

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 本土型輕鋼構低層建築外殼之節能綠建材開發與構法設計

(I)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-002-052-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：國立臺灣大學生物環境系統工程學系暨研究所

計畫主持人：侯文祥

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 2 月 4 日

## 本土型輕鋼構低層建築外殼之節能綠建材開發與構法設計(1)

Material develop and structures design for passive heat control  
of light steel building in Taiwan ( 1 ) .

計畫編號：NSC 93 - 2211 - E - 002 -052

執行期限：93 年 8 月 1 日至 94 年 7 月 31 日

主持人：侯文祥

執行機構及單位名稱：台灣大學生物環境系統工程學系

### 一、中文摘要

台灣地屬西太平洋亞熱帶季風氣候區，悶熱之天氣條件使生長在溫室內之生物，需大量依賴機械設備去調節溫度，所以設計符合安全性、經濟性及室內氣候環境控制之生物生產用構造物，可以提昇相關生物品質。本研究運用 STAAD-III 結構軟體，分析模擬雙層單斜式構造物之結構安全性，並在結構安全前提下，進行經濟性管徑勁度設計，以達到節省成本之效益。構築單棟溫室時，最經濟性結構之應力分擔為設計分配，外層骨架 3/4'' 內層骨架 1''，單位面積用鋼量 15.94 kg/m<sup>2</sup>，單位面積成本 743 元/m<sup>2</sup>，單位體積用鋼量 5.14 kg/m<sup>3</sup>，單位體積成本 240 元/ m<sup>3</sup>為經濟性設計。在熱收支模擬方面，以 FLUENT 計算流體力學模式軟體，探討雙層單斜式被覆溫室室內的熱流場及輻射熱量散佈狀態，模擬單斜式溫室型態，對熱量流失及維持室內常溫之探討。夏季雙層單斜式被覆溫室，當出風口關閉時，室內熱量由兩側開口直接流出，是最好之排熱方式，故夏季節能最佳化模組為外壁 PE 膜高 100~150cm 開口、內壁 PE 膜高 100~150cm 開口、出風口關閉之模組。當屋頂內外出風口全開，對於冬季溫室室內空氣品質較能有良好的空氣交換，室內維持良好空氣氣流，故冬季節能最佳化模組為外壁 PE 膜關閉、內壁 PE 膜高 150~200cm 開口、出風口全開啟之模組。

關鍵字：雙層被覆、輕鋼構溫室、熱收支、經濟性設計、節能。

### Abstract

Taiwan, geographically located at West Pacific subtropical monsoon-climate area is in hot weather condition and the bio-production in structure greenhouse needs tremendous mechanical equipments for adjusting their living temperature. Therefore, designing a productive building which in compliance with the criteria of security, economic, and indoor climate environmental control, may uplift farmer's efficiency of conducting a relative creatures business. This research adopts "STAAD-III" structural analysis software to simulate double layers structure. In the premise of structural security, we implement the economic design to reach the cost orientation purpose. To constructing an single greenhouse, the most economic structure is the design of physical stress contribution : outer skeleton 3/4'' , inner skeleton 1'' , the steel consuming quantity per unit measure is 5.14kg/ m<sup>3</sup>, the unit volume cost is NT \$ 240/ m<sup>3</sup>. In the aspect of heat flux, " Fluent" computational fluid dynamics model software to probe into double-layers shed cover greenhouse inner heat circulation

and heat radiation status. By using such method to imitate monocline greenhouse model, the exploration of heat loss rate and maintaining the in-house temperature. In summer, Double-layers shed cover greenhouse, when an air vent was shut, the hot air flows out through both side outlets is the best way to drain out hot air. Thus, the most energy-saving optimization module in the summer is using outer wall PE film 100-150cm high, inner wall 100-150cm high, and outlet-off module. In winter, when an air vent was fully opened, it offers better in house air quality and ventilation. Thus, the best module of energy-saving optimization in the winter is utilizing outer-wall PE film off, inner-wall film 150-200cm high and Outlet-On.

Keywords : double-layers covered, steel structure greenhouse, heat flux, economic design, energy-saving.

## 二、緣由與目的

精緻化是目前生物發展主流，為了使產品更具競爭力，設計建立符合安全性、經濟性及環境控制室內氣候之生物生產用構造物，可提昇相關生物品質，產業得以永續發展。台灣地屬西太平洋亞熱帶季風氣候區，悶熱之天氣使生長在溫室內之生物，需依賴大量機械設備去排熱降溫，又因台灣夏季多颱風，平均每年有 3.2 個颱風侵襲台灣，而農民自行搭建之構造物常因安全性不足，一旦蒙受風災損壞即需耗費大量成本整修。

賴 2004 雙層輕型構造物具有良好之環境控制功能，有效阻隔熱輻射所造成之熱量，因此理論上非常適合台灣豐富的氣候環境，然以往學者多偏向作單層構造

物之室內環境及結構系統安全性之研究，雙層構造物之室內熱環境及結構安全經濟性則較少探討。

數值模擬是目前構造物室內熱流向及輻射熱量散佈狀態分析常用之方法，本研究採用 FLUENT 計算流體力學模式軟體探討單斜式溫室控制熱量流失度速率及維持室內常溫之效能。結構安全經濟方面 STAAD-III 結構分析軟體模擬雙層構造物，在結構安全前提下，進行經濟性設計，以達到節省成本之效益；因此能有效建立雙層構造物結構經濟性設計模組及構造物熱模擬分析。

