

## การทดลองที่ 7

### การหาปริมาตรหนึ่งโมลของแก๊สที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน

(Determining molar volume of a gas at standard temperature and pressure)

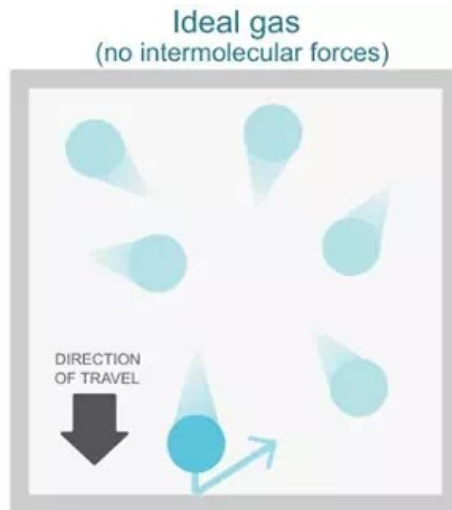
#### วัตถุประสงค์

1. เพื่อฝึกทักษะการทดลองเกี่ยวกับกฎของแก๊ส
2. เพื่อหาปริมาตรหนึ่งโมลของแก๊สที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานจากการทดลอง

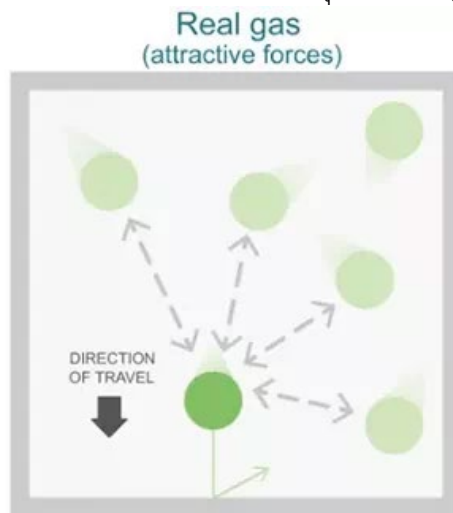
#### หลักการ

แก๊ส (Gas) เป็นสารที่มีสถานะเป็นแก๊สที่อุณหภูมิห้อง ที่มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคน้อยมาก ทำให้โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมากเมื่อเทียบกับสถานะของเหลวหรือของแข็ง จึงทำให้โมเลกุลของแก๊สมีการเคลื่อนที่อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่อบรรจุแก๊สไว้ในภาชนะ แก๊สจึงเกิดการแพร่กระจายเต็มภาชนะที่บรรจุ ทำให้แก๊สมีรูปร่างเปลี่ยนไปตามภาชนะที่บรรจุ แก๊สมีความหนาแน่นต่ำกว่าของแข็งและของเหลว จึงสามารถบีบอัดให้มีปริมาตรลดลงได้ ซึ่งแก๊สเป็นหนึ่งในสถานะของสารที่ประกอบด้วยของแข็ง ของเหลว และแก๊ส [1] ประเภทของแก๊สแบ่งได้เป็น 2 ชนิดดังนี้

