

數值演算技術應用於氣體滅火系統之流量計算

余世宗¹ 姚品全¹ 何岫璦² 周中祺¹ 江美娟^{1*}

¹大葉大學環境工程學系

²大葉大學消防安全學士學位學程

彰化縣大村鄉學府路 168 號

*e0405017@cloud.dyu.edu.tw

摘要

本研究目的為經由數值演算技術評估鹵化烷及惰性氣體滅火系統。氣體滅火設備之藥劑計算依據美國國家防火協會 NFPA2001 規範，流量計算則引用 GB50370-2005 之計算方程式。研究流程為應用 GB50370-2005 計算方程式經由 AUTOCAD 二次開發技術演算，執行設計、繪圖、流量計算、工程數量統計等。研究結果顯示，應用 AUTOCAD 二次開發技術，進行數值演算，可快速有效地進行氣體滅火系統的設計與分析，產出系統材料、機房面積、排碳量等量化參數。這些參數可以做為設計者經由"理性決策"，來快速評估氣體滅火系統種類。

關鍵詞：潔淨氣體滅火藥劑，流量計算，氣體滅火系統，數值演算，AUTOCAD 二次開發

Application of a Numerical Computing Technique for the Flow Calculation of Gas Extinguishing Systems

SHIH-TSUNG YU¹, PIN-CHUAN YAO¹, YU-TSUNG HO², CHUNG-CHYI CHOU¹ and MEI-CHUAN CHIANG^{1*}

¹Department of Environmental Engineering, Da-Yeh University

²Department of Fire and Safety, Da-Yeh University

No.168, University Rd., Dacun, Changhua 51591, Taiwan, R.O.C.

*e0405017@cloud.dyu.edu.tw

ABSTRACT

This study evaluated halogen and noble gas extinguishing systems using a numerical computing technique. The chemical dosage of the gas extinguishing system followed the 2001 standard set by the National Fire Protection Association, and the flow was calculated using the GB50370-2005 computing equation. Specifically, the GB50370-2005 equation was applied using the AutoCAD secondary development technique to execute the design, plot, and flow calculation, and compile engineering quantity statistics. The research results revealed that the AutoCAD secondary development technique can quickly and effectively design and analyze gas extinguishing systems. In particular, the effects of some quantitative parameters were identified, including the material of the system, room area, and carbon emission level. Furthermore, it was found that "rational decision-making" by a designer can efficiently evaluate the type of gas fire extinguishing systems

according to these parameters.

Key Words: Clean agent fire extinguishing systems, flow calculation, gaseous fire extinguishing systems, numerical computing, AutoCAD secondary development

一、前言

1930年 Thomas Midgley, Jr. [6]發明二氟二氯甲烷(CCl_2F_2)，商品名稱氟利昂 R-12，藥劑特性無毒、不可燃、液態氣體，可應用於滅火藥劑，滅火藥劑商品如海龍 1301 (CF_3Br)、海龍 1211 (CF_2ClBr)、海龍 2402 ($\text{CBrF}_2\text{CBrF}_2$)；但因氟利昂含有氟氯碳化物的成份 (Chlorofluorocarbons，簡稱 CFCs)，於 1974 年謝伍德·羅德蘭博士 [3] 論文論述氟氯碳化物 (CFCs) 侵害臭氧層，致使臭氧層稀薄無法阻隔紫外線，人類暴露高紫外線環境下容易罹患皮膚癌及白內障，世界主要國家進而在 1987 年 9 月 16 日簽訂蒙特婁協定書，展開了破壞臭氧層之氟氯碳化物管制行動，此後陸續開發各種新型滅火藥劑，如 FK-5-1-12 ($\text{CF}_3\text{CF}_2\text{C}(\text{O})\text{CF}(\text{CF}_3)_2$)、HFC-125 (CHF_2CF_3)、HFC-227ea ($\text{CF}_3\text{CHFCF}_3$)、IG-01 (Ar)、IG-541 (N_2 52%、Ar 40%、 CO_2 8%)、IG-100 (N_2)、IG-55 (N_2 50%、Ar 50%)，這些滅火藥劑釋放後對臭氧層及人體健康明顯降低傷害，統稱為“潔淨氣體滅火藥劑”。

美國國家防火協會 (National Fire Protection Association) 制定頒布 NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems，用以規範潔淨氣體滅火藥劑系統之設置標準。依 NFPA 2001 標準 [7] 內容，核可使用之產品可分成惰性氣體滅火藥劑 (Inert Gas Agents) 及鹵化烴氣體滅火藥劑 (Halocarbon Agents)，惰性氣體滅火藥劑放射時間在 30~60 秒以上，鹵化烴氣體滅火藥劑則要求 10 秒內放射完畢 [8]。

