

다인자 유전 - 독립

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 “개수”로 “비중”을 판단할 수 있다.

(∵ 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 : 3독립 AII 이형]

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

[퍼네트 사각형 : 확률]

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

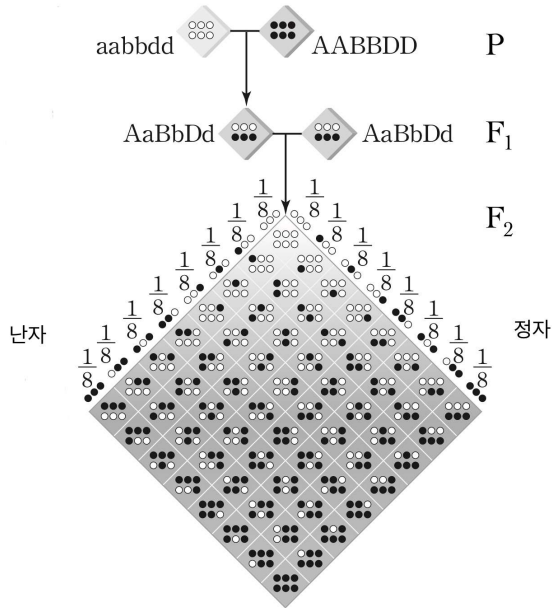
다인자 유전 - 독립

Schema 1

퍼네트 사각형

퍼네트 사각형에서 칸 수는
해당 표현형이 등장할 경우의 수와 동일하다.

[퍼네트 사각형 : 3독립 AII 이형]



퍼네트 사각형에서 등장하는 표현형과 비율 관계를 가로 표(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.

다인자 유전 - 독립

Schema 2

도수분포표

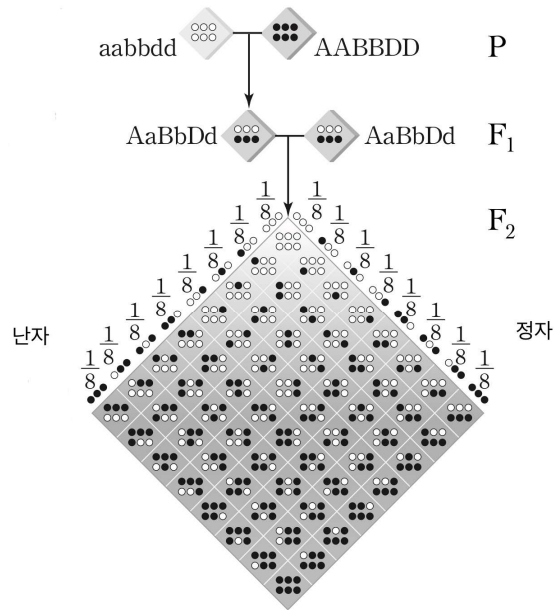
퍼네트 사각형은 한 칸의 비중이 모두 동일하여 칸의 “개수”로 “비중”을 판단할 수 있다는 장점이 있지만 상댓값의 합 만큼 칸을 그려야한다는 단점이 있다.

도수분포표

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

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

[퍼네트 사각형 : 3독립 (모두 이형)]



표현형 간 비중을 고려한 표인 도수분포표를 활용하여 가로×세로 표를 좀 더 효율적으로 판단할 수 있다.

도수분포표의 장점

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

64칸 → 16칸

[도수분포표 : 표현형]

		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

다인자 유전 - 독립

Schema 2

도수분포표

[도수분포표 : 비중]

		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	1	3	3	1
3	2	3	9	9	3
3	1	3	9	9	3
1	0	1	3	3	1

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

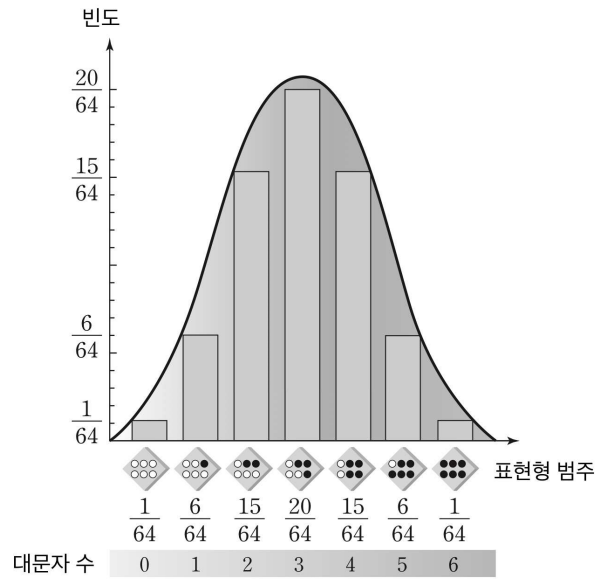
표현형 종류	7종류						
	0	1	2	3	4	5	6
표현형 대문자 개수	0	1	2	3	4	5	6
표현형 간 비 (대문자 수에 대응하는 비중의 합)	1	6	15	20	15	6	1
상댓값의 합 (칸 수)	64						
표현형 확률	1/64	6/64	15/64	20/64	15/64	6/64	1/64

표현형 간 비율은 대문자 수에 대응하는 비중의 합

상댓값의 합은 총 비중의 합

표현형 확률은 대문자 수에 대응하는 비중의 합 / 총 비중의 합과 동일하다.

