

항상성과 세포기능

제 1 장

배 문 경

개요

- ◆ 항상성의 개념
- ◆ 다양한 기관에 의해 유지되는 항상성
- ◆ 항상성 관련 조절기전
음성·양성 되먹임
- ◆ 인체의 구성단위로서의 세포
- ◆ 세포막
- ◆ 핵
핵막
핵소체
염색질
DNA 복제
단백질 합성
- ◆ 세포질
- ◆ 막성 소기관
세포질세망
골지체
용해소체
과산화소체
미토콘드리아
- ◆ 비막성 소기관
리보솜
볼트
세포 골격
- ◆ 세포 간 부착
치밀이음
부착반점
틈새이음

항상성의 개념

항상성(homeostasis)이란, 내부환경(internal environment)이 일정한 상태로 유지되게 하는 것을 뜻한다. 아메바와 같은 단세포 생물은 필요한 영양분과 산소를 직접 외부환경(external environment)으로부터 받아들여 내부환경을 일정하게 유지하지만, 사람과 같은 다세포 생물의 각 세포는 다른 세포와의 상호작용 없이는 그 기능을 유지할 수 없다. 따라서 다세포 생물은 세포 간 물질교환이 가능한 내부환경을 구성하여 외부환경의 변화에 능동적으로 대응하며 내부적인 항상성을 유지하고 있다. 인체의 약 60%는 물로 구성되어 있는데, 대부분의 물은 세포 내에 존재하는 세포내액(intracellular fluid; ICF)이며, 1/3 정도가 세포 외에 존재하는 세포외액(extracellular fluid; ECF)이다. 대부분의 세포는 혈액과 직접적으로 접촉하지 않으며, 대신 혈액과 물질을 교환하는 세포외액에 둘러싸여 있다. 세포외액은 인체 세포의 즉각적인 환경을 구성하기 때문에 내부환경이라 불린다. 또한 내부환경이란 용어는 혈액세포를 둘러싸는 혈류 내 체액에도 적용된다. 총괄적으로 세포외액은 혈액의 액상 부분인 혈장(plasma)과 세포를 둘러싸고 있는 간질액(interstitial fluid), 이 두 가지로 구성된다(그림 1-1). 인체 내부는 상피조직(epithelial tissue)에 의해 외부환경(external environment)과 구분된다. 상피조직은 피부뿐만 아니라 폐, 위장관계, 신세뇨관 등을 덮고 있다. 이것은 공기 또는 음식이 폐 또는 위로 들어갈 때 이 물질이 상피 벽의 바깥면에 위치하기 때문에 실질적으로 외부환경이 된다. 외부환경이

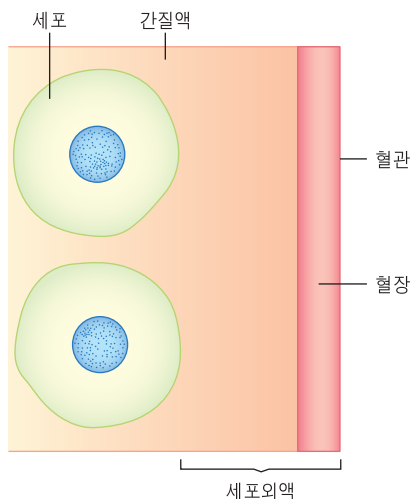


그림 1-1. 세포외액(내부환경)의 구성.

란 온도, 빛, 생물, 화학물질, 음식물 등 생체를 둘러싼 모든 환경을 의미한다. 다세포 생물의 특정 세포가 외부환경으로부터 멀리 떨어져 있더라도 생명 유지에 필요한 물질 교환은 세포를 둘러싸고 있는 내부환경을 통하여 이루어진다. 즉, 고등동물은 외부환경이 다양하게 변하더라도 여러 가지 기관계가 내부환경의 항상성을 유지하도록 물질 교환을 일으킴으로써 생존 가능한 것이다. 그 예로 위장관에서는 물, 무기염 및 영양분이 내강(lumen)에서 혈류로 이동하고, 들이마신 산소가 폐를 통해 혈액으로 이동한다. 그리고 순환계에 의해 영양분과 산소가 각 기관으로 운반되어 모세혈관을 통해 간질액으로 운반된다. 반대로 노폐물은 간질액을 통해 혈액으로 운반된 후 내부환경에서 외부환경으로 배출된다.

다양한 기관에 의해 유지되는 항상성

세포가 외부 변화에 민감하다면 인체는 다양한 외부환경에 어떻게 견뎌 낼 수 있겠는가? 사람은 열대와 같이 매우 뜨거운 기후에서도 생존할 수 있으며, 또한 매우 추운 곳에서도 살 수 있다. 산소가 부족한 높은 산에서도 살 수 있으며 사막의 건조한 지역에서도, 우림의 다습한 지역에서도 살 수 있다. 인체는 어떻게 이런 다양한 조건에 적응할 수 있는가? 정답은 인체는 외부환경에서 일어나는 다양한 변화에도 불구하고 상대적으로 일정한 조건의 내부환경을 유지하기 위한 여러 가지 조절 기전을 가지고 있기 때문이다.

각각의 기관계는 다양한 환경에서도 항상성을 나타내며, 이를 통하여 개체의 생존과 세포의 기능에 필요한 환경을 유지시킨다.

인체 내 11개의 기관계는 다음과 같은 여러 가지 방법으로 내적 환경을 유지한다.

1. 순환계(circulatory system)는 영양분, 산소, 이산화탄소, 노폐물, 전해질, 호르몬과 같은 물질들을 여러 인체 부위로 운반한다.
2. 소화계(digestive system)는 섭취한 음식물을 흡수 가능한 작은 형태로 바꾸어 혈장으로 흡수되게 한다. 또한 소화계는 수분 및 전해질을 외부환경에서 내부환경으로 운반하며, 소화되지 않은 음식 잔여물을 변의 형태로 외부환경으로 배출한다.
3. 호흡계(respiratory system)는 외부환경으로부터 산소를

받아들이고 이산화탄소를 배출한다. 산성을 띠는 이산화탄소의 제거율을 조절함으로써 내부환경의 pH를 조절하고 있다.