要如何精確計算管徑、流速、流量和釋放時間，於各廠家設計手冊並未明確載明，僅能就廠家提供之軟體計算程式得知結果。由於廠家並未明確提供管件、鋼瓶閥之等價管長，因此，設計者難以檢核計算結果是否正確，也缺乏在基本設計階段初步評估系統類型之分析工具。「等價管長」又稱「當量管長」，係指管件、閥件相當於同管徑直管長度之壓力損失值，此數據會隨著不同廠牌產品構造、組成而有所差異。本研究參照 GB 50370-2005 之流量方程式，結合計算流體力學 (Computational Fluid Dynamics) 之演算技術，可設定鋼瓶閥及釋放軟管之等價管長，快速計算管徑大小以檢核各廠家計算結果，提高氣體滅火藥劑系統之評估、設計、計算、覆

核之工作效率及正確性。

二、氣體滅火系統

化學滅火系統計算流體力學 (Computational Fluid Dynamics) 之演算技術，應用於液化壓縮氣體流量計算及惰性氣體流量計算，依防護區狀態評估氣體滅火適用之產品，依其滅火藥劑濃度設計藥劑需求數量； CO_2 氣體是最早應用於火災之氣體滅火藥劑，其滅火原理為降低防護區之氧濃度及吸熱冷卻周遭環境；大氣中氧占 21% 適於人類生存狀態，氧濃度低於 17% 人類即發生缺氧不適狀態；火災發生時防護區域 CO_2 藥劑濃度達到 34%，防護區氧濃度 13.86% 即可達到滅火效能值 [4]，若誤擊發，立即威脅到防護區域人員之生命安全，須使用於無人空間。1930 年代發明冷卻劑，隨後應用於滅火劑，即大家熟知的海龍系列滅火藥劑，因藥劑濃度低，使用藥劑量較 CO_2 藥劑量減少，遂廣泛應用於滅火藥劑市場，但其成份含有氟氯碳化物 (CFCs)，破壞臭氧層而予以禁用，因此，滅火藥劑製造商開發氫氟氯烴 (HCFCs) 和氫氟烴 (HFCs) 替代氟氯碳化物 (CFCs)；美國國家標準潔淨滅火氣體規章 (簡稱 NFPA 2001)，依 2015 版本所列潔淨滅火氣體藥劑共有二大類：鹵代烴及惰性氣體。

鹵代烴：FIC-1311、FK-5-1-12、HFC-227ea、HFC-23、HFC-236fa、HFC-125、HFC Blend B、HCFC Blend A、HCFC-124；惰性氣體：IG-541、IG-55、IG-01、IG-100。火災分類詳圖 1 [5]，潔淨滅火氣體藥劑適用於 A 類表面火災、B 類火災及 C 類火災，可使用在有人場所。惰性氣體人員暴露時間詳表 1 [9]，鹵化烴滅火氣體低於 NOAEL 濃度以下詳表 2 [10]，人員暴露時間不超過 5 分鐘。潔淨滅火氣體不適用 D 類火災可燃性金屬物質及禁水性物質。

表 3 [13] 鹵代烴藥劑 HFC-124、FIC-1311 及 HCFC Blend A 仍有危害臭氧層之疑慮，而 HFC-125、HFC-23、HFC-236fa 溫室效應值高，廣泛應用於市場的滅火藥劑：HFC-227ea、FK-5-1-12。HFC-227ea 噴放後於大氣生命週期是 36.5 年，溫室效應值 3220，破壞臭氧層值 0，HFC-227ea 藥劑生產廠商共有 16 家 (詳表 4)；FK-5-1-12 噴放後於大氣生命週期是 0.014 年，溫室效應值 1，破壞臭氧層值 0；FK-5-1-12 藥

劑由 3M 公司製造生產，藥劑需求量較 HFC-227ea 增加 20%（詳表 5） [11]。管網及集合管可使用 ASTM A53 SCH40 管材。

惰性氣體設計濃度 IG-541 34.2%較其他惰性氣體產品藥劑需求量較低（詳表 5），故廣泛應用於市場，儲存壓力 150Bar、200Bar、300Bar，當今應用較廣為充填壓力 300Bar 之鋼瓶，於鋼瓶閥安裝設計減壓裝置，管網及集合管可使用 ASTM A53 SCH80 管材。

A類火災	B類火災	C類火災	D類火災	F類火災
• 木材	• 石油類	• 電氣配線	• 鈉	• 油脂類
• 紙張	• 有機溶劑	• 馬達	• 鉀	• 動物油
• 纖維	• 油漆類	• 引擎	• 鎂	• 植物油
• 棉毛		• 變壓器	• 鋰	
• 塑膠		• 配電盤	• 鋅	
• 橡膠			• 銻	

