

# 泡沫噴頭結合泡沫原液的滅火效能研究

## Study of Fire Extinguishing Efficiency of Foam Heads Combined with Foam Concentrates

邱晨瑋\*

陳勇仁\*\*

蔡春進\*\*\*

Chiu, Chen-Wei

Chen, Yung-Jen

Tsai, Chuen-Jinn

### 摘要

依內政部於民國 92 年公告之「泡沫噴頭認可基準」施行至今已 21 年有餘，但經常發生現場完工驗收時，發泡倍率或 25%還原時間無法通過測試之情形，追究其原因關鍵在於泡沫噴頭與泡沫原液相互間之搭配性有著很大的關係，且目前國內尚無相關泡沫原液之檢驗標準。

本研究選擇 4 款市面上經檢驗單位認可通過之泡沫噴頭，與 4 種經消防署 112 年 1 月 1 日所公告不含『全氟辛烷磺酸(PFOS)』、『全氟辛烷磺酸鋰鹽(LPOS)』、『全氟辛烷磺醯氟(POSF)』及『全氟辛酸(PFOA)』之泡沫原液，來進行「發泡倍率」、「25%還原時間」及「滅火」實驗。

研究發現當泡沫噴頭搭配泡沫原液進行「25%還原時間」實驗時有發生 25%還原時間無法達 60 秒以上，及「滅火實驗」無法於 60 秒內滅火之情形，由此可知泡沫噴頭與泡沫原液需搭配的重要性。

在上述消防署公告不含 4 種氟化物下之 4 種泡沫原液搭配 4 款泡沫噴頭於滅火實驗時均能全部滅火，倘若能將泡沫噴頭搭配到符合的泡沫原液時，其滅火效能值會更佳且也能符合「泡沫噴頭認可基準」之規定。

研究中也發現有以下趨勢『壓力小→發泡倍率高→25%還原時間快』、『壓力大→發泡倍率低→25%還原時間慢』、『25%還原時間慢→滅火時間快』及『25%還原時間快→滅火時間慢』。

因此本研究建議認證泡沫噴頭時需同時提出所搭配使用之泡沫原液，經測試合格後標註於認可證書上；同時也建議國內需制訂泡沫原液相關試驗標準來進行認可。

**關鍵字：**室內停車場、泡沫滅火系統、泡沫噴頭、泡沫原液、滅火效能

\* 臺灣警察專科學校 消防安全科 主任 eswin.wei@gmail.com

\*\* 國立陽明交通大學工學院產業安全與防災學程碩士班 a0952158189@gmail.com

\*\*\* 國立陽明交通大學 環境工程研究所 終身講座教授 cjtai@nycu.edu.tw

## Abstract

According to the 「Foam Head Approval Standards」 announced by the MINISTRY OF THE INTERIOR, R.O.C in 2003, more than 21 years have passed. However, it is common that during the final site acceptance tests, the foam Expansion value or the 25% drain time fails to meet the required standards. The primary reason for these failures lies in the compatibility between the Foam Head and the Foam Concentrate. Additionally, there are currently no established testing standards for Foam Concentrate in the country.

This study selected four Foam Heads that have been approved by inspection authorities and four types of Foam Concentrates announced by the National Fire Agency, Ministry Of The Interior on January 1, 2023, which do not contain Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS)、Lithium perfluorooctane sulfonate (LPOS)、Perfluorooctane sulfonyl fluoride (POSF) and Perfluorooctanoic acid (PFOA). These were used to conduct experiments 「Foam Expansion value」, 「25% drain time」, and 「Fire extinguishing」 performance.

The research found that when Foam Heads were paired with Foam Concentrates for the 「25% drain time」 experiment, there were instances where the 25% drain time did not exceed 60 seconds, and the 「Fire extinguishing」 could not be completed within 60 seconds. This highlights the critical importance of compatibility between Foam Head and Foam concentrates."

In light of the National Fire Agency, Ministry Of The Interior announcement that the four types of Foam Concentrates do not contain four specific fluorinated compounds, all fire extinguishing experiments conducted with these four types of Foam Concentrates paired with four models of Foam Head successfully extinguished fires. If the Foam Heads are matched with compatible Foam Concentrates, their fire extinguishing efficacy is enhanced and also meets the requirements of the 「Foam Head Approval Standards」.

The study also identified the following trends 『Lower pressure → Higher Foam Expansion value → Faster 25% drain time』、 『Higher pressure → Lower Foam Expansion value → Slower 25% drain time』、 『Slower 25% drain time → Faster Fire Extinguishing time』 and 『Faster 25% drain time → Slower Fire Extinguishing time』.

Therefore, this study recommends that when certifying Foam Head, the corresponding Foam Concentrate used in pairing should also be submitted. Once tested and approved, this information should be noted on the certification document. Additionally, it is recommended that domestic standards for testing Foam Concentrates be established for certification purposes.

**Key words: Indoor Parking Garage、Foam Fire Suppression System、Foam Head、Foam Concentrate、Fire Extinguishing Efficient**

## 壹、緒論

### 一、研究動機

依據消防法第十二條規定：「經中央主管機關公告應實施認可之消防機具、器材及設備，非經中央主管機關所登錄機構之認可，並附加認可標示者，不得銷售、陳列或設置使用」，目前內政部已陸續公告密閉式撒水頭等 25 項(如圖 1)消防機具器材設備為應施認可品目，以泡沫滅火系統為例，早在民國 92 年即已公告「泡沫噴頭認可基準」並開始執行型式與個別認可，至今該制度已施行超過 21 年，然而，在實務現場中，即使所使用之泡沫噴頭皆符合認可規範，泡沫滅火系統在進行完工驗收測試時，仍時常出現無法通過發泡倍率及 25%還原時間等項目之現象，為何使用符合認可標準之泡沫噴頭，仍無法通過測試？其原因有可能為泡沫噴頭與泡沫原液之間的適配性問題。

#### 【應施認可品目】

1.密閉式撒水頭 (Close Sprinkler Head)	14.火警受信總機 (Control and Indicating Equipment)
2.泡沫噴頭 (Foam Head) 	15.火警探測器 (Fire Detector)
3.緩降梯 (Escape Sling)	16.火警中繼器 (Fire Alarm Transmitter)
4.一齊開放閥 (Deluge Valve)	17.火警發信機 (Manual Call Point)
5.流水檢知裝置 (Alarm Valve)	18.火警標示燈 (Fire Alarm Light)
6.消防幫浦 (Fire Pump)	19.火警警鈴 (Fire Alarm Bell)
7.金屬製避難梯 (Metallic Escape Ladder)	20.出口標示燈 (Emergency Exit Light)
8.滅火器 (Fire Extinguisher)	21.避難方向指示燈 (Evacuation Direction Light)
9.滅火器用滅火藥劑 (Fire Extinguishing Agents for Fire Extinguisher)	22.緊急照明燈 (Emergency Light)
10.消防用水帶 (Fire Hose)	23.緊急廣播用揚聲器 (Emergency Speaker)
11.水帶用快速接頭 (Coupling for Fire Hose)	24.住宅用火災警報器 (Residential Fire Alarm)
12.耐熱電線電纜 (Heat-resistant Electric Wire and Cable)	25.119火災通報裝置 (119 Fire Notification Devices)
13.耐燃電線 (Fire-retardant Wire)	

圖 1：應施認可品目（資料來源：本研究彙整）

目前國內泡沫滅火設備在現場進行竣工驗收時，因無相關法規規定，其所使用之泡沫原液需與當初送審相關檢驗單位認可時之原液相同，導致經常發生發泡倍率與 25%還原時間試驗不符之情形，以日本為例，認證泡沫噴頭時即須同時提出所搭配使用之泡沫原液，經測試合格後標註於認可證書上，且針對原液也有相

關之檢驗規範，而國內僅只針對泡沫噴頭進行認可管制而已，因此泡沫滅火系統失效之情形屢見不鮮，以下為日本、美國對於泡沫噴頭與泡沫原液之相關一覽表：

表 1 泡沫噴頭與泡沫原液一覽表

項目	日本	美國
法令依據	《消防法》第 17 條之 3 《危險物的規制に関する政令》 《泡沫消火設備等の性能評定基準》	NFPA 11： 《Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam》 UL 162： 《Foam Equipment and Liquid Concentrates》 FM 5130： 《Approval Standard》
管理機關	日本消防廳（消防庁） 日本消防設備安全中心（JFEII）	美國國家消防協會（NFPA） 美國保險商實驗室（UL） 工程保險聯盟（FM Global） 美國環保署（EPA）
泡沫噴頭認證方式	噴頭與泡沫原液需「指定搭配」必須同時送驗、進行實體測試，通過後共同註記於認證書上。	泡沫噴頭與泡沫原液分開認證，由設計工程師依使用情境選擇搭配，依據數據自行整合系統。
泡沫原液管理	需符合泡沫原液性能評定基準。 需送 JFEII 審查、取得型式評定。	UL/FM 各自定義泡沫原液性能要求 符合其滅火測試即可取得認證（無需特定噴頭搭配）。
是否允許跨廠牌搭配？	否。 原液與噴頭為一組認證，更換泡沫原液須重新測試。	是。 原液與噴頭認證分開，可跨品牌混搭，但設計需負擔整合責任。
PFOS/PFOA 禁用現況	已公告全面禁止含 PFOS/PFOA 泡沫，推廣 F3 非氟泡沫。	美國 EPA 提出淘汰政策與禁用清單，NFPA 11 與 UL 更新標準以支援 F3 泡沫應用。

為因應全球對於全氟/多氟烷基物質 (Per- and Polyfluoroalkyl Substances, PFAS) 對環境與人體健康的關注，許多國際組織與國家陸續推動對 PFAS 類物質的禁用或限制，其中 PFOS(全氟辛烷磺酸)與 PFOA(全氟辛酸)被世界衛生組織(WHO)、經濟合作暨發展組織(OECD)以及《斯德哥爾摩公約》(Stockholm Convention)等國際機構列為持久性有機污染物(POPs)，並呼籲成員國逐步淘汰。歐盟自 2006 年起限制 PFOS 在商品中的使用，美國環保署 (EPA) 亦推動「PFOA Stewardship Program」，促使多家泡沫原液製造商自願於 2015 年前全面停產 PFOS/PFOA，澳洲、新西蘭、加拿大亦針對含氟泡沫 (Fluorinated Foams) 制定替代方案與回收處置機制。

在我國環境部 (前環保署) 依據《毒性及關注化學物質管理法》，已將 PFOS 與 PFOA 及其相關鹽類列為毒性化學物質，限制其進口、生產與使用，並要求使用單位進行回收或妥善處置；目前對於泡沫原液中 PFAS 物質的管理，為與國際接軌採取「全面禁止使用、高風險管制、替代藥劑推動」三大策略，展現對環境保護與永續發展的重視，具體來說，這三大策略包括：

**a.全面禁止使用:**

針對特定高危害性的 PFAS 物質，如全氟辛烷磺酸(PFOS)和全氟辛酸(PFOA)，台灣已全面禁止在消防泡沫中使用。

**b.高風險管制:**

對於其他 PFAS 物質，則採取較嚴格的管制措施，例如限制其使用範圍、濃度，並加強監測。

**c.替代藥劑推動:**

積極推動 PFAS 替代藥劑的研發與使用，以減少對 PFAS 的依賴，並降低環境和健康風險。

為配合環保政策與國際趨勢，消防署於民國 112 年 1 月 1 日起公告，全面禁止使用含有『全氟辛烷磺酸(PFOS)』、『全氟辛烷磺酸鋰鹽(LPOS)』、『全氟辛烷磺醯氟(POSF)』及『全氟辛酸(PFOA)』等 4 項之滅火藥 [1]，本項禁令旨在全面淘汰含有高毒性、高持久性且可能造成水源與土壤污染的含氟泡沫原液，並鼓勵消防單位、工業場所及石化設施改用環境友善的非氟泡沫(Fluorine-Free Foam, F3)或其他替代藥劑，消防署也同步推動回收作業指引，協助各單位清查庫存、逐步汰換，

---

[1] 為有效管理滅火器用水及強化液滅火藥劑中 PFOS 等四項等成分含量 1 案，消署預字第 11105003072 號。

並防止舊藥劑流入市面或再使用，至目前為止國內尚未有相關測試數據及報告顯示，使用不含氟之滅火藥劑其滅火效能值是否仍然符合國內泡沫噴頭認可基準之規定，因此可藉由本次滅火實驗來檢視其滅火效果。

## 二、研究目的

1. 由本研究證實，不同泡沫噴頭搭配不同泡沫原液時其發泡倍率、25%還原時間及滅火時間均會有所影響，甚至會導致實驗不符合『泡沫噴頭認可基準』之規定情形，因此藉由本研究數據提供消防署日後修訂泡沫噴頭需與泡沫原液搭配認證之參考。
2. 經由發泡倍率、25%還原時間及滅火實驗，來確認市面上目前不含 PFOS、LPOS、POSF、PFOA 之滅火藥劑，其相關性能依然能符合國內泡沫噴頭認可基準之規定。

## 三、研究範圍與限制

### 1. 研究範圍

本研究係針對目前國內所使用之泡沫噴頭與泡沫原液，選擇 4 款泡沫噴頭及 4 種不含 PFOS、LPOS、POSF、PFOA 泡沫原液分別實施發泡倍率、25%還原時間及滅火實驗來進行研究分析，並針對各類場所消防安全設備設置標準中所提及之應用範圍進行研究，並將相關研究結果於泡沫噴頭認可基準中提出更完善之修正建議，以供相關單位參考。

