

自動撒水系統水力分析驗證比較之研究— 以某一商場為例

Comparison and Verification of Hydraulic Analysis for Automatic Sprinkler System - Take a Shopping Mall as an example

邱晨瑋¹、黃文賢²、陳俊勳³

Chen-Wei Chiu、Wun-Sian Huang、Chun-Hsun Chen

摘要

臺灣商場邁向國際化發展，商品種類多元，內部火載量高。若發生火災，於消防搶救及避難逃生上較為困難。在大型商場中，自動撒水設備在火災防護中扮演重要角色。在世界各國也有成功滅火的案例，故被世界各國與保險界公認為較可靠的滅火設備。

臺灣的自動撒水滅火設備法規主要源自日本之規定，在設計階段，不論是設計理念、流程、計算公式與參數上與美國或中國有所不同。且現今世界各國在設計上多採用電腦軟體水力計算，透過工程學理開發的模擬軟體計算設計，但臺灣現今仍多以手算為主，與歐美各國有相當的不同。

本研究以商場為例，運用 KYPIPE 電腦水力計算軟體及手算結果加以模擬比較，在手算方式中主要分為管徑規格計算與水力計算法，在本研究結果中美國管徑規格法計算結果相較水力計算或臺灣法規，不論是出水量及揚程大相當多，但無法達到依法換算之撒水密度。而水力計算法中，美國與中國相似，惟中國大陸採用舍維列夫公式已有多年時間，於今年（2018 年）起改用海真-威廉斯公式。本研究探討臺灣與先前中國使用的舍維列夫公式和美國之差異性。在本研究計算結果，中國舍維列夫公式核算之幫浦能量要求較美國大。而臺灣手算結果與水力計算軟體模擬之最低需求量相當。此外，以電腦水力計算軟體模擬結果，最低需求量低於水力計算法手算之結果。

¹ 教授；臺灣警察專科學校消防安全科；eswin.wei@gmail.com

² 產業安全與防災學程碩士班；國立交通大學；ee76823@gmail.com

³ 副校長；國立交通大學；chchen@mail.nctu.edu.tw

本研究再以樹狀、網狀與環狀加以比較。在相同幫浦設定、撒水頭間距及管徑條件下，不論是放水量或放射壓力等供水性能皆為網狀最優；環狀次之；樹狀最弱，進而造成撒水密度提升。若維持相同撒水頭間距及撒水密度，網狀與環狀則可採用較小規格之幫浦。

關鍵字：自動撒水設備、水力分析、法規比較

Abstract

In Taiwan, shopping malls have developed increasingly to fit an international market. While commodities have become diversified, the fire load (in shopping malls) is high. It is difficult for people to rescue and escape from fire if a fire occurs. The automatic sprinkler system plays a key role in fire protection in large shopping malls. Due to a number of successful fire extinguishing cases around the world, automatic sprinklers are regarded as a relatively reliable extinguishing system for countries all over the world and insurance companies.

Specifications of Taiwan's automatic sprinkler system mainly originated from Japan, the design process, calculating formula as well as parameters were different from those of the USA or China during the design stage. Nowadays, hydraulic calculation by computer software is adopted by most countries of the world. Calculations and designs are produced through the simulation software developed by engineering theories. However, hand calculation is still used in Taiwan, which is quite different from that of Europe and the USA.

Taken shopping malls as an example, the application of the KYPIPE computer hydraulic calculation software and the results of hand calculations are simulated and compared. In terms of hand calculation, the methods are mainly divided into pipe schedule calculation and hydraulic calculation. The results of this study indicated that the outflow of water and the hydraulic head were quite large through American pipe schedule calculation compared with hydraulic calculation or Taiwan regulations. However, it is unable to achieve delivered density based on conversion accordingly. In terms of hydraulic calculation, USA and China are similar. However, $\Phi \cdot A \cdot H_{\text{ave}}^2$ that has been adopted in China for many years has now been changed to the Hazen-Williams equation this year (2018). This study discusses the differences between hand calculation in Taiwan and hydraulic calculation by $\Phi \cdot A \cdot H_{\text{ave}}^2$ previously used in China and in USA. From the calculation results of this study, pump energy demand calculated by China's

Φ·A·ЩебеЛев is greater than that of the USA. The minimum energy requirement by Taiwan's hand calculation is equivalent to that of hydraulic calculation software simulation. In addition, the minimum demand calculated by hydraulic calculation through computer software simulation is lower than by hand calculation.

In this study, the comparison of the treed pipe, the grid pipe, and the loop pipe would be conducted. Under the same conditions of pump setting, sprinkler spacing and pipe, in terms of water release or radiation pressure the performance of water supply of grid pipe is optimum, followed by loop pipe. Treed pipe is the weakest, which resulted in the incensement of delivered density. If the same sprinkler spacing and delivered density is maintained, the grid pipe and the loop pipe could be used to pump with smaller specifications.

Keyword : Automatic Sprinkler System, Hydraulic Analysis, Comparison of Standard

壹、緒論

一、研究動機

自動撒水設備在火災防護中扮演重要腳色，具有降低溫度、侷限火勢、防阻延燒及撲滅火勢等功能。在世界各國也有成功滅火的紀錄，亦被世界各國消防機關與保險界公認為較可靠的滅火設備【⁴】。

在臺灣撒水設備法規設計上，係源自日本之規範，屬於管徑規格法（Pipe Schedule）計算模式。而歐、美消防法規關於自動撒水設備之設計上多採取水力計算方式（Hydraulic Calculation），並多透過工程學理開發出的電腦模擬軟體計算，並輔以尺寸型式規範，能於消防設備於設計階段呈現模擬結果，使消防設計人員在合法、合理、經濟及有效的原則下，能針對各類型之場所規劃消防設備。此外，國內法規管徑規格計算方法，僅能夠針對樹狀配管形式計算，若碰上環狀等無法確認水流方向之配管模式，將無法以手算方式進行設計。希望藉此比較美國、中國撒水系統設計上之差異性，將有助於消防設備設計者在設計上，有更多的思考方向與設計選擇，並在未來邁向國際化發展。

二、研究目的

⁴ 陳宗傑，自動撒水滅火系統網柵配管與樹狀配管之比較，中華民國消防設備師公會全國聯合會消防技術專刊，中華民國消防設備師公會全國聯合會，2015年

為了檢視商場之自動撒水設備，在現行法規規範設計及管徑規格法計算下，是否達到應有的滅火性能，以確保人民生命、財產安全，及建築物結構之完整。透過水力計算軟體及文獻探討自動撒水設備的水力計算和配管模式相關設計，與美國及中國大陸之差異，以達成以下的目的：

- (一) 探討自動撒水設備管路配置模式，以水力計算軟體驗證比較配管配置模式之差異性。
- (二) 模擬驗證比較各國自動撒水設備設計之差異，作為消防安全設備設計者在設計時之參考。
- (三) 尋求美國、中國大陸與臺灣法規之調和性，供給國內消防主管機關，在未來在需要修改時的建議，進而促使臺灣消防安全設備規範與國際接軌。

貳、研究範圍及研究限制

一、研究範圍

本研究對象為單一用途之商場，並設置密閉濕式自動撒水系統，其為 1 幢 1 棟，地上 4 層、地下 3 層 RC 鋼構建築物，總樓地板面積 45161.57m²，建築物高度 17m，其中撒水幫浦在地下 2 層，而管路的最末端在地上 4 層。

表 1 商場模型基本資料

樓層	高度 (m)	面積 (m ²)	用途	自動撒水設備相關構件數量						
				撒水幫浦	送水口	撒水頭	流水檢知裝置	流水警報器	末端查驗閥	減壓閥
4F	4.5	341.48	機電設備空間			824				
3F	4.5	7688.05	商場 (一般批發、附屬倉庫)、機電設備空間			16	3	6	3	
2F	4	983.39	辦公室、機電設備空間			866	1	1	1	

樓層	高度 (m)	面積 (m ²)	用途	自動撒水設備相關構件數量						
				撒水幫浦	送水口	撒水頭	流水檢知裝置	流水警報器	末端查驗閥	減壓閥
1F	4	7868.76	商場 (一般批發、附屬倉庫)、騎樓		3	289	3	6	3	
B1F	4	9191.43	商場 (一般批發)、停車空間			101	1	1	1	
B2F	3.35	9191.43	停車空間	1		62	1	1	1	1
B3F	3.35	9191.43	停車空間			63	1	1	1	

資料來源：本表自行整理

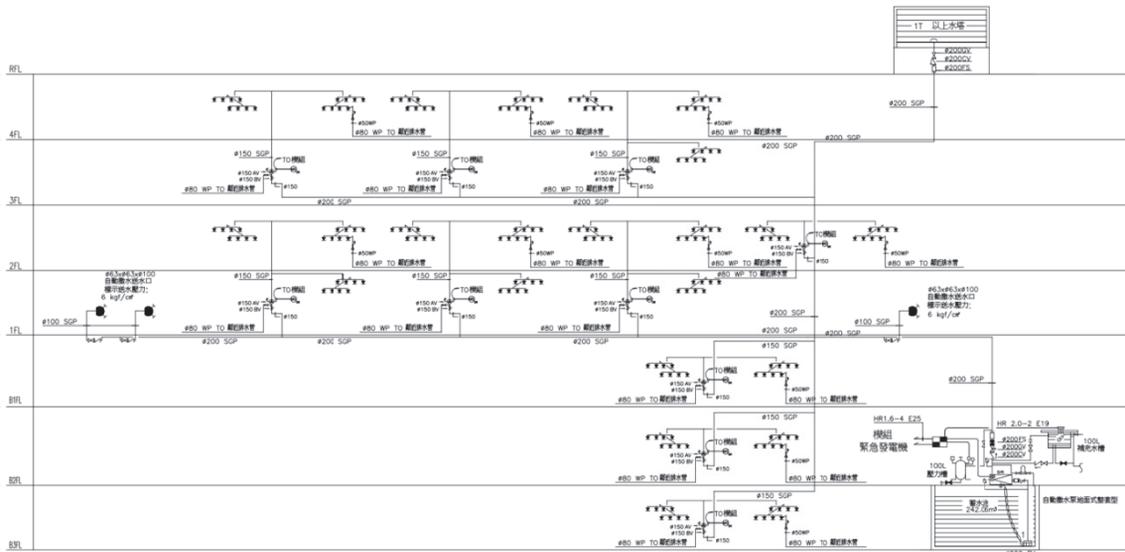


圖 1 商場昇位圖 (本研究繪製)

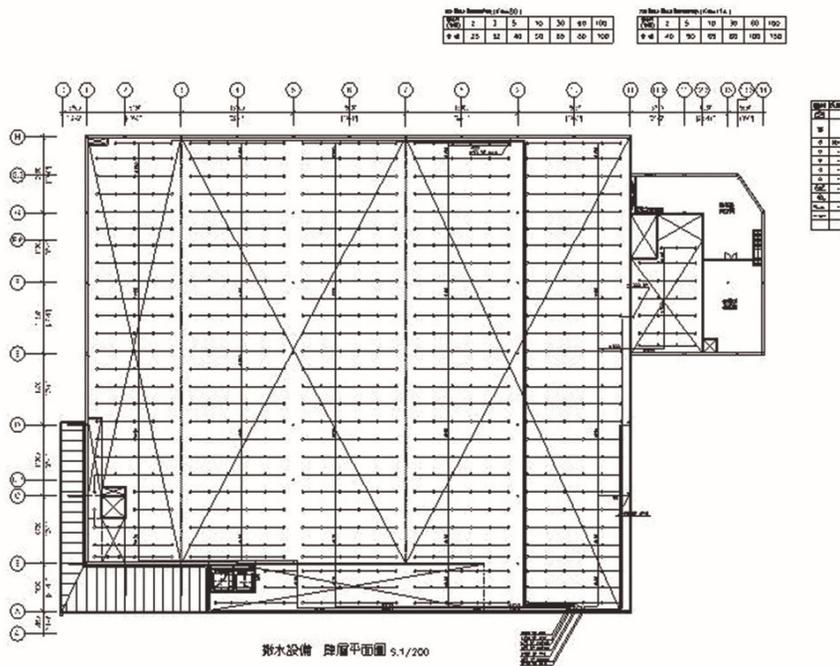


圖 2 商場 4 樓樹狀配置平面圖（本研究繪製）

二、研究限制

- (一) 本研究採用 KYPipe 電腦水力計算軟體驗證為限。
- (二) 本研究不考慮煙控系統或其他滅火設備之影響。
- (三) 僅考慮建築類型為不燃性無阻礙構造且無放水障礙，並不考慮撒水頭與天花板之距離和下垂高度，以及不考慮系統零件故障或管路施工不當及不良情形。
- (四) 本研究不考慮火源的位置、火載量大小造成自動撒水放射之影響。
- (五) 本研究不考慮兩防火區劃以上發生火災，及縱火行為等不在消防系統考慮設計滅火範圍內。
- (六) 撒水密度是評量撒水系統能否早期撲滅火災之重要參數之一，亦與撒水頭間距有關，在正方形配置上較為簡便與表示，故本研究以正方形配置為代表。
- (七) 中國大陸於 2018 年 1 月 1 日起施行「自動噴水滅火系統設計規範 (GB50084-2017)」，開始改用海真-威廉斯公式為水力計算之公式，唯本研究為比較中國大陸使用多年的舍維列夫公式，故以中國「自動噴水滅火系統設計規範 (GB50084-2001)」為主。

參、文獻探討

一、各國自動撒水系統設計原則

(一) 臺灣自動撒水系統設計原則

依臺灣「各類場所消防安全設備設置標準」，系統上分為：密閉濕式、密閉乾式、開放式及預動式等 4 類。在實務上，依據各系統動作原理、特性及場所特性來選用，以及以「密閉式撒水頭認可基準」【⁵】中依不同的環境溫度採用不同標示溫度之撒水頭。

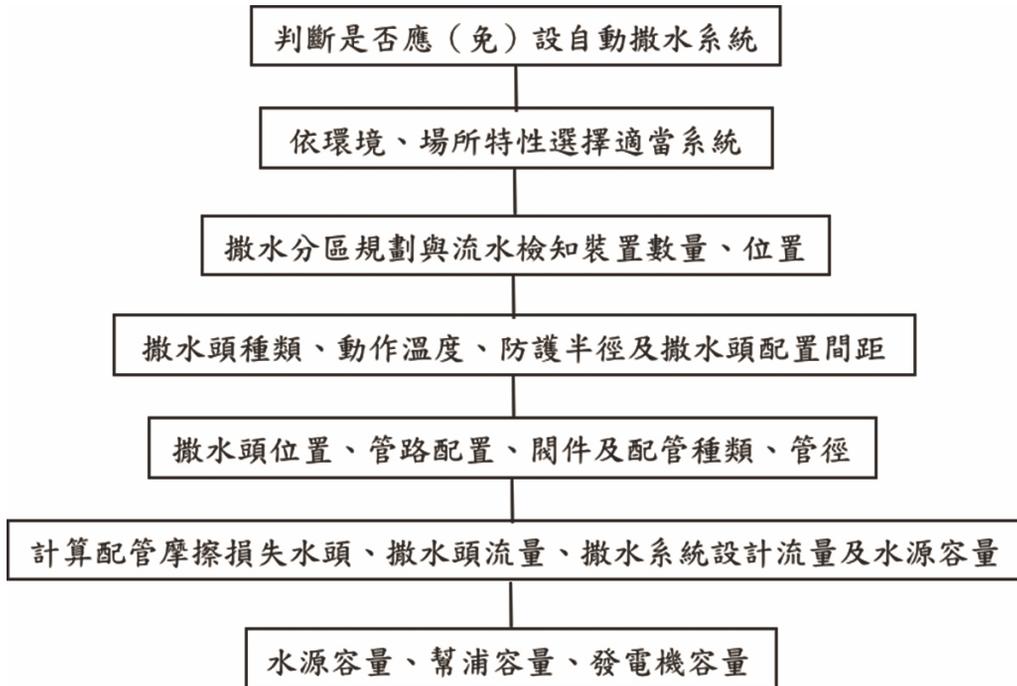


圖 3 臺灣自動撒水系統的設計流程（本研究整理）

(二) 中國大陸自動撒水系統設計原則

依大陸「自動噴水滅火系統設計規範（GB50084-2017）」中規定，在系統的選擇上分為 6 大類：開式系統、濕式系統、乾式系統、預作用系統、雨淋系統、水幕系統。大陸法令中，在系統的選用上有相較台灣明確。例如：濕式系統適用於環境溫度為 4°C~70°C 的場所採用，乾式系統通用於環境溫度低於 4°C 或高於 70°C 的場所採用【⁶】。相對於台灣，無特別明訂適用處所，

⁵ 內政部消防署，密閉式撒水頭認可基準，2017 年

⁶ 中華人民共和國，國家標準-自動噴水滅火系統設計規範（GB50084-2017），2017 年

須由設計者依場所特性選擇適當之系統。

「自動噴水滅火系統設計規範(GB50084-2017)」大陸自動撒水系統設計流程圖，如下圖所示：

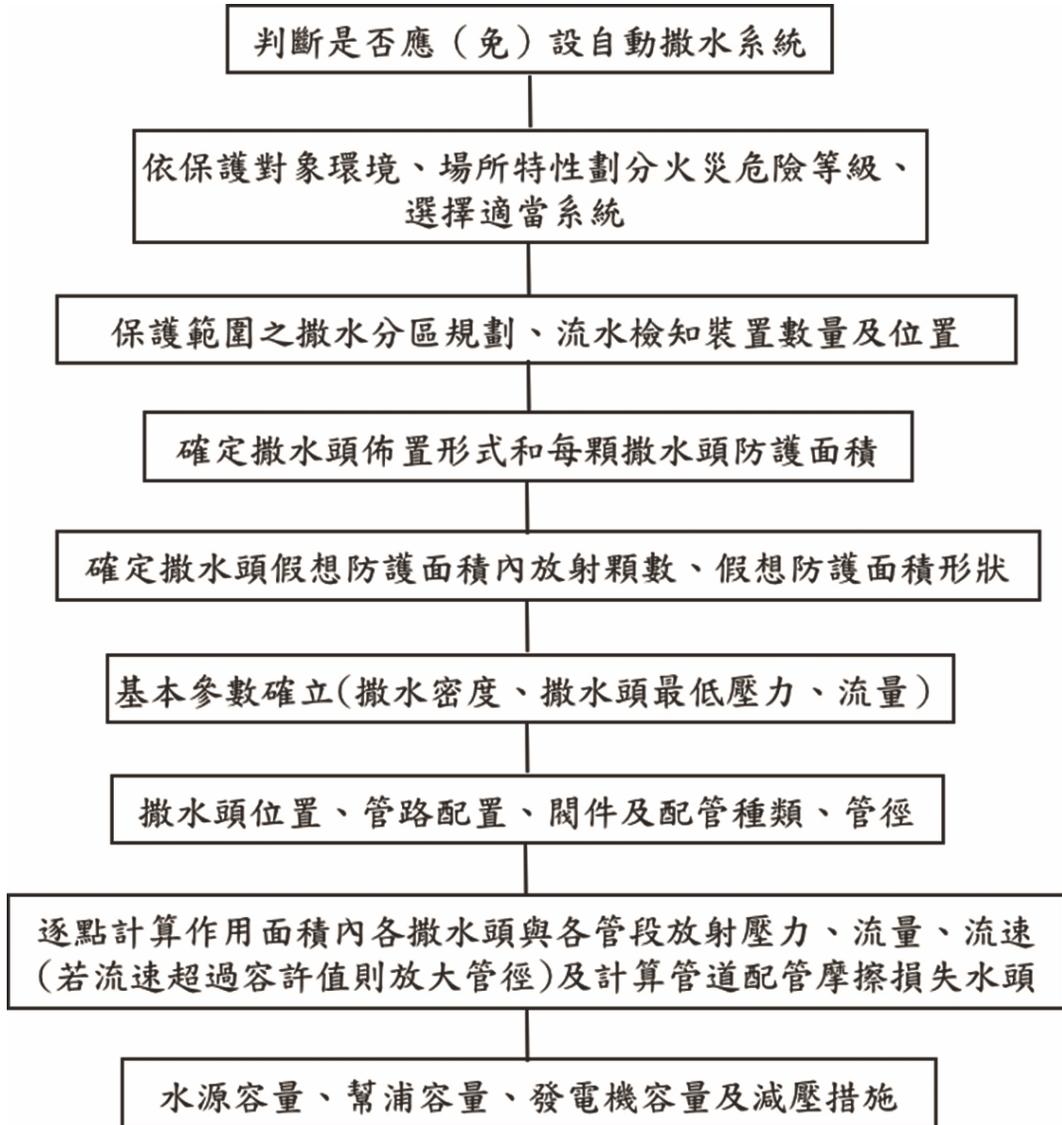


圖 4 中國自動撒水系統設計流程(本研究整理)

中國大陸於 2018 年 1 月 1 日起施行「自動噴水滅火系統設計規範 (GB50084-2017)」,參考美國標準,開始改用海真-威廉斯公式為水力計算之公式,捨棄使用多年的舍維列夫公式,惟在民用建築物部分之設計參數,多仍沿用既有規範(2001 年版)【⁷】。本研究為比較中國舍維列夫公式再設計上之差異,故以中國「自動噴水滅火系統設計規範 (GB50084-2001)」之水力計算公式做比較。

(三) 美國 NFPA 自動撒水系統設計原則

美國 NFPA13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems 2013 中將自動撒水系統主要有濕式撒水系統 (Wet Pipe Systems)、乾式撒水系統 (Dry Pipe Systems)、防凍撒水系統 (Antifreeze Systems)、開放式撒水系統 (Deluge Systems) 及預動式撒水系統 (Preaction Systems), 以及針對特殊場所裝設的其他系統。除防凍撒水系統外,其餘系統作動原理均與台灣相近。在臺灣,高科技廠房、電廠或石化廠,除須遵循台灣消防相關法規外,常會遵循美國互相保險組織 (FM) 所擬定的 FM Guide 以降低保費,而 FM 多延用美國防火協會所訂定的消防規範或準則。

