บทที่ 5
แก๊ส

ปกติแล้วภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องและความดันบรรยากาศปกติ ธาตุและสารประกอบหลายชนิดจะมีสถานะแตกต่างกัน เช่น คลอรีนอยู่ในถานะแก๊ส โบรมีนอยู่ในสถานะของเหลว และไอโอดีนอยู่ในสถานะของแข็ง แม้จะเป็นสารประกอบชนิดเดียวกัน หากอุณหภูมิและความดันเกิดการเปลี่ยนแปลงไป สถานะของสารก็เกิดการเปลี่ยนแปลงด้วย โดยสถานะของสารแบ่งออกเป็น 3 สถานะ ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในบทนี้จะกล่าวถึงสถานะแก๊สก่อน โดยแก๊สมีลักษณะที่แตกต่างจากของแข็งและของเหลวเนื่องจากแก๊สมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อยมากจึงทำให้แก๊สเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ นอกจากนี้แก๊สยังมีรูปร่างและปริมาตรที่ไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ ซึ่งความดันและอุณหภูมิมีผลโดยตรงต่อปริมาตรของแก๊ส ดังนั้น ปริมาตรของแก๊สต้องมีการระบุอุณหภูมิและความดันเสมอ ในบทนี้จะอธิบายถึงสมบัติของแก๊ส หน่วยปริมาตร อุณหภูมิ และความดัน กฎของแก๊ส แก๊สอุดมคติ กฎความดันย่อยของดอลตัน ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส และการเบี่ยงเบนจากพฤติกรรมอุดมคติ

สมบัติของแก๊ส (Properties of gas)

ธาตุที่เป็นแก๊สภายใต้สภาวะบรรยากาศปกติอาจจะอยู่ในรูปโมเลกุลชนิด 2 อะตอม เช่น N_2 O_2 H_2 เป็นต้น แต่ธาตุบางชนิดเมื่ออยู่ในสถานะแก๊สในหมู่ 8A เป็นแก๊สเฉื่อย เป็นแก๊สชนิดอะตอมเดี่ยว เช่น He Ne Ar เป็นต้น (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 162-164) ตารางที่ 5.1 แสดงสมบัติของแก๊สบางชนิด โดยแก๊สบางชนิดไม่มีสี แต่บางชนิดมีสี เช่น Cl_2 สีเหลืองตอง NO_2 สีน้ำตาลแดง ในขณะที่แก๊สบางชนิดไม่มีพิษ เช่น CO_2 H_2 CH_4 บางชนิดมีพิษ เช่น Cl_2 CO H_2S NO_2 โดยแก๊สมีสมบัติทั่วไปเป็นดังนี้ (พิทยา สีสด และคณะ, 2555 : 141)

1. แก๊สมีรูปร่างและปริมาตรไม่แน่นอน เปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ
2. แก๊สสามารถอัดตัวได้ง่ายที่สุดเมื่อเทียบกับสถานะของแข็งและของเหลว
3. แก๊สมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมากเมื่อเทียบกับสถานะของแข็งและของเหลว
4. แก๊สมีความหนาแน่นต่ำกว่าของแข็งและของเหลว

ตารางที่ 5.1 สมบัติของแก๊สบางชนิด

ชื่อสาร	สูตรเคมี	สี	ความเป็นพิษ
แอมโมเนีย	NH_3	ไม่มีสี	เป็นพิษ
คาร์บอนไดออกไซด์	CO_2	ไม่มีสี	ไม่มีพิษ
คาร์บอนมอนอกไซด์	CO	ไม่มีสี	เป็นพิษมาก
คลอรีน	Cl_2	สีเหลืองตอง	เป็นพิษมาก
ไฮโดรเจน	H_2	ไม่มีสี	ไม่มีพิษ
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	H_2S	ไม่มีสี	เป็นพิษมาก
มีเทน	CH_4	ไม่มีสี	ไม่มีพิษ
ไนโตรเจนไดออกไซด์	NO_2	สีน้ำตาลแดง	เป็นพิษมาก

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 176)

หน่วยปริมาตร อุณหภูมิ และความดัน (Units of volume, temperature and pressure)

ปริมาตร ใช้สัญลักษณ์ V แทนหน่วยของปริมาตรของภาชนะที่ใช้บรรจุแก๊ส

มีหน่วยเป็น 1 ลิตร (L) = 1,000 มิลลิลิตร (mL)

1 ลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) = 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3)

อุณหภูมิ ใช้สัญลักษณ์ T แทนหน่วยของระดับความร้อนของแก๊ส

มีหน่วยเป็น เคลวิน (K)

$T\ (K) = 273.15 + t\ (^oC)$

ความดัน ใช้สัญลักษณ์ P แทนหน่วยของความดัน หมายถึง แรงที่กระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่

มีหน่วยเป็น 1 บรรยากาศ (1 atm) = 760 มิลลิเมตรปรอท (mmHg)

= 760 ทอร์ (torr)

= 1.01325×10^5 ปาสคาล (Pa)

โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความดันบรรยากาศ เรียกว่า บารอมิเตอร์ (Barometer) และแมนอมิเตอร์ (Manometer) (อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโภคา, 2554 : 39-40)

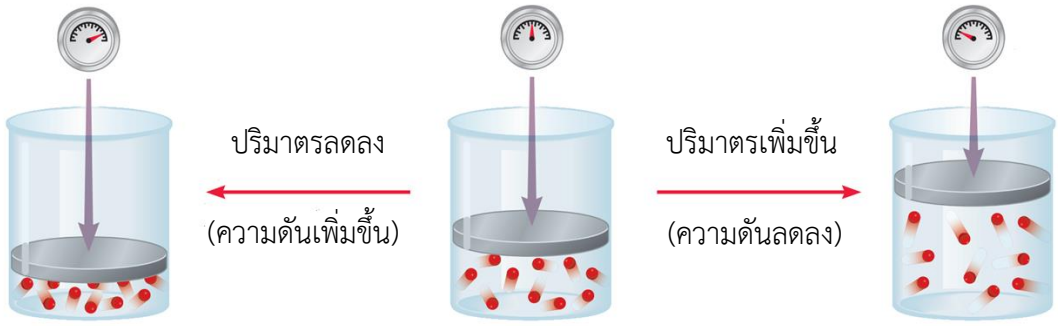
การกำหนดอุณหภูมิและความดันของแก๊สที่สภาวะมาตรฐานใช้อักษรเป็น STP (Standard temperature and pressure) แทนอุณหภูมิมาตรฐาน 0 องศาเซลเซียส (°C) หรือ 273.15 เคลวิน (K) และความดันมาตรฐาน 1 บรรยากาศ (atm) (รานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 396-398)

กฎของแก๊ส (The gas laws)

ในช่วงหลายศตวรรษที่ผ่าน ได้มีการศึกษาพฤติกรรมของแก๊สภายใต้สภาวะความดัน อุณหภูมิ ปริมาตร และจำนวนโมล ซึ่งแก๊สจะมีพฤติกรรมที่มีความสัมพันธ์กันเป็นไปตามกฎต่าง ๆ

1. กฎของบอยล์ (Boyle's law)

ในปี ค.ศ.1662 รอเบิร์ต บอยล์ (Robert Boyle) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและปริมาตรของแก๊สเมื่ออุณหภูมิคงที่ ดังภาพประกอบที่ 5.1 พบว่า ปริมาตรของแก๊สจะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเพิ่มความดันเป็น 2 เท่า ในทางตรงกันข้ามปริมาตรของแก๊สจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อความดันลดลงครึ่งหนึ่ง แสดงดังภาพประกอบที่ 5.2 (ก) เมื่ออุณหภูมิคงที่ P กับ V ปริมาตรของแก๊สเป็น 2 เท่า ความดันลดลงครึ่งหนึ่ง และ (ข) ความชันของกราฟระหว่าง P กับ 1/V ซึ่งสรุปได้ว่าความดันของแก๊สจะแปรผกผันกับปริมาตรของแก๊สที่มีปริมาณคงที่เมื่ออุณหภูมิคงที่ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 169-171, ปริญญา อรุณวิสุทธิ์, 2553 : 1-3 และรานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 396-398) ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์เป็น



ภาพประกอบที่ 5.1 กฎของบอยล์
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 181)

