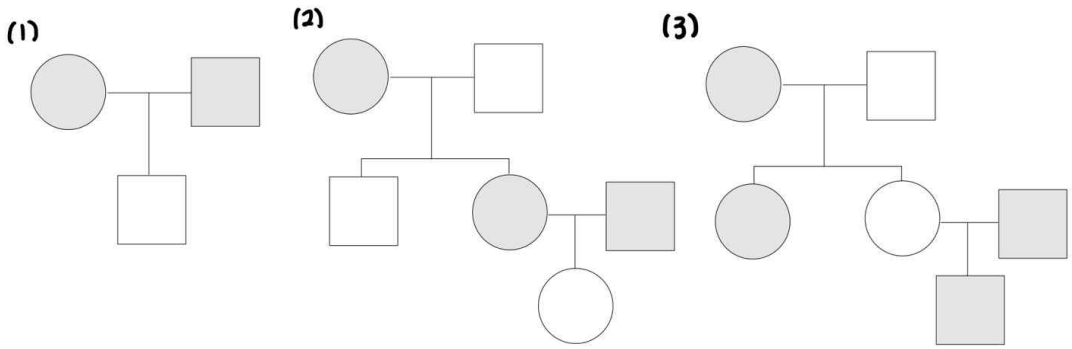
논리 Preview

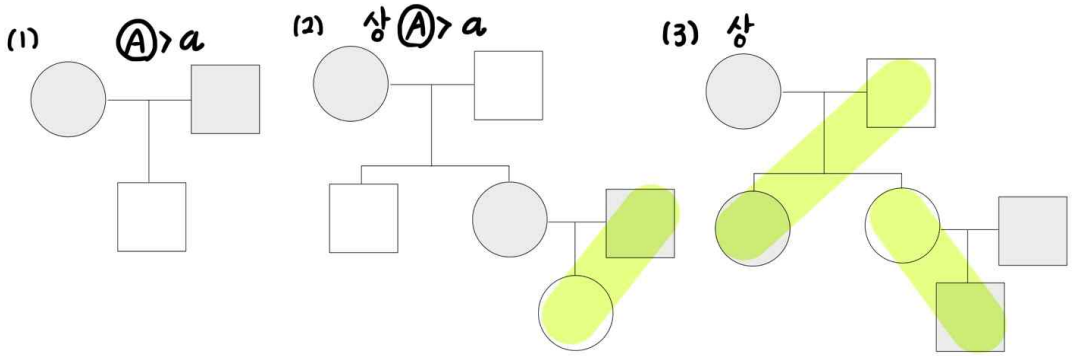
그림 정보를 해석한다는 것은, **우열의 법칙**과 **열녀우남 법칙**을 사용하는 것이다.

둘은 독립적인 논리가 아닌, **하나의 세트**로 인식하는 것이 더 중요하다. 왜냐하면, 열녀우남 법칙은 결국 우열 관계를 알아야 사용할 수 있는 논리이기에 항상 우열의 법칙이 선행되어야 비로소 사용 가능하기 때문이다. 그렇기에, **우열의 법칙을 통해 알아낸 우열 관계 정보가 있다면 그 즉시 열녀우남 법칙을 통하여 상염색체 존재 유무를 확인해야 한다**.

다만 우열의 법칙을 통해 알아낸 정보가 없어도 열녀우남 법칙을 사용할 수 있는 경우가 바로 예제 F1이다. **열녀우남 법칙을 두 번 연속으로 이용하여 상염색체임을 밝히는 경우**도 꽤나 존재하니, 이 경우 역시 인지를 하고 문제를 풀어내자.

F2) 다음은 유전 형질 (가)의 발현 여부를 나타낸 가계도이다. 유전형질 (가)는 대립 유전자 A와 a에 의해서 결정될 때, 우열 관계를 알아내라. 또한 상염색체 / 성염색체 유전자 중 어디에 위치하는지 알아내라. (단, 모르면 알아내지 않아도 된다.)





(1) 부모가 (가)를 발현하였는데, 자식이 발현하지 않았으니 Ⓐ>a이다.

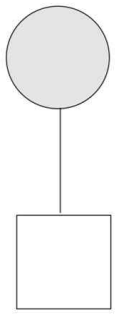
(2) Ⓐ>a인데, 열녀우남 법칙으로 인하여 상염색체 위에 존재함을 알 수 있다.

(3) 두 유전자 간의 우열 관계는 알 수 없으나, 열녀우남 법칙을 2번 사용하여 이 유전자는 상염색체 위에 존재함을 알 수 있다.

그러나 문제 조건에서 **특정 유전 형질이 "X 염색체 위에 존재"**한다는 조건을 미리 주는 경우가 존재한다. 이럴 때는, 열녀우남 법칙을 거꾸로 이용하여 그림 정보와 함께 대립 유전자 사이의 우열 관계를 역으로 추론할 수 있다. 이 법칙을 **열녀우남 법칙 Reverse**라고 하겠다.

★ (2)-2 열녀우남 법칙 Reverse ★

유전형질 (가)에 대한 대립 유전자 A와 a가 X 염색체 위에 존재한다는 조건을 문제에서 제시했다고 해보자.



만약 그와 같은 상황에서, 여자 환자의 1촌 남자가 정상이라는 그림 정보가 주어져있다면, 무엇을 알 수 있을까?

A>ⓐ(열성형질)일 때 위의 그림이 존재한다면, **상염색체 유전**이라는 결론이 나왔다.

이와 반대로, X 염색체 유전일 때 여자 환자의 1촌 남자가 정상이라면, 이는 "열성형질이 아님"을 의미한다.

만약 열성형질이라면, 여자의 유전자형은 aa가 되기에 1촌 남자는 반드시 유전자형이 aY로 나타난다. 즉, 남자도 병을 나타내야 하는데, 그렇지 않으니 모순이다.

즉, 유전형질 **(가)는 X 염색체 우성 형질**이라고 결론 내릴 수 있다.

지금부터는 **X 염색체 유전**일 때, **여자 환자의 1촌 남자가 정상이라면,** 바로 **"X 염색체 우성 유전"**이라고 결론 내릴 수 있어야 한다.

이번에는 반대 경우도 살펴보자. 유전형질 (가)가 X 염색체 유전형질이라고 문제에서 제시하고, 남자 환자의 1촌 여자가 정상이라는 그림 정보가 주어져 있다면, 무엇을 알 수 있을까?

Ⓐ>a(우성형질)일 때 위의 그림이 존재한다면, 상염색체 유전이라는 결론이 나왔다.

이와 반대로, X 염색체 유전일 때 남자 환자의 1촌 여자가 정상이라면, 이는 "우성 형질이 아님"을 의미한다.

만약 우성형질이라면, 남자의 유전자형은 AY가 되기에 1촌 여자는 반드시 유전자형이 A_로 나타난다. 즉, 여자도 병을 나타내야 하는데, 그렇지 않으니 모순이다.

즉, **유전형질 (가)는 X 염색체 열성형질**이라고 결론 내릴 수 있다.

지금부터는 **X 염색체 유전**일 때, **남자 환자의 1촌 여자가 정상이라면,** 바로 **"X 염색체 열성 유전"**이라고 결론 내릴 수 있어야 한다.