美國自動撒水系統設計流程圖如下【⁸】:

⁷ 中華人民共和國,國家標準-自動噴水滅火系統設計規範 (GB50084-2001), 2001 年

⁸ 蔡國保,自動撒水設備水力計算之研究,中央警察大學,2000 年

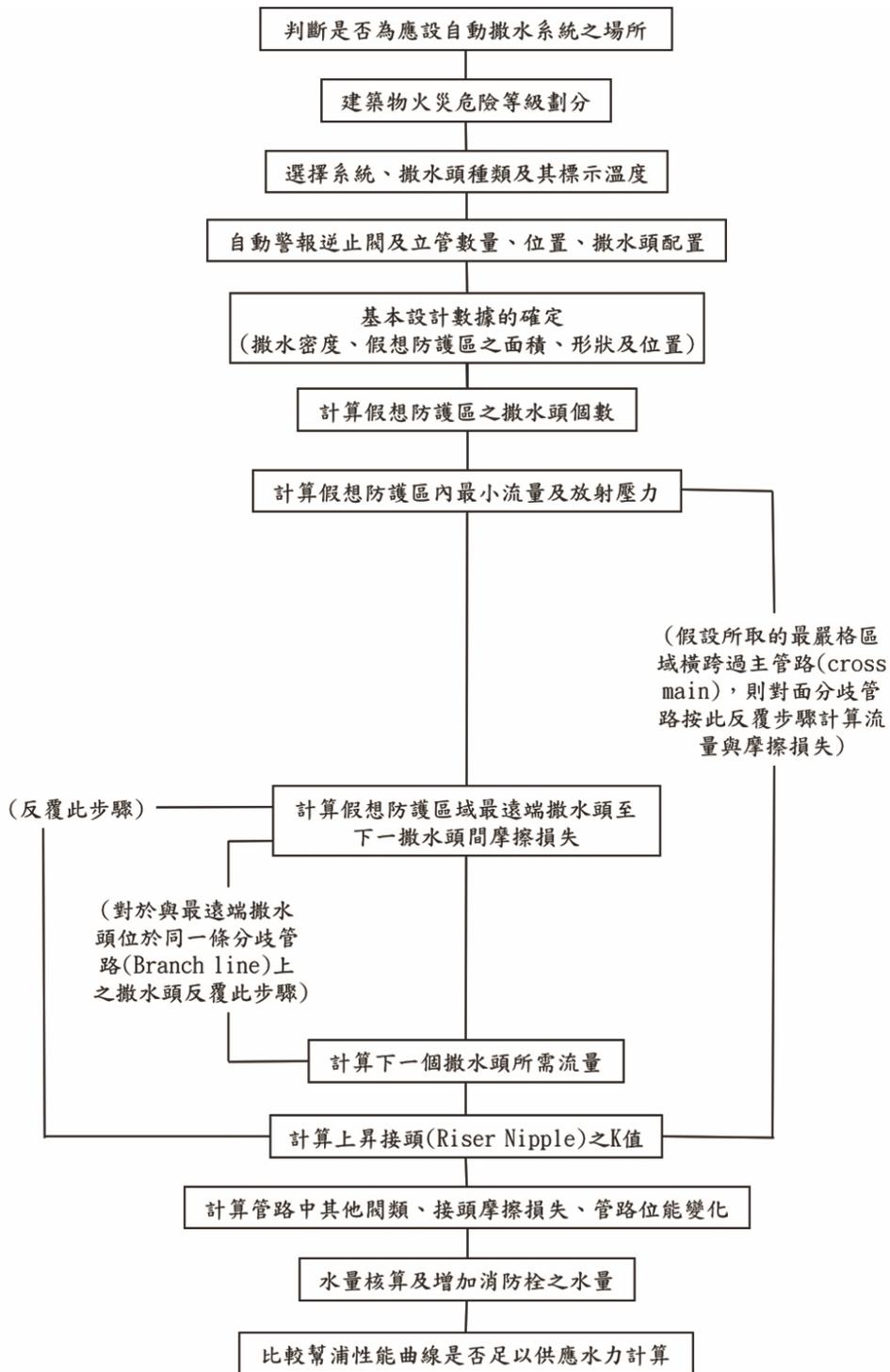


圖 5 美國自動撒水水力計算設計流程

資料來源：蔡國保自動撒水設備水力計算之研究

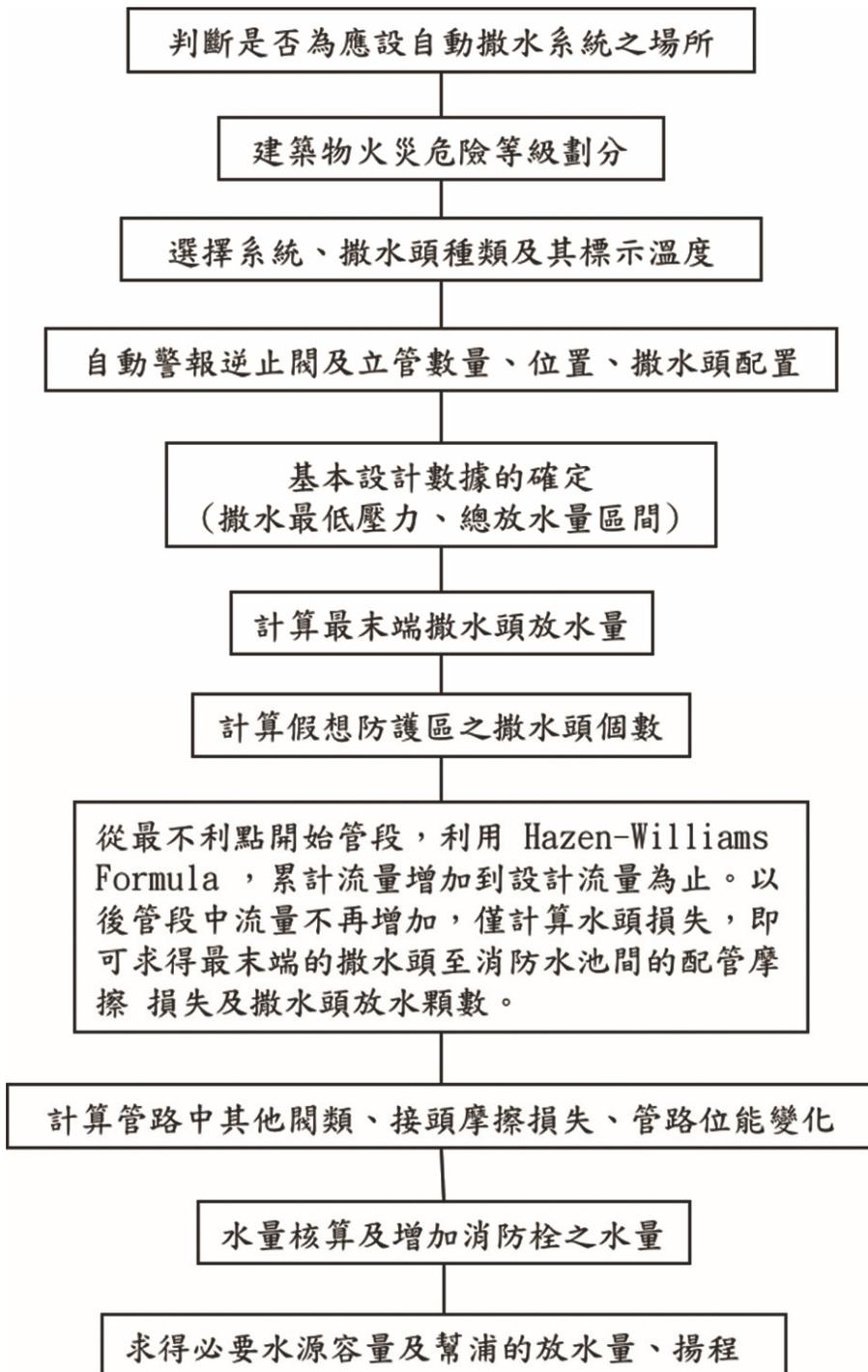


圖 6 美國自動撒水管徑規格計算設計流程

資料來源：蔡國保自動撒水設備水力計算之研究

二、管路摩擦損失計算公式

流體流動時之揚程摩擦損失。其摩擦損失來源有二，第一，水在移動時與管壁間之摩擦。第二，水分子間之摩擦力。第二種摩擦力主要係水流方向或流速之改變，所產生紊流所造成。而流速改變之主因為管徑改變。

在管路系統中，直管中的表面摩擦損失稱之為主要損失 (Major loss)，而非直管之摩擦損失稱為次要損失 (Minor loss)。

最早研究水流速度與摩擦損失的是 1775 年的 Antoine de Chezy，其後發展出謝茲公式 (Chezy Equation)，而後續由其推展出達西-韋斯巴斯方程式 (Darcy-Weisbach Equation) 與海真-威廉斯公式 (Hazen-Williams Equation)。海真-威廉斯公式是在 1905 年由海真先生與威廉斯先生所做流體實驗求得。目前已為各種水力系統計算摩擦損失廣為使用之公式。

目前大致之水力計算公式如下表【⁹】【¹⁰】【¹¹】【¹²】

⁹ 張蓉台，水在管路中的阻力計算 (上)(下)，中華水電冷凍空調，2006 年

¹⁰ Manning, Francis S.; Thompson, Richard E. Oilfield Processing of Petroleum. Vol. 1: Natural Gas. PennWell Books, 1991 年

¹¹ 中華人民共和國，國家標準-自動噴水滅火系統設計規範 GB50084-2001，2001 年

¹² National Fire Protection Association, NFPA13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems, 2016 年

表 2 世界各國採用之水力計算公式

方程式名稱	方程式	單位	使用條件	國家
達西-韋斯巴斯方程式 Darcy-Weisbach Equation	$h = f \frac{\ell v^2}{d 2g}$ (方程式 1)	h：摩擦損失揚程(m 或 ft) d：管徑內徑大小 (mm 或 in) ℓ：管長(m 或 ft) f：達西摩擦因子(無因次係數) g：重力加速度(m/sec ² 或 ft/sec ²) v：流速(m/sec 或 ft/sec)	1. 層流(laminar flow) 2. 不可壓縮流體(可壓縮流體, 壓力在 1Kg/cm ² 以下) 3. 管路內部呈現滿載的水流量(full flow)	
科爾布魯克方程式 Colebrook-White Equation	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\epsilon/d}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right]$ (方程式 2)	f：摩擦因子 ε：相對粗糙度(ft 或 mm) d：直徑(m) Re：雷諾數	1. 紊流(turbulent flow) 2. 不可壓縮流體及可壓縮流體 3. 將雷諾數導入達西-韋斯巴斯方程式, 以計算「摩擦因子f」 ($f = 16/Re$)	
曼寧關係式 Manning Equation	$V = \frac{k}{n} R_h^{2/3} S^{1/2}$ (方程式 3)	V：平均速度(m/s) k：轉換係數(m ^{1/3} /s) n：曼寧係數(無因次係數) R _h ：水力半徑(m) S：水力坡線或是線性揚程損失的斜率(L/L)	沒有壓力的重力流管道	
舍維列夫公式 Φ·A·Шевелев	中國大陸(2001 年版): $i = 0.0000107 \frac{v^2}{d^{1.3}}$ (方程式 4)	i：管路單位長度的壓力損失(MPa/m) v：流速(m/s) d _j ：管路計算內徑(m)(即管路的內徑減 1mm)	1. 適於舊鑄鐵管和舊鋼管、鋼管或鍍鋅鋼管 2. 紊流(turbulent flow) 3. 水溫 10°C 4. 流速 ≥ 1.2m/s	中國 (2001 版法定公式)

方程式名稱	方程式	單位	使用條件	國家
海真- 威廉斯公式 Hazen-Williams Equation	公制： $p = \frac{6.05 \times 10^5 Q^{1.85}}{C^{1.85} d^{4.87}} \text{ (方程式 5)}$ 英制： $p = \frac{4.52 Q^{1.85}}{C^{1.85} d^{4.87}} \text{ (方程式 6)}$	p：每公(英)尺長度損失揚程 (bar/m 或 bf/in) Q：流量(m ³ /min 或 gal/min) C：管路摩擦損失係數(無因次 係數) d：管路內徑(mm 或 in)	1. 穩流(transient flow) 或穩流 與 亂 流 共 存 (transitional turbulent flow) 2. 不可壓縮流體 3. 4°C - 25°C	美國、中國
	臺灣： $H = 1.2 \times \frac{Q^{1.85}}{d^{4.87}} \left(\frac{L + L'}{100} \right)$ (方程式 7)	H：管路摩擦損失揚程(m) Q：流量(L/min) D：管內徑(cm) L：直管長之合計(m) L'：接頭、閘等之等價管長之 合計(m)		臺灣

這些應用於消防水力摩擦損失計算之公式，皆已經過試驗及驗證，但各國採用公式不一，主要原於各國習慣與規範之不同。由上述公式所計算的摩擦損失，可歸納與下列因素之關係：

- (一) 與壓力無關。
- (二) 與摩擦面的長度成正比。
- (三) 與管徑成反比。
- (四) 隨流速或流量而變化

但由於其採用的實驗數據、理論、步驟及設計參數值不一，造成水力計算結果不同。

其中與摩擦損失影響甚大的為管路的材質，海真-威廉斯公式以摩擦損失係數（C 值）表示，依 NFPA13 其 C 值如下表【¹³】：

表 3 各主要管材 C 值表

管材	C 值
黑鐵管（乾式系統）	100
黑鐵管（濕式系統）	120
電鍍鋼管	120
延性鑄鐵管	140
不鏽鋼管	150
銅管	150
CPVC	150

資料來源：NFPA13

其中，我國之計算式，使用 C 值為 120 的鍍鋅鐵管，並將摩擦損失單位改為揚程（m）表示，管徑改為 cm 為單位，管長分為直線管長及各閥件之等價管長。

三、自動撒水系統管路配置模式

據 NFPA13 所示，自動撒水系統分為樹狀（Tree）、環狀（Loop）及網狀（Grid）

¹³National Fire Protection Association, NFPA13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 2016 年

三種配管型式【¹⁴】。而台灣及中國大陸並未明確指出型式種類，惟依臺灣管徑規格法計算模式，僅能以樹狀型式配置。

(一) 樹狀 (Tree) 配管模式：

此種配管模式像樹枝狀，由主管向兩旁分支供水，其所連接之撒水頭個數，皆受到限制。

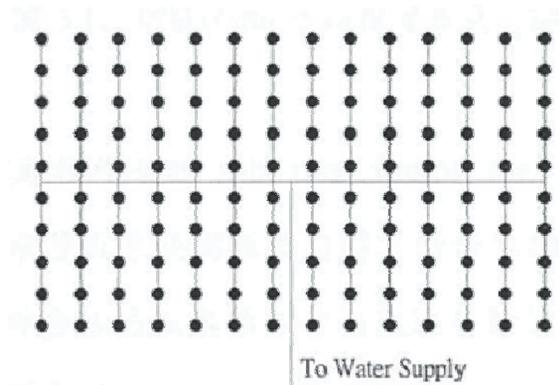


圖 7 樹狀 (tree) 管路配置

資料來源：NFPA13

(二) 環狀 (Loop) 配管模式

此為系統為自動警報逆止閥二次側後之主管以迴圈狀配置，支管配置於主管上。若撒水頭動作時，該支管可來自主管二方向之水源。

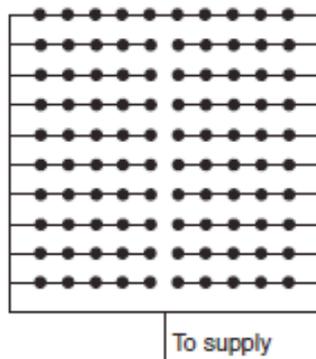


圖 8 環狀 (Loop) 管路配置模式

資料來源：NFPA13

¹⁴National Fire Protection Association, NFPA13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 2016 年

(三) 網狀 (Grid) 配管模式

此種配管形狀呈網格狀，即主管成迴圈，而支管則橫跨連接二端之主管。

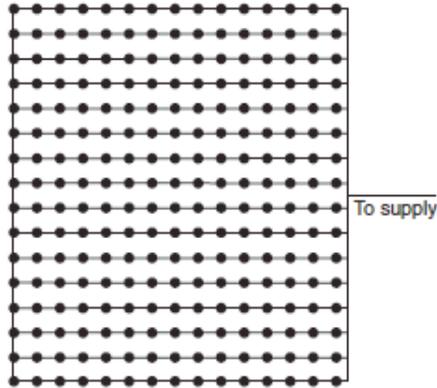


圖 9 網狀 (Grid) 管路配置模式

資料來源：NFPA13

網狀配管模式其幹管彼此相通，水流可來自四方，在管徑和水壓相同的條件下，供水能力相較樹狀模式大 1.5~2.0 倍。此外，以網狀配置下，材料成本方面較樹狀便宜約 25.8%~44.4%；在工資成本方面較樹狀便宜約 9.5%~18.5%；在總成本方面較樹狀便宜約 14.1%~25.2%【¹⁵】。

四、相關文獻分析

自動撒水系統之發明起因係為工業的快速發展，為減少火災造成的財務損失，在美國保險業之要求下，倉庫及大型工廠幾乎都安裝自動撒水系統，做為維護產業安全的重要措施。再加上，國際上發生幾起重大人命傷亡的火災案例，如：波士頓椰子園俱樂部 (Coconut Grove Night Club) 大火造成 492 人死亡、亞特蘭大文可芙旅館 (Wincoff Hotel) 大火造成 119 人死亡等等。經研究後，自動撒水系統為建築物較可靠的滅火防護設備，以保人命之安全。據此，自動撒水系統對於火災有以下防護功能【¹⁶】：

- (一) 火災抑制 (Fire Suppression)：以充分水量直接噴灑至可燃物表面之火焰區，以急速降低火災之熱釋放率，並防止復燃。

¹⁵李東霖，消防自動撒水系統管路配置之研究，國立台北科技大學土木與防災研究所，2005 年

¹⁶林文興、林坤層，水與化學系統消防安全設備總整理 第 3 版，鼎茂圖書出版股份有限公司，2016 年

(二) 火災撲滅 (Fire Extinguishment)：完全抑制火災直至可燃物耗盡或移除。

(三) 周界防護 (Exposure Protection)：將水噴撒至起火建築物或設備，吸收火災釋出之熱量，以降低燃燒物表面之溫度。

(四) 火災控制 (Fire Control)：如預防閃燃 (flashover)、維持建築結構完整、抑制火災之成長速度等等。

然而自動撒水設備須在長期設置，其結構必須能維持數十年不變，且須能抵抗火場環境之溫度而將水輸送至動作之撒水頭。故自動撒水設備需有良好之可靠度，而自動撒水系統之可靠性需從操作性可靠度與功能性可靠度來探討，操作性可靠度取於系統或組件之形式及日常之維修，而功能性可靠度則取決於系統作動時，有無能力控制火勢，抑制火勢成長，而自動撒水設備之可靠度如下【17】-【19】：

表 4 自動撒水設備之可靠度

分類	資料來源	可靠度
廣播、電視媒體報導資料	Miline	96.6/97.6/89.2
	NFPA	90.8-98.2
	Miller	86
	Maybee	99.5
	Kook	87.6
	Taylor	81.3
	Linder	96
政府部門、機構發佈之資料	Miller	95.8
	Miller	94.8
	Powers	96.2
	Richardson	96
	Finucane et al	96.9-97.9
	Marryat	99.5

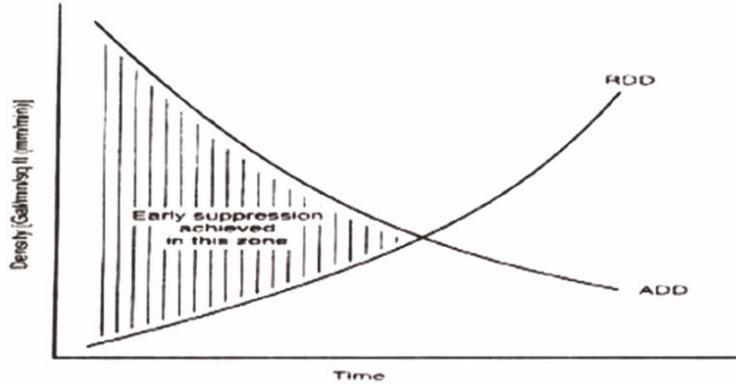
資料來源：SFPE，Fire Protection Engineering，issue No 9，2001，P8

¹⁷SFPE，Fire Protection Engineering，2001 年

¹⁸蔡匡忠、黃信創，自動撒水滅火設備與區劃延燒驗證研究，內政部建築研究所委託研究報告，2008 年

¹⁹王證雄，自動撒水設備性能法規之應用－以 CPVC 管之配管形式及水力計算為例，中央警察大學消防科學研究所，2001 年

而撒水系統是否能早期撲滅火災，一般以感度指數（Response Time Index，R.T.I.），實際放水密度（Actual Delivered Density，A.D.D.），必要放水密度（Required Delivered Density R.D.D.）這三個參數來評量【²⁰】。



資料來源：Automatic Sprinkler System Handbook【²¹】

在火災初期滅火之 R.D.D.值較小，實際放射至燃燒物表面的 A.D.D.值較大，此時 $A.D.D. > R.D.D.$ ，故能滅火；當火勢持續成長，未被有效控制時，其 R.D.D.會變大，此時撒水頭放射的水，部分被向上的火羽流蒸發，造成實際放射至燃燒物表面之放水密度 A.D.D.變小。所以當 $R.D.D. > A.D.D.$ 時，火勢已無法得到控制。

而影響 A.D.D.有下列因素【²²】：

- A. 撒水頭的口徑（撒水頭流量特性係數，K）。
- B. 撒水頭之放射壓力。
- C. 撒水頭動作時的火災熱釋放率。
- D. 撒水頭最初放射的個數。
- E. 火源相對於撒水頭之位置。
- F. 撒水頭之防護面積與配置形狀。

