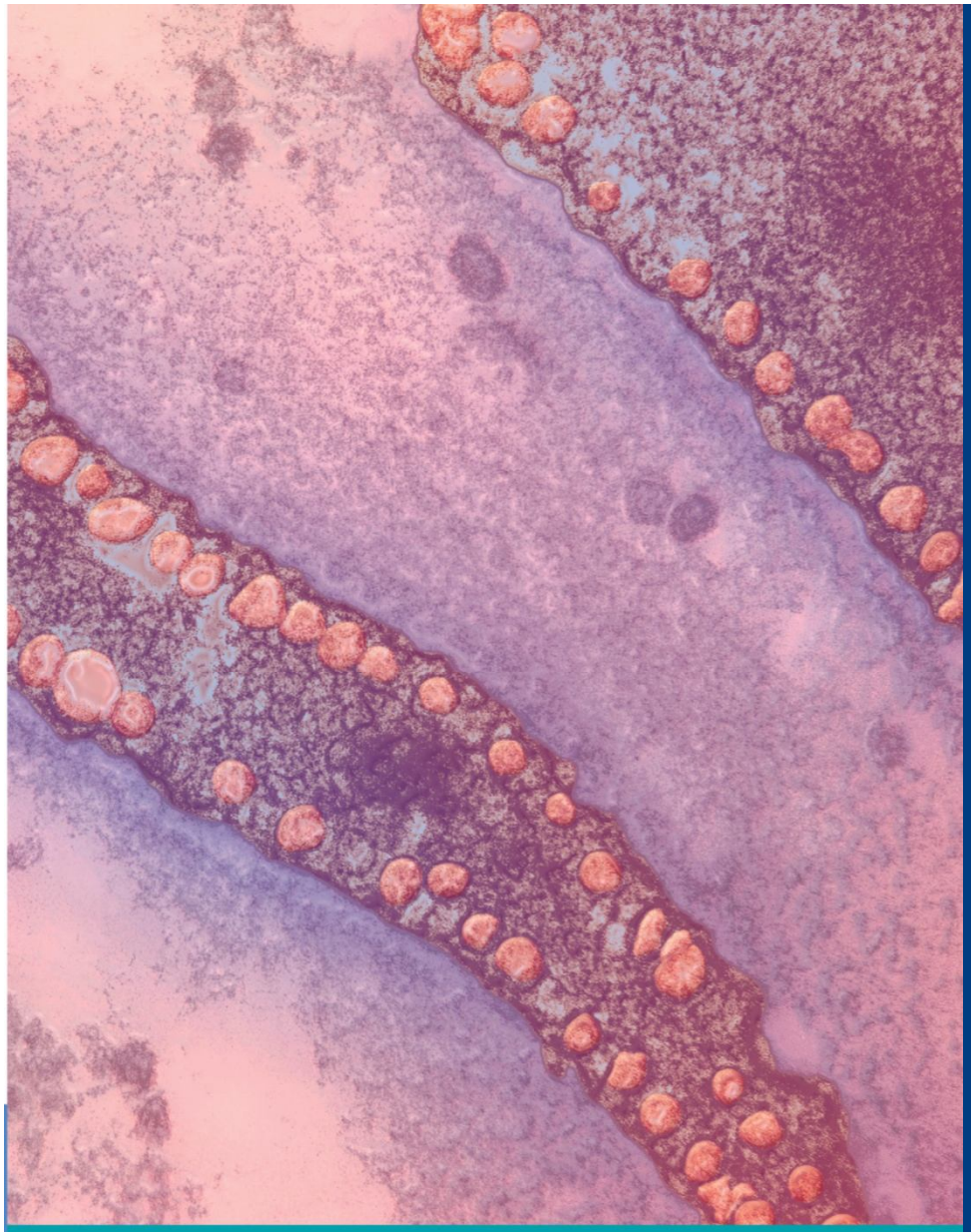


세포내이입(endocytosis)을 보여주는 색을 입힌 전자현미경 사진

4

세포막 수송

Copyright © 2012 Biosciencepublishing, Inc

개요

I. 수송방향에 영향을 미치는 요인
II. 수송속도
III. 수동수송
IV. 능동수송
V. 삼투 : 막을 통과하는 물의 수동수송
VI. 막으로 싸인 구획 안에서 물질의 이동
VII. 상피 수송 : 두 개의 막을 통과하는 분자의 이동

막을 가로지르는 수송

- 막의 기능
  - 물질의 분리 : 세포내액 / 세포외액
  - 물질 교환 허용 : 세포내액 / 세포외액)
- 왜 수송이 중요할까
  - 산소와 영양분을 얻음
  - 노폐물의 제거

막은 선택성이 있다

- 선택적 투과성
  - 투과성 = 통과
  - 선택성 = 제한적
- 어떤 물질은 막을 통해 이동할 수 있지만 어떤 물질은 이동할 수 없다

세포 내액과 세포외액의 구성성분

표 4.1 몇 가지 용질의 세포 내액(ICF)*과 외액(ECF)의 mM 농도

용질	ICF (mM)	ECF (mM)
K^+	140.0	4.0
Na^+	15.0	145.0
Mg^{2+}	0.8	1.5
Ca^{2+}	<0.001†	1.8
Cl^-	4.0	115.0
HCO_3^-	10.0	25.0
P_i	40.0	2.0
아미노산	8.0	2.0
포도당	1.0	5.6
ATP	4.0	0.0
단백질	4.0	0.2

*세포내액의 조성은 세포종류에 따라 달라진다.
†은 세포질에 있는 자유로운 칼슘이온을 나타낸다. 상당한 양의 세포내 칼슘은 막으로 싸인 소기관에 격리되어 있고/또는 단백질에 결합하여 있다.

막은 선택성이 있다

- 비극성 물질과 작은 극성 물질
  - 쉽게 막을 통과
  - 예: 산소, 이산화탄소, 지방산, 물
- 이온과 큰 극성 물질
  - 정상적으로는 이동하지 못함
  - 예 : 포도당, 단백질, Na^+

용액의 에너지

반트 호프의 방정식

$$\Delta G = RT \ln \frac{[S]_i}{[S]_o}$$

용액의 에너지

- 자유에너지의 변화
  - 음인 경우
    - 수송이 자발적
  - 양인 경우
    - 수송이 비자발적

수송의 유형

- 수동수송
  - 자발적
  - 에너지가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 이동
- 능동수송
  - 비자발적
  - 에너지가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이동

추진력

- 물질을 이동시키기 위해 작용하는 힘
  - 힘 = 밀거나 당김
  - 입자 = 원자, 이온, 분자

추진력

- 화학적, 전기적 추진력
- 두 힘 = 전기화학적 힘
    - 수동
        - 힘에 따른 이동
    - 능동
        - 힘에 반한 이동

화학적 추진력

- 특징
  - 농도구배 = ΔC
  - 기울기는 물질을 높은 농도에서 낮은 농도로 “민다”
  - 힘은 높은 농도에서 낮은 농도로 작용

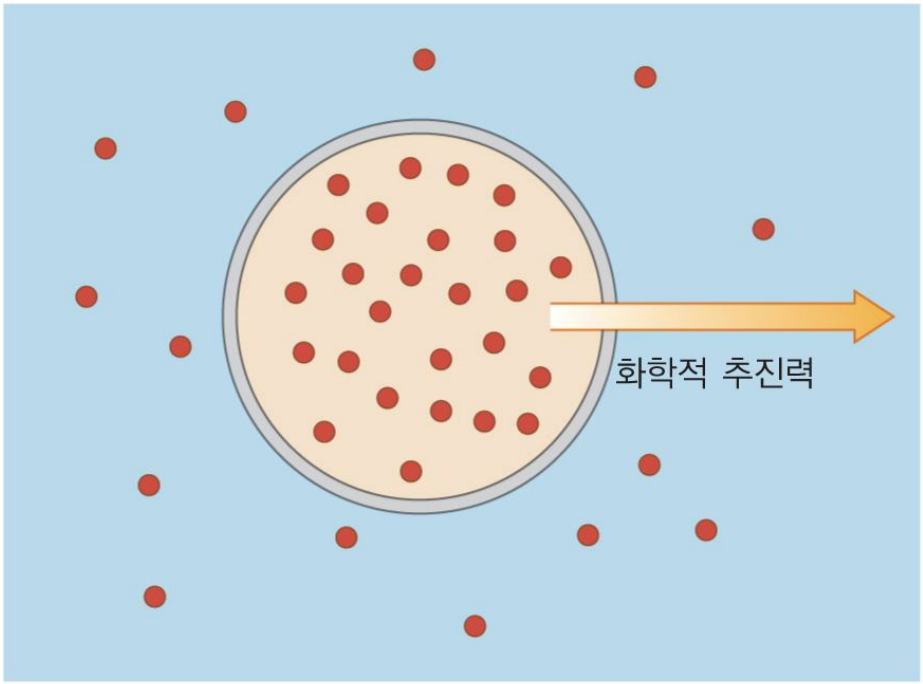
화학적 추진력

- 화학적 추진력의 **방향**
  - 농도구배를 따라 이동
  - 높은 농도에서 낮은 농도로

화학적 추진력

- 예 : 화학적 추진력의 방향
  - C_o = 21 mM/L, C_i = 83 mM/L 이라면 세포 바깥쪽으로 향함(-)
  - C_o = 145 mM/L, C_i = 15 mM/L 이라면 세포 안쪽으로 향함(+)

Chemical Driving Force(화학적 추진력)

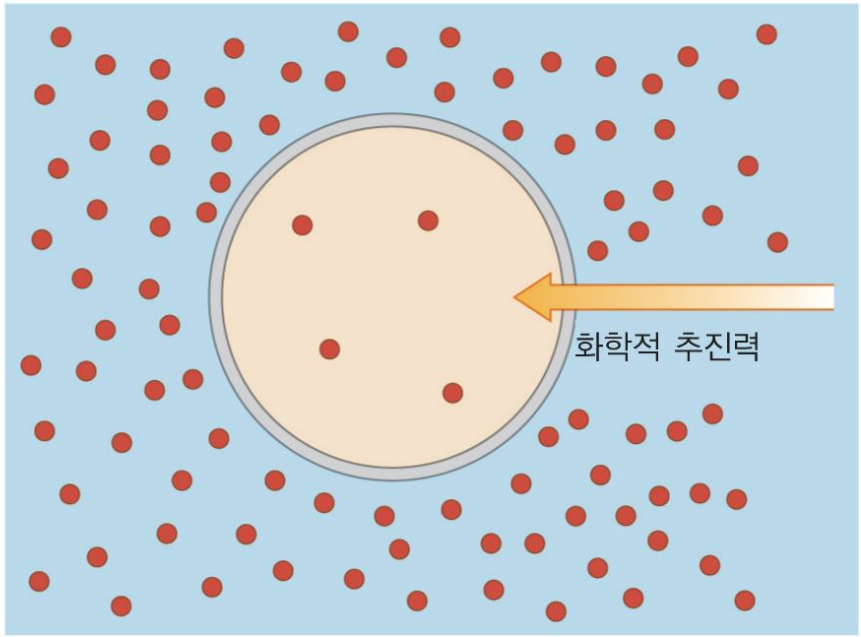


(a)

그림 4.1 화학적 추진력. (a) 분자의 농도(점)가 세포 안에서보다 밖에서 높을 때 화학적 추진력의 방향(화살표)은 바깥쪽이다.

Chemical Driving Force(화학적 추진력)

화학적 추진력의 크기는 농도구배에 비례한다



(b)

그림 4.1 화학적 추진력.
(b) 세포외액의 분자 농도가 높을때 화학적 추진력의 방향은 안쪽이다. 두 경우 모두 분자는 추진력의 방향으로, 또는 농도구배를 따라서 수동적으로 이동할 것이다.

Electrical Driving Force(전기적 추진력)

- 용어정리
  - 이온 = 전하를 띤 입자
  - 양이온 = (+) 전하를 가진 입자
  - 음이온 = (-) 전하를 가진 입자

Electrical Driving Force(전기적 추진력)

- 막 전위 (V_m)
  - 막전위는 힘이다
  - 세포막을 통과하는 음이온과 양이온의 불균등한 분포에 기인
  - 전하의 분리 = 에너지원

Electrical Driving Force(전기적 추진력)

- 막전위 크기
  - 힘의 강도
  - 보통 밀리볼트로 측정
  - 극성을 가짐(기준은 세포내액)

Electrical Driving Force(전기적 추진력)

- 원리
  - 반대 전하는 서로 끌림
  - 같은 전하는 서로 반발
- 힘의 방향을 좌우하는 요인
  - 세포의 극성
  - 물질의 전하

막을 경계로 한 전하의 분리

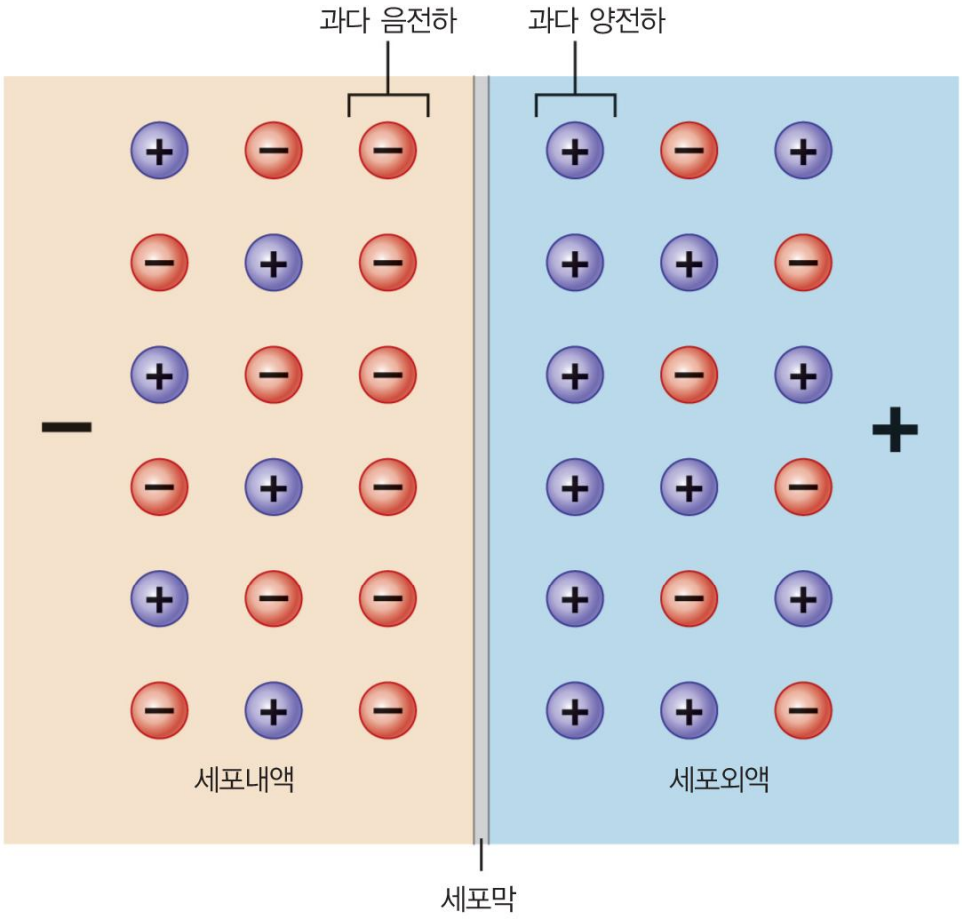
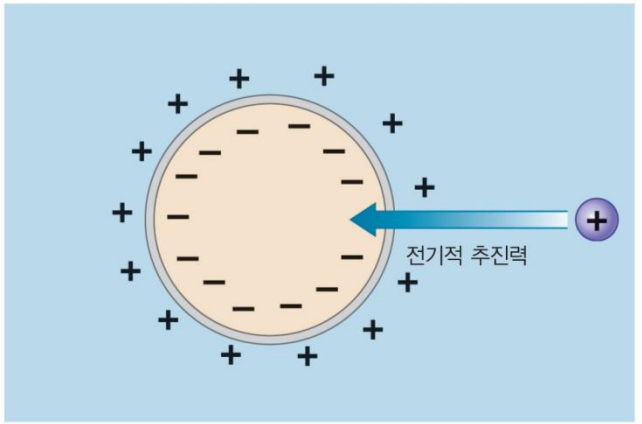


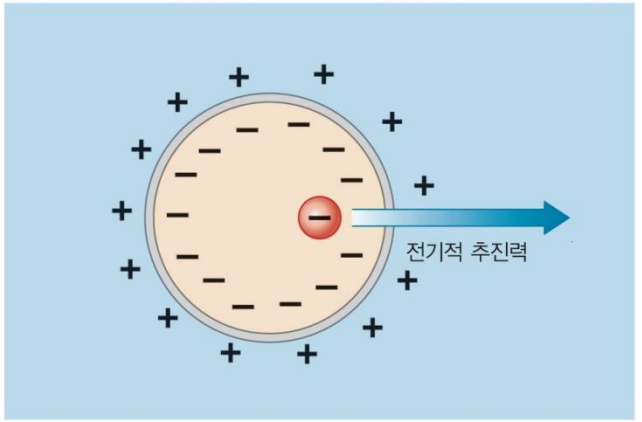
그림 4.2 막을 경계로 한 전하의 분리. 정상적인 조건에서 세포내액에는 약간 음이온이 많고(음전하) 세포외액에는 양이온이 많다(양전하). 이러한 과다 전하는 막 가까이에 밀집한다. 세포 안팎의 순전하는 막의 양쪽에 (+)와 (−)부호로 표시하였다.

Electrical Driving Force(전기적 추진력)

- 힘의 방향을 좌우하는 요인
  - 세포의 극성
  - 물질의 전하



(a)



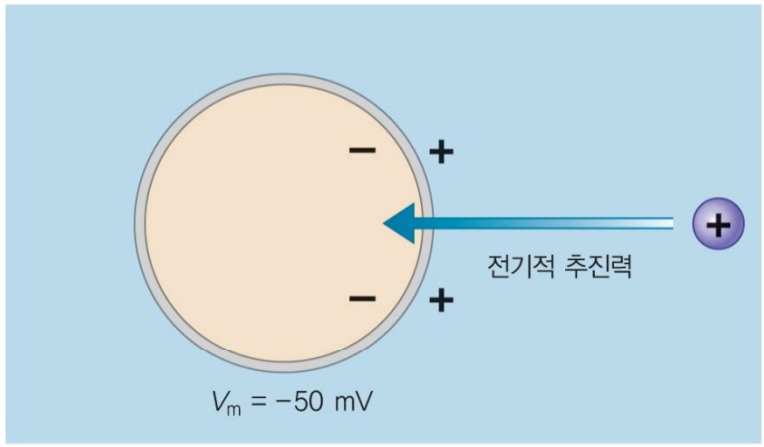
(b)

그림 4.3 전기적 추진력. (a) 양전하를 띤 이온의 전기적 추진력의 방향(화살표)은 안쪽이다. (b) 음전하를 띤 이온의 전기적 추진력의 방향은 바깥쪽이다. 두 경우 모두 막전위는 음이라고 가정하고 (+)와 (−)부호로 막의 양쪽에 표시하였다.

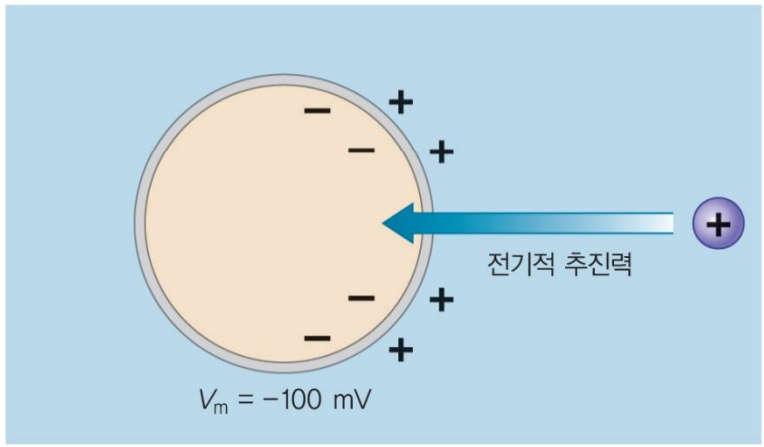
Electrical Driving Force(전기적 추진력)

- 힘의 크기를 좌우하는 요인
  - 막전위의 힘
  - 입자의 전하량

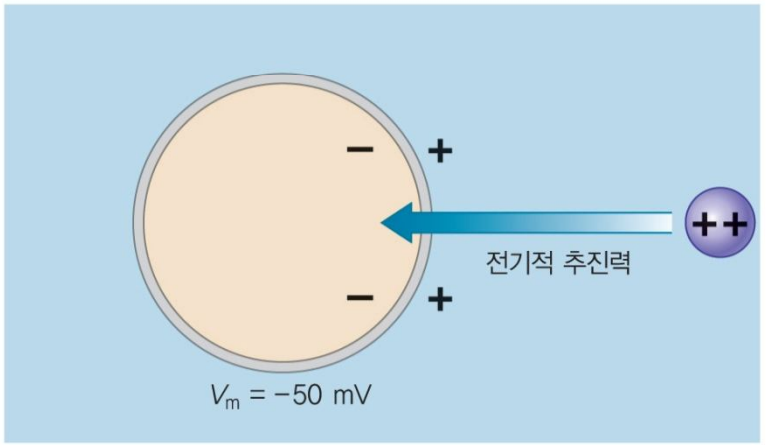
Electrical Driving Force(전기적 추진력)



(a)



(b)



(c)

그림 4.4 막전위와 이온가(전하)가 전기적 추진력에 미치는 영향. **(a)** 주어진 음의 값의 막전위 하에서 (V_m = −50 mV) 안쪽을 향하는 전기적 추진력(화살표)은 막을 통과하는 양전하를 띤 이온에 작용한다. **(b)** 막전위 크기가 −100 mV로 증가할 때, 전기적 추진력의 크기도 굵은 화살표로 표시한 것같이 증가한다. **(c)** 높은 이온가를 가지고 있는 이온에서도 전기적 추진력의 크기가 증가한다.

Electrochemical Driving Force(전기적 추진력)

- 입자에 작용하는 전체 힘
- 화학적 힘과 전기적 힘의 합

Electrochemical Driving Force(전기적 추진력)

- 화학적 힘과 전기적 힘이 같은 방향으로 작용한다면
  - 전기화학적 힘은 각각의 방향으로 작용
  - 힘의 크기=화학적 힘과 전기적 힘의 합

Electrochemical Driving Force(전기화학적 추진력)

- 화학적 힘과 전기적 힘이 반대방향으로 작용한다면
  - 전기화학적 힘은 더 큰 힘의 방향으로 작용
  - 크기 = 큰 힘 – 작은 힘

Electrochemical Driving Force(전기화학적 추진력)

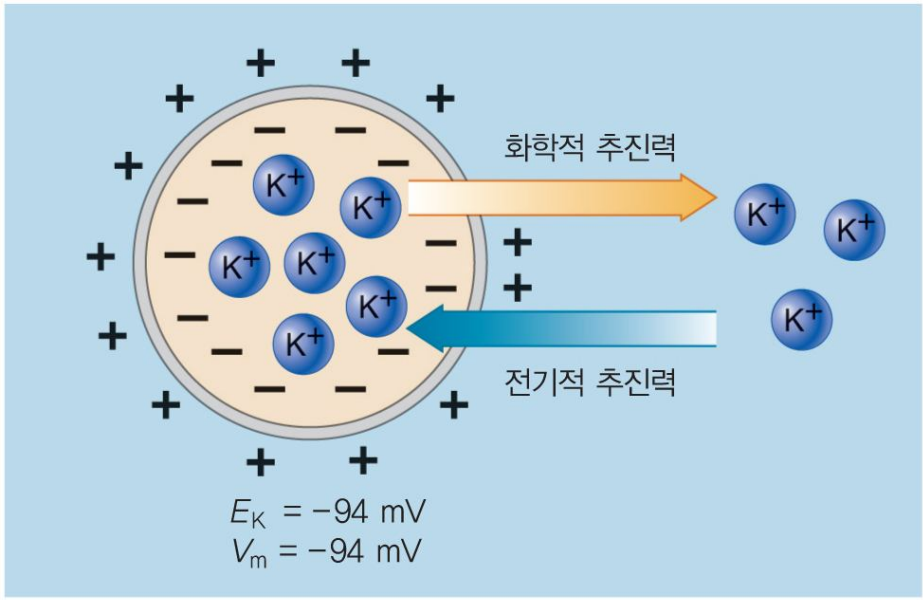
- 수동수송
  - 입자는 높은 힘에서 낮은 힘으로 이동
  - 자발적
- 능동수송
  - 입자는 낮은 힘에서 높은 힘으로 이동
  - 비자발적이며 에너지가 필요

Electrochemical Driving Force(전기화학적 추진력)

- 화학적 기울기가 존재할 때, 투과할 수 있는 물질이라도 어떤 조건에서는 막을 투과하지 못할까?
- 전기적 힘은 동일하지만, 화학적 힘이 반대방향으로 작용할 때

Equilibrium Potential(평형 전위)

- 막전위가 다음과 같은 경우
  - 전기적 힘 = 화학적 힘
  - 전기적 힘과 화학적 힘이 반대 방향으로 작용



(a)

그림 4.5 막을 통과하는 K^+에 작용하는 화학적, 전기적 및 전기화학적 추진력. K^+의 평형전위는 −94 mV이고 막전위는 음의 값으로 가정하였다. **(a)** 막전위가 평형전위와 같을 때(−94 mV), 전기화학적 힘은 0이다.

