

## 휴강 및 중간고사 공지

휴강일시: 10월 17일 (화)

휴강사유: 예비군 훈련...

중간고사: chapters 1, 11, 12, 15 에서 출제됨.

-date: 10월 24일 14~16시

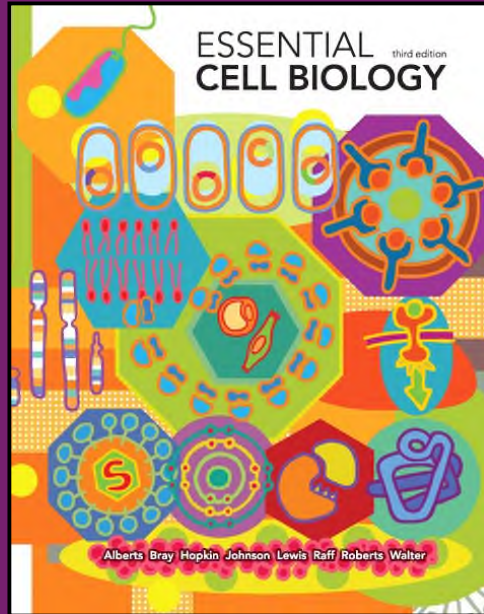
-출제내용: Lecture 한 내용만 출제됨.

-출제방식: 용어 개념 및 기작 서술형 문제 위주

**2<sup>nd</sup> report: What is the protein misfolding and amyloid?**

**\*Hint: The endoplasmic reticulum and chaperone are related...**

**Due date: Oct, 16**



# ***Essential Cell Biology***

## **Third Edition**

## **Chapter 15**

### **Intracellular Compartments and Transport**

**Copyright © Garland Science 2010**

진핵세포의 내부에는 매 순간 수많은 화학반응이 일어나며  
진핵세포의 내부막은 서로 다른 대사과정들을 격리시키는  
막성 구획과 세포소기관 들을 만들어 낸다

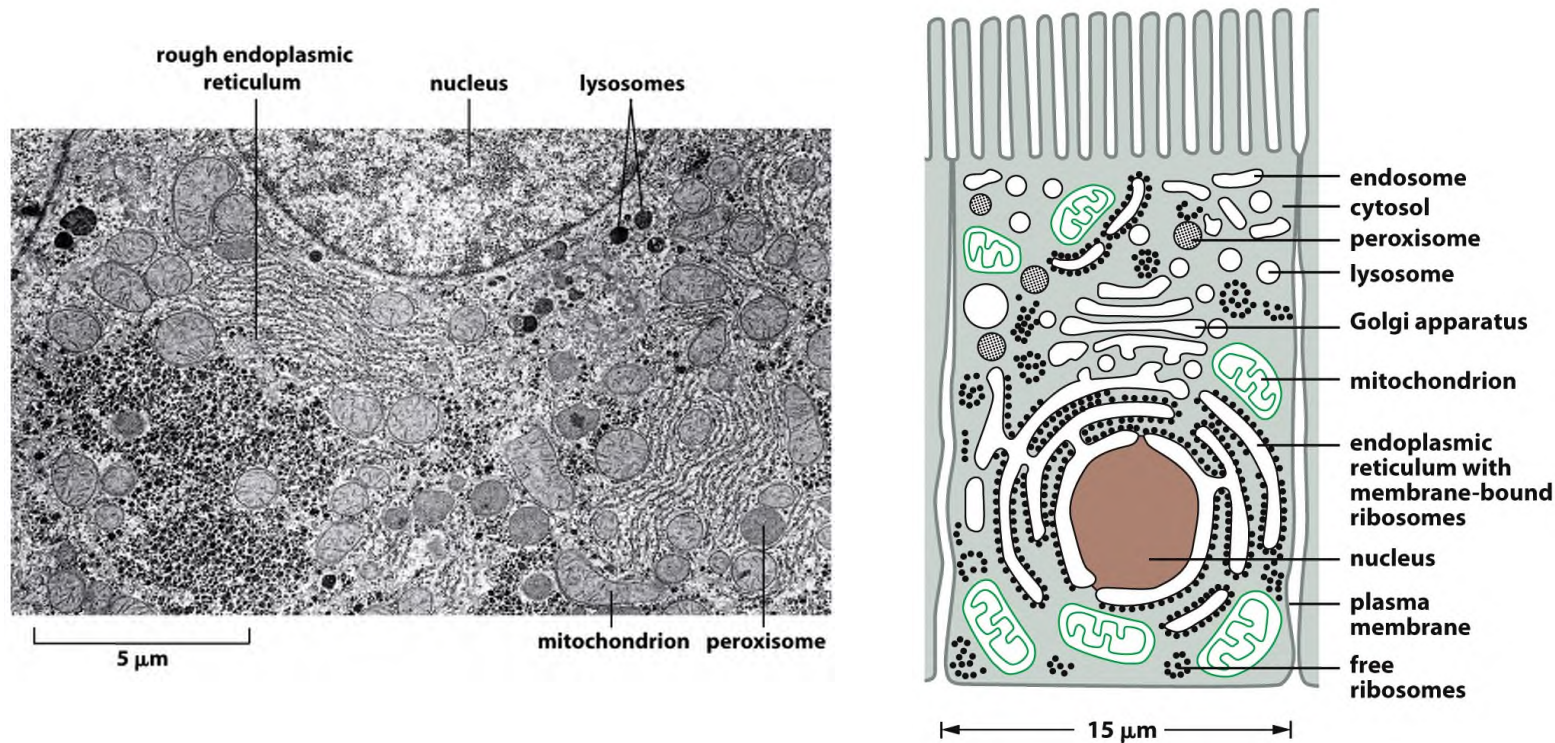


Figure 15-1 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)

## 15장 세포 내 구획과 운반의 내용

1. 막성 세포소기관
2. 단백질의 분류(protein sorting)
3. 소낭수송(vesicular transport)
4. 세포외 방출(exocytosis),  
세포내도입(endocytosis)

# 막성 세포소기관

진핵세포는 기본적인 한 세트의 막성 세포소기관들을 가지고 있다

**TABLE 15-1 THE MAIN FUNCTIONS OF THE MEMBRANE-ENCLOSED COMPARTMENTS OF A EUKARYOTIC CELL**

| COMPARTMENT                   | MAIN FUNCTION  |
|-------------------------------|--|
| Cytosol                       | contains many metabolic pathways (Chapters 3 and 13); protein synthesis (Chapter 7)  |
| Nucleus                       | contains main genome (Chapter 5); DNA and RNA synthesis (Chapters 6 and 7)   |
| Endoplasmic reticulum (ER)    | synthesis of most lipids (Chapter 11); synthesis of proteins for distribution to many organelles and to the plasma membrane (this chapter) |
| Golgi apparatus               | modification, sorting, and packaging of proteins and lipids for either secretion or delivery to another organelle (this chapter)           |
| Lysosomes                     | intracellular degradation (this chapter)   |
| Endosomes                     | sorting of endocytosed material (this chapter)   |
| Mitochondria                  | ATP synthesis by oxidative phosphorylation (Chapter 14)  |
| Chloroplasts (in plant cells) | ATP synthesis and carbon fixation by photosynthesis (Chapter 14)   |
| Peroxisomes                   | oxidation of toxic molecules   |

활면소포체: 세포기질로 부터  $\text{Ca}^{2+}$  를 격리시킴  
→ 외부신호에 의한 세포의 빠른 반응기작에 관여



## 간세포 내의 주요한 세포소기관들의 상대적 부피

막성세포소기관은 진핵세포 부피의 절반을 차지하며, 이들이 이루는 막의 양도 방대함 (세포막의 20-30배)

**TABLE 15-2 THE RELATIVE VOLUMES OCCUPIED BY THE MAJOR MEMBRANE-ENCLOSED ORGANELLES IN A LIVER CELL (HEPATOCYTE)**

| <b>INTRACELLULAR COMPARTMENT</b> | <b>PERCENTAGE OF TOTAL CELL VOLUME</b> | <b>APPROXIMATE NUMBER PER CELL</b> |
|----------------------------------|--|------------------------------------|
| Cytosol                          | 54                                     | 1                                  |
| Mitochondria                     | 22                                     | 1700                               |
| Endoplasmic reticulum            | 12                                     | 1                                  |
| Nucleus                          | 6                                      | 1                                  |
| Golgi apparatus                  | 3                                      | 1                                  |
| Peroxisomes                      | 1                                      | 400                                |
| Lysosomes                        | 1                                      | 300                                |
| Endosomes                        | 1                                      | 200                                |

막성 세포소기관들은 서로 다른 방식으로 진화하였다.

핵막, 소포체, 골지체, 엔도솜, 리소솜 : 원형질막의 함입에 의해 생성  
→ 세포내막계(endomembrane system)  
→ 소낭에 의해 세포 외부와 활발한 물질교환

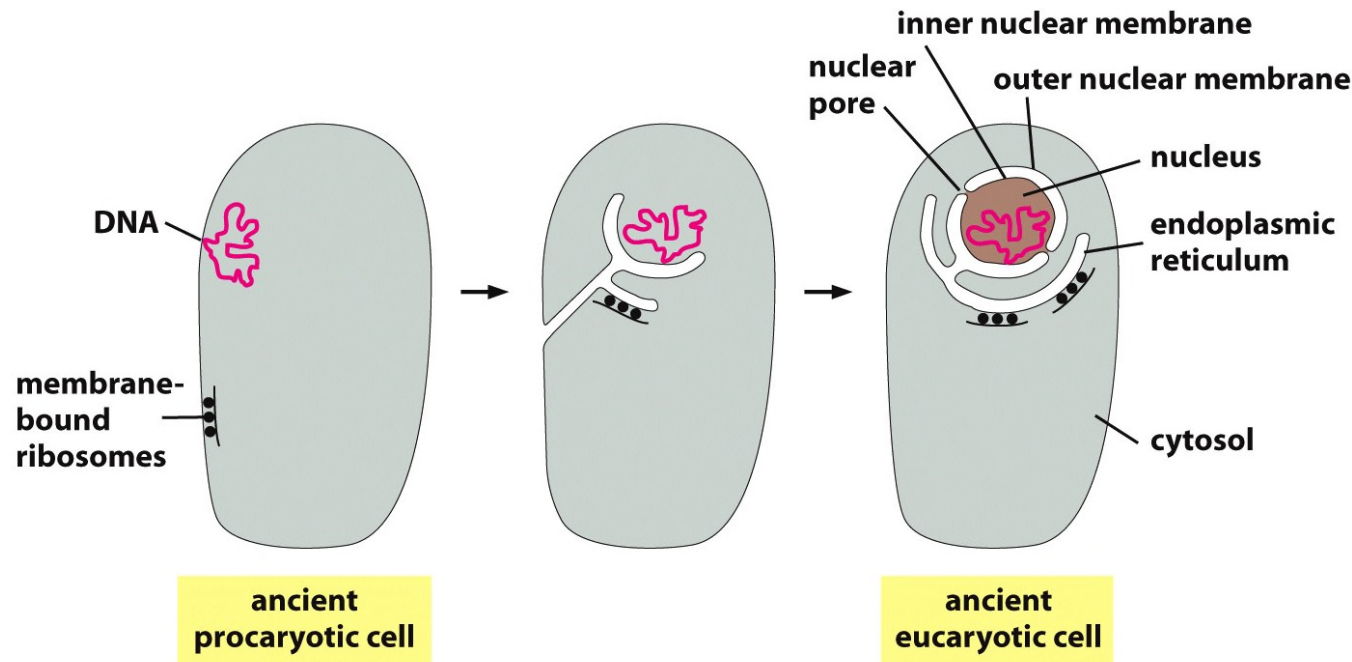


Figure 15-3 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)

막성 세포소기관들은 서로 다른 방식으로 진화하였다.