피부색의 종류와 빈도는 다음과 같다.



이와 같이 대문자 수에 대한 빈도는 정규 분포 곡선 형태를 나타내며, 연속된 범위의 표현형을 나타내는 것을 알 수 있다.

[Remark 2] 유전자 유무 표, DNA 상대량을 관찰하듯 가장 특수한 수치로부터 자료 해석의 실마리가 시작될 가능성이 높으며,

다인자 유전 표현형 해석에 있어 양극단과 중앙값의 정보는 자료 해석의 시발점이 될 수 있다.

[Remark 3] 여러 유전자가 한 염색체에 같이 있는 경우 그래프의 대칭성은 유지되지만 중앙값이 극댓값은 아닐 수도 있다.

다인자 유전 - 독립

Schema 3

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)	3	2	2	2	1	1	1	0
대문자 개수(P)	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)	

따라서 도수분포표에서 표현형과 비율 관계를 가로 표로(행으로) 표현할 때 양극단의 비(상댓값)은 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						

다인자 유전 - 독립

Schema 4

최대 표현형 개수

양극단의 확률과 최대 표현형 개수는 유전학 범위에서 다음과 같이 일반화되어 있다.

3 성 유전일 때 피부색에서 가장 극단의 표현형의 빈도는 $\frac{1}{64}$ 이다.

이러한 극단의 표현형의 빈도는 대립유전자 쌍의 개수(n)에 의해 결정되며 이는 다음과 같이 일반화되어 있다.

$1/4^n = \text{ration of } F_2 \text{ individuals expressing either extreme phenotype}$

대립유전자 쌍의 개수(n)에 따른 표현형의 개수를 일반화하면 다음과 같다.

최대 표현형 개수 : $2n + 1$ (단, n 쌍의 대립유전자는 모두 독립적으로 유전)

[Remark 1] 이는 유전학 범위에서 제한 조건을 정의한 후, $2n + 1$ rule로 가능한 표현형 전체 개수를 설명하곤 하며, 논증과 전제는 가독성 상 생략하고 서술하였다.

[Remark 2] 특수한 표현형은 표현형 범주에서 극단에 있는 대문자가 0, 6개(비중이 항상 1)인 경우와 빈도가 가장 높은 대문자가 3개(확률이 극댓값)인 경우이며 적절히 활용하여 상황을 해석할 수 있다.

이때 $2n + 1$ 은 모든 유전자가 서로 다른 염색체에 있고 부모의 유전자형 내 대립유전자쌍이 모두 이형 접합성인 특수한 상황에 나타난다.

- ⇒ 독립인 상황에서 이형 접합성인 유전자 개수가 표현형 개수를 결정한다.
- ⇒ 이형 접합성 개수 + 동형 접합성 개수 = 대립유전자 쌍 개수
- ⇒ 이형 접합성 개수와 동형 접합성 개수의 합은 일정하므로 이형 접합성과 동형 접합성 중 하나를 기준으로 표현형 개수를 추론할 수 있다.

교과 이상 범위

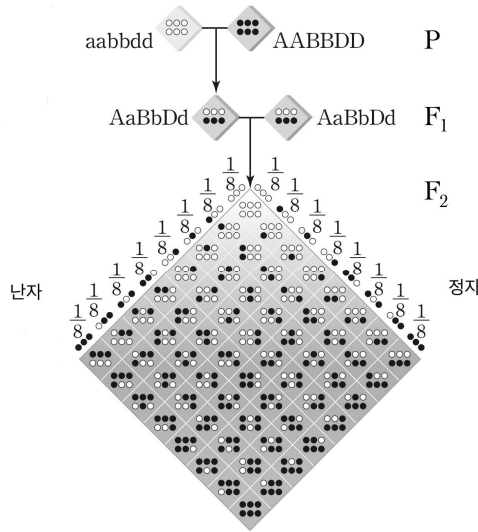
증명된 사실 & 출제되는 문항
해제에 도움이 되는 사실들은
알고 쓰자.

3. 조합과 다인자 유전

서로 다른 n 개에서 순서를 생각하지 않고 r ($r \leq n$)개를 택하는 것을 n 개에서 r 개를 택하는 조합이라고 하며, 이 조합의 수를 기호로 ${}_n C_r$ 라고 한다.

$${}_n C_r = \frac{{}_n P_r}{r!} = \frac{n(n-1)(n-2) \times \dots \times (n-r+1)}{r!} = \frac{n!}{r!(n-r)!} \quad (\text{단, } 0 \leq r \leq n)$$

예를 들어 앞서 예시로 든 부모의 유전자형이 모두 이형 접합으로 구성된 경우를 보자.



돌연변이가 일어나지 않는다면, 1쌍의 대립유전자에서 분리 법칙에 의해 1쌍을 구성하는 대립유전자 중 대립유전자 1개만이 $\frac{1}{2}$ 의 확률로 자손에게 전달된다.

