# การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

## ประเภทของการลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

จำแนกออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

❶ **การลำเลียงสารโดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์** แบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ

1. การลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยไม่ใช้พลังงานจากเซลล์ (Passive transport) ได้แก่

- การแพร่ (Diffusion)
  - การแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated diffusion)
  - การแพร่ธรรมดา (Simple diffusion)
- ออสโมซิส (Osmosis)
- ไดอะไลซิส (Dialysis)
- อิมบิบิชั่น (Imbibition)
- การแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange)

2. การลำเลียงสารผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยใช้พลังงานจากเซลล์ (Active transport)

❷ การลำเลียงสารโดยไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ โดยการสร้างถุง

จากเยื่อหุ้มเซลล์ มี 3 ลักษณะ คือ

1. การนำสารเข้าสู่ภายในเซลล์ (Endocytosis) 3 วิธี คือ

- พิโนไซโตซิส (Pinocytosis)
- ฟาโกไซโตซิส (Phagocytosis)
- การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (Receptor-mediated endocytosis)

2. การนำสารออกจากนอกเซลล์ (Exocytosis)

3. การนำสารผ่านเซลล์ (Cytopempsis)

# สรุปการลำเลียงสาร

## การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์

- การลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์โดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์
  - ไม่ใช้พลังงานจากเซลล์ Passive transport
    - การแพร่
      - การแพร่ธรรมดา
      - การแพร่โดยอาศัยตัวพา
    - ออสโมซิส
    - ไดอะไลซิส
  - ใช้พลังงานจากเซลล์ Active transport
    - การเลกเปลี่ยนอิออน
- แบบไม่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์
  - การนำสารเข้าสู่ภายในเซลล์ (Endocytosis)
    - พิโนไซโตซิส (Pinocytosis)
    - ฟาโกไซโตซิส (Phagocytosis)
    - การนำสารเข้าสู่เซลล์โดยอาศัยตัวรับ (Receptor-mediated endocytosis)
  - การนำสารผ่านเซลล์ (Cytopempsis)
  - การนำสารออกนอกเซลล์ (Exocytosis)

อิมมิ ยิมยิม

# ก. การลำเลียงสาร โดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

## 1. การลำเลียงโดยผ่านเยื่อหุ้มและไม่ใช้พลังงานจากเซลล์ (Passive transport)

### 1.1 การแพร่ (Diffusion)

➲ การเคลื่อนที่ของโมเลกุล หรืออิออนของสารโดยอาศัยพลังงานจลน์ในโมเลกุลหรืออิออนของสารเอง (อนุภาค Particle)

➲ ทิศทางการแพร่จะเกิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำเสมอ

➲ ในที่สุด บริเวณทั้งสองจะมีความเข้มข้นเท่ากัน ซึ่งเรียกว่าจุดสมดุลของการแพร่ ณ จุดนี้ อัตราการแพร่ไปและกลับมีค่าเท่ากัน จึงเรียกเป็นสมดุลจลน์ (Dynamic equilibrium)

# ก. การลำเลียงสาร โดยผ่านเยื่อหุ้มเซลล์

## 1. การลำเลียงโดยผ่านเยื่อหุ้มและไม่ใช้พลังงานจากเซลล์

### 1.1 การแพร่ (Diffusion)

➲ การเคลื่อนที่ของโมเลกุล หรืออิออนของสารโดยอาศัยพลังงานจลน์ในโมเลกุลหรืออิออนของสารเอง

