

Theme 1 유전 물질

① 유전 물질 실험

[단원 목표]

원핵세포와 진핵세포의 유전체 구성과 유전자 구조를 이해하고 차이를 비교할 수 있다.

[출제 유형]

5. 다음은 DNA 연구와 관련된 자료이다. (가)와 (나)는 각각 메셀슨과 스탈의 실험과 허시와 체이스의 실험 중 하나이다.

(가) ^{15}N 와 ^{14}N 를 이용하여 배양한 세대별 대장균의 DNA 밀도를 비교하였다.
 (나) ^{32}P 과 ^{35}S 을 이용하여 파지(박테리오파지)의 단백질과 DNA 중 대장균 속으로 들어가 다음 세대 파지를 만드는 유전 정보를 가진 물질이 무엇인지 확인하였다.

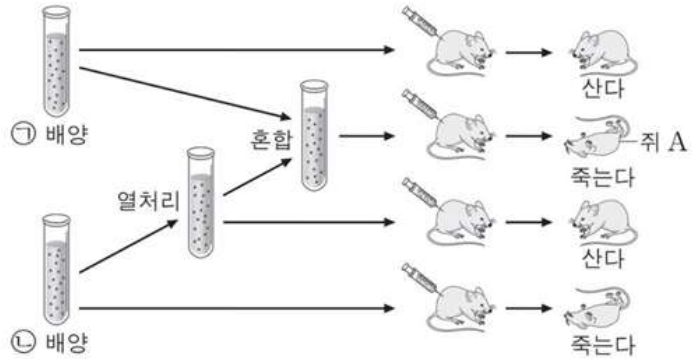
21학년도 9평

1. 그리피스의 실험

핵 속의 염색체 내에 유전 물질이 있다는 것을 알고난 이후, 염색체 구성 물질인 단백질과 DNA 중 어느 것이 유전 물질인지 확인하려는 많은 실험이 있었다.

그중 그리피스의 실험은, 어떤 유전 물질이 형질 전환에 관여한다는 것을 밝혔다.

[평가원 자료 - 그리피스의 실험]



폐렴쌍구균

S형 균과 R형 균으로 나뉜다.
S(Smooth)형 vs R(Rough)형

특징	
S형 균	R형 균
표면 매끄러움	표면 거칠거칠
피막 존재	피막 없음
병원성	비병원성
쥐 죽음	쥐 생존
진정세균계에 속함 ⇒ 펩티도글리칸 세포벽	

[실험 과정]

- ① S형 균을 쥐에 주사하면 쥐는 죽는다.
- ② R형 균을 쥐에 주사하면 쥐는 산다.
- ③ 열처리한 S형 균의 물질을 살아있는 R형 균과 혼합하면, 살아있는 S형 균이 발견된다.

∴ 죽은 S형 균의 어떤 물질이 R형 균을 S형 균으로 형질 전환시켰다.
∴ ⊙은 R형 균, ⊖은 S형 균이다.

[실험 한계]

형질 전환을 일으키는 물질이 어떤 물질이 무엇인지 밝혀내지 못했다.

형질 전환

한 개체의 형질이 유전 물질에 의해 변하는 현상. 이 과정에서 유전자의 전사와 단백질의 합성(번역)이 일어난다.

[Common sense - 그리피스 실험의 배경]

- ① 20C 초, 핵 속의 염색체 내에 유전 물질이 있음을 밝혔다.
- ② 그에 따라 단백질과 DNA 중 어느 것이 유전 물질인지 밝히려는 많은 실험이 수행되었다.
- ③ DNA는 화학적 조성이 상대적으로 단순하고, 단백질은 종류가 다양하다고 밝혀진 바 있어 단백질이 유전 물질이라고 생각하는 사람이 다수였다.

[Common sense - 그리피스 실험의 해석]

- ① S형 균이 완전히 멸균되지 않아 살아남은 세균이 있을 가능성을 대조군 실험을 통해 기각시켰다.
- ② 이와 같은 방식으로 대조군 설정을 통해 여러 가능성을 기각시켰다.
- ③ 유전 물질이 열처리에 파괴되지 않았다는 것은 DNA가 유전 물질임을 간접적으로 방증한다.

[문제 1]

표는 그리피스가 수행한 실험에서 쥐에 주사한 주사액의 구성과 쥐의 생존 여부를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 R형 균과 S형 균 중 하나이며, ㉢와 ㉣는 각각 '생존'과 '죽음' 중 하나이다.

