

2026학년도 대학 신입학생 수시모집 일반전형

면접 및 구술고사

생명과학

문항 · 제시문 · 예시 답안

서울대학교

※ 예시 답안은 학습용 참고 자료입니다.

문제 1. 세포 골격 — 미세 섬유(액틴)와 미세 소관(튜불린)

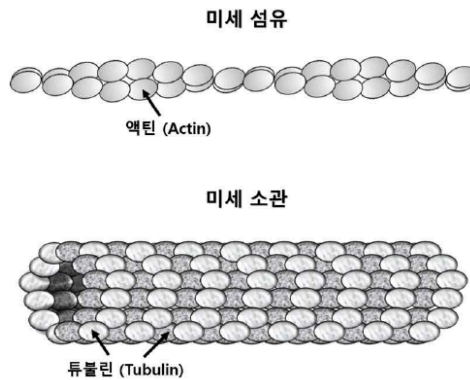
문항 및 제시문

동물 세포에는 단백질로 구성된 세포 골격이 존재한다. 이러한 세포 골격은 미세 소관, 미세 섬유, 중간 섬유로 구분된다. 아래 [그림 1-1]과 같이 미세 섬유는 액틴(Actin)이라는 단백질로 이루어져 있고, 미세 소관은 튜블린(Tubulin)이라는 단백질로 이루어져 있다.

연구진들은 액틴과 튜블린이 생명체 내에서 무슨 기능을 하는지 알아보기 위해서, 동일한 세포 배양 조건에서 액틴의 활성을 저해하는 약물 X와 튜블린의 활성을 저해하는 약물 Y를 활용하여 아래 기준들로 세포들을 관찰하였다.

[기준]

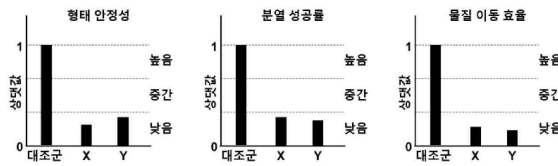
- **형태 안정성:** 외부 자극 후 정상 세포의 형태가 유지되는 비율
- **분열 성공률:** 세포 분열 후 정상적이고 완전한 분열을 이룬 세포의 비율
- **물질 이동 효율:** 특정 물질이 목표 지점에 도달하는 비율



[그림 1-1] 미세 섬유(액틴)와 미세 소관(튜블린)

1-1. 액틴과 튜블린이 진핵생물의 세포에서 하는 역할

(1) 연구진이 인간 세포를 모델로 하여 약물 X와 Y를 이용해 실험을 진행하였다. 아래 [그림 1-2]는 해당 실험의 결과를 높음, 중간, 낮음의 수준으로 분석한 것이다. 이를 바탕으로 액틴과 튜블린의 진핵세포 내 기능을 설명하시오.



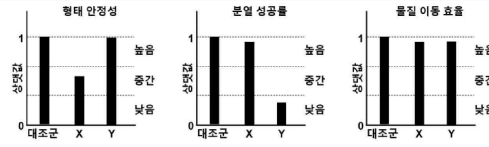
[그림 1-2] 인간 세포 (대조군 · X 처리 · Y 처리)

(2) 인간 체세포에 약물 X와 Y를 각각 처리하면 체세포 분열 과정의 어느 단계에서 이상이 생길지 판단하고, 이유를 설명하시오.

(3) 분화된 인간 세포 a에 약물 Y를 처리했을 때, 세포 a의 스스로 이동하는 능력이 급격하게 감소하였다. 세포 a는 어떤 세포인지 추론하고, 이동하는 능력이 감소한 이유를 설명하시오.

1-2. 원핵생물의 액틴·튜블린 유사체

연구진이 확인한 결과, 원핵생물에도 구조적으로 유사한 액틴과 튜블린 유사체 단백질들이 각각 존재하는 것을 확인하였다. 또한, 약물 X와 Y가 각각 원핵생물 내 액틴과 튜블린 유사체에도 인간 세포와 같은 방식으로 작용하여 활성을 저해하는 것을 확인하였다. 연구진은 대장균을 모델로 실험을 진행하였다. 아래 [그림 1-3]은 그 결과를 높음, 중간, 낮음의 수준으로 분석한 것이다.