### 2. 研究限制

本研究是在基金會實驗室模擬地下停車場泡沫滅火系統(如圖 2)之情境，採用 4 款泡沫噴頭均為通過消防主管機關核可之檢驗單位認證通過之產品；4 種泡沫原液則使用消防署 112 年 1 月 1 日所公告不含 PFOS、LPOS、POSF、PFOA 等 4 種氟化物之滅火藥劑進行實驗。

- (1) 放射方式採『固定式』。
- (2) 膨脹比二十以下為『低發泡』。
- (3) 原液採『3%水成膜泡沫液』進行實驗。
- (4) 泡沫原液槽、比例混合器：基金會實驗室設有大型泡沫原液儲槽取代現場之泡沫原液槽與比例混合器。
- (5) 感知撒水頭、一齊開放閥、自動警報裝置：基金會實驗室則是以手動啟

動開關替代之。

- (6) 消防幫浦：基金會實驗室設有消防幫浦。
- (7) 依泡沫頭認可基準規定，實施發泡倍率、25%還原時間及滅火試驗。

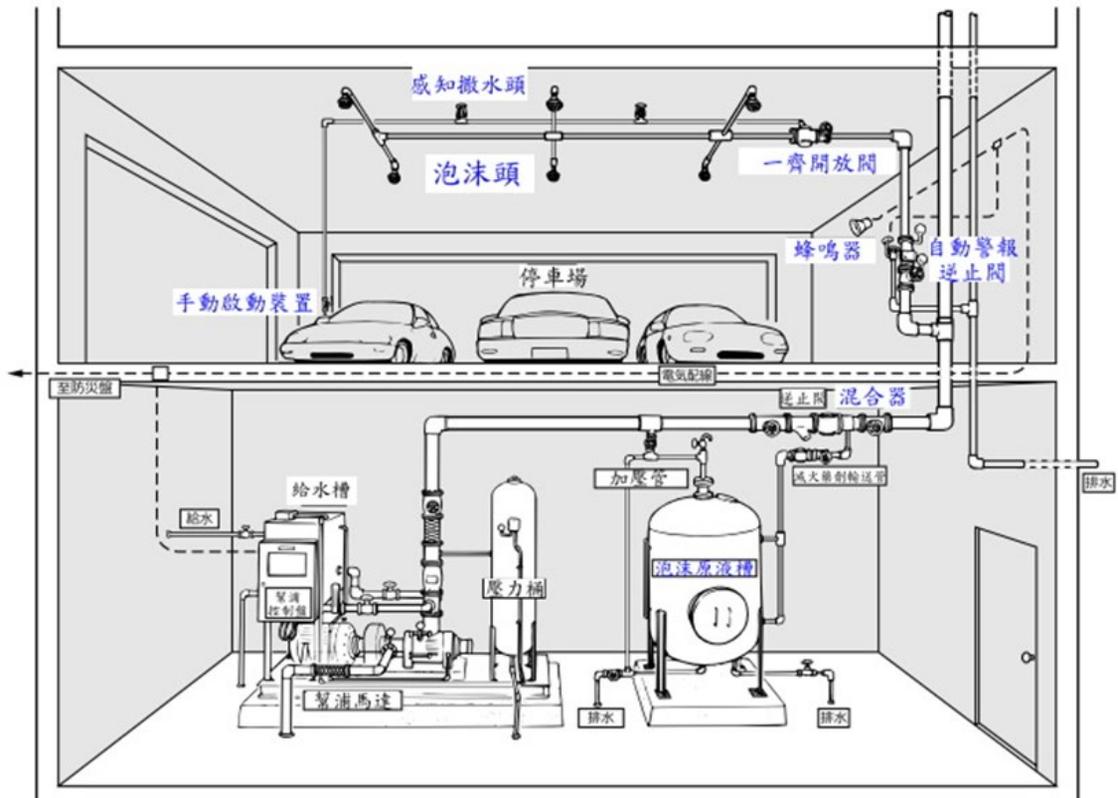


圖 2：地下停車場泡沫滅火系統 [2]

[2] 泡沫滅火設備系統圖，HOCHIKI 株式會社 <https://www.faic.com.tw/foam.htm>。

#### 四、研究步驟及流程(如下圖 3)

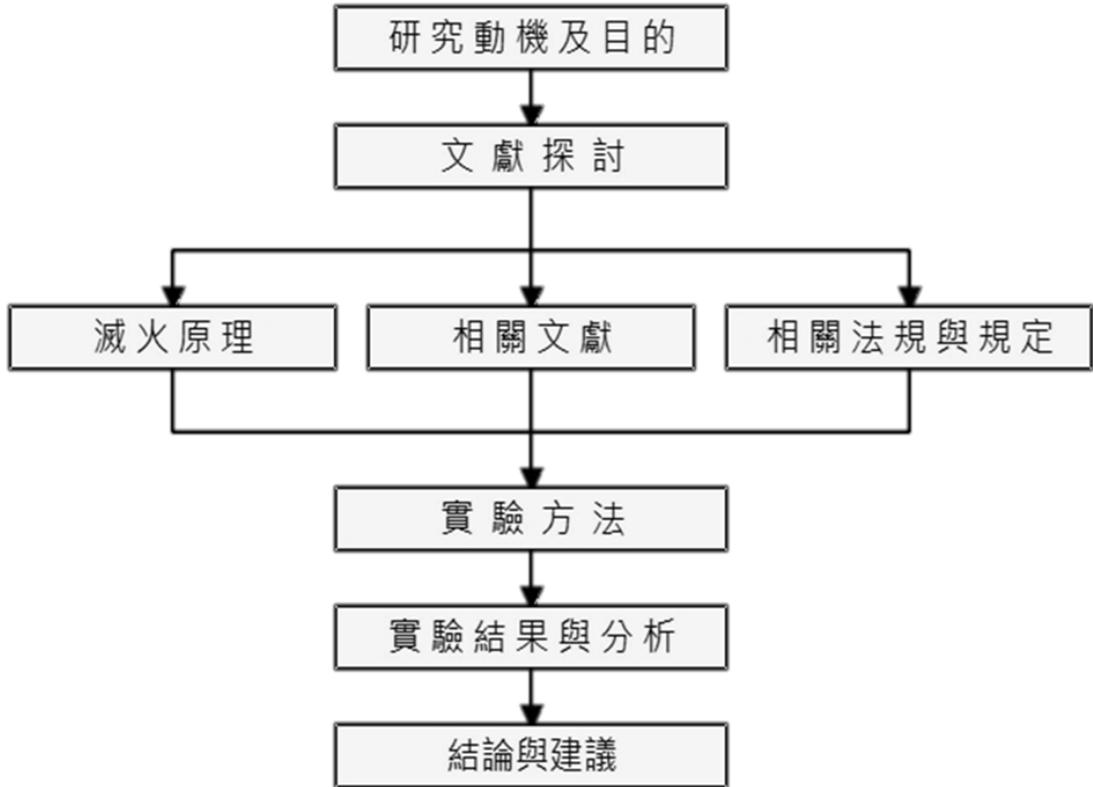


圖 3：研究步驟及流程圖

## 貳、文獻探討

### 一、滅火原理

1. 泡沫噴頭：為一種專門用於滅火的設備，特別適合處理可燃液體火災（B類火災）以及其他特殊火災，透過壓力將泡沫原液與水和空氣混合，經由噴頭的特殊結構將混合物轉化為泡沫，經噴頭放射出之泡沫可以迅速覆蓋燃燒表面，切斷火源與空氣中的氧氣接觸，並抑制火勢蔓延進而達到滅火效果，要使泡沫噴頭於火場中發揮其滅火效果，還需下列要件組成：
  - (1) 泡沫原液：泡沫噴頭很依賴泡沫原液，這些化學物質可以與水混合，形成具有穩定性的泡沫層，不同的泡沫原液有不同的用途，如 A 類泡沫原液適合固體，B 類泡沫原液則用於液體火災等。
  - (2) 水源：水與泡沫原液按特定比例混合後形成泡沫溶液，這個過程可以依賴幫浦系統或自然水壓來完成。
  - (3) 空氣混合機構：泡沫噴頭內部設計有專門的結構，將泡沫原液和水混合後吸入空氣，通過這一過程形成能夠發泡的泡沫。



圖 4：泡沫噴頭 (資料來源：本研究整理)

### 3. 泡沫原液：

泡沫原液(Foam Concentrate)是消防領域中用於生成滅火泡沫的一種濃縮液體化學物質，其實就是一種發泡劑，有點像濃縮洗衣精，遇到水、空氣就會產生泡泡，用於撲滅火災，其製作泡沫原液的廠商有很多目前台灣均以國外進口為主，每家廠商的泡沫原液都有不同的種類、成分和混合比例，其常見主要成分包括：

- (1) 表面活性劑：降低水的表面張力，使其易於形成泡沫。
- (2) 穩定劑：增強泡沫的持續時間，避免泡沫過快崩解。
- (3) 抗凍劑(視環境需求)：確保低溫環境下的穩定性。
- (4) 其他添加劑：抗燃劑、耐鹽劑，用於特殊環境(如海水使用)。

### 3. 泡沫原液種類

- (1) 於 UL162 泡沫設備和液體濃縮液(2022 JUNE 10 版)，4.16 節中將泡沫液濃縮液說明如下：[3]

FOAM LIQUID CONCENTRATE(泡沫液濃縮液)，為以蛋白質或合成物質為基礎的液體，旨在用淡水、鹽水或淡鹽水混合物稀釋至特定濃度，以下為低倍泡沫濃縮液的種類。

- a. 水成膜泡沫液(AFFF)：一種泡沫液濃縮劑，由含氟界面活性劑為基礎並添加穩定劑組成。
- b. 蛋白質泡沫液：一種泡沫液體濃縮物，含有水解蛋白質和穩定添加劑，且其配方應不含有意添加的全氟或多氟物質(PFAS)。
- c. 蛋白泡沫液(氟蛋白)：一種泡沫液濃縮劑，類似於蛋白質泡沫液，但添加了一種或多種含氟界面活性劑。
- d. 成膜氟蛋白(FFFP)：一種泡沫液濃縮劑，含有水解蛋白和氟化界面活性劑基質以及穩定添加劑。
- e. 合成無氟泡沫(SFFF)：一種泡沫液體濃縮物，其基質不是氟化界面活性劑或水解蛋白質；且其配方應不含有意添加的全氟或多氟物質(PFAS)。
- f. 抗酒精型泡沫液：一種泡沫液體濃縮物，用於撲滅碳氫化合物和極性溶劑(與水混溶)燃料火災。

- (2) 在選用泡沫原液時，需考慮以下因素：

---

[3] UL162 , Foam Equipment and Liquid Concentrates 。

- a. 火災類型：是 A 類、B 類還是其他火災。
- b. 燃料性質：如液體燃料的極性、閃點等。
- c. 環境因素：是否需要抗鹽性或低溫穩定性。
- d. 法規要求：如是否符合 UL、NFPA、EN 或 ISO 等標準。
- e. 環保考量：避免選用含全氟和多氟化合物(PFAS)的泡沫，因其可能對環境和健康造成長期影響。



圖 5：泡沫原液 (資料來源：本研究整理)

#### 4. 滅火原理

(1) 泡沫四面體(圖 6)：其四個要素是產生高品質泡沫的關鍵，當缺少一要素時，發泡的品質會降低，甚至有可能完全不會發泡；(2)穩定劑：增強泡沫的持續時間，避免泡沫過快崩解。

- a. Foam concentrate：泡沫原液。
- b. Water：水。
- c. Air：空氣。
- d. Aeration(mechanical agitation)：通氣(機械攪拌)。

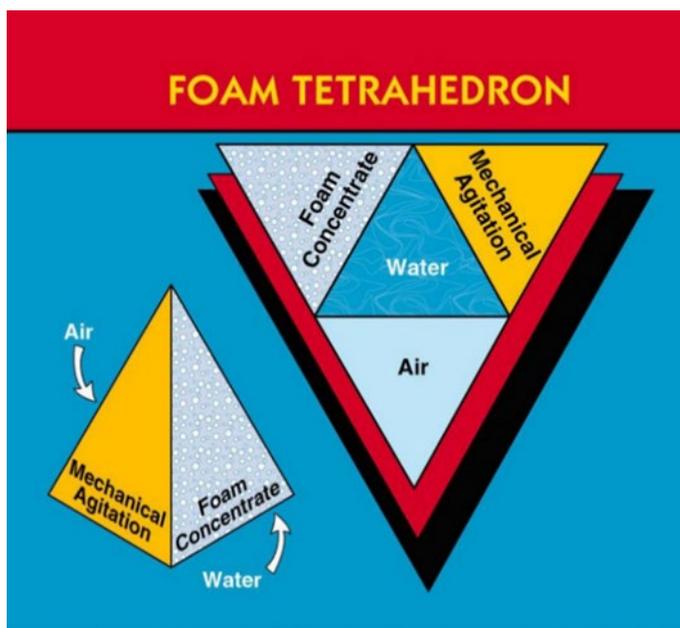


圖 6：泡沫四面體 [4]