3쌍의 대립유전자에 의해 피부색이 결정되므로 각각의 생식 세포(난자, 정자)가 생성될 수 있는 경우의 수는 $2^3 = 8$ 이고 난자와 정자가 만나 생성될 수 있는 수정란의 경우의 수는 $8 \times 8 = 64$ 다.

이때 생성된 64개의 모든 경우는 다음으로 치환할 수 있다.

“대문자 또는 소문자를 주는 시행이 6회 존재”

따라서 이형 접합성이 n 개인 부모의 경우, 대문자의 개수를 X 라 할 때 자식의 표현형 확률을 일반화하면 다음과 같다.

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

(n 은 대립유전자 수, r 은 대문자 개수)

[Remark 1] 유전자형의 관점에서 AaBbDd와 aAbBdd는 동일하지만 경우의 수 관점에서는 서로 다르다.

${}_n P_r$

서로 다른 n 개에서 순서를 고려하여 r 개를 택하는 순열

계승 ($n!$)

1부터 n 까지의 자연수를 차례로 곱한 것

모두 이형 접합

특수한 경우 → 일반적인 경우

×(곱하기)

동시에 일어나는 경우

순서를 고려하지 않는다.

다인자 유전에서 AaBbDd와 AABbdd는 표현형 상 구분되지 않는다. 즉, 검은 공끼리 구분되지 않는다.

4. 다인자 유전과 이항분포

한 번의 시행에서 사건 A 가 일어날 확률이 p 일 때, n 회의 독립시행에서 사건 A 가 일어나는 횟수를 X 라 하면, X 의 확률질량함수는 다음과 같다.

$$P(X=x) = {}_n C_x p^x q^{n-x} \quad (x=0, 1, 2, \dots, n, q=1-p)$$

확률변수 X 의 확률 간 분포를 표로 나타내면 다음과 같다.

[확률분포표]

X	0	1	2	...	n	계
$P(X=x)$	${}_n C_0 p^0 q^n$	${}_n C_1 p^1 q^{n-1}$	${}_n C_2 p^2 q^{n-2}$		${}_n C_n p^n q^0$	1

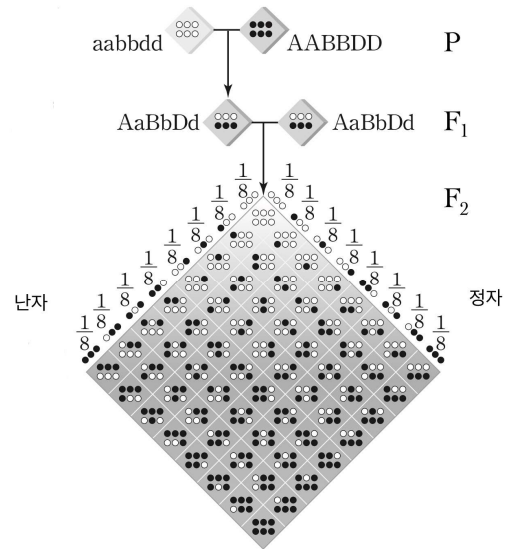
이와 같은 확률변수 X 의 확률 간 분포를 이항분포라고 하며 이것을 기호로 $B(n, p)$ 라고 한다.

즉, 앞서 도출한 확률값

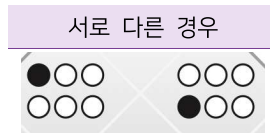
$$P(X=r) = {}_n C_r \left(\frac{1}{2}\right)^r \left(\frac{1}{2}\right)^{n-r} =$$

$\frac{{}_n C_r}{2^n}$ 에 대한 분포는 기호로 $B(n, p)$ 와

같이 나타낼 수 있다.



[Remark 1] 이항분포에서 사건의 발생 순서가 다르면 서로 다른 경우의 수로 간주한다. 예를 들어 앞서 살펴본 그림에서 다음 두 가지 경우의 수는 표현형 상 같은 표현형을 나타내나 경우의 수는 서로 다르다. 그에 따라 아래 두 그림의 표현형은 서로 같지만, 경우의 수는 서로 달라 총 경우의 수는 64개가 된다.



[Remark 2] 이항분포 $B(n, p)$ 에서 확률변수가 갖는 값의 개수는 $n+1$ 이다. 이는 추후 유전자형이 다른 부모 간 교배에서 자손의 표현형 개수를 구하는 데 사용된다.

독립시행

시행 간 영향을 미치지 않고 독립적으로 일어나는 시행. 단어 내 “독립”은 유전에서 사용되는 “독립”과 의미가 유사하다.

(= 유전자 간 영향을 미치지 않는다.)

확률변수

어떤 시행에서 집합 내 하나의 원소에 하나의 실수값을 대응시키는 것

확률질량함수

확률변수가 가지는 값들과 이들 값을 가질 확률의 대응관계를 나타내는 함수

확률분포표

확률변수가 가지는 값들과 이들 값을 가질 확률의 대응 관계를 나타낸 표

다인자 유전 - 독립

Schema 5

극댓값

다인자 독립인 경우 중앙에 오는 확률은 항상 극댓값이다.

