

# 半開放式棚架溫室之模組化環境控制箱開發

吳柏青 張邦彥 周立強\*

國立宜蘭大學生物機電工程學系

## 摘要

本文目的在於以工業使用普及之可程式控制器(PLC)及其週邊硬體元件，發展一種可「模組化」的環境控制箱，使用於半開放式棚架溫室。方法策略是以條件序控法為架構，結合空調程序與濕空氣線圖原理，推導環控操作的邏輯語言，再轉譯成可程式控制器的階梯電路程式，針對溫度、相對溼度及照度進行邏輯及追值控制。此模組化環境控制箱，在噴霧降溫作業一及二之操作控制歷程中得平均最大蒸發冷卻效率分別為  $28.4\pm 3.8\%$  及  $39.6\pm 2.3\%$ ，確認使用者在環控箱的面板設計上可依現場狀況去設定各設備之動作時間，使其對應之環控作業效能達到最適效果。

**關鍵詞：**溫室、環控、可程式控制器、濕空氣線圖(空氣線圖)

## Technological Development of a Modular Environmental Control Box for Use in Semi-Open Type Greenhouses

Po-ching Wu Bang-Yan Zhang Li-John Jou\*

Department of Bio-Mechatronic Engineering, National Ilan University

## Abstract

The main purpose of this work was to use a programmable logical controller (PLC) associated with its interface devices, which were popular commercial apparatuses widely used in industrial control, to develop a modular environmental control box for use in semi-open type greenhouses. By employing the linkage of air conditioning procedures and principles of a psychrometric chart, we used the condition-sequencing control methodology as a main control framework to deduce the procedural and logical issues of temperature-humidity and illumination environmental control in such a greenhouse. A Boolean logical language was employed to transform the environmental control paths in a psychrometric chart into a PLC program to implement the operation of environmental control in semi-open type greenhouses. The control display plane of our developed modular environmental control box was designed to easily operate for users to achieve more efficient evaporation-cooling effects in commanding fog-cooling operations. The performance outcomes show that the developed modular environmental control box can appropriately modulate indoor temperature and relative humidity to achieve an expected target range for managers. Thus, we confirm that our developed modular environmental control box can satisfy the operational requirement of environmental control in such a semi-open type greenhouse.

**Key words:** Greenhouses, Environmental control, Programmable logical controller, Psychrometric chart

\*Corresponding author, e-mail: ljjou@niu.edu.tw

## 前言

在 1991 年後台灣陸續有許多學者專家投入溫室環境技術的研究。梁與郭(1992) 提出林業溫室條件序控系統設計研製，其控制器主要以微電腦單晶片為主，輔以固態繼電器模組，感測器模組，類比/數位轉換器等。其控制流程、順序、策略均透過程式編寫軟體、以組合語言在一般個人電腦上編譯完成，藉由 RS232 卡輸入微電腦中，其控制方式採時間序控及條件序控。爾後陳與林(1993)也有類似觀念的設計應用於塑膠布溫室環控系統。接著周與王(1994)研製以個人電腦配合溫室內溫濕度控制模式的環控系統，其中經驗控制法內的灌溉及補光控制即是迴授序控的一種應用。黃等(1996)利用 DOS 作業系統發展溫室環境監控系統，可監看環控設備作動情形及記錄環控因子數據，然因該套系統需利用電腦進行控制，並無發展線上控制器型式，適合大型並具規模之設施業者採用。沈等(1996)曾開發單晶片環控系統，但因此系統的技術過於專業，週邊硬體設備擴充能力有限，例如規格匹配與相容性，一般農戶難以上手。艾等(1999)利用電腦圖控軟體 Genie 發展溫室監控系統，該監控系統功能簡單，僅做為控制溫室模型及教學目的。

周等(2000)曾以條件序控法的環控裝置應用在嫁接苗癒合養生室，其中控制迴路的組成元件僅以低壓工業配線及感測器為主，這種控制迴路邏輯雖可解決農家在使用上的問題，但因傳統繼電器硬體邏輯迴路仍有其限制。當系統控制邏輯需要多階層多段時，就存在著硬體迴路與邏輯死角修改等大問題。不論是利用經驗法或最適化法所制定之環控策略，所需控制之環控設備需有電子邏輯線路、微處理機或電腦等設備才可以執行(陳等，1992)。若採用繼電器、指示燈、類比控制器、控制面板等低壓工業配線元件所組成之「照景盤監控」系統，雖然價廉、維修便利且農民接受度高，但線路繁雜且容易因邏輯考慮不周延，導致偵線除錯工程耗大，特別是多階層多段的複合環控更是難以匹配。

周等(2002)結合迴授的條件序控法及濕空氣線圖的空調原理，演譯溫溼度聯控的環控程序及複雜邏輯。硬體裝置除原有低壓工業配線元件，感測器及可程式控制器外，其相同的演譯邏輯是透過圖控式語言(LabVIEW)及介面達成(游與周，2003)。接著周等(2005)發展以布林代數演算法及濕空氣線圖的空調程序為主，質傳熱傳理論為輔的數學控制模式，推演溫溼度聯控的複雜環控程序及邏輯。控制架構仍以非線性控制方式為主的迴授條件序控進行設計，此方式補強了以往條件序控之流程作業在溫溼度控制精度不高之缺點。

農業設施環境管理通常遇到的問題有感測器準確度下降、設施中硬體設備容量環控能力不足及環境管理決策錯誤等。當前端感測器在惡劣環境下準確度下降，即使後端圖控式的環境管理決策再好也是徒勞。溫室環境管理中最主要影響環境的三個因素為溫濕度及光照，歷經過去在此類感測器選用上研究試驗(周與王，

1992, 1994)，周及邱等(2000)提出 PT100 溫度感測、濕度感測及光電晶體式的光感測等商品化感測器，其耐用性、精確度及價格均有很好的評估及試驗成效。這些感測器在惡劣環境下的耐受性，其關鍵在於封裝技術。在本文係以選擇已商品化國產之環境感測器，其封裝技術可達到防潮氧化而不降低準確度並提醒使用者注意管理，以定期輪流更換前端的感測元件保養。

儘管台灣經過一系列有關於設施自動化技術發展，農業生產應用技術未來還是必須因應時代變革的需求與科技潮流，結合工業產品以提升競爭力。本文所要解決的問題為：以工業普及使用的可程式控制器及其週邊介面硬體去發展「模組化」溫室環境控制箱，此有別於以往傳統的繼電器控制組合，可解決設施內部附屬設備種類或容量或配置上的差異造成環控操作的複雜性，適合臺灣地區佔大多數之半開放式棚架溫室，使其更具普及推廣性。

## 材料與方法

### 一、溫室硬體架構

位於宜蘭市進士路附近之獨棟山型半開放式棚架溫室建造面積  $9.6 \times 8 (m^2)$ ，山型結構如圖 1 之 XZ 橫截面所示，主骨架以鋼材鋼架構成，屋頂之披覆材質為 PE 浪板並配有內遮陰網，而左右兩邊側牆為塑膠布(右側可捲收)。

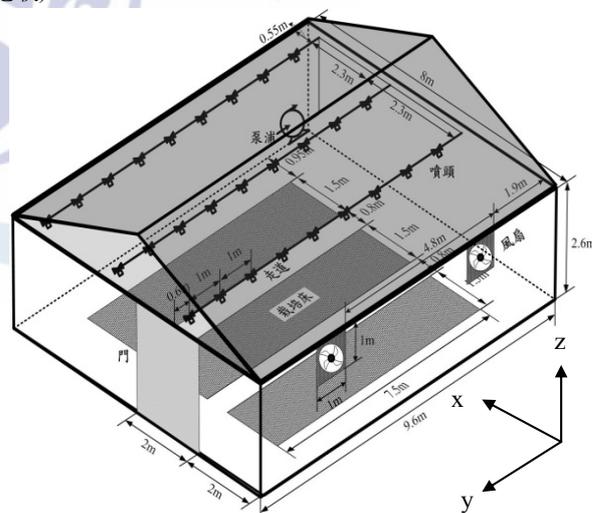


圖 1 半開放式棚架溫室之硬體架構與風扇噴霧系統配置

Fig. 1 The diagram illustrating the framework of a semi-open type greenhouse and the 3-dimension layout of fans and atomizers equipped in such a greenhouse.

