

溫室環控工程決策支援軟體之建立 II. 蒸發冷卻降溫系統設計與模擬

方 煒

國立台灣大學生物產業機電工程學系教授

摘要

本研究使用 MATLAB 在微軟公司的視窗環境下建立蒸發冷卻降溫系統的設計與模擬分析軟體，設計模組包含四種常用水簾片，九種常用風扇，三種常見溫室屋頂與三種決定通風風量率的設計策略。軟體的輸出則包括風機曲線與系統壓降曲線，選定的風扇曲線與系統壓降曲線的交點即為溫室通風時的工作狀態點。其他輸出包括所需水簾面積，水簾系統所需泵/蓄水槽大小與補充水流量率，溫室 3D 立體視圖等。溫室立體圖中尚包括允許使用者對圖面進行縮小、放大與旋轉功能。程式設計同時包括防呆設計，當使用者輸入過多或過低數量的風扇時或所需水簾長度超過允許安裝的溫室長度時，均提供警示訊息視窗。設計完成的水簾風扇系統可轉移至此軟體的模擬模組，針對使用者選擇的台灣某地氣候中最熱的一天的歷史資料，進行 24 小時的模擬，溫室區分為四區，在模擬過程中，整日的室外乾、濕球與露點溫度，相對濕度與室內分區乾球溫度、相對溼度與絕對溼度，設施資材表面溫度，地底溫度等均可求出 24 小時內的變化分布。模擬模組的提供可驗證設計模組的成果是否適用於使用者選擇的地點。兩模組並用可作為相關領域教學、研究與實務設計之工具。

關鍵詞：蒸發冷卻，水簾與風扇，MATLAB，決策支援，設計，模擬

Development of Design and Simulation Software for Greenhouse Evaporative Cooling System

Wei Fang, Ph.D., Professor

Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering
National Taiwan University

Abstract

Microsoft Windows based software written in MATLAB was developed for the design and simulation of the pad and fan systems. The design module of this software incorporates information for 4 models of commonly used evaporative cooling pad, fan curves for 9 models of fans and 3 styles of greenhouse roof. There is a choice among 3 ventilation system design algorithms. The software output includes working condition of pad and fan system, flow rate requirement of pump, capacity of sump and amount of makeup water required. The software also provides the capability of visualizing the design layout in 3D with the capabilities of zoom in/out and 3D rotation of the designed layout. The simulation module of this software provides users with a tool to evaluate the performance of the designed pad and fan system under the actual warmest local weather condition. Integration of both modules can be served as a teaching/research and design tool for researchers and professional engineers in the field of controlled environment agriculture.

Keywords: Evaporative cooling, pad and fan, MATLAB, Decision Support, Design, Simulation

一、前言

筆者過去曾建立多種環控農業(controlled environment agriculture, CEA)領域決策支援(decision support, DS)相關的 DOS 版軟體，適用於教學 研究與實務設計上。此些軟體包括數位濕氣圖(psychrometrics) (馮與方，1986)，水簾與風扇蒸發冷卻系統設計 (方，1994)，太陽能工程基礎 (Fang, et al., 1992b)，溫室被覆資材光學性質 (方，1992)，溫室加熱系統設計(Fang, et al., 1992a)，溫室資源最佳化配置(Fang, et al., 1990a)，溫室內部運搬與配置(Fang, et al., 1990b; 方與丁，1993；方與 Giacomelli, 1993)與溫室工程經濟分析(Ting, et al., 1990)等。隨著電腦科技的進步，DOS 幾乎已是消失的作業系統，有必要建立適用於新版作業系統，如 Windows 或 Linux 的軟體。

水簾、洒水與噴霧等之使用均屬熱帶亞熱帶地區頗為盛行的蒸發冷卻降溫方法，一般需配合風扇使用。水簾與風扇系統在花卉栽培與蛋雞、肉雞生產上更是普及。此系統不僅應用於溫室與禽畜舍的降溫，在工業界也普遍應用於辦公室/家庭/工廠等的加濕與降溫等。蒸發冷卻系統也可作為冷凍空調系統的輔助散熱系統，可提高冷卻效率 (Fang, 1994b)。

