

## 03. 미토콘드리아와 공생발생설

2020학년도 6월

## (서로 다른 개체의)공생관계 vs 부분-전체 관계

### 서로 다른 개체간의 공생관계

공생이란 둘 이상의 생물이 밀접한 관련을 맺고 살아가는 것을 말한다. 가령, 인간의 장에는 유산균이 살고 있다. 유산균은 우리의 장 내의 해로운 세균이 증식하는 것을 막아 인간의 면역력 유지에 큰 도움이 된다. 반면 유산균은 우리가 먹은 음식물에서 영양분을 공급받는다. 인간-유산균은 서로 도움을 주고 받으며 살아가는 공생관계인 것이다.

이때 중요한 점은 유산균과 인간은 다른 개체라는 것이다. 유산균이 비록 인간의 장기 내부에 서식하고, 인간이 죽으면 유산균도 살 수가 없지만, 유산균과 인간은 분명히 구별되는 두 생명체이다.

즉, ‘공생(=같이 살아감)’은 서로 다른 둘 이상의 개체들 사이에서 성립하는 관계이다. 공생이라는 단어는 그 자체로 서로 다른 둘 이상의 개체를 상징하고 있다.

### 한 생명체의 기관: 몸 전체와 일부분

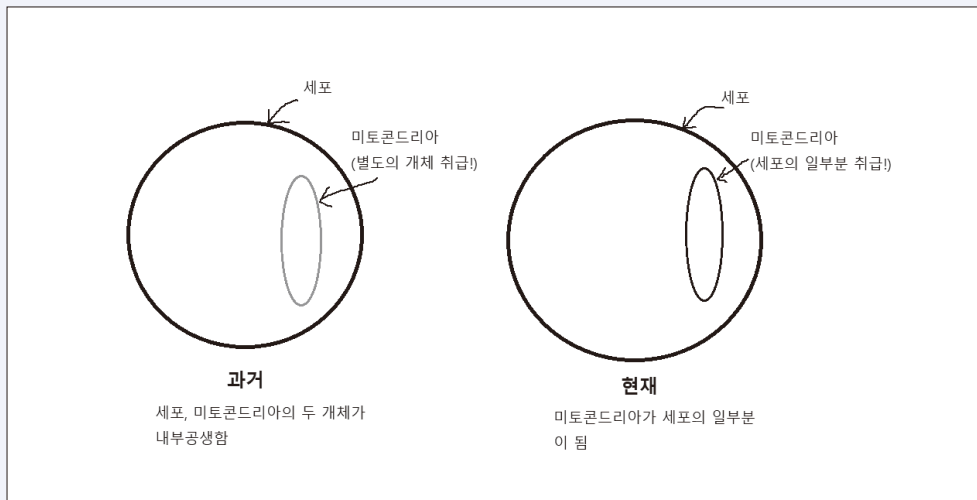
하지만 이와는 달리, ‘부분’은 전체의 일부를 지칭한다. 가령 인간과 심장 사이의 관계를 생각해 보자. 심장은 우리 몸의 일부일 뿐, 하나를 별도의 생명체라고 간주하지는 않는다. 즉, 심장은 우리 몸이라는 하나의 개체 안의 ‘기관’일 뿐이다.

공생 관계인 두 개체	부분과 전체
그 자체로 서로 다른 2개의 생명체(=개체)를 가정한 단어이다.	어떤 조직이 한 생명체(=개체)의 기관이라는 것은 그 조직은 별도의 생명체가 아니라는 뜻이다.
공생 관계에 있는 <u>인간과 유산균</u> 은 <u>별개의 unit</u> 이다.	부분-전체 관계에 있는 <u>인간과 그의 심장</u> 은, <u>하나의 unit</u> 이다.

## 공생발생설에 대해서

이 글은 ‘개체성’에 대한 철학적 논의를, 생물학 분야의 ‘공생발생설’에 적용한다. 하지만 ‘공생발생설’의 내용은 매우 어렵다. 글을 읽기 전에 내용을 조금만 미리 살펴보자.

공생발생설은 현재 세포 안의 하나의 기관으로 취급되는 미토콘드리아가 과거에는 별개의 생명체였다고 주장하는 가설이다. 이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



과거	현재
과거에는 미토콘드리아가 독립된 하나의 개체였다	현재는 미토콘드리아가 '세포'라는 하나의 개체 안에 있는 기관일 뿐이다
세포-미토콘드리아의 관계는, 인간과 유산균 사이의 관계와 같다!	세포-미토콘드리아의 관계는 인간과 심장 사이의 관계와 같다!

이 글의 5문단과 6문단은 서로 반대인 것처럼 보이는 내용을 제시하고 있다.

**5문단**은 미토콘드리아가 '과거에는' 별도의 개체였다는 점을 제시하고 있다. 이 문단에서는 미토콘드리아가 세포와 어떤 점에서 차이가 있는지를, 여러 사례를 통해 설명한다. 미토콘드리아와 세포의 차이점을 부각해야, 미토콘드리아가 원래는 별도의 개체였다는 점을 입증할 수 있기 때문이다.

반면에 **6문단**은 미토콘드리아가 '현재에는' 세포라는 하나의 개체 안에 속하는 기관에 불과하다는 점을 제시하고 있다. 이 문단에서는 미토콘드리아와 세포가 얼마나 통합되었는지를, 여러 근거를 들어 입증하려 한다. 미토콘드리아와 세포의 통합성을 입증해야, 둘을 묶어서 하나의 개체로 취급할 수 있기 때문이다.

이제 글을 읽어볼까? 글을 이해하기 훨씬 쉬울 것이다.