[그림 1-3] 대장균 (대조군 · X 처리 · Y 처리)

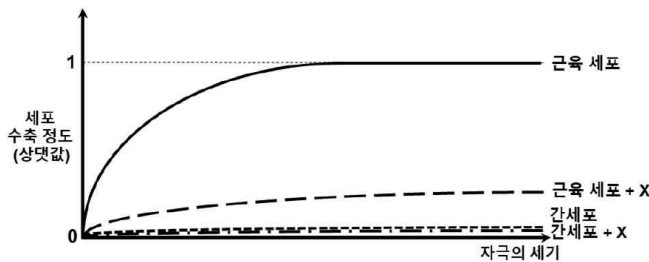
- (1) 약물 X에 의해 대장균의 형태 안정성은 영향을 받았으나, [그림 1-2]와 [그림 1-3]을 비교하면 동물 세포에 비해 영향이 경미함을 알 수 있다. 이러한 현상이 발생한 이유를 설명하시오.
- (2) 대장균에 약물 Y를 처리했을 때 DNA의 복제와 DNA의 세포질 내 위치 분리는 정상적으로 진행되나, 대장균의 모양이 길어지는 것을 관찰하였다. 이 관찰과 [그림 1-3]을 참고하여 대장균의 세포 분열 과정 중 튜불린 유사체의 기능을 추론하고, 진핵생물에서 튜불린의 기능과 어떻게 다른지 설명하시오.

1-3. 진화에 따른 세포 내 물질 이동 기작의 변화

- (1) 원핵생물의 특성을 고려하여 대장균 내에서 물질 이동이 어떤 방식으로 이루어지는지 설명하고, [그림 1-3]에서 약물 X, Y가 물질 이동 효율에 영향을 주지 않은 이유를 설명하시오.
- (2) 원핵생물에서 진핵생물로의 진화 과정에서 세포 구조가 어떻게 변화하는지 설명하고, 그 변화가 세포 내 물질 이동에 어떤 어려움을 초래하였는지 설명하시오.
- (3) 문제 (2)에서 나타나는 세포 내 물질 이동의 어려움을 진핵생물의 세포 골격이 어떻게 해결하였는지 설명하시오.

1-4. 분화된 세포에서의 세포 골격

- (1) 동일한 쥐에서 근육 세포(골격근)와 간세포를 추출하여 자극에 따른 수축 정도를 약물 X의 처리 여부에 따라 비교하였다(아래 [그림 1-4]). 근육 세포와 간세포에서 미세 섬유의 배열 방식이 어떻게 다른지 설명하고, 이를 고려하여 [그림 1-4]를 해석하시오.

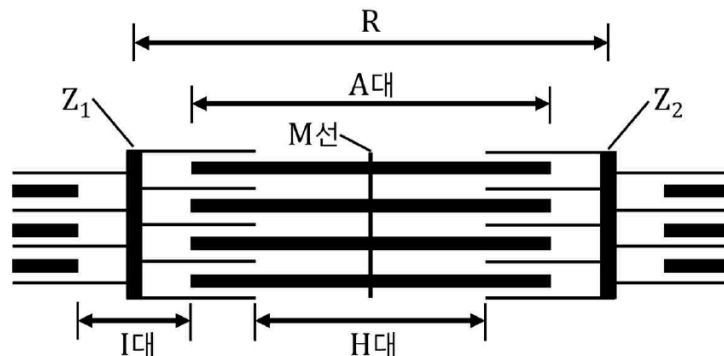


[그림 1-4] 자극 세기에 따른 세포 수축 정도

- (2) 아래 [그림 1-5]는 근육 세포에서 채취한 근육 원섬유의 구조이다(M선 기준 좌우 대칭). Z_1, Z_2 는 마디 R의 Z선이다. 시점 t_1 에서 t_2 로 변할 때 R의 길이 변화 비율 $R(t_2) : R(t_1)$ 을 구하시오.