- (2) 膨脹比(發泡倍率)：即泡沫與泡沫水溶液的比值，它在燃燒的液體表面自由流動，形成堅韌、隔離空氣的連續覆蓋層，密封揮發性可燃蒸氣，防止其與空氣接觸，它可以抵抗風和氣流或熱和火焰攻擊的破壞，並且能夠在機械破裂的情況下重新密封，消防泡沫可以在相對較長的時間內保留這些特性，目前國內消防單位所用的泡沫原液通常都屬於低膨脹泡沫，NFPA11(2024 版)A.3.3.9 節中針對膨脹比定義如下：[5]
- a.低膨脹泡沫：膨脹比不超過 20。
  - b.中膨脹泡沫：膨脹比介於 20 到 200。
  - c.高膨脹泡沫：膨脹比介於 200 到 1000。
- (3) 25%還原時間：25%的泡沫還原成泡沫水溶液所需的時間，一般來說 25%還原時間較短的泡沫具有較好的流動性，可以很快速地擴散到整個可燃性液體表面，而 25%還原時間較長的泡沫則流動性較差。
- (4) 泡沫主要可以用來抑制、熄滅 B 類火災(油類火災)，B 類火災的可燃物主要是可燃性液體，分為：

[4] 泡沫四面體，<https://slideplayer.com/slide/17090672/>。

[5] NFPA11, Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam。

- a. 碳氫化合物(hydrocarbons)：汽油、柴油、煤油、航空煤油(JP4)，主要是石油、植物纖維經過萃取後的產物，比重小、會浮在水上。
  - b. 極性溶劑(polar solvents)：酮類(如丙酮)、酯類、乙醇(酒精)、甲基第三丁基醚(MTBE)，則是親水性的液體，可以溶於水、會破壞泡沫。
- (5) 泡沫嚴格來說包含所有的滅火方法(冷卻法、抑制法、窒息法和移除法)，而最有效的主要還是窒息法(Smother)和移除法(Separates)，泡沫是由水組成的，可以達到降溫的效果，也就是冷卻法(Cools)，有些泡沫原液可能含有鹵素元素(氟)，因此也可以抑制連鎖反應。泡沫最主要的滅火方式是在可燃物表面鋪上一層泡沫，產生 Foam Blanket(它的意思是針對起火的可燃物施打泡沫時，可燃物表面上的那一層泡沫)，阻隔可燃物與氧氣接觸，達到窒息效果，Foam Blanket 也可以阻隔可燃性液體揮發的蒸氣，讓可燃性蒸氣無法接觸到火源，達到移除可燃物的效果，也被稱為蒸氣抑制性，如果是碳氫化合物的火災，使用一般的泡沫就能利用上面提到的方式達到滅火效果。但如果是極性溶劑的火災，極性溶劑會破壞 Foam Blanket，無法達到窒息和移除的效果，因此必須使用耐酒精型(或稱抗醇型 Alcohol Resistant, AR )泡沫，而耐酒精型泡沫當然還是可以用在碳氫化合物火災。[6]

## 二、相關文獻回顧

1. 從黃騰輝的研究分析，以皮爾森(Pearson)動差相關係數的統計結果，分析消防專技人員對水成膜泡沫含氟物質處置態度與含氟處置意圖相關情形，兩者之間的相關係數為 0.84(Pearson > 0.7)屬於高度相關，顯著性的值 0.00(P < 0.05)達顯著性標準，氟聚合物處置態度表現愈好，氟聚合物處置意圖的表現也會愈正向、積極，文中提及水成膜泡沫之所以可以快速滅火，主要是調聚氟化物 PFAS 的疏油、疏水及減少表面張力，是快速撲滅火災的原因。[7]
2. 從黃堉丞的研究分析，採用過熱條件來假想電池處於高溫環境後觸發熱失控，以第一次實驗取得鋰離子電池燃燒特性及表面溫度變化之時間關係，

[6] W 消防解密，<https://fireleaks.com/%E6%B3%A1%E6%B2%AB/>。

[7] 黃騰輝，「消防設備師士對水成膜泡沫含氟物質處置知識、態度及意圖之研究」，碩士論文，民國 111 年。

藉此奠定後續實驗的滅火時機、時長等參數設定。探討每一個條件下不同濃度(純水、6%、50%、70%、80%、100%)的泡沫滅火劑所展現出來的差異及分析。比較各實驗泡沫滅火劑濃度(純水、6%、50%、70%、80%、100%)的降溫效果，由實驗結果發現，在鋰電池熱失控階段使用濃度 70%的泡沫滅火藥劑，對於鋰電池後續產生熱約有 73%~77%的降溫效果；使用純水、6%及 50%的滅火劑濃度降溫效果約 39%~47%；而使用 80%與 100%的滅火劑濃度降溫效果非常相似約為 36%。[8]

3. 從葉奕的研究分析，目前泡沫原液長期儲存產生品質劣化或不同廠牌之原液混合填充時造成泡沫原液變質之情況。蒐集了不同廠牌之泡沫原液做相互混合，分析其 pH 值、表面張力、及含碳量等特性之改變，並利用發泡倍率及 25%還液時間評估滅火性能，提供專業技術人員檢修之改善意見及安全觀念，以節省金錢及人力。[9]
4. 從林建至的研究分析，從案場之泡沫設備取樣混合比例之泡沫原液，經實驗發現室內停車空間之泡沫滅火設備通常在竣工驗收時其設備功能及效能最佳，日後往往因忽略保養維護而導致功能及效能日漸變差，因此建議泡沫滅火系統設置場所應建立濃度標準對照曲線圖，並應於年度檢修時登錄混合比例量測值。[10]
5. 從郭松敦的研究分析，當通過泡沫比例混合器的流量低於該比例混合器的最低流量的規格時，由於「流速的降低」造成了「管路內背壓的生成」及「泡沫比例混合器的低壓區無法形成」，進而導致「泡沫原液無法順利有效的進入泡沫比例混合器」、「無法達到設計的混合比例值」、「無法產生泡沫或發泡倍數不足」。並對爾後消防主管機關於修訂「檢修作業基準及消防安全設備認可基準」時做為參考。[11]

---

[8] 黃培丞，「泡沫滅火劑之濃度對鋰電池火災實驗之影響研究」，碩士論文，民國 111 年。

[9] 葉奕，「不同消防泡沫原液混合充填後物化性質影響之研究」，碩士論文，民國 109 年。

[10] 林建至，「泡沫原液混合比例之研究以全隔膜原液槽及水成膜泡沫液為例」，碩士論文，民國 110 年。

[11] 郭松敦，「公共危險物品場所泡沫槽比例混合系統 設計、性能標準之研究」，碩士論文，民國 107 年。

## 二、相關法規與規定

### 1. 各類場所消防安全設備設置標準 [12]

相關條文	法條內容						
第 12 條	<p>各類場所按用途分類如下：</p> <p>3、丙類場所：</p> <p>(一) 電信機器室。</p> <p>(二) 汽車修護廠、飛機修理廠、飛機庫。</p> <p>(三) <b>室內停車場</b>、建築物依法附設之室內停車空間。</p>						
第 69 條	<p>泡沫滅火設備之放射方式，依實際狀況就下列各款擇一設置：</p> <p>1. <b>固定式</b>：視防護對象之形狀、構造、數量及性質配置泡沫放出口，其設置數量、位置及放射量，應能有效滅火。</p> <p>2. <b>移動式</b>：水帶接頭至防護對象任一點之水平距離在十五公尺以下。</p>						
第 70 條	<p>固定式泡沫滅火設備之泡沫放出口，依泡沫膨脹比，就下表選擇設置之：</p> <table border="1" data-bbox="331 1021 1276 1321"> <thead> <tr> <th data-bbox="331 1021 833 1085">膨脹比種類</th> <th data-bbox="833 1021 1276 1085">泡沫放出口種類</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="331 1085 833 1150">膨脹比二十以下(低發泡)</td> <td data-bbox="833 1085 1276 1150">泡沫噴頭或泡水噴頭</td> </tr> <tr> <td data-bbox="331 1150 833 1215">膨脹比八十以上一千以下(高發泡)</td> <td data-bbox="833 1150 1276 1215">高發泡放出口</td> </tr> </tbody> </table> <p>備註：膨脹比，指泡沫發泡體積與發泡所需泡沫水溶液體積之比值。</p>	膨脹比種類	泡沫放出口種類	膨脹比二十以下(低發泡)	泡沫噴頭或泡水噴頭	膨脹比八十以上一千以下(高發泡)	高發泡放出口
膨脹比種類	泡沫放出口種類						
膨脹比二十以下(低發泡)	泡沫噴頭或泡水噴頭						
膨脹比八十以上一千以下(高發泡)	高發泡放出口						
第 71 條	<p>泡沫頭，依下列規定配置：</p> <p>2. <b>室內停車空間</b>或汽車修理廠等場所，使用泡沫噴頭，並樓地板面積每九平方公尺設置一個，使防護對象在其有效防護範圍內。</p> <p>5. <b>室內停車空間</b>有複層式停車設施者，其最上層上方之裝置面設泡沫噴頭，並延伸配管至車輛間，使能對下層停車平臺放射泡沫。但感知撒水頭之設置，得免延伸配管。</p>						

[12] 各類場所消防安全設備設置標準(113 年 04 月 24 日修正版本)。

第 79 條	泡沫原液與水混合使用之濃度，依下列規定： 1.蛋白質泡沫液 3%或 6%。 2.合成界面活性泡沫液 1%或 3%。 3.水成膜泡沫液 3%或 6%。
--------	---

2. 泡沫噴頭認可基準 [13]

(1) 壹、七、發泡倍率

依(圖 7)所示之試驗裝置，配置四個噴頭，在所使用藥劑之濃度上限值及下限值，以使用壓力之上限值及下限值進行放射，測量其發泡倍率，該發泡倍率需在五倍以上，兩個量筒中，其中如有一個未達規定值者，分別依放射壓力上限值及下限值所得之平均值來判定。

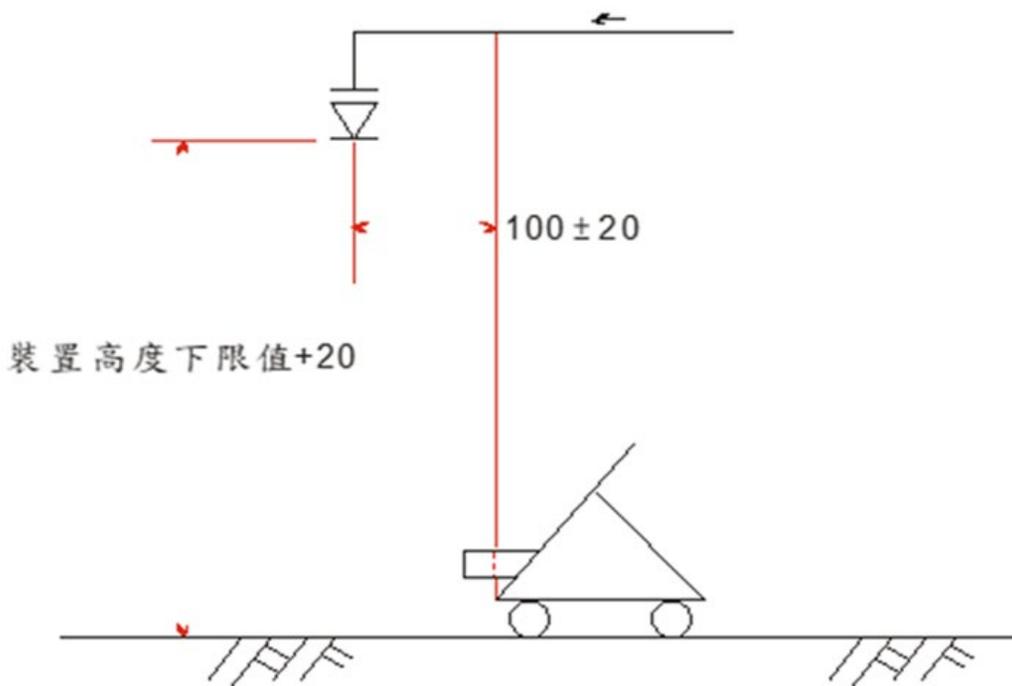


圖 7：發泡倍率裝置 [14]

[13] 泡沫噴頭認可基準(101 年 11 月 14 日內授消字第 10108247532 號)。

[14] 泡沫噴頭認可基準附圖 3 發泡倍率試驗裝置。

(2) 壹、八、25%還原時間

與發泡倍率試驗同時進行。發泡後，其 25%還原時間應在(表 1)所列之規定值以上。兩個量筒中，如其中一個未達規定值者，分別依放射壓力上限值及下限值所得之平均值來判定。

表 2 25%還原時間

泡沫藥劑種類	25%還原時間(sec)
蛋白泡沫滅火藥劑	60
合成界面活性劑泡沫滅火藥劑	30
水成膜泡沫滅火藥劑	60

(3) 壹、九、滅火試驗

配置四個泡沫噴頭，並依(圖 8)所示，下方置一鐵製燃燒盤(長 200 cm × 寬 100 cm × 高 20 cm)，燃燒盤內注入水 60ℓ、汽車用無鉛汽油(符合 CNS 12614 者)60ℓ。泡沫噴頭之裝置位置應在其裝置高度下限值處 (高度之量測係指自下方燃燒盤上緣起至噴頭下端間之距離)，依各該滅火藥劑種類及其濃度下限值之泡沫水溶液，於點火 1 分鐘後，以泡沫噴頭使用壓力下限值放射 1 分鐘。須能於 1 分鐘內有效滅火，且放射停止後，1 分鐘內不得復燃。