因此研究目的包括：

- 1、探討雙層構造物結構最經濟，安全之管徑強度設計分析。
- 2、以數值模擬方式比對分析本研究室實地實驗環境控制因子之結果數據。
- 3、運用雙層構造物內空氣層設計特性於調節構造物室內熱環境控制以探討雙層構造物進、出風口的夏、冬季模組之節能最佳化設計。

國內生物生產用構造物種類繁多，以設施園藝而言，台灣之溫室可分為玻璃溫室及造價較便宜之塑膠布溫室。沈、蔡、黃（1999）調查台灣之塑膠布隧道式溫室面積約 2000 公頃，而玻璃溫室僅約 300 公頃。小澤（1987）調查日本當年玻璃溫室面積為 1965 公頃，隧道式塑膠溫室則有 57586 公頃為主流，其骨架材料為鍍鋅鋼管外被覆農用塑膠布。溫（1994）提到中國之塑料溫室佔全部溫室面積三分之二。陳、山口等 2000 指出中國大陸塑膠布溫室用於養殖棚、花卉、果樹、蔬菜等，且以隧道式所佔面積最大。Elsner 2000 指出歐洲南部如希臘、葡萄牙、西班牙、義大利、法國等，塑膠布溫室仍佔大部分且其中隧道型所佔比例最大，如圖 1。日本農林水產省曾統計自 1989 年至 1999 年的十年間，因「風害」使得救難補助金的 49%

花費在設施構造物的復建方面，即使日本在生物生產用的構造物設施設計方面曾於 1981 年制定「園藝設施構造安全基準」，之後的十年間卻仍有 40% 的溫室面積遭受破壞，因此於 1997 年重新檢討修訂其基準。然因基本資料不足，而改以「暫定基準」發佈，至今仍持續累積研究成果，期待能確立可適用於日本國內之設計基準分析流程。至於美國 ASAE 規範，對於溫室之設計風力荷重為  $50\text{kg}/\text{m}^2$ ，且不考慮地震力荷重。因此，由於塑膠布溫室自重較一般建物輕，「風力」成為構造物結構設計之主要控制外因。

台灣不但具有比日本的地域環境特徵更適合發展生物生產之天然環境條件，且地理位置更具發展優越性，但台灣位於西太平洋亞熱帶季風氣候區，以 1999 年賀伯颱風為例，即造成農業損失達 26 億，房屋全倒 503 間，半倒 880 間，因為台灣地處環太平洋地震帶，建物設計需考量地震力，因此如何兼抵抗風力及地震力，將是台灣的「生物生產用輕型構造物」結構設計亟需正視的重要課題。

### 三、材料與方法：

本研究方法分為構造物結構經濟性及熱收支兩項來探討。

#### 3.1 構造物結構經濟性研究方法：

以定型定量方式模擬單斜式構造物之經濟性模組，本研究結構經濟性流程圖 1 以單斜式雙層構造物為主要模型架構設定，先構架支點設計分類，應力傳遞方式分為平均分配應力傳遞及設計分配應力傳遞兩種，再以管徑勁度設計細部分類。

雙層骨架單斜式構造物結構安全性與經濟性關係之分析，係採用管徑設計方式，檢討下列三種狀況：<1>內外層骨架均為相同管徑；<2>外層骨架管徑大，內層骨架管徑小；<3>外層骨架管徑小，內層骨架管徑大，進而比對得出最經濟之設計原則。

