

主講人簡歷

姓 名：鍾基強

職 稱：教授

單 位：國立雲林科技大學機械系

地 址：雲林縣斗六市大學路三段 123 號

電 話：(05)534-2601 轉 4128

傳 真：(05)534-2601 轉 4128

出 生：民國 49 年 5 月 12 日

學 歷：美國密蘇里大學機械博士

經 歷：1.國立雲林科技大學副教授

2.Int. Journal on Engineering Performance-Based Fire codes 編輯委員

3.中華民國太陽能學會理事

4.內政部消防署消防技術審議委員

專 攻：通風排煙工程、煙控與避難模式、能源工程、空氣污染防治

主要著作：

- 建築火災排煙設備性能基準及試驗法之研究（主持人），內政部建築研究所，2001。
- 建築火災避難安全及煙控性能式設計法之研究（主持人），內政部建築研究所，2001。
- 水系統火災控制技術之研究（I）水系統效應對性能式煙控設計之模式研究與實驗驗證（主持人），內政部建築研究所，2003。

滅火系統技術研發之規劃研究（I）

水系統啟動機制對建築火災滅火性能之影響評估

鍾基強*

摘 要

一般而言在火源成長的過程初期會先產生煙，其次才感受到溫度的上升，最後才產生火燄，因此火災初期所能探測到的因子乃是煙，所以能在第一時間內，探測到火災訊息的消防設備當屬火警探測器，而同樣在這個火災成長的初期，此時若以密閉式撒水系統的玻璃球柱來感知溫度，勢必無法到達足以破裂之程度，而延誤發報，另外開放式的撒水系統，雖然也可利用感知撒水頭或探測器來感應火警訊號並做連動，惟開放式系統一經啟動，則以一齊開放閥做全區放水滅火，但此滅火方式在一般的住宅大樓勢必造成較大的水損傷害，因此如何改善密閉式撒水系統的缺點，並避免開放式撒水系統的嚴重水損，讓現有密閉式撒水系統在可以沿用下，大幅改善其感應啟動時間，希望藉由本研究提出合乎實際之設計規範供相關人員做為參考。

本研究的內容利用下面幾個章節來說明之：第一章、緒論。第二章、自動撒水設備的簡介。第三章、火警探測器的種類及作動原理。第四章、撒水啟動機制對滅火效果的分析探討。第五章、電腦火災數值模擬之模式架構簡介。第六章、實驗規劃。第七章、實驗結果與討論。第八章、火警探測器配置位置之探討。第九章、結論與未來展望。經由上面章節之理論分析探討、電腦模擬以及實驗驗證來提出不同撒水啟動機制對建築火災之滅火效果，以供政府主管機關及業者做為性能設計的參考依據。

*國立雲林科技大學機械系所教授

壹、緒論

一、背景緣起

有鑑於台灣地區由於經濟快速的蓬勃發展，整個社會型態從以往的農業社會轉型為以工業為主的出口動態結構，也正因為如此，所以都市人口大量的密集，以至於整個建築型態也由以往的單純結構朝向規模大型化、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，一旦發生火災，其結果常造成非常嚴重地公共安全危害，尤其近年來傷亡慘重的火災案例層出不窮，諸如從早期之威爾康西餐廳大火、夏威夷三溫暖和民聲大樓等火警奪走多條人命，以至近期之蘆洲大火及桃園四季飯店火災等等，都造成嚴重之人員及財產損失，也正因為如此，所以如何預防火災造成人命安全，已成為政府及消防相關單位極為關心及重要的施政工作之一。

對於發生火災時，如何預防火災繼續擴大延燒，以減少人命安全與降低財務上的損失，其中扮演非常重要地角色非消防安全設備莫屬，其可發揮的手段包括：預防火災的發生、防阻火勢的擴大及有效地撲滅與控制火勢等等，其中最關鍵及重要的階段即為如何在火災發生的初期即能有效地得知火災發生，也由於如此，火災初期的火警自動警報設備之火災探測器就顯得更為重要，因此對於研究有關火災性能安全者而言，對於火災探測設備的基本原理、檢驗規範、基準、方法及技術等都要有相當程度的瞭解，以確保該設備在火災發生時可以充分發揮原有的設計功能，以達到即時偵測到火災並即時撲滅之，來確保人命安全與減少財務上的損失。

二、研究目的

替代設計或稱性能式設計這幾年來在內政部建築研究所的努力推動下已累積相當不錯的研究成果，且部份成果已逐漸成熟至法規層面，

國內主管機關營建署已修訂完成建築技術規則 89 條之一，明確定出替代設計的法源，因此性能式之設計已成為未來國內建築防火安全設計相當重要發展項目之一，建研所去年計劃「水系統效應對性能式煙控設計之模式研究與實驗驗證」的成果報告中，已成功研發出一套量測煙層厚度的系統與方法，由於此技術之研發成功，不但可以大大降低火災探測器因“滯留於局部場所或瞬間(臨時)通過的煙”，而造成非火災之誤報或延報而使火勢擴大造成人員傷亡，因此本研究將接續去年度的研究成果，以去年之研發成果為輔助工具，探究火災探測器在法規（包括安裝場所、位置及數量等）以致於整個消防安全設備的角色扮演，並提出合乎實際之設計規範供相關人員做為參考。

三、研究步驟

本研究計劃將針對下列三個主要目標進行研究評估，提出合適的設計準則供各界參考。

- (1) 探討影響自動撒水系統（包括密閉式及開放式）啟動機制之參數
- (2) 評估火災探測器對自動撒水系統啟動機制之影響
- (3) 探討影響火災探測器發報的參數

本研究將從理論出發，嘗試以各種防災為主要目的，藉由火災成長初期之早期發現與偵知，並進而作初期的滅火行動，以確保避難逃生動線不受影響，能更進一步完成消防活動來維持整體系統的運作，希望透過此計劃之進行能提出對於消防安全相互加分的設計準則，以供政府相關單位及民間設計業者參考。

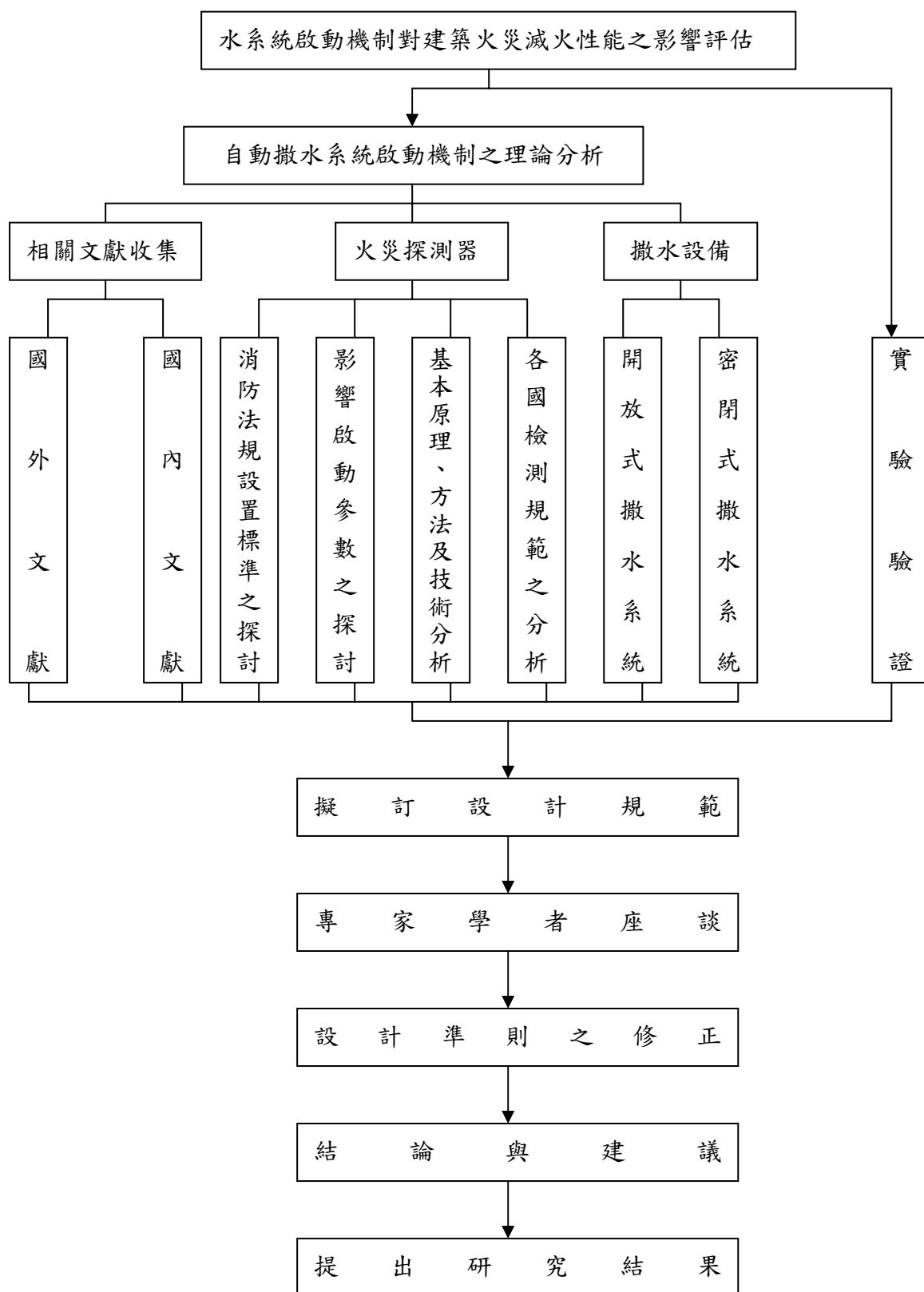


圖 1、整體研究內容架構

貳、研究內容

本研究的主要內容分為下面三個部份來完成，分別為：

一、理論分析探討部份：

在理論分析探討部份，首先探討目前撒水設備的種類與作動方式，接下來即針對火警探測器發報之機制與影響的相關參數做分類研究，並配合文獻之探討，以瞭解不同撒水啟動機制對火災滅火之效果，由此步驟之進行以完成理論分析探討部份。