미토콘드리아, 엽록체: 원시 호기성원핵세포의 함입에 기원  
→ 자체 DNA를 갖으며, 자신에게 필요한 일부 단백질 합성  
→ 소낭운동 경로에서 제외됨

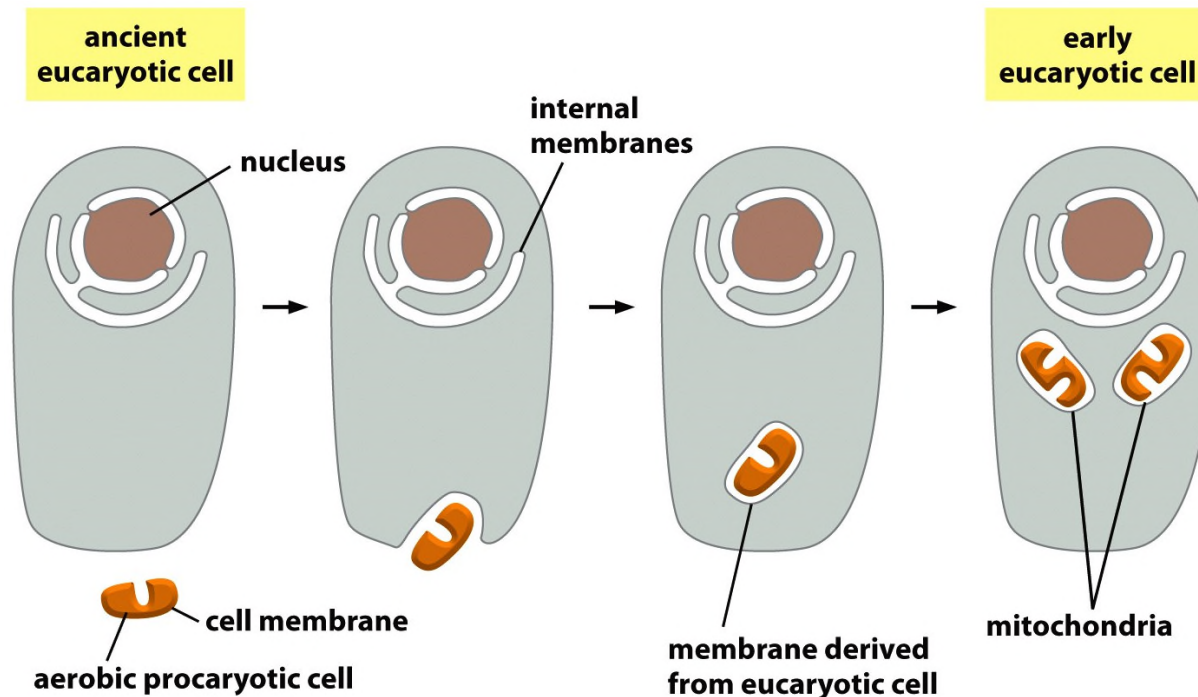


Figure 15-4 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)



# 단백질의 분류

## 세포 분열과 성장 과정

세포소기관 들도 성장하고 분열하는 과정을 거쳐야 한다

→ 새로운 분자를 삽입시키는 방식으로 성장함

→ 세포소기관으로의 물질이동이 필수적임

세포소기관들은 세가지 방식으로 단백질을 받아들임

단백질은 세 가지 기작에 의해 세포소기관으로 유입된다.

1. 핵공을 통한 수송

세포기질에서 핵으로 이동하는 단백질은 핵공을 통과

2. 막을 관통하는 수송

세포기질에서 소포체, 미토콘드리아, 엽록체, 퍼옥시솜으로 이동하는 단백질은 단백질전좌체 (translocator)를 이용 수송  
→ 막 통과 시 단백질형상이 풀려야 한다.

3. 소낭수송(transport vesicle)

소포체나 내막계의 소기관에서 다른 소기관으로 이동하는 단백질은 소낭수송을 통한다.

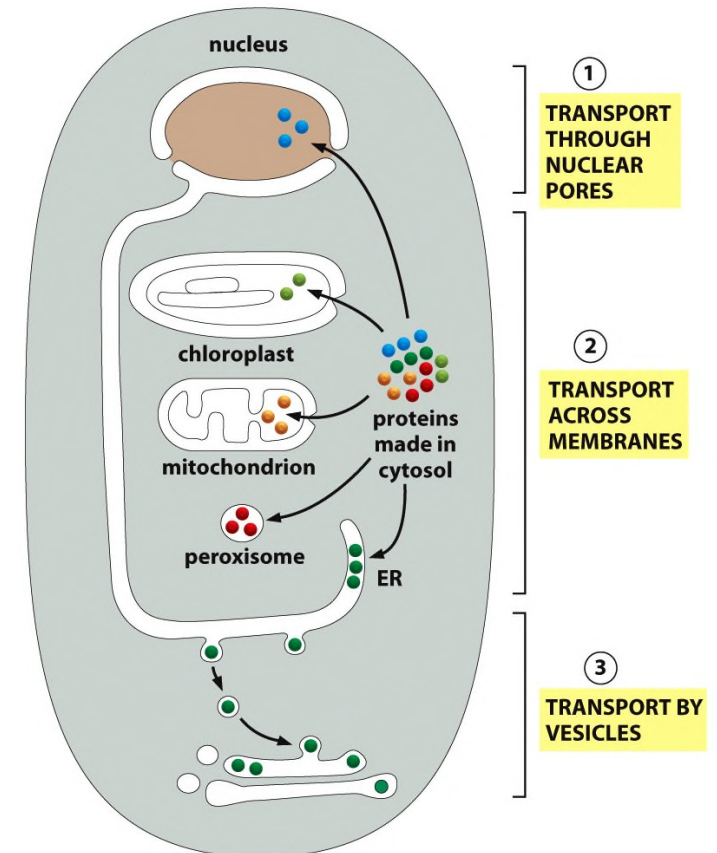


Figure 15-5 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)

단백질이 정확한 구획으로 운반되는 것은 신호서열(signal sequence)에 의한다.

- 특정 세포소기관으로 이동하는 단백질은 15-60개의 아미노산 신호서열을 갖음 (필요충분조건)
- 신호서열이 없으면 세포기질 단백질에 해당함

| TABLE 15-3 SOME TYPICAL SIGNAL SEQUENCES   |  |
|--|--|
| FUNCTION OF SIGNAL   | EXAMPLE OF SIGNAL SEQUENCE   |
| Import into ER   | <sup>+</sup> H <sub>3</sub> N-Met-Met-Ser-Phe-Val-Ser-Leu-Leu-Leu-Val-Gly-Ile-Leu-Phe-Trp-Ala-Thr-Glu-Ala-Glu-Gln-Leu-Thr-Lys-Cys-Glu-Val-Phe-Gln- |
| Retention in lumen of ER   | -Lys-Asp-Glu-Leu-COO <sup>-</sup>  |
| Import into mitochondria   | <sup>+</sup> H <sub>3</sub> N-Met-Leu-Ser-Leu-Arg-Gln-Ser-Ile-Arg-Phe-Phe-Lys-Pro-Ala-Thr-Arg-Thr-Leu-Cys-Ser-Ser-Arg-Tyr-Leu-Leu-                 |
| Import into nucleus  | -Pro-Pro-Lys-Lys-Lys-Arg-Lys-Val-  |
| Import into peroxisomes  | -Ser-Lys-Leu-  |
| <p>Positively charged amino acids are shown in <b>red</b>, and negatively charged amino acids in <b>blue</b>. An extended block of hydrophobic amino acids is shown in <b>green</b>.<br/> <sup>+</sup>H<sub>3</sub>N indicates the N-terminus of a protein; COO<sup>-</sup> indicates the C-terminus.<br/> The ER retention signal is commonly referred to by its single-letter amino acid abbreviation, KDEL.</p> |  |

단백질이 정확한 구획으로 운반되는 것은 신호서열에 의한다.

- 특정 세포소기관으로 이동하는 단백질은 15-60개의 아미노산 신호서열을 갖음 (필요충분조건)
- 모델실험(신호서열교환)

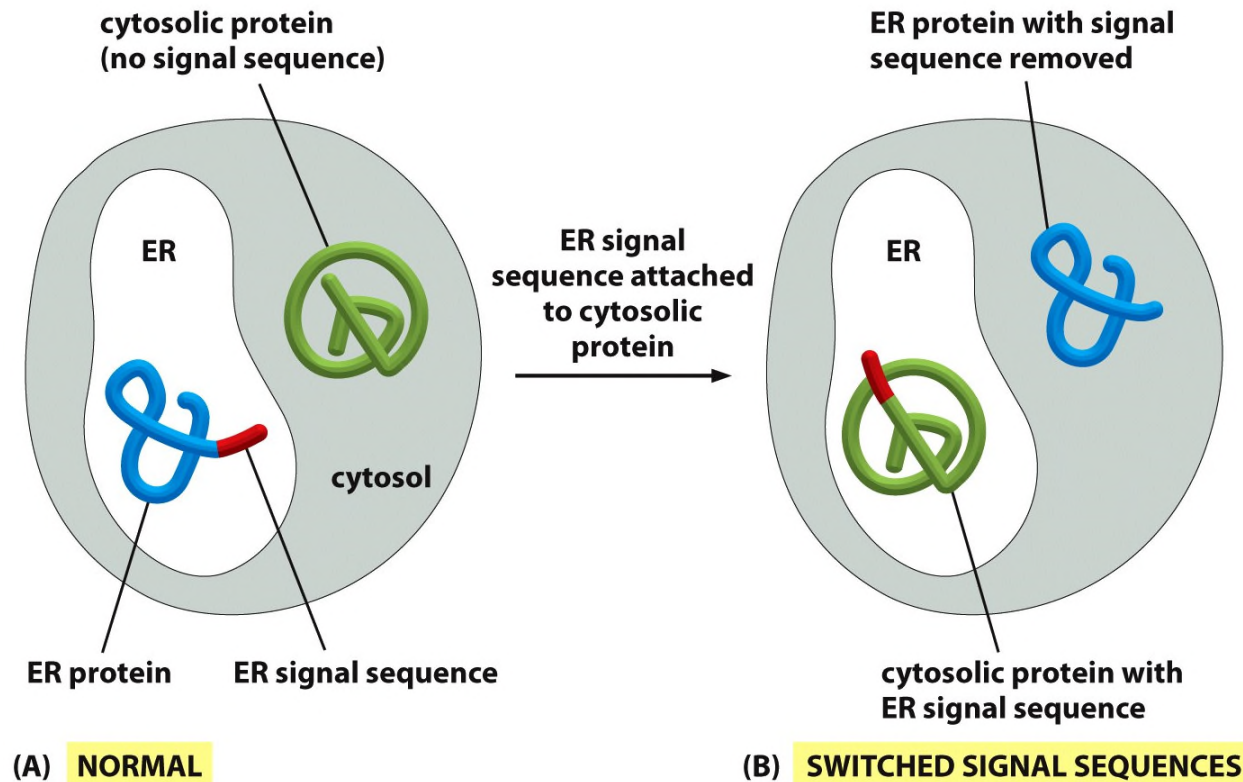


Figure 15-6 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)

## 핵으로 이동하는 단백질은 핵공을 통한다.

- 진핵세포의 핵막에는 모든 분자가 출입할 수 있는 핵공이 존재  
세포기질에서 합성된 핵단백질 (세포기질 → 핵으로 이동)  
핵에서 합성된 mRNA, 리보솜 (핵내부 → 세포기질)

