

長照機構單人住房側壁型細水霧滅火試驗效能評估分析

Effectiveness evaluation analysis of side wall water mist fire extinguishing test for single ward of Long-term care service institution

楊書銘^{*}、陳俊勳^{**}、邱晨瑋^{***}

Sue-Ming Yang、Chun-Hsun Chen、Chen-Wei Chiu

摘要

我國已經邁入高齡化社會，由於長者健康狀況與行動能力有別於一般人，一旦長照機構發生災害，所產生的人命損失格外嚴重。因此，如何在長照機構發生火災時，運用妥適的消防安全設備，如水道連結型撒水設備、側壁型細水霧滅火設備將傷亡損失減至最低，並將兩者設備透過燃燒試驗加以分析比較，為本研究之主要目的。

本案研究方法為文獻探討及透過實場燃燒試驗，模擬無消防力介入之空燒試驗、設置水道連結型撒水設備、側壁型細水霧設備的長照機構住房起火燃燒，試驗各滅火效能並相互比較。

經由本研究實驗後，發現側壁型細水霧設備能最早感知火災，最短的時間內撲滅火勢，能將災損減至最低，長照機構設置此設備具有一定之效益與可行性。

關鍵字：長照機構、側壁型細水霧、實火試驗、水道式撒水設備

Abstract

Our country has entered an aging society. As the health status and mobility of the elderly are different from those of ordinary people, once a disaster occurs in a long-term care institution, the loss of life will be extremely serious. Therefore, how to use appropriate fire safety equipment, such as waterway-connected sprinklers and sidewall water mist fire extinguishing equipment, to minimize casualties when a fire occurs in a

* 國立交通大學產業安全與防災學程碩士班，通訊連絡：dkr731004@gmail.com。

** 國立交通大學教授兼副校長，通訊連絡：chchen@mail.nctu.edu.tw。

*** 臺灣警察專科學校消防安全科教授兼科主任，通訊連絡：eswin.wei@gmail.com。

long-term care facility, and analyze the two equipment through the combustion test. Comparison is the main purpose of this research.

The research method of this case is based on the literature discussion and the actual combustion test, which simulates the air burning test without the intervention of firefighting force, the long-illumination institution house with the water channel connection type sprinkler equipment and the side wall type water mist equipment catches fire and burns, and tests the fire-fighting efficiency and comparison.

After this research experiment, it is found that the side-wall water mist equipment can detect the fire earliest, extinguish the fire in the shortest time, and minimize the damage. The installation of this equipment in the long-term institution has certain benefits and feasibility.

Key words : Long-term care service, side-wall type water mist, combustion test, water-way typeconnection sprinkler

壹、緒論

一、研究動機

自 101 年至今，我國長照機構共發生 5 起重大死亡火災，計造成 41 人死亡、數百人受傷（如表 1），造成嚴重人命傷亡的慘劇，令人痛心。因此，對於長照機構產業防災安全議題應予正視。

表 1 近年我國長照機構重大死亡災例

近年我國長照機構重大死亡災例					
案 例	臺南新營醫 院北門分院 護理之家	新店樂活老人 長期照顧中心	龍潭私立愛心 長照中心	屏東南門 護理之家	台北醫院護 理之家
發 生 時 間	2012/10/23 AM-03:29	2016/07/06 AM-07.01	2017/03/10 AM-05.05	2017/05/19 AM-04.55	2018/08/13 AM-04.20
死 傷 人 數	13 人死和 59 人輕重傷	6 人死和 28 輕 重傷	4 人死和 13 輕 重傷 (含 1 名 外籍照服員)	4 人死和 56 輕重傷	14 人死和 10 人輕重傷
住 民 特 性	慢性病住民	高齡行動困難 之住民	慢性病住民	慢性病住民	慢性病住民
起 火 原 因	人為縱火	疑似電器引燃 堆積之易燃物 品	疑似蠟燭照明 不慎引發易燃 物品	疑似電器 火災	電器短路(電 動床墊)

資料來源：本研究製作

在我國相關法規規範上，於 107 年正式修法將水道連結型撒水設備納入我「各類場所消防安全設備設置標準」中，以期能夠為較小規模之長照機構提升消防設備安全防護能量。從眾多災例中得知，發生長照機構的重大人命傷亡火災，幾乎都是發生在大夜班照護比最為吃緊的時間，在發生火災時必須運用少數的人力做到通報、初期滅火、引導避難、安全防護、醫療維生照護等眾多事項，幾乎無暇以應，因此自動滅火設備的重要性能減輕照護人員應變火災時的壓力，抑制或撲滅火勢，延長避難的時間，是長照機構安全不可火缺的一環。而國外近年來特別研發側壁型細水霧設備與水道式連結設備相同使用民生用水，且安裝設備不占空

間，更兼具環境保護、滅火效能、節約水資源及減少火場水損等特性者。因此本研究特別以側壁型細水霧滅火設備及水道連結型撒水設備做為實驗標的設備，實施實場火災試驗，進行兩設備之滅火性能優劣比較分析。

二、研究目的

經由本研究的實火試驗驗證比較水道連結型撒水設備、側壁型細水霧設備及空燒試驗等三種情境相互比較燃燒狀態及滅火效率，期望能藉由設置最合適高效的消防安全設備，提升國內長照機構之產業安全性。因此期望本研究之實驗結果，可以做為側壁型細水霧滅火設備適用於長照機構住房效益與可行性之重要參考，進而期望提升國內長照機構的防災安全。

三、研究範圍與限制

（一）場地範圍

本研究設定實驗場地是以長照機構的單人住房為仿設對象，長 4m、寬 4m、高 4.5m 以矽酸鈣板建構之空間，房內垂壁（寬 4m、自天花板下垂高度 0.3m），開口面（寬 4m、高 4.2m），房間內包含單人床一張、雙人沙發一座、不織布窗簾一片。

（二）設備範圍

本研究是比較水道連結型自動撒水設備及側壁型細水霧設備兩者之滅火效能，其中水道連結型自動撒水設備依我國「水道連結型自動撒水設備設置基準」設置，側壁型細水霧設備依設備原廠之安裝標準手冊裝設。

（三）情境範圍與火災時期

本研究實場試驗情境為無消防力介入空燒實場試驗、水道連結型自動撒水撒水設備、側壁型細水霧設備之滅火效能比較及災損程度，實驗情境的背景條件則是設定於火災始發初期及成長期，比較此三種設計情境，唯此二時期時有較高的機率保全人命與降低財損，而火災燃燒時期的閃燃、最盛期、衰退期等狀況皆不在本研究之範圍內。

（四）側壁型細水霧設備新穎相關資訊有限

本研究實驗標的設備-側壁型細水霧是國外最新設計之改良式的細水霧滅火設備，且有設計專利存在，無其他類似設備足以比較，因此國內所能取得該設備設計原理、安裝資料等設備相關資訊有限，設備裝置依該設備原廠安裝手冊裝置，而滅火效能認證亦需請設備廠商提供第三公正試驗單

位提供認證資料。

(五) 實驗模擬場地開口較大

本實驗為有利實驗過程拍攝影片紀錄，開口部設計較大，不同於正常一般住房較易蓄積煙熱之情形，但本研究主要針對三種情境做系統性的比較，並非針對各設備做認可基準的全尺寸實場試驗，因此在場地開口的限制上，與實際住房的情況略有不同，僅設置自天花板向下延伸 30 公分蓄煙垂壁，但在條件變因相同的基礎上，即可比較三情境之滅果效果與優缺點。

(六) 實驗模擬場地高度較高

本研究實驗場高度設計為 4.5 公尺，下垂防煙高度 30 公分，為挑高之場所，與一般場所相較下煙與熱的蓄積比較不易，但在相同的環境變因條件下試驗，仍可分析比較各情境之結果，在高度設計方面依各類場所消防安全設備設置標準第五十二條中規定，感知撒水頭設置高度在 5 公尺以內，水道型撒水設備的設置高度均符合法規標準。

四、研究方法與流程

(一) 研究方法

本研究使用文獻探討與設置實火試驗比較，最後收集數據並分析各設備之滅火效能。

(二) 研究流程

1. 文獻探討法：

滅火設備細水霧規範及水道連結型撒水設備之探討。

2. 專家問卷

以專家問卷方式向國外專業細水霧滅火設備公司諮詢，細水霧設備性能、規範、設置與運用情形，以獲得更充分細水霧設備相關資訊。

3. SWOT 分析

運用 SWOT 強弱危機分析剖析側壁型細水霧滅火設備自身之優勢、劣勢及外部競爭上的威脅和機會。

4. 實驗設計與實驗場設置

本研究參酌上述文獻內容後，參考國內外專家學者實場試驗之方式，設計實驗流程，以實火試驗側壁型細水霧設備與水道式撒水設備之滅火性能。

5. 實驗數據蒐集與分析

實驗結束後將所蒐集到的各項實驗數據加以整理並深入分析，而得到最終的實驗結果。

6. 結論與建議

貳、文獻探討

一、水道連結型撒水設備之規範

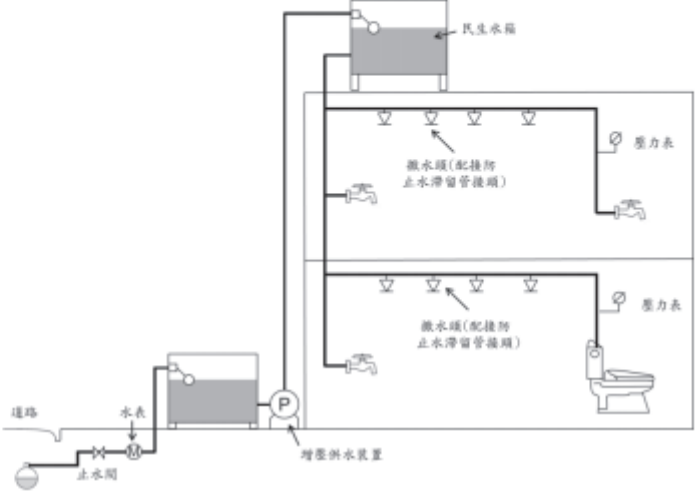
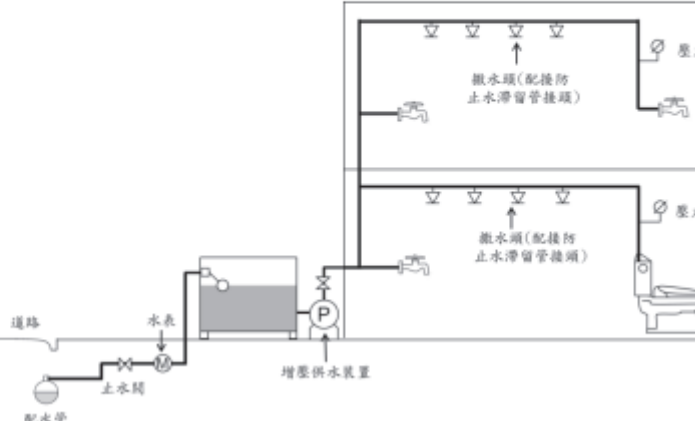
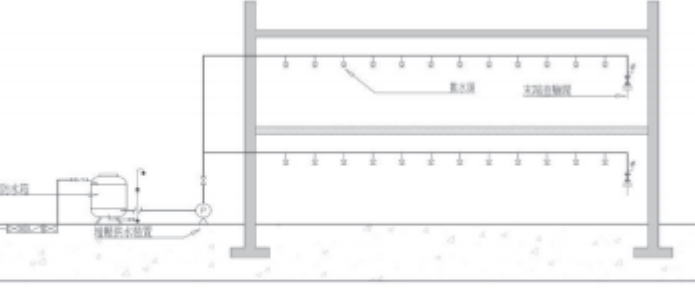
107 年後我國規範長照機構需裝設自動撒水設備，但對於中小型長照機構的空間、設備、經費考量上較不適當。因此國際間許多國家已經針對此類場所推廣水道連結型自動撒水設備，小空間、低成本並具有抑制火勢的特性，我國業於 107 年 10 月 17 日修正「各類場所消防安全設備設置標準」第 17 條，將水道連結型自動撒水設備正式納入我國法規當中。以下為我國水道連結型自動撒水設備的相關設置規範（如表 2）。

表 2 水道連結型自動撒水設備設置規範

水道連結型自動撒水設備設置重點					
依據法規		各類場所消防安全設備設置標準第十七條第三項規定訂定之	放水量		在每分鐘三十公升以上
適用場所		甲六類其樓地板面積合計未達一千平方公尺者。	放水壓力		每平方公分零點五公斤以上或零點零五百萬帕斯卡(MPa)以上
型式	民生水箱共用式	自來水管線供水至民生水箱，撒水頭，藉由重力或增壓裝置供撒水頭放射所需之水量及放射壓力。	末端查驗	民生水箱共用式	管系末端水龍頭或馬桶水箱日常生活用水設施，配置壓力表。
	獨立水箱式	自來水管供水至消防水箱，連接撒水頭，藉由重力或增壓裝置提供撒水頭放射所需之水量及放射壓力。		獨立水箱式	設末端查驗閥，其配置應符設置標準第五十六條規定。
水源容量		四顆水道連結型撒水頭，持續放水二十分鐘以上計算之	設置數量		依原廠技術手冊所訂防護半徑、防護範圍檢討。
撒水頭規格		符合密閉式撒水頭認可基準規範-水道連結型撒水頭	其他		長期照顧服務機構等，其洗手間、浴室或廁所亦應設置。