우리는 한 대의 자동차는 개체라고 하지만 바닷물을 개체라고 하지는 않는다. 어떤 부분들이 모여 하나의 개체를 ㉠이룬다고 할 때 이를 개체라고 부를 수 있는 조건은 무엇일까? 일단 부분들 사이의 유사성은 개체성의 조건이 될 수 없다. 가령 일란성 쌍둥이인 두 사람은 DNA 염기 서열과 외모도 같지만 동일한 개체는 아니다. 그래서 부분들의 강한 유기적 상호작용이 그 조건으로 흔히 제시된다. 하나의 개체를 구성하는 부분들은 외부 존재가 개체에 영향을 주는 것과는 비교할 수 없이 강한 방식으로 서로 영향을 주고받는다.

상이한 시기에 존재하는 두 대상을 동일한 개체로 판단하는 조건도 물을 수 있다. 그것은 두 대상 사이의 인과성이다. 과거의 ‘나’와 현재의 ‘나’를 동일하다고 볼 수 있는 것은 강한 인과성이 존재하기 때문이다. 과거의 ‘나’와 현재의 ‘나’는 세포 분열로 세포가 교체되는 과정을 통해 인과적으로 연결되어 있다. 또 ‘나’가 세포 분열을 통해 새로운 개체를 생성할 때도 ‘나’와 ‘나의 후손’은 인과적으로 연결되어 있다. 비록 ‘나’와 ‘나의 후손’은 동일한 개체는 아니지만 ‘나’와 다른 개체들 사이에 비해 더 강한 인과성으로 연결되어 있다.

개체성에 대한 이러한 철학적 질문은 생물학에서도 중요한 연구 주제가 된다. 생명체를 구성하는 단위는 세포이다. 세포는 생명체의 고유한 유전 정보가 담긴 DNA를 가지며 이를 복제하여 증식하고 번식하는 과정을 통해 자신의 DNA를 후세에 전달한다. 세포는 사람과 같은 진핵생물의 진핵세포와, 박테리아나 고세균과 같은 원핵생물의 원핵세포로 구분된다. 진핵세포는 세포질에 막으로 둘러싸인 핵이 ㉢있고 그 안에 DNA가 있지만, 원핵세포는 핵이 없다. 또한 진핵세포의 세포질에는 막으로 둘러싸인 여러 종류의 세포 소기관이 있으며, 그중 미토콘드리아는 세포 활동에 필요한 생체 에너지를 생산하는 기관이다. 대부분의 진핵세포는 미토콘드리아를 필수적으로 ㉣가지고 있다.

이러한 미토콘드리아가 원래 박테리아의 한 종류인 원생미토콘드리아였다는 이론이 20세기 초에 제기되었다. 공생발생설 또는 세포 내 공생설이라고 불리는 이 이론에서는 두 원핵생물 간의 공생 관계가 지속되면서 진핵세포를 가진 진핵생물이 탄생했다고 설명한다. 공생은 서로 다른 생명체가 함께 살아가는 것을 말하며, 서로 다른 생명체를 가정하는 것은 어느 생명체의 세포 안에서 다른 생명체가 공생하는 ‘내부 공생’에서도 마찬가지이다. ㉤공생발생설은 한동안 생물학계로부터 인정받지 못했다. 미토콘드리아의 기능과 대략적인 구조, 그리고 생명체 간 내부 공생의 사례는 이미 알려졌지만 미토콘드리아가 과거에 독립된 생명체였다는 것을 쉽게 믿을 수 없었기 때문이었다. 그리고 한 생명체가 세대를 이어 가는 과정 중에 돌연변이와 자연선택이 일어나고, 이로 인해 종이 진화하고 분화한다고 보는 전통적인 유전학에서 두 원핵생물의 결합은 주목받지 못했다. 그러다가 전자 현미경의 등장으로 미토콘드리아의 내부까지 세밀히 관찰하게 되고, 미토콘드리아 안에는 세포핵의 DNA와는 다른 DNA가 있으며 단백질을 합성하는 자신만의 리보솜을 가지고 있다는 사실이 ㉥밝혀지면서 공생발생설이 새롭게 부각되었다.

공생발생설에 따르면 진핵생물은 원생미토콘드리아가 고세균의 세포 안에서 내부 공생을 하다가 탄생했다고 본다. 고세균의 핵의 형성과 내부 공생의 시작 중 어느 것이 먼저인지에 대해서는 논란이 있지만, 고세균은 세포질에 핵이 생겨 진핵세포가 되고 원생미토콘드리아는 세포 소기관인 미토콘드리아가 되어 진핵생물이 탄생했다는 것이다. 미토콘드리아가 원래 박테리아의 한 종류였다는 근거는 여러 가지가 있다. 박테리아와 마찬가지로 새로운 미토콘드리아는 이미 존재하는 미토콘드리아의 ‘이분 분열’을 통해서만 만들어진다. 미토콘드리아의 막에는 진핵세포막의 수송 단백질과는 다른 종류의 수송 단백질인 포린이 존재하고 박테리아의 세포막에 있는 카디오리핀이 존재한다. 또 미토콘드리아의 리보솜은 진핵세포의 리보솜보다 박테리아의 리보솜과 더 유사하다.

