

隔熱建材節能效益及綠建材基準研擬之研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 104 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

隔熱建材節能效益及綠建材基準研擬之研究

研 究 人 員：姚 志 廷

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 104 年 12 月

ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

The Impact of Thermal Insulation Material on Building Energy-Saving and Discussion on Evaluation Standard

BY
Dr. YAU JYH-TYNG

December, 2015

目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VI
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	3
第三節 研究流程	4
第四節 預期成果	5
第二章 文獻回顧與探討.....	7
第一節 綠建材標章制度	7
第二節 建築物節約能源法規.....	10
第三節 影響建築物冷房耗能量之因子	17
第四節 建築外殼隔熱性能量測及計算	20
第三章 國內外隔熱材料之規範及標準	23
第一節 隔熱材料之施工綱要規範.....	23
第二節 隔熱材料之 CNS 國家標準.....	25
第三節 國外建築隔熱性能基準.....	29
第四節 材料隔熱與蓄熱性能探討.....	32
第五節 冷屋頂材料標準	37
第六節 小節	42
第四章 外殼隔熱對建築耗能之影響	45

第一節 建立實驗屋外殼參數.....	48
第二節 建立解析參數	54
第三節 外牆隔熱性能解析.....	60
第四節 屋頂隔熱性能解析.....	64
第五章 結論建議	67
第一節 結論	67
第二節 建議	68
參考書目	69

表次

表 2.1 建築技術規則氣候分區	11
表 2.2 建築技術規則透光天窗日射透過率基準	11
表 2.3 開窗部位隔熱基準	12
表 2.4 建築技術規則外殼耗能基準	13
表 2.5 建築技術規則建築物外殼等價開窗率基準	13
表 2.6 建築技術規則窗面平均日射取得量基準	14
表 2.7 窗面平均日射取得量基準值計算公式	14
表 2.8 木窗或塑鋼窗窗框面積比 rfi 速查表.....	16
表 2.9 常用開窗之窗框及玻璃部位熱傳透率 U_i	16
表 2.10 降低外殼 U 值設定參數之模擬方案	17
表 2.11 降低玻璃 U 值相關設定參數之模擬方案	18
表 2.12 降低玻璃 η 值相關設定參數之模擬方案	18
表 2.13 建築外殼隔熱性能模擬結果.....	19
表 3.1 硬質隔熱材料產品參考標準.....	24
表 3.2 硬質隔熱材料產品參考標準	25
表 3.3 隔熱建材國家標準	26
表 3.4 隔熱建材試驗方法.....	26
表 3.5 住宅用玻璃棉隔熱材料熱阻之分類	27
表 3.6 聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料國家標準	28
表 3.7 硬質泡沫橡膠隔熱材料之國家標準	28

表 3.8 日本 CASBEE 對於構造隔熱性能之評估	31
表 3.9 中國夏熱冬暖地區居住建築傳熱係數	32
表 3.10 不同建材熱學性質分析表	36
表 3.11 冷屋頂相關測試標準及儀器	40
表 3.12 冷屋頂材料相關規範	42
表 4.1 實驗屋基本參數	47
表 4.2 建材熱導係數（綠建築標章計算資料）	49
表 4.3 建材熱阻值（綠建築標章計算資料）	50
表 4.4 牆體材料組成及 U 值	52
表 4.5 我國歷年電力碳排放係數	59
表 4.6 實驗屋外牆面積及 U 值（外牆分析）	62
表 4.7 實驗屋窗戶面積及 U 與 SHGC 值（外牆分析） ..	62
表 4.8 實驗屋屋頂面積及 U 值（外牆分析）	62
表 4.9 實驗屋外牆面積及 U 值（屋頂分析）	65
表 4.10 實驗屋窗戶面積及 U 與 SHGC 值（屋頂分析） ..	65
表 4.11 實驗屋屋頂面積及 U 值（屋頂分析）	65

圖次

圖 1.1 研究流程.....	5
圖 2.1 綠建材標章四大分類及通則.....	8
圖 3.1 SRI 分析計算畫面.....	38
圖 4.1 節能實驗屋外觀.....	45
圖 4.2 外牆構造示意圖	53
圖 4.3 RETScreen 氣象參數設定操作畫面	55
圖 4.4 RETScreen 空調參數設定操作畫面	57
圖 4.5 RETScreen 換氣率參數設定操作畫面	58
圖 4.6 RETScreen 燃料價格輸入畫面	58
圖 4.7 RETScreen 電力碳排放係數及線損率輸入畫面 .	60
圖 4.8 RETScreen 外殼性能輸入畫面	63
圖 4.9 不同外牆隔熱性能之全年耗能分析.....	63
圖 4.10 不同屋頂隔熱性能之全年耗能分析.....	66