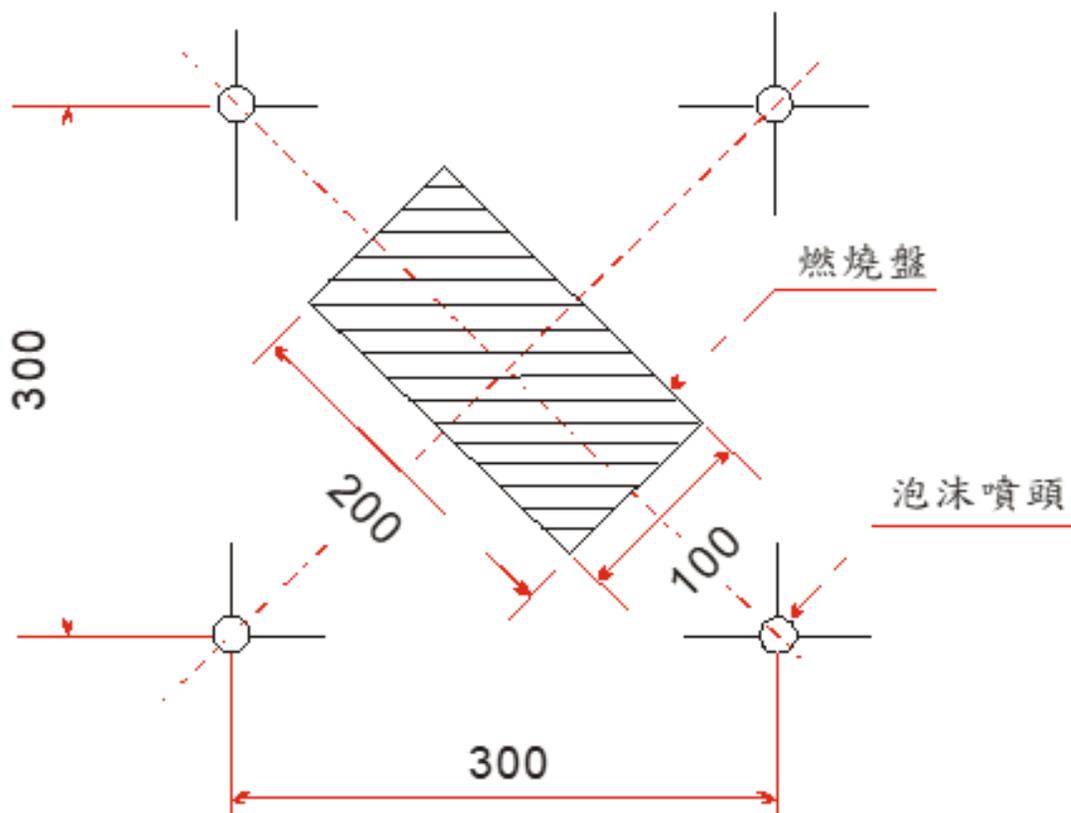


圖 8：滅火試驗裝置 [15]

[15] 泡沫噴頭認可基準附圖 4 滅火試驗裝置。

## 參、實驗方法

### 一、實驗樣品

#### 1. 泡沫原液

本研究選擇市面上販售之泡沫原液 4 種，且均不含有『氟辛烷磺酸(PFOS)』、『全氟辛烷磺酸鋰鹽(LPOS)』、『全氟辛烷磺醯(丁)氟(POSF)』及『全氟辛酸(PFOA)』等 4 項之滅火藥劑，樣品規格(如表 3)水成膜泡沫原液樣品規格一覽表：

表 3 水成膜泡沫液規格一覽表

樣品編號	甲	乙	丙	丁
種類	水成膜泡沫液	水成膜泡沫液	水成膜泡沫液	水成膜泡沫液
混合比例	3%	3%	3%	3%
膨脹比種類	低發泡	低發泡	低發泡	低發泡
比重	1.002	1.002	1.004	1.004
PH 值	8.12	7.41	8.79	8.77
黏度	低於 0°C>100cst	2~6cst(20°C)	<10cst(20°C)	<10cst(20°C)

(資料來源：本研究整理)

#### 2. 泡沫噴頭

本研究選擇市面上銷售量不錯之 4 種泡沫噴頭，需經內政部核可之『消防機具器材及設備登錄機構』認可過之產品，樣品規格(如表 4)一覽表：

表 4 泡沫噴頭樣品規格一覽表

樣品編號	A	B	C	D
使用壓力範圍 (kgf/cm <sup>2</sup> )	2.5~6.0	2.5~6.0	2.5~6.0	2.5~6.0
放射量範圍 (L/min)	35~54	35~54	35~54	35~54
安裝高度(m)	2~5	2~6	2~6	1.5~8.0
全高(mm)	40.8±0.5	42.3±1	46±2	53±1.5
最大直徑 (mm)	47±0.5	57.5±1	55.5±2	34±1.5
網目	16	14	16	16

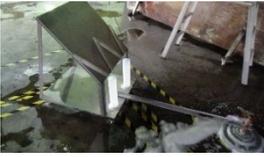
(資料來源：本研究整理)

## 二、實驗儀器設備

### 1. 實驗設備清單(如表 5)

表 5 儀器設備規格一覽表

項次	儀器名稱	儀器照片	儀器編號	儀器說明
1	數位環境溫濕度紀錄器		EA1-001	廠牌：T&D 型號：TR-72Ui 使用範圍：10°C~40°C 40%~100% 解析度：0.1°C，1%
2	電子計算器		FC0-901	廠牌：CASIO 型號：fx-350Ms 設備規格：8 位數以上
3	加壓送水裝置(消防幫浦)		EC0-096	廠牌：九如 型號：80DL50-25X7 設備規格：0-10000 LPM 0-50 kgf
4	量秤(天平)		ED1-019	廠牌：UKB 型號：UKB-15
			ED1-020	設備規格：0~15kg 解析度：0.001 kg
5	碼錶		EA1-003	廠牌：CASIO 型號：HS-80TW、HS-80TW-1
			EA3-002	設備規格：0~9:59'59"99sec 解析度：0.01s

項次	儀器名稱	儀器照片	儀器編號	儀器說明
6	壓力傳送器		EA1-024	廠牌：WIKA 型號：S-20 設備規格：0~40 kgf/cm <sup>2</sup> 解析度：0.001kgf/cm <sup>2</sup>
7	發泡倍率、 25%還原時間 試驗設備		EC0-081	名稱：泡沫噴頭試驗設備 型號：N/A 使用範圍：符合泡沫噴頭基準規定
8	滅火試驗設備		EC0-081	名稱：泡沫噴頭試驗設備 型號：N/A 使用範圍：符合泡沫噴頭基準規定
9	混合槽		EC0-081	名稱：泡沫噴頭試驗設備 型號：N/A 使用範圍：符合泡沫噴頭基準規定
10	排煙淨化設備		ECO-039	名稱：排煙淨化設備 型號：N/A 使用範圍：火災試驗使用

(資料來源：本研究整理)

### 三、實驗定義與步驟

#### 1. 實驗定義：發泡倍率(如圖 9)

發泡倍率係測量在未混入空氣前之泡沫水溶液與最終發泡量之比率，故應預先測出刻度 1000ml(量筒之容器重量，次將泡沫試料測量至公克單位，再利用下列公式計算之，發泡倍率需 5 倍以上，方符合規定值。

$1000\text{ml} \div \text{扣除容器重量後淨重換算之試料體積 (ml)} = \text{發泡倍率}$ 。



圖 9：發泡倍率

(資料來源：本研究整理)

#### 2. 實驗步驟：發泡倍率

- (1) 將規定水量注入原液混合槽，並混入泡沫原液(3%泡沫水溶液)。
- (2) 壓力錶及泡沫噴頭安裝於發泡倍率試驗配管上。
- (3) 調整安裝高度至廠商申請下限值+20cm 位置。
- (4) 將兩隻量筒至於磅秤上並歸零。
- (5) 啟動泡沫測試水幫浦開關。
- (6) 調整放射壓力(kgf/cm<sup>2</sup>)至廠商申請之壓力上、下限值。
- (7) 調整試驗採集架與泡沫噴頭位置於 0.8m~1.2m 範圍內。
- (8) 開始採集泡沫液。
- (9) 採集發泡至量筒充滿泡沫為止，當泡沫盛滿後即按下碼錶讀秒。
- (10) 同時將採集量筒移至泡沫試料採集器外部，清除多餘之泡沫及附著在量筒外側與底部之泡沫。
- (11) 以磅秤量測量筒採集泡沫之重量。

(12) 計算發泡倍率=1000ml ÷ 量筒採集泡沫之重量(總重-空重)。

(13) 紀錄測試結果。

### 3. 實驗定義：25%還原時間(如圖 10)

泡沫之 25% 還原時間，係指自所採集之泡沫消泡為泡沫水溶液量，還原至全部泡沫水溶液量之 25% 止所需之時間。因其特別著重水之保持能力及泡沫之流動性，故以下列方法測定，測定 25%還原時間係以測量發泡倍率時所用之試料進行，如將泡沫試料之淨重分為四等分，即可得所含泡沫水溶液量之 25% (單位.ml)，為測得還原至此量所需時間，應先將量筒置於平面上，利用量筒上之刻度觀察泡沫水溶液還原至 25% 之所需時間，水成膜泡沫液之 25%還原時間需 60 sec 以上，方符合規定值。

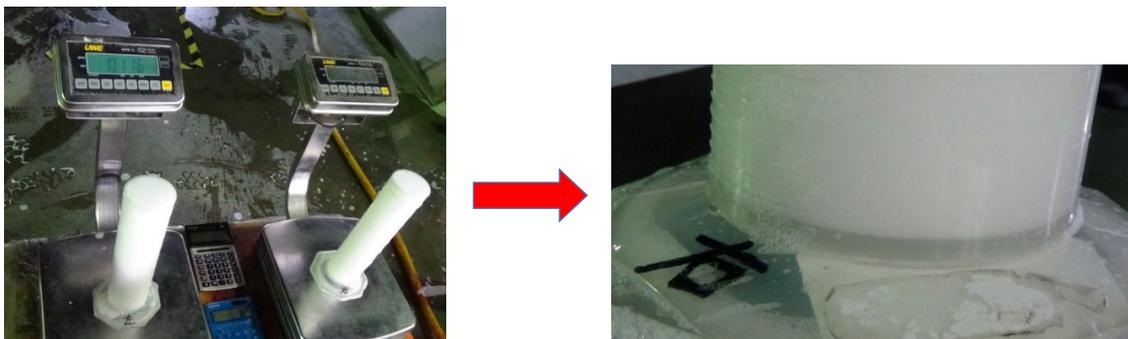


圖 10：25%還原時間

(資料來源：本研究整理)

### 4. 實驗步驟：25%還原時間

- (1) 將規定水量注入原液混合槽，並混入泡沫原液(3%泡沫水溶液)。
- (2) 壓力錶及泡沫噴頭安裝於發泡倍率試驗配管上。
- (3) 調整安裝高度至廠商申請下限值+20cm 位置。
- (4) 將兩隻量筒至於磅秤上並歸零。
- (5) 啟動泡沫測試水幫浦開關。
- (6) 調整放射壓力(kgf/cm<sup>2</sup>)至廠商申請之壓力上、下限值。
- (7) 調整試驗採集架與泡沫噴頭位置於 0.8m~1.2m 範圍內。
- (8) 開始採集泡沫液。
- (9) 採集發泡至量筒充滿泡沫為止，當泡沫盛滿後即按下碼錶讀秒。

(10) 同時將採集量筒移至泡沫試料採集器外部，清除多餘之泡沫及附著在量筒外側與底部之泡沫。

(11) 將採集後泡沫量筒上之刻度觀察泡沫水溶液還原至 25%時之所需時間。

(假設泡沫試料之淨重為 160g，1 g 換算 1ml，25% 容量值為  $160 \div 4 = 40(\text{ml})$ ，故測定至還原 40ml所需時間，以判定其性能)

(12) 當還原到達 25%時，停止計時。

(13) 紀錄測試結果。

### 5. 實驗定義：滅火(如圖 11)

『泡沫噴頭之裝置位置應在其裝置高度下限值處（高度之量測係指自下方燃燒盤上緣起至噴頭下端間之距離），依各該滅火藥劑種類及其濃度下限值之泡沫水溶液，於點火 1 分鐘後，以泡沫噴頭使用壓力下限值放射 1 分鐘，須能於 1 分鐘內有效滅火，且放射停止後，1 分鐘內不得復燃。



