

비분리

비분리는 여러가지 테마에서 연계되어 출제될 수 있다.

1. DNA상대량 비분리
2. 각 형질의 발현에 대해 O/X를 주는 비분리
3. 가계도 비분리

이렇게 크게 3가지의 유형이 있다고 생각할 수 있다. 비분리가 연계될 경우 문제가 어려워질 수 있지만 비분리가 되었다고 모든 문제가 어려운 것은 아니다. 특히 가계도는 비분리가 연계되지 않았을 때 더 어렵다. 또한 **기본적으로 비분리를 잘하기 위해서는 연계된 테마에 대해 제대로 이해하고 있어야만 한다.**

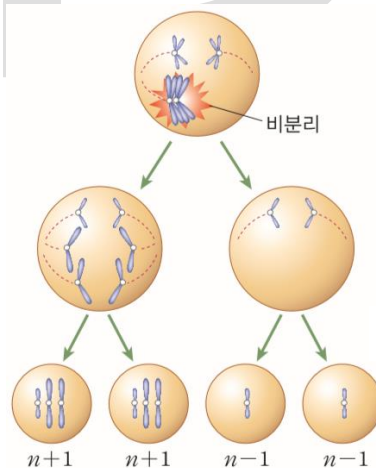
Theme 5. DNA상대량과 연계되는 내용이 있으니 같이 보면 좋을 것.

Part 1. DNA상대량 비분리

기본적인 것은 비분리가 없는 DNA상대량 문제와 동일하다. 다만 비분리가 일어난 부분에 대해서만 비분리에 대한 고려를 해주면 된다.

우리가 확실히 알고 있는 정보를 찾아 그를 중심으로 헤쳐 나간다.

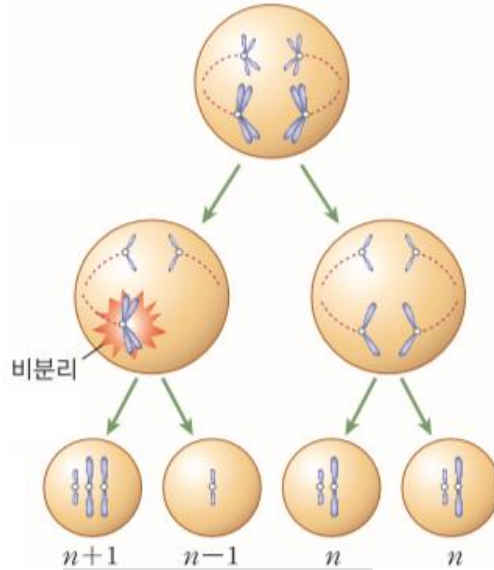
제1 감수 분열 비분리



상동 염색체가 비분리 된다.

3, 4단계의 핵상이 $n+1$, $n-1$ 로 두 종류

제2 감수분열 비분리



염색 분체가 비분리 된다.
 3단계의 핵상은 n 으로 동일
 4단계의 핵상이 $n-1, n, n+1$ 로 세 종류

제1 감수분열 비분리와 제2 감수분열 비분리의 특징 차이를 이용한 문제가 자주 출제된다. 어떤 차이점이 있는지 알아보자. 설명의 편의를 위해 제1 감수분열 비분리는 1-비분리, 제2 감수분열 비분리는 2-비분리로 서술하겠다.

1. 1-비분리는 상동염색체가 비분리되고 2-비분리는 염색분체가 비분리된다.

- 가장 근본적인 차이점이다. 1-비분리는 본래 2단계 -> 3단계로 진행하며 서로 다른 딸세포로 나누어져야 하는 상동 염색체가 분리되지 못하는 비분리이다. 이로 인해 각 대립유전자가 분리되지 못하며 한 쪽에는 대립유전자가 몰려들어가고 나머지 한 쪽에는 대립유전자가 전혀 들어가지 못하게 된다. Aa라는 대립 유전자를 가지는 세포로 예를 들어보자.

