中華民國第55屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組　化學科

佳作

080212

以『爆』制爆~ 玩具地雷包也能變成滅火器

學校名稱：桃園市立永順國民小學

作者：	指導老師：
小六 魏本伃	賴美娟
小六 黃芃嫣	王秋雯
小六 袁紹翔	
小六 林筱茜	
小六 黃威哲	
小六 邱晉笙	

關鍵詞：高雄氣爆、地雷包、熱虹吸效應

摘　　要

2014 年 7 月 31 日晚間發生震撼全臺的高雄氣爆令人觸目驚心，於是身為小學生決定要做這方面的研究。

在研究中我們利用玩具地雷包模擬氣爆機制，找出地雷包的材料為檸檬酸水溶液及小蘇打粉，之前 45 屆科展作品利用氣球測定爆炸威力，但不明顯，所以我們用油罐車注射器效果奇佳，知道檸檬酸、小蘇打粉及水之間爆炸威力效果最佳比例，發現爆炸後會產生二氧化碳，可以降溫效果，達到滅火效果。

在管道斜率 90 度爆炸效果次佳、但使用材料最少，管道形狀 I 型> L 型>U 型>O 型>S 型，I 型的膨脹效果最好。

利用***熱虹吸效應***及***滅火原理***等完成了**感溫變色地雷包滅火器**的設計並實際滅火，其中考慮到了*地雷包滅火器的比例*、*感溫變色示警機制*、*感溫變色裝置及放置位置*、防災*管道配置原則*等因素，設計出**隨身型滅火器**及**智慧型滅火裝置**，完成一棟**智慧型測溫防災建築**。

【關鍵字】高雄氣爆、地雷包、熱虹吸效應

先找到可以模擬氣爆機制

心智圖討論研究方向

實際執行研究、不斷失敗

用氣球測爆炸效果不好

利用油罐車測定氣爆威力

注射筒注入檸檬酸水溶液

在管道間爆炸情形

不同酸性溶液代替檸檬酸

完成氣爆模擬裝置

壹、研究動機

2014 年 7 月 31 日晚間發生震撼全臺的高雄氣爆事件，釀成嚴重死傷，現場滿目瘡痍，令人觸目驚心，坐在電視機前面的我，不由得哽噎難言。最近各地也接連傳出瓦斯外漏的氣爆事件，令人恐慌失措。但也暗自思索，是否可讓災害變降低一些？剛好校內正在探討地雷包的原理及應用，我們便利用這一個原理製作簡便又有效的滅火工具。

＊相關單元：南一版自然與生活科技五上第三單元~空氣與燃燒

貳、研究目的

一、探討最適合模擬氣爆的機制及測定爆炸威力的工具。

二、找出最佳爆炸威力的地雷包~小蘇打粉、檸檬酸、濃度。

三、針對不同變因造成氣體爆炸的情形~傾斜度、形狀、容積。

四、利用感溫變色鼻涕蟲地雷包爆炸製作滅火工具。

參、研究設備及器材

【表 1】研究器材及藥品

實　驗	研　究　器　材　及　藥　品
實驗一	小瓶可樂四瓶. 曼陀珠一條(十四顆). 五十元硬幣一枚. 皮尺一條. 水火箭發射器. 夾鏈袋.（以下實驗都有使用檸檬酸溶液及小蘇打粉，不再贅述）
實驗二	碘液. 醋. 市售地雷包. 水. 杯子. 剪刀. 酸鹼指示筆
實驗三	白醋. 烏醋. 可樂. 雪碧. 柳橙汁. 錐形瓶一個. 圓形氣球一個. 廣用試紙
實驗四	夾鏈袋. 科學麵包裝. 量筒. 保鮮膜. 錐形瓶. 氣球. 塑膠管. 糯米紙. 自製油罐車. 酒精燈
實驗五-七	木尺六把. 自製油罐車一個. 溫度計. 酸鹼指示筆. 針筒一個. 絕緣膠帶. 量杯
實驗八	塑膠管一個. 美工刀一個. 黏土. 氣球一個. 糯米紙. 量角器. 塑膠管. 絕緣膠帶. 氣球
實驗九	球瓶. 錐形瓶. 可樂罐. 量筒. 氣球. 塑膠管
實驗十	不同長短的水管. 不同管徑的水管. 氣球一個
實驗十一	膠水. 硼砂. 感溫粉. 量杯
實驗十二	塑膠管. 人工草皮. 自製房子模型. 感溫變色鼻涕蟲. 泥土. 紙箱. 養殖箱. 壓克力片

肆、研究過程與方法

一、我們的研究過程如下：

【表 2】 研究流程圖

文獻探討
- 高雄氣爆的成因
- 市售地雷包的組成
- 滅火器的原理

尋找研究對象
- 高雄氣爆的發生原因是什麼？
- 市售地雷包是利用什麼原理？裡面有什麼材料？
- 可否利用市售的地雷包模擬氣爆知道該如何讓氣爆傷害降到最低？
- 市售地雷包中的小蘇打粉是乾粉滅火器的主要成分，那是否也可以協助滅火？

動手做做看吧！

尋找研究對象
如何讓氣爆傷害降低

確定研究主題
以「爆」制暴

【研究前調查】高雄氣爆的爆炸情形

進行研究

【實驗一】設計模擬氣爆的機制~地雷包或汽水火山

【實驗二】市售地雷包的基本原理及材料分析

【實驗三】用不同材料製造地雷包~隨手可得的地雷包

【實驗四】測定爆炸威力比較之工具發展

找出研究方向 地雷包爆炸氣體威力比較

【實驗五】不同比例的地雷包爆炸威力比較~不定量的小蘇打粉

【實驗六】不同比例的地雷包爆炸威力比較~不定量的檸檬酸水溶液

【實驗七】不同濃度的地雷包爆炸威力比較~不定量的濃度

【實驗八】不同傾斜度管道爆炸威力比較

【實驗九】不同形狀管道爆炸威力比較~不同形狀的容器與彎曲形狀的塑膠管

【實驗十】不同容積管道爆炸威力比較~不同口徑與長短的塑膠管

【研究中思考改進】危機變轉機~地雷包能不能變成滅火器？

【實驗十一】
滅火裝置~隨身型地雷包滅火器

【實驗十二】滅火裝置~智慧型防災建築感溫變色地雷包滅火器

歸納統整進行結果推論

以『爆』制爆 ~玩具地雷包也能變成滅火器

二、調查工作

(一) 文獻探討：

1. **市售地雷包原理：**

地雷包外袋的液體，呈現酸性反應；內袋粉末呈鹼性反應，應是利用酸鹼中和原理，把所有的酸用完，所以袋子內外都沒有呈酸性反應，進行酸鹼中和反應產生二氧化碳，撐破塑膠袋時所發出的劇響。爆炸後的地雷包內有些許的鹼性粉末殘留，過量的鹼性粉末有助於將所有的強酸溶液中和，留下少許的弱鹼粉末，以增加地雷包遊戲的安全性。從日常生活中的酸中發現，40%檸檬酸溶於水中無刺鼻酸味，且在相同的條件下其產生的二氧化碳氣體比其他酸液多；而 40%醋酸、60%醋酸及 30%檸檬酸其產生的二氧化碳的量也高於市售地雷包。而就鹼性物質而言，小蘇打粉是最適合用於製作地雷包的鹼性粉末，因小蘇打粉可完全溶解於水中，且爲弱鹼，當進行酸鹼中和時，其所需要的酸性溶液會比強鹼來的少，其產生的二氧化碳的量比其他碳酸鹽來的多。

2. **高雄氣爆：**

高雄氣爆釀成嚴重死傷，專家指出，消防人員第一時間灑水的作法是正確的，只是當時空氣中的丙烯濃度已太高，水霧無法稀釋淡化，且推測「路面下方已失火」，才會一發不可收拾。中興大學教授李茂榮指出，丙烯在空氣中含量超過百分之二，就會開始燃燒，濃度達百分之十一以上時會爆炸。民眾發現地下開始冒煙時，「很有可能當時的路面下方已經失火」，火勢的濃煙冒出地表，路面下的氧氣越來越少，二氧化碳氣體濃度越來越高，加速爆炸。李茂榮解釋，氣體和空氣作用之後**「先燃燒、後爆炸」**，燃燒之後產生的二氧化碳也是氣體，濃度一高就會瞬間「氣爆」。

3. **熱虹吸效應**(thermocapillary)：

熱虹吸，指的是一種以自然對流的方式所進行的熱交換，不需要任何幫浦的協助，其主要目的在於減少花費，並簡化使用傳統液體幫浦產生強迫對流的複雜性。簡單的熱虹吸指的是當液體被加熱時，物體受熱後體積膨脹、密度降低，所產生的浮力比低溫的液體大，導致高溫液體向上流動，對流就產生了。當高溫液體向上移動時，連帶的將熱量向上帶走，周圍低溫的液體跟著流動、進行補充。在許多狀況中，液體的流動是相當容易的，因爲熱虹吸會設計成具

有相當低的水力阻力（hydraulic resistance），也就是液體流動的阻力不大。熱虹吸並不是熱管。熱虹吸有時被誤認爲是「利用重力讓液體回流的熱管」（熱管主要利用毛細現象讓已蒸發且冷卻後的工作液體回流），但對熱虹吸而言，是否利用重力讓液體產生循環流動並非必要。熱管可在沒有重力的情況下產生熱的轉移或傳遞，因此可在太空中使用熱管；但熱虹吸，在某種意義下，比熱管更簡單。熱虹吸只能將熱往上傳遞(因爲液體受熱只會向上流動)，或與該系統的加速度方向相反（如果系統的加速度向右，產生的假想力向左，類似有一個向左的人造重力，則受熱的液體只會向左移動），但熱管則沒有這樣的限制。熱虹吸管爲一常見之傳熱裝置，熱傳性能良好，多應用於熱交換器。其熱傳性質會隨著**傾斜度**、**內部結構**與**液體填充量**等因素而改變，如果經過適當的調整，可使傳熱效能增強。

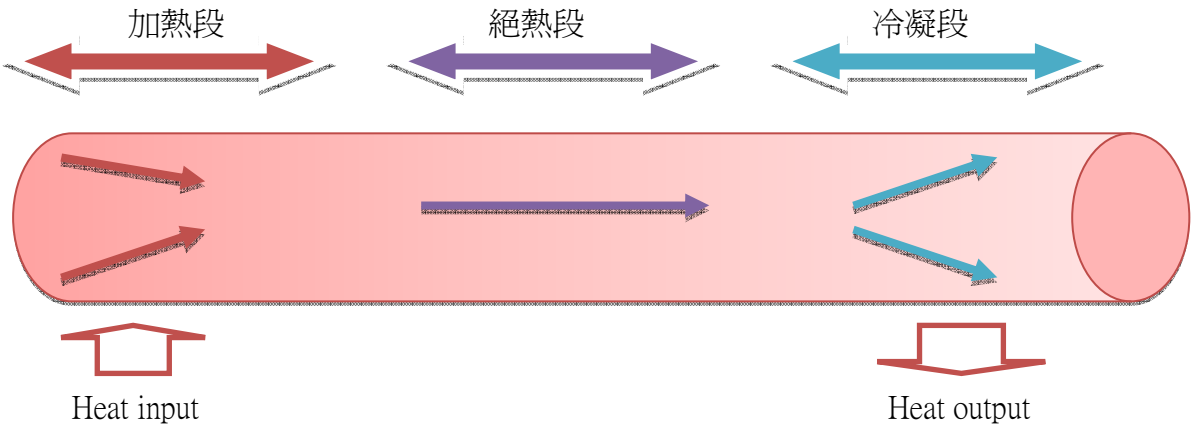


圖 1 熱虹吸管結構示意圖

4. **乾粉滅火器滅火原理：**

乾粉滅火器填充原理是於可容納高壓的瓶身中，填充小蘇打粉，即碳酸氫鈉（$NaHCO_3$）爲主成分藥劑，並填充一定比例高壓氮氣，以便撲滅火災時加壓，乾粉射出時，會將大量碳酸氫鈉乾粉噴向火源，在可燃物上覆蓋厚實乾粉以隔絕空氣。此外，碳酸氫鈉遭遇火焰高溫時，也會分解釋放大量二氧化碳、水蒸氣及比重較空氣重的不助燃氣體，降低火源周圍空氣中氧氣濃度，迅速抑制燃燒作用。滅火器原理是利用高壓來滅火，壓下把手後，當瓶內壓力大於外界壓力，乾粉就會往外衝滅火，而台灣是採取日規以磅爲單位計算乾粉容量，隨乾粉多寡，滅火器射程、射速也有所差異。

