

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

030504

探究「形成火龍捲之最猛模組」

學校名稱：苗栗縣私立君毅高級中學(附設國中)

作者： 國二 曾泳瑞 國二 楊承義 國二 黃翊庭	指導老師： 周鳳君
-----------------------------------------------	------------------

關鍵詞：鐵鋁罐、抽風扇、火焰

探究「形成火龍捲之最猛模組」

摘要

本研究是探究「影響自然界火龍捲形成及發展的因素有哪些」，利用酒精燃燒製造火焰、外加導流鐵罐及抽風扇來進行一系列火龍捲模擬實驗。

由導流鐵罐的實驗發現：導流板可造就高溫熱空氣，讓熱空氣隨著導流板上升，進而引發氣流產生風。然而火龍捲的高度會隨著導流鐵罐高度的增加、進風口寬度的減小及重疊度的增加而增高。但火焰周遭的熱空氣溫度卻限制了火龍捲的高度發展。至於抽風扇的實驗，驗證了提供適當的風的確會助長火龍捲的發展，但若風速過強，帶走的熱量愈多，火龍捲的高度反而愈低。

由本研究得知「影響自然界火龍捲形成及發展的關鍵因素」如下：

- 1、首要關鍵是劇烈燃燒所造就的高溫熱空氣。
- 2、次要關鍵是因劇烈燃燒所引發的強烈熱對流。

壹、前言（含研究動機、目的、文獻回顧）

國小時，曾經在網路上看見因森林大火所引發的火龍捲影片，進而在自家庭院仿效玩火。今年因有幸參與科學展覽會，於是重新查閱了火龍捲的相關影片及資訊，在影片中看見那竄燒到天際的恐怖火龍捲，除了對大自然的力量產生無限敬畏外，更想知道火龍捲的成因！

在搜尋和整理火龍捲的相關資料中，我們捕抓到形成火龍捲的關鍵因素：高溫野火、乾燥氣候、強風吹送、還有不平坦地勢。雖然也查閱到相當多模擬火龍捲的個人實驗及科展實驗，但在《科學影像 scimage/科學 Maker》網站中，有一篇文章《正回饋的威力-火龍捲！Fire Tornado》直接點出了火龍捲的模擬實驗與自然界形成的火龍捲有本質上的差異。

文章中提及自然界火龍捲的形成是由劇烈燃燒來加熱空氣，進而帶動上升氣流、引進更多新鮮空氣。所以一開始看到的火焰是呈現水滴狀，隨著燃燒愈來愈劇烈，帶動的氣流量也隨之增加，而帶來的新鮮空氣更是加速了燃燒，再次提升了熱空氣的溫度。基於正回饋的威力，最後在火焰中心演變成強烈向上竄升的螺旋氣流，進而帶動火焰變成火龍捲。至於常見的火龍捲模擬實驗，其原理是透過人為干預來降低燃燒與氣流正回饋穩定發生的閾值，也就是即使沒有劇烈的燃燒，只要人為增加氣流旋轉度及引導空氣流向，就可變成一條小小的火龍捲了。

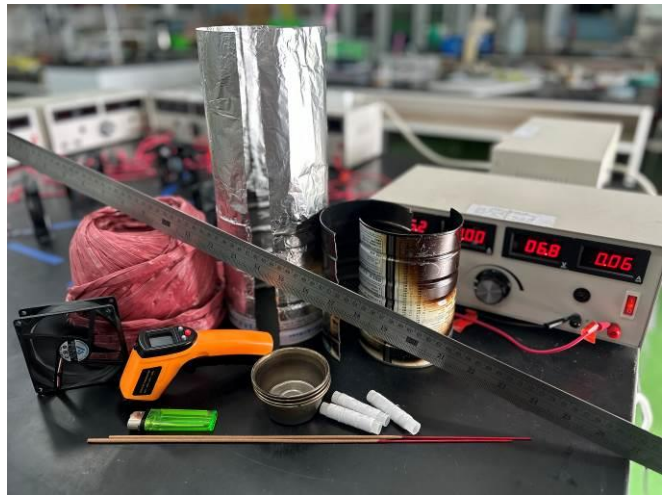
雖然知道要達到自然界形成火龍捲的條件並不容易，但我們還是想透過人為干預的模擬實驗來探究「影響自然界火龍捲形成及發展的的關鍵因素有哪些」，進一步藉由對火龍捲形成原因的了解，從而幫助人們能夠提前預知火龍捲的火勢發展以減少不必要的傷害。

以下為本實驗的研究目的：

- 一、探討導流鐵罐進風口寬度及重疊度對火龍捲高度的影響
- 二、探討導流鐵罐高度對火龍捲高度的影響
- 三、探討抽風扇風速（電流）及風向（擺放角度）對火龍捲高度及轉速的影響
- 四、探討氣溫高低對火龍捲高度的影響
- 五、探討空氣濕度對火龍捲高度的影響
- 六、探討導流鐵罐最猛模組 + 抽風扇風速（電流）對火龍捲高度及轉速的影響
- 七、模擬森林大火，探究多個火源 + 抽風扇風速（電流）對火龍捲高度及轉速的影響

貳、研究設備及器材

- 一、口徑 7.5 cm 白鐵布丁杯（簡稱鐵杯）
酒精（乙醇）、線香、打火機
縫衣線、紅色塑膠繩、鐵架
- 二、廢棄鐵罐、鋁箔紙
淘汰電腦主機的抽風扇、電源供應器
- 三、熱風扇、除濕機
- 四、100 cm 鐵尺、風速計、紅外線測溫槍
- 五、安全配備：2 支「六氟丙烷氣體滅火器」
3 桶水、3 條濕抹布



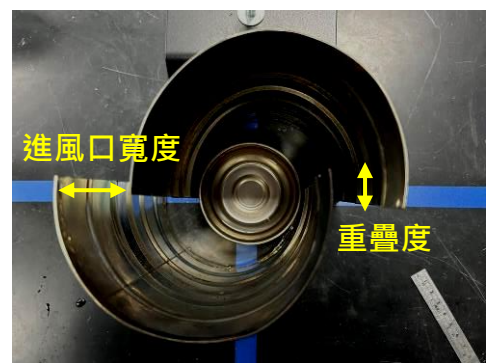
參、研究過程或方法

一、探討導流鐵罐進風口寬度及重疊度對火龍捲高度的影響

（一）收集適當大小的廢棄鐵罐，將鐵罐底部切除，縱切成大小相同的兩半，即是現成的導流板。其缺點為無法從側邊觀察火龍捲的燃燒情況，只能從鐵罐上方觀察。

（二）取 50 ml 酒精倒入鐵杯作為燃料，在鐵杯正上方吊置一卷縫衣線並拉下適當長度垂掛著。

在鐵杯兩側分別放置高度為 16.15 cm 的導流鐵罐，依序調整兩鐵罐進風口的重疊度及寬度。使用線香點燃酒精，等待火焰燃燒上方的縫衣線完畢後，測量縫衣線距離桌面的高度，重複相同實驗共 5 次。



▲本圖由作者及指導教師拍攝製作

▼本圖由作者及指導教師拍攝製作



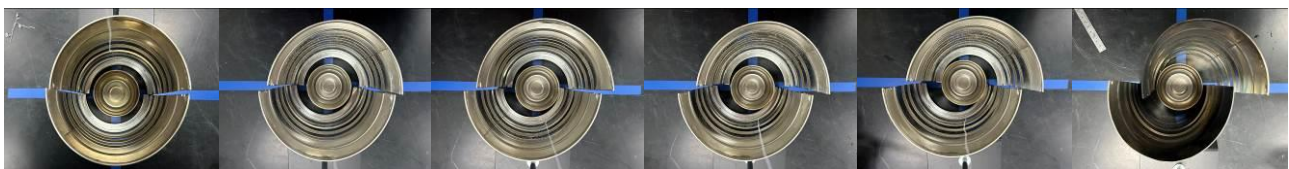
▼垂掛的縫衣線



(三) 兩鐵罐進風口的重疊度依序調整為 0 cm、0.5 cm、1.0 cm、1.5 cm；

兩鐵罐進風口的寬度依序調整為 0.2 cm、0.5 cm、1.0 cm、1.5 cm、2.0 cm、2.5 cm、3.0 cm，
進行方法（二）。

▼本圖由作者及指導教師拍攝製作



寬度 0.5 cm

寬度 1.0 cm

寬度 1.5 cm

寬度 2.0 cm

寬度 2.5 cm

寬度 3.0 cm

(四) **補充說明一**：曾經考慮市售玻璃罐當導流板，但因切割困難，捨棄；也曾經考慮過壓克力當導流板，但因訂製費用太高又不耐高溫，也捨棄，因為經費有限。

補充說明二：

- 1、實驗初期「如何明確測量火焰高度」曾困擾著我們。剛開始曾經於火焰附近放置鐵尺，但鐵尺無法緊貼火焰、也不能緊貼火焰，以防造成干擾，以攝影方式記錄火焰燃燒狀況，再透過慢速播放以讀取火焰的高度。但因火龍捲是快速旋轉的動態火焰，眼睛所看見的火龍捲畫面涉及到視覺暫留的現象。如果慢速播放，你會發現火焰並不是完全連續向上旋轉，其高度也是不停變化，再加上鐵尺與火焰有距離，如果攝影角度無法隨時與火焰高度保持平行，會導致難以讀取正確數值。
- 2、我們想到克服的辦法是改用燃燒縫衣線的方式來測量火焰高度，這種測量方式涉及到機率問題，也就是偶發性高度突增的旋轉火焰並不易燃燒到縫衣線，高頻率出現的火焰高度較易燃燒到縫衣線，所以縫衣線最後的高度通常會停留在高頻率出現的火焰高度。**如果偶發性高度突增的旋轉火焰燃燒到縫衣線，則該數據不採用。**
- 3、實驗用的縫衣線為家政課用剩的，其為合成纖維，受熱後會熔化、結球、滴落或燃燒，但火焰離開後，縫衣線並不會繼續燃燒，頗適合測量火焰高度。

補充說明三：

- 1、實驗初期的數值較不穩定，我們發現每次實驗前，先進行一次預熱燃燒，那麼正式實驗時，測量到的火龍捲高度會較穩定。因為實驗前所有的實驗裝置及實驗桌都是冰冷的，隨著實驗的進行，周遭物品會逐漸溫熱起來，進而與環境達到熱平衡。由此可知實驗裝置及實驗桌本身的溫度對火龍捲的形成是有影響的。
- 2、然而我們也發現剛點燃酒精時，火焰高度會較低，隨著酒精越燒越旺，火焰高度才會逐漸達到較穩定的高度。至於實驗室的環境控制，實驗進行時不隨意開啟窗戶及風扇，以避免引起不必要的氣流。

二、探討導流鐵罐高度對火龍捲高度的影響

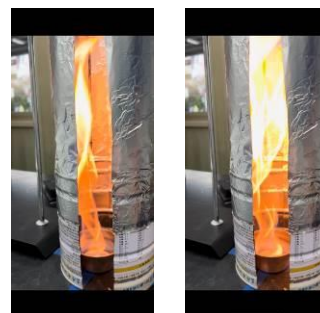
- (一) 根據實驗一的結果，當導流鐵罐高度為 16.15 cm 時，形成火龍捲之最佳模組為兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm。以此模組進行「導流鐵罐高度對火龍捲高度的影響實驗」，實驗方法與實驗一的方法（二）相同。
- (二) 利用三層鋁箔紙包覆鐵罐以調整鐵罐高度，依序調整為 15 cm、20 cm、25 cm、30 cm、35 cm、40 cm，以進行實驗。

補充說明：食藥署指出鋁箔紙可耐高溫 400~600°C，後期實驗如果因高溫導致鋁箔紙起火燃燒，則該數據不採用。

▼鋁箔紙包覆導流鐵罐，高度為 35 cm，火龍捲燃燒狀況



▼開縫隙，觀察火龍捲



▲本圖由作者及指導教師拍攝製作

※ 加強版實驗，深入探討高度為 35cm 與 40cm 之導流鐵罐進風口寬度對火龍捲高度的影響

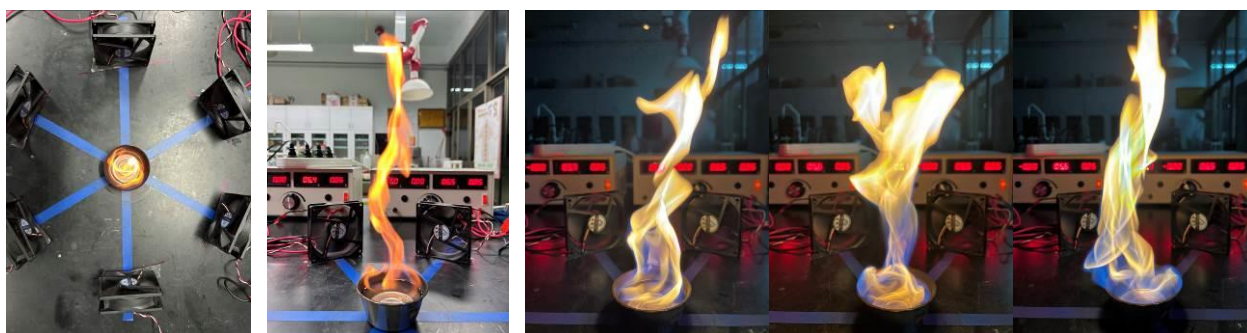
- (一) 根據實驗二的結果，以三層鋁箔紙包覆鐵罐調整高度為 35 cm 及 40 cm，兩鐵罐進風口的重疊度維持 1.5 cm，而其寬度依序調整為為 0.2 cm、0.4 cm、0.6 cm，進行導流鐵罐進風口寬度對火龍捲高度的影響實驗。

三、探討抽風扇風速（電流）及風向（擺放角度）對火龍捲高度及轉速的影響

- (一) 取 50 ml 酒精作為燃料，在鐵杯正上方吊置適當長度的紅色塑膠繩垂掛著。

補充說明：因抽風扇會直接將縫衣線吹飛起來，於是將縫衣線更換成紅色塑膠繩。為避免塑膠繩過粗、不易燃燒，進而影響實驗結果，將其撕成 4 等分備用。

- (二) 在距離鐵杯中心 18 cm 處，取 6 個抽風扇六角對稱放置，正對鐵杯中心、無歪斜 0 度。調整抽風扇電流並同時開啟，利用風速計測量其風速。使用線香點燃酒精，從上方拍攝火龍捲旋轉狀況及等待火焰燃燒上方的紅色塑膠繩完畢後，測量紅色塑膠繩距離桌面高度及慢速播放影片以測量火龍捲轉速，重複相同實驗共 5 次。
- (三) 抽風扇電流依序調整為 0.05 A、0.10 A、0.15 A、0.20 A，進行方法 (一)、(二)。
- (四) 更改 6 個抽風扇的放置方向，將抽風扇對準鐵杯中心並歪斜 10 度，抽風扇電流調整為 0.05 A，重複方法 (一)、(二)。
- (五) 根據方法 (四) 的實驗結果，此組實驗無需再更改抽風扇電流大小。



▲抽風扇實驗裝置 ▲抽風扇電流為 0.05 A 時，火龍捲旋轉狀況（本圖由作者及指導教師拍攝製作）

四、探討氣溫對火龍捲高度的影響

- (一) 由於實驗室無暖氣機，又因空間過大難以使用熱風扇暖房。最後由校方協助提供了校園樓梯間的小更衣室，以方便進行暖房實驗。
- (二) 使用兩台熱風扇進行更衣室暖房，事先將實驗設備安置擺放在地面才進行暖房，可避免組員多次進出影響暖房效果。當氣溫達到 35°C ~ 40°C 即可開始進行實驗。
- (三) 由於更衣室為極小密閉空間，容易產生一氧化碳氣體，不宜長時間久留。進行實驗時，房門必須留小縫、不全部關閉，也可避免因供氧不足而影響實驗結果。組員不滯留室內、僅在讀取數值時才進入，採取速戰速決策略。
- (四) 第一組實驗為「抽風扇正對鐵杯中心、無歪斜實驗」：
抽風扇電流調至 0.05 A 及 0.10 A，測量紅色塑膠繩距離地面高度，重複相同實驗共 5 次。
- (五) 第二組實驗為「導流鐵罐最猛模組實驗」：
兩鐵罐高度為 35 cm、進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm，測量縫衣線距離地面高度，重複相同實驗共 5 次。

▼本圖由作者及指導教師拍攝製作



▲暖房實驗一：抽風扇正對鐵杯中心、無歪斜



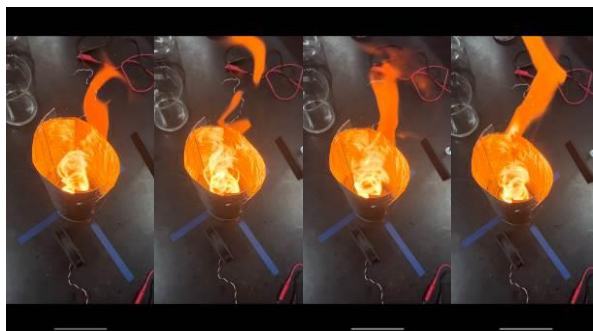
▲暖房實驗二：導流鐵罐最猛模組

五、探討空氣濕度對火龍捲高度的影響

- (一) 為使實驗室的空氣處於低濕度狀態，於實驗室同時開啟 2 台除濕機進行除濕，等待室內溼度降至 60% 以下，即可進行實驗。
- (二) 第一組實驗為「抽風扇正對鐵杯中心、無歪斜實驗」：
抽風扇電流調至 0.05 A 及 0.10 A，測量紅色塑膠繩距離地面高度，重複相同實驗共 5 次。
- (三) 第二組實驗為「導流鐵罐最猛模組實驗」：
兩鐵罐高度為 35 cm、進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm，實驗步驟同上。
- (四) 為使實驗室的空氣處於高濕度狀態，於實驗室地面潑水、桌面抹水並開啟吊扇及電風扇吹向地面及桌面，等待室內溼度達到 85% 以上，即可重複方法 (二)、(三) 的實驗。

