บทที่ 2
DIFFUSION

DIFFUSION

1. INTRODUCTION.

โมเลกุลของสารทุกชนิดมีการเคลื่อนที่ ณ ที่อุณหภูมิปกติ แต่ลักษณะการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน โมเลกุลของแก๊สจะเคลื่อนที่แบบหมุนเป็นวง (rotation) หรือไม่ก็เคลื่อนที่เป็นแบบสั่นขึ้นลง (vibration) การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สและของเหลวจะทำให้โมเลกุลของสารทั้งสองประเภทเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งได้ สำหรับโมเลกุลของของแข็งจะมีการเคลื่อนที่แบบสั่นเช่นเดียวกัน แต่หลังจากสั่นแล้วโมเลกุลมักจะอยู่กับที่ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ของแข็งอยู่ในสภาพที่เปลี่ยนรูปร่างได้ยาก

นักศึกษาคงได้เคยเห็นหรือทราบเรื่องราวเกี่ยวกับการแพร่กระจาย (diffusion) ของสารชนิดต่าง ๆ มาบ้างแล้ว เพื่อความเข้าใจดียิ่งขึ้น ขอยกตัวอย่างการแพร่กระจายของสารที่เราพบเห็นในชีวิตประจำวันสัก 2-3 ตัวอย่าง เวลาเราชงน้ำชา เราจะต้องใส่น้ำตาลลงในน้ำชา ถ้าปล่อยให้น้ำตาลที่นอนอยู่กันถ้วยค่อยละลายโดยที่เราไม่คน ชั่วระยะเวลาหนึ่ง เรายกถ้วยชาขึ้นดื่มเราจะพบว่าน้ำชามีรสหวาน แสดงให้เห็นว่าน้ำตาลมีการแพร่กระจายจากก้นถ้วยขึ้นมาข้างบน ทำให้น้ำชาข้างบนมีรสหวานจากตัวอย่างนี้เราไม่สามารถเห็นการแพร่กระจายของน้ำตาลได้ชัดเจนนัก แต่เราพอจะทราบได้จากรสหวานของน้ำชาว่าน้ำตาลมีการแพร่กระจายในน้ำชา ตัวอย่างต่อไปจะเห็นการแพร่กระจายของสารได้ดียิ่งขึ้น ถ้าเราเอาด่างทับทิม 2-3 เกล็ดใส่ลงในน้ำที่อยู่ในแก้วใส เราจะเห็นว่าน้ำข้างบนค่อย ๆ เปลี่ยนสีเป็นสีแดง และในเวลาต่อมาน้ำในแก้วทั้งหมดจะมีสีแดงเท่ากันหมด หรือในเวลาที่คุณผู้หญิงแต่งตัวถ้าเธอใช้น้ำหอม หลังจากที่เธอเปิดจุกขวดน้ำหอม เธอจะได้กลิ่นน้ำหอม เหล่านี้เป็นปรากฏการณ์การแพร่กระจายของสารทั้งสิ้น

2. DIFFUSION.

หลังจากที่เราพอจะทราบตัวอย่างการแพร่กระจายมาแล้ว ต่อไปเราจะให้

ความหมายของการแพร่กระจายและเราจะทราบว่าการแพร่กระจายเกิดขึ้นได้อย่างไร

2.1 Diffusion : Definition.

การแพร่กระจายคือการเคลื่อนที่ของสารชนิดหนึ่งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เนื่องจากสารชนิดนั้นหรืออนุภาคของสารชนิดนั้นมีความสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ การแพร่กระจายเกิดขึ้นได้ในสารทั้งสามสถานะ ดังตัวอย่างในตาราง