실험	주사액 조성	쥐의 생존 여부
(가)	㉠	㉢
(나)	㉡	㉣
(다)	가열한 ㉠	㉣
(라)	㉡ + 가열한 ㉠	㉢

이에 대한 설명으로 <보기>에서 옳은 것을 모두 고르시오.

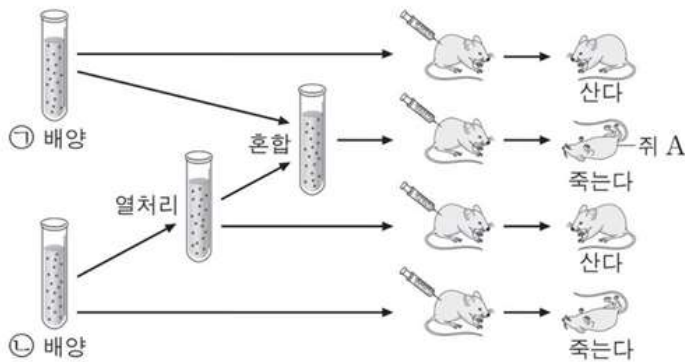
(단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. ㉠은 S형 균이다.
- ㄴ. (라)에서 폐렴 쌍구균의 형질 전환이 일어났다.
- ㄷ. ㉢는 '죽음'이다.

[문제 2]

그림은 폐렴 쌍구균을 이용한 그리피스의 실험 중 일부를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 R형 균과 S형 균 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 <보기>에서 옳은 것을 모두 고르시오.

(단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. ㉡에는 유전 물질이 존재한다.
- ㄴ. ㉠만 주입한 쥐와 쥐 A의 생존 결과를 비교했을 때, 형질 전환이 일어났음을 알 수 있다.
- ㄷ. 이 실험을 통해 형질 전환을 일으킨 물질이 무엇인지 알아냈다.
- ㄹ. ㉠은 S형 균, ㉡은 R형 균이다.
- ㅁ. ㉡에는 펩티도글리칸이 있다.
- ㅂ. 죽은 ㉠에 ㉡의 유전 물질을 섞어주면 ㉠이 다시 살아난다.

[문제 1 해설] [답] ㄱ, ㄴ, ㄷ

[자료 해제]

실험	주사액 조성	쥐의 생존 여부
(가)	㉠	㉠
(나)	㉡	㉡
(다)	가열한 ㉠	㉡
(라)	㉡ + 가열한 ㉠	㉠

실험 (다)와 실험 (라)의 쥐의 생존 여부가 다른 것으로 보아

“가열한 ㉠의 어떤 물질이 R형 균을 S형 균으로 형질 전환시킨다”는 사실을 추론할 수 있다.

∴ ㉠은 S형 균, ㉡은 R형 균이다.

S형 균을 쥐에 주사하면 쥐는 죽고, R형 균을 쥐에 주사하면 쥐는 생존한다.

∴ ㉠은 ‘죽음’, ㉡은 ‘생존’

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. ㉠은 S형 균이다. (O)

㉠은 S형 균이다.

ㄴ. (라)에서 폐렴 쌍구균의 형질 전환이 일어났다. (O)

(라)에서 폐렴 쌍구균의 형질 전환이 일어나 쥐가 죽었다.

ㄷ. ㉠은 ‘죽음’이다. (O)

㉠은 ‘죽음’이다.

[문제 2 해설] [답] ㄱ, ㄴ, ㄹ

[자료 해제]

㉠을 넣었을 때 쥐가 생존하지만

열처리한 ㉠의 물질과 혼합하였더니 쥐가 사멸하는 것을 관찰할 수 있다.

따라서 “㉠의 어떤 물질이 R형 균을 S형 균으로 형질 전환시킨다”는 사실을 추론할 수 있다.

∴ ㉠은 S형 균, ㉡은 R형 균이다.

[선지 해제]

— < 보 기 > —

ㄱ. ㉠에는 유전 물질이 존재한다. (O)

㉠과 ㉡ 모두 유전 물질이 존재하기 때문에, 쥐 A에서 형질 전환이 일어날 수 있다.