六、探討導流鐵罐最猛模組+抽風扇風速（電流）對火龍捲高度及轉速的影響

- (一) 以導流鐵罐最猛模組進行實驗，在距離鐵罐進風口 5 cm 處，分別架設一台抽風扇，共 2 台。抽風扇電流依序調整為 0.05 A、0.10 A、0.15 A、0.20 A，進行先前導流鐵罐實驗，並從上方拍攝火龍捲旋轉狀況並慢速播放影片以測量火龍捲轉速。



▲導流鐵罐最猛模組+2 台抽風扇實驗（本圖由作者及指導教師拍攝製作）

七、模擬森林大火，探究多個火源+抽風扇風速（電流）對火龍捲高度及轉速的影響

- (一) 取 50 ml 酒精作為燃料，在鐵杯正上方吊置適當長度的紅色塑膠繩垂掛著。
- (二) 在距離鐵杯中心 18 cm 處，取 6 個抽風扇六角對稱放置，正對鐵杯中心、無歪斜 0 度。
在距離抽風扇外圍 11 cm 處，額外放置 6 個裝有 50 ml 酒精的鐵杯。
- (三) 抽風扇電流依序調整為 0 A、0.04 A、0.05 A、0.06 A、0.07 A、0.08 A，使用線香點燃所有酒精並從上方拍攝火龍捲旋轉狀況，等待火焰燃燒上方的紅色塑膠繩完畢後，測量紅色塑膠繩距離桌面高度及慢速播放影片以測量火龍捲轉速，重複相同實驗共 5 次。

補充說明：本實驗所使用的抽風扇，啟動電流至少要 0.04 A。然而較大的電流會使抽風扇抽風效果太好，以致外圍火焰嚴重往內偏移，直接燒熔抽風扇，所以經測試抽風扇以不超過 0.08 A 較為妥當。

▼模擬森林大火實驗（本圖由作者及指導教師拍攝製作）



肆、研究結果

一、探討導流鐵罐進風口寬度及重疊度對火龍捲高度的影響

1/30星期二：氣溫17℃ 濕度75%

鐵罐直徑：11.5 cm 鐵罐高度：16.15 cm

鐵罐進風口重疊度：0 cm

鐵罐進風口寬度(cm) \ 火龍捲高度(cm)	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	無導流
第一次	39.30	40.65	39.10	35.52	36.10	34.24	32.50	22.80
第二次	41.10	43.00	36.85	34.82	34.91	30.70	28.77	23.47
第三次	40.40	40.91	37.31	34.88	33.81	33.00	31.38	25.32
第四次	43.60	40.00	37.23	36.21	35.32	34.08	31.72	23.00
第五次	40.00	38.52	39.00	37.11	36.00	33.50	31.20	23.45
平均值	40.88	40.62	37.90	35.71	35.23	33.10	31.11	23.61
標準差	1.65	1.62	1.07	0.97	0.93	1.43	1.40	1.00

1/31星期三：氣溫21 °C 濕度90%

鐵罐直徑：11.5 cm 鐵罐高度：16.15 cm

鐵罐進風口重疊度：0.5 cm

鐵罐進風口寬度(cm) 火龍捲高度(cm)	鐵罐進風口寬度(cm)							
	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	無 導流
第一次	45.00	41.20	40.50	38.52	37.00	34.15	35.32	22.80
第二次	42.50	42.50	39.00	39.00	39.41	33.74	33.17	23.47
第三次	41.51	43.91	42.54	36.20	37.50	34.00	32.50	25.32
第四次	43.80	43.49	38.91	38.89	38.70	35.52	32.00	23.00
第五次	42.76	42.65	39.78	40.82	37.00	37.50	33.33	23.45
平均值	43.11	42.75	40.15	38.69	37.92	34.98	33.26	23.61
標準差	1.33	1.05	1.49	1.65	1.08	1.57	1.27	1.00

2/01星期四：氣溫23 °C 濕度77%

鐵罐直徑：11.5 cm 鐵罐高度：16.15 cm

鐵罐進風口重疊度：1.0 cm

鐵罐進風口寬度(cm) 火龍捲高度(cm)	鐵罐進風口寬度(cm)							
	0.2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	無 導流
第一次	44.37	42.30	42.54	37.42	37.12	36.10	35.20	22.80
第二次	43.60	43.71	38.82	38.97	39.10	37.60	35.20	23.47
第三次	43.30	43.35	38.93	37.82	40.10	38.00	35.40	25.32
第四次	44.30	43.00	41.42	39.96	39.00	37.90	34.90	23.00
第五次	42.56	42.23	42.00	40.74	39.20	37.50	35.20	23.45
平均值	43.63	42.92	40.74	38.98	38.90	37.42	35.18	23.61
標準差	0.75	0.65	1.75	1.40	1.09	0.77	0.18	1.00

2/23星期五：氣溫19 °C 濕度75%

鐵罐直徑：11.5 cm 鐵罐高度：16.15 cm

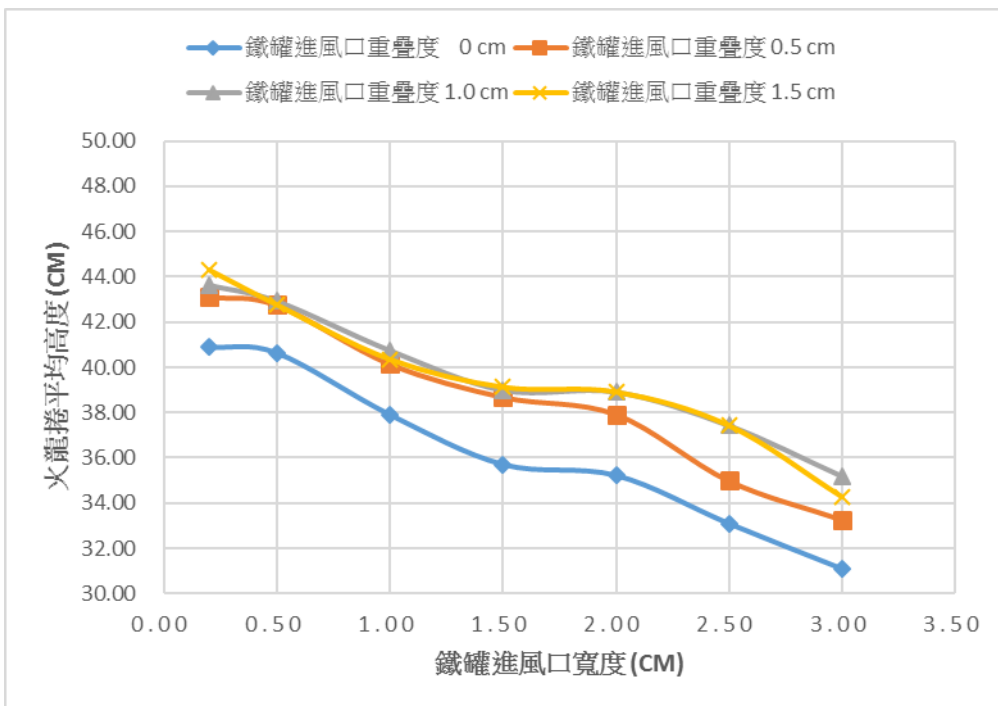
鐵罐進風口重疊度：1.5 cm

鐵罐進風口寬度(cm) 火龍捲高度(cm)	鐵罐進風口寬度(cm)							
	0.20	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	無 導流
第一次	44.47	43.00	39.01	38.87	38.10	38.81	34.50	22.80
第二次	44.49	42.20	42.00	37.60	40.98	37.00	34.12	23.47
第三次	44.91	43.52	41.00	40.21	37.32	36.85	33.99	25.32
第四次	42.40	41.82	40.27	39.10	40.39	36.50	33.79	23.00
第五次	45.30	43.32	39.51	39.88	37.81	38.00	35.00	23.45
平均值	44.31	42.77	40.36	39.13	38.92	37.43	34.28	23.61
標準差	1.12	0.73	1.19	1.02	1.65	0.95	0.48	1.00

由實驗結果得知：

- (一) 無外加導流板的火焰，其形狀是多變的、同時具有多個小火舌亂竄，火焰離桌面高度在 23.61 cm 上下。
- (二) 當酒精燃燒時，在火焰兩側架設的導流板可使空氣產生煙囪效應，讓熱空氣沿著垂直坡度的空間向上竄升，進而加強了周圍空氣的熱對流，以致火焰高度隨之增加。
- (三) 當熱空氣從導流鐵罐上方開口散溢出去時，會造成周圍的空氣抽入填補，在導流鐵罐進風口處及上方開口處皆可感受到明顯的氣流（有風）。

總整理							
鐵罐直徑：11.5 cm							
鐵罐高度：16.15 cm							
火龍捲平均高度(cm)							
鐵罐進風口寬度(cm)	0.20	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
鐵罐進風口重疊度 0 cm	40.88	40.62	37.90	35.71	35.23	33.10	31.11
鐵罐進風口重疊度 0.5 cm	43.11	42.75	40.15	38.69	37.92	34.98	33.26
鐵罐進風口重疊度 1.0 cm	43.63	42.92	40.74	38.98	38.90	37.42	35.18
鐵罐進風口重疊度 1.5 cm	44.31	42.77	40.36	39.13	38.92	37.43	34.28



由實驗結果得知：

- (一) 當兩鐵罐進風口的重疊度維持相同時，導流鐵罐進風口的寬度愈大，火龍捲的平均高度愈低；

導流鐵罐進風口的寬度愈小，火龍捲的平均高度反而愈高。

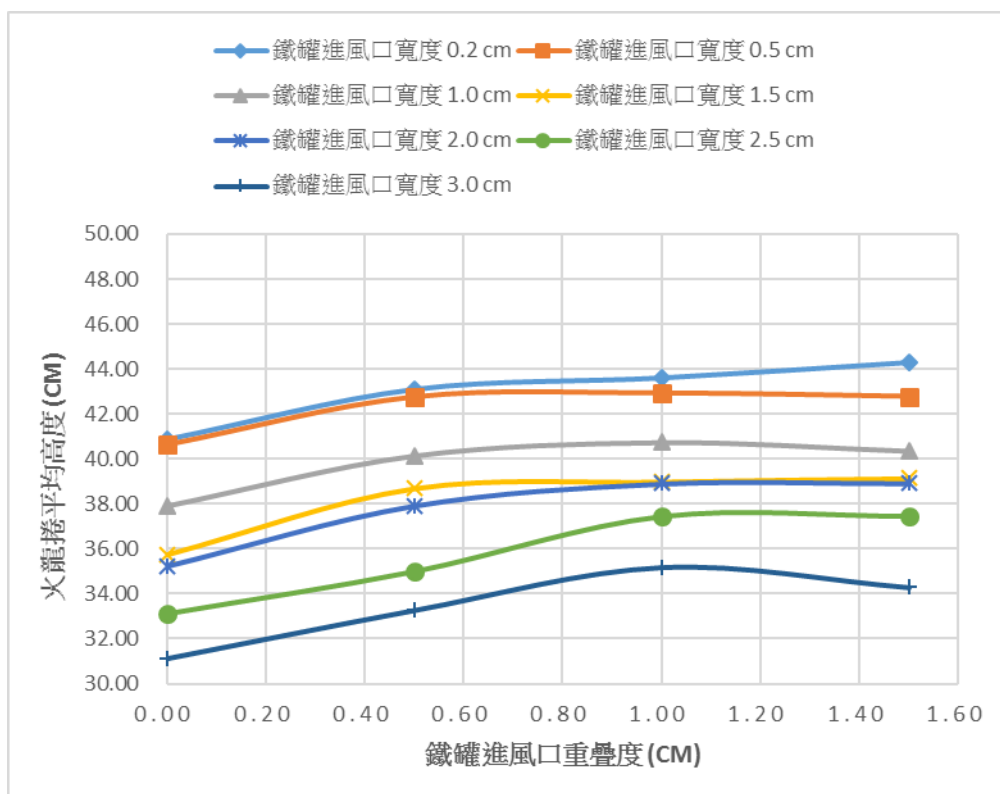
(二) 按照常理來說，

導流鐵罐進風口的寬度愈大，提供的新鮮空氣愈多，可促使酒精燃燒更旺盛，理論上火龍捲的平均高度應該會提升；

導流鐵罐進風口的寬度愈小，提供的新鮮空氣愈少。

若在供氧不足條件下，理論上火龍捲的平均高度應該會下降，有待後續討論。

總整理				
鐵罐直徑：11.5 cm				
鐵罐高度：16.15 cm				
火龍捲平均高度(cm)				
鐵罐進風口重疊度(cm)	0.00	0.50	1.00	1.50
鐵罐進風口寬度 0.2 cm	40.88	43.11	43.63	44.31
鐵罐進風口寬度 0.5 cm	40.62	42.75	42.92	42.77
鐵罐進風口寬度 1.0 cm	37.90	40.15	40.74	40.36
鐵罐進風口寬度 1.5 cm	35.71	38.69	38.98	39.13
鐵罐進風口寬度 2.0 cm	35.23	37.92	38.90	38.92
鐵罐進風口寬度 2.5 cm	33.10	34.98	37.42	37.43
鐵罐進風口寬度 3.0 cm	31.11	33.26	35.18	34.28



由實驗結果得知：

(一) 當兩鐵罐進風口的寬度維持相同時，

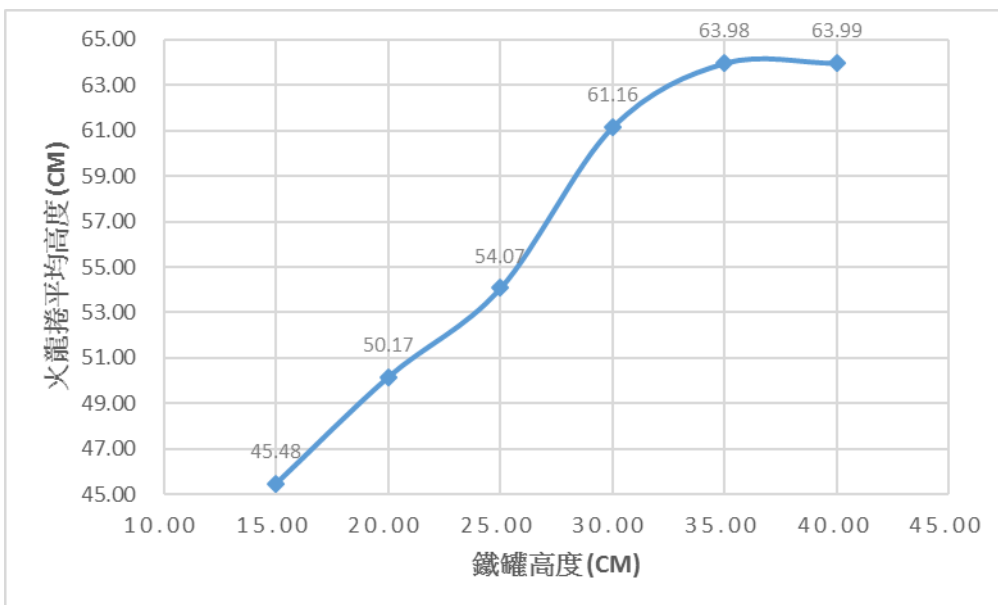
導流鐵罐進風口的重疊度增加，火龍捲的平均高度就愈高，表示導流效果愈好。

(二) 目前形成火龍捲之最佳模組為：

當導流鐵罐為高度 16.15 cm 時，其兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm，以此模組進行實驗二。

二、探討導流鐵罐高度對火龍捲高度的影響

3/7星期四：氣溫15℃ 濕度84%						
鐵罐直徑：13 cm						
鐵罐進風口寬度：0.2 cm						
鐵罐進風口重疊度：1.5 cm						
鐵罐高度(cm)	15.00	20.00	25.00	30.00	35.00	40.00
火龍捲高度(cm)						
第一次	46.40	52.00	53.00	56.98	62.99	65.18
第二次	44.01	48.37	53.01	59.72	64.91	64.51
第三次	46.00	49.01	52.88	63.87	63.97	63.07
第四次	46.50	51.53	56.38	62.12	65.03	62.87
第五次	44.47	49.93	55.09	63.10	63.00	64.31
平均值	45.48	50.17	54.07	61.16	63.98	63.99
標準差	1.16	1.57	1.59	2.81	0.99	0.99



由實驗結果得知：

(一) 隨著導流鐵罐高度的**增加**，火龍捲的平均高度也會隨之**增加**。

但火龍捲可以竄升的高度**卻有極限**，

是甚麼因素限制了火龍捲可以竄升的高度，有待後續討論。

(二) 本實驗獲得形成火龍捲之最猛模組為：

兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm，鐵罐高度為 35 cm 及 40 cm，則火龍捲的平均高度可達 63.98 cm 及 63.99 cm。

