

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 化學科

團隊合作獎

030215

「遇水則發…熱」--自熱包大解密

學校名稱：嘉義市立蘭潭國民中學

作者： 國二 簡成穎 國二 盧科佑 國二 余品邑	指導老師： 王榮達
---	------------------

關鍵詞：自熱包、生石灰、加熱曲線

摘要

我們在便利商店看到一款「自熱火鍋」，發現裡面的自熱包，只要透過加水，在不用明火的狀況下便能夠將食材加熱甚至煮沸，於是我們便想要探索其中的原理。我們首先針對這個實驗設計了可以標準化測定、且可避免外界熱干擾，同時也能方便觀察偵測的「絕熱箱實驗盒」，接著進行自熱包的相關實驗。在其中發現自熱包中不只有只有生石灰的成分，還包含了鋁粉。藉由進一步的實驗分析，我們找出自熱包可以達到最佳加熱效益所需添加的最佳水量與自熱包的質量比。另外透過分析自熱包的加熱溫度曲線，找出其中成分的最佳配方，也探討如何透過改變包材，改變自熱包的發熱反應開始時間、有效工作時間，並探討如何避免氫氣的產生和爆炸的風險。

壹、研究動機

放學後逛便利商店是我們的小確幸，店裡面總是會有許多新奇的商品。偶然一天在便利商店的角落，我們發現了人氣火鍋名店竟然出了一款商品，標榜不用開火，就可以享受熱騰騰的火鍋(圖 1-1)。這可是讓冷颼颼的冬天，馬上有了熱呼呼的感覺…。

但是我們看了其中的包裝標示，卻不清楚它的加熱原理及成分，也沒有說明內容物。實際購買了一個拆開包裝，發現其中火鍋之所以可以「自煮」、「自熱」，關鍵就在於加熱包(圖 1-2)，除此之外，就是被加熱的食材，別無其他的東西。



▲圖 1-1 超商販售的自熱火鍋



▲圖 1-2 自熱火鍋中所附的自熱包

貳、研究目的

- 一、市售自熱包的最佳使用水量比例
- 二、自熱包的成分及結構分析
- 三、自製自熱包及其效能測試
- 四、自熱包的安全性處理

參、研究設備器材及藥品

研究設備與器材					
市售自熱包	保麗龍箱	溫度計	PP 保鮮盒	Arduino UNO	LM35 感溫元件
					
鋁箔盒	鑽孔機	針筒(含三通)	試管	電子秤	筆電 (Arduino)
					
不織布	茶包袋	除塵紙	燒杯		
					
實驗藥品					
生石灰	鐵粉	鎂粉	鋅粉	鋁粉	矽藻土粉
					
活性炭粉	二氧化錳	石灰乾燥劑	鹽酸		
					

肆、研究過程或方法

一、文獻探討

搜尋歷屆科展研究，僅有一件作品「自熟可熱—自動加熱便當盒 DIY」與我們的研究相關，作品中**僅用石灰做為自熟便當的來源**；另外上網搜尋「自熟包」、「自熟食品」、「自熟火鍋」，結果並未發現清楚說明自熟包確切成分比例，僅能從中得知有生石灰粉以及金屬粉(部分網路文章指出是鋁粉)。後來在一則新聞中發現，美軍公發「MRE」(Meals Ready to Eat)，裡面也有只需加水即可完成加熱的自熟包。也有自熟包在加熱過程中發生爆炸的新聞。

▼圖 4-1 美軍 MRE (取自網路 <http://surpluswarrior.com/mre-meals/>)



本研究相關的相關文獻研究整理如下表：

▼表 1-1 本研究主要文獻資料探討

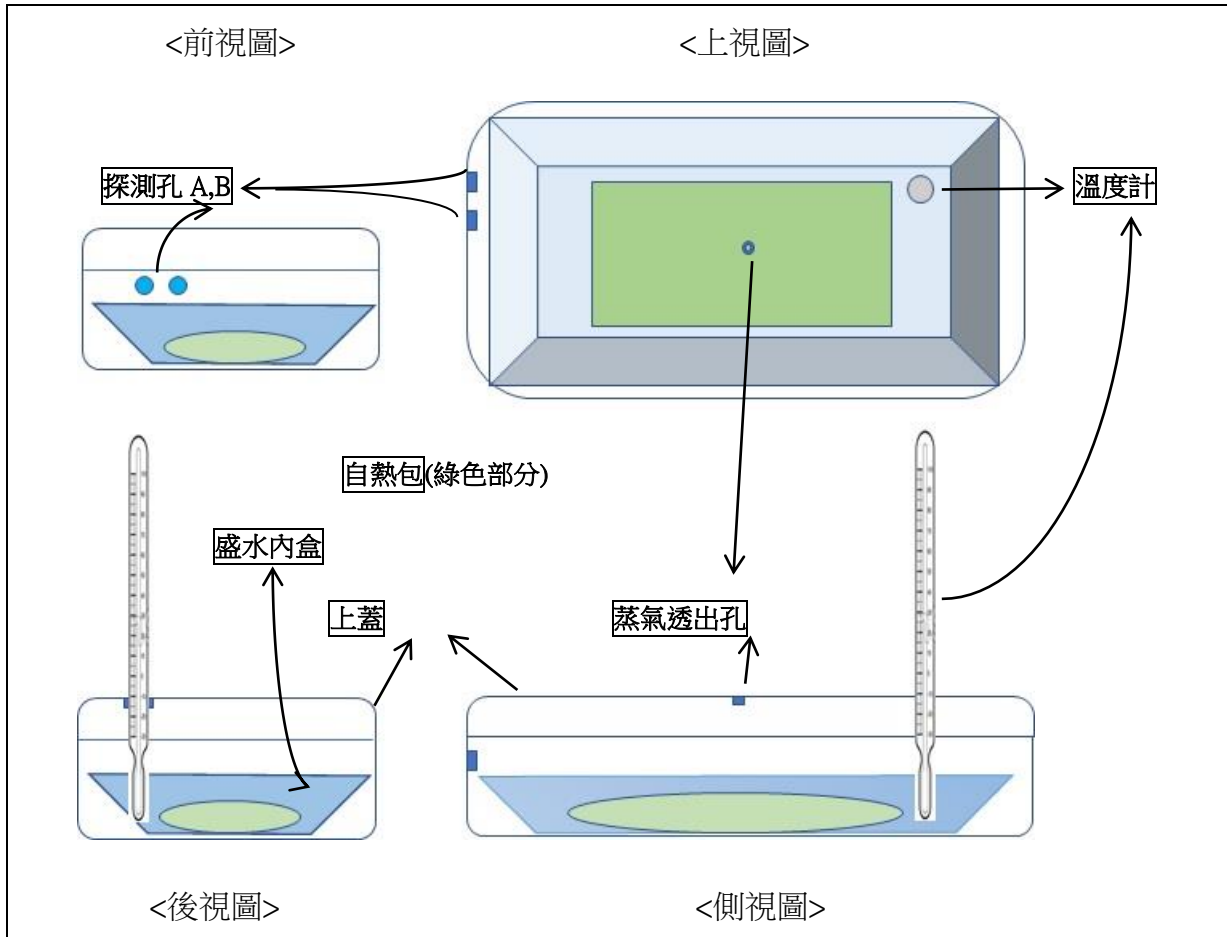
來源	文章主要標題	資訊內容/時間
歷屆科展	■自熟可熱—自動加熱便當盒 DIY 全國中小學科展第 48 屆	石灰粉的自熟效果 研究/2008
期刊	■以牡蠣殼作為自熟調理食品用自發熱源之初探 水事專訊 2020 3 月號	再生石灰粉的加熱 效果/2020.3
網路資訊	■廢棄牡蠣殼變身自熟包 瞄準露營銀髮族 免開伙就 能吃熱食 https://www.commonhealth.com.tw/article/82961	自熟包簡介、自熟包 成分(少)/2020.10.16
	■評測 吃了 20 種方便火鍋，最後推薦這 8 款！ https://kknews.cc/food/me6eze6.html	自熟火鍋使用、自熟 包成分(多)/2017.11.27
東森新聞	■嚇！免開火加熱 自熟鍋使用不慎爆炸 陸男炸殘眼 https://www.youtube.com/watch?v=cYSIHQAhNE	自熟包危險性、加熱 原理/2020.10.25

二、研究方法

(一)標準化的測定工具及絕熱測量箱設計製作

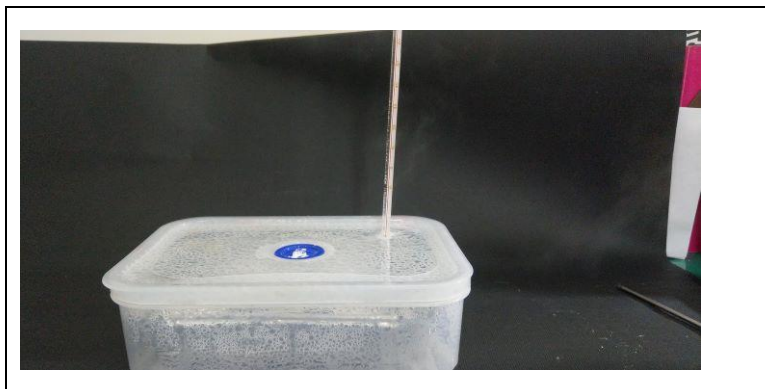
1.我們找市面上 PP 材質保鮮盒，稍微鑽孔加工，並加上盛水鋁箔內盒，設計圖如下。

▼圖 4-2 自熱包加熱溫度曲線測定裝置設計



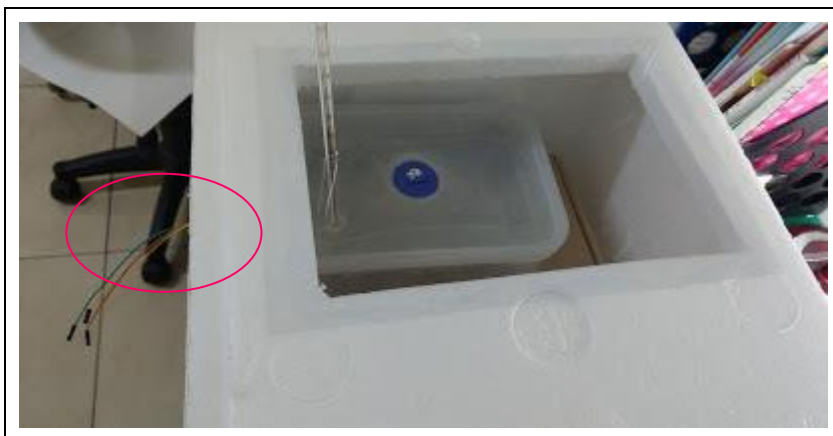
2.實作裝置，裝置如圖

▼圖 4-2 自熱包加熱溫度曲線測定裝置實體圖



3.因為實驗開始的幾天，遇上大陸冷氣團南下，氣溫只有十幾度，老師提醒我們要注意外界的溫度會影響到我們溫度測量的實驗數據。因此我們將實驗環境溫度條件設定於 $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ ，當室溫在未在這範圍內時，我們使用暖暖包或冰塊調整保麗龍箱內的溫度，把將上述裝置置入箱中(箱上蓋已改成可觀察的透明塑膠片，還有測孔配合實驗盒探測孔 A,B)。裝置如圖。