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

[확률분포표]

X	0	1	2	...	n	계
$P(X=x)$	${}_nC_0p^0q^n$	${}_nC_1p^1q^{n-1}$	${}_nC_2p^2q^{n-2}$		${}_nC_np^nq^0$	1

[확률의 상댓값]

	0	1	2	...	n	계
확률의 상댓값 = 이항 계수	${}_nC_0$	${}_nC_1$	${}_nC_2$		${}_nC_np^nq^0$	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						

다인자 유전 - 독립

Schema 6

표현형 개수

독립적으로 유전될 때
= 연관된 유전자가 없을 때

n 쌍의 대립유전자가 서로 독립적으로 유전될 때
자손이 가질 수 있는 최대 표현형 개수는 부모의 유전자형이 모두 이형 접합일 때 나타난다.

($2n+1$ 개이다.)

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

[예시]

2쌍의 대립유전자 A, a와 B, b가 관여하는 다인자 유전에서 표현형은
0~4로 5종류가 나올 수 있다.

유전자 자리 개수
분리되는 상동 염색체 쌍의 수

[자손의 유전자 자리]

--	--	--	--

⇒ 빈 자리에는 0 또는 1이 들어갈 수 있다.

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

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

	아빠 (父)	유전자형	엄마 (母)
염색체			
표기법	$1/1$ $1/0$		$1/0$ $1/0$

다인자 유전 - 독립

Schema 6

표현형 개수

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, 부모에 있는 동형 접합 유전자는 자손의 유전자 자리 중 일부 자리를 결정해준다.

[결정된 자리]

A			
결정된 자리	미결정 자리		

미결정 자리

자손이 태어날 때, 대문자와 소문자가 둘 다 올 수 있는 자리

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

이는 미결정 자리가 3개이므로 표현형 종류가 4종류이다 와 같이 생각할 수 있다.

⇒ 동형 접합성 개수는 $2n + 1$ 개에서 양극단의 표현형 개수를 줄이며 이형 접합성 개수는 표현형 개수를 줄이지 않는다.

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

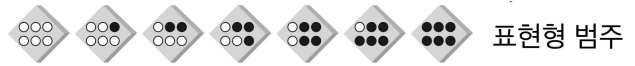
[예시 1] AABBDd × AabbDD

자손의 최대 표현형 개수는?

다인자 유전 - 독립
 Schema 6
 표현형 개수

[예시 1 설명]

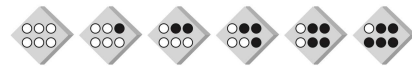
3성 다인자 유전에서 최대 표현형 개수는 7개이다.



대문자 수 0 1 2 3 4 5 6

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

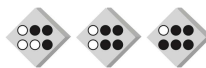
따라서 대문자 개수 6개가 나올 수 없다.



대문자 수 0 1 2 3 4 5

우성 동형 집합이 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

∴ 표현형은 3, 4, 5로 표현형 종류는 3종류가 가능하다.

이형 접합이 2쌍 존재하므로 다음 상황과 동일하다.

“대문자 또는 소문자를 주는 시행이 2회 존재”

따라서 이형 접합성이 2개인 부모의 경우, 대문자의 개수를 X 라 할 때 자식의 표현형 확률을 나타내면 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 개수 : $n+1$

(n 은 부모의 이형 접합성 개수)

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

(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.

다인자 유전 - 독립

Schema 7

표현형 확률

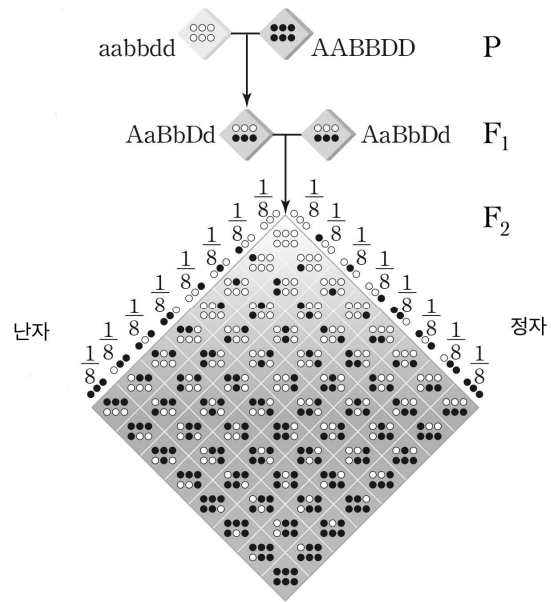
유전자형 내에 동형 접합이 없고
 이형 접합성이 n 개인 부모의 경우,
 대문자의 개수를 X 라 할 때 자식의 표현형 확률을 일반화하면 다음과 같다.

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.

다인자 유전 - 독립

Schema 7

표현형 확률

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 다음과 같고, 대문자가 3개인 자손과 대문자가 4개인 자손이 등장할
확률은 다음과 같다.

	아빠 (父)	유전자형	엄마 (母)
염색체	$\begin{array}{c} A \parallel A \\ B \parallel b \\ D \parallel d \end{array}$		$\begin{array}{c} A \parallel a \\ B \parallel b \\ D \parallel d \end{array}$
표기법	$\begin{array}{c} 1/1 \\ 1/0 \\ 1/0 \end{array}$		$\begin{array}{c} 1/0 \\ 1/0 \\ 1/0 \end{array}$

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

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

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.