水簾與風扇系統是最普及的蒸發冷卻降溫系統，設計時涉及濕空氣的基本性質，風機與水簾片的性能曲線等。目前已完成兩套視窗版的數位濕氣圖，分別取名為 'psyc' 與 'psychart'。前者使用 Visual C++ (Fang, et al., 2001)，後者使用 MATLAB (Wang, et al., 2001)。此些軟體在全球已有不少研究單位使用，包括美國，英國，荷蘭，日本，墨西哥與中國等。本文旨在介紹針對水簾風扇降溫系統所發展的設計與模擬軟體，取名 'PFD' 為 Pad and Fan Design' 的簡稱；本軟體使用 MATLAB 程式語言撰寫。

數值分析與模擬軟體 MATLAB 為在工程界頗為盛行的軟體，其使用直譯器的設計使其具有跨平台的發展優勢。強大的繪圖介面(GUI)與工具庫，使得使用者很容易建立自己的使用者介面，允許程式設計者花更多時間在模式建立上。在農業/生物工程領域中也有愈來愈多學者在撰寫教科書時，使用 MATLAB 為程式設計語言，譬如設施環境模擬 (Climate under cover, Takakura 與 Fang, 2002)與生物系統動態模擬 (Dynamics of biological systems, Cundiff 與 Mankin, 2003)。

二、PFD 軟體設計模組

如圖 1 至 3 所示為在 MATLAB 使用者指令視窗中輸入 PFD 後出現的三個視窗，第一個視窗中的前六列包括單元溫室(Greenhouse bay)尺寸的輸入，允許使用公制或英制。第七列所示為多少單元(Number of bays)。單元溫室寬度乘上單元溫室數量即為溫室的真正寬度，列於視窗 1 的最末列，在本軟體中，假設此長度為水簾片安裝的最大允許長度。當設計時，所需水簾片長度超過此值時會有警示視窗出現顯示設計錯誤訊息，要求調整設計參數。此長度同時也是允許安裝風扇的最大寬度。換言之，本軟體假設強制通風時的風向與屋簷水溝方向平行。

圖 1 中第 8 列為屋頂與地板面積比，第 9 列則允許使用者選擇三種不同的屋頂，包括拱形，三角形與鋸齒形。後續三個選項包括橫樑高度，每跨距幾棟單元溫室與立柱間距等只與溫室繪圖相關，與風量設計無關。圖 1 列於 'Derived' 下方的為計算的公制與英制的溫室總面積，總牆面積與總屋頂面積。其次為牆面與地板面積比與允許的最大水牆安裝寬度。

圖 2 顯示風量計算的三個策略，使用者允許選擇三種策略中的任一者做後續計算。第一種策略為 ACME 公司所發展，後續為美國溫室製造業者協會 (NGMA)所採用。第二種策略為 Munters 公司所發展，第三者則為一般

使用的通則。

GreenHouse Data	
GH Bay Length (m)	45
..... (ft)	147.64
GH Bay Width (m)	4
..... (ft)	13.12
GH Bay Height (m)	4
..... (ft)	13.12
Number of Bays	13
Roof/floor Area ratio	1.1
Roof type 2: Circular arch	
Height of truss (cm)	40
Intv. betw. posts (m)	10
No. of bays per post	2
Derived	
Total floor Area (m2)	2340
..... (ft2)	25188
Total wall Area (m2)	776
..... (ft2)	8353
Total roof Area (m2)	2574
..... (ft2)	27706
Wall/floor Area	0.33
Max. Pad length (m)	52

Fig. 1 PFD 軟體之設計模組第一視窗，主要顯示溫室尺寸

Algorithms to select ventilation rate	
Select an algorithm for further calculation	
1. NGMA/ACME algorithm	
3.93 m3/m2/min * 2340 m2 /60 s/min = 153.27 m3/s	
1. NGMA/ACME algorithm	
f1: Elevation of GH site (m)	50
f2: Indoor Solar Radiation (w/m2)	810
f3: Allowable Temp. Gradient (deg.C)	4
f4: Pad to Fan dist. = GH Bay Length (m)	45
Max (f123=1*1.65*0.98=1.61, f4=1)	1.61
Volumetric Flow Rate (m3/m2/min)	3.93
2. Munters algorithm	
Designed Indoor Solar Radiation (w/m2)	810
Volumetric Flow Rate (m3/m2/min)	4.23
3. Air Change Rule of Thumb	
Designed Air Change per min	1.2
Volumetric Flow Rate (m3/m2/min)	4.2
** The selected one is in CYAN background **	

