

Life Science I

<수업 단원> [IV. 유전 - 다인자 유전의 연관]

① 개념 교재 수업 내용

- ㉠ 다인자 유전을 하는 유전자가 연관되어 있으면 독립시행의 확률을 쓸 수 없다.
- ㉡ 다인자 유전의 연관 문제는 다음 방법으로 풀면 빠르게 풀 수 있다.
 - ㉢ 다인자 유전을 하는 유전자가 연관되어 있으면 염색체에 유전자가 있는 그림을 염색체에 대문자의 수가 있는 그림으로 바꿔준다. 예를 들어 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d, E와 e가 모두 하나의 형질을 결정하는 다인자 유전을 한다면 $\frac{A}{b}||\frac{a}{B}$, $\frac{D}{E}||\frac{d}{e}$ 는 11, 210 으로, $\frac{A}{B}||\frac{a}{B}$, $\frac{d}{e}||\frac{d}{e}$ 는 21, 10 으로 바꿔준다.
 - ㉣ 10, 11, 21, 31 처럼 상동 염색체에 같은 개수의 대문자가 있으면 둘 중 어떤 것이 자손에게 전달되어도 자손이 가지는 대문자의 개수는 같다. 이와 같은 대문자 개수의 배열 형태를 '확정형'으로 정의한다.
 - ㉤ 110, 210, 310, 211, 311, 312 처럼 상동 염색체에 다른 개수의 대문자가 있으면 둘 중 어떤 것이 자손에게 전달되는지에 따라 자손이 가지는 대문자의 개수가 달라진다. 단, 211 의 경우 자손에게 대문자 하나를 미리 전달하고, 남은 대문자를 110 으로 바꿔서 생각한다. 같은 방법으로, 311 의 경우는 210 으로, 312 의 경우는 110 으로 바꿔서 생각한다. 이와 같은 대문자 개수의 배열 형태를 '부정형'으로 정의한다.
 - ㉥ '㉢'과 '㉣'을 고려해서 문제를 푼다. 이때 파스칼 수와 비율의 곱을 이용해서 문제를 풀면 빠르다.

※ 파스칼 수: ${}_nC_0$ 부터 ${}_nC_n$ 까지 나열한 수. 1, 2, 1(${}_2C_0 \sim {}_2C_2$), 1, 3, 3, 1(${}_3C_0 \sim {}_3C_3$), 1, 4, 6, 4, 1(${}_4C_0 \sim {}_4C_4$), 1, 5, 10, 10, 5, 1(${}_5C_0 \sim {}_5C_5$), 1, 6, 15, 20, 15, 6, 1(${}_6C_0 \sim {}_6C_6$) 등이 있다.

㉢ 문제 풀이 예시

문제: 어떤 형질은 네 쌍의 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d, E와 e에 의해 결정된다. 이 형질의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되고, 이 대립 유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다. 아버지의 유전자 연관 상태가 $\frac{A}{b}||\frac{a}{B}$, $\frac{D}{E}||\frac{d}{e}$ 이고 어머니의 유전자 연관 상태가 $\frac{A}{B}||\frac{a}{b}$, $\frac{D}{E}||\frac{d}{e}$ 일 때, 자손에서 나올 수 있는 표현형의 종류와 그 출현 비율을 구하시오.

- ㉢ 염색체에 유전자가 있는 그림을 염색체에 대문자의 수가 있는 그림으로 바꿔주자. 아버지는 11, 210 으로, 어머니는 210, 210 으로 바꿀 수 있다.
- ㉣ 아버지에 있는 111 을 보면, 무조건 대문자 1개는 자손으로 전달된다.
- ㉤ 부모에게 있는 210 은 총 3개이다. 210 들만 보면, 표현형이 (0)이려면 3개의 210 에서 0만 3개, (2)이려면 2를 1개, 0을 2개, (4)이려면 2를 2개, 0을 1개, (6)이려면 2만 3개 가져와야 한다. 따라서 표현형이 (0), (2), (4), (6)으로 나오는 비율은 ${}_3C_0 : {}_3C_1 : {}_3C_2 : {}_3C_3$, 즉 1 : 3 : 3 : 1 이라는 파스칼 수이다.
- ㉥ '㉢'에 따라 대문자 1개는 자손에게 반드시 주어지므로, 자손에서 나올 수 있는 표현형의 종류와 그 출현 비율은 (1) : (3) : (5) : (7) = 1 : 3 : 3 : 1 이다.
- ㉦ '㉢~㉣' 대신 이렇게 풀어도 된다. 아버지의 생식 세포의 표현형은 (3)과 (1)이 1 : 1 의 비율로 나타나고, 어머니의 생식 세포의 표현형은 (4), (2), (0)이 각각 1 : 2 : 1 의 비율로 나타난다. 따라서 아버지와 어머니의 생식 세포의 표현형 존재비를 곱하면 자손에서 나올 수 있는 표현형의 종류와 그 출현 비율은 (1) : (3) : (5) : (7) = 1 : 3 : 3 : 1 이 된다.