圖 1 火災分類

表 1. 惰性氣體人員可暴露濃度值及停留時間 [9]

Exposure Time (min)	Agent Concentration (vol %)	O ₂ at Sea Level	Partial Pressure of O ₂ (mm Hg)
Air reference	0	21	159.6
5	43	12	91
3	52	10.1	76.6
1/2	63	8	60.6

表 2. 鹵化烷氣體人員暴露 5 分鐘最大濃度值 [10]

Agent	NOAEL (% vol.)	LOAEL (% vol.)
FK-5-1-12	10	>10
HCFC Blend A	10	>10
HCFC-124	1	2.5
HCFC-124	7.5	10
HFC-227ea	9	10.5
HFC-23	30	>30
HFC-23	10	15
HFC Blend B*	5	7.5

*NOAEL No Observable Adverse Effects Level. 無觀察到不良反應

*LOAEL Lowest Observable Adverse Effects Level. 最低可觀察不良反應水平。

表 3. 潔淨氣體滅火藥劑溫室效應值、臭氧層破壞值及於大氣中生命週期 [13]

AGENT	GWP	ODP	Life time, yrs
FIC-1311	0.4	0.0001	<0.005
FK-5-1-12	1	0	0.014
HCFC Blend A	1550	0.048	12
HCFC Blend B	15	0	
HFC-124	609	0.022	6.1
HFC-125	3500	0	32.6
HFC-227ea	3220	0	36.5
HFC-23	14800	0	264
HFC-236fa	9810	0	209
IG-01	0	0	0
IG-100	0	0	0
IG-541	0	0	0
IG-55	0	0	0

表 4. UL 登錄之 HFC-227ea 藥劑製造商（本研究整理）

認可機構	公司	產地
UL	A-GAS (SEA) PTE LIMITED)	SINGAPORE
UL	CHANGSHU 3F ZHONGHAO NEW CHEMICAL MATERIALS CO LTD)	CHINA
UL	CHEMORI L L C	USA
UL	CONTEXT PLUS LTD	UK
UL	ICOOL NINGBO LTD	CHINA
UL	INVENTEC PERFORMANCE CHEMICALS	FRANCE
UL	MUDANJIANG HALI INTERNATIONAL CO LTD	CHINA
UL	ORIENT CORPORATION PTE LTD	SINGAPORE
UL	ORIENT SYSTEMS AND CHEMICALS SDN BHD	MALAYSIA
UL	RECLAMATION TECHNOLOGIES INC, DBA A-GAS	USA
UL	UNIQUE FIRE INDUSTRY SDN.	MALAYSIA
UL	SÖLVAY FLUOR GMBH	GERMANY
UL	SINOCHEM LANTIAN CO., LTD.	CHINA
UL	SHANGHAI MOSAFE	CHINA
UL	LUKE ALEXANDER LLC	USA
UL	SAFETY HI-TECH SRL	ITALY

表 5. 潔淨氣體滅火藥劑設計濃度及滅火藥劑需求量 [11]

AGENT	最小設計濃度 Class A	藥劑係數
FK-5-1-12	4.5%	0.66kg/m ³
HFC-125	8.7%	0.48kg/m ³
HFC-227ea	6.7%	0.55kg/m ³
IG-100	37.2%	0.47 m ³ /m ³
IG-541	34.2%	0.42 m ³ /m ³
IG-55	37.9%	0.48m ³ /m ³

三、數值演算技術

本研究管內流體之 CFD (Computational Fluid Dynamics) 工具選用大陸天津市兆龍消防氣體滅火設備流量計算工具，工具依計算型態分為液化壓縮氣體流量計算及惰性氣體流量計算，液化壓縮氣體最早應用於二氧化碳，二氧化碳透過加壓及冷卻等方式液化存放於高壓鋼瓶容器，自噴頭釋放後汽化為氣態，所以於管網流動隨著溫度及壓力變化，氣態及液態兩種狀態同時於管網內流動。Henson [14] 的博士論文以 Bernoulli's 方程式理論說明壓力損失計算方法及計算公式，隨即收錄於美國二氧化碳設置標準 (NFPA 12)；Williamson 及 Wysocki 等人 [12]，沿用此一理論基礎修改預測 Halon 1301 的流動參數，在 1977 年 Williamson & Henson [14] "兩相" 流動方法收編於 NFPA 12A，海龍 1301 系統標準。