二、電腦模擬

本研究中所採用的電腦火災模擬軟體 FDS 是由 NIST/BFRL（美國國家標準暨技術協會火災實驗室）所研發出來的 CFD 火災模擬軟體。

FDS 是以 LES(Large Eddy Simulation)為基礎的 CFD 火災模擬軟體，可用於模擬三維的火災情境，它將建築物空間分割為多格細小的格點，利用數值方法求解各個守恆之統御方程式，可較精確的預估火災發生時火場的壓力、溫度、速度與煙流流動等火災的物理數據，因此也更適合於形狀複雜的建築空間或大型建築物的火災模擬。

三、實驗驗證

本研究的實驗部份是整體研究案之重點所在，希望能藉由實驗的進行來實際瞭解利用火警探測器連動撒水與目前一般撒水系統滅火效果之差異，並將實驗所量測到之數據輸入電腦模擬之程式中以進行分析比較，來瞭解不同撒水作動方式對滅火的成效。

以下即針對以上所述之內容做簡單扼要之說明。

參、理論分析

一、自動撒水設備的簡介

所謂自動撒水設備即是以自動撒水頭噴水進行初期滅火的消防設備總稱，一般可分為以下這四種：

- (1) 密閉型濕式自動撒水設備
- (2) 密閉型乾式自動撒水設備
- (3) 密閉型預動作式自動撒水設備
- (4) 開放型自動撒水設備

(1) 密閉型濕式自動撒水設備

這種撒水裝置是最普遍常用的一種，主要的組成構件為有帶感熱分解部份的密閉型自動撒水頭，以及能檢測自動撒水頭的放水（配管內流水），並向各系統發出信號的流水檢知裝置（自動警報閥），另外還有壓力空氣槽、出水槽、加壓送水裝置以及控盤、水源水槽等等。

(2) 密閉型乾式自動撒水設備

流水檢知裝置使用乾式的類型，即從乾式流水檢知裝置到密閉型自動撒水頭的配管內是乾的（充滿壓縮空氣）。

這種設備可用於冬季等擔心配管內水發生凍結的地區，在配管時自動撒水頭採用密閉型的向上型或專用密封型的向下型，使之不產生殘留水。

乾式流水檢知裝置是通過密閉型自動撒水頭的動作，檢知配管內的壓力下降後能自動打開的裝置。

組成裝備除了密閉型濕式的組成外，還應包括空氣壓縮裝置，為了儘快能向空管部份提供滅火用水，加壓送水裝置的水量應較大。

(3) 密閉型預動作式自動撒水設備

流水檢知裝置使用預動作式的類型，與密閉型乾式類型一樣，從流水檢知裝置到密閉型自動撒水頭之間的配管是乾的（充滿壓縮空氣）。

這種設備須在火災探測器和自動撒水頭一起動作前提下才進行放水，在電腦機房放置高級物品及貴重物品等場所，一旦放水會造成較大損失的場所，採用双重火災檢測手段從而提高了放水程序的可靠性。

(4) 開放型自動撒水設備

這種設備設置在有舞台佈置的場所，沒有感熱作用，在開放狀態下由自動撒水頭進行滅火，從一齊開放閥到噴頭之間的配管是乾式的，通過火災探測器的信號及手動起動閥的操作，一齊開放閥作動後，這個區域內的全部噴頭一齊放水。

二、火警探測器的種類及作動原理

火警探測器可謂為對抗火災的第一道防線，其功能有如人之感官，主司火災狀況之偵知、感應，並將所測得之火警訊息傳至整個系統之中樞—授信機，俾進行下一步驟之指示、通報及一系列之連動反應機構。

探測器既用以偵知火災之是否發生？因此應能藉對火災生成物之煙、熱（溫度）、火光等而動作。鑑於一般場所常用之探測器以煙、熱感應參數為主，因此本研究將以目前市面上常用之火警探測器做一分類，並探討其主要的作動原理，以便探討其可能誤報之原由。

圖 2 為火警探測器種類之分類，表 1~3 為各型火警探測器作動原理的概述，其中有的火警探測器又可分為局限型（spot type）及分佈型（line type）兩種，兩者最主要的差異點有二：（1）局限型者，其感熱部與檢知機構集中設置於同一外觀構造體內；而分佈型者其感熱部與檢知機構，則明顯分離為兩部份之構造體。（2）局限型火警探測器係針對空間內局部場所之煙、熱效應而動作者；而分佈型火警探測器，則針對廣範

圍空間內部之煙、熱效應而動作者。

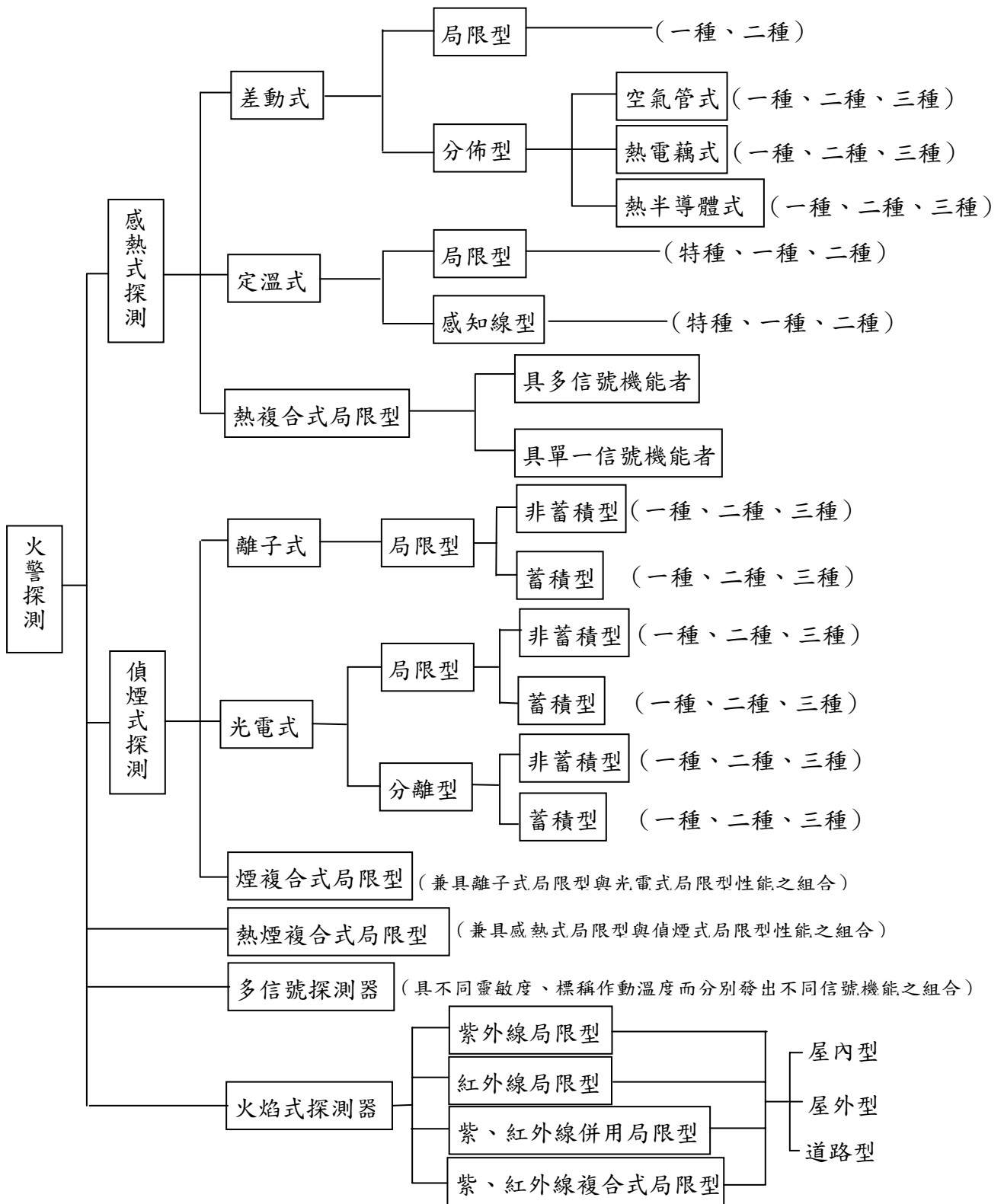


圖 2 火警探測器之分類

表 1 感熱式探測器之分類

型式	差動式		定溫式		熱複合式
種類	局限型	分佈型 1.空氣管式 2.熱電藕式 3.熱半導體式	局限型	感知線型	局限型
靈敏度	第一種 第二種	第一種 第二種 第三種	特種 第一種 第二種	特種 第一種 第二種	第一種 第二種
動作原理概述	周圍溫度達一定溫度上升率以上時即能動作，且肇因於局部處所之熱效應者。	周圍溫度達一定溫度上升率以上時即能動作，且肇因於廣範圍所累積之熱效應者。	局部場所之周圍溫度達一定溫度以上時即能動作，其構材有使用雙金屬片、半導體、可絕緣物等。	動作原理與集中型同，但外觀為電線狀者，為非再用型。	因局部場所周圍溫度之變化而感知者兼有差動式及定溫式之功能。

表 2 偵煙式探測器之分類

型式	離子式	光電式
種類	非蓄積型 蓄積型	非蓄積型 蓄積型
靈敏度	第一種 第二種 第三種	第一種 第二種 第三種
動作原理概述	因煙粒子存在導致離子電流起變化而動作之型式。所謂蓄積型者，係指一定濃度以上之煙粒子，在一定時段內須以高於該濃度持續進入、存在，始將火災信號傳出之構造。	因煙粒子之存在，致光電素子之受光量產生變化而動作之型式。

