

水霧式隔煙系統之 技術與應用研究 (1/3)

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 94 年 12 月

國科會 GRB 編號
PG 9402-0461
本部計畫編號
MOIS 09430107000G1008

水霧式隔煙系統之 技術與應用研究 (1/3)

受委託者：中華民國建築學會

研究主持人：蔡榮鋒

研究員：李正國

研究助理：陳亮廷

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 94 年 12 月

目次

表次	V
圖次	VII
摘要	XI
第一章 緒論	1
第一節 背景	1
第二節 目的	2
第二章 文獻回顧	5
第一節 撒水頭(Sprinkler)	6
第二節 撒水幕與隔熱	9
第三節 細水霧	11
第三章 研究流程、儀器設備與實驗測試	17
第一節 水霧量測實驗室	18
A. 實圓錐 (solid cone)噴霧器	18
B. 扇型(fan spray)噴霧器	20
C. 隔煙用組合噴霧器	20
D. 噴霧特性量測系統	21
第二節 相差都卜勒顆粒分析裝置與粒徑量測儀	22
第三節 隔煙實驗室	25
A. 水壓和噴霧系統	25
B. 火源和煙氣產生器	25
C. 量測系統	26

(i) 煙層之高度及下降速率：	26
(ii) 其他儀器：	26
第四節 實驗規劃	27
第五節 定性實驗	28
第六節 滌煙與隔煙測試實驗	28
第四章 研究發現	93
第一節 結果與討論	93
第二節 成果及效益	94
第五章 結論與建議	97
第一節 結論	97
第二節 建議	98
附錄	101
參考書目	115

表次

表 2-1	細水霧滅火系統與其他滅火系統的特性分析	13
表 2-2	現有細水霧與撒水頭噴頭測試項目比較	14
表 3-1	實圓錐噴霧器導流棒重要尺寸	32
表 3-2	實圓錐噴霧器擴散角&粒徑實驗表	33
表 3-3	實圓錐噴霧粒徑量測條件&結果	
	3-3a 粒徑量測條件	34
	3-3b 噴霧示意圖及比例尺	34
	3-3c 噴射角 15°	35
	3-3d 噴射角 75°	36
表 3-4	扇型噴霧器之壓力與流量關係	37
表 3-5	噴射角對扇形噴霧器擴散角&濃度實驗表	38
表 3-6	高速攝影系統及功能	39
表 3-7	組合噴頭粒徑量測	
	3-7a 實圓錐噴霧示意圖	40
	3-7b 扇形噴霧示意圖	40
	3-7c 導流棒 b3 實圓錐噴霧 75°之粒徑量測	41
	3-7d 扇形噴霧器 15°之粒徑量測	42
表 3-8	實圓錐噴頭粒徑量測照片	43
表 3-9	扇形噴頭粒徑量測照片	44
表 3-10	PDA 量測結果	45
表 3-11	實驗#1~4 之流場條件及相關參數	46
表 3-12	實驗#6~15 之流場條件及相關實驗參數	47

圖次

圖 2-1	水的相變化與熱能的改變量	15
圖 2-2	撒水幕應用於防火區劃示意圖	16
圖 2-3	撒水幕應用於防火區劃示意圖	16
圖 3-1	研究流程圖	48
圖 3-2	實圓錐及扇形子噴霧器	49
圖 3-3	噴嘴孔徑對水霧擴散角之影響 Flow 1	50
圖 3-4	導流棒對水霧擴散角之影響 Flow 2	51
圖 3-5	噴射角對噴霧擴散角及濃度之影響 Flow 3	52
圖 3-6	噴射角對噴霧擴散角及濃度之影響 Flow 4	53
圖 3-7	扇形子噴霧器水霧擴散角 Flow 9a & 9b	54
圖 3-8	扇形子噴霧器水霧擴散角角度拍攝	55
圖 3-9	組合噴頭水霧量測實驗	56
圖 3-10	噴霧產生設備圖	57
圖 3-11	粒徑分析軟體流程	58
圖 3-12	PIV 粒子速度量測系統	59
圖 3-13	PDA 光學組	60
圖 3-14	PDA 量測結果	61
圖 3-15	滌煙&隔煙用水霧系統	62
圖 3-16	煙霧產生器	63
圖 3-17	簡易式煙氣濃度分析計	64
圖 3-18	偵煙型感測器	64
圖 3-19	數據收集系統	65

圖 3-20	煙霧遮光量測儀	66
圖 3-21	多功能氣體分析儀	66
圖 3-22	隔煙實驗規劃場示意圖	
3-22a	俯視圖	67
3-22b	側視圖	67
3-22c	圖 DV 相關拍攝位置	68
3-22d	水霧對火源水霧&火源示意圖	68
圖 3-23	實驗#1~4 溫度與時間紀錄	
3-23a	實驗一之溫度與時間紀錄	69
3-23b	實驗二之溫度與時間紀錄	70
3-23c	實驗三之溫度與時間紀錄	71
3-23d	實驗四之溫度與時間紀錄	72
圖 3-24	實驗#5 溫度與時間紀錄	73
圖 3-25	實驗#6 溫度與時間紀錄	74
圖 3-26	實驗#7 溫度與時間紀錄	75
圖 3-27	實驗#8 溫度與時間紀錄	76
圖 3-28	實驗#9 溫度與時間紀錄	78
圖 3-29	實驗#10 溫度與時間紀錄	80
圖 3-30	實驗#11 溫度與時間紀錄	82
圖 3-31	實驗#12 溫度與時間紀錄	84
圖 3-32	實驗#13 溫度與時間紀錄	86
圖 3-33	實驗#14 溫度與時間紀錄	88
圖 3-34	實驗#15 溫度與時間紀錄	90

摘 要

關鍵詞：隔煙、滌煙、隔熱

一、研究緣起

煙是發生火災時，造成人員重大傷亡之主要因素。排煙已被列為必要之逃生設備。撒水頭是目前最常用之消防設備，因為水具有相當高之蒸發潛熱，可降低溫度，可於火災初期將火撲滅。撒水設備與排煙設備各有優點，但同時裝設排煙設備、與撒水設備，卻可能相互抵銷，效果變差。

水霧可吸附大多數之有毒煙氣，化工業或焚化爐常用噴霧塔作為滌煙設備；Marioff 公司亦曾發表電腦房之水霧式隔煙/滌煙系統。細水霧是目前最有效及安全之消防設備。兩者類似，都是噴霧(spray)，噴霧塔去除粒狀、或氣態污染物之技術，也可以改良成研發水霧式隔煙、隔熱系統、洗滌火場煙霧、增加人員的逃生時間。

滌煙用之噴霧器應具有大擴散角及長懸浮滯空時間，以提高其吸收有毒煙氣之效率。考量水滴冷卻熱煙霧後，可能導致煙層下降，另一款隔煙用噴霧器須具備高動量，構成水霧幕(water mist curtain)，隔絕煙氣、限制其擴散範圍。

本研究藉自有之視覺技術，量測噴霧之粒徑、濃度分步等特性；測試氣流對水霧分佈之影響；決定選用兩個扇型及實圓錐噴霧器，組合成為具滌煙、隔煙、隔熱之噴霧器。

二、研究方法及過程

本研究於建研所建置，滌煙、隔煙測試實驗室：包括（1）高壓供水系統及水霧迴路、（2）模擬逃生通道、（3）煙器產生器、及（4）滌煙效率之量測系統；以驗證本研究之研發成果，將來亦可作為建置隔煙系統之驗證實驗室之參考。本實驗室，以熱電藕樹、量測火場溫度；自製及消防用之偵煙感測器，判斷煙塵之濃度與到達之時間、及能見度；DV 錄影機紀錄火焰之變化，氣體分析儀量測排風口之氣體濃度。

三、重要發現

實驗結果顯示，水霧壓力從 50bar 提高至 70bar，不會降低水霧之平均粒徑（SMD），但可增加水霧衝力與射程，滌煙與隔熱效果相當明顯。例如，壓力 70bar 之水霧、於離火源 5.4 公尺處，每分鐘僅需 17~26 公升之水霧，即可於 20~40 秒內迅速地將火場溫度，由 250°C 降至 50°C 以下。荷重計顯示，油盆及燃料之重量，在水霧啟動後，燃料下降速率減緩，甚至有重量增加之情形，可能是部份水霧隨空氣進入火焰根部、以致燃燒反應延緩或中斷。

比較水霧前方與後方之煙塵附著量、煙霧濃度（能見度）及溫度分佈：顯示水霧之降溫效率很高，位於水霧後方兩公尺之白紙沒有附著黑炭，集水管所盛接之水量很少（低於 5 mm）、甚至沒有；的確具有一定之滌煙與隔煙效果。氣體分析儀檢測排風口之氣體濃度，發現 O₂ 濃度可長期維持在 19.5~20 % 以上；CO₂ 濃度則隨時間（約 100~200 秒）緩慢增加至 1.27%；CO 濃度緩慢增加至 5~7ppm。

此外如果，先啟動水霧或與火源同時啟動，很難將四個 92 汽油之油盆點燃，而且溫度很難達到 60°C 以上。

四、主要建議事項

綜合以上，本水霧系統之目標為：滌煙、隔煙、隔熱；但結果顯示亦具有相當之滅火功效。本研究未來，擬針對我國建築物之特色，研發兼具這四種功能之水霧系統。

細水霧計畫：立即可行之建議

主辦機關：行政院內政部

協辦機關：內政部建築研究所

- 一. 細水霧消防系統 (Water Mist) 價格昂貴之原因，在於其主要目的是海龍替代品，不但要有專利、消防認證、還特別在意水損 (Water Damage)，例如電控箱、變電站、機房，或者圖書館、博物館、古蹟等。
- 二. 水就是很好的滅火劑不管是，撒水頭、水滴、霧、水霧、細水霧 (Sprinkler, Water droplet, Fog, Spray, Water Mist)，只要順利地將這些水滴、水霧，送入火焰根部 (底部)、或鄰近區域，可降低燃燒反應速率、潤濕燃燒半成品，水滴吸熱化成蒸氣發揮排氧作用，一定可控制、抑制火勢、甚至滅火。
- 三. 如果能將火災，限制在起火點空間，降低燃燒反應速率，即可延長閃燃時間；增加人員逃難時間與機會。
- 四. 建築物火災之消防設備，主要目的是人員逃生安全。煙是火災中最大殺手，依照今年實驗結果，水平噴霧的確，可冷卻及潤濕，蓄積在天花板下之熱煙，降低其向外擴散之速率。本研究，

擬結合滌煙噴霧器(8~10 L/min、附錄四)、及滅火用噴霧器(籠造式、包圍式、附錄五)，設計用水量 20~25% 撒水頭 (Sprinkler, 80 L/min)、壓力 30~70 bar (中壓系統)，具滅火與滌煙、隔煙、隔熱多重功用之消防設備。

細水霧計畫：中長期之建議

主辦機關：行政院內政部

協辦機關：內政部建築研究所

- 一. 高層建築物及科技廠房之大型排煙管、隧道(車禍)、或地鐵，等火災有其相似性。如能在火災初期，在火源之鄰近區域及上游，噴灑水霧，藉隧道內部本身之通風設備，送入冷濕之空氣；儘管隧道火災(車禍)，屬 B 類遮蔽性火災，只要將閃然時間延後，不管是人員逃生、抑制火勢、煙霧擴散，災後處理等，應可獲得良好之滅火效果。
- 二. 台灣隧道與地鐵，愈來愈多且愈長，若發生火災，往往死傷慘重，台鐵之舊山線，有數個廢棄隧道，很適合進行這類研究。

ABSTRACT

1. Research origin

The death and damage rates of humans of a fire are decided by the concentration of smoke. Smoke exhausters have been considered as a necessary equipment for fire safety, especially for large and high buildings. Sprinkler is one of the most popular fire extinguisher since it can provide large amount of water to absorb heat and reduce the reaction rate of combustion. However, the combination of these two equipments does not necessary increase their efficiency in extinguishing a fire.

Spray can absorb many kinds of harmful or toxic gas, and is frequently used as smoke scrubbing equipment. There is a product which can absorb and isolate smoke of a computer room. Water mist is one of the most effective fire extinguishing facilities. Water mist and spray are of similar physical properties, and can be produced by one high-pressure pumping system. It is very possible to make a smoke scrubbing system based on atomization of water sprays, which may increase the time for humans to escape from the scene of a fire, and decrease the death rate.

An atomizer of smoke scrubbing should produce sprays of wide angles and long suspension time in increasing its effect on absorption of toxic gas. The evaporation of water sprays, of course, reduce the temperature of smoke, toxic gas, and the fire

scenario, and inevitably result in the falling of smoke layer due to the decrease of hot

buoyancy effect. Consequently, there is a need to another atomizer of high thrust to form a thick curtain of water mist which can largely reduce the diffusion of smoke.

The study measures spray characteristic by a computer vision system, and the effect of air flow on the distribution of water sprays. The study selected two types of atomizer, one of solid cone, and the other fan-shape, to an atomizer of smoke scrubbing, and isolation of smoke and heat.

2. Research method and process

The study built a Lab., which were composed of (1) a high-pressure water supply system and water circuits, (2) a simulating escape path, (3) heat and smoke generator, and (4) a system to measure the efficiency of these objects. Several thermocouple trees were installed to measure the distribution of temperature. A purposed-made smoke detector was used to quantify the concentration of smoke, and a fire alarm used detector was used to measure the time of smoke to a critical level.

3.Important finds

The results showed that the pressure of water spray does not necessarily decrease the size of water droplets, and increase its thrust and penetration distance, which can obviously increase its effect in smoke scrubbing and isolation of heat. For example, a spray of pressures of around 70 bar, could reduce the temperature of a fire scenario from 250°C to 50°C or less within 20~40 seconds by injecting 17~26 liters spray per minute from a distance of 4.5 meters. The record of load cell showed that the reduction rate of the fuel weigh was decreased, and its weight, for many cases, might increase after the starting of water spraying system. It is very likely that a part of spray was entrained into the fire and fuel container and slowed down the combustion reaction rate.

The record of gas analyzer showed that O₂ concentration was kept at 19.5% or higher for a long time, that of CO₂ was slowly increased to 1.27%, and that of CO to 5~7ppm. It is of interest that early starting of water spray introduce large difficulties in lighting a fire, and usually of a temperature less than 60°C.

4. Major suggestions

To sum up, it is really possible to integrate a water spray system with function of smoke scrubbing, isolation of heat and smoke, and fire suppression, and it will be the object of our future research.

Possible suggestions may be achieved in a soon future.

Water mist fire suppression systems (WMFSS) are usually of very high prices, since they are classified as alternatives of HALON, which has been widely used to protect an engine room, electricity station, library, museum, gallery, places of historic interest since these objects are very afraid of water damages. Water itself is a very powerful fire suppression agent, no matter that it is formed as a sprinkler, water droplet, fog, or water mist. The water droplets and fogs may be entrained into the root or neighborhood of a fire, which can quickly reduce the reaction rate of combustion and the expansion of water vapor can dilute the concentrations of oxygen, and wet the hot smoke and soot so as to control, slow down, or even suppression of a fire.

The evacuate time and possibility of humans from a burning room are largely dependent on the onset of flash over, which may be achieved by limit the reaction or heat release rates of a fire. The main object of fire suppression equipments of fires is the safety of human evacuation time. Smoke is the most

important killer in a fire. The results show that the horizontal injection of sprays may rapidly cool down the temperature of smoke layer and reduce its outward diffusion rate. As a result, the study attempts to integrate atomizers of functions of smoke scrubbing and fire suppression, which may be designed to generate sprays as phases of fire covers or compass of fires. Such systems of fire suppression, smoke scrubbing, and isolation of smoke, soot and heat may be achieved by injection of sprays associated with water flow rate of 20~25% of a sprinkler system at pressures of 30~70 bar.

Possible suggestions may be achieved in middle or long future.

The fire of a tunnel, tube of under ground and high or large buildings are of some similarities. The injection of sufficient water spray or more at the early (initial) phase (stage), and these sprays may be delivered into the root of a open or hidden fire.. Once the time of the onset of flash-over is delayed, slowed down, or stopped, the evacuation of humans, control of a fire, smoke diffusion, and the scene reconstruction may be upgraded to a good performance. There are some unused tunnels in a unused railways, and they are the best scenarios to test the performance of such fire suppression equipments.

水霧式隔煙系統之技術與應用研究

第一章 緒 論

第一節 研究背景與目的

一、研究背景

近年來台灣經濟快速成長，人民的生活水平也大幅的提升，加上都市人口的急遽膨脹，都市建築或公共娛樂場所有朝向規模大型化、樓層立體化、設備複雜化及結構特殊化等等；另外對於公共場所的使用也更朝向多元化的使用用途，這樣複雜的建築結構雖然在土地的使用上獲得充分地利用，一旦火災，往往造成大量人員傷亡及嚴重之財產損失。根據英美資料約有 70~80% 之人員因吸入有毒氣體，中毒死亡；濃煙可說是火災時最重大之殺手。

依 ASTM E176，煙之定義為一材料發生燃燒或熱解時所釋出散播於空氣之固，液態微粒及氣體。煙是一項重要的火災性狀，因為能見度是避難者能否逃出發生火災之建築物，以及消防人員能否找出火災、撲滅火災的影響因素。煙有視線遮蔽及刺激效應而助長驚慌狀況。許多案例顯示，逃生途徑上，煙往往比溫度更早達到令人難以忍受程度。

建築物火災中，影響煙和高溫氣體的流動有兩個主要因素：

- (1) 煙層本身的流動性。高溫煙氣體的密度比周圍空氣低，會造成引起熱浮力效應與氣體熱膨脹效應。
- (2) 建築物內一般空氣的流動。雖然與火完全無關，但因空氣的流動，而會將煙送至建築物內各處。例如煙囪效應與自然風效應，則受外界的環境影響；空調系統與電梯活塞效應則為建築物內部設施所引起。

水霧式隔煙系統之技術與應用研究

Thomas 等人，研究屋頂是否裝設排煙設備，熱煙氣的流動情形，而研究結果也已應用到屋頂排煙系統設計的基礎上。排煙系統已是公認，維持人員避難逃生動線不受濃煙侵害的不二法門，其功能已被消防單位所接受，成為消防法規所要求消防設備。高層建築物，近年來已大量採用排煙系統，防止濃煙擴散到逃生路線上。

二、目的

預防火災擴大延燒，可減少人命安全與降低財務上的損失。傳統之規格式規範，不足以保障這類大型高層建築物之消防安全，目前世界各國朝向以科學為基礎之功能性(performance based)規範來提升這些建築物之消防安全。

噴霧塔是化工業常用之滌煙設備¹，藉水滴吸附大多數之有毒煙氣。細水霧消防系統(WMFSS)是海龍滅火系統之最佳替代品，其主要優點為用水量少、滅火時間短，在密閉空間滅火效率高、且具有一定之滌煙效果。芬蘭 Marioff Inc. Tuomissari 亦曾發表電腦房之水霧式隔煙/滌煙系統²。

-
1. 蔡春進，半導體工業的廢氣及微粒之聯合去除系統，交通大學 環工所，國科會 研究報告，民國 91 年。
林啟文，以噴霧塔去除揮發性有機廢氣之數學模式建立及影響因子之研究，民國 87 年。
李岩錡，以雙噴霧塔系統進行煙道氣中脫硝效能及反應動力之探討，國立成功大學環境工程學系碩士論文，2000。
 2. Tuomissari ,M. “Smoke scrubbing in a computer room,” Halon options technical working conference, Albuquerque : BFRL, 1999

本研究，以文獻收集為基礎，以專家座談為指引，以實驗分析為驗證；擬建構以水霧式滌煙/隔煙系統，以提高消防安全。本期中報告分為五章，本章為第一章；第二章為文獻回顧；第三章研究流程、儀器設備與實驗測試，包括量測項目與實驗參數，第四章為研究發現，最後一章為第五章結論與建議，包含對未來計畫之建議。

水霧式隔煙系統之技術與應用研究

第二章 文獻回顧

現有之水系統消防設備，有撒水頭(Sprinkler)，撒水幕系統³(Water screen, Water curtain, Drencher)及細水霧消防系統(WMFSS)。本章將簡要說明這些水系統消防設備之特點及其對火場排煙之影響。

水之所以能有效的滅火主要是因為水具有相當高的蒸發潛熱。一公升的水由 0°C 加熱到 100°C，需吸收 418KJ 的熱能:將水蒸發(溫度不變)則需吸收 2257kJ 的熱能。水的沸點遠低於固態易燃物的分解溫度(250°C 到 450°C)，故可藉由發水滴，有效地降低溫度。

水系統消防設備滅火之有效性，取決於：水的冷卻效應，水滴的尺寸必須相當微小，而且水量需要足夠使用於整個的火場中，因此水滴是否到達火源位置、水滴尺寸大小、噴撒角度等，都是影響滅火有效性的重要參數。理論上，水滴的尺寸越小，增加單位體積之水的表面積，可加速其吸熱效率。但在實際情況，太小之水滴動能不足，無法穿過火焰到達燃燒物的表面，反而無法有效滅火。

根據上述，最有效的水系統消防設備，必須產生粒徑夠小、動能夠大之水滴，且可迅速充滿整個火場，到火焰之根部，減緩燃燒效應。細水霧消防系統(WMFSS)是目前最合乎這些要求之水系統消防設備，將詳述於第二章第三節。

3. 雷明遠，鄭紹材，林欲昌，黃建榮，「撒水幕應用於區劃構建之研究」，中華民國建築學會第十六屆第二次建築研究成果，台北市：建築學會，民國 93 年。

第一節 撒水頭

撒水頭是最常用之滅火設備，可有效抑制火勢或撲滅火災。根據世界各國的統計數字中，作動很快的撒水系統可於初期撲滅95%的火災，並顯著降低熱、火燄與煙，及一半的火災死亡率。撒水系統藉著水的冷卻效果，以減低火場溫度、燃燒速度，並可大大地降低火焰上方的溫度(Hankins、F.M.)。因此消防相關法令，強制要求，一般公共建築物需加裝撒水設備。

撒水設備之滅火機制包含下列四項：

- a. 直接冷卻燃燒物體的表面。大量之水滴，若能夠到達燃燒的地方，降低燃燒物體表面之熱分解速率降低；
- b. 將火源周圍之物體預先弄濕，可以阻止火勢繼續向外擴大。
- c. 降低火場內之溫度。
- d. 當水滴被蒸發後，水蒸氣會使得空氣中的氧氣變稀薄。

因為撒水頭動作後，燃燒過程中受到干涉，水滴不僅冷卻火焰及火場內之溫度，煙層中的熱氣受到水滴冷卻作用、浮力降低，造成：

- (1)燃料消耗率迅速下降、或不完全燃燒型態，導致CO濃度增加(FM, Factory Mutual)。
- (2)原本穩態的煙層，因水滴之冷卻作用，煙層的溫度降低，煙層的厚度增加，加速煙層下降速度⁴，最後煙會擴散、充滿整個房間。
- (3)降低煙霧通過排煙孔的流動速度，有可能阻礙排煙系統的功能，反而阻礙人員的逃生。

4. 鍾基強，董賢聲，薛朝鴻，廖健成，水系統火災控制技術之研究-水系統效應對性能試煙控之模式技術與實驗驗證，台北市：內政部建築研究所，民國92年。

撒水設備與排煙設備雖各有優點。美國 NFPA 對於在已經裝設撒水器的建築物中再裝上排煙口仍感矛盾。現有之文獻，對於在建築物中，同時裝設排煙設備與撒水設備，亦有正反兩極不同的看法。

一. 正面看法

(1) 排煙設備可以改善能見度

排煙設備最基本的功能就是將濃煙排出外，增加建築物內的能見度，有利於人員逃生，更可讓消防隊員確認火源的位置並將其完全撲滅。

(2) 排煙設備可以降低火場溫度與有毒氣體濃度

排煙設備將高溫有毒的濃煙排出建築物外，並將室外溫度低之乾淨空氣，由進氣口送入，可降低火場內的溫度與有毒氣體的濃度，方便人員的逃生。

(3) 排煙設備可以降低火災造成的損失

排煙設備與防煙垂壁的共同使用，可將濃煙限制在防煙區劃內，避免濃煙擴散到建築物的其它區域，對建築物內部造成更大的損害

(4) 假如撒水設備沒有作動，則排煙設備可以提供保護

雖然撒水設備在發生火災時，高達 90% 皆能有效的作動並撲滅火勢，然而假如撒水設備無法作動或者迅速的撲滅火勢，則此時排煙設備就可發揮其功用，將濃煙排出，幫助人員避難逃生。

(5) 排煙設備可以避免過多的灑水頭作動

當限制煙與熱擴散到防煙區劃以外的區域時，可以避免遠離火源的撒水頭住動，亦可減少過多撒水頭作動而造成的水害。

二. 負面看法

(1) 排煙會增加燃燒速率

在密閉空間中，排煙設備一面將濃煙連續排出，另一面吸入乾淨的冷空氣。可能促進燃燒速率，保持在 FREE BURN 的情況。相對的，假如沒有設置排煙設備，空間內的氧氣會被持續的消耗，燃燒速率也因此降低。

(2) 排煙設備會延遲撒水頭的作動。

由於排煙設備將煙與熱排出，因此天花板下方之熱煙層的溫度會降低，連帶使得撒水頭的作動會有所延遲。導致在撒水頭作動前，火勢不斷的擴大，甚至導致火勢無法控制住。

(3) 排煙會增加作動的撒水頭數目。

由於撒水頭的作動受到延遲，因此在第一個撒水頭作動時，火勢以更加猛烈，造成需要更多的撒水頭作動來控制住火勢。假如有設置防煙垂壁，則熱煙氣會蓄積在區劃內；造成區劃內的溫度迅速增高，就算撒水頭遠離火源，但還是會因為高溫而作動，造成作動的撒水頭數目增加。

(4) 撒水會降低排煙效率。

當撒水頭作動後可以有效降低濃煙溫度，但同樣會使其浮力降低，造成濃煙無法順利排出。

根據上述，撒水頭可能與煙層交互作用、互相抵銷，反而不利排煙或滅火。

第二節 撒水幕與隔熱

撒水幕系統，是由水幕噴頭、管道和控制閥等組成的阻隔火勢的噴水系統。撒水幕噴頭所噴出的水形成水幕(水簾)狀，不是直接用於撲滅火災，而是形成防火水幕阻擋火焰、或與防火門窗配合使用，用於阻隔火勢或阻熱，以防止火災延燒及利於逃生。

英國、中國大陸則配合其他區劃構件，例如撒水幕玻璃(噴淋玻璃)、防火捲簾、銅製門、木製門、防火捲門、等，強化區劃構建件的耐火性能，利用阻熱的特性，共同形成優良之防火設備或構件。

撒水幕防火功能取決於水幕之基本結構，應以水膜形態呈現，儘量避免霧化及噴水錐角之空洞死角，撒水幕過熱產生大量水霧，因此受火側上方若配合垂壁使用(用於垂壁外側)，有助防火功能提昇。Dr. B. Morris (2000年6月)發表，噴淋玻璃之水膜若不均勻，而形成弱帶區或是「空點」(bald spot)，可能會加速玻璃全面破損。

日本及我國已有使用撒水幕系統，作為防火區劃之案例。日本之清水建設與能美防災(株)共同開發，電梯前廳出入口處設置撒水幕，以防止火焰延燒、達到阻絕火焰，減少對非火災室的危害。鹿島建設之有效性確認實驗，證實撒水幕具有近似水霧的特性，其遮煙減煙效果達80%，可用於居室，辦公空間、廠房機台之防火區劃、隧道與地下鐵防災等。

水霧式隔煙系統之技術與應用研究

我國亦有使用撒水幕之案例（勇軒台北廠），撒水幕噴頭 116 只、壓力 6~13bar、流量為 30L/m，撒水時間預估 60Min，水幕泵浦流量為 3480Lpm、111.6KW。撒水幕系統佔用相當大的水源，造成地面濕滑，可能不利逃生。

鄭紹材⁵等之實驗證實，撒水幕可降低火場之溫度，可延遲旺盛期之燃燒行為，增加人員逃生避難及火災救援時間，若搭配足夠的空間，或是加寬水幕寬度，可以達到良好的隔熱性能，用來保護建築物門窗開口等部位，尤其是在一些不能施做防火牆或無法施做防火捲門的大空間，可使用撒水幕系統作為防火區劃，達到防火隔熱作用。

不過，鄭紹材等之水平延燒試驗顯示，火災室內可能形成閃燃現象（最高溫度達 858.7°C），火焰與濃煙穿透撒水幕向外向上延燒、並快速成長擴大。本結果顯示，單獨使用撒水幕系統，失效之風險仍高，不一定可滿足遮熱性之要求；建議與其他設備共同使用，如搭配玻璃（噴淋玻璃）、防火捲簾、鐵捲門等業者，共同研發具有防火時效與阻熱性之防火設備。

5. 雷明遠、鄭紹材、林欲昌、黃建榮，「水幕應用於區劃構建之研究」，中華民國建築學會第十六屆第二次建築研究成果，台北市：建築學會，民國 93 年。

第三節 細水霧

細水霧消防系統(WMFSS)之主要優點為，用水量少、滅火時間短，在密閉空間滅火效率高、且具有一定之滌煙效果，如表 2-1、2-2。蒙特婁公約限制氟氯碳化物的製造及銷售後。WMFSS 具有「乾淨無環保公害 (Clean)、對人體的健康及安全，無不良性影響 (Health & Safety)、價錢要低廉又易於取得 (Readily Available)」等優點，是海龍滅火系統之最佳替代品。台電已改用 WMFSS，保護變電站。國內研究 WMFSS 系統之學者，有陳俊勳⁶、徐一量及蔡榮鋒⁷等。

細水霧系統與一般灑水頭系統主要不同之處，簡述如下，細水霧系統所產生水滴的 VMD 直徑約在 30 至 300 μm (VMD:volumetric mean diameter; 體積平均直徑)，其用水量大約為，撒水頭之 10 % (an order of magnitude，少一個級數)。

6. 陳俊勳，滅火系統技術研發之規劃研究-細水霧滅火系統技術研發之規劃研究(II)，台北市：內政部建築研究所，民國 93 年。

陳俊勳，陳浩然，水系統火災控制技術之研究(II) -細水霧滅火系統技術研發之規劃研究，台北市：內政部建築研究所，民國 93 年。

7. 蔡榮鋒，水氣霧噴頭開發及噴撒特性檢測委託案結案報告，新竹：工研院環安中心，民國 93 年。

水霧式隔煙系統之技術與應用研究

水霧可吸附大多數之有毒煙氣，化工業或焚化爐常用噴霧塔作為滌煙設備；芬蘭 Marioff Inc. Tuomissari 亦曾發表電腦房之水霧式隔煙/滌煙系統。美國 Hughs 公司之消防專家 Mawhinney⁸，則建議現有之 WMFSS 適用於滅火，雖具滌煙效果，但將水霧用於隔煙/滌煙，僅能延長逃生時間、火場內之煙氣仍具毒性、對生命仍有威脅，火場人員不應長期停留。Mawhinney 強調，水霧式隔煙/滌煙，應另外設計、重新制定安全規範。

研發水霧式隔煙系統，需建立噴霧特性量測系統⁹。其實細水霧、水霧都是噴霧，考量細水霧系統在國內應用案例逐年增加，我國有必要制定 WMFSS 之噴霧特性檢測程序及規範，以因應未來之需求。

8. Mawhinney, J. R., "A Critique of Claims of Smoke Scrubbing by Water Mist," Research and Practice: Bridging the Gap, Fire Suppression and Detection Research Application Symposium, Tampa, FL: National Fire Protection Research Foundation, 2002.

