

應用 SolidWorks Flow Simulation 進行溫室內 循環風扇流場分析之研究¹

楊清富²、林聖泉²

摘 要

楊清富、林聖泉。2014。應用 SolidWorks Flow Simulation 進行溫室內循環風扇流場分析之研究。臺南區農業改良場研究彙報 63：83-98。

近年台灣地區廣泛使用溫室進行作物栽培，但最主要的問題在於溫室內高溫高濕的環境，對作物造成生理障礙而影響生長與產量。一般溫室藉由大量通風改善溫室內的溫、濕度。但當通風停止時，溫室內靜止的空氣會對作物造成許多不良影響。因此維持溫室內空氣的流動，對作物生長具有正面的效益。爲了達到空氣流通的效果，循環風扇的配置就變得十分重要，但通風量、風扇配置及溫室的空間影響流場結構，且空氣在溫室內的流動不易偵測，因此難以評估內循環通風的成效。本研究針對三種配置不同循環風扇的溫室利用 SolidWorks Flow Simulation 軟體進行流場分析。分析結果內循環風扇向溫室中央偏轉，有助於形成較均勻的流場。對稱循環的流場在溫室對角及中央區域容易形成滯流區。旋轉式風扇形成之流場較不均勻，但藉由旋轉式排風對溫室內的空氣產生攪拌作用，可維持溫室內空氣較佳的均勻性。本研究透過圖形介面顯示流場狀態，對於研究溫室內空氣流動的情形有莫大的助益。

關鍵字：循環風扇、統御方程式、流場

接受日期：2014 年 5 月 29 日

前 言

溫室內靜止的空氣對作物有許多不良影響，包括在作物葉面形成一層黏滯性邊界層阻礙作物的蒸散作用，甚至結露濕潤表面。這些看似無害的物理現象，卻對作物的健康管理造成潛在性的危害。其中最常發生的是細菌、真菌、孢子等的生長繁殖，使病害快速發展，而影響作物生長及產量。因此環控裝置長時間停機時，維持溫室內空氣的流動，對作物生長具有正向的效益。內循環風扇的主要作用在於維持溫室內部空氣的流動，因爲只在內部造成空氣流動未引入外界空氣，因此對內部溫度不會產生影響。作業的重點在於溫室內通風的均勻性而不是要產生極大的風量。內循環風扇之通風量以換氣率表示，一般溫室每分鐘體積換氣率爲 0.3 次，但面積大於 300 坪時可採取 0.35 次之基準量⁽⁴⁾或溫室內風扇總容量 (m^3/min) 須

1. 行政院農業委員會臺南區農業改良場研究報告第 425 號。

2. 行政院農業委員會臺南區農業改良場助理研究員。

3. 國立中興大學生物產業機電工程學系教授。

至少相當於溫室體積的 $1/4^{(1)}$ 。爲了達到空氣流通的效果，風扇的配置就變得十分重要。但不同的廠商有各自不同的安裝方式，產官學界亦無定論。本文利用 Flow Simulation 軟體分析三棟配置不同內循環風扇的溫室，求解後透過圖形介面顯示整個流場狀態，對於研究溫室內空氣流動的情形將有莫大的助益。

文獻探討

涂等 (2)，2005 年研究應用利用計算流體力學 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 模擬開放型溫室在自然通風情況下有無加裝風扇的差異，以探討機械通風對於增加溫室通風的影響，以及降低溫室內部溫的效果。並對以不同轉速之風扇模擬溫室在機械通風下之流場情形，其研究方法中使用最常見之標準 κ - ϵ 紊流數學模型，在 Navier-Stokes 統御方程組 (Reynolds-averaged Navier-Stokes equations) 中，加入紊流動能方程式及紊流耗散方程式進行求解。

其中 Navier-Stokes 方程式如下：

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\Phi) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i\Phi) = \frac{\partial}{\partial x_i}(\Gamma\Phi) + S_\Phi \quad (1)$$

其中源項 S_Φ 由 Darcy-Forcheimer equation 得到方程式：

$$S_\Phi = -\left(\frac{\mu}{K}U + \rho\frac{C_f}{\sqrt{K}}U^2\right) \quad (2)$$

其中

- ρ ：密度；
- t ：時間；
- u_i ：在方向 i 的速度；
- Φ ：因變數；
- Γ ：耗散係數；
- S_Φ ：源項；
- U ：風速；
- μ ：流體的動黏度；
- K ：多孔性介質滲透性；
- C_f ：非線性動量損失係數；
- α ：孔隙率。

溫室所覆蓋防蟲網爲多孔性材質 (porous media)，模擬結果爲當溫室加裝風扇後，風扇轉動可增加溫室內部的通風效果，並且將溫室內部產生的熱累積帶出溫室外，降低溫室內部的溫度，但僅以風扇降低溫室內部的溫度其效果有限，故需再配合其他降溫方法，才能達到最佳降溫效果。