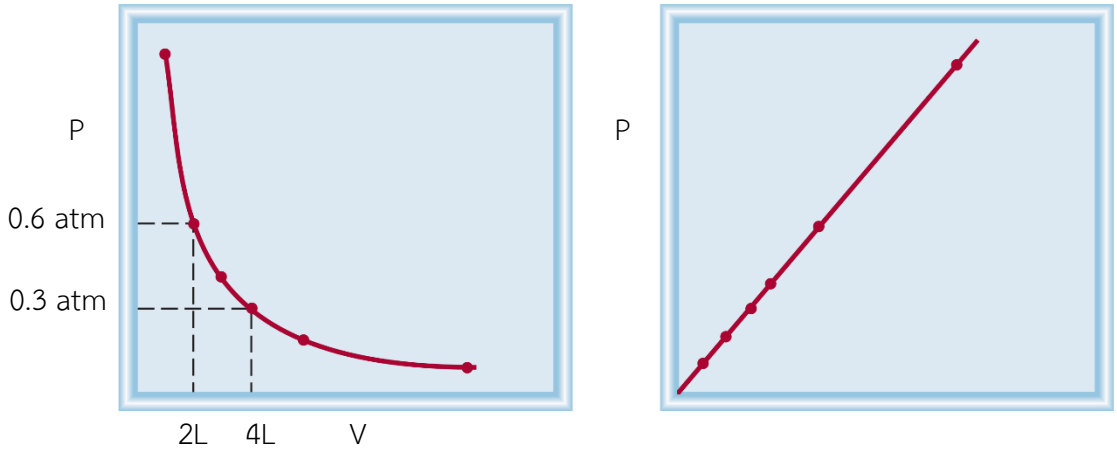
$$P \propto \frac{1}{V}$$

$$P = k_1 \frac{1}{V}$$

เมื่อ k_1 เป็นค่าคงที่ เรียกว่า ค่าคงที่ของการแปรผันตามสำหรับแก๊สภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ เมื่ออุณหภูมิคงที่จะได้เป็น

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

เมื่อ P_1 = ความดันที่สภาวะที่หนึ่ง
V_1 = ปริมาตรที่สภาวะที่หนึ่ง
P_2 = ความดันที่สภาวะที่สอง
V_2 = ปริมาตรที่สภาวะที่สอง



(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 5.2 กราฟแสดงการแปรปริมาตรของแก๊สกับความดัน
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 182)

ตัวอย่างที่ 5.1 ลูกบอลลูนมีความดัน 700 มิลลิเมตรปรอท มีปริมาตร 10 ลูกบาศก์เดซิเมตร จงคำนวณหาปริมาตรของลูกบอลลูนเมื่อความดันลดลงเหลือ 400 มิลลิเมตรปรอท เมื่ออุณหภูมิคงที่

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความดันของลูกบอลลูน เมื่ออุณหภูมิคงที่

นำค่าไปแทนในสูตร

$$P_1V_1 = P_2V_2$$

$$700\ mmHg \times 10\ dm^3 = 400\ mmHg \times V_2$$

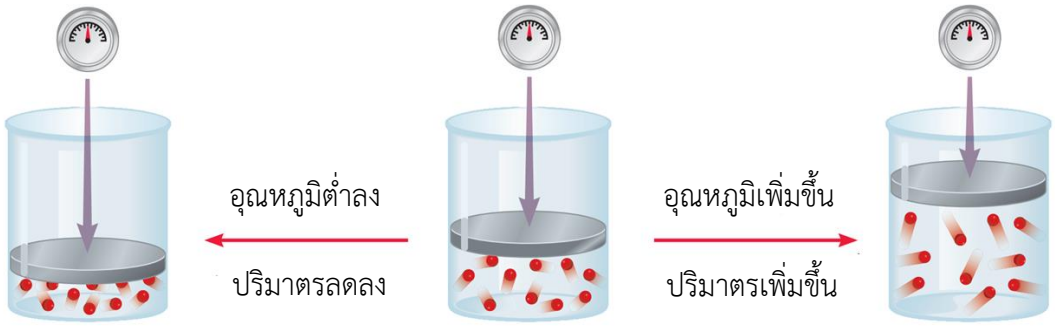
$$V_2 = \frac{700\ mmHg \times 10\ dm^3}{400\ mmHg}$$

$$V_2 = 17.5\ dm^3$$

ดังนั้น ปริมาตรของลูกบอลลูนมีค่าเท่ากับ 17.5 ลูกบาศก์เดซิเมตร

2. กฎของชาร์ล (Charles's law)

ในปี ค.ศ.1787 ชาก-อาแลกซองดร์-เซซา ชาร์ล (Jacques-Alexandre-César Charles) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรและอุณหภูมิของแก๊สเมื่อความดันคงที่ ดังภาพประกอบที่ 5.3 พบว่า โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้ปริมาตรลดลง ในทางตรงกันข้ามเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงจะทำให้ปริมาตรลดลงเช่นกัน ภาพประกอบที่ 5.4 เมื่อลากเส้นกราฟไปยังปริมาตรเป็นศูนย์ จะได้จุดตัดแกนอุณหภูมิเป็น -273.15 องศาเซลเซียส แต่ละเส้นแสดงความดันคงที่ค่าหนึ่ง โดยความดันเพิ่มขึ้นจาก P_1 ถึง P_4 ซึ่งสรุปได้ว่า ปริมาตรของแก๊สปริมาณหนึ่งจะแปรผันตามอุณหภูมิสมบูรณ์ของแก๊สเมื่อความดันคงที่ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 172-173, ปริญญา อรุณวิสุทธิ์, 2553 : 4 และรานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 402) ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์เป็น



ภาพประกอบที่ 5.3 กฎของชาร์ล

ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 181)

$$V \propto T$$

$$V = k_2 T$$

$$\frac{V}{T} = k_2$$

เมื่อ k_2 เป็นค่าคงที่ เมื่อมวลและความดันของแก๊สคงที่ สำหรับแก๊สภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ จะได้เป็น

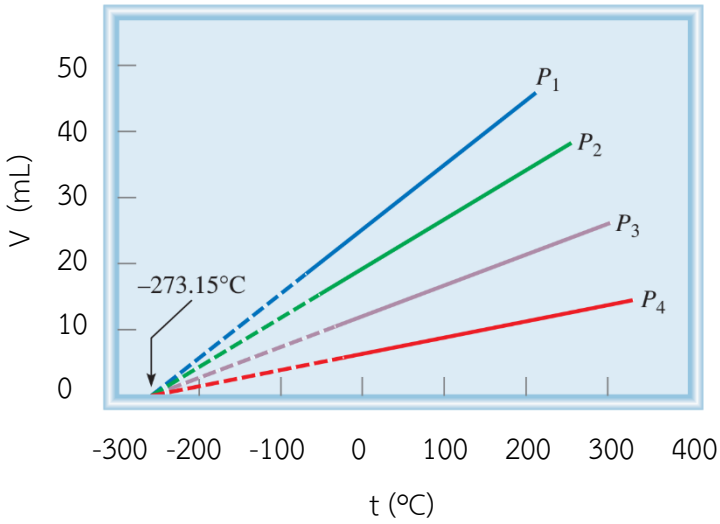
$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรที่สภาวะที่หนึ่ง

T_1 = อุณหภูมิที่สภาวะที่หนึ่ง

V_2 = ปริมาตรที่สภาวะที่สอง

T_2 = อุณหภูมิที่สภาวะที่สอง



ภาพประกอบที่ 5.4 การแปรปริมาตรของแก๊สกับอุณหภูมิ เมื่อความดันคงที่
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 183)

ตัวอย่างที่ 5.2 แก๊สไนโตรเจน (N_2) บรรจุในภาชนะขนาด 200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จงคำนวณหาปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก 10 องศาเซลเซียส

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาปริมาตรของแก๊สไนโตรเจน

1. เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจาก องศาเซลเซียส เป็น เคลวิน

อุณหภูมิ 25 °C

$$T\,(K) = 273.15 + t\,(°C)$$

$$= 273.15 + 25$$

$$= 298.15\ K$$

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นอีก 10 °C จากอุณหภูมิเดิม ดังนั้น อุณหภูมิสุดท้ายเป็น 35 °C

$$T\,(K) = 273.15 + t\,(°C)$$

$$= 273.15 + 35$$

$$= 308.15\ K$$

2. นำค่าไปแทนในสูตร

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\frac{200\ cm^3}{298.15\ K} = \frac{V_2}{308.15\ K}$$

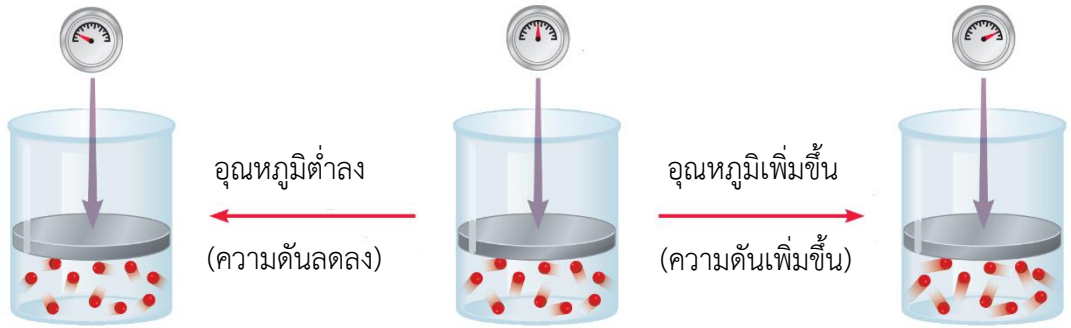
$$V_2 = \frac{200\ cm^3 \times 308.15\ K}{298.15\ K}$$

$$V_2 = 206.71\ cm^3$$

ดังนั้น ปริมาตรของแก๊สไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 206.71 ลูกบาศก์เซนติเมตร

