
บทที่ 4
IMBIBITION

IMBIBITION

1. INTRODUCTION

ในสิ่งที่มีชีวิต นอกจากจะมีขบวนการ diffusion และขบวนการออสโมซิสเกิดขึ้นแล้ว ยังมีขบวนการอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ water potential ของสารละลายในเซลล์เกิดขึ้นอีกด้วย ขบวนการนั้นคือ imbibition ก่อนที่เราจะศึกษารายละเอียดของขบวนการนี้ เราควรทราบความหมายของขบวนการนี้เสียก่อน Imbibition คือการแพร่กระจายของของเหลวหรือแก๊สเข้าไปในของแข็งหรือกิ่งของแข็ง หลังจากนั้นของเหลวหรือแก๊สก็จะถูกของแข็งหรือสารกิ่งของแข็งดูดไว้ หรืออาจพูดอีกอย่างหนึ่งได้ดังนี้คือ Imbibition เป็นปรากฏการณ์ที่ของแข็งหรือสารกิ่งของแข็งสามารถดูด (imbibe) ของเหลวหรือแก๊สไว้ได้ เมื่อของเหลวหรือแก๊สนั้นอยู่ในใกล้หรือติดกับของแข็งหรือสารกิ่งของแข็ง ของแข็งหรือสารกิ่งของแข็งที่สามารถดูดของเหลวหรือแก๊สได้เราให้ชื่อว่า "imbibant" ส่วนของเหลวหรือแก๊สที่แพร่กระจายเข้าไปในของแข็งหรือสารกิ่งของแข็งเราเรียกว่า "imbibed substance" Imbibant แต่ละชนิดสามารถดูด imbibed substance ได้ต่างชนิดกัน สำหรับในเซลล์ที่มีชีวิต imbibed substance ส่วนมากจะเป็นน้ำหรือไอน้ำ (ของเหลวหรือแก๊สนั้นเอง)

ขบวนการ imbibition แตกต่างกับขบวนการ diffusion และขบวนการออสโมซิส diffusion เป็นปรากฏการณ์ที่ของเหลวหรือแก๊สแพร่กระจายเข้าไปในของเหลวหรือแก๊ส, ส่วนขบวนการออสโมซิสจะต้องมี differentially permeable membrane เข้ามาเกี่ยวข้อง, แต่ imbibition อาจเกิดขึ้นได้กับสารประกอบต่าง ๆ ที่มีโมเลกุลใหญ่ได้ โดยไม่ต้องมี differentially permeable membrane เข้ามาเกี่ยวข้อง

เนื่องจาก imbibed substance ในเซลล์ที่มีชีวิต ส่วนมากมักจะเป็นน้ำ ดังนั้นในเรื่องต่อไปนี้จะใช้น้ำเป็นตัวอย่างของ imbibed substance

2. Matrix and Matric potential

ความสามารถของ imbibant ที่ละดูดน้ำไว้ได้มากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น water potential ของ imbibant, ลักษณะผิวหน้าของ

imbibant และระยะห่างระหว่างโมเลกุลของน้ำกับผิวหน้าของ imbibant ถ้าโมเลกุลน้ำอยู่ใกล้กับผิวหน้าของของสารที่เป็น imbibant น้ำก็เกาะอยู่กับผิวของสารนั้นแน่น แต่ถ้าโมเลกุลของน้ำอยู่ห่างจากผิวหน้าของสารน้ำก็จะเกาะกับผิวหน้าอย่างหลวม ๆ ความสามารถนี้อาจแสดงในรูปของค่า chemical potential ของน้ำ หรือ water potential ถ้าผิวหน้าของสารอยู่ในสภาวะสมดุลย์ในสารละลายที่มีค่า water potential จะต่ำกว่าศูนย์ เพราะ water potential ที่ผิวหน้าของ imbibant จะมีค่าเท่ากับ water potential ของสารละลาย (ซึ่งมีค่าเท่ากับ Ψ_{π} ของสารละลาย ในที่ที่มีความดัน 1 บรรยากาศ)

ผิวหน้าของ imbibant ที่ดูดของเหลวหรือแก๊สได้ ซึ่งอาจจะเป็นผิวเรียบหรือผิวที่เป็นรูพรุน มีชื่อว่า matrix ส่วน water potential ของ matrix เราเรียกว่า matric potential

เราได้ทราบมาแล้วว่า osmotic potential เป็นส่วนที่ทำให้เกิด water potential เมื่อมีตัวละลายอยู่ในสารละลาย และ matric potential ก็เป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้เกิด water potential ขึ้นเมื่อมี matrix อยู่ในสารละลายหรือน้ำ