4. 비뇨기계(urinary system)는 과도한 수분, 염분, 산 및 여러 전해질을 혈장에서 배출하여, 소변으로 배설시킨다.
5. 골격계(skeletal system)는 연조직과 기관을 지지하고 보호한다. 또한 칼슘 저장고로 이용되며, 근육계와 함께 인체 및 각 부위의 움직임에 관여한다. 더욱이 골수는 여러 혈구세포의 근원지이기도 하다.
6. 근육계(muscular system)는 골격근이 부착되어 있는 뼈를 움직인다. 항상성의 관점에서 볼 때 근육계는 사람을 음식이 있는 쪽으로 이동하게 하고, 해로운 환경으로부터는 멀어지게 한다. 그리고 근육수축으로 인해 생기는 열은 체온조절에 중요하다.
7. 피부계(integumentary system)는 외부 보호막으로 작용하며 인체 내부 체액의 손실 및 외부 미생물의 침입을 막는다. 또한 땀의 분비량과 피하 혈류량을 조절하여 체온을 조절하는 역할도 하고 있다.
8. 면역계(immune system)는 외부 침입자 및 암세포로부터 인체를 보호한다.
9. 신경계(nervous system)는 두 가지 주요한 항상성 조절 장치 중 하나이다. 신경계는 즉각적인 반응을 요구하는 인체 반응을 조절하고 통합하는 역할을 한다. 특히 외부환경의 변화를 감지하고, 이에 대한 반응을 개시하는 데 중요하다. 또한 의식, 기억, 창조와 같이 항상성과는 직접적으로 관련이 없는 기능도 담당한다.
10. 내분비계(endocrine system)는 또 하나의 주요한 항상성 조절장치이다. 신경계와는 반대로, 내분비계는 호르몬을 통한 지속적인 반응을 조절한다. 내분비계는 대사활성의 조절, 체내 전해질 균형, 개체의 성장과 같은 과정에 관여한다.
11. 생식계(reproductive system)는 항상성 및 개개의 생존에는 직접적인 관련이 없지만 종족 보존에 필수적이다.

각각의 기관계에 대해 알아보면서 항상 기억해야 할 것은 각 기관계는 각기 다른 일을 담당하지만 모두 조화를 이루어야 하며, 다른 기관계가 함께 작동해야만 내부환경에서 일정한 조건을 유지할 수 있다는 점이다.

항상성 관련 조절 기전

인체는 항상성 관련 조절 기전을 통해 내부환경을 일정한 범위 내에서 유지시킨다. 항상성 관련 조절 기전은 유지되어야 하는 내부환경의 구성 인자가 정상에서 얼마나 벗어났는지를 감지하고, 이러한 정보를 다른 관련 정보와 통합하여, 이 변화 인자를 정상 범위 내로 되돌리기 위해 인체 각 부위에 적합한 지시를 내릴 수 있어야 한다. 이러한 내부환경 조절 기전으로 음성되먹임, 양성되먹임, 앞먹임기전 등이 존재한다.

음성·양성 되먹임

항상성 관련 조절 기전은 주로 음성되먹임에 의해 작용한다. 음성되먹임(negative feedback system)의 원리에 따라 조절이 되는 경우에는 어떠한 인자가 변화를 일으켰을 때 변화에 반대되는 방향으로 변화 인자가 조절을 받아 정상으로 회복된다.

대부분의 항상성 조절 기전은 다음과 같은 공통된 형태를 따른다. 변동성이 증가하면 시스템은 그것을 감소시키는 방향으로 작용하며, 감소한다면 시스템은 증가시키는 방향으로 작용한다. 이러한 조절 기전이 적절하게 작동하기 위해서는 변동성이 인체 내에서 감지되어야만 가능하다. 이러한 감지는 변동성에 민감한 세포가 센서(sensor)로 작용하여 이루어진다. 음성되먹임의 일반적 예로는 체온조절을 들 수 있다. 예를 들면, 뇌와 인체의 특정 부위에는 온도에 민감한 온도감수기(thermoreceptors)라 불리는 신경세포가 있다. 센서는 변동성을 설정점(set point)과 비교하여 적절한 반응을 조율하는 통합중추(integrating center: 뇌의 특정 신경회로 세트)로 신호(입력, input)를 전달한다. 이러한 신호를 전달받은 통합중추는 마지막 반응을 일으키는 세포, 조직 또는 기관으로 신호(출력, output)를 내보낸다. 이러한 세포, 조직이나 기관을 효과기(effector)라 부른다. 체온을 모니터링하기 위해 온도감수기는 뇌의 온도조절 통합중추로 신호를 보내고, 온도가 설정점 이상일 때 온도조절 통합중추는 효과기로 신호를 보내어 체온을 떨어뜨리게 된다. 이와 같이 시스템의 반응(온도의 하락)이 움직임 상태(온도의 상승)의 반대 방향으로 변하기 때문에 음성되먹임이라 불린다(그림 1-2).

음성되먹임과 더불어 소수의 양성되먹임(positive feedback system)이 항상성 조절에서 중요하다. 양성되먹임에서는 시스템의 반응이 변화되어 가는 방향과 같은 방향으로 향한다. 예

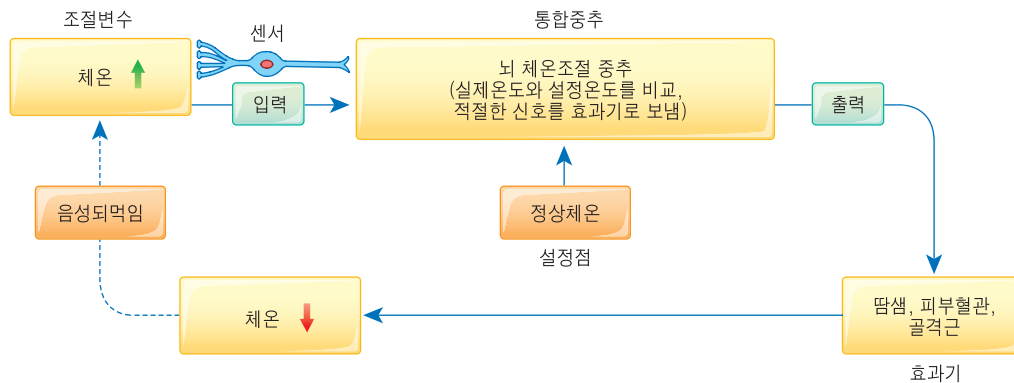


그림 1-2. 음성되먹임. 본문에 설명했듯이 체온조절에 관여하는 되먹임 기전이다. 박스 내에 있는 위, 아래 화살표는 각각 증가, 감소를 의미한다.