9. 蔡榮鋒，李正國，李廣齊，「量測液滴幾何特性的視覺方法」，中華民國第二十六屆全國力學會議，雲林，民國 91 年。

表 2-1 細水霧滅火系統與其他滅火系統的特性分析

比較內容	細水霧 (Water mist)	撒水系統 (Sprinkler)	海龍 (Halon)FM-200	二氧化碳 (CO ₂)
成分	H ₂ O	H ₂ O	CF ₃ CHFCF ₃	CO ₂
系統壓力(Bar) 1kg/cm ² 1.02 Bar	高壓 ≥35 中壓 12-35 低壓 ≤12	2~7	110	53
火災類型適用性	A, B, C	A	B, C	B, C
滅火方式	快速降溫及 阻絕氧氣	降溫	切斷燃燒的 連鎖反應	氧氣濃度下 降稀釋
對火場高層(近天花 板)的急速冷卻降溫 能力	具極佳的降溫 能力	無能力	無能力	無能力
降低火焰場溫度	是	否	否	否
高吸熱能力	是	是	否	否
可快速啟動抑制火勢	是	是	否	否
減低高溫對人員的危 害、並增加逃生時間	優良	良	否	否
釋放(人員撤離)時間	無限制	無限制	10 秒	60 秒
是否需疏散計劃	否	否	是	是
非封閉型空間	適用	適用	不適用	不適用
專設排氣裝置	不需要	不需要	需要	需要
啟動後火場氧濃度 (%)	22(不變)	22(不變)	約 18	約 15
對人的安全性	無害	無害	生成物有毒	吸入 CO ₂ 有毒
具有腐蝕性	否	否	是	是
減少煙霧及降低腐蝕 性氣體之濃度	優良	良	否	否
溫室效應影響(GWP2)	0	0	2050	1
大氣中存活期 (ATM. LIFE)	N/A	N/A	31 年	120 年
需要泵浦	是	是	否	否
需要填充	否	否	是	是
耗水量低、不佔空間	是	否	N/A	N/A

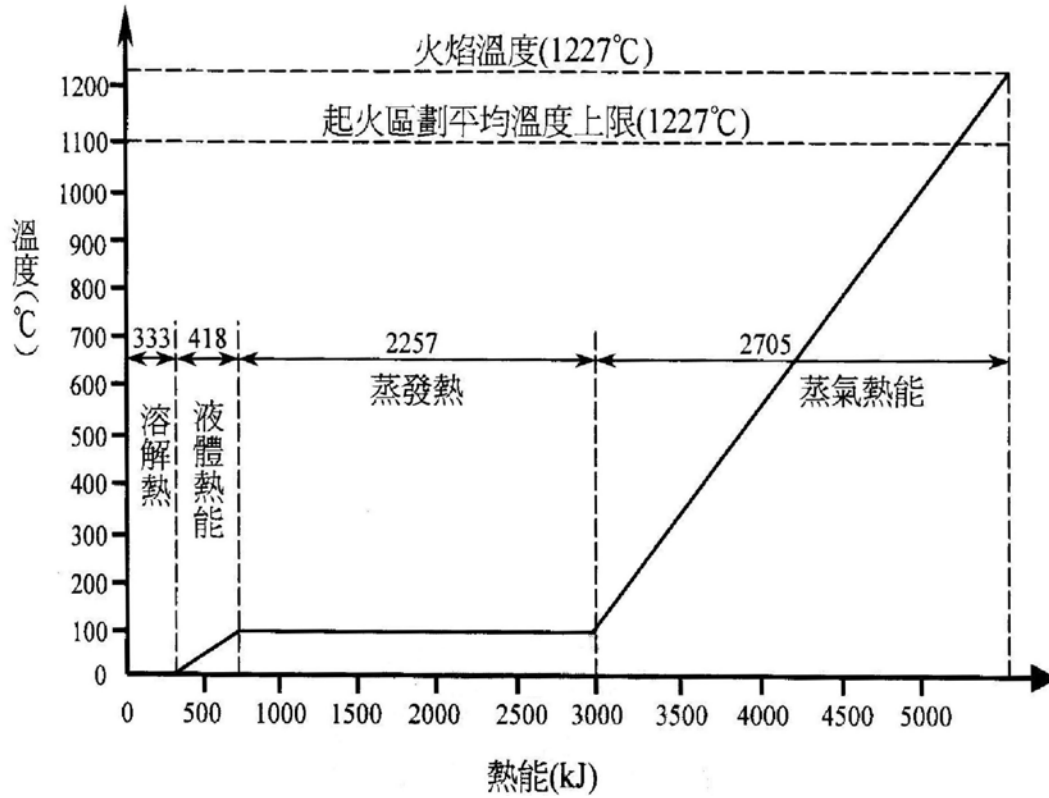
(資料來源：總合網路上查知，部分資料由工研院環安中心提供。)

表 2-2 現有細水霧與撒水頭噴頭測試項目比較

編號	細水霧噴頭進行測試項目	UL 2167	IMO Res. A. 800	國內密閉 式撒水頭
1	樣品檢查(Examination of Samples)	○	○	○
2	標稱動作測試(Nominal Operating Temperatures)	○	○	○
3	動作溫度測試(Operating Temperature Test)	○	○	○
4	水量測試(Water Flow Test)	○	○	○
5	水量分佈測試(Water Distribution Test)	○	○	○
6	水滴粒徑大小與速度(Water Droplet Size and Velocity)	○	○	
7	功能測試(Function Test)	○	○	○
8	本體強度測試(Body Strength Test)	○	○	○
9	玻璃球元件強度(Strength of Glass Bulb Elements)	○	○	○
10	易熔元件強度(Strength of Fusible Elements)	○	○	○
11	抗洩露(Leak Resistance)	○	○	○
12	液體靜壓強度(Hydrostatic Strength)	○	○	
13	熱暴露(Heat Exposure)	○	○	○
14	熱陡震(Thermal Shock)	○	○	○
15	腐蝕測試(Corrosion Tests), 包珉銅噴頭, 不銹鋼噴頭應力腐蝕, 二氧化硫, 鹽霧腐蝕, 潮濕空氣暴露)	○	○	○
16	噴頭突層完整性	○	○	
17	水錘測試(Water Hammer)	○	○	○
18	動態加熱(Dynamic Heating)	○	○	
19	風洞測試(Plunge Test)	○	○	○
20	耐熱測試(Heat Resistance)	○	○	
21	震動(Vibration)	○	○	○
22	衝擊測試(Impact Test)	○	○	○
23	橫向放射(Lateral Discharge)	○	○	
24	30 天期耐洩漏(Thirty-Day Leakage Resistance)	○	○	○
25	耐真空(Vacuum Resistance)	○	○	
26	堵塞測試(Clogging Test)	○	○	

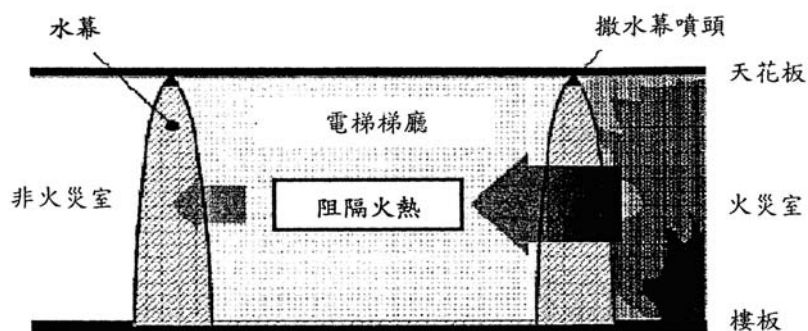
(資料來源：由工研院環安中心提供。)

圖 2-1 水的相變化與熱能的改變量 (容量為 1L)



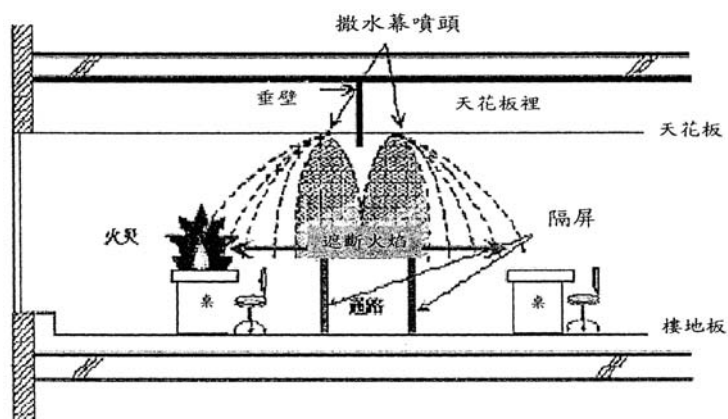
(資料來源：網路資料)

圖 2-2 撒水幕應用於防火區劃示意圖



(資料來源：日本清水建設)

圖 2-3 撒水幕應用於防火區劃示意圖



(資料來源：日本鹿島建設)

第三章 研究流程、儀器設備與實驗測試

水霧(droplet)、撒水液滴(sprinkler)、細水霧(water mist)，都是噴霧(spray)，其基本特性(spray characteristics)；壓力與流量關係(flow rate)、體積通量密度(liquid flux)、擴散角(spray angle)、噴霧濃度(spray density)、粒徑(size)及速度(velocity)分佈等。因此，用於量測噴霧之技術及設備，都可用於量測水液滴及細水霧之特性；當然也可以利用噴霧塔去除粒狀、或氣態污染物之技術，洗滌煙霧，研發水霧式隔煙系統、增加人員的逃生時間。

考量細水霧系統在國內應用案例逐年增加，我國有必要制定 WMFSS 之噴霧特性檢測程序及規範，以因應未來之需求。

本計畫本年度之研究流程圖，如圖 3-1 所示、主要是：

- (1) 蒐集文獻，已詳述於第二章。
- (2) 建立水霧量測實驗室，研究噴霧特性，並探討各種噴霧特性量測系統 (Malvern, PDA, 幾何特性與 PIV 速度視覺量測系統) 之優缺點及功能；如 3-1 節所述。
- (3) 建立水霧式隔煙(smoke scrubbing)系統實驗室，包括水壓系統、噴霧系統，及量測系統等。以便探討水霧特性 (流量、體積通量密度、擴散角、噴霧濃度、粒徑及速度分佈) 對煙霧洗滌效果之影響；如 3-2 節所述。未來將建立水霧式隔煙效率測試系統，以研發水霧式隔煙系統，提高建築物之消防安全性。
- (4) 隔煙滌煙實驗、期中報告與專家與學者座談 I 與 II。
- (5) 實驗、結論與建議、成果報告。

第一節 水霧量測實驗室

本研究擬使用兩款噴霧器，第一款具大擴散角及長懸浮滯空時間，以提高其吸收有毒煙氣之效率。考量水滴冷卻熱煙霧後，可能導致煙層下降，另一款噴霧器須具備高動量，以構成水霧幕 (water mist curtain)，隔絕煙氣、限制其擴散範圍。本研究擬組合這兩款噴霧器，達到滌煙與隔煙之效果。本研究將建置，隔煙測試實驗室，除了驗證本研究之研發成果，將來亦可經驗，作為建置隔煙系統之驗證實驗室之參考。

本計畫已研發數款，衝力較大之實圓錐 (solid cone)、及扇型 (fan spray) 噴霧器 (如圖 3-2 a 與 b)，並比較其相關特性。以下將分段說明 A 實圓錐、B 扇型、及 C 隔煙用組合噴霧器之特性。

A 實圓錐 (solid cone) 噴霧器

噴霧濃度與擴散角 本研究，以常用噴霧器為基礎，探討導流棒 (七款、表 3-1)，噴霧器口徑 (Flow 1)、噴射角 (Flows 3-4) 等參數，對噴霧特性之影響 (壓力 70 bar)。圖 3-3 說明噴嘴口徑 0.4 mm 之流量太少 (圖 3-3a)；0.8 mm 噴嘴之擴散角過大、水霧過於稀薄，衝力有限 (圖 3-3c)，不適合作為隔煙用噴霧器。

0.6 mm 噴嘴 (圖 3-3b) 之流量與噴霧擴散角 (濃度) 比較適當，乃選擇 0.6 mm 噴嘴，繼續進行相關實驗，以研發實圓錐型噴霧器。圖 3-4 探討導流棒 (Flows 2a~d，一字與十字溝)，對 0.6 mm 噴嘴擴散角之影響。圖 3-4b&c，顯示 Flows 2c 與 2d，使用十字溝導流棒 (b2, b3)，其噴霧衝力較大。因此選用 0.6 mm 噴嘴、及導流棒 (b2, b3)，進行噴射角實驗，以探討其噴霧射程及空

間分佈。

圖 3-5，探討噴霧器之噴射角 ($15^{\circ}\sim 90^{\circ}$)。對噴霧濃度分佈之影響圖。圖 3-5a，顯示壓力 70 bar、噴射角 15° ，Flows 3a，大多數之水霧液滴，可抵達地面，可能具有較高之隔煙效率；圖 3-6a (Flows 4a) 亦顯示類似之結果。

圖 3-5c 與 3-6 c，顯示 Flows 3c 與 4c 在、噴射角 75° ，噴霧衝力可達四公尺，對於蓄積在天花板下之熱煙氣，可應有較長之吸附時間。本研究，亦將壓力降為 50 bar，重複 Flows 3 與 4 之實驗，雖然 50 bar 水霧之衝力比壓力 70 bar 者小，但兩者之水霧涵蓋範圍相當接近。

噴霧粒徑：依據前述結果，本研究乃針對 0.6 mm 噴嘴搭配導流棒 (b2、b3)，探討壓力、噴射角、及水平氣流對噴霧粒徑分佈之影響 (表 3-3)。降低水霧壓力，可節省備用電力需求，具有實際應用價值。表 3-3c 與 d，分別歸納噴射角 15° 、 75° 之實驗結果。

表 3-3c 顯示，0.6 mm 噴嘴搭配 b2 與 b3 導流棒之實驗結果。當壓力 50、70 bar 時，b2 導流棒噴嘴之平均粒徑 SMD 介於 $160\sim 270\ \mu\text{m}$ 、 $240\sim 2501\ \mu\text{m}$ ；最大粒徑 D_{max} 介於 $300\sim 700\ \mu\text{m}$ 與 $440\sim 540\ \mu\text{m}$ 。0.6 mm 噴嘴搭配 b3 導流棒 (表 3-3d)；在壓力 50、70 bar，平均粒徑 SMD 介於 $230\sim 260\ \mu\text{m}$ 、 $220\sim 230\ \mu\text{m}$ ；最大粒徑 D_{max} 介於 $510\sim 530\ \mu\text{m}$ 與 $490\sim 500\ \mu\text{m}$ 。

以上顯示，導流棒 b3 之 SMD 粒徑範圍比 b2 導流棒小；水霧工作壓力從 50 提高 70 bar，可縮小 0.6 mm 噴霧器 (導流棒 b2、b3) 之 SMD 粒徑範圍。

表 3-3d 顯示，0.6 mm 噴嘴搭配 b2 與 b3 導流棒，噴射角 75° 時之實驗結果。當壓力 50、70 bar 時，b2 導流棒之 SMD 粒徑介於

水霧式隔煙系統之技術與應用研究

260~290 μm 、210~300 μm ；最大粒徑 D_{max} 介於 500~670 μm 與 490~570 μm 。0.6 mm噴嘴搭配 b3 導流棒；在壓力 50、70 bar 平均粒徑 SMD 介於 370~430 μm 、430~460 μm ；最大粒徑 D_{max} 介於 800~900 μm 與 840~880 μm 。

0.6 mm噴嘴搭配 b3 導流棒、在逆風 6m/s，壓力 50、70 bar 之 SMD 粒徑介於 240~390，320~340 μm ；最大粒徑 D_{max} 介於 280~670 μm 與 610~620 μm 。

總括而言，0.6 mm噴嘴之 SMD 粒徑空間分佈，介於 220~300 μm ；最大粒徑 D_{max} 介於 370~800 μm ；在壓力 50, 70 bar 時，其平均粒徑相差不多，但壓力 70 bar 之噴霧，衝力較大，適合克服火場之熱氣流，保持其原先之運動軌跡。

B 扇型(fan spray)噴霧器

本研究選用數款扇型噴霧器（表 3-4），在壓力 50、70 bar 之流量介於 2.5~5.2 L/min、2.9~6.5 L/min。表 3-5，詳列扇型噴霧器之實驗條件，探討噴射角 0°、15°、及 75°（Flows 9~11），對噴霧擴散角之影響。

噴霧濃度與擴散角：扇型噴霧器 #C1 和 2 之流量約為 #C3 和 4，50~60%。圖 3-7 與 3-8，顯示 #C1 和 2 之噴射範圍略窄、衝力略小。因此擬先使用扇型噴霧器 #C1 和 2 作為組合噴霧器之子噴頭。

C 滌煙&煙隔煙用組合噴霧器

根據前面 A, B 兩節實驗結果。本研究使用兩個實圓錐噴霧器(0.6 mm噴嘴與 b3 導流棒)、及兩個扇型噴霧器（#C1 和 2），設計組合噴霧器(A, 原型如圖 3-9)，圖 3-9 顯示，無風、上升氣流、側吹氣流、及組合氣流，組合噴霧器 (A)，在壓力 50~70 bar，單

顆水量 7~9L/min，可於短時間內，將水霧充滿整個密閉空間（ $10 \times 8 \times 2 = 160 \text{ m}^3$ ）。以下將說明其噴霧粒徑量測結果，3-4 與 3-5 節將報告滌煙與隔煙實驗之相關實驗。

D 噴霧特性量測系統

Malvern 是目前最方便之檢測儀器，但用來研究噴霧特行，其精確度、一直有爭議，而且無法量測高密度水霧。PDPA 是目前最有效率之粒徑速度量測儀，但待測水霧需為球狀液滴、且其數量濃度不可過高，否則易產生誤差，因此較適合用於稀疏水霧之量測。不過，細水霧下方一米處，水霧密度仍然很高，以 PDPA 量測，須注意是水霧密度否過高而導致誤差。本人曾於 IWMA2004 學術會議，提供濃密水霧照片，建議修正細之量測規範。

圖 3-10 為本實驗室之水霧系統，包括高壓泵（壓力 50~100 bar、流量 15L/min），並裝設壓力控制閥（Relief Valve，設定壓力）及穩壓用蓄壓器（Accumulator，持壓閥）、及流量計。

本研究已檢測噴霧器及研發細水霧噴頭多年，累積相當經驗。本實驗室，自行建立之幾何特性（圖 3-11）視覺量測系統：包含短脈衝雷射、長距離顯微鏡、及同步數位相機等，可量測直徑 $3 \mu\text{m}$ 以上之液滴、及移動速度 30m/s 之水霧。視覺量測系統（表 3-6），雖然量測速率較低，但可提供眼見為憑之公信力。圖 3-12 為 PIV 視覺量測系統，可量測流場之速度分佈。

實圓錐噴霧粒徑

表 3-7a 與 b 描述，本研究量測粒徑分佈之位置。表 3-7c，描述實圓錐噴霧器（0.6 mm 噴嘴與 b3 導流棒）之流場條件，Flow 12a 與 b 為噴頭下方 80 cm、壓力 50、70bar。Flow 12c 與 d，噴頭下方 95 cm，壓力 50、70bar。H0、H3 表示水平側風之速度 0 和 3m/s；V0、V3 表示垂直向上氣流之速度 0 和 3m/s。表 3-7c 顯示，本實

圓錐噴霧器之平均 (SMD)、最大粒徑 (D_{max})，為 200~310 μm 、與 350~520 μm ，最小粒徑 D_{min} 為 7.3 μm 。表 3-8 為所拍攝之粒徑。扇形噴霧粒徑

扇型噴霧器有兩個噴射角度，其一為 75° 用於攔截上層或接近天花板之煙氣；另一為 15°，其隔絕煙氣用。至於兩顆實圓錐噴霧器，則是用來補滿兩個扇型噴霧器之空隙。

Flow 13a 與 b 為扇型噴霧器下方 80 cm、壓力 50、70bar。Flow 13c 與 d，噴頭下方 95 cm，壓力 50、70bar。表 3-7 d 顯示，本噴霧器之平均 (SMD)、最大粒徑 (D_{max})，為 160~360 μm 、400~520 μm ，最小粒徑 D_{min} 仍為 7.3 μm 。根據以往之實驗結果，500 μm 之水霧，可漂浮於空中或隨氣流移動。表 3-9 為所拍攝之粒徑。

第二節 相差都卜勒顆粒分析裝置與粒徑量測儀

建研所台南實驗室，提供相位都卜勒徑速儀 (PDA, Dantec BSA-P60、Fiber PDA)，及雷射衍射粒度儀 (Malvern, Malvern Spraytec)，協助本計畫比較 PDA、Malvern，與前節所用之視覺系統，比較彼此之優缺點。

PDA

PDA 相位都卜勒徑速儀 (Phase Doppler anemometer, PDA)，是目前最有效率之粒徑速度量測儀；可精確地提供液霧在遠場的速度、粒徑分佈範圍、數量濃度及體積通量 (liquid flux) 的空間分佈狀態；但待測水霧，需為球狀液滴、且數量濃度不可過高，否則易產生誤差，因此較適合用於稀疏水霧或灑水頭液滴之量

第三章 研究流程、儀器設備與測試實驗

測。但在水霧濃度太高之區域或非球形液滴，液滴不一定能單獨進入探測區(probe volume)，導致接收器無法分別相位、計算粒徑；至於大液滴直徑較大，比較可能發生一部分在探測區內、一部分在外。這兩種情形，造成大液滴之有效數據偏低，很容易因此低估水霧之平均粒徑（SMD，參考附錄六）。

本計畫，根據前節之量測結果，藉扇形及實心圓錐水霧，組成滌煙、隔煙隔熱用之組合噴霧器（工作壓力範圍 30~70 bar、已申請專利），擬藉 PDA 和 Malvern，量測其相關特性，作為為來煙發之基礎。

單顆組合噴霧器之流量(2 扇+2 實心)約 7~9 公升/min；若同時噴灑，數十秒內，整個實驗室，水霧瀰漫。考量實驗室，電路、儀器設備之安全，仍使用組合噴霧器之本體，但只有一個噴霧器噴射水霧，其餘之噴射孔以管塞堵住；亦即以 PDA 量測水霧瀰漫之流場，有其困難度。但是水霧密度不夠，又無法發揮滌煙隔煙之功用。實驗時，PDA 光學組 (Transmitting & Receiving Optics) 以壓克力管及低壓排風氣流，輕輕地將可能入侵光學組之水霧，吹出。至於三軸移動平台，體積較大，需藉防水膠袋保護（圖 3-13）。

目前細水霧是之量測標準，與撒水頭 (Sprinkler) 類似，在噴霧器下方一米處量測；這種高度比較適合 Sprinkler 這類稀疏水霧，但對於細水霧噴霧器，或研究所研發之滌煙用噴霧器，容易因水霧密度太高而無法量測。本研究，從一米高度開始量測；最後在 2.2 米處，扇形水霧邊緣，量到部分數據（圖 3-14）。

PDA 之操作工程師，解釋 PDA 之量測範圍，與光學組聚焦鏡頭之焦距有關，目前之設計以粒徑小於 200 μm 之水霧為主，因此暫時無法量測大於 200 μm 之水霧。

本實驗室，迄今已量測十數個噴霧器，現有之細水霧只有少數幾個噴霧器之最大粒徑（Dmax、Pressure orifice、高壓輻射狀微孔噴射）小於 $200\ \mu\text{m}$ （需在 1.8 米處量測），噴灑範圍太廣、也有其他需克服之量測問題。大多數之中低壓噴霧器之粒徑，高壓則介於 $5\sim 300\ \mu\text{m}$ ；或部分。敝人曾於 IWMA 會議（國際細水霧會議），提供濃密水霧照片，建議修正細水霧之量測規範，一米處量測細水霧相當不可行。與會專家議亦認同量測粒徑雖然重要，但影響細水霧滅火效率之參數很多，平均粒徑只是應參考之參數，不是唯一或最重要之參數。

本實驗所用之 PDA，附加配備相當齊全，建議添購光學組聚焦鏡頭組，以擴大量測範圍；並安裝天車型三軸平台，以便改變量測位置。

Malvern

Malvern 是非常容易使用之粒徑量測儀器，但其精確度、一值有爭議；作為商業採購粉粒體（Particle、Droplet）之標準。目前 Malvern 使用之紅光雷射為 $15\sim 30\text{mW}$ ，或雷射二極體（Helium, $632.8\ \text{nm}$, 2mW ），其目前設定之適合量測範圍約 $1\sim 400\ \mu\text{m}$ 。初步測試， $2\sim 30\text{mW}$ 之 Malvern 雷射，無法穿透水霧（PDA 之雷射強度原始功率為 5W ，正常操作時，進入 PDA 分光器的設定最大值是 2W ，分光後，會再衰減），其工作距離僅 $300\ \text{mm}$ ，考量儀器之安全，而且需增購工作距離 $675\ \text{mm}$ 之鏡頭、及固定平台，或可量測部分密度較稀疏之水霧，如果要量細水霧噴霧氣之特性，應考慮干擾性較低之視覺系統（長距離顯微鏡頭），或使用 PDA 在密度不很高之處進行量測。

視覺量測系統提供眼見為憑(seeing is believing)之公信力，雖然操作較不方便，但可用來量測液滴、粉立體 (Particle、Droplet) 之形狀因子 (shape factor)，以修正商用儀器之誤差。

第三節 隔煙實驗室

內政部 建築研究所 台南歸仁防火實驗場，量測設備齊全。本研究於該實驗室之 3F 實驗屋，建構隔煙測試實驗室包含：A 水壓及水霧系統，B 火源&煙氣產生器、及 C 滌煙效率之量測系統，以探討水霧特性對煙霧洗滌效果之影響。

A 水壓和噴霧系統

本研究依熱釋放率、及組合噴霧器之特性，已完成高壓供水系統 (圖 3-15a)，包括：配電及安裝 20HP 之電動機、及高壓水泵 (壓力 50~100 bar、流量 60L/min)，並裝設壓力控制閥 (Relief Valve, 設定壓力) 及穩壓用蓄壓器 (Accumulator, 持壓閥)，以穩定水壓、減少壓力脈動，獲得粒徑、衝力適當之水霧。壓力表及浮子流量計則用於監測管路之壓力與流量。

本研究以彈性調整水霧配置為原則，設計噴霧系統包括：隔煙用組合噴霧器、噴霧迴路管 (不銹鋼管、圖 3-15b)，且於適當位置設置轉接頭，以安裝組合噴霧器。

本研究以矽酸鈣板與石膏板，在實驗屋內，建立一條模擬避難通道 (10×1.8×2.8 M³)。地板與矽酸鈣板間的縫隙並使用耐火塗料加以密封，避免熱煙氣從縫隙中流出，因而影響實驗的準確性。

B. 火源和煙氣產生器

本研究之模擬火源及煙氣產生器 (圖 3-16)，包括四個鋼製油盆 (盛裝燃料)，以產生所需的熱釋放率、支架及荷重計 (Load

cell、根據燃料消耗率，推估熱釋放率)。

C. 量測系統

本研究使用下列儀器，進行實驗，以探討各參數、對隔煙及滌煙效率之影響。

(i) 煙層之高度及下降速率：

(a) 簡易式煙氣濃度分析計：鍾基強及董賢聲(2005)，根據光遮蔽率原理，提出一種簡易式煙氣濃度分析計。本研究依此原理，以雷射二極體、光電二極體(Laser & Photo diode)，製作類似之煙氣濃度分析計(圖 3-17)。

(b) 偵煙型感測器(detector，離子式或光電式)：消防用偵煙型感測器，可搭配建研所之資料收集系統(DAQ、圖 3-18)，量測通道 1.5 米高處之煙霧濃度，到達危險臨界點之時間，量測各感測器發出警報之時間，以推估本滌煙系統對人員逃生時間之影響。

(c) 熱電偶樹及資料收集器(DAQ、圖 3-19)：量測火場中之煙溫及溫度變化情形可量測空間之溫度分布。

(ii) 其他儀器：

(a) 數據收集系統(圖 3-19)：收集熱電偶樹、簡易式煙氣濃度分析計、及消防用與簡易式偵煙型感測器之訊號。

(b) 影像處理系統：錄影機(用於紀錄火場變化情形)。

(c) 多功能氣體分析儀(圖 3-21)：分析火場中，氧氣(O_2)、一氧化碳(CO)濃度、二氧化碳(CO_2)濃度變化情形。其測量範圍是 O_2 0 ~25%、CO 0 ~1%及 CO_2 0%~11%。

第四節 實驗規劃

實驗是直接驗證，水霧式滌煙系統及任何系統，是否有效之最佳方法。本研究於台南實驗室之實驗屋，建構一條模擬逃生通道（圖 3-22）及相關儀器之配置圖。圖 3-22a 為俯視圖：藍色圈標示熱電偶術之相關位置，t1a, t1b, t1c 與 t2a, t2b, t2c，主要是量測火源&煙氣產生器，前後兩端之溫度，t3a, t3b, t3c 是量測水霧後方之溫度；t4a, t4b, t4c 量測排風口之溫度。棕色圈標示消防用偵煙感測器之相關位置，L1 與 L2 靠近水霧，L3 與 L4 靠近排風口；I1(簡易型偵煙感測器)安裝位置，介於 L2 與 L3 之間，I2 與 L4 及 t4 一樣，靠近排風口。圖 3-22b 為側視圖，綠化方塊標示觀測窗之位置、圖 3-22c 標示 DV(攝影機)之相關位置。

圖 3-22d，標示噴霧與火源之相對霧位置，本研究主要是探討水霧之隔煙隔熱之效果，因此刻意將水霧之落點、遠離火源一公尺外；至於水霧之滅火效果，擬於其他研究進行。本章之實驗設計，盡量與實際應用情形相近，全部採用自然通風及排風（除非特別標示）。

本實驗另於通道側面，張貼 25 張白紙，一半塗膠水吸收煙塵、另一半吸收水霧以觀察水霧之分佈。水霧後方安排 200 枝以上之集水管(直徑 10 mm、高度 100 mm)，以觀測水霧之濃度分佈。

第五節 定性實驗

表 3-11 紀錄，實驗#1~5，之流場條件及相關參數，其中機油是用來產生黑煙，木材主要是妨礙水霧飄入油盆、以免提早滅火，影響隔煙與隔熱之實驗。圖 3-23a~d 為實驗#1~4，熱電藕樹之溫度與時間紀錄。實驗#1（圖 3-23a），一個油盆（4500 cc）、無機油，室溫於兩分鐘內升至 250°C，啟動水霧（50bar），熱電藕樹之溫度，於 20 秒內降至 50°C。

實驗#2, 3, 4 之溫度紀錄（水霧 60bar），顯示 1000 cc 之汽油加上 250~1000 cc 之機油，溫度上升較慢（圖 3-23b, c, d），啟動水霧系統後，5~15 秒內，室溫降至 40°C 以下。

以上結果，顯示水霧之降溫效率很高，而且位於水霧後方兩公尺之白紙沒有附著黑炭，亦未被水霧潤濕、集水管所盛接之水量很少（低於 5 mm）、甚至沒有。火源與水霧前方之白紙，有潤濕及黑煙附著之情形，顯示水霧具有一定之滌煙與隔煙效果

實驗#5，嘗試探討排煙設備對水霧滌煙之影響；其中火盆、水霧、排風口之位置與#1~4 相同，但採用機械排風，圖 3-24，為細水霧前方與後方之溫度約為 300 及 150°C。比較實驗#5 與#1~4，很明顯地，機械排風對水霧之滌煙效果，有很大之負面影響。啟動機械排風機（水霧後方），造成本來向前噴射之水霧，往後漂離火盆；前方通風口流入大量新鮮空氣（#1~4 是自然通風），反而擴大火勢。

本研究認為，三者之相對位置，若改為水霧、火盆、排風機，排風機不只排出煙氣，亦會將大量新鮮空氣及水霧，吸入火盆，到底是擴大火勢、或是加速滅火減少煙氣，情況相當複雜。此外，若改為水霧、火盆、水霧、排風機，亦即火源為水霧圍繞，則後

側之水霧，當然與煙氣一起被吸離火場，但前方之水霧亦會隨空氣漂入火盆，情況又更複雜。依照目前之實驗設計、量測設備及空間排列方式，短期內較難進行一系列之實驗，完整地探討排煙設備（風速、風量，空間之長、寬、高）對水霧滌煙之影響。本研究建議，應專案探討，以獲得具體可用之結論。

第六節 滌煙與隔煙測試實驗

表 3-12 紀錄，實驗#6~15 之流場條件及相關實驗參數，包括：92 汽油(500~2000 cc)及 50 cc 機油以產生黑煙、乾燒時間(0~120 秒)；水霧壓力(50、70bar)、流量約 17~26 公升；水霧啟動時間、依偵煙感測器及火場溫度決定、介於-10~130 秒。噴頭 SA 之流量約 8 公升/min，包含兩個扇型子噴霧器(2~3 公升/min)、兩個圓錐噴霧器(1 公升/min)；可安裝於前、中、後之分流歧管，距火源約 3.4~5.4 公尺。一個 Sb 噴頭包含 5 個圓錐噴霧器，流量約 5 公升/min，通常固定於中間之分流歧管距火源約 4.4 公尺。