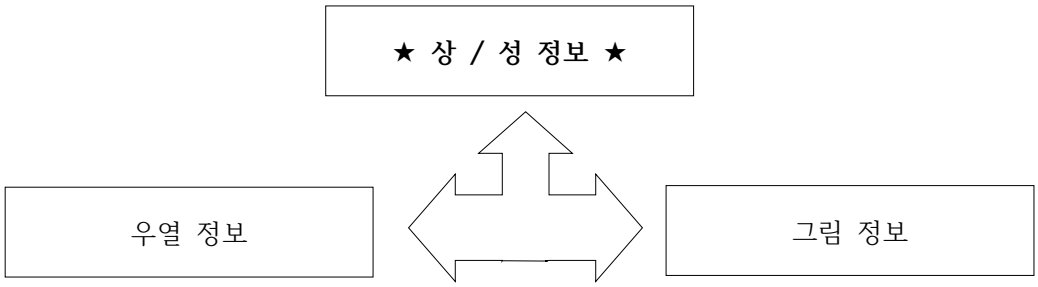
열녀우남 법칙은 기본적으로 우열 관계를 알 때 사용했지만, **열녀우남 법칙 Reverse**는 X 염색체 유전자에 존재한다는 전제 조건이 주어졌을 때 사용이 가능하다.

따라서 문제에서 **X 염색체 위에 존재하는 유전자라는 조건**이 주어지면, 곧바로 **열녀우남 법칙 Reverse**를 사용해야겠다는 생각과 함께 우열 관계를 정리하자.

두 법칙 사이의 관계를 정리하면 아래 그림과 같이 나타낼 수 있다.

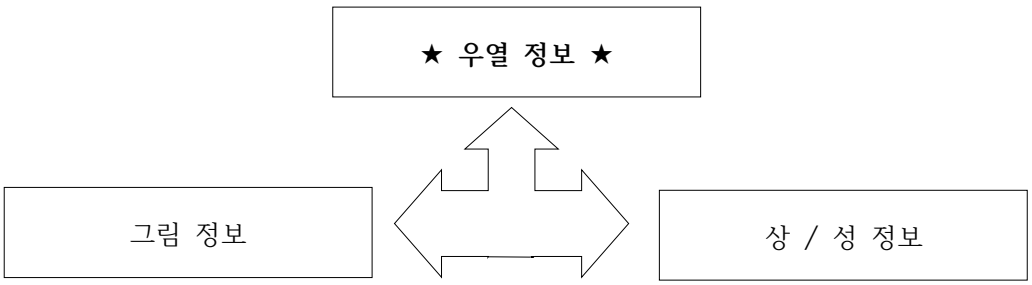
1. 열녀우남 법칙

★그림 정보와 우열 정보가 주어졌을 때, 상/성 정보를 알아내는 법칙★



2. 열녀우남 법칙 Reverse

★그림 정보와 상/성 정보가 주어졌을 때, 우열 정보를 알아내는 법칙★



<Summary>

(1) 열녀우남 법칙

열성형질일 때는 여자 환자를, **우성형질일 때는 남자 환자**를 관찰하자.

환자와 성별이 다른 1촌의 표현형이 정상이라면, **상염색체 유전**이다.

(2) 열녀우남 법칙 Reverse

X 염색체 위에 존재한다는 전제 조건을 확인하면 그림 정보를 살펴보자.

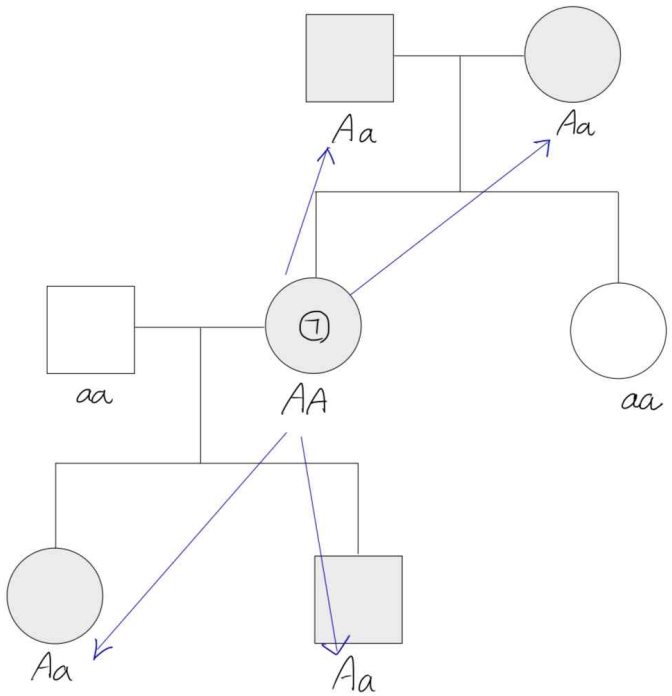
여자 환자의 1촌 남성이 정상이라면, 이는 **X 염색체 우성**을 의미한다.

남자 환자의 1촌 여성이 정상이라면, 이는 **X 염색체 열성**을 의미한다.

[가계도 - 알아야 하는 그림 정보]

다음 내용들은, **특정 조건**들이 **그림 정보에서 나타나는 형태**를 설명한 내용들로 그림 정보 해석 단계에서 이용하는 논리는 아니지만, 다른 단계에서 그림 정보를 이용하면서 알아야 하는 내용들이다. 또한 잘 사용하지는 않지만, 특수한 상황에서 유용한 논리도 일부 수록하였다.

★ (1) 우성 유전자 동형 접합 구성원의 존재 ★



그림의 구성원 ㉠과 같이 "**우성 유전자**"를 동형으로 가지는 구성원은 **1촌 관계의 모든 구성원**이 ㉠과 표현형이 같게 된다.

즉, 우성 동형 구성원이 존재한다면, 그 구성원 1촌의 표현형은 모두 해당 구성원과 같게 나타나야 한다. 그림상으로 봤을 때는, **1촌의 유전병 발현 여부가 모두 같아야 한다.**

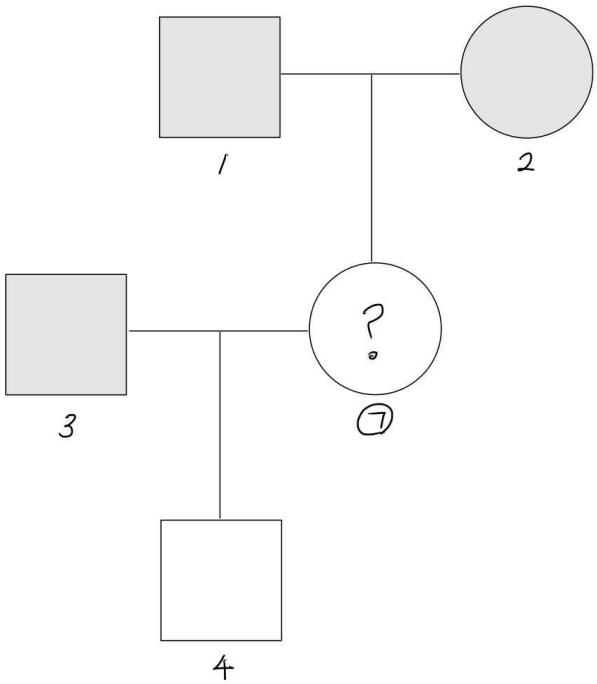
이 논리는 이후, DNA 상대량 표 해석의 태도와 더불어서 **가계도에서 가장 많은 모순점을 발견할 형태**로, 가계도 문제 풀이 태도의 주축이 된다. 그렇기에 위 그림 형태를 반드시 기억하자.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

(2) 3대 유전 - 우열 관계 판단

3대 유전은 잘 사용하지 않는 논리지만, 특수한 상황에 제시된다면 매우 유용하게 우열 관계를 찾을 수 있다.

F3) 유전형질 (가)는 대립 유전자 A와 a에 의해 결정이 되며 A는 a에 대해 완전 우성이다. 유전형질 (가)가 우성형질인지 열성형질인지 판단하시오.



직접적으로 우열 관계 알 수 없어 보이지만, 사실 우열 관계를 바로 찾을 수 있다.

만약 열성형질이라면, 구성원 1과 2와 3의 유전자형이 모두 aa가 되어, ㉠은 반드시 aa를 가진다. 따라서 구성원 4 역시 유전자형 aa를 가지는데 이는 표현형 정보와 모순이다.