- 1) แก๊สอุดมคติ (Ideal gas) คือแก๊สที่ถูกมองเป็นแก๊สที่มีพฤติกรรมเรียบง่ายและสมบูรณ์ที่สุดตามกฎของแก๊ส (Gas laws) ซึ่งรวมถึงกฎของบอยล์ (Boyle's law), กฎของชาร์ลส์-กฎของเกย์-ลูซแซก (Charles-Gay-Lussac's law), และกฎของอาโวกาโดร (Avogadro's law) โดยแก๊สอุดมคติดังกล่าวมีลักษณะ (1) มีโมเลกุลขนาดเล็กที่สามารถพุ่งกระจายไปทั่ว ทำให้มีระยะห่างระหว่างโมเลกุลมากกว่าสารในสถานะของเหลวหรือของแข็ง ส่งผลให้เกิดแรงดึงดูดและแรงผลักระหว่างโมเลกุลต่ำ กล่าวคือไม่มีแรงดึงดูดหรือแรงกระทำต่อกันเกิดขึ้นระหว่างอนุภาคหรือโมเลกุลของสาร ซึ่งทำให้สามารถมองแก๊สอุดมคติในรูปแบบที่เรียบง่ายและตรงไปตามกฎของแก๊สดังรูปที่ 7.1 (2) ปริมาตรขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน กล่าวคือปริมาตรของแก๊สอุดมคติเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและลดลงเมื่ออุณหภูมิลดลง โดยความดันในกรณีที่ปริมาตรและจำนวนโมเลกุลคงที่จะเปลี่ยนแต่เพียงแต่ความดันเท่านั้น (3) ปริมาตรของแก๊สอุดมคติสัมพันธ์กับความดันและอุณหภูมิตามสมการที่ 7.1 แก๊สอุดมคติดังกล่าวมักถูกใช้ในการศึกษาและคำนวณสมบัติของแก๊สในเงื่อนไขปกติโดยไม่ต้องพิจารณารายละเอียดเกี่ยวกับโมเลกุลของแก๊สที่ใช้ และในกรณีที่แก๊สอุดมคติเป็นแบบจำลองที่มีความแม่นยำสูงในสภาวะปกติ แม้ว่าในความเป็นจริงแก๊สจริง (Real gas) อาจมีพฤติกรรมที่ไม่ตรงกับแก๊สอุดมคติในเงื่อนไขบางสภาวะ เช่น ในสภาวะที่มีความดันสูงหรืออุณหภูมิต่ำมาก ๆ แก๊สจริงอาจมีพฤติกรรมที่แตกต่างจากแก๊สอุดมคติในเงื่อนไขทั่วไป เป็นต้น ตัวอย่างของแก๊สที่มีพฤติกรรมใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติคือ แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen gas)
- 2) แก๊สจริง (Real gas) คือแก๊สที่มีพฤติกรรมต่างจากแก๊สอุดมคติ (Ideal gas) ในเงื่อนไขบางสภาวะ แก๊สจริงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล โมเลกุลของแก๊สจริงมีขนาดและมีแรงสัมพันธ์ต่อโมเลกุลอื่นๆ ดังรูปที่ 7.2 ในสภาวะที่ไม่ใช่เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับแก๊สอุดมคติ แก๊สจริงแสดงพฤติกรรมที่เปลี่ยนแบบกับแก๊สอุดมคติในเงื่อนไขปกติเมื่ออุณหภูมิสูงและความดันต่ำ แต่ในสภาวะที่มีความดันสูงหรืออุณหภูมิต่ำมาก ๆ พฤติกรรมของแก๊สจริงอาจมีความแตกต่างออกไปจากแก๊สอุดมคติ แก๊สจริงจะมีสมบัติใกล้เคียงกับแก๊สอุดมคติในสภาวะปกติมากที่สุดคือ แก๊สเฉื่อย (Inert gas) [2, 3, 4]



รูปที่ 7.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่โมเลกุลของแก๊สอุดมคติ [5]



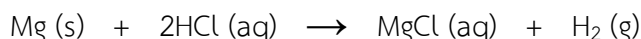
รูปที่ 7.2 แบบจำลองการเคลื่อนที่โมเลกุลของแก๊สจริง [5]

สมบัติของแก๊สขึ้นอยู่กับ 4 ตัวแปร คือ ความดัน ปริมาตรของแก๊ส อุณหภูมิ และปริมาณของแก๊ส (จำนวนโมลของแก๊ส) การกล่าวถึงแก๊สจะต้องระบุปริมาตร อุณหภูมิ และความดันด้วย เนื่องจากเป็นสมบัติเฉพาะของแก๊ส (Intensive properties) และสามารถอธิบายได้โดยการใช้กฎของแก๊สอุดมคติ ซึ่งเป็นการรวมกฎของบอยล์ (Boyle's law) กฎของชาร์ล (Charles's law) กฎของเกย์-ลูซแซก (Gay-Lussac's law) และกฎของอะโวกาโดร (Avogadro's law) ดังสมการที่ 7.1 [6, 7, 8]