	การแพร่กระจาย	ตัวอย่าง
1	แก๊สเข้าไปในแก๊ส	แอมโมเนียแพร่เข้าไปในอากาศ
2	แก๊สเข้าไปในของเหลว	อากาศเข้าไปในน้ำสบู่ทำให้น้ำสบู่เป็นฟอง
3	ของเหลวเข้าไปในแก๊ส	การระเหยน้ำเข้าไปในอากาศ ไอน้ำรวมตัวกันเป็นก้อนเมฆ
4	ของเหลวเข้าไปในของเหลว	แอลกอฮอล์เข้าไปในน้ำ
5	ของเหลวเข้าไปในสารกึ่งของแข็ง	สารละลายโปแตสเซียมเข้าไปในวุ้นที่แข็งตัว
6	ของแข็งเข้าไปในแก๊ส	เขม่าไฟแพร่เข้าไปในอากาศเกิดเป็นควัน
7	ของแข็งเข้าไปในของเหลว	ด่างทับทิมแพร่เข้าไปในอากาศ
8	ของแข็งไปในของแข็ง	ถ้าเรานำแท่งทองแดงมาสัมผัสกับแท่งสังกะสี ทองแดงจะแพร่เข้าไปในสังกะสีและสังกะสีก็จะแพร่เข้าไปในทองแดง แต่ต้องใช้เวลานานมาก

2.2 Diffusion : How to Occur

จากกฎข้อที่สามของ Law of thermodynamics ว่า "ที่อุณหภูมิ 0 องศาเคลวิน (absolute zero = $-273^{o}C$) สารส่วนมากจะหยุดการเคลื่อนที่" จากกฎนี้เราอาจขยายความได้ว่า ที่อุณหภูมิสูงกว่า $-273^{o}C$ ส่วนประกอบของสารจะมีการเคลื่อนที่หรือที่อุณหภูมิปกติสารต่าง ๆ จะเคลื่อนที่ได้ การที่สารเคลื่อนที่ได้เนื่องจากสารเหล่านั้นมีพลังงานอยู่ในตัวเอง พลังงานนี้เรียกว่า พลังงานอิสระ (อ่านรายละเอียดเกี่ยวกับพลังงานอิสระในเรื่องอ๊อสโมซีส) พลังงานอิสระของสารจะเปลี่ยนเป็น kinetic energy ซึ่งสามารถทำให้สารหรือส่วนประกอบของสารมีการเคลื่อนไหวได้ สารใดที่มีพลังงานอิสระสูงสารนั้นจะพยายามลดหรือเฉลี่ยพลังงานอิสระไปบริเวณอื่นที่อยู่ใกล้เคียง โดยการเคลื่อนที่หรือโดยวิธีการอื่น ๆ จนกระทั่งพลังงานอิสระของสารนั้นเท่ากันโดยตลอด ตราบใดที่พลังงานอิสระของสารชนิดหนึ่งยังมีความแตกต่างกันในที่สองแห่งที่อยู่ติดกัน สารนั้นก็ยังมีการเคลื่อนที่อย่างอิสระเพื่อให้พลังงานของสารในที่สองที่นั้นไม่แตกต่างกันทั้งนี้จะต้องไม่มีสิ่งต่าง ๆ มากีดขวางการเคลื่อนที่ของสาร เมื่อมาถึงตรงนี้อาจพูดในรูปของ chemical potential ของสารได้ (ดูเรื่องอ๊อสโมซีสประกอบ) ดังนั้นจึงสรุปได้อีกอย่างหนึ่งว่า การแพร่กระจายของสารอาจเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของพลังงานอิสระหรือ chemical potential ของสาร โดยการแพร่กระจายจะเกิดจากการที่ที่มีพลังงานอิสระสูงไปสู่ที่ที่มีพลังงานอิสระต่ำกว่าและไม่คำนึงถึงว่าพลังงานอิสระเหล่านั้นจะได้มาจากที่ใด (อ่านหัวข้อต่อไป) จากข้อความข้างบนเราอาจเขียนสรุปได้ดังนี้ การแพร่กระจายของสารคือการเคลื่อนที่ของสารหรือโมเลกุลของสารหรือโมเลกุลของสารจากที่ที่สารมีพลังงานอิสระหรือ chemical potential สูงไปสู่ที่ที่สารมีพลังงานอิสระหรือ chemical potential ต่ำกว่า