我國「設置標準」【²³】乃參考日本而來，與日本設置規範較為相近，直接明定那些場所需設置設撒水頭，其他如撒水頭之種類、感度類、撒水半徑等性能，均與日本相同。而歐美產品之設置以 NFPA13 規範為主，其適用場所係依據建築結構、用途、內部可燃物的數量和分佈情形、可能發生火災種類及潛在火勢等來分級出 5 大類場所危險等級，再管控其單位面積之撒水密度，與國內直接明定應

²⁰Puchovsky, Milosh T., Automatic Sprinkler System Handbook, Seventh Edition

²¹同註 20

²²Carey., William, Early Suppression Fast Response Sprinklers - A New Technology, LabData, 1985 年

²³內政部消防署，各類場所消防安全設備設置標準，2017 年

設置撒水頭數量及水量不同²⁴。

故本研究以撒水頭之放射壓力、撒水頭放射顆數與撒水頭防護面積探討各國法規設計上是否達到各自法定的撒水密度與撒水性能，並比較各國設計上之差異。再探討不同管路配置模式在設計上之運用。

肆、研究設計與方法

一、水力計算軟體 KYPIPE 【25】

KYPIPE 水力計算軟體核心程式是由美國肯塔基大學以及美國太空總署共同開發，其軟體依模式特性再分成 Go-Flow、Surge、Gas、Steam、SWMM（Stormwater）等。KYPIPE 使用上較其他軟體簡單，建立模型後再輸入各個撒水頭之 K 值、高程，以及各管段之材質、長度、摩擦係數等元件屬性，建構完成後，即可輕易進行水力模擬分析【26】，本研究使用的 KYPIPE 版本為 Pipe2018。

（一）KYPIPE 基本概念：

1.KYPIPE 的管網系統主要由以下管線與節點元件構成：所有的模型都是利用這兩種元件來建立的。說明如下：

- (1)管線：管線為沿任意路徑，具更相同基本性質的管。一條管線可能包含一條或多條管段。管段為一條直線走向的管，且無內部節點。
- (2)節點：節點位於管段之間或兩端，各節點可再定義為閘件、消防栓，線上水錶，計量儀器，止回閘...等不同元件或用來連接不同管路。若沒有定義其他元件，他們則不影響計算結果。

2.水力分析（Hydraulic Analysis）

以 GoFlow 在進行水力計算分析時，提供二種水力計算分析的選擇，其詳細內容說明如下：

(1)Required Capacity：

此為自動撒水設備系統設計者針對場所特性、危險等級及防護面積所決定之末端撒水頭之放射性能（放射壓力、流量及撒水密度），為使幫

²⁴洪文傑，密閉式撒水頭認可基準適用性之研究，國立交通大學工學院產業安全與防災學程，2011年

²⁵王證雄，自動撒水設備性能法規之應用—以 CPVC 管之配管形式及水力計算為例，中央警察大學消防科學研究所，2001年

²⁶陳宗傑，自動撒水滅火系統網柵配管與樹狀配管之比較，中華民國消防設備師公會全國聯合會消防技術專刊，2015年

浦出力能滿足末端撒水頭之基本放射性能，計算所需之幫浦能力。

(2) Available Capacity :

此為所設定之幫浦出力能提供系統最大之放射性能。

此二種水力計算之功能可同時進行比對。

3. 自動繪製系統圖：

此軟體除可依設計者自行繪製設計圖外，有時為求效率亦可選則自動繪製系統圖之功能，自動繪製後可再依實際設計狀況予以修改，其中包含 Tree、Loop、Grid 等基本系統圖，但在使用此項功能時，軟體會要求輸入系統之若干參數，如撒水頭之間距、支管間距以及撒水頭距主管之距離等參數。

4. 節點及管段之各項數據顯示：

檢視管段及節點的各項數據，例如流速、流量與壓力及檢查系統設計是否符合規定或設計要求，例如，其末端放水壓力是否符合 NFPA 13 的規定不得小於 7psi (0.5bar)【²⁷】或其他設計需求，可藉由此項功能來檢視系統之設計是否合適。

5. 最不利區域判斷 (the most remote area)

系統最不利區域，有時亦稱最嚴格區域面積 (most demanding area) 或稱假想防護面積，其概念為在這防護面積大小內的火勢，若供給設定撒水密度，將可被控制或撲滅。在設計系統需求水量或壓力時，將該區域範圍內之撒水頭應納入核算，其位置一般在管路的最末端。

於 Looped system 與 Gridded system 此兩種配管模式一般較難計算，判斷水力計算上最不利區域，而 GoFlow 水力計算軟體可自動判斷最不利區域之位置及撒水頭放射顆數。

²⁷National Fire Protection Association, NFPA13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems 2016 年

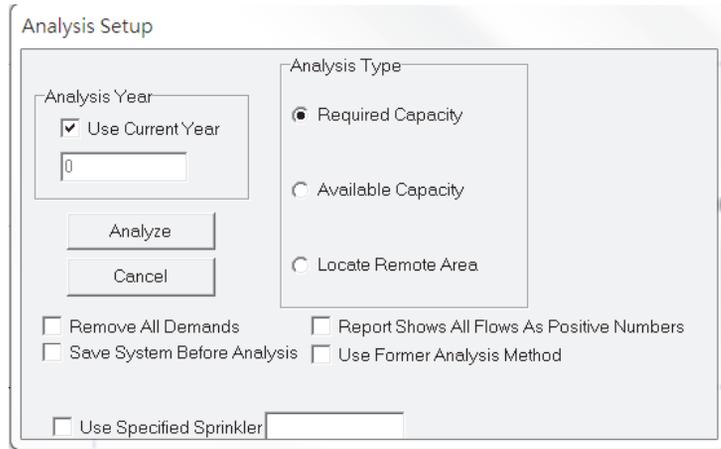


圖 11 GoFlow 水力計算分析的選擇

資料來源：本研究 KYPIPE 畫面

(二) KYPIPE 之限制

1. 假定在整個系統中流體的密度和黏度一致。
2. 不計算熱能損失。
3. 各套軟體於建置模型分析時，有管路數量之限制。
3. 僅限 Windows 作業系統使用。

二、計算例設計參數

商場模型設計參數如下：

在中國大陸部分係依「自動噴水滅火系統設計規範 GB50084-2017」所示：

表 5 中國大陸民用建築和工業廠房撒水系統設計基本參數

火災危險等級	淨空高度 (m)	噴水強度 (L/min m ²)	作用面積 (m ²)	
危險級	≤8	4	160	
中危險級		1 級		6
		2 級		8
嚴重危險級		1 級	12	260
		2 級	16	

註：系統最不利點處的工作壓力，不應低於 0.05MPa (0.5 kgf/cm²)

資料來源：自動噴水滅火系統設計規範 GB50084-2017

表 6 中國大陸撒水頭配置規定

最小噴水強度 (撒水密度) (L/min m ²)	正方形配置 邊長(m)	矩形與平行四邊 形配置邊長(m)	一只撒水頭最大 防護面積 (m ²)	撒水頭與牆 最大距離(m)
4	4.4	4.5	20.0	2.2
6	3.6	4.0	12.5	1.8
8	3.4	3.6	11.5	1.7
12-20	3.0	3.6	9.0	1.5

註：僅在走道設置單排噴頭的閉式系統，其噴頭間距應按走道地面不可有撒水防護不足處。

資料來源：自動噴水滅火系統設計規範 GB50084-2017

本研究之商場在中國大陸自動噴水滅火系統設計規範 GB50084-2017 附錄 A 火災危險等級舉例中總建築面積 5000m² 以上之商場為中度二級之場所，故最小撒水密度（噴水強度）為 8L/min m²，假想防護面積（作用面積）為 160 m²，撒水頭之間距為 3.4m，一只撒水頭最大防護面積為 11.5m²，

在美國 NFPA 管徑規格法（Pipe Schedule Method）適用於 5000ft²（465m²）以下之輕度、中度危險場所。若大於 5000ft²（465m²）者，最高之撒水頭在下表放水流量時，其放水壓力應達 50psi（3.4 bar）。下表適用於不燃建築物，另外若有額外的危險，則以水力計算法核算壓力與流量：

表 7 NFPA 13 輕度、中度危險場所撒水系統管徑規格法設計基本參數

場所分類	最小放水壓力		放水流量		放水時間
	psi	bar	gpm	L/min	minutes
輕度危險場所	15	1	500-750	1893-2839	30-60
中度危險場所	20	1.4	850-1500	3218-5678	60-90

資料來源：NFPA13

其中放水流量係指總放水量，也就是由最末端開始計算各撒水頭放水量累計至其總放水量於該區間。本研究之商場在 NFPA 認定上為中度二級之場所，但面積大於大於 5000ft²（465m²），故其放水壓力應達 50psi（3.4 bar），總放水量於

850-1500gpm (3218-5678 L/min)。

而在 NFPA 水力計算法 (Hydraulic Calculation Methods) 中撒水頭最小放射壓力為 7 psi (0.5 kgf/cm²)，單一撒水頭放水量則由面積撒水密度曲線圖中 (如下圖)，依其所選擇的危險等級曲線及採用不同 K 值的撒水頭，依 $Q = K\sqrt{P}$ 可得到撒水頭的放射壓力。由面積撒水密度曲線圖可知假想防護面積與撒水密度之關係線。

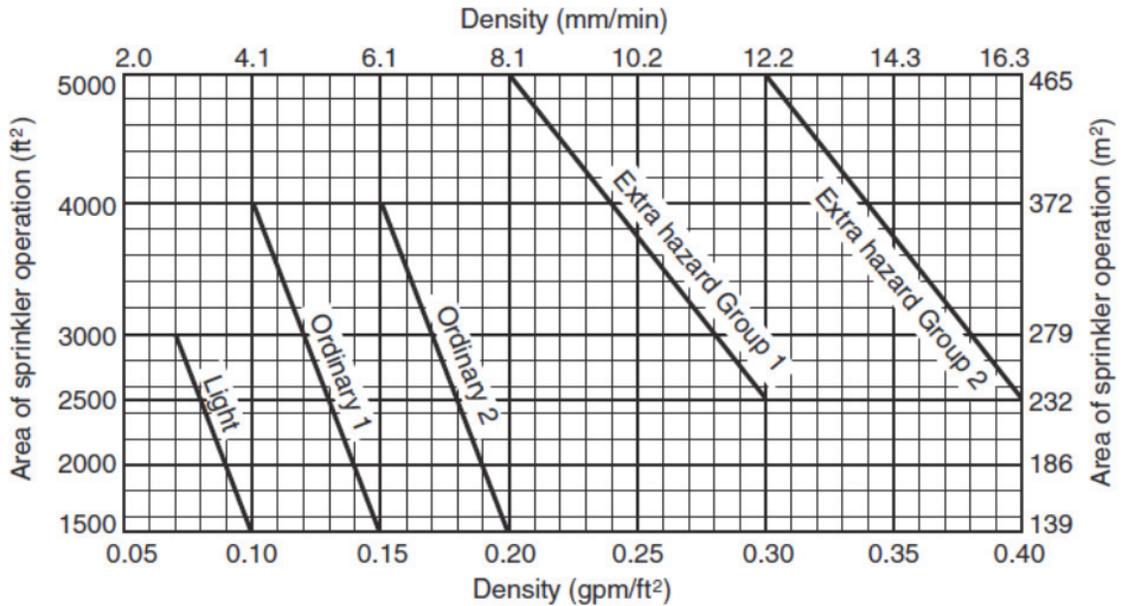


圖 12 NFPA13 水力計算法建築物火災危險等級劃分與密度/面積之關係

資料來源：NFPA13

另外，一顆撒水頭最大防護面積與間距係依 NFPA13 所示，12.1m² (130ft²) 與 4.6m (15ft)。然而 NFPA 管徑規格法係以累計方式計算系統出水量，並無最低撒水密度與假想防護面積等相關規定，係由最低放水壓力與撒水頭 K 值計算放水量，進而求得最低撒水密度與假想防護面積範圍區間。本研究以撒水頭最低放水壓力為 3.4 kgf/cm² 計算，若使用 K 值為 80 之撒水頭，則放水量為 147.5 L/min，放水量除以系統幫浦出水量，則可出撒水頭放水數量區間，再由一顆撒水頭最大防護面積推估出假想防護面積為 263.9-469.8 m²，而最低撒水密度為 12.19 L/min · m²。

在臺灣並無每顆撒水頭間距與最大防護面積之規定，而直接計算撒水頭開放個數。但可由各層任一點至撒水頭之水平距離計算正方形配置、長方形配置或交錯型配置下每顆撒水頭之防護面積。本研究中以各層任一點至撒水頭之最大水平距離為 2.6m 正方形配置計算，其撒水頭最大間距為 $\sqrt{2R}=3.68m$ ，一顆撒水頭最大

防護面積為 $2R^2=13.52\text{m}^2$ 。而最低撒水密度為撒水頭最低出水量除以撒水頭最大防護面積，為 $80\text{ (L/min)}/13.52\text{ (m}^2\text{)}=5.92\text{ (L/min}\cdot\text{m}^2\text{)}$ 。而假想防護面積為撒水頭最大防護面積乘以放射撒水頭數，為 $13.52\text{ (m}^2\text{)}\times 12\text{ 顆}=162.24\text{ (m}^2\text{)}$

本研究針對台灣、中國大陸、美國 NFPA 法規比較分析，相關設計參數如下表：

表 8 商場各國設計參數

法規	臺灣	中國	美國	
危險分級	甲類第 4 目	中度 2 級	中度 2 級	
計算法	管徑規格法	水力計算法	管徑規格法	水力計算法
撒水頭最低出水量 (L/min)	80			
撒水頭最低放水壓力 (kgf/cm ²)	1	0.5 (0.05MPa)	3.4 (50psi)	0.5 (7psi)
最低撒水密度 (L/min·m ²)	5.92	8	12.19	8.1 (0.2gpm/ft ²)
系統幫浦出水量 (L/min)	1080		3218-5678 (850-1500gpm)	
假想防護面積 (m ²)	162.24 (12 只撒水頭)	160	263.9-465.8	139 (1500ft ²)
撒水頭最大防護面積 (m ²)	13.52	11.5	12.1 (130ft ²)	12.1 (130ft ²)
撒水頭最大防護面積間距 (m)	3.68	3.4	4.6 (15ft)	4.6 (15ft)

資料來源：本表自行整理

三、研究模型設定

本研究使用 KYPIPE 版本為 Pipe2014 6.025，設定之內建流量單位為公升/秒 (liters/second)，壓力為 KPa，揚程為公尺 (m)，管徑為公釐 (mm)，管長為公尺

(m)。本研究於水利計算軟體建立樹狀 (Tree)、環狀 (Looped) 及網狀 (Grided) 三種配管型式。設定之管材為符合 CNS6445 SGP sch40，管路 C 值為 120，管徑依據各國相關規定設定。惟環狀 (Looped) 及網狀 (Grided) 部分主管部分管徑設定 150mm。另外，因軟體的管路數量限制，故選定 4 樓最遠區之撒水頭進行模擬。

另外，由於 KYPIPE 內無中國大陸之舍維列夫公式 ($\Phi \cdot A \cdot \text{Щевелев}$) 摩擦損失計算式，故皆以海真-威廉斯公式 (Hazen-Williams Equation) 計算模擬。使用之撒水頭 K 值為 $80\text{L}/\text{min}/\text{bar}^{1/2}$ ($5.6\text{gpm}/\text{psi}^{1/2}$) 之撒水頭，KYPIP 內設定為 $0.1333\text{L}/\text{second}/\text{KPa}^{1/2}$ 。撒水頭高度為 27.7m。

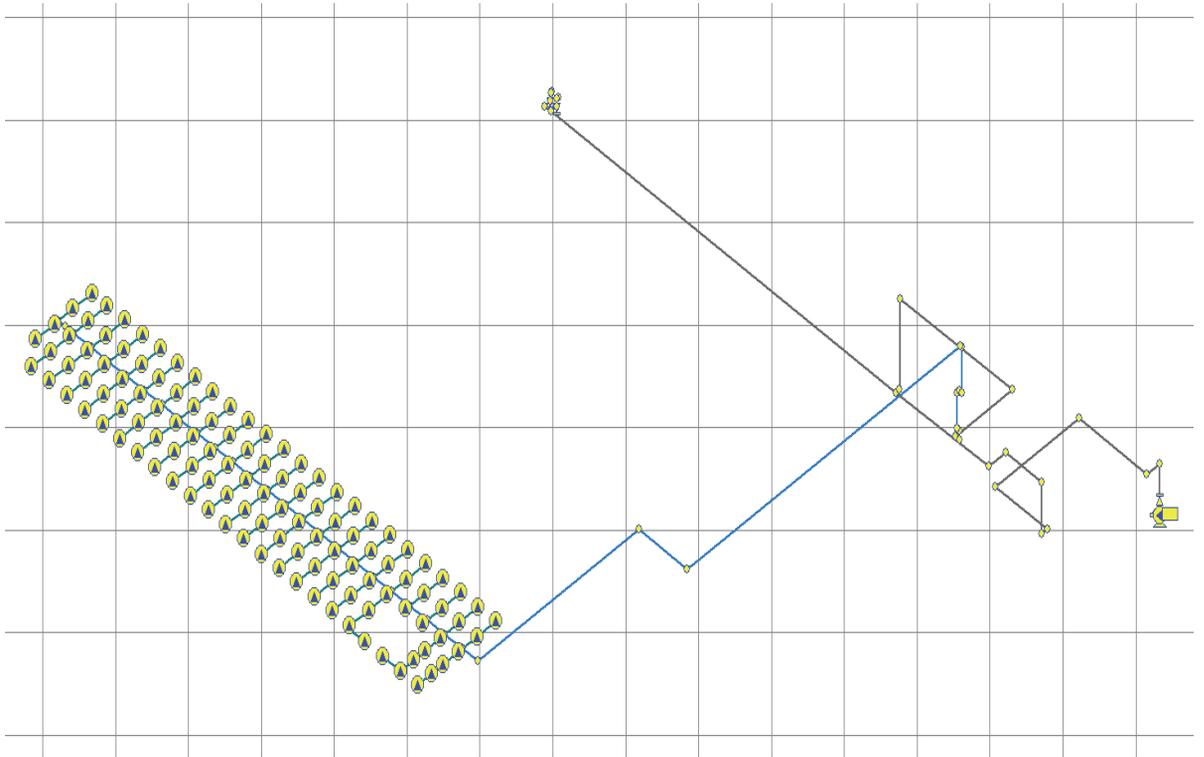


圖 13 水力計算軟體建立之商場樹狀 (Tree) 模型

資料來源：本研究於 KYPIPE 繪製

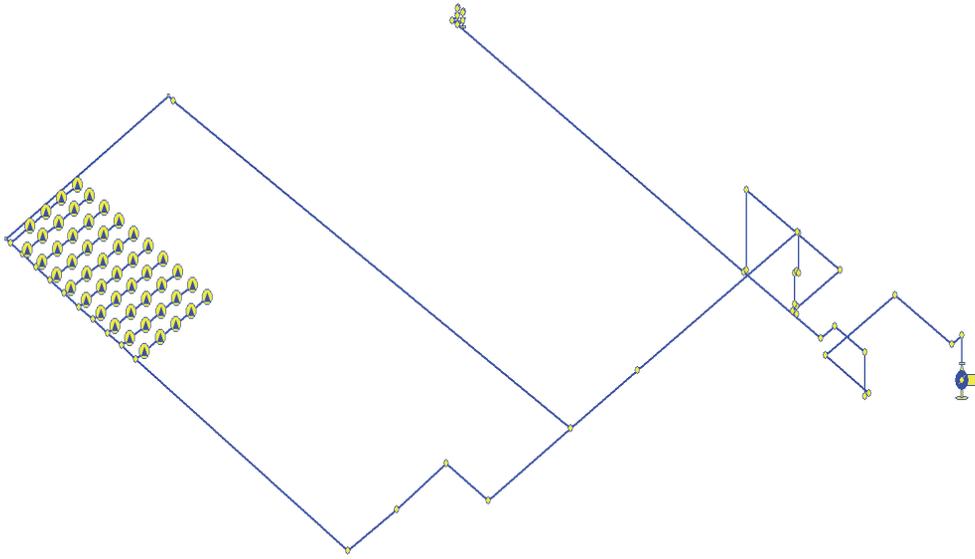


圖 14 水力計算軟體建立之商場環狀（Looped）模型

資料來源：本研究於 KYPIPE 繪製

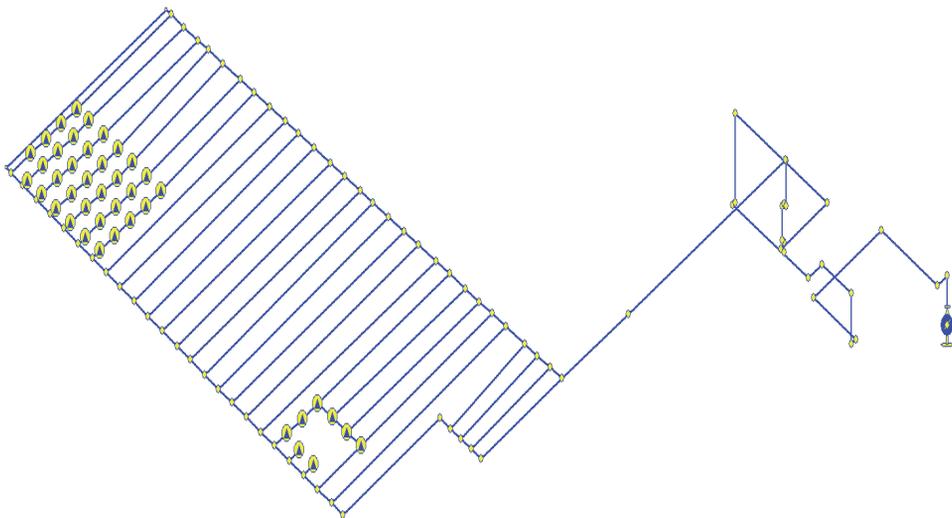


圖 15 水力計算軟體建立之商場網狀（Grid）模型

資料來源：本研究於 KYPIPE 繪製

伍、各國自動撒水系統設計分析

一、臺灣、中國與美國之手算模式比較

本研究係以臺灣、中國舍維列夫公式、美國法令上最低要求設計計算，以撒水頭放射顆數、最末端撒水頭放水量與放射壓力及幫浦之放水量、揚程做比較，其水力計算如下：

(一) 情境 1-臺灣法規手算方式

1. 管路摩擦損失=5.59m (詳見附錄 1)
2. 管路摩擦損失與流水檢知裝置合計損失 $H1 = \sum_{n=1}^N Hn + 5 = 10.59\text{m}$
3. 幫浦所需揚程： $H=H1+H2+10\text{m}=10.59+27.7+10=48.3\text{m}$
4. 幫浦所需出水量： $Q=90\text{ L/min} \times 12 = 1080\text{ L/min}$

