การทดลองที่ 7
การหาค่าคงที่ของแก๊ส
(Determination of the gas constant)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการทดลองเกี่ยวกับกฎของแก๊ส
2. เพื่อฝึกทักษะการคำนวณหาค่าคงที่ของแก๊ส

หลักการ

แก๊ส เป็นสถานะหนึ่งของสสาร (อันได้แก่ ของแข็ง ของเหลว แก๊ส และพลาสมา) ซึ่งจะกลายเป็นของแข็งได้เมื่ออุณหภูมิลดลง การเปลี่ยนสถานะของสารจากของแข็ง เป็นของเหลวและแก๊ส ประเภทของแก๊สแบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1) แก๊สอุดมคติ (Ideal gas) หรือแก๊สสมบูรณ์ เป็นแก๊สที่ นักวิทยาศาสตร์กำหนดขึ้นเพื่ออธิบายสมบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับแก๊ส โดยให้มีพฤติกรรมเป็นไปตามทฤษฎีจลน์ของแก๊สไม่ว่าที่อุณหภูมิหรือความดันใด แก๊สสมบูรณ์เป็นแก๊สที่ไม่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล

2) แก๊สจริง (Real gas) เป็นแก๊สที่มีอยู่จริงในธรรมชาติ และไม่เป็นไปตามกฎต่าง ๆ ของแก๊สสมบูรณ์ มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อย แต่ในบางสภาวะแก๊สจริงอาจมีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สสมบูรณ์ได้ คือที่อุณหภูมิสูงและความดันต่ำมาก ๆ แก๊สจริงที่มีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สสมบูรณ์ในสภาวะปกติมากที่สุดคือแก๊สเฉื่อยหรือแก๊สในหมู่ที่

สมการแก๊สสมบูรณ์แบบ

$$PV = nRT \qquad (7.1)$$

เมื่อ P = ความดัน (atm)
V = ปริมาตร (L)
n = จำนวนโมล (mol)
T = อุณหภูมิ (K)
R = ค่าคงที่ของแก๊ส (gas constant)

ในการทดลองเกี่ยวกับกฎของแก๊สอาศัยการทดลองการเตรียมแก๊สไฮโดรเจน จากปฏิกิริยาระหว่าง Mg กับ HCl ดังสมการ

$$Mg(s) + 2HCl(aq) \longrightarrow MgCl_2(aq) + H_2(g) \qquad (7.2)$$

ซึ่งแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สจริง (real gas) ทำการทดลองโดยเก็บแก๊สโดยการแทนที่น้ำ จากค่าปริมาตร อุณหภูมิ ความดัน และจำนวนโมลของแก๊ส จะสามารถหาค่า R ได้

ในการทดลองนี้เลือกใช้ปฏิกิริยาระหว่าง Mg กับ HCl (สมการ 7.2) จะเห็นได้ว่า Mg จำนวน 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl จำนวน 2 โมล แล้วเกิด H_2 1 โมลด้วย ปฏิกิริยาหนึ่งๆ สารกำหนดปริมาณ อาจจะเป็นสารตัวใดก็ได้ ที่เป็นตัวเข้าทำปฏิกิริยาและเป็นตัวจำกัดให้ปฏิกิริยาสิ้นสุดลง

ความดันของแก๊สไนโตรเจน ที่เก็บโดยการแทนที่น้ำ ได้จากการหักค่าความดันไอน้ำอิ่มตัว (vapor pressure of water) ดังตารางที่ 7.1 ออกจากค่าความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิของแก๊ส

ตารางที่ 7.1 ค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่าง ๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Pa)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Pa)	อุณหภูมิ (°C)	ความดัน (Pa)
0	610.472	17	1937.14	34	5319.20
1	656.734	18	2063.39	35	5622.77
2	705.795	19	2197.71	40	7375.80
3	757.924	20	2337.77	45	9583.04
4	813.385	21	2486.42	50	12333.4
5	872.313	22	2643.34	55	15737.1
6	934.973	23	2808.79	60	19915.3
7	1001.63	24	2983.30	65	25002.8
8	1072.56	25	3167.15	70	31156.9
9	1147.75	26	3360.86	75	38542.8
10	1227.74	27	3564.84	80	47341.9
11	1312.40	28	3779.49	85	57807.6
12	1402.26	29	4005.33	90	70094.3
13	1497.32	30	4242.78	95	84511.5
14	1589.11	31	4492.22	100	101323
15	1704.90	32	4754.59	105	120797
16	1817.67	33	5030.03		

อุปกรณ์

1. บิวเรต
2. ขวดรูปชมพู่ 250 mL
3. จุกยางพร้อมหลอดแก้วและสายยางนำแก๊ส
4. กระบอกตวง
5. บีกเกอร์
6. ท่อแก้วรูปตัวยู
7. เทอร์โมมิเตอร์

สารเคมี

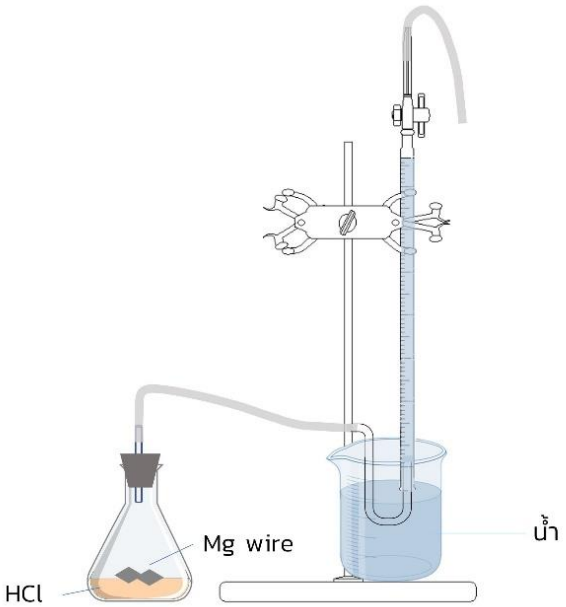
1. ลวดแมกนีเซียม (Mg) ขัดผิวด้วยกระดาษทราย ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ
2. สารละลาย HCl 1.0 mol/L