Henson 採用 Bernoulli's [12] 程式計算穩定流壓力下降是可以用人工計算方式，但是瞬間狀態釋放管路三通分流計算及其壓力下降和非平衡系統噴嘴釋放藥劑量效應需要複雜重複演算，使用人工計算商業產值經濟效益太低，因此製造商配合軟體開發工程師將複雜之流體公式轉換成程式語言，經由電腦計算快速產生結果，製造商基於商業保密為由不便公開其計算方法及公式，造成計算結果缺少第三方工具檢核，產業封閉是阻礙產業發展首要因素，失去公平性。

四、流量計算公式

潔淨滅火氣體 HFC-227ea 及惰性氣體因放射時間快速，來不及與容器壁面及管壁進行交換熱（等熵狀態），屬於無熱交換的理想氣體之“絕熱膨脹過程” [1]。HFC-227ea 起始壓力的計算為鋼瓶藥劑儲存的壓力，中期壓力為藥劑釋放一半的壓力，詳以下計算公式 [2]。

$$P_m = \frac{P_0 V_0}{V_0 + \frac{W}{2\gamma} + V_p} \quad (1)$$

P_m —— 藥劑鋼瓶噴放一半時“中期狀態”的壓力 (Mpa 絕對壓力)

P_0 —— 滅火藥劑鋼瓶儲存壓力 (Mpa 絕對壓力)

V_0 —— 噴放前，全部儲存容器內的氣相總容積 (m^3)

$$V_0 = nV_b \left(1 - \frac{n}{\gamma}\right) \quad (2)$$

n —— 儲存容器的數量 (支)

η —— 填充量 (kg/m^3)

r —— 七氟丙烷液體密度 (kg/m^3)

V_b —— 儲存容器的容量 (m^3)

W —— 滅火藥劑設計用量

V_p —— 管網的管道內容積 (m^3)

HFC-227ea 主幹管平均設計流量 [2]

$$Q_w = \frac{W}{t} \quad (3)$$

Q_w —— 主幹管平均設計流量 (kg/s)

W —— 藥劑設計量 (kg)

t —— 滅火藥劑設計釋放時間 (s)

支幹管設計流量 [2]

$$Q_g = \sum_1^{N_g} Q_c \quad (4)$$

Q_g —— 支管平均設計流量 (kg/s)

N_g —— 安裝在支管下的噴頭數量 (只)

Q_c —— 單一噴頭設計流量 (kg/s)

鍍鋅鋼管摩擦係數損失計算 [14]

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{5.75 \times 10^5 Q^2}{(1.74 + 2 \times 10^{-0.12} \frac{D}{Q})^2 D^5} \quad (5)$$

ΔP —— 計算管道摩差係數損失 (MPa)

L —— 管道長度 (m)

Q —— 管道設計流量 (kg/s)

D —— 管道內徑 (mm)

因市場保護政策下市面上銷售之 UL (Underwriters Laboratories) 美國保險商實驗室 / FM (Factory Mutual Approvals) 美國工廠相互認可 / Vds (Vertrauen durch Sicherheit) 德國安全信任認可 / LPCB (Loss Prevention Certification Board) 英國防損認可委員會等相關認可廠家流量計算公式均未公開，本研究參照 NFPA 2001 以及 GB

50370-2005 之流量方程式，編寫成 CFD 運算程式，經由程式精確運算各管段、節點之尺寸，計算結果亦可由公式逐一進行驗證。

本研究之 CFD 運算程式採 C 語言撰寫流量計算程式，附掛外部參考採用 AUTOCAD 繪圖軟體平台建立物理邊界模型規則，於功能選單選用滅火系統如圖 2，依其設計原理，快速設計完成圖說，依防護範圍、噴頭防護距離完成平面設計圖如圖 3，並可轉成等角視圖如圖 4、圖 5，框選等角視圖即可進行管徑大小計算及藥劑釋放時間，並可輸出 Excel 報表或顯示於圖面如圖 6，列出管長、管料另件、支撐架等詳細數量等，其中管長的單位為 mm，管徑尺寸則採用公制

DN (Diameter Nominal, mm) 表示之；且可依據不同廠家提供之等價管長修改資料庫內容如圖 7，驗證各廠家流量計算資料，以第三方工具驗證角度，確認軟體計算書之準確度，確保防護區之安全性。x

為滿足工程圖說完整度的需求，完成流量計算後系統於 AUTOCAD 環境下可直接進行“管徑標註”之“顯示管徑”，框選防護區域，管徑及管長立即標示於平面圖及等角視圖，軟體可辨識管徑尺寸大小分別以不同顏色區分，清楚了解管徑尺寸分佈狀況圖 3 及圖 5 所示。