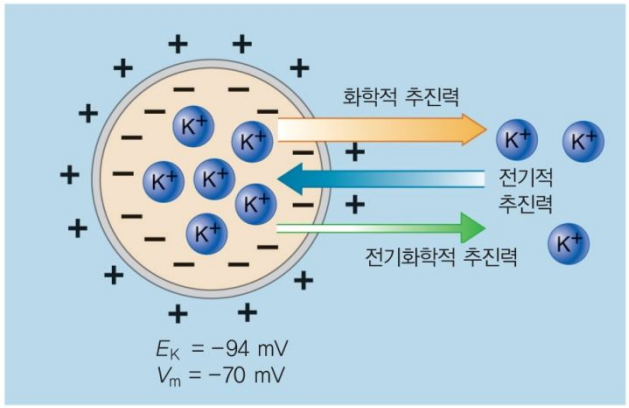
Equilibrium Potential (E_x)(평형전위)

- 막전위(Vm) = 평형전위(E_x) 이라면, 힘 = 0
- 여기서 X = K^+

Equilibrium Potential (E_x)(평형전위)

- $V_m = E_x$ 이라면 힘 = 0
- 여기서 X = K^+

V_m이 E_x보다 약할 때



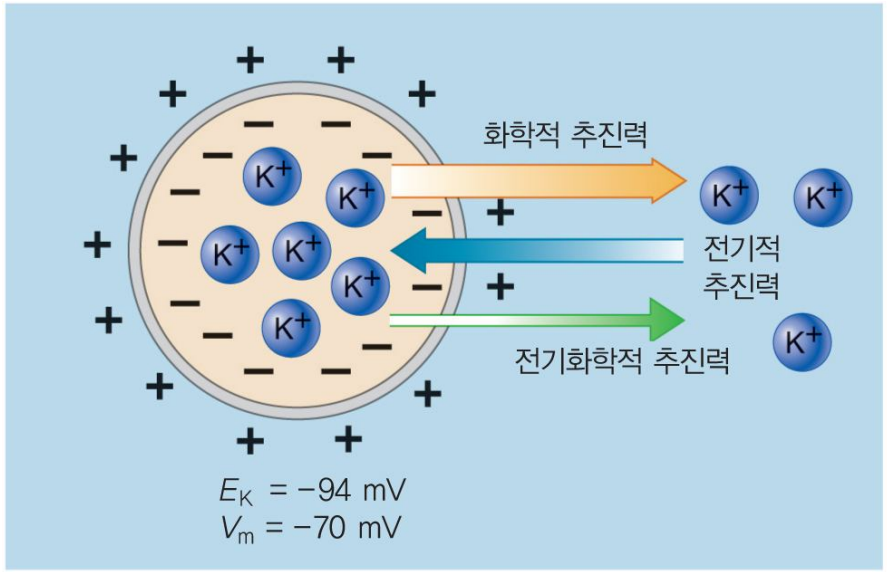
(b)

그림 4.5 **막을 통과하는 K^+에 작용하는 화학적, 전기적 및 전기화학적 추진력.**
K^+의 평형전위는 −94 mV이고 막전위는 음의 값으로 가정하였다.
(b) 막전위가 −70 mV일때, 전기적 힘은 화학적 힘보다 작고,
전기화학적 힘은 바깥쪽을 향한다.

Equilibrium Potential (E_x)(평형전위)

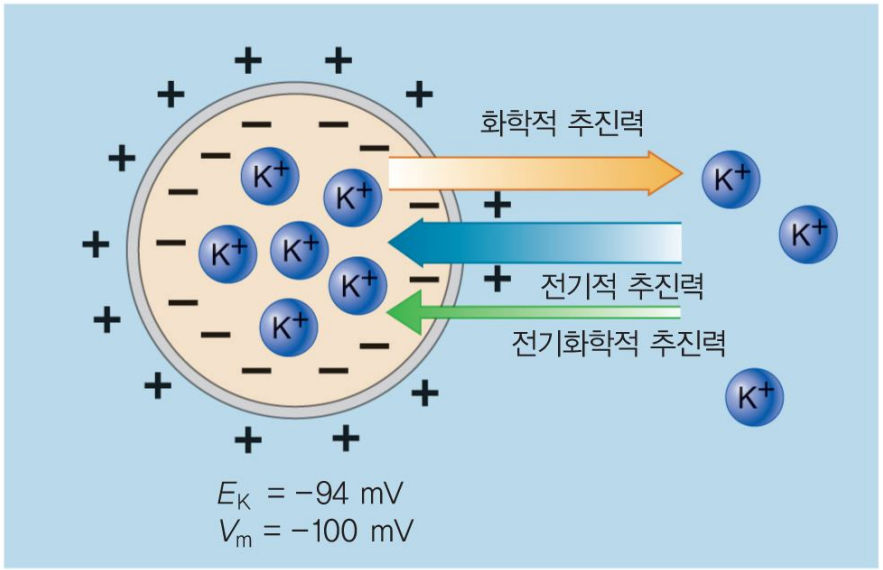
- $V_m = E_x$ 이라면 힘 = 0
- 여기서 X = K^+

V_m이 E_x보다 약할 때



(b)

V_m 이 E_x보다 강할 때



(c)

Equilibrium Potential(평형전위)

- E_I의 계산 : 네른스트 방정식

$$E_I = \frac{61\,\text{mV}}{z} \log \frac{[I]_o}{[I]_I}$$

- 여기서
  - E_I = 이온 I의 평형 전위
  - Z = 이온 I의 원자가
  - $[I]_o$ = 이온 I의 세포외액농도
  - $[I]_i$ = 이온 I의 세포내액농도

Equilibrium Potential Calculation(평형전위 계산)

$$E_{Na} = \frac{61}{1} \log \frac{145\ mM}{15\ mM} = 60.1\ mV \approx 60\ mV$$

$$E_{K} = \frac{61}{1} \log \frac{4\ mM}{140\ mM} = -94.2\ mV \approx -94\ mV$$

II. Rate of Transport(수송 속도)

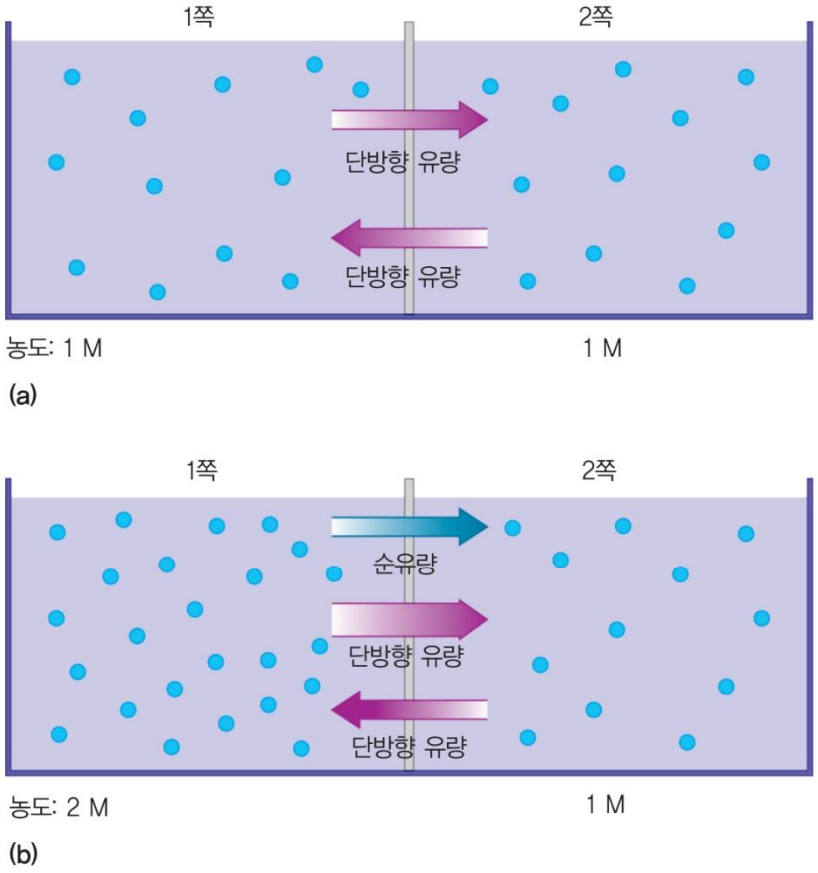


그림 4.6 분자와 순유량의 이동방향. **(a)** 확산평형. 용질분자(점)가 막의 양쪽에 같은 농도로 있을 때, 1쪽에서 2쪽으로 단방향 유량은 2쪽에서 1쪽으로와 같다(화살표). 이 조건 하에서 막을 통한 순유량은 0이다. **(b)** 순유량. 1쪽의 농도가 2배로 증가했을 때, 1쪽에서 2쪽을 향하는 단방향 유량은 앞서의 2배이지만 반대방향의 단방향 유량은 영향이 없다. 단방향 유량은 이제 불균등하며 따라서 1쪽에서 2쪽으로 농도구배를 따라 순유량이 발생한다.

III. Passive Transport(수동수동)

- 자발적
- 세포 에너지가 필요하지 않음
- 아래쪽으로 이동

Types of Passive Transport(수동수송의 유형)

- Simple diffusion(단순확산)
- Facilitated diffusion(촉진확산)
- Diffusion through channels(통로를 통한 확산)

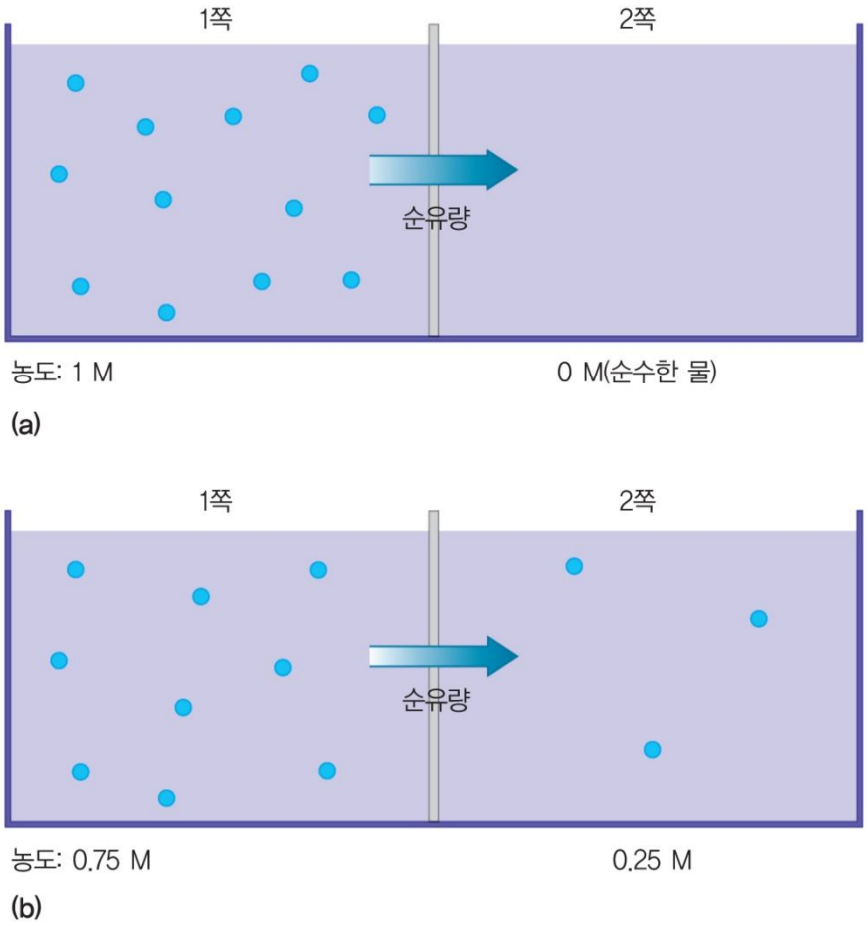
Simple Diffusion(단순확산)

- 막단백질이 필요하지 않음
- 인지질 이중층을 통한 수송

Simple Diffusion(단순확산)

- 수송속도에 영향을 미치는 요인
  - 추진력의 크기
  - 막의 표면적
  - 막의 투과성

Simple Diffusion—Rates(단순확산-속도)



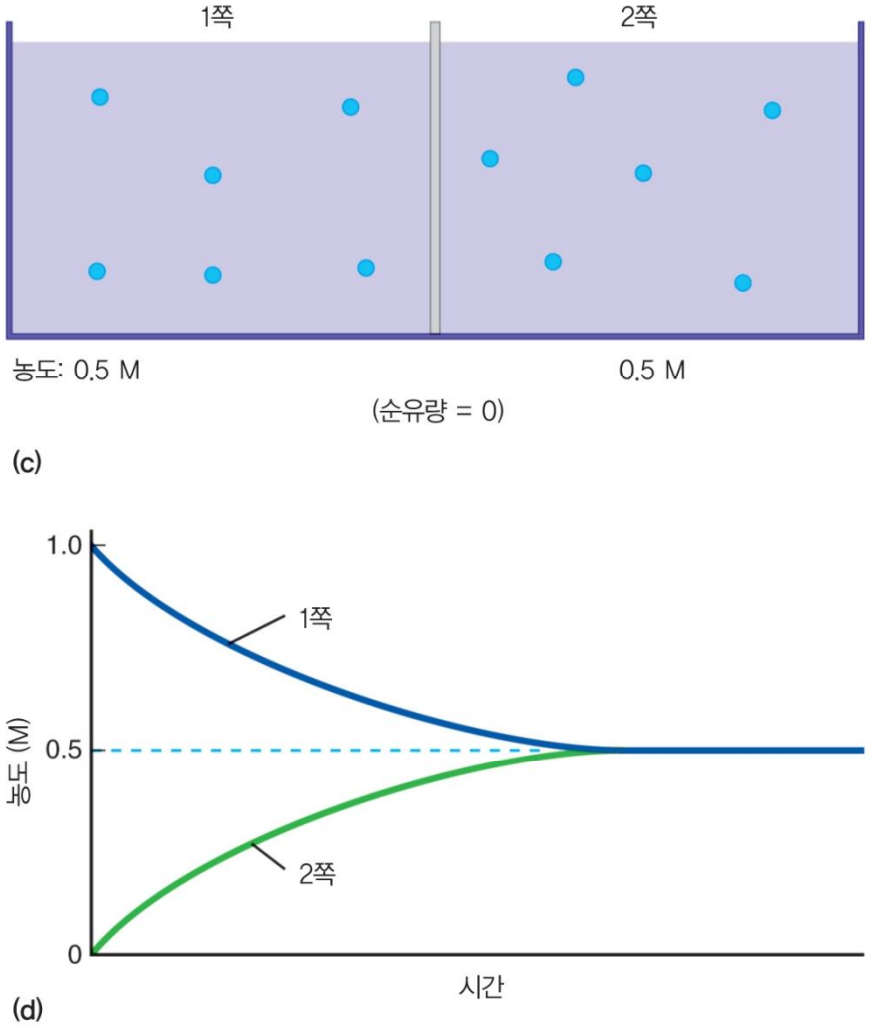
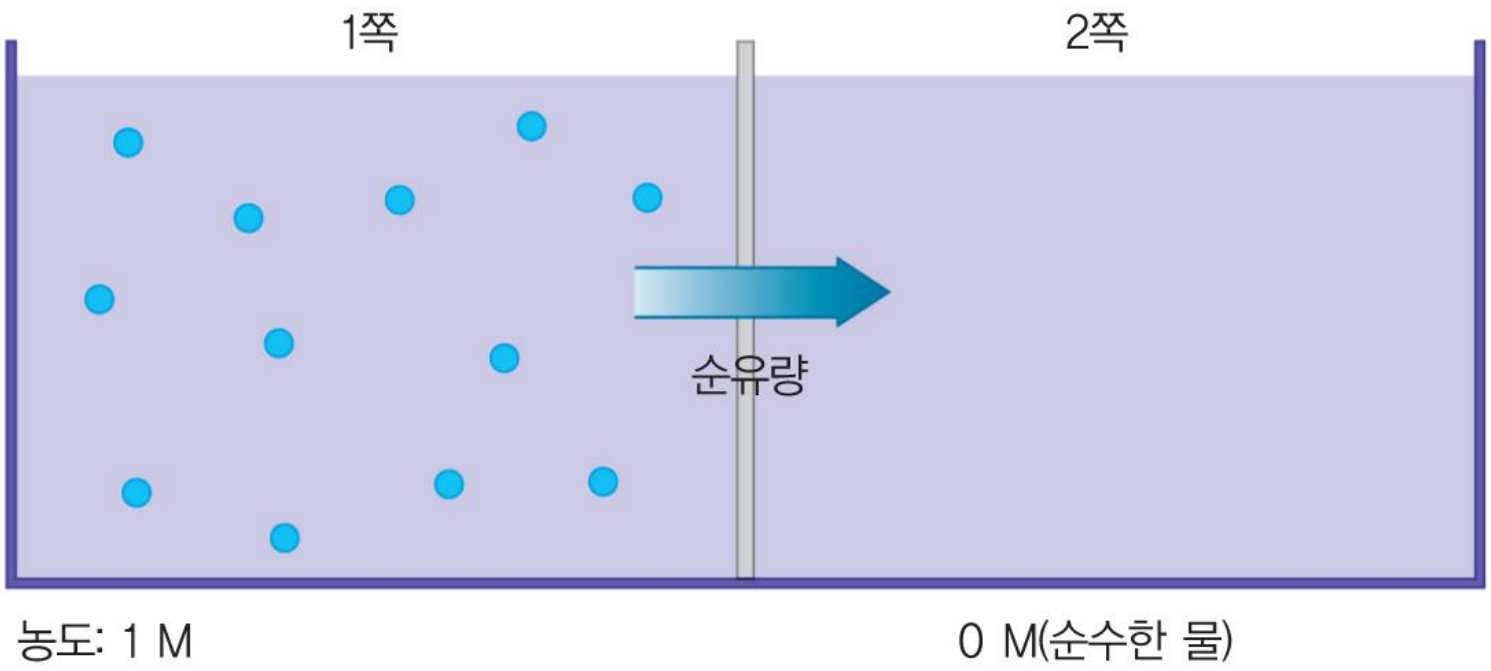


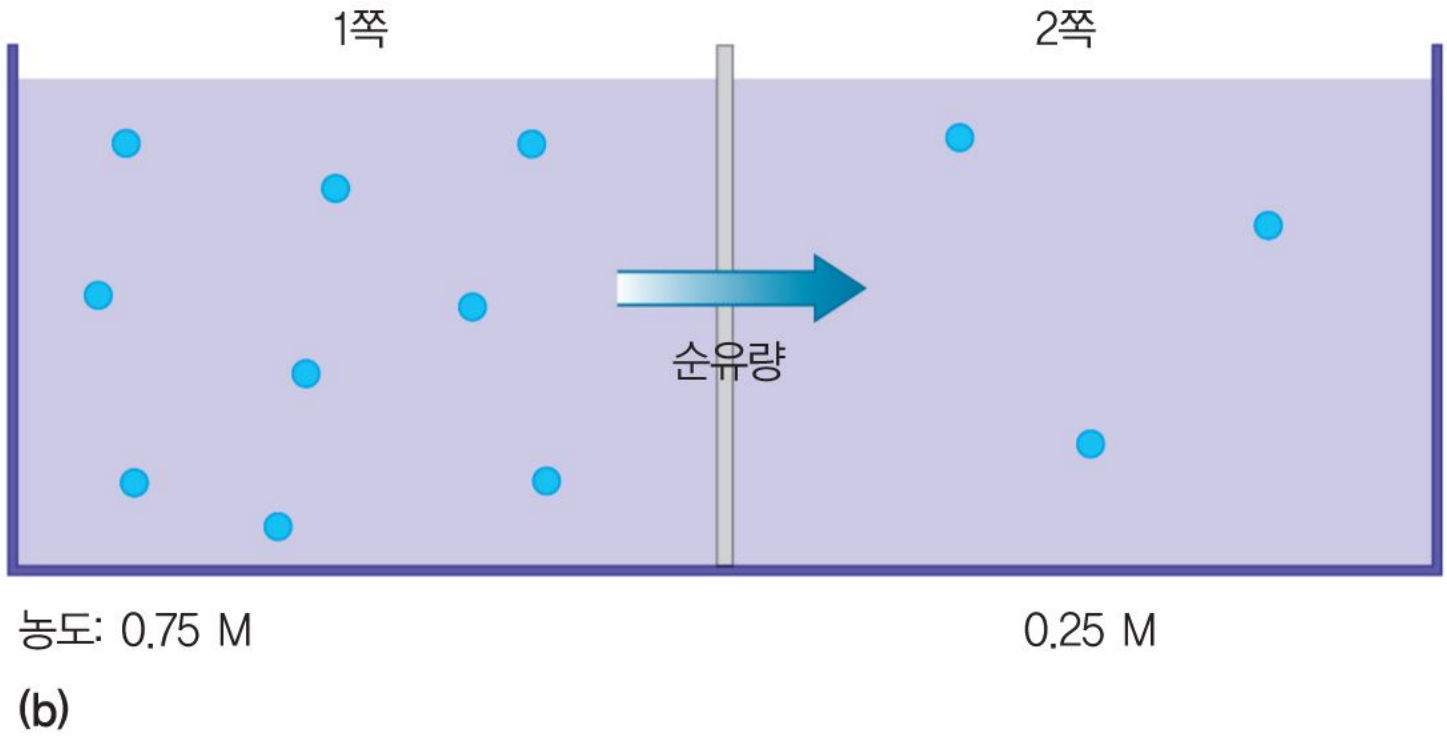
그림 4.7 **농도구배 변화에 따른 막을 통과하는 분자의 순유량의 변화.** **(a)** 큰 농도구배는 화살표가 나타내는 순유량을 일으킨다. **(b)** 1쪽에서 2쪽으로 순유량에 의해 1쪽의 농도는 0.75 M로 낮아지며 2쪽의 농도는 0.25 M로 높아진다. **(c)** 막 양쪽의 농도가 같아지고 순유량은 0이 된다. **(d)** 시간 경과에 따른 양쪽의 농도변화.

