

細水霧系統火災控制整合 應用技術研究



內政部建築研究所委託研究成果報告

中華民國 97 年 12 月

細水霧系統火災控制整合應用技術研究

(國科會 GRB 編號)

PG 9703-0027

(本部計畫編號)

097301070000G1010

細水霧系統火災控制整合 應用技術研究

受委託者：中華財團法人建築中心

研究主持人：陳教授俊勳

研究員：徐一量、黃聖安、周枝興

內政部建築研究所委託研究期末報告

中華民國 97 年 12 月

目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘 要.....	XI
ABSTRACT.....	XIII
第一章 緒 論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 文獻回顧.....	3
第三節 研究方法.....	8
第四節 研究內容與成果.....	13
第二章 火災實驗場儀器設備.....	15
第一節 實驗與量測儀器.....	15
第二節 細水霧噴頭粒徑量測.....	29
第三章 相關規範探討及彙整.....	33
第一節 國內法令規定.....	33
第二節 細水霧滅火系統國際相關測試規範介紹	37
第三節 火源與場景測試規範.....	47

第四章 火災實驗與模擬結果討論	49
第一節 不同油量對細水霧火場抑制的影響	50
第二節 排煙與細水霧的影響.....	54
第三節 排煙口位置對細水霧火場抑制的影響	58
第四節 排煙風量對細水霧火場抑制的影響	61
第五節 細水霧與傳統撒水頭對火場抑制的影響	66
第六節 電腦模擬.....	76
第七節 細水霧系統與排煙設備整合之優劣	100
第五章 結論與建議.....	101
第一節 結論.....	101
第二節 後續實驗規劃.....	102
第二節 後續研究建議.....	102
參考文獻.....	103
附錄一 建研所近年來的研究成果	107
附錄二 委員意見及回覆.....	111
附錄三 噴頭認證資料.....	125
附錄四 KPI、SWOT 和分年目標與成果.....	131

表次

表 1-1 各類滅火系統之比較	4
表 2-1 噴頭特性比較	31
表 2-2 SMD 計算樣本資料.....	32
表 2-3 DANFOSS 細水霧噴頭量測數據.....	32
表 3-1 各類消防滅火系統設置場所比較表	34
表 3-2 細水霧滅火系統測試協定及空間分類表	38
表 3-3 FM 之測試規範空間需求列表	39
表 3-4 UL2167 之測試規範空間需求列表.....	40
表 3-5 IMO MSC/Circ 668/728 A 類引擎室之測試規範空間需求表..	41
表 3-6 船上 A 類引擎室的火災測試情境分類表	42
表 3-7 油料噴灑測試參數	43
表 3-8 FM 細水霧滅火系統測試規範測試對象及項目整理	44
表 3-9 UL2167 細水霧滅火系統測試規範測試對象及項目整理.....	45
表 4-1 實驗參數	49
表 4-2 汽油 1500C.C.的滅火時間.....	50
表 4-3 汽油 3000C.C.的滅火時間.....	52
表 4-4 木堆在細水霧及傳統撒水頭的滅火時間	66
表 4-5 細水霧電腦模擬情境表	78



圖次

圖 1-1 計畫的實驗架構	8
圖 1-2 FIREDASS 子模式關連圖	10
圖 2-1 實驗場地配置圖	16
圖 2-2 實驗場地俯視圖	16
圖 2-3 氣體分析器	17
圖 2-4 熱電偶樹	18
圖 2-5 數據處理器(a) DA-100 (b)DU-100.....	18
圖 2-6 煙遮蔽量測的訊號處理器	19
圖 2-7 雷射光源發射器	20
圖 2-8 木堆火源	22
圖 2-9 油盆火源	22
圖 2-10 撒水變頻控制盤系統.....	23
圖 2-11 細水霧啟動裝置	23
圖 2-12 排煙啟動控制器.....	23
圖 2-13 偵熱與偵煙探測回路	23
圖 2-14 排煙風管.....	24
圖 2-15 細水霧旋吊系統	24
圖 2-16 排煙口	24

圖 2-17 補氣口	24
圖 2-18 高壓細水霧系統噴嘴(a)正視圖以及(b)俯視圖	27
圖 2-19 數位影像處理流程	28
圖 2-20 高壓細水霧系統噴嘴(a)正視圖以及(b)俯視圖	29
圖 2-21 噴頭噴撒角 135°	29
圖 2-22 粒徑個數分布直方圖	30
圖 2-23 相對累積體積百分比	31
圖 3-1 消防安全設備審核認可之程序	35
圖 4-1 不同油量的油面高度	50
圖 4-2 不同油量-細水霧滅火示意圖	53
圖 4-3 排煙與細水霧的影響之煙濃度圖	54
圖 4-4 排煙與細水霧的影響之 CO_2 濃度圖	55
圖 4-5 排煙與細水霧的影響之 O_2 濃度圖	55
圖 4-6 排煙與細水霧的影響之 CO 濃度圖	56
圖 4-7 排煙口位置的影響之煙濃度圖	58
圖 4-8 排煙口位置的影響之 CO_2 濃度圖	59
圖 4-9 排煙口位置的影響之 O_2 濃度圖	59
圖 4-10 排煙口位置的影響之 CO 濃度圖	60
圖 4-11 排煙風量的影響之煙濃度圖	61

圖 4-12 排煙風量的影響之 CO ₂ 濃度圖	62
圖 4-13 排煙風量的影響之 O ₂ 濃度圖	62
圖 4-14 排煙風量的影響之 CO 濃度圖	63
圖 4-15 油盆實驗場地#1 溫度圖	63
圖 4-16 油盆實驗場地#2 溫度圖	64
圖 4-17 油盆實驗場地#3 溫度圖	64
圖 4-18 木堆火源-細水霧滅火的煙濃度圖	68
圖 4-19 木堆火源-撒水滅火的煙濃度圖	68
圖 4-20 木堆火源-細水霧滅火的 CO ₂ 濃度圖	69
圖 4-21 木堆火源-撒水滅火的 CO ₂ 濃度圖	69
圖 4-22 木堆火源-細水霧滅火的 O ₂ 濃度圖	70
圖 4-23 木堆火源-撒水滅火的 O ₂ 濃度圖	70
圖 4-24 木堆火源-細水霧滅火的 CO 濃度圖	71
圖 4-25 木堆火源-細水霧滅火的 CO 濃度圖	71
圖 4-26 木堆火源-細水霧滅火-風量無場地#1 溫度圖	72
圖 4-27 木堆火源-撒水滅火風量無場地#1 溫度圖	72
圖 4-28 木堆火源-細水霧滅火風量 50m ³ /min 場地#1 溫度圖	73
圖 4-29 木堆火源-撒水滅火風量 50m ³ /min 場地#1 溫度圖	73
圖 4-30 木堆火源-細水霧滅火風量 120m ³ /min 場地#1 溫度圖	74

圖 4-31 木堆火源-撒水滅火風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 場地#1 溫度圖	74
圖 4-32 電腦模擬模型圖	76
圖 4-33 油盆火源質量損失率曲線圖	77
圖 4-34 情境 1 分時溫度切面圖	79
圖 4-35 情境 1 分時煙濃度切面圖	79
圖 4-36 情境 1 分時一氧化碳濃度切面圖	80
圖 4-37 情境 1 分時二氧化碳濃度切面圖	80
圖 4-38 情境 1 分時氧濃度切面圖	81
圖 4-39 情境 2 分時溫度切面圖	82
圖 4-40 情境 2 分時煙濃度切面圖	82
圖 4-41 情境 2 分時二氧化碳濃度切面圖	83
圖 4-42 情境 2 分時氧濃度切面圖	83
圖 4-43 情境 3 分時溫度切面圖	84
圖 4-44 情境 3 分時煙濃度切面圖	85
圖 4-45 情境 3 分時二氧化碳濃度切面圖	85
圖 4-46 情境 3 分時氧濃度切面圖	86
圖 4-47 情境 4 分時溫度切面圖	87
圖 4-48 情境 4 分時煙濃度切面圖	87
圖 4-49 情境 4 分時二氧化碳濃度切面圖	88

圖 4-50 情境 4 分時氧濃度切面圖	88
圖 4-51 情境 5 分時溫度切面圖	89
圖 4-52 情境 5 分時煙濃度切面圖	90
圖 4-53 情境 5 分時二氧化碳濃度切面圖	90
圖 4-54 情境 5 分時氧濃度切面圖	91
圖 4-55 情境 6 分時溫度切面圖	92
圖 4-56 情境 6 分時煙濃度切面圖	92
圖 4-57 情境 6 分時二氧化碳濃度切面圖	93
圖 4-58 情境 6 分時氧濃度切面圖	93
圖 4-59 情境 7 分時溫度切面圖	94
圖 4-60 情境 7 分時煙濃度切面圖	95
圖 4-61 情境 7 分時二氧化碳濃度切面圖	95
圖 4-62 情境 7 分時氧濃度切面圖	96
圖 4-63 情境 8 分時溫度切面圖	97
圖 4-64 情境 8 分時煙濃度切面圖	97
圖 4-65 情境 8 分時二氧化碳濃度切面圖	98
圖 4-66 情境 8 分時氧濃度切面圖	98



摘 要

關鍵詞：滅火或火災控制效能、細水霧系統、排煙系統、系統整合、細水霧效能模擬軟體

一、研究緣起

為減緩地球暖化現象，在 1987 年全球各大工業國簽訂蒙特婁議定書限制氟氯碳化物的製造、銷售及使用。海龍滅火系統在此環保議題的考量下，現已進入替代及中止使用的階段，也因此各國消防廠商及防火研究者莫不努力尋求合適的海龍替代品，其中細水霧系統滅火效率佳且無環保疑慮而成為一理想的海龍替代品。細水霧系統經火場測試實驗針對一般可燃物、噴射氣體火災、可燃性及易燃性液體、電器火災均能發揮其滅火或抑制效果，故其應用範圍相當廣泛。

二、研究方法及過程

針對細水霧滅火系統在通風排煙環境下對於在火災控制上的整合及應用，選定辦公室火災來做為火災場景，決定其火載量並以木堆當作標準火源。經由不同的噴頭條件、排煙條件及火源位置與排煙口之相對位置，來觀察煙流動變化並且量測標準火源被撲滅的時間，以及火場內部之溫度變化以深入探討細水霧與排煙系統設置之相對位置與其滅火能力之相關性。

三、重要發現

由研究結果顯示，細水霧在排煙的情況下，亦能有效的撲滅油盆火災。但滅火時間會受到排煙風量大小的影響，當排煙風量愈大，其滅火時間就愈長，並能有效降低火場的煙濃度、CO₂、CO 和溫度，降低了火場內部的危害，可以延長火場內人員避難逃生的時間。

在木堆火源的實驗中，細水霧對於火場的抑制能力和火場內部的降溫效果，以及對氣體濃度的影響，都比傳統撒水頭還要好，對於人員的避難逃生也較為有利。

而在細水霧的粒徑量測中，大部分的粒子都在 500 μ m 以下，由累積體積百分比為 99%的相對粒徑來區分水霧大小，此噴頭所對應的粒徑則介於

800-850 μ m，所以大粒徑的水霧出現會大幅提昇所定義的水霧大小。

從模擬成果可得知，細水霧作動可強化排煙的效果，有效降低火場溫度及降低危害氣體濃度，且排煙量愈大，細水霧降低危害的效果愈佳，與實驗結果相吻合。

在法規規範方面，由於國內無細水霧滅火設備之標準或規定。因此，整合 IMO、UL 和 FM 的規範和測試項目，以提供國內業者、研究機構在細水霧滅火系統實場測試或電腦數值模擬應用方面的參考工具。

四、主要建議事項

由本研究結果，細水霧對辦公室火災有很好的抑制效果，可增加人員避難逃生的時間，但目前對於細水霧系統的使用卻不普遍，主要是因為在一般辦公室空間中，會有許多的電器用品(電腦、插座和電線等等)，會有漏電的疑慮。因此，可對於測試空間中，模擬辦公室空間放置電腦主機，探討火災發生時，對於火場內的危害程度，以及細水霧對電器用品的影響。

ABSTRACT

Keywords: Fire-extinguishment or Fire Control Performance, Water Mist System, Desmoke System, System Integration, Simulation Model of Water Mist System

1. Motivation:

In order to mitigate the global warming, the industrial countries signed the Montreal Protocol in 1987 to limit the manufacture, sale and use of CFCs related products. Under such circumstance, the fire suppression systems of Halon series are now in the processes of replacement and usage-postponing. Therefore, the fire laboratories, researchers and fire protection equipment suppliers are working hard to find the proper Halon replacements. One of them is the water mist fire suppression system, which has good fire suppression efficiency and no harm to environment, making such system to be an excellent Halon replacement. Via intensive fire tests, the water mist fire suppression system has been proved to be effective for the general combustible, jet, combustible/flammable liquid and appliance fires, therefore, its has wide applications.

2. Research methodologies and process

Aiming on the fire control/suppression by applying and integrating the water mist system with the ventilation and desmoke systems, the office fire was selected as the scenario, which specified the crib (wooden) fire as the fire source, including its fire load. The smoke flows, extinction times of standard fire sources, and field temperatures were observed and measured by varying the working pressure, desmoke condition and relative orientation between fire source and smoke exhaust to investigate the relationship between the water mist and desmoke systems.

3. Important findings

From the experimental results, it found that water mist system even under the desmoking condition still can effectively put out the pool fire. However, the fire

extinction time is greatly affected by the desmoke capacity. The extinction time becomes longer as the desmoke capacity is higher that also can reduce the smoke density, CO₂ and CO concentrations, and temperature. In other words, it can mitigate the fire hazard and extend the occupant egress time.

In the crib fire tests, water mist system was found to be able to control the fire and reduce the field temperature. It was found as well that the toxic gas concentration is reduced comparing to that of regular sprinkler system so that the occupancy evacuation becomes safer.

From the Laser measurements, SMDs and diameters for most of mist drops were found under 500 μ . Based on the sizing definition according to 99 percentage of the accumulated volume of relative particle size, such mist sprinkler nozzle generates the droplet sizes ranged from 800 to 850 μ m. It indicates that the appearance of large water mist can increase the averaged water mist size.

From simulation results, the activation of water mist could enhance the effect of desmoke action that can reduce the toxic gas concentration and temperature. The mitigation of fire hazard by water mist become more apparent as the desmoke capacity is greater. The predicted behaviors completely agree with the corresponding ones appeared in experiments.

Since there are no codes or standards regulating the water mist systems and equipments in Taiwan, therefore, this study collects the standards and test items from IMO, UL and FM to serve as the references and research tools for the researchers, venders and manufacturers, who may interest in the field test or the simulation design.

4. Suggestions and recommendations

From this study, It can find that the water mist suppression system is very effective to control the office fire that can enhance the occupancy evacuation capability. However, such application is not so poplar now because there exist many appliances, such as personal computers, plugs and electrical wires, in a general office

ABSTRACT

that may cause a great concern on property loss due to water damage, the second hazard. Therefore, this study proposes to investigate the influence and damage level of the appliances in an office fire by using water mist system as the suppression means in the near future.





第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

由於海龍(Halon)系統滅火對各類火災有優越的抑制效果以及所需的放射劑量少，同時其在放射時不會對儀器設備造成額外的危害，因此在早期海龍滅火系統被廣泛的應用在各種場所當中。但不幸的是，海龍的組成成份中含有會有破壞臭氧層的鹵原子，在環境保護議題日益重視的情況下，於 1987 年由美國及全球各大工業國家所簽署的蒙特婁公約中(Montreal Protocol)，禁止了海龍滅火系統的生產，並規定在 2003 年 12 月時海龍滅火系統必須完全的停用。因此，同時即時起許多專家學者便開始致力於新型滅火系統的研究與開發，例如細水霧，壓縮空氣泡沫，及氣體滅火器等，作為海龍滅火系統代替用品，其中以細水霧滅火系統最具有優勢。

什麼是“細水霧滅火系統”呢？根據 2000 年 NFPA750[1]規範中對細水霧系統的說明：細水霧滅火系統為一種噴撒滅火系統，在系統中設置有一個或數個噴頭，可放射細水霧用以控制、抑制、撲滅火源，噴頭在最小設計工作壓力下，噴出水之水滴平均粒徑，共至少有 99% 的粒徑應小於 1000 微米 ($D_v 0.99 \leq 1000 \mu m$)。而其平均粒徑大小的決定方式，必須由 24 個量測點所決定。關於細水霧滅火系統的滅火性能機制的研究可以追溯到 20 世紀 50 年代中期，1955 年 Braidech 等人[2]在研究裡提出，細水霧滅火機制主要是為氧氣置換以及冷卻效果；在經過 40 餘年的研究驗證了該研究[2]觀點的正確性。而在近期 Mawhinney 等人[3]的研究中發現細水霧滅火系統另有其它的滅火機制，例如降低熱輻射效應，水蒸汽可將空氣稀釋與直接對未燃物品進行降溫的動作。

在我國目前消防法規中，對於需設置排煙設施場所，如大範圍的集會場所、工廠、電氣房及廊道等，並未對細水霧滅火系統在排煙設施下其滅火效能之影響，以及是否能替代撒水頭的選擇來做規範與評估。另外由於細水霧在通風排煙環境下，會有捲吸效應(entrainment effect)產生，其微小水分子會隨著氣流達到普通撒水頭水滴無法達到之遮蔽處，其火場抑制效果和傳統撒水頭有很大差異，因此有必要對細水霧在通風排煙的環境中的滅火性能來進行研究探討，來探討其替

代傳統撒水系統的可行性。



第二節 文獻回顧

細水霧系統也許是控制建築物火災可靠的消防設施之一，因為它可以配合偵測系統來有效率的自動探測到火源並抑制火災強度。細水霧系統的滅火效果是在整個燃燒過程中，藉著水來冷卻火燄及降低燃燒物燃燒速率。然而，在排煙環境中，細水霧撒水系統可能無法完全的發揮功效，因為來自撒水系統的噴流量會影響煙霧，也會阻礙排煙系統的功能，而排煙系統亦有可能會影響到細水霧系統的滅火效能。縱然撒水系統與排煙系統的作用相互交雜，但其目標都在抑制火勢的蔓延。而在很多的火災實驗中，並沒有很清晰的實驗及模擬可以揭露這些作用的影響。

細水霧系統與一般撒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 (volumetric mean diameter; 體積平均直徑) 直徑約在 30 至 300 μm ，因此其用水量會較一般傳統撒水頭少一個級數 (an order of magnitude)，換一句較通俗的字眼即是至少少十倍以上的用水量，除上述特性外，其功能與各項滅火系統之比較如表 1-1 所示。

最早敘述細水霧滅火機制的論述是由 Braidech[2]在 1955 年提出的，後經 Rasbash[4]等人証實其觀點，Braidech 提出細水霧滅火機制主要為空氣稀釋及冷卻效果，這些細水霧遇到火災的熱源後，蒸發為水蒸汽排擠了新鮮且源源不斷供應的氧氣，使得燃燒區域內的氧氣大為減少，同時這些細水霧粒子也提供了降低火場溫度的冷卻效果。

Dundas [5]統計的結果指出由於防護氣體經由通風口的洩漏情況下，海龍或者二氧化碳滅火系統無法有效將火源給撲滅的機率高達 37%。

表 1-1 各類滅火系統之比較

特性/作用	水系統 (Sprinkler)	海龍 (Halon)	二氧化碳 (CO ₂)	細水霧 (Water Mist)
無毒性	是	否	否	是
適用 A/B 類火災	否	是	是	是
不影響環境	是	否	否	是
需要幫浦	是	否	否	是
高吸熱能力	否	否	否	是

(本研究整理)

細水霧滅火系統的滅火性能會受測試空間內通風條件造成燃燒後的熱氣與外界新鮮空氣交換現象影響。然而，在通風條件下細水霧的滅火性能仍是較其它氣體滅火器：如二氧化碳滅火器及海龍替代用品來的優越。Pepi[6]在低壓細水霧滅火系統上研究的結果顯示，在通風條件底下，細水霧滅火系統仍然可以有效的將火勢給撲滅，但是火勢撲滅的時間卻較在無通風條件下增加 30%到 70%。

Kim 等人[7]在全尺寸火災實驗中顯示，在強制通風的測試條件下，使用連續性放射的細水霧滅火系統，無法將有遮蔽情況下的圓形油盤火源給撲滅。但是，若將連續性放射方式改為間歇性放射時，在相同通風條件下，細水霧滅火系統卻能在 168 秒便將火勢給撲滅。而實驗中所測量到的最低氧濃度為 16% 而最大的二氧化碳濃度是 3.3%。另外，在 Kim 所規劃的另一火災情境中，對於噴撒火災(燃料為 Heptane)無論是連續性放射或者是間歇性放射的情況，火勢均可以有效的受到控制。而在間歇性防護情況下，在天花板附近的氣體溫度比連續性放射來的高。其原因是在間歇性放射的情況下，原本被抑制的火勢迅速恢復，在天花板附近的熱氣體的濃度增加。當細水霧滅火系統再次開動，則會有更多的水蒸汽在測試空間內生產，因而提升細水霧滅火系統的滅火效力。

細水霧的火災技術近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，對於細水霧文獻的收集、檢測基礎的研究、細水霧量測實驗室的建置都有完善規畫及可觀成果，可參考附錄一。近幾年對水系統火災控制、細水霧滅火系統技術研發之規劃研究及隔煙系統之研究如下：

2003 年，陳俊勳、鍾基強等人[8]，針對水霧系統研究設施及驗證項目規劃及建立先期研究設施及驗證項目做了完整的文獻收集及比較。並對高風險危害情境分析、細水霧效能模擬分析、細水霧系統實場效能分析進行規劃。完成國內外相關細水霧研究探討比較、效能分析、測試與驗證方法及發展趨勢。協助建立及培訓人員完成全尺寸灑水系統實驗設備及量測技術。

2004 年，鍾基強[9]對於火災探測器與消防設備間的關係進行研究。針對密閉式及開放式撒水系統啟動機制及作動的影響參數、評估火災探測器發報時機及開放式撒水系對排煙及煙沉降的影響。並針對目前消防法規設置標準(包括設置場所、位置及數量等)做探討並完成全尺寸實驗之滅火機制驗證。

陳建忠、張尚文及謝煒東[10,11]，在 2004 及 2005 年建研所自辦案內，研究比較了細水霧與各種滅火系統的優劣與適用情形，並由細水霧的滅火原理發現：細水霧噴頭特性的「粒徑」與「速度」對滅火效果的影響極具關鍵地位。針對噴頭滅火特性的探討發現，影響滅火速率的因子輕重分別為噴頭高度>噴水時間>噴水壓力。在細水霧量測實驗室的建置上，參照 IMO-Res.A.800、UL-2167、NFPA-750 及 FM-Class5560 等先進國家關於細水霧的的規範，加上實際操作實驗的經驗研定「內政部建築研究所細水霧粒徑速度量測方法」乙種。

蔡榮鋒[12~14]，在 2004 至 2006 年建研所委辦案內，建置滌煙、隔煙測試實驗室來判斷實驗時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。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。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。結合國產之栓塞水泵及水霧噴頭即可建立水霧幕，達成隔煙、隔熱、滌

煙、防止竄燒等多功能之消防系統。

2007 年，何明錦、鍾基強[15]，針對水滴粒徑及噴頭裝設高度對水滅火系統抑火效應之研究及輻射遮蔽效果進行全尺寸實驗。發現無論何種粒徑大小或是裝設高低不同，在火場中都能有效的阻隔輻射。小粒徑細水霧撒水頭對裝設的高度較不敏感，大粒徑細水霧撒水頭在提高裝設高度後，其吸收及阻隔熱輻射的效能反而下降。

國內學者對細水霧的研究還包括，陳俊勳、徐一量等人[16]，對國內半導體廠公司製程排氣風管設置細水霧系統做滅火效能評估研究。實驗的參數為噴頭流量、操作壓力及通風抽氣流速。液滴的粒徑大小在火場防護上扮演很重要的角色。細水霧在滅火效能上比傳統撒水頭好，壓力高時滅火性能也較佳。

2007 年，陳俊勳、張文耀、徐一量等人[17]，針對細水霧在高科技廠房濕式清洗台進行滅火效能評估。實驗參數包含油盤大小、噴頭個數及位置、操作壓力及門的開度。發現小油盆滅火效果較大油盆為佳。噴頭位於火源正上方及油盆兩側各一顆會有最好的滅火效果。操作壓力不足、噴頭位置及噴撒角裝設不恰當，都會造成火勢蔓延，造成更大的損失。

Fang 等人[18]使用 LDV/APV 系統，在不同壓力下量測水霧的粒徑以及速度。他們建立了一個小尺寸的實驗來偵測火燄熄滅時的燃油溫度。並量測燃油在 ISO9705 下的熱釋放率，配合熱傳導係數、噴頭噴撒角，潛熱等參數，可以計算出燃油被熄滅時的溫度。最重要的是可以計算出 y 方向上，動量足以穿越火燄的臨界速度。

Cary 等人[19]利用 PIV 系統觀測經過加熱或未加熱的 Body-Centered Cube (BCC) 圓管的紊流。發現液滴分布主要取決於液滴大小及速度。較大的液滴及較快的速度會通過圓管而不受影響；較小的液滴及較慢的速度會在加熱圓管附近受熱蒸發形成可視流區。

在參考文獻[20]中之有關 Babrauskas 依木框架底部整體點燃以及中間點燃方式的不同，提供了質量損失率的經驗公式，其質量損失率為：

在排列數為寬鬆的結構下：

$$\dot{m} = \frac{4}{D} m_0 v_p \left(1 - \frac{2v_p t}{D}\right)$$

其中， $\dot{m}$ 為質量損失率(kg/s)、 m_0 為木框架初始質量(kg)、 D 為木條寬度(m)、 V_p 為燃料表面消耗率(fuel surface regression rate, m/s)。

至於在排列數較為密集結構質量損失率為：

$$\dot{m} = 4.4 \times 10^{-4} \left(\frac{S}{h_c}\right) \left(\frac{m}{D}\right)$$

其中， S 為木條間距(m)、 h_c 為木框架高度(m)、 $\dot{m}$ 為燃燒時的質量(kg)。在燃燒時間超過 t_0 之後，其質量損失率則與整體點燃方式相同。

一般而言，除了油盤以及木框架有經驗公式可估算燃燒速率外，尚未有其它經驗公式可供利用，對於各式各樣的傢俱，必須個別以量熱儀測試其熱釋放率。



第三節 研究方法

本研究實施方法，主要包括資料收集、測試場週邊設備設置與系統整合、細水霧系統於通風排煙環境下實場實驗、並能提供細水霧效能模擬分析及粒徑量測分析(此兩項工作在交通大學執行)，如圖 1-1，各部份工作內容詳細說明如下：

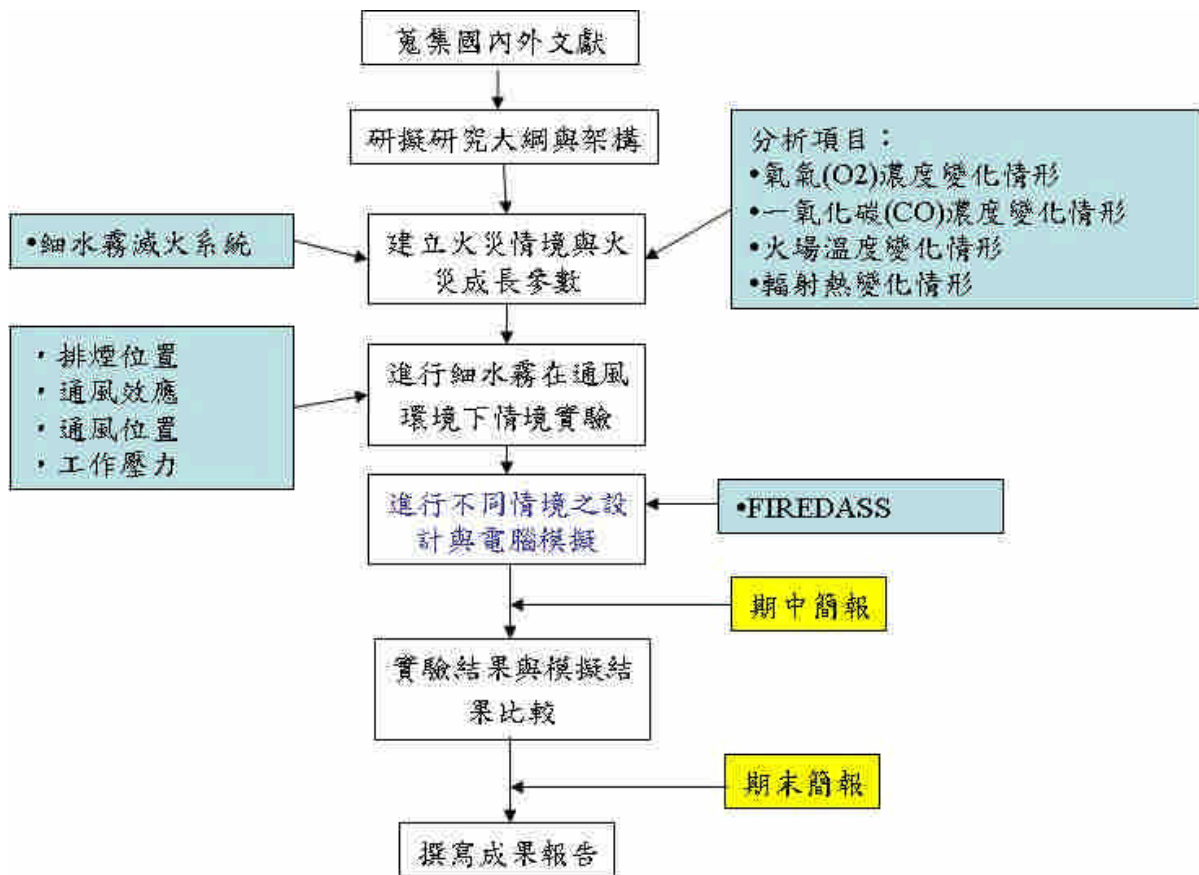


圖 1-1 計畫的實驗架構(本研究)

一、收集資料

此部份係針對本計畫執行必要之工作項目進行國內外相關文獻資料及法規之彙整，包括：系統應用對象之危害特性、欲分析對象物之情境建立、細水霧設計規範(NFPA 750、IMO、...)、情境模擬分析之參數收集(空間配置圖、火載量大小、排煙設施位置及流量、系統操作壓力、...)。尤其著重在建研所過去相關研

究[如參考考文獻 8~15 及[20]的整理和整合以作為本研究的實驗和模擬的基本架構。

二、實驗設備與系統架設

本部份進行測試前的準備動作，首先完成測試場週邊設備設置，排煙閘門、排煙風管、風機、配電等基本設施及溫度、氣體偵測系統的設置。接著可進行噴頭、管件、pump 等防護系統架設及受測物架設，以利於實場測試之進行。

三、細水霧系統於通風排煙環境下實場實驗

本研究主要內容是針對細水霧滅火系統 (Water Mist Fire Suppression System) 於通風排煙環境下在火災控制上的整合及應用。選定初期辦公室火災來做為火災場景，決定其火載量並以木堆當作標準火源 (採用 CNS3658 Z1021 乙種標準模型)。至於油盤火災則以 FM Approval Standard for Water Mist Systems Class Number 5560 中針對區域防護 (local application) 所訂定之池火 (pool fire) 測試為測試情境。

經由不同的噴霧條件、排煙條件及細水霧噴射位置與排煙口之相對位置，觀察流場變化並且量測標準火源被撲滅的時間，以及排煙管路之溫度變化。探討細水霧與排煙系統設置之相對位置與其滅火能力之相關性。

四、細水霧效能模擬分析

利用英國 University of Greenwich 所開發之細水霧抑制效能模擬軟體 FIREDASS 進行效能模擬。執行此效能模擬可獲得：細水霧之滅火效能評估、藉由效能評估進行噴頭佈置最佳化、減少實驗進行的次數，節省經費、節省時間，加速系統建立，縮短研發時程、有關細水霧效能模擬分析如後所述：

1994 年 SINTEF-NBL(Norway)邀集歐洲七個從事火災相關研究團體，包括 GEC-Marconi Avionics(UK)、Cerberus Guinard(France)、DLR(Germany)、University of Greenwich(UK)、National Technical University of Athens(Greece)、CAA(UK)、

Ginge Kerr(France)，向 European Commission 申請經費研發火災偵測與抑制模擬 (Fire Detection and Suppression Simulation, FIREDASS)軟體，此軟體係利用計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)對分析對象物進行數值模擬。此軟體包含許多子模式(Sub-Model)，如 DE/AC Model、Mist Model、Radiation Model、Fire Model、Suppression Model 等，其相互關係如圖 1-2 所示。

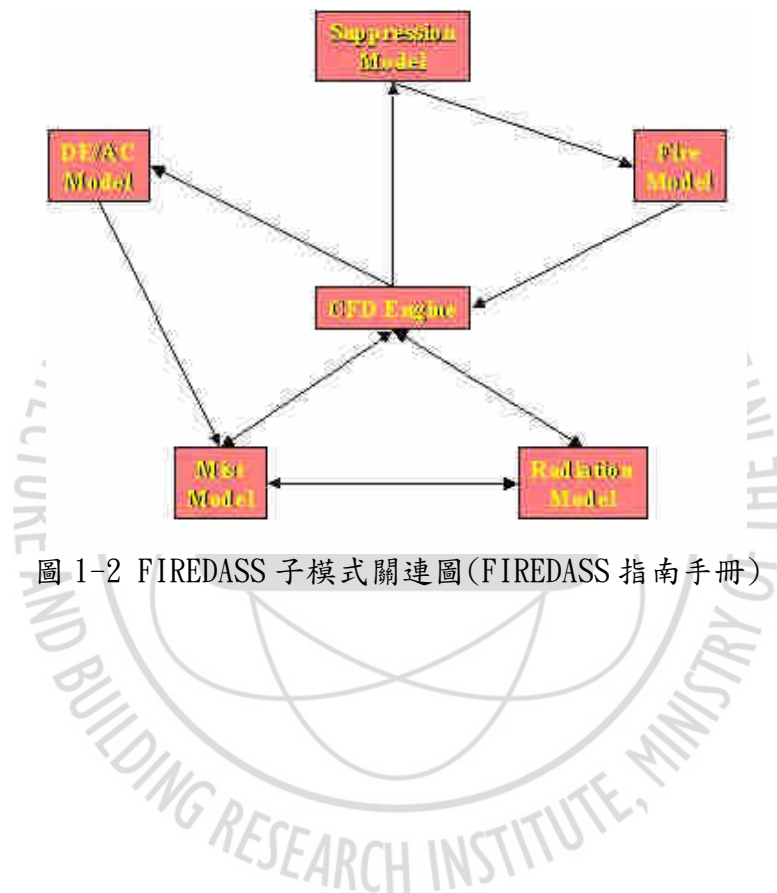


圖 1-2 FIREDASS 子模式關連圖(FIREDASS 指南手冊)

(一)火災模式(Fire Model)

火災模式係設定釋放速率以求得空間中燃燒的主產物，包括熱、殘餘氧氣、一氧化碳、二氧化碳、水蒸汽與煙等。上述之釋放速率，最好以實驗方式求得。

(二)火災抑制模式(Suppression Model)

此模式是引用 SINTEF 所發展之基準值工具組，依據前述之溫度與氧濃度值分析細水霧滅火情況。

(三)細水霧模式(Mist Model)

此模式乃計算細水霧對於火場環境之動量、熱、質量轉換等之影響分析，亦可計算細水霧之液滴表面積對於熱輻射之影響效應。

(四)熱輻射模式(Radiation Model)

(五)偵測與細水霧噴頭作動模式(The Detector/ Activation Model)

此可模擬環境中的煙/熱偵測器的反應與訊號的輸出，此軟體可分析水霧噴頭作動與作動時間。

五、細水霧噴霧液滴之粒徑量測

噴霧特性是評估細水霧性能的重要依據，液滴的粒徑、大小分佈範圍、體積通量等特性，影響其與空氣之接觸表面積及混合之均勻度，會影響整個細水霧系統的滅火性能。數位影像分析已被視為量測非球狀或不規則狀粒子最有效方法之一。現有之數位技術已可量測影像中各物件的面積、周長、真圓度等特性，亦即是量測非球狀滴的幾何特徵與霧化過程。數位影像技術所需之硬體一般包含脈衝雷射、高解析度數位相機、高倍率鏡頭等設備，來建立一套噴霧幾何特性視覺量測系統，除了硬體需求外尚需要一套影像處理與粒徑分析軟體，軟體所採用的影像處理程序，由一系列的數位影像運算組成。

本研究在交大所建立的暗房中，利用 PIV 技術來量測細水霧粒徑大小，藉脈衝雷射照亮待攝物件，以短曝光照相術來拍攝取相，獲得清晰之噴霧影像。此影像需先數位化處理，轉成 8 位元之 256 灰階圖。數位化之影像，可進行對比

增強及低通濾波等運算，以去除背景雜訊、改善其可讀性。適當的選擇閾值 (thresholding)，可藉二值化運算，將欲量測之液滴像素與背景，分離成黑色、與白色。在這整個處理程序中，同時就得到了液滴的粒徑、面積與周長。再以統計手法統計，將各尺寸範圍液滴的數量與總體積通量，求得平均粒徑 SMD 值。另外影像量測是以數位影像量測的方法進行。量測到的數據可依據 ASTM799-92 「Standard Practice for Determining Data Criteria and Processing for Liquid Drop Size Analysis」進行數據整理分析，並從中計算得到細水霧之平均粒徑。



第四節 研究內容與成果

綜上所述，本研究主要內容是針對細水霧滅火系統（Water Mist Fire Suppression System）在通風排煙環境下對於在火災控制上的整合及應用。選定辦公室初期火災來做為火災場景，決定其火載量並以木堆當作標準火源。經由不同的噴霧條件、排煙條件及細水霧噴射位置與排煙口之相對位置，來觀察煙流動變化並且量測標準火源被撲滅的時間，以及排煙管路之溫度變化以深入探討細水霧與排煙系統設置之相對位置與其滅火能力之相關性。至於完成之工作項目及具體成果如下：

1. 提供細水霧滅火測試標準火源與場景設立規範。
2. 提供不同噴霧條件下，細水霧撲滅標準火源之能力。
3. 提供細水霧與排煙口相對位置對於滅火能力之影響。
4. 評估細水霧系統與排煙設施整合之可行性與優缺點的探討。
5. 彙整國內外相關細水霧研究文獻、效能分析方法與發展趨勢，進行我國整合細水霧滅火系統與排煙設施，並作為未來設計規範建立之參考。
6. 提供細水霧效能模擬軟體（FIREDASS）之預測數值與細水霧滅火系統於通風排煙環境下之實驗數據做比對，以提昇防火工程設計評估之人員執行能力並作為設計分析最佳化之依據。



第二章 火災實驗場儀器設備

第一節 實驗與量測儀器

本研究主要內容是針對細水霧滅火系統（Water Mist Fire Suppression System）在通風排煙環境下對於在火災控制上的整合及應用。選定辦公室初期火災來做為火災場景，決定其火載量並以木堆當作標準火源。經由不同的噴霧條件、排煙條件及細水霧噴射位置與排煙口之相對位置，來觀察煙流動變化並且量測標準火源被撲滅的時間，以及排煙管路之溫度變化以深入探討細水霧與排煙系統設置之相對位置與其滅火能力之相關性。整個的實驗設備主要是由一個測試空間、不同的火災防護以及一些量測儀器所組成。而以上所提到的實驗設備，將會在接下來的部分作詳細的說明。

一、實驗空間

實場測試場地現址位於建築研究所防火實驗中心的煙控實驗室內，空間大小為 12 公尺長，4 公尺寬，高度 3.5 公尺，在實場測試時除紀錄滅火時間外，也將紀錄滅火的影像(靜態及動態)，在滅火測試進行的同時，也紀錄火場中多處的溫度變化、輻射熱通量變化及氧、一氧化碳等氣體濃度，示意圖如圖 2-1 和圖 2-2 所示；在空間中包括有三條熱電偶樹、四個撒水噴頭、兩個排煙口、一個補氣口、煙濃度偵測器及氣體分析儀。煙濃度偵測器與氣體分析儀架設高度均為 1.8m，主要是因為 1.8m 為煙層的危險界線。

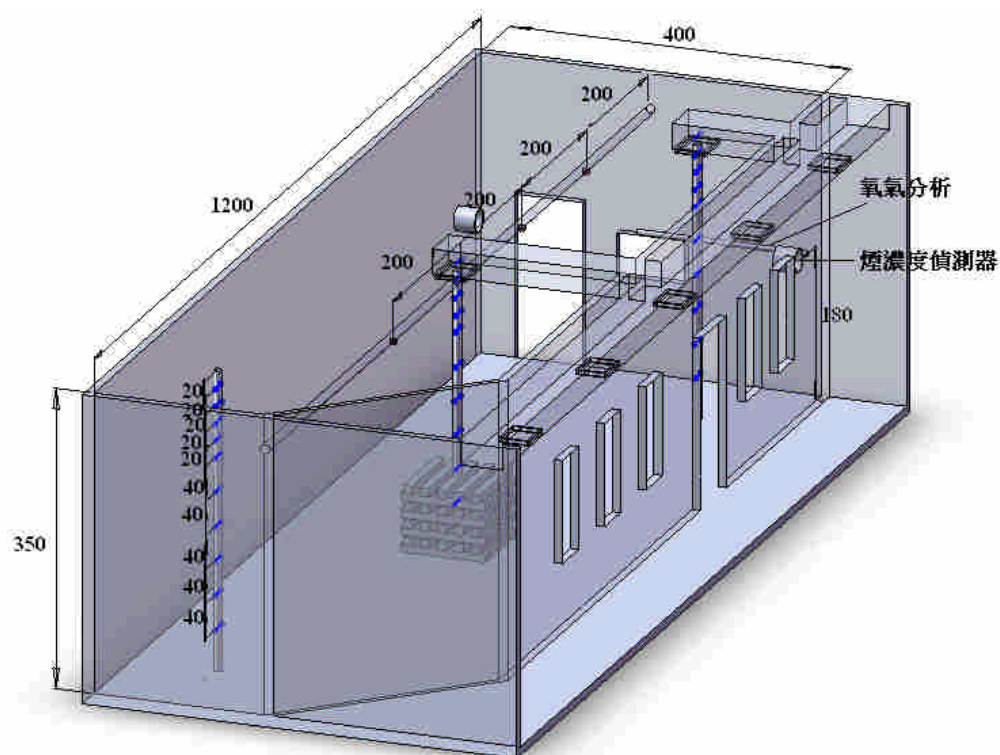


圖 2-1 實驗場地配置圖(本研究)