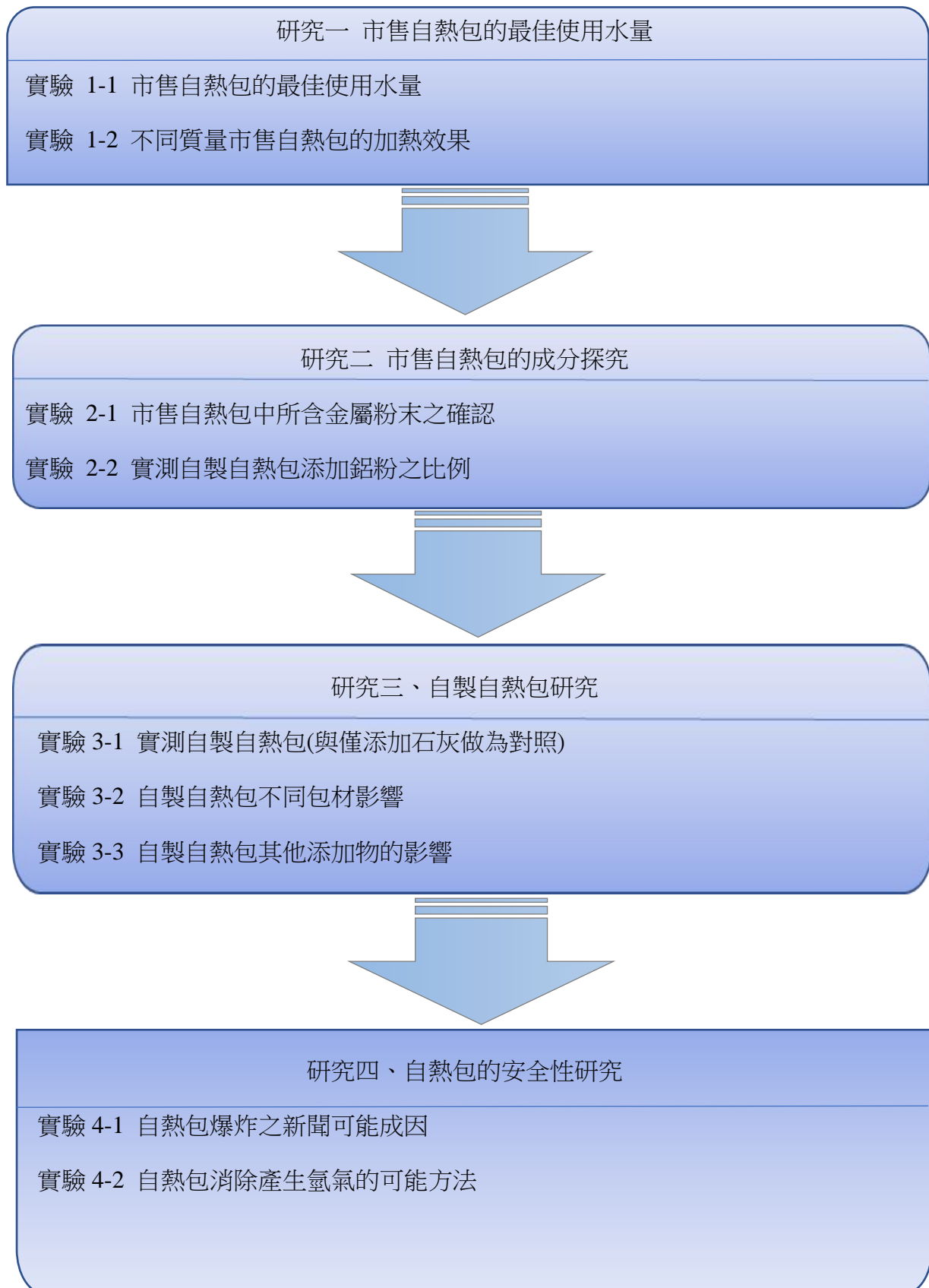
▼圖 4-3 測定裝置置於保麗龍箱的完成圖(紅圈處穿孔讓蒸氣測量裝置接出)



三、測量與紀錄

- (一)本研究是以自熱包加水，藉由反應產生熱，讓水成為高溫水蒸氣，加熱其中調理包或容器上層的火鍋配料。不過因為沒有辦法每一次都有固定的相同食材來測定調理包或火鍋內部溫度，所以我們藉由文獻中提及直接測量水溫的方式來測定自熱包的加熱效果，並藉由探測孔 A 或 B，測量蒸氣最高溫。
- (二)考量自熱包目的性乃是為**加熱食材、而非保溫**，水溫量測我們**只量測記錄到 70°C** ，且須在**一定時間內完成加熱食材的作用**，方能具其便利性，所以**測量時間以 30 分鐘為限**。另外本研究希望了解自熱包本身的各項性質，而非藥品粉末單純與水的作用，故加水時的情況設定如同一般加熱包，**加水量均蓋過自熱包本身**(故自熱包尺寸較小時須換小尺寸鋁箔內盒)，且包裝本身非開放式(**即藥品須封於包裝袋內與水反應**)。
- (三)本次實驗若有兩種以上藥品組合，均需事先於容器中攪拌均勻。考量固態混合物仍有可能混合不均勻，故測定的時候均實驗三次取其平均值，希望能減少誤差。
- (四)不同溫度計間的校正：LM 溫度感測器在同樣的水溫約比水銀溫度計高 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ (在 $70\sim 95^{\circ}\text{C}$ 水溫區間)，後續處理溫度資料時須考慮。

四、實驗架構流程



伍、研究結果

一、研究一、市售自熱包的最佳使用水量

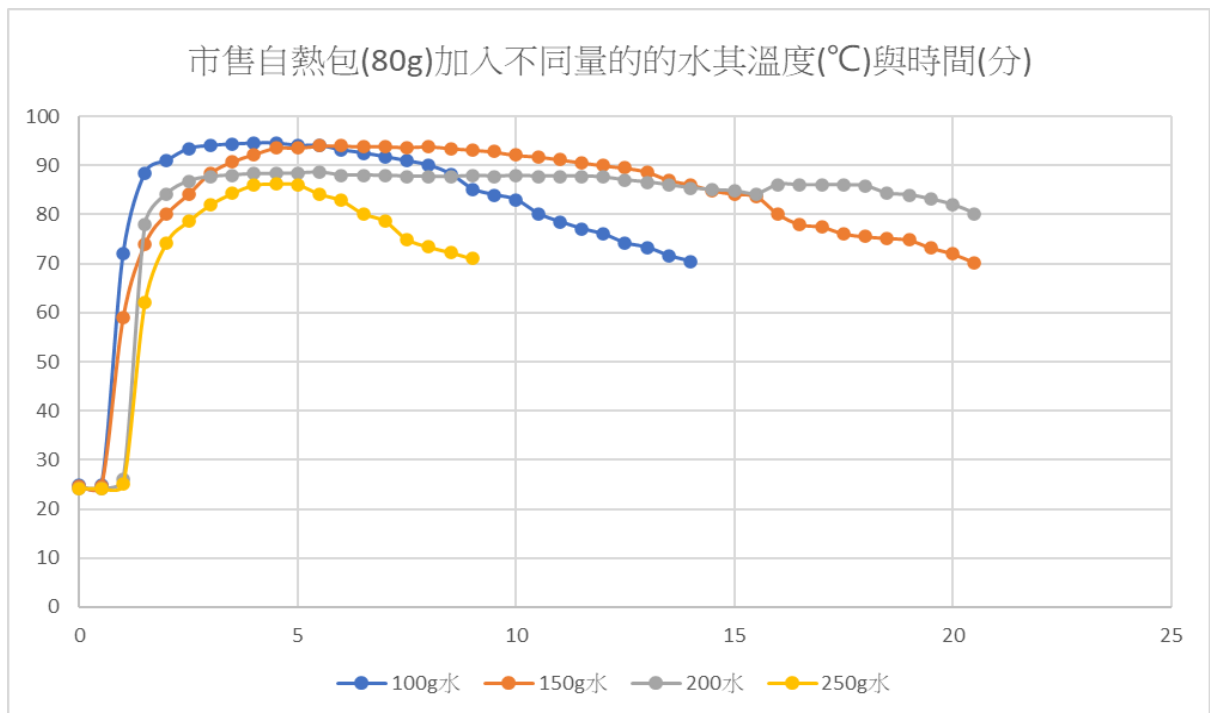
(一)實驗 1-1 市售自熱包的最佳使用水量

【實驗數據】

市售自熱包(80g)加入不同量水其溫度(°C)與時間(分)																					
時間(分)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
100g 水	24.8	24.8	72.1	88.5	91	93.4	94	94.3	94.5	94.5	94	94	93.1	92.5	91.7	90.9	90	88.2	85.2	84	83
150g 水	24.6	24.7	59	74	80.2	84.2	88.5	90.8	92.3	93.6	93.6	94	94	93.9	93.9	93.7	93.9	93.5	93.2	92.8	92.1
200g 水	24.2	24.2	26	78	84.2	86.8	87.7	88	88.3	88.3	88.4	88.6	88	88	87.9	87.8	87.7	87.7	87.9	87.8	87.9
250g 水	24.2	24.2	25	62	74.3	78.6	82	84.3	86	86.3	86.1	84.2	82.9	80.2	78.7	75	73.4	72.3	71		

市售自熱包(80g)加入不同量水其溫度(°C)與時間(分)【接續上表】																				
時間(分)	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	探測孔 A
100g 水	80.2	78.5	77.1	76	74.2	73.3	71.6	70.5												98.1°C
150g 水	91.8	91.2	90.6	90	89.5	88.7	87	86.1	84.9	84.2	83.7	80.1	78	77.5	76.1	75.5	75.2	74.8	73.2	97.9°C
200g 水	87.8	87.8	87.8	87.6	87	86.6	86	85.4	85	84.8	84.2	86.1	86	86	86	85.8	84.3	84	83.1	90.°C
250g 水																				89°C

【數據圖形】



【觀察紀錄】

- 1.在四組實驗中，僅加入 250g 水時沒有劇烈的蒸氣冒出，但依然明顯有白色煙霧自蒸氣滲出孔及探測孔 B 中溢出，另三組蒸氣冒出最劇烈時間點分別以紅字在數據上呈現。
- 2.由圖表可以看出加入 200g 及 250g 水無法能讓加熱溫度突破 90°C，加入 100g 水則最快使溫度上升，但維持 70°C 僅能 14 分鐘。
- 3.探測孔 A 量到的蒸氣最高溫(紀錄於數據表末)，僅加入 250g 水時無法到達 90°C。
- 4.完成測量後，僅 250g 水反應後鋁製內盤留有剩餘水分(上蓋凝結的水滴不算)。將另三組烘乾，紀錄反應前後質量差異如下表。

▼表 5-1 市售自熱包(80g)反應前後質量差異

	反應前	反應後	質量增加百分比
加入 100g 水	83.5	103.3	+23.8%
加入 150g 水	82.7	122.5	+48.1%
加入 200g 水	84.3	169.0	+101.1%