(二) 尋找研究對象：

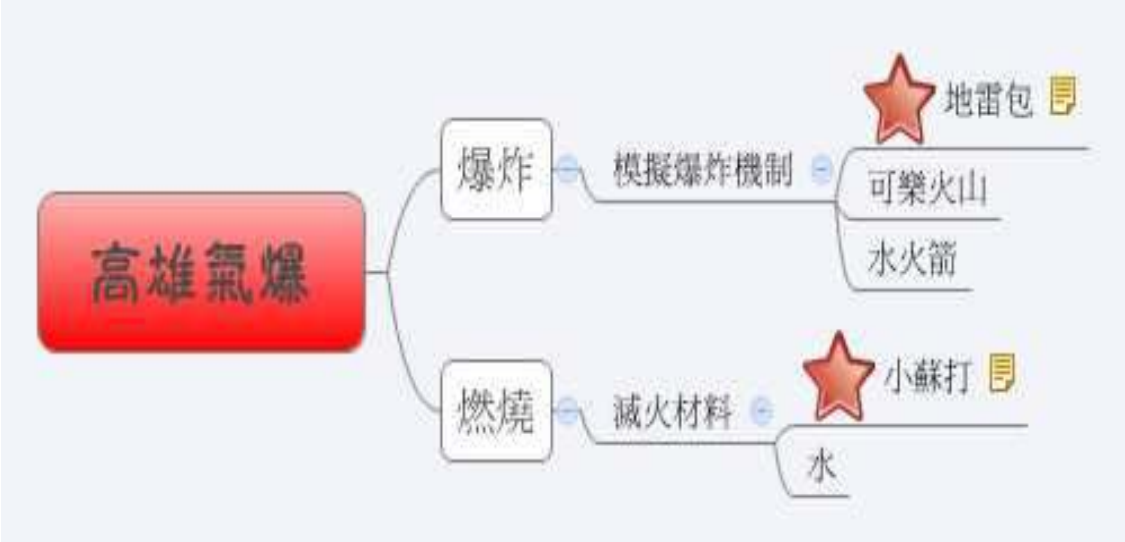


圖 2 氣爆安全觀察對象心智圖

(三) 研究中調查：**滅火原理~小蘇打粉可以滅火**

(四) 確定研究主題：**以『爆』制爆 ~ 玩具地雷包也能變成滅火器**

(五) 分析，進行結果推論：

【實驗一】設計模擬氣爆的機制~地雷包或汽水火山

【實驗二】市售地雷包內容物分析

【實驗三】用不同材料製造地雷包~隨手可得的地雷包

【實驗四】測定爆炸威力比較之工具發展

【實驗五】不同比例的地雷包爆炸威力比較~不定量的小蘇打粉

【實驗六】不同比例的地雷包爆炸威力比較~不定量的檸檬酸水溶液

【實驗七】不同水量的地雷包爆炸威力比較~不定量的水溶液濃度

【實驗八】不同傾斜度管道爆炸威力比較

【實驗九】不同形狀管道爆炸威力比較~不同形狀的容器及彎曲方式塑膠管

【實驗十】不同容積管道爆炸威力比較~不同口徑與長短的塑膠管

【實驗十一】滅火裝置~隨身型地雷包滅火器

【實驗十二】滅火裝置~智慧型測溫防災建築(感溫變色地雷包滅火器)

伍、研究結果

【實驗一】 設計模擬高雄氣爆狀況的機制~地雷包或汽水火山

一、實驗前思考預測：如氣爆有燃燒與爆炸，選擇「爆炸」作爲研究方向(因爲燃燒較危險)。

二、實驗過程與結果：

【表 3】設計模擬高雄氣爆狀況的機制~地雷包及汽水火山

	地雷包		汽水火山
	小蘇打粉+檸檬酸水溶液		可樂+曼陀珠
爆炸原理	水火箭發射器 產生二氧化碳速度過快而爆發	塑膠袋(夾鏈袋) 產生二氧化碳速度過快而爆發	曼陀珠讓可樂中的二氧化碳快速釋放而爆發
威力	無	強	強
優點	軌道固定	效果立即可見	效果立即可見
缺點	未爆發，因爲二氧化碳會透過縫隙而漏氣	較爲類似氣爆，只是少了燃燒現象	可樂也爆炸出來，場面難以收拾 跟高雄氣爆現場氣體爆炸不相同
總結	1. 我們覺得使用汽水火山雖然噴發效果良好，但模擬不像高雄氣爆，反而地雷包比較像是沒有燃燒現象的氣爆，如果加以運用，可以在實驗室中完整模擬氣爆現場。 2. 本來想利用水火箭發射器可以完整紀錄爆炸威力，結果沒想到完全無法爆炸。		

【實驗一 A】 設計模擬氣爆狀況的機制~地雷包

將 10g20%檸檬酸水溶液放在 2 號夾鏈袋中

再放入 4 號夾鏈袋裝 4g 小蘇打粉。

將該裝置置入水火箭發射器中組裝完成

發射後發現無法爆發

將 20%檸檬酸水溶液放在 2 號夾鏈袋中，

分別裝 10g、20g、30g、40g 四袋

再放入 4 號夾鏈袋裝 4g 小蘇打粉。

放置在草地上觀察爆炸現象。

【實驗一 B】 設計模擬氣爆狀況的機制~汽水火山

準備實驗器材

六瓶可樂 250mL

分別加曼陀珠 1~6 顆

觀察並紀錄爆發情形

三、實驗討論：

根據實驗結果，我們決定使用地雷包作爲實驗主體，並開始研究地雷包的各項特質。

【實驗二】 市售地雷包內容物分析

一、實驗前思考及預測：地雷包內到底有哪些物品？我們拆開來後發現是外袋是液體，內袋是白色粉末，查詢網路資料後知道，應該是檸檬酸與小蘇打粉，但還是要確實證明一下。

二、實驗過程與方法：

1.我們購買檸檬酸與小蘇打粉末與地雷包內物質進行比較 100mL 溶液重量、外觀、鼻嗅氣味、飽和溶液濃度及酸鹼性，將比較結果記錄於下列表格。

三、實驗結果：

【表 4】檢測玩具地雷包的內容物~測定未知溶液及粉末性質

特質	100mL 溶液重量	肉眼外觀	鼻嗅氣味	飽和溶液濃度	飽和溶液 pH 值	碘液測試(維他命 C)
市售檸檬酸飽和溶液	80g	白色透明顆粒狀，溶解後透明無色	沒有味道	50%	1.1	由深咖啡色變爲淡黃色
玩具地雷包內袋溶液	76g	透明無色	沒有太特殊的氣味	47.5%	2.0	由深咖啡色變爲無色
市售小蘇打	95g	白色粉末	沒有味道	47.3%	8.5	
玩具地雷包外袋粉末	101g	白色粉末	沒有味道	41.2%	8.8	

註：玩具地雷包的溶液及粉末濃度爲上網查詢到的數據。

四、實驗討論：

可以發現檸檬酸飽和溶液與地雷包內裝溶液兩者性質相當接近，小蘇打粉與外袋粉末亦相似，可以確定地雷包內的材料應該爲檸檬酸及小蘇打粉，與我們上網查詢到的資料吻合。

【實驗三】 用不同材料製造地雷包~不同內容物

一、實驗前思考及預測：那不同材料也可以製造地雷包嗎？地雷包利用酸鹼中和製造二氧化碳，其他的酸性溶液也可以達到相同效果嗎？

二、實驗方法與設計：

【表 5】 用生活中常見的不同酸性溶液製造地雷包

酸性溶液	檸檬酸	白醋	烏醋	可樂	雪碧	柳橙汁
pH 值	1.6	2.9	3.3	4.4	3.5	4.0

三、實驗步驟：

(一) 將 8g 小蘇打粉倒入錐形瓶內，將 20mL 酸性溶液裝至圓形氣球內。

(二) 將氣球套在錐形瓶口上，還不要將酸性溶液倒進去。

(三) 把圓形氣球快速抬高，讓酸性溶液流進錐形瓶內，紀錄氣球膨脹的情形。

四、實驗結果：

【表 6】 加入酸性溶液觀察氣球是否膨脹之觀察紀錄

酸性溶液	檸檬酸水溶液	白醋	烏醋
第一次	是	是	是
第二次	是	是	是
第三次	是	是	是
研究結果	瓶身搖晃後，一下子就鼓起來，膨脹速度非常快，氣球膨脹大小和小學生的臉相似，爆炸威力最強。	效果不錯，氣球膨脹的速度雖然較慢，慢慢地脹大，大小和足球相似，爆炸威力很強，僅次檸檬酸。	氣球膨脹速度雖然很快，但氣球膨脹並不大，大小大約和成人拳頭相似，爆炸威力與雪碧相比較差。
酸性溶液	可樂	雪碧	柳橙汁
第一次	是	是	是
第二次	是	是	是
第三次	是	是	是
研究結果	效果不太好，氣球才膨脹一些些，大小和橘子相似，爆炸威力很中等。	氣球膨脹的大小第三，大小和樂樂棒球相似，爆炸威力中等。	效果很不好，氣球幾乎沒有膨脹，大小和桌球相似，爆炸威力最差。

【表 7】 加入酸性溶液氣球膨脹之後的球體長寬高及體積

實驗次數	酸性溶液	檸檬酸水溶液	白醋 2	烏醋 4	可樂 3	雪碧 5	柳橙汁 6
第一次	長	12	4.6	3.5	4	3	3
實驗	寬	12	4.6	3.5	4	3	3
	高	15	10	9	7.5	2.5	2
第二次	長	11	5	3.8	4	3.2	3.5
實驗	寬	11	5	3.8	4	3.2	3.5
	高	16	9	9	9	10	9.5
第三次	長	10	4.5	2.5	4.5	5	3
實驗	寬	10	4.5	2.5	4.5	5	3
	高	16	11.7	11	11.5	11	10.5
	長	**13**	**4.7**	**3.3**	**4.2**	**3.7**	**3.2**
平均	**寬**	**12.7**	**4.7**	**3.3**	**4.2**	**3.7**	**3.2**
	高	**12**	**10.2**	**9.7**	**9.3**	**7.8**	**3.2**
	球體體積	**8295**	**943**	**442**	**687**	**447**	**137**