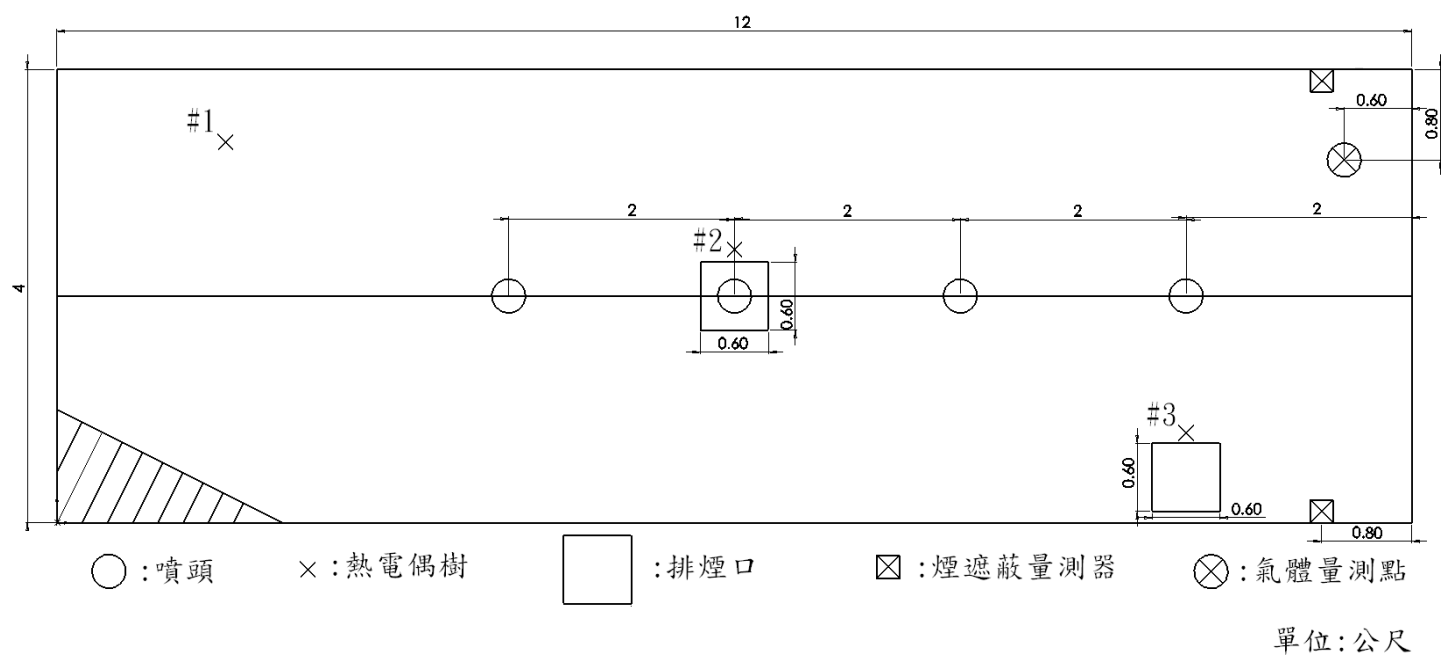


圖 2-2 實驗場地俯視圖(本研究)

二、氣體分析儀

本實驗中所用的氣體分析儀，如圖 2-3 是由 Testo 公司所研發的設備，透過 PCMCIA 卡來進行控制。當幫浦以手工或者自動的方式開始時，燃燒所產生的氣體，會經由前端的陶磁過濾器將大部分的雜質（主要是飛灰；soot）過濾掉，過濾後的氣體再經由探測管進去機器本體內。在進入氣體分析儀後，氣體的溫度會被冷卻到 4~8°C 之間，這時氣體中所含的水氣便會凝結成液態的水，以確保能得到乾燥空氣，同時降低儀器內部元件因水氣所帶來的損害。然後，乾燥的空氣會透過幫浦提供的動力到達氣體感應器。這裡，乾燥的空氣會經由孔隙極小的橫隔膜擴散進傳感器，然後產生信號。最後，氣體再透過排氣管排放至外界。其測量位置如圖 2-2，高度為 1.8m。



圖 2-3 氣體分析器(本研究)

三、熱電偶樹

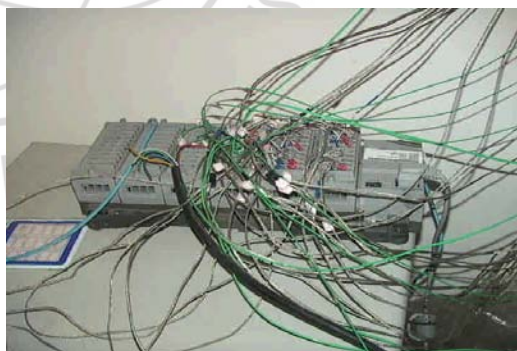
在本實驗中，一共設置有 3 條熱電偶樹(見圖 2-4)，其標號為#1，#2 和#3，每條熱電偶樹均由十支 K-型的熱電偶(量測範圍約-200~1370℃)所組成，上面 5 根熱電偶相距 20 公分，下面 5 根相距 40 公分。其目的在於測量測試期間，空間中不同位置溫度變化情況。實驗過程中所產生的訊號會經由訊號處理器 (DU-100 與 DA-100)(見圖 2-5)透過乙太網路傳輸方式儲存在電腦中。



圖 2-4 熱電偶樹(本研究)



(a)



(b)

圖 2-5 數據處理器(a) DA-100 (b)DU-100(本研究)

四、煙遮蔽量測器

煙遮蔽量測器(CODEL Model 200t)包括一個信號處理機單位和兩台相同的雷射光源發射器，如圖 2-6 和圖 2-7 所示。兩台雷射光源發射器分別被安裝相對牆上 1.8m 高度（見圖 2-7）。



圖 2-6 煙遮蔽量測的訊號處理器(本研究)



圖 2-7 雷射光源發射器(本研究)

信號處理機包含了電源以及控制的微處理器部份，該信號處理機/電源可以調整雷射光源的波長，以及發射的雷射光強度，而雷射光強度因通過煙層之衰弱量經訊號產生器(D100 以及 DA-100) 直接把一個電訊號轉變成一個電壓訊號，進而得到相對應的煙遮蔽率。

在雷射光源發射器部分包含一個感測頭(包括光源，一個檢測器和相關視覺的感應元件)；以及一面校準鏡和可旋轉的閥門。光源由兩個波長為 637 nm (在人眼睛可視範圍內)的高功率發光二極體(LED) 組成。

煙遮蔽率測量的詳細的工作原理描述如下。考慮兩個獨立的雷射光源分別設置在牆壁的兩端的情況，此時，從雷射光線 1 發射至雷射光線 2 的關係可以用下列方程式來表示；

$$\pi_{21} = K_1(D_{12}/D_{22})$$

其中： K_1 = gain constant to product

$\pi = 1$ (100 % transmissivity, clean air condition)

D_{12} = the detector output at unit 1 (internal reference level)

D_{22} = the detector output at unit 2

或是從雷射光源 2 發射至雷射光源 1 的關係式，可以寫成下列式子：

$$\pi_{12} = K_2(D_{21}/D_{11}),$$

其中： K_2 = gain constant to product

$$\pi = 1 \text{ (100 \% transmissivity, clean air condition)}$$

D_{21} = the detector output at unit 1

D_{11} = the detector output at unit 2 (internal reference level)

另外從上面的兩個關係式，(π)可以以下列關係式來表示：

$$\begin{aligned} \pi &= \pi_{12} \times \pi_{21} \\ &= K_1(D_{21}/D_{11}) \times K_2(D_{21}/D_{11}) \end{aligned}$$

五、數位攝影機

在試驗將數位式攝影機（類型 DCR-TRV40，新力），放置在觀景窗(Viewing Window)的地方，以幫助記錄實驗過程中火場的變化情形。而錄製的影像透過影像轉換卡(IEEE1394 的插槽)，以及 Ulead 6.0 影像處理軟體，將所錄製的影片存放在電腦中。

六、火源設計

本研究選定辦公室初期火災來做為火災場景，並決定其火載量並以木堆當作標準火源，如圖 2-8；木堆標準火源的設計將參考 CNS3658 Z1021 乙種標準模型，其使用 90 根木材堆疊而成的，每根木材長度為 73cm，木堆下方放置 1500C.C.的汽油，依據 CNS3658 需使木堆預燃 3 分鐘方可進行滅火實驗。另外亦有使用到油盤火災，其火源則以 FM Approval Standard for Water Mist Systems Class Number 5560 中針對區域防護(local application)所訂定之池火(pool fire)測試為測試情境，池火火源如圖 2-9 所示，因場地大小的影響，油盆的大小選用 40cm×40cm、高度 15cm，並且選用汽油來作為油盆火災的標準火源。

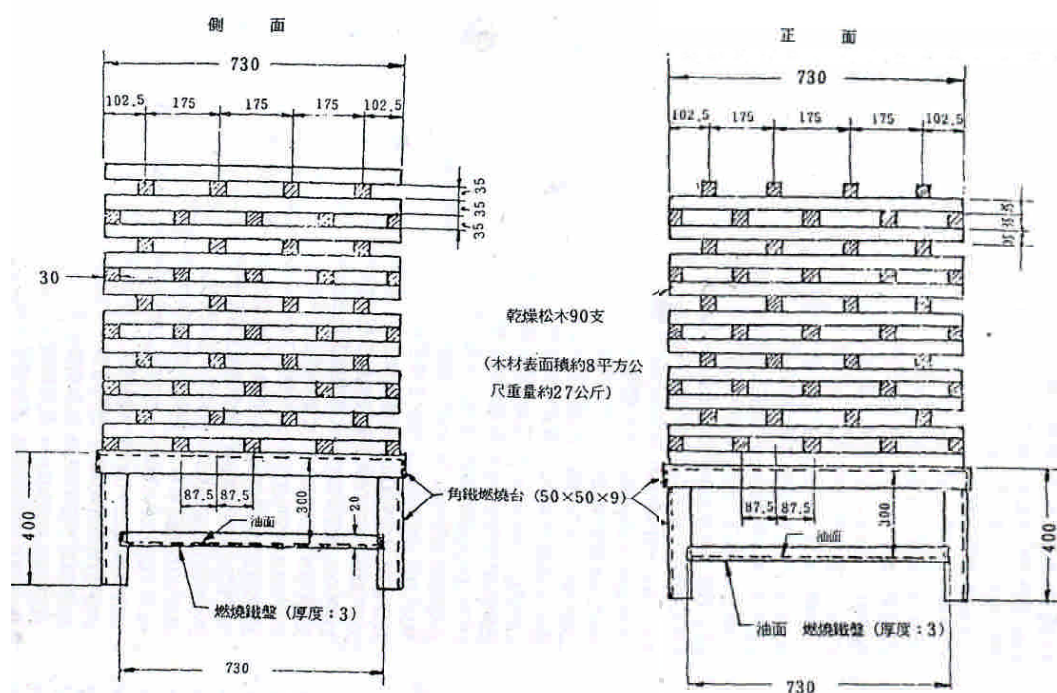


圖 2-8 木堆火源(CNS3658)

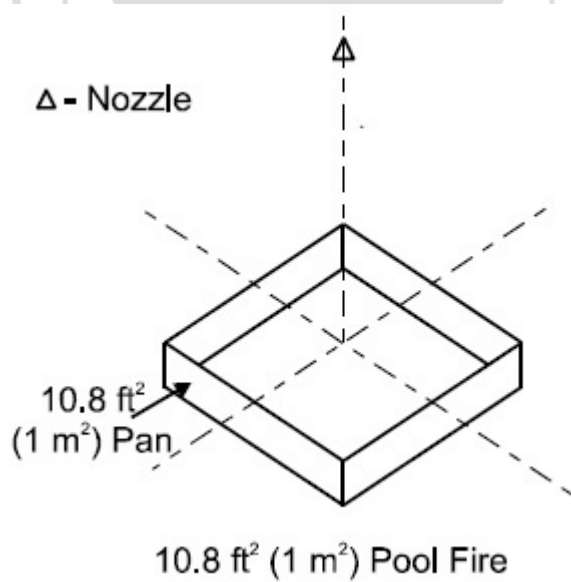


圖 2-9 油盆火源(FM)

七、測試場週邊設備設置與系統整合

圖 2-10 到圖 2-17 顯示週邊場地設備設置，包含了撒水變頻控制盤系統、細水霧啟動控制系統、偵熱與偵煙探測回路系統、排煙口與補氣口、細水霧旋吊系統以及天花板四周封板，其中排煙口大小為 60cmx60cm，而補氣口大小為 45cm x60cm，位置如圖 2-1 和圖 2-2 所示。圖 2-14 到圖 2-17 顯示週邊場地設備設置，包含了撒水變頻控制盤系統的改善與測試、偵熱與偵煙探測回路安裝、排煙風管含兩手動閘門安裝、細水霧旋吊系統以及天花板四周封板。



圖 2-10 撒水變頻控制盤系統



圖 2-11 細水霧啟動裝置



圖 2-12 排煙啟動控制器



圖 2-13 偵熱與偵煙探測回路



圖 2-14 排煙風管

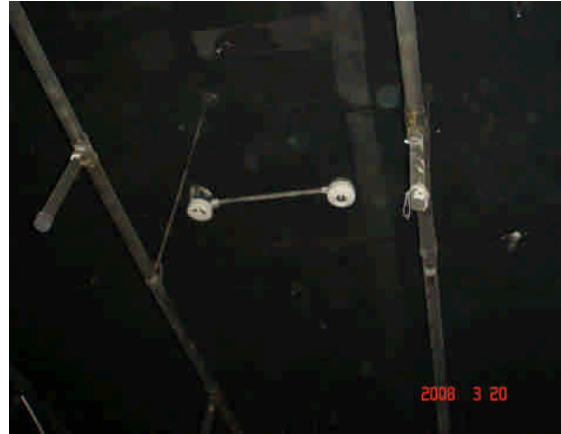


圖 2-15 細水霧旋吊系統



圖 2-16 排煙口



圖 2-17 補氣口

(本研究)

(一)實驗偵測儀器架設

架設 3 條熱電偶樹，分別位於房間左上、正中及右下位置。煙濃度偵測器則架設於右上門入口 0.8m 處，高度為 1.8m，來探討火災發生細水霧啟動時對逃生的影響。氧氣及二氧化碳氣體偵測儀則架設於煙濃度偵測器旁邊。

(二)實驗參數測試

在實驗場地先進行油盆火災測試，40cmx40cm 油盆放於房間中央的排煙口下方，測試情境分別為(一)無排煙狀態下，細水霧工作壓力 100Bar (二)120m³/min 排煙狀態下，細水霧工作壓力 100Bar 及(三) 50m³/min 排煙狀態下，細水霧工作壓力 100Bar。根據消防法規規定，排煙機之排煙量需在 120m³/min 以上；在防

煙區劃內每平方公尺每分鐘要有一立方公尺以上的排煙能力。實驗場地面積約大於 48 m^2 ，因此通風量最大及最小設為 $120\text{ m}^3/\text{min}$ 及 $50\text{ m}^3/\text{min}$ 。

在測試過程中發現在無排煙狀態下，汽油油盆在預燃一分鐘後啟動細水霧，全區放射情況下滅火時間為 58 秒。油盆預燃後煙層高度迅速下降，房間溫度上升很快。細水霧啟動後，隨著細水霧逐漸瀰漫到整個房間內及氧濃度逐漸減少下，火勢逐漸被抑制縮小到熄滅。

在 $120\text{ m}^3/\text{min}$ 排煙狀態下，汽油油盆在預燃一分鐘後啟動細水霧，細水霧在整個過程內完全無法抑制火源，直到 4 分 43 秒時油料幾乎完全耗盡時才熄滅，且無法復燃。不同的地方在於燃燒過程中的濃煙大量的被排走，煙層沉降速度減緩，對人員避難逃生較有幫助。

在 $50\text{ m}^3/\text{min}$ 排煙狀態下，滅火情況則介於上述兩者之間，全區放射情況下滅火時間為 2 分 5 秒。既可以抑制熄滅火源，也能稍為降低煙層沉降速度，在火源抑制及人員逃生都有幫助。

由以上測試可以發現，排煙狀態的確會明顯影響到火場抑制及人員逃生，此初步測試提供在後續之的實場實驗進行參數調配，找出不同情境下細水霧系統及排煙設備對火場的影響（見第四章）。

八、實驗操作步驟

- (1)將電腦與數據處理器連結並設定。
- (2)安裝熱電偶，煙遮蔽測量儀和氣體分析器儀器。然後，在開始實驗前，在對所連接的通訊管道做進一步的確認，保證他們的訊號輸出正確地連接相應通訊管道。
- (3)把汽油(1500C.C.和 3000C.C.)和水(1500C.C.)倒入油盆中，並且攪拌燃料使其均勻分佈於油盤中。
- (4)在油盆的火(木堆火)被點燃之前，先開始記錄溫度，煙遮蔽和氣體濃度同時開始錄影。
- (5)點燃油盆火以後迅速離開測試空間並且把門給關上，使其預燃一

分鐘後開始滅火(木堆火災則是預燃三分鐘)。

(6)當進行無排煙的實驗時，補氣口是關閉的；反之，有排煙的實驗

則將補氣口打開，進行細水霧滅火試驗的記錄觀察。

(7)火勢被撲滅之後，油盆火災會進行復燃的動作，來驗證火是被細

水霧撲滅的，或者是油燒完而熄滅的；木堆火災則是靜待數分鐘

後，確認木堆是否有復燃的情況出現。

(8)當試驗結束時，關閉測量儀器。啟動排氣系統同時把門打開，把

燃燒產物抽到外界，直到試驗環境返回原始狀態，再接著下一次試

驗。

(9)每種實驗情境至少進行三次以上的實驗次數，再將實驗結果進行

平均值計算，確認實驗之再現性，以確保實驗的準確性。

九、雷射量測系統

影像處理技術可分為兩大界域，空間域以及頻率域。在空間域，影像上各部位的圖素均直接進行處理；在空間域影像則先必須經過傅利葉轉換成為傅利葉函數，然後加乘一組特定的濾鏡函數來得到處理後的影像函數。空間域以及頻率域之間的轉換則是以迴旋定理來連接。為了節省轉換計算的時間，採用快速傅利葉轉換 (FFT) 是較適當的方法。影像加強的主要目的在於針對要處理的目標，加強特定的特性來獲取所需的影像資料。影像加強是一種主觀且問題導向的處理方式，不須依循單一標準的條件。常用的加強方式有高斯低通濾波、均值濾波以及同調濾波。本研究採用高斯低通濾波，其優點在於可以有效降低影像中的雜訊，圓滑各粒子影像的邊緣，以及保有粒子影像本身的特性。影像復原和影像加強擁有相同的目的，透過影像處理技術來增強影像的品質，唯一不同之處在於影像還原技術認定一開始取得的影像已經受到損傷，因此主要處理過程著重在消去額外的雜訊，透過退化函數來反推原始的影像。常用的方式有 Wiener 濾波以及主動式濾波。

在本實驗採用 Spectra Physics 公司的 Ar 雷射，連續波綠色可見光，增加了

CCD 感光度並且降低了實驗中雷射光源校準之困難性，雷射功率 2W、波長 532nm、光束直徑 2.3mm、光束擴散角 0.5mrad。將雷射架於光學平台，經圓柱透鏡將雷射光束轉為雷射光頁（laser sheet）厚度約 3.4mm，雷射光頁射入石英玻璃測試段，使光頁切於噴頭下方的中央部份的位置。如圖 2-18，先可藉脈衝雷射照亮待攝物件，以短曝光照相術來拍攝取相，獲得清晰之噴霧影像。

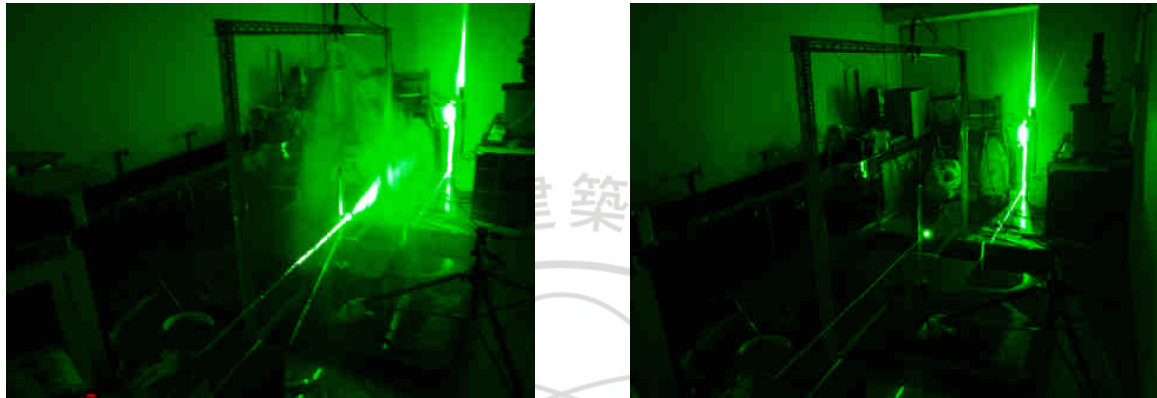


圖 2-18 高壓細水霧系統噴嘴(a)正視圖以及(b)俯視圖(本研究)

(一)光學透鏡組

實驗所用之光學透鏡組，用於產生雷射光頁，包括光學平台、圓柱透鏡(BK7 Precision Cylindrical Lenses)、圓柱透鏡支架與固定器，圓柱透鏡有效焦距為 6.4mm。

(二)分析系統(analysis subsystem)

因應 PIV 所產生的大量影像資料，所以需要高容量、高處理速度儲存系統，由 Pentium 4 CPU 3.0GHz 及 1GB RAM，使用 NI 軟體後處理分析影像資料。此影像需先數位化處理，轉成 8 位元之 256 灰階圖。數位化之影像，可進行對比增強及低通濾波等運算，以去除背景雜訊、改善其可讀性。適當的選擇閾值(thresholding)，可藉二值化運算，將欲量測之液滴像素與背景，分離成黑色、與白色。在這整個處理程序中，同時就得到了液滴的粒徑、面積與周長，流程如圖 2-19 所示。

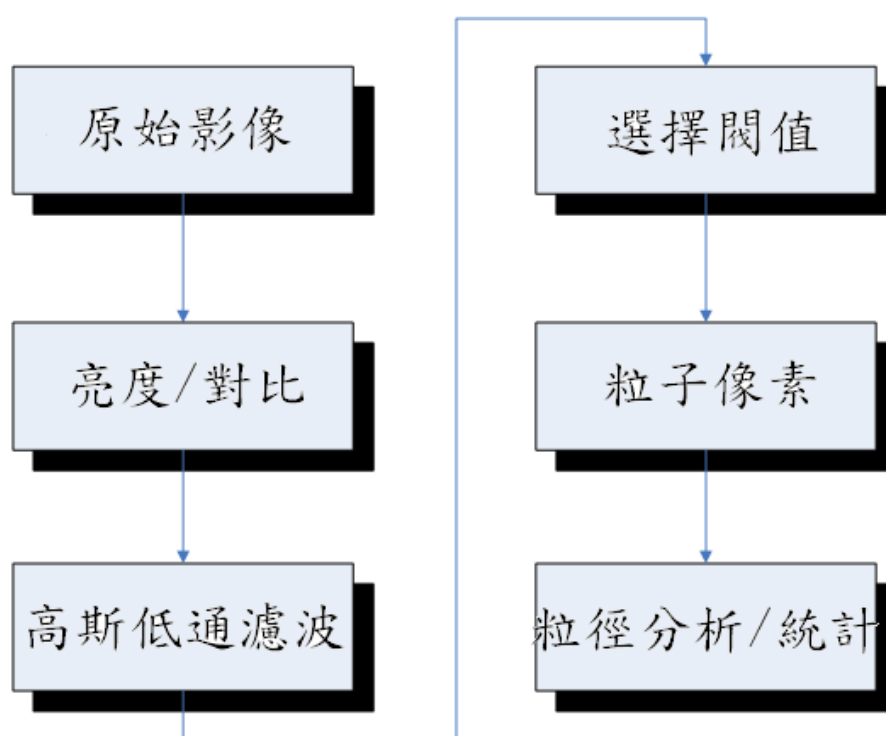


圖 2-19 數位影像處理流程(本研究)

再以統計手法統計，各尺寸範圍液滴的數量與總體積通量，求得平均粒徑 SMD 值。另外影像量測是以數位影像量測的方法進行。量測到的數據可依據 ASTM799-92 「Standard Practice for Determining Data Criteria and Processing for Liquid Drop Size Analysis」進行數據整理分析，並從中計算得到細水霧之平均粒徑。

第二節 細水霧噴頭粒徑量測

此部份工作在交通大學執行，工作內容主要針對細水霧噴頭進行其噴撒角度、相對累積體積百分比及 SMD 粒徑分布及大小的量測。

實驗所使用的噴頭為 DANFOSS 公司所出產的細水霧噴頭(相關認證資料參考附錄三)，如圖 2-20 所示，其 k factor=0.45，外環有四個噴嘴，工作壓力可達 100Bar。而其噴撒角(spray angle)經過量測後為 135° (工作壓力受限於實驗室能力只能為 50Bar)；如圖 2-21 所示。表 2-1 為本實驗所使用之細水霧噴頭與傳統撒水噴頭的特性，對於 K 值、使用壓力和用水量來做比較。



圖 2-20 高壓細水霧系統噴嘴(a)正視圖以及(b)俯視圖(本研究)

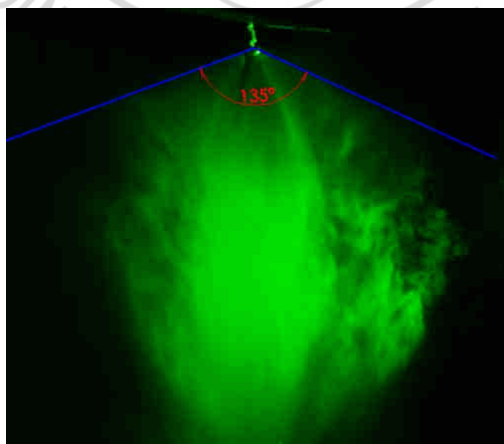


圖 2-21 噴頭噴撒角 135° (本研究)

透過 CCD 相機取得的原始影像，其影像處理流程包含以下幾項：亮度/對比調整、RGB 三原色分析、高斯平滑濾鏡、二值化以及粒子資料分析。亮度/對比技術可以將不在雷射平面上的水粒成象消除，僅保留在平面上的水粒，再透過對比調整使得影像更加清晰；由於本研究採用之雷射為綠色單色光，因此透過 RGB 處理將影像中之綠色分佈像素獨立出來以利後續處理；高斯平滑濾鏡可以消去不必要的雜訊，以免分析粒徑時造成影響；選取適當的灰階值進行二值化，使系統有所判別依據來選取粒子影像，最後取得的各粒子影像透過程式即可計算其佔像素多寡，然後換算成實際的液珠直徑。根據所攝得的影像，經過數位影像處理後，再由 NI 的軟體計算其粒徑大小後，以直方圖繪出，如圖 2-22 所示。由圖可以發現大多數的水霧粒徑都在 500 μm 以下，由 NFPA750 Handbook[1]的定義，在距噴頭下方 1.0 m，垂直於噴頭主軸的平面上作量測，由累積體積百分比為 99%的相對粒徑來區分水霧大小，此噴頭所對應的粒徑則介於 800-850 μm ，見圖 2-23。因此只要有數顆大粒徑的水霧出現會大幅提昇所定義的水霧大小，這也是值得探討的地方。

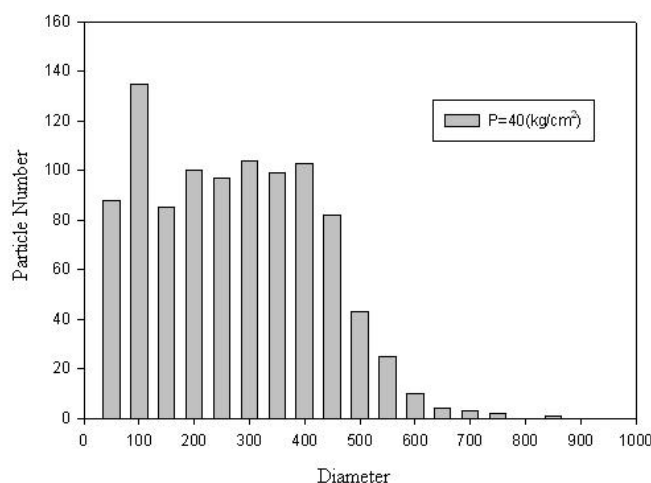


圖 2-22 粒徑個數分布直方圖(本研究)

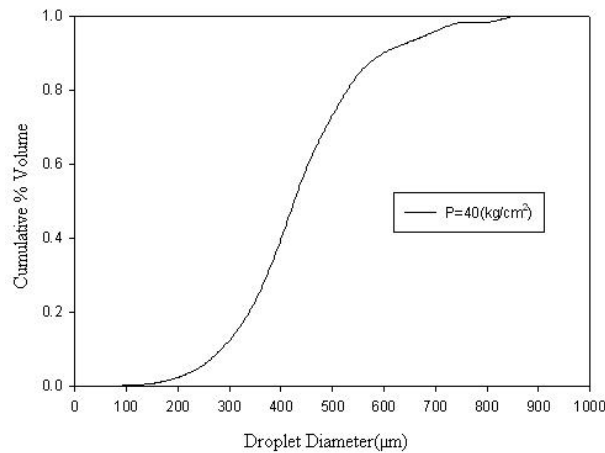


圖 2-23 相對累積體積百分比(本研究)

依據 ASTM799-92 「Standard Practice for Determining Data Criteria and Processing for Liquid Drop Size Analysis」進行數據整理分析，並從中計算得到細水霧之平均粒徑，如表 2-2。由 D_{i1} 、 D_{i2} 、 D_{i3} 來計算各區間的總和並算出 SMD 值。而各個間距取 $50\mu\text{m}$ ，可以符合規範中需符合的關係式，而 $40\mu\text{m}$ 及 $60\mu\text{m}$ 則不符合需求。所得之 SMD 在 $P=40\text{Bar}$ 時是 $394.9\mu\text{m}$ ，依據 Fire Protection Handbook 累積 99%體積百分比的細水霧為 $800\text{-}850\mu\text{m}$ 介於 Class III 水霧範圍內；而累積 50%體積百分比的細水霧為 $400\text{-}450\mu\text{m}$ ，如表 2-3。

表 2-1 噴頭特性比較(本研究)

噴頭	DANFOSS 細水霧噴頭	傳統兩用型撒水頭
K factor	$0.45 \text{ l/min/bar}^{1/2}$	$80 \text{ l/min/bar}^{1/2}$
使用壓力	100bar	3.5bar
用水量	4.5 l/min	150 l/min

表 2-2 SMD 計算樣本資料(本研究)

Size Class	Class	No. of Drops	Sum of Di in Each Size Class			Vol. % in	Cum. %
Bounds	Width	in Class	Di	Di ²	Di ³	Class	by Vol.
0-50	50	88	2200	55000	1375000	4.23E-05	4.23E-05
50-100	50	135	10125	759375	56953125	0.001752	0.001795
100-150	50	85	10625	1328125	1.66E+08	0.005108	0.006902
150-200	50	100	17500	3062500	5.36E+08	0.016489	0.023391
200-250	50	97	21825	4910625	1.1E+09	0.033994	0.057385
250-300	50	104	28600	7865000	2.16E+09	0.066544	0.123929
300-350	50	99	32175	10456875	3.4E+09	0.104559	0.228488
350-400	50	103	38625	14484375	5.43E+09	0.167113	0.395601
400-450	50	82	34850	14811250	6.29E+09	0.193668	0.589269
450-500	50	43	20425	9701875	4.61E+09	0.141784	0.731053
500-550	50	25	13125	6890625	3.62E+09	0.11113	0.842353
550-600	50	10	5750	3306250	1.9E+09	0.05849	0.900843
600-650	50	4	2500	1562500	9.77E+08	0.030045	0.930889
650-700	50	$\frac{D_{kub} - D_{klb}}{D_{kub} + D_{klb}} \times \frac{\text{liquid volume in } K_{th} \text{ class}}{\text{total volume}} < 0.05$					75
700-750	50						24
750-800	50	1	825	680625	5.62E+08	0.017276	1
800-850	50	0	0	0	0	0	1
850-900	50	0	0	0	0	0	1
900-950	50	0	0	0	0	0	1
950-1000	50	0	0	0	0	0	1
1000-1050	50	0	0	0	0	0	1
1050-1100	50	0	0	0	0	0	1
1100-1150	50	0	0	0	0	0	1
1150-1200	50	0	0	0	0	0	1

表 2-3 DANFOSS 細水霧噴頭量測數據(本研究)

噴撒角度	135°
SMD	394.9μm
Dv _{0.99}	800-850μm
Dv _{0.5}	400-450μm

第三章 相關規範探討及彙整

第一節 國內法令規定

目前國內並無細水霧滅火設備之標準或規定。其符合所替代設備之滅火性能：例如替代氣體滅火設備，能達迅速滅火、低損害之效能。可用於替代海龍滅火設備等，得準用「各類場所消防安全設備設置標準」之規定：

(一)依第 2 條屬新技術，檢具具體證明，個案認可。

(二)第 18 條及相關設備之規定。

國內『設置標準』第十八條所列之場所，其具體內容如表 3-1。

細水霧滅火設備之審核認可的法令依據如下：

(一)消防法第 12 條：經中央主管機關公告應實施檢驗之消防機具、器材與設備，非經檢驗領有合格標示者，不得銷售、陳列及設置使用。

(二)消防機具器材及設備認可作業要點。

(1)型式認可、型式變更、輕微變更、個別認可。

(2)目前委由消防安全中心基金會辦理。

(三)內政部消防技術審議委員會設置要點。

(1)依據各類場所消防安全設備設置標準第 3 條規定，公告之消防安全設備應經審核認可。

(2)依據各類場所消防安全設備設置標準第 2 條規定，檢具具體證明，個案審核認可。

(四)消防安全設備審核認可須知(圖 3-1)。

表 3-1 各類消防滅火系統設置場所比較表

應 設 場 所		水 霧	泡 沫	二 氧 化 碳	乾 粉	海龍 替代 品	自 動 撒 水	細 水 霧
一	屋頂直昇機停機場（坪）		○		○			○
二	飛機修理廠、飛機庫樓地板面積在二百平方公尺以上者		○		○			○
三	汽車修理廠、室內停車空間在第一層樓地板面積五百平方公尺以上者；在地下層或第二層以上樓地板面積在二百平方公尺以上者；在屋頂設有停車場樓地板面積在三百平方公尺以上者	○	○	○	○	○	○	○
四	升降機械式停車場可容納十輛以上者	○	○	○	○	○	○	○
五	發電機室、變壓器室及其他類似之電器設備場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者	○		○	○	○		○
六	鍋爐房、廚房等大量使用火源之場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者			○	○	○		○
七	電信機械室、電腦室或總機室及其他類似場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者			○	○	○		○
八	引擎試驗室、石油試驗室、印刷機房及其他類似危險工作場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者。	○	○	○	○	○		○
註： 一、大量使用火源場所係指最大消費熱量合計在每小時三十萬千卡以上者。 二、廚房如設有自動撒水設備，且排油煙管及煙罩設簡易自動滅火裝置時，得不受本表限制。 三、停車空間內車輛採一列停放，並能同時通往室外者，得不受本表限制。 四、本表第七項所列應設場所得使用預動式自動撒水設備。								

(資料來自財團法人消防教育學術研究基金會-細水霧火災防護性能及適用範圍之研究-附錄 C)

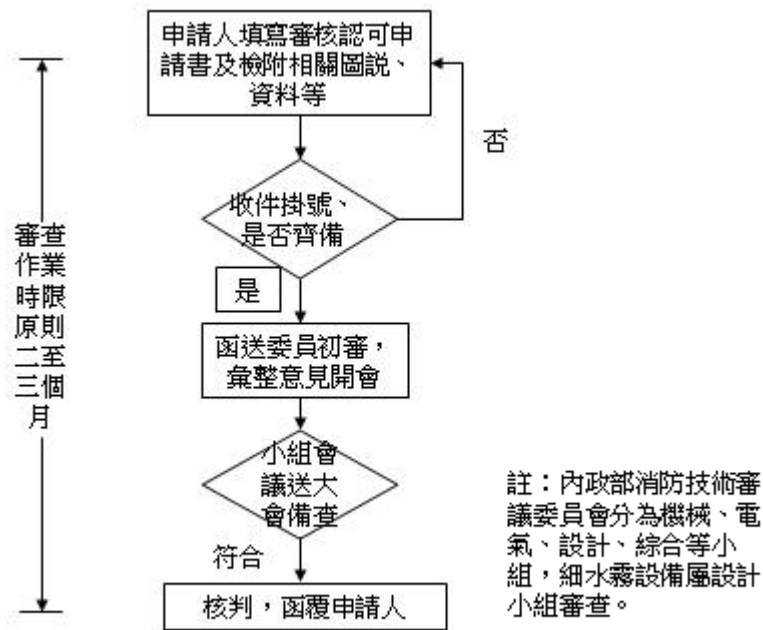


圖 3-1 消防安全設備審核認可之程序

(資料來自馮俊益組長-細水霧研討會報告)

其審查應考量之要件是依據 NFPA750 的規範，主要有下列幾項：

(一)設備應認證登錄，並應包括下列文件：

- (1)火災實驗規範：檢討細水霧系統設計是否能符合認證登錄上
有關防火（性能）目標及所有應用參數之登載。
- (2)應用參數：包括區劃（空間）參數（如高度、體積、障礙及通
風）、火災危險（如可燃物種類及型態）、場所使用型態等。
- (3)適用性：評估規範能重複驗證與該特定危險型態與場所用途
相關之應用參數。
- (4)測試：實施火災實驗，以確認其限制及原廠設計安裝手冊所
載之系統安裝參數與元件。

(二)防火（性能）目標

- (1)控制：減少建築結構之熱曝露量、減輕對人命之威脅或降低
與火災相關之特徵量（如釋熱率、火災成長率）。

(2)鎮壓：有效而大幅度降低火焰之釋熱率，防止火焰成長。

滅火：完全鎮壓火勢直至無可燃物燃燒。

(三)區劃變數

(1)區劃空間之幾何形狀。

(2)通風方式：自然通風、強制通風。

(四)火災危險分類

(1)火載量：應就場所進行火災危險分析。

(2)可燃物種類：評估可燃物起火/復燃容易程度、火焰成長速度，是否能有效滅火。

(3)A 類火災：應考量深層火災能否撲滅之可能性。

(4)B 類火災：考量係屬平面油池火災、立體噴灑火災或流動火災，依不同型式評估其適用性。

(5)C 類火災：應考量導電性。

第二節 細水霧滅火系統國際相關測試規範介紹

目前國際上許多機構都在發展細水霧滅火系統測試協定，目的在進行細水霧滅火系統效能驗證，確保系統有效性。因此 NFPA750 也針對測試機構進行調查列表，如表 3-2，包含 UL(Underwriters Laboratories, Inc.)、FM Global、IMO(International Maritime Organization)及 VDS(Verband der Schadenversicherer e.V.)等測試機構及測試規範名稱，其中 IMO 只制定規範而非測試機構，UL 及 FM 的測試規範大都延自 IMO 的規範，但加上 UL 及 FM 的一些自定測試項目，目前 UL 及 FM 可說是美國在細水霧滅火系統測試的主要廠家，要進入美國市場一定要通過 UL 或 FM 的測試認證。目前國內尚未建立相關符合國外細水霧滅火系統之測試規範，故本研究收集整理國際測試規範及測試空間需求，依此規劃一個符合性能式理念的標準測試場所與進行效能評估模式，以提供國內業者、研究機構在細水霧滅火系統實場測試或電腦數值模擬應用方面的參考工具。

表 3-2 細水霧滅火系統測試協定及空間分類表(本研究)

機構名稱	規範名稱	測試項目	空間需求
FMRC	CLASS 5570	室內燃氣渦輪機之細水霧系統要求 C 類燃燒機房與特別危險機械空間之細水霧系統性能要求 輕度危險場所之細水霧系統性能要求 濕式清洗台之細水霧系統性能測試(1997)	測試場所大小： 7.3 m×7.3 m×4.9m (260 m ³)
UL	UL2167	消防用細水霧噴頭標準(1998) 機械空間之細水霧系統性能測試 客艙之細水霧系統性能測試 大於 12m ² 之客艙之滅火性能測試 公共空間之細水霧系統性能測試 住宿設施之細水霧系統性能測試 輕度危險場所之細水霧系統性能測試 普通危險場所之 I 及 II 類火災測試 噴頭結構設計、標註及性能要求	A 類機械空間與泵浦機房火災中： Class I 為 500m ³ Class II 為 3000m ³
IMO	MSC/Circular 668	機械空間與泵浦機房之海龍滅火系統替代方案.包括：同等性能水系統滅火系統之組件製造標準與 A 類機械空間與泵浦機房之同等性能水系統滅火火災測試方法	
	MSC/Circular 728	修正 MSC/Circ668 A 類機械空間與泵浦機房之同等性能水系統滅火設備火災測試方法 (1994)	
	Res.A.800 (19)	由 IMO Res.A.800(19)，設置撒水系統認可準則，包括：細水霧噴頭組件製造標準，客船住宿區、公共區及服務區之撒水系統同等性能火災測試	
VDS	VDS2498	纜線管溝細水霧噴頭要求	

附註：

FMRC：Factory Mutual Research Corporation

UL：Underwriters Laboratories, Inc.