在空氣入口處裝設噴霧水線(距地面 2.6 公尺)，溫室內每隔 2.3 公尺裝設後續水線，每條水線上配置有 9 個高壓噴嘴(間隔 1 公尺)，並於空氣入口對側裝有風扇，整體溫室之幾何結構尺寸，溫室內部植床平面配置間距與內部高壓噴霧降溫系統配置密度及座標點等相

關資訊皆可由圖 1 得知。

## 二、模組化環境控制箱的開發

半開放式棚架溫室之模組化環境控制箱開發係以條件序控法為基礎，發展成以 PLC 為主的控制組合，其架構如圖 2 所示。控制策略係採用空調原理配合濕空氣線圖演譯控制程序之邏輯語言，再轉譯成 PLC 階梯電路程式，進行溫室環控操作的時序模擬。本文所執行模組化溫室環境控制箱之開發，係依照下列八個步驟程序進行：

1. 明確敘述並定義控制模組之功能要求。
2. 將控制模組之功能要求轉換成邏輯語言(即條件式之邏輯流程圖或布林演算真值表)。
3. 根據邏輯語言轉化成控制階梯電路(包含主負載回路的設計)。
4. 確認控制階梯電路之動作分析說明與功能要求相符合。
5. 繪製各控制設備之時序圖，確認符合功能要求。
6. 開立控制模組匹配之元件規格。
7. 控制模組的盤面規劃。
8. 實體配線施工。

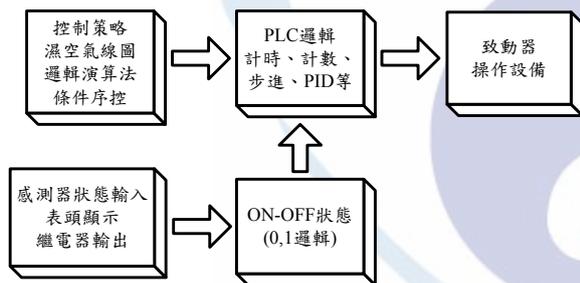


圖 2 以 PLC 為主之溫室環境控制箱之架構  
Fig. 2 The block diagram illustrating a PLC-based frame implemented as an environmental control box for use in semi-open type greenhouses.

### (一) 應用濕空氣線圖制定環控路徑

針對半開放式棚架溫室之功能要求，以溫度及光照環境為控制目標可分為三部分：定時段噴霧降溫、塑膠布保溫及定時段光度遮陰控制。在策略上溫度環境採迴授的條件序控，依照此策略來演譯控制裝置內濕空氣的變化，並在濕空氣線圖上推演其變化路徑。

圖 3 為應用濕空氣線圖原理制定半開放式棚架溫室中環控路徑之示意程序，圖中  $T_h$  及  $T_l$  分別為設定溫度之上及下限，同理  $RH_h$  及  $RH_l$  為設定相對濕度之上及下限，中間標的區域則為理想中溫濕度控制目標區。當溫度超過設定時，啟動高壓幫浦進行噴霧動作，藉由蒸發冷卻效果達到降溫目的，如路徑 a，此即為定時段噴霧降溫控制路徑。當溫度低於設定時，則將溫室外側塑膠布放下進行保溫作業，如路徑 b，此為塑膠布保溫路徑。當塑膠布放下時，溫室內為一密閉空間，若有噴霧或灌溉動作時，室內濕度會增加，如路徑 c 所示。

之後依照上述控制程序邏輯轉換成實際硬體設備的操作敘述，其中定時段噴霧降溫控制大多在於夏季高溫時節，依一般半開放式棚架溫室栽培業者之管理經驗，又可分成策略一與策略二兩種稍有差異之作業方式，下文將針對半開放式棚架溫室之環境控制功能要求作一完整敘述。

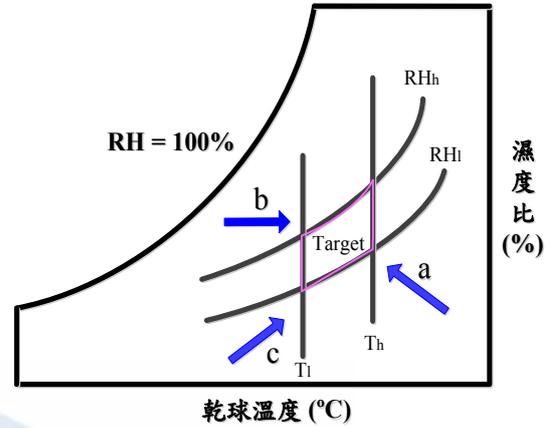


圖 3 應用濕空氣線圖原理制定半開放式棚架溫室中環控路徑之示意程序

Fig. 3. The diagram illustrating how to employ the principles of a psychrometric chart to implement heating, free and evaporative cooling, and humidifying control processes in semi-open type greenhouses.

### 1. 定時段噴霧降溫(管理策略一與二)

自動部分：在設定時段  $T_{24}$  範圍內(例如:8:00-17:00，管理者可自行設定)，若溫度超過  $T_h$  設定時(例如 30°C，或自行設定)，啟動高壓幫浦進行噴霧動作 0-10min (可自行設定)之後，管理策略一為先等待 0-10min 後，才啟動風扇進行通風動作；管理策略二則是立即啟動風扇進行通風動作 0-10min (可自行設定)。之後可等待 0-60min (可自行設定)，才確認設施內溫度是否下降，若溫度低於設定或相對濕度已達飽和設定時則停止噴霧作業。若溫度仍高於  $T_h$  設定(相對濕度未達飽和設定)則會重覆此作業。在作業進行過程中，若溫度已低於  $T_h$  設定值但相對濕度未達飽和設定，並不會立即中斷，需待作業完成一循環才會停止。在  $T_{24}$  設定時間範圍外，即使溫度超過  $T_h$  設定(30°C)也不會動作，但溫度控制器仍會顯示現況溫度。

手動部份：可執行多次循環作業，不限循環次數，當按一下啟動開關(噴霧手自動切換按鈕)後，會一直循環，若要停止，則必須再按一下啟動開關。

### 2. 溫室塑膠布保溫

自動部分：若溫度超過  $T_l$  設定(例如：20°C) 且持續 1min 以上，會進行拉塑膠布動作(Uncover)，當完成拉布動作後，會等待 0-10min，才進行溫度偵測。若此時溫度低於  $T_l$  設定且持續 1min，則會將塑膠布放下(Cover)，當完成放下動作後，會等待 0-10min，才進行

溫度偵測作業。在動作循環進行中，若溫度已高或低於  $T_1$  設定時，並不會立即中斷，直到完成一動作循環才停止。

手動部份：當切換開關切換至手動後，按下按鈕即可執行拉或放下塑膠布的動作

### 3. 定時段光度遮陰

自動部份：在  $T_{24}$  設定時段內，若太陽照度超過下限  $L_1$  設定(例如: 10klux)，也就是由低日照變成常日照且持續 1min，此時外遮陰網會進行拉網動作(Cover)，當完成拉網動作後會等待 0-10min，才進行照度偵測作業。若此時照度高於上限  $L_h$  設定(例如：15klux)，即由常日照變成高日照且持續 1min，此時內遮陰網會進行拉網動作，當完成拉網動作後，會等待 0-10min，才進行照度偵測作業。若照度已低於上限  $L_h$  設定時，則停止此作業，即由強日照變成常日照且持續 1min，此時內遮陰網會進行收網動作(Uncover)，當完成收網動作後，會等待 0-10min，才進行照度偵測作業。若照度又低於下限  $L_1$  設定時，則停止此作業。若常日照變成低日照時，外遮陰網會進行收網的動作，當完成收網動作後，會等待 0-10min，才進行照度偵測作業。在作業進行過程中，若照度已低於設定值，並不會立即中斷，需待作業完成一循環才會停止。在設定時間範圍外，若照度超過設定，系統不會動作，但照度控制器仍會顯示現況照度。