를 들면, 뇌하수체는 생식 기능을 조절하는 에스트로겐이라 불리는 호르몬을 분비하기 위해 난소를 자극하는 황체형성호르몬(lutenizing hormone; LH)을 분비한다. 특정 조건에서 혈장 에스트로겐 농도의 상승은 LH 분비 증가를 촉발시킨다. 이는 에스트로겐 분비 자극을 통해 LH 분비를 더욱 강화하고 이는 더 많은 에스트로겐 분비를 유도한다. 이 결과는 배란을 촉발하는 LH의 폭발적인 분비(LH surge)로 알려진 혈장 LH의 빠른 상승을 초래한다. 생리학적 다양성의 변화를 최소화하는 음성되먹임과는 달리 양성되먹임은 자극에 반응이 빠르게 변화하도록 변화를 더욱 증폭시키는 작용이다. 그러나 양성되먹임을 통한 빠른 변화에도 불구하고 조절을 벗어나 무한정으로 증가하지는 않는다. 이는 몇 가지 기전이 양성되먹임을 유발하는 일차적 원인자극을 제거하거나, 또는 그 자극에 반응하는 시스템의 되먹임 용량(feedback capacity)을 제한시킴으로써 양성되먹임 고리를 종결시키기 때문이다. 예를 들어, LH 분비 폭발 동안 LH 농도는 재빨리 최대점으로 올라간 다음 떨어지기 시작하는데, 이는 분비 폭발이 일시적으로 배란을 촉발시켜 난소가 에스트로겐을 분비하는 능력을 방해하기 때문이다. 결과적으로 혈장 에스트로겐 수준의 감소는 LH 분비를 상승시키는 자극을 제거함으로써 LH 수준을 떨어뜨리도록 한다. 하지만 양성되먹임 기전은 항상성에 위배되는 것이므로 음성되먹임 기전만큼 빈번하게 인체에서 사용되지는 않는다.

변화에 대처하는 방법으로 되먹임 기전과 더불어 앞먹임(feed forward) 기전이 사용되기도 한다. 앞먹임 기전은 변화를 예상하여 반응을 일으키는 것을 말하는데, 예를 들어, 음식물이 소화계에 존재할 때 음식물이 흡수된 후를 예상하고 작동

하는 앞먹임 기전에 의해 세포 내로의 영양분 섭취와 소화계에서 흡수된 물질의 저장을 유도하는 호르몬의 분비가 증가된다. 이러한 예상 반응으로 음식을 섭취한 후에 일어날 수 있는 혈중 영양분의 급격한 농도 상승을 제한할 수 있게 된다.

내부환경 변화에 견디는 항상성 조절 기전이 작동함에도 불구하고 모든 조절계는 한계를 가진다. 예를 들면, 체온은 환경 온도가 너무 높지 않고 조절계가 처한 다른 스트레스가 너무 크지 않을 때에만 정상에 가깝게 유지된다. 하지만 과도한 운동이나 높은 환경 온도는 치명적 결과(열탈진과 열발작)를 초래하고, 체온조절이 불가능하게 된다. 항상성을 유지하는 특정 시스템의 실패는 기관계 기능에 좋지 않은 영향을 주기 때문에 질병의 신호와 증상을 일으킨다는 사실이 일반적이며, 항상성의 파괴 정도가 너무 심하면 결국에는 죽음을 초래한다.

인체의 구성단위로서의 세포

세포(cell)는 생명체의 구조적·기능적 기본 단위로서, 생명현상과 관계된 여러 반응을 일으키는 가장 최소 단위이다. 인체는 100조 개 이상의 세포가 모여 항상성을 유지하기 위해 상호 협조적으로 활동하게 된다. 전체적으로 인체가 잘 조직화되어 있는 것처럼 세포 역시 내부적으로 잘 조직화되어 있다. 세포는 3개의 주요 부분, 즉 세포를 둘러싸는 세포막(plasma membrane), 세포의 유전물질을 담고 있는 핵(nucleus), 겔 같은 액체 상태의 세포액(cytosol)에 존재하는 조직화된 소기관으로 구성된 세포질(cytoplasm)로 이루어져 있다(그림 1-3). 개개의 세포 구성 요소들의 조화로운 작용을 통해 세포는 자체 생존에