미토콘드리아는 여전히 고유한 DNA를 가진 채 복제와 증식이 이루어지는데도, 미토콘드리아와 진핵세포 사이의 관계를 공생 관계로 보지 않는 이유는 무엇일까? 두 생명체가 서로 떨어져서 살 수 없더라도 각자의 개체성을 잃을 정도로 유기적 상호작용이 강하지 않다면 그 둘은 공생 관계에 있다고 보는데, 미토콘드리아와 진핵세포 간의 유기적 상호작용은 둘을 다른 개체로 볼 수 없을 만큼 매우 강하기 때문이다. 미토콘드리아가 개체성을 잃고 세포 소기관이 되었다고 보는 근거는, 진핵세포가 미토콘드리아의 증식을 조절하고, 자신을 복제하여 증식할 때 미토콘드리아도 함께 복제하여 증식시킨다는 것이다. 또한 미토콘드리아의 유전자의 많은 부분이 세포핵의 DNA로 옮겨 가 미토콘드리아의 DNA 길이가 현저히 짧아졌다는 것이다. 미토콘드리아에서 일어나는 대사 과정에 필요한 단백질은 세포핵의 DNA로부터 합성되고, 미토콘드리아의 DNA에 남은 유전자 대부분은 생체 에너지를 생산하는 역할을 한다. 예컨대 사람의 미토콘드리아는 37개의 유전자만 있을 정도로 DNA 길이가 짧다.

## 10. 윗글의 내용 전개 방식으로 가장 적절한 것은?

- ① 개체성과 관련된 예를 제시한 후 공생발생설에 대한 다양한 견해를 비교하고 있다.
- ② 개체에 대한 정의를 제시한 후 세포의 생물학적 개념이 확립되는 과정을 서술하고 있다.
- ③ 개체성의 조건을 제시한 후 세포 소기관의 개체성에 대해 공생발생설을 중심으로 설명하고 있다.
- ④ 개체의 유형을 분류한 후 세포의 소기관이 분화되는 과정을 공생발생설을 중심으로 설명하고 있다.
- ⑤ 개체와 관련된 개념들을 설명한 후 세포가 하나의 개체로 변화하는 과정을 인과적으로 서술하고 있다.

## 11. 윗글에 대한 이해로 적절하지 않은 것은?

- ① 유사성은 아무리 강하더라도 개체성의 조건이 될 수 없다.
- ② 바닷물을 개체라고 말하기 어려운 이유는 유기적 상호작용이 약하기 때문이다.
- ③ 새로운 미토콘드리아를 복제하기 위해서는 세포 안에 미토콘드리아가 반드시 있어야 한다.
- ④ 미토콘드리아의 대사 과정에 필요한 단백질은 미토콘드리아의 막을 통과하여 세포질로 이동해야 한다.
- ⑤ 진핵세포가 되기 전의 고세균이 원생미토콘드리아보다 진핵세포와 더 강한 인과성으로 연결되어 있다.

## 12. 윗글을 참고할 때, ㉠의 이유로 가장 적절한 것은?

- ① 진핵세포가 세포 소기관을 가지고 있다는 사실을 알지 못했기 때문이다.
- ② 공생발생설이 당시의 유전학 이론에 어긋난다는 근거가 부족했기 때문이다.
- ③ 한 생명체가 다른 생명체의 세포 속에서 살 수 있다는 근거가 부족했기 때문이다.
- ④ 미토콘드리아가 진핵세포의 활동에 중요한 기능을 한다는 사실을 알지 못했기 때문이다.
- ⑤ 미토콘드리아가 자신의 고유한 유전 정보를 전달할 수 있다는 것을 알지 못했기 때문이다.

## 13. &lt;보기&gt;는 진핵세포의 세포 소기관을 연구한 결과들이다. 윗글을 바탕으로 할 때, 각각의 세포 소기관이 박테리아로부터 비롯되었다고 판단할 수 있는 것만을 &lt;보기&gt;에서 고른 것은?

— <보 기> —

- ㄱ. 세포 소기관이 자신의 DNA를 가지고 있다는 것과 이분 분열을 한다는 것을 확인하였다.
- ㄴ. 세포 소기관이 자신의 DNA를 가지고 있다는 것과 진핵세포의 리보솜을 가지고 있다는 것을 확인하였다.
- ㄷ. 세포 소기관이 막으로 둘러싸여 있다는 것과 막에는 수송 단백질이 있는 것을 확인하였다.
- ㄹ. 세포 소기관이 막으로 둘러싸여 있다는 것과 막에는 다량의 카디올리핀이 있는 것을 확인하였다.

- ① ㄱ, ㄷ
- ② ㄱ, ㄹ
- ③ ㄴ, ㄷ
- ④ ㄴ, ㄹ
- ⑤ ㄷ, ㄹ

## 14. 윗글을 바탕으로 &lt;보기&gt;를 이해한 내용으로 적절하지 않은것은? [3점]

〈보 기〉

- 복어는 테트로도톡신이라는 신경 독소를 가지고 있지만 테트로도톡신을 스스로 만들지 못하고 체내에서 서식하는 미생물이 이를 생산한다. 복어는 독소를 생산하는 미생물에게 서식처를 제공하는 대신 포식자로부터 자신을 방어할 수 있는 무기를 갖게 되었다. 만약 복어의 체내에 있는 미생물을 제거하면 복어는 독소를 가지지 못하나 생존에는 지장이 없었다.
- 실험실의 아메바가 병원성 박테리아에 감염되어 대부분의 아메바가 죽고 일부 아메바는 생존하였다. 생존한 아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아는 스스로 복제하여 증식할 수 있었고 더 이상 병원성을 지니지는 않았다. 아메바에게는 무해하지만 박테리아에게는 치명적인 항생제를 아메바에게 투여하면 박테리아와 함께 아메바도 죽었다.