本研究整理

表一：水道連結型自動撒水設備設置類型示意圖

方式	圖例(示意圖)	
民生水箱 共用式	A	
	B	
獨立水箱式	C	

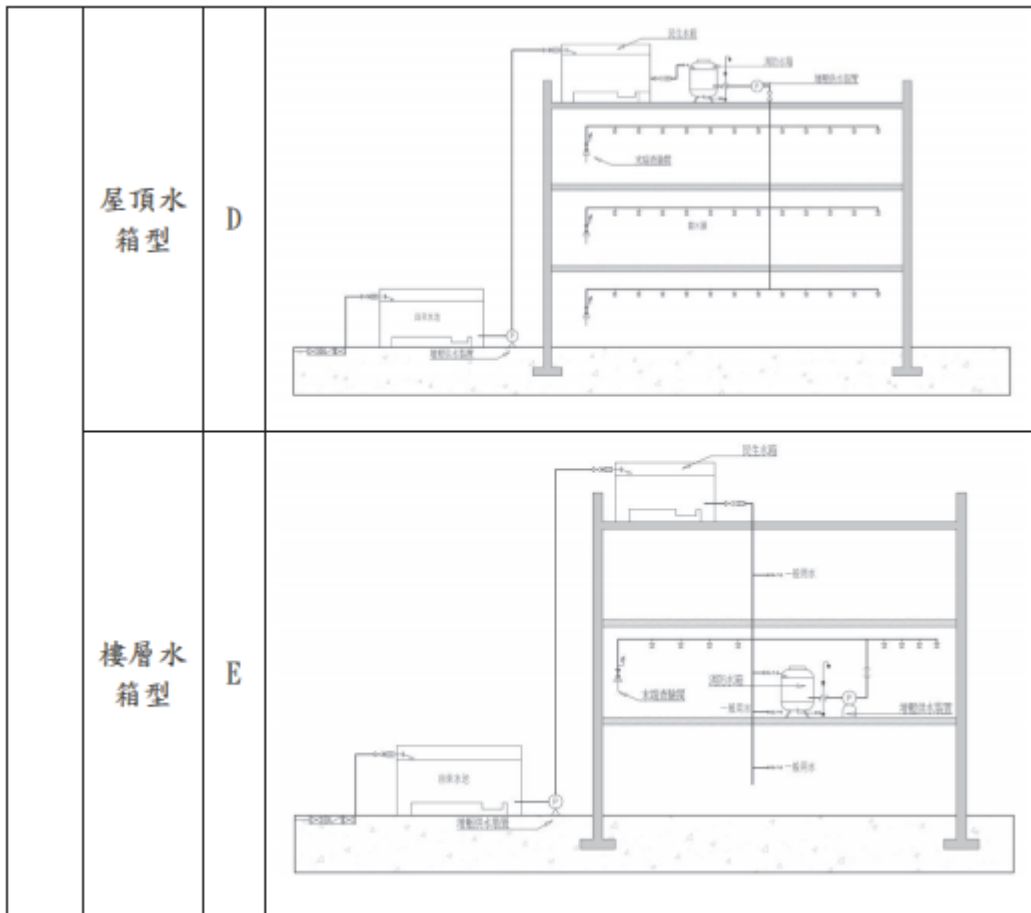


圖 1 水道連結型自動撒水設備示意圖（圖片來源：消防署網站）

二、細水霧國內研究報告彙整

陳俊勳、徐一量於“細水霧系統火災控制整合應用技術研究”中指出細水霧在排煙情況下，亦能有效撲滅油盆火災。滅火時間隨排煙風量增加而增長，且能有效降低火場濃煙度、CO、CO₂ 與溫度，降低火場內部危害，延長火場內人原避難逃生時間。細水霧對於木堆火源抑制能力與降溫效果都比傳統撒水頭佳。由 FIREDASS 模擬結果顯示，細水霧作動可強化排煙效果，有效降低火場溫度與危害氣體濃度，且排煙量越大，細水霧降低危害的效果越佳，與實驗吻合。

何明錦、謝煒東於“細水霧設備於建築物室內停車空間應用之研究”中係以 EN14972 為實驗設計依據，並於文中指出，細水霧應用在滅火上必須考慮空間密閉程度與細水霧噴灑密度。對於停車空間內之遮蔽性火災，其使用水量小，需要

密閉或者正對火源才有滅火機會，因此不建議應用於空間廣大且無氣密經濟性之室內停車場空間。

謝煒東、張尚文於“細水霧對遮蔽火源之滅火實驗研究-以汽車火災為例”在細水霧防護下，雖能抑制火勢，依據實驗觀察結果，由於細水霧無法直接命中火源，因此滅火力道不足，細水霧對於「開放空間中的遮蔽火焰」，滅火效果相當有限。對車輛火災而言，火源被車殼保護著，光靠飄散進入車內的細水霧，它的滅火能力遠低於火勢成長力道，故無法滅火。

何三平於“細水霧效能測試與評估”指出第二種室內栓滅火雖然短暫，但其本身放水量均較細水霧大，利用細水霧滅火設備之滅火水量，確實遠少於室內消防栓，細水霧滅火設備於滅火完成時間較第二種室內消防栓慢，但滅火所需水量僅需二種室內消防栓一半。故在未來應用於古蹟及高科技廠房之消防滅火上應可扮演重要之角色。

由以上的文獻探討可以瞭解，目前細水霧的定義已經明確化，其滅火原理已經被證實，有 FDS 及 FIREDUSS 等軟體可以進行初步的火災模擬，但是無論是模擬軟體的可靠性或者是細水霧的滅火效果與適用範圍均仍處於持續研究與驗證階段，因為細水霧設備的滅火效果可能受到火源大小、空間大小、通風狀況的影響，也會受到噴頭配置、數量、噴射角度、水滴大小與動能的影響，而適當的間歇式放射可提升滅火效果，因此在諸多文獻中亦有提及，目前細水霧滅火設備是以實場試驗的方式進行設備的審核。

細水霧的滅火機制主要為冷卻與排氧，效果取決於吸熱率與噴霧的通量密度、平均粒徑、火場留置時間等相關，火場中的氣流可能改變霧滴的路徑和噴霧通量的分佈、且對吸熱率影響很大，尤其在火焰根部。

三、各國細水霧設備之規範

(一) NFPA750

NFPA-750 是美國國家防火協會 (National Fire Protection Association) 所提供，並於 2000 年被認可為美國國家標準，為細水霧滅火系統的主要規範，主要是規定細水霧系統的設計、裝置、檢修及測試的基本要求，在開宗明義即說明細水霧系統要控制、壓制或撲滅火災，仍須經過（其他規範或協定的）火災試驗並經登錄才能信賴其可靠性。依該規範定義細水霧的粒徑為 99% 體積粒徑必須小於 $1000\mu\text{m}$ （即 $Dv0.99 < 1000\mu\text{m}$ ），定義管系壓力 500psi（約 35kg/cm^2 ）以上為高壓細水霧，在 500 到 175psi 間為中壓、在 175psi（約 12.3kg/cm^2 ）以下為低壓。此定義內容也被各國細水霧相關規

範所共同接受。另此規範中主要內容包含細水霧系統元件項目及基本要求、設計查驗及檢修應注意的事項。

(二) IMO-Res.A.800

此規範是細水霧系統的起源，國際海事組織 IMO 於 1992 年決議批准了“等效撒水滅火系統”指南，採用了一套全面的消防安全修正案，適用於新的和現有的船隻。以這些要求為基礎，制定防火測試程序的過程和方法。

IMO-Res.A.800 則是海事組織 IMO¹（International Maritime Organization）於 1995 年提出的撒水系統認可基準，內容包含細水霧設備的安裝指南、，附錄中包含了細水霧噴頭的組件製造標準以及客船住宿區、公共區及服務區等場所滅火效果試驗的規範。

(三) UL-2167

UL 保險商試驗所（Underwriter Laboratories Inc.）是美國最有權威的，也是界上從事安全試驗和鑒定的較大的民間機構。它是一個獨立的、非營利的、為公共安全做試驗的專業機構，在美國常透過保險公司規範的機制來補足政府機關法令規定的不足。

UL-2167 是 UL 針對細水霧的管系與噴頭特性以及滅火效果提出之試驗規範，於 2002 年被認可為美國國家標準，在噴頭特性方面包含了水滴粒徑大小與速度（Water Droplet Size and Velocity）以及噴頭的各項檢測標準等共三十個主要試驗項目的試驗基準。滅火效果方面則有船舶機械空間三種、船舶乘客客艙空間、船舶公共區域、輕度危險、普通危險 I 類、普通危險 II 類空間等諸多實驗情境的試驗基準。

(四) FM-Class5560

FMRC（Factory Mutual Research Corporatuon）是一家領先全球的測試及認證機構，FM Approvals（FM 認證）是屬於第三方認證的認證指南。

Approval Standard 5560 提供 FM Approvals 已測試和驗證的特定佔用率和應用的測試要求。這些具體應用和情況包含在標準的附錄中，包括機器處所和特殊危險機器處所，容積不超過 9175 立方英尺（260 立方米）、燃燒渦輪機外殼、工業油炊具、輕度危險空間（如非儲存和非製造區，住宅，辦公室，會議室，酒店，博物館，餐廳座位區，機構和學校）、濕洗台及類似加工設備、局部放射等運用測試。

¹ 負責航運安全和保障的聯合國專門機構以及防止船舶造成的海洋污染。

FM-5560 的認證標準包括幾乎所有類型的水霧系統組件的性能要求，內容亦包含單流系統及雙流系統。若惰性氣體和水的滅火系統，其中兩個組件都是火災控制的要件或熄滅的關鍵因素，被稱為混合系統。而細水霧混合滅火系統是根據 FM 認可標準 5580 而進行評估，此一設備是結合氣體滅火設備及水系統滅火設備之窒息及冷卻雙重滅火機制。

參、滅火試驗設計與設備介紹

一、專家問卷訪談

本研究於 2019 年 8 月 14 日訪談日本細水霧滅火設備 Yamato 公司所做的關於細水霧滅火設備相關專家問卷，整理重點如下：

（一）細水霧設備法規之研訂

日本於 1999 年到 2003 年之間，以消防廳和消防研究所為主成立了「水霧滅火研究室」，但是並沒有成功的將之標準化，也就是沒有一般的設置基準，與歐美各國同樣是以全尺寸的滅火試驗來驗證設備是否符合場所需求。原因為細水霧系統的水霧粒子會因為火場內的高溫而轉變成水蒸氣，而水蒸氣的量會因空間大小、火災規模、火源的熱釋率大小、粒子徑大小、流速等而異，因此很難制定通用的基準。同時，在火焰比較小的時候（火源熱釋率較低時）水蒸氣的量也會變少的關係，較小的火若以細水霧系統也會難以滅除。

而在日本設置在船舶的細水霧設備，如設在引擎室的細水霧設備則有被標準化，依法規船舶必須設置細水霧設備，其原因乃船舶因為空間大小、火源類型幾乎都一樣，比較容易被標準化。

（二）細水霧設備適用之場所

在日本細水霧設備主要針對船舶之總機室設置，而陸地上場所亦包含汽車製造商中的烤漆間、汽車製造商中的引擎試驗室、製鐵廠中的地下油壓室、製鐵廠中的纜線洞道、發電廠中的燃煤輸送帶等場所，此外日本目前持續在開發適用於停車場細水霧系統，已經可以十分有效的抑制火災，但是小的殘火（譬如輪拱內的殘火）無法有效滅除（有遮蔽火源問題），因此可以以抑制火災的想法來推廣，此外在日本細水霧目前還沒有設置於長照機構、照顧機構的案例。

（三）細水霧設備的滅火性能

細水霧設備是因細水霧粒子遇到火災所產之熱而成為水蒸氣，除了本身吸熱外，更重的滅火機制為對環境產生排氧效應，因此火災越大（火源的熱釋率越大）滅火效果越好，火災越小滅火效果就小，在了解這個特徵的情況下就能理解，細水霧系統對油類火災特別有效果，但對木頭之類的火災效果比較差，因為單以冷卻效應來說，大量的水始終是最有效的冷卻方式。細水霧設備與撒水設備在滅火機制與性能上無法畫上等號，因為撒水設備是以冷卻為手段，滅火為目的滅火設備；而細水霧設備則是以排氧、窒息效應為手段，以抑制火勢成長為目的防護設備，特徵跟撒水系統並不完全相同，在系統設計上還必須考慮到防護空間的大小、環境的通風與否、能否造成排氧效應、火源的熱釋率大小、燃料的種類等因素。

二、側壁型細水霧的規格與動作原理

（一）產品組成及規格

側壁型細水霧（如圖2）取得英國BSI國際認證（證書VC 656504），此設備特點為利用紅外線感應器精確定位火源，針對起火點進行放射，當任何一個探測器被觸發時，所有嵌於牆內的噴頭面板都將被啟動並開始對各自的防區進行火源掃描。可以迅速、準確的判斷起火位置並選擇處於最佳滅火位置的噴頭精確對準火源滅火。

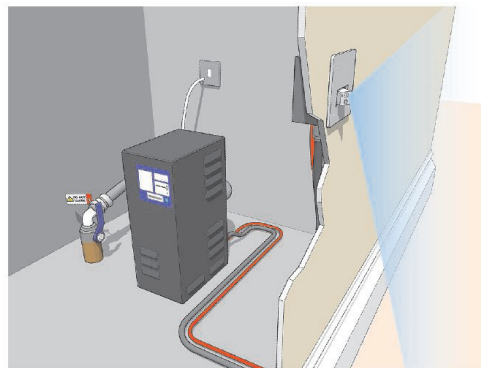


圖2 側壁型細水霧設備示意圖

圖片來源：<http://www.rihsi.com.tw/>網站

設備安裝簡單，不需要獨立的水箱和專用消防水管，使用靈活的軟管連接，可直接鋪設，而不必在天花板中安裝專用消防水管，源於美國軍用的艦艇滅火技術，高效節水，亦無需專用的消防排水系統。大幅節省空間，

