

다인자 유전  
Schema 1  
퍼네트 사각형

생식 세포의 유전자를  $x, y$  축으로 나란히 배열하여  
생식 세포의 전달 상황을 나타낼 수 있는 표

한 칸의 비중이 모두 동일하여 “칸의 개수”로 “비중(차지하는 비율)”을 판단할 수 있다.

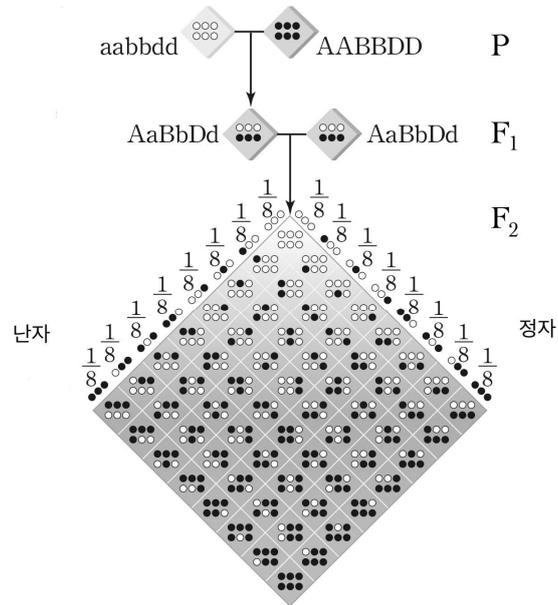
3독립

서로 다른 3개의 염색체에 3개의 대립유전자가 있는 경우

(∵ 분리 법칙에 의해 생식 세포가 전달될 확률은 1/2로 동일)

예를 들어 앞서 등장한 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)	3	2	2	2	1	1	1	0	
대문자 개수(P)	3	6	5	5	5	4	4	4	3
2	5	4	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	4	3	3	3	2
2	5	4	4	4	4	3	3	3	2
1	4	3	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	3	2	2	2	1
1	4	3	3	3	3	2	2	2	1
0	3	2	2	2	2	1	1	1	0

[인강]



다인자 유전  
 Schema 1  
 퍼네트 사각형

[퍼네트 사각형 : 확률]

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

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.

[인강]



다인자 유전  
Schema 1  
퍼네트 사각형

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

[Case 1 - 상인 × 상인]

상인 연관 (다인자)

같은 염색체에 대문자로 표시되는 대립유전자가 같이 있는 경우에 한해 정의

	P (상인)	Q (상인)
연관 상태	A↑↑a B↑↑b	A↑↑a B↑↑b
표기	2/0	× 2/0

상반 연관 (다인자)

다른 염색체에 대문자로 표시되는 대립유전자가 같이 있는 경우에 정의

[퍼네트 사각형]

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

[칸 간 비중 동일]

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

[결과]

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

[인강]



다인자 유전  
Schema 1  
퍼네트 사각형

[Case 2 - 상인 × 상반]

	P (상인)		Q (상반)
연관 상태	A↑↑a B↑↑b		A↑↑a b↑↑B
표기	2/0	×	1/1

[퍼네트 사각형]

[칸 간 비중 동일]

	대문자 개수(Q)	1	1		생식 세포 확률(Q)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
대문자 개수(P)		1	1		생식 세포 확률(P)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
2		3	3		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
0		1	1		$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$

[결과]

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

[인강]



다인자 유전  
Schema 1  
퍼네트 사각형

[Case 3 - 상반 × 상반]

	P (상반)	×	Q (상반)
연관 상태	A↑↑↑a b↑↑↑B		A↑↑↑a b↑↑↑B
표기	1/1	×	1/1

[퍼네트 사각형]

	대문자 개수(Q)	1	1
대문자 개수(P)		1	1
1		2	2
1		2	2

[칸 간 비중 동일]

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

[Schema 1 요약]

생식 세포의 전달 양상을 퍼네트 사각형을 통해 이해할 수 있다.

생식 세포의 전달 양상에 대해 이해하기에는 유용하나

3쌍 이상의 대립유전자 이동을 이해할 때 다소 실전에서 사용하기 부적합할 수 있다.

