

台灣建築帷幕牆材料應用對節能效率之研究

張源修 *
明道大學景觀設計學系
助理教授

侯文祥 **
台灣大學
生物環境系統工程學系
教授

摘 要

帷幕牆是近代建築產物，由於外觀具科技感、施工便利與低成本因素深受歡迎。但帷幕牆適用於寒帶國家，藉由玻璃溫室蓄熱原理，提升室內溫度達到舒適性，並降低暖氣之用電量。而帷幕牆傳至亞熱帶的台灣，卻造成反效果，成為大樓耗電量的主因，因此，如何保有帷幕牆之優點又能達到節能效益則是重要的課題之一。本研究選擇台北市地區同時興建之兩棟辦公大樓，所使用之帷幕牆框材分別為塑鋼與鋁，分別實測其透熱率與節能效益。結果得知塑鋼材質帷幕牆透熱率為 87% ~ 110%，鋁製帷幕牆透熱率為 101% ~ 174%。從節能效益考量，兩者相較，使用塑鋼材質帷幕牆較鋁製帷幕牆每月可節省 19% 之電費。

關鍵字：帷幕牆、辦公大樓、熱傳、熱阻、空間耗能

* 通訊作者

張源修 E-mail: f89622050@ntu.edu.tw, 手機: 0937523685
明道大學景觀設計學系助理教授 張源修 博士 (04-8876660 分機 8815)



The Study of Curtain Wall of Building Material Application on Energy Saving Efficiency in Taiwan

Yuan-Hsiou Chang*

Assistant Professor,

Department of Landscape and
Architecture, Mingdao
University.

Wen-Shang Hou**

Professor,

Department of Bioenvironmental
Systems Engineering, National
Taiwan University.

ABSTRACT

Curtain wall is a product of modern architecture, as the appearance of a technological sense, convenience and low cost factors of construction is more popular for people. Curtain wall suit for the cold area, through the glass greenhouse regenerative principle, improve the indoor temperature to comfort and reduce heating and electricity. The curtain wall spread to subtropical Taiwan, but have adverse effect, as the main cause of building energy consumption, therefore, how to retain the advantages of curtain wall and reach the energy efficiency is one of important topics. In this study, two sites of office buildings in Taipei are selected as research target. We aim to measure the energy consumption of the polyoxymethylene (POM) curtain wall and the aluminum curtain wall. Due to the high proportion area are composed by glass, the thermal resistance is limited in window frame materials. The POM curtain wall has heat penetration rate of 87% to 110% and the aluminum curtain wall has heat penetration rate was 101% ~ 174% and its indoor temperature is higher than outdoor. By calculating the unit space of energy consumption, Estimating the expenditure of electricity consumption in regulating indoor thermal condition, aluminum curtain wall building is more than POM curtain wall building can save about 19% of the expenditure of electricity consumption per month.

Keywords: Curtain Wall, Office Buildings, Heat Transfer, Thermal Resistance, Space Energy Consumption



一、前言

農村溫室之設計概念即運用白天太陽光直射其輻射熱蓄集於溫室之中達到其保溫之目的。現今大樓帷幕牆正是運用此理念來達到建築室內空間保溫之目的，以減少保溫設備所造成的電源浪費。帷幕牆傳入台灣後由於自重輕、施工迅速、採光性佳、取景視野良好、標準化預製、造型美、不燃化與建材可回收再利用…等功用，深受國內相關業者青睞，在都會地區大樓建築外觀設計上已成為趨勢之一。台灣位屬亞熱帶地區，由於環境條件不同於歐美寒帶地區，夏季輻射熱傳入辦公大樓室內，而且辦公大樓多半外殼密閉不通風，於是熱量無法降低，且隨著熱輻射之增強而溫度增高。根據陳（2000）說明『新有效溫度（new effective temperature, ET* 或 NET）』，室內溫度於 25℃；風速小於 0.25m/s；RH = 50%；

濕度 40% ~ 60% 為人體感覺最為舒適條件下，所以大樓勢必要裝設空調設備來降溫。而空調設備之耗能量於夏季又為用電比率中之最高，依據（顧，2003）所統計出之我國於空調季節裡用電量比例，公寓型家電比例占 41%、空調比例占 41%、照明與其他比例占 18%；而透天類型家電比例占 36%、空調比例占 32%、照明與其他比例占 18%，也就是在空調季節裡平均每月增加了 300 度 / 月的空調用電，可見空調耗能性之高。要有帷幕牆之以上優點，又不影響室內熱環境的問題，則必須改善帷幕牆之材料與構法，此亦為本研究之動機與目的。

二、文獻回顧

陳（2000）說明 1970 年代的兩次能源危機，引發了全球性「節約能源」風潮，同時亦興起建築界「節能設計」運動。內政部營建署（2003）建築技術規則



設計施工篇第四十五條之四規定台灣北部辦公大樓之外殼耗能量基準值應低於八十千瓦·小時 / (平方公尺·年)。內政部營建署(2003)提出 ENVLOAD 計算方式降低外殼耗能量，而谷、楊(2000)提出一套電腦模擬軟體「BEEP-98」，實際運用 BEEP-98 查核正在請照審查 ENVLOAD 之案例，運算結果不但精確而且節省時間。林等(1991)提出結合 ENVLOAD 與 PACS 運算機制，以建築設計配合空調系統來達到節約能源的目的，林(1997)提出空調系統耗能係數 PACS 以減少空調系統耗能。黃、楊(2000)由於要落實電費之節約，提出玻璃帷幕牆對建築空調耗能影響之研究，其方式以 DOE-2.1 程式模擬帷幕牆對建築耗能之影響即可運算出整棟大樓每月所需電費。而張等(2003)提出辦公大樓節能調查評估，實際紀錄辦公大樓各方面所使用之電比例。顏、簡(2001)提出

建築外殼性能檢測，說明玻璃熱傳導之實驗機制以獲得不同種類玻璃之熱傳導數值。

於國外在窗戶隔熱性能部分亦有許多實測作法，Alvarez et al.(2000)提出建構實驗室運用燈泡模擬日光，以測試不同種類之玻璃而取得各樣本熱傳導實測值，Petter(2001)提出以實測之方式於長 3.6 公尺；寬 2.4 公尺的房間中運用室內之溫度調整而求出其室內之溫度分布，最後再與相理論公式印證。Larsson and Moshfegh(2002)提出在一長 4.1 公尺；寬 3.4 公尺；高 2.7 公尺之房間中以室內溫度調整來探討室內側窗戶之間隙風流場之流速與溫度梯度。Saso and Novak(1998)提出於 1.5×1.5 公尺之空間中室外以人工光源模擬日照，室內作溫控，藉由雙層玻璃空氣層寬度之調整、窗戶樣式等之變因調整來測得雙層窗之隔熱效果。Larsson et al.(1999)提出以建築平面其中