秦等 ⁽³⁾，2005 年研究使用數值模擬的方法探討遮蔭網應用於溫室產生的效應，比較加

裝遮蔭網之溫室與普通溫室在日光照射下，溫室內部熱累積之情況以及遮蔭網對於減緩溫室內溫度上升之情形。研究使用圓頂型開放式溫室，採用聚氯乙烯（PVC）材質之塑膠布為被覆材料，其透光率為 80%，熱傳遞係數 $0.38 \text{ kJ/m}^2 \text{ min}^\circ\text{C}$ ，溫室之山牆邊及側邊皆裝設紗網，其規格為 16×16 之防蟲網，溫室外部加裝透光率為 50% 之遮蔭網。數學模型使用之方程組為 Navier-Stokes 統御方程組，並搭配使用 κ - ϵ 紊流數學模型，計算紊流動能及紊流耗散能量。熱輻射方程式則以 P-1（P-1 radiation model）熱輻射模式，模擬溫室內部熱輻射情形，P-1 Model 方程式為

$$q_r = -\frac{1}{3(a + \sigma_s) - C\sigma_s} \nabla G \quad (3)$$

其中

- a：吸收係數；
- σ_s ：漫射係數；
- C：線性非均質相方程係數；
- G：入射輻射強度。

模擬結果發現溫室未加裝遮蔭網的溫度高於溫室加裝遮蔭網之溫度，溫差約 $3 \sim 5^\circ\text{C}$ ，並會在溫室上方產生熱累積。

材料與方法

一、研究設備

1. 編號 F4-G2 圓拱形塑膠布溫室， $32 \text{ m} \times 11 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ (L × W × H)。
2. 編號 GA7-A 圓拱形塑膠布溫室， $16 \text{ m} \times 20.4 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$ (L × W × H)。
3. 編號 GA7-B 圓拱形塑膠布溫室， $16 \text{ m} \times 20.4 \text{ m} \times 3.4 \text{ m}$ (L × W × H)。
4. 奇圃 EF-A24 風扇，Flow rate $185 \text{ m}^3/\text{min}$ 。
5. PRIVA ECO FAN 4550 軸流式風機，功率 200W，Flow rate $4,700 \text{ m}^3/\text{hr}$ 。
6. NEPON DIRECT FAN DFN-102TE，底吸側向排風出風口 360° 旋轉，Flow rate $21 \text{ m}^3/\text{min}$ 。
7. 分析軟體：SolidWorks Flow Simulation 2014。
8. 作業系統：Windows 7。
9. 電腦：hp Z400 Workstation。

二、理論模式⁽⁷⁾

計算流體力學主要針對 Navier-Stokes 統御方程式之數學模型求解，並利用有限體積法計算每個網格元素物理量之平均值，探討流場與溫度分布變化之情形。守恆定律方程式包括：

1. 連續方程式（Continuity equation）

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (4)$$

2. 動量方程式 (Momentum equation)

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad i = 1, 2, 3 \quad (5)$$

3. 能量守恆方程式 (Energy equation)

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}(u_j(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial \rho}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho \varepsilon + S_i u_i + Q_H \quad (6)$$

$$H = h + \frac{u^2}{2} \quad (7)$$

$$S_i = S_i^{porous} + S_i^{gravity} + S_i^{rotation} \quad (8)$$

其中

u : 流速 ;

p : 壓力 ;

t : 時間 ;

ρ : 流體密度 ;

S_i^{porous} : 多孔性材質阻力 ;

$S_i^{gravity}$: 浮力 ;

$S_i^{rotation}$: 離心力 ;

Q_H : 單位體積的熱源 ;

τ_{ij} : 黏滯剪應力張量 ;

τ_{ij}^R : 雷諾應力張量 ;

q_i : 熱通量 ;

h : 焓 ;

ε : 紊流耗散率。

工程上實際遭遇的流體流動型態大多是紊流，而 Flow Simulation 主要是為模擬及研究紊流而發展的，並使用 Favre-averaged Navier-Stokes equations 對紊流進行預測。紊流模式使用之運動方程式為 k- ε 模型 (Kinetic Energy and Dissipation rate)，並利用層流／紊流邊界層模型來描述靠近壁面區域之流動。此模型是基於稱作修正壁面方程式 (Modified Wall Functions) 的數值近似方法。Flow Simulation 使用有限體積方法 (Finite Volume, FV) 求解統御方程式，網格的計算主要是以平行四面體的網格型態為主，網格產生具有智慧化、全自動以及自適性網格的建構程序。網格產生的步驟首先將運算範圍 (Computational Domain) 切成一塊塊矩型的基本網格 (Basic mesh)。然後這些基本網格依據模型的幾何及適當的解析程度，再細切成更細的初始網格 (Initial mesh)。初始網格產生之後程式就會進行求解運算。初始網格在運算過程中可以設定依據分析結果狀況再被細切成自適性網格 (Solution-Adaptive Meshing)，在運算過程之中依據結果的變化程度，自動將整個運算範圍之中需要調整的網格再做適度細切。求解過程中自動將的實體模型判斷為實體，若無額外設定，沒有實體的空間則自動判定為流體。