圖 3-25, 3-26, 3-27 實驗#6~8 之溫度紀錄，根據出風口之消防用偵煙感測器發出警報時間、火焰上方溫度約 150°C，啟動水霧後約 20 秒、即將整個火場之溫度(t1~t4)降至 50°C 以下。本實驗顯示乾燒時間長短對水物之降溫速度之影響不大，但對水霧後方至排風口之隔煙效果有影響，因為水霧主要是吸收，水霧與火源之間之煙塵與燃燒反應之中間產物。至於在水霧啟動前，先到達之煙塵，只能依自然排風逐漸降低。

圖 3-28, 3-29 (實驗#9、10)，比較水霧壓力對降溫之影響。水霧啟動前，火源上方之溫度高達 250°C，實驗#9 (水霧壓力 70bar)，可於 20 秒內，將水霧前方及後方之溫度降至 50°C；實驗#10 (50bar)，需要 60 秒，方可將溫度降至 50°C。圖 3-28 與圖 3-29 第四圖顯示油盆之重量，水霧啟動前，可藉燃料消耗量推估熱釋放率；啟動後可推估水霧隨空氣(Entrainment)、進入油盆之重量。例如水霧啟動前，燃油之消耗量呈現性遞減，啟動後燃油之消耗量若大於水霧吸入量，則重量雖然減少，但減少之速率減緩。當水霧吸入量大於燃油之消耗量，則油盆重量增加。圖 3-28，顯示 70bar 水霧可快速地隨空氣進入油盆，減緩燃燒反應、快速降溫；50bar 水霧之平均粒徑 SMD 與 70bar 水霧相似，但衝力較小、射程較短，進入油盆之水量較少，降溫速率自然較慢。

圖 3-29, 3-30, 3-31 (實驗#10、11、12)，比較水霧 (50bar) 位置及流量對降溫之影響。圖 3-29, 3-30, 3-31 第四圖顯示，噴霧器離火源越遠、水物與火源之間降溫效果變小，因為隨空氣(Entrainment)、進入油盆之水霧量變少，而水霧後方至排風口之溫度仍可於 20~60 秒內降至 50°C。本結果說明，遠離火源之水霧，雖然抑制火勢之效果變小；但一個均勻之水霧帶具有隔熱效果，可將其後方之溫度將至 50°C。

實驗#13、油盆點火幾乎與水霧同時啟動，但管路需蓄壓 7 秒方可噴射水霧。實驗#14 水霧先啟動，油盆不易點火、火焰出現時間約晚水霧 120 秒。圖 3-32 與圖 3-33 (實驗#13、14)，顯示空間預先噴灑水霧，則火源附近與水霧後方之溫度，可維持在 50°C 與 35°C，對於人員之逃生有相當幫助。圖 3-32 與 3-33 第四圖顯示油盆之重量緩慢地下降，顯示火焰之釋熱率很低、或燃料之消耗

第三章 研究流程、儀器設備與測試實驗

量略高於水霧之吸入量、亦或空間之相對溼度太高、降低燃燒反應速度。

實驗#15、水霧壓力 30bar，且噴頭位置距離火源較遠，對於水霧前方空間之降溫效果，但仍可將水霧後方之溫度維持在 50°C 以下。

表 3-1 實圓錐噴霧器導流棒重要尺寸

編號	切槽形式	槽深
a1	一字切槽	0.1mm
a2.		0.2mm
a3		0.3mm
a4		0.7mm
b1	十字切槽	0.2 mm
b2		0.3 mm
b3		0.7 mm
* 槽寬 = 0.25mm		



(資料來源：本研究整理表及拍攝之照片)

表 3-2 實圓錐噴霧器擴散角 & 粒徑實驗表

	實圓錐孔徑 mm	導流棒編號	角度噴射
Flow 1a	0.4	b2	0 度
Flow 1b	0.6	b2	
Flow 1c	0.8	b2	
Flow 1d	0.4	a4	
Flow 2a	0.6	a3	
Flow 2b	0.6	a4	
Flow 2c	0.6	b2	
Flow 2d	0.6	b3	
Flow 3a	0.6	b3	15 度
Flow 3b			45 度
Flow 3c			75 度
Flow 3d			90 度
Flow 4a	0.6	b2	15 度
Flow 4b			45 度
Flow 4c			75 度
Flow 4d			90 度
※ 測試工作壓力 70bar Flow 1b = 2c			

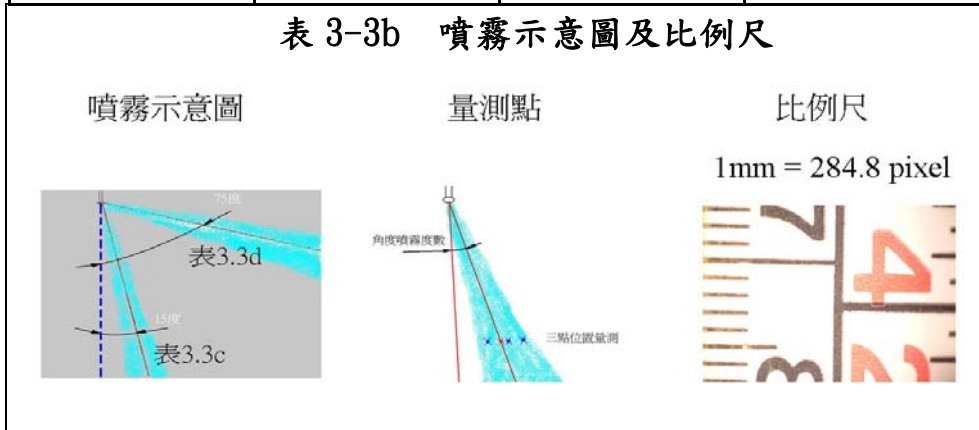
(資料來源：本研究整理表)

表 3-3 實圓錐噴霧粒徑量測條件&結果

表 3-3a 粒徑量測條件





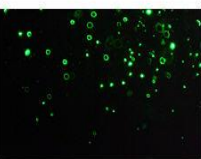
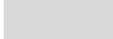
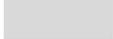
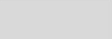
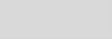
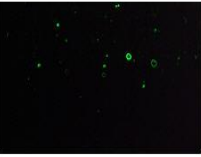
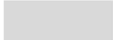
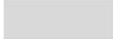
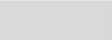
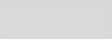
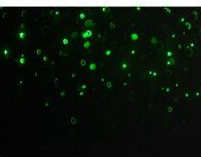
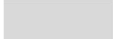

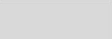

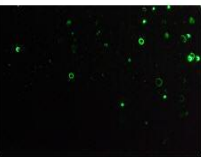

	導流棒編號	工作壓力	逆吹風條件
Flow 5a	b2	50 bar	0 m/s
Flow 5b		70 bar	
Flow 6a		50 bar	6 m/s
Flow 6b		70 bar	
Flow 7a	b3	50 bar	0 m/s
Flow 7b		70 bar	
Flow 8a		50 bar	6 m/s
Flow 8b		70 bar	

表 3-3b 噴霧示意圖及比例尺






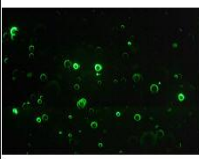
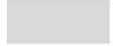

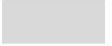
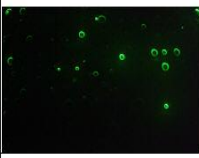
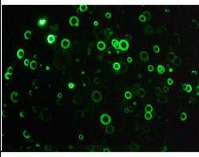
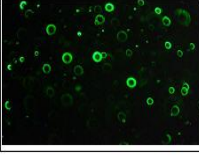

(資料來源：本研究整理表及繪製之示意圖)

表 3-3c 15°噴射角

導流棒 b2	無吹風		側吹逆風 6 m/s		照片
Flow	5a	5b	6a	6b	
壓力條件	50bar	70bar	50bar	70bar	中心▲外圍▼
SMD 中心偏右 外圍	269 μ m 163 μ m	240 μ m 245 μ m	 	 	
Dmax 中心偏右 外圍	691 μ m 300 μ m	540 μ m 440 μ m	 	 	
Flow	7a	7b	8a	8b	
導流棒 b3	50bar	70bar	50bar	70bar	中心▲外圍▼
SMD 中心偏右 外圍	236 μ m 251 μ m	227 μ m 228 μ m	 	 	
Dmax 中心偏右 外圍	522 μ m 512 μ m	490 μ m 499 μ m	 	 	
備註：上表中因逆風造成水霧會飄移不定，以致實驗中無法正確照出真實粒徑故以  表示未拍攝。					

(資料來源：本研究整理表)

表 3-3d 75°噴射角

導流棒 b2	無吹風		側吹逆風 6 m/s		照片
Flow	5a	5b	6a	6b	
壓力條件	50bar	70bar	50bar	70bar	中心▲外圍▼
SMD 中心偏右 外圍	290 μm 269 μm	215 μm 293 μm	 	 278 μm	
Dmax 中心偏右 外圍	668 μm 507 μm	493 μm 570 μm	 	 425 μm	
Flow	7a	7b	8a	8b	
導流棒 b3	50bar	70bar	50bar	70bar	中心▲外圍▼
SMD 中心偏右 外圍	421 μm 371 μm	457 μm 438 μm	241 μm 384 μm	338 μm 329 μm	
Dmax 中心偏右 外圍	906 μm 803 μm	879 μm 843 μm	285 μm 667 μm	615 μm 619 μm	
備註：上表中因逆風造成水霧飄移，以致實驗中無法拍攝到水霧之粒徑故以  表示。					

(資料來源：本研究整理表)

表 3-4 扇型噴霧器之壓力與流量關係

編號	工作壓力 50bar	工作壓力 70bar
#c1	2.5 L/min	2.9 L/min
#c2	2.8 L/min	3 L/min
#c3	4.5 L/min	6.5 L/min
#c4	5.2 L/min	6.4 L/min

(資料來源：本研究整理表)

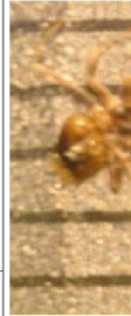
表 3-5 噴射角對扇形噴霧器擴散角 & 濃度實驗表

圖號	噴射角度	壓力	噴頭編號
Flow 9a1	0 度	50BAR	#c1
Flow 9a2			#c2
Flow 9a3			#c3
Flow 9a4			#c4
Flow 9b1		70BAR	#c1
Flow 9b2			#c2
Flow 9b3			#c3
Flow 9b4			#c4
Flow 10a1	15 度	50BAR	#c1
Flow 10a2			#c2
Flow 10a3			#c3
Flow 10a4			#c4
Flow 10b1		70BAR	#c1
Flow 10b2			#c2
Flow 10b3			#c3
Flow 10b4			#c4
Flow 11a1	75 度	50BAR	#c1
Flow 11a2			#c2
Flow 11a3			#c3
Flow 11a4			#c4
Flow 11b1		70BAR	#c1
Flow 11b2			#c2
Flow 11b3			#c3
Flow 11b4			#c4

(資料來源：本研究整理表)

表 3-6 高速攝影系統及其功能

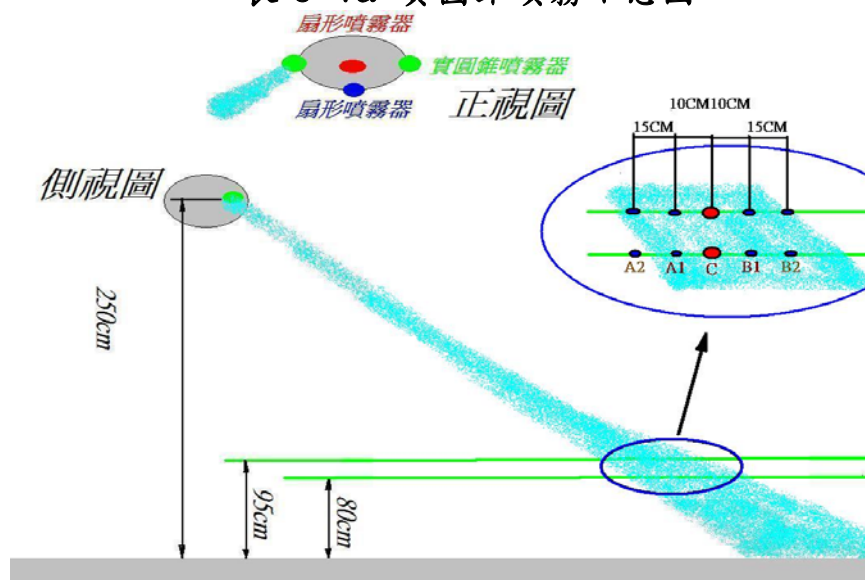
系統與設備	解析度	可拍攝清晰之物件最大速度(m/s)	功能	備註
A、連續式高速量測系統： 1. 數位式高速相機 Photron 1280 PCI (4.5kg, 1000x1000 一百萬畫素, 500frames/s, 電子快門 8 μ s) 2. 連續光源	鏡頭 I: 0.4~7 μ m 鏡頭 II: 30~ ∞ μ m 鏡頭 III: 0.4~ ∞ μ m	鏡頭 I: 0.05~0.9 鏡頭 II: 3~ ∞	連續影像分析；計算物件之位置、長度與時間之關係(A15~19)	自建軟體
B、微粒子粒徑量測系統： 1. 高解析度數位相機 Fujifilm FinePix S2 PRO (3000x2000 六百萬畫素) 2. 脈衝雷射 + B 快門 (new wave Polaris II, pulse duration 5ns, 90mJ, 30Hz)	鏡頭 I: 0.2~3.5 μ m 鏡頭 II: 5~ ∞ μ m 鏡頭 III: 0.2~ ∞ μ m	鏡頭 I: 40~700 鏡頭 II: 1000~ ∞	粒徑、緊實度、形狀因子、真圓度量測(A2~6, 9, 11, 20~22)	自建軟體 (國內尚無類似系統，國外產品如 Oxxxxx xxx xx Ltd. 約需 300 萬)
C、PIV 影像像素速度量測系統： 1. MegaPlus Model ES1.0 相機 (1008x1018, 15 組張/s, 一組兩張) 2. Double Pulse Laser (3ns, 功率 90mJ) 3. 同步觸發控制器可使相機快門與脈衝雷射同步，並可設定觸發時間差(Δt 最小 1 μ s) 4. 鎖相控制器用於旋轉機械或週期性流場 (國內約有五到十套商業系統，價格約四、五百萬)	鏡頭 II: 30~ ∞ μ m 速度解析度: I pixel=30 μ m~ ∞ $\Delta t=1\mu$ s V=30m/s per pixel ($\Delta t \geq 1\mu$ s)	適合 ≤ 100 m/s 流場應用: < 30 m/s	量測流場各位置粒子的速度向量，建立整個流場的速度場(J1~15)	採用 PIV 計算軟體軟體(IFT ProVision)進行速度分析 水霧會阻擋雷射光，已提升雷射功率至 90mJ 以穿透濃霧，獲得較清晰之影像



可用鏡頭 I 微粒子量測鏡頭；顯微鏡物鏡 3x, 10x, 20x, 50x(Nikon M-40/2T 顯微鏡, 12kg), 視野 0.4x0.4~7x7mm²
 II Nikkor 1:1 近攝鏡頭，加倍鏡，望遠鏡頭，視野 20x20~ ∞ mm²
 III 透攝鏡頭 Questar QM-1, 最小視野 1.1mm x 1.1mm, 如右圖，可於一公尺外清晰拍攝螞蟻的腳
 IV 標準鏡頭、廣角鏡頭

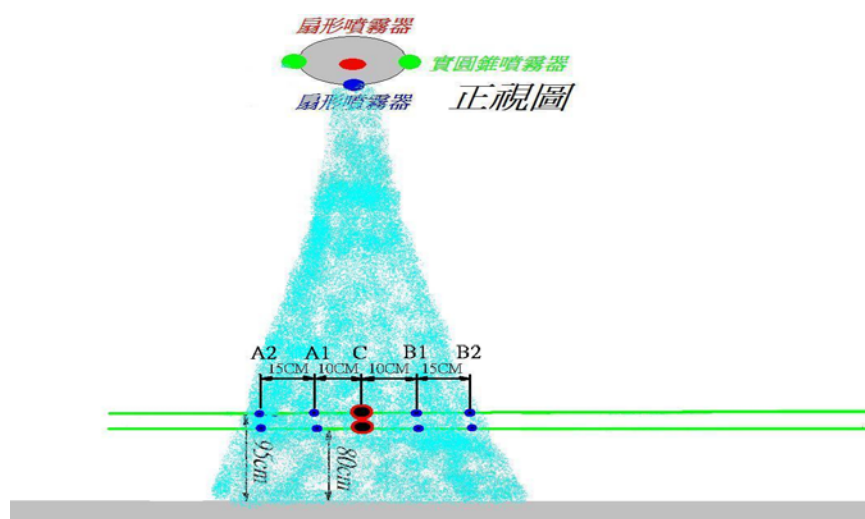
(資料來源：本研究整理表)

表 3-7a 實圓錐噴霧示意圖



(資料來源：本研究繪製之示意圖)

表 3-7b 扇形噴霧示意圖



(資料來源：本研究繪製之示意圖)

表 3-7c 組合噴頭-導流棒 b3 實圓錐噴霧 75°之粒徑量測

(Flow 12)

Flow12	條件	SMD (μm)	Dmax (μm)	Dmin (μm)	P. N
a1	H0V0	211 ~ 272	357 ~ 510	7.3	671 ~ 2231
a2	H0V3	215 ~ 272	367 ~ 507	7.3	752 ~ 1773
a3	H3V0	※			
a4	H3V3	※			
b1	H0V0	242 ~ 275	414 ~ 502	7.3	1103 ~ 2595
b2	H0V3	194 ~ 255	382 ~ 500	7.3	536 ~ 1863
b3	H3V0	※			
b4	H3V3	※			
c1	H0V0	230 ~ 277	476 ~ 514	7.3	974 ~ 1714
c2	H0V3	240 ~ 306	494 ~ 510	7.3	698 ~ 983
c3	H3V0	※			
c4	H3V3	※			
d1	H0V0	261 ~ 304	494 ~ 515	7.3	914 ~ 1770
d2	H0V3	224 ~ 306	508 ~ 514	7.3	675 ~ 2731
d3	H3V0	※			
d4	H3V3	※			

※代表因吹風造成水霧飄移，以致無法拍攝到噴霧水滴

a=雷射高度 80cm 50bar
 b=雷射高度 80cm 70bar
 c=雷射高度 95cm 50bar
 d=雷射高度 95cm 70bar

(資料來源：本研究整理表)

表 3-7d 組合噴頭-扇形噴霧器 15°之粒徑量測

(Flow 13)

Flow13	條件	SMD (μm)	Dmax (μm)	Dmin (μm)	P. N
a1	H0V0	236 ~ 268	499 ~ 510	7.3	868 ~ 2819
a2	H0V3	171 ~ 272	488 ~ 512	7.3	489 ~ 2200
a3	H3V0	273 ~ 358	489 ~ 514	7.3	49 ~ 1669
a4	H3V3	268 ~ 312	481 ~ 513	7.3	625 ~ 1601
b1	H0V0	174 ~ 254	446 ~ 514	7.3	1513 ~ 2664
b2	H0V3	160 ~ 238	399 ~ 515	7.3	388 ~ 3047
b3	H3V0	263 ~ 309	490 ~ 514	7.3	761 ~ 967
b4	H3V3	235 ~ 309	495 ~ 514	7.3	967 ~ 2713
c1	H0V0	224 ~ 337	446 ~ 512	7.3	648 ~ 2683
c2	H0V3	220 ~ 241	401 ~ 509	7.3	567 ~ 2098
c3	H3V0	262 ~ 335	485 ~ 507	7.3	322 ~ 1877
c4	H3V3	244 ~ 348	474 ~ 511	7.3	351 ~ 1853
d1	H0V0	169 ~ 299	438 ~ 497	7.3	1135 ~ 3236
d2	H0V3	163 ~ 234	404 ~ 509	7.3	1159 ~ 3123
d3	H3V0	233 ~ 312	476 ~ 514	7.3	582 ~ 2488
d4	H3V3	218 ~ 297	452 ~ 511	7.3	692 ~ 2019

a=雷射高度 80cm 50bar
 b=雷射高度 80cm 70bar
 c=雷射高度 95cm 50bar
 d=雷射高度 95cm 70bar

(資料來源：本研究整理表)

表 3-8 Flow12 粒徑量測

比例尺 13mm = 2848 pixel



	a1		a2		a3		a4	
原圖								
二值化								
Dmax	98.98	451.8048	101.43	462.9881				
Dmin	1.6	7.303371	1.6	7.303371				
P. N	1665	1665	753	753				
SMD	48.68226	222.2154	52.03356	237.5128				
	b1		b2		b3		b4	
原圖								
二值化								
Dmax	105.53	481.7029	106.06	484.1222			80.79	368.7746
Dmin	1.6	7.303371	1.6	7.303371			1.6	7.303371
P. N	2231	2231	1052	1052			519	519
SMD	54.38447	248.2437	50.28254	229.52			42.33597	193.247

(資料來源：本研究整理表)

表 3-9 Flow13 粒徑量測

比例尺 12mm = 2848 pixel



	a1		a2		a3		a4	
原圖								
二值化								
Dmax	111.77	510.1861	112.36	512.8792	107.26	489.5997	112.19	512.1032
Dmin	1.6	7.303371	1.6	7.303371	2.76	12.59831	1.6	7.303371
P.N	1868	1868	2082	2082	49	49	625	625
SMD	58.82802	268.5268	55.41643	252.9542	78.54774	358.5396	68.46357	312.5093
	b1		b2		b3		b4	
原圖								
二值化								
Dmax	107.69	491.5625	112.81	514.9333	112.74	514.6138	112.66	514.2486
Dmin	1.6	7.303371	1.6	7.303371	1.6	7.303371	1.6	7.303371
P.N	1513	1513	2756	2756	967	967	1177	1177
SMD	50.67268	231.3009	50.20067	229.1463	67.86293	309.7676	64.05811	292.4001

(資料來源：本研究整理表)

表 3-10 PDA 量測結果

量測粒數	5000
Data Rate [#s]	48.10
Validation [%]	1.83
垂直平均速度 [m/s]	3.11
水平平均速度 [m/s]	-0.41
平均粒徑 [μm]	32.1

(資料來源：本研究整理表)

表 3-11 實驗#1~4 之流場條件及相關參數

火源通道隔煙 定性測試 條件表

No.	1	2	3	4	5
水壓	50bar	60bar			
木材	5 支	5 支			
92 汽油	4500cc	1000cc	1000cc	1000cc	1000cc
廢汽油	0	250cc	1000cc	500cc	500cc

乾燒時間	2 分鐘 溫度上升至 250°C	3 分鐘 溫度上升 至 200°C	5 分鐘 溫度上升 至 110°C	7 分鐘 溫度上升 至 110°C	5 分鐘 溫度上升 至 300°C
實驗紀錄	1. 四次實驗內部週圍貼白紙，觀察黑碳附著量， 2. 四次實驗後觀察，前方白紙皆有黑碳。 3. 水霧啟動後 5 秒，室內急速降溫。				使用機械排風
實驗後觀察	1. 實驗 1 後觀察：噴頭後方 2 公尺之後，白紙乾燥且乾淨 (顯示：後方無水霧、亦無黑墨)。 2. 實驗 2 後觀察：噴頭後方 2 公尺之後，白紙相當乾淨。 3. 實驗 3 後觀察，後方 2 公尺之後白紙相當乾淨。 4. 實驗 4 後觀察，前後方白紙皆有黑碳，但後方白紙黑碳較少。 5. 實驗 3&4 後，水霧啟動後，排風口之黑煙 5 秒內，變成透明白煙。				情況複雜 負面影響 很大，應 專案探討。

(資料來源：本研究整理表)

表 3-12 實驗#6~15 之流場條件及相關實驗參數

自然排風

編號	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	5 Mon	6·Tue	7 Wed	8·Thu	8·Thu	8·Thu	8·Thu	8·Thu	9·Thu	9·Fri
燃料 cc 92 汽油	500	500	500	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
乾燒時間 秒	120	60 秒	45 秒	37 秒	50 秒	20 秒	8 秒	7 秒	-100*	-30*
壓力 bar	70	70	70	70	50	50	50	70	70	30
流量 L/min	26	26	26	26	21	17	17	18	18	18
噴頭 SA:	2×前	2×前	2×前	2×前	2×前	1前、1中	2×中	2×中	1前、1後	1前、1後
噴頭 Sb	1×中	1×中	1×中	1×中	1×中	0	0	0	1×中	1×中
消防偵煙時間	x	55	22	16	34	46	36	72	122	52
簡易雷射偵煙 時間(90%)	x	x	22	8	14	12	22	14	64	6
水霧啟動時間 t1	127	75	50	45	53	25	10	10	-115	-37
油盤增重時間 t2	x	x	x	43	56	24	11	15	-18	-28
水霧吸入時間 $\Delta t = t_2 - t_1$	x	x	x	2	3	1 (沒升)	1 (沒升)	4 (微升)	97 (沒升)	9 (沒升)
T _{max} °C	x	120.5	136.9	225.9	229.2	162	184.9	66.4	54.4	150.1
T _{max} 時間	x	76	50	38	50	70	78	62	84	76
T _{final} °C	x	42.4	41	43.9	43.9	39.8	44	38.2	42	61.6
T _{final} 時間	148	82	64	68	122	266	240	250	264	>246
降溫時間 $\Delta t = T_{final} - t_1$	21	7	14	23	69	241	230	240	379	x
最後能見度(%)	x	x	60-80	73-84	67-82	67-88	52-90	73-92	75-93	0-40
滅火時間	540	780	290	220	305	335	280	365	648	330
O ₂ %	19.62	19.84	19.71	20.21	20.80	20.89	20.63	x	x	x
CO ppm	38	29->5	5	5	6	7	5	x	x	x
CO ₂ %	1.01	0.85	1.27	x	x	x	x	x	x	x
CO ₂ i %	0.46	0.18	0.18	0.16	0.22	0.18	0.17	x	x	x

機油：50 cc，產生黑煙

偵煙 1 時間：自製簡易型雷射偵煙器

偵煙 2 時間：消防用光電式偵煙器

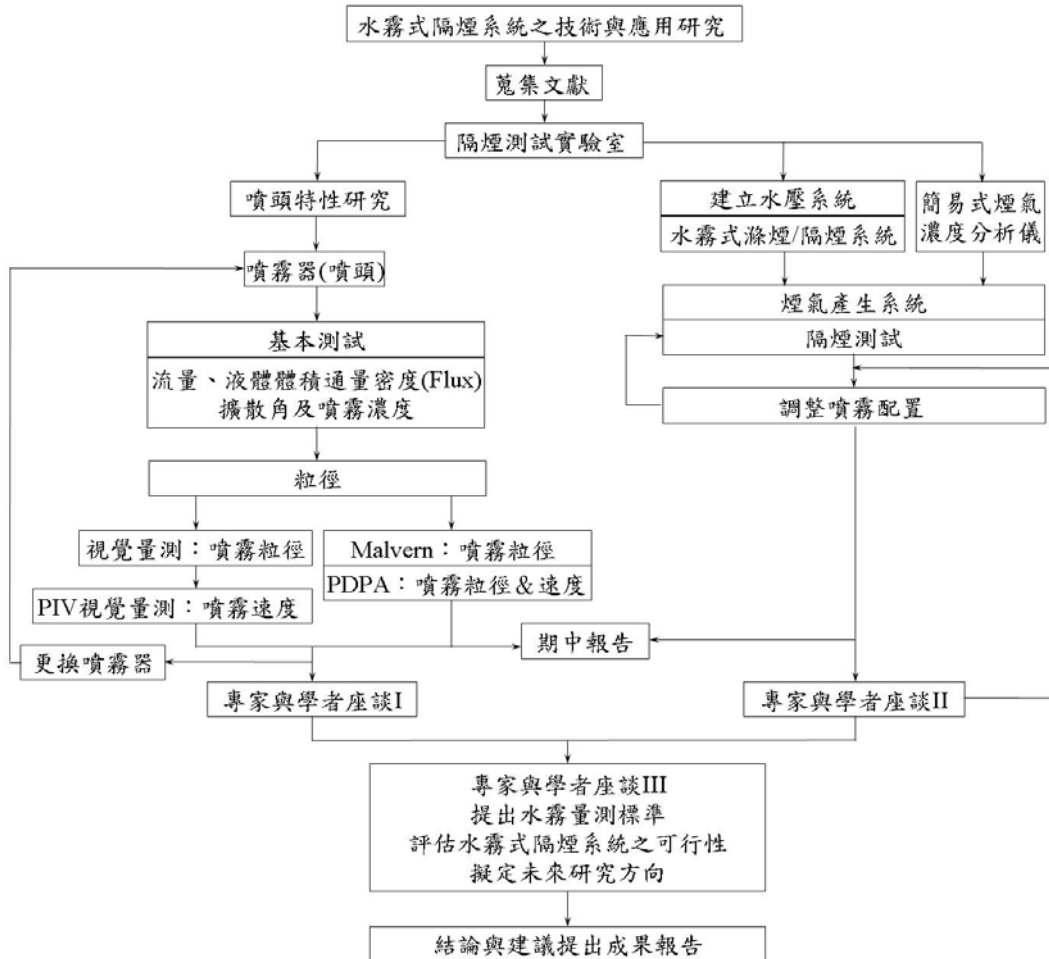
*：水霧提前啟動

噴頭 SA：兩扇+兩實心圓錐噴霧

噴頭 Sb：五個實心圓錐噴霧

(資料來源：本研究整理表)

圖 3-1 研究流程圖



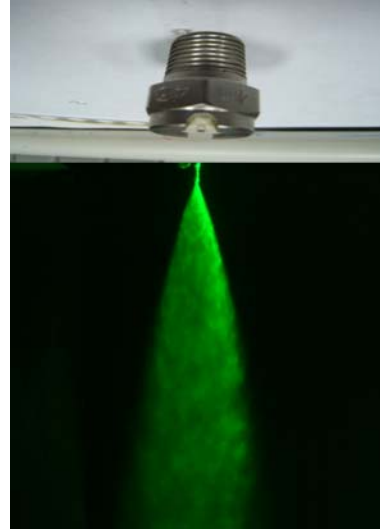
(資料來源：本研究繪製之示意圖)