的房間藉由室內、外溫度的調整來求得三層玻璃窗其空氣層之溫度變化，與窗戶面各位置之溫度差異。Peter et al. (2000) 提出 10 種不同之窗戶玻璃規格在同一環境條件下於室內量出個別之乾球溫度、濕球溫度、風速、與日射量，最後與人體之舒適性理論作為對照而得出最佳玻璃樣本。Arasteh et al. (1989) 提出以室外之溫度變化而求出雙層玻璃其各內外表面之溫度變化，以所得數值套入系統程式作計算與數值模擬即可求出一年四季之室內溫度模擬值。

三、材料與方法

(一) 地理位置

本研究以台北市內湖區辦公大樓帷幕建築二棟，包括塑鋼帷幕外牆建築（大眾電腦辦公大樓 N25° 07' 26.86" , E121° 57' 49.43" ），以及鋁製帷幕外牆建築（台新銀行辦公大樓 N25° 07' 30.04" , E120° 57' 36.76" ），比較受光照壁體面的透光窗材差異所造成的室內溫度梯度與熱阻能力差異。進而與帷幕牆熱傳導係數計測值比對，推估壁體造成室內單位時間節能經濟效益，其兩棟之平面配置與九樓實測平面圖，關係如圖 1、圖 2 所示。



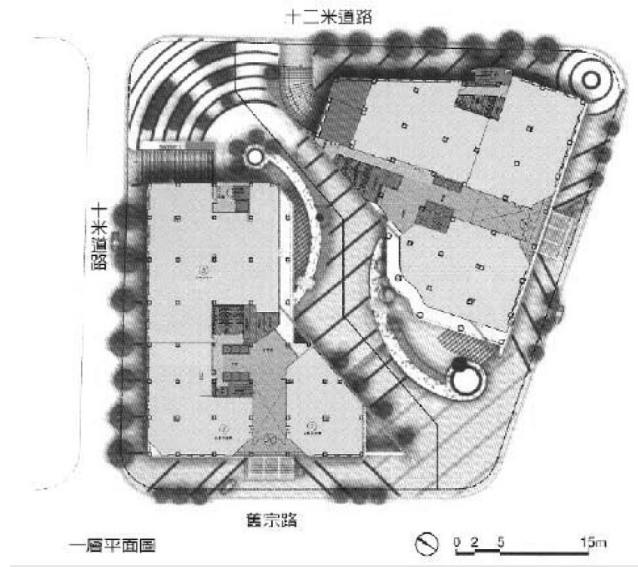


圖 1 大眾電腦與台新一樓面配置圖

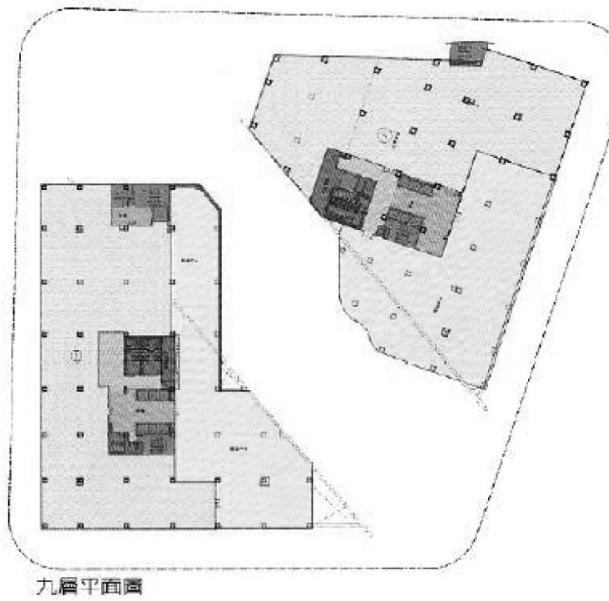


圖 2 大眾電腦與台新九樓平面圖

資料來源：劉 (2003)



(二) 實驗材料

本研究之各項測試儀器如：熱電偶線 (Thermocouple)，依此量測溫度，本實驗採 T-type 模式其量測範圍為 $-270^{\circ}\text{C} \sim 180^{\circ}\text{C}$ ，其量測精度為 $2\ \mu\text{v}$ 。濕度計，目的為量測濕度差，型號為 TES-1360，量測範圍為 $10\% \sim 95\% \text{ RH}$ ，量測精度為 $0.1\% \text{ RH}$ 。風速計，目的是量測室內外空氣流速，型號為 Model-1006 量測範圍為 $0 \sim 50\text{m/s}$ ，量測精度為 0.02m/s 。照度計型號為 IM-3，量測範圍為 $0.01 \sim 199900\text{lux}$ ，量測精度為 $0.01\ \mu\text{x}$ 。可見光輻射計型號為 LI-200SA，量測範圍長波於 $0.4 \sim 1.1\ \mu\text{m}$ ，輻射強度 $< 3000\text{W/m}^2$ ，量測精度於 $15\ \mu\text{v}$ 。

日射計型號為 Model-3020，其目的在於量測光輻射強度，其量測範圍於長波 $0.3 \sim 3\ \mu\text{m}$ ，量測精度為 $15\ \mu\text{v}$ 。其所測出之數值以 Data Logger 收集紀錄最後再傳輸於電腦作統計分析。配合兩棟建築現地的受光照方位與光照小時特徵，選擇東西向計測。計測包括透光帷幕牆壁體及室內牆表面至 5.2 公尺以內的溫度與溼度環境之垂直與水平分布資料，以製作離壁距離與溫度梯度 ($^{\circ}\text{C} / \text{m}$) 關係，並計算室內熱得速度 (Kcal / hr) 與壁體熱阻隔效率 (%)。為避免周圍建築影響陽光直射，本研究選擇塑鋼與鋁製帷幕建築的九樓擇一密閉空間，以進行計測如表 1 所示。

表 1 區空間與窗戶尺寸

項目 / 區位	大眾 9F 舞蹈室	台新 9F 教室
空間尺寸	長：9.9 m (帷幕牆側) 寬：7.5 m (外牆淨深) 高：3.6 m 面積：74.25m ² 坪數：22.46 坪 體積：267.3m ³	長：13.21 m (帷幕牆側) 寬：8.8m (外牆淨深) 高：3.24 m 面積：116.2m ² 坪數：35.15 坪 體積：376.6m ³
帷幕牆與窗戶材質尺寸	材質：塑鋼帷幕牆 尺寸：長：9.9m 高：3.6m 面積：35.64 m ² 玻璃厚度：6mm	材質：鋁製帷幕牆 尺寸：長：13.21m 高：3.24m 面積：42.8 m ² 玻璃厚度：4mm
計測時間	上午 08：00 ~ 10：00	下午 15：00 ~ 17：00
圖示		

