中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組　化學科

佳作

030213

「鹽」來不一樣─碳酸鹽與鹽酸反應特性之研究

學校名稱：基隆市立銘傳國民中學

作者：	指導老師：
國二 陳映媗 國二 游承諺	陳金善

關鍵詞：碳酸鹽、酸鹼反應、反應熱

摘要

本研究主要是釐清碳酸鹽類與鹽酸反應後的吸放熱現象。以實驗室常見的三種藥品碳酸鈣、碳酸鈉和碳酸氫鈉做為探討對象，並自製暗箱，結合感測器測量反應後的二氧化碳、濕度和水溫，經過反覆實驗後，發現（一）異相和均相反應的結果不完全相同，***吸放熱與物質狀態有關***，特別是碳酸氫鈉，不宜簡化成“酸＋鹼必放熱”的論述。（二）異相反應時，碳酸鈣和碳酸氫鈉有粉塵效應，但碳酸鈉的粉塵效應不明顯。（三）比較溼度與二氧化碳的變化曲線，可說明碳酸鹽與鹽酸反應產生的水主要是以液態為主，可以清楚輔助說明化學反應式的狀態。

綜上所述，本研究自製的觀測器，不僅可以即時監測化學變化，還可驗證物質的基本反應熱和狀態的特性。

壹、研究動機

有一次老師拿了一包炸彈包，經過擠壓後膨脹爆開，撿起炸彈包時，溫度竟比還沒壓的時候低，說明書上寫著內容物是小蘇打與檸檬酸，這現象與我們在課本裡學到的酸加鹼反應會放熱的概念不同，而且課本還將碳酸氫鈉與鹽酸的反應作為觀念例題（如圖 2），直接問反應後的溫度是上升還是下降，顯然課本要我們以酸鹼反應會放熱的概念回答問題。於是，我們開始搜尋相關資料，意外發現有些網站（圖 1 和圖 3）對碳酸氫鈉與鹽酸反應的結果眾說紛紜，我們覺得非常困惑。因此，我們決定自製檢測工具來觀察碳酸鹽與酸反應的實驗，透過溫濕感測器和二氧化碳感測器進一步了解並比較碳酸鹽類的即時定量反應特性。

貳、研究目的

圖 1　（參考資料八）

3	碳酸鈉加鹽酸產生二氧化碳氣體	放熱，也算酸鹼中和
	$Na_2CO_3+2HCl \rightarrow 2NaCl+H_2O+CO_2\uparrow$	
4	碳酸氫鈉加鹽酸產生二氧化碳氣體	放熱，也算酸鹼中和
	$NaHCO_3+HCl \rightarrow NaCl+H_2O+CO_2\uparrow$	

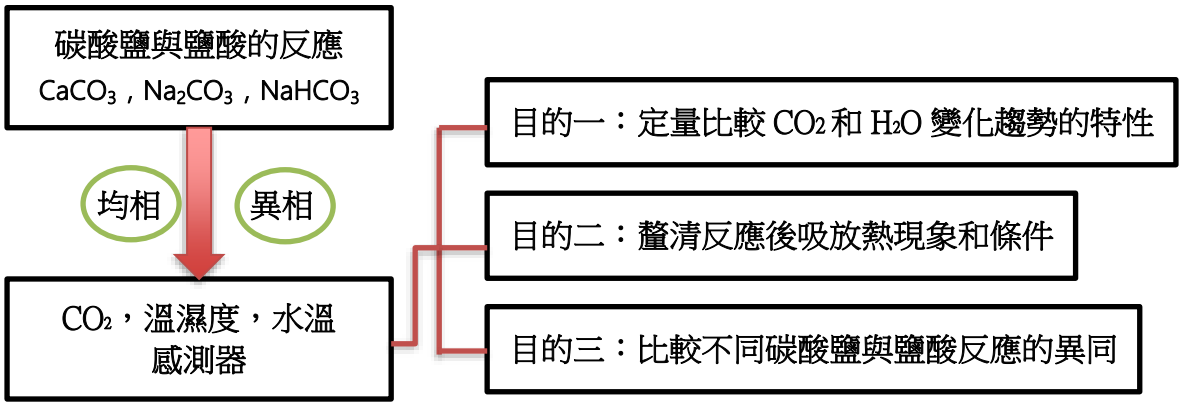
圖 2 課本例題



承續北興國中老師的提問"炸彈包之酸鹼中和後,為何溫度降低?"的問題　（圖 3　參考資料九）

炸彈包活動：裝有小蘇打粉和檸檬酸液 在混合後炸開! 可是這種酸鹼中和的結果卻是變冷(即整體反應是吸熱) 根據中山大學 余岳川教授的說法 因為酸鹼中和放熱的熱量小於鹽類的溶於水所吸收的熱量~~張老師則提出"絕熱膨脹的概念"來解釋 他認為: 就像是教科書裡頭的"雲滴實驗"(就是地球科學中 將塞住的寶特瓶打氣 瞬間爆開時 那些水蒸氣瞬間凝結成"雲滴")

網路上搜尋碳酸氫鈉與酸反應的結果，放熱和吸熱的說法不一致，分別將網路資料和課本例題截圖如上：其中圖 1 為酸鹼放熱的知識統整，圖 2 為課本應用酸鹼放熱的例題，圖 3 則為吸熱現象的提問。檢視這些資訊，難道這兩種現象都存在嗎？存在的條件又為何？因此，我們根據自製的感測器工具探討以下的目的：



參、研究設備與器材

一、 儀器:

				
HA-320 高精度電子秤 精度：0.001 g 最大值：320 g	Finder 3D Printer	MHZ14A CO2 sensor 檢測範圍：0-5000 ppm 檢測精度：± 50 ppm	DHT22 AM2302 溫濕感測器 溫度測量範圍: -40 ℃ – 80 ℃ 測量精度: ± 0.5 ℃ 濕度測量範圍: 0 – 100% RH 測量精度: 2% RH	DS18b20 水溫感測器 感溫範圍： -55 ℃ ～ +125℃ 精度: ± 0.5℃

二、 器材:

				
3mL、5mL 針筒	比色管	洗滌瓶	秤量紙	溫度計
				
玻棒	燒杯	量筒	玻璃瓶	純水

三、 藥品:

			
$CaCO_{3\,(s)}$	$Na_2CO_{3\,(s)}$	$NaHCO_{3\,(s)}$	$HCl_{\,(aq)}$

四、 軟體:

Arduino 軟體	Tinkercad 軟體

肆、研究過程或方法

一、繪製自製暗箱

透過線上 3D 繪圖軟體 Tinkercad 繪製暗箱，並列印成品(圖 1-1、1-2、1-3、1-4)

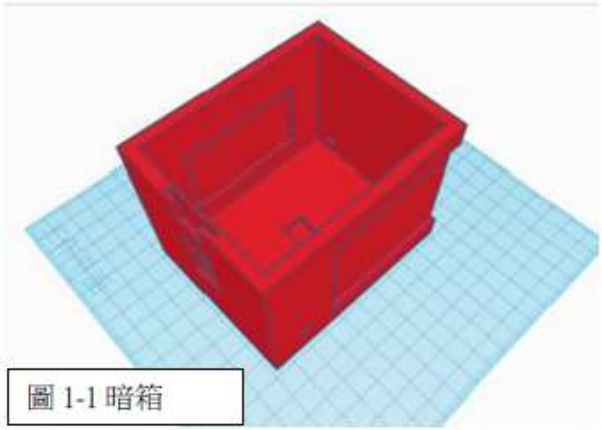


圖 1-1 暗箱

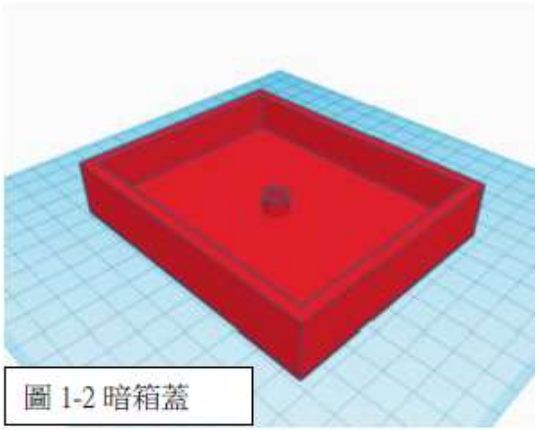


圖 1-2 暗箱蓋

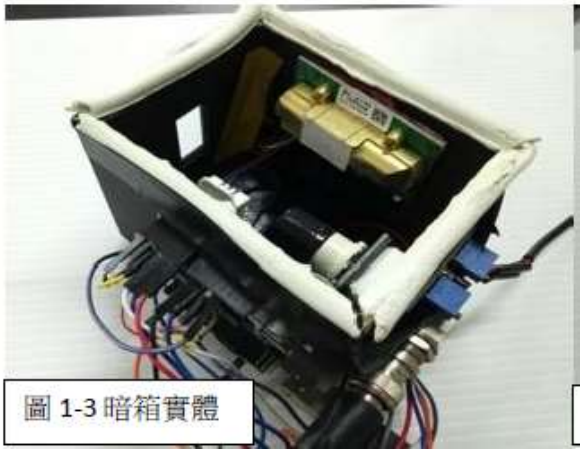


圖 1-3 暗箱實體

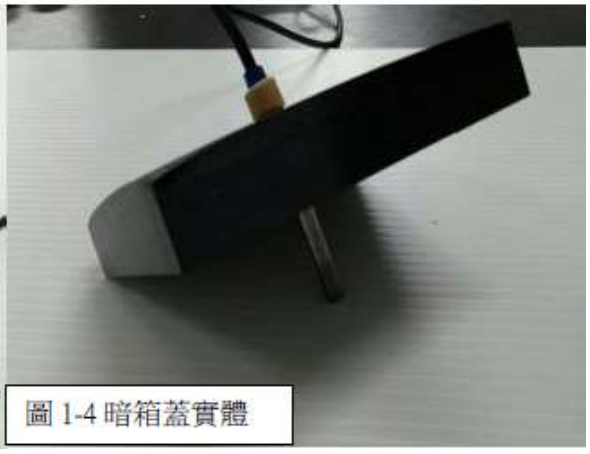


圖 1-4 暗箱蓋實體

二、程式碼

上網查詢各 sensor 的 Arduino 程式，一一檢測，最後合併成實驗所需的程式碼如下:

```
#include <dht.h>
 #include <OneWire.h>
  #include <DallasTemperature.h>
  #include <SoftwareSerial.h>

  SoftwareSerial SerialCom (A4,A3);
  byte addArray[] = { 0xFF, 0x01, 0x86, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x79 };
  char dataValue[9];
  String dataString = "";

   #define dht_dpin A5 //定義訊號要從 Pin A5 進來
   #define  DHT22 22
   #define  offset 0.18
    dht DHT;

    #define ONE_WIRE_BUS 2                    // DS18B20 connect    to Pin 2
    OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
    DallasTemperature sensors(&oneWire);
double WTval;
    double RTval_read;
    double RTval;
    double PHval_read;
    double PHval;
    double Ph7Buffer = 6.86;                  // For PH7 buffer solution's PH value , 7 or 6.86
    double Ph4Buffer = 4.01;                  // For PH4 buffer solution's PH value , 4 or 4.01
    double Ph7Reading = 656;                   // For PH7 buffer solution's PH value , 7 or 6.86
    double Ph4Reading = 748;                   // PH4 Buffer Solution Reading.
    double PhRatio = 0;                      // PH Step
    const int gasSensor =0;

   void setup(){
   Serial.begin(9600);
   SerialCom.begin(9600);
   PhRatio = (Ph4Buffer - Ph7Buffer) / (Ph4Reading - Ph7Reading);
   Serial.println("Starting");
   sensors.begin();}
```

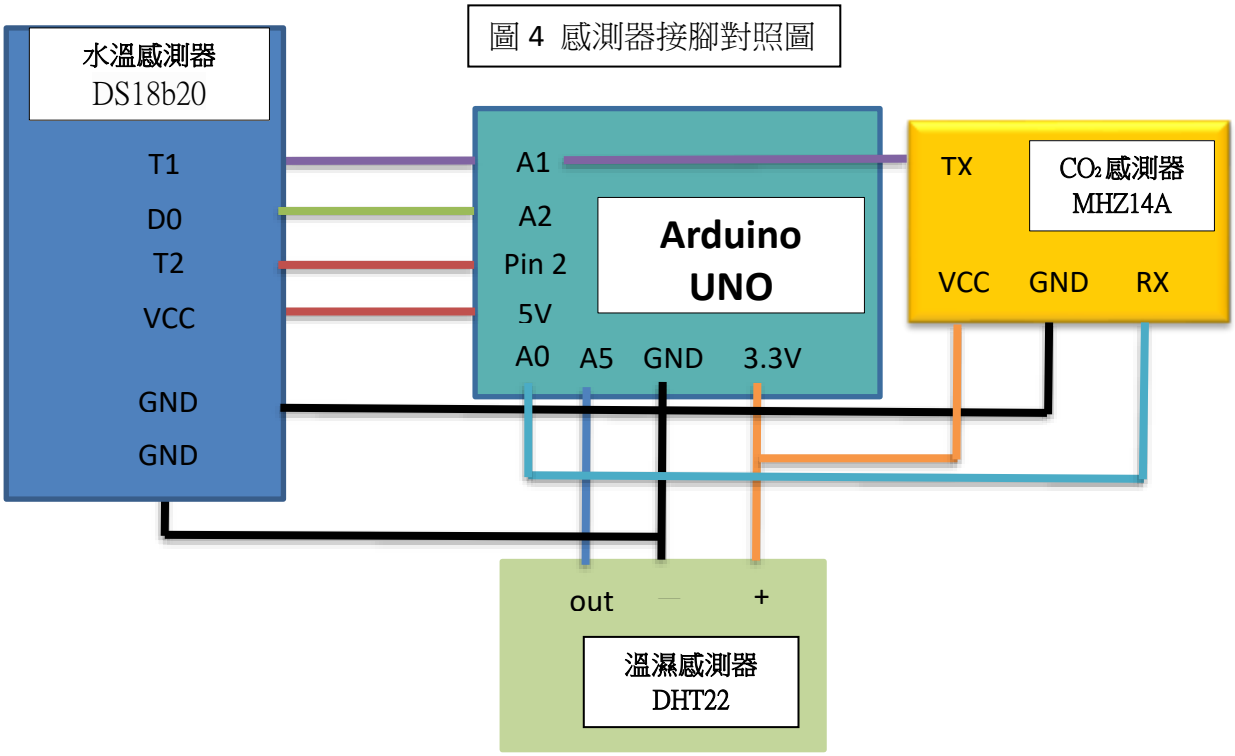
```
void loop(){
    DHT.read22(dht_dpin);   //去程式庫裡面找 DHT.read22
    Serial.print("Humidity= ");
    Serial.print(DHT.humidity);
    Serial.print("%   ");
    Serial.print("temperature= ");
    Serial.print(DHT.temperature);
    Serial.print("C");
  sensors.requestTemperatures();
  WTval = sensors.getTempCByIndex(0);
  RTval_read = analogRead(1);
  RTval = (double) RTval_read / 3.4 * (5/10.24);
  PHval_read = analogRead(2);
  PHval = (PHval_read - Ph7Reading) * PhRatio + Ph7Buffer;
  Serial.print("   ");
  Serial.print("Water Temperature: ");
  Serial.print(WTval, 1);
  Serial.print("   ");
  Serial.print("Room Temperature: ");
  Serial.print(RTval, 1);
  Serial.print("   ");
  Serial.print("PH read value: ");
  Serial.print(PHval_read, 0);
   Serial.print("   ");
  Serial.print("PH value: ");
  Serial.print(PHval, 1);
  float voltage;
  voltage= getVoltage(gasSensor);
  Serial.print("  O3: ");
  Serial.print(voltage);
  Serial.print(" voltage");
  SerialCom.write(addArray, 9);
  SerialCom.readBytes(dataValue, 9);
  int resHigh = (int) dataValue[2];
  int resLow  = (int) dataValue[3];
  int pulse = (256*resHigh)+resLow;
  dataString = String(pulse);
  Serial.print("  CO2: ");
  Serial.print(pulse);
  Serial.println(" PPM");
delay(3000);//每 3000ms 更新一次}
 float getVoltage(int pin) {
  return (analogRead(pin) * 0.004882814); }
```

三、感測器安裝

(一) 查詢溫濕感測器、二氧化碳和水溫感測器的接腳。因為有些會對應相同的電源，在此用並聯的方法將感測器安裝在 Arduino 主板上，其對應的接腳關係如下圖 4:

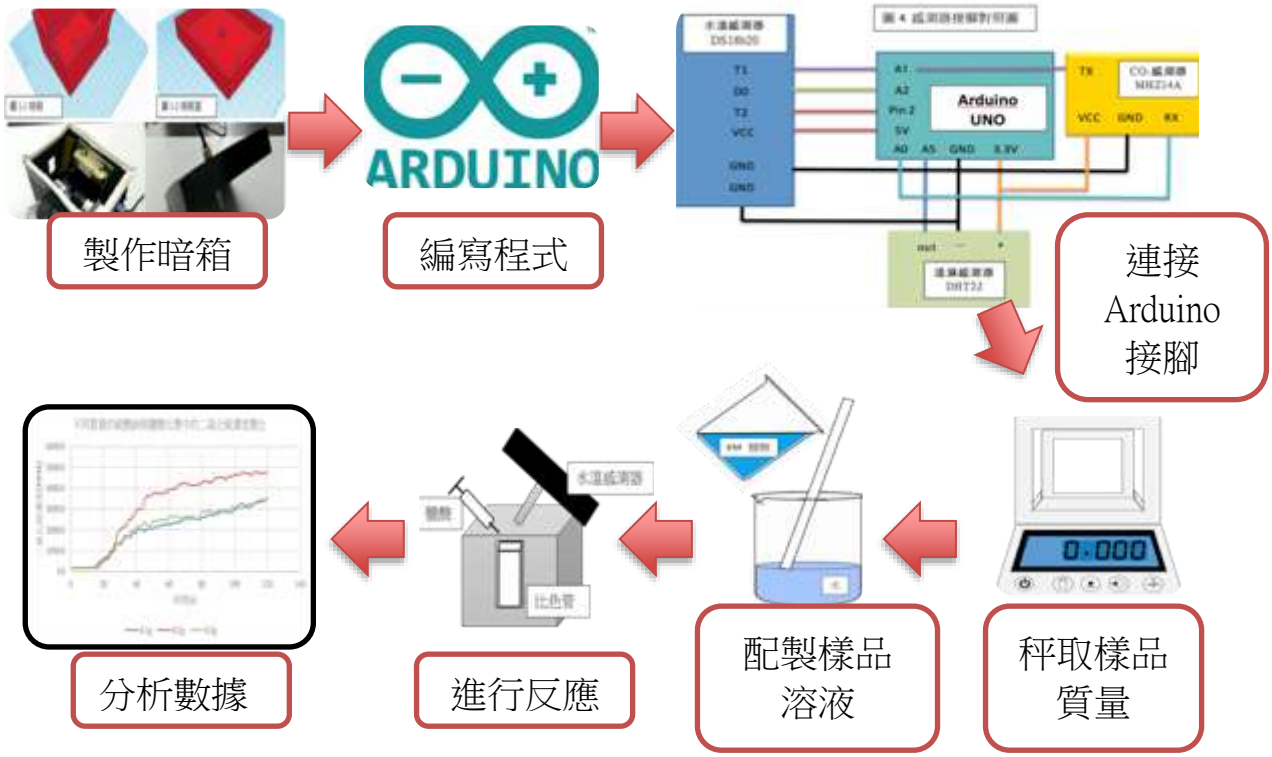
(二) 接好後，開啟 Arduino 軟體驗證程式碼和安裝，一一除錯後，再將整個電路安裝到暗箱上備用。