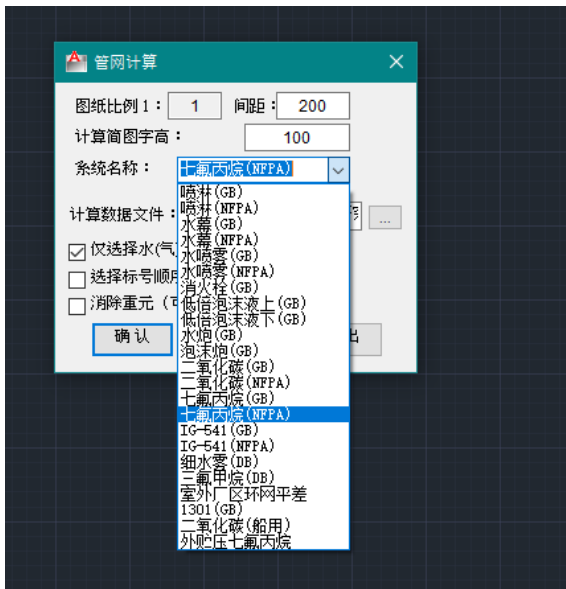


圖 2. 選擇計算之滅火氣體

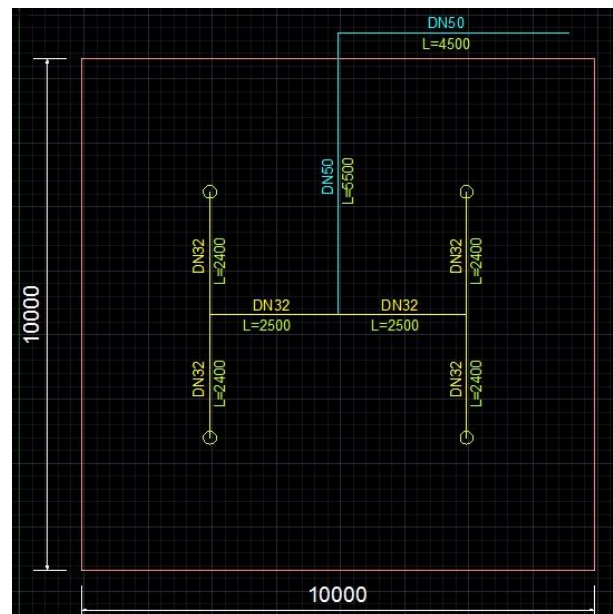


圖 3. 平面圖 單位：mm

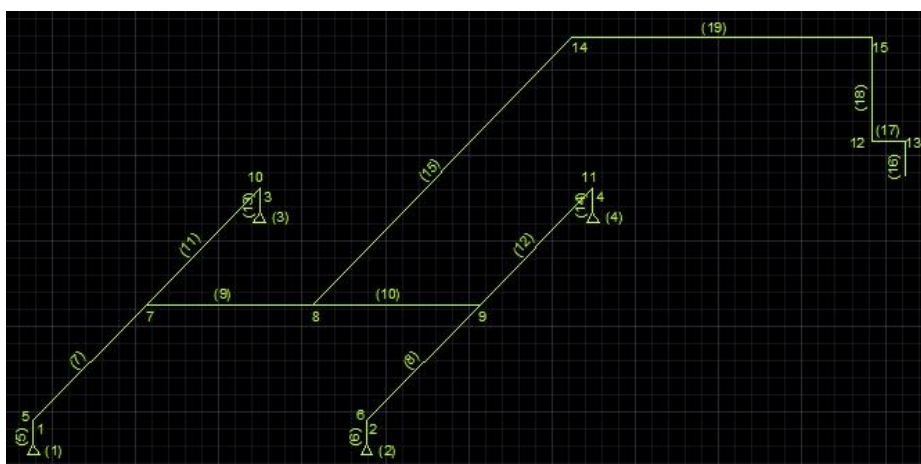


圖 4. 等角視圖節點標示

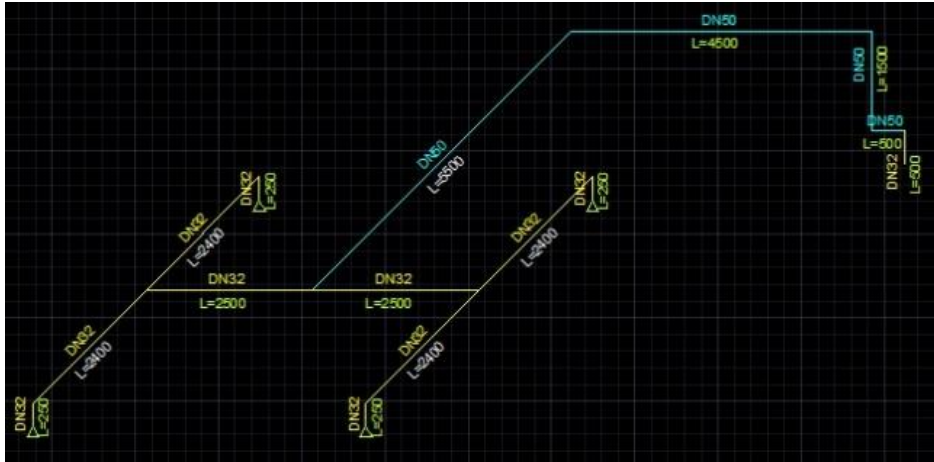


圖 5. 等角視圖管徑及管長 單位：mm

序号	名稱	規格	單位	數量	備註
1	管 材	DN32	米	16.1	
2	支吊架	DN32	個	11	
3	管 材	DN50	米	12	
4	支吊架	DN50	個	5	
5	變 徑	DN50/32	個	1	
6	彎 頭	DN50	個	4	
7	三 通	DN32/50/	個	1	
8	三 通	DN32	個	2	
9	彎 頭	DN32	個	4	

圖 6. 管材數量、三通及彎頭數量、吊管架數量

五、研究結果

本研究藉由 CFD 運算程式計算 CO₂、HFC-227ea、FK-5-1-12、IG-541...等氣體滅火系統；範例選用 10m (L) x 10m (W) x 3m (H) 的機房設置 HFC-227ea 藥劑，繪製氣體滅火系統噴頭分佈，轉成等角視圖後即進行流量計算，其計算結果詳圖 8~圖 12，根據計算結果詳圖 8 “95% Discharge Time(s):10” 藥劑放射時間 10 秒符合 NFPA 2001 規章規定；依圖 9 計算結果之管徑大小安裝藥劑釋放管網及依圖 10 所示購買系統所需管件另料；圖 11 流量計算結果之噴頭壓力、流量、開孔面積皆相同，藥劑可快速平均分佈於防護區內；設計濃度 7% 符合 NFPA 2001 Table A.5.4.2.2(b) [10]滅火濃度如圖 12 所示，設計圖說若有變動，所有程序如計算書內容、數量表單內容亦同步更正，節省繪圖人員耗時的工作內容並減少錯誤率發生，增加工作效率，應用計算書結果進行價格評估。

應用以上模擬計算方式，進行 17m(L)*17m(W)*2.5m (H) 案例分析，評選採用 HFC-227ea 或 IG-541，經由 CFD 運算程式結果，可得知藥劑重量、鋼瓶規格、鋼瓶數量、鋼瓶使用面積.....等詳細數據詳表 6，並於管材另件料單填入價格詳表 7、表 8，且可由管材重量計算排碳量，將以上數據量化後進行評估詳表 9 提供予業主或設計單位參考。



圖 7. 流量軟體資料庫

PIPING SYSTEM PARAMETER

Total Number of Nozzles:	4
Total Number of Nodes:	15