- ① 병원성을 잃은 ‘아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아’는 세포 소기관으로 변한 것이겠군.
- ② 복어의 ‘체내에서 서식하는 미생물’은 ‘복어’와의 유기적 상호작용이 강해진다면 개체성을 잃을 수 있겠군.
- ③ 복어의 세포가 증식할 때 복어의 체내에서 ‘독소를 생산하는 미생물’의 DNA도 함께 증식하는 것은 아니겠군.
- ④ ‘아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아’가 개체성을 잃었다면 ‘아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아’의 DNA 길이는 짧아졌겠군.
- ⑤ ‘아메바의 세포질에서 서식하는 박테리아’와 ‘아메바’ 사이의 관계와 ‘복어’와 ‘독소를 생산하는 미생물’ 사이의 관계는 모두 공생 관계이겠군.

## 15. 문맥상 ㉠~㉥와 바꿔 쓰기에 적절하지 않은 것은?

- ① ㉠: 구성(構成)한다고
- ② ㉡: 존재(存在)하고
- ③ ㉢: 보유(保有)하고
- ④ ㉣: 조명(照明)되면서
- ⑤ ㉤: 생성(生成)된다

## 03 미토콘드리아와 공생발생설

### 문단별 글의 구조

이 글은 문단1과 2에서 ‘개체성’에 대한 철학적 논의를 소개하고, 그 내용을 문단4~6에 제시된 생물학 분야(그 중에서도 공생발생설)에 적용하고 있다. 문단4~6의 내용이 중요하다. 여러분들은 문단4에서 ‘공생발생설’, ‘내부 공생’등의 중요 개념을 정확하게 이해한 뒤, 이를 바탕으로 문단5와 문단6에서 제시되는 증거들(㉠㉢㉣ / ㉠㉡㉢)이 공생발생설을 어떻게 입증하는지 파악할 수 있어야 한다.

문단5에서 제시되는 증거들은 세포 내의 미토콘드리아가 과거에는 별도의 원핵생물이었음을 입증한다. 반면에 문단6에서 제시되는 증거들은 세포 내의 미토콘드리아가 현재에는 한 진핵생물 내의 기관에 불과하다는 점을 입증한다. 따라서 문단5의 내용과 문단6의 내용이 긴장관계를 이루고 있음을 파악하는 것이 매우 중요하다. 문단5는 미토콘드리아-고세균의 이질성을, 문단6은 미토콘드리아-진핵세포의 통합성을 드러내는 증거들을 제시하고 있다.

#### 문단1

**부분들이 모여서 하나의 개체를 이루었는지 판별하는 기준(공시적)**

: 부분들 사이의 유사성(x) → 부분들 사이의 강한 유기적 상호작용(o)

#### 문단2

**다른 시기의 두 대상을 하나의 개체로 판별하는 기준(통시적)**

: 두 대상 사이의 인과성

#### 문단3

**‘개체성’에 대한 철학적 논의를 생물학 분야에 적용**

- 생물학에서의 개체성 논의에 앞서, 진핵세포와 원핵세포의 구조를 차이를 비교하며 설명함.

#### 문단4

(1)공생발생설의 내용

(2)공생발생설이 인정받지 못했다가 → 전자현미경의 등장으로 인정받게 됨(by㉠,㉢)

**과거에, 미토콘드리아는 별도의 원핵생물(=박테리아)이었다!**

(과거에는 2개의 개체였다고 보는 이유)

#### 문단5

- 미토콘드리아가 과거에 별도의 원핵생물(=박테리아)이었음을 보여주는 근거 3개

㉠㉢㉣

**현재, 미토콘드리아는 진핵세포의 세포 내 소기관이 되었다!**

(현재에는 1개의 개체라고 보는 이유)

#### 문단6

판별기준: (분리불가능성) (X) / 미토콘드리아-진핵세포 간 강한 유기적 상호작용 (O)

- 미토콘드리아-진핵세포 간 유기적 상호작용이 강하다고 보여주는 근거 3개

㉠㉡㉢

**블랙의 질문:  
핵심 쟁점**

01. 공생발생설에 의하면, 과거에 미토콘드리아는 고세균과 하나의 개체였는가, 아니면 별도의 개체였는가?

**Answer** 공생발생설에 의하면 과거에는 미토콘드리아가 고세균과 별도의 개체였다.

02. 공생발생설에 의하면, 현재에는 미토콘드리아는 고세균과 하나의 개체인가, 아니면 별도의 개체인가?

**Answer** 공생발생설에 의하면 현재에는 미토콘드리아는 고세균의 세포 소기관이 되었다. 즉, 미토콘드리아는 '진핵세포'라는 하나의 개체의 세포 소기관이 되었다.

## 문단 1

우리는 한 대의 자동차는 개체라고 하지만 바닷물을 개체라고 하지는 않는다. 어떤 부분들이 모여 하나의 개체를 ③이룬다고 할 때 이를 개체라고 부를 수 있는 조건은 무엇일까? 일단 부분들 사이의 유사성은 개체성의 조건이 될 수 없다. 가령 일란성 쌍둥이인 두 사람은 DNA 염기 서열과 외모도 같지만 동일한 개체는 아니다. 그래서 부분들의 강한 유기적 상호작용이 그 조건으로 흔히 제시된다. 하나의 개체를 구성하는 부분들은 외부 존재가 개체에 영향을 주는 것과는 비교할 수 없이 강한 방식으로 서로 영향을 주고받는다.

## 문단1 해설

‘한 시기(공시적=시간 공통적)’에 부분들이 개체를 구성하기 위해 필요한 조건을 검토하고 있다.

그 조건은 부분들 사이의 유사성이 아니라, 부분들 사이의 강한 유기적 상호작용이다.