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

- เมื่อ
- P = ความดัน (atm)
  - V = ปริมาตร (L)
  - n = จำนวนโมล (mol)
  - T = อุณหภูมิ (K)
  - R = ค่าคงที่ของแก๊ส (Gas constant) มีค่า 0.08206 (L•atm)/(mol•K)

ฉะนั้นในการทดลองนี้จะศึกษาเกี่ยวกับกฎของแก๊สโดยอาศัยการทดลองจากการเตรียมแก๊สไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) จากปฏิกิริยาระหว่างโลหะแมกนีเซียม Mg กับสารละลายกรด HCl ดังปฏิกิริยา



จากปฏิกิริยาข้างต้นจะเห็นได้ว่า Mg จำนวน 1 โมล ทำปฏิกิริยาพอดีกับ HCl จำนวน 2 โมล แล้วเกิด H<sub>2</sub> 1 โมล ซึ่งปฏิกิริยาหนึ่งๆ สารกำหนดปริมาณ อาจจะเป็นสารตัวใดก็ได้ที่เป็นตัวเข้าทำปฏิกิริยาและเป็นตัวจำกัดให้ปฏิกิริยาสิ้นสุดลง ซึ่งแก๊สที่เกิดขึ้นเป็นแก๊สจริง (Real gas) ทำการทดลองโดยการเก็บแก๊สจากการแทนที่น้ำ จากค่าปริมาตรอุณหภูมิ ความดัน และจำนวนโมลของแก๊ส จะสามารถหาค่า R ได้ โดยความดันของแก๊สไฮโดรเจนที่เก็บโดยการแทนที่น้ำ ได้จากการหักค่าความดันไอน้ำอิ่มตัว (Vapor pressure of water) ดังตารางที่ 1 ออกจากค่าความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิเดียวกันกับอุณหภูมิของแก๊สที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 1 ค่าความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิต่างๆ

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		

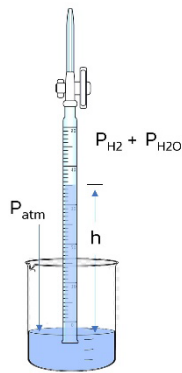
การคำนวณหาปริมาตรหนึ่งโมลของแก๊สที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐานจากการทดลอง [9]

### 1. การหาจำนวนโมล (n)

จำนวนโมลของแก๊ส H<sub>2</sub> = จำนวนโมลของ Mg

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

## 2. การคิดความดันของแก๊ส (ที่ถูกต้อง)



สมมูลของความดัน

$$P_{\text{atm}} = P_{\text{gas}} + P_{\text{H}_2\text{O}} + P_h \quad (7.2)$$

$$P_{\text{gas}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{H}_2\text{O}} - P_h \quad (7.3)$$

เมื่อ  $P_{\text{gas}}$  = ความดันของแก๊ส  $\text{H}_2$

$P_{\text{atm}}$  = ความดันบรรยากาศ

$P_{\text{H}_2\text{O}}$  = ความดันอิมิตัวของน้ำที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

$P_h$  = ความดันเนื่องจากน้ำสูง  $h$  (cm) ที่เหลือในบิวเรต

ค่า  $P$  นี้จะถูกต้องเมื่อระดับน้ำในบิวเรตที่เก็บแก๊สเท่ากับระดับน้ำในปิกเกอร์ แต่ในการทดลองจริงแก๊สแทนที่น้ำได้ไม่หมด ทำให้ระดับน้ำในบิวเรตสูงกว่าระดับน้ำในปิกเกอร์ ดังนั้นจึงต้องใช้สมการที่ 7.3 เพื่อหาความดันของแก๊สที่ถูกต้อง