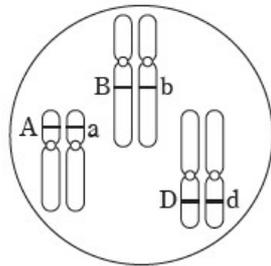
[인강]



다인자 유전  
Schema 1  
퍼네트 사각형

[예제 1]

- 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 ① 자손( $F_1$ )이 태어났다.
- 그림은 개체 P의 피부색을 결정하는 세 쌍의 상염색체와 대립유전자를 나타낸 것이다.



①과 P를 교배하여 자손( $F_1$ )이 태어났을 때, 이 자손( $F_1$ )이 ①보다 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 많을 확률은?

[인강]



다인자 유전  
Schema 1  
퍼네트 사각형

[예제 1 해설]

P와 ①이 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	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 ①보다 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 많을 확률은  $\frac{11}{32}$ 이다.

[인강]

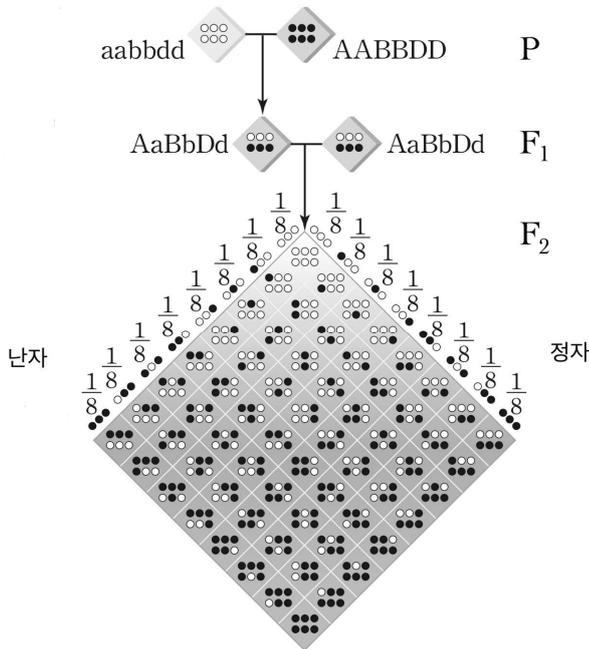


다인자 유전  
Schema 2  
도수분포표

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)	3	2	1	0
	생식 세포 대문자 수(P)				
1	3	1	3	3	1
3	2	3	9	9	3
3	1	3	9	9	3
1	0	1	3	3	1

도수분포표

자료를 일정한 수의 범위로 나누어 분류하고, 각 범위별로 수량을 정리한 표

도수분포표의 장점

부모의 생식 세포 전달 양상을 직관적으로 확인할 수 있다는 장점은 유지한 채로 상황을 더욱 간단하게 파악할 수 있음.

64칸 → 16칸

[인강]



다인자 유전  
Schema 2  
도수분포표

[도수분포표 : 표현형의 대문자 개수]

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

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

표현형 종류	7종류						
	0	1	2	3	4	5	6
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

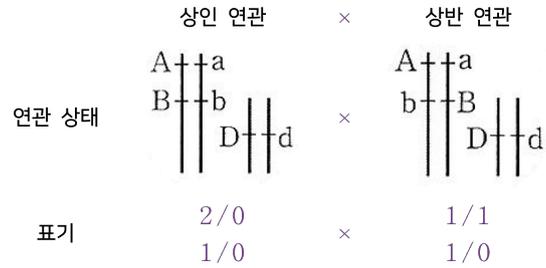
표현형 간 비율은 대문자 수에 대응하는 비중의 합  
상댓값의 합은 총 비중의 합  
표현형 확률은 대문자 수에 대응하는 비중의 합 / 총 비중의 합과 동일하다.