圖 3-2 實圓錐及扇形子噴霧器

(a)實圓錐噴霧器

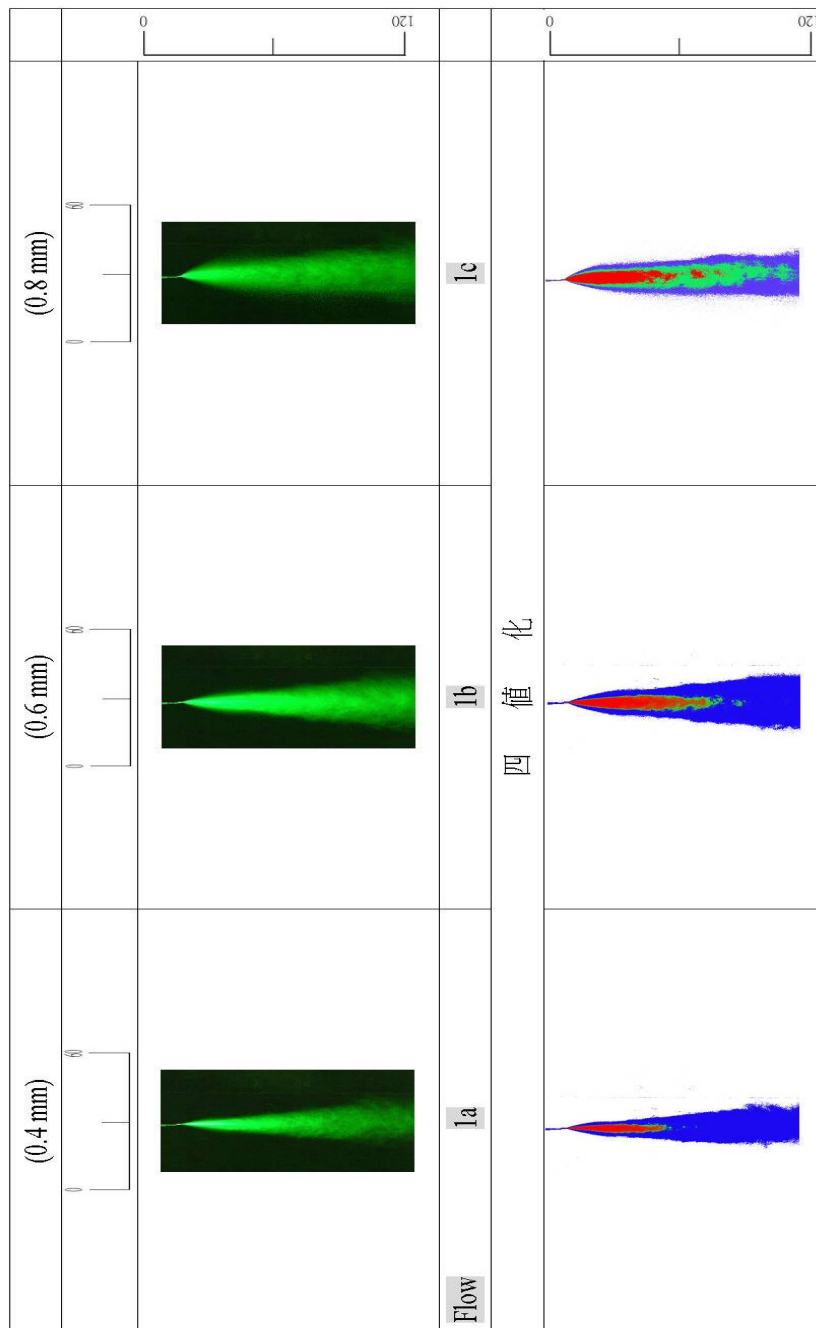


(b)扇型噴霧器



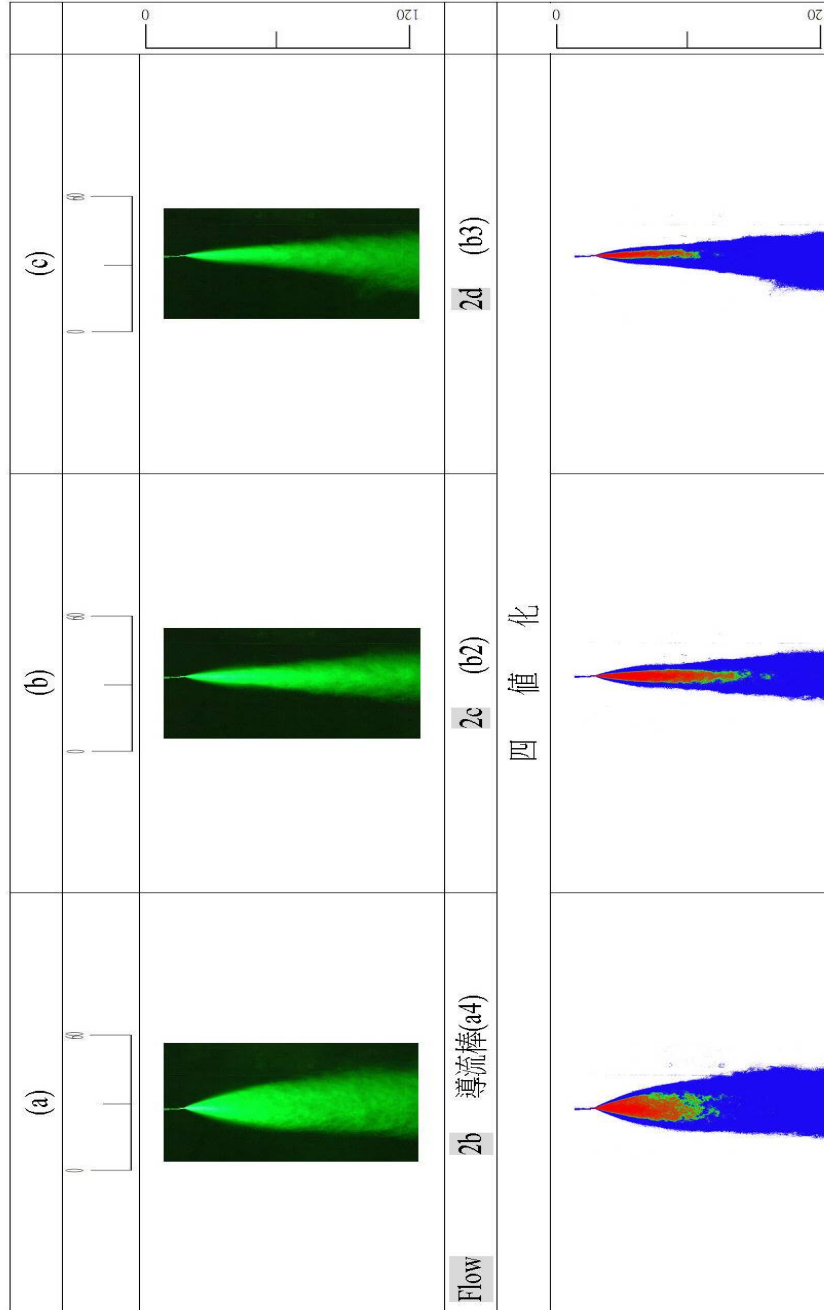
(資料來源：本研究拍攝之照片)

圖 3-3 噴嘴孔徑對水霧擴散角之影響 Flow 1



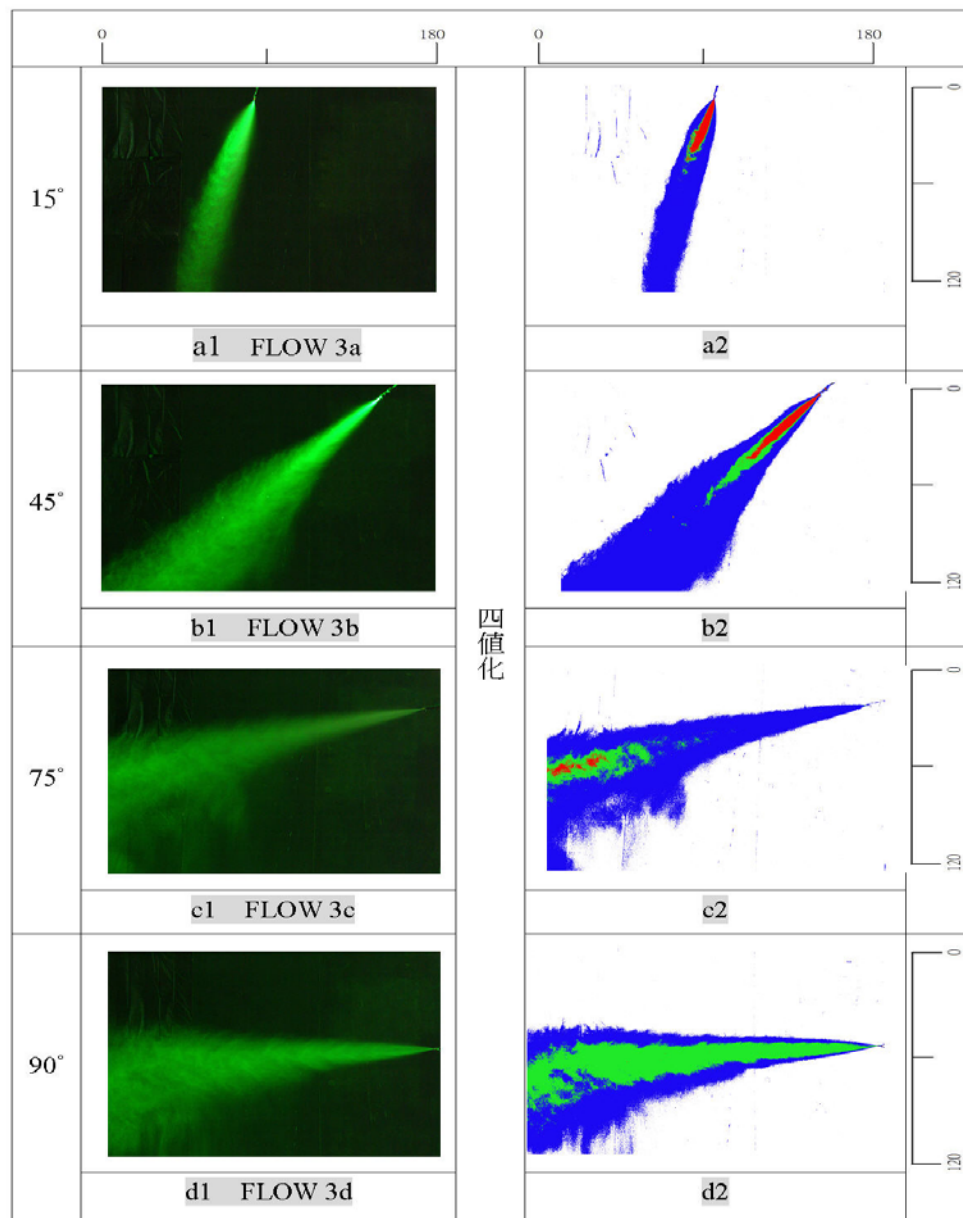
(資料來源：本研究整理表及拍攝之照片)

圖 3-4 導流棒對水霧擴散角之影響 Flow 2



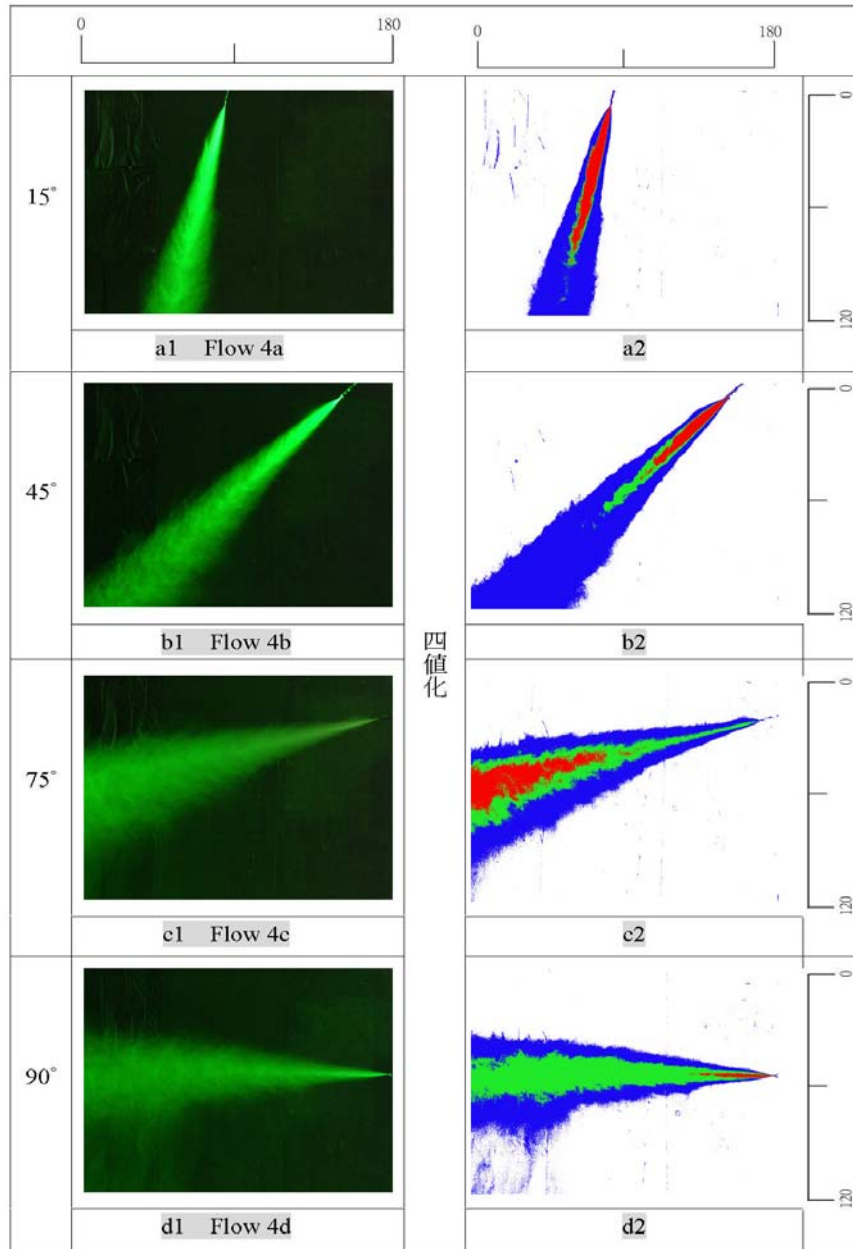
(資料來源：本研究整理表及拍攝之照片)

圖 3-5 噴射角對噴霧擴散角及濃度之影響 Flow 3



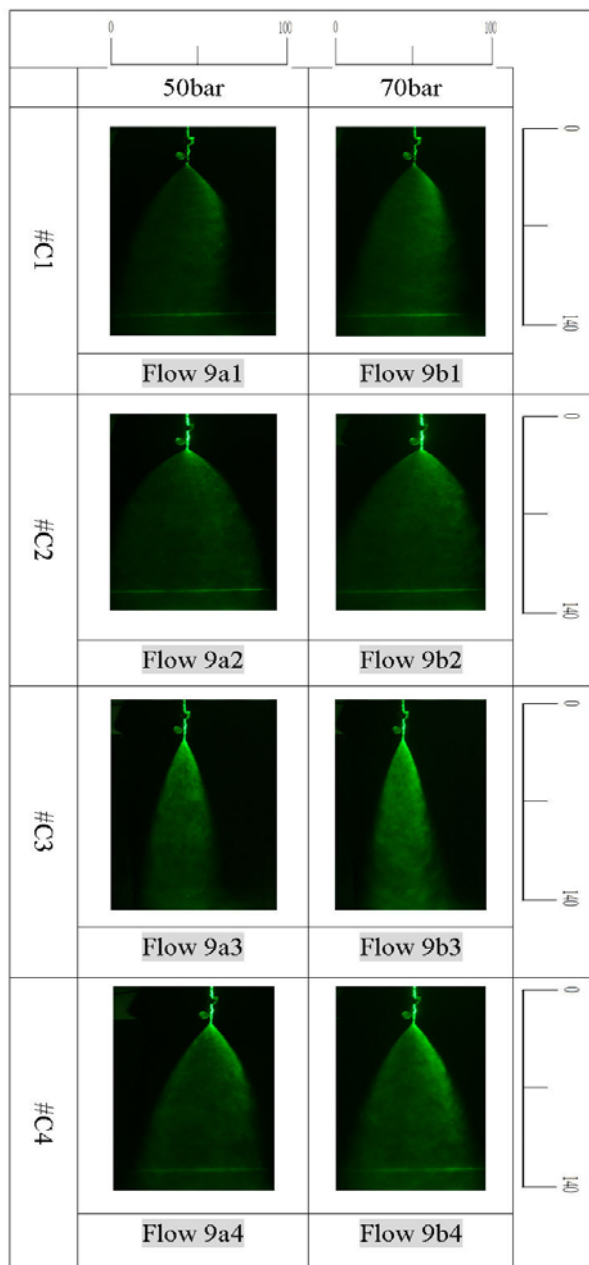
(資料來源：本研究整理表及拍攝之照片)

圖 3-6 噴射角對噴霧擴散角及濃度之影響 Flow 4



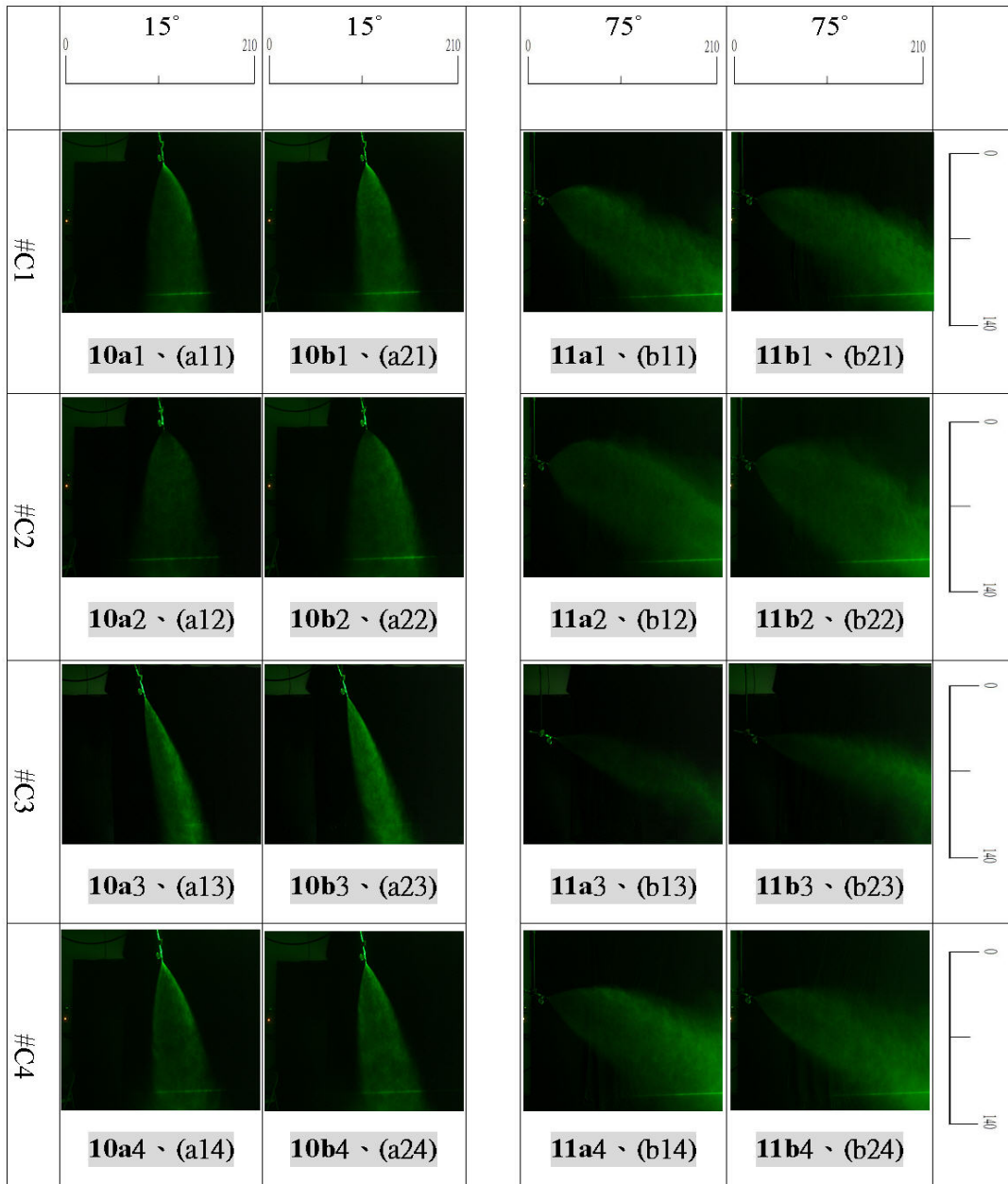
(資料來源：本研究整理表及拍攝之照片)

圖 3-7 扇形噴霧器水霧擴散角 Flow 9a 和 9b



(資料來源：本研究整理表及拍攝之照片)

圖 3-8 扇形噴霧器水霧擴散角角度拍攝 Flow 10 和 11 (a、b)



(資料來源：本研究整理表及拍攝之照片)

圖 3-9 組合噴頭水霧量測實驗

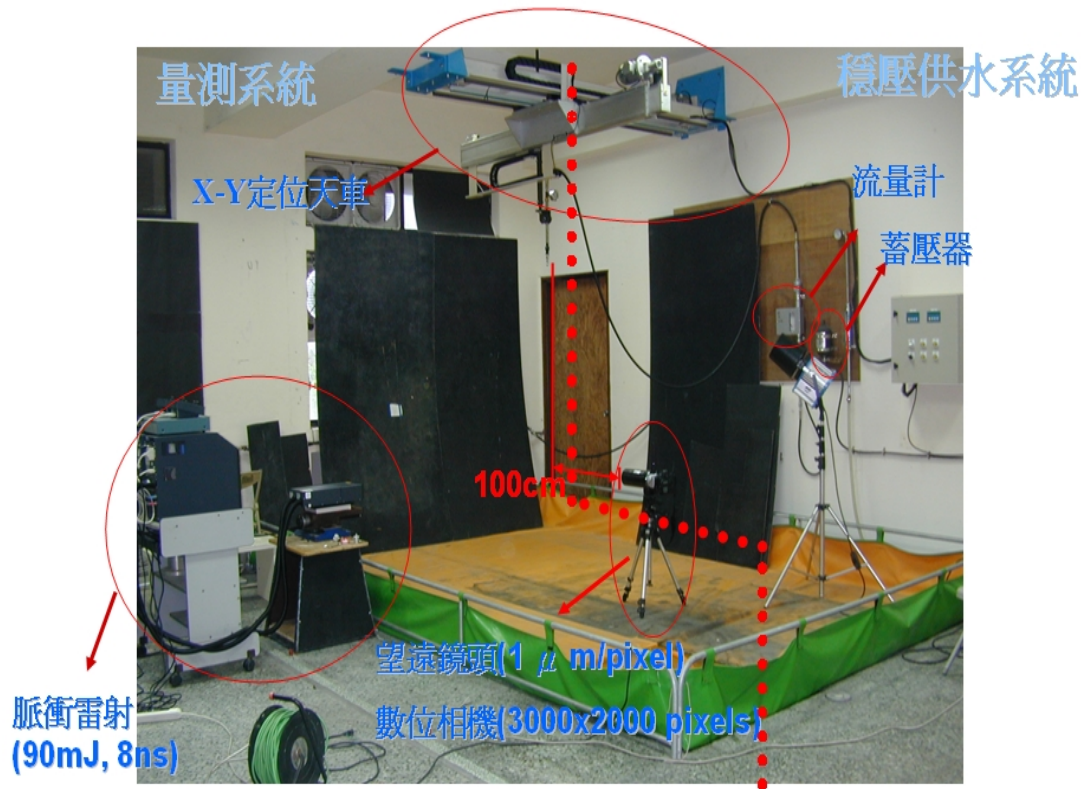


組合噴頭 擴散角拍攝 工作壓力 70 bar

	正面	側面
無風		
上吹風 3 m/s		
側吹風 5 m/s		
組合吹風		

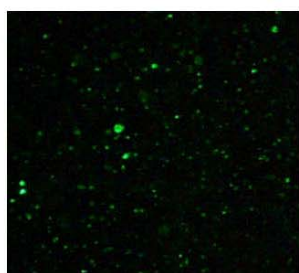
(資料來源：本研究拍攝之照片)

圖 3-10 噴霧產生設備圖

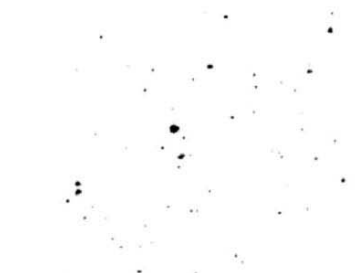


(資料來源：本研究拍攝之照片)

圖 3-11 粒徑分析軟體流程



4. Edge-detection



5. Total SMD

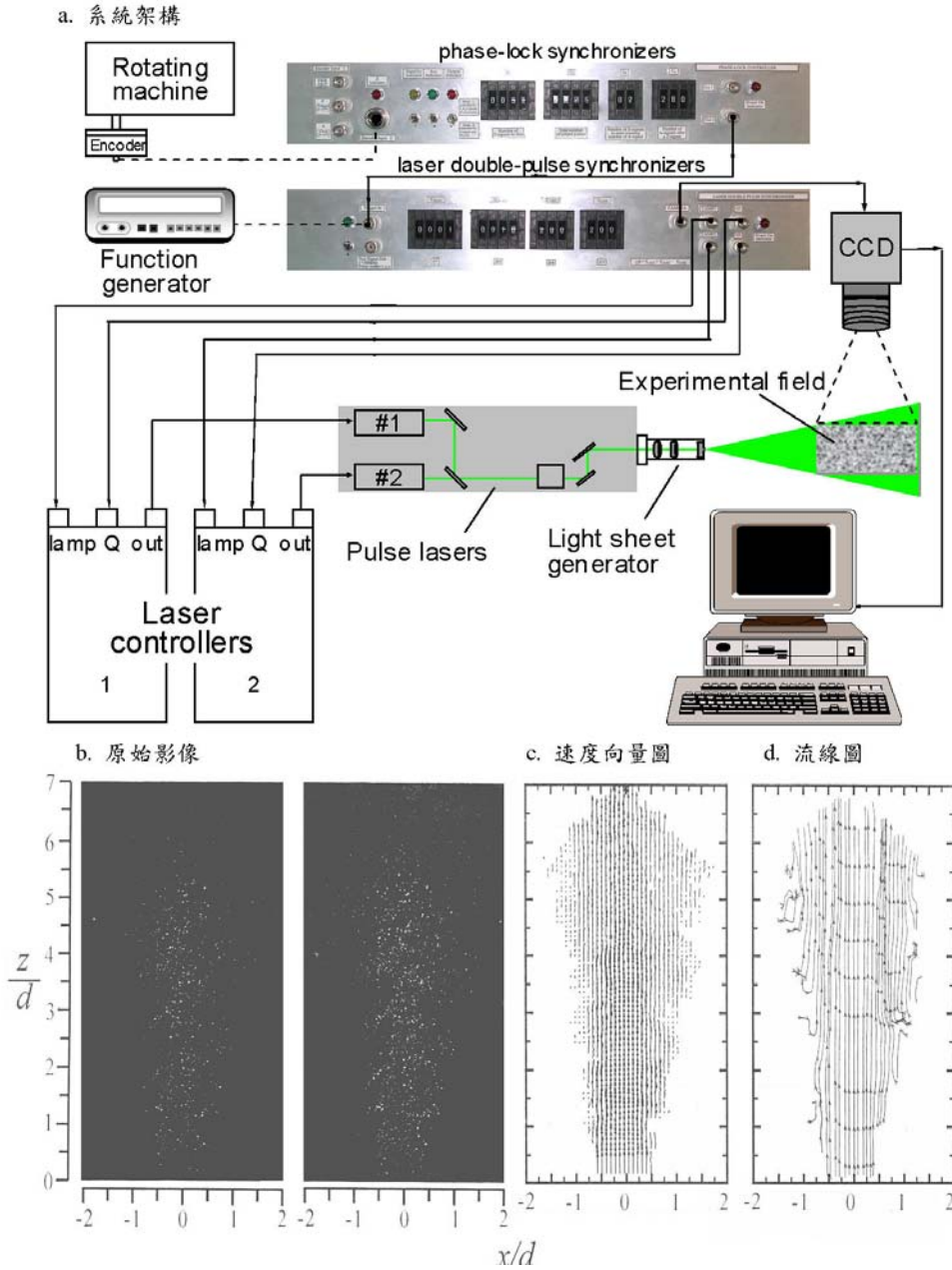


D	N	Sur.Area	Volume	ND	ND ²	ND ³	ND ⁴
1	1	0.25	4.18879	1	1	1	1
3	22	49.5	2488.141339	66	198	594	1782
5	21	131.25	10995.5741	105	525	2625	13125
7	5	61.25	7183.775079	35	245	1715	12005
9	2	40.5	6107.256014	18	162	1458	13122
11	3	90.75	16725.839	33	363	3993	43923
13	2	84.5	18405.54385	26	338	4394	57122
15	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
19	1	90.25	28730.91153	19	361	6859	130321

$$SMD = D_{32} = \frac{\sum n_i D_{ei}^3}{\sum n_i D_{ei}^2} = 9.9$$

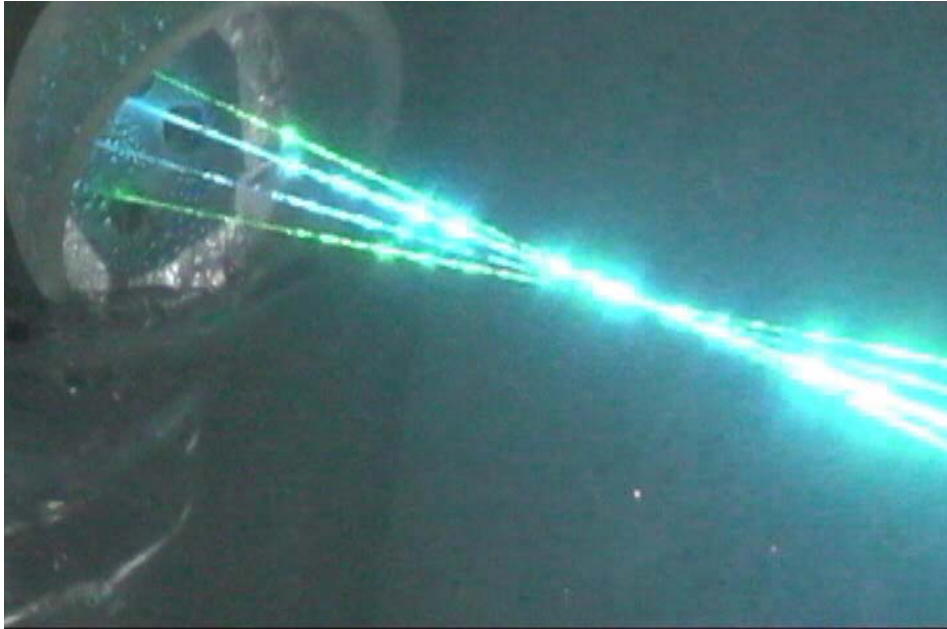
(資料來源：本研究整理表及整理之示意圖)

圖 3-12 PIV 粒子速度量測系統



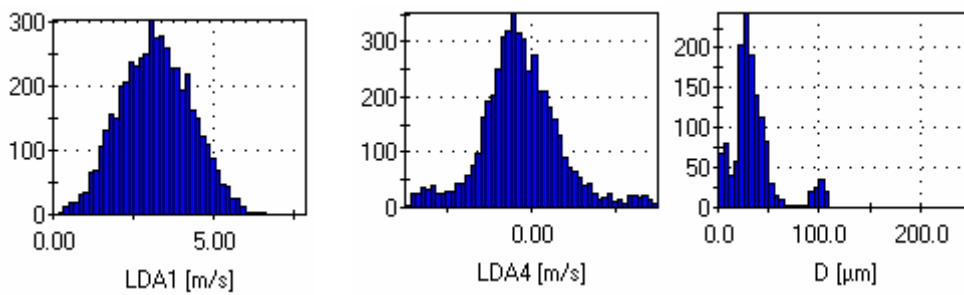
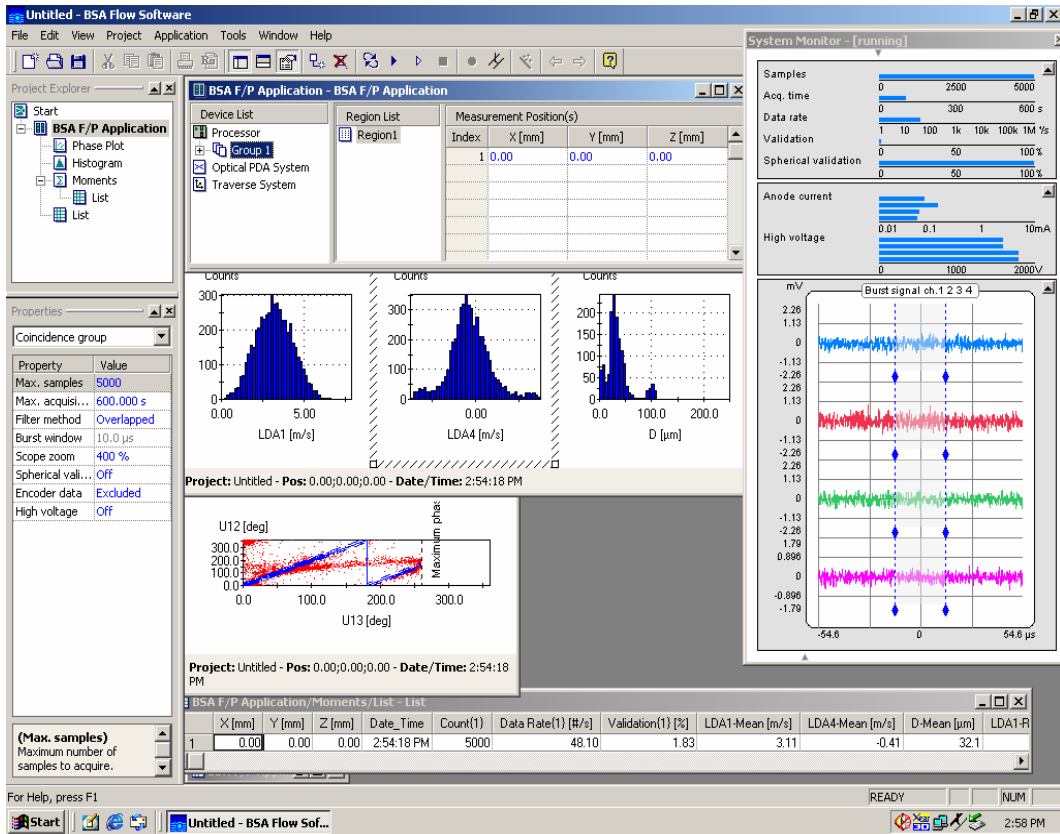
(資料來源：本研究整理之示意圖)