ㄴ. ㉠만 주입한 쥐와 쥐 A의 생존 결과를 비교했을 때, 형질 전환이 일어났음을 알 수 있다. (O)

㉠(R형 균)을 주입한 쥐는 사는데, 쥐 A는 사멸하므로 열처리한 S형 균의 어떤 물질에 의해 형질 전환이 일어났음을 알 수 있다.

ㄷ. 이 실험을 통해 형질 전환을 일으킨 물질이 무엇인지 알아냈다. (X)

그리피스의 실험으로는 형질 전환을 일으킨 물질이 무엇인지 확인하지 못했다. 후속 실험인 에이버리의 실험을 통해 비로소 형질 전환을 일으킨 물질이 DNA임이 규명되었다.

ㄹ. ㉠은 S형 균, ㉡은 R형 균이다. (X)

㉠은 R형 균, ㉡은 S형 균이다.

ㄹ. ㉠에는 펩티도글리칸이 있다. (O)

S형 균과 R형 균은 진정세균계에 속하며, 세균은 펩티도글리칸 세포벽을 가진다.

ㅂ. 죽은 ㉠에 ㉡의 유전 물질을 섞어주면 ㉠이 다시 살아난다. (X)

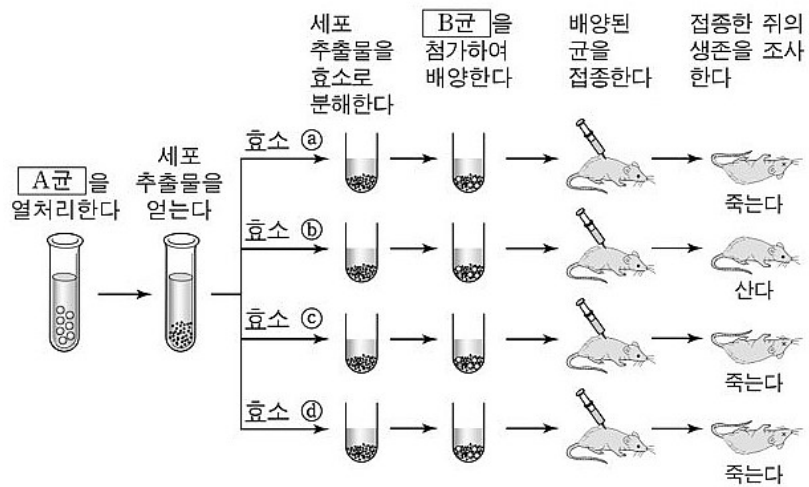
유전 물질에 의해 특정 형질이 발현되고 그 결과 생물이 죽을 수는 있지만 특정 유전 물질에 의해 형질이 발현된다고 죽은 생물이 다시 살아나는 것은 불가능하다.

2. 에이버리의 실험

그리피스의 실험에서는 어떤 물질이 형질 전환을 일으키는지는 알아내지 못했다. 그리피스는 이러한 어떤 물질을 **형질 전환 요소**라고 불렀고, 그리피스의 실험의 결과가 보고된 시기에 에이버리도 이러한 형질 전환 요소의 본질을 밝히는 실험을 하였다.

에이버리의 실험은 **DNA가 유전 물질임을 최초로 규명한 실험**이지만 많은 생물학자들은 여전히 유전 물질이 단백질이라는 가설을 선호하며 받아들이지 않았다.

[평가원 자료 - 에이버리의 실험]



구성 원소

	구성 원소				
단백질	C	H	O	N	S
DNA	C	H	O	N	P

[실험 과정]

- DNA 분해효소, RNA 분해효소, 단백질 분해효소, 다당류 분해효소를 준비한다.
- S형 균을 열처리한다.
- 죽은 S형 균의 물질을 살아있는 R형 균과 혼합하면, 살아있는 S형 균이 발견되어야 한다. (by 그리피스의 실험)
- RNA 분해효소, 단백질 분해효소, 다당류 분해효소를 죽은 S형 균의 물질에 첨가하여 특정 물질을 분해한 후 R형 균에게 첨가하여 배양하였더니 모두 죽었다. (= R형 균이 S형 균으로 형질 전환되었다)
- DNA 분해효소를 죽은 S형 균의 물질에 첨가하여 DNA를 분해한 후, 죽은 S형 균의 물질을 R형 균에게 첨가하여 배양하였더니 살았다 (= R형 균이 S형 균으로 형질 전환되지 못했다)
- 죽은 S형 균의 세포 추출물을 구성 물질별로 분리한 후 각각 살아 있는 R형 균과 함께 배양한 경우 DNA를 포함한 추출물만이 형질 전환을 일으켰다.

