

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

隔熱建材於既有建築之節能改善評估研究

**To evaluate the energy saving performance of existing building by
using heat insulation building material**

中華民國105年12月

行政院原子能委員會
委託研究計畫研究報告

隔熱建材於既有建築之節能改善評估研究

To evaluate the energy saving performance of existing building by
using heat insulation building material

計畫編號：1052001INER005

受委託機關(構)：國立成功大學

計畫主持人：李訓谷

聯絡電話：06-2081469

E-mail address：sklee1015@gmail.com

協同主持人：

研究期程：中華民國 105 年 02 月至 105 年 12 月

研究經費：新臺幣 390,000 元

核研所聯絡人員：蔡丁貴

報告日期：105 年 12 月 19 日

目 錄

目 錄	I
中文摘要	1
英文摘要	2
壹、計畫緣起與目的	3
一、計畫背景	3
二、計畫目的	7
三、計畫重要性	8
四、國內外有關本計畫執行情況	8
貳、研究方法與過程	15
一、文獻分析	15
二、建材對於建築節能效益數值模擬之評估	15
三、實驗量測法	18
四、溫熱環境的評估指標	22
五、計畫相關工作流程及進度	26
六、選擇合適的實驗場地	28
七、實驗設計	33
參、主要發現與結論	40
一、軟體模擬能耗分析	40
二、全尺寸實際量測	46
(一)、空白試驗	46
(二)、不同屋頂之空調耗電量與熱環境評估	48
(三)、不同屋頂貼附 TYPE-A 隔熱膜之空調耗電量與熱環境	

評估	52
(四)、玻璃貼附隔熱膜之空調耗電量與熱環境評估(清玻璃、 LOW-E 玻璃及清玻璃+TYPE-A)	56
(五)、玻璃貼附隔熱膜之空調耗電量與熱環境評估(清玻璃 +3M、清玻璃+ i999、清玻璃+TYPE-A)	58
(六)、調高空調設定溫度之空調耗電量與熱環境評估 ..	60
(七)、人偶仿真熱環境量測	63
三、結論	66
肆、參考文獻	68

圖 次

圖 1. IPCC 統計十萬年週期全球二氧化碳排放量	3
圖 2. 「節能減碳年」之主要行動計畫	4
圖 3. 台灣國內能源供給（按自產與進口別）	5
圖 4. 美國氣候分區圖	13
圖 5. 各區能耗比較	14
圖 6. 實驗屋的 BIM 模型	16
圖 7. 建築能源模擬結果與實際數據比較之工作流程圖	17
圖 8. 熱像儀(NEC TVS-200EX)	18
圖 9. 熱流計(Heat Flux Plate LM-SS)	18
圖 10. 光照計	19
圖 11. 瓦時計	19
圖 12. 溫濕度計	19
圖 13. 熱電偶	19
圖 14. 熱流計量測點	22
圖 15. 溫度量測點設計	22
圖 16. PMV-PPD 曲線	25
圖 17. 計畫流程圖	27
圖 18. 高雄市湖內區實驗場所照片	28
圖 19. 面向正西之 3D 實驗屋建築與衛星空拍合成圖	29
圖 20. 實驗屋建築西照光影與衛星空拍合成圖	29
圖 21. 日照模擬實驗屋 6 座之近照圖	30
圖 22. 夏天下午 5 點半之前日照模擬	31

圖 23. 冬天下午 5 點日照模擬	31
圖 24. 夏日-全時陰影圖	32
圖 25. 冬日-全時陰影圖	32
圖 26. 實驗屋所選之空地	35
圖 27. 量測方位	35
圖 28. 組裝完成之實驗屋(外部)	35
圖 29. 組裝完成之實驗屋(內部)	35
圖 30. 實驗屋現場吊掛(一)	35
圖 31. 實驗屋現場吊掛(二)	35
圖 32. 實驗屋室內牆體安裝隔熱毯(一)	36
圖 33. 實驗屋室內牆體安裝隔熱毯(二)	36
圖 34. 工程師安裝設備及配線	36
圖 35. 實驗屋施工完成(一)	36
圖 36. 實驗屋施工完成(二)	36
圖 37. 實驗屋 5 號、6 號外觀	37
圖 38. 實驗屋 5 號、6 號外觀(熱像)	37
圖 39. 實驗屋 1~4 號外觀	37
圖 40. 實驗屋 1~4 號外觀(熱像)	37
圖 41. 實驗屋內待修情況(一)	37
圖 42. 實驗屋內待修情況(熱像, 一)	37
圖 43. 實驗屋內部待修情況(二)	38
圖 44. 實驗屋內部待修情況(熱像, 二)	38
圖 45. 實驗屋內部完善情況(三)	38
圖 46. 實驗屋內部完善情況(熱像, 三)	38

圖 47. 用膠帶強化玻璃，地板加塗防水漆	38
圖 48. 利用膠帶強化玻璃	38
圖 49. 加強地基	39
圖 50. 於實驗屋底座加裝水泥桶加強載重	39
圖 51. 地基焊接	39
圖 52. 2015 年空調模擬實驗場地	42
圖 53. 2016 年空調模擬實驗場地	42
圖 54. 2、4 號實驗屋室內外牆體表面溫度	47
圖 55. 5、6 號實驗屋室內外牆體表面溫度	47
圖 56. 2、4 號實驗屋室內外玻璃表面溫度	47
圖 57. 5、6 號實驗屋室內外側玻璃表面溫度	48
圖 58. 一般鐵皮隔熱屋與加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋耗電量比較	49
圖 59. 1、2 號實驗屋之室內空氣溫度日分布曲線	49
圖 60. 不同屋頂之屋頂室內表面溫度日分布曲線	50
圖 61. 一般鐵皮隔熱與加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋熱舒適度指標	50
圖 62. 一般鐵皮隔熱與加裝鋁隔熱毯實驗屋之清玻璃表面溫度	51
圖 63. 一般鐵皮隔熱與加裝鋁隔熱毯實驗屋之屋頂表面溫度	52
圖 64. 一般鐵皮隔熱與加裝鋁隔熱毯實驗屋採 TYPE-A 耗電量	53
圖 65. 一般鐵皮隔熱與加裝鋁隔熱毯實驗屋+TYPE-A 表面溫度	54
圖 66. 一般鐵皮隔熱與加裝鋁隔熱毯實驗屋熱舒適度表現	55
圖 67. 清玻璃、LOW-E 玻璃、清玻璃+TYPE-A 實驗屋耗電量	56
圖 68. 清玻璃、LOW-E 玻璃及清玻璃+TYPE-A 熱舒適度	57
圖 69. 清玻璃、LOW-E 玻璃、清玻璃+TYPE-A 之室內外玻璃 表面溫度分布	58

圖 70. 3M、i999 及 TYPE-A 隔熱膜之耗電量比較	59
圖 71. 3M、i999 及 TYPE-A 隔熱膜之熱舒適度比較	59
圖 72. 3M、i999 及 TYPE-A 隔熱膜於玻璃室內外表面溫度	60
圖 73. 5、6 號實驗屋耗電量比較(空調設定相差 1°C)	62
圖 74. 5、6 號實驗屋耗電量比較(空調設定相差 2°C)	62
圖 75. 5、6 號實驗屋耗電量比較(空調設定相差 1°C)	63
圖 76. 5、6 號實驗屋熱舒適度表現(空調設定差 2°C)	63
圖 77. 人偶擺放示意圖	64
圖 78. 清玻璃+3M 熱影像	65
圖 79. 清玻璃+i999 熱影像	65
圖 80. 清玻璃+TYPE-A 熱影像	66

表 次

表 1. 各國節能玻璃評定制制度	11
表 2. PMV 不同數值所代表的意義	25
表 3. 預定進度	26
表 4. 實驗配置表	34
表 5. 外牆熱傳導計算參數表	40
表 6. 窗戶熱傳導計算參數表	41
表 7. 室內發熱量及空調運行設定溫度	41
表 8. 人員與設備運行時間表	41
表 9. Design Builder 年空調負荷量模擬(台中，水泥平屋頂)	43
表 10. Design Builder 年空調負荷量模擬(高雄，水泥平屋頂)	44
表 11. Design Builder 年空調負荷量模擬(高雄，隔熱斜屋頂)	45

中文摘要

建築能源消耗量佔國家總能耗比例相當大，如美國約佔總能耗 40%，台灣大約為 30%，而目前降低建築能源消耗之策略除了提高建築設備之能源使用效率（例如使用高效率空調、照明設備等）外，另一發展重點為降低建築外殼能耗。因此，開發高隔熱建築材料已成為各國在建築節能中具有相當成本效益之作為，亦是具有市場價值之產品。本計畫係藉由隔熱建材於既有建築之節能改善評估研究之執行，以期對核能研究所開發之節能膜與市售相關產品進行實際驗證評估及並且新增提升空調設定溫度對人員的熱舒適度指標 PMV (Predicted Mean Vote)之探討評估，最後評估場所改善前後之能耗數據及進行節能驗證，並尋找出在達到節能的目的時也同時兼顧舒適度的最佳平衡點。

關鍵字：節能，隔熱膜，熱舒適度

Abstract

Building energy consumption accounts for the proportion of total national energy consumption is quite large, such as the United States accounts for about 40% of total energy consumption and Taiwan for about 30%. The current strategy to reduce the energy consumption of the building is not only to improve equipment energy efficiency in buildings (such as the use of high-efficiency air conditioning, lighting, etc.), but also to develop heat insulation materials for building envelopes. Thus, the development of heat insulation materials has become a considerable cost effective method and valuable marketing products in building energy-saving. The project is by executing the research of heat insulation material for improving the efficiency of energy-saving for existing buildings to help the actual assessment and verification of the test platform operations and the developed energy-saving film of Institute of Nuclear Energy Research.

Keywords: Energy saving, Heat insulation film, Thermal comfort

壹、計畫緣起與目的

一、計畫背景

二十一世紀由於二氧化碳濃度持續上升（參閱圖 1），導致地球環境加速溫暖化現象，造成全球氣候變遷問題，因此國際上於 2009 年推動的減碳 350 運動、全球前二十大經濟體元首高峰會（G20，group of 20）至哥本哈根會議（COP15）之後均著重於探討二氧化碳減量課題，思考如何有效降低二氧化碳排放量。

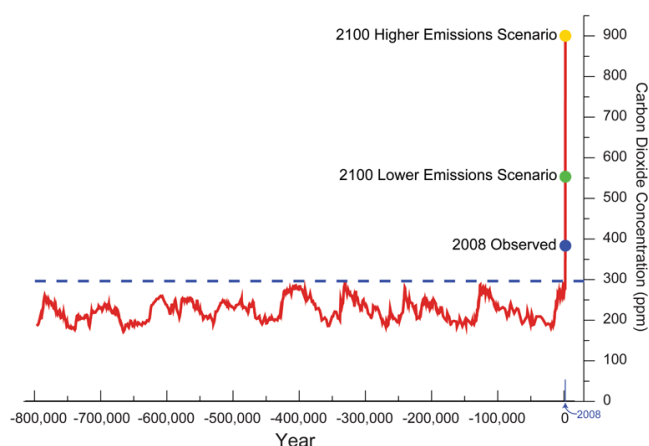


圖 1. IPCC 統計十萬年週期全球二氧化碳排放量

而我國對於節能減碳的因應對策，行政院於 2008 年推動「生態城市綠建築推動方案」、「節能減碳行動方案」及全國能源會議有關「低碳家園」等低碳施政，明訂二氧化碳減量為政策推動之首要目標。另根據統計資料顯示，台灣每年約釋放 25 億公噸二氧化碳於大氣中，其中建築產業耗能約佔總排放量的 27%，顯示建築部門為推動二氧化碳減量促進永續發展的關鍵之一。

我國減碳情境規劃係以落實能源密集度每年下降 2% 為目標，預期可於 2020 年減 CO₂ 共 76 百萬噸，達到全國減碳目標的 36%。而國家節能減碳總體計畫在節能目標上期望未來 8 年每年

提高能源效率 2% 以上，使能源密集度於 2015 年較 2005 年下降 20% 以上；並藉由技術突破及配套措施，2025 年下降 50% 以上。減碳目標則是全國二氧化碳排放減量，於 2020 年間回到 2005 年排放量，於 2025 年回到 2000 年排放量。圖 2 為「節能減碳年」之主要行動計畫。

世界各國於環境發展方面皆致力提倡節能減碳運動，而佔全球約 30~40% 能源消耗量之建築相關領域近年來逐漸受到各國重視。以市場的現況而言，舊建物目前約佔 97% 之樓地板面積，若要徹底落實建築物的節能減碳，絕對不能忽略既有建築物的節能改善效益。

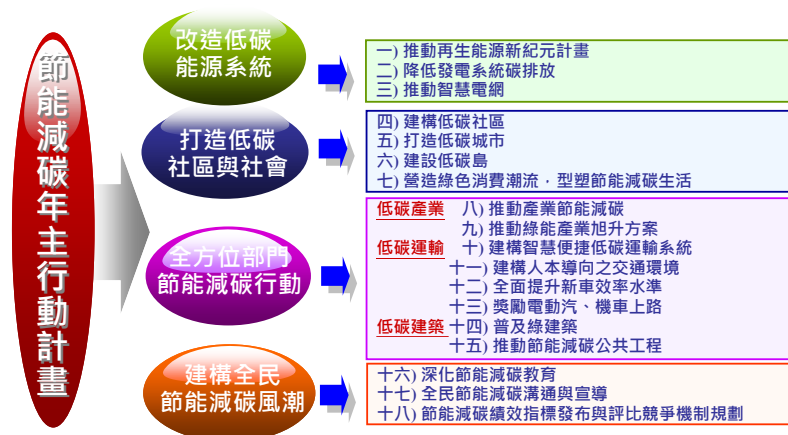


圖 2. 「節能減碳年」之主要行動計畫

而在配合政府節能減碳之政策方面，以 103 年統計顯示，我國能源總供給量 99.39% 倚賴進口能源。而我國最終能源消費結構中，住宅與服務業部門約佔有 21.7%，且該比例於近年來穩定增長。另依 103 年國內能源消費量之部門別分析統計顯示，住宅部門占總能源消費量的 10.8%，顯示住宅部門在我國達成節能減碳的總目標中佔相當重要的地位。自 97 年 8 月 6 日行政院核定之「政

府機關及學校全面節能減碳措施」，並於隔年第一次修訂實施以來，已具成效，惟為促進政府機關及學校更積極規劃節能減碳作法、編列相關預算並落實執行，爰推動政府機關及學校「四省（省電、省油、省水、省紙）專案」計畫，以精進政府機關及學校節約能源成效，示範引導民間採行節約能源措施，落實全國、全民、全面節能減碳行動，將台灣推向低碳社會。「四省（省電、省油、省水、省紙）專案」計畫目標將每年用電量、油量及用水量以負成長為原則，其中節約用電目標：執行單位每年用電量以較前一年減少 1% 為原則，並依執行成效逐年檢討年度節約用電目標。

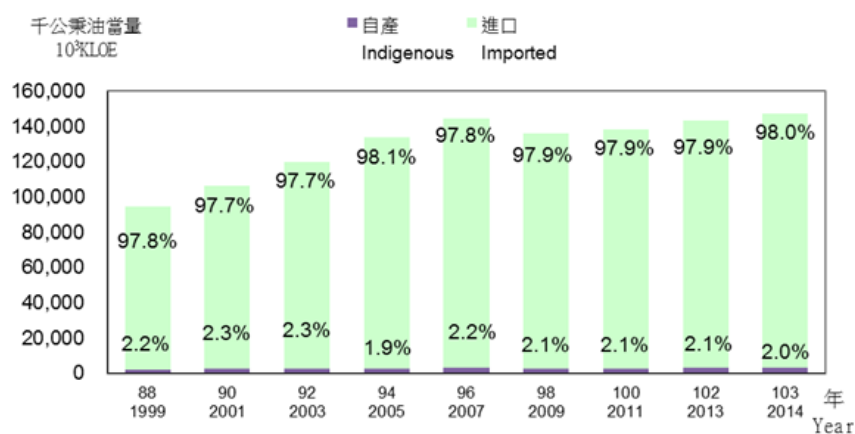


圖 3.台灣國內能源供給（按自產與進口別）

而國內學者在建築物能耗調查之文獻已進行多年。黃漢泉等為瞭解台灣地區辦公類建築物電力消費情形，針對台北市、台中市及高雄市之辦公大樓用戶進行電力消費量調查，累計調查戶數 3292 戶，台北市辦公類建築物用戶之建築空間規模在 200m² 以下，高雄市及台中市則在 100-200m² 之間；台北市及高雄市之建築物開窗率介於 30-40% 之間，台中市則在 40-50% 之間；辦公室外週區空間比例則都介於 50-60% 之間，外牆熱傳透率 U_i 值之設

計則隨緯度減少增大。電力消費量之統計分析結果顯示，辦公類建築物用戶年平均單位總樓地板面積用電量，台北市為 150.24 (kWh/m²-yr)、台中市為 162.55(kWh/m².yr)、高雄市為 131.96(kWh/m²-yr)。

何友鋒、顏鈞男等學者針對高雄某辦公大樓進行建築物能源監測發現，該辦公大樓的整體耗能可分為三大類，分別以空調設備、動力設備、照明設備，整體用電分佈中，空調用電佔總耗電量約 50%、動力用電約佔 17%、照明用電約佔 33%，依 DUI(單位面積用電量強度)分析顯示，該辦公大樓之電力系統裝置容量大部份為空調部份電力需要。

另針對排名第三大耗電行為，依室內空調溫度設定對建築耗能之影響性分析，各類型辦公類建築與百貨建築，室內空調設定溫度若由 21°C 至 28°C，每提升 1°C，可節省空調 6~9% 耗能。由於室外環境、空調設備效率及使用空間不同，空調溫度每調高 1°C，對空調設備能源耗用之影響亦不同，6% 為一大約值。空調設定溫度每調高 1°C，約可節省空調電力 6%，全民響應一年將可節約 10 億度電。(資料來源：經濟部能源局全球資訊網-用電器具 Q&A)

因此，「四省（省電、省油、省水、省紙）專案」計畫執行單位常用的節約用電方式是調高空調溫度，一般設定在 26°C~28°C 之間，然而在研究團隊過去研究計畫中，根據問卷調查資料中發現此方式會對於人員的熱舒適度造成負面影響。故探討如何將新的隔熱產品配合使用在「四省（省電、省油、省水、省紙）專案」計畫中，既維持室內環境在人體感受到舒適的範圍內，並達到節省能源的目的，是未來將產品應用在室內環境品質管理與改善的