[인강]





다인자 유전  
Schema 2  
도수분포표



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)	(Ab / d)	(aB / D)	(aB / d)
(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

[도수분포표]

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

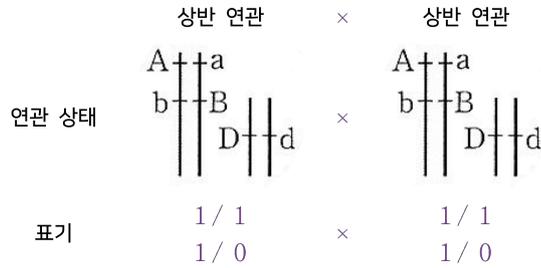
[결과]

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

[인강]



다인자 유전  
Schema 2  
도수분포표



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)	(Ab / d)	(aB / D)	(aB / d)
(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	2	1
	대문자 개수	4	3
1	2	4	3
1	1	3	2

[결과]

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

[인강]



다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

상댓값의 합

상댓값의 확률은 특정 표현형이 등장할 확률의 분모값이다.

- = 표현형 간 비/상댓값의 합
- = 특정 표현형이 등장할 확률

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

[Case 1 - 상인 × 상인]

	상인 연관		상인 연관
연관 상태	A↑↑a B↑↑b		A↑↑a B↑↑b
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	A↑↑a B↑↑b		A↑↑a b↑↑B
표기	2/0	×	1/1

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

[인강]



다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

[Case 3 - 상반 × 상반]

	상반 연관	×	상반 연관
연관 상태	A     a b     B		A     a b     B
표기	1 / 1	×	1 / 1

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

상댓값의 합은 2의  $n$ 승 꼴의 영향을 나타내며  
 $n$ 은 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.

[인강]



다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

행렬

앞으로 표에서 표기의 편의 상  
가로줄을 행  
세로줄을 열 이라고 정의하자.

행 \ 열	1열	2열	3열	4열
1행				
2행				
3행				
4행				

2연관 1독립의 상황으로 돌아가보자.

[퍼네트 사각형 : 상인 연관 × 상반 연관] [칸 간 비중 동일]

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

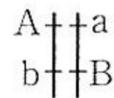
생식 세포 확률(Q) \ 생식 세포 확률(P)	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{16}$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

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.

[인강]



다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

[상인 × 상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 4쌍]

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

∴ 상댓값의 합 16 (2의 4승)

상댓값의 합

상댓값의 합은 2의  $n$ 승 꼴의 영향을 나타내며  $n$ 은 상동 염색체 간 대문자 수가 다른 상동 염색체 수에 의해 결정된다.

[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						

[인강]



다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

[상인 × 상반 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 3쌍]

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

∴ 상댓값의 합 8 (2의 3승)

[상댓값의 합 의미]

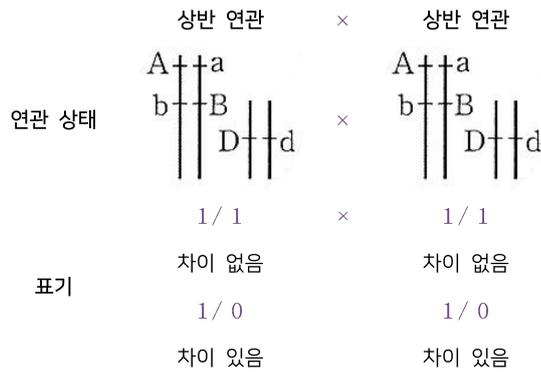
표현형 종류	5종류				
표현형 대문자 개수	1	2	3	4	5
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	2	2	1
상댓값의 합	8				
의미	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 3쌍				

[인강]



다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

[상인 × 상반 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]



∴ 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<sup>C</sup>)로 분류할 수 있다.

**[A가 결정하는 것]**

⇒ 상댓값의 합 2<sup>n</sup>에서 n은 대문자 차이가 있는 상동 염색체쌍 수와 동일하다.

**[A<sup>C</sup>가 결정하는 것]**

⇒ 표현형 대문자 개수 중 대문자로 표시되는 대립유전자 수가 가장 적은 표현형을 결정한다.