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

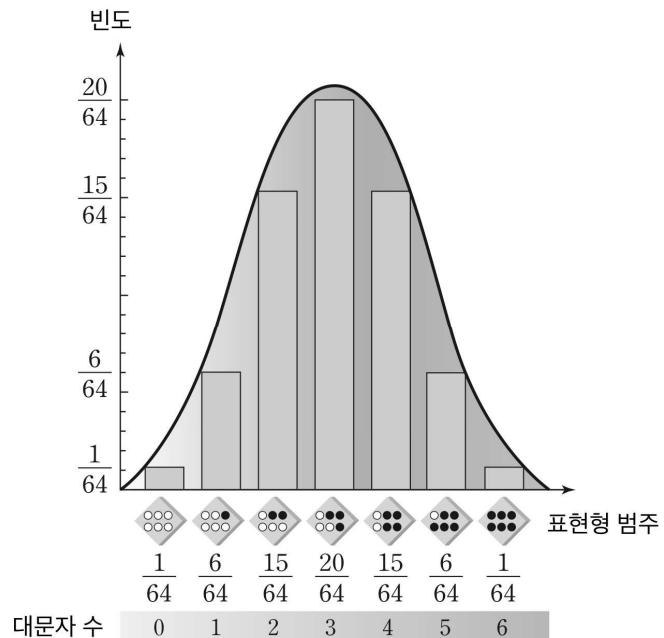
[파스칼의 삼각형]

이항계수의 합	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

n 의 의미

미결정 유전자 자리 수
이형 접합 대립유전자쌍 수

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 64는 2의 6승, 분리되는 유전자 형이 이형 접합인 상동 염색체 쌍의 개수를 의미한다.

이러한 합의 관점은 독립인 상황보다도 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

다인자 유전 - 독립
 Schema 8
 결정된 비율 관계

동형 접합성 유전자형은 유전자 자리의 개수를 줄인다.

이를 활용하여 4성 다인자 유전에서

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

4성 다인자 유전

부모의 염색체 상에서 4쌍의 대립유전자쌍이 관여하는 다인자 유전

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

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)

5. 유전자형의 표기

다인자 유전에서 대문자로 표시되는 대립유전자 수가 같으면 같은 표현형으로 간주한다.
예를 들어 AABbdd와 AaBbDd의 표현형은 3으로 서로 같다.

즉, 다인자 유전에서는 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되므로 표현형 개수를 판단할 때, 유전자형보다 숫자로 판단하는 게 유리하다.

따라서 상동 염색체 내에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수를 나타내는 표기법을 다음과 같이 정의할 수 있다.

[대립유전자 1쌍]

유전자형	AA	Aa	aa
염색체			
표기법	1 / 1	1 / 0	0 / 0

[대립유전자 2쌍 - 독립]

유전자형	AABB	AaBb	aabb
염색체			
표기법	1 / 1 1 / 1	1 / 0 1 / 0	0 / 0 0 / 0

상인 연관 (본 정의)

우성 대립유전자끼리 또는 열성 대립유전자끼리 같은 염색체에 있는 연관 상태

용어 기입과 소통의 편의상 대문자끼리와 소문자끼리로 변형하여 기입하였다.

[대립유전자 2쌍 - 연관]

	상인 연관	상반 연관
염색체		
표기법	2 / 0	1 / 1

상인 연관 (다인자)

대문자끼리 또는 소문자끼리 같은 염색체에 있는 연관 상태

상반 연관 (다인자)

대문자끼리 또는 소문자끼리 다른 염색체에 있는 연관 상태

6. 연관과 다인자 유전

최근 추세에서 다인자 유전은 연관 관계 추론과 함께 출제되고 있다.

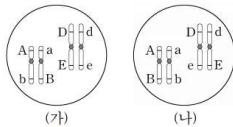
	출제 방식	Killing Point
17학년도 9월 평가원 17번	유전자와 염색체의 연관 관계 제시	구성원 간 유전자 분포
17학년도 수능 14번	유전자와 염색체의 연관 관계 제시	유전자 분포
18학년도 수능 15번	유전자와 염색체의 연관 관계 제시	구성원 간 유전자 분포
20학년도 6월 평가원 10번	유전자와 염색체의 연관 관계 추론	유전자-염색체 대응 관계
20학년도 9월 평가원 14번	유전자와 염색체의 연관 관계 추론	구성원 간 유전자 분포
20학년도 수능 19번	유전자와 염색체의 연관 관계 추론	유전자-염색체 대응 관계 연관 유전자-동일한 생식세포
21학년도 6월 평가원 14번	유전자와 염색체의 연관 관계 제시	표현형 가짓수
22학년도 6월 평가원 14번	유전자와 염색체의 연관 관계 제시	표현형 가짓수

개정 교육과정 학습 목표에 직접적인 연관의 언급은 없으나 이미 개정 교육과정 평가원 시험들에서 연관에 대한 방향성이 충분히 제시되어 있고 출판된 8종 교과서 모두 연관을 의미하는 하나의 염색체에 여러 유전자가 있는 그림이 제시되어 있어 대비가 필요하다.

최근에 출제된 연관 다인자 문항들은 다음과 같다.