重點之一。

本研究團隊在 104 年度核能研究所委託計畫之主要研究成果在於開發出創新透光隔熱智慧綠建材，並且執行建築物節能改善效益之評估，以驗證核能研究所所開發之建材應用競爭力。其研究內容除了使用光學及熱學實驗儀器量測產品性質外，還建立 2 個實尺寸的實驗屋進行不同時間的實地測量，並且以不同的能耗模擬軟體建立實驗屋模型進行模擬，交互驗證了所開發之新產品之節能效果優於其他產品。然而，不同的空調設定溫度對於建築節能之影響以及不同隔熱膜建材對於人員舒適度之相關性並未在 104 年度計畫中進行探討，而且各種隔熱膜之量測時間僅為 3 週。因此，在本年度研究計畫中將利用建築物節能效率評估模擬程式 Energy Plus 或其他評估分析工具進行評估，並增建實尺寸實驗屋進行長時間的實地測量，新增熱舒適度指標 PMV(Predicted Mean Vote)之探討評估。而 PMV 熱舒適指標即根據熱負荷與人體主觀感覺之間的關係而建立，可自環境與個人因素量化推估人體對環境的冷熱舒適感。同時，研究所開發之新產品對於人員的熱舒適度指標 PMV 之影響，最後，評估場所改善前後之能耗數據及進行節能驗證。

二、計畫目的

在 104 年「既有建築物節能改善之評估研究」計畫中針對了 3 款(TYPE-A、i999、3M)隔熱膜能耗表現及隔熱性能之比較，並運用實際測量及電腦模擬相互驗證其關連性。而結論也顯示出電腦模擬和實際測試的趨勢相符，安裝隔熱膜後的玻璃也確實能

達到節能的效果。今年度計畫之主要目的在於延續去年「既有建築物節能改善之評估研究」，新增建立 4 座實驗屋為驗證平台以實地測量，及運用建築物節能效率評估模擬程式 Design Builder 或其他評估分析工具執行建築物節能改善效益之評估，比較不同隔熱膜、玻璃以及屋頂隔熱建材之電腦模擬及實際測試間的差異，並且新增空調溫度提升對人員的熱舒適度指標 PMV (Predicted Mean Vote) 之探討評估，最後評估場所改善前後之能耗數據及進行節能驗證，並尋找出在達到節能的同時也同時兼顧舒適度的最佳平衡點。

三、計畫重要性

全世界相關廠商無不致力於研發高效能的新隔熱建材產品與成本降低，故此，在台灣建材相關業界急需提升產品設計及新產品開發產製能力，並開發低成本與高性能的外殼建材，以期有足夠的利基切入市場，並提升國際競爭力。藉由本研究計畫可以橋接核能研究所之技術與建材產業界之市場需求，配合政府節能減碳之政策進而應用所開發的建材，以期核能研究所在相關技術上具領先地位，亦可提升相關產業之競爭力。

四、國內外有關本計畫執行情況

本節對玻璃節能技術之發展、目前問題及相關驗證方法做一陳述與說明。在節能減碳的議題上，由於京都議定書中開始關注全球二氧化碳排放限制的議題，使得世界各國對玻璃建材的節能特性部分開始出現有相關的法規要求。此外，除了在建業法規中限制了玻璃建材應用在建築物的要求規定外，在玻璃建材對於建

築物節能影響之評估上，目前美國(DOE, 2009)、英國(BFRC, 2007)、澳洲、歐盟(Avasoo, 2004)各國以及台灣(內政部建築研究所, 2007)均設有節能玻璃標章獎勵消費者多使用此類節能玻璃以節省能源。

目前有關節能玻璃之發展方向仍著重在節能玻璃之性能提升上，而最大的研發重點在於節能塗層的開發，其中以低輻射 Low-E 玻璃為代表。現在市面上計有三種 Low-E 玻璃製程，亦即 pyrolytic low-E, magnetron-sputtered vapor deposition (MSVD) low-E and solar selective MSVD low-E (Russo et al., 2001)，而其組成亦相當多樣。另外，亦有與智慧建築互相結合的液晶玻璃(Sottile, 2005)、相變化玻璃(Ismail and Henriquez, 2002)、太陽發電整合建築玻璃 BIPV(Benemann et al., 2001)、高隔熱性的中空玻璃(Collins and Simko, 1998)等玻璃建材被應用在建築節能上。

目前既有玻璃帷幕建築的節能改善策略，最常採用的方式是在玻璃內側塗裝隔熱膜。當太陽輻射穿過貼附隔熱膜的玻璃時，部分的輻射能量會被隔熱膜反射與吸收，使進入室內的能量減少，達到節能的效果。然而隔熱膜表面溫度會因吸收太陽輻射而升高，根據 Alvarez et al. (Alvarez et al., 1998) 實驗結果顯示鍍膜玻璃(吸收率=67%，表面輻射率=0.56) 室內側表面溫度會比清玻璃(沒有鍍膜)室內側表面溫度高 7.9°C，其室外側表面溫度也會高出清玻璃的室外側表面溫度 5.3°C，而 6mm 鍍膜玻璃的室內外側表面溫度差為 4°C。Etzion & Erell (Etzion & Erell, 2000)也指出吸收玻璃在雙層玻璃的內層時其表面溫度會比吸收玻璃在外層時的表面溫度高出大約 5°C。因此在室內塗裝隔熱膜所造成的玻璃表面溫度上升會使得在靠近玻璃外周區的人員對於室內舒適不滿意

度提高，Chaiyapinunt et al.(Chaiyapinunt et al., 2005)指出有貼附隔熱膜的玻璃表面溫度升高所造成的不滿意度(Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD)較沒有貼附隔熱膜者高，其中以雙層玻璃貼附隔熱膜的不滿意度最高。

另外，在 Chaiyapinunt et al. 的研究中有無貼附隔熱膜對於以傳導、對流形式進入室內的熱量沒有顯著影響；但是隔熱膜的光學性能是影響太陽輻射直接進入室內的主要參數。再者，根據玻璃業者所提供之經驗指出，隔熱膜吸收太陽輻射熱量造成之玻璃表面溫度升高會致使玻璃發生自行爆裂之現象。故對於解決 Low-E 玻璃或隔熱膜表面溫度過高的議題上，Rosencrantz et al.(Rosencrantz et al., 2005) 發現將 Hard Low-E 玻璃內外塗附二氧化矽抗反射膜後會增加玻璃的日光與可見光穿透率但會減少玻璃的反射率。Rosencrantz et al. 的研究顯示增加抗反射膜的玻璃雖然會增加少許的 SHGC，但是會降低 Low-E 玻璃表面溫度以及增加室內照度。Takeda et al. (Takeda et al., 2005) 的模擬與實驗結果指出在建築物表面塗上 TiO_2 可以有效改善室內環境溫度與降低空調負荷。He & Hoyano (He & Hoyano, 2006)進一步探討在建築物外牆塗上 TiO_2 並且裝設灑水系統可以使得外牆表面溫度降低 2~7 °C，建築外殼室內平均輻射溫度(Mean Radiant Temperature, MRT)降低 2~6 °C，使得建築物空調負載減少 30~40%。另一方面，2001 年 Pilkington 玻璃公司已經將 TiO_2 奈米光觸媒塗附在玻璃上，並且製造出奈米光觸媒玻璃建材—Activ TM。Mills et al.(Mills et al., 2003)在光觸媒活性(photocatalytic activity)與接觸角實驗中指出 Activ TM 的親水性良好。由上述的文獻調查，吾人可知鍍膜表面

溫度過高的問題已經獲得關注；也已有研究提出將鍍膜面朝向室外側的觀念，甚至利用抗反射膜或 TiO₂ 膜來改善此類問題。

表 1.各國節能玻璃評定制度

	標章名稱	評定等級
美國	Energy Star	核定標章
歐盟	European Window Energy Rating System (EWERS)	A-G 七等級
英國	BFRC Rating System	A-G 七等級
加拿大	Canadian Energy Star	核定標章
澳洲	Window Energy Rating Scheme (WERS)	0~10 顆星(級距：半顆星) <ul style="list-style-type: none"> ■ Heating Star ■ Cooling Star
紐西蘭	Window Efficiency Rating System (WERS)	0~5 顆星(級距：半顆星) <ul style="list-style-type: none"> ■ Heating Star ■ Cooling Star
台灣	高性能節能玻璃綠建材	核定標章

建築節能材料之性能受到諸多影響，如氣候、方位、經緯度、建物中其他材料之表現等等，因此測試時常使用大尺度或實尺度測試，直接將建築節能材料裝置於既有或實驗用建築物上，實際

量測其節能效率。

在美國有相當多的實際案例證實建築物的節能效益，其驗證方式即為大尺度驗證。其中夏季的節能效益可達到 10~30% 範圍(最低到 2%，最高則有 40%)。Konopacki 等人(1998)於夏季每天測量三個加州非住宅建築(兩個醫療辦公室位於戴維斯和吉爾羅伊，和一個零售商店位於聖何塞)之屋頂，其每單位面積之節能成效分別為 67 Wh/m^2 、 39 Wh/m^2 、 4 Wh/m^2 (18%、13%、2%)。假設其太陽能反射率為 0.55，預計一年可節省之用電為(每日節省 \times 一年節省的天數)，則年省能分別為 6.4 kWh/m^2 、 3.7 kWh/m^2 、 0.6 kWh/m^2 (16%、11%、2%)，而尖峰功率需求減少為 3.3 W/m^2 、 2.4 W/m^2 、 1.6 W/m^2 (12%、8%、9%)。Hildebrandt 等人(1998)於夏季每天測量包括一間辦公室、一棟博物館和一間收容所(皆位於加州)之冷屋頂，其每單位面積之節能成效分別為 23 Wh/m^2 、 44 Wh/m^2 、 25 Wh/m^2 (17%、26%、39%)。預估之年省能為 1.3 kWh/m^2 、 2.6 kWh/m^2 、 2.2 kWh/m^2 (假設其太陽能反射率為 0.55)。Konopacki and Akbari(2001)量測位於德州的大型零售量販店於夏季使用節能屋頂可以節能 39 Wh/m^2 (11%) 和降低尖峰功率需求 3.8 Wh/m^2 (14%)，預估之年省能為 6.8 kWh/m^2 (假設其太陽能反射率為 0.55)。Parker 等人(1998a)量測位於佛羅里達州的一所學校於夏季使用冷屋頂可以節能 44 Wh/m^2 (25%) 和降低尖峰功率需求 6 Wh/m^2 (30%)，預估之年省能為 4.7 kWh/m^2 (假設其太陽能反射率為 0.55)。

上述皆為節能建材進行大尺度或實尺度之測試結果，透過此方式能評估該建材實際使用之節能效益。而本研究之節能玻璃亦

為常見之建材，因此將節能玻璃裝設於既有或實驗用建築物上，可評估出玻璃建材之節能效益。

在 Steve DeBusk et al. 研究中針對隔熱膜與 LOW-E 玻璃的隔熱性能及投資回報率比較。因為影響建築物的能耗有眾多的原因，如天氣變化、建築物內的人員和其他電器設備皆會影響能耗，為了更精確的模擬能耗，此研究以電腦模擬(eQUEST DOE-2)作為研究工具。模擬主要分為四個氣候區，分別為美國北部、中北、中南和南部，如圖 4 所示。四個氣候區域之建築物皆相同，窗戶玻璃類型為單層清玻璃、單層灰色玻璃、雙層清玻璃和雙層灰色玻璃。根據試驗顯示，單層清玻璃的反射率及吸收率相當低，只能隔絕掉 19% 的熱，因此清玻璃的隔熱效果非常差。而有色玻璃的隔熱性能比清玻璃優異能隔絕 35-45% 的熱，但隔熱性能只能被歸類為中等，但在貼上隔熱膜後能隔絕 85% 的熱。



圖 4. 美國氣候分區圖

該研究中選擇了一款 LLumar R20 的銀色反射隔熱膜，可見光穿透率為 20%，而選擇此款的原因為 LLumar R20(安裝在 3mm

單層清玻璃能隔絕 81%的熱)的性價比是最高的。LOW-E 玻璃分為 LOW-E³ 及 LOW-E² 兩款,LOW-E³ 多為商業大樓及溫帶氣候使用。LOW-E² 與 LOW-E³ 比較,能隔絕的熱較 LOW-E³ 少,所以多用在中北部及北部區域,因為在北部氣候寒冷對於隔熱需求較不講求。在結論中提到不管在任何氣候區中,在既有玻璃貼覆隔熱膜比重新安裝 LOW-E 玻璃的花費低。安裝隔熱膜成本需要 3 美元/平方英尺,LOW-E 玻璃卻要 40 美元/平方英尺。如果以隔熱膜及 LOW-E 玻璃的安裝費做比較,隔熱膜每花 1 美元能節省的電費為安裝 LOW-E 玻璃的 6.6 倍以上,而正如預期,在南部的效果是最佳的結果,隔熱膜每花 1 美元能節省的電費為安裝 LOW-E 玻璃的 10.2 倍以上;而中南部及中部氣候區為 7.4 倍;北部氣候區為 4.3 倍。

安裝新的 LOW-E 玻璃節能效果也相當好,建築物能平均節省 10%的能耗,但安裝成本過高導致投資報酬率不佳。而以隔熱膜安裝在各氣候區的節省能耗平均為 4.8%,效果最佳的地方依舊是南部氣候區能節省 9.9% 建築能耗。

Breakdown by Climate Zone

		Annual Savings with Upgrade	Cost of Upgrade	Savings per \$ Invested	Ratio Savings per \$ Invested Film vs Windows
Southern	add Silver20 Film	\$29,681	\$147,072	\$0.202	10.16
South/Central	add Silver20 Film	\$26,606	\$147,072	\$0.181	7.40
North/Central	add Silver20 Film	\$19,874	\$147,072	\$0.135	5.51
Northern	add Silver20 Film	\$18,451	\$147,072	\$0.125	4.30
All Climate Zones	add Silver20 Film	\$94,612	\$588,288	\$0.161	6.56
Southern	Low-e3 366	\$38,962	\$1,960,960	\$0.020	
South/Central	Low-e3 366	\$47,965	\$1,960,960	\$0.024	
North/Central	Low-e2 272	\$48,075	\$1,960,960	\$0.025	
Northern	Low-e2 272	\$57,213	\$1,960,960	\$0.029	
All Climate Zones	New Low-e Windows	\$192,215	\$7,843,840	\$0.025	

圖 5.各區能耗比較

在 Chunying Li et al.的研究中,探討隔熱膜在建築物能耗於電腦模擬及實際測試上的差異。在研究中運用 Energy Plus 分析並以

香港氣候做為模擬依據，主要以在商業大樓、購物商場和飯店客房為模擬對象。研究中選擇了 3 款隔熱膜分別為 SF1、SF2 及 SF3。而實際測試為設立一個實驗屋並在實驗過程中置換 3 款隔熱膜並貼附在清玻璃、灰玻璃、雙層清璃及複合玻璃上後量測其玻璃表面溫度。最後結論顯示將清玻璃貼上隔熱膜後的隔熱性能比有色玻璃及複合玻璃更為優異。而最後在研究中發現將隔熱膜運用在商業大樓效果最佳。

貳、研究方法與過程

本研究計畫所採用之方法如下所述：

一、文獻分析

本研究計畫將依照計畫之研究議題，蒐集包含各國節能建材相關文獻資料，並與核能研究所既有技術進行比較分析與歸納整理，作為進一步發展先進且具競爭力節能材料方向之基礎參考。另外，研究團隊將收集節能建材量測標準方法、相關儀器設備規格，與模擬程式 Energy Plus 或其他評估分析工具執行建築物節能改善效益之評估，並提出空調溫度提升人員的熱舒適度指標 PMV (Predicted Mean Vote) 之探討評估。

二、建材對於建築節能效益數值模擬之評估

建築能源數值模擬已經是評估建築物節能效益的有效方法之

一。透過分析比較建築能源模擬軟體計算實驗屋之空調用電情形及實尺寸的實際量測值，以評估建築能源模擬軟體的準確度。這項研究中為了印證比對各種建築能源模擬軟體的最佳表現(準確度)，分別建立與實尺寸實驗屋等比例的電腦數值模擬模型來模擬其空調用電情況。在實驗案例中，實驗屋位於台灣某地，氣象資料來自對於該地區在過去 10 年（2002-2012;中央氣象局，台灣）的平均天氣數據。計算模擬控制的因素包括太陽方位角、建築物位置、太陽輻射的分佈、溫度變化、建築材料光學及熱學參數、空調設定溫度和地熱對於實驗屋的影響等等。實驗屋的 BIM 模型如圖 6 所示。電腦數值模擬軟體規格為 Design Builder；硬體規格為 CPU: Intel i7-4790 3.6GHz，RAM: 16GB，顯示卡：Nvidia Quadro K620。

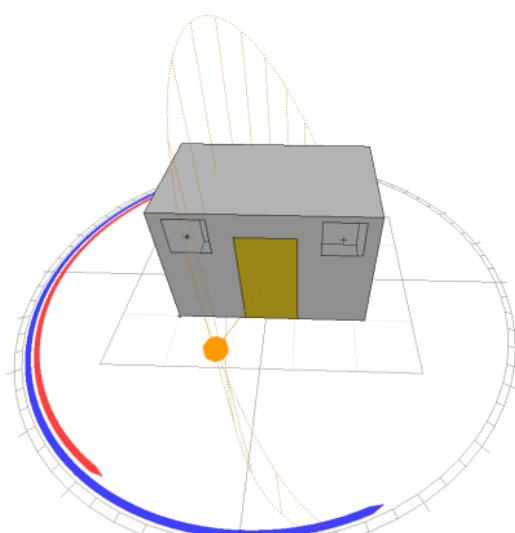


圖 6.實驗屋的 BIM 模型

能源模擬軟體執行步驟如下:

- (一) 本研究擬依任務特性選用 Design Builders 能耗模擬軟體。
- (二) 將待測建築物直接以軟體進行描繪建置電腦模型。
- (三) 設定電腦模擬進行之條件(與實尺寸實驗設定條件相同), 採用實驗所得數據做為模擬參數。
- (四) 擷取中央氣象局建立之氣象資料TMY3作為模擬之氣候依據, 並選定代表城市藉以分析熱得、空調耗電估計等。本建築能源模擬結果與實際數據比較之相關工作流程圖如下所示。