[인강]



다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

다인자 유전의 관점

상동 염색체 내 대문자로 표시된 대립유전자의 수만 고려

대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍은  
다인자 유전의 관점에서 생식 세포를 2 종류 만들어낼 수 있다.  
그에 따라 상댓값의 합에 비중 2를 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	A↑↑↑a B↑↑↑b		A↑↑↑a B↑↑↑b
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	A↑↑↑a B↑↑↑b		A↑↑↑a b↑↑↑B
표기	2/0	×	1/1
대문자 수 차이	있음		없음
상댓값의 합에 주는 비중	2	×	1

[인강]



다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

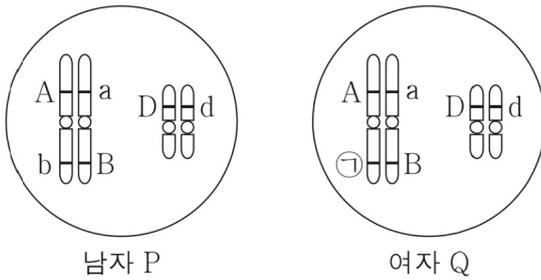
[Case 3 - 상반 × 상반]

	상반 연관	×	상반 연관
연관 상태	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ b \uparrow \uparrow B \end{array}$		$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ b \uparrow \uparrow B \end{array}$
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.

[예제 2]

- (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?

[인강]



다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

[예제 2 풀이 - ①]

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

생식 세포의 유전자형(Q) 생식 세포의 유전자형(P)	A <sup>+</sup> / D	A <sup>+</sup> / d	aB / D	aB / d
Ab / D				
Ab / d				
aB / D				
aB / d				

Q의 <sup>+</sup>이 있는 칸을 배제하고 자녀 <sup>a</sup>의 표현형에 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 3인 칸을 채우면 다음과 같다.

생식 세포의 유전자형(Q) 유전자형 대문자 수(P)	A <sup>+</sup> / D	A <sup>+</sup> / d	2	1
2				3
1			3	
2				3
1			3	

만약 <sup>+</sup>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 <sup>+</sup>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	

[인강]

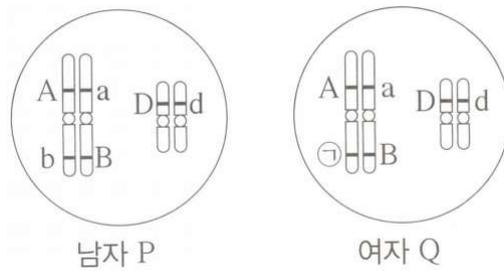


다인자 유전  
Schema 3  
상댓값의 합

[예제 2 풀이 - ②]

- ①의 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.

[인강]



다인자 유전  
Schema 4  
양극단의 비

도수분포표와 퍼네트 사각형에서 모두 양극단의 표현형은 좌상단, 우하단 극단에서만 나타나는 것을 알 수 있다.

[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)	3	2	1	0	
생식 세포 대문자 수(P)					
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)

곱의 법칙

생식 세포에 “동시에” 전달되므로 1×1로 계산한다.

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						

표현형 간 비

퍼네트 사각형에서 표현형이 등장하는 경우의 수

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가지수

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

독립적으로 유전될 때  
= 연관된 유전자가 없을 때

	아빠 (父)		유전자형	엄마 (母)
염색체	A    a		염색체	A    a
	B    b			B    b
	D    d			D    d
표기 (대문자 유/무)	1/0 1/0 1/0		표기 (대문자 유/무)	1/0 1/0 1/0

유전자 자리 개수  
분리되는 상동 염색체 쌍의 수

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

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

이때 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

이때 부모의 유전자형에 동형 접합이  $n$ 개 포함되어 있을 경우 최대 표현형 개수는  $n$ 개 감소한다.

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

	아빠 (父)		엄마 (母)
염색체	A    A	유전자형	A    a
	B    b	염색체	B    b
표기	1/1 1/0	표기	1/0 1/0

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			

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

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.

[예제 1]

- (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?

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

[예제 1 설명]

3성 다인자 유전에서 최대 표현형 개수는 7개이다.