	A	a
상대량	1	1

1단계

	A	a
상대량	2	2

2단계

	A	a
상대량	2	2

3단계

	A	a
상대량	0	0

3단계

	A	a
상대량	1	1

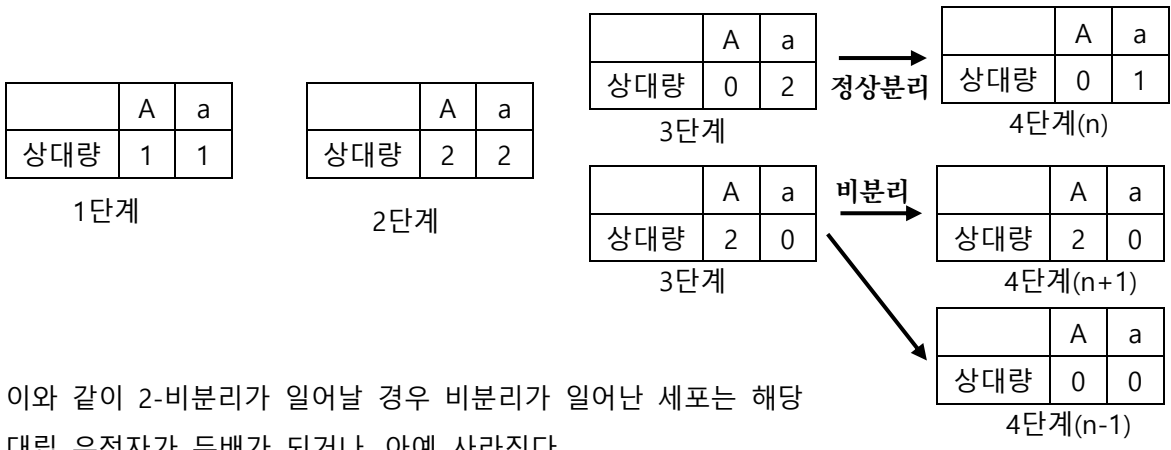
4단계

	A	a
상대량	0	0

4단계

이와 같이 일반적인 분리에서는 나타날 수 없는 DNA상대량이 3단계와 4단계에서 나타날 수 있다.

2-비분리는 본래 3 → 4단계로 진행하며 서로 다른 딸세포로 나누어져야 하는 하나의 염색체를 구성했던 염색 분체가 분리되지 못하는 비분리이다. 이로 인해 어떤 생식세포에는 대립유전자가 두배가 될 수 있고, 어떤 생식세포에는 대립유전자가 들어가지 못하게 된다.



이와 같이 2-비분리가 일어날 경우 비분리가 일어난 세포는 해당 대립 유전자가 두배가 되거나, 아예 사라진다.

- 1-비분리 → 3단계에서 보일 수 없는 DNA상대량이 발견된다면 1-비분리로 의심
- 2-비분리 → 3단계의 핵상이 전부 정상이고, 4단계의 DNA상대량이 정상량보다 두배이거나 있어야 하는 대립 유전자가 사라졌다면 2-비분리로 의심

2. 새끼세포 핵상의 차이점

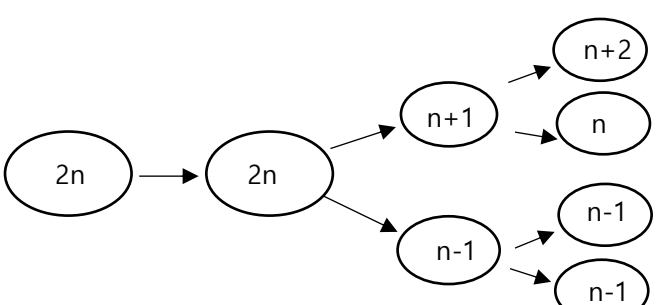
- 1-비분리의 경우 3단계의 핵상부터 정상 핵상과 다르고, 2-비분리의 경우 4단계(생식세포)부터 정상 핵상과 달라진다.
- 1-비분리의 경우 3-4단계 세포의 핵상이 결코 n이 나타날 수 없다. 비분리가 한번 일어났고 핵상이 n인 세포가 보인다면 이는 2-비분리라는 단서이다.

여기 까지가 기본적으로 비분리에 대해 알고 있어야 하는 개념이다.
 이를 활용하여 생각해보자.
 만약 1-비분리와 2-비분리가 동시에 일어난다면?

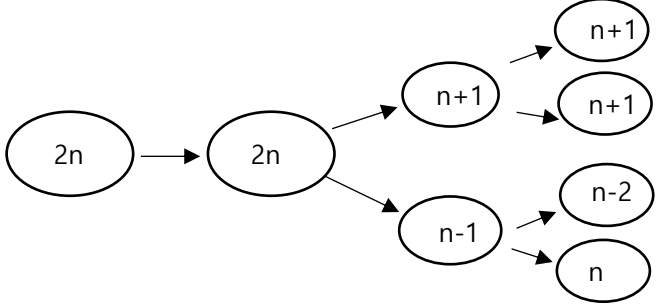
1-비분리 & 2-비분리

비분리가 두 번 일어나게 될 경우 나타날 수 있는 경우가 두 가지가 존재한다.

1. 2-비분리가 n+1에서 일어나는 경우



2. 2-비분리가 n-1에서 일어나는 경우



이 두 가지 경우를 여러 번 그려보고 암기해두는 것을 추천한다. 이러한 소재를 활용한 문제가 많이 나오고 있고, 이 핵상 상태를 머리에 담아두고 있다면 문제를 빠르게 해결할 수 있기 때문이다.

n+1에서 2-비분리가 일어났을 경우 n-1, n, n+1, n+2로 총 4가지 종류의 핵상이 나타난다. 여기서 중요하게 보아야 할 것은 n+2와 n의 핵상이다. 이 두 핵상은 모두 4단계의 세포에서 관찰되며, 이 세포의 모세포의 핵상이 n+1임을 특정할 수 있기 때문이다.

n-1에서 2-비분리가 일어났을 경우도 마찬가지로 4가지 종류의 핵상이 나타나며, n-2와 n의 핵상을 중요하게 보아야 한다.

풀어내는 방법

항상 유의해야만 한다.

DNA상대량에서 배웠던 것들을 조금 꼬집어 내보자.