3. กฎของเกย์-ลูซแซก (Gay-Lussac's law)

ในปี ค.ศ.1802 โจเซฟ เกย์-ลูสแซก (Joseph-Louis Gay-Lussac) ซึ่งร่วมการทดลองกับชาร์ล ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิของแก๊สเมื่อปริมาตรของแก๊สคงที่ ดังภาพประกอบที่ 5.5 พบว่า ความดันของแก๊สจะแปรผันตามอุณหภูมิเคลวินเมื่อปริมาตรและมวลของแก๊สคงที่ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 172-173, ปริญญา อรุณวิสุทธิ์, 2553 : 4 และรานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 404) ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์เป็น



ภาพประกอบที่ 5.5 กฎของเกย์-ลูซแซก
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 181)

$$P \propto T$$

$$P = k_3 T$$

$$\frac{P}{T} = k_3$$

เมื่อ k_3 เป็นค่าคงที่ เมื่อปริมาตรของแก๊สคงที่ สำหรับแก๊สภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ จะได้เป็น

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

เมื่อ P_1 = ความดันที่สภาวะที่หนึ่ง
T_1 = อุณหภูมิที่สภาวะที่หนึ่ง
P_2 = ความดันที่สภาวะที่สอง
T_2 = อุณหภูมิที่สภาวะที่สอง

ตัวอย่างที่ 5.3 แก๊สชนิดหนึ่งบรรจุในภาชนะขนาด 1.5 ลูกบาศก์เดซิเมตร ความดัน 1 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จงคำนวณหาความดันว่าลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิมกี่มิลลิเมตรปรอท เมื่ออุณหภูมิลดลงเหลือ 0 องศาเซลเซียส เมื่อปริมาตรคงเดิม

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความดันที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นจากเดิม

1. เปลี่ยนหน่วยความดันจาก บรรยากาศ เป็น มิลลิเมตรปรอท

$$P = 1 \text{ atm} \times \frac{760 \text{ mmHg}}{1 \text{ atm}}$$

$$= 760 \text{ mmHg}$$

เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจาก องศาเซลเซียส เป็น เคลวิน

อุณหภูมิ 27 °C

$$T\,(K) = 273.15 + t\,(^{\circ}C)$$

$$= 273.15 + 27$$

$$= 300.15\ K$$

อุณหภูมิ 0 °C

$$T\,(K) = 273.15 + t\,(^{\circ}C)$$

$$= 273.15 + 0$$

$$= 273.15\ K$$

2. นำค่าไปแทนในสูตร

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{760\ mmHg}{300.15\ K} = \frac{P_2}{273.15\ K}$$

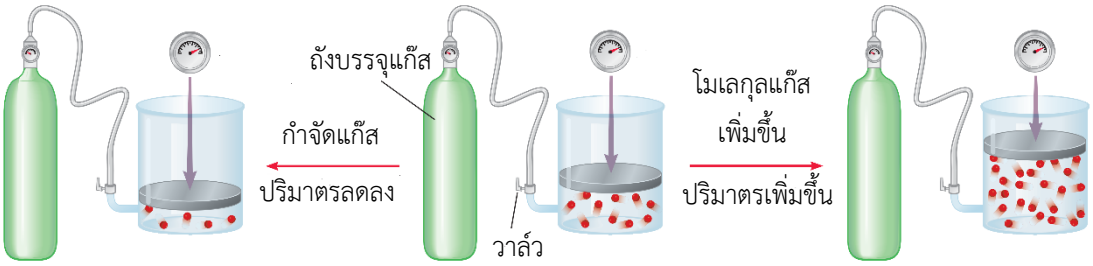
$$P_2 = \frac{760\ mmHg \times 273.15\ K}{300.15\ K}$$

$$P_2 = 691.63\ mmHg$$

ดังนั้น ความดันลดลงจากเดิม 760 – 691.63 มีค่าเท่ากับ 68.37 มิลลิเมตรปรอท

4. กฎของอโวกาโดร (Avogadro's law)

ในปี ค.ศ.1776-1856 อาเมเดโอ อาโวกาโดร (Amaedeo Avogadro) ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สและจำนวนโมลของแก๊สนี้เมื่อความดันและอุณหภูมิของแก๊สคงที่ ดังภาพประกอบที่ 5.6 พบว่า ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตามจำนวนโมลของแก๊สเมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 174, รานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 405) ซึ่งเขียนเป็นความสัมพันธ์เป็น



ภาพประกอบที่ 5.6 กฎของอาโวกาโดร
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 181)

$$V \propto n$$

$$V = k_4 n$$

$$\frac{V}{n} = k_4$$

เมื่อ k_2 เป็นค่าคงที่ เมื่ออุณหภูมิและความดันของแก๊สคงที่ สำหรับแก๊สภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน 2 สภาวะ จะได้เป็น

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

เมื่อ V_1 = ปริมาตรที่สภาวะที่หนึ่ง
n_1 = จำนวนโมลของแก๊สที่สภาวะที่หนึ่ง
V_2 = ปริมาตรที่สภาวะที่สอง
n_2 = จำนวนโมลของแก๊สที่สภาวะที่สอง

ตัวอย่างที่ 5.4 แก๊สฮีเลียม (He) บรรจุในลูกโป่งจำนวน 2 กรัม มีปริมาตร 150 ลูกบาศก์เซนติเมตร เมื่อนำแก๊สฮีเลียมจำนวน 4 กรัม ใส่ลงไปเพิ่มในลูกโป่งแล้วปิดสนิท จงหาปริมาตรของลูกโป่งหลังบรรจุแก๊ส เมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาปริมาตรหลังบรรจุแก๊ส

1) เปลี่ยนหน่วยจาก กรัม เป็น โมล

$$\text{mol He} = \frac{\text{g He}}{\text{Mw He}}$$

$$= \frac{2 \text{ g He}}{4 \text{ g/mol He}}$$

$$= 0.5 \text{ mol He}$$

$$\text{mol He} = \frac{\text{g He}}{\text{Mw He}}$$

$$= \frac{4 \text{ g He}}{4 \text{ g/mol He}}$$

$$= 1.0 \text{ mol He}$$

2. นำค่าไปแทนในสูตร

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

$$\frac{150 \text{ cm}^3}{0.5 \text{ mol}} = \frac{V_2}{1.5 \text{ mol}}$$

$$V_2 = \frac{150 \text{ cm}^3 \times 1.5 \text{ mol}}{0.5 \text{ mol He}}$$

$$V_2 = 450\ cm^3$$

ดังนั้น ปริมาตรของลูกโป่งหลังบรรจุแก๊สเพิ่มลงไปมีค่าเท่ากับ 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร

แก๊สอุดมคติ (The ideal gas)

เมื่อนำกฎของบอยล์และกฎของชาร์ลมารวมกันได้เป็น**กฎรวมแก๊ส** ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น (ปริญญา อรุณวิสุทธิ์, 2553 : 5-6)

กฎของบอยล์ $P \propto \frac{1}{V}$ (n และ T คงที่)

กฎของชาร์ล $V \propto T$ (n และ P คงที่)

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

เมื่อ P_1 = ความดันที่สภาวะที่หนึ่ง
V_1 = ปริมาตรที่สภาวะที่หนึ่ง
T_1 = อุณหภูมิที่สภาวะที่หนึ่ง
P_2 = ความดันที่สภาวะที่สอง
V_2 = ปริมาตรที่สภาวะที่สอง
T_2 = อุณหภูมิที่สภาวะที่สอง

ตัวอย่างที่ 5.5 จงคำนวณหาปริมาตรที่ STP ของแก๊สชนิดหนึ่งที่มีปริมาตร 11,200 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 600 มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาปริมาตรของแก๊ส

1. เปลี่ยนหน่วยความดันจาก มิลลิเมตรปรอท เป็น บรรยากาศ

$$P = 600\ mmHg \times \frac{1\ atm}{760\ mmHg}$$

$$= 0.79\ atm$$

เปลี่ยนหน่วยปริมาตรจาก ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น ลูกบาศก์เดซิเมตร

$$V = 11{,}200\ cm^3 \times \frac{1\ dm^3}{1{,}000\ cm^3}$$

$$= 11.2\ dm^3$$

เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจาก องศาเซลเซียส เป็น เคลวิน

$$T\ (K) = 273.15 + t\ (^{o}C)$$

$$= 273.15 + 25$$

$$= 298.15\ K$$

2. นำค่าไปแทนในสูตร

สภาวะที่ STP มีค่าความดัน 1 atm อุณหภูมิ 0 °C หรือ 273 K

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

$$\frac{0.79\ atm \times 11.2\ dm^3}{298.15\ K} = \frac{1\ atm \times V_2}{273.15\ K}$$

$$V_2 = \frac{0.79\ atm \times 11.2\ dm^3 \times 273.15\ K}{298.15\ K \times 1\ atm}$$

$$V_2 = 8.11\ dm^3$$

ดังนั้น ปริมาตรของแก๊สชนิดนี้มีค่าเท่ากับ 8.11 ลูกบาศก์เดซิเมตร

เมื่อนำกฎของบอยล์ กฎของชาร์ล และกฎของอาโวกาโดรมารวมกันจึงเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