② 대립 유전자의 연관/독립 상태

- ㉠ 지금까지 다인자 유전 문제에서 하나의 형질을 결정하는 대립 유전자가 5쌍 이상 주어진 적은 단 한 번도 없었기 때문에, 하나의 형질을 결정하는 대립 유전자는 4쌍 이하로 주어질 확률이 매우 높다.
- ㉡ 하나의 형질을 결정하는 대립 유전자가 4쌍인 경우, 가능한 연관/독립 상태는 4연관, 3연관 1독립, 2연관 2연관, 2연관 2독립, 4독립의 5가지이다.
 - ㉢ 이 중 4연관은 출제 가능성이 매우 낮고, 나온다고 해도 전혀 어렵지 않아서 다루지 않는다. 또한 4독립은 독립시행의 확률을 이용해서 풀면 되기에 다루지 않는다.
- ㉢ 하나의 형질을 결정하는 대립 유전자가 3쌍인 경우, 가능한 연관/독립 상태는 3연관, 2연관 1독립, 3독립의 3가지이다.
 - ㉣ 이 중 3독립은 독립시행의 확률을 이용해서 풀면 되기에 다루지 않는다.
- ㉣ 하나의 형질을 결정하는 대립 유전자가 2쌍인 경우, 가능한 연관/독립 형태는 2연관, 2독립의 2가지이다.
 - ㉤ 이 중 2독립은 독립시행의 확률을 이용해서 풀면 되기에 다루지 않는다.

※ 3연관이 포함된 경우(3연관 1독립, 3연관)는 나올 가능성이 낮기는 하나, 없지는 않다. 개정 이후에 평가원은 3연관을 단 한 번도 출제하지 않았다. 따라서 아래 내용에서는 3연관이 포함되지 않은 경우와 3연관이 포함된 경우를 따로 제시하였다.

③ 표현형과 비율 - 3연관이 포함되지 않은 경우

※ 우리가 다루는 연관/독립 상태 중 3연관이 포함되지 않은 경우에 해당되는 연관/독립 상태는 2연관 2연관, 2연관 2독립, 2연관 1독립, 2연관이다.

- ㉠ 부모의 부정형이 1개인 경우 (2연관 2연관, 2연관 2독립, 2연관 1독립, 2연관)

㉢ $2|0 \rightarrow (2) : (0) = 1 : 1$

㉤ $1|0 \rightarrow (1) : (0) = 1 : 1$

- ㉡ 부모의 부정형이 2개인 경우 (2연관 2연관, 2연관 2독립, 2연관 1독립, 2연관)

㉢ $2|0, 2|0 \rightarrow (4) : (2) : (0) = 1 : 2 : 1$

㉤ $2|0, 1|0 \rightarrow (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 1 : 1 : 1$

㉥ $1|0, 1|0 \rightarrow (2) : (1) : (0) = 1 : 2 : 1$

- ㉢ 부모의 부정형이 3개인 경우 (2연관 2연관, 2연관 2독립(㉢ 제외), 2연관 1독립(㉢ 제외))

㉢ $2|0, 2|0, 2|0 \rightarrow (6) : (4) : (2) : (0) = 1 : 3 : 3 : 1$

㉤ $2|0, 2|0, 1|0 \rightarrow (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 1 : 2 : 2 : 1 : 1$

㉥ $2|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 2 : 2 : 2 : 1$

㉦ $1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 3 : 3 : 1$

㉔ 부모의 부정형이 4개인 경우 (2연관 2연관, 2연관 2독립(㉔, ㉕ 제외), 2연관 1독립(㉔, ㉕ 제외))

㉔ $2|0, 2|0, 2|0, 2|0 \rightarrow (8) : (6) : (4) : (2) : (0) = 1 : 4 : 6 : 4 : 1$

㉕ $2|0, 2|0, 2|0, 1|0 \rightarrow (7) : (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 1 : 3 : 3 : 3 : 3 : 1 : 1$

㉖ $2|0, 2|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 2 : 3 : 4 : 3 : 2 : 1$

㉗ $2|0, 1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 3 : 4 : 4 : 3 : 1$

㉘ $1|0, 1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 4 : 6 : 4 : 1$

㉙ 부모의 부정형이 5개인 경우 (2연관 2독립)

㉔ $2|0, 2|0, 1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (7) : (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 3 : 5 : 7 : 7 : 5 : 3 : 1$

㉕ $2|0, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 4 : 7 : 8 : 7 : 4 : 1$

㉖ $1|0, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 5 : 10 : 10 : 5 : 1$

㉚ 부모의 부정형이 6개인 경우 (2연관 2독립)