(三) 實驗方法

為瞭解空間之熱量分層，在大樓配置熱電偶線與資料記錄

器，於同一個垂直面計測地面上 2.5m 與 1.5m 二個高度於實牆與帷幕牆面分別計測資料（圖 3）。



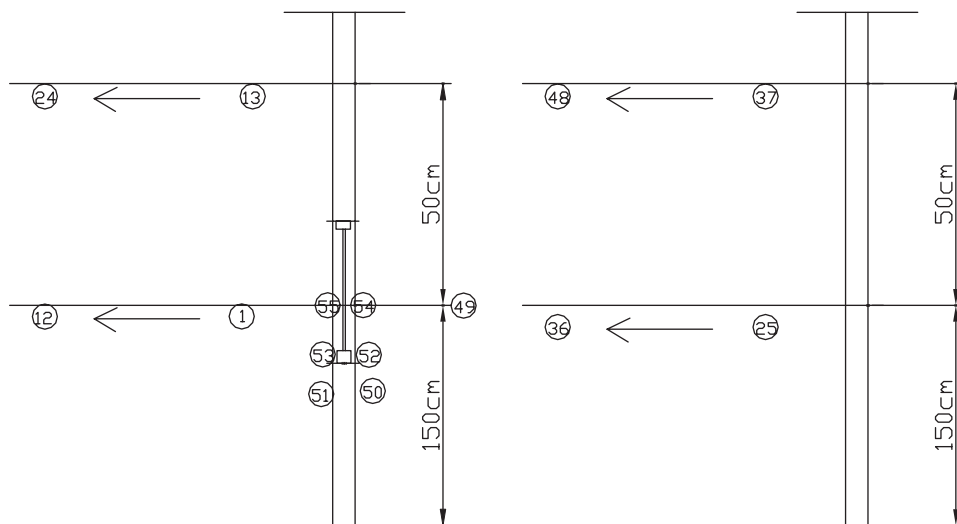


圖 3 兩區熱電偶線配置示意立面圖

兩條水平面計測點則包括近透光門窗與實牆部分，距帷幕牆 0、5、15、30、50、75、105、140、180、225、285、375、520 公分處等，以及帷幕牆與實牆於骨架、窗框、玻璃牆面之內外測點共 55 個測點。使用短波日射計、淨輻射計、照度計、熱電偶線、風速計、溼度計、多點微電壓自計儀、資料轉換器等感測裝置同步計測溫度 55 個位置，外加室內外各 1 個照度計、短波日射計、淨輻射計資料及相對濕度資料、室內外各 1 個風速資料等，規劃同步計測 61 個環境

資料，涵蓋晴天日間紀錄。製作室內計測垂直面與水平面之等溫度分布曲線圖，了解各樓層距離帷幕壁體的溫度梯度關係。找出室內溫度代表計測點，以提供日後評估類似建築的室內溫熱環境之快速檢測位置之依據。依外氣候變化，配合大樓管制措施，在計測樓層的空間未開啟空調狀況下，計測夏季晴天的日間室內外光熱環境及差異。依室內外空間分布計測資料，完成夏季單位面積帷幕牆的熱阻隔能力估算。分別推估出不透光壁面、透光窗等不同部位的單位面積外熱阻隔能

力與內熱保持能力，最後提出兩棟大樓在夏季日間外氣候環境之節能能力差異。塑鋼與鋁製帷幕牆其尺寸分別如下，大眾電腦舞蹈室其東側塑鋼帷幕牆尺寸為寬

度 9.9m；高度為 3.7m，而台新銀行教室鋁製帷幕牆尺寸為寬度 13.21m；高度為 2.69m，其細部尺寸與圖如下。

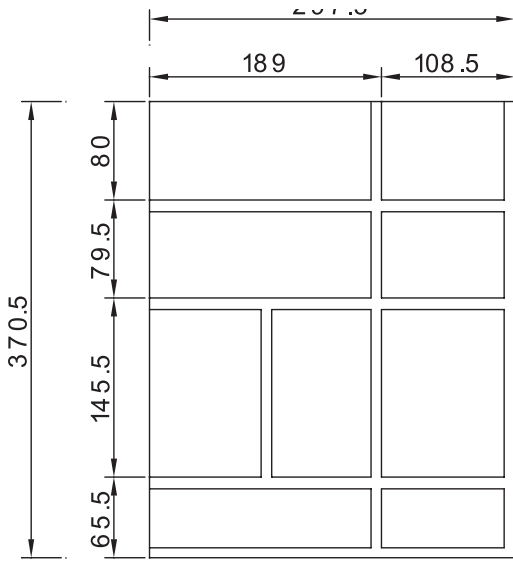


圖 4 大眾電腦舞蹈室塑鋼帷幕牆尺寸

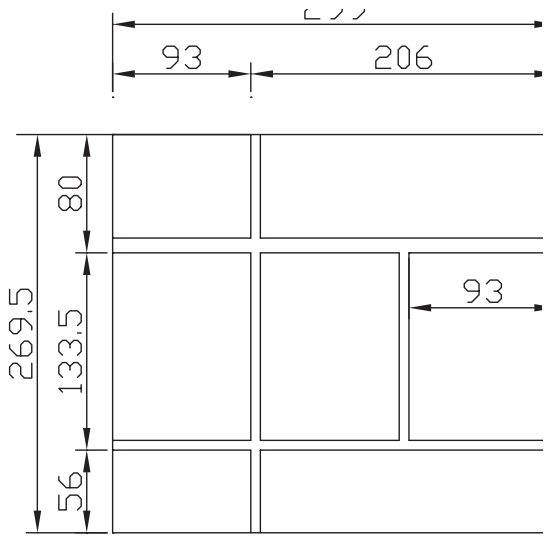


圖 5 辦公大樓鋁製帷幕牆尺寸

單位：cm



四、結果與討論

根據上述實驗方法我們分別探討光熱環境物理條件與兩種帷幕牆隔熱能力、熱收支效能、熱阻能力、節能及不同帷幕牆之耗電量比較，試圖藉由數據的比較獲得不同帷幕牆之隔熱與節能之效率。

(一)室內外物理環境條件

本階段計測塑鋼帷幕與鋁製帷幕內外物理環境計測，分別為日射量 (w/m^2)、可見光輻射量、(w/m^2)、照度 (Lux)、濕度 (%)、風速 (m/s)，實驗結果有助於分析物理環境條件與室內溫度變化之關係，如圖 5、6 所示。