圖 4 感測器接腳對照圖



四、研究方法

(一) 研究流程圖



(二) 實驗步驟

1. 異相反應
   (1) 分別秤量碳酸鈣 0.1 g、0.2 g、0.3 g 及 1 mL 的純水置入比色管並混合均勻
   (2) 注入 1 M 鹽酸 2 mL，並快速蓋起盒蓋使暗箱密閉並透過載玻片檢查水溫感測器是否接觸溶液
   (3) 待 CO_2 ppm 升至 4744 (sensor 偵測最大值)即停止
   (4) 重複上述實驗步驟 3 次並平均實驗數據
   (5) 依數據做圖比較不同質量的碳酸鈣與鹽酸反應後的差異
2. 均相反應（為了容易取得上層液，採取放大 10 倍的比例）
   (1) 分別秤量碳酸鈣 1 g、2 g、3 g 及 10mL 的純水置入燒杯中並混合均勻備用
   (2) 取上層液放入比色管中
   (3) 重複異相反應步驟（2）～（5）
3. 暗箱外實驗
   將 1.和 2.的實驗改在暗箱外操作，錄影並記錄水溫變化
4. 將碳酸鈣改成碳酸鈉，實驗步驟同碳酸鈣
5. 將碳酸鈣改成碳酸氫鈉，實驗步驟同碳酸鈣

(三) 原理探討：溫度與反應熱的關聯

為了瞭解目的二之碳酸鹽與鹽酸反應後的吸放熱現象和條件，我們查詢了物質與物質反應後可能會牽涉到的能量反應，分析本研究的反應現象，推論比較相關的反應熱有解離熱、中和熱和溶解熱 。透過網路資料（參考資料十三和十四），可得 25°C、1 atm 下的異相反應熱如下：

$CaCO_{3\,(s)} + 2HCl_{\,(aq)} \rightarrow H_2O_{\,(l)} + CO_{2\,(g)} + CaCl_{2\,(aq)}$ $\triangle H$ = -23 kJ/mole

$Na_2CO_{3\,(s)} + 2HCl_{\,(aq)} \rightarrow H_2O_{\,(l)} + CO_{2\,(g)} + 2NaCl_{\,(aq)}$ $\triangle H$ = -29 kJ/mole

$NaHCO_{3\,(s)} + HCl_{\,(aq)} \rightarrow H_2O_{\,(l)} + CO_{2\,(g)} + NaCl_{\,(aq)}$ $\triangle H$ = 31 kJ/mole

上述是異相放出的反應熱，溫度上升就是放熱，亦即酸鹼中和大於溶解和解離熱，如碳酸鈣和碳酸鈉；反之，溫度下降就是吸熱，則酸鹼中和小於溶解和解離熱，如碳酸氫鈉。由於均相反應裡的溶質皆已溶解和解離完畢，推論均相反應只剩酸鹼中和放出的熱，因此假設實驗都是均相時，應該都是放熱反應，後續將論證實驗與理論假設的一致性。

伍、研究結果與討論

一、 探討碳酸鈣與鹽酸均相與異相反應後的變化

(一) 異相反應

圖3-1-1 不同質量碳酸鈣與鹽酸反應的二氧化碳濃度變化曲線圖（異相）

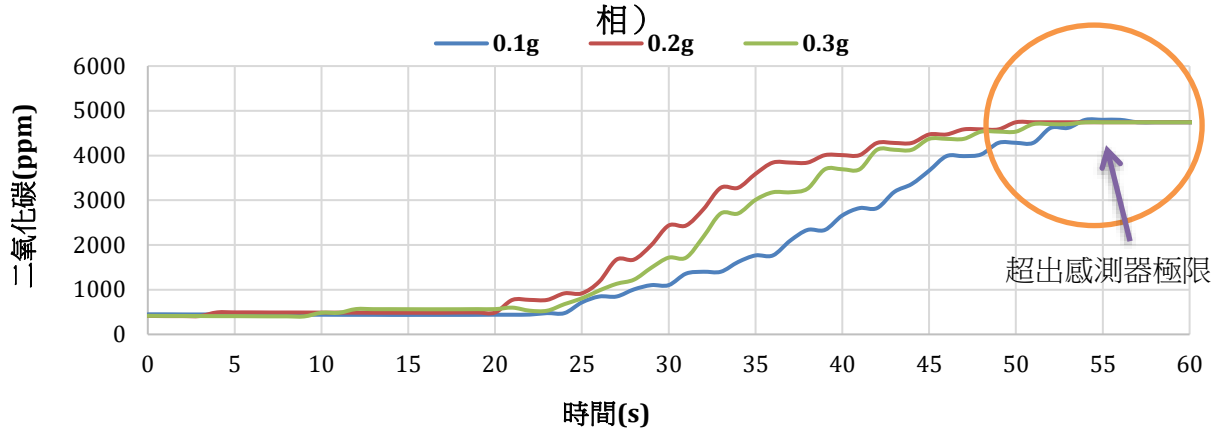


圖3-1-2 不同質量碳酸鈣與鹽酸反應中的濕度變化曲線圖（異相）

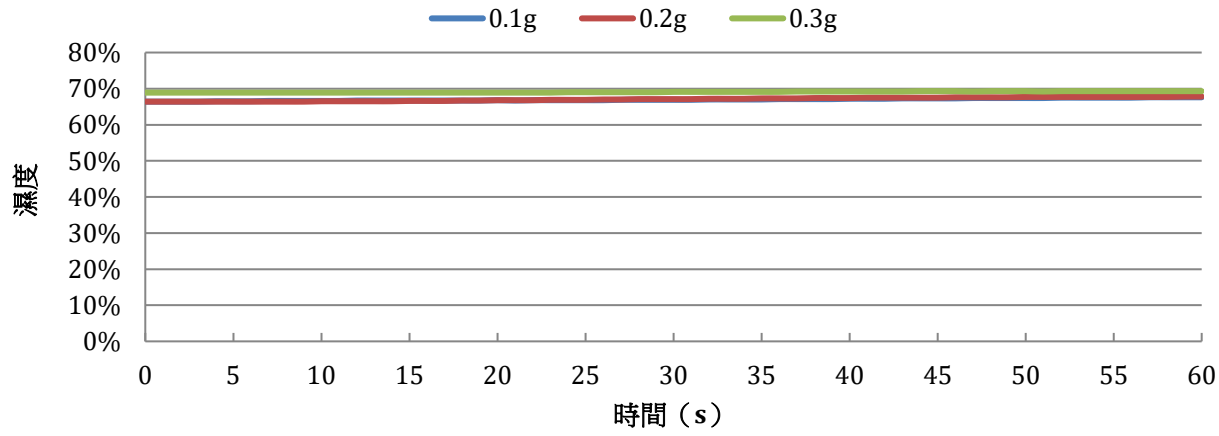
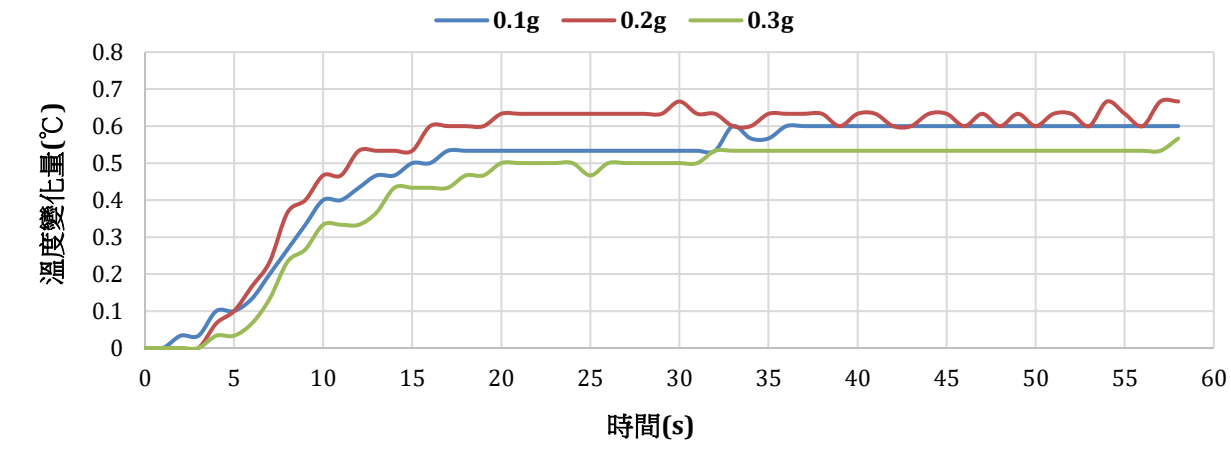


圖3-1-3 不同質量碳酸鈣與鹽酸反應中的水溫變化曲線圖（異相）



結果:

1. 觀察圖 3-1-1，二氧化碳濃度在 20 秒後開始上升，且上升幅度的趨勢相近。但 0.1 g 先緩後快，而 0.2 g 和 0.3 g 則先快後緩。
2. 觀察圖 3-1-2，濕度變化不同於二氧化碳，幾乎沒有太大改變，整個上升趨勢較二氧化碳緩慢非常多。
3. 觀察圖 3-1-3，水溫比 CO_2 更早變化，幾乎都在 20 秒左右上升到最大值。

討論:

1. 根據碳酸鈣的化學反應，可知消耗 1 莫耳碳酸鈣皆可產生相同 1 莫耳的水和二氧化碳，理論上變化趨勢應該相似。但圖 3-1-1 的 CO_2 在 20 秒後的變化卻比圖 3-1-2 的 H_2O 還快，與理論的變化趨勢不同。推論理由如下：
   (1) 假設產物是水蒸氣時：因
   (1-1) 水分子有氫鍵，使得水蒸氣易溶於水。
   (1-2) 依據飽和度概念，水溶液中溶質含量越高，要再溶入更多溶質時，越難溶解。查詢維基百科和交通部中央氣象局資料，可得 CO_2 在空氣中平均約為 0.04%，水氣平均為 1.1%，水氣的溶解量是 CO_2 的 27.5 倍，因此依飽和度概念，水氣要再溶於空氣中比 CO_2 難。
   上述兩種因素使得反應後的生成物水很難以水蒸氣的方式存在。
   (2) 本實驗反應過程中，環境相對平均初始溼度 70%，平均變化值不超過 2%，微幅小漲 2.8%，而二氧化碳初始濃度平均 350ppm，平均變化值超過 4000ppm，變化幅度 11 倍以上，兩者與化學式推理的產量不成比例。
   綜上所述，**透過此裝置，可以顯示反應產生的水主要是以液態水存在而非氣態的水蒸氣。**
2. 0.3 g 在 CO_2、濕度和溫度的表現都不如 0.2 g，這是一個非常奇怪的現象。觀察碳酸鈣在鹽酸中的反應行為，初步判斷可能是:
   (1) 鹽酸是限量試劑，導致質量對反應沒有正相關，為了確認此因素，我們以廣用試紙和石蕊試紙檢測反應後溶液的酸鹼性，實驗結果顯示如圖 3-1-4，觀察 0.1 g 和 0.2 g 與鹽酸反應之後的酸鹼性，明顯可看出 0.1 g 酸於 0.2 g，且 0.2 g 的廣用試紙試紙接近綠色（左邊試紙），故推測在 0.2 g 和 0.3 g 之間，鹽酸就已大致反應完成，意味著鹽酸在 0.3 g 的碳酸鈣中是限量試劑，導致圖 3-1-1 中 0.3 g 反應行為不同。

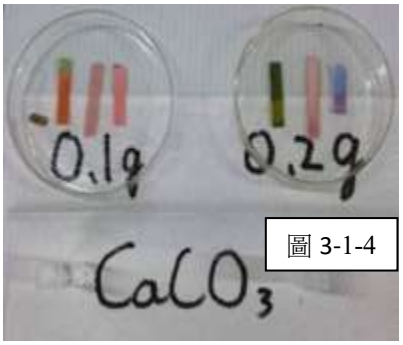


圖 3-1-4


圖 3-1-5

   (2) 碳酸鈣難溶於水，在比色管中大部分是粉末狀(圖 3-1-5)，導致反應面積不一致而使得反應速率不如預期假設。同步觀察均相反應（p11），因溶解度太低，均相結果都差不多，顯示異相會因接觸粉狀碳酸鈣的多寡而有影響。
3. 觀察圖 3-1-3，不論質量為何，水溫都上升，趨勢都相同，顯示**碳酸鈣與鹽酸總反應是放熱反應，符合碳酸鈣反應熱**（$CaCO_{3\,(s)} + 2\ HCl_{\,(aq)} \rightarrow H_2O_{\,(l)} + CO_{2\,(g)} + CaCl_{2\,(aq)}$ $\triangle H = -23$ kJ/mole）。

4. 三種感測器偵測到的變化時間都不同，顯示**每種感測器的靈敏度不同**，二氧化碳感測器通常需要數秒鐘才會有所感應，且本研究使用的 CO_2 感測器能量測的最大值只到 4744 ppm，因此 50 秒後不代表反應終點，如圖 3-1-1 之橘色框。
5. 由於溫度最先表現而且變化也明顯，因此可視為反應的先行指標。至於溫度 20 秒後不再上升，初步研判放熱產生的能量很快被周遭的物質吸走，放熱＜吸熱，後繼無力，導致溫度開始下降，是熱平衡的一種現象。

(二) 均相反應

圖3-2-1 碳酸鈣與鹽酸反應二氧化碳變化曲線圖（均相）

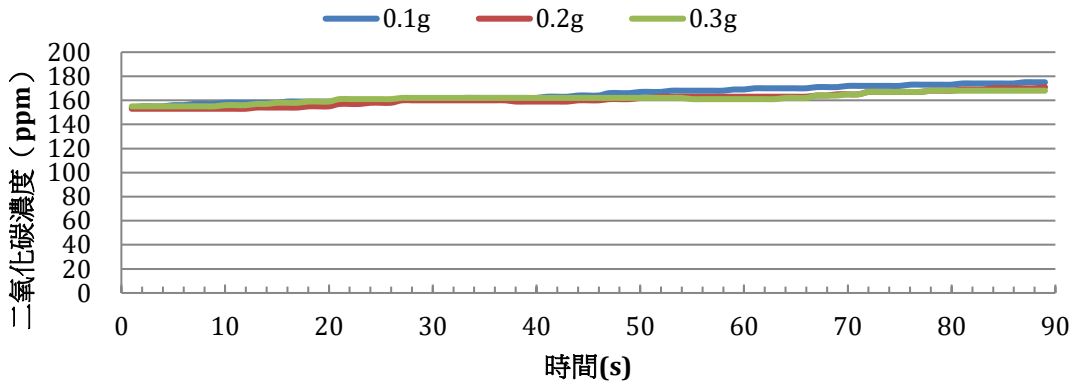


圖3-2-2 碳酸鈣與鹽酸反應濕度變化曲線圖（均相）

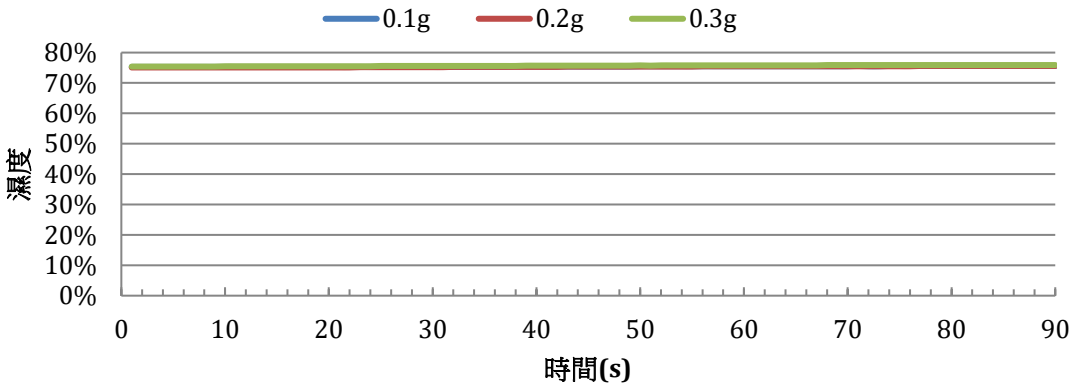
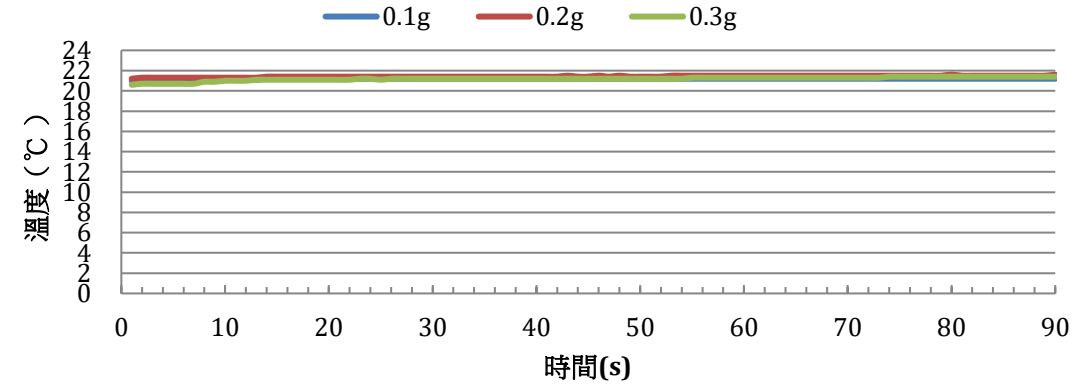


圖3-2-3 碳酸鈣與鹽酸反應溫度變化曲線圖（均相）



結果:

1. 觀察圖 3-2-1~圖 3-2-3，在均相反應中，三種觀察指標以二氧化碳濃度的變化比較明顯（微幅上升），而濕度幾乎不變。
2. 溫度微幅上升，是為放熱。



圖 3-2-4

討論:

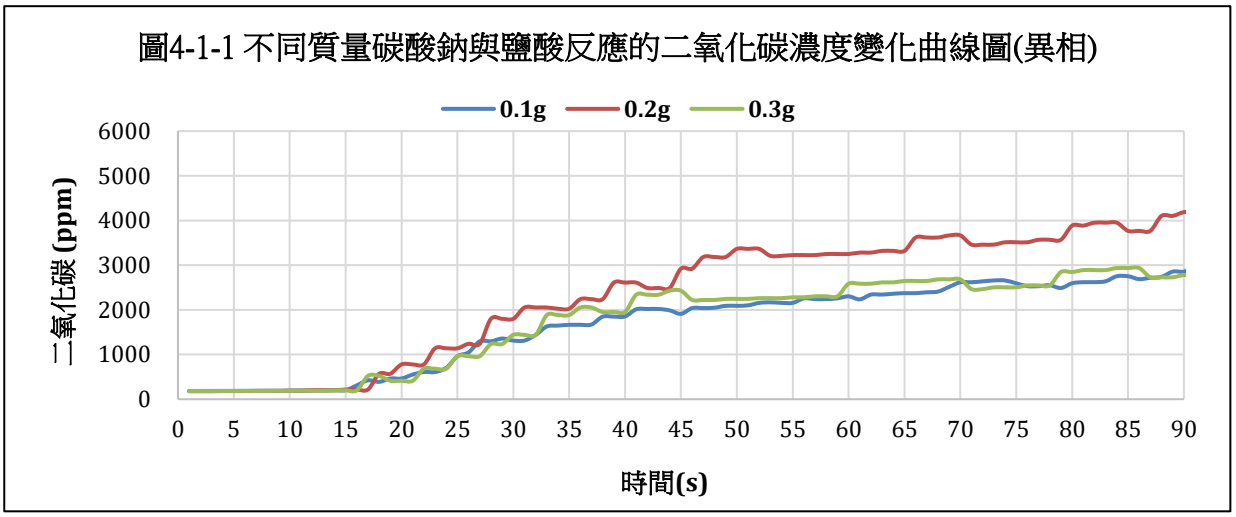
1. 由於碳酸鈣溶解度非常低，因此滴入鹽酸後，幾乎看不見氣泡（如圖 3-2-4），但從二氧化碳和溫度感測器可觀察到水溶液有進行化學變化。
2. 由於碳酸鈣溶解度非常低，因此不同質量取得的上層液都是飽和溶液，濃度相同，故三者質量量測的二氧化碳、濕度和溫度變化趨勢都相近，符合常理。
3. 不論是異相或均相反應，碳酸鈣與鹽酸的反應都是放熱反應。
4. 依碰撞理論，鹽酸與碳酸鈣粒子直接碰撞產生氣泡，氣泡如同攪拌棒擾動粉末，再加上粉末接觸面積大，使得異相反應比均相反應明顯（有如粉塵爆炸）。
5. 不論是異相或均相反應，濕度感測器變化都很小，顯示碳酸鈣與鹽酸的反應產生的水主要是以液態存在。