เราได้ศึกษาเรื่องออสโมซิสมาแล้วและทราบว่า water potential ของน้ำบริสุทธิ์มีค่าเท่ากับศูนย์ ซึ่งเราอาจคำนวณได้จากสูตร

$$\Psi = \Psi_{\pi} + \Psi_p$$

Ψ_{π} ของน้ำบริสุทธิ์เท่ากับศูนย์

Ψ_p ที่ความดัน 1 บรรยากาศมีค่าเท่ากับศูนย์

หลังจากที่เราแทนค่า Ψ_{π} และ Ψ_p จะได้ Ψ ของน้ำบริสุทธิ์เท่ากับศูนย์

ถ้าเรานำตัวละลายใส่ลงน้ำบริสุทธิ์ ค่า water potential ของสารละลายจะมีค่าลดลง ซึ่งเราจะพิจารณาได้จากสูตรดังนี้

$$\Psi \text{ ของสารละลาย} = \Psi_{\pi} + \Psi_p$$

Ψ_{π} ของสารละลายมีค่าเป็นลบ

Ψ_p ของสารละลายที่มีความดัน 1 บรรยากาศมีค่าเท่ากับศูนย์

เพราะฉะนั้น Ψ ของสารละลายจึงมีค่าเป็นลบ ซึ่งน้อยกว่า Ψ ของน้ำบริสุทธิ์
 ในสภาพคล้ายคลึงกัน ถ้าเรานำ matrix ไล้ลงไปในน้ำจะเกิด imbibition
 ขึ้น ทำให้น้ำเคลื่อนที่ได้น้อยลง ดังนั้น water potential ลดลง และ water potential
 ในกรณีที่เกิด imbibition นี้เราเรียกว่า water potential of imbibition
 (Ψ_i) ซึ่งจะคำนวณได้จากสูตร

$$\Psi_i = \Psi_m + \Psi_p$$

$$\Psi_i = \text{water potential of imbibition}$$

$$\Psi_m = \text{matric potential}$$

$$\Psi_p = \text{pressure potential}$$

ถ้าเรานำ matrix ไล้ลงในสารละลาย เราจะพบว่า มีค่า water potential
 ทั้งสองชนิด เกิดขึ้นคือ water potential ของสารละลายและ water potential
 of imbibition ถ้า water potential ของสารละลายต่ำกว่า water potential
 of imbibition, matrix จะไม่สามารถดูดน้ำเข้าหาตัวได้ แต่ถ้า water potential
 ของสารละลายที่มีค่าสูงกว่า water potential of imbibition, matrix จะดูดน้ำ
 จากสารละลายได้ และถ้าค่า water potential ทั้งสองค่า เท่ากัน (เกิดสภาพสมดุลขึ้น)
 ค่า osmotic potential ของสารละลายจะมีค่าเท่ากับ matric potential ขอให้เรา
 พิจารณาสูตรต่อไปนี้

จากสูตร

$$\Psi \text{ ของสารละลาย} = \Psi_m + \Psi_p$$

และ

$$\Psi_i = \Psi_m + \Psi_p$$

ในสภาพที่สมดุลเราจะได้ว่า

$$\Psi_i = \Psi \text{ ของสารละลาย}$$

นั่นคือ

$$\begin{aligned}\Psi_m + \Psi_P &= \Psi_{\eta} + \Psi_P \\ \Psi_m &= \Psi_{\eta}\end{aligned}$$

เราทราบมาแล้วว่า ค่า Ψ_{η} ของน้ำบริสุทธิ์มีค่าเท่ากับศูนย์ เพราะฉะนั้นถ้า matrix ตกลงในน้ำบริสุทธิ์ค่า Ψ_m จะมีค่าเป็นศูนย์เมื่อเกิดสภาพสมดุล (คือสภาพที่ matrix อิ่มตัวด้วยน้ำ) เพราะฉะนั้น Ψ_m จะมีค่าสูงสุดเท่ากับศูนย์ซึ่งเท่ากับค่าของ Ψ_{η} ของน้ำบริสุทธิ์

ถ้า matrix อยู่ในสภาพสมดุลในสารละลาย (อิ่มตัวด้วยน้ำในสารละลาย) ค่า Ψ_m จะมีเท่ากับ Ψ_{η} ของสารละลายซึ่งเป็นค่าลบ และ Ψ_m จะมีค่าต่ำสุดเมื่อ matrix แห้งสนิท