∴ 형질 전환에 관여하는 **DNA가 유전 물질**이다.

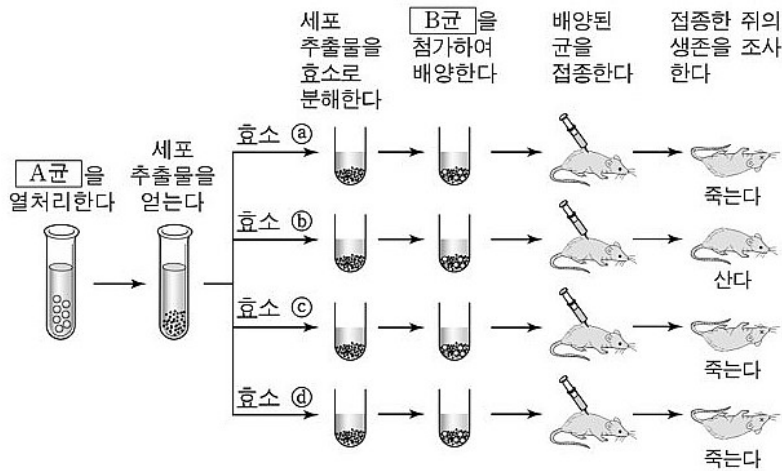
∴ A는 S형 균, B는 R형 균, ⑥는 DNA 분해 효소이다.

[실험 한계]

많은 생물학자들은 여전히 유전 물질이 단백질이라는 가설을 선호하며 받아들이지 않았다.

[문제 3 - 기출 다지선다]

다음은 R형과 S형의 폐렴쌍구균을 이용한 에이버리의 형질 전환 실험이다.



이 실험에 대한 설명으로 <보기>에서 옳은 것을 모두 고르시오.

(단, R형 균은 병원성이 없고, S형 균은 병원성이 있다. ㉠, ㉢, ㉣, ㉤는 각각 단백질 분해효소, RNA 분해효소, DNA 분해효소, 다당류 분해효소 중 하나이다. 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. 효소 ㉢의 작용에 의해 형질 전환을 일으키는 물질이 분해되었다.
- ㄴ. A균은 R형 균이고, B균은 S형 균이다.
- ㄷ. 병원성 단백질은 R형 균을 S형 균으로 형질 전환 시킨다.
- ㄹ. 효소 ㉣를 넣은 시험관에서 형질 전환이 일어났다.
- ㅁ. 효소 ㉤를 넣은 시험관에서 발견된 폐렴쌍구균에서는 피막(협막) 합성에 관여하는 유전자의 전사가 일어났다.
- ㅂ. 열처리하여 죽은 A균의 세포 추출물에는 유전 물질이 존재한다.
- ㅅ. 효소 ㉢의 기질은 DNA이다.
- ㅇ. 위 실험을 통해 형질 전환을 일으키는 물질은 DNA임을 알 수 있다.

전사

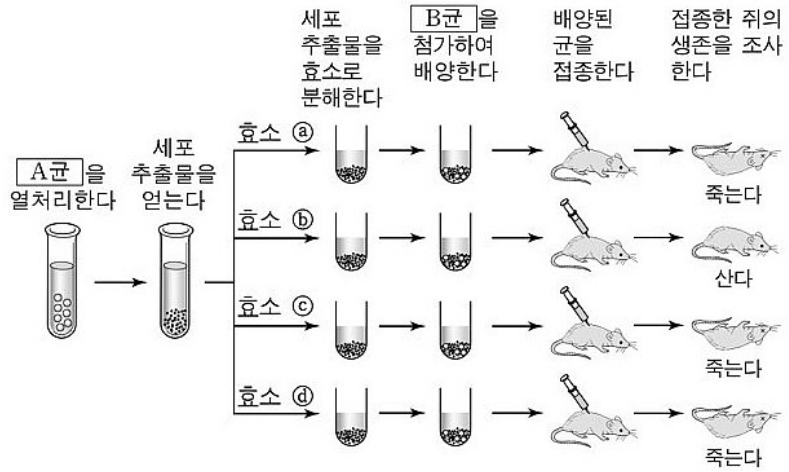
DNA로부터 RNA가 합성되는 과정

기질

- ① 효소와 반응하는 반응물
- ② 세포 소기관인 미토콘드리아 속 액상 물질

[문제 3 해설] [답] ㄱ, ㄹ, ㄴ, ㄷ, ㅅ, ㅊ

[자료 해제]



효소 ㉣를 넣었을 때 쥐가 생존하고 (실험군)
 다른 효소를 넣었을 때 쥐가 죽는 것을 보아 (대조군)
 ㉠가 형질 전환에 관여하는 유전 물질 DNA를 분해하는 DNA 분해 효소임을 알 수 있다.