三、Flow Simulation 分析流程

1. 模型準備：在 SolidWorks 完成模型設計。
2. 定義分析專案 (Project)：
 - (1) 設定單位系統 (System of Units)。
 - (2) 設定分析類型 (Analysis Type) — 內部流場 (Internal) 或外部流場 (External)。
 - (3) 設定流體類型 (Fluid Type) — 氣體 (gas)、液體 (liquid)、非牛頓流體 (Non-Newtonian liquid)、可壓縮液體 (compressible liquid)、水蒸氣 (Stream) 等。
3. 定義邊界條件 (Boundary Condition)
邊界條件必須設定在實體和流體交接的表面上，若無法設定則有可能是流體範圍沒有判斷出來，可以使用 CheckGeometry 指令檢查。
4. 定義熱源及材料 (Heat Source、Materials)：
5. 定義工程分析目標 (Engineering Goals)：
Flow Simulation 是使用疊代運算的數值運算方式，每個疊代運算的時間增量和運算停止控制是由程式判斷，判斷的準則是依據收斂值的變化。除了內建的收斂值外，Goals 即 Flow Simulation 中的收斂值。分析目標包括：
Global Goals — 整體運算目標，所設定的參數針對整個運算範圍。Surface Goals — 表面運算目標，所設定的參數針對使用者指定的某個實體表面。
Volume Goals — 實體運算目標，所設定的參數針對運算範圍中某個指定的本體範圍（實體或流體均可）。Equation Goals — 運算式運算目標，為以上三種的 Goals 加上運算式產生的新參數。
6. 運算求解 (Solve)。
7. 檢視結果及報告 (Result & Report)。

四、模型說明

1. F4-G2 溫室模型

F4-G2 為圓拱形塑膠布溫室，配備 EF-A24 風扇兩台，流率為 $185 \text{ m}^3/\text{min}$ 。風扇位置距離山牆面 8 m，距離側牆 2.4 m，高度 3 m，風扇軸線與山牆面垂直。溫室模型如圖 1 所示。

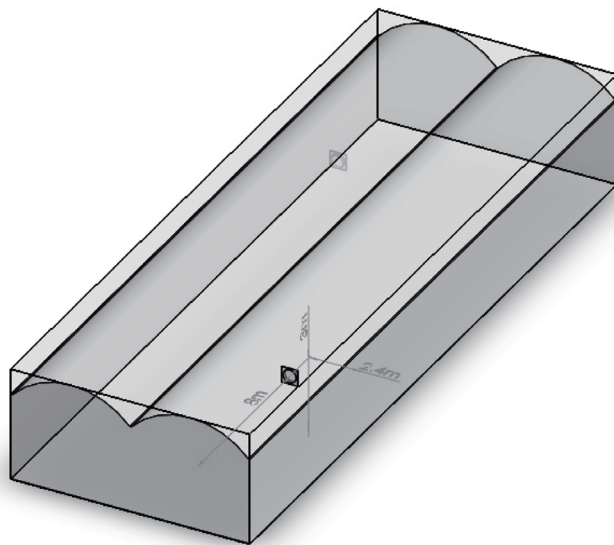


圖 1. F4-G2 溫室模型

Fig. 1. F4-G2 Greenhouse model

2. GA7-A 溫室模型

GA7-A 為圓拱形塑膠布溫室，配備 ECO FAN 4550 軸流式風扇兩台，風扇軸線偏向溫室中心 10° ，流率為 $4,700 \text{ m}^3/\text{hr}$ 。風扇位置距離山牆面 4 m ，距離側牆 3.2 m ，高度 2.4 m ，植床上栽培作物為文心蘭。溫室模型如圖 2 所示。

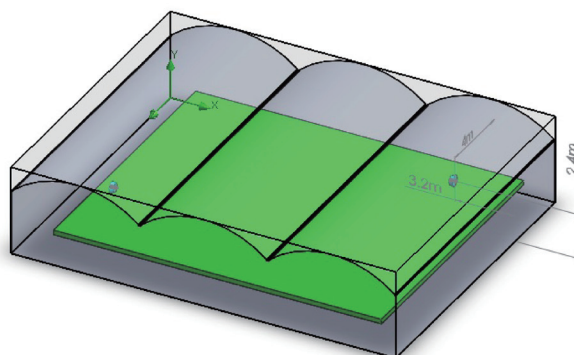


圖 2. GA7-A 溫室模型

Fig. 2. GA7-A Greenhouse model

3. GA7-B 溫室模型

GA7-B 為圓拱形塑膠布溫室，配備 DFN-102TE 風扇 1 台，風扇出風口可 360° 迴轉，轉速約 1 rpm ，流量為 $21 \text{ m}^3/\text{min}$ 。風扇位置距離山牆面 8 m ，距離側牆 8.6 m ，高度 2.4 m 。在溫室入口側設置 $13 \text{ m} \times 5 \text{ m} \times 2.3 \text{ m}$ 催花冷房。植床上栽培作物為蝴蝶蘭。溫室模型如圖 3 所示。