(二) 情境 2-中國法規手算方式

1. 撒水密度 $D=8\text{Lpm/m}^2$
2. 撒水頭 K 值= $80\text{L/min/bar}^{1/2}$
3. 最小假想防護空間面積 $A_{d\text{ min}}=160\text{m}^2$
4. 配管 C 值=120
5. 一只撒水頭最大防護面積間距 $R_{\text{max}}=3.4\text{m}$
6. 一只撒水頭放射面積 $A_s=11.5\text{m}^2$
7. 假想防護空間長邊邊長 $L=1.2 (A_d)^{1/2}=1.2 (160)^{1/2}=15.17\text{m}$ 以 15m 計
8. 假想防護空間短邊邊長 $W=160/15=10.7\text{m}$ 以 11m 計
9. 假想防護空間面積 $A_d=15 \times 11=165\text{m}^2$
8. 放水顆數

$$N_{\text{min}}=A_{d\text{ min}}/A_s=160/11.5=13.9 \quad \text{需 14 顆以上}$$

$$N=A_d/A_s=165/11.5=14.34 \quad \text{以 15 只計}$$

9. 支管所需撒水頭個數= $15/3.4=4.4$ 以 5 只 < 8 只

10. 管路摩擦損失水力計算：(詳見附錄 2)

- (1) 管路摩擦損失 0.4277MPa
- (2) 濕式警報逆止閥 0.04MPa
- (3) 最末端放水壓力 0.12MPa
- (4) 落差 27.7m=0.271MPa

11. 幫浦所需揚程：

$$H=\sum h+P_0+Z=0.4277+0.04+0.12+0.271=0.8587\text{MPa}=87.56\text{m}$$

12. 幫浦所需出水量： $Q=26.394 \text{ L/s}=1583.64 \text{ L/min}$

(三) 情境 3-美國 NFPA 水力計算法手算方式

1. 撒水密度 $D=0.2 \text{ gpm/ft}^2=8.1 \text{ Lpm/m}^2$
2. 撒水頭 K 值 $=5.6 \text{ gpm/psi}^{1/2}=80 \text{ L/min/bar}^{1/2}$
3. 最小假想防護空間面積 $A_{d \text{ min}}=1500 \text{ ft}^2=139 \text{ m}^2$
4. 配管 C 值 $=120$
5. 一只撒水頭最大防護面積間距 $R_{\text{max}}=15 \text{ ft}=4.6 \text{ m}$
6. 一只撒水頭放射面積 $A_s=130 \text{ ft}^2=12.1 \text{ m}^2$
7. 假想防護空間長邊邊長 $L=1.2 (A_d)^{1/2}=46.4 \text{ ft}$ 以 47ft 計
8. 假想防護空間短邊邊長 $W=1500/47=31.9$ 以 32ft 計
9. 假想防護空間面積 $A_d=47 \times 32=1504 \text{ ft}^2=139.7 \text{ m}^2$
8. 放水顆數 $N=A_d/A_s=1504/130=11.5$ 以 12 只計
9. 支管所需撒水頭個數 $=47/9.84=4.7$ 以 5 只
10. 管路摩擦損失水力計算 (詳見附錄 3)
 - (1) 管路摩擦損失 $45.1 \text{ psi}=3.1 \text{ kgf/cm}^2$
 - (2) 最末端放水壓力 $21.6 \text{ psi}=1.489 \text{ kgf/cm}^2$
11. 幫浦所需揚程： $H=H_1+H_2+10 \text{ m}=31+27.7+14.89=73.59 \text{ m}$
12. 幫浦所需出水量： $Q=345.74 \text{ gpm}=1522.94 \text{ L/min}$

(四) 情境 4-美國 NFPA 管徑規格計算法手算方式

1. 一只撒水頭最大防護面積間距 $R_{\text{max}}=15 \text{ ft}=4.6 \text{ m}$
2. 一只撒水頭放射面積 $A_s=130 \text{ ft}^2=12.1 \text{ m}^2$
3. 撒水頭放水最低壓力 $P_{\text{min}}=50 \text{ psi}=3.4 \text{ bar}$
4. 系統幫浦出水量區間 $Q=850-1500 \text{ gpm}$
5. 一只撒水頭放水量 $Q=K\sqrt{P}=5.6 (50)^{1/2}=39.6 \text{ gpm}$ 以 40gpm 計
6. 撒水頭放水數量：
 - (1) $850/40=21.25$
 - (2) $1500/40=37.5$
 - (3) 放水數量於 22 只至 37 只間，以 24 只計
7. 管路摩擦損失計算
 - (1) 管路摩擦損失 $39.744 \text{ psi}=2.8 \text{ kgf/cm}^2$
 - (2) 最末端放水壓力 $50 \text{ psi}=3.4 \text{ kgf/cm}^2$
8. 幫浦所需揚程： $H=H_1+H_2+34 \text{ m}=28+27.7+34=89.7 \text{ m}$

9.幫浦所需出水量：Q=960gpm=4228.69 L/min

二、臺灣、中國與美國於水力計算軟體比較

幫浦設定值係依前手算結果帶入水力計算軟體設定中，惟設定之單位不同，須先加以轉換。另臺灣部分依「消防幫浦加壓送水裝置等及配管摩擦損失計算基準」，額定出水量時，全揚程須達到額定揚程之 100%至 110%；出水量在額定出水量之 150%時，全揚程應達到額定出水量時之全揚程的 65%以上；全閉揚程時，應為性能曲線上全揚程之 140%以下。而中國與美國部分以全閉揚程時，設定為性能曲線上全揚程之 120%以下。其餘參數係依據各國法定值設定。另外，臺灣法規並無假想防護面積長寬比之規定，故參酌 NFPA 相關規範。另外，假想防護區域的位置與形狀可利用水力計算軟體自動選定，尤其是在環狀與網狀管路配置模式下，較不易判斷最不利區域時，可善加運用。

表 9 各國情境於水力計算軟體設定之參數

	臺灣		中國		美國水力計算		美國管徑規格	
最低撒水密度 (L/s · m ²)	0.0987		0.1333		0.135		0.2032	
一顆撒水頭最大防護面積 (m ²)	13.52		11.5		12.1		12.1	
最大撒水頭間距 (m)	3.68		3.4		4.6		4.6	
最大支管間距 (m)	3.68		3.4		4.6		4.6	
假想防護面積 (m ²)	162.24		160		139		263.9	
假想防護面積 長寬比	1.2		1.2		1.2		1.2	
幫浦設定 (流量單位：L/s) (揚程單位：m)	揚程	流量	揚程	流量	揚程	流量	揚程	流量
	67.6	0	122.588	0	88.3	0	107.6	0
	48.3	18	87.563	26.394	73.59	25.383	89.7	70.478
	31.4	27	59.917	39.591	47.83	38.074	58.4	105.717

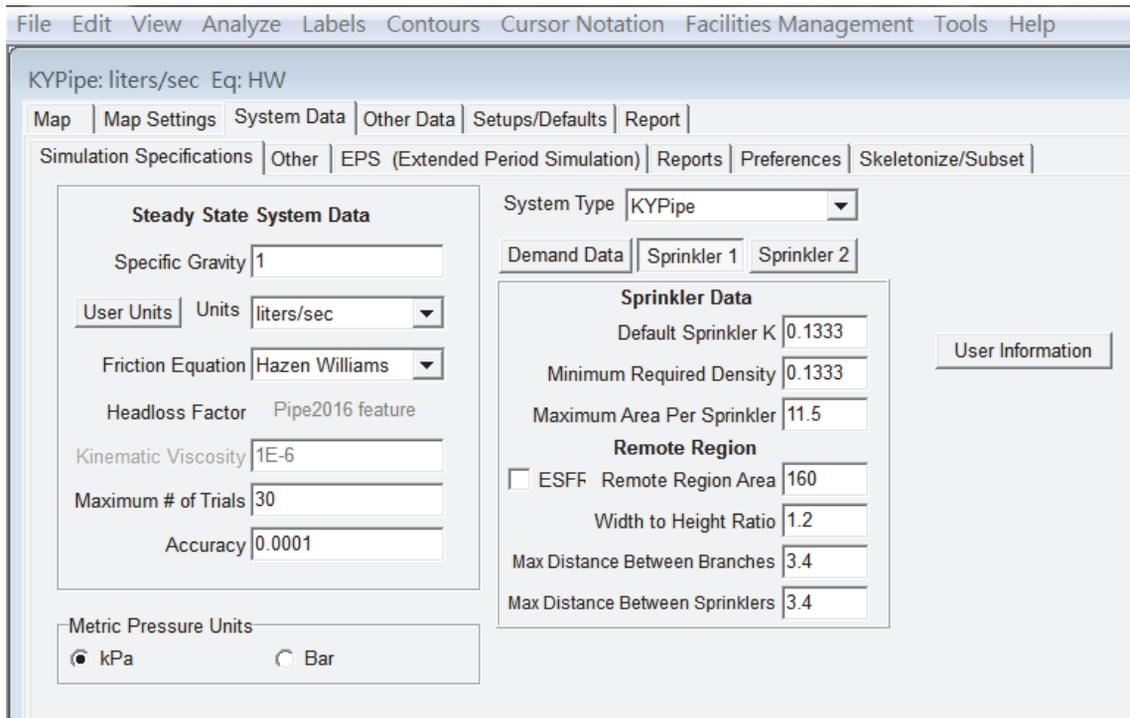


圖 16 水力計算軟體內部參數設定畫面（資料來源：本研究 KYPIPE 畫面）

(一) 情境 5-臺灣法規手算結果（情境 1 之結果）於水力計算軟體模擬

1. 水力計算軟體設定之參數

- (1) 管路材質：CNS6445 SGP sch40
- (2) 管路 C 值：120
- (3) 管徑及閥件：依據情境 1 設定
- (4) 撒水頭 $K=80$ （Constant=0.133）
- (5) 撒水頭高度 27.7M
- (6) 水力計算公式：Hazen Willams
- (7) 幫浦設定：（與情境 1 相同之設定）
 - A. 額定出水量（18L/s）時，全揚程為 48.3m
 - B. 出水量為額定出水量之 150%時（27L/s），全揚程為 31.4m
 - C. 出水量為 0 時，全閉揚程為 67.6m

2. 模擬 12 只撒水頭放水

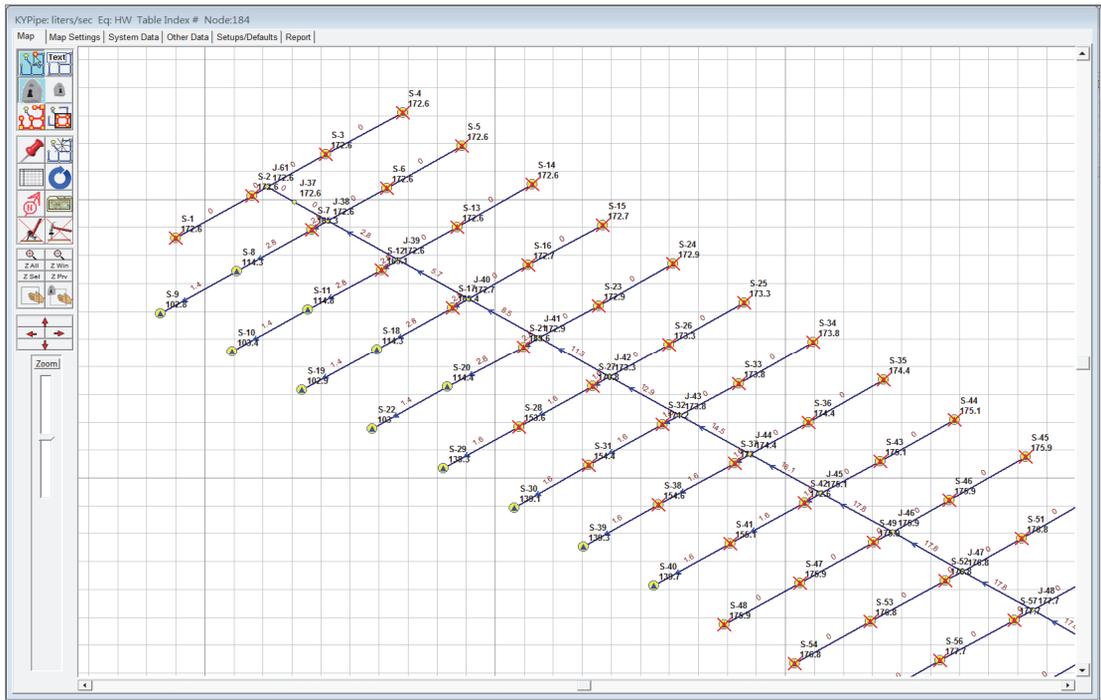


圖 17 情境 5 模擬 12 只撒水頭放水情形

表 10 情境 5 模擬 12 只撒水頭放水結果表

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-8	114.27	1.17	1.45	87
S-9	102.77	1.05	1.38	82.8
S-10	103.32	1.05	1.38	82.8
S-11	114.87	1.17	1.46	87.6
S-18	114.35	1.17	1.45	87
S-19	102.85	1.05	1.38	82.8
S-20	114.49	1.17	1.45	87
S-22	102.97	1.05	1.38	82.8
S-29	138.32	1.41	1.6	96
S-30	139.04	1.42	1.6	96
S-39	139.27	1.42	1.6	96
S-40	139.76	1.43	1.61	96.6
幫浦輸出量	477.7	4.87	17.75	1064.4

2. 模擬最遠之 1 只撒水頭 (S9) 放水

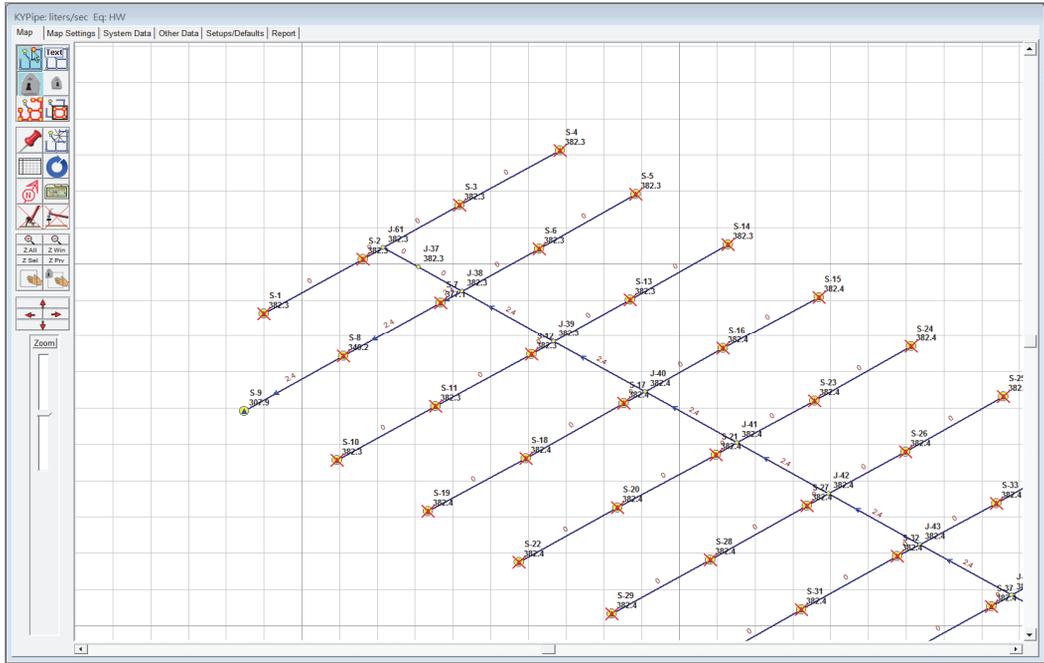


圖 18 情境 5 模擬 1 只撒水頭放水情形

表 11 情境 5 模擬 1 只撒水頭放水結果表

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-9	307.93	3.14	2.39	143.4
幫浦輸出量	654.7	6.68	2.39	143.4

其中，因水流流至 S-9 之路徑與 S-1 相同，但所經過之管徑較小，摩擦損失相對較大，故以 S-9 為管路之最末端。

(二) 情境 6-中國法規計算結果 (情境 2 之結果) 於水力計算軟體模擬

1. 水力計算軟體設定之參數

- (1) 管路材質：CNS6445 SGP sch40
- (2) 管路 C 值：120
- (3) 管徑及閥件：依據情境 2 設定
- (4) 撒水頭 K=80 (Constant=0.133)
- (5) 撒水頭高度 27.7M
- (6) 水力計算公式：Hazen Willams
- (7) 幫浦設定：(與情境 2 相同之設定)

- A. 額定出水量 (26.394L/s) 時，全揚程為 87.563m
- B. 出水量為額定出水量之 150%時 (39.591L/s)，全揚程為 59.917m
- C. 出水量為 0 時，全閉揚程為 122.588m

2. 模擬 15 只撒水頭放水

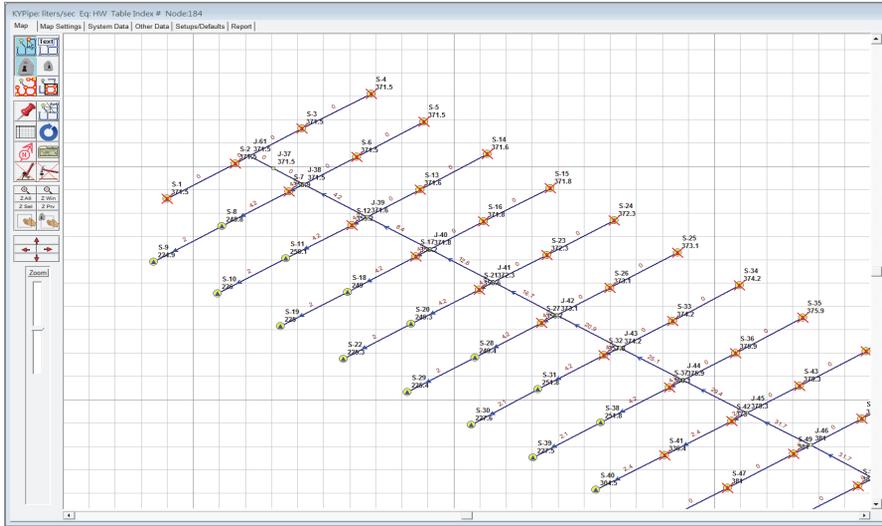


圖 19 情境 6 模擬 15 只撒水頭放水情形

表 12 情境 6 模擬 15 只撒水頭放水結果表

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-8	248.82	2.54	2.14	128.4
S-9	224.82	2.29	2.04	122.4
S-10	225.95	2.30	2.04	122.4
S-11	250.07	2.55	2.15	129
S-18	248.99	2.54	2.14	128.4
S-19	224.98	2.29	2.04	122.4
S-20	249.29	2.54	2.15	129
S-22	225.25	2.30	2.04	122.4
S-28	249.37	2.54	2.15	129
S-29	225.32	2.30	2.04	122.4

S-30	227.59	2.32	2.05	123
S-31	251.87	2.57	2.16	129.6
S-38	251.82	2.57	2.16	129.6
S-39	227.55	2.32	2.05	123
S-40	304.48	3.10	2.37	142.2
幫浦輸出量	745.3	7.60	31.73	1903.8

2. 模擬最遠之 1 只撒水頭 (S9) 放水

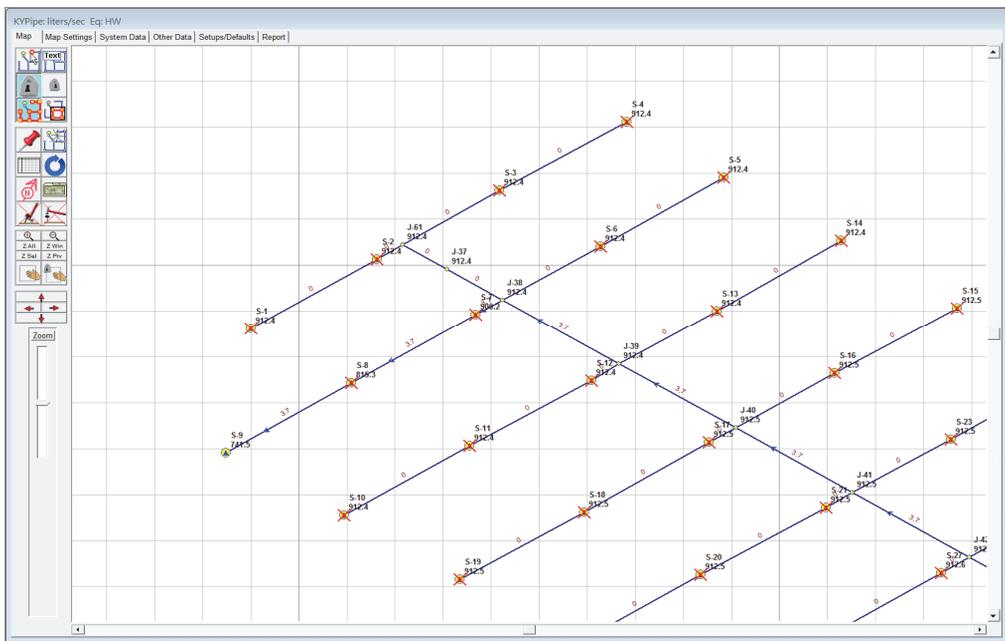


圖 20 情境 6 模擬 1 只撒水頭放水情形

表 13 情境 6 模擬 1 只撒水頭放水結果表

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-9	741.45	7.56	3.7	222
幫浦輸出量	1185.9	12.09	3.7	222