表 3 火焰式探測器之分類

型式	1.紫外線局限型	3.紫、紅外線局限型	4.紫、紅外線複合式
	2.紅外線局限型		
動作原理概述	對於火焰中所產生之紫外線或紅外線，其輻射達到一定之程度時，利用熱電效應的檢知元件或紫外線偵測管，受到輻射後而放電，影響其放電電壓大小，而發生變化之原理。	由火焰放射之紫外線及紅外線變化達一定程度時即動作，由局部場所之紫外線及紅外線而產生光電素子之受光量發生變化。	同時具有紫外線局限型及紅外線局限型探測器之性能者。

三、撒水啓動機制對滅火效果的分析探討

(1) 目前撒水設備啟動方式

由前述我們可以很清楚瞭解目前撒水設備的啟動方式，不外乎是依靠火場中的溫度到達撒水頭的感熱元件所設定的條件，然後再破裂撒水，因此影響撒水頭感熱元件的參數對滅火效果的快慢就扮演著非常重要的角色，而這些參數包括熱敏感度、反應時間指數 RTI 等等。

就測量撒水頭感熱元件之熱敏感度方法最常用的方式即為時間常數 τ ，其公式如下：

$$\tau = mc / h_c a$$

其中 τ ：時間常數 (sec)

m ：感熱元件的質量 (mass)

c ：感熱元件的比熱 (kJ/kgK)

h_c ：熱對流傳導係數 (kW/m²K)

a ：感熱元件曝露在氣流中的表面積 (m²)

當感熱元件的質量愈大，比熱值愈高， τ 值愈大；當接觸熱流的表

面積愈大時， τ 值愈小。此外，感熱元件的 τ 值愈大，熱敏感度愈差，反應時間愈長；反之，感熱元件的 τ 值愈小，熱敏感度愈佳，反應時間愈短。

就撒水頭反應時間指數 RTI 而言，當 RTI 值愈高，熱感元件的反應時間愈長，表示熱感元件的敏感度愈低，以一般反應型撒水頭而言，因熱敏感度較低，啟動撒水的速度較慢，當這類撒水頭啟動撒水時，火勢通常已成長至較大的規模，連帶使啟動撒水的撒水頭數目增多，導致水損。

而本計畫研究的最主要目的是希望能把以往撒水系統消極滅火之「火災控制」提升為積極滅火之「抑制火災」行為。

（2）火災探測器啟動撒水設備探討

NFPA13 針對「火災控制」(Fire control) 以及「抑制火災」(Fire suppression) 的定義如下：

「火災控制」(Fire control)，利用水的噴撒來減低熱的釋放率，並預將周遭的可燃物浸濕以限制火勢的規模，同時控制蓄積在天花板之氣體的溫度，以避免造成建築結構性的破壞。

「抑制火災」(Fire suppression)，促使釋放出來的水，直接穿過火柱並且充分地施放在燃燒中的燃料表面，使熱釋放率驟減並且預防火勢再起。

由 NFPA13 的定義中可以知道，現行之撒水設備因其啟動因子最主要靠火災發生時所產生的高溫，然而要達到撒水頭感熱元件破裂的溫度，想必然其火勢通常已成長至較大規模，此種滅火行為實屬消極滅火之「火災控制」；反之若能使用火災探測器來連動撒水設備，則可在火勢尚未成長到較大規模時即撲滅之，此種滅火行為即屬積極滅火之「抑制火災」。

一般而言，在火災初期火災探測器可以透過其對火災生成物之煙、熱（溫度）、火光等而動作，若能在探測得火災的同時來連動撒水設備做滅火的行為，相信如此的滅火動作可以大大降低火災發生的機率，並可減少更多人命與財產損失。

（3）影響「火災抑制」因素之探討

為了確保撒水設備能有效的抑制火災，因此本研究乃進一步探究利用火警探測器連動撒水系統的可能性，一般而言直接影響撒水頭早期抑制火災的因素有三：1.撒水頭的熱敏感度（RTI 值），2.需要施放的水密度（Required Delivered Density，簡稱 RDD），3.實際施放的水密度（Actual Delivered Density，簡稱 ADD），RDD 亦可說是抑制火災所需的水量，ADD 則是指撒水頭所釋放出來，並且確實到達燃燒之燃料表面的水量。

理論上，撒水頭釋放出來的水越早撒在成長中的火勢上，也就是說利用火警探測器連動撒水越早，所需的 RDD 越小，反之，若利用撒水頭啟動撒水其 RTI 越大，RDD 就會越大。換言之，利用火警探測器連動撒水，表示火源還在火災初期，火勢規模還很小的時候就能開啟撒水，這時候只要很少的水量（RDD）就能達到抑制火災的目的。反之當撒水頭的 RTI 值很大時，等到撒水頭啟動撒水時，火勢已經成長到較大的規模，這時若想要抑制火災就需要較多的水量（RDD）由圖 3 中可以看出 RDD 與 ADD 的關係，當 ADD 大於 RDD 時，表示撒水頭所釋放出來，並且確實到達燃燒表面的水量，大於抑制火災所需的水量，這種情況下就能夠即時抑制火災，反之，若發生 ADD 小於 RDD 的情況時，就很難抑制住火災。

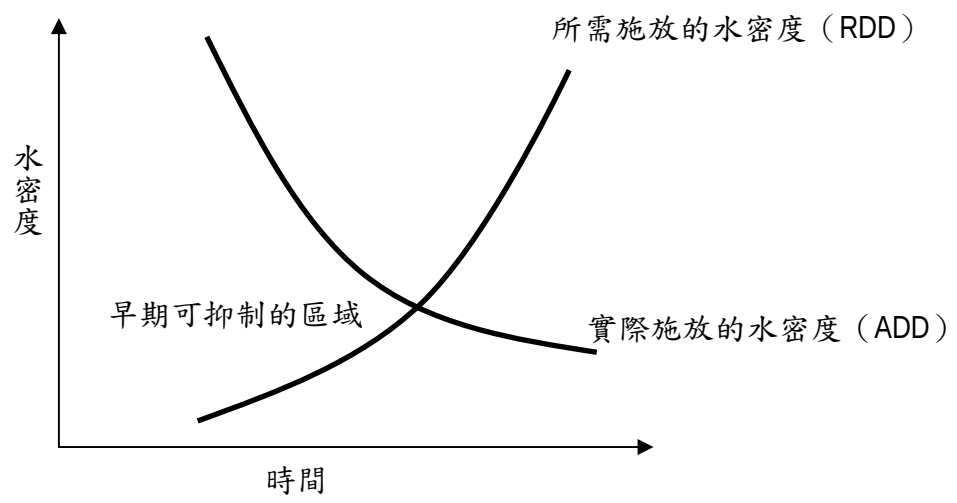


圖 3 RDD&ADD 及水密度的關係

肆、電腦火災數值模擬之模式架構簡介

利用數值方法來研究火災動力學的構想可以追溯到電腦剛開始發展的時候，當然，流體動力、熱傳及燃燒等基本的守恆方程式在上一世紀就已推導出來。但由於一些複雜的問題，使得實際的火災數值模式一直到近代才有所發展。

這些困難點有三：(1) 由於火災大都是偶發事件，因此必須考量大量的火場情境。(2) 由於要觀察火災時其物理現象的變化，包括空氣動力學、多相流、紊流、燃燒、輻射與熱傳等，因而需要功能相當強大的電腦，而在早期電腦的計算能力較不足，因此大部分的火災情境都會有所限制。(3) 在大多數的火災中，“燃料”是無法預期的。因此在進行數值模擬時輸入的資料只能對燃料作大約的描述。

至今，已發展出幾個不同的火場模擬模式，都是三維空間的火場隨時間變化的模式。最早發展成熟的是所謂的“區域 (Zone)”模式，它將火場中劃分成若干的區域，每個區域內再劃分成物理、化學性質均勻的高溫煙層與低溫空氣層，並利用能量、動量、質量及組成成分守恆原理，預測火災的成長、煙的流動以及每個區域內的溫度、濃度分佈情形。另外使用微分與代數方程式來描述其它的物理現象，這些現象包括火柱、孔道間的氣流流動與輻射對流熱傳等。

由於電腦功能快速的成長因而發展出計算流體力學 CFD (Computer Fluid Dynamics)，並且將以“場模式 (Field)”為基礎之 CFD 火災研究問題上。場模式乃將建築物劃分成若干細小格點，而且利用數值方法求解守恆方程式較能仔細正確的預測火災發生過程中，每個格點的速度、壓力、溫度、濃度值。因此適用於複雜形狀，大空間建築中採用不同煙控系統的煙流動與沉積現象的模擬。

(一) FDS 之理論架構

FDS 之主要架構可以分為以下三個部分：

- (1) 前處理：於前處理中，必須以純文字格式輸入模擬之模型尺寸、物件規格、格點分配及邊界條件等，作為模擬計算之基礎。
- (2) 數值解：此部份即是 FDS 的運算核心部分，將前處理所輸入的物件幾何尺寸等參數讀入，以數值方法求解，並將所需的計算結果輸出。
- (3) 後處理：FDS 的後處理部分與 Open GL 的繪圖軟體 “Smokeview” 結合，可將 FDS 所計算出的結果利用圖形或 2D 與 3D 動畫的效果呈現。

Smokeview 為結合 FDS 的一個數據後處理軟體，可將 FDS 所計算出來的結果，利用 Open GL 繪圖軟體以圖形或 2D 與 3D 動畫的效果呈現。如圖 4 所示為 FDS 與 Smokeview 之組織架構與工作流程圖。