圖 3-13 PDA 光學組



(資料來源：本研究拍攝之照片)

圖 3-14 PDA 量測結果

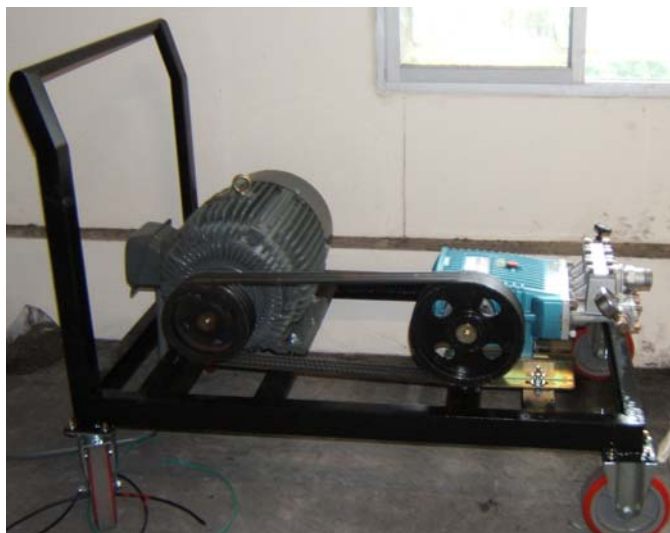


(a) 垂直速度分布 (b) 水平速度分布 (c) 粒徑分布

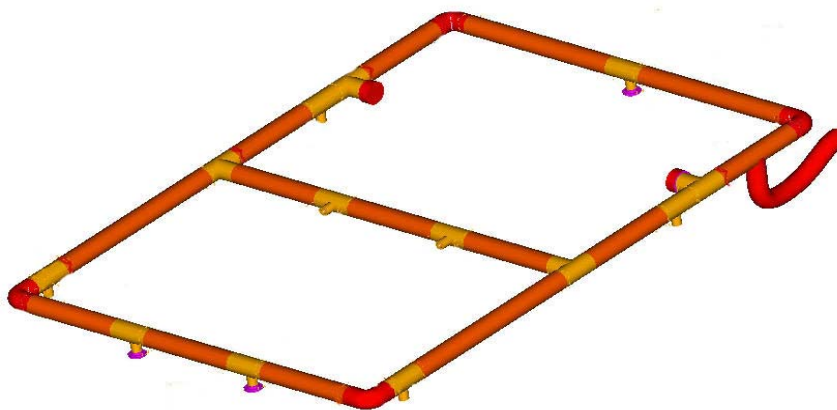
(資料來源：本研究整理之照片)

圖 3-15 滌煙&隔煙用水霧系統

(a) 高壓供水系統



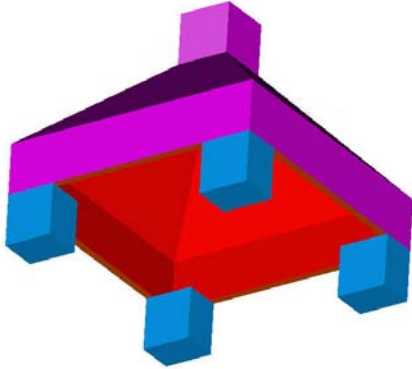
(b) 本噴霧分流迴路



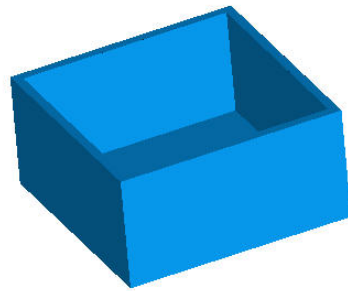
(資料來源：本研究拍攝之照片)

圖 3-16 煙霧產生器

(a) 煙氣產生器



(b) 油盆

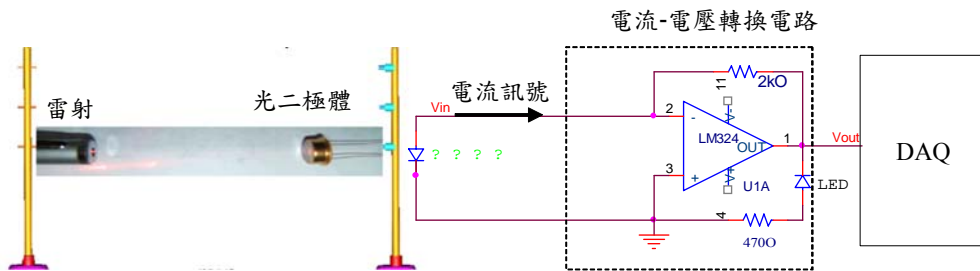


(c) 荷重計



(資料來源：本研究繪製之示意圖)

圖 3-17 簡易式煙氣濃度分析計



(資料來源：本研究繪製之示意圖)

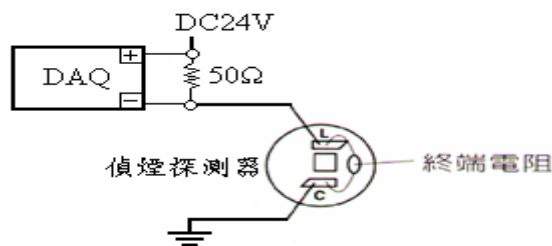
圖 3-18 偵煙型感測器

■ 光電式偵煙探測器 圖例

功能說明
發光室發射光源撞擊煙粒子造成光線散亂，當受光室感應到光線時，煙濃度達到設定警報之濃度，立即回報火警受信總機。
電子線路之零件主要採用 ONECHIP HIBRID IC 及 SMT 表面貼著技術，體積小，精密度高，穩定性好，且具低耗電量之功能。

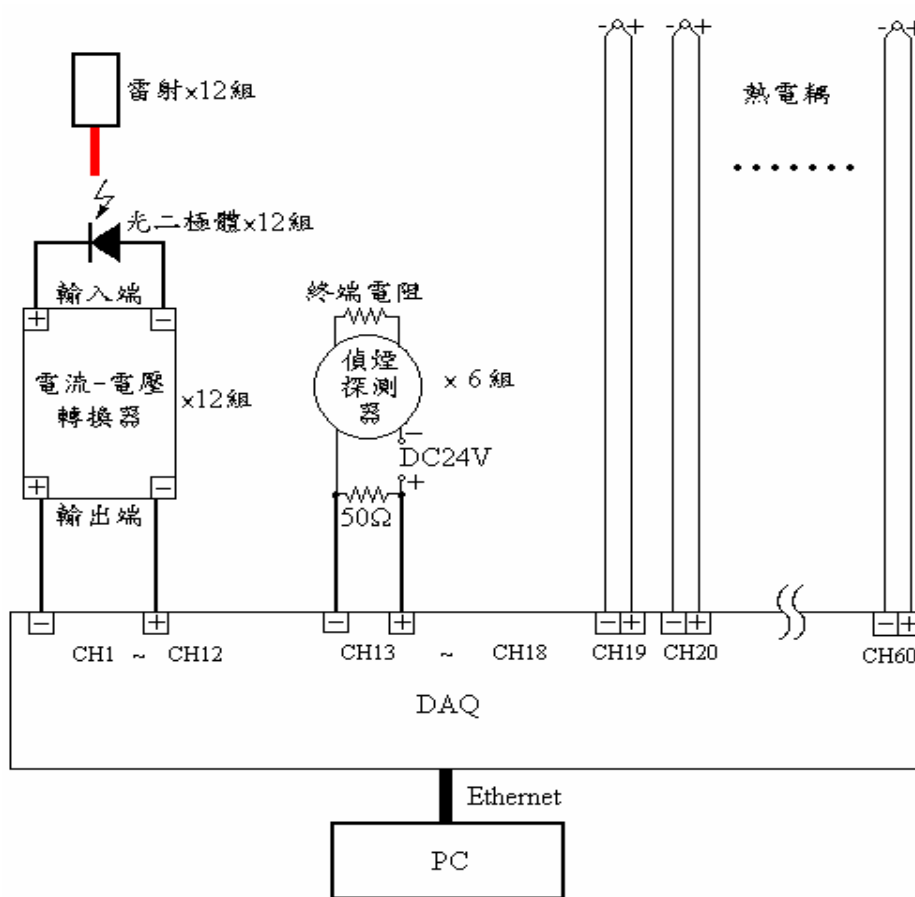
規格說明

種類	一種	二種	三種
動作濃度	7.5% 30秒內	15% 30秒內	22.5% 30秒內
動作電流	DC 24V 30mA		
監視電流	監視狀態 35μA		
	回路反應電流 115μA		
適用溫度	-15°C ~ +55°C		
重量	160g		
顏色	粉白		



(資料來源：本研究繪製之示意圖)

圖 3-19 數據收集系統



(資料來源：本研究繪製之示意圖)

圖 3-20 煙霧遮光量測儀



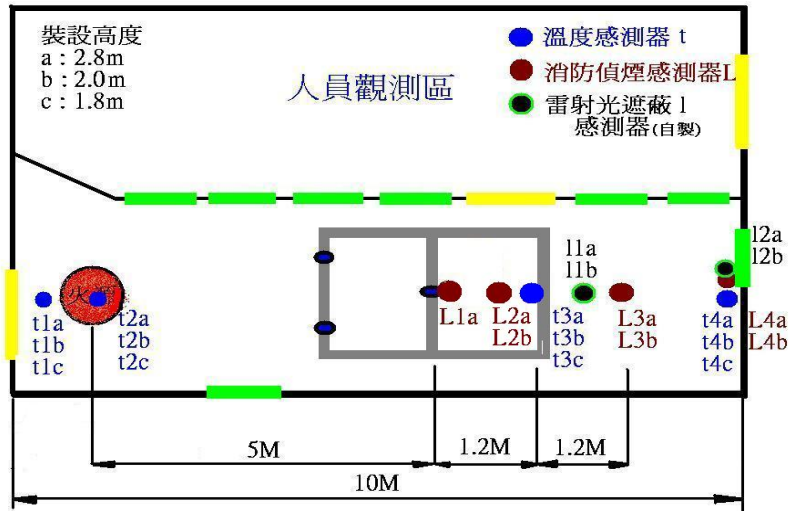
(資料來源：本研究拍攝之照片)

圖 3-21 多功能氣體分析儀



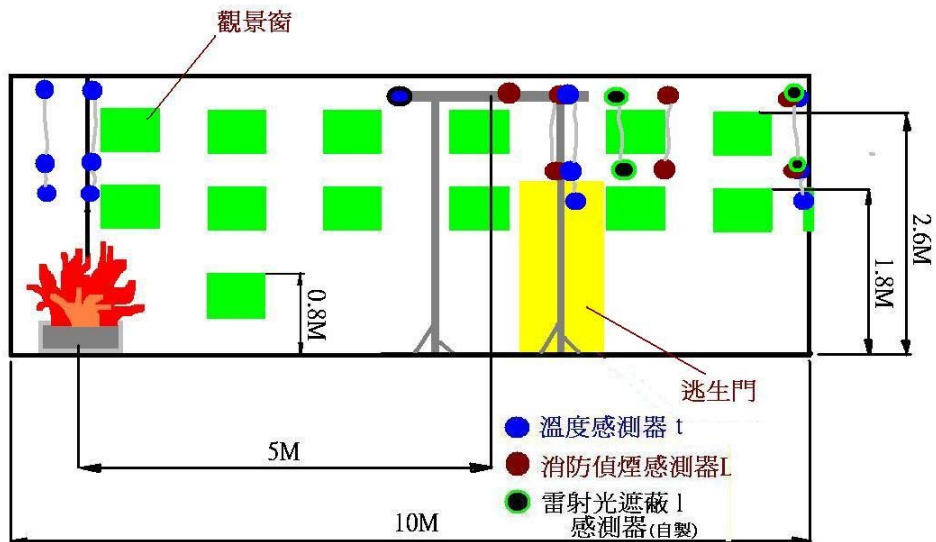
(資料來源：本研究拍攝之照片)

圖 3-22a 實驗場俯視圖



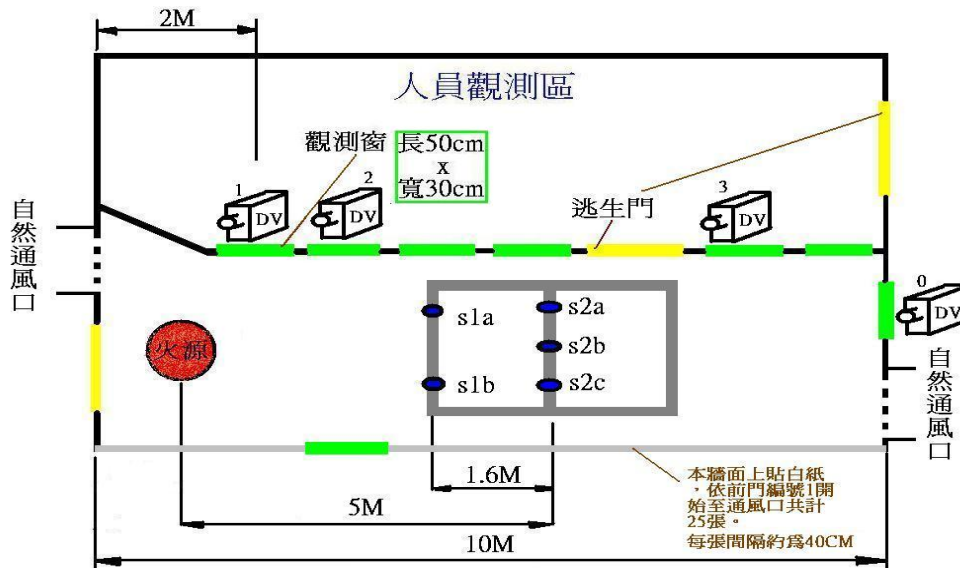
(資料來源：本研究繪製之示意圖)

圖 3-22b 實驗場側視圖



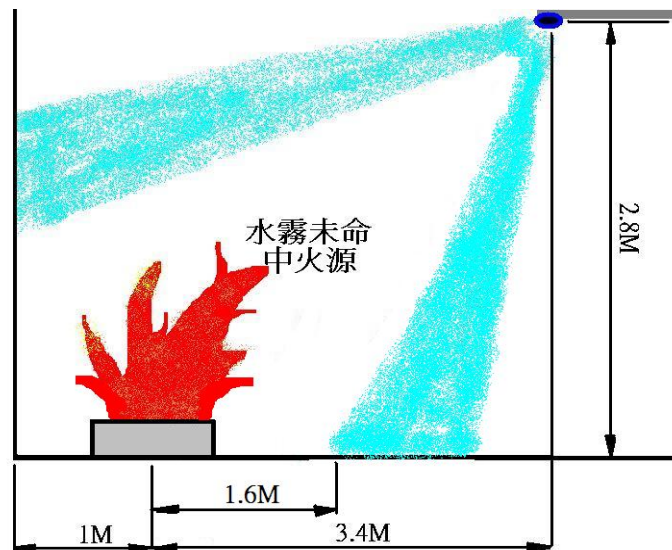
(資料來源：本研究繪製之示意圖)

圖 3-22c DV 相關拍攝位置



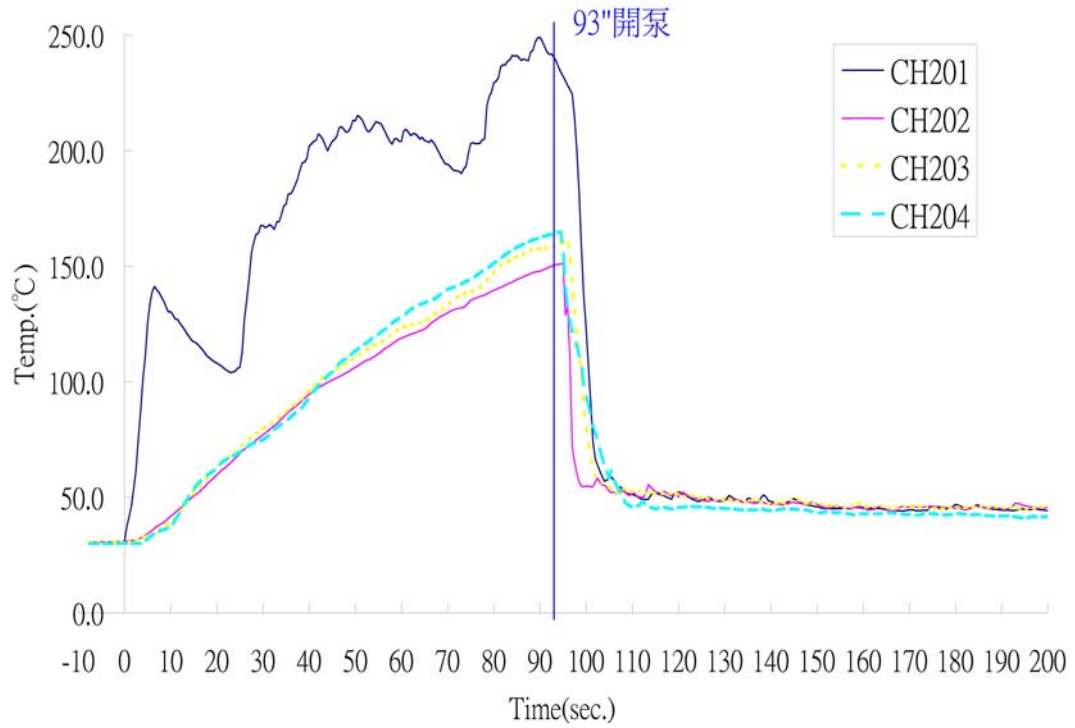
(資料來源：本研究繪製之示意圖)

圖 3-22d 水霧 & 火源示意圖



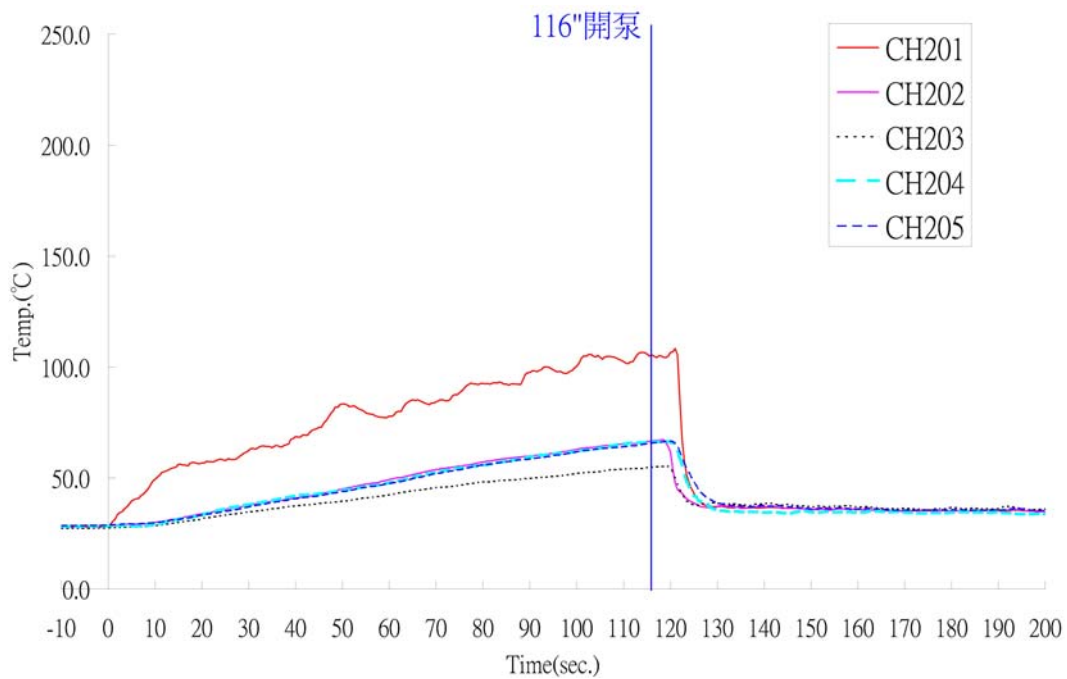
(資料來源：本研究繪製之示意圖)

圖 3-23a 實驗一之溫度與時間紀錄



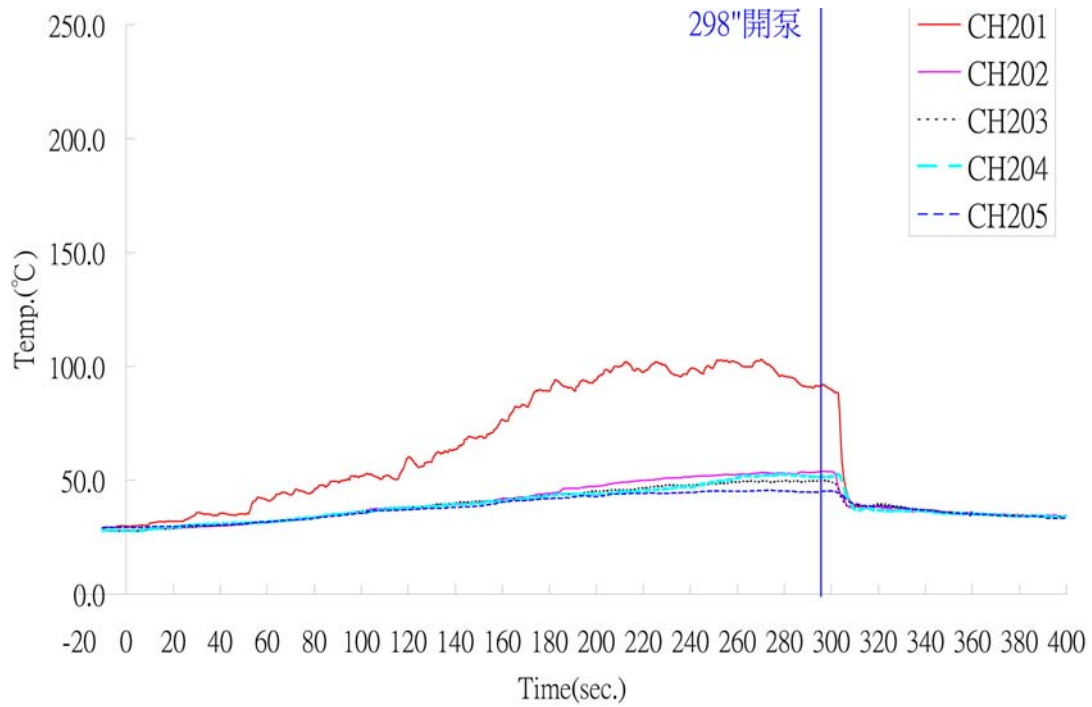
(資料來源：本研究整理之圖表)

圖 3-23b 實驗二之溫度與時間紀錄



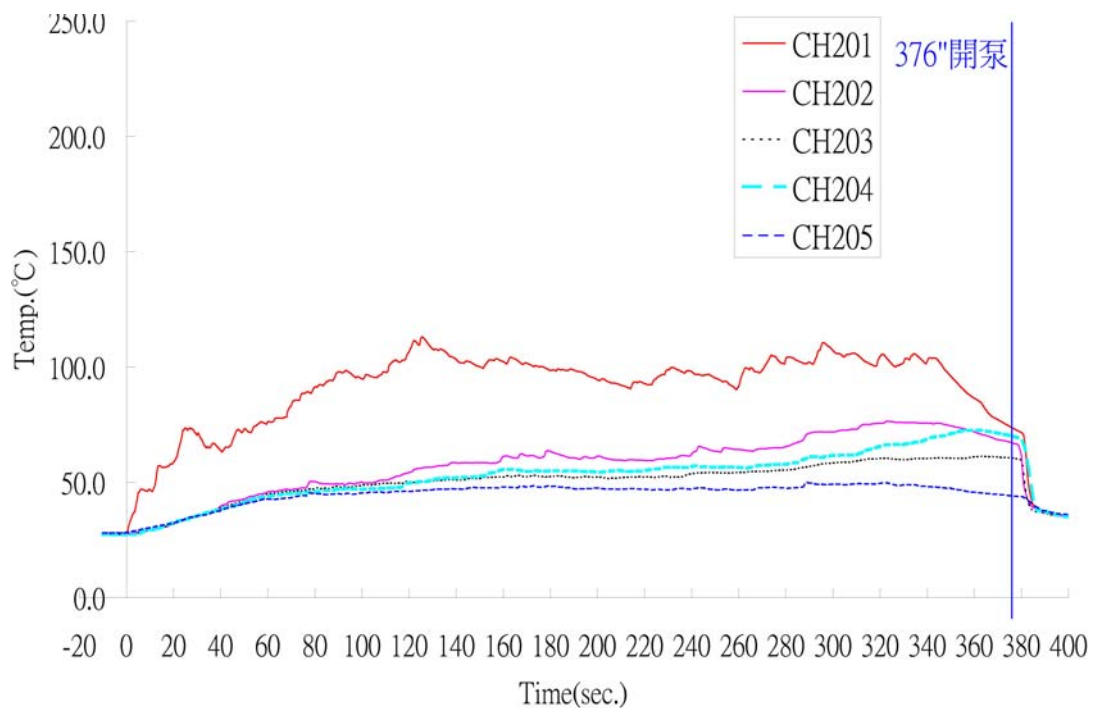
(資料來源：本研究整理之圖表)

圖 3-23c 實驗三之溫度與時間紀錄



(資料來源：本研究整理之圖表)

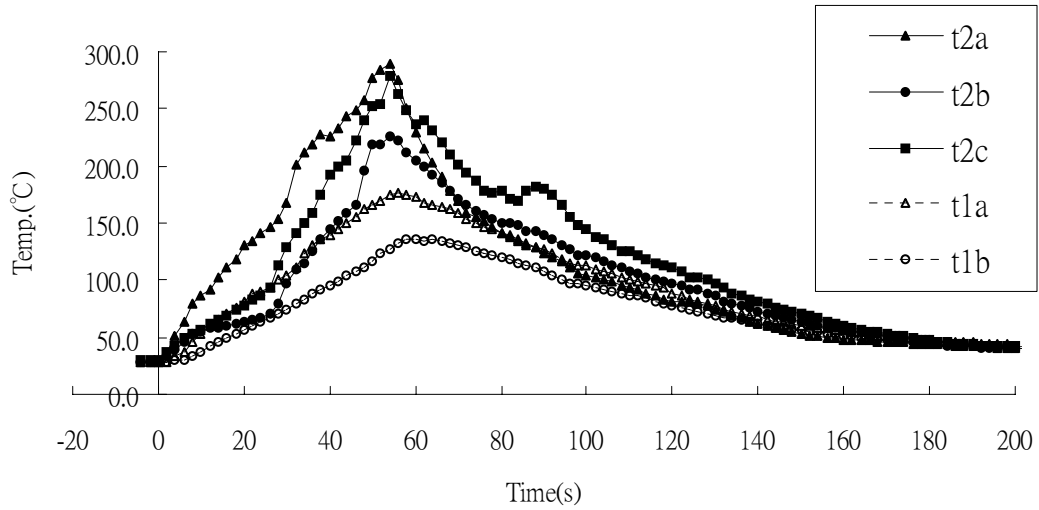
圖 3-23d 實驗四之溫度與時間紀錄



(資料來源：本研究整理之圖表)

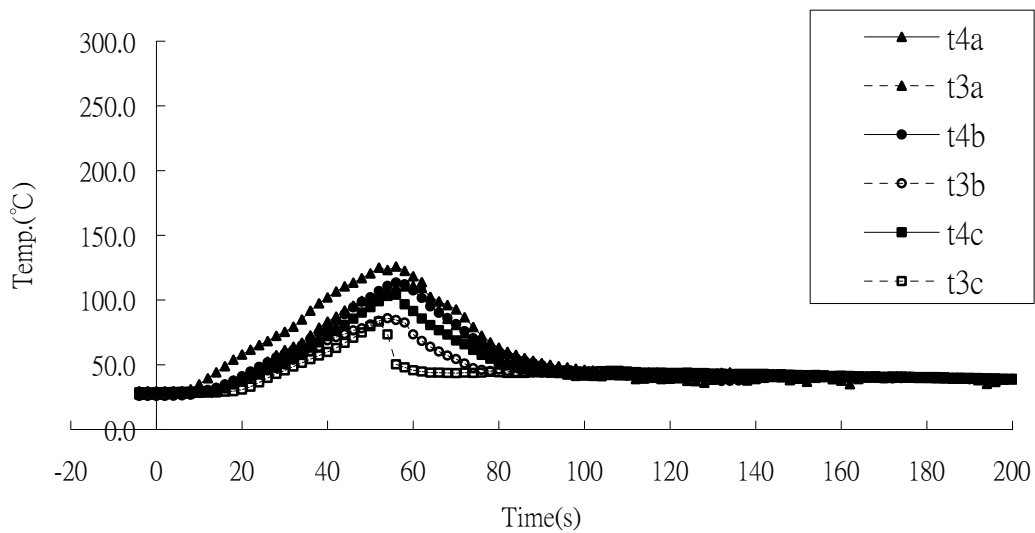
圖 3-24 實驗五之溫度與時間紀錄

(a)



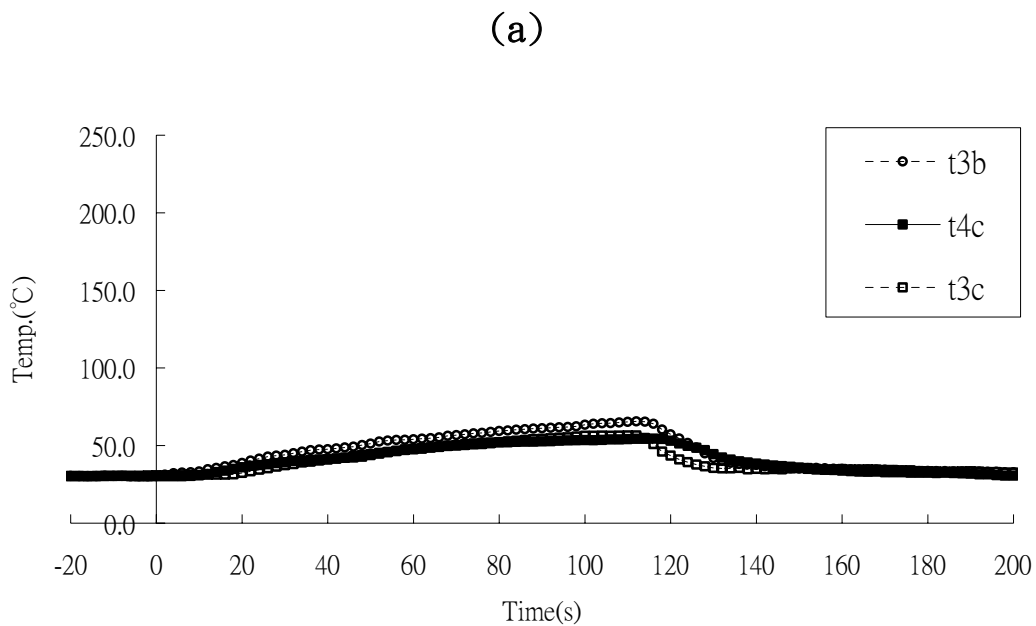
(資料來源：本研究整理之圖表)

(b)