[결과]

- (t_1 의 H대) : (t_1 의 I대) = 3 : 2
- (t_1 의 I대) : (t_2 의 I대) = 3 : 2
- (t_2 의 R의 길이) : { (t_2 의 A대) - (t_2 의 H대) } = 2 : 1



[그림 1-5] 근육 원섬유 마디 R의 구조

예시 답안 · 문제 1

배경 — 약물 X는 **액틴(미세 섬유)**을, 약물 Y는 **튜불린(미세 소관)**을 특이적으로 억제한다. 액틴은 세포 피질 지지·세포질 분열의 수축환·근수축·단거리 운반을, 튜불린은 방추사(염색체 분리)·소포의 장거리 운반 레일·편모/섬모 축(9+2)을 담당한다.

1-1.

답 (1) 사람 세포에서는 **형태 안정성·분열 성공률·물질 이동 효율** 세 지표가 X를 처리하든 Y를 처리하든 모두 낮아졌다. 즉 어느 지표도 한 종류 골격만으로 유지되지 않는다.

- **미세 섬유(액틴)** — X 처리 시 세 지표 모두 저하 → 세포 피질을 지지해 **형태를 유지**하고, 세포질 분열의 **수축환**을 형성하며, 세포 내 소포의 **이동**에도 관여한다.
- **미세 소관(튜불린)** — Y 처리 시에도 세 지표 모두 저하 → **방추사**로 염색체를 분리해 분열을 완성하고, 소포·소기관 **의 장거리 운반 레일** 역할로 물질 이동을 담당하며, 세포의 큰 뼈대로서 **형태 유지**에도 기여한다.

결론적으로 진핵세포에서 액틴과 튜불린은 **상호 보완적으로** 형태 유지·세포 분열·물질 이동 모두에 필수적이다.

답 (2)

- **약물 Y(튜불린 억제)** — 미세 소관으로 이루어진 **방추사** 형성을 막는다. 따라서 **중기~후기**에서 염색체가 방추사에 부착·정렬되어 양극으로 분리·이동하는 과정이 진행되지 못한다.
- **약물 X(액틴 억제)** — 핵분열은 진행되어도 세포질 분열에 필요한 **수축환(액틴-미오신 고리)**이 형성되지 못한다. 따라서 **말기~세포질 분열** 단계에서 세포가 둘로 나뉘지 못해 다핵 세포가 된다.

답 (3) 세포 a는 **정자(정세포)**이다. 정자는 **편모**를 움직여 스스로 헤엄치는데, 편모의 축(축사)은 **미세 소관이 9+2 배열**로 이루어져 있고 그 사이를 다이닌이 미끄러지며 굽힘 운동을 만든다. Y로 튜불린을 억제하면 편모 운동 구조가 무너져 정자가 **운동성을 상실**한다.

1-2.

답 (1) 대장균의 형태는 주로 **펩티도글리칸 세포벽**이 결정·유지한다. 액틴 유사 단백질 **MreB**는 세포벽 합성을 안내하는 **보조** 역할일 뿐이다. 따라서 X로 MreB를 억제해도 세포벽이 형태를 지탱하므로 변화가 작다. 반면 동물 세포는 **세포벽이 없어** 오직 액틴 피질이 형태를 지지하므로 X의 영향이 크다.

답 (2) Y 처리 시 DNA 복제·분리는 정상인데 세포가 길어졌다는 것은, 튜불린 유사체 **FtsZ**가 세포 중앙에 **Z-고리**를 만들어 **세포질 분열(격벽 형성)**을 이끄는 역할을 함을 뜻한다. Z-고리가 없으면 세포가 나뉘지 못한 채 필라멘트처럼 길어진다.