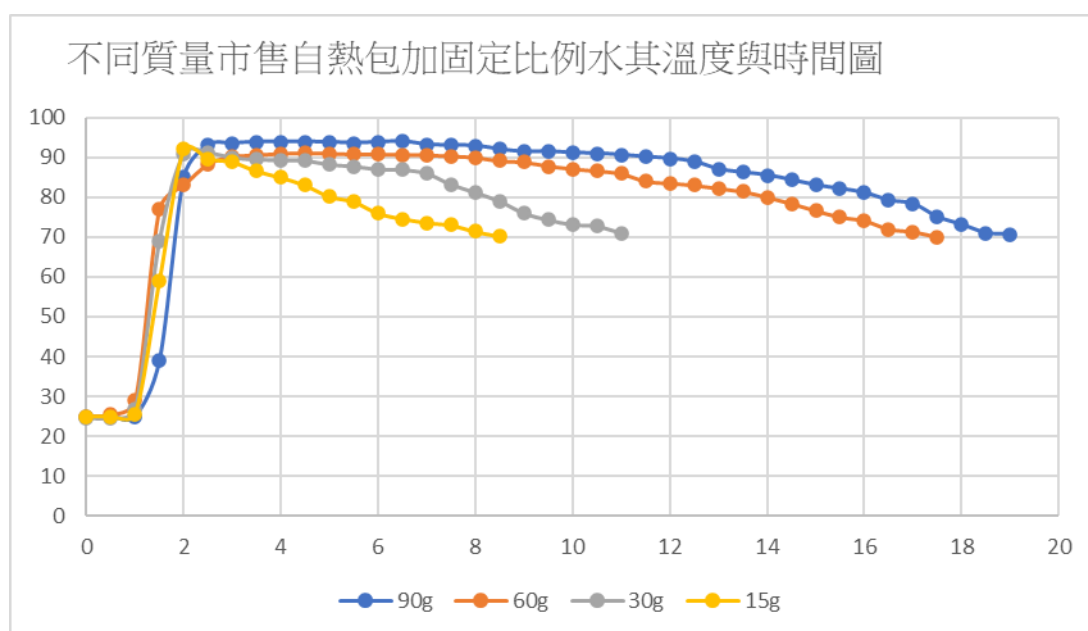
(二)實驗 1-2 不同質量市售自熱包的加熱效果

【實驗數據】

時間(分)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9
90g	25	25	25	39	85	93	93.5	93.9	93.9	93.9	93.8	93.6	93.8	94	93.2	93	92.9	92	91.4
60g	25	25.4	29	77	83	88.3	90.2	90.6	91	91.1	91	90.8	90.8	90.7	90.6	90.3	90	89.1	88.8
30g	24.5	24.5	26.8	69	91	91.2	90	89.5	89.3	89.2	88.2	87.8	87	86.9	86	83.2	81.2	79	76
15g	25	25	25.6	59	92	89.7	88.9	86.6	85	83	80.2	78.9	76	74.6	73.6	73	71.4	70.2	

時間(分)	9.5	10	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	探測孔 A
90g	91.5	91.1	91	90.6	90.1	89.7	88.9	87	86.2	85.5	84.3	83	82.1	81.1	79.2	78.3	75	73.1	96.8°C
60g	87.8	87.1	86.6	85.9	84	83.5	83	82.2	81.4	80	78.4	76.6	75	74.1	72	71.3	70		93.8°C
30g	74.3	73.1	72.7	71															93.2°C
15g																			89.1°C

【數據圖形】



【觀察紀錄】

- 1.在調整鋁製內盒大小，以確保每一個我們以雙層不織布茶包袋重新包裝的不同質量市售自熱包，都可以用實驗 1-1 中「藥品與水量比」(以下簡稱「粉水比」)8:15 的比例，在加入水後都能淹過自熱包的情況下，我們發現量測到的最高水溫都相近。唯一的差異是保持在 70°C 的時間長度。
2. 15g 的那一組是唯一蒸氣溫度低於水溫的一組(89.1°C < 92°C)，以紅字在數據上呈現。
- 3.四組大量產生蒸氣的時間都落在約 1.5 分，以紅字在數據上呈現。

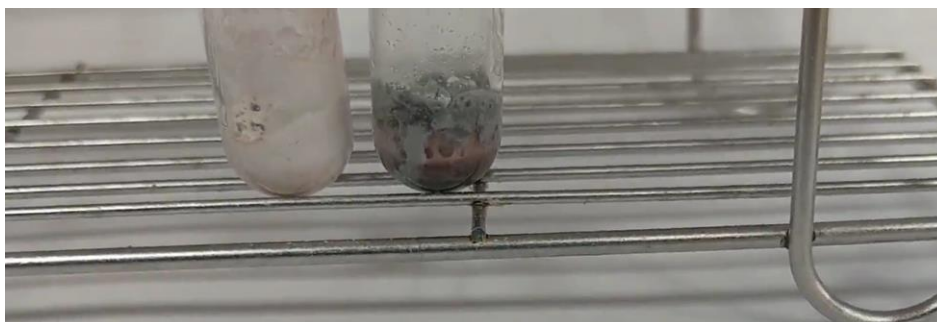
二、研究二 市售自熱包的成分探究

(一)實驗 2-1 市售自熱包中所含金屬粉末之確認

【實驗結果】

- 1.外觀比較：剪開市售自熱包倒出成分粉末，與一般生石灰粉做比較，發現自熱包成分粉末顏色較深，且似乎有不同顏色粉末相混合。
- 2.以 3M 鹽酸 10mL 分別滴入純生石灰粉(圖 5-2 右)和市售自熱包成分粉末(圖 5-2 左)，發現生石灰粉無反應，但有略為發熱現象；市售自熱包成分粉末則冒氣泡，另以點燃之火柴測試，管口有爆鳴聲，推測其中有可燃的氫氣產生。

▼圖 5-1 以鹽酸檢驗市售自熱包粉末(右)產生氣體，左為生石灰對照。



3.先前的文獻和部分的網路資料顯示，市售自熱包成分粉末含有金屬粉末，也有文獻指出為鋁粉，不管是哪一種金屬粉末，那必然能和稀鹽酸作用產生氫氣，我們在理化課學過常見有鎂、鋅、鋁、鐵等。

▼圖 5-2 自熱包粉末與生石灰粉比較

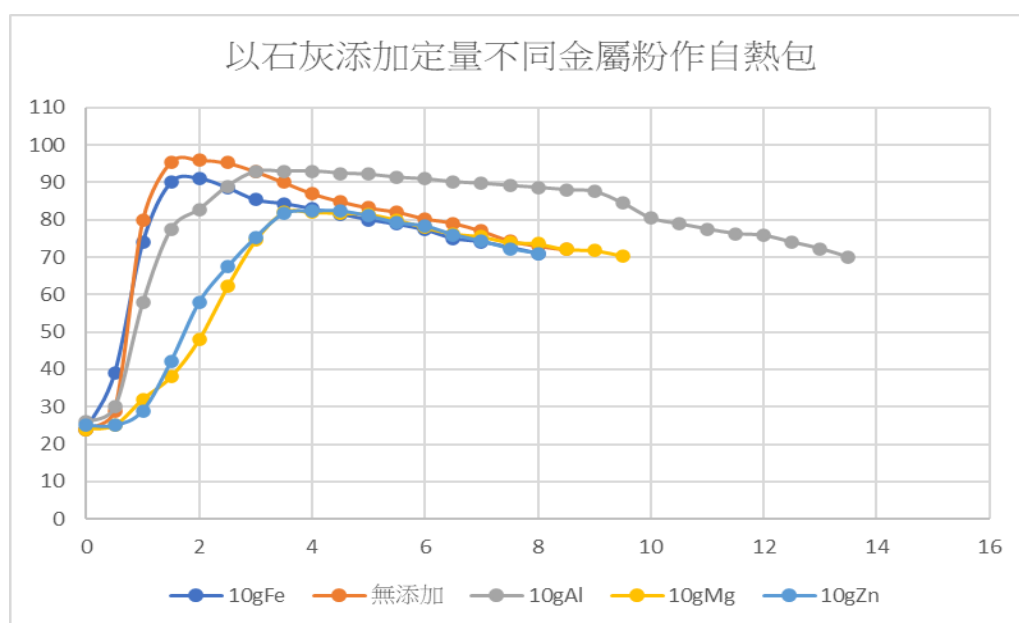


(二)實驗 2-2 以石灰添加定量不同金屬粉作自熱包

【實驗數據】

總質量 80g 的自製自熱包(石灰加定量不同金屬粉)其溫度(°C)與時間(分)																						
時間(分)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	8	9	10	11	12	13	探測孔
10gFe	24	39	74	90	91	88.5	85.3	84.3	82.9	81.5	80	78.8	77.3	75	74.1	71						93.8°C
10gAl	26	30	58	77.5	82.8	89	92.9	92.9	93	92.4	92.1	91.3	90.9	90.1	89.7	88.6	87.5	80.4	77.5	75.8	72.3	95.8°C
10gMg	24	25	32	38	48	62.1	74.5	82	82.1	81.8	81.5	80	78	76.3	75.5	73.6	71.8					83.2°C
10gZn	25.1	25	29	42.2	58	67.4	75.3	81.6	82.3	82.3	81	79.2	78.3	76	74.3	71						83.5°C
無添加	24	29	79.9	95.5	96	95.2	92.9	90	87	84.9	83.2	82.1	80.3	79.1	77	73						98.8°C

【數據圖形】



【觀察記錄】

- 1.由實驗數據圖形可以看出無添加對照組的水溫最高，蒸氣溫度亦然。
- 2.添加 10g 鎂粉、鋅粉、鐵粉的三組，均在 10 分鐘內即降溫至 70°C，只有鋁粉添加的組別，能維持相對高溫。
- 3.添加 10g 鐵粉組溫度陡升的情況類似對照組，另本次實驗僅 10g 鋁粉添加組及無添加對照組在加熱 1 分鐘時有大量蒸氣生成，以紅字在數據上呈現。

三、研究三 自製自熱包研究

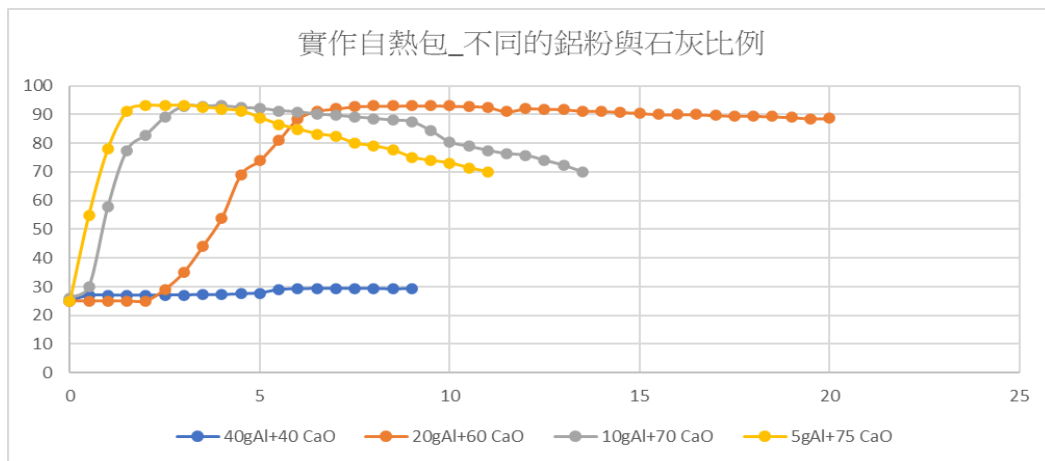
(一)實驗 3-1 實測自製自熱包(不同比例鋁粉與石灰)

【實驗數據】

總質量 80g 的自製自熱包(石灰加不同量鋁粉)其溫度(°C)與時間(分)																	
時間(分)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8	9	10
40gAl+ 40 gCaO	25	27	27	27	27	27.1	27.1	27.2	27.2	27.5	27.8	29	29.3	29.4	29.4	29.4	
20gAl+ 60g CaO	25	25	25	25	25	29	35	44	54	69	74	81	88.5	92	93	93.1	93
10gAl+ 70g CaO	26	30	58	77.5	82.8	89	92.9	92.9	93	92.4	92.1	91.3	90.9	89.7	88.6	87.5	80.4
5gAl+ 75g CaO	25	55	78	91	93	93	93.2	92.6	91.8	91.2	88.9	86.5	84.9	82.3	79	75.1	73.1