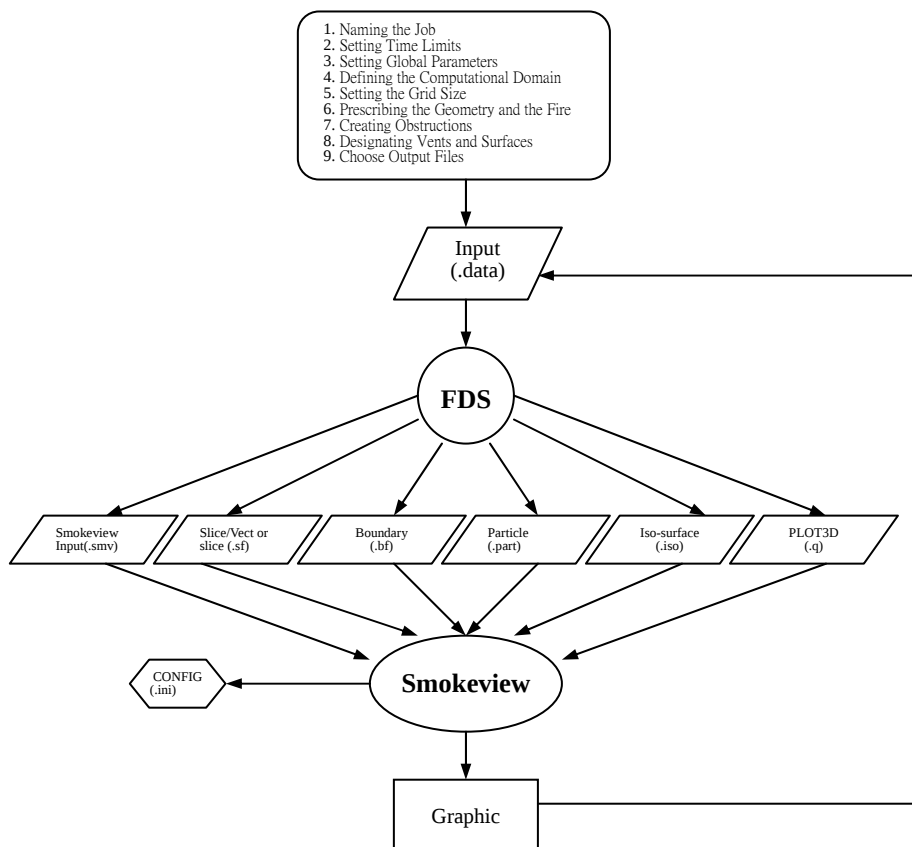


圖 4、FDS 與 smokeview 之組織架構與工作流程圖

伍、實驗規劃

本研究的實驗部份是整體研究案之重點所在，希望能藉由實驗的進行來實際瞭解不同的撒水啟動機制可發揮的滅火效果為何？當然實驗所量測到之數據將與電腦模擬之模擬結果進行分析比較，以瞭解理論分析之可靠度，並作為修正理論模式參數之依據。

一、實驗設備概述

本研究之實驗部分將利用兩個不同空間大小來分析不同流場對火警探測器發報的感應時間，並進而探討影響連動撒水的可能滅火效果，而大空間將借助內政部建築研究所位於台南歸仁防火實驗場之實驗室進行。小空間將利用雲林科技大學防火暨檢測中心之實驗室進行。實驗中將以聚氨酯及酒精做為火源來進行啟動火警探測器的參數，實際量測不同火警探測器發報時間之差異及啟動撒水系統對火源滅火的影響，而實驗所需之實驗設備如下說明：

(1) 大空間

a. 實驗空間：

此實驗空間的尺寸為 12.0m×7.0m，天花板高度則為 3.0m。實驗空間使用可耐火隔熱的矽酸鈣板隔間，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。而由於當撒水頭作動後，噴灑出的水量相當的大，因此必須在地面挖設排水管，將噴灑出的水排出。

b. 撒水設備：

在此試驗中所使用的撒水頭型式如表 4 所示，而撒水頭將裝設在天花板下 15cm 處，撒水頭的間距則為 3.0m×3.0m。

c. 溫度量測設備：

實驗空間內溫度的變化將使用熱電偶量測，熱電偶樹示意圖如圖 5 所示，分別在距離地面 2.9m、2.6m、2.3m、2.0m 及 1.5m 等五個不同高度架設熱電偶，熱電偶則使用 K-type 熱電偶線，直徑為 0.3mm，最高溫度可以量測到 400°C。為避免熱電偶之訊號線受到煙流溫度影響而損毀，因此在熱電偶線的外部包覆一層耐熱材料。而且為了防止撒水頭所噴灑出的水直接接觸到熱電偶以致無法完全正確反應煙溫，因此在熱電偶上方加設門字型之金屬遮蔽物，將撒水直接冷卻效應降至最低，而期能真實反應火場撒水後之煙溫。

(2) 小空間

a. 實驗空間：

此實驗場的尺寸為 3.5m×3.5m，天花板高度亦為 3.5m。實驗空間使用水泥磚塊隔間，厚度為 10cm，混凝土牆與監視視窗間的縫隙使用耐火塗料加以密封，避免熱煙從縫隙中流出進而影響實驗的準確性。由於當噴頭作動後，噴灑出的水量相當的大，因此必須在地面挖設排水管，將噴灑出的水排出，而在此試驗中所使用的撒水頭型式同表 4 所示。

b. 溫度量測設備：

實驗場內溫度的變化將使用熱電偶量測，熱電偶樹示意圖如圖 6 所示，分別在距離地面 3.2m、3.1m、3.0m、2.9m、2.8m、2.7m、2.6m、2.4m、2.2m、2.0m、1.8m、1.5m 及 1.0m 等十三個不同高度架設熱電偶。熱電偶則使用 K-type 熱電偶線，直徑為 0.3mm，最高溫度可以量測到 400°C。為避免熱電偶之訊號線受到煙流溫度影響而損毀，因此在熱電偶線的外部包覆一層耐熱材料。並且為了防止噴頭所噴灑出的水直接接觸到熱電偶，導致無法完全正確反應煙溫，因此在熱電偶上方加設門字型之金屬遮蔽物，將噴頭直接冷卻效應降至最低，以期能真實反應火場撒水後之煙溫分布。

(3) 兩空間所共同使用的量測儀器

a. 火警探測器：

本實驗所使用的火警探測器種類如表 5 所示。主要是用來探測不同火源對火警探測器發報時機的差異，並且利用不同的發報機制來啟動撒水系統，以便分析現有的自動撒水系統及利用火警探測器連動撒水對火源的滅火影響。

b. 火警受信總機：

本實驗所使用的火警受信總機共有八門號，可接收八組不同火警探測器所傳達的火災訊息，並可將火災訊號用來連動撒水系統以便進行滅火動作。

c. LOAD CELL：

最主要是用來量測所燃燒之火載量其在燃燒過程中隨時間變化所消耗的質量損失，再配合其每公斤所釋放出的熱值以便求得熱釋放率變化。

d. 數據收集系統：

數據擷取裝置的主要作用是將實驗過程中熱電偶、光電式煙偵測器以及 LOAD CELL 所量測到的數值傳輸並記錄下來，並要求數據收集系統的數據採集頻率能夠到達一個較高的頻率，即達到即時傳輸、即時紀錄，而且還必須具有多點採集的功能。而本實驗所用之數據收集系統是由一部 Pentium 850 的桌上型電腦及資料擷取設備（data log）所組成，可同時接收 128 點採集信號並加以儲存。

e. 影像處理系統：

在矽酸鈣板上將預先設置攝影口，並在攝影口外側架設攝影機。在實驗進行時，可以錄下區劃空間內火源燃燒的狀態、撒水頭的作動情形與煙層的流動。

(4) 火源

在實驗中將使用鋼製容器用來盛裝火載量，以產生所需的熱釋放率。其容器為使用厚度 1.5mm 的鋼板彎製，避免因燃燒時的高溫而產生變形，尺寸為 0.7m×0.7m、高度為 0.15m。