A	a
0	0

비분리가 일어나지 않았다면 이와 같은 DNA상대량은 해당 대립유전자가 성염색체 위에 있을 경우만 가능할 것이다. 하지만 비분리가 일어났다고 가정하게 된다면 1-비분리에서 상동염색체를 뺀 3단계의 세포인지, 4단계의 세포인지 2-비분리에서 염색 분체를 뺀 4단계의 세포인지 비분리가 일어나지 않은 성염색체 위에 있는 대립유전자인지 도저히 알 수가 없다. 심지어는 Aa가 X염색체 위에 있는 유전자라면 Y염색체가 2-비분리된 $n+1$ 인 상태의 생식세포일 수도 있다.

A	a	B	b
2	?	?	1

마찬가지로 비분리가 일어나지 않았다면 1단계의 핵상이 $2n$ 세포로 자명하다. 하지만 비분리가 일어났을 경우 4단계의 세포에서도 이러한 DNA상대량이 관찰되는 것이 가능하다. 고로 이러한 DNA상대량을 확신을 가지고 정확히 판단하기는 어렵다.

일반적인 비분리가 없는 DNA상대량 문제를 풀 때 사용했던 단서들을 비분리가 일어난 문제에는 사용하지 못하는 경우가 많다. 그렇다면 문제를 어떻게 풀어야 할까?

1. 우리가 확실하게 알고 있는 정보에 기대자.

- 비분리가 일어나 생성된 세포라 하더라도 결국 그 세포가 가지고 있는 대립유전자는 어디서 유래했을까? 당연히 그 세포의 모세포-핵상이 $2n$ 인 세포에서 유래했을 것이다. 예를 들면 아래와 같은 표가 주어졌을 때

A	a
1	1

이 세포의 핵상이 무엇인지는 알 수 없다. $2n$ 일 수도 있고 비분리가 일어난 4단계 세포일 수도 있다. 하지만 우리가 확실하게 알 수 있는 것은 이 세포의 1단계에서는 무조건 Aa를 이형접합으로 가지고 있어야만 한다는 것이다. 이렇게 당연한 정보부터 접근해야 한다.

2. 비분리가 일어나든 일어나지 않든 2단계와 3단계의 DNA상대량은 무조건 0또는 짝수여야만 한다.

이는 비분리가 일어나지 않았을 경우에도, 비분리가 일어났을 경우에도 유용하게 쓰이는 정보이기 때문에 항상 머릿속에 DNA상대량 문제를 풀 때 가지고 있어야 하는 도구라 생각해야 한다!!!

3. 아무리 해도 안보이면 귀류법 - 가정해보기

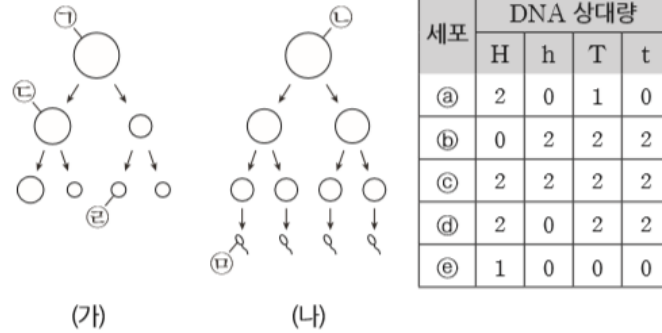
귀류법은 둘 중 어떤 하나일지 모르는 경우 유용하게 사용할 수 있다. 예를 들어

A	a	B	b
2	?	?	1

이 경우, 1단계의 세포일 수도, 4단계의 세포일 수도 있다. 단순히 둘 중 하나로 가정을 한 후 모순이 생길 때까지 문제를 풀어나가는 것이다.

문제에 한번 적용해보자.

그림 (가)와 (나)는 각각 핵형이 정상인 어떤 여자와 남자의 생식 세포 형성 과정을, 표는 세포 ㉠~㉥가 갖는 대립 유전자 H, h, T, t의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. H는 h의 대립 유전자이며, T는 t의 대립 유전자이다. (가)와 (나)에서 염색체 비분리가 각각 1회씩 일어났으며, (가)에서는 21번 염색체에서, (나)에서는 성염색체에서 일어났다. ㉠~㉥는 각각 ㉠~㉥ 중 하나이다.



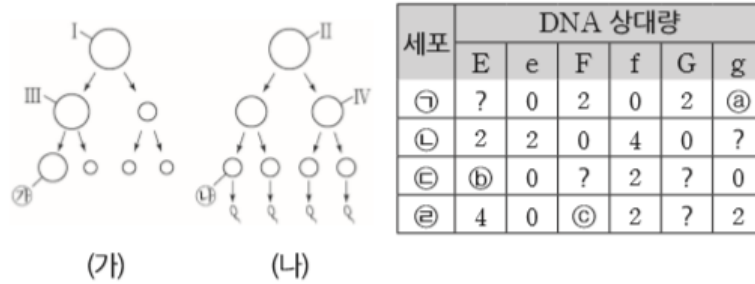
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 제시된 염색체 비분리 이외의 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, ㉠~㉥는 중기의 세포이다.)

16 - 09 평가원 모의고사 17번 문항이다.