Fig. 2 PFD 軟體之設計模組第二視窗，主要顯示風量選擇策略

策略 1：NGMA/ACME 選項涉及許多因子，包括溫室地點之海拔，室內光亮度，允許的溫室內溫度梯度與溫室內空氣入口至出口的距離。計算公式如式 1 至 6 所示，前三個公式求出的參數值的乘積(式 4)與第五個公式比較，取其大者為最後的參數值(式 6)。

$$F_{\text{elev}} = \begin{cases} 1.04+0.04*(E-300)/300 & \text{if } E \geq 300 \text{ m} \\ 1 & \text{if } E < 300 \text{ m} \end{cases} \quad (1)$$

$$F_{\text{light}} = FC/5000 \quad (2)$$

$$F_{\text{temp}} = 4/\Delta T \quad (3)$$

$$F_{123} = F_{\text{elev}} * F_{\text{light}} * F_{\text{temp}} \quad (4)$$

$$F_{\text{dist}} = \begin{cases} 10/\sqrt{D} & \text{if } D < 100 \text{ ft} \\ 1 & \text{if } D \geq 100 \text{ ft} \end{cases} \quad (5)$$

$$F_{\text{house}} = \max(F_{123}, F_{\text{dist}}) \quad (6)$$

其中，

- D: 風扇到水簾片距離，呎；軟體中更改為以 m 為單位。
- E: 溫室位置之海拔高度，m
- FC: 溫室內太陽輻射能，呎燭光；軟體中更改為以 W/m² 為單位。
- ΔT: 溫室內允許的溫度梯度，°C。

參數 F₁₂₃ 為基於溫室內能量守恆的考量，假設溫室內作物有良好的灌溉，所以有良好的蒸散產生，部份進入溫室的熱量以潛熱方式消除。參數 F_{dist} 旨在修正過短（小於 30 m）溫室的風速，使得作物附近能維持適當的空氣循環。原始策略有關距離與溫室內輻射能分別使用呎與呎燭光單位，軟體內分別改為公制常用的 m 與 W/m²。

策略 2：選項只考慮室內光量，如表 1 所示，其假設在 900 W/m² 時需要的通風量為 282 m³/m²/hr，其他依照遮陰比例做等比例遞減。原始策略有關溫室內輻射量使用呎燭光單位且風量率使用 m³/m²/hr 單位，軟體內分別改為公制常用的 W/m² 與 m³/m²/min。

表 1 風量率建議值（摘自 Munters Corp., USA）

遮陰率	室內輻射量 W/m ²	風量率 m ³ /m ² /hr
0 %	900	282
10 %	810	254
20 %	720	226
30 %	630	222
40 %	540	218

策略 3 中有關單位面積風量率 (m³/m²/min) 相當於每分鐘 AC (1/min) 次數乘上溫室高度 (m³/m²)。此為非常簡單的計算方式，但是使用者需知道溫室內熱量的多寡只與面積有關而與溫室高度無關。依據 Mears (2003) 的說

法，當初溫室業界使用 1 個 AC 為風量率計算依據是因為當時溫室的高度大約為 8 ft 高，且適當的風量率為 $8 \text{ ft}^3/\text{ft}^2/\text{min}$ ，後者除以前者可得到每分鐘一次同溫室體積的空氣交換量 ($\text{ft}^3/\text{ft}^3/\text{min}$) 之故。顯然，依現在的溫室高度，上面參考數值需要再修正，否則，溫室愈高，需要的風量反而愈大，這有違常理。現階段許多設計者仍以 1 個 AC 為設計基準。

以上三種策略中，較複雜的第一種是最被建議的，然而此方法尚有未考慮的部分，譬如室內的蒸散，其與作物種類與灌溉方法等均息息相關。

在使用者選擇三者中任一者之後，如圖 2 第 11 列所示，藍底(陰影)區域為選擇的單位面積之通風風量率，此數值會用於後續的計算，如顯示於圖 2 第 4 列的總風量率 (m^3/s) 等。