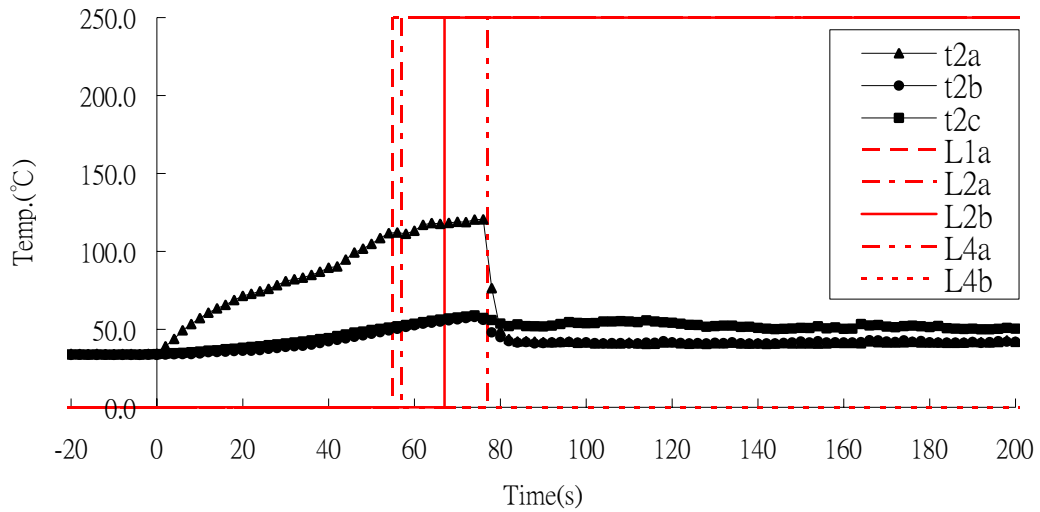
(資料來源：本研究整理之圖表)

圖 3-25 實驗六之溫度與時間紀錄



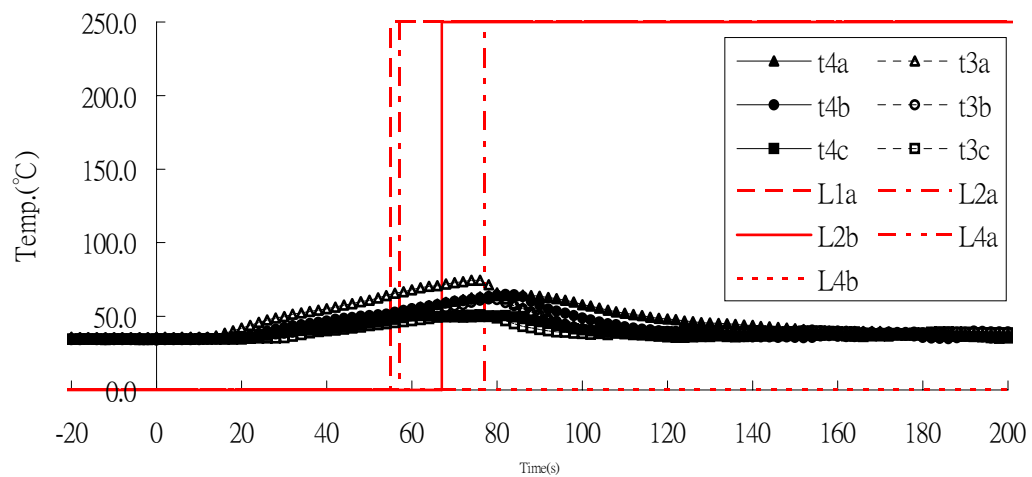
(資料來源：本研究整理之圖表)

圖 3-26 實驗七之溫度與時間紀錄
(a)



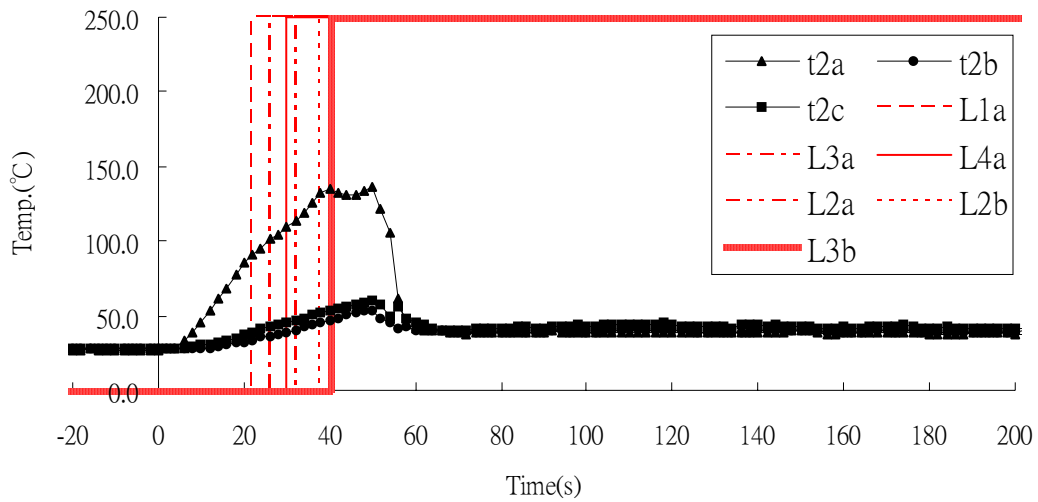
(資料來源：本研究整理之圖表)

(b)

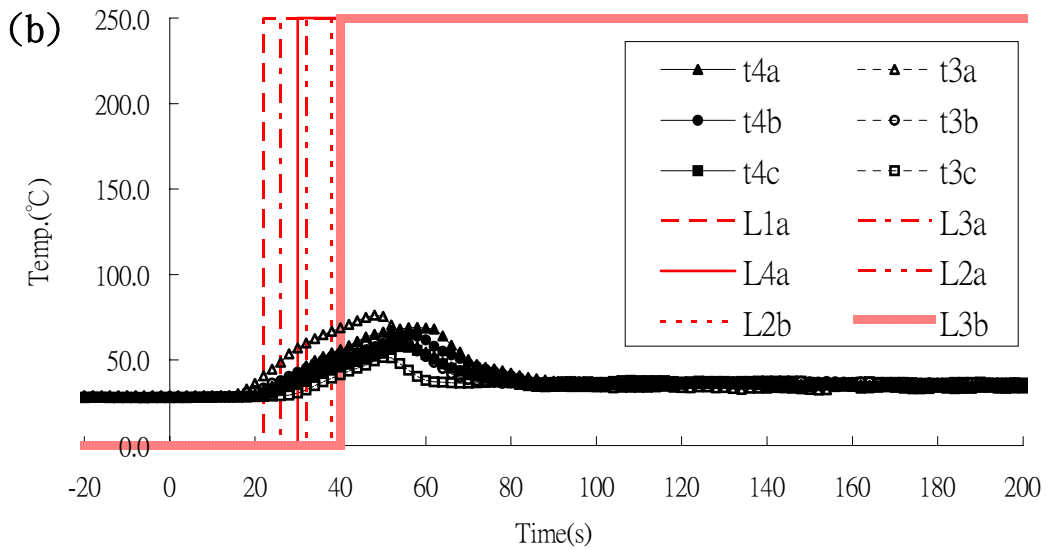


(資料來源：本研究整理之圖表)

圖 3-27 實驗八之溫度與時間紀錄
(a)



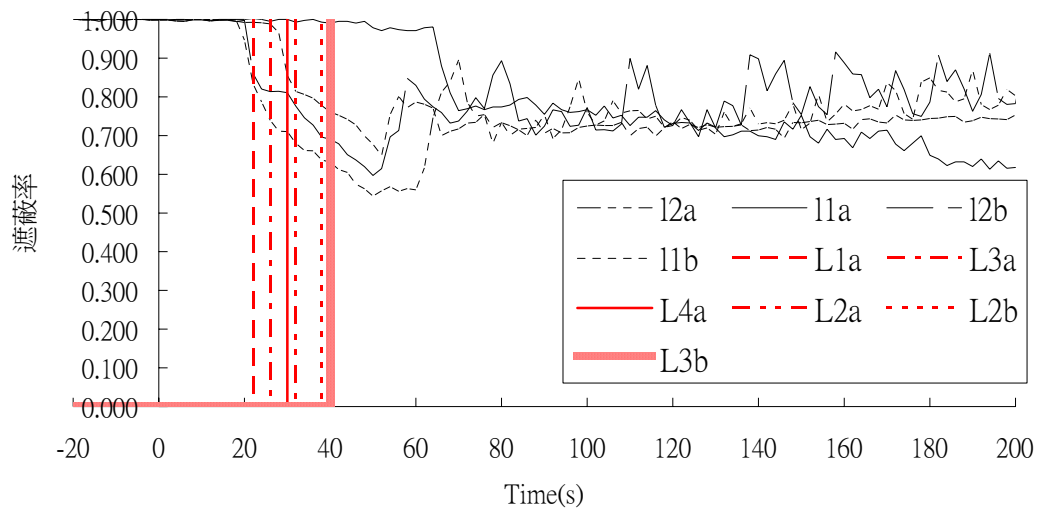
(資料來源：本研究整理之圖表)



(資料來源：本研究整理之圖表)

第三章 研究流程、儀器設備與目前進度

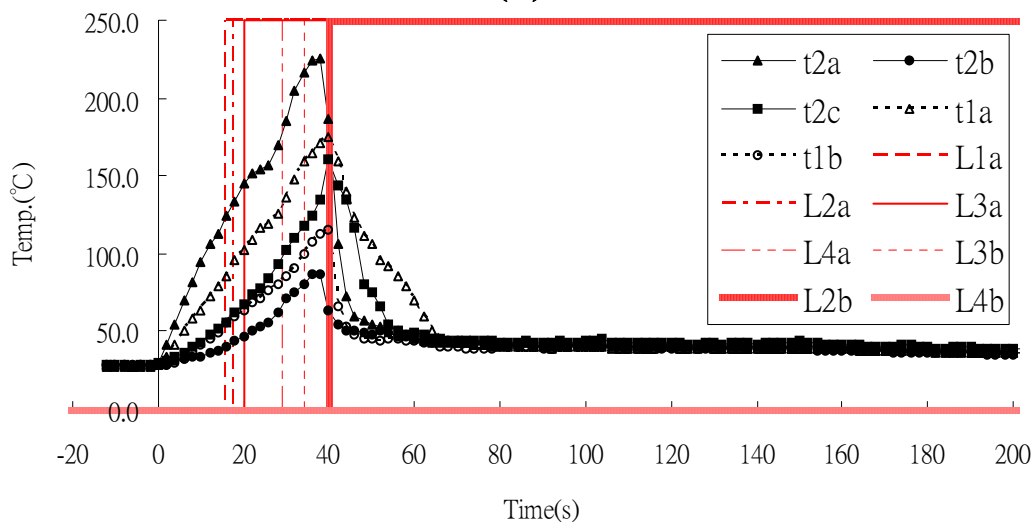
(c)



(資料來源：本研究整理之圖表)

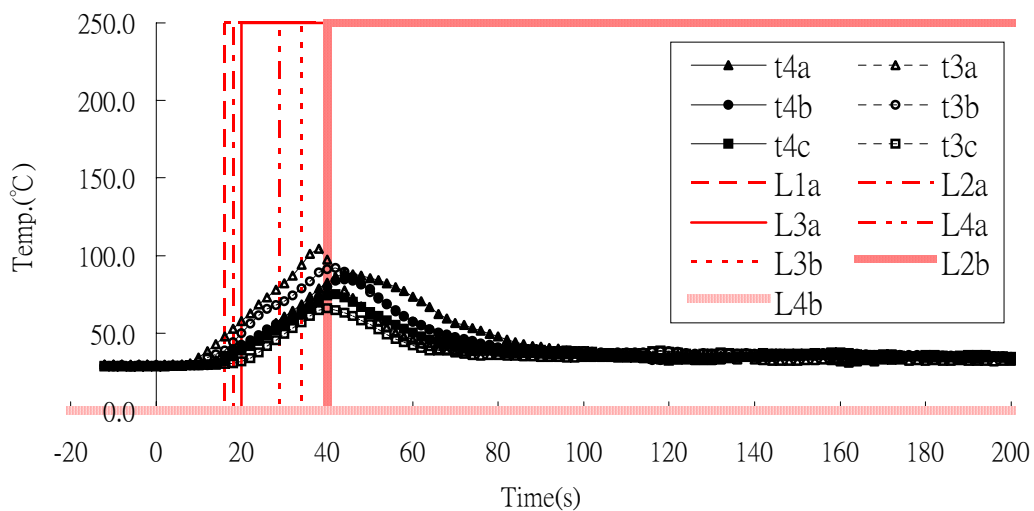
圖 3-28 實驗九之溫度與時間紀錄

(a)



(資料來源：本研究整理之圖表)

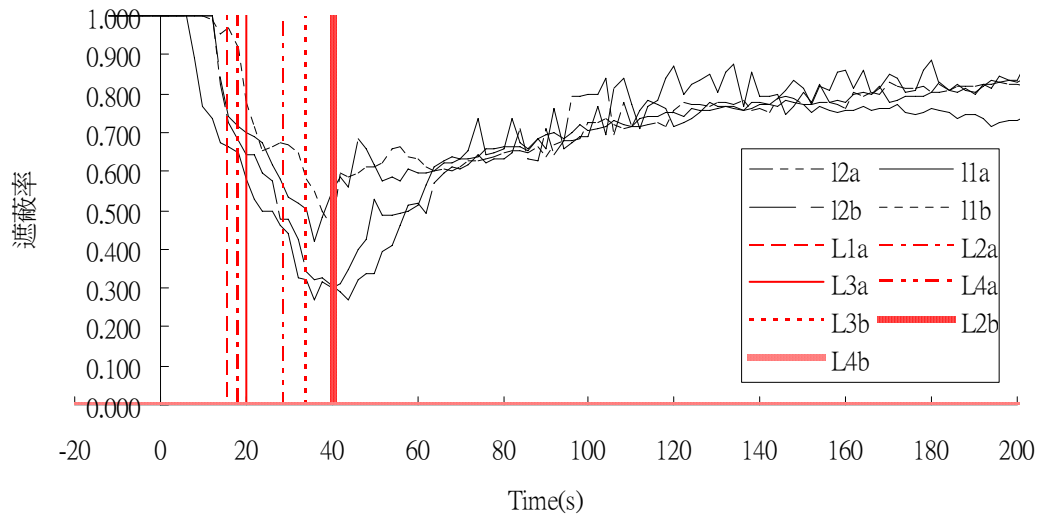
(b)



(資料來源：本研究整理之圖表)

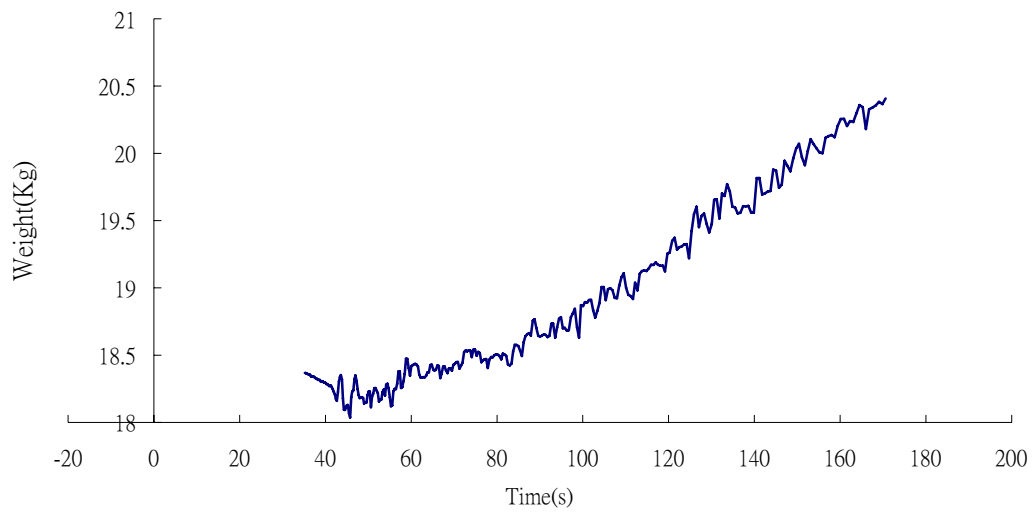
第三章 研究流程、儀器設備與目前進度

(c)



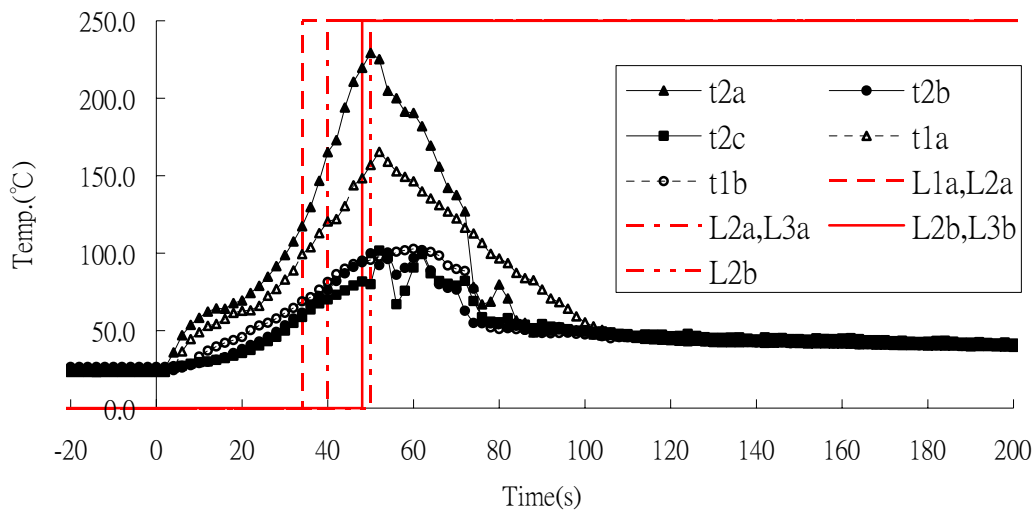
(資料來源：本研究整理之圖表)

(d)



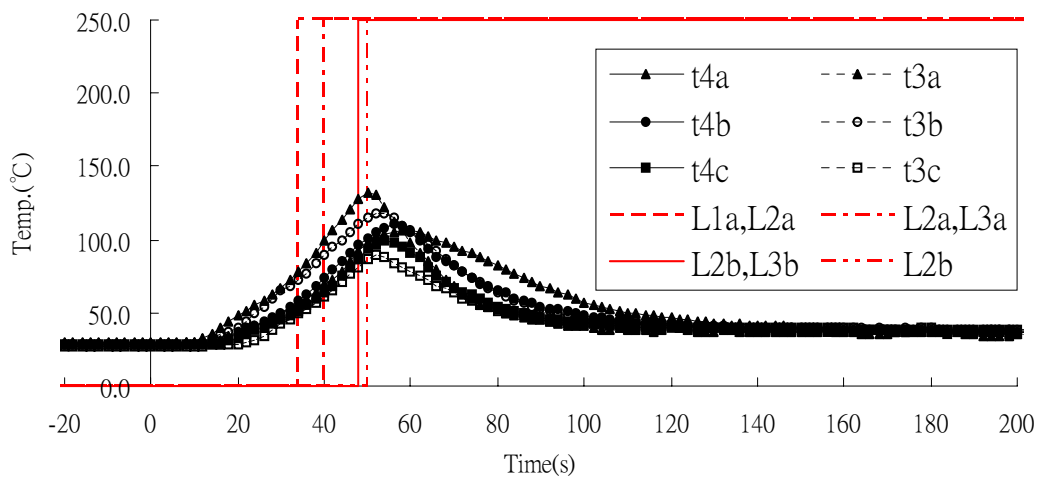
(資料來源：本研究整理之圖表)

圖 3-29 實驗十之溫度與時間紀錄
(a)



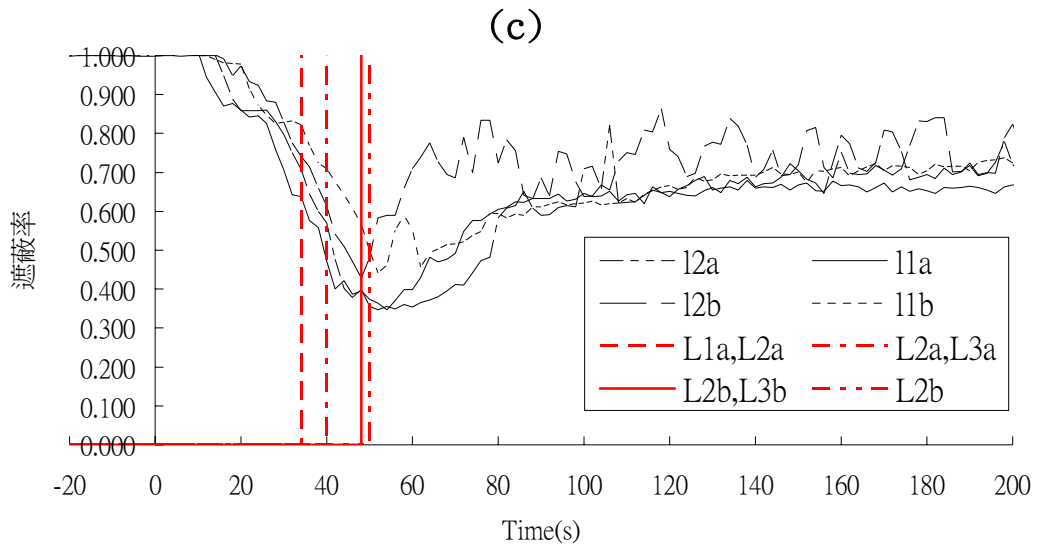
(資料來源：本研究整理之圖表)

(b)

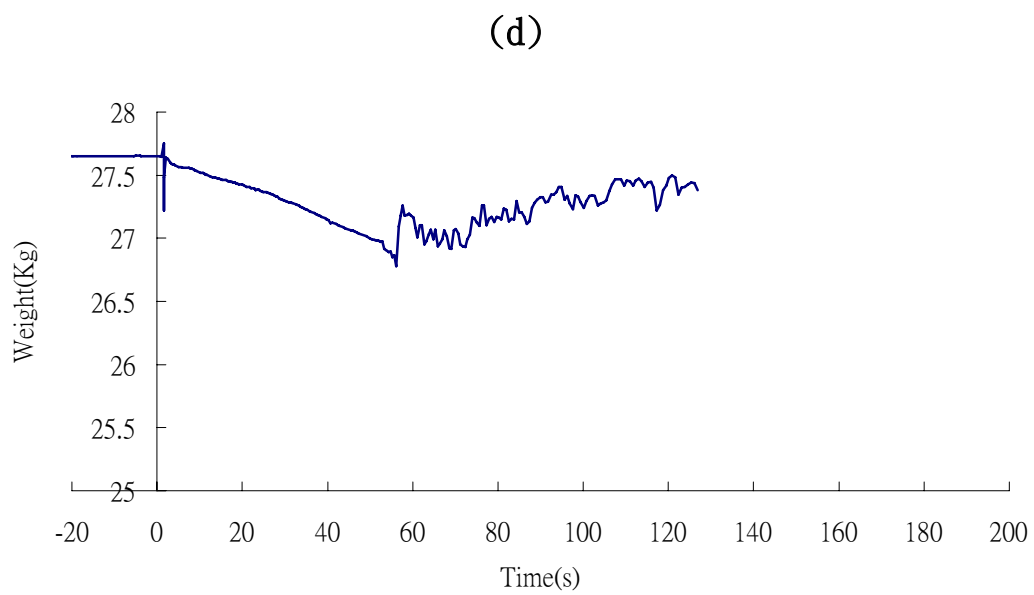


(資料來源：本研究整理之圖表)

第三章 研究流程、儀器設備與目前進度



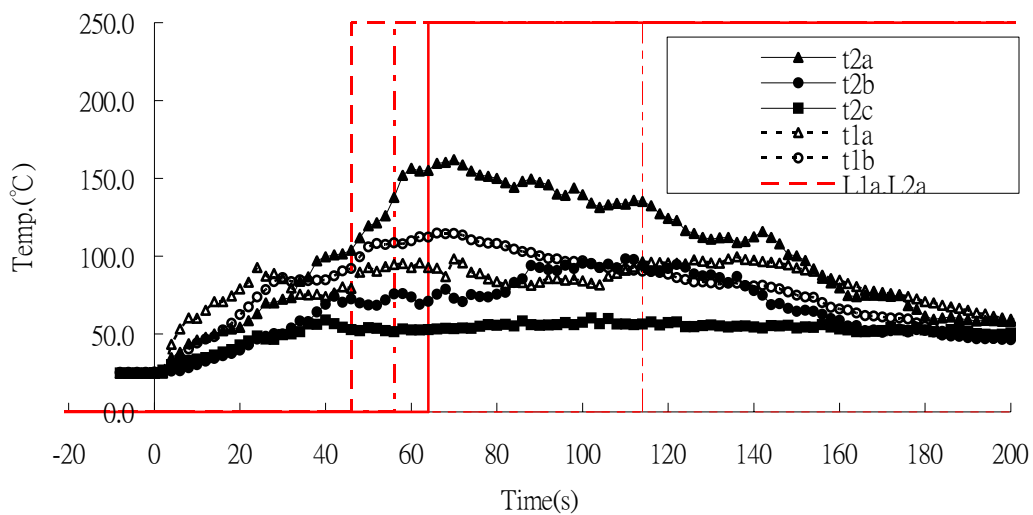
(資料來源：本研究整理之圖表)



(資料來源：本研究整理之圖表)

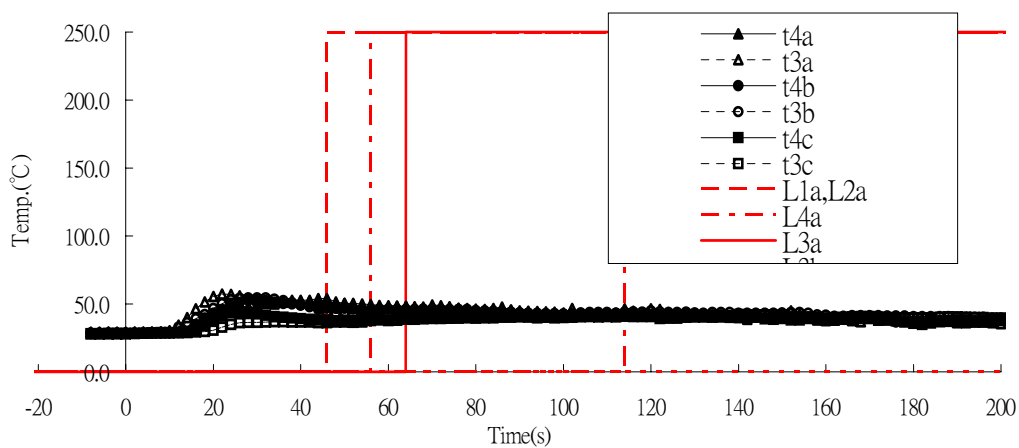
圖 3-30 實驗十一之溫度與時間紀錄

(a)



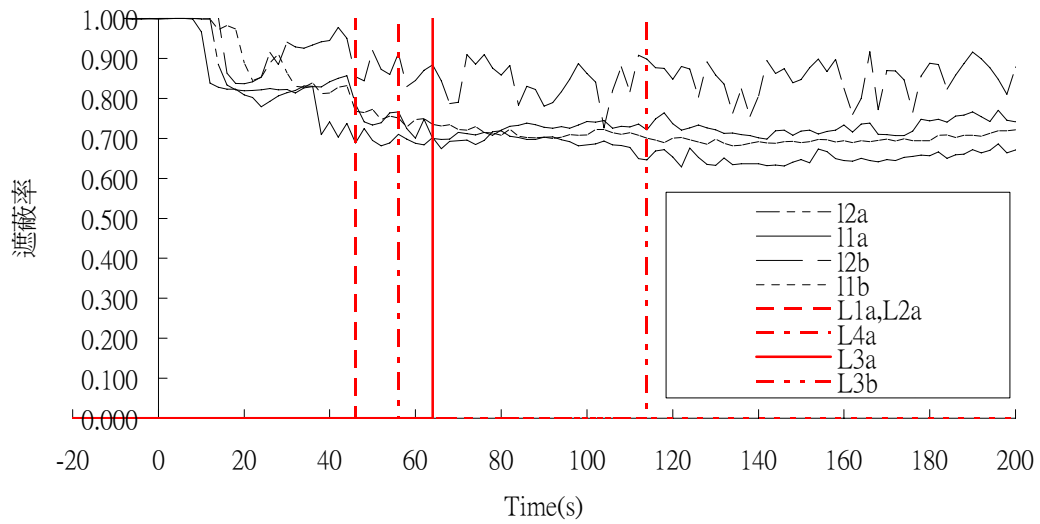
(資料來源：本研究整理之圖表)

(b)



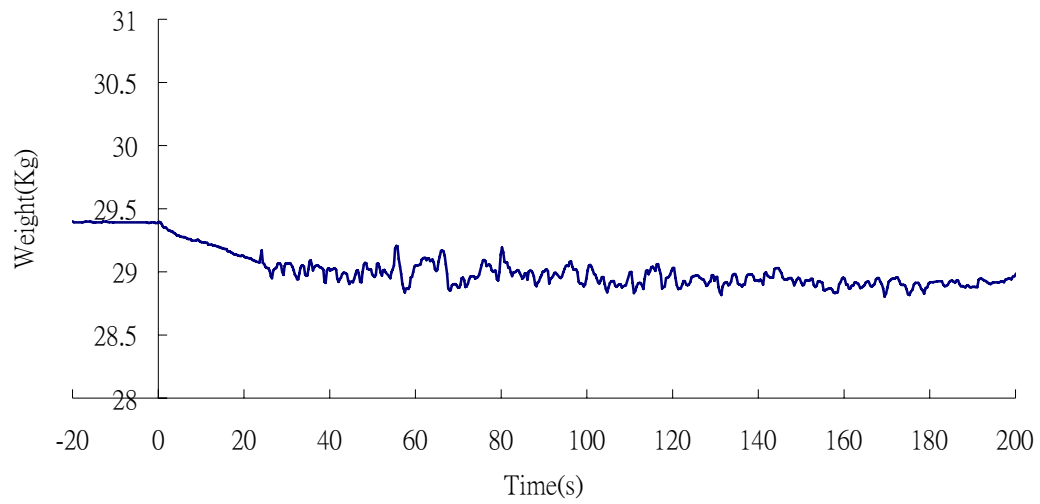
(資料來源：本研究整理之圖表)

(c)



(資料來源：本研究整理之圖表)

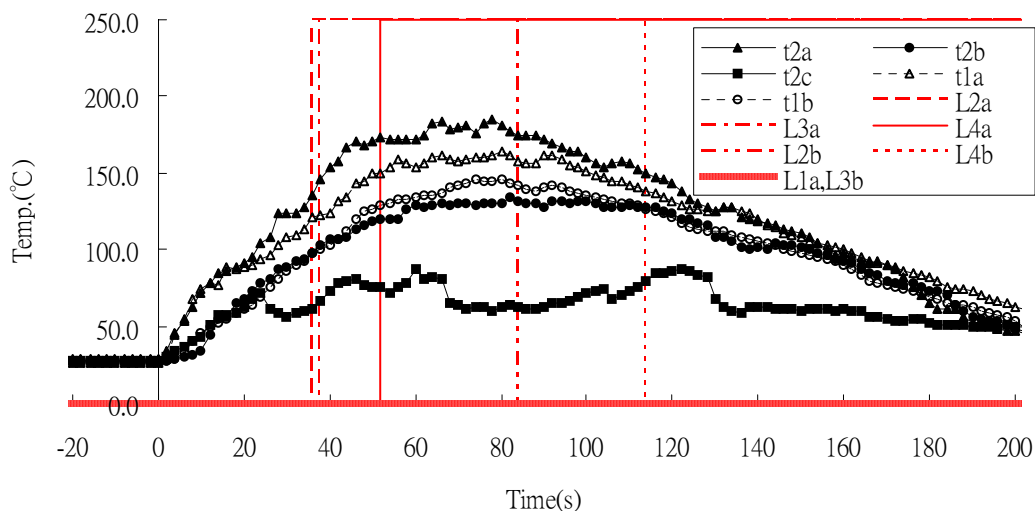
(d)



(資料來源：本研究整理之圖表)