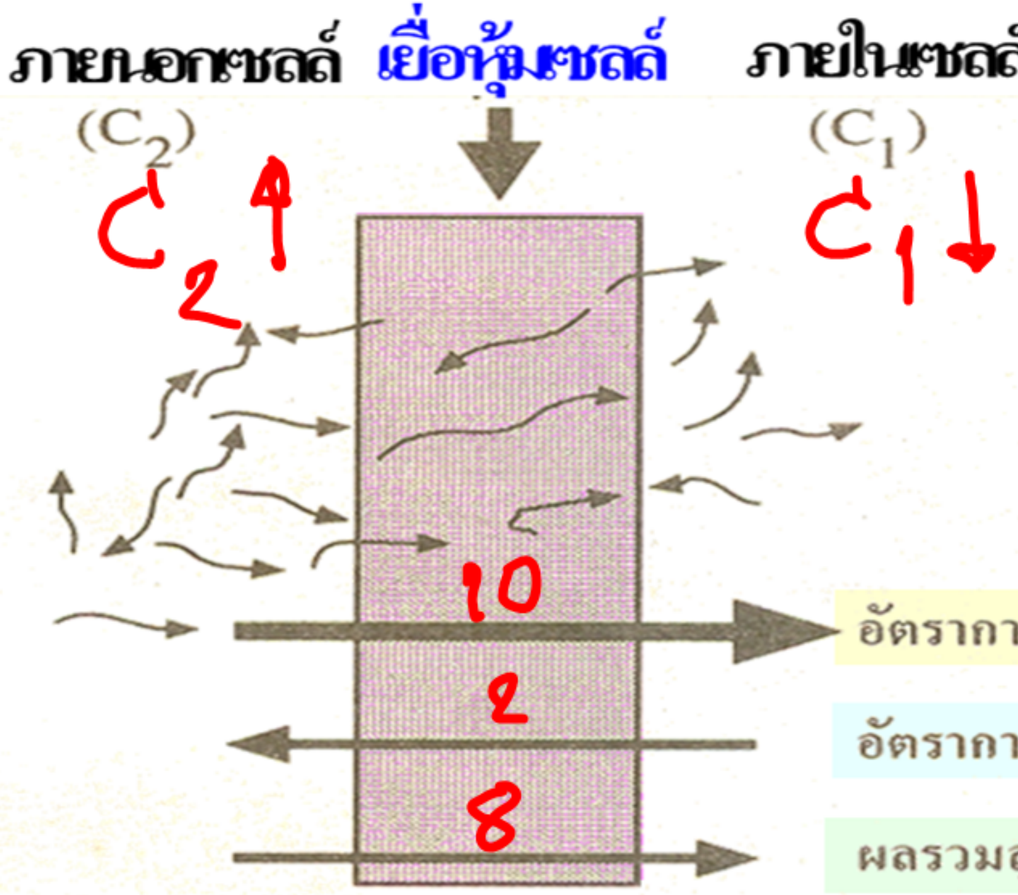
➲ ทิศทางการแพร่จะเกิดจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่บริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำเสมอ

➲ ในที่สุด บริเวณทั้งสองจะมีความเข้มข้นเท่ากัน ซึ่งเรียกว่าจุดสมดุลของการแพร่ ณ จุดนี้ อัตราการแพร่ไปและกลับมีค่าเท่ากัน จึงเรียกเป็นสมดุลจลน์ (Dynamic equilibrium)

# การแพร่แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

## การแพร่ธรรมดา (Simple diffusion)

- การเคลื่อนที่ของโมเลกุล หรืออิออนของสาร เนื่องจากผลต่างความเข้มข้นโดยในการเคลื่อนที่จะอาศัยพลังงานจลน์ในโมเลกุลหรืออิออนของมันเอง
- ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานจากเซลล์และไม่อาศัยตัวพาใด ๆ
- ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของสารละลายชนิดหนึ่งซึ่งอยู่ภายนอกเซลล์โดยมีเยื่อหุ้มเซลล์กั้นขวางดังรูป




อัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่ภายในเซลล์ (Influx)

อัตราการเคลื่อนที่ออกนอกเซลล์ (Efflux)

ผลรวมสุทธิของอัตราการเคลื่อนที่ (Net flux)

ผลรวมสุทธิของอัตราการเคลื่อนที่ = อัตราการเคลื่อนที่เข้า - อัตราการเคลื่อนที่ออก (เมื่อ $C_2 > C_1$)