3. FREE ENERGY SOURCES

นอกจากสารชนิดต่าง ๆ จะมีพลังงานอิสระอยู่ในตัวเองแล้ว พลังงานอิสระอาจเกิดจากสิ่งอื่น ๆ ได้อีกด้วย ซึ่งมีผลทำให้ความแตกต่างของพลังงานอิสระของสารในที่

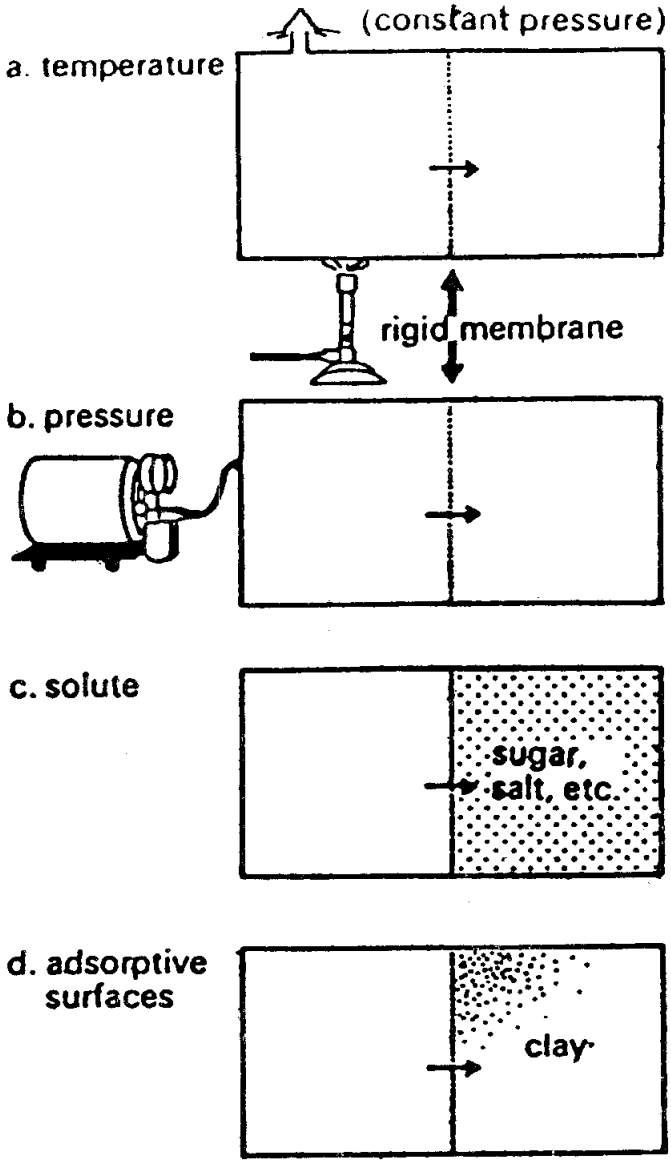
ส่องแห่งเปลี่ยนค่าไป เพื่อให้ความเข้าใจเรื่องนี้ดียิ่ง เราจะยกตัวอย่างเรื่องพลังงานอิสระของน้ำ แต่หลักการที่เราได้ศึกษาเกี่ยวกับสิ่งต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดความแตกต่างพลังงานอิสระของน้ำสามารถนำไปใช้กับสารชนิดอื่น ๆ ได้เช่นเดียวกัน สิ่งที่ทำให้น้ำมีพลังงานอิสระเปลี่ยนไปจากเดิมได้แก่ อุณหภูมิ, ความดัน สารที่ละลายอยู่ในน้ำ และสารที่ดูดซับ (adsorp) น้ำ ก่อนที่เราจะทราบรายละเอียดในเรื่องนี้ ขอให้เราสมมุติว่ามีถังน้ำบรรจุน้ำเต็มใบหนึ่ง ถังใบนี้มีความแข็งแรงมาก และตรงกลางถังมีผนังกั้นเป็นผนังที่มีความแข็งแรง (ดังรูปที่ 2.1) และผนังนี้ยอมให้น้ำผ่านได้เพียงอย่างเดียว ไม่ยอมให้สารอื่นผ่านเข้าออก ถ้าถังน้ำมีอยู่เต็มน้ำจะเคลื่อนที่เข้าออกผ่านผนังกั้นตลอดเวลา และปริมาณที่น้ำเคลื่อนที่ผ่านผนังเข้าและออกนั้นเท่ากัน

