

# 中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

## 作品說明書

---

高級中等學校組 化學科

050201

迫在「鎂」「鹼」—探討鎂與鹼性酸式鹽之反應

學校名稱：國立花蓮女子高級中學

|                         |              |
|-------------------------|--------------|
| 作者：<br>高二 吳尚儒<br>高二 鄭詩穎 | 指導老師：<br>王啟名 |
|-------------------------|--------------|

關鍵詞：鹼性酸式鹽、反應速率計算、氧化還原

## 摘要

本研究目的為探討 Mg、Zn 去除氧化層的條件，再與 NaHCO<sub>3</sub> 反應，探討反應情形。將 Mg 浸泡 HCl 後發現氧化層在 1 分鐘內即被清除，而且 Mg 的氧化層對反應速率影響不明顯；以不同溫度、濃度的 NaHCO<sub>3</sub> 與 Mg 反應，發現溫度越高氣體產量越少，推測是溫度升高時，Mg 表面氧化層生成較快。比較 Mg、Zn 與 NaHCO<sub>3</sub> 的反應，氣體產生量皆以 Mg 較多。針對兩種金屬的反應皆計算找出為二級反應，再由速率常數分別算出其活化能。用 EDTA 測量 Mg<sup>2+</sup> 莫耳數，發現與產生氣體莫耳數比值接近 1，推測產生氣體可能只有 H<sub>2</sub>，沒有 CO<sub>2</sub>。將反應過後金屬表面黑色物質震盪到乙醇中，使用分光光度計掃描，確認為奈米級氧化鎂；反應後溶液放置一天過後出現了懸浮的白色物質，確認為 MgCO<sub>3</sub>。

## 壹、研究動機

由中學課程可知，活性金屬與酸會反應產生 H<sub>2</sub>，經查詢前人研究發現，鹼性酸式鹽與活性金屬也會反應產生氫氣，但並非所有活性金屬皆有此性質，鎂會與鹼性酸式鹽反應產生氫氣，但鋅卻不會。我們推測是因金屬活性差異或是其表面的氧化層，想知道金屬如何去除氧化層，以及去完氧化層後與鹼性酸式鹽的反應情形是否與前人實驗有差異。此外，在進行鎂加碳酸氫鈉的反應後，我們發現反應過後，金屬表面及溶液中都出現了一些未知物質，因此我們想鑑定這些物質為何，以釐清實際的反應情形及反應式。

## 貳、研究目的

- 一、探討 Mg、Zn 去除表面氧化層的方法及條件
- 二、探討 Mg、Zn 在不同溫度、濃度下與 NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形
- 三、測量反應過後溶液中鎂離子濃度，並與 H<sub>2</sub> 產量比較
- 四、鑑定反應後鎂金屬表面物質、溶液中懸浮之物質

## 參、研究設備與器材

### 一、實驗器材及藥品

表(一)實驗器材品名及廠牌

| 器材品名   | 廠牌             | 器材品名  | 廠牌            |
|--------|----------------|-------|---------------|
| 恆溫水槽   | CHANNEL        | 電子天秤  | OHAUS         |
| 超音波震盪器 | BRANSON 5510 型 | 分光光度計 | HACH DR6000 型 |
| pH 檢測計 | 頂雄 PH6011A 型   |       |               |

表(二)實驗藥品品名及廠牌

| 藥品品名  | 廠牌 | 藥品品名   | 廠牌 |
|---|----|--|----|
| NaOH  | 島久 | NaHCO <sub>3</sub>   | 島久 |
| HCl   | 島久 | Acetone  | 島久 |
| 羊毛銻黑 T<br>(C <sub>20</sub> H <sub>12</sub> N <sub>3</sub> O <sub>7</sub> SNa) | 永欣 | 乙二胺四乙酸二鈉<br>(C <sub>10</sub> H <sub>14</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub> Na <sub>2</sub> ) | 永欣 |
| 95%乙醇   | 竹新 | 鎂帶   |    |
| 鋅片  |    | 15M NH <sub>3</sub>  | 島久 |
| 1M NH <sub>4</sub> Cl   | 島久 |  |    |

## 二、實驗裝置

### (一)金屬與溶液反應裝置

用加熱過後的剪刀將瓶蓋凸起處熔出一個洞口，即可讓生成之氣體由瓶蓋口排出。



圖(一)在瓶蓋處熔出洞口

### (二)氣體收集裝置

1. 將廣用夾架設在鐵架上，配合恆溫槽調整至適當高度。
2. 把量筒裝滿水，固定在廣用夾上，與恆溫槽底部距離一個點滴瓶的高度。
3. 將點滴瓶放到量筒底下固定好，製成排水集氣裝置。



圖(二)氣體收集裝置圖

### (三)實驗裝置改良歷程

1. 實驗裝置 1.0:我們原本使用 5c.c 的針筒作為反應和氣體體積的測量工具，但我們發現針筒內雖然有反應，但活塞卻沒有移動，我們推測可能原因為氣體氣壓太小無法推動活塞或是有漏氣的問題，經過測試後發現在針筒活塞處有漏氣的情形發生，我們嘗試使用保鮮膜包住活塞的部分，但依然有少量氣體逸出。
2. 實驗裝置 2.0:我們使用傳統的排水集氣法，在點滴瓶瓶蓋處戳洞，讓金屬與鹼性酸式鹽溶液在點滴瓶內發生反應，並用橡皮管連結瓶蓋及量筒。但在實驗過程中，我們觀察到瓶內的反應劇烈，可是卻沒有氣泡從連結量筒處的橡皮管排出，我們懷疑是因為橡皮管太長，而氣體壓力太小以至於無法推動氣體通過橡皮管。
3. 實驗裝置 3.0:我們將橡皮管移走，發現氣泡能順利的排出，所以將此做為我們本次實驗的最終裝置。



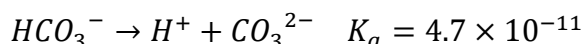
圖(三)實驗裝置改良歷程圖

## 肆、研究過程與方法

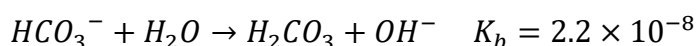
### 一、文獻探討

#### (一) Mg 與 NaHCO<sub>3</sub> 化學反應式[1]

鹼性酸式鹽為鹽類的一種，由陽離子和多質子酸的不完全電離酸根陰離子組成，本次實驗使用碳酸氫鈉(NaHCO<sub>3</sub>)。碳酸氫根在水中有兩種情形，第一種情形如下，碳酸氫根在水中會進行解離：

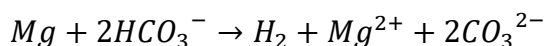


而第二種情形如下，碳酸氫根在水中也能進行水解：



水解反應 K 值較大，反應較易進行，碳酸氫鈉在水中呈鹼性。

因為 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub> 會反應產生氣體，所以我們推測碳酸氫根與鎂離子反應式如下：

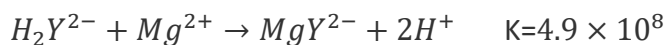


#### (二) EDTA 滴定法[5][6][9]

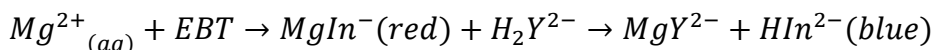
EDTA(乙二胺四乙酸)為一種金屬螯合劑，防止金屬離子與其他物質發生反應來穩定金屬離子。EDTA 呈白色結晶粉末狀，是一個六牙基，微溶於水。

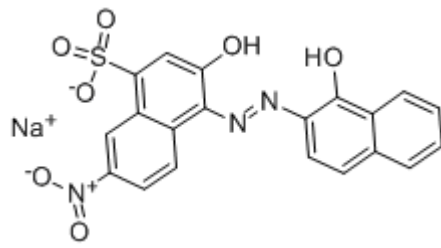
EDTA 具有兩個胺基與四個羧基，在鹼性的環境下可以和金屬離子產生六個鍵結，結合成穩定的錯合物，因此 EDTA 常用於檢測水的硬度。

EDTA 的分子常用 H<sub>4</sub>Y 表示，為四質子酸，在水溶液中多以 H<sub>2</sub>Y<sup>2-</sup>形式存在。在鹼性環境中可與 Mg<sup>2+</sup>反應，比例為 1:1。



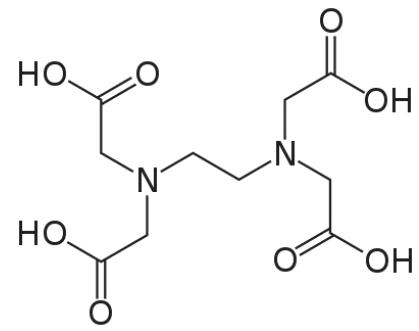
在錯合滴定的過程中，需使用指示劑(以 HIn<sup>2-</sup>表示)，本次實驗使用羊毛鈷黑 T(EBT)，可以與鎂離子產生紅色穩定的錯合物 MgIn<sup>-</sup>，後來加入的 EDTA 可以抓取 MgIn<sup>-</sup>的 Mg<sup>2+</sup>，使 HIn<sup>2-</sup>濃度增加。當 HIn<sup>2-</sup>沒有鎂離子可以結合時，會呈現藍色，表示已達滴定終點。





圖(四)EBT 結構圖

資料來源 <https://reurl.cc/RipglG>



圖(五)EDTA 結構圖

資料來源 <https://reurl.cc/oen6kQ>

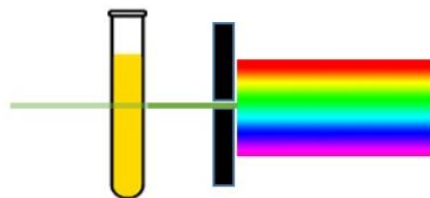


圖(六)滴定之起始點(左)、中間點(中)及終點(右)之顏色

### (三) 分光光度計[2][3]

分光光度計(UV-visible spectrophotometer)是用來測量試樣溶液的吸收光譜，或在特定波長下的透光率、吸收度之儀器。

分光光度計的原理是利用可見光和紫外光作為光源，透過濾光鏡調整色調後，再經過狹縫選擇波長，使成單一且特定波長之光線，而後射入比色槽中之樣本溶液，最後射入光電管中將光能轉換為電器訊號，藉由樣本及空白水樣間所吸收之光能量差，與標準液之能量吸收值相比較，便可找出樣本中之待測物濃度。



圖(七)擷取單一色光穿過樣品

資料來源: <https://reurl.cc/6E1Mkb>

### (四) 反應級數、反應速率常數、活化能求法[10]

收集反應產生的氣體，並根據推測出來鎂與碳酸氫鈉的反應式求得每三十秒碳

酸氫根莫爾數和濃度變化，分別計算 $[HCO_3^-]$ 、 $\ln[HCO_3^-]$ 、 $1/[HCO_3^-]$ ，再分別作圖。比較三者趨勢線的  $R^2$  值，推論判斷此反應的級數。

確定反應級數後，再根據阿瑞尼士方程式：

$$k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$$

進一步計算其反應速率常數  $k$ ，計算反應活化能。

## 二、實驗步驟

### 【實驗一】找出鎂帶去除氧化層的反應條件

- (一) 取約 3 平方公分的鎂帶，浸泡在丙酮中，放入超音波震盪器 5 分鐘去除金屬表面的油脂及髒污。
- (二) 將浸泡完丙酮的鎂帶取出，用蒸餾水清洗表面後，再加入 1M HCl，在超音波震盪器震盪 30 秒、60 秒，和不浸泡。
- (三) 處理好的鎂帶用蒸餾水清洗後平均分段放入點滴瓶內，加入 0.1M HCl 5mL，蓋上蓋子使用排水集氣法收集氣體，每 30 秒記錄產生的氫氣量，並繪製成圖表，探討反應速率。

### 【實驗二】找出鋅片去除氧化層的反應條件

- (一) 取約 3 平方公分的鋅片，浸泡在丙酮中放入超音波震盪器 5 分鐘去除金屬表面的油脂及髒污。
- (二) 將浸泡好的鋅片取出，用蒸餾水清洗表面後，平均分段加入點滴瓶內。
- (三) 在裝有鋅片的點滴瓶內加入 1M HCl 5mL，每 30 秒紀錄一次數據，再將所得數據繪製成圖表，探討其反應速率。

### 【實驗三】Mg 在不同條件下與 $NaHCO_3$ 的反應情形

- (一) 由【實驗一】找出去除鎂帶氧化層的最佳時間後，取鎂帶約 3 平方公分，浸泡在丙酮內後放入超音波震盪器 5 分鐘，去除其金屬表面的油脂及髒污。
- (二) 將浸泡完丙酮的鎂帶取出，用蒸餾水清洗表面後，再加入 1M HCl 放入超音波震盪器，浸泡 30 秒，去除氧化層。
- (三) 將去除完氧化層的鎂帶用蒸餾水清洗後，平均分段加入點滴瓶。
- (四) 將恆溫槽調整至實驗溫度 (30°C、40°C、50°C)，把不同濃度  $NaHCO_3$  溶液浸泡在恆溫槽中，直至熱平衡。
- (五) 將裝有鎂帶的點滴瓶內加入 0.1M、0.5M、1M 的  $NaHCO_3$  5mL，在恆溫槽中反應，使用排水集氣法收集生成的氣體，每 30 秒紀錄一次，將所得數據統整繪製表格，探討實驗結果。

#### 【實驗四】Zn 在不同條件下與 $\text{NaHCO}_3$ 的反應情形

- (一) 將鋅片取約 3 平方公分，浸泡在丙酮內後放入超音波震盪器 5 分鐘去除其金屬表面的油脂及髒汙。
- (二) 將浸泡完丙酮的鋅片取出，用蒸餾水清洗表面後，再加入 1M HCl 5mL 在 30°C 下浸泡 10 分鐘。
- (三) 將去除完氧化層的鋅片用蒸餾水清洗後，平均分段加入點滴瓶中。
- (四) 將恆溫槽調整至實驗溫度 (30°C、40°C、50°C)，把參與反應的溶液加熱至與恆溫槽相同溫度。
- (五) 將裝有鋅片的點滴瓶內加入 0.1M、0.5M、1M 的  $\text{NaHCO}_3$  5mL，放置於已設定好溫度的恆溫槽反應。使用排水集氣法收集反應生成的氣體，每 30 秒紀錄一次，將所得數據統整繪製表格，探討實驗結果。

#### 【實驗五】檢測反應過後金屬表面之黑色物質

- (一) 將反應過後表面有黑色物質的鎂帶取出，用蒸餾水清洗後，浸泡在乙醇內，放入超音波震盪器約 25 分鐘。
- (二) 使用滴管吸出溶液，把乙醇和吸出的溶液分別放入比色槽(cell；cuvette)。
- (三) 把乙醇放入分光光度計進行歸零後，再放入未知溶液，以波長 250nm~600nm 進行掃描，測定溶液吸收度。

#### 【實驗六】滴定反應過後之碳酸氫鈉溶液中 $\text{Mg}^{2+}$ 的濃度，計算後與氣體產量比較。

- (一) 依照實驗三的步驟，將反應 20 分鐘後點滴瓶內的溶液取出 3 毫升，並記錄其氣體總產量。
- (二) 在取出的溶液內加入緩衝溶液，並測量其 pH 值。
- (三) 加入 1~2 滴 EBT 做為指示劑，使溶液呈現紅色。
- (四) 使用 0.01M EDTA 進行滴定，溶液會先從紅色轉變成紫色(滴定中間色)，再加入 1~2 滴 EDTA 就會轉變成藍色(滴定終點)，滴定完成後再次測量其 pH 值。
- (五) 計算所得數據，得出溶液內鎂離子總莫耳數，和氣體產量進行比較。

#### 【實驗七】檢測放置一天過後懸浮之白色固體

- (一) 將鎂帶放置在  $\text{NaHCO}_3$  溶液中，放置一天後會產生白色物質沉澱，使用濾紙進行過濾。
- (二) 加入少量冰水使固體上殘留的  $\text{NaHCO}_3$  溶解。
- (三) 使用丙酮沖洗白色固體，加快固體的乾燥速度。
- (四) 取出過濾後的白色固體，倒入 1M HCl 檢測是否為  $\text{MgCO}_3$ 。



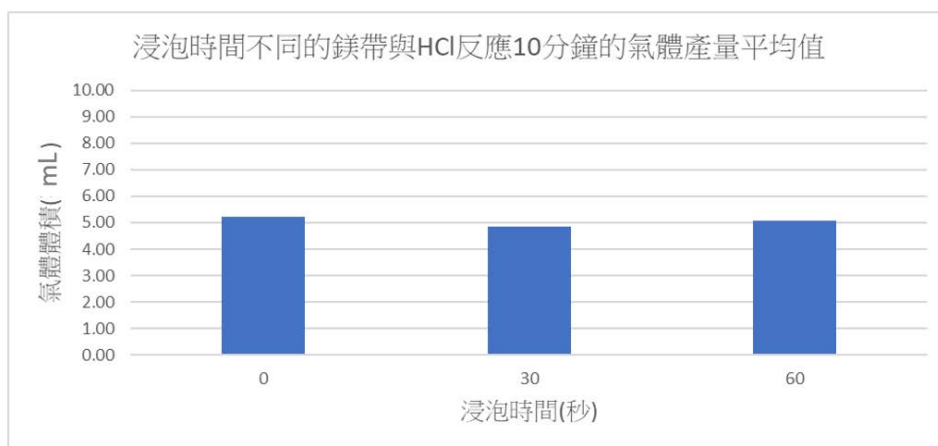
## 伍、研究結果與討論

### 【實驗一】找出鎂帶去除氧化層的反應條件

Mg 無法與鹼性溶液反應，與 1M HCl 反應過於劇烈以至於無法測量氣體體積，所以我們使用 0.1M HCl 來進行收集氣體的實驗。

表(三) 浸泡時間不同的鎂帶與 HCl 反應 10 分鐘後的氣體產量平均值

| 浸泡時間(秒)     | 0    | 30   | 60   |
|-------------|------|------|------|
| 氣體產量平均值(mL) | 5.20 | 4.83 | 5.06 |



圖(八) 浸泡時間不同的鎂帶與 HCl 反應 10 分鐘後的平均氣體產量

不同浸泡時間的 Mg，與 0.1M HCl 反應後，在五分鐘內氣體產量皆差異不大，顯示氧化層量不足以影響反應情形，但觀察剛拆封的鎂帶發現表面還是有些許的黑色氧化層，而浸泡 1M HCl 30 秒後，表面明顯已無黑色氧化層，呈現銀白色，因此我們使用浸泡過 30 秒的鎂帶進行接續的實驗。



圖(九)剛拆封(上)及浸泡 1M HCl 30 秒(下)之鎂帶比較

## 【實驗二】找出鋅片去除氧化層的反應條件

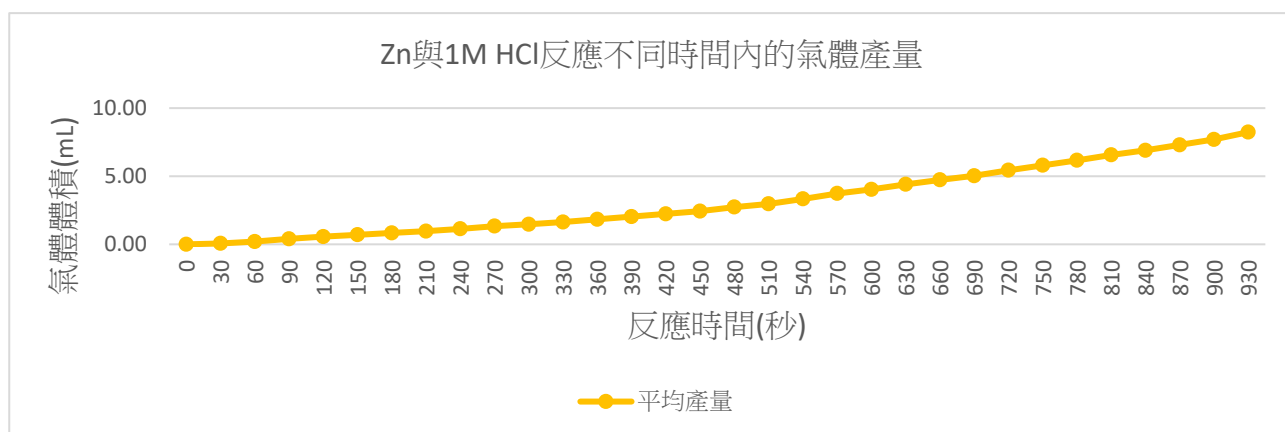
### 一、Zn 與 HCl、NaOH 之反應情形

我們發現，Zn 與 1M HCl 反應良好，但與 1M NaOH 沒反應，經資料查詢後得知 NaOH 水溶液可能要在大於 5M 且在 90°C 的條件下才能與 Zn 有較明顯的反應[7]。

二、一開始我們想要使用和鎂帶相同的方法去除氧化層，但礙於藥品有限的問題，所以我們改變檢測鋅去除氧化層的方法，將鋅片浸泡在 1M HCl 5mL 中，每 30 秒記錄一次氣體產量，預期能夠藉此得出較精確的氣體產量曲線，並且找出速率變化的時間點，去除氧化層的較佳反應條件。

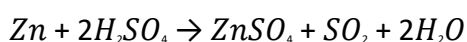
表(四) Zn 與 HCl 反應在不同時間內的氣體產量平均值(單位：mL)

| 反應時間(分) | 氣體產量平均值(單位：mL) | 反應時間(分) | 氣體產量平均值(單位：mL) | 反應時間(分) | 氣體產量平均值(單位：mL) |
|---------|----------------|---------|----------------|---------|----------------|
| 0       | 0.00           | 5.5     | 1.63           | 10.5    | 4.40           |
| 0.5     | 0.07           | 6       | 1.83           | 11      | 4.73           |
| 1       | 0.20           | 6.5     | 2.03           | 11.5    | 5.03           |
| 1.5     | 0.40           | 7       | 2.23           | 12      | 5.43           |
| 2       | 0.57           | 7.5     | 2.43           | 12.5    | 5.80           |
| 2.5     | 0.70           | 8       | 2.73           | 13      | 6.17           |
| 3       | 0.83           | 8.5     | 2.97           | 13.5    | 6.57           |
| 3.5     | 0.97           | 9       | 3.33           | 14      | 6.90           |
| 4       | 1.13           | 9.5     | 3.73           | 14.5    | 7.30           |
| 4.5     | 1.33           | 10      | 4.03           | 15      | 7.70           |
| 5       | 1.47           | 13      | 6.17           |         |                |