1. 세포 ㉠, ㉡, ㉢, ㉣를 보고 2n일 수 있다 생각한다.
2. ㉢를 보고 이 세포는 어쨌든 2n일 수밖에 없다. 이 세포의 모세포라고 할 만한 세포가 없기 때문에.
3. ㉠, ㉡, ㉤에서는 DNA상대량이 홀수가 보여선 안된다. 2-3단계이기 때문에.
4. ㉠은 자동으로 4단계 세포이고 핵상은 n+1이다.
5. ㉡, ㉣ 둘 중 하나가 2n이고 하나가 2-비분리된 세포이다.
6. 5의 2-비분리된 세포는 ㉤일 것이고, (가)와 (나)에서 비분리가 한번 일어났기 때문에 자동으로 ㉠은 ㉤이 된다.
7. ㉤도 자동으로 ㉤이 되고, DNA상대량을 살펴보면 ㉡가 ㉤이 되어야 함을 알 수 있다.
8. ㉠-㉢, ㉡-㉣이고, Hh가 성염색체에 있음도 알 수 있다.

알고 있는 정보가 얼마 없지만, 자명한 정보들을 하나하나 더해가다 보면 정답에 도달한다.

그림 (가)와 (나)는 핵상이 $2n$ 인 어떤 동물에서 암컷과 수컷의 생식 세포 형성 과정을, 표는 세포 ㉠~㉡이 갖는 유전자 E, e, F, f, G, g의 DNA 상대량을 나타낸 것이다. E와 e, F와 f, G와 g는 각각 대립 유전자이다. (가)와 (나)의 감수 1분열에서 성염색체 비분리가 각각 1회 일어났다. ㉠~㉡은 I ~ IV를 순서 없이 나타낸 것이다.



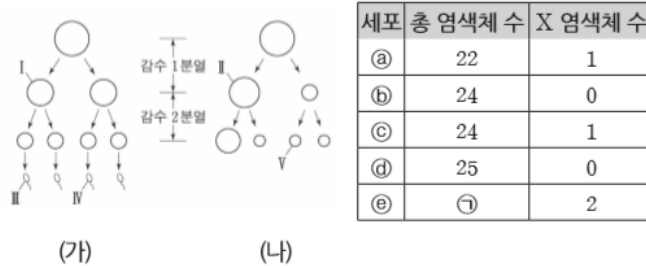
이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 제시된 염색체 비분리 이외의 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, I ~ IV는 중기의 세포이다. E, e, F, f, G, g 각각의 1개당 DNA 상대량은 같다.)

19 - 06 평가원 모의고사 15번 문항이다.

1. ㉠과 ㉡을 보고 서로 다른 개체임을 확인한다. Ee의 DNA상대량이 다르기 때문에.
2. ㉠은 ㉡의 딸세포일 수 없다. $2n$ 인 상태에서 ㉡의 모세포($2n$)은 F/f에 대한 대립 유전자를 ff 동형접합으로 가져야 하는데 ㉠은 F를 가지고 있기 때문이다.
3. 그렇기 때문에 [㉠-㉡], [㉡-㉢]로 짝이 나뉜다는 것을 파악할 수 있다.
4. ㉡이 f가 4인데 ㉢에서 f가 2이므로 ㉡이 핵상이 $2n$ 이고 ㉢이 핵상이 n 임을 알 수 있다.
5. ㉢이 f가 있는데 ㉠에는 f가 없으므로 ㉢이 핵상이 $2n$ 이고 ㉠이 핵상이 n 임을 알 수 있다.
6. ㉡에 G가 없으므로 ㉢에도 G가 있을 수 없다. ㉢의 Gg에 대한 DNA상대량은 [0/0]임을 알 수 있다.
7. (가)와 (나) 모두 성염색체 비분리가 일어났기 때문에 ㉢의 Gg가 [0/0]일 수 있는 경우는 Gg가 성염색체 위에 있을 경우밖에 없음을 파악한다.
8. ㉠이 G를 가지고 있으므로 그 모세포인 ㉡도 G를 가지고 있어야 한다. 고로 ㉢의 Gg에 대한 DNA상대량은 [2/2]임을 알 수 있다. Gg가 성염색체 위에 있으므로 ㉢-㉠은 XX(여성)의 세포임을 알 수 있다.
9. 자동으로 ㉡-㉢은 XY(남성)의 세포임을 알 수 있고, 그에 따라 DNA상대량을 살펴보면 Ee, Ff는 상염색체 위에 있어야 함을 알 수 있다.
10. (가)와 (나) 둘 다 성염색체 2-비분리가 일어났으므로 ㉠에 G가 하나 있다(성염색체가 하나 있다) = 나머지 성염색체도 같이 있다 → g도 있을 것이다! 그렇기 때문에 ㉡=2임을 알 수 있다.
11. Ee, Ff는 상염색체위에 있는 유전자이므로 비분리를 고려하지 않고 생각해도 된다. 이에 따라 판단하면 ㉢=2, ㉣=2가 나온다.

이 문항에서 우리가 확실하게 알고 있던 정보는 ㉡과 ㉢이 서로 다른 개체여야만 한다는 조건이었다!