(三) 情境 7-美國 NFPA 水力計算法計算結果 (情境 3 之結果) 於水力計算軟體模擬

1. 水力計算軟體模擬設定之參數

- (1) 管路材質：CNS6445 SGP sch40
- (2) 管路 C 值：120
- (3) 管徑及閥件：依據情境 3 設定
- (4) 撒水頭 K=80 (Constant=0.133)
- (5) 撒水頭高度 27.7M
- (6) 水力計算公式：Hazen Willams
- (7) 幫浦設定：(與情境 3 相同之設定)
 - A. 額定出水量 (25.383L/s) 時，全揚程為 73.59m
 - B. 出水量為額定出水量之 150% 時 (38.074L/s)，全揚程為 47.83m
 - C. 出水量為 0 時，全閉揚程為 88.3m

2. 模擬 12 只撒水頭放水

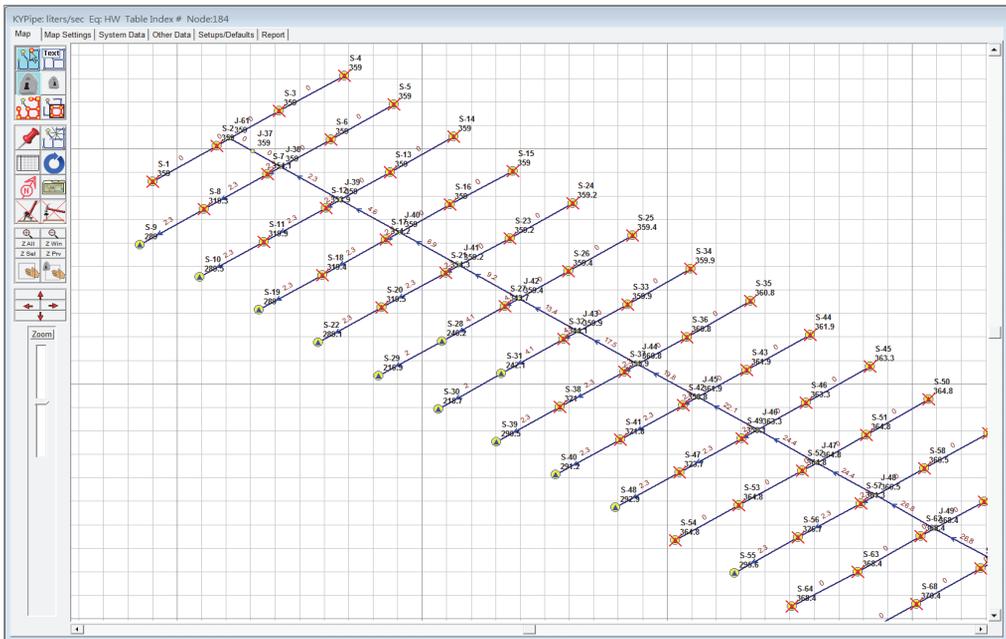


圖 21 情境 7 模擬 12 只撒水頭放水情形

表 14 情境 7 模擬 12 只撒水頭放水結果

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-9	288.96	2.95	2.31	138.6
S-10	289.46	2.95	2.31	138.6

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-19	289.03	2.95	2.31	138.6
S-22	289.14	2.95	2.31	138.6
S-28	240.17	2.45	2.11	126.6
S-29	216.96	2.21	2	120
S-30	218.74	2.23	2.01	120.6
S-31	242.13	2.47	2.12	127.2
S-39	290.44	2.96	2.32	139.2
S-40	291.14	2.97	2.32	139.2
S-48	292.9	2.99	2.33	139.8
S-55	295.57	3.01	2.34	140.4
幫浦輸出量	701	7.15	26.78	1606.8

2. 模擬最遠之 1 只撒水頭 (S9) 放水

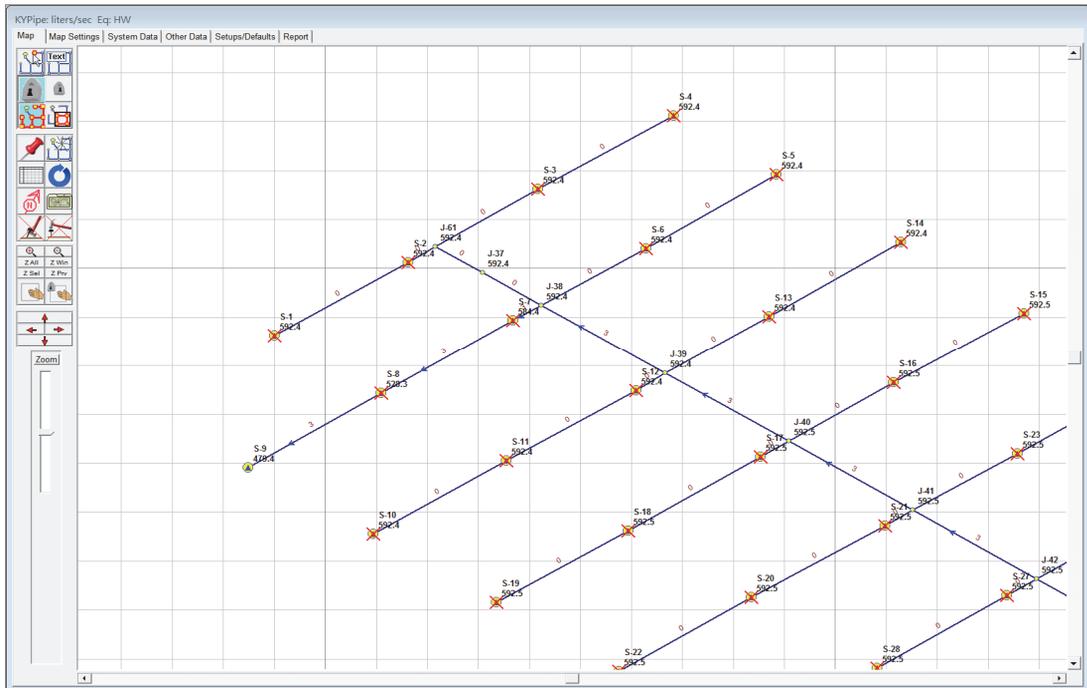


圖 22 情境 7 模擬 1 只撒水頭放水情形

表 15 情境 7 模擬 1 只撒水頭放水結果

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-9	479.35	4.89	2.98	178.8
幫浦輸出量	865.3	8.82	2.98	178.8

(四) 情境 8-美國 NFPA 管徑規格計算計算結果 (情境 4 之結果)) 於水力計算軟體模擬模擬

1. 水力計算軟體模擬設定之參數

- (1) 管路材質：CNS6445 SGP sch40
- (2) 管路 C 值：120
- (3) 管徑及閥件：依據情境 3 設定
- (4) 撒水頭 K=80 (Constant=0.133)
- (5) 撒水頭高度 27.7M
- (6) 水力計算公式：Hazen Willams
- (7) 幫浦設定：(與情境 4 相同之設定)

A. 額定出水量 (70.478L/s) 時，全揚程為 89.7m

B. 出水量為額定出水量之 150%時 (105.717L/s)，全揚程為 58.4m

C. 出水量為 0 時，全閉揚程為 107.6m

2. 模擬 24 只撒水頭放水

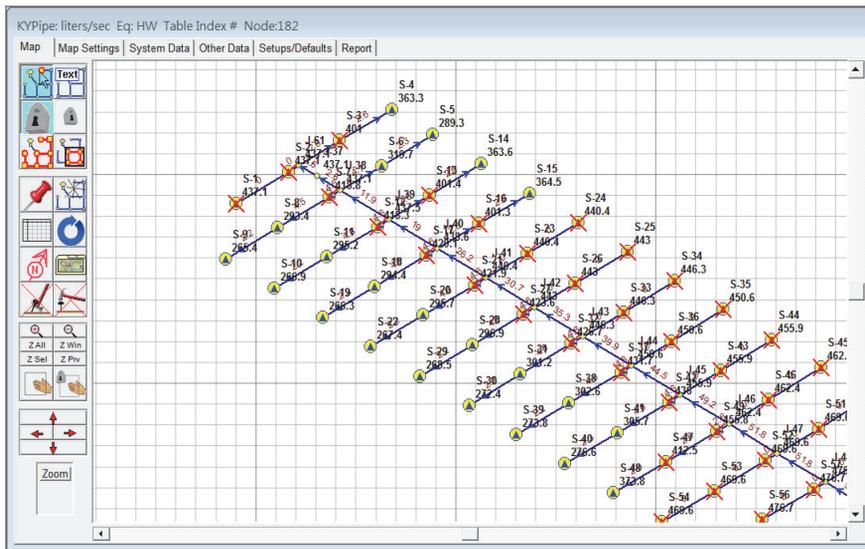


圖 23 情境 8 模擬 24 只撒水頭放水情形

表 16 情境 8 模擬 24 只撒水頭放水結果

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-3	297.16	3.03	2.34	140.4
S-4	268.77	2.74	2.23	133.8
S-5	266.9	2.72	2.22	133.2
S-6	295.1	3.01	2.34	140.4
S-8	270.82	2.76	2.23	133.8
S-9	244.81	2.50	2.13	127.8
S-10	246.33	2.51	2.13	127.8
S-11	272.48	2.78	2.25	135
S-13	297.62	3.03	2.35	141
S-14	269.19	2.74	2.23	133.8
S-15	337.03	3.44	2.5	150
S-18	272.11	2.77	2.25	135
S-19	245.99	2.51	2.13	127.8
S-20	273.7	2.79	2.25	135
S-22	247.44	2.52	2.14	128.4
S-28	275.29	2.81	2.26	135.6
S-29	248.88	2.54	2.14	128.4
S-30	252.99	2.58	2.16	129.6
S-31	279.81	2.85	2.28	136.8
S-38	281.77	2.87	2.28	136.8
S-39	254.77	2.60	2.17	130.2
S-40	257.96	2.63	2.18	130.8
S-41	285.27	2.91	2.3	138
S-48	349.75	3.57	2.54	152.4
幫浦輸出量	964.8	9.84	54.02	3241.2

2. 模擬最遠之 1 只撒水頭 (S9) 放水

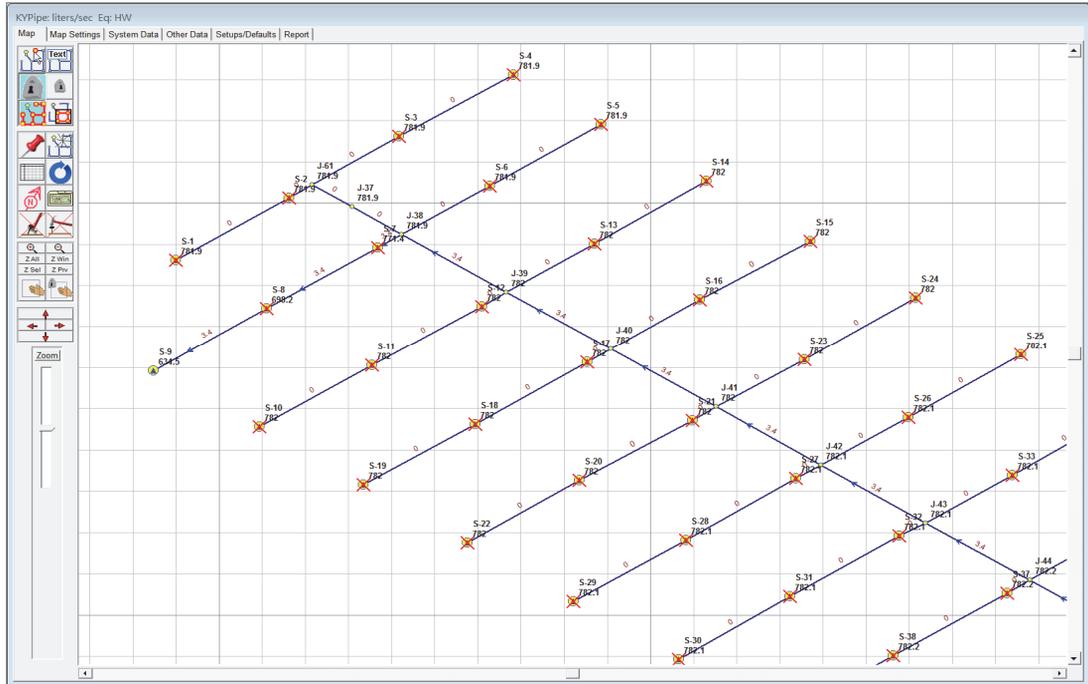


圖 24 情境 8 模擬 1 只撒水頭放水情形

表 17 情境 8 模擬 1 只撒水頭放水結果

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-9	634.45	6.47	3.42	205.2
幫浦輸出量	1055.1	10.76	3.42	205.2

三、臺灣管路配置模式之比較

(一) 情境 9-臺灣環狀 (Loop) 配管模式

1. 水力計算軟體設定之參數

- (1) 管路材質：CNS6445 SGP sch40
- (2) 管路 C 值：120
- (3) 管徑及閥件：依據情境 1 設定
- (4) 撒水頭 K=80 (Constant=0.133)
- (5) 撒水頭高度 27.7M
- (6) 水力計算公式：Hazen Willams

(7)幫浦設定：(與情境 1 相同之設定)

A.額定出水量 (18L/s) 時，全揚程為 48.3m

B.出水量為額定出水量之 150%時 (27L/s)，全揚程為 31.4m

C.出水量為 0 時，全閉揚程為 67.6m

2. 模擬 12 只撒水頭放水

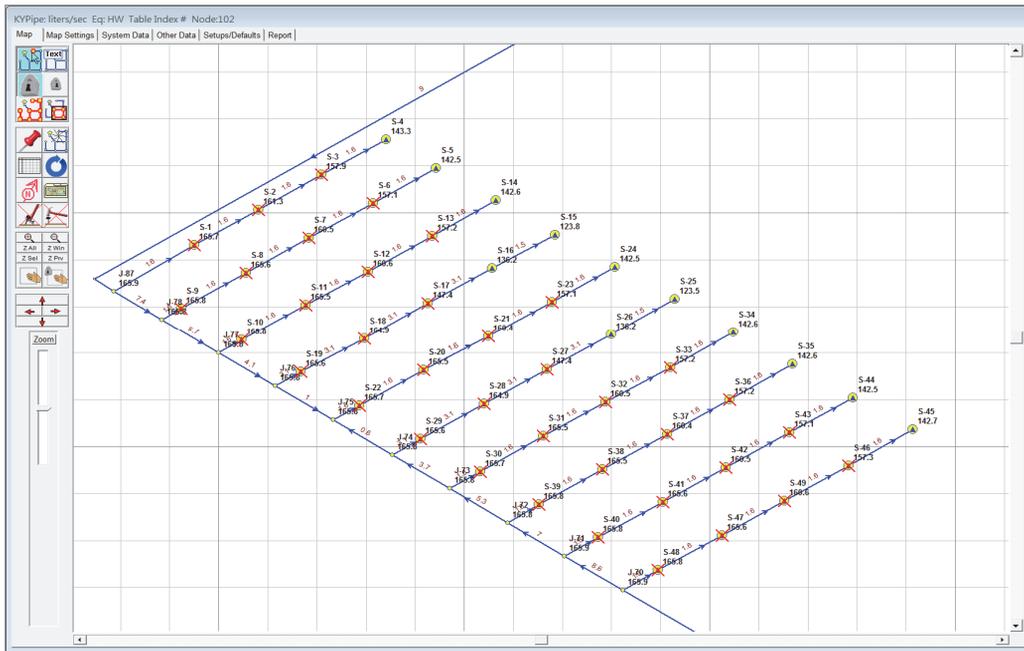


圖 25 情境 9 模擬 12 只撒水頭放水情形

表 18 情境 9 模擬 12 只撒水頭放水結果

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-4	143.26	1.46	1.63	97.8
S-5	142.53	1.45	1.62	97.2
S-14	142.6	1.45	1.62	97.2
S-15	123.79	1.26	1.51	90.6
S-16	136.23	1.39	1.59	95.4
S-24	142.49	1.45	1.62	97.2
S-25	123.49	1.26	1.51	90.6
S-26	136.25	1.39	1.59	95.4

S-34	142.59	1.45	1.62	97.2
S-35	142.6	1.45	1.62	97.2
S-44	142.53	1.45	1.62	97.2
S-45	142.67	1.45	1.62	97.2
幫浦輸出量	454	4.63	19.19	1151.4

2. 模擬最遠之 1 只撒水頭 (S25) 放水

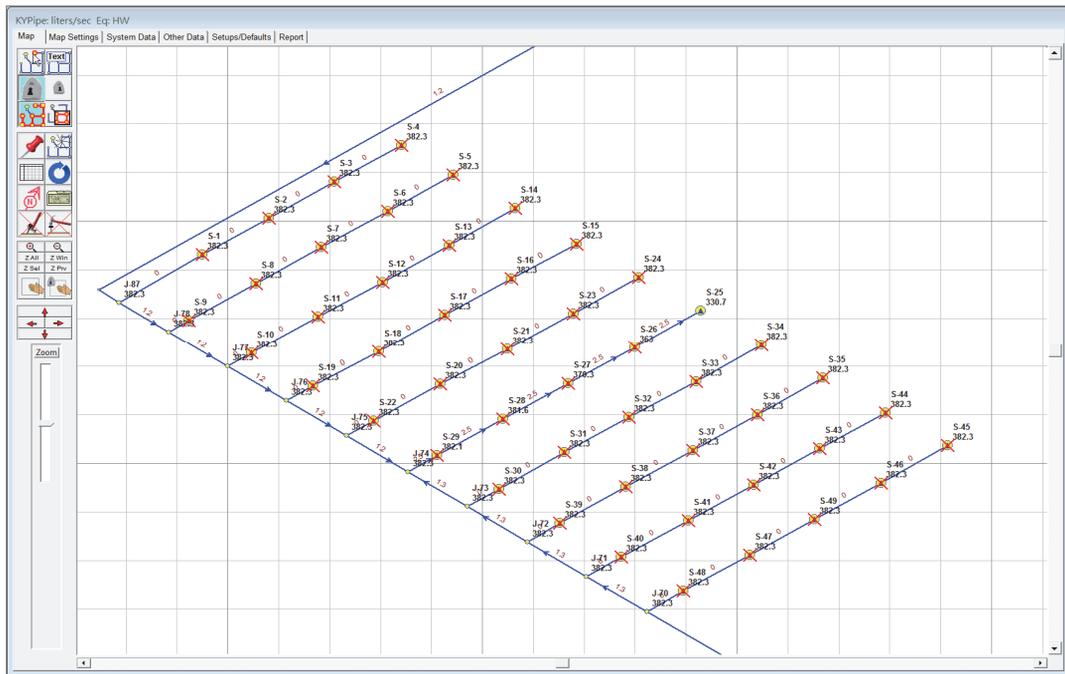


圖 26 情境 9 模擬 1 只撒水頭放水情形

表 19 情境 9 模擬 1 只撒水頭放水結果

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-25	330.69	3.37	2.47	148.2
幫浦輸出量	654.2	6.67	2.47	148.2

(二) 情境 10-臺灣網狀 (Grid) 配管模式

1. 水力計算軟體設定之參數

- (1) 管路材質：CNS6445 SGP sch40
- (2) 管路 C 值：120

- (3)管徑及閥件：依據情境 1 設定
- (4)撒水頭 $K=80$ (Constant=0.133)
- (5)撒水頭高度 27.7M
- (6)水力計算公式：Hazen Willams
- (7)幫浦設定：(與情境 1 相同之設定)
 - A.額定出水量 (18L/s) 時，全揚程為 48.3m
 - B.出水量為額定出水量之 150%時 (27L/s)，全揚程為 31.4m
 - C.出水量為 0 時，全閉揚程為 67.6m

2. 模擬 12 只撒水頭放水

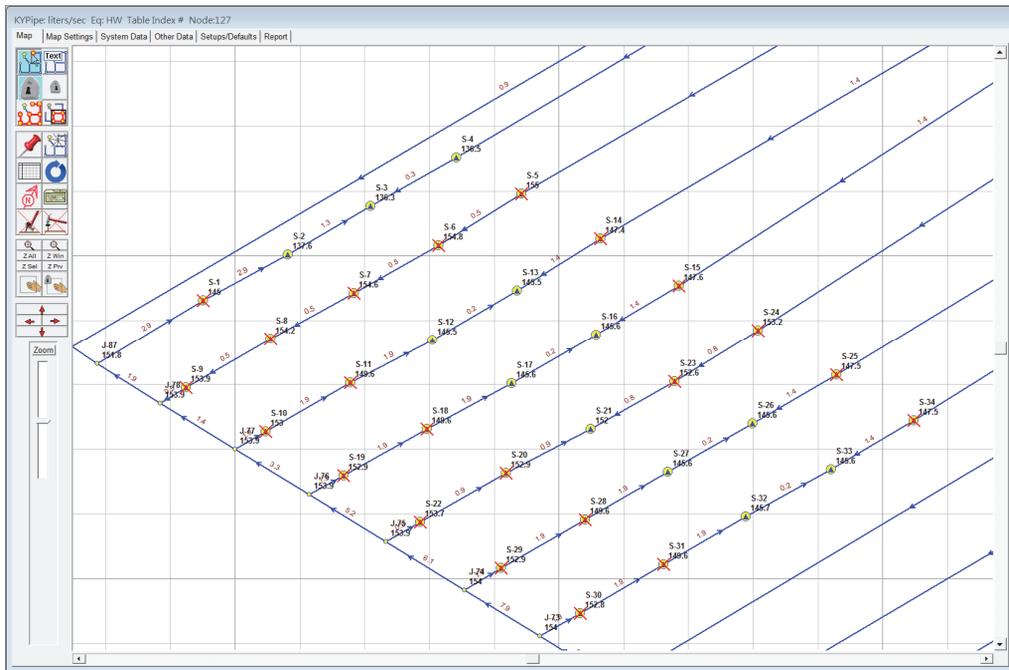


圖 27 情境 10 模擬 12 只撒水頭放水情形

表 20 情境 10 模擬 12 只撒水頭放水結果

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-2	137.6	1.40	1.6	96
S-3	136.3	1.39	1.6	96
S-4	138.5	1.41	1.6	96
S-12	145.5	1.48	1.7	102