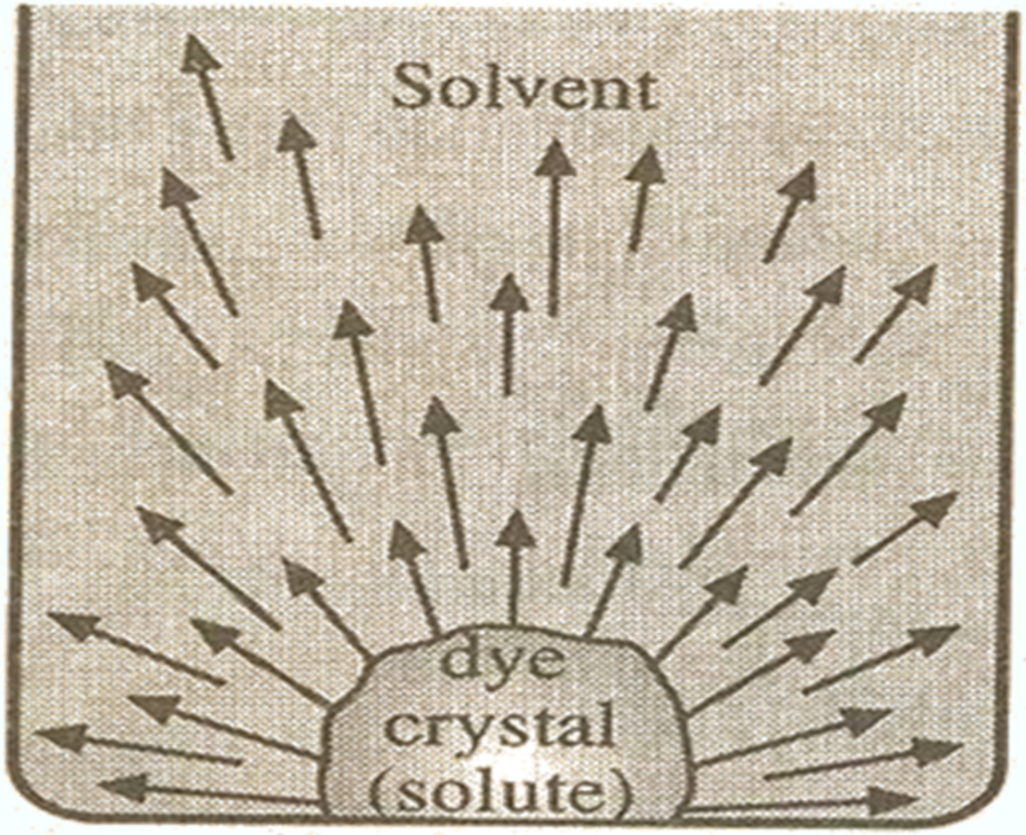
**หรือ Net flux = Influx - Efflux**

การแพร่ของสารนั้นเป็นการเคลื่อนที่อย่างไม่มีทิศทางแน่นอน เพราะทิศทางที่แต่ละโมเลกุลจะเคลื่อนที่ขึ้นกับโอกาสที่จะกระทบกับโมเลกุลของอนุภาคอื่น ๆ ตัวอย่างการแพร่ของสาร เช่น

1.1.1 การแพร่ในของแข็ง เช่น เกล็ดด่างทับทิมเกล็ดเมธีลีนบลู และเกล็ดโพแทสเซียมไดโครเมต แพร่ในวุ้น

1.1.2 การแพร่ในของเหลว เช่น โมเลกุลน้ำตาลอิออนของเกลือแพร่ในน้ำ

1.1.3 การแพร่ในแก๊ส เช่น การแพร่ของโมเลกุลน้ำหอมในอากาศ, การแพร่ของโมเลกุลน้ำหอมในอากาศ, การแพร่ของแก๊สหรือควันไฟในอากาศ




ภาพแสดงการแพร่ของโมเลกุลของสีจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูง
ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ

# ปัจจัยที่ควบคุมการเพร่

1. ความเข้มข้นของสารที่จะเพร่ สารชนิดเดียวกันแต่มีความเข้มข้นต่างกัน กลุ่มที่มีความเข้มข้นมากกว่าจะมีความสามารถในการเพร่ดีกว่า