부분들 사이의 유사성	부분들 사이의 강한 유기적 상호작용
-개체 구성의 조건이 못 됨 ex) 일란성 쌍둥이인 두 사람 (매우 유사하지만 다른 개체임!)	-개체 구성의 조건이 됨 ex) 한 대의 자동차 (바퀴+몸체+엔진 사이의 강한 상호작용!)

## 문단 2

상이한 시기에 존재하는 두 대상을 동일한 개체로 판단하는 조건도 물을 수 있다. 그것은 두 대상 사이의 인과성이다. 과거의 ‘나’와 현재의 ‘나’를 동일하다고 볼 수 있는 것은 강한 인과성이 존재하기 때문이다. 과거의 ‘나’와 현재의 ‘나’는 세포 분열로 세포가 교체되는 과정을 통해 인과적으로 연결되어 있다. 또 ‘나’가 세포 분열을 통해 새로운 개체를 생성할 때도 ‘나’와 ‘나의 후손’은 인과적으로 연결되어 있다. 비록 ‘나’와 ‘나의 후손’은 동일한 개체는 아니지만 ‘나’와 다른 개체들 사이에 비해 더 강한 인과성으로 연결되어 있다.

## 문단2 해설

‘상이한 시기(통시적=시간 통과적)’에 존재하는 두 대상이 하나의 개체이기 위한 조건을 검토하고 있다.

그 조건은 두 대상 사이의 강한 인과성이다.

과거의 나 – 현재의 나	나 – 나의 후손
세포가 교체되는 과정으로 인과적으로 연결 됨	인과적으로 연결됨. (하나의 개체는 아니지만 꽤 강한 인과성으로 연결됨)

## 문단 3

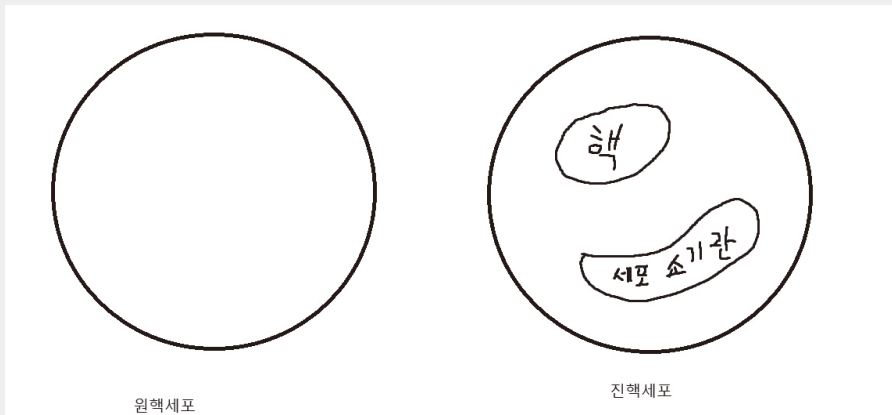
개체성에 대한 이러한 철학적 질문은 생물학에서도 중요한 연구 주제가 된다. 생명체를 구성하는 단위는 세포이다. 세포는 생명체의 고유한 유전 정보가 담긴 DNA를 가지며 이를 복제하여 증식하고 번식하는 과정을 통해 자신의 DNA를 후세에 전달한다. 세포는 사람과 같은 진핵생물의 진핵세포와, 박테리아나 고세균과 같은 원핵생물의 원핵세포로 구분된다. 진핵세포는 세포질에 막으로 둘러싸인 핵이 ⑥있고 그 안에 DNA가 있지만, 원핵세포는 핵이 없다. 또한 진핵세포의 세포질에는 막으로 둘러싸인 여러 종류의 세포 소기관이 있으며, 그중 미토콘드리아는 세포 활동에 필요한 생체 에너지를 생산하는 기관이다. 대부분의 진핵세포는 미토콘드리아를 필수적으로 ㉠가지고 있다.

## 문단3 해설

개체성에 대한 철학적 질문을, 생물학 분야에 적용하고 있다.

하지만 개체성에 대해서 본격적으로 논의하기에 앞서, 두 종류의 세포(원핵세포, 진핵세포)의 구조를 비교하며 설명하고 있다. 이 부분에서 세포의 구조에 대한 어느 정도의 배경지식이 필요하다.

원핵세포	진핵세포
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 박테리아/고세균 등의 원핵생물의 세포</li> <li>• 핵이 없다</li> <li>• (제시되지는 않았으나 문맥상) 세포질에 막으로 둘러싸인 세포 소기관이 없다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 사람과 같은 진핵생물의 세포</li> <li>• 세포질에 막으로 둘러싸인 핵이 있다</li> <li>• 세포질에 막으로 둘러싸인 세포 소기관 (중 미토콘드리아)이 있다</li> </ul>