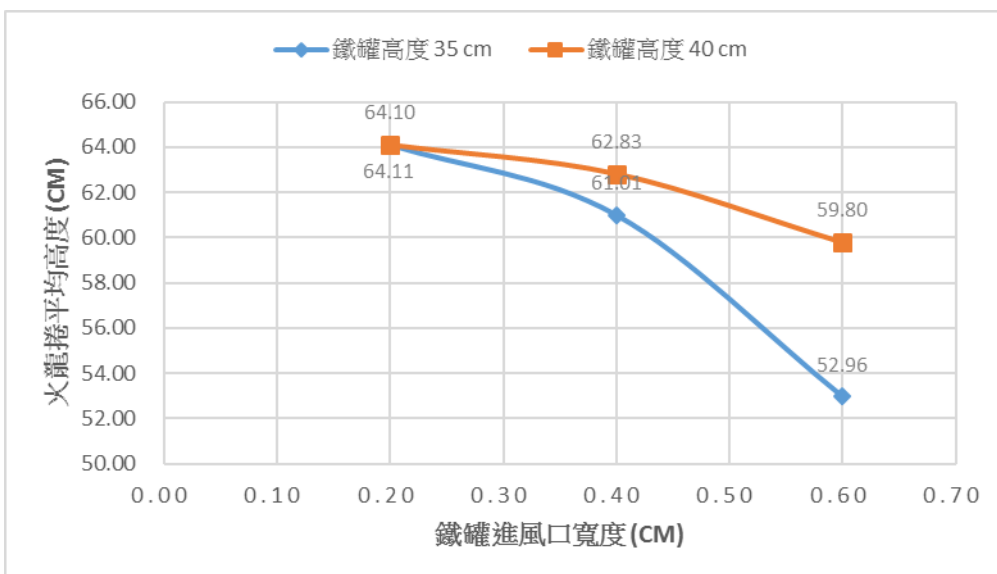
※ 加強版實驗，深入探討高度為 35cm 與 40cm 之導流鐵罐進風口寬度對火龍捲高度的影響

5/11星期六：氣溫 27°C 濕度73%

鐵罐直徑：13 cm

鐵罐進風口重疊度：1.5 cm

鐵罐高度：35 cm				鐵罐高度：40 cm			
鐵罐進風口寬度(cm)	0.20	0.40	0.60	鐵罐進風口寬度(cm)	0.20	0.40	0.60
火龍捲高度(cm)				火龍捲高度(cm)			
第一次	65.18	62.00	53.03	第一次	63.87	62.91	61.00
第二次	63.91	59.89	52.37	第二次	64.00	62.89	58.97
第三次	63.59	61.00	51.51	第三次	64.28	62.56	60.52
第四次	63.89	61.82	54.00	第四次	65.01	62.77	59.49
第五次	64.00	60.32	53.89	第五次	63.36	63.00	59.01
平均值	64.11	61.01	52.96	平均值	64.10	62.83	59.80
標準差	0.62	0.92	1.05	標準差	0.61	0.17	0.92



由實驗結果得知：

(一) 高度為 35cm 與 40cm 之導流鐵罐進風口寬度對火龍捲高度的影響與實驗一的結果相同。

導流鐵罐進風口的寬度愈大，火龍捲的平均高度愈低；

導流鐵罐進風口的寬度愈小，火龍捲的平均高度反而愈高。

(二) 但隨著導流鐵罐進風口寬度的增加，

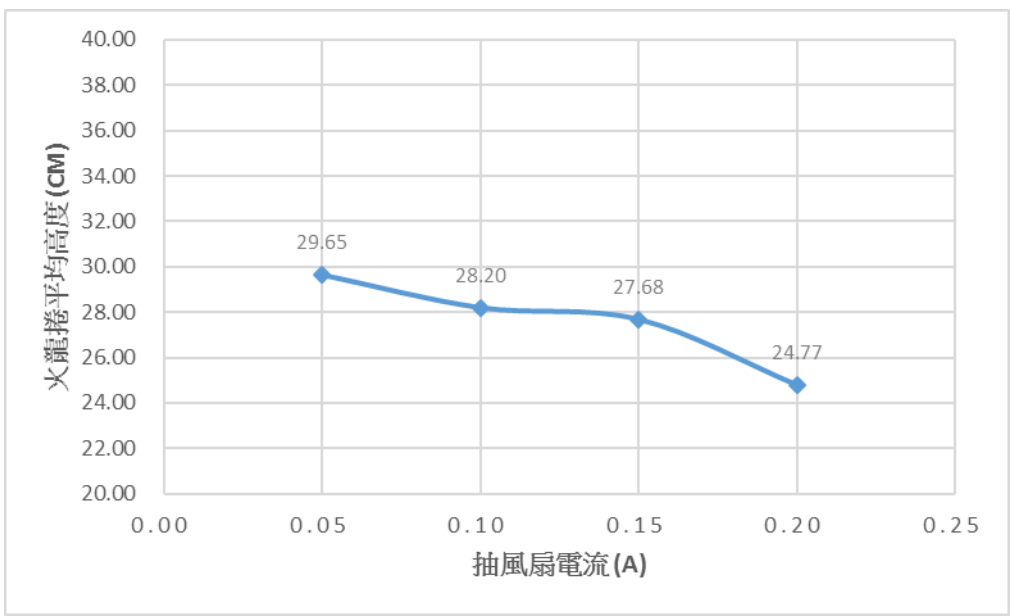
高度 35 cm 的導流鐵罐較高度 40 cm 的導流鐵罐之火龍捲高度衰減較明顯。

三、探討抽風扇風速（電流）及風向（擺放角度）對火龍捲高度及轉速的影響

(一) 抽風扇擺放角度 0 度

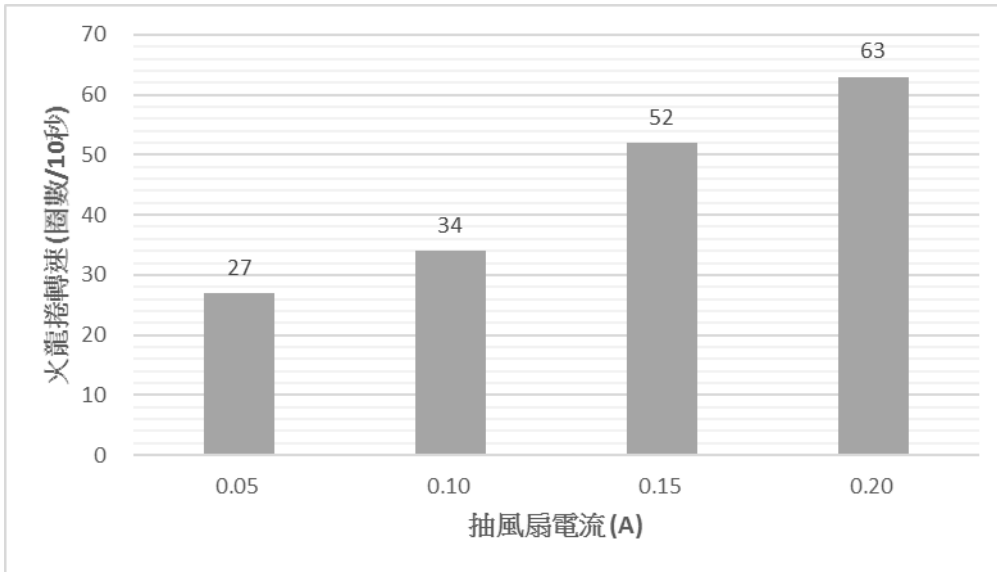
3/10星期日：氣溫16℃ 濕度84%
抽風扇與火焰距離：18 cm
抽風扇擺放角度：0 度

抽風扇電流(A)	0.05	0.10	0.15	0.20	無抽風扇
火龍捲高度(cm)					
第一次	30.51	28.20	26.20	24.01	22.80
第二次	29.32	28.89	28.52	24.49	23.47
第三次	30.71	26.43	29.46	23.51	25.32
第四次	28.90	29.10	25.18	25.67	23.00
第五次	28.80	28.37	29.03	26.18	23.45
平均值	29.65	28.20	27.68	24.77	23.61
標準差	0.90	1.05	1.88	1.12	1.00
火龍捲轉速(圈數/10秒)	27	34	52	63	0



下表為抽風扇（DC12V，0.2A）在不同電流下，其所對應的風速值：

抽風扇電流 (A)	0.05	0.10	0.15	0.20
距離18 cm的風速 (m/s)	1.2	2.0	2.6	2.7



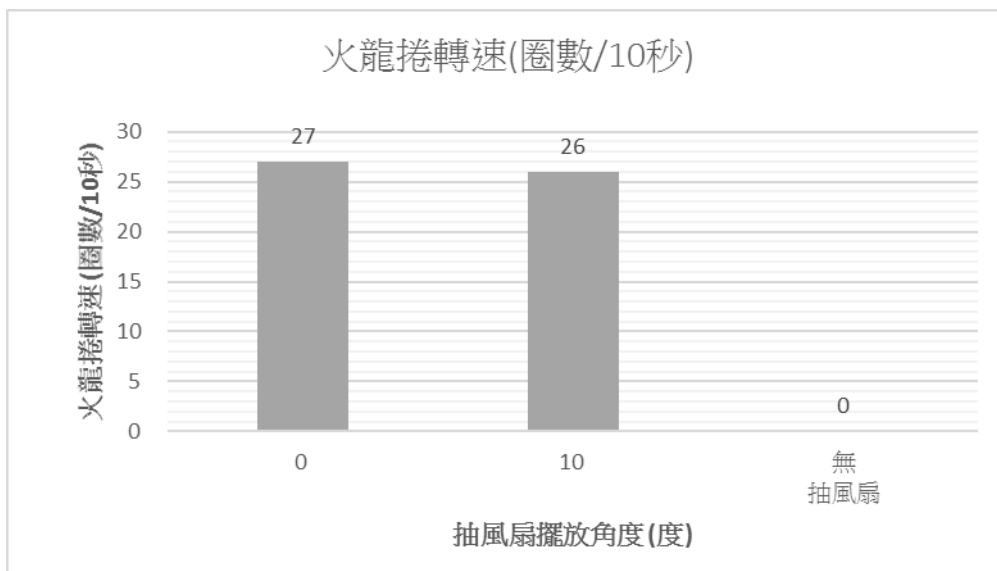
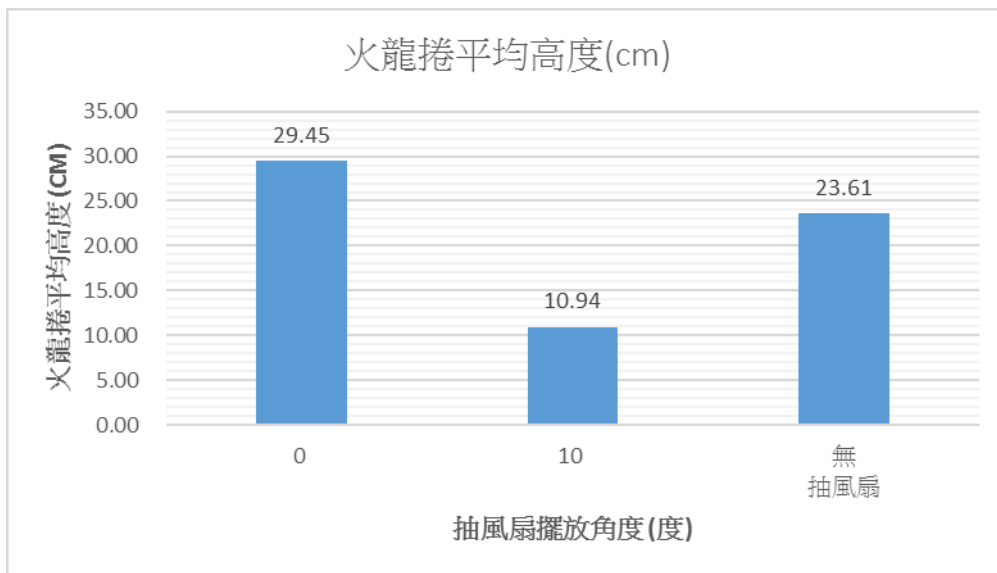
由實驗結果得知：

- (一) 當 6 個抽風扇正對火焰中心、無歪斜 0 度時，
抽風扇的風速愈大，火龍捲每 10 秒旋轉圈數愈多，但火龍捲的平均高度反而愈低。
是甚麼因素限制了火龍捲可以竄升的高度，有待後續討論。
- (二) 抽風扇的風速對火龍捲高度的提升遠不及導流鐵罐的效果。

(二) 抽風扇擺放角度 10 度

3/17星期日：氣溫23°C 濕度77%		
抽風扇與火龍捲距離：18 cm		
抽風扇擺放角度：10 度		
抽風扇電流(A)	0.05	無抽風扇
火龍捲高度(cm)		
第一次	10.57	22.80
第二次	11.73	23.47
第三次	10.97	25.32
第四次	10.61	23.00
第五次	10.82	23.45
平均值	10.94	23.61
標準差	0.47	1.00
火龍捲轉速(圈數/10秒)	26	0

總整理			
抽風扇與火焰距離：18 cm			
抽風扇電流：0.05 A			
抽風扇擺放角度(度)	0	10	無抽風扇
火龍捲平均高度(cm)	29.45	10.94	23.61
火龍捲轉速(圈數/10秒)	27	26	0



由實驗結果得知：

(一) 當 6 個抽風扇維持相同風速時，

「抽風扇正對火焰中心並歪斜 10 度時」，其所獲得火龍捲的平均高度卻低於「抽風扇正對火焰中心、無歪斜 0 度時」所獲得的高度；更低於「無抽風扇時」的火焰高度。

是甚麼因素限制了火龍捲可以竄升的高度，有待後續討論。

(二) 抽風扇的擺放角度對火龍捲的高度影響很大，但對火龍捲的轉速影響不大。

四、探討氣溫對火龍捲高度的影響

(一) 第一組實驗：抽風扇正對鐵杯中心、無歪斜實驗

3/17星期日：氣溫24℃ 濕度77%

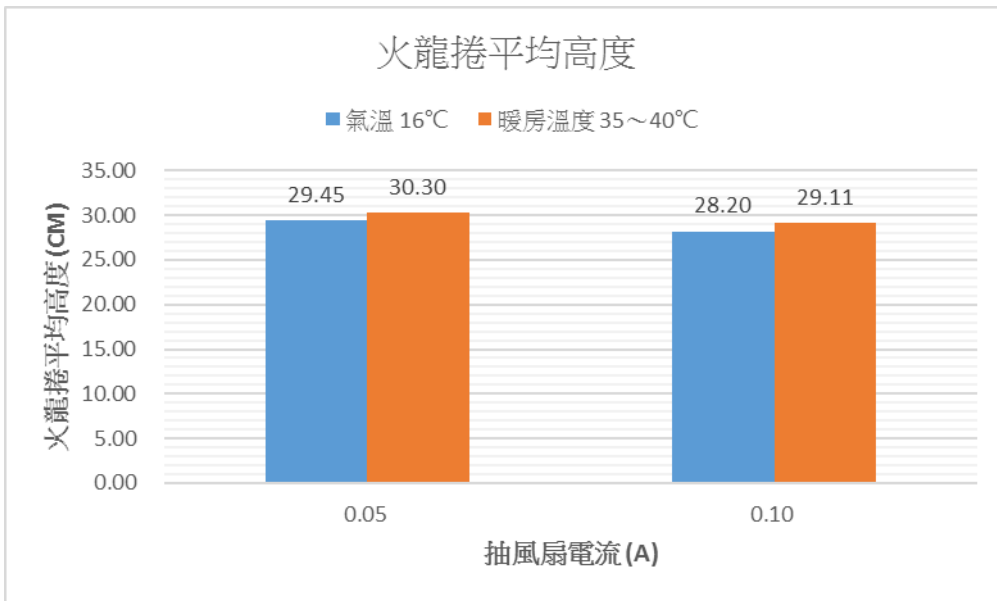
抽風扇與火龍捲距離：18 cm

抽風扇擺放角度：0度

暖房溫度：35~40℃

火龍捲高度(cm)	抽風扇電流(A)	
	0.05	0.10
第一次	28.91	26.97
第二次	30.49	31.90
第三次	29.90	27.88
第四次	30.98	31.20
第五次	31.20	27.61
平均值	30.30	29.11
標準差	0.92	2.26

總整理		
抽風扇與火龍捲距離：18 cm		
抽風扇擺放角度：0度		
火龍捲平均高度(cm)		
抽風扇電流(A)	0.05	0.10
氣溫 16℃	29.45	28.20
暖房溫度 35~40℃	30.30	29.11
平均高度差	0.85	0.91
平均高度增加百分率	2.89%	3.23%