진핵 튜불린과의 차이 — 진핵 미세 소관은 **방추사로 염색체를 분리**하는 것이 핵심이나, 원핵의 FtsZ는 염색체 분리가 아니라 **세포질을 나누는 수축 고리** 역할을 한다. (대장균의 염색체 분배는 FtsZ가 아닌 별도 기작이 담당.)

1-3.

답 (1) 대장균은 크기가 매우 작아 세포질 내 물질을 **단순 확산**만으로 충분히 빠르게 옮길 수 있어, 골격 레일과 모터 단백질을 이용한 능동 운반이 필요 없다. 물질 이동이 골격에 의존하지 않으므로 X·Y로 골격을 억제해도 확산은 방해받지 않아 **물질 이동 효율이 유지**된다.

답 (2) 진화 과정에서 ① **세포 크기가 커지고**, ② **막으로 둘러싸인 소기관(구획화)**이 생겼다. 세포가 커지면 확산 도달 시간이 거리의 제곱에 비례해 급증하고, 막성 구획은 물질을 특정 목적으로 선택적·방향성 있게 보내야 하며 확산의 자유 이동을 막는다. 따라서 단순 확산만으로는 물질 이동을 감당할 수 없게 되었다.

답 (3) 진핵세포는 세포 골격을 **운반 궤도**로 삼고 **모터 단백질**이 화물을 **능동적으로** 나른다.

- **장거리** — 미세 소관 레일 위를 **키네신**(바깥쪽 +말단 방향)과 **다이닌**(중심 -말단 방향)이 ATP를 써서 소포를 운반.
- **단거리·피질** — 미세 섬유(액틴) 위를 **미오신**이 이동하며 세포막 근처 짧은 거리 운반을 담당.

이로써 커지고 구획화된 세포에서도 물질을 빠르고 방향성 있게 전달한다.

1-4.

답 (1) 배열의 차이 — 근육 세포는 액틴(가는 필라멘트)이 미오신과 함께 **근절(sarcomere)** 단위로 규칙적·평행하게 정렬되어, 미끄러짐으로 강한 방향성 수축을 낸다. 간세포는 액틴이 주로 세포막 아래 **피질에 그물처럼 분산**되어 형태 유지·이동을 도울 뿐 수축용 근절 배열이 없다.

그림 해석 — 근육 세포는 자극이 커질수록 수축 정도가 1까지 증가하지만 X 처리 시 크게 감소 → 근수축이 **액틴에 의존**. 간세포는 X 유무와 무관하게 수축이 거의 0 → 분산된 액틴은 **수축 기능이 없어** 처음부터 수축이 일어나지 않는다.

답 (2) 구조 관계 (M선 대칭, 가는 필라멘트 길이 일정): A대 = a (일정), $R = a + 2I$, 한쪽 가는 필라멘트 길이 = $I + \frac{a-H}{2}$ (시간 무관 일정).

1. t_1 에서 $I_1 = 2k$, 조건 $H_1 : I_1 = 3 : 2$ 이므로 $H_1 = 3k$.

2. $I_1 : I_2 = 3 : 2$ 이므로 $I_2 = \left(\frac{2}{3}\right)I_1 = \frac{4k}{3}$.

3. 가는 필라멘트 보존: $I_1 + \frac{a-H_1}{2} = I_2 + \frac{a-H_2}{2}$

$$\Rightarrow H_2 = H_1 - 2(I_1 - I_2) = 3k - 2\left(2k - \frac{4k}{3}\right) = 3k - \frac{4k}{3} = \frac{5k}{3}.$$

4. 조건 $R_2 : (a - H_2) = 2 : 1$, 즉 $R_2 = 2(a - H_2)$. 또 $R_2 = a + 2I_2 = a + \frac{8k}{3}$.

$$a + \frac{8k}{3} = 2\left(a - \frac{5k}{3}\right) = 2a - \frac{10k}{3} \Rightarrow a = 6k.$$

5. 따라서 $R_1 = a + 2I_1 = 6k + 4k = 10k$, $R_2 = a + 2I_2 = 6k + \frac{8k}{3} = \frac{26k}{3}$.