Simple Diffusion—Rates(단순확산-속도)



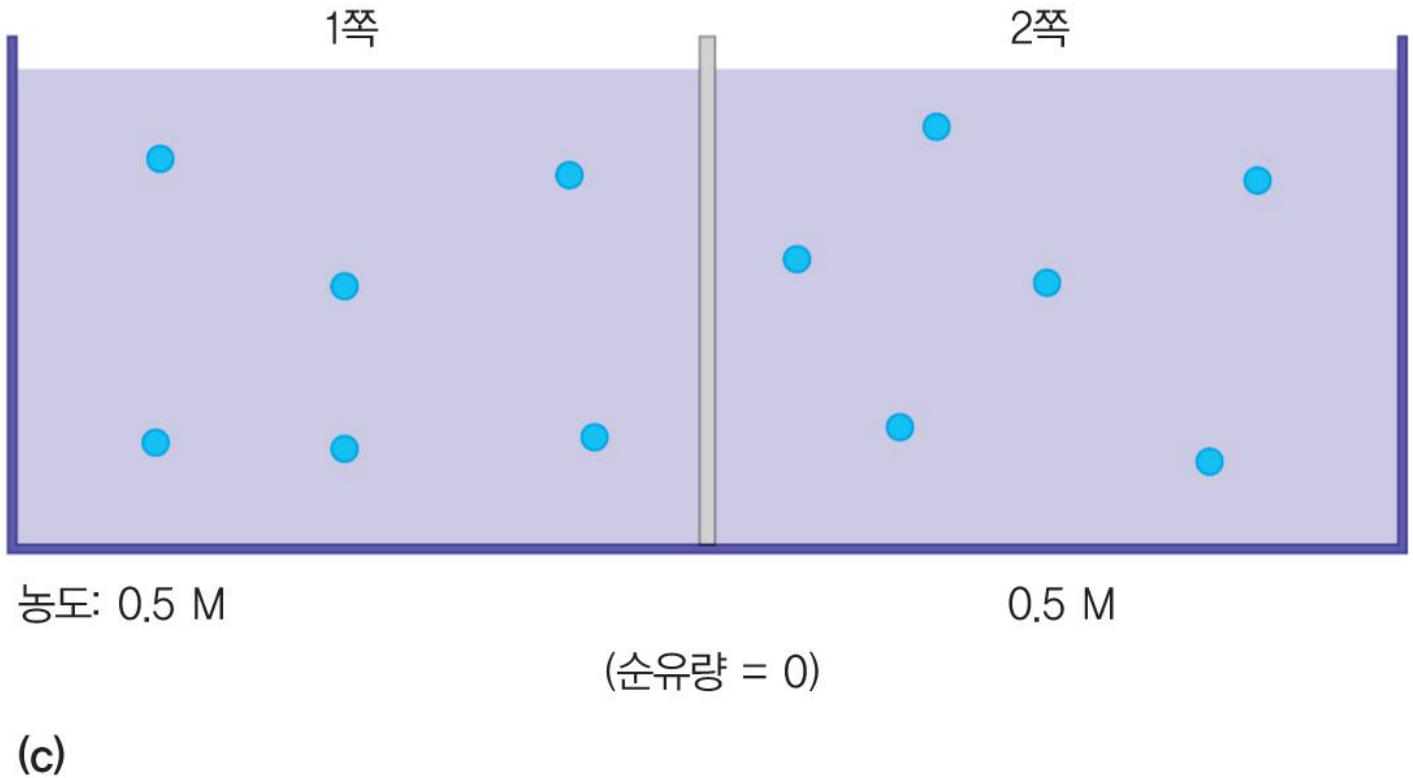
(a)

Simple Diffusion—Rates(단순확산-속도)



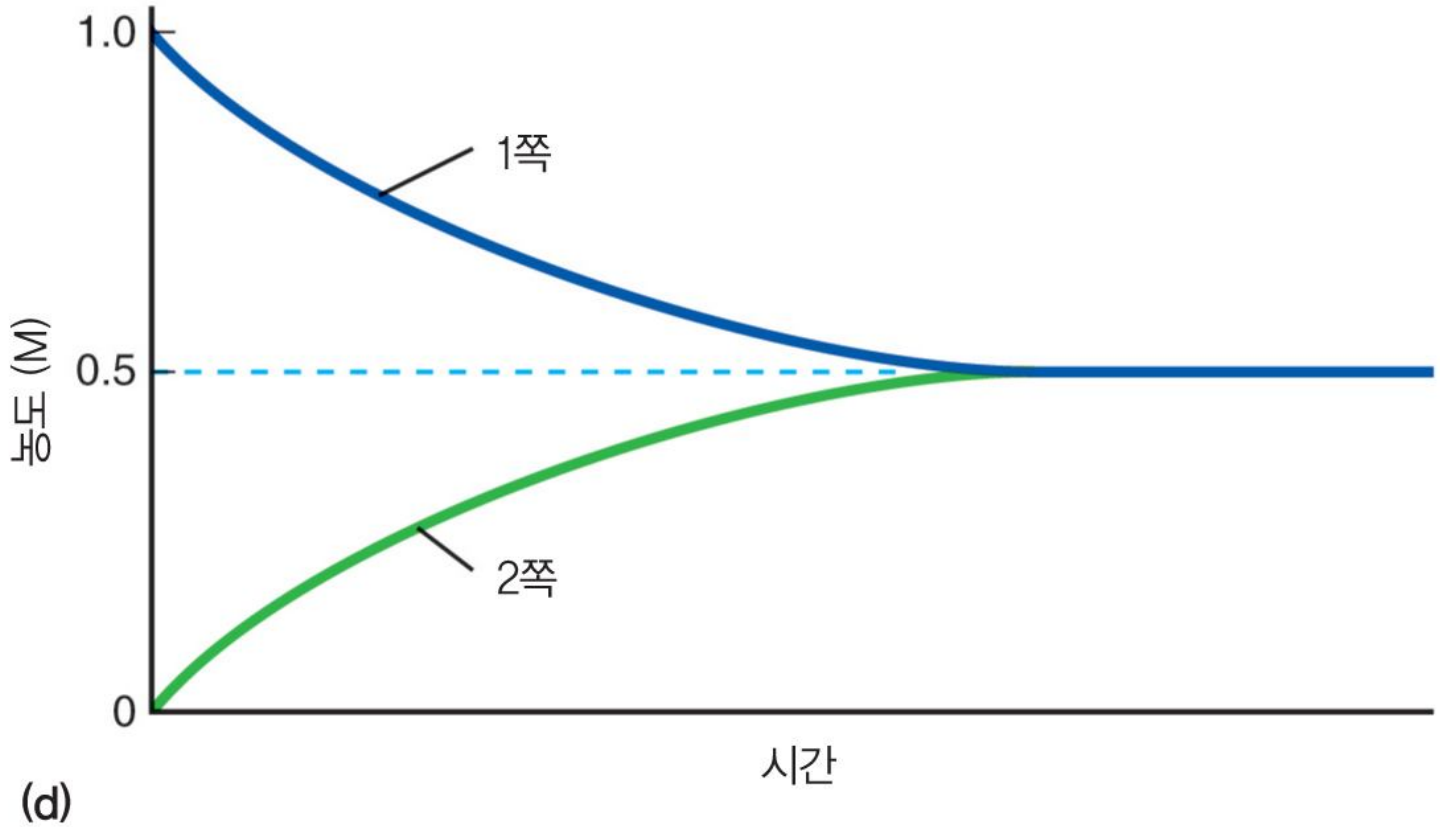
(b)

Simple Diffusion—Rates(단순확산-속도)



(c)

Simple Diffusion—Rates(단순확산-속도)



Simple Diffusion—Rates(단순확산-속도)

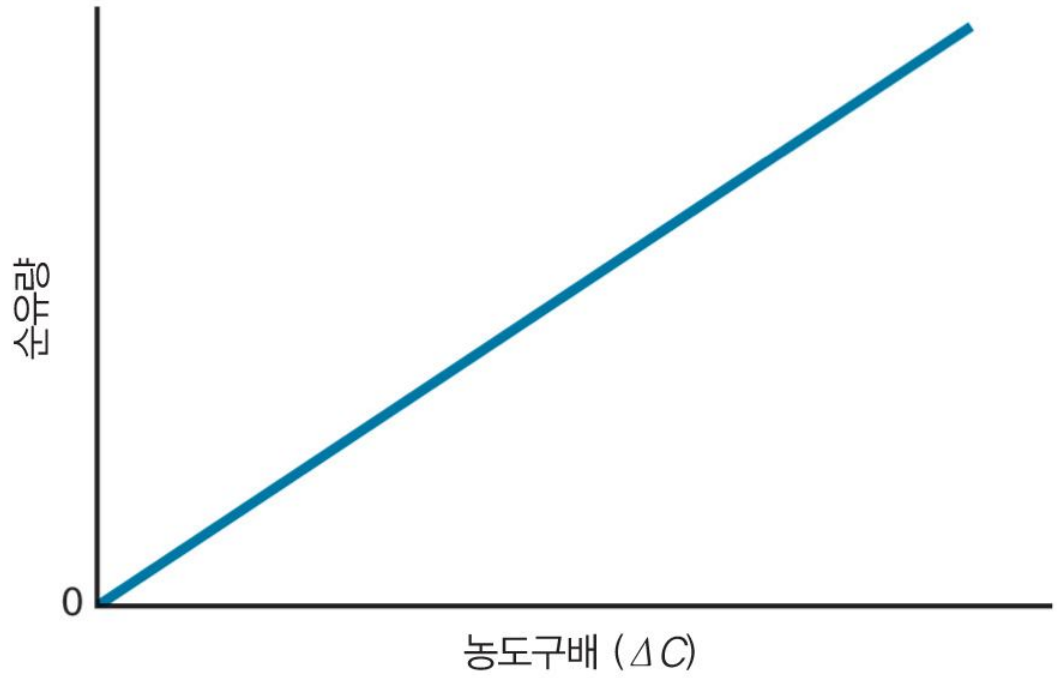


그림 4.8 단순확산에 의해 막을 통과하는 비극성 물질의 순유량과 농도구배의 크기 사이의 정비례 관계.

Simple Diffusion(단순확산)

- 막 투과성 요인
  - 확산물질의 지질용해도
  - 확산분자의 크기와 모양
  - 온도
  - 막의 두께

Simple Diffusion—Rates(단순확산-속도)

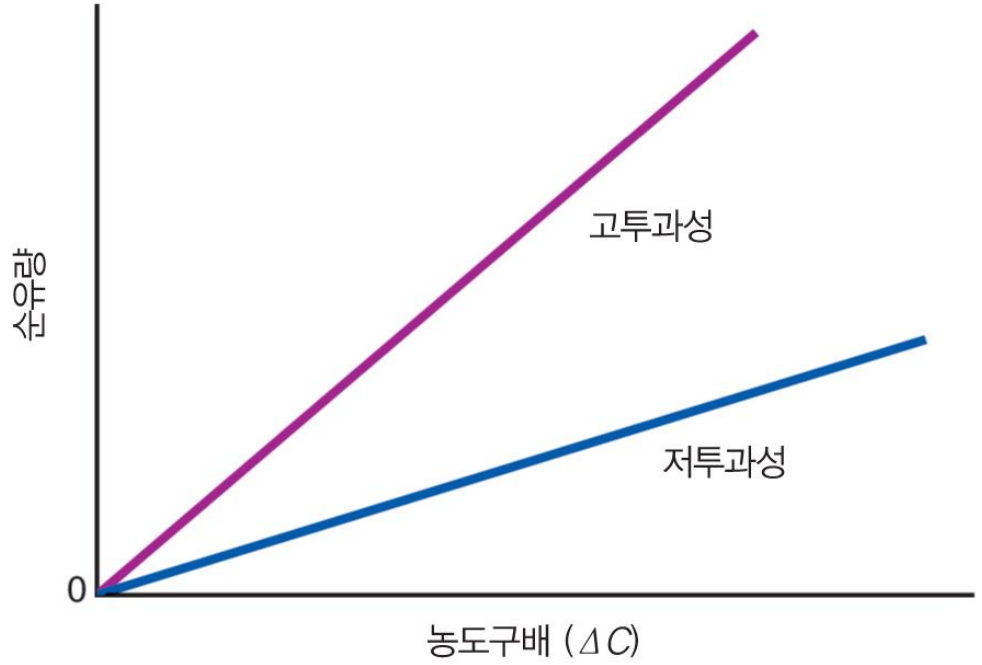


그림 4.9 단순확산에 의해 막을 통과하는 비극성 물질의 순유량에 미치는 투과성의 영향.

Facilitated Diffusion(촉진확산)

- 운반체를 통한 수동수동
- 운반체의 특징
  - 막통과 단백질
  - 특정 물질에 대한 결합 부위
  - 한번에 한쪽에서 결합이 일어난다
  - 무작위적인 구조적 변화

Facilitated Diffusion(촉진확산)

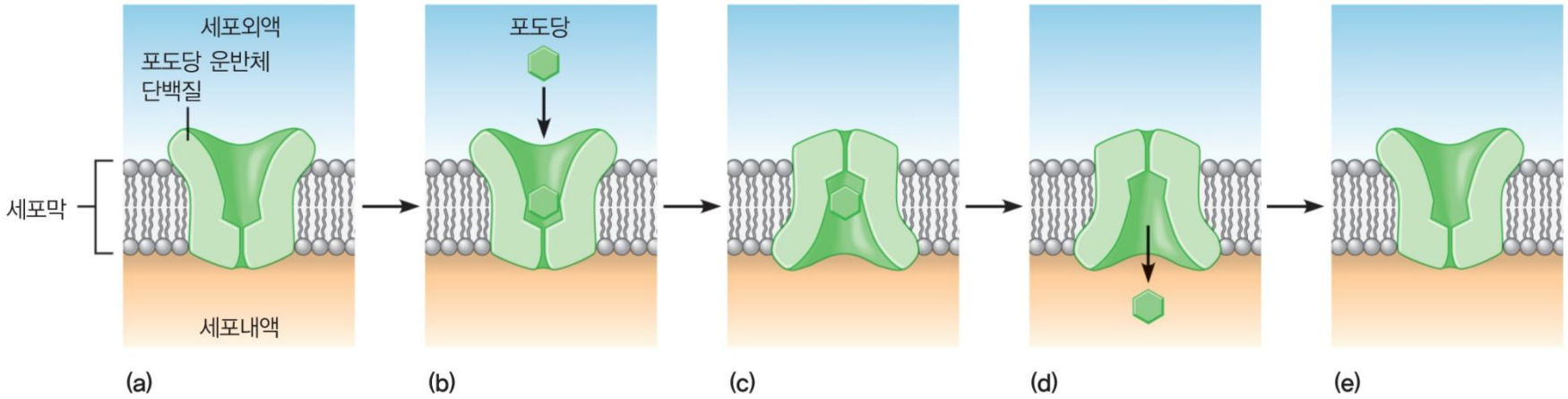


그림 4.10 운반체 단백질에 의한 세포막을 통과하는 포도당의 수송. **(a)** 결합 부위가 비어 있는 운반체 단백질. (b) 포도당 분자의 운반체 단백질의 결합 부위와의 결합. 결합 부위는 세포 밖에 노출되어 있다. **(c)** 운반체 단백질의 입체 구조 변화, 이 변화로 결합 부위는 세포 안으로 노출된다. **(d)** 포도당 분자 방출. 결합 부위는 다시 빈다. (e) 운반체 단백질의 본래 입체 구조로의 환원. 운반체 단백질은 이제 다른 포도당 분자와 결합할 수 있다.

Facilitated Diffusion(촉진확산)

- 수송속도에 영향을 미치는 요인
  - 각 운반체의 수송속도
  - 막의 운반체 수
  - 농도 기울기

Facilitated Diffusion(촉진확산)

운반체가 포화를 나타낸다

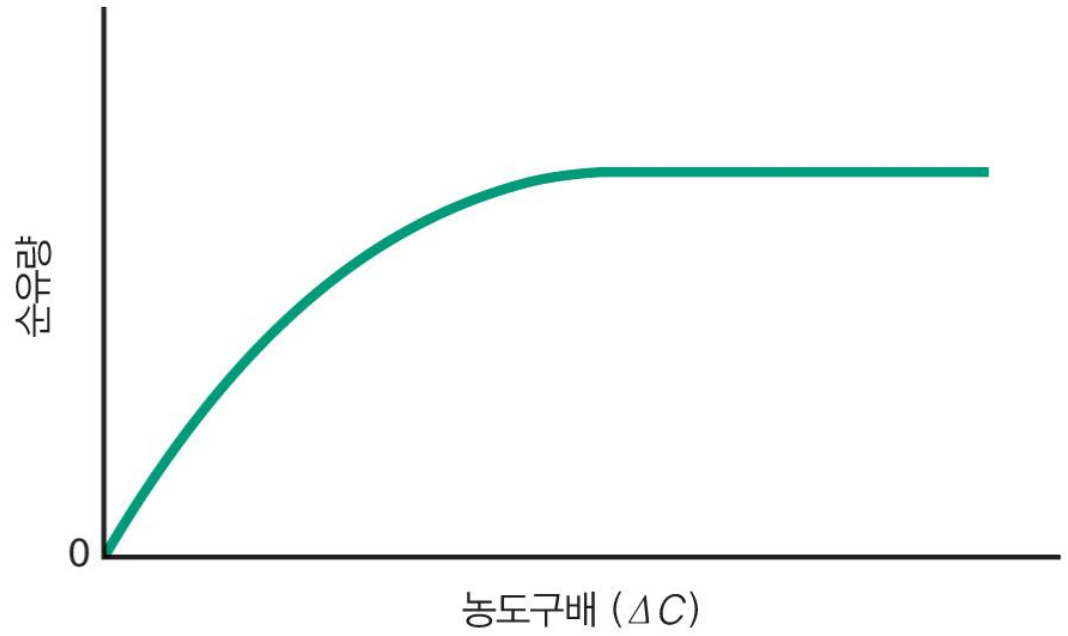
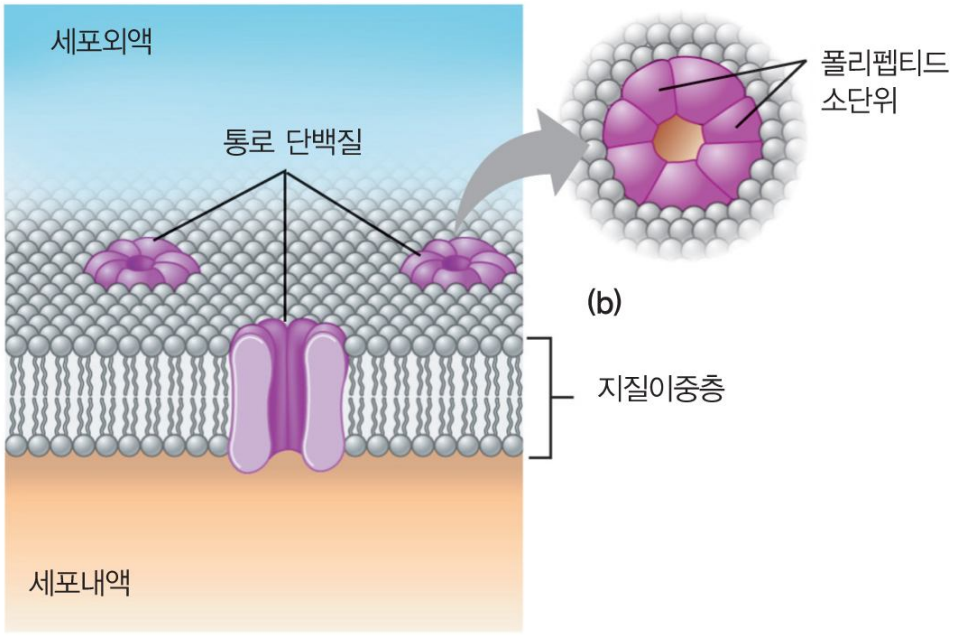


그림 4.11 촉진확산을 통한 분자의 막통과에 있어서 순유량과 농도구배의 관계.

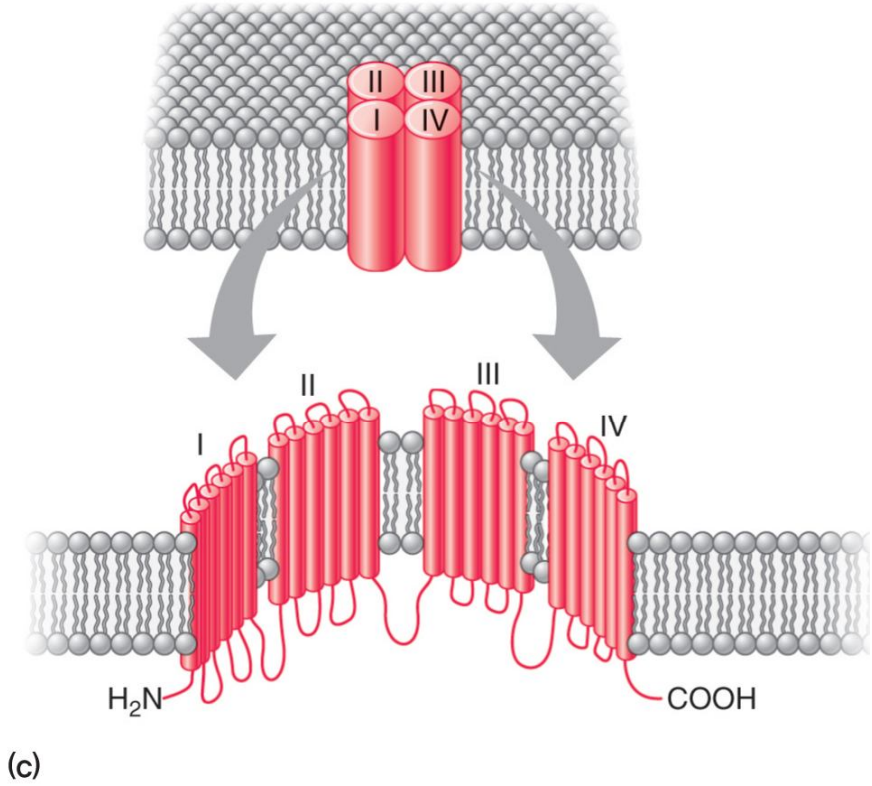
Diffusion Through Channels(통로를 통한 확산)

- 통로를 통한 수동수송
- 통로의 특성
  - 막통과 단백질
  - 통로 혹은 세공과 같은 기능
  - 물질에 특이적

Membrane Channels(막 통로)



(a)



(c)

그림 4.12 **막 통로.** **(a)** 통로는 막통과 단백질이다. **(b)** 이온통로를 위에서 본 모양. **(c)** Na^+ 통로의 구조적 모형. 막을 통과하는 6개 단위로 구성된 4개의 다른 부위를 주목하자.

Types of Channels(통로의 유형)

- 아쿠아포린(물통로)
- 이온통로
  - 누출통로
  - 개폐성통로

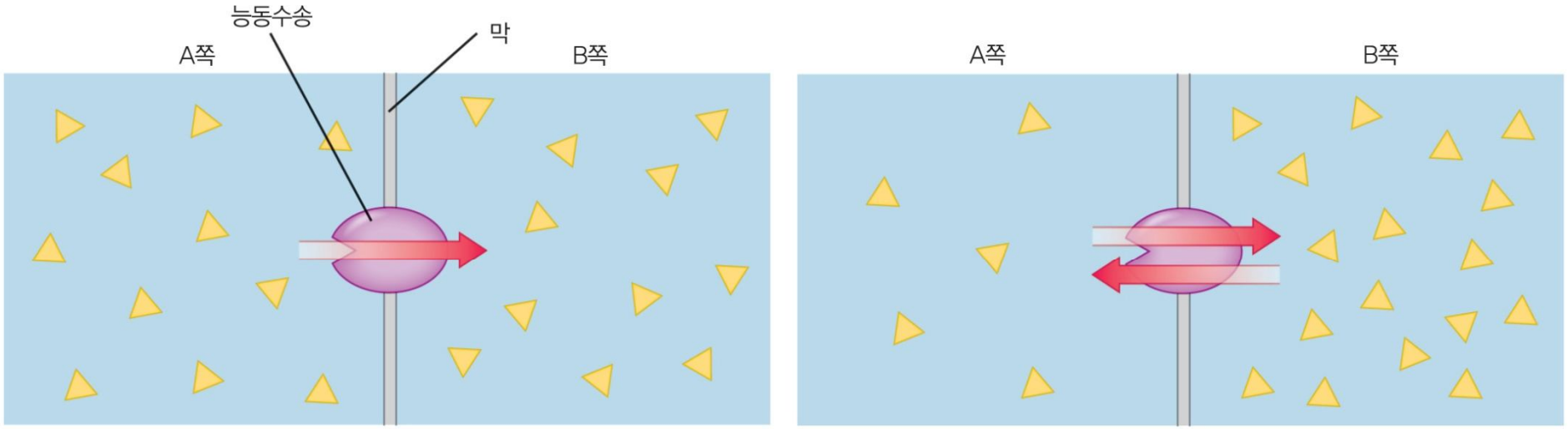
Ion Channels(이온통로)

- 수송속도에 영향을 미치는 요인
  - 각 통로의 수송속도
  - 막에 존재하는 통로수

IV. Active Transport(능동수송)

- 비자발적
- 세포 에너지가 필요
- 펌프(막단백질)를 포함
- 오르막 이동

Active Transport Across a Membrane(막을 투과하는 능동수송)



(a) A와 B쪽의 용질농도가 동일

(b) 평형상태

그림 4.13 막을 통한 능동수송. 막이 같은 농도의 용질을 A쪽과 B쪽으로 분리하고 있다. 운반체 결합 부위가 A쪽으로 향하고 있을 때 용질에 대한 친화력이 큰 막에 능동수송이 일어난다. **(a)** 처음에는 결합 부위가 A쪽으로 향하고 있어 운반체의 친화력이 크기 때문에 용질이 A쪽에서 B쪽으로 이동할 것이다. **(b)** 용질이 막 양쪽에서 결합할 가능성이 동일 할 때 평형상태에 도달한다. 이 상태는 농도에 의한 용질의 결합이 친화력에 의한 결합을 상쇄할 때 일어난다. 전체 이동결과는 용질의 농도는 B쪽이 높다.