由實驗結果得知：

當抽風扇正對火焰中心、無歪斜0度時，

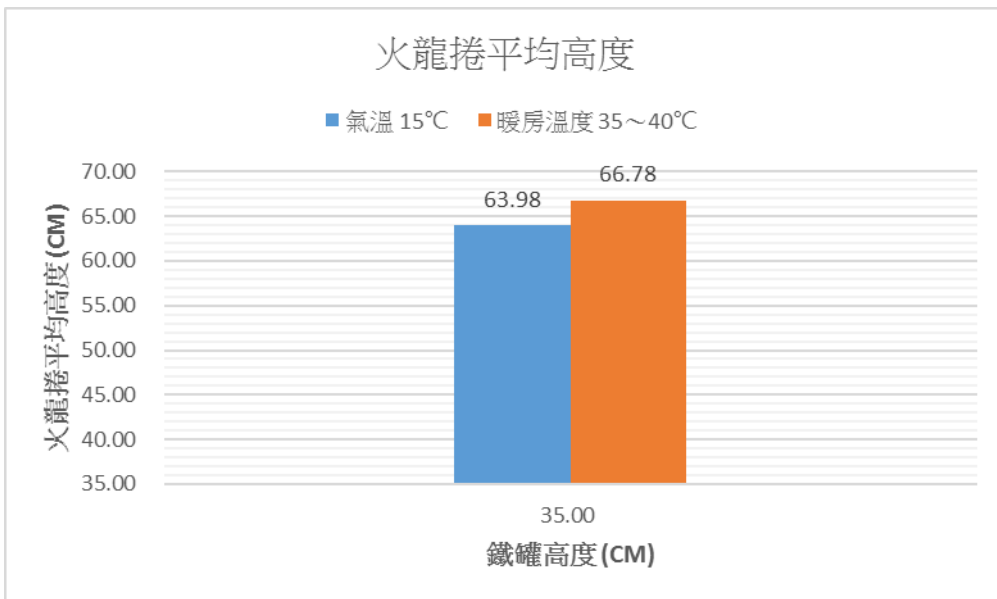
火龍捲在相同條件下，氣溫對火龍捲竄升的平均高度影響不明顯。

氣溫由16℃增加至35℃以上，火龍捲的平均高度略為增加，但高度差異不大。

(二) 第二組實驗：導流鐵罐最猛模組實驗

3/17星期日：氣溫24℃ 濕度77%	
鐵罐直徑：13 cm	
鐵罐高度：35 cm	
鐵罐進風口寬度：0.2 cm	
鐵罐進風口重疊度：1.5 cm	
暖房溫度：35~40℃	
鐵罐高度(cm)	35.00
火龍捲高度(cm)	
第一次	67.02
第二次	67.00
第三次	69.38
第四次	64.95
第五次	65.56
平均值	66.78
標準差	1.71

總整理	
鐵罐直徑：13 cm	
鐵罐高度：35 cm	
鐵罐進風口寬度：0.2 cm	
鐵罐進風口重疊度：1.5 cm	
火龍捲平均高度(cm)	
鐵罐高度(cm)	35.00
氣溫 15℃	63.98
暖房溫度 35~40℃	66.78
平均高度差	2.80
平均高度增加百分率	4.38%



由實驗結果得知：

(一) 當導流鐵罐為最猛模組時，

火龍捲在相同條件下，氣溫對火龍捲竄升的平均高度影響不明顯，其平均高度略為增加 2.8 cm。

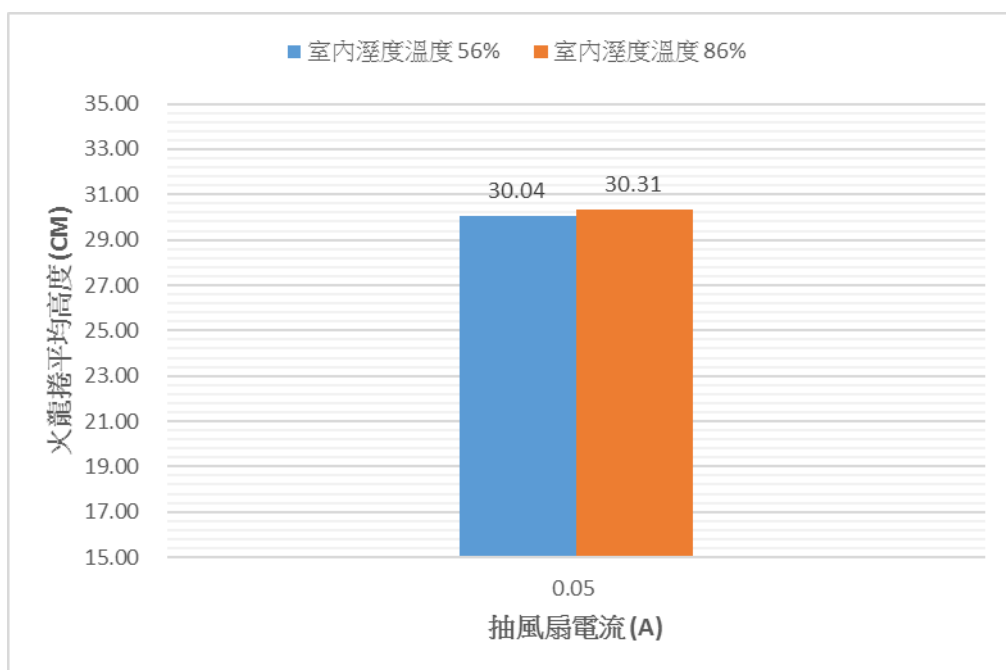
(二) 本實驗獲得形成火龍捲的最兇猛模組為：

當兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm，鐵罐高度為 35 cm，外加暖房至 35℃~40℃之間，則火龍捲的平均高度可達 66.78 cm。

五、探討空氣濕度對火龍捲高度的影響

(一) 第一組實驗：抽風扇正對鐵杯中心、無歪斜實驗

5/26星期日：氣溫28℃ 濕度81%		5/26星期日：氣溫28℃ 濕度81%	
抽風扇與火龍捲距離：18 cm		抽風扇與火龍捲距離：18 cm	
抽風扇擺放角度：0度		抽風扇擺放角度：0度	
室內溼度溫度：56%		室內溼度溫度：86%	
抽風扇電流(A)	0.05	抽風扇電流(A)	0.05
火龍捲高度(cm)		火龍捲高度(cm)	
第一次	28.80	第一次	29.89
第二次	31.18	第二次	30.20
第三次	30.45	第三次	30.80
第四次	30.37	第四次	31.15
第五次	29.41	第五次	29.50
平均值	30.04	平均值	30.31
標準差	0.94	標準差	0.67



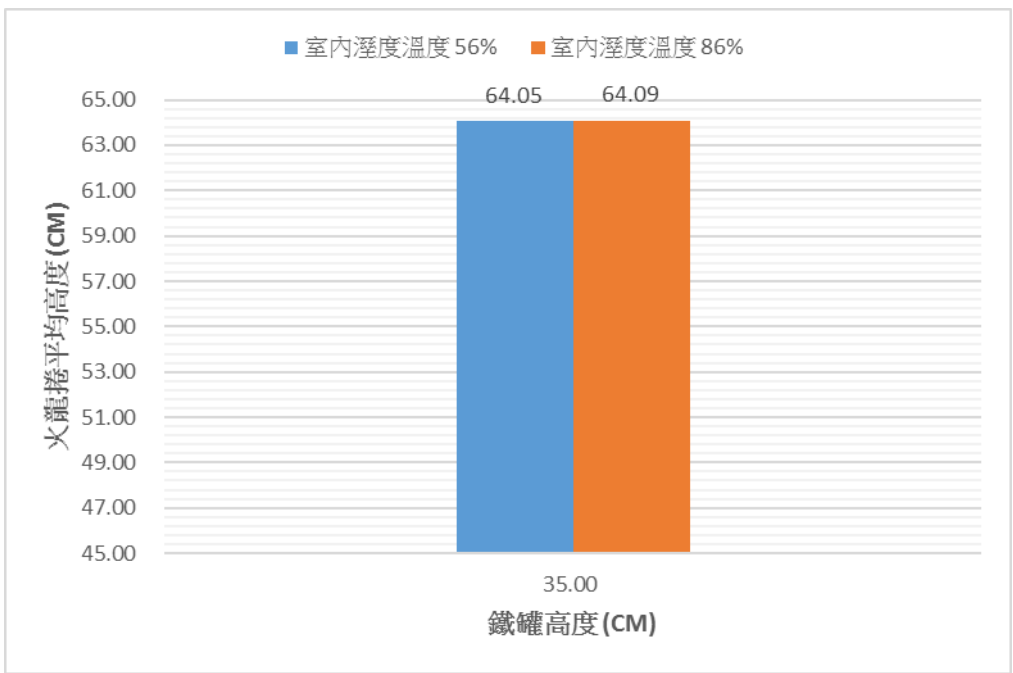
由實驗結果得知：

當抽風扇正對火焰中心、無歪斜時，

火龍捲在相同條件下，空氣濕度對火龍捲的平均高度影響不大。

(二) 第二組實驗：導流鐵罐最猛模組實驗

5/26星期日：氣溫28 °C 濕度81%		5/26星期日：氣溫28 °C 濕度81%	
鐵罐直徑：13 cm		鐵罐直徑：13 cm	
鐵罐高度：35 cm		鐵罐高度：35 cm	
鐵罐進風口寬度：0.2 cm		鐵罐進風口寬度：0.2 cm	
鐵罐進風口重疊度：1.5 cm		鐵罐進風口重疊度：1.5 cm	
室內溼度溫度：56%		室內溼度溫度：86%	
鐵罐高度(cm)	35.00	鐵罐高度(cm)	35.00
火龍捲高度(cm)		火龍捲高度(cm)	
第一次	65.18	第一次	64.24
第二次	64.24	第二次	65.13
第三次	63.71	第三次	62.53
第四次	62.75	第四次	65.16
第五次	64.38	第五次	63.40
平均值	64.05	平均值	64.09
標準差	0.90	標準差	1.14



由實驗結果得知：

當導流鐵罐為最猛模組時，

火龍捲在相同條件下，空氣濕度對火龍捲的平均高度影響不大。

六、探討導流鐵罐最猛模組+抽風扇風速（電流）對火龍捲高度及轉速的影響

3/20星期三：氣溫20 °C 濕度78%

鐵罐直徑：13 cm

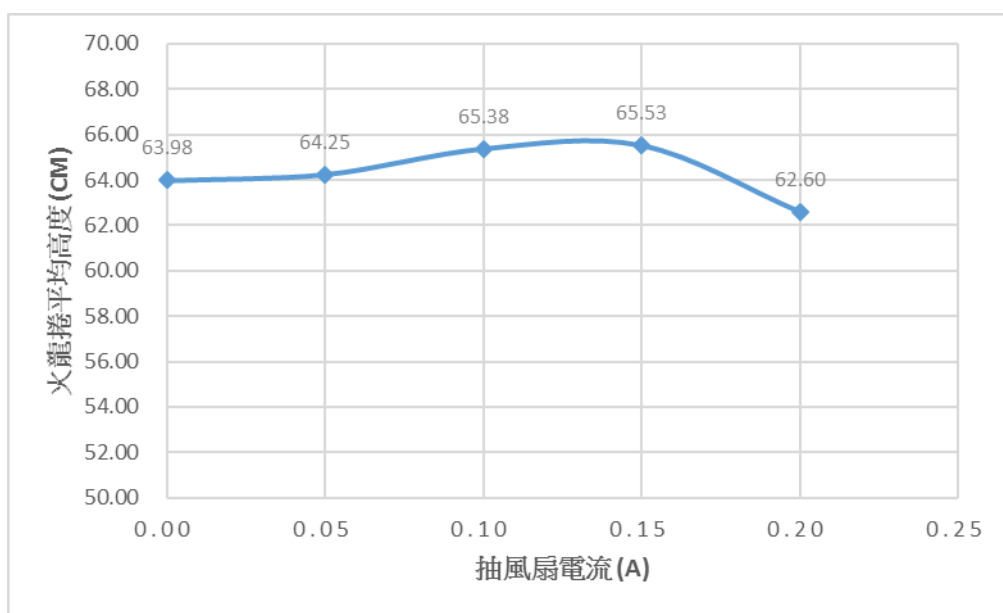
鐵罐高度：35 cm

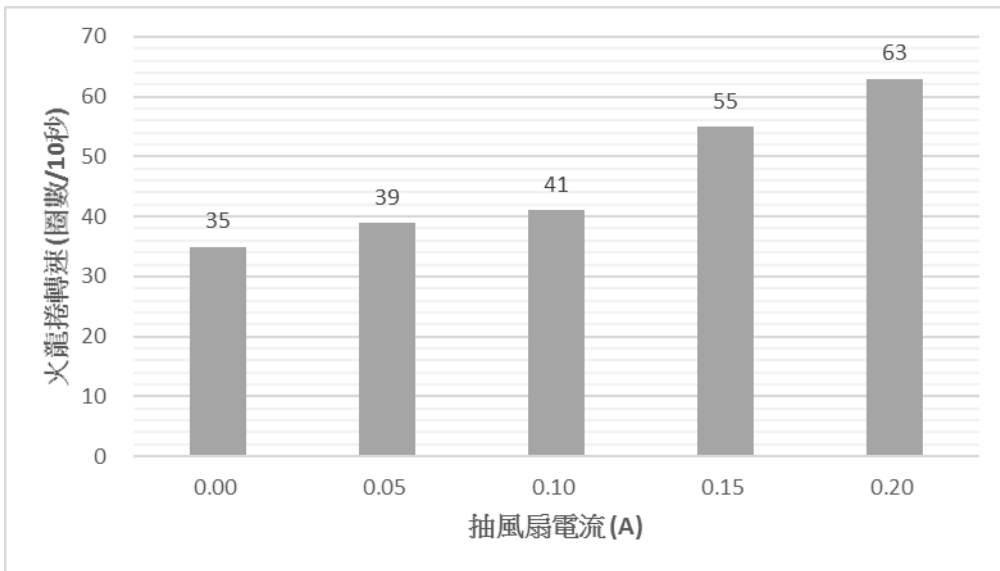
鐵罐進風口寬度：0.2 cm

鐵罐進風口重疊度：1.5 cm

抽風扇與風口距離：5 cm

抽風扇電流(A)	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
火龍捲高度(cm)					
第一次	62.99	64.32	66.15	65.00	60.97
第二次	64.91	63.18	65.49	65.91	64.89
第三次	63.97	64.37	64.63	65.80	62.34
第四次	65.03	65.25	65.90	64.91	63.20
第五次	63.00	64.12	64.75	66.02	61.60
平均值	63.98	64.25	65.38	65.53	62.60
標準差	0.99	0.74	0.68	0.53	1.53
火龍捲轉速(圈數/10秒)	35	39	41	55	63



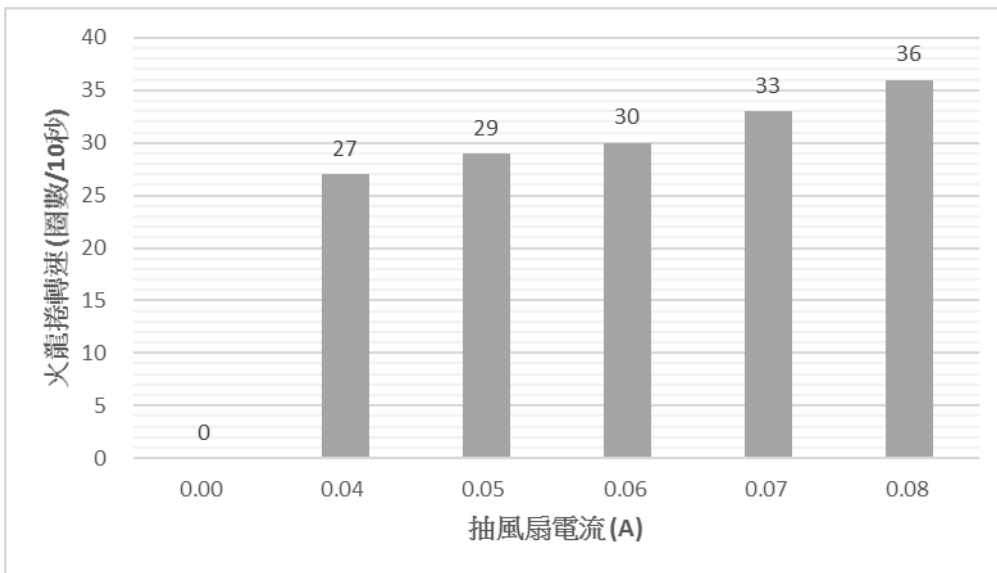
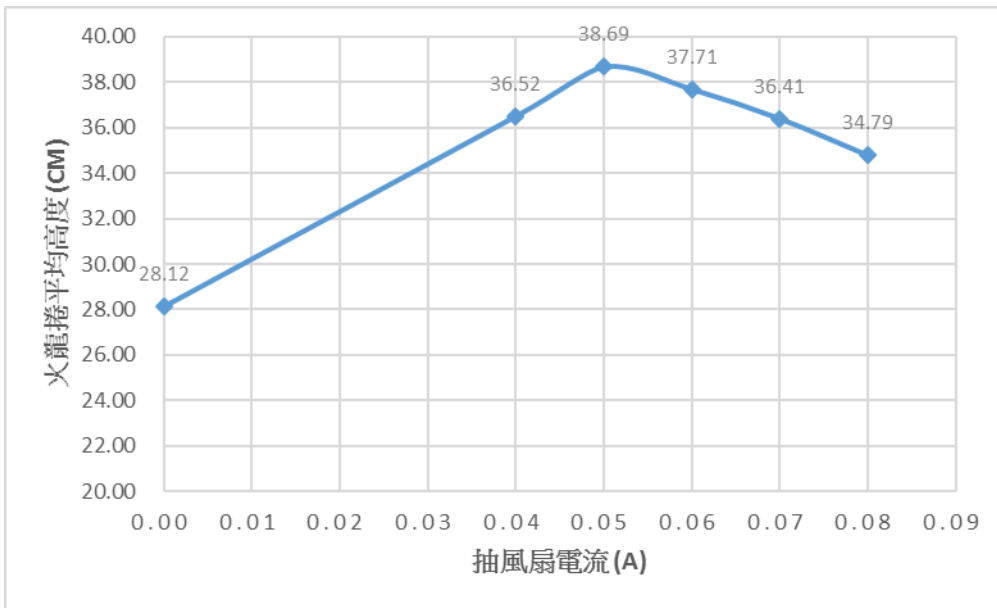