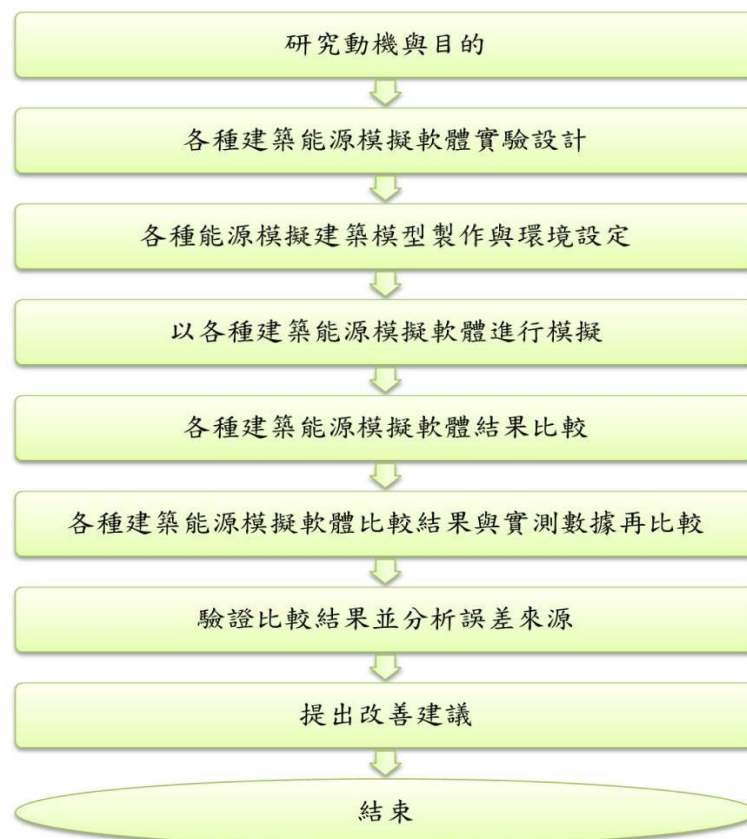


圖 7.建築能源模擬結果與實際數據比較之工作流程圖

三、實驗量測法

本工作項目是利用成功大學新建 4 座大開窗(2.0m*1.5m)實驗屋(外部尺寸:長 3.0m*寬 2.0m*高 2.7m)及兩座小開窗(0.6m*0.6m, 兩個)實驗屋(外部尺寸:長 2.6m* 寬 1.6m*高 2.1m)進行建築節能效益之全尺寸實驗, 研究團隊將所開發出的節能建材安裝在一實驗屋上, 另外對照組實驗屋則安裝一般建材, 透過室內環境溫溼度控制, 逐時記錄實驗屋的用電量、建材室內外表面溫度以及日照量等環境氣象資料, 藉此評估核能研究所與研究團隊所共同開發之節能建材的節能效益改善情況及改變空調溫度對於人員的熱舒適度指標 PMV(Predicted Mean Vote)之影響。

實驗屋設計包含窗戶玻璃、地板、牆板、屋頂水泥等建材, 以及量測設備如熱電偶、溫濕度計、瓦時計、光照計、熱像儀、熱流計及數據量測之介面與遠端控制監測系統等。



圖 8.熱像儀(NEC TVS-200EX)



圖 9.熱流計(Heat Flux Plate LM-SS)



圖 10.光照計



圖 11.瓦時計



圖 12.溫濕度計

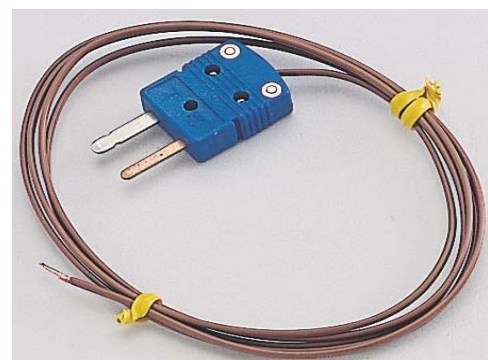


圖 13.熱電偶

- 熱像儀(型號:NEC TVS-200EX):

紅外線熱影像儀器係運用光電技術，以偵測物體熱幅射之特定紅外線波段訊號，將該訊號轉換成可供人類視覺辨視之影像圖形，並可進一步計算出溫度值。這種技術讓人類可以超越視覺障礙，「看得到」物體表面之溫度分佈情形。

本研究計畫實驗組及對照組之牆體材料皆為冷凍庫板，在測試前皆檢查牆體有無熱橋產生，以免影響實驗結果。

- 瓦時計(型號:EMWWH-AABBDANF)

瓦時計是為了記錄安裝不同試件時所產生的空調能耗。

- 溫濕度計(型號:HTS - 801 W/A)

溫濕度計主要量測實驗屋內部溫濕度變化。

- 熱電偶

熱電偶 TYPE T 構造為高純度銅及銅鎳合金，本研究計畫將熱電偶貼於試件對應之內外側，以量測其對應點之溫差。(其量測範圍及誤差值為 $-16\sim 400^{\circ}\text{C}$ 及 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)

設定實驗進行之條件(與電腦模擬設定條件相同):空調溫度設定依實驗需要調整，空調運作時間設定為每天 8:00~18:00。設置遠端控制系統透過無線網路對實驗屋進行控制及監測。試驗件之清玻璃為 5mm 厚度。

正式實驗前必須先進行空白實驗校正確保所有實驗屋的誤差值降到最低，以及使用熱像儀檢查實驗屋結構確認有無熱橋產生。為避免實驗變因過多影響實驗精度，實驗屋皆以水泥柱架高離地 30 公分以減少地熱對於實驗屋的影響。

進行實驗前之數據量測(空白實驗):控制實驗條件實驗組及對照組相同。進行所有實驗屋的空白實驗-以減少系統誤差(將儀器校正、進行空白試驗扣除誤差等)以提高準確度和精確度。本實驗的固定誤差來自於包含空調機電系統及實驗屋結構本身造成的差異，其固定

誤差為本空白實驗所要求之目的。從空白實驗之用電量量測結果將得到每日的累積誤差值。此累積誤差量即為本系統的固定誤差，為得到更精確的實驗結果，必須先選定一座實驗屋設定為標準實驗屋，標準實驗屋之空白實驗之用電量量測結果為基準值，其他實驗屋之量測數據皆須先扣除基準值取得其個別實驗屋的固定誤差。所有量測數據皆須先扣除其系統的固定誤差。

正式實驗時分為實驗組及對照組，對照組之試驗件以清玻璃為基準值，實驗組之試驗件則分別以 TYPE A 隔熱膜加上清玻璃、3M 隔熱膜加上清玻璃、i999 隔熱膜加上清玻璃、LOW-E 玻璃等。並使用熱像儀及熱流計檢查實驗屋以確定實驗組及對照組之條件相同並且無熱橋產生，實驗期間若發生颱風導致結構破壞而產生熱橋則不計入實驗有效期間。實驗前須以溫度監控設備校正實驗屋之溫控裝置，並進行空調設定輸出之校正，如圖 14、15 所示。

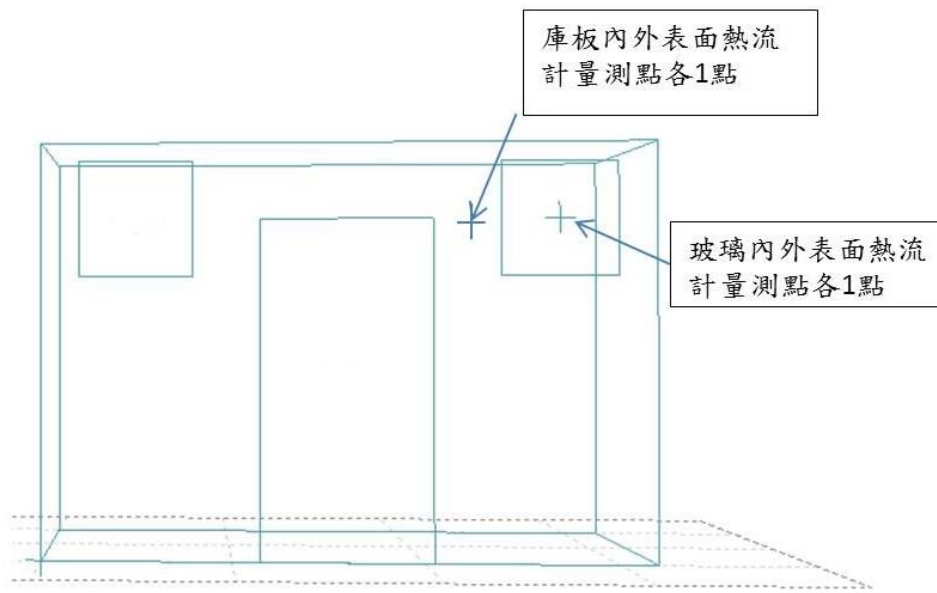
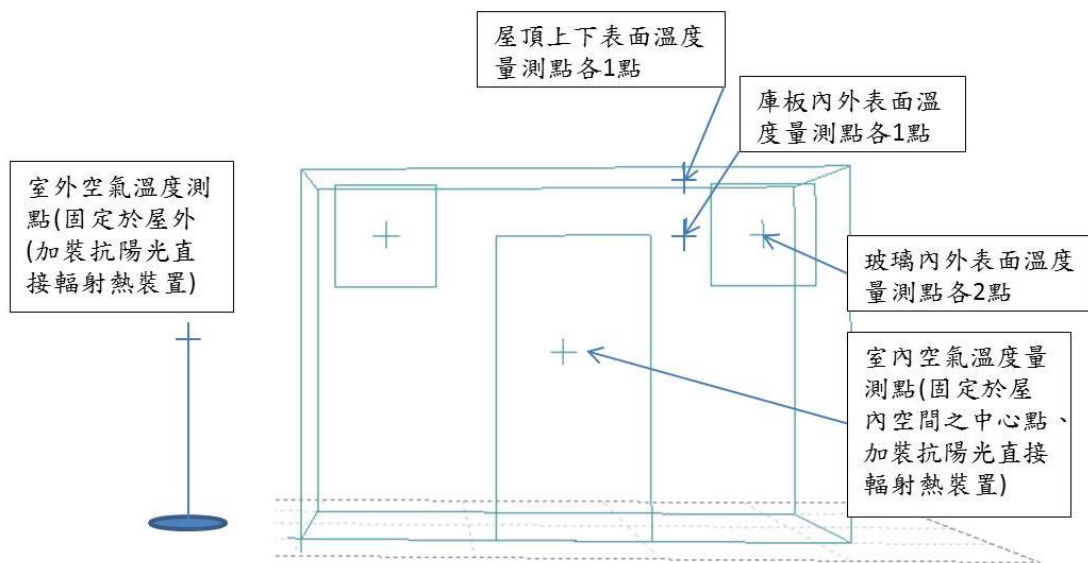


圖14.熱流計量測點



圖

15.溫度量測點設計

四、溫熱環境的評估指標

「溫熱環境的評估指標」為有效地綜合評估人體對周遭環境之舒適感受度及此「舒適」之感覺與空間物理量的關係。熱環境

指標中當推 PMV 指標為最完備，並已列入國際標準之列。由於影響人體溫熱舒適度的決定因子十分複雜，不但有生理因素更包括心理因素。丹麥學者 P.O. Fanger 將 1300 位左右的人，置於「人工控制熱環境實驗室」中進行實驗，將其心理量依氣溫、濕度、氣流、著衣量及工作強度等物理量進行統計分析，以找尋舒適與不快之範圍，以便進一步確立 PMV 與 PPD 之評估指標。以下針對 PMV 與 PPD 指標予以詳述：

- PMV(Predicted Mean Vote) 意旨「預測的平均回答值」，是運用統計方法得出人體感覺與環境等，六個量的定量函數關係。關係式如下。

$$PMV = (0.303 \exp(-0.036M) + 0.028) \times \{ (M - W) - 3.05[5.73 - 0.007(M - W) - Pa] - 0.42[(M - W) - 58.15] - 0.0173M(5.87 - Pa) + 0.0014M(34 - ta) - 3.96^{-8} \times fcl \times [(tcl + 273)^4 - (MRT + 273)^4] - fcl \times hc \times (tcl - ta) \}$$

tcl ：衣服表面溫度 (°C)

$$tcl = 35.7 - 0.0275(M - W) - 0.155 \times lcl \times \{ 3.96 \times 10^{-8} \times fcl \times [(tcl + 273)^4 - (MRT + 273)^4] - fcl \times hc \times (tcl - ta) \}$$

fcl ：著衣時表面積 (A_{cl}) / 裸體時表面積 (A_d)

$$fcl = 1.00 + 0.2lcl, \text{ 當 } lcl < 0.5clo$$

$$= 1.05 + 0.1lcl, \text{ 當 } lcl > 0.5clo$$

hc ：對流熱傳遞率 ($W / (m^2K)$)

$$hc = 2.38 \times (tcl - ta)^{0.25}, \text{ 當 } 2.38 \times (tcl - ta)^{0.25} > 12.1 \sqrt{V}$$

$$=12.1\sqrt{V}，當 2.38\times(t_{cl}-t_a)0.25 < 12.1\sqrt{V}$$

M ：代謝量 (W/m^2)

W ：外部工作強度 (W/m^2)，對大部分的代謝量均可設為 0

l_{cl} ：衣服的热阻 (clo)， $1\text{clo}=0.155\text{m}^2\text{K/W}$

t_a ：空氣溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

P_a ：水蒸氣分壓 (Kpa)

MRT ：平均輻射溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

V ：風速 (m/s)

● PPD 指標

原文為 Predicted Percentage Dissatisfied，意為「預測不滿意百分比」，為人們不滿意度之評估指標。其數學關係式如下所示：

$$PPD=100-95\exp[-(0.03353PMV^4+0.2179PMV^2)]$$

然後，把 PMV 值按人的熱感覺分成很炎熱、暖、稍暖、舒適、稍涼、涼、冷七個等級，並通過大量試驗獲得感到不滿意等級的熱感覺人數佔全部人數的百分比 PPD，畫出 PMV-PPD 曲線如圖 16 所示。使用 PMV-PPD 曲線，可以獲得不同著裝、從事不同工作的人在不同熱環境中的熱感覺。國際標準化組織 ISO 7730 (12-15-1994) 已規定 PMV：-0.5~0.5 範圍內為室內熱舒適指標。

表 2. PMV 不同數值所代表的意義

PMV	意義
+3	炎熱 Hot
+2	暖 Warm
+1	稍暖 Slightly warm
0	舒適 Neutral
-1	稍涼 Slightly cool
-2	涼 Cool
-3	冷 Cold

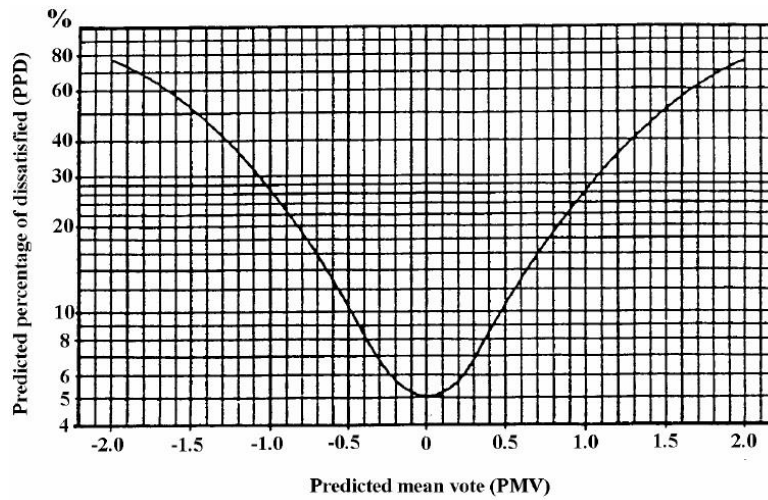


圖 16.PMV-PPD 曲線

五、計畫相關工作流程及進度

本研究計畫之相關工作流程及進度如下列圖表所示

表 3. 預定進度

工作項目	年月												備註
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
選擇合適的評估場地及隔熱建材	■	■	■	■	■	■	■						
擬定實驗方式及評估準則				■	■	■	■						
電腦模擬				■	■	■	■	■	■	■	■	■	
執行節能實驗之效益驗證評估						■	■	■	■	■	■		
提出節能的成本效益及面臨困難的解決方案							■	■	■	■	■		
成果論文發表											■	■	
報告撰寫											■	■	
工作進度估計百分比 (累積數)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	65%	70%	75%	80%	90%	100%	

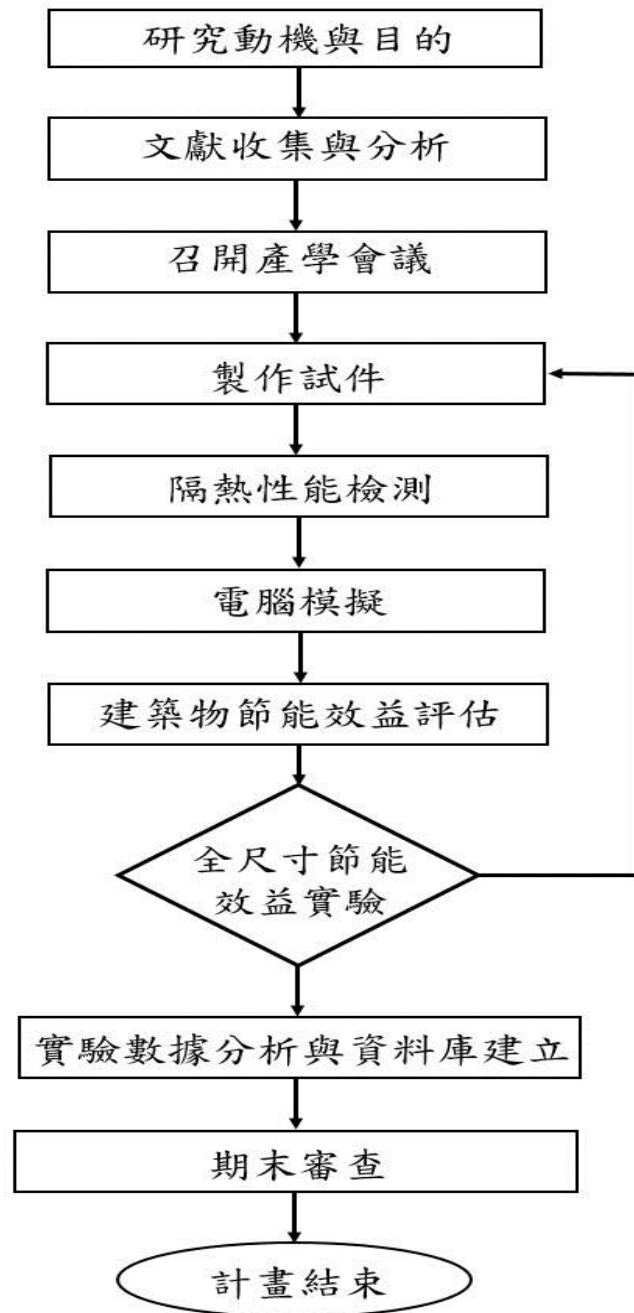


圖 17.計畫流程圖

六、選擇合適的實驗場地

本年度計畫已擴建全尺度實驗屋 4 座，共計 6 座實驗屋為滿足計畫之需求。研究團隊選定高雄市湖內區田尾社區之私人農地作為實驗場地，其原因在於本場地為空曠、無遮蔭且無被外力破壞之虞；最重要的是可以供應穩定的電力與架設網路。本實驗場所地址是高雄市湖內區民權路 244 巷 18 弄 125 號，實地場景如圖 18-20 所示。