圖(十) Zn 與 1M HCl 反應不同時間內的氣體產量

- 三、由上圖得知，Zn 與 1M HCl 的反應速率在第九分鐘(540 秒)時發生變化，為了確保氧化層去除完畢，我們使用浸泡 HCl 10 分鐘的鋅片進行接續的實驗。
- 四、在【實驗一】中我們使用超音波震盪器去除鎂的氧化層，所以我們原先設計的鋅片去氧化層條件為浸泡在 1M HCl 10 分鐘，並使用超音波震盪器震盪。結果發現鋅片在超音波震盪器中反應 10 分鐘後，表面有黑色物質產出；而沒有在超音波震盪器中進行反應的金屬則沒有黑色物質產出，因此我們後續去除鋅片氧化層的方法全部都不震盪。
- 五、我們將黑色物質刮下，發現它不溶於水，分別加入 10M HCl、18M 濃硫酸，皆無反應。濃硫酸為強酸，也是強氧化劑，推測此為不易發生氧化還原反應的物質。因鋅粉與濃硫酸會發生反應：



故此黑色物質也不是未反應的鋅粉，所以我們目前尚無法確定此黑色物質為何，有待進一步實驗釐清。



圖(十一)同樣浸泡 1M HCl 10 分鐘，有無震盪後之鋅片比較

### 【實驗三】Mg 在不同條件下與 NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形

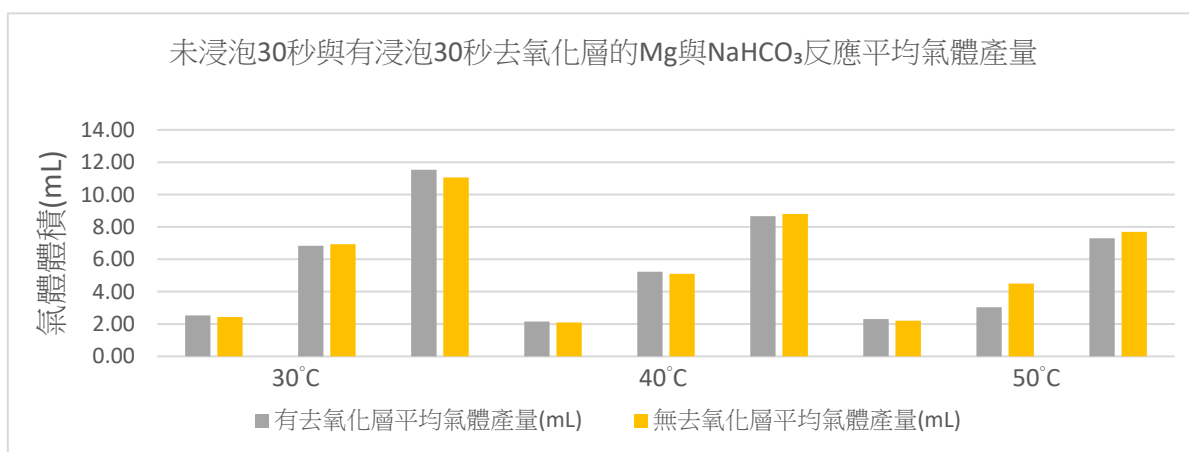
先前我們有試過使用同為鹼性酸式鹽的 K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 進行實驗，但因反應情形不明顯，雖可肉眼觀察到些微氣泡產生，但實際取得氣體產量大多為零，因此我們只選用 NaHCO<sub>3</sub> 作為實驗探討的對象。

#### 一、有無浸泡 30 秒 HCl 的 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub> 反應的比較

實驗前，我們比較了有無去氧化層的鎂與碳酸氫鈉的反應情形，發現兩者的氣體產量並無太大差距，但因考慮到剛拆封的鎂帶表面有不同程度的黑色物質，而我們目前無法確認此物質為何，所以我們以有浸泡鹽酸 30 秒的鎂作為接續實驗的討論對象。

表(五)未浸泡 30 秒與有浸泡 30 秒去氧化層的 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub>反應平均氣體產量

| 溫度(°C)              | 未浸泡 30 秒與有浸泡 30 秒去氧化層的 Mg 與 NaHCO <sub>3</sub> 反應平均氣體產量 |      |       |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|---|------|-------|------|------|------|------|------|------|
|                     | 30°C  |      |       | 40°C |      |      | 50°C |      |      |
| 濃度(M)               | 0.1M  | 0.5M | 1M    | 0.1M | 0.5M | 1M   | 0.1M | 0.5M | 1M   |
| 有去氧化層<br>平均氣體產量(mL) | 2.53  | 6.83 | 11.53 | 2.15 | 5.23 | 8.67 | 2.30 | 3.03 | 7.30 |
| 有去氧化層<br>平均氣體產量(mL) | 2.43  | 6.93 | 11.06 | 2.10 | 5.10 | 8.80 | 2.20 | 4.50 | 7.70 |



圖(十二)未浸泡 30 秒與有浸泡 30 秒去氧化層的 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub>反應平均氣體產量

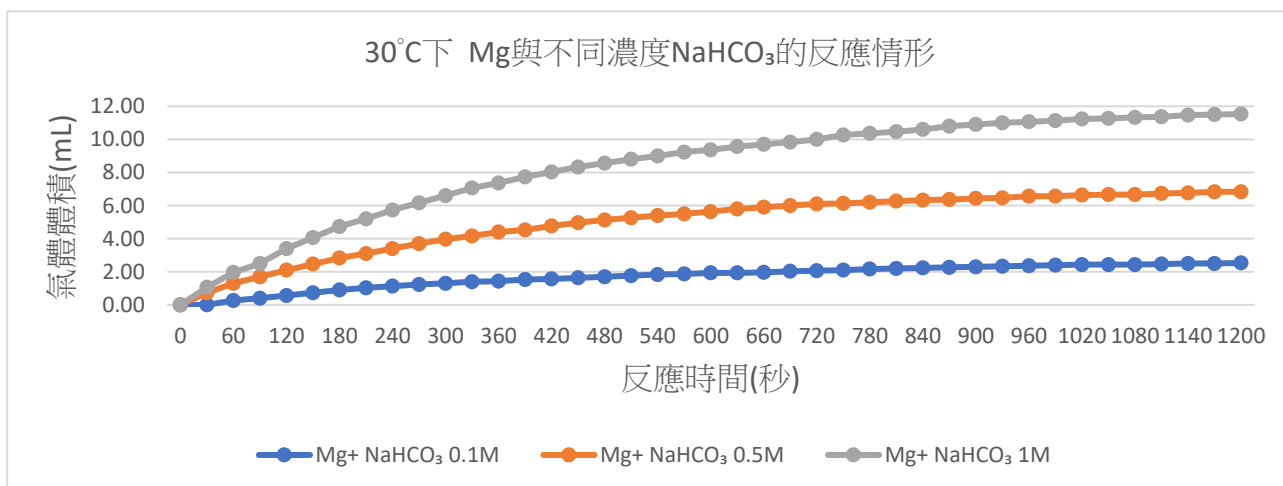
## 二、Mg 與 NaHCO<sub>3</sub>反應在 20 分鐘內的氣體產量

表(六) Mg 與不同條件 NaHCO<sub>3</sub>反應，在不同時間內的氣體產量平均值(單位：mL)

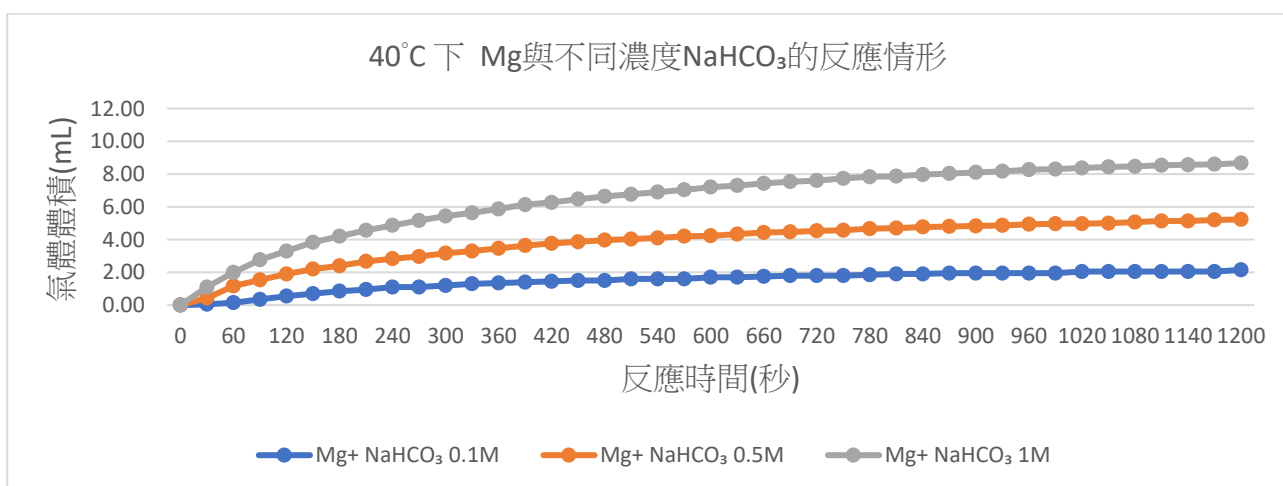
| 反應條件<br>時間(分) | 30°C |      |      | 40°C |      |      | 50°C |      |      |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 0.1M | 0.5M | 1M   | 0.1M | 0.5M | 1M   | 0.1M | 0.5M | 1M   |
| 0             | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.5           | 0.00 | 0.73 | 1.07 | 0.05 | 0.43 | 1.10 | 0.53 | 0.47 | 1.23 |
| 1             | 0.27 | 1.30 | 1.97 | 0.15 | 1.17 | 2.00 | 0.73 | 0.97 | 2.03 |
| 1.5           | 0.40 | 1.70 | 2.50 | 0.35 | 1.53 | 2.77 | 0.93 | 1.13 | 2.70 |
| 2             | 0.57 | 2.10 | 3.40 | 0.55 | 1.90 | 3.30 | 1.03 | 1.33 | 3.27 |
| 2.5           | 0.73 | 2.47 | 4.07 | 0.70 | 2.20 | 3.83 | 1.13 | 1.50 | 3.60 |
| 3             | 0.90 | 2.83 | 4.73 | 0.85 | 2.40 | 4.20 | 1.20 | 1.67 | 3.93 |
| 3.5           | 1.03 | 3.10 | 5.20 | 0.95 | 2.67 | 4.57 | 1.27 | 1.77 | 4.23 |
| 4             | 1.13 | 3.40 | 5.73 | 1.10 | 2.83 | 4.87 | 1.33 | 1.90 | 4.47 |
| 4.5           | 1.23 | 3.70 | 6.17 | 1.10 | 2.97 | 5.17 | 1.40 | 2.00 | 4.70 |
| 5             | 1.30 | 3.97 | 6.60 | 1.20 | 3.17 | 5.43 | 1.43 | 2.07 | 4.90 |
| 5.5           | 1.40 | 4.17 | 7.07 | 1.30 | 3.30 | 5.63 | 1.53 | 2.17 | 5.10 |

|      |      |      |       |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| 6    | 1.43 | 4.40 | 7.37  | 1.35 | 3.47 | 5.87 | 1.57 | 2.20 | 5.23 |
| 6.5  | 1.53 | 4.53 | 7.73  | 1.40 | 3.63 | 6.13 | 1.60 | 2.27 | 5.40 |
| 7    | 1.57 | 4.77 | 8.03  | 1.45 | 3.77 | 6.27 | 1.63 | 2.33 | 5.57 |
| 7.5  | 1.63 | 4.97 | 8.33  | 1.50 | 3.87 | 6.47 | 1.70 | 2.43 | 5.73 |
| 8    | 1.70 | 5.13 | 8.57  | 1.50 | 3.97 | 6.63 | 1.73 | 2.47 | 5.87 |
| 8.5  | 1.77 | 5.27 | 8.80  | 1.60 | 4.03 | 6.77 | 1.80 | 2.53 | 5.97 |
| 9    | 1.83 | 5.40 | 9.00  | 1.60 | 4.10 | 6.90 | 1.83 | 2.53 | 6.07 |
| 9.5  | 1.87 | 5.50 | 9.23  | 1.60 | 4.20 | 7.03 | 1.83 | 2.57 | 6.17 |
| 10   | 1.93 | 5.63 | 9.37  | 1.70 | 4.23 | 7.20 | 1.83 | 2.60 | 6.27 |
| 10.5 | 1.93 | 5.80 | 9.57  | 1.70 | 4.33 | 7.30 | 1.93 | 2.60 | 6.33 |
| 11   | 1.97 | 5.90 | 9.70  | 1.70 | 4.43 | 7.43 | 1.93 | 2.67 | 6.47 |
| 11.5 | 2.03 | 6.00 | 9.83  | 1.80 | 4.47 | 7.53 | 1.93 | 2.67 | 6.53 |
| 12   | 2.07 | 6.10 | 10.00 | 1.80 | 4.53 | 7.60 | 2.00 | 2.73 | 6.60 |
| 12.5 | 2.10 | 6.13 | 10.27 | 1.80 | 4.57 | 7.73 | 2.00 | 2.73 | 6.67 |
| 13   | 2.17 | 6.20 | 10.37 | 1.80 | 4.67 | 7.83 | 2.03 | 2.77 | 6.70 |
| 13.5 | 2.20 | 6.27 | 10.47 | 1.90 | 4.70 | 7.87 | 2.07 | 2.80 | 6.77 |
| 14   | 2.23 | 6.33 | 10.60 | 1.90 | 4.77 | 7.97 | 2.10 | 2.83 | 6.87 |
| 14.5 | 2.27 | 6.37 | 10.80 | 1.95 | 4.80 | 8.03 | 2.13 | 2.83 | 6.87 |
| 15   | 2.30 | 6.43 | 10.90 | 1.95 | 4.83 | 8.10 | 2.13 | 2.83 | 6.97 |
| 15.5 | 2.33 | 6.47 | 11.00 | 1.95 | 4.87 | 8.17 | 2.13 | 2.90 | 6.97 |
| 16   | 2.37 | 6.57 | 11.07 | 1.95 | 4.93 | 8.27 | 2.17 | 2.93 | 7.03 |
| 16.5 | 2.40 | 6.57 | 11.13 | 1.95 | 4.97 | 8.30 | 2.20 | 2.93 | 7.07 |
| 17   | 2.43 | 6.63 | 11.23 | 2.05 | 4.97 | 8.37 | 2.20 | 2.93 | 7.07 |
| 17.5 | 2.43 | 6.67 | 11.27 | 2.05 | 5.00 | 8.43 | 2.20 | 2.93 | 7.13 |
| 18   | 2.43 | 6.67 | 11.33 | 2.05 | 5.07 | 8.47 | 2.20 | 2.97 | 7.17 |
| 18.5 | 2.47 | 6.73 | 11.37 | 2.05 | 5.13 | 8.53 | 2.23 | 3.00 | 7.20 |
| 19   | 2.50 | 6.77 | 11.47 | 2.05 | 5.13 | 8.57 | 2.23 | 3.00 | 7.23 |
| 19.5 | 2.50 | 6.83 | 11.50 | 2.05 | 5.20 | 8.60 | 2.30 | 3.00 | 7.27 |
| 20   | 2.53 | 6.83 | 11.53 | 2.15 | 5.23 | 8.67 | 2.30 | 3.03 | 7.30 |

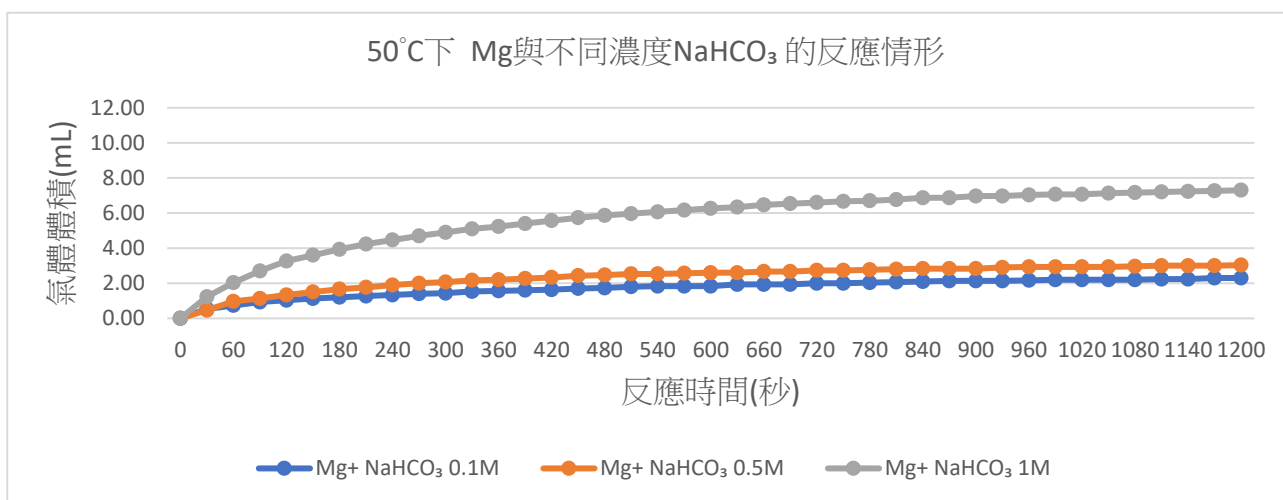
### 三、同溫度下，Mg 與不同濃度的 NaHCO<sub>3</sub> 反應情形比較



圖(十三) 30°C 下，Mg 與不同濃度 NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形



圖(十四) 40°C 下，Mg 與不同濃度 NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形

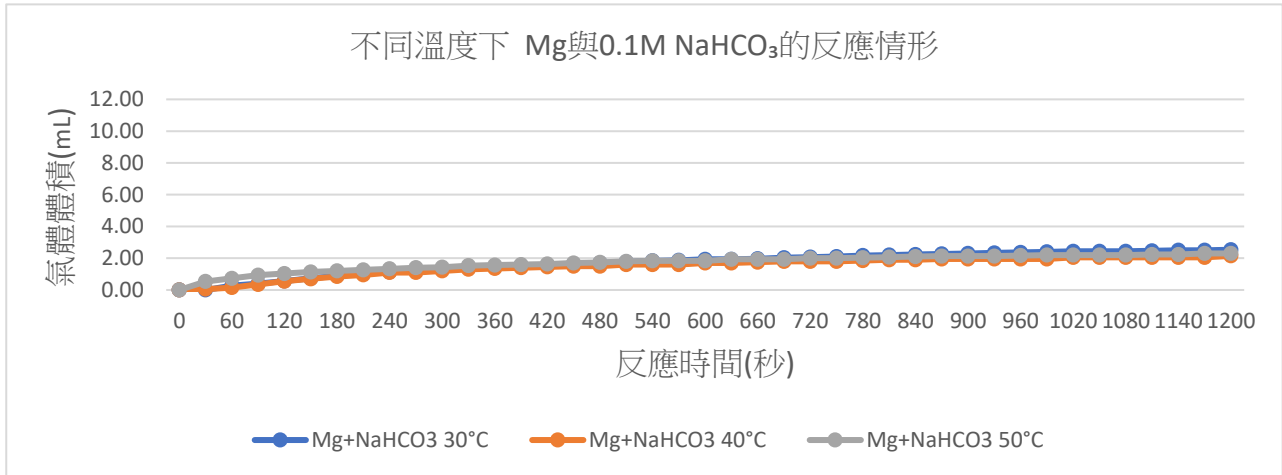


圖(十五) 50°C 下，Mg 與不同濃度 NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形

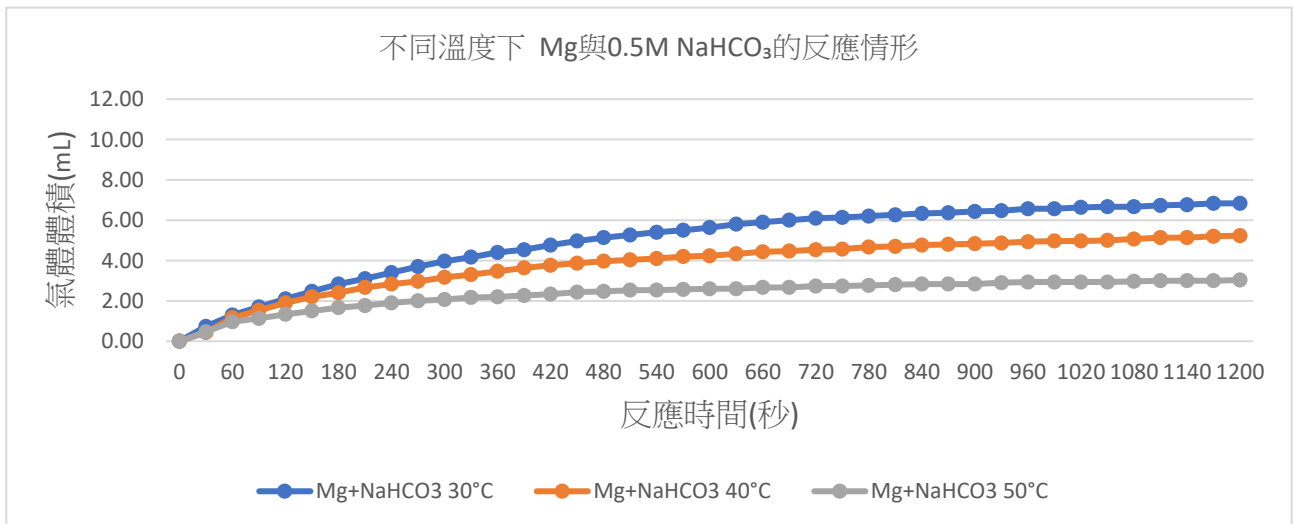
(一)由圖(十三)、(十四)、(十五)可看到，氣體產量與 NaHCO<sub>3</sub> 濃度呈正相關。