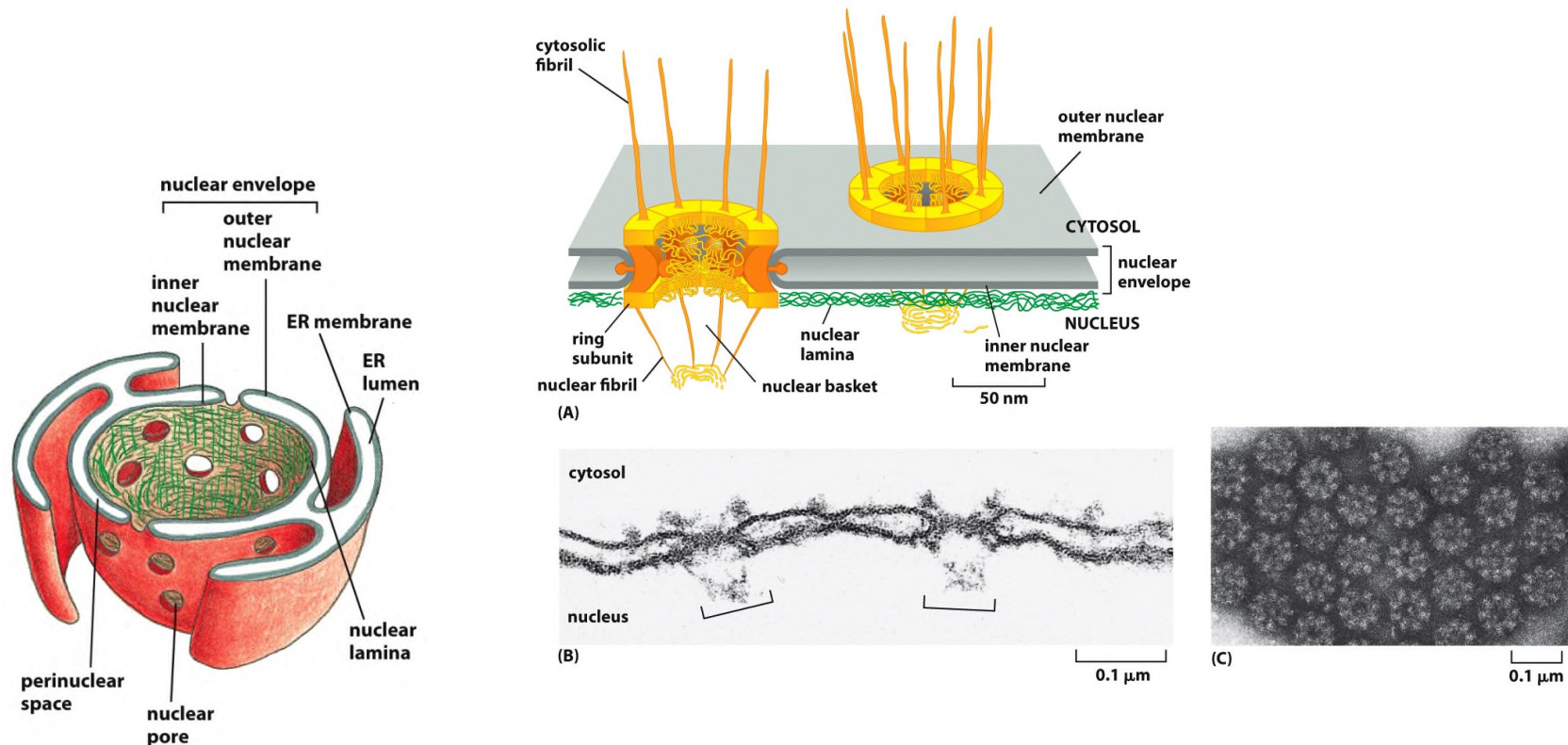
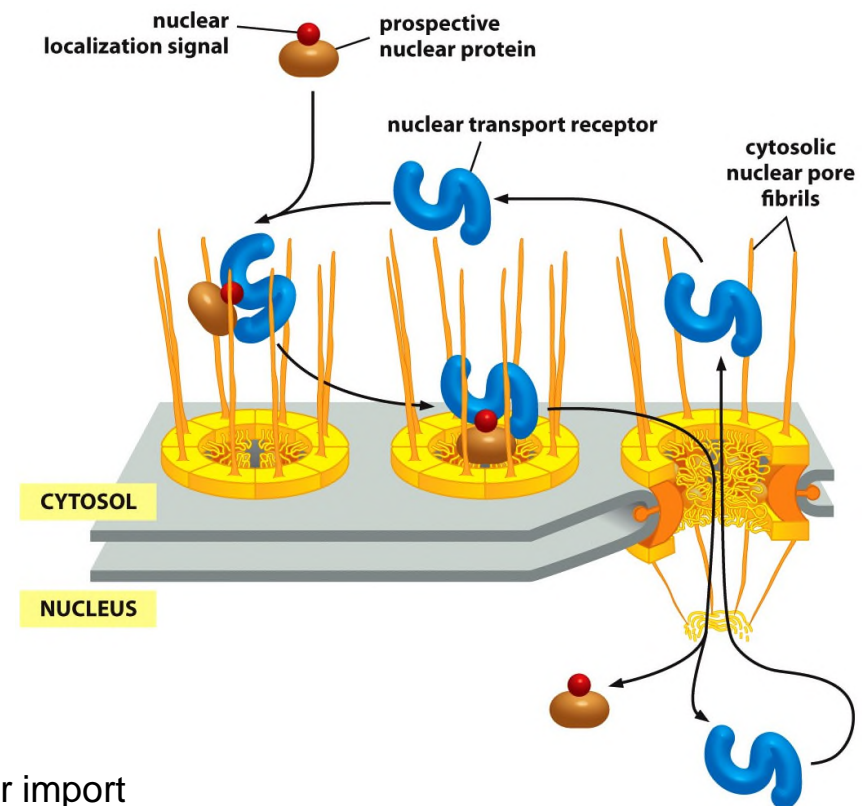


Figure 15-7 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)



핵으로 이동하는 단백질은 핵공을 향해 능동수송된다.

- RNA 나 단백질은 핵위치신호(nuclear localization signal)가 존재해야만 핵공을 통과할 수 있다.
- 핵수송수용체(nuclear transport receptor)가 단백질의 핵위치신호와 결합한다.
- 수용체는 핵공의 측수와 상호작용함으로써 핵공으로 이동하는 것을 도움



## GTP 가수분해를 통해 제공된 에너지가 핵수송을 매개한다.

- 핵수송수용체는 세포질에서 화물단백질과 결합 핵으로 들어감
- 이 복합체가 Ran-GTP와 결합하여 화물단백질 방출
- 수용체는 Ran-GTP와 함께 세포질로 이동
- 부속단백질이 수용체와 Ran-GTP 를 분리함
- 핵공에서의 단백질 수송은 단백질의 삼차구조가 유지된 상태에서 이루어짐

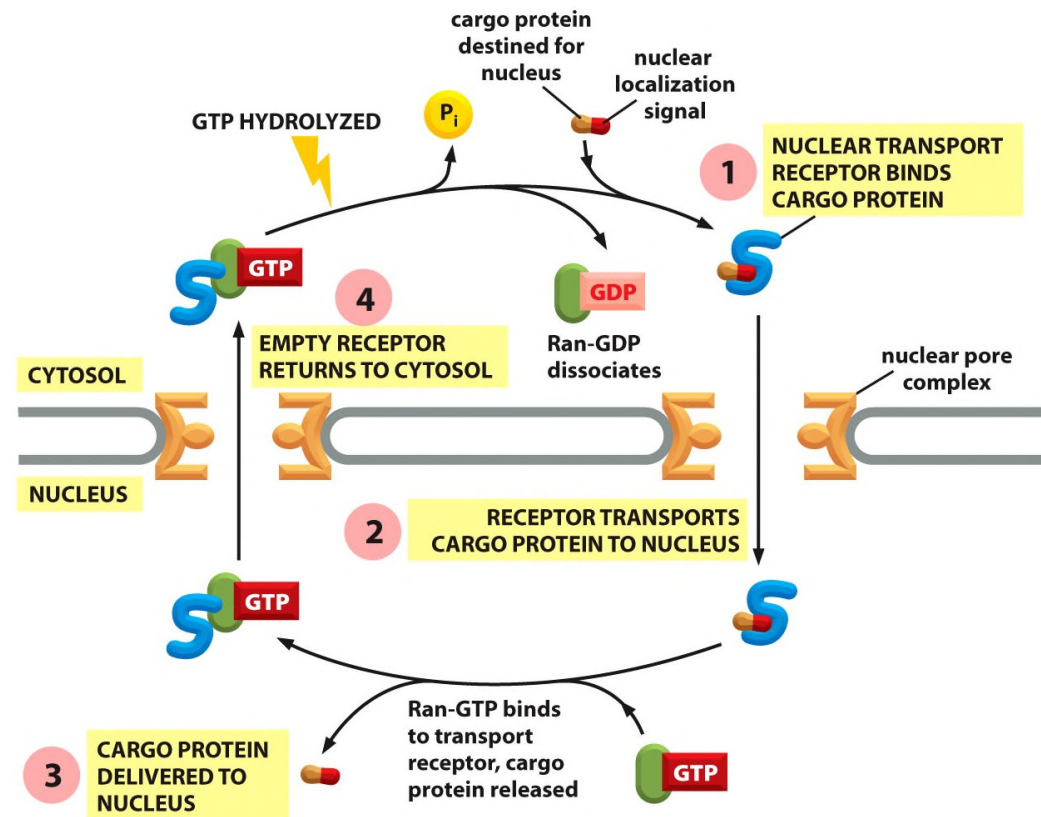
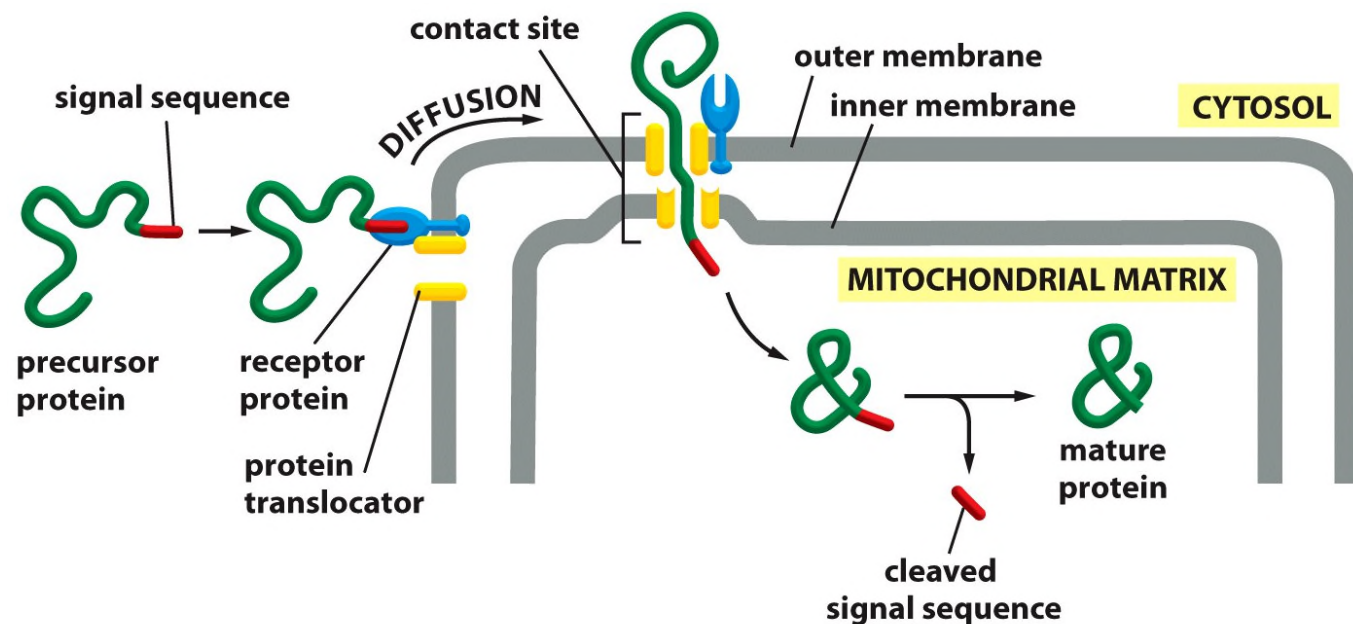


Figure 15-10 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)

## 단백질이 미토콘드리아와 엽록체로 이동하기 위해서는 풀려야 한다.

- 미토콘드리아와 엽록체의 단백질은 핵속의 유전자에 의해 암호화되며, 세포기질에서 만들어져 수송된다.
- 단백질 말단에 신호서열을 갖음
- 미토콘드리아 외막의 신호서열 수용체가 단백질을 인식함
- 이 복합체가 이 복합체가 외막을 따라 확산되며 내막의 연결통로와 만나면 단백질의 삼차구조가 풀려서 내부도 이동함
- 이동 후 신호서열이 잘려나감
- 내부에 존재하는 샤페론(chaperone) 단백질들은 단백질의 이동에도 관여하고 이동 후 다시 삼차구조를 형성시키는데에도 관여함



## 단백질은 합성되면서 소포체로 들어간다.

- 소포체는 단백질이 소포체 내부로 들어가거나 세포표면, 다른 세포소기관(골지체, 엔도솜, 리소솜)으로 들어가는 출발점에 해당한다.
- 소포체에서 합성된 단백질은 소낭수송을 통하여 세포막과 다른 세포소기관들로 이동함

### 소포체로 이동하는 단백질의 종류

- 수용성 단백질: 소포체내부로 들어감. 분비성단백질 혹은 소기관 내부단백질
- 막관통 단백질: 소포체막, 소기관막, 원형질막의 막단백질을 이룸
- 단백질 수송초기과정에서 소포체 신호서열 (ER signal sequence)에 의해 소포체로 보내어 진다.