圖 18.高雄市湖內區實驗場所照片



圖 19.面向正西之 3D 實驗屋建築與衛星空拍合成圖



圖 20.實驗屋建築西照光影與衛星空拍合成圖

- Ecotect 日照模擬實驗屋

本研究採用 Autodesk 公司發展的 Ecotect 軟體，實驗初期受測的建築物直接以 Ecotect 軟體進行描繪建置模型的工作，同時分析日

照，並研擬實驗屋擺放位置。實驗屋之設計規劃如下：

1. 設置實驗屋 6 座，於其正西方向開窗 60cm*60cm 及 150cm*200cm 兩種方式，其中 4 座大開窗屋為新設實驗屋。小實驗屋之尺寸為 2.6m*1.6m*2.1m；大實驗屋之尺寸為 3m*2m*2.7m。實驗屋擺置以開窗位置不受周圍陰影遮擋日照為原則，如圖 21 所示。

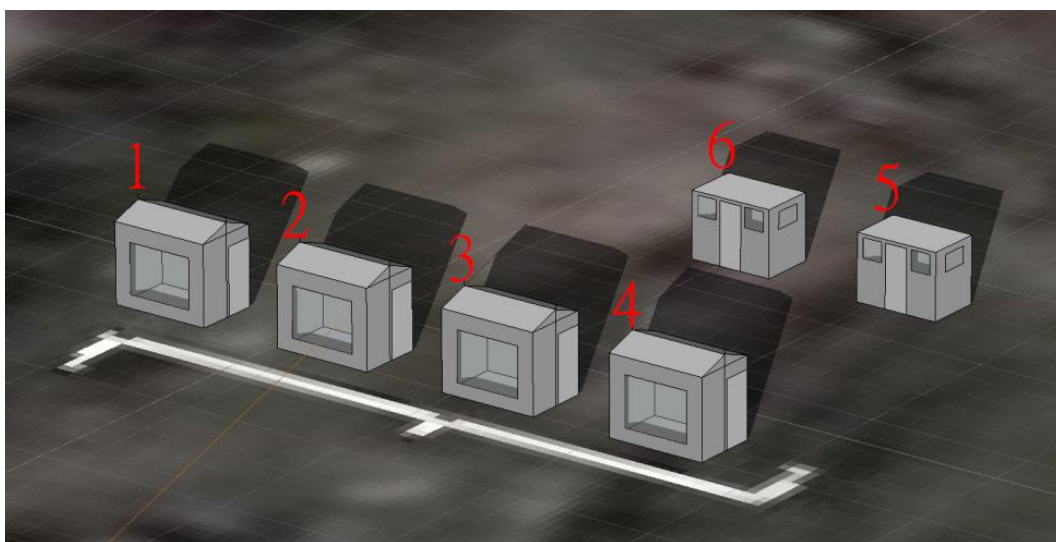


圖 21.日照模擬實驗屋 6 座之近照圖

2. 空調機電設備置於屋外，以不遮住實驗屋之日照為原則。先以 Ecotect 模擬 6 座實驗屋之日照；後再進行實驗屋位置擺設，使 6 座實驗屋之日照量相同。實驗屋之 Ecotect 日照模擬如下圖：

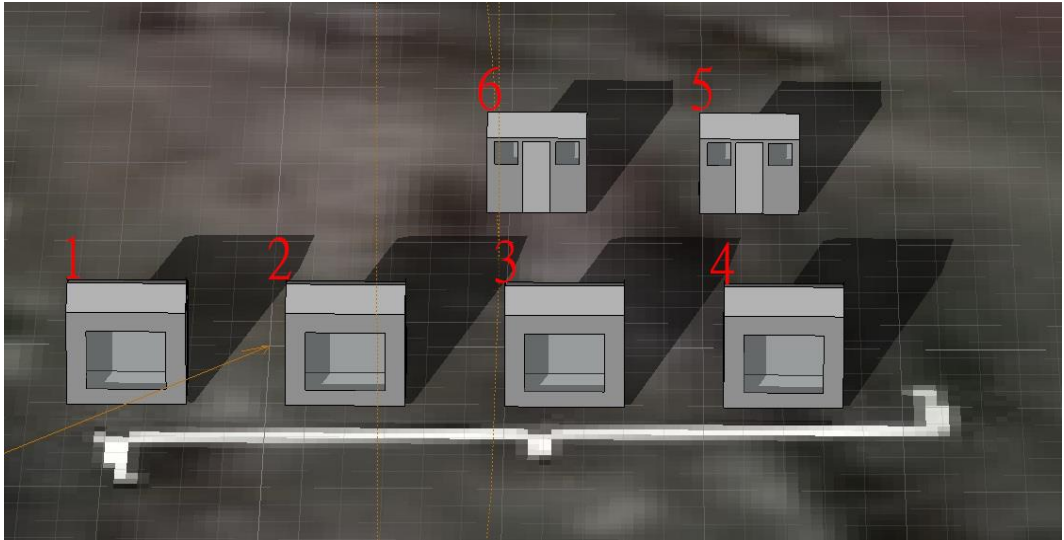


圖 22.夏天下午 5 點半之前日照模擬



圖 23.冬天下午 5 點日照模擬



圖 24.夏日-全時陰影圖



圖 25.冬日-全時陰影圖

七、實驗設計

● 選擇合適的隔熱建材

本研究選擇的實驗材料為清玻璃、LOW-E 玻璃、清玻璃貼附 3M 隔熱膜、清玻璃貼附 i999 隔熱膜、清玻璃貼附 TYPE-A 隔熱膜等，並選取兩種屋頂材料作為本研究的實驗材。

實驗建築主體有 2 種型式的屋頂，分別為斜屋頂與平屋頂；於材質種類上，又分為鐵皮與水泥兩種；其中 1~4 號實驗屋為鐵皮斜屋頂，5~6 號實驗屋為水泥平屋頂。

● 實驗配置方式

本研究實驗建築主體為 6 座實驗屋，共約 5 種窗戶材料作為研究採用的實驗材料，同時可量測空調耗電、熱舒適度指標 PMV 估計等，實驗配置如表 4 所示。

表 4 中 1~4 號實驗屋為鐵皮斜屋頂(以黃色表示)，主要是探討屋頂及窗戶材料對於空調耗電與熱舒適度指標 PMV 之影響。實驗材料為清玻璃、LOW-E 玻璃、清玻璃貼附 3M 隔熱膜、清玻璃貼附 i999 隔熱膜、清玻璃貼附 TYPE-A 隔熱膜。1~4 號實驗屋可以探討不同玻璃對於空調耗能之影響；1 與 2 號實驗屋在 9~12 月可以探討隔熱屋頂之節能效益。

表 4 中 5、6 號 2 座實驗屋為水泥平屋頂(以綠色表示)，主要是探討空調開啟溫度對於耗電量與熱舒適度指標 PMV 之影響，

實驗材料為清玻璃貼 TYPE-A 隔熱膜及清玻璃兩種。

表 4. 實驗配置表

	1 號(鐵皮 斜屋頂)	2 號(隔熱 斜屋頂)	3 號(隔熱 斜屋頂)	4 號(隔熱 斜屋頂)	5 號(水泥 平屋頂)	6 號(水泥 平屋頂)
空白實驗	清玻璃	清玻璃	LOW-E 玻璃	清玻璃	清玻璃 (26°C)	清玻璃 (26°C)
9 月	清玻璃	清玻璃	LOW-E 玻璃	清玻璃 +TYPE-A	清玻璃 (26°C)	TYPE-A (26°C)
10 月	清玻璃	清玻璃	LOW-E 玻璃	清玻璃 +TYPE-A	清玻璃 (26°C)	TYPE-A (27°C)
11 月	清玻璃 +TYPE-A	清玻璃 +3M	清玻璃 +i999	清玻璃 +TYPE-A	清玻璃 (26°C)	TYPE-A (28°C)
12 月	清玻璃 +TYPE-A	清玻璃 +3M	清玻璃 +i999	清玻璃 +TYPE-A	清玻璃 (26°C)	TYPE-A (28°C)

● 實驗屋設置過程

本計劃於 2 月開始籌備，歷經實驗場地選址、實驗屋載運、設備進駐等多項工作項目，並於 7 月完成實驗屋之設置，以下為實驗屋設置之記錄照片。



圖 26.實驗屋所選之空地



圖 27.量測方位



圖 28.組裝完成之實驗屋(外部)



圖 29.組裝完成之實驗屋(內部)



圖 30.實驗屋現場吊掛(一)



圖 31.實驗屋現場吊掛(二)



圖 32.實驗屋室內牆體安裝隔熱毯(一)



圖 33.實驗屋室內牆體安裝隔熱毯(二)



圖 34.工程師安裝設備及配線



圖 35.實驗屋施工完成(一)



圖 36.實驗屋施工完成(二)

在實驗屋設置完成後，本研究單位以熱像儀測試實驗屋表面及結構上是否有漏洞，以避免冷氣漏氣等現象。



圖 37.實驗屋 5 號、6 號外觀



圖 38.實驗屋 5 號、6 號外觀 (熱像)



圖 39.實驗屋 1~4 號外觀

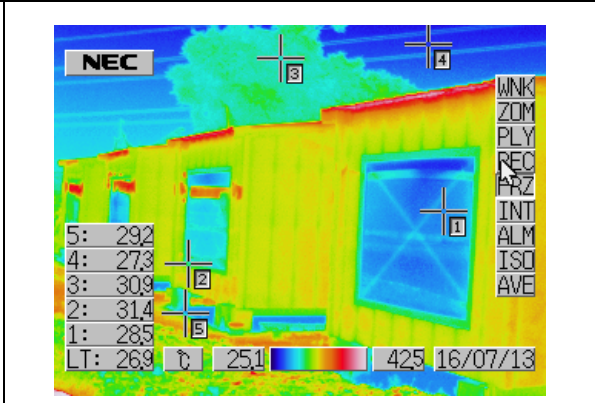


圖 40.實驗屋 1~4 號外觀(熱像)



圖 41.實驗屋內待修情況(一)

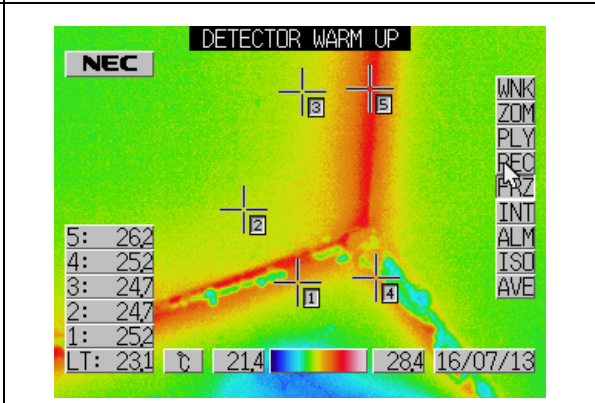

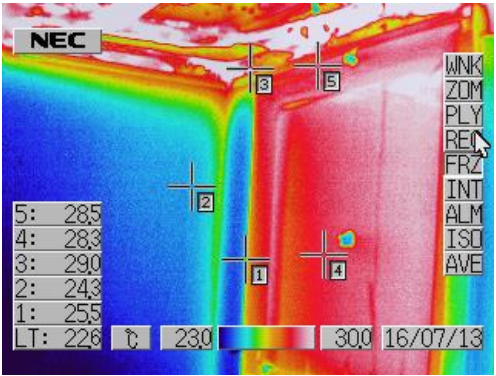

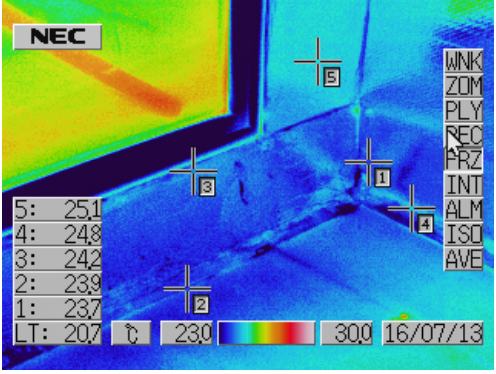


圖 42.實驗屋內待修情況(熱像，一)

	
<p>圖 43.實驗屋內部待修情況(二)</p>	<p>圖 44.實驗屋內部待修情況(熱像，二)</p>
	
<p>圖 45 實驗屋內部完善情況(三)</p>	<p>圖 46.實驗屋內部完善情況(熱像，三)</p>

本研究團隊於設置過程中遭逢颱風來襲，事前加強實驗屋之結構強度，以避免天然災害而造成不必要之損失。



	
<p>圖 47.用膠帶強化玻璃，地板加塗防水漆</p>	<p>圖 48.利用膠帶強化玻璃</p>



圖 49.加強地基



圖 50.實驗屋底座加裝水泥桶加強載重



圖 51.地基焊接

參、主要發現與結論

一、軟體模擬能耗分析

主要探討電腦能耗模擬軟體分析，透過分析比較建築能源模擬軟體計算出的實驗屋之空調用電情形及實尺寸的實驗屋實際量測值，評估建築能源模擬軟體的準確度。

● 模擬實驗屋之材質參數設定

此步驟主要是針對數值模型輸入各類構件熱傳導計算參數，如表 5 所示，窗戶熱傳導參數如表 6 所示。

表 5. 外牆熱傳導計算參數表

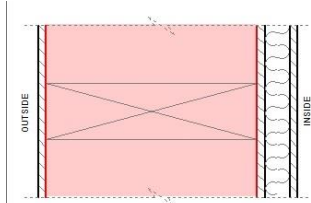
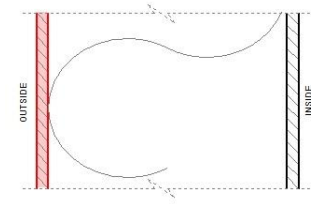
		厚度 (cm)	密度 (kg/m ³)	比熱容 (J/kg-K)	熱傳導 係數 (w/m-k)	總熱傳 透率 U 值 (w/m ² -k)	構造示意圖
斜屋頂實驗屋外牆	不鏽鋼板	0.3	7800.0	480	65.00	0.58	
	空氣層	8.5	1.3	1004	5.56		
	鋁	0.2	2700.0	880	230.11		
	氣泡布層	1.0	100.0	1130	0.035		
	鋁	0.2	2700.0	880	230.11		
斜屋頂實驗屋外牆	不鏽鋼板	0.3	7800.0	480	65.00	0.25	
	PU	6.0	38.0	1130	45		
	不鏽鋼板	0.3	7800.0	480	45.00		

表 6. 窗戶熱傳導計算參數表

窗戶類型 參數	鋁窗，10mm 單層清玻璃	TYPE-A+ 清玻璃	3M+ 清玻璃	i999 玻璃+ 清玻璃
可見光透過率 (%)	86	73.93	67.70	74.12
日射取得係數 SHGC(%)	78	46.06	53.28	55.41
總熱傳透率 U 值 (w/m ² .k)	5.73	5.73	5.73	5.73

表 7. 室內發熱量及空調運行設定溫度

空間別		有空調區域(停車場、機房除外)
參數		
室內人員數(m ² /人)		0
室內人員發熱量(w/person)		0
設備熱發量(w/m ²)		0
空調設定溫度(°C)	冷房	26
	暖房	18
間隙風滲透率(ach)		0

表 8. 人員與設備運行時間表

時間 運行狀態		00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
		人員、設備與照明	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
空調	工作日	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	
	假日	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	

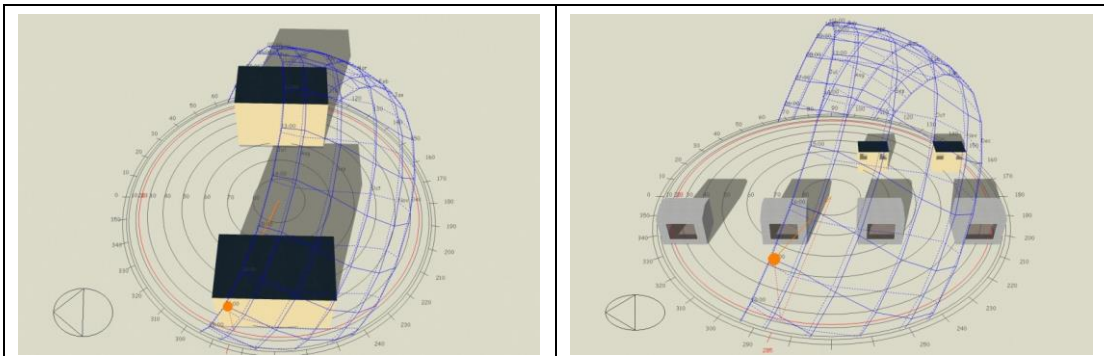


圖 52. 2015 年空調模擬實驗場地 圖 53. 2016 年空調模擬實驗場地

備註:如圖 52 及 53 中可看出當實驗屋的配置不同，亦造成實驗條件誤差。

● 年度空調負荷量模擬計算結果

表 9~10 為去年及今年空調負荷量模擬計算分析結果之比較，去年及今年空調負荷量模擬計算條件的主要差異為窗戶面向方位，由去年的面向東改為今年的面向西，而地點從台中移至高雄，為使實驗更精確，除了全面修繕先前置放於台中之兩座水泥平屋頂實驗屋外，今年採用了六部全新的冷氣機，冷氣機效能也從去年的 COP 值 1.67 提昇到今年的 COP 值 4.58，去年及今年空調負荷量模擬計算分析結果如預期地在耗電量上有大幅的降低。例如將去年 COP 值 1.67 與今年 COP 值 4.58 的冷氣機分別安裝於一般清玻璃實驗屋之耗電量，經分析結果後各為 452.88(kWh/year)及 350.11(kWh/year)，顯示出 COP 值 4.58 之冷氣機更為省電。