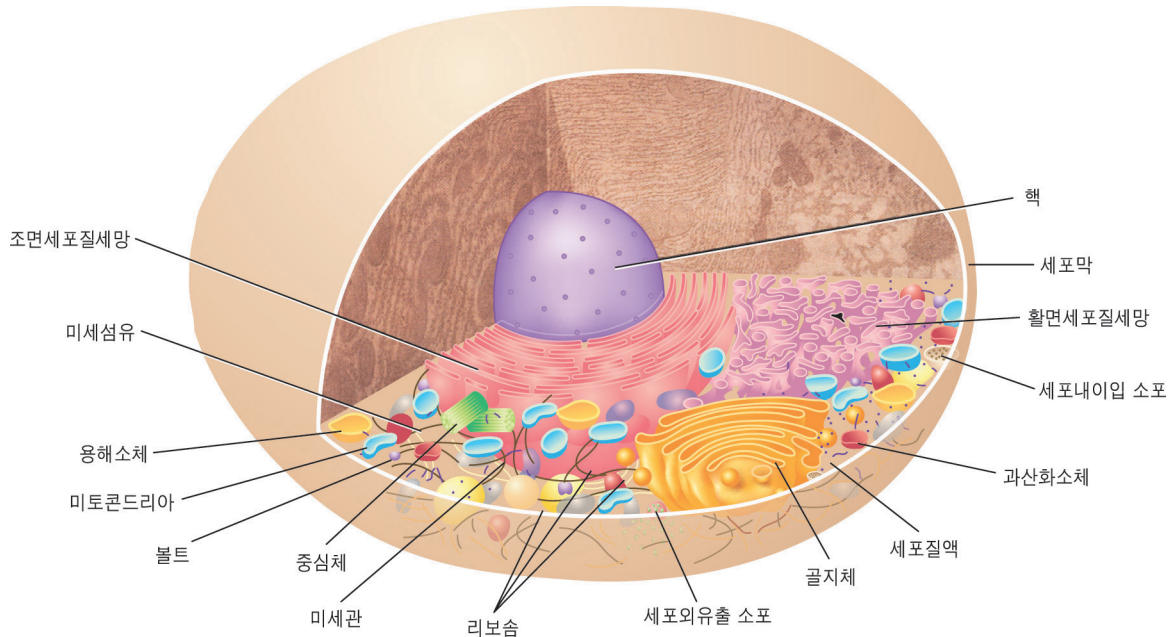


그림 1-3. 전자현미경으로 본 세포 구조의 삼차원적 모식도.

필요한 기본적 기능을 유지할 수 있다. 모든 인체 기능은 결국 인체를 구성하는 개개의 세포 활동에 의존하는 것이다.

세포막

세포막(plasma membrane)은 각 세포를 둘러싸는 얇은 막 구조다. 지질 성분의 이 막은 주변으로부터 세포 내용물들을 분리시켜 세포 외액과 내액이 섞이는 것을 막는다. 세포막은 단순히 세포 내 내용물들을 유지하는 기계적 구조물의 역할만이 아니라, 세포 외액과 내액 간 분자 이동을 선택적으로 조절하는 기능을 갖고 있다. 이 구조물을 통해 세포는 영양분과 다른 필수 인자들을 세포 내로 들어거나 가공된 생산물들을 내보내는 것을 조절하는 동시에 세포 내·외로의 원치 않는 수송을 감시할 수 있다. 세포막은 제3장에서 자세히 논의하기로 한다.

핵

대부분의 세포는 디옥시리보핵산(deoxyribonucleic acid; DNA)이라 하는 유전정보를 함유하는 구 형태의 핵을 가지고 있다. DNA는 염색질(chromatin)이라 불리는 실 모양으로 존재하며, 세포의 다른 부분과 구분 짓는 이중막인 핵막(nuclear

envelope)으로 둘러싸여 있다. 핵막은 핵과 세포질 간 물질이 이동할 수 있는 다양한 핵막구멍(nuclear pore)을 갖고 있다. 또한 핵 내에는 리보솜 리보핵산(ribosomal ribonucleic acid; rRNA)의 합성장소인 핵소체(nucleolus)가 존재한다(그림 1-4).

핵막

핵을 둘러싸고 있는 이중막으로, 바깥쪽 핵막은 세포질세망과 연결되어 있고, 내막과 외막 사이의 공간도 세포질세망의 내부와 연결되어 있다. 핵막에는 수천 개의 핵막구멍이 존재하는데 지름은 약 9nm 미만으로 작은 크기이지만, 핵막구멍을 통해 분자량이 큰 물질이나 RNA도 쉽게 통과된다.

핵소체

어둡게 염색되는 구형의 구조물로 막에 싸여 있지 않은 것이 특징이다. 핵소체에서는 리보솜 RNA가 합성되며, 합성된 리보솜 RNA는 단백질과 결합한 후 핵막구멍을 통해 세포질로 운반되어 리보솜의 구성 성분이 된다.

염색질

핵 내에는 유전정보를 가지는 DNA와 히스톤(histone)이라

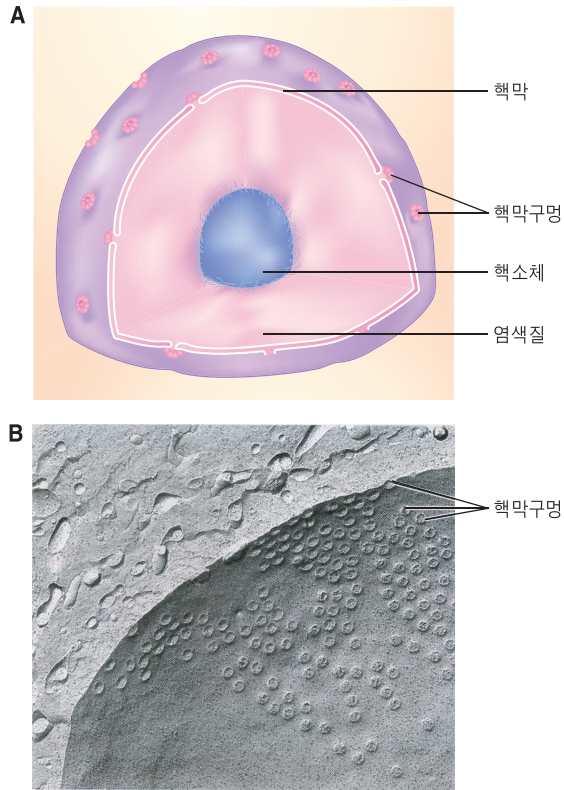


그림 1-4. 핵. A, 핵은 핵막에 의해 세포질과 구획되어 있다. 핵막에 있는 핵막구멍은 세포질과 핵 사이의 특정 물질의 수송을 가능하게 한다. 유전 정보를 가지고 있는 DNA는 염색질의 형태로 존재하고, 핵소체는 리보솜 RNA의 합성장소이다. B, 핵막구멍의 전자현미경사진.