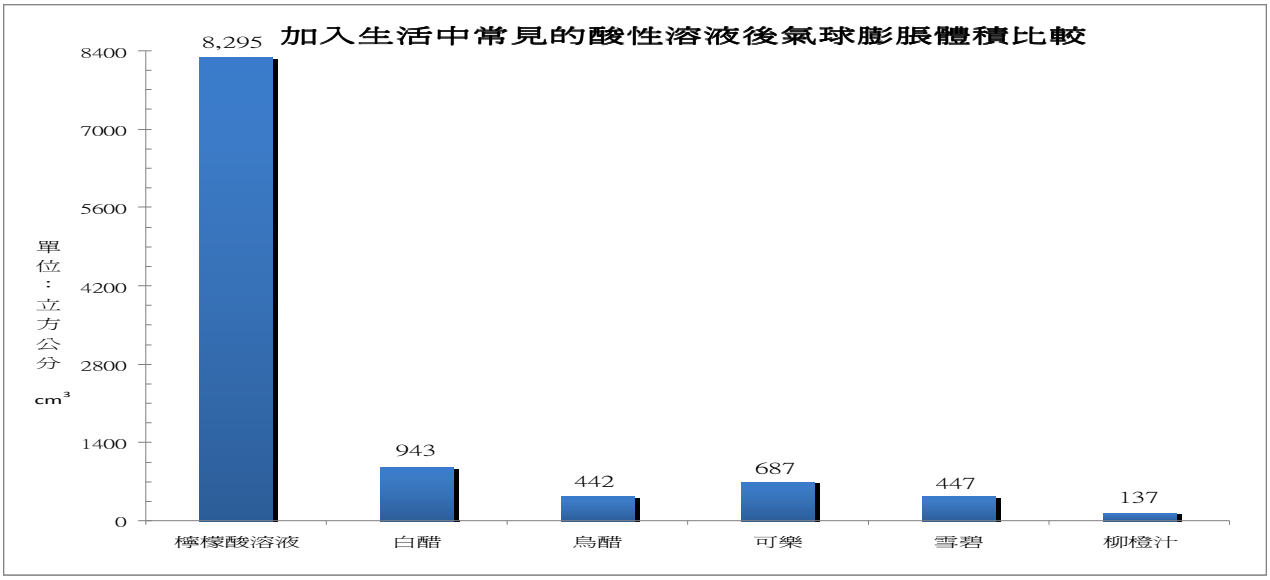


圖 3 加入不同酸性溶液後的氣球膨脹體積

(一) 我們推測酸性溶液的酸鹼值應該會影響氣球膨脹的大小，因爲除了可樂、雪碧以外，其他酸性溶液的酸鹼值越酸，產生的二氧化碳越多。

(二) 加入酸性溶液氣球膨脹由大到小依序爲**檸檬酸＞白醋＞可樂＞雪碧＞烏醋＞柳橙汁**。

(三) 作用後，除了檸檬酸能讓小蘇打粉完全溶解外，小蘇打粉在其他酸性溶液中都有沉澱。

(四) 碳酸飲料(可樂、雪碧)二者平均 508cm^3 與不含二氧化碳飲料(白醋、烏醋、柳橙汁)三者平均 567cm^3 爆炸效果相差不大，所以我們推測**有沒有含二氧化碳影響不大**。

【表 8】 加入酸性溶液氣球膨脹之後的酸鹼值

酸性溶液	檸檬酸水溶液	白醋	烏醋	可樂	雪碧	柳橙汁
第一次實驗	4.3	7.4	8.2	8.6	8.2	7.7
第二次實驗	4.8	7.5	8.0	8.2	8.2	7.8
第三次實驗	4.3	7.2	7.5	7.4	6.8	7.7
平均酸鹼值	**4.5**	**7.4**	**7.9**	**8.1**	**7.7**	**7.7**

【表 9】加入酸性溶液氣球膨脹之後的溫度變化情形（單位℃）

酸性溶液	檸檬酸水溶液	白醋	烏醋	可樂	雪碧	柳橙汁
原來溫度	20					
第一次實驗	9	11	15	15	16	16
第二次實驗	8	16	15	6	18	11
第三次實驗	6	5.1	6.5	5	5	7
平均溫度	**7.7**	**10.7**	**12.2**	**8.7**	**9.7**	**11.3**
降溫效果	最佳		最差			

(一) 每種酸性溶液在加入小蘇打粉後，氣球都有膨脹的情形，溫度也都有降低。

(二) 由於實驗過程中有一支溫度計壞了，我們不得已只好使用另一支溫度計，不知道溫度的數字有點問題是否是這個原因，以後會盡量避免。

(三) 加入酸性溶液溫度相差由低到高依序為**檸檬酸＜可樂＜雪碧＜白醋＜柳橙汁＜烏醋**。

五、實驗討論：

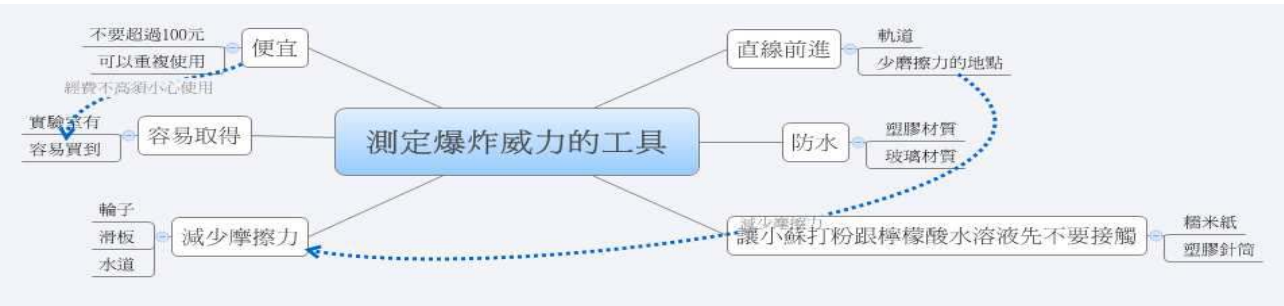
(一) 大部分的酸性溶液加上小蘇打粉都會產生二氧化碳，差別只在產生的二氧化碳量不同，越接近飽和之檸檬酸水溶液所產生的二氧化碳量最大。

(二) **檸檬酸氣球膨脹最大，產生作用後溫度最低，很適合與小蘇打粉搭檔設計滅火工具。**

【實驗四】 測定爆炸威力比較之工具發展

一、實驗前的預測及想法：

（一）要測定到爆炸威力必須要考慮到許多因素，如下面心智圖所示。



二、實驗方法與設計：

我們每個同學都根據討論結果及查詢資料，研發新的測定爆炸威力工具。

三、實驗結果：

夾鏈袋

- 夾鏈袋是我們最初使用的裝置，使要將小蘇打粉倒入小塑膠袋，不封口，再將小塑膠袋和檸檬酸水溶液裝至大塑膠袋中，封緊，放地上搖 搖。

科學麵包裝

- 在網路上查到可以用科學麵吃剩的包裝裝小蘇打粉和檸檬酸，比較不會漏氣。將小蘇打粉和檸檬酸放進袋子後，在用酒精燈封住科學麵包裝帶口。

量筒+保鮮膜

- 量筒+保鮮膜在地雷包裝置發展史是一個的轉捩點，我們將傳統帶裝式地雷包，改善至用管狀容器盛裝的容器。將小蘇打粉和檸檬酸倒到量筒內後，用手壓住保鮮膜。

錐形瓶+氣球

- 錐形瓶+氣球是我們參考歷屆科展的實驗方法，根據書面的說法，效果會非常好，我們決定試試看。在錐形瓶中加入小蘇打粉和檸檬酸，在立刻套上氣球。

水管+兩邊氣球

- 我們找來了半徑一吋（約2.54 cm）的塑膠水管，來模擬氣爆的管線。先在一端套上氣球，在另一端倒入小蘇打粉和檸檬酸，套上氣球。

水管+糯米紙

- 當我們看到歷屆科展關於糯米紙的敘述時，我們決定將它加入我們的實驗中。將小蘇打分包進糯米紙內，放入其中一端用絕緣膠帶封住的水管，再倒入檸檬酸，套上氣球。

水管+氣球倒溶液

- 我們把水管+糯米紙的裝置加以改良，將糯米紙完全摒棄。拿出其中一端用絕緣膠帶封住的水管，倒入小蘇打粉，把檸檬酸裝至氣球內，將水管的另一端套上氣球。

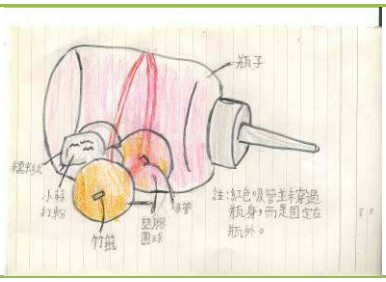
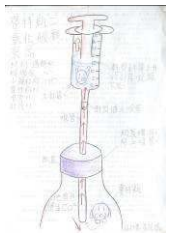
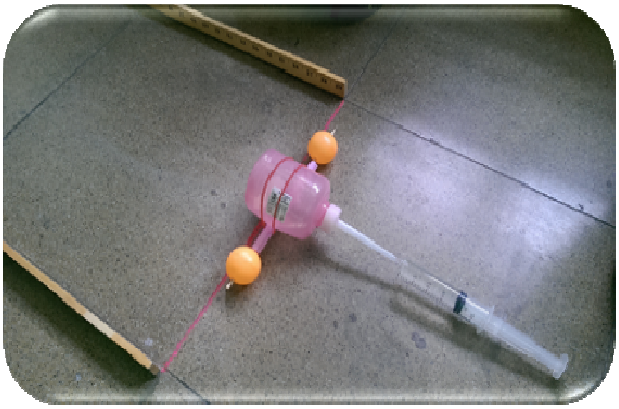
現今油罐車

- 油罐車是我們目前使用的裝置，車身由塑膠罐所製，吸管爲車軸，輪子則用輕巧的橘色小球代替。將小蘇打粉裝在車身內，蓋上瓶蓋，插入裝有檸檬酸的針筒，將針筒活塞推到底，搖晃後放在地上，觀察它行駛的距離。

