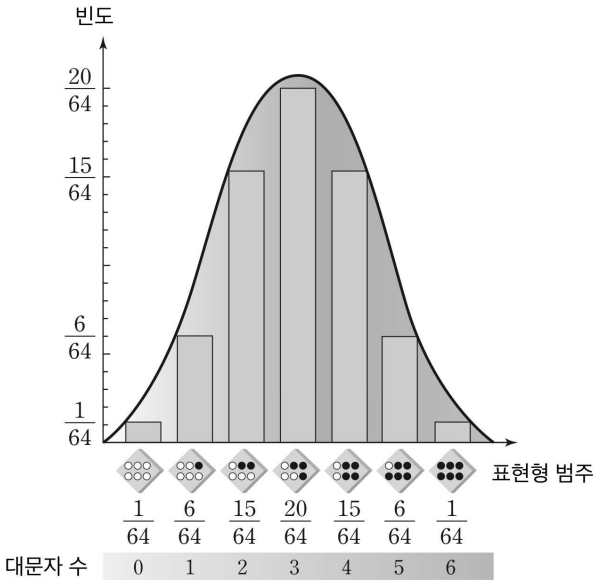
	0	1	2	⋯	n	계
확률의 상댓값 = 이항 계수	${}_nC_0$	${}_nC_1$	${}_nC_2$		${}_n\mathrm{C}_n p^n q^0$	1

[비율 관계]

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

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

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



12.

- (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?

[해설]

알고 있는 확률 간 관계들을 활용해보자

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

이때 ⓐ의 표현형이 P, Q와 같다고 했으므로

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

따라서 ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형의 최대 가짓수는 5가지이다.

다인자 유전
Schema 10
중앙값

13.

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

ⓕ의 (가)에 대한 표현형이 P와 다를 확률은?

[해설]

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

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

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

14.

- (가)는 대립유전자 A와 a에 의해 결정되며, 유전자형이 AA, Aa, aa인 개체의 표현형은 서로 다르다.
- (나)는 2쌍의 대립유전자 B와 b, D와 d에 의해 결정된다.
- (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 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.)

[해설]

(나)를 결정하는 염색체는 2독립인 상황이고 대문자 수 총 차이가 -4이므로
비율관계는 1:4:6:4:1이고 ㉠은 5이며 상댓값의 합은 16이다.

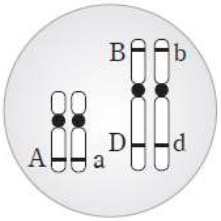
(나)에 대한 표현형이 부모와 같을 확률은 중앙값인 $\frac{6}{16}=\frac{3}{8}$이고

(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.

15.

- ㉠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 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 7가지이다.

이 아이의 ⓐ에 대한 표현형이 부모와 같을 확률은?.

[해설]
아이의 ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 7가지이고
이는 상인×상인 교배에서 나타난다.
따라서 남자 P의 체세포에 들어 있는 염색체에서 ㉠에 대한 유전자의 위치도
Q와 동일한 것을 알 수 있다.

ⓐ에 대한 표현형이 같을 확률은 확률의 중앙값에서 나타나고 이는 다음과 같다.

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						

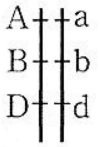
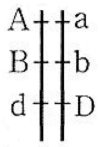
$\therefore \frac{1}{4}$

중앙값

자손의 표현형이 홀수 가지일 경우 항상 부모의 표현형 중앙값과
등장할 수 있는 자손의 표현형 중앙값이 동일하지만

자손의 표현형이 짝수 가지로 나오는 경우 부모의 표현형 간 중앙값과
등장할 수 있는 자손의 표현형 중앙값이 동일하지 않다.

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

	P		Q
연관 상태		×	
표기	3 / 0	×	2 / 1
	차이 있음 대문자 차이 3	×	차이 있음 대문자 차이 1

∴ 상댓값의 합 4 (2의 2승)

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	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			

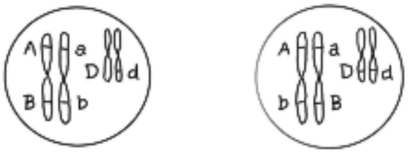
P와 Q의 중앙값인 3이 자손의 표현형 대문자 개수에서 나타나지 않는 것을 알 수 있다.
그러나 최소(1)와 최대(5)의 평균값은 여전히 3으로 유효하다.

16.

- (가)는 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?

[해설]
연관 상태가 주어지지 않았을 때
㉠을 결정하는 3개의 유전자는 다음과 같이 세 가지 경우의 수가 가능하다.

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

	[Case 3]
염색체 상태	3연관

[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.

	[Case 3]	
염색체 상태	3연관	
표기	3/0	2/1
지칭	㉮	㉯

[Case 3]
3연관

염색체 상태가 3연관인 경우 대문자 수에 따라 크게 ㉮와 ㉯로 분류할 수 있다.

㉮ × ㉮일 때, 3가지 (자손 표현형 대문자 개수 각각 6, 3, 0)
㉮ × ㉯일 때, 4가지 (자손 표현형 대문자 개수 각각 1, 2, 4, 5)
㉯ × ㉯일 때, 3가지 (자손 표현형 대문자 개수 각각 4, 3, 2)

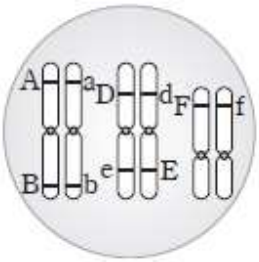
이다.