由實驗結果得知：

- (一) 當抽風扇的電流為 0.15 A 時，火龍捲的平均高度最大。
- (二) 但當抽風扇的電流為 0.2 A 時，火龍捲的平均高度反而最小，是甚麼因素限制了火龍捲可以竄升的高度，有待後續討論。
- (三) 隨著抽風扇風速的增加，火龍捲每 10 秒旋轉圈數也隨之增加。

七、模擬森林大火，探究多個火源+抽風扇風速（電流）對火龍捲高度及轉速的影響

5/02星期四：氣溫24 °C 濕度78%						
抽風扇與中心火焰距離：18 cm						
抽風扇擺放角度：0 度						
6個外圍火焰與抽風扇距離：11 cm						
抽風扇電流(A)	0.00	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
火龍捲高度(cm)						
第一次	27.12	35.47	38.02	37.85	36.11	35.87
第二次	28.45	36.82	38.21	37.72	36.16	35.02
第三次	30.00	38.20	40.02	36.71	37.92	35.14
第四次	28.58	35.10	38.69	37.51	36.47	34.13
第五次	26.47	37.00	38.49	38.74	35.38	33.80
平均值	28.12	36.52	38.69	37.71	36.41	34.79
標準差	1.38	1.25	0.79	0.73	0.94	0.83
火龍捲轉速(圈數/10秒)	0	27	29	30	33	36



由實驗結果得知：

- (一) 與實驗三的結果做比較，在抽風扇外圍額外增加 6 個火焰，的確會助長火龍捲的高度。
 - (二) 當抽風扇的電流小於 0.05 A 時，火龍捲的平均高度會隨著抽風扇風速的增加而增加。
 - (三) 當抽風扇的電流為 0.05 A 時，火龍捲的平均高度為最高。
 - (四) 當抽風扇的電流大於 0.05 A 時，火龍捲的平均高度反而降低。
- 是甚麼因素限制了火龍捲可以竄升的高度，有待後續討論。
- (五) 隨著抽風扇風速的增加，火龍捲每 10 秒旋轉圈數也隨之增加。

下表為抽風扇 (DC12V, 0.2A) 在不同電流下，其所對應的風速值：

抽風扇電流 (A)	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08
距離18 cm的風速 (m/s)	1.0	1.2	1.4	1.6	1.7

伍、討論

一、探討導流鐵罐進風口寬度及重疊度對火龍捲高度的影響

(一) 由實驗結果得知，當兩鐵罐進風口的重疊度維持相同時，進風口的寬度愈大，火龍捲的平均高度就愈低。但按照常理來說，導流鐵罐進風口的寬度愈大，所提供的新鮮空氣愈多，可促使酒精燃燒更加旺盛，理論上火龍捲的平均高度應該提升才是。

然而在實驗過程中，我們也有發現如果突然拉開兩鐵罐進風口的寬度，火龍捲的火勢就會突然增強、火焰的高度也會突然增高，但隨後不久火焰就會恢復正常、高度也會隨即降低。這個現象的確證明了大量新鮮空氣的湧入會使原本存在的可燃氣體由悶燒轉為燃燒更旺盛，類似火災學所稱的復燃現象。

我們認為新鮮空氣的湧入雖然可以使燃燒更完全更旺盛，但也可能因為湧入大量的冷空氣而加速了熱量的散失、冷卻了可燃氣體；加上過寬的進風口也會使空氣分子無法有秩序的移動，造成導流效果不佳，如同無導流一般的狀況。

(二) 由實驗結果得知，當兩鐵罐進風口的寬度維持相同時，進風口的重疊度增加，火龍捲的平均高度就愈高。我們推論導流板重疊度增加可以讓空氣分子更加有秩序的移動，使熱量更集中不易散失，造就高溫熱空氣而形成負壓，讓熱空氣隨著導流板向上竄升並引進周圍空氣抽入填補，因此在導流板進風口處及上方開口處皆可感受到明顯的氣流，有風形成。

(三) 由本實驗獲得形成火龍捲之最佳模組：

當導流鐵罐高度為 16.15 cm 時，其兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm。對於口徑只有 7.5 cm 的鐵杯而言，內部盛裝的酒精在燃燒時，0.2 cm 的導流進風口所造成的空氣流通量是足以維持穩定的氣流來形成火龍捲。

火龍捲平均高度(cm)							
鐵罐進風口寬度(cm)	0.20	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
鐵罐進風口重疊度 0 cm	40.88	40.62	37.90	35.71	35.23	33.10	31.11
鐵罐進風口重疊度 0.5 cm	43.11	42.75	40.15	38.69	37.92	34.98	33.26
鐵罐進風口重疊度 1.0 cm	43.63	42.92	40.74	38.98	38.90	37.42	35.18
鐵罐進風口重疊度 1.5 cm	44.31	42.77	40.36	39.13	38.92	37.43	34.28

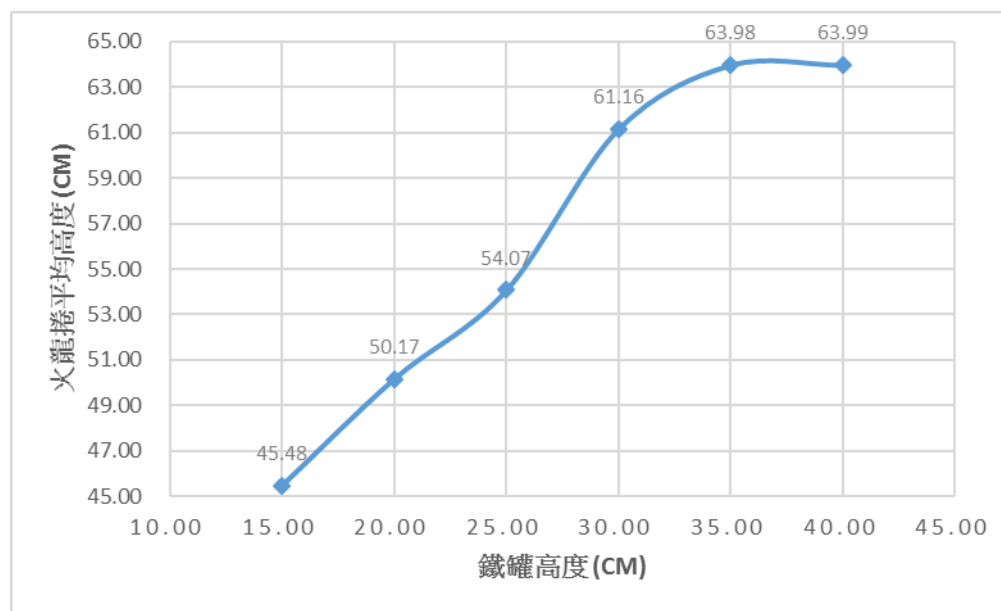
二、探討導流鐵罐高度對火龍捲高度的影響

(一) 由實驗結果得知，當兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm 時，火龍捲的平均高度會隨著導流鐵罐高度的增加而增加，但火龍捲可以竄升的高度卻是有極限的。我們認為火焰周遭熱空氣的溫度限制了火龍捲竄升的高度，也就是火龍捲的高度除了取

決於導流鐵罐的高度，火焰周遭熱空氣的溫度也是關鍵因素。以此類推自然界火龍捲的形成，火焰周遭熱空氣的溫度也扮演著關鍵因素。

(二) 由本實驗獲得形成火龍捲之最猛模組：

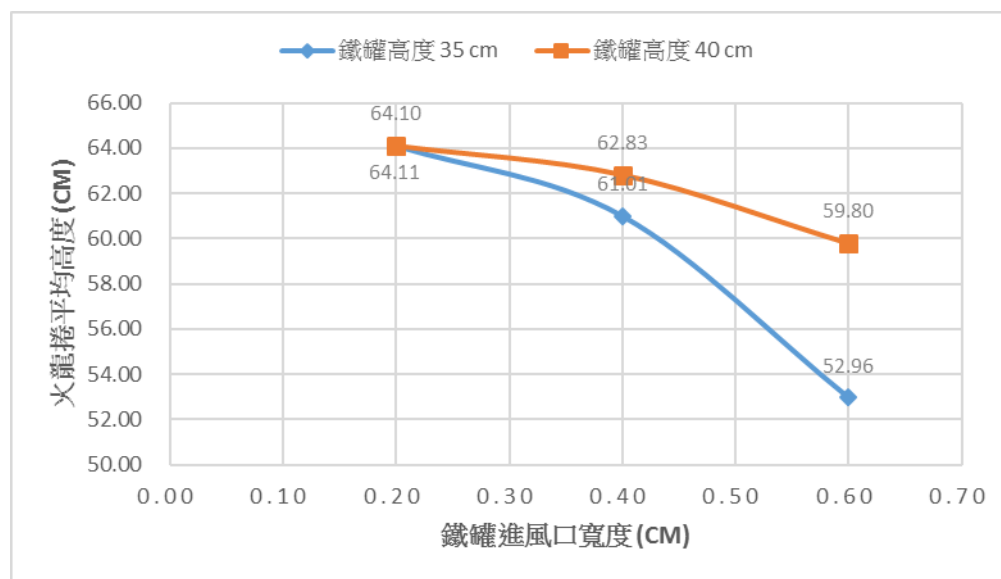
兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm，鐵罐高度分別為 35 cm 及 40 cm 時，則火龍捲的平均高度可達 63.98 cm 及 63.99 cm。



(三) 為何要重新探討 35cm 與 40cm 之導流鐵罐的進風口寬度對火龍捲高度的影響？

因為想確認當導流鐵罐高度為 35cm 與 40cm 時，將進風口寬度加大，是否會因提供更多的新鮮空氣使燃燒更完全更劇烈而再次提升火龍捲高度。

由實驗得知，火龍捲的平均高度隨著導流鐵罐進風口寬度的增加而降低，與實驗一的結果相同，但高度 35 cm 的導流鐵罐較高度 40 cm 的導流鐵罐之火龍捲高度衰減較明顯，火龍捲高度變化與實驗二相驗證，我們認為導流鐵罐的高度愈高，能減緩熱量散失。



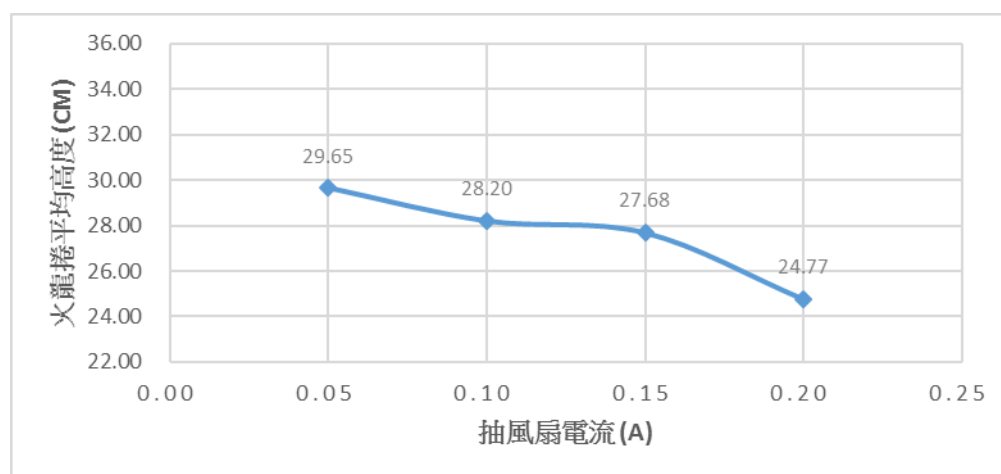
(四) 由實驗一、二的結果，我們聯想到在大都市裡是否有可能在火災發生時，因大樓林立引發了火龍捲而造成更大的災情。因為林立的大樓猶如導流板，在火災發生時可能具有導流效果，使火勢無法控制的向上竄升發展形成火龍捲。

我們認為政府在進行都市建設規劃時，除了規定大樓棟距外，也可將大樓的高度、排列方式及外型列入考慮重點；或許也可以根據目前各縣市大樓的分布狀況進行評估，事先劃分出可能會因火災而引發火龍捲的潛勢區，以提早預防、降低傷害。

三、探討抽風扇風速（電流）及風向（擺放角度）對火龍捲高度及轉速的影響

(一) 由實驗結果得知，當 6 個抽風扇正對火焰中心、無歪斜 0 度時，抽風扇的風速愈大，火龍捲每 10 秒旋轉圈數愈多，但火龍捲的平均高度反而愈低，是甚麼因素限制了火龍捲可以竄升的高度？

我們認為是強風帶來了大量的冷空氣所造成，雖然新鮮的空氣可使燃燒更完全更旺盛，卻也吹散了可燃氣體及帶走了熱量，導致火焰周遭的熱空氣溫度下降所致。這也說明了為什麼我們可以用嘴巴吹熄蠟燭。



(二) 由實驗結果得知，抽風扇的擺放角度對火龍捲的高度影響很大，但對火龍捲的轉速影響不大。當 6 個抽風扇維持相同風速時，「抽風扇正對火焰中心並歪斜 10 度時」，其所獲得火龍捲的平均高度卻低於「抽風扇正對火焰中心、無歪斜時」所獲得的高度；更低於「無抽風扇時」的火焰高度，是甚麼因素限制了火龍捲可以竄升的高度？

我們認為歪斜的風帶走熱量及吹散可燃氣體的效果更好，導致火焰周遭的熱空氣溫度更明顯下降所致。

抽風扇擺放角度(度)	0	10	無抽風扇
火龍捲平均高度(cm)	29.45	10.94	23.61
火龍捲轉速(圈數/10秒)	27	26	0

(三) 在進行抽風扇的相關實驗時，其實我們有觀察到火焰周遭的熱空氣居然不那麼燙手了。雖然紅外線測溫槍是無法用於測量火焰及熱空氣的溫度，但從實驗桌的溫度及受損程度，也可以初步鑑別導流鐵罐的實驗所造就的溫度是高於抽風扇的實驗。

然而在進行導流鐵罐之最猛模組的後期實驗時，多次將鋁箔紙燒熔，可以再次證明導流鐵罐的實驗所造就的溫度是相對高的，因為鋁箔紙可耐 400~600 °C 的高溫呀！

(四) 由實驗結果得知，抽風扇的風速對火龍捲高度的提升遠不及導流鐵罐的效果。其證明：

- 1、導流鐵罐可創造更高溫的熱空氣，有效提升火龍捲高度；
- 2、強風則會導致火焰周遭的熱空氣溫度下降，無法有效提升火龍捲高度。

(五) 在搜尋和整理火龍捲的相關資料中，我們捕抓到形成火龍捲的關鍵因素：高溫野火、乾燥氣候、強風吹送、還有不平坦地勢。雖然強風吹送可以提供更多新鮮的空氣使燃燒更完全更加劇烈，但也會帶走熱量，是相當矛盾的存在。

我們對於自然界形成火龍捲所需的強風，一直存在著疑惑。它的實質條件究竟是自然環境額外提供的強風，還是在形成火龍捲的過程中因為劇烈燃燒所引發的強烈熱對流。由抽風扇實驗得知自然環境若能提供適當強度的風的確會助長火龍捲的發展，但過強的風速反而會抑制火龍捲的發展。然而我們較傾向後者才是形成火龍捲的重要關鍵因素。

(六) 對於自然界所形成的超大尺度火龍捲而言，或許再強的強風只不過是剛剛好而已。這就是為什麼我們可以用嘴巴吹熄蠟燭，卻無法用嘴巴吹熄烈火，主要是尺度大小的問題。對於本實驗的小小火龍捲而言，所謂過強的風速 2.7 m/s（抽風扇電流 0.20 A）在蒲氏風力級數裡只不過是「輕風等級」而已。