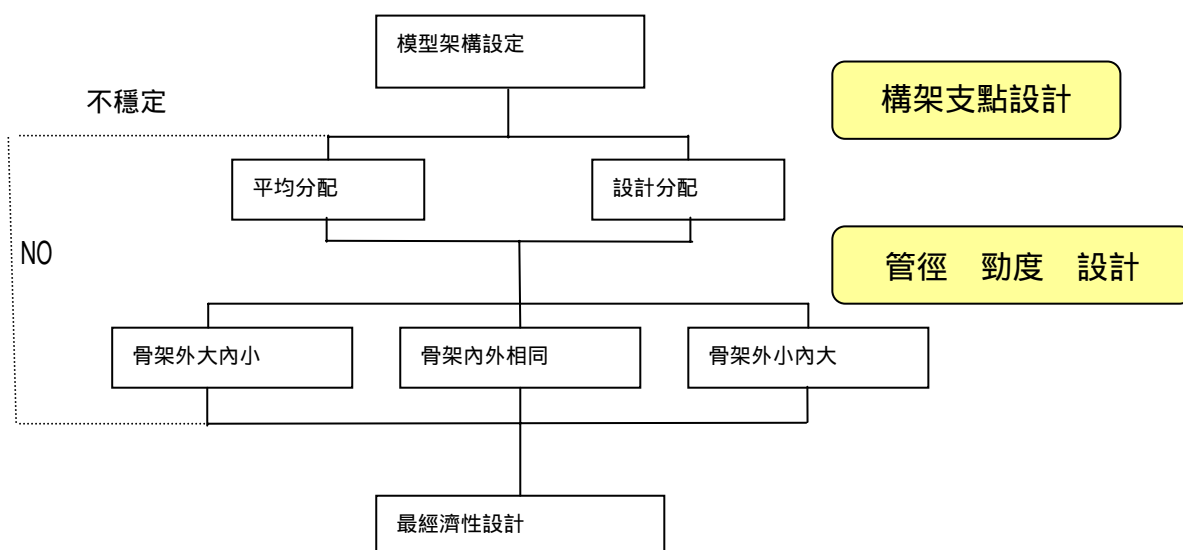


圖 1 構造物之結構經濟性研究流程

### 1. 輕型結構物安全與經濟設計研究：

溫室需抵抗強烈的地震及颱風的侵襲，為確保溫室及耐用年限內能保護作物的生長，故須作結構分析與設計。聚乙烯(PE)或聚氯乙烯(PVC)塑膠布溫室為國內最常用之農用被覆材，其重量依日本施設園藝協會規範(2001)規定，0.1mm厚PE塑膠布重量為 $0.14\text{kg}/\text{m}^2$ ；1mm厚度的硬質PVC板重量為 $0.9\text{kg}/\text{m}^2$ (王，2003)。以上資料

為本研究溫室結構經濟分析時之靜載重項目之一。溫室本體自重及固定於溫室骨架上各物之重量均為其載重項目。隧道式單層被覆溫室之骨架材料多使用鍍鋅鋼管，其鋼重量為 $7850\text{kg}/\text{m}^3$ (中國土木工程師手冊，1996)；單斜式單層被覆溫室之結構材料則多採用型鋼鋼材，鋼材尺寸選用隨著應力安全分析作選擇(王，2003)。

林(2002)探討使用鍍鋅鋼管為構架進行結構設計分析，得出構成室內單位體積空間、室內單位面積、室內高度等之隧道式輕型單層溫室結構最經濟性。棟長度以10m為單元時，室內空間量在 $195\text{m}^3$ 至 $550\text{m}^3$ 間、室內面積在 $90\text{m}^2$ 至 $150\text{m}^2$ 間，以跨高比3、主構架間距1m、桁條配置間距角20度設計最經濟。王(2003)提出單斜式單層溫室以輕型鋼材骨架為構架進行結構設計分析，在棟長度10m單元下，地板面積小於 $33\text{m}^2$ 較小斷面空間時，以跨高比1.4以下、主構架間距2m較經濟；地板面積約 $33\text{m}^2$ 至 $55\text{m}^2$ 範圍內，以主構架間距2.5m較經濟，其經濟跨高比自1.50起可提高至2.50，以擴充室內可利用空間。

而本研究之雙層被覆溫室構架之初步設計，即係參酌上述研究內容之尺寸設計。

賴(2004)指出坊間對雙層被覆的雙骨架溫室概念仍停留於「兩棟建築物」的估價想法，在工法與材料尚未模組化前，會造成建造成本的高估。文中指出採用鍍鋅

鋼管的隧道式構造溫室搭配20cm空氣層、寬30cm氣流口、雙層50%及80%黑網及0.1mmPE膜布，組合成雙層PE膜隧道式溫室，雙層PE膜隧道式溫室，以電腦軟體進行安全性分析，可以承受5級地震及12級強風，其主骨架單位體積用鋼量為 $4.02\text{kg}/\text{m}^3$ 、單位體積建造成本為 $188.7\text{元}/\text{m}^3$ 。涂(2005)採用輕型鋼材的單斜式雙骨架構造，25cm厚度空氣層、寬30cm內外層氣流口、室外50%及80%遮蔽之雙層黑網、風扇及1mm藍色PVC浪板，組成雙層PVC浪板溫室，主構架用鋼量為單位地板面積用鋼量 $99.4\text{kg}/\text{m}^2$ ，單位空間體積用鋼量 $38.7\text{kg}/\text{m}^3$ 。

本研究以管徑勁度設計工法，找出雙層單斜式被覆溫室結構最經濟性之工程造價成本。

### 3.2 熱收支研究方法：

以定量方式來模擬構造物內熱收支分布狀態，運用以下二種方法研究探討。

1. 數值模擬 (Numerical simulation)：以計算流體力學 (Computational Fluid Dynamics) 數值的方法，配合適當的邊界條件，應可正確地計算和預測流場現象；控制數值模式與實驗數據比對並驗證其正確性。

2. 現場量測 (Field measurement)：以現場量測方式獲得實驗資料是瞭解流場溫度最直接的方式。但現場量測耗費人力、經費和時間，影響流場的外在因素太多，容易使得現場流場具有很大的變異性，須與模擬結果比對驗證 朱，2003。

本研究之雙層單斜式被覆溫室，由前人文獻實測得知可有效解決室內環境控制之因子，故模擬控制熱量流失及維持室內常溫之探討為主要重點。以數值模擬為主要分析架構，分析結果再與實測數值比對。雙層被覆溫室受太陽輻射熱照射於外層被覆材料壁面，使外層被覆材料壁面不斷吸收熱量，大多數的熱量藉由熱傳導及熱對流傳入空氣層中，空氣受熱升溫後受

溫度梯度及密度差而產生熱浮力，熱空氣上升導致空氣層內空氣的流動。邱(2002)針對不透光材料的雙層外殼進行模擬實驗，指出不需任何機械通風裝置，以雙層外殼構造內置流動空氣層的自然對流的能力，即可以減少 74%至 79%的外殼輻射熱獲得冷房負荷，實際熱獲得量減少 68%至 80%，其中又以內置流動 20cm 空氣層的構造最佳，可以將 78%由室外傳入室內的熱量經由流動的空氣帶走。