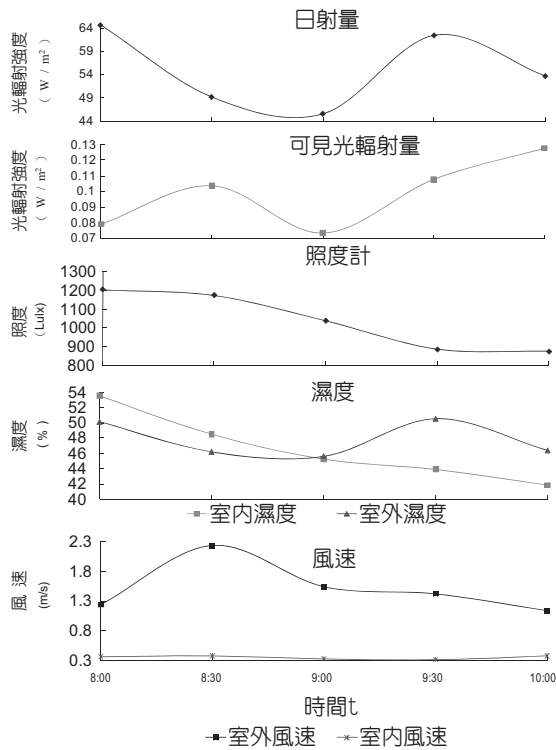


圖 5 塑鋼帷幕大樓內外物理環境計測

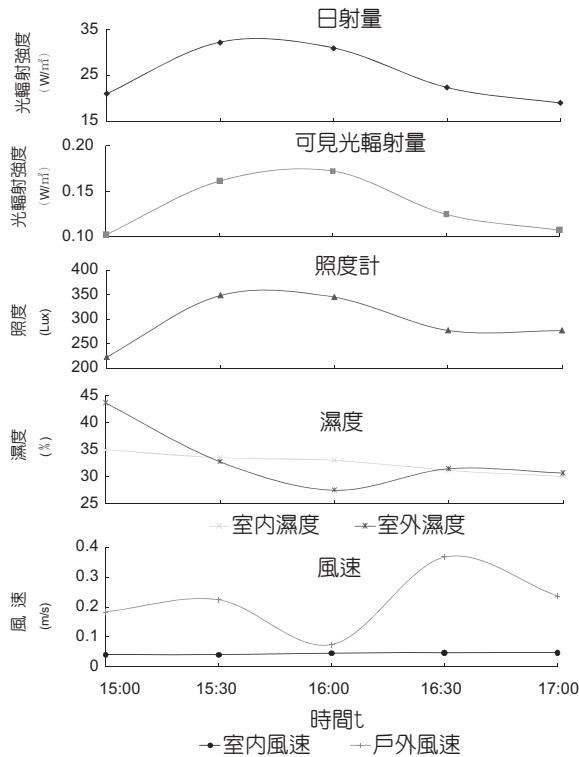


圖 6 鋁製帷幕大樓內外物理環境計測

(二) 帷幕牆隔熱能力比較

由於上午 7 點開始陽光將直射至室內，8 點室內外溫度開始有明顯變化，故以上述之室內標準溫度測點與室外氣溫為基準，分析塑鋼與鋁製帷幕牆之室內外空間、骨架、外框、玻璃材料之隔熱效益。

1. 塑鋼與鋁製帷幕牆室內外溫度比較

計算室內溫度參數必須先

找到室內標準測點，而本標準測點是以現場實測之數據再以『Surfer』數位軟體系統繪出其室內溫度分布，帶入公式計算求得室內平均溫度，最後找出標準測點，如下列公式所示。經計算結果兩空間均以第 10 測點為室內標準測點，並作為室內溫度之依據。

$$\frac{\sum (\bar{t}_1 \times a_1) + (\bar{t}_2 \times a_2) + \dots}{A} = \bar{t}$$



計算各室內的降溫能力變化，正值表示隔熱佳；負值表示隔熱差，如圖 7 所示。實驗結果，於開始測時兩者隔熱效益最佳，塑鋼製與鋁製帷幕牆兩者分別有 5.8 與 3.74℃ 之隔熱效益，塑鋼比鋁製帷幕牆隔熱效益高

達 64%。鋁製帷幕牆模組使空間有蓄熱現象，1 小時後室內溫度已比室外高出 0.88℃。經過 2 小時，室內溫度已可高出室外達 3.97℃，而塑鋼製帷幕牆尚可保持在 2.9℃ 之隔熱能力。

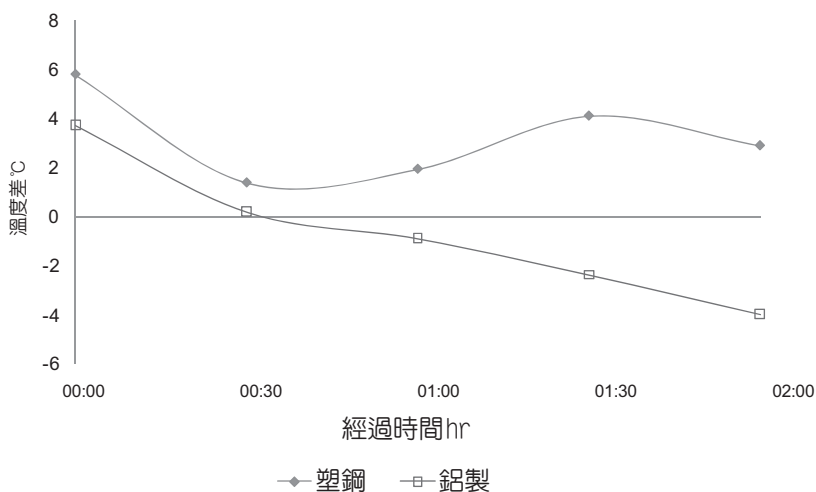


圖 7 室內外溫度差比較

2. 帷幕牆骨架隔熱能力比較

為更清楚理清不同材質帷幕牆對隔熱效能之差異，本章節以帷幕牆骨材之內外溫度差作比較，如圖 8 所示。結果顯示塑鋼骨材於 30 分鐘時外側溫度達最高，溫度達 46.77℃，室內外之隔熱效果達 36%；鋁骨架則是在 1 小時後，外側溫度達 50.18℃，

室內外之隔熱效益卻只有 13%。塑鋼帷幕牆骨架於 30 分鐘時隔熱效益表現最佳，隔熱效能達 15.05℃；而鋁製則是於 1 小時後表現最佳，達隔熱效能達 6.44℃。以 30 分鐘為例，兩者材料作隔熱效益比較，塑鋼材料較鋁製材料隔熱能力高出 3.7 倍，如圖 9 所示。