그림 (가)와 (나)는 각각 어떤 남자와 여자의 생식 세포 형성 과정을, 표는 세포 ㉠~㉥의 총 염색체 수와 X 염색체 수를 나타낸 것이다. (가)의 감수 1분열에서는 7번 염색체에서 비분리가 1회, 감수 2분열에서는 1개의 성염색체에서 비분리가 1회 일어났다. (나)의 감수 1분열에서는 21번 염색체에서 비분리가 1회, 감수 2분열에서는 1개의 성염색체에서 비분리가 1회 일어났다. ㉠~㉥은 I~V를 순서 없이 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
(단, 제시된 염색체 비분리 이외의 돌연변이는 고려하지 않으며, I 과 II는 중기의 세포이다.)

18 - 06 평가원 모의고사 13번 문항이다.

- (가)와 (나) 모두 1-비분리와 2-비분리가 같이 일어났다는 것을 파악한다.
- ㉠=n-1 ㉡=n+1 ㉢=n+1 ㉣=n+2 ㉤=? 임을 총 염색체 수를 보고 적어준다.
- n+2인 세포에 주목한다. n+2임에도 X염색체가 0개 있다는 것에 대해 생각해본다.
- 감수 2분열에 성염색체 비분리가 일어나면서 X염색체가 없을 수 있는 경우가 Y염색체를 받는 경우밖에 없다는 것을 파악한다.
- ㉠이 남자의 생식세포임을 알 수 있다. 또한, 이 세포를 형성한 3단계 세포는 n+1상태이면서 Y염색체를 가진 세포일 것이다.
- ㉡를 보면 n+1이면서 X염색체가 없는 것을 확인할 수 있다. 고로 ㉡가 ㉣를 생성한 3단계의 세포임을 알 수 있다. ㉡=I, ㉣=II
- 역추적하면 IV는 X염색체가 하나 있어야 하고 상염색체 하나를 감수 1분열에서 I에게 뺀 상황이어야만 한다. 고로 n-1이면서 X염색체가 하나 있는 세포 = ㉠이 IV임을 알 수 있다.
- 여자의 II세포는 아직 성염색체 비분리가 일어나지 않은 세포이므로 X염색체가 무조건 하나만 존재해야 한다. 그렇기 때문에 ㉢ = II 임을 알 수 있고, II가 n+1임을 알 수 있다.
- II가 n+1이므로 V를 만든 3단계의 세포는 상염색체를 뺀 n-1이라는 핵상을 가질 것이다. ㉠㉡㉢㉣를 모두 특정하였으므로 ㉤가 V일 것이다. V가 X염색체를 2개 가지는 것을 보아 2-비분리에서 염색분체를 받아온 세포임을 알 수 있다. 고로 ㉤ = V이고 핵상은 n일 것이다. ㉤은 23임을 알 수 있다.

문제를 잘 풀기 위해서는 기본적으로 비분리가 없는 DNA상대량에 대한 이해는 물론이고 문제풀이까지 제대로 할 수 있어야 한다. 우리가 알고 있는 정보를 통해 차근차근 문제에 접근해 나가야 한다.

Part 2. 각 형질의 발현에 O/X를 주는 유형의 비분리

이 유형은 어떻게 보면 가계도를 주지 않은 가계도 문제라 볼 수 있다.

유전자의 존재 유무에 대해 O/X를 주는 유형도 있고, 형질의 발현에 O/X를 주는 유형의 문제도 있는데 결국 이러한 문제에 접근하는 원리는 세 가지 정도로 제한되어 있다.

- (1) 유전의 기본 원리 - 부모가 가지고 있는 대립 유전자는 자손이 가지고 있을 수 있고, 자손이 가지고 있는 대립 유전자는 부모가 꼭 가지고 있어야만 한다.
- (2) 확실하게 비분리가 일어나지 않은 자손을 특정해 정보를 얻어낸다.
- (3) 비분리가 일어나 태어난 자손이 가진 DNA도 결국 부모에게 받은 DNA임을 이용해 정보를 얻어낸다.
→ 난이도 있는 문제에 사용되는 방법이다. 이는 위의 두 방법을 모두 사용한 후 마지막으로 사용한다.

문제에서 확인해보자.

다음은 어떤 가족의 유전 형질 ㉠, ㉡, ㉢에 대한 자료이다.

18 - 09 평가원 모의고사 15번 문항이다.

○ ㉠은 대립 유전자 A, B, C에 의해, ㉡은 대립 유전자 D, E, F에 의해, ㉢은 대립 유전자 G와 g에 의해 결정된다.
 ○ ㉠~㉢을 결정하는 유전자는 모두 21번 염색체에 있다.
 ○ 감수 분열 시 부모 중 한 사람에게서만 염색체 비분리가 1회 일어나 ㉠ 염색체 수가 비정상적인 생식 세포가 형성되었다. ㉠가 정상 생식 세포와 수정되어 아이가 태어났다. 이 아이는 자녀 2와 자녀 3 중 하나이며, 다운 증후군을 나타낸다. 이 아이를 제외한 나머지 구성원의 핵형은 모두 정상이다.
 ○ 표는 이 가족 구성원에서 ㉠~㉢을 결정하는 대립 유전자의 유무를 나타낸 것이다.