그래서 **우성형질**이라고도 알 수 있지만, **3대를 한 번에 보는 방법**도 존재한다.

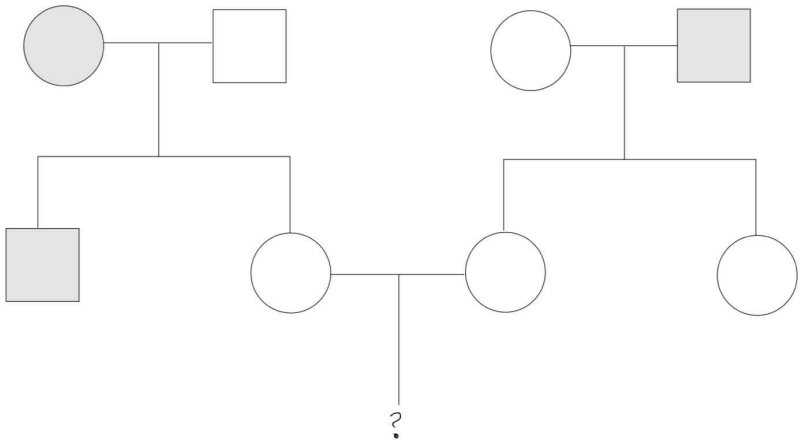
다른 관점으로 바라보면, **구성원 4의 부모**를 구성원 3과 (구성원 1+ 구성원 2)로 바라보는 것이다. 구성원 1, 2, 3 모두 유전병을 발현한다. 분명, ㉠은 구성원 1과 2로부터 염색체를 하나씩 받았을 것이다.

따라서 구성원 4는 유전병을 발현한 구성원 1, 2, 3으로부터 염색체를 받은 격이 되고, 세 사람은 모두 유전병이 발현하지만, 4는 유전병을 발현하지 않으니 **4의 정상 표현형이 열성**이라는 것을 판단할 수 있다. 따라서 유전형질 (가)는 **우성형질**이다.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

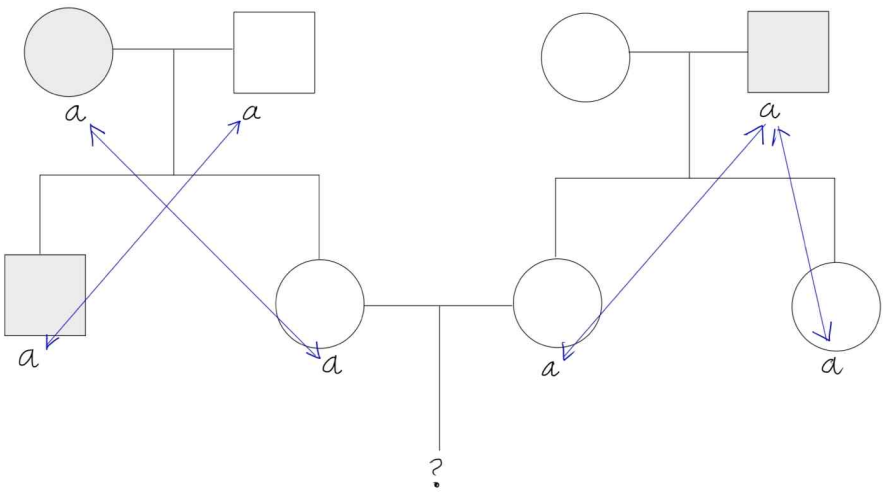
★ (3) 직계인데 다른 표현형을 가지면 소문자(또는 Y 염색체)를 공유한다. ★

아래는 **상염색체 유전자**에 의해서 결정되는 **유전형질 (가)**의 발현 유무를 나타낸 그림이다.



가족 구성원 중에서 직계(1촌 관계)인데 서로 다른 표현형을 지닌 구성원끼리는 서로 열성 유전자(소문자)를 공유한다.

우성 유전자(대문자)를 공유하면 직계의 표현형이 같아야 하는데, 그렇지 않다면 둘은 소문자를 공유할 수밖에 없다는 논리이다. 위의 그림에 적용해 보면 아래와 같이 나타낼 수 있다.



다만 조심해야 할 점은 만약 상염색체 유전자라는 조건이 없다면, **남자끼리는 서로 열성 유전자가 아닌 Y 염색체를 공유할 수 있다는 사실**이다. 남자끼리는 꼭 열성 유전자가 아니라 Y 염색체를 공유해도 열성 유전자를 공유하는 것과 같은 효과를 가질 수 있는데, **Y 염색체는 표현형을 결정하지 못한다는 점에서 열성 유전자와 차이가 없기 때문**이다.

결론적으로 **남자 1촌 관계**는 소문자를 확실하게 공유한다는 보장을 할 수 없다. 따라서 필자가 왼쪽 가계도에서 남자끼리 a를 공유한다고 표시한 것은 **유전자가 "상염색체" 위에 존재한다는 전제에서만 성립하는 표기**이다.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

[가계도 - 2-1. DNA 상대량 표 해석(표현형 정보 연결)]

특정 구성원의 체세포나 생식세포에 존재하는 대립 유전자의 DNA 상대량을 제시한 표를 통하여 우열 관계와 상/성 정보를 파악할 수 있다. **DNA 상대량 표의 숫자 0, 1, 2 각각의 의미와 함께 어떤 정보를 집중**해야 할지 알아보자. **DNA 상대량**은 반드시 **그림 정보에서 제시되는 표현형 정보**와 연결하여 추론해야 한다.

(1) DNA 상대량 표에서 1 해석

상염색체 유전 : 구성원의 유전자형이 Aa이기에 **우성 표현형**임을 의미한다.

성염색체 유전 : 표현형이 다른 두 구성원이 존재하면 **X 염색체 유전**임을 의미한다.

F4) 다음은 가족의 유전병 ㉠에 대한 자료이다. 가족 구성원의 대립 유전자 ㉮의 DNA 상대량은 같다.

→ 두 구성원의 표현형이 다르기에 우성 유전자의 DNA 상대량이 같을 수는 없겠다.

→ 따라서 **열성 유전자의 DNA 상대량이 같은데,** 둘의 열성 유전자의 DNA 상대량은 0과 2로 같을 수는 없으니, **1**로 같겠다.[1)]

→ 상염색체 유전이라면 둘의 유전자형이 모두 Aa가 되어 표현형이 같아야 하니 모순

→ 유전병 ㉠은 **성염색체 유전**이고 남자는 aY, 여자는 Aa이며 Ⓐ>a이다.

위 조건이 DNA 상대량 표로 주어지면 아래와 같이 제시된다.

구성원	남자	여자
대립 유전자 ㉮ DNA 상대량	1	1

앞으로는 남자와 여자의 DNA 상대량이 같은데, 표현형이 다르다면 아래와 같은 결론을 바로 내릴 수 있어야 한다.

1) 둘의 DNA 상대량이 0이나 2로 같다면 둘의 표현형이 같게 나와야 하는데, 그렇지 않으니 모순

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

<Conclusion>

표현형이 서로 다른 남자와 여자의 DNA 상대량이 동일하다면

ⅰ) X 염색체 유전

ⅱ) "열성 유전자(㉮)"의 DNA 상대량이 **"1"**로 동일

ⅲ) 여자의 표현형이 **우성 표현형**

F5) 다음은 가족의 유전병 (가)에 대한 자료이다. DNA 상대량 표가 다음과 같이 주어졌다.

구성원	남자	여자
㉠의 DNA 상대량	1	1

㉠이 A와 a중 무엇인지 구하고 해당 유전자가 상염색체 유전자인지 성염색체 유전자인지 판단하시오.