手動部份：當遮陰手、自動切換開關切換至手動後，按下按鈕即可執行內或外遮陰拉、收網的動作。

#### (二) 環控路徑邏輯演譯

將上述控制模組之功能要求轉換成條件式之邏輯流程，定時段噴霧降溫(管理策略一與二)循環作業之控制流程，如圖 4 所示。圖 5 為塑膠布保溫控制流程，大多實施於冬季低溫。定時段光度遮陰管理作業之控制流程，則如圖 6 所示。

#### (三) 電路與程式設計

接著依前述八個步驟程序中第 3 個步驟，設計模組化溫室環境控制箱內部迴路，分別為 PLC 外部負載及控制設備主迴路(見附錄圖 A)，並根據邏輯語言轉化成 PLC 控制階梯電路程式包含噴霧降溫循環(管理策略一及二)、塑膠布保溫及光度遮陰管理三種作業相對應之 PLC 階梯電路程式如附錄圖 B 所示。

#### (四) 控制設備之時序模擬檢驗

針對環控箱之內部電路及程式控制功能，我們分別以時序邏輯輸入模擬及檢驗噴霧降溫循環(管理策略一及二)、塑膠布保溫及光度遮陰管理三種作業控制設備動作之執行是否符合功能要求，分別圖示於附錄圖 C。

#### (五) 實體製作

接著依前述八個步驟程序中第 6 - 8 個步驟，依序開立電氣規格匹配之工業控制元件，進行環控箱盤面規劃乃至最後實體配線完成模組化環境控制箱製作(詳細過

程資料可向通訊作者索取)。

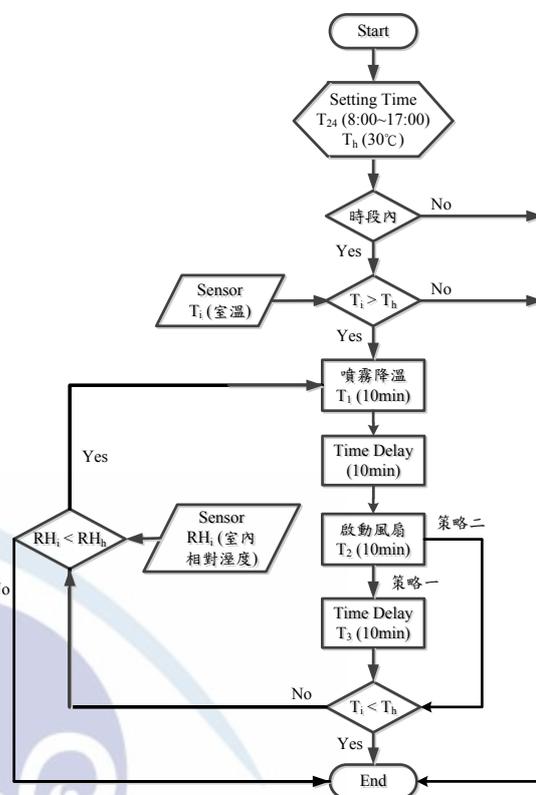


圖 4 定時段噴霧降溫(管理策略一與二)作業流程  
Fig. 4 The control flowcharts of strategies I and II using fans-spraying in a specific period in greenhouses.

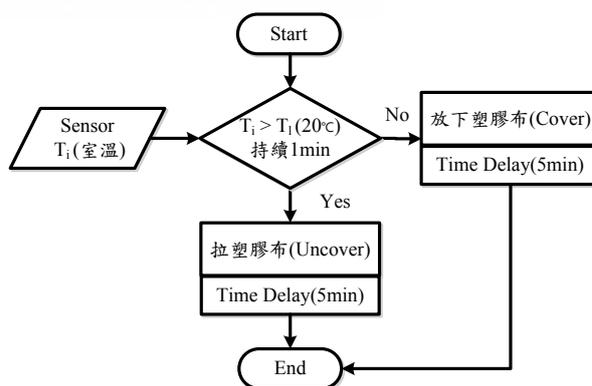


圖 5 溫室塑膠布保溫作業流程  
Fig. 5 The control flowchart of keeping a fixed temperature in greenhouses using a cover.

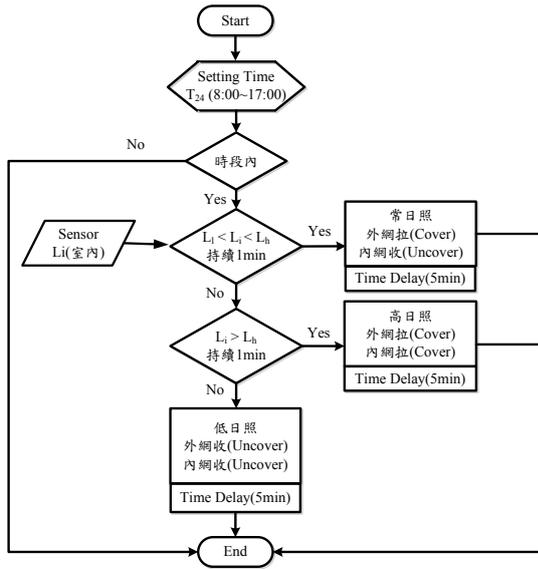


圖 6 定時段光度遮陰管理作業流程  
Fig. 6 The control flowcharts of illumination in greenhouses.

### 三、環控箱之功能測定及試驗條件背景設定

臺灣地區佔大多數之半開放式棚架溫室總體來說，其處理複合式環境管理作業問題主要有三項：夏季為通風蒸發冷卻降溫、冬季為保溫加熱及不分季節光度遮陰管理三種作業，然依區域性氣候特質、栽培作物類別、經營成本及功能性不同，這類型半開放式棚架溫室內部附屬設施及設備不盡相同相當多元，例如本縣礁溪地區常見冬季溫泉熱交換管加熱，員山地區有燃油加熱設施，其他地區或僅有通風結合噴灑水作業或光度遮陰管理作業仍屬半自動型態等。本文提出這類型半開放式棚架溫室其模組化環控箱之開發，藉能極大化解決其上述三種管理作業，在週邊控制元件設計選用仍屬於開放式原則設計，極小化其因內部附屬設施及設備不盡相同之差異性，不因上述設備種類或容量差異而影響既有功能操作，使其更具普及推廣性。

環控箱之功能測定在選定宜蘭市郊一座半開放式之棚架溫室，該棟溫室冬季塑膠布保溫及光度遮陰管理作業目前屬於人工及時序作業方式，因此環控箱之功能測定僅能以時序邏輯輸入模擬檢驗替代(見於附錄中圖 C.2 及 C.3)，日後若有其他使用者，只需在該環控箱終端輸出並聯運轉該設備即可進行自動操作運轉。

目前在台灣地區仍以夏季高溫執行降溫作業最為常見，該半開放式之棚架溫室係採用高壓噴霧蒸發冷卻及通風方式之降溫設備，在不考慮各環控設備容量規格、配置差異及極限能力下，其試驗條件背景設定可簡化為符合一般使用者易於操作調整設定為原則。以此為例，本文試驗初期以半間距法，就既有噴霧設備容量能力及配置，找出該溫室適合之噴霧動作時間，用吸水紙觀測水霧滴因重力垂降至植床上方為止之落下平均時間，初步結果獲得 6 分鐘為最佳平均噴霧動作時間。爾後仍以半間距法調整出在當地夏季氣候狀態下，適當之等待、通風及間歇時間使降溫效果明確即為測定目的，

該溫室高溫門檻值設定在 27 或 28℃，僅為啟動此作業之基準，每一作業總循環時間以 15 分鐘為限。實驗量測溫溼度之感測元件為電子式溫溼度兩用 HTS-8001(共三組)，照度感測器為光電晶體式 DMR-312(一組)。溫溼度感測器的佈設在溫室中央離地高度 1.5 公尺處每隔 2.4 公尺架設一點(共三點)以求得該環控操作下之平均溫度與相對溼度。受限於實驗溫室僅一棟無法同時進行管理策略一及二對照組試驗，然而在半開放式棚架溫室中，在每次環控操作前之室內外溫溼度初始狀態基準是相同的，在進行噴霧降溫環控操作後，由觀測設施內外乾濕球溫度或相對溼度，可計算該次控制歷程中之最大噴霧降溫效果及蒸發冷卻效率，作為評估該環控箱之具體效能。