$$R(t_2) : R(t_1) = \frac{26k}{3} : 10k = 13 : 15$$

검산 — 한쪽 가는 필라멘트 길이 $I + \frac{a-H}{2}$: t_1 은 $2k + \frac{6k-3k}{2} = 7\frac{k}{2}$, t_2 는 $\frac{4k}{3} + \frac{6k-5\frac{k}{3}}{2} = 7\frac{k}{2}$ 로 두 시점 동일 → 액틴 길이 보존 만족. 모든 값이 양수이고 R은 $t_1 \rightarrow t_2$ 에서 짧아졌다(수축).

문제 2. 모계 영향 유전자와 집단 유전

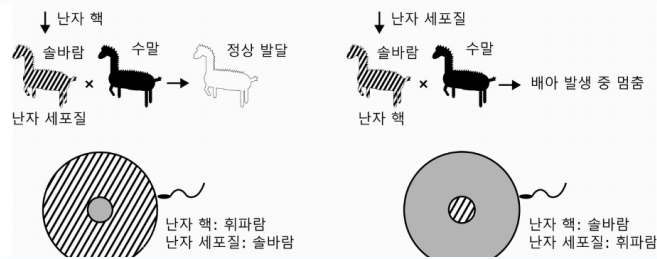
문항 및 제시문

(가) 신체 기능과 성체 발달이 정상인 암말 ‘솔바람’과 ‘휘파람’은 은퇴하여 번식용으로 사육된다. ‘솔바람’을 생식 능력이 정상인 수말과 교배하면 항상 건강한 자손이 태어난다. 그런데 ‘휘파람’은 정상 수말과 여러 차례 교배해도 매번 실패하였다. 인공 수정을 시도하자, ‘휘파람’을 모계로 하는 수정란은 항상 **2-4세포기에서 세포 분열이 멈추고 죽는** 것이 관찰되었다.

(나) ‘휘파람’의 상염색체 M 유전자를 조사한 결과 **열성 동형접합(mm)** 개체였다. M은 m에 대해 완전 우성이다.

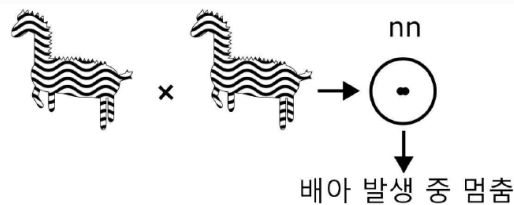
(다) M에 대해 mm인 수말을 ‘솔바람’과 교배하면 항상 건강한 자손이 태어난다.

(라) [그림 2-1]과 같이, 핵을 제거한 ‘솔바람’ 난자의 세포질에 ‘휘파람’의 난자 핵을 넣어 인공 수정·착상하면 **정상 자손이 발생**하였다. 그러나 핵을 제거한 ‘휘파람’ 난자의 세포질에 ‘솔바람’의 난자 핵을 넣어 인공 수정·착상하면 수정란이 **배아 발생 중 멈췄다**.



[그림 2-1] 핵 치환 실험

(마) N 유전자에 의한 질환은 상염색체 열성 유전질환이다. [그림 2-2]와 같이 N에 대해 **열성 동형접합(nn)**인 수정란은 **배아 발생 중 멈춘다**.



[그림 2-2] N 유전자 (nn 치사)

(바) N 유전자는 갈기 색상도 결정한다. **NN이면 검은색, Nn이면 갈색**이다.

2-1. ‘휘파람’의 부모는 모두 건강했고 총 열 마리를 생산했으나, 그 중 ‘휘파람’만 자손을 생산하지 못했다.

- (1) ‘휘파람’ 부모 말들의 M 유전자형을 모계와 부계에서 각각 추론하시오.
- (2) ‘솔바람’의 M 유전자형을 추론하시오.
- (3) 왜 ‘휘파람’은 성체까지 정상 발달할 수 있었는지, 반면 ‘휘파람’의 난자에서 생성된 모든 수정란은 왜 배아 발생이 멈추었는지, M 유전자의 기능을 고려하여 제시문을 기반으로 추론하시오.