並不易造成水損問題。

(二) 系統架構圖

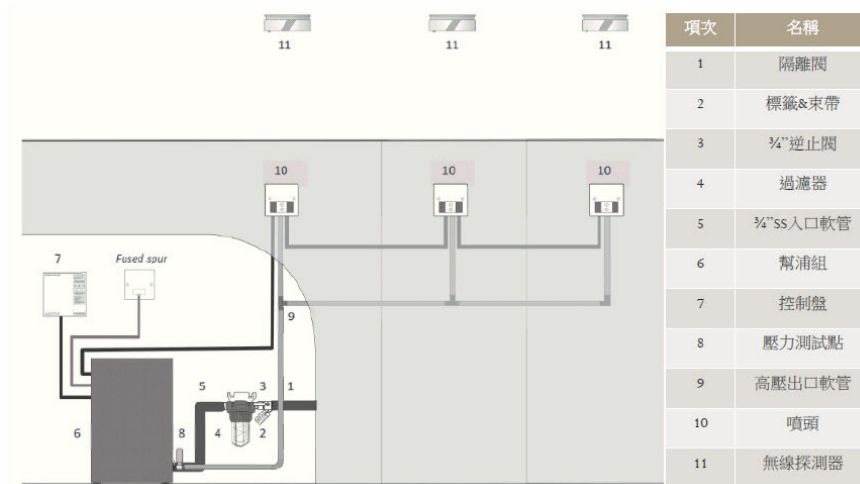


圖 3 側壁型細水霧系統架構圖

圖片來源：<http://www.rihsi.com.tw/>網站

(三) 啟動方式：天花板偵煙探測器作動，觸發紅外線偵測器掃描火源。



圖 4 側壁型細水霧噴頭實際放射情形

圖片來源：<http://www.rihsi.com.tw/>網站

(四) 細水霧噴頭：

1. 5cm 深的壁箱安裝在離地面 140-145cm 處，11.2cm（長）*11.7cm（寬）

*4.9cm (厚)。

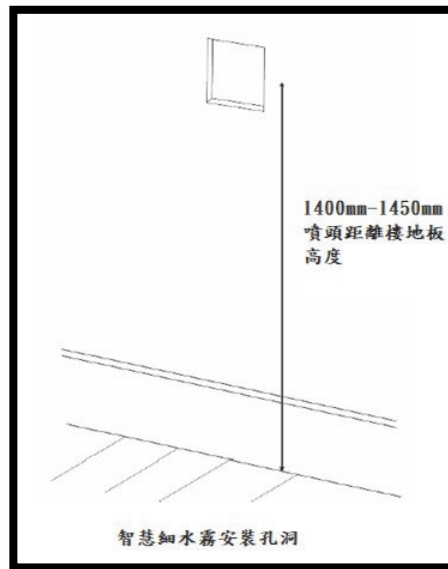


圖 5 側壁型細水霧噴頭安裝高度

(圖片來源：<http://www.rihsi.com.tw/>網站)

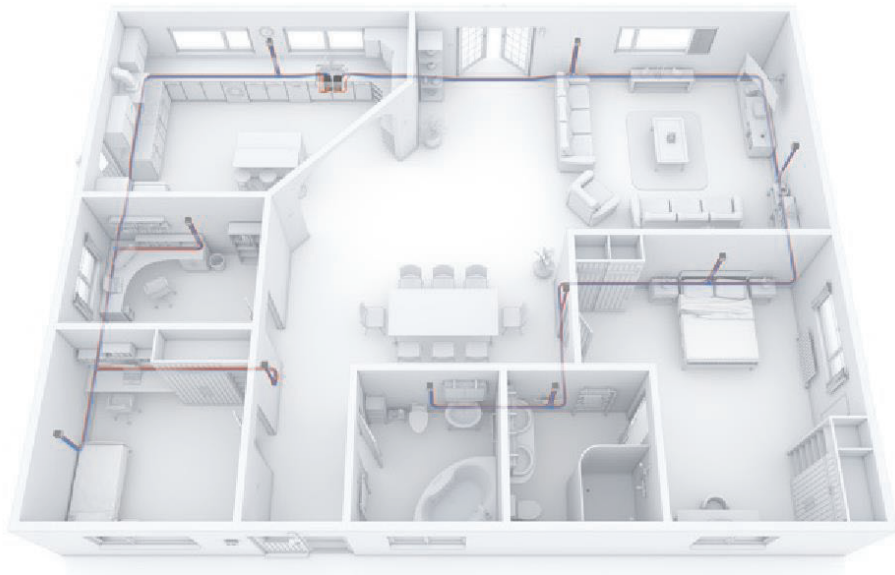


圖 6 側壁型細水霧噴頭安裝範例

(圖片來源：<http://www.rihsi.com.tw/>網站)

2. 距窗戶邊緣最多 1m (注意：請注意窗簾)
3. 防護角度：90°-180° (依安裝位置不同)

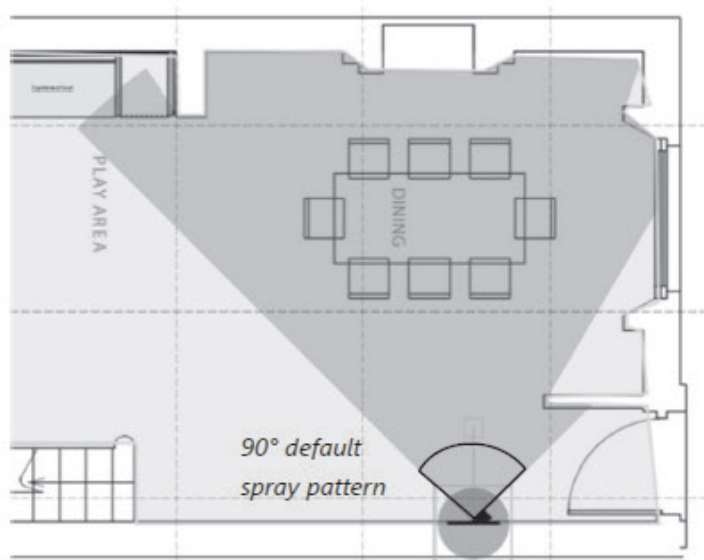


圖 7 側壁型細水霧噴頭防護角度

(圖片來源：<http://www.rihsi.com.tw/>網站)

(五) 滅火藥劑：每分鐘 5.6 升細水霧 (由小於 100 μ m 的液滴組成)。

(六) 幫浦：

1. 21.8cm (長) * 17.8cm (寬) * 36.2cm (高)，重 6.0 公斤，接到 3/4" 供水管 (圖 8)。



圖 8 側壁型細水霧設備加壓幫浦

(圖片來源：<http://www.rihsi.com.tw/>網站)

2.1 個加壓幫浦可供應 6 組細水霧噴頭。

(七) 電力需求：10A/230V 電源，帶有合適的斷路器或保險絲。

(八) 動作流程：

當居室內火災發生時，側壁型細水霧設備將會由安裝於天花板的偵煙式探測器感知到場所內冒出煙霧，進而啟動該設備，位於側牆距樓地板 1.4 公尺高的噴頭接收到火災訊號後，將利用噴頭上配置的紅外線探測頭，立即搜尋防護區域內部異常火光所發出的紅外線，並鎖定火源位置，針對火源處開始放射細水霧粒子滅火至少 30 分鐘，動作流程圖（圖 9）。

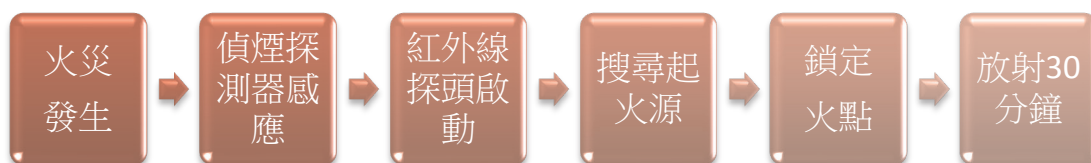


圖 8 側壁型細水霧設備加壓幫浦

（圖片來源：本研究繪製）

三、SWOT 分析側壁型細水霧設備

表 3 側壁型細水霧設備 SWOT 分析表

	Helpful 對達成目標有幫助的	Harmful 對達成目標有害的
	優勢(Strength)	劣勢(Weakness)
Internal 內部(組織)	(1)窒息、冷卻雙重滅火機制，可滅 A、B 類火災。 (2)可滅電器 C 類火災火災。 (3)水量需求極少。 (4)無毒、無腐蝕性，對環境無衝擊性無毒、無腐蝕性，對環境無衝擊性，災後復原容易。 (5)偵煙式探測器連動設備，動作時間快速。 (6)紅外線探頭搜尋火源，針對火源放射，滅火效率高。	(1)施工與材料品質較高，成本相對較水道式設備提升。 (2)水質方面需要較乾淨的水源，以免阻塞細水霧噴頭，需經過過濾。 (3)水平放射防護空間有遮蔽火源疑慮
	機會(Opportunity)	威脅(Threat)
External 外部(環境)	(1)水損低，減少因水損造成的二次災損。 (2)對臭氧層不會造成破壞，可取代海龍滅火設備。 (3)雙訊號作動，誤動作率低。 (4)主機體積小，工法簡易，與民生水共用	(1)設計參數太多，目前無明確且公認之設計方法。 (2)設計及審核困難，個案審查，需有全尺寸驗證實驗驗證滅火性能。

本研究整理

四、側壁型細水霧、水道式撒水設備、自動撒水設備之法規與設備之分析：

(一) 各設備法規制度面之分析 (如表 4)

表 4 水系統自動設備法規之比較

側壁型細水霧設備	水道式撒水設備	自動撒水設備
國內無標準化法規 可參考 FM-5560 NFPA-750	各類場所消防安全設備設置標準第 17 條第 3 項規定訂定之。	各類場所消防安全設備設置標準第 43 條至 60 條項規定訂定之。
無 可參考 UL-2167	水道連結型自動撒水設備設置基準。	密閉式撒水頭認可基準、一起開放閥認可基準、流水檢知裝置認可基準等。
無	依各類場所第 17 條設置。 小型長照機構(樓地板面積 1000 平方公尺以下未設撒水設備者)	依各類場所第 17 條設置
消防法第六條第三項(引用同等以上效能之技術、工法或設備者)	消防法第 6 條第 1 項	消防法第 6 條第 1 項
無 自設設備	消防法第 37 條 (限改, 罰鍰 3000-15000)	消防法第 37 條 (限改, 罰鍰 3000-15000)

本研究整理

(二) 各設備之設備面性能之分析 (如表 5)

表 5 各設備之性能比較表

項目		側壁型細水霧	水道式撒水設備	自動撒水設備
工作壓力(bar)		100	0.5	1
放水量(lpm/顆)		5.6	30	80
放水時間(min)		30 或無限制	20	20
防護半徑(m)		6	2.6	2.1/2.3/2.6
動作原理		多功能探測器及紅外線探測器(感知火源)	探測器或玻璃球(感熱)	探測器或玻璃球(感熱)
管材		高壓軟管	鍍鋅鋼管	鍍鋅鋼管
CP 值	性價比	高	中	低
建築損失	撒水密度(水損)	0.1 Lpm/m ²	5 Lpm/m ²	依噴頭 RTI 值不同而異
	直接損失(煙損、火損)	低	高	中
裝設位置	主幹管尺寸	3/4 "	1-1/2 "	100mm
	噴頭位置	牆面(隱藏型)	天花板	天花板
安裝速度	裝配工程	容易	容易	複雜
人員安全性	系統認證	BSI	國內認可基準	國內認可基準
	油類火災	YES	NO	NO
	洗滌濃煙效果	優	不佳	不佳
	設備啟動時機	初期	成長期	成長期

本研究整理

五、場地配置與量測儀器

(一) 實驗場地配置

1. 實驗空間：

場地（長 4m、寬 4m、高 4.5m），垂壁（寬 4m、高 0.3m），開口面（寬 4m、高 4.2m）。本實驗場地設置為面積 16 平方公尺、高度 4.5 公尺以三面以矽酸鈣板建構之空間，於拍攝面則以寬 4 公尺、高度 0.3 公尺之防煙垂壁自天花板向下延伸，該空間的開口為寬 4 公尺、高度 4.2 公尺（圖 10）。

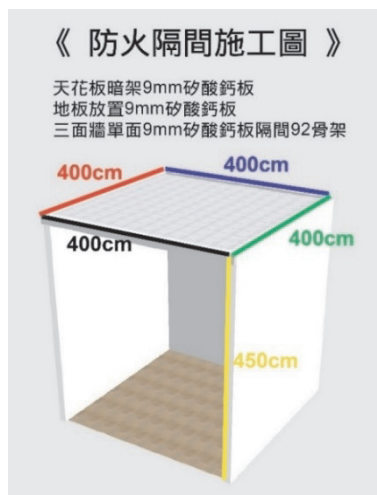


圖 10 實驗場地設施示意圖

（圖片來源：本研究繪製）

2. 內部擺設：

病床（長 2.1m 寬 0.95m 高 0.75 含床墊、位置距離內側牆 1m）、沙發（長 0.8m 寬 0.8m 高 0.68m、位置靠內側牆置中放置）、窗簾（長 3m 寬 0.5m 高、位置內側牆面緊靠沙發）（如圖 11）、全身假人。

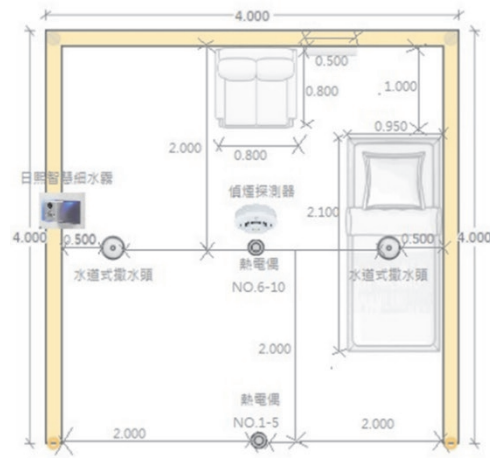


圖 11 實驗場地俯視圖

(圖片來源：本研究繪製)

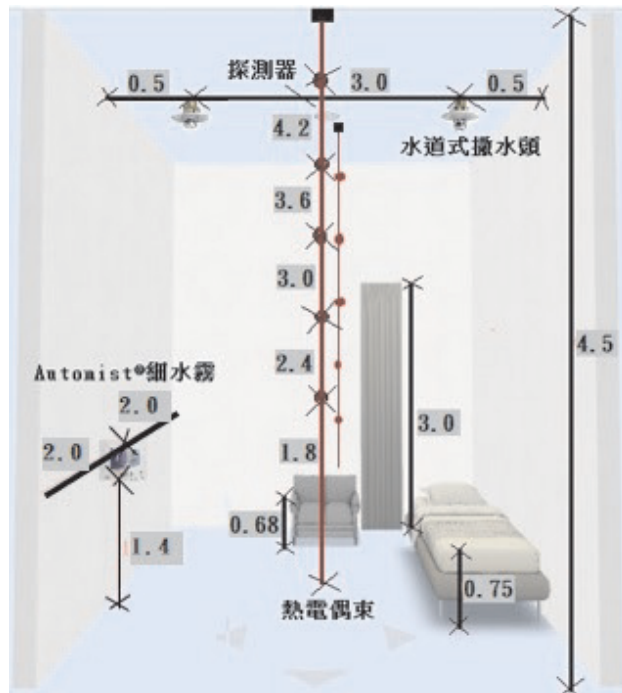


圖 12 實驗場地內部示意圖

(圖片來源：本研究繪製)