Characteristics of a Pump(펌프의 특징)

- 막단백질의 형태
- 수송체나 효소로서의 기능
- 에너지를 동력원으로 이용
- 특이적 결합부위 존재
- 포화가 일어남

Types of Active Transport(능동 수송 유형)

- Primary active transport(1차 능동수송)
- Secondary active transport(2차 능동수송)

Primary Active Transport(1차 능동수송)

- 고에너지 화합물로부터 에너지 이용
- 일반적으로 에너지는 ATP 가수분해로부터 옴

Primary Active Transport(1차 능동수송)

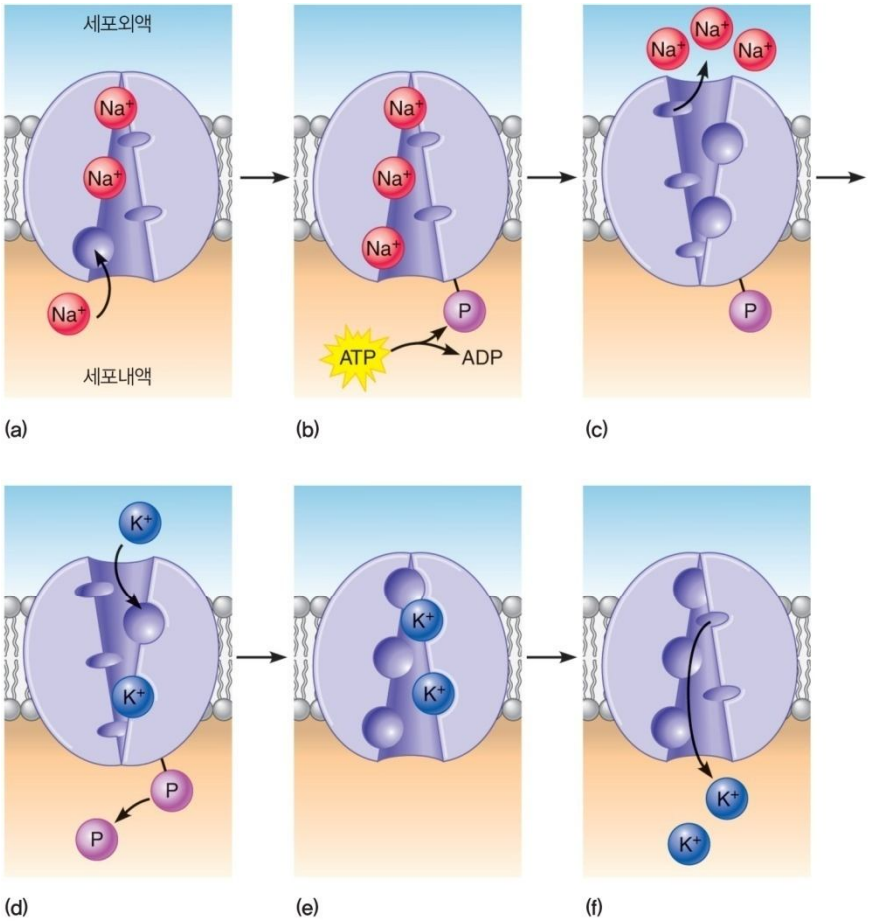
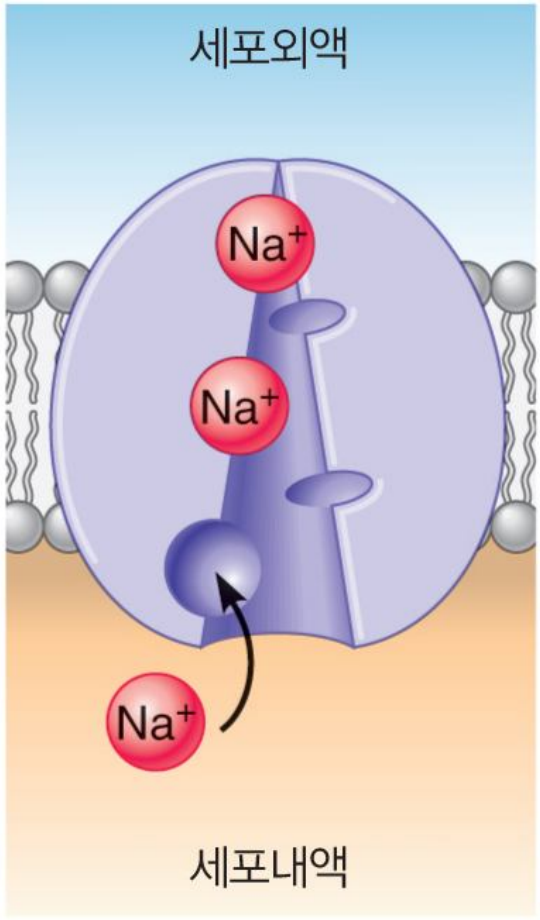


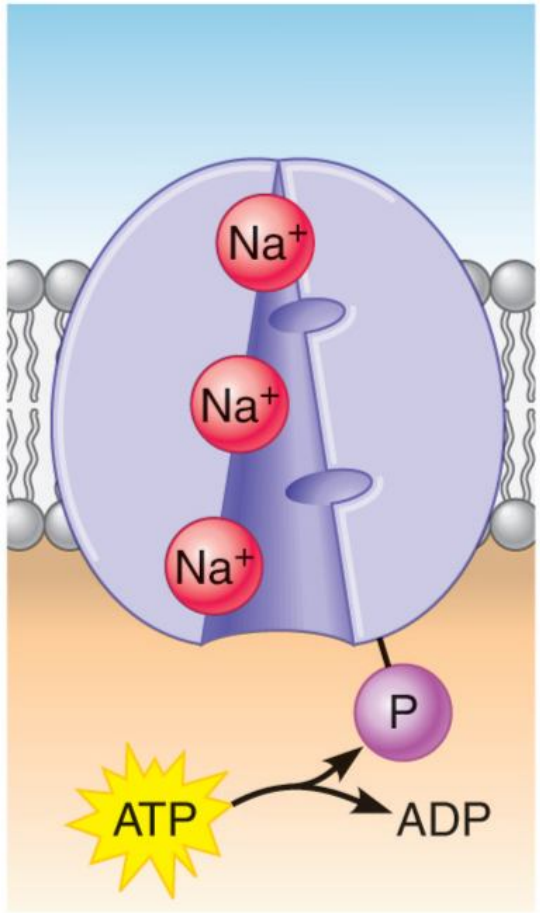
그림 4.14 **Na^+/K^+ 펌프에 의한 1차 능동수송.** 펌프는 3개의 Na^+ 결합 부위와 2개의 K^+ 결합 부위를 가지고 있으며, 전기화학적 농도구배에 거슬러 Na^+를 세포 밖으로, K^+를 세포 안으로 ATP를 직접 사용하여 수송한다. **(a)** 세포내 Na^+가 펌프 단백질에 결합한다. **(b)** 3개의 Na^+의 결합은 ATP에 의한 펌프의 인산화를 유발한다. **(c)** 인산화에 의해 단백질의 입체 구조 변화가 생기고 그 변화로 인해 Na^+가 세포외액으로 방출된다. **(d)** 세포 밖 K^+가 펌프 단백질에 결합하여 인산기의 방출을 유발한다. **(e)** 인산기를 잃음에 따라 단백질이 본래 구조로 돌아간다. **(f)** K^+가 세포 내에 방출되고, Na^+ 결합 부위는 다시 Na^+와 결합할 수 있게 된다.

Primary Active Transport(1차 능동수송)



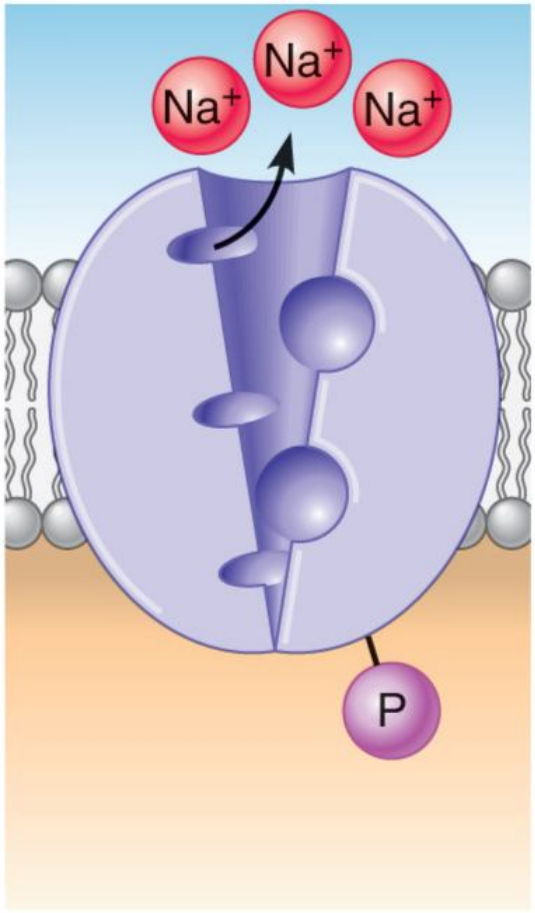
(a)

Primary Active Transport(1차 능동수송)



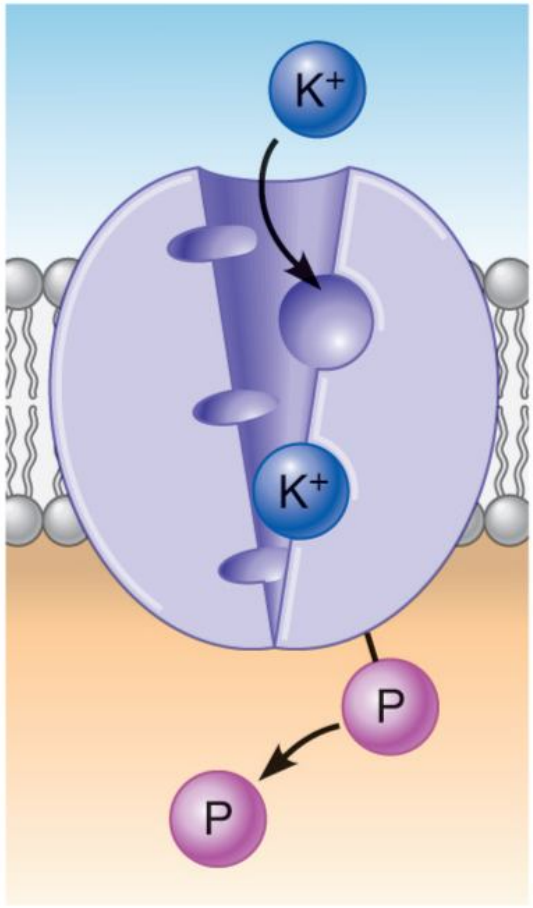
(b)

Primary Active Transport(1차 능동수송)



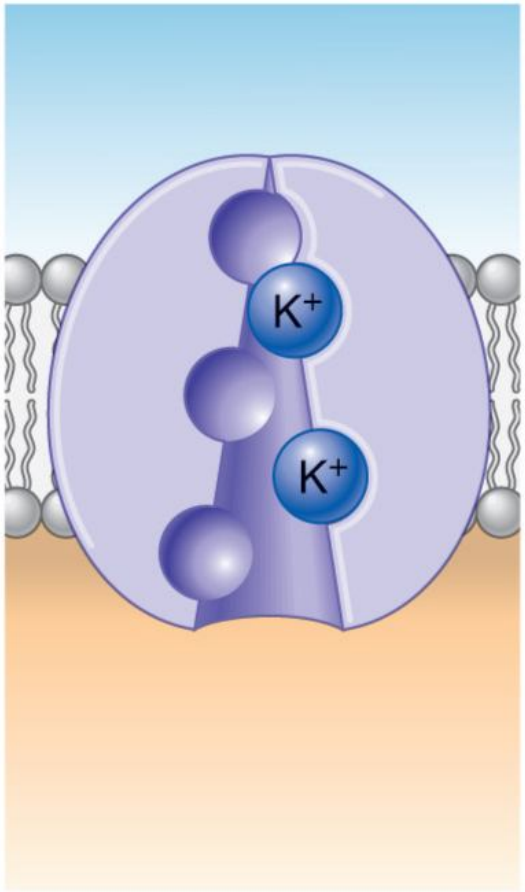
(c)

Primary Active Transport(1차 능동수송)



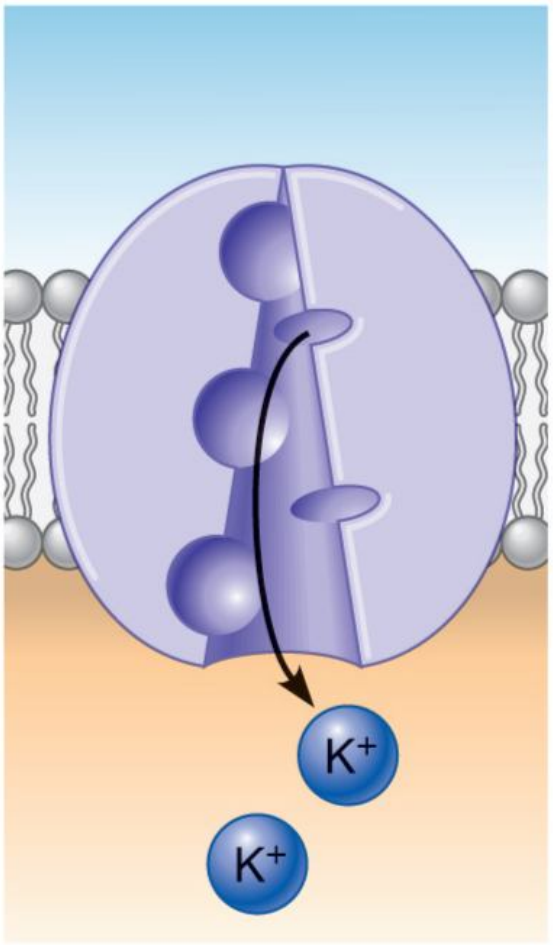
(d)

Primary Active Transport(1차 능동수송)



(e)

Primary Active Transport(1차 능동수송)



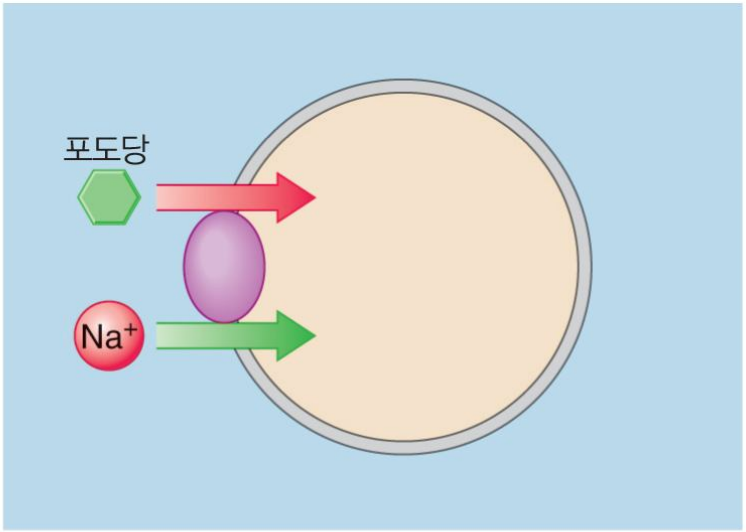
(f)

Secondary Active Transport(2차 능동수송)

- 이온 확산으로부터 유리되는 에너지
- 에너지는 펌프를 추진
- 확산은 이전 이온의 능동수송으로부터 기인

Secondary Active Transport(2차 능동수송)

- Na^+ 매개 포도당 펌프
  - 포도당의 2차 능동수송
  - Na^+의 확산이 에너지 제공
  - 펌프는 포도당을 능동수송

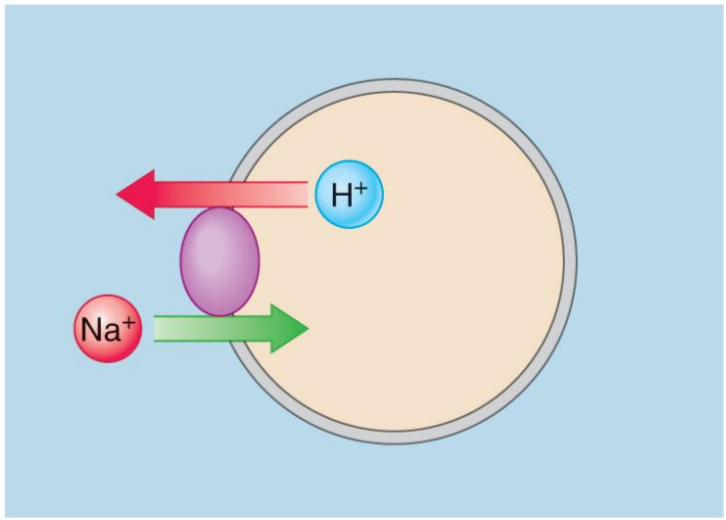


(a) 공수송

그림 4.15 2차 능동수송. 막에 걸쳐 있는 원은 운반체 단백질을 나타낸다. (a) Na^+ 매개 포도당수송, 공수송의 한 예.

Secondary Active Transport(2차 능동수송)

- Na^+ 매개 수소 펌프
  - H^+ 2차 능동수송
  - Na^+ 확산이 에너지 제공
  - 펌프가 H^+을 능동수송



(b) 역수송

그림 4.15 2차 능동수송. 막에 걸쳐 있는 원은 운반체 단백질을 나타낸다. (b) Na^+-H^+교환, 역수송의 한 예.

Transport Processes — Characteristics(수송과정의특징)

표 4.2 수송과정의 특징

	단순확산	매개체 수송			
		수동수송		능동수송	
		통로	매개체 수송	1차	2차
순유량 방향	전기화학적 농도구배를 따라	전기화학적 농도구배를 따라	전기화학적 농도구배를 따라	전기화학적 농도구배를 역행하여	전기화학적 농도구배를 역행하여
수송 단백질이 필요한가?	아니오	예, 이온통로	예, 운반체 단백질	예, 펌프	예, 펌프
에너지가 필요한가?	아니오	아니오	아니오	예	예
에너지 공급원	(적용할 수 없음)	(적용할 수 없음)	(적용할 수 없음)	ATP나 다른 화학적 에너지 공급원	다른 용질의 전기화학적 농도구배
포화?	아니오	때에 따라	예	예	예
특이성?	아니오	예	예	예	예
수송물질의 성질	소수성 (비극성)	친수성 (이온화되거나 극성)	친수성 (이온화되거나 극성)	친수성 (이온화되거나 극성)	친수성 (이온화되거나 극성)
예	지방산, O_2, CO_2	무기이온 (Na^+, K^+, Cl^-, Ca^{2+})	유기분자 (포도당)	무기이온 (Na^+, K^+, Cl^-, Ca^{2+})	유기분자와 무기이온 (포도당, 아미노산, H^+, Ca^{2+})

Active–Passive Coordination(능동-수동 조정)

- 세포내액 / 세포외액 농도는 능동수송때문에 서로 다르다

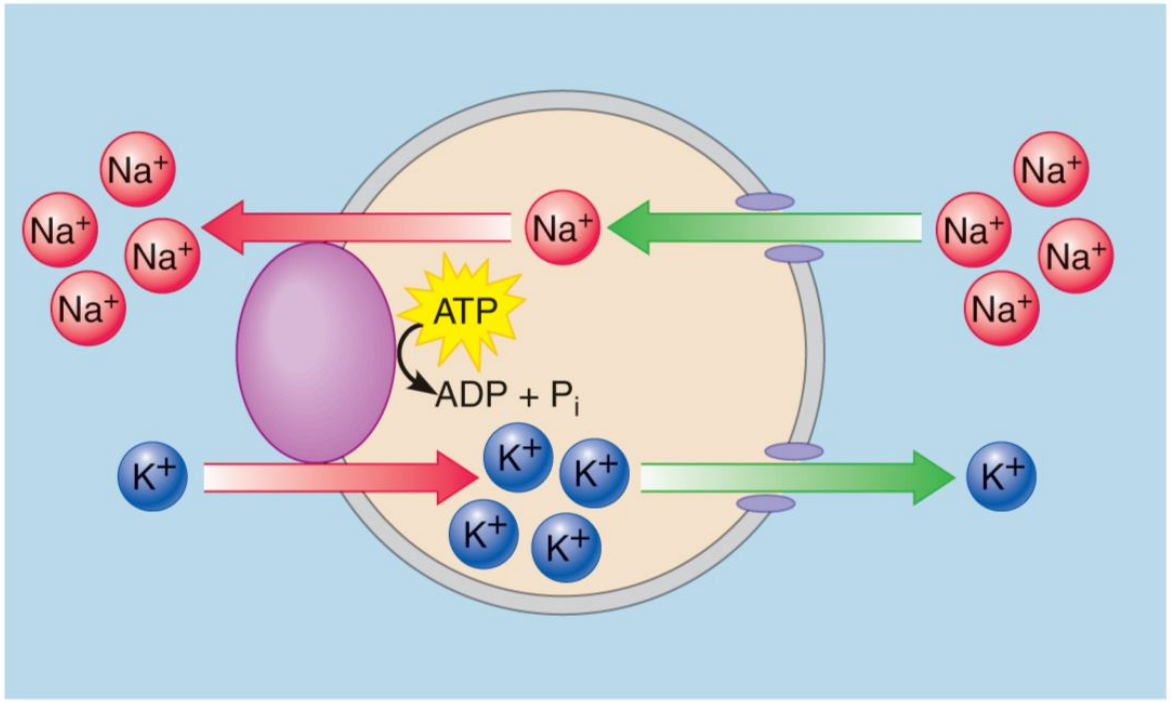
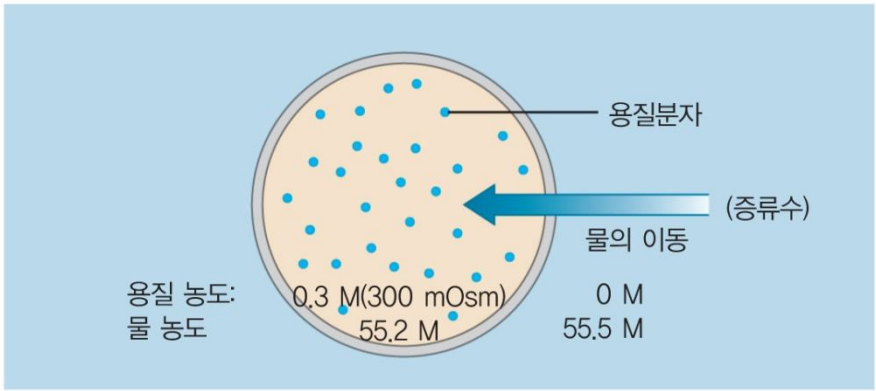


그림 4.16 세포에서 펌프와 누출. Na^+/K^+ 펌프(왼편의 타원형)에 의한 Na^+와 K^+의 능동수송은 이온통로에 의한 수동적인 누출에 대해 반대로 작용한다(오른쪽).