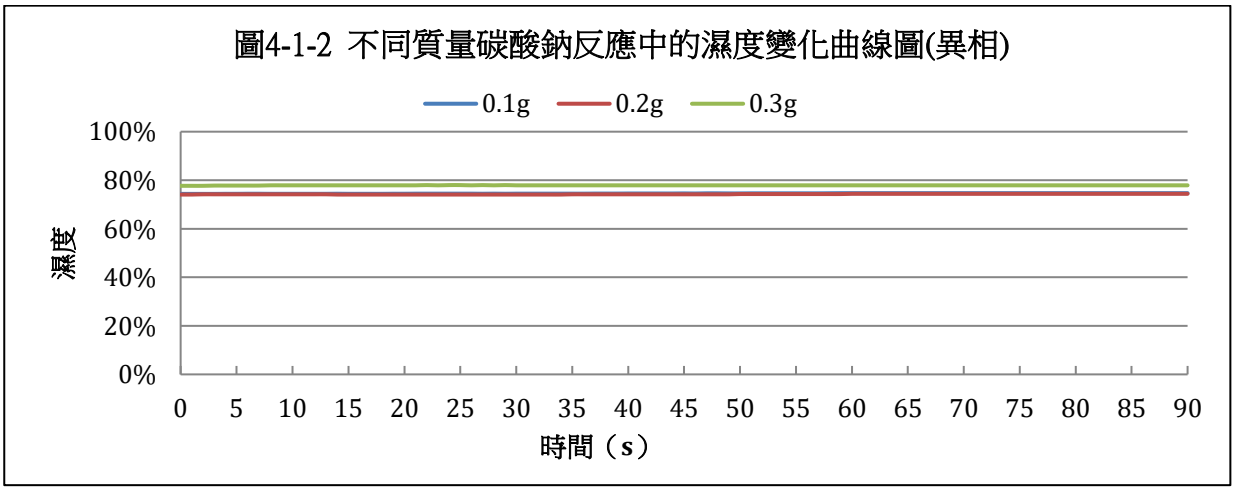
【小結】碳酸鈣與鹽酸的反應，不論是均相或異相：

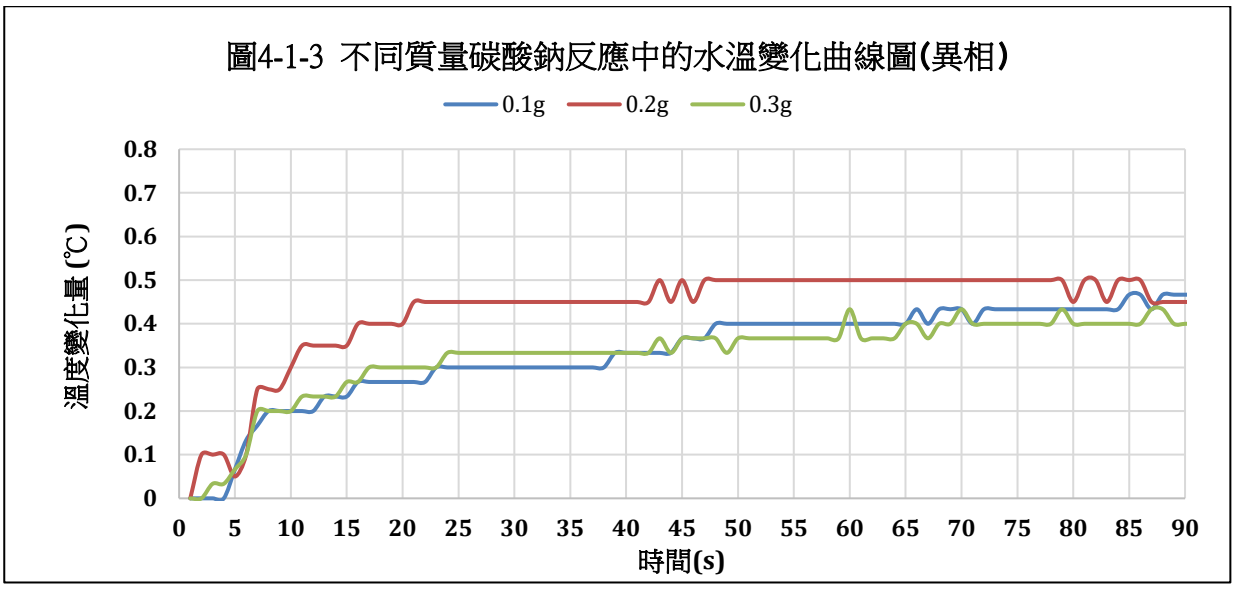
1. 二氧化碳變化量都大於濕度變化量，顯示此反應的生成水以液態存在（目的一）。
2. 都是放熱反應（目的二）

二、探討碳酸鈉與鹽酸均相與異相反應後的變化

(一) 異相反應







結果:

1. 觀察圖 4-1-1，二氧化碳濃度在 16 秒後開始上升，且上升幅度的趨勢相近，與質量沒有明顯的正相關。
2. 觀察圖 4-1-2，濕度變化不同於二氧化碳，整個變化趨勢比較不規則，且比二氧化碳緩慢。
3. 觀察圖 4-1-3，水溫初始值變化不穩定，但 5 秒後都有明顯上升，且 5-10 秒變化最快，之後持續觀察溫度非常緩慢上升到最大值。

討論:

1. 本實驗 0.1 g 碳酸鈉在室溫 17 ℃全溶解，而 0.2 ~ 0.3 g 則否，表示 0.1 g/mL<碳酸鈉溶解度<0.2 g/mL，亦即 0.2 g 和 0.3 g 是飽和濃度，反應曲線應該接近。以莫耳數來看，溶解量不超過 0.2/106 = 1.9×10^{-3}，表示碳酸鈉莫耳濃度介於 0.94 M~1.9 M 之間，其值並不小，實驗結果的 0.3 g 卻與 0.1 g 相近，分析整個操作的過程，可能是因為碳酸鈉和鹽酸都是微量試劑，導致量取過程中產生誤差，以致濃度相近，使得 0.3 g 的反應不如預期，因此本研究不再針對濃度（質量）做進一步探討。
2. 根據碳酸鈉的化學反應，可知消耗 1 莫耳碳酸鈉皆可產生相同 1 莫耳的水和二氧化碳。但圖 4-1-1 的 CO_2 變化卻比圖 4-1-2 的 H_2O 還快，與理論推知的變化趨勢不同，此現象與碳酸鈣反應相似。再次說明**透過此裝置，可以顯示反應主要是以液態水存在而非氣態的水蒸氣。**
3. 由水溫曲線圖可知碳酸鈉與鹽酸的總反應也是放熱反應，不論是固體或水溶液都符合碳酸鈉的反應熱（$Na_2CO_{3\,(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2\,(g)} + 2NaCl_{(aq)}$ △H = -29 kJ/mole 或 $Na_2CO_{3\,(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2\,(g)} + 2NaCl_{(aq)}$ △H = -2.3 kJ/mole）
4. 如同碳酸鈣，溫度確實是一個不錯的先行指標。

(二) 均相反應（碳酸鈉完全溶解，取上層液）

圖4-2-1 碳酸鈉與鹽酸反應二氧化碳濃度變化曲線圖（均相，室溫19.9℃）

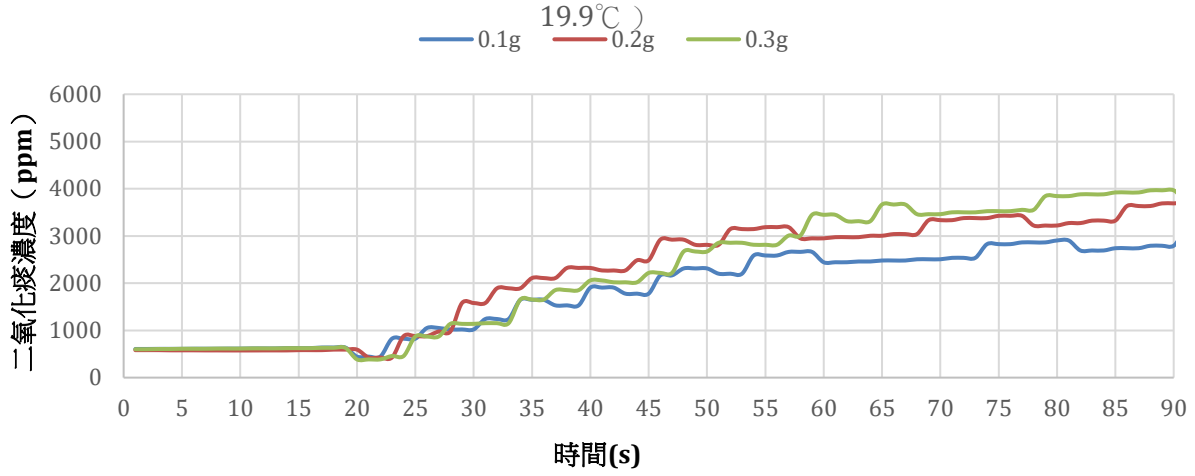


圖4-2-2 碳酸鈉與鹽酸反應濕度度變化曲線圖（均相，室溫19.9℃）

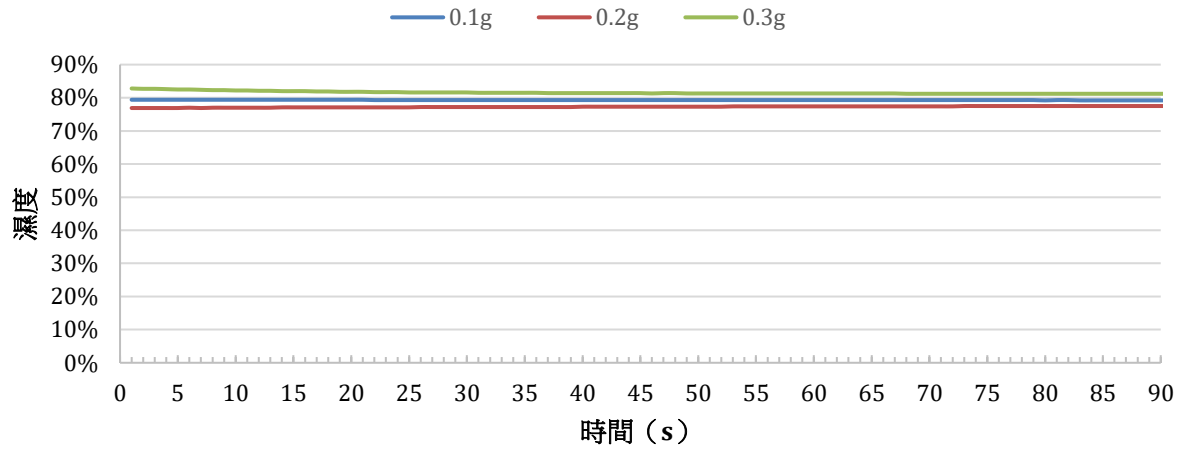
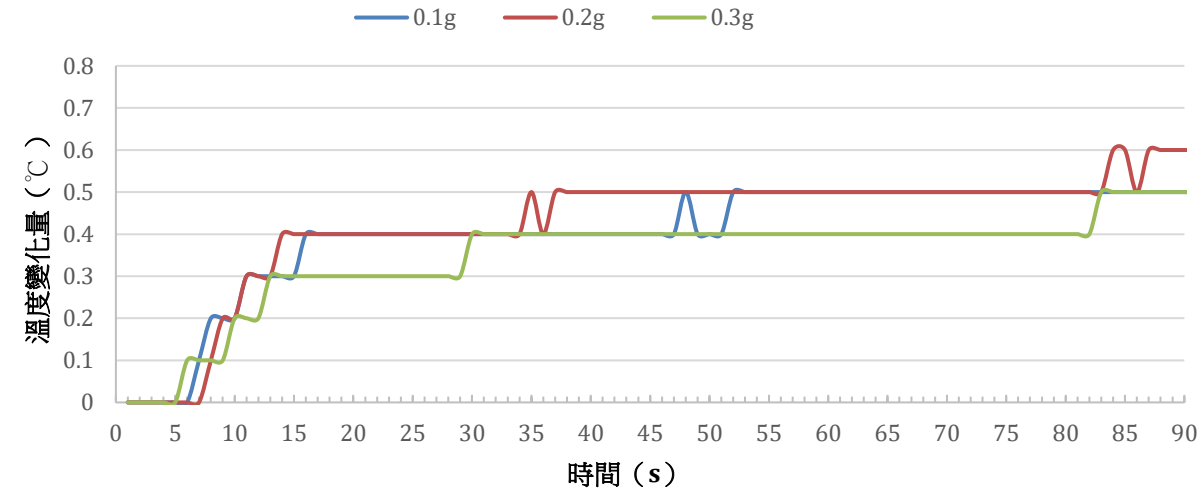


圖4-2-3 碳酸鈉與鹽酸反應溫度變化曲線圖（均相，室溫19.9℃）



結果:

1. 比較圖 4-1-1 和圖 4-2-1，均相反應感測到的二氧化碳濃度比異相延遲數秒鐘，可能是一開始的二氧化碳累積量不足以偵測，使得數值變化較慢。
2. 觀察圖 4-2-1，由於碳酸鈉的飽和溶液介於 0.1 和 0.2g 之間，因此 0.1g 的二氧化碳變化略小一些。
3. 觀察圖 4-2-1，與異相反應相同，濕度都沒有明顯的改變。
4. 比較圖 4-1-3 和圖 4-2-3，均相反應與異相反應的溫度變化差異不大，都是放熱反應。

討論:

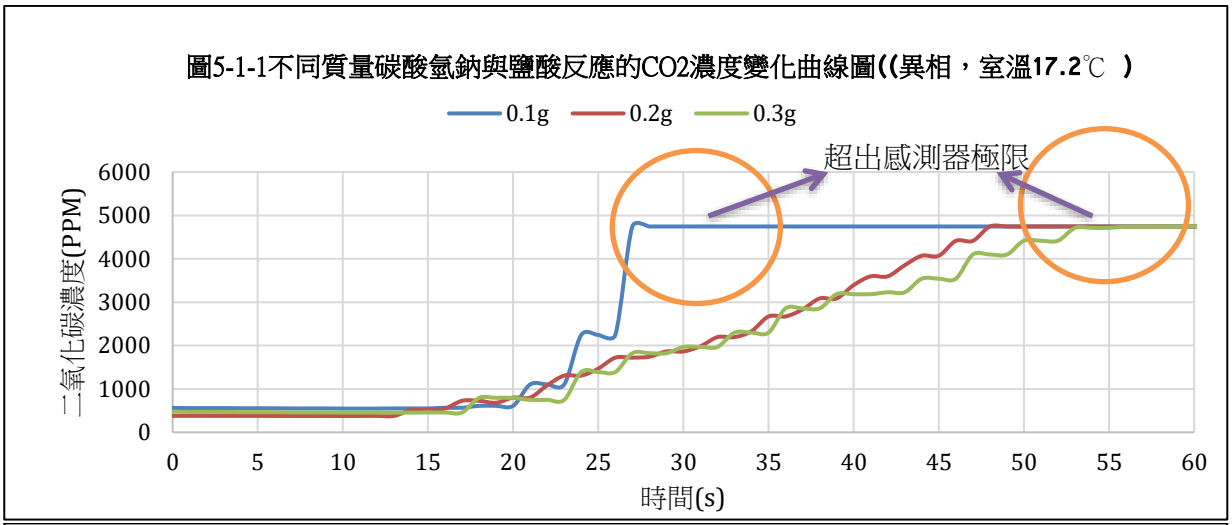
1. 碳酸鈉不論是在異相或均相中的反應，二氧化碳、濕度和溫度的數據變化上都很相似，這是因為碳酸鈉幾乎已達飽和濃度，再加上碳酸鈉沒有碳酸鈣和碳酸氫鈉的粉塵效應（將在第四部分討論），所以異相和均相的反應結果相似，符合預期。
   名詞定義：像海底火山爆發或粉塵爆炸似地從底部快速竄出的反應稱為粉塵效應。
2. 不論是異相或均相，碳酸鈉與鹽酸的反應都是放熱，與理論相符。

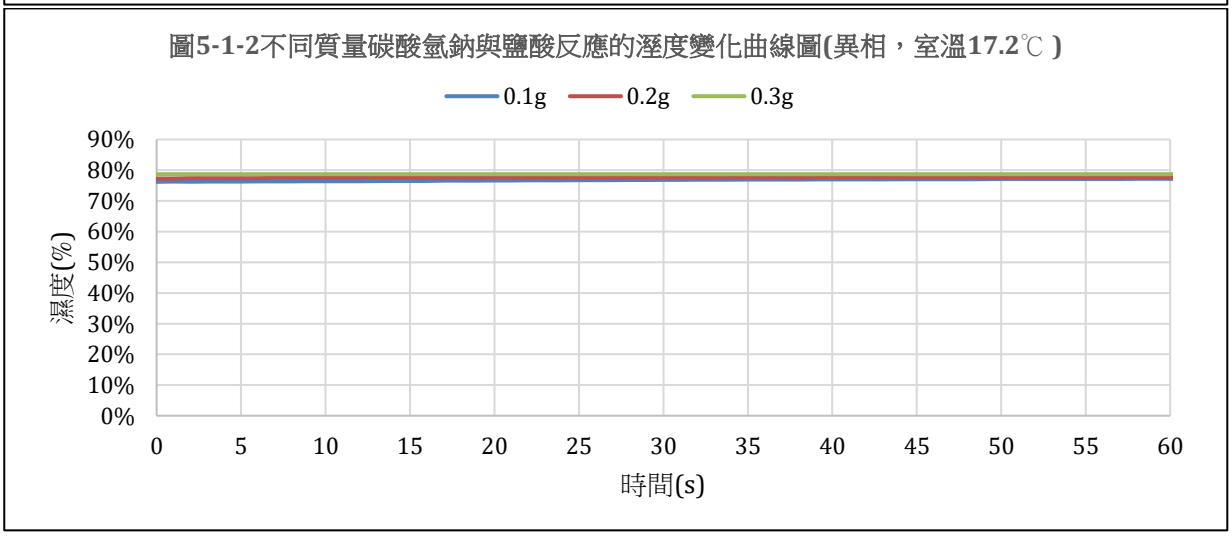
【小結】碳酸鈉與鹽酸的反應，不論是均相或異相：

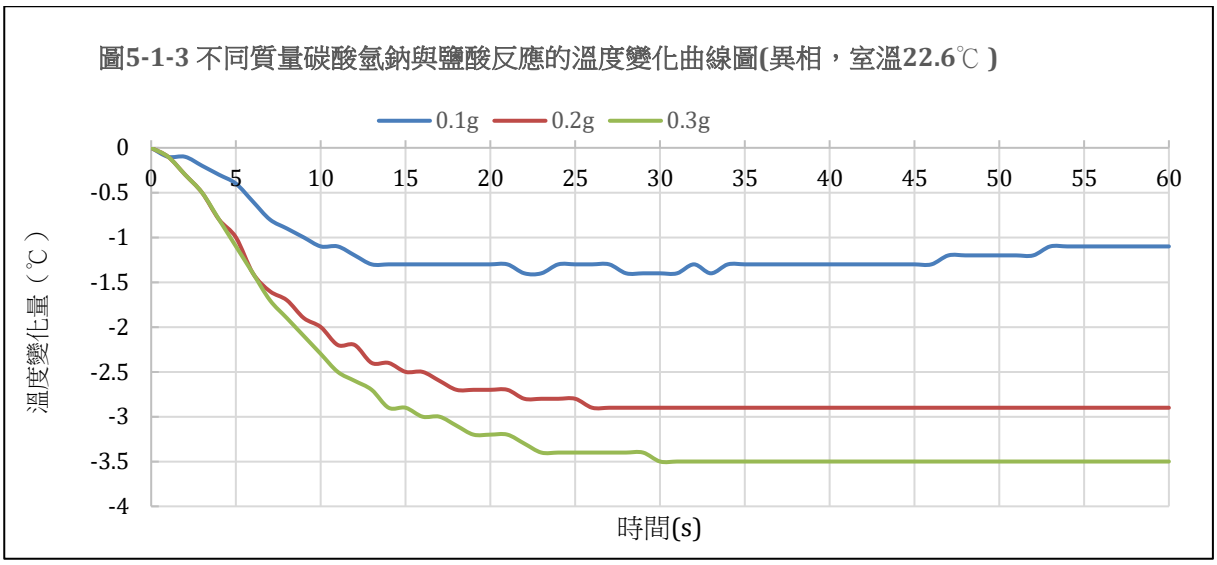
1. 二氧化碳變化量都大於濕度變化量，顯示此反應的生成水以液態存在（目的一）。
2. 都是放熱反應（目的二）