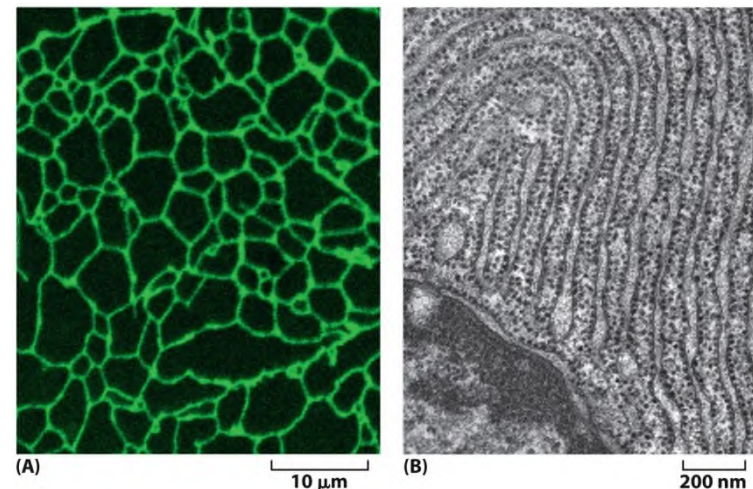


Figure 15-12 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)

## 단백질은 합성되면서 소포체로 들어간다.

- 소포체로 수송되는 단백질 대부분은 합성자체가 내부를 향해 진행됨  
→ 리보솜이 소포체에 부착되어야 함 (조면소포체)

### 리보솜의 종류

- 막-결합성 리보솜 (membrane bound ribosome)
- 유리 리보솜 (free ribosome)
- 소포체신호서열을 가진 단백질의 합성은 소포체막으로 리보솜이 이동하여 시작된다  
→ 폴리리보솜(polyribosome)

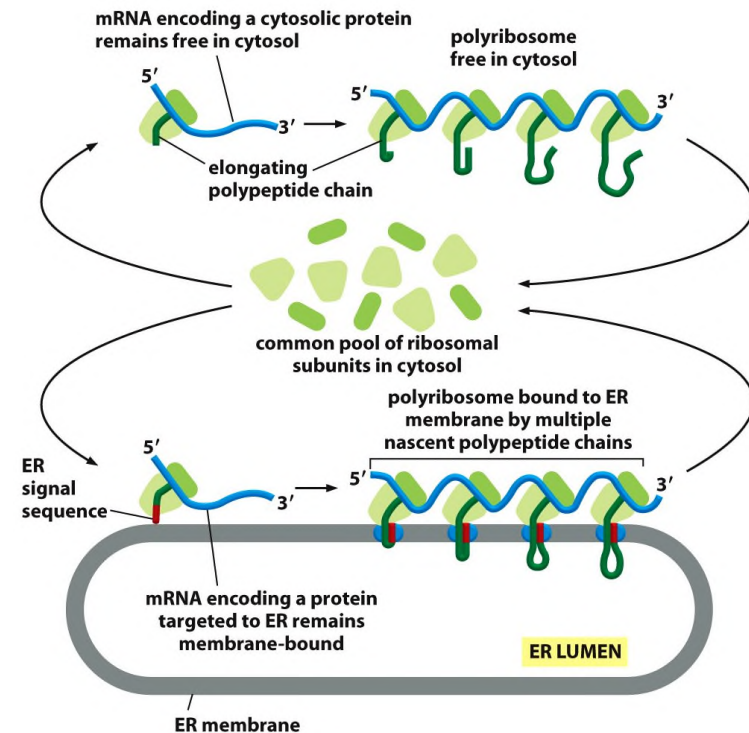


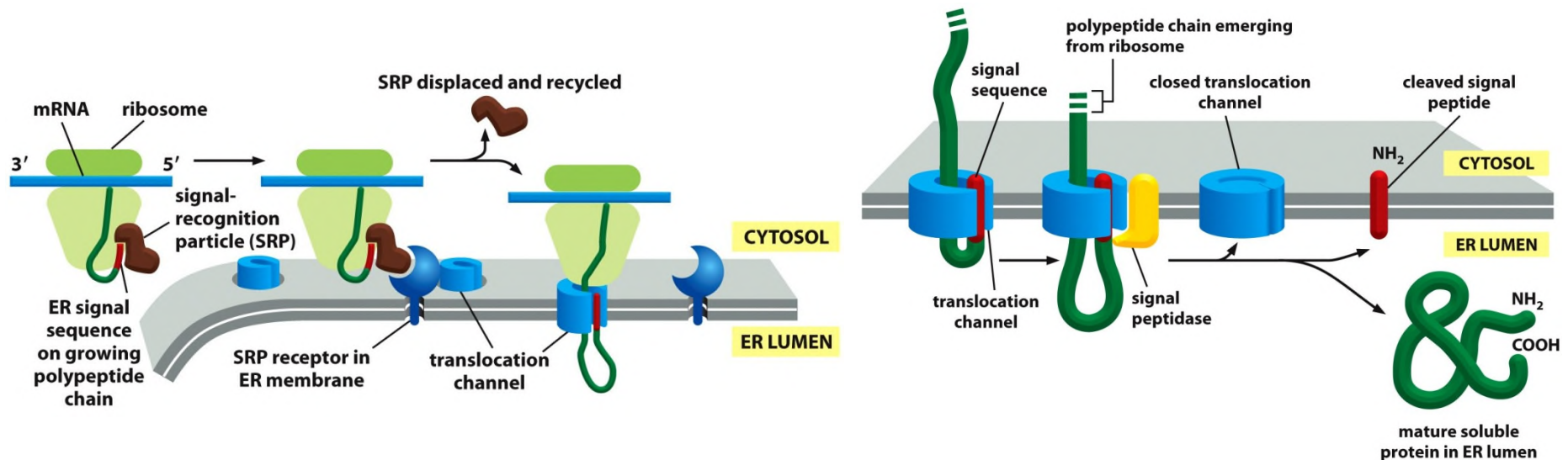
Figure 15-13 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)



## 수용성 단백질은 소포체 내강으로 방출된다.

### 소포체 신호서열의 구성요소

- 신호인지입자(signal-recognition particle, SRP)
- 신호인지입자 수용체(SRP receptor)
- 신호인지입자가 신호서열에 결합하면, 신호인지입자 수용체에 결합할 때까지 리보솜에 의한 단백질합성 속도가 느려짐
- 이후 신호인지입자가 복합체로부터 분리되면, 단백질합성이 재개됨
- 전좌통로(translocation channel)를 통해 소포체 내강으로 이동
- 신호서열은 전좌통로를 여는 기능도 수행하며, 이후 신호펩티드분해효소에 의해 절단됨



## 개시 및 종결신호는 지질이중층 내의 막관통단백질의 배열을 결정한다.

### 한 번 막을 관통하는 단백질

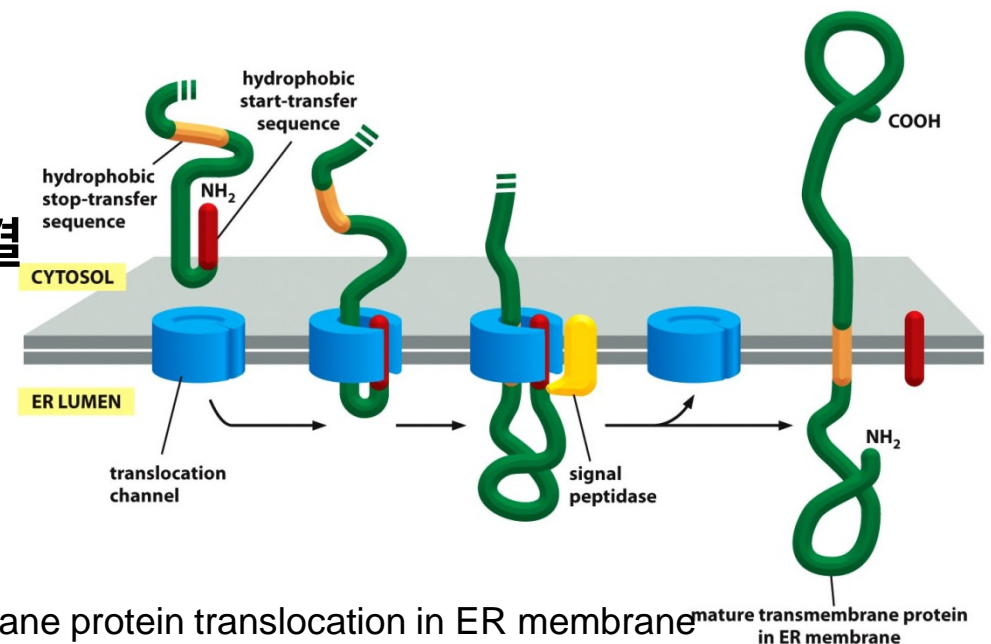
- 막관통단백질은 아미노말단의 신호서열에 의해 이동개시되며, 이동종결서열(stop-transfer sequence)에 의해 종료된다.
- 종결서열에 도달하면 종결서열은 알파나선 모양의 막관통부위를 형성
- 이후 아미노 말단 신호서열은 절단된다.

### 두 번 막을 관통하는 단백질

- 단백질 내부에 존재하는 이동개시서열(start-transfer sequence)에 의해 개시되며, 이후 단백질에서 제거되지 않는다.
- 종결서열에 도달하면 이동을 멈춤  
→ 두 개의 알파나선 형성

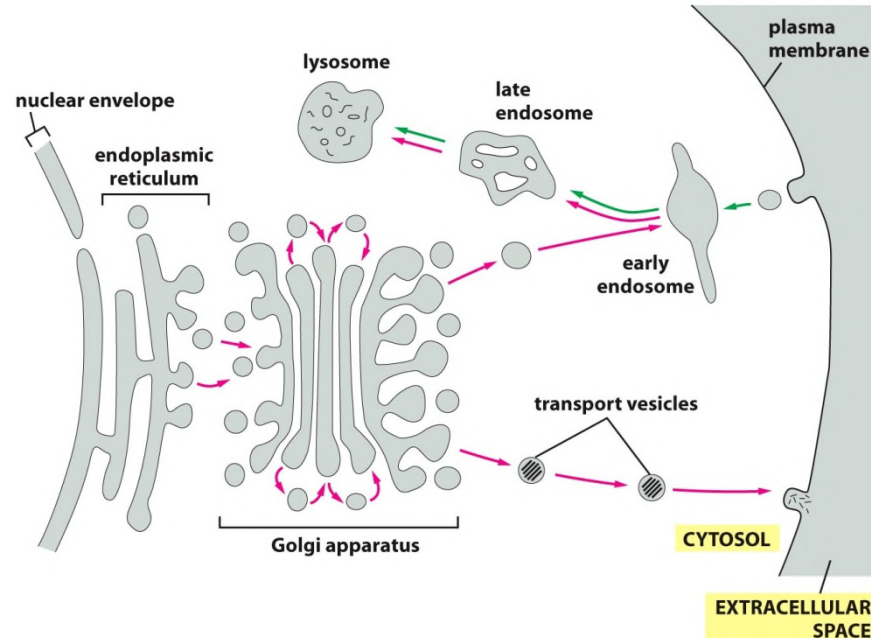
### 여러 번 막을 관통하는 단백질

- 여러 개의 이동개시서열과 이동종결서열을 가짐



## 소낭수송 (vesicular transport)

- 단백질이 소포체 내로 이동하는 것은 대부분 다른 이동목적지로 이동하기 위함이다. (대개 골지체)
- 소포체에서 골지체, 골지체에서 다른 소기관으로의 수송과정은 수송소낭(transport vesicle)의 지속적인 출아와 융합과정에 의해 이루어진다.
- 이 과정 중간에 단백질들은 탄수화물가지가 첨가되거나, 단백질구조를 안정시키는 이황화결합이 형성되는 등 다양한 화학변화가 일어남



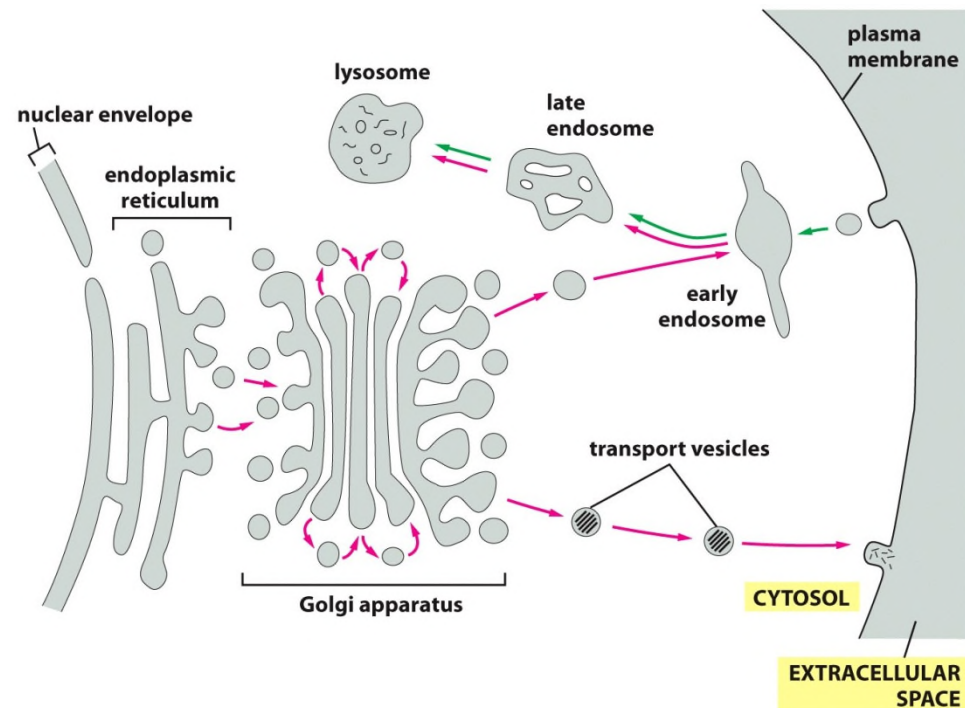
수송 소낭은 수용성 단백질과 막을 여러 구획으로 운반한다.