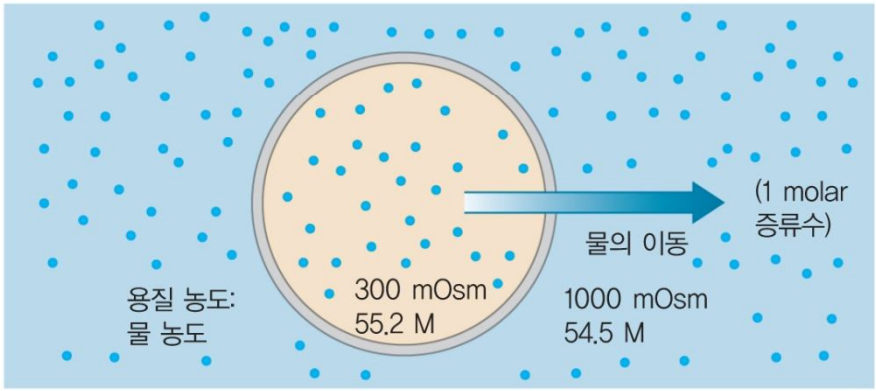
Osmosis(삼투)

- 막을 통한 물의 확산
- 특징
  - 항상 수동수송
  - 막전위의 영향을 받지 않음
  - 물 기울기에 의해 추진됨

Osmosis(삼투)



(a)



(b)

그림 4.17 **삼투.** **(a)** 적혈구를 물에 넣었을 때 물의 이동. 물분자는 수동적으로 농도구배를 따라 세포 안, 즉 용질의 농도가 높은 쪽으로 이동한다. **(b)** 적혈구를 1 M 설탕용액에 두었을 때 물의 이동. 물은 또 물의 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로, 그리고 용질의 농도가 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이동하는 것을 유의하자.

Osmolarity(삼투몰농도)

- 용액에 들어있는 전체 용질의 농도
- 용질입자 – 물을 이동시킨다
- 밀리오스몰 (mOsm)
  - 1/1000 오스몰
  - 생리학에서 사용
  - 세포내, 외액은 대략 300 mOsm

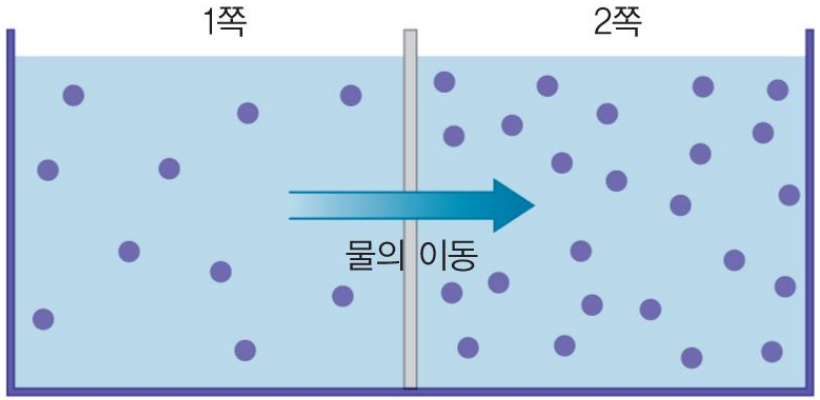
Osmolarity(삼투몰농도)

- Iso-osmotic(등삼투성)
- Hyper-osmotic(고삼투성)
- Hypo-osmotic(저삼투성)

Osmotic Pressure(삼투압)

- 삼투몰농도 대신 사용
- 전체 용질 농도를 반영
- 물을 “끌어당길” 수 있는 능력

Osmotic Pressure(삼투압)

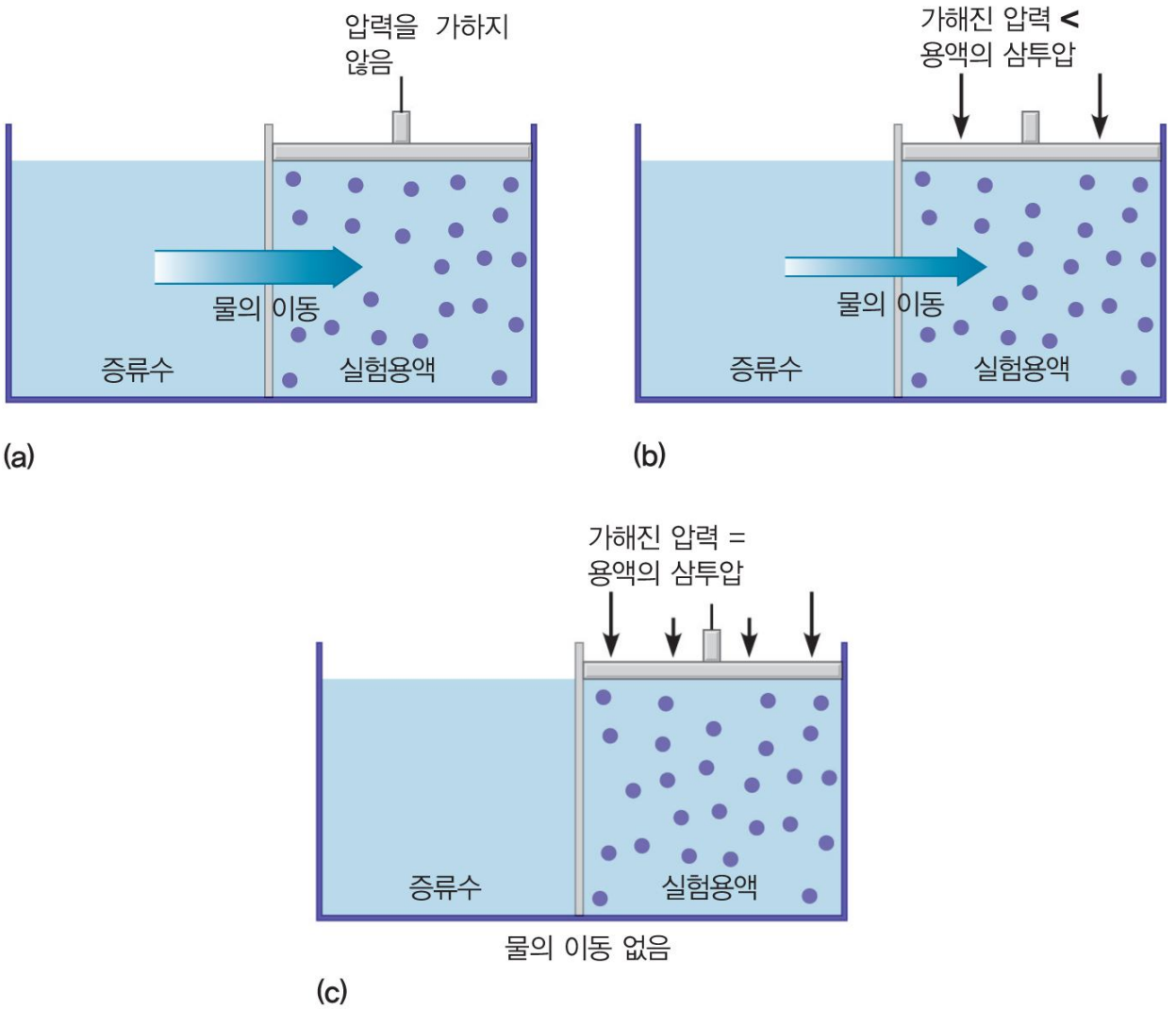


용질 농도	300 mOsm(0.3 M)	500 mOsm(0.5 M)
물 농도	55.2 M	55.0 M
삼투압	7.4 atm	12.3 atm

삼투압구배($\Delta\pi$): 12.3 atm − 7.4 atm = 4.9 atm

그림 4.18 물의 삼투압구배를 역행하는 이동. 한 용기에서 반투성 막이–물에는 투과성이 있지만 용질에는 없는–두 용액을 분리할 때, 물은 농도구배를 따라 용질의 농도가 높은 쪽으로 이동한다. 용질의 농도가 높아짐에 따라 삼투압이 증가하기 때문에 물은 삼투압이 낮은 쪽에서 높은 쪽으로, 또는 삼투압구배($\Delta\pi$)를 거슬러서 이동한다.

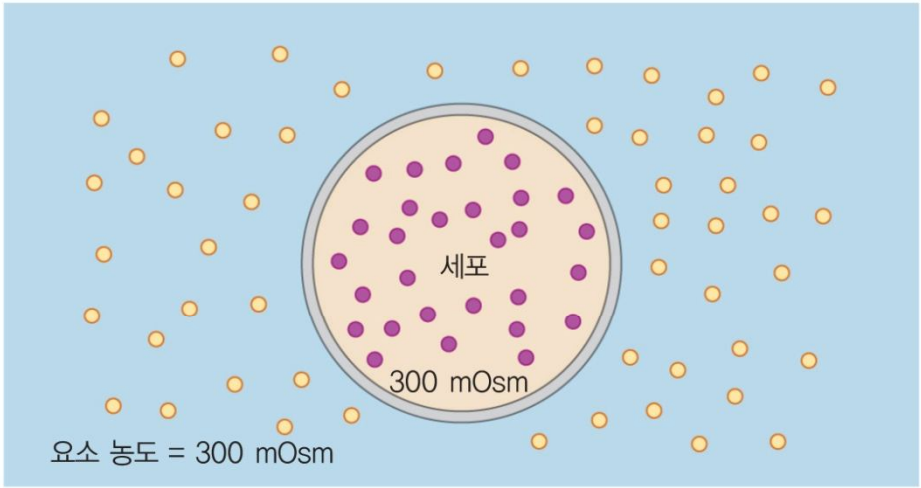
Determining Osmotic Pressure(삼투압의 결정)



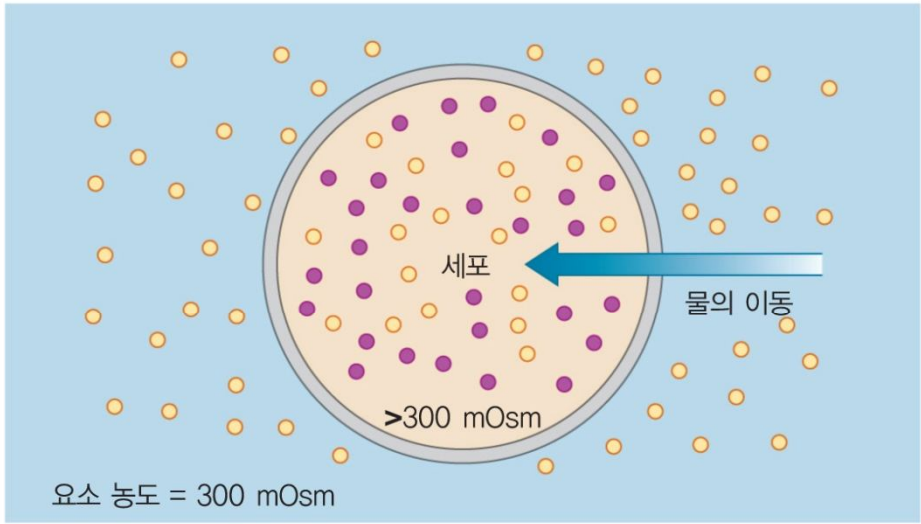
Tonicity(장성)

- 막을 통과하는 물 기울기
- 불투과성 용질에 기인

Osmolarity and Tonicity(삼투몰농도와 장성)



(a)



(b)

그림 4.19 삼투몰농도와 장성의 구분. (a) 300 mOsm의 비투과성 용질(보라색 점)을 가지고 있는 세포를 동일 삼투농도의 투과성 용질인 요소 300 mOsm 용액(노란색 점)에 넣었다. (b) 시간이 경과함에 따라 요소가 농도구배를 따라 세포 안으로 이동하고 세포의 팽창이 일어났다. 결과적으로 세포내 용질의 농도가 증가했기 때문에 물은 농도구배를 따라 세포 안으로 이동하고, 외부 용액은 저장액이 된다.

Osmolarity and Tonicity(삼투몰농도와 장성)

표 4.3 삼투몰농도와 장성의 구분

용어	정의와 용질 농도
삼투몰농도	총투과성 및 비투과성 용질의 농도
등삼투압*	300 mOsm(투과성 물질 + 비투과성 물질)
저삼투압*	300 mOsm보다 낮음(투과성 물질 + 비투과성 물질)
고삼투압*	300 mOsm보다 높음(투과성 물질 + 비투과성 물질)
장성	비투과성 물질의 세포내액에 대한 상대적 농도
등장액*	300 mOsm(비투과성 물질)†
저장액*	300 mOsm보다 낮음(비투과성 물질)†
고장액*	300 mOsm보다 높음(비투과성 물질)†

*표시는 세포가 300 mOsm 비투과성으로 여겨지는 용질을 가지고 있다는 것을 나타낸다.

†투과성 물질은 있거나 없을 수도 있다.

Tonicity: Effects on Cell(장성: 세포에 대한 영향)

- Isotonic(등장성)
- Hypertonic(고장성)
- Hypotonic(저장성)

Tonicity: Effects on Cell(장성: 세포에 대한 영향)

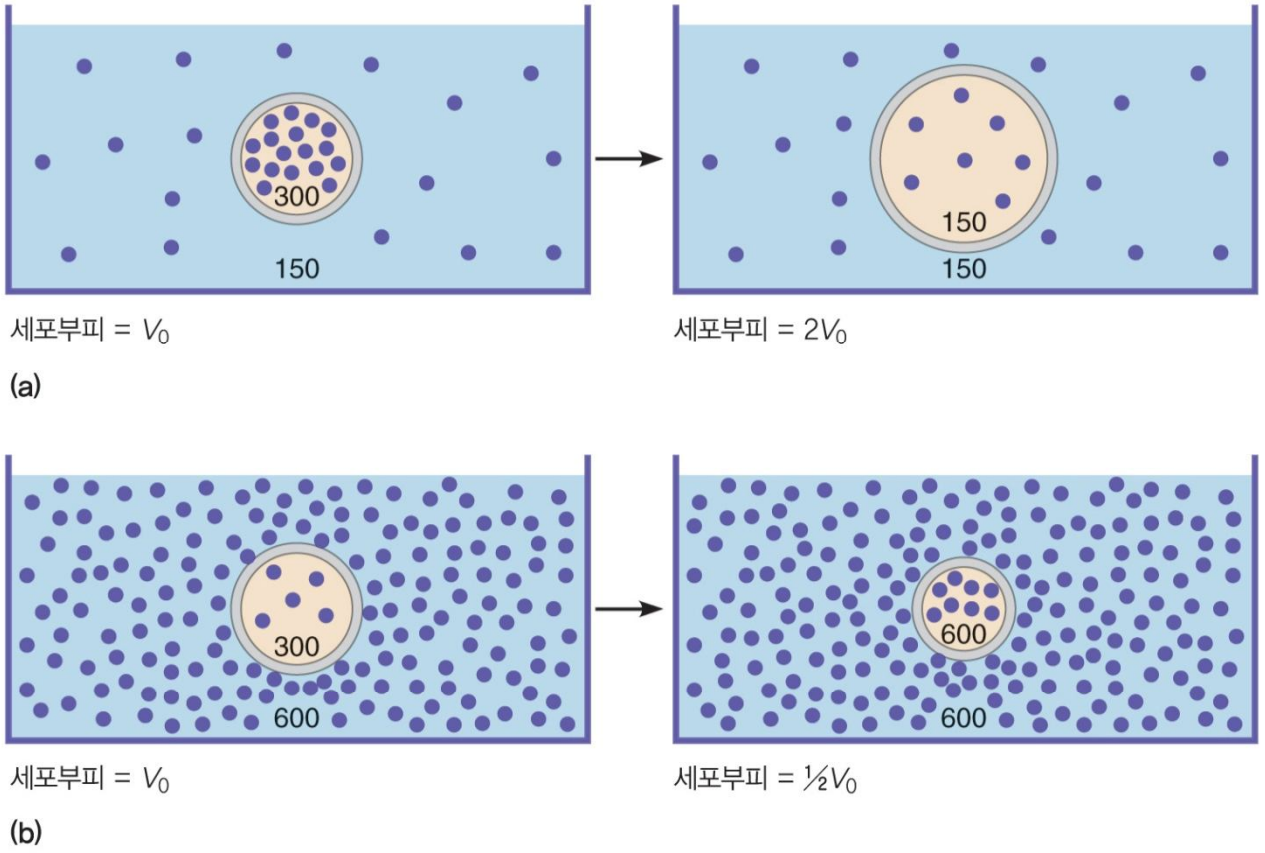


그림 4.20 저장액과 고장액에서 세포의 부피변화. 모든 용질(점)은 비투과성이라고 가정한다; 세포 안팎의 숫자는 용질의 농도를 나타낸다(mOsm). **(a)** 세포를 저장액인 150 mOsm 용액에 두면 세포의 부피가 본래 부피(V_0)의 두 배가 될 때까지 팽창한다. **(b)** 세포를 고장액인 600 mOsm 용액에 두면 본래 부피의 반으로 될 때까지 수축한다.

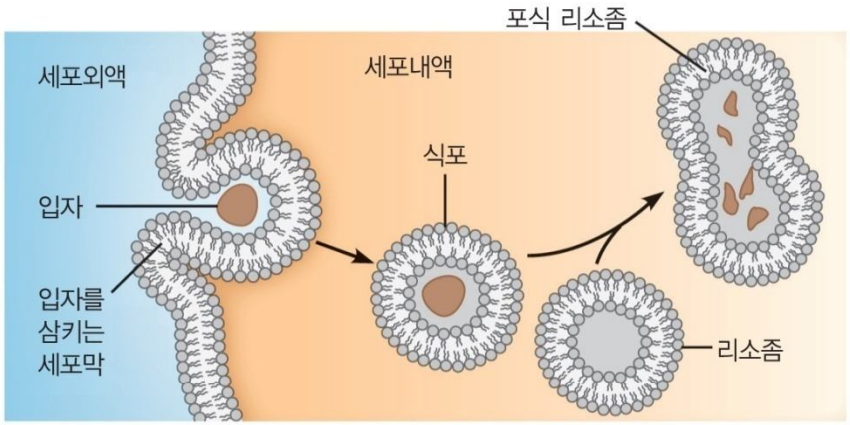
Transport via Compartments(구획을 통한 수송)

- 거대분자의 수송
- 막 구획을 이용
  - Endocytosis(세포내이입)
  - Secretory vesicles(분비소낭)
  - Exocytosis(세포외유출)

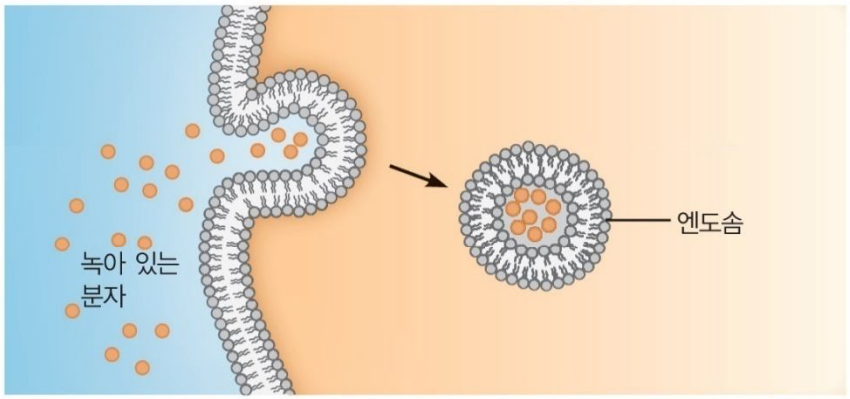
Endocytosis(세포내이입)

- Phagocytosis(식세포작용)
- Pinocytosis(음세포작용)
- Receptor-mediated transport(수용체 매개 수송)

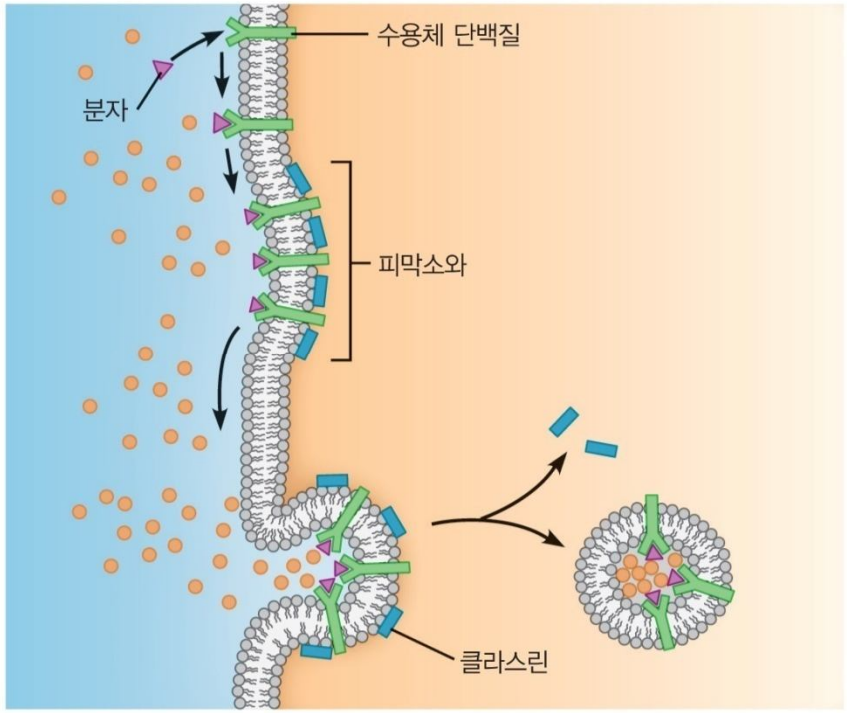
Phagocytosis vs. Pinocytosis(식세포작용 vs 음세포작용)