三、探討碳酸氫鈉與鹽酸均相與異相反應後的變化

(一) 異相反應







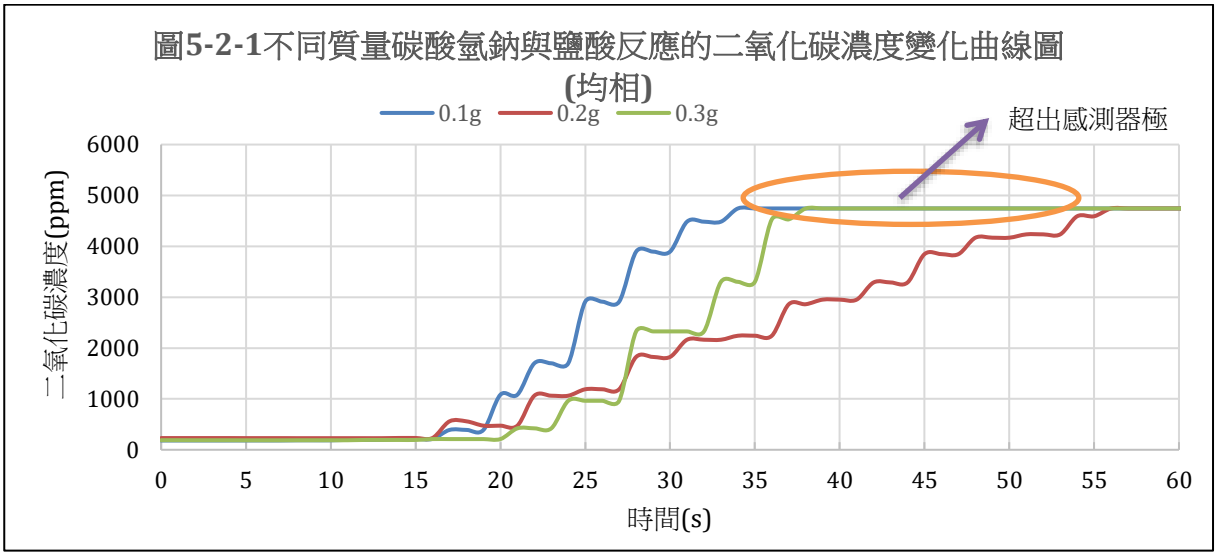
結果:

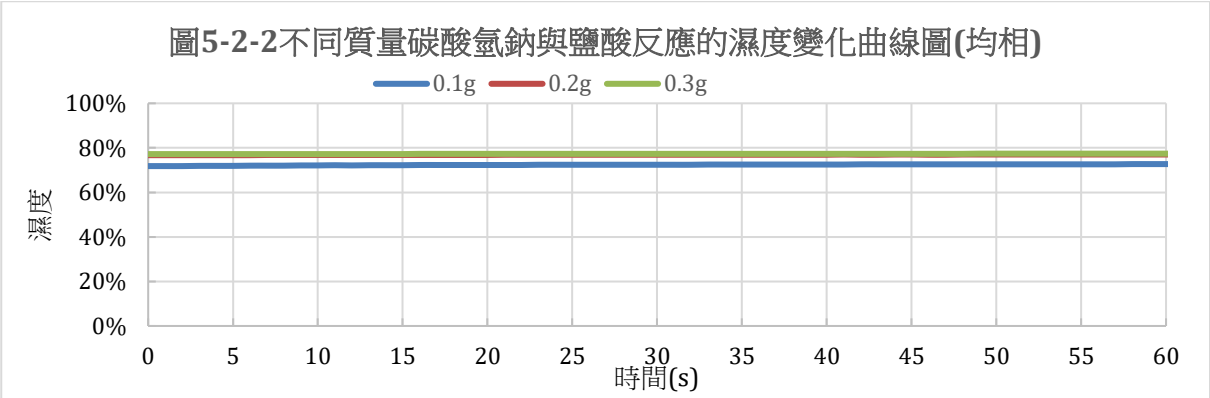
1. 觀察圖 5-1-1，除了 0.1g 在 20 秒後陡峭上升之外，0.2g 和 0.3g 的變化趨勢雷同。
2. 觀察圖 5-1-2，濕度變化不同於二氧化碳，整個變化呈緩慢上升趨勢。
3. 觀察圖 5-1-3，碳酸氫鈉的水溫都有明顯的下降，質量越大，溫度下降越多，此結果與前述的碳酸鈣與碳酸鈉截然不同。

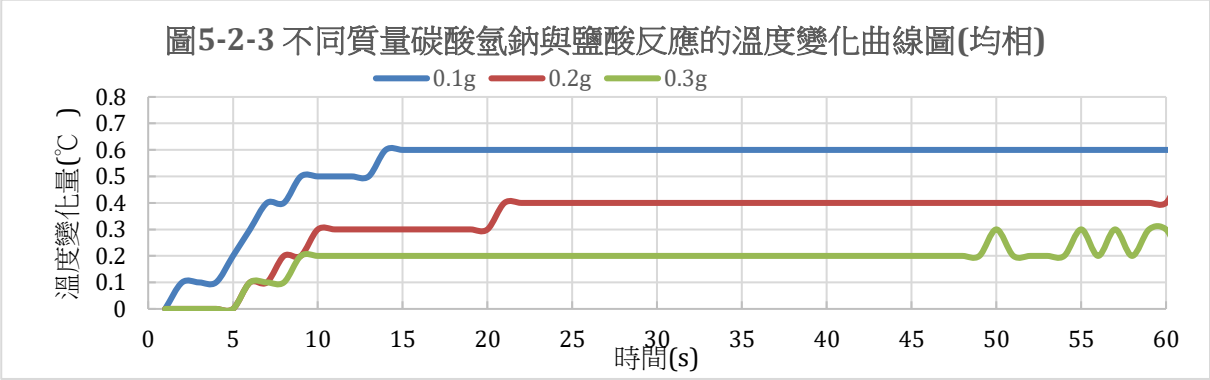
討論:

1. 觀察 0.1g 反應數次，初期的二氧化碳反應都比 0.2g 和 0.3g 快，可能是 0.1g 沈澱量較少，比較容易揚起粉末（第 4 點延伸討論），使初期反應較 0.2g 和 0.3g 快。
2. 根據碳酸氫鈉的化學反應，可知消耗 1 莫耳碳酸氫鈉皆可產生相同 1 莫耳的水和二氧化碳。但圖 5-1-1 的 CO_2 變化卻比圖 5-1-2 的 H_2O 還快，與理論推知的變化趨勢不同，此現象與碳酸鈣和碳酸鈉反應相似。再次說明**透過此裝置，可以顯示碳酸鹽與鹽酸反應產生的水主要是以液態水存在而非氣態的水蒸氣。**
3. 此處的濕度變化比碳酸氫鈉變化明顯，但還是比碳酸鈣變化少。因此，溫濕感測器顯示此反應主要是以液態水存在。

(二) 均相反應（碳酸氫鈉完全溶解）







結果:

1. 觀察圖 5-2-1 和圖 5-1-1，本實驗都是飽和溶液，其變化趨勢與異相反應雷同。
2. 觀察圖 5-2-2 和圖 5-1-2，濕度變化與異相反應相似，都是呈非常緩慢上升趨勢。
3. 觀察圖 5-2-3 和圖 5-1-3，均相與異相不同，此結果與碳酸鈣與碳酸鈉一樣，溫度升高，都是放熱反應。

討論:

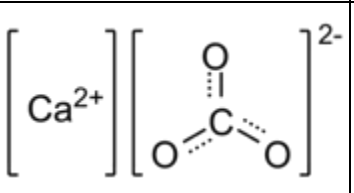
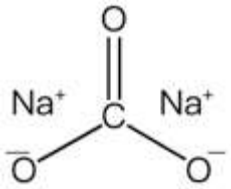
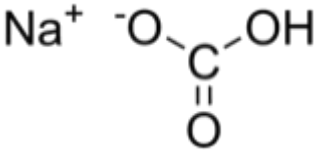
1. 觀察 0.1g 反應數次，初期的二氧化碳反應都比 0.2g 和 0.3g 快，可能是 0.1g 沈澱量較少，比較容易揚起粉末（第 4 點延伸討論），使初期反應較 0.2g 和 0.3g 快。
2. 均相與異相不同，溫度升高，是放熱反應。依據反應熱原理，均相中的碳酸氫鈉已先行解離，吸熱提前完成，因此加入鹽酸後的反應，以酸鹼中和反應為主，故總反應溫度會升高，為放熱現象。

【小結】碳酸氫鈉與鹽酸的反應：

1. 二氧化碳變化量都大於濕度變化量，顯示此反應的生成水以液態存在（目的一）。
2. 均相與異相不同，均相是吸熱反應，異相是放熱反應（目的二）

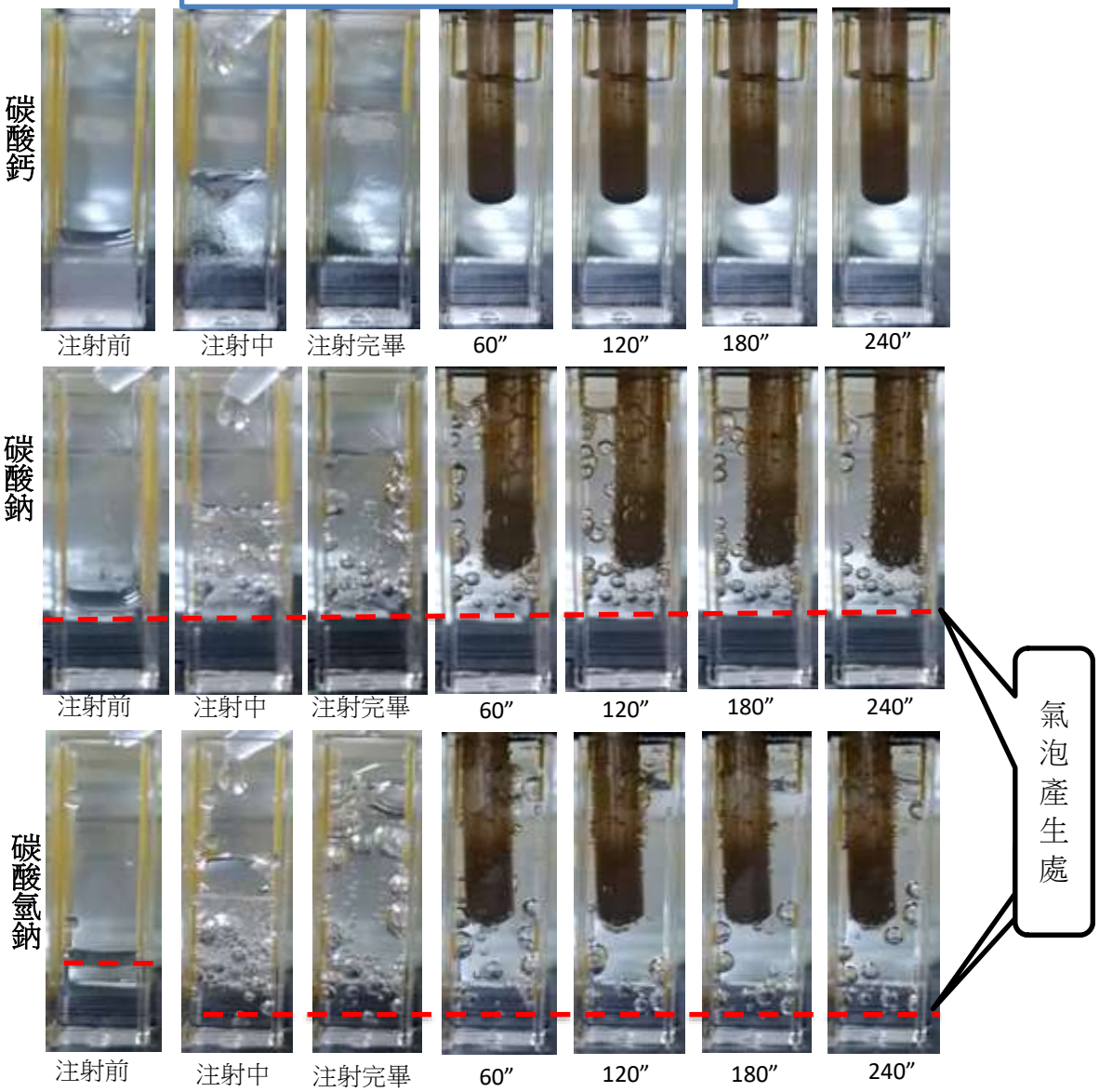
四、探討不同種類的碳酸鹽與鹽酸的反應

(一) 結構和溶解度整理

物質	碳酸鈣（$CaCO_3$）	碳酸鈉（Na_2CO_3）	碳酸氫鈉（$NaHCO_3$）
結構 (維基百科)			
溶解度 （維基百科）	0.013 g/L (25℃)	215 g/L (20℃)	96 g/L (20℃)
溶解熱	放熱（-13.1 kJ/mol）	放熱（-26.7 kJ/mol）	吸熱
溶解外觀敘述	上方有懸浮碳酸鈣， 下方未溶解	上方清澈， 下方未溶解	上方清澈， 下方未溶解
溶解度	Na_2CO_3 >$NaHCO_3$ ＞＞$CaCO_3$		

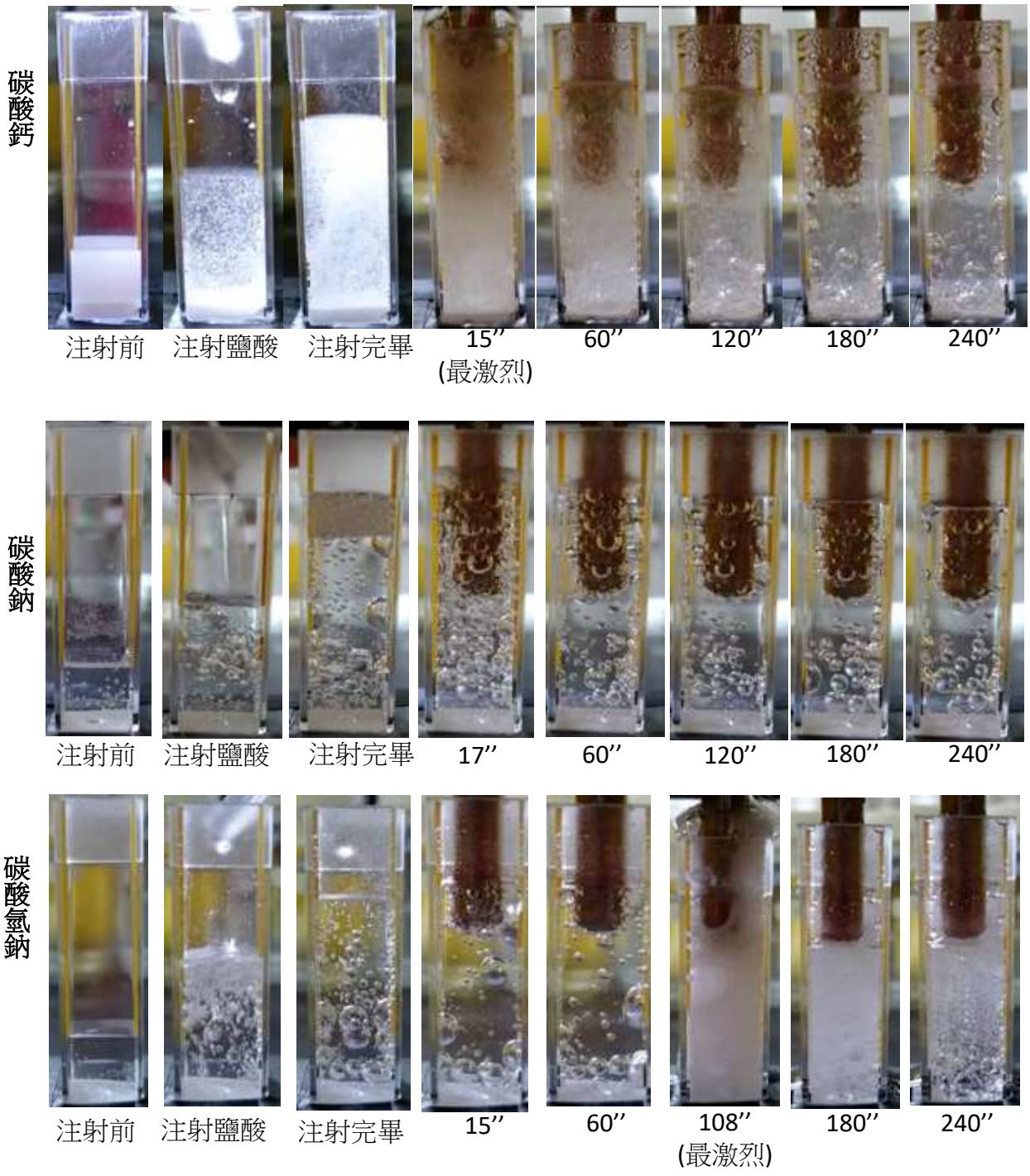
(二) 均相反應照片觀察（碳酸鹽皆為飽和溶液，加入 1M 鹽酸，初溫 19.7℃）

圖 6-1-1 碳酸鹽與鹽酸均相反應過程圖



(三) 異相反應照片觀察（碳酸鹽皆為 0.2 克溶於 1ml 水，加入 1M 鹽酸，初溫 17℃）

圖 6-1-2 碳酸鹽與鹽酸異相反應過程圖



結果:

1. 肉眼觀察圖 6-1-1 和圖 6-1-2，可發現：

反應點 / 物質	注射前	均相反應	異相反應
碳酸鈣（$CaCO_3$）	 上層液混濁乳白狀	(1) 整個反應看不到氣泡。 (2) 溫度微上升，是放熱反應。	(1) 爆發前以小氣泡為主，平均約至 5 秒左右，反應最激烈，有許多小氣泡。 (2) 爆發前混濁狀態，不易觀察氣泡冒出的位置。 (3) 放熱明顯，比色管上方有凝結水。
碳酸鈉（Na_2CO_3）	 上層液清澈，沈澱物有結塊現象	(1) 整個反應是可辨識的球形氣泡。 (2) 鹽酸與水溶液有明顯的界限。 (3) 氣泡從交界處與管壁慢慢產生。 (4) 溫度微上升，是放熱反應。	(1) 整個反應是可辨識的球形氣泡。 (2) 反應快慢比較不明顯，約在 17 秒略快一點，但大多是慢慢反應。 (3) 氣泡冒出的位置主要是來自液體和粉末表面。 (4) 沒有明顯的放熱，比色管上方微霧。
碳酸氫鈉（$NaHCO_3$）	 上層液清澈，沈澱物顆粒分明	(1) 整個反應是可辨識的球形氣泡。 (2) 鹽酸與水溶液有明顯界限，但界線比碳酸鈉低。 (3) 氣泡從交界處與管壁慢慢產生。 (4) 溫度微上升，是放熱反應。	(1) 爆發前以大氣泡為主 (2) 反應有快慢，但反應前期速率較慢，平均 35 秒左右反應最激烈，有許多小氣泡。 (3) 大氣泡氣泡冒出的位置主要是來自液體和粉末表面。小氣泡則是粉末與管壁間的縫隙。 (4) 吸熱明顯，比色管上方較清澈。