㉔ $2|0, 2|0, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (8) : (7) : (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 4 : 8 : 12 : 14 : 12 : 8 : 4 : 1$

㉕ $2|0, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (7) : (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 5 : 11 : 15 : 15 : 11 : 5 : 1$

㉖ $1|0, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1$

㉛ 정리

㉔ 모든 부정형이 2|0 인 경우, 2|0 의 개수가 n개이면 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 n+1가지이다.

ex) $2|0, 2|0, 2|0 \rightarrow$ 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 (6), (4), (2), (0)의 4가지

㉕ 그 외의 모든 경우, 부모에 있는 대문자 개수의 총합(2|0, 1|0 기준)이 n개이면 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 (n)부터 (0)까지, 총 n+1가지이다.

ex) $2|0, 2|0, 1|0 \rightarrow$ 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 (5)~(0)의 6가지

ex) $2|0, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 \rightarrow$ 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 (6)~(0)의 7가지

㉖ 따라서 자손에서 나타날 수 있는 표현형이 n가지이려면, 부정형이 2|0 만 n-1개 있거나, 부정형에 1|0이 하나라도 있으면서 부모에 있는 대문자 개수의 총합(2|0, 1|0 기준)이 n-1개이면 된다.

ex) 자손에서 나타날 수 있는 표현형이 4가지 \rightarrow $2|0, 2|0, 2|0$ (2|0 만 3개) 또는 $2|0, 1|0$ (1|0 이 하나라도 있으면서 부모에 있는 대문자 개수의 총합이 3개) 또는 $1|0, 1|0, 1|0$ (1|0 이 하나라도 있으면서 부모에 있는 대문자 개수의 총합이 3개)

㉗ 자손에서 나타날 수 있는 표현형의 비율은 좌우 대칭이다.

㉔ 부모의 부정형이 n 개일 때, 자손에서 나타날 수 있는 표현형의 비율을 모두 더하면 2^n 이다.

ex) 2|0, 2|0, 1|0, 1|0 (부정형이 4개) $\rightarrow 1+2+3+4+3+2+1 = 16 = 2^4$

ex) 2|0, 2|0, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 (부정형이 6개) $\rightarrow 1+4+8+12+14+12+8+4+1 = 64 = 2^6$

④ 표현형과 비율 - 3연관이 포함된 경우

※ 우리가 다루는 연관/독립 상태 중 3연관이 포함된 경우에 해당되는 연관/독립 상태는 3연관 1독립, 3연관 이다.

㉑ 부모의 부정형이 1개인 경우 (3연관 1독립, 3연관)

㉑ 3|0 $\rightarrow (3) : (0) = 1 : 1$

㉒ 2|0 $\rightarrow (2) : (0) = 1 : 1$

㉓ 1|0 $\rightarrow (1) : (0) = 1 : 1$

㉒ 부모의 부정형이 2개인 경우 (3연관 1독립, 3연관)

㉑ 3|0, 3|0 $\rightarrow (6) : (3) : (0) = 1 : 2 : 1$

㉒ 3|0, 2|0 $\rightarrow (5) : (3) : (2) : (0) = 1 : 1 : 1 : 1$

㉓ 3|0, 1|0 $\rightarrow (4) : (3) : (1) : (0) = 1 : 1 : 1 : 1$

㉔ 2|0, 2|0 $\rightarrow (4) : (2) : (0) = 1 : 2 : 1$

㉕ 2|0, 1|0 $\rightarrow (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 1 : 1 : 1$

㉖ 1|0, 1|0 $\rightarrow (2) : (1) : (0) = 1 : 2 : 1$

㉓ 부모의 부정형이 3개인 경우 (3연관 1독립)

㉑ 3|0, 3|0, 1|0 $\rightarrow (7) : (6) : (4) : (3) : (1) : (0) = 1 : 1 : 2 : 2 : 1 : 1$

㉒ 3|0, 2|0, 1|0 $\rightarrow (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 1 : 1 : 2 : 1 : 1 : 1$

㉓ 3|0, 1|0, 1|0 $\rightarrow (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 2 : 1 : 1 : 2 : 1$

㉔ 2|0, 2|0, 1|0 $\rightarrow (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 1 : 2 : 2 : 1 : 1$

㉕ 2|0, 1|0, 1|0 $\rightarrow (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 2 : 2 : 2 : 1$

㉖ 1|0, 1|0, 1|0 $\rightarrow (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 3 : 3 : 1$

㉔ 부모의 부정형이 4개인 경우 (3연관 1독립)