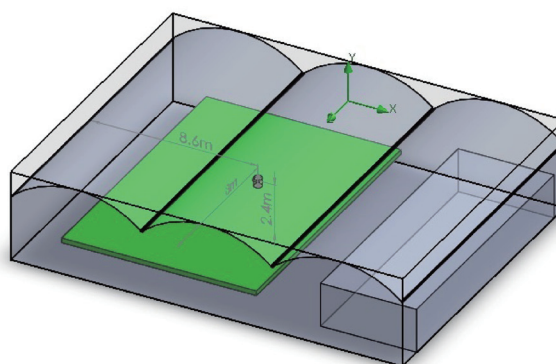


圖 3. GA7-B 溫室模型

Fig. 3. GA7-B Greenhouse model

五、分析設定

Flow Simulation 專案包含了所有的設定及運算結果，每一個專案都關連一個 SolidWorks 模型組態，因此藉由 Flow Simulation 的專案及 SolidWorks 的模型組態，可以分析多種不同的模型幾何或參數。當專案產生之後，在 SolidWorks 的模型組態管理員會出現一個 Flow Simulation analysis tree 的圖示，可用來設定專案資料如流場型態、邊界條件、初始條件、材料及運算目標。

1. F4-G2 專案設定

F4-G2 為地面栽培系統溫室內並無植床，其牆面包含防蟲網及塑膠布捲簾。在此分析中假設內部無作物且四周捲簾均為放下時之密閉型態，專案設定如表 1 所示。

2. GA7-A 專案設定

GA7-A 溫室植床上盆植文心蘭，植床、作物植體及盆體對流體流動具有一定阻礙，為了探討其對流場的影響，將植床、植體及盆體視為多孔性材質 (porous media) 來進行分析。利用參考氣孔尺寸相依關係 (Dependency on reference pore size) 來指定滲透率 (permeability)，其中，氣孔尺寸則由 5 吋盆併排後的空隙進行估算，計算空隙內切圓孔徑約為 0.05 m 。空孔率假設為 0.3 (流體體積與整個多孔性材質的體積比)，專案設定如表 2 所示。

3. GA7-B 專案設定

GA7-B 溫室植床上盆植蝴蝶蘭，多孔性材質的參數設定與 GA7-A 相同，專案設定如表 3 所示。

表 1. F4-G2 專案設定

Table 1. F4-G2 Project Setting

Configuration name	Create new: “F4-G2”
Unit system	SI (m-kg-s) Length: mm Temperature: °C
Analysis Type	Internal Gravity direction: Y value: -9.81 m/s^2
Database of Fluids	Fluids Gases: Air
Wall conditions	Roughness value: $0 \text{ }\mu\text{m}$
Initial conditions	Pressure: 101325 Pa Temperature: 25°C
Results & Geometry Resolution	Result resolution: 4
Boundary Condition	Inlet volume flow: $3.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (風扇出口面) Environment pressure: 101325 Pa (風扇入口面)
Goal	Global Goal: Average Velocity Global Goal: Average Temperature (fluid)

表 2. GA7-A 專案設定

Table 2. GA7-A Project Setting

Configuration name	Create new: “GA7-A”
Unit system	SI (m-kg-s) Length: mm Temperature: °C
Analysis Type	Internal Gravity direction: Y value: -9.81 m/s^2
Database of Fluids	Fluids Gases: Air
Wall conditions	Roughness value: $0 \text{ }\mu\text{m}$
Initial conditions	Pressure: 101325 Pa Temperature: 25°C
Results & Geometry Resolution	Result resolution: 4
Porous media	Porosity: 0.3 Permeability type: Isotropic Resistance calculation formula: Dependency on reference pore size (D) D: 0.05 m
Boundary Condition	Inlet volume flow: $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$ (風扇出口面) Environment pressure: 101325 Pa (風扇入口面)
Goal	Global Goal: Average Velocity Global Goal: Average Temperature (fluid)

表 3. GA7-B 專案設定

Table 3. GA7-B Project Setting

Configuration name	Create new: “GA7-B”
Unit system	SI (m-k-g-s) Length: mm Temperature: °C
Analysis Type	Internal Gravity direction: Y value: -9.81 m/s ²
Database of Fluids	Fluids Gases: Air
Wall conditions	Roughness value: 0 micrometer
Initial conditions	Pressure: 101325 Pa Temperature: 25°C
Results & Geometry Resolution	Result resolution: 4
Porous media	Porosity: 0.3 Permeability type: Isotropic Resistance calculation formula: Dependency on reference pore size (D) D: 0.05 m
Boundary Condition	Inlet volume flow: 0.35 m ³ /s (風扇出口面) Environment pressure: 101325 Pa (風扇入口面)
Goal	Global Goal: Average Velocity Global Goal: Average Temperature (fluid)

結果與討論

一、F4-G2 模型分析討論

SolidWorks Flow Simulation 自動產生運算網格，運算過程中自動將整個運算範圍之中需要調整的網格再做適度細切，網格計算結果如圖 4。分析結果從流線軌跡（如圖 5）可發現，從風扇排出之氣流大致維持沿軸線方向流動，但在抵達山牆前部分氣流向下游捲動將主要氣流向上抬升，而在側牆及溫室中段地表附近形成無流動區域，由圖 6 之側視剖面可明顯看出中段下方的滯流現象。圖 7 的流速分佈俯視圖顯示溫室內呈現對稱的流場。

爲了瞭解內循環風扇偏轉所產生的流場效應，本研究另外進行分別將風扇向溫室中央偏轉 15°及 21°（風扇側向距離／風扇軸向距離之反正切角度）的流場模擬分析，分析後之流速軌跡圖如圖 8、圖 9 所示。圖 8 顯示靠近側牆及中央地表附近的滯流區消失。但將偏轉的角度增加到風扇完全相向如圖 9，則分裂成兩個獨立的流場。因此內循環風扇偏轉角度的配置形式有助於形成較均勻的流場，但亦不宜過大，以免形成局部流場。