3.1 Temperature

สมมุติว่าเราให้ความร้อนแก่น้ำในถังข้างหนึ่ง อุณหภูมิของน้ำในถังข้างที่ได้รับความร้อนจะสูงขึ้นกว่าเดิม และสูงกว่าน้ำในถังอีกข้างหนึ่ง การที่น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้พลังงานอิสระของน้ำสูงขึ้นด้วย ดังนั้นน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่าจึงเคลื่อนที่หรือแพร่กระจายไปสู่น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า สำหรับในต้นพืชการเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง หรือจากเซลหนึ่งไปสู่อีกเซลหนึ่งก็อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิในที่สองแห่งไม่เท่ากันได้เช่นเดียวกับตัวอย่างที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามการเคลื่อนที่ของน้ำเนื่องจากอุณหภูมิของที่สองแห่งต่างกันจะหยุดลง เมื่ออุณหภูมิของที่สองแห่งนั้นเท่ากัน

3.2 Pressure

ถ้าเราเพิ่มความดันให้น้ำในถังข้างหนึ่งจะทำให้ความดันของน้ำในถังข้างนั้นสูงกว่าอีกข้างหนึ่ง ความดันที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้พลังงานอิสระของน้ำเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นน้ำที่มีแรงดันสูงจะเคลื่อนที่หรือแพร่กระจายผ่านผนังไปสู่น้ำที่มีแรงดันต่ำกว่า ในทำนองเดียวกันนี้ความดันที่เกิดขึ้นในเซลหนึ่งสามารถทำให้น้ำในเซลนั้นเคลื่อนที่ผ่านผนังเซลไปสู่เซลที่อยู่ข้างเคียงที่มีความดันต่ำกว่าได้เหมือนกัน



รูปที่ 1 แสดงปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่กระจายของน้ำ

3.3 Presence of Dissolved Solutes

ถ้าเราเติมน้ำตาลหรือตัวละลาย (solute) ชนิดอื่น ๆ ลงไปในน้ำในถัง ข้างหนึ่งจะพบว่าน้ำในถังอีกข้างหนึ่งจะเคลื่อนที่หรือแพร่กระจายไปสู่น้ำที่มีตัวละลาย ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าตัวละลายที่ใส่ลงไปจะทำปฏิกริยากับน้ำ ทำให้พลังงานอิสระของน้ำมีค่าลด

จึงเกิดความแตกต่างระหว่างพลังงานอิสระของน้ำทั้งสองข้างนี้ น้ำที่มีพลังงานอิสระสูงกว่าจึงเคลื่อนที่ไปสู่น้ำที่มีพลังงานอิสระต่ำกว่า ในกรณีที่มีปฏิกริยาระหว่างน้ำ (solvent) กับตัวละลาย ชนิดของตัวละลายมีความสำคัญต่อพลังงานอิสระของน้ำเป็นอันมาก เพราะตัวละลายแต่ละชนิดทำให้พลังงานอิสระของน้ำลดลงได้ต่างกัน สำหรับในกรณีที่ตัวละลายไม่มีปฏิกริยากับน้ำ พลังงานอิสระของน้ำจะไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวละลาย แต่พลังงงานอิสระของน้ำจะไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวละลาย แต่พลังงานอิสระของน้ำจะขึ้นอยู่กับ mole fraction ของน้ำในสารละลาย ค่าของ mole fractionของน้ำ (solvent) ในสารละลายหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$\text{Mole fraction of solvent} = \frac{\text{Moles of Solvent}}{\text{Moles of solvent + Moles of solute}}$$