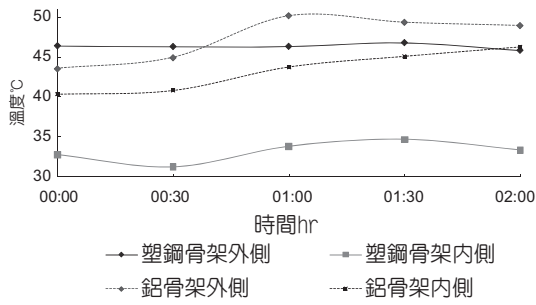


圖 8 骨架內外側表面溫度變化情形

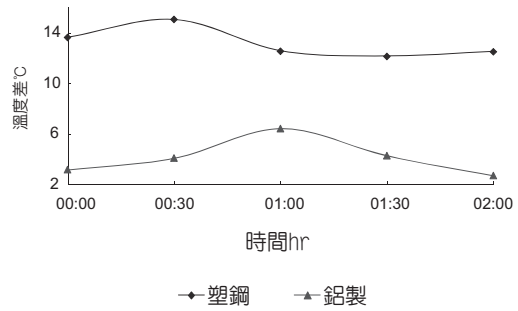


圖 9 骨架內外側溫差變化

3. 帷幕牆外框隔熱能力比較

框材亦是帷幕牆之重要組件之一，其熱傳特性亦影響室內溫度，故將兩者之框材隔熱效能整理於圖 10。很明顯的塑鋼較鋁製框材隔熱能力高出許多，以 30 分鐘時為例，塑鋼框材室內外表面溫度分別為 35.54°C 與 42.04°C，

隔熱效能可達 15%；而鋁製框材室內外表面溫度分別為 40.34°C 與 40.78°C，隔熱效能只有 1%。而兩小時中兩者材料之隔熱效能塑鋼材料有 3.49°C ~ 6.5°C 之效益；鋁製材料只有 0.44°C ~ 1.89°C 之間的效益，如圖 11 所示。

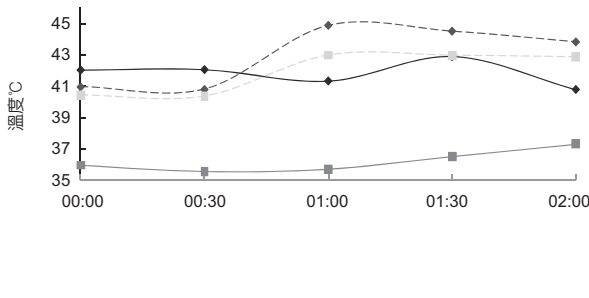


圖 10 框材內外側表面溫度變化

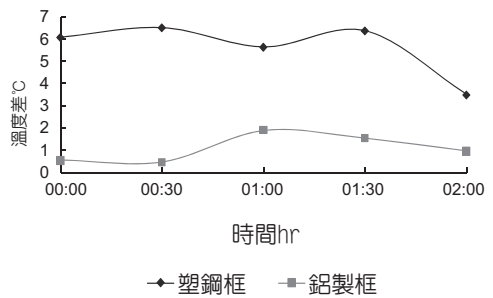


圖 11 框材內外側溫差變化



4. 帷幕玻璃隔熱效能比較

由於塑鋼帷幕牆之玻璃比鋁製帷幕牆玻璃厚了 2mm，其隔熱性能與差異性，如圖 12 所示。實驗結果，於 30 分鐘時塑鋼帷幕牆玻璃表現最佳，外內側溫度分別為 46.8℃ 與 41.83℃，兩者相差有 11%。而鋁製模組玻璃外內側溫度分別為 46.65℃ 與 44.39℃，兩者相差僅有 5%，不過當鋁製

模組玻璃外側於高溫 53.78℃ 與內側為 49.67℃，其隔熱能力則提升至 8%。玻璃較厚的確也印證有較佳之隔熱能力，塑鋼帷幕牆玻璃其溫度分布為 4.64℃ ~ 4.97℃；鋁製帷幕牆玻璃其溫度分布為 1.87℃ ~ 4.11℃，兩者隔熱比較最大可高達 2.2 倍，如圖 13 所示。

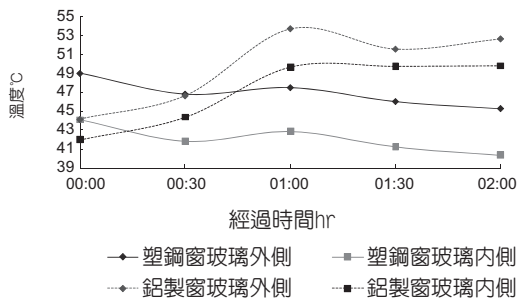


圖 12 玻璃內外側表面溫度變化情形

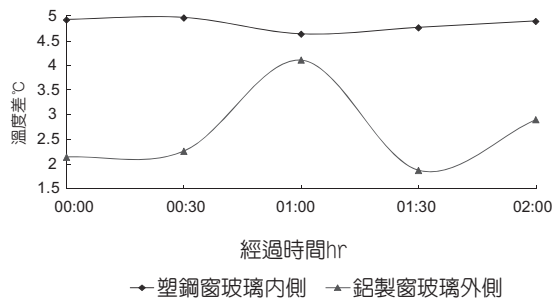


圖 13 玻璃內外側溫差變化

(三) 兩種帷幕牆之熱收支效能比較

依據陳(2000)之新有效溫度 (corrected effective temperature, CET)，藉由室內外之乾球溫度與濕度或風速即可得知空氣中的熱焓量。主要應用公式為 $h = t + W(2501 + 1.805t)$ ，式中 h: 空氣熱焓 kcal/kg；t:

乾球溫度℃；W：絕對濕度 kg/kg。本階段即以塑鋼及鋁製帷幕牆作比較，探討兩者建築外牆在熱收支效能比較。

1. 塑鋼帷幕牆

實驗結果，室外溫度範圍在 35.47℃ ~ 37.05℃；而濕度範圍在 45.67% ~ 50.58%，室內溫度

範圍在 30.45℃ ~ 34.15℃；而濕度範圍在 41.86% ~ 53.60%，藉由 NET 可得出室內外之熱焓差，以 a.m.08:30 時熱焓差異最小僅 2.73 kcal/kg；a.m.09:30 差