따라서 구하는 경우는 ㉮ × ㉯일 때이고

부모의 표현형은 둘 다 대문자 개수 3이므로
ⓐ에서 ㉠의 표현형이 부모와 다를 확률은 1이다.

17.

- (가)는 2쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b에 의해 결정되며, (나)는 3쌍의 대립유전자 D와 d, E와 e, F와 f에 의해 결정된다.
- (가)와 (나)의 표현형은 각각 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 그림은 남자 P의 체세포에서 (가)와 (나)에 대한 유전자 구성과 위치를 염색체에 나타낸 것이다.



- 여자 Q에서 (가)와 (나)의 유전자형은 P와 같으며, P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 (가)와 (나)의 표현형은 최대 15가지이다.

ⓐ에서 (가)와 (나)의 표현형이 모두 부모와 다를 확률은?

[해설]
여자 Q에서 (가)와 (나)의 유전자형은 P와 같으며, P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 (가)와 (나)의 표현형은 최대 15가지(3가지×5가지)라고 하였으므로 Q는 A와 B(a와 b)가 함께 있는 염색체를 가져 (가)의 표현형 3가지를 만족시킨다. 또한 표현형 5가지를 갖기 위해 상인 × 상반의 교배 형태가 나타나야 하므로 D와 E(d와 e)가 함께 있는 염색체를 가진다.

(가)의 표현형은 생식 세포 교배에 대한 이해를
(나)의 표현형은 차이 이론 또는 상인 연관과 상반 연관에 대한 이해를 요구하고 있다.

(1) ⓐ에서 (가)의 표현형이 부모와 다를 확률
표현형 비가 1:2:1이므로 $\frac{1}{2}$이다.

(2) ⓐ에서 (나)의 표현형이 모두 부모와 다를 확률
상인 × 상반의 자손 표현형 비율은 1:2:2:2:1이고, 중앙값이 같을 확률이므로 $\frac{3}{4}$이다.

따라서 ⓐ에서 (가)와 (나)의 표현형이 모두 부모와 다를 확률은 $\frac{1}{2}\times\frac{3}{4}=\frac{3}{8}$이다.

다인자 유전
Schema 11
종류 표

[중요도 ★★★★]

다인자 연관에서 표현형 간 비율 관계를 도수분포표(행렬) 형태로 나타낼 수 있듯이 표현형 종류의 의미를 내포하는 표로 해석할 수 있다.

생식 세포 형성에 대한 이해, 분리 법칙, 여러 상황을 살펴보며 비율 관계나 표현형 양상이 동일하게 나오는 여러 가지 동치 상황에 알아본 바 있다.

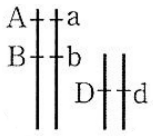
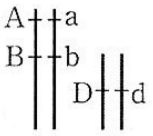
비율 관계가 동일하다는 뜻은 상동 염색체 분리 양상이 동일하다는 말과 같으며 대문자 수 차이 양상이 동일하다는 것을 의미한다.

최대 대문자 수 차이의 예외 사례가 출제되어도 상황을 구체적으로 이해할 수 있도록 표현형 종류 표를 조합해내는 법에 대해 공부해보자.

즉, 가로 칸의 개수가 표현형 종류인 표를 설정하여 비율을 엮어갈 수 있다.

[예시 1]

2연관 1독립 - 인 × 인

	상인 연관		상인 연관
연관 상태		×	
표기	2/0 대문자 차이 있음 1/0 대문자 차이 있음		2/0 대문자 차이 있음 1/0 대문자 차이 있음

[도수분포표 : 인 × 인]

비중 / 대문자 개수	비중	1	2	1
비중	대문자 개수	4	2	0
1	2	6	5	4
2	1	5	4	3
1	0	4	3	2

위 도수분포표를 대문자 개수 열에 맞춰 해석해보자.

종류 표

[도수분포표 : 상인 × 상인]

	비중	1	2	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	4	2	0
1	2	6	5	4
2	1	5	4	3
1	0	4	3	2

대문자 수가 0인 상동 염색체가 생식 세포에 전달될 경우
표현형 대문자 개수에 영향을 주지 않는다.

표현형 종류 표에 비중 1을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

#1

표현형 종류	?						
표현형 대문자 개수	0	1	2				
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
상댓값의 합							

[도수분포표 : 인 × 인]

	비중	1	2	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	4	2	0
1	2	6	5	4
2	1	5	4	3
1	0	4	3	2

대문자 수가 2인 상동 염색체가 생식 세포에 전달될 경우
표현형 대문자 개수를 각각 2개씩 늘린다.

표현형 종류 표에 비중 2을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

#2

표현형 종류	?						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4		
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
			2	4	2		
상댓값의 합							

[도수분포표 : 상인 × 상인]

	비중	1	2	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	4	2	0
1	2	6	5	4
2	1	5	4	3
1	0	4	3	2

대문자 수가 4인 상동 염색체가 전달될 경우
표현형 대문자 개수를 각각 4개씩 늘린다.