圖 4 容器裝置（外在）的材料－本團隊實驗採用的地雷包裝置發展史

【表 10】 測定爆炸威力之工具設計~本團隊採用的地雷包裝置思考發展＜外在材料＞

裝置	夾鏈袋	科學麵包裝	量筒+保鮮膜	錐形瓶+氣球
圖片				
研究結果	夾鏈袋是我們最初使用的裝置,使要將小蘇打粉倒入小塑膠袋,不封口，再將小塑膠袋和檸檬酸水溶液裝至大塑膠袋中，封緊，放地上搖一搖。	在網路上查到可以用科學麵吃剩的包裝裝小蘇打粉和檸檬酸,比較不會漏氣。將小蘇打粉和檸檬酸放進袋子後,在用酒精燈封住科學麵包裝帶口。	量筒+保鮮膜在地雷包裝置發展史是一個轉捩點，我們將傳統帶裝式地雷包，改善用管狀容器盛裝的容器。將小蘇打粉和檸檬酸倒到量筒內後，用手壓住保鮮膜。	錐形瓶+氣球是我們參考歷屆科展的實驗方法，根據書面的說法，效果會非常好，我們決定試試看。在錐形瓶中加入小蘇打粉和檸檬酸，在立刻套上氣球。
優點	將地雷包裝置均勻搖晃後，它會膨脹，甚至爆裂，結果相當明顯。	將地雷包裝置均勻搖晃後,它不會有漏氣、漏水的疑慮。	將檸檬酸倒到量筒內後，保鮮膜鼓得像一顆球一樣，膨脹明顯，易觀察。	套上氣球後，氣球會立即脹大，可以清楚看見小蘇打粉和檸檬酸作用。
缺點	夾鏈袋有漏氣、漏水的疑慮。	科學麵包裝帶口根本無法用酒精燈封住。	量筒都有尖形筒口，保鮮膜易破。	手反應不及套上氣球，易造成誤差。
裝置	水管+兩邊氣球	水管+糯米紙	水管+氣球倒溶液	現今油罐車
圖片				

研究過程	我們找來了半徑一吋(約 2.54 cm）的塑膠水管，來模擬氣爆的管線。先在一端套上氣球，在另一端倒入小蘇打粉和檸檬酸，套上氣球。	當我們看到歷屆科展關於糯米紙的敘述時，我們決定將它加入我們的實驗中。將小蘇打分包進糯米紙內，放入其中一端用絕緣膠帶封住的水管，再倒入檸檬酸，套上氣球。	我們把水管+糯米紙的裝置加以改良，將糯米紙完全摒棄。拿出其中一端用絕緣膠帶封住的水管，倒入小蘇打粉，把檸檬酸裝至氣球內，將水管的另一端套氣球。	油罐車，車身由塑膠罐所製，吸管爲車軸，輪子用輕巧球代替。將小蘇打粉裝罐內插入裝檸檬酸針筒，針筒活塞推到底，搖晃後放地上，觀察行駛距離。
優點	爆炸的方式和畫面極像高雄氣爆管線爆炸的樣子。	套上氣球後，氣球會立即脹大，實驗結果顯而易見。	可以改善來不及套上氣球的問題，減少誤差的產生。	油罐車行走距離，是一個具體較可以準確測量單位。
缺點	氣體分布不均勻，有時左邊的氣球體積比較大，有時右邊的氣球膨脹得比較厲害，難以測量和比較。	糯米紙碰到水後就會溶解，但有時候，糯米紙溶解的速度不一，導致實驗得不準確。	但是當氣球膨脹時，它的半徑難以用直尺測量，因爲它的表面曲面只能用目測。	油罐車的瓶口有時會有點漏氣，而且油罐車即使內部產生作用，仍有摩擦力。
設計圖				
完成圖		排除用氣球及用糯米紙裝檸檬酸水溶液會產生的時間差使用，並橫放減少摩擦力，方便採用推動距離以測定爆炸威力。 **圖 5 爆炸測定工具最終版本**		

【實驗五】 不同比例的地雷包爆炸威力比較~不定量的小蘇打粉

一、實驗前的預測及想法：我們想要找到最佳爆炸威力的地雷包比例。

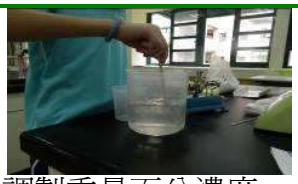
二、實驗要控制的變因：**小蘇打粉的重量**

三、實驗過程與方法：

（一）我們調製重量百分濃度 50%的檸檬酸水溶液 500mL，每次取 40g。

（二）分別用上皿天平量取 0g、3g、6g、9g、12g、15g、18g、21g、24g 小蘇打粉進行測試，量取**爆炸後的距離**、**爆炸後的酸鹼值**及**爆炸後的溫度**，實驗進行六次(取三次最成功之爆炸結果記錄，利用平均值找出最佳比例的小蘇打粉重量區間。

（三）把 6 支 1m 的木尺擺成軌道(一旁三支接連)，用粉筆畫出起跑點。


調製重量百分濃度 50%的檸檬酸水溶液

量取不同重量的小蘇打粉

用針筒注入檸檬酸水溶液

量取爆炸後的距離、酸鹼值及溫度

四、實驗結果：

【表 11】定量檸檬酸水溶液+不定量的小蘇打粉爆炸威力比較

小蘇打粉重量(g)		*0*	*3*	*6*	*9*	*12*	*15*	*18*	*21*	*24*
第一次	爆炸距離(cm)	0	97	100	77	200	360	342	200	196
第二次	爆炸距離(cm)	0	0	0	25	30	57	100	155	42
第三次	爆炸距離(cm)	0	10	15	0	80	73	60	140	59
平均距離(cm)		**0**	**35.67**	**38.33**	**34**	**103.33**	**163.33**	**167.33**	**165**	**99**
研究結果								最佳		

【表 12】定量檸檬酸水溶液+不定量的小蘇打粉爆炸後溶液之酸鹼值比較

小蘇打粉重量(g)		*0*	*3*	*6*	*9*	*12*	*15*	*18*	*21*	*24*
第一次	pH 值	1.6	2.8	2.7	3.5	4	4.1	4.7	5.3	5.3
第二次	pH 值	2.2	2.5	2.3	3.4	4.2	5.5	5	5.1	5.5
第三次	pH 值	2.5	2.7	2.1	3	3.5	5.1	4.9	4.9	5.1
平均 pH 值		2.10	2.67	2.37	3.30	3.90	4.90	4.87	5.10	5.30
文字敘述		偏酸								偏中

【表 13】定量檸檬酸水溶液+不定量的小蘇打粉爆炸後溶液之溫度比較

小蘇打粉重量(g)		*0*	*3*	*6*	*9*	*12*	*15*	*18*	*21*	*24*
原來	溫度(℃)	27	27	27	27	27	27	27	27	27
第一次	溫度(℃)	27	11	10	12	10	9	8	8	8
相差溫度(℃)		0	16	17	15	17	18	19	19	19
第二次	溫度(℃)	27	10	11	11	8	7	10	8.5	6
相差溫度(℃)		0	17	16	16	19	20	17	18.5	21
第三次	溫度(℃)	27	11	10	9	7	6	6.5	8	5.5
相差溫度(℃)		0	16	17	18	20	21	20.5	19	21.5
平均相差溫度(℃)		**0**	**16.3**	**16.7**	**16.3**	**18.7**	**19.7**	**18.8**	**18.8**	**20.5**
文字敘述										最佳

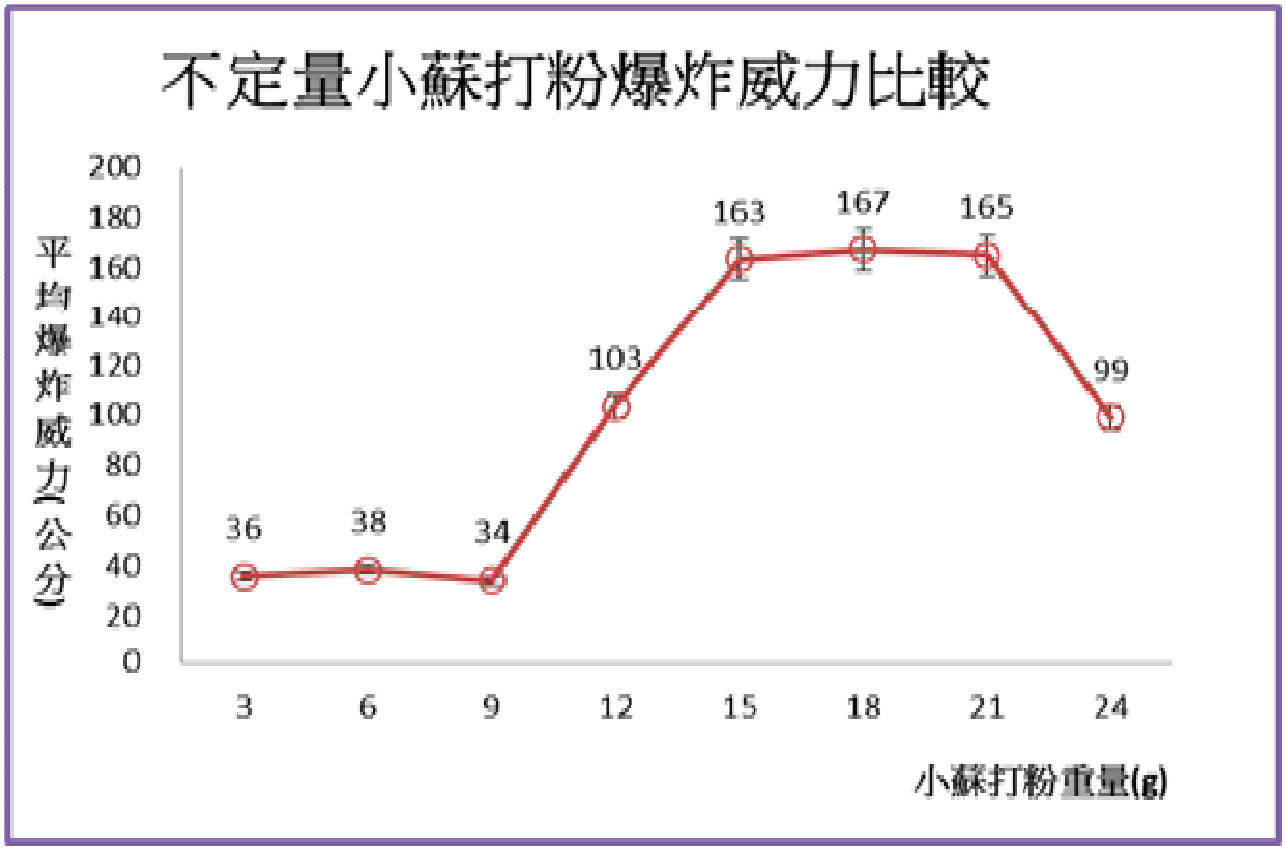


圖 6 加入不定量小蘇打粉爆炸威力比較

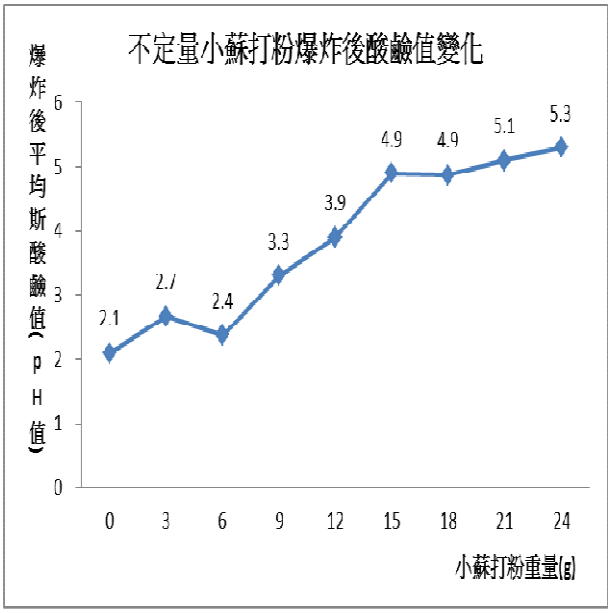


圖 7 加入不定量小蘇打粉降溫效果比較

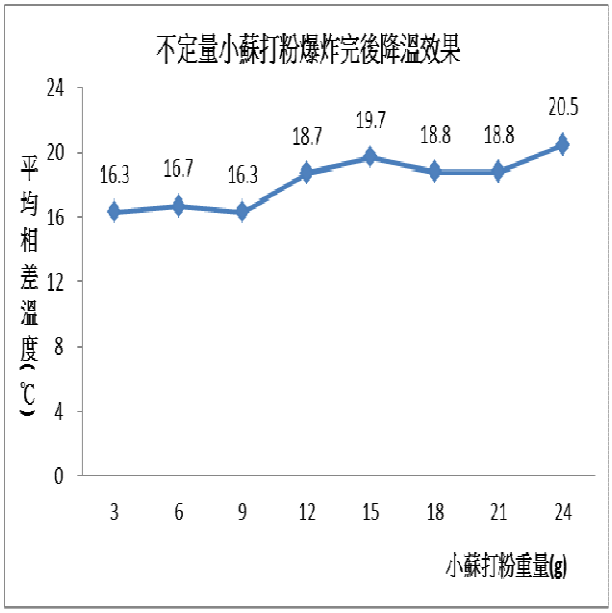


圖 8 加入不定量小蘇打粉之酸鹼值變化

五、實驗討論

(一) 用重量百分濃度 50%檸檬酸水溶液 40g 與 18g 的小蘇打粉(其中含 20g 檸檬酸 20g 水及 18g 的小蘇打粉)，爆炸距離最遠；在小蘇打粉重量未達 15g 前，爆炸效果不佳，**15g 到 21g 間，爆炸威力相對較大**，超過 21g，爆炸威力則逐漸降低(如圖 4 說明)。