วิธีทดลอง

ขั้นที่ 1 การจัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

เตรียมอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 7.1 ควรจะล้างขวดรูปชมพู่ให้สะอาด คว่ำบิวเรตลงในบีกเกอร์ขนาด 250 mL ที่บรรจุน้ำประมาณ 200 mL โดยให้ปลายบิวเรตครอบท่อนำแก๊สที่ปลายอีกด้านมีจุดยางปิดปากขวดรูปชมพู่ได้สนิท

ควรระมัดระวังในการอ่านปริมาตรน้ำเพราะเป็นการอ่านกลับข้างของตัวเลขที่ปรากฏอยู่ที่ด้านข้างของบิวเรต ถ้าระดับน้ำอยู่ที่ 50.00 mL ก็แสดงว่าปริมาตรของน้ำในบิวเรตเป็น 50.00 mL เมื่อมีการแทนที่น้ำด้วยแก๊สที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ปริมาตรของแก๊สจะเท่ากับผลต่างของปริมาตรของน้ำในบิวเรตตอนเริ่มต้นและตอนที่ปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว



รูปที่ 7.1 การจัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาปริมาตรของแก๊ส

ขั้นที่ 2 การทดลองการเตรียมแก๊สไฮโดรเจน

1. ชั่งลวดแมกนีเซียม หนักประมาณ 0.02xx-0.03xx g
2. ตวงสารละลาย HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 20.00 mL ด้วยกระบอกตวงใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 mL แล้ววัดอุณหภูมิสารละลายในขวดรูปชมพู่ก่อน
3. ใส่ลวด Mg แล้วปิดจุกทันที (ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นทันทีเมื่อ Mg สัมผัสกับสารละลาย HCl) เขย่าขวดรูปชมพู่จนกระทั่งไม่มีแก๊สเกิดขึ้น สังเกตจากการแก๊สที่ไปแทนที่น้ำในบิวเรต
4. จดปริมาตรของน้ำที่หายไป (หน่วย mL)
5. ใช้ไม้บรรทัดวัดความสูงของน้ำที่เหลืออยู่ในบิวเรตจากระดับน้ำที่อยู่ในบีกเกอร์ (หน่วยเป็นเซนติเมตร)
6. วัดอุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์ (อนุมานว่าเป็นอุณหภูมิของแก๊ส)

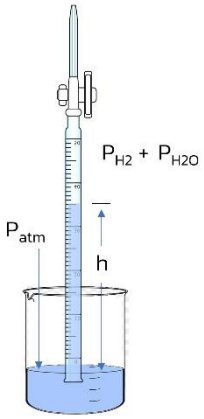
การคำนวณ

1. การหาจำนวนโมล

จำนวนโมลของแก๊สไฮโดรเจน = จำนวนโมลของ Mg

$$\text{จำนวนโมลของ Mg} = \frac{\text{น้ำหนักลวด Mg}}{\text{มวลอะตอมของ Mg}}$$

2. การคิดความดันของแก๊ส (ที่ถูกต้อง) ตามภาพที่ 7.2



ภาพที่ 7.2

สมดุลของความดัน

$$P_{atm} = P_{gas} + P_{H2O} + P_h$$

$$P_{gas} = P_{atm} - P_{H2O} - P_h \qquad (7.4)$$

เมื่อ P_{gas} = ความดันของแก๊ส H_2

P_{atm} = ความดันบรรยากาศ

P_{H_2O} = ความดันอิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

P_h = ความดันเนื่องจากน้ำสูง h cm ที่เหลือในบิวเรต

ค่า P นี้จะถูกต้องเมื่อระดับน้ำในบิวเรตที่เก็บแก๊สเท่ากับระดับน้ำในบีกเกอร์ แต่ในการทดลองแก๊สแทนที่น้ำได้ไม่หมด ทำให้ระดับน้ำในบิวเรตสูงกว่าระดับน้ำในบีกเกอร์ (ตามภาพที่ 7.2) ดังนั้นจึงต้องใช้สมการ (7.4) เพื่อหาความดันของแก๊สที่ถูกต้อง

ระดับน้ำสูง 1 เซนติเมตร เป็นความดัน 98.088 Pa

ระดับน้ำสูง h เซนติเมตร เป็นความดัน 98.088 x h Pa

กำหนด 760.00 mmHg = 1.01×10^5 Pa น้ำสูง 1 cm จะมีความดันเท่ากับ 98.088 Pa

3. การหาค่าคงที่ของแก๊ส (R) จากสมการแก๊สอุดมคติ PV = nRT

หาค่า R ได้จากสูตร $R = \frac{P_{H_2} V_{H_2}}{n_{H_2} T}$

R จะอยู่ในหน่วย J/mol K

เมื่อ n = จำนวนโมลของแก๊สที่เกิดขึ้น

P = ความดันของแก๊สในหน่วย Pa

V = ปริมาตรของแก๊สในหน่วย m^3 ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่

T = อุณหภูมิของแก๊ส ในหน่วยเคลวิน (K)

4. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า R

$$\% \text{ ความเบี่ยงเบน} = \frac{(R - 8.314)}{8.314} \times 100$$