(二)Mg 與  $\text{NaHCO}_3$  的反應速率在反應一段時間後會逐漸趨緩，我們推測是因  $\text{NaHCO}_3$  濃度的減少，加上表面黑色氧化層的生成，使得內部的 Mg 較不易與溶液反應。

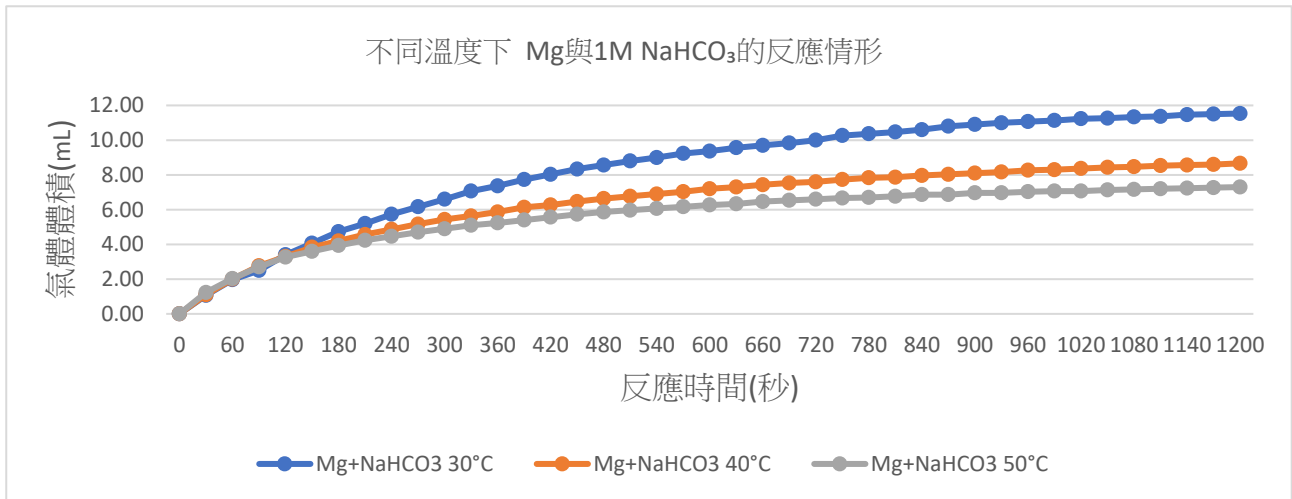
#### 四、同濃度下，Mg 與不同溫度的 $\text{NaHCO}_3$ 反應情形比較



圖(十六) 不同溫度下，Mg 與 0.1M  $\text{NaHCO}_3$ 的反應情形



圖(十七) 不同溫度下，Mg 與 0.5M  $\text{NaHCO}_3$ 的反應情形



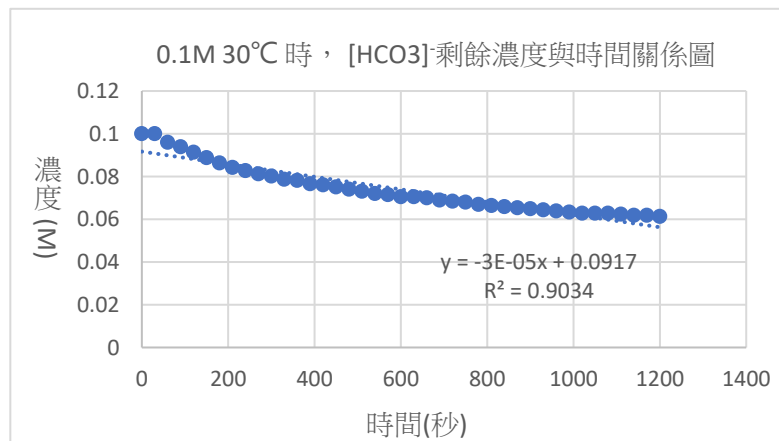
圖(十八) 不同溫度下，Mg 與 1M NaHCO<sub>3</sub>的反應情形

由圖(十六)、(十七)、(十八)可看到，溫度越高時，反應生成的氣體量越少，我們原本以為是因為溫度上升使 NaHCO<sub>3</sub>分解，故氣體產量下降，但查詢資料發現 NaHCO<sub>3</sub>在溫度大於 50°C 時才會開始分解，故排除此可能性。

我們推測是因越高溫時，鎂表面越快產生氧化層，使得氣體產量越少，而在 0.1M 時為 30°C > 50°C > 40°C，但因三者氣體產量相近，我們推測為實驗測量時的誤差；而同溫狀況下，濃度升高時，氣體產量越多，因此推測溫度效應對鎂氧化層的生成速率影響，較濃度效應明顯，而這是因增加反應物的濃度，是增加了單位體積內分子的總碰撞的次數，但提高反應溫度，即增加了單位時間內分子有效碰撞的次數。

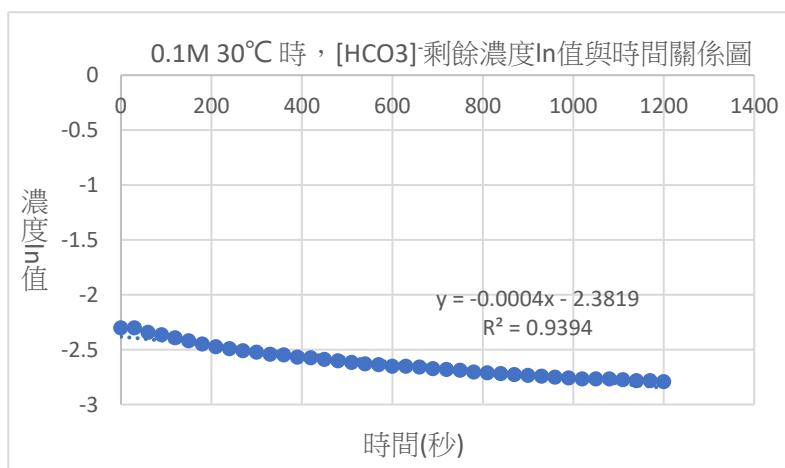
五、藉由反應時紀錄的氣體產量並計算其莫耳數，利用碳酸氫鈉與鎂的反應式，可得溶液中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 莫耳數。針對不同時間內 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 的剩餘濃度分別作圖：濃度與時間關係圖、濃度取 ln 與時間關係圖、濃度倒數與時間關係圖，將三種圖相比發現，每組實驗中，濃度倒數與時間關係圖的 R<sup>2</sup> 值皆最高，因此推測，碳酸氫鈉與鎂反應為二級反應。

(一) 0.1M 30°C 時，HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 剩餘濃度之不同的計算結果

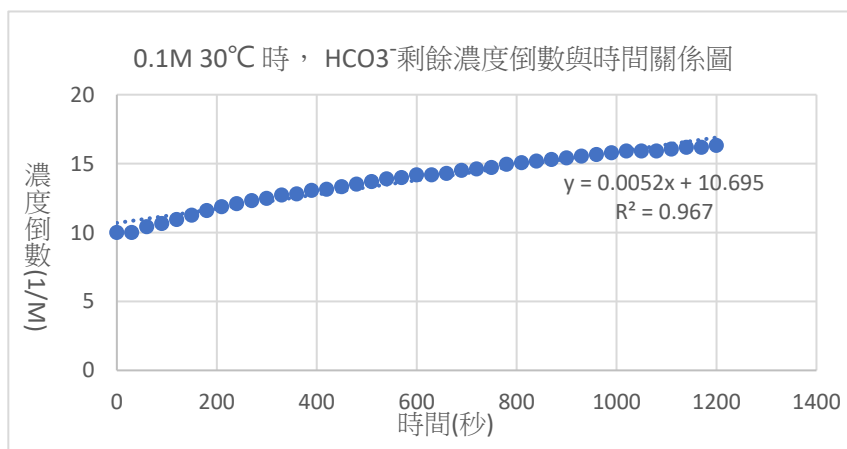


圖(十九) 0.1M 30°C 時，HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 剩餘濃度與時間關係圖



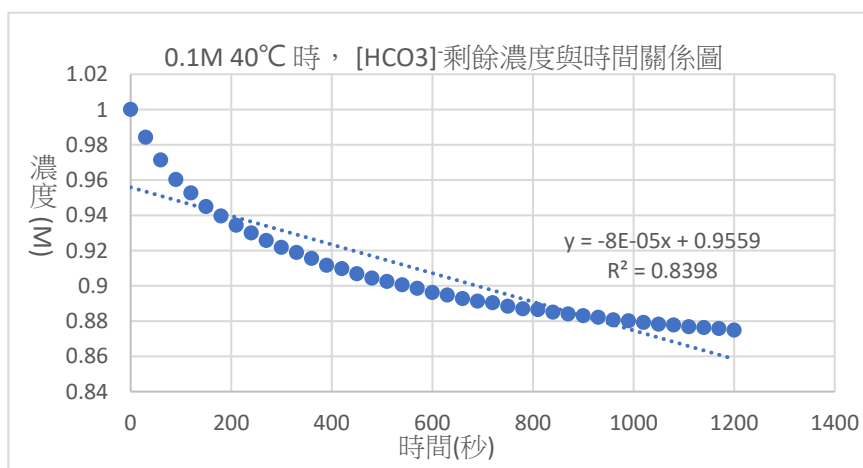


圖(二十) 0.1M 30°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度 ln 值與時間關係圖

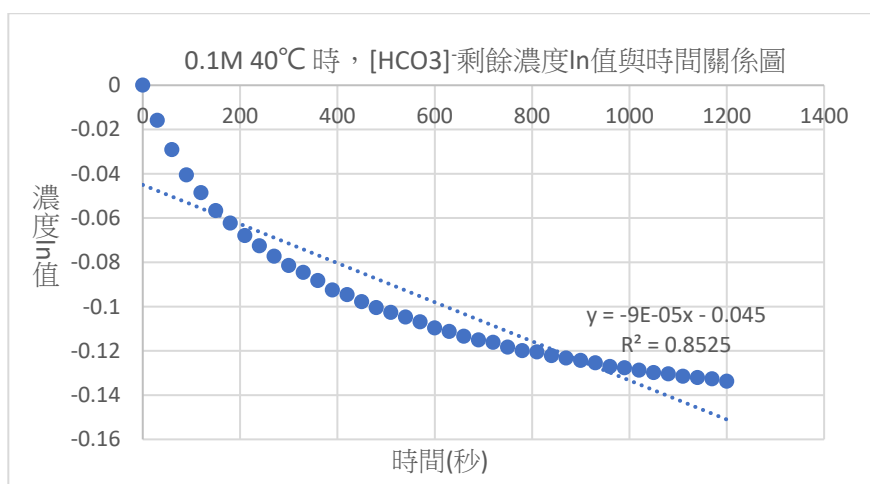


圖(二十一) 0.1M 30°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度倒數與時間關係圖

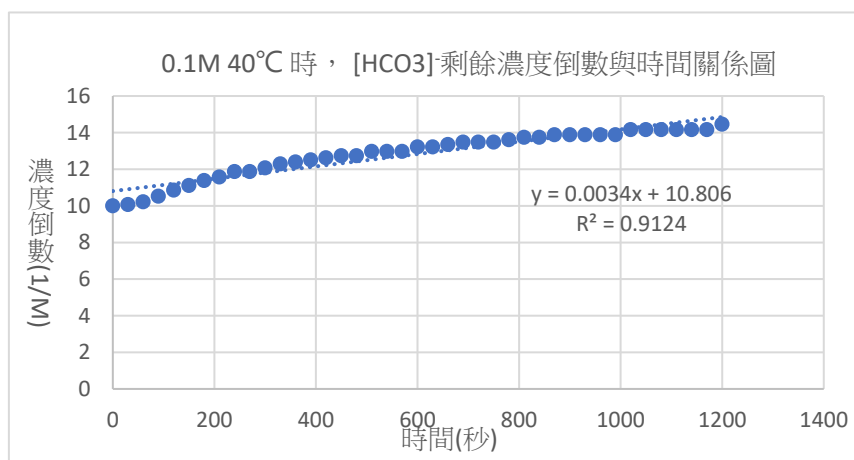
(二) 0.1M 40°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度之不同的計算結果



圖(二十二) 0.1M 40°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度與時間關係圖



圖(二十三) 0.1M 40°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度 ln 值與時間關係圖



圖(二十四) 0.1M 40°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度倒數與時間關係圖

確定反應級數為二級後，利用剩餘濃度倒數與時間的關係圖可求出反應速率常數  $k$ ，再計算  $\ln k$ ，即可利用阿瑞尼士方程式，計算出此反應的活化能，公式如下：

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}}$$

$k$ ：反應速率常數

$A$ ：阿瑞尼士常數

$e$ ：自然對數的底數

$Ea$ ：活化能(單位：J/mol)

$R$ ：氣體常數( $8.314 J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ )

$T$ ：絕對溫度(單位：K)

表(七)各濃度、溫度下 Mg 與  $NaHCO_3$  反應之速率常數及活化能(單位：kJ)

|      | 30°C                 |        | 40°C                 |        | 50°C                 |        |
|------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
|      | $k$                  | $Ea$   | $k$                  | $Ea$   | $k$                  | $Ea$   |
| 0.1M | $5.2 \times 10^{-3}$ | 13.248 | $3.4 \times 10^{-3}$ | 14.791 | $2.8 \times 10^{-3}$ | 15.785 |
| 0.5M | $4.0 \times 10^{-4}$ | 19.709 | $2.0 \times 10^{-4}$ | 22.164 | $1.0 \times 10^{-4}$ | 24.733 |
| 1M   | $2.0 \times 10^{-4}$ | 21.456 | $4.0 \times 10^{-4}$ | 20.360 | $7.0 \times 10^{-5}$ | 25.691 |

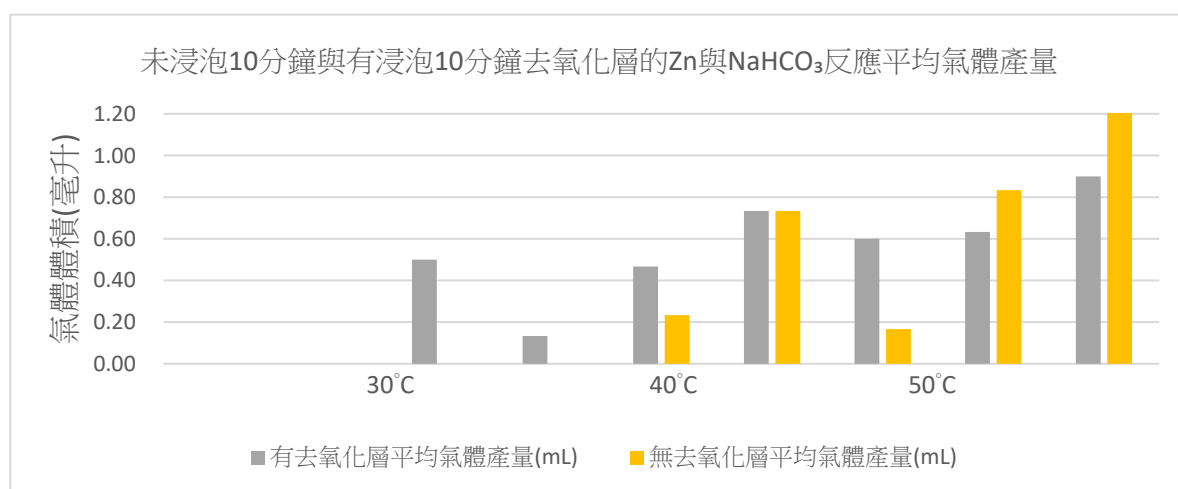
## 【實驗四】Zn 在不同條件下與碳酸氫鈉的反應情形

### 一、有無浸泡 30 秒 HCl 的 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub>反應的比較

我們比較了有無浸泡 HCl 10 分鐘的鋅與 NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形，發現除了在 50°C 下，有浸泡的鋅片氣體產量皆較多，因此我們使用有浸泡的鋅作為實驗四討論的對象。

表(八)未浸泡去氧化層與有浸泡去氧化層的 Zn 與 NaHCO<sub>3</sub>反應平均氣體產量(單位：mL)

| 未浸泡去氧化層與有浸泡去氧化層的 Zn 與 NaHCO <sub>3</sub> 反應平均氣體產量 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 溫度(°C)  | 30°C |      |      | 40°C |      |      | 50°C |      |      |
| 濃度(M)   | 0.1M | 0.5M | 1M   | 0.1M | 0.5M | 1M   | 0.1M | 0.5M | 1M   |
| 有去氧化層<br>平均氣體產量(mL)                               | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.13 | 0.47 | 0.73 | 0.60 | 0.63 | 0.90 |
| 無去氧化層<br>平均氣體產量(mL)                               | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.23 | 0.73 | 0.17 | 0.83 | 1.23 |



圖(二十五)未浸泡 10 分鐘與有浸泡 10 分鐘去氧化層的 Zn 與 NaHCO<sub>3</sub>反應平均氣體產量

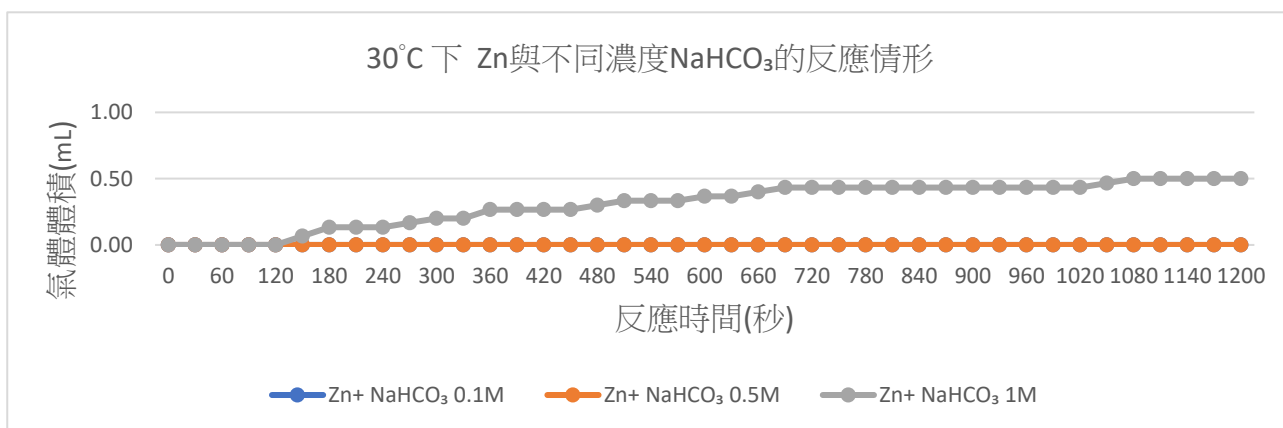
### 二、在 20 分鐘內，Zn 與 NaHCO<sub>3</sub> 反應的氣體產量

表(九) Zn 與不同條件 NaHCO<sub>3</sub> 反應，在不同時間內的氣體產量平均值(單位：mL)

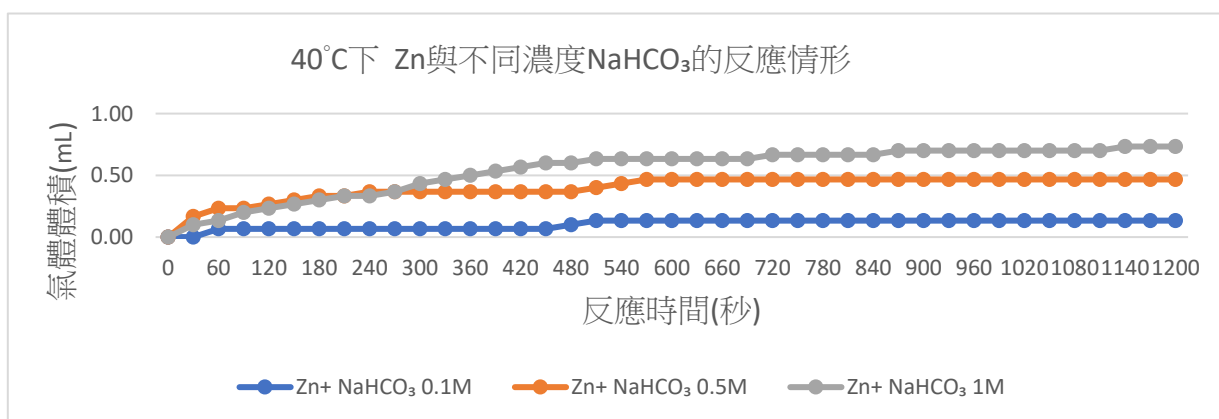
| 反應條件<br>時間(分) | 30°C |      |      | 40°C |      |      | 50°C |      |      |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 0.1M | 0.5M | 1M   | 0.1M | 0.5M | 1M   | 0.1M | 0.5M | 1M   |
| 0             | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.5           | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.10 | 0.23 | 0.20 | 0.33 |