討論:

1. 由照片可知 $CaCO_3$ 比較混濁，推論可能是因 $CaCO_3$ 分子結構造成的極性比碳酸鈉和碳酸氫鈉小，導致溶解度遠比二者小很多，因此不容易溶於水中而成混濁狀態。
2. 觀察碳酸鹽溶解現象，發現碳酸鈉沈澱物有結塊現象，碳酸鈣和碳酸氫鈉則無，依舊是粉狀，故推論碳酸鈉不會有粉塵效應，可能與碳酸鈉結塊有關。
3. 觀察本研究中的碳酸鈉和碳酸氫鈉與鹽酸的均相反應(p18 圖 6-1-1)，都會有一層界限，可能是因為密度：碳酸鈉＞碳酸氫鈉＞鹽酸，使得注入的鹽酸留在上層，不易與碳酸鈉和碳酸氫鈉水溶液混合。透過影片，看見鹽酸與碳酸鈉（碳酸氫鈉）一層層的反應，從界限產生一顆顆的泡泡。除非攪拌，否則不會混合反應。
4. 觀察碳酸鹽與鹽酸的反應，發現氣泡大反應速率慢，如碳酸鈉。反之，氣泡小反應速率快，甚至會引起底部粉末的揚起，使得接觸面積變大，反應又更快，如碳酸氫鈉。有關此現象，將與之後的溫度曲線圖一併討論。

(四) 異相反應感測器觀察

圖6-1-3-1不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的二氧化碳濃度變化曲線圖
(異相，初溫19.7℃)

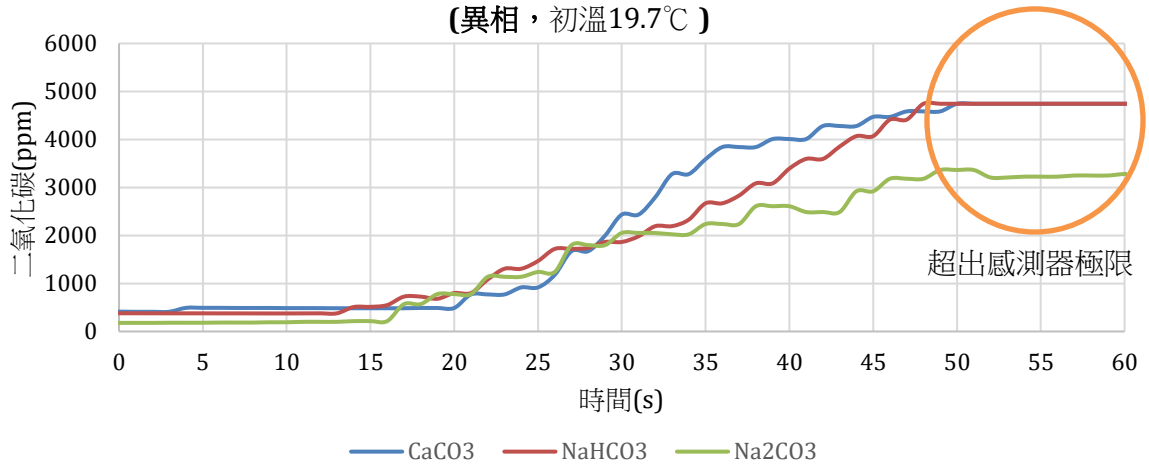
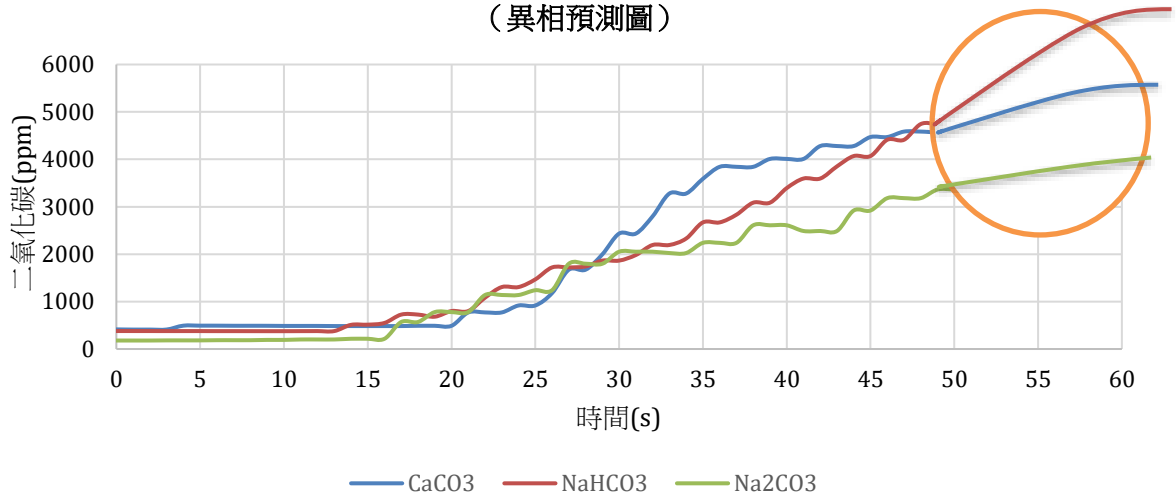


圖6-1-3-2 不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的二氧化碳濃度變化曲線圖
（異相預測圖）



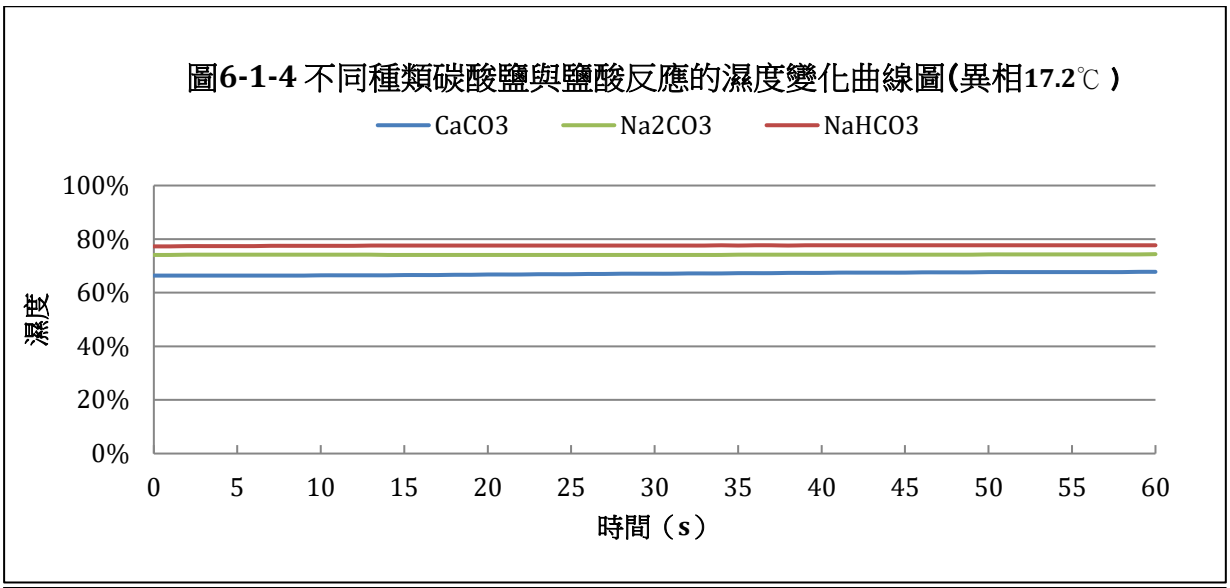
結果:

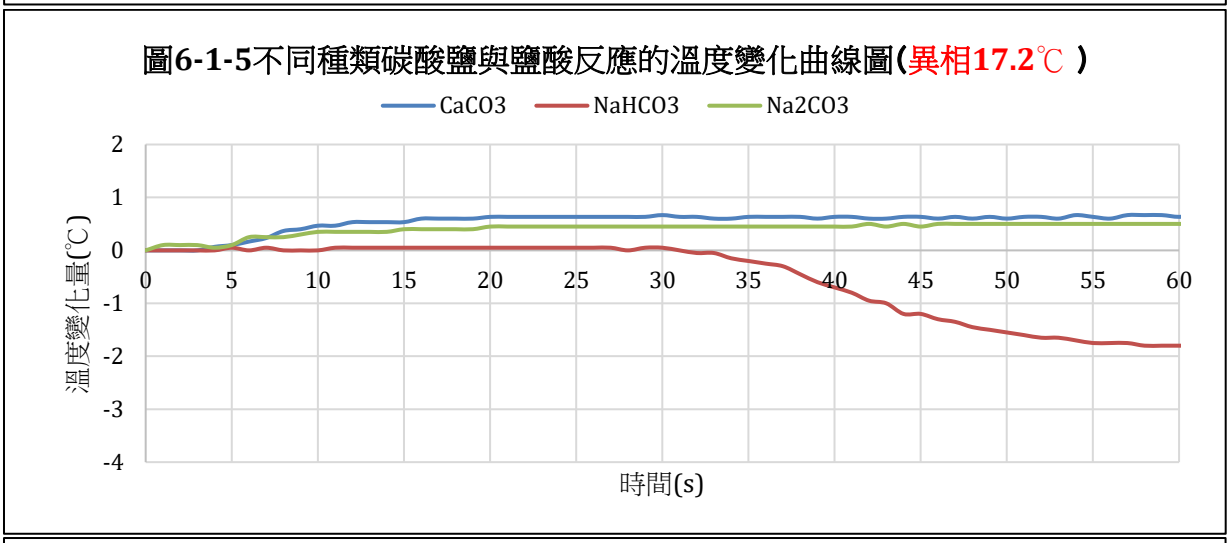
1. 觀察圖 6-1-3-1，在 30 ~ 45 秒之間，反應速率：碳酸鈣>碳酸氫鈉>碳酸鈉，但在影片中，碳酸氫鈉在中期反應變激烈，碳酸鈉依然慢慢反應。

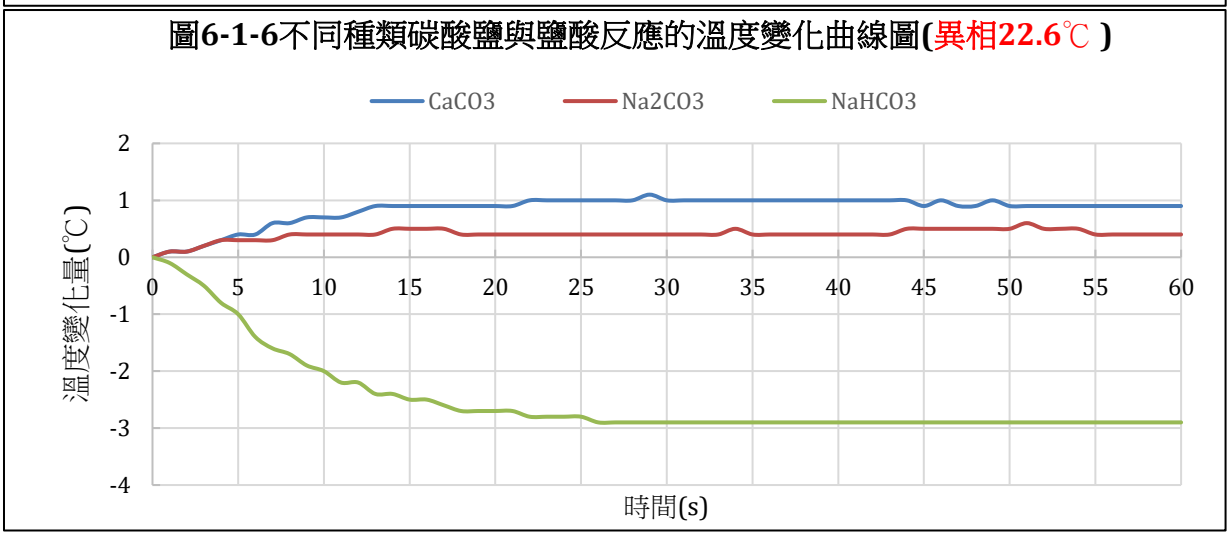
討論:

1. 觀察異相反應可得圖 6-1-3-1，可知碳酸鹽在異相反應中產生的二氧化碳都超過感測器極限，透過影片觀察（p19 圖 6-1-2），預測二氧化碳的曲線如圖 6-1-3-2，因為：
   (1) 碳酸鈣一開始如粉塵效應，反應比較快，後期碳酸鈣變少，反應速率變慢。
   (2) 碳酸氫鈉則在中期，因現行氣泡的擾動，才發生粉塵效應，反應速率變快。
   (3) 碳酸鈉不發生粉塵效應，二氧化碳濃度趨於線性，反應速率皆小於前二者。

2. 以 20 ℃溶解度來計算，0.2 g 碳酸氫鈉為飽和溶液，溶解度為 96 g/L，換算成濃度為 1.14 M；而碳酸鈉 0.2 g 全溶解，為 200 g/L，換算成濃度為 1.89 M，表示碳酸鈉水溶液濃度大於碳酸氫鈉水溶液，再加上粉塵效應，反應更快，但圖 6-1-3-2 的結果顯示碳酸鈉反應速率比較慢，由此實驗可推論碳酸氫鈉的活性大於碳酸鈉，與課本知識相符合。







結果:

1. 觀察圖 6-1-4，不論是哪一種碳酸鹽，濕度變化都很小。
2. 觀察圖 6-1-5 和圖 6-1-6，很明顯的，碳酸鈣和碳酸鈉與鹽酸的反應是放熱反應，而碳酸氫鈉是吸熱反應。
3. 比較圖 6-1-5 和圖 6-1-6，可知室溫越高，溫度變化越明顯。

討論:

1. 觀察反應可得 $CaCO_3$ 反應後的水溫上升比 Na_2CO_3 高，且前期氣泡小速率較快，此現象論述如下：

(1) 根據理論計算，Na_2CO_3 液相和固相反應熱分別為：

$$Na_2CO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + 2NaCl_{(aq)} \quad \triangle H = -29\ kJ/mole$$

$$Na_2CO_{3(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + 2NaCl_{(aq)} \quad \triangle H = -2.3\ kJ/mole$$

此結果表示 Na_2CO_3 在不同狀態下的反應熱不同，且液相放出的熱比固相少，觀察第 18 頁的反應，可發現氣泡主要是來自水溶液或粉末表面，由此推論本研究中的碳酸鈉主要是液相反應。

(2) 根據理論計算，$CaCO_3$ 固相反應熱為：

$$CaCO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + CaCl_{2(aq)} \quad \triangle H = -23\ kJ/mole$$

因為 $CaCO_3$ 幾乎不溶解，所以本研究的碳酸鈣主要是固相反應。如果同為固相，實驗結果應是碳酸鈉放熱比碳酸鈣多，但實際不然。合併(1)的論述，本實驗主要的觀察是 Na_2CO_3 液相和 $CaCO_3$ 固相的反應熱，兩者反應熱相比，可得知 $CaCO_3$ 的放熱比 Na_2CO_3 多，因此，理論與本研究觀察的結果相符合。

(3) 本研究發現氣泡大，速率慢，若以浮力觀點來看，假設氣泡質量差異不大，大氣泡體積大，浮力也比較大，推升氣泡的速率應該也要比較快，但事實則否，故推論影響氣泡速率的主因不是浮力。

(4) 依照氣體動力論，$E = \frac{3}{2}RT$，可知溫度越高，分子動能也越大。綜合(1)~(3)，$CaCO_3$ 反應後放熱比 Na_2CO_3 多，使得溫度較高，因此推論碳酸鈣反應後的小氣泡速率較快，可能與溫度有關。

2. 由圖 6-1-5 和圖 6-1-6 得知異相 $NaHCO_3$ 反應後的水溫是下降的，非常不同於 Na_2CO_3 和 $CaCO_3$，此現象很特別，與所學的酸鹼概念不同，因此，我們探討其理由如下：

由於 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 都會溶於水中且產物相同，因此，此處以 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 的化學反應式和反應熱的比較為主：

$$Na_2CO_{3(aq)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + 2NaCl_{(aq)} \quad \triangle H = -2.3\ kJ/mole$$

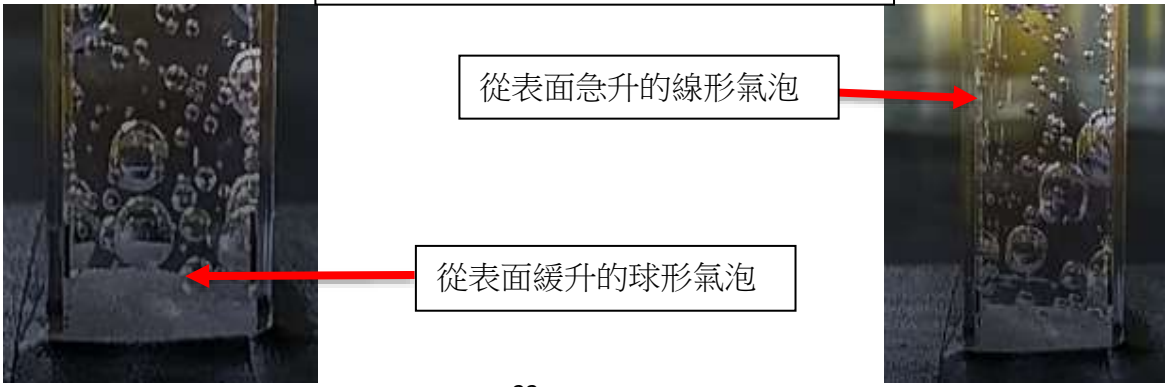
$$NaHCO_{3(s)} + HCl_{(aq)} \rightarrow H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + NaCl_{(aq)} \quad \triangle H = 31\ kJ/mole$$

觀察上式，可知 Na_2CO_3 和 $NaHCO_3$ 與鹽酸反應後都產生相同物質，且每種物質的熱含量都相同，唯一不同的是碳酸鈉主要是液相，而碳酸氫鈉是固相。由於反應中，$NaHCO_3$ 須先解離，造成 $NaHCO_3$ 總反應熱 > 0，為吸熱現象，故溫度下降，因此，本研究觀察到實驗結果與理論計算相符合。

3. 由於碳酸氫鈉與其他二者截然不同，此現象非常奇特，因此我們對碳酸氫鈉反覆操作好幾次，透過影片觀察到一些有趣的現象:

(1) 觀察碳酸氫鈉的動態反應，截圖為 6-1-7，可以看到**氣泡因速度快慢而在視覺**

圖 6-1-7 碳酸氫鈉與鹽酸反應後的氣泡



上有兩種不同形狀，分別稱為球形氣泡（圖左）和線形氣泡（圖右）。一開始的反應，大多是球形氣泡，水溶液或表面都可產生球形氣泡，以圖左球形氣泡為例，此氣泡由底部上升到液面，約三秒鐘；然而，圖右的線形氣泡，都是從底部碳酸氫鈉粉末中跑出來，且到液面的時間不到一秒鐘，由此可見，不同形狀的氣泡，速度差很多，**由此推論均相反應主要是球形氣泡，而異相反應主要是線形氣泡。**

依照能量守恆原理，吸收的能量＝放出的能量，碳酸氫鈉實驗中，溫度下降，為吸熱，因此，吸收的熱除了用來當解離的化學能之外，尚有一部份的能量轉成粒子的動能，導致氣泡速率較液相快，因而看見線形氣泡。

(2) 觀察圖 6-1-8 和圖 6-1-9，碳酸氫鈉**初始慢慢地反應，溫度微升，以球形氣泡為主，此時以液相反應為主，是為放熱。**1’ 40”(100 秒)後，線形氣泡漸次增量從側邊出現，當線形氣泡增加到一定量時，就**像海底火山爆發或粉塵爆炸似地從底部快速竄出反應(稱為粉塵效應)**，對照溫度，正是溫度快速下降的階段，表示**此時是吸熱反應**。原因可能是：