- ㉔ 3|0, 3|0, 1|0, 1|0 → (8) : (7) : (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 2 : 1 : 2 : 4 : 2 : 1 : 2 : 1
- ㉕ 3|0, 2|0, 1|0, 1|0 → (7) : (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 2 : 2 : 3 : 3 : 2 : 2 : 1
- ㉖ 3|0, 1|0, 1|0, 1|0 → (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 3 : 3 : 2 : 3 : 3 : 1
- ㉗ 2|0, 2|0, 1|0, 1|0 → (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 2 : 3 : 4 : 3 : 2 : 1
- ㉘ 2|0, 1|0, 1|0, 1|0 → (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 3 : 4 : 4 : 3 : 1
- ㉙ 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 → (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 4 : 6 : 4 : 1

㉕ 정리

- ㉔ 3|0이 포함된 경우에 한해, 부정형이 2개 이하인 경우와 부정형이 3|0, 3|0, 1|0 인 경우는 규칙이 없어서 자손에서 나타날 수 있는 표현형의 가짓수를 직접 계산해 보아야 한다. 단, 부정형이 2개 이하인 경우는 자손에서 나타날 수 있는 표현형의 가짓수를 쉽게 알아낼 수 있기에 큰 문제가 없다. 또한 부정형이 3|0, 3|0, 1|0 인 경우 자손에서 나타날 수 있는 표현형이 6가지라는 것을 외워 둔다면 큰 문제는 없다.

- ㉕ 모든 부정형이 2|0 인 경우, 2|0 의 개수가 n개이면 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 n+1가지이다.
- ㉖ 그 외의 모든 경우, 부모에 있는 대문자 개수의 총합(3|0, 2|0, 1|0 기준)이 n개이면 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 (n)부터 (0)까지, 총 n+1가지이다.

ex) 3|0, 2|0, 1|0 → 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 (6)~(0)의 7가지

- ㉖ 따라서 자손에서 나타날 수 있는 표현형이 n가지이려면, 부정형이 2|0 만 n-1개 있거나, 부정형에 1|0이 하나라도 있으면서 부모에 있는 대문자 개수의 총합(3|0, 2|0, 1|0 기준)이 n-1개이면 된다. 단, 3|0 이 포함된 후자의 경우 부정형이 2개 이하이거나, 부정형이 3|0, 3|0, 1|0 인 경우는 해당되지 않으며, 이들의 자손에서 나타날 수 있는 표현형의 가짓수는 직접 계산해야 한다.

ex) 자손에서 나타날 수 있는 표현형이 6가지 (단, 3연관 1독립) → 3|0, 1|0, 1|0 또는 2|0, 2|0, 1|0 또는 2|0, 1|0, 1|0, 1|0 또는 3|0, 3|0, 1|0

- ㉗ 자손에서 나타날 수 있는 표현형의 비율은 좌우 대칭이다.
- ㉘ 부정형이 n개일 때, 자손에서 나타날 수 있는 표현형의 비율을 모두 더하면 2^n 이다.

⑤ 문제 풀이 순서

- ㉔ 대립 유전자의 연관/독립 상태를 파악한다.
 - ※ 대립 유전자의 연관/독립 상태는 문제에서 주어질 확률이 매우 높다.
- ㉕ 문제의 조건을 활용하여 부모의 부정형을 찾는다. 3연관이 포함되지 않은 경우(2연관 2연관, 2연관 2독립, 2연관 1독립, 2연관)의 경우라면 '㉓'에서 정리한 내용을, 3연관이 포함된 경우(3연관 1독립, 3연관)의 경우라면 '㉔'에서 정리한 내용을 활용한다.
- ㉖ 문제의 조건에 맞게 부모의 부정형을 변형하고, 부모에 확정형을 추가하여 부모 각각의 대문자 개수 배열 형태를 확정한다. (물론, 부정형을 변형할 필요가 없거나 확정형을 추가할 필요가 없는 경우도 있다.)

- ※ 부모의 부정형을 변형한다는 것은, 문제의 조건에 맞게 1|0 을 2|1, 3|2 의 형태로, 2|0 을 3|1 의 형태로 변형하는 것을 의미한다. 예를 들어 부모의 부정형이 1|0, 1|0, 1|0 으로 확정되었는데, 부모 중 한 명이 A 와 B가 연관된 염색체를 가진다면 3개의 1|0 중에 최소 1개를 2|1 로 변형해 주어야 한다. 단, 부정형을 변형하더라도, 자손에서 나올 수 있는 표현형의 가짓수는 변하지 않는다.
- ※ 부모에 확정형을 추가한다는 것은, 문제의 조건에 맞게 지금까지 고려하지 않았던 이|0, 1|1, 2|2, 3|3 의 확정형을 추가하는 것을 의미한다. 예를 들어 부모의 부정형이 2|0, 1|0, 1|0 으로 확정되었는데, 대립 유전자의 연관/독립 상태는 2연관 1독립이라면, 부모에 확정형을 1개 추가하여 상동 염색체 쌍을 4개(아빠 2쌍, 엄마 2쌍)로 만들어 주어야 한다. 단, 확정형을 추가하더라도, 자손에서 나올 수 있는 표현형의 가짓수는 변하지 않는다.