IMO：International Maritime Organization

VDS：Verband der Schadenversichen e.V.

一、細水霧滅火系統國際相關測試之測試空間需求

本節針對上節所述之測試規範進行整理，將各測試規範之測試項目及其空間需求進行列表整理。表 3-3 為針對 FM 的測試規範所整理出的空間需求，表 3-4 為針對 UL 的測試規範所整理出的空間需求，而表 3-5，表 3-6 及表 3-7 則為針對 IMO 的測試規範所整理出的空間需求

表 3-3 FM 之測試規範空間需求列表(本研究)

測試規範	防護對象	測試空間需求	備註
FM	燃氣渦輪機房	5.6 x 3.6 x 3.9(m)	防護空間小於 80m ³
		7.31 x 7.31 x 4.7(m)	防護空間小於 260m ³
	機械空間	7.31 x 7.31 x 4.7(m)	防護空間小於 260m ³
	濕式清洗台	5.5x3.7x 5(m)	直徑 12in(0.3m)油池 火災
	輕度危害空間	天花板面積 80m ² ，高度 不低於 2.5m	3 x 4 x 2.4(火源)
	工商業用油鍋	2.6x2.6x0.5(m)	
	局部放射	3x3 (m) 油池	

表 3-4 UL2167 之測試規範空間需求列表(本研究)

測試規範	防護對象	測試空間需求	備註
UL2167	船舶機械空間	Class 1: 10x10x5(m)	
		Class 2: 地板面積 100m ² , 高 5~7.5 m	
		Class 3: 地板面積 300m ² , 高 10m	
	船舶乘客客艙空間	3x4x2.4(m)	
	船舶公共區域	3.66x7.32x2.4(m)	
	輕度危害空間	可容納 4 個撒水頭的空間	
	中度危害群組 1 (開放空間)	天花板面積 232m ² 高度不低於 2.5m	
	中度危害群組 2 (開放空間)	天花板面積 232m ² 高度不低於 2.5m	

表 3-5 IMO MSC/Circ 668/728

A 類引擎室之測試規範空間需求表(本研究)

分類	引擎形式	測試空間	燃油和潤滑系統中的油路和壓力	空間體積
Class1	輔機室，小型主機或淨化室	測試應在 100 m ² 房間進行，具有開啟的 2 m × 2 m 的門作為通風之用及 5 m 高天花板。	燃油： 低壓 0.15-0.20 kg/s 於 3-6 bar 高壓 0.02 kg/s 於 200-300 bar 潤滑油：3-5 bar 液壓油：150 bar	500 m ³
Class2	如渡輪般的中型船的柴油主機	測試應在地板面積超過 100 m ² 的房間進行，具有開啟的 2 m × 2 m 的門作為通風之用；天花板 5-7.5 m 高使房間總體積達到 3,000 m ³ 。	燃油： 低壓 0.4-0.6 kg/s 於 3-8 bar 高壓 0.030 kg/s 於 250 bar 潤滑油：3-5 bar 液壓油：150 bar	3,000 m ³
Class3	如油輪和貨櫃輪等大船的柴油主機	測試應在地板面積超過 300 m ² 的房間進行，天花板高度需超過 10m，且沒有任何影響空氣補給的限制。	燃油： 低壓 0.7-1.0 kg/s 於 3-8 bar 高壓 0.20 kg/s 潤滑油：3-5 bar 液壓油：150 bar	>3,000 m ³

表 3-6 船上 A 類引擎室的火災測試情境分類表(本研究)

測試編號	火災情境	測試用油
1	在四個噴嘴正下方模擬引擎的頂上低壓水平噴灑	商用燃油或柴油
2	在四個噴嘴正下方模擬引擎的頂上低壓水平噴灑噴油嘴向上45°可衝擊到1 m (39.4吋)外12 – 15 mm (0.5 – 0.6吋)的桿子	商用燃油或柴油
3	低壓水平噴灑，火源在模擬引擎側面，噴油嘴由模擬引擎末端0.1 m位置噴入	商用燃油或柴油
4	綜合測試編號1 – 3最難的噴射火災，並在模擬引擎上有4 m ² (43 ft ²)的油盤，下有3 m ² (32.4 ft ²)的油盤	商用燃油或柴油
5	在四個噴嘴正下方模擬引擎的頂上高壓水平噴灑	商用燃油或柴油
6	在模擬引擎側方低壓低流水平噴灑火災，在引擎的側面，油料噴出離引擎末端0.1 m (4吋)及一個0.1 m ² (1 ft ²)位於引擎1.4 m (4.6 ft)及底板的內側	商用燃油或柴油
7	在引擎模型的正下方0.5 m ² (5.4 ft ²)的油盤	庚烷
8	在引擎模型的正下方0.5 m ² (5.4 ft ²)的油盤	SAE 10W30 礦物基潤滑油
9	在排氣板下底板上0.5 m ² (5.4 ft ²)的油盤	庚烷
10	由引擎模型上竄出之持續火源(0.25 kg/s)	庚烷
11	2 m ² (21.52 ft ²) A級(class A)木板疊架，庚烷測試油盤30秒預燒，測試油盤離地面0.75 mT	UL 1626木板疊架 (wood crib)及庚烷
12	鐵板30 x 60 x 5 cm (12 x 24 x 2吋)偏移噴灑嘴20° 加熱至350°C (662°F)，低壓低流噴嘴在鐵板端 0.5 m (19.2吋) 處，當板到達 350°C (662°F)時系統作動。一旦系統停止，油盤不得在引燃。	庚烷
13	在引擎模型下2 x 2 m (6.6 x 6.6 ft)的油盤	商用燃油或柴油

表 3-7 油料噴灑測試參數(本研究)

測試參數		分類 A 引擎室	
火災型式	低壓	低壓,低流	高壓
Spray nozzle	廣角(120 – 125°) 全錐形	廣角(80°) 全錐形	標準角 [在 6 Bar (87 psi)] 全錐形
公稱燃油壓力	8 Bar (116 psi)	8.5 Bar (123 psi)	150 Bar (2125 psi)
燃油流量	0.16 0.01 kg/s	0.03 0.005 kg/s	0.050 0.002 kg/s
燃油溫度	20.5°C (68.9°F)	20.5°C (68.9°F)	20.5°C (68.9°F)
公稱熱釋放率	5.8 0.6 MW	1.1 0.1 MW	1.8 0.2 MW
燃油	商用燃油或柴油	商用燃油或柴油供 火災測試6次及庚烷 供火災測試12次	商用燃油或柴油

二、細水霧滅火系統相關測試規範之測試對象及項目說明

(一)FM 測試對象及項目整理

本節將 FM 細水霧滅火系統測試規範中的測試對象及項目整理如下表(表 3-8)：

表 3-8 FM 細水霧滅火系統測試規範測試對象及項目整理(本研究)

項目編號	測試對象	測試項目
1	燃氣渦輪機房 (小於 80m ²)	1MW 未遮蔽柴油噴撒火災 1MW 遮蔽柴油噴撒火災 遮蔽 1m ² 柴油油池火災 復燃測試(1MW 遮蔽柴油噴撒火災) 有限制的自然通風測試 噴撒冷卻測試(無火源)
2	燃氣渦輪機房 (小於 260m ²)	1MW 未遮蔽柴油噴撒火災 1MW 遮蔽柴油噴撒火災 遮蔽 1m ² 柴油油池火災 復燃測試(1MW 遮蔽柴油噴撒火災) 有限制的自然通風測試 較小防護體積測試 噴撒冷卻測試(無火源)
3	機械空間 (小於 260m ²)	1MW 未遮蔽柴油噴撒火災 1MW 遮蔽柴油噴撒火災 遮蔽 1m ² 柴油油池火災 有限制的自然通風測試
4	燃氣渦輪機房或 機械空間 (大於 260m ²)	低壓未遮蔽柴油噴撒火災 低壓具角度未遮蔽柴油噴撒火災 低壓遮蔽柴油噴撒火災 高壓柴油噴撒火災 低壓遮蔽柴油噴撒及油池火災 遮蔽正庚烷油池火災 流動火源 疊架火源 噴撒冷卻測試(針對燃氣渦輪機房)
5	濕式清洗台	一、通風狀態測試 直徑 4in 聚丙烯油池火災 直徑 6in 聚丙烯油池火災 直徑 8in 聚丙烯油池火災 直徑 10in 聚丙烯油池火災 直徑 12in 聚丙烯油池火災 易燃性液體(丙酮、IPA、正庚烷)油池火災 通風狀態聚丙烯油池火災 通風狀態易燃性液體油池火災 二、工作表面測試 直徑 4in 聚丙烯油池火災 直徑 6in 聚丙烯油池火災 直徑 8in 聚丙烯油池火災 直徑 10in 聚丙烯油池火災 直徑 12in 聚丙烯油池火災

		易燃性液體油池火災 飛濺測試 其他表面測試 三、無通風空間測試 聚丙烯油池火災 易燃性液體油池火災 其他無通風空間測試
6	輕度危險工作場所	小防護區域 10ft x 13ft x 8ft 大防護區域面積不大於 400ft ² ，高度不超過 8ft 天花板面積至少 860 ft ² 之開放空間
7	工業用油鍋	具有 5in 深的自燃溫度火源(mock-up A，Hood up) 具有 5in 深的自燃溫度火源(mock-up A，Hood down) 具有 5in 深的自燃溫度火源(mock-up B，Hood up) 具有 5in 深的自燃溫度火源(mock-up B，Hood down)
8	局部放射	正方形柴油油池火災 管道柴油油池火災 庚烷噴撒火源 正方形柴油油池火災結合 6MW 柴油噴撒火源 有遮蔽的正方形柴油油池火災 Offset 正方形柴油油池火災 具有外部點火源的 6MW 柴油噴撒火源

(二)UL2167 測試對象及項目整理

本節將 UL2167 細水霧滅火系統測試規範中的測試對象及項目整理如下表說明（表 3-9）：

表 3-9 UL2167 細水霧滅火系統

測試規範測試對象及項目整理(本研究)

項目編號	測試對象	測試項目
1	船上機械空間 Class 1：500m ³ Class 2：3000m ³ Class 3：>3000m ³	10 x 10 x 5m 的密閉空間進行測試。 樓地板面積大於 100m ² 密閉空間，天花板高度介於 5~7.5m，最大體積 3000m ³ 。 樓地板面積大於 300m ² 開放空間，天花板高度超過 10m。

2	小於 12m ² 船上客艙	3 x 4 x 2.4m(10x13x8ft)的天花板中心進行連接到一個 1.5 x 12m(5x39.4ft)長，2.4m 高的走廊。
3	大於 12m ² 船上客艙	邊長相等，高 2.4m(8ft)、以及樓地板面積最少 24m ² (260ft ²)且不超過 80m ² (860ft ²)的室內進行。
4	船上公共區域 輕度危險公共區域 中度危險公共區域	最少 80m ² 的測試空間中進行。公共空間火災測試在測試第一階段進行時天花板高度為 2.5m，第二階段進行時天花板高度為 5m，在兩面 4.8m(15.7ft)寬的牆構成的轉角進行。
5	住宅區火災測試	3.7 x 7.4 x 2.4m(12x24x8ft)的測試空間進行。
6	輕度危險區域	符合 43.2 所述的船上輕度危險區域火災測試，相當於 4 個噴頭的最大間距及最大的天花板高度。
7	中度危險區域 群組 1	開放空間測試：在一個尺寸不小於 15m(50ft)的區域中，安裝一個面積最少 232m ² (2500ft ²)天花板。轉角火災測試：在一個雙面的密閉空間進行，密閉空間具有最大的高度與最小的天花板區域，相當於 4 個噴頭以 2x2 噴頭配置所提供的覆蓋區域;或 9 個噴頭以 3x3 噴頭配置所提供的覆蓋區域。
8	中度危險區域 群組 2	開放空間測試：在一個尺寸不小於 15m(50ft)的區域中，安裝一個面積最少 232m ² (2500ft ²)天花板。轉角火災測試：在一個雙面的密閉空間進行，密閉空間具有最大的高度與最小的天花板區域，相當於 4 個噴頭以 2x2 噴頭配置所提供的覆蓋區域;或 9 個噴頭以 3x3 噴頭配置所提供的覆蓋區域。

第三節 火源與場景測試規範

針對位於台南建研所所提供的測試場地，場地大小為長 12m、寬 4m、高度 3.5m，可對於排煙風量、排煙口位置、火源位置和火源類型，以及噴頭來做測試。

(一)排煙設備

根據消防法規規定，排煙機之排煙量需在 $120\text{m}^3/\text{min}$ 以上；在防煙區劃內每平方公尺每分鐘要有一立方公尺以上的排煙能力。因為實驗場地面積約 48m^2 ，故排煙最小通風量需為 $50\text{m}^3/\text{min}$ ；由於小空間的關係，其排煙量往往會大於規定的每平方公尺每分鐘一立方公尺，因此須探討不同風量之影響，找出最適風量。依不同設計之排煙口位置也可做探討。

(二)火源

可用 A 類和 B 類火災來最做為此場地的標準火源，例如本研究是採用的 A 類火災是參考 CNS3658 Z1021 乙種標準模型；而 B 類火災是使用長 40cm、寬 40cm、高 15cm 的油盆來作為標準火源。而火源位置可依照所使用的噴頭之防護半徑，來測試所架設細水霧噴頭對各位置的滅火能力，以建立更好的細水霧噴頭架設依據。

(三)測試配置

應建立多組熱電偶樹，來記錄火場空間的溫度變化，例如：在火源的正上方來記錄火源溫度、排煙口下方來記錄排煙對溫度的影響和遠離火源的熱電偶樹來記錄火場的溫度情況。



第四章 火災實驗與模擬結果討論

本實驗主要是針對在區劃空間中排煙對細水霧的影響來進行滅火的實驗，對於滅火時間、濃煙的情況，以及人員逃生來加以探討。

在火源方面，有使用油盆火源和木堆火源兩種。油盆火源預燃時間為 1 分鐘，在點火後第 55 秒的時候啟動排煙裝置，及第 60 秒的時候啟動細水霧裝置；木堆火源預燃時間為 3 分鐘，在點火後第 55 秒的時候啟動排煙裝置，及第 3 分鐘的時候啟動細水霧裝置。實驗結果所標示的時間為細水霧系統啟動後至火源撲滅的時間。

火源被撲滅以後會進行復燃的動作，將油盆內部在做一次點火的步驟，如果能夠再次點燃即為可復燃；反之，無法再次點燃即為無法復燃，表示油盆內部油料已經燒完了。確認火源是被細水霧撲滅或是油料燒完而熄滅。

表 4-1 為改變的參數包括不同的油量、排煙口的位置、排煙風量的大小，以及細水霧與傳統撒水頭對木堆火場抑制的影響，最後會加入 Firedass 的模擬，來對實驗結果進行比較。

表 4-1 實驗參數(本研究)

參數	類別
油量	1500C.C.、3000C.C.
排煙口位置	中央、角落
排煙風量	0 m ³ /min、50m ³ /min、75m ³ /min、120m ³ /min
噴頭	細水霧、傳統撒水頭
火源	油盆、木堆

第一節 不同油量對細水霧火場抑制的影響

對於汽油分別採用 1500C.C.和 3000C.C.的油量來作滅火實驗，會先將 1500C.C.的水加入油盆中，然後再加入汽油(1500C.C.或 3000C.C.)後，就開始進行實驗。其中，不同油量所造成的不同油面高度如圖 4-1 所示。

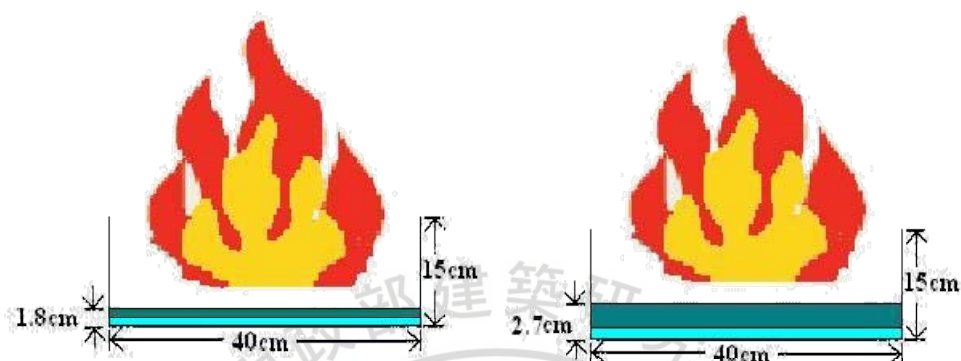


圖 4-1 不同油量的油面高度(本研究)

一、汽油 1500C.C.的滅火時間

在汽油量 1500C.C.的測試實驗，主要針對排煙口位置和火源位置在不同風量下的滅火測試，其滅火時間如表 4-2 所示：

表 4-2 汽油 1500C.C.的滅火時間(本研究)

排煙口位置		中央				角落	
風量 (m ³ /min)	火源位置	0	50	75	120	50	120
		中央	0:37	3:42(*)	3:22(*)	油料 燒完	0:38
角落		油料 燒完	油料 燒完	油料 燒完	油料 燒完	油料 燒完	油料 燒完

註：(*)表示可以復燃，但復燃情況不佳。

由實驗結果可得知，火源位置在中央的情境，當無風量和排煙位置在角落風量 $50 \text{ m}^3/\text{min}$ 的狀況下，細水霧啟動的時候，油盆火源受到細水霧的影響，會開始劇烈的左右晃動，當火勢還在劇烈燃燒的時候，利用細水霧瞬間蒸發膨脹所產生氧氣置換的效果將火給撲滅。在實際狀況可由影片中可以清楚看到細水霧滅火的時候，是先從油盆底部先將燃油及火焰進行隔離後，火焰就隨之被撲滅，且在做復燃測試的時候，其復燃的情況相當良好；而在中央風量 $50 \text{ m}^3/\text{min}$ 、 $75 \text{ m}^3/\text{min}$ 和角落風量 $120 \text{ m}^3/\text{min}$ 的狀況下，細水霧在啟動的初期，其油盆火源會劇烈左右晃動，當經過一段時間後，火焰晃動的情況就慢慢穩定下來，且將火焰抑制在油盆邊緣竄燒，最後才將火源給撲滅。原本認定是因為油料燒完而使火源熄滅，但是在復燃的測試中仍可以復燃，不過復燃之後的火焰只沿著油盆周圍燃燒；在中央風量 $120 \text{ m}^3/\text{min}$ 的實驗中，其滅火情況也與上列情況相同，但在復燃的測試中無法復燃，故判定其原因為油料燒完。

火源位置在角落的情境下，由於細水霧噴頭的覆蓋半徑為 2.1m ，此火源位置已接近覆蓋半徑的臨界點，當細水霧啟動的時候，油盆火源的火焰依然會左右晃動，但晃動的程度比起火源位置在中央的情況還要來的小，在經過一段時間後，火焰就被抑制在油盆周圍竄燒，直到火焰被撲滅，其復燃測試中無法復燃，故原因為油料燒完。由於本實驗在無風量的情況下作滅火測試，其結果亦是無法撲滅，只能等油料燒完，所以當火源在角落的時候是無法撲滅，因此未來可探討噴頭位置架設的影響。

在本次汽油量 1500C.C. 的滅火實驗中，當火源和排煙口位置在中央的時候，無風量和有風量的火焰撲滅情況如前面所敘述，其對火焰撲滅的情況有很大的不同，加上風量 $120 \text{ m}^3/\text{min}$ 火勢熄滅時間為 3 分 02 秒，與風量 $50 \text{ m}^3/\text{min}$ 和 $75 \text{ m}^3/\text{min}$ 的時間相差不多，所以將油料增加至 3000C.C. 在火源和排煙口位置在中央的情境下來做實驗，來判斷油量的多寡是否為造成撲滅情況差異的影響。

二、汽油 3000C.C.的滅火時間

本次實驗將油量增加至 3000C.C.，主要是火源和排煙口位置在中央的情境下來做實驗，其滅火時間如表 4-3：

表 4-3 汽油 3000C.C.的滅火時間(本研究)

排煙口位置	中央			
風量(m ³ /min)	0	50	75	120
火源位置				
中央	0:25	0:54	1:42	油料 燒完

從實驗結果可以得知，當油量增加至 3000C.C.的時候，隨著風量的增加，其滅火的時間亦增加。在無風量、風量 50m³/min 和風量 75m³/min 的情況下，其滅火情況是一致的。在細水霧啟動的初期，火焰受到細水霧的影響，會有左右劇烈晃動的情況出現，受到細水霧瞬間蒸發膨脹所產生的氧氣置換效果，而將火焰與燃油進行隔離，使火焰離開油盆燃料而撲滅，且在復燃測試中，復燃的情況也相當良好；而在風量 120m³/min 的情況下，在細水霧啟動的初期，亦有劇烈晃動的現象，卻無法有效將火焰與燃油進行隔離，經過一段時間後，火焰被細水霧抑制在油盆底部竄燒，爾後將火焰給撲滅，且在復燃測試中亦無法復燃。故在中央風量 120m³/min 時，其排煙裝置對細水霧滅火的影響很大。

由此小節結果可得知，當排煙風量啟動時，由於部份細水霧會隨排煙而排放出去，因此會延長滅火時間；隨著排煙風量愈大，滅火時間就愈長，但油量 1500C.C.在風量 50m³/min 和 75m³/min 有相反趨勢，是由於火焰非常不穩定，在油料快燒完時撲滅，故復燃情況不佳。而油量 3000C.C.的滅火時間在相同排煙風量下都比油量 1500C.C.的滅火時間還要快，主要是因為不同油量造成油面高度不同(圖 4-1 所示)，由於盆高的關係，細水霧的吸入效應(entrainment effect)使得較易進入油量 3000C.C.來對油料表面進行氧氣置換的效果(如圖 4-2)，因此滅火時間較油量 1500C.C.還要來的短。

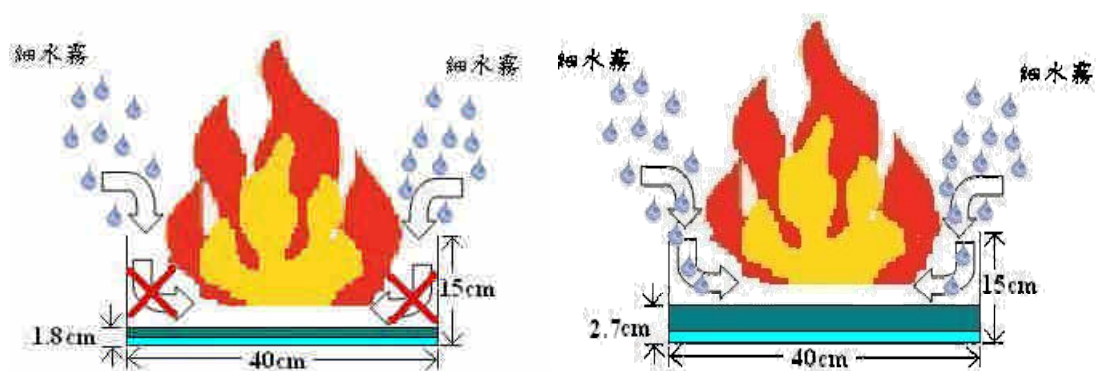


圖 4-2 不同油量-細水霧滅火示意圖(本研究)



第二節 排煙與細水霧的影響

在這部分的實驗主要是針對在排煙風量的有無，以及在相同的排煙風量下，細水霧的有無對於區劃空間內濃煙和氣體濃度的影響。排煙影響的部份是對無風量的全尺寸燃燒和風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 的全尺寸燃燒來加以討論；細水霧影響的部份則是從對風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 的全尺寸燃燒和風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 的細水霧滅火來加以討論，主要分為(一)60 秒至 115 秒(二)115 秒以後，從排煙開啟前後的兩個部份來討論圖 4-3 至圖 4-5 的趨勢：

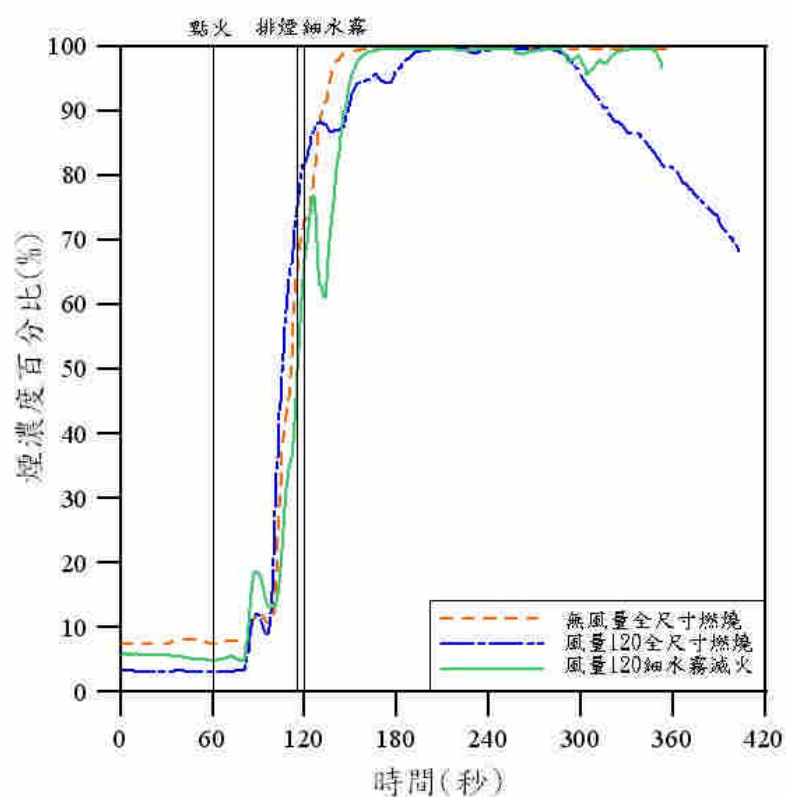


圖 4-3 排煙與細水霧的影響之煙濃度圖(本研究)

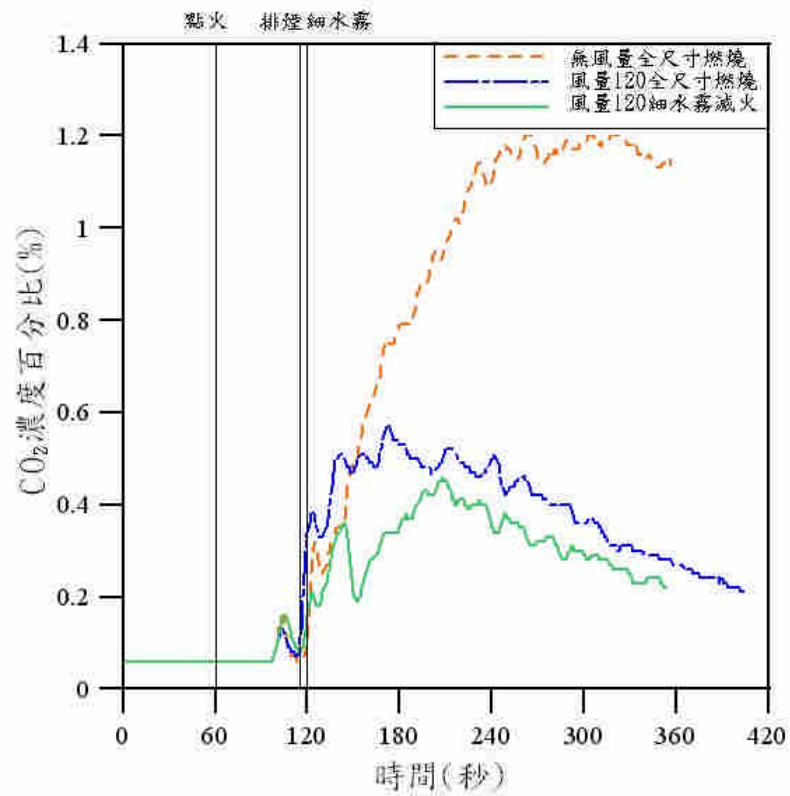


圖 4-4 排煙與細水霧的影響之 CO₂ 濃度圖(本研究)

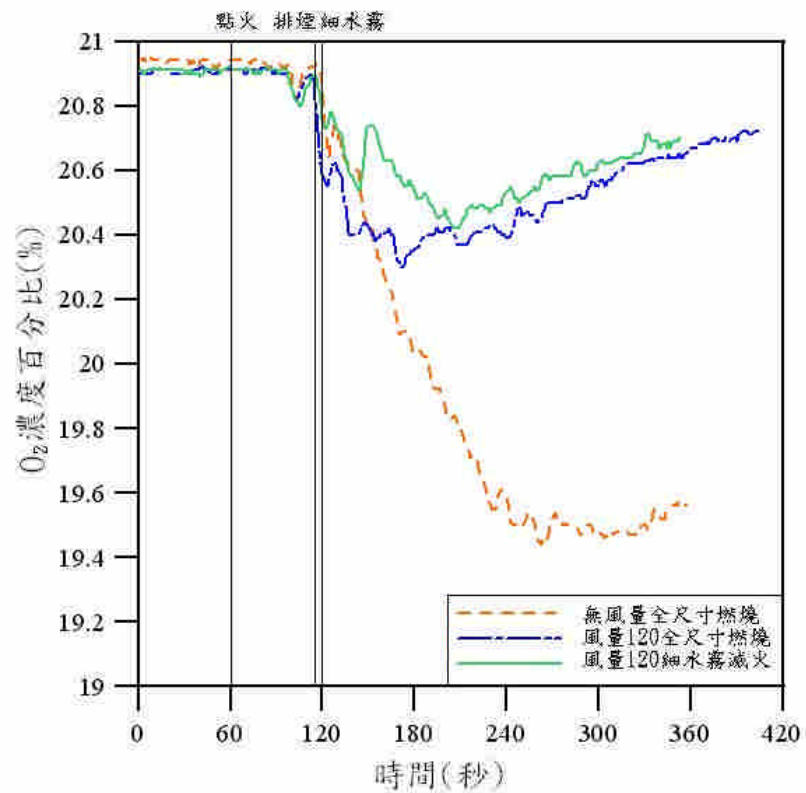


圖 4-5 排煙與細水霧的影響之 O₂ 濃度圖(本研究)

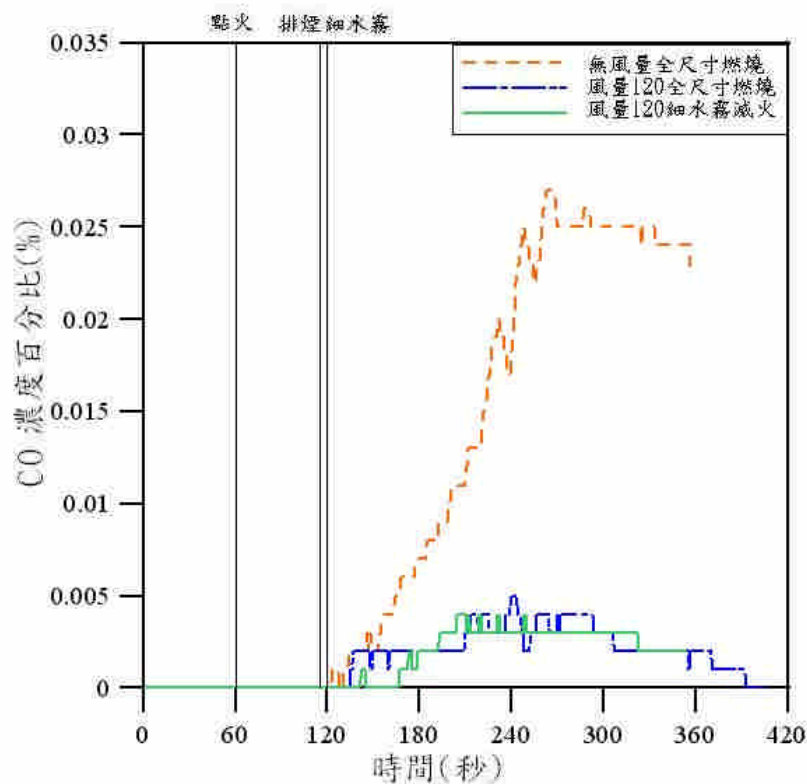


圖 4-6 排煙與細水霧的影響之 CO 濃度圖(本研究)

(一)60 秒~115 秒

在點火之後和排煙裝置啟動之前，曲線會有一個起伏，是因為受到煙上升至頂部後往兩側擴散，當接觸到牆壁時，會開始往下擴散，從圖 4-3 至圖 4-5 中可以看到煙濃度上升的同時，CO₂ 濃度也隨之上升，而 O₂ 濃度下降，主要是因為火場內部煙流的影響。

(二)115 秒以後

第 115 秒為排煙裝置啟動的時間，當風量從 0 上升至 120m³/min 穩定的時間約為 8 秒左右，從無風量和風量 120m³/min 全尺寸燃燒的煙濃度曲線可以看出風量對煙濃度的影響，排煙裝置的啟動減緩了煙濃度上升的趨勢，同時使 CO₂ 濃度的曲線趨緩上升，進而下降；而 O₂ 濃度的曲線趨勢則為相反。

細水霧系統在第 120 秒的時候開始啟動，在煙濃度的比較圖中，可以看到風量 120m³/min 的細水霧滅火曲線在細水霧啟動後，先是急速下降後再急速上升，其下降的幅度比風量 120m³/min 的全尺寸燃燒還更大，急速下降的部份是因為除

了排煙裝置減緩煙濃度的上升趨勢外，細水霧對空間中的粒子和 CO_2 會有洗滌的效果，以及細水霧在一開始滅火的時候，會造成油盆的火有晃動的現象和細水霧受熱時瞬間膨脹產生蒸氣的影響，對火場空間的流場會造成非穩態的情形出現。從細水霧滅火的 CO_2 和 O_2 濃度曲線圖就可看出， CO_2 的濃度曲線出現了先下降再上升的波段，而 O_2 濃度曲線則是相反。

而煙濃度急速上升的部份，是因為煙濃度是利用遮光率來判定濃度百分比，在細水霧開啟後一段時間後，由於空間中細水霧的密度很高，造成光源的散射和遮蔽(此部分有針對只啟動細水霧裝置的實驗來確認過)，使得煙濃度在風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 細水霧滅火曲線比起風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 全尺寸燃燒曲線的上升速度還要來的快。

在 180 秒後的煙濃度比較圖中，當風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 全尺寸燃燒曲線在火勢變小或熄滅後，煙濃度就會開始下降；而風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 細水霧滅火曲線在火勢熄滅後，其煙濃度依舊沒有下降的趨勢，主要原因則是受到細水霧的影響；而在 CO_2 和 O_2 濃度比較圖中可以發現到，風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 細水霧滅火曲線和風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 全尺寸燃燒曲線的趨勢在 180 秒後，開始呈現出一樣的趨勢，在有排煙的情況下，會使 CO_2 會有下降的趨勢，而 O_2 則是有上升的趨勢；而在風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 細水霧滅火的時候， CO_2 的值會比風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 全尺寸燃燒的值較低，而 O_2 的值則是較高。所以對於 CO_2 和 O_2 來說，排煙和細水霧都能使其濃度有效的下降。

圖 4-6 為 CO 濃度比較圖，其濃度主要受到排煙裝置的影響，在有排煙裝置的時候，其濃度會比較低；而細水霧對 CO 濃度的影響，則無法從圖四中去加以判斷是否有直接的影響。所以對於 CO 濃度來說，排煙裝置是影響 CO 濃度的主要因素。

第三節 排煙口位置對細水霧火場抑制的影響

由表 4-2 的滅火時間可得知，在相同的風量條件下，在風量 $50\text{m}^3/\text{min}$ 的時候，排煙口在角落比在中央的時候還要好，主要是因為當角落排煙量小的時候，火場內部流場對火源的影響比較小；當角落排煙量為 $120\text{m}^3/\text{min}$ 時，對於火場內部流場的擾動會比較大，所以使得滅火效果較不好。而中央排煙量 $50\text{m}^3/\text{min}$ 的時候，排煙口位置正好在細水霧噴頭和火源的正上方，直接對火源附近流場造成影響。以下將藉由煙濃度，以及各氣體濃度的比較圖，針對不同位置的排煙口，來探討排煙對火場內部的影響。

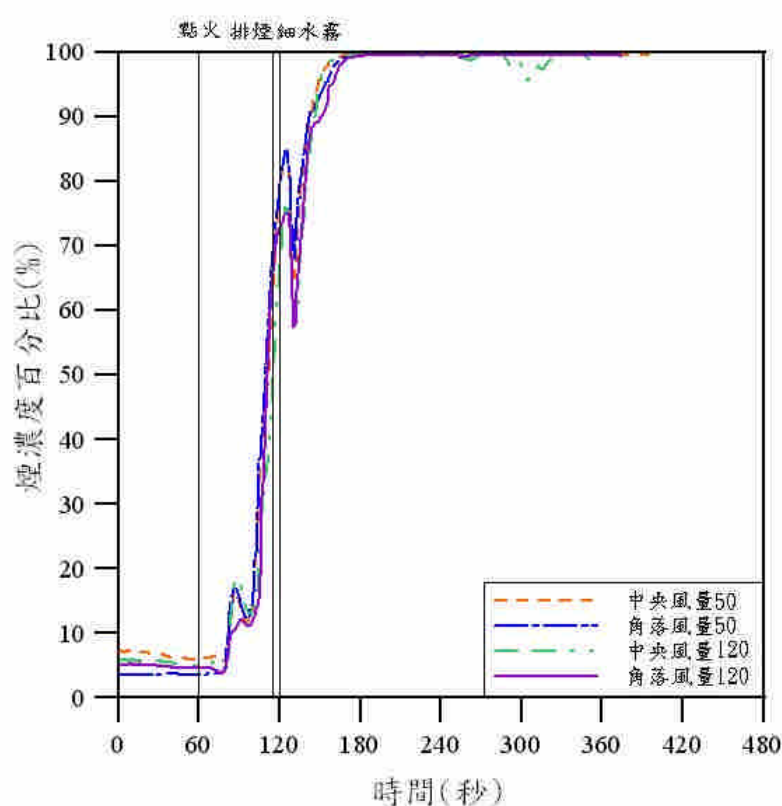


圖 4-7 排煙口位置的影響之煙濃度圖(本研究)

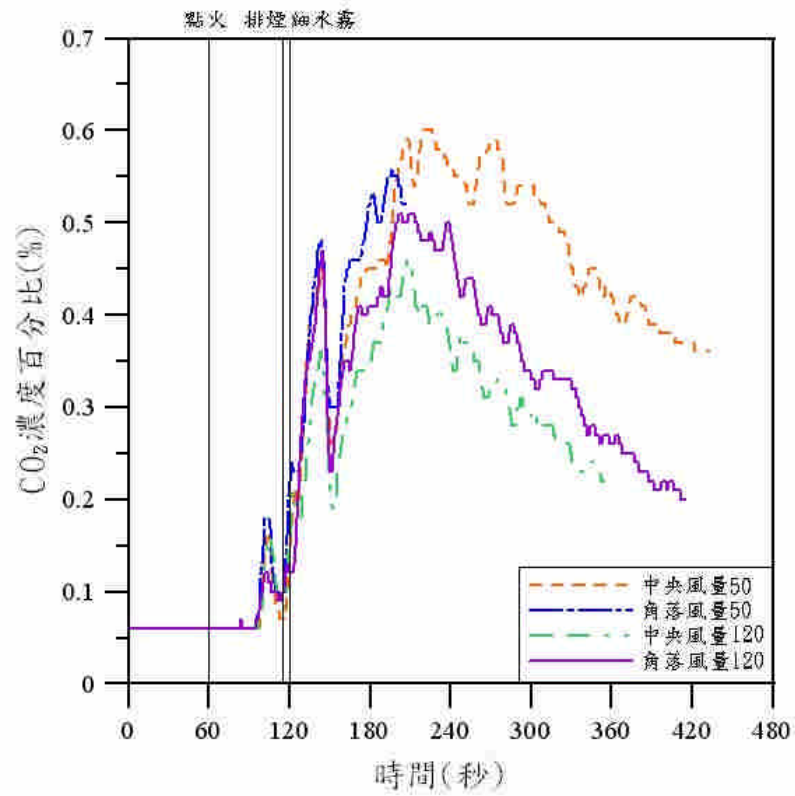


圖 4-8 排煙口位置的影響之 CO₂ 濃度圖(本研究)

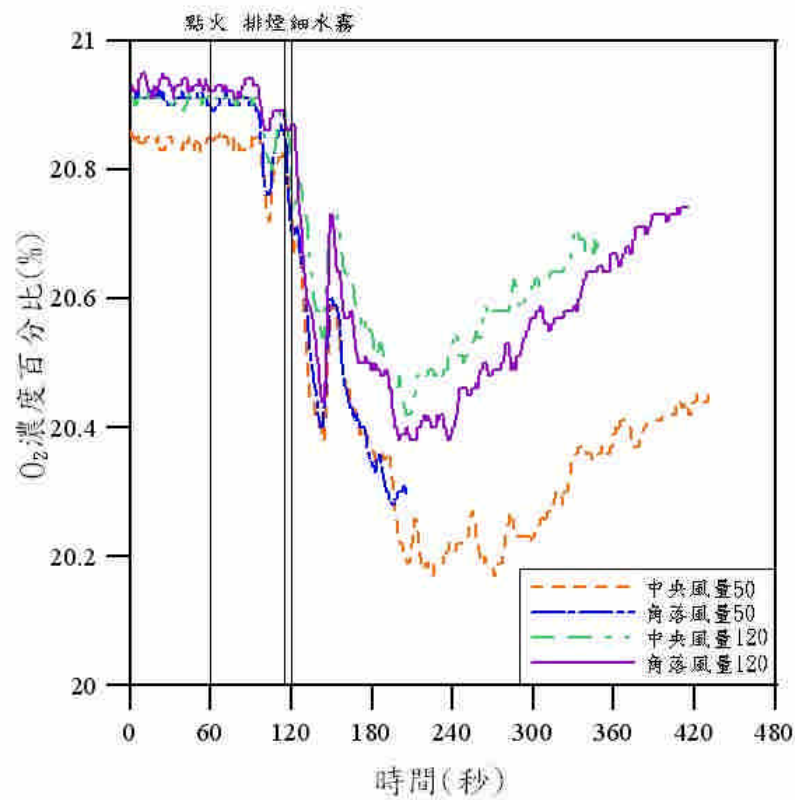


圖 4-9 排煙口位置的影響之 O₂ 濃度圖(本研究)