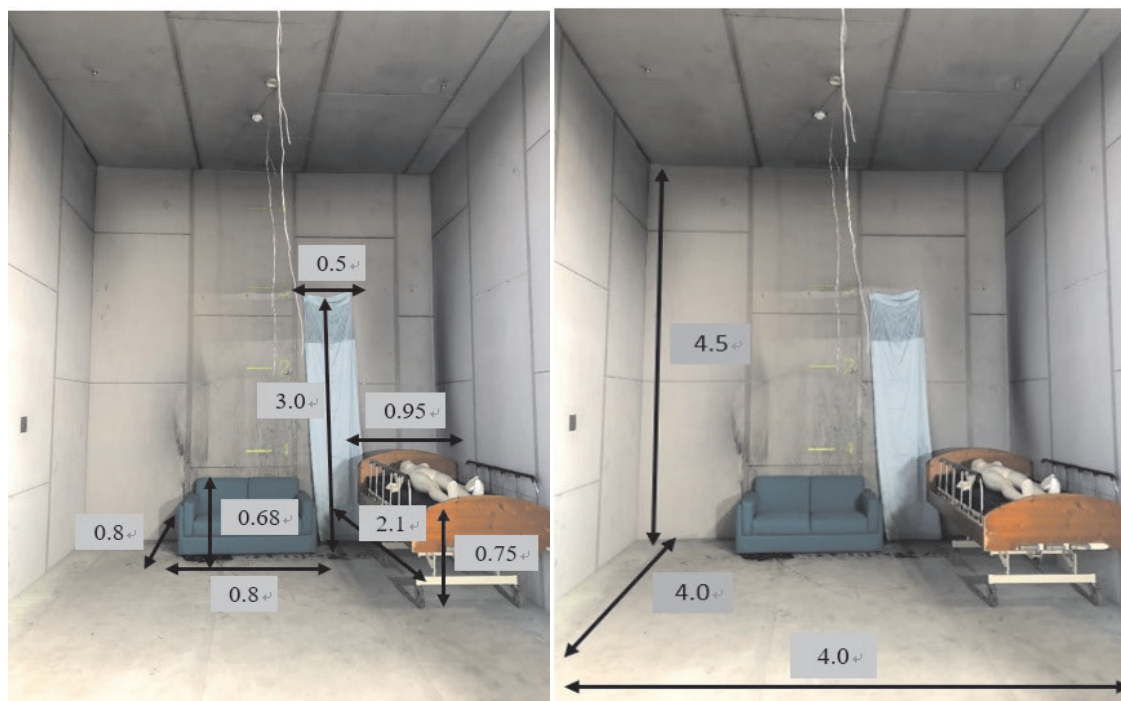


圖 13 實驗場地內部實景

(圖片來源：本研究拍攝)

3. 火源：

(1) 引火物：床墊（長 2.1m、寬 0.95m、高 0.1m），材質為泡棉（如圖 14）。



圖 14 實驗引火物：泡棉床墊

(圖片來源：本研究拍攝)

(2) 引火方式：瓦斯噴槍火焰於於床墊上直接接觸 15 秒。

4. 水道式撒水設備：

病房內依法規內容配置兩只水道式撒水設備（如圖 15），其中 1 只配置於病床上方，兩只噴頭彼此相距 3 米，為快速反應型密閉式撒水頭、標稱動作溫度 68°C 、K 值 30、放水量每分鐘 30 公升以上、放射壓力 0.5 kgf/cm^2 。



圖 15 水道式撒水頭

（圖片來源：本研究拍攝）

5. 側壁型細水霧設備：

利用設置於天花板的偵煙式探測器感知火災，並連動裝置於牆面上的細水霧噴頭（如圖 3-15），噴頭啟動後會針對防護區域進行火焰輻射的探測，搜尋正確的起火源位置，鎖定後火源後即進行 30 分鐘的滅火放射細水霧，用最少量的水源做最有效率的滅火。

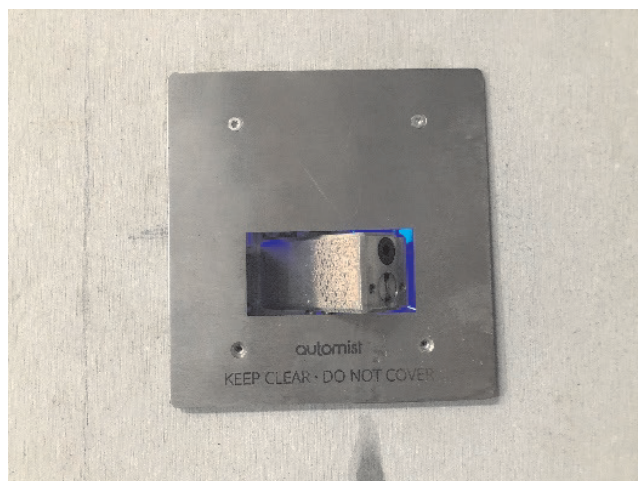


圖 16 側壁型細水霧噴頭

(圖片來源：本研究拍攝)

(二) 紀錄及量測儀器

1. 熱電偶束與溫度記錄器

將熱電偶束(如圖 18)安排於場景正中間及開口位置等 2 處，每組熱電偶束量測點位自 1.8 公尺高開始，每隔 0.6m 佈一熱電偶，直至天花板下方 30 公分，最高處 4.5 公尺，總計有 10 處量測點位，熱電偶將連接至溫度記錄器(如圖 17)進行記錄，存取頻率為每秒一次。

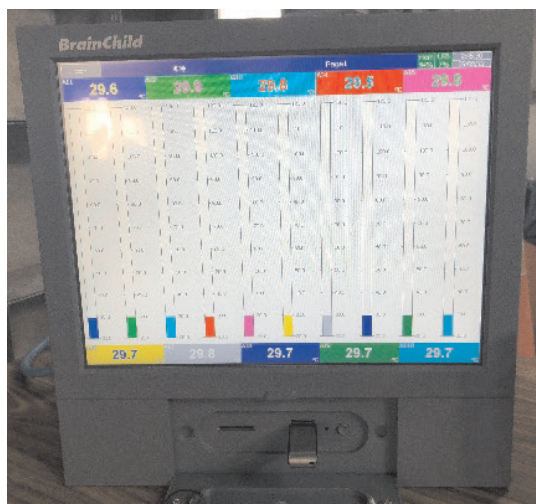


圖 17 溫度記錄器

(圖片來源：本研究拍攝)



圖 18 熱電偶束

(圖片來源：本研究拍攝)

2. 碼表

碼表用以紀錄實驗時間行程，包括引火時間、警報發送時間、蓄積警報發送時間、火災警報發送時間、側壁型細水霧啟動時間、滅火時間、水道式撒水設備作動時間等時間紀錄。



圖 19 碼表

(圖片來源：本研究拍攝)

3. 攝影機

架設攝影機共五台自不同角度全程攝影實火實驗過程，觀察模擬居室中各燃燒物燃燒狀態、消防設備啟動情形及火煙變化，並於實驗後以錄影畫面比對溫度記錄時間進程，以完備實驗數據之建置。



圖 20 攝影機

(圖片來源：本研究拍攝)

4. 照相機

紀錄實驗中場景配置及各設備、器材之建置情形，以利實驗後研究報告之運用。



圖 21 照相機

(圖片來源：本研究拍攝)

六、情境設計與滅火試驗流程

(一) 情境規劃

1. 情境 1 (燃燒未滅火)(如圖 22): 以瓦斯噴槍引火 15 秒後，由火勢自由發展，未實施滅火，實驗過程中，收集實驗場所各點熱電偶溫度、探測器溫度數據，並比較滅火效果與財損程度。
2. 情境 2(使用水道式撒水設備滅火)(如圖 23): 以瓦斯噴槍引火 15 秒後，由火勢自由發展，水道式撒水設備受火勢高溫影響而啟動滅火，實驗過程中，收集實驗場所各點熱電偶溫度、探測器溫度數據，並比較滅火效果與財損程度。
3. 情境 3 (側壁型細水霧滅火)(如圖 24): 以瓦斯噴槍引火 15 秒後，由火

勢自由發展，場所的偵煙探測器感知火災並發送火災訊號至側壁型細水霧，該設備啟動搜尋防護範圍內的火焰，鎖定火源位置後即針對火源位置放射細水霧滅火 30 分鐘，實驗過程中，收集實驗場所各點熱電偶溫度、探測器溫度數據，並比較滅火效果與財損程度。

表 6 實驗情境條件

情境	起火源位置	引火時間	監測儀器	滅火方式
情境 1	床墊	15 秒	熱電偶束	未滅火（空燒試驗）
情境 2	床墊	15 秒	熱電偶束	水道式撒水設備滅火
情境 3	床墊	15 秒	熱電偶束	側壁型細水霧滅火

（資料來源：本研究製作）

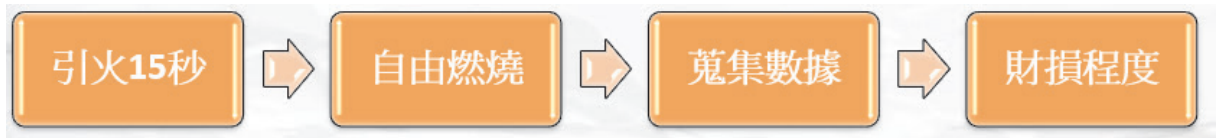


圖 22 情境 1 流程圖

（圖片來源：本研究製作）



圖 23 情境 2 流程圖

（圖片來源：本研究製作）

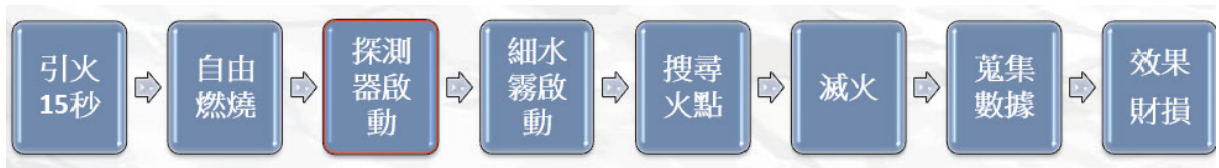


圖 24 情境 3 流程圖

（圖片來源：本研究製作）

（二）實驗步驟

實驗步驟進行說明如下。

1. 場景位置擺設

此步驟將依照 3-5 節場地配置說明事項所規劃場景進行佈置。

2. 火場四周放置滅火設備

於火場四周放置滅火設備進行警戒，一來預防火場突發狀況之發生，或用來熄滅殘火，將以泡沫滅火器為主，當泡沫效能不足時再以水進行降溫滅火。

3. 開啟引火裝置

開啟瓦斯噴槍開關並點燃，使其產生火焰。

4. 溫度記錄器及攝影記錄開始記錄並計時

開啟溫度記錄器，開始記錄熱電偶樹所獲得之溫度數據，攝影記錄開始記錄影像，隨後開始倒數，準備引火進行實驗。

5. 引火

倒數結束，以「瓦斯噴槍」點燃病床上床墊，引火 15 秒後，由火勢自由發展，觀察火勢發展情形、滅火情形與量測溫度數值。人員利用攝影機觀察並記錄，自動數據存取系統，則持續記錄溫度。

6. 依照不同情境進行滅火，完成實驗流程。

噴槍引火後，依個情境設備動作，情境 1 為空燒試驗，情境 2 為水道式撒水設備，情境 3 為側壁型細水霧設備，直到火勢熄滅燃燒結束後，完成燃燒實驗或結束實驗以手動滅火。

7. 數據整理與分析。

工作人員收集並整理實驗數據，做成記錄並加以保存，直到所有實驗項目完成，主要記錄實驗情形及量測數據，包含：

- (1) 熱電偶溫度共 10 處。
- (2) 具記錄溫度數值火警探測器溫度。
- (3) 開始引火時間及情形。
- (4) 引火完成時間及情形。
- (5) 各系統作動時間及情形。