圖 3 所示為風扇數量與水簾系統設計相關參數的輸入與輸出結果，風扇部分只需輸入擬使用的風扇數量，由性能曲線圖與系統工作狀態點可看出輸入數量是否適當。另外軟體提供防呆設計：當風扇過多，多到安裝間距小於風扇本身寬度時；或風扇過少，造成風扇間距過大時，警示視窗均會自動出現以提醒設計者。水簾部份需輸入通過水簾的設計風速與水簾片高度。一般 10 cm, 15 cm 厚的設計風速分別為 1.25 與 2 m/s，水簾片高度在台灣常用者則有 1.5 m 與 1.8 m 之別。在環控畜舍設計時，雞、鴨等小動物的水簾設計風速與安裝於溫室者相差不多，但對於豬或牛等較大體型動物，該設計風速就明顯不足。提高設計風速則系統壓降加大且降溫效率降低，傳統的水簾蒸發冷卻系統面臨設計上的兩難。此時可考慮使用水簾片的替代材質 (高與方, 2001; 楊與方, 2001; 方與賴, 2001)。

圖 3 之第 6 與 7 列有 4 個圖示，允許開啟或關閉風機與水簾性能曲線圖視窗 (圖 5)。圖 5 中顯示 9 種風扇與 4 種水簾片，圖 3 第 8 列允許選擇 4 種水簾片中之任一種，目前顯示為 CELdek Pad 10cm (Flute angle 45-15)。程式會自動計算在設計風速下該水簾片在該厚度下的水簾壓降，加上額外的壓降即為系統總壓降。系統需要的水簾片長度在輸入通過水簾片風速與水簾片高度後可自動求出。水簾片設計相關的供水泵容量，水槽容量與補充水速率可陸續求出，列於圖 3 下半段倒數第 4-5 列。由於廠商之公式未列出水簾片安裝厚度 (一般多為 10 公分厚)，本軟體使用的計算公式如表 2 所示，其中，pad 厚度以公分計算。圖 3 倒數兩列提供 6 個圖示，最末圖示為關閉本程式，其他為顯示 Munters 公司兩種其他規格 (Celdek 7090 與 7060) (Munters, 2003) 與另一公司 (Kool-Cell) 的水簾片 (ACME, 1995) 在不同風速下的壓降與降溫效率圖片，前者尚提供照片解釋正確的安裝方向與何謂 Flute angle。

表 2. 水簾與風扇系統附屬配件之容量需求

水泵容量 pump capacity	$4.1393 \text{ L/min/m of pad} * \text{pad 厚度} / 10$
	$1/3 \text{ gal/min/ft of pad} * \text{pad 厚度} / 10$
水槽容量 sump size	$18.6269 \text{ L/m of pad} * \text{pad 厚度} / 10$
	$1.5 \text{ gal/ft of pad} * \text{pad 厚度} / 10$
補充水速率 makeup water	$0.1242 \text{ L/min/m of pad} * \text{pad 厚度} / 10$
	$0.01 \text{ gal/min/ft of pad} * \text{pad 厚度} / 10$