總質量 80g 的自製自熱包(石灰加不同量鋁粉)其溫度(°C)與時間(分) 【接續上表】															
時間	10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	16	17	18	19	探測孔
40gAl+ 40 gCaO															※
20gAl+ 60g CaO	92.8	92.6	91	92.1	91.9	91.8	91.2	91.2	90.8	90.5	90	89.7	89.5	89	95.1°C
10gAl+ 70g CaO	78.9	77.5	76.3	75.8	74	72.3	70								94.2°C
5gAl+ 75g CaO	71.4	70													93.1°C

【數據圖形】



【觀察記錄】

- 1.由實驗數據圖形可以看出加 5g,10g 鋁粉的實驗組合，在加入水後溫度陡升的情形非常明顯，但維持在 70°C 以上的時間也相對短暫(14 分鐘以內)。至於 20g 鋁粉的組別，則在加入水後約 3 分鐘開始升溫，4 分鐘後大量蒸氣冒出，以紅字在數據上呈現。另外，該組合升溫能長時間(20 分鐘內)維持在 90°C 附近。
- 2.數據顯示少量鋁粉並不影響其最高水溫或蒸氣溫度。
- 3.鋁粉和生石灰各半的組合，幾乎無法讓溫度上升，因此也無蒸氣噴出，探測孔取得溫度無意義，以※在數據上呈現。

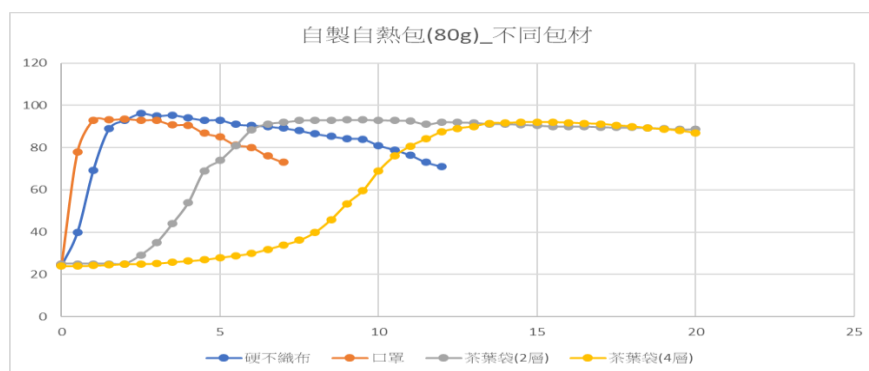
(二)實驗 3-2 自製自熱包不同包材影響

【實驗數據】

時間(分)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10
硬不織布	24.2	40	69.3	89	93	96.1	95	95.4	94.1	93	93	91	90.5	90	89.2	88	86.5	85.3	84.3	84	81
口罩	24.8	78	93	93.1	93.5	93	92.9	90.7	90.6	86.8	85	81.2	80.1	76	73						
茶葉袋 (2層)	25	25	25	25	25	29.1	35	44	54	69	74	81	88.5	91.2	92	92.8	93	93	93.1	93.1	93
茶葉袋 (4層)	24	24	24.2	24.5	25	25	25.2	25.9	26.4	27	28	28.9	30	31.9	34	36.2	40	46	53.5	59.6	69

10.5	11	11.5	12	12.5	13	13.5	14	14.5	15	15.5	16	16.5	17	17.5	18	18.5	19	19.5	20
78.9	76.4	73	71																
92.8	92.6	91	92.1	91.9	91.8	91.2	91.2	90.8	90.5	90	90	90	89.7	89.5	89.5	89.3	89	88.6	88.7
76	80.7	84.1	87.5	89.1	90	91.5	91.6	92	92	92	91.8	91.4	91.2	90.5	90	89.2	88.7	88	86.9

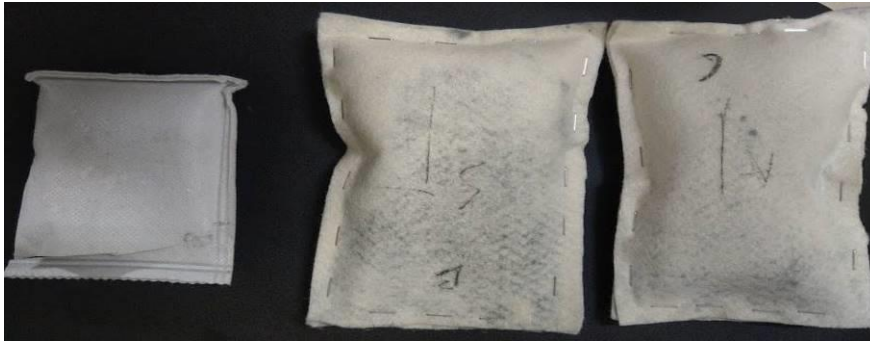
【數據圖形】



【觀察記錄】

- 1.我們分析市售自熱包，發現外包材是使用不織布，且封裝非常密實。我們找到市面上一些可以買到的不同不織布材質，運用保麗龍膠和釘書機，完成各種封裝的自製自熱包(如圖 5-3，厚不織布材質)。

▼圖 5-3 自製自熱包與市售自熱包(小)比較。



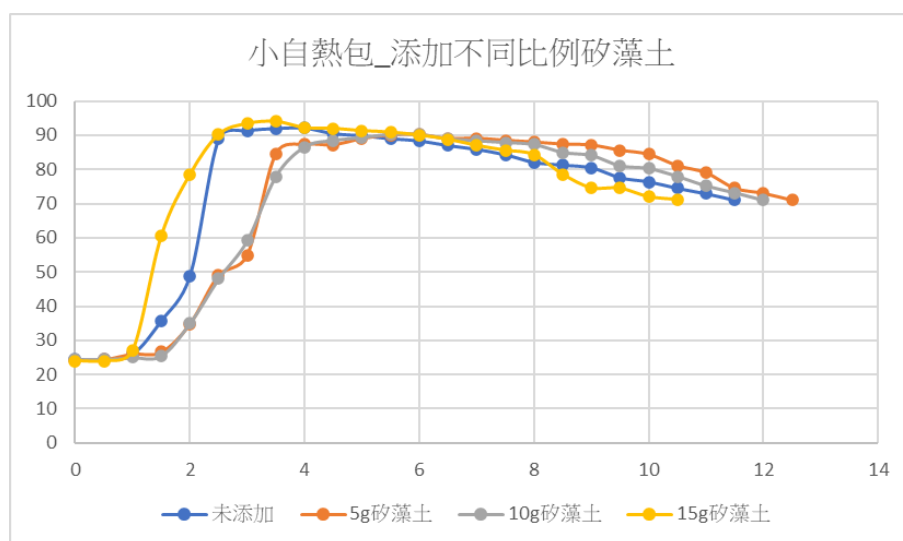
- 2.其中只有除塵紙不織布無法順利盛裝自熱包粉末，因為其孔徑太大，粉末在實驗前遺落不少，因此我們捨棄該組實驗。
- 3.其中加熱曲線較接近市售自熱包的包材的是茶葉袋不織布(2層)，加熱情況比較不會在加水初期溫度暴衝，也不至於像茶葉袋不織布(4層)，把加熱曲線過於緩和，且向後延伸。

(三)實驗 3-3 自製自熱包其他添加物的影響

【實驗數據】

自製自熱包(40g)_其他添加物																					
時間(分)	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8	9	10	11	12
未添加	24.4	24.4	26	35.8	48.9	89	91.3	92	92.1	90.5	89.9	89	88.4	87	85.9	84.3	82.1	80.5	76.4	72.9	
5g 矽藻土	24.2	24.4	26	26.6	34.8	49.1	55	84.7	87.3	87.2	89	90.1	90.2	89	89.1	88.5	88	87.1	84.4	79	73
10g 矽藻土	24.5	24.5	25	25.5	35	48	59.2	78	86.6	88.5	89.3	90.3	90.2	89	88.4	87.9	87.3	84.1	80.3	75.2	71
15g 矽藻土	24	24	27	60.5	78.5	90.2	93.4	94	92.2	92	91.3	90.9	90	88.8	87	85.6	84.3	74.6	72		

【數據圖形】



【觀察記錄】

- 1.之所以在本實驗使用小茶葉袋不織布製作成小白熱包(40g)，就是因為實驗中曾經發生自熱包包材破裂(如圖 5-4)，我們添加 5g、10g、15g 的矽藻土，讓小茶葉袋幾乎已經呈現繃緊狀態，希望藉由矽藻土的吸水性，更加固定整個密封包裝。
- 2.實驗發現添加了矽藻土並未大幅改變其加熱曲線(與對照組相比)，但反應完後表面水分較多，有黏膩感，15g 矽藻土組也並未破裂。
- 3.原本準備的另一添加物活性碳，因為無法盛裝於袋中(顆粒太小，包材孔徑較大以至於大量掉出)，故捨棄實驗。

▼圖 5-4 自製自熱包包材破裂的情況



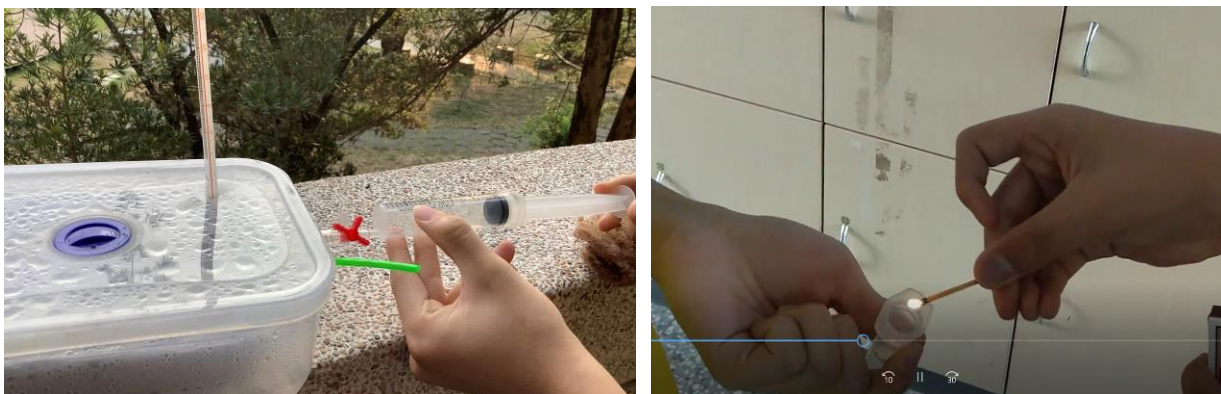
四、研究四 自熱包的安全性探究

(一)實驗 4-1 自熱包爆炸之新聞可能成因

【實驗觀察檢驗】

- 1.在這麼多次的實驗進行之下，我們發現可以密封的 PP 盒在自熱包發熱期間，蒸氣僅能由蒸汽透出口和探測孔 A,B 洩出，如果將蒸氣透出口塞住，整個容器將有爆裂的可能性。
- 2.除上述爆裂可能，另一種則是自熱包產生可燃氣體而消費者不自知。為了進一步檢測這個可能性，我們以最佳配方實作自熱包，在測量加熱曲線的同時，也在溫度達到 90°C 區間，藉由探測孔 B 接三通及針筒，分 5 次抽取其中蒸氣，以火柴檢驗(圖 5-5)，有爆鳴聲音以記號○表示(見表 5-2)。