## 結果與討論

實驗一條針對使用於半開放式棚架溫室中之環控箱，其定時段噴霧降溫控制進行功能測試，如圖 7a 及 7b 所示為觀測時間從下午一點至五點之溫度與濕度歷線圖。

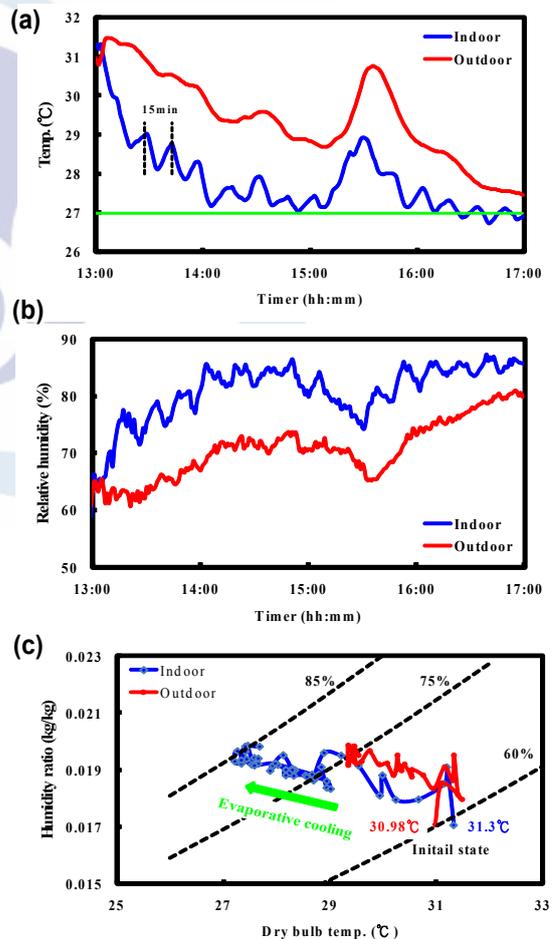


圖 7 管理策略一之(a)溫度、(b)相對溼度 RH 及(c)濕空氣線圖之歷線變化

Fig. 7 The performance results of an environmental control function illustrating the variation of (a) temperature, (b)RH and (c) Psychrometric chart using control strategy I.

該循環控制流程是當溫度超過設定值 27°C 時，則啟動高壓幫浦進行六分鐘噴霧動作，噴霧動作結束之後會等待一分鐘(由 PLC 內部電驛設定) 才啟動風扇進行五分鐘通風動作，之後再間歇三分鐘，爾後再重新確認設施內溫度狀況，其一個作業循環為十五分鐘(簡稱管理策略一)。於圖 7a 及 7b 中可發現設施內溫度與濕度歷線為鋸齒狀與室外溫濕度變化有明顯不同，其中峰與峰值之間隔時間為十五分鐘，這與一個噴霧降溫循環作業的時程是一致的。由於本試驗場所為一半開放式棚架溫室，設施內的溫濕度環境本身並不是一完全的封閉系統，所以無法有效地藉由噴霧降溫方式將相對濕度提升至 90% 以上，使蒸發冷卻之過程其效能無法提高。在此管理策略下是無法將設施內的溫度維持在本實驗所設定之溫度界限 27°C 以下。將圖 7a 及 7b 之歷線圖結合可得如圖 7c 所示之定時段噴霧降溫循環作業之濕空氣線圖之路徑狀態，其歷程時間為下午一點至兩點三十分。由圖 7c 中可知因受溫室效應影響，植床上方室內之起始溫度(31.3°C)較室外溫度(30.98°C)略高。在此噴霧降溫循環作業過程(管理策略一)下能提昇設施內 10% 的相對濕度，並維持於 RH 75% 至 85% 之範圍內，其整個蒸發冷卻過程可達最大降溫為 2.48°C(14:04, Indoor 27.26°C, Outdoor 29.74°C)。在夏季晴天 5 天次操作策略一之控制歷程可得其平均最大蒸發冷卻效率為 28.4±3.8%，歷程中室外對應平均溫度 33.1±2.8°C，相對濕度 58.4±5.1%。

實驗二之定時段噴霧降溫的循環控制流程為當溫度超過設定值 28°C 時，則啟動高壓幫浦進行六分鐘噴霧動作，噴霧動作結束之後會等待三分鐘(由 PLC 內部電驛設定) 才啟動風扇進行五分鐘通風動作，隨即再確認設施內溫度狀況，其整個作業循環為十四分鐘(簡稱管理策略二)。如圖 8a 及 8b 所示為觀測時間從上午八點至下午三點之溫度與濕度歷線圖，由圖 8a 中可知上午 08:00 至 10:00 室外的溫度急劇上升，最大日溫差為 9.73°C(08:00, 26.55°C; 09:58, 36.28°C)，反觀設施內的溫度，因為有噴霧降溫操作的影響，減緩溫度上升之斜率，所以最大日溫差為 5.14°C(08:00, 26.65°C; 10:00, 31.79°C)。同樣將圖 8a 及圖 8b 之歷線圖結合可得如圖 8c 所示之定時段噴霧降溫循環作業之濕空氣線圖之路徑狀態，圖 8c 中歷程時間為上午八點十四分至九點三十分。由該濕空氣線圖中路徑狀態點之歷程，可發現在八點二十六分之前，設施內外的溫濕度狀態並無顯著差異，在八點二十六分之後設施內相對濕度，藉由噴霧降溫過程可控制於 77.3% 至 62.2% 之間，反觀室外溫度因日射量影響(0.95–1.61MJ/m<sup>2</sup>)由 29.2 上升至 35.5°C，造成空氣中之相對濕度從 64.7% 減至 47%，此一控制歷程有效減緩室內溫度的上升維持在 29.4–30.9°C，在這段歷程中其整個蒸發冷卻過程中，可達最大降溫為 4.95°C(09:26, Indoor 30.55°C, Outdoor 35.5°C)。在夏季晴天 5 天次操作策略二之控制歷程可得其平均最大蒸發冷卻效率為 39.6±2.3%，歷程中室外對應平均溫度

34.2±2.6°C，相對濕度 51.4±4.3%。

此模組化溫室環境控制箱因實驗場所為半開放式棚架溫室，受到外在環境影響甚大。由上述兩種管理策略之控制歷程結果可知，使用者在環控箱的面板設計上可依現場狀況去設定各設備之動作時間，以進行噴霧降溫循環作業之調整，使環控作業效能達到最適效果。以該溫室夏季現況實施噴霧蒸發冷卻及通風方式之降溫循環作業，依前述每一階段各控制歷程實驗結果評訂：噴霧、等待、通風及間歇調整時間分別以 6、3、5 及 0 分鐘為建議最適當作業時間。

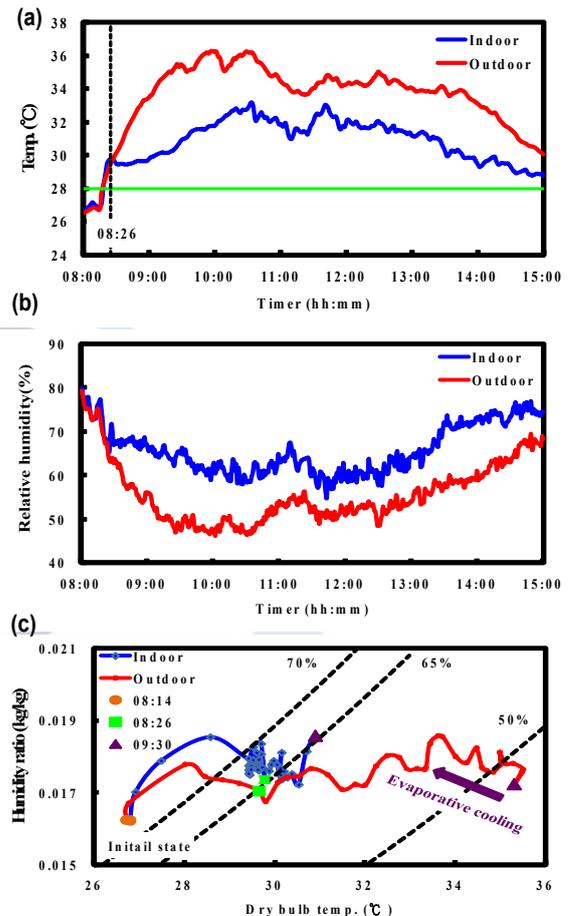


圖 8 管理策略二之(a)溫度(b)相對溼度 RH 及(c)濕空氣線圖之歷線變化

Fig. 8 The performance results of an environmental control function illustrating the variation of (a) temperature, (b)RH and (c) Psychrometric char using control strategy II.