Total Number of Pipes:	19
Protect Area(m ²):	100
Altitude(m):	0
Altitude Correction Factor:	1.000
Normal Temperature of Enclosure(°C):	20
95% Discharge Time(s):	10
Area open outward spring door(m ²):	0
Allowable Strength of Enclosure(kPa):	1.2
Charging pressure(MPa):	4.2
Design Factors:	0
Have Standby Cylinders?	No
Have Not Closed Opening?	No

圖 8. 噴頭數量、藥劑釋放時間、填充壓力計算結果

PIPING RESULTS DATA

Pipe No.	No.#1	No.#2	Len. (m)	Dia. (mm)	Pipe SCH	Eq.Len. (m)	Elev. (m)	Flow (kg/s)	Node#1 Pre. (MPa)	Node#2 Pre. (MPa)
5	5	1	0.25	32	SCH40	1.13	-0.25	4.12	2.16	2.15
6	6	2	0.25	32	SCH40	1.13	-0.25	4.12	2.16	2.15
7	5	7	2.4	32	SCH40	1.4	0	4.12	2.16	2.17
8	6	9	2.4	32	SCH40	1.4	0	4.12	2.16	2.17
9	7	8	2.5	32	SCH40	2.6	0	8.23	2.17	2.22
10	8	9	2.5	32	SCH40	2.6	0	8.23	2.22	2.17
11	7	10	2.4	32	SCH40	1.4	0	4.12	2.17	2.16
12	9	11	2.4	32	SCH40	1.4	0	4.12	2.17	2.16
13	10	3	0.25	32	SCH40	1.13	-0.25	4.12	2.16	2.15
14	11	4	0.25	32	SCH40	1.13	-0.25	4.12	2.16	2.15
15	8	14	5.5	50	SCH40	1.68	0	16.46	2.22	2.26
16	0	13	0.5	32	SCH40	0	0	8.23	2.35	2.35
17	12	13	0.5	50	SCH40	2.18	0	16.46	2.33	2.35
18	15	12	1.5	50	SCH40	1.68	1.5	16.46	2.29	2.33
19	14	15	4.5	50	SCH40	1.68	0	16.46	2.26	2.29