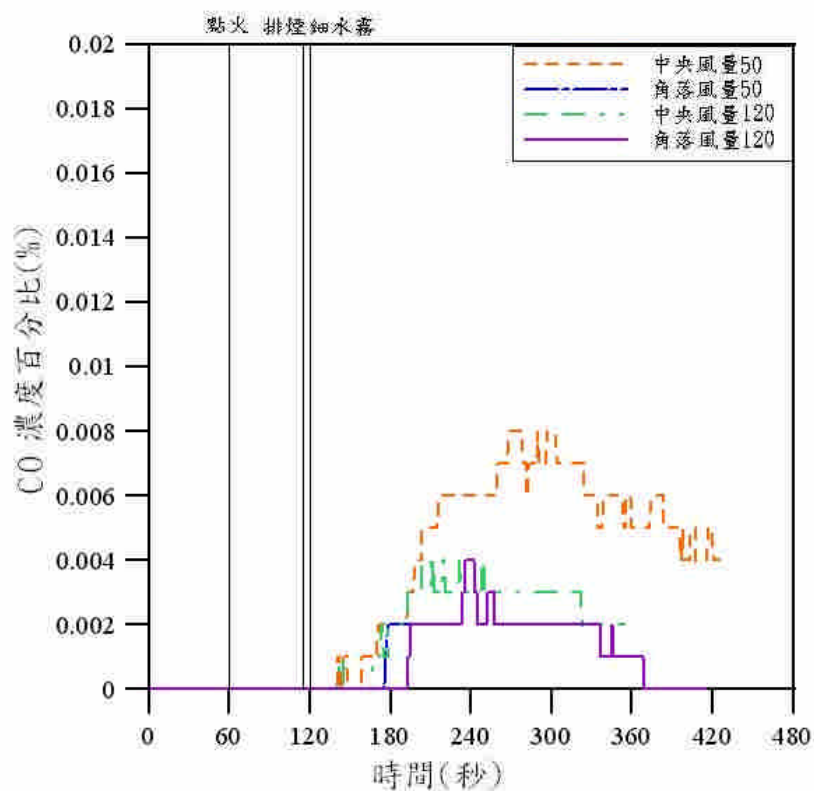


圖 4-10 排煙口位置的影響之 CO 濃度圖(本研究)

當排煙口位於火源的正上方時，會有較好的排煙效果，其 CO_2 的濃度會較低如圖 4-8，但是風量的大小會影響細水霧滅火的時間，當角落排煙口風量為 $50\text{m}^3/\text{min}$ 的時候，由於對火源附近的細水霧影響較小，所以能夠在短時間撲滅火源，但 CO_2 的濃度相較於中央排煙口風量 $50\text{m}^3/\text{min}$ 還要來的高，故排煙量大可以延長人員逃生的時間。

第四節 排煙風量對細水霧火場抑制的影響

從第二節的討論結果可知道細水霧滅火時，各氣體濃度與煙濃度會受到排煙的影響，本小節主要是探討不同的排煙風量與滅火時間的關係，以及各氣體濃度的比較，從表 4-3 的滅火時間來看，在排煙風量愈大的情況下，對於細水霧滅火的時間就愈長，且在實驗的過程中可看到，當火被撲滅後，火場內部的煙會被迅速排掉，可降低火場中濃煙的危害。以下將針對 3000C.C.的汽油滅火實驗，來分析滅火過程中隨著排煙風量的大小，火場內各氣體的濃度及火場溫度。其中#2 為火焰上方的溫度。

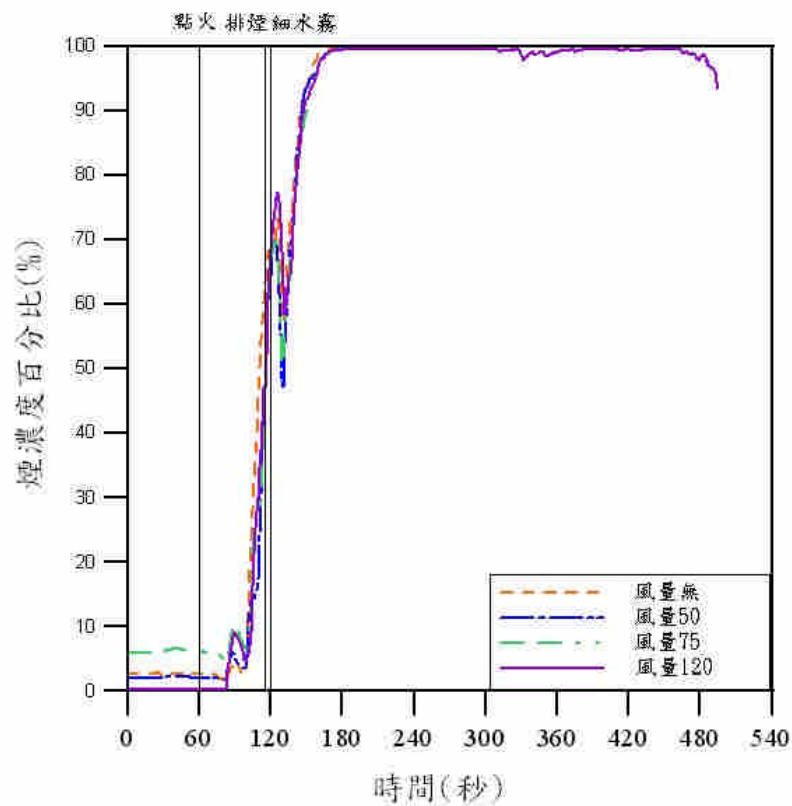


圖 4-11 排煙風量的影響之煙濃度圖(本研究)

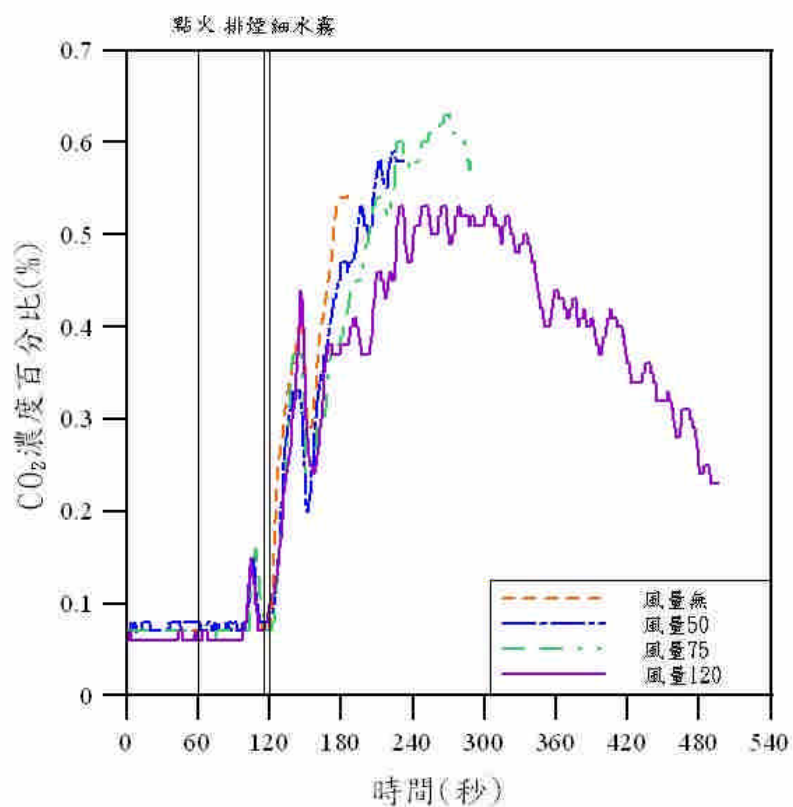


圖 4-12 排煙風量的影響之 CO₂ 濃度圖(本研究)

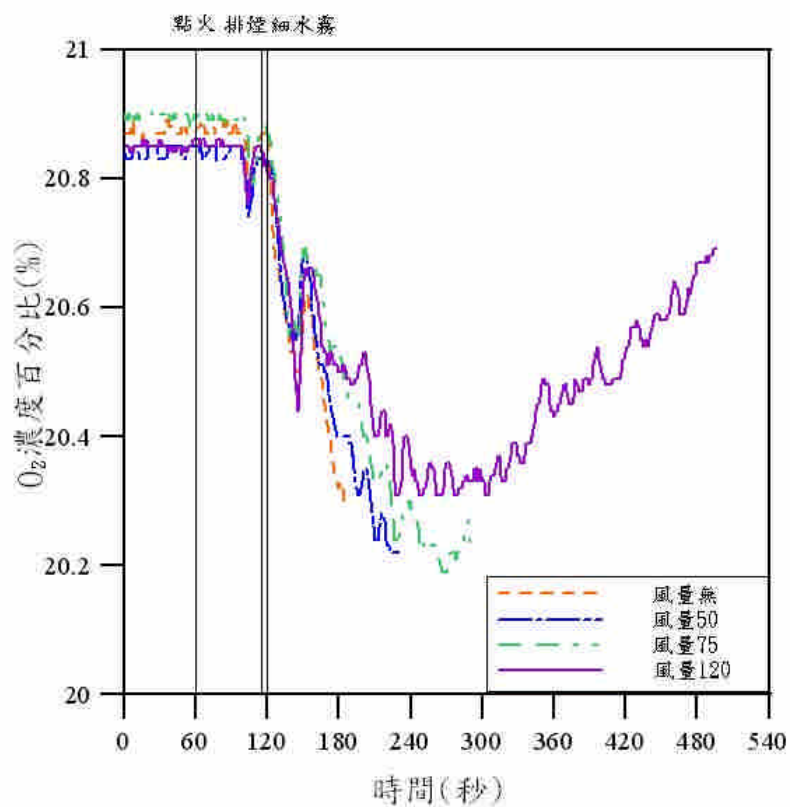


圖 4-13 排煙風量的影響之 O₂ 濃度圖(本研究)

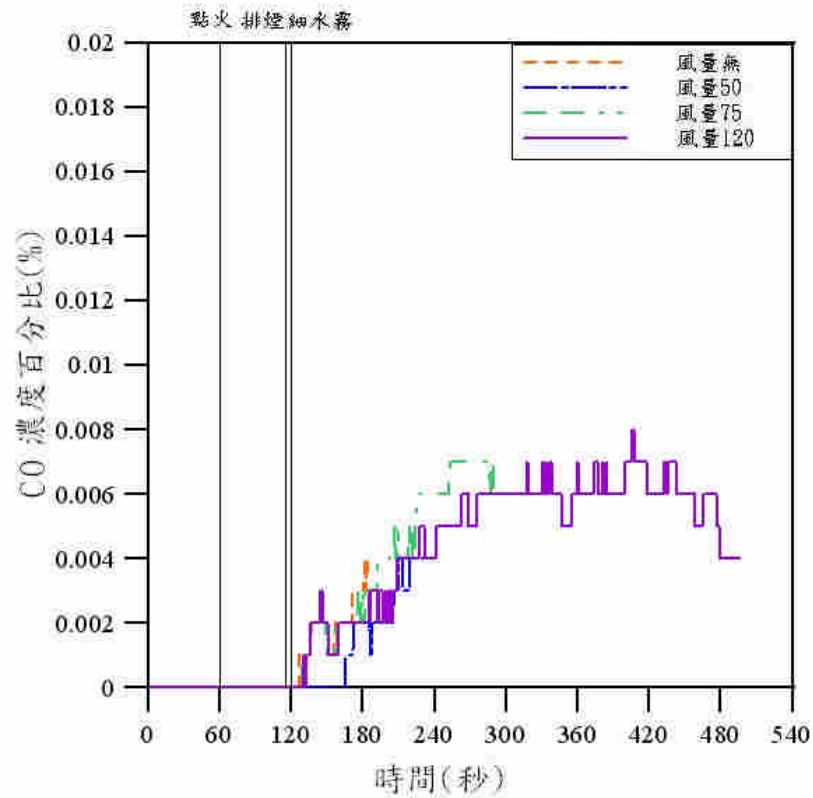


圖 4-14 排煙風量的影響之 CO 濃度圖(本研究)

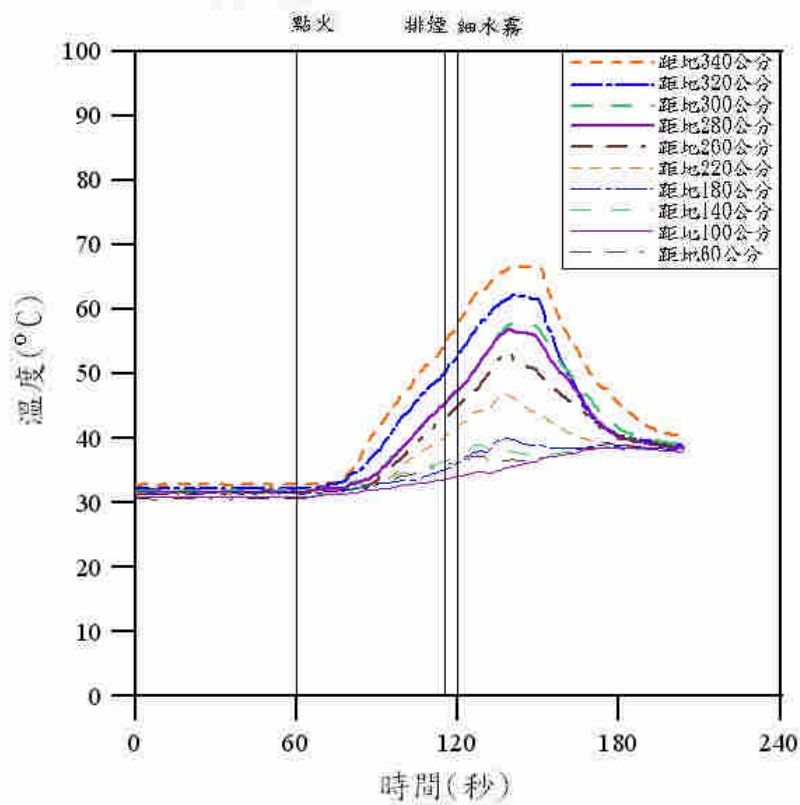


圖 4-15 油盆實驗場地#1 溫度圖(本研究)

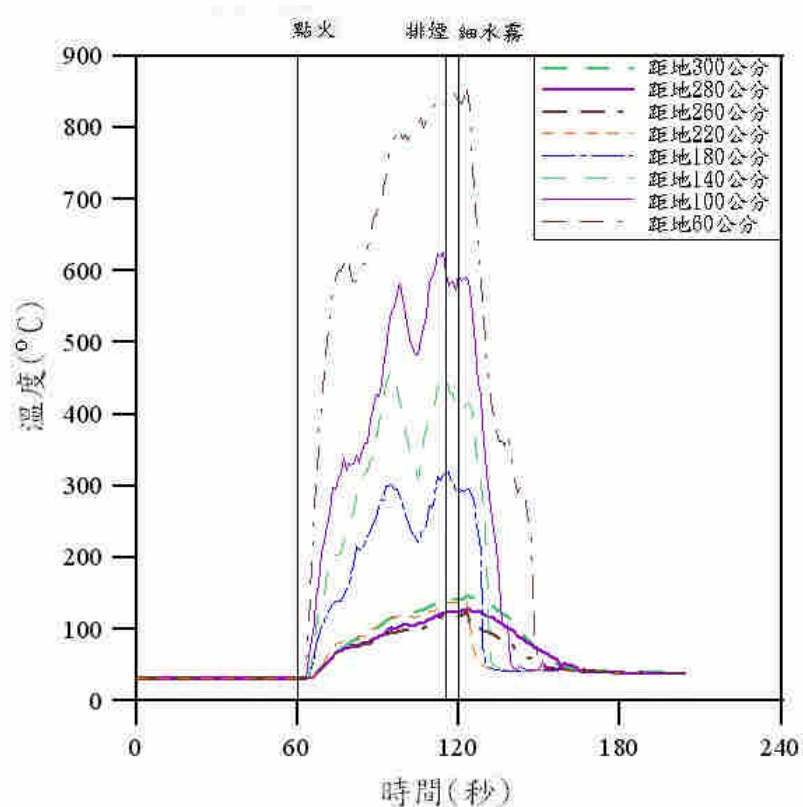


圖 4-16 油盆實驗場地#2 溫度圖(本研究)

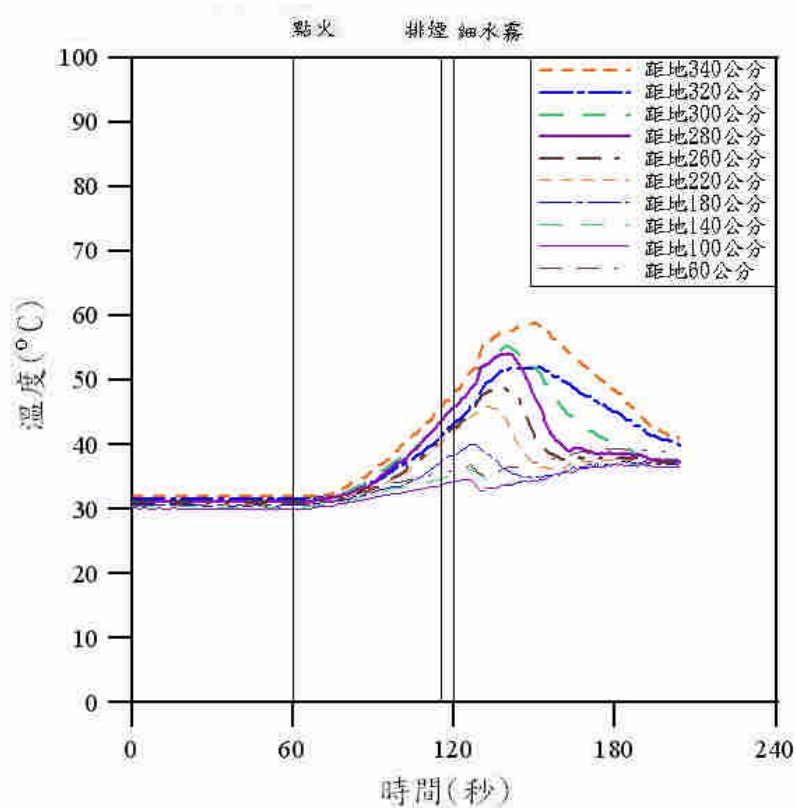


圖 4-17 油盆實驗場地#3 溫度圖(本研究)

從圖 4-12 和圖 4-13 可得知，當排煙量大的時候， O_2 濃度的下降趨勢較為緩慢， CO_2 濃度的上升趨勢亦為緩慢，在細水霧啟動後的 1 分鐘，雖然排煙風量無和 $50m^3/min$ 分別在 25 秒和 54 秒就已經撲滅了，但其 O_2 濃度相較於排煙量 $75m^3/min$ 和 $120m^3/min$ 為低， CO_2 則是較高，所以排煙量大雖然會使滅火時間延長，但對於火場中的人員則會有更多的時間來進行疏散。

圖 4-15 至圖 4-17 為房間溫度的量測，其中圖 4-16 為火焰上方的溫度圖，由於位置在細水霧的正下方，當細水霧啟動以後，可以看到溫度直接受到細水霧影響而急速降溫；圖 4-15 和圖 4-17 因為都沒受到細水霧直接噴灑的影響，可以看出來火場內環境溫度的變化，而圖 4-17 因為上方有排煙管路的影響，從溫度圖上可以看到管路對溫度的影響，故環境溫度會以#1 位置的溫度圖來做比較。



第五節 細水霧與傳統撒水頭對火場抑制的影響

由於傳統撒水頭對於油類火災無法有效的進行撲滅，所以藉由木堆火源的實驗來探討細水霧與傳統撒水頭隨著排煙風量大小的影響，對於滅火時間、煙濃度、CO₂ 濃度、O₂ 濃度和 CO 濃度的影響程度。

從油盆滅火的實驗中，挑選出較具有代表性的實驗參數來進行木堆火源的實驗，針對火源和排煙位置在中央隨著排煙風量無、50m³/min 和 120m³/min 分別在細水霧與傳統撒水頭的滅火實驗來進行分析。

一、木堆火源的滅火時間

在木堆的滅火實驗中，採用 90 根木材，每根木材長度為 73 公分，在木堆下方添加 1500C.C.的油料，點火以後要讓木堆先預燃 3 分鐘後再進行滅火的動作，其中在第 55 秒的時候會先啟動排煙裝置，木堆下方的油料大約在 1 分 40 秒的時候就會燃燒完，直到第 3 分鐘再啟動滅火裝置去滅火，其滅火時間如表 4-4：

表 4-4 木堆在細水霧及傳統撒水頭的滅火時間(本研究)

噴頭種類 風量(m ³ /min) 火源種類	細水霧			傳統撒水頭		
	0	50	120	0	50	120
木堆	0:08	0:18	0:28	0:36	1:02	2:33

在用細水霧滅火的實驗中，由於細水霧有氣體的特性，以及吸入效應（entrainment effect），對於木堆內部的火源有比較好的降溫 and 抑制火源的效果，可以使每根木頭表面火焰在較快的時間內撲滅，在實驗中可以看到火勢隨著細水霧晃動進而撲滅，在火勢撲滅之後，會將細水霧系統關閉，靜待幾分鐘確認火勢無法復燃；在傳統撒水頭方面，最主要是靠撒水頭撒出的水直接攻擊火源來進行撲滅，雖然撒水的水量遠比細水霧多，但是大部分的水無法直接對木堆內部進行降溫 and 抑制火源的效果，只能先將外部的火勢撲滅，再滲透至木堆內部滅火，所

以對於木堆火源的抑制效果來說，細水霧比傳統撒水頭的效果還要來的好。

二、細水霧與傳統撒水頭分析

針對細水霧與傳統撒水頭在木堆火源的實驗中，藉由煙濃度、CO₂ 濃度、O₂ 濃度、CO 濃度和溫度，來比較出兩者在滅火過程中的差異，以及在不同的排煙風量下的影響。



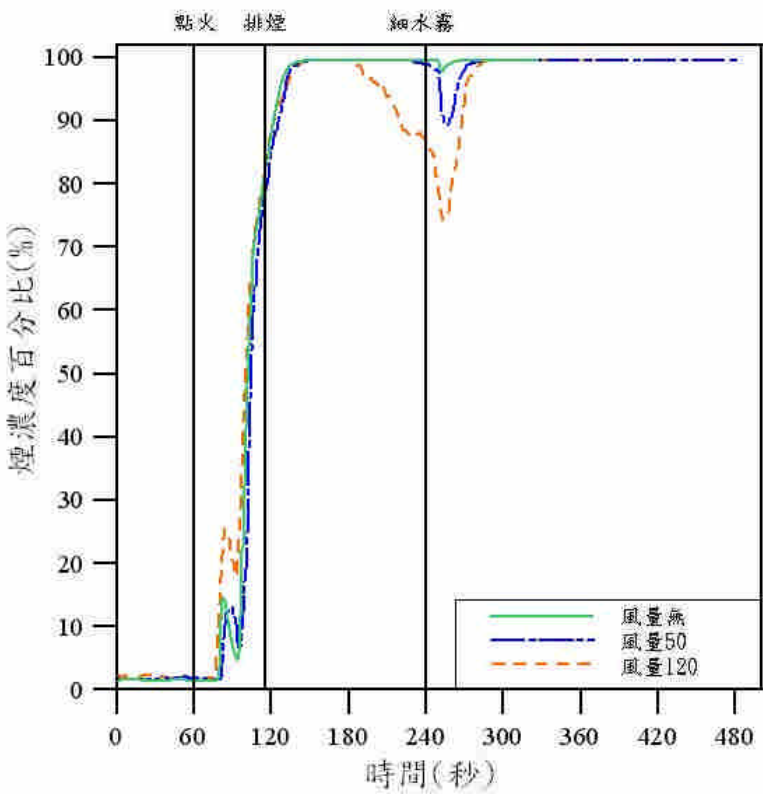


圖 4-18 木堆火源-細水霧滅火的煙濃度圖(本研究)

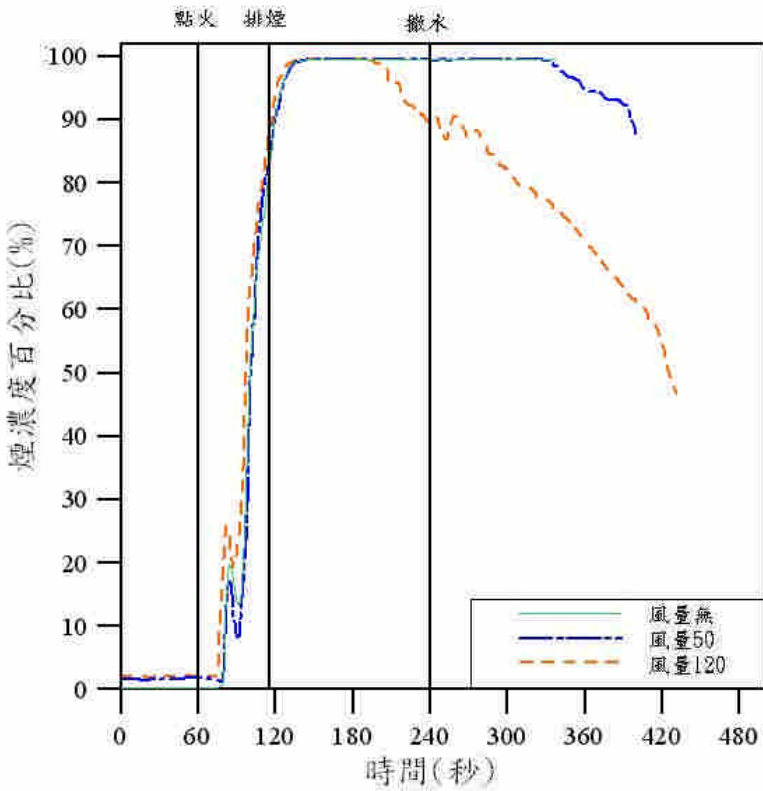


圖 4-19 木堆火源-撤水滅火的煙濃度圖(本研究)

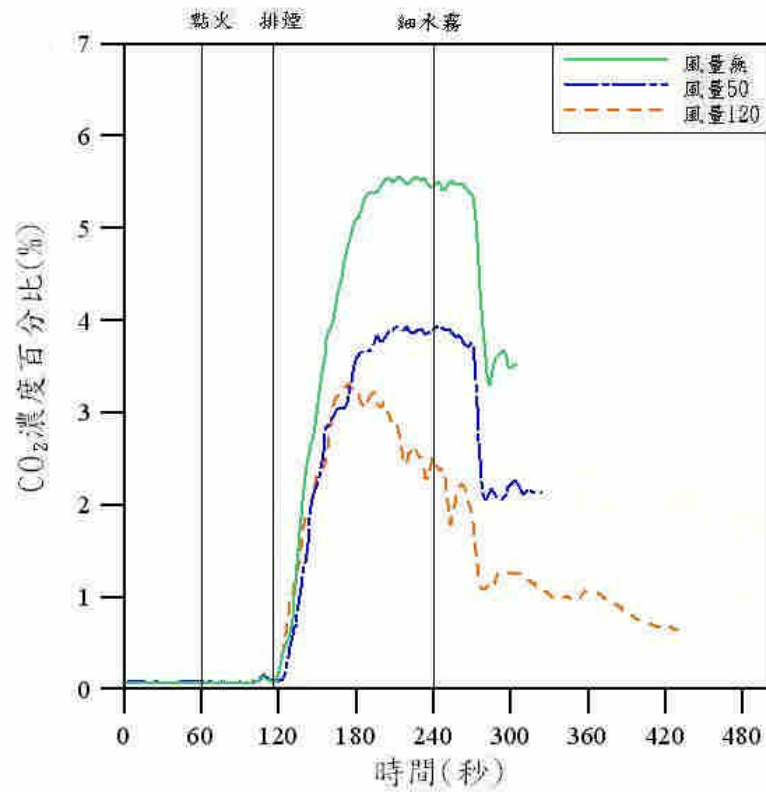


圖 4-20 木堆火源-細水霧滅火的 CO₂ 濃度圖(本研究)

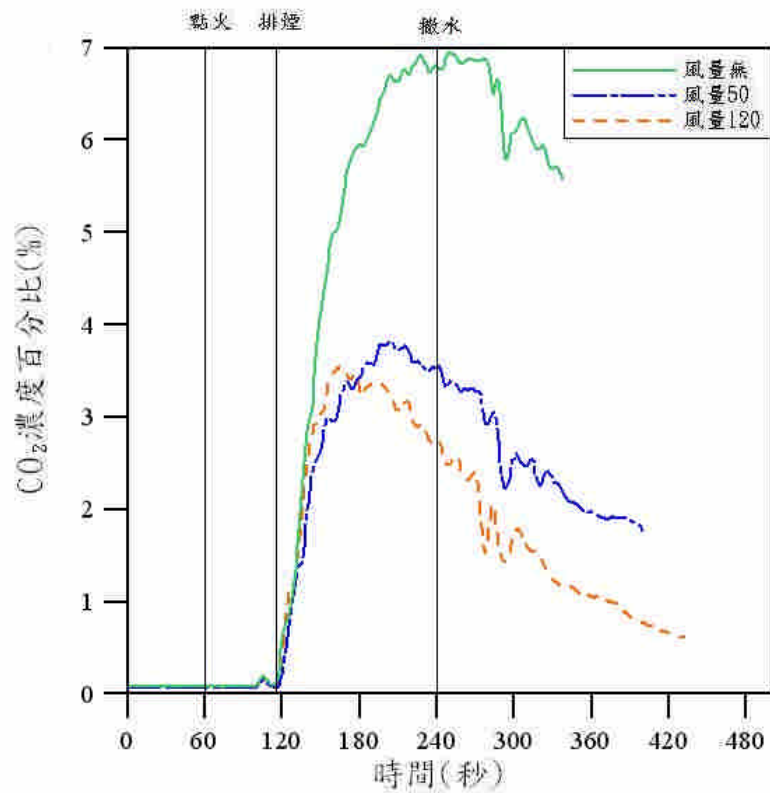


圖 4-21 木堆火源-撒水滅火的 CO₂ 濃度圖(本研究)

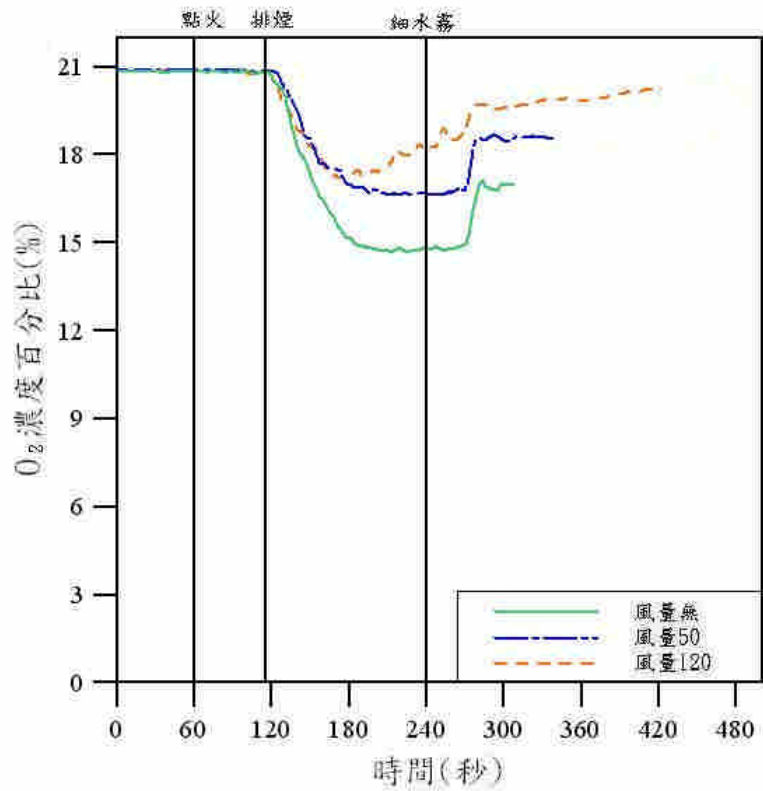


圖 4-22 木堆火源-細水霧滅火的 O_2 濃度圖(本研究)

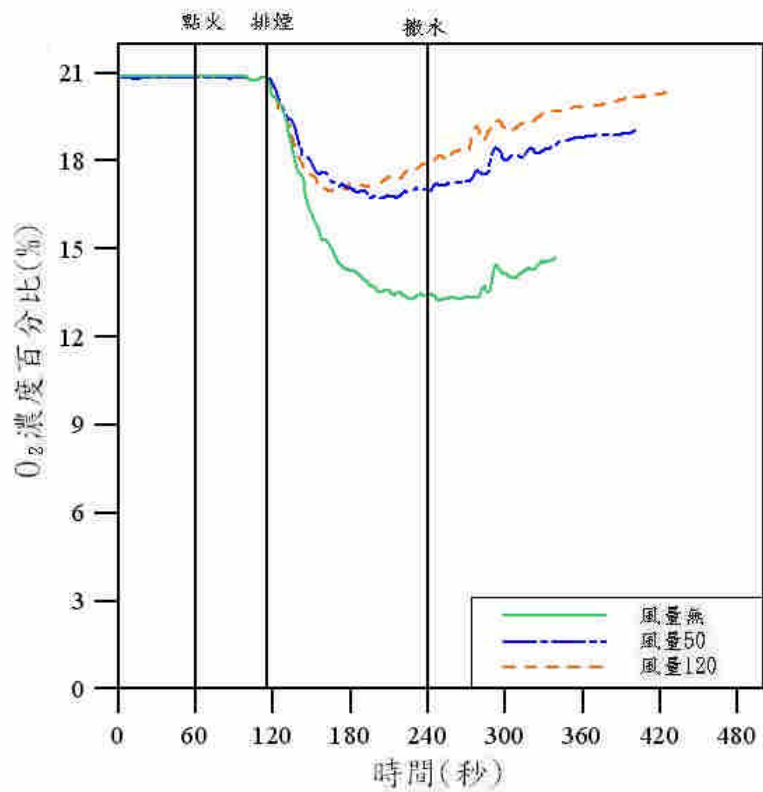


圖 4-23 木堆火源-撒水滅火的 O_2 濃度圖(本研究)

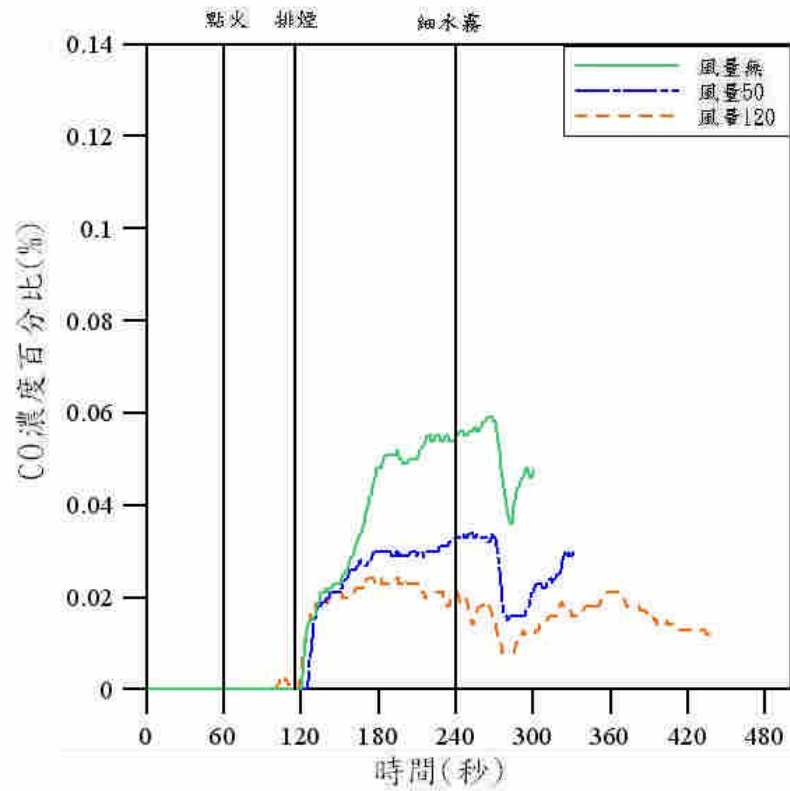


圖 4-24 木堆火源-細水霧滅火的 CO 濃度圖(本研究)

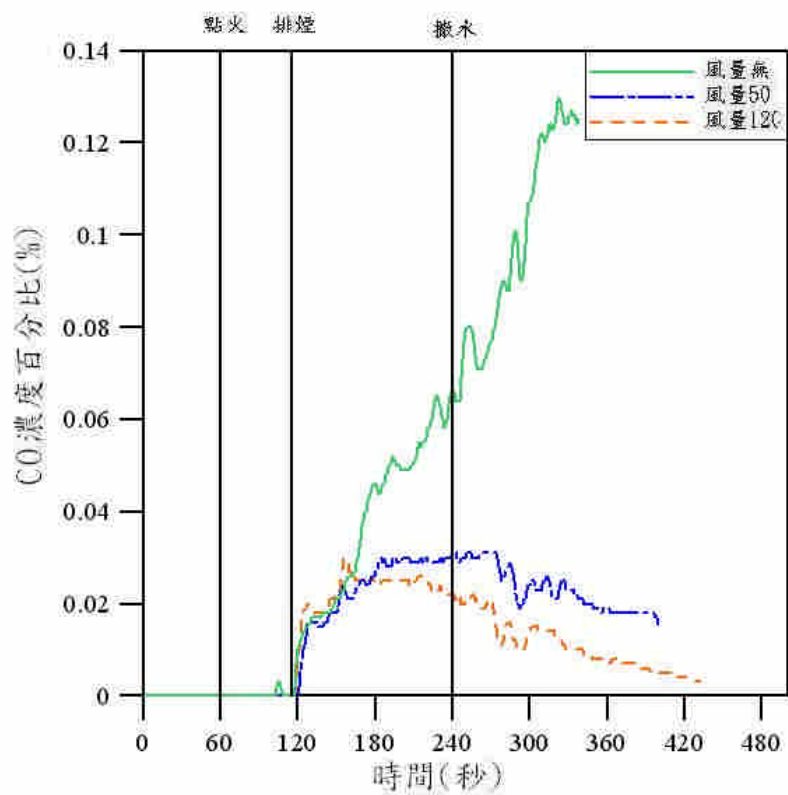


圖 4-25 木堆火源-細水霧滅火的 CO 濃度圖(本研究)

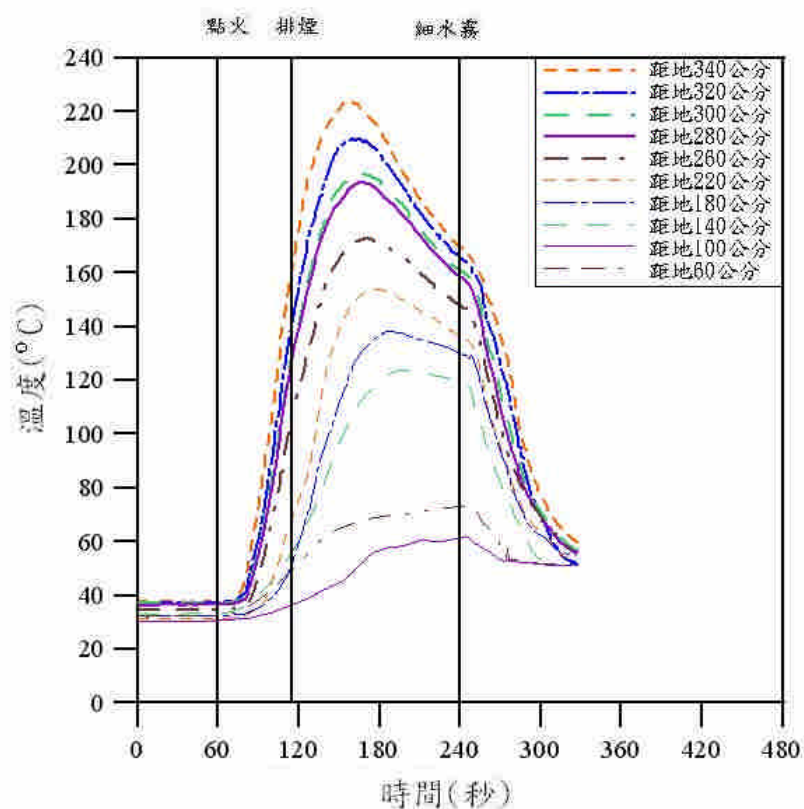


圖 4-26 木堆火源-細水霧滅火-風量無場地#1 溫度圖(本研究)