表 9 能耗比欄位中，以 5mm 清玻璃的值為標準值與其它玻璃比較後得知，節能效果最佳的玻璃為 TYPE-A 隔熱膜+5mm 清玻璃，其它依序為 TYPE-B 隔熱膜+5mm 清玻璃、3M 隔熱膜+5mm 清玻璃、i999 隔熱膜+5mm 清玻璃、5mm 清玻璃。

表 9. Design Builder 年空調負荷量模擬(台中，水泥平屋頂)

測試項目	空調溫度 (°C)	空調負荷量 (kWh/year)	能耗比
TYPE-A+5mm 清玻	26	362.82	0.80
TYPE-B+5mm 清玻	26	366.37	0.80
5mm 清玻	26	452.88	1.00
i999+5mm 清玻	26	391.80	0.86
3M+5mm 清玻	26	368.78	0.81

表 10 能耗比欄位中，以 5mm 清玻璃的值為標準值與之比較後，得知採用 5mm 清玻璃之實驗屋，當室內空氣溫度每上升 1°C 約可減少 9%用電量，採用 TYPE A 隔熱膜+5mm 清玻璃之實驗屋，每上升 1°C 約可減少 6~7 %用電量，而節能效果最佳為採用 TYPE A 隔熱膜+5mm 清玻璃之實驗屋。以高雄兩座水泥平屋頂實驗屋作為假設，分別採用 5mm 清玻璃和 TYPE-A 隔熱膜+5mm 清玻璃

並將空調溫度皆設置為 26°C 之條件下，經分析後得知採用 TYPE-A 隔熱膜+5mm 清玻璃的實驗屋，節能效果可達約 31%。

表 10. Design Builder 年空調負荷量模擬(高雄，水泥平屋頂)

測試項目	空調溫度 (°C)	空調負荷量 (kWh/year)	能耗比
5mm 清玻	26	350.11	1.00
TYPE A+5mm 清玻	26	243.29	0.69
5mm 清玻	27	318.76	0.91
TYPE A+5mm 清玻	27	218.02	0.62
TYPE A+5mm 清玻	28	194.06	0.55

表 11 屋頂隔熱能耗比欄位中，以一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋之空調負荷量為標準值與加裝鋁隔熱毯實驗屋的空調負荷量相互比較，經分析後可得知一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋的空調負荷量較大，差距最大為 TYPE A 隔熱膜+5mm 清玻璃之實驗屋，其有加裝鋁隔熱毯實驗屋的能耗比為 0.59，可節省耗電量約 41%。而屋頂隔熱能耗比相差越小表示空調負荷量可節省之耗電量亦愈少。可發現屋頂隔熱與玻璃窗隔熱的節電效果有相輔相成的作用。

表 11 玻璃隔熱能耗比欄位中以加裝鋁隔熱毯實驗屋，分別採

用 5mm 清玻璃及 TYPE A 隔熱膜+5mm 做比較，並以 5mm 清玻璃作為基準值，經分析後得知採用 TYPE A 隔熱膜+5mm 之實驗屋可節省 26%的耗電量。再比較一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋，分別採用 TYPE A 隔熱膜+5mm 及 5mm 清玻璃，並以 5mm 清玻璃作為基準值，經分析後耗電量僅能節省 15%。縱觀以上模擬結果，可驗證得之，於一般鐵皮隔熱屋頂加裝鋁隔熱毯，能使省電效果更為顯著。

表 11. Design Builder 年空調負荷量模擬(高雄，隔熱斜屋頂)

編號	測試項目	空調溫度 (°C)	空調負荷量 (kWh/year)		屋頂隔熱能耗比		玻璃隔熱能耗比	
			有屋頂隔熱	無屋頂隔熱	有屋頂隔熱	無屋頂隔熱	有屋頂隔熱	無屋頂隔熱
1	5mm 清玻	26	641.10	940.51	0.68	1	1	1
2	3M+5mm 清玻	26	530.47	850.74	0.62	1	0.82	0.90
3	LOW-E 玻璃	26	619.22	798.03	0.66	1	0.96	0.98
4	TYPE A+5mm 清玻	26	479.60	807.38	0.59	1	0.74	0.85
5	i999+5mm 清玻	26	525.48	852.31	0.62	1	0.82	0.90

二、全尺寸實際量測

本章節主要探討在不同條件(空調設定溫度、玻璃材質、加裝隔熱材)情況下，對於實驗屋之能耗影響。

(一) 空白試驗

本團隊在進行正式測試前，先進行空白試驗，以獲得實驗誤差。實驗屋 2、4 號為測試條件相同之第二代斜屋頂實驗屋，而第 5、6 號為測試條件相同之第一代平屋頂實驗屋。室內外牆體表面溫度分別如圖 54、55 所示。2、4 號實驗屋監測室內牆體表面溫度差最大為 6.6°C ，平均為 0.81°C ；2 與 4 號實驗屋室內外牆體平均表面溫差分別為 6.5°C 與 6.7°C 。5、6 號實驗屋監測室內牆體表面溫度差平均僅 0.3°C ；5 與 6 號實驗屋室內外牆體平均表面溫差分別為 4.7°C 與 4.0°C 。5 號與 6 號實驗屋的日耗電量僅相差 0.15 kWh 。2 號與 4 號實驗屋對照組之耗電量相差 0.02 kWh 。

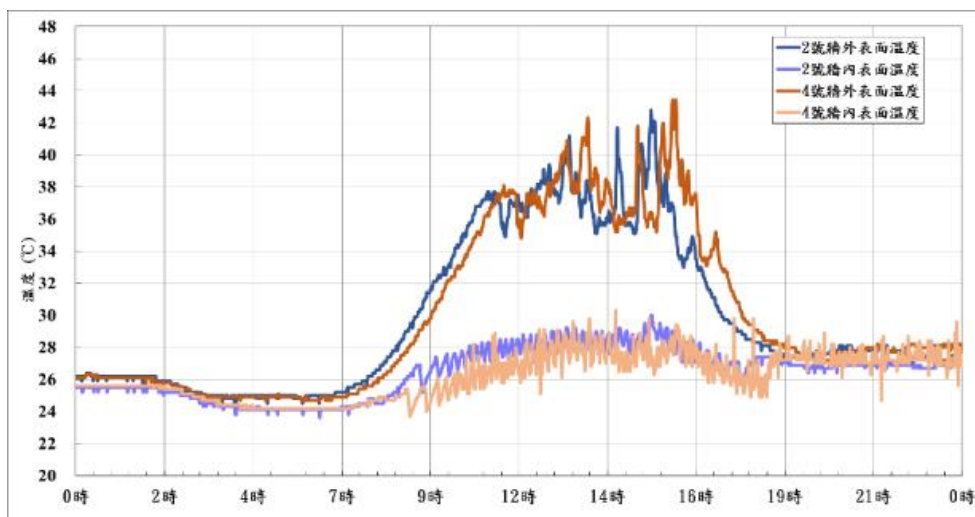


圖 54. 2、4 號實驗屋室內外牆體表面溫度

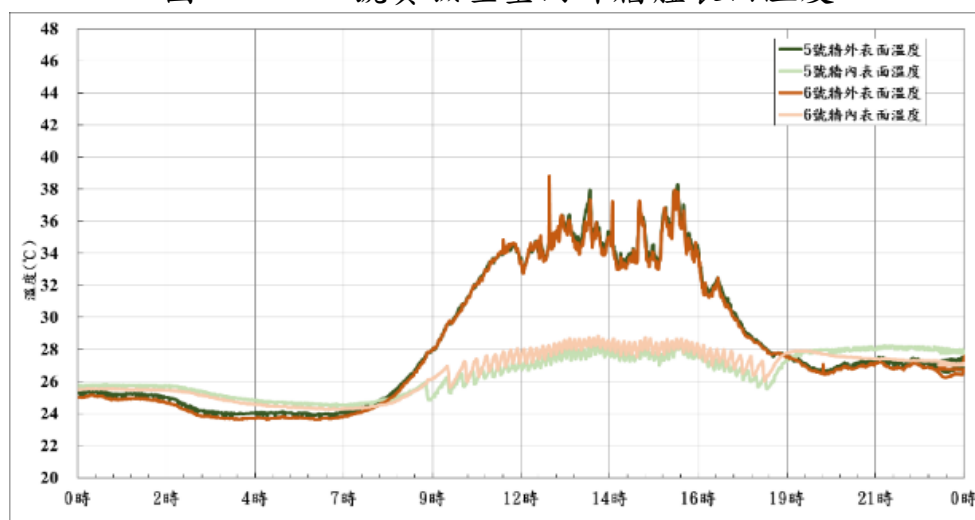


圖 55. 5、6 號實驗屋室內外牆體表面溫度

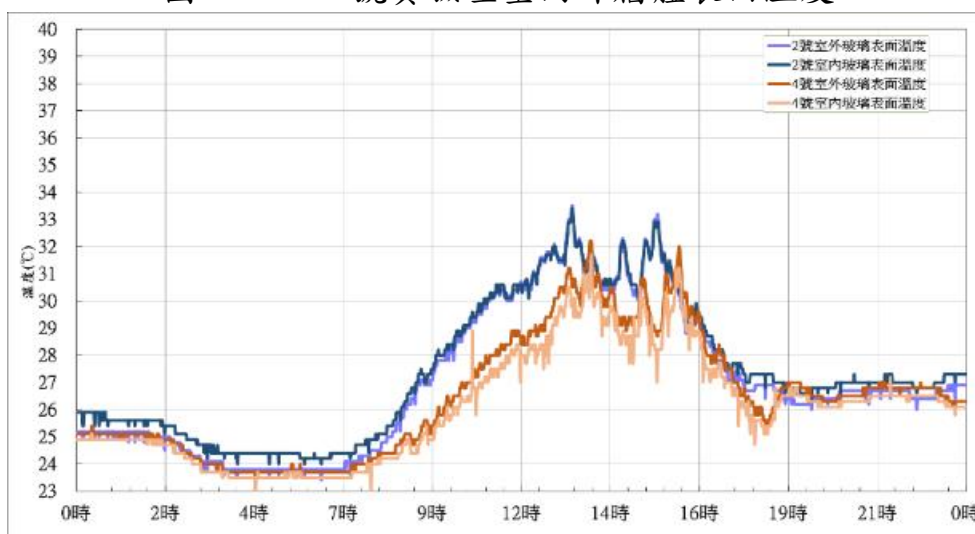


圖 56. 2、4 號實驗屋室內外玻璃表面溫度

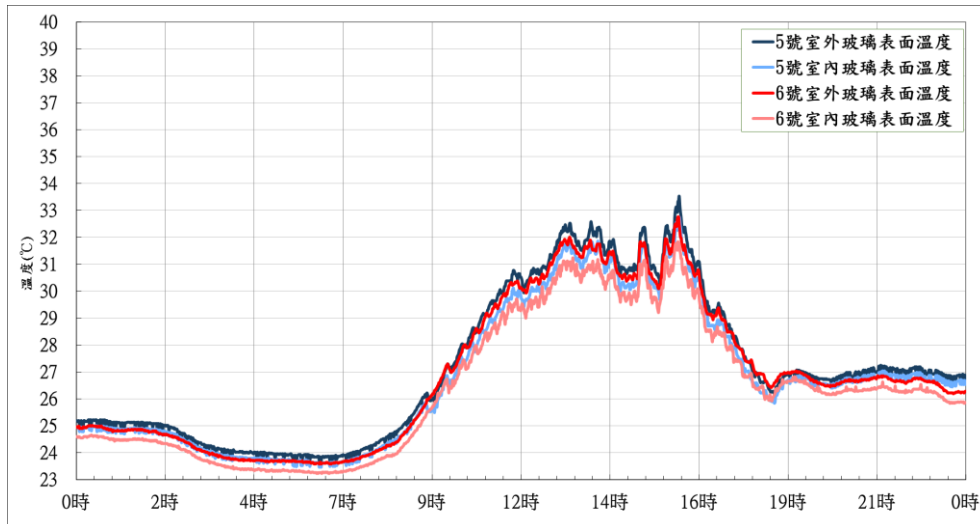


圖 57.5、6 號實驗屋室內外側玻璃表面溫度

(二) 不同屋頂之空調耗電量與熱環境評估

本計畫首先探討不同屋頂構造對於空調節能之影響。圖 58 為屋頂採用一般鐵皮隔熱屋頂與加裝鋁隔熱毯之空調耗電結果。實驗結果顯示，加裝鋁隔熱毯實驗屋之屋頂成為雙層屋頂構造，U 值降低為 $0.68\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$ ，故實驗期間的空調平均耗電量節省 30%。再者，由圖 59、60 之室內空氣溫度與屋頂室內表面溫度日分布曲線得知，在空調開啟期間(08:00~18:00)，兩者室內空氣溫度接近空調設定溫度(26°C)，但是加裝鋁隔熱毯實驗屋的室內表面溫度比一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋低，代表鋁隔熱毯具有良好的日間隔熱效果。而在空調關閉期間，加裝鋁隔熱毯實驗屋的室內空氣溫度明顯比一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋高，則是顯示鋁隔熱毯具有夜間保溫的效果。