⑥ 문제 풀이 예시

㉠ 문제 [1] - 대표 문항 <220614>

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 대립 유전자의 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.)

- ㉡ 대립 유전자의 연관/독립 상태는 2연관 1독립이다.
- ㉢ 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 5가지이므로 부모로 가능한 부정형은 2|0 이 4개 있는 2|0, 2|0, 2|0, 2|0 과 부모의 대문자 개수 총합(2|0, 1|0 기준)이 4개이면서 1|0 이 하나 이상 포함된 2|0, 1|0, 1|0, 그리고 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 이다. 단, 2연관 1독립이므로 2|0, 2|0, 2|0, 2|0 은 불가능하다.
- ㉣ 2|0, 1|0, 1|0 은 자손의 표현형 비율이 1 : 2 : 2 : 2 : 1 이고, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 은 1 : 4 : 6 : 4 : 1 이다. 2|0, 1|0, 1|0 의 경우 특정 표현형이 나올 확률이 $\frac{3}{8}$ 일 수 없고, 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 의 경우 특정 표현형이 나올 확률이 $\frac{3}{8}$ ($\frac{6}{16}$)일 수 있다. 따라서 부모의 부정형은 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 이다.
- ㉤ 유전자형이 AABbDD인 자손이 나올 수 있으므로 부모 중 한 명은 2|?, 1|? 이고, 나머지 한 명은 1|?, 1|? 이다. 그런데 부모의 부정형은 1|0, 1|0, 1|0, 1|0 이므로 2|?, 1|? 은 2|1, 1|0 이어야 하고, 나머지 한 명은 1|?, 1|0 이어야 한다. (왼쪽 염색체와 오른쪽 염색체 중 오른쪽 염색체는 D/d가 들어 있는 염색체를 나타낸 것으로, D/d는 2연관 1독립 중 '1독립' 부분에 해당하기에 하나의 염색체에 있는 대문자 개수가 2일 수 없다.)
- ㉥ 그런데 부모의 표현형은 같아야 하므로, 1|?, 1|0인 부모는 1|2, 1|0 이 되어야 한다.

㉠ 부모는 각각 21, 110 과 112, 110 이다. 이들 사이에서 나온 자손의 표현형이 (3)일 확률을 구해야 한다. 부모는 자손에게 대문자 2개를 반드시 주므로, 남은 110, 110, 110, 110 중에서 대문자가 1개만 더 오면 된다. 부모의 부정형이 110, 110, 110, 110 일 때 자손의 표현형 비율은 (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 4 : 6 : 4 : 1 이므로, 구하는 확률, 즉 대문자가 1개 더 올 확률은 $1/4(4/16)$ 이다.

㉡ 문제 [2] - 자체 제작 문항 #1

문제: 다음은 사람의 유전 형질 (나)에 대한 자료이다. 다음 조건을 이용해서, ㉠가 유전자형이 AaBbDd인 사람과 동일한 표현형을 가질 확률을 구하시오. (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

- (나)는 서로 다른 2개의 상염색체에 있는 3쌍의 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d에 의해 결정되며, A, a, B, b는 7번 염색체에 있다.
- (나)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립 유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- P와 Q 사이에서 ㉠가 태어날 때, ㉠에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 6가지이고, 유전자형이 AaBbdd인 사람과 ㉠의 표현형이 같을 확률은 $1/8$ 이다.

㉢ 대립 유전자의 연관/독립 상태는 2연관 1독립이다.

㉣ 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 6가지이므로 부모의 부정형은 210 이 5개 있는 형태이거나, 부모의 대문자 개수의 총합(210, 110 기준)이 5개이면서 110 이 하나 이상 포함되어 있는 형태여야 한다. 2연관 1독립임을 고려하면, 부모로 가능한 부정형은 210, 210, 110 과 210, 110, 110, 110 이다.

㉤ 210, 210, 110 은 자손의 표현형 비율이 1 : 1 : 2 : 2 : 1 : 1 이고, 210, 110, 110, 110 은 1 : 3 : 4 : 4 : 3 : 1 이다. 210, 210, 110 의 경우 특정 표현형이 나올 확률이 $1/8$ 일 수 있고, 210, 110, 110, 110 의 경우 특정 표현형이 나올 확률이 $1/8(2/16)$ 일 수 없다. 따라서 부모의 부정형은 210, 210, 110 이다.

* 굳이 $1/8(2/16)$ 이라고 쓰는 이유는, 부정형이 4개인 경우 비율을 모두 더하면 $16(2^4)$ 임을 활용하라는 의미이다. 이를 활용하면, 비율에 '2'가 없다는 것만으로도 $1/8$ 이 절대 나올 수 없다는 것을 알 수 있다.