圖6-1-8 0.2g 碳酸氫鈉盒外溫度變化曲線圖

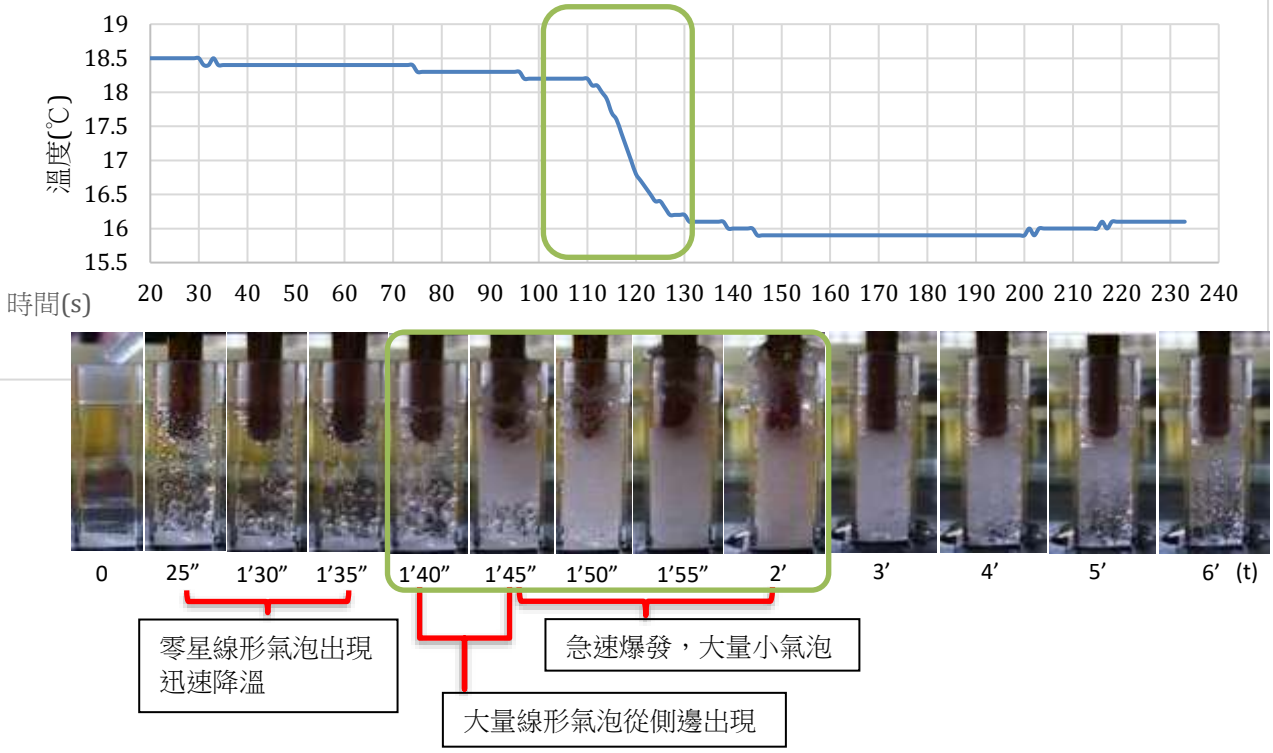


圖 6-1-9 碳酸氫鈉與鹽酸反應的時間圖

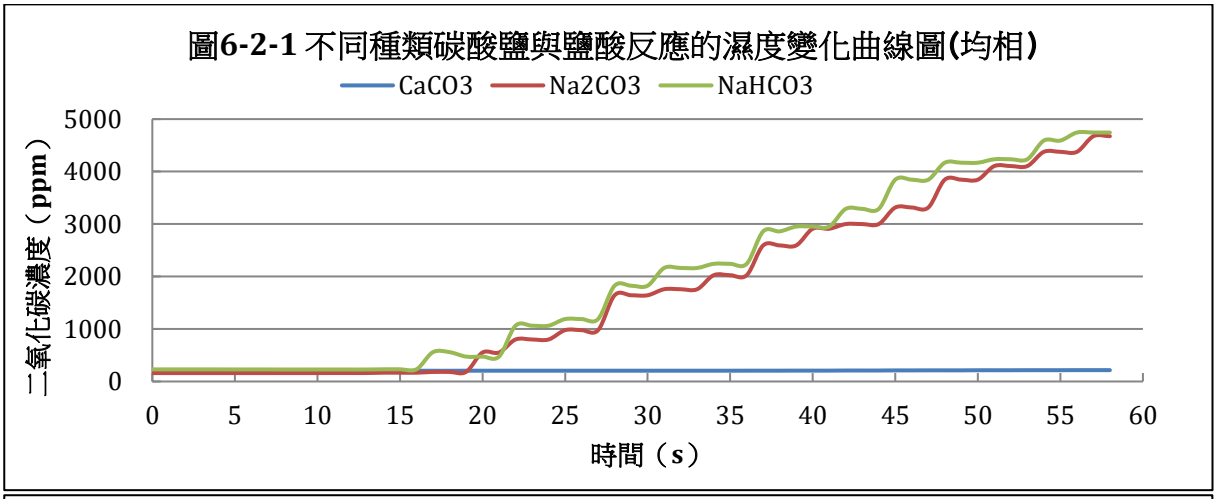
A. 反應熱觀點：如第 23 頁第 2 點的說明，本實驗牽涉到的能量有溶解熱、解離熱和中和熱。表示異相反應中，初期以液相反應為主，但因反應量不多，溫度只上升一點點，後期以固相反應為主，因反應速率快，溫度下降多，為吸熱反應。

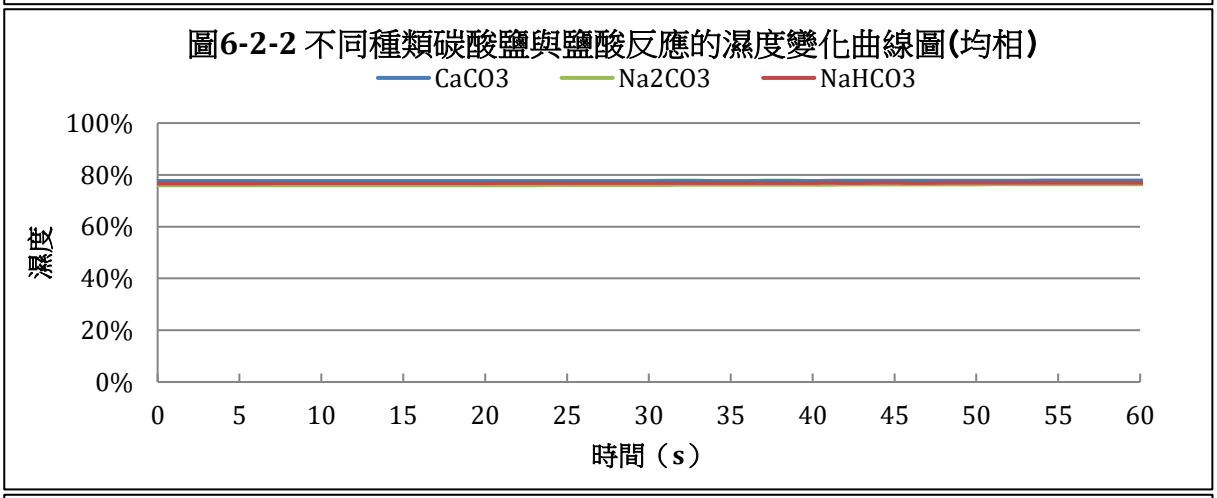
B. 碰撞理論：觀察線形氣泡的行為，中後期就像飛刀一一射出，因氣泡速度快，擾動水溶液，將底部的碳酸氫鈉粉末揚起，使得接觸面積變大，有如粉塵效應，碰撞機會增加，引發連鎖反應，導致解離速度加快，吸更多的熱，最後呈現溫度迅速下降。

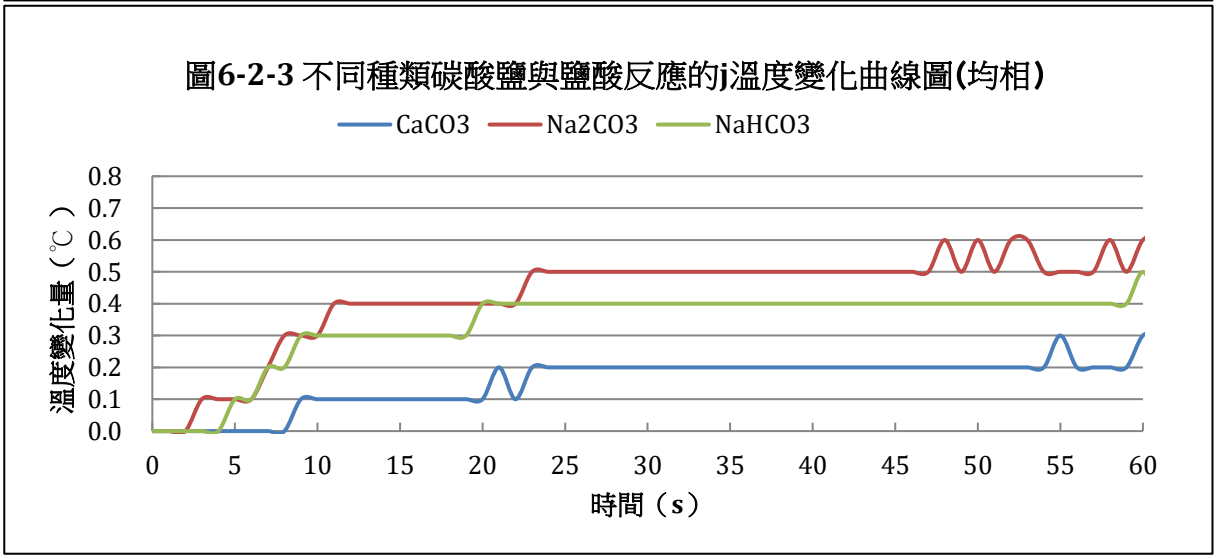
【小結】異相中，碳酸鹽與鹽酸的反應：

1. 碳酸氫鈉的溫度反應不同於碳酸鈣和碳酸鈉，初期是放熱反應，後期為吸熱反應（目的三）。
2. 碳酸氫鈉與碳酸鈣都有粉塵效應，但碳酸鈉不明顯（目的三）
3. 以溫度變化來看，反應熱絕對值的比較，可推論碳酸鈣和碳酸鈉的中和熱大於溶解熱和解離熱，而碳酸氫鈉相反。

(二) 均相反應







結果:

1. 觀察圖 6-2-1，碳酸鈣溶解度很低，過濾後得到的濃度很低，因此二氧化碳的反應速率遠小於碳酸鈉和碳酸鈣。
2. 不論是異相或均相，都顯示碳酸鈉反應速率比較慢，亦即碳酸氫鈉的活性大於碳酸鈉，與課本知識相符合。
3. 觀察圖 6-2-2，不論是異相或均相，碳酸鹽與鹽酸反應都沒有太多的水氣產生，以液態為主。
4. 由圖 6-2-3 的均相實驗，可知碳酸鈣、碳酸鈉和碳酸氫鈉與鹽酸的反應是放熱反應。

討論:

由圖 6-2-1 可知碳酸氫鈉活性大於碳酸鈉，而圖 6-2-3 的溫度變化卻是碳酸鈉比較高，這是因為（1）碳酸鈉的酸鹼中和放出的反應熱比碳酸氫鈉多，（2）碳酸鈉莫耳數大於碳酸氫鈉，兩者加乘效果，使得碳酸鈉溫度較高，與二氧化碳的變化趨勢並不違背。

【小結】均相中，碳酸鹽與鹽酸的反應：

1. 碳酸鹽類的溫度反應都是上升，是放熱反應（目的三）。
2. 碳酸氫鈉活性大於碳酸鈉（目的三）

陸、結論

一、本研究有關於碳酸鈣、碳酸鈉和碳酸氫鈉與鹽酸反應的總結如下：

溶液狀態	均相		異相		
反應特質	粉塵效應	總反應熱	粉塵效應	總反應熱	反應熱絕對值比較
碳酸鈣	×	放熱	○	放熱	中和熱＞溶解熱＋解離熱
碳酸鈉	×	放熱	×	放熱	中和熱＞溶解熱＋解離熱
碳酸氫鈉	×	放熱	○	以吸熱為主	中和熱＜溶解熱＋解離熱

二、比對溫濕感測器和二氧化碳感測器變化曲線，可知反應後的水以液態為主，可清楚輔助說明化學反應式狀態。

三、感測器顯示溫度比二氧化碳提早變化，可作為實驗觀察的先行指標。

柒、未來展望

本研究雖有觀察到碳酸鹽類與鹽酸反應後的溫度變化，但尚未能真的計算反應熱，日後將改進現有的暗箱，使暗箱變為即時性記錄的卡計，同時換算反應熱，與現有的卡計和理論比較，期許未來能做出一個方便，微量，誤差小，且具有即時定量的卡計。

捌、參考資料

一、 劉榕芝、劉千榕、徐靈兒 第 41 屆國中組 化學科 第三名 二氧化錳催化角色的探討

二、 胡邵翔、楊聖睿、吳典霖、許家齊 第 45 屆高中組 化學科 第三名 臭味何處來?過氧化氫製氧實驗之研究與探討

三、 張宗捷、賴昺丞、楊宜庭、邱佳昕 第 47 屆高中組 化學科 第三名 溫度低定

四、 王知桓、毛馨慈、陳恩伶第 51 屆國中組 化學科 佳作 太陽能二氧化碳捕捉器

五、 劉志奇、胡峻浩、胡沐恩第 56 屆高中組 化學科 二氧化碳氣體分子穿透速率變化之研究

六、 丁錦平、黃宥傑、林紫薇、柯佳宜第 50 屆高中組 應用科學科 以氣旋式裝置捕捉二氧化碳
七、 梁寧方、黃雅晨、郭明彥 第 52 屆高中組 應用科學科 不祥之「罩」－－口罩對都會區主要空氣汙染物攔截效率之研究
八、 常見化學反應總表 http://163.21.31.9/~liao/p1d/chemistry_equ1.pdf
九、 炸彈包問題 https://blog.xuite.net/lkksfe2006/twblog/120435532-%22 炸彈包之酸鹼中和後%2C 為何溫度降低%3F%22 的問題
十、 科學玩具－化學－自脹氣球（炸彈包） http://kingdarling.blogspot.com/2013/02/blog-post_6211.html
十一、 MHZ14A CO2 sensor https://forum.arduino.cc/index.php?topic=594112.0

十二、 溫溼感測器 http://ohiyooo2.pixnet.net/blog/post/398343103-露點溫度計濕度計製作-%5barduino%5d-dht11%2c-dht22

十三、 化學反應與能量的關係 http://biology.reachingfordreams.com/chemistry-cheat-sheet/energy-changes-and-rates-of-reaction/36-energy-changes-in-chemical-and-nuclear-reactions

十四、 化學溶解熱 https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Physical_and_Theoretical_Chemistry_Textbook_Maps/Map%3A_Physical_Chemistry_for_the_Biosciences_(Chang)/03%3A_The_First_Law_of_Thermodynamics/3.6%3A_Thermochemistry

十五、 Sodium bicarbonate https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sodium-bicarbonate#section=Other-Experimental-Properties

【評語】030213

本作品細探探酸鹽與鹽酸反應之實驗條件，闡述物品狀態(勻相與異相)與反應放熱總量變化之差異在於中和放熱與溶解吸熱是否分開。使教科書上生硬的反應式展現未知的細節，值得稱許。本實驗的主要亮點在於自製實驗追蹤計的設計以及製作，運用不同的感測器來追蹤碳酸鹽和鹽酸的反應產物的濃度變化並提出解釋。此研究有趣，跨領域且相當實用，相信未來能夠用此自製實驗追蹤感測器進一步觀察其他相關熱化學反應。不過由於二氧化碳也會溶於水中導致溶液中的 pH 變化，建議可以多加入 pH 感測器與二氧化碳感測器互相比較，增加數據的信賴度。以下幾點建議提供參考：

1. 有關於圖 3-1-1 中 0.3 g 較 0.2g 反應速率緩慢的現象，內文解釋為“鹽酸在 0.3 g 的碳酸鈣 中是限量試劑”，建議可以在加強，合理上應該所加入的反應試劑越多，反應速率會較為快速，建議可以多做幾次，取平均值與標準誤差，建立比較可信賴的數據。另外，也可以將所測試的碳酸鈣的克數多增加幾個，瞭解真正的趨勢。另外數據上取點也可以密集些，避免造成有梯度趨勢的數據
2. 除了觀察熱化學反應外，也可以進一步觀察反應速率，依照可以隨著時間採集數據，應該可以算出反應速率。

作品海報

摘要

本研究主要是釐清碳酸鹽類與鹽酸反應後的吸放熱現象。以實驗室常見的三種藥品碳酸鈣、碳酸鈉和碳酸氫鈉做為探討對象，並自製暗箱，結合感測器測量反應後的二氧化碳、濕度和水溫，經過反覆實驗後，發現（一）異相和均相反應的結果不完全相同，*吸放熱與物質狀態有關*，特別是碳酸氫鈉，不宜簡化成“酸＋鹼必放熱”的論述。（二）異相反應時，碳酸鈣和碳酸氫鈉有粉塵效應，但碳酸鈉的粉塵效應不明顯。（三）比較溼度與二氧化碳的變化曲線，可說明碳酸鹽與鹽酸反應產生的水主要是以液態為主，可以清楚輔助說明化學反應式的狀態。

綜上所述，本研究自製的觀測器，不僅可以即時監測化學變化，還可驗證物質的基本反應熱和狀態的特性。

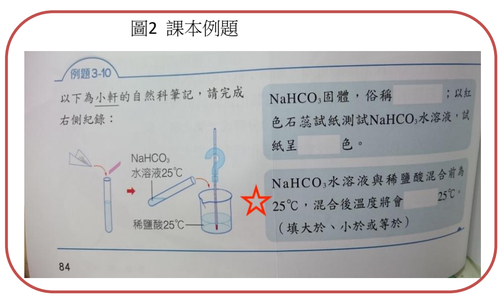
研究動機

有一次老師拿了一包炸彈包，經過擠壓後膨脹爆開，撿起炸彈包時，溫度竟比還沒壓的時候低，說明書上寫著內容物是小蘇打與檸檬酸，這現象與我們學到的酸加鹼反應會放熱的概念不同，再加上某些教學網站斬釘截鐵地說碳酸氫鈉與鹽酸反應會釋放熱，甚至作為觀念例題，我們覺得說法有出入。因此，我們決定進行自製工具來觀察碳酸鹽與酸反應的實驗，透過溫濕感測器和二氧化碳感測器進一步了解並比較碳酸鹽類的即時反應特性。

圖1　（參考資料八）

3	碳酸鈉加鹽酸產生二氧化碳氣體	放熱，也算酸鹼中和
	$Na_2CO_3 + 2HCl \rightarrow 2NaCl + H_2O + CO_2\uparrow$	
4	碳酸氫鈉加鹽酸產生二氧化碳氣體	放熱，也算酸鹼中和
	$NaHCO_3 + HCl \rightarrow NaCl + H_2O + CO_2\uparrow$	

圖2 課本例題



承續北興國中老師的提問"炸彈包之酸鹼中和後,為何溫度降低?"的問題　（圖3　參考資料九）

炸彈包活動：裝有小蘇打粉和檸檬酸液 在混合後炸開! 可是這種酸鹼中和的結果卻是變冷(即整體反應是吸熱) 根據中山大學 余岳川教授的說法 因為酸鹼中和放熱的熱量小於鹽類的溶於水所吸收的熱量~~張老師則提出"絕熱膨脹的概念"來解釋 他認為:就像是教科書裡頭的"雲滴實驗"(就是地球科學中 將塞住的寶特瓶打氣 瞬間爆開時 那些水蒸氣瞬間凝結成"雲滴")



放熱或吸熱

研究目的

碳酸鹽與鹽酸的反應
$CaCO_3$，Na_2CO_3，$NaHCO_3$

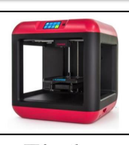
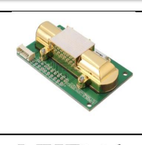
異相　均相