(二) 小蘇打粉重量越重，爆炸後的溶液會越趨中性，由 0g 小蘇打粉的 pH 值 2.1 逐漸增加至 24g 小蘇打粉的 pH 值 5.3，但仍然還是屬於酸性，相信如果繼續增加小蘇打粉的重量，最後應該會變成完全鹼性(如圖 8 說明)。

(三) 地雷包爆炸後的溶液溫度下降幅度相似，從 **16.3**℃到 **20.5**℃，由於我們曾上過滅火單元，這讓我們聯想到也許可以運用在滅火上，以**降低燃點**的方式滅火。(如圖 7)

六、實驗檢討與修正

(一) 爆炸過程中要成功爆發，油罐前端須克服最大靜摩擦力，所以開始稍微搖動油罐車，減少靜摩擦力，另外也能讓檸檬酸與小蘇打粉融合。

(二) 本來以爲酸鹼值會有很大變化，但經過測量看來必要性不大，之後即使有測量酸鹼值不再放置將紀錄在後面報告中，改放在研究日誌中提供參考。

(三) 應去除軌道，避免油罐車因碰觸軌道而導致測量失敗，或可能可以用固定油罐車，測量活塞噴發的方式進行(後來實際執行發現此法摩擦力更大，更不容易成功，作罷)。

【實驗六】 不同比例的地雷包爆炸威力比較~不定量的檸檬酸水溶液

一、實驗要控制的變因：**檸檬酸水溶液的重量**

二、實驗過程與方法：

(一) 用 500g 檸檬酸粉末加上 500g 蒸餾水事先調製檸檬酸水溶液接近飽和溶液 1000g(重量百分濃度 50%)。

(二) 取小蘇打粉 8g，加上 4g、8g、12g、16g、20g、24g、28g、32g 的 50%檸檬酸水溶液。

三、實驗結果：

【表 14】 不定量檸檬酸水溶液+定量的小蘇打粉

檸檬酸水溶液重量(g)		*4*	*8*	*12*	*16*	*20*	*24*	*28*	*32*	*36*
第一次	爆炸距離(cm)	未爆	26	0	357	267	250	173	214	160
第二次	爆炸距離(cm)	1	0	124	424	285	223	101	159	110
第三次	爆炸距離(cm)	未爆	1	56	410	291	201	226	187	90
平均距離(cm)		1.0	9.0	60.0	397.0	281.0	224.7	166.7	186.7	120.0

【表 15】 不定量檸檬酸水溶液+定量的小蘇打粉

檸檬酸水溶液重量(g)		*4*	*8*	*12*	*16*	*20*	*24*	*28*	*32*	*36*
原來	溫度(℃)	27	27	27	27	27	27	27	27	27
第一次	溫度(℃)	21	13	12	17	8	20	10	12	15
相差溫度(℃)		6	14	15	10	19	7	17	15	12
第二次	溫度(℃)	19	15	15	10	10	10	12	10	16
相差溫度(℃)		8	12	12	17	17	17	15	17	11
第三次	溫度(℃)	19	15	13	12	7	11	18	14	15
相差溫度(℃)		8	12	14	15	20	16	9	13	12
平均相差溫度(℃)		7.3	12.7	13.7	14	18.7	13.3	13.7	15	11.7

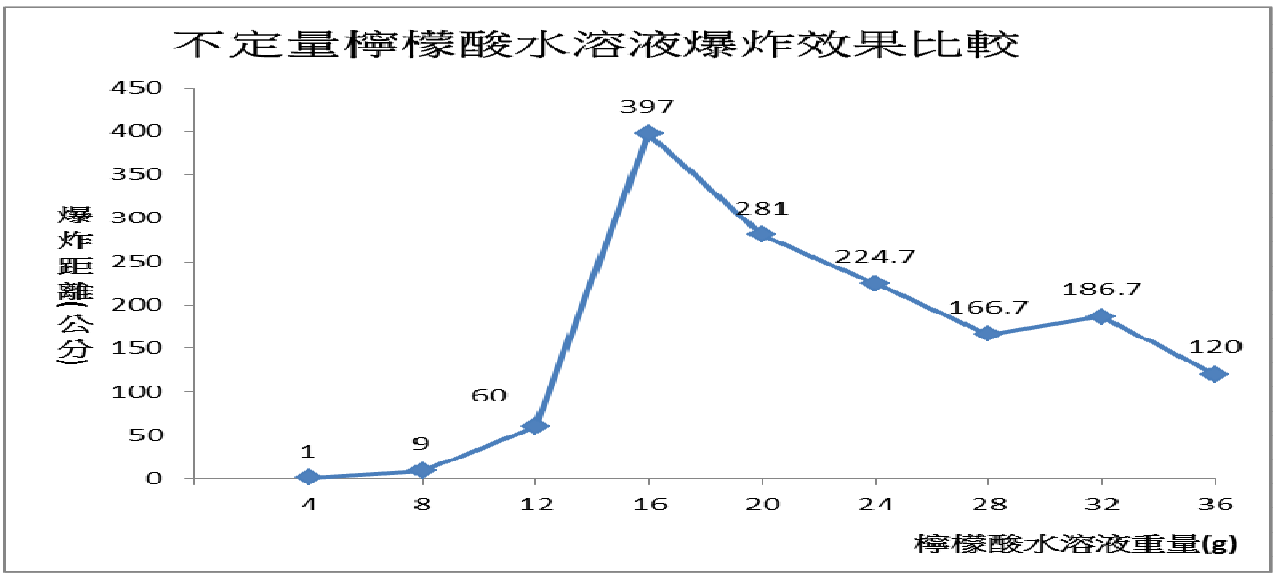


圖 9 加入不定量檸檬酸水溶液爆炸威力比較

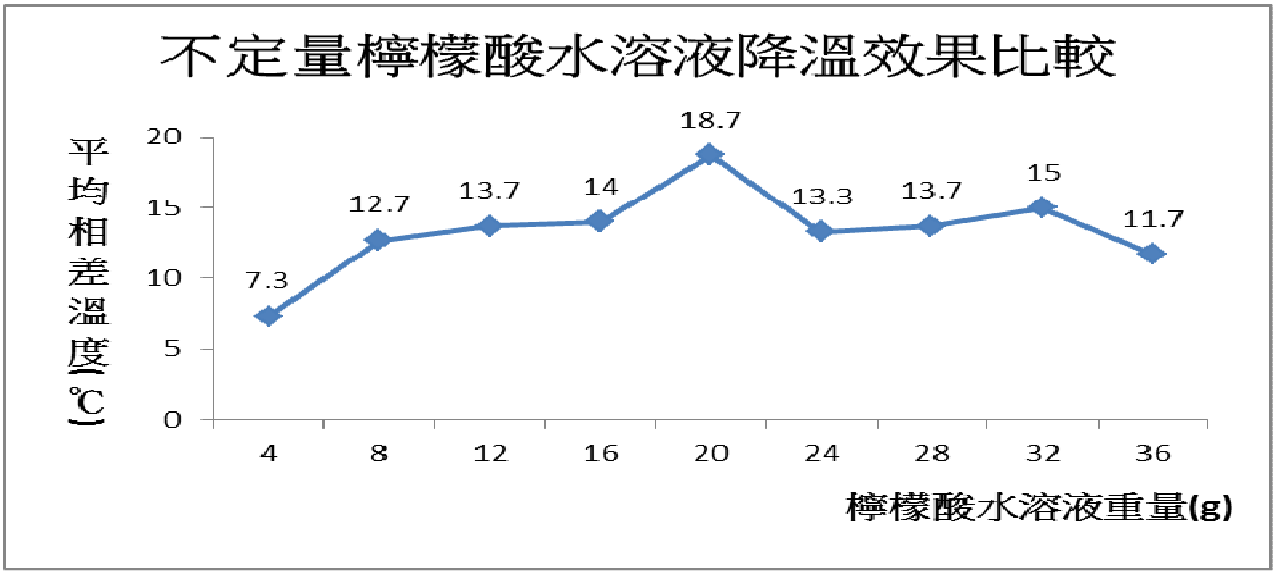


圖 10 加入不定量檸檬酸水溶液降溫效果比較

四、實驗討論：

(一) 用重量百分濃度 50%的檸檬酸水溶液 16g 與 8g 小蘇打粉作用後發現 16g 的檸檬酸水溶液爆炸威力最大。

(二) 低於 12g 以下的檸檬酸水溶液與 8g 小蘇打粉作用後，玩具地雷包幾乎不爆炸。

(三) 固定小蘇打粉的量後，即使檸檬酸水溶液量越多爆炸威力也不會變大，所以玩具地雷包的爆炸有一定的比例。

(四) 我們未來的實驗方向應該要找到能讓玩具地雷包爆炸的完美比例，於是我們後續的實驗設計需要其他的數據來佐證，所以設計了實驗七與實驗五、六做交叉比對。

【實驗七】 不同水量的地雷包爆炸威力比較~不定量的水溶液濃度

一、實驗要控制的變因：**水溶液的濃度**

二、實驗過程與方法：

(一) 將 10g 檸檬酸和不定量的水(6.8.10.12.14.16.18.20 mL)混合，用針筒吸起調好水溶液。

(二) 把 8g 小蘇打粉倒入油罐車瓶身，把針筒針頭插入油罐車尖端。

(三) 將油罐車蓋子接合處用絕緣膠帶密封，放置起跑點。

(四) 將檸檬酸水溶液推入瓶身，待爆發後，測量爆發距離。

三、實驗結果：

【表 16】 不定量的濃度對地雷包爆炸威力的影響

水量(mL)	6	8	10	12	14	16	18	20
距離(cm)	未爆炸	140	155	未爆炸	**138**	未爆炸	119	117
pH 值	未爆炸	4.8	5.1	未爆炸	**6.1**	未爆炸	6.6	5.1
溫度(℃)	未爆炸	18	15	未爆炸	**19**	未爆炸	17	11