2-2. 두 야생마 집단 P와 Q

(사) 현재 P에서 검은색 갈기 말은 **일곱 마리당 세 마리**의 빈도이다. (아) 현재 Q에서 검은색 갈기 말은 **세 마리당 두 마리**의 빈도이다. (자) P와 Q는 각각 격리되어 있고, 집단 크기가 충분히 크며, 새 돌연변이가 없고, 무작위 교배가 일어난다. 현재 P와 Q의 크기는 같다.

- (1) 집단 P와 Q에서 현재 우성 대립유전자 N의 빈도를 각각 구하시오.
- (2) 집단 P와 Q에서 갈색 갈기 개체 수가 시간에 따라 어떻게 변화하는가? 또 P와 Q의 변화 양상이 어떻게 다른지 정성적으로 추론하여 그리시오.



갈색 갈기 개체 수의 세대별 변화(작도용)

2-3. ‘휘파람’·‘솔바람’이 속한 경주마 집단 R

(차) 집단 R에서 M에 대해 **mm인 말이 백 마리당 한 마리**의 빈도로 나타났다. (카) 암말과 수말의 수는 같다. (타) 생식 능력은 M 유전자에 의해서만 결정된다. (파) R은 격리되어 있고, 크기가 충분히 크며, 새 돌연변이가 없고, 무작위 교배가 일어난다.

- (1) 집단 R의 다음 세대에서 불임인 말의 빈도를 구하고 그 이유를 설명하시오.
- (2) 열성 대립유전자 m과 n의 빈도 변화 양상이 시간에 따라 어떻게 될지 서로 비교하여 설명하시오.

예시 답안 · 문제 2

배경 — M은 모계 영향(maternal-effect) 유전자이다. 자손의 초기 발생은 어머니의 유전자형이 난자 세포질에 넣어 준 M 산물로 결정된다. 어머니가 M을 하나라도 가지면(MM 또는 Mm) 난자에 산물이 채워져 자손이 정상 발생하지만, 어머니가 mm이면 산물이 없어 자손(수정란)이 2~4세포기에서 멈춘다 — 자손 자신의 유전자형과 무관.
N 유전자 — NN 검은색, Nn 갈색, nn 배아 치사(암수 모두).

2-1.

답 (1) ‘휘파람’은 mm이므로 부모로부터 m을 하나씩 받았다. 또 ‘휘파람’이 정상 발생·성장한 것은 어머니가 난자에 M 산물을 채워 주었기 때문이다. 즉 어머니는 M을 가지면서 동시에 m도 전달해야 한다.

- 모계: Mm (M을 가져 난자에 산물 공급 + m 전달 → 반드시 이형접합)
- 부계: Mm 또는 mm (부계는 초기 발생에 M 산물을 기여하지 않으므로 m만 전달하면 됨)

답 (2) ‘솔바람’이 정상 자손을 낳으려면 자신의 난자에 M 산물을 채워야 하므로 M을 최소 하나 가져야 한다. 부모가 Mm × (Mm 또는 mm)이므로 → MM 또는 Mm.

답 (3) M은 모계 영향 유전자이므로 개체의 초기 발생은 어머니가 난자에 넣어 준 M 산물이 결정한다.

- ‘휘파람’ 자신 — 어머니가 Mm이라 난자에 M 산물을 충분히 넣어 주었다. 덕분에 유전자형이 mm이어도 초기 발생이 정상 진행되어 성체까지 정상 발달했다.
- ‘휘파람’의 수정란 — ‘휘파람’은 mm이라 자신의 난자에 M 산물을 넣지 못한다. 초기 발생은 접합자 자신의 유전자가 발현되기 전, 어머니가 준비한 난자 세포질 인자에 의존하는데 그 인자가 없으므로 2~4세포기에서 발생이 멈춘다. (아버지가 M을 주어도 초기에는 발현되지 않아 소용없다.)