▼圖 5-5 藉由探測孔 B 接三通及針筒抽取氣體並檢驗



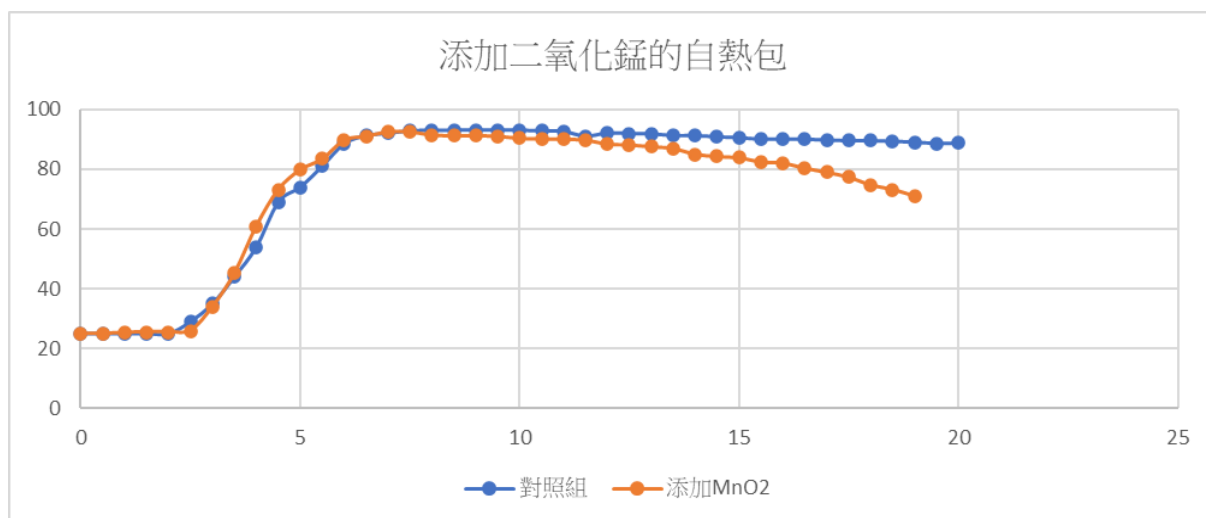
(二)實驗 4-2 自製自熱包消除產生氫氣的可能方法

- 1.我們上網搜尋資料，發現乾電池內部反應，二氧化錳(MnO₂)當作去極劑，可以除去反應中產生的氫氣，於是我們將 5g 二氧化錳加入最佳配方自製自熱包，重複實驗 4-1。
- 2.整合實驗 4-1 與實驗 4-2 的數據，整理作圖。

【實驗數據】

添加二氧化錳的自熱包其加熱時間與溫度關係(部分數據省略呈現)																						
時間(分)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	孔 A
對照組	25	25	25	35	54	74	88.5	92	93	93.1	93	92.6	92.1	91.8	91.2	90.5	90	89.7	89.5	89	88.7	95.5
添加 MnO ₂	25	25.3	25.6	34	61	79.8	89.7	92.5	91.4	91.2	90.3	90	88.4	87.5	85	83.8	82	78.9	74.7	71		93.4

【數據圖形】



自熱包在高溫區間的氫氣檢測					
次別	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
對照組	○	○	○	○	○
添加 MnO ₂	×	○	×	×	○

▲表 5-2 兩種自熱包的氫氣檢測

【觀察紀錄】

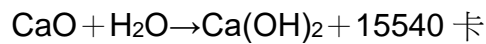
- 1.觀察兩組的加熱曲線，添加 5g 的二氧化錳的自熱包，跟對照組並未有太大的變化，故添加二氧化錳應不至於影響自熱包效能。
- 2.對於添加二氧化錳的自熱包，在高溫區間抽取的蒸氣，5 次中有 3 次無爆鳴聲。
- 3.我們也有在數據紅字區(蒸氣大量噴發)採集氣體樣本，但這段時間上較短暫，無法多次量取，且兩組均無爆鳴聲，無法呈現差異，故不列入紀錄。

陸、討論

- 一、本實驗中自熱包持續加熱過程中，液體會汽化，隨著液體的汽化，液面上部空間的蒸氣增多，即蒸氣壓力要升高，蒸汽壓力升高使蒸汽液化速度加快，而使液體汽化速度減慢，到某一時刻，當液體汽化速度與蒸汽液化速度相同時，容器內液體量和空間蒸氣量不再變化。這時氣、液兩相達到平衡時的狀態稱為飽和狀態 (saturation state)。此

時蒸氣溫度應與水溫相同。不過我們每次測到的蒸氣溫度較高，應跟 LM35 感測器與水銀溫度計的差異有關(事前校正兩者差 1~2°C)。

二、市售自熱包在加水反應後，待冷卻後都有**變硬、變重、膨脹**的現象，依據加入的水量多寡，烘乾後的自熱包最多**質量可增加超過一倍(+101.1%)**。對比我們看過的文獻，生石灰加水生成熟石灰，反應如下：



以 80g 自熱包為例，其中若含有 60g 生石灰(實驗 3-1 中自製自熱包的比例)，

計算反應需用掉的水量如下：(CaO=56，H₂O=18)

$$60 \div 56 \times 1 \times 18 = 19.28\text{g}$$

亦即只需要 20g 不到的水就能與生石灰反應，但我們加入的水量卻遠遠多過這個數字，除了讓水過量、讓石灰當作限量試劑完全反應外，主要就是因為這整個過程放出大量熱，水因此汽化成水蒸氣。

$$60 \div 56 \times 15540 = 16650 = 16.65 \text{ kcal}$$

以加入的最佳比例 25°C,150g 水為例，完全變成 95°C 的水需要：

$$\Delta H = m \times s \times \Delta T = 130 \times 1 \times (93 - 25) = 8840 = 8.84 \text{ kcal} \quad (\text{反應用去 } 20\text{g} \text{ 水，剩 } 130\text{g})$$

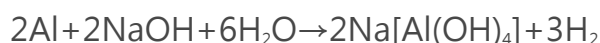
$$16.65 - 8.84 = 7.81 \text{ kcal}$$

上述計算可知生石灰遇水產生熱，若**整個過程最高水溫大概都在 95°C，還有 7.81kcal 的熱讓水變成高溫蒸氣**。當然，自熱包的目的是維持有這樣的水溫，讓水汽化成水蒸氣，以加熱食材。所以充足的水量是必要的，但也不能太多，最好在完成加熱前水剛好用完，所以自熱包的「粉水比」有其重要性，尤其在發展其他尺寸包裝的自熱包時。

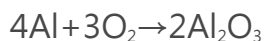
三、值得關注的是，我們在一系列研究之下，發現這個**鋁粉：生石灰=1：3 質量比**的組合，**搭配「粉水比」=8:15 竟然可以維持 90°C 以上的時間將近 16 分鐘**，且總重只有 80g，效能已經超越 90g 市售自熱包(見實驗 1-2，在相同包材的情況下)。

四、鋁粉在自熱包中扮演的角色值得研究。因為既然光用石灰搭配適合的粉水比，即可達到 95°C 以上高溫(實驗 2-2)，那何必添加成相對較貴的鋁粉？鋁是在酸中和在鹼中都

能作用的「兩性金屬」，鋁能溶在強鹼溶液中生成鋁酸鈉，產生氫氣，放出熱量。



也很容易氧化並和熟石灰作用：

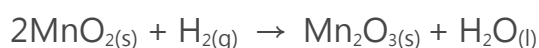
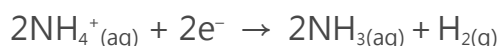


所以從上式就可看出，生石灰反應之後所產生的熟石灰，可以「接續和鋁粉持續作用」，持續放出熱量，這或許就能解釋實驗 2-2 中，生石灰自熱包雖然可以達到相對高溫，卻無法持續維持高溫，加熱曲線在在在高溫出現後，無法出現一段「高原期」，自然較不適合做為自熱食品的熱源(特別是食材量較多時)。

五、不過在達到加熱目的、達成加熱曲線高原期的同時，伴隨著氫氣的形成(實驗 4-1)。雖然氫氣容易逸散，仍對使用者的安全是一疑慮。因此如何讓氫氣在反應中逸散或以其他物質消除氫氣就是一大課題。搜尋了一些文獻和科普網站，不外乎使用其他金屬或金屬氧化物的活性來消除氫氣。但我們已找出鋁粉：生石灰=1：3 質量比的組合，加熱效果甚佳，不想再添加其他金屬粉末影響效能。

此時，乾電池內部的反應給了我們靈感：

乾電池正極反應(陰極)上發生的還原作用，產生氫氣：



氫氣的產生會讓電極上的反應速率減慢，加入的二氧化錳扮演「去極劑」的角色，消除電極上產生的氫氣。加入二氧化錳自製的自熱包，雖然無法完全消除氫氣，但至少應有消除部分氫氣的效果。

柒、結論

一、依本研究結果所獲之結論

- (一)、由研究一可知，市售的自熱包如果不是附在類似自煮火鍋或自熱食品的大包裝盒內，是不會有指示告知我們須加多少水的(如果是在大包裝內，則在容器中有加水的水位線)。這對於使用者來說會造成加太多、太少水導致加熱效果不足，或溫度遽升的時間提前造成危險。我們研究出市售自熱包在完全平放、可沒入水的情況下，最佳使用水量為「粉水比」=8:15，此時加熱效果最佳。另外製造商也可參考實驗 1-2 的加熱曲線，針對加熱需求(如時間長短)製作其他大小的自熱包。
- (二)自熱包的主要成分應為生石灰和鋁粉，在相同成分組成、相同包裝的條件下，且加入的水量需淹過自熱包的前提下，其設計以生石灰為主體，但如果單純 100% 只用生石灰，依據我們實驗結果，發現所加熱的水溫度及蒸氣溫度雖然夠高，但加熱曲線無法呈現高原區，亦即無法延續高溫。
- (三)、嘗試以各種金屬粉末加入自熱包，在控制自熱包生石灰總量的情況下，發現加入鋁粉的自熱包可使水溫上升最高，蒸氣溫度也最高；進一步調整生石灰與鋁粉比例，發現當生石灰與鋁粉質量比為 3:1 時，加熱溫度最高，同時維持在 80°C 高溫的時間也最久。
- (四)、透過研究三，我們發現包材也會影響自熱包的加熱曲線。在市面上可購得的不織布樣本中，茶葉袋不織布(2 層)加熱區線最接近市售自熱包。另加入其他添加物的測試，除活性碳顆粒太小無法實驗，加入矽藻土對加熱曲線影響程度小，也有固定的粉末功能，缺點是量多(15g)時反應完後表面有濕滑黏膩感。
- (五)、自製的自熱包在反應高溫區(90°C)確實會產生氫氣，而加入二氧化錳能減少氫氣的生成，不過在本研究過程中尚無法完全除去氫氣。

二、未來進一步研究方向

- (一)、這次研究中的測定工具除了探測孔 A 蒸氣高溫部分採用 LM35 溫度感測裝置接上電腦測量，溫度曲線的繪製依然是利用傳統人工方式目視溫度計測量。除了較容易產生誤差之外，其實需要兩人同時一邊看著碼表、一邊盯著溫度計做實驗，實在是費