㉥ 2연관 1독립임을 고려할 때 부모 중 한 명의 부정형은 210, 110 이고, 나머지 한 명의 부정형은 210 이다. 부정형이 210, 110 인 쪽은 부정형을 변형할 수도, 확정형을 추가할 수도 없다. (2연관 1독립이니깐!) 하지만 나머지 한 명은 부정형이 210 하나밖에 없으므로, 확정형 이0 또는 111 을 추가해 주어야 한다. (위와 같은 이유로 부정형은 변형할 수 없다.) 단, 확정형으로 212 는 추가할 수 없다. (2연관 1독립이니깐!)

㉦ 부정형이 210, 210, 110 일 때 자손의 표현형 비율은 (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 1 : 2 : 2 : 1 : 1 이다. 이때 자손에서 (2)가 나올 확률이 $1/8$ 이 되려면, 자손에 대문자 1개 또는 2개가 반드시 주어질 수 있다. 즉 확정형으로 111 또는 212 를 추가해 주어야 하는데, 212 는 불가능하므로 추가해야 할 확정형은 111 이다.

㉧ 부모는 각각 210, 110 과 210, 111 이다. 이들 사이에서 나온 자손이 (3)일 확률을 구해야 한다. 부모는 자손에게 대문자 1개를 반드시 주므로, 남은 210, 210, 110 중에서 대문자가 2개만 더 오면 된다. 부모의 부정형이 210, 210, 110 일 때 자손의 표현형 비율은 (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 1 : 2 : 2 : 1 : 1 이므로, 구하는 확률, 즉 대문자가 2개 더 올 확률은 $1/4(2/8)$ 이다.

㉔ 문제 [3] - 자체 제작 문항 #2

문제: 다음은 사람의 유전 형질 (다)에 대한 자료이다. 다음 조건을 이용해서, ㉔가 유전자형이 AaBbDdee인 사람과 동일한 표현형을 가질 확률을 구하시오. (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

- (다)는 서로 다른 2개의 상염색체에 있는 4쌍의 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d, E와 e에 의해 결정되며, A, a, B, b는 7번 염색체에 있고, D, d, E, e는 9번 염색체에 있다.
- (다)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립 유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- (다)의 표현형이 서로 다른 P와 Q 사이에서 ㉔가 태어날 때, ㉔에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 4가지이고, 유전자형이 AaBbDdEe인 사람과 ㉔의 표현형이 같을 확률은 1/8이다.
- P의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수와 Q의 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자 수의 합은 7보다 작다.

㉕ 대립 유전자의 연관/독립 상태는 2연관 2연관이다.

㉖ 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 4가지이므로 부모의 부정형은 2iO 이 3개 있는 형태이거나, 부모의 대문자 개수의 총합(2iO, 1iO 기준)이 3개이면서 1iO 이 하나 이상 포함되어 있는 형태여야 한다. 2연관 2연관임을 고려하면, 부모로 가능한 부정형은 2iO, 2iO, 2iO 과 2iO, 1iO, 그리고 1iO, 1iO, 1iO 이다.

㉗ 2iO, 2iO, 2iO 과 1iO, 1iO, 1iO 은 자손의 표현형 비율이 1 : 3 : 3 : 1 이고, 2iO, 1iO 은 1 : 1 : 1 : 1이다. 2iO, 2iO, 2iO 과 1iO, 1iO, 1iO 의 경우 특정 표현형이 나올 확률이 1/8일 수 있고, 2iO, 1iO 의 경우 특정 표현형이 나올 확률이 1/8일 수 없다. (2iO, 1iO 이면 부모의 부정형이 2개라서 분모를 $8(2^3)$ 으로 만들 수 없음을 이용해도 된다.) 따라서 부모의 부정형은 2iO, 2iO, 2iO 과 1iO, 1iO, 1iO 중 하나이다.

㉘ 부모의 부정형이 2iO, 2iO, 2iO 이라면 부모 중 한 명은 부정형이 2iO, 2iO 이고, 나머지 한 명은 2iO 이다. 부정형이 2iO, 2iO 인 쪽은 부정형을 변형할 수도, 확정형을 추가할 수도 없다. (2연관 2연관이니 까!) 하지만 나머지 한 명은 부정형이 2iO 하나밖에 없으므로 확정형 iO, 1i1, 2i2 중에 하나를 추가해 주어야 한다. (위와 같은 이유로 부정형은 변형할 수 없다.) 단, 부모의 표현형이 서로 다르기 때문에, 확정형으로 1i1은 추가할 수 없다.

㉙ 부정형이 2iO, 2iO, 2iO 일 때 자손의 표현형 비율은 (6) : (4) : (2) : (0) = 1 : 3 : 3 : 1 이다. 추가되는 확정형이 iO 인 경우는 자손에게 대문자가 확정적으로 주어지지 않고, 확정형이 2i2 인 경우는 자손에게 2개의 대문자가 반드시 주어지므로 자손에서 (4)가 나올 확률은 1/8이 될 수 없다. (무조건 3/8이다.) 따라서 부모의 부정형은 1iO, 1iO, 1iO 이다.