이는 (라)의 핵 치환 실험과 일치한다 — 발생 여부는 핵이 아니라 난자 세포질(어머니 제공)이 결정한다.

2-2.

답 (1) 대립유전자 빈도를 $N = p, n = q (p + q = 1)$ 라 하자. nn 은 태어나기 전 죽으므로 태어난 개체는 NN 과 Nn 뿐이다. 따라서 검은색 비율은

$$\frac{p^2}{p^2 + 2pq} = \frac{p}{p + 2q}$$

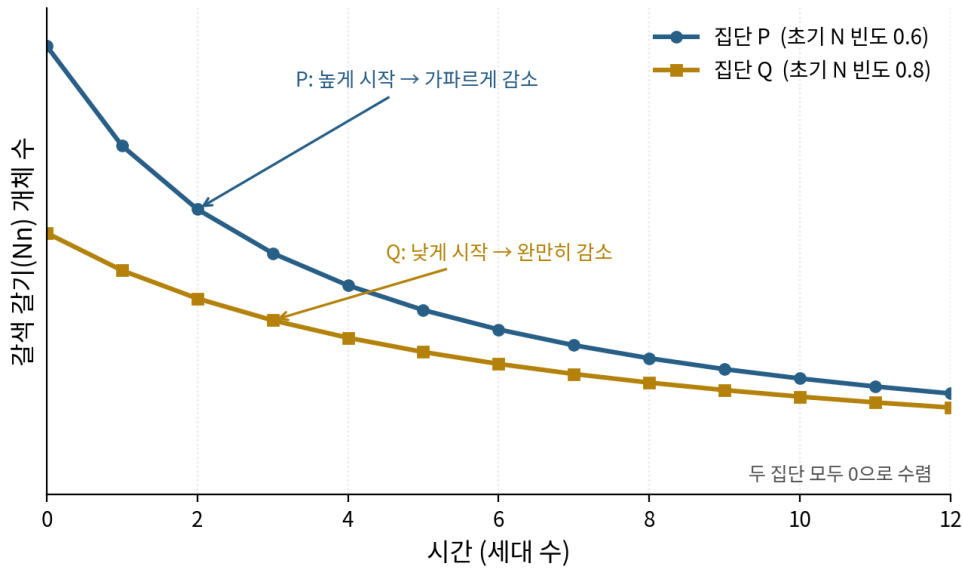
- 집단 P : $p : (p + 2q) = 3 : 7$ 이므로 $7(1 - q) = 3(1 + q)$, 즉 $q = 0.4, p = 0.6$.
- 집단 Q : $p : (p + 2q) = 2 : 3$ 이므로 $p = 4q$, 즉 $q = 0.2, p = 0.8$.

집단 P: N의 빈도 = 0.6 집단 Q: N의 빈도 = 0.8

답 (2) nn 이 매 세대 치사되어 대립유전자 n 이 계속 제거되므로 q 가 감소하고, 갈색(Nn) 비율 $2\frac{q}{p+2q}$ 도 함께 감소한다. 치사 선택에 의한 열성 빈도 변화는 $q' = \frac{q}{1+q}$ 로, 초기 q 가 클수록 세대당 감소 폭이 크다.

- 집단 P ($q = 0.4$) — 초기 갈색이 많지만 **빠르게 감소**.
- 집단 Q ($q = 0.2$) — 초기 갈색이 적고 **천천히 감소**.

두 집단 모두 갈색 개체 수는 점점 줄어 **0으로 수렴**하되, 초기 감소 속도는 P가 Q보다 빠르다(둘 다 우하향 곡선, P가 더 높은 값에서 시작해 더 가파르게 하강).



예시 작도 — 갈색 갈기(Nn) 개체 수의 세대별 변화. 열성 치사 재귀식 $q' = q/(1+q)$ 로부터 Nn 비율 $2q/(1+q)$ 을 계산한 정성적 곡선

2-3.