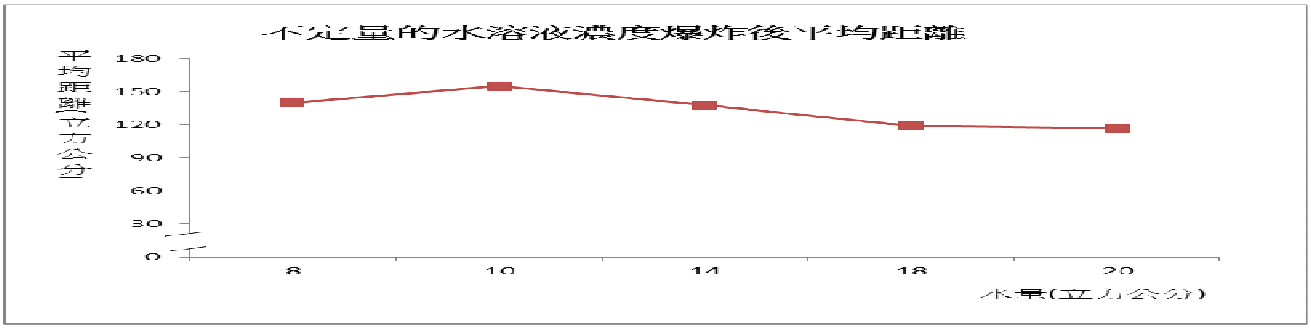


圖 11 加入不定量檸檬酸水溶液濃度爆炸效果比較

四、實驗討論：

(一) 水量 8mL、10mL、14mL 噴發距離較遠，可能是因為水量較少，檸檬酸較濃的原故。所以在可溶解檸檬酸的情況下水量較少，噴發速度較遠。

(二) 水量 20mL 測出的溫度較其他水量的溫度低，可能是因為從爆發到測量的時間較其它水量的測量時間短，所以造成溫度差距大。

(三) 水量 10mL 的酸鹼值較其它水量高，可能是因為檸檬酸水溶液與小蘇打粉混合程度較其它水量均勻，導致酸鹼值差距較大。

五、實驗檢討與修正

(一) 做實驗時發生漏氣問題，懷疑是油罐瓶接合處凸起，導致膠帶無法密封，更換器材再做一次，效果就差很多，後面幾次成功機率就變大很多。

【實驗八】 不同傾斜度管道爆炸威力比較

一、實驗前的想法：根據文獻探討的結果，知道「管道傾斜度」爲影響熱虹吸效應重要因素

二、實驗要控制的變因：**管道的傾斜度**

三、實驗過程與方法：

（一）將 30 ㎝長 1 英吋直徑的透明塑膠管一段，一端用絕緣膠帶封妥，另一端套上氣球。

（二）取 4g 小蘇打粉用糯米紙封妥塞進塑膠管內。

（三）在氣球中倒入 50%檸檬酸水溶液 9 cc，放入不同傾斜度(管道與桌面的銳夾角分別爲 0˚、15˚、30˚、45˚、60˚、75˚、90˚)的管道。

（四）測量氣球爆炸的半徑及長度，並估算其體積變化情形($V=4/3\ \pi R^3$，R 爲氣球半徑)。

四、實驗結果：

【表 17】 不同斜率管道的爆炸威力比較

傾斜度	第一次實驗			第二次實驗			第三次實驗			平均實驗成果		
	半徑	長度	氣球體積	半徑	長度	氣球體積	半徑	長度	氣球體積	**半徑**	**長度**	**氣球體積**
0˚	3.5	10	180	8	12.5	2145	4	9.5	268	**5**	**11**	**864**
15˚	5.5	10	697	10	16	4189	8.5	14	2572	**8**	**13**	**2486**
30˚	5	10.5	524	5	10.5	524	7	12	1437	**6**	**11**	**828**
45˚	6	10.5	905	5.5	9.5	697	8	12	2145	**7**	**11**	**1249**
60˚	9.5	13.5	3591	7	14	1437	5	8.5	524	**7**	**12**	**1851**
75˚	8	13	2145	4.5	11.5	382	7.5	12	1767	**7**	**12**	**1431**
90˚	8	11.5	2145	9	12	3054	6.5	10	1150	**8**	**11**	**2116**

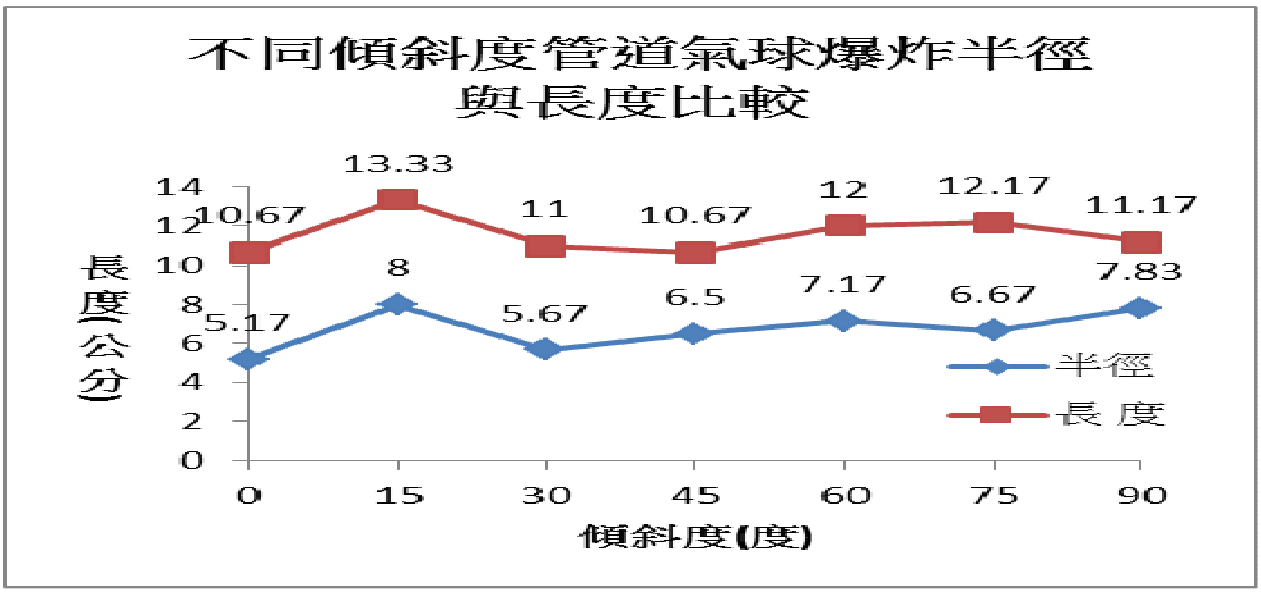


圖 12 不同傾斜度管道爆炸效果比較~半徑、長度

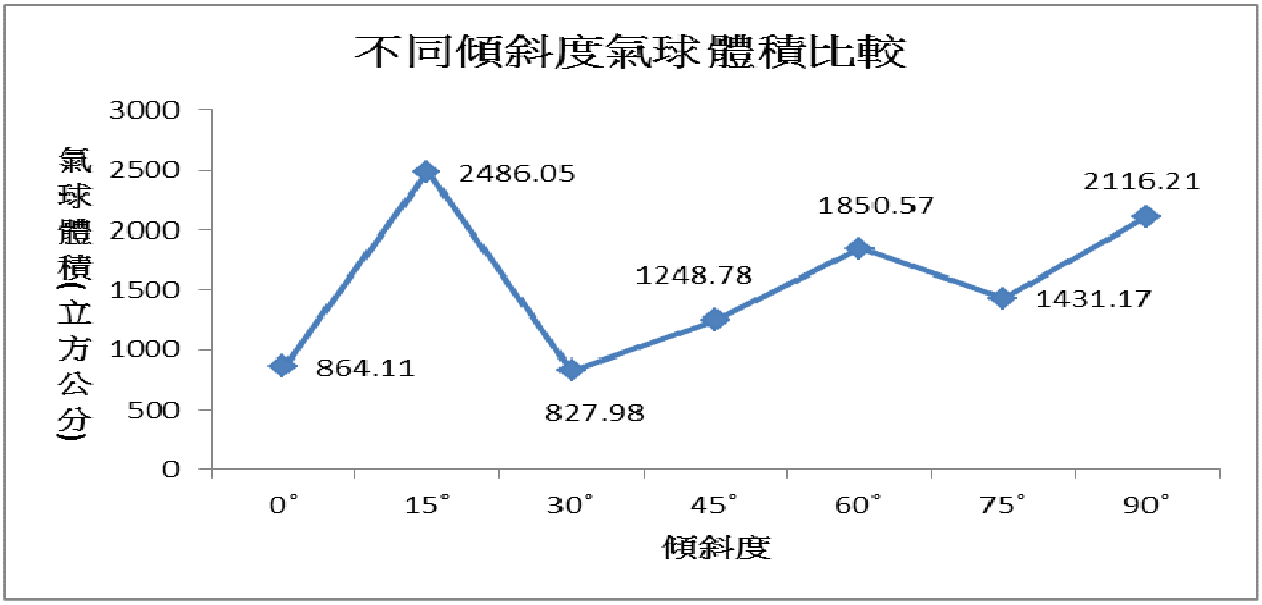


圖 13 不同傾斜度管道爆炸效果比較~體積

五、實驗討論：

(一) 原本的實驗預測是覺得應該認爲 90°時爆炸威力較不會受到斜道影響，結果在透明塑膠管放置**傾斜 15°**時爆炸威力最大，但**傾斜 30°到 90°時逐漸增加**。

(二) 研究團隊懷疑 15°爆炸威力較大是否爲實驗誤差，又補做了多次實驗仍然如此，只好帶著疑惑如實呈現實驗結果，希望發表後能有人能爲我們解答。

【實驗九】 不同形狀管道爆炸威力比較~容器形狀、塑膠管形狀

一、實驗要控制的變因：**相同容積、相同口徑但不同形狀的容器**

二、實驗過程與方法：

（一）準備身邊容易取得之相同容積(100mL)、相同口徑但不同形狀容器~球型瓶、錐形瓶、可樂罐、量筒，4 種容器中均裝入 4g 的小蘇打粉，將重量百分濃度 50%之檸檬酸水溶液 9g 倒入氣球中，再將氣球套入瓶口。

（二）觀察氣球膨脹情形及膨脹所需的時間，並記錄實驗過後的溶液酸鹼值。

【表 18】 不同形狀的容器爆炸效果比較

容器形狀	球型瓶	錐形瓶	可樂罐	量筒
氣球高度及體積 **H=高度，R=半徑** **V=體積=4/3 兀 R³**	H=１３cm R=３.６cm V=195.4 cm³	R=１５cm R=４.１cm V=288.7 cm³	R=１４cm R=３.４cm V=164.6 cm³	R=１７cm R=６.１cm V=950.8 cm³
膨脹時間(sec)	22’93”	32’82”	31’88”	20’21”
反應後溶液 pH 值	7.1	6.0	6.1	6.3
酸鹼性	中性	弱酸性	弱酸性	弱酸性