㉚ 부정형이 1iO, 1iO, 1iO 이면 부모의 표현형은 반드시 다르고, 이때 자손의 표현형 비율은 (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 3 : 3 : 1 이다. 이를 고려하면 자손에서 (4)가 나올 확률이 1/8이 되기 위해서, 자손에게 반드시 주어지는 대문자의 수는 1개 또는 4개여야 한다. 후자라면, 부모에 있는 대문자의 수의 합이 7개가 되기에 조건에 맞지 않는다. 따라서 자손에게 반드시 주어지는 대문자의 수는 1개여야 한다.

㉛ 부모의 정확한 대문자 개수 배열 형태는 알 수 없으나(정확히는 2i1, 1iO, 1iO, iO 또는 1iO, 1iO, 1iO, 1i1 이다.), 부정형은 1iO, 1iO, 1iO 이고, 1개의 대문자는 자손에게 반드시 주어진다. 위에서 구한 표현형 비율을 이용하면, 자손의 표현형이 (3)일 확률은 3/8이다.

㉠ 문제 [4] - 자체 제작 문항 #3

문제: 다음은 사람의 유전 형질 (라)에 대한 자료이다. 다음 조건을 이용해서, (라)에 대한 설명으로 옳은 것만을 '㉡, ㉢, ㉣' 중에서 있는 대로 고르시오. (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

- (라)는 서로 다른 3개의 상염색체에 있는 4쌍의 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d, E와 e에 의해 결정되며, A, a, B, b는 7번 염색체에 있다.
- (라)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립 유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- (라)에 대한 표현형이 같은 P와 Q 사이에서 ㉠가 태어날 때, ㉠에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 7가지이고, 유전자형이 AABbDdEe인 사람과 ㉠의 표현형이 같을 확률은 7/32이며, ㉠의 유전자형은 AABBDdEe일 수 있다.

㉡. P와 Q 각각의 (라)에 대한 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수는 5개이다.

㉢. P와 Q 각각의 (라)에 대한 유전자형에는 A, B, D, E가 모두 존재한다.

㉣. ㉠가 유전자형이 AaBbDdEe인 사람과 동일한 표현형을 가질 확률은 1/4이다.

㉠ 대립 유전자의 연관/독립 상태는 2연관 2독립이다.

㉡ 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 7가지이므로 부모의 부정형은 210 이 6개 있는 형태이거나, 부모의 대문자 개수의 총합(210, 110 기준)이 6개이면서 110 이 하나 이상 포함되어 있는 형태여야 한다. 2연관 2독립임을 고려하면, 부모로 가능한 부정형은 210, 210, 110, 110 과 210, 110, 110, 110, 110, 그리고 110, 110, 110, 110, 110 이다.

㉢ 표현형이 (5)일 확률이 7/32, 즉 분모가 $32(2^5)$ 이므로 부모의 부정형 개수는 최소 5개여야 한다. 따라서 210, 210, 110, 110 은 부모의 부정형으로 가능하지 않다. 210, 110, 110, 110, 110 은 자손의 표현형 비율이 1 : 4 : 7 : 8 : 7 : 4 : 1 이고, 110, 110, 110, 110, 110, 110 은 자손의 표현형 비율이 1 : 6 : 15 : 20 : 15 : 6 : 1 이다. 210, 110, 110, 110, 110 의 경우 특정 표현형이 나올 확률이 7/32일 수 있고, 110, 110, 110, 110, 110, 110 의 경우 특정 표현형이 나올 확률이 7/32(14/64)일 수 없다. 따라서 부모의 부정형은 210, 110, 110, 110, 110 이다.

㉣ 부정형이 210, 110, 110, 110, 110 일 때 자손의 표현형 비율은 (6) : (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 4 : 7 : 8 : 7 : 4 : 1 이다. 이를 고려하면 자손의 표현형이 (5)가 될 확률이 7/32이기 위해서, 자손에게 반드시 주어지는 대문자의 수는 1개 또는 3개여야 한다. 하지만 2연관 2독립이라는 것과 부모의 부정형을 고려할 때, 자손에게 반드시 주어지는 대문자의 수가 3개일 수는 없다. 따라서 자손에게 반드시 주어지는 대문자의 수는 1개이다.

㉡ 이를 이용하여 부정형을 변형하거나 확정형을 추가해 보면, 부모의 대문자 개수 배열 형태는 210, 211, 110, 110, 110, 이오 이거나 210, 110, 110, 110, 110, 111 이다. 그런데 ㉠의 유전자형이 AABBDdEe일 수 있으므로, 부모는 모두 A와 B가 연관된 염색체를 가진다. 따라서 부모의 대문자 개수 배열 형태는 210, 211, 110, 110, 110, 이오 이다.