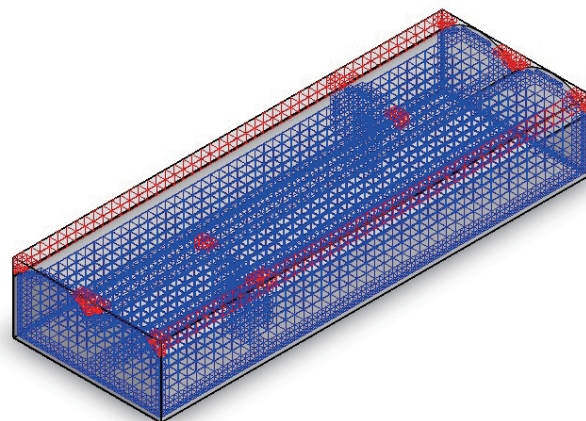


圖 4. F4-G2 網格
Fig. 4. F4-G2 meshing

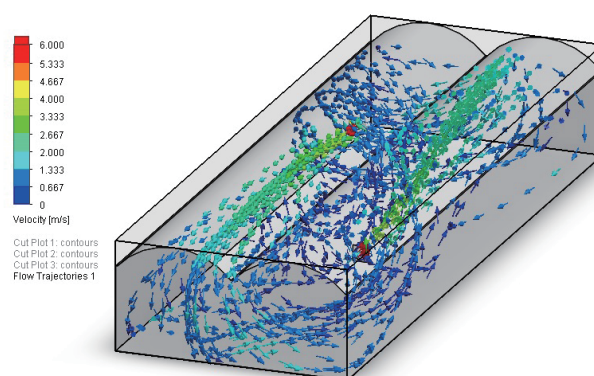


圖 5. F4-G2 流速軌跡圖
Fig. 5. F4-G2 Velocity trajectories

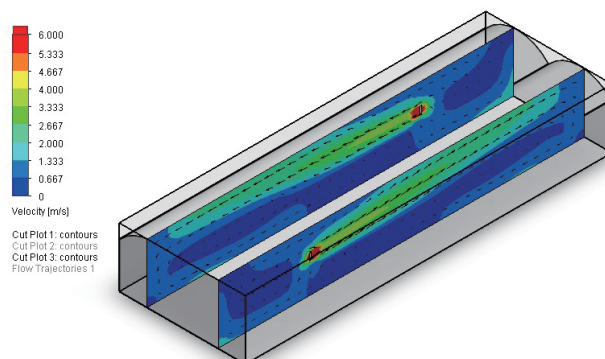


圖 6. F4-G2 流速分佈側視圖
Fig. 6. F4-G2 Velocity distribution of side view

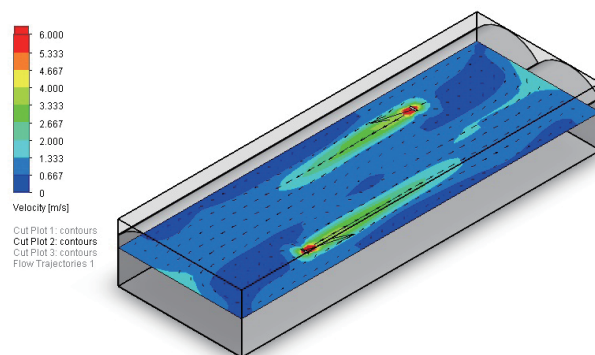


圖 7. F4-G2 流速分佈俯視圖

Fig. 7. F4-G2 Velocity distribution of top view

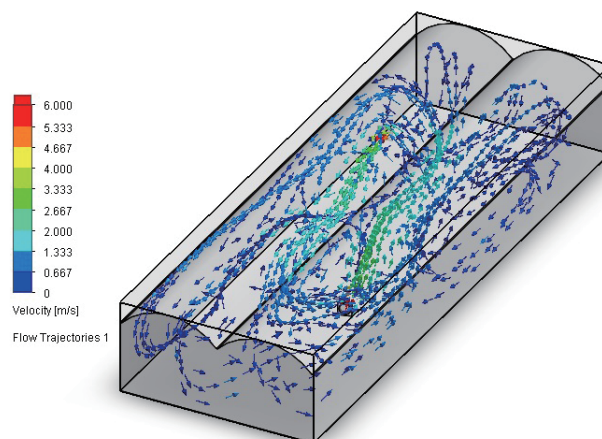


圖 8. F4-G2 流速軌跡圖（模擬偏轉 15°）

Fig. 8. F4-G2 Velocity trajectories (Deflect 15°)