เมื่อ ระดับน้ำสูง 1 เซนติเมตร เป็นความดัน 98.088 Pa

ระดับน้ำสูง  $h$  เซนติเมตร เป็นความดัน  $98.088 \times h$  Pa

กำหนดให้  $760.00 \text{ mmHg} = 1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$  และน้ำสูง 1 cm จะมีความดันเท่ากับ 98.088 Pa

## 3. การหาค่าคงที่ของแก๊ส ( $R$ ) จากสมการแก๊สอุดมคติ $PV = nRT$

หาค่า  $R$  ได้จากสูตร

$$R = \frac{P_{\text{H}_2} V_{\text{H}_2}}{n_{\text{H}_2} T_{\text{H}_2}}$$

ค่า  $R$  จะอยู่ในหน่วย  $\text{J/mol}\cdot\text{K}$

เมื่อ  $n$  = จำนวนโมลของแก๊สที่เกิดขึ้น ในหน่วยโมล (mol)

$P$  = ความดันของแก๊สในหน่วยปาสกาล (Pa)

$V$  = ปริมาตรของแก๊สในหน่วย  $\text{m}^3$  ซึ่งมีค่าเท่ากับปริมาตรของน้ำที่ถูกแทนที่

$T$  = อุณหภูมิของแก๊ส ในหน่วยเคลวิน (K)

## 4. การคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของค่า $R$ (%Error)

$$\% \text{Error} = \frac{|R - 8.314|}{8.314} \times 100$$

อุปกรณ์

1. บิวเรต ขนาด 50 mL
2. ท่อพลาสติกนำแก๊ส
3. ขวดเก็บสาร (Reagent bottle) ขนาด 25 mL
4. กระจกตวง ขนาด 50 mL
5. ปิกเกอร์ ขนาด 50, 250 mL
6. เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล

## สารเคมี

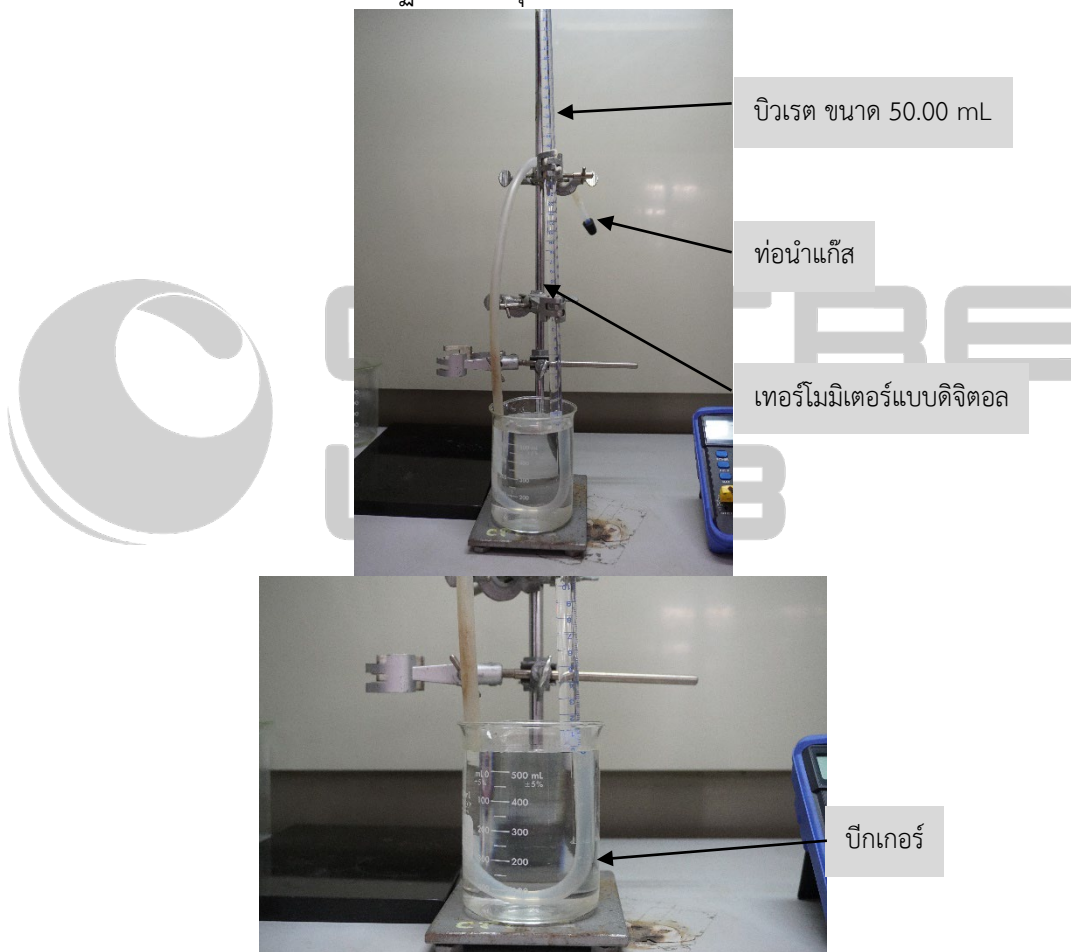
1. ลวดแมกนีเซียม (Mg) ชัดด้วยกระดาษทราย ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ
2. สารละลายกรด HCl 1.0 mol/L