또한 대조군 생쥐들이 죽는 것으로 보아
 A균은 S형 균, B균은 R형 균인 것을 알 수 있다.

[선지 해제]

< 보기 >

ㄱ. 효소 ㉡의 작용에 의해 형질 전환을 일으키는 물질이 분해되었다. (O)

다른 시험관에서는 형질 전환이 일어나 균이 접종된 쥐가 죽는데 반해 효소 ㉠가 들어간 시험관의 균을 접종했을 때는 쥐가 생존하는 것을 알 수 있다.

이를 통해 효소 ㉠가 들어간 시험관에서 형질 전환이 일어나지 않고, 유전 물질이 분해되었음을 알 수 있다.
 따라서 ㉠는 DNA 분해 효소이고, DNA가 분해되었음을 알 수 있다.

ㄴ. A균은 R형 균이고, B균은 S형 균이다. (X)

대조군과 실험군의 실험 결과가 다르게 나타나는 것을 통해 형질 전환이 일어남을 알 수 있고 A균이 S형 균 B균이 R형 균이라고 판단할 수 있다.

만약 B형균이 S형 균이라면 모든 쥐가 생존하지 못한다.
 따라서 B균이 S형 균이 아니므로, B균이 R형 균이고 A균이 S형 균이라고 판단해도 된다.

ㄷ. 병원성 단백질은 R형 균을 S형 균으로 형질 전환 시킨다. (X)

단백질은 유전 물질이 아님을 에이버리 실험에서 입증하였다.

ㄹ. 효소 ㉢를 넣은 시험관에서 형질 전환이 일어났다. (O)

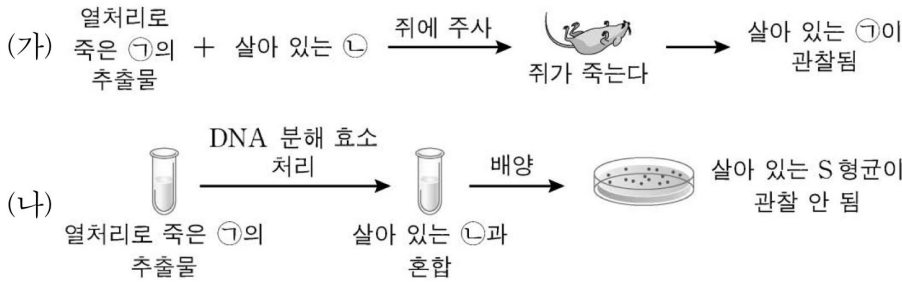
효소 ㉢를 넣은 시험관에서 쥐가 죽는 것으로 보아 형질 전환이 일어났음을 알 수 있다..

< 보 기 >

- ㄱ. 효소 ④를 넣은 시험관에서 발견된 폐렴쌍구균에서는 피막(협막) 합성에 관여하는 유전자의 전사가 일어났다. (O)
R형 균에서 S형 균으로 형질 전환이 일어나려면, 숙주 내에서 피막 형성에 관여하는 유전자의 전사와 번역이 일어나 피막 합성에 관여하는 단백질이 생성되어야 한다.
- ㄴ. 열처리하여 죽은 A균의 세포 추출물에는 유전 물질이 존재한다. (O)
A균의 추출물에 유전 물질이 존재하기 때문에, 숙주인 쥐가 죽는다. 만약, 유전 물질이 존재하지 않는다면 효소의 유무와 관계없이 모든 시험관에서 쥐들이 생존할 것이다.
- ㄷ. 효소 ⑥의 기질은 DNA이다. (O)
효소 ⑥는 DNA 분해 효소이므로, 효소 ⑥의 기질은 DNA이다. 효소와 관련되어 '기질'이라는 용어가 등장하면 '반응물'이라고 생각하자.
- ㄹ. 위 실험을 통해 형질 전환을 일으키는 물질은 DNA임을 알 수 있다. (O)
에이버리 실험의 의의이다.