표현형 종류 표에 비중 1을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

#3

표현형 종류	?						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
			2	4	2		
					1	2	1
상댓값의 합	?						

따라서 다음이 결정된다.

종류 표

[상댓값 열의 합 - 표현형 간 비중 결정]

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
			2	4	2		
					1	2	1
상댓값 열의 합	1	2	3	4	3	2	1
상댓값의 합	16						

이는 각 표현형에 대응되는 비중과 표현형 종류 개수를 파악하는 데 유용하여 도수분포표와 더불어 상황에 적절하게 사용할 수 있다.

[2연관 1독립 인×인 - 종류 표]

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						

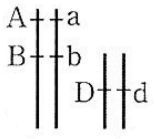
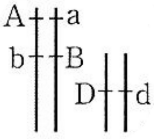
[Remark 1] 충분히 경험을 쌓은 후 실전에서는 보라색 틀 부분, 표현형 대문자 개수의 Min, Max, 중앙값의 이해를 전제로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

1	2	1				
		2	4	2		
				1	2	1

.

[예시 2]

2연관 1독립 - 인 × 반

	상인 연관	상반 연관
연관 상태		
표기	2/0 대문자 차이 있음 1/0 대문자 차이 있음	1/1 대문자 차이 없음 1/0 대문자 차이 있음

[도수분포표 : 상인 × 상반]

비중 / 대문자 개수	비중	1	1
비중	대문자 개수	2	1
1	3	5	4
1	2	4	3
1	1	3	2
1	0	2	1

위 도수분포표를 대문자 개수 열에 맞춰 해석해보자.

종류 표

.

[도수분포표 : 인 × 반]

비중	대문자 개수 / 대문자 개수	1	1
		2	1
1	3	5	4
1	2	4	3
1	1	3	2
1	0	2	1

대문자 수가 1인 상동 염색체가 전달될 경우 표현형 대문자 개수를 각각 1개씩 늘린다.
표현형 종류 표에 비중 1을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

#1

표현형 종류	?				
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	
표현형 간 비 (상댓값)	1	1	1	1	
상댓값의 합	?				

.

[도수분포표 : 인 × 반]

비중 \ 대문자 개수	1	1
비중 \ 대문자 개수	2	1
1	3	5	4
1	2	4	3
1	1	3	2
1	0	2	1

대문자 수가 2인 상동 염색체가 전달될 경우 표현형 대문자 개수를 각각 2개씩 늘린다.
표현형 종류 표에 비중 1을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

#2

표현형 종류	?				
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5
표현형 간 비 (상댓값)	1	1	1	1	
		1	1	1	1
상댓값의 합	?				

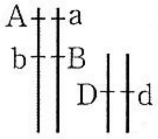
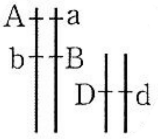
따라서 다음이 결정된다.

[상댓값 열의 합 - 표현형 간 비중 결정]

표현형 종류	5종류				
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	2	2	1
상댓값의 합	8				

[예시 3]

2연관 1독립 - 반 × 반

	상반 연관	×	상반 연관
연관 상태		×	
표기	1 / 1 대문자 차이 없음 1 / 0 대문자 차이 있음	×	1 / 1 대문자 차이 없음 1 / 0 대문자 차이 있음

엮을 이유 없이 1/0 × 1/0과 동일한 비율 관계를 나타낼 것이다.
이는 대문자 차이가 없는 상동 염색체쌍은 표현형 대문자 개수에만 영향을 주기 때문이다.

1/0 × 1/0

표현형 종류	3종류		
표현형 대문자 개수	0	1	2
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1

→

2연관 1독립 - 반 × 반

표현형 종류	3종류		
표현형 대문자 개수	2	3	4
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1

18.

- (가)는 3쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정된다. 이 중 1쌍의 대립유전자는 7번 염색체에, 나머지 2쌍의 대립유전자는 9번 염색체에 있다. (가)의 표현형은 ⓐ 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- ⓐ가 3인 남자과 ⓐ가 4인 여자 Ⅱ 사이에서 ⓐ가 6인 아이 Ⅲ이 태어났다.
- Ⅱ에서 난자가 형성될 때, 이 난자가 a, b, D를 모두 가질 확률은 $\frac{1}{2}$이다.
- Ⅰ과 Ⅱ 사이에서 Ⅲ의 동생이 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 ㉠ 가지이고, 이 아이의 ⓐ가 5일 확률은 ㉡이다.

㉠과 ㉡ 값은?

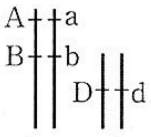
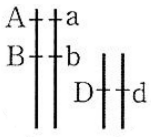
[해설]

ⓐ가 3인 남자과 ⓐ가 4인 여자 Ⅱ 사이에서 ⓐ가 6인 아이 Ⅲ이 태어났으므로
Ⅲ의 유전자형은 AABBDD이고, ⓐ가 3인 남자의 유전자형은 AaBbDd로 결정된다.

Ⅱ에서 난자가 형성될 때, 이 난자가 a, b, D를 모두 가질 확률은 $\frac{1}{2}$이고
ⓐ가 4인 여자 Ⅱ는 유전자에 ㉮ 동형 접합성이 있기 때문에
난자에 반드시 대문자 1개를 갖는다.