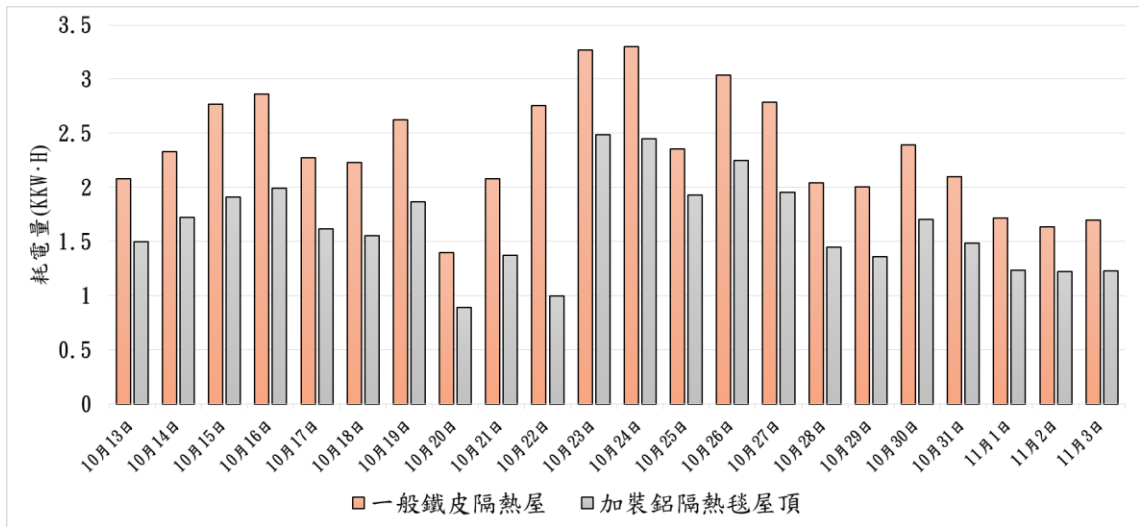


圖 58.一般鐵皮隔熱屋與加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋耗電量比較

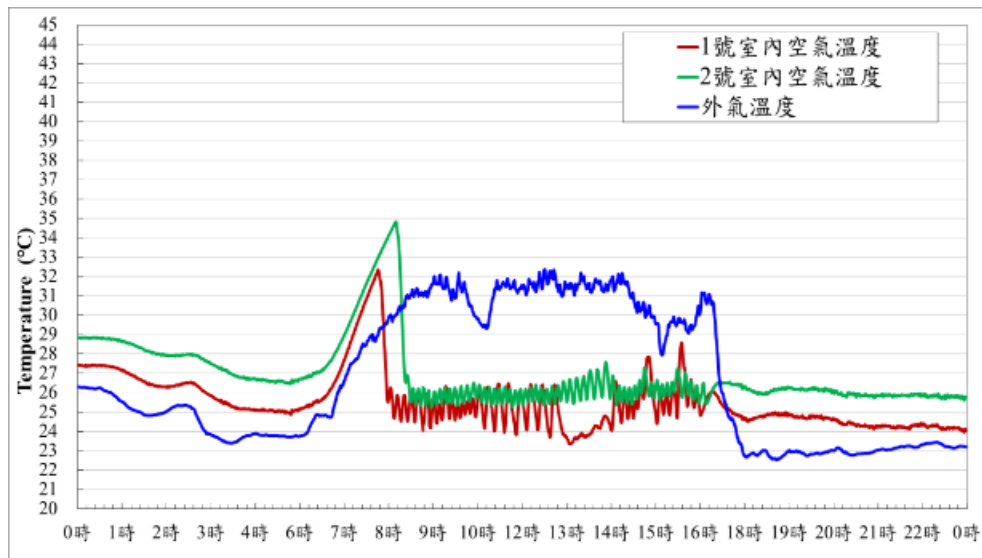


圖 59. 1、2 號實驗屋之室內空氣溫度日分布曲線

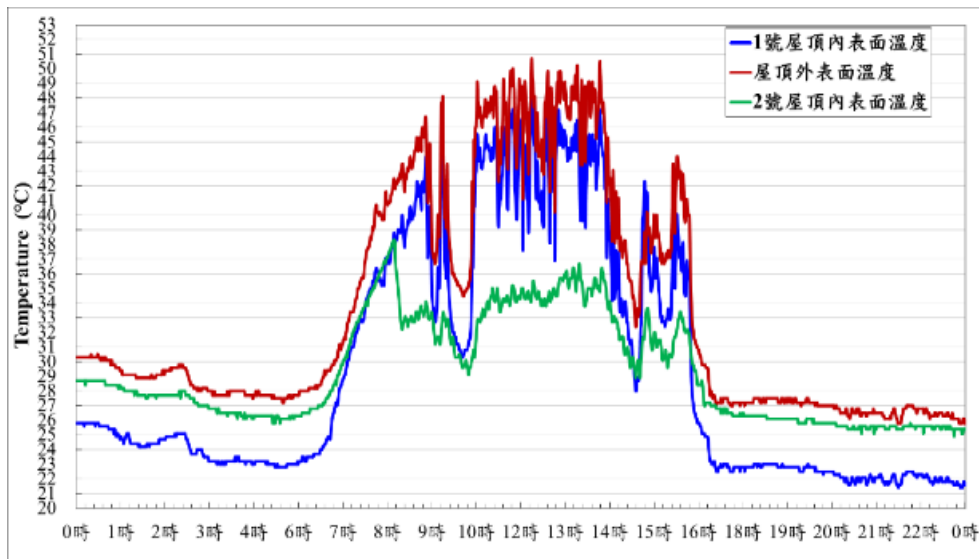


圖 60.不同屋頂之屋頂室內表面溫度日分布曲線

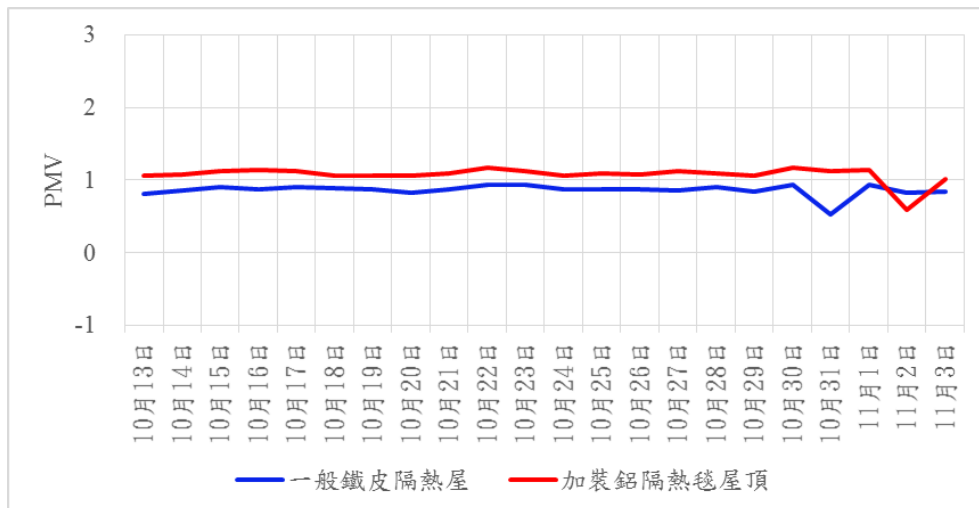


圖 61.一般鐵皮隔熱屋頂與加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋熱舒適度指標

圖 61 為一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋及加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋熱舒適度指標，一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋平均熱舒適度為 0.88；加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋平均熱舒適度為 1.07，雖加裝

鋁隔熱毯屋頂實驗屋能夠節省能耗，但在熱舒適度的表現上因加裝鋁隔熱毯實驗屋表面材質之影響，導致在熱舒適度上略高於一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋。

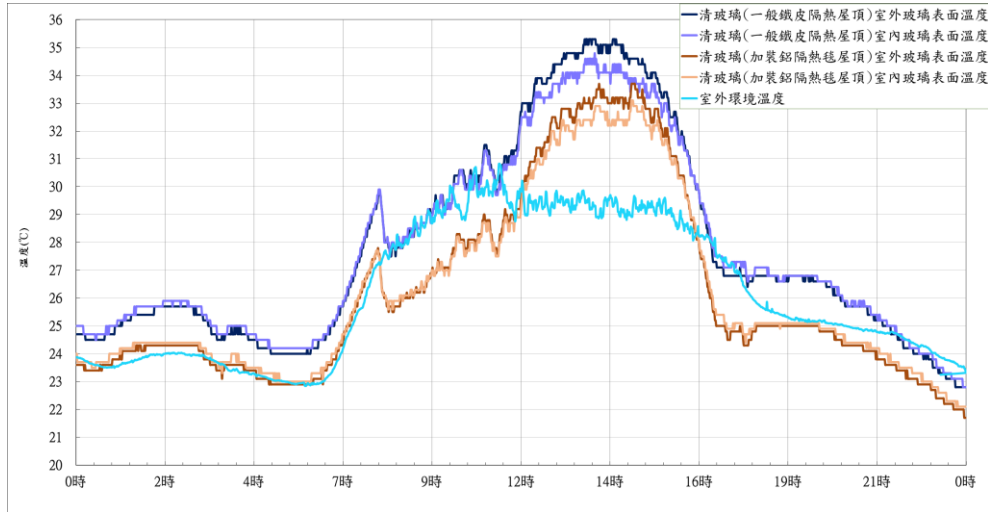


圖 62.一般鐵皮隔熱屋頂與加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋之清玻璃表面溫度

圖 62 為採用一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋與加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋之玻璃表面溫度分佈。因清玻璃隔熱性能不佳，導致兩間實驗屋的室內外玻璃表面溫度皆只差了 0.01°C ，可見室內外玻璃表面溫度幾乎無差別。而雖然兩間實驗屋皆採用清玻璃，但一般鐵皮隔熱屋頂因隔熱性能較差，導致屋外熱源更容易經一般鐵皮傳導進屋內，因而間接導致一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋之玻璃表面溫度高於加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋之玻璃溫度。由此可見玻璃表面溫度會因受到有無加裝鋁隔熱毯，而造成溫度某些程度上的影響。

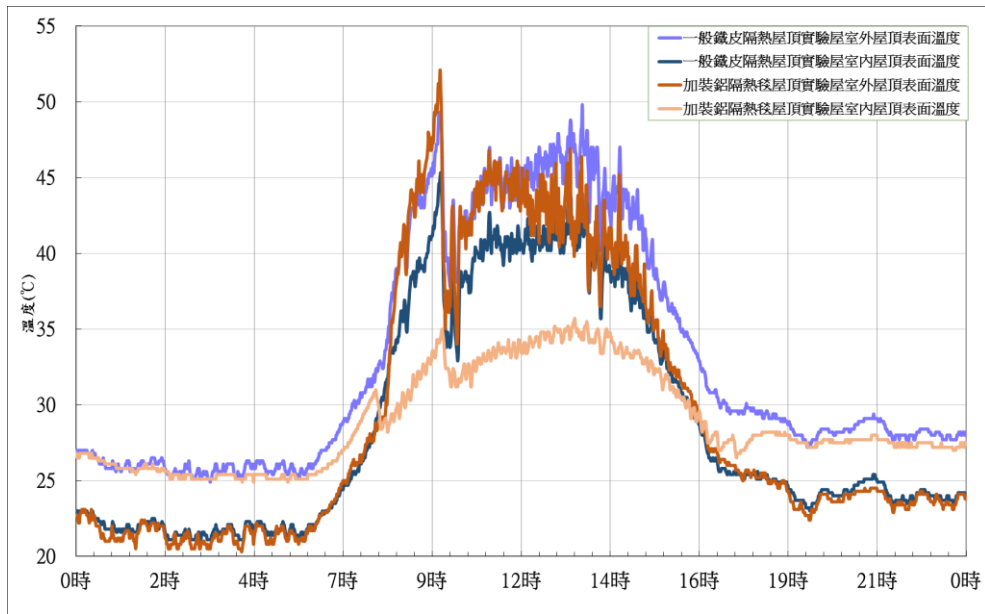


圖 63.一般鐵皮隔熱屋與加裝鋁隔熱毯實驗屋之屋頂表面溫度

根據圖 63 實驗結果顯示，一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋與加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋之室內外屋頂表面平均相差溫度分別為 4.93°C ($T_{re1} - T_{ri1}$)及 4.24°C ($T_{re2} - T_{ri2}$)。一般鐵皮隔熱屋頂與加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋，兩者相互比較室內外屋頂表面溫度分別為 3.66°C ($T_{ri1} - T_{ri2}$)及 3.91°C ($T_{re1} - T_{re2}$)。

(三) 不同屋頂貼附 TYPE-A 隔熱膜之空調耗電量與熱環境評估

本節主要探討使用不同屋頂貼附 TYPE-A 隔熱膜之空調耗電量與熱環境評估。

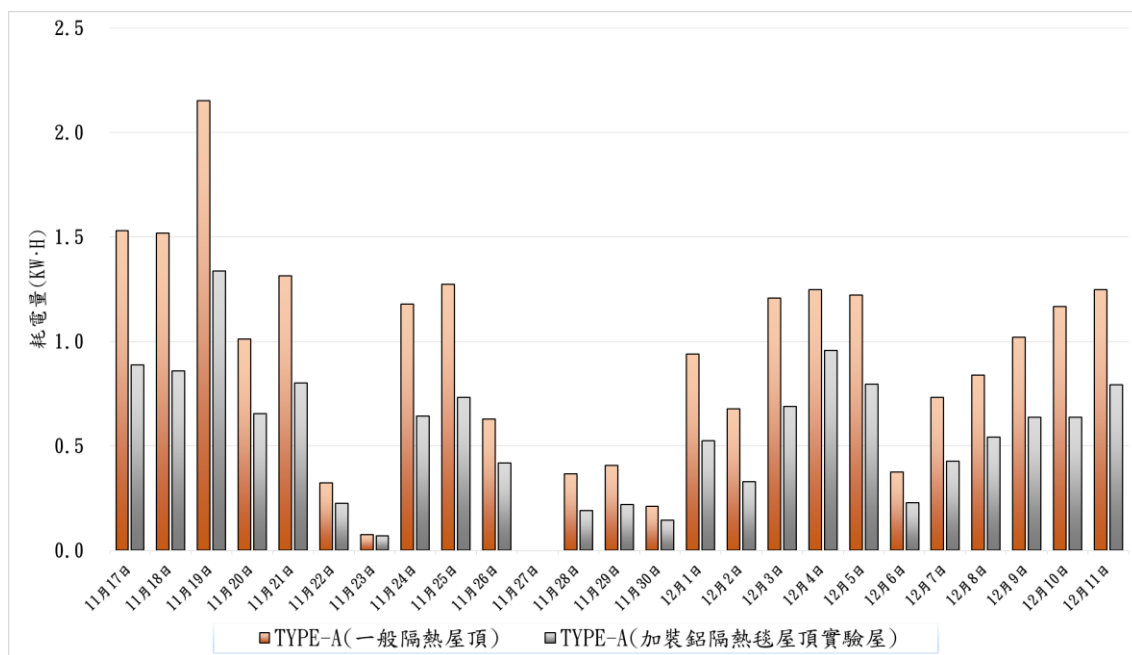


圖 64.一般鐵皮隔熱屋與加裝鋁隔熱毯實驗屋採用 TYPE-A 耗電量比較

圖 64 實驗結果顯示，若以兩間實驗屋皆採用 TYPE-A 隔熱膜的情況下，以一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋耗電量作為基準值，加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋平均耗電量能夠節省 30%，而相較於前一節所探討，關於一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋及加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋且皆採用清玻璃的情況下，加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋平均耗電量能夠節省 30%。這顯示當一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋在貼附上 TYPE-A 隔熱膜後，無法更為省電。

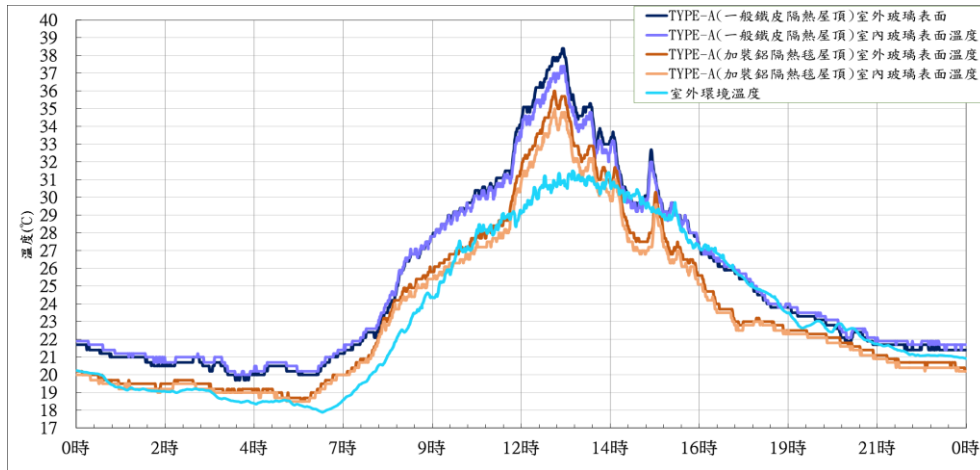


圖 65.鐵皮隔熱屋與加裝鋁隔熱毯實驗屋之清玻璃+TYPE-A 表面溫度

根據圖 65 結果顯示，當一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋貼附上 TYPE-A 隔熱膜之後，玻璃表面溫度依舊高於加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋之玻璃表面溫度，與前一節所做出之實驗結果(清玻璃)趨勢為一致。以此實驗結果得知，在玻璃表面溫度的表現上，即便在一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋貼附 TYPE-A 隔熱膜也無法使玻璃表面溫度低於加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋之玻璃表面溫度。

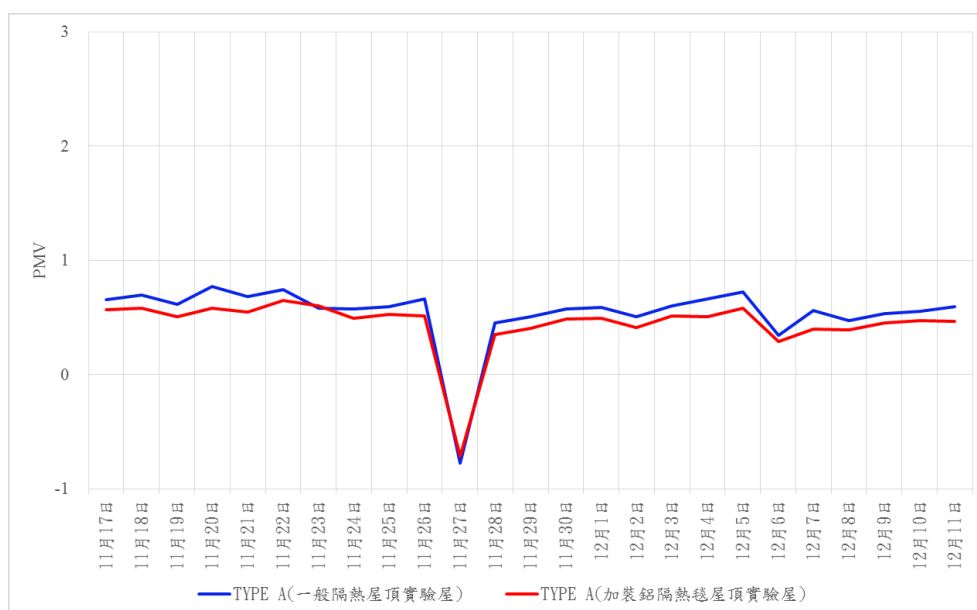


圖 66.一般鐵皮隔熱屋與加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋熱舒適度表現

圖 66 為一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋及加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋皆採用 TYPE -A 隔熱膜熱舒適度表現，經數據分析後，一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋熱舒適為 0.54；加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋為 0.44。相較於前一節，一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋及加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋且皆採用清玻璃的情況下，一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋熱舒適為 0.88 與前次實驗結果相比降低了 38%；加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋為 1.07 與前次實驗結果相比降低了 58%。雖然熱舒適度(PMV)指標有大幅的下降趨勢；但主要原因為第二次實驗期間已進入秋冬季節，所以當室外環境溫度低於空調設定溫度時，空調並不會開啟。而經查證第一次實驗的

平均耗電量為 2.0kWh；第二次實驗的平均耗電量為 0.73kWh，這也直接證實了在第二次實驗部分天數，因室外環境溫度過低導致空調並沒有開啟，或因為室外環境溫度與空調設定溫度相當接近，導致空調壓縮機運轉時間減少。

(四) 玻璃貼附隔熱膜之空調耗電量與熱環境評估(清玻璃、LOW-E 玻璃及清玻璃+TYPE-A)

本節主要討論在相同的空調設定及牆體材質情況下，實驗屋分別裝上清玻璃、LOW-E 玻璃及清玻璃+TYPE-A 進行能耗、熱舒適度及玻璃表面溫度上之比較。

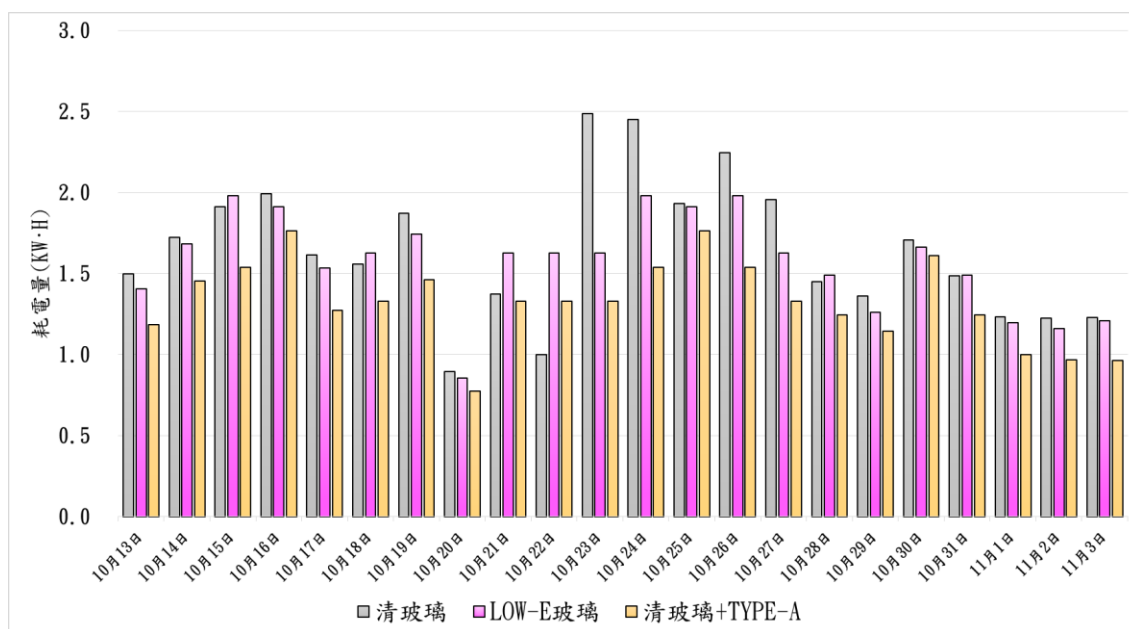


圖 67.清玻璃、LOW-E 玻璃、清玻璃+TYPE-A 實驗屋耗電量比較

圖 67 為比較清玻璃、LOW-E 玻璃以及貼附 TYPE-A 隔熱膜之空調耗電量，實驗結果顯示清玻璃+TYPE-A 隔熱膜之實驗屋最為省電，其次則是採用 LOW-E 玻璃之實驗屋，最耗電者為採用清玻璃之實驗屋。若以清玻璃之實驗屋耗電量做基準值，貼附 TYPE-A 隔熱膜之耗電量平均能節省 20%，而安裝 LOW-E 玻璃則是節省 17% 之空調耗電量。