กฎของบอยล์ $P \propto \frac{1}{V}$ (n และ T คงที่)

กฎของชาร์ล $V \propto T$ (n และ P คงที่)

กฎของอาโวกาโดร $V \propto n$ (P และ V คงที่)

$$P \propto \frac{nT}{V}$$

$$P = \frac{RnT}{V}$$

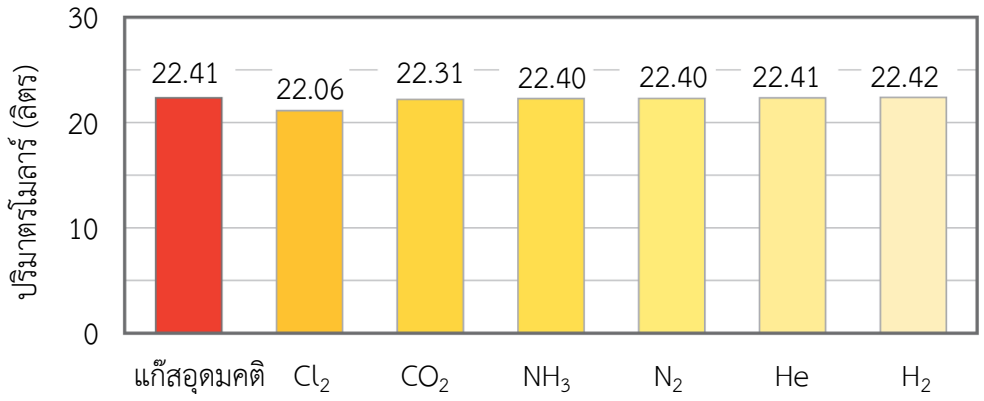
$$PV = nRT$$

เมื่อ R เป็นค่าคงที่ เรียกว่า ค่าคงที่ของแก๊ส เรียกสมการว่า สมการแก๊สอุดมคติ โดยค่าคงที่ของแก๊ส (R) คำนวณจากความสัมพันธ์ใช้สมการกฎของแก๊สอุดมคติ เมื่อพิจารณาจากแก๊ส 1 โมล ซึ่งมีปริมาตร 22.4 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP (ปริญญา อรุณวิสุทธิ์, 2553 : 6) ดังภาพประกอบที่ 5.7 แสดงปริมาตรของแก๊สบางชนิดที่ STP ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

$$R = \frac{PV}{nT}$$

$$= \frac{(1 \text{ atm})\,(22.4 \text{ dm}^3)}{(1 \text{ mol})\,(273.15 \text{ K})}$$

$$= 0.0821 \frac{\text{atm.dm}^3}{\text{mol.K}}$$



ภาพประกอบที่ 5.7 การเปรียบเทียบปริมาตรโมลาร์ที่ STP

ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T.L. et al. (2015 : 409)

ตัวอย่างที่ 5.6 แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จำนวน 1.5 โมล มีปริมาตร 750 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะมีความดันกี่มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความดันของแก๊ส

1. เปลี่ยนหน่วยปริมาตรจาก ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น ลูกบาศก์เดซิเมตร

$$V = 750\ cm^3 \times \frac{1\ dm^3}{1{,}000\ cm^3}$$

$$= 0.75\ dm^3$$

เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจาก องศาเซลเซียส เป็น เคลวิน

$$T\ (K) = 273.15 + t\ (^{\circ}C)$$

$$= 273.15 + 30$$

$$= 303.15\ K$$

2. นำค่าไปแทนในสูตร

$$PV = nRT$$

$$P \times 0.75\ dm^3 = 1.5\ mol \times 0.0821\ atm.dm^3/mol.K \times 303.15\ K$$

$$P = \frac{1.5\ mol \times 0.0821\ atm.dm^3/mol.K \times 303.15\ K}{0.75\ dm^3}$$

$$P = 49.78\ atm$$

3. เปลี่ยนหน่วยความดันจาก บรรยากาศ เป็น มิลลิเมตรปรอท

$$P = 49.78\ atm \times \frac{760\ mmHg}{1\ atm}$$

$$= 37{,}833\ mmHg$$

ดังนั้น ความดันของแก๊สชนิดนี้มีค่าเท่ากับ 37,833 มิลลิเมตรปรอท

จากกฎของแก๊สอุดมคติสามารถหาค่าความหนาแน่นและน้ำหนักโมเลกุลได้จากสูตร

$$PV = nRT$$

เมื่อ โมล (n) คือ มวล (g)/มวลโมเลกุล (Mw)

$$PV = \frac{gRT}{Mw}$$

เมื่อ ความหนาแน่น (d) คือ มวล (g) /ปริมาตร (V)

$$P = \frac{g\ RT}{V\ Mw}$$

$$P = \frac{dRT}{Mw}$$

ตัวอย่างที่ 5.7 แก๊สชนิดหนึ่งหนัก 64 กรัม มีปริมาตร 22.4 ลูกบาศก์เดซิเมตรที่ STP แก๊สนี้มีมวลโมเลกุลเท่าใด

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หามวลโมเลกุลของแก๊ส

$$PV = \frac{gRT}{Mw}$$

$$1 \text{ atm} \times 22.4 \text{ dm}^3 = \frac{64 \text{ g} \times 0.0821 \text{ atm.dm}^3/\text{mol.K} \times 273.15 \text{ K}}{Mw}$$

$$Mw = \frac{64 \text{ g} \times 0.0821 \text{ atm.dm}^3/\text{mol.K} \times 273.15 \text{ K}}{1 \text{ atm} \times 22.4 \text{ dm}^3}$$

$$Mw = 64$$

ดังนั้น แก๊สชนิดนี้มีมวลโมเลกุลเท่ากับ 64

ตัวอย่างที่ 5.8 แก๊สออกซิเจน (O_2) มีความดัน 700 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จงหาความหนาแน่นของแก๊สออกซิเจนมีค่าเท่าใด

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความหนาแน่นของแก๊สออกซิเจน

1. เปลี่ยนหน่วยความดันจาก มิลลิเมตรปรอท เป็น บรรยากาศ

$$P = 700 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}}$$

$$= 0.92 \text{ atm}$$

เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจาก องศาเซลเซียส เป็น เคลวิน

$$T (K) = 273.15 + t (^oC)$$

$$= \quad 273.15 \; + \; 27$$

$$= \quad 300.15 \text{ K}$$

2. นำค่าไปแทนในสูตร

$$P \quad = \quad \frac{dRT}{Mw}$$

$$1 \text{ atm} \quad = \quad \frac{d \; \times \; 0.0821 \text{ atm.dm}^3\text{/mol.K} \; \times \; 300.15 \text{ K}}{32 \text{ g/mol}}$$

$$d \quad = \quad \frac{1 \text{ atm} \; \times 32 \text{ g/mol}}{0.0821 \text{ atm.dm}^3\text{/mol.K} \; \times \; 300.15 \text{ K}}$$

$$d \quad = \quad 1.30 \text{ g/dm}^3$$

ดังนั้น ความหนาแน่นของแก๊สออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 1.30 กรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

กฎความดันย่อยของดอลตัน (Dalton's law of partial pressures)

ในปี ค.ศ.1766-1844 จอร์น ดอลตัน (John Dalton) ได้ศึกษาความดันรวมของแก๊สที่มีความสัมพันธ์กับความดันย่อย โดยพบว่าความดันรวมของแก๊สผสมจะเท่ากับผลรวมของความดันย่อยทั้งหมด เรียกว่า กฎความดันย่อยของดอลตัน แสดงดังภาพประกอบที่ 5.8 (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 190; รานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 416) ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

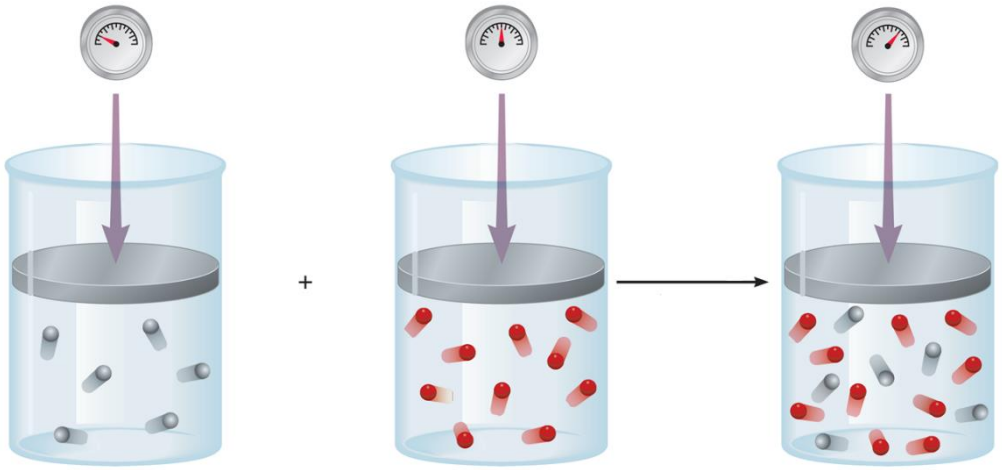
$$P_T \; = \; P_1 \; + \; P_2 \; + \; P_3 \; + \; \ldots\ldots\ldots$$