8. 現場清理與廢棄物處理

工作人員將現場進行清理，回復至測試前場景。

九、實驗流程圖

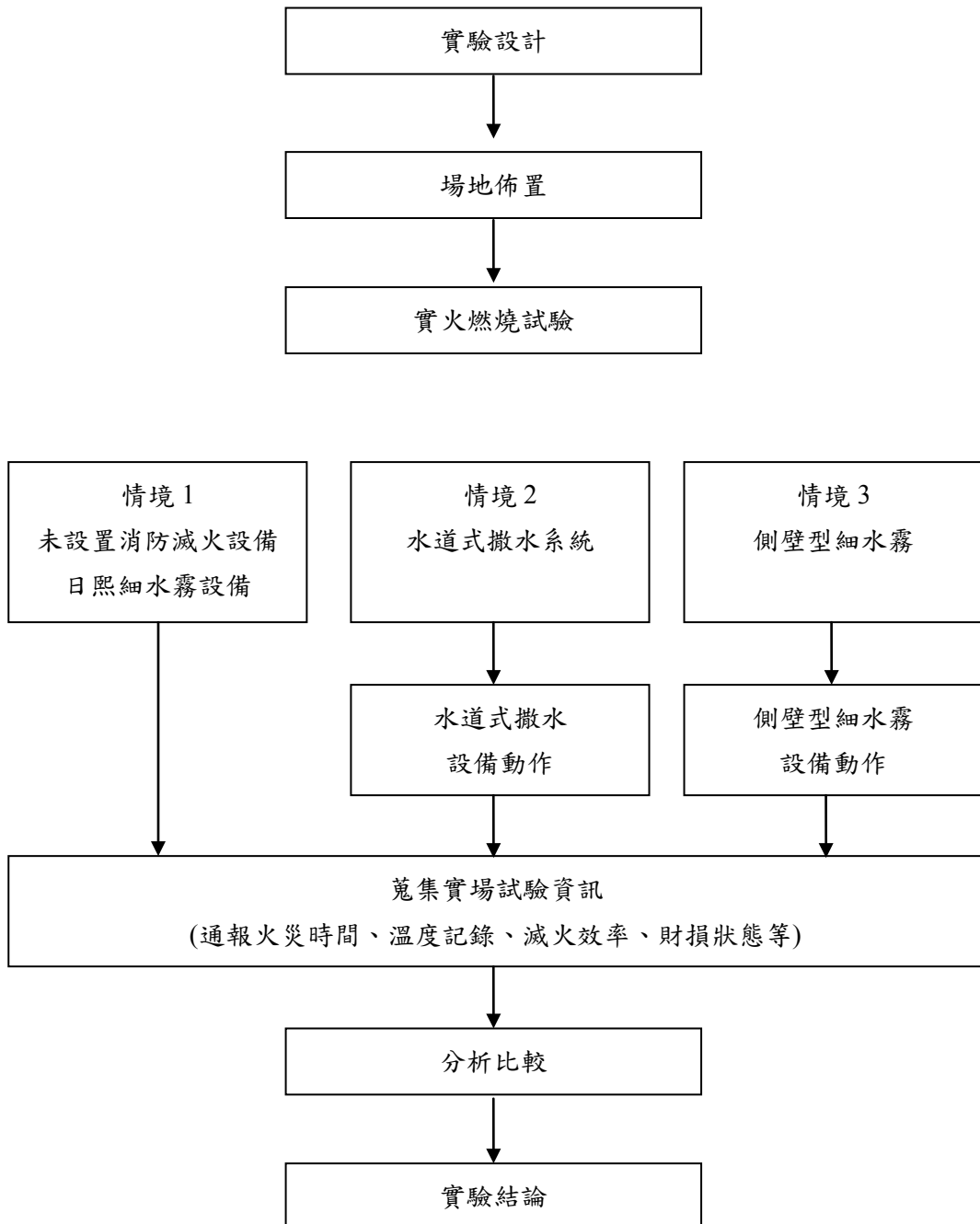


圖 25 實驗流程圖

(圖片來源：本研究繪製)

肆、實驗結果與討論

一、情境 1 實驗結果

本情境為空燒試驗，模擬實驗居室若無任何消防力介入情況下，起火燃燒後的室內溫度上升變化及燃燒情形。由本情境之實驗資訊可得知，在瓦斯噴槍 15 秒完成引火動作，引火後約 100 秒時，預警警報已發送，此時若仍是沒有任何消防力介入的狀態下，溫度會持續上升直到 150 秒時在此發送蓄積警報，由圖 4 1 可以觀察到，在 150 秒後火災溫度呈現劇烈上升，火勢發展進入火災成長期，也在 10 秒後（160 秒時）發出火災警報，猛烈的火災發展使得居室天花板溫度直達兩百度以上，至 270 秒時在起火源旁的沙發，也因為熱輻射回饋的影響，產了未接焰的炭化延燒，此時火勢發展進入到了全面燃燒，直至現場可燃物燃燒殆盡後火勢及溫度才會下降。而在開口處熱電偶束（如圖 4 2）距離火源較遠，但整體曲線仍符合整體預估走向且與圖 4 1 吻合，由分析表 4 2 得知，在火災警報發送時，距樓地板高度 1.8 米處溫度為 30 度左右，隨後溫度急遽上升至 50 多度，此時已會對居室內人員產生致命性危害，因此最佳的黃金避難逃生時期應為火災警報作動以前，由此而知及早發現、通報、應變火災，是確保人命及保護財產的關鍵因子。

表 7 情境 1 實驗進程時間表

時間	實驗進程	照片	備註
0 秒	開始引火		使用瓦斯噴槍直接對床墊引火
15 秒	引火完成		運用碼表準確計時

時間	實驗進程	照片	備註
101 秒 (1'41)	受信總機類比預警訊號		
150 秒 (2'30)	受信總機蓄積訊號		

時間	實驗進程	照片	備註
160 秒 (2'40)	火警警報發布		
270 秒 (4'30)	沙發未接焰，但已開始碳化		
404 秒 (6'34)	實驗結束滅火		

時間	實驗進程	照片	備註
420 秒 (7'00)	查看受災情形		

表 8 實驗情境 1-中央處熱電偶溫度(°C)

時間	高 4.2m	高 3.6m	高 3.0m	高 2.4m	高 1.8m	備註
0 秒	31.8°C	31.9°C	30.4°C	28.1°C	26.5°C	實驗開始
15 秒 (0'15)	32°C	32.1°C	30.8°C	28.3°C	26.7°C	引火完成
101 秒 (1'41)	39.1°C	36°C	32.4°C	30.5°C	27.6°C	預警訊號
150 秒 (2'30)	52.7°C	43.3°C	38.3°C	35.2°C	32.3°C	蓄積訊號
160 秒 (2'40)	59.6°C	46.9°C	39.7°C	37°C	33.8°C	火警警報
270 秒 (4'30)	219.4°C	153.8°C	99.6°C	79.9°C	70.9°C	沙發碳化
404 秒 (6'44)	201.7°C	156.1°C	98.8°C	78.5°C	75.6°C	滅火

(表格來源：本研究製作)

中央熱電偶溫度

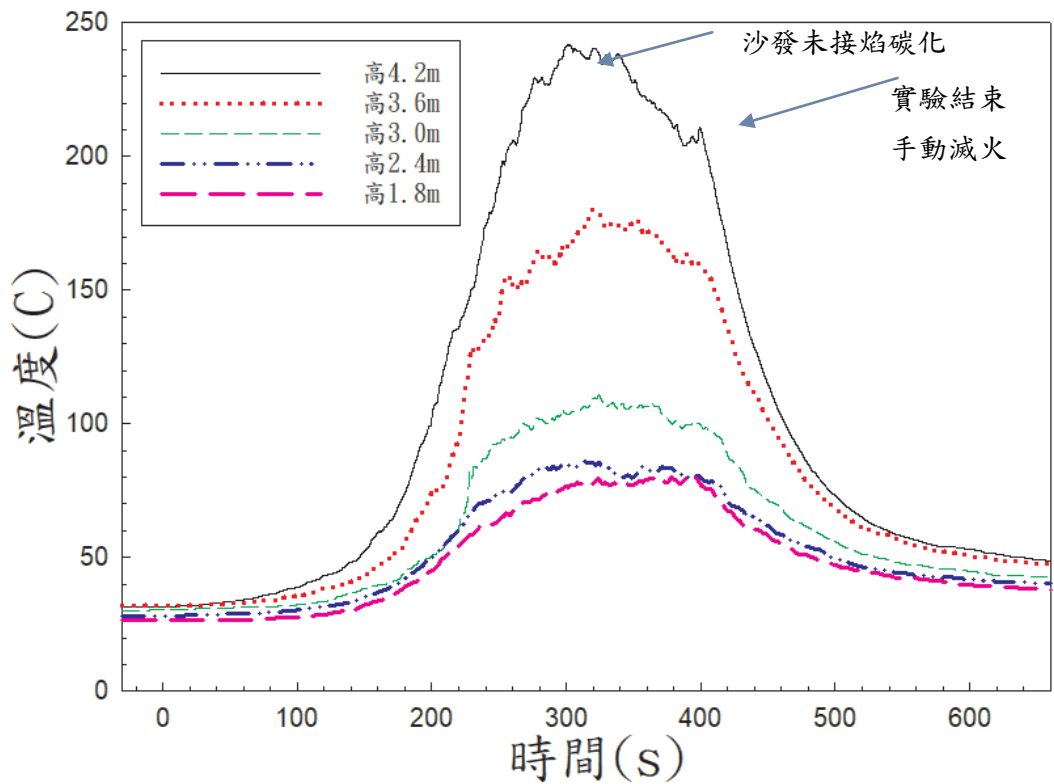


圖 26 情境 1 中央熱電偶時間-溫度曲線圖
(圖片來源：本研究製作)

表 9 實驗情境 3—開口處熱電偶溫度(°C)

時間	高 4.2m	高 3.6m	高 3.0m	高 2.4m	高 1.8m	備註
0 秒	32.1°C	32.2°C	31.8°C	31.3°C	29.4°C	實驗開始
15 秒(0''15)	33°C	32.6°C	31.9°C	31.3°C	29.5°C	引火完成
101 秒(1''41)	40.6°C	38.2°C	33.8°C	32.4°C	30.8°C	預警訊號
150 秒(2''30)	54.3°C	48.8°C	37.9°C	34.9°C	33.1°C	蓄積訊號
160 秒(2''40)	60.7°C	52.5°C	38.7°C	35.7°C	34.1°C	火警警報
270 秒(4''30)	189.1°C	147.5°C	90.6°C	59.1°C	53.3°C	沙發碳化
404 秒(6''44)	207.1°C	163.5°C	102.1°C	60.5°C	52.5°C	滅火

(表格來源：本研究製作)

開口處熱電偶溫度

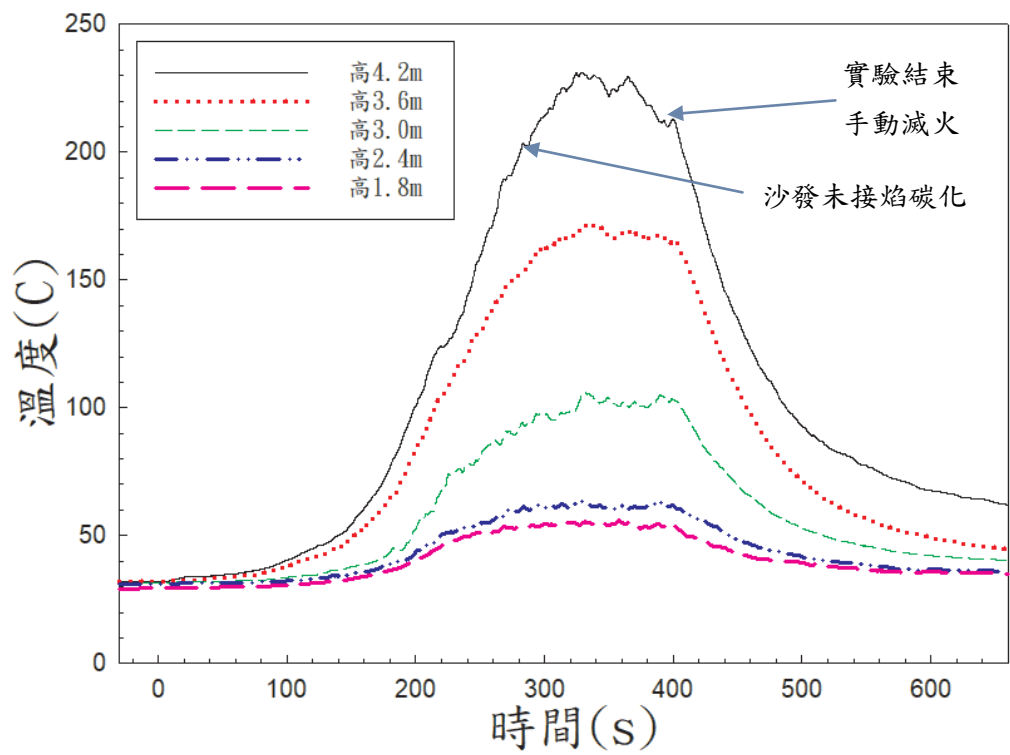


圖 27 情境 1 開口熱電偶時間－溫度曲線圖
(圖片來源：本研究製作)

表 10 實驗情境 1－中央處補償式探測器溫度(°C)

時間	高 4.5m	備註
0 秒	32℃	實驗開始
15 秒(0'15)	32℃	引火完成
101 秒(1'41)	40℃	預警訊號
150 秒(2'30)	54℃	蓄積訊號
160 秒(2'40)	57℃	火警警報
270 秒(4'30)	溫度超過量測設定值	沙發碳化
404 秒(6'44)	溫度超量測過設定值	滅火

(表格來源：本研究製作)

二、情境 2 實驗結果

本情境為居室裝設水道式撒水設備，模擬長照機構的住房消防安全設備，當居室起火燃燒後，水道式撒水設備感應啟動滅火。水道式撒水設備之噴頭為密閉式撒水頭，須由火場的高溫觸發易熔元件而使設備動作，因此由前述實驗數據分析可得知，水道式撒水設備啟動時機為高溫煙層開始蓄積於天花板時，直到 125 秒水道式撒水設備方啟動撒水滅火。

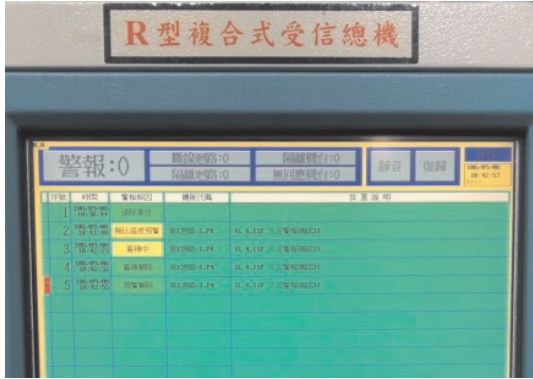
由（圖 43）可以得知，當火災發生後 105 秒時，火勢目測已超過兩米高，天花板溫度已達 50 度以上，但此時密閉式的撒水頭仍然還未動作，本次試驗使用標稱動作溫度 68 度的密閉式撒水頭，因此直到 125 秒時水道式撒水設備順利作動，此時火勢已屬成長期發展，當水道式撒水頭動作後，可以發現場所溫度急遽下降，有明顯的滅火降溫效果，居室內溫度驟降為 30 多度，同時也因為撒水設備放水的緣故，水滴粒子會擾動冷卻煙層，因此可以明顯觀察到整個居室的溫度會一起平均的下降，水道式撒水設備動作後，至 180 秒時火勢明顯變小，但卻無法完整撲滅，於床鋪上有殘火因遮蔽物及放水角度及受水密度的關係，只能將火勢侷限卻無法完全撲滅。

綜合上述，水道式撒水設備雖能有效對火勢降溫侷限，但礙於啟動設備需靠溫度感熱，時間上會需要比較久，火勢已進行到成長期，煙層溫度已上升至一定高溫且中性帶逐漸下降，因此場所受災的程度也較為嚴重。