2. อุณหภูมิ การเพิ่มระดับอุณหภูมิเป็นการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับสารจะทำให้สารเกิดการเพร่ไปได้เร็ว

3. ความดัน การเพิ่มความดันให้กับสาร จะมีผลทำให้สารสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น

**4. สิ่งเจือปน และตัวกลาง** สิ่งเจือปนในสารตัวกลางที่จะเพร่ผ่านจะเป็นสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ของสารทำให้เกิดการเพร่ช้าลง

**ตัวกลางที่สารจะเพร่ผ่าน** เช่น การเพร่ของแก๊สออกซิเจนใน ตัวกลางที่เป็นอากาศจะเร็วกว่าตัวกลางที่เป็นน้ำ เนื่องจากโมเลกุลน้ำอยู่กันอย่างหนาแน่น และมีแรงยึดเหนี่ยวกันสูง ทำให้การเพร่ในน้ำช้าลง

**5. สถานะของสารที่จะเพร่** สารชนิดเดียวกันแต่อยู่ต่างสถานะกัน ความเร็วในการเพร่จะไม่เท่ากัน เช่น ไอน้ำ จะเพร่ได้เร็วกว่าน้ำ เพราะไอน้ำเป็นก๊าซมีแรงยึดเหนี่ยวน้อย และมีพลังงานจลน์สูง ส่วนน้ำมีแรงยึดเหนี่ยวสูงกว่าและมีพลังงานจลน์ต่ำกว่า

# ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการเพร่

อัตราการเพร่วัดได้จากระยะทางที่สารเพร่ไปในหนึ่งหน่วยเวลา หรือการวัดจำนวนของสารที่เพร่ในหนึ่งหน่วยเวลา

## 1. ระยะทางที่สารเพร่ไปในหนึ่งหน่วยเวลา (D)

ในการเคลื่อนที่ของสารเป็นเส้นตรง และมีทิศทางเดียวกันนั้น เราจะพบว่าระยะทางที่สารเคลื่อนที่จะแปรตามเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ แต่ในการเคลื่อนที่อย่างไร้ทิศทาง โมเลกุลเคลื่อนที่กลับไปกลับมาด้วยความเร็วเท่าเดิม จะพบว่าระยะทางที่สารเพร่ออกไปจะแปรตามรากที่สอง (Square root) ของเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ นั้นคือ

# ระยะทาง $\alpha = \sqrt{\text{เวลา}}$

ตัวอย่างเช่น :-

- เมื่อสารเพร่ออกไปในระยะทาง 1 หน่วย จะใช้เวลา 1 หน่วย
- เมื่อสารเพร่ออกไปในระยะทาง 2 หน่วย จะใช้เวลา 4 หน่วย
- เมื่อสารเพร่ออกไปในระยะทาง 10 หน่วย จะใช้เวลา 100 หน่วย
- เมื่อสารเพร่ออกไปในระยะทาง 1/2 หน่วย จะใช้เวลา 1/4 หน่วย
- เมื่อสารเพร่ออกไปในระยะทาง 1/10 หน่วย จะใช้เวลา 1/100 หน่วย

# 2. ขนาดและน้ำหนักของอนุภาคที่จะเพร่

ถ้าอนุภาคของสารมีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา อัตราการเพร่จะสูงกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก โทมัส เกรเฮม (Thomas Graham) พบว่า อัตราการเพร่ของก๊าซ (R) จะแปรผกผันกับรากที่สองของความหนาแน่น หรือน้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส (M) นั่นคือ

$$R = \frac{1}{\sqrt{M}}$$

$CO_2 = 12 + 32 = 44$

เช่น อัตราการเพร่ของ $CO_2$ ($R_{CO_2}$) กับอัตราการเพร่ของ $O_2$ ($RO_2$) เป็นดังนี้

$$\frac{RO_2}{R_{CO_2}} = \sqrt{\frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}}} = \sqrt{\frac{44}{32}} = 1.17$$