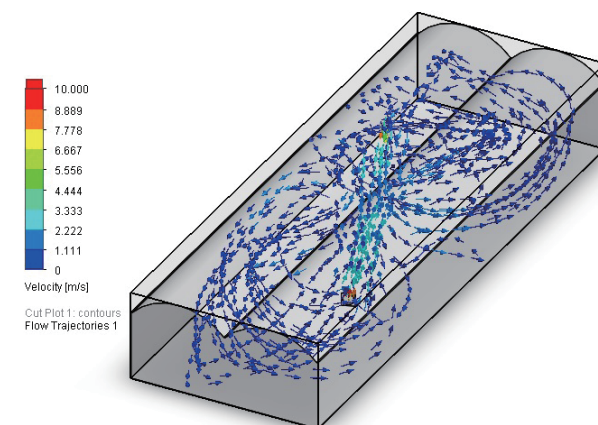


圖 9. F4-G2 流速軌跡圖（模擬偏轉 21°）

Fig. 9. F4-G2 Velocity trajectories (Deflect 21°)

二、GA7-A 模型分析討論

網格計算結果如圖 10，分析結果從流速軌跡（圖 11）可發現，從風扇排出之氣流在接近側牆前分裂成兩股氣流，其中一股進入另一台風扇的吸入側，另外一股則沿著側牆邊下緣流動，並在碰觸山牆面後向上流動，而在出風口前之側邊併入主氣流。在本分析專案中將植床及其上之作物設定成多孔性材質，分析結果僅少數流線會穿越植床，因此空氣主要的流動區域分布在植床上方的空間，而植床下方大致呈現滯流狀態，如圖 12 所示。由圖 13 的流速分佈俯視圖顯示溫室內呈現對稱的流場，空氣主要在兩風扇間循環流動，而溫室中央形成狹長的滯流區，則提供了一個重新思考感測器安裝位置的資訊。

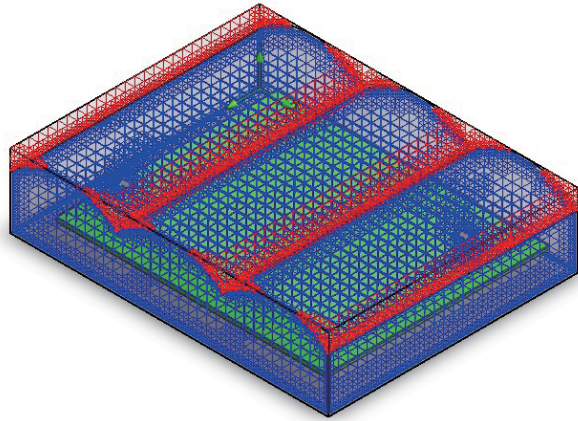


圖 10. GA7-A 網格
Fig. 10. GA7-A meshing

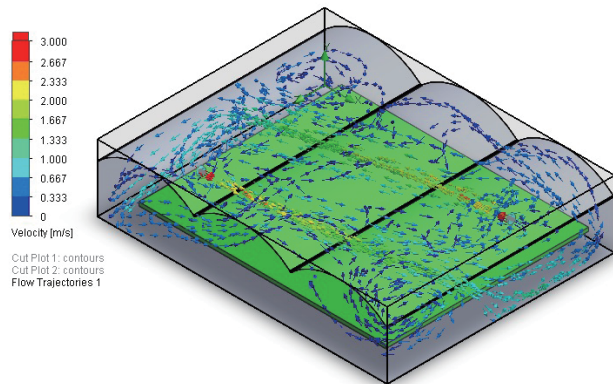


圖 11. GA7-A 流速軌跡圖
Fig. 11. GA7-A Velocity trajectories

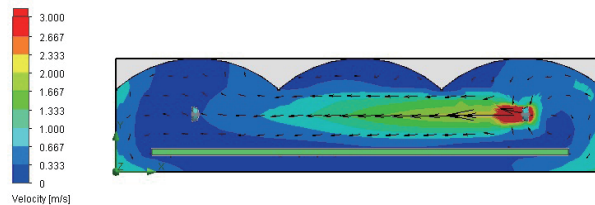


圖 12. GA7-A 流速分佈側視圖
Fig. 12. GA7-A Velocity distribution of side view

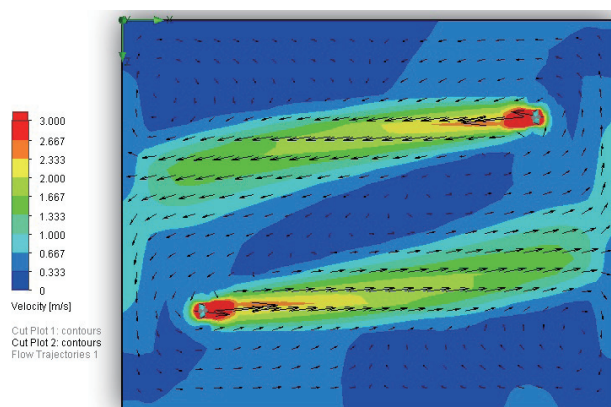


圖 13. GA7-A 流速分佈俯視圖

Fig. 13. GA7-A Velocity distribution of top view

三、GA7-B 模型分析討論

網格計算結果如圖 14，由於 DFN-102TE 風扇具有 360° 旋轉得出風口，本研究以出風口正對四個牆面的情形 (B1 ~ B4) 進行分析，分析結果從流線軌跡 (圖 15、圖 18~圖 20) 及流速分佈圖 16、圖 17 可發現，由於風扇的排風量較小，從風扇排出之氣流只維持在出風口的方向流動，而向其他方向流動的現象則不明顯。分析專案中將植床及其上之作物設定成多孔性材質，分析結果僅少數流線會穿越植床，因此空氣主要的流動區域仍只分布在植床上方的空間。此型風扇雖然排風量小，但透過旋轉的出風口能夠將溫室內的氣場充分攪拌，對於維持溫室內微氣候條件的均勻性具有實質的效益。另外溫室內設置大型結構 (催花房) 對流場分佈有很大的影響，採用旋轉式風扇，能改善空間不對稱所造成之不均勻氣場。