圖 11：滅火實驗

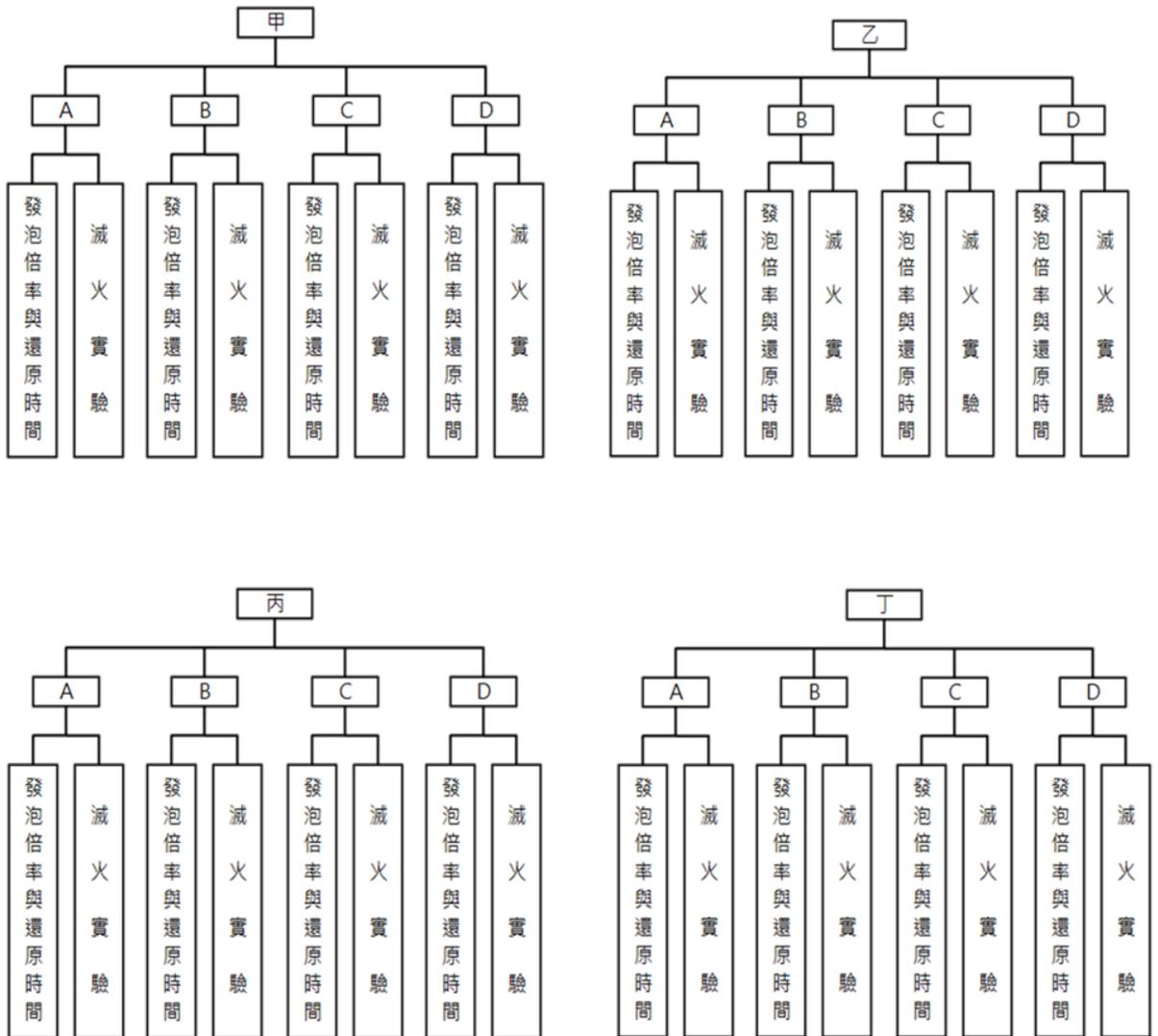
(資料來源：本研究整理)

## 6. 實驗步驟：滅火

- (1) 將規定水量注入原液混合槽，並混入泡沫原液(3%泡沫水溶液)。
- (2) 壓力錶及泡沫噴頭安裝於分布試驗配管上。
- (3) 調整安裝高度至廠商申請值之下限位置。
- (4) 啟動泡沫測試水幫浦開關。
- (5) 調整放射壓力(kgf/cm<sup>2</sup>)至廠商申請之壓力下限值。
- (6) 於分布試驗配管下方置一鐵製燃燒盤  
(長 200 cm×寬 100 cm×高 20 cm)。
- (7) 於燃燒盤內注入水 60ℓ及正庚烷 60ℓ。
- (8) 以碼表計時，預燃 1 分鐘。
- (9) 1 分鐘後開啟出水控制閥，並以碼表計時，進行噴射 1 分鐘開始滅火。
- (10) 以目視觀察 1 分鐘後有無復燃。
- (11) 紀錄測試結果。

四、實驗項目及流程(如表 6)

表 6 實驗項目及流程表



## 肆、實驗方法

## 一、實驗結果數據(發泡倍率與 25%還原時間、滅火時間)

1. 本研究以甲原液搭配 A、B、C、D 四種泡沫噴頭進行發泡倍率與 25%還原時間試驗，實驗結果如表 7：

表 7 甲原液搭配 ABCD 噴頭之發泡倍率與 25%還原時間實驗結果

原液代號	噴頭代號	環境溫度 (°C)	環境濕度 (%)	風速 (m/sec)	試驗高度 (m)	試驗壓力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	泡沫水溶液重(g)	發泡倍率	25%泡沫水溶液重(g)	還原時間 (sec)	平均發泡倍率	平均還原時間(sec)
甲	A	26.4	70	0	2.2	2.5	123	8.1	30	89.5	8.0	90.2
							126	7.9	31	90.9		
						6.0	149	6.7	37	153.6		
							153	6.5	38	162.6		
甲	B	28.3	67	0	2.2	2.5	113	8.8	28	56.3	8.8	55.9
							112	8.9	28	55.5		
						6.0	185	5.4	46	120.0		
							165	6.0	41	117.1		
甲	C	26.7	69	0	2.2	2.5	112	8.9	28	117.7	8.9	120.8
							110	9.0	27	124.0		
						6.0	131	7.6	32	173.5		
							136	7.3	34	188.2		
甲	D	27.1	69	0	1.7	2.5	108	9.2	27	95.2	9.5	101.0
							102	9.8	25	106.9		
						6.0	129	7.7	32	168.3		
							128	7.8	32	165.9		

(資料來源：本研究整理)

2. 本研究以乙原液搭配 A、B、C、D 四種泡沫噴頭進行發泡倍率與 25%還原時間試驗，實驗結果如表 8：

表 8 乙原液搭配 ABCD 噴頭之發泡倍率與 25%還原時間實驗結果

原液代號	噴頭代號	環境溫度 (°C)	環境濕度 (%)	風速 (m/sec)	試驗高度 (m)	試驗壓力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	泡沫水溶液重(g)	發泡倍率	25%泡沫水溶液重(g)	還原時間 (sec)	平均發泡倍率	平均還原時間(sec)
乙	A	31.4	68	0	2.2	2.5	120	8.3	30	73.7	8.4	70.2
							117	8.5	29	66.8		
						6.0	148	6.7	37	124.5		
							147	6.8	36	119.7		
乙	B	31.2	68	0	2.2	2.5	116	8.6	29	52.3	9.9	50.5
							89	11.2	22	48.8		
						6.0	143	6.9	35	79.7		
							193	5.1	48	69.6		
乙	C	31.1	69	0	2.2	2.5	108	9.2	27	88.8	8.9	88.4
							115	8.6	28	88.0		
						6.0	138	7.2	34	118.6		
							136	7.3	34	139.7		
乙	D	31.1	69	0	1.7	2.5	106	9.4	26	74.2	9.4	74.3
							106	9.4	26	74.4		
						6.0	127	7.8	31	125.3		
							126	7.9	31	114.7		

(資料來源：本研究整理)

3. 本研究以丙原液搭配 A、B、C、D 四種泡沫噴頭進行發泡倍率與 25%還原時間試驗，實驗結果如表 9：

表 9 丙原液搭配 ABCD 噴頭之發泡倍率與 25%還原時間實驗結果

原液代號	噴頭代號	環境溫度 (°C)	環境濕度 (%)	風速 (m/sec)	試驗高度 (m)	試驗壓力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	泡沫水溶液重(g)	發泡倍率	25%泡沫水溶液重(g)	還原時間 (sec)	平均發泡倍率	平均還原時間(sec)
丙	A	27.3	82	0	2.2	2.5	116	8.6	29	81.9	8.4	80.1
							121	8.2	30	78.3		
						6.0	160	6.2	40	131.2	6.1	133.5
							163	6.1	40	135.9		
丙	B	27.5	80	0	2.2	2.5	124	8.0	31	62.3	8.1	60.2
							121	8.2	30	58.2		
						6.0	193	5.1	48	91.5	5.3	90.6
							178	5.6	44	89.7		
丙	C	27.5	80	0	2.2	2.5	108	9.2	27	91.8	8.8	91.2
							119	8.4	29	90.7		
						6.0	118	8.4	29	139.1	8.0	136.5
							130	7.6	32	133.9		
丙	D	27.7	79	0	1.7	2.5	115	8.6	28	80.7	8.6	80.4
							116	8.6	29	80.1		
						6.0	146	6.8	36	136.9	6.7	135.4
							150	6.6	37	134.0		

(資料來源：本研究整理)

4. 本研究以丁原液搭配 A、B、C、D 四種泡沫噴頭進行發泡倍率與 25%還原時間試驗，實驗結果如表 10：

表 10 丁原液搭配 ABCD 噴頭之發泡倍率與 25%還原時間實驗結果

原液代號	噴頭代號	環境溫度 (°C)	環境濕度 (%)	風速 (m/sec)	試驗高度 (m)	試驗壓力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	泡沫水溶液重(g)	發泡倍率	25%泡沫水溶液重(g)	還原時間 (sec)	平均發泡倍率	平均還原時間(sec)
丁	A	27.3	64	0	2.2	2.5	113	8.8	28	94.4	8.9	98.5
							110	9.0	27	102.6		
						6.0	132	7.5	33	152.7	7.6	146.5
							128	7.8	32	140.3		
丁	B	27.8	61	0	2.2	2.5	109	9.1	27	59.3	9.7	61.6
							97	10.3	24	63.9		
						6.0	157	6.3	39	101.6	7.7	104.5
							108	9.2	27	107.4		
丁	C	28.3	60	0	2.2	2.5	113	8.8	28	95.4	8.6	101.5
							117	8.5	29	107.6		
						6.0	111	9.0	27	140.5	7.5	131.1
							163	6.1	40	121.7		
丁	D	28.3	60	0	1.7	2.5	110	9.0	27	88.9	8.9	85.5
							113	8.8	28	82.1		
						6.0	116	8.6	29	138.1	8.4	138.5
							120	8.3	30	139.0		

(資料來源：本研究整理)

5. 本研究以甲原液搭配 A、B、C、D 四種泡沫噴頭進行滅火試驗，實驗結果如表 11：

表 11 甲原液搭配 ABCD 噴頭之滅火時間實驗結果

原液代號	噴頭代號	環境溫度 (°C)	環境濕度 (%)	風速 (m/sec)	試驗高度 (m)	試驗壓力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	滅火時間 (sec)
甲	A	28.6	74	0	2.0	2.5	48
甲	B	29.5	64	0	2.0	2.5	41
甲	C	32.3	61	0	2.0	2.5	54
甲	D	33.3	59	0	1.5	2.5	47

(資料來源：本研究整理)

6. 本研究以乙原液搭配 A、B、C、D 四種泡沫噴頭進行滅火試驗，實驗結果如表 12：

表 12 乙原液搭配 ABCD 噴頭之滅火時間實驗結果

原液代號	噴頭代號	環境溫度 (°C)	環境濕度 (%)	風速 (m/sec)	試驗高度 (m)	試驗壓力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	滅火時間 (sec)
乙	A	33.9	57	0	2.0	2.5	59
乙	B	34.1	55	0	2.0	2.5	52
乙	C	33.5	57	0	2.0	2.5	75
乙	D	29.3	67	0	1.5	2.5	76

(資料來源：本研究整理)

7. 本研究以丙原液搭配 A、B、C、D 四種泡沫噴頭進行滅火試驗，實驗結果如表 13：

表 13 丙原液搭配 ABCD 噴頭之滅火時間實驗結果

原液代號	噴頭代號	環境溫度 (°C)	環境濕度 (%)	風速 (m/sec)	試驗高度 (m)	試驗壓力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	滅火時間 (sec)
丙	A	27.7	77	0	2.0	2.5	51
丙	B	28.4	55	0	2.0	2.5	47
丙	C	28.6	56	0	2.0	2.5	73
丙	D	28.5	57	0	1.5	2.5	64

(資料來源：本研究整理)

8. 本研究以丙原液搭配 A、B、C、D 四種泡沫噴頭進行滅火試驗，實驗結果如表 14：

表 14 丁原液搭配 ABCD 噴頭之滅火時間實驗結果

原液代號	噴頭代號	環境溫度 (°C)	環境濕度 (%)	風速 (m/sec)	試驗高度 (m)	試驗壓力 (kgf/cm <sup>2</sup> )	滅火時間 (sec)
丁	A	28.2	60	0	2.0	2.5	41
丁	B	27.8	64	0	2.0	2.5	43
丁	C	27.2	65	0	2.0	2.5	57
丁	D	26.9	66	0	1.5	2.5	49

(資料來源：本研究整理)

## 二、實驗數據分析

1. 本研究以 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁四種原液來進行壓力下限(2.5kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)之發泡倍率實驗，實驗結果由圖 12 中可得知其平均發泡倍率均在規定值 5 倍以上。