เมื่อ P_T = ความดันรวม

P_1 = ความดันย่อยขององค์ประกอบที่ 1

P_2 = ความดันย่อยขององค์ประกอบที่ 2

P_3 = ความดันย่อยขององค์ประกอบที่ 3



P_1 P_2 $P_T = P_1 + P_2$

ภาพประกอบที่ 5.8 กฎความดันย่อยของดอลตัน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 197)

1) ใช้สมการกฎของแก๊สอุดมคติ $PV = nRT$

$$(P_1 + P_2 + P_3 + ... + P_i)V = (n_1 + n_2 + n_3 + ... + n_i)RT$$

2) ใช้สมการ $P_i = X_iP_t$

เมื่อ P_i = ความดันย่อยของแก๊ส i

X_i = เศษส่วนโมลของแก๊ส i = $\frac{n_i}{n_t}$

P_t = ความดันรวม

3) ใช้กฎของบอยล์

ก่อนผสม		หลังผสม
P_1V_1	=	$P_AV_{ผสม}$
P_2V_2	=	$P_BV_{ผสม}$

เมื่อนำแก๊ส A ผสมกับแก๊ส B ได้แก๊สผสมที่มีความดันย่อย P_A และ P_B ตามลำดับ

$$P_T = P_A + P_B$$

ตัวอย่างที่ 5.9 แก๊สไฮโดรเจน (H_2) หนัก 2 กรัม บรรจุลงในภาชนะขนาด 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส และนำแก๊สฮีเลียม (He) 2 กรัม บรรจุลงในภาชนะอีกใบหนึ่งขนาด 700 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อต่อภาชนะทั้งสองใบเข้าด้วยกันโดยแก๊สทั้งสองไม่เกิดปฏิกิริยาต่อกัน จงคำนวณหาความดันรวมของแก๊สหลังผสมกันมีค่ากี่บรรยากาศ

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความดันรวมของแก๊สหลังผสม

1) เปลี่ยนหน่วยจาก กรัม เป็น โมล

$$\text{mol He} = \frac{\text{g He}}{\text{Mw He}}$$

$$= \frac{2 \text{ g He}}{4 \text{ g/mol He}}$$

$$= 0.5 \text{ mol He}$$

$$\text{mol } H_2 = \frac{\text{g } H_2}{\text{Mw } H_2}$$

$$= \frac{2 \text{ g } H_2}{2 \text{ g/mol } H_2}$$

$$= 1.0 \text{ mol } H_2$$

เปลี่ยนหน่วยปริมาตรจาก ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น ลูกบาศก์เดซิเมตร

$$V = 800 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ dm}^3}{1{,}000 \text{ cm}^3}$$

$$= 0.8 \text{ dm}^3$$

$$V = 700 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ dm}^3}{1{,}000 \text{ cm}^3}$$

$$= \quad 0.7 \text{ dm}^3$$

เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจาก องศาเซลเซียส เป็น เคลวิน

$$T\,(K) \quad = \quad 273.15 \; + \; t\,(^{\circ}C)$$

$$= \quad 273.15 \; + \; 27$$

$$= \quad 300.15 \text{ K}$$

2. นำค่าไปแทนในสูตร

$$(P_1 + P_2)V \quad = \quad (n_1 + n_2)RT$$

$$P_{รวม} \text{ x } 1.5 \text{ dm}^3 = (0.5 \text{ mol He} + 1.0 \text{ mol } H_2) \text{ x } 0.0821 \text{ atm.dm}^3\text{/mol.K x } 303.15 \text{ K}$$

$$P_{รวม} \quad = \quad \frac{1.5 \text{ mol} \;\; \text{x } 0.0821 \text{ atm.dm}^3\text{/mol.K x } 300.15 \text{ K}}{1.5 \text{ dm}^3}$$

$$P_{รวม} \quad = \quad 24.64 \text{ atm}$$

ดังนั้น ความดันรวมของแก๊สหลังผสมกันมีค่าเท่ากับ 24.64 บรรยากาศ

ตัวอย่างที่ 5.10 แก๊สออกซิเจน (O_2) 8 กรัม และแก๊สนีออน (Ne) 10 กรัม บรรจุในภาชนะ ซึ่งมีความดัน 2.5 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส จงคำนวณหาความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนและแก๊สนีออน

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนและแก๊สนีออน

1) เปลี่ยนหน่วยจาก กรัม เป็น โมล

$$\text{mol } O_2 \quad = \quad \frac{\text{g } O_2}{\text{Mw } O_2}$$

$$= \frac{8 \text{ g } O_2}{32 \text{ g/mol } O_2}$$

$$= 0.25 \text{ mol } O_2$$

$$\text{mol Ne} = \frac{\text{g Ne}}{\text{Mw Ne}}$$

$$= \frac{10 \text{ g Ne}}{20 \text{ g/mol He}}$$

$$= 0.50 \text{ mol Ne}$$

2) หาเศษส่วนโมล

$$X_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2} + n_{Ne}}$$

$$= \frac{0.25 \text{ mol } O_2}{0.25 \text{ mol } O_2 + 0.50 \text{ mol Ne}}$$

$$= 0.33$$

$$X_{Ne} = \frac{n_{Ne}}{n_{O_2} + n_{Ne}}$$

$$= \frac{0.50 \text{ mol } O_2}{0.25 \text{ mol } O_2 + 0.50 \text{ mol Ne}}$$

$$= 0.67$$

3. นำค่าไปแทนในสูตร

$$P_{O_2} = X_{O_2}P_t$$

$$= 0.33 \times 2.5 \text{ atm}$$

$$= 0.825 \text{ atm}$$

$$P_{Ne} = X_{Ne}P_t$$

$$= 0.67 \times 2.5 \text{ atm}$$

$$= 1.675 \text{ atm}$$

ดังนั้น ความดันย่อยของแก๊สออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 0.825 บรรยากาศ และความดันย่อยของแก๊สนีออนมีค่าเท่ากับ 1.675 บรรยากาศ

ตัวอย่างที่ 5.11 เมื่อกระเปาะ X ความดัน 1 บรรยากาศ บรรจุแก๊สได้ 5 ลูกบาศก์เดซิเมตร เชื่อมต่อกับกระเปาะ Y ความดัน 2 บรรยากาศ บรรจุแก๊สได้ 3 ลูกบาศก์เดซิเมตร เมื่อเปิดลิ้นให้ต่อกัน จงหาความดันรวมภายในภาชนะมีค่ากี่บรรยากาศ

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความดันรวมภายในภาชนะ

$$P_{รวม}V_{รวม} = P_1V_1 + P_2V_2$$

$$P_{รวม} \times (5 \text{ dm}^3 + 3 \text{ dm}^3) = (1 \text{ atm} \times 5 \text{ dm}^3) + (2 \text{ atm} \times 3 \text{ dm}^3)$$

$$P_{รวม} = \frac{5 \text{ atm.dm}^3 + 6 \text{ atm.dm}^3}{8 \text{ dm}^3}$$

$$P_{รวม} = 1.38 \text{ atm}$$

ดังนั้น ความดันรวมภายในภาชนะมีค่าเท่ากับ 1.38 บรรยากาศ

ภาพประกอบที่ 5.9 แสดงปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนของโพแทสเซียมคลอเรต ($KClO_3$) ได้แก๊สออกซิเจน (O_2) และไอน้ำ (H_2O) เป็นผลิตภัณฑ์ร่วม ซึ่งมีการผสม MnO_2 ร่วมกับ $KClO_3$ ทำให้ปฏิกิริยาเกิดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นการเก็บแก๊สออกซิเจนที่เป็นผลิตภัณฑ์โดยการแทนที่น้ำ โดยฟองแก๊สออกซิเจนจะลอยขึ้นผิวน้ำและแทนที่น้ำที่อยู่ในขวด แต่แก๊สออกซิเจนนี้จะไม่บริสุทธิ์เพราะมีไอน้ำรวมอยู่ด้วย ซึ่งความดันของแก๊สจริงจะรวมอยู่กับความดันของไอน้ำที่เกิดจากโมเลกุลของน้ำระเหยไป โดยความดันแก๊สที่เก็บเหนือน้ำ เรียกว่า ความดันแก๊สชื้น (Zumdahl, S.S. and Zumdahl, S.A., 2007 : 198) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้เป็น