(a) 식세포작용



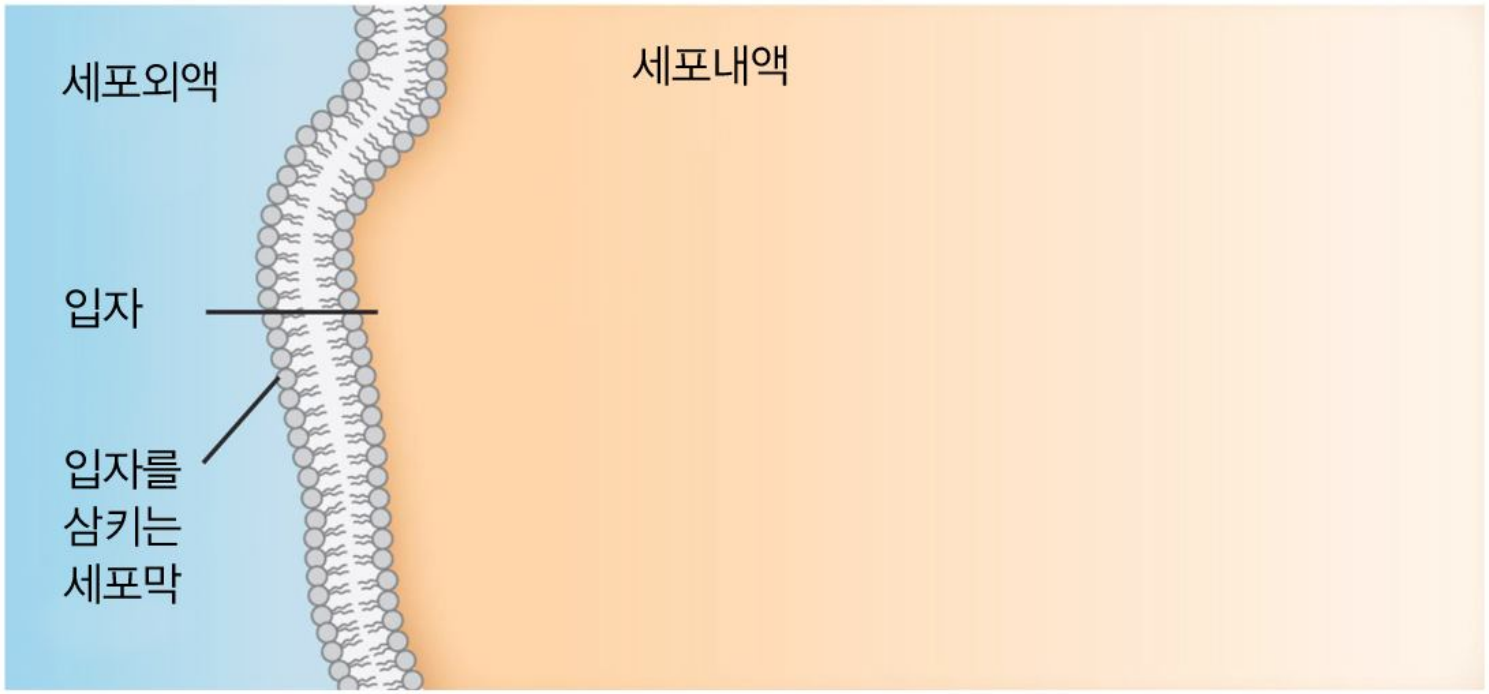
(b) 음세포작용



(c) 수용체 매개 세포이입

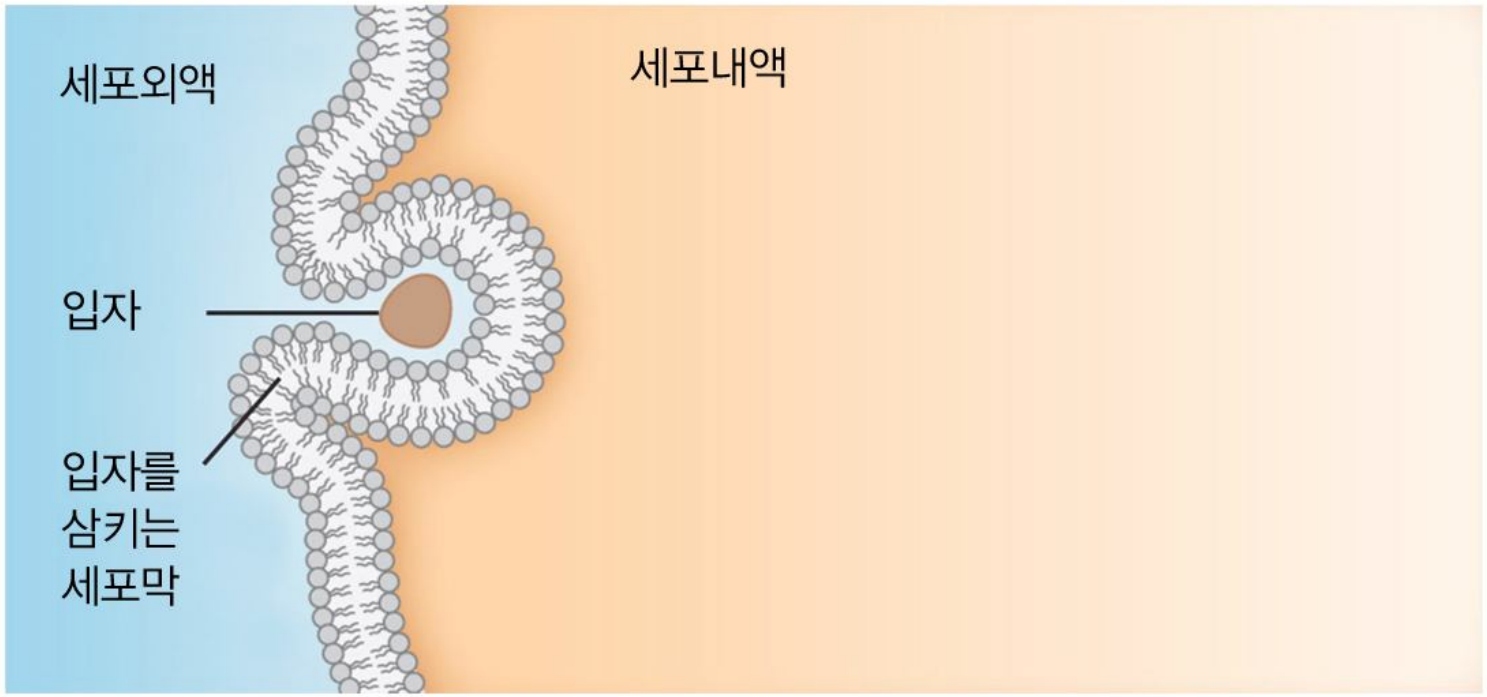
그림 4.21 세포내이입. (a) 식세포작용. 원형질막이 세포외액에 있는 입자를 둘러싼 다음 막은 함께 떨어져 나와 입자를 싼 식포를 형성하고, 식포는 일반적으로 리소좀과 융합한다. 리소좀의 효소가 입자를 분해한다. (b) 음세포작용. 원형질막이 주름 잡혀 들어가서 세포외액과 녹아 있는 용질을 가지고 있는 엔도솜을 만든다. (c) 수용체 매개 세포내이입. 먼저 수용체 단백질이 특이한 분자와 결합하고, 세포내이입을 유발한다. 그 다음 원형질막은 분자주위에서 둘러싸고 떨어져 나와 세포 안으로 소포를 형성한다.

Phagocytosis vs. Pinocytosis (식세포작용 vs 음세포작용)



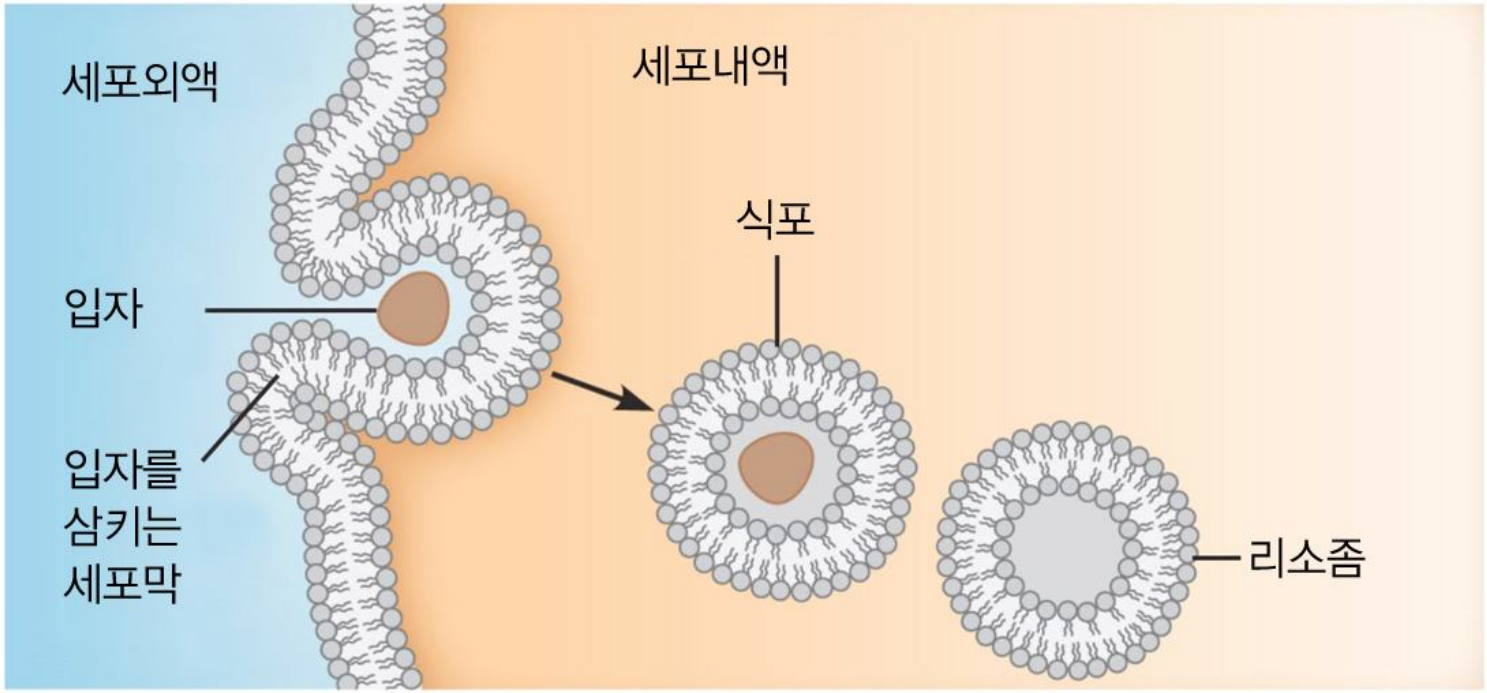
4.21a, step 1

Phagocytosis vs. Pinocytosis (식세포작용 vs 음세포작용)



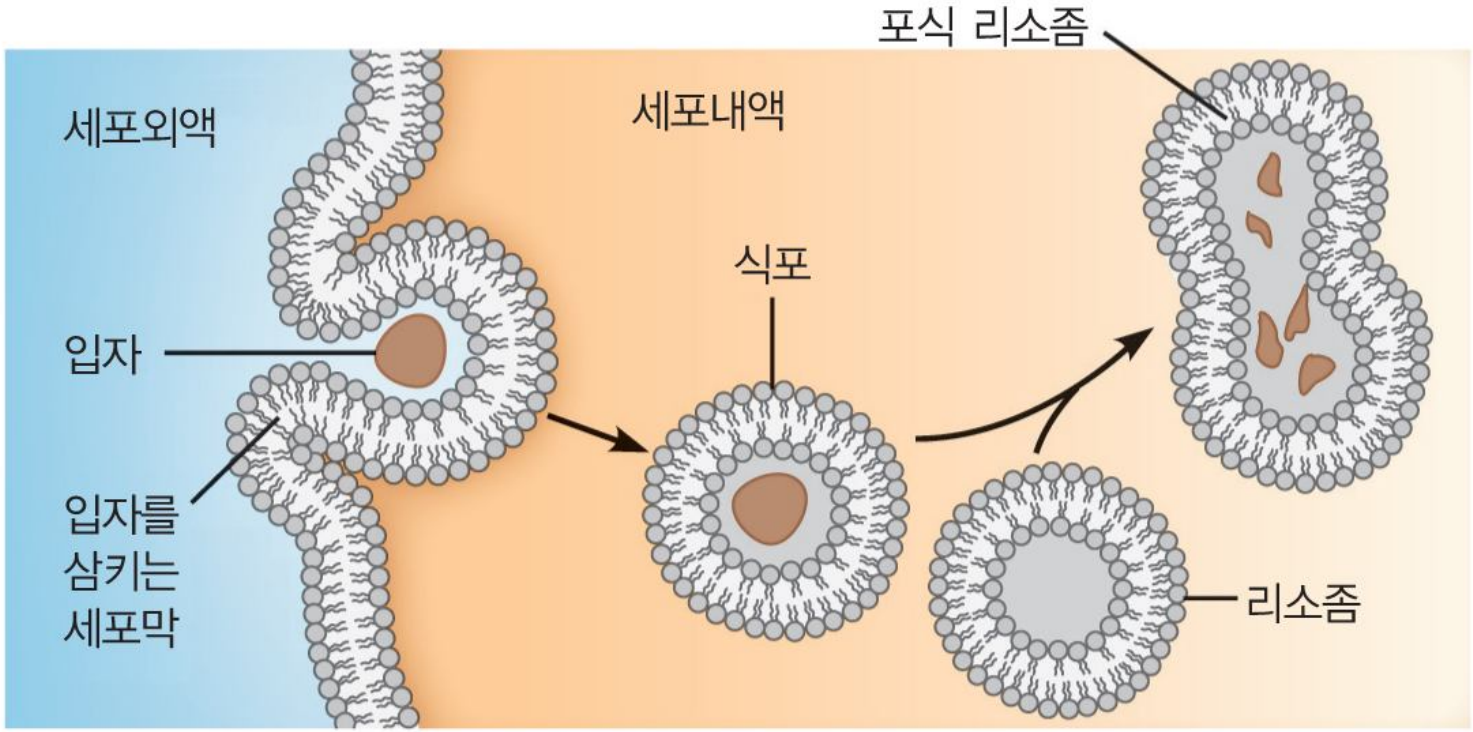
4.21a, step 2

Phagocytosis vs. Pinocytosis (식세포작용 vs 음세포작용)



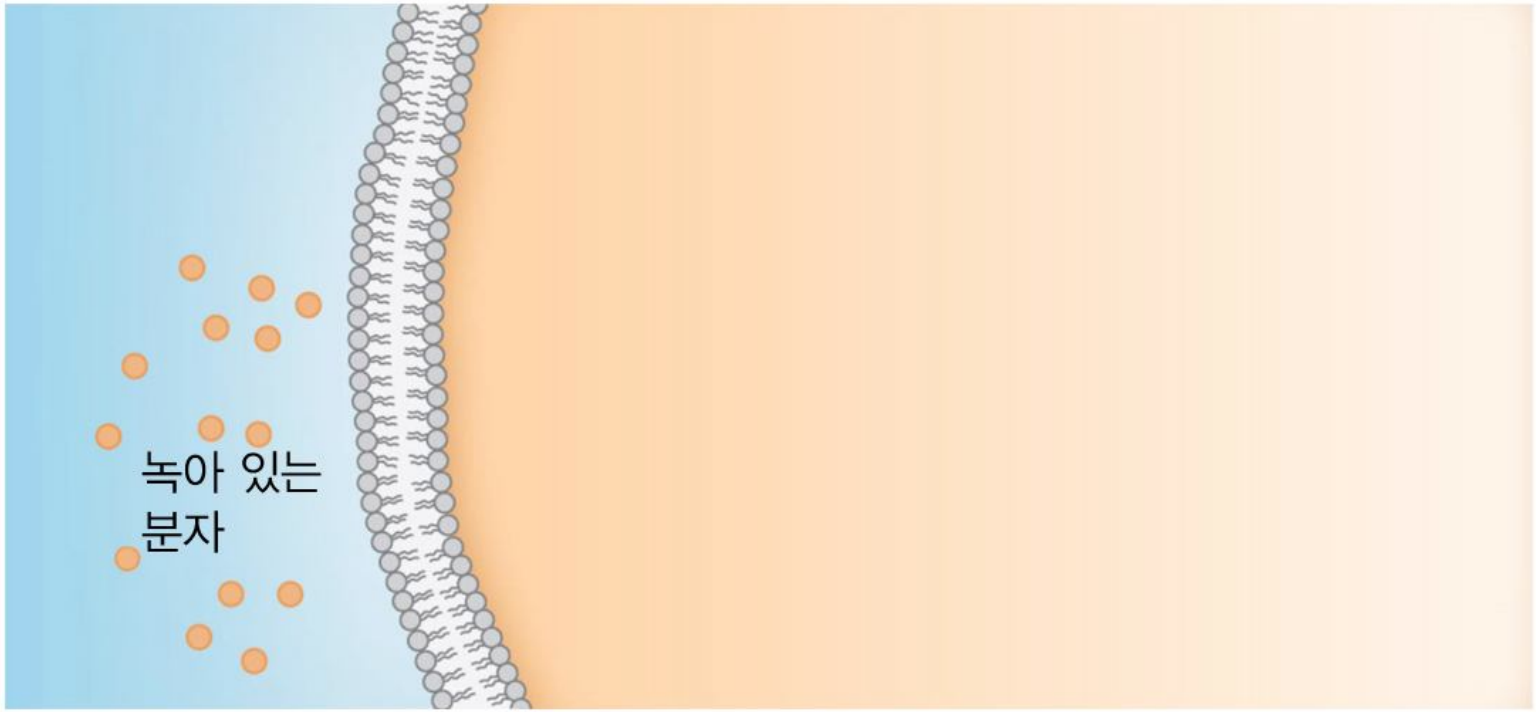
4.21a, step 3

Phagocytosis vs. Pinocytosis(식세포작용 vs 음세포작용)



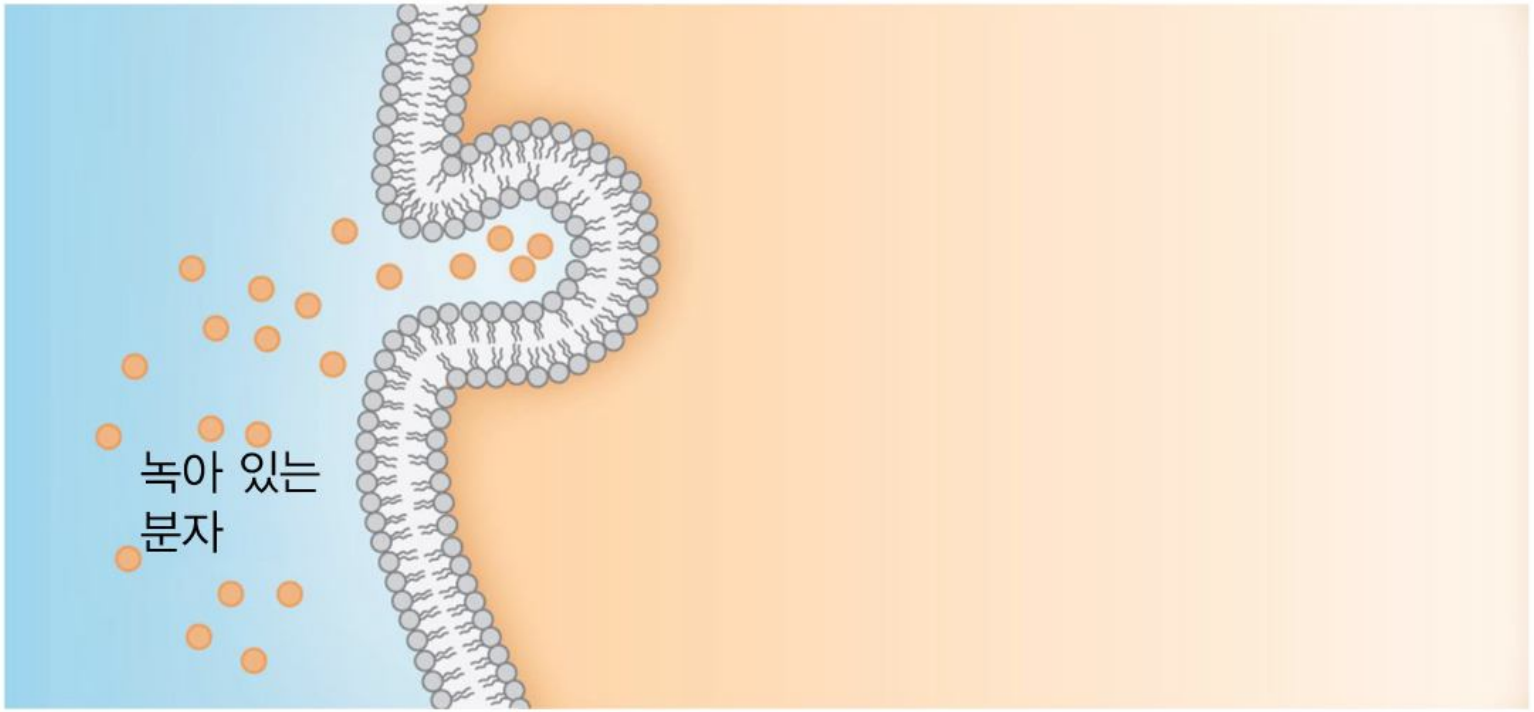
(a) 식세포작용

Phagocytosis vs. Pinocytosis (식세포작용 vs 음세포작용)



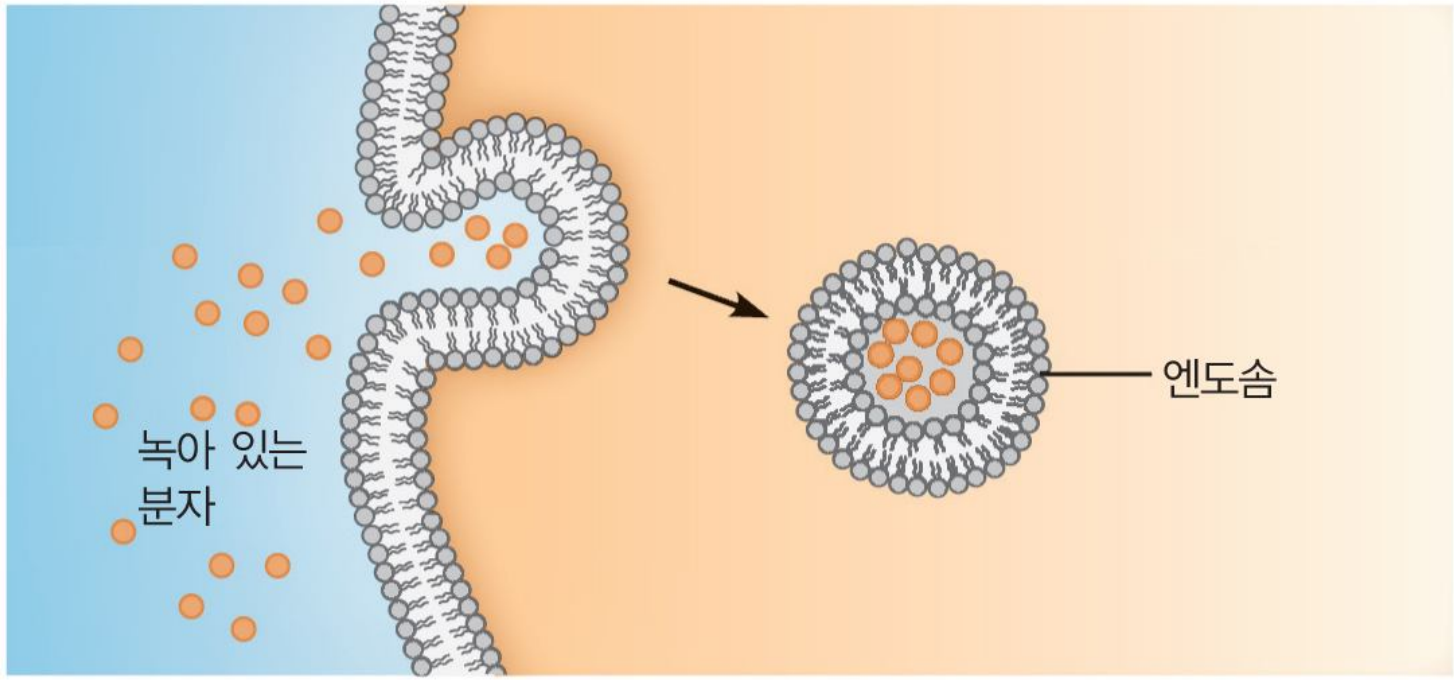
4.21b, step 1

Phagocytosis vs. Pinocytosis (식세포작용 vs 음세포작용)



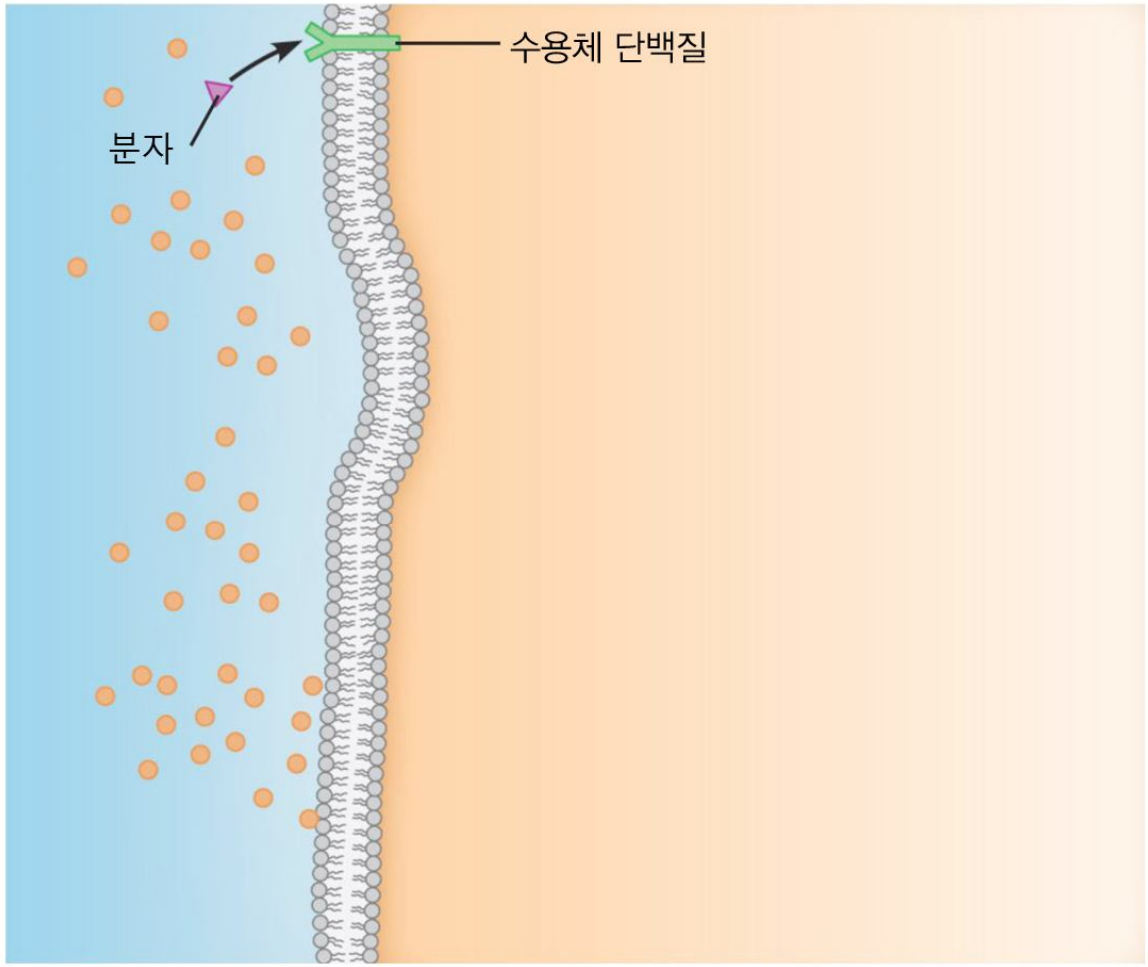
4.21b, step 2

Phagocytosis vs. Pinocytosis (식세포작용 vs 음세포작용)