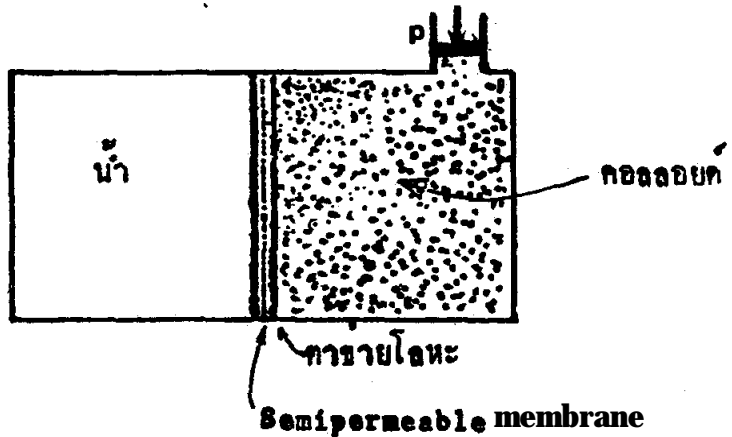
ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่า Ψ_m ของ matrix ชนิดหนึ่งอาจจะเปลี่ยนค่าได้ตามสภาพแวดล้อมของมัน เมื่อ matrix แห้งจะมีค่า Ψ_m ต่ำสุด เมื่อมีน้ำมาเกาะ Ψ_m จะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมื่อ matrix อิ่มตัวด้วยน้ำ Ψ_m จะมีค่าสูงสุด

3. การหาค่า Ψ_m ของ matrix

การหาค่า Ψ_m ของ matrix แต่ละชนิดอาจทำได้หลายวิธี อาทิเช่น การหาค่าของ Ψ_m โดยใช้ matrix แห้งใส่ลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นต่างกัน เริ่มต้นด้วยการนำ matrix ใส่ลงในสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อย แล้วค่อยเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง matrix ไม่สามารถจะดูดน้ำจากสารละลายได้ที่จุด ๆ นี้จะเกิดความสมดุลขึ้นในระบบ และเราก็จะได้ค่า Ψ_m ที่ต่ำสุด

$$\Psi_m = \Psi_{\eta} \text{ ของสารละลาย}$$

C.A. Shull (1916) ได้หาค่า Ψ_m ของผลวิจัยชนิดหนึ่งมีชื่อว่า Cobk-lebur โดยใช้วิธีดังกล่าวมาแล้ว และได้พบว่าสารละลายอิ่มตัว Lithium สามารถป้องกันผลวิจัยแห้งมิให้ดูดน้ำจากสารละลาย สารละลายอิ่มตัวของ lithium มีค่า $\Psi_{\eta} = -1,000$ bars ดังนั้นค่า Ψ_m ของผลวิจัยแห้งชนิดดังกล่าวมีค่าเท่ากับ $-1,000$ bars ด้วย



รูปที่ 1 แสดงการหาค่า matrix potential ของคอลลอยด์

อีกวิธีหนึ่งอาจทำได้โดยนำ colloid ใสลงไปในน้ำที่อยู่ในภาชนะโดยมี membrane ขัดกั้นกัน colloid นี้ยอมให้น้ำผ่านได้ แต่ไม่ยอมให้ colloid ผ่าน ภาชนะด้านที่มี colloid มีทางที่อัดอากาศเข้าได้ และส่วนอื่นของภาชนะด้านที่มี colloid อยู่ปิดทึบ เนื่องจากทางด้านที่มี colloid อยู่จะต้องใส่แรงอัดเข้า จึงต้องมีตะแกรงละเอียด ที่ทนต่อแรงอัดสูงกันต่อจาก membrane อีกชั้นหนึ่งเพื่อป้องกัน colloid ให้อยู่ในตำแหน่งเดิม ตลอดเวลา อีกอย่างหนึ่งของ membrane ใส่น้ำบริสุทธิ์ความดัน 1 บรรยากาศ, จากระบบ ดังกล่าว ของน้ำบริสุทธิ์มีความดันหนึ่งบรรยากาศจะมีค่าเท่ากับ 0

เริ่มอัดอากาศเข้าในระบบเรื่อย ๆ อากาศที่อัดเข้าไปจะทำให้ค่า Ψ ของด้าน ที่มี colloid สูงขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งน้ำจาก colloid ผ่านเข้าไปสู่น้ำบริสุทธิ์ (เมื่อ Ψ ของด้านที่มี colloid เริ่มจะมีค่าเป็นบวก) ถ้าเราเพิ่มความดันเข้าไปในภาชนะชั้นในระบบ จะได้

$$\Psi_i \text{ ของด้านที่มี colloid} = \Psi \text{ ของน้ำบริสุทธิ์}$$

นั่นคือ

$$\begin{aligned}\Psi_P + \Psi_m &= 0 \\ \Psi_P &= -\Psi_m\end{aligned}$$

เราทราบความดันที่ไ้จากเครื่องวัดความดันที่ติดอยู่กับเครื่องกำเนิด ความดัน ซึ่งมีค่าเป็นบวก จากสมการ $\Psi_P = -\Psi_m$ เราจะทราบค่าของ Ψ_m มีค่าเท่ากับ Ψ_P แต่มีเครื่องหมายลบนั้นคือเราสามารถหาค่า Ψ_m ของ colloid ได้ซึ่งมีค่าเป็นลบ