流動空氣層中主要熱傳行為是熱對流及一部份的熱輻射，在熱傳遞過程中部分熱會被流動空氣帶走，部份的熱以對流方式將熱傳遞至室內壁面，再經由輻射及熱對流傳遞至室內空間，如圖 2 所示。

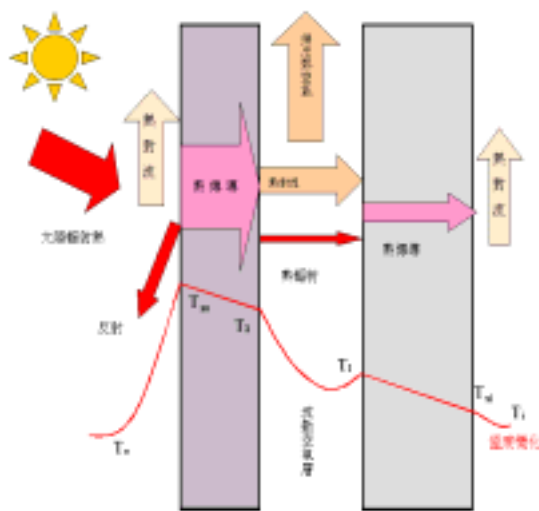


圖 2 雙層外殼內置流動空氣層構造之熱傳示意圖(邱，2002)

由外殼設計構法得知，流動空氣層厚度越大時，自然通風換氣率越小，但對熱收支減少並不明顯；而流動空氣層之傾斜角度越大，空氣層中自然通風換氣率相對變小，空氣入口及出口保持最大之高度差，空氣層中自然通風換氣率則可變大；流動空氣層出入口儘可能維持自由開口，使空氣能自由排出並帶走熱量。

本研究模擬得知，通風口集中配置於溫室垂直壁體兩側下端(PE 膜為啟閉式)，

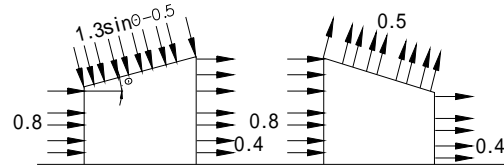
造成空氣熱升冷降原理無法順利進行，故進而探討空氣入口及出口之節能最佳化配置設計。

#### 四、結果與討論：

##### 4.1 結構經濟性

本研究依風力係數 詳圖 3 計算得出雙層單斜式被覆溫室之斜度最佳設計，可承受最小風壓力，並提出經濟性設計。

圖 3 雙層單斜式



被覆溫室風力係數示意圖 王，1987

由風力係數表得知， $\theta = 23^\circ$ 時，為風壓力 0.00795 最小值，故雙層單斜式被覆溫室之斜度最佳設計以  $\theta = 23^\circ$ 為設計準則。

由林 2002 提出運用鍍鋅鋼管於隧道式溫室時為最經濟性之骨架；本研究以鍍鋅鋼管為主要骨架設計，並探討雙層骨架時應力分擔分配方式之不同與管徑勁度工法之經濟性設計。管徑勁度工法則以 1"、3/4" 之鍍鋅鋼管為主要設計管徑，並探討其骨架分<1>內外層骨架均為相同管徑<2>外層骨架管徑大，內層骨架管徑小<3>外層骨架管徑小，內層骨架管徑大之方法。本研究模擬內外骨架均 3/4" 管材時，無法達到其安全性之考量，故以 1" 管材為最小內外骨架相同設計之模組。左表 1 為平均分配應力分析表。

當平均分配應力時，外層骨架 1" 內層骨架 3/4" 之構架時，其單位面積用鋼 15.94 kg/m<sup>2</sup>，單位面積成本 743 元/m<sup>2</sup>，且單位體積用鋼量 5.14 kg/m<sup>3</sup>，單位體積

構架支點	平均分配				
	內外骨架相同	外骨架	內骨架	外骨架	內骨架
管徑(英吋)	1	1	3/4	3/4	1
總長(m)	345.84	169.97	175.87	215.85	129.99
應力分擔百分比	100%	49.15%	50.85%	62.4%	37.6%
單位面積成本(元/m <sup>2</sup> )	NT\$800	NT\$772		NT\$766	
單位體積成本(元/m <sup>3</sup> )	NT\$258	NT\$249		NT\$247	
總用鋼量(T)	0.67	0.54		0.57	
單位面積用鋼量 kg/m <sup>2</sup>	20.94	16.88		17.81	
單位體積用鋼量 kg/m <sup>3</sup>	6.75	5.44		5.75	

量 16.88 kg/m<sup>2</sup>，單位面積成本 772 元/m<sup>2</sup>，且單位體積用鋼量 5.44 kg/m<sup>3</sup>，單位體積成本 249 元/m<sup>3</sup>，為最經濟性設計。平均分配應力方式，適用於空曠地形，並能承受較高之風壓力，如設計連棟溫室時，更能減少其成本造價，已達最經濟性設計。

成本 240 元/m<sup>3</sup>，為最經濟性設計；適用於週邊環境有部分遮蔽物的防風林或其他建築物時設計，能做為特殊單棟生物生產用之溫室，並將成本造價達到最經濟性設計。