## 結 論

本文應用廉價且穩定性高的可程式控制器，開發模組化的環境控制箱，大量減少外部線路繁雜度及故障率，且可進行複合式環境管理作業，使農民能以低成本獲得高效能控制設備且控制策略易於修改，花費工時少。技術上以溫度及光度為主的氣候條件感測，並配合

噴霧及遮陰動作完成複合型態的條件序控以驅動各設備。目前已針對半開放式棚架溫室之功能要求(定時段噴霧降溫、塑膠布保溫與定時段光度遮陰)，採用條件序控法及結合感測器作為可程式控制器之控制迴路，已完成實際運轉測試。我們確信在此類環控箱設計面板上，依本文之簡易測定原則方法，便能依業者管理經驗及溫室現場狀況(如栽培面積、座落方位、外部氣候、作物種類等)更改各設備之動作時間，調整噴霧降溫循環作業之行程，使環控作業效能符合管理者需求，塑膠布保溫及定時段光度遮陰作業亦是如此。

algorithm suitable for use in temperature-humidity environmental control of a grafted seedling acclimatization chamber. *Computers and Electronics in Agriculture* 48(1): 1-18.

100年 9月21日投稿  
100年11月20日接受

## 誌 謝

感謝中正農業科技社會公益基金會贊助計畫執行。

## 參考文獻

- 艾群、黃慶祥、黃裕益。1999。利用電腦圖面監控溫室環境及室內搬運模型之研製。嘉義技術學院學報 67: 27-48。
- 沈德欽。1996。塑膠布溫室環控設備之環境調節能力與單晶片環控系統性能。嘉義農專學報 44: 43-68。
- 邱奕志，周立強，陳世銘，葉佐堂。2000。應用可程式控制器及人機介面於精密栽培室環控系統之研製。宜蘭技術學報 5: 17- 33。
- 周立強，王鼎盛。1992。溫室微氣候環控簡易感測系統裝置。宜蘭農工學報 5: 144-169。
- 周立強，王鼎盛。1994。溫濕度環控系統之設計與裝置。技術學刊 9(3): 271- 280。
- 周立強，邱奕志，陳世銘。2000。條件序控法應用在嫁接苗癒合養生裝置的環境控制。宜蘭技術學報 4: 47-66。
- 周立強，邱奕志，陳世銘。2002。嫁接苗癒合養生室之環控系統演譯及試驗研究。農業機械學刊 11(4): 85 - 104。
- 梁亞忠，郭幸發。1992。林業溫室條件序控系統之研究。臺大實驗林研究報告 5(2): 17 - 30。
- 游哲銘，周立強。2003。LabVIEW 於人工微氣候環境控制之應用-以多階段溫濕度環境嫁接苗癒合室控制系統為例。機電整合 58: 116 -123。
- 陳加忠、賴建洲、陳志昇、黃照明。1992。溫室環境模式之研究 II.模式驗證與應用。中華農業研究 41(1): 90-114。
- 陳加忠、林瑞松。1993。塑膠布溫室環控系統之研究。中國農業工程學報 39(2): 84-91。
- 黃東瑞、潘清樂、簡銘宏、陳健夫。1996。溫室環境自動控制系統之研發。臺灣糖業研究所研究彙報 153: 59-73。
- Jou LJ, Liao CM, Chiu YC. 2005. A Boolean algebra

附 錄

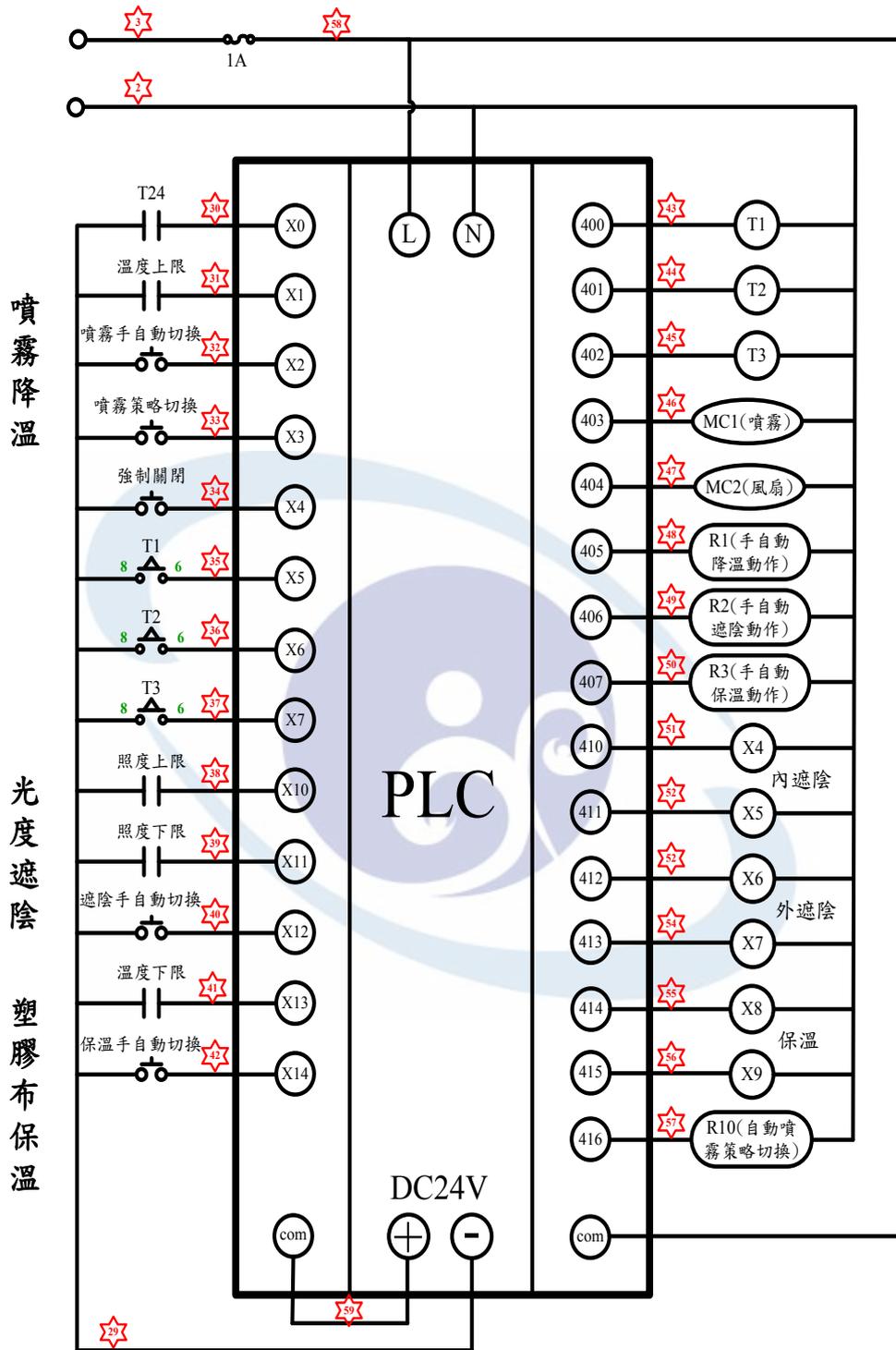


圖 A.1 PLC 輸入/出之線路

Fig. A.1 The wiring circuit of  $X_{in}$  /  $Y_{out}$  interface of a PLC.