4. ลักษณะที่สำคัญของการเกิด imbibition

Imbibition มีลักษณะที่สำคัญ 3 ประการ ซึ่งทำให้เราสามารถเข้าใจ การเกิด imbibition ได้ดีขึ้น ลักษณะดังกล่าวมีดังต่อไปนี้

4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตร

เมื่อเกิด imbibition ขึ้นสารที่ดูดน้ำจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ในเรื่องนี้ถ้าเราพิจารณาในระดับโมเลกุลของสารจะเห็นได้ไม่ชัดเจนนัก แต่ถ้าเราพิจารณาในระดับของสาร ทั้งก้อน จะเห็นว่าสารที่ดูดน้ำจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของน้ำได้แทรกเข้า อยู่ในระหว่างโมเลกุลของสารที่ดูดน้ำนั่นเอง ทั้ง ๆ ที่สารที่ดูดน้ำมีปริมาตรเพิ่มขึ้น แต่ปริมาตร ทั้งหมด (ปริมาตรของสารที่ดูดน้ำรวมกับปริมาตรของน้ำ) จะลดลง ในเรื่องนี้ถ้าเราวัด ปริมาตรทั้งหมดอย่างละเอียดจะพบว่า ปริมาตรทั้งหมดก่อนการเกิด imbibition จะมากกว่าปริมาตรทั้งหมดหลังการเกิด imbibition ทั้งนี้เพราะโมเลกุลของน้ำจะอยู่กันอย่าง หลวม ๆ ในน้ำ แต่เมื่อแทรกเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลของสารที่ดูดน้ำแล้ว โมเลกุลของน้ำ จะอัดตัวกันแน่น นอกจากนี้ยังมีนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ให้ความเห็นเกี่ยวกับเรื่อง การเพิ่ม ปริมาตรของสารที่ดูดน้ำว่า อาจเกิดขึ้นจากโมเลกุลของน้ำที่เข้าไปอยู่ในสารดูดน้ำกลายเป็น น้ำแข็ง ทำให้เกิดการขยายตัวของสารดูดน้ำขึ้น (ดูเรื่องคุณสมบัติของน้ำประกอบ) แต่ใน เรื่องยังเป็นปัญหาอยู่

4.2 การเกิดความร้อน

ขณะที่น้ำอยู่ในสารดูดน้ำ น้ำจะสูญเสียพลังงานไคเนติก (kinetic energy)

ซึ่งมีผลทำให้น้ำเคลื่อนที่ได้น้อยลง พลังงานที่น้ำสูญเสียจะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นนี้มีชื่อเรียกว่า heat of hydration ซึ่งค่าเท่ากับความร้อนแฝงของน้ำที่ใช้ในการเปลี่ยนน้ำให้เป็นน้ำแข็ง (เท่ากับ 80 แคลอรีต่อกรัม) ในการเกิด imbibition จะมีความร้อนเกิดขึ้นในระยะแรก ความร้อนนี้เกิดขึ้นจากการที่โมเลกุลของน้ำเข้าไปใกล้ matrix และยึดติดกับ matrix

4.3 การเกิดความดัน

ถ้า imbibition เกิดขึ้นในภาชนะที่ปิด จะเกิดแรงดันขึ้นมากมาย สมมุติว่า เมล็ดพืชแห้งใส่ลงในน้ำที่ในขวดแก้วขวงแล้วปิดฝาขวดให้แน่น ปล่อยให้เมล็ดดูดน้ำ ความดันที่เกิดขึ้นอาจทำให้หลอดแก้วแตกได้ ความดันดังกล่าวอาจคำนวณได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\Psi &= \Psi_P + \Psi_m \\ Y &= 0 \quad (\Psi \text{ ของน้ำบริสุทธิ์}) \\ Y_m &= -1,000 \text{ bars} \quad (\Psi_m \text{ ของเมล็ด}) \\ \Psi_P &= -\Psi_m \\ &= -(-1,000) \\ &= 1,000 \text{ bars}\end{aligned}$$