จากสูตรนี้ ถ้า solvent เป็นน้ำเราจะได้ว่าสารละลายใดที่มี mole fraction ของน้ำต่ำสารละลายนั้นมีแนวโน้มที่มีความเข้มข้นสูง และสารละลายใดที่มี mole fractionของน้ำสูง สารละลายนั้นมีแนวโน้มที่จะมีความเข้มข้นต่ำ ถ้า mole fraction ของสารใด (อาจจะเป็นตัวละลายสูง สารนั้นจะมีพลังงานอิสระต่ำด้วย ดังนั้นถ้าเกิดจากการแพร่กระจายของสารหนึ่งขึ้น สารนั้นก็จะแพร่กระจายจากที่ที่มี mole fraction สูงไปสู่ที่ที่มี mole fraction ต่ำ

3.4 Adsorption

ถ้าเราใส่ดินผงลงไปในน้ำในถังข้างหนึ่ง เราจะพบว่าน้ำจากถังอีกข้างหนึ่งจะเคลื่อนเข้าสู่น้ำที่เราใส่ดินลงไป ทั้งนี้เพราะดินผงที่เราใส่ลงไปในน้ำจะทำให้พลังงานอิสระของน้ำลดลงจากเดิม ดังนั้นจึงเกิดความแตกต่างของพลังงานอิสระของน้ำทั้งสองข้างนี้ น้ำจึงเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง ในธรรมชาติมีสารชนิดที่ดูดน้ำได้อาทิเช่น โปรตีน เซลยูโลส์, แป้ง ฯลฯ สารเหล่านี้จึงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการแพร่กระจายของน้ำจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง

4. FACTORS AFFECTING THE RATE OF DIFFUSION

การแพร่กระจายของสารเกิดขึ้นได้เนื่องจากมีความแตกต่างระหว่างพลังงานอิสระของสารในที่ส่องแห่งที่ติดต่อกัน ส่วนอัตราการแพร่กระจายของสารนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ หลายชนิด ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความเร็วของการแพร่กระจายของสารมีดังนี้คือ

4.1 Steepness of The Free Energy Gradient

ความแตกต่างระหว่างพลังงานอิสระของสารในที่ส่องแห่งทำให้สารแพร่กระจายจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง ถ้าความแตกต่างดังกล่าวยิ่งสูงมากขึ้นเท่าใดยิ่งจะทำให้การแพร่กระจายเกิดขึ้นได้เร็วมากขึ้น การแพร่กระจายของสารในที่จำกัดมักจะเริ่มด้วยอัตราเร็วที่สุดและอัตราการแพร่กระจายจะค่อย ๆ ลดลงในเวลาต่อมา เมื่อเกิดสภาพสมดุลย์พลังงานอิสระของสารในแต่ละจุดจะมีค่าคงที่

4.2 Kinds of Medium

ตัวกลางชนิดต่าง ๆ ที่ยอมให้สารแพร่กระจายยอมให้สารแพร่กระจายได้ต่างกัน ตัวกลางที่เป็นแก๊สจะยอมให้สารแพร่กระจายได้ง่ายกว่าตัวกลางที่เป็นของเหลว ตัวกลางที่เป็นของเหลวจะยอมให้สารผ่านได้ดีกว่าตัวกลางที่เป็นของแข็ง ดังนั้นสารชนิดหนึ่งจะแพร่กระจายเข้าไปในแก๊สในอัตราเร็วที่สูงกว่าสารชนิดนั้นจะแพร่กระจายเข้าไปในของเหลวและสารที่แพร่กระจายไปในตัวกลางที่เป็นของเหลวได้ดีกว่าของแข็ง

4.3 Temperature

อัตราการแพร่กระจายของสารขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูง สารจะเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้น ทั้งนี้เพราะความร้อนที่สารได้รับ ทำให้พลังงานอิสระเพิ่มขึ้น ตามปกติการเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้โมเลกุลของสารแพร่กระจายได้เร็วขึ้น แต่ในบางครั้งอุณหภูมิจะทำให้โมเลกุลของสารแพร่กระจายได้เร็วขึ้น แต่ในบางครั้งอุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้สภาพของสารเปลี่ยนไป ซึ่งอาจจะมีผลทำให้การแพร่กระจายเกิดขึ้นไว้ได้เร็วตามที่คาดไว้