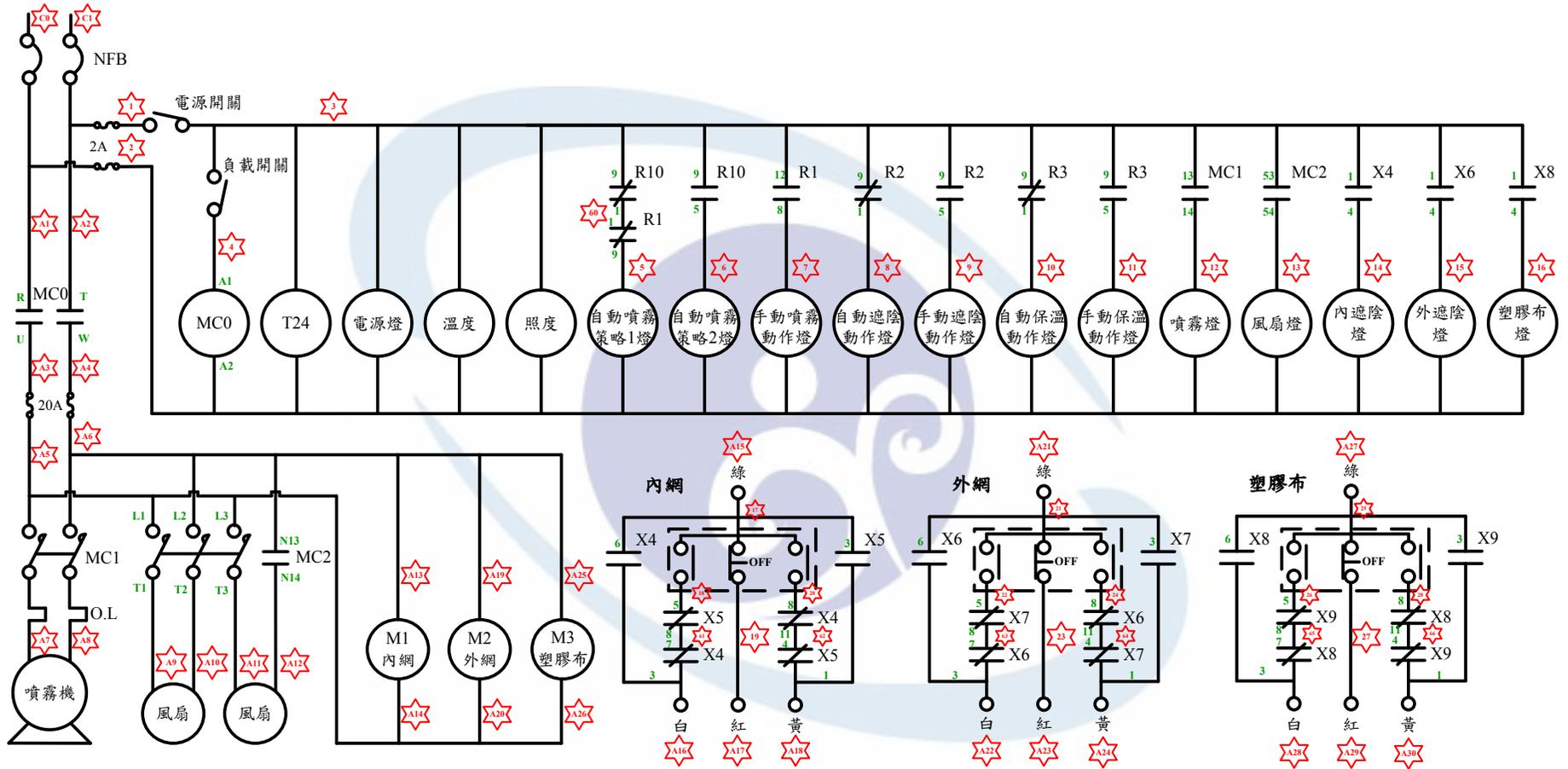
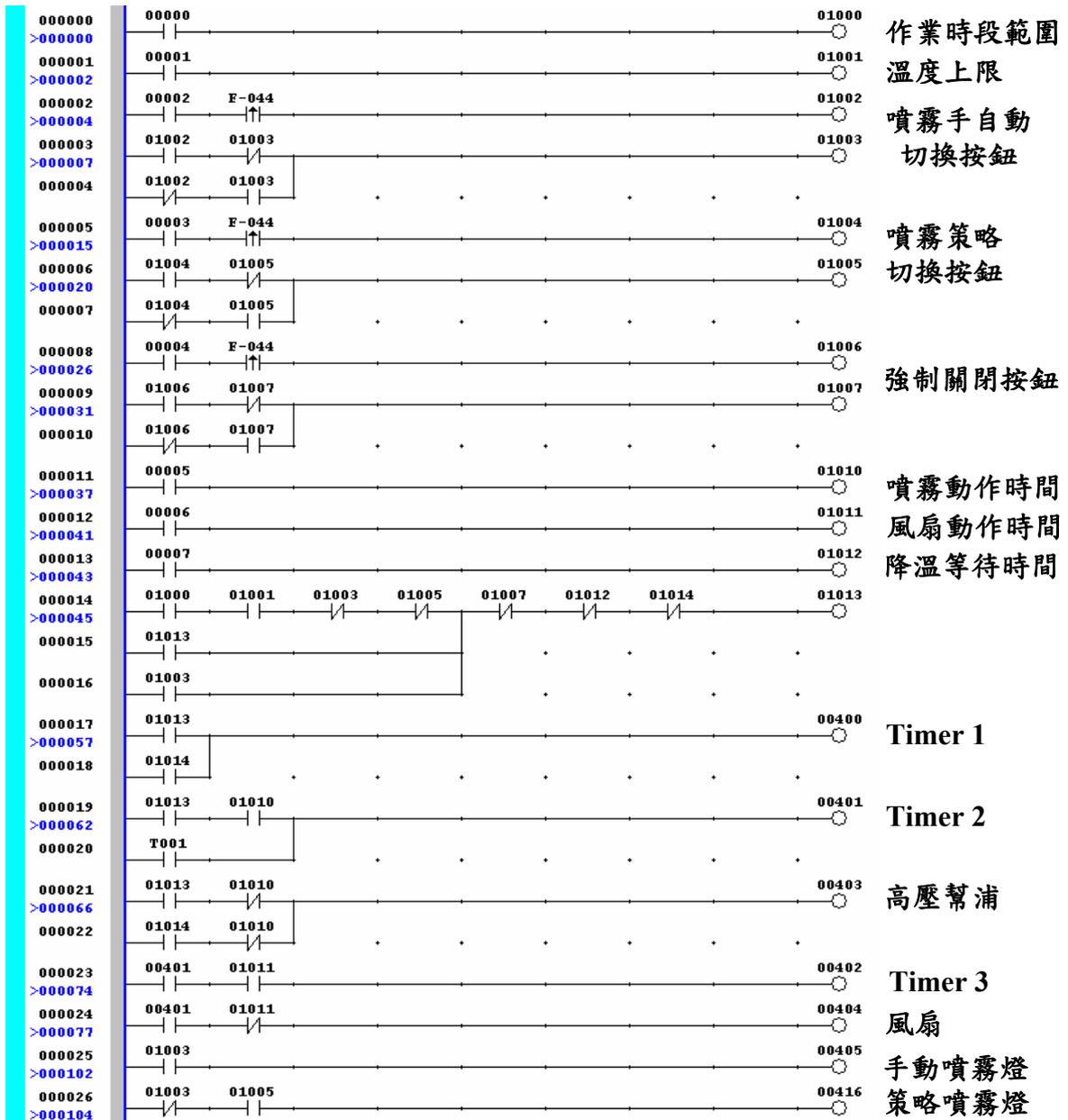


圖 A.2 控制設備之主線路

Fig. A.2 The wiring main circuit of all electrical loads.