는 단백질로 구성되어 있는 염색질이 존재한다. 염색질의 기본 단위는 9개의 히스톤 단백질이 DNA에 의해 연결되어 염주 모양을 띠는 것으로 이를 뉴클레오솜(nucleosome)이라 한다(그림 1-5A). 염색질은 세포 유사분열(mitosis) 시 응축되어 염색체(chromosome)로 되므로 광학현미경상에서 쉽게 구분이 가능하다. DNA의 기본구조는 뉴클레오티드(nucleotide), 즉 인산, 디옥시리보스(deoxyribose), 질소성 염기[아데닌(adenine), 구아닌(guanine), 티민(thymine), 시토신(cytosine)]로 구성되는데, 인산과 디옥시리보스는 나선가닥을 형성하고, 각 가닥의 염기는 수소결합을 통해 이중나선을 이어 주는 역할을 한다(그림 1-5B, C). 사람은 23쌍, 46개의 염색체를 가지는데 그중 22쌍은 상염색체이며 나머지 1쌍은 성염색체이다. 염색질이 가지는 DNA의 두 가지 주된 기능은 (1) 세포분열 과정 동안의 DNA 복제와 (2) 단백질 합성 지휘이다. 자세한 설명은 제2장에서 자세히 논의하기로 한다.

DNA 복제

세포가 분열할 때 딸세포(daughter cell)가 완전한 DNA를 전달받기 위해서는 DNA가 정확히 복제되어야 하며, 핵에서 염색체 내의 DNA 복제가 끝난 뒤에 유사분열이 일어날 수 있다. DNA 복제 동안 각각의 DNA 가닥은 새롭게 합성되는 DNA 가닥의 주형으로 이용된다(그림 1-6). DNA 복제를 담당하는 DNA 중합효소(DNA polymerase)는 주형 DNA에 붙은 후 DNA를 따라 움직이며, 주형 DNA의 상보적 뉴클레오티드를 새로운 폴리뉴클레오티드 가닥에 붙여 나가는 작용을 한다. 이러한 과정에서 만들어진 DNA 이중나선은 새로운 가닥과 구형의 가닥으로 이루어져 있으므로 반보존적 복제(semiconservative replication)라 칭한다. 이와 같이 세포가 자신과 똑같은 또 다른 세포를 만들도록 세포 복제 동안 유전적 청사진을 제공함으로써 인체 내에 동일한 세포 형태를 지속시킨다. 게다가 생식세포에서 DNA 청사진은 다음 세대로 그 특성이 전달된다.

단백질 합성

단백질 합성의 일반적 과정은 다음과 같다.

1. 핵 내에서 DNA가 상보적인 전령 RNA(messenger RNA; mRNA)로 전사(transcription) 된다. 이 과정에서는 RNA중합효소(RNA polymerase)가 DNA의 촉진자(promoter) 부위에 결합하여 DNA 이중나선을 풀고 DNA 가닥을 따라 움직이면서 상보적인 RNA 뉴클레오티드를 더해 주며 수소결합으로 연결시킨다. 주형 DNA의 3개의 염기로 이루어진 삼중자코드(triplet code)는 RNA의 상보적인 유전자부호(코돈, codon)로 변환된다(그림 1-7).
2. 전령 RNA는 핵에서 세포질로 이동하게 된다.
3. 세포질에서 전령 RNA는 리보솜에 의해 아미노산으로 유전자부호해독(translation)된다. 전령 RNA가 리보솜과 만나서 거치는 동안 각 RNA 유전자부호에 해당하는 특정 아미노산이 더해져서 아미노산(amino acid)사슬이 만들어진다.

이러한 과정에 세 가지 형태의 RNA(ribonucleic acid)가 관여하게 된다. 특정 DNA의 유전암호는 핵막구멍을 통해 핵을 빠져나오는 전령 RNA 분자로 전사된다. 리보솜 RNA가 75종류의 단백질과 함께 리보솜을 형성한다. 전달 RNA(transfer RNA; tRNA)는 한쪽 끝에 전령 RNA의 유전자부호에 대응하