따라서 ㉮는 DD이고 ⓐ의 유전자형은 AaBbDD이다.

난자가 a, b, D를 모두 가질 확률은 $\frac{1}{2}$이므로 $\frac{2}{4}$가 되어야 하고,
A, a, B, b는 9번 염색체에 상인 연관되어 있어야 하며
D, d는 7번 염색체에 존재해야 한다.

	남자	여자
연관 상태		
표기	2/0 차이 있음 대문자 차이 -2	2/0 차이 있음 대문자 차이 -2
	1/0 차이 있음 대문자 차이 -1	1/1 차이 없음 대문자 차이 0

최소 표현형은 대문자 개수가 1, 최대 표현형은 대문자 개수가 6인 표현형으로
㉠은 6가지이다.

∵ 총 차이 5에 1을 더해도 무방

[표현형 종류 표]

자손 최대 표현형 가짓수	6종류					
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5	6
종류 표	1		2		1	
		1		2		1
표현형 간 비 (상댓값)	1	1	2	2	1	1
상댓값의 합	8					
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 3쌍					
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 5 = 부모가 갖는 차이의 총합					

∴ ㉡은 $\frac{1}{8}$이다.

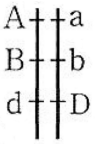
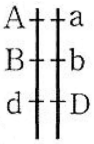
Schema 12

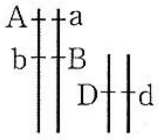
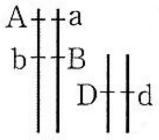
차이 양상

[중요도 ★★★]

비율 관계가 동일하다는 뜻은 상동 염색체 분리 양상이 동일하다는 말과 같으며
대문자 수 차이 양상이 동일하다는 것을 의미한다.

표현형 간 비율관계가 1:2:1이 등장하는 유사한 예를 하나 더 보자.

연관 상태		×	
표기	2/1	×	2/1
차이 양상	대문자 1 차이		대문자 1 차이

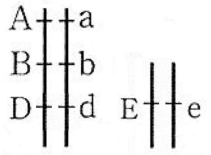
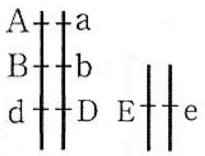
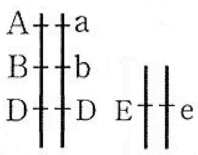
연관 상태		×	
표기	1/ 1 대문자 차이 없음 1/ 0 대문자 1 차이	×	1/ 1 대문자 차이 없음 1/ 0 대문자 1 차이

1/1와 같이 대문자 수 차이가 없는 상동 염색체쌍은
상댓값에 비중을 주지 않고 두 상황 모두 대문자 1 차이가 2개 나타나므로

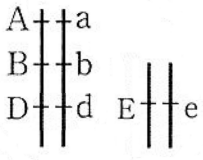
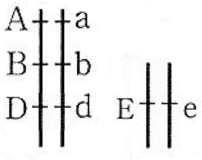
대문자 수 차이 양상이 동일하다

∴ 대문자 수 차이 양상이 동일하면 비율관계가 동일하게 등장한다.

3연관 1독립의 경우 다음과 같은 양상이 나타난다.

	㉠	㉡	㉢
연관 상태			
표기	3/0 1/0	2/1 1/0	3/1 1/0

[Case 1 – ㉠ × ㉠]

연관 상태		×	
표기	3/0 1/0	×	3/0 1/0

상동 염색체는 4쌍 나타나고 4쌍 모두 대문자 간 차이가 나타나므로
상댓값의 총합은 16이며 표현형의 Max는 8, Min은 0임을 알 수 있다.

우리가 익히 알고 있는 교배 상황 1/0 × 1/0로부터 비율 관계를 끌어내면 1:2:1이고
3/0 × 3/0도 비율 관계는 1/0 × 1/0와 같은 양상을 나타내므로 도수분포표는
다음과 같다.

[도수분포표 : ㉠ × ㉠]

	비중	1	2	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	6	3	0
1	2	8	5	2
2	1	7	4	1
1	0	6	3	0

비중 / 대문자 개수	비중	1	2	1
비중	대문자 개수	6	3	0
1	2	8	5	2
2	1	7	4	1
1	0	6	3	0

대문자 수가 0인 상동 염색체 쌍이 전달될 경우 표현형 대문자 개수에 영향을 주지 않는다. 표현형 종류 표에 비중 1을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

[Step 1]

표현형 종류	?								
표현형 대문자 개수	0	1	2						
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1						
상댓값의 합									

비중 / 대문자 개수	비중	1	2	1
비중	대문자 개수	6	3	0
1	2	8	5	2
2	1	7	4	1
1	0	6	3	0

대문자 수가 3인 상동 염색체 쌍이 전달될 경우 표현형 대문자 개수를 각각 3개씩 늘린다. 표현형 종류 표에 대문자 개수 3을, 비중 2를 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

[Step 2]

표현형 종류	?								
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5			
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1						
				2	4	2			

비중 / 대문자 개수	1	2	1
비중 \ 대문자 개수	6	3	0
1	2	8	5	2
2	1	7	4	1
1	0	6	3	0

대문자 수가 6인 상동 염색체 쌍이 전달될 경우 표현형 대문자 개수를 각각 6개씩 늘린다. 표현형 종류 표에 대문자 개수 6을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

[Step 3]

표현형 종류	?								
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6	7	8
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1						
				2	4	2			
							1	2	1

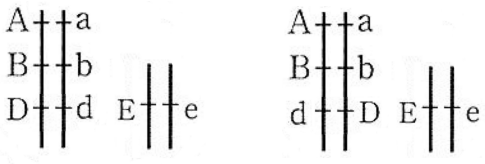
따라서 ㉠×㉠의 표현형 분포와 비율 관계는 다음과 같다.