表 11 情境 2 實驗進程時間表

時間	實驗進程	照片	備註
0 秒	開始引火		使用瓦斯噴槍 直接對床墊引 火
15 秒	引火完成		
90 秒 (1'30)	受信總機預警警 報		

時間	實驗進程	照片	備註
105 秒 (1'45)	火勢超過兩米高度		擴大延燒
125 秒 (2'05)	水道式撒水頭動作/受信總機蓄積警報		
133 秒 (2'13)	蓄積警報解除		

時間	實驗進程	照片	備註
			
156 秒 (2'36)	預警警報解除	 	
180 秒 (3'00)	侷限火勢但無法撲滅		

時間	實驗進程	照片	備註
240 秒 (4''00)	侷限火勢但無法撲滅		
300 秒 (5''00)	侷限火勢但無法撲滅		
360 秒 (6''00)	手動滅火		
370 秒 (6''10)	查看受災情形		

(表格來源：本研究製作)

表 12 實驗情境 2—中央處熱電偶溫度(°C)

時間	高 4.2m	高 3.6m	高 3.0m	高 2.4m	高 1.8m	備註
0 秒	31°C	31°C	30.8°C	30.5°C	30.4°C	開始引火
15 秒(0'15)	32.4°C	31.8°C	31.4°C	30.7°C	30.5°C	引火完成
90 秒(1'30)	45°C	37.5°C	32.8°C	32.9°C	33.2°C	預警警報
105 秒(1'45)	51.7°C	41.6°C	34.5°C	34.1°C	34.6°C	火勢超過兩米
125 秒(2'05)	52.6°C	43.4°C	34°C	32.3°C	34.4°C	撒水頭動作/蓄積警報動作
133 秒(2'13)	49.5°C	42.1°C	33.3°C	31.2°C	33.4°C	蓄積警報解除
156 秒(2'36)	44.6°C	39.7°C	30.6°C	28.6°C	30°C	預警警報解除
180 秒(3'00)	41.7°C	37.7°C	28.9°C	27.6°C	28.3°C	侷限火勢但無法撲滅
240 秒(4'00)	36.4°C	34.7°C	27.7°C	27.3°C	27.5°C	侷限火勢但無法撲滅
300 秒(5'00)	34.9°C	33.5°C	27.6°C	27.6°C	27.5°C	侷限火勢但無法撲滅
360 秒(6'00)	33.8°C	32.7°C	27.6°C	27.2°C	27.1°C	手動滅火

(表格來源：本研究製作)

中央熱電偶溫度

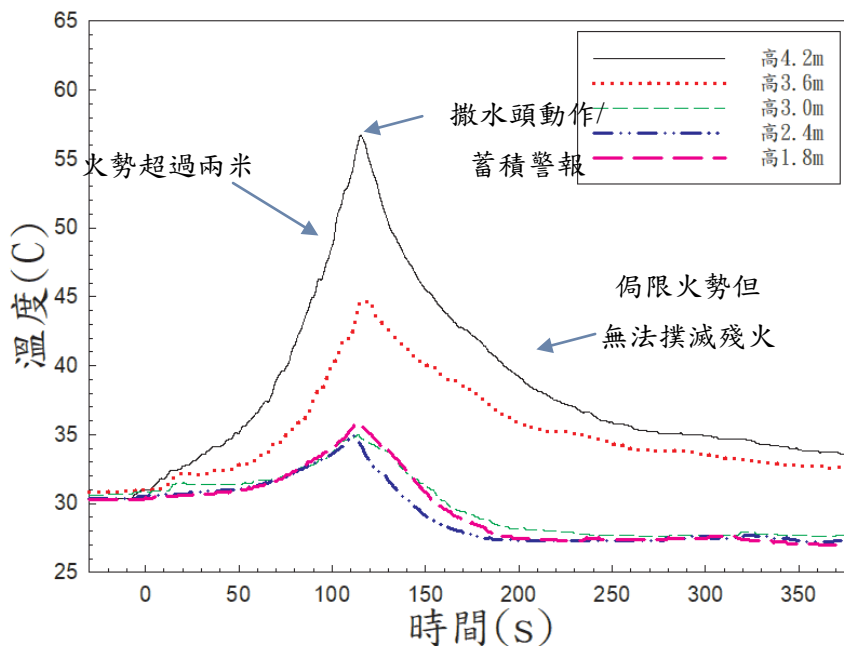


圖 28 情境 2 中央熱電偶時間—溫度曲線圖

(圖片來源：本研究製作)

表 13 實驗情境 2—開口處熱電偶溫度(°C)

時間	高 4.2m	高 3.6m	高 3.0m	高 2.4m	高 1.8m	備註
0 秒	31.3°C	31.2°C	30.8°C	30.4°C	30.5°C	開始引火
15 秒	32.8°C	32.4°C	31.2°C	30.5°C	30.6°C	引火完成
90 秒(1'30)	46.5°C	42.2°C	33.9°C	31.8°C	32°C	預警警報
105 秒(1'45)	54°C	46.7°C	34.8°C	32.5°C	32.7°C	火勢超過兩米
125 秒(2'05)	58°C	46.6°C	34.3°C	32.8°C	32°C	撤水頭動作/蓄積警報動作
133 秒(2'13)	55.2°C	44.1°C	34.3°C	32.7°C	31.2°C	蓄積警報解除
156 秒(2'36)	48.4°C	41.5°C	33.7°C	32.1°C	28.4°C	預警警報解除
180 秒(3'00)	44.4°C	39°C	33.3°C	31.4°C	27.6°C	侷限火勢但無法撲滅
240 秒(4'00)	38.9	35.6	32.6	30.4	27.3	侷限火勢但無法撲滅
300 秒(5'00)	36.9	33.7	31.9	29.1	27.7	侷限火勢但無法撲滅
360 秒(6'00)	35.5	33.2	31.8	28.6	27.2	手動滅火

(表格來源：本研究製作)

開口處熱電偶溫度

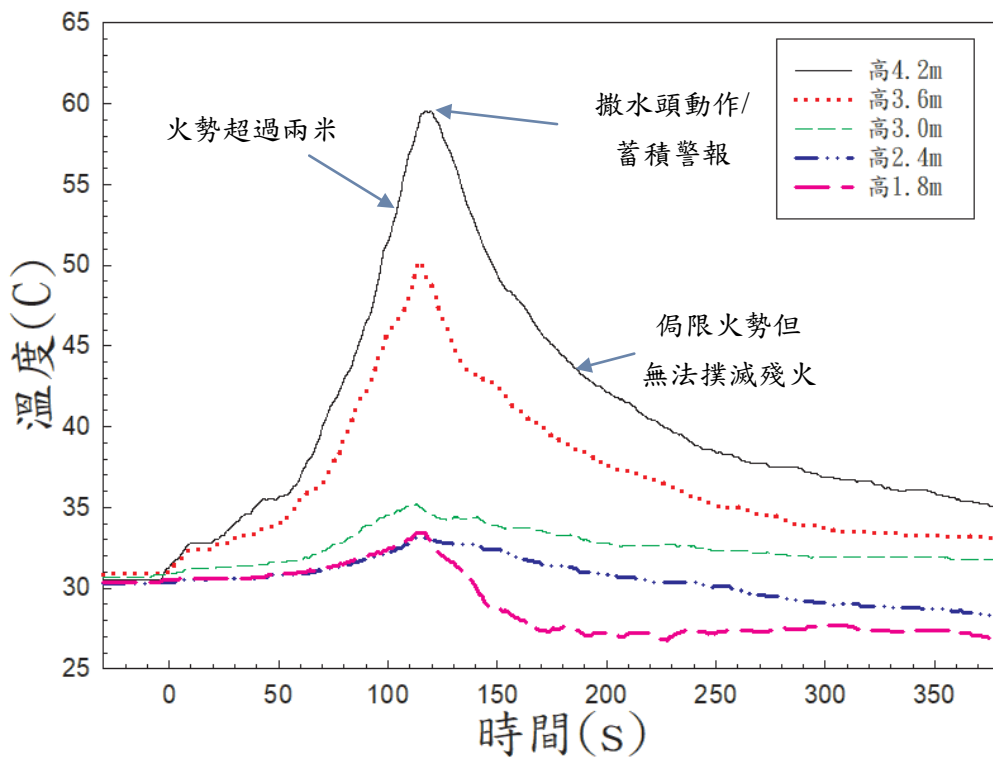


圖 29 情境 2 開口處熱電偶時間－溫度曲線圖

(圖片來源：本研究製作)

表 14 實驗情境 2－中央處補償式探測器溫度(°C)

時間	高 4.5m	備註
0 秒(0''00)	30°C	開始引火
15 秒(0''15)	30°C	引火完成
90 秒(1''30)	38°C	預警警報
105 秒(1''45)	43°C	火勢超過兩米
125 秒(2''05)	54°C	撒水頭動作/蓄積警報動作
13 秒(2''13)	53°C	蓄積警報解除
156 秒(2''36)	67°C	預警警報解除
180 秒(3''00)	49°C	侷限火勢但無法撲滅
240 秒(4''00)	39°C	侷限火勢但無法撲滅

時間	高 4.5m	備註
300 秒(5''00)	35°C	侷限火勢但無法撲滅
360 秒(6''00)	35°C	手動滅火

(表格來源：本研究製作)

三、情境 3 實驗結果

由實驗情境 3 可以發現，當引火 15 秒後，偵煙式探測器²於 25 秒時（引火後 10 秒）即偵測到火災訊號，並同時連動側壁型細水霧設備，該設備噴頭上的紅外線感知裝置開始於防護區域掃描火源位置，至 51 秒時鎖定了火源位置，53 秒開始放射細水霧針對火源處開始滅火，而在 77 秒時就撲滅火勢。

自圖 4-5 可以觀察到，當設備開始啟動的時候，天花板溫度不過 30 多度，此設備可以說是啟動的相當迅速，但該設備啟動噴頭後並不會立即放射，而是使噴頭搜尋所防護的區域，尋找出起火源產生的異常紅外線，加以鎖定正確起火位置，因此自 25 秒啟動噴頭後，直至 51 秒時才放射細水霧，這過程當中噴頭不斷來回搜尋起火源，此一系統雙訊號啟動³設計除了可以減低誤動作的機率外，更重要是不同於水道式撒水設備的無差別式放水，側壁型細水霧是針對起火源作動放射，利用最少量的水源做最有效率的滅火，因此搜尋火焰輻射的時間會較偵煙探測器作動的時間長。

由於側壁型細水霧是安裝於距樓地板 1.4 米高度的水平放射裝置，因此當設備開始放射滅火時，並無法立即冷卻蓄積於居室高處之煙層，因此呈現圖 4-5 的實驗溫度歷程，於 77 秒時滅火成功，居室的溫度呈現穩定的緩慢下降。

此外觀察 1.8 米高度的溫度曲線，可以察覺當設備水平放射細水霧後，於 1.8 米處附近的熱源被細水霧粒子吸收，有明顯的溫降情形，不同於其他高度的溫度曲線，符合實驗推估情形。

由於側壁型細水霧做動時間非常之早，在居室上於室溫的 30 多度時就已經滅火成功，因此情境 3 的溫降曲線不如情境 2 之溫降效果明顯，原因在於情境 3 的設備作動時間非常迅速，實驗的居室基本上溫度仍尚未提升，最高溫也不超過 40 度，因此側壁型細水霧滅火設備對場所安全的防護性、動作時間與準確性，經由本情境試驗可以說是非常之優異。

² 本實驗使用偵煙光電侷限型 1 種探測器。

³ 訊號 1-偵煙探測器啟動裝置;訊號 2-紅外線探頭搜尋防護區內火源。

表 15 情境 3 實驗進程時間表

時間	實驗進程	照片	備註
0 秒	開始引火		使用瓦斯噴槍直接對床墊引火
15 秒	引火完成		
25 秒	偵煙式探測器動作，細水霧裝置啟動開始偵測火源位置		
51 秒	細水霧裝置紅外線偵測器鎖定火源位置		

時間	實驗進程	照片	備註
53 秒	細水霧裝置第一次放射細水霧		
63 秒 (1'03)	細水霧裝置暫停		幫浦調整恆壓壓力
64 秒 (1'04)	細水霧裝置第二次放射細水霧		
77 秒 (1'17)	滅火完成		

時間	實驗進程	照片	備註
83 秒 (1'23)	細水霧裝置第二次暫停		幫浦調整恆壓壓力
84 秒 (1'24)	細水霧裝置第三次放射細水霧		系統設定，持續放射 30 分鐘
90 (1'30)	關閉細水霧設備，比較受災程度		

(表格來源：本研究製作)

表 16 實驗情境 3 中央熱電偶溫度(°C)

時間	高 4.2m	高 3.6m	高 3.0m	高 2.4m	高 1.8m	備註
0 秒	32.4°C	32°C	28.8°C	27.2°C	26.7°C	實驗開始開始引火
15 秒	32.6°C	32°C	29.2°C	27.8°C	27.2°C	引火完成
25 秒	33.1°C	32.1°C	29.4°C	27.8°C	27.3°C	裝置啟動偵測火源
51 秒	34.6°C	33°C	30°C	28.2°C	27.8°C	鎖定火源位置
53 秒	34.9°C	33.1°C	30°C	28.2°C	27.9°C	第一次放射細水霧
63 秒(1'03)	35°C	33.4°C	30.6°C	28.4°C	26.5°C	暫停放射

時間	高 4.2m	高 3.6m	高 3.0m	高 2.4m	高 1.8m	備註
64 秒(1'04)	34.9℃	33.4℃	30.7℃	28.6℃	26.5℃	第二次放射細水霧
77 秒(1'17)	34.6℃	34.4℃	32.8℃	32.1℃	27.0℃	滅火完成
83 秒(1'23)	33.3℃	32.8℃	30.2℃	28.4℃	27.2℃	第二次暫停放射
84 秒(1'24)	33.2℃	32.8℃	30.3℃	28.4℃	27.2℃	第三次放射細水霧

(表格來源：本研究製作)