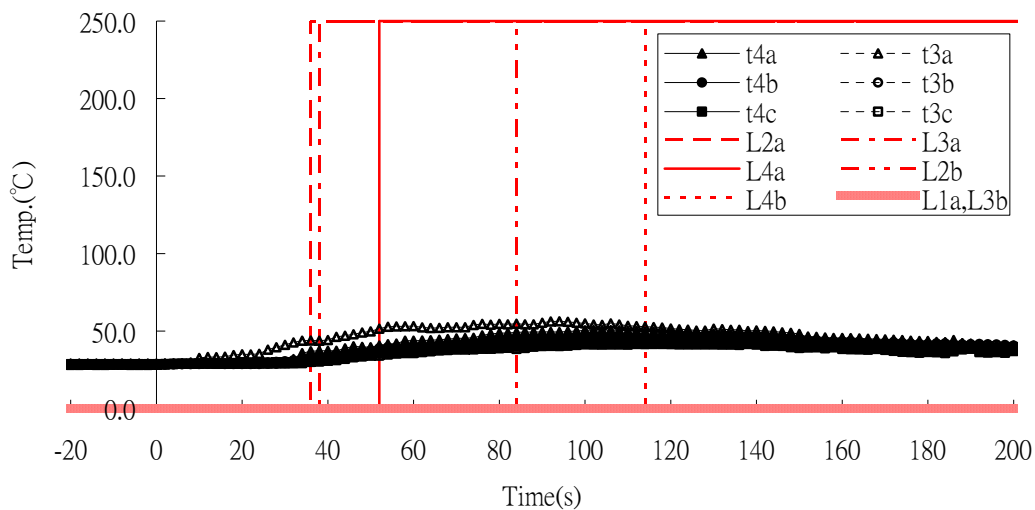
圖 3-31 實驗十二之溫度與時間紀錄

(a)

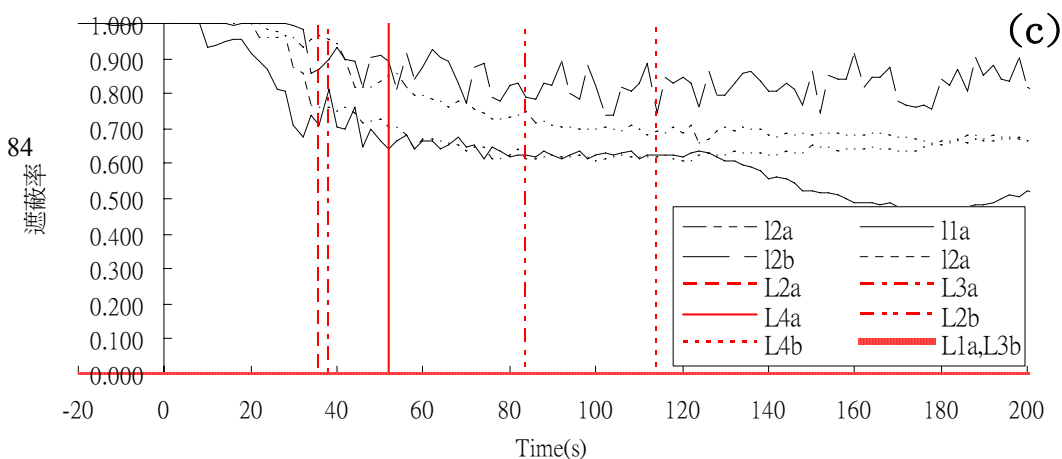


(資料來源：本研究整理之圖表)

(b)

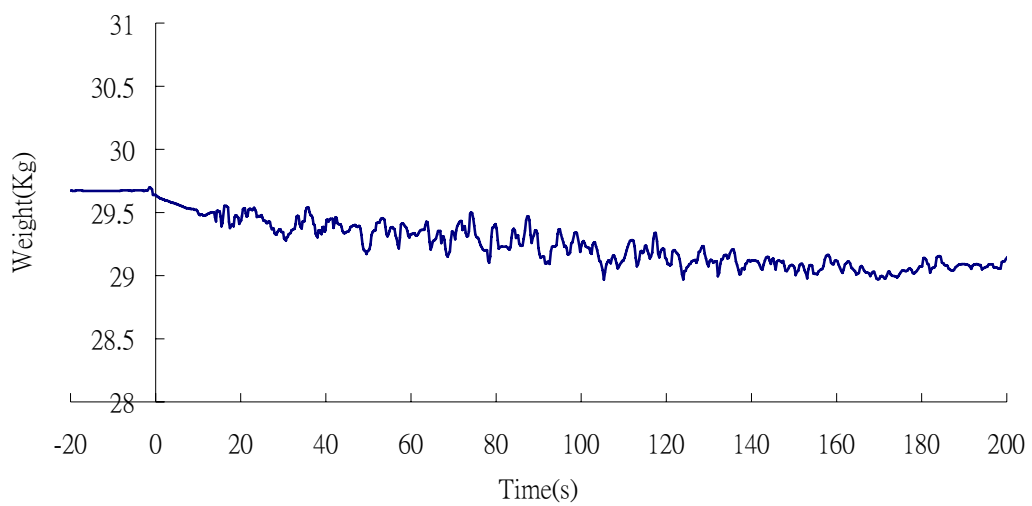


(資料來源：本研究整理之圖表)



(資料來源：本研究整理之圖表)

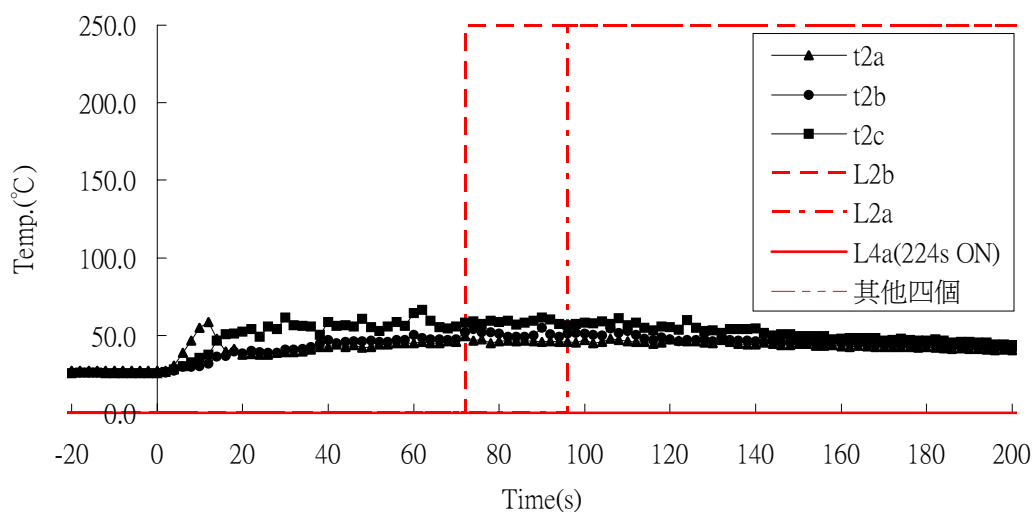
(d)



(資料來源：本研究整理之圖表)

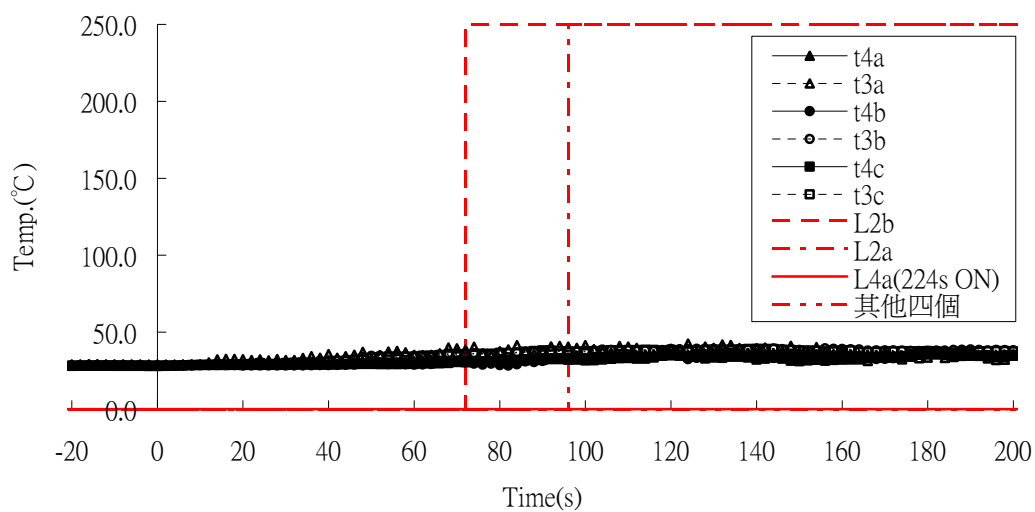
圖 3-32 實驗十三之溫度與時間紀錄

(a)



(資料來源：本研究整理之圖表)

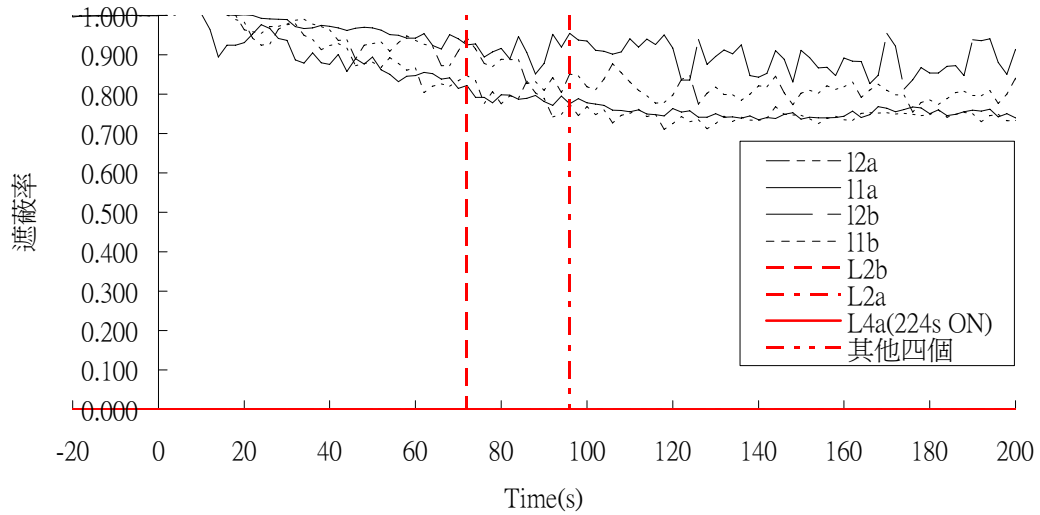
(b)



(資料來源：本研究整理之圖表)

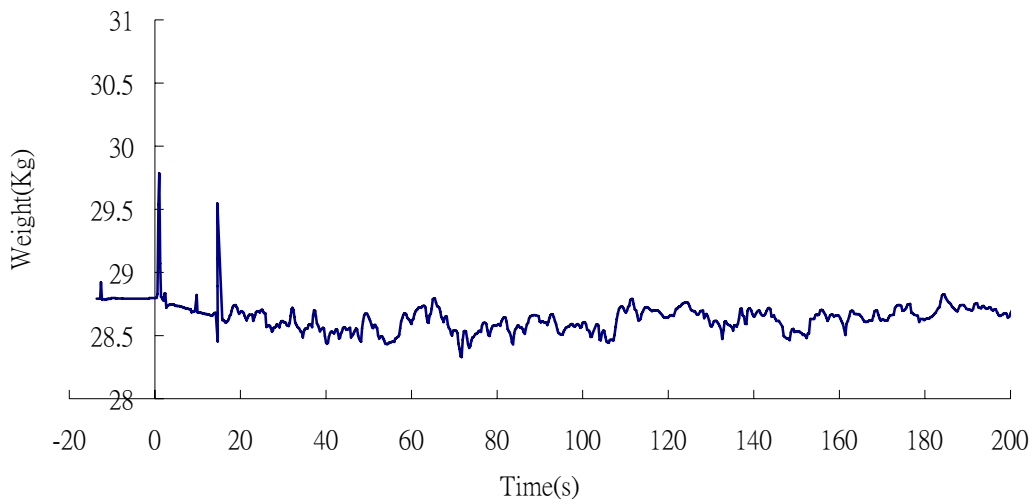
第三章 研究流程、儀器設備與目前進度

(c)



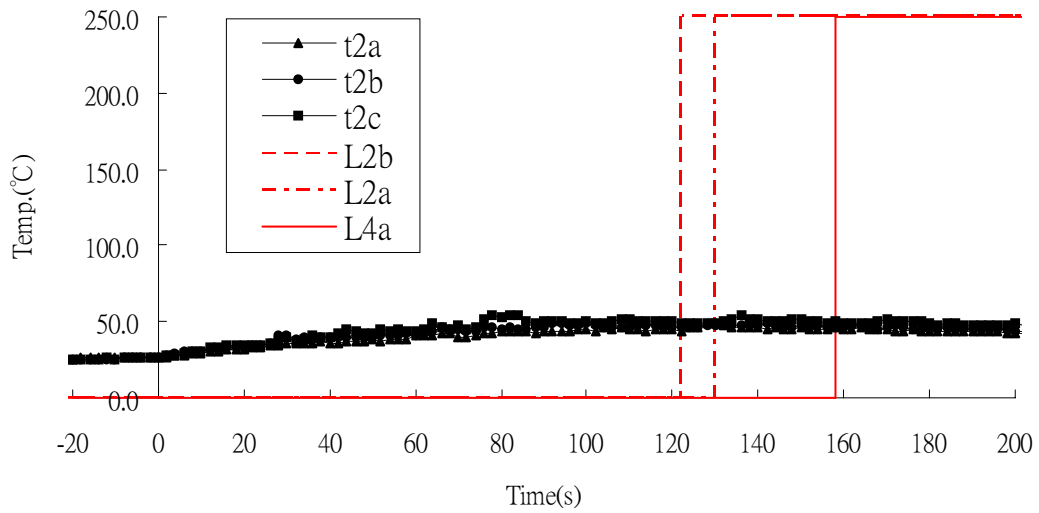
(資料來源：本研究整理之圖表)

(d)

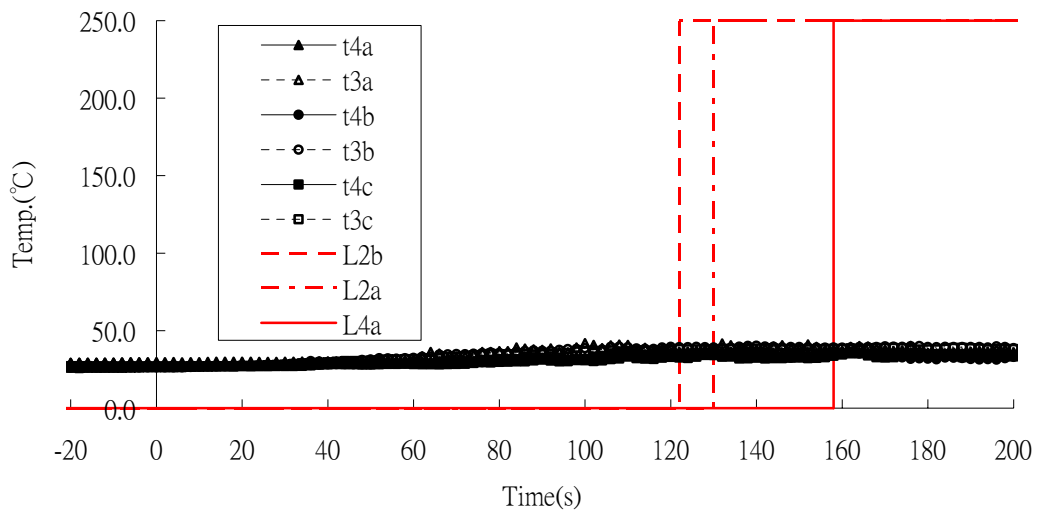


(資料來源：本研究整理之圖表)

圖 3-33 實驗十四之溫度與時間紀錄
(a)

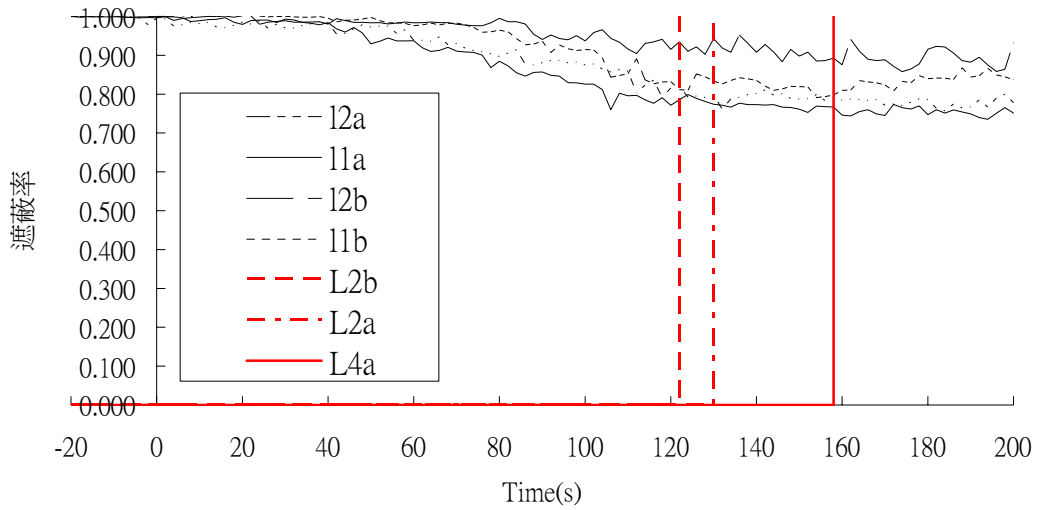


(資料來源：本研究整理之圖表)
(b)



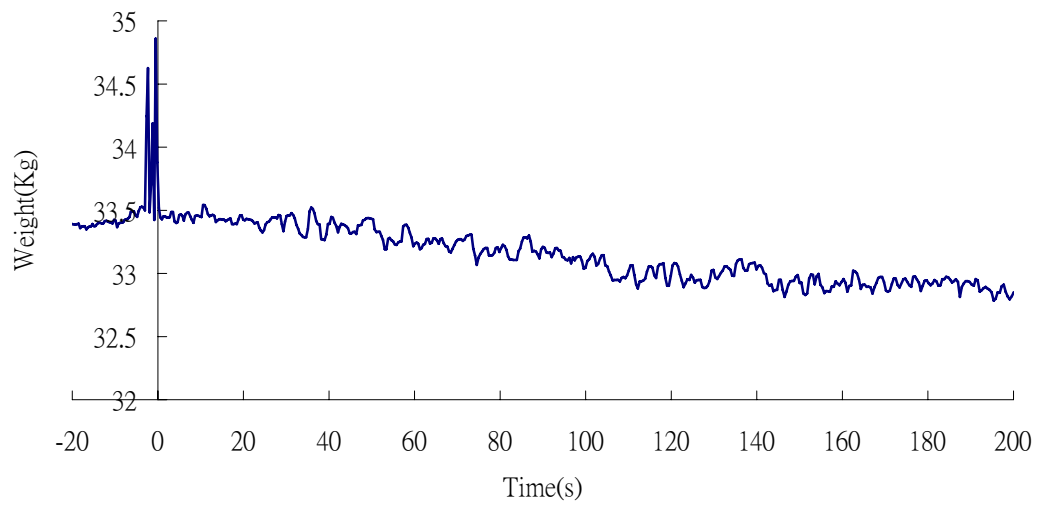
(資料來源：本研究整理之圖表)

(c)



(資料來源：本研究整理之圖表)

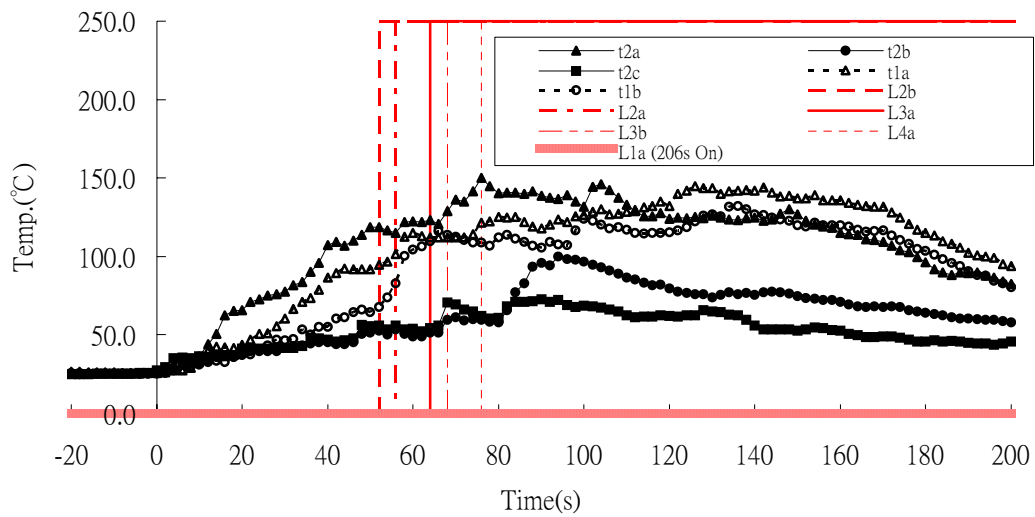
(d)



(資料來源：本研究整理之圖表)

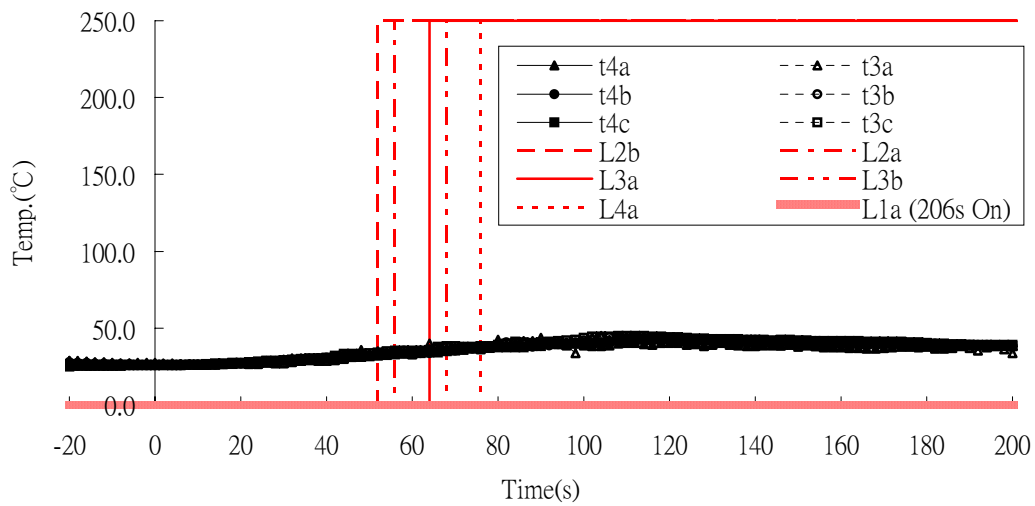
圖 3-34 實驗十五之溫度與時間紀錄

(a)



(資料來源：本研究整理之圖表)

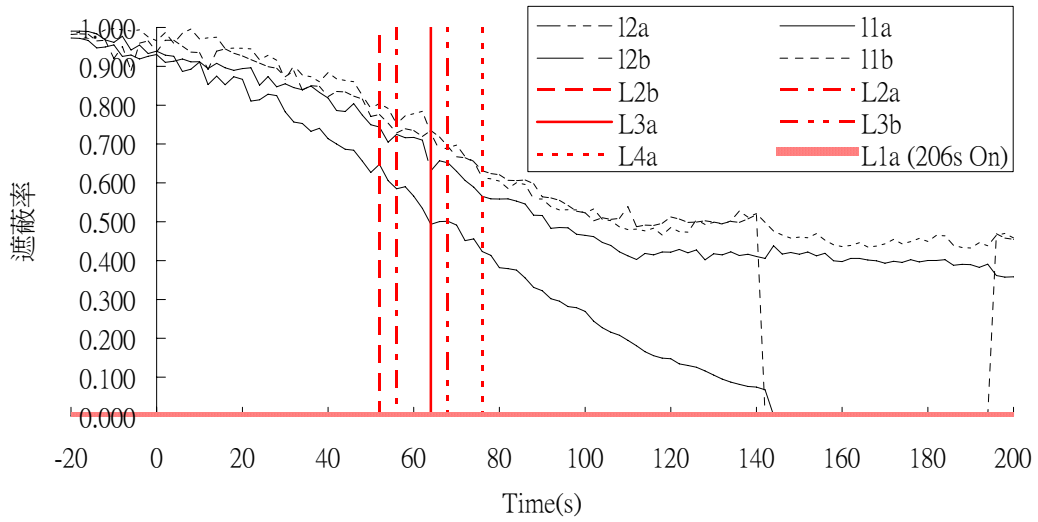
(b)



(資料來源：本研究整理之圖表)

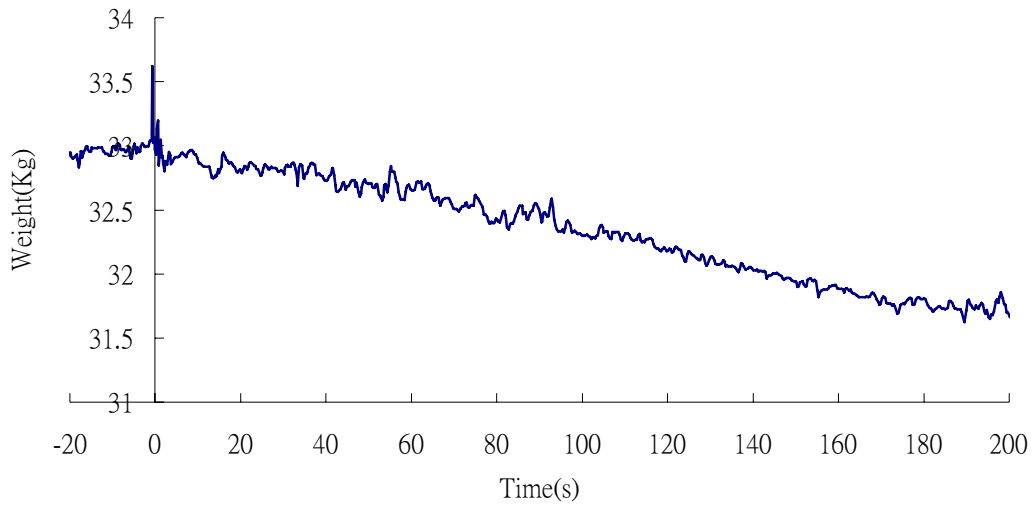
第三章 研究流程、儀器設備與目前進度

(c)



(資料來源：本研究整理之圖表)

(d)



(資料來源：本研究整理之圖表)

水霧式隔煙系統之技術與應用研究

第四章 研究發現

第一節 結果與討論

上章之結果顯示，提高壓力，可增加射程、縮短水霧與火源之距離，水霧越容易隨空氣進入火焰，降低燃燒反應速率、抑制火勢、降低溫度；提高水霧壓力、可將噴霧器之間距加長。水霧之隔熱效果相當明顯，可於 20~40 秒內將溫度降地至 50°C 以下。

本實驗將氣體分析儀，安置在排風口，發現水霧後方之 O₂ 濃度可長時間維持在 19.5~20.9 % 以上、CO₂ 濃度則緩慢增加至 1.27%、CO 濃度緩慢增加至 5~7ppm。

一公升空氣從 25°C 升至 125°C 只需 0.12 KJ。一公升之水從 25°C 升至 100°C 之蒸氣，需 43 KJ (相變化)。只要將水霧化成水滴 (500 μm 以下)，可延長其懸浮於空中之時間，增加其吸熱時間與表面積，達成降溫之效果。

第二節 成果及效益

本年度成果與效益如下：

一. 集整理國內外水霧式隔煙系統有關文獻及規範，以瞭解其效能分析、測試驗證之方法與發展趨勢。

如附件之光碟。

二. 結合 PDA、MALVERN、視覺顯像量測法系統之優點，建立噴霧特性量測系統，以克服儀器設備之限制，提升量測水霧粒徑之準確度及可靠度，並實驗比較此三種方法之優劣。

水霧之粒徑分佈， D_{max} 、 D_{min} 可能相差 70~100 倍；以視覺法量測噴霧粒徑（SMD 或 D_{43} ），可能低估小粒徑水滴之數量，但影響小於 2 %。壓力 50~70 bar，扇型噴霧器：SMD 約 220 μm ；實圓錐噴霧器：SMD 約 250 μm

500 μm 之水霧，在 3m/s 氣流影響下，仍可漂浮於空中或隨氣流移動，有機會被吸入火焰反應區，而兼有滅火效果。PDA、MALVERN 量測結果與視覺量測法的比較請參考第三章第二節。

三. 圖 3-15~22 及附錄七，為本研究，所建置之水霧式隔煙系統、及測試系統。

水霧式隔煙系統：壓力可達 120 bar、水量最高 60 L/min。

滌煙隔熱用噴霧器：包含兩個扇型 & 實圓錐噴霧器，射程超過五米；水量 7~9 L/min；可於數秒內，將水霧充滿整個密閉空間（ $10 \times 8 \times 2 = 160 \text{ m}^3$ ），SMD 之空間分佈介於 160~360 μm ， D_{max} 介於 360~520 μm 。

簡易型煙霧濃度偵測器（原理類似偵煙感測器），可反應濃煙或水霧之相對濃度。

四. 瞭解水霧式隔煙/滌煙系統之優點與限制，水霧是否適用於建築物內有助於阻煙及避難，就遮蔽率、溫度、毒性等因素以初步實驗之結果，提出具體建議。

水平噴射之扇型噴霧（粒徑 300~500 μm ，水壓 50~70bar），可迅速吸附天花板下之煙塵，降低煙氣溫度，未來將繼續探討其防止閃然(flash)、阻止火災延燒之功用。向下稍微向前噴射之扇型水霧，隔煙、隔熱效果相當明顯，可於 20~40 秒內將火場溫度降地至 50°C 以下。

距離火源 1~2 公尺之水霧（粒徑 300~500 μm ）、依然可隨空氣飄入（entrainment）火焰之反應區（reaction zone）。70 bar 水霧（粒徑 300~500 μm ）之滌煙、隔熱及隔煙效果，遠優於 30 及 50 bar 之低壓水霧；可能是其射程及衝量較大，水霧較容易隨空氣進入火焰所致。

水霧後方接近排風口之 O_2 濃度可長時間維持在 19.5~20.9 % 以上、 CO_2 濃度則緩慢增加至 1.27%、 CO 濃度緩慢增加至 5~7ppm。

五. 培養我國量測水霧及細水霧特性之技師，及研發本土細水霧系統及水霧式隔煙/滌煙系統之研究人員。

參與本計畫之學生達 8 人，以培養我國量測水霧及細水霧特性之技師和研究人員。

六. 提出第二年研究之規劃及設備規格，建議細水霧消防系統噴霧特性之量測標準及程序；發展水霧式隔煙系統，成為性能式煙控的重要技術。

細水霧與水霧式隔煙系統，原理與機制相當類似，可共用大多數之設備；未來擬將二者整合，針對建築物火災，建立便宜實用之水霧式隔煙及滅火系統。

細水霧與水霧式隔煙系統之噴霧器應考量滅火、滌煙、降溫、隔煙、隔熱等觀點。滅火觀點方面，水霧應包圍或環繞火源、中斷燃燒反應（附錄五）；就滌煙觀點，水平噴射之扇型噴霧可幫助潤濕，防止閃燃、火災蔓延或擴散，將煙塵附著於水滴；降溫吸熱觀點考量，應儘量將水霧分布均勻、延長漂浮時間、衝量加大；隔煙、隔熱觀點來看，在保護目標前，應建構一定厚度之高密度均勻水霧。

本研究已申請本年度系統之發明專利；第二年擬針對水霧與配置方式進行效能研究，探討水霧配置方式，對滌煙、隔煙、隔熱效能之影響，及其滅火之可能性；並與現行法規之排煙、阻煙設備比對，探討本系統與撒水頭、強制排煙設備，合併使用之可能性與交互影響，研究其等價性之關係。（附錄七）

第三年提出噴霧特性之量測標準及程序；針對水霧式隔煙系統之實際應用，提出具體建議規範草案或審查原則，供消防主管機關研訂規範或審議之參考。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本實驗所使用之扇型及實圓錐噴霧器，都是大量生產之規格品，有取得容易、替換方便之優點。依據物理特性，一公升之水從 25 升至 100°C，需吸熱 2600 KJ，可將 21600 公升（質量約 25.6 kg）之空氣（0.12 KJ/升）從 25°C 加熱至 125°C。只要將水霧化成水滴（500 μm 以下），即可大幅增大其降溫之效果。現有之撒水頭與撒水幕之用水量約 30~80 公升/分；同樣之水量，可供應四個 8~20 公升/分之噴霧器，適當地安排噴霧器之位置，使水霧分佈均勻，即可達成降溫、隔熱之目的。燃燒反應之上升之熱氣流、煙塵、HC 化合物、CO 等中間產物、生成物，遇到冷水滴，溫度立刻下降；部分因水滴潤濕、中斷燃燒反應；熱氣流因水滴降溫、浮力減少，不能將煙塵推升至天花板（屋頂、火場之最高處），可大幅降低煙塵蓄積在天花板之濃度，降低閃燃之規模與可能性。