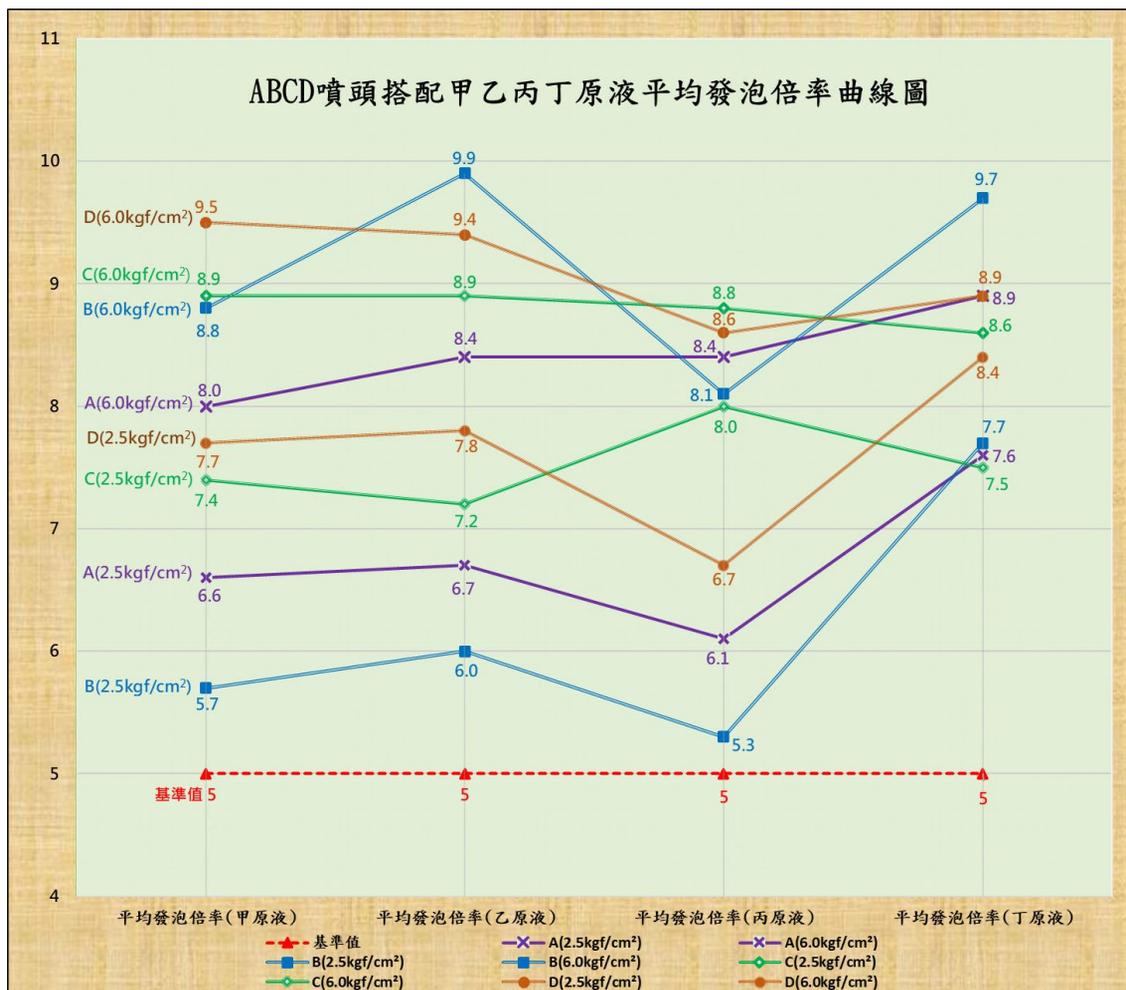


圖 12：ABCD 噴頭搭配甲乙丙丁原液平均發泡倍率曲線圖

(資料來源：本研究整理)

2. 本研究以 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行壓力下限(2.5kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)之 25%還原時間(簡稱還原時間)實驗，實驗結果由圖 13 中可得知，除了 B 噴頭於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)搭配甲及乙原液時未達規定值 60 秒以上外，其餘均符合基準規定。

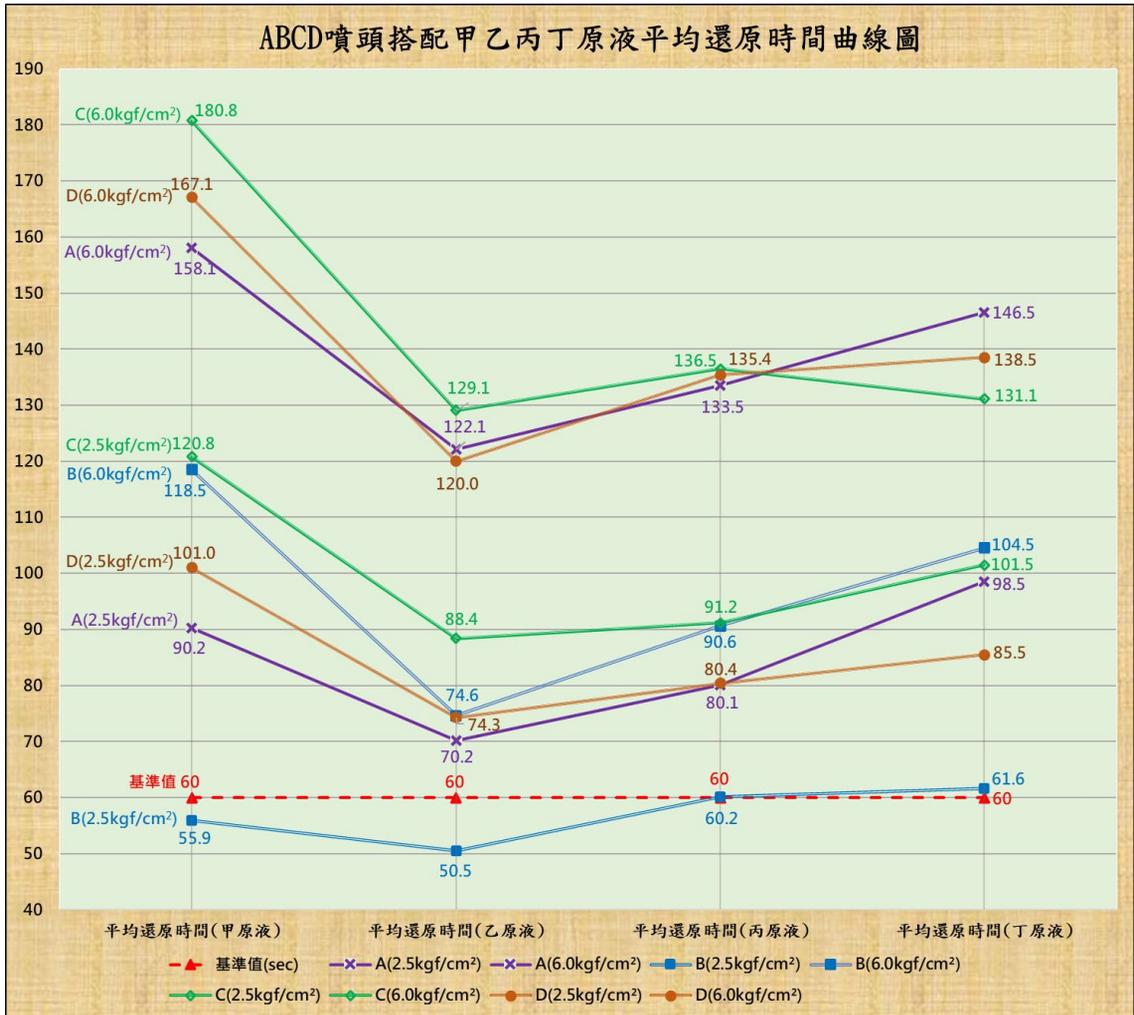


圖 13：ABCD 噴頭搭配甲乙丙丁原液平均還原時間曲線圖

(資料來源：本研究整理)

3. 本研究以 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行壓力下限 (2.5kgf/cm<sup>2</sup>)滅火實驗，實驗結果由圖 14 中可得知 C、D 噴頭分別搭配乙、丙原液時，其滅火時間均超過 60 秒，其餘則均符合基準規定。

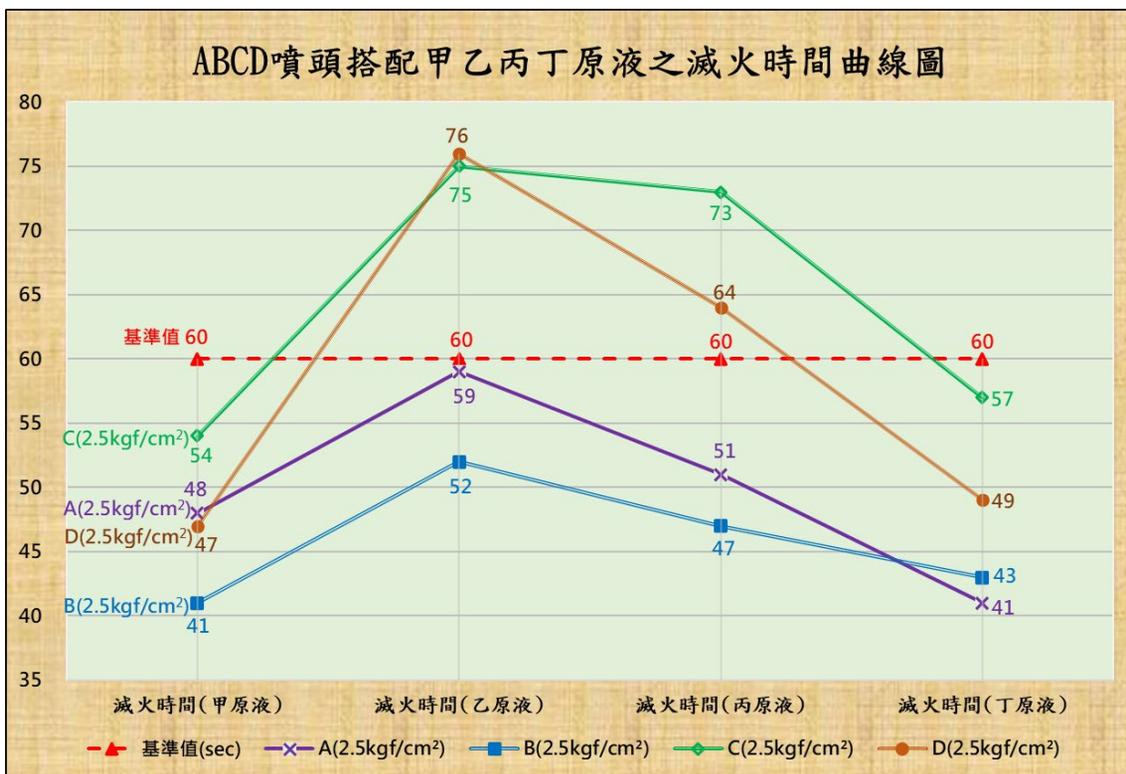


圖 14：ABCD 噴頭搭配甲乙丙丁原液滅火時間曲線圖

(資料來源：本研究整理)

4. 本研究以 A 噴頭搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行平均發泡倍率與平均 25%還原時間(簡稱平均還原時間)實驗，實驗結果如圖 15(A)~圖 15(D)：

(1) 由圖 15(A)中可知：

- a. 當 A 噴頭以壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行『平均發泡倍率』與『平均還原時間』實驗後，各將還原時間由慢至快依序排列，發現無論於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)或壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)其『平均發泡倍率』與『平均還原時間』均無顯著之相關性。
- b. 但若同時一起分析 A 噴頭於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0kgf/cm<sup>2</sup>)搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行『平均發泡倍率』與『平均還原時間』實驗後發現，發泡倍率在壓力下限時會比壓力上限高，同時還原時間在壓力下限時會比壓力上限快，反之。

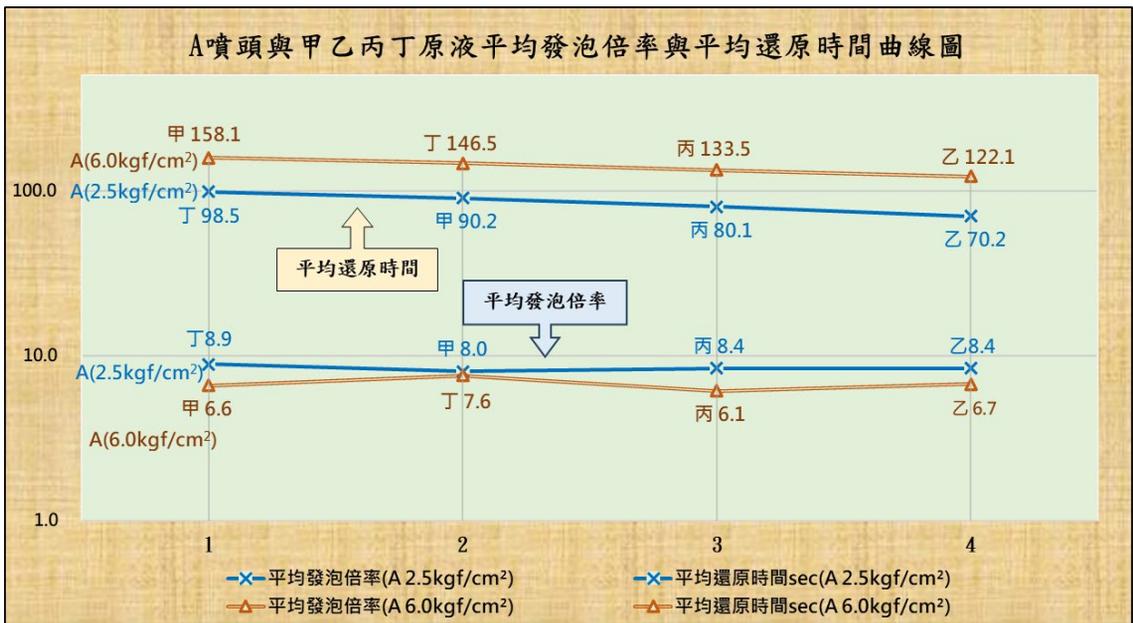


圖 15 (A)：A 噴頭搭配甲乙丙丁原液之平均發泡倍率與平均還原時間曲線圖

(資料來源：本研究整理)