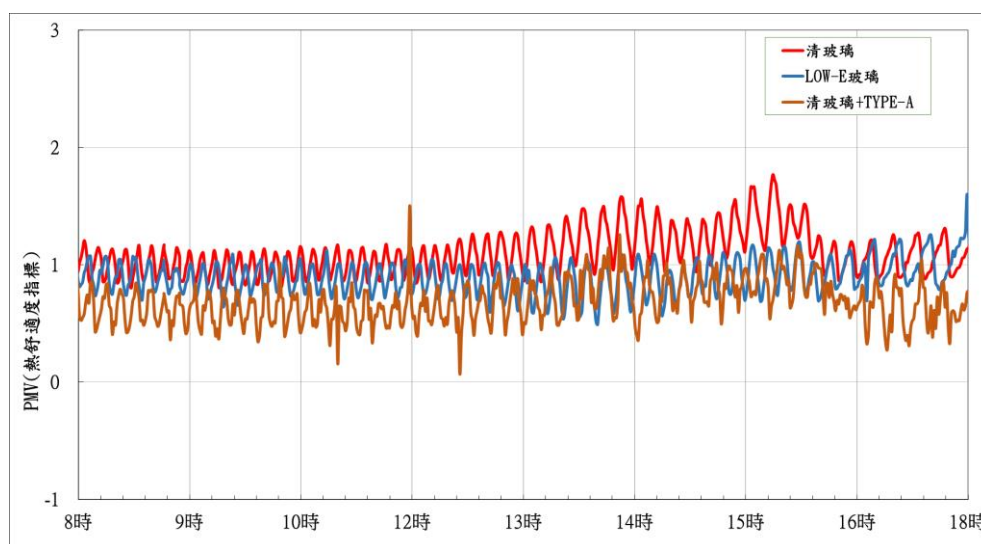


圖 68. 清玻璃、LOW-E 玻璃及清玻璃+TYPE-A 熱舒適度

圖 68 為清玻璃、LOW-E 玻璃及清玻璃+TYPE-A 熱舒適度之比較，清玻璃之熱舒適度平均為 1.13；LOW-E 玻璃平均為 0.92；清玻璃+TYPE-A 為 0.72。明顯可看出當清玻璃貼附 TYPE-A 隔熱膜能使室內空間更為舒適。

圖 69 為晴天之室內外表面玻璃溫度分布圖，LOW-E 玻璃因為太陽輻射吸收率最大，故表面溫度最高；貼附 TYPE-A 之

玻璃則因太陽輻射率吸收率小於 LOW-E 玻璃，故表面溫度次之；清玻璃則是大部份的太陽輻射直接進入室內，故表面溫度最低。

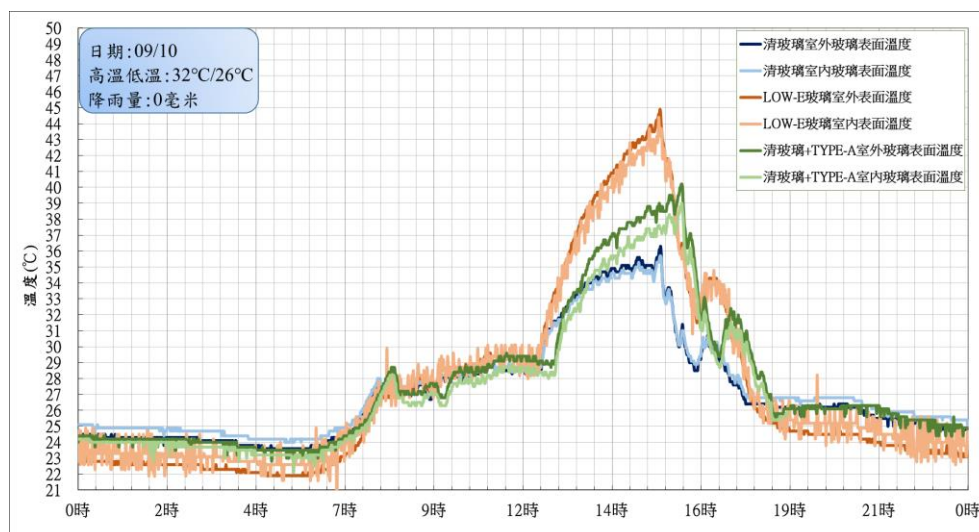


圖 69. 清玻璃、LOW-E 玻璃、清玻璃+TYPE-A 之室內外玻璃表面溫度分布

(五) 玻璃貼附隔熱膜之空調耗電量與熱環境評估(清玻璃+3M、清玻璃+ i999、清玻璃+TYPE-A)

圖 70 為清玻璃分別貼上 3M、i999 及 TYPE-A 隔熱膜之耗電量比較，實驗結果顯示貼附 TYPE-A 隔熱膜最為省電，次之則為貼附 3M 之隔熱膜，最後則為貼附 i999 隔熱膜。

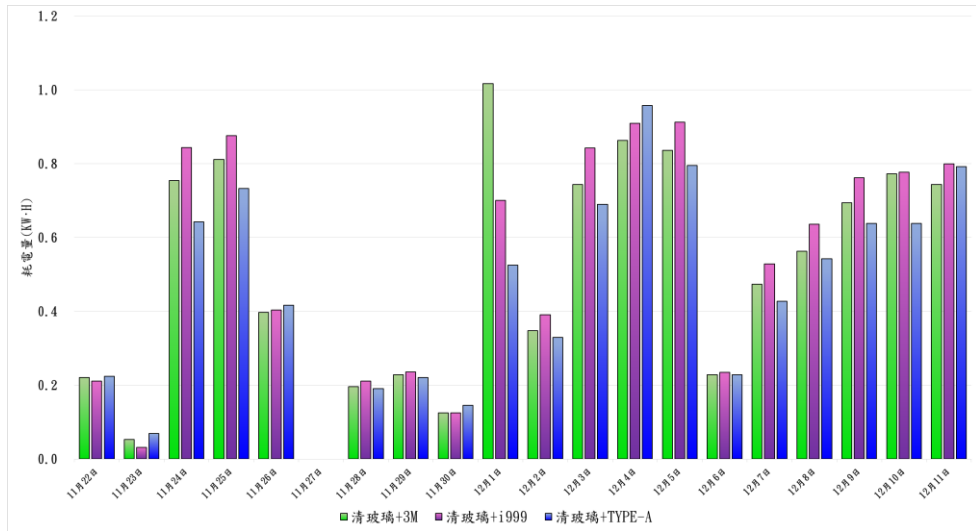


圖 70. 3M、i999 及 TYPE-A 隔熱膜之耗電量比較

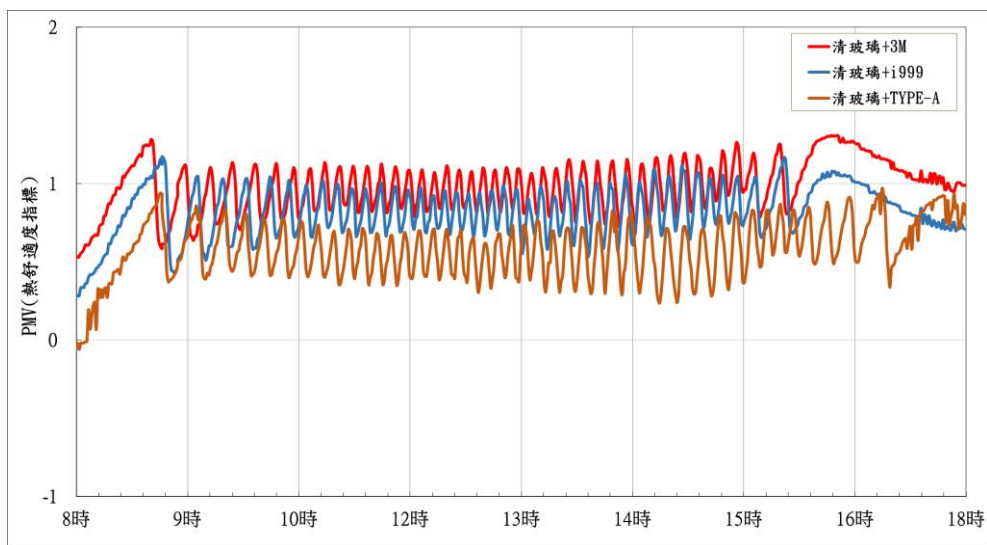


圖 71. 3M、i999 及 TYPE-A 隔熱膜之熱舒適度比較

圖 71 分別為清玻璃各別貼附 3M 隔熱膜、i999 隔熱膜及 TYPE-A 隔熱膜之熱舒適度結果，分析結果後得知 3M 隔熱膜平均熱舒適指標為 0.96；i999 隔熱膜為 0.8；TYPE-A 為 0.58。

圖 72 為晴天之室內外表面玻璃溫度分布圖，反射型 TYPE-A 隔熱膜白天反射太陽輻射能力最強，玻璃表面溫度最低。TYPE-A 隔熱膜夜間反射室內長波輻射能力最強，玻璃表面溫度最高。

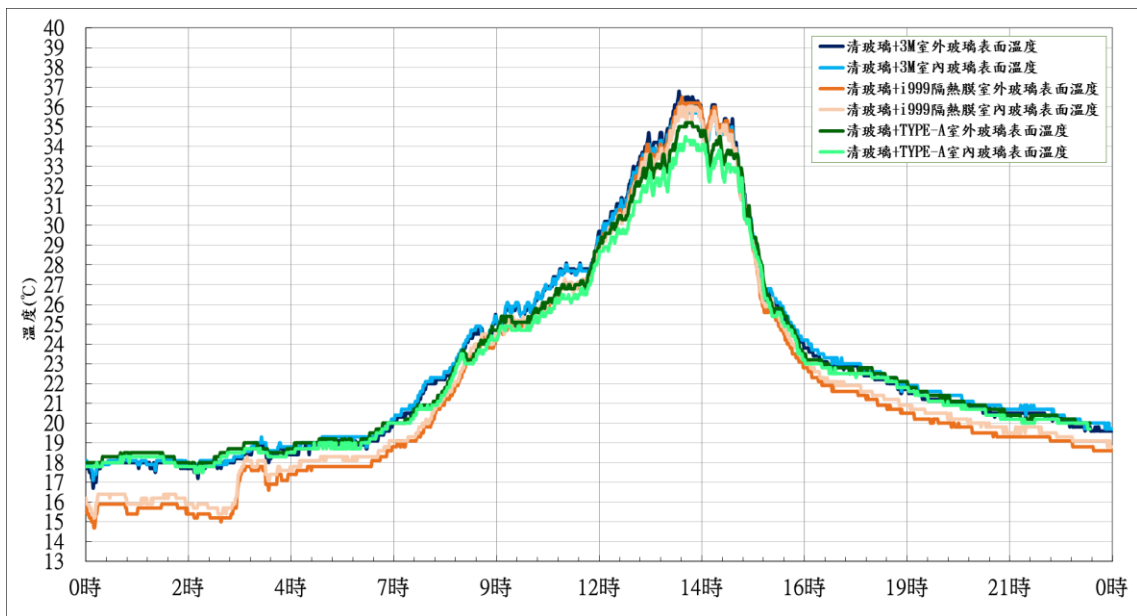


圖 72. 3M、i999 及 TYPE-A 隔熱膜於玻璃室內外表面溫度分布

(六) 調高空調設定溫度之空調耗電量與熱環境評估

為了探討貼附隔熱膜與調高空調設定溫度，對於耗電量及室內熱舒適度之影響，本計畫以 6 號實驗屋玻璃貼附 TYPE-A 隔熱膜，並且空調設定溫度調高為 27 與 28°C 作為實驗組，5 號實驗屋裝設清玻璃並且空調溫度設為 26°C 作為對照組。圖

73、74 為耗電量比較圖。實驗結果顯示 6 號實驗屋在調高空調設定溫度 1°C ，則節省空調耗電量 7%。此結果與經濟部能源局所提供之數據(6%)相符。然而比較 5、6 號實驗屋在相同實驗期間之耗電量可發現，貼附隔熱膜與調高冷氣設定溫度有相加乘之效果。根據 104 年實驗結果，貼附 TYPE-A 隔熱膜可比清玻璃節省 17% 空調耗電量。但是調高空調設定溫度 1°C ，6 號實驗屋平均耗電量較 5 號實驗屋節省 40% 之耗電量；而調高空調設定溫度 2°C ，則是省電 47%。節電效益大於貼附 TYPE-A 隔熱膜與調高 1°C 空調溫度之個別節電量總和(23%)。

圖 75、76 分別為 5、6 號實驗屋在不同期間下，不同空調設定溫度之熱舒適度(PMV)結果。由熱舒適指標 PMV 分析得知，5 號實驗屋的空調溫度維持在 26°C 時，平均 PMV 均在 1.0 以下，6 號實驗屋的空調設定溫度為 27 與 28°C 時，平均 PMV 分別為 1.09 與 1.39。此結果代表空調溫度調升 1°C ，6 號實驗屋自身的 PMV 增加 0.3。比較 5、6 號實驗屋之 PMV 指標可發現，因為 6 號實驗屋開窗率不大，玻璃貼上 TYPE- A 隔熱膜，對於室內黑體輻射溫度影響不大。故，5、6 號實驗屋 PMV 的增加量分別為 0.4 與 0.56。此結果與 6 號實驗屋自身調高空調溫度之 PMV 增加量相差不大。在耗電量及熱舒適度的綜合考量後，貼附 TYPE-A 隔熱膜，藉由調高空調溫度 1°C ，可顯著節省空調用電，且不會犧牲太多的室內熱舒適度。

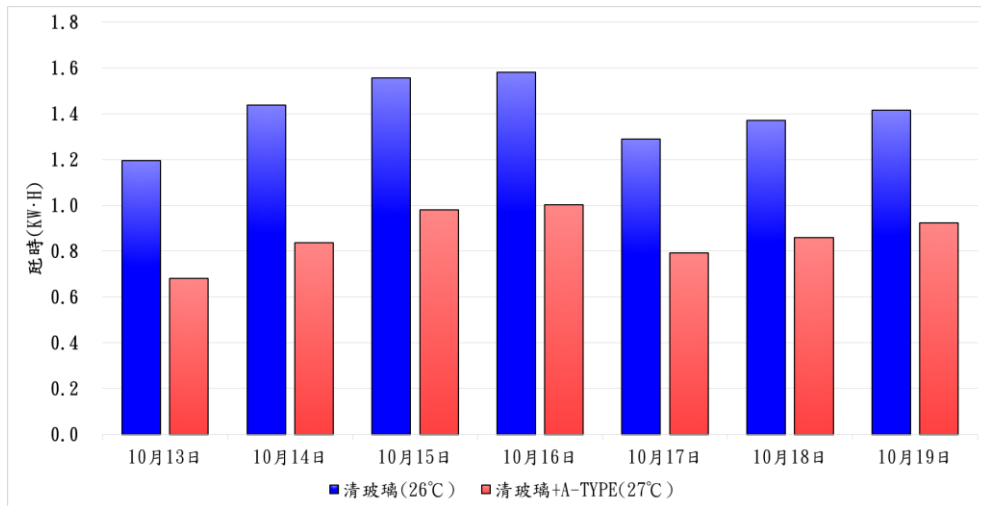


圖 73. 5、6 號實驗屋耗電量比較(空調設定相差 1°C)

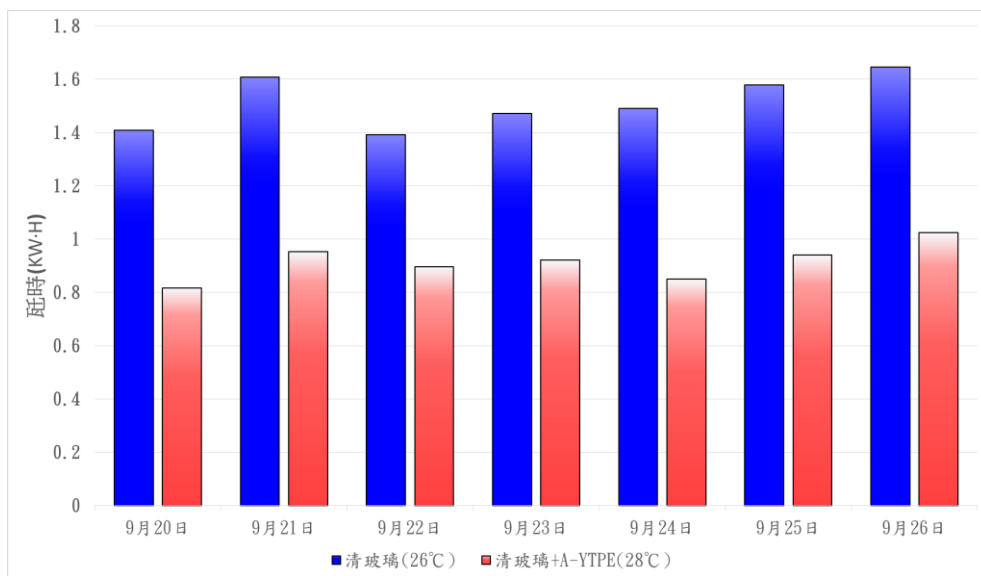


圖 74. 5、6 號實驗屋耗電量比較(空調設定相差 2°C)