[종류 표]

표현형 종류	9종류								
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6	7	8
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1						
				2	4	2			
							1	2	1
상댓값 열의 합	1	2	1	2	4	2	1	2	1
상댓값의 합	16								

[Case 2 – ㉠ × ㉡]

연관 상태



표기

3/0
1/0
×
2/1
1/0

상동 염색체는 4쌍 나타나고 4쌍 모두 대문자 간 차이가 나타나므로
상댓값의 총합은 16이며 표현형의 Max는 7, Min은 1임을 알 수 있다.

우리가 익히 알고 있는 교배 상황 1/0 × 1/0로부터 비율 관계를 끌어내면 1:2:1이고
앞서 공부한 3/0 × 2/1의 비율관계는 1:1:1:1이므로 도수분포표는 다음과 같다.

[도수분포표 : ㉠ × ㉡]

	비중	1	1	1	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	5	4	2	1
1	2	7	6	4	3
2	1	6	5	3	2
1	0	5	4	2	1

[Step 1]

비중	대문자 개수 / 대문자 개수	1	1	1	1
비중		5	4	2	1
1	2	7	6	4	3
2	1	6	5	3	2
1	0	5	4	2	1

대문자 수가 1인 상동 염색체 쌍이 전달될 경우 표현형 대문자 개수를 각각 1개씩 늘린다. 표현형 종류 표에 비중 1을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

표현형 종류	?						
표현형 대문자 개수	1	2	3				
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
상댓값의 합							

[Step 2]

	비중	1	1	1	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	5	4	2	1
1	2	7	6	4	3
2	1	6	5	3	2
1	0	5	4	2	1

대문자 수가 2인 상동 염색체 쌍이 전달될 경우 표현형 대문자 개수를 각각 2개씩 늘린다.
표현형 종류 표에 대문자 개수 2, 비중 1을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

표현형 종류	?						
표현형 대문자 개수	1	2	3	4			
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
		1	2	1			
상댓값의 합							

[Step 3]

	비중	1	1	1	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	5	4	2	1
1	2	7	6	4	3
2	1	6	5	3	2
1	0	5	4	2	1

대문자 수가 4인 상동 염색체 쌍이 전달될 경우 표현형 대문자 개수를 각각 4개씩 늘린다.
표현형 종류 표에 비중 1을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

표현형 종류	?						
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5	6	
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
		1	2	1			
				1	2	1	
상댓값의 합							

[Step 4]

	비중	1	1	1	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	5	4	2	1
1	2	7	6	4	3
2	1	6	5	3	2
1	0	5	4	2	1

대문자 수가 5인 상동 염색체 쌍이 전달될 경우 표현형 대문자 개수를 각각 5개씩 늘린다.
표현형 종류 표에 비중 1을 반영하여 비율 관계를 나타내면 다음과 같다.

표현형 종류	?						
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5	6	7
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
		1	2	1			
				1	2	1	
					1	2	1
상댓값의 합							

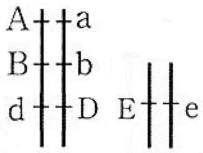
따라서 ㉠×㉡의 표현형 분포와 비율 관계는 다음과 같다.

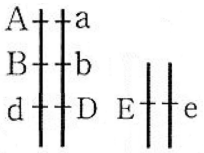
[종류 표]

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5	6	7
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
		1	2	1			
				1	2	1	
					1	2	1
상댓값 열의 합	1	3	3	2	3	3	1
상댓값의 합	16						

[Remark 1] 중앙값이 극댓값이 아닌 반례
그럼에도 (중앙 대문자 개수)×2=(왼쪽 말단 표현형 大 개수)+(오른쪽 말단 표현형 大 개수)의 의미를 가지므로 중앙값 자체는 특수하다.

연관 상태





표기

$$\frac{2/1}{1/0} \times \frac{2/1}{1/0}$$

앞서 동치 상황들을 살펴보며 2/1 × 2/1은 1/0 × 1/0과 정확하게 동일한 비율관계를 나타냄을 파악한 바 있다.

(대문자 개수만 2개씩 차이)

따라서 비율관계는 1:2:1과 1:2:1이 엮여 있는 1:4:6:4:1이 등장할 것이며, 표현형의 Min은 2, 표현형의 Max는 6일 것이다.

이를 도수분포표와 종류 표로 나타내면 다음과 같다.