細水霧（Water mist）是目前最有效之水系統消防設備，國外廠商已研發 10 年、以通過認證、增加市場競爭力為目的，並不關心細水霧之滅火機制或原理（仍屬商業機密）。一般而言，如果不是特別在意用水量。適當地選用噴霧器（規格品），安置在合理之位置，可自製便宜好用之水霧降溫或滅火系統，其滅火效率絕對高於撒水頭（Sprinkler）。

第二節 建議

撒水幕之用水量很高，目的卻只是為了保護玻璃窗、不被火焰燒破，防止火焰水平或垂直竄燒至鄰近之建築物、空間。一個撒水幕之用水量，可支援 4~8 個噴霧器 (atomizer)，這些噴霧器可均勻地或重點加強被保護物(Object)，可迅速地降低火場溫度，玻璃窗自然不會因高溫而爆裂、或導致火焰竄燒或擴大火災規模。

本研究，已於貴所之實驗屋，建立水霧系統及相關測試系統。我國法規將建築物可分為 9 類 24 種，希望繼續執行類似之研究案，於該實驗屋佈置與法規相近之建築物或模型，測試水霧式隔煙系統，應用於實際場景(火場)之功能、可行性。

撒水頭是目前最常用之消防設備，本研究擬測試，撒水頭與水霧系統之合併使用之可行性與功效。細水霧系統是目前最貴之消防設備 (海龍之 5~10 倍)，本研究擬以商用噴霧器，建立便宜、實用之水霧系統滅火系統，且與現有之水霧式隔煙系統整合，擴大其應用功能、可行性。

本研究，雖然只有兩位兼任助理，但實際參與水霧量測之學生，五位、超過 100 人天；隔熱隔煙實場測試之學生超過十人(150 人天)，已達成教育培養相關人才之目標。

敝人最後，擬藉此感謝，貴所台南實驗室之行政支援，使本研究順利完成；希望未來再與貴所合作，研發本土細水霧系統及水霧式隔煙/滌煙系統。

細水霧計畫：立即可行之建議

主辦機關：行政院內政部

協辦機關：內政部建築研究所

- 一. 細水霧消防系統 (Water Mist) 價格昂貴之原因，在於其主要目的是海龍替代品，不但要有專利、消防認證、還特別在意水損 (Water Damage)，例如電控箱、變電站、機房，或者圖書館、博物館、古蹟等。
- 二. 水就是很好的滅火劑不管是，撒水頭、水滴、霧、水霧、細水霧 (Sprinkler, Water droplet, Fog, Spray, Water Mist)，只要順利地將這些水滴、水霧，送入火焰根部 (底部)、或鄰近區域，可降低燃燒反應速率、潤濕燃燒半成品，水滴吸熱化成蒸氣發揮排氧作用，一定可控制、抑制火勢、甚至滅火。
- 三. 如果能將火災，限制在起火點空間，降低燃燒反應速率，即可延長閃燃時間；增加人員逃難時間與機會。
- 四. 建築物火災之消防設備，主要目的是人員逃生安全。煙是火災中最大殺手，依照今年實驗結果，水平噴霧的確，可冷却及潤濕，蓄積在天花板下之熱煙，降低其向外擴散之速率。本研究，擬結合滌煙噴霧器 (8~10 L/min、附錄四)、及滅火用噴霧器 (籠造式、包圍式、附錄五)，設計用水量 20~25% 撒水頭 (Sprinkler, 80 L/min)、壓力 30~70 bar (中壓系統)，具滅火與滌煙、隔煙、隔熱多重功用之消防設備。

水霧式隔煙系統之技術與應用研究

細水霧計畫：中長期之建議

主辦機關：行政院內政部

協辦機關：內政部建築研究所

- 一. 高層建築物及科技廠房之大型排煙管、隧道（車禍）、或地鐵，等火災有其相似性。如能在火災初期，在火源之鄰近區域及上游，噴灑水霧，藉隧道內部本身之通風設備，送入冷濕之空氣；儘管隧道火災（車禍），屬B類遮蔽性火災，只要將閃然時間延後，不管是人員逃生、抑制火勢、煙霧擴散，災後處理等，應可獲得良好之滅火效果。
- 二. 台灣隧道與地鐵，愈來愈多且愈長，若發生火災，往往死傷慘重，台鐵之舊山線，有數個廢棄隧道，很適合進行這類研究。

附錄一

期初評審會議紀錄

五、出席委員人數：委員總數 7 員，扣除迴避委員 1 員，所外出席 2 員，所內出席 3 員，符合 1/2 以上出席以及出席人數 1/3 以上為所外委員之規定。

六、評分方式：依招標文件所擬。

七、宣布事項：本案因立法院刪減預算之故，本案執行經費由 91 萬元調整為 77 萬 4 千元，預期成果不變，開標前公開徵求投標廠商異議。在場投標廠商表示均無異議。

八、計畫簡報：(略)

九、審查意見：

評審委員	審查意見	回覆情形
陳委員建忠	<ol style="list-style-type: none"> 1. 隔煙亦會涉及隔熱，儘量在實驗時一起觀察。 2. 細水霧與其他的隔煙隔熱設備併用時，有沒有可能產生衝突抵觸而降低效果，也要一併考量。 	本人主要專長領域在細水霧影像法量測，也發明細水霧的相關專利，研究團隊也有建築背景的人員參與，同意在調整後的預算內進行本計畫，將參依前述委員的意見及投標文件的規定來完成本計畫。
雷委員明遠	<ol style="list-style-type: none"> 1. 應加強相關文獻蒐集整理，尤其在水系統防煙、防火的文獻。 2. 在經費減少的前提下，建議可以多用電腦模擬替代實驗次數，進行可行性分析。 	後的預算內進行本計畫，將參依前述委員的意見及投標文件的規定來完成本計畫。

<p>吳委員俊瑩</p>	<p>1. 供水加壓設備之整組配置架，以及配管壓力設定與尺寸，均應提供詳細規格。</p> <p>2. 研究目的涉及法規面之實務運用，建請研究標的（或擬取代法規部分）應與實務結合，或提供設計應用之國外實例。</p>	<p>本人主要專長領域在細水霧影像法量測，也發明細水霧的相關專利，研究團隊也有建築背景的人員參與，同意在調整後的預算內進行本計畫，將參依前述委員的意見及投標文件的規定來完成本計畫。</p>
<p>蔡委員尤溪</p>	<p>1. 水霧式隔煙系統是否要取代現行法規，可參考國外利用水霧冷卻玻璃隔間達到防火區劃的功能。</p>	<p>本人主要專長領域在細水霧影像法量測，也發明細水霧的相關專利，研究團隊也有建築背景的人員參與，同意在調整後的預算內進行本計畫，將參依前述委員的意見及投標文件的規定來完成本計畫。</p>

十、會議結論：

- (一) 本委託案係依政府採購法第二十二條第九款等相關規定，完成公開招標採購評選之審查作業，由中華民國建築學會得標。
- (二) 請得標廠商參酌與會委員之建議意見，依調整後經費 77 萬 4 千元，並依招標文件內經費編列規定及投標須知補充說明修訂服務建議書，儘速依規定與本所秘書室辦理合約簽訂等相關事宜。

十一、散會（下午二時）

附錄二

期中評審會議紀錄

評審委員	審查意見
何副所長	1. 細水霧、噴淋、噴霧等如何在粒徑上區分界定，應與外界公認者相同。 2. 另外細水霧用來滅火、還是遮煙也要釐清，所需的水量是否會影響其他消防滅火設備，用水量均需考慮
陳委員俊勳	
黃委員仁智	
張枝成教授	
陳建忠組長	
中鼎	
中興工程	
承辦人員	
回覆情形	
<p>1. 依照機械觀點：噴霧(Spray)為統稱，其基本特性包含：壓力與流量，粒徑（尺寸分佈範圍）、及平均粒徑（SMD, D32, D43）之空間分佈，水霧擴散角、體積通量分佈（liquid flux）、速度。因此雨滴、水滴、細水霧、撒水頭、撒水幕等之水滴，是專稱，但也是噴霧(統稱)。</p> <p>2. 細水霧（WMFSS）系統：是海龍最佳替代品，其滅火效果奇佳、用水量很少。 IWMA(國際細水霧協會)之成員、幹部，暫時同意，體</p>	

積 99%之粒徑需小於 1000 μm ，且 SMD (D_{32}) 應小於 100~400 μm ；亦有業者宣稱 100 μm 以下之 WMFSS 效果較好，不過反對者也不少。本研究已量測，數個細水霧噴霧器(Atomizer)，低壓噴霧器(20~30 bar) 約介於 50~1300 μm ，平均粒徑 SMD (D_{32}) 約 600~900 μm ；高壓系統(100 bar)之粒徑，約介於 5~400 μm ，平均粒徑 SMD(D_{32}) 之空間分佈介於 150~280 μm 。根據實驗結果，扇形向前、向下斜噴之水霧，可構成隔煙隔熱用水霧牆；天花板下向前、水平稍微向下之水霧，可潤溼、吸附煙塵、增加重量)、降低其擴散速率、及降低發生閃燃之機會、或延後其發生機會，對於人員避難有很大功效。本計畫目前所使用之扇形噴霧器之單顆流量約 6~8 公升/分(兩顆 12~17)，與細水霧噴霧器之流量相當。針對建築物火災，單純地考量滅火、滌煙、隔煙、隔熱等功能，即使同時安裝細水霧與扇型子噴霧器，流量介於 20~40 公升/分。如持續研究累積經驗與建立資料庫，應可將流量介於 10~25 公升/分。

附錄三

期末評審會議紀錄

五、計畫簡報：(略)

六、審查意見：

評審委員	審查意見
沈主任子勝	細水霧是一種海龍替代品，在滅火方面已經有相關規範，遮煙部分則無，請教細水霧應用在防火與遮煙應考慮的不同點為何？
蔡教授匡忠	實驗結果顯示幫浦壓力增加時滌煙效果變好，我的直覺是壓力增加時，水霧停留在空中的時間會變短而導致降低滌煙的效果，這方面請教一下蔡老師。
林教授大惠	<ol style="list-style-type: none"> 1. 用細水霧來滌煙確實是一個很有趣的嘗試。 2. 蔡老師採用 D₄₃ 認為只需量測大顆粒，惟 D₃₂ 具吸熱表面積與吸熱之物理意義，被防火工程研究者廣泛採用，如依 D₃₂ 則中小顆粒的重要性會提高。 3. 蔡老師之照相法量測粒徑，是否也應與目前市面上，被廣泛應用 Malvern 量測粒徑結果比對。 4. 如果改變火源為木頭，當細水霧開啟時（撒到木頭）反而會產生大量煙霧。 5. 另外，火源如果與目前假設的情境及噴頭安排不同之時會如何，是否應朝向更 general case 來研究，以提高其適用性。

<p>楊新乾 (台北市政府工務局新工處副總工師)</p>	<p>請教細水霧在隧道的阻火功效如何？</p>
<p>回覆情形</p>	
<p>如果可以在火災發生時，立即噴射細水霧把相對濕度提高到 100%，則可有效拖延閃燃發生之時間、或抑制火勢。台鐵之舊山線有數個廢棄隧道，可用來做實驗，有機會再一起合作研究</p>	

七、主席結論：

- (一) 以上三案之與談人及會場貴賓意見，請業務單位詳實紀錄，供修改參採之用。
- (二) 以上三案符合預期研究目標及進度，原則上審查通過，請計畫主持人參考上述意見配合修正並據以辦理後續作業。

八、散會（下午五時）

附錄四

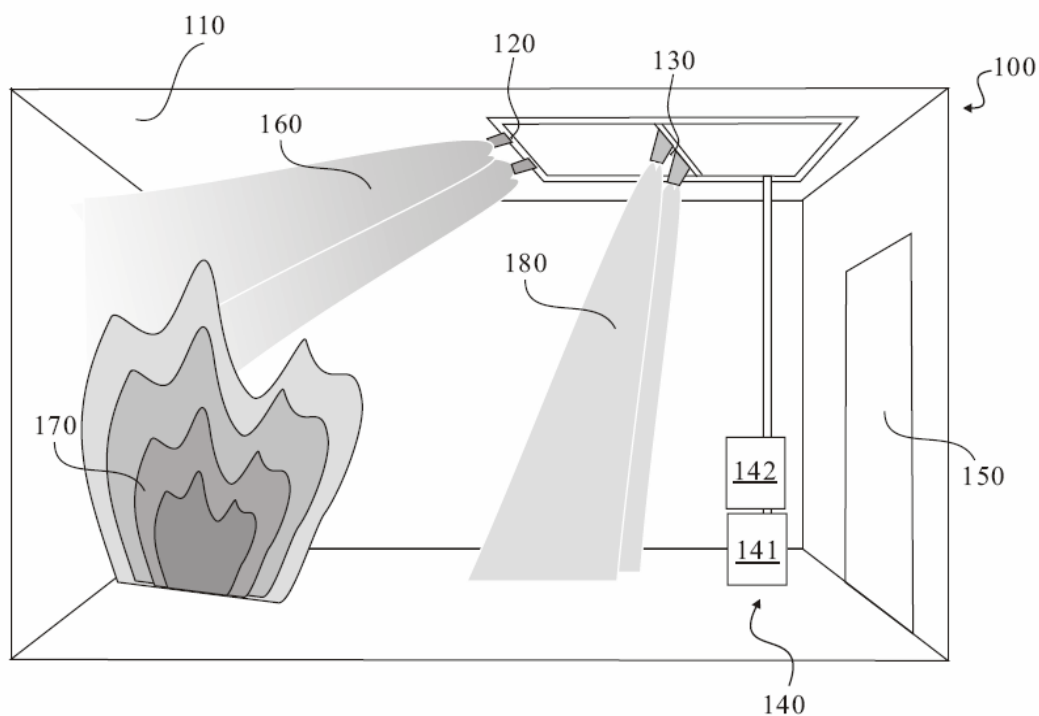
案件名稱：水霧式隔煙系統 / smoke scrubbing water mist system

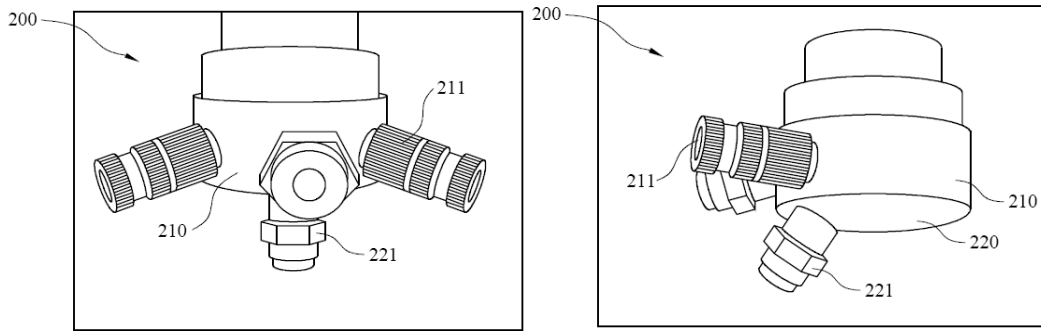
發明人：蔡榮鋒、丁育群、何明錦、李正國、陳建忠、張哲綱、
張尚文、陳亮廷

性質：台灣 發明申請案

委任連邦專利台中所申請編號：CP-0120-TW

專利摘要：一種水霧式隔煙系統，設置於天花板下方，包含至少二水霧噴灑裝置。第一水霧噴灑裝置係適用於滌煙，第一水霧噴灑裝置其水霧噴灑軸向與天花板之法線方向具有一第一夾角；第二水霧噴灑裝置係適用於隔煙，第二水霧噴灑裝置其水霧噴灑軸向與天花板之法線方向具有一第二夾角，其中，第二夾角小於第一夾角。水霧噴灑裝置連接一供水系統，供水系統具有泵浦及輸水管路。輸水管路連接蓄水容器與水霧噴灑裝置，並藉由泵浦將蓄水容器中的水經由輸水管路輸送至水霧噴灑裝置。





附錄五

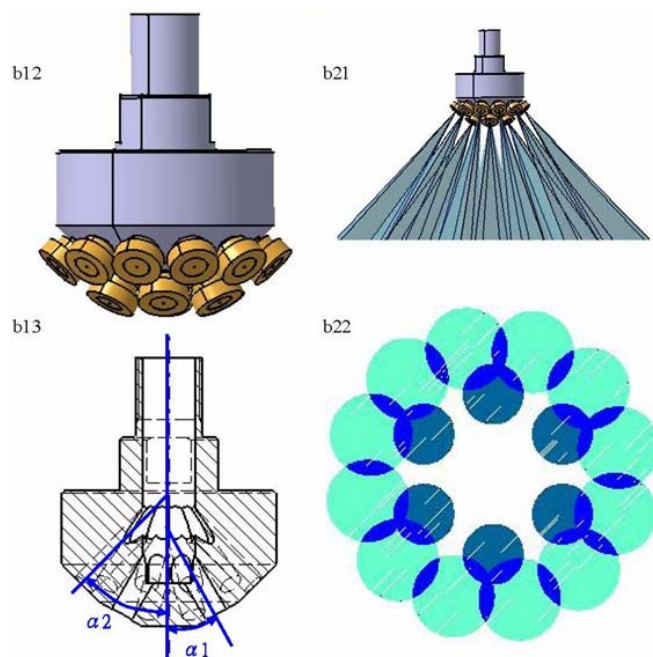
案件名稱：水霧幕分區消防滅火之方法及其裝置/ Apparatus and method for water mist fire suppression system on subdistrict

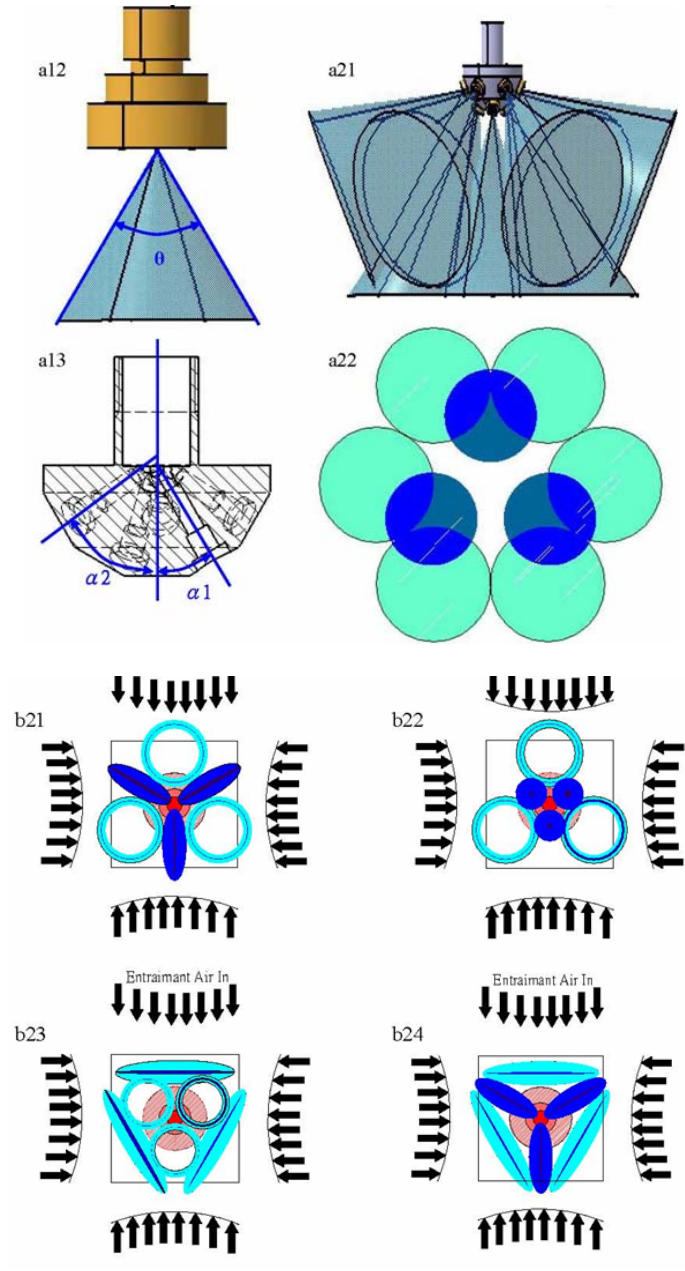
發明人：蔡榮鋒

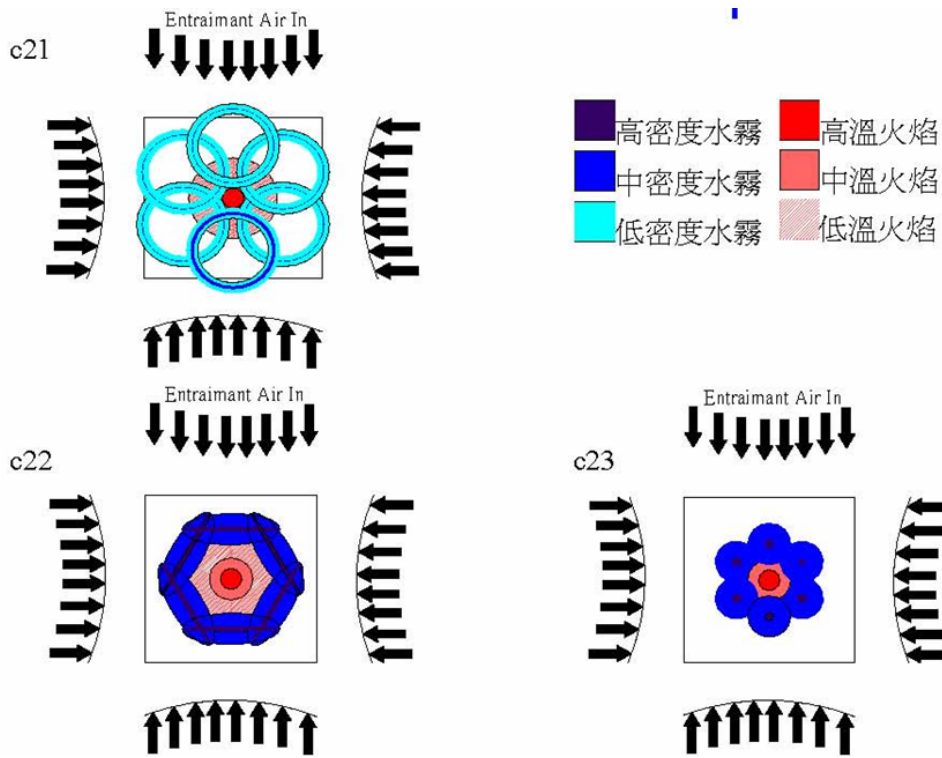
性質：台灣 發明申請案

專利申請案號：93131295

專利摘要：本發明係提供一種水霧幕分區消防滅火之方法及裝置，主要利用噴霧器之母噴頭上具向外上斜之數錐面，而至少於二錐面上，各等距設數子噴頭，其中，外側同錐面之子噴頭所噴出之水霧擴散角，較內側同錐面之子噴頭所噴出之水霧擴散角大，以形成至少二層不同水霧密度之包圍狀水霧牆排列。同錐面之子噴頭可選擇噴出為圓形之實心噴頭，或噴出為扇形之扇形噴頭；且各錐面之子噴頭數量亦可隨使用場所之不同，而可加以重新配置。



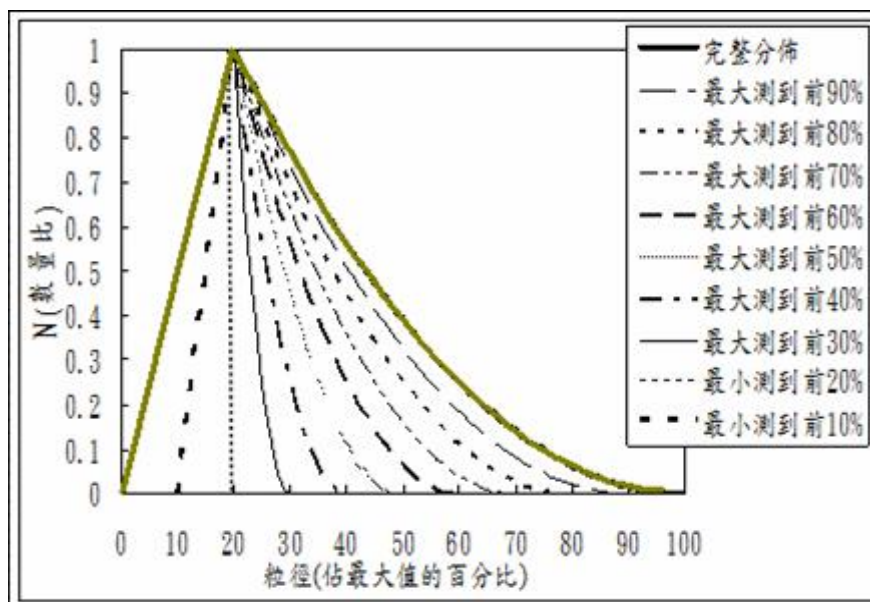




附錄六

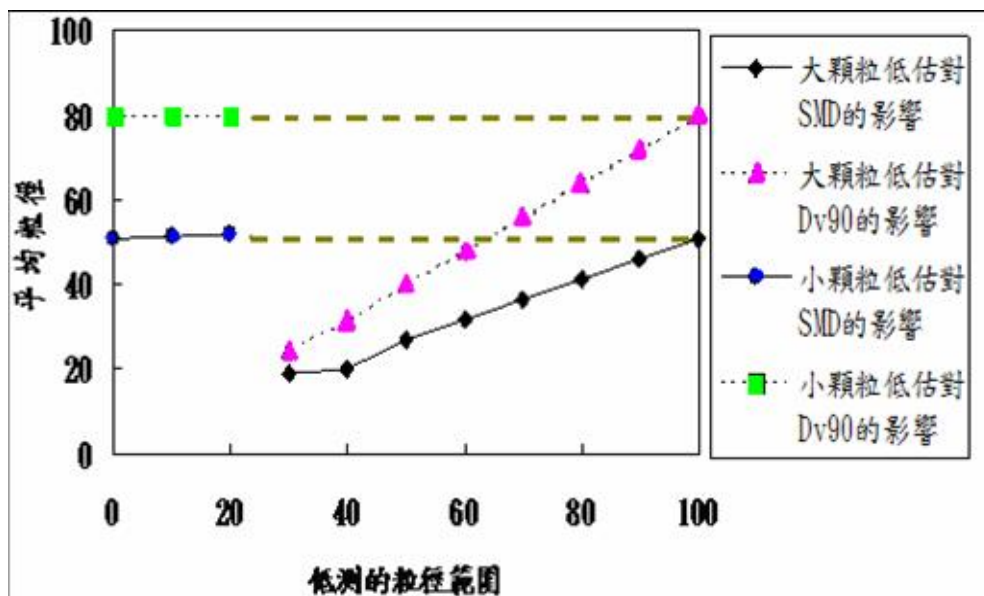
接下來用近似常用粒徑分佈模型的分佈曲線作一個測試，如圖一，假設有些量測儀器分別在大顆粒與小顆粒水滴的量測有所低估，觀察 *SMD* 的誤差變化情形如圖二，前20%的小顆粒被低估時對平均粒徑幾乎沒有影響，正確分佈的 *SMD* 值為最大水滴粒徑的80%，最大10%的大顆粒被低估時 *SMD* 便下滑到72%的部分，量測誤差達到10%，隨著大顆粒的低估增加，*SMD* 的大小也幾乎線性減少。

圖一 粒徑分佈量測誤差模擬



(資料來源：本研究整理)

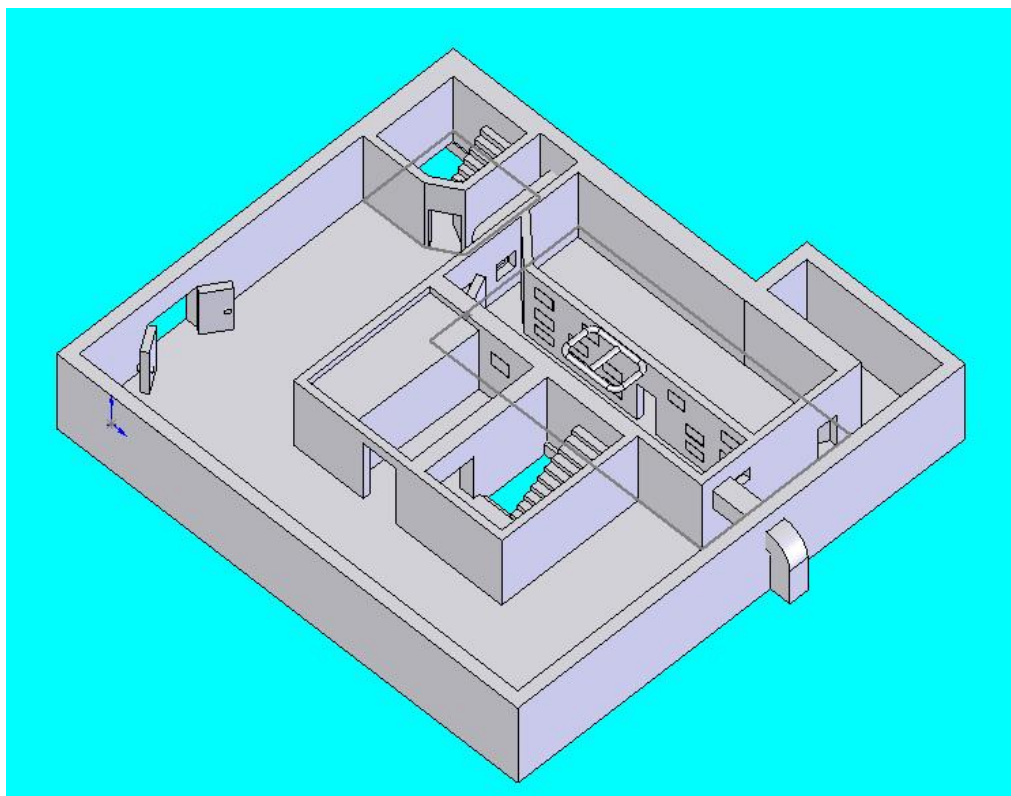
圖二 量測誤差對 SMD 的影響



(資料來源：本研究整理)

附錄七

本年度計畫實驗場規劃圖



(資料來源：本研究整理)

參考書目

中文部份

蔡春進，半導體工業的廢氣及微粒之聯合去除系統，交通大學 環工所，國科會 研究報告，民國 91 年。

林啟文，以噴霧塔去除揮發性有機廢氣之數學模式建立及影響因子之研究，民國 87 年。

李岩錡，以雙噴霧塔系統進行煙道氣中脫硝效能及反應動力之探討，國立成功大學環境工程學系碩士論文，民國 89 年。

雷明遠，鄭紹材，林欲昌，黃建榮，「撒水幕應用於區劃構建之研究」，中華民國建築學會第十六屆第二次建築研究成果，台北市：建築學會，民國 93 年。

鍾基強，董賢聲，薛朝鴻，廖健成，水系統火災控制技術之研究-水系統效應對性能試煙控之模式技術與實驗驗證，台北市：內政部建築研究所，民國 92 年。

陳俊勳，滅火系統技術研發之規劃研究-細水霧滅火系統技術研發之規劃研究(II)，台北市：內政部建築研究所，民國 93 年。

陳俊勳，陳浩然，水系統火災控制技術之研究(II) -細水霧滅火系統技術研發之規劃研究，台北市：內政部建築研究所，民國 93 年。

蔡榮鋒，水氣霧噴頭開發及噴撒特性檢測委託案結案報告，新竹：工研院環安中心，民國 93 年。

蔡榮鋒，李正國，李廣齊，「量測液滴幾何特性的視覺方法」，中華民國第二十六屆全國力學會議，雲林，民國 91 年。

英文部份

1. Tuomissari ,M. “Smoke scrubbing in a computer room,” Halon options technical working conference, Albuquerque : BFRL, 1999
2. Mawhinney, J.R., “A Critique of Claims of Smoke Scrubbing by Water Mist,” Research and Practice: Bridging the Gap, Fire Suppression and Detection Research Application Symposium, Tampa, FL : National Fire Protection Research Foundation, 2002.