เพราะฉะนั้นอัตราการเพร่ของ $O_2$ จะสูงกว่าอัตราการเพร่ของ $CO_2$ 1.17 เท่า

## 3. อุณหภูมิ

- เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้อัตราการเพร่ของสารสูงขึ้น เพราะสารมีพลังงานจลน์เพิ่มขึ้น

## 4. ความหนาแน่นของตัวกลาง

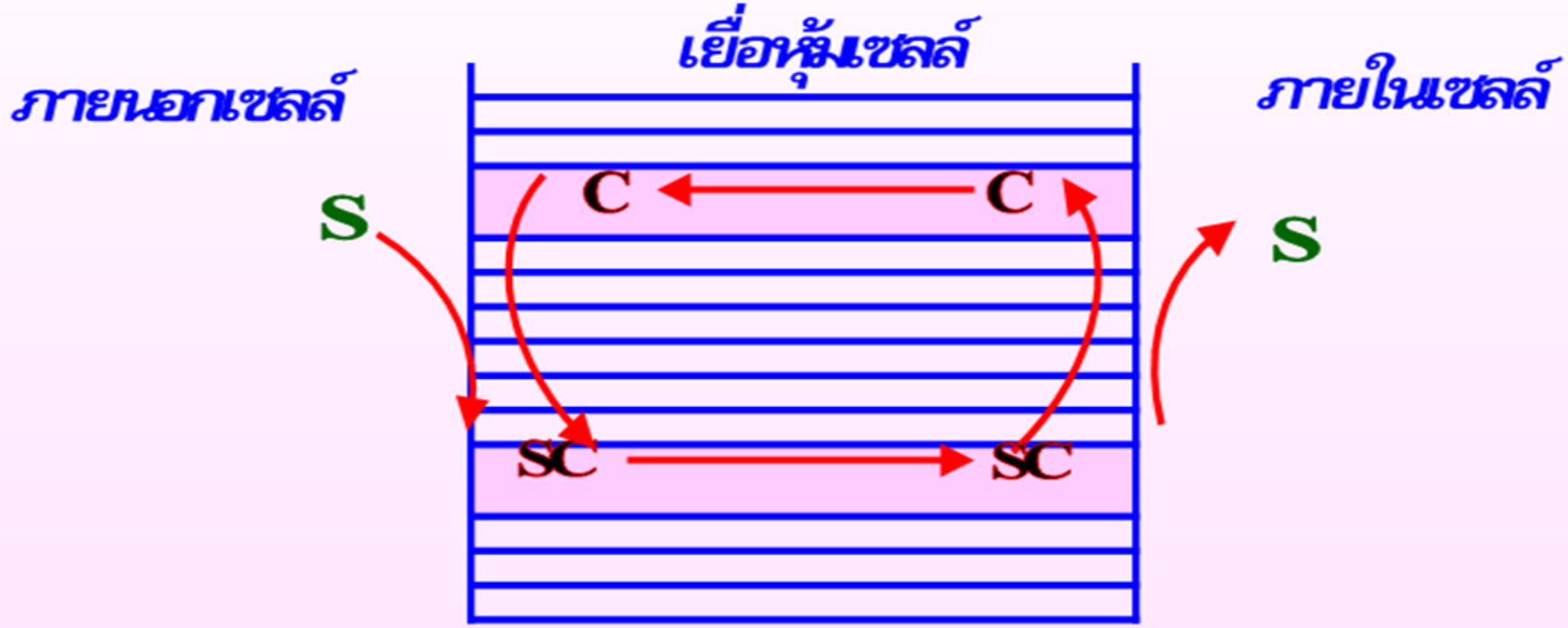
- สารที่มีคุณสมบัติเหมือนกัน เพร่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกัน อัตราการเพร่จะไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น การเพร่ในอากาศจะมีอัตราการเพร่สูงกว่าในน้ำ เพราะน้ำมีความหนาแน่นสูงกว่าอากาศ