S-13	145.5	1.48	1.6	96
S-16	145.6	1.48	1.6	96
S-17	145.6	1.48	1.7	102
S-21	152	1.55	1.7	102
S-26	145.6	1.48	1.6	96
S-27	145.6	1.48	1.7	102
S-32	145.7	1.49	1.7	102
S-33	145.6	1.48	1.6	96
幫浦輸出量	447.6	4.56	19.6	1176

2. 模擬最遠之 1 只撒水頭 (S3) 放水

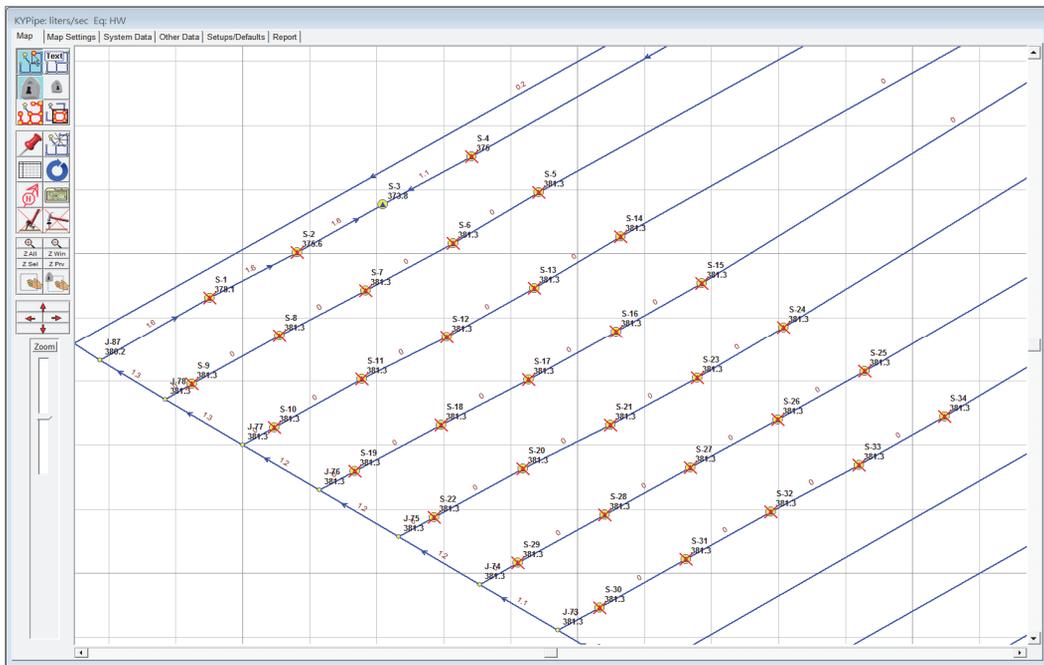


圖 28 情境 10 模擬 1 只撒水頭放水情形

表 21 情境 10 模擬 1 只撒水頭放水結果

撒水頭編號	放水壓力		出水量	
	(KPa)	(kgf/cm ²)	(L/s)	(L/min)
S-3	373.8	3.81	2.7	162
幫浦輸出量	653.3	6.66	2.7	162

陸、模擬結果分析

一、臺灣、中國與美國之手算模式比較

本部分針對臺灣、中國、美國之手算方式（情境 1 至情境 4）在最低要求設計計算下比較以撒水頭放射顆數、最末端撒水頭放水量與放射壓力及幫浦之放水量、揚程做比較，計算結果如下：

表 22 情境 1 至情境 4 結果比較

	情境 1	情境 2	情境 3	情境 4
	臺灣	中國	美國水力計算	美國管徑規格
撒水頭放射顆數 (顆)	12	15	12	24
最末端放射壓力 (kgf/cm ²)	1	1.21	1.489	3.4
最末端撒水頭放水量 (L/min)	80	88	98.42	151.42
幫浦之額定出水量 (L/min)	1080	1583.64	1522.94	4228.69
幫浦額定揚程 (m)	48.3	87.563	73.59	89.7

(一) 撒水頭放射顆數

臺灣法規中撒水頭放射顆數以撒水頭之反應動作時間（快速反應型或一般反應型）及場所類別來決定，僅有 8 種選擇（8、10、12、15、16、20、24、30 顆）。而中國以撒水作用面積（假想防護空間面積）與一只撒水頭防護面積而決定，但在中國「自動噴水滅火系統設計規範」中一般民用建築撒水作用面積僅 160m²、260 m² 兩種，而變項僅有一只撒水頭防護面積，也就是若撒水頭間距與單顆撒水頭防護面積縮小，放射顆數則需加大，情境 4 中放射顆數須在 14 顆以上。另外，參考中國多數水力計算設計例中，為設計、計算方便，仍依假想防護面積之長邊為防護面積平方根之 1.2 倍為原則計算假想防護空間面積，進而求得撒水頭放射顆數，情境 2 中放射 15 顆撒水頭。在美國 NFPA13 水力計算法中可由密度/面積之關係圖中選擇假想防護空間面積與對應之撒水密度來設計。在美國 NFPA13 管徑規格計算法中，則以撒水頭放水量與系統總放水量區間核算放射顆數，情境 4 中撒水頭放

水數量為 22-37 顆之間，而選擇放射 24 顆，在管徑規格計算中放射顆數一般較水力計算法多，也就是假想防護面積較大。

(二) 最末端放射壓力

在情境 1 與情境 4 皆為管徑規格法計算，皆假定最末端放射壓力為定值，在臺灣「各類場所消防安全設備設置標準」中撒水頭放射壓力明定在 1 kgf/cm^2 至 10 kgf/cm^2 。而 NFPA13 管徑規格計算法僅限定輕度、中度危險場所設計，且面積大於 5000 ft^2 (465 m^2) 者，撒水頭放水壓力需加大達 50psi (3.4 bar) 以上。反觀我國並無相關限制或其他強化之規定，且在設計時未導入 K 值之觀念，導致設計者常常無依據 K 值在放水壓力與流量做相對的改變。

在情境 2 與情境 3 中為水力計算法計算，皆以撒水密度、一只撒水頭防護面積及撒水頭 K 值來計算。情境 3 美國水力計算法中因撒水密度及一只撒水頭防護面積較情境 2 中國法規略大，故最末端放射壓力較大。此外，在 NFPA13 水力計算法中撒水密度係由密度/面積之關係圖依場所火災危險等級區分不同曲線，由假想防護面積對應不同撒水密度，其可有無數種組合；而中國自動噴水滅火系統設計規中，一般民用建築依火災危險等級對應個別的撒水密度，依各場所火災危險等級即決定撒水密度，沒有給設計者充分的設計選擇空間，但相對的也較為簡化明瞭。

(三) 最末端撒水頭放水量

在情境 1 與情境 4 皆為管徑規格法計算，最末端撒水頭放水量由放射壓力與撒水頭 K 值決定，而臺灣設計中最末端放射壓力多以為 1 kgf/cm^2 基準，故放水量多為 80 L/min 核算，且在臺灣「各類場所消防安全設備設置標準」中亦明文寫道出水量需在 80L/min 以上，未導入 K 值之觀念，導致設計者無法在放水壓力與流量做改變。在情境 4 中，以最末端放射壓力與撒水頭之 K 值核算撒水頭放水量，因該情境放射壓力 (3.4 kgf/cm^2) 要求較大，故撒水頭放水量亦加大至 151.42L/min。

在情境 2 與情境 3 中為水力計算法計算，皆以撒水密度乘以一只撒水頭防護面積計算，分別為 88 L/min、98.42 L/min。

(四) 幫浦之額定出水量

情境 2 與情境 3 同為水力計算法計算，其過程較為繁瑣，在假想防護空間需逐點計算，其計算結果相當，分別為 1583.64 L/min、1522.94 L/min。

情境1 臺灣法規計算中，設置標準明定為撒水頭放射顆數乘以 90L/min，故依撒水頭放射顆數，也僅有 8 種變化，情境 1 為 1080 L/min，未考慮撒水頭放水壓力與 K 值對流量之影響，而以 80L/min(1kgf/cm²時)之放水量，直接增加為 90L/min 作為水力計算之基礎，不符合水力工程原理，且情境 1 為 1080 L/min 小於情境 2 或情境 3 同為水力計算法之結果。同為管徑規格計算之情境 4 亦依 $Q=K\sqrt{P}$ 計算後流量值累計至 NFPA13 明定之放水量區間為其出水量，亦有相當的簡化，但累計的結果，所需放射之撒水頭數較多，出水量也相較於其他情境出水量大很多 (4228.69L/min)。

(五) 幫浦額定揚程

情境 2 與情境 3 同為水力計算法計算，惟水力計算公式不同，美國係依據海真-威廉斯公式 (Hazen-Williams Equation)；而中國係依據舍維列夫公式 ($\Phi \cdot A \cdot ШчеবেЛев$)，須先計算出流速才能計算摩擦損失，計算結果分別為 87.563m、73.59m。

在情境 1 與情境 4 皆為管徑規格法計算，計算方式相近，但情境 1 臺灣設備標準中在加壓送水裝置全揚程計算條文中又明文直接加上 10m (1 kgf/cm²)，這部分在設計時若放射設計壓力非為 1 kgf/cm²時，可能造成幫浦效能不足。情境 1 之結果 (48.3m) 亦是 4 個情境中最小者。情境 4 美國管徑規格法因放射較多之撒水頭，計算幫浦揚程結果 (89.7m) 也較為大。

二、臺灣、中國與美國於水力計算軟體比較

(一) 臺灣法規於水力計算軟體模擬比較

於情境 5 水力計算軟體模擬中，模擬 12 顆撒水頭同時放射時，最末端撒水頭 (S-9) 出水量為 82.8 L/min、放水壓力為 1.05 kgf/cm²，放水性能表現較佳者為 S-40 出水量 96.6L/min、出水壓力 1.43 kgf/cm²。總出水量為 1064.4 L/min、出水壓力為 4.87 kgf/cm²。

模擬 1 顆放水時，最末端撒水頭 (S-9) 出水量為 143.4L/min、放水壓力為 3.14 kgf/cm²。總出水量為 143.4L/min、出水壓力為 6.68 kgf/cm²。

1. 情境 5 與法定最低限度比較

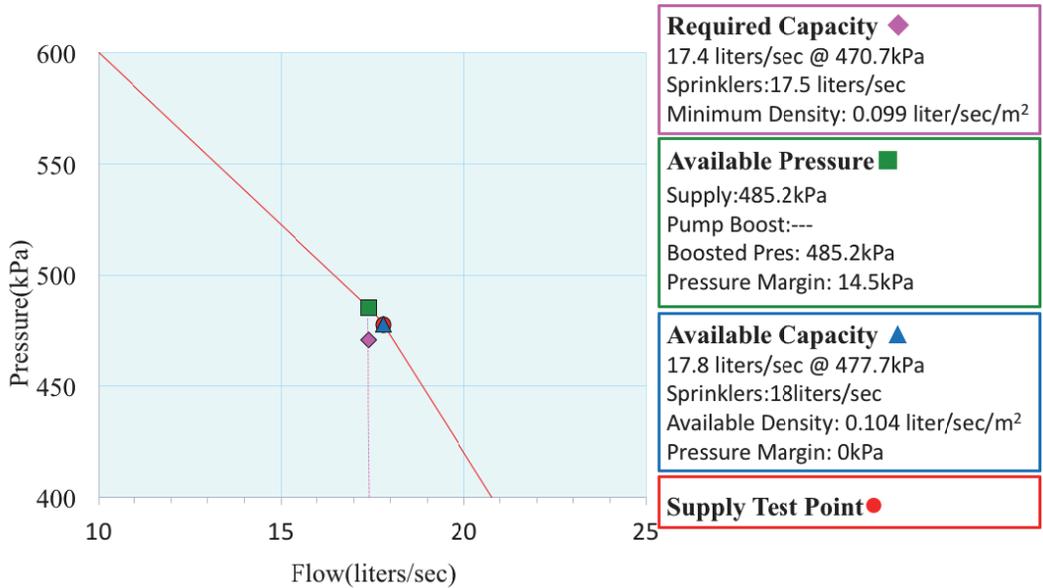


圖 29 情境 5 與法定最低限度比較

上圖表示該系統最低所需量 (Required Capacity) 之撒水密度為 0.0987 L/s · m² (5.92 L/min · m²), 所需要的幫浦出水量為 17.4L/s (1044L/min)、出水壓力為 470.7KPa (4.8 kgf/cm²), 相較情境 5 設定之幫浦所提供出水量為 17.8L/s (1068L/min)、出水壓力為 477.7KPa (4.87 kgf/cm²)、撒水密度為 0.104 L/s · m² (6.24 L/min · m²), 略為相等, 表示該設定之幫浦與法定需求量相當。

2. 手算與水力計算軟體模擬結果比較 (情境 1 與情境 5 比較)

表 23 情境 1 與情境 5 比較表

		情境 1	情境 5
		手算	KYPIPE
撒水密度 (L/min · m ²)		5.92	6.24
12 顆撒水頭同時放射	最末端撒水頭 (S-9) 放射壓力 (kgf/cm ²)	1	1.05
	最末端撒水頭放水量 (L/min)	80	82.8
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)	4.83	4.87
	幫浦出水量 (L/min)	1080	1064.4
1 顆撒水	最末端撒水頭 (S-9) 放射壓力		3.14

頭放射	(kgf/cm ²)		
	最末端撒水頭放水量 (L/min)		143.4
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)		6.68
	幫浦出水量 (L/min)		143.4

情境 1 與情境 5 幫浦設定相同，而情境 1 設定在 12 顆放射時，最末端撒水頭放水量 80 L/min、放射壓力 1kgf/cm²，而與情境 5 模擬顯示略為相近，且情境 5 幫浦輸出之壓力、出水量與設定的額定值相當。此外，以 12 顆撒水頭平均放水量 (1064.4/12=88.7 L/min) 與相較法定值 90 L/min 略低，以及 12 顆撒水頭放水性能皆在法定值間，表示在此情境中，法定 90L/min 作為水力計算之基礎尚可運用。另外，手算結果無法表示出單顆撒水頭放水之狀況。

(二) 中國法規於水力計算軟體模擬比較

於情境 6 水力計算軟體模擬中，模擬 15 顆撒水頭同時放射時，最末端撒水頭 (S-9) 出水量為 122.4 L/min、放水壓力為 2.29 kgf/cm²，放水性能表現較佳者為 S-40 出水量 142.2L/min、出水壓力 3.10 kgf/cm²。總出水量為 1903.8 L/min、出水壓力為 7.60 kgf/cm²。

模擬 1 顆放水時，最末端撒水頭 (S-9) 出水量為 222L/min、放水壓力為 7.56 kgf/cm²。總出水量為 222L/min、出水壓力為 12.09 kgf/cm²。

1. 情境 6 與法定最低限度比較

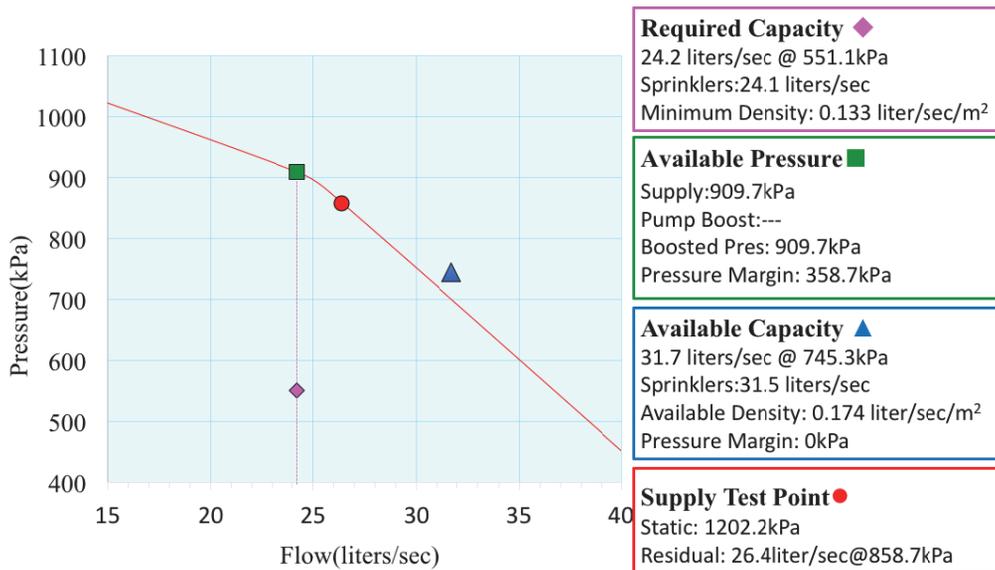


圖 30 情境 6 與法定最低限度比較

上圖表示情境 6 設定之幫浦所提供出水量、出水壓力及撒水密度，相較於該系統最低所需量（Required Capacity）為大，表示該設定之幫浦相較法定需求量大。相關資料如下：

表 24 境 6 與法定最低限度比較表

	情境 6	法定最低限度 (Required Capacity)
撒水密度	0.174 L/s · m ² (10.44 L/min · m ²)	0.133 L/s · m ² (8 L/min · m ²)
幫浦出水量	31.7L/s (1902L/min)	24.2L/s (1452L/min)
幫浦出水壓力	745.3KPa (7.6 kgf/cm ²)	511.1KPa (5.21 kgf/cm ²)

2.手算與水力計算軟體模擬結果比較（情境 2 與情境 6 比較）

表 25 情境 2 與情境 6 比較表

		情境 2	情境 6
		手算	KYPIPE
撒水密度 (L/min · m ²)		8	10.44
15 顆撒水頭同時放射	最末端撒水頭 (S-9) 放射壓力 (kgf/cm ²)	1.21	2.29
	最末端撒水頭放水量 (L/min)	88.2	122.4
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)	8.756	7.6
	幫浦出水量 (L/min)	1583.64	1903.8
1 顆撒水頭放射	最末端撒水頭 (S-9) 放射壓力 (kgf/cm ²)		7.56
	最末端撒水頭放水量 (L/min)		222
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)		12.09
	幫浦出水量 (L/min)		222

情境 2 與情境 6 幫浦設定相同，而情境 2 設定在 15 顆放射時，最末端撒水頭放水量 88.2 L/min、放射壓力 1.21kgf/cm²，而與情境 6 模擬顯示不論是撒水密度、放水量或放射壓力皆較手算結果大很多，表示手算出來的幫

浦額定性能值較水力計算軟體模擬結果大很多，輸出壓力相較額定壓力差距高達 1kgf/cm^2 多，且情境 2（中國之手算方式）與情境 3（美國水力計算之手算方式）額定壓力差距亦高達 1kgf/cm^2 多，可能的原因是該水力計算軟體（KYPIPE）內建無中國大陸之舍維列夫公式（ $\Phi \cdot A \cdot \text{Щевелев}$ ）摩擦損失計算式，而以海真-威廉斯公式（Hazen-Williams Equation）計算模擬所造成的差距。

(三) 美國 NFPA 水力計算法於水力計算軟體中模擬比較

於情境 7 水力計算軟體模擬中，模擬 12 顆撒水頭同時放射時，最末端撒水頭（S-9）出水量為 138.6L/min 、放水壓力為 2.95kgf/cm^2 ，放水性能表現較佳者為 S-55 出水量 140.4L/min 、出水壓力 3.01kgf/cm^2 。總出水量為 1606.8L/min 、出水壓力為 7.15kgf/cm^2 。

模擬 1 顆放水時，最末端撒水頭（S-9）出水量為 178.8L/min 、放水壓力為 4.89kgf/cm^2 。總出水量為 178.8L/min 、出水壓力為 8.82kgf/cm^2 。

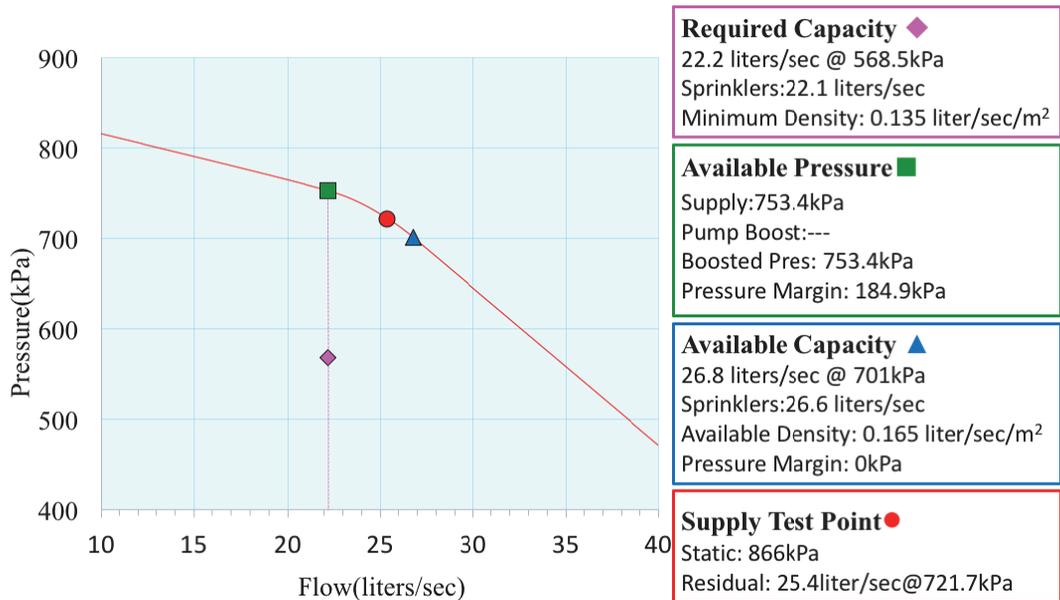


圖 31 情境 7 與法定最低限度比較

上圖表示情境 7 設定之幫浦所提供出水量、出水壓力及撒水密度，亦相較於該系統最低所需量（Required Capacity）為大，表示該幫浦之設定相較法定需求量大。相關資料如下：