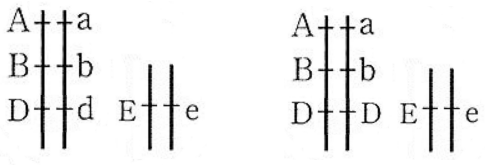
[도수분포표 : ㉠ × ㉡]

	비중	1	2	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	4	3	2
1	2	6	5	4
2	1	5	4	3
1	0	4	3	2

[종류 표]

표현형 종류	5종류				
표현형 대문자 개수	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1		
		2	4	6	
			1	2	1
상댓값 열의 합	1	4	6	4	1
상댓값의 합	16				

연관 상태



표기

3/0 1/0 × 3/1 1/0

상동 염색체는 4쌍 나타나고 4쌍 모두 대문자 간 차이가 나타나므로
상댓값의 총합은 16이며 표현형의 Max는 8, Min은 1임을 알 수 있다.

우리가 익히 알고 있는 교배 상황 1/0 × 1/0로부터 비율 관계를 끌어내면 1:2:1이고
3/0 × 3/1은 1:1:1:1의 비율관계를 나타내므로 도수분포표로 나타내면 다음과 같다.

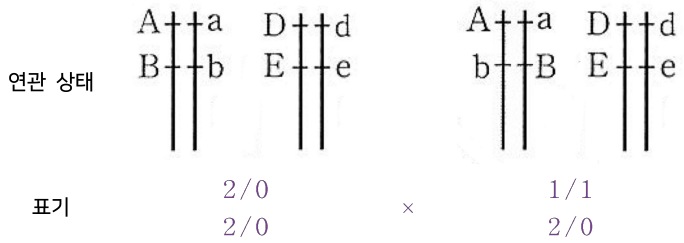
[도수분포표 : ㉠ × ㉠]

	비중	1	1	1	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	6	4	3	1
1	2	8	6	5	3
2	1	7	5	4	2
1	0	6	4	3	1

[종류 표]

표현형 종류	8종류							
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5	6	7	8
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1					
			1	2	1			
				1	2	1		
						1	2	1
상댓값 열의 합	1	2	2	3	3	2	2	1
상댓값의 합	16							

[Case 2 – ㉠ × ㉡]



상동 염색체는 4쌍 나타나고 4쌍 중 3쌍에서 대문자 간 차이가 나타나므로 상댓값의 총합은 8이며 표현형의 Max는 7, Min은 1임을 알 수 있다.

도수분포표와 종류 표로 나타내면 다음과 같다.

[도수분포표 : ㉠ × ㉡]

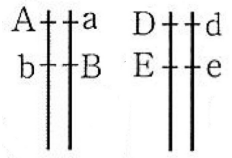
	비중	1	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	3	1
1	4	7	5
2	2	5	3
1	0	3	1

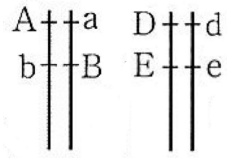
[종류 표 : ㉠ × ㉡]

표현형 종류	4종류						
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5	6	7
표현형 간 비 (상댓값)	1		2		1		
			1		2		1
	1		3		3		1
상댓값의 합	8						

[Case 3 – ㉡ × ㉡]

연관 상태





표기

1/1
2/0

×

1/1
2/0

상동 염색체는 4쌍 나타나고 4쌍 중 2쌍에서 대문자 간 차이가 나타나므로 상댓값의 총합은 4이며 표현형의 Max는 6, Min은 2임을 알 수 있다.

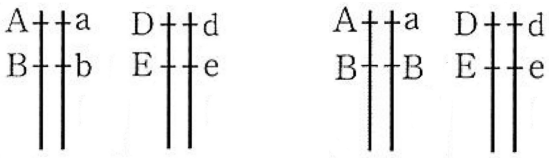
양 끝 말단의 상댓값은 1이고, 2/0×2/0은 1/0×1/0과 비율 양상이 유사하므로 표현형과 비율 관계는 다음임을 파악할 수 있다.

[종류 표]

표현형 종류	3종류				
표현형 대문자 개수	2	3	4	5	6
상댓값 열의 합	1		2		1
상댓값의 합	4				

[Case 4 – ㉠ × ㉢]

연관 상태



표기 2/0 2/0 × 2/1 2/0

상동 염색체는 4쌍 나타나고 4쌍 모두 대문자 수 차이가 나타나므로
상댓값의 총합은 16이며 표현형의 Max는 8, Min은 1임을 알 수 있다.

또한 2/0 × 2/0은 1/0 × 1/0과 같은 1:2:1의 관계를 나타내지만 연속적인 표현형 비율로 생각하면 1:0:2:0:1의 비율 분포를 나타낸다.

이를 도수분포표와 종류 표로 나타내면 다음과 같다.