異最大，達 20.36 kcal/kg。整體塑鋼帷幕牆之熱傳透率為 77% ~ 97%，以 a.m.08:30 時熱傳透率最高，如表 2 所示。

表 2 塑鋼帷幕牆室內外熱收支

時間	室內溫度	室內濕度	室外溫度	室外濕度	室內焓	室外焓	焓內外差	透熱率
	°C	%	°C	%	kcal/kg	kcal/kg		
08:00	30.45	53.60	36.25	50.18	68.14	83.99	15.85	81%
08:30	34.08	48.50	35.47	46.25	76.15	78.88	2.73	97%
09:00	33.57	45.27	35.51	45.67	71.65	78.46	6.81	91%
09:30	32.69	43.91	36.80	50.58	67.77	88.13	20.36	77%
10:00	34.15	41.86	37.05	46.43	70.51	84.74	14.23	83%

進一步分析室內、外之熱焓關係，發現室外之熱焓與時間成正比關係 $R^2: 0.174$ ，而室內為反比關係 $R^2: 0.174$ ，顯示室內並無蓄熱現象，如圖 14 所示。

而由上述室內、外之熱得量可得出外殼之熱阻隔率，其塑鋼帷幕牆之熱阻隔率與時間則呈現正比關係 $R^2: 0.1022$ ，如圖 15 所示。

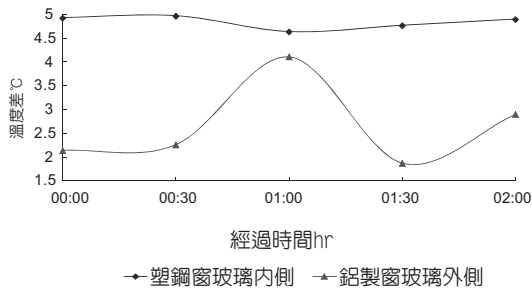


圖 14 帷幕牆室內外熱收支

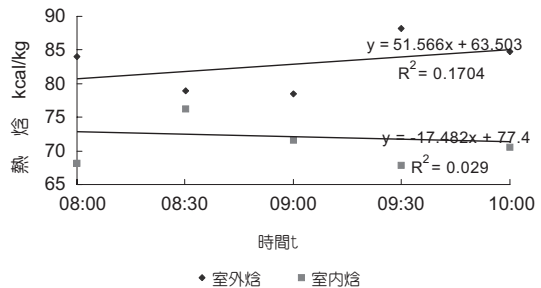


圖 15 帷幕牆熱阻隔率



2. 鋁製帷幕牆

實驗結果，室外溫度範圍在 35.96°C ~ 37.24°C；而濕度範圍在 27.59% ~ 43.78%，室內溫度範圍在 32.49°C ~ 40.95°C；而濕度範圍在 30.07% ~ 34.97%，室內溫度與濕度之表現則明顯呈

反比關係。室內外之熱焓差，於 p.m.15:00 時室外熱焓高出室內 19.07 kcal/kg；自 p.m.15:30 後室內開始呈現蓄熱現象，熱焓量由 0.03~10.79 kcal/kg。整體鋁製帷幕牆之熱傳透率為 76% ~ 116%，如表 3 所示。

表 3 鋁製帷幕牆室內外熱收支

時間	室內溫度 °C	室內濕度 %	室外溫度 °C	室外濕度 %	室內焓 kcal/kg	室外焓 kcal/kg	焓內外差 kcal/kg	透熱率 %
15:00	32.49	34.97	36.23	43.78	60.03	79.0	19.07	76%
15:30	35.75	33.49	35.96	32.85	67.51	67.4	-0.03	100%
16:00	38.05	33.02	37.17	27.59	73.68	65.4	-8.23	113%
16:30	39.6	31.19	37.24	31.58	76.24	69.7	-6.46	109%
17:00	40.95	30.07	36.98	30.74	78.98	68.1	-10.79	116%

進一步分析室內、外之熱焓關係，發現室外之熱焓與時間成反比關係 $R^2: 0.336$ ，而室內卻為正比關係 $R^2: 0.944$ ，顯示室內呈現蓄熱現象，如圖 16 所示。

而由上述室內、外之熱得量可得出外殼之熱阻隔率，其塑鋼帷幕牆之熱阻隔率與時間則呈現反比關係 $R^2: 0.753$ ，如圖 17 所示。

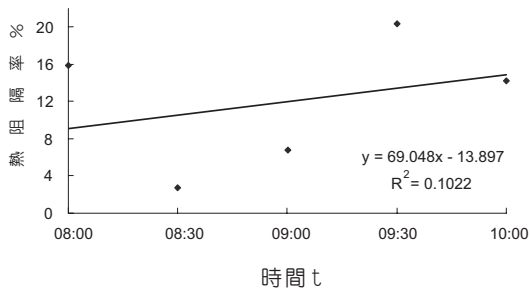


圖 16 帷幕牆內外熱收支

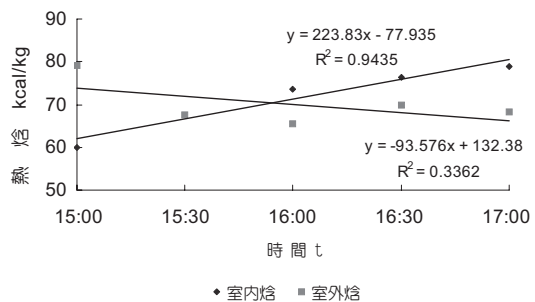


圖 17 帷幕牆熱阻隔率

(四) 辦公大樓帷幕牆熱阻能力與節能

1. 計測帷幕牆壁材面積與熱阻關係

藉由比較塑鋼與鋁製帷幕牆各部位面積百分比與總熱阻，試圖找出影響熱阻之主要部位與因素。經計算結果，塑鋼帷幕之總熱阻為 2.73 ~ 20.36 kcal/kg；而鋁製帷幕大樓之總熱阻

為 -10.97 ~ 19.07kcal/kg，鋁製帷幕大樓明顯造成室內之蓄熱現象，而玻璃部分兩棟大樓使用材質一致，但鋁製帷幕大樓面積高出 4.16%。骨架部分塑鋼帷幕大樓則高出 4.6%；窗框部分鋁製帷幕大樓則高出 0.44%。由此可知塑鋼帷幕較鋁製帷幕大樓之骨架有較大之骨架百分比，表 4 所示。

表 4 壁材面積與熱阻率

	部位	大眾舞蹈室	百分比 %	台新教室	百分比 %
壁材面積m ²	玻璃	30.41	83	31	87.16
	骨架	6.11	16.6	4.3	12
	窗框	0.16	0.4	0.3	0.84
	合計	36.68	100 %	35.6	100 %
內外熱焓差 kcal/kg		總熱阻 2.73 ~ 20.36		總熱阻 -10.97 ~ 19.07	