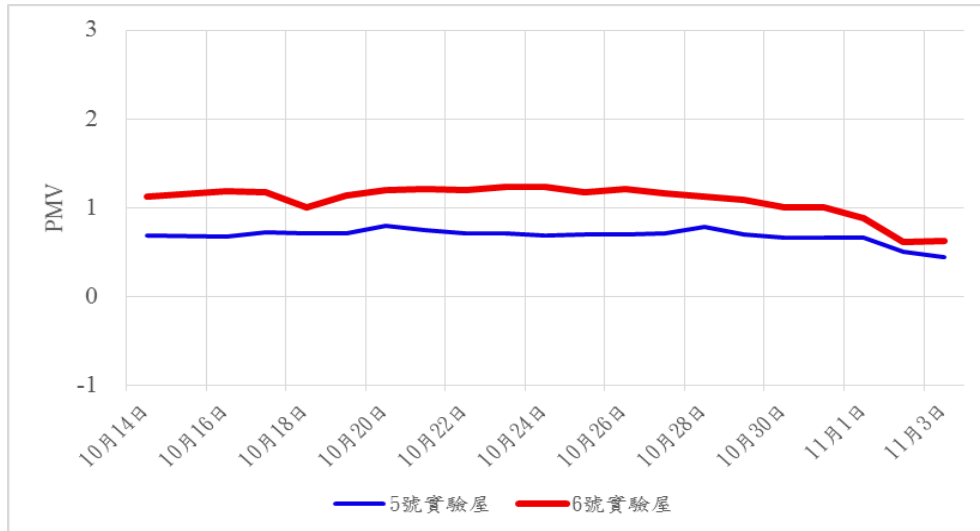


圖 75. 5、6 號實驗屋熱舒適度表現(空調設定差 1°C)

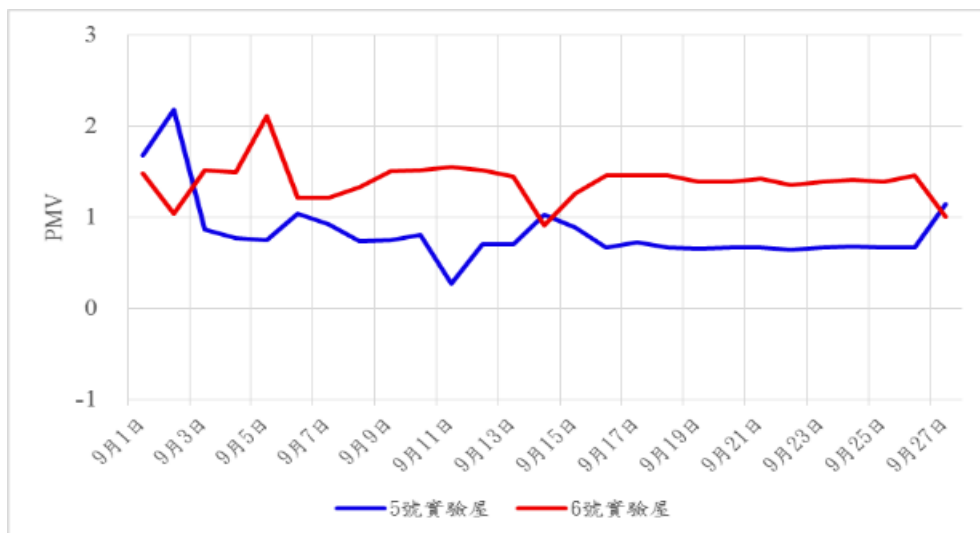
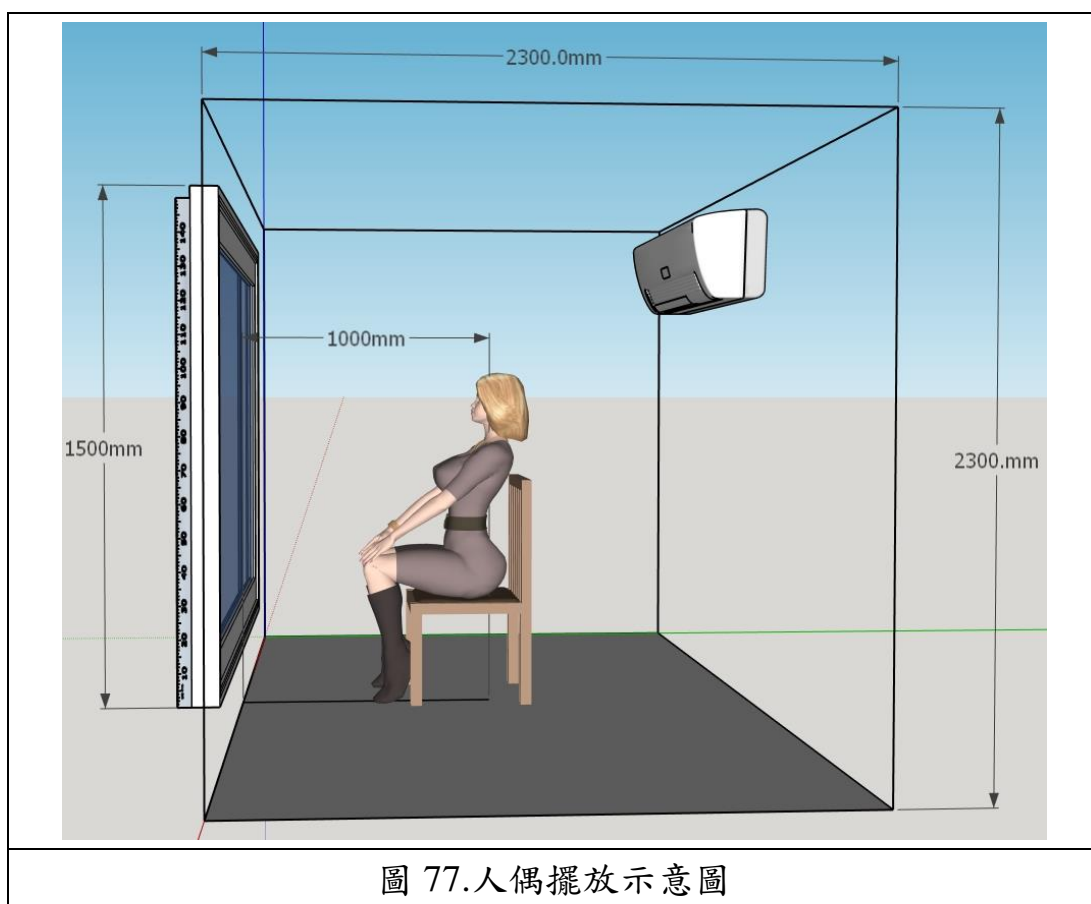


圖 76. 5、6 號實驗屋熱舒適度表現(空調設定差 2°C)

(七) 人偶仿真熱環境量測

圖 77 為人偶擺放示意圖。圖 78~80 為使用熱像儀拍攝人偶表面溫度，此項研究主要探討在不同類型的隔熱膜，經由太陽光照射下，於人偶表面上之溫度分布。

3M 隔熱膜為部分反射型的隔熱膜，i999 為吸熱型隔熱膜，TYPE-A 隔熱膜為反射型隔熱膜，在下圖中可明顯的看出 i999 吸熱型款式的隔熱膜在陽光照射下，人偶表面溫度達到 29.6°C 與 3M(28.4°C)及 TYPE-A(27.1°C)兩款隔熱膜比較後確實高出 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。根據此項結果可知，當窗戶玻璃貼附吸熱型隔熱膜時，如人體離窗戶太近，可能在溫度感受上會因溫度稍高而有所不適。



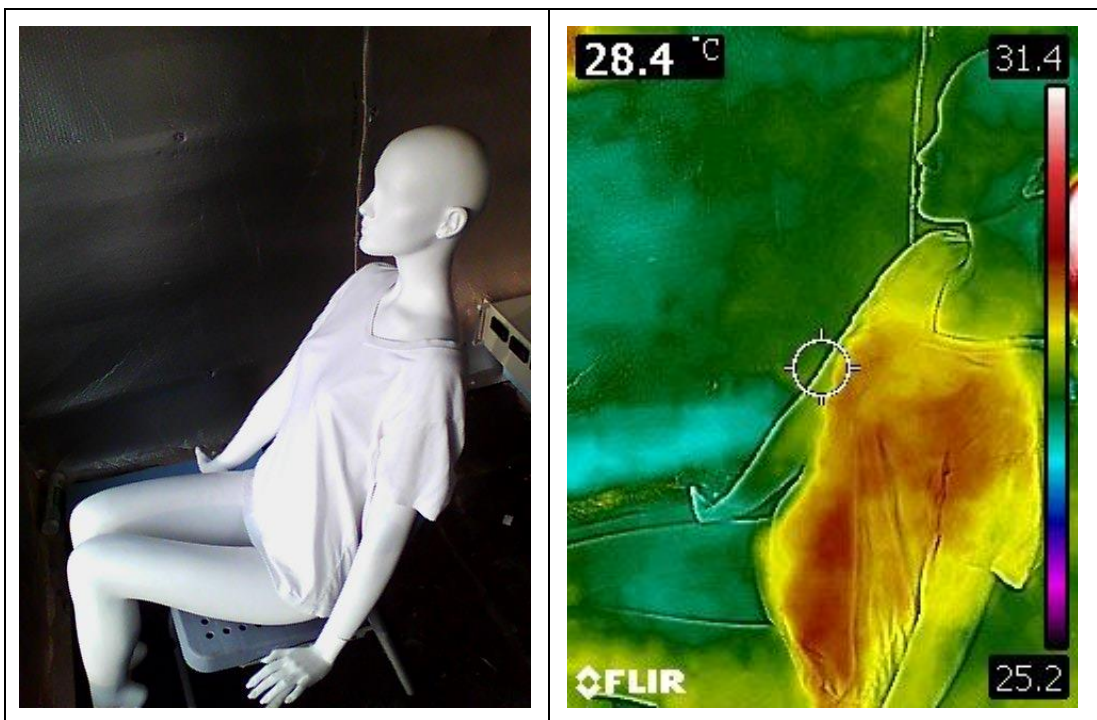


圖 78.清玻璃+3M 熱影像



圖 79.清玻璃+i999 熱影像

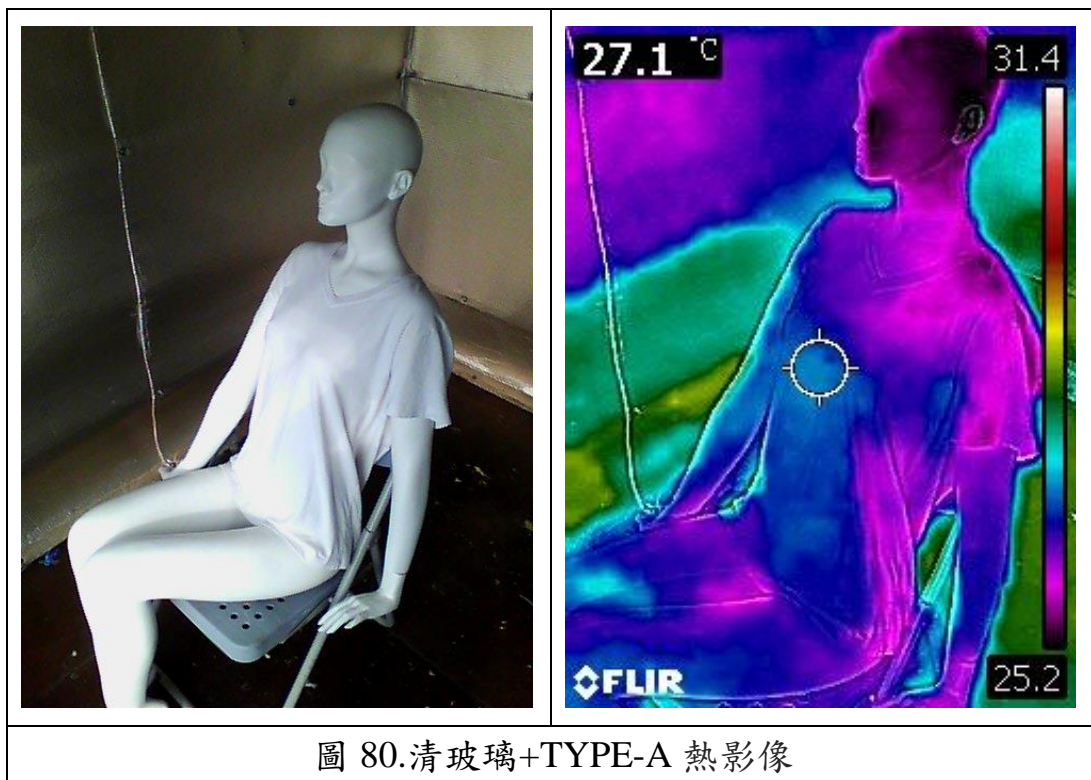


圖 80.清玻璃+TYPE-A 熱影像

三、 結論

本研究討探有關隔熱建材節能議題，包含能耗模擬、全尺寸實際量測及人偶仿真熱環境測試，獲得之結論如下：

1. 研究中透過電腦能耗模擬及全尺寸實際量測實驗，並加以驗證能耗軟體與全尺寸實際量測之結果趨勢是否相同。在電腦能耗模擬軟體的結果顯示，不管是針對屋頂隔熱能耗比或是玻璃隔熱能耗比，採用 TYPE A+5mm 清玻實驗屋之省電效果確實較其他玻璃組合更為優異。而在全尺寸實際量測結果亦是相同的。
2. 在全尺寸實際量測實驗中，於各實驗屋採用不同玻璃組合，以

及針對實驗屋是否加裝隔熱材之耗電量及舒適度的表現加以研究。結果顯示，當採用隔熱膜或是 LOW-E 玻璃之耗費電量與清玻璃之實驗屋相比，省電效果平均可達 18.5%。而其中又以清玻璃+TYPE-A 組合最為優異。而於一般鐵皮隔熱屋頂及加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋之節能測試結果顯示，加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋較一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋，省電效果高達 30%。但因為鋁隔熱毯材質具有保溫作用，當採用此隔熱材時，必須保持室內空間通風或是空調持續運轉，因為在研究中發現，當空調沒有運轉情況下，加裝鋁隔熱毯屋頂實驗屋的室內空氣溫度較一般鐵皮隔熱屋頂實驗屋高出 2°C。所以於不通風及沒有開啟空調時，可能會影響室內的舒適度。

3. 在熱舒適度方面，探討空調溫度調高 1~2°C 時，於 PMV 之影響程度。由於 5、6 號實驗屋開窗率不大，導致 PMV 指標雖有下降的趨勢，但幅度並不大，結果顯示調高空調溫度 1°C，明顯節省空調用電量，且不會犧牲太多的室內熱舒適度。
4. 在人偶仿真熱環境量測方面，可從熱影像中直接得知陽光透過隔熱膜之人偶表面溫度。置放於吸收型隔熱膜後的人偶明顯比反射型隔熱膜的溫度高，這也顯示若距離吸收型隔熱膜太近，在太陽光照射下，可能會因為溫度升高而感到稍有不適。

肆、參考文獻

1. U.S. Department of Energy, ENERGY STAR Program: ENERGY STAR for windows, doors, and skylights revised draft criteria and report, March 2009.
2. British Federation Rating Council, Use of the BFRC A-G energy window label, BFRC Guidance Note, March 2007.
3. D. Avasoo, Energy transparency for energy efficiency, Future buildings forum event Cooling Buildings in a Warming Climate, Sophia Antipolis, France, 21-22 June 2004.
4. 內政部建築研究所，綠建材解說與評估手冊，2007。
5. R. Russo, E. Fox, L. Bellinger, Nguyen-Van-Tam DP. Mood-congruent free-recall bias in anxiety, *Cognition and Emotion*, 15 (2001), 419–433.
6. G. M. Sottile, 2004 Survey of United States architects on the subject of switchable glazings, *Materials Science and Engineering B*, 119 (2005), 240-245.
7. K. A. R. Ismail , J. R. Henriquez, Parametric study on composite and PCM glass systems, *Energy Conversion and Management*, 43 (2002), 973-993.
8. J. Benemann, O. Chehab, E. Schaar-Gabriel, Building-integrated PV modules, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 67 (2001), 345-354.
9. R. E. Collins, T. M. Simko, Current status of the science and technology of vacuum glazing, *Solar Energy*, 62 (1998), 189-213.
10. G. Alvarez, D. N. Jimenez, C. A. Estrada, Thermal performance of solar control coatings: a mathematical model and its experimental verification, *J. Phys. D: Appl. Phys*, 21(1998), 2249-2257.

11. Y. Etzion, E. Erell, Controlling the transmission of radiant energy through windows: a novel ventilated reversible glazing system, *Building & Environment*, 35 (2000), 433-444.
12. S. Chaiyapinunt, B. Phuakphongsuriya, K. Mongkornsaksit, N. Khomporn, Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission, *Energy and Buildings*, 37 (2005), 725-738.
13. T. Rosencrantz, H. Bulow-Hube, B. Karlsson, A. Roos, Increased solar energy and daylight utilization using anti-reflective coating in energy-efficient windows, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 89 (2005), 249-260.
14. H. Takeda, K. Ando, Actual survey of thermal environment in building for experimental use that employs photocatalyst-based exterior materials, *Journal of Environment Engineering AIJ*, 606 (2006), 31-36.
15. J. He, A. A. Hoyano, A numerical simulation method for analyzing the thermal improvement effect of super-hydrophilic photocatalyst-coated building surfaces with water film on the urban/built environment, *Energy and Buildings*, 40 (2008), 968-978.
16. A. Mills, A. Lepre, N. Elliott, S. Bhopal, I. P. Parkin, S. A. O'Neill, Characterisation of the photocatalyst Pilkington Activ TM: a reference film photocatalyst?, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 160 (2003), 213-224.
17. S. Konopacki, L. Gartland, H. Akbari and L. Rainer, Demonstration of Energy Savings of Cool Roofs, LBNL-40673, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 1998.
18. Hildebrandt, E., W. Bos and R. Moore, 'Assessing the impacts of white roofs on building energy loads', *ASHRAE Technical Data*

- Bulletin, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA, 14 (1998), 28-36
19. S. Konopacki, and H. Akbari, Measured Energy Savings and Demand Reduction from a Reflective Roof Membrane on a Large Retail Store in Austin, LBNL-47149, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 2001.
 20. Parker, D., J. Huang, S. Konopacki, L. Gartland, J. Sherwin, and L. Gu, 'Measured and simulated performance of reflective roofing systems in residential buildings', ASHRAE Transactions, 104 (1998a), no 1, Atlanta, GA. ◦