CO_2，溫濕度，水溫感測器

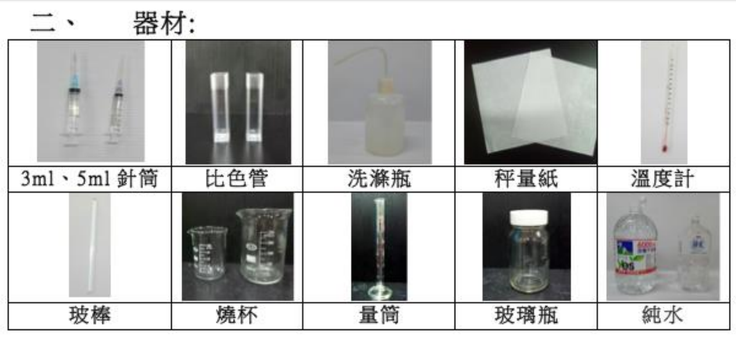
- 目的一：定量比較CO_2和H_2O變化趨勢的特性
- 目的二：釐清反應後吸放熱現象和條件
- 目的三：比較不同碳酸鹽與鹽酸反應的異同

研究設備和器材

一．設備（工具）

				
HA-320 高精度電子秤 精度：0.001 g 最大值：320 g	Finder 3D Printer	MHZ14A CO2 sensor 檢測值：0～5000 ppm 檢測精度：± 50 ppm	DHT22 AM2302 溫濕感測器 測溫範圍:-40 ℃～80 ℃ 測量精度: ± 0.5 ℃ 測濕度範圍: 0－100% RH 測量精度: 2% RH	DS18b20 水溫感測器 感溫範圍： -55 ℃～+125℃ 精度: ± 0.5℃

二、　器材:



三、　藥品:



四、　軟體:

Arduino 軟體　Tinkercad 軟體

研究流程和方法

[測量工具架設]

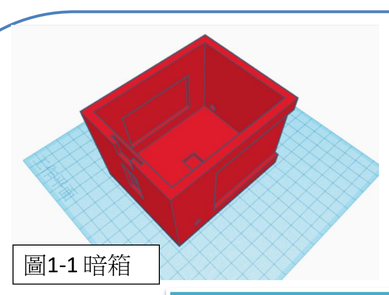


圖1-1 暗箱

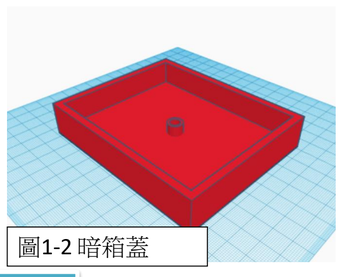
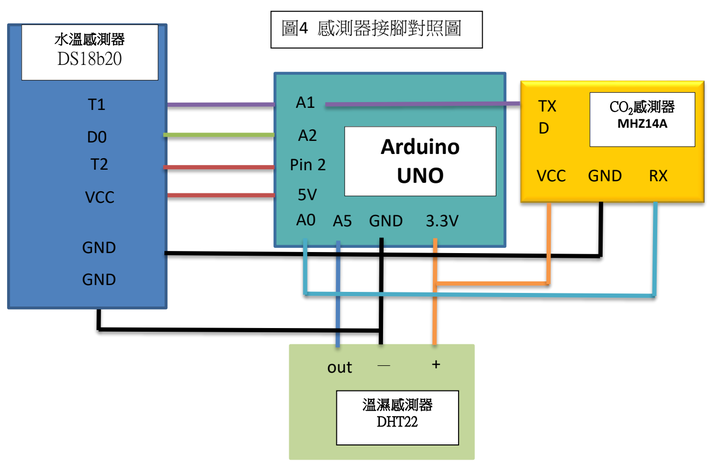


圖1-2 暗箱蓋

1. 繪製暗箱

圖4　感測器接腳對照圖



2. 感測器接腳連接

```
#include <dht.h>
 #include <OneWire.h>
 #include <DallasTemperature.h>
 #include <SoftwareSerial.h>

 SoftwareSerial SerialCom (A4,A3);
 byte addArray[] = { 0xFF, 0x01, 0x86, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x79 };
 char dataValue[9];
 String dateString = "";

 #define dht_dpin A5 //定義訊號要從 Pin A5 進來
 #define  DHT22 22
 #define  offset 0.18
  dht DHT;

  #define ONE_WIRE_BUS 2                // DS18B20 connect    to Pin 2
  OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
  DallasTemperature sensors(&oneWire);
double WTval;
   double RTval_read;
   double RTval;
   double PHval_read;
   double PHval;
   double Ph7Buffer = 6.86;              // For PH7 buffer solution's PH value , 7 or 6.86
   double Ph4Buffer = 4.01;              // For PH4 buffer solution's PH value , 4 or 4.01
   double Ph7Reading = 656;              // For PH7 buffer solution's PH value , 7 or 6.86
   double Ph4Reading = 748;              // PH4 Buffer Solution Reading.
   double PhRatio = 0;                   // PH Step
   const int gasSensor =0;

   void setup(){
   Serial.begin(9600);
   SerialCom.begin(9600);
   PhRatio = (Ph4Buffer - Ph7Buffer) / (Ph4Reading - Ph7Reading);
   Serial.println("Starting");
   sensors.begin();}
```

```
void loop(){
   DHT.read22(dht_dpin);   //去程式庫裡面找 DHT.read22
   Serial.print("Humidity= ");
   Serial.print(DHT.humidity);
   Serial.print("%  ");
   Serial.print("temperature= ");
   Serial.print(DHT.temperature);
   Serial.println("C");
  sensors.requestTemperatures();
  WTval = sensors.getTempCByIndex(0);
  RTval_read = analogRead(1);
  RTval = (double) RTval_read / 3.4 * (5/10.24);
  PHval_read = analogRead(2);
  PHval = (PHval_read - Ph7Reading) * PhRatio + Ph7Buffer;
  Serial.print("  ");
  Serial.print("Water Temperature: ");
  Serial.print(WTval, 1);
  Serial.print("  ");
  Serial.print("Room Temperature: ");
  Serial.print(RTval, 1);
  Serial.print("  ");
  Serial.print("PH read value: ");
  Serial.print(PHval_read, 0);
   Serial.print("  ");
  Serial.print("PH value: ");
  Serial.print(PHval, 1);
  float voltage;
  voltage= getVoltage(gasSensor);
  Serial.print("  CO2: ");
  Serial.print(voltage);
  Serial.print(" voltage");
  SerialCom.write(addArray, 9);
  SerialCom.readBytes(dataValue, 9);
  int readHigh = (int) dataValue[2];
  int readLow  = (int) dataValue[3];
  int pulse = (256*readHigh)+readLow;
  dataString = String(pulse);
  Serial.print("  CO2: ");
  Serial.print(pulse);
  Serial.println(" PPM");
delay(30000);//每 3000ms 更新一次
float getVoltage(int pin) {
  return (analogRead(pin) * 0.004882814); }
```

3. 編寫程式

整合

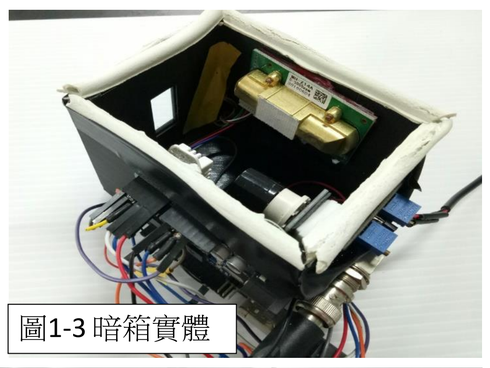
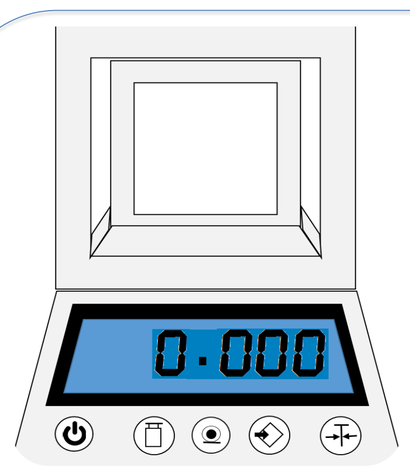


圖1-3 暗箱實體

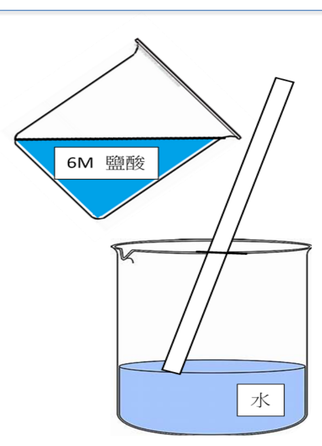


圖1-4 暗箱蓋實體

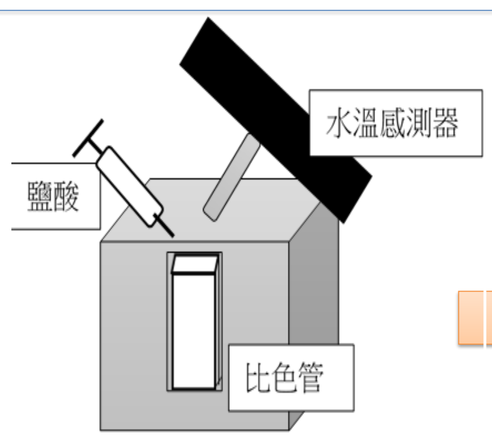
[實驗操作流程]



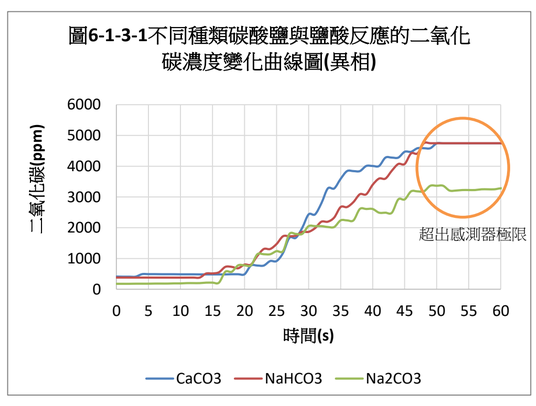
秤取樣品質量



配製樣品溶液



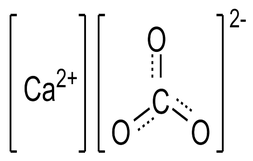
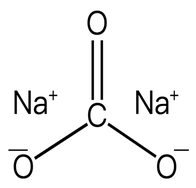
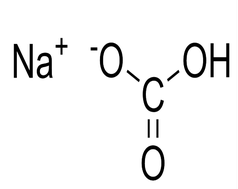
進行反應



分析數據

研究結果與討論

表（一）碳酸鹽結構和溶解度整理

物質	碳酸鈣（$CaCO_3$）	碳酸鈉（Na_2CO_3）	碳酸氫鈉（$NaHCO_3$）
結構 (維基百科)			
溶解度 (維基百科)	0.013 g/L (25℃)	215 g/L (20℃)	96 g/L (20℃)
溶解熱	放熱 (-13.1 kJ/mol)	放熱 (-26.7 kJ/mol)	吸熱
溶解外觀敘述	上方有懸浮碳酸鈣，下方未溶解	上方清澈，下方未溶解	上方清澈，下方未溶解
溶解度	Na_2CO_3 >$NaHCO_3$ ＞＞$CaCO_3$		

表(二)碳酸鹽溶解以及與鹽酸反應的現象

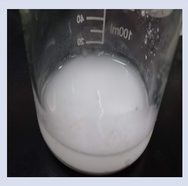
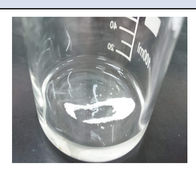
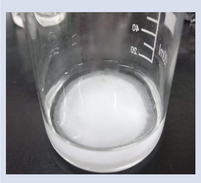
物質	溶解/反應現象		
	注射前	均相反應	異相反應
碳酸鈣 ($CaCO_3$)	 上層液混濁乳白狀	(1)整個反應看不到氣泡。 (2)溫度微上升，是放熱反應。	(1)爆發前以小氣泡為主，平均約至5秒左右，反應最激烈，有許多小氣泡。 (2)爆發前混濁狀態，不易觀察氣泡冒出的位置。 (3)放熱明顯，比色管上方有凝結水。
碳酸鈉 (Na_2CO_3)	 上層液清澈，沈澱物有結塊現象	(1)整個反應是可辨識的球形氣泡。 (2)鹽酸與水溶液有明顯的界限。 (3)氣泡從交界處與管壁慢慢產生。 (4)溫度微上升，是放熱反應。	(1)整個反應是可辨識的球形氣泡。 (2)反應快慢比較不明顯，約在17秒略快一點，但大多是慢慢反應。 (3)氣泡冒出的位置主要是來自液體和粉末表面。 (4)沒有明顯的放熱，比色管上方微霧。
碳酸氫鈉 ($NaHCO_3$)	 上層液清澈，沈澱物顆粒分明	(1)整個反應是可辨識的球形氣泡。 (2)鹽酸與水溶液有明顯界限，但界線比碳酸鈉低。 (3)氣泡從交界處與管壁慢慢產生。 (4)溫度微上升，是放熱反應。	(1)爆發前以大氣泡為主 (2)反應有快慢，但反應前期速率較慢，平均35秒左右反應最激烈，有許多小氣泡。 (3)大氣泡氣泡冒出的位置主要是來自液體和粉末表面小氣泡則是粉末與管壁間的縫隙。 (4)吸熱明顯，比色管上方較清澈。

圖6-1-1 碳酸鹽與鹽酸均相反應過程圖

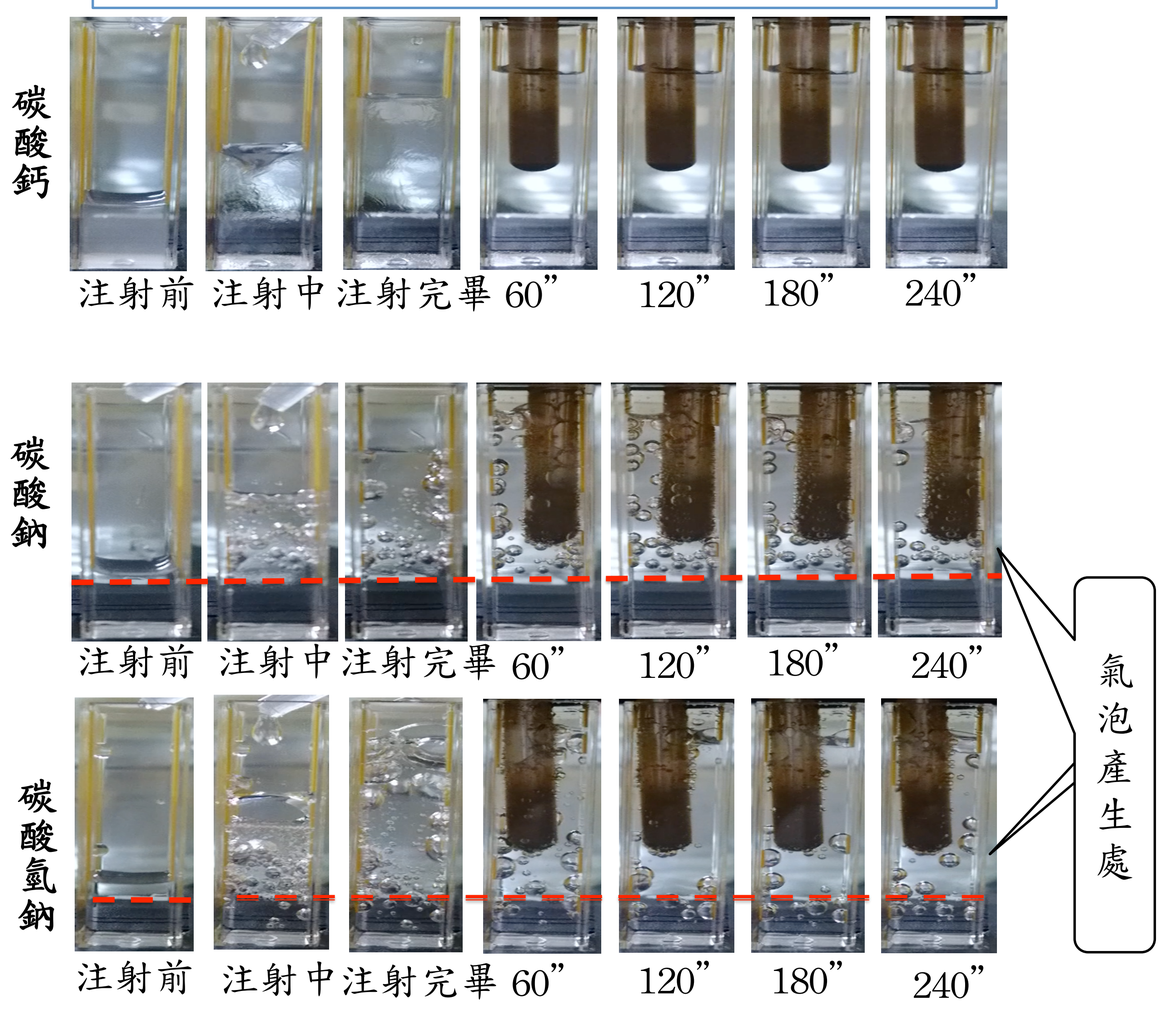
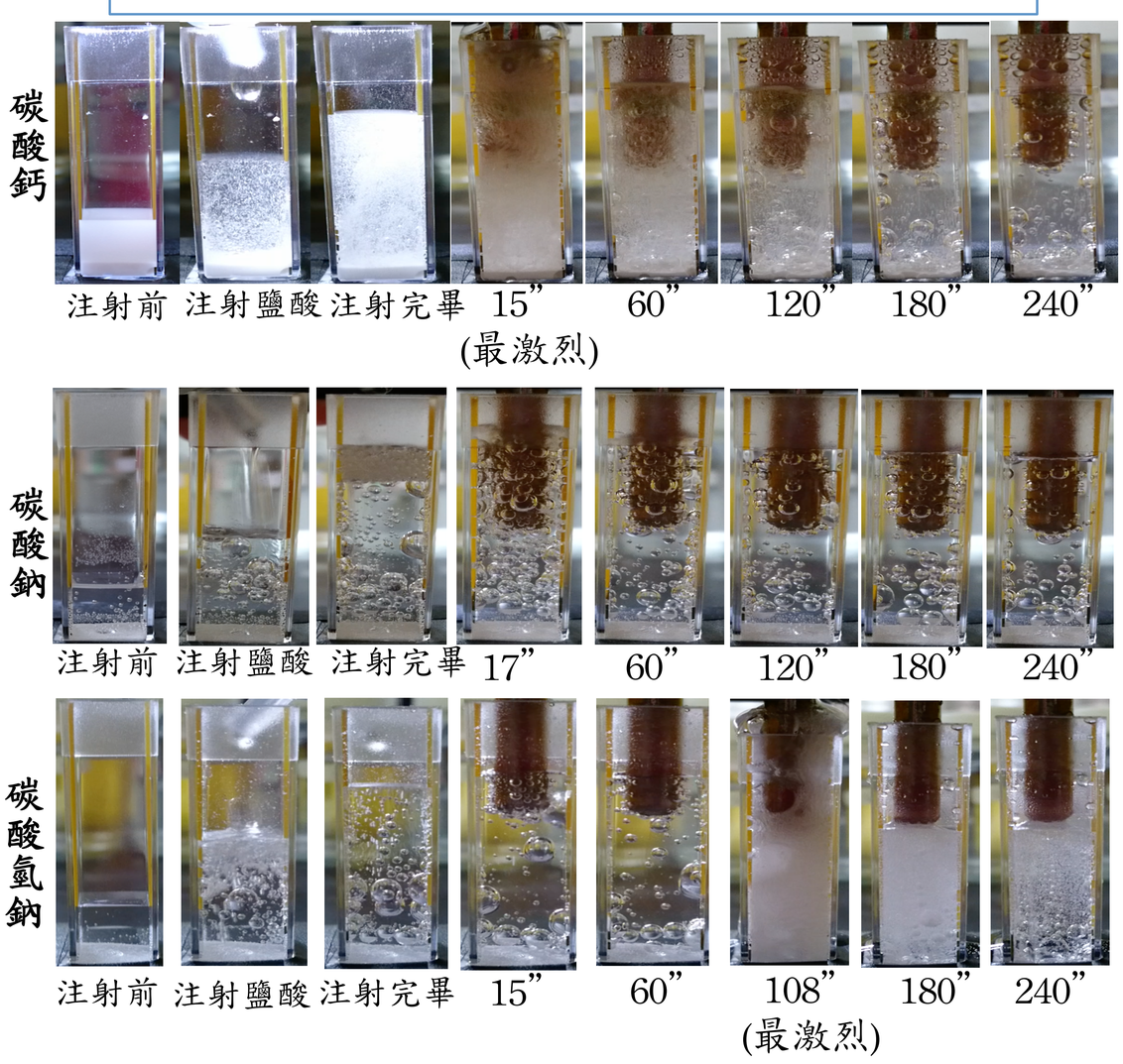