2. 帷幕牆透熱率

依據大眾電腦與台新銀行大樓所採用之空調設備為全水式中央空調系統，550T 兩台；200T 壹台，其中一台 550T 為備用有特別需要才開啟。針對兩者帷幕牆將其空間及窗戶尺寸作量測與整合以方便熱量與電費計算之參

數值尺寸統合。實驗結果，由於室內環境條件不一，無法客觀的求出其帷幕牆或固定窗之隔熱效能，故依據陳（2000）Olgyay 所提出之「生物氣候圖」將三區室內濕度統一設定在最大值 60%，而計算出其透熱率百分比。計算結果如表 5 所示。



表 5 相同室外濕度大眾塑鋼與台新鋁製窗框帷幕牆熱透率計算結果

大眾塑鋼帷幕牆大樓			台新鋁製帷幕牆大樓		
時間	內外焓相差	透熱率	時間	內外焓相差	透熱率
	(kcal/kg)	(%)		(kcal/kg)	(%)
08:00	11.26	87%	15:00	-1.09	101%
08:30	-7.52	110%	15:30	-25.90	138%
09:00	-5.90	108%	16:00	-38.34	159%
09:30	7.19	92%	16:30	-41.59	160%
10:00	-1.95	102%	17:00	-50.20	174%

依據陳(2000) Olgyay 所提出之「生物氣候圖」假設人體在辦公室內最舒適之室溫使空調運轉控制在 24 ~ 26°C，濕度控制在 40 ~ 60% 間，故人體對於熱焓之快適範圍為 43.015 ~ 58.258Kcal/kg。而依據表 2、3 兩區室內熱焓量，以舒適範圍之最小值與兩區間分別之最大值估算則塑鋼帷幕牆相差 43.675 Kcal/kg；鋁製帷幕牆 75.375 Kcal/kg。

3. 單位空間耗能

在室內無空調情況下熱量由室外傳入室內，將兩棟大樓之室內濕度均設定為 60%，依據「生物氣候圖」原理下降至

人體舒適之溫度 24°C、濕度 40% 時之熱焓 43.02 kcal/kg。若以最大值估算，則大眾舞蹈室需排除室內 43.68 Kcal/kg 之熱焓量；台新教室需排除室內 75.38 Kcal/kg 之熱焓量。而為方便空調耗能計算，必須把室內熱焓轉變為空調冷凍能力—冷凍噸 (RT) 之單位 BTU 來計測，才能推估空調耗能量。由所得之室內總空間須處理量 BTU 值，可得出兩區每單位立方體積所需排除之 BTU (熱量) 值。
 大眾舞蹈室 267.3 m³ : 143.68 Kcal/kg × 0.45kg ÷ 0.252kcal = 77.99 BTU, 77.99 BTU ÷ 267.3 m³ = 0.29 BTU/ m³。

台新教室 $376.6\text{m}^3 : 75.375$
 $\text{Kcal/kg} \times 0.45\text{kg} \div 0.252\text{kcal}$
 $= 134.6 \text{ BTU}$,
 $134.6\text{BTU} \div 376.6\text{m}^3 = 0.36$
 BTU/ m^3 。取最大須處理能量值

來做耗電量的推估，故大眾塑
 鋼帷幕牆取 0.29 BTU/ m^3 ；台
 新辦公大樓鋁製帷幕牆取 0.36
 BTU/ m^3 來做估算，表 6 所示。

表 6 耗能比較表

項目 / 區位	大眾舞蹈室 塑鋼帷幕牆	台新教室 鋁製帷幕牆
天氣與外氣溫	晴 $35.47^\circ\text{C} \sim 37.05^\circ\text{C}$	晴 $35.96^\circ\text{C} \sim 37.24^\circ\text{C}$
實測室外熱焓 kcal/kg	78.46 ~ 88.13	65.4 ~ 79
實測室內熱焓 kcal/kg	72.73 ~ 86.69	80.18 ~ 118.39
焓內外差 kcal/kg	5.73 ~ 1.44	-14.78 ~ -39.39
人體舒適熱焓 kcal/kg	43.02 (設定值)	
5 - 3 項之焓差 kcal/kg	29.72 ~ 43.68	37.17 ~ 75.38
總空間須處理 BTU	53.06 ~ 77.99	66.37 ~ 134.60
單位空間須處理 BTU/ hr · m ³	0.20 ~ 0.29	0.18 ~ 0.36

註：1BTU = 0.252kcal ； 1 lb = 0.45kg 。

(五) 塑鋼與鋁製帷幕牆耗電量比較

將兩棟大樓帷幕牆之最大耗
 能量值代入下表即可推算出兩棟
 大樓一個月中因帷幕牆外氣溫之
 熱傳其室內空調降溫用電所需花
 費之電費（表 7）。若每月以 26
 個工作天計算人員使用大樓，每
 日大樓內人員以工作 12 小時需
 使用空調設備作計算。單位空間

須處理熱焓 BTU 值由表 6 所示。
 室內人員工作舒適環境溫度設定
 在 24°C ，濕度 40 % 時之熱焓量
 為 43.02kcal/kg ，每 1000w 用
 1 小時 = 1 度電。需利用空調設
 備排出室內熱量 BTU 值可推估
 出每月各棟大樓之空調用電量。
 以大眾電腦為例，表 7 之計算過
 程如下：1 之熱焓值為實測所得
 之室內溫度、濕度值，依據濕空



氣線圖求得之熱焓量 86.69kcal/kg。依『生物氣候圖』所規定之人體舒適之範圍溫度 24℃，濕度 40% 時之熱焓 43.02kcal/kg。將 1 及 2 相減之值為室內應排出之熱量，所得的值乘以 0.45kg (1 lb = 0.45kg)，再除以 0.252kcal (1BTU = 0.252kcal)，再除以空間實測體積，即可求出室內所需排除之 BTU 值，BTU 值其單位為 BTU/m³。故其為在大眾 9F 舞蹈室 1 m³ 1 小時所需排除之熱量，其計算過程如下所示。 $2-1 = 43.675 \text{ Kcal/kg} \times 0.45\text{kg} \div 0.252\text{kcal} = 77.99\text{BTU}$ ， $77.99 \text{ BTU} \div 267.3 \text{ m}^3 = 0.29 \text{ BTU/m}^3$ 。單位換算 1BTU = 0.293W，故 $0.29 \div 0.293 = 0.99\text{W}$ 。瓦特換為千瓦相差一千倍，故 $0.990 \div 1000 =$