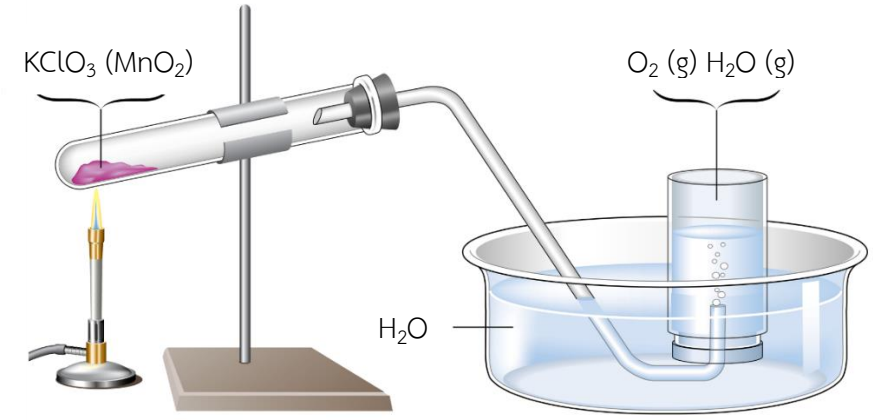
$$P_T = P_{แก๊ส} + P_{น้ำ}$$

$$P_{แก๊ส} = P_T - P_{น้ำ}$$

เมื่อ P_T = ความดันรวม

$P_{แก๊ส}$ = ความดันของแก๊ส

$P_{น้ำ}$ = ความดันของไอน้ำ



ภาพประกอบที่ 5.9 ปฏิกิริยาการสลายตัวด้วยความร้อนของ $KClO_3$ ได้แก๊ส O_2 และ H_2O เป็นผลิตภัณฑ์

ที่มา : ดัดแปลงจาก Zumdahl, S.S. and Zumdahl, S.A. (2007 : 198)

ตัวอย่างที่ 5.12 ในการทดลองหนึ่งทำการเก็บแก๊สออกซิเจน (O_2) ที่อุณหภูมิ 27 องศาเซลเซียส โดยเก็บปริมาตรของแก๊สออกซิเจนได้ 75 มิลลิลิตร ถ้าความดันที่เกิดขึ้นเท่ากับ 750 มิลลิเมตรปรอท จะได้แก๊สออกซิเจนกี่โมล เมื่อความดันไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกันมีค่าเท่ากับ 30 มิลลิเมตรปรอท

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความหนาแน่นของแก๊สออกซิเจน

1. เปลี่ยนหน่วยความดันจาก มิลลิเมตรปรอท เป็น บรรยากาศ

เป็นการเก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำ

$$P_{\text{แก๊ส}} = P_T - P_{\text{น้ำ}}$$

$$= 750 \text{ mmHg} - 30 \text{ mmHg}$$

$$= 720 \text{ mmHg}$$

เปลี่ยนหน่วยความดันจาก มิลลิเมตรปรอท เป็น บรรยากาศ

$$P = 720 \text{ mmHg} \times \frac{1 \text{ atm}}{760 \text{ mmHg}}$$

$$= 0.95 \text{ atm}$$

เปลี่ยนหน่วยปริมาตรจาก ลูกบาศก์เซนติเมตร เป็น ลูกบาศก์เดซิเมตร

$$V = 75 \text{ cm}^3 \times \frac{1 \text{ dm}^3}{1{,}000 \text{ cm}^3}$$

$$= 0.075 \text{ dm}^3$$

เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจาก องศาเซลเซียส เป็น เคลวิน

$$T (K) = 273.15 + t (^\circ C)$$

$$= 273.15 + 27$$

$$= \quad 303.15 \text{ K}$$

2. นำค่าไปแทนในสูตร

$$PV = nRT$$

$$0.95 \text{ atm} \times 0.075 \text{ dm}^3 = n \times 0.0821 \text{ atm.dm}^3\text{/mol.K} \times 300.15 \text{ K}$$

$$n = \frac{0.95 \text{ atm} \times 0.075 \text{ dm}^3}{0.0821 \text{ atm.dm}^3\text{/mol.K} \times 300.15 \text{ K}}$$

$$n = 0.003 \text{ โมล}$$

ดังนั้น จะได้แก๊สออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 0.003 โมล

ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส (The kinetic molecular theory of gases)

กฎต่าง ๆ จะช่วยให้อธิบายพฤติกรรมของแก๊สได้ แต่ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊สจะช่วยอธิบายการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของแก๊สได้อย่างเข้าใจมากขึ้น

1. ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส (The kinetic molecular theory of gases)

ในปี ค.ศ.1831-1879 เจมส์ คลาร์ก แมกซ์เวลล์ (James Clerk Maxwell) และในปี ค.ศ.1844-1906 ลุดวิก เอดูอาร์ด โบลต์ซมันน์ (Ludwig Eduard Boltzmann) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแก๊สโดยอธิบายการเคลื่อนที่ของแต่ละโมเลกุลทำให้ได้พฤติกรรมของแก๊สหลายข้อเรียกว่า ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊ส (The kinetic molecular theory of gases) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า ทฤษฎีจลน์ของแก๊สคงที่ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 197-198 และรานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 428) แบ่งเป็นสมมติฐานต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. แก๊สประกอบด้วยโมเลกุลที่อยู่ห่างกันมากกว่าขนาดของโมเลกุลมาก โมเลกุลของแก๊สมีมวลแต่มีปริมาตรน้อยมากจนถือว่าแก๊สไม่มีปริมาตรของโมเลกุลในภาชนะที่บรรจุ

2. โมเลกุลแก๊สมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาในทิศทางที่ไม่แน่นอนและมีการชนกันบ่อย ๆ การชนกันของโมเลกุลเป็นแบบยืดหยุ่นสมบูรณ์

3. โมเลกุลแก๊สไม่มีแรงกระทำต่อกัน ไม่ว่าจะเป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลักดัน

4. พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลแก๊สแปรผันตามอุณหภูมิเคลวินของแก๊ส แก๊สทุกชนิดที่อุณหภูมิเดียวกันจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเท่ากัน

2. ความเร็วรากกำลังสองเฉลี่ย (Root mean square velocity หรือ U_{rms})

ความเร็วเฉลี่ยของโมเลกุลหาได้จากทฤษฎีจลน์ของโมเลกุลของแก๊ส ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น (อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโภคา, 2554 : 55)

$$N_A(\frac{1}{2}m\overline{U^2}) = RT$$

เมื่อ $N_Am = Mw$ น้ำหนักโมเลกุลของแก๊ส

$$\overline{U^2} = \frac{3RT}{Mw}$$

$$\sqrt{\overline{U^2}} = U_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{Mw}}$$

เมื่อ $\sqrt{\overline{U^2}}$ เป็นความเร็วรากกำลังสองเฉลี่ย เมื่อ R = 8.314 J/K.mol และ Mw = kg/mol

3. การแพร่และการแพร่ผ่านของแก๊ส (Diffusion and effusion)

การแพร่ของแก๊สแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การแพร่ (Diffusion) เป็นการแพร่ที่โมเลกุลของแก๊สชนิดหนึ่งค่อย ๆ ผสมกับโมเลกุลของแก๊สชนิดหนึ่ง เนื่องมาจากจลน์ศาสตร์ของแก๊สโดยโมเลกุลของแก๊สมีการชนกันเองหรือชนกับผนังของภาชนะ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 203) ดังภาพประกอบที่ 5.10 แสดงการแพร่ของแก๊สแอมโมเนีย (NH_3) ผสมกับแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ (HCl) เกิดปฏิกิริยาเป็นแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) จะเห็นได้ว่าแก๊สแอมเนียจะแพร่ได้เร็วกว่าเนื่องจากเบากว่าแก๊สไฮโดรเจนคลอไรด์ ในปี ค.ศ. 1805-1869 โทมัส เกรแฮม (Thomas Graham) ได้ศึกษาการแพร่ของแก๊สต่าง ๆ พบว่า อัตราการแพร่ของแก๊สแปรผกผันกับรากที่สองของมวลโมเลกุล ภายใต้อุณหภูมิและความดันเดียวกัน ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น (พินิติ รตะนานุกูล และคณะ, 2559 : 43)

$$R \propto \frac{1}{\sqrt{Mw}}$$

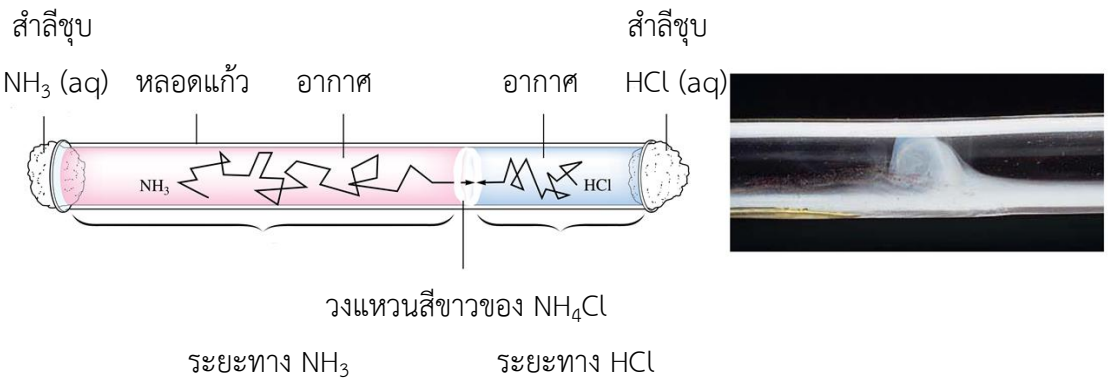
$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\sqrt{Mw_2}}{\sqrt{Mw_1}}$$