흰 돌 / 검은 돌

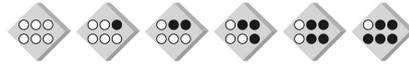
소문자로 표시되는 대립유전자  
/ 대문자로 표시되는 대립유전자



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

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

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

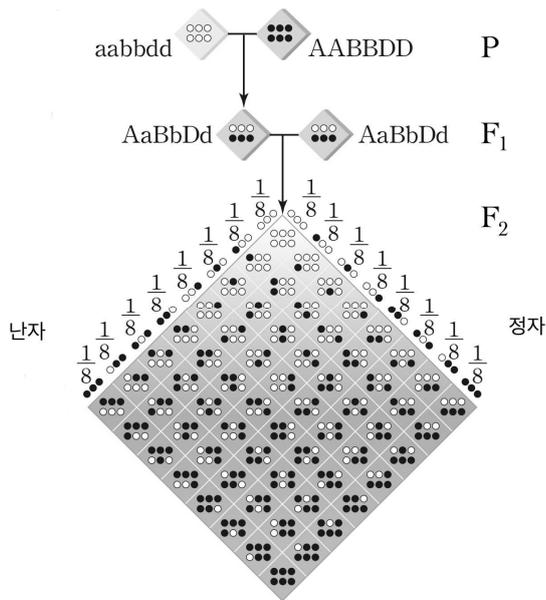
대문자의 개수를  $X$ 라 할 때 자식의 표현형 확률을 일반화하면 다음과 같다.

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

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

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

( $n$ 은 이형 접합성 수,  $r$ 은 표현형의 대문자 개수)



예를 들어 위와 같이 부모의 유전자형이 모두 AaBbDd일 때

표현형이 3인 자손이 나올 확률은  $\frac{{}_6 C_3}{2^6} = \frac{20}{64}$  이고

표현형이 4인 자손이 나올 확률은  $\frac{{}_6 C_4}{2^6} = \frac{15}{64}$  이다.

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
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]

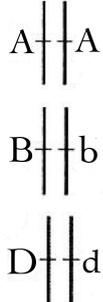
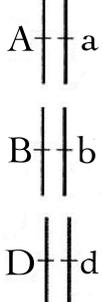
A			
결정된 자리	미결정 자리		

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

$$\textcircled{2} P(X=r) = {}_n C_r \left(\frac{1}{2}\right)^r \left(\frac{1}{2}\right)^{n-r} = \frac{{}_n C_r}{2^n}$$

( $n$ 은 부모의 이형 접합성 수,  $r$ 은 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)	유전자형	엄마 (母)
염색체			
표기	1/1 1/0 1/0		1/0 1/0 1/0

[대문자의 개수가 4인 자손이 나올 확률]  $\frac{{}_5 C_3}{2^5} = \frac{10}{32}$

[대문자의 개수가 5인 자손이 나올 확률]  $\frac{{}_5 C_4}{2^5} = \frac{5}{32}$

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

예제에서 이형 접합이 2쌍 존재했고 이는 다음 상황과 동일하다.

“대문자 또는 소문자를 주는 시행이 2회 존재”

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

[표현형 개수]

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

[확률 값]

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

( $r$ 은 대문자 개수 - 부모의 대문자 동형 접합 개수)

⇒ 이항분포  $B(2, \frac{1}{2})$ 를 따른다.

표현형 최대 개수 :  $k+1$

( $k$ 은 부모의 이형 접합성 개수)

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

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

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

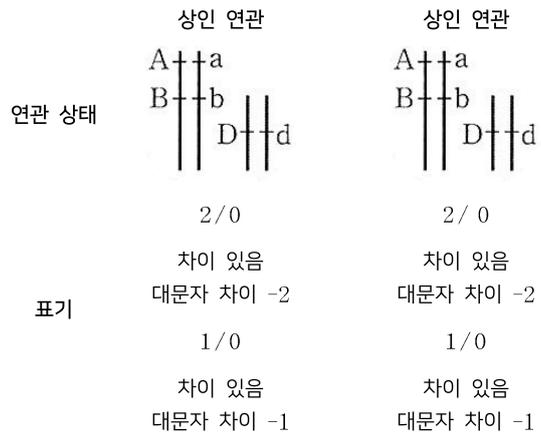
[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

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

[상인 × 상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 4쌍]