[문제 4 - 기출 다지선다]

그림 (가)는 그리피스가, (나)는 에이버리가 수행한 실험의 일부를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡은 각각 R형 균과 S형 균 중 하나이다.



이에 대한 설명으로 <보기>에서 옳은 것을 모두 고르시오. (단, 돌연변이는 고려하지 않는다.)

< 보 기 >

- ㄱ. (가)는 DNA가 유전 물질임을 증명한 실험이다.
- ㄴ. (나)에서 ㉡이 ㉠으로 형질 전환되었다.
- ㄷ. 살아 있는 ㉠은 피막(협막)을 갖는다.
- ㄹ. 살아 있는 ㉡은 전사와 번역이 일어나는 장소가 2중막으로 분리되어 있다.
- ㄱ. (나)에서 발견된 폐렴쌍구균에서는 피막(협막) 합성에 관여하는 유전자의 전사가 일어났다.
- ㄴ. 열처리하여 죽은 ㉠의 추출물에는 유전 물질이 존재한다.

번역

DNA로부터 합성된 RNA로부터 단백질이 합성되는 과정

[문제 4 해설] [답] 다, 브

[자료 해제]

열처리로 죽은 ㉠의 추출물을 살아 있는 ㉡에 넣었더니 형질 전환이 관찰되었다.
따라서 ㉠은 S형 균, ㉡은 R형 균이다.

[선지 해제]

< 보 기 >

ㄱ. (가)는 DNA가 유전 물질임을 증명한 실험이다. (X)

그리피스 실험은 '어떤 물질이' 형질 전환에 관여한다까지 알아냈다.
DNA가 유전 물질임을 증명한 실험은 에이버리 실험과 허시와 체이스의 실험이다.

ㄴ. (나)에서 ㉢이 ㉣으로 형질 전환되었다. (X)

살아 있는 S형 균이 관측되지 않은 것으로 보아
DNA 분해 효소에 의해 유전물질인 DNA가 모두 분해되어
㉢이 ㉣으로 형질 전환되지 않은 것을 알 수 있다.

ㄷ. 살아 있는 ㉣은 피막(협막)을 갖는다. (O)

S형 균은 피막(협막)을 가져 병원성을 가지고
R형 균은 피막(협막)을 가지지 않아 병원성을 가지지 않는다.

ㄹ. 살아 있는 ㉤은 전사와 번역이 일어나는 장소가 2중막으로 분리되어 있다.
(X)

단원 통합형 기출 선지이다.
㉤은 R형 균으로 원핵생물 중 진정세균계에 속한다.
원핵생물은 전사와 번역이 동일한 장소에서 일어나며
진핵생물은 전사는 핵 내부에서, 번역은 세포질에서 일어난다.

“전사와 번역이 일어나는 장소가 2중막으로 분리되어 있다”라는 선지는
진핵생물에서 성립함을 인지하자.

ㅁ. (나)에서 발견된 폐렴쌍구균에서는 피막(협막) 합성에 관여하는 유전자의 전사가 일어났다. (X)

(나)에서 S형 균이 발견되지 않은 것으로 보아
R형 균이 S형 균으로 형질 전환되지 않은 것을 알 수 있다.

이는 DNA 분해 효소에 의해 유전 물질이 분해되었기 때문임을 추론할 수 있고
R형 균은 피막이 존재하지 않는다.

이는 피막 합성에 관여하는 유전자의 전사가 일어나지 않기 때문으로 해당 선지는 잘못되었다.

ㅂ. 열처리하여 죽은 ㉣의 추출물에는 유전 물질이 존재한다. (O)

(가)에서 살아 있는 ㉢이 ㉣으로 형질 전환 되었음을 알 수 있다.
이는 열처리하여 사멸한 ㉣의 추출물에 잔존하는 유전 물질이 R형 균에 들어가
R형 균을 S형 균으로 형질 전환시켰기 때문이다.

S형 균 vs R형 균

S형 균은 다당류의 피막을 가지고, 가끔 돌연변이를 일으켜 다당류의 피막을 갖지 않는 R형 균이 된다.

S형 균은 폐렴을 유발하고
R형 균은 폐렴을 유발하지 않는다.