둘의 표현형이 다르기에 ㉠은 열성 유전자이다. 상염색체 유전자라면 둘의 유전자형은 모두 Aa가 되어 표현형이 같아야 하니 모순이다. 따라서 성염색체 유전이며 남자는 aY, 여자는 Aa이며 Ⓐ>a이다.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

[비분리 - 개괄 및 풀이 목표]

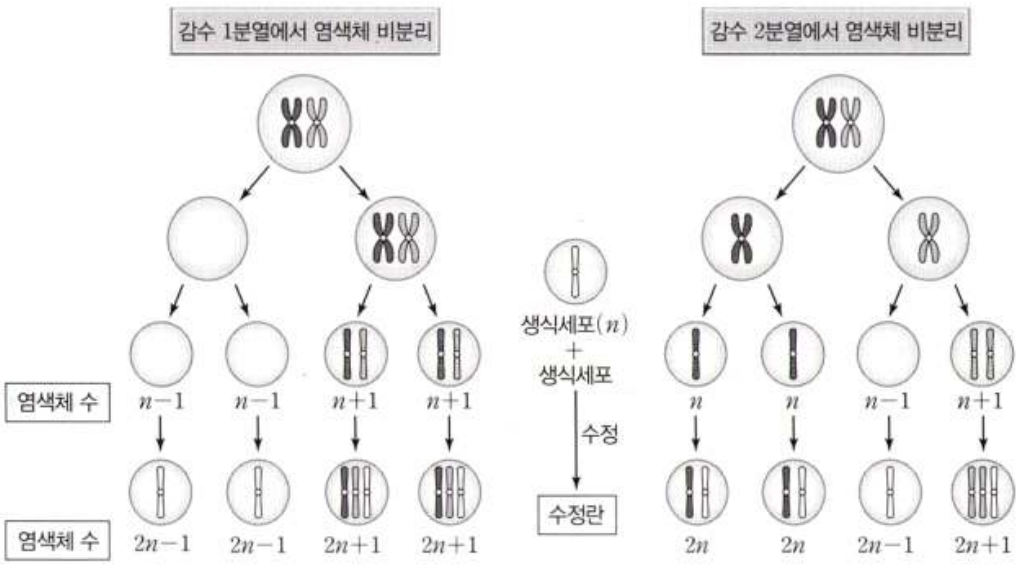
(1) 비분리가 "1회" 일어났다는 것의 의미

먼저 "**비분리가 1회 일어났다.**"라는 의미는 "**특정 번호의 염색체**"를 기준으로 한다. 여러 번호의 염색체에서 한꺼번에 비분리가 일어나는 것은 우리가 비분리 "1회"라고 표현하지 않는다.

보통 문제에서는 "**4번 염색체 비분리**"와 같이 **어떤 염색체에서 비분리가 일어났는지 명시**하지만, 그렇지 않은 경우라고 할지라도 비분리가 1회 일어났다고 하면 "**아, 특정 번호의 염색체에서 비분리가 일어났구나!**"라고 생각하면 된다. 오직, **하나의 염색체 번호에서 상동 염색체 또는 염색 분체가 분리되지 않는 현상을, 우리는 "비분리가 1회 일어났다."라고 표현**한다.

또한 비분리의 단위는 유전자가 아니라, **염색체**이다. 그렇기에 **한 번의 비분리를 통해서 연관된 여러 대립 유전자에 영향을 한 번에 줄 수 있다.** 예를 들어서 비분리는 1회 일어났는데, 대립 유전자 A의 DNA 상대량이 이상하고, 동시에 b의 DNA 상대량도 이상하다면, "아 대립 유전자 A와 b는 연관되어 있구나!"정도로 생각할 수 있겠다.

(2) 감수 1분열 비분리와 감수 2분열 비분리



염색체 비분리로 인한 염색체 수 이상이 나타나는 과정

감수 1분열에서 비분리가 일어나면, **상동 염색체**가 함께 딸세포로 이동하기에 감수 1분열 비분리로 태어난 자식은 **비분리가 일어난 부모의 상동 염색체를 모두** 받는다.

감수 2분열에서 비분리가 일어나면, **염색 분체**가 함께 딸세포로 이동하기에 감수 2분열 비분리로 태어난 자식은 **비분리가 일어난 부모의 상동 염색체 중 하나를 2개** 받는다.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

(2) 대립 유전자 set의 합이 0, 예를 들어서 A+a=0인 세포를 발견하더라도, 대립 유전자 A와 a가 성염색체 위에 존재하는 대립 유전자임을 확정할 수 없다.

대립 유전자 set의 합이 0이면, 일반적인 경우에서는 **성염색체 위에 존재하는 대립 유전자**로 확정했다. 하지만 비분리의 영향으로 -세포가 만들어지면, 충분히 상염색체 대립 유전자에서도 대립 유전자 set의 합 0을 관찰할 수 있다. 따라서 **함부로 대립 유전자 set 합이 0이라고 해서 성염색체에 존재하는 대립 유전자라고 확정 지을 수 없다.**

세포	A	a	B	b
Ⅱ	0	2	0	0
Ⅳ	0	1	0	0

따라서 **비분리가 존재하는 상황**에서는 표의 세포 Ⅲ과 Ⅳ가 가지고 있는 **대립 유전자 B와 b의 합 0을 보고, B와 b는 X 염색체 위에 존재하는 유전자라는 결론을 내려선 안 된다.** 충분히 그림과 같은 -세포에서 대립 유전자 set 합 0을 관찰할 수 있다.

(3) DNA 상대량 4 (대립 유전자 set의 합이 4인 경우도 포함)을 발견해도, 그 세포의 핵상을 2n(4)라고 단정할 수 없다.

원래 DNA 상대량 4 또는 대립 유전자 set의 합이 4인 경우, 2n(4)라고 확정할 수 있었다. 하지만 감수 1분열에서 비분리가 일어난다면, **충분히 n(2)의 세포에서도 DNA 상대량 4를 관찰할 수 있다.** 그렇기에, DNA 상대량 4가 보인다고 해서 함부로 2n(4)라고 단정할 수 없다.

세포	A	a	B	b
Ⅰ	2	0	4	0

세포 Ⅰ은 DNA 상대량 4가 보이지만, 2n(4)가 아닌 **n(2) + 세포**임을 위의 그림에서 확인할 수 있다.

<Summary>

● 비분리에서 사용이 가능한 논리 ●

(1) 2n(2)와 2n(4)는 비분리의 영향을 받지 않는다.
(2) 홀수는 2n(2)와 n(1)의 세포에서만 관찰할 수 있다.
(3) 하위 세포의 DNA 상대량을 합치면, 상위 세포의 DNA 상대량이 된다.
(4) 상위 단계에서의 비분리는 하위 단계의 세포에도 영향을 미친다.
(5) 다른 세포에 존재하는 대립 유전자를 가지지 않는 세포는 n(2) or n(1)이다.

○ 비분리에서 사용이 불가능한 논리 ○

(1) DNA 상대량 1과 2가 보이면 2n(2)이다. → 함부로 2n(2)임을 확정할 수 없다.
(2) 대립 유전자 DNA 상대량 set의 합이 0이면, 성염색체 대립 유전자이다. → 함부로 성염색체 대립 유전자임을 확정할 수 없다.
(3) DNA 상대량 4가 보이면 2n(4)이다. → 함부로 2n(4)라고 확정할 수 없다.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

★ [비분리 - 성염색체 유전자 개괄] ★

24학년도 수능, 25학년도 수능 문항 중 가장 어려운 문항 **[24.11.17]**과 **[25.11.17]** 모두 성염색체 비분리가 일어났을 때의 상황들을 출제했다. 성염색체 비분리가 가장 어려운 이유는, 다른 비분리 파트에 비해서 **"표현형 or 상대량" 정보를 많이 빼앗는다.** 즉, 정상 구성원이 아무리 많이 주어져도 정보를 다 빼앗기에 정상 구성원 해석조차도 어렵다. 그렇기에 일반적인 비분리 문제 풀이 순서인 "**정상 구성원 해석 → 돌연변이 해석**"에 따라 추론하기에는 많은 어려움이 존재한다.