作業策略一



作業策略二

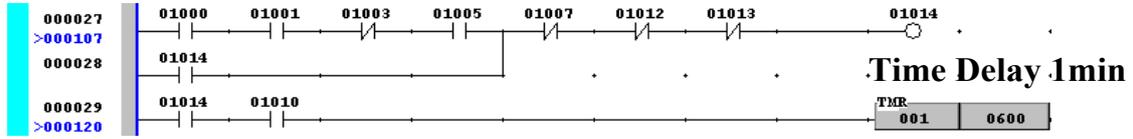


圖 B.1 可程式控制器階梯電路程式執行噴霧降溫作業(策略一及二)。

Fig. B.1 The switching logical circuit compiled in a PLC for commanding fans-spraying operations.

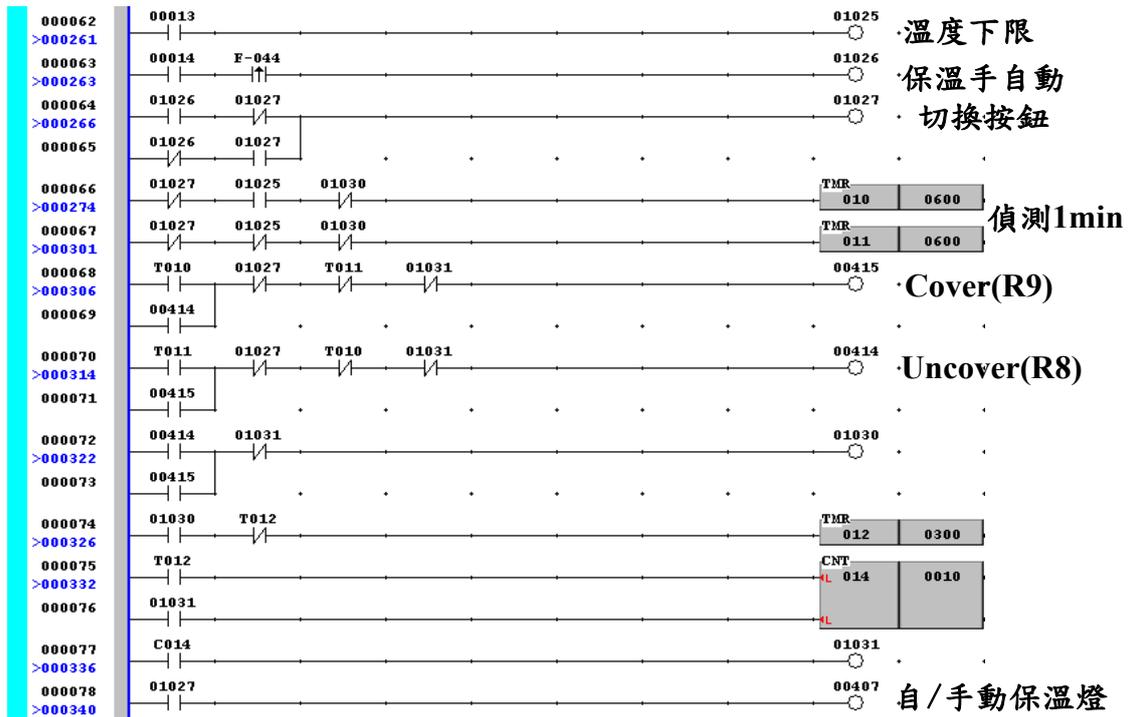


圖 B.2 可程式控制器階梯電路程式執行塑膠布保溫作業

Fig. B.2 The switching logical circuit compiled in a PLC for commanding an operation of keeping a constant temperature using plastic covered layers.

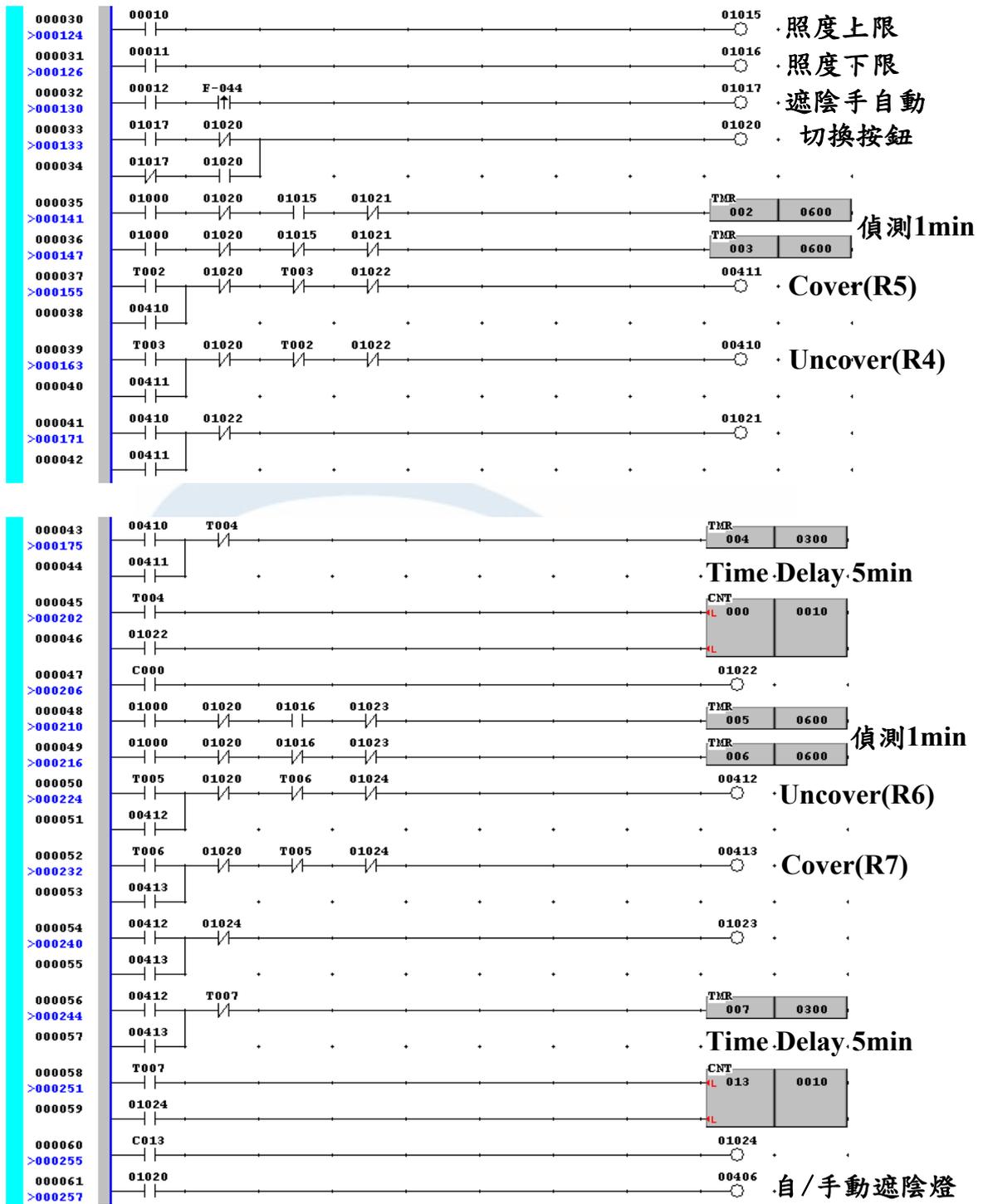


圖 B.3 可程式控制器階梯電路程式執行光度遮陰管理作業

Fig. B.3 The switching logical circuit compiled in a PLC for commanding an operation of illumination management using sunshine covered nets.