∴ 상댓값의 합 16 (2의 4승)

[표현형 종류 표]

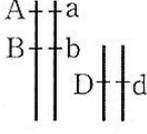
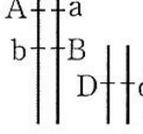
자손 최대 표현형 가짓 수	7종류						
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (상댓값)	1	2	3	4	3	2	1
상댓값의 합	16						
내포된 의미 ①	대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 쌍 수가 4쌍						
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 6 = 부모가 갖는 차이의 총합						

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

[상인 × 상반 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 3쌍]

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

∴ 상댓값의 합 8 (2의 3승)

[표현형 종류 표]

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

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
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 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		

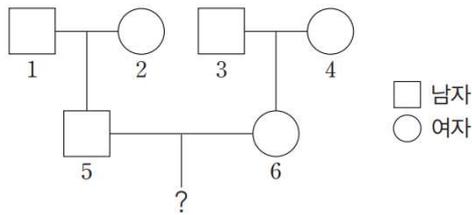
[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

[예제 4]

- ㉠을 결정하는 데 관여하는 3개의 유전자는 서로 다른 2개의 상염색체에 있으며, 3개의 유전자는 각각 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d를 갖는다.
- ㉠의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 대문자로 표시되는 대립유전자의 수가 다르면 ㉠의 표현형이 다르다.
- 그림은 구성원 1~6의 가계도를 나타낸 것이다.



- 1~6에게서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수는 모두 3이고, 1~4의 ㉠의 유전자형은 모두 같다.
- 5의 동생이 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 ㉠의 표현형은 최대 7가지이다.
- 6의 동생이 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 ㉠의 표현형은 최대 3가지이다.

5와 6 사이에서 ㉡가 태어날 때, ㉡에게서 나타날 수 있는 자손의 최대 표현형 개수는?

[인강]



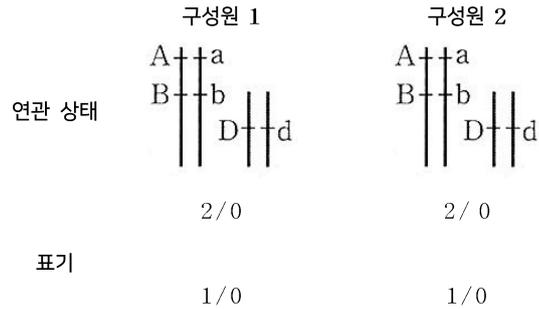
다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

[예제 4 해설]

조건 1에 의해 염색체가 2연관 1독립 상태이며

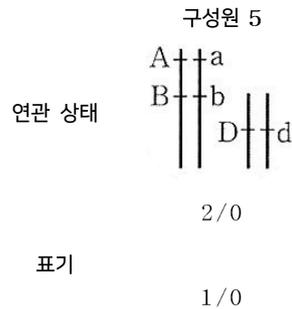
조건 5에 의해 구성원 1과 구성원 2의 대문자 수 차이 총합이 6이므로

구성원 1과 구성원 2의 염색체 위 유전자 조합이 상인 × 상인인 것을 알 수 있다.



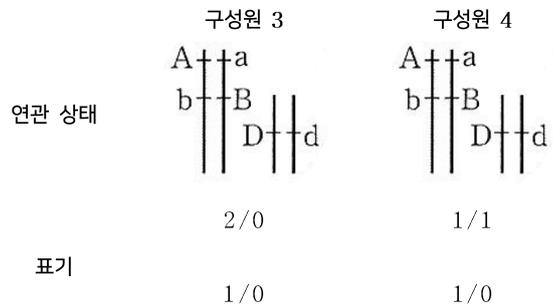
1~6에게서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수는 모두 3이므로

구성원 5의 염색체 위 유전자 조합은 상인 연관된 상태이다.



조건 6에 의해 구성원 3과 구성원 4의 대문자 수 차이 총합이 2이므로

구성원 3과 구성원 4의 염색체 위 유전자 조합이 상반 × 상반인 것을 알 수 있다.