## 5. ความสามารถในการละลาย

- สารที่ละลายได้ดีจะมีอัตราการเพร่สูงกว่าสารที่ละลายได้น้อย

# การแพร่โดยอาศัยตัวพา (Facilitated diffusion)

- คือ การแพร่ของโมเลกุลหรืออิออนของสารโดยอาศัยตัวพา (Carrier) ซึ่งเป็นสารจำพวกโปรตีนที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มเซลล์เป็นตัวนำไปโดยไม่ต้องใช้พลังงานจากเซลล์




แสดงการเคลื่อนที่ของสาร (S) ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์โดยอาศัยตัวพา carrier (C)

# คุณลักษณะของการแพร่โดยอาศัยตัวพา

1. การเคลื่อนที่โดยอาศัยตัวพาจะถึงจุดสมดุลของการแพร่เร็วกว่าการแพร่ธรรมดา

- เนื่องจากตัวพาช่วยขนส่งสาร
- ตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบนี้ เช่น การแพร่ของกลูโคสเข้าสู่เซลล์เม็ดเลือดแดงของคน

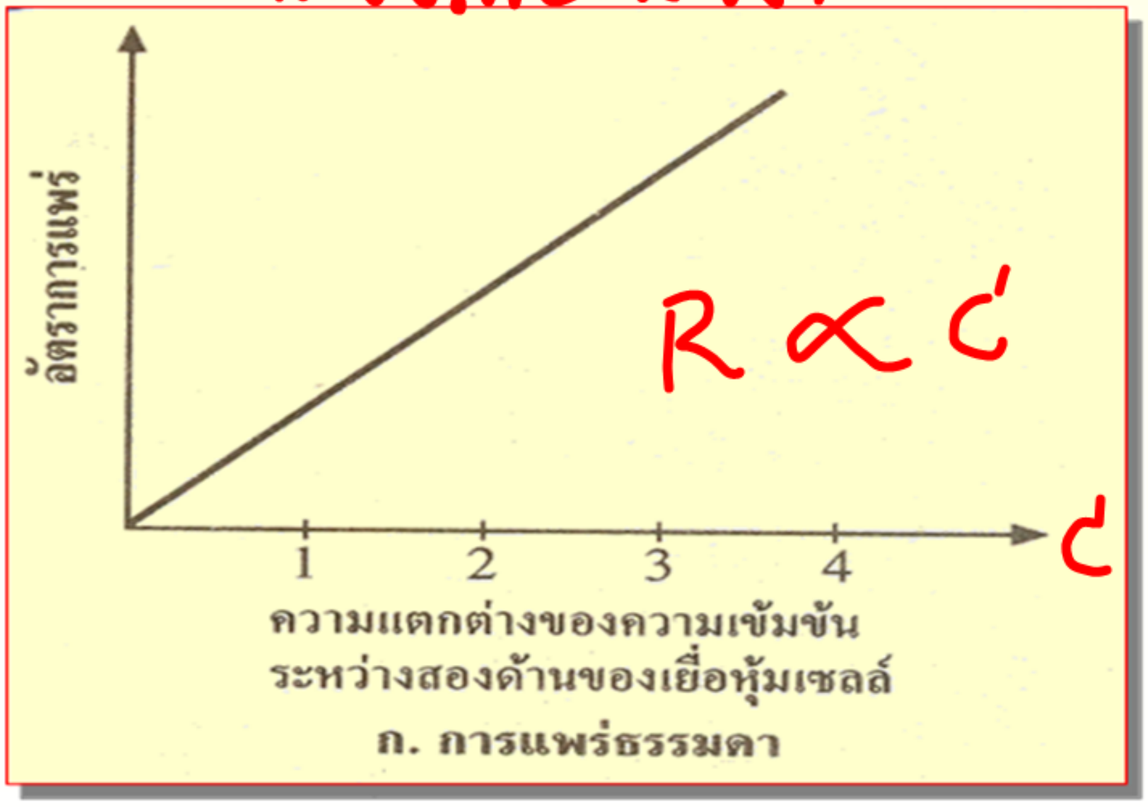
2. ถ้าพิจารณาอัตราการเคลื่อนที่ของสารระหว่างการแพร่ธรรมดากับการแพร่โดยอาศัยตัวพา