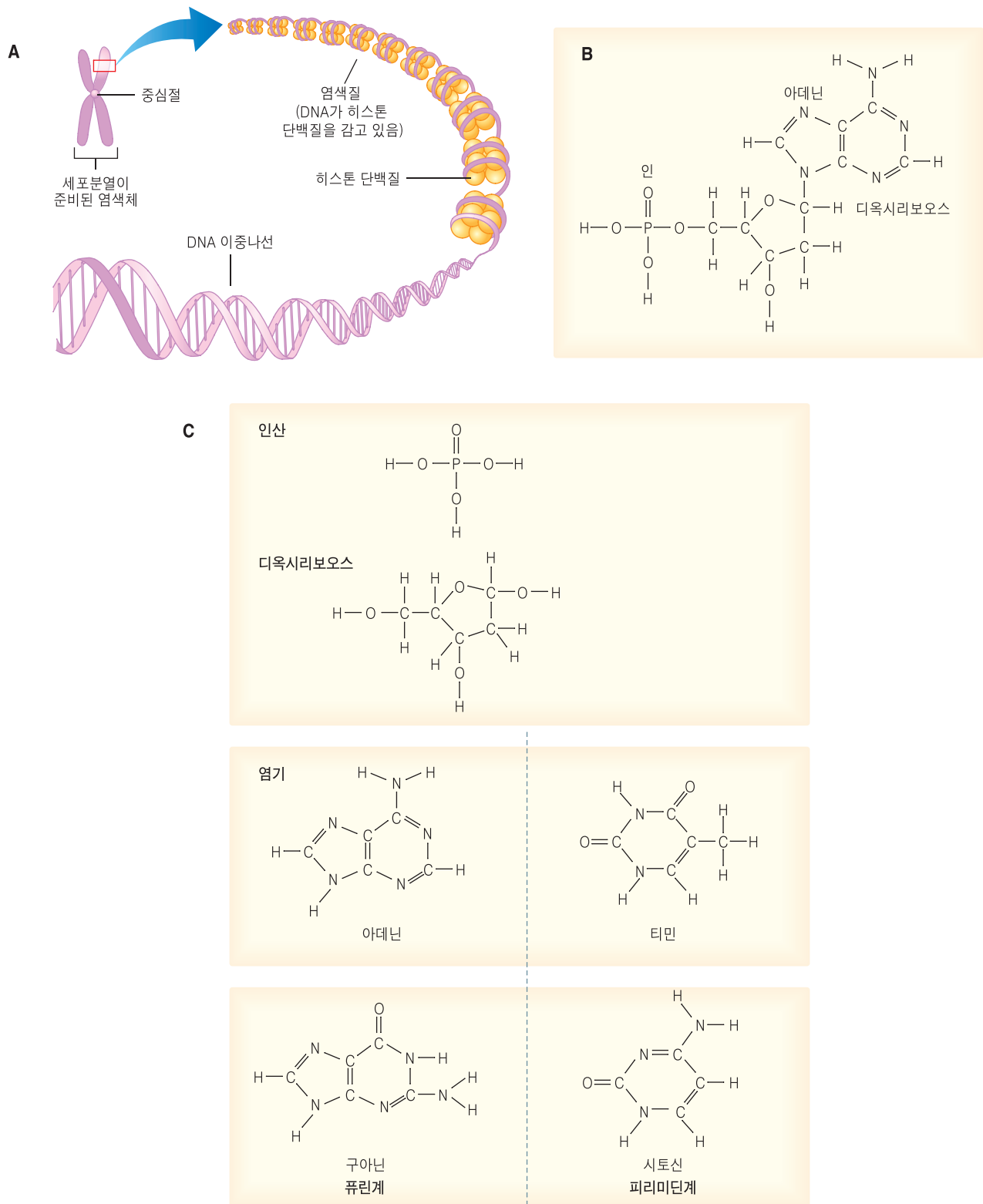


그림 1-5. A, 염색체. 염색체는 세포분열에 앞서 단단히 감겨 있는 조직화된 구조이며, 유전정보를 가지는 DNA 이중나선이 히스톤 단백질을 감고 있는 염색질로 핵 내에 존재한다. B, DNA의 뉴클레오티드 중 하나인 디옥시아데닐릭산(deoxyadenylic acid). C, DNA를 구성하는 기본물질.

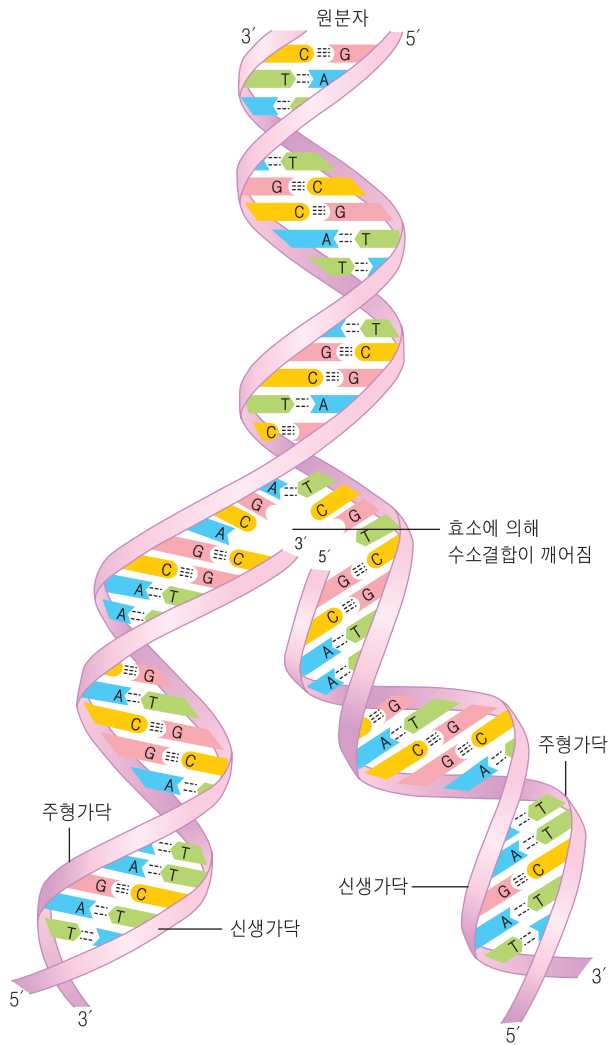


그림 1-6. DNA 복제. 감겨 있던 DNA 이중나선은 풀려서 각각의 가닥이 새로운 DNA 가닥의 주형으로 작용하게 된다.

는 대응유전자부호(anticodon)를 가지며, 다른 한쪽 끝에는 특정 아미노산이 결합되어 있다. 이러한 특징을 지닌 전달 RNA가 세포질 내의 적절한 아미노산을 단백질 합성이 이루어지고 있는 곳으로 운반한다. RNA를 구성하는 기본물질은 몇 가지를 제외하고는 DNA와 유사하다. RNA에는 디옥시리보스 대신 리보스(ribose)가 사용되고, 염기의 티민 대신 우라실(uracil)이 사용된다는 점이 DNA와 다르다.

세포질

세포질(cytoplasm)은 핵을 제외한 세포 내부의 일부분이다. 세포질은 뚜렷하며, 잘 조직화되고, 막으로 둘러싸인 수많은 소

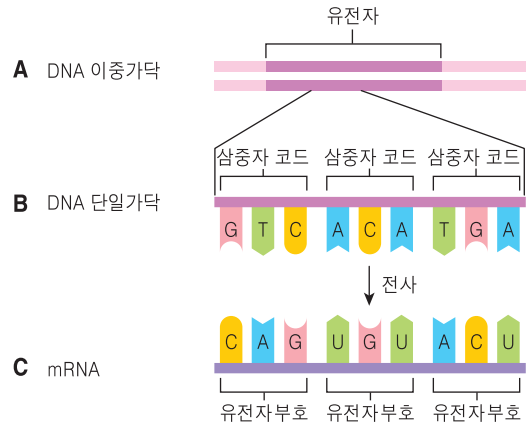


그림 1-7. 유전부호. A, 유전자, 특정 단백질을 암호화하는 DNA의 한 부분. B, 삼중자, 유전자 내 아미노산 서열을 암호화하는 3개의 염기서열. C, 전사된 전령 RNA 유전자부호, DNA 삼중자에 상보적인 서열.