대신, **성염색체 관련 문항**은 **"성별 정보"**를 추가로 제시하고, 성별 정보를 통해 부모가 자식에게 어떤 염색체를 주었는지 "염색체의 흐름"에 대한 정보를 파악할 수 있다. 주요하게 주어진 정보가 염색체 흐름이기에, 다른 단원보다도 **성염색체 파트는 성별 논리를 이용하여 "부모-자식" 간의 염색체 흐름 관계를 파악하는 것이 중요**하다.

따라서 이번 파트에서는 **성염색체 논리**를 먼저 정리하고, 이후 우리가 **성염색체 비분리 문항에서 가져야 할 태도**에 대해서 언급하고자 한다. 지금까지 **비분리 단원과는 별개의 단원**이라고 생각하고, **성염색체에 대해서 새로 공부한다고 생각**하고 학습하길 바란다.

★ [비분리 - 성염색체 논리] ★

남자는 성염색체 XY를, 여자는 성염색체 XX를 가진다. 이 점을 이용하여, 부모와 자녀 사이의 관계를 아들, 딸 별로 각각 살펴보자.

(1) 부모와 아들의 성염색체 관계

두 부모 사이에서 아들이 태어날 때 성염색체 흐름을 살펴보자.

아버지는 아들에게 반드시 Y 염색체를 준다.
어머니는 아들에게 자신이 가진 X 염색체 중 하나를 준다.

여기서 X 염색체의 흐름에 조금 더 집중해 보자.

엄마의 성염색체 구성을 X_1X_2라고 하면, 아들이 가질 수 있는 성염색체 구성은 오직 X_1Y 또는 X_2Y 이다. 달리 표현하면, X 염색체 유전형질에 대한 표현형이 다른 두 아들의 X 염색체를 합치면, 어머니의 X 염색체 구성이다.

→ **X_1Y와 X_2Y로 X 염색체 구성이 차이 나는 아들의 X 염색체를 합치면, 어머니의 성염색체 X_1X_2를 만들 수 있다.**

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

G10) 유전형질 (가)와 (나)를 결정하는 X 염색체 위에 존재하며, (가)는 대립 유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립 유전자 B와 b에 의해 결정된다. 각각의 대립 유전자는 대문자가 소문자에 대해서 우성이다. ㉠이 O와 X 중 무엇인지 알아내고, 어머니의 유전형질 (나)에 대한 유전자형을 구하라.

	(가) 발현 여부	(나) 발현 여부
어머니	㉠	O
아들 1	X	O
아들 2	X	X

→ 두 아들의 (나) 표현형을 보니 서로 다르다. 따라서 **두 아들은 어머니로부터 서로 다른 X 염색체를 받았다.**

→ **아들 둘 염색체를 합친 것이 곧 어머니의 전체 염색체**라고 할 수 있다. 아들 둘은 어머니로부터 서로 다른 X 염색체를 어머니에게 받았는데, 서로 다른 X 염색체가 모두 (가)에 대해서 정상 유전자를 가지고 있으니, **어머니는 (가)를 발현하지 않는다. (어머니는 정상 유전자 동형 접합)** 따라서 **㉠은 X**이다.

→ 아들 1은 (나)에 대해서 병 유전자를, 아들 2는 (나)에 대해서 정상 유전자를 가진다. (둘의 표현형이 다르니, **우표결 태도**에 따라 둘은 각각 B와 b 중 하나씩 가질 것이다.)

→ 어머니는 아들의 X 염색체를 합친 결과이니, **어머니의 (나)에 대한 유전자형은 Bb**가 된다. 어머니는 (나)를 발현하니, **(나)는 우성 형질**이다. (Ⓑ>b)

핵심적인 논리는 **<u>성염색체 유전형질 표현형이 다른 두 아들의 X 염색체를 합치면 어머니의 전체 X 염색체가 된다는 사실</u>**이다. 서로 다른 염색체를 가지는 아들 둘을 합치면 어머니의 표현형과 유전자형 그리고 대립 유전자 사이의 우열 관계를 추론할 수 있다.

(2) 부모와 딸 사이의 성염색체 관계

두 부모 사이에서 딸이 태어날 때 성염색체 흐름을 살펴보자.

아버지는 딸에게 반드시 X 염색체를 준다.
어머니는 딸에게 자신이 가진 X 염색체 중 하나를 준다.

여기서 X 염색체의 흐름에 조금 더 집중해 보자.

엄마의 염색체 구성을 X_1X_2, 아빠의 염색체 구성을 X_3Y 라고 하면, 딸이 가질 수 있는 성염색체 구성은 오직 X_1X_3 또는 X_2X_3이다.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

→ **아버지는 자신의 딸들에게 동일한 X 염색체를 전달한다.**

(2) - 심화 버전 : <u>두 딸의 표현형이 다르다는 조건</u>

<u>딸들의 X 염색체 유전형질에 대한 표현형이 다르면</u>, 논리를 심화시킬 수 있다.

엄마의 염색체 구성을 X_1X_2, 아빠의 염색체 구성을 X_3Y 라고 하자. 둘 사이에서 아래와 같은 딸이 2명 태어났다.

딸 1 : X_1X_3
딸 2 : X_2X_3

그런데 딸 1과 딸 2의 X 염색체 유전형질에 대한 표현형이 다르다면, **아버지에게 공통으로 받은 X_3 염색체에는 열성 유전자가 들어있음을 알 수 있다**.

또한 딸 1과 딸 2의 X 염색체 유전형질에 대한 표현형이 다르기 위해서는, 한 명은 어머니로부터 대문자를, 나머지 한 명은 소문자를 받아야 한다.

즉 **어머니의 유전자형은 이형접합이며 우성 표현형**을 나타낸다.

G11) 유전형질 (가)와 (나)는 X 염색체 위에 존재하며, (가)는 대립 유전자 A와 a에 의해, (나)는 대립 유전자 B와 b에 의해 결정된다. 각각의 대립 유전자는 대문자가 소문자에 대해서 우성이다. ㉠과 ㉡이 O와 X 중 무엇인지 알아내시오.

	(가) 발현 여부	(나) 발현 여부
아버지	X	O
어머니	㉠	㉡
딸 1	O	X
딸 2	X	X

→ 아버지는 딸들에게 **공통 X 염색체를 주었는데 (가)의 표현형이 서로 다르다.** 따라서 아버지는 딸에게 열성 대립 유전자 a를 주었다.

→ 아버지가 a를 가지는데 (가)를 발현하지 않으니 **(가)는 우성 형질**이다. **(Ⓐ>a)**

→ 아버지는 딸들에게 동일한 X 유전자를 주었는데 (가)의 표현형이 다르기에 **어머니로부터 서로 다른 X 염색체(서로 다른 X 염색체 유전자)를 받았으며**, **어머니는 (가)에 대해 이형접합**이다. 따라서 **어머니의 (가)에 대한 유전자형은 Aa**이며, **(가)를 발현하니 ㉠은 O이다.**

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

	(가) 발현 여부	(나) 발현 여부
아버지	X	O
어머니	O	㉡
딸 1	O	X
딸 2	X	X

→ 아버지는 딸에게 동일한 X 염색체를 주는데 아버지와 딸의 (나) 표현형이 다르다. **(1촌 관계 표현형 다르면 열성 공유 or 열녀우남 Reverse)**

→ 따라서 **아버지는 딸에게 열성 유전자 b**를 주었다. 따라서 아버지의 (가)와 (나)에 대한 유전자형은 ab Y이다. **아버지는 (나)를 발현했으니, B>ⓑ**이다.