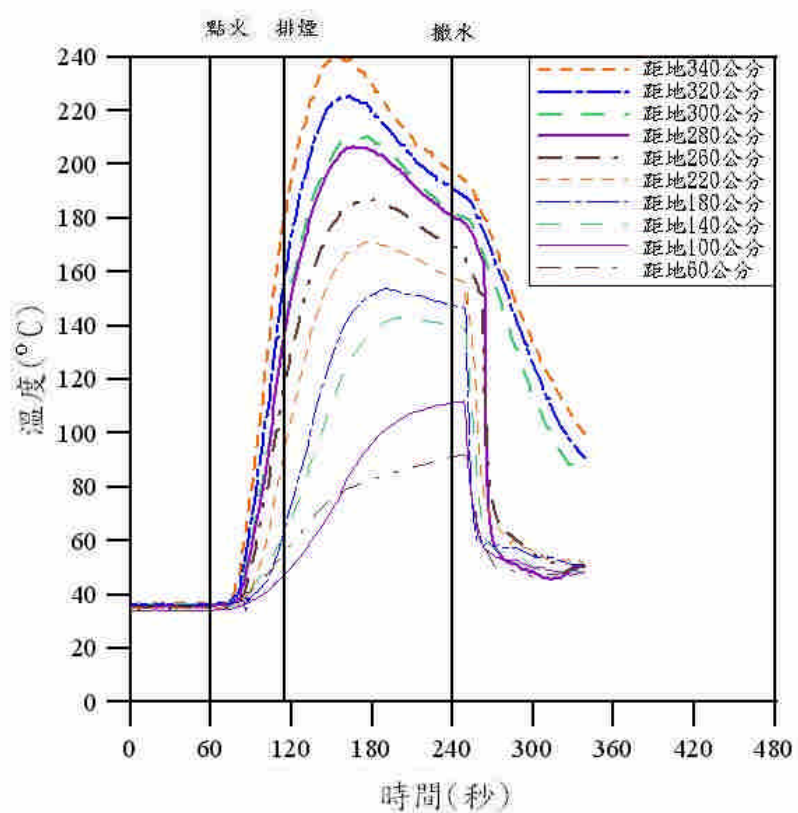
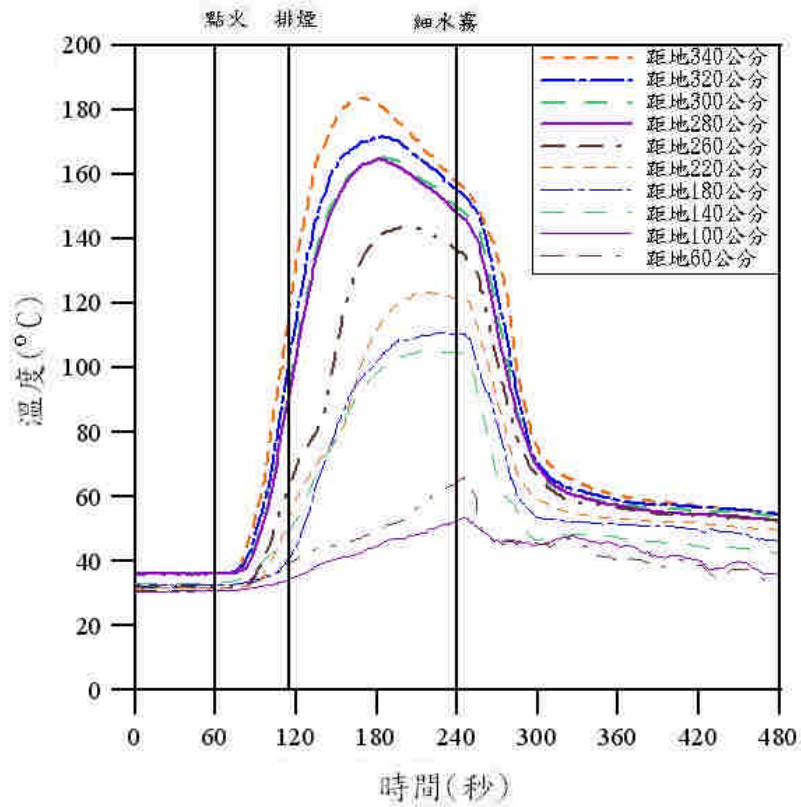
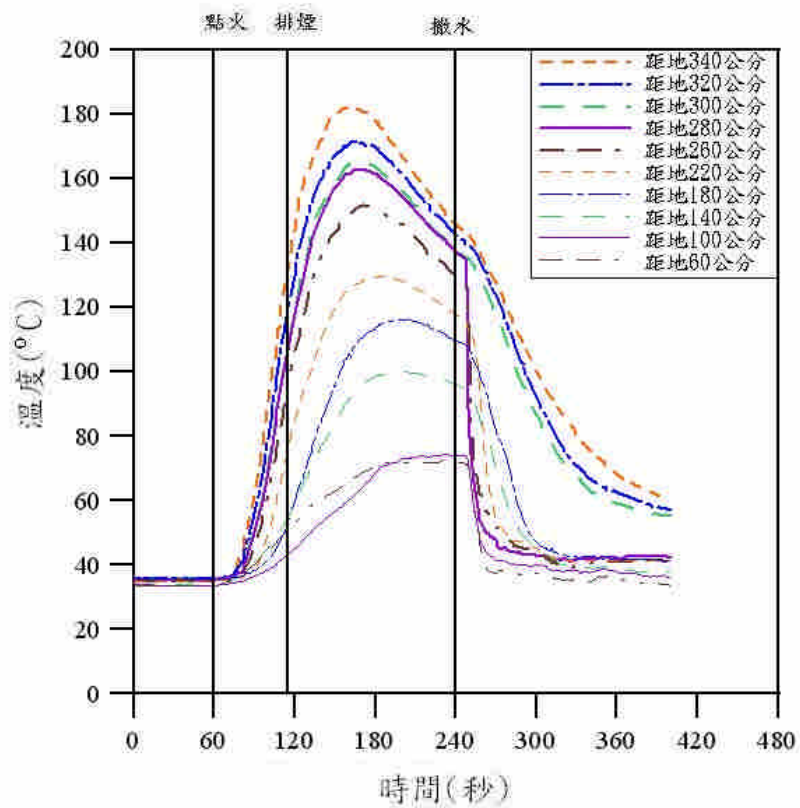


圖 4-27 木堆火源-撒水滅火風量無場地#1 溫度圖(本研究)

圖 4-28 木堆火源-細水霧滅火風量 50m³/min 場地#1 溫度圖(本研究)圖 4-29 木堆火源-撒水滅火風量 50m³/min 場地#1 溫度圖(本研究)

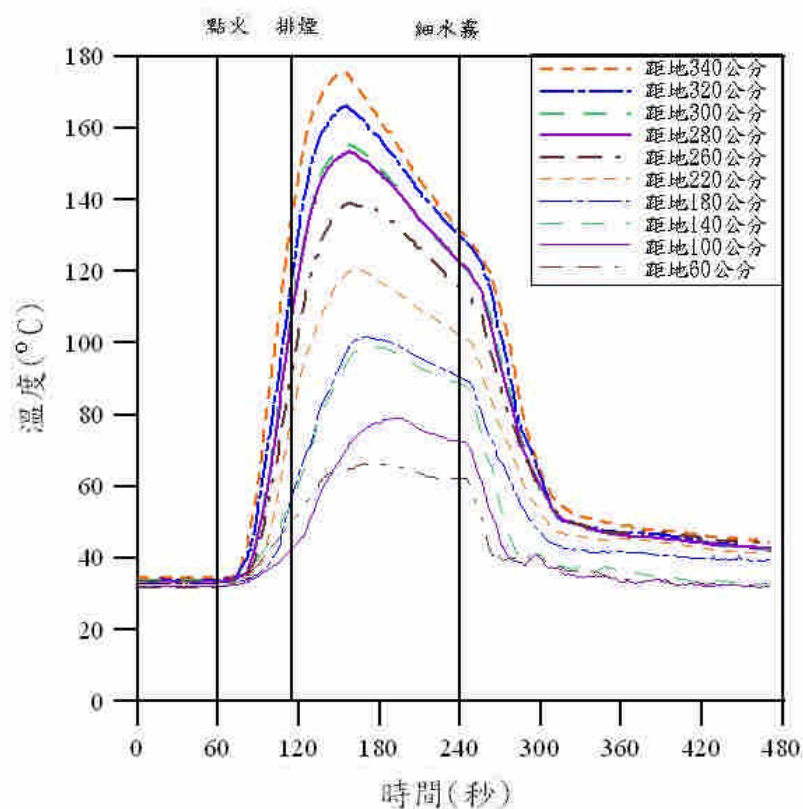


圖 4-30 木堆火源-細水霧滅火風量 120m³/min 場地#1 溫度圖(本研究)

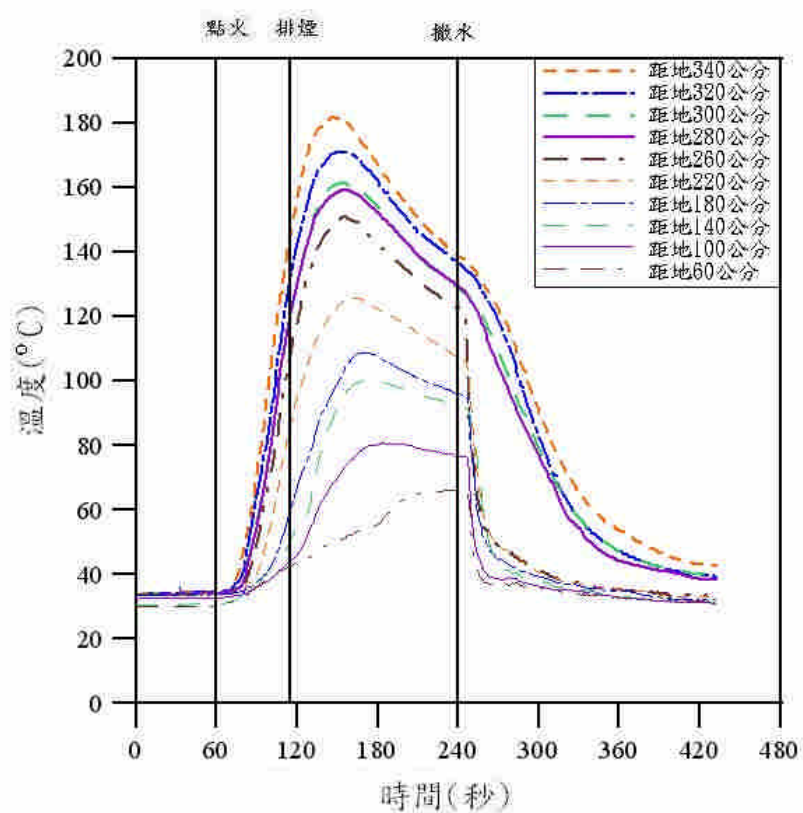


圖 4-31 木堆火源-撒水滅火風量 120m³/min 場地#1 溫度圖(本研究)

在圖 4-18 中，可以看到細水霧在啟動後的一瞬間，對於煙濃度會有下降然後上升的趨勢，而在圖 4-19 中，傳統撒水頭在風量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 的時候，在撒水前後的下降趨勢並沒有多大的改變，主要是因為細水霧密度較高造成光源遮蔽和散射而使曲線往上升，而撒水卻不會影響到。從圖 4-20 至圖 4-25 中，可以發現到在風量愈小的情況下，細水霧對各氣體濃度所造成下降或上升的趨勢就愈明顯，而風量大的時候所造成的影響卻要小的多；而撒水的氣體濃度趨勢，在撒水啟動後一段時間雖然會有所影響，但主要的上升或下降趨勢卻影響不大。

圖 4-26 至圖 4-31 為火場環境溫度的比較圖，在傳統撒水頭的部份由於量測點直接受到撒水影響，所以會有溫度直接下降的趨勢；細水霧的部份由上方的溫度曲線來對傳統撒水頭做比較，在風量愈小的情況下，細水霧對於火場的降溫效果會比傳統撒水頭還要來的好；而針對不同風量的溫度圖來做比較，在滅火系統啟動之前，可以發現到排煙風量愈大能夠有效降低火場內的溫度。

在木堆火源的滅火實驗中，在無風量的情況下，不管是細水霧或傳統撒水頭， CO_2 的濃度均已超過 5%，而 CO 的濃度也偏高，對火場內的人員會有立即的危害，不利於人員的逃生與生存；當風量愈大的時候，其 CO_2 和 CO 的濃度就會愈低，雖然會使滅火時間延長，但也增加火場內部人員逃生時間和生存條件，有更多的時間可以來進行人員的疏散。

第六節 電腦模擬

本節利用前述英國 GREENWICH UNIVERSITY, FSEG 所發的細水霧滅火模擬軟體 FIREDASS 進行電腦數值模擬，除利用電腦數值模擬進行火場分析外，亦將模擬結果與實驗結果進行比對。

一、電腦模型說明

本報告電腦模擬依據現場實驗佈置進行電腦模型的建立，電腦模型建立如圖 4-32，模型內建有火源、進氣口、中央排煙口、四顆細水霧噴頭及三處模擬資料偵測(擷取)線。進氣口大小為 $0.45\text{m} \times 0.6\text{m}$ ，中央排煙口大小為 $0.6\text{m} \times 0.6\text{m}$ ，細水霧噴撒特性則依據前章測試所得數據進行設定，資料偵測(擷取)線將擷取火場內的即時溫度、氧氣濃度、一氧化碳濃度及二氧化碳濃度。

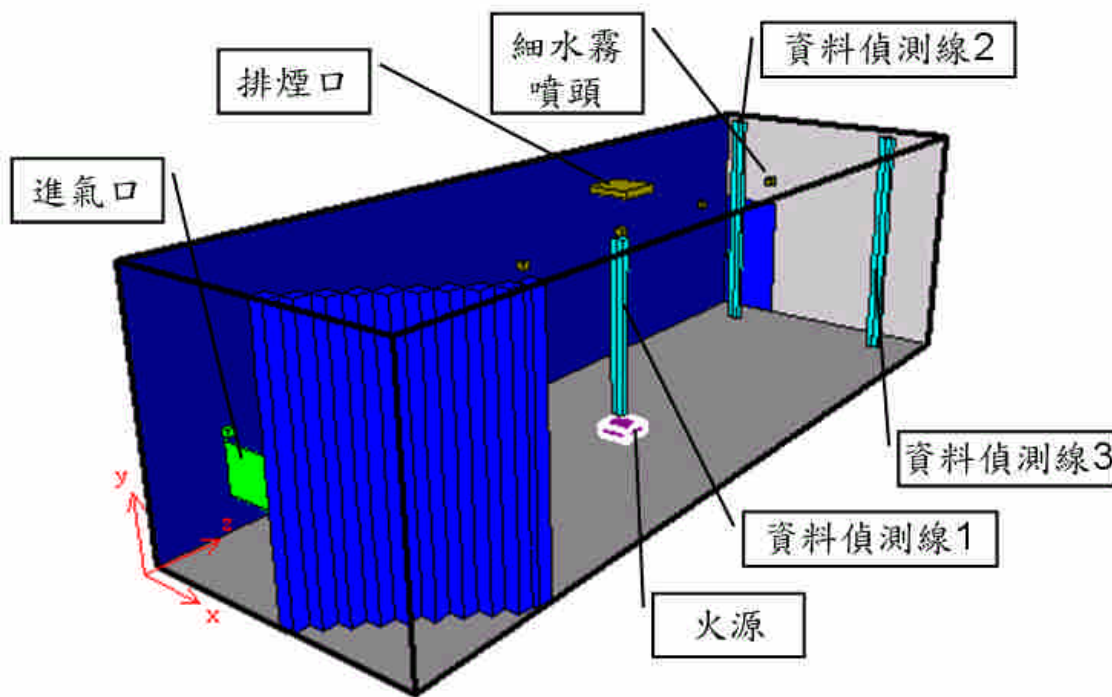


圖 4-32 電腦模擬模型圖(本研究)

二、火源設定

火場電腦模擬中，火源設定對模擬結果影響重大，故本節對本報告中火源熱釋放率設定進行說明，本次模擬油盆尺寸為 $0.4\text{m} \times 0.4\text{m}$ ，燃料為 92 無鉛汽油，查閱 SFPE Handbook of Fire Protection Engineering，面積 0.2025m^2 的汽油油池火災的質量損失率約為 $0.03\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ，而汽油的燃燒熱為 43.7kJ/g ，換算得本報告

油盆火源的熱釋率約為 1.3MW，而由實驗場內的自由燃燒實測發現，本報告的油盆火源(1500C.C.)，自點燃一分鐘後趨於穩定，三分鐘後燃燒有開始下降的趨勢，火源約可燃燒至四分多鐘後熄滅，本次電腦模擬火源即以此實測觀察現象並使符合時間平方火災之 Ultra-fast 曲線進行設定，質量損失率曲線圖如圖 4-33 所示。第一段為 0-60 秒，符合 Ultra-fast 曲線，60 秒時到達質量損失率 $0.03\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ；第二段為 60-180 秒，火源為穩定燃燒，質量損失率維持 $0.03\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ，第三段為 180-260 秒，質量損失率由 $0.03\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 下降至 260 秒時燃燒停止。油盆之熱釋率可由圖 4-33 之油盆火源質量損失率曲線圖轉換得到，熱釋率峰值為 $0.03\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s} \times 43.7\text{kJ}/\text{g} = 1.303\text{MW}$ 。

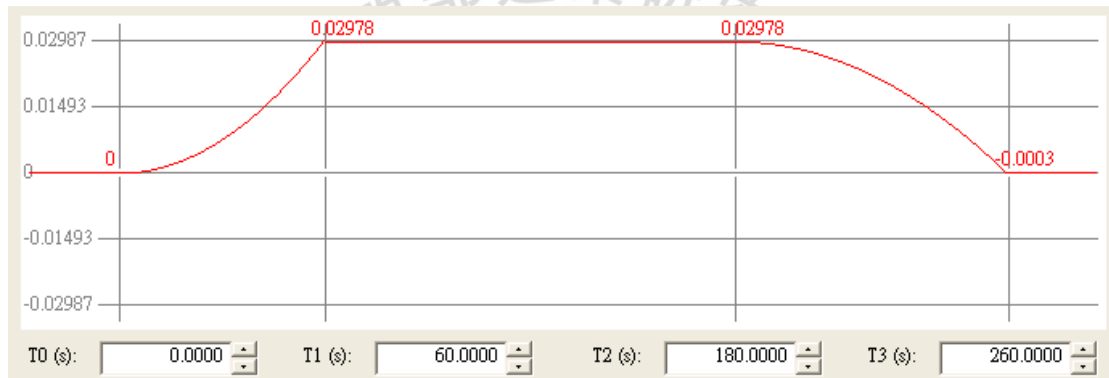


圖 4-33 油盆火源質量損失率曲線圖(本研究)

三、模擬情境

本報告之火火場電腦模擬，共模擬八個火災情境，如表 4-5 所示，主要以排煙量為區分主軸，模擬之排煙量分別為 $50\text{ m}^3/\text{min}$ 、 $75\text{ m}^3/\text{min}$ 及 $120\text{ m}^3/\text{min}$ ，並分別模擬細水霧作動及不作動時的火災情境，另外在情境 1，細水霧及排煙均不作動，以此情境為基本情境。

表 4-5 細水霧電腦模擬情境表(本研究)

措施 情境編號	細水霧作動	排煙量大小 m^3/min	備註
1	X	X	基本情境
2	○	X	
3	X	50	
4	○	50	
5	X	75	
6	○	75	
7	X	120	
8	○	120	

○表作動，X 表不作動

四、模擬情境 1

模擬情境 1 模擬無排煙無細水霧作動的基本情境，在此情境下亦關閉進氣口，等同於密閉空間。圖 4-34 為情境 1 分時溫度切面圖，分別呈現 65 秒、120 秒、180 秒及 240 秒之溫度切面，由圖中可看出，火場高溫區域隨著時間的增加而下降。圖 4-35 則為煙濃度切面圖，由於模擬區域為密閉區域，故煙濃度隨著時間的增加而逐漸充滿整個模擬區域。圖 4-36 為一氧化碳濃度切面圖，由圖中可看出，火場內的一氧化碳產生量並不多。圖 4-37 為二氧化碳濃度切面圖，由圖中可看出，二氧化碳濃度亦隨著時間的增加而逐漸擴張區域，但直至 240 秒，二氧化碳尚未能充滿整個模擬區域。圖 4-38 為氧濃度切面圖，由圖中可看出，氧濃度由模擬區域上層逐漸減少。

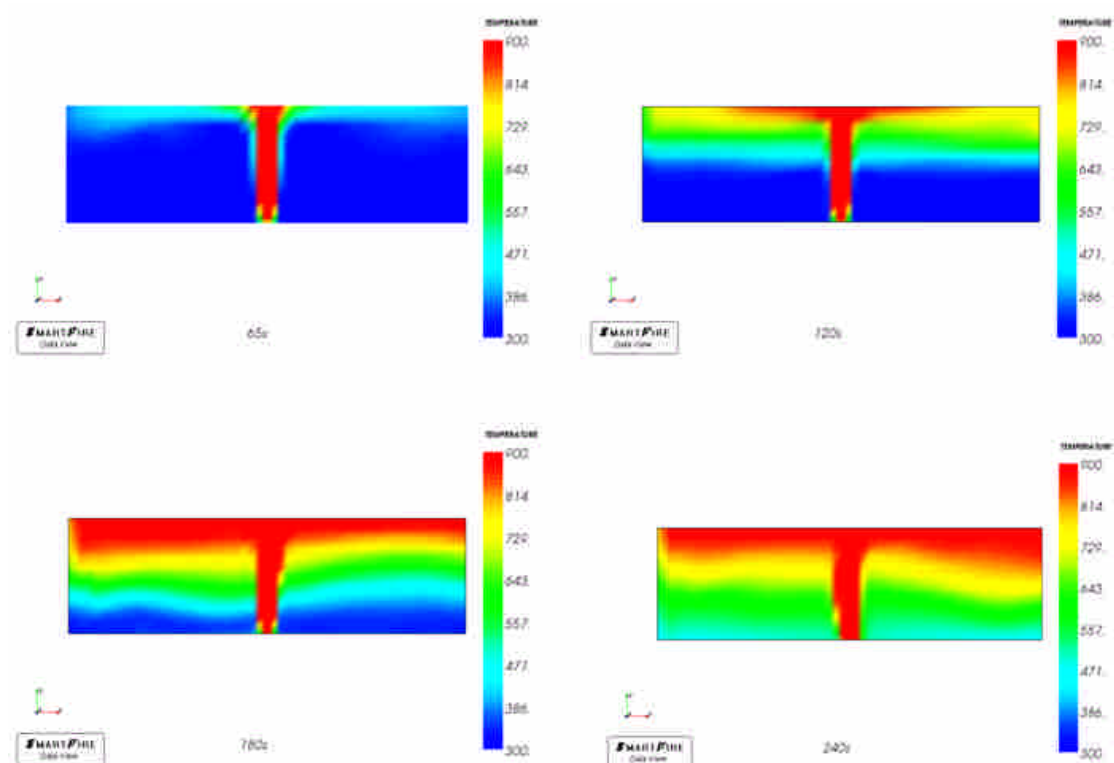


圖 4-34 情境 1 分時溫度切面圖(本研究)

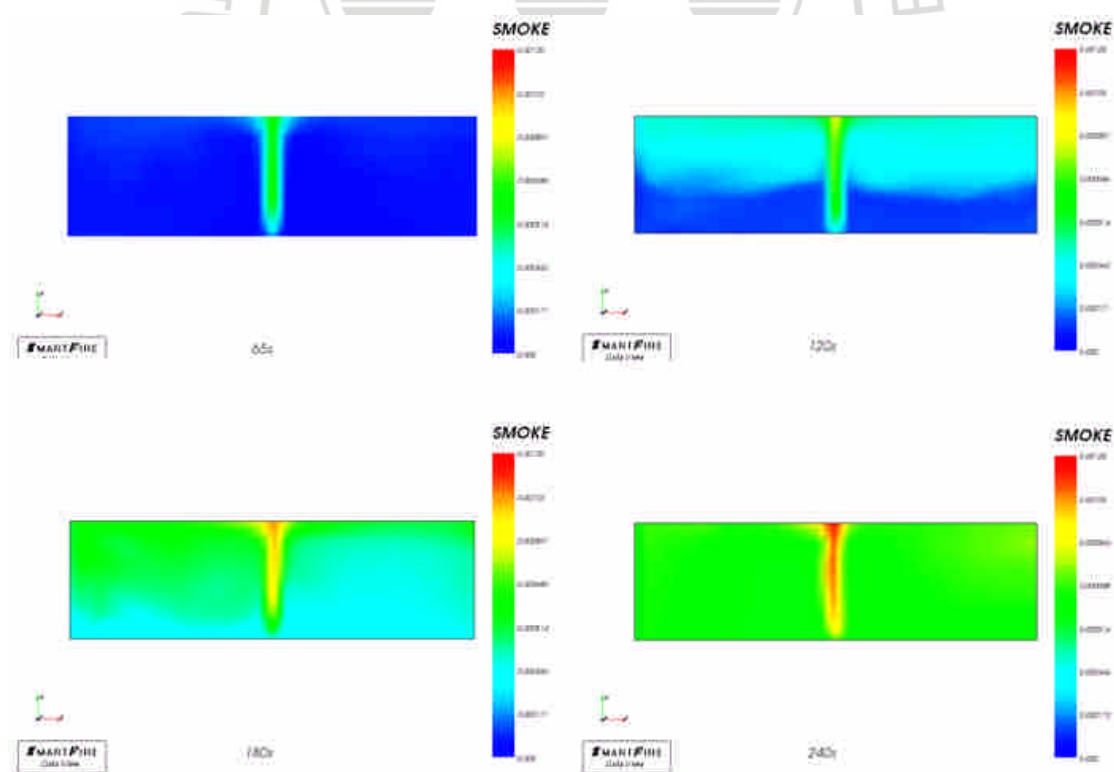


圖 4-35 情境 1 分時煙濃度切面圖(本研究)

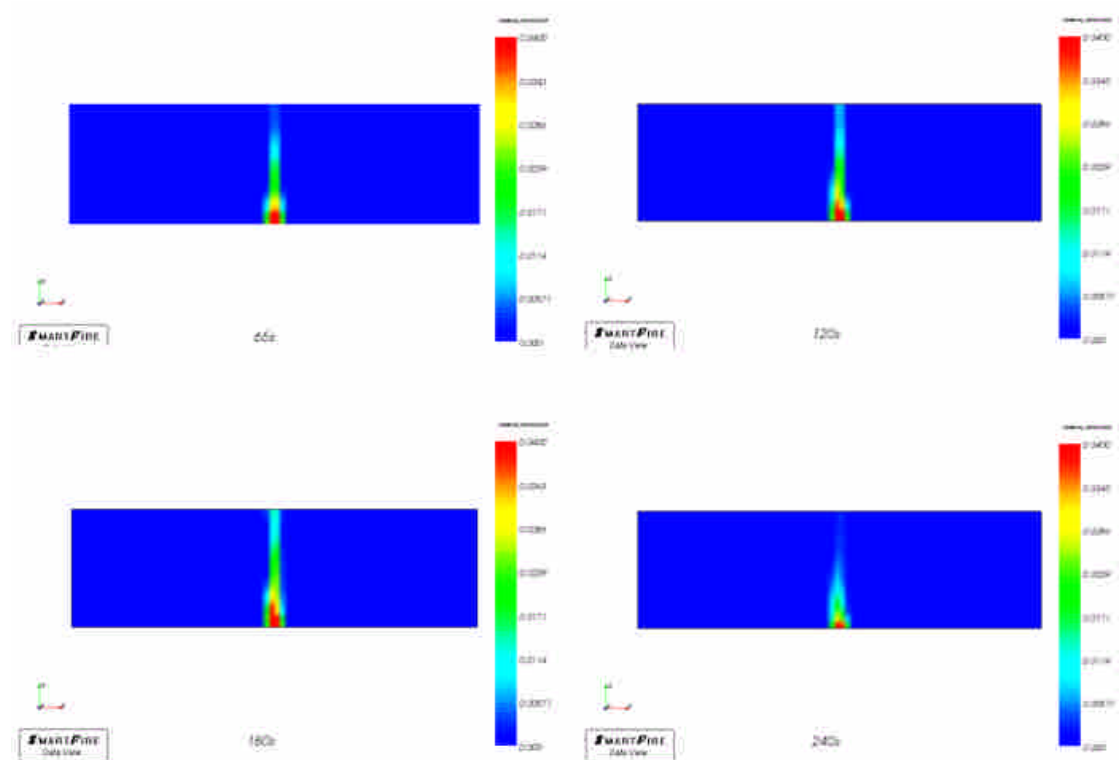


圖 4-36 情境 1 分時一氧化碳濃度切面圖(本研究)

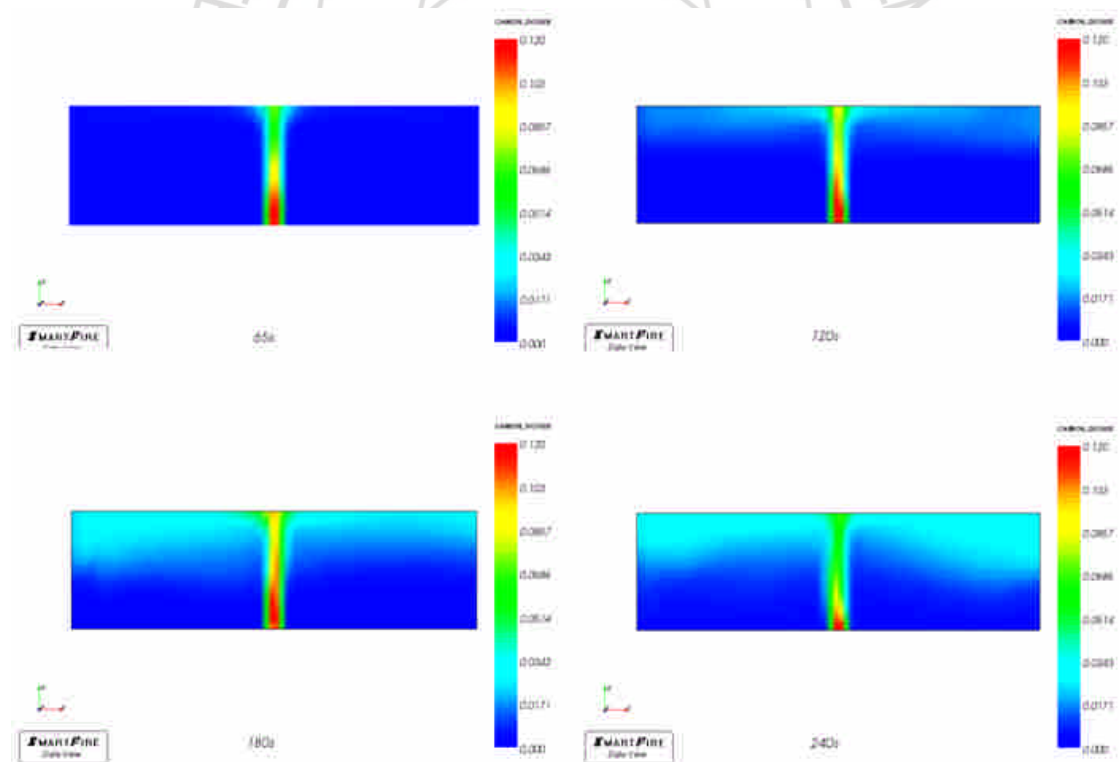


圖 4-37 情境 1 分時二氧化碳濃度切面圖(本研究)

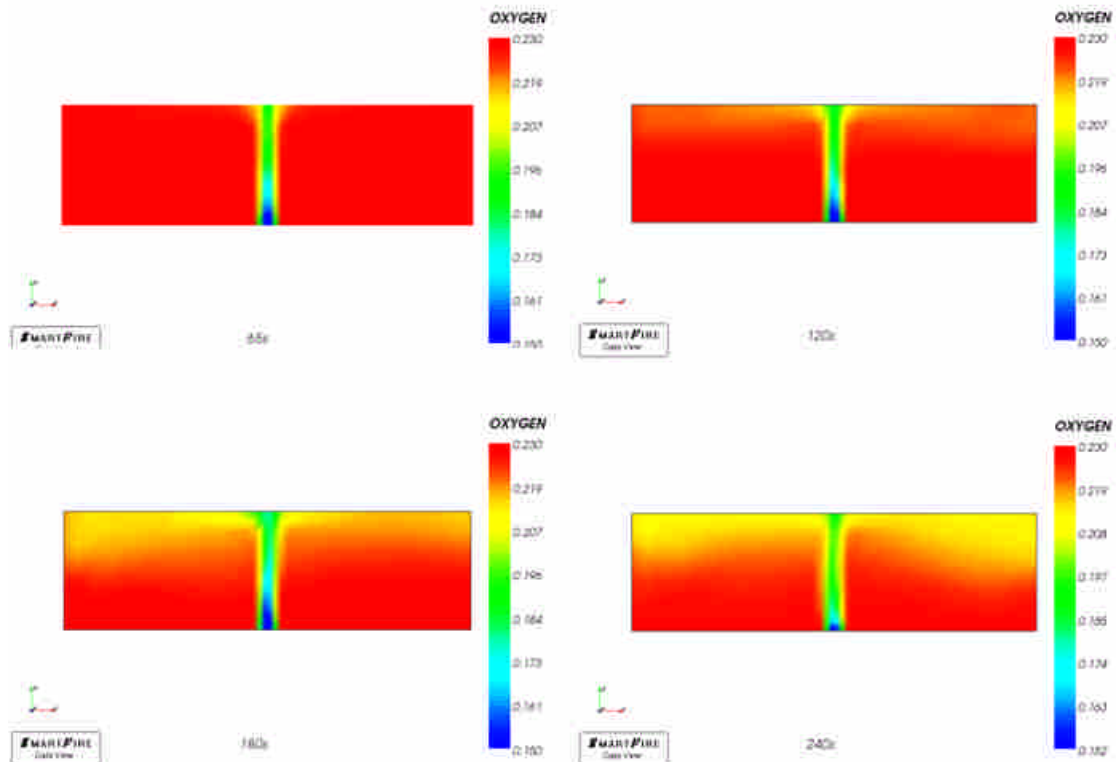


圖 4-38 情境 1 分時氧濃度切面圖(本研究)

五、模擬情境 2

模擬情境 2 模擬無排煙但細水霧作動的情境，在此情境下亦關閉進氣口，同樣等同於密閉空間。圖 4-39 至圖 4-42，分別為情境 2 之溫度、煙濃度、二氧化碳及氧濃度分時圖，將情境 2 之分時圖與情境 1 比較，可發現，細水霧的釋放可將噴霧頭附近的火場溫度降溫。而由各氣體濃度分時圖可發現，細水霧的釋放會加速氣體擴散。

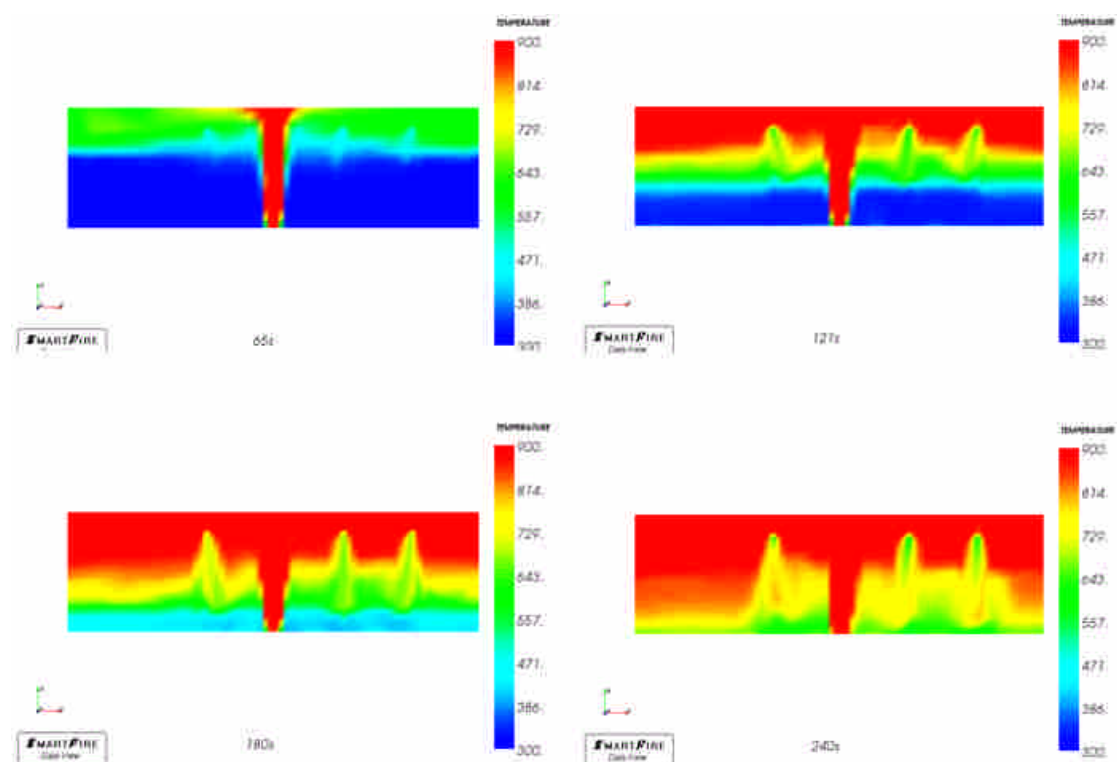


圖 4-39 情境 2 分時溫度切面圖(本研究)

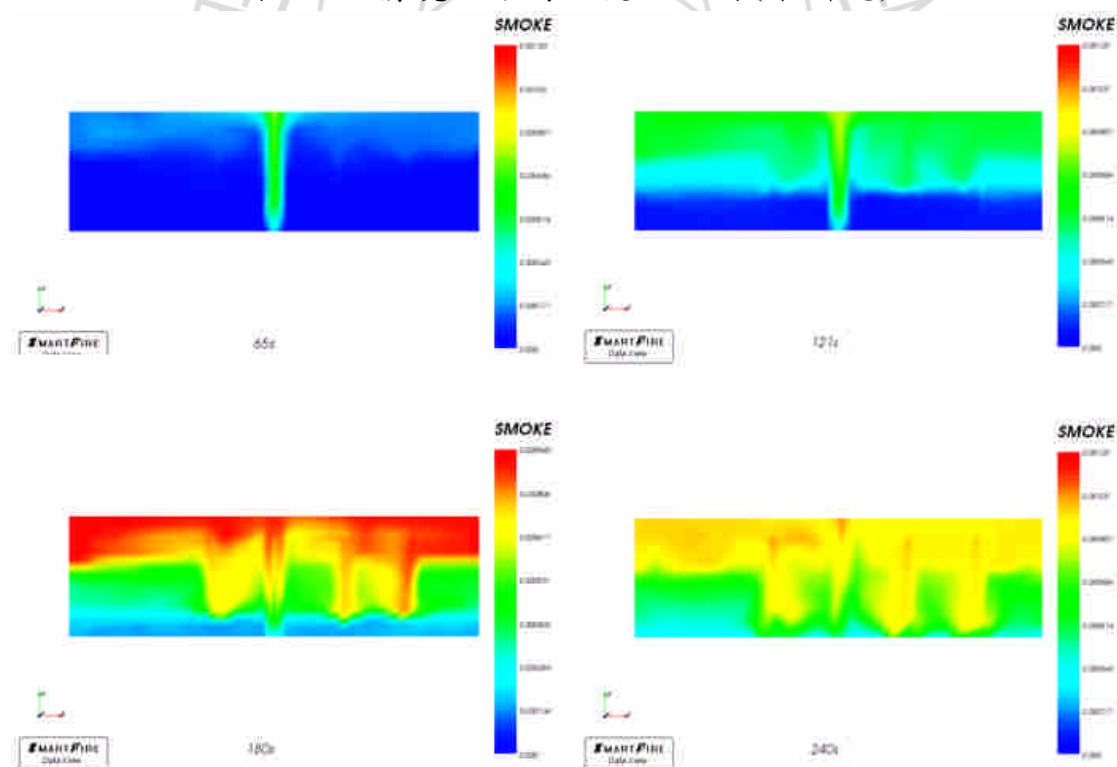


圖 4-40 情境 2 分時煙濃度切面圖(本研究)

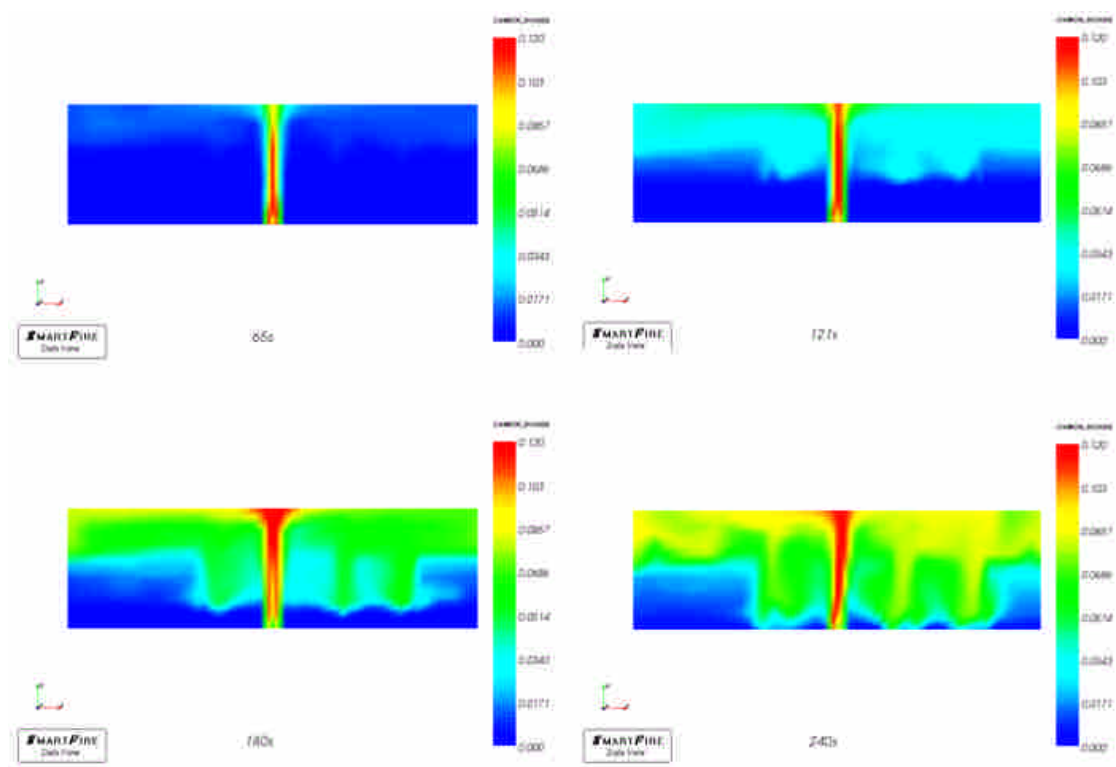


圖 4-41 情境 2 分時二氧化碳濃度切面圖(本研究)