(2) 由圖 15(B)中可知：

- a. 當 B 噴頭以壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行『平均發泡倍率』與『平均還原時間』實驗後，各將還原時間由慢至快依序排列，發現無論於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)或壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)其『平均發泡倍率』與『平均還原時間』均無顯著之相關性。
- b. 但若同時一起分析 B 噴頭於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行『平均發泡倍率』與『平均還原時間』實驗後發現，當壓力下限時、發泡倍率比壓力上限高、還原時間比壓力上限快；當壓力上限時、發泡倍率比壓力下限低、還原時間比壓力下限慢。

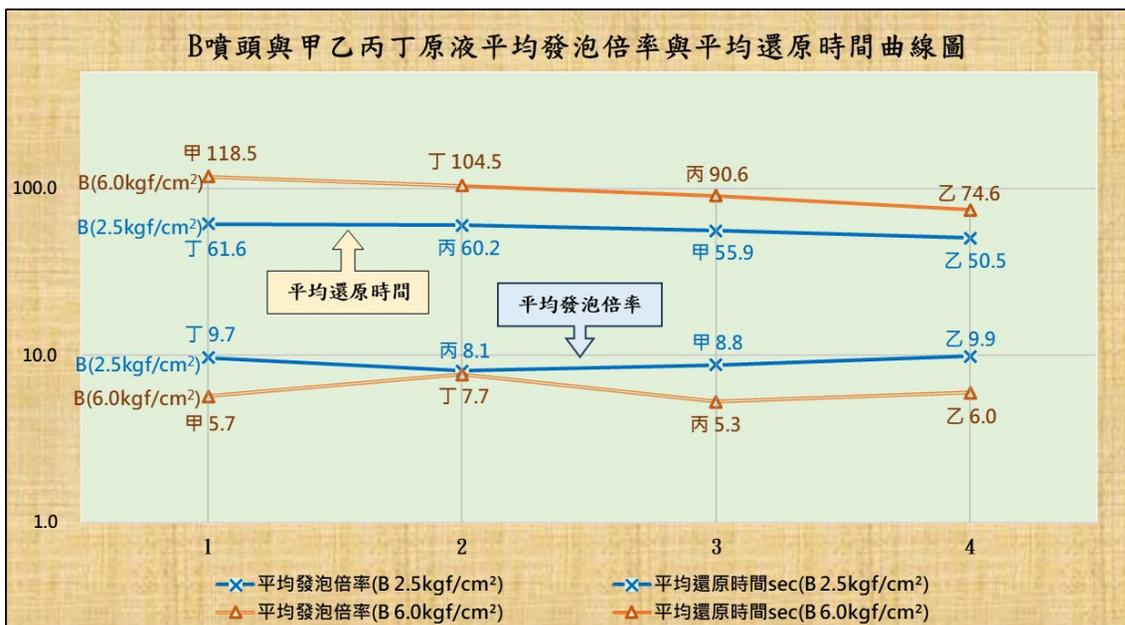


圖 15 (B)：B 噴頭搭配甲乙丙丁原液之平均發泡倍率與平均還原時間曲線圖

(資料來源：本研究整理)

(3) 由圖 15(C)中可知：

- a. 當 C 噴頭以壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行『平均發泡倍率』與『平均還原時間』實驗後，各將還原時間由慢至快依序排列，發現無論於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)或壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)其『平均發泡倍率』與『平均還原時間』均無顯著之相關性。
- b. 但若同時一起分析 C 噴頭於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行『平均發泡倍率』與『平均還原時間』實驗後發現，當壓力下限時、發泡倍率比壓力上限高、還原時間比壓力上限快；當壓力上限時、發泡倍率比壓力下限低、還原時間比壓力下限慢。

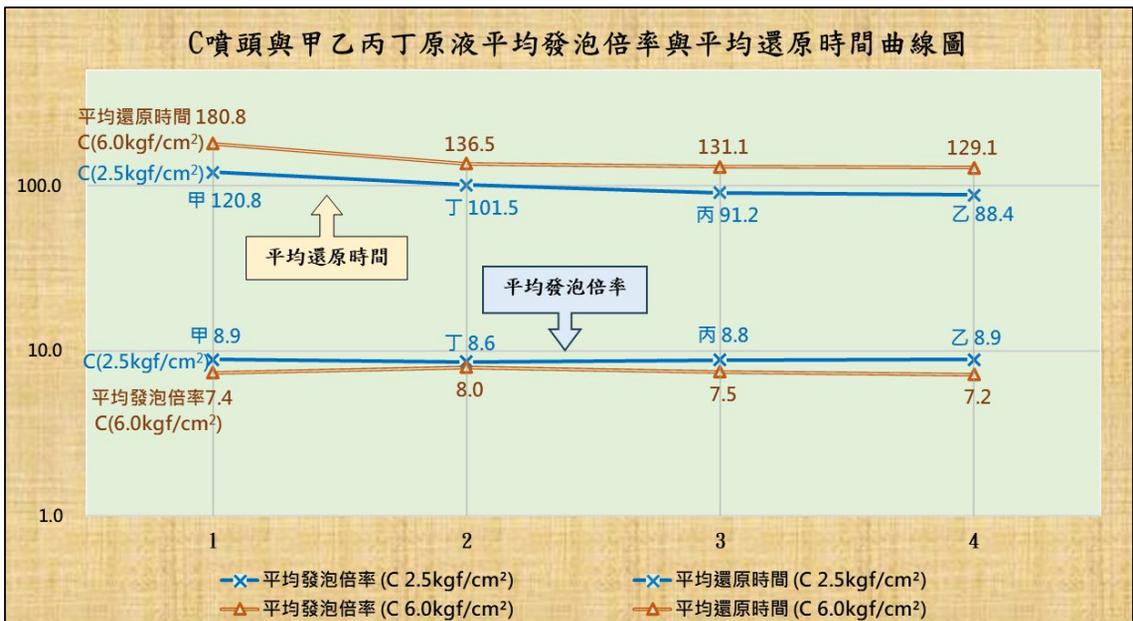


圖 15 (C)：C 噴頭搭配甲乙丙丁原液之平均發泡倍率與平均還原時間曲線圖

(資料來源：本研究整理)

(4) 由圖 15(D)中可知：

- a. 當 D 噴頭以壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行『平均發泡倍率』與『平均還原時間』實驗後，各將還原時間由慢至快依序排列，發現無論於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)或壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)其『平均發泡倍率』與『平均還原時間』均無顯著之相關性。
- b. 但若同時一起分析 D 噴頭於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)及壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行『平均發泡倍率』與『平均還原時間』實驗後發現，當壓力下限時、發泡倍率比壓力上限高、還原時間比壓力上限快；當壓力上限時、發泡倍率比壓力下限低、還原時間比壓力下限慢。

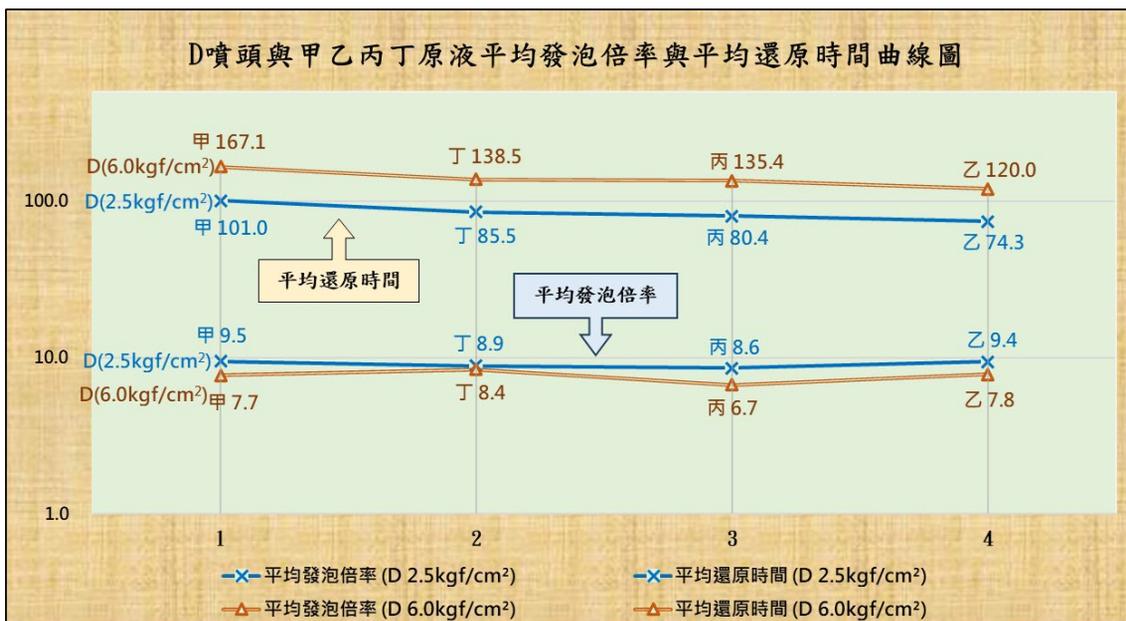


圖 15 (D)：D 噴頭搭配甲乙丙丁原液之平均發泡倍率與平均還原時間曲線圖

(資料來源：本研究整理)

- (5) 綜合上述 4.2、4.(1)、(2)、(3)、(4)，當 ABCD 噴頭以壓力下限( $2.5\text{kgf/cm}^2$ )及壓力上限( $6.0\text{kgf/cm}^2$ )搭配甲、乙、丙、丁四種原液進行『平均發泡倍率』與『平均還原時間』實驗後發現：
- a. 無論於壓力下限( $2.5\text{kgf/cm}^2$ )或壓力上限( $6.0\text{kgf/cm}^2$ )其『平均發泡倍率』與『平均還原時間』均各無顯著之相關性。
  - b. 若同時一起分析壓力上下限之『平均發泡倍率』與『平均還原時間』時，發現有以下現象：  
當壓力小時：發泡倍率比壓力大時高、還原時間比壓力大時快。  
當壓力大時：發泡倍率比壓力小時低、還原時間比壓力小時慢。

5. 本研究以 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁四種原液於壓力下限 (2.5kgf/cm<sup>2</sup>) 進行『滅火時間』與『平均發泡倍率』實驗，將滅火時間由慢至快依序排列，實驗結果由圖 16 中可得知『滅火時間』與『平均發泡倍率』並無顯著相關性。

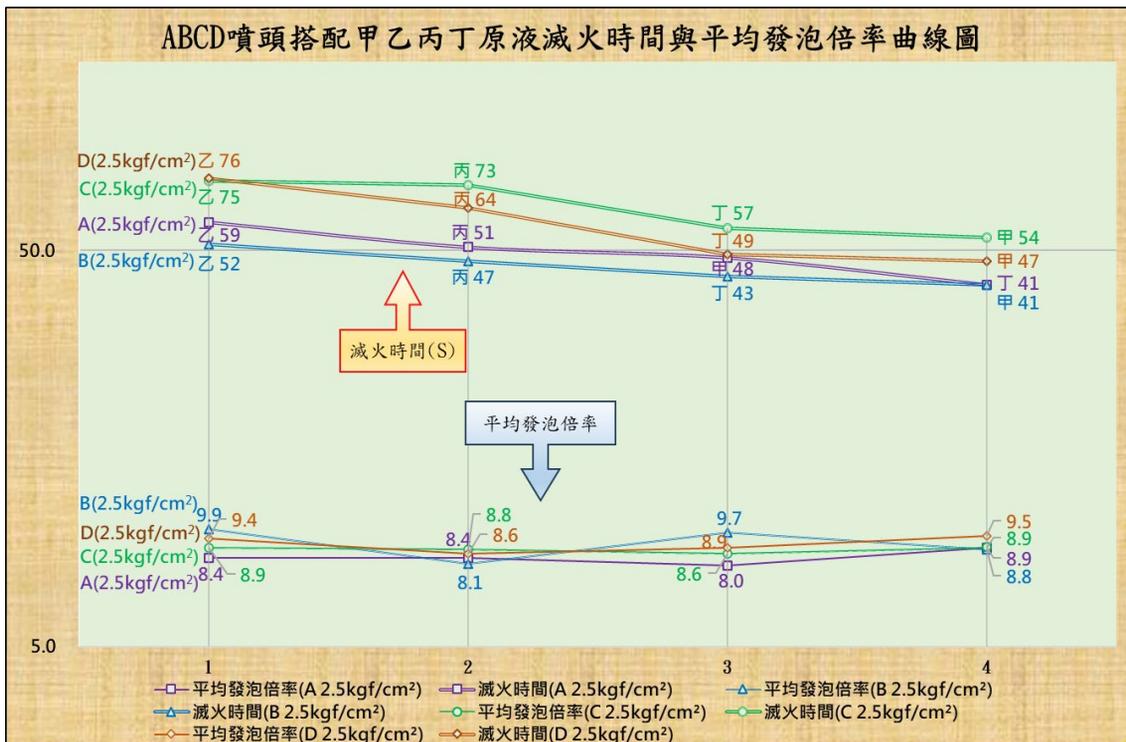


圖 16：ABCD 噴頭搭配甲乙丙丁原液之滅火時間與平均發泡倍率綜合比較曲線圖  
(資料來源：本研究整理)