三、實驗結果與討論：

(一) 實驗結果發現量筒的膨脹效果最好，其餘球型瓶、錐形瓶、可樂罐都沒辦法達到相當的效果，所以我們改用相似形狀的透明塑膠管摺成不同形狀來測試爆炸效果

【表 19】 不同形狀的容器爆炸效果比較

管道形狀	I 型	U 型	S 型	O 型	L 型
H=高度，R=半徑 **V=體積=4/3 兀 R³**	H=２０cm R=７.５cm V=1767.1 cm³	H=６cm R=３.６cm V=195.4 cm³	H=１２cm R=４.９cm V=492.8 cm³	H=８．５cm R=４.１cm V=288.7 cm³	H=１０cm R=２.８cm V=92.0 cm³

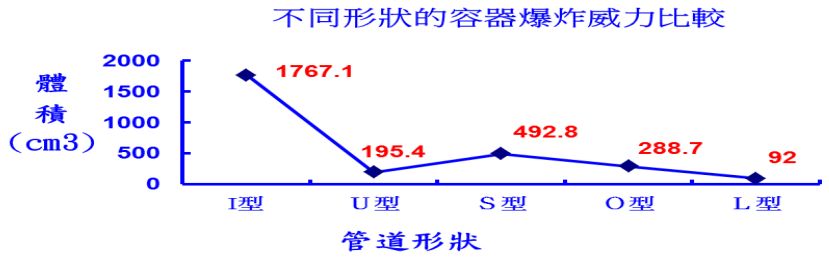


圖 14 不同形狀容器爆炸

I 型> L 型>>U 型 O 型>S 型，**I 線型**的膨脹效果最佳，推估應該是**彎道越多膨脹效果越差。**

【實驗十 a】 不同容積爆炸威力比較~長度、口徑

一、實驗要控制的變因：**管道容積~長度**

二、實驗過程與方法：

(一) 分取一英吋(2.43 cm)直徑透明塑膠管長分別爲 20 cm、40 cm、60 cm、80 cm及 100 cm。

(二) 利用絕緣膠帶將管道一端封閉，並於五條管道內分別置入 18g 小蘇打粉。

(三) 在氣球中分別注入重量百分濃度 50%，40g 的檸檬酸水溶液。

(四) 觀察氣球膨脹情形及酸鹼值，紀錄於下列表格中。

三、實驗結果：

【表 20】 不同長度管道爆炸情形比較(三次實驗後取平均數值)

管道長度cm/ 管道容積cm³	20 cm/ 93 cm³	40 cm/ 185 cm³	60 cm/ 278 cm³	80 cm/ 371 cm³	100 cm/ 464 cm³
H=高度，R=半徑 **V=體積=4/3πR³**	H=19 cm R=6.75 cm V=1288 cm³	H=17 cm R=5.75 cm V=796 cm³	H=17 cm R=5.5 cm V=697 cm³	H=16 cm R=5.5 cm V=697 cm³	H=15 cm R=5.25 cm V=606 cm³
反應後溶液 pH 值	3.3	3.2	2.8	4.4	3.0

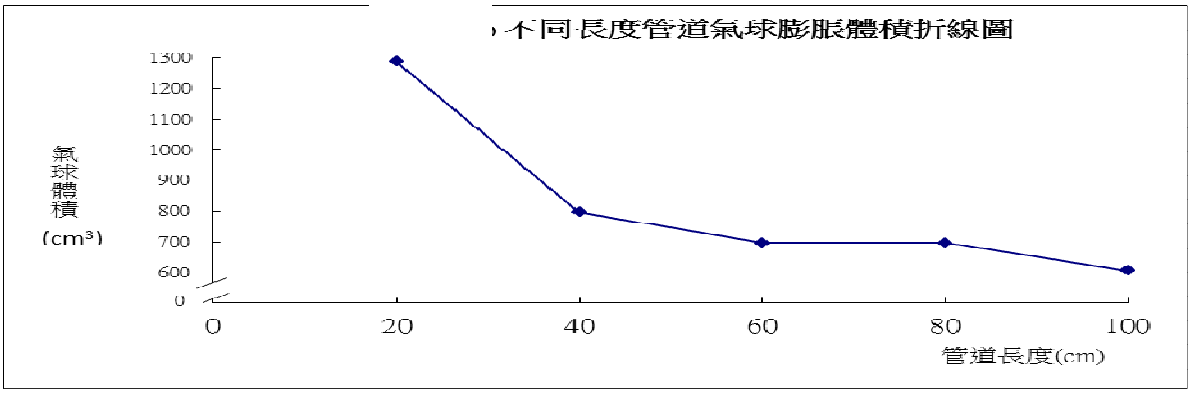


圖 15 不同長度管道氣球膨脹體積折線圖

四、實驗討論：

(一) 我們發現當管道長度 20 cm，氣球膨脹程度最大，最後氣球不小心破了，換了一顆。

(二) 氣球膨脹大小由大到小依序爲管道長度 20 cm>40 cm>60 cm>80 cm>100 cm。

(三) 所以我們發現**管道越長，氣球膨脹效果越差、管道越短，氣球膨脹效果越佳**。

【實驗十 b】 不同容積爆炸威力比較

一、實驗要控制的變因：**管道容積~口徑**

二、實驗過程與方法：

(一) 分取 20 ㎝長度透明塑膠管長直徑分別爲 2.54 ㎝、1.5 ㎝、0.85 ㎝。

(二) 利用絕緣膠帶將管道一端封閉，並於三條管道內分別置入 18g 小蘇打粉。

(三) 在氣球中分別注入重量百分濃度 50%，40g 的檸檬酸水溶液。

(四) 觀察氣球膨脹情形(測量高度及半徑)，紀錄於下列表格中。

三、實驗結果：

【表 21】 不同口徑管道爆炸情形比較(三次平均數值)

管道直徑㎝/ 管道容積㎝³	2.54 ㎝/ 93 ㎝³	1.5 ㎝/ 35 ㎝³	0.85 ㎝/ 17 ㎝³
H=高度，R=半徑	H=16.7 ㎝	H=15.0 ㎝	H=14.2 ㎝
V=體積=4/3πR³	R=6.1 ㎝	R=5.3 ㎝	R=4.8 ㎝
平均數值	V=950 ㎝³	V=623 ㎝³	V=463 ㎝³

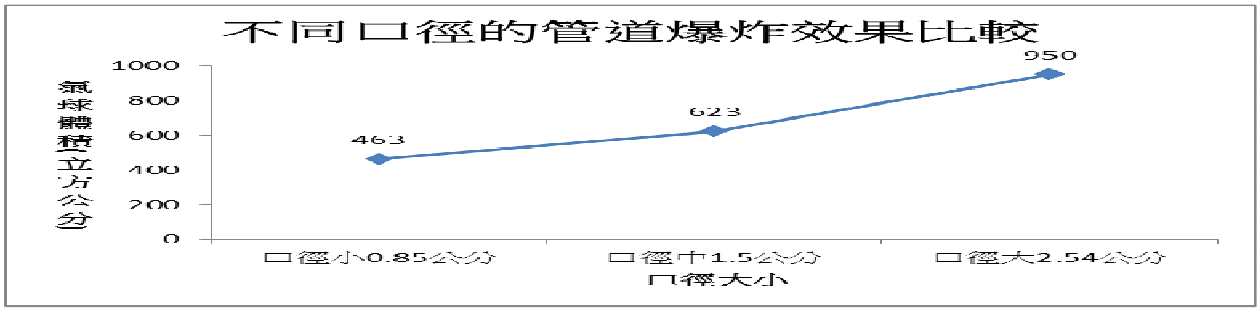


圖 16 不同口徑管道爆炸效果比較

四、實驗討論：

(一) 發現當管道長度 2.54 ㎝，氣球膨脹的高度最高、體積也最大。

(二）氣球膨脹大小由大到小依序爲管道長度 **2.54 ㎝>1.5 ㎝>0.85 ㎝**。

(三) 所以發現**長度越長，氣球膨脹效果越差；口徑越小，氣球膨脹效果越差**。

(四) 根據實驗十 ab 發現容積越小，爆炸效果越好，但小到某一個程度，效果不會變的更好，反而會變差。

【實驗十一】滅火裝置~<u>隨身型地雷包滅火器</u>

一、實驗思考歷程：

(一) 測定爆炸威力工具改裝

我們發現如果將原本設計用來測定爆炸工具的注射筒油罐車，拿掉車輪，在油罐中放入小蘇打粉，利用針筒注入檸檬酸水溶液，即可變身爲一組簡單**隨身型地雷包滅火器**。

二、實驗過程與方法：

(一) 調查市售滅火器與隨身型地雷包滅火器價格。

(二) 分析一般乾粉滅火器與隨身型地雷包滅火器的區別。

三、實驗結果：

【表 22】 一般乾粉滅火器與隨身型地雷包滅火器價格成本分析

滅火器	一般 6 公斤乾粉滅火器	**隨身型地雷包滅火器**
價格分析	根據網路比價結果，一般滅火器由 1230 元到 2250 元，價位頗不便宜	油罐車注射筒 15 元，內容物小蘇打粉 30 元/1000g、檸檬酸粉末 50 元/1000g，製作一個隨身型地雷包滅火器**成本不到 20 元**。
特點分析	需要購買，定期更換價位高，廢棄鋼瓶對環境汙染大。	小蘇打粉、檸檬酸水溶液、油罐及注射筒都是生活中常見便宜且易得之材料，廚房中常常使用，生活中**容易取得**，未使用的還可**回收使用**，環保又經濟。
使用年限	每年均須更換藥粉加壓	需要時隨時組裝，如不需要隨時拆除。

四、實驗討論：

(一) 所以如果一般在家庭發生小火災時，可以將廚房中常見的小蘇打粉放入油罐及檸檬酸水溶液放入注射筒，即可完成隨身型地雷包滅火器，建議採用本研究團隊設計的注射筒油罐車所製成隨身型地雷包滅火器，爭取逃生時間。

【實驗十二】滅火裝置~智慧型測溫防災建築~感溫變色地雷包鼻涕蟲的應用

一、實驗思考歷程：

（一） <u>感溫變色地雷包鼻涕蟲</u>

1. <u>滅火機制</u>：

小蘇打粉及檸檬酸水溶液組成的地雷包由於***取得容易，製作簡單，成本低廉，滅火效果佳***，非常適合作爲滅火材料，根據實驗五到七的紀錄，我們發現

比例以小蘇打粉：檸檬酸：水=8:10:10 到 10:10:10 區間爆炸威力最大。

2. ***地雷包鼻涕蟲***

根據本校 53 屆參加全國科展學長姐的作品~水黏土的多元變化，地雷包放置在鼻涕蟲中黏合在有煙囪的直線管道間，平時不容易爆炸，但一旦遇到爆炸，如同地雷包遇到衝擊，馬上產生爆炸，***發出大量的二氧化碳，達到及時滅火功能***，實際購買時硼砂 50 元/250g、膠水 70 元/500cc，價格都不貴，方便便宜。

3. ***感溫變色機制***

再根據本校 54 屆參加全國科展學長的作品擦擦筆大變身~感溫變色鼻涕蟲，又想到如果將單純的鼻涕蟲加入感溫粉(65 度變色)，那居民看到***顏色改變就可以提出警告***，避免更大的傷亡發生。