(5) 實驗配置

大小空間的實驗配置圖如 7 及 8。

表 4 試驗中所使用的撒水頭種類

型式	玻璃球尺寸	RTI
快速型	3mm	33
普通型	5mm	105

表 5 試驗中所使用的火警探測器種類

探測器種類	發報型式
偵煙式	光電式 2 種
定溫式	局限型 1 種
熱煙複合式	OR
偵煙式+定溫式（同時發報才連動）	AND

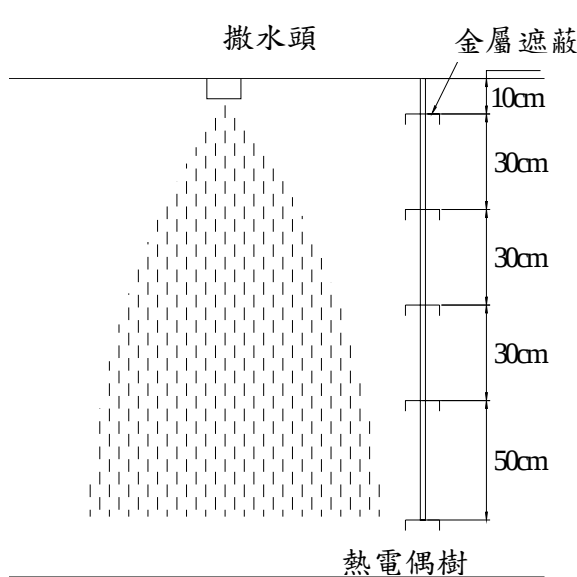


圖 5 大空間熱電偶樹示意圖

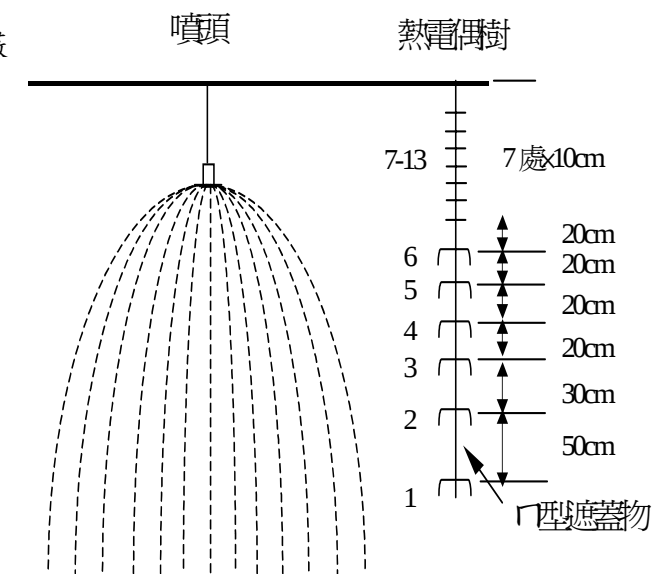


圖 6 小空間熱電偶樹示意圖

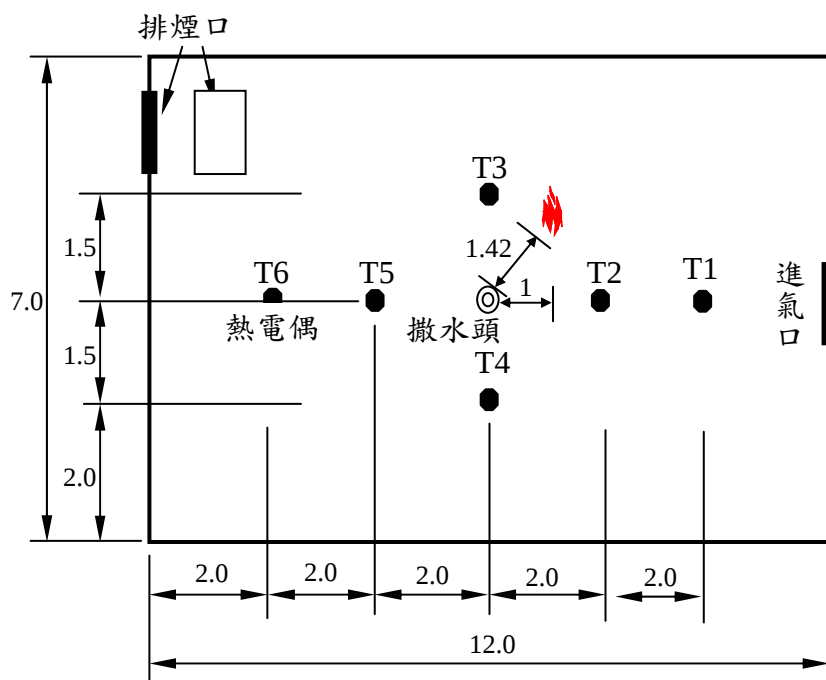


圖 7 大空間實驗之火源相對位置及熱電偶配置圖
(內政部建築研究所台南歸仁防火實驗場之實驗室)

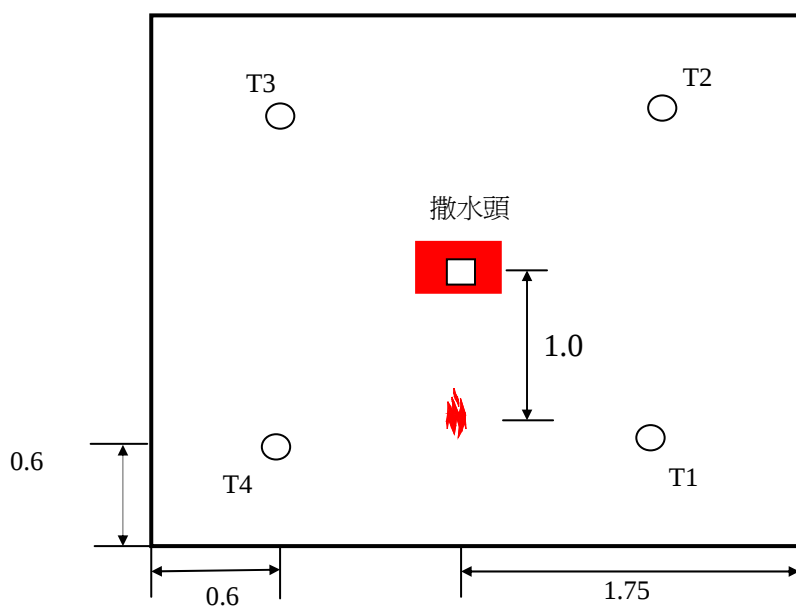


圖 8 小空間實驗之火源相對位置及熱電偶配置圖
(雲林科技大學防火暨檢測中心之實驗室)

陸、實驗結果與討論

表 6~9 說明不同燃燒物與不同空間下其撒水作動與火警探測器發報時間的差異。其中表 6 為大空間、燃燒物為聚氨酯所得之撒水作動時間，由表中可以知道普通型撒水頭作動時間為 555s，而偵煙式探測器連動撒水却只需 235s 即可連動撒水，兩者所需時間差多達 220s，以火源的成長速度而言 220s 已足夠火勢成長到相當程度的規模，相對地，對人員逃生而言，不但具有相當的威脅，同時亦喪失了滅火的最佳時機。

圖 9 為空間 (12.0m×7.0m×3.0m)，燃燒物為聚氨酯，其無撒水、普通型撒水頭 (RTI=105)、快速反應型撒水頭 (RTI=33)、定溫式探測器連動以及偵煙式探測器連動撒水所造成的熱釋放率對時間的變化情形，由圖中我們可以得知當無撒水自由燃燒的情況下，其火源熱釋放率約達 250kw，且若利用普通型及快速反應型撒水頭來滅火其火源熱釋放率與無撒水的情形差不多，最主要是因為普通型及快速反應型撒水頭其啟動撒水的因子為溫度，因此實際欲使撒水頭破裂 (普通型 74℃；快速反應型 68℃) 的周遭溫度已高達 110~120℃，如此高的溫度即說明，利用撒水頭開始撒水滅火時，其火源已成長到一定之規模，在這樣的狀況下來進行滅火只能有效的抑制火源，並無法立即有效的將火源撲滅，因此只能做消極滅火行為，反觀利用定溫式探測器連動以及偵煙式探測器連動撒水所造成的熱釋放率約在 75kw 時即很快受到控制而急速下降，這又說明當有火災發生時，火警探測器將能在第一時間內探測到火災，此時若能連動撒水系統做滅火行為，將能快速的控制火勢並予以撲滅，以達到積極滅火的行為。

圖 10 與 11 為大空間，燃燒物分別為聚氨酯與酒精，其無撒水、普通型撒水頭 (RTI=105)、快速反應型撒水頭 (RTI=33)、定溫式探

測器連動以及偵煙式探測器連動等探測器連動撒水，在 T3 熱電偶樹距樓地板高度 2.9m 處所造成的溫度對時間的變化情形，由圖 10 可以得知普通型及快速反應型撒水頭作動撒水的溫度高達 120°C 左右，在如此高的溫度下才開始滅火，相對地火勢已成長到危害人員的程度，反之，利用火警探測器連動撒水的溫度皆不超過 75°C，並立即能將溫度快速地控制下來，在這樣的溫度控制下不但有利於人員逃生，並可增加火災搶救的時間。

另外，值得一提的是，當我們利用偵煙式探測器來探測酒精火源時，偵煙式探測器並無法探測到火災，這即說明不是每種物質其燃燒時煙產生量會相對增加，因此在溫度持續增加時煙粒子的濃度並不足以讓偵煙式探測器發報，這衍生的問題為現行的性能式煙控危害因子是以煙沉降來判斷，但目前判斷煙層的方法不外乎是利用同一高度點不同時間的溫度差來判定，也就是說溫度的上昇應與煙產生量存有某一特定關係，但在酒精的例子却與以上的規則相反，所以在相關溫度與煙產生量的問題上似有再深入的探討研究之空間。

本研究也利用 CFD 電腦模擬將實驗所得之數據及參數代入，最後將電腦模擬的結果與實驗數據做比較，表 10 為 CFD 模擬相關參數條件之設定，在電腦模擬的偵煙式與定溫式探測器中將以實際實驗所得之發報時間作為啟動撒水的依據，圖 12 即為在大空間（12.0m×7.0m×3.0m）中實驗與電腦模擬於 T3 熱電偶樹距樓地板高度 2.9m 處所造成的溫度對時間的變化比較，由圖中可以知道 CFD 電腦模擬的溫度與實驗所量測的實際溫度非常接近，稍有不同在於撒水作動之後電腦模擬的溫度值將會很快受到抑制而下降，但實驗的溫度值是比較趨緩下降的情形，最主要是因為我們在實驗的過程中火源的燃燒方向背對著撒水頭，因此當撒水作動之後水無法立即將火源全部包圍，而是另有些許燃燒於物體下部發生（如圖 13 所示），因此才會造成撒水後溫度緩慢下降情形，但若在實際

的火場當中，撒水頭作動的數目將可能不只一個，因此溫度的下降曲線應較接近於電腦模擬，也是本研究所欲達成的目的，即利用火警探測器連動撒水時，將能快速且立即的將火勢撲滅並使溫度在短時間內受到控制。

表 6 大空間（聚氨酯）不同撒水啟動方式之作動時間表

實驗空間大小	12.0m×7.0m×3.0m	燃燒物	聚氨酯
撒水啟動方式		撒水作動時間（s）	
密閉式快速反應型撒水頭（RTI=33）		492s	
密閉式普通型撒水頭（RTI=105）		555s	
光電式偵煙型探測器連動		235s	
定溫式局限型探測器連動		247s	
熱煙複合式探測器連動（OR）		280s	
偵煙與定溫同時發報連動（AND）		264s	