抽風扇電流 (A)	0.05	0.10	0.15	0.20
距離18 cm的風速 (m/s)	1.2	2.0	2.6	2.7

本資料取自交通部中央氣象署

蒲福風級	風之稱謂	一般敘述	公尺每秒 m/s	蒲福風級	風之稱謂	一般敘述	公尺每秒 m/s
0	無風calm	煙直上	不足0.3	7	疾風 near gale	全樹搖動， 逆風行走感困難。	13.9-17.1
1	軟風 light air	僅煙能表示風向， 但不能轉動風標。	0.3-1.5	8	大風 gale	小樹枝被吹折， 步行不能前進。	17.2-20.7
2	輕風 light breeze	人面感覺有風，樹葉搖動， 普通之風標轉動。	1.6-3.3	9	烈風 strong gale	建築物有損壞， 煙囪被吹倒。	20.8-24.4
3	微風 gentle breeze	樹葉及小枝搖動不息， 旌旗飄展。	3.4-5.4	10	狂風 storm	樹被風拔起， 建築物有相當破壞。	24.5-28.4
4	和風 moderate breeze	塵土及碎紙被風吹揚， 樹之分枝搖動。	5.5-7.9	11	暴風 violent storm	極少見， 如出現必有重大災害。	28.5-32.6
5	清風 fresh breeze	有葉之小樹開始搖擺。	8.0-10.7	12	颶風 hurricane	-	32.7-36.9
6	強風 strong breeze	樹之木枝搖動，電線發出 呼呼嘯聲，張傘困難。	10.8-13.8	13	-	-	37.0-41.4

四、探討氣溫對火龍捲高度的影響

(一) 由實驗結果得知，火龍捲在相同條件下，氣溫對火龍捲的平均高度影響並不明顯，而氣溫對導流鐵罐組的影響較抽風扇組的影響略大一些。

我們認為高氣溫可使導流鐵罐組的熱量更不易散失，導致略為提升了火龍捲的高度。

(二) 形成火龍捲的關鍵因素為「高溫野火、乾燥氣候、強風吹送、還有不平坦地勢」，我們也對高溫野火的實質條件一直存在著疑惑，究竟是自然環境的高氣溫，還是火焰本身所造就的高溫。然而經由前面 4 個實驗的結果，我們較傾向後者才是重要關鍵因素。

五、探討空氣濕度對火龍捲高度的影響

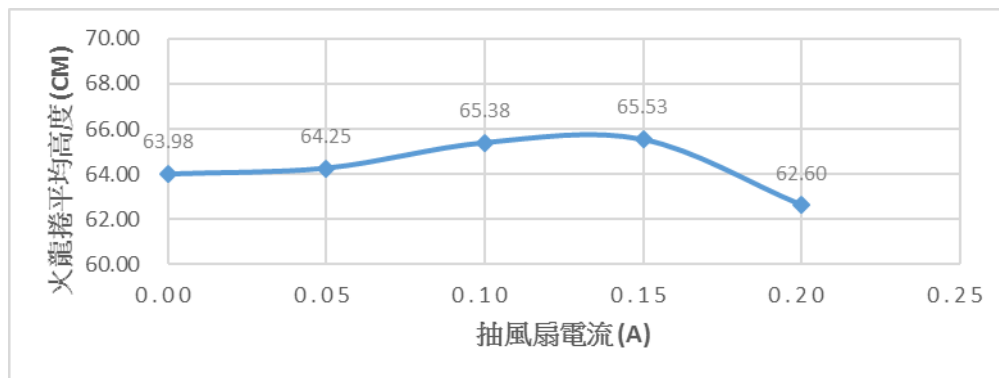
(一) 由實驗結果得知，火龍捲在相同條件下，空氣濕度對火龍捲的平均高度並無影響。對於正在燃燒的火龍捲而言，空氣的濕度並不會影響火龍捲的高度。

(二) 經由一系列的實驗結果，推論「高溫野火、乾燥氣候、強風吹送、還有不平坦地勢」應該是引發森林大火的重要環境條件並間接造成火龍捲。長時間的高溫乾燥會使森林裡積蓄許多易燃的枯枝、落葉、雜草等，只要遇到任何星火都比較容易被引燃，再加上強風的助長及上坡地勢使火焰及熱空氣順勢而上，使森林大火的火勢一發不可收拾、無法阻擋。然而當森林大火達到形成火龍捲的臨界條件時，這時候火龍捲隨即形成。

六、探討導流鐵罐最猛模組 + 抽風扇風速（電流）對火龍捲高度及轉速的影響

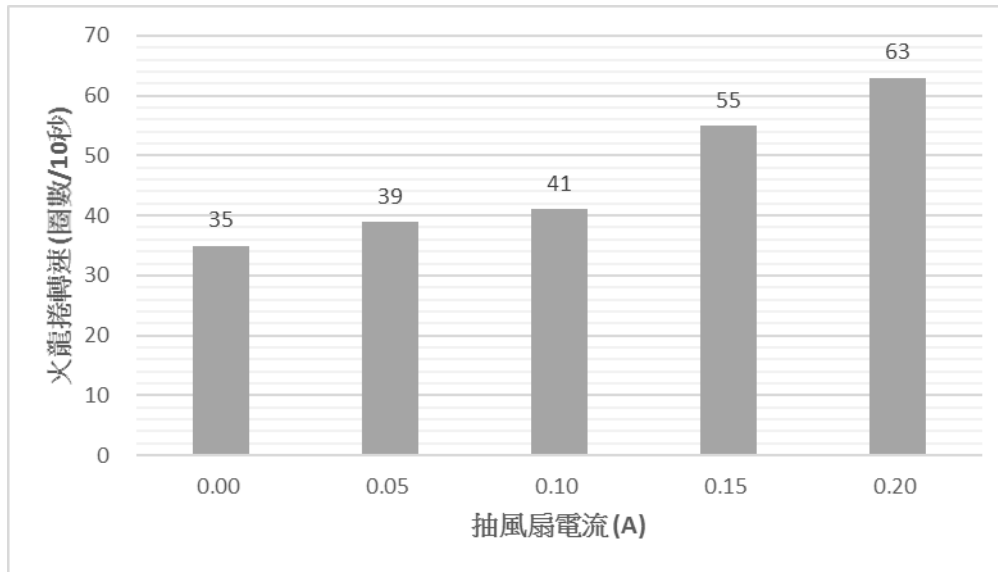
(一) 當導流鐵罐為最猛模組時，火龍捲的平均高度隨著抽風扇風速的增加而增加，但當抽風扇的電流為 0.2A 時，火龍捲的平均高度反而降低，是甚麼因素限制了火龍捲可以竄升的高度？

我們的答案還是一樣的，因為過強的風速會加速熱量散失，導致火焰周遭的熱空氣溫度下降。



(二) 抽風扇的風速愈大，的確會讓火龍捲每 10 秒旋轉圈數愈多。但如果鐵罐內的熱空氣溫度不夠高，強風只不過是讓火龍捲在鐵罐裡原地打轉而已。

抽風扇電流 (A)	0.05	0.10	0.15	0.20
距離 2cm的風速 (m/s)	2.7	4.5	5.3	5.5
距離18cm的風速 (m/s)	1.2	2.0	2.6	2.7



七、模擬森林大火，探究多個火源+抽風扇風速（電流）對火龍捲高度及轉速的影響

（一）將實驗七與實驗三進行對照比較，由實驗結果得知：多個火源的存在的確會助長火龍捲的高度。兩實驗結果的共通處皆指出當抽風扇的電流大於 0.05 A 時，火龍捲的平均高度反而會降低。

我們還是認為因為強風會加速熱量散失，導致火焰周遭的熱空氣溫度下降所致。

（二）對於自然界來勢洶洶的火龍捲而言，要直接撲滅它實屬不容易，但如果能夠有效控制它鄰近的其他火源，或許就能抑制火龍捲的發展。

陸、結論

（一）經由一系列的探究實驗，推論出影響自然界火龍捲形成及發展的關鍵因素如下：

- 1、首要關鍵因素是劇烈燃燒所造就的高溫熱空氣，而不是自然環境的高氣溫。
- 2、次要關鍵因素是火龍捲在形成過程中因劇烈燃燒所引發的強烈熱對流，而不是自然環境所提供的強風。

雖然自然環境若能提供適當強度的風的確會助長火龍捲的發展，但過強的風速反而會抑制火龍捲的發展。然而因劇烈的燃燒造就了高溫的熱空氣，才會與外界環境存在明顯溫差，進而引發強烈熱對流，帶來強勁氣流，才有機會正向回饋演變成火龍捲。

(二) 在實驗過程中，導流板可以讓空氣分子更加有秩序的移動，使熱量集中不易散失，造就高溫熱空氣而形成負壓，讓熱空氣隨著導流板向上竄升，進而引發強烈熱對流產生風，於是在導流板進風口處及上方開口處都可以感受到明顯的強風氣流。當熱空氣從導流板上開口處散溢出去時，會讓周圍的空氣抽入填補，使火勢燃燒更加猛烈。整個實驗結果間接驗證了自然界形成火龍捲的機制—正向回饋的威力。

如果火焰燃燒得不夠劇烈、造成火焰周遭的熱空氣不夠高溫，再加上外界環境所提供的強風來的不是時候，反而可能會破壞火龍捲的形成。

(三) 經由人為干預的模擬實驗，我們得到了兩組「形成火龍捲的最兇猛模組」，如下：

- 1、當兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm，鐵罐高度為 35 cm，外加兩台抽風扇、其電流為 0.05A，則火龍捲的平均高度竟然可達 65.53 cm。
- 2、當兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、進風口寬度為 0.2 cm，鐵罐高度為 35 cm，外加暖房溫度至 35°C ~40°C 之間，那麼火龍捲的平均高度更是高達 66.78 cm。

從這兩組「形成火龍捲的最兇猛模組」，呼應了結論（一）的內容。導流鐵罐與暖房都可造就高溫熱空氣而形成熱對流，而自然環境若能提供適當強度的風的確會助長火龍捲的發展。

(四) 唯有徹底了解火龍捲的形成機制，才有機會針對火龍捲的發生來制定預警與滅火計畫。雖然我們的研究微不足道，不足以徹底了解火龍捲的形成機制，至少可以從本研究結果提前預知火龍捲的火勢發展：

- 1、火龍捲的火勢發展首要關鍵因素是劇烈燃燒所造就的高溫熱空氣，次要關鍵因素是火龍捲在形成過程中因劇烈燃燒所引發的強烈熱對流。而自然環境若能提供適當強度的風的確會助長火龍捲的發展，但過強的風速反而會抑制火龍捲的發展。只是風速到底要多少才能稱為過強的風速？或許這樣的風速根本不存在。
- 2、雖然要直接撲滅火龍捲實屬不容易，但如果能夠有效控制它鄰近的其他火源，或許就能抑制火龍捲的發展。其實解決的最根本之道就是預防森林大火的发生，就可以有效的杜絕火龍捲的發生。
- 3、政府在進行都市建設規劃時，除了規定大樓棟距外，也可將大樓的高度、排列方式及外型列入考慮重點；或許也可以根據目前各縣市大樓的分布狀況進行評估，事先劃分出可能會因火災而引發火龍捲的潛勢區，以提早預防、降低傷害。

(五) 身為人類的我們，愈是深入了解火龍捲，愈是對大自然的力量產生無限敬畏及深深感受到人類的微不足道。如何與地球萬物和平共處、守護地球環境是我們最重要的課題之一。

柒、參考文獻資料

一、預測森林大火與阻止火勢蔓延的實驗

<https://www.bbc.com/ukchina/trad/vert-fut-46040108>

二、極端氣候太驚悚！美國加州驚現野火奇觀 恐怖"火龍捲"捲衝天際！歐洲迎新一波熱浪 英國發"琥珀色"警告 | 記者 楊駿宗 | 【國際局勢】 20220812 | 三立 iNEWS

<https://www.youtube.com/watch?v=l2t7YXTEUBY>

三、最新》葡萄牙暗夜山火風勢強 吹起詭異火龍捲

<https://www.youtube.com/watch?v=ALSg-1F7T1A>

四、正回饋的威力-火龍捲! Fire Tornado

<https://scimage-tw.blogspot.com/2011/01/fire-tornado.html>

五、Fire vortex

<https://www.youtube.com/watch?v=XiO475D0Syc&t=16s>

六、維基百科－火龍捲

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%81%AB%E9%BE%8D%E6%8D%B2>

七、W消防解密

<https://fireleaks.com/%e7%81%ab%e6%ba%90%e6%93%ba%e6%94%be%e4%bd%8d%e7%bd%ae/>

八、NTCU 科學遊戲 Lab：火龍捲

<https://www.ntcu.edu.tw/scigame/chemistry/chemistry-036.html>

【評語】 030504

實驗與自然界火龍捲對比，實驗具難度，團隊工作確實，為少有的創新的研究。

作品簡報

魂亦
未九
「形成人龍捲之
目好神
取血觀天

摘要

本研究是探究「影響自然界火龍捲形成及發展的因素有哪些」，利用酒精燃燒製造火焰、外加導流鐵罐及抽風扇來進行一系列火龍捲模擬實驗。由導流鐵罐的實驗發現：導流板可造就高溫熱空氣，讓熱空氣隨著導流板上升，進而引發氣流產生風。然而火龍捲的高度會隨著導流鐵罐高度的增加、進風口寬度的減小及重疊度的增加而增高。但火焰周遭的熱空氣溫度卻限制了火龍捲的高度發展。至於抽風扇的實驗，驗證了提供適當的風的確會助長火龍捲的發展，但若風速過強，帶走的熱量愈多，火龍捲的高度反而愈低。由研究得知「影響自然界火龍捲形成及發展的關鍵因素」如下：1、首要關鍵是劇烈燃燒所造就的高溫熱空氣。2、次要關鍵是因劇烈燃燒所引發的強烈熱對流。

壹、前言

今年有幸參與科學展覽會，在搜尋與整理火龍捲的相關資料中，我們捕抓到形成火龍捲的關鍵因素：高溫野火、乾燥氣候、強風吹送、還有不平坦地勢。雖然也查閱到相當多模擬火龍捲的個人實驗及科展實驗，但在《科學影像 scimage/科學 Maker》網站中，有一篇文章《正回饋的威力-火龍捲！Fire Tornado》直接點出了火龍捲的模擬實驗與自然界形成的火龍捲有本質上的差異。

文章中提及自然界火龍捲的形成是由劇烈燃燒來加熱空氣，進而帶動上升氣流、引進更多新鮮空氣，隨著燃燒愈來愈劇烈，帶動的氣流量也隨之增加，再次提升了熱空氣的溫度。基於正回饋的威力，最後在火焰中心演變成強烈向上竄升的螺旋氣流，進而變成火龍捲。至於常見的火龍捲模擬實驗，其原理是透過人為干預來降低燃燒與氣流正回饋穩定發生的閾值，也就是即使沒有劇烈的燃燒，也可以造就一條小小的火龍捲。

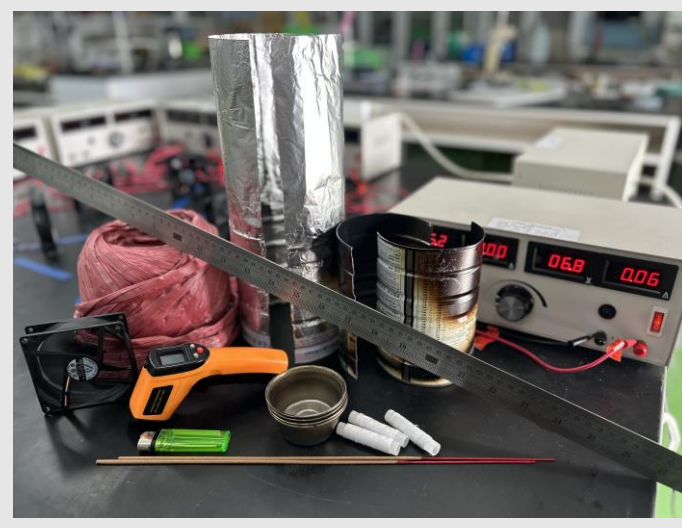
雖然要達到自然界形成火龍捲的條件並不容易，但我們還是想透過人為干預的模擬實驗來探究「影響自然界火龍捲形成及發展的因素有哪些」，進一步藉由對火龍捲形成原因的了解，從而幫助人們能夠提前預知火龍捲的火勢發展以減少不必要的傷害。

以下為本實驗的研究目的：

- 一、探討導流鐵罐進風口寬度及重疊度對火龍捲高度的影響
- 二、探討導流鐵罐高度對火龍捲高度的影響
- 三、探討抽風扇風速及風向對火龍捲高度及轉速的影響
- 四、探討氣溫高低對火龍捲高度的影響
- 五、探討空氣濕度對火龍捲高度的影響
- 六、探討導流鐵罐最猛模組+抽風扇風速對火龍捲高度及轉速的影響
- 七、模擬森林大火，探究多個火源+抽風扇風速對火龍捲高度及轉速的影響

貳、研究設備及器材

- 一、口徑 7.5 cm 鐵杯、酒精
縫衣線、紅色塑膠繩
- 二、廢棄鐵罐、鋁箔紙
淘汰電腦主機的抽風扇
- 三、熱風扇、除濕機
- 四、鐵尺、風速計
- 五、安全配備
2 支六氟丙烷氣體滅火器
3 桶水、3 條濕抹布



參、研究過程或方法

一、探討導流鐵罐進風口寬度及重疊度對火龍捲高度的影響

- (一) 在鐵杯兩側放置高度 16.15 cm、直徑 11.5 cm 的導流鐵罐 → 調整導流鐵罐進風口重疊度及寬度 → 點燃酒精 → 測量火龍捲高度。
- (二) 進風口重疊度調整為 0 cm、0.5 cm、1.0 cm、1.5 cm；
進風口寬度調整為 0.2 cm、0.5 cm、1.0 cm、1.5 cm、2.0 cm、2.5 cm、3.0 cm。