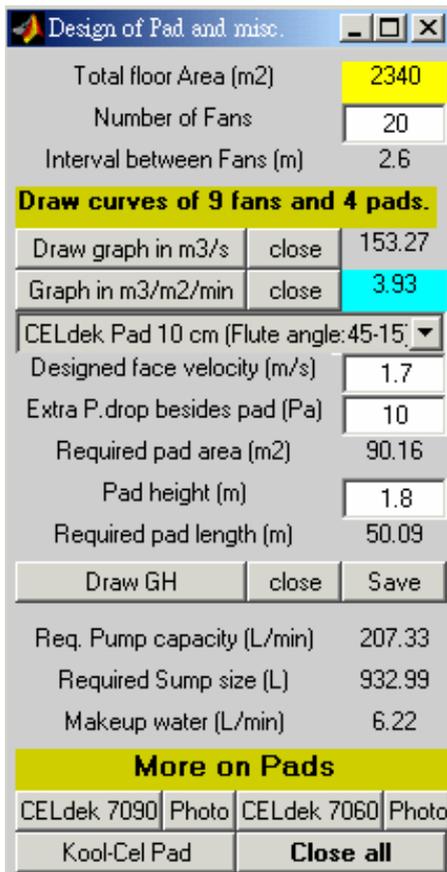


Fig. 3 PFD 軟體之設計模組第三視窗，主要顯示水簾與風扇的設計資料

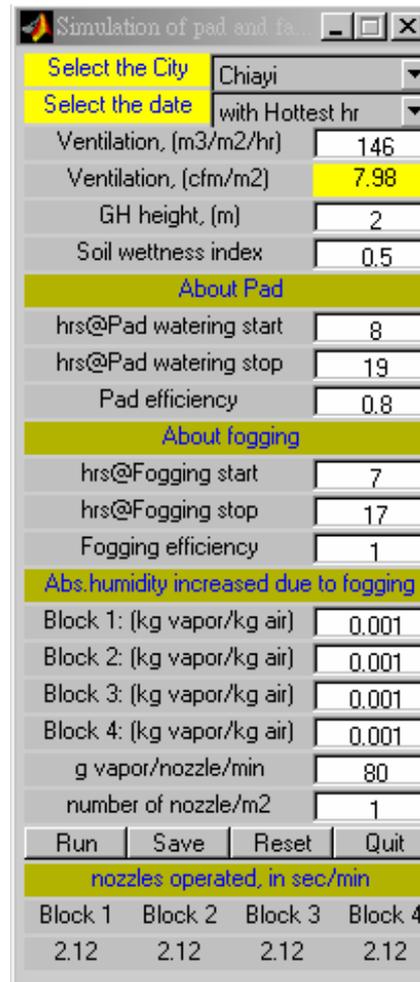


Fig. 4 PFD 軟體之模擬模組主視窗

三、PFD 軟體模擬模組

如圖 4 所示為 PFD 軟體的模擬模組。使用者首先選擇適合的地點，軟體中允許選擇台灣地區北、中、南十個氣象測站的資料；其次選擇最熱的一天或有最熱的一小時那天(方，2003)。通風量可直接輸入或由前一個設計模組取得。土壤潮濕指標(soil wetness index)則代表進入的熱量用於潛熱的比例，殘餘的部分則用於室內空氣顯熱的增加。水簾系統透過定時器控制，軟體中同時允許進行間歇噴霧，模擬時沿著空氣由水簾側進入至由風扇側離開的方向將溫室分為 4 區。使用者可設定單位面積噴嘴安裝個數、每個噴嘴之噴霧速率與每個區段內的水氣增加量。此部分模組主要由配備水簾與風扇的溫室模擬程式改寫，原始程式與理論基礎可參見 Takakura 與 Fang (2002) cuc35 程式。圖 4 第 8 列 About Pad 區域顯示水簾的開始/停止啟動時間與水簾降溫效率；圖 4 第 12 列 About Fogging 區域顯示噴霧系統的啟動/停止時間與噴霧系統效率。此部份理論基礎與計算細節請參見方(1994)與方(1995)。

四、結果與討論

如圖 5 所示為 9 種 Euroemme 風扇與 4 種水簾片(3 種厚度)的性能曲線，橫軸為壓降，縱軸為風量率。圖

中所示的 20 cm 水簾片為兩片 10 cm 水簾片平行排列的結果，15cm 水簾片的效率與壓降為 10 cm 與 20 cm 水簾片計算數值的平均。如圖 5 所示，選擇 10 cm Celdek 水簾片的壓降為 27.9 Pa，但考慮其他如防蟲網與百葉等的安裝。增加額外的壓降(10Pa)，系統真正的壓降為 37.9 Pa。此訊息同時列於圖中上方文字，該訊息尚包括通過水簾片的設計風速 (1.7 m/s)。軟體中提供兩種方式來查看此風機與水簾的性能曲線，如圖 3 所示的 ‘Draw graph in m3/s’ 與 ‘Graph in m3/m2/min’圖示。選擇兩者之任一，圖形不變，只有 Y 軸的單位更改。

圖 3 所示 ‘Draw GH’ 圖示提供使用者溫室立體圖顯示其所設計的溫室，如圖 6 所示。圖 3 所示 ‘close’ 圖示則可關閉溫室立體圖的視窗。在 ‘Draw GH’ 與 ‘close’ 圖示旁邊的 ‘Save’ 圖示允許使用者儲存所有設計參數，方便下次使用。結合圖 1 與圖 3 的所有參數，使用者設計的溫室為如圖 6a 與 6b 所示。如圖 6 上方所示，軟體提供針對溫室立體視圖進行放大(圖 7a)、縮小與旋轉(圖 7b)等動作。

在圖 4 倒數第 4 列，執行第一個圖示 ” Run ”，可執行配備水簾與風扇的溫室之逐時模擬，結果如圖 8 所示。程式首先由氣象資料庫取得嘉義地區在過去十餘年中有最熱的一小時的當日逐時溫、溼度資訊，如圖所示包括乾球、濕球與露點溫度。其次繪出溫室內沿風向四個區段的溫度值。最接近空氣入口處溫度(T11)最低，接近出口處溫度(T14)最高，如圖 8 所示，後者已接近室外溫度。當啟動水簾片給水系統與啟動噴霧時，溫度變化有兩次的陡降；反之，關閉系統時有兩次的陡昇；可見兩者在降溫上均有明顯效果。