0.000989761 kw 。計算大眾大樓 1 立方公尺 1 小時所需之電費，1 度電費假設為 1.96 元，故 $0.000989761 \times 1.96 \text{ 元} = 0.00195 \text{ 元/m}^3 \text{ /hr}$ 。計算 1 個月 1 立方公尺空調電費，以大樓員工一天工作 12 小時，一個月工作 26 天估算，故 $0.00194 \times 12 \times 26 = 0.605 \text{ 元/m}^3 \text{ /月}$ 。計算整棟大眾電腦大樓全部空間所需之空調用電，依據劉 (2003) 推算其整棟室內空間體積為 143342 m³，故 $0.605 \times 143342 = 86,721 \text{ 元}$ 。台新銀行大樓總體積原為 143342m³，為求計算一致將台新體積設定與大眾電腦大樓相同。推算結果，比較兩棟帷幕大樓耗電量，大眾所使用之塑鋼帷幕牆每月可以節省電費 19% 以上，如表 7 所示。

表 7 塑鋼與鋁製帷幕牆耗電比較表

測試空間	項目	室內實測 熱焓值	人體舒適 範圍控制在 24℃； 濕度 60%	單位空間 須處理之 BTU	1BTU =0.293 W	瓦特	1 度電 =kW·小時	度電	1 度電= 1.96 元	處理單位 空間體積 熱焓之小 時電費	處理單位 空間熱焓 之月電費 (推估)	整棟大樓 空間體積 (實測)	整棟大樓 一個月所 需電費 (推估)
	單位	Kcal/kg	Kcal/kg	BTU/hr m ³	W/BTU	W/hr·m ³	KW·hr	KW·hr	元/kw	元/m ³ /hr	元/m ³ /月	m ³	元/棟/月
	編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	運算式	實測值	人體舒適 之熱焓	$\frac{(2-1)}{0.252} \times 0.45 \div$ 測試面積=3	能量單位 換算	$3/4=5$	單位換算	$5/6=7$	單位換算	$7 \times 8=9$	$9 \times 12 \text{hr} \times$ 26 天 = 10	假設大眾 與台新空 間量一致	$\frac{10 \times 11}{12}$
塑鋼 帷幕		86.69	43.02	0.29	0.293	0.99	1000	0.000989761	1.96	0.00195	0.605	143342	86,721
鋁製 帷幕		118.39	43.02	0.36	0.293	1.22	1000	0.001228669	1.96	0.00239	0.746	143342	106,933
兩棟 差異		31.7	-	0.07	-	0.239	-	0.00024	-	0.0004683	0.146097	-	20,212

五、結論與建議

(一) 結論

1. 大眾與台新大樓的玻璃帷幕牆，所使用的玻璃材質熱阻 R 均為 0.16 m²·h·°C /kacl，塑鋼帷幕牆之窗框熱阻為玻璃的 27 倍；塑鋼固定窗之窗框熱阻為玻璃的 24 倍；鋁製帷幕牆之窗框熱阻為玻璃的 16 倍，故可得知塑鋼窗框材質之熱阻差異不大，並優於鋁製窗框。

2. 塑鋼與鋁製帷幕牆其玻璃材質相同，但由於牆面使用玻璃面積均在 85 % 以上，而骨架與窗框面積所佔比例極低，因此塑鋼帷幕牆的窗框材料熱阻隔能力雖遠高於鋁製材料，但對於阻隔室內之總熱量效能有限。

3. 塑鋼帷幕牆與鋁製帷幕牆節省電費比較：大眾電腦使用南亞塑鋼帷幕牆每月電費比較台新銀行鋁製帷幕牆節省每月電費 19 % 以上。



(二) 建議

1. 建議使用帷幕牆設計時選用較高熱阻之玻璃材質。
2. 在帷幕牆內側建議加裝高熱阻之構造設施以阻隔外來輻射及降低熱傳遞的問題，適當的空氣層熱阻設計應為產品開發過程一個可深入研究的課題。
3. 建議在辦公室內側將空調設備規劃為內、外周區，以降低電費支出。
4. 於帷幕牆外側加裝遮陽板或種植植栽，採立體綠化之方式，不但可降低輻射熱亦可增進美觀及生態等目的。
5. 塑鋼框材熱貫流率較玻璃為低，若面積比增高，可降低熱之透過率。
6. 帷幕牆採反射玻璃易造成光害，雖然熱阻隔能力尚可，但不建議使用。
7. 室內濕度高的地方如：浴室、廁所等，建議採用乾濕分離的方式以減少室內濕度增高，影響夏季熱焓量提升。

參考文獻

內政部營建署（2003），建築技術規則，內政部營建署。

谷家恆、楊冠雄（2000），建築外殼耗能管制實施現況檢討研究，內政部建研所。

林憲德（1997），建築空調節能設計－空調系統耗能係數 PACS，詹氏書局。

林憲德、賴榮平、周家鵬（1991），建築節約能源設計手冊，台北：內政部建築研究所籌備處。

張世典、蔡必超、楊謙柔（2003），辦公大樓節能調查評析，建築物能源管理技術研討會論文集，台北：經濟部能源委員會。

陳啟中（2000），建築物理概論，詹氏書局。

黃瑞隆、楊冠雄（2000），玻璃帷幕牆對建築空調耗能影響之研究，內政部建築研究所。

劉憲宗（2003），建築師雜誌 6 月份，pp. 44-53。

顏貽乙、簡國祥（2001），建築外殼性能檢測（二）-- 玻璃日光輻射熱取得率量測實驗室建置與建築外殼建材隔熱性能資建立，內政部建築研究所研究。

顧孝偉（2003），住宅電量監測與解析之研究，國立成功大學建築研究所碩士論文。

Alvarez, G., Palacios, M. J., Flores, J. J., (2000), "A test method to evaluate the thermal performance of window glazings," *Applied Thermal Engineering*, 20, pp. 803-812.

Arasteh, D. K., Reilly, M. S., Rubin, M. D., (1989), "A Versatile Procedure for Calculating Heat Transfer through Windows," *ASHRAE*, pp. 755-765.



Larsson, U., Moshfegh, B., (2002), "Experimental investigation of downdraught from well-insulated windows," *Building and Environment*, 37, pp. 1037-1082.

Larsson, U., Moshfegh, B., Sandberg, M., (1999), "Thermal analysis of super insulated windows numerical and experimental investigations," *Energy and Buildings*, 29, pp. 121-128.

Peter, R. L., Arasteh, D., Huizengan, C., (2000), "Window Performance for Human Thermal

Comfort," *ASHRAE*, pp. 594-602.

Petter, W., (2001), "Convective heat transfer coefficients in a full-scale room with and without furniture," *Building and Environment*, 36, pp. 743-751.

Saso, M., Novak, P., (1998), "Heat transfer through a double pane window with an insulation screen open at the top," *Energy and Buildings*, 28, pp. 257-268.