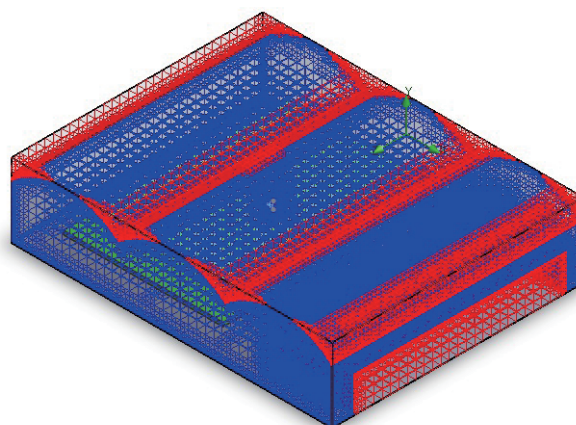


圖 14. GA7-B1 網格

Fig. 14. GA7-B1 meshing

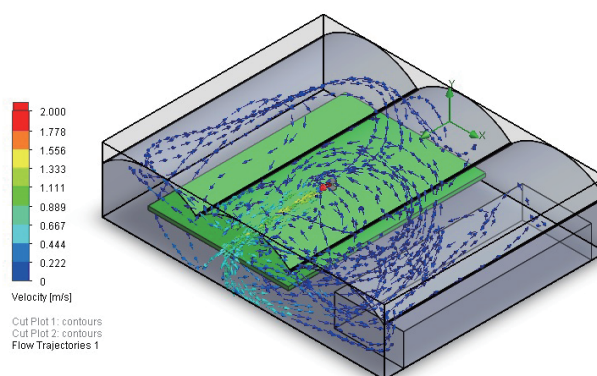


圖 15. GA7-B1 流速軌跡圖

Fig. 15. GA7-B1 Velocity trajectories

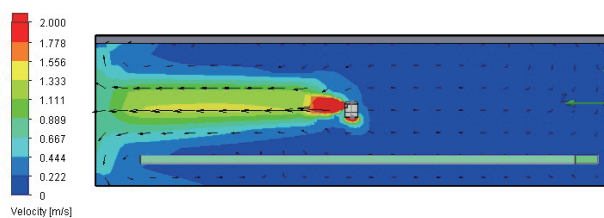


圖 16. GA7-B1 流速分佈側視圖

Fig. 16. GA7-B1 Velocity distribution of side view

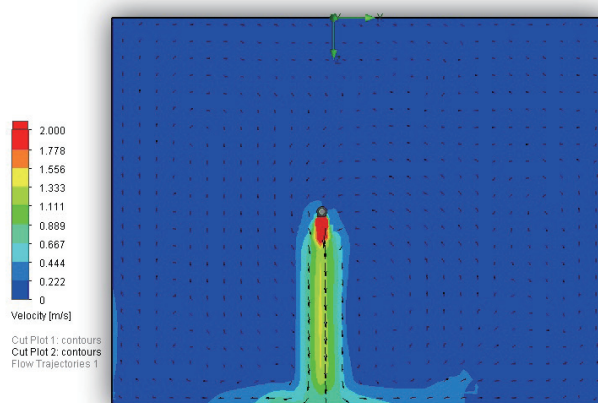


圖 17. GA7-B1 流速分佈俯視圖

Fig. 17. GA7-B1 Velocity distribution of top view

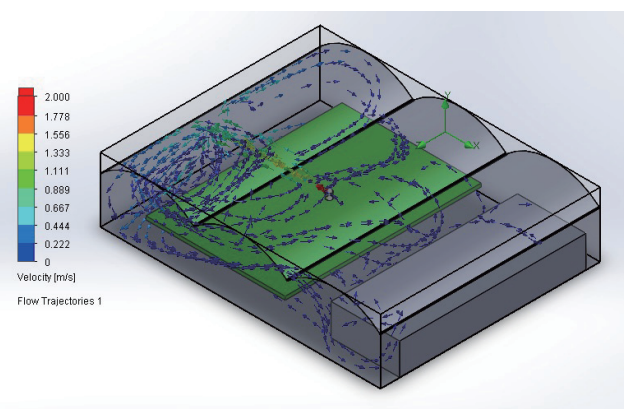


圖 18. GA7-B2 流線軌跡圖

Fig. 18. GA7-B2 Velocity trajectories

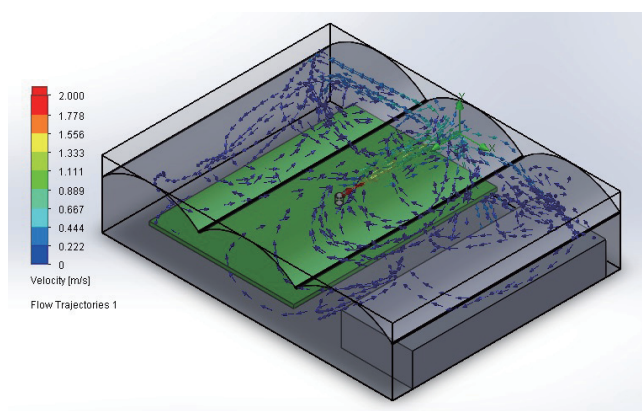


圖 19. GA7-B3 流線軌跡圖

Fig. 19. GA7-B3 Velocity trajectories

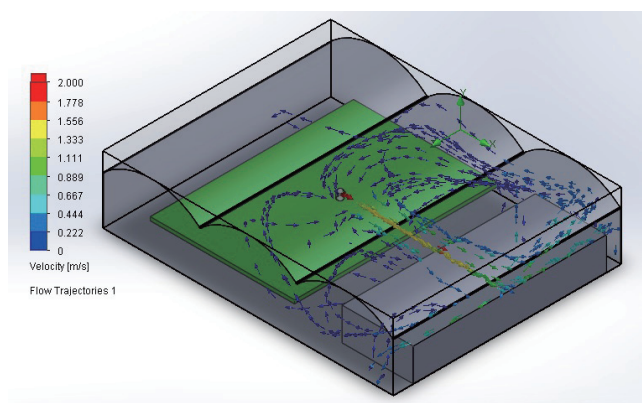


圖 20. GA7-B4 流線軌跡圖

Fig. 20. GA7-B4 Velocity trajectories

結 論

- 一、F4-G2 從風扇排出之氣流大致維持沿軸線方向流動，但在抵達山牆前部分氣流向下捲動將主要氣流向上抬升，而在溫室中段地表附近形成無流動區域。
- 二、內循環風扇向溫室中央偏轉，有助於形成均勻的流場，但偏轉的角度太大會形成分裂的流場。
- 三、GA7-A 配置 2 台 PRIVA ECO Fan 4550 軸流式風扇，運轉後形成一個對稱循環的流場，但在溫室對角及中央區域容易形成滯流區。
- 四、GA7-B 配置 DFN-I02TE 旋轉式風扇。此型風機排風形成之流場較不均勻，但藉由旋轉式風扇的排風方式，對溫室內的空氣產生攪拌作用，因此溫室內溫、濕度可維持較佳的均勻性。

- 五、GA7-B 內設置大型結構（催花房）對流場分佈有很大的影響。採用旋轉式風扇，能改善空間不對稱所造成之不均勻氣場。
- 六、本研究將植床及其上的作物以多孔性材料進行模擬，分析結果，僅有少數流線軌跡穿越植床，此現象意謂內循環風扇產生的流動無法在植床的上、下空間中進行氣流的交換。
- 七、Flow Simulation 強大的運算能力及圖形介面，使複雜的計算流體力學流，透過分析設定即能自動進行網格計算及求解，是一項分析流體流動特性的有力工具。

引用文獻

1. 方煒。設施生產自動化技術—第五章溫室降溫方法。<http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/Hort/default.htm>。
2. 涂國良、蔡循恒、梁智創。2005。溫室自然通風與機械通風之模擬。2005 年農機與生機論文發表會。
3. 秦銘智、蔡循恒、蔡建雄。2005。溫室遮蔭網降溫效應之 CFD 模擬。2005 年農機與生機論文發表會。
4. 陳加忠。內循環風扇之作用與安裝。<http://bse.nchu.edu.tw/prod02.htm>。
5. 實威國際。2010。SolidWorks 2010 原廠教育訓練手冊。全華圖書出版。
6. 實威國際。2011。SolidWorks Simulation 原廠教育訓練手冊。易習圖書出版。
7. Technical Reference SolidWorks Flow Simulation 2014.SolidWorks.