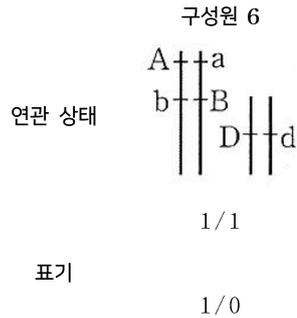
[인강]



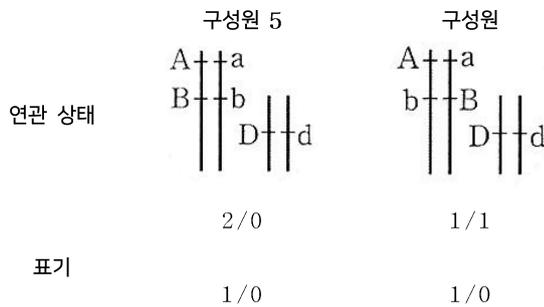
다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

[예제 4 해설]

1~6에게서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수는 모두 3이므로  
구성원 6의 염색체 위 유전자 조합은 상인 연관된 상태이다.



5와 6 사이에서 ①a가 태어날 때, ①에게서 나타날 수 있는 자손의 최대 표현형 개수는  
구성원 5에서 대문자 차이의 합이 3, 구성원 6에서 대문자 차이의 합이 1이므로  
총 대문자 수 차이의 합이 4이어야 하므로 5개이다.



이와 같이 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 예외를 갖기도 한다.

이러한 예외에 대해서는 다음 페이지를 참조하자.

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

[상인 × 상인 : 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 2쌍]

	상인	상인
연관 상태	A↑↑a B↑↑b	A↑↑a B↑↑b
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 가짓 수	3종류		
표현형 대문자 개수	0	2	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	최대 대문자 차이 4 그러나 중간에 대문자가 0이 2로 건너뛰어져 의미가 소실됨		

연속적 변이

표현형이 빠지는 칸 없이 연속적으로 나타날 경우 자료 상황을 통해 양 끝(Min, Max) 중 하나의 대문자 개수나 중앙의 대문자 개수(표현형)을 알면 나머지 다른 부분을 적어두지 않아도 필요한 상황에서 구할 수 있다.

인강



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 비울관계가 동일한 것을 알 수 있다.

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

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

	상인상인	상인상인
연관 상태	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ B \uparrow \uparrow b \\ D \uparrow \uparrow d \end{array}$	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ B \uparrow \uparrow b \\ D \uparrow \uparrow d \end{array}$
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 가짓 수	3종류		
표현형 대문자 개수	0	3	6
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 6 그러나 중간에 대문자가 0이 3으로 건너뛰어져 의미가 소실됨		

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.

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

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

	상인상인	상인상반
연관 상태	$\begin{array}{c} A \text{---} a \\ B \text{---} b \\ D \text{---} d \end{array}$	$\begin{array}{c} A \text{---} a \\ B \text{---} b \\ d \text{---} D \end{array}$
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	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			
내포된 의미 ②	표현형이 갖는 최대 대문자 차이 4 그러나 중간에 대문자가 2이 4로 건너뛰어져 의미가 소실됨			

[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	

[인강]



다인자 유전  
Schema 5  
최대 표현형 가짓수

살펴본 경우에서 생성되는 3쌍의 대립유전자에서 등장하는 생식 세포의 비율 관계를 대문자 수 차이의 관점으로 정리하면 다음과 같다.,

생식 세포 최대-최소	생식 세포 비	상댓값의 합	경우
0	1	1	
1	1 : 1	2	
2	1 : 1	2	2연관 1독립, 3연관
	1 : 2 : 1	4	3독립, 2연관 1독립
3	1 : 1	2	3연관
	1:1:1:1	4	2연관 1독립
	1:3:3:1	8	3독립

[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.