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1    | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.23 | 0.13 | 0.37 | 0.37 | 0.40 |
| 1.5  | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.23 | 0.20 | 0.37 | 0.43 | 0.50 |
| 2    | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.27 | 0.23 | 0.40 | 0.47 | 0.57 |
| 2.5  | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.07 | 0.30 | 0.27 | 0.40 | 0.53 | 0.60 |
| 3    | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.07 | 0.33 | 0.30 | 0.43 | 0.53 | 0.67 |
| 3.5  | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.07 | 0.33 | 0.33 | 0.47 | 0.53 | 0.67 |
| 4    | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.07 | 0.37 | 0.33 | 0.47 | 0.53 | 0.67 |
| 4.5  | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.07 | 0.37 | 0.37 | 0.47 | 0.57 | 0.70 |
| 5    | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.07 | 0.37 | 0.43 | 0.47 | 0.60 | 0.70 |
| 5.5  | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.07 | 0.37 | 0.47 | 0.50 | 0.60 | 0.70 |
| 6    | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.07 | 0.37 | 0.50 | 0.53 | 0.60 | 0.73 |
| 6.5  | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.07 | 0.37 | 0.53 | 0.53 | 0.60 | 0.73 |
| 7    | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.07 | 0.37 | 0.57 | 0.53 | 0.63 | 0.73 |
| 7.5  | 0.00 | 0.00 | 0.27 | 0.07 | 0.37 | 0.60 | 0.53 | 0.63 | 0.77 |
| 8    | 0.00 | 0.00 | 0.30 | 0.10 | 0.37 | 0.60 | 0.53 | 0.63 | 0.80 |
| 8.5  | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.13 | 0.40 | 0.63 | 0.53 | 0.63 | 0.80 |
| 9    | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.13 | 0.43 | 0.63 | 0.53 | 0.63 | 0.80 |
| 9.5  | 0.00 | 0.00 | 0.33 | 0.13 | 0.47 | 0.63 | 0.53 | 0.63 | 0.80 |
| 10   | 0.00 | 0.00 | 0.37 | 0.13 | 0.47 | 0.63 | 0.53 | 0.63 | 0.80 |
| 10.5 | 0.00 | 0.00 | 0.37 | 0.13 | 0.47 | 0.63 | 0.53 | 0.63 | 0.80 |
| 11   | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.13 | 0.47 | 0.63 | 0.53 | 0.63 | 0.80 |
| 11.5 | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.63 | 0.57 | 0.63 | 0.80 |
| 12   | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.67 | 0.57 | 0.63 | 0.80 |
| 12.5 | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.67 | 0.57 | 0.63 | 0.83 |
| 13   | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.67 | 0.57 | 0.63 | 0.83 |
| 13.5 | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.67 | 0.57 | 0.63 | 0.83 |
| 14   | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.67 | 0.57 | 0.63 | 0.83 |
| 14.5 | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.70 | 0.57 | 0.63 | 0.87 |
| 15   | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.70 | 0.57 | 0.63 | 0.90 |
| 15.5 | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.70 | 0.57 | 0.63 | 0.90 |
| 16   | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.70 | 0.57 | 0.63 | 0.90 |
| 16.5 | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.70 | 0.57 | 0.63 | 0.90 |
| 17   | 0.00 | 0.00 | 0.43 | 0.13 | 0.47 | 0.70 | 0.57 | 0.63 | 0.90 |
| 17.5 | 0.00 | 0.00 | 0.47 | 0.13 | 0.47 | 0.70 | 0.57 | 0.63 | 0.90 |
| 18   | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.13 | 0.47 | 0.70 | 0.57 | 0.63 | 0.90 |
| 18.5 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.13 | 0.47 | 0.70 | 0.57 | 0.63 | 0.90 |
| 19   | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.13 | 0.47 | 0.73 | 0.57 | 0.63 | 0.90 |
| 19.5 | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.13 | 0.47 | 0.73 | 0.60 | 0.63 | 0.90 |
| 20   | 0.00 | 0.00 | 0.50 | 0.13 | 0.47 | 0.73 | 0.60 | 0.63 | 0.90 |

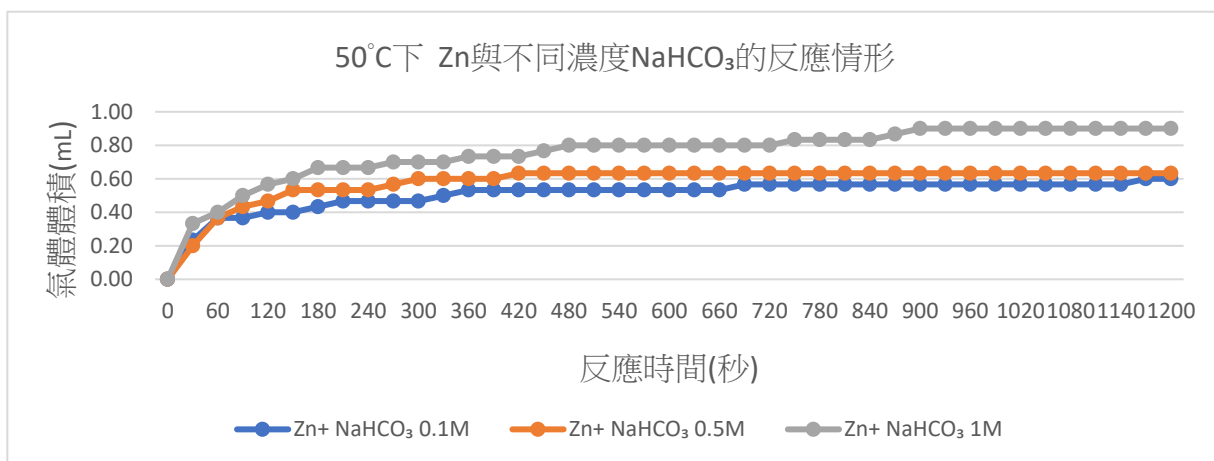
### 三、同溫度下，Zn 與不同濃度的 $\text{NaHCO}_3$ 反應情形比較



圖(二十六) 30°C 下，Zn 與不同濃度  $\text{NaHCO}_3$  的反應情形



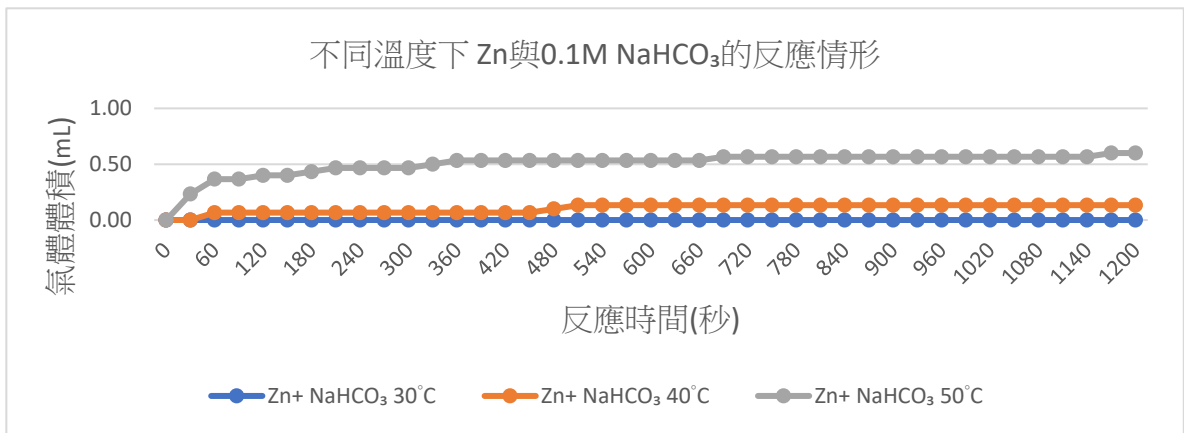
圖(二十七) 40°C 下，Zn 與不同濃度  $\text{NaHCO}_3$  的反應情形



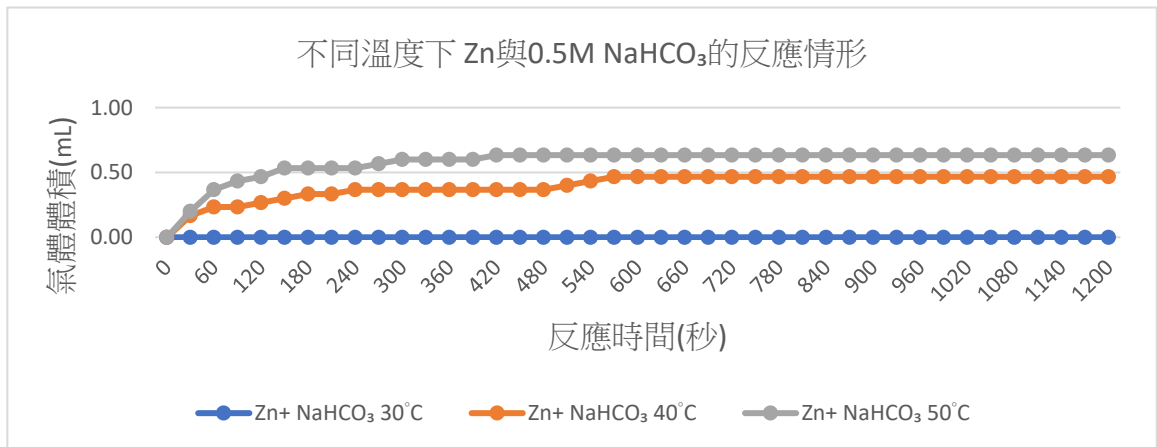
圖(二十八) 50°C 下，Zn 與不同濃度  $\text{NaHCO}_3$  的反應情形

- (一)在溫度高於 40°C 且濃度大於 0.5M 時，才產生足以觀測的氣體量
- (二)在 30°C 下反應 20 分鐘後，取出點滴瓶觀察，看到有細小氣泡產生且聚集在金屬表面，但推測為氣體量過少而無法測量。

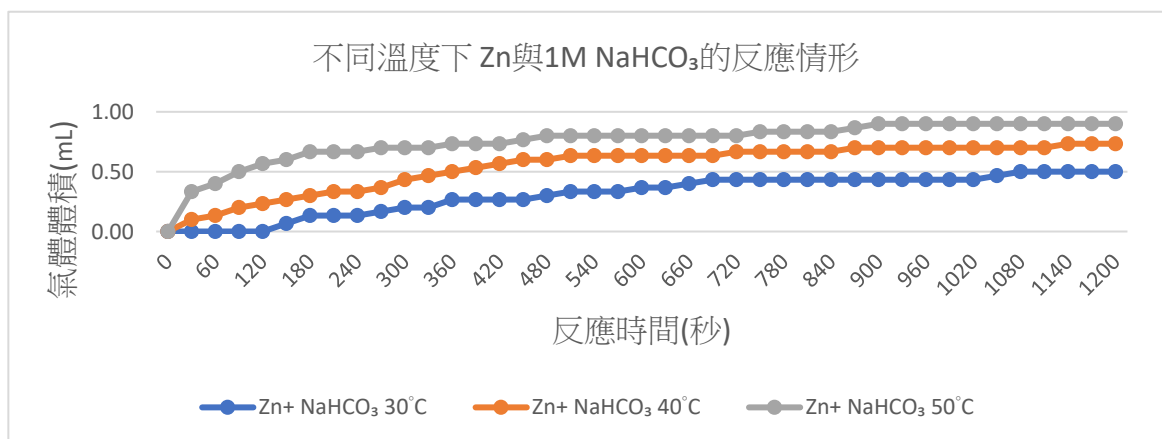
#### 四、同濃度下，Zn 與不同濃度的 NaHCO<sub>3</sub> 反應情形比較



圖(二十九) 不同溫度下，Zn 與 0.1M NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形



圖(三十) 不同溫度下，Zn 與 0.5M NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形



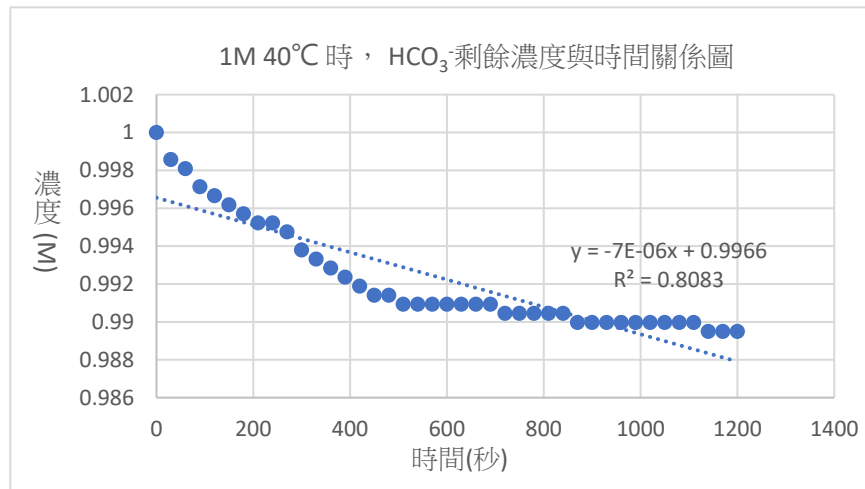
圖(三十一) 不同溫度下，Zn 與 1M NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形

- (一)溫度對氣體產量呈正相關。
- (二)比較 Mg、Zn 與 NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形，在任何反應條件下，Mg 與 NaHCO<sub>3</sub> 反應生成氣體量都大於 Zn 許多，這是因 Mg 的氧化電位大於

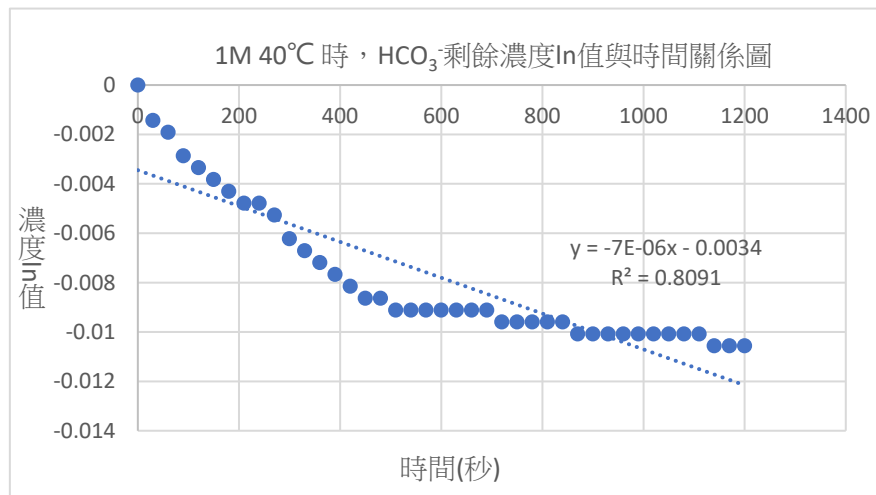
Zn，且鎂的氧化層不會造成明顯影響，因此 Mg 丟電子給 H 並將之還原成 H<sub>2</sub> 的能力強。

五、針對反應速率級數，與【實驗三】進行相同的計算：

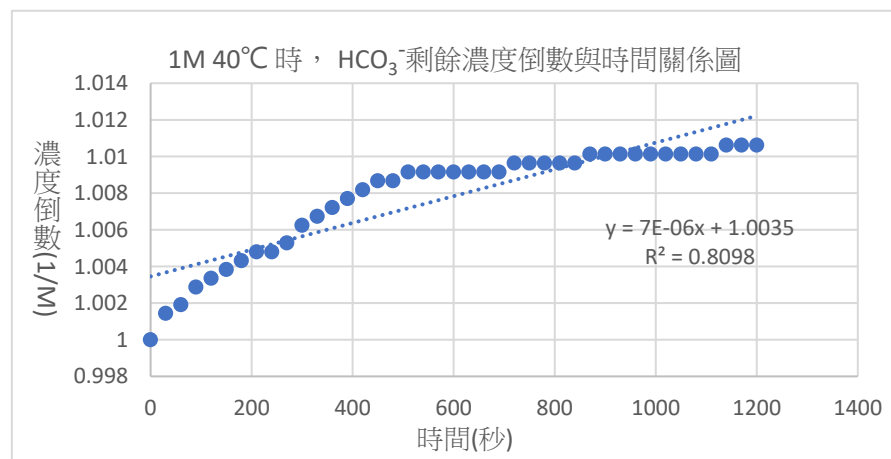
(一) 1M 40°C 時，HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 剩餘濃度之不同的計算結果



圖(三十二)1M 40°C 時，HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 剩餘濃度與時間關係圖

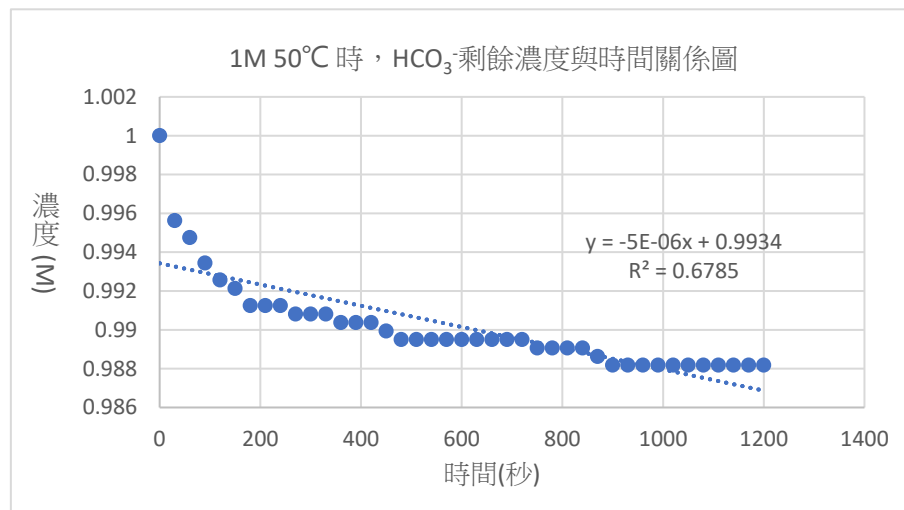


圖(三十三)1M 40°C 時，HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 剩餘濃度倒數 ln 值與時間關係圖

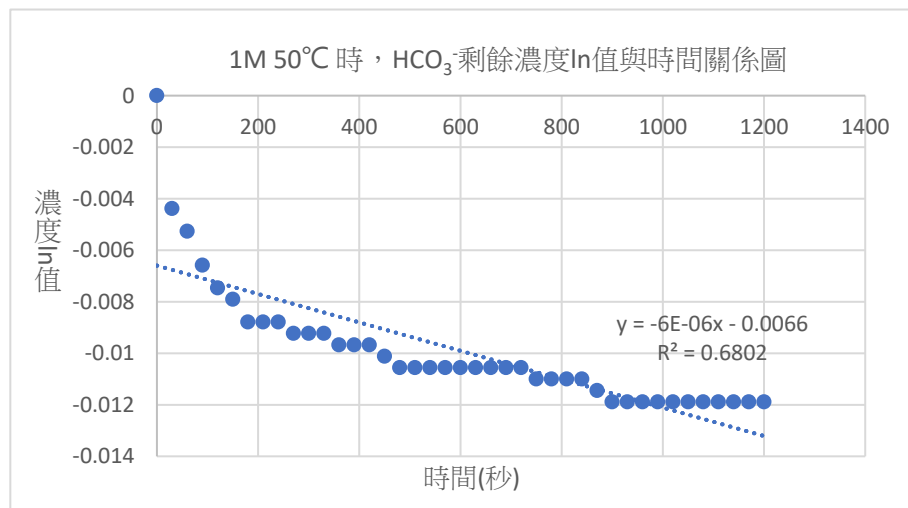


圖(三十四)1M 40°C 時，HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> 剩餘濃度倒數與時間關係圖

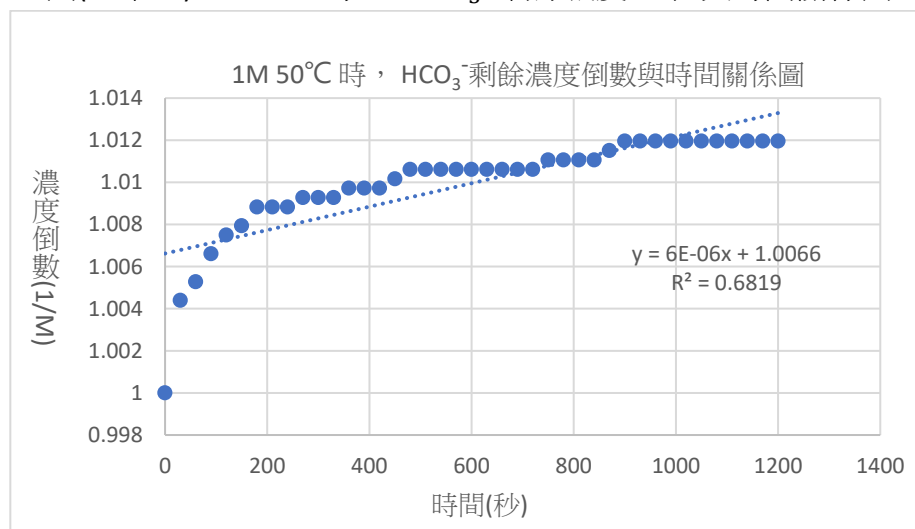
(二) 1M 50°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度之不同的計算結果



圖(三十五)1M 50°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度與時間關係圖



圖(三十六)1M 50°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度 ln 值與時間關係圖



圖(三十七)1M 50°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度倒數與時間關係圖

與【實驗三】比較可發現，關係圖中的  $R^2$  值皆較低，我們有試著計算是否為三級反應，但其  $R^2$  值大部分仍小於二級，其中少數則是三級略大於二級，但



相差只有約 0.0001。而推測這是因鋅生成氣體量較少且明顯較慢，累積至一定才得以測量，而無法做出非常相符的關係圖、確切的反應級數，二級反應是相對最理想的推測。

六、針對反應速率常數、活化能，與【實驗三】進行相同的計算：

表(十)各濃度、溫度下反應之速率常數及活化能

|      | 30°C                 |        | 40°C                 |        | 50°C                 |        |
|------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
|      | $k$                  | $Ea$   | $k$                  | $Ea$   | $k$                  | $Ea$   |
| 0.1M |                      |        | $1.0 \times 10^{-4}$ | 23.967 | $3.0 \times 10^{-4}$ | 21.783 |
| 0.5M |                      |        | $1.0 \times 10^{-5}$ | 29.959 | $1.0 \times 10^{-5}$ | 30.917 |
| 1M   | $7.0 \times 10^{-6}$ | 29.901 | $7.0 \times 10^{-6}$ | 30.888 | $6.0 \times 10^{-6}$ | 32.288 |