- เมื่อความเข้มข้นระหว่าง 2 ด้านของเยื่อหุ้มเซลล์ต่างกันมาก ๆ
- จะพบว่าอัตราการแพร่จะไม่แปรตามระดับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นแต่อย่างใด เนื่องจากตัวพามีปริมาณจำกัด ทุกตัวต้องทำหน้าที่ขนส่งสารทั้งหมด

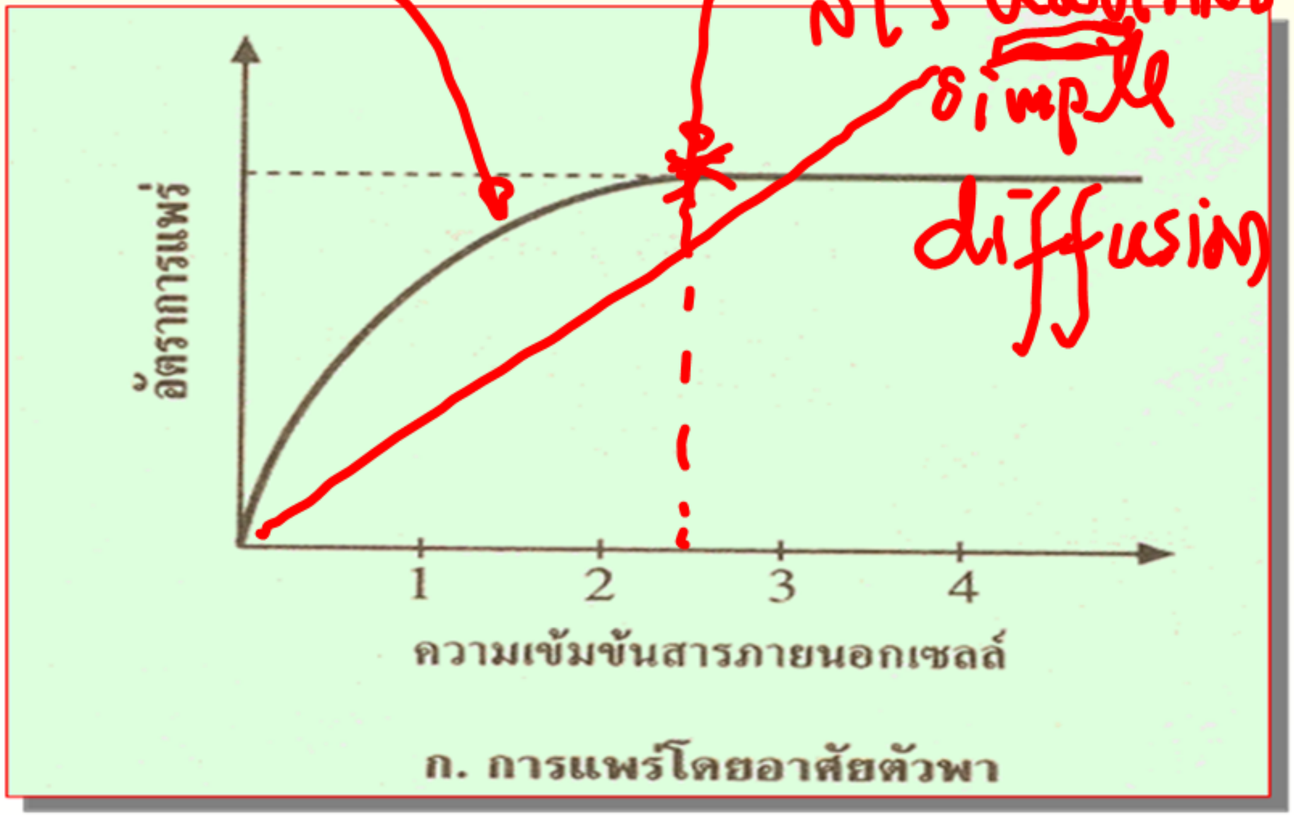
➲ ดังนั้นความเข้มข้นของสารที่มากกว่าเกินไปจึงไม่ทำให้อัตรา