เมื่อ R_1 = อัตราเร็วในการแพร่ที่สภาวะที่หนึ่ง

Mw_1 = มวลโมเลกุลของสารที่สภาวะที่หนึ่ง

R_2 = อัตราเร็วในการแพร่ที่สภาวะที่สอง

Mw_1 = มวลโมเลกุลของสารที่สภาวะที่สอง



ภาพประกอบที่ 5.10 เมื่อไอของแก๊ส HCl และแก๊ส NH_3 ทำปฏิกิริยากันเกิดเป็น NH_4Cl ได้วงแหวนสีขาว

ที่มา : ดัดแปลงจาก Zumdahl, S.S. and Zumdahl, S.A. (2007 : 207)

ส่วนการแพร่ผ่าน (Effusion) เป็นกระบวนการที่แก๊สภายใต้ความดันเคลื่อนที่ออกจากด้านหนึ่งของภาชนะไปยังอีกด้านหนึ่งโดยผ่านช่องขนาดเล็ก โดยการแพร่ผ่านของแก๊สเคลื่อนที่จากความดันสูงไปยังด้านที่มีความดันต่ำกว่าโดยเคลื่อนที่ผ่านช่องเล็ก ๆ เช่น การแพร่ผ่านของแก๊สออกจากช่องรูเล็ก ๆ ของยางรถจักรยาน หรือการแพร่ผ่านของอากาศผ่านช่องรูเล็กของลูกโป่ง เป็นต้น (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 203)

ตัวอย่างที่ 5.13 ถ้าอัตราเร็วในการแพร่ของแก๊สชนิดหนึ่งเป็น 1/2 เท่าของแก๊สซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ภายใต้สภาวะเดียวกัน จงหามวลโมเลกุลของแก๊สนี้

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หามวลโมเลกุล

$$\frac{R_{SO_2}}{R_x} = \frac{\sqrt{Mw_x}}{\sqrt{Mw_{SO_2}}}$$

$$\frac{2}{1} = \frac{\sqrt{Mw_x}}{\sqrt{64}}$$

$$Mw_x = 2 \times \sqrt{64}$$

$$Mw_X = 16$$

ดังนั้น มวลโมเลกุลของแก๊สนี้มีค่าเท่ากับ 16

ตัวอย่างที่ 5.14 แก๊ส x เคลื่อนที่ได้ระยะทาง 8 เซนติเมตร เวลา 2 วินาที มีมวลโมเลกุล 4 และแก๊ส Y เคลื่อนที่ได้ระยะทางหนึ่ง ใช้เวลา 3 วินาที มีมวลโมเลกุล 9 จงหาระยะทางที่แก๊ส Y เคลื่อนที่ได้

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาระยะทางของ Y

1. หาอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของแก๊ส X

$$R_X = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$$

$$R_X = \frac{8 \text{ cm}}{2 \text{ s}}$$

$$R_X = 4 \text{ cm/s}$$

2. นำค่าไปแทนในสูตร

$$\frac{R_X}{R_Y} = \frac{\sqrt{Mw_Y}}{\sqrt{Mw_X}}$$

$$\frac{4\ \text{cm/s}}{R_Y} = \frac{\sqrt{9}}{\sqrt{4}}$$

$$R_Y = \frac{4\ \text{cm/s} \times \sqrt{4}}{\sqrt{9}}$$

$$R_Y = 2.67\ \text{cm/s}$$

3. หาระยะทางในการเคลื่อนที่ของแก๊ส Y

$$R_Y = \frac{\text{ระยะทาง}}{\text{เวลา}}$$

$$2.67\ \text{cm/s} = \frac{\text{ระยะทาง}}{2\ \text{s}}$$

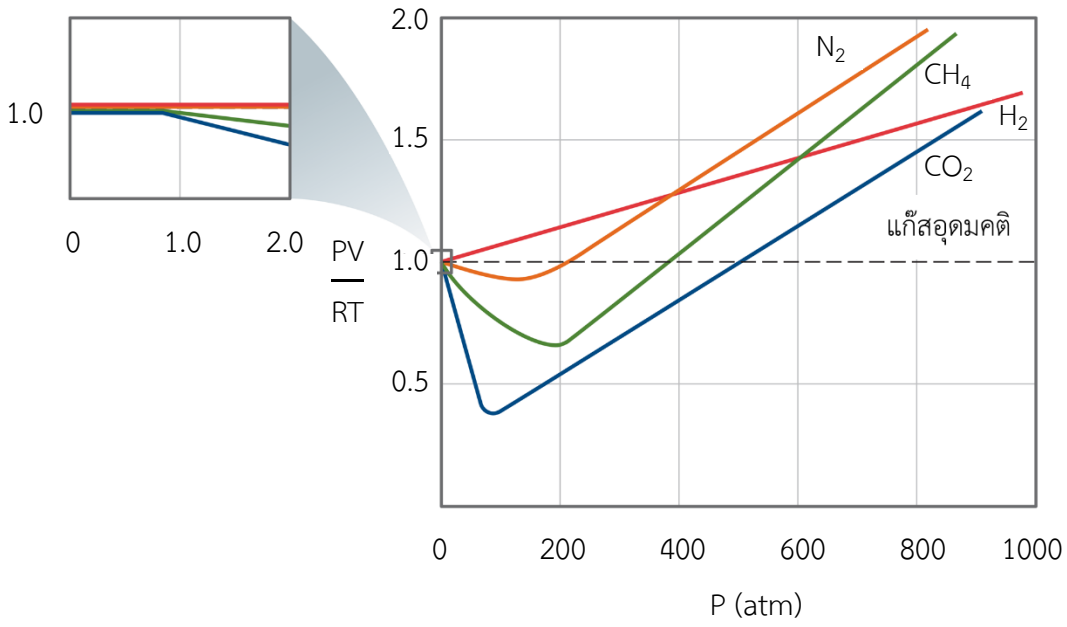
$$\text{ระยะทาง} = 5.34\ \text{cm}$$

ดังนั้น แก๊ส Y เคลื่อนที่ได้ระยะทาง 5.34 เซนติเมตร

การเบี่ยงเบนจากพฤติกรรมอุดมคติ (Deviations from ideal behavior)

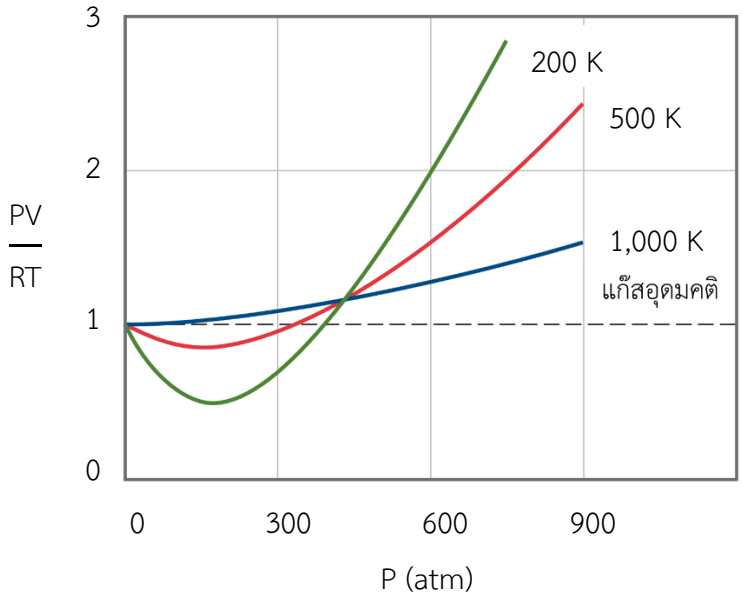
เราสามารถตั้งสมมติฐานได้ว่า แก๊สจริงมีพฤติกรรมคล้ายแก๊สอุดมคติ แต่ไม่สามารถคาดหวังได้ว่า แก๊สจะมีพฤติกรรมเหมือนกันภายใต้ทุกสภาวะ เพื่อพิจารณากราฟการเบี่ยงเบนของแก๊สจริงตามแก๊สอุดมคติ แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 กราฟแสดงการเบี่ยงเบนของแก๊สจริงต่างชนิดกัน สำหรับแก๊สจริง 4 ชนิด และแก๊สอุดมคติที่อุณหภูมิหนึ่งแสดงดังภาพประกอบที่ 5.11 ผลของความดันที่มีต่อพฤติกรรมของแก๊สจริง สำหรับ N_2 CH_4 และ H_2 ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน สำหรับ CO_2 ที่อุณหภูมิ 313 เคลวิน เพราะภายใต้ความดันสูง CO_2 เป็นของเหลวที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน จะเห็นว่าเมื่อความดันเพิ่มขึ้น จะมีการเบี่ยงเบนไปจากพฤติกรรมอุดมคติอย่างมาก ที่ความดันสูงทำให้ความหนาแน่นของแก๊สเพิ่มขึ้น โมเลกุลอยู่ใกล้กันมากขึ้น แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีผลต่อการเคลื่อนที่ทำให้แก๊สมีพฤติกรรมไม่เหมือนพฤติกรรมแก๊สอุดมคติ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 205)