## 문단 4

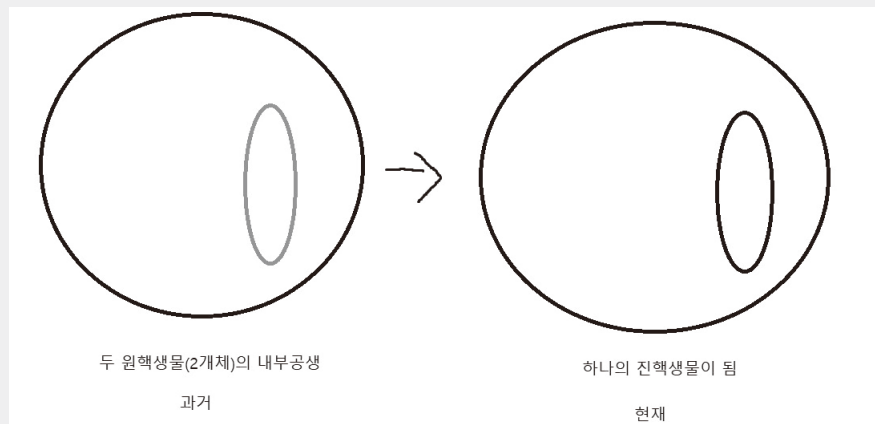
이러한 미토콘드리아가 원래 박테리아의 한 종류인 원생미토콘드리아였다는 이론이 20세기 초에 제기되었다. 공생발생설 또는 세포 내 공생설이라고 불리는 이 이론에서는 두 원핵생물 간의 공생 관계가 지속되면서 진핵세포를 가진 진핵생물이 탄생했다고 설명한다. 공생은 서로 다른 생명체가 함께 살아가는 것을 말하며, 서로 다른 생명체를 가정하는 것은 어느 생명체의 세포 안에서 다른 생명체가 공생하는 ‘내부 공생’에서도 마찬가지이다. (‘서로 다른 생명체’라는 표현에서, 공생이라는 표현은 그 자체로 이미 두 개의 생명체를 전제하며 쓰는 용어임에 유의해야 한다.) ㉠공생발생설은 한동안 생물학계로부터 인정받지 못했다. 미토콘드리아의 기능과 대략적인 구조, 그리고 생명체 간 내부 공생의 사례는 이미 알려졌지만 미토콘드리아가 과거에 독립된 생명체였다는 것을 쉽게 믿을 수 없었기 때문이었다. 그리고 한 생명체가 세대를 이어 가는 과정 중에 돌연변이와 자연선택이 일어나고, 이로 인해 종이 진화하고 분화한다고 보는 전통적인 유전학에서 두 원핵생물의 결합은 주목받지 못했다. 그러다가 전자 현미경의 등장으로 미토콘드리아의 내부까지 세밀히 관찰하게 되고, 미토콘드리아 안에는 세포핵의 DNA와는 다른 DNA가 있으며 단백질을 합성하는 자신만의 리보솜을 가지고 있다는 사실이 ㉡밝혀지면서 공생발생설이 새롭게 부각되었다.

## 문단4 해설

문단4에서는 (1)공생발생설의 내용, (2)공생발생설이 인정받지 못했다가 새롭게 부각된 이유가 설명되어 있다.

(1)공생발생설의 내용부터 살펴보자. 공생발생설은 현재 진핵세포 안의 기관에 불과한 미토콘드리아가 과거에는 전혀 다른 개체인 원핵생물이었다는 이론이다. 즉, 두 원핵생물의 내부공생관계가 지속되다가, 어느 순간 이후로 두 원핵세포가(두 개체) 하나의 진핵세포(한 개체)가 되었다는 것이다.

이를 그림으로 나타내면 다음과 같다.



이때 중요한 점은 과거의 ‘공생’이라는 단어 자체가 ‘같이 산다’라는 뜻이므로, **공생**이라는 단어는 그 자체로 서로 다른 2개의 생명체(=개체)를 상징하고 있다는 것이다.

(2)또, 공생발생설이 처음에 인정받지 못했다가 새롭게 주목된 이유에 대해서 살펴보자. 과거에도 미토콘드리아가 존재한다는 점과 그것의 기능 및 구조, 생명체 간 내부공생의 사례는 이미 알려져 있었지만, ‘전통적인 유전학’에서는 한 생명체가 세대를 이어가는 과정 중에 진화가 일어난다고 보았다. 따라서 두 생물이 합쳐졌다는 점에 주목하는 공생발생설은 찬밥 신세였다.

하지만, 전자현미경이 등장하여 미토콘드리아의 내부까지 관찰이 가능하게 되었고,  
 ○미토콘드리아 내부의 DNA와 세포핵의 DNA가 다르다는 점,  
 ○미토콘드리아는 단백질을 합성하는 자신만의 리보솜이 있다는 점  
 의 두 가지가 밝혀지면서 **공생발생설이 주목받게 되었다.**

공생발생설에 따르면 진핵생물은 원생미토콘드리아가 고세균의 세포 안에서 내부 공생을 하다가 탄생했다고 본다. 고세균의 핵의 형성과 내부 공생의 시작 중 어느 것이 먼저인지에 대해서는 논란이 있지만, 고세균은 세포질에 핵이 생겨 진핵세포가 되고 원생미토콘드리아는 세포 소기관인 미토콘드리아가 되어 진핵생물이 탄생했다는 것이다. / **미토콘드리아가 원래 박테리아의 한 종류였다는 근거는 여러 가지가 있다.** 박테리아와 마찬가지로 새로운 미토콘드리아는 이미 존재하는 미토콘드리아의 ‘이분 분열’을 통해서만 **◎만들어진다.** 미토콘드리아의 막에는 진핵세포막의 수송 단백질과는 다른 종류의 수송 단백질인 포린이 존재하고 박테리아의 세포막에 있는 카디오리핀이 존재한다. 또 미토콘드리아의 리보솜은 진핵세포의 리보솜보다 박테리아의 리보솜과 더 유사하다.

## 문단 5

### 문단5 해설

공생발생설에 따르면,

“**고세균은 진핵세포가 되었고, 원생미토콘드리아는 진핵세포 안의 세포소기관인 미토콘드리아가 되었다.**”

즉 **진핵세포**와 강한 인과성으로 연결되어 있는 것은 **고세균**이지, 원생미토콘드리아가 아니다.

같은 의미에서 **미토콘드리아**와 강한 인과성으로 연결되어 있는 것은 **원생미토콘드리아**이지, 고세균이 아니다.