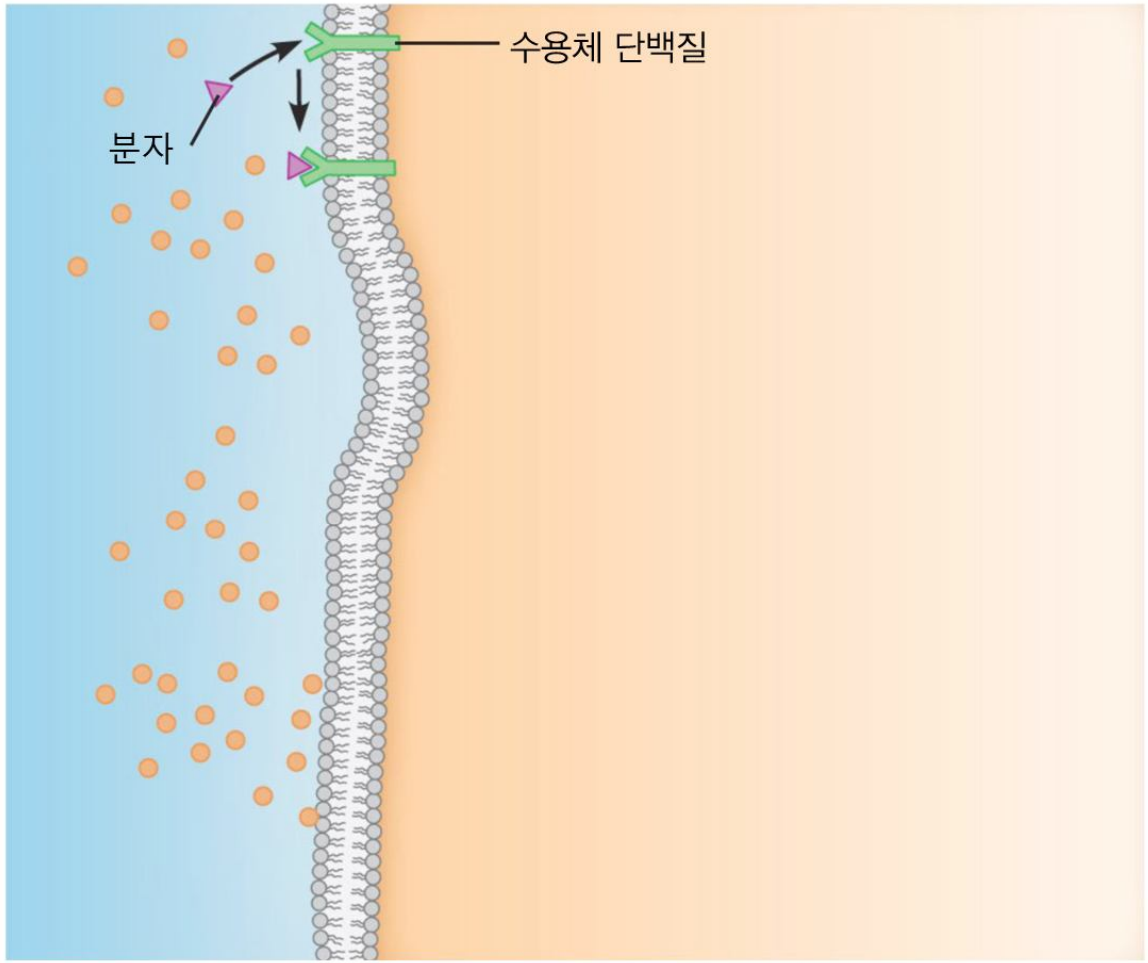
(b) 음세포작용

Receptor-Mediated Transport (수용체 매개 수송)



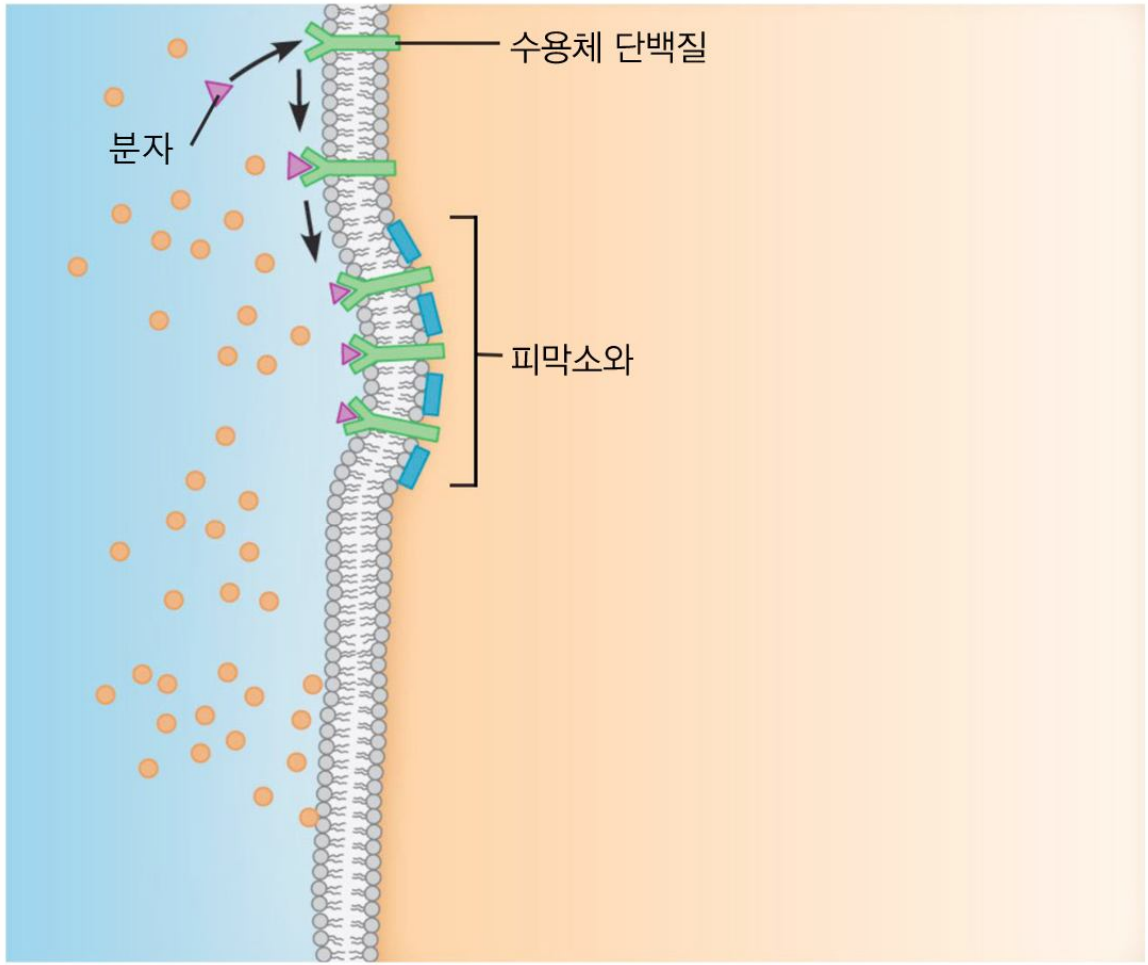
4.21c, step 1

Receptor-Mediated Transport(수용체 매개 수송)



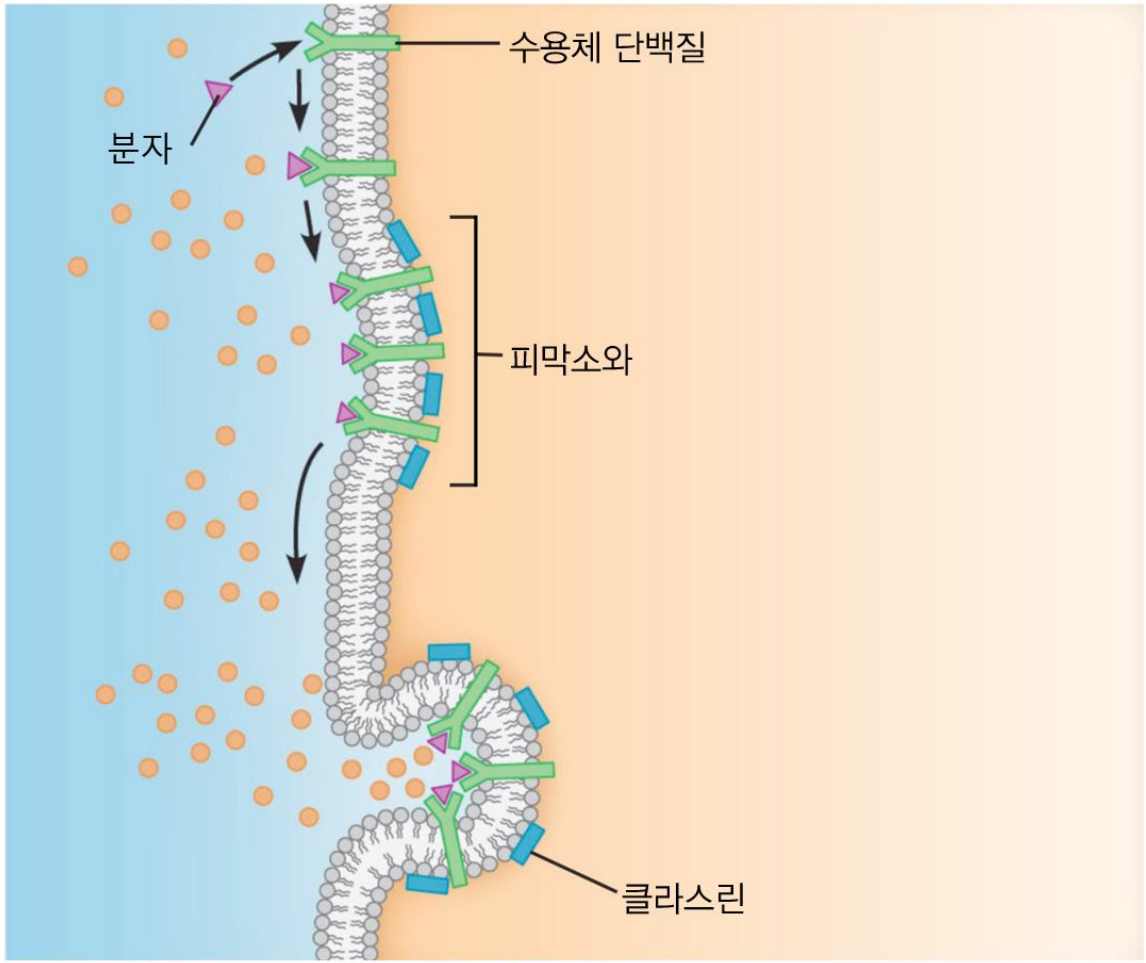
4.21c, step 2

Receptor-Mediated Transport(수용체 매개 수송)



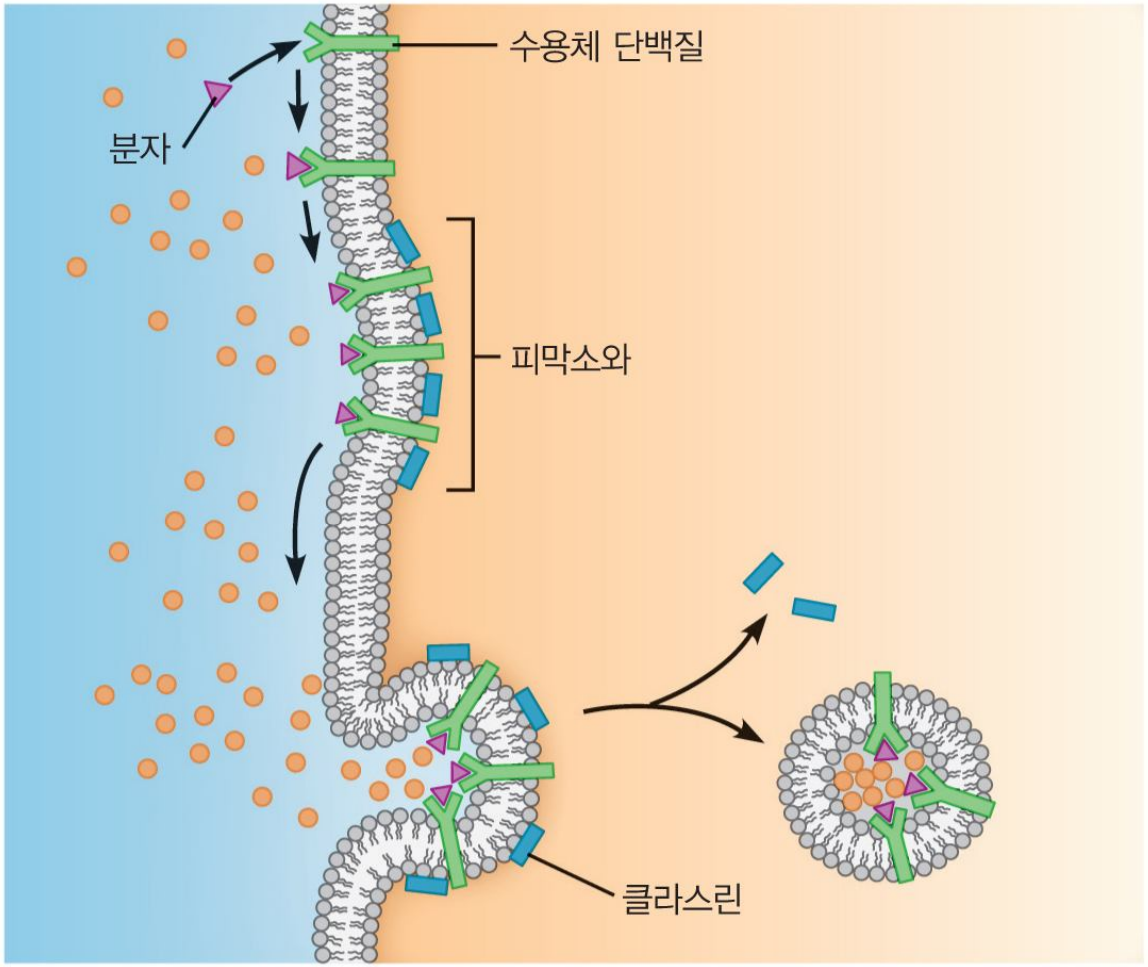
4.21c, step 3

Receptor-Mediated Transport(수용체 매개 수송)



4.21c, step 4

Receptor-Mediated Transport (수용체 매개 수송)



(c) 수용체 매개 세포이입

Exocytosis(세포외유출)

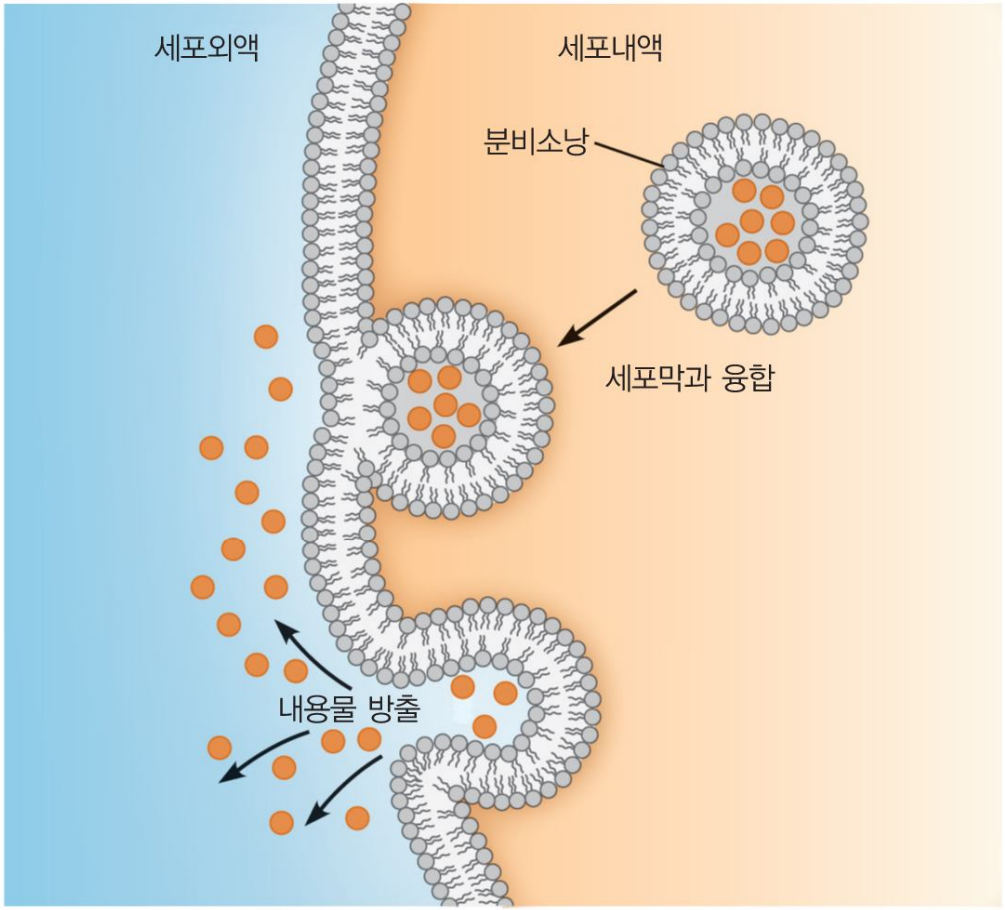


그림 4.22 **세포외유출.** 세포내 소포가 원형질막과 융합하고 소낭 안의 물질이 세포 밖으로 분비된다.

VII. Transport Across Epithelium(상피를 통한 수송)

- 세포를 가로지르는 수송
- 두 막이 관여

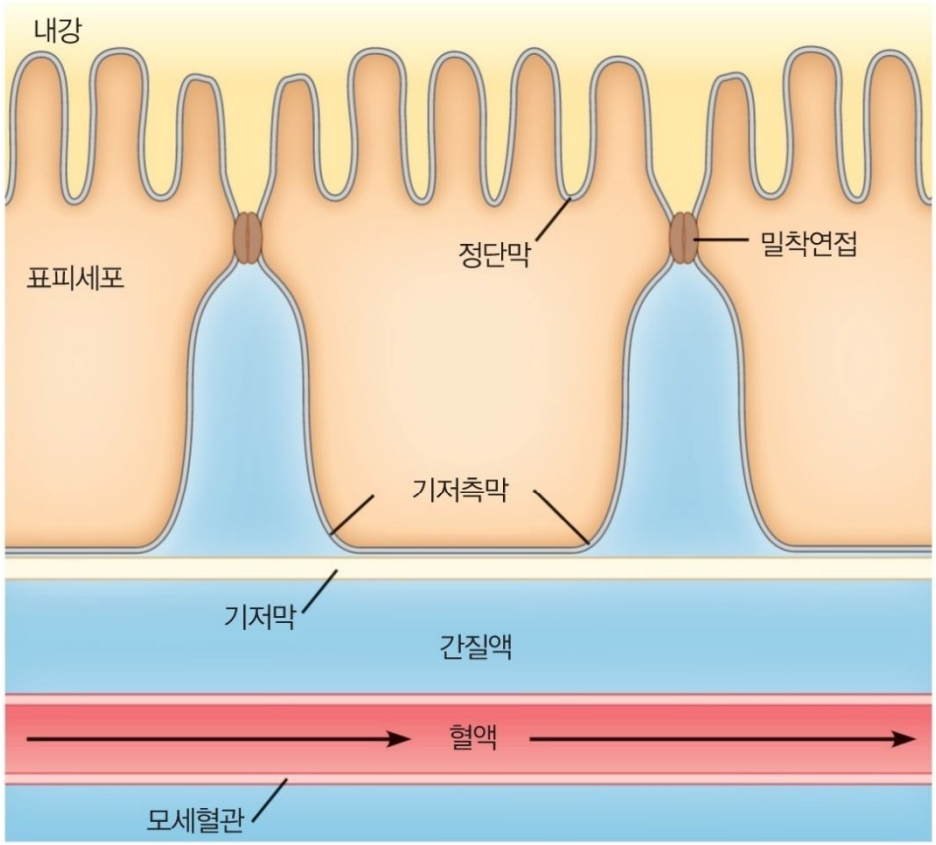


그림 4.23 표피조직의 일반적인 구조의 모식도.