半開放式棚架溫室之模組化環境控制箱開發

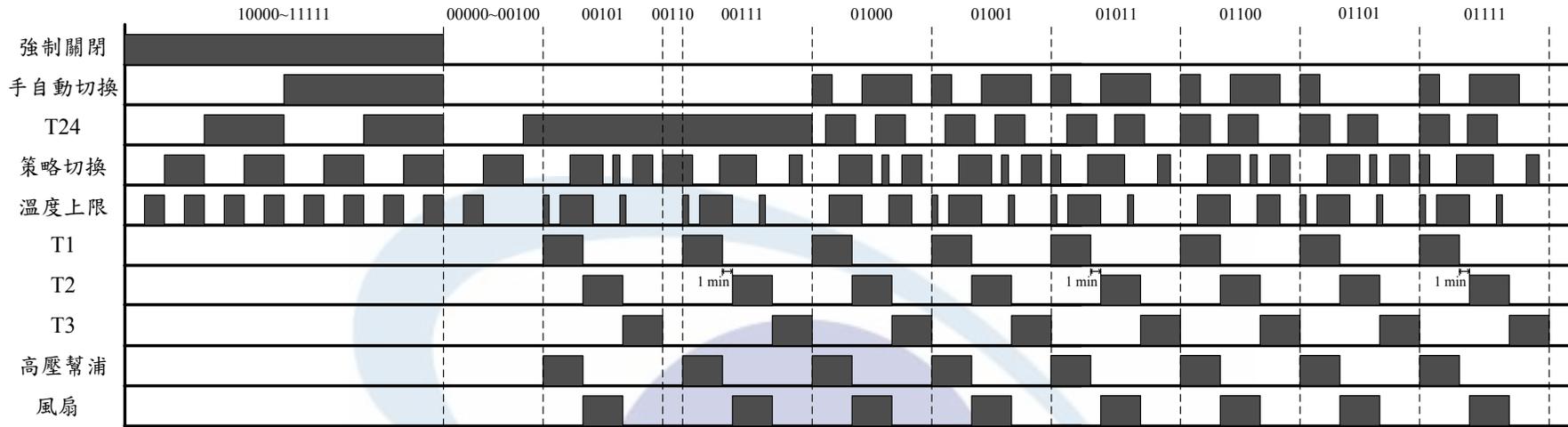


圖 C.1 噴霧降溫功能作業之控制時序模擬檢驗。

Fig. C.1 Performance based on time-series test method for simulating the function of a modular environmental control box commanding fog-cooling operations.

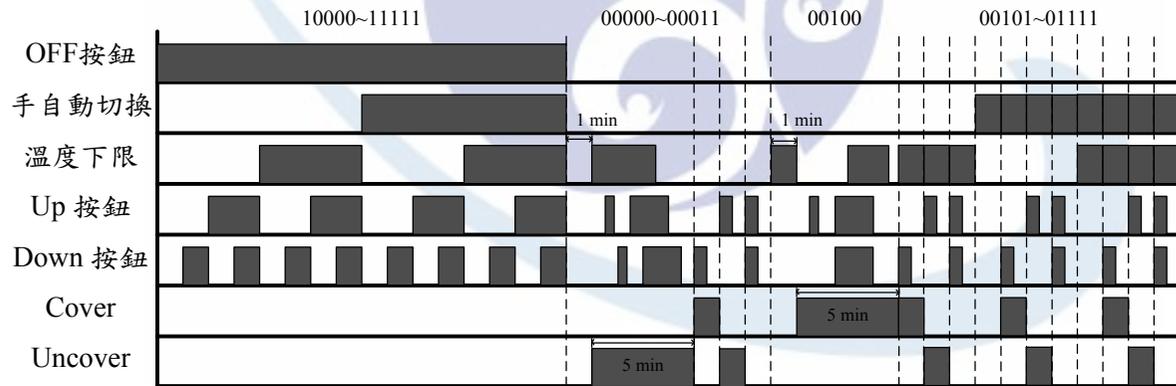


圖 C.2 塑膠布保溫作業之控制時序模擬檢驗

Fig. C.2 Performance based on time-series test method for simulating a modular environmental control box commanding an operation of keeping a constant temperature using plastic covered layers.

半開放式棚架溫室之模組化環境控制箱開發

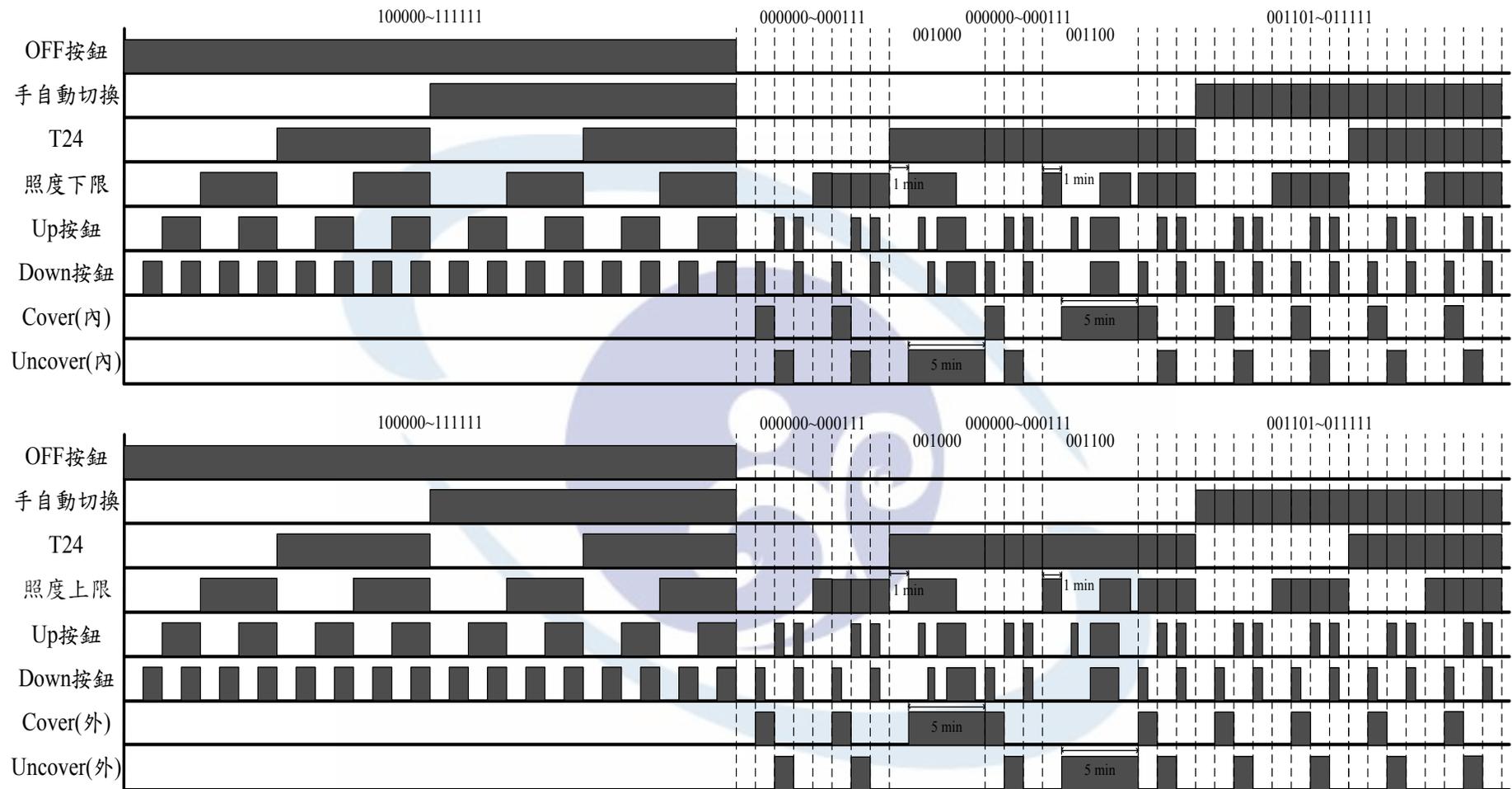


圖 C.3 光度遮陰管理作業之控制時序模擬檢驗

Fig. C.3 Performance based on time-series test method for simulating a modular environmental control box commanding an operation of illumination management using sunshine covered nets.