中央熱電偶溫度

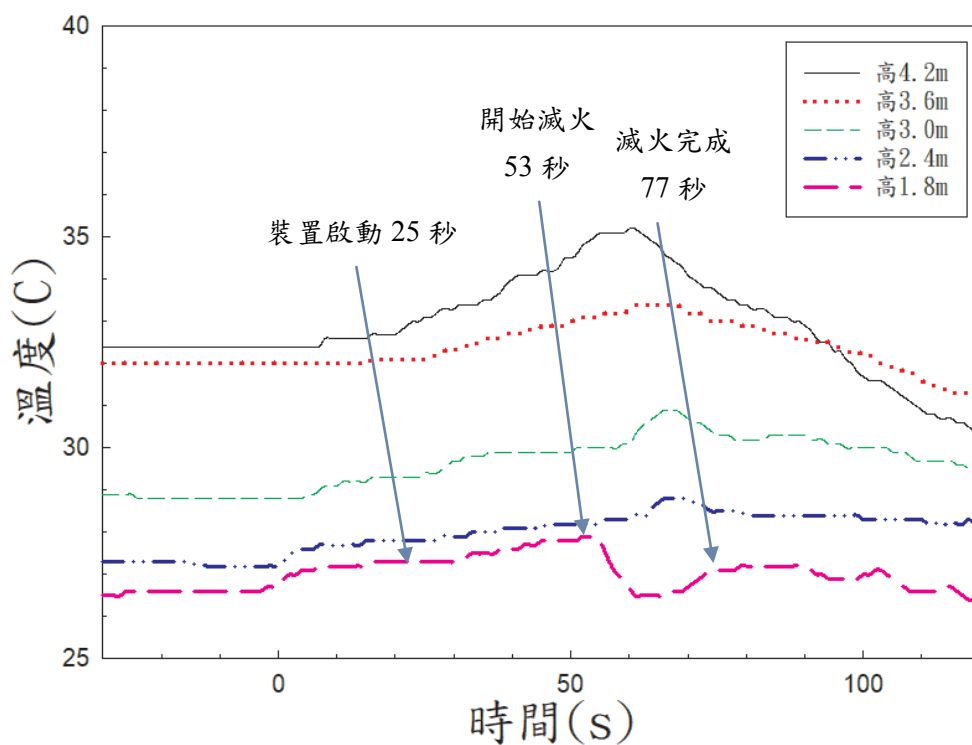


圖 30 情境 3 中央熱電偶時間－溫度曲線圖

(圖片來源：本研究製作)

表 17 實驗情境 3 開口處熱電偶溫度(°C)

時間	高 4.2m	高 3.6m	高 3.0m	高 2.4m	高 1.8m	備註
0 秒	33.3℃	32.1℃	31.6℃	31.1℃	28.3℃	實驗開始開始引火
15 秒	33.7℃	32.4℃	31.8℃	31.2℃	28.5℃	引火完成
25 秒	34.2℃	32.8℃	31.8℃	31.3℃	28.6℃	裝置啟動偵測火源

51 秒	35.5℃	34℃	32.3℃	31.4℃	28.8℃	鎖定火源位置
53 秒	35.8℃	34.1℃	32.3℃	31.4℃	28.8℃	第一次放射細水霧
63 秒(1'03)	36.3℃	34.9℃	32.5℃	31.5℃	29℃	暫停放射
64 秒(1'04)	36.3℃	35℃	32.5℃	31.5℃	29℃	第二次放射細水霧
77 秒(1'17)	34.6℃	34.4℃	32.8℃	32.1℃	29.8℃	滅火完成
83 秒(1'23)	34℃	34.1℃	32.7℃	31.9℃	29.7℃	第二次暫停放射
84 秒(1'24)	33.9℃	34℃	32.6℃	31.9℃	29.7℃	第三次放射細水霧

(表格來源：本研究製作)

開口處熱電偶溫度

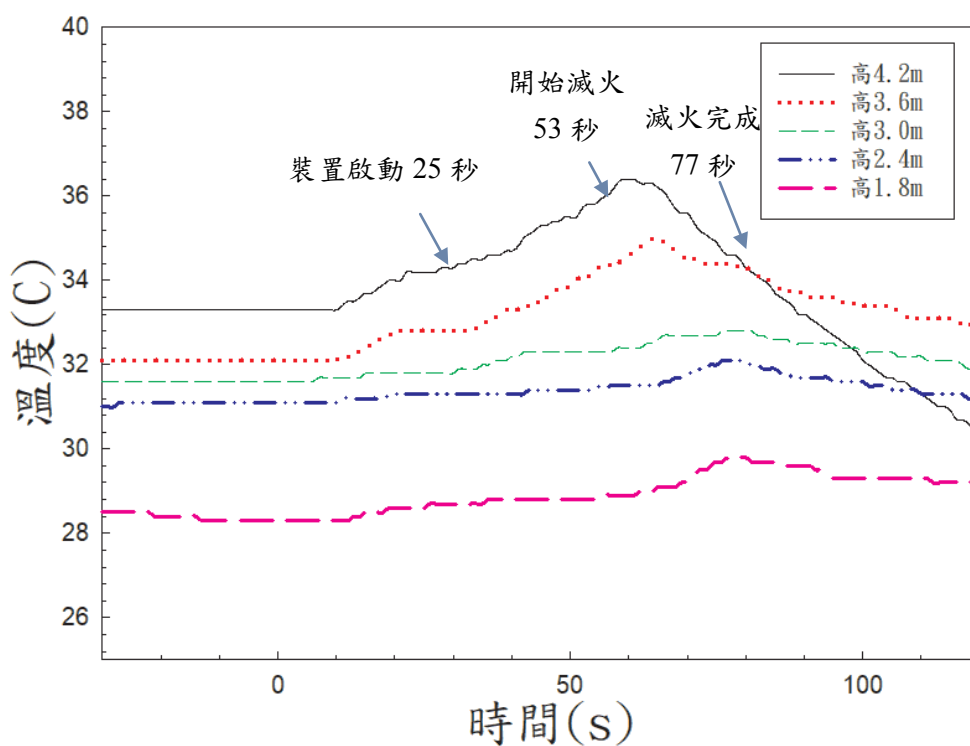


圖 31 情境 3 開口熱電偶時間—溫度曲線圖

(圖片來源：本研究製作)

表 18 實驗情境 3 補償式探測器溫度(°C)

時間	高 4.5m	備註
0 秒(0''00)	33°C	實驗開始開始引火
15 秒(0''15)	36°C	引火完成
25 秒(0''25)	37°C	裝置啟動開始偵測火原位置
51 秒(0''51)	40°C	鎖定火源位置
53 秒(0''53)	39°C	第一次放射細水霧
63 秒(1''03)	36°C	暫停放射
64 秒(1''04)	35°C	第二次放射細水霧
77 秒(1''17)	32°C	滅火完成
83 秒(1''23)	30°C	第二次暫停放射
84 秒(1''24)	30°C	第三次放射細水霧

(表格來源：本研究製作)

四、情境綜合比較

將情境 1、2、3 的熱電偶時間-溫度曲線圖交叉比較（如圖 32、33），可以發現以下結論：

（一）發現火災應變時間比較：

1. 火災感知時間：

由圖 4 7 可以分析得知，感知場所發生火災並應變的時間，以情境 3 場所裝設側壁型細水霧設備最早（25 秒），其次為水道式撒水設備（125 秒），而情境 1 若沒有任何消防力介入的情形之下，火勢會擴大延燒溫度持續飆升，煙層高度不斷下降約 150 秒時煙層濃度即到達 1.8 米處對場所內住民產生危害。

2. 火災撲滅時間：

由於側壁型細水霧設備是鎖定起火源後，針對性的滅火，因此經由圖 4 7 可以得知，當設備於 53 秒時開始滅火，並於 77 秒時火是就被撲滅，滅火時間僅用了 24 秒，水道式撒水設備於 125 秒時撒水動作，並於 180 秒抑制侷限火勢，侷限火勢時間為 55 秒，足足為側壁型細水霧滅火時間之兩倍，故單論滅火所需時間為針對火源放射的側壁型細水霧有效高之滅火效率，在分秒必爭的火災現場，能夠越早偵知火災，消防設備就越

能及早抑制火勢，於火場內的人員生存的機率就更高了一些。

3. 人員應變時間：

本實驗引火方式以噴槍對床墊直接引火，火勢發展來的直接快速，不同於電器火災因放電火火花所引起的火災，燃料先經歷過燠燒、發焰、成長、擴大、延燒等階段。以噴燈直接加熱燃料所造成的火災，對於應變人員來說應變時間上勢必極為緊迫，不同於正常的火勢發展，但從災例看來在 101 年的台南醫院北門分院正是住民刻意縱火引燃燃料、106 年的龍潭愛心長照看護使用蠟燭不慎引燃燃料造成火勢發展猛烈，對於值班人員來說皆為應變時間不足，因此更凸顯了在人員不足、應變時間不充裕的情況之下，自動滅火系統的重要性。

(二) 居室內溫度比較：

裝設側壁型細水霧設備作動時間最早，應變時間也最短，在溫度尚未升高時約 30 多度、時間為 25 秒時（如表 4-13），即感知居使濃煙發出設備動作訊號啟動防護，水道式撒水設備，感知火災後啟動該設備滅火，由於水道式撒水設備為密閉式撒水頭，啟動該設備須由高溫觸發其易熔元件，因此須待高溫煙層蓄積於天花板一段時間後（125 秒），該設備方作動滅火，也因為啟動設備較晚，因此居室內的溫度也較情境 3 高（為 50 多度以上）。情境 1 的空燒試驗，在未有消防力介入的情況下，場所溫度由於全面燃燒，可以直達兩百多度以上，由此而知場所發生火災時，及早有消防設備的介入，抑制火勢成長絕對是減少災損與確保人命的的關鍵因子，側壁型細水霧設備是三個試驗情境中使試驗環境溫度最低的、最不易造成人命傷亡會是財損的情境。

各情境實驗後溫度比較發現，在火勢開始成長後情境 1 的溫度較低於其他兩種情境，於實驗後檢討實驗變因發現，由於本實驗做實場試驗所用之燃料為向長照機構徵用廢棄之床墊，於實驗後檢討發現，本次試驗雖床墊大小皆相近，但材質卻有泡棉及乳膠兩種，造成實驗情境 1 溫度較低之情形產生，但單以火災溫度曲線的發展樣態來說，仍可以說明各情境之比較，惟燃料材質不一造成實驗變因，應作為往後實場燃燒試驗時必須改進之部分。

在 NPFA92B 中指出火源成長至一臨界點後，其熱釋放率會與時間的平方成正比 $Q = \alpha t^2$ （ α ：火源的成長係數（kW/S²）， t ：有效的燃燒後的時間），此式稱為 "T-Squared Fires"，使用成長時間的觀念，依火源成長速率又可區

分成 Ultra-fast、Fast、Medium 及 Slow 四種成長曲線，各種型式的火源成長係數與成長樣態不同。棉製/聚酯，彈簧床墊為緩慢（Slow）型態火災成長係數 α 為 0.002931 (kW/S²)。

（三）水損程度

情境 2 水道式撒水設備放水量為 30L/min 且為無差別式放水（如表 19），部分水源未能實際放射於火點上實施滅火，導致有多餘水源撒落於非火點區域。而情境 3 側壁型細水霧除了水源放射量為 5.6L/min 僅為水道式撒水設備之六分之一，更大的不同是側壁型細水霧是針對火源放射滅火，所放射之細水霧粒子本身汽化效率就比水滴粒子高，且是朝著熱源而放射，因此大部分放射的水源都能吸熱而汽化運用於滅火作業上，較少有多餘的水源噴射於非火點區域，相較水道式撒水設備較不易造成水損。

表 19 設備實驗比較分析表

	側壁型細水霧	水道式撒水設備
設備啟動時間	53 秒	125 秒
火勢熄滅時間	77 秒	180 秒(侷限)
滅火花費時間	24 秒	55 秒
火災發生 90 秒後天花板溫度	33 度(77 秒時火勢已熄滅)	45 度
火勢熄滅後溫度	34.6	41.7
4.2m 設備啟動的溫度	34.9 度	52.6 度
熱煙層擾動情形	無	有
兩米處濃煙	無	有
對於人員呼吸影響	小	嚴重
對於火災應變人員影響	小	嚴重
水損程度	少	較多
放水量	5.6L/min	30L/min

（資料來源：本研究製作）

中央熱電偶溫度4.2m

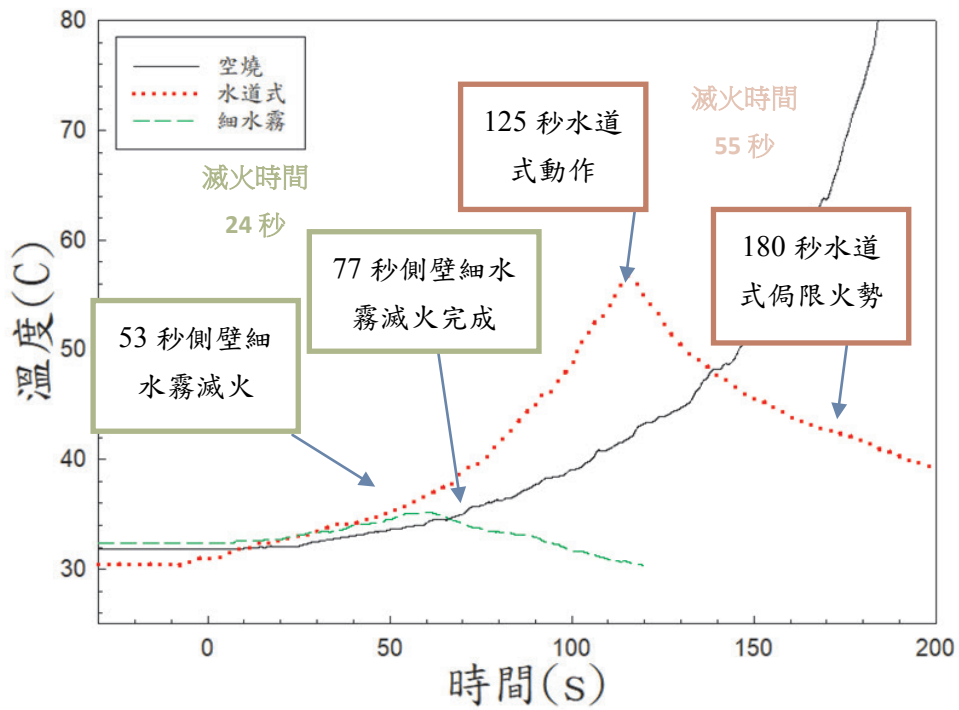


圖 32 情境 1、2、3 中央熱電偶時間－溫度曲線圖

(圖片來源：本研究製作)