二、探討導流鐵罐高度對火龍捲高度的影響

- (一) 根據實驗一，形成火龍捲之最佳模組為：
兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、寬度為 0.2 cm，以此模組進行實驗。
- (二) 利用鋁箔紙調整鐵罐高度為 15 cm、20 cm、25 cm、30 cm、35 cm、40 cm。

※ 深入探討高度 35cm 與 40cm 導流鐵罐進風口寬度對火龍捲高度的影響

- (一) 根據實驗二，形成火龍捲之最猛模組：
兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、寬度為 0.2 cm，高度為 35 cm 及 40 cm。
- (二) 維持鐵罐高度為 35 cm 及 40 cm，進風口重疊度為 1.5 cm，
其寬度調整為 0.2 cm、0.4 cm、0.6 cm，進行實驗。

三、探討抽風扇風速及風向對火龍捲高度及轉速的影響

- (一) 距離鐵杯中心 18 cm 處，六角對稱放置 6 個抽風扇，無歪斜 0 度 → 調整抽風扇電流並測量風速 → 點燃酒精 → 測量火龍捲的高度及轉速。
- (二) 抽風扇電流依序調整為 0.05 A、0.10 A、0.15 A、0.20 A。
- (三) 更改 6 個抽風扇放置方向，將抽風扇對準鐵杯中心並歪斜 10 度，抽風扇電流調整為 0.05 A。

四、探討氣溫對火龍捲高度的影響

- (一) 在小更衣室進行 → 兩台熱風扇進行暖房 → 當氣溫達 35°C~40°C，即可進行實驗。
- (二) 第一組為「抽風扇正對鐵杯中心、無歪斜實驗」：將抽風扇電流調至 0.05 A 及 0.10 A
- (三) 第二組為「導流鐵罐最猛模組實驗」：其高度為 35cm、進風口重疊度為 1.5 cm、寬度為 0.2 cm。

五、探討空氣濕度對火龍捲高度的影響

- (一) 低濕度實驗：開啟 2 台除濕機進行除濕，待溼度降至 60% 以下，進行上述兩組實驗。
- (二) 高濕度實驗：地面潑水、桌面抹水，開啟吊扇及風扇吹拂，待溼度達 85% 以上，進行實驗。

六、探討導流鐵罐最猛模組+抽風扇風速對火龍捲高度及轉速的影響

- (一) 距離鐵罐進風口 5 cm 處 → 各架設 1 台抽風扇 → 調整抽風扇電流 → 進行實驗。
- (二) 抽風扇電流調整為 0.05 A、0.10 A、0.15 A、0.20 A。

七、模擬森林大火，探究多個火源+抽風扇風速對火龍捲高度及轉速的影響

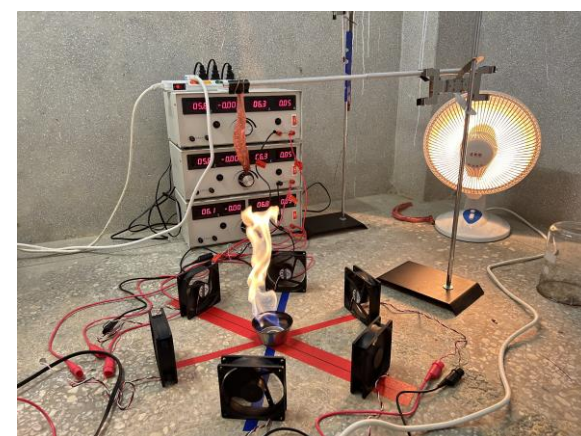
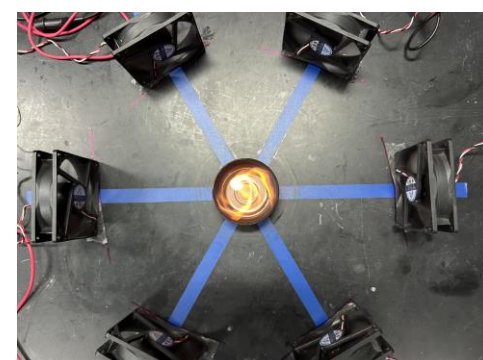
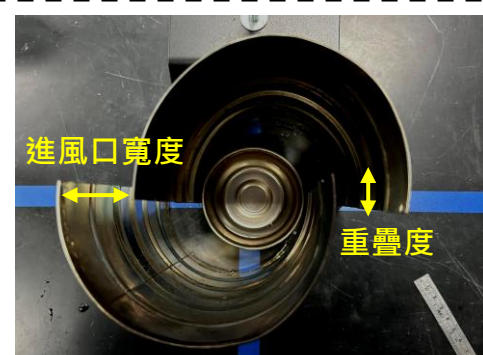
- (一) 距離抽風扇外圍 11 cm 處，額外放置 6 個裝有 50 ml 酒精的鐵杯 → 調整抽風扇電流 → 進行實驗。
- (二) 抽風扇電流調整為 0 A、0.04 A、0.05 A、0.06 A、0.07 A、0.08 A。

■ 測量火龍捲高度的方法

在鐵杯上方吊置縫衣線（或紅色塑膠繩），取適當長度自然垂掛著。
取 50 ml 酒精倒入鐵杯作為燃料，使用線香點燃酒精，等待火焰燃燒上方的縫衣線（或紅色塑膠繩）完畢後，測量縫衣線（或紅色塑膠繩）距離桌面的高度。

■ 測量火龍捲轉速的方法

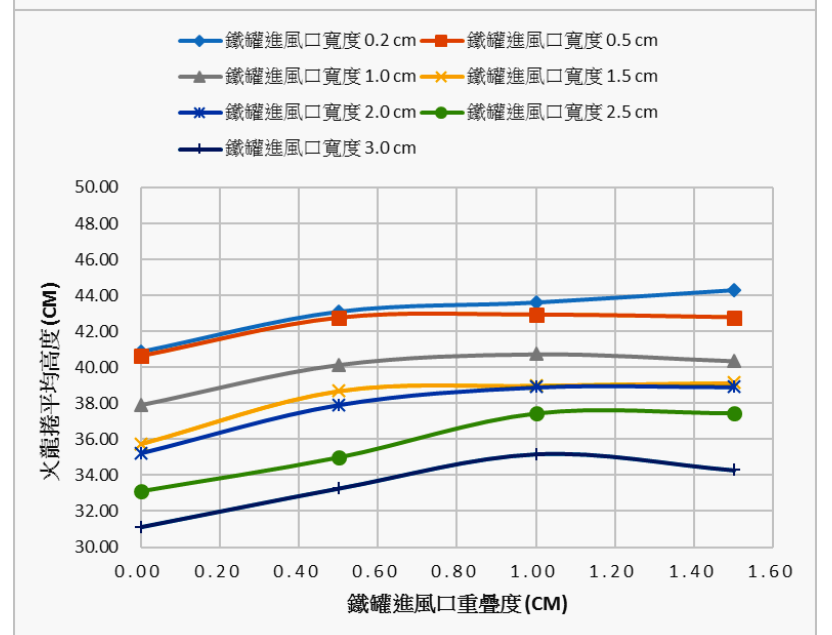
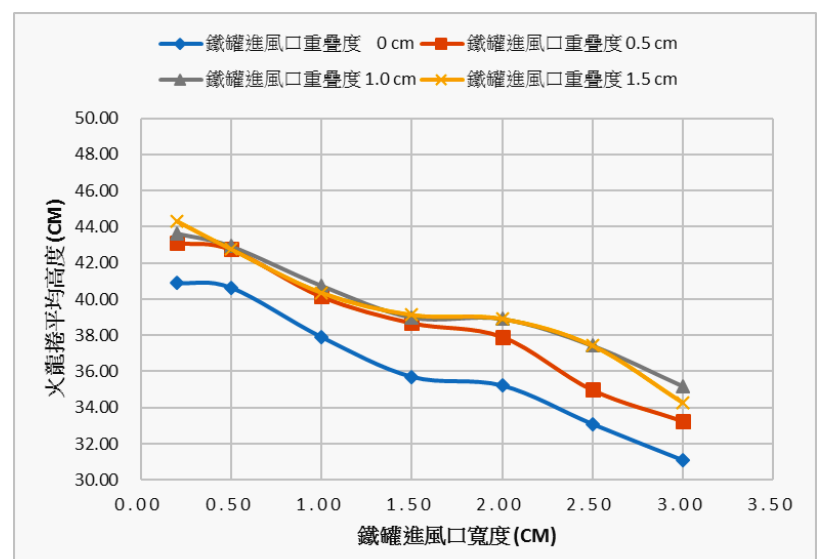
從火焰上方拍攝火龍捲的旋轉狀況，慢速播放影片並計數每 10 秒火龍捲的旋轉圈數。



肆、研究結果 & 伍、討論

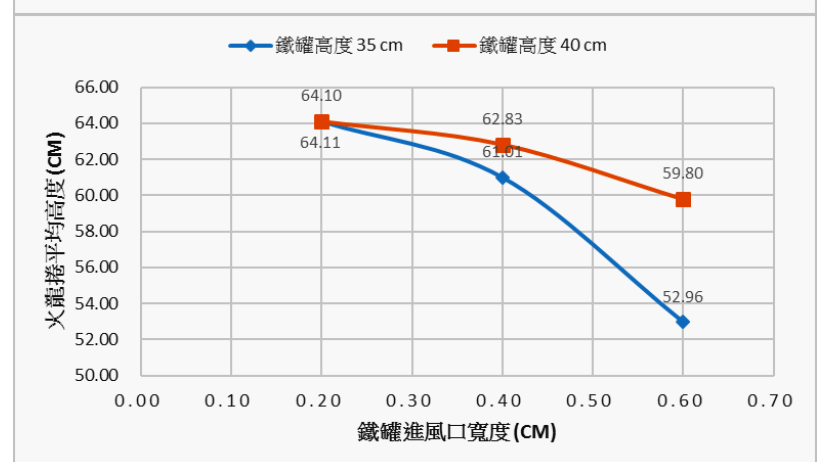
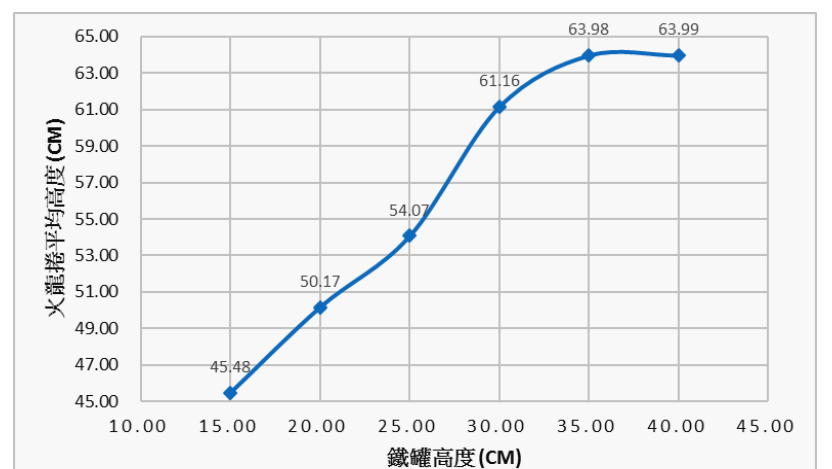
一、探討導流鐵罐進風口寬度及重疊度對火龍捲高度的影響

- (一) 當兩鐵罐進風口的寬度愈大，火龍捲的平均高度就愈低。
按照常理來說，導流鐵罐進風口的寬度愈大，所提供的新鮮空氣愈多，可促使酒精燃燒更加旺盛，理論上火龍捲的高度應該要提升。
- (二) 在實驗中，我們發現如果突然拉開兩鐵罐進風口的寬度，火龍捲的火勢會突然增強，火焰的高度也會突然增高，但隨後不久火焰就會恢復正常、高度也會隨即降低。這個現象的確證明了大量新鮮空氣的湧入會使原本存在的可燃氣體由悶燒轉為燃燒更旺盛，類似火災學所稱的復燃現象。
我們認為新鮮空氣的湧入雖然可以使燃燒更旺盛，但也可能因為湧入大量的冷空氣而加速了熱量的散失，冷卻了可燃氣體；加上過寬的進風口也會使空氣分子無法有序的移動，造成導流不佳，如同無導流的狀況。
- (三) 當兩鐵罐進風口的重疊度增加，火龍捲的平均高度就愈高。
我們推論導流板重疊度增加可以讓空氣分子更有序移動，使熱量更集中不易散失，造就高溫熱空氣而形成負壓，讓熱空氣隨著導流板向上竄升並引進周圍空氣抽入填補，在導流板進風口處及上方開口處皆可感受到明顯氣流，有風形成。
- (四) 由本實驗獲得形成火龍捲之最佳模組：
當導流鐵罐高度為 16.15 cm 時，其進風口重疊度為 1.5 cm、寬度為 0.2 cm。
對於口徑只有 7.5 cm 的鐵杯而言，內部盛裝的酒精在燃燒時，0.2 cm 的導流進風口所造成的空氣流通量是足以維持穩定的氣流來形成火龍捲。



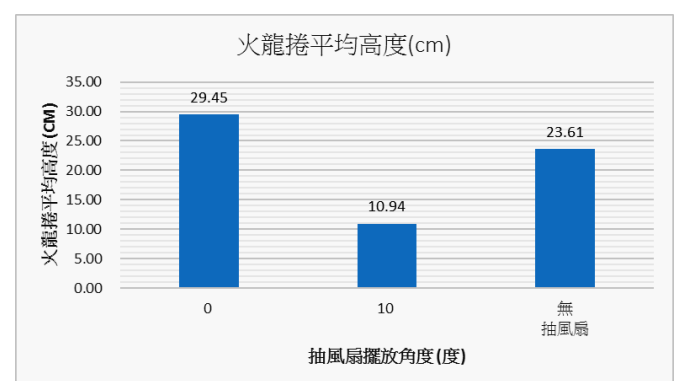
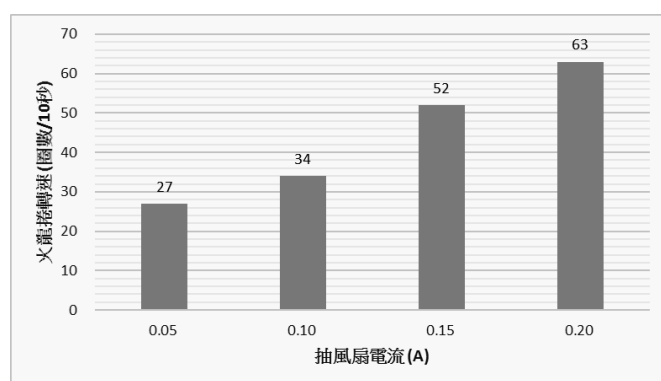
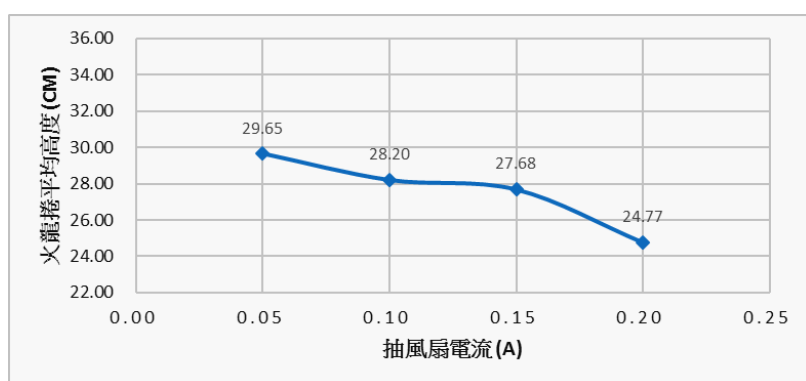
二、探討導流鐵罐高度對火龍捲高度的影響

- (一) 當兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、寬度為 0.2 cm 時，火龍捲的平均高度會隨著導流鐵罐高度的增加而增加，但火龍捲可以竄升的高度卻是有極限的。
我們認為火焰周遭熱空氣的溫度限制了火龍捲竄升的高度，也就是火龍捲的高度除了取決於導流鐵罐高度，火焰周遭熱空氣的溫度也是關鍵因素。可推論自然界火龍捲的形成，火焰周遭熱空氣的溫度也扮演著關鍵因素。
- (二) 由本實驗獲得形成火龍捲之最猛模組：
兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、寬度為 0.2 cm，鐵罐高度分別為 35 cm 及 40 cm 時，則火龍捲的平均高度可達 63.98 cm 及 63.99 cm。
- (三) 為何要深入探討高度 35cm 與 40cm 導流鐵罐進風口寬度對火龍捲高度的影響？
因為想確認當導流鐵罐高度為 35cm 與 40cm 時，將進風口的寬度加大，是否會因提供更多的新鮮空氣而使燃燒更劇烈而再次提升火龍捲高度呢？不會，實驗結果還是與實驗一相同。
但高度 35 cm 的導流鐵罐較高度 40 cm 的導流鐵罐之火龍捲高度衰減較明顯，與實驗二互相驗證，我們認為導流鐵罐的高度愈高，能減緩熱量散失。
- (四) 由實驗一、二，我們聯想到大都市裡是否有可能在火災發生時，因大樓林立引發了火龍捲而造成更大的災情。因為林立的大樓猶如導流板，在火災發生時可能具有導流效果，使火勢無法控制的向上竄升發展形成火龍捲。我們認為政府在進行都市建設規劃時，除了規定大樓棟距外，也可將大樓的高度、排列方式及外型列入考慮重點；或許也可以根據目前各縣市大樓的分布狀況進行評估，事先劃分出可能會因火災而引發火龍捲的潛勢區，以提早預防、降低傷害。