ภาพประกอบที่ 5.11 ผลของความดันที่มีต่อพฤติกรรมของแก๊สจริง สำหรับ N_2 CH_4 และ H_2 ที่อุณหภูมิ 300 เคลวิน สำหรับ CO_2 ที่อุณหภูมิ 313 เคลวิน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T.L. et al. (2015 : 426)



ภาพประกอบที่ 5.12 ผลของอุณหภูมิและความดันที่มีต่อพฤติกรรมของแก๊สไนโตรเจน

ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T.L. et al. (2015 : 427)

กรณีที่ 2 กราฟแสดงการเบี่ยงเบนของแก๊สจริงชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิต่างกัน จะเห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำ แก๊สจริงจะเบี่ยงเบนจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากกว่าแก๊สจริงที่อุณหภูมิสูง แสดงดังภาพประกอบที่ 5.12 เมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้น ที่อุณหภูมิต่ำ โมเลกุลของแก๊สจะอยู่ชิดกันมากกว่าที่อุณหภูมิสูง โดยการเพิ่มความดันจะทำให้ปริมาตรของแก๊สลดต่ำลงได้มากกว่า มีผลต่อการเบี่ยงเบนมากกว่าที่อุณหภูมิสูง (รานี สุวรรณพฤกษ์, 2559 : 454) ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำจะทำให้แก๊สจริงมีพฤติกรรมเหมือนแก๊สอุดมคติ เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจะลดลงใกล้ศูนย์ (สุนันท์ สายกระสุน, 2560 : 50-51)

สรุปท้ายบท

แก๊สมีรูปร่างและปริมาตรเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ สามารถอัดตัวได้ง่าย มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยมาก และมีความหนาแน่นต่ำเมื่อเทียบกับสถานะของแข็งและของเหลว กฎของแก๊สต่าง ๆ จะมีผลต่อบทบาทของแก๊ส ดังนี้

1. กฎของบอยล์สรุปได้ว่า ความดันของแก๊สจะแปรผกผันกับปริมาตรของแก๊สที่มีปริมาณคงที่เมื่ออุณหภูมิคงที่

2. กฎของชาร์ลสรุปได้ว่า ปริมาตรของแก๊สปริมาณหนึ่งจะแปรผันตามอุณหภูมิสมบูรณ์ของแก๊สเมื่อความดันคงที่

3. กฎของเกย์-ลูซแซกสรุปได้ว่า ความดันของแก๊สจะแปรผันตามอุณหภูมิเคลวินเมื่อปริมาตรและมวลของแก๊สคงที่

4. กฎของอโวกาโดรสรุปได้ว่า ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตามจำนวนโมลของแก๊สเมื่ออุณหภูมิและความดันคงที่

5. นำกฎของบอยล์และกฎของชาร์ลมารวมกันได้เป็น กฎรวมแก๊ส

6. นำกฎของบอยล์ กฎของชาร์ลและกฎอาโวกาโดรมารวมกันจะได้เป็นสมการแก๊สอุดมคติ

7. กฎความดันย่อยของดอลตันสรุปได้ว่า ความดันรวมของแก๊สผสมจะเท่ากับผลรวมของความดันย่อยทั้งหมด หากทำการเก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำ ความดันของแก๊สจริงจะรวมอยู่กับความดันของไอน้ำที่เกิดจากโมเลกุลของน้ำระเหยไป ในการหาความดันของแก๊สจริงต้องนำความดันของไอน้ำมาหักล้างออกไปด้วย

นอกจากนี้ทฤษฎีจลน์โมเลกุลของแก๊สยังสามารถอธิบายถึงพฤติกรรมของโมเลกุลของแก๊สที่มีสมมติฐานต่าง ๆ ประกอบด้วย โมเลกุลของแก๊สที่อยู่ห่างกันมาก มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาในทิศทางที่ไม่แน่นอนและมีการชนกัน โมเลกุลแก๊สไม่มีแรงกระทำต่อกัน ไม่ว่าจะเป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลักดันและมีมวลแต่มีปริมาตรน้อยมากจนถือว่าแก๊สไม่มีปริมาตรของโมเลกุลในภาชนะที่บรรจุ

คำถามท้ายบทที่ 5

1. จงเปลี่ยนหน่วยต่อไปนี้ให้ถูกต้อง

    1) 300 cm^3 มีค่ากี่ dm^3

    2) 500 mmHg มีค่ากี่ atm

    3) 35 °C มีค่ากี่ K

2. จากข้อความต่อไปนี้เป็นไปตามกฎใด

    1) เมื่อเปิดฝาน้ำอัดลมจะสังเกตเห็นการผุดของฟองแก๊สเกิดขึ้น

    2) เมื่อนำขวดน้ำอัดลมไปแช่ในช่องแช่แข็งจะทำให้ขวดน้ำอัดลมเกิดการระเบิดได้

    3) เมื่อเติมผงฟูในขนมปังแล้วนำไปอบจะเกิดการพองตัวของขนมปัง

3. แก๊สมีเทนมีปริมาตร 1.5 ลูกบาศก์เดซิเมตร ความดัน 2 บรรยากาศ เมื่อปริมาตรเพิ่มขึ้นอีก 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร จงหาว่าความดันที่เปลี่ยนแปลงไปในหน่วยมิลลิเมตรปรอท เมื่ออุณหภูมิคงที่

4. แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 650 ลูกบาศก์เซนติเมตร ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส พบว่าเมื่อปริมาตรลดลงเหลือ 500 ลูกบาศก์เซนติเมตร จงหาอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงกี่องศาเซลเซียส เมื่อความดันคงที่

5. สเปรย์ขวดหนึ่งขนาด 125 ลูกบาศก์เซนติเมตร มีความดัน 0.6 บรรยากาศ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ถ้าสเปรย์ขวดนี้มีอุณหภูมิสูงขึ้นอีก 100 องศาเซลเซียส สเปรย์ขวดนี้จะระเบิดหรือไม่ เมื่อสเปรย์ทนความดันได้ไม่เกิน 1.2 บรรยากาศ

6. แก๊สชนิดหนึ่งมีปริมาตร 11.2 ลูกบาศก์เดซิเมตร ที่ STP เมื่อความดันและปริมาตรเพิ่มขึ้น 50% จากเดิม จงหาอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป

7. จงหามวลของแก๊สแอมโมเนียที่มีปริมาตร 800 ลูกบาศก์เซนติเมตร ความดัน 750 มิลลิเมตรปรอท อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

8. จงหาความดันย่อยในแต่ละแก๊สผสมเมื่อแก๊สไนโตรเจน 7 กรัม แก๊สฮีเลียม 5 กรัม และแก๊สออกซิเจน 2 กรัม ถ้าความดันของแก๊สผสมมีค่าเท่ากับ 1.5 บรรยากาศ

9. จงเปรียบเทียบอัตราเร็วในการแพร่ของแก๊สต่อไปนี้จากเร็วไปช้า

    1) N_2 CH_4 Cl_2

    2) NO_2 H_2S C_2H_2

10. จงเปรียบเทียบอัตราในการแพร่ของแก๊ส He เป็นกี่เท่าของแก๊ส CH_4 เมื่อใช้ระยะทางและเวลาในการแพร่เท่ากัน

เอกสารอ้างอิง

ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ. (2560). **เคมี 1 12/e.** กรุงเทพมหานคร : แมคกรอ-ฮิล.

ปริญญา อรุณวิสุทธิ์. (2553). **เทอร์โมไดนามิกส์เคมีเบื้องต้น**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิทยา สีสด และคณะ. (2555). **เคมีเบื้องต้น.** กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

พินิติ รตะนานุกูล และคณะ. (2555). **เคมี 3**. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพมหานคร : มูลนิธิ สอวน.

รานี สุวรรณพฤกษ์. (2559). **เคมีทั่วไป เล่ม 1**. (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพมหานคร : วิทยพัฒน์.

สุนันท์ สายกระสุน. (2560). **เคมีเชิงฟิสิกส์ 1**. มหาสารคาม : ตักสิลาการพิมพ์.

อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโภคา. (2554). **เคมีทั่วไปสำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์**. (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Brown, T.L., et al. (2015). **Chemistry The Central Science**. (13th Edition). United State of America : Pearson Education.

Chang, R. (2010)**. Chemistry**. (10th Edition). United State of America : McGraw-Hill Higher Education.

Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007). **General Chemistry**. (9th Edition). United State of America : Houghton Mifflin Company.

Zumdahl, S.S. and Zumdahl, S.A. (2007). **Chemistry**. (7th Edition). United State of America : Houghton Mifflin Company.