表 7 大空間（酒精）不同撒水啟動方式之作動時間表

實驗空間大小	12.0m×7.0m×3.0m	燃燒物	酒精
撒水啟動方式		撒水作動時間（s）	
密閉式快速反應型撒水頭（RTI=33）		145s	
密閉式普通型撒水頭（RTI=105）		181s	
光電式偵煙型探測器連動		不作動	
定溫式局限型探測器連動		26s	
熱煙複合式探測器連動（OR）		28s	
偵煙與定溫同時發報連動（AND）		不作動	

表 8 小空間（聚氨酯）不同撒水啟動方式之作動時間表

實驗空間大小	3.5m×3.5m×3.5m	燃燒物	聚氨酯
撒水啟動方式		撒水作動時間（s）	
密閉式快速反應型撒水頭（RTI=33）		225s	
密閉式普通型撒水頭（RTI=105）		272s	
光電式偵煙型探測器連動		186s	
定溫式局限型探測器連動		237s	
熱煙複合式探測器連動（OR）		200s	
偵煙與定溫同時發報連動（AND）		260s	

表 9 小空間（酒精）不同撒水啟動方式之作動時間表

實驗空間大小	3.5m×3.5m×3.5m	燃燒物	酒精
撒水啟動方式		撒水作動時間 (s)	
密閉式快速反應型撒水頭 (RTI=33)		33s	
密閉式普通型撒水頭 (RTI=105)		56s	
光電式偵煙型探測器連動		不作動	
定溫式局限型探測器連動		23s	
熱煙複合式探測器連動 (OR)		25s	
偵煙與定溫同時發報連動 (AND)		不作動	

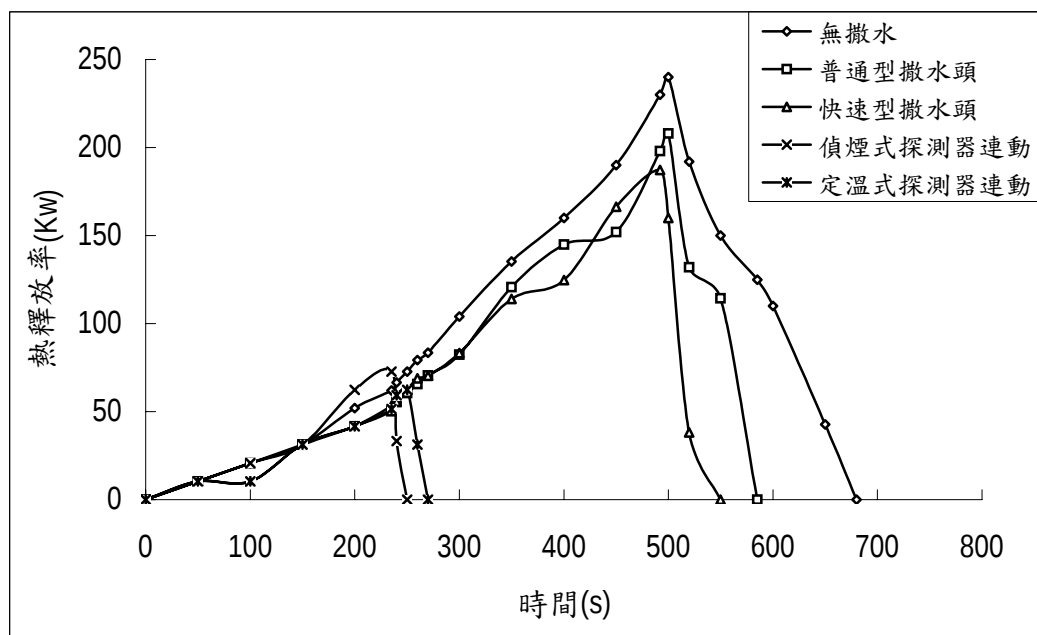


圖 9 在空間（12.0m×7.0m×3.0m）不同撒水啟動方式其熱釋放率對時間的變化情形

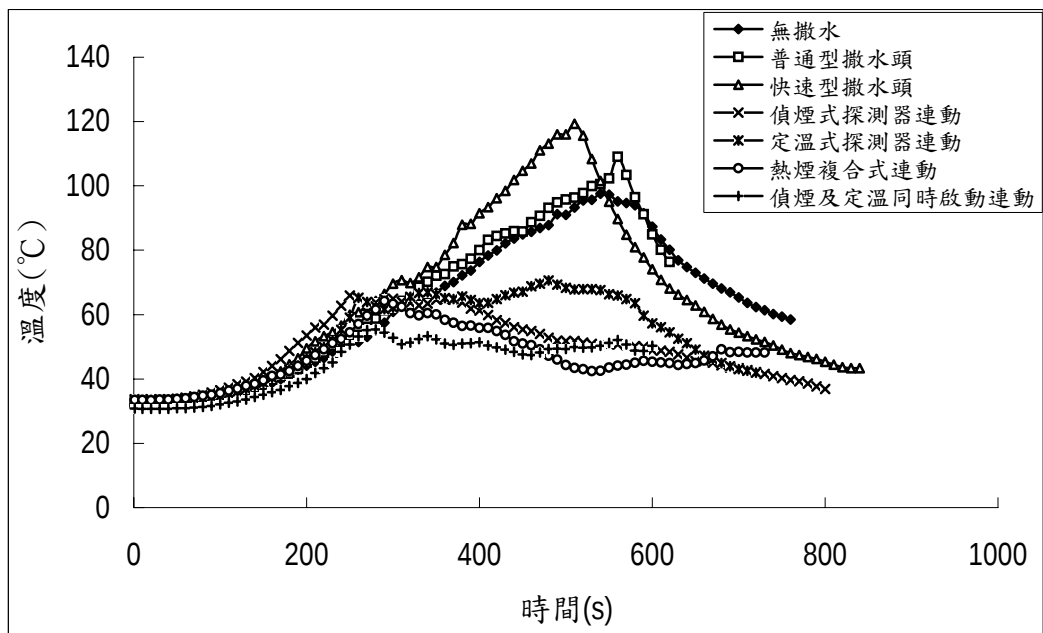


圖 10 在空間 (12.0m×7.0m×3.0m)、燃燒物為聚氨酯，不同撒水啟動方式其溫度對時間的變化情形

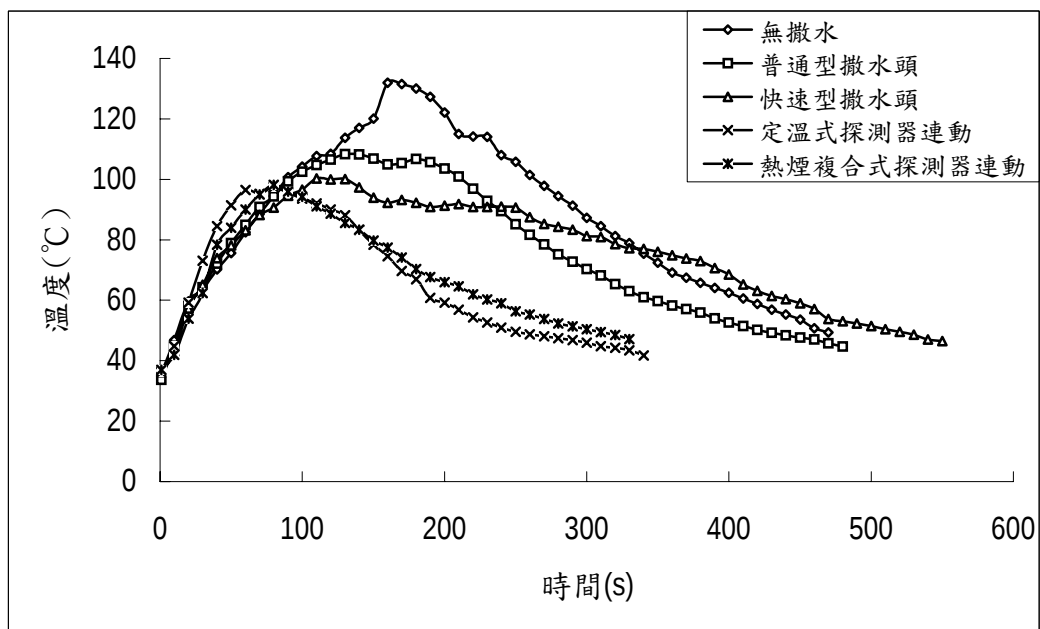


圖 11 在空間 (12.0m×7.0m×3.0m)、燃燒物為酒精，不同撒水啟動方式其溫度對時間的變化情形

表 10 CFD 電腦模擬相關條件參數之設定

設 定 參 數			
種類	參數	數值	
實驗空間	實驗空間大小	12m×7m×3m	
	格點分佈	120×70×30	
執行時間	700sec		
初始溫度	30℃		
火源	熱釋放率	依每次實驗所得之熱釋放率曲線來設定 【以普通型撒水頭為例】 t=0,Q=0Kw t=50,Q=10.4Kw t=100,Q=20.8Kw t=150,Q=31.2Kw t=200,Q=41.6Kw t=250,Q=60.5Kw t=300,Q=82.3Kw t=350,Q=120.8Kw t=400,Q=145Kw t=450,Q=152Kw t=500,Q=208Kw t=520,Q=132.67Kw t=550,Q=114.75Kw t=570,Q=37.028Kw t=585,Q=0Kw	
熱電藕	位置	與實驗的量測位置相同	
撒水頭	RTI (m・s) ^{1/2}	33	105
	C-factor(m/s) ^{1/2}	0.839	0.647
	作動溫度	68℃	74℃
	K-factor	80L/min/bar ^{1/2}	
	液滴大小，d _m	1000 μ m	
	座標 (m)	(6,3.5,2.85)	