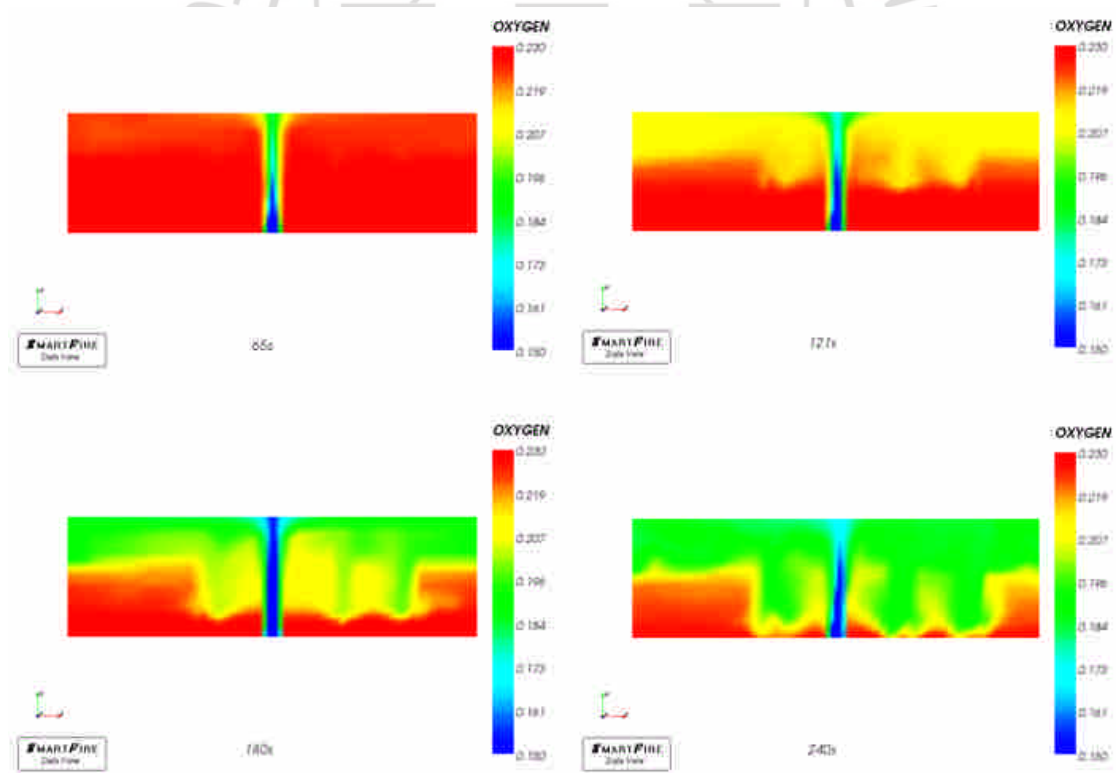


圖 4-42 情境 2 分時氧濃度切面圖(本研究)

六、模擬情境 3

模擬情境 3 模擬排煙量 $50\text{m}^3/\text{min}$ 但無細水霧作動的情境，圖 4-43 至圖 4-46，分別為情境 3 之溫度、煙濃度、二氧化碳及氧濃度分時圖，將情境 3 之分時圖與情境 1 比較，可發現，當排煙量為 $50\text{m}^3/\text{min}$ 時，由於有新鮮空氣由進氣口進入，導致燃燒效率上升，整個火場溫度及氣體濃度均較情境 1 上升。

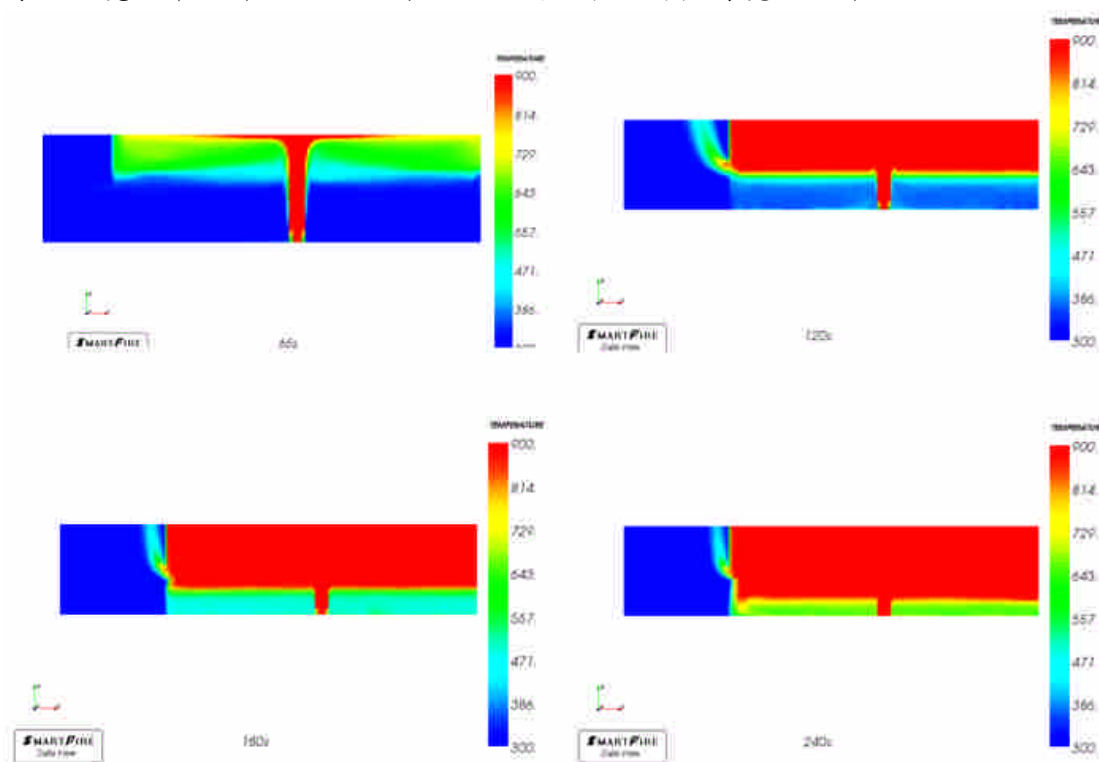


圖 4-43 情境 3 分時溫度切面圖(本研究)

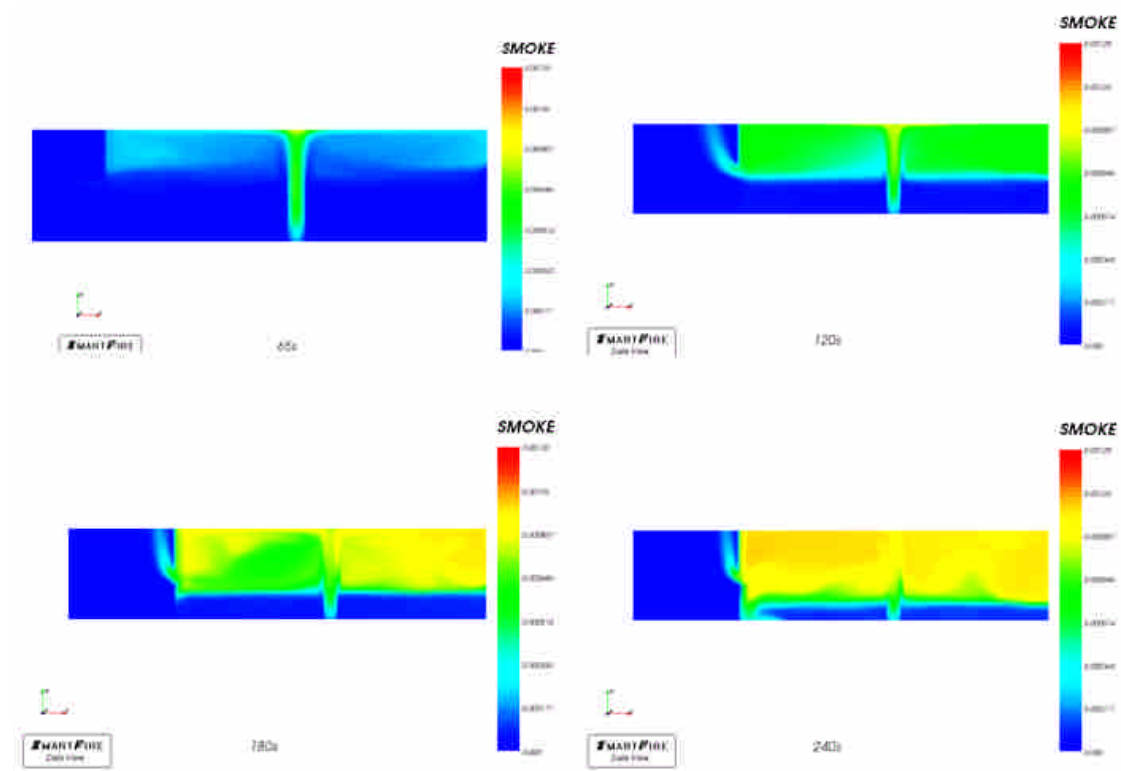


圖 4-44 情境 3 分時煙濃度切面圖(本研究)

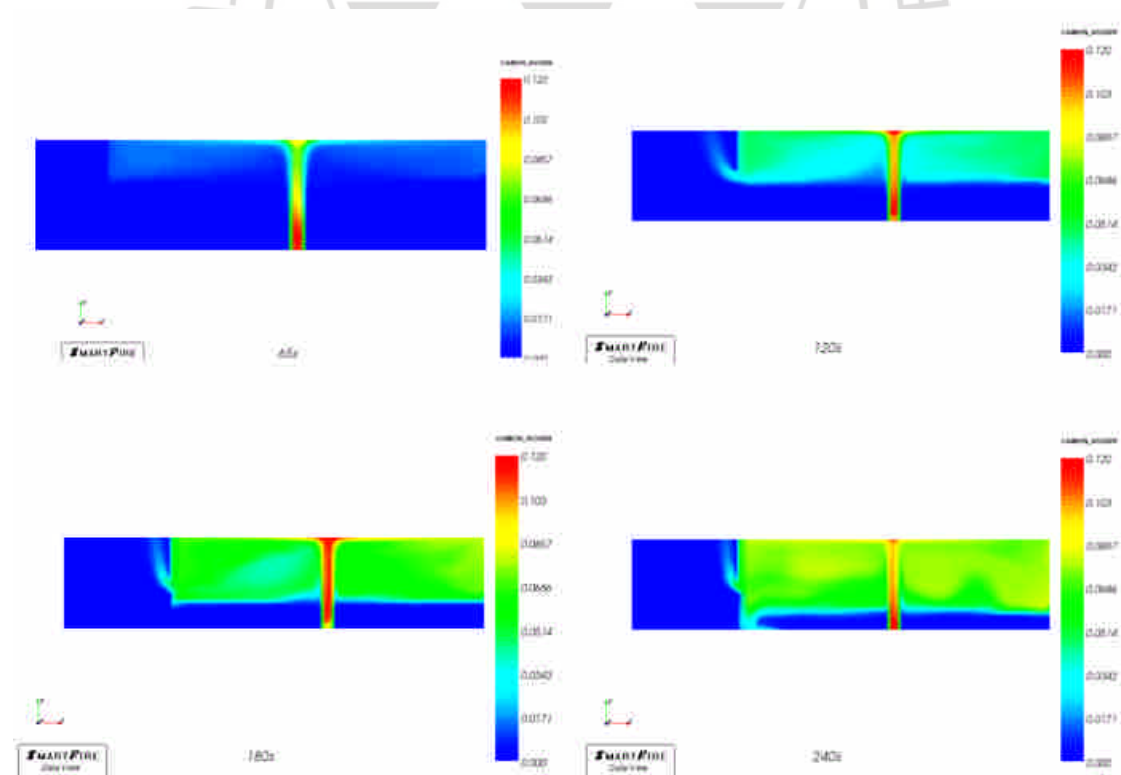


圖 4-45 情境 3 分時二氧化碳濃度切面圖(本研究)

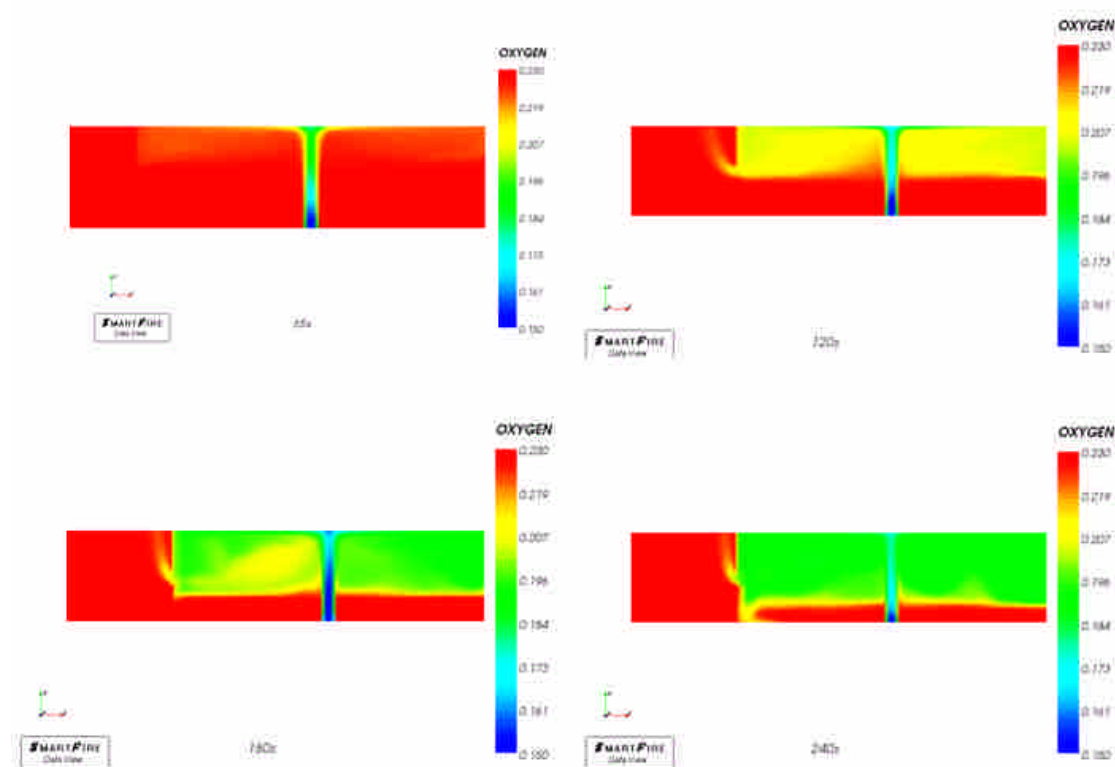


圖 4-46 情境 3 分時氧濃度切面圖(本研究)

七、模擬情境 4

模擬情境 4 模擬排煙量 $50\text{m}^3/\text{min}$ 且伴隨細水霧作動的情境，圖 4-47 至圖 4-50，分別為情境 4 之溫度、煙濃度、二氧化碳及氧濃度分時圖，將情境 4 之分時圖與情境 3 比較，可發現，當排煙量為 $50\text{m}^3/\text{min}$ 且伴隨細水霧作動時，火場溫度比無細水霧作動的火場溫度為低，且各氣體濃度情境 4 亦較情境 3 為低，也就是，在 $50\text{m}^3/\text{min}$ 排煙量，有細水霧作動可有效降低火場危害。而比較圖 4-39 與圖 4-47，分別為細水霧作動無排煙及 $50\text{m}^3/\text{min}$ 排煙的情境，可發現當有排煙的情境下，火場溫度較高，也就是說 $50\text{m}^3/\text{min}$ 排煙會影響細水霧的效能，導致效能降低。

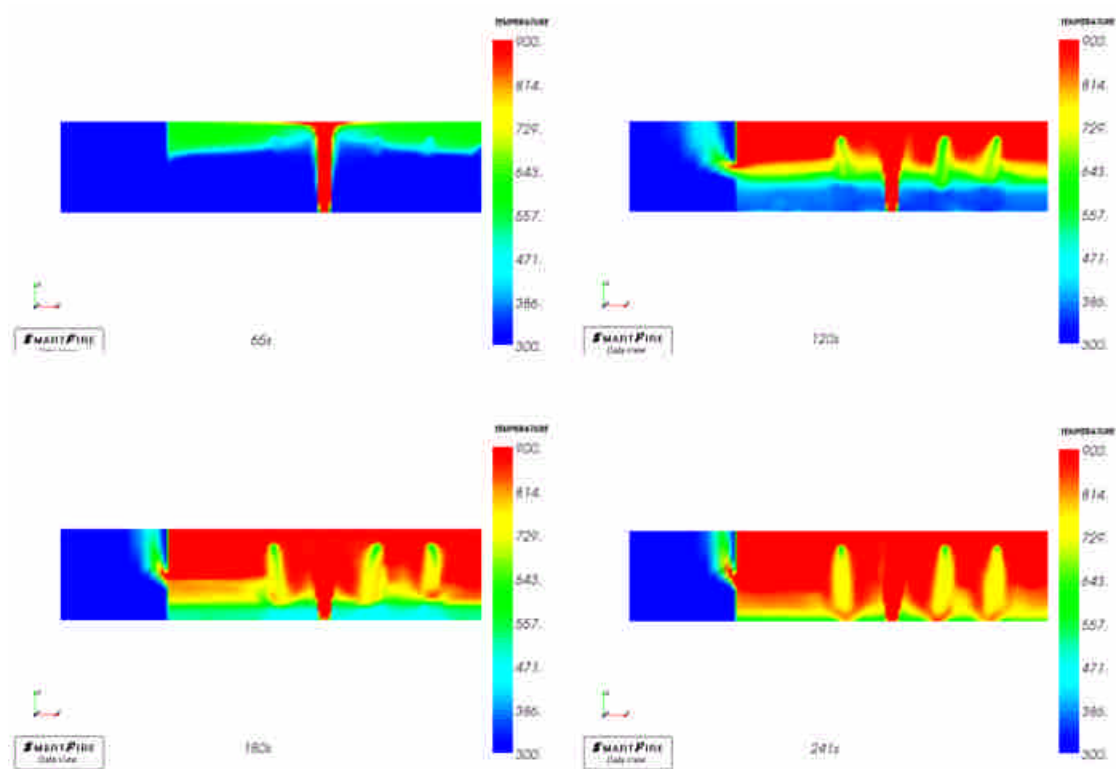


圖 4-47 情境 4 分時溫度切面圖(本研究)

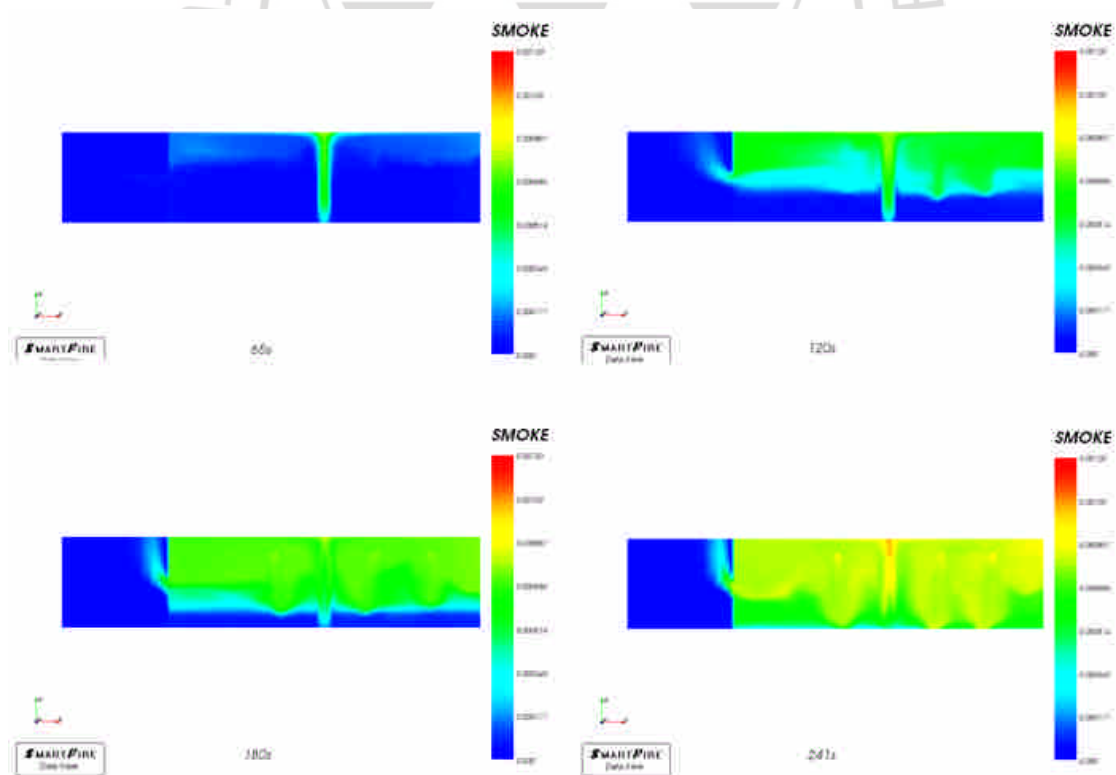


圖 4-48 情境 4 分時煙濃度切面圖(本研究)

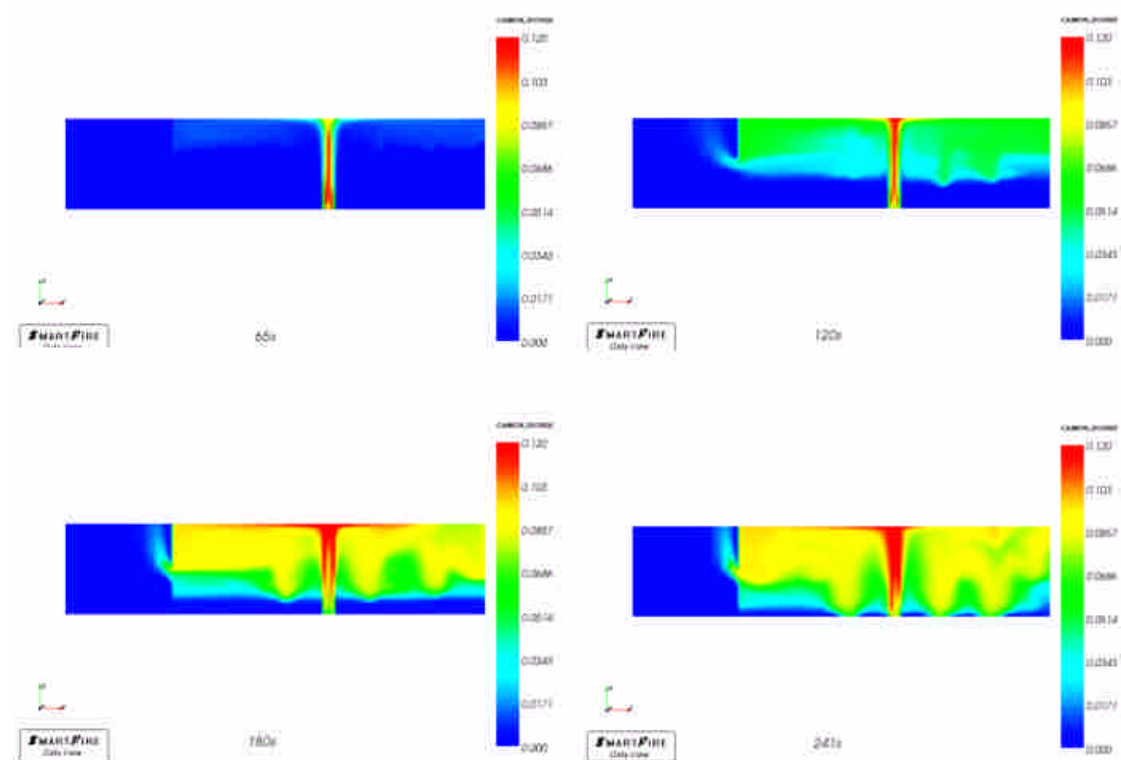


圖 4-49 情境 4 分時二氧化碳濃度切面圖(本研究)

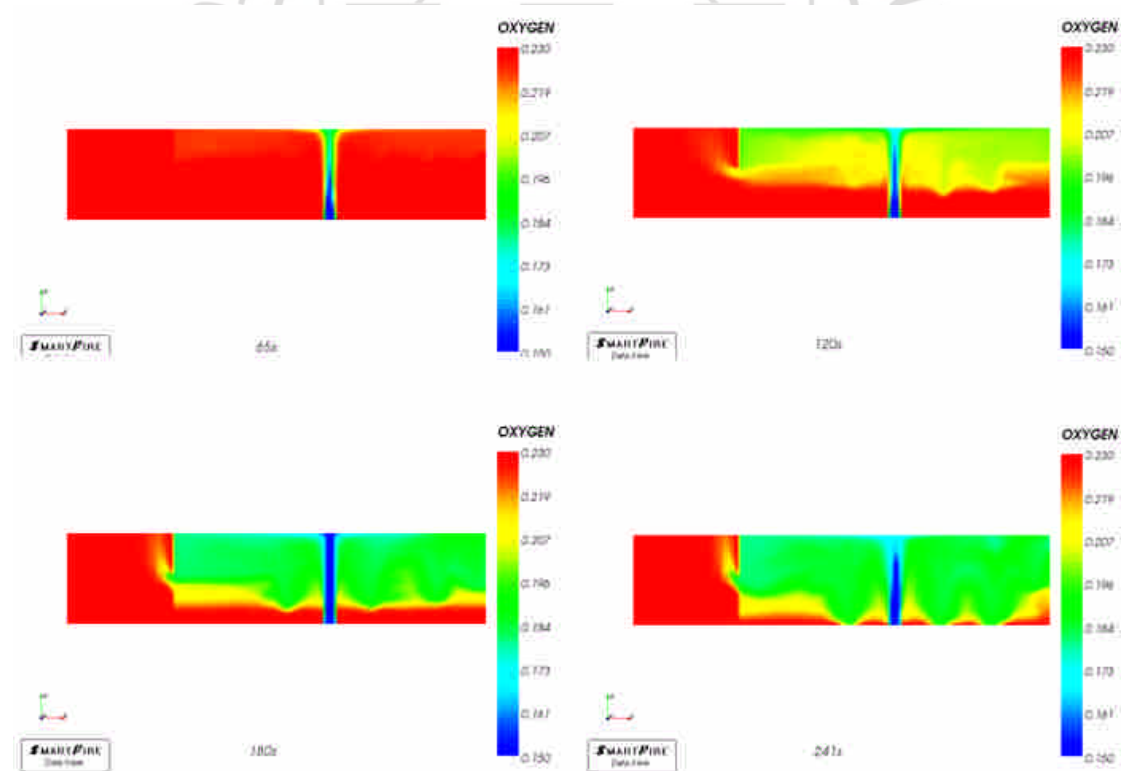


圖 4-50 情境 4 分時氧濃度切面圖(本研究)

八、模擬情境 5

模擬情境 5 模擬排煙量 $75\text{m}^3/\text{min}$ 但無細水霧作動的情境，圖 4-51 至圖 4-54，分別為情境 5 之溫度、煙濃度、二氧化碳及氧濃度分時圖，將情境 5 之分時圖與情境 3 比較，可發現，當排煙量為 $75\text{m}^3/\text{min}$ 時，進入模擬空間之新鮮空氣更多，燃燒效率較高，整個火場溫度及氣體濃度均較情境 3 上升，但比較各氣體濃度卻可發現，由於情境 5 排煙量上升，氣體濃度反而低於情境 3。

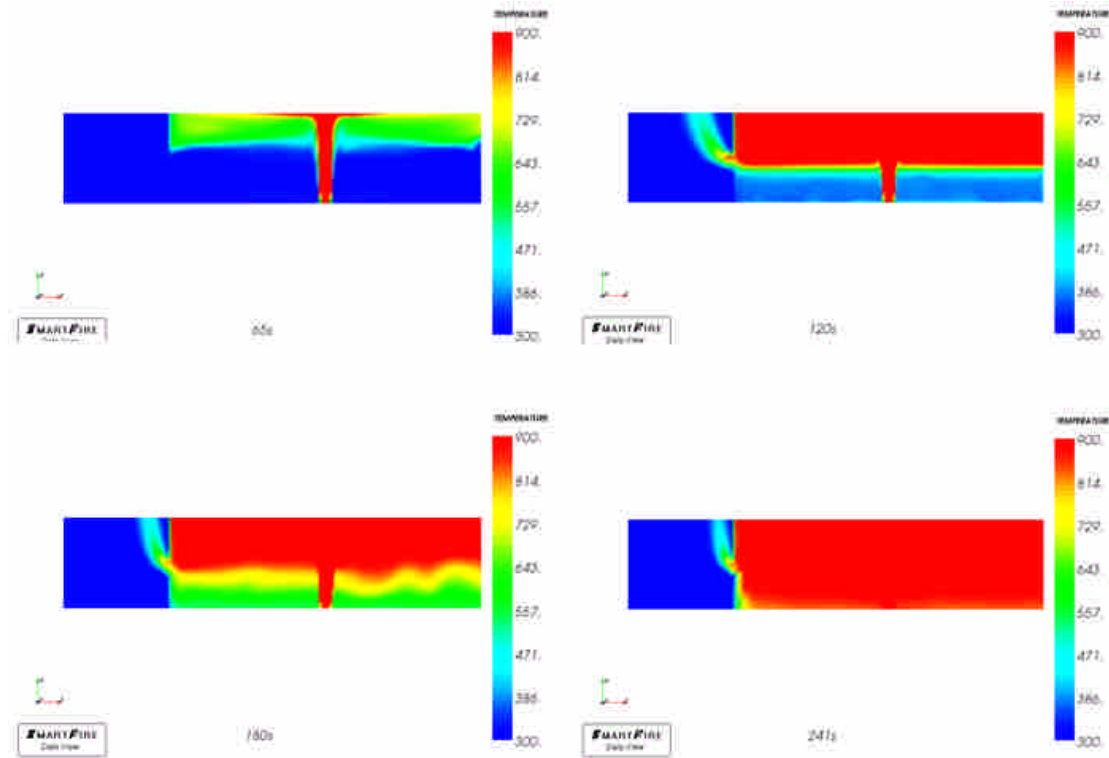


圖 4-51 情境 5 分時溫度切面圖(本研究)

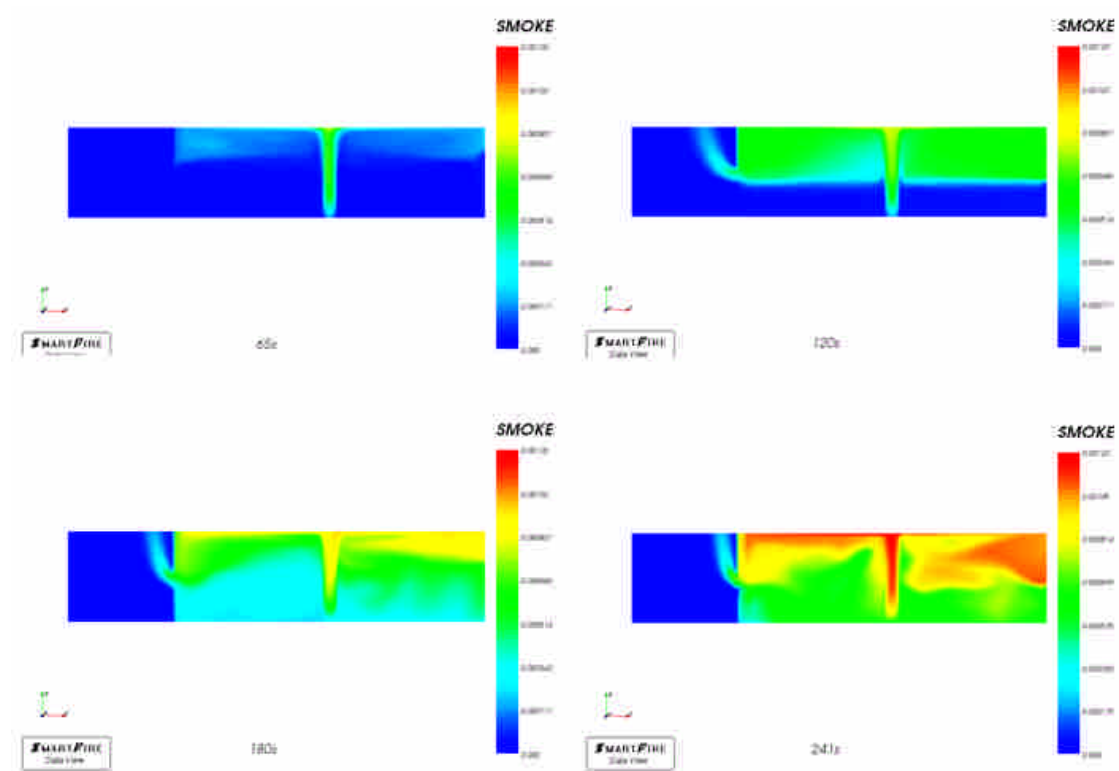


圖 4-52 情境 5 分時煙濃度切面圖(本研究)

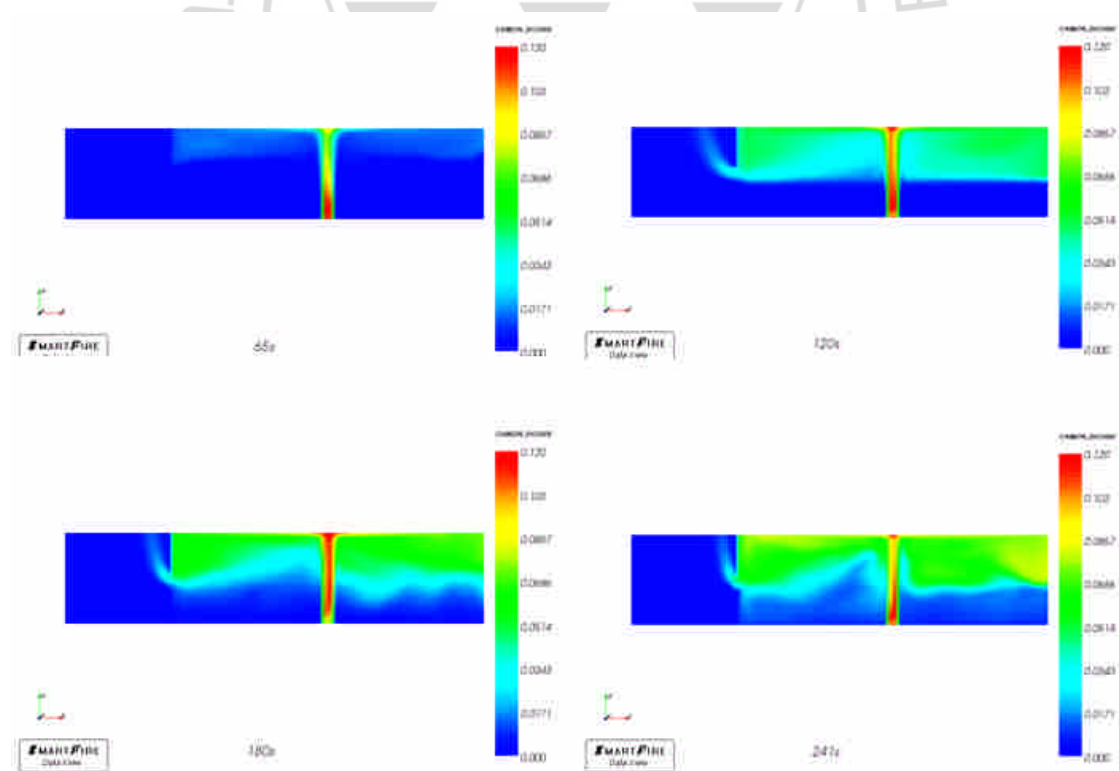


圖 4-53 情境 5 分時二氧化碳濃度切面圖(本研究)

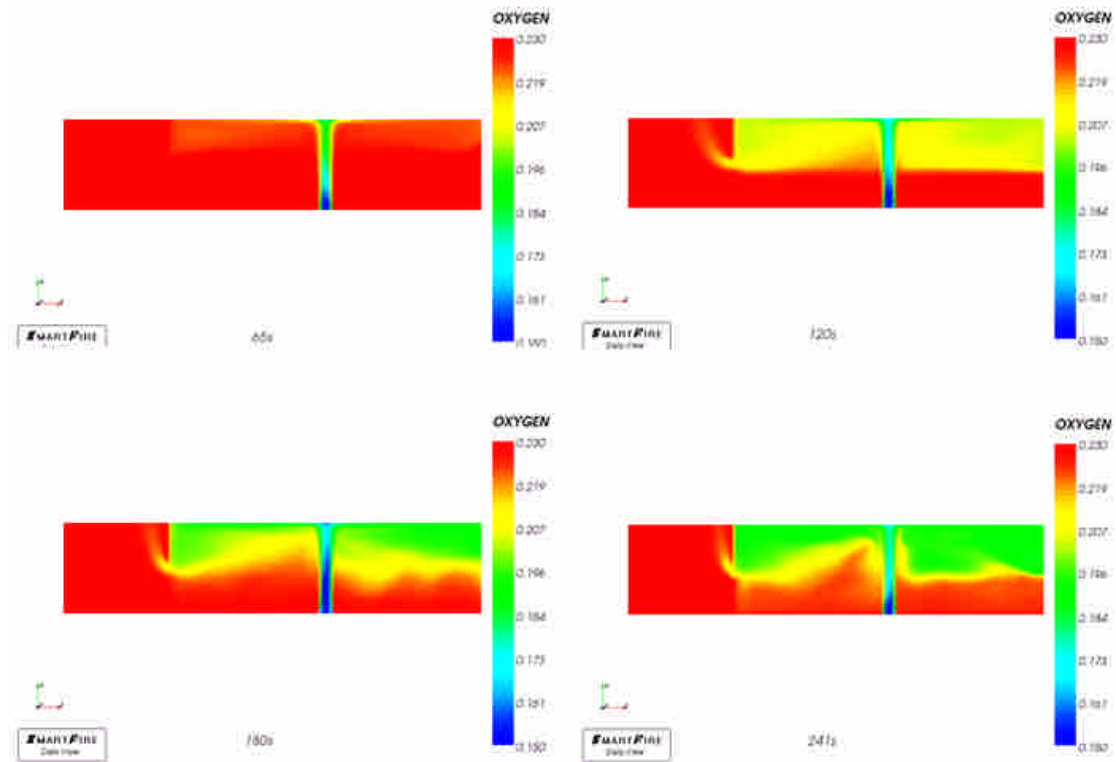


圖 4-54 情境 5 分時氧濃度切面圖(本研究)

九、模擬情境 6

模擬情境 6 模擬排煙量 $75\text{m}^3/\text{min}$ 且伴隨細水霧作動的情境，圖 4-55 至圖 4-58，分別為情境 6 之溫度、煙濃度、二氧化碳及氧濃度分時圖，將情境 6 之分時圖與情境 5 比較，可發現，當排煙量為 $75\text{m}^3/\text{min}$ 時，細水霧作動情境下火場溫度較排煙無細水霧情境為低，各氣體濃度在有細水霧作動的情境下，亦較無細水霧時為低，也就是說，在排煙量為 $75\text{m}^3/\text{min}$ 時，細水霧作動可降低火場危害。

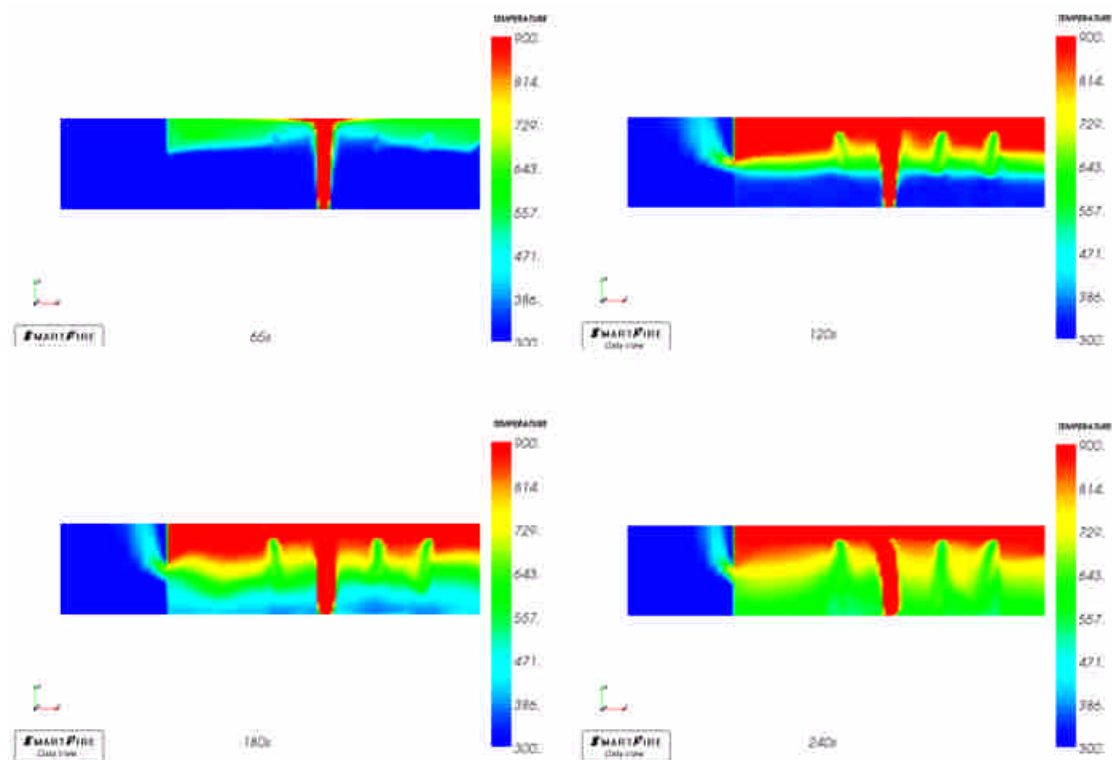


圖 4-55 情境 6 分時溫度切面圖(本研究)