下表 2 為設計分配應力分析表。由表 2 可

構架支點	設計分配				
	內外骨架相同	外骨架	內骨架	外骨架	內骨架
管徑(英吋)	1	1	3/4	3/4	1
總長(m)	333.17	169.97	163.2	180.29	152.89
應力分擔百分比	100%	51%	49%	54.1%	45.9%
單位面積成本 (元/m <sup>2</sup> )	NT\$770	NT\$745		NT\$743	
單位體積成本 (元/m <sup>3</sup> )	NT\$249	NT\$240		NT\$240	
總用鋼量(T)	0.65	0.52		0.51	
單位面積用鋼量 kg/m <sup>2</sup>	20.31	16.25		15.94	
單位體積用鋼量 kg/m <sup>3</sup>	6.55	5.24		5.14	

看出設計分配應力分析時，其外層骨架 3/4" 內層骨架 1"，其單位面積用鋼量

本研  
究之結構成本造價以一棟溫室之工程造價

計算，用結構模擬軟體分析其安全性，並以結構經濟性設計方式，可兼顧降低溫室室內熱收支成本控制費用。

		雙層溫室 PE 膜	雙層 PVC 浪板溫室	單層溫室構架搭建 建成雙層溫室
溫室結構分析		本研究模擬分析	涂 2005 文獻 台大溫室實體	王 2003 文獻 模擬分析
跨高比		1.52	1.14	1.50
主構架間距 m		2.5	3	2.5
骨架用料		主構架均為鍍鋅鋼管： 內骨架 1-34*2.5mm 外骨架 3/4-27.2*2.5mm	主構架均為 C 型鋼： 100*50*20mm	主構架為 H 型鋼： 100*50*5*7mm 次構架為 C 型鋼： 75*45*15mm
經濟單位用鋼量	單位地板面積用鋼量 kg/m <sup>2</sup>	15.94 29%	99.4 217% 與王 2003 跨高比 1.36 比較	27.61*2=55.22 100%
	單位空間體積用鋼量 kg/m <sup>3</sup>	5.14 27%	38.7 241% 與王 2003 跨高比 1.36 比較	9.47*2=18.94 100%

上表 3 為溫室結構經濟性比較表。由林 2002 以鍍鋅鋼管模擬單層隧道式溫室經濟性設計，至王 2003 運用型鋼構材模擬單層單斜式溫室經濟性設計，及涂 2005 提出實地興建之雙層單斜式溫室，以型鋼構材為結構主體之設計，本研究以結構安全性、經濟性為前提，累積許多溫室結構分析經驗，提出以上述之經濟性之架構組合設計，分析出更經濟性設計。結構構材採用鍍鋅鋼管可降低工程造价，跨高比設計為 1.5~1.4 之間，棟長設計於 10m 時，主構架間距為 2~2.5m 之間，為最經濟性設計，與前人文獻比較，確實能減少 71%~73 % 之用鋼量。

#### 4.2 熱收支最佳化

在 50 組模組中，在氣流發散前，有較好之氣流分佈之模組有 7 組，其中，節能最佳化之冬天模組有 3 組：

- (1)外壁PE 膜off、內壁PE 膜高0~50cm 開口、出風口off；
- (2)外壁PE 膜高150~200cm 開口、內壁PE 膜off、出風口-on；
- (3)外壁PE 膜off、內壁PE 膜高150~200cm 開口、出風口-on。

至於節能最佳化之夏天模組有 4 組：

- (1)外壁PE 膜高0~50cm 開口、內壁PE 膜高100~150cm 開口、出風口-off；
- (2)外壁PE 膜高100~150cm 開口、內壁PE 膜高100~150cm 開口、出風口-off；
- (3)外壁PE 膜高0~50cm 開口、內壁PE 膜高



50cm~100cm 開口、出風口-on ;  
 (4)外壁PE 膜高0~50cm 開口、內壁PE 膜高  
 100cm~150cm 開口、出風口-on。

#### 4.2.1 溫室整體熱傳遞分析

比較冬季模組出風口開關之差異，如下二圖。分別最大值模擬空氣氣流速度的範圍 2.7m/s 及 1.92m/s 之雙層單斜式被覆溫室，可看出外壁 PE 膜 off、內壁 PE 膜高 150~200cm 開口、出風口 on 之模組，出風口全開，對於冬季溫室室內空氣品質較能有良好的空氣交換，室內維持良好空氣氣流，故冬季節能最佳化模組為外壁 PE 膜 off、內壁 PE 膜高 150~200cm 開口、出風口-on 之模組。