หลังจากที่เมล็ดแห้งอืดตัวในน้ำบริสุทธิ์ในขวดแก้วที่มีฝาปิด จะมี pressure potential เกิดขึ้นถึง 1,000 bars ถ้าขวดแก้วสามารถทนแรงอัดได้ต่ำกว่า 1,000 bar ขวดแก้วนั้นก็แตก

แต่ถ้าเราใส่สารละลายที่มี Ψ_{π} เท่ากับ -600 bar และใส่เมล็ดพืชชนิดเค็มลงในขวดแล้วปิดฝาขวดให้สนิท ถ้าขวดสามารถทนต่อแรงอัดได้ 500 bar ขวดจะไม่แตก ดังที่จะคำนวณต่อไปนี้

$$\begin{aligned}\text{จากสูตร} \quad \Psi &= \Psi_{\pi} + \Psi_P \\ \Psi \text{ ของสารละลาย} &= (-600) + 0 \\ &= -600 \text{ bar}\end{aligned}$$

และจากสูตร $\Psi_i = \Psi_m + \Psi_p$

ขณะที่ เมล็ดอยู่ในสารละลาย เมล็ดจะดูดน้ำจนกระทั่ง เมล็ดอยู่ในสภาพสมดุลย์ในสภาพสมดุลย์ในสารละลาย

ขณะที่เกิดสภาพสมดุลย์

$$\Psi_i = \Psi \text{ ของสารละลาย } \underline{\hspace{10em}} \quad (3)$$

แทนค่า Ψ_i และ Ψ ของสารละลายในสมการที่ (3)

จะได้

$$\Psi_m + \Psi_p = -500 \text{ bar}$$

แต่

$$\Psi_m = -1,000 \text{ bar}$$

$$\Psi_p = +1,000 - 600 \text{ bar}$$

$$\Psi_p = +400 \text{ bar}$$

ขณะที่เกิดสภาพสมดุลย์ขึ้นจะมีแรงอัด เกิดขึ้นภายในขวดแก้วบิดฝา 400 bar

แต่ขวดแก้วสามารถทนต่อแรงอัดได้ถึง 500 bar ดังนั้นขวดแก้วจึงไม่แตก

5. Imbibition ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ

สิ่งที่มีชีวิตมีสารหลายชนิดที่มีผิวเป็น matrix สามารถดูดน้ำได้ สารเหล่านี้ ได้แก่ โปรตีนชนิดต่าง ๆ เซลลูโลสที่เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของผนังเซลล์ สารที่ได้อีกมา แล้วเมื่อถูกกับน้ำจะมีแรงดึงน้ำให้อยู่ใกล้กับตัว ทำให้น้ำมีพลังงานโคเนติคอลลง ซึ่งมีผลทำให้ Ψ ของสารละลายในเซลล์ลดลง ด้วยเหตุนี้เซลล์ที่มีสารโปรตีนและเซลลูโลสในปริมาณสูงจึงสามารถดูดน้ำได้ดี เช่น เซลล์ meristem เป็นเซลล์ที่มีสารโปรตีนอยู่มาก จึงดูดน้ำได้ดีกว่าเซลล์อื่น ๆ ด้วยเหตุนี้ meristematic cell จึงอมน้ำอยู่เสมอ เมล็ดพืชก็เช่นกันมีสารโปรตีนและเซลลูโลสมากจึงดูดน้ำได้ดี เมื่อเรานำเมล็ดพืชแห้งไปเพาะ เมล็ดพืชจะดูดน้ำเข้าไปในเมล็ดก่อน ระหว่างที่เมล็ดดูดน้ำเข้าไปในนั้นจะเกิดแรงดันหรือแรงอัดขึ้นภายในเมล็ด ทำให้เปลือกเมล็ดแตกออก ในกรณีที่เมล็ดอยู่ในที่ที่ปิดมิดชิด แรงอัดที่เกิดมาก

ขึ้นอาจทำให้สิ่งที่ยกมิดเมล็ดอยู่นั้นอาจแตกראวได้ ตัวอย่างในเรื่องนี้อาจเห็นได้จากเมล็ดหญ้า
แห้งที่อยู่ได้อย่างชะคอยที่ไม่หนานัก สามารถจะงอกโผล่ขึ้นมาบนถนนได้ ถ้าได้ถนนที่น้ำผ่าน เข้า
ไปถึง อีกตัวอย่างหนึ่งที่ขึ้นในธรรมชาติคือ เม็ดดินสามารถดูดน้ำได้ ที่ผิวของเม็ดดินเป็น
matrix เพราะฉะนั้นเวลาเราราคน้ำลงไปบนดิน น้ำจะติดอยู่ที่ผิวของเม็ดดินอื่นต่อไป