또한, 공생발생설은 과거에 두 개의 원핵생물이, 현재에는 하나의 진핵생물이 되었다고 주장한다. 이 문단에서는 이 중 과거에 미토콘드리아가 원래 박테리아(원핵생물)의 한 종류였다고 보는 근거를 3개 제시한다. 다시 말해, 고세균과 원생미토콘드리아가 원래 따로따로의 원핵생물이었다고 보는 근거를 제시하는 것이다.

미토콘드리아가 과거에 별도의 박테리아였다고 보는 근거 3가지  
(=과거에, 미토콘드리아와 고세균이 공생관계였다고 보는 근거)

- ㉠ 새로운 미토콘드리아는 이미 존재하는 미토콘드리아의 이분분열로만 만들어진다.
- ㉡ 미토콘드리아의 막은 진핵세포의 세포막과는 매우 다르다.(포린, 카디올리핀)
- ㉢ 미토콘드리아의 리보솜은 진핵세포의 리보솜과 다르다. 오히려 원핵생물인 박테리아의 리보솜과 흡사하다.

이 세 가지 근거는 미토콘드리아가 과거에는 별개의 개체였다는 것을 입증하는 것이다.

## 문단 6

미토콘드리아는 여전히 고유한 DNA를 가진 채 복제와 증식이 이루어지는데도, 미토콘드리아와 진핵세포 사이의 관계를 공생 관계로 보지 않는 이유는 무엇일까? 두 생명체가 서로 떨어져서 살 수 없더라도 각자의 개체성을 잃을 정도로 유기적 상호작용이 강하지 않다면 그 둘은 공생 관계에 있다고 보는데, 미토콘드리아와 진핵세포 간의 유기적 상호작용은 둘을 다른 개체로 볼 수 없을 만큼 매우 강하기 때문이다.(=‘중요 문장’) 미토콘드리아가 개체성을 잃고 세포 소기관이 되었다고 보는 근거는, 진핵세포가 미토콘드리아의 증식을 조절하고, 자신을 복제하여 증식할 때 미토콘드리아도 함께 복제하여 증식시킨다는 것이다. 또한 미토콘드리아의 유전자의 많은 부분이 세포핵의 DNA로 옮겨 가 미토콘드리아의 DNA 길이가 현저히 짧아졌다는 것이다. 미토콘드리아에서 일어나는 대사 과정에 필요한 단백질은 세포핵의 DNA로부터 합성되고, 미토콘드리아의 DNA에 남은 유전자 대부분은 생체 에너지를 생산하는 역할을 한다. 예컨대 사람의 미토콘드리아는 37개의 유전자만 있을 정도로 DNA 길이가 짧다.

### 문단6 해설

미토콘드리아는 여전히 세포핵의 DNA와 다른, 고유한 DNA를 가지고 복제와 증식을 하는데도, 현재에는 미토콘드리아-진핵세포를 공생관계로 보지 않는다. 즉, 미토콘드리아는 별도의 독립된 개체라고 보지 않고 미토콘드리아를 포함한 진핵세포를 1개의 개체로 보는 것이다.

**중요 문장**

“(두 생명체가 서로 떨어져서 살 수 없더라도) 각자의 개체성을 잃을 정도로 유기적 상호작용이 강하지 않다면 그 둘은 공생 관계에 있다고 보는데, 미토콘드리아와 진핵세포 간의 유기적 상호작용은 둘을 다른 개체로 볼 수 없을 만큼 매우 강하기 때문이다.”

**중요 문장 해설**

‘중요 문장’을 보면, 미토콘드리아-진핵세포를 2개의 개체(=공생관계)로 보지 않고 1개의 개체로 보는 이유를 파악할 수 있다. 우선 괄호를 친 (두 생명체가 서로 떨어져서 살 수 없다)는 사실은 두 생명체를 1개의 개체가 되었다고 판별하는 기준이 되지 못한다는 점을 파악할 수 있다.

두 생명체가 1개의 개체가 되었다고 판별하는 기준은, ‘중요 문장’의 뒷부분에 밑줄 친 두 대상 사이의 강한 유기적 상호작용이다. 미토콘드리아-진핵세포 간 유기적 상호작용이 약하면 둘은 공생 관계(=2개의 개체)라고 판별이 되지만, 그 둘 간의 유기적 상호작용이 매우 강하기 때문에 그 둘은 공생 관계(=2개의 개체)가 아니라 1개의 개체라고 판별된다.

유기적 상호작용이 약하면	유기적 상호작용이 강하면
2개의 개체 (공생 관계)	1개의 개체 (부분-전체 관계)

(기억나는가? 1문단에서도 부분들의 합을 하나의 개체를 이루었다고 판별하는 기준은 부분들 사이의 강한 유기적 상호작용이었다. 1문단에서의 철학적 논의가 6문단에서 생물학 분야에서도 재현되고 있는 것이다.)

그렇다면 미토콘드리아가 개체성을 잃었다고 보는 근거(=미토콘드리아-진핵세포 간 유기적 상호작용이 매우 강하다고 보는 근거)는 무엇인가? 문단의 후반부에 역시 세 가지 이유가 제시된다.

미토콘드리아가, 현재에는 개체성을 잃었다고 보는 근거 3가지

- ㉠진핵세포가 미토콘드리아의 증식을 조절하며, 자신을 복제할 때 미토콘드리아를 함께 복제한다. (복제의 통제권이 진핵세포에 있다는 사실)
- ㉡미토콘드리아의 DNA가 세포핵의 DNA로 옮겨 가버렸다.
- ㉢미토콘드리아에서 필요한 단백질은 세포핵의 DNA에서 합성되어, 미토콘드리아로 운반된다.