소낭수송의 두 가지 종류

- 분비성경로(secretory pathway): 소포체 → 골지체 → 세포막으로 이동
- 세포내도입경로(endocytic pathway): 세포막 → 엔도솜 → 리소솜

수송소낭이 반드시 목표한 표적막과 융합해야 한다.

- 이를 위해 소기관 특이단백질과 지질 구성성분의 일정량을 항상 유지하여야 한다.
- 모든 인지과정은 수송소낭막의 수용체에 의해 이루어짐



소낭의 출아는 단백질 외피의 조립으로 일어난다.

피복소낭(coated vesicle)

출아하는 대부분 소낭은 표면에 특이적 단백질 외피를 가지고 있음

→ 출아가 완료된 소낭은 외피가 탈피됨

외피의 역할

- 소낭출아를 도움
- 수송할 단백질을 소낭으로 끌어들이м

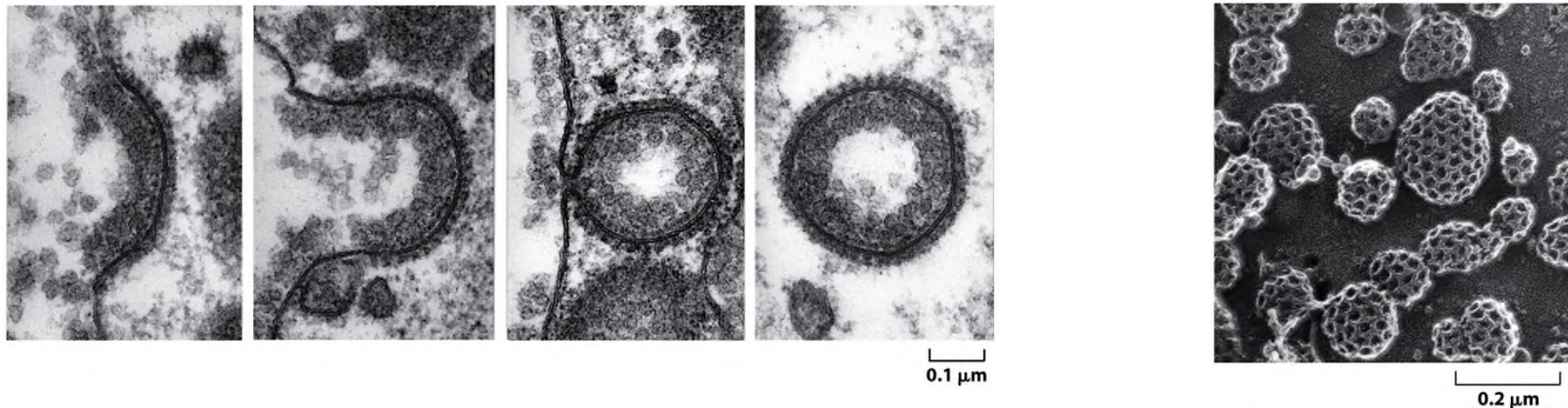


Figure 15-19a *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)



## 클라트린-피복 소낭(clathrin-coated vesicle)

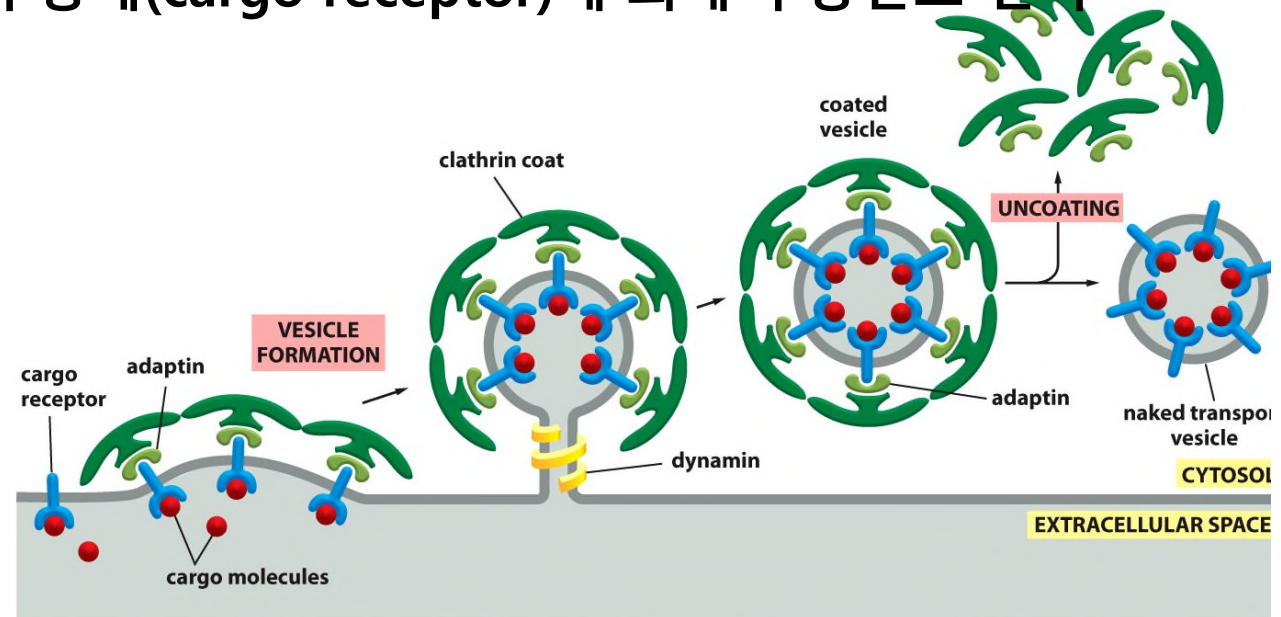
- 세포 외부로 수송하는 분비성 골지체와 세포막에서의 소낭 출아

### 출아과정

- 클라트린-피복 구멍에서 소낭이 형성되기 시작
- 클라트린분자들이 서로 결합 바구니모양의 구조물 형성
- 다이나민이 외피 구멍의 목부위를 고리모양으로 조합
- 소낭을 세포막에서 분리

### 소낭 수송단백질의 선별

- 소낭에 존재하는 어댑틴(adaptin)에 의해서 선별에 도움
- 운반되는 분자들은 수송신호(transport signal)를 가짐
- 막에 존재하는 운반수용체(cargo receptor)에 의해 수송신호 인식



## COP피복 소낭(COP-coated vesicle)

- 소포체에서 골지체, 골지체 한 엽에서 다른 엽으로의 물질 수송에 관여함

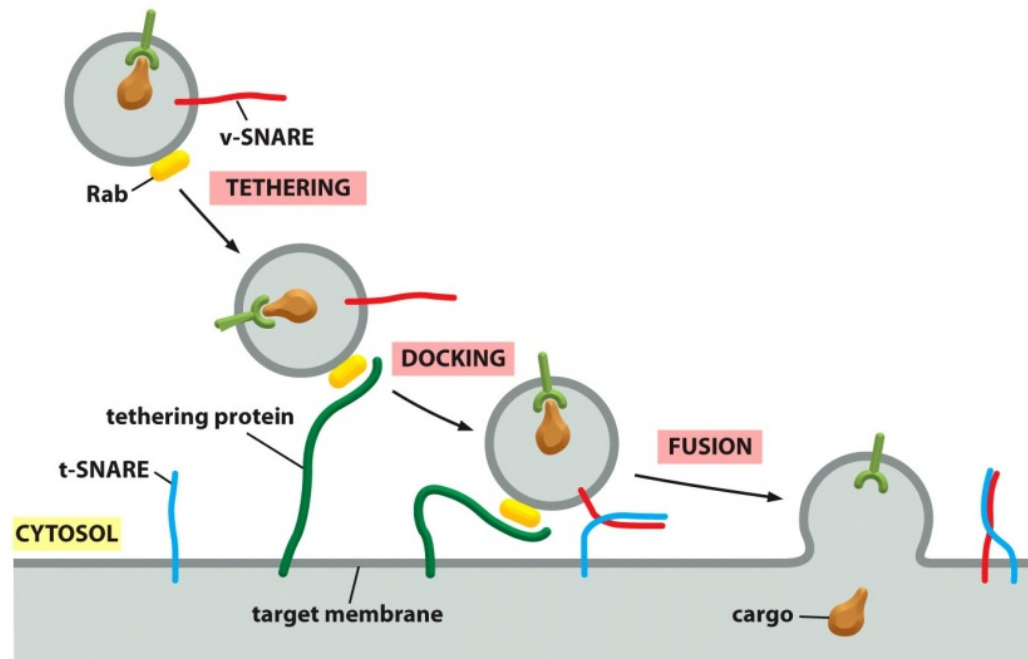
| TABLE 15-4 SOME TYPES OF COATED VESICLES |                      |   |   |
|--|----------------------|---|---|
| TYPE OF COATED VESICLE                   | COAT PROTEINS        | ORIGIN                                  | DESTINATION                             |
| Clathrin-coated                          | clathrin + adaptin 1 | Golgi apparatus                         | lysosome (via endosomes)                |
| Clathrin-coated                          | clathrin + adaptin 2 | plasma membrane                         | endosomes                               |
| COP-coated                               | COP proteins         | ER<br>Golgi cisterna<br>Golgi apparatus | Golgi apparatus<br>Golgi cisterna<br>ER |

소낭이 특정 소기관과의 결합은 밧줄 단백질과 SNARE의 작용에 의한다.

- 대부분의 소낭은 세포골격섬유를 따라 움직이는 운동단백질에 의해 능동수송된다.

소낭의 표적 소기관 융합과정

- 소낭표면의 Rab 단백질이 표적막의 표면에 존재하는 밧줄단백질(tethering protein)에 의해 인지됨
- 소낭에 존재하는 v-SNARE와 표적막의 t-SNARE 가 상보적인 특이결합을 형성 제 위치에 결합할 수 있도록 한다.