6. 本研究以 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁四種原液於壓力下限 (2.5kgf/cm<sup>2</sup>) 進行『滅火時間』與『平均還原時間』實驗，將平均還原時間由慢至快依序排列，實驗結果由圖 17 中可得知『滅火時間』與『平均還原時間』成反比現象。

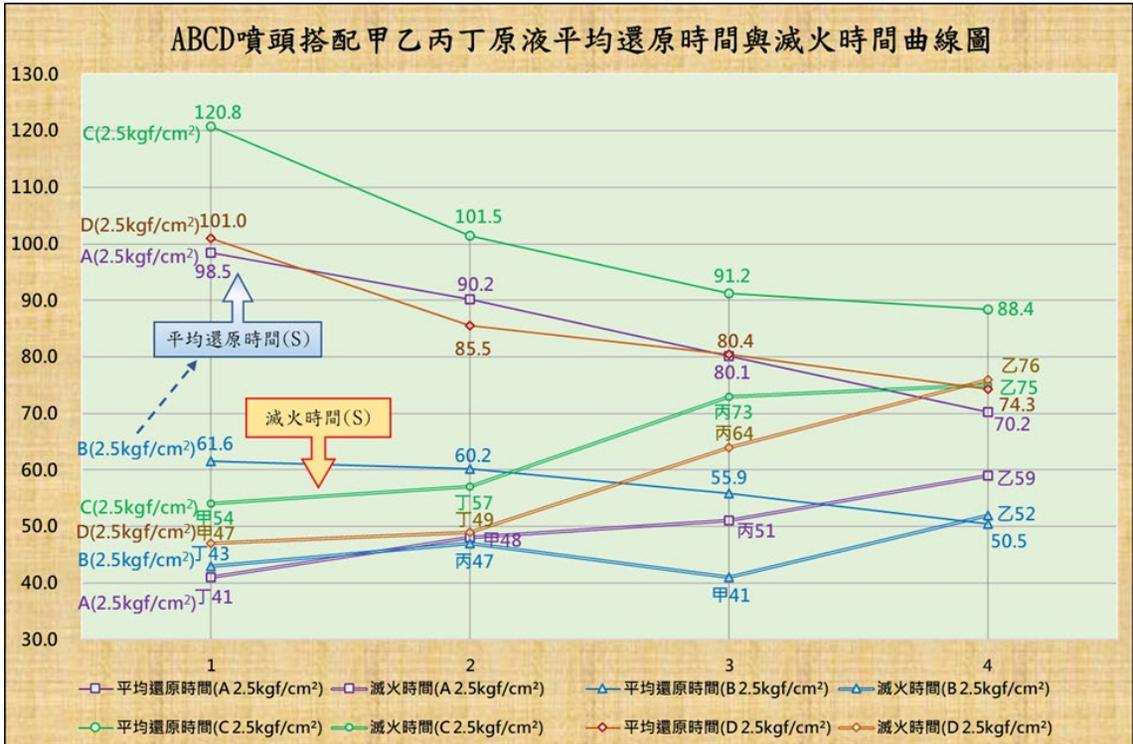


圖 17：ABCD 噴頭搭配甲乙丙丁原液之滅火時間與平均還原時間綜合比較曲線圖  
(資料來源：本研究整理)

## 伍、結論與建議

### 一、研究結論

本研究以實驗法針對目前地下停車場泡沫滅火設備進行模擬實驗，並分析其發泡倍率、25%還原時間及滅火時間，是否會因為不同的泡沫噴頭搭配不同的泡沫原液而有所不同，並作成以下結論：

#### 1. 噴頭搭配原液其平均發泡倍率之關係：

當 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁原液時，由圖 12 發現不論在壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)或壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)，其平均發泡倍率均有達到泡沫噴頭認可基準所規定的『該發泡倍率須在 5 倍以上』。

#### 2. 噴頭搭配原液其平均 25%還原時間之關係：

當 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁原液時，由圖 13 發現在 B 噴頭搭配甲、乙原液於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)時其平均 25%還原時間分別為 55.9 秒及 50.5 秒，未能符合泡沫噴頭認可基準規定之『該還原時間須在 60 秒以上』，其餘的壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)與壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)，平均 25%還原時間均符合泡沫噴頭認可基準規定之『該還原時間須在 60 秒以上』。

#### 3. 噴頭搭配原液其滅火時間之關係：

當 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁原液時，由圖 14 發現在 C 噴頭搭配乙、丙原液於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)時及在 D 噴頭搭配乙、丙原液於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)時，其滅火時間分別為 75 秒、73 秒及 76 秒、64 秒未能符合泡沫噴頭認可基準規定之『須能於 1 分鐘內有效滅火』，其餘的於壓力下限(2.5kgf/cm<sup>2</sup>)時，滅火時間均符合泡沫噴頭認可基準規定之『須能於 1 分鐘內有效滅火』。

#### 4. 噴頭搭配原液其平均發泡倍率與平均 25%還原時間之關係：

當 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁原液時，由圖 15(A)~圖 15(D)中可知，無論於壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)或壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)其平均發泡倍率與平均 25%還原時間均無顯著之相關性。

當把壓力下限(2.5 kgf/cm<sup>2</sup>)與壓力上限(6.0 kgf/cm<sup>2</sup>)之平均發泡倍率與平均 25%還原時間一起綜合分析時，發現有『壓力小→發泡倍率高→還原時間快』；『壓力大→發泡倍率低→還原時間慢』之關係。

#### 5. 噴頭搭配原液其滅火時間與平均發泡倍率之關係：

當 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁原液時，由圖 16 可知於壓力下限(2.5kgf/cm<sup>2</sup>)其滅火時間與平均發泡倍率兩者間並無顯著之相關性。

6. 噴頭搭配原液其平均 25%還原時間與滅火時間之關係：

當 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁原液時，由圖 17 發現於壓力下限(2.5kgf/cm<sup>2</sup>)，將平均還原時間由慢至快依序排列，其平均 25%還原時間與滅火時間，會有『還原時間慢→滅火時間快』及『還原時間快→滅火時間慢』之趨勢。

7. 本實驗一開始就選用 112 年 1 月 1 日起消防署公告，禁止使用含有氟化物等 4 項之滅火藥劑，經由上述 5.1、3.可知，當 A、B、C、D 噴頭搭配甲、乙、丙、丁原液時，滅火時間雖有些不符合泡沫噴頭認可基準規定 60 秒內滅火，但最終全部均能滅火，代表此 4 款市售之泡沫原液搭配認可之 4 種泡沫噴頭實施滅火試驗後，結果均能達到滅火效果，因此若將其泡沫噴頭搭配到正確的原液時，其滅火效能值會更佳。

8. 以本實驗 A、B、C、D 四噴頭廠商研發成本而言，可搭配何種原液：

可採風險評估失誤樹(如下圖 18)之方法來實驗，當發泡倍率、25%還原時間實驗其中有一項不符合泡沫噴頭認可基準規定時，滅火實驗則中止不繼續，由此可知：

- (1) A 噴頭廠商：可搭配之原液為甲、乙、丙、丁。
- (2) B 噴頭廠商：可搭配之原液為丙、丁。
- (3) C 噴頭廠商：可搭配之原液為甲、丁。
- (4) D 噴頭廠商：可搭配之原液為甲、丁。

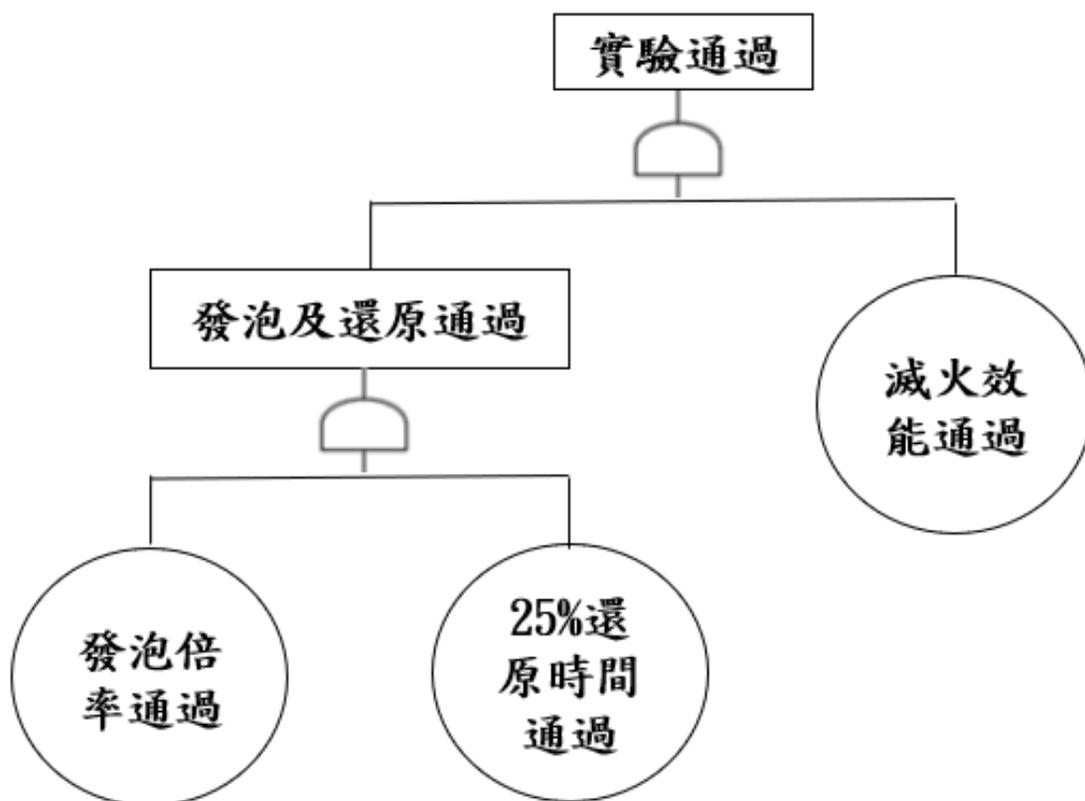


圖 18：風險評估失誤樹

## 二、研究建議

### 1. 對於泡沫原液納入認可檢驗制度取代原先之審核認可之建議：

由本研究發現泡沫噴頭與泡沫原液的搭配性，將會是影響火災發生時，是否能有效抑制火勢的主要關鍵，目前國內僅有泡沫噴頭認證，而泡沫原液僅由審核認可來管制，因此建議認證泡沫噴頭時即須同時提出所搭配使用之泡沫原液，經測試合格後標註於認可證書上。

### 2. 對於泡沫原液認可基準草案制定之建議：

目前台灣泡沫原液來自四面八方各個國家，但需有國外相關單位(UL、EN、JIS 等…)之測試報告，方可在國內取得審核認可，原因在於目前國內尚未有相關的基準規範，因此建議擬訂泡沫原液認可基準，讓國內廠商也能在國內直接申請認可。

### 3. 對於泡沫比例混合裝置認可草案制定之建議：

泡沫滅火系統包含了泡沫噴頭、泡沫原液、密閉式撒水頭、一齊開放閥、流水檢知裝置、消防幫浦、泡沫原液槽及比例混合器等…構件，目前除了上述泡沫原液尚未有認可標準外，泡沫比例混合裝置(包含泡沫原液槽及比例混合器)也尚未有認可標準，近年來也常發現泡沫原液槽內隔膜劣化或變質，導致泡沫原液產生變質情形，因此建議擬訂泡沫比例混合裝置認可基準，使泡沫滅火系統趨於完備。

### 4. 泡沫噴頭結合泡沫原液其滅火效能差異之後續研究建議：

由本次實驗中發現每種泡沫噴頭之外觀、吸入口構造及網目數在設計上均有所不同，再加上各原液的表面張力也有所差異，這也是有可能影響滅火效能的因素，以上均可作為未來研究的方向。

## 參考文獻

- [1] 為有效管理滅火器用水及強化液滅火藥劑中 PFOS 等四項等成分含量 1 案，消署預字第 11105003072 號。
- [2] 泡沫滅火設備系統圖，HOCHIKI 株式會社 <https://www.faic.com.tw/foam.htm>。
- [3] UL162 , Foam Equipment and Liquid Concentrates 。
- [4] 泡沫四面體，<https://slideplayer.com/slide/17090672/>。
- [5] NFPA11, Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam 。
- [6] W 消防解密，<https://fireleaks.com/%E6%B3%A1%E6%B2%AB/>。
- [7] 黃騰輝，「消防設備師士對水成膜泡沫含氟物質處置知識、態度及意圖之研究」，碩士論文，民國 111 年。
- [8] 黃堉丞，「泡沫滅火劑之濃度對鋰電池火災實驗之影響研究」，碩士論文，民國 111 年。
- [9] 葉奕，「不同消防泡沫原液混合充填後物化性質影響之研究」，碩士論文，民國 109 年。
- [10] 林建至，「泡沫原液混合比例之研究以全隔膜原液槽及水成膜泡沫液為例」，碩士論文，民國 110 年。
- [11] 郭松敦，「公共危險物品場所泡沫槽比例混合系統 設計、性能標準之研究」，碩士論文，民國 107 年。
- [12] 各類場所消防安全設備設置標準(110 年 06 月 25 日修正版本)。
- [13] 泡沫噴頭認可基準(101 年 11 月 14 日內授消字第 10108247532 號)。
- [14] 泡沫噴頭認可基準附圖 3 發泡倍率試驗裝置。
- [15] 泡沫噴頭認可基準附圖 4 滅火試驗裝置。