→ 유전형질 (가)로부터 딸들은 어머니에게 서로 다른 X 염색체를 받는다는 사실을 알아냈다. 그런데 딸이 모두 (나)를 발현하지 않는다. 즉, 딸들의 X 염색체에는 모두 대립 유전자 B가 존재한다.

→ 따라서 어머니의 X 염색체들에는 모두 우성 대립 유전자 B가 존재한다. 정리하면, **어머니의 (가)와 (나)에 대한 유전자형은 AB/aB**이며, ㉡은 X이다.

X 염색체 유전형질들을 연관시킨 문항들에서는 각 형질의 표현형에 대한 정보를 자주 제시한다. X 염색체 관련 문항들을 수월하게 풀어내기 위해서, X 염색체 논리들을 자유자재로 사용할 수 있어야 한다.

<Summary>

여자는 성염색체가 XX이기에 아들이 태어날 때 반드시 X 염색체를 물려준다. 즉, 표현형이 다른 두 아들의 염색체를 합치면 어머니의 전체 X 염색체가 된다.

남자는 성염색체가 XY이기에, 아버지는 아들이 태어나면 Y 염색체를, 딸이 태어나면 X 염색체를 물려준다. 즉, 아버지의 딸들은 모두 공통적인 X 염색체를 가지고 있다.

만약 두 딸의 표현형이 다르다면,

(1) 아버지의 X 염색체에는 열성 대립 유전자가 존재
(2) 어머니는 X 염색체 유전형질에 대해 이형접합을 가지고 우성 표현형

★ [비분리 - 성염색체 비분리 : 표현형 정보 심화 태도] ★

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

[결실 - 평가원 출제 point]

하지만 평가원에서는 위처럼 결실이 일어난 위치에 대해서 한 번도 물어본 적이 없다. **평가원이 출제한 내용은 "세포 분열 과정에서 결실이 일어난 단계"가 아니라, "결실로 사라진 유전자가 무엇인지" 알아내는 내용이 전부**였다. (사실 그래서 위에서 K1~K3 예제를 통해서 추론한 "세포 분열 단계"와 관련한 결실 내용은 모두 잊어도 좋다.)

결실이 일어난 단계를 물어본 적이 없다는 것은, 결실에 대한 문항을 출제할 때 세포 분열 과정을 고려할 필요가 아직 없다는 것이다. 따라서 앞으로 결실 관련 문항에서 고민해야할 점은 **"결실로 인해서 어떤 대립유전자가 없어졌는지?"**에만 집중하면 된다.

예를 들어서 아버지가 HR/hr, 어머니가 Hr/hr인데, 철수가 태어났고 철수가 가지는 체세포의 DNA 상대량이 아래와 같다고 하자.

대립유전자	H	h	R	r
철수의 DNA 상대량	2	0	1	0

철수는 아버지에게 HR 염색체를, 어머니에게 Hr 염색체를 받았을 것이다. 그런데 철수에게는 대립유전자 r이 존재하지 않는다. 따라서 어머니의 Hr 염색체에서 r이 결실되었음을 알 수 있다. 그렇게 어머니는 철수에게 H만을, 아버지는 HR을 전달하여 철수가 태어난 것이라고 해석할 수 있다.

이처럼 실제 평가원 문항에서는 결실이 일어난 단계와 무관하게 **"어떤 대립유전자가 결실로 사라졌는지만 파악하면 되는 문항"**들이 전부이다.

[구조 이상 돌연변이 - 결실과 비분리]

다만, 결실을 단독으로 출제한 적은 없고, **"비분리와 결실"을 항상 함께 출제**하였다. 따라서 비분리와 결실이 어떤 차이점이 있는지 반드시 인지해야 문항을 풀어낼 수 있다. 위의 철수를 다시 한 번 살펴보자.

대립유전자	H	h	R	r
철수의 DNA 상대량	2	0	1	0

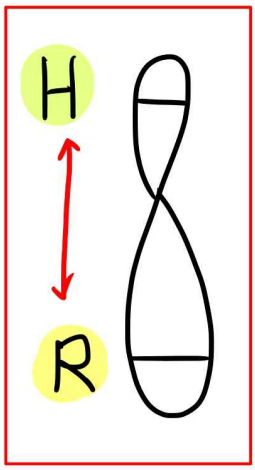
아버지 HR/hr 염색체 조합과 어머니의 Hr/hr 조합을 가지고 철수가 태어났었다. 결실이 아

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

닌 비분리를 이용하여 위의 DNA 상대량 조합을 만들어낼 수 있는가?

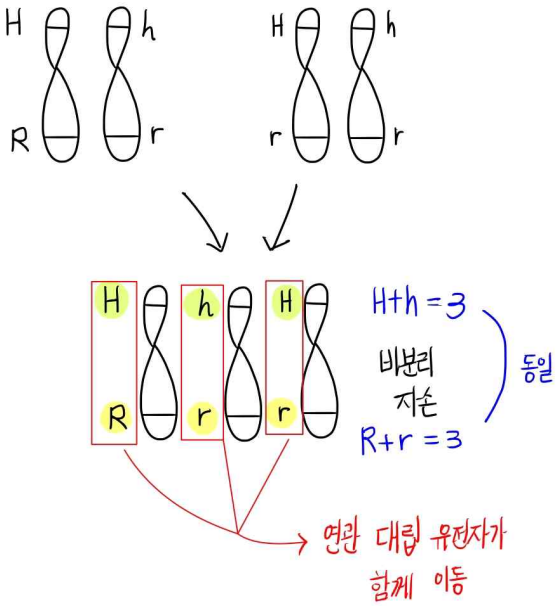
대립유전자	H	h	R	r
철수의 DNA 상대량	2	0	1	0

대립유전자 set 합의 관점으로 살펴보자. H와 h의 합은 2이지만, R와 r의 합은 1이다.



비분리 현상의 가장 큰 특징은 **"부모의 염색체가 보존"**된다는 사실이었다. 염색체가 더 이동하든 덜 이동하든 무관하게 염색체 자체의 상태는 보존이 되었기에 연관 상태 역시 보존되었다. 아버지의 H가 자식에게 이동하면, 연관된 R도 함께 이동하는 것이 그 예시가 되겠다.

따라서 만약 비분리가 일어났더라도 **"연관된 대립유전자들이 항상 함께 이동"**하기에 **연관된 대립유전자 각각의 대립유전자 set의 합은 동일할** 수밖에 없다.



즉, 비분리가 일어나더라도 H+h의 합과 R+r의 합이 동일해야 한다는 사실에는 변함이 없다.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

[구조 이상 돌연변이 - 표현형과 중복]

표현형을 통해서 중복을 추론하게 하는 방법은 결실과 마찬가지로, 구성원의 표현형에 변화가 존재하면 된다. 그런데 중복으로 표현형이 변화할 수 있을까?

중복은 "이미 존재하는 대립유전자"를 복제하는 현상이기에 DNA 상대량이 늘어날 뿐, 새로운 대립유전자를 만들어내지 않는다.

결실은 기존에 있던 것을 없앨 수 있었으나, 중복은 없던 것을 만들어내는 것이 아닌 "있던 것을 더 복제하는 현상"이다.

(굳이 비유하자면 결실은 "유(有)→무(無)"로의 DNA 상대량 변화지만, 중복은 "유(有)→유(有)"로의 변화이기에 표현형의 변화가 존재하지 않는 것이다.)

따라서 중복을 통해 표현형의 변화는 존재할 수 없기에 **반드시 중복 관련 문항은 DNA 상대량 관련 정보를 제공해야만 문항을 풀어낼 수 있다**.