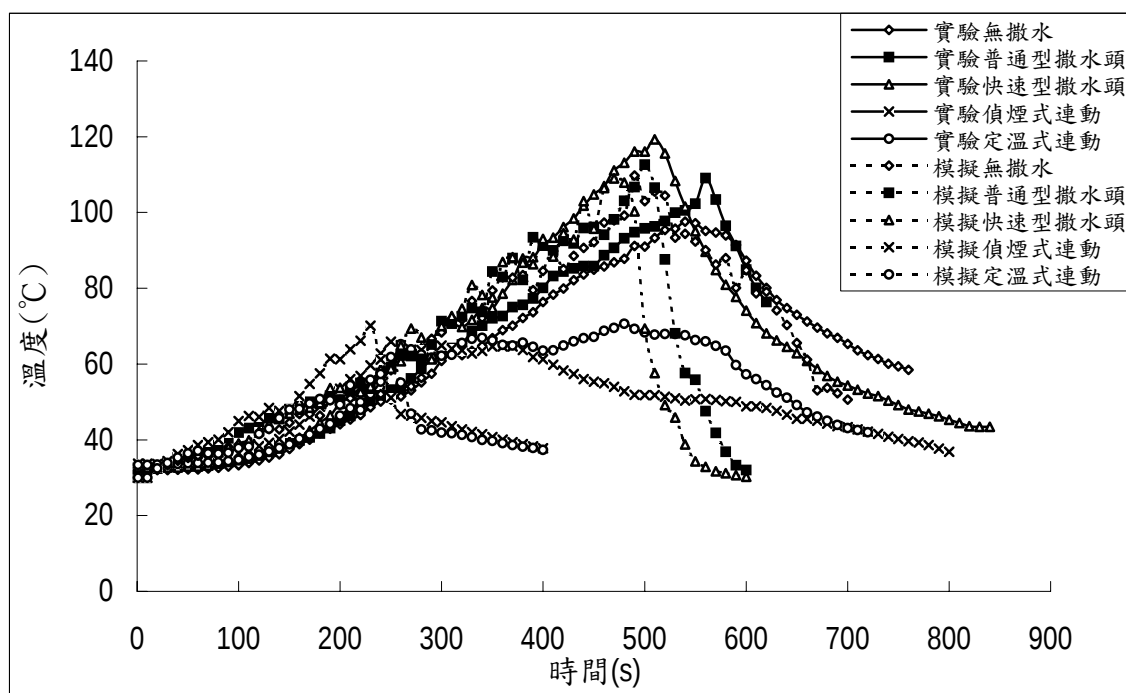


圖 12 在大空間（12.0m×7.0m×3.0m）中實驗與電腦模擬之溫度比較

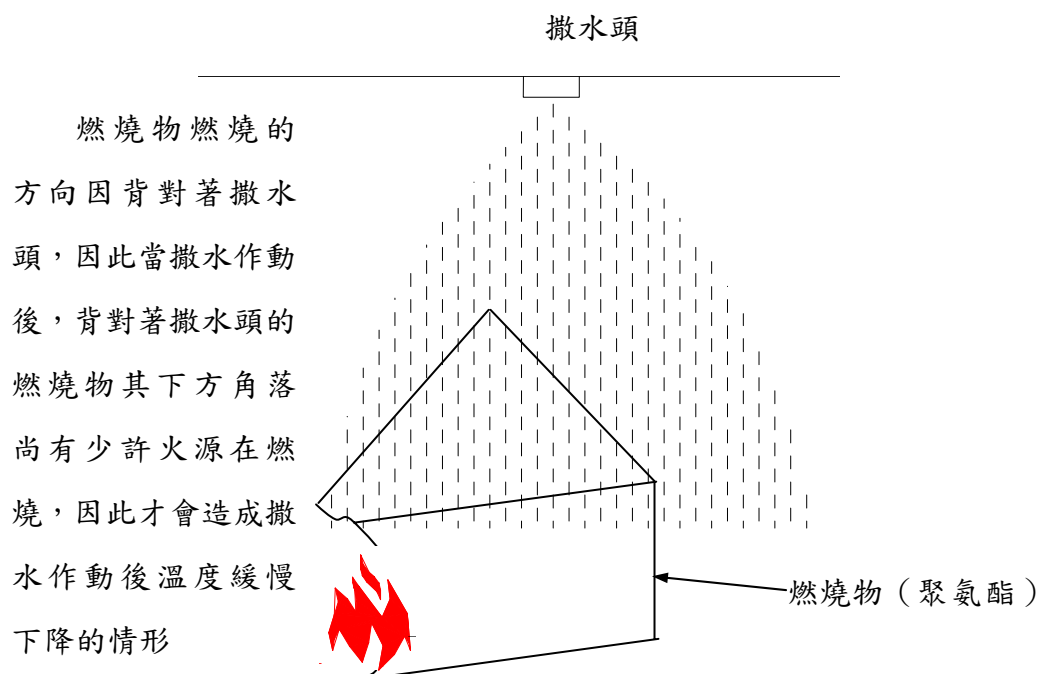


圖 13 實驗時燃燒物燃燒方向與撒水頭位置的示意圖

柒、火警探測器配置位置之探討

本章節中將透過實驗來說明火警探測器的配置方式與相對的火源位置其發報時間之差異，依此來說明一般建築在設置火警探測器時可能的最佳配置方式，而我們選定的火警探測器種類為差動式局限型一種探測器，火源為酒精。在實驗中，將採用適度縮小探測區域的方式重新把 84 平方公尺的場地，規劃成一到五個區劃，並把探測器配置成如配置圖 14～18 的配置方式，圖 19 為探測器與火源的相對位置，表 11 為火警探測器與火源相對位置之配置發報時間表，由表中可以得知無論是何種配置方式，如果火源在探測器正下方(火源位置 A)發報時間為最快約為 8 秒鐘；但若是以配置 B-1 而言，火源位置 B 為最糟情況亦即起火源離探測器最遠，其動作時間為 45 秒，比最快的情況 8 秒發報約慢了 37 秒。

而配置 B-2 中，即使在火源位置 B 時，其探測器編號①的發報時間也提早到 32 秒即可偵知火災發生，亦即與配置 B-1 相比較，多花費一個探測器的代價卻可提早約 13 秒發報。

配置 A-3 中在火源位置 A 時的最快發報時間為 9 秒，而在火源位置 B 時的最慢發報時間卻縮短為 23 秒，所以又比配置 B-2 快了約 9 秒發報。

而配置 B-4 中，即使在火源位置 B 的最遠距離下，其發報時間最快也可提早到 22 秒即可發報。

由上述火警探測器與火源相對位置的配置發報時間表得知，雖然只要配置一個差動局限一種感熱式探測器即可符合設置標準規定，但若是以室內裝潢所須，其火警探測器可能裝置的位置在配置 B-3 之③的位置，且若不幸火源位置在 B 處，因此其發報時間將長達 75 秒才發報，與最快發報 8 秒將有 67 秒之多，因此除造成避難逃生不夠之外，甚至危害生命安全，而隨著我們將探測區域縮小，即使必須增設一些探測器，但卻可使發報動作時間有效提早以適度提升避難逃生所之餘裕時間，因此適度增設一些探測器，即可大幅提昇火災發生時之安全保障。

表 11 火警探測器與火源相對位置之配置發報時間表

配置編號	火源位置	探測器編號	發報順序	發報時間	第一發報時間
A-1*	A (6,3.5,0)	①	1	8s	8s
A-2		①	2	34s	32s
		②	1	32s	
A-3		①	3	61s	9s
		②	1	9s	
		③	2	52s	
A-4		①	4	110s	46s
		②	3	89s	
		③	2	51s	
		④	1	46s	
A-5		①	1	6s	6s
		②	5	118s	
		③	4	92s	
		④	3	53s	
		⑤	2	50s	
B-1*	B (0,7.0,0)	①	1	45s	45s
B-2		①	1	32s	32s
		②	2	61s	
B-3		①	1	23s	23s
		②	2	45s	
		③	3	75s	
B-4		①	1	22s	22s
		②	2	61s	
		③	4	88s	
		④	3	72s	
B-5		①	3	65s	18s
		②	1	18s	
		③	2	59s	
		④	5	95s	
		⑤	4	78s	