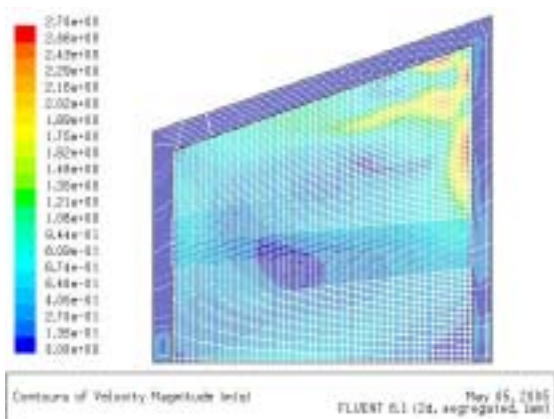


圖 4 冬季雙層被覆溫室氣流速度模擬圖

外壁 PE 膜 off、內壁 PE 膜高 0~50cm 開口、出風口-off

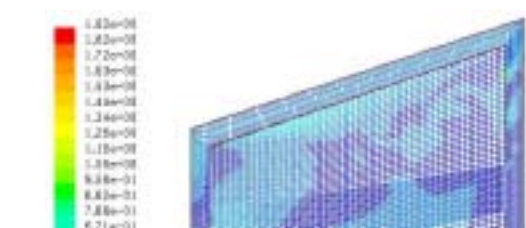


圖 5 冬季雙層被覆溫室氣流速度模擬圖

外壁 PE 膜 off、內壁 PE 膜高 150~200cm 開口、出風口-on

比較夏季模組溫度及氣流之差異，夏季模組四組溫度及氣流速度分別為外壁 PE 膜高 0~50cm、內壁 PE 膜高 100~150cm 開口、出風口-off 之模組，最小值和最大值預測溫室溫度的範圍是 301K 28 和 305K 32 ，空氣氣流速度的最大值為 2.06m/s，如圖 6、7 兩組為例，為夏季四組中需要較高氣流速度的模組；

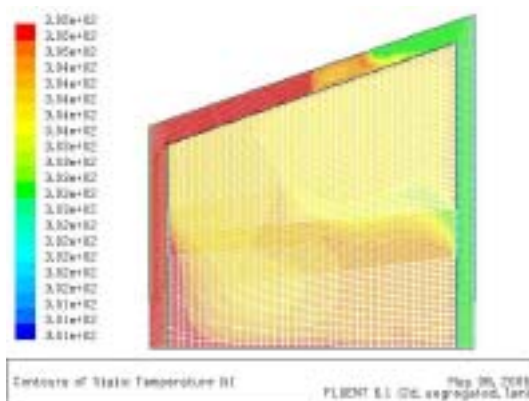


圖 6 夏季雙層被覆溫室溫度模擬圖

外壁 PE 膜高 0~50cm 開口、內壁 PE 膜高 100~150cm 開口、出風口-off

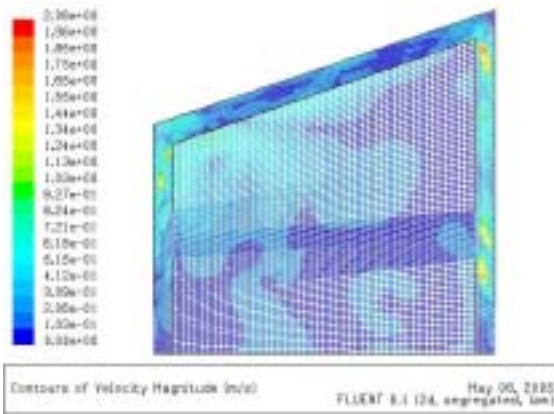


圖 7 夏季雙層被覆溫室氣流速度模擬圖

外壁 PE 膜高 0~50cm 開口、內壁 PE 膜高 100~150cm 開口、出風口-off

外壁 PE 膜高 100~150cm 開口、內壁 PE 膜高 100~150cm 開口、出風口-off 之模組，最小值和最大值預測溫室溫度的範圍是 301K 28 和 303K 30，空氣氣流速度的最大值為 1.38m/s，如下圖 8，其溫度無昇溫現象，且氣流速度為最小值，故為夏季節能最佳化模組。

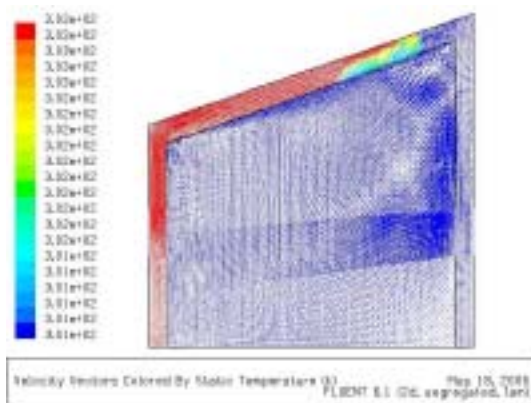


圖 8 夏季內壁 PE 膜高 100~150cm 開口、出風口-off

夏季四組雙層單斜式被覆溫室總得熱

量可計算得知，平均為空氣層總得熱量 2804.6W，溫室室內總得熱量 19234.3W，因壁體兩側室內外 PE 膜皆開啟，故溫室室內外總得熱量並不高於冬季模組，夏季雙層單斜式被覆溫室出風口關閉時，室內熱量由兩側之開口直接排出，故模擬時最好之熱量排出之模組，皆為出風口關閉之模組，由上述得知夏季節能最佳化模組為外壁 PE 膜高 100~150cm 開口、內壁 PE 膜高 100~150cm 開口、出風口-off 之模組。

## 五、結論與建議：

### 5.1 結論

1. 利用最經濟性之雙層被覆溫室結構設計可確實降低機械設備成本。
2. 由結構模擬分析得知，在結構安全、經濟性為前提之考量下，構築單棟溫室時，最經濟性結構是應力分擔為設計分配，外層骨架 3/4" 內層骨架 1"，其單位面積用鋼量 15.94 kg/m<sup>2</sup>，單位面積成本 743 元/m<sup>2</sup>，且單位體積用鋼量 5.14 kg/m<sup>3</sup>，單位體積成本 240 元/m<sup>3</sup>，為最經濟性設計。
3. 與前人文獻比較，確實能減少 71%~73% 之用鋼量，本研究模擬內外骨架均 3/4" 管材時，無法達到其安全性之考量，故以 1" 管材為最小內外骨架相同設計之模組。
4. 夏季出風口開啟時，其室內熱量反升高 2，研判為受熱昇溫原理，熱量向出風口排出，但出風口開口不大時，反產生室內氣流熱對流運動而增加室內溫度。
5. 利用空氣層等效熱阻關係，當流速愈大時，其空氣層內表面境界層愈薄，則外殼