㉢ 부모의 표현형은 같으므로 부모는 각각 210, 110, 110 과 211, 110, 이오 이다. 따라서 ㉡와 ㉢는 모두 틀린 설명이다.

㉣ 부모의 부정형은 210, 110, 110, 110, 110 이고, 1개의 대문자는 자손에게 반드시 주어진다. 위에서 구한 표현형 비율을 이용하면, 구하는 확률은 1/4(8/32)이다. 따라서 ㉣는 맞는 설명이다.

㉔ 문제 [5] - 자체 제작 문항 #4

문제: 다음은 사람의 유전 형질 (마)에 대한 자료이다. 다음 조건을 이용해서, (마)에 대한 설명으로 옳은 것만을 '㉑, ㉒, ㉓' 중에서 있는 대로 고르시오. (단, 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.)

- (마)는 서로 다른 2개의 상염색체에 있는 4쌍의 대립 유전자 A와 a, B와 b, D와 d, E와 e에 의해 결정되며, A, a, B, b, D, d는 7번 염색체에 있다.
- (마)의 표현형은 유전자형에서 대문자로 표시되는 대립 유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립 유전자의 수가 다르면 표현형이 다르다.
- P와 Q 사이에서 ㉑가 태어날 때, ㉑에게서 나타날 수 있는 표현형은 최대 6가지이고, 유전자형이 AABBDEE인 사람과 ㉑의 표현형이 같을 확률은 3/16이다.

- ㉑. P와 Q의 (마)에 대한 표현형은 서로 같다.
- ㉒. P와 Q는 모두 A, B, D를 갖는다.
- ㉓. ㉑가 유전자형이 AaBbDdEe인 사람과 동일한 표현형을 가질 확률은 1/4이다.

㉔ 대립 유전자의 연관/독립 상태는 3연관 1독립이다.

㉕ 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 6가지이므로 부모의 부정형은 2이 5개 있는 형태이거나, 부모의 대문자 개수의 총합(3이, 2이, 1이 기준)이 5개이면서 1이 이 하나 이상 포함되어 있는 형태여야 한다. 단, 3이 이 포함된 후자의 경우 부정형이 2개 이하거나, 부정형이 3이, 3이, 1이 인 경우는 해당되지 않으며, 이들의 자손에서 나타날 수 있는 표현형의 가짓수는 직접 계산해야 한다. 3연관 1독립임을 고려하면, 부모로 가능한 부정형은 3이, 1이, 1이 과 2이, 2이, 1이, 그리고 2이, 1이, 1이, 1이 이다. 단, 앞서 언급한 예외 케이스에 대한 고려가 필요하다. 부정형이 2개 이하이면 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 최대 4가지이므로 부모의 부정형이 될 수 없다. 그런데 부정형이 3이, 3이, 1이 인 경우는 계산해 보면 자손에서 나타날 수 있는 표현형은 6가지이므로 부모의 부정형이 될 수 있다.

㉖ 표현형이 (7)일 확률이 3/16, 즉 분모가 $16(2^4)$ 이므로 부모의 부정형 개수는 최소 4개여야 한다. 따라서 3이, 1이, 1이 과 2이, 2이, 1이, 그리고 3이, 3이, 1이 은 부모의 부정형으로 가능하지 않다. 따라서 부모의 부정형은 2이, 1이, 1이, 1이 이다.

㉗ 부정형이 2이, 1이, 1이, 1이 일 때 자손의 표현형 비율은 (5) : (4) : (3) : (2) : (1) : (0) = 1 : 3 : 4 : 4 : 3 : 1 이다. 이를 고려하면 자손의 표현형이 (7)이 될 확률이 3/16이기 위해서, 자손에게 반드시 주어지는 대문자의 수는 3개 또는 6개여야 한다. 하지만 3연관 1독립이라는 것과 부모의 부정형을 고려할 때, 자손에게 반드시 주어지는 대문자의 수가 6개일 수는 없다. 따라서 자손에게 반드시 주어지는 대문자의 수는 3개이다.

㉘ 이를 이용하여 부정형을 변형해 보면, 부모의 대문자 개수 배열 형태는 311, 312, 110, 110 이다. (3연관 1독립이므로 2 또는 3이 있는 상동 염색체 쌍은 2개 이하여야 한다.)

㉙ 따라서 부모는 각각 312, 110과 311, 110 이다. 따라서 ㉑는 틀린 설명이고, ㉒는 맞는 설명이다.

㉚ 부모의 부정형은 2이, 1이, 1이, 1이 이고, 3개의 대문자는 자손에게 반드시 주어진다. 위에서 구한 표현형 비율을 이용하면, 구하는 확률은 3/16이다. 따라서 ㉓는 틀린 설명이다.