圖6-1-2 碳酸鹽與鹽酸異相反應過程圖



名詞定義1：像海底火山爆發或粉塵爆炸似地從底部快速竄出的反應稱為粉塵效應。

名詞定義2：因氣泡產生速率太快，導致視覺暫留所見的氣泡稱為線形氣泡。

圖6-1-7 碳酸氫鈉與鹽酸反應後的氣泡

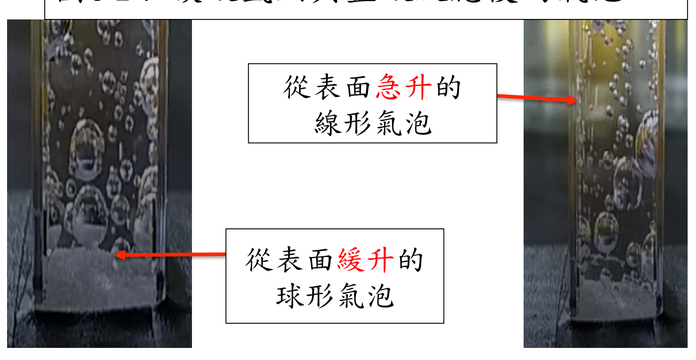
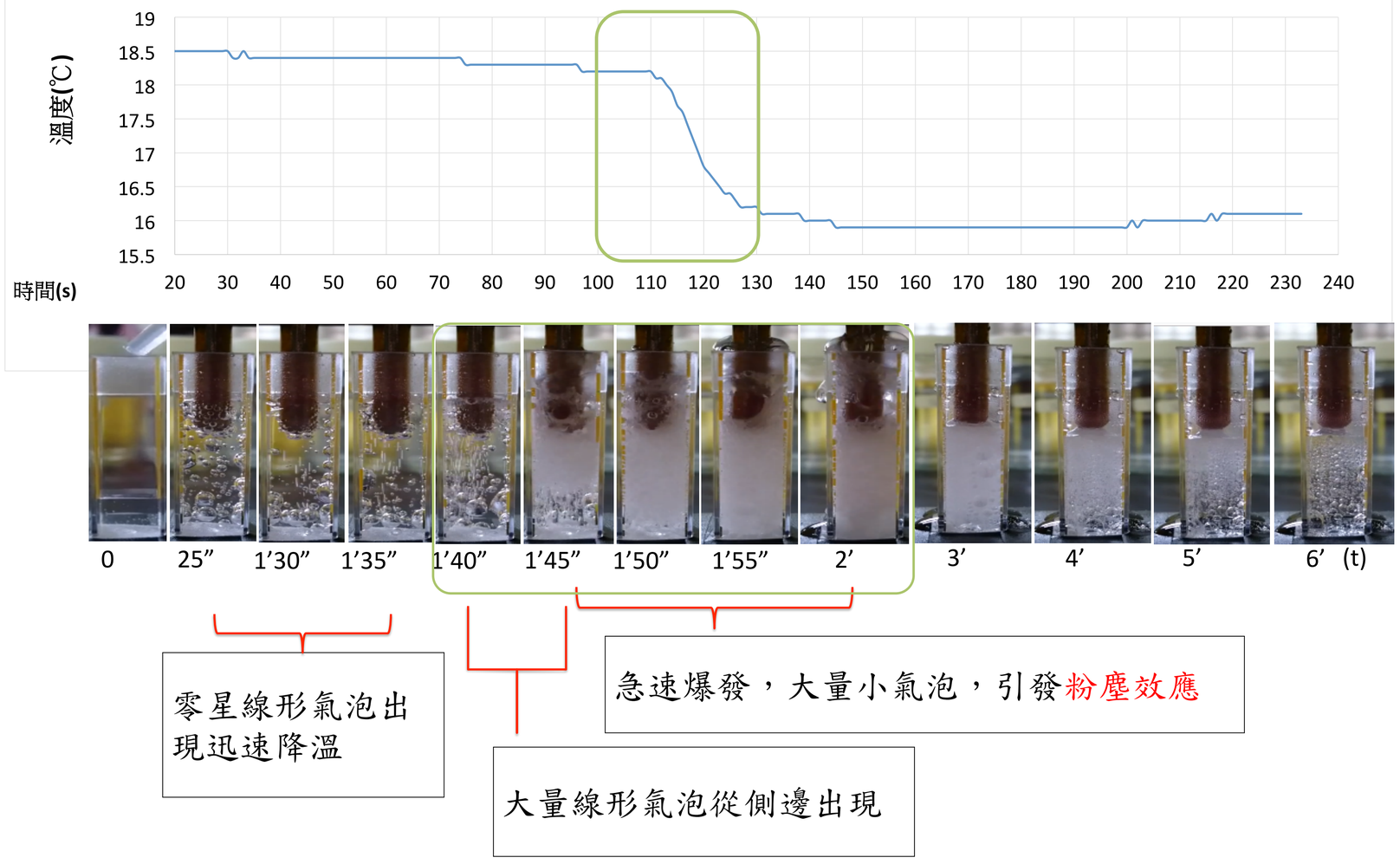


圖 6-1-8 0.2g 碳酸氫鈉盒外溫度變化曲線圖



異相反應中：

一. 碳酸鈉與鹽酸緩緩反應，沒有粉塵效應，可能是溶解時結塊，使碳酸鈉的接觸面積小，無法產生有效的碰撞和連鎖反應，使反應變快，推論此現象與碳酸鈉分子結構相關。

二. 碳酸鈣與鹽酸立即快速反應，有粉塵效應。

三. 碳酸氫鈉與鹽酸並未立即有粉塵效應，但粉塵效應之前，會有線形氣泡產生。

研究結果與討論（續）

圖6-1-3-1不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的二氧化碳濃度變化曲線圖(異相)

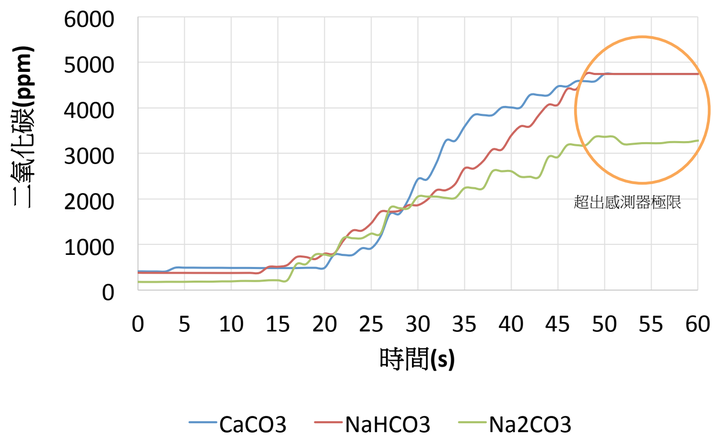


圖6-1-3-2 不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的二氧化碳濃度變化曲線圖（異相預測圖）

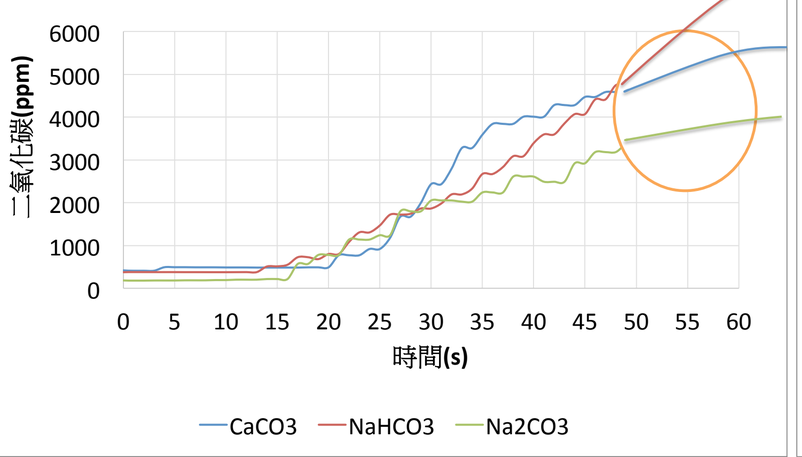


圖6-2-1 不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的二氧化碳變化曲線圖(均相)

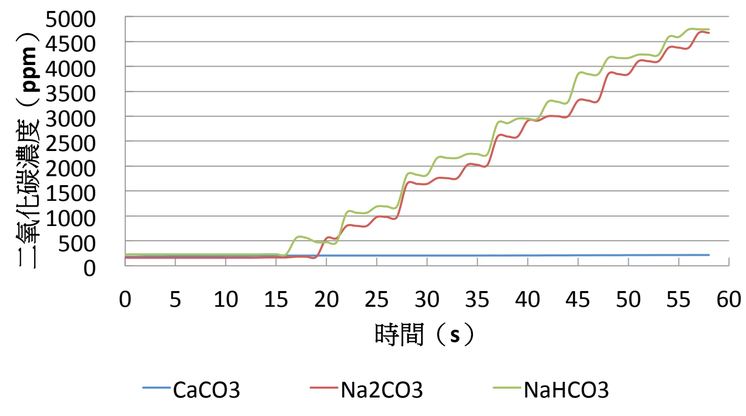


圖6-1-4 不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的濕度變化曲線圖(異相17.2℃)

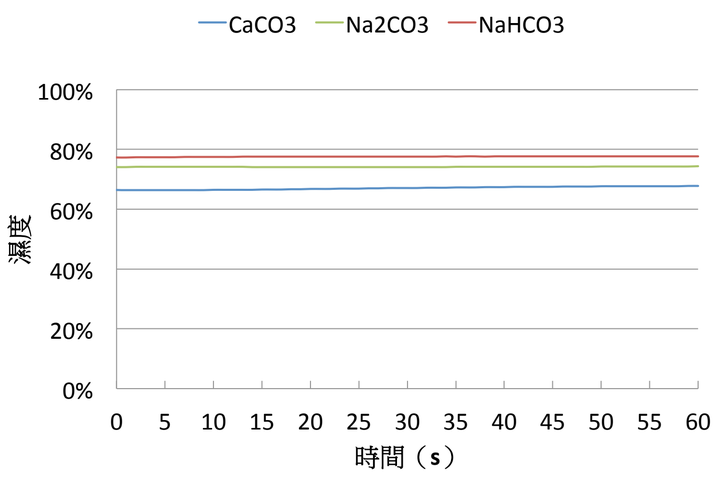
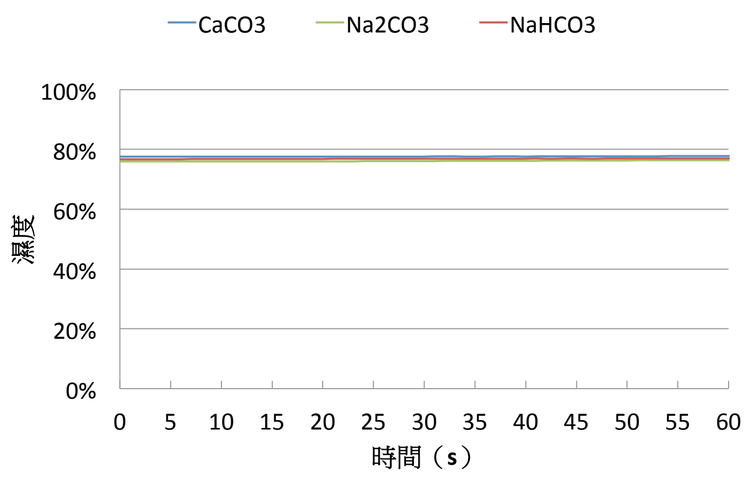


圖6-2-2 不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的濕度變化曲線圖(均相)



一. 碳酸鈉和碳酸氫鈉在異相反應中的二氧化碳變化都很明顯，且反應碳酸氫鈉大於碳酸鈉。碳酸鈣在均相中因溶解度小，所以變化小。

二. 不論是異相或均相，濕度變化都不大，與二氧化碳變化趨勢不同，推論反應產生的產物以液態水為主。

★化學反應式 & 反應熱

★ $CaCO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow 1H_2O_{(l)} + 1CO_{2(g)} + CaCl_{2(aq)}$ △H= − 23kJ/mole

★ $Na_2CO_{3(s)} + 2HCl_{(aq)} \rightarrow 1H_2O_{(l)} + 1CO_{2(g)} + 2NaCl_{(aq)}$ △H= − 29 kJ/mole

★ $NaHCO_{3(s)} + HCl_{(aq)} \rightarrow 1H_2O_{(l)} + 1CO_{2(g)} + NaCl_{(aq)}$ △H= + 31 kJ/mole

圖6-1-5不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的溫度變化曲線圖(異相17.2℃)

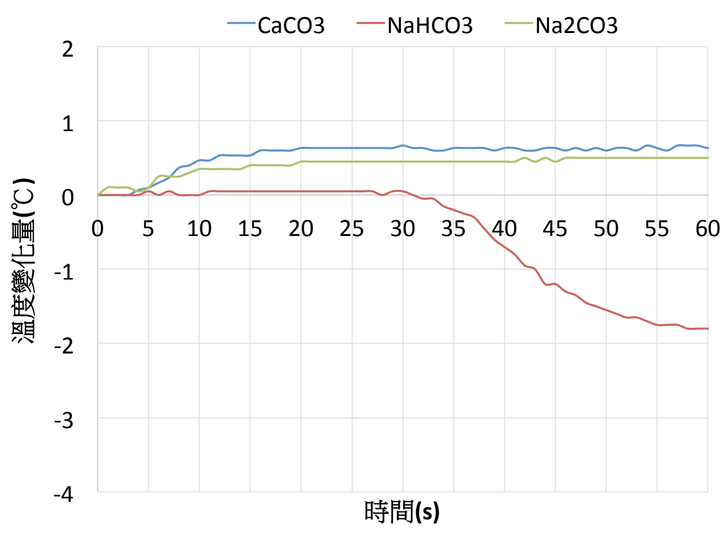


圖6-1-6不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的溫度變化曲線圖(異相22.6℃)

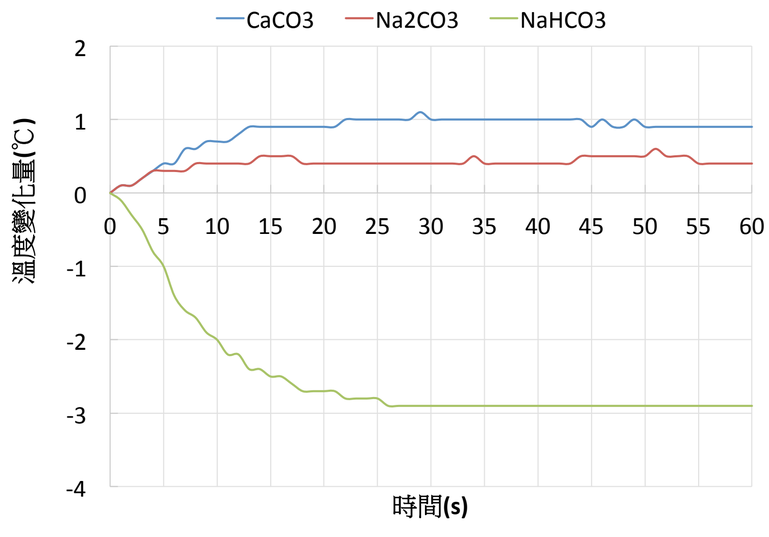
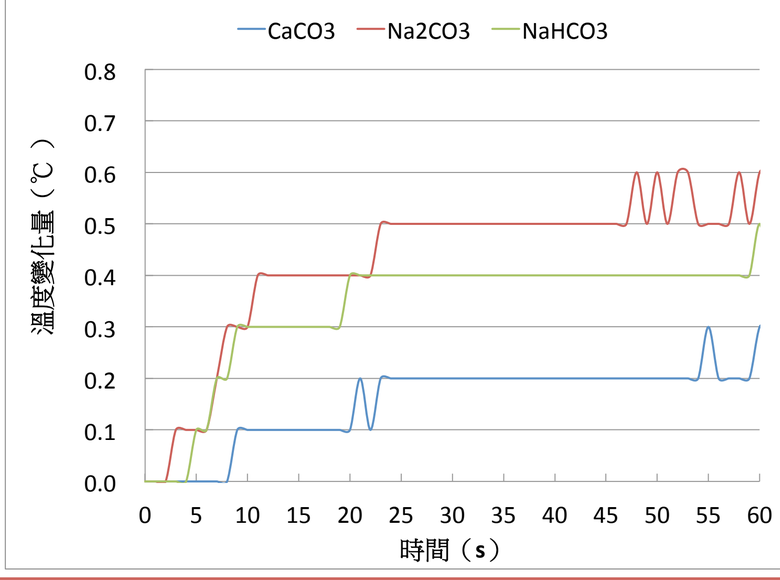


圖6-2-3 不同種類碳酸鹽與鹽酸反應的j溫度變化曲線圖(均相)



一. 異相反應中的碳酸氫鈉與鹽酸的反應，溫度越高，反應越快，溫度變化越大。

二. 碳酸氫鈉在異相反應中的溫度變化與碳酸鈉和碳酸鈣不同，溫度下降，是吸熱反應。

三. 在均相反應中，溫度都上升，都是放熱反應。

研究結論

一. 本研究有關於碳酸鈣、碳酸鈉和碳酸氫鈉與鹽酸反應的總結如下：

溶液狀態	均相		異相		
反應特質	粉塵效應	總反應熱	粉塵效應	總反應熱	反應熱絕對值比較
碳酸鈣	×	放熱	○	放熱	中和熱＞溶解熱＋解離熱
碳酸鈉	×	放熱	×	放熱	中和熱＞溶解熱＋解離熱
碳酸氫鈉	×	放熱	○	以吸熱為主	中和熱＜溶解熱＋解離熱

二. 比對溫濕感測器和二氧化碳感測器變化曲線，可知反應後的水以液態為主，可清楚輔助說明化學反應式狀態。

三. 感測器顯示溫度比二氧化碳提早變化，可作為實驗觀察的先行指標。

參考資料

一. 劉榕芝、劉千榕、徐靈兒 第41屆國中組 化學科 第三名 二氧化錳催化角色的探討

二. 胡邵翔、楊聖睿、吳典霖、許家齊 第45屆高中組 化學科 第三名 臭味何處來?過氧化氫製氧實驗之研究與探討

三. 張宗捷、賴昺丞、楊宜庭、邱佳昕 第47屆高中組 化學科 第三名 溫度低定

四. 王知桓、毛馨慈、陳恩伶第51屆國中組 化學科 佳作 太陽能二氧化碳捕捉器

五. 劉志奇、胡峻浩、胡沐恩第56屆高中組 化學科 二氧化碳氣體分子穿透速率變化之研究

六. 丁錦平、黃宥傑、林紫薇、柯佳宜第50屆高中組 應用科學科 以氣旋式裝置捕捉二氧化碳

七. 梁寧方、黃雅晨、郭明彥 第52屆高中組 應用科學科 不祥之「罩」——口罩對都會區主要空氣汙染物攔截效率之研究