4.4 Size of The Diffusing Particles

อัตราการแพร่กระจายของสารขึ้นอยู่กับขนาดของโมเลกุล หรืออนุภาคของ

สาร สารหรืออนุภาคของสารที่มีขนาดเล็กมีแนวโน้มจะแพร่กระจายได้ดีกว่า สารหรืออนุภาคของสารที่มีขนาดใหญ่ กรณีนี้จะเป็นจริงได้ก็ต่อเมื่อปัจจัยอย่างอื่นเหมือนกัน

4.5 Density of Diffusing Molecules

สารที่มีความหนาแน่นสูงมักจะแพร่กระจายได้ต่ำกว่าสารที่มีความหนาแน่นต่ำ Graham ได้กล่าวว่า "อัตราการแพร่กระจายของสารชนิดหนึ่งชนิดใดเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับรากที่สองของความหนาแน่นของสารนั้น" ซึ่งอาจเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$r \propto \frac{1}{\sqrt{\text{DENSITY}}} \qquad \text{----------(1)}$$

สารที่มีความหนาแน่นสูงจะมีน้ำหนักโมเลกุลสูงด้วยดังนั้น อัตราการแพร่กระจาย ของสารชนิดใดจึงเป็นปฏิภาคส่วนกลับกับรากที่สองของน้ำหนักโมเลกุลของสารนั้นด้วย ซึ่งอาจเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$r \quad \frac{1}{\sqrt{\text{Mol. wt.}}} \qquad \text{----------(2)}$$

จากสูตรที่ 1-2 เราไม่สามารถหาค่าอัตราการแพร่กระจายของสารแต่ละชนิดได้แน่ชัด เพราะเราไม่ทราบค่าคงที่ของแต่ละสูตร แต่เราสามารถนำสูตรทั้งสองหรือสูตรใดสูตรหนึ่งมาหาสัดส่วนของการแพร่กระจายของสารสองชนิด (โดยเฉพาะอย่างยิ่งแก๊สสองชนิด) ได้ ตัวอย่างเช่นเราต้องการทราบว่าการแพร่กระจายแก๊สออกซิเจนกับแก๊สไฮโดรเจนว่าจะเป็นสัดส่วนกันเท่าใด ถ้าสมมุติให้ r_1 เป็นอัตราความเร็วการแพร่กระจายของแก๊สออกซิเจน mol. wt._1 เป็นน้ำหนักโมเลกุลของแก๊สออกซิเจน และ r_2, mol. wt._2 เป็นอัตราเร็วของการแพร่กระจายและน้ำหนักโมเลกุลของแก๊สไฮโดรเจนตามลำดับ เราได้

$$r_1 = K \frac{1}{\sqrt{\text{Mol. wt.}_1}}$$

$$r_2 = K \frac{1}{\sqrt{\text{Mol. wt.}_2}}$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{K\sqrt{\text{Mol. wt.}_2}}{K\sqrt{\text{Mol. wt.}_1}} \text{ ----------(3)}$$

จากสมการที่สาม ถ้าเราแทนค่าน้ำหนักโมเลกุลของออกซิเจนกับน้ำหนักโมเลกุลของไฮโดรเจน เราก็จะได้สัดส่วนการแพร่กระจายของแก๊สทั้งสองชนิดดังนี้

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{K\sqrt{2 \times 1}}{K\sqrt{2 \times 16}}$$

หรือ $r_1 : r_2 = 1 : 4$

เพราะฉะนั้นสรุปได้ว่าอัตราการแพร่กระจายของแก๊สไฮโดรเจนสูงเป็น 4 เท่า ของอัตราการแพร่กระจายของแก๊สออกซิเจน