The Application of SolidWorks Flow Simulation on Greenhouse Circulation Fan Flow Field Analysis¹

Yang, C. F.² and T. C. Lin³

Abstract

In recent years, greenhouse is widely used to grow crop in Taiwan, and the main problem is the high temperature and humidity inside the greenhouse causing the crop physiological disorder, which influence the crop growth and decrease the yield. A conventional method is by drawing a great deal of external air into greenhouse to improve the climate, but in the case of suspend ventilation, the stationary air can cause harmful effect on crop. Keeping air circulating will be a great benefit to the crop. In order to reach a circulating ventilation effectively, it is important to deploy the circulation fans appropriately. The ventilation capacity, deployment and the space of greenhouse influence the structure of flow field. Because the movement of air in the greenhouse is not easy to detect, it is hard to estimate the effects of air circulation. This research used SolidWorks Flow Simulation software to analyze the flow field on three different cases of greenhouses, the results of flow field analysis displays on a graphic interface which provides a great benefit to research on the air movement in greenhouse.

Key words: Circulation Fan, Governing Equation, Flow Field

Accepted of publication: May 29, 2014

1. Contribution No.425 from Tainan District Agricultural Research and Extension Station.

2. Assistant Researcher, Tainan District Agricultural Research and Extension Station, COA.

3. Professor, Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering, National Chung Hsing University.