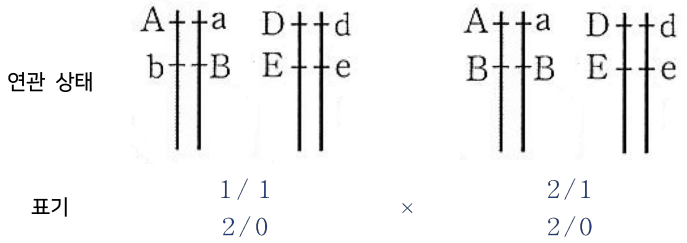
[도수분포표 : ㉠ × ㉢]

	비중	1	1	1	1
비중	대문자 개수 / 대문자 개수	4	3	2	1
1	4	8			
2	2				
1	0				1

[종류 표]

표현형 종류	8종류							
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5	6	7	8
표현형 간 비 (상댓값)	1		2		1			
		1		2		1		
			1		2		1	
				1		2		1
상댓값 열의 합	1	1	3	3	3	3	1	1
상댓값의 합	16							

[Case 5 – ㉡ × ㉢]



상동 염색체는 4쌍 나타나고 4쌍 중 3쌍에서 대문자 수 차이가 나타나므로 상댓값의 총합은 8이며 표현형의 Max는 7, Min은 2임을 알 수 있다.

또한 2/0 × 2/0은 1/0 × 1/0과 같은 1:2:1의 관계를 나타내지만 연속적인 표현형 비율로 생각하면 1:0:2:0:1의 비율 분포를 나타낸다.

이를 도수분포표와 종류 표로 나타내면 다음과 같다.

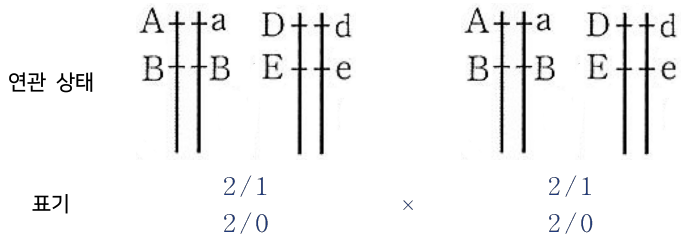
[도수분포표 : ㉠ × ㉢]

비중 / 대문자 개수	비중	1	1
비중	대문자 개수	3	2
1	4	7	
2	2		
1	0		2

[종류 표]

표현형 종류	3종류					
표현형 대문자 개수	2	3	4	5	6	7
표현형 간 비 (상댓값)	1		2		1	
		1		2		1
상댓값 열의 합	1	1	2	2	1	1
상댓값의 합	8					

[Case 6 – ㉣ × ㉤]



상동 염색체는 4쌍 나타나고 4쌍 모두 대문자 수 차이가 나타나므로
상댓값의 총합은 16이며 표현형의 Max는 8, Min은 2임을 알 수 있다.

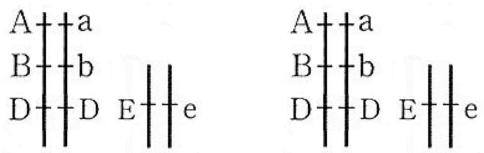
이때 차이 양상이 2연관 1독립 - 상인 연관×상인 연관과 동일하다.
따라서 종류 표는 다음과 같다.

[종류 표]

표현형 종류	7종류						
표현형 대문자 개수	2	3	4	5	6	7	8
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	1				
			2	4	2		
					1	2	1
상댓값 열의 합	1	2	3	4	3	2	1
상댓값의 합	16						

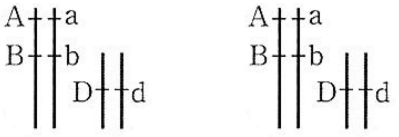
Schema 12
차이 양상

비율 관계가 동일하다는 뜻은 상동 염색체 분리 양상이 동일하다는 말과 같으며
대문자 수 차이 양상이 동일하다는 것을 의미한다

연관 상태 

표기 3/1 1/0 × 3/1 1/0

[2연관 1독립 - 상인 × 상인

연관 상태 

표기 2/0 1/0 × 2/0 1/0

[차이 양상]

2/0	2/0	3/1	3/1
대문자 2차이	대문자 2차이	대문자 2차이	대문자 2차이
1/0	1/0	1/0	1/0
대문자 1차이	대문자 1차이	대문자 1차이	대문자 1차이

⇒ 대문자 2 차이인 상동 염색체쌍이 2개, 대문자 1 차이인 상동 염색체쌍이 1개 나타난다.
⇒ 대문자 수 차이 양상이 동일하다.
⇒ 비율관계가 동일하게 나타난다.
⇒ 이미 익숙하게 접하여 암기하고 있는 비율관계가 있다면 차이 양상이 동일한 경우 그대로 활용할 수 있다.

Schema 13
특수한 확률

[중요도 ★★★]
몇몇 특수한 확률은 비율관계를 결정짓는 역할을 한다. 자료에 주어질 수 있는 몇 개의 확률에 대해서는 알고 쓰도록 하자

앞서 여러 가지 비율관계를 엮어 상댓값 간 관계 그리고 상댓값의 합에 대해 알아본 바 있다.

문제의 조건에서는
상댓값(경우의 수)를 분자, 상댓값의 합을 분모에 위치시킨 확률을 제시하고
차이 양상에 따라 가능한 경우는 다양하게 나타나지만

상댓값 간 비율은 결정되어 있기 때문에 조건에서 주어지는 확률 값을 통해 정보를 추출해낼 수 있다,

이때 분자와 분모는 약분될 수 있기에
정확한 비중과 상댓값의 합을 파악하는 것이 문항의 핵심으로 작용할 수 있다.