圖 4 第 16 列以下區域顯示各區的空氣中加濕的水氣含量與噴嘴安裝量與噴霧量。軟體依此需求計算噴霧系統所需的操作時間。如圖 4 末兩區顯示，每 kg 乾空氣要提高 1g 的水氣含量，每 m²安裝 1 個噴嘴，每個噴嘴的噴霧量為每分鐘 80 g 且假設可完全蒸發(效率為 1)，則噴嘴的操作時間只需每分鐘操作 2.12 秒即可達成目標。

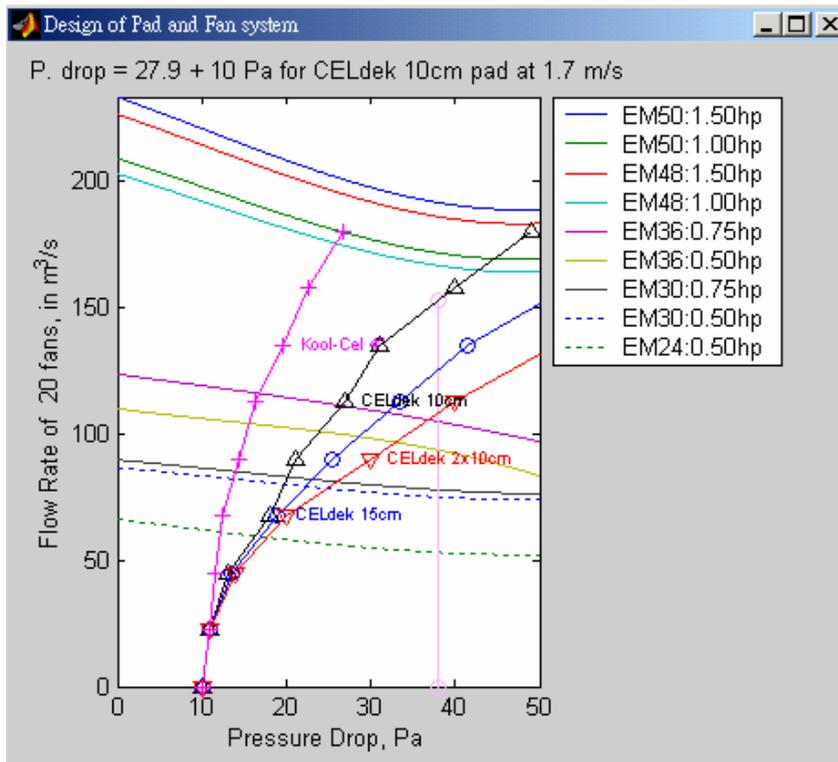


Fig. 5 性能曲線圖，包括 9 種風扇與 4 種水簾片(目前選擇 10 cm CELdek 水簾片，額外壓降為 10 Pa，風扇數量 20 台，Y 軸顯示體積流量率)

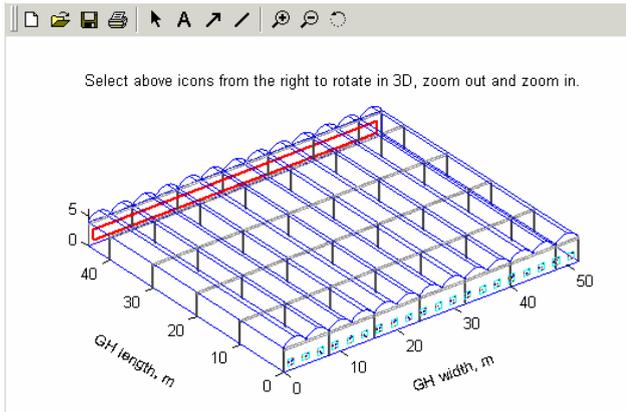


Fig. 6a 溫室立體圖 (拱形屋頂, 桁架高度 40 cm, 柱間距 10 m, 每跨距 2 棟, 風扇數量 20 台, 水簾高度 1.8 m)