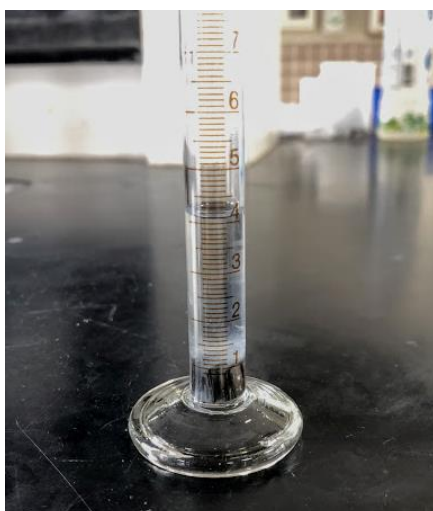
(一) 在 30°C，且 0.1M 及 0.5M 時，因氣體量過少而無法測量，而無法計算。

(二) 與鎂比較可發現，在各反應條件下，鋅與碳酸氫鈉反應的活化能皆大於鎂，而這也是因鎂的氧化電位大於鋅，鋅與碳酸氫鈉較不易反應。

#### 【實驗五】檢測反應過後金屬表面之黑色物質

一、原先將帶有黑色物質的鎂帶，置入水中震盪 25 分鐘後，發現大部分黑色物質消失，且溶液是澄清的。用分光光度計以波長 200nm~900nm 掃描，檢測不到明顯吸收值，我們推測是氧化鎂會微溶於水，形成  $Mg^{2+}$ 、 $OH^{-}$ ，將水換成乙醇發現無此問題，因此使用乙醇進行實驗。

二、浸泡在乙醇中的 Mg，震盪 25 分鐘後，出現混濁的膠體溶液，浮於金屬及乙醇之間，使用滴管即可將此物質吸取出到比色槽(cell)中。



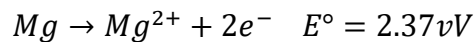
圖(三十八)震盪 25 分鐘後出現的白色膠體溶液

三、一般氧化鎂為白色的，但在金屬表面的氧化鎂為黑色的，震盪在溶液中後呈現白色，推測是因原附著在金屬表面的氧化鎂為奈米級而呈現黑色[8]；震盪到溶液中後因無法與乙醇互溶，團簇大小變大，奈米級結構消失，而呈現白色，仍能偵測到 300nm~310nm 的吸收峰，推測為懸浮在溶液中的奈米級氧化鎂。

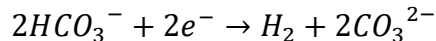
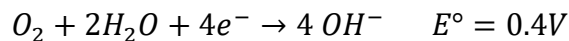
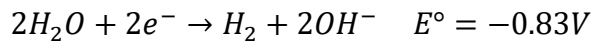
四、為了釐清鎂與碳酸氫鈉反應時，表面產生的黑色氧化鎂是如何生成的，我們將鎂分別浸泡 1M 碳酸氫鈉及蒸餾水，且再分為有無使用磁石攪拌，以做比較，結果發現，只浸泡蒸餾水的鎂，不管有無攪拌，金屬表面皆會出現黑色氧化鎂，且與跟碳酸氫鈉反應時生成的相同，因此推測鎂是與水中的氧反應生成此氧化物。

五、Mg 在水中的反應情形：

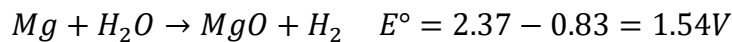
在標準狀況下，Mg 的氧化電位為 2.37V



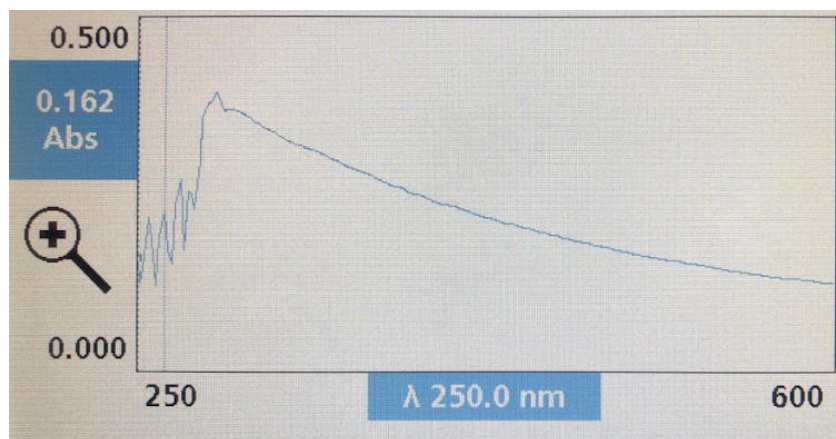
還原反應有以下三種情況：



因  $O_2$  僅微溶於水，在水中濃度低，故在反應過程中，最可能與 Mg 形成氧化成的物質為  $H_2O$ ，反應式如下：



故 Mg 置於水中，有機會形成氧化層。以本實驗觀察到的現象，鎂與碳酸氫根會發生反應產生氫氣與碳酸根離子，故推測碳酸氫根的還原電位應比水的還原電位 -0.83V 更大。



圖(三十九)分光光度計檢測氧化鎂吸光度曲線圖

由圖中可看到，在 300nm 附近有較明顯的吸收，因此推測此物質為奈米級的氧化鎂。

## 【實驗六】滴定反應過後 NaHCO<sub>3</sub> 中 Mg 離子濃度

我們使用 EDTA 滴定法來檢測反應後 NaHCO<sub>3</sub> 溶液中 Mg 離子濃度，為確認金屬離子與 EDTA 有形成錯合物，在加入緩衝溶液後以及達到滴定終點後皆檢測其 pH 值。

我們藉由滴定使用的 EDTA 體積，計算出溶液中 Mg 離子莫耳數，並與實驗時產生的氣體量比較，驗證 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub> 的化學反應式，以及生成氣體是否只有 H<sub>2</sub>。藉由測得之實驗數據，進行計算，過程如下：

### (一)計算氣體莫耳數

$$n_{H_2} = \frac{(1 - P_{H_2O} - (P_h/1033.6)) \times V}{RT}$$

$P_{H_2O}$ ：水之飽和蒸氣壓(單位：atm)

T：溫度(單位：K)

$P_h$ ：收集氣體裝置中之水柱高度(單位：cm)

V：反應產生氣體體積(單位：L)

R：理想氣體常數 = 0.082atm · L/mol · K

因 H<sub>2</sub> 凡得瓦力極弱，故將之視為理想氣體；因 H<sub>2</sub> 對水溶解度不高，故忽略溶解度的影響。

### (二)計算溶液中鎂離子莫耳數

$$[EDTA] \times V_{EDTA} = [Mg^{2+}] \times V_{Mg^{2+}}$$

因吸取溶液滴定时，只吸了 3 mL，故我們將計算出的鎂離子莫耳數再乘上  $\frac{5}{3}$ ，得到溶液中實際的鎂離子莫耳數。

### (三) pH=10 的緩衝溶液配製

計算 NH<sub>3</sub> 與 NH<sub>4</sub>Cl 比例，計算過程如下：

15M NH<sub>3</sub> 取 x mL 與 1M NH<sub>4</sub>Cl y mL 混和

$$\frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} = 1.8 \times 10^{-5}$$
$$\rightarrow \frac{1 \times y \times 10^{-4}}{15 \times x} = 1.8 \times 10^{-5}$$

經由計算結果，取 15M NH<sub>3</sub> 10mL；1M NH<sub>4</sub>Cl 27 mL，即可得 pH=10 的緩衝溶液。

一、30°C時，Mg 與不同濃度的 NaHCO<sub>3</sub> 反應後之滴定結果及比較

表(十一) 在 30°C 下，不同濃度滴定結果及氣體莫耳數比較

| 反應濃度(M) | EDTA 使用量(mL) | Mg <sup>2+</sup> 量 (mol) | H <sub>2</sub> 量(mol) | 兩者比值 (H <sub>2</sub> /Mg <sup>2+</sup> ) | 滴定前 pH 值 | 滴定後 pH 值 |
|---------|--------------|--------------------------|-----------------------|--|----------|----------|
| 0.1     | 6.0          | 1.00×10 <sup>-4</sup>    | 1.07×10 <sup>-4</sup> | 1.06                                     | 9.96     | 9.7      |
| 0.5     | 14.0         | 2.33×10 <sup>-4</sup>    | 2.53×10 <sup>-4</sup> | 1.08                                     | 9.94     | 9.55     |
| 1       | 23.3         | 3.88×10 <sup>-4</sup>    | 4.43×10 <sup>-4</sup> | 1.14                                     | 9.91     | 9.59     |

二、40°C時，Mg 與不同濃度的 NaHCO<sub>3</sub> 反應後之滴定結果及比較

表(十二) 在 40°C 下，不同濃度滴定結果及氣體莫耳數比較

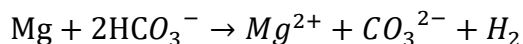
| 反應濃度(M) | EDTA 使用量(mL) | Mg <sup>2+</sup> 量 (mol) | H <sub>2</sub> 量(mol) | 兩者比值 (H <sub>2</sub> /Mg <sup>2+</sup> ) | 滴定前 pH 值 | 滴定後 pH 值 |
|---------|--------------|--------------------------|-----------------------|--|----------|----------|
| 0.1     | 4.0          | 6.66×10 <sup>-5</sup>    | 7.89×10 <sup>-5</sup> | 1.18                                     | 9.89     | 9.72     |
| 0.5     | 11.0         | 1.83×10 <sup>-4</sup>    | 1.90×10 <sup>-4</sup> | 1.04                                     | 9.84     | 9.61     |
| 1       | 16.1         | 2.68×10 <sup>-4</sup>    | 3.06×10 <sup>-4</sup> | 1.14                                     | 9.82     | 9.58     |

三、50°C時，Mg 與不同濃度的 NaHCO<sub>3</sub> 反應後之滴定結果及比較

表(十三) 在 50°C 下，不同濃度滴定結果及氣體莫耳數比較

| 反應濃度(M) | EDTA 使用量(mL) | Mg <sup>2+</sup> 量 (mol) | H <sub>2</sub> 量(mol) | 兩者比值 (H <sub>2</sub> /Mg <sup>2+</sup> ) | 滴定前 pH 值 | 滴定後 pH 值 |
|---------|--------------|--------------------------|-----------------------|--|----------|----------|
| 0.1     | 3.6          | 6.00×10 <sup>-5</sup>    | 6.90×10 <sup>-5</sup> | 1.15                                     | 9.86     | 9.73     |
| 0.5     | 7.2          | 1.20×10 <sup>-4</sup>    | 1.38×10 <sup>-4</sup> | 1.15                                     | 9.84     | 9.68     |
| 1       | 13.2         | 2.20×10 <sup>-4</sup>    | 2.54×10 <sup>-4</sup> | 1.15                                     | 9.80     | 9.62     |

六、經由以上比較，可得知 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub> 反應後，溶液中鎂離子莫耳數與氣體莫耳數比值約為 1，故推測產生氣體除氫氣外無其餘氣體，而平衡反應式如下：



【實驗七】檢測放置一天過後懸浮之白色固體

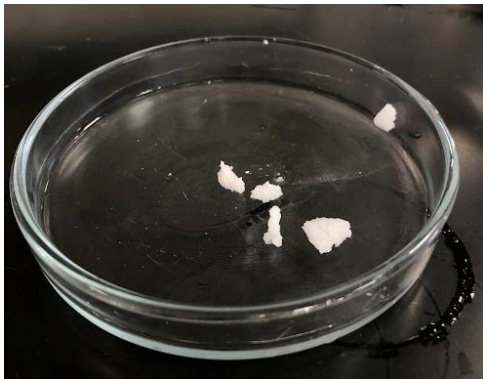
將反應完後的溶液封蓋，放置一天過後，可看到瓶中出現許多白色懸浮物質，並以此物質進行實驗。



圖(四十)反應 20 分鐘後情形



圖(四十一)放置一天後瓶內出現白色物質



圖(四十二)過濾出的白色物質



圖(四十三)加入 HCl 後產生氣泡之情形

過濾出的白色物質，倒入 1M HCl 後隨即反應產生大量氣泡，並完全溶於酸中，因此確認此物質為含有碳酸根的  $MgCO_3$ 。

## 陸、結論

- 一、浸泡 HCl 30 秒後，Mg 表面氧化層可觀察到已去除，因此鎂去氧化層的較佳條件為浸泡 HCl 30 秒，且有震盪。
- 二、Zn 浸泡 HCl 的氣體產量速率在第 9 分鐘時發生變化，故鋅去氧化層的較佳條件為浸泡 HCl 10 分鐘，但不震盪。
- 三、Mg 與  $NaHCO_3$  反應時，溫度升高，表面氧化層越快生成，使氣體總產量降低。
- 四、Mg 將鹼性酸式鹽還原成  $H_2$  的能力較 Zn 強，推測原因是 Mg 的氧化電位大於 Zn。
- 五、Mg 與  $NaHCO_3$  反應，只產生氫氣，反應式為：
 
$$Mg + 2HCO_3^- \rightarrow H_2 + Mg^{2+} + 2CO_3^{2-}$$
- 六、Mg 與  $NaHCO_3$  反應後表面之黑色物質為奈米級氧化鎂，故呈現黑褐色，並在 300nm 附近有明顯吸收值。
- 七、Mg 與  $NaHCO_3$  反應放置一天過後，溶液中出現之白色物質為  $MgCO_3$ 。
- 八、Mg、Zn 與  $NaHCO_3$  反應皆為二級反應。

## 柒、未來展望

- 一、鑑定 Zn 浸泡 HCl 10 分鐘並震盪後表面黑色物質為何。
- 二、延伸探討其他金屬(如：Al、Fe)去氧化層方法，以及與  $\text{NaHCO}_3$  的反應情形。
- 三、延伸探討其他鹼性酸式鹽與金屬反應情形。
- 四、找出適合的方法測量 Zn 與  $\text{NaHCO}_3$  反應的反應級數(如：增加反應物的量)

## 捌、參考文獻

1. 化工字典。2022 年 4 月 4 日 <https://reurl.cc/3j0WAO>
2. 國立台灣大學化學系實驗教學普通化學實驗基礎化學技能分光光度計。2022 年 4 月 4 日。取自 <https://teaching.ch.ntu.edu.tw/gclab/doc/tech-basic/spectrophotometer.pdf>
3. 國立雲林科技大學。2022 年 4 月 4 日。取自 <http://www.che.yuntech.edu.tw/%E6%AA%A2%E6%B8%AC%E6%9C%8D%E5%8B%99/%E7%B4%AB%E5%A4%96%E5%85%89%E5%8F%AF%E8%A6%8B%E5%85%89%E5%85%89%E8%AD%9C%E5%84%80-uvvis/>
4. 陳庭萱、李尚儒、歐宸瑋(2012)。同是一家「氫」?-鹼性的酸式鹽陰離子溶液與活性金屬的氧化還原反應探討。中華民國第 52 屆中小學科學展覽會。台灣國立科學教育館。
5. 黃稜蘊、顧展兆、楊水平(2016 年 7 月 1 日)。微量化學實驗:水的總硬度微量測定。台灣化學教育，14。2022 年 4 月 4 日，取自 <http://chemed.chemistry.org.tw/?p=17749>
6. (anonymous)(2013,December 18). Re: Determination of hardness of water by EDTA method[Web blog message]. Retrieved from <http://hardsoftwater.com/determination-of-hardness-of-water-by-edta-method/>
7. Ai-liangCHEN.,& DongXU.(Eds.).(2012). Measurements of zinc oxide solubility in sodium hydroxide solution from 25 to 100 °C. Transactions of Nonferrous Metals Society of China,22(6),1513-1516.
8. Manne Anupama Ammulu.,& Praveen Kumar Vemuri (2021). Phytoassisted synthesis of magnesium oxide nanoparticles from Pterocarpus marsupium rox.b heartwood extract and its biomedical applications. Journal of Genetic Engineering and Biotechnology, 10.1186.
9. Francine Mends.(2019,June 04). Re : What is EDTA? [Newsgroups]. Retrieved from <https://sciencing.com/what-is-edta-5002665.html>
10. 尤芳恣(2002)。環境科學大辭典。取自 <http://terms.naer.edu.tw/detail/1318006/>

## 【評語】 050201

本研究使用 Mg、Zn 浸泡 HCl 去除氧化層，在不同溫度、濃度的  $\text{NaHCO}_3$  與 Mg 反應，發現溫度越高氣體產量越少，推測是溫度升高時，Mg 表面氧化層生成較快。比較 Mg、Zn 與  $\text{NaHCO}_3$  的反應，氣體產生量皆以 Mg 較多。計算得出為二級反應，再由速率常數分別算出其活化能。用 EDTA 測量  $\text{Mg}^{2+}$  莫耳數，發現與產生氣體莫耳數比值接近 1，推測產生氣體可能只有  $\text{H}_2$ ，沒有  $\text{CO}_2$ 。反應過後金屬表面黑色物質為氧化鎂；反應後溶液放置一天過後出現了懸浮的白色物質，確認為  $\text{MgCO}_3$ 。

- (1) 建議比較 Mg 與 Zn 的在不同酸鹼值下還原電位，並與納入實驗結果的討論。
- (2) Mg 與  $\text{NaHCO}_3$  反應平均氣體產量，隨溫度增加而減少？應要針對其是否為放或吸熱反應，來討論結果是否合理？
- (3) 在圖十三、十四、十五，為何隨溫度增加而反應速率減少？溫度高反應速率應該快。推測是因越高溫時，鎂表面越快產生氧化層，使得氣體產量越少，但氧化的速率如何並無估算，只是推測。
- (4) 同樣地，溫度越高，所得到的活化能越高，這部份沒考慮到，氧化層生成對反應速率的影響。

- (5)  $\text{HCO}_3$  剩餘濃度原值、 $\ln$  值及倒數與時間關係圖 (反應速率)  
怎麼都用直線函數來 fit? 假設 A 反應物濃度為  $C(A)$ , 啟始濃度為  $C(A_0)$ , 零級反應  $C(A)=C(A_0)-kt$ ,  $C(A)$  對時間做圖才為直線, 一級反應  $\ln[C(A_0)/C(A)]$  對時間做圖為直線, 二級反應  $1/C(A)$  對時間做圖為直線。圖二十四比較直像二級反應, 文中要說明清楚。但在 Zn 則不像二級直線, 推測這是因鋅生成氣體量較少且明顯較慢。
- (6) 相反地, Zn 與不同濃度  $\text{NaHCO}_3$  的反應情形都是低濃度的  $\text{NaHCO}_3$  比較快, 為何?