散熱愈快，並增加夏天散熱速率。

6、流動空氣層之空氣層等效熱阻與氣流流速關係，得知流速愈大，其空氣層等效熱阻愈大。

7、夏季當雙層單斜式被覆溫室出風口關閉時，室內熱量由兩側之開口直接流出，是最好之排熱效果，故夏季節能最佳化模組為外壁 PE 膜高 100~150cm 開口、內壁 PE 膜高 100~150cm 開口 出風口-off 之模組。

8、當出風口全開，對於冬季溫室室內空氣品質較能有良好的空氣交換，室內維持良好空氣氣流，故冬季節能最佳化模組為外壁 PE 膜 off、內壁 PE 膜高 150~200cm 開口、出風口-on 之模組。

## 5.2 建議

1. 對於大跨度及多跨度單斜連棟之被覆溫室結構經濟性設計，可利用本研究之勁度設計工法，做更經濟性設計。

2、風力荷重計算可製作實體模型風洞實驗，以與結構模擬之方式相互比對。

3、夏季保持通風狀態的溫室室內模組，其溫度變化量不大，但隨空氣層內流速增加，溫度亦可能降低。

4、模擬夏季模組時，壁體兩側室內外 PE 膜皆開啟，故溫室室內總熱得量並不高於冬季模組，但夏季室外平均高溫度且周邊不遮蔽物，則輻射熱也會讓室內相對提高，建議利用周邊遮蔽物或遮蔭網減少室內昇溫現象。

5、受限於時間及電腦資源硬體設備上，本研究以二維模擬熱流場之流流況，未來熱流場模擬可進行三維度分析，其數值模擬可更接近真實流況。

## 六、計畫成果自評：

已完成構造物及資材設計輔助軟體的分析流程，並確立氣密室輕鋼構單斜式構造物的結構安全與經濟設計，以及光熱環境設計與雙層被覆材間空氣層內的通風除熱管理方法，成果良好。可順利應用於日

後現場建造及室內健康魚苗養殖試驗。確認此低造價構造物提供生產環境安全與經濟，以及光熱調節改良的實用程度，以落實示範與推廣目標。

## 七、參考文獻：

王鼎盛主編。1987。『設施園藝設計手冊』。國立台灣大學農業工程學系農業設施研究。P.3~8。

王進雄。1996。『台灣農用塑膠覆(敷)蓋材料之現狀』。台灣農業機械。

<http://www.taiwan-agriculture.org/tamrdc/news.html#five>。

方煒。2000。『溫室建築的一般需求與台灣適用的溫室系統設計』。農業世界雜誌 206：p.12~23。

方煒。2003。『方煒教授的網頁』。國立台灣大學網路非同步教學課程。<http://ecaaser3.ecaa.ntu.edu.tw/weifang/cea/cea1.htm>。

中國土木水利工程學會。1996。『鋼結構』。科技圖書。p.194~198。

中央氣象局。2003。『陸上應用之蒲福風級表』。中央氣象局網站。<http://www.cwb.gov.tw>。

王啟順。2003。『生物生產用單斜式雙層被覆空氣膜構造物之結構與環境設計』。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。p.101~104。