工費時。如果我們的寫 arduino 的能力好一些，或許可以讓電腦定時自動紀錄溫度資料，並擷取整個過程最高溫，也可增加實驗的精準度。

- (二)、對於包材的部分我們還有一些想法，例如如果有不織布封袋技術(如茶葉袋封口機)，我們就可以嘗試將 80g 的自熱包以不同幾何形狀封裝或分格包裝，測試其加熱曲線；另外如果可以取得一些不同的商用的不織布原料，或許可以讓加熱曲線產生不同的變化(如溫度陡升時間的延後等)。
- (三)、這次的研究主要針對自熱包內部成分並在限定條件(平放且調整盛裝自熱包容器大小使水能淹過自熱包)反應下實驗，知道了自熱包的在這些條件下的加熱曲線後，或許下一次可以針對自熱包在惡劣條件下(如美軍公發 MRE 以密封袋盛裝而非盒裝食材，或以極少水量誘發反應)、在超低溫的環境中，如何正常發揮加熱功能。
- (四)、檢驗氫氣的部分如果在經費許可的情況下，我們還想在測定工具中的探測孔 B 直接接 Arduino 的氣體濃度偵測裝置(如氫氣)，這樣會比我們用針筒抽氣檢測較準確。此外，除去氫氣的方式或許也可藉由自熱包雙層包材加入其他金屬氧化物，探討除去氫氣的可能性。

捌、參考文獻資料

- 一、國中自然科學二下(2021)。第三章、電解質。翰林出版
- 二、以牡蠣殼作為自熱調理食品用自發熱源之初探(2020)。水事專訊 2020，3 月號
- 三、自熱可熱—自動加熱便當盒 DIY(2008)。第 48 屆全國中小學科展作品。
- 四、楊禮義(2008)。由碳鋅乾電池中的二氧化錳得到的啟示。科學教育月刊(310 期)
- 五、方金祥(1998)。微型化學實驗之設計與製作。高雄復文。
- 六、柯清水(2000)。新世紀化工化學大辭典。正文書局有限公司。
- 六、評測 | 吃了 20 種方便火鍋，最後推薦這 8 款！<https://kknews.cc/food/me6eze6.html>
- 七、廢棄牡蠣殼變身自熱包 瞄準露營銀髮族 免開伙就能吃熱食
<https://www.commonhealth.com.tw/article/82961>
- 八、嚇！免開火加熱 自熱鍋使用不慎爆炸 陸男炸殘眼
<https://www.youtube.com/watch?v=cYSIHOQAhnE>

【評語】 030215

本研究以市售加熱包為出發點，找出最佳的成份比，以及加熱材料與水最佳比例，以達到最佳適用結果(可達之最高溫度、最長之加熱時間)。作者也設計一組恆溫量測裝置，以避免溫差過大，造成量測誤差。

最大的亮點為，作者解決在加熱包中，鋁粉遇水產生氫氣之問題。降低加熱包實際使用上，可能會遇到爆炸的危害。

作品簡報

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會



國中組

化學科

「遇水則發...熱」——自熱包大解密

一、前言、研究問題



- 一、市售自熱包的最佳使用水量比例
- 二、自熱包的成分及結構分析
- 三、自製自熱包及其效能測試
- 四、自熱包的安全性處理

在便利商店中，我們發現一種自熱火鍋商品，標榜無須加熱、只要加水即可自行加熱食材。但是我們看了其中的包裝標示，卻不清楚它的加熱原理及成分，也沒有說明內容物。實際購買了一個拆開包裝，發現其中火鍋之所以可以「自煮」、「自熱」，關鍵就在於**自熱包**。

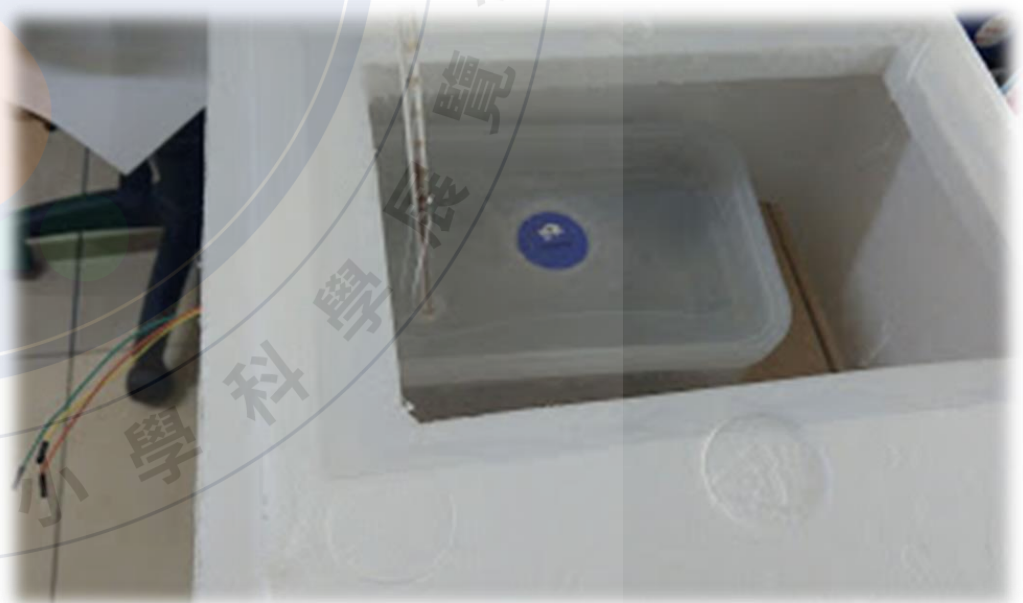
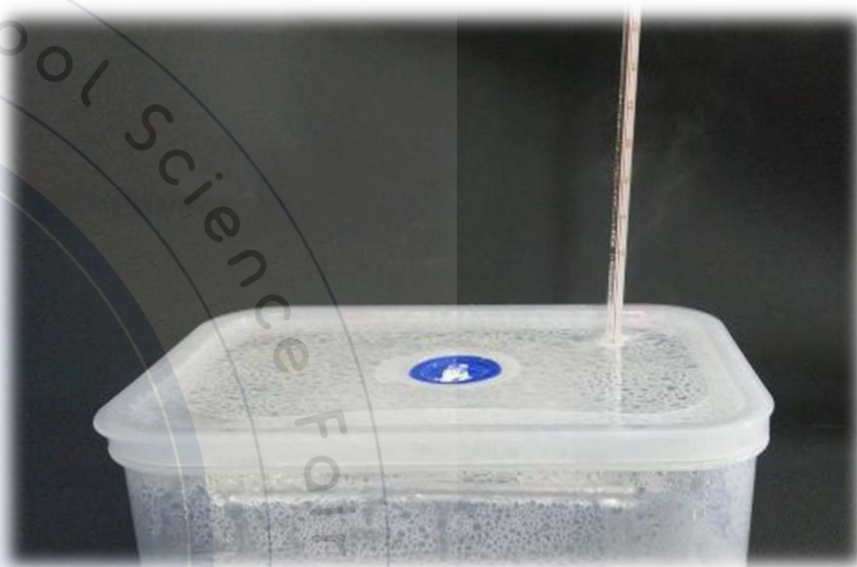
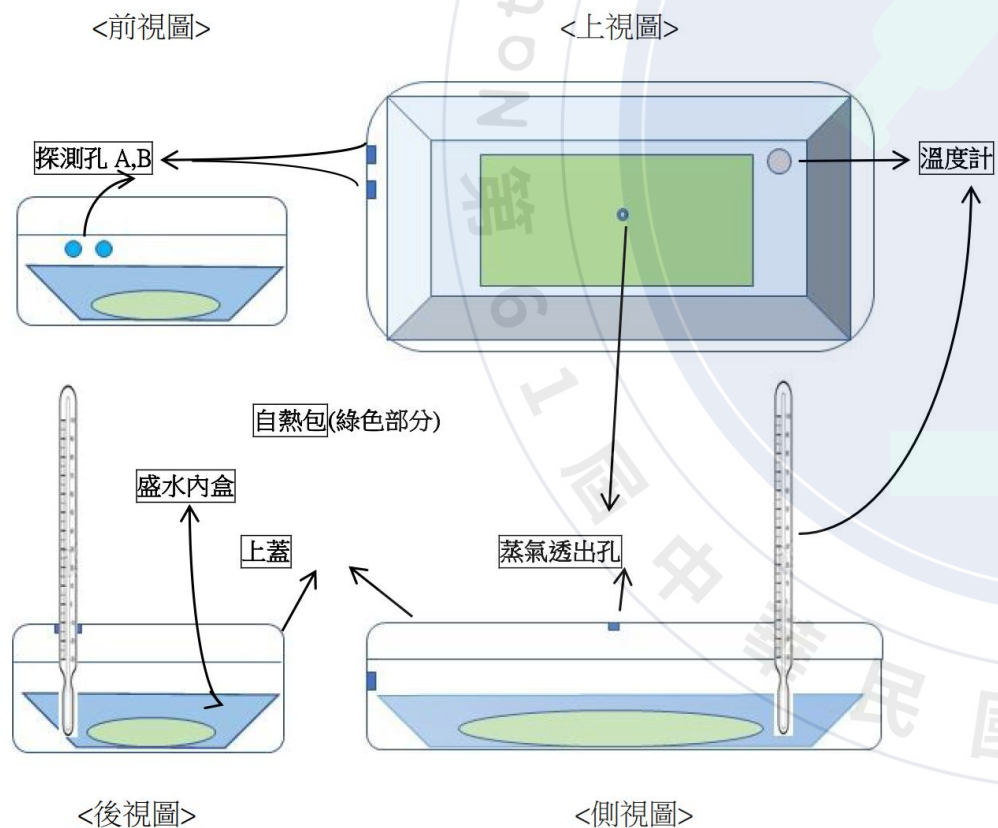


二、研究方法

(一)、文獻探討

1. 歷屆科展：僅「自熱可熱—自動加熱便當盒 DIY」相關。
2. 文獻資料：無法得知自熱包確切成分比例，僅能從中得知有生石灰粉以及金屬粉(部分網路文章指出是鋁粉)