## 作品簡報

# 迫在「鎂」「鹼」—— 探討鎂與鹼性酸式鹽之反應

組別:高級中等學校組  
科別:化學科

## 研究動機

查詢前人研究發現，鹼性酸式鹽與活性金屬也會反應產生氫氣，但並非所有活性金屬皆有此性質，我們推測是因金屬活性差異或是其表面的氧化層，想知道金屬如何去除氧化層，以及去完氧化層後與鹼性酸式鹽的反應情形是否與前人實驗有差異。

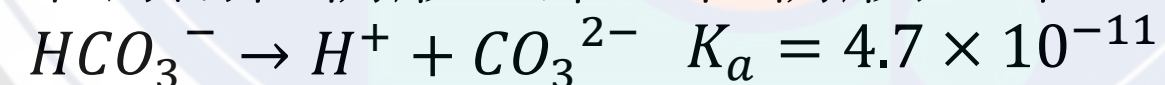
## 研究目的

- 一、探討 Mg、Zn 去除表面氧化層的方法及條件
- 二、探討 Mg、Zn 在不同溫度、濃度下與 NaHCO<sub>3</sub>的反應情形
- 三、測量反應過後溶液中鎂離子濃度，並與 H<sub>2</sub> 產量比較
- 四、鑑定反應後鎂金屬表面物質、溶液中懸浮之物質

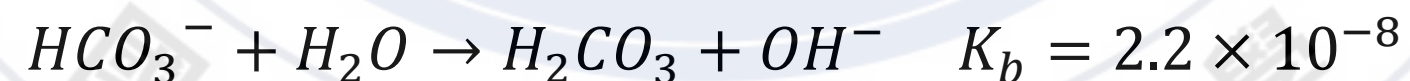
## 文獻探討

### 一、Mg 與 NaHCO<sub>3</sub>化學反應式

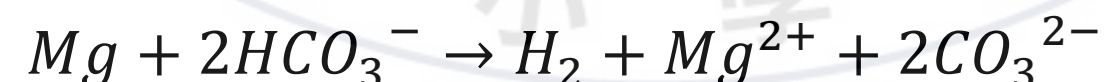
鹼性酸式鹽為鹽類的一種，由陽離子和多質子酸的不完全電離酸根陰離子組成，本次實驗使用碳酸氫鈉(NaHCO<sub>3</sub>)。碳酸氫根在水中有兩種情形，第一種情形如下，碳酸氫根在水中會進行解離：



而第二種情形如下，碳酸氫根在水中也能進行水解：



水解反應 K 值較大，反應較易進行，碳酸氫鈉在水中呈鹼性。因為 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub> 會反應產生氣體，所以我們推測碳酸氫根與鎂離子反應式如下：



## 文獻探討

### 二、反應級數、反應速率常數、活化能求法

收集反應產生的氣體，並根據推測出來鎂與碳酸氫鈉的反應式求得每三十秒碳酸氫根莫爾數和濃度變化，分別計算，再分別作  $[HCO_3^-]$ 、 $\ln[HCO_3^-]$ 、 $1/[HCO_3^-]$  圖。比較三者趨勢線的  $R^2$  值，推論判斷此反應的級數。確定反應級數後，再根據阿瑞尼士方程式：

$$k = Ae^{-\frac{Ea}{RT}}$$

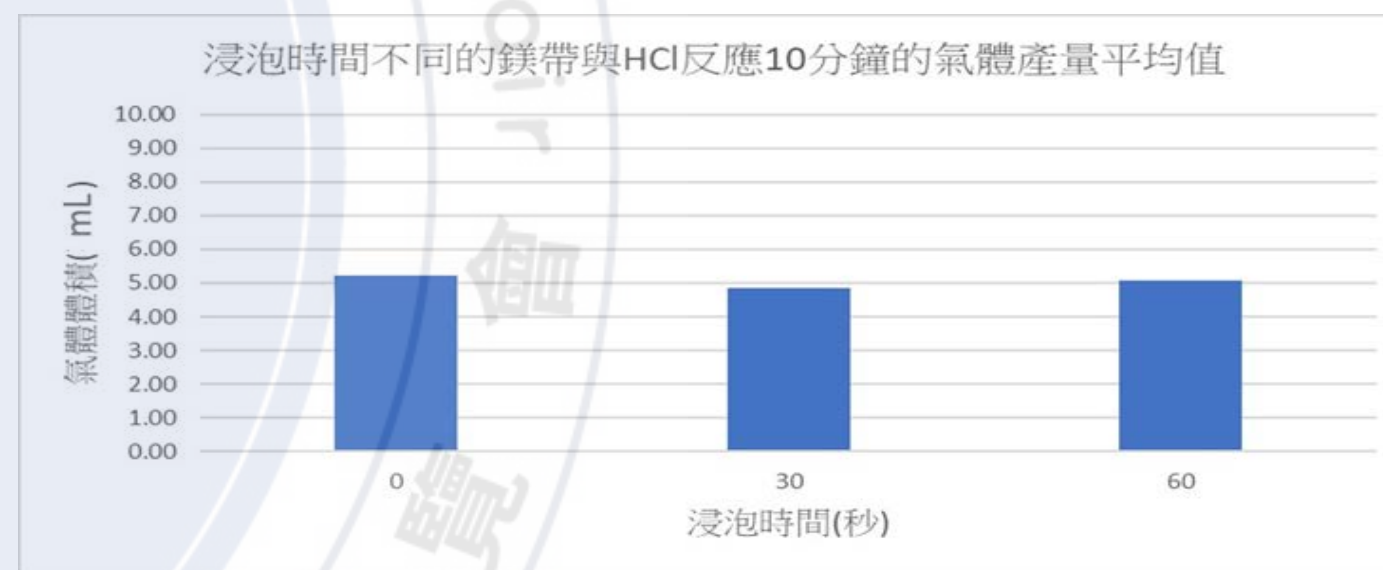
進一步計算其反應速率常數  $k$ ，計算反應活化能。

### 研究結果與討論

#### 【實驗一】找出鎂帶去除氧化層的反應條件

Mg 無法與鹼性溶液反應，與 1M HCl 反應過於劇烈以至於無法測量氣體體積，所以我們使用 0.1M HCl 來進行收集氣體的實驗。

不同浸泡時間的 Mg，與 0.1M HCl 反應後，在五分鐘內氣體產量皆差異不大，顯示氧化層量不足以影響反應情形，但觀察剛拆封的鎂帶發現表面還是有些許的黑色氧化層，而浸泡 1M HCl 30 秒後，表面明顯已無黑色氧化層，呈現銀白色，因此我們使用浸泡過 30 秒的鎂帶進行接續的實驗。



圖(一) 浸泡1M HCl時間不同的鎂帶與0.1M HCl 反應 10 分鐘後的平均氣體產量



圖(二)剛拆封(上)及浸泡 1M HCl 30 秒(下)之鎂帶比較

## 研究結果與討論

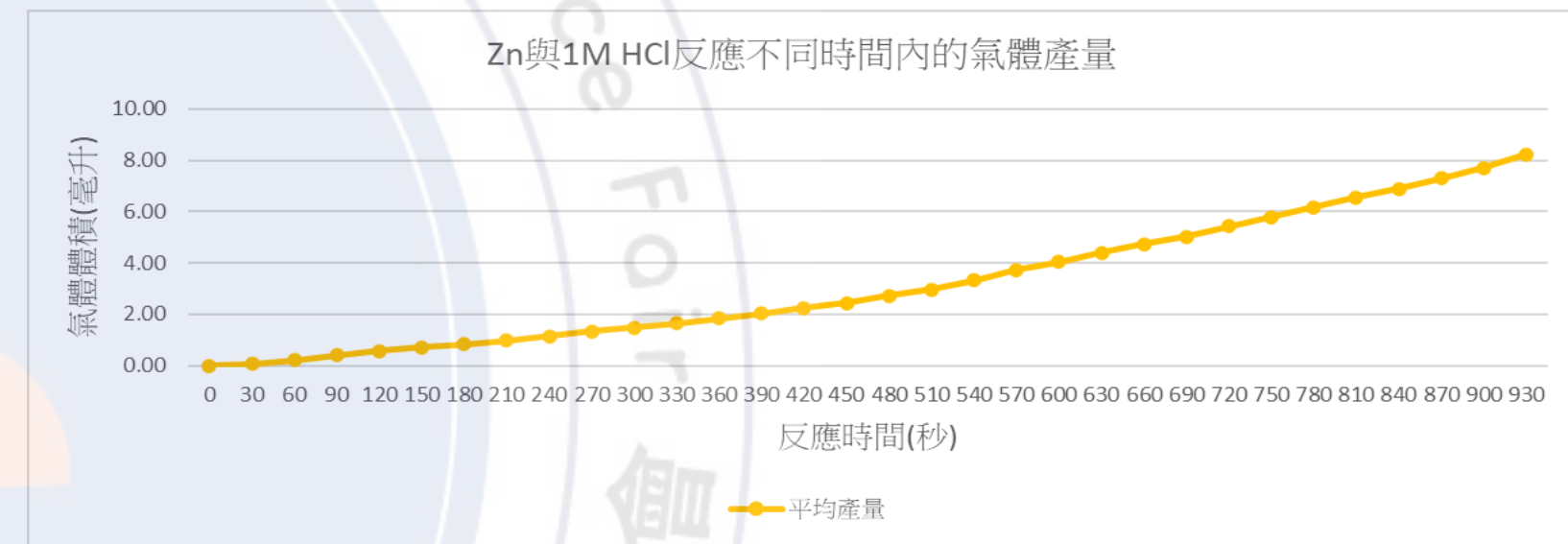
### 【實驗二】找出鋅片去除氧化層的反應條件

一、一開始我們想要使用和鎂帶相同的方法去除氧化層，但礙於藥品有限的問題，所以我們改變檢測鋅去除氧化層的方法，將鋅片浸泡在 1M HCl 5mL 中，每 30 秒記錄一次氣體產量，預期能夠藉此得出較精確的氣體產量曲線，並且找出速率變化的時間點，去除氧化層的較佳反應條件。

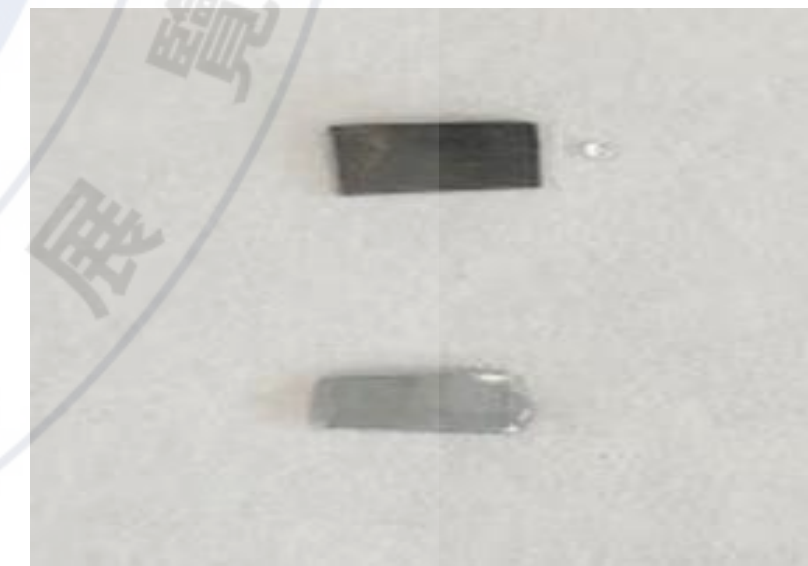
二、由圖(三)得知，Zn 與 1M HCl 的反應速率在第九分鐘 (540 秒) 時發生變化，為了確保氧化層去除完畢，我們使用浸泡 1M HCl 10 分鐘的鋅片進行接續的實驗。

三、在【實驗一】中我們使用超音波震盪器去除鎂的氧化層，所以我們原先設計的鋅片去氧化層條件為浸泡在 1M HCl 10 分鐘，並使用超音波震盪器震盪。結果發現鋅片在超音波震盪器中反應 10 分鐘後，表面有黑色物質產出，如圖(四)；而沒有在超音波震盪器中進行反應的金屬則沒有黑色物質產出，因此我們後續去除鋅片氧化層的方法全部都不震盪。

四、我們將黑色物質刮下，發現它不溶於水，分別加入 10M HCl、18M 濃硫酸，皆無反應。



圖(三) Zn 與 1M HCl 反應不同時間內的氣體產量

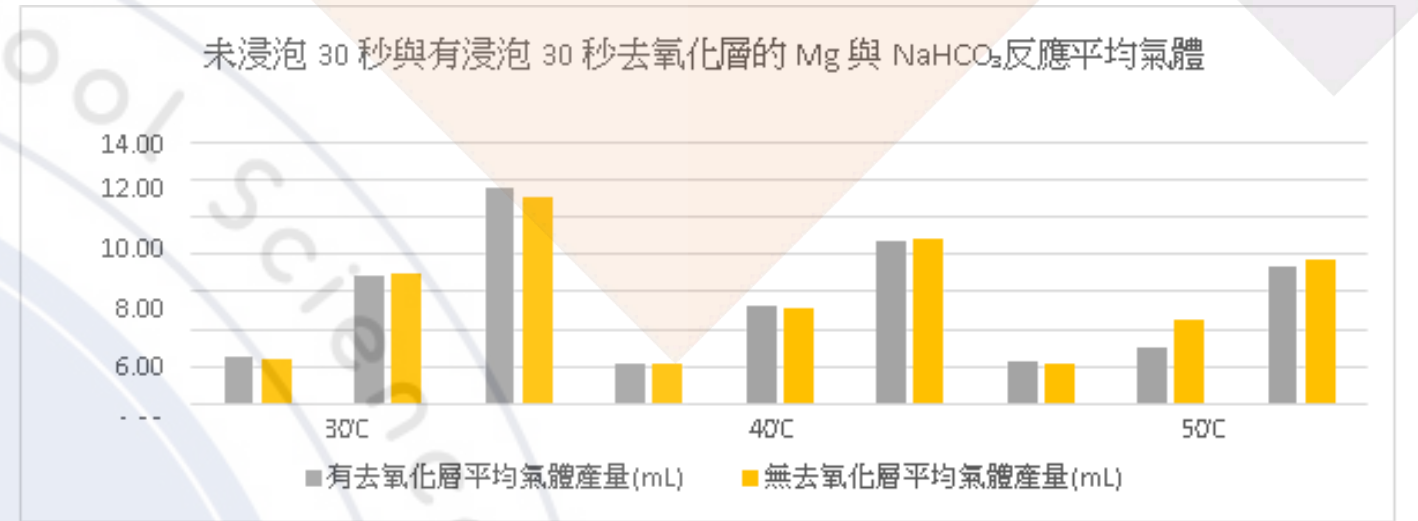


圖(四)同樣浸泡 1M HCl 10 分鐘，有無震盪後之鋅片比較

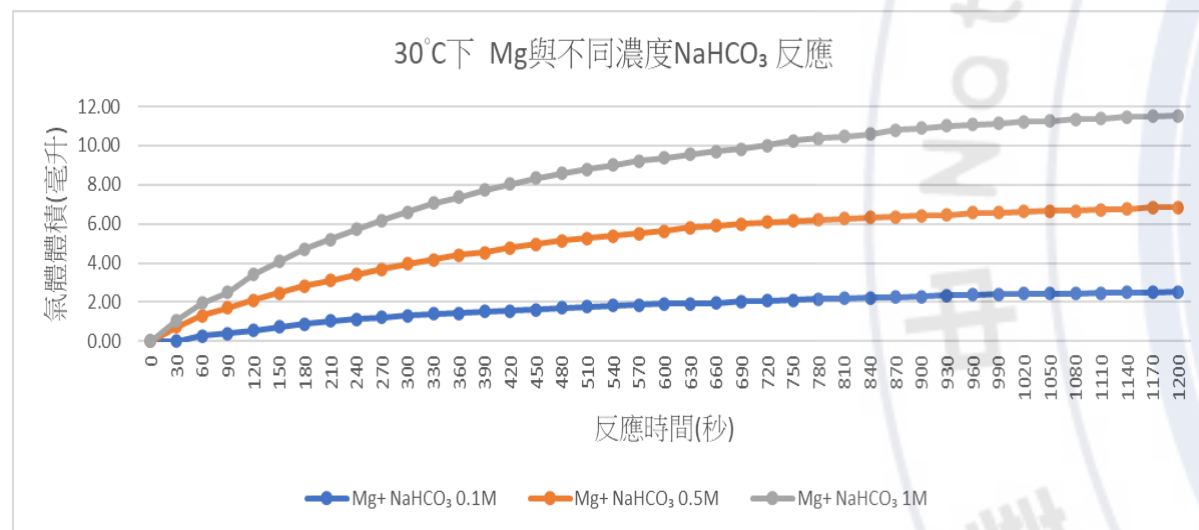
# 研究結果與討論

## 【實驗三】Mg 在不同條件下與 NaHCO<sub>3</sub>的反應情形

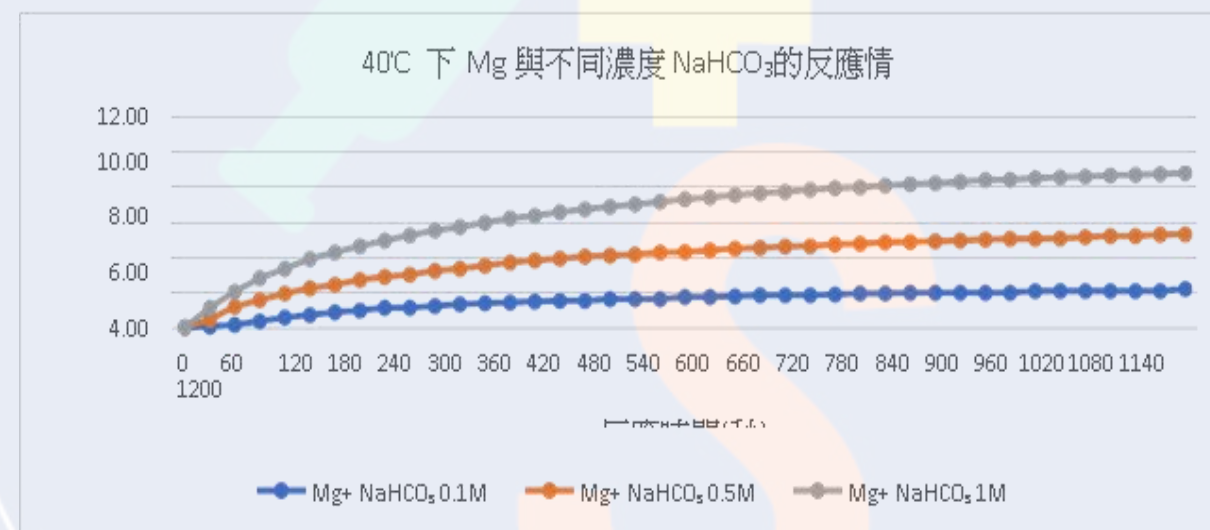
一、由圖(五)可看出兩這無太大差異，但考慮剛拆封的鎂帶有不均勻黑色物質，所以使用有浸泡鹽酸30秒的鎂進行實驗。



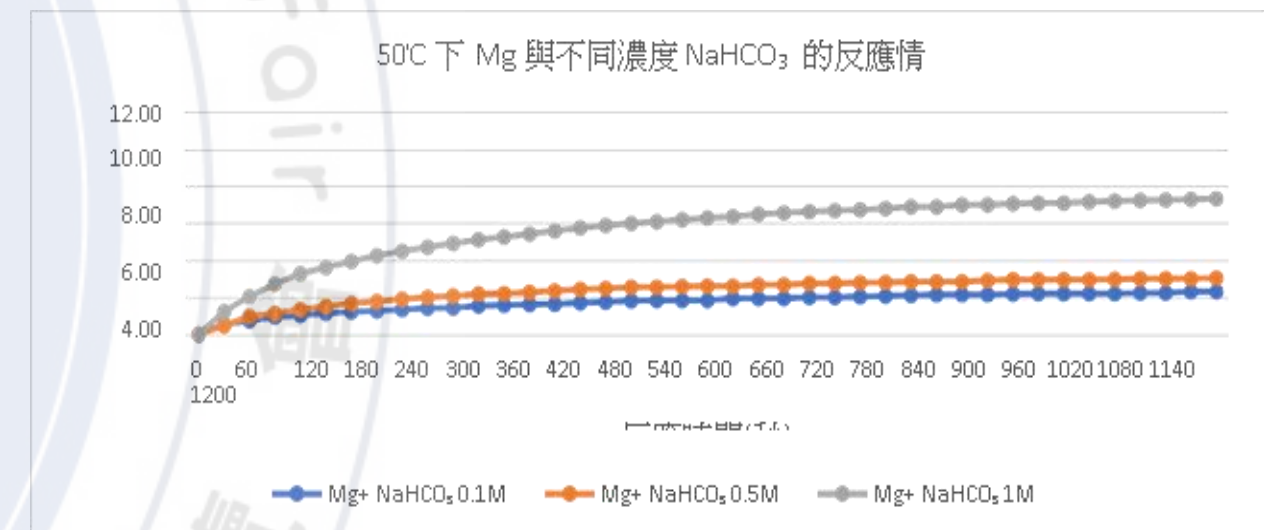
圖(五)未浸泡 30 秒與有浸泡 30 秒去氧化層的 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub>反應平均氣體產量



圖(六) 30°C 下，Mg 與不同濃度 NaHCO<sub>3</sub> 的反應情形



圖(七) 40°C 下，Mg 與不同濃度 NaHCO<sub>3</sub>的反應情形

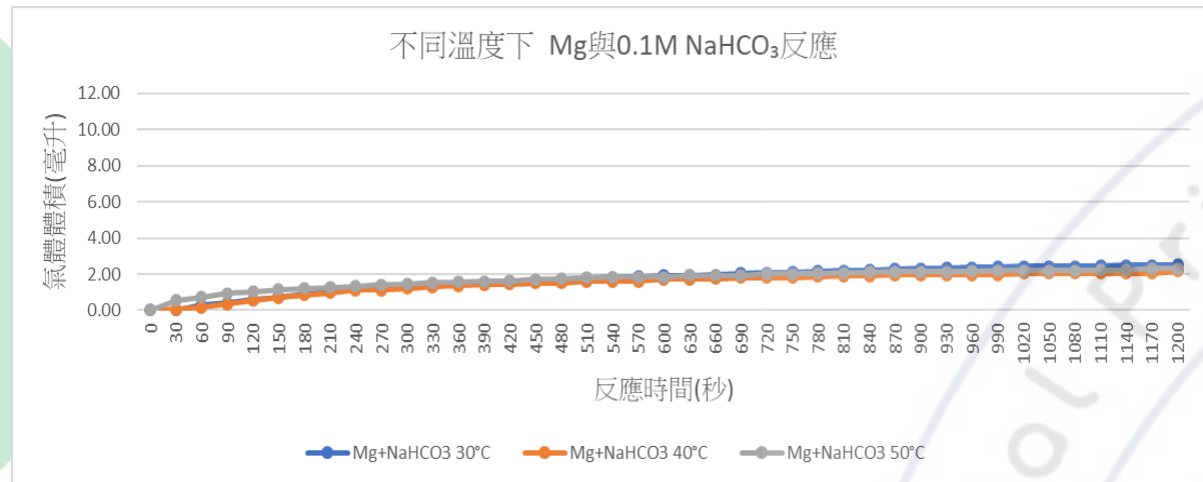


圖(八) 50°C 下，Mg 與不同濃度 NaHCO<sub>3</sub>的反應情形

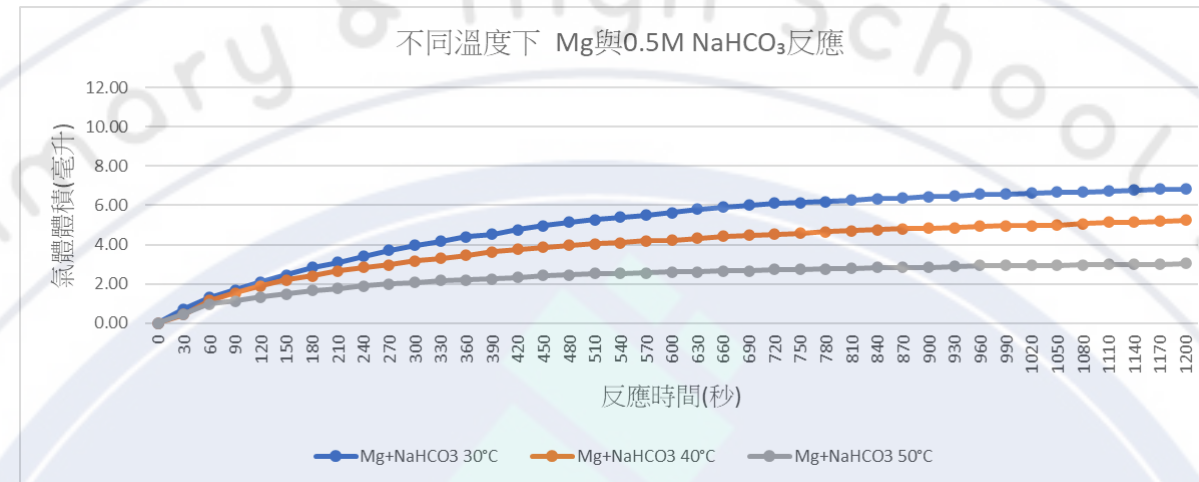
二、由圖(六)、(七)、(八)可看到，氣體產量與 NaHCO<sub>3</sub>濃度呈正相關。