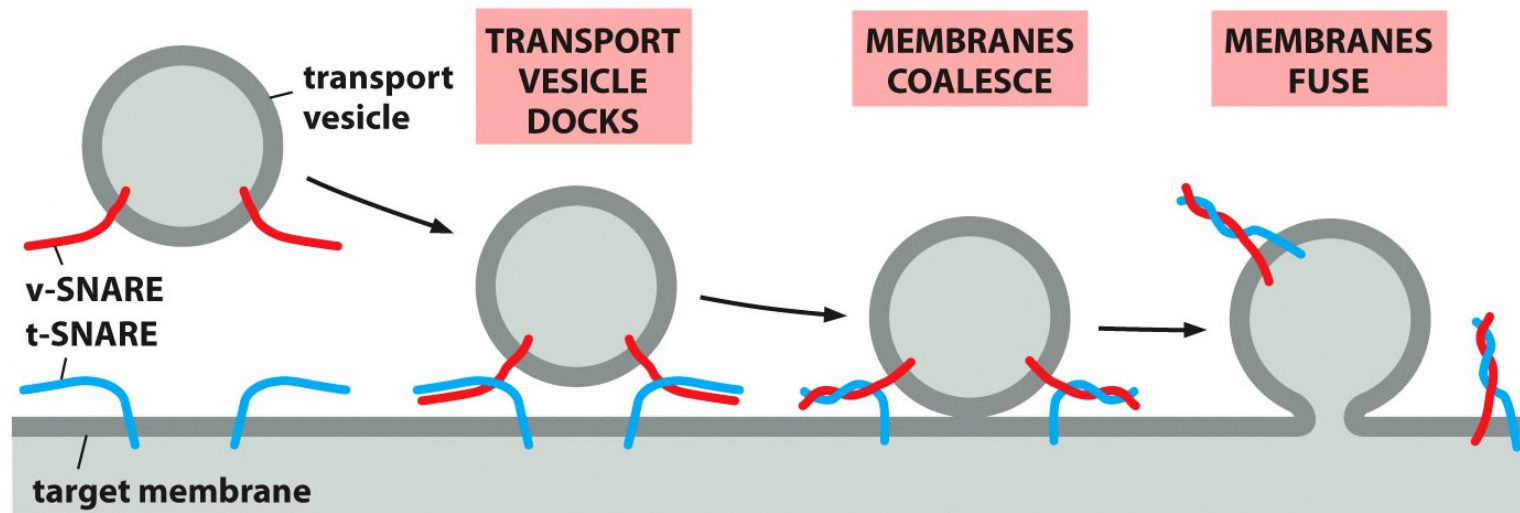


융합과정은 두개의 막이 1.5 nm로 가까워야 한다.

→ 물분자가 제거되어야 하므로 에너지적으로 매우 어려운 과정

- SNARE 단백질이 중요한 역할을 수행

→ v-SNARE와 t-SNARE가 결합 후 서로 꼬이는 과정을 통하여 두막을 근접시킴



## 분비 경로

세포외방출 (exocytosis): 일부 단백질, 지질, 당류는 소낭수송을 통해 소포체 → 골지체 → 세포막 순으로 이동 외부로 방출됨

대부분의 단백질은 소포체에서 공유결합에 의해 변형된다.

- 이황화결합(disulfide bond): 소포체 내강의 효소에 의해 시스테인 간의 산화에 의해 형성
- 당화과정(glycosylation): 소포체 내강 혹은 막으로 이동한 단백질은 당화효소에 의해 올리고당 사슬이 결합됨



## 당화과정

- 14개의 단당으로 이루어진 올리고당이 돌리콜(dolichol)에 결합
- 단백질 전좌과정 중 아스파라긴이 소포체 내강으로 들어오면 아스파라긴의 아미노기로 이동하여 결합함
  - 소포체 내강의 효소에 의해 축매됨 (N-결합 형성)
- 이후 추가적인 변형과정을 통하여 매우 다양한 형태로 변형

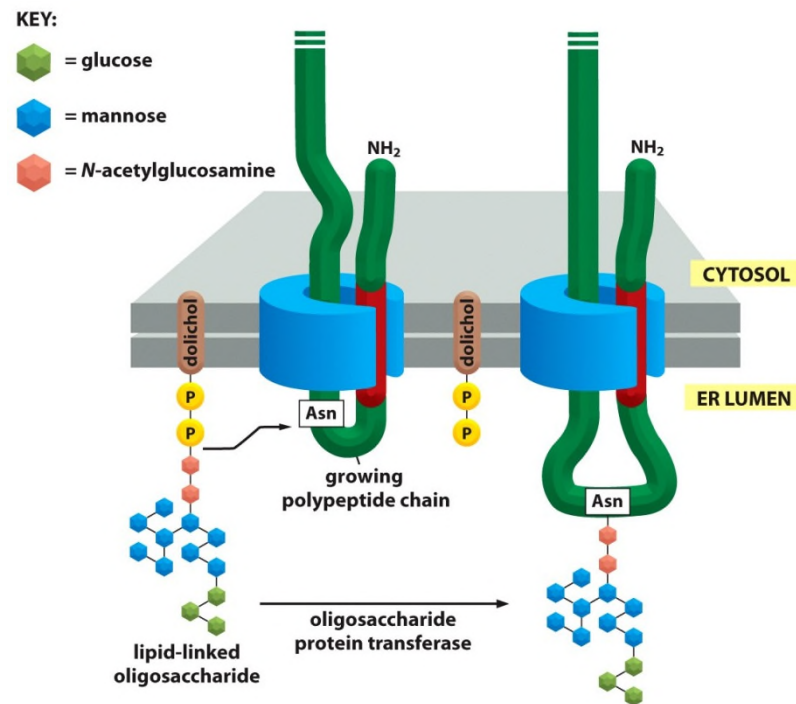


Figure 15-23 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)

정상적인 구조를 지닌 단백질만 소포체로부터 방출된다.

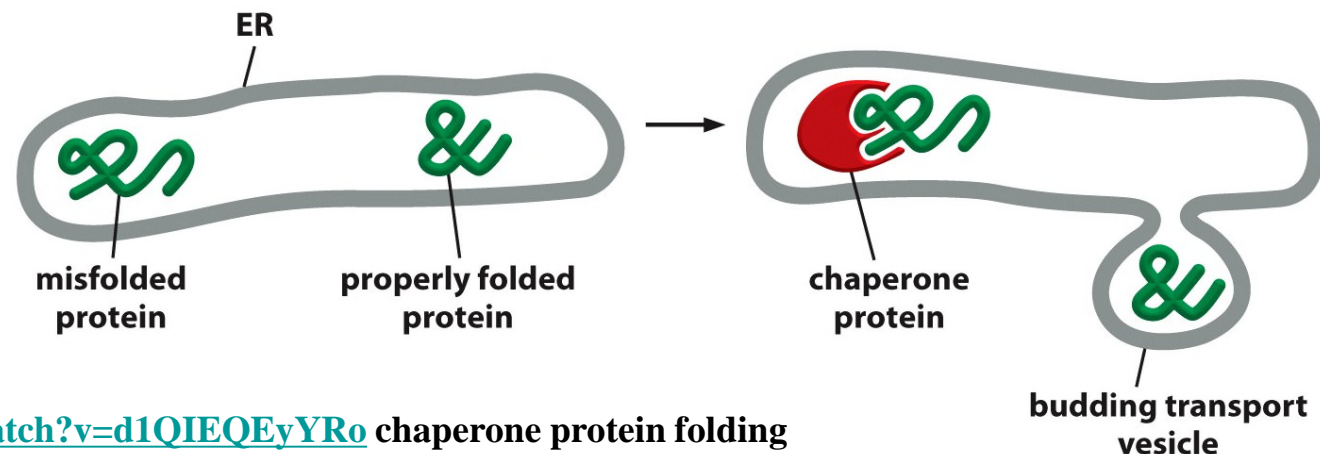
### 소포체잔류 단백질

- 소포체잔류신호(ER retention signal)을 가지고 있어 소포체에 존재하는 수용체에 인식되어 소포체에 잔류

### 분비단백질

- 수송소낭 출아과정은 매우 선택적이다.
- 잘못접힌 단백질의 경우는 샤페론과 결합하여 소포체바깥으로 이동이 억제됨
  - 소포체에서 골지체로 이동하는 과정자체가 단백질의 정확한 구조를 지니도록 도와주는 역할을 함

낭소성섬유증(cystic fibrosis): 위의 제어과정이 악영향을 미친 예



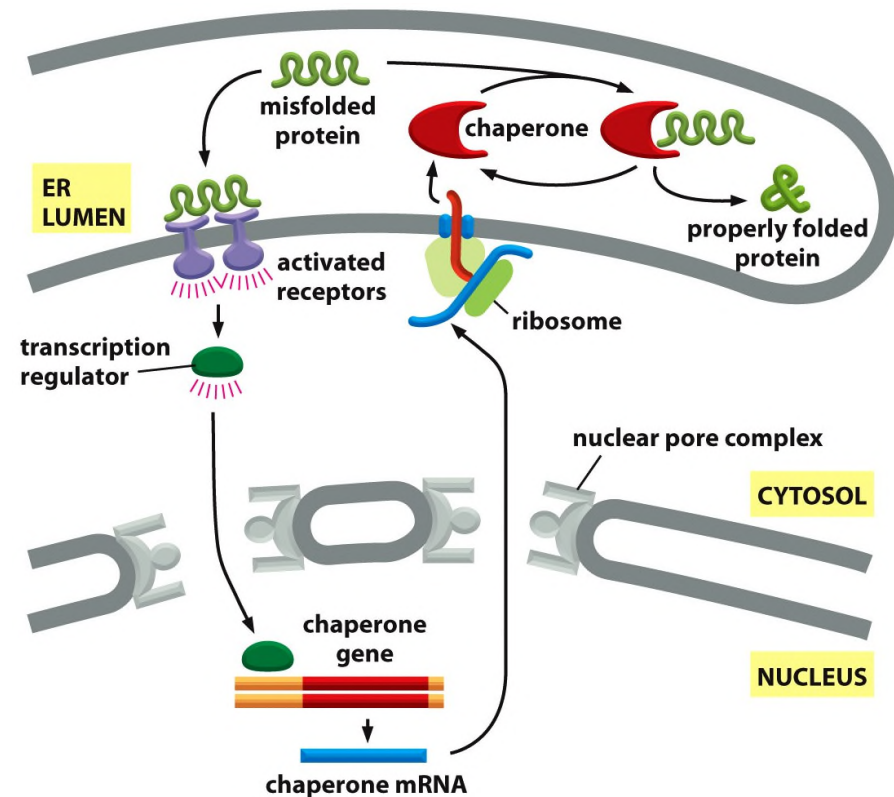
소포체의 크기는 소포체를 통과하는 단백질의 양에 의해 조절된다.

- 단백질의 생산이 소포체의 운반과 접힘용량을 초과하면 잘못 접힌 단백질이 축적됨 → 특정수용체를 활성화 → UPR 기구활성화
- UPR프로그램은 세포가 적절한 단백질접힘과 처리에 필요한 분자기구 전부를 포함한 소포체를 더 생산하도록 함

- 확장된 소포체로도 단백질 생산을 감당하지 못해 잘못 접힌 단백질이 축적될 경우 UPR프로그램은 세포자살로 유도할 수 있음

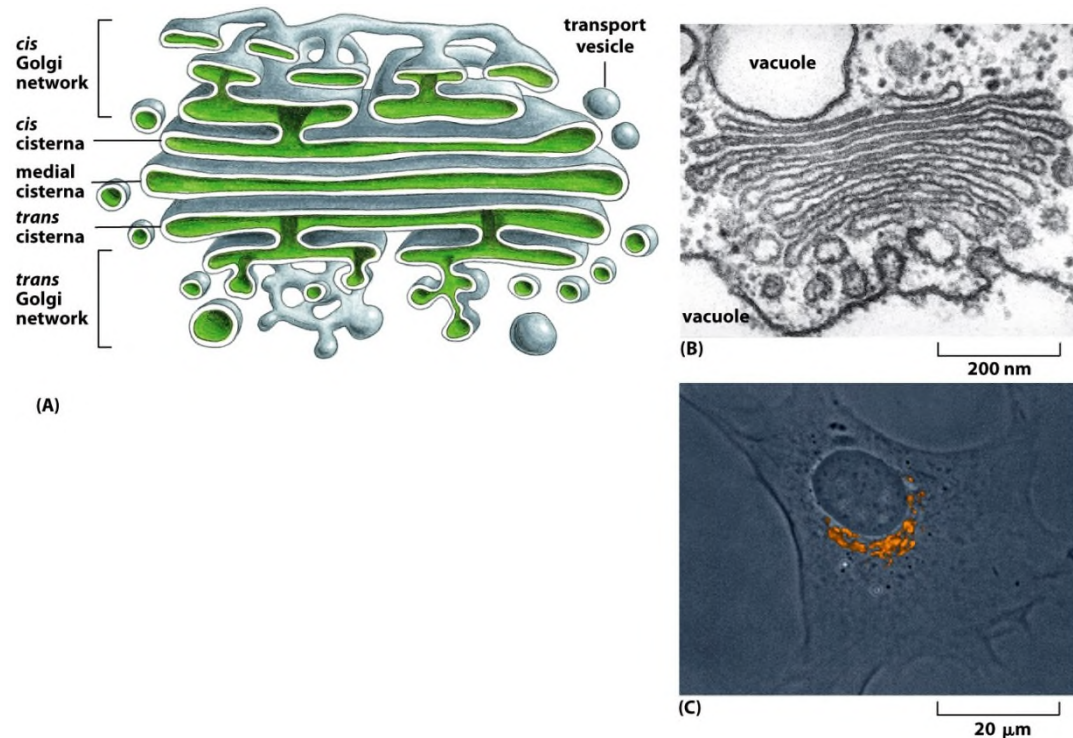
예) 성인기 발병형 당뇨병

Unfolded  
Protein  
Response



단백질은 골지체에서 추가적인 변형과 분류 과정을 거친다.