(二)、測定工具設計



二、研究方法

(三)、實驗流程

1

研究一 市售自熱包的最佳使用水量
1-1 市售自熱包的最佳使用水量
1-2 不同質量市售自熱包的加熱效果



2

研究二 市售自熱包的成分探究
2-1 市售自熱包所含金屬粉末確認
2-2 實測自製自熱包添加鋁粉比例



3

研究三 自製自熱包研究
3-1 實測自製自熱包
3-2 自製自熱包不同包材影響
3-3 其他添加物的影響



4

研究四 自熱包的安全性研究
4-1 自熱包爆炸可能成因
4-2 自熱包消除氫氣的可能方法

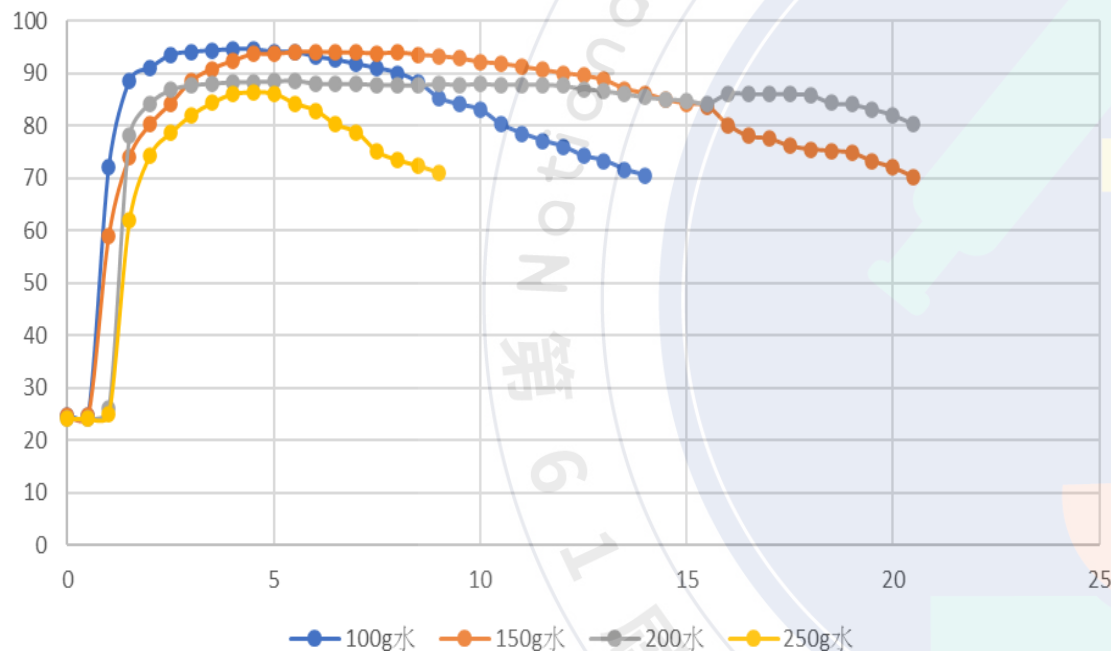


三、研究結果

研究一 市售自熱包的最佳使用水量

(一)實驗1-1市售自熱包的最佳使用水量

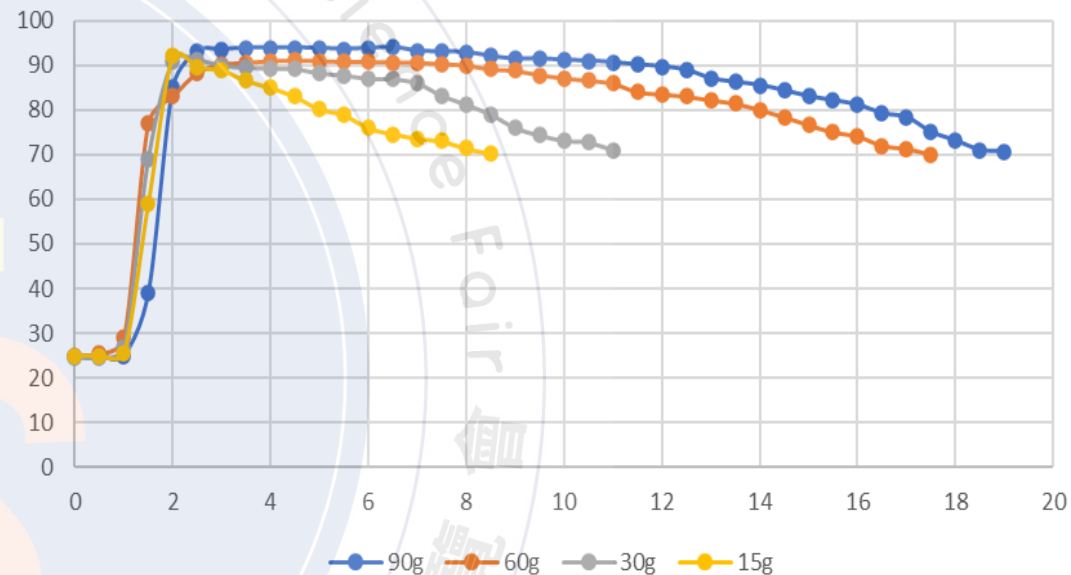
市售自熱包(80g)加入不同量的水其溫度(°C)與時間(分)



1. 加250g水時無劇烈的蒸氣冒出，但有白色煙霧自滲出孔及探測孔B中溢出，另三組蒸氣最劇烈時間點以箭頭呈現。
2. 加入200g及250g水無法能讓加熱溫度突破90°C，加入100g水則最快使溫度上升，但維持70°C僅能14分鐘。
3. 完成測量後，僅250g水反應後鋁製內盤留有剩餘水分。將另三組烘乾，紀錄反應前後質量差異如右表。

(二)實驗1-2不同質量市售自熱包的加熱效果

不同質量市售自熱包加固定比例水其溫度與時間圖



1. 以雙層不織布包裝的不同質量市售自熱包，都可以用實驗1-1中「粉水比」8:15的比例，最高水溫都相近，唯一差異是保持在70°C的時間長度。
2. 15g的那一組是唯一蒸氣溫度低於水溫的一組
3. 四組大量產生蒸氣的時間都落在約1.5分。

	反應前	反應後	質量增加百分比
加入100g水	83.5	103.3	+23.8%
加入150g水	82.7	122.5	+48.1%
加入200g水	84.3	169.0	+101.1%

三、研究結果

研究二 市售自熱包的成分探究

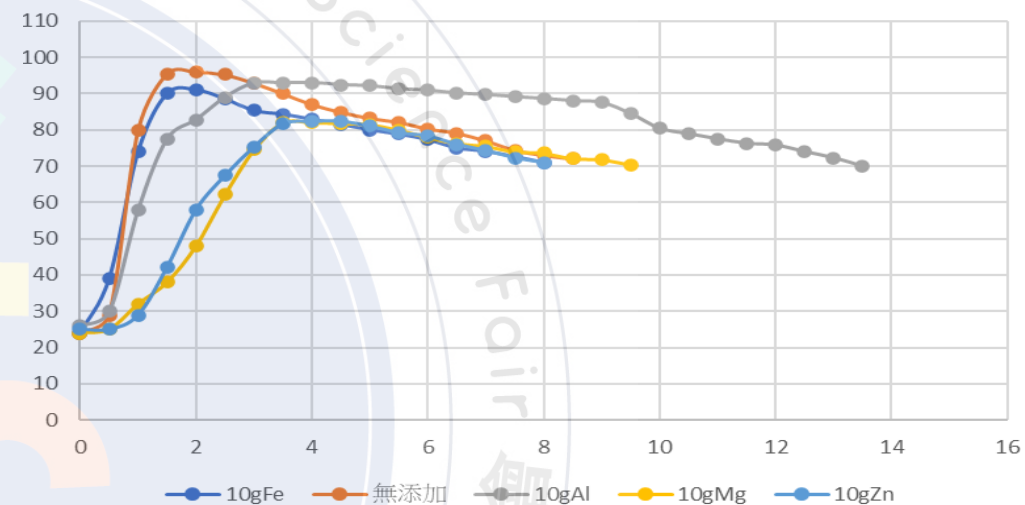
(一)實驗2-1市售自熱包中所含金屬粉末之確認

- 1.外觀：剪開市售自熱包，與生石灰比較，發現自熱包成分粉末顏色較深，且似乎有不同顏色粉末相混合。
- 2.以3M鹽酸10mL檢測：生石灰粉無反應，略為發熱；市售自熱包成分粉末則冒氣泡，另以點燃之火柴測試，管口有爆鳴聲，推測其中有可燃的氫氣產生。
- 3.先前的文獻和部分的網路資料顯示，市售自熱包成分粉末含有金屬粉末，也有文獻指出為鋁粉，不管是哪一種金屬粉末，那必然能和稀鹽酸作用產生氫氣，我們在理化課學過常見有鎂、鋅、鋁、鐵等。



(二)實驗2-2以石灰添加定量不同金屬粉作自熱包

以石灰添加定量不同金屬粉作自熱包

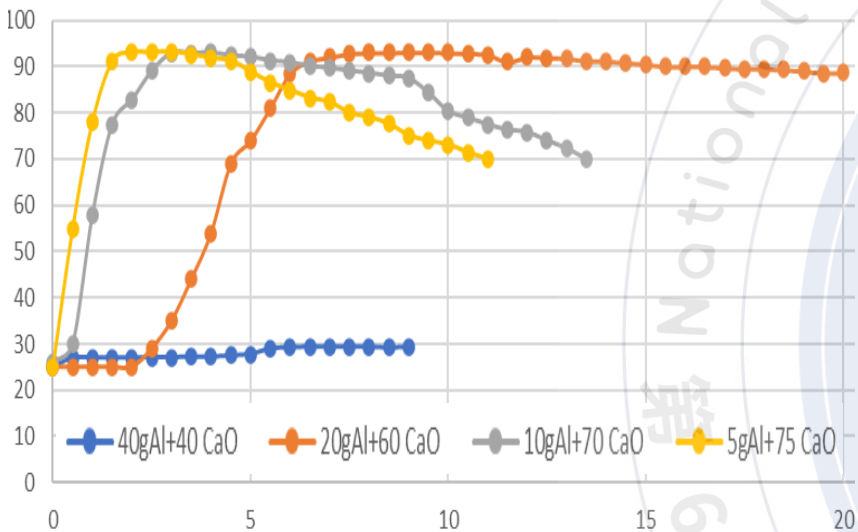


- 1.由實驗數據圖形可以看出無添加對照組的水溫最高，蒸氣溫度亦然。
- 2.添加10g鎂粉、鋅粉、鐵粉的三組，均在10分鐘內即降溫至70°C，**只有鋁粉添加的組別，能維持相對高溫。**
- 3.添加10g鐵粉組溫度陡升的情況類似對照組，另本次實驗僅10g鋁粉添加組及無添加對照組在加熱1分鐘時有大量蒸氣生成。

三、研究結果

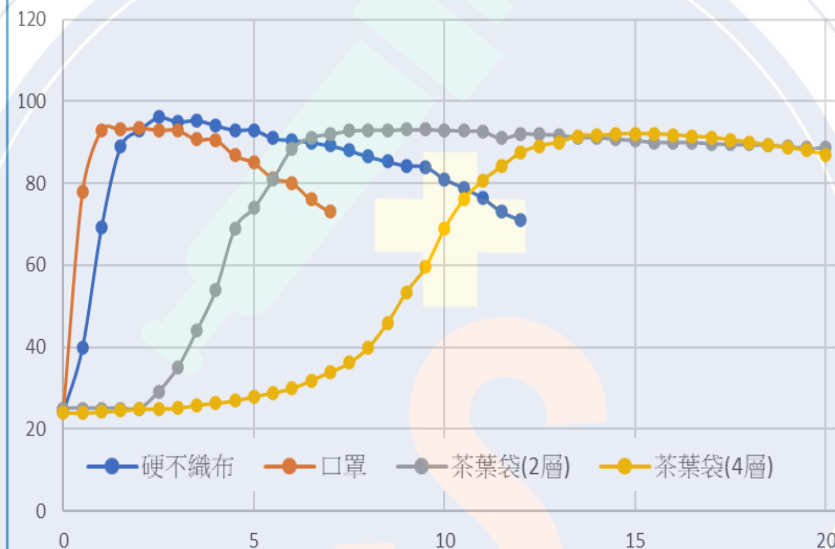
研究三 自製自熱包研究

(一)實驗3-1 自製自熱包_鋁粉石灰比
實作自熱包_不同的鋁粉與石灰比例



1. 由圖形可以看出加5g, 10g鋁粉的組合，加入水後溫度陡升非常明顯，但維持70°C以上的時間也相對短暫。20g鋁粉組別能長時間維持在90°C附近。
2. 數據顯示少量鋁粉並不影響其最高水溫或蒸氣溫度。
3. 鋁粉/生石灰各半無法讓溫度上升，也無蒸氣噴出。