## วิธีการทดลอง

### ตอนที่ 1 การจัดเตรียมอุปกรณ์การทดลอง

1. เตรียมอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 7.3 บรรจุน้ำในบิวเรตให้เต็ม แล้วกลับด้านเอาด้านที่มีจุกปิด (Stopcock) ไว้ด้านบน แล้วจุ่มลงในบีกเกอร์ขนาด 600 mL ที่บรรจุน้ำ 500 mL โดยให้ปลายบิวเรตครอบท่อ นำแก๊สไว้
2. จากนั้นเปิดจุกปิดให้น้ำในบิวเรตลดระดับลง และมีที่ว่างเหนือระดับน้ำพอสมควร เพื่อให้อ่านระดับน้ำแรกเริ่มได้
3. ควรระมัดระวังในการอ่านปริมาตรน้ำ เพราะเป็นการอ่านกลับข้างของตัวเลขที่ปรากฏอยู่ที่ด้านข้างของบิวเรต (ถ้าระดับน้ำอยู่ที่ 40.00 mL ก็แสดงว่าปริมาตรของน้ำในบิวเรตเป็น 40.00 mL) เมื่อมีการแทนที่น้ำด้วยแก๊สที่เกิดขึ้นจากการทดลอง ปริมาตรของแก๊สจะเท่ากับผลต่างของปริมาตรของน้ำในบิวเรตตอนเริ่มต้นและตอนที่ปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว



รูปที่ 7.3 การจัดชุดการทดลอง

## ตอนที่ 2 การทดลองการเตรียมแก๊สไฮโดรเจน

1. ชั่งลวดแมกนีเซียม หนักประมาณ 0.02-0.03 g แล้วใส่ลงในปิกเกอร์
2. ตวงสารละลายกรด HCl 1.0 mol/L ปริมาตร 20.0 mL ด้วยกระบอกตวง ใส่ในขวดใส่สารแล้ววัดอุณหภูมิกรดก่อนทำการทดลอง
3. ทำการต่อท่อ นำแก๊สเข้ากับขวดใส่สาร และนำลวดแมกนีเซียมใส่ลงในขวดใส่สาร รีบปิดจุกทันที
4. แก้วขวดใส่สารเบาๆ จนกระทั่งไม่มีแก๊สเกิดขึ้น แสดงว่าปฏิกิริยาสิ้นสุด สังเกตจากการแก๊สที่ไปแทนที่น้ำในบิวเรต
5. บันทึกปริมาตรของน้ำที่หายไป (หน่วย mL) และวัดอุณหภูมิของน้ำที่บรรจุในปิกเกอร์
6. วัดอุณหภูมิของกรด HCl หลังทำปฏิกิริยา
7. หลังจากนั้นใช้ไม้บรรทัดวัดความสูงของน้ำที่เหลืออยู่ในบิวเรตจากระดับน้ำที่อยู่ในปิกเกอร์ (หน่วยเป็น cm)
8. จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวณหาปริมาตรหนึ่งโมลของแก๊สที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน ค่าคงที่ของแก๊ส (R) และเปอร์เซ็นต์ความคาดเคลื่อนของค่า R เมื่อเทียบกับทฤษฎี



**รายงานผลการทดลองที่ 7 การหาปริมาตรหนึ่งโมลของแก๊สที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน  
(Determining molar volume of a gas at standard temperature and pressure)**

กำหนดให้

- มวลโมเลกุลของแมกนีเซียม = 24 g/mol
- ความดันบรรยากาศ (P) ที่ใช้ในการทดลอง = 760 mmHg

**ตารางบันทึกผลการทดลอง**

ความดันบรรยากาศ ( $P_{atm}$ ).....mmHg = ..... Pa

ความเข้มข้นของสารละลาย HCl .....mol/L

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น .....

	ผลการทดลอง
ปริมาตรของสารละลาย HCl ที่ใช้ผสม (หน่วย mL)	
น้ำหนักของ Mg ที่ใช้ผสม (หน่วย g)	
อุณหภูมิของ HCl ก่อนเริ่มทำการทดลอง (หน่วย °C)	
อุณหภูมิของ HCl หลังทำการทดลอง (หน่วย °C)	
ปริมาตรน้ำเริ่มต้นในบิวเรต (หน่วย mL)	
ปริมาตรน้ำสุดท้ายในบิวเรต (หน่วย mL)	
ความสูงของระดับน้ำ (h) ที่เหลือในบิวเรตจากระดับน้ำในปิกเกอร์ (หน่วย cm)	
อุณหภูมิของน้ำในปิกเกอร์ (หน่วย °C)	

**การคำนวณหาปริมาตรหนึ่งโมลของแก๊สที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน**

**ขั้นที่ 1** การหาจำนวนโมลของแก๊ส  $H_2$  ( $n_{H_2}$ ) ที่เกิดขึ้น

	ผลการคำนวณ
จำนวนโมลของสารละลาย HCl ที่ใช้ผสม (หน่วย mol)	
จำนวนโมลของ Mg ที่ใช้ผสม (หน่วย mol)	
จำนวนโมลของแก๊ส $H_2$ ( $n_{H_2}$ ) ที่เกิดขึ้น (หน่วย mol)	

**การคำนวณ**



### ขั้นที่ 2 การคำนวณปริมาตรของแก๊ส $H_2$ ( $V_{H_2}$ ) ที่เกิดขึ้น

	ผลการคำนวณ
ปริมาตรน้ำที่ถูกแทนที่ด้วยแก๊ส $H_2$ (หน่วย mL) (จากปริมาตรน้ำในบิวเรตที่หายไป)	
ปริมาตรของแก๊ส $H_2$ ( $V_{H_2}$ ) ที่เกิดขึ้น (หน่วย $m^3$ )	