ดังนั้นในการที่เราจะเปรียบเทียบอัตราการแพร่กระจายของสาร 2 ชนิด เราอาจใช้สูตรต่อไปนี้ในการคำนวณได้

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{d_2}}{\sqrt{d_1}} \text{ ----------(4)}$$

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\sqrt{\text{Mol. wt.}_2}}{\sqrt{\text{Mol. wt.}_1}} \text{ ----------(5)}$$

r_1 = อัตราเร็วการแพร่กระจายของสารชนิดที่หนึ่ง

d_1 = ความหนาแน่นของสารชนิดที่หนึ่ง

Mol. wt._1 = น้ำหนักโมเลกุลของสารชนิดที่หนึ่ง

r_2 = อัตราเร็วการแพร่กระจายของสารชนิดที่สอง

d_2 = ความหนาแน่นของสารชนิดที่สอง

Mol. wt._2 = น้ำหนักโมเลกุลของสารชนิดที่สอง

5. DIFFUSION OF GAS IN PLANTS

กลุ่มเซลของพืชมักจะมีช่องว่างระหว่างเซล (intercellular space) โดยทั่วไปช่องว่างระหว่างเซลนี้มักจะมีแก๊สชนิดต่าง ๆ (อากาศ) อยู่เต็ม ช่องระหว่างเซลแต่ช่องมิได้อยู่อย่างโดดเดี่ยว แต่มีการเชื่อมกันเป็นระบบ มีการแพร่กระจายของแก๊สในแต่ละช่องเข้าหากันได้ และแก๊สจากช่องว่างระหว่างเซลภายในเนื้อเยื่อของพืชสามารถถ่ายเทเข้าออกกับอากาศภายนอกต้นพืชได้เช่นเดียวกัน ทางที่จะถ่ายเทอากาศภายในต้นพืชกับภายนอกต้นพืชคือ stomate และ lenticel เป็นต้น ระบบการแพร่กระจายของแก๊สระหว่างเซลนี้จะนำออกซิเจนจากภายนอกเข้าสู่เซลต่าง ๆ ภายในต้นพืช เพื่อใช้ในขบวนการหายใจและจะนำคาร์บอนไดออกไซด์จากเซลภายในต้นพืชออกมาภายนอก นอกจากนี้ระบบการแพร่กระจายยังนำคาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในเซลที่มีการสังเคราะห์แสงและนำออกซิเจนที่เป็นผลพลอยได้จากขบวนการออกมานอกต้นพืชอีกด้วย

ในเวลากลางวัน ถ้ามีแสง แดดดี และอุณหภูมิพอเหมาะขบวนการสังเคราะห์แสงจะเกิดขึ้นได้ดีมากกว่าขบวนการหายใจ ดังนั้นภายในเซลจึงมีออกซิเจนเกิดขึ้นมากด้วย โดยเฉพาะเซลของใบทำให้ออกซิเจนภายในใบจึงมีสัดส่วนของอากาศในใบ (mole fraction) สูงกว่าภายนอกใบ ดังนั้นจึงเกิดการแพร่กระจายของออกซิเจนออกมาข้างนอกใบ ส่วนคาร์บอนไดออกไซด์ภายในใบจะมี mole fraction ต่ำกว่าอากาศภายนอก ดังนั้นในเวลานี้คาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศภายนอกจึงแพร่กระจายเข้ามาในใบ สำหรับในเวลากลางคืนเซลทุกเซลภายในต้นพืชยังคงมีการหายใจอยู่ แต่ไม่มีการสังเคราะห์แสงออกซิเจนภายในต้นพืชจึงมี mole fractionต่ำกว่าอากาศภายนอก แก๊สออกซิเจนภายนอกจึงแพร่กระจายเข้าในต้นพืช และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ภายในต้นพืชเกิดขึ้นเรื่อย ๆ และมี mole fraction สูงกว่าอากาศภายนอก, คาร์บอนไดออกไซด์จากภายในต้นพืชจึงแพร่กระจายออกสู่อากาศภายนอกต้นพืช