三、Mg 與 NaHCO<sub>3</sub>的反應速率在反應一段時間後會逐漸趨緩，我們推測是因NaHCO<sub>3</sub> 濃度的減少加上表面黑色氧化層的生成，使得內部的 Mg 較不易與溶液反應。

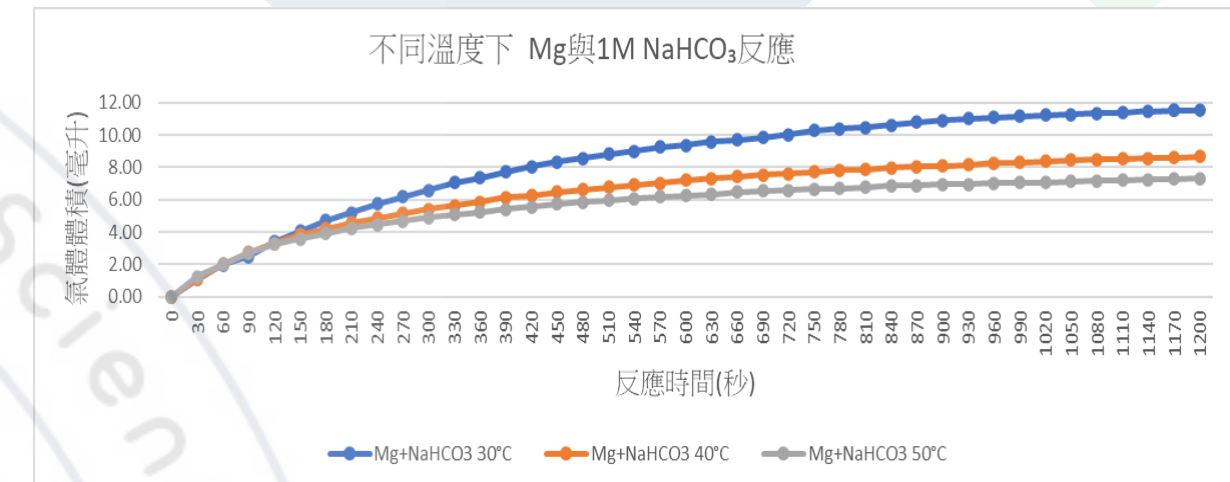
# 研究結果與討論



圖(九) 不同溫度下，Mg 與0.1M NaHCO<sub>3</sub>的反應情形



圖(十) 不同溫度下，Mg 與0.5M NaHCO<sub>3</sub>的反應情形



圖(十一) 不同溫度下，Mg 與1M NaHCO<sub>3</sub>的反應情形

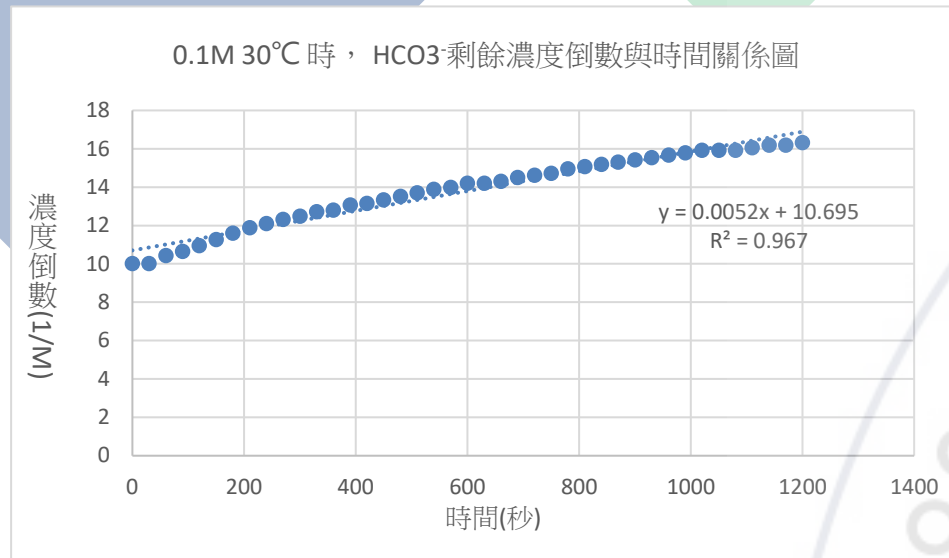
四、由圖(九)、(十)、(十一)可看到，溫度越高時，反應生成的氣體量越少，推測是因越高溫時，鎂表面越快產生氧化層，使得氣體產量越少；同溫狀況下，濃度升高時，氣體產量越多，因此推測溫度效應對鎂氧化層的生成速率影響，較濃度效應明顯。

五、藉由反應時紀錄的氣體產量並計算其莫耳數，做出反應速率關係圖，因此可求出反應速率常數  $k$ ，再利用阿瑞尼士方程式，計算出此反應的活化能。

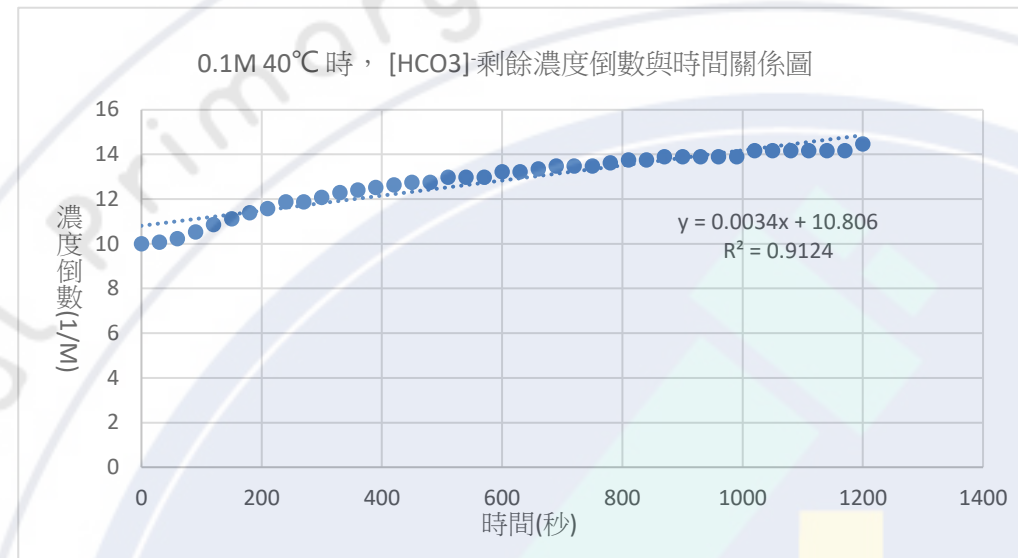
表(一)各濃度、溫度下 Mg 與 NaHCO<sub>3</sub>反應之速率常數及活化能(單位：kJ)

|      | 30°C                 |        | 40°C                 |        | 50°C                 |        |
|------|----------------------|--------|----------------------|--------|----------------------|--------|
|      | $k$                  | $E_a$  | $k$                  | $E_a$  | $k$                  | $E_a$  |
| 0.1M | $5.2 \times 10^{-3}$ | 13.248 | $3.4 \times 10^{-3}$ | 14.791 | $2.8 \times 10^{-3}$ | 15.785 |
| 0.5M | $4.0 \times 10^{-4}$ | 19.709 | $2.0 \times 10^{-4}$ | 22.164 | $1.0 \times 10^{-4}$ | 24.733 |
| 1M   | $2.0 \times 10^{-4}$ | 21.456 | $4.0 \times 10^{-4}$ | 20.360 | $7.0 \times 10^{-5}$ | 25.691 |

# 研究結果與討論



圖(十二) 0.1M 30°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度倒數與時間關係圖

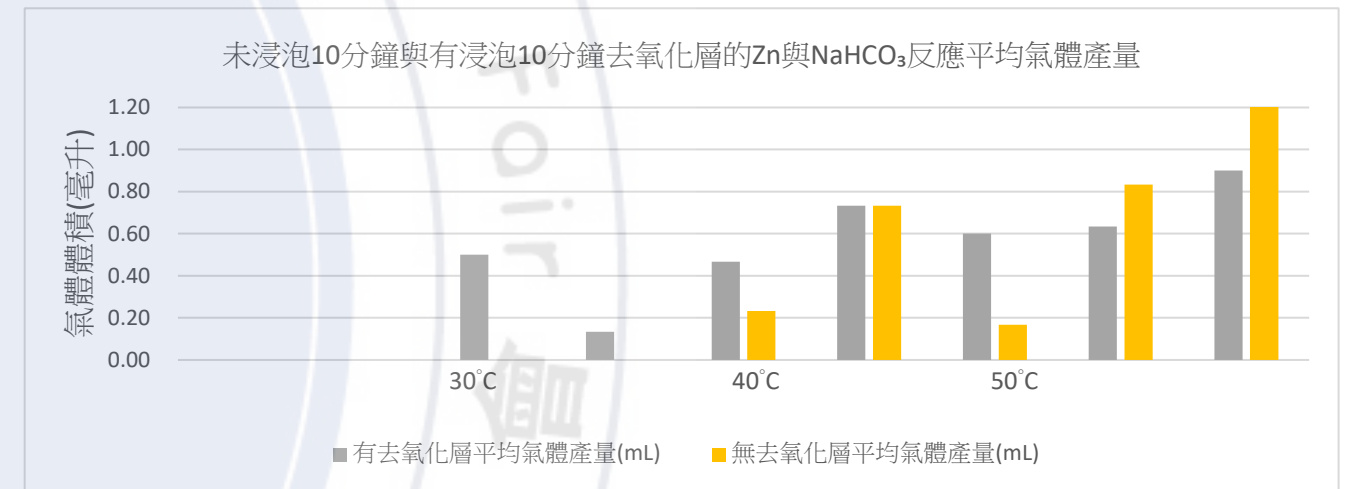


圖(十三) 0.1M 40°C 時， $HCO_3^-$  剩餘濃度倒數與時間關係圖

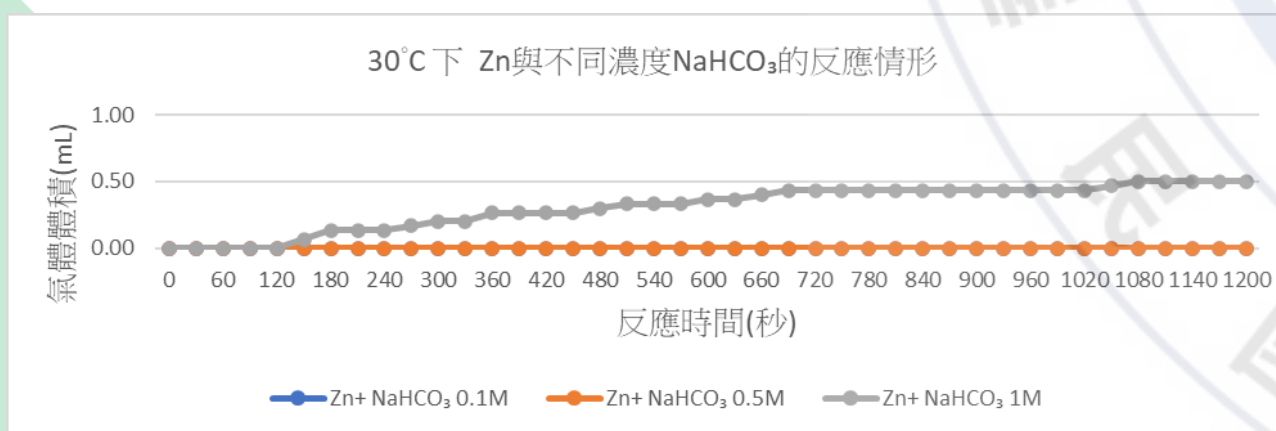
藉由反應時紀錄的氣體產量並計算其莫耳數，利用碳酸氫鈉與鎂的反應式，分別作圖將三種圖相比發現，每組實驗中，濃度倒數與時間關係圖的  $R^2$  值皆最高，因此推測碳酸氫鈉與鎂反應為二級反應。

## 【實驗四】Zn 在不同條件下與 $NaHCO_3$ 的反應情形

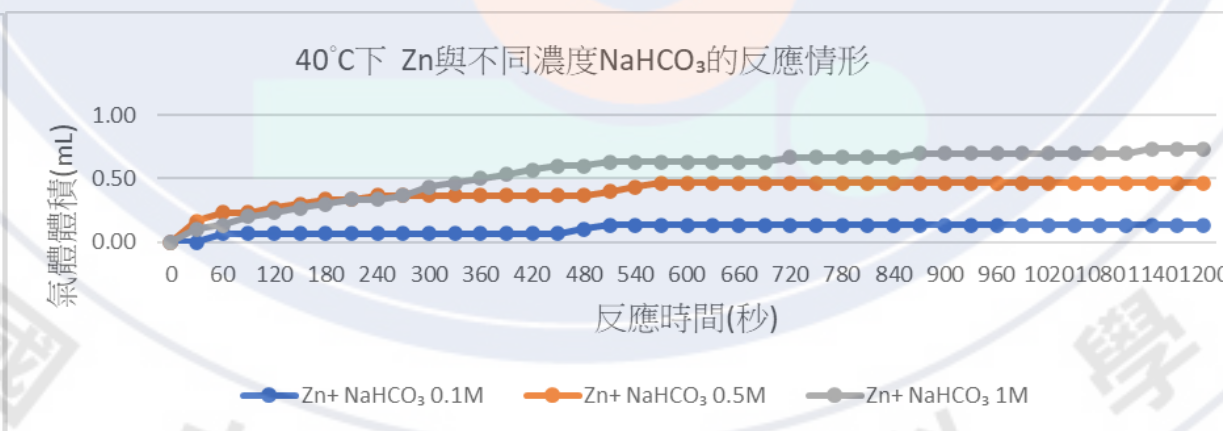
一. 我們比較了有無浸泡 HCl 10 分鐘的鋅與  $NaHCO_3$  的反應情形，發現除了在 50°C 下，有浸泡的鋅片氣體產量皆較多，因此我們使用有浸泡的鋅作為討論的對象。



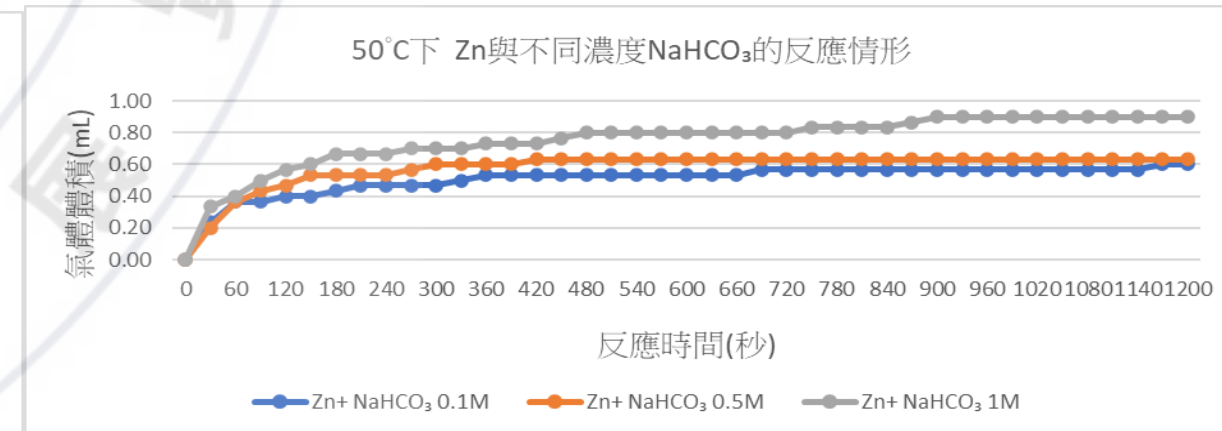
圖(十四) 未浸泡10分鐘與有浸泡10分鐘去氧化層的 Zn 與  $NaHCO_3$  反應平均氣體產量



圖(十五) 30°C 下，Zn 與不同濃度  $NaHCO_3$  的反應情形



圖(十六) 40°C 下，Zn 與不同濃度  $NaHCO_3$  的反應情形

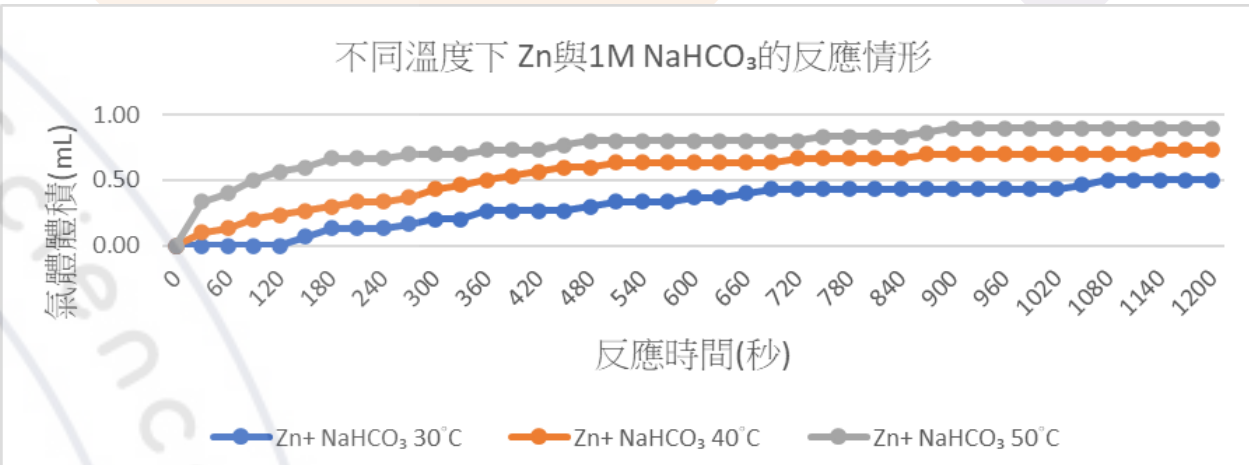
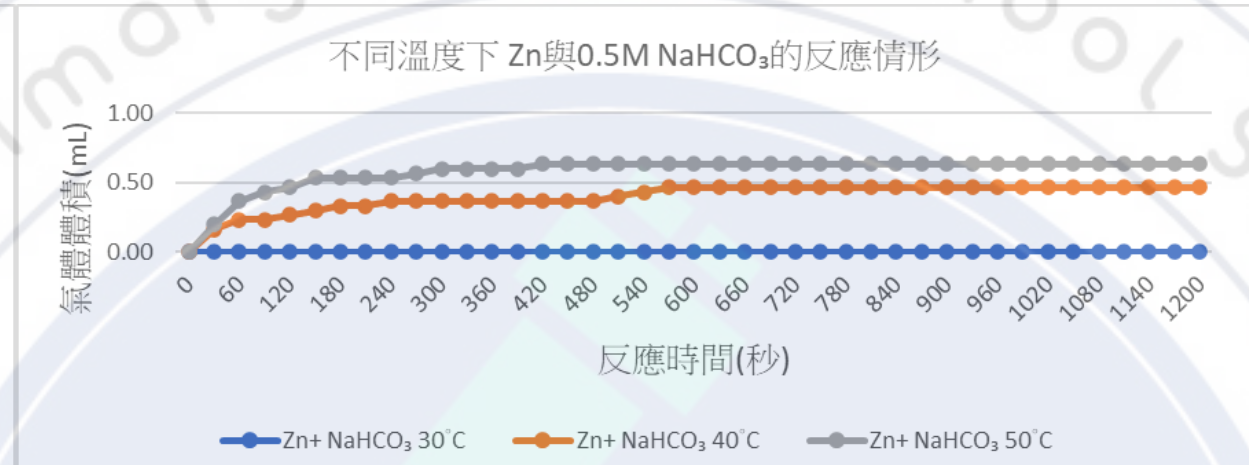
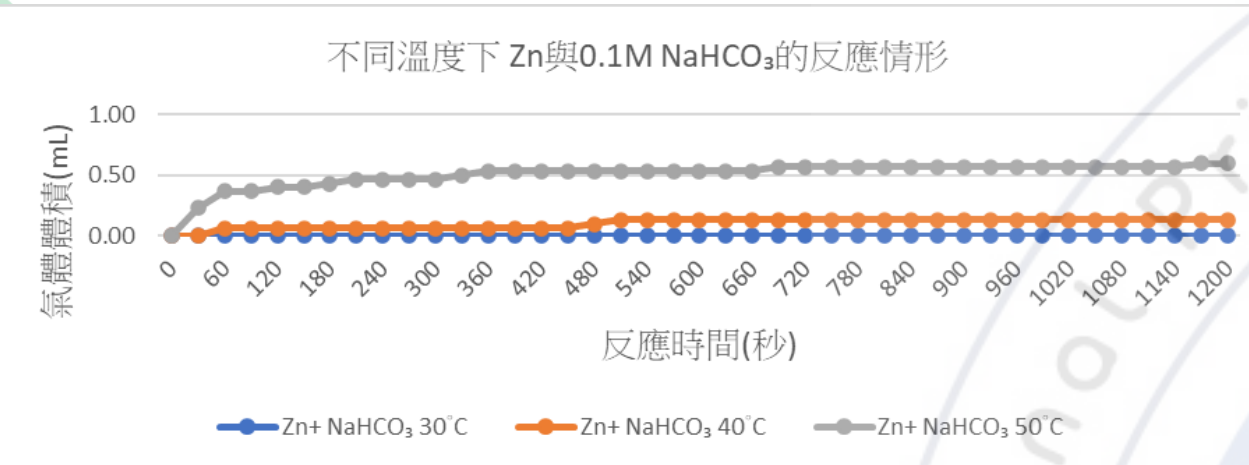