답 (1) 현재 mm 빈도는 $q^2 = \frac{1}{100}$ 이므로 $q = 0.1, p = 0.9$. mm 암컷은 불임, 수컷은 정상 생식이므로 난자와 정자의 m 빈도가 달라진다.

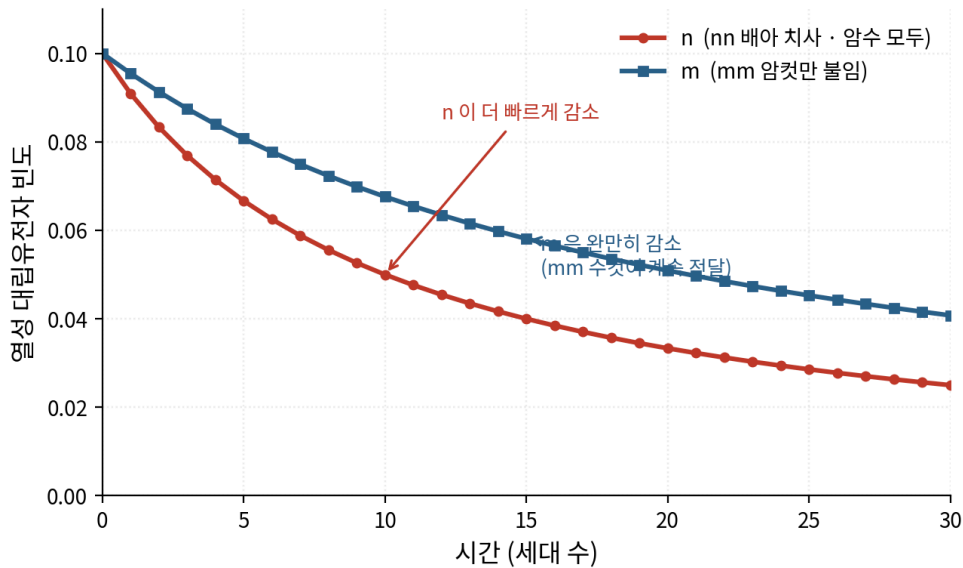
1. **난자의 m 빈도** — 번식 가능 암컷은 mm 제외. 그중 Mm 비율 = $2 \frac{q}{p+2q} = \frac{0.2}{1.1} = \frac{2}{11}$, 난자 m 빈도 = $(\frac{1}{2})(\frac{2}{11}) = \frac{1}{11}$.
2. **정자의 m 빈도** — 모든 수컷이 생식하므로 집단 전체 그대로 = $q = \frac{1}{10}$.
3. 다음 세대 mm 빈도 = $(\frac{1}{11})(\frac{1}{10}) = \frac{1}{110}$.
4. 불임은 mm 중 암컷뿐이고 성비 1:1이므로 = $(\frac{1}{2})(\frac{1}{110}) = \frac{1}{220}$.

다음 세대 불임 개체의 빈도 = $\frac{1}{220}$

답 (2) 둘 다 감소하지만 n 이 m 보다 빠르게 감소한다.

- n (배아 치사, 암수 모두) — nn 이 암수 구분 없이 모두 죽어 자손을 전혀 남기지 못하므로 n 이 매 세대 완전히 제거되어 감소가 빠르다.
- m (불임, 암컷만) — mm 수컷은 정상 생식하여 m 을 계속 전달하고 mm 개체 자체도 죽지 않는다. 오직 mm 암컷만 번식에서 빠지므로 m 의 제거가 부분적이어서 감소가 느리다.

양쪽 성 모두에 작용하고 자손을 전혀 못 남기는 n 이, 한쪽 성에서만 부분적으로 작용하는 m 보다 빠르게 사라진다. 두 대립유전자 모두 장기적으로는 0에 수렴한다.



예시 작도 — 동일 초기 빈도(0.1)에서 출발했을 때의 세대별 감소 비교. n 은 매 세대 nn 이 완전히 제거되어 빠르게, m 은 mm 수컷이 계속 전달하여 완만하게 감소