이 세 가지 사실(㉠㉡㉢)은 미토콘드리아-진핵세포 간 유기적 상호작용이 매우 강하여, 둘을 1개의 개체로 판별할 수 있는 근거에 해당한다. 문단6의 내용은 문단5에서 제시된 세 가지 근거와 정 반대의 근거이며, 5문단과 6문단은 서로 긴장관계에 있다고 평가할 수 있겠다.

5문단에서 제시된 세 가지 증거 (=과거에 미토콘드리아가 별도의 개체였다는 근거. 즉 모두 합쳐서 2개의 개체인 증거)	6문단에서 제시된 세 가지 증거 (=현재 미토콘드리아는 별도의 개체가 아니라는 근거. 즉 모두 합쳐서 1개의 개체인 증거)
이질성 강조	통합성 강조
㉠새로운 미토콘드리아는 이미 존재하는 미토콘드리아의 이분분열로만 만들어진다. ㉡미토콘드리아의 막은 진핵세포의 세포막과는 매우 다르다. (포린, 카디오펜) ㉢미토콘드리아의 리보솜은 진핵세포의 리보솜과 다르다. 오히려 원핵생물인 박테리아의 리보솜과 흡사하다.	㉠진핵세포가 미토콘드리아의 증식을 조절하며, 자신을 복제할 때 미토콘드리아를 함께 복제한다. (복제의 통제권이 진핵세포에 있다) ㉡미토콘드리아의 DNA가 세포핵의 DNA로 옮겨 가버렸다는 사실 ㉢미토콘드리아에서 필요한 단백질은 세포핵의 DNA에서 합성되어, 미토콘드리아로 운반된다.



# 필수지식 스노우볼

## 통합과 분리

(부분은 전체의 일부인가? 아니면 부분만으로 독립된 개체성이 있는가?)

우리는 어떤 **부분**을 전체의 일부로 볼 수도 있고, 그 부분이 따로 독립된 것으로 볼 수도 있다.

‘공생발생설’에서는, 세포 안의 **미토콘드리아**를 ‘세포’의 일부로 볼 것인지, 아니면 그것을 독립된 개체로 보고, 그것이 그냥 세포 안에서 공생하고 있는 것으로 볼 것인지가 문제되었다.

## 과거와 현재

공생발생설에 의하면, ‘현재’에는 세포 내의 소기관인 미토콘드리아는, ‘과거’에 별도의 개체(원생미토콘드리아)였다고 한다.

과거와 현재가 시기적으로 구별되고 있는 것이다.

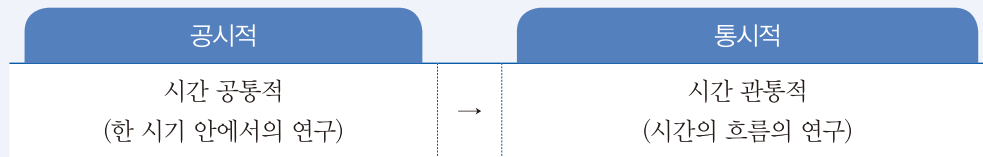
## 통시적 연구와 공시적 연구

공시적 은 공통된 시간을 바라보는 것이다.(=어떤 대상을 한 시기에 연구함)

통시적 은 시간을 관통하여 바라보는 것이다.(=어떤 대상이 시간의 흐름에 따라 어떻게 변화하는지 연구함)

문단1은 부분들이 모여 개체를 이룬다고 할 때, 개체성의 조건을 하나의 시간 안에서만 따져보았다. 이는 ‘공시적’ 탐구를 하는 것이다.

반면 문단2는 상이한 시기의 두 대상을 동일한 개체로 판단할 수 있는 조건을 따져보고 있다. 이는 ‘통시적’ 탐구를 하고 있는 것이다.



## 가설과 증거

- 공생발생설은, 현재 세포 내의 기관에 불과한 미토콘드리아가, 과거에는 별도의 개체(=원생미토콘드리아)였다는 가설이다. 이것도 처음에는 가설에 불과했다. 가설은 증거를 통해 입증되어야 한다!
- 공생발생설이 사실이라고 입증하는 증거는, 문단5와 문단6에 3개씩, 총 6개가 제시되었다. 문단5에 제시된 증거는 공생발생설의 과거에 대한 설명이 사실임을 입증하고, 문단6에 제시된 증거는 공생발생설의 현재에 대한 설명이 사실임을 입증한다.

5문단에서 제시된 세 가지 증거 (=과거에 미토콘드리아가 별도의 개체였다는 근거. 즉 모두 합쳐서 2개의 개체인 증거)	6문단에서 제시된 세 가지 증거 (=현재 미토콘드리아는 별도의 개체가 아니라는 근거. 즉 모두 합쳐서 1개의 개체인 증거)
이질성 강조	통합성 강조
<p>㉠새로운 미토콘드리아는 이미 존재하는 미토콘드리아의 이분분열로만 만들어진다.</p> <p>㉡미토콘드리아의 막은 진핵세포의 세포막과는 매우 다르다. (포린, 카디오펜)</p> <p>㉢미토콘드리아의 리보솜은 진핵세포의 리보솜과 다르다. 오히려 원핵생물인 박테리아의 리보솜과 흡사하다.</p>	<p>㉠진핵세포가 미토콘드리아의 증식을 조절하며, 자신을 복제할 때 미토콘드리아를 함께 복제한다. (복제의 통제권이 진핵세포에 있다)</p> <p>㉡미토콘드리아의 DNA가 세포핵의 DNA로 옮겨 가버렸다는 사실</p> <p>㉢미토콘드리아에서 필요한 단백질은 세포핵의 DNA에서 합성되어, 미토콘드리아로 운반된다.</p>