การแพร่เร็วขึ้นได้อีก ซึ่งต่างจากการแพร่ธรรมดา ดังกราฟ

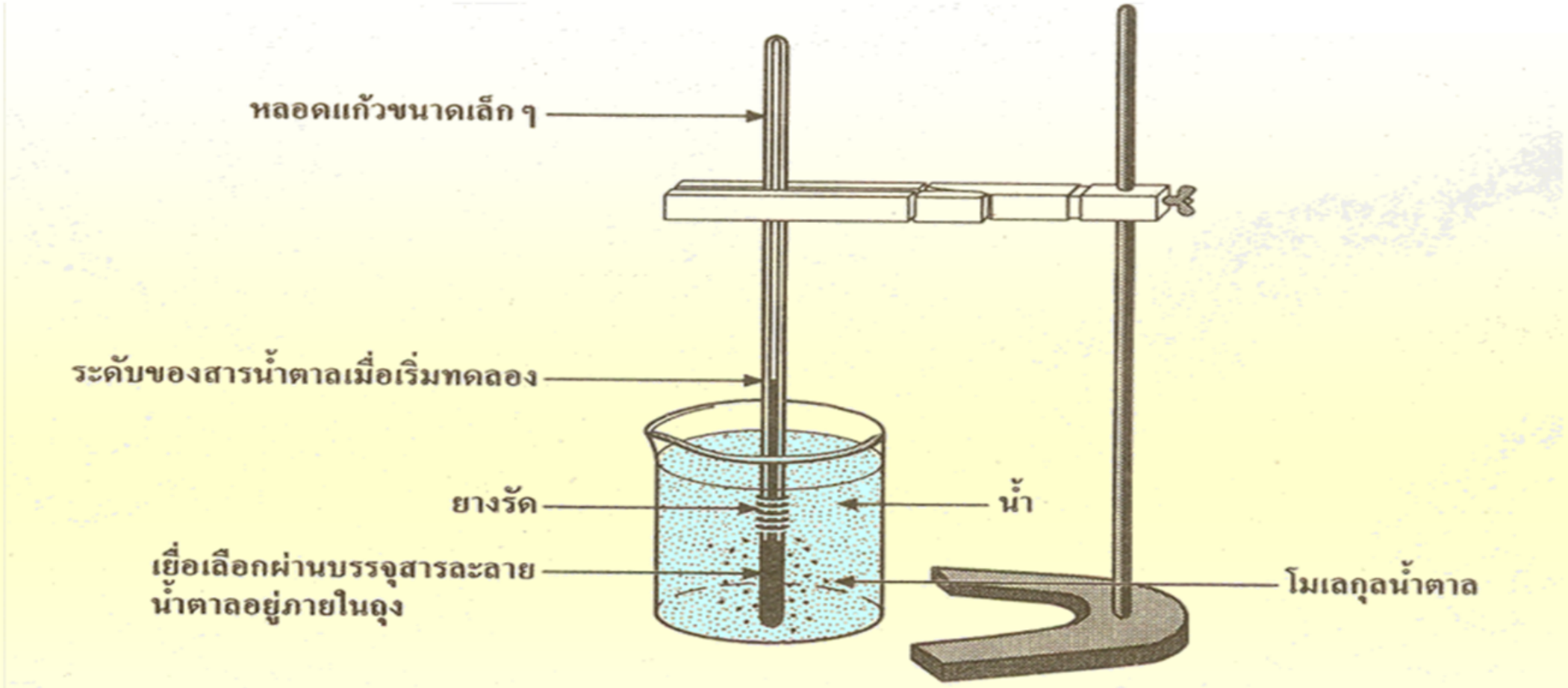
โดยอาศัยตัวพา




ก. การแพร่ธรรมดา




ก. การแพร่โดยอาศัยตัวพา




**ภาพแสดงการเกิดไดอะไลซิสโดยการแพร่ของโมเลกุลน้ำตาลออกมายังน้ำที่อยู่ภายนอกเยื่อเลือกผ่าน**