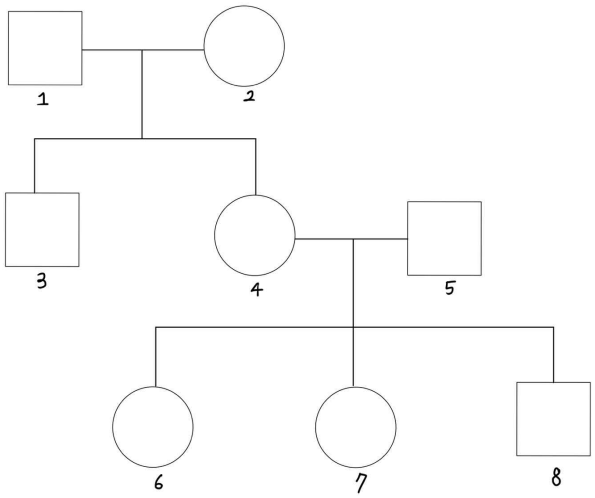
하지만 예외가 존재한다. 바로 **"다인자 유전"**이다. **다인자 유전의 대문자가 중복된다면, 표현형의 변화가 발생할 수 있다.** 따라서 중복에서 표현형 정보를 이용하여 문항을 출제한다면, 다인자 유전으로 출제할 것이다.

예제 K10를 통해 중복으로 다인자 유전이 출제된다면, 어떤 느낌일지 한 번 살펴보자.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.

K10) 다음은 어느 가족의 유전형질 ㉠에 대한 자료이다.

• ㉠을 결정하는 데 관여하는 3개의 유전자는 모두 7번 염색체에 있으며, 3개의 유전자는 각각 대립유전자 A와 a, B와 b, D와 d를 갖는다.
• ㉠의 표현형은 대문자로 표시되는 대립유전자의 수에 의해서만 결정되며, 이 대립유전자 수가 다르면 표현형이 다르다.
• 다음은 1~8의 가계도와 구성원 1, 3, 4, 5, 8이 가지는 A+b+D의 합을 나타낸 표이다.



구성원	A+b+D
1	5
3	4
4	ⓐ
5	2
8	ⓐ+1

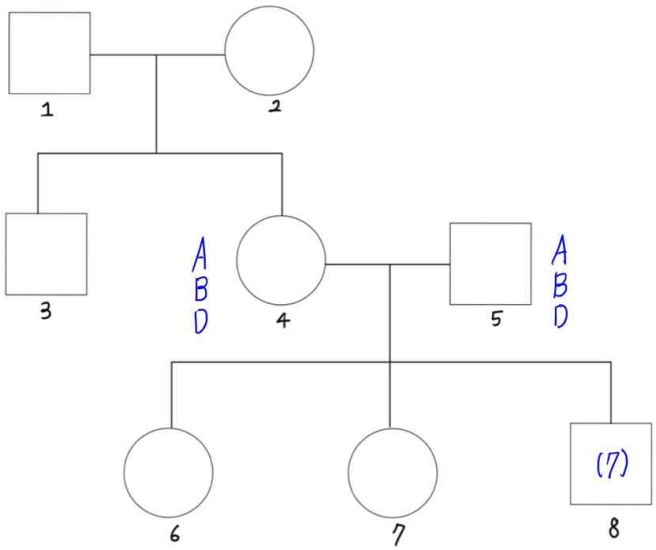
• 구성원 1~8의 ㉠ 표현형은 모두 다르다.
• 4와 5의 중 한 명의 생식세포 P 형성 과정에서 중복이 1회 일어나 대립유전자 ㉮가 복제되었다. 대립유전자 ㉮는 A, a, B, b, D, d 중 하나이다. 이 생식세포가 정상 생식세포와 수정되어 구성원 8이 태어났다. 구성원 8을 제외한 나머지 구성원의 핵형은 정상이다.

- 다음 중 옳은 것만을 <보기>에서 골라라.[2)]

ㄱ. 1의 유전자형은 AABbDD이다.
ㄴ. ㉮는 B이다.
ㄷ. 구성원 4와 5 사이에서 자식이 태어날 때, 자식이 가질 수 있는 최대 표현형 가짓수는 4가지이다.

2) 답 : ㄱ, ㄴ, ㄷ

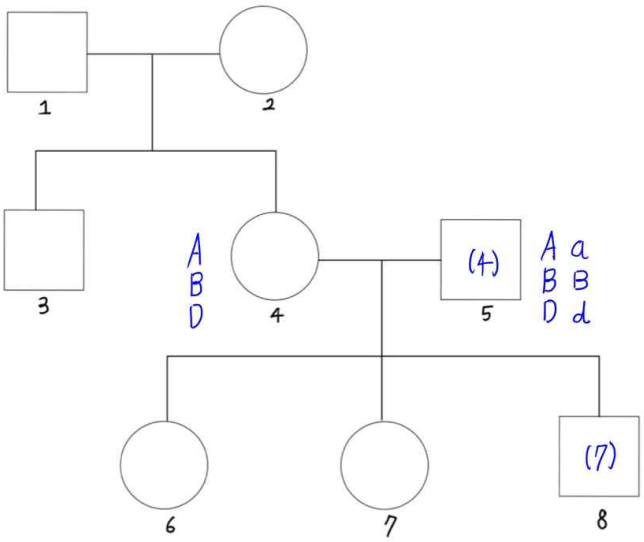
해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.



구성원	A+b+D
1	5
3	4
4	ⓐ
5	2
8	ⓐ+1

구성원 1~8까지의 다인자 표현형이 모두 다르다. 원래라면, 다인자 표현형은 (0)~(6)까지 태어날 수 있으나, 8명의 표현형이 모두 다르기 위해서는 중복으로 태어난 구성원 8의 표현형은 (7)이어야 함을 알 수 있다. 따라서 **구성원 8의 표현형은 (7)**이다.

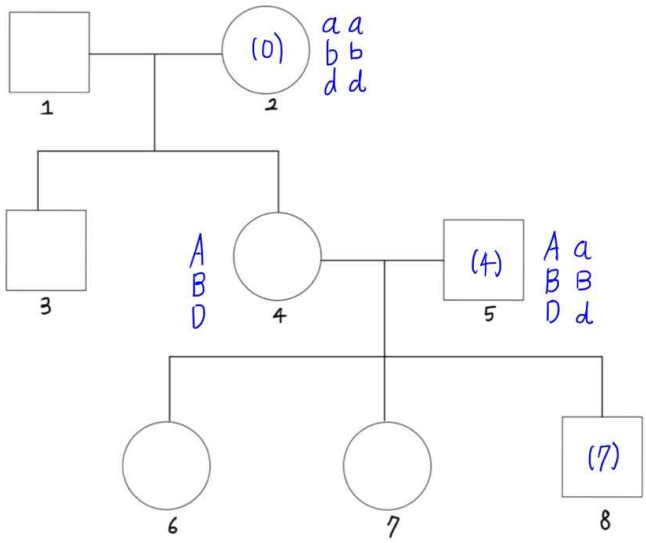
구성원 8의 표현형이 (7)이라는 것은, 원래 구성원 4와 5는 ABD 염색체를 하나씩 가지고 있었음을 의미한다.