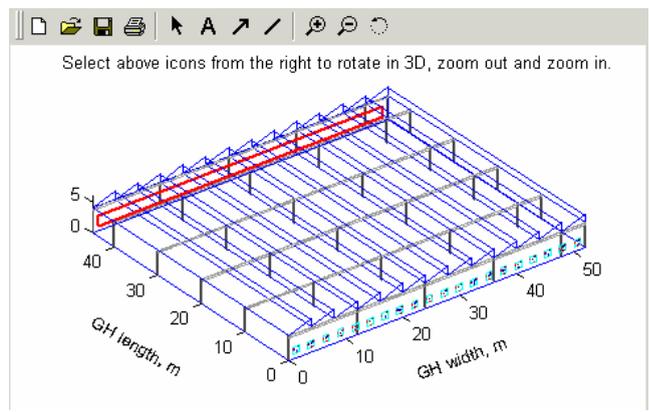


Fig. 6b 溫室立體圖 (鋸齒形屋頂, 桁架高度 40 cm, 柱間距 10 m, 每跨距 3 棟, 風扇數量 20 台, 水簾高度 1.8 m)

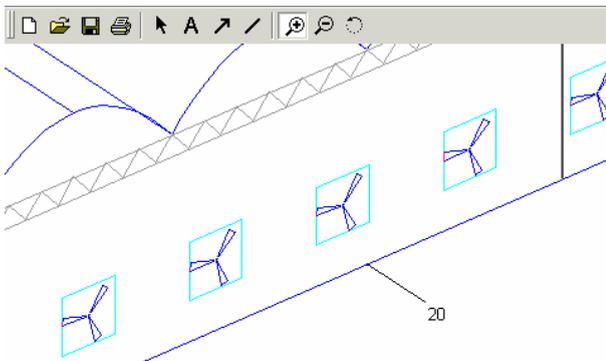


Fig. 7a 'Zoomin' 執行結果之一

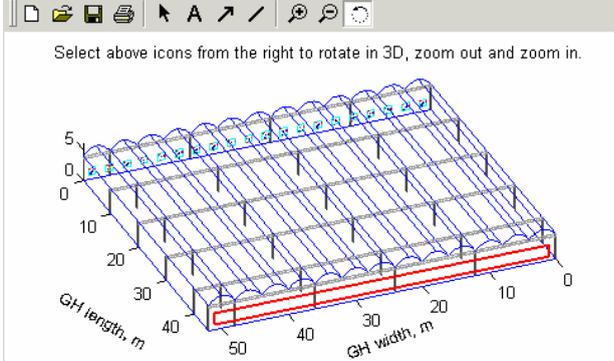


Fig. 7b 'Rotate 3D' 執行結果之一

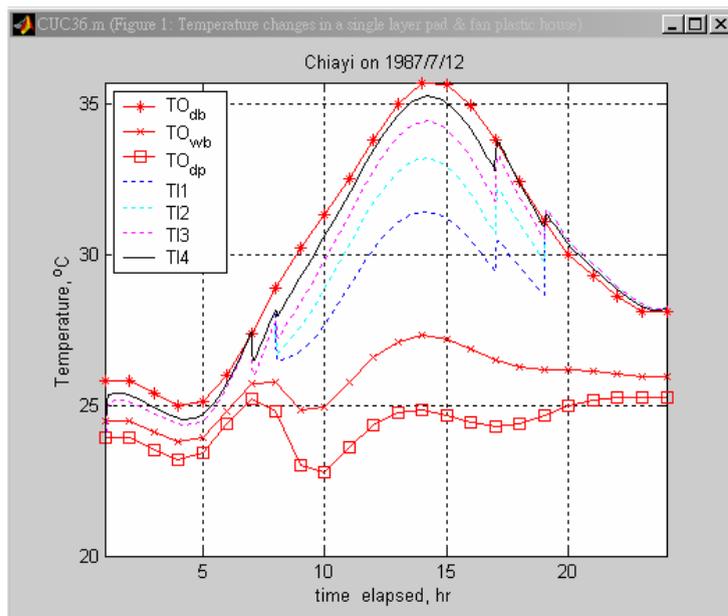


Fig. 8 PFD 程式模擬模組計算結果之一

五、結論

本研究使用 MATLAB 程式語言建立適用於視窗作業系統的溫室蒸發冷卻降溫系統設計與模擬軟體，可跨平台使用。軟體包括設計與模擬兩個模組，設計模組整合 9 種風扇、4 種水簾片、3 種溫室屋頂與 3 種風量選擇策略等資訊。軟體提供的輸出結果包括風扇與水簾的性能曲線、系統工作狀態點，適當的水簾片大小，需要長度與水簾供水系統相關泵容量、水槽容量與補充水數量等。程式同時提供溫室的立體視圖，允許針對圖面進行放大、縮小或旋轉。模擬模組允許針對設計模組之結果，選擇台灣地區最熱的一天進行模擬。台灣地區氣象資訊來自先前的研究。模擬結果可驗證系統設計之是否可行，並進一步了解系統的極限。本軟體可作為環控農業相關領域的教學/研究與實務設計之用。