- 수용성 단백질과 막은 소포체로부터 유래된 수송소낭을 통해 근골지 망상조직(cis Golgi network)로 들어간다.
- 단백질들은 한 골지엽에서 다른 골지엽으로 소낭수송을 통해 이동함
- 원골지 망상조직(trans Golgi network)에서 단백질들은 소낭수송을 통해 세포막이나 다른 소기관으로 이동함
- 소포체에서 단백질에 부착된 올리고당그룹은 골지체에서 추가적인 변형이 일어남



분비성 단백질은 세포외 방출에 의해 세포밖으로 배출된다

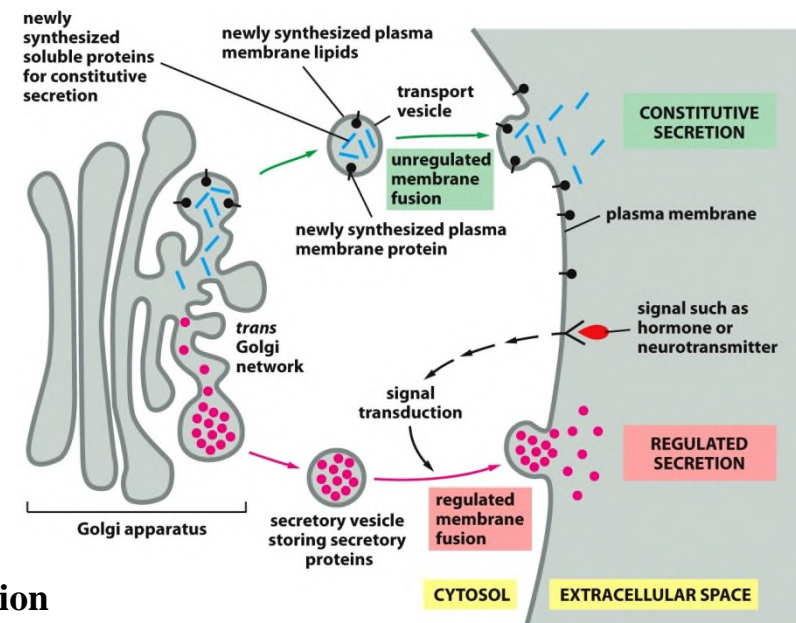
상시 세포외방출 경로(constitutive exocytosis pathway)

- 일정한 속도로 소낭수송을 통해 새로 합성된 지질과 단백질을 세포막에 공급 → 분비단백질, 막단백질, 원형질막 공급 → 자동경로(default pathway)

조절 세포외방출 경로(regulated exocytosis pathway)

- 분비를 위해 특화된 세포에서만 작동하는 경로
- 분비세포(secretory cell)은 호르몬, 점액, 소화효소등을 다량 생산하여 분비소낭에 저장함
- 분비소낭은 골지체에서 출아하여 원형질막 근처에 축적됨
- 세포막과의 융합을 자극하는 외부신호를 기다림

예) 혈액내 포도당량 증가  
→ 췌장세포 자극 → 인슐린 분비





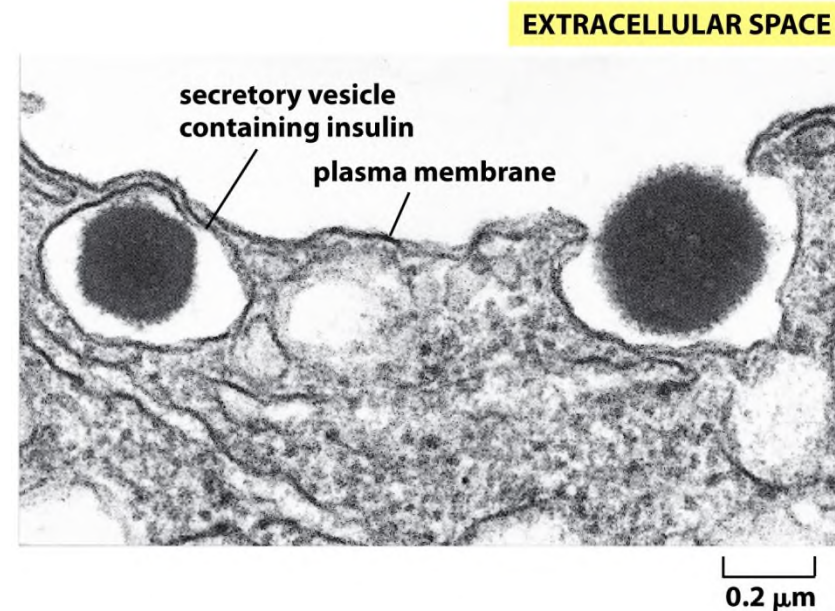
## 분비성 단백질은 세포외 방출에 의해 세포밖으로 배출된다

### 단백질분류 및 분비소낭으로의 포장

- 원골지 망상조직에서 단백질 분류와 소낭으로의 포장이 이루어짐
- 단백질 응집조건: 독특한 이온환경(낮은 산도, 고농도칼슘 등)  
→ 특정자극에 의해 많은 양의 단백질을 신속하게 분비하게 함

- 상시 분비경로를 통해 분비되는 단백질은 응집과정이 없이 배출됨

- 분비소낭이나 수송소낭 모두 원형질막을 증가시킴  
→ 유사한 빈도의 endocytosis에 의해 균형을 이룸



## 단백질과 소낭수송의 추적

### 시험관에서 단백질 추적

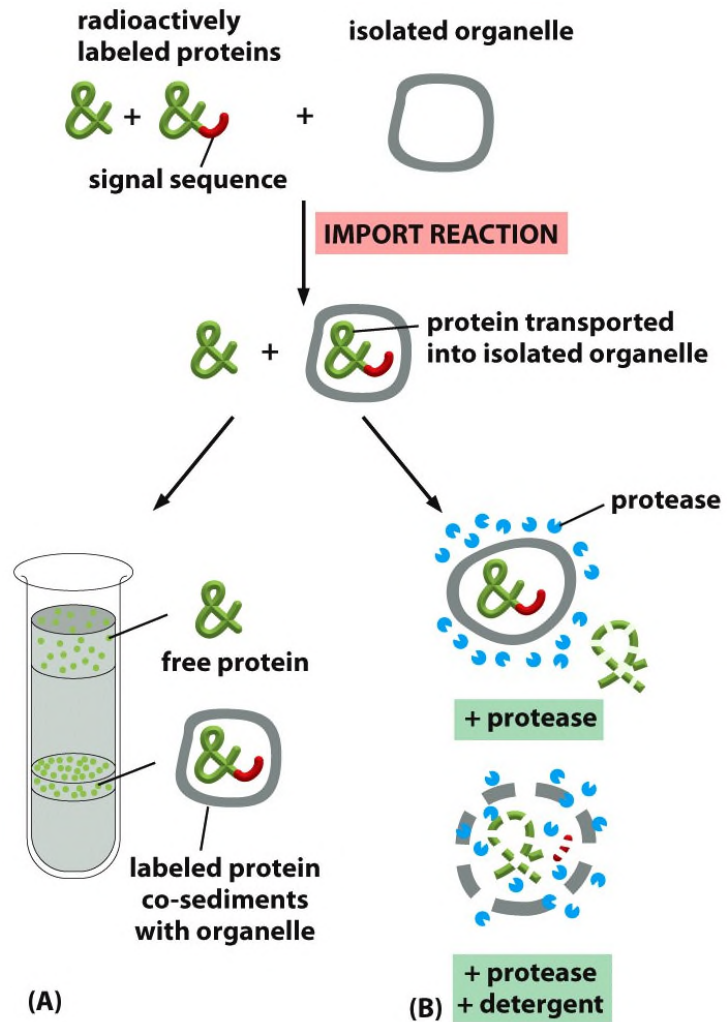
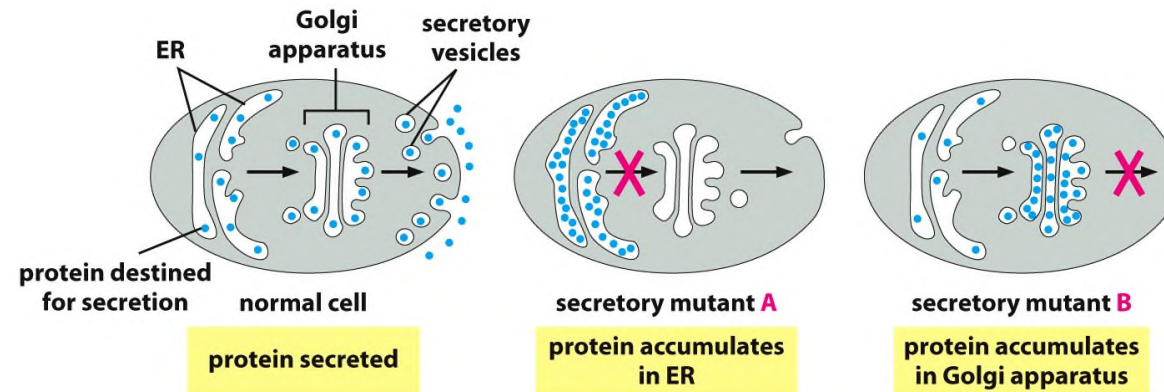
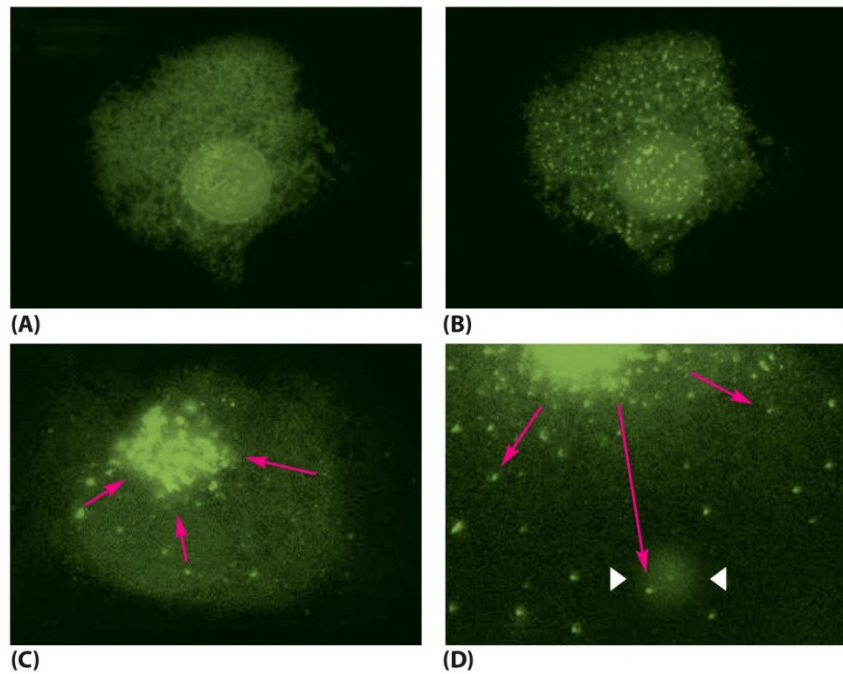


Figure 15-29 *Essential Cell Biology* (© Garland Science 2010)

## 효모에게 묻기 (온도민감성 돌연변이 이용)



## GFP를 이용한 단백질 추적



## 세포내도입 경로

진핵세포는 세포내도입 과정을 통해 분자, 유동물질, 다른 세포등을 유입할 수 있다.