內政部營建署。2004。『建築技術規則』，營建雜誌社。p.185~189。

朱佳仁。2003。『環境流體力學 Environmental Fluid Mechanics』。科技圖書。p.14 ~15。

李庭槐。1978。『太陽能溫室乾燥系統之熱傳分析』。國立台灣大學農業工程學系研究所。p.8、20、35。

李岷。2002。『第一章設施生產之簡介與分類』。設施生產自動化技術。

<http://www.ecaa.ntu.edu.tw/weifang>

- /hort.
- 杜月香。1993。『建築物理環境』。詹氏書局。p.71~89。
- 邱昆弘。1999。『熱環控中蒸發冷卻替代水牆材質之性能特徵』。  
國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文。
- 邱繼哲。2002。『建築物及生物成長設施之誘導式通風冷卻設計研究—以雙層外殼內置流動空氣層構造為例』。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。p.33~39、42~43、86、93。
- 林聖泉。2001。『溫室結構設計』。施栽培自動化。國立台灣大學生物產業機電工程學系。p.93~101。
- 林益鵬。2002。『生物生產隧道式輕型構造物結構安全及經濟之設計研究』。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。p.103~108。
- 林義翔。2005。『輕構造溫室之構安全與構件經濟設計研究』。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。p.53~54。
- 周鼎金。1999。『建築物理』。旭營文化事業。p.179~191。
- 涂添惇。2005。『台灣地區單斜式雙層被覆空氣層溫室設計與環境調節能力研究』。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。p.20~24、29~30、41、60。
- 陳加忠。1993。『塑膠布溫室栽培自動化技術手冊』。財團法人農業機械化研究發展中心。p.1~13、56~66。
- 陳加忠。1993。『塑膠布溫室栽培自動化技術手冊』。財團法人農業機械化研究發展中心。p.1~13、56~66。
- 陳加忠。1993。『透明 PVC 塑膠布山型溫室日照能透過率之研究』。中華農業研究。42 4 : 419~429。
- 陳加忠、林瑞松等。1993。『塑膠布溫室環控系統之研究』。農業工程學報。39(2):84-91。
- 陳加忠。2000。『溫室環控系統』。農業世界 206 : 24-30。
- 陳加忠。2002。『韓國花卉生產專業區介紹』。設施與環控工程。  
[http://bse.nchu.edu.tw/new\\_page\\_58.htm](http://bse.nchu.edu.tw/new_page_58.htm)
- 陳啟中。1993。『結構系統概論』。詹氏書局。p.113~116。
- 陳啟中。1996。『建築物理概論』。詹氏書局。p.69~74、84~86、115~120。
- 張義忠。1997。『畜禽舍細霧降溫系統之動態模擬』。國立台灣大學農業機械工程學研究所碩士論文。p.6、7、39、40。
- 葉歆。1997。『建築熱環境』。淑馨。ISBN : 957-531-573-1。
- 郭鴻興。2001。『以計算流體動力學分析自然通風低層建築物之通風特性』。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。p.24、39~40。
- 游家信。2001。『自然通風空間空氣交換有效性與氣狀污染物排除效率之數值研究』。國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
- 馮丁樹。1995。『設施栽培節能技術』。國立台灣大學生物產業機電工程學系。  
<http://norya2.bime.ntu.edu.tw/greenhouse/environment.htm>
- 劉傑。2000。『都市農夫-韓國雙層膜連棟塑料大棚』中國農業大學農業建築與環境工程學系。  
<http://www.capitalfarmer.com/wstd/wgwenshi/korea.htm>
- 劉智豪。2003。『整合熱流與機構動態分析之電腦輔助軟體於史特靈引擎分析設計』。大同大學機械工程研究所碩士論文。p.17~25。
- 賴岱巖。2004。『台灣地區隧道式雙層塑膠膜溫室設計與環境調節能力研究』。

- 國立台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。p.83~84。
- 蘇金佳。1995。『冷凍與空調』。美商麥格羅·希爾。ISBN：957-9453-08-X。
- 宿谷昌則著。1993。『光と熱の建築環境學-數值計算で學』。丸善株式會社。
- Axaopolues, Panagakis P, S. Kyritsis, 1992, Computer simulation assessment of the thermal microenvironment of growing pigs unders summer condition. Transaction of the ASAE. 35(3):1005-1009.
- Al-Helal I , 1998, A computational fluid dynamics study of natural ventilation in arid region greenhouses. Ph.D. dissertation. . Department of Food, Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University, Ohio.
- Allard F., Utsumi Y,1992.,Air flow though large Openings. Energy and Buildings, 18:133-145.
- Boris J. P, 1989 , New direction in computational fluid dynamics.Ann. Rev. Fluid Mech. 21:345-385.
- Cengel Y. A , 2003 , Heat transfer a practical approach. McGraw-Hill. ISBN: 0-07-011505-2.
- Frederick C. Michel , 2001, Three-Dimensional Numerical Simulation of Mechanical Ventilation in a High-Rise Hog Building. Transactions of the ASAE. No. 014040,p.1-27.
- Hoff S. J., 1990, Three-dimensional air speed and temperature distribution in a scaled model livestock confinement facility. Ph.D. dissertation, University of Minnesota, St. Paul, MN.
- Lee I. Sase S, 2002, The accuracy of computational simulation for naturally ventilated multi-span greenhouse. Transactions of the ASAE. No.024012, p.1-6.
- Tsay J., Ozkan H. E., and Brazee R. D., R. D, 2002,FoxCFD Simulation of moving Spray Shields. Transactions of the ASAE. Vol. 45(1): 21–26.
- Liu Qianbao.,1995, Advances in computational fluid dynamics: A review from a ventilation simulation perspective. Transactions of the ASAE No.954476,St. Joseph, MI, p.1-16
- Lee In-Bok.,1998, Fluid dynamic simulation and validation of a naturally ventilated multispans greenhouse. Ph.D. dissertation. Department of Food, Agricultural and Biological Engineering, The Ohio State University, Ohio.
- Mike Brugger ,2003,Computational Fluid Dynamic Modeling to Improve the Design of the Spanish Parral Style Greenhouse. Transactions of the ASAE. No. 034046,p.1-10
- Peter Ling, and Ted Short , 2001 , Validating the CFD Model for Air Movements and Heat Transfer in Ventilated Greenhouses.Transactions of the ASAE. No. 01-4056,p.1-17.
- Short T. H., Lee I.B , 2001, Verification of computational fluid dynamic temperature simulation in a full-scale naturally ventilated. Transactions of the ASAE. 44(1): 119–127.

Stoecker, W. F, Jones, J.W.,1982,  
Refrigeration and Air Conditioning.

McGraw-Hill. ISBN:0-07-061619-3.

Wu C.H., H.S. Chang, J.Y Shaw and T.C.

Kao , 1991, Engineering protected  
cultivation systems in Taiwan.

Report to OICD/IRD, USDA by TAMRC,  
Taipei, Taiwan.