

102 グレアムの法則とベルヌーイの定理を使って試料ガスのモル質量を推定しよう

1.はじめに

定圧下で細孔を通して気体を流出させると、その速度は、気体のモル質量の平方根に反比例することから、試料ガスのモル質量を推定する。また、圧力を変化させるとその流出速度は、圧力の平方根に比例する。前者は、グレアムの法則であり、後者は、ベルヌーイの定理である。

この法則と定理は、流量測定の基礎とされ、化学系・環境系専門高校などにおいては必修的学習である。

これらを簡易に実習するには、オリフィス付石けん膜流量計が便利である。ここでは、その装置の製作方法と操作方法を紹介する。

2.実験装置

2.1 オリフィス計の製作

(1) 材料、部品、工具等

①アルミ缶(ビールなどの空き缶)、②ガスホース継手金具 (ネジ込み式：内径 10mm 程度)、③ゴムパッキン 2 枚、④打ち抜きポンチ (③、④は継手金具の内径に合わせる)、⑤玉付まち針、⑥金槌

(2) 製作方法

①アルミ缶の上部と下部を切り離し、胴体部分を開いて板状にする。②この板をベニヤ板に載せ、ポンチで打ち抜き、円盤を 20 枚ほど用意し、それぞれの中心部に印をつける。③まち針を印にセットし、金槌で軽くたたき、円盤に穴をあける。照明に透かすと円内の黒斑点多いほど穴が小さい。10 枚ほどつくっておく (縫い針をボール盤につけて突き刺すとそろった穴がかけられる)。④穴の突起部がガスの入り口側になるようにゴムパッキン 2 枚にはさんでホース継ぎ手金具内に固定する。

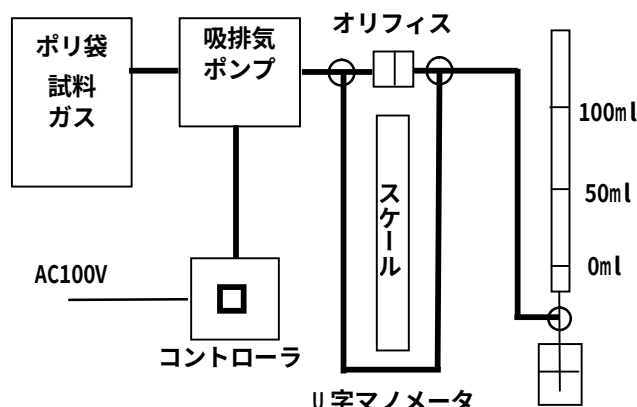
2.2 U 字マノメータ (圧力計)、セッケン膜流量計の製作

U 字マノメータ (圧力計)、セッケン膜流量計の製作については、別紙を参照のこと。

3.実験の手順

3.1 装置の接続方法

右図のようにコントローラ付吸排気ポンプ、オリフィス付 U 字マノメータ (圧力計) およびセッケン膜流量計を接続する。



オリフィス流量計基本構成

○部：T字管

3.2 空気の流出速度測定

(1) ポンプのコントローラを最小にして電源を入れ、マノメータを見ながら徐々に電圧を上げ、差圧を 50cmH₂O 程度にする。

(2) 洗浄ピンを静かに絞って、セッケン膜を

連続的に作り、アクリル製 U 字管内壁が上部出口まで濡れ、膜が途中で破れなくなるまで続ける。

(3) 圧力差を 9, 16, 25, 36, 49 と段階的に変化させて、それぞれ 100ml (または 50ml) 流出

に要した時間を測定し、流出速度を算出する。

3.3 試料ガスの採取と接続

二酸化炭素、その他の試料ガスをポリ袋に採取し、ポンプ入り口側に接続する。

3.4 試料ガスの測定

空気の流出速度測定に準じて、段階的圧力において測定する。

4. データ整理

4.1 試料ガスのモル質量の算出

各試料の流出速度を求めて空気の平均モル質量（28.9）と直線の傾き比 R を用いて、試料のモル質量を求める。

$$V = (100/t) \times 60$$

V ：流出速度（ml/min）

t ：流出時間（sec./100ml）

$$M = 28.9 \times R^2$$

M ：モル質量

R ： V_{AIR}/V_X

V_{AIR} ：空気の流出速度

V_X ：試料ガスの流出速度

表 実験結果の一例

圧力(cmH ₂ O)		9	16	25	36	49
Air	t (sec/100ml)	71.3	54.7	43.4	36.4	31.1
	V(ml/min)	84.2	109.7	138.2	164.8	192.9
He	t (sec/100ml)	26.6	20.6	16.2	13.4	11.5
	V_X (ml/min)	225.6	291.3	370.4	447.8	521.7
	$R(-)$	0.373	0.377	0.373	0.368	0.370
	$M(\text{g/mol})$	4.02	4.10	4.03	3.92	3.95
CO ₂	t (sec/100ml)	87.2	66.6	53.2	44.5	38.9
	V_X (ml/min)	68.8	90.1	112.8	134.8	154.2
	$R(-)$	1.223	1.218	1.226	1.223	1.251
	$M(\text{g/mol})$	43.2	42.8	43.4	43.2	45.2

4.2 圧力差と流出速度との関係

縦軸に流出速度、横軸に圧力差の平方根を目盛り、測定結果をプロットして、原点を通る直線になることから $R(V_{\text{AIR}}/V_X)$ が定数であることを確認する。

5. 注意事項

- (1) 水素、メタン等の可燃性ガスあるいは有毒ガスを測定する場合は、セッケン膜流量計出口付近に局所排気装置を設置する。
- (2) 酸素や窒素などを測定する場合は、標準となるガスにヘリウムを用いる。
- (3) 試料ガスとして二酸化炭素が扱いやすい。その発生、採取方法は、“[CO₂の化学量論的発生](#)”を参照してください。
- (4) オリフィス板は、薄いほどよい。厚くなると粘性が影響して流量－圧力平方根図において切片を生じる。
- (5) ポリ袋は、ガスを透過しやすい。ガス採取後速やかに測定するか、厚手の袋を用いる。
- (6) U字管出口を大気開放とし、オリフィスの位置にキャピラリー（内径 0.5mm、長さ 40cm のガラス管）をつければ、ガスの粘性を測定することができる。