세포내도입(endocytosis)

음세포작용(pinocytosis): 작은 소낭을 통해 액체와 분자를 유입

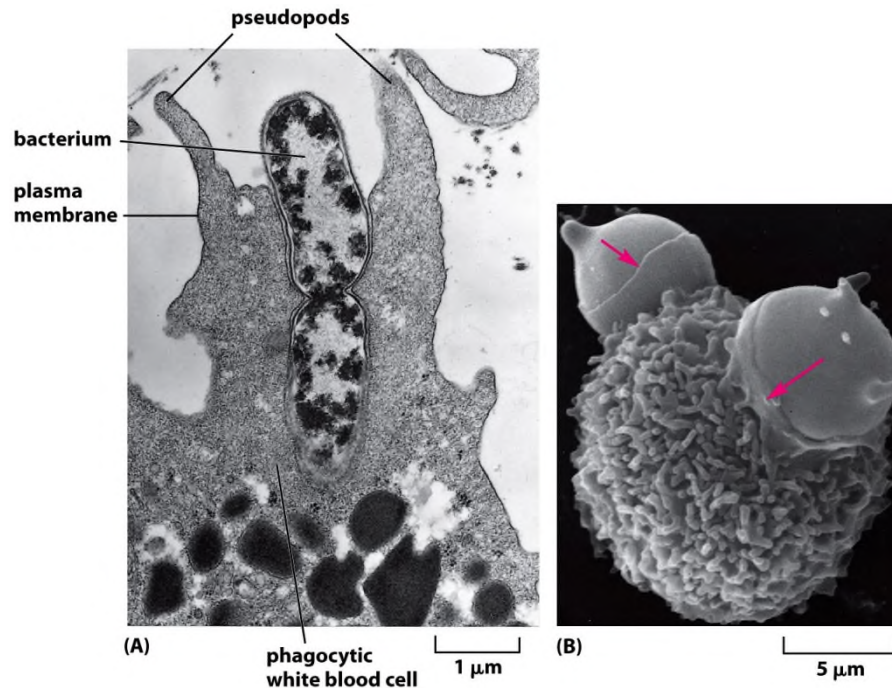
→ 모든 진핵세포에서 일어남

식세포작용(phagocytosis): 미생물 및 세포단편 같은 거대입자를 포식소체(phagosome)을 통해 유입

→ 특화된 포식세포(phagocytic cell)에서 수행함

## 특수화된 포식세포는 거대입자를 섭취한다.

- 동물세포에서의 포식작용은 영양섭취보다는 감염에 대한 일차적인 방어작용을 함 → 대식세포(macrophage) 혹은 백혈구에 의해 이루어짐
- 대식세포의 표면의 수용체가 포식세포의 항체를 인식하여 위족(pseudopod)을 형성 세균을 삼킨 후 포식소체형성 → 이후 포식소체는 리소솜과 융합 세균을 소화함



<https://www.youtube.com/watch?v=BD44vLNnPY> Phagocytosis by macrophage

<https://www.youtube.com/watch?v=JnlULOjUhSQ> Phagocytosis by white blood cell



**유동물질과 거대분자는 음세포작용에 의해 섭취된다.**

-진핵세포는 끊임없이 음세포소낭(pinocytic vesicle) 형태로 세포외 유동물질을 섭취함

**음세포작용의 특성**

- 시간당 매우 높은 비율을 유지함
- 대식세포의 경우 매시간 자신의 25%에 해당하는 부피를 섭취함
  - 분당 3%의 원형질막 필요, 30분에 100% 소요됨
  - 손실된 원형질막은 비슷한 속도의 exocytosis에 의해 보충됨
- 음세포작용은 클라트린-피복 소낭에 의해 주로 수행됨
- 이후 피복이 제거된 후 엔도솜과 융합됨

## 수용체매개 세포내도입은 동물세포의 특수 수송경로이다.

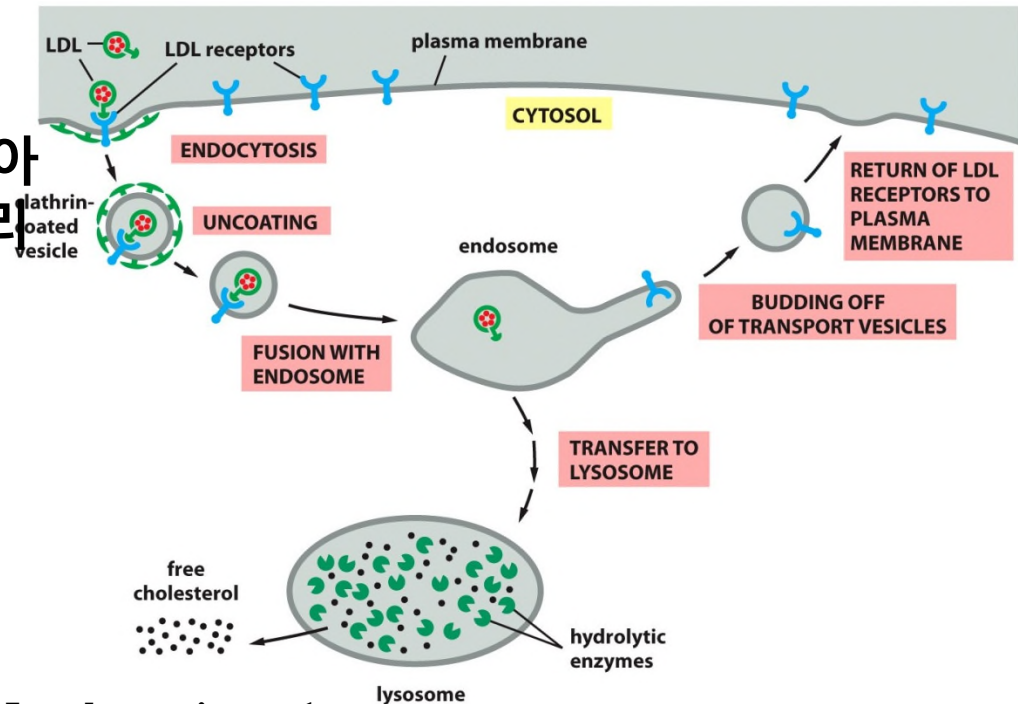
- 음세포작용은 선별적인 특성을 갖지 않음
- 대부분의 동물세포는 특정거대분자를 선별하여 세포내유입하는 경로를 가지고 있음

### 수용체매개 세포내도입(receptor-mediated endocytosis)

- 특정 거대분자가 세포표면에 존재하는 수용체에 결합하여, 수용체-거대분자 복합체로서 클라트린-피복 소낭을 이루어 세포내로 들어옴 (콜레스테롤, 비타민B12, 철 등의 흡수)

#### 예) 콜레스테롤의 세포내도입경로

LDL이 수용체와 결합 → 피복소낭출아  
→엔도솜 → 리소솜 →콜레스테롤분리



수용체에 결합이 있는 경우  
→ 동맥경화의 위험

<https://www.youtube.com/watch?v=OejK9KAfFCY> LDL endocytosis part1

<https://www.youtube.com/watch?v=TuuwLLIKYGU> LDL endocytosis part2

## 세포내로 도입된 거대분자들은 엔도솜에서 분류된다.

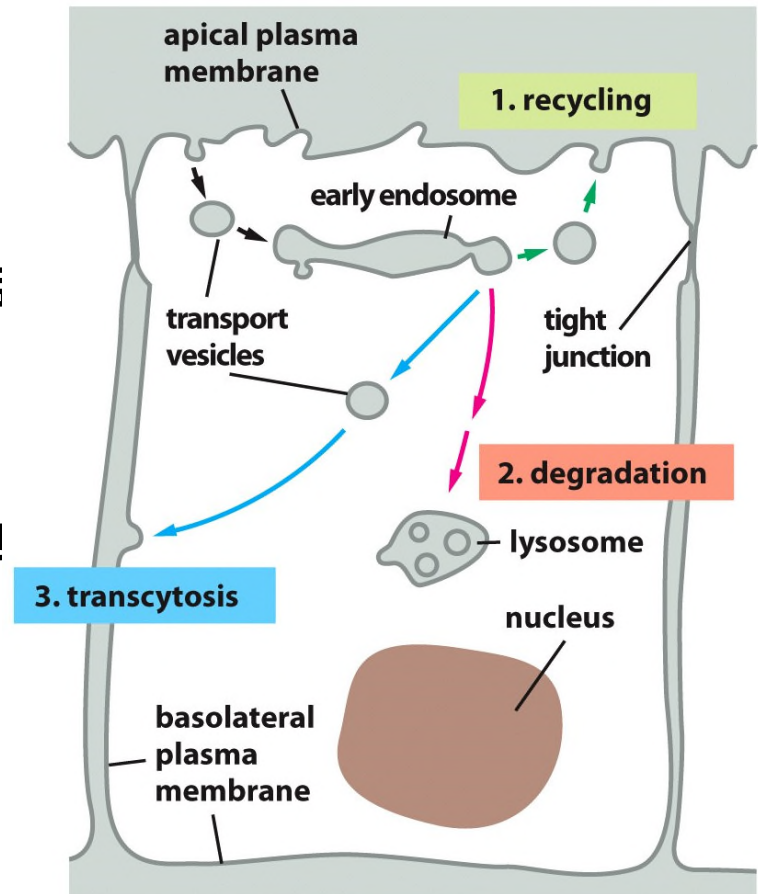
- 엔도솜의 내부는 산성을 유지 → ATP의존성 수소펌프에 기인
- 엔도솜(endosome)은 세포내도입으로 도입된 물질의 주된 분류 기관으로 작용
  - 엔도솜의 산성환경은 수용체에서 외부물질의 분리를 유도하여 분류과정에 중요한 역할을 수행

### 엔도솜의 수용체의 처리방식

1. 대부분의 수용체들은 원형질막으로 회귀
2. 일부수용체는 리소솜으로 이동하여 분해
3. 일부수용체는 세포의 반대편의 원형질막으로 이동 → 세포통과(transcytosis)

### 외부물질의 도입경로

소낭을 통해 유입 → 세포막근처의 초기엔도솜과 결합 → 이후 핵근처의 후기엔도솜 → 리소솜

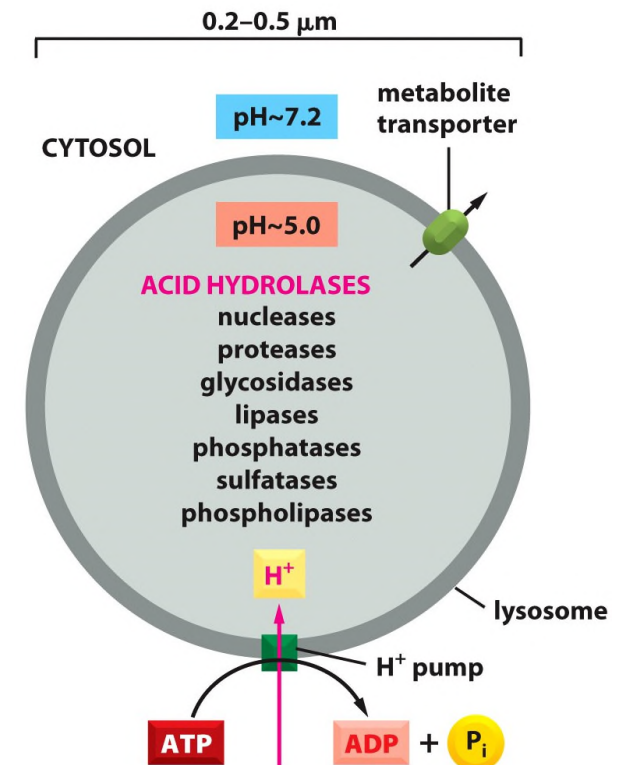


리소솜은 세포내 물질분해가 일어나는 주된 장소이다.

리소솜(lysosome)

- 세포내로 도입된 물질은 리소솜에서 분해됨
- 40여가지의 다양한 가수분해효소를 함유 (산성에서 활성을 가짐)
  - 외부물질 및 세포소기관을 분해함
- 리소솜 막에는 ATP의존성 수소이온펌프가 존재함
  - 리소솜 내부를 산성환경으로 유지함
- 소화산물인 아미노산, 당, 핵산을 운반하는데 관여하는 다양한 단백질을 보유함

리소솜 소화효소 및 막단백질의 생성 및 이동경로  
소포체에서 합성 → 골지체로 이동 →  
소낭수송을 통해 엔도솜을 경유  
리소솜으로 이동함



리소솜은 세포내 물질분해가 일어나는 주된 장소이다.

물질들의 리소솜으로 향하는 경로

1. 세포내도입(endocytosis)
2. 식세포작용(phagocytosis)
3. 자기포식작용(autophagy): 노후한 소기관을 막이 둘러싸서  
자기포식소체(autophagosome)를 형성하며 리소솜과 융합됨