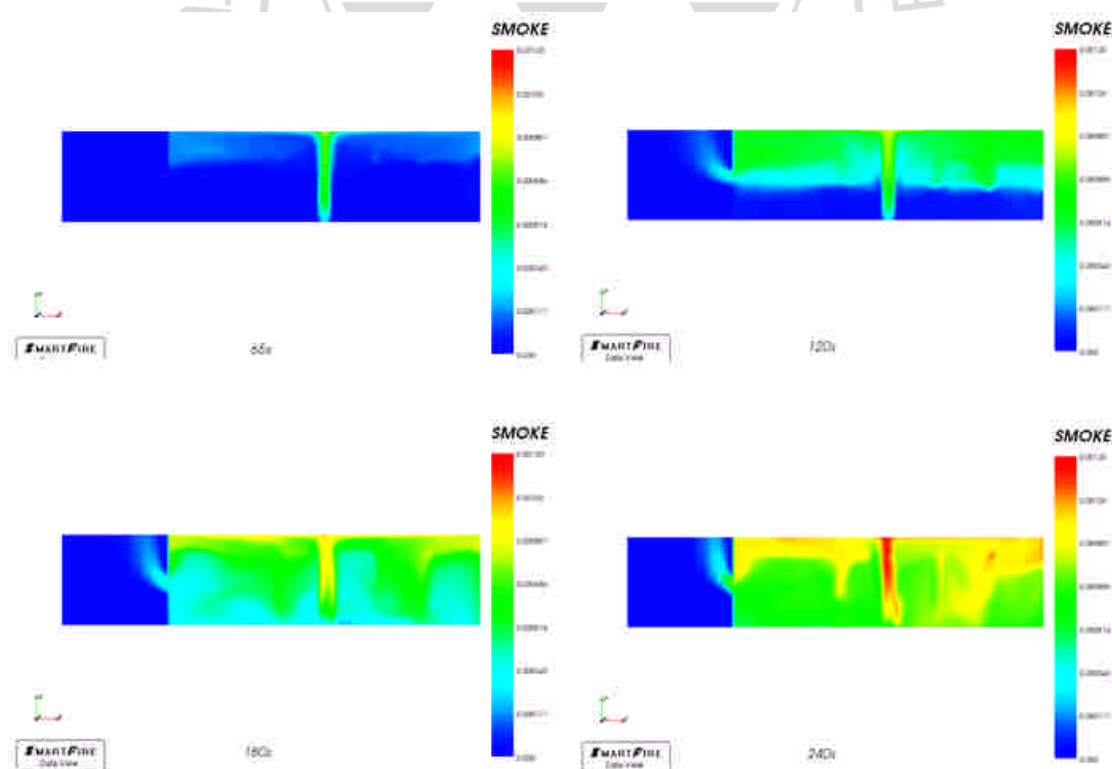


圖 4-56 情境 6 分時煙濃度切面圖(本研究)

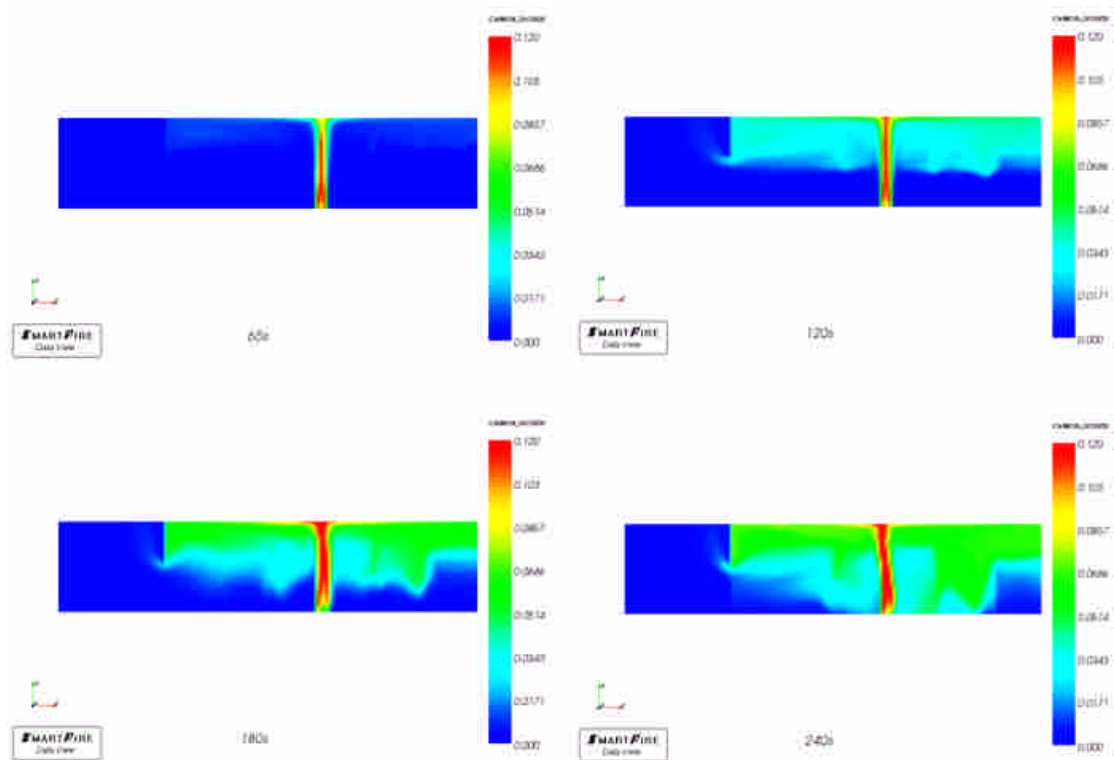


圖 4-57 情境 6 分時二氧化碳濃度切面圖(本研究)

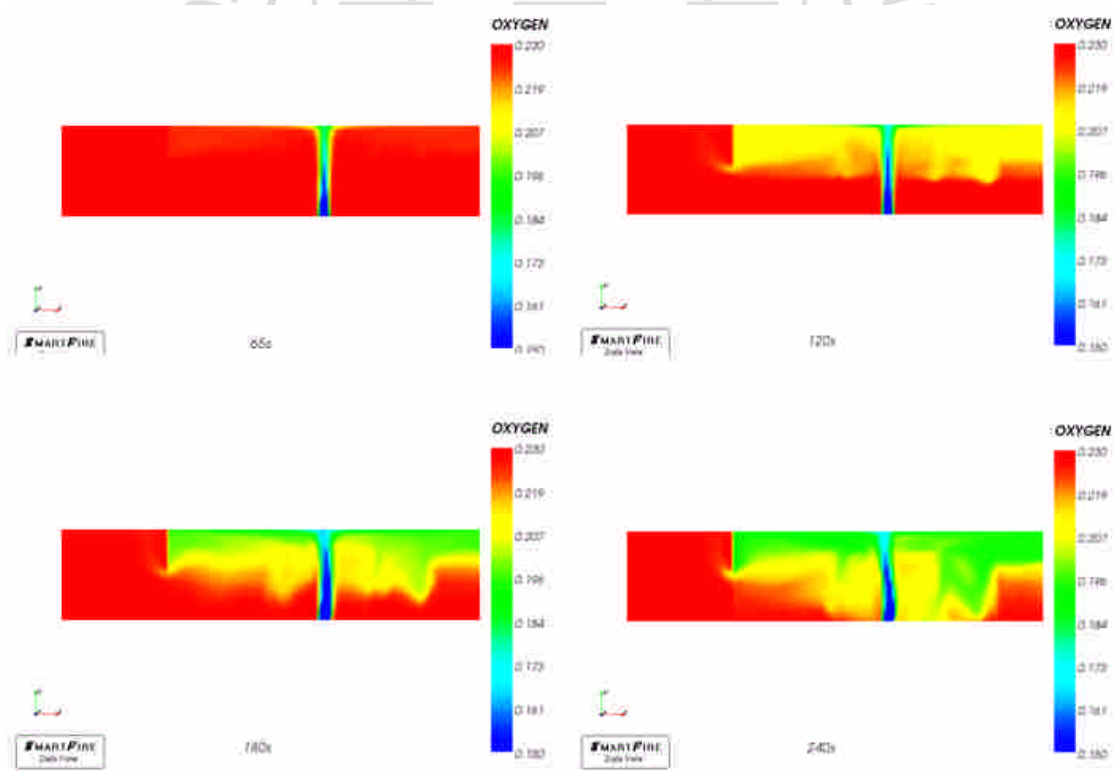


圖 4-58 情境 6 分時氧濃度切面圖(本研究)

十、模擬情境 7

模擬情境 7 模擬排煙量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 但無細水霧作動的情境，圖 4-59 至圖 4-62，分別為情境 7 之溫度、煙濃度、二氧化碳及氧濃度分時圖，將情境 7 之分時圖與情境 5 比較，可發現，當排煙量為 $120\text{m}^3/\text{min}$ 時，進入模擬空間之新鮮空氣更多，燃燒效率較高，整個火場溫度及氣體濃度均較情境 5 上升，各氣體濃度由於燃燒效率較高，情境 7 之氣體濃度亦高於情境 5。

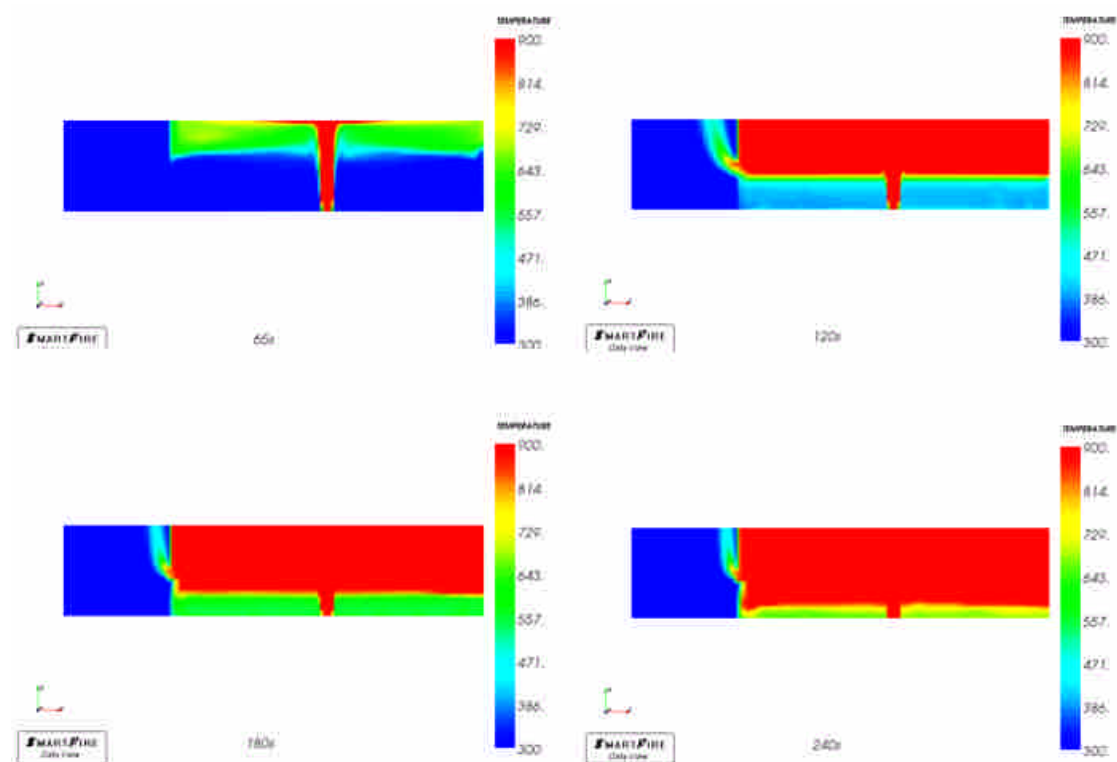


圖 4-59 情境 7 分時溫度切面圖(本研究)

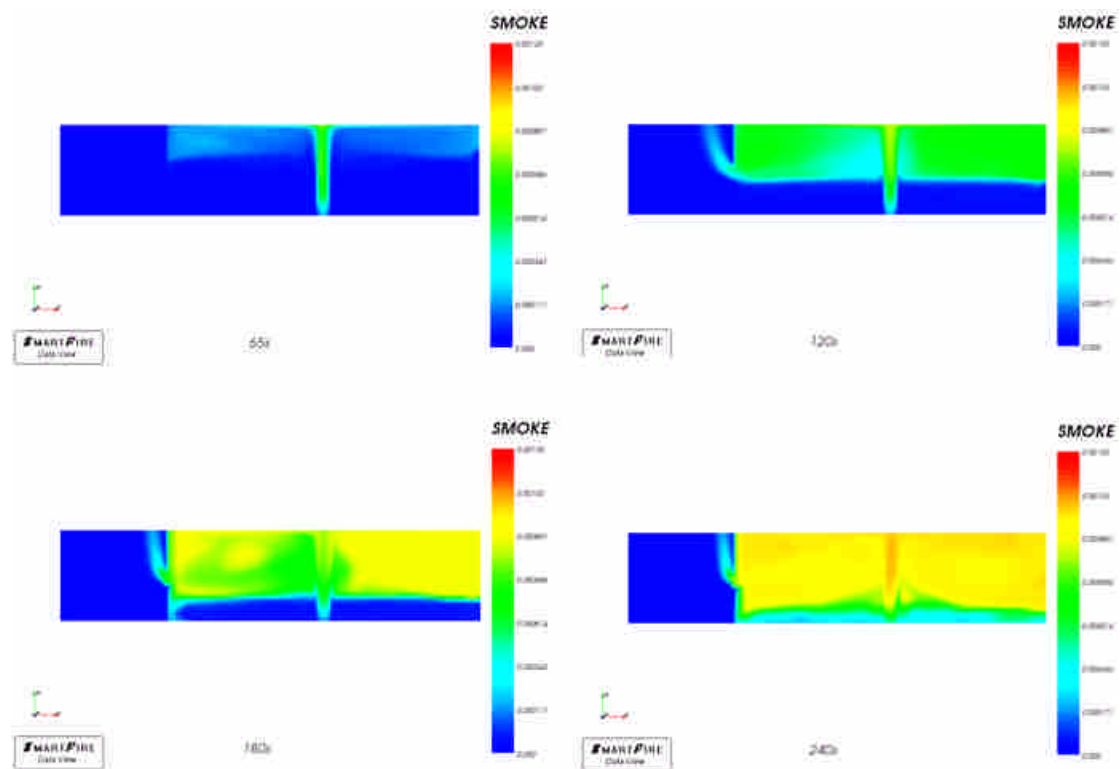


圖 4-60 情境 7 分時煙濃度切面圖(本研究)

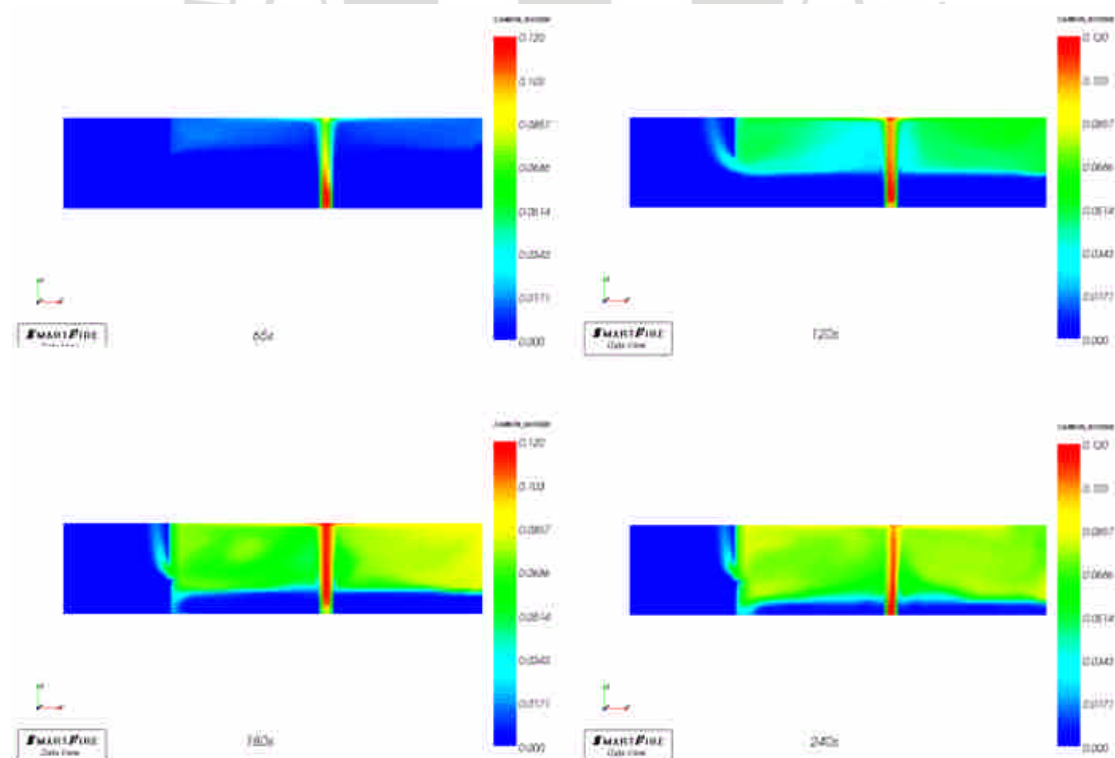


圖 4-61 情境 7 分時二氧化碳濃度切面圖(本研究)

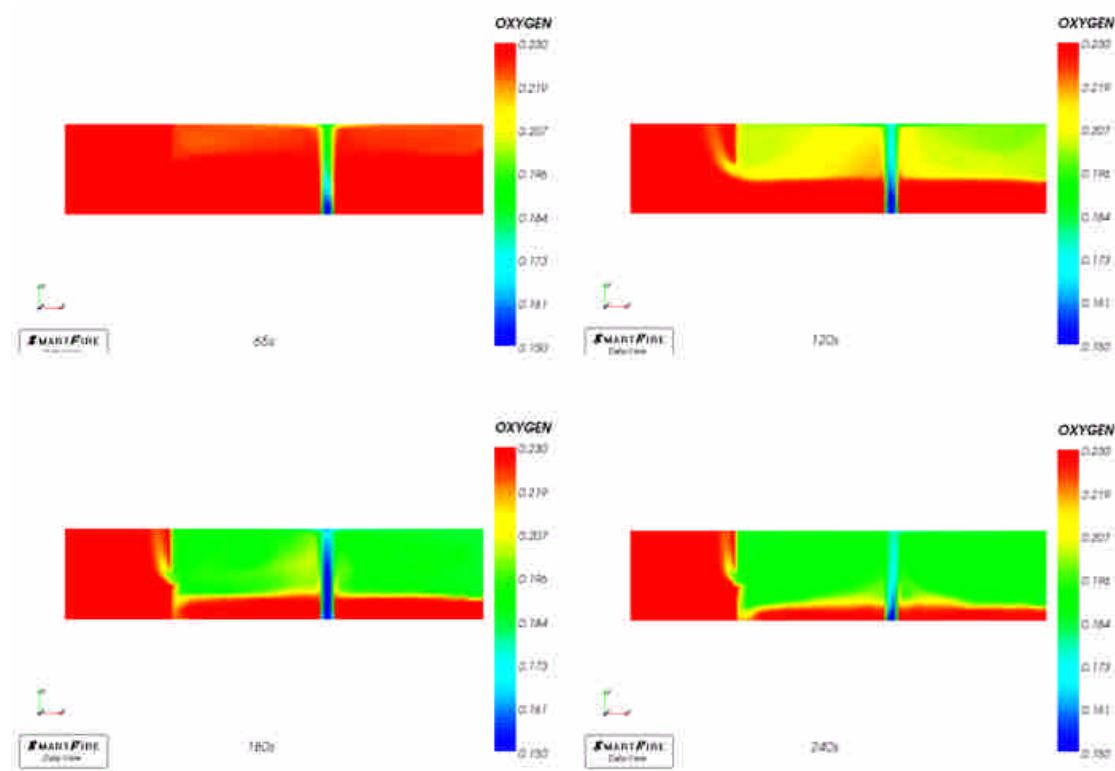


圖 4-62 情境 7 分時氧濃度切面圖(本研究)

十一、模擬情境 8

模擬情境 8 模擬排煙量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 且伴隨細水霧作動的情境，圖 4-63 至圖 4-66，分別為情境 8 之溫度、煙濃度、二氧化碳及氧濃度分時圖，將情境 8 之分時圖與情境 7 比較，可發現，情境 8 在細水霧的作動下，整體火場溫度遠低於情境 7，同時比較各氣體濃度亦可發現，在細水霧的作動下，各危害氣體的濃度亦低於無細水霧作動的情境 7，也就是說，在排煙量 $120\text{m}^3/\text{min}$ 下，細水霧的作動有助於降低火場危害。

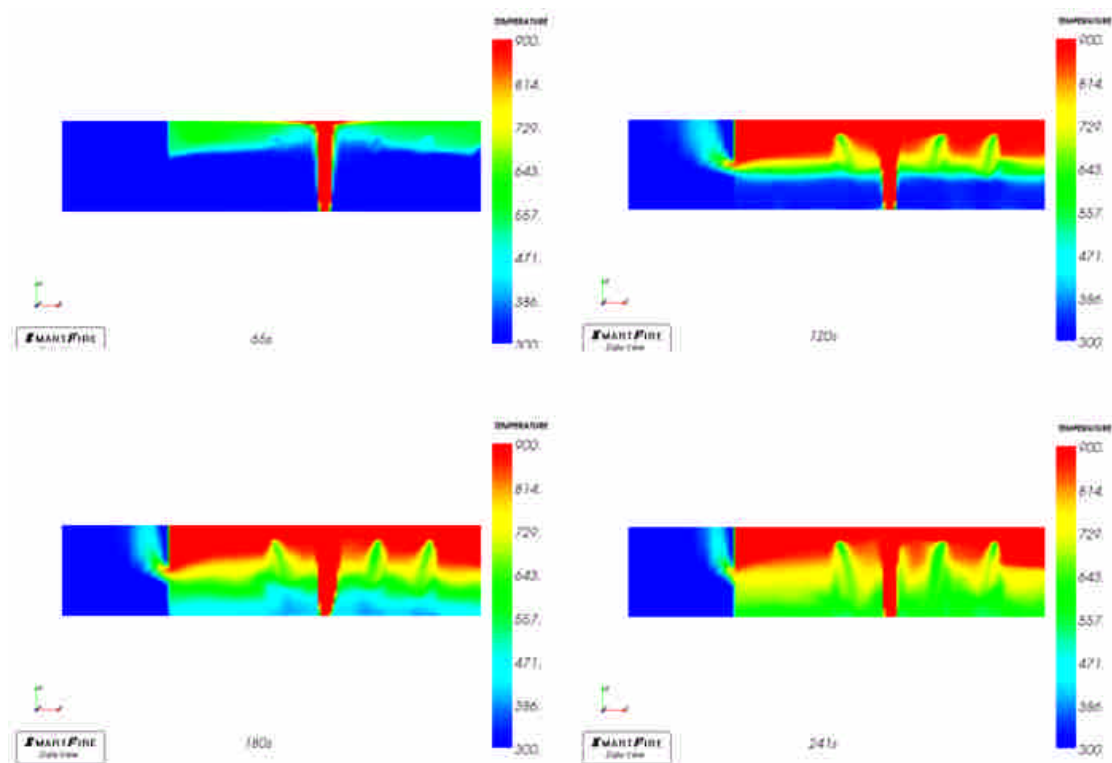


圖 4-63 情境 8 分時溫度切面圖(本研究)

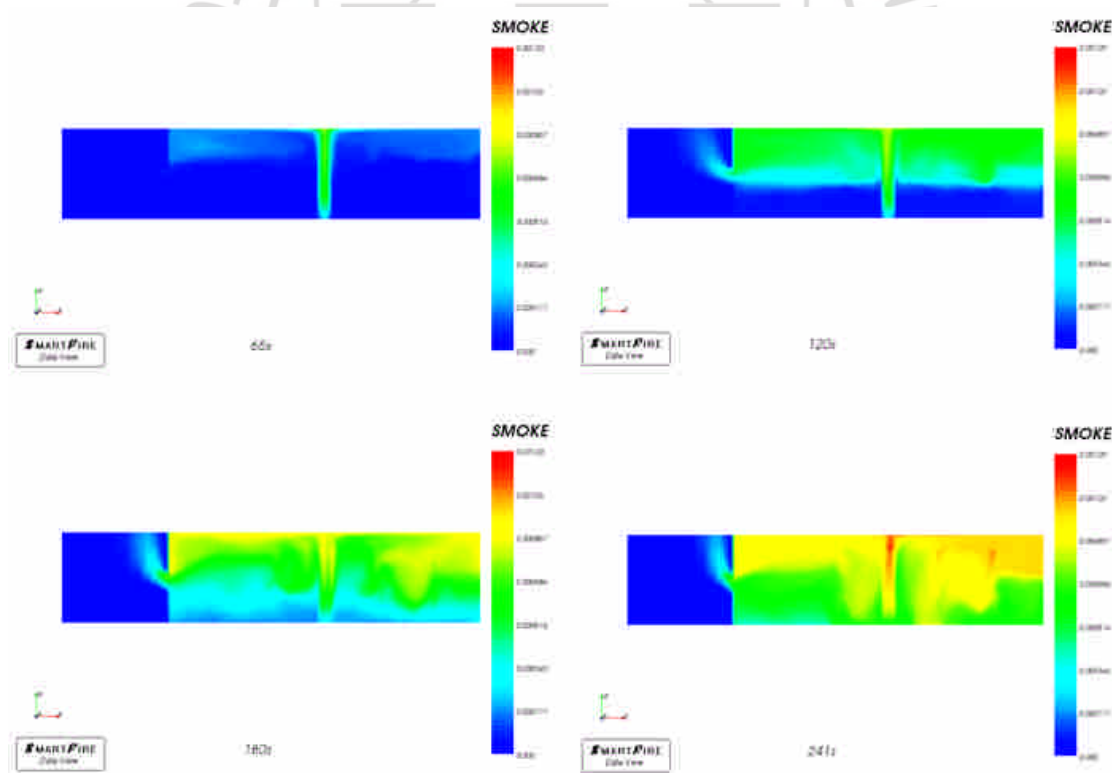


圖 4-64 情境 8 分時煙濃度切面圖(本研究)

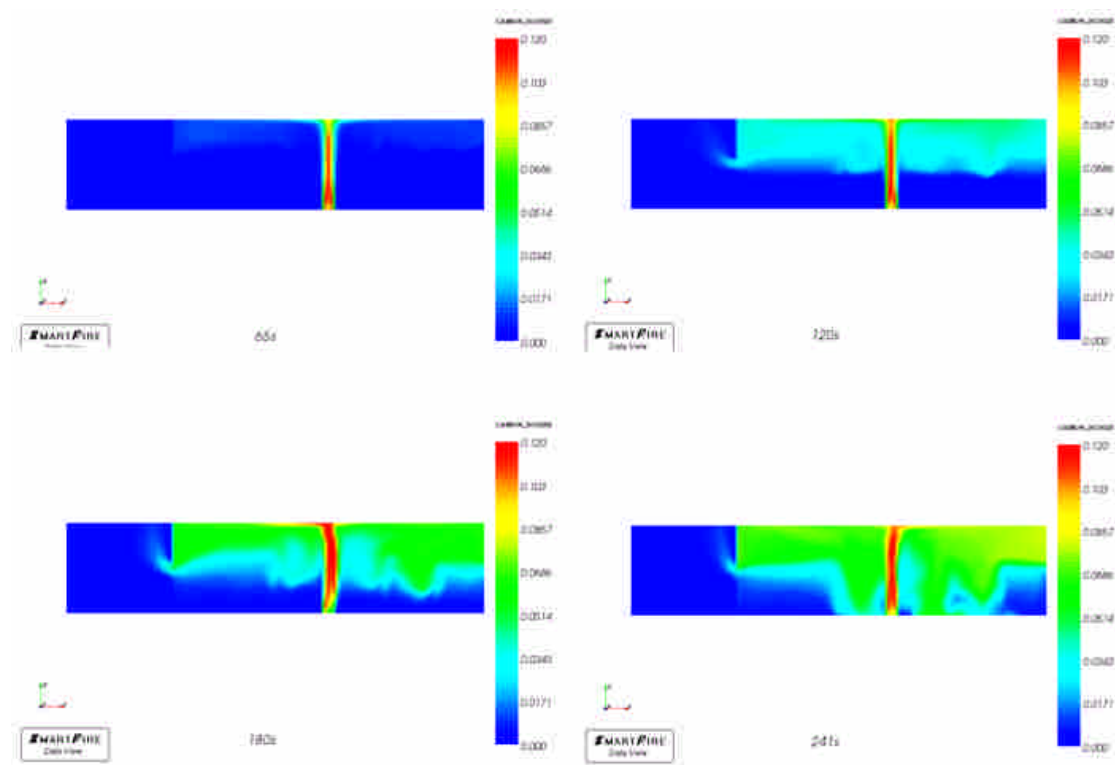


圖 4-65 情境 8 分時二氧化碳濃度切面圖(本研究)

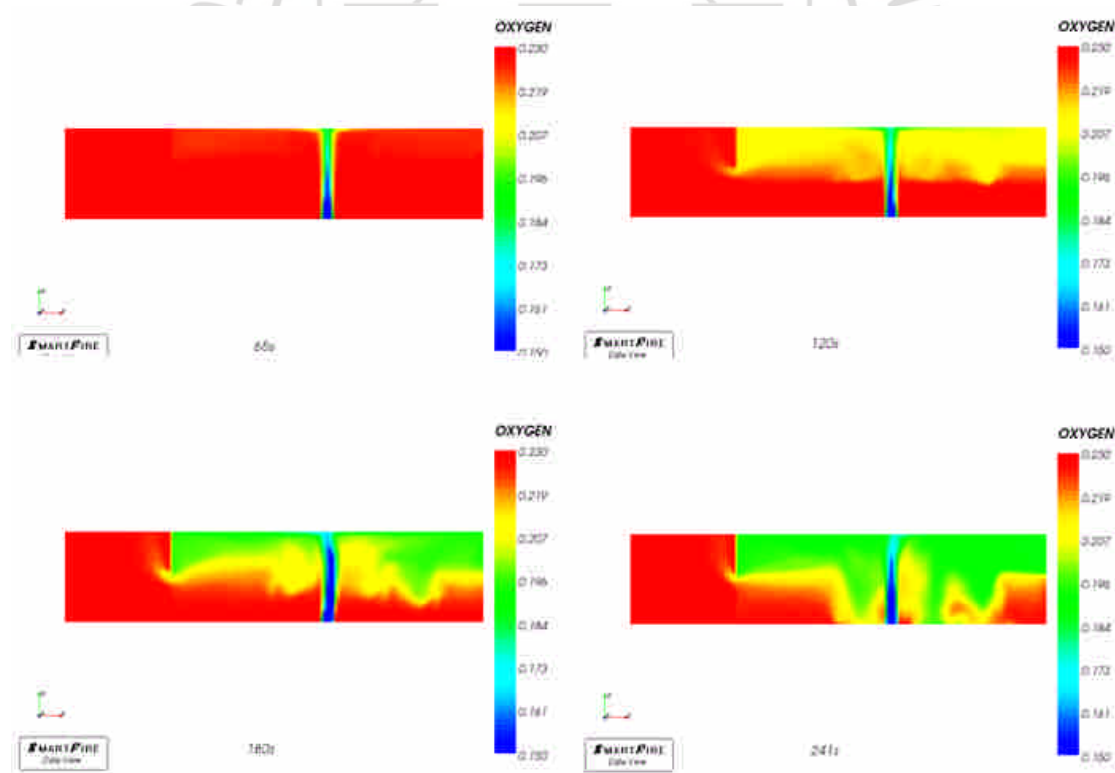


圖 4-66 情境 8 分時氧濃度切面圖(本研究)

十二、純排煙(無細水霧)影響分析

在純排煙(無細水霧)的情境下，比較情境 1、情境 3、情境 5 及情境 7，可發現，排煙會引進新鮮空氣，導致燃燒效率增加，火場溫度亦隨之上升，然排煙可移除有害氣體，因此，排煙量愈大，有害氣體濃度愈低。

十三、排煙與細水霧影響分析

比較有細水霧作動的情境 4、情境 6 及情境 8，在排煙的情境下，細水霧作動可強化排煙的效果，有效降低火場溫度及降低危害氣體濃度，在細水霧作動的情境下，火場危害均低於僅有排煙的情境，且排煙量愈大，細水霧降低危害的效果愈佳。



第七節 細水霧系統與排煙設備整合之優劣

一般而言，當火災發生的時候，濃煙對人員逃生的影響比較大，煙濃度高的時候會造成能見度不佳，以及人員的嗆傷和窒息等等的影響，從實驗的結果來看，增加排煙設備可以使煙濃度上升趨勢減緩，延長了煙層下降的時間，也由於排煙的關係，減緩了 CO、CO₂ 和溫度的上升趨勢，相對延長了人員逃生的時間；而細水霧在作動的時候，由於密度甚高，會影響能見度，反而會不利人員逃生，但是細水霧本身具有滌煙的效果，對火場有很好的降溫能力，雖使能見度不佳影響到逃生，但也使火場內的人員降低被濃煙嗆傷和窒息的機會。

從木堆火源的滅火實驗中就可看出，當風量無的時候，火場內部的氣體濃度會直接對人員產生危害，因此排煙的設置的有無就更為重要了。當進行風量大的實驗時，可以發現火場內 CO、CO₂ 氣體濃度有效的降低，除了不會直接對人員產生危害外，亦可增加人員逃生的時間。

未來在細水霧系統與排煙設備的整合上，需考慮到最適排煙風量的問題。在細水霧滅火系統啟動之前，排煙的啟動有利於人員逃生和降低火場危害；而滅火系統啟動後，排煙風量會影響到滅火的時間。因此，可針對不同的區劃空間來做細水霧系統與排煙設備的設計，例如：在人少的電腦機房中，當火災發生的同時，人員可以迅速逃生，所需要的是較快的滅火時間來減少機房損失，設計上就可選擇無或較低的排煙風量；而在人多的火場情境下，人員需要較多的時間逃生，排煙風量愈大對煙層所造成的危害就較低，而細水霧的啟動會降低能見度，使逃生速度減緩，但滌煙和降溫效果可以降低火場環境的危害程度，相對延長逃生時間。故在細水霧系統與排煙設備整合上，未來可以朝最適排煙風量的方向去加以探討研究。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究針對細水霧系統在區劃空間中進行滅火測試實驗，主要研究排煙口位置和排煙風量大小，以及細水霧與傳統撒水頭對木堆火場抑制的影響，探討各參數對火場內部的煙濃度、CO₂ 濃度、O₂ 濃度、CO 濃度和溫度的影響；希望藉由不同的排煙風量，找出對細水霧滅火時間的影響，以及火場內各氣體濃度、煙濃度和火場溫度的比較，對於火災發生時，火場人員避難逃生的影響之關係。

由火災實驗滅火測試之結果可歸納下列幾項結論：

- 一、細水霧在排煙的情況下，亦能有效的撲滅油盆火災。但滅火時間會受到排煙風量大小的影響，當排煙風量愈大，其滅火時間就愈長。
- 二、細水霧系統與排煙設備的整合，在設計上會有最適風量的問題，針對不同場所的需求，在煙濃度、滅火時間和各氣體濃度，以及能見度上，做最佳化設計。
- 三、在木堆火源的實驗中，當排煙風量小的時候，細水霧對於火場的抑制能力和火場內部的降溫效果，以及對氣體濃度的影響，都比傳統撒水頭還要好；而當排煙風量大時，其效果則無較大的差異性。
- 四、細水霧的粒徑量測中，大部分的粒子都在 500 μ m 以下，由累積體積百分比為 99% 的相對粒徑來區分水霧大小，此噴頭所對應的粒徑則介於 800-850 μ m，所以大粒徑的水霧出現會大幅提昇所定義的水霧大小。
- 五、從模擬成果可得知，細水霧作動可強化排煙的效果，有效降低火場溫度及降低危害氣體濃度，且排煙量愈大，細水霧降低危害的效果愈佳。
- 六、整合 IMO、UL 和 FM 的規範和測試項目，以提供國內業者、研究機構在細水霧滅火系統實場測試或電腦數值模擬應用方面的參考工具。

第二節 後續實驗規劃

一、後續實驗規劃

本研究主要是對排煙風量對細水霧的影響，以及火源位置和排煙口位置做初步探討，由第四章實驗結果可知，細水霧具有一定的滅火效果且會受到排煙風量的影響。未來可以目前之研究成果再做進一步實驗研究，針對細水霧的特性(可滅電氣火災和遮蔽火源)結合排煙設備來做整合，可探討細水霧對電腦等相關重要的電子儀器和產品，在滅火過程中是否因細水霧而受到損壞或資料毀損，且發生漏電的情況造成危害。

第三節 後續研究建議

一、立即可行之建議—最適風量設計

(主辦機關：內政部消防署、營建署)

(協辦單位：內政部建築研究所)

由本研究結果，細水霧對初期火災有很好的抑制效果，增加排煙設備可增加人員避難逃生的時間，而細水霧的作動會降低能見度，減緩人員逃生的速度，因此在排煙風量上會有最佳化設計的問題。但目前對於細水霧系統的使用卻不普遍，主要是因為在一般場所中，會有許多的電器用品(電腦、插座和電線等等)，會有漏電的疑慮。因此，未來可針對測試空間中，模擬場所放置電腦主機，在人少易逃生的情況下，主要是探討火災發生時，在不同的風量下，對於火場內的電腦主機的破壞程度，和細水霧在有電場所是否會引起漏電，以及細水霧作動對電腦主機的運作是否會有影響和對電腦資料的保存是否會造成毀損，找出最適風量的設計。

二、中長期建議—細水霧系統取代現有自動滅火系統之可行性

(主辦機關：內政部消防署、營建署)

(協辦單位：內政部建築研究所)

目前大部分的自動滅火系統均不為細水霧系統，在高科技廠房和電腦控制室內，大多數使用氣體滅火系統或海龍替代品來做為主要裝置，一旦發生火災，對於火場內部人員的危害很大。因此，未來可針對細水霧系統的特性，來對氣體滅

火系統，以及海龍替代品滅火系統來做比較，探討細水霧系統在人少易逃生的情境下(如電腦機房)，對於取代目前現有的自動滅火系統之可行性。





參考文獻

1. NFPA 750, "Standard for the Installation of Water Mist Fire Protection Systems", 2000 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2000.
2. Braidech, M. M., J. A. Neale, A. F. Matson, and R. E. Dufour, "The mechanism of Extinguishment of Fire By Finely Divided Water," Underwriter Laboratories Inc. for the national Board of Fire Underwriter, New York, 1955.
3. Mawhinney, J.R., Dlugogorski, B.Z. and Kim, A.K. "A Closer Look at the Fire Extinguishing Properties of Water Mist", Fire Safety Science-Proceedings of Fourth International Symposium, Ottawa, ON, pp. 47,1994.
4. Rasbash, D. J., Z. W. Rogowski, and G. W. V. Stark, "Mechanisms of Extinction of Liquid Fuel Fires with Water Sprays," Combustion and Flame, 4, 1960, pp 223~224.
5. Dundas, R.E, "Experience with External Fires in Gas Turbine Installations and Implications for Fire Protection," ASME Paper No:90-GT-375,1990.
6. Pepi, J.S., "Advance in the Technology of Intermediate Pressure Water Mist Systems for the Protection of Flammable Liquid Hazards" Proceedings: Halon Alternatives Technical Working Conference, Albuquerque, New Mexico, 1998, p.417.
7. Liu, Z.G, Kim, A.K., "A Review of Water Mist Fire Suppression Technology: Part II – Application Studies," Journal of Fire Protection Engineering, V.11, No.1, Feb. 2001, pp. 16-42.
8. 陳俊勳、鐘基強，"水系統火災控制技術之研究"，內政部建築研究所研究報告，2003。
9. 鐘基強，"滅火系統技術研發之規劃研究"，內政部建築研究所研究報告，2004。
10. 陳建忠、張尚文及謝煒東，"細水霧系統火災控制與應用之研究（1/2）"，內政部建築研究所研究報告，2004。
11. 陳建忠、張尚文及謝煒東，"細水霧系統火災控制與應用之研究（2/2）"，內政部建築研究所研究報告，2005。
12. 蔡榮鋒，"水霧式隔煙系統之技術與應用研究（1/3）"，內政部建築研究所研究報告，2005。
13. 蔡榮鋒，"水霧式隔煙系統之技術與應用研究（2/3）"，內政部建築研究所研

究報告，2006。

14. 蔡榮鋒，”水霧式隔煙系統之技術與應用研究 (3/3)” ，內政部建築研究所研究報告，2007。
15. 何明錦、鐘基強，”建築物水系統對火災熱輻射危害控制與驗證”，內政部建築研究所研究報告，2007。
16. Yi-Liang Shu, Wei-Jin Jeng, Chen-Wei Chiu, and Chiun-Hsun Chen, “Assessment of Fire Protection Performance of Water Mist Applied in Exhaust Ducts for Semiconductor Fabrication Process”, Fire Mater, Vol. 29, pp. 295-302, 2005.
17. Wen-Yao Chang, Ping-Kun Fu, Chiun-Hsun Chen and Yi-Liang Shu, 2007 “Performance Evaluation of a Water Mist System in Semiconductor Wet Bench Fires,” accepted by IChemE's journal, Part B: Process Safety and Environmental Protection.
18. Yu-dong Fang, Yong-Feng Zhang, Lin Lin, Guang-Xuan Liao, Xin Huang, Bei_Hua Cong, “Experimental studies on interaction of water mist with class K fires”, Chinese Science Bulletin, Vol. 51(24), pp.3053-3058, 2006.
19. Cary Presser, George Papadopoulos, John F. Widmann, “PIV Measurements of Water Mist Transport in a Homogeneous Turbulent Flow past an Obstacle”, Fire Safety Journal, Vol. 41, pp. 580-604, 2006.
20. 陳建忠、林大惠，”建築物火災於防火性能的全尺寸驗證與整合分析”，內政部建築研究所研究報告，2007。