기관을 가지고 있는데, 이들 소기관들은 복잡하고 겔 같은 액체 상태의 세포액(cytosol) 내에 존재한다.

세포질은 지방, 글리코젠, 분비소포가 포함되어 있으며, 평균적으로 전체 세포질 부피의 대략 반 정도를 소기관이 차지하고 있다. 각 소기관(organelle)은 세포 내에서 세포막과 유사한 막에 의해 분리된 구획이다. 그러므로 소기관의 내용물은 세포액 주변과 다른 소기관의 내용물로부터 분리되어 있다. 거의 모든 세포는 여섯 가지 주요 형태의 소기관인 세포질세망, 골지체, 용해소체, 과산화소체, 미토콘드리아와 볼트를 가지고 있다.

소기관을 제외한 세포 내 성분을 세포액이라 한다. 세포액은 세포 골격으로 알려진 정교한 단백질 네트워크와 엷인 겔 같은 액체 상태로 이루어져 있다. 세포 골격 네트워크는 세포의 형태와 내부 조직을 제공해 주고 다양한 활동을 조절한다.

막성 소기관

세포질세망

세포질세망(endoplasmic reticulum; ER)은 세포질 전체에 넓게 분포된 정교하고 유체로 채워진 막성 구조물이다. 이것은 주로 단백질과 지질을 가공하는 장소이고, 두 가지 다른 형태의 세포질세망인 활면세포질세망과 조면세포질세망으로 나눌 수 있다. 활면세포질세망(smooth ER)은 서로 연결된 작은 관의 그물인 반면, 조면세포질세망(rough ER)은 다량의 납작한 주머니로 이루어져 있다(그림 1-8). 활면세포질세망과 조면세포질

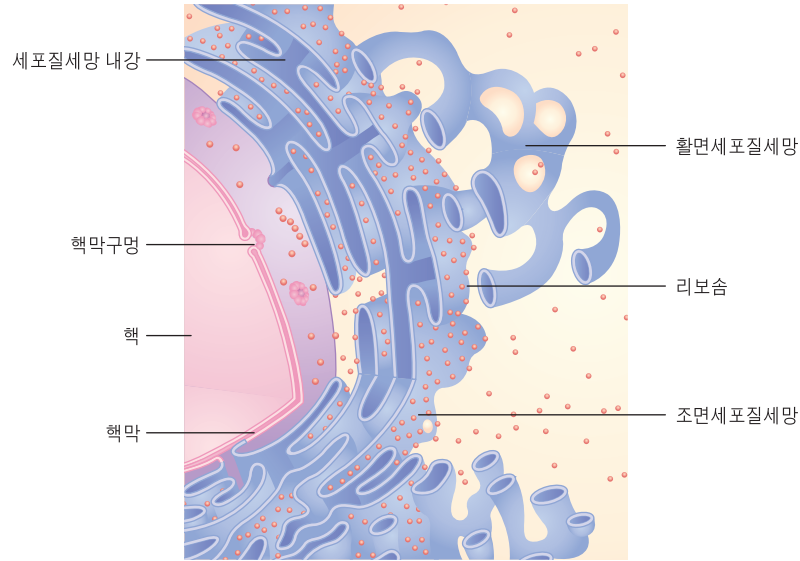


그림 1-8. 세포질세망. 세포질세망막은 핵막의 바깥막과 연결되어 있다. 조면세포질세망은 핵과 인접해 있고 리보솜이 결합된 납작한 주머니로 구성되어 있다. 조면세포질세망의 막은 리보솜이 없고 관 모양인 활면세포질세망의 막과 연결되어 있다.

세망의 상대적인 양은 세포의 활성에 따라 세포마다 다양하다.

조면세포질세망의 바깥면에는 광학현미경에서는 과립형으로 보이는 작고 어둡게 염색된 입자인 리보솜(ribosome)이 산재해 있다. 리보솜은 리보솜 RNA와 75종류의 단백질로 구성되어 있으며, 실질적으로 단백질이 합성되는 장소로서의 역할을 한다. 세포질세망은 리보솜과 함께 다양한 새로운 단백질을 세포질세망막으로 싸인 유체로 채워진 공간, 즉 세포질세망 내강으로 합성하여 내보낸다. 세포질세망 내강에서 새롭게 합성된 단백질은 최종 구조로 접히거나 잘리고 또한 포도당 분자가 붙는 방식으로 변형될 수 있다. 이렇게 만들어진 단백질은 세포 외로 분비되거나, 세포 내로 전달되어 세포막(새로운 세포막이나 소기관막)이나 다른 소기관 단백질 구성 요소를 만드는 데 사용된다.

활면세포질세망은 리보솜을 가지고 있지 않아 매끈한 구조를 가진다. 활면세포질세망은 트리글리세리드, 스테로이드와 같은 지질 합성장소로 이용되고, 칼슘이온의 저장고로도 이용된다. 또한 세포 종류에 따라 특수화된 일들을 수행한다. 예를 들어 간세포에서는 활면세포질세망이 혈액 내 독성물질을 분해할 수 있는 해독효소를 함유하고 있다.

골지체

골지체(Golgi complex)는 여러 층의 납작하고 약한 굴곡이 있으며 막으로 둘러싸인 주머니, 즉 수조(cisternae)로 구성되

어 있고 세포질세망과 밀접히 연관되어 있다(그림 1-9). 각 골지체 내의 주머니들은 물리적으로 서로 연결되어 있지는 않다. 골지체는 세포질세망에서 합성된 분자들을 가공하고, 최종장소로 운반하기 위해 준비된다. 골지체는 분자들을 소포로 포장하고 적당한 장소(세포 내 또는 외)로 소포들을 보내게 한다. 골지체의 수는 세포 형태에 따라 다양하다. 몇몇 세포는 하나의 골지체만 있는 반면, 단백질 분비에 고도로 특성화된 세포는 수백 개의 골지체를 가진다.