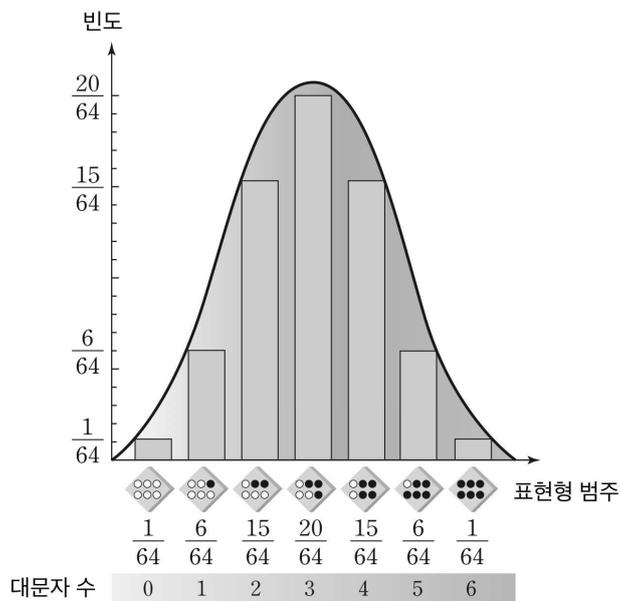
[파스칼의 삼각형]

$n$ 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  
황보다도 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]

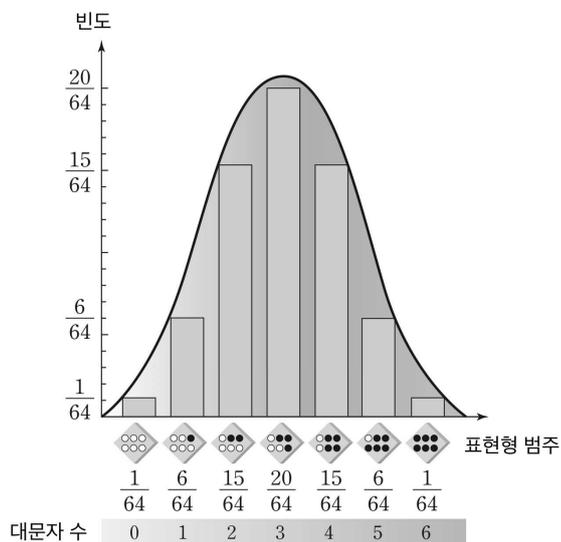


다인자 유전  
Schema 7  
중양값

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

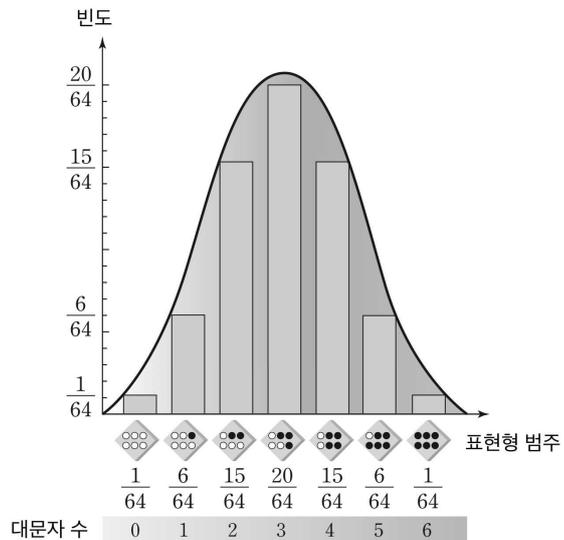
[인강]



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 3]

- (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 3 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.

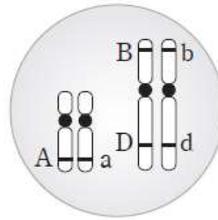
[인강]



다인자 유전  
Schema 7  
중양값

[예제 4]

- ㉠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 4 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]

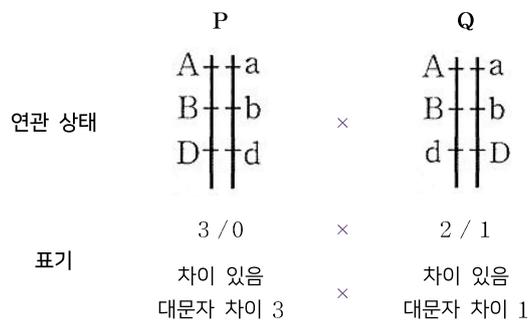


다인자 유전  
Schema 7  
중양값

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]