14. 다음은 사람의 유전 형질 ㉠과 ㉡에 대한 자료이다.

- ㉠은 대립유전자 A와 a에 의해 결정되며, 유전자형이 다르면 표현형이 다르다.
- ㉡을 결정하는 3개의 유전자는 각각 대립유전자 B와 b, D와 d, E와 e를 갖는다.
- ㉡의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- 그림 (가)는 남자 P의, (나)는 여자 Q의 체세포에 들어 있는 일부 염색체와 유전자를 나타낸 것이다.



P와 Q 사이에서 아이가 태어날 때, 이 아이에게서 나타날 수 있는 표현형의 최대 가짓수는? (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

- ① 5 ② 6 ③ 7 ④ 8 ⑤ 9

21학년도 6평

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 ㉠이 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.

㉠이 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 $\frac{5}{8}$

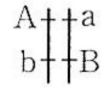
22학년도 6평

7. 연관 종류

연관의 종류는 다음 두 가지가 있다.



상인 연관



상반 연관

다인자 유전에서는 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되므로 표현형 개수를 판단할 때, 유전자형을 표기하는 것은 불필요하다.

따라서 상동 염색체 내에서 대문자로 표시되는 대립유전자의 수를 나타내는 표기법을 다음과 같이 정의하자.

	상인 연관	상반 연관
연관 상태	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ B \uparrow \uparrow b \end{array}$	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ b \uparrow \uparrow B \end{array}$
표기법	2/0	1/1

[Case 1 - 상인 × 상인]

	상인 연관	상인 연관
연관 상태	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ B \uparrow \uparrow b \end{array}$	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ B \uparrow \uparrow b \end{array}$
표기법	2/0	× 2/0

↓

1/0 × 1/0

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

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

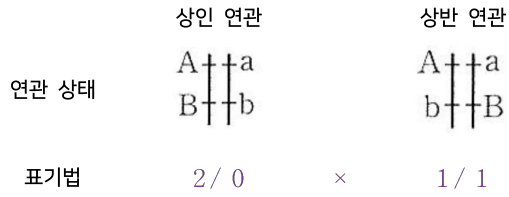
표현형 종류 수와
표현형 간 비율은 동일하고
표현형 종류 양상은 다른 것을
알 수 있다.

즉, 독립인 상황에서 이형 접
합 개수가 표현형 종류 수에
영향을 준다는 논리를 상인 연
관에서 활용할 수 있다.

[Remark 1] 다인자 유전에서 A와 B는 서로 구분되지 않아
대문자 개수와 소문자 개수에만 집중해서 판단할 수 있다.

[Remark 2] 2연관에서 2/0(상인 연관) × 2/0은 표현형 종류 수와 표현형 간 비율에 있어
1/0 × 1/0과 같은 양상을 나타내는 것을 알 수 있다.

[Case 2 - 상인 × 상반]



↓

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

[Remark 3] 2연관에서 2/0 × 1/1(상반 연관)은 표현형 종류 수와 표현형 간 비율에 있어 1/0 × 0/0과 상황이 유사한 것을 알 수 있다.

1/0 × 0/0

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

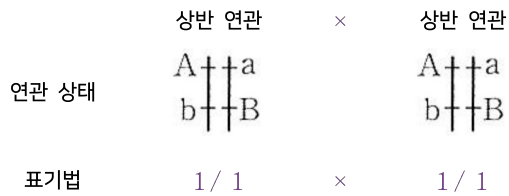
표현형 종류 수와 표현형 간 비율은 동일하고 표현형 종류 양상은 다른 것을 알 수 있다.

즉, 독립인 상황에서 동형 집합 개수가 표현형 종류 수에 영향을 주지 않는다는 논리를 상반 연관에서 활용할 수 있다.

0/0 × 0/0

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

[Case 3 - 상반 × 상반]



↓

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

[Remark 4] 2연관에서 1/1 × 1/1(상반 연관)은 표현형 종류 수와 표현형 간 비율에 있어 0/0 × 0/0과 상황이 유사한 것을 알 수 있다.

다인자 유전 - 연관

Schema 1

퍼네트 사각형

생식 세포의 유전자를 X,Y축으로 나란히 배열하여
생식 세포의 전달 상황을 나타낼 수 있는 표

한 칸의 비중이 모두 동일하여 “개수”로 “비중”을 판단할 수 있다.

(∵ 분리 법칙에 의해 생식 세포가 전달될 확률은 1/2로 동일)

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

[Case 1 - 상인 × 상인]

	P		Q
연관 상태	A↑↑a B↑↑b	×	A↑↑a B↑↑b
표기법	2/0	×	2/0

[퍼네트 사각형]

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

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

다인자 유전 - 연관

Schema 1

퍼네트 사각형

[Case 2 - 상인 × 상반]

	P		Q
연관 상태	A↑↑a B↑↑b	×	A↑↑a b↑↑B
표기법	2 / 0		1 / 1

[퍼네트 사각형]

[칸 간 비중 동일]

대문자 개수(Q) 대문자 개수(P)	1	1	생식 세포 확률(Q) 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

다인자 유전 - 연관

Schema 1

퍼네트 사각형

[Case 3 - 상반 × 상반]

	P	×	Q
연관 상태	A↑↑↑a b↑↑↑B		A↑↑↑a b↑↑↑B
표기법	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

다인자 유전 - 연관

Schema 2

상댓값의 합

앞서 살펴본 3가지 상황의 상댓값의 합은 다음과 같다.