六、參考文獻

1. 方煒。1992。多層透明被覆材料太陽能輻射性質之理論探討：I. 使用光跡追蹤法。農業機械學刊 1(4): 31-41。
2. 方煒。1994。水牆設計與使用。農業機械學刊 3(4): 57-70。
3. 方煒。1995。溫室蒸發冷卻系統降溫效果量化指標之建立。農業機械學刊 4(2): 15-25。
4. 方煒。2003。台灣地區溫溼度與輻射相關決策支援系統之建立。2003 資訊科技在農業應用研討會。12 月 1-2 日，台北。中華民國。
5. 方煒，G.A. Giacomelli。1993。大面積溫室物流系統之最佳化設計要則。農業機械學刊 2(2): 1-14。
6. 方煒，丁冠中。1993。大面積溫室物流系統設計與勞力規劃決策支援。農業機械學刊 2(2): 15-26。
7. 方煒，賴建洲。2001。網式水簾結構。中華民國新型第 171021 號專利。
8. 高式寧，方煒。2001。水牆替代材質降溫性能探討。九十年度農業機械論文發表會。7 月 23-25 日，台中。中華民國。
9. 馮丁樹，方煒。1986。個人電腦應用之三：空氣線圖之電腦模擬。中國農業工程學報 32(2): 49-64。
10. 楊士豪，方煒。2001。使用網式結構之簡易水牆降溫性能探討。九十年度農業機械論文發表會。7 月 23-25 日，台中。中華民國。
11. ACME Engr. and Manufacturing Corp., 1995. Commercial catalog of Kool-Cel Pad, Muskogee, OK, USA.
12. ACME Engr. and Manufacturing Corp., 2003. Fan related commercial catalog retrieved from <http://www.acmefan.com> on 6/3/2003.
13. Cundiff J.S. and K.Y. Mankin 2003. Dynamics of Biological Systems. ASAE publication 801M0503.
14. Fang, W. 1994. Greenhouse Cooling in Subtropical Regions. XXIVth International Horticultural Congress. 21-27 August, Kyoto, JAPAN.
15. Fang, W., D.S. Fon, Z.H. Jian and D.C. Wang. 2001. Re-development of Psychrometric software using Visual C++ and MATLAB. Proceedings of the International forum for vegetable production. Amen, China.
16. Fang, W., K.C. Ting and G.A. Giacomelli. 1992a. Computer software development for Greenhouse design and management. In Proceedings of the 4th International Conference on Computers in Agricultural Extension Programs, ASAE, St. Joseph, MI:274-279.
17. Fang, W., K.C. Ting and G.A. Giacomelli. 1992b. Computer Aided Instruction on Solar Engineering Fundamentals. ASAE paper No. 927031.
18. Fang, W., K.C. Ting and G.A. Giacomelli. 1990a. Optimizing Resource Allocation for Greenhouse Potted Plant Production. Transactions of the ASAE, 33(4): 1377-1382.
19. Fang, W., K.C. Ting and G.A. Giacomelli. 1990b. Animated Simulation of Greenhouse Internal Transport using SIMAN/CINEMA. Transactions of the ASAE, 33(1): 336-340.
20. Ting, K.C., J. Dijkstra, W. Fang and M. Giniger. 1989. Engineering Economy of Controlled Environment for Greenhouse Production. Transactions of the ASAE, 32(3): 1018-1022.
21. Mears, D.R. 2003. Personal communication (email on 2003/6/2).
22. Munters Corp., 2003. Pad related commercial catalog retrieved from <http://www.munters.com> on 6/3/2003.
23. Takakura, T. and W. Fang 2002. Climate under cover, 2nd edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht/Boston.London. pp.190.
24. Wang, D.C., W. Fang and D.S. Fon. 2001. Development of a digital psychrometric calculator using MATLAB.

Acta Horticulturae 578:p339-344.