註記：A-1,表示火源位置於 A 處，而探測器配置為一個，A-2,A-3...依此類推。

B-1,表示火源位置於 B 處，而探測器配置為一個，B-2,B-3...依此類推。

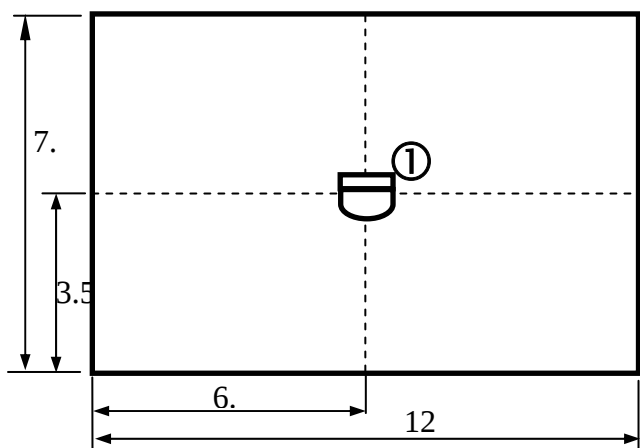


圖 14 一個探測區域並設置一個探測器

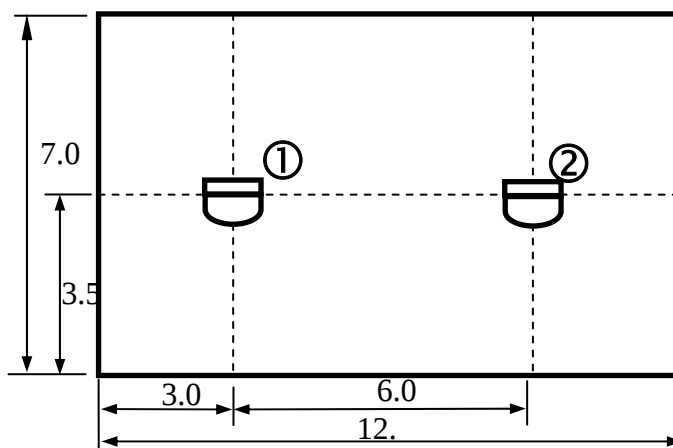


圖 15 二個探測區域並設置二個探測器

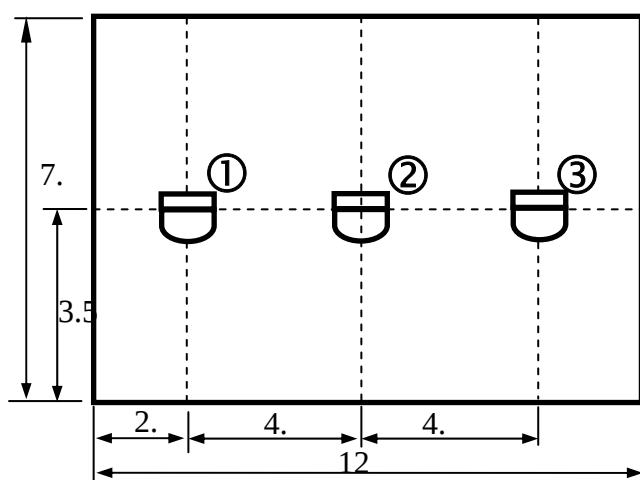


圖 16 三個探測區域並設置三個探測器

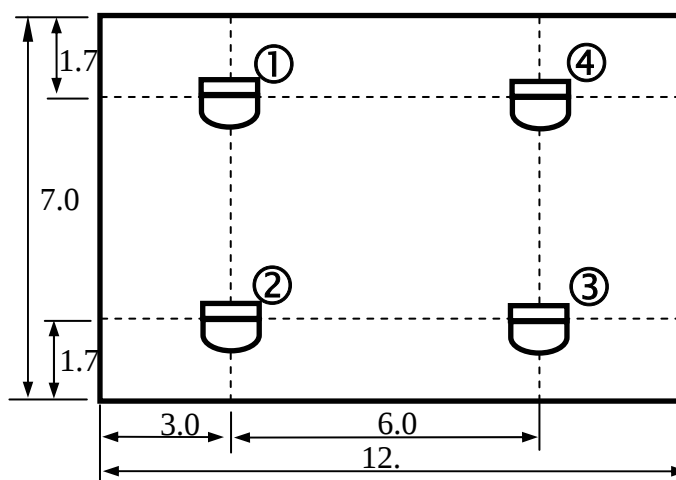


圖 17 四個探測區域並設置四個探測器

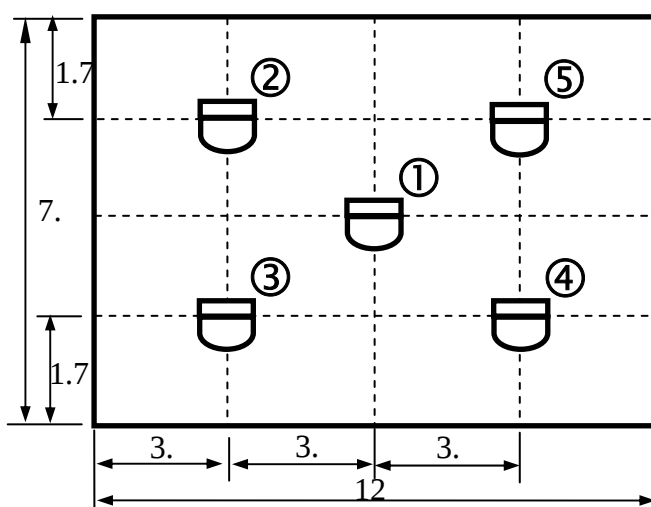


圖 18 五個探測區域並設置五個探測器

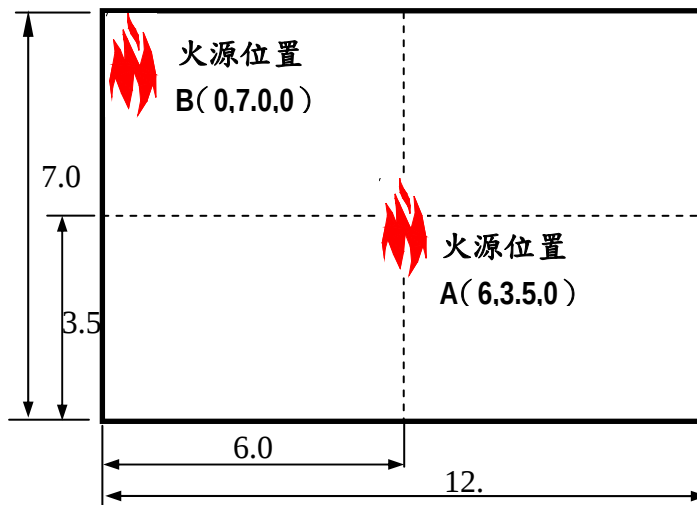


圖 19 火源的相對位置圖

捌、結論與未來展望

一、結論：

由上述所得之結果分析，我們可以歸納下列幾點結論：

- (1) 一般撒水頭啟動撒水的因子為溫度，而火警探測器可經由煙粒子、溫度與火光等感應發報而連動撒水設備；而就火源成長的過程而言，初期將會先產生煙，其次才感受到溫度的上升，最後才產生火燄，因此一般火警探測器將比撒水頭更早感應偵知火災的發生。
- (2) 本國消防法令中各類場所消防安全設備設置標準第十七條所規定應設置自動撒水設備的諸多場所或樓層，如甲類場所、十一層樓高以上的公寓大廈、集合住宅、地下建築物及高層建築物等，一般這些場所普遍設置密閉濕式的自動撒水設備來符合消防規定，惟此種密閉濕式的系統一般皆以玻璃球式的撒水頭做為感應啟動的機制，但由多次實驗的結果可以得知一般撒水頭開始作動撒水的周遭溫度已高達 110~120℃，並且煙霧瀰漫、影響逃生，也就是火勢已成長到一定規模，而此時才作動撒水，因此無法立即將火勢撲滅，只能達到不使火源持續擴大的效果；此一啟動時間即使再換成 RTI 較小的快速反應型撒水頭後，經實驗發現其改善效果仍是有限。
- (3) 現今一般撒水頭滅火的行為可謂為『消極滅火』之『控制火災』，而利用火警探測器連動撒水之行為可謂為『積極滅火』之『火災抑制』。
- (4) 若能排除火警探測器誤報之機率，那麼使用火警探測器連動滅火的方式將會是未來消防工程最重要的一環，並成為防災的第一線。

- (5) 綜合檢討一般撒水頭作動方式與利用火警探測器連動滅火的差異如表 12 所示。
- (6) 於第八章火警探測器配置的結果中可以知道，火警探測器配置的方式將會直接影響火災發報的時間，因此在裝設火警探測器之前必需詳細的規劃，不論火源的位置在何處，火警探測器應可在最短的時間內發報。

表 12 不同撒水啟動機制之差異性比較

撒水啟動的方式	一般撒水頭	火警探測器連動
啟動因子	溫度	煙、熱及火光等
作動時間	較慢	較快
滅火行為	消極滅火	積極滅火
滅火效果	控制火災	抑制火災
未來發展性	— — —	佳
性能替代好處	— — —	若建築物火災時的滅火方式採用此種，則在相同的空間下，相對於使用一般撒水頭則可增加如下之性能替代方式： 1.減少排煙量 2.增加使用人數 3.增加步行距離 4.減少樓梯數目

二、未來展望：

未來可發展的空間及待突破的方向敘述如下：

- (1) 由於受限於實驗場地、經費及時間的不足，只能進行較小尺寸之實驗研究，未來若有較大空間與經費可進行全尺寸之實驗，模擬實際建築物內部的設置，所得到的數據將更為準確與實用。
- (2) 若能進一步探究分析火警探測器可能誤報的原因並排除之，相信利用火警探測器連動滅火的行為將成為未來消防工程的新里程碑。

參 考 文 獻

中文部份

1. 簡賢文、曾重榮，「火警自動警報設備使用現況之探討」，現代消防第 46 期，桃園：中央警官學校消防系學會，民國 78 年 4 月。
2. 簡賢文，「各類火警探測器動作原理及設置原則之探討」，建築學報創刊號第一期，台北：中華民國建築學會，民 79 年 3 月，頁 188-189。
3. 中央警官學校消防學系，「建築技術規則建築設備篇消防設備規範（草案）」，台北：內政部營建署，民 76 年，頁 167。

英文部份

1. John, R. Hall and Anthur E. Cote, "America's Fire Problem and Fire Protection," in A. E. Cote & J. L. Liaville, etc. Ed., Fire Protection Handbook, 17th edition, MA : National Fire Protection Association, 1991, p.1-3.
2. Shu, W. "A Trend-duration and Gradient Detector for Automatic fire Detection", Fire Safety Journal, 1996, pp.239-248.
3. Y. R. Sivathanu, and L. K. Tseng, "Fire Detection Using Time Series Analysis of Source Temperature", Fire Safety Journal, 1998, pp.301-315.
4. NFPA, "Fire Protection Handbook", MA., National Fire Protection Association, 16th Ed., 1986, PP. 16-19~16-30.
5. Richard W. Bukowski, Robert J. O. Laughlin, Charles E. Zimmerman, Ed., "Fire Alarm Signaling Systems Handbook", NFPA, 1988, p-54.
6. Home Office (Fire Department), "Manual of Firmanship Book 9-Fire Protection of Buildings", Her Majesty's Stationery Office, 1986, pp. 97-98.