Epithelial Structure(상피세포의 구조)

- 밀착연접
- 정단막
- 기저측막

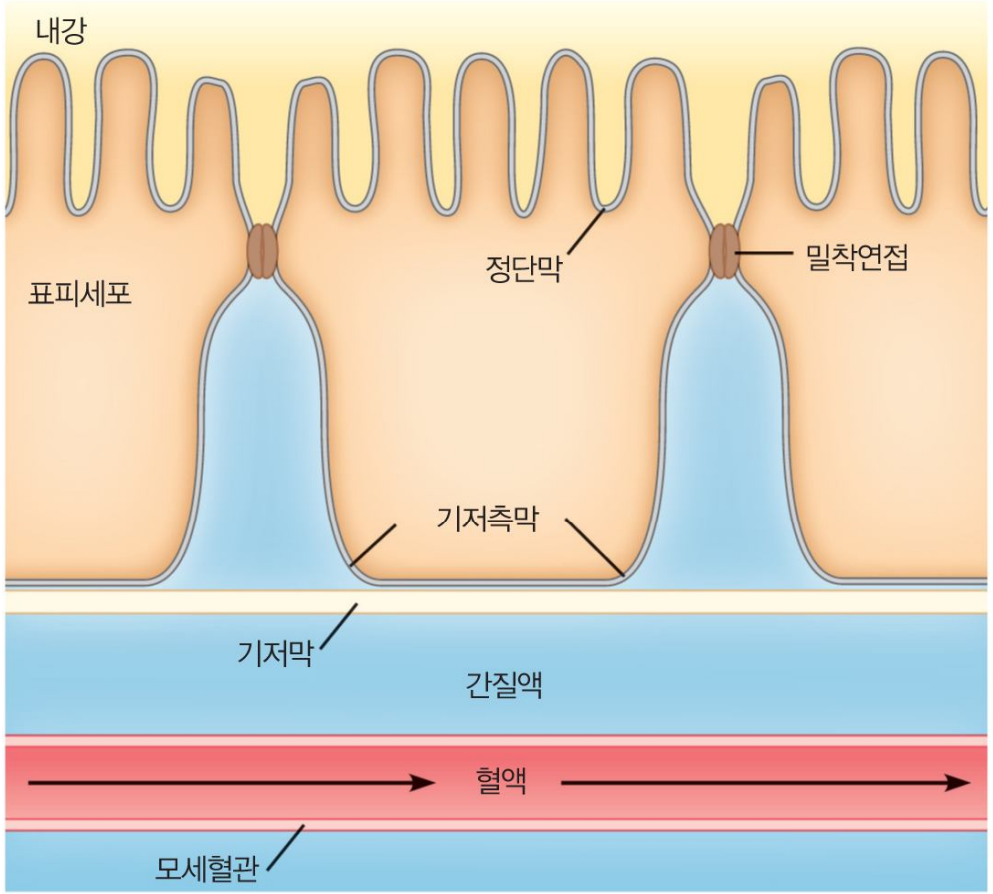
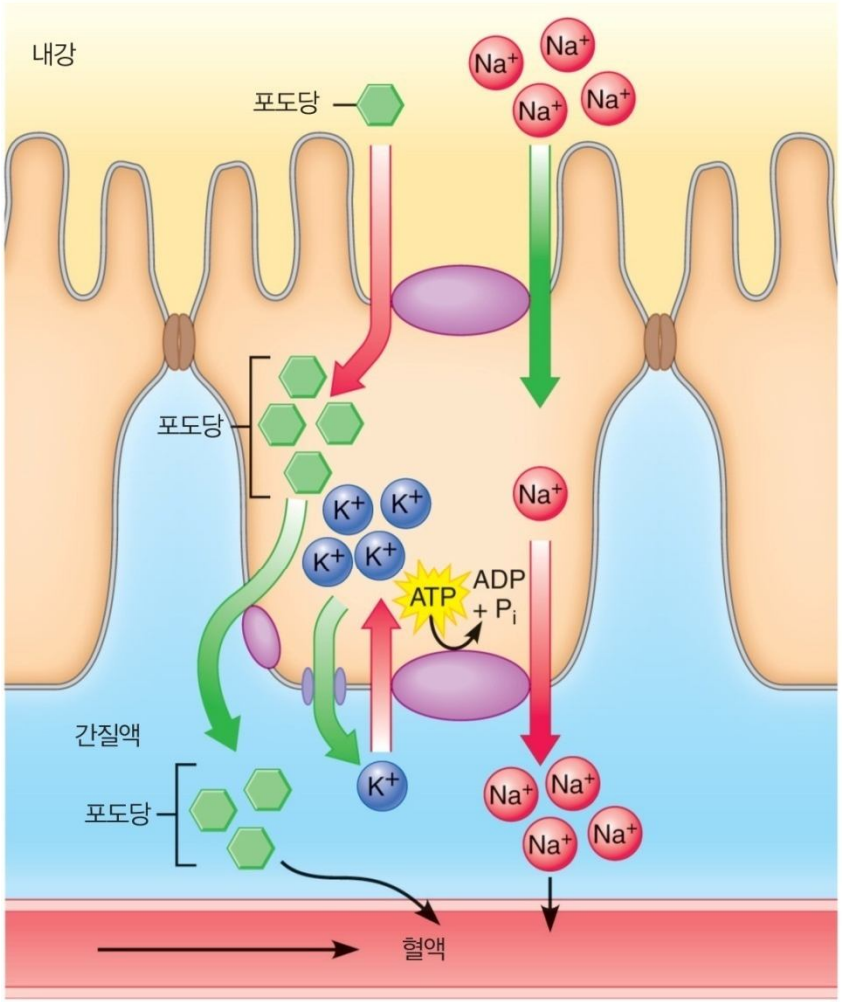


그림 4.23 표피조직의 일반적인 구조의 모식도.

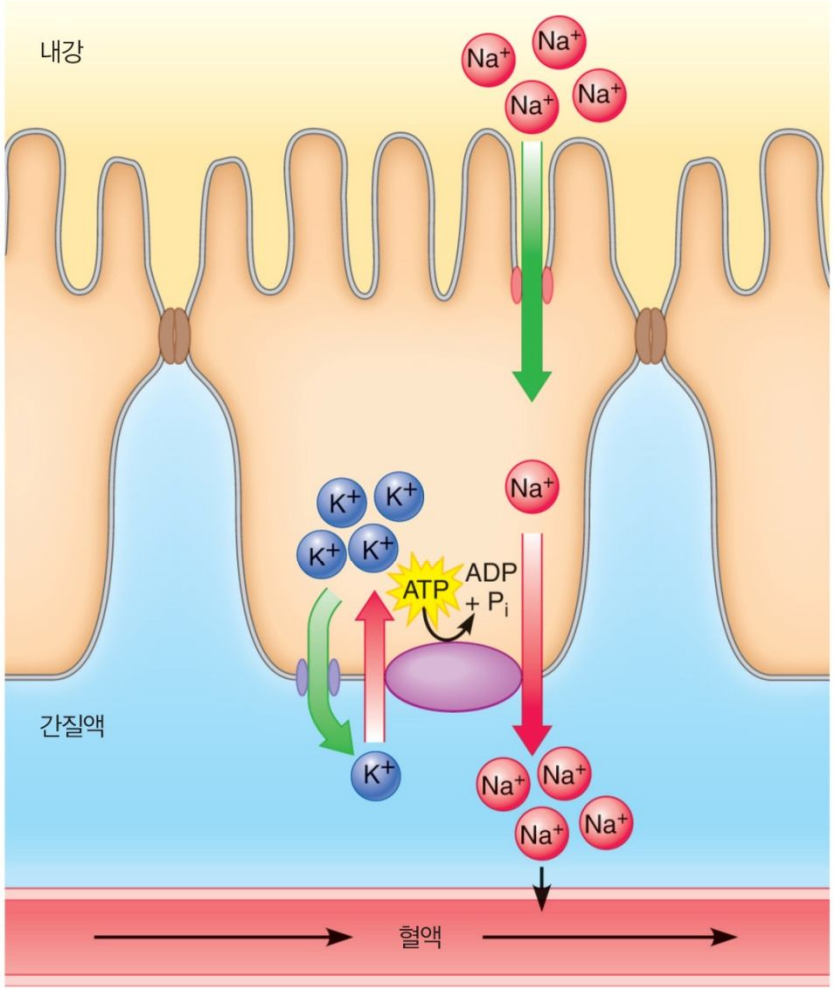
Epithelium: Solute Transport(상피: 용질수송)

- 기저측막
  - Na^+ / K^+ 펌프
  - K^+ 통로
  - 포도당 운반체



(b)

그림 4.24 **표피세포의 용질수송 기작. (b)** 포도당과 Na^+의 흡수.

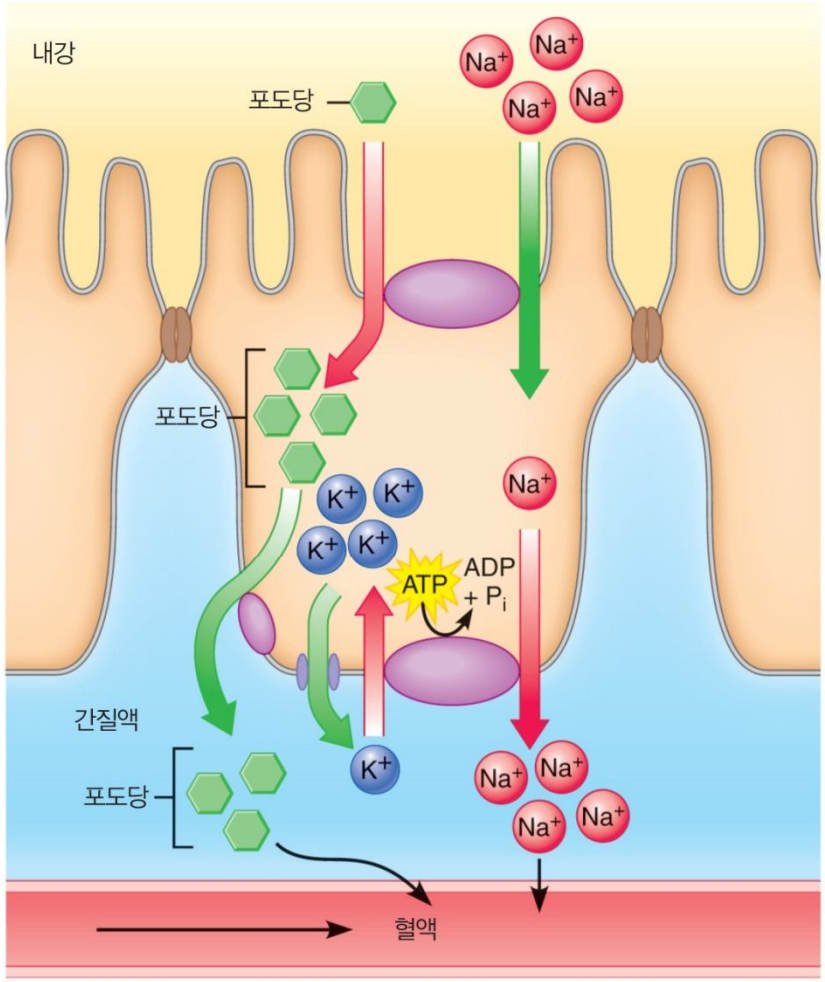


(a)

그림 4.24 **표피세포의 용질수송 기작. (a)** Na^+의 흡수

Epithelium: Solute Transport (상피: 용질수송)

- 정단막
  - Na^+ 통로
  - Na^+ 매개 포도당 펌프



(b)

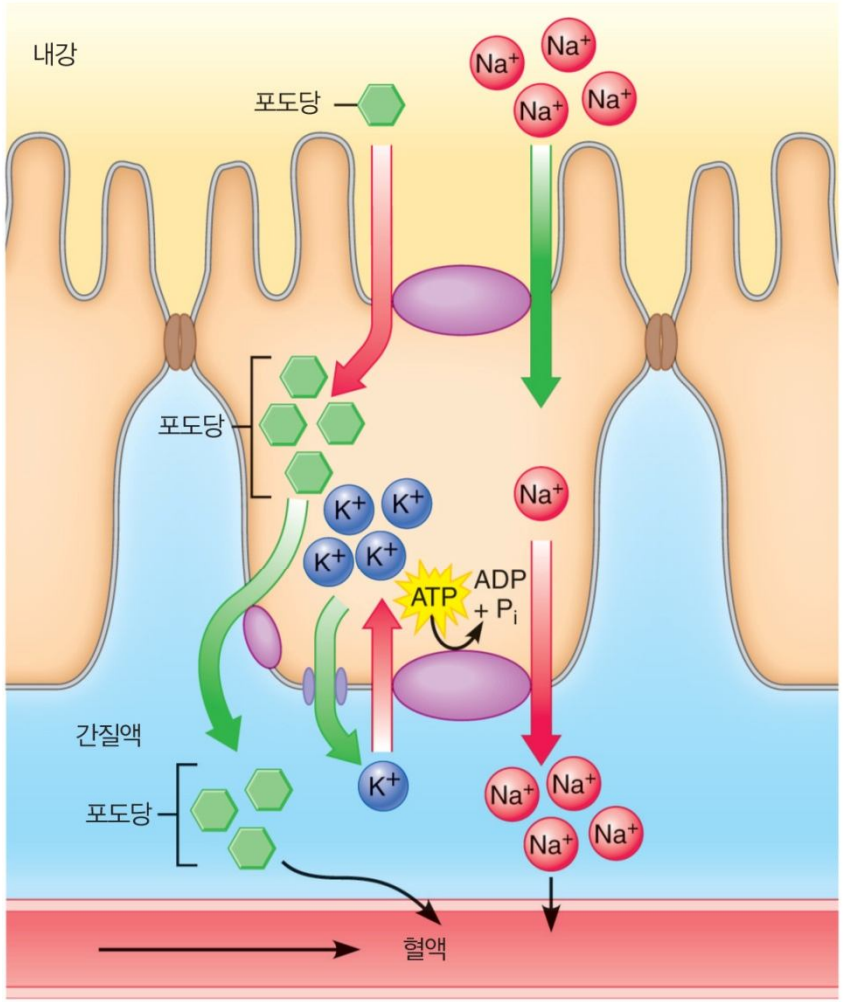
그림 4.24 **표피세포의 용질수송 기작.** (b) 포도당과 Na^+의 흡수.

Epithelium: Na^+ Transport (상피: 나트륨 수송)

- 세포내 Na^+가 낮을 때
  - 기저측막의 외향성 펌프로 인해 유지
  - 내향성 기울기 형성
  - Na^+ 이 정단막을 가로질러 새어 들어옴
- 세포를 가로질러 Na^+ 이 수송됨

Epithelium: Glucose Transport (상피: 포도당수송)

- 2차 능동수송:정단막
- 촉진확산: 기저측막
- 세포를 가로질러 포도당이 수송됨



(b)

그림 4.24 **표피세포의 용질수송 기작. (b)** 포도당과 Na^+의 흡수.

Epithelium: Water Transport (상피: 물 수송)

- 용질이 간질액 안으로 펌프됨
- 간질액의 삼투압 증가
- 물이 삼투에 의해 세포를 가로질러 끌려 들어감
- 물이 내강에서 간질액으로 수송됨

Epithelium: Water Transport (상피: 물 수송)

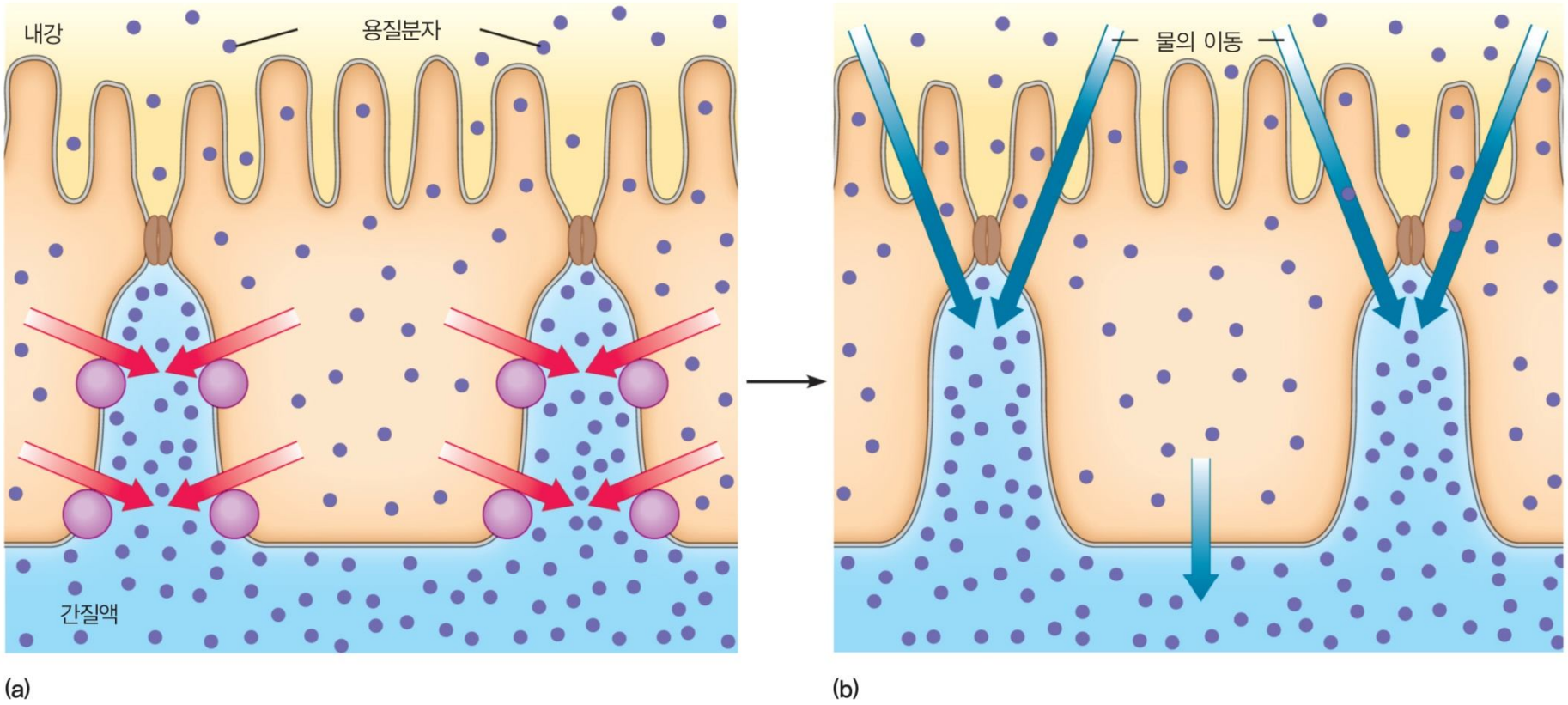
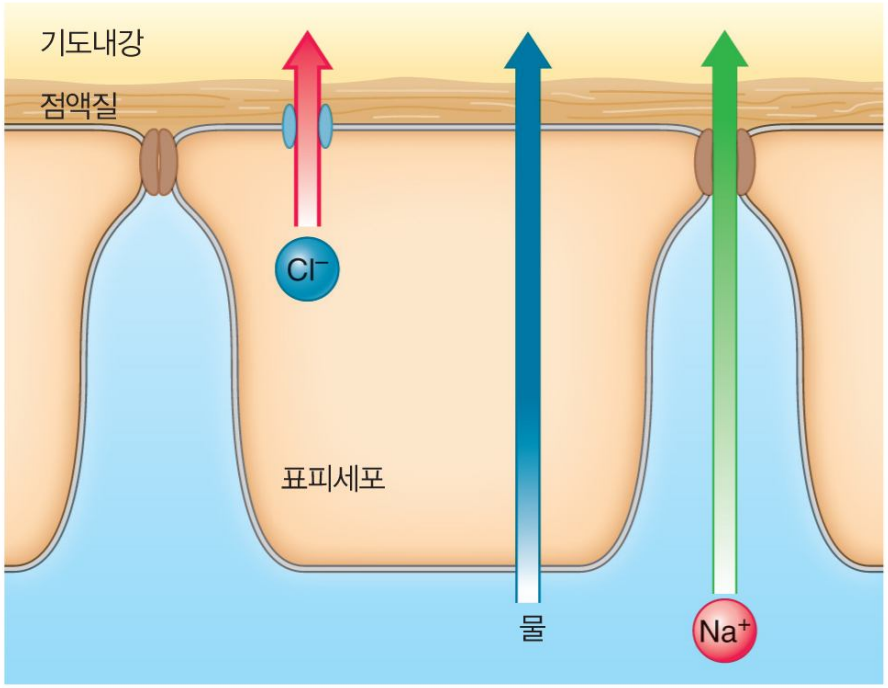


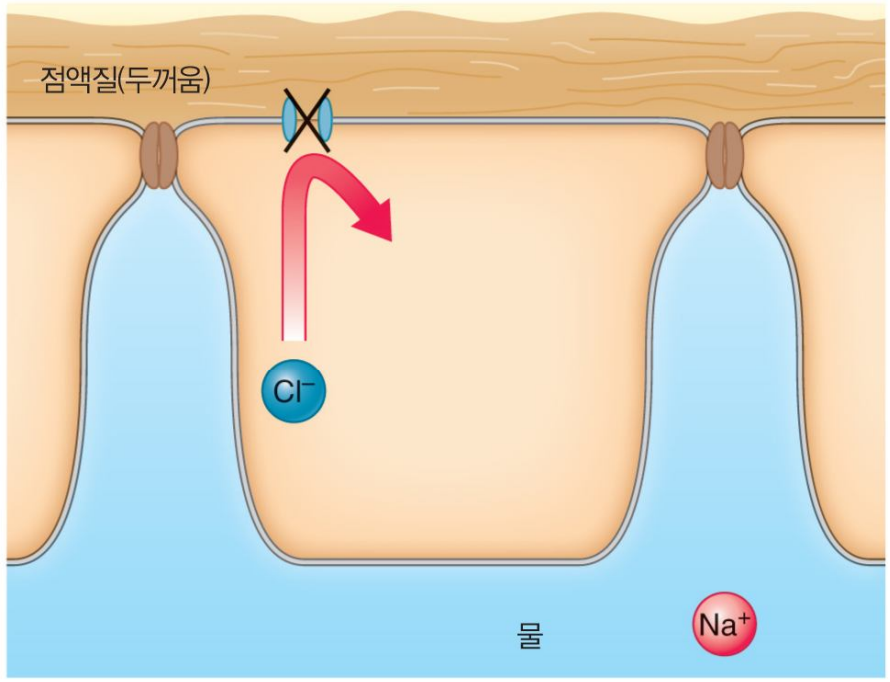
그림 4.25 물과 용질을 흡수하는 표피조직에서 물의 수송. **(a)** 기저측막에 있는 펌프(원형)가 용질분자를 능동적으로 간질액으로 수송하여 간질액, 특히 세포사이공간(paracellular space)의 용질 농도를 높인다. **(b)** 용질의 능동수송은 표피조직을 경계로 내강에서 간질액으로(큰 화살표) 물이 수동적으로 이동하는 것을 추진하는 삼투압구배를 만든다.

Cystic Fibrosis(낭포성 섬유증)

- 두꺼운 호흡 점액층
- 수송 기작의 결함



(a) 정상적인 용질과 물의 이동



(b) 낭포성 섬유증에서 용질과 물의 이동 결함

Transcytosis(통과세포외배출)

- 거대분자의 수송
- 세포를 가로질러 물질 수송
- 세포내이입과 세포외유출 포함

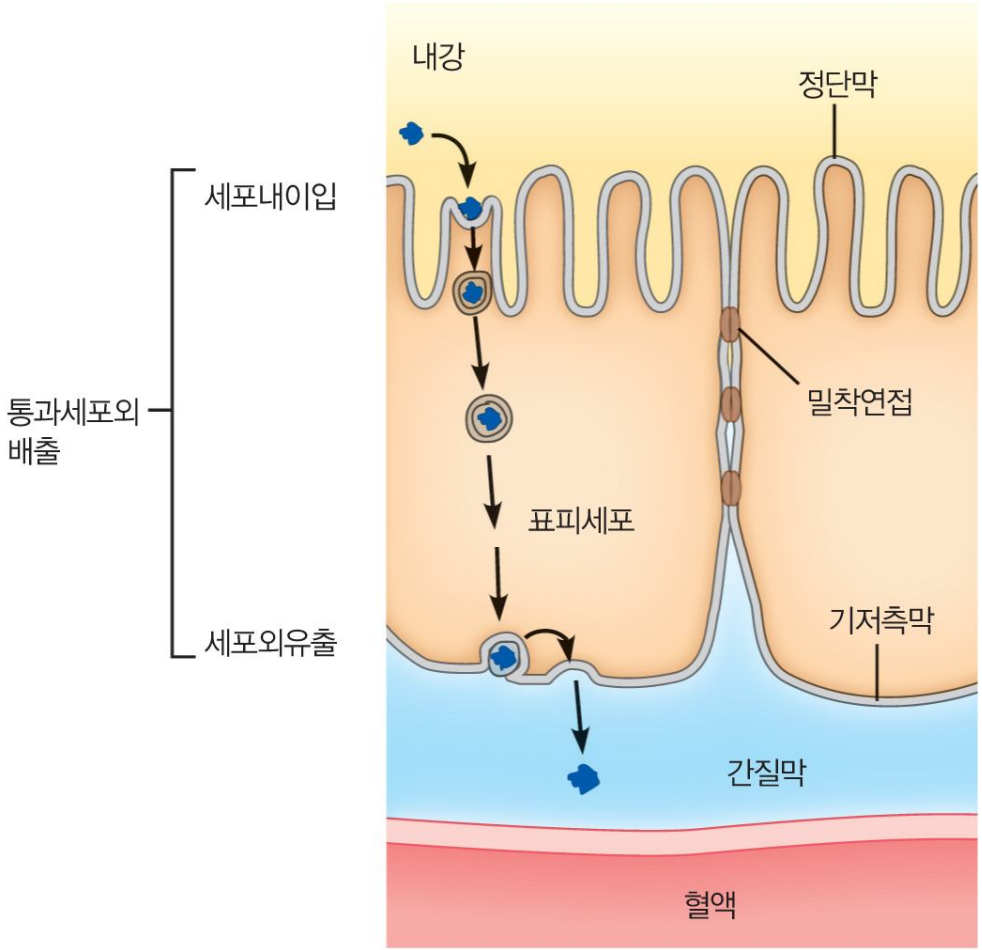


그림 4.26 **통과세포외배출.** 세포의 한 쪽에서 세포내이입으로 들어와서 다른 쪽으로 세포외유출로 빠져나감으로 거대분자가 세포를 통과하여 이동할 수 있다.