구성원	대립 유전자							
	A	B	C	D	E	F	G	g
부	○	×	○	○	×	○	○	○
모	○	○	×	×	○	○	×	○
자녀 1	×	○	○	○	×	○	○	○
자녀 2	○	○	×	×	○	○	×	○
자녀 3	○	×	○	○	○	×	○	○

(○: 있음, ×: 없음)

1. ㉠-㉡-㉢이 모두 한 염색체에 있고 상염색체임을 파악한다.
2. 자녀 2, 3중 한 명이 비분리가 되었음을 파악하고, '자녀 1이 정상이다'를 인지한다. (2) 사용
3. 자녀 1을 이용해 정보를 얻어낸다. 자녀 1에게 있는 ㉠에 대한 유전자가 B는 엄마에게서, C는 아빠에게서 왔을 것이다. ㉡에 대한 유전자는 D는 아빠에게서, F는 엄마에게서 왔을 것이다. ㉢에 대한 유전자는 엄마가 g밖에 없으므로 엄마에게 g를 받고 아빠에게 G를 받았을 것이다.
4. 총합해 연관상태를 생각해 보면 아버지에게는 C-D-G가 연관된 21번 염색체를, 어머니에게는 B-F-g가 연관된 염색체를 받았을 것이다.
5. 이를 통해 아버지가 C-D-G / A-F-g가 연관된 21번 염색체를 가진다는 것과 어머니가 B-F-g / A-E-g가 연관된 21번 염색체를 가진다는 것을 알 수 있다.

6. 마지막으로 자녀 2와 자녀 3중 정상적인 생식세포가 수정되어 나타날 수 없는 대립유전자를 가지고 있는 사람이 누구인지 찾아준다.

7. 자녀 2를 확인하면, 아버지가 g를 줬을 것이므로 A-F-g를 아버지에게 받았고, 나머지 B-E-g를 어머니에게 받았어야 하는 데 이러한 연관 상태를 가진 염색체가 없기 때문에 자녀 2가 비분리가 일어나 태어난 자손임을 확인할 수 있다. 어머니의 감수 1분열에서 비분리가 일어난 자손일 것이다.

이 문제에서 가장 중요하게 작용했던 것은 자녀 1이 정상임을 파악하고 그를 이용해 부모의 연관을 찾는 것.

다음은 형질의 발현에 대해 O/X를 주는 유형의 문제이다.

다음은 영희네 가족의 유전 형질 ①, ②와 적록 색맹에 대한 자료이다.

○ ①은 대립 유전자 A와 A*에 의해, ②는 대립 유전자 B와 B*에 의해 결정되며, 각 대립 유전자 사이의 우열 관계는 분명하다.

○ 그림은 영희네 가족 구성원에서 체세포 1개당 A*와 B*의 DNA 상대량을, 표는 ①, ②, 적록 색맹의 발현 여부를 나타낸 것이다.

구성원	형질 ①	형질 ②	적록 색맹
아버지	○	×	×
어머니	×	○	○
오빠	○	○	?
영희	○	×	?
남동생	○	×	?

(○: 발현됨, ×: 발현되지 않음)

○ 감수 분열 시 염색체 비분리가 1회 일어나 형성된 정자와 정상 난자가 수정되어 영희의 남동생이 태어났다. 남동생의 염색체 수는 47개이다.

17 수능 11번 문항이다.

1. 가족 중 누가 비분리가 일어나 태어난 아이인지 파악한다. [오빠/영희 - 정상], [남동생 - 비분리]
2. 비분리가 일어나지 않은 가족을 보고 유전의 기본 원리를 파악해 분석해준다.
3. 어머니가 B*B*인데 오빠와 영희의 ②에 대한 형질이 다르므로 ②는 성염색체 유전이다.
4. 영희가 AA*인데 병에 걸렸으므로 ①은 우성형질이다. 또한 ②도 이형접합인데 병에 안 걸렸으므로 ②은 열성형질이다.
5. 아버지가 가진 A*이 오빠에게 갔으므로 ①은 상염색체 유전 (성이라면 Y를 줄 것이다.)
6. [A* > A 우성/상], [B > B* 열성/성]임을 파악했다.
7. 남동생이 남자임에도 불구하고 B*을 하나 가지면서 병에 안 걸린다 - 성염색체 비분리로 인해 B를 같이 받았다. 남동생은 BB*Y로 클라인펠터 증후군일 것이다.

이 문항에서 중요했던 것은 일단 기본적인 유전의 원리를 통해 각 형질의 우/열과 성/상, 대립유전자에 대한 매칭을 할 수 있어야 비분리에 대해서도 파악할 자격이 주어졌다는 것이다.

다음은 어떤 가족의 유전 형질 ㉠~㉢에 대한 자료이다.

○ ㉠은 대립 유전자 H와 H*에 의해, ㉡은 대립 유전자 R과 R*에 의해, ㉢은 대립 유전자 T와 T*에 의해 결정된다. H는 H*에 대해, R는 R*에 대해, T는 T*에 대해 각각 완전 우성이다.

○ ㉠~㉢을 결정하는 유전자는 모두 X 염색체에 있다.

○ 감수 분열 시 부모 중 한 사람에게서만 염색체 비분리가 1회 일어나 ㉢ 염색체 수가 비정상적인 생식 세포가 형성되었다. ㉢가 정상 생식 세포와 수정되어 아이가 태어났다. 이 아이는 자녀 3과 자녀 4 중 하나이며, 클라인펠터 증후군을 나타낸다. 이 아이를 제외한 나머지 구성원의 핵형은 모두 정상이다.