三、探討抽風扇風速及風向火龍捲高度及轉速的影響

- (一) 當 6 個抽風扇正對火焰中心、無歪斜 0 度時，抽風扇的風速愈大，火龍捲每 10 秒旋轉圈數愈多，但火龍捲的平均高度反而愈低。
我們認為是強風帶來了大量的冷空氣所造成。雖然新鮮的空氣可使燃燒更完全更旺盛，卻也吹散了可燃氣體及帶走了熱量，導致火焰周遭的熱空氣溫度下降所致。這也說明了為什麼我們可以用嘴巴吹熄蠟燭。
- (二) 當 6 個抽風扇維持相同風速時，「抽風扇正對火焰中心並歪斜 10 度時」所獲得火龍捲的平均高度卻低於「抽風扇正對火焰中心、無歪斜時」所獲得的高度；更低於「無抽風扇時的火焰高度」。抽風扇的擺放角度對火龍捲的高度影響很大，但對火龍捲的轉速影響不大。
我們認為歪斜的風帶走熱量及吹散可燃氣體的效果更好，導致火焰周遭的熱空氣溫度更明顯下降所致。



- (三) 由實驗結果得知，抽風扇的風速對火龍捲高度的提升遠不及導流鐵罐的效果，其證明：
1、導流鐵罐可創造更高溫的熱空氣，有效提升火龍捲高度；
2、強風則會導致火焰周遭的熱空氣溫度下降，無法有效提升火龍捲高度。
- (四) 雖然強風吹送可以提供更多新鮮的空氣使燃燒更完全更劇烈，但也會帶走熱量，這是相當矛盾的存在。

抽風扇電流 (A)	0.05	0.10	0.15	0.20
距離 18 cm 的風速 (m/s)	1.2	2.0	2.6	2.7

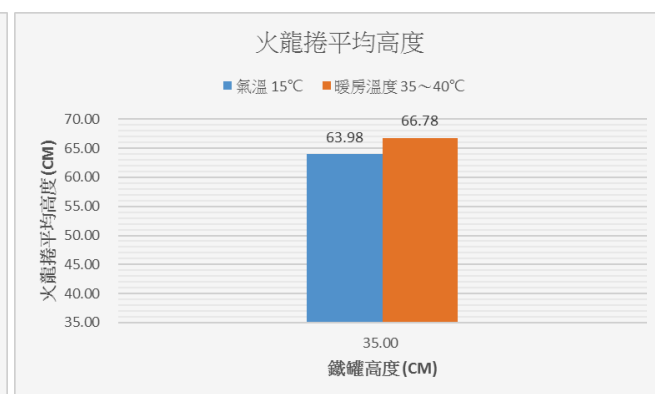
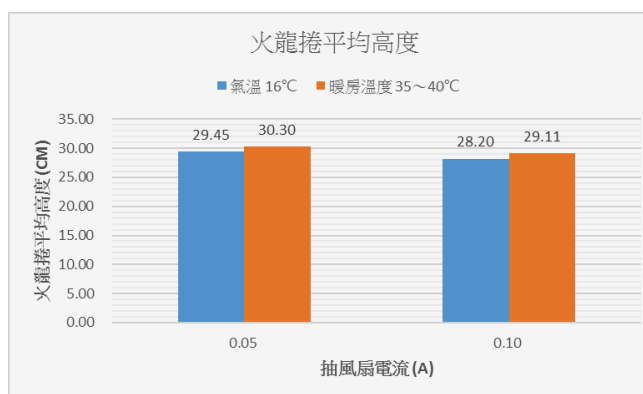
我們對於自然界形成火龍捲所需的強風吹送，一直存在著疑惑。它的實質條件究竟是自然環境額外提供的強風，還是在形成火龍捲的過程中因劇烈燃燒所引發的強烈熱對流。由抽風扇實驗得知，自然環境若能提供適當強度的風的確會助長火龍捲的發展，但過強的風速反而會抑制火龍捲的發展。然而我們較傾向後者才是形成火龍捲的重要關鍵因素。

- (五) 對於自然界所形成的超大尺度火龍捲而言，或許再大的強風只不過是剛剛好而已。這就是為什麼我們可以用嘴巴吹熄蠟燭，卻無法用嘴巴吹熄烈火，主要是尺度大小的問題。
對於本實驗的小小火龍捲而言，所謂過強的風速 2.7 m/s (抽風扇電流 0.20 A) 在蒲氏風力級數裡只不過是「輕風等級」而已。

本資料取自交通部中央氣象署							
蒲福風級	風之稱謂	一般敘述	公尺每秒 m/s	蒲福風級	風之稱謂	一般敘述	公尺每秒 m/s
0	無風 calm	煙直上	不足0.3	7	疾風 near gale	全樹搖動，逆風行走感困難。	13.9-17.1
1	軟風 light air	僅煙能表示風向，但不能轉動風標。	0.3-1.5	8	大風 gale	小樹枝被吹折，步行不能前進。	17.2-20.7
2	輕風 light breeze	人面感覺有風，樹葉搖動，普通之風標轉動。	1.6-3.3	9	烈風 strong gale	建築物有損壞，煙窗被吹倒。	20.8-24.4
3	微風 gentle breeze	樹葉及小枝搖動不息，旌旗飄展。	3.4-5.4	10	狂風 storm	樹被風拔起，建築物有相當破壞。	24.5-28.4
4	和風 moderate breeze	塵土及碎紙被風吹揚，樹之分枝搖動。	5.5-7.9	11	暴風 violent storm	極少見，如出現必有重大災害。	28.5-32.6
5	清風 fresh breeze	有葉之小樹開始搖擺。	8.0-10.7	12	颶風 hurricane	-	32.7-36.9
6	強風 strong breeze	樹之木枝搖動，電線發出呼呼聲，張傘困難。	10.8-13.8	13	-	-	37.0-41.4

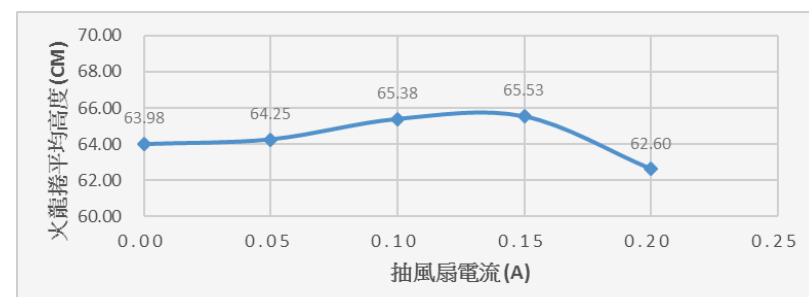
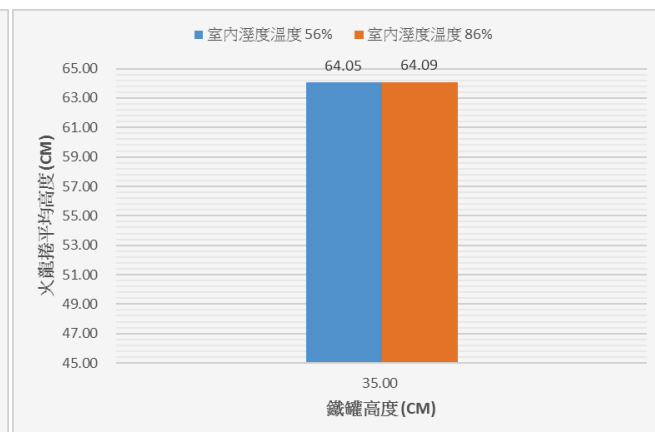
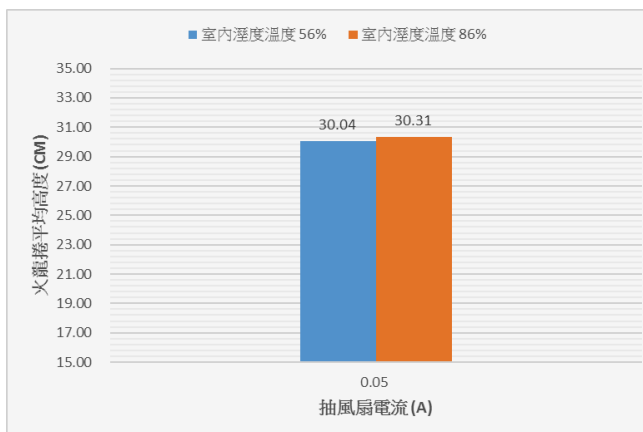
四、探討氣溫對火龍捲高度的影響

- (一) 氣溫對火龍捲的平均高度影響並不明顯，氣溫對導流鐵罐的影響較抽風扇略大一些。我們認為高氣溫可使導流鐵罐組的熱量更不易散失，導致略為提升了火龍捲的高度。
- (二) 我們也對自然界形成火龍捲所需高溫的實質條件一直存在著疑惑，究竟是自然環境的高氣溫，還是火焰本身所造就的高溫。然而經由前面 4 個實驗的結果，我們較傾向後者才是重要關鍵因素。



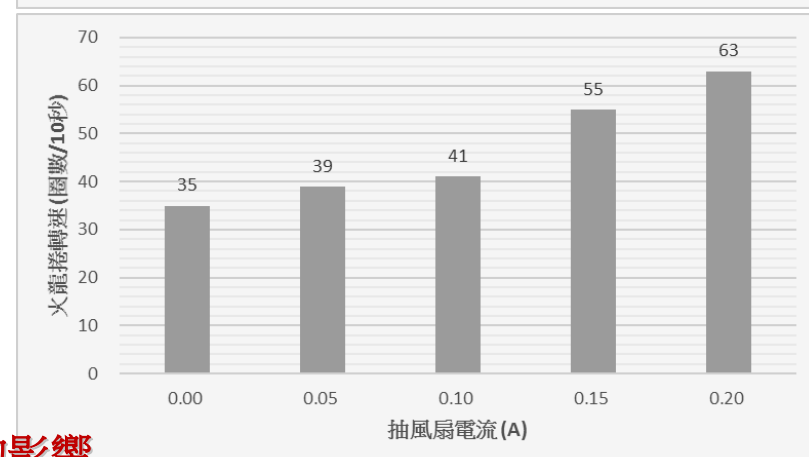
五、探討空氣濕度對火龍捲高度的影響

- (一) 空氣濕度對火龍捲的平均高度並無影響。對火龍捲而言，空氣濕度並不影響火龍捲的高度。
- (二) 由一系列的實驗結果推論「高溫野火、乾燥氣候、強風吹送、還有不平坦地勢」應該是引發森林大火的重要環境條件，藉此間接造成火龍捲。長時間的高溫乾燥會使森林裡積蓄許多易燃的枯枝、落葉、雜草等，只要遇到任何星火都比較容易被引燃，再加上強風的助長及上坡地勢使火焰及熱空氣順勢而上，使森林大火的火勢一發不可收拾、無法阻擋。然而當森林大火達到形成火龍捲的臨界條件時，這時候火龍捲隨即形成。



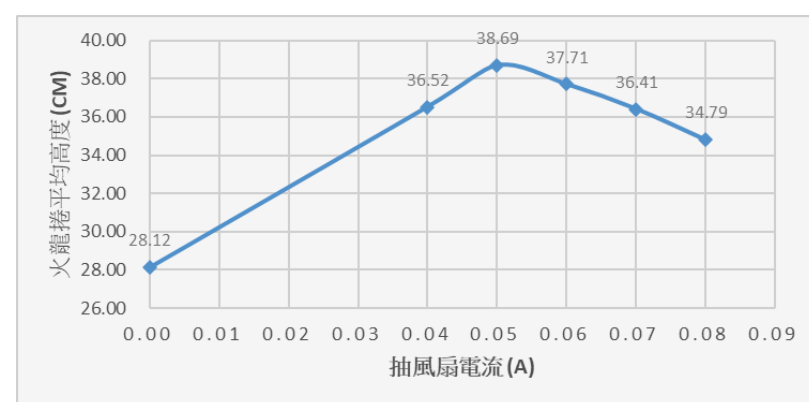
六、探討導流鐵罐最猛模組 + 抽風扇風速對火龍捲高度及轉速的影響

- (一) 當導流鐵罐為最猛模組時，火龍捲的平均高度隨著抽風扇風速的增加而增加，但當抽風扇的電流為 0.2A 時，火龍捲的平均高度反而降低。因為過強的風速會加速熱量散失，導致火焰周遭的熱空氣溫度下降。
- (二) 抽風扇的風速愈大，的確會讓火龍捲每 10 秒旋轉圈數愈多。但如果鐵罐內的熱空氣溫度不夠高，強風只不過是讓火龍捲在鐵罐裡原地打轉而已。



七、模擬森林大火，探究多個火源 + 抽風扇風速對火龍捲高度及轉速的影響

- (一) 將實驗七與實驗三進行對照比較，可得知：多個火源的存在的確會助長火龍捲的高度。兩實驗的共通處皆指出當抽風扇的電流大於 0.05 A 時，火龍捲的平均高度反而會降低。我們還是認為因為強風會加速熱量散失，導致火焰周遭的熱空氣溫度下降所致。
- (二) 對於自然界來勢洶洶的火龍捲而言，要直接撲滅它實屬不容易，但如果能夠有效控制它鄰近的其他火源，或許就能抑制火龍捲的發展。



陸、結論

- (一) 經由一系列的實驗，推論出影響自然界火龍捲形成及發展的關鍵因素如下：
- 首要關鍵因素是劇烈燃燒所造就的高溫熱空氣，而不是自然環境的高氣溫。
 - 次要關鍵因素是火龍捲在形成過程中因劇烈燃燒所引發的強烈熱對流，而不是自然環境所提供的強風。雖然自然環境若能提供適當強度的風的確會助長火龍捲的發展，但過強的風速反而會抑制火龍捲的發展。然而因劇烈的燃燒造就了高溫的熱空氣，才會與外界環境存在明顯溫差，進而引發強烈熱對流，帶來強勁氣流，才有機會正向回饋演變成火龍捲。
- (二) 在實驗過程中，導流板可以讓空氣分子更有秩序的移動，使熱量集中不易散失，造就高溫熱空氣而形成負壓，讓熱空氣隨著導流板向上竄升，進而引發強烈熱對流產生風，於是在導流板進風口處及上方開口處都可以感受到明顯的氣流。當熱空氣從導流板上開口散溢出去時，會讓周圍的空氣抽入填補，使火勢燃燒更加猛烈。整個實驗結果間接驗證了自然界形成火龍捲的機制—正向回饋的威力。如果火焰燃燒得不夠劇烈、造成火焰周遭的熱空氣不夠高溫，再加上外界環境所提供的強風來的不是時候，反而可能會破壞火龍捲的形成。
- (三) 經由人為干預的模擬實驗，我們得到了兩組「形成火龍捲的最兇猛模組」，如下：
- 當兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、寬度為 0.2 cm，鐵罐高度為 35 cm，外加兩台抽風扇電流為 0.05A，則火龍捲的平均高度竟然可達 65.53 cm。
 - 當兩鐵罐進風口重疊度為 1.5 cm、寬度為 0.2 cm，鐵罐高度為 35 cm，外加暖房溫度至 35°C~40°C，則火龍捲的平均高度更是高達 66.78 cm。以上呼應了結論 (一)。導流鐵罐與暖房都可造就高溫熱空氣而形成熱對流；外加兩台抽風扇提供適當強度的風的確會助長火龍捲的發展。
- (四) 唯有徹底了解火龍捲的形成機制，才有機會針對火龍捲的發生來制定預警與滅火計畫。雖然我們的研究微不足道，不足以徹底了解火龍捲的形成機制，至少可以從本研究結果提前預知火龍捲的火勢發展：
- 火龍捲的火勢發展首要關鍵因素是劇烈燃燒所造就的高溫熱空氣，次要關鍵因素是火龍捲在形成過程中因劇烈燃燒所引發的強烈熱對流。而自然環境若能提供適當強度的風的確會助長火龍捲的發展，但過強的風速反而會抑制火龍捲的發展。只是風速到底要多少才能稱為過強的風速？或許這樣的風速根本不存在。
 - 雖然要直接撲滅火龍捲實屬不容易，但如果能夠有效控制它鄰近的其他火源，或許就能抑制火龍捲的發展。其實解決的最根本之道就是預防森林大火的發生，就可以有效的杜絕火龍捲的發生。
 - 政府在進行都市建設規劃時，除了規定大樓棟距外，也可將大樓的高度、排列方式及外型列入考慮重點；或許也可以根據目前各縣市大樓的分布狀況進行評估，事先劃分出可能會因火災而引發火龍捲的潛勢區，以提早預防、降低傷害。

柒、參考文獻資料

一、預測森林大火與阻止火勢蔓延的實驗

<https://www.bbc.com/ukchina/trad/vert-fut-46040108>

二、正回饋的威力-火龍捲! Fire Tornado

<https://scimage-tw.blogspot.com/2011/01/fire-tornado.html>

三、維基百科—火龍捲

<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E7%81%AB%E9%BE%8D%E6%8D%B2>

四、W消防解密

<https://fireleaks.com/%e7%81%ab%e6%ba%90%e6%93%ba%e6%94%be%e4%bd%8d%e7%bd%ae/>