### การคำนวณ

### ขั้นที่ 3 การหาความดันของแก๊ส $H_2$ ( $P_{H_2}$ ) ที่เกิดขึ้น

จากสมการ  $P_{(H_2)} = P_{(atm)} - P_{(H_2O)} - P_{(h)}$

	ผลการคำนวณ
ความดันไออิ่มตัวของน้ำ $P_{(H_2O)}$ (หน่วย Pa) (ดูจากตารางค่าความดันไอน้ำอิ่มตัว)	5560.86
ความดันเนื่องจากระดับน้ำที่เหลือในบิวเรต $P_{(h)}$ (หน่วย Pa) = $(98.088 \times h)$	1667.196
ความดันของ $H_2$ ที่เกิดขึ้น $P_{(H_2)}$ (หน่วย Pa)	
ความดันของแก๊ส $H_2$ ( $P_{H_2}$ ) ที่เกิดขึ้น (หน่วย $J/m^3$ ) ( $1 \text{ Pa} = 1 \text{ J/m}^3$ )	

### การคำนวณ

**ขั้นที่ 4 การคำนวณค่าคงที่ของแก๊ส (R)**

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

จากการผลการคำนวณ

$P_{H_2} = \dots\dots\dots J/m^3$

$V_{H_2} = \dots\dots\dots m^3$

$n_{H_2} = \dots\dots\dots mol$

$T_{H_2} = \text{อุณหภูมิของน้ำในบีกเกอร์} + 273.15 = \dots\dots\dots + 273.15 = \dots\dots\dots K$

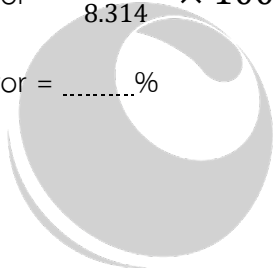
ค่า  $R = \frac{P_{H_2} V_{H_2}}{n_{H_2} T}$

ดังนั้น ค่าคงที่ของแก๊ส (R) =  $\dots\dots\dots J/mol \cdot K$

การคำนวณ %ความคลาดเคลื่อน

$\%Error = \frac{|R-8.314|}{8.314} \times 100$

$\%Error = \dots\dots\dots\%$



CATRE  
LAB

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

---

---

---

---

---



## อ้างอิง

- [1] ณปภัช พิมพ์ดี, “สถานะของสาร,” คลังความรู้ SciMath, 28 5 2560. [Online]. Available: <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7078-2017-05-28-02-15-42>. [Accessed 17 10 2566].
- [2] ณปภัช พิมพ์ดี, “แก๊ส (gas),” คลังความรู้ SciMath, 5 6 2560. [Online]. Available: <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/7173-gas>. [Accessed 17 10 2566].
- [3] “แก๊ส และ สมบัติ ของ แก๊ส ,” Orange Innovation, [Online]. Available: <https://www.orangeth.com/GasArticles/-%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%AA%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%AA.html>. [Accessed 17 10 2023].
- [4] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, “สมบัติของแก๊ส ของแข็ง ของเหลว และสารละลาย,” ตำราเคมีสำหรับวิศวกร, กรุงเทพฯ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2559, p. 165.
- [5] NGThai, “กฎและทฤษฎีของก๊าซอุดมคติ,” NATIONAL GEOGRAPHIC ASIA, 9 11 2022. [Online]. Available: <https://ngthai.com/science/45163/gas-ideal-gas/>. [Accessed 18 10 2023].
- [6] ศุภาวีดา จรรยา, “สสารและการเปลี่ยนแปลง,” คลังความรู้ SciMath , 26 9 2019. [Online]. Available: <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/8794-2018-09-21-02-04-34>. [Accessed 4 9 2023].
- [7] CHULATUTOR.COM, “เคมี แก๊ส และ สมบัติ ของ แก๊ส ,” 2023. [Online]. Available: <https://www.chulatutor.com/blog/%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B8%A1%E0%B8%B5-%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%AA%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%AA/>.
- [8] สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, บทที่ 7 แก๊สและสมบัติของแก๊ส, กรุงเทพฯ: สถาบันส่งเสริมการสอนวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี กระทรวงศึกษาธิการ, 2560.
- [9] Faculty of Science, KMUTT, Chemistry Laboratory, Faculty of Science, KMUTT.