[Case 1 - 인 × 인]

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

[Case 2 - 인 × 반]

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

[Case 3 - 반 × 반]

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 염색체 수에 의해 결정되는 것을 확인할 수 있다.

다인자 유전 - 연관
Schema 2
상댓값의 합

[Case 1 - 상인 × 상인]

	P		Q
연관 상태	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ B \uparrow \uparrow b \end{array}$		$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ B \uparrow \uparrow b \end{array}$
표기법	2/0	×	2/0
대문자 수 차이	있음		있음
상댓값에 주는 비중	2	×	2

[Case 2 - 상인 × 상반]

	상인 연관		상반 연관
연관 상태	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ B \uparrow \uparrow b \end{array}$		$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ b \uparrow \uparrow B \end{array}$
표기법	2/0	×	1/1
대문자 수 차이	있음		없음
상댓값에 주는 비중	2	×	1

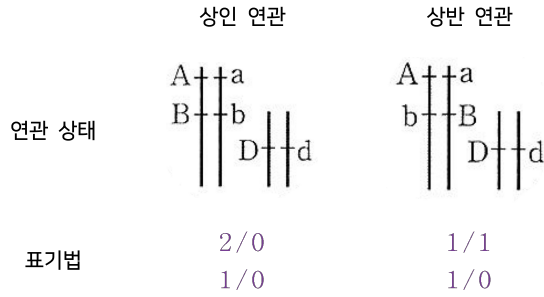
[Case 3 - 상반 × 상반]

	상반 연관		상반 연관
연관 상태	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ b \uparrow \uparrow B \end{array}$	×	$\begin{array}{c} A \uparrow \uparrow a \\ b \uparrow \uparrow B \end{array}$
표기법	1/1	×	1/1
대문자 수 차이	없음		없음
상댓값에 주는 비중	1	×	1

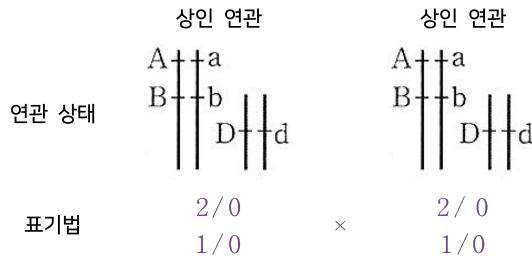
이는 상댓값의 합을 통해, 대문자 수 차이가 있는 상동 염색체 수를 역추론할 수 있다는 것을 의미한다.

8. 2연관 1독립

2연관 1독립의 경우 다음과 같은 양상이 나타난다.



[Case 1 - 상인 × 상인]



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

상댓값의 합

2연관 1독립 (상인 × 상인)에서 표현형 간 비(상댓값) 합은 16인 것을 알 수 있다.

이는 역으로 분리되는 대문자 수가 다른 상동 염색체가 4쌍이다 라는 것을 역추론할 수 있는 근거가 된다.

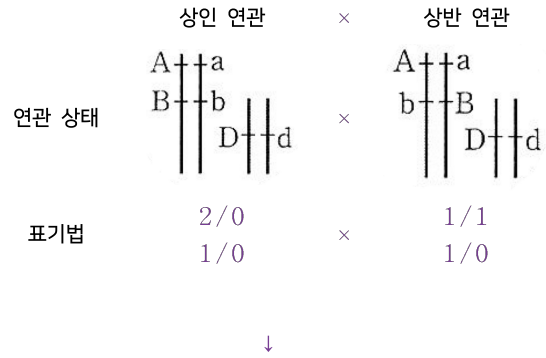
[Remark 1] 2연관 1독립에서 상인 연관 × 상인 연관은 표현형 종류 수에 있어

$$\begin{array}{l}
 \text{3독립} \\
 \frac{1}{1} / \frac{0}{0} \quad \frac{1}{1} / \frac{0}{0} \\
 \frac{1}{1} / \frac{0}{0} \quad \times \quad \frac{1}{1} / \frac{0}{0} \\
 \frac{1}{1} / \frac{0}{0} \quad \frac{1}{1} / \frac{0}{0}
 \end{array}$$

3독립 상황과 생식 세포 전달 양상이 유사한 것을 알 수 있다.

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

[Case 2 - 상인 × 상반]



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

[Remark 2] 2연관 1독립에서 상인 연관 × 상반 연관은 표현형 종류 수에 있어



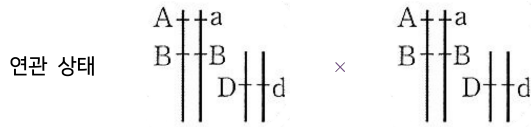
①, ②와 상황이 유사한 것을 알 수 있다.

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

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

[Remark 3] 부모의 유전자형에 동형 접합이 섞일 경우
2연관 1독립에서도 유사한 양상이 나타날 수 있다.

예를 들면 다음과 같다.