圖(十七) 50°C 下，Zn 與不同濃度  $NaHCO_3$  的反應情形

二、在溫度高於 40°C 且濃度大於 0.5M 時，才產生足以觀測的氣體量



# 研究結果與討論



圖(十八) 不同溫度下，Zn與0.1M NaHCO<sub>3</sub>的反應情形

圖(十九) 不同溫度下，Zn與0.5M NaHCO<sub>3</sub>的反應情形

圖(二十) 不同溫度下，Zn與1M NaHCO<sub>3</sub>的反應情形

三、溫度對氣體產量呈正相關。

四、比較Mg、Zn與NaHCO<sub>3</sub>的反應情形，在任何反應條件下，Mg與NaHCO<sub>3</sub>反應生成氣體量都大於Zn許多，這是因Mg的氧化電位大於Zn，且鎂的氧化層不會造成明顯影響，因此Mg丟電子給H並將之還原成H<sub>2</sub>的能力強。

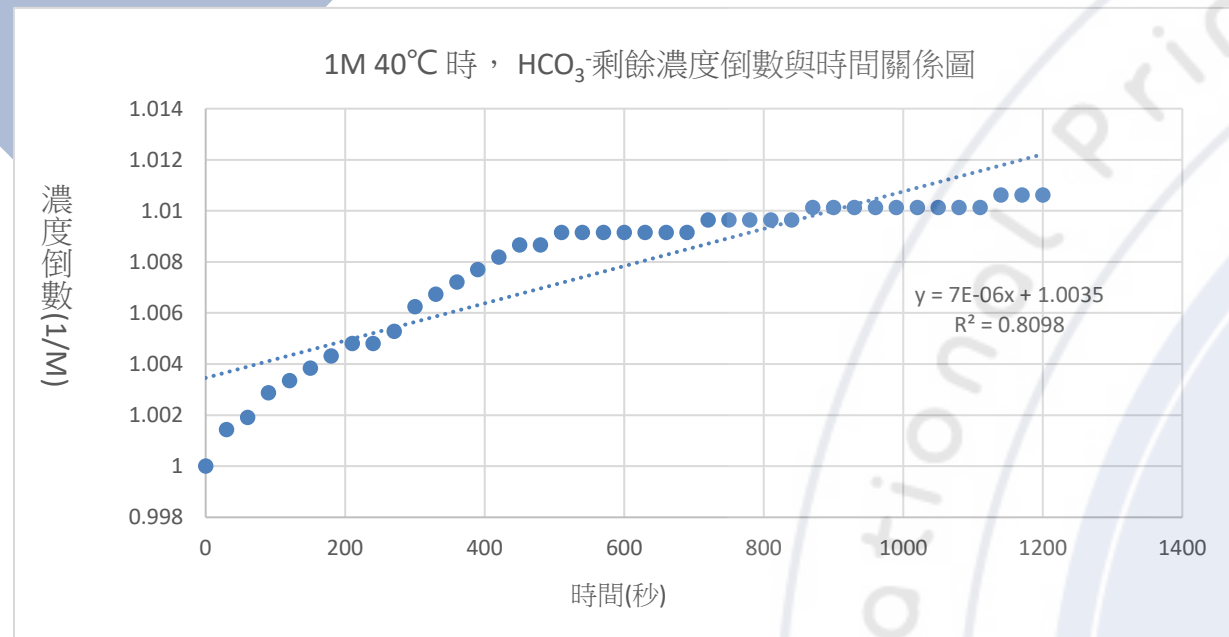
表(二)各濃度、溫度下 Zn 與 NaHCO<sub>3</sub>反應之速率常數及活化能(單位：kJ)

|      | 30°C                 |                      | 40°C                 |                      | 50°C                 |                      |
|------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|      | <i>k</i>             | <i>E<sub>a</sub></i> | <i>k</i>             | <i>E<sub>a</sub></i> | <i>k</i>             | <i>E<sub>a</sub></i> |
| 0.1M |                      |                      | $1.0 \times 10^{-4}$ | 23.967               | $3.0 \times 10^{-4}$ | 21.783               |
| 0.5M |                      |                      | $1.0 \times 10^{-5}$ | 29.959               | $1.0 \times 10^{-5}$ | 30.917               |
| 1M   | $7.0 \times 10^{-6}$ | 29.901               | $7.0 \times 10^{-6}$ | 30.888               | $6.0 \times 10^{-6}$ | 32.288               |

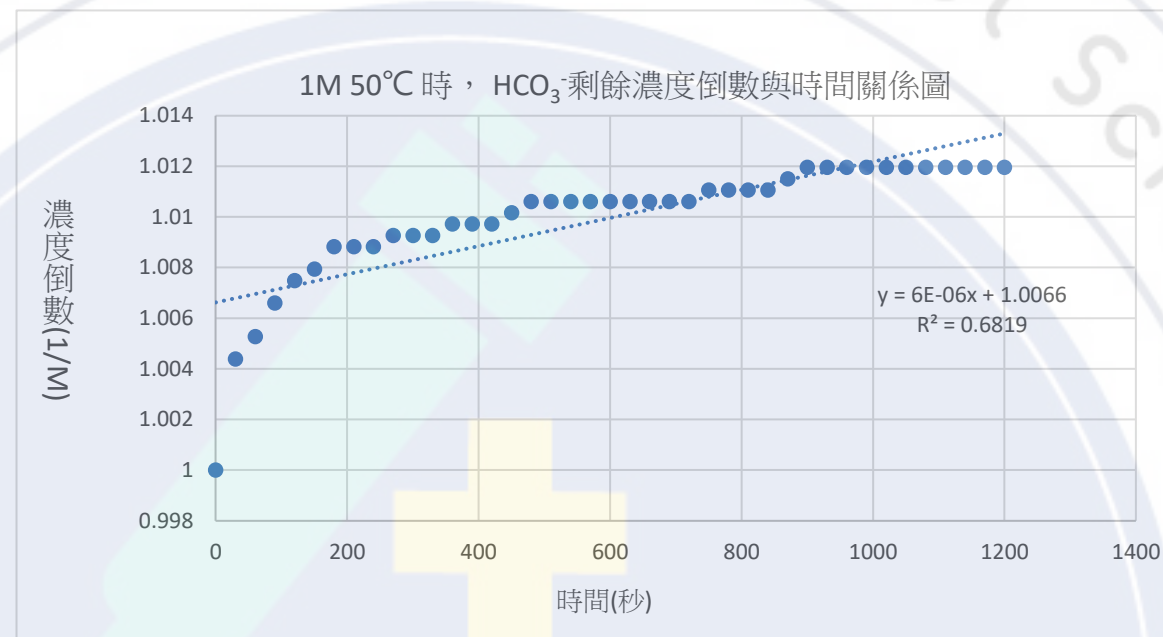
五、在30°C，且0.1M及0.5M時，因氣體量過少而無法測量，而無法計算。

六、與鎂比較可發現，在各反應條件下，鋅與碳酸氫鈉反應的活化能皆大於鎂，而這也是因鎂的氧化電位大於鋅，鋅與碳酸氫鈉較不易反應。

# 研究結果與討論



圖(二十一)1M 40°C 時， $\text{HCO}_3^-$  剩餘濃度倒數與時間關係圖

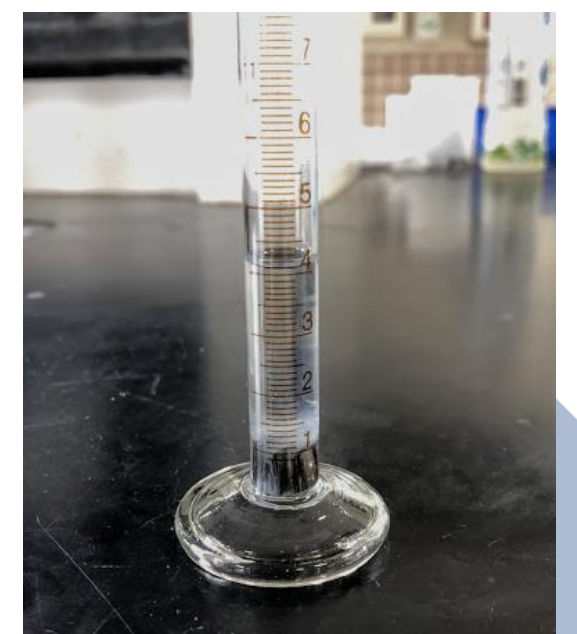


圖(二十二)1M 50°C 時， $\text{HCO}_3^-$  剩餘濃度倒數與時間關係圖

與【實驗三】比較可發現，關係圖中的  $R^2$  值皆較低，我們有試著計算是否為三級反應，但其  $R^2$  值大部分仍小於二級，其中少數則是三級略大於二級且相差只有約 0.0001。而推測這是因鋅生成氣體量較少且明顯較慢，累積至才得以測量，而無法做出非常相符的關係圖、確切的反應級數，二級反應是相對最理想的推測。

## 【實驗五】 檢測反應過後金屬表面之黑色物質

- 一、原先將帶有黑色物質的鎂帶，置入水中震盪 25 分鐘後，用分光光度計以波長 200nm~900nm 掃描，檢測不到明顯吸收值，我們推測是氧化鎂會微溶於水，形成  $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{OH}^-$ ，將水換成乙醇發現無此問題，因此使用乙醇進行實驗。
- 二、一般氧化鎂為白色的，但在金屬表面的氧化鎂為黑色的推測是因為奈米級而呈現黑色；震盪到溶液中後因無法與乙醇互溶，團簇大小變大，奈米級結構消失，而呈現白色，仍能偵測到 300nm~310nm 的吸收峰，推測為懸浮在溶液中的奈米級氧化鎂。



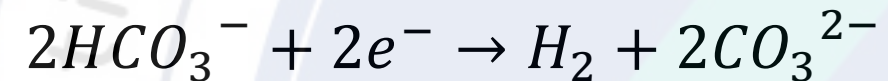
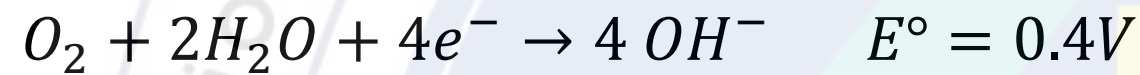
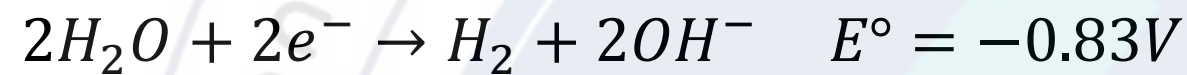
圖(二十三)震盪 25 分鐘後出現的白色膠體溶液

## 研究結果與討論

三、為了釐清黑色氧化鎂是如何生成的，我們進行實驗發現，只浸泡蒸餾水的鎂，不管有無攪拌，金屬表面皆會出現黑色氧化鎂，且與跟碳酸氫鈉反應時生成的相同，因此推測鎂是與水中的氧反應生成此氧化物。

四、Mg在水中的反應情形：

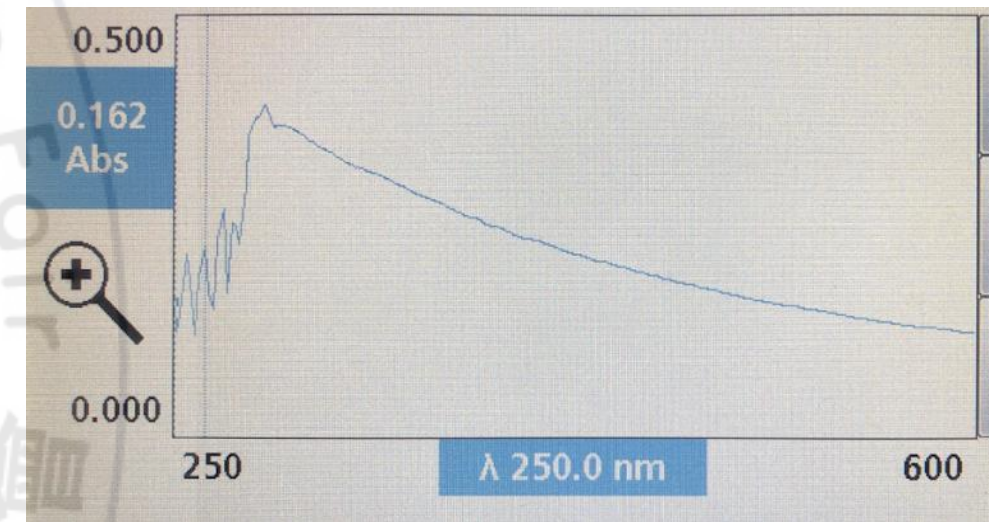
在標準狀況下，Mg的氧化電位為2.37V，還原反應有以下三種情況：



因O<sub>2</sub>僅微溶於水，在水中濃度低，故在反應過程中，最可能與Mg形成氧化成的物質為H<sub>2</sub>O，反應式如下：



故Mg置於水中，有機會形成氧化層。以本實驗觀察到的現象，鎂與碳酸氫根會發生反應產生氫氣與碳酸根離子，故推測碳酸氫根的還原電位應比水的還原電位-0.83V更大。



圖(二十四)分光光度計檢測氧化鎂吸光度曲線圖

【實驗六】滴定反應過後NaHCO<sub>3</sub>中Mg離子濃度

我們藉由滴定使用的EDTA體積，計算出溶液中Mg離子莫耳數，並與實驗時產生的氣體量比較，驗證Mg與NaHCO<sub>3</sub>的化學反應式，以及生成氣體是否只有H<sub>2</sub>。藉由測得之實驗數據，進行計算，過程如下：

$$n_{H_2} = \frac{(1 - P_{H_2O} - (P_h/1033.6)) \times V}{RT}$$

因H<sub>2</sub>凡得瓦力極弱，故將之視為理想氣體；因H<sub>2</sub>對水溶解度不高，故忽略溶解度的影響。

# 研究結果與討論

- 計算溶液中鎂離子莫耳數

$$[EDTA] \times V_{EDTA} = [Mg^{2+}] \times V_{Mg^{2+}}$$

因吸取溶液滴定時，只吸了3 mL，故我們將計算出的鎂離子莫耳數再乘上 $\frac{5}{3}$ ，得到溶液中實際的鎂離子莫耳數。

- pH=10的緩衝溶液配製

計算NH<sub>3</sub>與NH<sub>4</sub>Cl比例，計算過程如下：

15M NH<sub>3</sub>取x mL與 1M NH<sub>4</sub>Cl y mL混和

$$\frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]} = \frac{1 \times y \times 10^{-4}}{15 \times x} = 1.8 \times 10^{-5}$$

經由計算結果，取15M NH<sub>3</sub> 10mL；1M NH<sub>4</sub>Cl 27 mL，即可得pH=10的緩衝溶液。

表(三) 在30°C下，不同濃度滴定結果及氣體莫耳數比較

| 反應濃度(M) | EDTA使用量(mL) | Mg <sup>2+</sup> 量(mol) | H <sub>2</sub> 量(mol) | 兩者比值(H <sub>2</sub> /Mg <sup>2+</sup> ) | 滴定前pH值 | 滴定後pH值 |
|---------|-------------|-------------------------|-----------------------|---|--------|--------|
| 0.1     | 6.0         | 1.00×10 <sup>-4</sup>   | 1.07×10 <sup>-4</sup> | 1.06                                    | 9.96   | 9.7    |
| 0.5     | 14.0        | 2.33×10 <sup>-4</sup>   | 2.53×10 <sup>-4</sup> | 1.08                                    | 9.94   | 9.55   |
| 1       | 23.3        | 3.88×10 <sup>-4</sup>   | 4.43×10 <sup>-4</sup> | 1.14                                    | 9.91   | 9.59   |

表(四) 在40°C下，不同濃度滴定結果及氣體莫耳數比較

| 反應濃度(M) | EDTA使用量(mL) | Mg <sup>2+</sup> 量(mol) | H <sub>2</sub> 量(mol) | 兩者比值(H <sub>2</sub> /Mg <sup>2+</sup> ) | 滴定前pH值 | 滴定後pH值 |
|---------|-------------|-------------------------|-----------------------|---|--------|--------|
| 0.1     | 4.0         | 6.66×10 <sup>-5</sup>   | 7.89×10 <sup>-5</sup> | 1.18                                    | 9.89   | 9.72   |
| 0.5     | 11.0        | 1.83×10 <sup>-4</sup>   | 1.90×10 <sup>-4</sup> | 1.04                                    | 9.84   | 9.61   |
| 1       | 16.1        | 2.68×10 <sup>-4</sup>   | 3.06×10 <sup>-4</sup> | 1.14                                    | 9.82   | 9.58   |

表(五) 在50°C下，不同濃度滴定結果及氣體莫耳數比較

| 反應濃度(M) | EDTA使用量(mL) | Mg <sup>2+</sup> 量(mol) | H <sub>2</sub> 量(mol) | 兩者比值(H <sub>2</sub> /Mg <sup>2+</sup> ) | 滴定前pH值 | 滴定後pH值 |
|---------|-------------|-------------------------|-----------------------|---|--------|--------|
| 0.1     | 3.6         | 6.00×10 <sup>-5</sup>   | 6.90×10 <sup>-5</sup> | 1.15                                    | 9.86   | 9.73   |
| 0.5     | 7.2         | 1.20×10 <sup>-4</sup>   | 1.38×10 <sup>-4</sup> | 1.15                                    | 9.84   | 9.68   |
| 1       | 13.2        | 2.20×10 <sup>-4</sup>   | 2.54×10 <sup>-4</sup> | 1.15                                    | 9.80   | 9.62   |

經由以上比較，可得知Mg與NaHCO<sub>3</sub>反應後，溶液中鎂離子莫耳數與氣體莫耳數比值約為1，故推測產生氣體除氫氣外無其餘氣體，而平衡反應式如下：



## 研究結果與討論

### 【實驗七】 檢測放置一天過後懸浮之白色固體

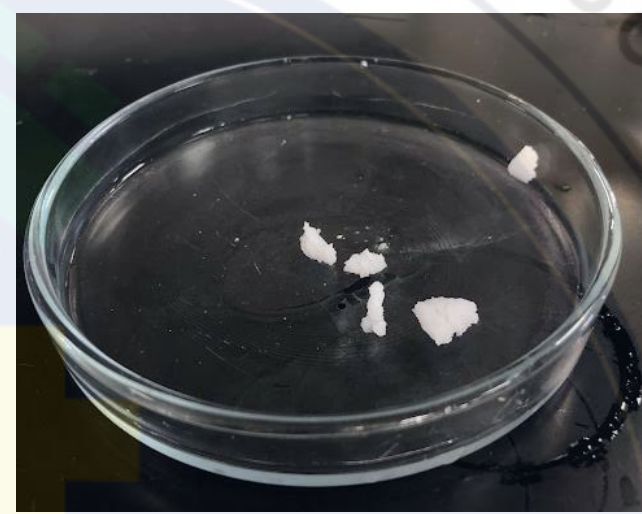
將反應完後的溶液封蓋，放置一天過後，可看到瓶中出现許多白色懸浮物質，並以此物質進行實驗。



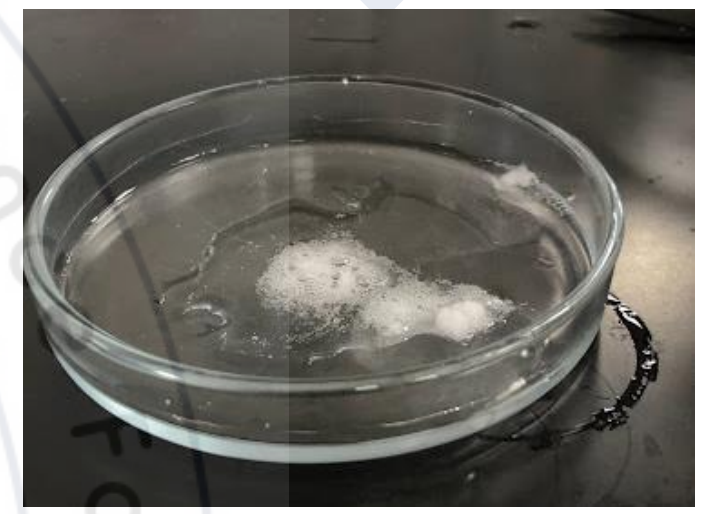
圖(二十五)反應20分鐘後情形



圖(二十六)放置一天後瓶內出現白色物質



圖(二十七)過濾出的白色物質



圖(二十八)加入HCl後產生氣泡之情形

過濾出的白色物質，倒入1M HCl後隨即反應產生大量氣泡，並完全溶於酸中，因此確認此物質為含有碳酸根的 $MgCO_3$ 。

### 結論

- 一、浸泡HCl 30秒後，Mg表面氧化層可觀察到已去除，因此鎂去氧化層的較佳條件為浸泡HCl 30秒，有震盪。
- 二、Zn浸泡HCl的氣體產量速率在第9分鐘時發生變化，故鋅去氧化層的較佳條件為浸泡HCl 10分鐘，不震盪。
- 三、Mg與 $NaHCO_3$ 反應時，溫度升高，表面氧化層越快生成，使氣體總產量降低。
- 四、Mg將鹼性酸式鹽還原成 $H_2$ 的能力較Zn強，推測原因是Mg的氧化電位大於Zn。
- 五、Mg與 $NaHCO_3$ 反應，只產生氫氣，反應式為： $Mg + 2HCO_3^- \rightarrow H_2 + Mg^{2+} + 2CO_3^{2-}$
- 六、Mg與 $NaHCO_3$ 反應後表面之黑色物質為奈米級氧化鎂，故呈現黑褐色，並在300nm附近有明顯吸收值。
- 七、Mg與 $NaHCO_3$ 反應放置一天過後，溶液中出現之白色物質為 $MgCO_3$ 。
- 八、Mg、Zn與 $NaHCO_3$ 反應皆為二級反應。