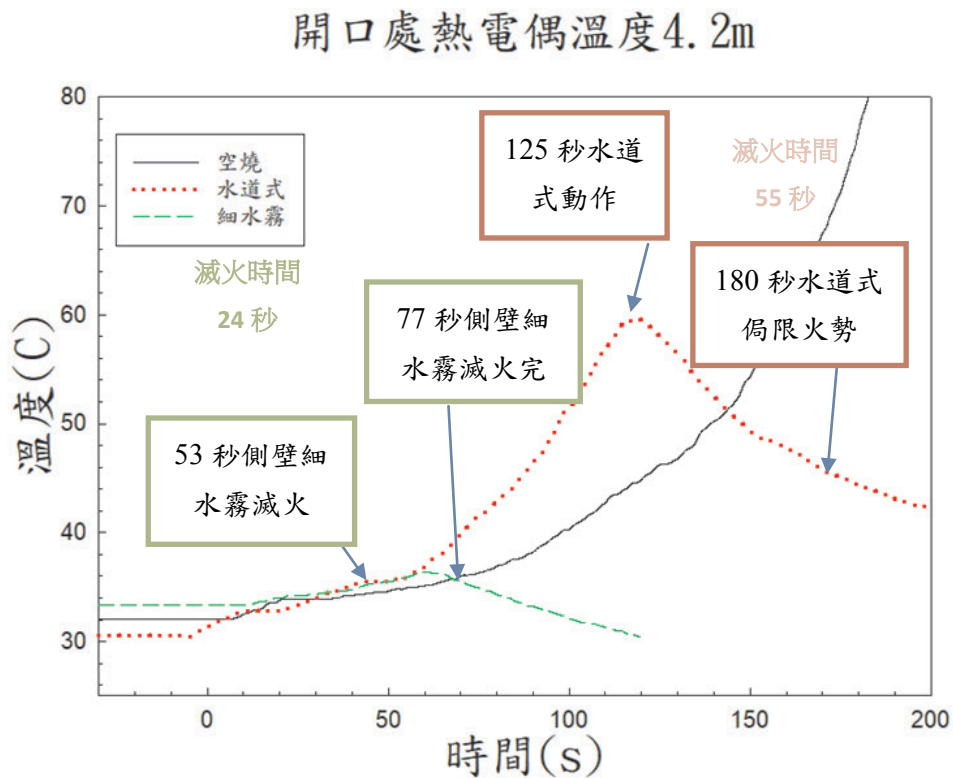


圖 33 情境 1、2、3 開口熱電偶時間－溫度曲線圖

(圖片來源：本研究製作)

五、實驗完成後之發現

(一) 水道連結型撒水設備放水時，擾動熱煙層使居室迅速佈滿濃煙

火勢開始產生時，產生的熱煙因為溫度較高密度較小因而向上浮生，因而熱煙蓄積於天花板型形成熱煙層（如圖 34）。

然而水道式撒水設備的撒水頭安裝於天花板上，該設備啟動後水滴粒子穿越熱煙層帶動強烈氣流，將聚積於天花板的熱煙向空間環境四周推送，可能劇烈擾動煙層而使濃煙與致命性有毒氣體充斥於環境空間中，造成住民或火災應變人員之危害（如圖 35）。相對的側壁型細水霧因噴頭安裝於側牆高 1.4 公尺處，於火災初期放射時放射水霧粒子並未穿越熱煙層，不易造成熱煙擾動（如圖 36），可以確保場所人員活動的高度不易受到熱煙侵襲，更適合於長照機構的住房設置。



圖 34 熱煙層蓄積於天花板之下

(照片來源：本研究拍攝)



圖 35 水道式設備放射時水滴粒子擾動煙層情形

(照片來源：本研究拍攝)



圖 36 側壁型撒水頭放射時未明顯擾動煙層

(照片來源：本研究拍攝)

(二) 非密閉侷限的空間，無法凸顯細水霧的排氧滅火機制優勢

排氧效應是細水霧設備最大的滅火優勢，但在諸多的災例中可以得知，實際上的住房往往有空調、外氣流通的窗戶、隔間未頂實樓板，甚至住房房門沒有關閉等情形，形成半開放性的場所或是開放性外氣流通之場所，如同本實驗場地開口較大(4m x 4.2m)，則細水霧的排氧效應難比被凸顯出來，滅火效率可能會有所打折。

(三) 本實驗場景條件下，水道型撒水設備可以有效的抑制火災，但不能完全有效撲滅火勢

消防署於 107 年 5 月 21 日由陳署長文龍主持召開研商水道連結型自動撒水設備設置基準會議紀錄載記，水道連結型自動撒水設備設置基準第二條基準用語定義建議增列說明：水道連結型自動撒水設備功能在於控制火勢而非滅火，可發揮降低溫度、減少煙氣作用，讓室內保持勉強安全狀態，以利看護人員進入搶救行動不便人員。

在本實驗的情境條件下，情境 2 水道式連結型撒水設備實驗結果顯示能成功的抑制火勢，但並無法完全撲滅火勢，此項實驗結果與我國水道連結型撒水設備設置基準訂定時，國內專家學者定位此項設備的角色功能不謀而合，真實呈現於實驗結果之上，這樣的實驗結果也讓我們省思，水道型撒水設備於設置時必須更謹慎考量環境開口大小與高度及撒水頭配置的

位置來做設計，才能使本項設備發揮最大的功效。

伍、結論與建議

一、結論

(一) 側壁型細水霧適用於長照住房

經由實驗後發現側壁型細水霧側向放射不擾動煙層，並且於短時間內成功撲滅火勢，適合裝置於長照機構的住房內。

(二) 側壁型細水霧滅迅速滅火，保全人命減低財損

保障人命與減低財損，最重要的關鍵是在及早發現並有消防力的介入抑制火勢，於情境 3 場所若有裝設側壁型細水霧設備，由於側壁型細水霧是由煙感知火災並啟動設備，相較於水道式撒水設備由熱感知動作，能夠更早發現火災（如圖 37）。同時由於及早的設備動作，因此在火勢尚未成長時，即開始做動設備抑制火勢，因此火災撲滅時間亦較水道式撒水設備為短，因此有較好之滅火效率。

然而側壁行細水霧設備並不需要等待受信總機發報由值日人員前往察看，這也是一種主動式的滅火設備，側壁型細水霧設備是雙重確保的設備，場所的應變人員固然重要但若在應變人員無法及時應變處理火災時，側壁型細水霧設備能及時的抑制撲滅火勢，保障人命降低災損。

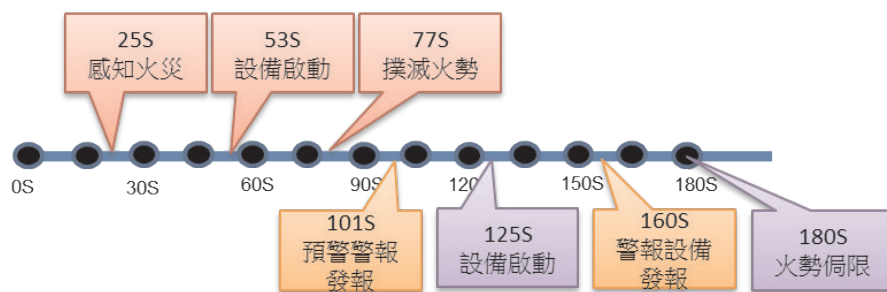


圖 37 各情境關鍵時間軌跡

（圖片來源：本研究製作）

(三) 側壁型細水霧設備節省用水量，少水損

裝設了側壁型細水霧設備的場所，能讓人員於火勢尚在初期成長階段撲滅火勢將災損程度減至最低。同時側壁型細水霧設備有別於一般的固定式主動滅火設備（如傳統撒水設備、水道式撒水設備、一般的細水霧設備），

該設備啟動後會藉由噴頭感應器搜尋防護區域火源輻射，鎖定起火源位置針對性的滅火噴射，以最少量的用水做最有效率的滅火。

二、建議

（一）側壁型細水霧系統有火源遮蔽性問題，待未來研究解決

因為水平放射的特點，若火源與噴頭之間有遮蔽物、阻礙物的干擾，此設備是否能正常探測到火源及準確滅火是本研究於實驗過程中所發現之問題。以實際的長照機構住房，會有許多住民的生活物品、隔簾等遮蔽物，若火源發生於此類遮蔽物後面，如何運用設置不同防護角度、不同防護區域的側壁型細水霧噴頭，相互補強防護區域遮蔽火源之問題，是我們將來所欲克服的議題及延伸研究的方向目標。

（二）設計全尺寸仿真長照住房火災試驗

本研究所設計之實驗及情境為比較兩設備及空燒試驗，於火災初期及成長期之滅火效能，因此未彙整收集到各情境最盛期及衰退期之數據。同時本研究有利實驗過程拍攝影片紀錄，開口部設計較大、居室高度也較高為挑高空間，不同於正常一般住房較易蓄積煙熱之情形，與實際住房的情況略有不同。

未來希望能延續本案之實驗，接續針對實際長照住房之空間大小、開口、可燃物、擺設、線路配置、人員居住狀態及燃燒各時期樣態等實際情況做一個全尺寸之燃燒試驗，藉由仿真實住房的燃燒試驗，可以突破本研究關於開口過大、高度挑高、火災實驗討論僅於初期與成長期、實驗場地燃料不如真實住房等研究限制。

長照機構於病房設計時，除符合建築法規外，更應考量到火災安全之需求與住民避難弱勢之特性，天花板高度與開口尺寸，均為影響室內火災成長情境之重要因子，長照機構於病房設時，除符合建築法規外，更應考量到火災安全之需求與住民避難弱勢之特性，如住房門一律使用防火門，隔牆頂實樓板並以實牆為要求，不使用木板隔間，讓每個住房能形成簡易的待援空間，出入口加大方便人員搬運或避難。

（三）側壁型細水霧多火點與電器火災情境試驗

從我國近年來長照機構災例中得知，縱火為長照機構發生火災的其中一項主因，以縱火的案件而言，起火點不會限定於居室的單點，往往都是會有兩個以上的起火點，設備撲滅其中一處火源之後，探頭是否會重新偵

測或仍固定朝著同一處做無效放射，同時縱火案件往往火災發展期程相當快速，大多因為有促燃劑的因素火勢直接進入成長期，側壁型細水霧是否依然能發揮高效滅火的優勢，如此複雜但卻實務的情境，是延伸側壁型細水霧設備的研究好目標。

此外災例分析也可以告訴我們，電器火災亦為長照機構火災原因的主因之一，如電動床墊與抽風扇都是過往案例的起火源，因此側壁型細水霧使否能針對 C 類火災，發揮細水霧可滅電器火災的優勢做有效的滅火，同樣也是未來可以深入探討研究的議題。

參考文獻

- 張尚文，撒水對騎樓機車燃燒影響實驗研究，2009，國立臺灣科技大學建築系博士論文。
- 簡賢文、趙鋼，細水霧滅火系統審查作業制度與認可基準之研究，財團法人消防安全設備中心基金會，2003。
- 陳俊勳，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，內政部建築研究所，2003。
- 陳俊勳，滅火系統技術研發之規劃研究（II）細水霧滅火系統技術研發之規劃研究，內政部建築研究所，2004。
- 陳建忠、蘇鴻奇、張尚文，細水霧系統火災控制與應用之研究（1/3），內政部建築研究所，2004。
- 陳建忠、張尚文、謝煒東，細水霧系統火災控制與應用之研究（2/2），內政部建築研究所，2005。
- 陳俊勳，細水霧系統火災控制整合應用技術研究，內政部建築研究所，2008。
- 謝煒東、張尚文、紀人豪、王天志，「細水霧對遮蔽火源之滅火實驗研究-以汽車火災為例」，內政部建築研究所自行研究案，99 年。
- 何明錦、謝煒東，細水霧設備於建築物室內停車空間應用之研究，內政部建築研究所，2009。
- 雷明遠，長照服務機構防火避難安全改善之調查研究，105 年 12 月。
- 潘國雄，「長期照護機構環境與消防安全管理」，中央警察大學，106 年。
- 李世恭，「災防事件危機處理探討-以新店樂活老人長照中心火災為例」，國家文官學院簡任警監官訓練研究報告，106 年。
- 監察院台南醫院北門分院火警案糾正文，102 財正 0053 字號，102 年 12 月。

監察院台北醫院護理之家火警案糾正文，108 內正 0005，108 年 2 月。

UL-2167, ISBN 0-7629-0801-7, Water Mist Nozzles for Fire Protection Service,
Copyright Underwriters Laboratories Inc. Provided by IHS under license with
UL

NFPA-750, Standard on Water Mist Water Protection Systems, by National Fire
Protection Association

FM-5560, Approval Standard for Water Mist Systems, class number 5560, November
2012

CNS1387, 中華民國國家標準，標準檢驗局，ICS 13.220.10

川圓科技股份有限公司官網：<https://www.wisprex.com/cht/aboutus.htm>

日照防災公司官網：<http://www.rihsi.com.tw/chinese/products/edit.php?type=water&pid=1>

王榮進、鍾基強，長照機構全尺度居室火災探測及滅火設備之實驗及驗證分析，
內政部建築研究所，108 年 12 月。

陳建忠、蕭邦安、何三平、謝煒東、蒲仁勇，建築消防水系統滅火實驗與撒水頭
作動性能評估，內政部建築研究所，95 年 12 月。

何三平，細水霧效能測試與評估，職業安全衛生暨職業醫學研究中心。

陳俊勳，細水霧滅火系統技能研發之規劃研究，財團法人中華建築中心，92 年。

王安強、鍾基強、雷明遠、胡幃傑、陳又嘉、黃祥志、盧玟廷，適用於安養及長
照服務機構之消防安全設備研究，內政部建築研究所協同研究報告，106 年
12 月。

日本細水霧滅火設備 Yamato 公司，細水霧滅火設備專家問卷訪談，108 年 8 月。