表 26 情境 7 與法定最低限度比較表

	情境 7	法定最低限度 (Required Capacity)
撒水密度	0.165 L/s · m ² (9.9 L/min · m ²)	0.135 L/s · m ² (8.1 L/min · m ²)
幫浦出水量	26.8L/s (1608L/min)	22.2L/s (1332L/min)
幫浦出水壓力	701KPa (7.15 kgf/cm ²)	568.5KPa (5.8 kgf/cm ²)

2.手算與水力計算軟體模擬結果比較 (情境 3 與情境 7 比較)

表 27 情境 3 與情境 7 比較表

		情境 3	情境 7
		手算	KYPIPE
撒水密度 (L/min · m ²)		8.1	9.9
12 顆撒水頭同時放射	最末端撒水頭 (S-9) 放射壓力 (kgf/cm ²)	1.5	2.95
	最末端撒水頭放水量 (L/min)	98.42	138.6
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)	7.359	7.15
	幫浦出水量 (L/min)	1522.94	1608
1 顆撒水頭放射	最末端撒水頭 (S-9) 放射壓力 (kgf/cm ²)		4.89
	最末端撒水頭放水量 (L/min)		178.8
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)		8.82
	幫浦出水量 (L/min)		178.8

情境 3 與情境 7 幫浦設定相同，而情境 3 設定在 12 顆放射時，最末端撒水頭放水量 98.42 L/min、放射壓力 1.5kgf/cm²，而與情境 7 模擬顯示不論是撒水密度、放水量或放射壓力皆較手算結果大很多，但幫浦輸出性能相較額定值差距不大，表示手算出來的幫浦額定性能值於水力計算軟體模擬大，惟差距無像中國之差距那麼大。

(四) 美國 NFPA 管徑規格法於水力計算軟體模擬比較

於情境 8 水力計算軟體模擬中，模擬 24 顆撒水頭同時放射時，最末端

撒水頭 (S-9) 出水量為 127.86 L/min、放水壓力為 2.5kgf/cm²，放水性能表現較佳者為 S-48 出水量 152.4L/min、出水壓力 3.57kgf/cm²。總出水量為 3241.2L/min、出水壓力為 9.84kgf/cm²。

模擬 1 顆放水時，最末端撒水頭 (S-9) 出水量為 205.2L/min、放水壓力為 6.47 kgf/cm²。總出水量為 205.2L/min、出水壓力為 10.76kgf/cm²。

1. 情境 8 與法定最低限度比較

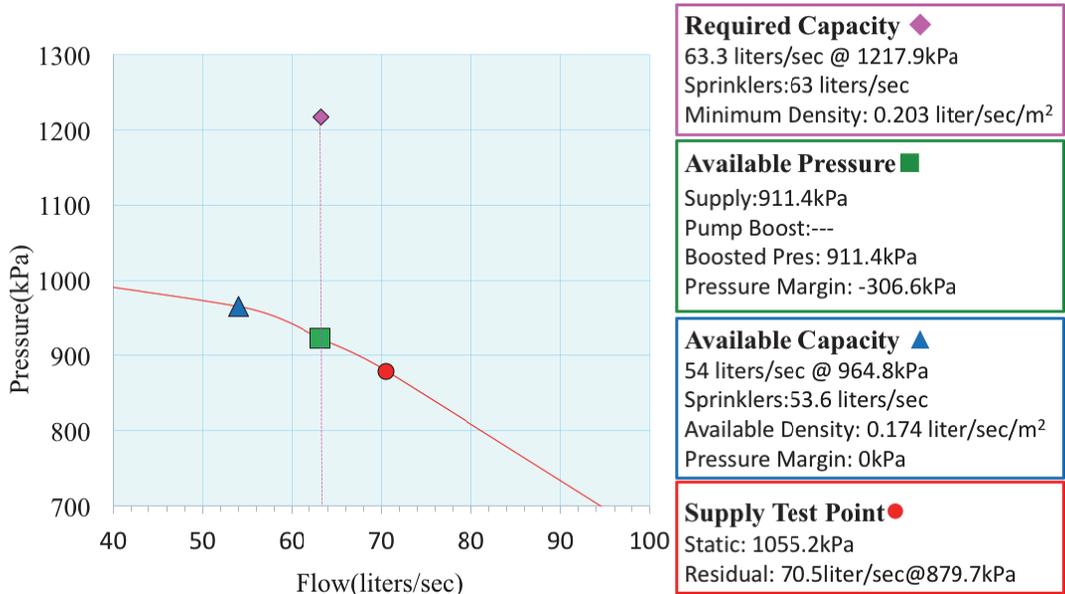


圖 32 情境 8 與法定最低限度比較

上圖表示情境 8 設定之幫浦所提供出水量、出水壓力及撒水密度，亦相較於該系統最低所需量 (Required Capacity) 為小，表示該幫浦所設定之揚程與流量無法滿足依法換算之撒水密度。相關資料如下：

表 28 情境 8 與法定最低限度比較表

	情境 8	法定最低限度 (Required Capacity)
撒水密度	0.174 L/s · m ² (10.44 L/min · m ²)	0.203 L/s · m ² (12.19L/min · m ²)
幫浦出水量	54L/s (3240L/min)	63.3L/s (3790L/min)
幫浦出水壓力	964.8KPa	1217.9KPa

	(9.84 kgf/cm ²)	(12.42 kgf/cm ²)
--	-----------------------------	------------------------------

2.手算與水力計算軟體模擬結果比較 (情境4 與情境8 比較)

表 29 情境 4 與情境 8 比較表

		情境 4	情境 8
		手算	KYPIPE
撒水密度 (L/min · m ²)		12.19	10.44
24 顆撒水頭同時放射	最末端撒水頭 (S-9) 放射壓力 (kgf/cm ²)	3.4	2.5
	最末端撒水頭放水量 (L/min)	151.42	127.8
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)	8.97	9.84
	幫浦出水量 (L/min)	4228.69	3240
1 顆撒水頭放射	最末端撒水頭 (S-9) 放射壓力 (kgf/cm ²)		6.47
	最末端撒水頭放水量 (L/min)		205.2
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)		10.76
	幫浦出水量 (L/min)		205.2

情境 4 與情境 8 幫浦設定相同，而情境 4 設定在 24 顆放射時，最末端撒水頭放水量 151.42 L/min、放射壓力 3.4kgf/cm²，而與情境 8 模擬結果最末端撒水頭放水量 127.8 L/min、放射壓力 2.5kgf/cm²。顯示不論是撒水密度、放水量或放射壓力，手算結果無法達到預期效能。表示在本研究中，美國管徑規格法係以加大假想防護面積及撒水密度之法定最低限度值來要求設計者。

三、臺灣管路配置模式之比較

(一) 環狀 (Loop)、網狀 (Grid) 與樹狀 (Tree) 法定最低限度比較

1. 情境 9 環狀 (Loop) 與法定最低限度比較

於情境 9 水力計算軟體模擬中，模擬 12 顆撒水頭同時放射時，放水性能較弱之撒水頭 (S-25) 出水量為 90.6 L/min、放水壓力為 1.26kgf/cm²，放水性能表現較佳者為 S-4 出水量 97.8L/min、出水壓力 1.46kgf/cm²。總出水量為 1151.4L/min、出水壓力為 4.63kgf/cm²。

模擬 1 顆放水時，最末端撒水頭 (S-25) 出水量為 148.2L/min、放水壓

力為 3.37kgf/cm^2 。總出水量為 148.2L/min 、出水壓力為 6.67kgf/cm^2 。

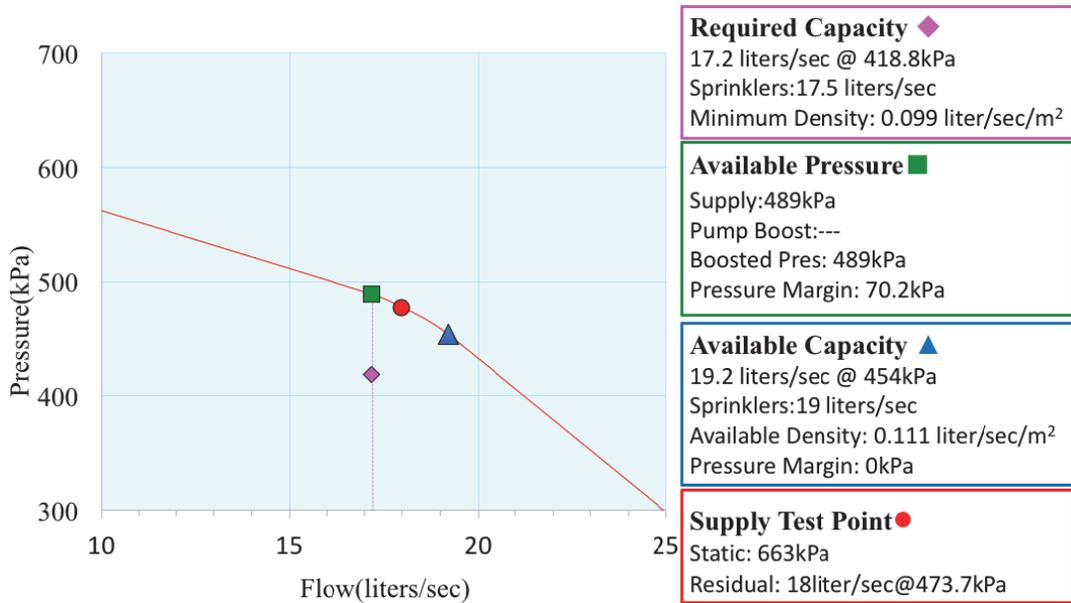


圖 33 情境 9 環狀 (Loop) 與法定最低限度比較

上圖表示情境 9 設定之幫浦所提供出水量、出水壓力及撒水密度，亦相較於該系統最低所需量 (Required Capacity) 為大，表示該幫浦之設定相較法定需求量大。情境 9 之幫浦設定與情境 5 相同，表示環狀 (Loop) 管路之配置模式相較樹狀 (Tree) 幫浦能力要求較小。相關資料如下：

表 30 情境 9 環狀 (Loop) 與法定最低限度比較表

	情境 9	法定最低限度 (Required Capacity)
撒水密度	$0.111\text{ L/s} \cdot \text{m}^2$ ($6.66\text{ L/min} \cdot \text{m}^2$)	$0.0987\text{ L/s} \cdot \text{m}^2$ ($5.92\text{ L/min} \cdot \text{m}^2$)
幫浦出水量	19.2 L/s (1152 L/min)	17.2 L/s (1032 L/min)
幫浦出水壓力	454 KPa (4.63 kgf/cm^2)	418.8 KPa (4.27 kgf/cm^2)

2. 情境 10 網狀 (Grid) 與法定最低限度比較

於情境 10 水力計算軟體模擬中，模擬 12 顆撒水頭同時放射時，放水性能較弱之撒水頭 (S-3) 出水量為 96 L/min 、放水壓力為 1.39kgf/cm^2 ，放水性能表現較佳者為 S-21 出水量 102 L/min 、出水壓力 1.55kgf/cm^2 。總出水量為 1176 L/min 、出水壓力為 4.56kgf/cm^2 。

模擬 1 顆放水時，最末端撒水頭 (S-3) 出水量為 162 L/min 、放水壓力

為 3.81kgf/cm²。總出水量為 162L/min、出水壓力為 6.66kgf/cm²。

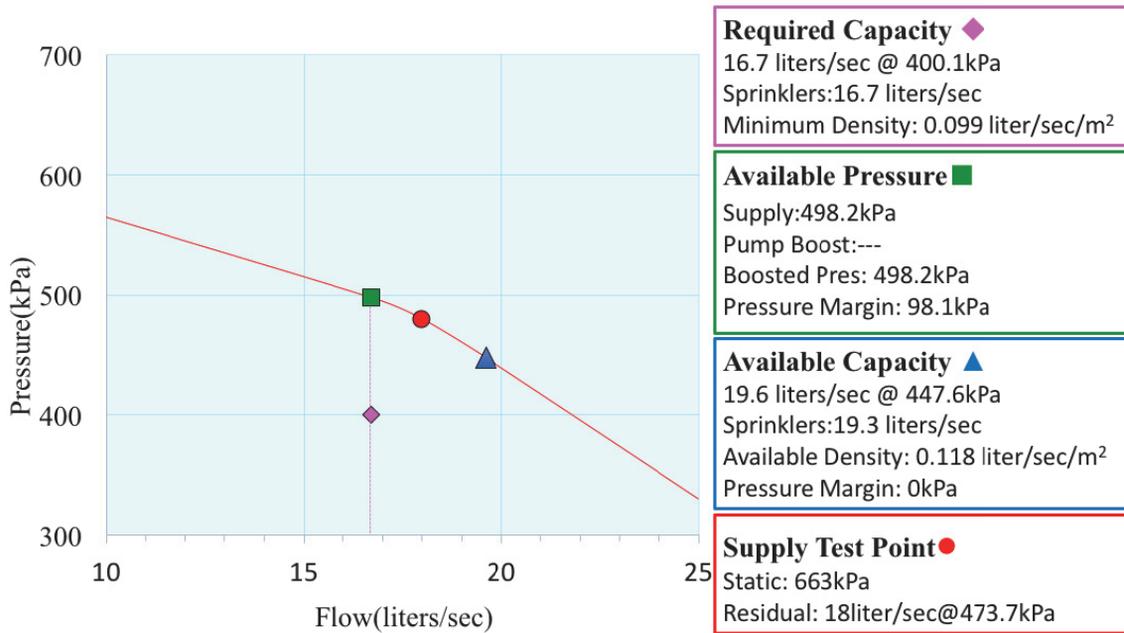


圖 34 情境 10 網狀 (Grid) 與法定最低限度比較

上圖表示情境 10 設定之幫浦所提供出水量、出水壓力及撒水密度，亦相較於該系統最低所需量 (Required Capacity) 為大，表示該幫浦之設定相較法定需求量大。情境 10 之幫浦設定與情境 5 相同，表示網狀 (Grid) 管路之配置模式相較樹狀 (Tree) 幫浦能力要求較小。相關資料如下：

表 31 情境 9 環狀 (Loop) 與法定最低限度比較表

	情境 10	法定最低限度 (Required Capacity)
撒水密度	0.118 L/s · m ² (7.08 L/min · m ²)	0.0987 L/s · m ² (5.92L/min · m ²)
幫浦出水量	19.6L/s (1176L/min)	16.7L/s (1002L/min)
幫浦出水壓力	477.6KPa (4.87 kgf/cm ²)	400.1KPa (4.08 kgf/cm ²)

3. 系統最低所需量 (Required Capacity) 比較

表 32 情境 5、情境 9、情境 10 系統最低所需量比較表

	情境 5	情境 9	情境 10
	樹狀 (Tree)	環狀 (Loop)	網狀 (Grid)
撒水密度 (L/min · m ²)	5.92		
幫浦出水量 (L/min)	1044	1032	1002
幫浦出水壓力 (kgf/cm ²)	4.8	4.27	4.08

上表表示在維持相同撒水頭間距及撒水密度下，樹狀 (Tree) 配置所需之幫浦揚程與出水量需最大，環狀 (Loop) 次之，而網狀 (Grid) 所需要的幫浦能量最小。

(二) 環狀 (Loop)、網狀 (Grid) 與樹狀 (Tree) 於 KYPIPE 放水結果比較 (情境 5、情境 9 及情境 10 比較)

表 33 情境 5、情境 9、情境 10 於 KYPIPE 放水結果比較表

			情境 5	情境 9	情境 10
			樹狀 (Tree)	環狀 (Loop)	網狀 (Grid)
撒水密度 (L/min · m ²)			6.24	6.66	7.08
12 顆 撒 水 頭 同 時 放 射	放水性能最弱的撒水頭	放射壓力 (kgf/cm ²)	1.05	1.26	1.39
		放水量 (L/min)	82.8	90.6	96
	放水性能最好的撒水頭	放射壓力 (kgf/cm ²)	1.43	1.46	1.55
		放水量 (L/min)	96.6	97.8	102
	平均放射壓力 (kgf/cm ²)		1.21	1.41	1.47
	放射壓力標準差		0.16	0.07	0.04
	撒水頭平均放水量		88.7	95.85	98.50
	撒水頭放水量標準差		5.81	2.56	3.09
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)		4.87	4.63	4.56
	幫浦出水量 (L/min)		1064.4	1151.4	1176
1 顆	最末端撒水頭放射壓力 (kgf/cm ²)		3.14	3.37	3.81

撒水頭放射	最末端撒水頭放水量 (L/min)	143.4	148.2	162
	幫浦輸出壓力 (kgf/cm ²)	6.68	6.67	6.66
	幫浦出水量 (L/min)	143.4	148.2	162

情境 5 (樹狀) 與情境 9 (環狀) 及情境 10 (網狀) 幫浦設定相同下，而不論是放水量或放射壓力皆為網狀最優，環狀次之，樹狀最弱，造成在相同撒水頭間距下撒水密度提升。而放射壓力標準差顯示網狀之放水壓力最為平均；樹狀最為分散。放水量則為環狀最為集中，同樣是樹狀最為分散。

在幫浦輸出性能方面，在相同幫浦 (額定出水量為 1080 L/min，額定壓力為 4.83 kgf/cm²) 與相同撒水頭間距下，網狀 (Grid) 及環狀 (Loop) 配置下會造成幫浦輸出能量提升，可能超過額定值運轉。

柒、結論

本研究在不同的撒水模式比較之下，有以下幾點結論：

一、臺灣、中國與美國之手算模式比較

(一) 撒水密度與假想防護空間面積

撒水密度與假想防護空間面積係探討是否能有效撲滅或控制火勢的重要指標，而臺灣與中國相較於美國，設定的基準較於簡化。尤其是臺灣法規中直接以撒水頭放射顆數及撒水頭之間距來決定假想防護空間面積，且撒水密度亦僅以撒水頭間距為變數，在實務設計上欠缺變通性，實務上亦難以以場所用途、危險等級來規劃設計撒水密度。

(二) 撒水頭放射壓力與放水量

撒水頭放射壓力與放水量在美國或中國水力計算設計中並非重要的指標，而是以撒水密度、一只撒水頭防護面積、撒水頭 K 值及假想防護空間面積來設計。

(三) 管徑規格法

臺灣與美國 NFPA13 的管徑規格法計算方式相近，但美國 NFPA13 的管徑規格法最末端撒水頭放水量仍由放射壓力與撒水頭 K 值決定，且放射壓力依場所危險等級有所不同，計算結果相較水力計算法嚴格許多，而臺灣

法規相對寬鬆。

(四) 水力計算法

美國與中國之水力計算法相近，惟水力計算公式不同，美國係依據海真-威廉斯公式 (Hazen-Williams Equation)；而中國舍維列夫公式 ($\Phi \cdot A \cdot \text{Шевелев}$)，須先計算出流速才能計算摩擦損失。在本研究計算結果，中國之幫浦能量要求較美國大。

二、臺灣、中國與美國於水力計算軟體比較

- (一) 於水力計算軟體中，臺灣手算結果之幫浦輸出壓力、出水量與水力計算軟體中最低需求量相當，表示臺灣手算方式恰可達到法定基礎值。而依法在計算放水量時，直接以 90L/min 作為水力計算之方式，雖未考慮撒水頭放水壓力與 K 值對流量之影響，不符合水力工程原理，但在本研究情境中，法定 90L/min 作為水力計算之基礎尚可運用。
- (二) 中國與美國之水力計算法，依情境 2 及情境 3 手算之幫浦額定出水量、額定壓力，相較於水力計算軟體模擬之法規最低所需量 (Required Capacity) 為大，表示手算出來的幫浦額定性能值較水力計算軟體模擬結果嚴苛。
- (三) 該水力計算軟體(KYPIPE)內建無中國大陸之舍維列夫公式($\Phi \cdot A \cdot \text{Шевелев}$)摩擦損失計算式，模擬結果可能造成較大的誤差。中國新版的規範改用海真-威廉斯公式將無此問題。
- (四) 美國管徑規格法於水力計算軟體模擬結果表示，美國管徑規格法計算的幫浦設定值無法滿足依法換算之撒水密度，也就是說不論是撒水密度、放水量或放射壓力，手算結果無法達到法規上預期效能。但，再反看美國管徑規格之要求值皆相對於臺灣、中國或美國水力計算法要求嚴格。表示在本研究中，美國管徑規格法係以加大假想防護面積及撒水密度之法定最低限度值來要求設計者，而在計算中卻予放寬。

三、臺灣管路配置模式之比較

- (一) 在相同幫浦設定、撒水頭間距及管徑條件下：

放水量或放射壓力等供水性能皆為網狀最優，環狀次之，樹狀最弱。網狀及環狀模式皆造成撒水密度提升。但，在幫浦輸出性能方面，網狀及環狀配置下會造成幫浦輸出量提升，超過額定值運轉。