용해소체

용해소체(lysosome)는 작은 구 모양을 띠고 있으며 한 겹의 막에 둘러싸여 있다. 용해소체는 세포 내 파편과 세포 외 파편을 분해하는 효소를 가지고 있다. 예를 들어, 더 이상 기능을 하지 못하는 오래된 소기관이 용해소체와 융합된 후 용해소체 내 효소가 그 소기관을 분해하고, 사용 가능한 구성성분은 재활용되고 폐기물은 세포로부터 제거된다. 세포 외 잔해의 경우에는 세포 내로 세포내이입(endocytosis)이라 불리는 작용에 의해 유입되며 그 과정에서 소포에 둘러싸인다. 용해소체는 그 소포와 융합하여 세포 외 잔해를 분해하게 된다. 이 과정에서 세포내이입은 흡수되는 재료의 내용물에 따라 세 가지 유형, (1) 포식작용, (2) 포음작용, (3) 수용체를 통한 세포내이입에 의해 수행된다(그림 1-10).

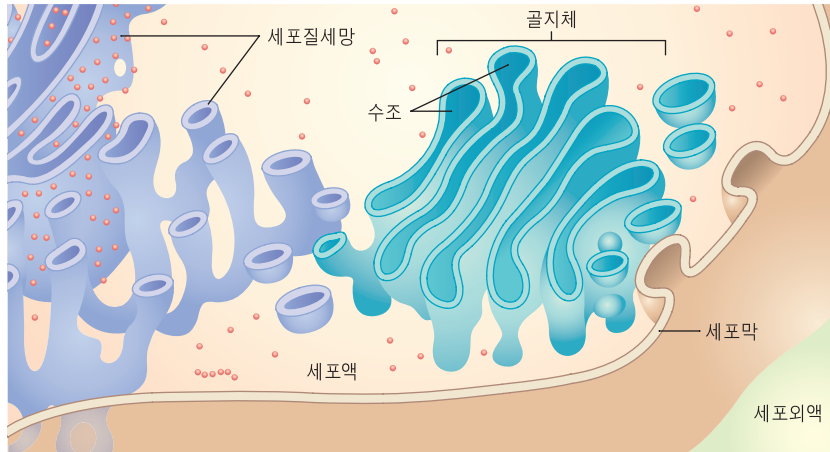


그림 1-9. 골지체. 골지체는 수조라 불리는 납작한 모양의 주머니로 구성되어 있다. 골지체의 한쪽 면은 세포질세망에 접하고 있고 또 다른 면은 세포막에 접하고 있다.

포식작용

포식작용(phagocytosis) 동안 크고 여러 개인 분자 조각들이 흡수된다. 대부분의 주요 세포는 포음작용을 수행하고, 많은 세포가 수용체를 통한 세포내이입을 수행하며, 단지 소수의 특성화된 세포만 포식작용을 수행할 수 있다. 그 특성화된 세포로 가장 주목할 만한 것은 인체 방어 기전에 있어 중요한 역할을 하는 백혈구이다. 백혈구는 세균이나 조직 잔해와 같은 크고 여러 개로 이뤄진 분자 조각과 마주했을 때 조각을 완전히 둘러싸거나, 위족(pseudopodium)으로 알려진 표면 돌기를 뻗어 소포 내로 사로잡아 포식소포(phagocytic vesicle)를 형성한다. 용해소체는 흡수된 소포의 막과 융합하여 포식용해소체(phagolysosome)를 형성하고, 용해소체의 소화효소를 이용하여 소포 내에서 세포의 나머지 부분에 해를 주지 않고 세균이나 다른 물질들을 안전하게 공격한다. 효소는 아미노산, 포도당, 지방산과 같이 재사용할 수 있는 형태로 이 물질들을 분해한다. 이러한 물질들은 용해소체막을 통해 세포액으로 쉽게 이동할 수 있다.

포음작용

포음작용(pinocytosis)은 비특이적으로 세포 외 유체의 작은 물방울(droplet)을 흡수한다. 먼저 세포막을 안으로 끌어들여 세포외액을 가진 작은 소포를 형성한다. 내분비 소포는 세포막의 내부 표면에 붙어 있는 막을 변형시키는 외피 단백질에 의해 형성된다. 이러한 외피 단백질은 분비 소포 형성에 관여되는 것과 비슷하다. 외피 단백질은 세포막을 내부로 끌어들이도록

한다. 그런 다음 세포막은 작은 주머니 표면에서 봉합되고 작은 세포 내 세포내이입 소포(endocytotic vesicle)에서 내용물을 사로잡는다. 세포외액을 세포로 흡수하는 것 이외에 포음작용은 외분비 동안 세포 표면에 붙은 여분의 세포막을 제거하는 수단으로도 이용된다.

수용체를 통한 세포내이입

주변 유체를 비특이적으로 흡수하는 포음작용과는 달리 수용체를 통한 세포내이입(receptor-mediated endocytosis)은 주변 환경으로부터 필요로 하는 큰 분자를 특이적으로 세포 내로 이입시키는 선택적인 과정이다. 수용체를 통한 세포내이입은 특정 단백질이 그에 특이적인 표면막 수용체에 붙어서 유발된다. 이 결합은 세포막이 그 자리에 움푹 들어가서 표면을 싼 다음 세포 내로 단백질을 가두어 소포를 형성한다. 소포를 형성하는 세포막 부위는 세포질 표면이 클라트린(clathrin)이라는 단백질로 덮여 있다. 이러한 부위를 피복함물(coated pit)이라 부르며, 이것이 수용체와 수용체에 결합한 특정 분자를 함유하는 피복소포(coated vesicle)로 된다. 콜레스테롤 복합체, 비타민 B₁₂, 인슐린 및 철은 수용체를 매개한 세포내이입에 의해 세포 내로 흡수되는 물질의 예다.

불행히도 몇 가지 바이러스는 이 기전을 이용하여 세포 내로 들어올 수 있다. 예를 들면, 감기 바이러스와 AIDS를 일으키는 HIV 바이러스는 수용체를 통한 세포내이입을 통해 세포로 들어오게 된다. 바이러스는 세포가 필요로 하는 분자의 세포내이입이 예정된 막수용체 자리에 정상적으로 결합함으로써 들어온다.