圖 9. 各節點管徑大小計算結果

EQUIVALENT LENGTH

Pipe NO.	Num	Type	Num	Type	Num	Type	Others(m)	Total(m)
5	1	90E-DN32	0		0		0	1.13
6	1	90E-DN32	0		0		0	1.13
7	1	Side Tee-DN32	0		0		0	1.4
8	1	Side Tee-DN32	0		0		0	1.4
9	1	Union-32*50	1	Side Tee-DN50	0		0	2.6
10	1	Union-32*50	1	Side Tee-DN50	0		0	2.6
11	1	Side Tee-DN32	0		0		0	1.4
12	1	Side Tee-DN32	0		0		0	1.4
13	1	90E-DN32	0		0		0	1.13
14	1	90E-DN32	0		0		0	1.13
15	1	90E-DN50	0		0		0	1.68
16	0		0		0		0	0
17	1	Union-32*50	1	90E-DN50	0		0	2.18
18	1	90E-DN50	0		0		0	1.68
19	1	90E-	0		0		0	1.68

圖 10. 流量計算結果 (管料另件)

NOZZLE DATA

Nozzle No.	Nozzle Pre. (Mpa)	Flow (kg/s)	Equiv. Orifice Area (cm ²)	Nozzle No.
1	2.15	4.12	1.23	16
2	2.15	4.12	1.23	16
3	2.15	4.12	1.23	16
4	2.15	4.12	1.23	16

圖 11. 流量計算結果 (噴頭壓力、流量、開孔面積)

QUANTITY OF Agent

Design Quantity (kg):	164.63
Additional Quantity (kg):	2.00
Residue in Pipeline (kg):	0.00
Agent Residue Per Storage (kg):	1.00
Total Required Agent (kg):	166.63
Capacity of Cylinder (L):	120.00
Filling Agent per Cylinder (kg):	83.31
Fill Density (kg/L):	694.29
Quantity of Cylinder:	2
Total Agent (kg):	166.63
Standby Cylinders:	0
Standby Quantity of Agent (kg):	0
Actual Ejection Concentration (%):	7.00

圖 12. 藥劑設計量、每支鋼瓶充填藥劑重量、鋼瓶容量、填充密度、鋼瓶數量、設計濃度計算結果

表 6. 流量計算結果數據

說明	HFC-227ea	IG-541
體積 m ³	578	578
設計濃度 %	7%	34.2%
藥劑重量 kg	318	354.11
鋼瓶數量 70L	8	24
藥劑釋放時間	10	60
鋼瓶使用面積 m ² (鋼瓶直徑 27cm)	0.46	1.38

表 7. HFC-227ea 管料配件及價格

No.	Name	尺寸	單位	數量	單價	合計	重量 m/kg	碳排放量 0.96kg
鍍鋅無縫鋼管 SCH40 大陸製(2016/3/30詢價)								
1	Elb.	3"	DN80	只	4	1,860	7,440	
2	Elb.	1 1/4"	DN32		0	150	-	
3	Elb.	1"	DN25	只	64	95	6,080	
4	Elb.	1"-3/4"	DN25/20	只	0	170	-	
5	Han.	1"	DN25	只	16	17.30	277	
6	Han.	1 1/2"	DN40	只	13	20.90	272	
7	Han.	2"	DN50	只	2	22.30	45	
8	Han.	3"	DN80	只	6	31	184	
9	螺帽	3/8"		只	210	1	210	
10	Pipe	3/4"	DN20	m	101.76	105	10,685	1.74
11	Pipe	1"	DN25	m	33.92	143	4,851	2.57
12	Pipe	1 1/2"	DN40	m	34.22	214	7,323	4.1
13	Pipe	2"	DN50	m	8.48	264	2,239	5.44
14	Pipe	3"	DN80	m	20.5	542	11,111	11.3
15	Red.	3"/1-1/2"	DN80/40	只	1	535	535	0
16	Red.	1"/3/4"	DN25/20	只	64	70	4,480	
17	Tee.	2"-3"-2"	DN50/80/50	只	1	3,295	3,295	
18	Tee.	1 1/2"-2"-1 1/2"	DN40/50/40	只	2	870	1,740	
19	Tee.	1"-1 1/2"-1"	DN25/40/25	只	8	565	4,520	
20	Tee.	3/4"-1"-3/4"	DN20/25/20	只	16	286	4,576	
21	Tee.	1 1/2"	DN40	只	4	280	1,120	
22	Tee.	3/4"	DN20	只	32	90	2,880	
合計						73,861	655	