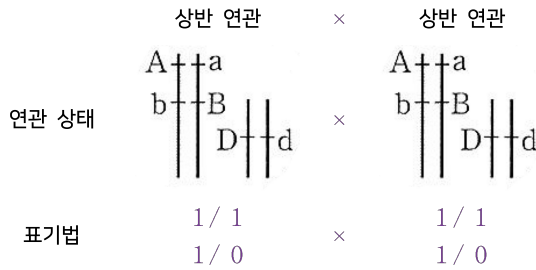


③ 2연관 1독립

$$\begin{array}{c} 2/1 \\ 1/0 \end{array} \times \begin{array}{c} 2/1 \\ 1/0 \end{array}$$

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

[Case 3 - 상반 × 상반]



↓

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

[Remark 4] 2연관 1독립에서 상반 연관 × 상반 연관은

- ①에서 표현형 종류 수와 표현형 간 비율, 표현형 종류 양상에 있어
- ②에서 표현형 종류 수와 표현형 간 비율에 있어

① 2독립

$$\begin{array}{ccc} 1/1 & \times & 1/1 \\ 1/0 & & 1/0 \end{array}$$

② 1독립

$$1/0 \quad \times \quad 1/0$$

상황이 유사한 것을 알 수 있다.

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

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

다인자 유전 - 연관

Schema 3

도수분포표

퍼넷 사각형은 한 칸의 비중이 모두 동일하여
칸의 “개수”로 “비중”을 판단할 수 있다는 장점이 있지만

상댓값의 합 만큼 칸을 그려야한다는 단점이 있다.

예를 들어 2연관 1독립 : 인×인 인 상황의 퍼넷 사각형과 도수분포표는 다음과 같다

[퍼넷 사각형 : 인 × 인]

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

[칸 간 비중 동일]

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

[도수분포표 : 인 × 인, 비중 다른 칸 있음]

	비중	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 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						

퍼넷 vs 도수분포

퍼넷 사각형은 아빠의 생식 세포 양상을 한 줄에, 엄마의 생식 세포 양상을 다른 줄에 표현해야 하는 반면

도수분포표의 정의는 자료의 분포 양상을 적절히 나타낸 표로 교잡의 순서를 바꿔도 무방하다.

(EX 교환법칙, 분배법칙)

오른쪽 도수분포표는 유전자 1개가 위치한 염색체끼리 교배한 양상을 세로에, 유전자 2개가 위치한 염색체끼리 교배한 양상을 가로에 적절히 나타낸 양상이다.

표현형 종류 표

가로 칸의 개수가 표현형 종류 양상을 나타내는 표

종류 표라고 줄여 명명하자.

다인자 유전 - 연관

Schema 3

도수분포표

2연관 1독립 : 인×반인 상황의 퍼네트 사각형은 다음과 같다.

[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						

[퍼네트 사각형 : 인 × 반]

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

[칸 간 비중 동일]

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

[도수분포표 : 인 × 반]

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

[결과 - 종류 표]

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

다인자 유전 - 연관

Schema 4

상댓값의 합

2연관 1독립 - 인 × 반에서는 퍼네트 사각형 상

1열과 3열, 2열과 4열의 양상이 동일하게 나타나 상댓값의 합이 8로 나타나는 것을 알 수 있다.

[퍼네트 사각형 : 인 × 반]

	대문자 개수(Q)	2	1	2	1
대문자 개수(P)					
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.

[도수분포표 : 인 × 반]

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

[종류 표]

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

S, A, A^C

특정 집합, 집합, 여집합

다인자 유전 - 연관
Schema 4
상댓값의 합

[인 × 인 : 차이 4개]

	상인 연관	상인 연관
연관 상태		
표기법	$2/0$ 차이 있음 $1/0$ 차이 있음	$2/0$ 차이 있음 $1/0$ 차이 있음

∴ 상댓값의 합 16 (2의 4승)

[표현형 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						

[인 × 반 : 차이 3개]

	상인 연관	상반 연관
연관 상태		
표기법	$2/0$ 차이 있음 $1/0$ 차이 있음	$1/1$ 차이 없음 $1/0$ 차이 있음

∴ 상댓값의 합 8 (2의 3승)

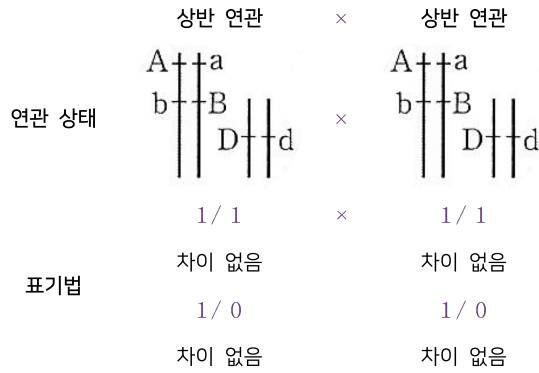
[표현형 종류 표]

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

다인자 유전 - 연관

Schema 4
상댓값의 합

[인 × 반 : 차이 2개]



∴ 상댓값의 합 4

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

⇒ 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 2ⁿ에서 n은 대문자 차이가 있는 상동 염색체쌍 수와 동일하다.

[A^C가 결정하는 것]

⇒ 표현형 대문자 개수의 MI_n을 결정한다.