구성원	A+b+D
1	5
3	4
4	ⓐ
5	2
8	ⓐ+1

구성원 5의 A+b+D=2인데, 이미 A와 D를 합쳐서 2개 가지고 있다. 따라서 **구성원 5의 유전자형은 ABD/aBd이며, 표현형은 (4)**이다. **(극단값 찾기)**

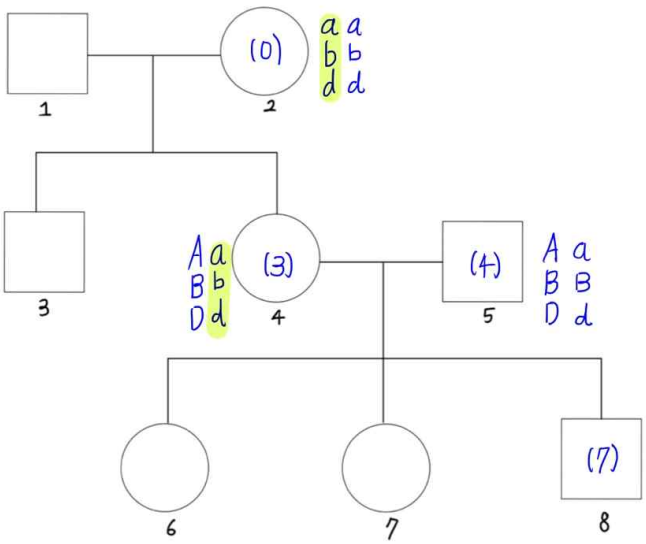
해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.



구성원	A+b+D
1	5
3	4
4	ⓐ
5	2
8	ⓐ+1

표현형 (0)인 구성원을 찾아보자. **(다인자 표현형이 다르다는 조건을 통해서 극단값 찾기)** 구성원 5의 염색체 구성을 보니, 구성원 5의 1촌은 표현형이 (0)이 될 수 없다. 또한 구성원 1의 A+b+D=5라는 점, 구성원 3의 A+b+D=4라는 점을 통해 구성원 1과 3은 abd/abd가 될 수 없음을 알 수 있다.

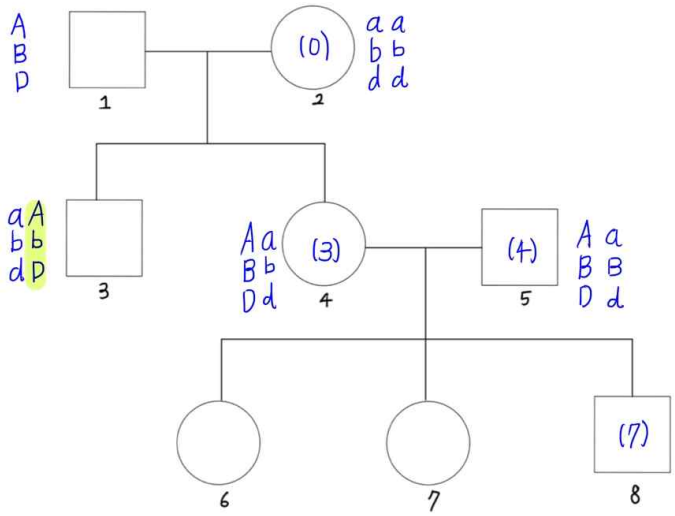
따라서 **구성원 2의 다인자 표현형이 (0)**이며, **유전자형은 abd/abd**이다.



구성원	A+b+D
1	5
3	4
4	ⓐ 3
5	2
8	ⓐ+1 4

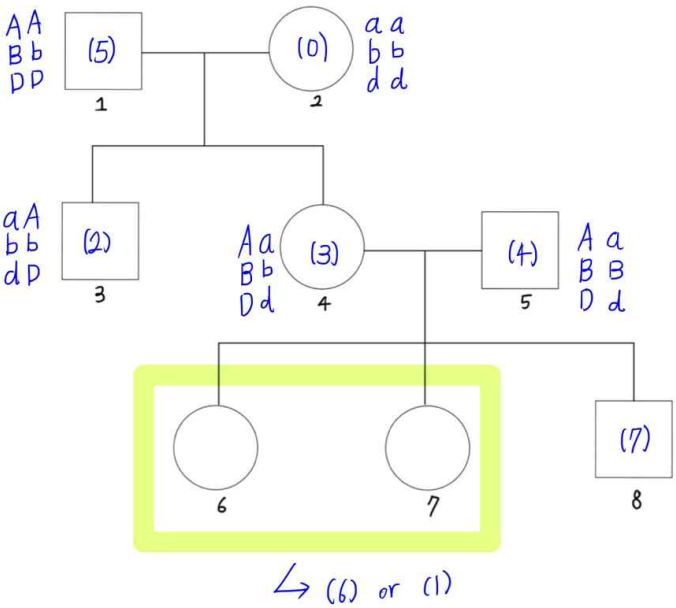
그렇다면 구성원 2가 가지고 있는 abd 염색체는 구성원 4에게 전달되었을 것이다. 따라서 구성원 4의 유전자형은 ABD/abd이며 표현형은 (3)이다. 따라서 ⓐ=3이다.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.



구성원	A+b+D
1	5
3	4
4	ⓐ3
5	2
8	ⓐ+1 4

구성원 3 역시 구성원 2로부터 abd 염색체를 받았을 것이다. A+b+D=4를 만족하기 위해서 다른 염색체에 AbD가 모두 존재해야 한다. 따라서 **구성원 3의 유전자형은 AbD/abd**로 표현형이 (2)임을 알 수 있다.

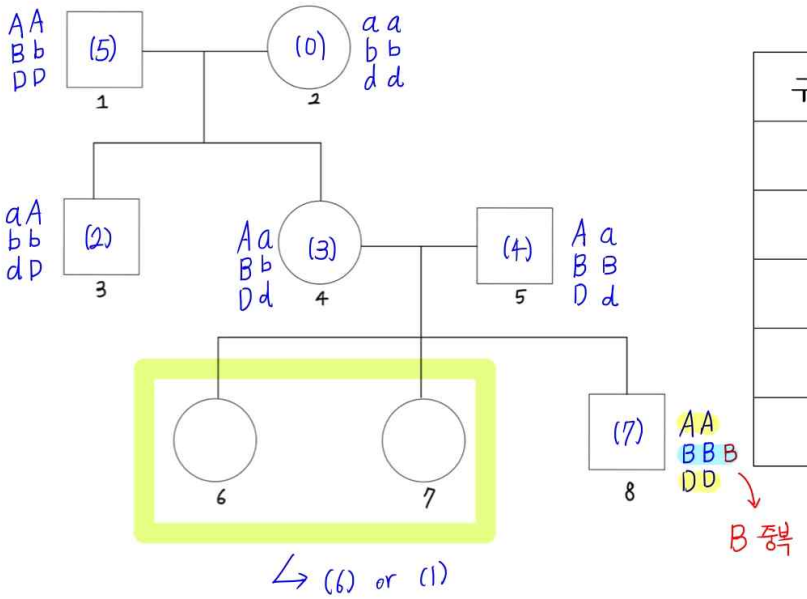


구성원	A+b+D
1	5
3	4
4	ⓐ3
5	2
8	ⓐ+1 4

그러면 자동으로 **구성원 1의 유전자형은 구성원 3의 AbD 염색체와 구성원 4의 ABD 염색체를 합친 ABD/AbD일 것이며, 표현형이 (4)**이다.

구성원 6과 7 중에서는 **(1)인 사람(aBd/abd)**과 **(6)인 사람(ABD/ABD)**가 섞여 있을 것이다. 정확하게 누군지는 알 수 없으니 넘어가자.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.



구성원	A+b+D
1	5
3	4
4	ⓐ 3
5	2
8	ⓐ+1 4

마지막으로 중복으로 태어난 구성원 8을 해석하자. 구성원 8은 원래 ABD/ABD 염색체를 받은 상태에서 대문자가 하나 중복되어 태어난 자손이다. 그런데, 구성원 8의 A+b+D=4를 만족하기 위해서는 대립유전자 A와 D는 중복될 수 없다. 따라서 **대립유전자 B가 중복**되었음을 알 수 있다.

ㄱ. 1의 유전자형은 AABbDD이다. ㄴ. ㉮는 B이다. ㄷ. 구성원 4와 5 사이에서 자식이 태어날 때, 자식이 가질 수 있는 최대 표현형 가짓수는 △3×△2로 4가지이다.

해당 문서의 무단 배포를 엄격히 금합니다.