表 8. IG-541 管料配件及價格

No.	Name	尺寸	單位	數量	單價	合計	重量 m/kg	碳排放量 0.96kg
鍍鋅無縫鋼管 SCH80 大陸製(2016/3/30詢價)								
1	Elb.	3"	DN80	只	4	3,330	13,320	
2	Elb.	1"	DN25	只	64	150	9,600	
3	Han.	1"	DN25	只	8	17	138	
4	Han.	1 1/2"	DN40	只	4	21	84	
5	Han.	2"	DN50	只	2	22	45	
6	Han.	3"	DN80	只	8	31	248	
7	Pipe	1/2"	DN15'	m	101.86	105	10,695	1.64
8	Pipe	3/4"	DN20	m	33.92	140	4,749	2.24
9	Pipe	1"	DN25	m	16.96	185	3,138	3.27
10	Pipe	1 1/2"	DN40	m	16.96	286	4,851	5.47
11	Pipe	2"	DN50	m	8.48	365	3,095	7.46
12	Pipe	3"	DN80	m	20.7	735	15,215	15.3
13	Red.	3"-1/2"	DN80/15	只	1	535	535	
14	Red.	1"-1/2"	DN25/15	只	64	70	4,480	
15	Tee.	3/4"-1"-3/4"	DN20/25/20	只	8	370	2,960	
16	Tee.	1/2"-3/4"-1/2"	DN15/20/15	只	16	260	4,160	
17	Tee.	1/2"	DN15	只	32	90	2,880	
合計						80,192	771	

表 9. 方案評估建議分析

說明	單位	17m*17m	
		HFC-227ea	IG-541
鋼瓶室空間成本 1m ² NT\$100,000-	NT\$	46,000	138,000
設備成本	NT\$	*****	*****
施工成本	NT\$	*****	*****
管料成本	NT\$	73,861	90,887
排碳量成本	NT\$	165	206
合計	NT\$	120,027	229,093

*行政院環境保護署積極規劃溫室氣體減量額度交易資訊網

*2016/4/14 交易價格中國深圳_SZA RMB47/噸

*匯率 RMB : NT = 1 : 5

六、結論

本研究中，氣體滅火系統設計規則依據美國國家防火協會 NFPA 2001 規章，流量計算引用中華人民共和國國家標準 GB 50370-2005 之方程式；將 GB 50370-2005 輔以 AUTOCAD 二次開發技術進行設計、繪圖、流量計算、工程數量統計等；研究顯示，透過演算技術，讓設計者及使用者可以同時進行多種潔淨氣體滅火藥劑的評估，對於產業發展與使用便利性具有相當大的幫助。透過嚴謹的計算程序，

針對不同潔淨氣體滅火系統的快速分析施工價格、環境影響、維護保養、鋼瓶室儲存空間條件等相關參數量化，提供決策者做出"理性決策"。

參考文獻

1. 王致新、王煜彤 (民 98)，潔淨氣體滅火系統管網流動的理論基礎及計算方法，給水排水期刊，8，119-125。
2. 中華人民共和國國家標準 (2006)，GB 50370-2005 氣體滅火系統設計規範，頁 11-12，中華人民共和國國家標準化管理委員會。
3. 曾致貴 (民 103)，以權重法探討特殊防護空間氣體滅火系統藥劑適用性之研究，中華科技大學土木防災與管理學系碩士論文。
4. 劉祥輝 (民 90)，二氧化碳之濃度計算，消防工程手冊理論與實際，全華科技圖書股份有限公司，台北。
5. 經濟部標準檢驗局 (民 104)，CNS 1387 Z2003 消防-手提滅火器-性能及構造，台北。
6. Giunta, C. J. (2006) Thomas midgley, JR., and the invention of chlorofluorocarbon refrigerants : It ain't necessarily so, *Bulletin for the History of Chemistry*, 31(2), 66-67.
7. National Fire Protection Association (2015) *NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, 6-8.
8. National Fire Protection Association (2015) *NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, 20.
9. National Fire Protection Association (2015) *NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, 34.
10. National Fire Protection Association (2015) *NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, 7.
11. National Fire Protection Association (2015) *NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, 60-87.
12. National Fire Protection Association (2015) *NFPA 2001 Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems*, 54-55.
13. Robert, E. (1998) Commercialized halon options, Halon Options Technical Working Conference, Albuquerque, New Mexico.
14. Wysocki, T. (1996) Single point flow calculations for liquefied compressed gas fire extinguishing agents, Halon Options Technical Working Conference, Albuquerque, New Mexico.

收件：105.11.01 修正：105.12.06 接受：106.01.19