附錄一 建研所近年來的研究成果

標題	執行行程	主持人	研究成果
建築防煙技術及實驗研究(I)排煙與灑水設備交互影響特性	91 年 4 月 至 91 年 12 月	鍾基強	1. 撒水設備作動後，即可以有效降低火場的溫度，甚至將火撲滅。 2. 強制排煙口的設置可有效的排出熱煙器和降低火場溫度。 3. 火災初期以撒水手段快速降低火場溫度，甚至撲滅火災之效果皆不錯，一旦排煙設備先啟動則有可能造成撒水系統延後啟動，因而造成火勢的擴大，影響滅火的困難度。
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	92 年 2 月 至 92 年 12 月	鍾基強	1. 撒水頭作動後，煙霧會大量產生，以致煙層迅速下降，是由於水碰觸到高溫火源引發大量的蒸發所致。 2. 撒水作動時間愈早，對撒水後的煙控才能有顯著的效果，否則當煙下降至一定高度時才撒水作動，會因煙層迅速下降，反而不利於人們逃生。 3. 撒水作動的同時雖然煙層迅速下降，但煙溫也獲得控制而迅速下降，只要善用逃生輔助工具，撒水對於火場的逃生會有相當大的幫助。
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	92 年 2 月 至 92 年 12 月	陳俊勳	1. 針對水霧系統研究設施及驗證項目規劃及建立先期研究設施及驗證項目做了完整的文獻收集及比較。 2. 提供使用 FIREDASS 所執行的細水霧應用於半導體廠中排氣管路火災防護之數值效能分析。 3. 應用性能設計程序來介紹整體的防火效能分析，以及作為實場火災測試的設計依據。
滅火系統技術研發之規劃研究 (I) 水系統啟動機制對建	93 年 1 月 至 93 年 12 月	鍾基強	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，因此火警探測器將比一般撒

築火災滅火性能之影響評估			水頭更早感應火災的發生。 2. 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『火災意志』。 3. 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。
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	93 年 2 月 至 93 年 12 月	陳俊勳	1. 在被遮蔽的油火災測試中，機械空間在設有滅火防護系統的情況下，火源均可有效的被控制，但在效能評估方面，4 顆或 6 顆高壓細水霧防護實驗中，均證實了細水霧滅火系統比傳統的撒水系統防護能更有效的將火給滅掉。 2. 遮蔽與未遮蔽火源對於細水霧的滅火性能並無太大的影響，且細水霧滅火系統的滅火性能均會隨噴頭數量而有所提升。 3. 在細水霧防護的模擬，模擬高壓細水霧的作動，可發現細水霧對降溫有不錯的功效。
細水霧系統火災控制與應用之研究 (2/2)	94 年 1 月 至 94 年 12 月	陳建忠	1. 本研究比較了細水霧與各種滅火系統的優劣與適用情形，並由細水霧的滅火原理發現：細水霧噴頭特性的「粒徑」與「速度」對滅火效果的影響極具關鍵地位。 2. 比較 UL-2167 細水霧規範與我國「密閉式撒水頭認可基準」發現：細水霧工作壓力高，因此在抗洩漏試驗、液體靜壓強度試驗需嚴格要求；因為細水霧噴頭孔徑小，因此必需進行堵塞試驗；此外，細水霧並需進行粒徑與速度的試驗。 3. 針對噴頭滅火特性的探討發現，影響滅火速率的因子輕重分別為噴頭高度>噴水時間>噴水壓力。
水霧式隔煙系	94 年 1 月 至	蔡榮鋒	1. 水霧壓力從 50bar 提高至 70bar，

統之技術與應用研究 (1/3)	94 年 12 月		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。 2. 比較水霧前方與後方之煙塵副酌量、煙霧濃度及溫度分佈，可得知細水霧的確具有一定之滌煙與隔煙效果。
水霧式隔煙系統之技術與應用研究 (2/3)	95 年 1 月 至 95 年 12 月	蔡榮鋒	1. 組合數個垂直斜向下噴射之扇形水霧噴霧器，可構成具有隔煙、隔熱功能之水霧牆、以冷卻煙塵，降低氣體擴散速度。 2. 水平斜向下噴射之扇形水霧噴射器，可構成具有滌煙功能之水霧雲，降低火場溫度，具有延遲閃燃脂功能。 3. 在空氣入口端(進氣口)，設置垂直斜向下噴射之扇形水霧，可藉強制對流提高水霧進入火焰反應區，加速滅火效果。
建築消防水系統滅火實驗與撒水頭作動性能評估	95 年 1 月 至 95 年 12 月	陳建忠	1. 火源熱釋放率量測實驗，庚烷與正己烷達到穩態之燃燒情況較 92 無鉛汽油佳，且測得 HRR 大小依序為正己烷、庚烷、92 無鉛汽油。 2. 差動式探測器與定溫式探測器對火源於相同距離下，差動式探測器反應較定溫式探測器佳。 3. 撒水頭作動時間受火源位置及撒水頭熱傳導之影響。當火源愈靠近撒水頭，愈接近角落或是牆壁則撒水頭作動的時間愈快。尤於撒水頭不能瞬間到達環境溫度，須待熱傳加溫，所以不能以環境溫度達到設定溫度來判定作動，在實驗中，環境溫度要高於設定溫度約 30℃ 撒水頭才會作動。



附錄二 委員意見及回覆

第一次專家座談會委員意見及回覆

委員	意見	計畫主持人之回覆
何三平	1. 細水霧噴頭是否量測末端壓力？	謹遵辦理，會在末端加設壓力計量測壓力。
	2. 除了現有的定溫式感知器外（木堆火災），增設差動式感知器（油類火災）	謹遵辦理，會加設差動式感知器。
	3. 水霧作動時，測量油面上或水霧噴頭下一公尺的風速	謹遵辦理，會量測水霧作動時風速。
沈子勝	1. 實驗時注意人身安全保護措施	實驗時將會穿著防護衣護目鏡。
	2. 天花板是否要封板？	實驗場地房間牆壁會往上封板，天花板則不封板。
	3. 現場操作排煙量似乎影響不大，是否要增加排煙量？	將在房間封板單一噴頭實測後，若排煙量不足會將馬達由 3 馬力改為 5 馬力。
	4. 變數分配及實驗設計需仔細考量	謹遵辦理，實驗變數將會考量火源位置、水霧操作壓力、火源至種類及排煙量大小。(p. 49)
雷明遠	1. 細水霧排煙口與空間避難問題是否能提出可能建議？	謹遵建議，將在實驗完成後，根據熱電偶樹溫度變化及煙濃度變化題出建議。(p. 58)
	2. 在裝置面是否改成向上型偵熱感知器，日本及我國所特有的集熱板對大部份火災感測較慢，是否能比較其不同？	由於實驗設計中並未討論集熱板偵測火災感測時間影響，且實驗會採取手動起動，此部份以後實驗將列入考慮項目。
	3. 以附錄方式建立特定產業使用細水霧系統規範及防護對象。	謹遵辦理，會提出細水霧系統及防護對象建議內容。(p. 100)
林大惠	1. 火災抑制性能如何表現？	將會以火源是否熄滅、是否復燃及一開始 free burning 情形比較來做為火災抑制性能判斷。
	2. 建議先以手動方式來啟動細水霧系統	謹遵辦理，先會以 free burning 方式來看定溫式感知器/差動式感知器作動時間後，做為手動起動條件。

	3. 是否先做冷流場分析，工作壓力與水霧 spray pattern 的關係？	謹遵建議，將在交大水霧實驗室內先做冷流場分析及工作壓力與水霧 spray pattern 的比對。
蔡銘儒	1. 在排煙跟水霧量化方面，如何針對不同個案進行測試及評估	將在實驗後針對排煙量、火源位置及細水霧工作壓力方面提出討論及建議。(p.100)
	2. 對於遮蔽率是否能提出可能建議？	謹遵建議，將在實驗後針對火場中的遮蔽率提出討論及建議。



期中報告委員意見及回覆

委員	審查意見	意見回覆及辦理情形
新竹科學工業園區管理局（劉弼民）	科學園區無塵室空間換氣量大，本研究對於高科技廠房滅火是否有何幫助。	本研究在此之前已完成數個園區廠商委託的相關研究，且成果已發表在國際期刊上，因研究內容與對象和本研究無關，故不再多作說明。
工研院能資所（張榮興）	實驗完成後是否有規劃實場測試。	目前是在作小房間的實驗，在今年度期末報告我們會根據成果來提出相關的實場測試建議和規劃。
	細水霧與排煙系統之間交互作用會影響滅火與逃生之關係，如何取舍應規劃明訂。	我們會根據實驗結果來分析出各種火災及細水霧作動參數對煙沉降及滅火效能的影響，再訂出相關設計規範。(p.100)
中華民國建築師公會全聯會（張全壽）	在排煙量大於 $120\text{m}^3/\text{min}$ 時，則無滅火效應，此要如何應用在建築領域中？	若在能降低排煙量且有效的增加滅火效果或延長人員可有的逃生時間，很明顯可應用在建築物防火性能的設計。
	應用在一般滅火上使用，請做使用價錢上之比較，以便大家接受程度。	這也是前述防火性能的設計的基本精神，在維護人員生命的前提下，經濟效益是防火性能設計法推動的動力。
中興工程顧問公司(林伯宏)（書面意見）	建議補充說明排煙口尺寸大小及排煙口與火源間相對位置。	謹遵辦理。(p.23)
	建議量測排煙口之實際排煙量及風速	實驗所用排煙量為實際量測直。
鄭教授紹材（書面意見）	本計畫除 FIREDASS 軟體正採購中之外，其他如液滴粒徑量測、細水霧滅火試驗之規劃與設計已大致完成，在暑假期間應可順利完成試驗工作。	謝謝委員肯定。
	在 3.4 節三種測試情境中發現排煙設施含明顯影響火場抑制能力，原因是否用油盆置於排煙口下方，細水霧啟動後，水霧與煙層一起隨排煙而帶走，	委員意見我們會在規劃最後實驗內容時再作深入考量，並徵詢風機廠商是否能進行相關的空程式控制，原則上以符合真實現況為主，但也不排除未來作設計程序

	因而減低滅火能力？在本計畫中已考慮了排煙口位置的參數，若採分段式做動，即先排煙一分鐘後關閉再啟動細水霧系統，實務上是否可行？	控制的依據。
曾教授偉文	實驗設計兩個排煙口，在實驗當中是開啟兩個排煙，或擇一開啟，建議參數列表	謹遵辦理。(p.49)
	實驗中「通風口」請修正為「排煙口」。	謹遵辦理。
	已完成實驗，為報告中未見相關結果，例如細水霧作用下煙氣溫度變化等數據。	因為目前只完成一次”測試性”實驗，熱電偶樹尚未架設，所以未能提供相關實驗數據。
	表一中之「疏散計畫」用意為何？	由於該部分說明並不恰當，將在期末報告刪除。
	通風量採用 $120\text{m}^3/\text{min}$ 及 $50\text{m}^3/\text{min}$ 配合法規可以理解，但第四章增加 $85\text{m}^3/\text{min}$ 用意何在？	當初是因為沒有進行實驗，所以規劃取 $120\text{m}^3/\text{min}$ 及 $50\text{m}^3/\text{min}$ 的中間值來進行實驗參數，現會修正朝 $50\text{m}^3/\text{min}$ 以下的排煙量來規劃。(p.25)
	本研究採用 $10\text{MPa}(100\text{bar})$ 高壓系統，由於壓力牽涉霧滴速度以及粒徑，直接受機械排煙影響，也間接影響滅火，未來建議調整工作壓力以瞭解速度及粒徑對滅火的影響。	謹遵辦理，我們會朝中低壓來規劃實驗參數。
	第一章前言提及細水霧滅火系統可作為 Halon 滅火系統的替代用品，為如同屬氣體滅火系統，考量氣密，似不致有侷限空間機械排煙的情形，建議在「研究動機」中說明可能的建築環境狀況。	海龍滅火系統需考量空間氣密度的問題，而細水霧由本實驗結果証明則無氣密度的問題，在開放空間亦可滅火，故本實驗針對排煙風量對細水霧滅火的影響來作探討。
蕭主任煥章	請確認研究是偵測 CO 或 CO_2 (第二章第 1、2 頁)。	因測試儀器同時會量測 CO 或 CO_2 ，所以會同時出現兩個數據
	成果仍宜有溫度、輻射熱通量、CO (或 CO_2) 之濃度等資料以供參採適用。	在實驗時會同時量溫度、輻射熱通量、CO (或 CO_2) 之濃度及煙濃度等數據

	細水霧噴頭仍宜採經過認證之產品並宜提供相關性能規格；另不同細水霧噴頭是否會有不同影響與結果。	本實驗所採用的細水霧噴頭係丹麥產品，該廠商提供相關參數，但沒有粒徑數據，所以本研究在交大機械系進行該數據量測；另外我們亦量測不同設計噴頭的粒徑，而且由過去我們的研究，不同細水霧噴頭是有不同的滅火效能的影響與結果。
	排煙設備對細水霧噴頭滅火結果已有明顯影響，是否宜提供研究成果考資料供參。	謹遵辦理。
林理事長世昌	在章節請用粗黑體表示，方便閱讀，圖與表的位置要配合，文章的內容適時呈現，行距請統一格式。	謹遵辦理。
	請考慮文獻回顧區分國（外）際及國內研究之回顧。	謹遵辦理。
	請說明以木堆火源為實驗火源之目的何在，因為細水霧兩大功能是空氣稀釋及冷卻，對 A 類火災是否有效果。	我們知道細水霧對油類火災很有效，所以我們希望了解他是否也有類似撒水或水霧系統對滅 A 類火災的功能，因此在實驗中加入木堆火源。(p. 66)
	請加強 FIREDASS 軟體說明，尤其是幾項子模式之說明。	謹遵辦理。(p. 11)
	有關粒徑量測及 PIV 數為影像處理流程，請中文化。	謹遵辦理。(p. 28)
	請留意實驗的安全性，實驗中有使用 Ar 雷射及光學透鏡組設備，是否必須於實驗場內，請注意安全性。	謹遵辦理。
	請仔細思考，除了無排煙、 $120\text{m}^3/\text{min}$ 、 $50\text{m}^3/\text{min}$ 三種模式實驗取得滅火時間，建議多作幾個模式，並統計出曲線，該曲線對細水霧運用於室外空間滅火會有貢獻。	在實驗時間和經費許可下我們會考慮進行，或在未來規劃中予以加入。
	偵熱與偵煙探測回路，在狹小空間作為控制排煙口之開啟，	謝謝委員指正，我們會特別針對消耗品的性能在所有實驗前確認

	會誤報，請研究團隊要小心，避免影響實驗結果。	其效能，有問題就立即更換。
楊教授詩宏	細水霧系統未來應用性與本研究主要目的應聚焦。	謹遵辦理；在本研究完成後，我們會依據研究心得規劃未來研究的 roadmap。
	細水霧系統選用的原因與意義請說明。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 2)
吳教授玉詳	細水霧撒水噴頭的排列方式與個數並沒有詳細的說明其相關性。因為撒水頭的數量與防護面積與滅火效果非常相關，先前的實驗是否以考慮合乎法規撒水頭配置的要求。	原先規劃是依目前消防設備設置標準來處理，但我們亦規劃以開啟一個或兩個來觀察其效能，或分階段開啟，來增加細水霧系統滅火的功能設計。
	實驗設計中影響因素甚多，因此如全要做實測實驗，需做 72 組實驗，是否過於繁複？	謝謝委員提醒，我們將採用田口式之檢討來規劃最佳化實驗測試次數，期望獲得最具代表性之實驗成果。
安全防災組 (謝煒東)	選定火源所對應的成長曲線以及其代表的火災情境為何，請說明。	我們所選的火源皆是建研所所作出的研究成果，主要是希望研究有持續性，相關意義會在期末報告說明。
	建議將噴霧壓力與噴頭種類等參數，以噴霧粒徑與噴霧速度來取代，會比較具有通用性，使實驗結果不受限於特定噴頭。	在固定噴頭下粒徑和衝量會隨背壓而變，其滅火效能亦會不同，若不同噴頭則彼此之間不可能有相關性，因此實驗進行必須在同一噴頭下才有意義，這和撒水頭是不同的概念。
安全防災組 (張尚文)	細水霧粒徑有多種表示方法，研究請更詳細表示，並說明各項表示法的意義供參考。	謹遵辦理；我們會在期末報告說明不同粒徑量測的表示式和物理意義。
	請說明細水霧的定位及應用性。	謹遵辦理；我們會在期末報告作相關說明。(P. 100)
陳建忠組長	請在期末簡報時，考量細水霧在建築物各種空間使用可能性（如裝潢面、死角、開放性空間、通風、排煙之影響），協助本所研訂未來研究課題計畫。	謹遵辦理。(p. 50)
	請協助整理細水霧在建築物使	謹遵辦理；我們會在期末報告作

	用，其空間大小、使用分類、有效範圍，以表格表達之。並評估何種空間可使用。	處理。
	所使用的噴頭，其性能、規格設計之注意事項，請予檢討陳述。	謹遵辦理；我們會在期末報告作相關陳述。(附錄三)
李主任秘書 玉生	設備的耐用性及可靠度於實驗上應考慮，若是消耗品，所內可支援。	謝謝主秘對本計畫的支持與協助。
	未定成法規前可以提供性能式的規範，另台灣建築中心若有相關評定案例可供本案參考。	謹遵辦理，我們會朝性能設計的方向進行規劃。



第二次專家座談會委員意見及回覆

委員	意見	計畫主持人之回覆
沈子勝	將「此兩項工作將在交通大學執行」改成已做完的語氣。	謹遵辦理。(p. 8)
	排煙風量設計的理由?	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 25)
	排煙與細水霧影響分析的部分建議做個表格將數據來做比較。	我們會在期末報告作處理。(p. 100)
	國內法規第 18 條法令，關於細水霧的適用場所，其語句建議改保守一點。	謹遵辦理。(p. 33)
	FMRC 已經改成 FM Global，請加以做更正。	謹遵辦理。(p. 37)
	建議在結論的地方將建研所預期目標與實驗成果做個比對。	謹遵辦理；我們會在期末報告作處理。
	未來建議希望能具體一點，是否針對第 18 條法規的場所，或空間大小的方向具體提出來。	謹遵辦理。
蔡匡忠	將實驗場地中各項設備的位置，以及量測點的高度和位置做個清楚的描述。	謹遵辦理；我們會在期末報告增加俯視圖和側面圖來對各位置作陳述。(p. 16)
	實驗設計的地方，要將油盆的大小和油料的高度作說明，	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 23)
	對 1500C.C. 和 3000C.C. 的滅火時間作說明。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 53)
	建議估算一下木堆火源和油盆火源的熱釋放率。	謹遵辦理。
	將排煙風量的設計如何對應到法規的規定作說明。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 25)
	對於油盆和木堆，其細水霧啟動時間為何不同加以說明。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 21)
	將圖的標題表達清楚一點，要包括實驗的參數。	謹遵辦理。
	將「無法復燃」一詞所要表達的意思補充說明清楚一點。	謹遵辦理；會在期末報告補充描述其意思為「油燒完」。(p. 49)
	對於氧氣濃度在滅火以後，其回復的速度不太明顯，是否有其他因素的影響。	這是因為濃度所取的 range 過小，如果加大 range 就能看出回復效果。

何三平	實驗步驟要描述清楚	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 25)
	將粒徑量測所參考的規範要表示清楚。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 303)
	將模擬成果和實驗做初步的比對。	我們會在期末報告作處理。
王鵬智	木框架滅火的判定基準為何?要將過程清楚的陳述。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 26)
	說明火源是否符合所使用的空間。	我們會在期末報告說明參考火源。
	表 1-1 的「運作時間」和「服務及充填成本」用意為何?	由於該部分說明並不恰當，將在期末報告刪除。
	補充說明噴頭位置、煙濃度偵測位置和氣體分析儀量測的位置。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 16)
雷明遠	建議將相同的比較圖要放置再同一頁面，以利於比較。	謹遵辦理。
	建議把相關規範和粒徑量測的章節往前擺，	謹遵辦理。
	對於火源及場景設計規範，針對細水霧所適用的防護對象提出規範。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。
	增加排煙系統與細水霧整合設計的準則。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。(p. 100)
	人員逃生的部份要將室、CO ₂ 、CO、煙濃度等等，補充說明其對人員的危害程度。	謹遵辦理；我們會在期末報告補入。
	在附錄中的問題回覆請補充所回覆之頁碼。	謹遵辦理；我們會在期末報告作處理。
謝煒東	圖 2-2 氣體分析儀圖片要做更改。	謹遵辦理。
	圖 2-9 應該為細水霧的控制系統，請給予更改。	圖為撒水控制系統，期末報告會將撒水和細水霧控制系統加以呈現。

期末報告委員意見及回覆

委員	意見	計畫主持人之回覆
邱教授 文豐	請增列細水霧設備與「設置成本」相對最高之比較於表 1-1，以反應真實情形。	由於該部分說明並不恰當，將在期末報告刪除。
	本研究之火災場景為辦公室用途，並以本堆火當作替代之標準火源，此基本假設請補充說明其火載量、HRR 相似之證明。美國 NIST 檔案中辦公室之火災 QP 6800~1800 KW (550 sec~140 sec)或 225 KW/m ² (Morgan 1987)為參考。	本實驗之木堆火源是參考 CNS3658 Z1021 乙種標準模型，會將相關資料附在期末報告的附錄作參考。
	本研究所使用之細水霧、撒水頭之型式、口徑 (K)、放水壓力、水量等基本條件，請補充說明。	謹遵辦理；我們會在期末報告作相關陳述。(p.31)
	請酌予修正表 3-2，有關火源角落時之滅火測試結果，無法判讀滅火時間；並請說明復燃測試方法為何？	此部份實驗因為是油料燒完，故無滅火時間，我們會在期末報告作相關陳述；復燃測試方法是用火把再去引燃油盆內部，如果能將油盆再次引燃，其表示火是被細水霧撲滅；如無法再次引燃，則表示火是因油料燒完而熄滅。
	請說明相同油盤（表面積相同）不同汽油量（1500, 3000 c.c），滅火時間何以有極大差異？	3000c.c.油料比 1500c.c.易滅火已在 971117 簡報中作說明，會在期末報告再作相關陳述。(p.53)
	是否有進行無風量狀況下細水霧動作之煙、CO ₂ 、O ₂ 、CO 等濃度變化之紀錄？可知其影響。	此部分在期末報告第四章第四節已有相關數據紀錄。
	請說明圖 3-18、圖 3-19 未啟動細水霧或撒水頭時（240 秒前）CO ₂ 無風量狀態下何以 5.5%、7%之差異？另 51 頁第 3 行之 120m ³ /min 應為 50m ³ /min。	我們會在期末報告作相關陳述；p.51 第 3 行為 120m ³ /min，是陳述在此風量下，下降曲線呈現穩定變化，不會受到撒水啟動的影響。
曾教授 偉文	p.4 表 1-1 滅火系統特性應可在具體描述，如「設備重量輕」、「服務容易性」及「維修成本低」等。	由於該部分說明並不恰當，將在期末報告刪除。

	p.23 當面積小於 120 m^2 ，排煙量應大於 $120 \text{ m}^3/\text{min}$ ；惟 $120 \text{ m}^3/\text{min}$ 細針對防煙區劃的換氣率來計算排煙風機的性能，雖不影響通風量設計，為避免誤解建議調整文字內容。	謹遵辦理；我們會在期末報告作處理。(p.25)
	p.31 圖 3-1 中 180 秒煙濃度沒有下降趨勢，依 p.34 頁說明主要原因係受細水霧影響，建議僅作細水霧放射，了解對煙遮量測計的影響，來支持此一論述。	此部份實驗已做過，故採取此論述，會在期末報告作相關陳述。(p.57)
	p.31 圖 3-1 風量 $120 \text{ m}^3/\text{min}$ 細水霧滅火於 130 秒後十餘秒跳升 40%，建議應予說明。	在期末報告初稿 p.34 的第 8 行已有作相關說明。(完稿版 p.57)
	比較 p.44 圖 3-16 及圖 3-17，在排煙量大時撒水系統效果比細水霧好很多，但 p.95 結論三細水霧比傳統撒水頭對於人員避難逃生較有利，建議應予釐清。	因怕造成誤解，定稿版之期末報告會將此段文字敘述修正。
	國外對細水霧與機械排煙是否有相關的研究（由文獻中似乎無法看出），如國內首次作相關研究，結論應盡量描述清楚且保守。	我們會儘力搜尋國外相關資料來補充此參考文獻內容並會在期末報告作處理。
	第一章前言提及細水霧滅火系統可作為 Halon 滅火系統的替代用品，為如同屬氣體滅火系統，考量氣密，似不致有侷限空間機械排煙的情形；建議在「研究動機」中說明可能的建築環境狀況。	海龍滅火系統需考量空間氣密度的問題，而細水霧由本實驗結果証明則無氣密度的問題，在開放空間亦可滅火，故本實驗針對排煙風量對細水霧滅火的影響來作探討。
張教授 枝成	研究規劃詳細、清晰、易了解。	謝謝委員的肯定。
	研究成果呈現有系統、有條理。	謝謝委員的肯定。
	實驗部分可靠度頗高。	謝謝委員的肯定。
	軟體模擬分析尚待進一步確認。	本軟體有發現到 bug 的存在，已向英國 The University of Greenwich 反應。

	油盆的幾何可考慮消除盆高之幾何效應，如此進行比較油量效應才易參數獨立而不發生參數交互作用。	謝謝委員的意見，對於盆高所產生之幾何效應，未來的規劃會加以考慮。
	細水霧滅火機制尚有水霧飛行方向的效應，此因素宜納入討論。	本實驗的細水霧只有由上往下的方向，並未針對側邊噴頭來作實驗，可藉由模擬的流場圖來討論內部情況。
	「復燃」一詞宜定義清楚，避免誤會。	謹遵辦理；我們會在期末報告作相關陳述。(49)
蕭主任 煥章	本案所採用 DANFOSS 公司所出產細水霧噴頭，宜加註是否經第三認證機構審核通過產品。	我們會在期末報告中的附錄附上相關資料。(附錄三)
	表 5-1 滅火系統加列海龍替代品，自動撒水及細水霧宜加入資料來源，依各類場所安全設備設置不包括此三類系統，為此說明。	我們會在期末報告註明資料來源。
蔡教授 榮鋒	實驗以每隔 2 米安裝 Nozzle，並未增加 Water Mist，在撲滅油類火災之優勢（用水量，施工費），應以增大間距為研究目標。	本實驗主要針對排煙風量對細水霧之影響程度，對於噴頭間距之影響並不在本次的研究目標內；用水量的部份會在期末報告作相關陳述。(p.31)
	口頭報告並未提供熱電偶量測資料。	在初稿 p.40 和 p.48 均有熱電偶量測的資料。(完稿版 p.63 和 p.72)
	本研究類似重複外國既有之實驗結果，較難建立本國消防工業之競爭力（噴頭及安裝方式均採用外國規範）。	敬請委員提供相關國外既有之實驗報告以供本報告參考比較以了解重複性之程度；另外因實驗噴頭是有經過第三認證機構審核通過的產品，較具有公信力，以確保實驗之準確性及可靠度。
	建議表述各圖之 Water Mist 規則，目前最正式之規則是 EU 的 CEN14972。	感謝委員的提醒，我們會去作相關了解。
	水霧粒徑量測宜詳述，量測位置、方法及設備。	謹遵辦理；我們會在期末報告作相關陳述。(p.30)
	Water Mist 之滅火功效，明顯優於 Sprinkler，建議大力推廣。	謝謝委員的肯定。

	本研究之結論應與建研所先前之計畫結果明確表述以利推廣。	我們會在期末報告將近年來建研所的相關研究作彙整。(附錄一)
何教授 三平	大部分粒子都在 500 μ m 以下，請以 Dv05 等方式來表示較適宜。	謹遵辦理；我們會在期末報告作處理。(p.32)
	實驗條件可更詳細列出，如粒徑於 1m 下量測等說明。	謹遵辦理；我們會在期末報告作相關陳述。(p.30)
	請說明 3000 c.c 油料為何比 1500 c.c 更易滅火？FM 油下有些許之水置於油盤為何本實驗未含水於其中。	3000c.c.油料比 1500c.c.易滅火已在 971117 簡報中作說明，會在期末報告再作相關陳述；本實驗的確是有置放有水於油盤內，會在期末報告作相關陳述。(p.53)
	K 值等應列出其單位，以利比對。	謹遵辦理。(p.31)
	排風量之影響，若能以質量平衡之方式解釋將更能闡述細水霧之效能。	謝謝委員的意見，我們會朝這方面去應用相關數據來努力推導。
林理事 長世昌	研究結論一、三、五符合預期之結果，實驗強化工程師對火場之排煙量及細水霧滅火的基本常識。	謝謝委員的肯定。
	研究結論三透過實驗證明細水霧可運用於 A 類火災，而且效果比撒水更強，這點對消防工程有突破性的技術運用。	謝謝委員的肯定。
	針對實驗中將油量增加至 3000 c.c，而滅火時間反而縮少（參考表 3-2 及表 3-3），這一現象很反常無法理解，請研究團隊說明（971117 簡報中已有說明），是否如說明有必要在探討。	我們會在期末報告作相關陳述。(p.53)
工研院 能資所	細水霧系統與風量如何搭配才能兼顧滅火與逃生值得後續研究。	細水霧與排煙風量的迷思，在使用上走至同步再作發展。
	細水霧除應用於建築滅火之外，是否可以發展出微粒捕捉或長隧道滅火裝置，建議可作為以後研究思考方向。	謝謝委員的意見。



附錄三 噴頭認證資料







DET NORSKE VERITAS EC TYPE-EXAMINATION CERTIFICATE

of: Council Directive 96/98/EC of 20 December 1996 on Marine Equipment as amended by directive 2002/75 issued as "Forskrift om Skipsutstyr" by the Norwegian Maritime Directorate. This certificate is issued by Det Norske Veritas under the authority of the Government of the Kingdom of Norway.

CERTIFICATE NO. MED-B-2067

This Certificate consists of 5 pages

This is to certify that the product

Fixed water based local application fire fighting systems components for use in category "A" machinery spaces

A.1/3.48

with the type designation(s)

SEM-SAFE

Manufactured by

Semco Maritime (Esbjerg)

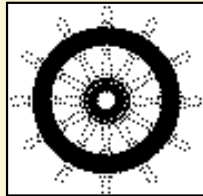
Esbjerg V, Denmark

is found to comply with the requirements in the following Regulations/Standards:

Annex A.1, item No. A.1/3.48 and Annex B, Module B in Directive. SOLAS 74 as amended Regulation II-2/1.2.2.4, II-2/10.5.6 & X/3 and 2000 HSC Code 7.7.3.2.1.

Further details of the product and conditions for certification are given overleaf.

Place and date
Høvik, 2003-12-19
for Det Norske Veritas AS



This Certificate is valid until
2008-12-31

Henning B. Karlsen
Manager, MTPNO370

Notified Body No. 0575

Anders Tosseviken
Surveyor

Department Systems & Components

DNV local office:

DNV Fredericia

Product description

"SEM-SAFE", is a water mist system, composed of spray heads, stainless steel piping, manual or automatic section valves, strainers, standby pump, electrical motors and high pressure pumps. The system is to be designed according to principal requirements for the system, IMO MSC/Circ. 913 and SOLAS Ch.II-2, Reg.10.5.6.

Applications/Limitations

The spray heads are to be installed above the protected objects according to the following specifications:

Alternative 1: high levels - 100 bar

Maximum horizontal spacing:	4.0 m
Minimum vertical distance from object:	1.9 m
Maximum vertical distance from object:	10.6 m
Minimum operation pressure:	100 bar (at spray heads)
Spray head type:	7-01-56-5-19-00
K-factor, spray head (using $Q = k \times p^{1/2}$):	1.87
Drawing, spray head	DL1: 7-01-56-5-19-00
Spray heads are to cover the area out to the periphery of the protected object.	

Alternative 2: low levels - 100 bar

Maximum horizontal spacing:	4.0 m
Minimum vertical distance from object:	1.0 m
Maximum vertical distance from object:	3.0 m
Minimum operation pressure:	100 bar (at spray heads)
Spray head type:	7-01-56-5-12-00
K-factor, spray head (using $Q = k \times p^{1/2}$):	1.19
Drawing, spray head	DL1: 7-01-56-5-12-00
Spray heads are to cover the area out to the periphery of the protected object.	

Alternative 3: low levels - 80 bar	
Maximum horizontal spacing:	3.5 m
Minimum vertical distance from object:	1.5 m
Maximum vertical distance from object:	3.0 m
Minimum operation pressure:	80 bar (at spray heads)
Spray head type:	7-01-56-5-12-00
K-factor, spray head (using $Q = k \times p^{1/2}$):	1.19
Drawing, spray head	DL1: 7-01-56-5-12-00
Spray heads are to cover the area out to the periphery of the protected object.	

Alternative 4: low levels - 80 bar	
Maximum horizontal spacing:	3.0 m
Minimum vertical distance from object:	1.5 m
Maximum vertical distance from object:	3.0 m
Minimum operation pressure:	80 bar (at spray heads)
Spray head type:	7-01-48-4-17-00
K-factor, spray head (using $Q = k \times p^{1/2}$):	1.34
Drawing, spray head	DL1: 7-01-48-4-17-00
Spray heads are to cover the area out to the periphery of the protected object.	

For all systems

Only stainless steel piping is to be applied (to avoid clogging of spray heads). Turbo machinery equipment, air intakes and preferably also essential electrical equipment shall not be directly exposed to the water discharge. Electrical equipment as per DNV rules (Pt.4 Ch.8 Sec.10, Table B1) may be accepted as adequate protection for newbuildings.

System components are to be certified or inspected in accordance with DNV Rules or equivalent standards acceptable to the Flag State. Ambient room temperature for pump unit should be between + 4 °C and + 55 °C.

The following documents are to be approved and filed by the Flag State Administration:

- System arrangement plans including location of nozzles, sections valves, release stations and pump-unit
- Capacity of pumps and pressure vessel system, including pressure drop calculations and power supply (electrical and control system within pump unit is covered by this certificate)
- Qualification of welders and approval of welding procedures, if applicable.
- Specification of pipes, electrical motor, electrical & control system, pumps and associated components
- Arrangement of interface to fire detection and alarm system (where applicable)

- Manual containing operating and maintenance instructions

Other documents:

- Water pump(s) are to be delivered with DNV DIN 3.1C certificates, or equivalent.
- Documentation for other components (according to DIN 3.1B and DIN 2.2, or equivalent) is to be filed at maker premises, where DNV or Flag State may carry out audits.

Installation testing:

- A 30 seconds water mist discharge is to be carried out for at least one section
- Testing of alarms (SOLAS Ch. II-2, Reg.10.5.6.4)
- Cleaning according to Semco-Safe installation procedure
- Pressure testing of water pipe system to at least 1,5 times maximum working pressure
- Testing of automatic start of system (in case of unattended machinery spaces)
- Other tests according to type approval manual

Periodical testing:

- Periodical control and inspection to be in accordance with type approval manual

Type Examination documentation

Semco Maritime Type Approval Documentation - Local Application Systems (LA Design Manual), November 2000

Fire Performance Test Report:

STF22 F00832, July 2000 SINTEF, Norway

NBL10 F02126, September 2002 SINTEF, Norway

Component testing of water mist nozzles:

DNV Report no. 97-1069, rev. 06, Sept 1998, DNV, Norway

DNV Report no. 2000-1237, rev.1, August 2000, DNV, Norway

Full-scale test with engines running:

Semco report, February 2002.

Tested according to IMO MSC/Circ. 913 (fire tests) and relevant part of IMO Circ. 668/728 (component tests).

Marking of product

The spray head is to be marked with type designation whereas pump / control unit is to be marked with name of manufacturer and type designation

Mark of conformity



The manufacturer is allowed to affix the Mark of Conformity according to Article 11 in the Council Directive 96/98/EC on Marine Equipment and issue a Declaration of Conformity, only when the module D or E or F of Annex B in the same directive is fully complied with.

- Module D: The quality system for production and testing shall be approved by the Notified Body.
Module E: The quality system for inspection and testing shall be approved by the Notified Body.
Module F: Compliance of the products to type as described in this EC Type-Examination Certificate must be verified by the Notified Body who also shall issue a Certificate of Conformity.

END OF CERTIFICATE

The certificate is subject to terms and conditions overleaf. Any significant changes in design or construction of the product, or amendments to the or Standards referenced above may render this certificate invalid. The product liability rests with the manufacturer or his representative in accordance with Council Directive 96/98/EC, as amended. The Mark of Conformity may only be affixed to the product and a Declaration of Conformity may only be issued if the production/product assessment module referred to in the council directive, is fully complied with.

person suffers loss or damage which is proved to have been caused by any negligent act or omission of Det Norske Veritas, then Det Norske Veritas shall pay compensation to such person for his proved direct loss or damage. However, the compensation shall not exceed an amount equal to ten times the fee charged for the service in question, provided that the maximum compensation shall never exceed USD 2 million. This provision "Det Norske Veritas" shall mean the Foundation Det Norske Veritas as well as all its subsidiaries, directors, officers, employees, and any other acting on behalf of Det Norske Veritas.

NORSKE VERITAS AS · VERITASVEIEN 1, 1322 HØVIK, NORWAY · TEL: (+47) 67 57 99 00 · FAX: (+47) 67 57 99 11

附錄四 KPI、SWOT 和分年目標與成果

壹、計畫已獲得之主要成就與量化成果 KPI

表一 科技計畫之績效指標

計畫類別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	99
績效指標	學術研究	創新前瞻	技術發展 (開發)	系統發展 (開發)	政策、法規、 制度、規範、 系統之規劃 (制訂)	研發環境 建構(改善)	人才培育 (訓練)	研究計劃 管理	研究調查	其他
A 論文										
B 研究團隊養成						○				
C 博碩士培育	○									
D 研究報告	○									
E 辦理學術活動										
F 形成教材						○				
G 專利										
H 技術報告				○						
I 技術活動					○					
J 技術移轉				○						
S 技術服務										
K 規範/標準制訂										
L 促成廠商或產業團體投資										
M 創新產業或模式建立										
N 協助提升我國產業全球地位或產業競爭力										
O 共通/檢測技術服務										
T 促成與學界或產業團體合作研究										
U 促成智財權資金融通										

計畫類別	1	2	3	4	5	6	7	8	9	99
學術研究	學術研究	創新前瞻	技術發展(開發)	系統發展(開發)	政策、法規、制度、規範、系統之規劃(制訂)	研發環境建構(改善)	人才培育(訓練)	研究計劃管理	研究調查	其他
績效指標										
V 提高能源利用率										
W 提升公共服務										
X 提高人民或業者收入										
P 創業育成										
Q 資訊服務										
R 增加就業							○			
Y 資料庫									○	
Z 調查成果									○	
AA 決策依據										

表二 請依上表勾選合適計畫評估之項目

填寫初級產出、效益及重大突破

	績效指標	初級產出量化值	效益說明	重大突破
學術成就	B 研究團隊養成	跨組織合作團隊數目(1)	實驗室數目(1)	
	C 博碩士培育	參與計畫執行之碩士研究生及博士研究生	能對細水霧有相關了解與認知，以利於未來推廣。	
	D 研究報告	將實驗結果與資料彙整一本報告書	讓相關產業和研究單位作為參考資料	
	F 形成教材	將實驗相關資料彙整，讓後續相關研究做參考依據。	使細水霧之研究能夠有系統性研究與開發。	
技術創新	H 技術報告	整合系統。	相關技術參考。	
	I 技術活動	可發表於國內或國外研討會。	發表於主要之國際研討會。	
	J 技術移轉	可移轉技術，整合現有資源，參考國外設備，研發產品。	技術移轉、應用、引用增加未來競爭力。	
社會影響	R 增加就業	細水霧系統的生產組成。	提升相關產業研發與生產。	
	Y 資料庫	新建資料庫將相關聯實驗數量、結果與細水霧相關法規做彙整。	資料庫整合服務，以提供未來資料整理方便性。	
	Z 調查成果	調查結果可利於未來之推廣。	評估未來方向與可行性。	

貳、 評估主要成就及成果之價值與貢獻度 (outcome)

(請以學術成就或技術創新、經濟效益、社會影響以及其它效益等項目詳述)

一、 學術成就或技術創新

將細水霧與排煙設備做整合性研究，來評估可行性，對於未來細水霧之推廣，以及設計使用上提供相關實驗資料，以利於設計者之設計。

二、 經濟效益

使未來在消防滅火系統方面有多一種選擇，如果國內對於細水霧之使用空間與規範能加以制定，可促進業者對細水霧噴頭的生產，降低生產成本；以及細水霧用水量少，可減少水損，降低二次災害。

三、 社會影響

取代現有之撒水滅火系統，對於未來火災發生時，增加人員逃生的時間，提升火場內人員的生命安全。

四、 其它效益

可減少現有之滅火系統(海龍替代品和 CO₂)對環境的破壞與衝擊，降低因滅火系統釋放而傷亡的人員。

細水霧系統火災控制整合應用技術研究 SWOT 分析

SWOT 分析	
優勢 (Strength)	劣勢 (Weakness)
1.冷卻滅火效果好，可滅油類火災。 2.可滅電氣火災 3.水量需求少。 4.無毒、無腐蝕性、對環境沒有衝擊	1.施工與材料品質要求較高。 2.水質方面需要較乾淨的水源，需經過過濾。
機會 (Opportunity)	威脅 (Threat)
1.水損低，減少因水損所造成的二次傷害。 2.對臭氧層不會造成破壞，可用來取代海龍系統。	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，需有全尺寸實驗驗證滅火性能

(本研究整理)

分年目標與預期成果

分年目標	分 項 計 畫	97 年度	98 年度
項目計畫			
初期防火新技術	• 細水霧滅火新技術	 (基礎研究及文獻整理) (進階實驗與模擬探討)	