○ 표는 구성원의 성별과 ㉠~㉢의 발현 여부를 나타낸 것이다.

구성원	성별	㉠	㉡	㉢
부	남	○	?	?
모	여	?	×	?
자녀 1	남	×	○	○
자녀 2	여	×	×	×
자녀 3	남	×	×	○
자녀 4	남	○	×	○

(○: 발현됨, ×: 발현되지 않음)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 제시된 염색체 비분리 이외의 돌연변이와 교차는 고려하지 않는다.) **3점**

18 수능 19번 문항이다.

1. ㉠-㉢이 모두 X염색체 위에 있다는 사실을 파악한다.
2. 자녀 3, 자녀 4 중 하나가 비분리가 일어나 태어난 아이이다. 자녀 1, 자녀 2는 정상적으로 태어난 아이임을 파악한다.
3. 이후, 정상적으로 태어난 아이들을 이용해 유전의 기본원리를 통해 분석해준다.
4. 아빠가 ㉠에 걸렸는데 딸이 안 걸렸으므로 ㉠은 열성일 것이다. [H>H* 열성/성]
5. 자녀 1(남자)가 병에 걸렸는데 엄마가 병에 안 걸렸으므로 ㉡도 열성일 것이다. [R>R* 열성/성]
6. ㉢에 대해서는 정상적으로 태어난 아이들만 가지고는 우/열을 판단할 수 없다.
7. 자녀 3, 자녀 4 둘 중 하나가 비분리가 일어난 아이이고 하나는 정상이다. 하지만 둘 다 ㉢에 대해 병을 걸렸다.
8. 자녀 3, 자녀 4 중 정상이 있을 텐데 이 정상인 아이도 ㉢에 대해 병에 걸렸다.
9. 자녀 1과 비교했을 때 자녀 3, 자녀 4 중 정상인 아이가 자녀 1과 다른 X염색체를 어머니에게 받았다는 것을 알 수 있다.
10. 엄마의 X염색체 두 개중 하나는 자녀 1에게, 나머지 하나는 자녀 3과 자녀 4중 정상인 아이에게 갔을 것이다. 그리고 자녀 1과 자녀 3과 자녀 4중 정상인 아이가 둘 다 ㉢에 대해 병에 걸렸음을 통해 엄마는 병 유전자를 동형접합으로 가지고 있음을 추론할 수 있다.
11. 엄마가 병 유전자를 딸에게 주었음에도 불구하고 딸이 정상이므로 [T>T* 열성/성]임을 판단할 수 있다.

12. 아버지는 ㉠에 대한 병 유전자, ㉡에 대한 정상 유전자를 가지고 있을 것이다. $H^*-?-T$
13. 자녀 1을 보아 엄마는 $H-R^*-T^*$ 이 연관되어 있는 X염색체를 가지고 있을 것이다.
14. 자녀 3과 자녀 4가 공통적으로 ㉢에 대해 정상, ㉡에 대해 병을 가지고 있으므로 비분리가 일어나지 않은 아이가 가지는 X염색체는 $?-R-T^*$ 을 가지고 있을 것이다.
15. 엄마는 $[H-R^*-T^*], [?-R-T^*]$ 과 같은 연관 상태를 가진 X염색체를 가지고 있을 것이다.
16. 자녀 3과 자녀 4를 보았을 때, 둘 다 ㉡에 대해 병에 걸렸으므로 비분리가 일어나 태어난 아이는 절대 아버지에게 X염색체를 받지 못했을 것이다. 이 아이가 클라인펠터 증후군이라 문제에서 알려주고 있기 때문에 아버지에게는 Y염색체를 하나 받았을 것이고, 어머니에게 X염색체를 두개 받았을 것이다.
17. 자녀 3과 자녀 4는 X염색체를 전부 어머니에게 받았을 것이다.
18. 자녀 4가 ㉠에 대해 병에 걸렸으므로 엄마의 X염색체인 $[?-R-T^*]$ 의 ?에 들어가야 할 유전자는 병 유전자는 H^* 일 것이다.
19. 엄마의 X염색체가 $[H-R^*-T^*], [H^*-R-T^*]$ 임을 확정 지었다.
20. 자녀 2를 보면 여자이므로 아버지에게 $[H^*-?-T]$ 의 연관 상태를 가진 X염색체를 받았을 것이다. 자녀 2가 ㉠에 대해 정상이므로 어머니에게는 $[H-R^*-T^*]$ 을 받아야만 한다. 또한 자녀 2가 ㉢에 대해 정상이므로 아버지가 ㉢에 대해 정상 유전자를 가지고 있어야만 한다. 어머니가 R^* (병-열성 유전자)를 물려주었기 때문에, 고로 아버지의 $[H^*-?-T]$ 라는 염색체의 ?에는 R 이 들어가야만 한다. 아버지의 X염색체가 $[H^*-R-T]$ 임을 확정 지었다.