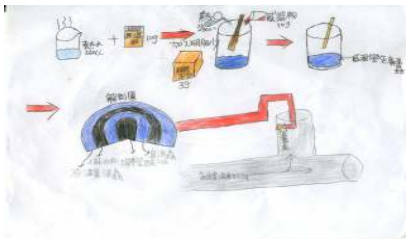


圖 17 感溫變色鼻涕地雷包設計

二、實驗過程與方法：

(一) 根據實驗五研究結果，選擇最佳比例地雷包(1g 小蘇打粉+2g,50%檸檬酸水溶液，比例為小蘇打粉)放入感溫變色鼻涕蟲，外面包上衛生紙。

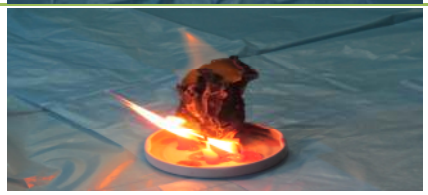
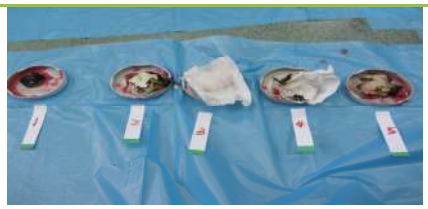
(二) 取四根蠟燭放置罐頭蓋代替火源

(三) 取 1~5 倍地雷包分別觀察滅火效果及測定熄滅時間。

三、實驗結果：

【表 23】 不同數量的感溫變色地雷包滅火器爆炸效果與滅火時間

不同倍數	1	2	3	4	5
研 究 結 果	火燃燒旺盛，檸檬酸及小蘇打粉有反應，但有點不夠滅火。	放下去時熄滅一根蠟燭，然後蠟燭就一根根熄滅了，火勢僅次 1 倍。	一放下去馬上就熄滅了，效果極佳。	一開始先熄滅 2 根蠟燭，然後另外 2 根也被熄滅。	火慢慢變旺，地雷包開始作用，蠟燭一根根慢慢熄滅，地雷包作用明顯。
滅火時間	12 分 12 秒	5 分 27 秒	0.6 秒	2 分 49 秒	10 分 18 秒
	11 秒	4 分 20 秒	0.7 秒	1 秒	6 分 30 秒
平均時間	6 分 12 秒	4 分 54 秒	0.7 秒	1 分 25 秒	8 分 24 秒

燃燒前		每個火盤均有 4 根蠟燭，地雷包用衛生紙(助燃物，用以模擬真正火災)包住。
燃燒中		1 倍燃燒旺盛，2、4 倍火勢很快被壓制住，3 倍馬上熄滅，5 倍火勢稍大，但地雷包開始作用，火勢慢慢被控制。
燃燒後		1 倍和 5 倍燒到幾乎只剩灰，3 倍很乾淨，2、4 倍只被燒了一點點。
研究結果	3g 小蘇打粉+6g,50%檸檬酸水溶液之感溫變色地雷包滅火器滅火效果最好。	

（二） *感溫變色地雷包鼻涕蟲配置位置*

1. *地下防災管道*

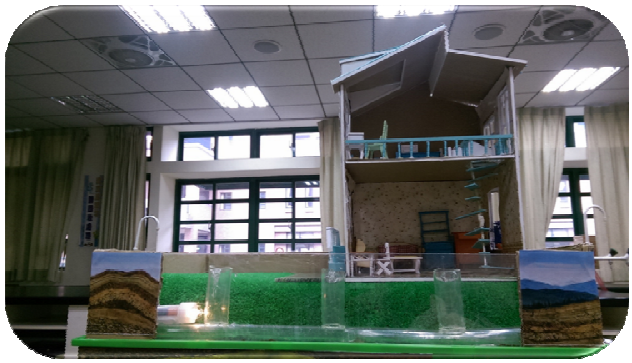
根據實驗八的數據，取斜率爲 90 度直線管道作爲放置地雷包的管道間，管道盡量避免彎曲變形，接著根據實驗十得知管道長度不宜過長，可讓二氧化碳快速產生。

由於**熱虹吸效應**，熱會向上傳導，利用氣爆時發生的溫差越大，造成氣體在加熱段到冷凝段的循環流動速度越快。所以將感溫變色地雷包滅火器放置在向上的管道間，當燃燒發生後，超過 65 度就會先讓感溫變色地雷包滅火器變色，提示附近居民遷離，爭取逃生時間，接著溫度過高會讓鼻涕蟲融化，讓小蘇打粉與檸檬酸水溶液混合後產生大量二氧化碳，達到滅火功效。

不需利用幫浦，只需藉助熱氣流移動所造成的對流，將熱量向上帶走，送到冷凝段，進行散熱，其中由地雷包提供二氧化碳滅火並降溫，比熱管更簡單。

2. *智慧型測溫防災建築*

根據實驗十 a 發現在房屋高度 20 cm即可產生爆炸高度 H=19 cm、爆炸半徑 R=6.75 cm及產生二氧化碳體積達 V=1288 cm³，而 40 cm左右的高度甚至不到一般成人的膝蓋，傷害程度不大，所以可以在本棟智慧型防災建築距離地面高度 20 cm，間隔約 7 cm裝置感溫變色地雷包滅火器。



陸、結論與心得

一、實驗結論：

(一) 探討探討最適合模擬氣爆的機制及測定爆炸威力的工具

1. 實驗一中**地雷包**較汽水火山適合作爲實驗主要研究對象。
2. 實驗二開始研究地雷包各項特質，確定地雷包內的材料應爲**檸檬酸及小蘇打粉**。
3. 實驗三**每種酸性溶液在加入小蘇打粉後，氣球都有膨脹的情形**，酸性溶液的酸鹼值會影響氣球膨脹的大小，因爲除了可樂、雪碧以外，其他酸性溶液的酸鹼值越酸，產生的二氧化碳越多，加入酸性溶液氣球膨脹由大到小依序爲**檸檬酸水溶液**、白醋、可樂、雪碧、烏醋、柳橙汁。
4. 實驗四中我們採用**油罐車加上注射筒測定爆炸威力**，車身由塑膠罐所製，吸管爲車軸，輪子用輕巧球代替。

(二) 找出最佳爆炸威力的地雷包~小蘇打粉、檸檬酸、濃度

1. 實驗五用重量百分濃度 50%檸檬酸水溶液 40g 與 18g 的小蘇打粉，爆炸距離最遠，在小蘇打粉重量未達 15g 前，爆炸效果不佳，15~21g 爆炸威力相對較大，而地雷包爆炸後的溶液溫度下降幅度相似，從 **16.3℃**到 **20.5℃**，而且爆炸產生二氧化碳，以**降低燃點、隔絕助燃物**的方式滅火。
2. 實驗六發現 16g 的檸檬酸水溶液爆炸威力最大，12g 以下的檸檬酸水溶液幾乎不爆炸，但固定小蘇打粉的量後，即使檸檬酸水溶液量越多爆炸威力也不會變大。
3. 實驗七知道水量 10ml 噴發距離較 20ml 遠，可能是因爲水量較少，檸檬酸較濃的原故。所以水量較少，噴發速度較遠，而水量 20ml 測出的溫度較其他水量的溫度低，可能是因爲從爆發到測量的時間較其它水量的測量時間短，所以造成溫度差距大。

(三) 針對不同變因造成氣體爆炸的情形~傾斜度、形狀、容積

1. 實驗八在傾斜度 15°時爆炸威力最大，但 30°到 90°時逐漸增加，合理懷疑是否爲實驗誤差，應當 90°時爆炸威力較不會受到斜道影響，最後決定採用 90°。
2. 實驗九 I 型> L 型>U 型>O 型>S 型，I 型膨脹效果最佳，**彎道越多膨脹效果越差**。
3. 實驗十 a 氣球膨脹大小由大到小依序爲管道長度 20 ㎝＞40 ㎝＞60 ㎝＞80 ㎝＞100 ㎝，**管道越長，效果越差**；實驗十 b 氣球膨脹大小由大到小依序爲管道半徑 2.54 ㎝＞1.5 ㎝＞0.85 ㎝，**口徑越小，效果越差**。

(四) 利用感溫變色鼻涕蟲地雷包爆炸製作滅火工具

1. 實驗十一可以將廚房中常見的小蘇打粉放入油罐及檸檬酸水溶液放入注射筒，即可完成隨身型地雷包滅火器，建議採用本研究團隊設計的注射筒油罐車所製成**隨身型地雷包滅火器**，爭取逃生時間。
2. **智慧型測溫防災建築**距離地面高度 20 ㎝，間隔約 7 ㎝裝置感溫變色地雷包滅火器；**地下防災管道**利用垂直管道**熱虹吸效應**，藉助熱氣流移動將熱量向上帶走。

二、實驗心得及建議：

(一)「一個人一個人，集結力量互助合作，用更堅固的羈絆彼此相連，唯有如此才是及早邁向重建最完善的道路。」神戶市長久元喜造先生在漫長重建前說的話讓人省思，即使是小學生也希望能**讓災難化身爲能傳承的智慧**。我們雖然是以『爆炸』爲主題，但中心意旨仍是希望這樣的爆炸永不發生，一旦發生也能將災害減到最低。

(二)與學長姐共同在科學研究社中鑽研科學知識的過程中，我們在學長姐的研究過程中累積知識，並學會避免錯誤，例如：實驗十一感溫變色鼻涕蟲的製作或實驗四設計測定爆炸工具等，並願意提供經驗協助給下一屆的學弟妹，知識傳遞、樂趣無敵，我們學到了重要的科學精神就是~**永不放棄**。

(三)這個實驗還有好多好多**可供繼續研究的重點**，例如：隔離閥如何運作？如何在短時間內達到示警作用？實際測量滅火效果？發展其他更好用的滅火工具？

柒、參考資料及其他

1.**內置孔管對熱虹吸式熱管性質研究**，國立清華大學機構典藏，103.8.20，取自 http://nthur.lib.nthu.edu.tw/dspace/handle/987654321/4608。

2.第四十五屆中小學科學博覽會，國小組自然科**「科學玩具 DIY-神秘地雷包」**， 2014.9.12。

3.民報網路新聞，主題：**高雄三多一路地面破裂，埋在地下的管線外露**，2014.10.15 取自 http://www.peoplenews.tw/news/4915772e-572a-4256-b858-508f1d81910b。

4.**乾粉滅火器填充原理**，2014.11.10，取自 http://news.ltn.com.tw/news/society/paper/215398

5.**熱虹吸 （Thermosiphon）〔一〕--簡介**，國立彰化高級中學姜志忠教師/國立彰化師範大學物理系洪連輝教授責任編輯，2014.11.26，取自 http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=2741

6.**熱虹吸 （Thermosiphon）（二）--應用**，國立彰化高級中學姜志忠教師/國立彰化師範大學物理系洪連輝教授責任編輯，2014.12.22，取自 http://case.ntu.edu.tw/hs/wordpress/?p=2739。

7.**向火神借五分鐘~談耐火材料延遲火災發生的效應**，林祐、鄧笙敔、黃雨珮、郝貞愛，中華民國第 52 屆中小學科學展覽會，台南市東區勝利國小。

【評語】080212

能結合時事思考滅火功能又有遊戲功能是一個受歡迎的研究，所設計的變色警示頗有新意，尤其是為測試爆炸力而設計之「注射筒油罐滾車」有方便與安全的雙重優點。若深入改進滅火時使用之方便性與安全性，應更具發展潛力。