- (二) 維持相同撒水頭間距及撒水密度：

樹狀配置所需之幫浦揚程與出水量需最大，環狀次之，而網狀所需要的幫浦能量最小，也就是在此條件下，以網狀與環狀可採用較小規格之幫浦。

(三) 在放射壓力標準差顯示網狀之放水壓力最為平均；樹狀最為分散。放水量則為環狀最為集中，同樣是樹狀最為分散。

捌、建議

一、建議增訂「水力計算法設計要點」：

(一) 訂定理由：

1. 現行之計算模式有諸多限制，如限制於樹狀管路、管材，無法讓設計者有更多的設計空間，如環狀、網狀管路等等。
2. 撒水密度與假想防護空間面積一般視為評估是否有效撲滅或控制火勢的重要指標，目前臺灣無明確的定義，而僅以撒水頭放射顆數及撒水頭之間距來決定假想防護空間面積及撒水密度，讓設計者難以依據場所需要規劃設計。
3. 歐、美各國及中國大陸皆以水力計算法進行設計，並多以電腦水力計算軟體設計或輔助，且目前臺灣不論是商場、國際飯店、高科技廠房、電廠或石化廠等，因保險與再保險制度，多會要求依 FM 等第三方認證準則，臺灣應訂定水力計算法設計之準則，讓國內設計者有所依循，與世界各國接軌。

(二) 訂定重點：

1. 未來應以場所危險程度，並參酌其他各國規範、相關火災試驗結果及臺灣文化差異，來定義各場所應達到的撒水密度，並依據撒水密度與假想防護空間面積來規劃設計撒水系統，以維護公共安全。
2. 臺灣之配管摩擦損失公式為參考日本而來，為海真-威廉斯公式依 C 值 120 簡化而來，但也限制了設計上管材之選用，建議未來可參考美國、日本或中國之公式，可讓設計者選擇之空間。
3. 訂定設計計算流程之規範與範例，以及參考美國、日本規定針對環狀配置訂定計算流程之規範，讓國內設計者有規則可循。
4. 參酌美國 NFPA 規範，訂定水力計算書之內容要求。並列舉核准使用的水力計算軟體種類。

二、系統設計建議

- (一) 以網狀或環狀管路配置模式可提供較優供水性能，未來設計時可以運用，但設計時仍應嚴謹。
- (二) 對於非樹狀管路配置者，應有水力計算軟體輔助，消防機關亦應審查其內部參數設定是否適當。
- (三) 對於非樹狀配置者，設計與查驗測試時應注意撒水最不利區域之位置。

參考文獻

- 陳宗傑，自動撒水滅火系統網柵配管與樹狀配管之比較，中華民國消防設備師公會全國聯合會消防技術專刊，2015 年
- 內政部消防署，密閉式撒水頭認可基準，2017 年
- 中華人民共和國，國家標準-自動噴水滅火系統設計規範 GB50084-2017，2017 年
- 中華人民共和國，國家標準-自動噴水滅火系統設計規範 GB50084-2001，2001 年
- 蔡國保，自動撒水設備水力計算之研究，中央警察大學，2000 年
- 張蓉台，水在管路中的阻力計算（上）（下），中華水電冷凍空調，，2006 年
- Manning, Francis S.; Thompson, Richard E. Oilfield Processing of Petroleum. Vol. 1: Natural Gas. PennWell Books, 1991 年
- National Fire Protection Association, NFPA13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems, 2016 年
- 內政部消防署，各類場所消防安全設備設置標準，2017 年
- 楊丙杰，自動噴水滅火系統水力計算方法比較分析，中華人民共和國公安部天津消防研究所，2010 年
- 李東霖，消防自動撒水系統管路配置之研究，國立台北科技大學土木與防災研究所，2005 年
- 林文興、林坤層，水與化學系統消防安全設備總整理 第 3 版，鼎茂圖書出版股份有限公司，2016 年
- Puchovsky, Milosh T. , Automatic Sprinkler System Handbook , Seventh Edition Carey. William, Early Suppression Fast Response Sprinklers - A New Technology , LabData, 1985 年
- 洪文傑，密閉式撒水頭認可基準適用性之研究，國立交通大學 工學院產業安全與防災學程，2011 年

王證雄，自動撒水設備性能法規之應用－以 CPVC 管之配管形式及水力計算為例，
 中央警察大學消防科學研究所，2001 年
 林文興，全方位水系統消防安全設備，吉淞出版社，2001 年

附錄

附錄 1 情境 1 (台灣管路摩擦損失計算)

段別	AB	BC	CD	DO	OY	YZ
口徑	25	25	32	150	150	200
流量	80	80	160	240	960	960
直管 (I_K')	1	3	3	2.1	168	110
90°彎頭		0.8×1			2.5×4	3.3×10
T型或十字型分流				7×1	7×3	9.2×3
閘閥						1.3×1
底閥						34.21
逆止閥						17×1
小計 (I_K'')		0.8	0	7	31	113.1
合計 ($I_K' + I_K''$)	1	3.8	3	9.1	199	223.1
配管摩擦損失 $H_n = 1.2 \times \frac{Q^{1.85}}{d^{4.87}} \left(\frac{L+L'}{100} \right)$	0.46	1.75	1.49	0.005	1.47	0.41

附錄 2 情境 2 (中國舍維列夫公式水力計算管路摩擦損失計算)

step No.	節點	流量 (L/s)	管徑 (mm)	管段	管長 (m)	流速 (m/s)	單位管長摩擦損失 (MPa/m)	摩擦損失 (MPa)	Notes		
1	G	q	25	GH	L	3		Pt	0.12	Q=11×8=88L/min=1.47L/s	
		Q		1.47		F			Pe		$P=(88/80)^2=1.21$ kgf/cm ² =0.12MPa>0.05M Pa
					T	3	2.53	0.0074	Pf	0.0223	
2	H	q	32	HI	L	0.7		Pt	0.1423	$q=80(1.423)^{1/2}=95.43$ L/min =1.59 L/s	
		Q		3.06		F			Pe		
					T	0.7	4.056	0.016	Pf	0.01127	
3	II	q			L			Pt	0.1536	調整流量 $k=3.06 \times 60 / (1.5375)^{1/2} = 148.156$	
		Q		3.306		F			Pe		$Q=148.156$ $(1.793)^{1/2}=198.39$ L/min =3.306 L/s
					T				Pf		
4	K	q	25	KJ	L	3		Pt	0.12	Q=11×8=88L/min=1.47L/s	
		Q		1.47		F			Pe		$P=(88/80)^2=1.21$ kgf/cm ² =0.12MPa>0.05M Pa
					T	3	2.53	0.0074	Pf	0.0223	
5	J	q	32	JI	L	0.7		Pt	0.1423	$q=80(1.423)^{1/2}=95.43$ L/min =1.59 L/s	
		Q		3.06		F			Pe		
					T	0.7	4.056	0.016	Pf	0.01127	
6	I2	q			L			Pt	0.1793		
		Q		3.06		F			Pe		
					T				Pf		
7	I	q	65	DI	L	2.8		Pt	0.1793	Q=3.306+3.06=6.366	
		Q		6.366		F	3.7		Pe		T 分
					T	6.5	1.79	0.00114	Pf	0.00744	
8	D1	q			L			Pt	0.1868	調整流量 $k=6.366 \times 60 / (1.868)^{1/2} = 279.47$	
		Q		6.9		F			Pe		Q=279.47

step No.	節點	流量 (L/s)		管徑 (mm)	管段	管長 (m)	流速 (m/s)	單位管長摩擦損失 (MPa/m)	摩擦損失 (MPa)		Notes	
											$(2.195)^{1/2}=414.04 \text{ L/min}$ $=6.9\text{L/s}$	
						T			Pf			
9	A	q		25	AB	L	3			Pt	0.12	$Q=11 \times 8=88\text{L/min}=1.47\text{L/s}$
		Q	1.47			F				Pe		$P=(88/80)^2=1.21$ $\text{kgf/cm}^2=0.12\text{MPa}>0.05\text{M Pa}$
					T	3	2.53	0.0074	Pf	0.0223		
10	B	q	1.59	32	BC	L	3			Pt	0.1423	$q=80 (1.403)^{1/2}=95.543$ $\text{L/min}=1.59\text{L/s}$
		Q	3.06			F				Pe		
					T	3	4.056	0.016	Pf	0.0483		
11	C	q	1.84	32	CD	L	0.7			Pt	0.1906	$q=80$ $(1.906)^{1/2}=110.4\text{L/min}$ $=1.84\text{L/s}$
		Q	4.9			F				Pe		
					T	0.7	6.495	0.0413	Pf	0.0289		
12	D2	q				L				Pt	0.2195	
		Q	4.9			F				Pe		
						T				Pf		
13	F	q		25	FE	L	3			Pt	0.12	$Q=11 \times 8=88\text{L/min}=1.47\text{L/s}$
		Q	1.47			F				Pe		$P=(88/80)^2=1.21$ $\text{kgf/cm}^2=0.12\text{MPa}>0.05\text{M Pa}$
					T	3	2.53	0.0074	Pf	0.0223		
14	E	q	1.59	32	ED	L	3			Pt	0.1423	$q=80 (1.403)^{1/2}=95.543$ $\text{L/min}=1.59\text{L/s}$
		Q	3.06			F				Pe		
					T	3	4.056	0.016	Pf	0.0483		
15	D3	q				L				Pt	0.1793	調整流量 $k=3.06 \times 60 / (1.793)^{1/2}=137.11$
		Q	3.386			F				Pe		$Q=137.11$ $(2.195)^{1/2}=203.14 \text{ L/min}$ $=3.386\text{L/s}$
						T				Pf		
16	D	q		65	DO	L	2.8			Pt	0.2195	$Q=6.9+4.9+3.386=15.186$

step No.	節點	流量 (L/s)		管徑 (mm)	管段	管長 (m)		流速 (m/s)	單位管長摩擦損失 (MPa/m)	摩擦損失 (MPa)		Notes
		Q	q			F	T			Pe	Pf	
		Q	15.186			F	3.7	4.27	0.0065	Pe		T 分
						T	6.5			Pf	0.0424	
17	O1	q	15.186			L				Pt	0.26186	
		Q				F				Pe		
18	L	q		25	GH	L	3			Pt	0.12	Q=11×8=88L/min=1.47L/s
		Q	1.47			F				Pe		$P=(88/80)^2=1.21$ kgf/cm ² =0.12MPa>0.05M Pa
						T	3			2.53	0.0074	Pf
19	M	q	1.59	32	M N	L	3			Pt	0.1423	$q=80(1.403)^{1/2}=95.543$ L/min =1.59L/s
		Q	3.06			F				Pe		
						T	3			4.056	0.016	Pf
20	N	q	1.84	32	NO	L	0.7			Pt	0.1906	$q=80(1.906)^{1/2}=110.4$ L/min =1.84L/s
		Q	4.9			F				Pe		
						T	0.7			6.495	0.0413	Pf
21	O2	q				L				Pt	0.2195	調整流量 $k=4.9 \times 60 / (2.195)^{1/2} = 198.44$
		Q	5.352			F				Pe		Q=198.44 $(2.6186)^{1/2}=321.118$ L/min =5.352L/s
						T				Pf		
22	R	q		25	RS	L	3			Pt	0.12	Q=11×8=88L/min=1.47L/s
		Q	1.47			F				Pe		$P=(88/80)^2=1.21$ kgf/cm ² =0.12MPa>0.05M Pa
						T	3			2.53	0.0074	Pf
23	S	q	1.59	32	SO	L	3			Pt	0.1423	$q=80(1.403)^{1/2}=95.543$ L/min =1.59L/s
		Q	3.06			F				Pe		
						T	3			4.056	0.016	Pf
24	O3	q	3.698			L					0.1793	調整流量

step No.	節點	流量 (L/s)		管徑 (mm)	管段	管長 (m)		流速 (m/s)	單位管長摩擦損失 (MPa/m)	摩擦損失 (MPa)		Notes
												$k=3.06 \times 60 / (1.793)^{1/2} = 137.11$
		Q				F						$Q=137.11$ $(2.6186)^{1/2} = 221.88 \text{ L/min}$ $= 3.698 \text{ L/s}$
						T						
25	O	q		150	OP	L	2.8			Pt	0.26186	$Q=15.186+5.352+3.698=24.236$
		Q	24.236			F	9.2			Pe		
						T	12	1.2984	0.0002	Pf	0.00246	
26	T	q		32		L	0.7			Pt	0.12	$Q=11 \times 8 = 88 \text{ L/min} = 1.47 \text{ L/s}$
		Q	1.47		TP	F				Pe		$P=(88/80)^2=1.21$ $\text{kgf/cm}^2=0.12 \text{ MPa} > 0.05 \text{ MPa}$
						T	0.7	1.949	0.00372	Pf	0.0026	
27	P2	q	2.158			L				Pt	0.1226	調整流量 $k=1.47 \times 60 / (1.226)^{1/2} = 79.657$
		Q				F				Pe		$Q=9.657 (2.6432)^{1/2} = 129.5$ $\text{L/min} = 2.158 \text{ L/s}$
						T				Pf		
28	P	q		150	PY	L	163			Pt	0.3698	$Q=24.236+2.158=2.158$
		Q	26.394			F	26.4			Pe		
						T	189.4	1.414	0.000243	Pf	0.046	
29	Z	q		200	YZ	L	110			Pt	0.416	
		Q	26.394			F	122.4			Pe		
						T	232.4	0.785	0.00005	Pf	0.0119	
30	totl e	q				L				Pt	0.4277	
		Q	26.394			F				Pe		
						T				Pf		

附錄 3 情境 3 (美國 NFPA 水力計算法摩擦損失計算)

step No.	Nozzle Ident. And Location	Flow in gpm		Pipe size	Pipe fittings and Devices	Equiv. Pipe length (ft)		Friction loss psi foot (psi/ft)	pressure Summary (psi)		Normal Pressure	Notes
		q	Q			L			Pt	Pe		
1	G	q		1	GH	L	9.84		Pt	21.6		Q=130×0.2=26
		Q	26			F			Pe			P=(26/5.6) ² =21.6
						T	9.84	0.21	Pf	2.08		
2	H	q	27.25	1	HI	L	2.3		Pt	23.68		q=5.6(23.68) ^{1/2} =27.25
		Q	53.25			F			Pe			
						T	2.3	0.8	Pf	1.83		
3	I1	q				L			Pt	25.51		調整流量 k=53.25/(25.51) ^{1/2} =10.54
		Q	57.44			F			Pe			Q=10.51(29.69) ^{1/2} =57.4
						T			Pf			
4	K	q		1	KJ	L	9.84		Pt	21.6		Q=130×0.2=26
		Q	26			F			Pe			P=(26/5.6) ² =21.6
						T	9.84	0.21	Pf	2.08		
5	J	q	27.25	1	JI	L	7.55		Pt	23.68		q=5.6(23.68) ^{1/2} =27.25
		Q	53.25			F			Pe			
						T	7.55	0.8	Pf	6.01		
6	I2	q	53.25			L			Pt	29.69		
		Q				F			Pe			
						T			Pf			
7	I	q		2.5	DI	L	9.19		Pt	29.69		Q=57.44+53.25=110.69
		Q	110.69			F	12		Pe			T 分
						T	21.19	0.05	Pf	1.01		
8	D1	q				L			Pt	30.7		調整流量 k=110.69/(30.7) ^{1/2} =20
		Q	114.35			F			Pe			Q=20(32.69) ^{1/2} =114.35
						T			Pf			
9	A	q		1	AB	L	9.84		Pt	21.6		Q=130×0.2=26

step No.	Nozzle Ident. And Location	Flow in gpm		Pipe size	Pipe fittings and Devices	Equiv. Pipe length (ft)		Friction loss psi foot (psi/ft)	pressure Summary (psi)		Normal Pressure	Notes
		Q	q						Pe	Pf		
		Q	26			F			Pe			$P=(26/5.6)^2=21.6$
						T	9.84	0.21	Pf	2.08		
10	B	q	27.25	1	BC	L	9.84		Pt	23.68		$q=5.6(23.68)^{1/2}=27.25$
		Q	53.25			F			Pe			
						T	9.84	0.8	Pf	7.87		
11	C	q	31.45	1.25	CD	L	2.3		Pt	31.55		$q=5.6(31.55)^{1/2}=31.45$
		Q	84.8			F			Pe			
						T	2.3	0.5	Pf	1.14		
12	D2	q				L			Pt	32.69		
		Q	84.8			F			Pe			
						T			Pf			
13	F	q		1	FE	L	9.84		Pt	21.6		$Q=130 \times 0.2=26$
		Q	26			F			Pe		$P=(26/5.6)^2=21.6$	
						T	9.84	0.21	Pf	2.08		
14	E	q	27.25	1	ED	L	7.55		Pt	23.68		$q=5.6(23.68)^{1/2}=27.25$
		Q	53.25			F			Pe			
						T	7.55	0.8	Pf	6.01		
15	D3	q				L			Pt	29.69		調整流量 $k=53.25/(29.69)^{1/2}=9.77$
		Q	55.86			F			Pe		$Q=9.77(32.69)^{1/2}=55.86$	
						T			Pf			
16	D	q		2.5	DO	L	9.19		Pt	32.69		$Q=114.35+84.8+55.86=255.01$
		Q	255.01			F	12		Pe		T 分	
						T	21.19	0.22	Pf	4.74		
17	O1	q	255.01			L			Pt	37.43		
		Q				F			Pe			
						T			Pf			
18	L	q		1	GH	L	9.84		Pt	21.6		$Q=130 \times 0.2=26$
		Q	26			F			Pe		$P=(26/5.6)^2=21.6$	

自動撒水系統水力分析驗證比較之研究－以某一商場為例

step No.	Nozzle Ident. And Location	Flow in gpm		Pipe size	Pipe fittings and Devices	Equiv. Pipe length (ft)		Friction loss psi foot (psi/ft)	pressure Summary (psi)		Normal Pressure	Notes
		q	Q						Pf	Pt		
						T	9.84	0.21	Pf	2.08		
19	M	q	27.25	1	MN	L	9.84		Pt	23.68		$q=5.6(23.68)^{1/2}=27.25$
		Q	53.25			F			Pe			
						T	9.84	0.8	Pf	7.87		$q=5.6(23.68)^{1/2}=27.25$
20	N	q	31.45	1.25	NO	L	2.3		Pt	31.55		$q=5.6(31.55)^{1/2}=31.45$
		Q	84.8			F			Pe			
						T	2.3	0.5	Pf	1.14		
21	O2	q				L			Pt	32.69		調整流量 $k=84.8/(32.69)=14.83$
		Q	90.73			F			Pe		$Q=14.83(37.43)^{1/2}=90.73$	
						T			Pf			
22	O	q		6	OY	L	543.64		Pt	40.89		$Q=90.73+255.01=345.74$
		Q	345.74			F	116		Pe		T分*2+90度*4	
						T	659.64	0.005	Pf	3.25		
23	Z	q		8	YZ	L	360.89		Pt	44.14		
		Q	345.74			F	379		Pe		T分*3+90度*10+ 閘閘*1+底閘*1+逆 止閘*1	
						T	739.89	0.0013	Pf	0.96		
	totle		345.74						Pt	45.1		

附錄 4 情境 4 (美國 NFPA 管徑規格法摩擦損失計算)

No.	Location	Flow in gpm	Pipe size	Equiv.pipe length (ft)		Friction loss psi foot (psi/ft)	pressure Summary (psi)
1	AB	40	1	L	9.84		
				F			
				T	9.84	0.47	4.62
2	BC	40	1	L	9.84		
				F			
				T	9.84	0.47	4.62
3	CD	80	1.25	L	2.3		
				F			
				T	2.3	0.44	1.02
4	DO	360	6	L	9.19		
			T 分*1	F	30		
				T	39.19	0.005	0.208
5	OP	560	6	L	9.19		
				F			
				T	9.19	0.012	0.011
6	PQ	760	6	L	9.19		
				F			
				T	9.19	0.021	0.195
7	QY	960	6	L	551.04		
			T 分*3+90度*4	F	46		
				T	697.04	0.033	22.73
8	YZ	960	8	L	360.89		
			T 分 *3+90度*10+開閘*1+底閘*1+逆止閘*1	F	379		
				T	739.89	0.01	6.34
total		960					39.744

附錄 5 符號表

符號	名稱	單位	備註
H (h)	揚程	m 或 ft	
d (d _j) (D)	管徑	mm、cm 或 in	
<i>l</i>	管長	m 或 ft	
<i>f</i>	達西摩擦因子	(無因次係數)	
<i>g</i>	重力加速度	m/sec ² 或 ft/sec ²	
<i>v</i>	流速	m/sec 或 ft/sec	
ε	相對粗糙度	ft 或 mm	科爾布魯克方程式
<i>Re</i>	雷諾數	(無因次係數)	科爾布魯克方程式
<i>k</i>	轉換係數	m ^{1/3} /s	曼寧關係式
<i>n</i>	曼寧係數	(無因次係數)	曼寧關係式
R _h	水力半徑	m	曼寧關係式
<i>S</i>	水力坡線或 線性揚程損失的斜率	L/L	曼寧關係式
<i>i</i>	管路單位長度的壓力 損失	MPa/m	舍維列夫公式
<i>p</i>	每公(英)尺長度損失揚 程	bar/m 或 bf/in	海真-威廉斯公式
<i>Q</i>	流量	L/min·L/s·m ³ /min 或 gal/min	
<i>C</i>	管路摩擦損失係數	(無因次係數)	海真-威廉斯公式
<i>L</i>	直管長之合計	m	海真-威廉斯公式(臺灣)
<i>L'</i>	接頭、閥等之等價管長 合計	m	海真-威廉斯公式(臺灣)
<i>P</i>	壓力	Mpa 或 kgf/cm ²	
<i>K</i>	撒水頭流量常數	gpm/psi ^{1/2} 或 L/min/bar ^{1/2}	
<i>D</i>	撒水密度	L/min·m ²	
A _d	假想防護面積	m ² 或 ft ²	
<i>R</i>	撒水頭間距	m 或 ft	

符號	名稱	單位	備註
A _s	一顆撒水頭防護面積	m ² 或 ft ²	
L	假想防護面積長	m 或 ft	
W	假想防護面積寬	m 或 ft	
N	放水顆數	顆	