이 문항은 생명과학1에서 굉장히 난이도 있는 문항으로 꼽히는 문항이다. 18수능 당시 1컷이 45였고, 17번(2점)과 19번(3점)의 정답률이 각각 15%, 18% (EBS 기준)로 계산되었다. 이 두 문항을 틀려도 1등급을 받을 수 있었고, 17번을 틀리고 이 문항만 맞추었을 경우 백분위가 99%로 굉장히 높은 백분위를 받을 수 있었다.

이 문항에서 중요했던 것은 자녀 3과 자녀 4가 둘 중 누가 비분리에 의해 태어난 아이인지 모르지만 자녀 3과 자녀 4의 공통점을 이용해 누가 비분리에 의해 태어난 아이인지 몰라도 활용할 수 있는 정보가 무엇인지에 대해 알아채는 것이었다.

많이 어려운 문항이지만 논리 구조를 익히고 기본적인 유전원리에 따라 성/상, 우/열, 유전자 매칭을 빠르게 해결할 수 있다면 풀어낼 수 있는 문항이었다.

Part 3. 가계도 비분리

Part 1, 2에서도 말 했지만 가장 중요한 것은 기본적인 유전 원리를 제대로 이해하고 있는 것이다.

1. 비분리가 일어나지 않은 아이들을 통해 부모를 분석한다
2. 분석한 유전자와 연관 관계, 우성/열성을 통해 비분리에 대해 분석한다.

대표적인 문제를 한번 보자.

다음은 어떤 집안의 유전 형질 ㉠과 ㉡에 대한 자료이다.

○ ㉠은 대립 유전자 A와 A*에 의해, ㉡은 대립 유전자 B와 B*에 의해 결정된다. A는 A*에 대해, B는 B*에 대해 각각 완전 우성이다.

○ ㉠의 유전자와 ㉡의 유전자는 연관되어 있다.

○ 가계도는 구성원 1~8에게서 ㉠과 ㉡의 발현 여부를 나타낸 것이다.

○ 1~8의 핵형은 모두 정상이다.

○ 5와 8 중 한 명은 정상 난자와 정상 정자가 수정되어 태어났다. 나머지 한 명은 염색체 수가 비정상적인 난자와 염색체 수가 비정상적인 정자가 수정되어 태어났으며, ㉠ 이 난자와 정자의 형성 과정에서 각각 염색체 비분리가 1회 일어났다.

○ $\frac{1, 2, 6 \text{ 각각의 체세포 1개당 } A^* \text{의 DNA 상대량을 더한 값}}{3, 4, 7 \text{ 각각의 체세포 1개당 } A^* \text{의 DNA 상대량을 더한 값}} = 1$ 이다.

- 19년도 수능 17번 문항이다.
1. ㉠-㉡이 서로 연관임을 파악한다.
 2. 5와 8 중 한 명이 비분리로 인해 태어난 아이임을 파악한다.
 3. 가계도를 확인한다.
 4. 1-2-5의 관계와 3-4-8의 관계를 보면 '㉡이 열성일 수 있다'라는 가능성을 파악한다.
 5. 5와 8 중 한 명은 정상이고 한 명은 비분리로 인해 태어난 아이지만 둘 다 ㉡에 대해 병에 걸렸고 두 부모 다 ㉡에 대해 정상이므로 ㉡이 열성일 것이다.
 6. 3-7의 관계를 통해 ㉠이 우성-성염색체일 수 없음을 파악할 수 있다.
 7. 6번째 동그라미를 보면 1, 2, 6의 A*의 수와 3, 4, 7의 A*의 수가 같다고 나온다.
 8. 그냥 단순히 전부 다 생각해본다. 위에서 우성-성이 안됨을 파악했으므로 [열성-성], [우성-상], [열성-상] 이렇게 3가지의 경우만 파악해 주면 된다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?
 (단, 제시된 염색체 비분리 이외의 돌연변이와 교차는 고려하지 않으며, A와 A* 각각의 1개당 DNA 상대량은 1이다.) **3점**

9. 이를 직접 해보면 [열성-성]임을 알 수 있다. ㉠-㉡이 서로 연관이므로 이 두 유전자 모두 성염색체위의 유전자임을 알 수 있다.

이 문항을 보면 18수능에 나왔던 논리가 그대로 반복되어 사용이 되었음을 알 수 있다. 또한 '1, 2, 6과 3, 4, 7의 A*에 대한 DNA상대량이 전부 같다'라는 논리 또한 19학년도 9월 평가원모의고사 19번 문항에서 사용되었던 논리이다.

비분리에서 결국 가장 주요하게 사용되는 논리는 다음과 같다

Part 1. DNA상대량 비분리

1. 비분리를 고려하지 않아도 되는 세포는 무엇인가?
2. 1-비분리? 2-비분리? 각 비분리의 특징은 무엇인가?
3. 비분리가 일어나든 안 일어나든 2단계 3단계는 항상 짝수여야만 한다.

Part 2, 3. O/X를 주는 비분리 & 가계도 비분리

1. 비분리를 고려하지 않아도 되는 아이는 누구인가?

→ 일단 기본적인 유전 원리를 제대로 다룰 줄 알아야 문제를 풀기 용이할 것이다.

결국 모든 비분리 파트의 문제는 '어떤 세포가 비분리를 고려하지 않아도 되는 것인가? 이 세포에서 어떤 정보를 얻을 수 있는 가?' 라는 것부터 시작해야만 한다.