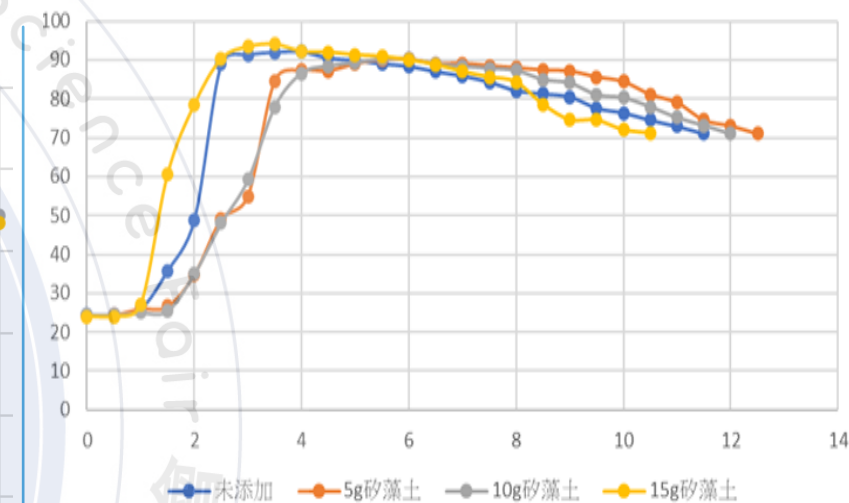
(二)實驗3-2 自製自熱包_不同包材
自製自熱包(80g)_不同包材



1. 我們選用不同不織布材質，運用保麗龍膠和釘書機，完成各種封裝的自製自熱包。
2. 除塵紙不織布孔徑太大，捨棄實驗。
3. 其中加熱曲線較接近市售自熱包的包材的是茶葉袋不織布(2層)，不會在加水初期溫度暴衝，也不至於像茶葉袋不織布(4層)，加熱曲線過於緩和且向後延伸。

(三)實驗3-3自製自熱包_其他添加物影響

小自熱包_添加不同比例矽藻土



1. 先前實驗中曾經發生自熱包包材破裂，我們添加5g、10g、15g的矽藻土，藉由矽藻土的吸水性，固定整個包裝。
2. 實驗發現添加了矽藻土並未大幅改變其加熱曲線(與對照組相比)，但反應完後表面水分較多，有黏膩感，另15g矽藻土組也並未破裂。

三、研究結果

研究四、自熱包的安全性探究

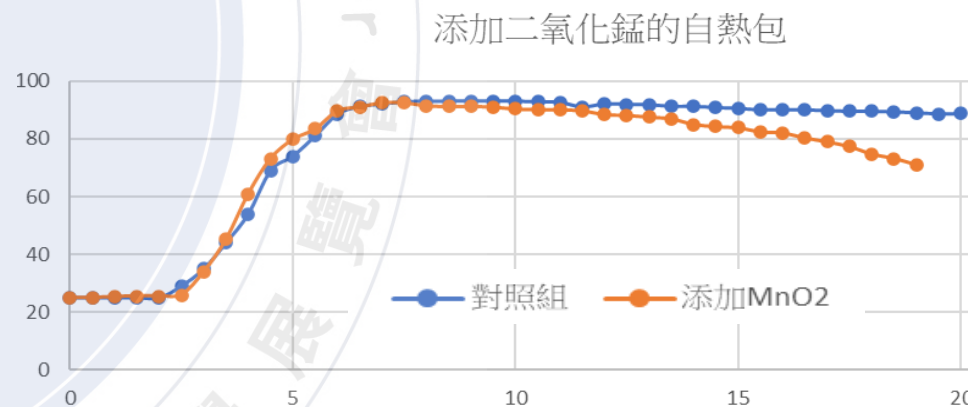
(一)實驗4-1自熱包爆炸之新聞可能成因

- 1.在多次實驗下，我們發現可以密封的PP盒在自熱包發熱期間，蒸氣僅能由蒸汽透出口和探測孔A,B洩出，**如果將蒸氣透出口塞住，整個容器將有爆裂的可能性。**
- 2.除上述爆裂可能，另一種則是自熱包產生可燃氣體而消費者不自知。為了進一步檢測這個可能性，我們以最佳配方實作自熱包，在測量溫度達90°C區間，由探測孔B接三通及針筒，**分5次抽取其中蒸氣，以火柴檢驗(圖5-5)，有爆鳴聲音以記號○表示(見右下表)**



(二)實驗4-2自製自熱包消除產生氫氣的可能方法

- 1.搜尋資料，發現乾電池內部的二氧化錳(MnO₂)當作去極劑，可以除去反應中產生的氫氣，於是我們將5g二氧化錳加入最佳配方自製自熱包，重複實驗4-1。觀察兩組的加熱曲線，添加5g的二氧化錳的自熱包，跟對照組並未有太大的變化，故**添加二氧化錳不至於影響自熱包效能。**
- 2.添加二氧化錳的自熱包，在高溫區間抽取的蒸氣，5次中有3次無爆鳴聲。(見下表)



自熱包在高溫區間的氫氣檢測

次別	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次
對照組	○	○	○	○	○
加MnO ₂	×	○	×	×	○

四、解釋與討論

一、市售自熱包產生熱是將水溫提高，產生較高的水蒸氣壓，利用水蒸氣將熱傳輸到被加熱物，所以需要讓反應持續一段時間，而不是瞬間將反應熱釋放出來將水沸騰。水蒸氣壓隨溫度升高而增加，可由下列方程式描述：

$$P = \exp(20.386 - 5132/T) \text{ mmHg}$$

自熱包反應、冷卻後都有**變硬、變重、膨脹**的現象，質量最多可增加超過一倍(+101.1%)。生石灰加水反應如下：



以80g自熱包為例，其中若含有60g生石灰(自製自熱包的比例)，反應需用掉的水計算：

$$60 \div 56 \times 1 \times 18 = 19.28\text{g} \quad (\text{CaO}=56, \text{H}_2\text{O}=18)$$

亦即只需要20g不到的水就能與生石灰反應，但我們加入的水量卻遠遠多過於此，除了讓水過量、石灰當作限量試劑完全反應外，主要是反應放出大量熱，讓水汽化成水蒸氣。

$$60 \div 56 \times 15540 = 16650 = 16.65 \text{ kcal}$$

以加入的最佳比例25°C, 150g水為例，完全變成93°C的水需要：

$$\Delta H = m \times s \times \Delta T = 130 \times 1 \times (93 - 25) = 8840 = 8.84 \text{ kcal} \quad (\text{反應用去} 20\text{g水, 剩} 130\text{g})$$

上述計算可知生石灰遇水產生熱，若整個過程最高水溫大概都在93°C，還有7.81kcal的熱(16.65-8.84=7.81 kcal)讓水變成高溫蒸氣。當然，**自熱包的目的是維持有這樣的水溫，讓水汽化成水蒸氣**，以加熱食材。所以充足的水量是必要的，但也不能太多，**最好在完成加熱前水剛好用完**，所以自熱包的「粉水比」有其重要性，尤其在發展其他尺寸包裝的自熱包時。

四、解釋與討論

二、值得關注的是，我們在一系列研究之下，發現這個**鋁粉：生石灰=1：3質量比**的組合，**搭配「粉水比」=8:15**竟然可以維持90°C以上的時間將近16分鐘，且總重只有80g，效能已經超越90g市售自熱包(見實驗1-2)

三、鋁粉在自熱包中扮演的角色值得討論。因為既然光用石灰搭配適合的粉水比，即可達到95°C以上高溫(實驗2-2)，那何必添加成本相對較貴的鋁粉？鋁是在酸中和在鹼中都能作用的「兩性金屬」，能**溶在強鹼溶液中生成鋁酸鈉，產生氫氣，放出熱量：**



也很容易氧化並和熟石灰作用： $4\text{Al} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3$



生石灰反應之後所產生的**熟石灰**，可以**接續和鋁粉持續作用，持續放出熱量**，這能解釋實驗2-2中，生石灰自熱包雖然可以達到相對高溫，卻無法持續維持高溫，加熱曲線在在高溫出現後，無法出現一段「高原期」，自然較不適合做為自熱食品的熱源。

四、自熱包作用的同時，**伴隨著氫氣的形成**(實驗4-1)。因此我們搜尋了一些文獻和科普網站，不外乎使用其他金屬或金屬氧化物的活性來消除氫氣。但我們已找出鋁粉：生石灰=1：3質量比的組合，加熱效果甚佳，不想再以其他配方影響效能。此時，乾電池內部的反應給了我們靈感。乾電池正極反應(陰極)上發生的還原作用，產生氫氣：



氫氣的產生會讓電極上的反應速率減慢，加入的二氧化錳扮演「去極劑」的角色，消除電極上產生的氫氣。**加入二氧化錳自製的自熱包，雖然無法完全消除氫氣，但至少應有消除部分氫氣的效果。**

五、結論與展望

- 一、由研究一可知，市售的自熱包不會有指示告知我們須加多少水(如果是在大包裝內，則在容器中有加水的水位線)。這對於使用者來說會造成加太多、太少水導致加熱效果不足，或溫度遽升造成危險，我們研究出市售自熱包在完全平放、可沒入水的情況下，「粉水比」=8:15，此時加熱效果最佳。製造商也可參考其加熱曲線，針對加熱需求製作其他大小的自熱包。
- 二、自熱包的主要成分應為生石灰和鋁粉，在相同成分組成、相同包裝的條件下，且加入的水量需淹過自熱包的前提下，其設計以生石灰為主體，但如果單純100%只用生石灰，發現所加熱的水溫度及蒸氣溫度雖然夠高，但無法延續高溫。
- 三、以各種金屬粉末加入自熱包，在控制自熱包生石灰總量的情況下，發現加入鋁粉的自熱包可使水溫上升最高，蒸氣溫度也最高；進一步調整生石灰與鋁粉比例，當生石灰與鋁粉質量比為3:1時，加熱溫度最高，同時維持在80°C高溫時間最久。
- 四、透過研究三，我們發現包材也會影響自熱包的加熱曲線。在市面上可購得的不織布樣本中，茶葉袋不織布(2層)加熱區線最接近市售自熱包。另加入其他添加物的測試，除活性碳顆粒太小無法實驗，加入矽藻土對加熱曲線影響程度小，也有固定的粉末功能，缺點是量多(15g)時反應完後表面有濕滑黏膩感。
- 五、自製的自熱包在反應高溫區(90°C)確實會產生氫氣，而加入二氧化錳能減少氫氣的生成，不過在本研究過程中尚無法完全除去氫氣。

五、結論與展望

- 六、這次研究除了探測孔A蒸氣高溫部分採用LM35溫度感測裝置接上電腦測量，溫度曲線的繪製依然是利用傳統人工方式目視溫度計測量。除了較容易產生誤差之外，其實需要兩人同時一邊看著碼表、一邊盯著溫度計做實驗。未來若我們的寫arduino的能力好一些，或許可讓電腦定時自動紀錄溫度資料，並擷取整個過程最高溫，也可增加實驗的精準度。
- 七、本研究主要針對自熱包內部成分並在限定條件(平放且調整盛裝自熱包容器大小使水能淹過自熱包)反應下實驗，知道了自熱包的在這些條件下的加熱曲線後，或許之後可以針對自熱包在惡劣條件下(如美軍公發MRE以密封袋盛裝而非盒裝食材，或以極少水量誘發反應)、在極限(低溫、高海拔)的環境中，如何正常發揮加熱功能。

六、參考資料

- 一、國中自然科學二下(2021)。第三章、電解質。翰林出版
- 二、以牡蠣殼作為自熱調理食品用自發熱源之初探(2020)。水事專訊2020，3月號
- 三、自熟可熱—自動加熱便當盒DIY(2008)。第48屆全國中小學科展作品。
- 四、楊禮義(2008)。由碳鋅乾電池中的二氧化錳得到的啟示。科學教育月刊(310期)
- 五、方金祥(1998)。微型化學實驗之設計與製作。高雄復文。