위상이 높은 확률	상댓값의 합	가능한 비율 관계
$\frac{3}{16}$	16	6종류 1:3:4:4:3:1 7종류 1:2:3:4:3:2:1 7종류 1:3:3:2:3:3:1
$\frac{3}{8}$	8(4종류) 또는 16(5종류)	4종류 1:3:3:1 5종류 1:4:6:4:1
$\frac{1}{16}$	16	5종류 : 1:4:6:4:1 6종류 : 1:3:4:4:3:1 7종류 : 1:2:3:4:3:2:1
$\frac{1}{8}$	8 또는 16()	4종류 : 1:3:3:1 5종류 : 1:2:2:2:1 6종류 : 1:2:1:1:2:1 6종류 : 1:1:2:2:1:1 7종류 : 1:3:3:2:3:3:1 7종류 : 1:2:3:4:3:2:1 7종류 : 1:1:1:2:1:1:1 8종류 : 1:2:2:3:3:2:2:1

19.

- (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 유전자형에서 ㉮대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- (가)의 표현형이 서로 같은 P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 5가지이고, ⓐ의 표현형이 부모와 같을 확률은 3/8이며, ⓐ의 유전자형이 AABbDD일 확률은 1/8이다.

P의 ㉮ 값은?

19~20번 Youtube 영상 해설 참고

Youtube : hyunu 검색

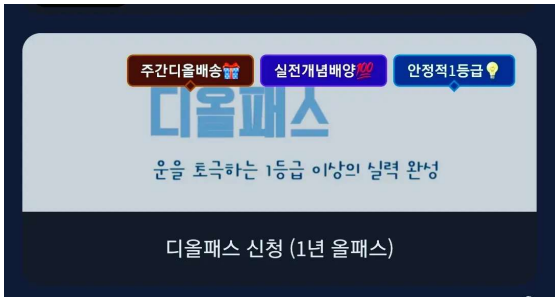
19 : 22학년도 6월 평가원 14번 청강
20 : 24학년도 3월 교육청 대비 14번 청강

20.

- (가)는 4쌍의 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d, E와 e에 의해 결정되며, A, a, B, b, D, d는 3번 염색체에, E, e는 9번 염색체에 있다.
- (가)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- (가)의 표현형이 서로 같은 P와 Q 사이에서 ⓐ가 태어날 때, ⓐ에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 7가지이고, ⓐ의 표현형이 부모와 같을 확률과 ⓐ의 유전자형이 AABbDdEe일 확률은 $\frac{1}{8}$로 같다.

ⓐ가 유전자형이 AaBbddEe인 사람과 동일한 표현형을 가질 확률은?

[디올패스]



[디올패스 신청 QR 코드]

- 실전개념 디올

: 디올 N제
: 킬포 모의고사
: 막타

등 운을 초극하는 1등급의 실력을 만들어드릴 강좌들이 준비되어 있습니다.

* 1단계 디올은
수능에 출제되는 모든 개념을 완벽하게 정리하고 기출 문제와 미출제 요소를 담은 N제의 훈련 및 체화를 중점으로 4월 말-5월 초까지 진행됩니다. 디올 시즌에서 문항은 기출 60%, 실전 N제 30%, 모의 실전 훈련 10%의 비중으로 진행됩니다.

* 디올 시즌을 제대로 공부하시면 필요한 기출 2회독, 24학년도 수능특강 경향 완벽 파악, 미출제 Point를 담은 N제까지 모두 익히고 운을 초극하는 1등급 실력을 완성하실 수 있습니다.

- 기본 개념부터 미출제 Point까지
- 실전 개념과 실전 훈련의 A to Z
- 실모 200회분 이상에서 뽑아낼 수 있는 insight 수록
- 생명과학 I 의 경향, 적용, 체화의 모든 것
- 학습의 정도, 목적성의 명확한 제시
- 직관(경험치) 풀이와 논리(지구력) 풀이 모두 훈련

* 1.5단계 시그널은 기출 분석 강의입니다. 각 교재 내 평가원, 그리고 교육청 기출들이 담은 시그널을 낱낱이 분석해드립니다.

* 2단계 킬포는 기출 문제와 미출제 요소를 담은 N제 그리고 모의고사의 병행을 통한 감각 유지를 중점으로 5월 중순부터 10월까지 진행됩니다.

* 2.5단계 시그널은 EBS 분석 강의입니다. EBS 수능특강, 수능완성이 올해 예고하는 시그널을 낱낱이 분석해드립니다.

* 3단계 막타는 다음과 같이 최후의 5분에 할 수 있는 행동 강령, 44-50 구간으로의 확률을 95% 이상으로 수렴시키는 파이널(Final) 강좌입니다. 10월 말에 개강합니다.

- 하루 한 줄 300개 압축 정리

- 자료로부터 정방향 풀이 vs 선지로부터 역추적 풀이

- 연역적 특이점 잡는 풀이 vs 귀납적 표 까는 풀이의 선택

- 마지막 5분에 할 행동 강령

- 여러 가지 필연적일 수밖에 없는 꼼수 (출제 구성 상 어쩔 수 없는)

- 찍어보자 그리고 안먹히는 문항에 대한 대처

* 종이책과 전자책은 선택 가능합니다.