摘 要

關鍵詞：隔熱建材、綠建材、節能減碳

一、研究緣起

我國綠建築指標中包含「日常節能指標」，其內涵又包括照明節能、外殼節能、空調節能等，而以外殼節能而言，外牆的面積雖然較大，但是屋頂是直接受到太陽熱紅外線的照射，受熱情形較外牆嚴峻，因此，屋頂隔熱對於建築的節能效益值得進一步確認。此外，臺灣地區五層樓以下的公寓或透天建築仍占多數，目前許多公寓或透天頂樓搭蓋鐵皮屋頂，未來隨著頂樓違建的減少，屋頂隔熱的需求性亦可能隨之增高。在綠建材標章制度部分，目前雖已將隔熱玻璃納入高性能綠建材中予以評定，惟對於屋頂與外牆的隔熱材料並無相關評定基準。

二、研究方法及過程

建築物節能減碳之相關關鍵技術、設計、設備繁多，與節能有關的建材亦非常多元，本研究係彙整隔熱材料相關應用及發展現況，並配合建築法規與綠建材基準，透過動態耗能解析的方式，評估隔熱材料對於建築耗能之影響程度，研擬國內綠建材高性能隔熱材料評定基準。

三、重要發現

本研究參考相關國內外基準，提出隔熱材料綠建材基準草案，即隔熱材料之厚度應至少達到 2.5 公分，其導熱係數（或稱熱導係數， k ）應小於 0.028 ($\text{kcal} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)，此一基準考量了材料之基本性質及材料厚度，可避免廠商以增加材料厚度之方式取得標

章，也可避免 K 值夠小的材料，但因材料厚度不足，導致整體隔熱性能不佳之狀況。

本研究以 RETScreen 軟體針對實驗屋進行解析，解析結果顯示實驗屋之屋頂 U 值從 0.748 降低至 0.483 後，全年度整體建築耗能差異極其不顯著，僅約 0.25%，同樣地，外牆 U 值從 2.78 降低至 0.766，全年度之耗能差異亦不顯著，僅約 3.7%，此係因為屋頂 U 值 0.748 已較建築技術規則規定（0.8）為佳，外牆 U 值 2.78 亦較建築技術規則規定（3.5）佳，換言之，在隔熱性能良好的屋頂或外牆，再一味增加厚度以提高 U 值，能獲得的節能效益非常有限，而且，以該實驗屋而言，因為開口部位的玻璃性能較差，室外的熱能主要從開口部位進入室內，因此提高屋頂與外牆隔熱性能，效益有限。此外，外牆或屋頂增厚，也造成室內外熱流的時滯效應，雖然，室外在高溫時，熱不易進入室內，但室內的熱流，同樣不易散熱。此外，牆體的熱容效應亦隨厚度提高而提高，這些熱容仍需要依賴空調排除。

四、主要建議事項

建議一

建議進行材料隔熱性能與材料老化之關連性研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

部分標準規範了材料的長期熱學性能，例如 CNS 10487 A2165（聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料）規範了材料成形後 6 個月的導熱係數，另外能源之星冷屋頂材料則規範了材料 3 年後老化之反射率及太陽反射指數，但是，隔熱材料如欲納入綠建材評定，不論是 6 個月的老化或 3 年的老化實驗均有執行上的難度，因此，材料隔熱性能與材料老化之關連性，值得持續深入研究。

Abstract

Key words: Thermal Insulation Material, Green Building Materials, Energy Saving and Carbon Reduction

Thermal insulation material is regarded as one of the important factors that influence energy consumption and carbon reduction of the buildings. In Taiwan, Building Code and Regulations and Green Building Evaluation Standards both set up relative rules of building's U-value. Actually, how building's energy consumption and carbon reduction is impacted by Thermal insulation material under different circumstances is worthy of our further research. The main goal of this research is to apply the RETScreen Clean Energy Project Analysis Software which was developed by Natural Resources Department, Canada to analyze the influence of Thermal insulation material on building's energy consumption and carbon reduction. To conduct related analysis and simulation of Thermal insulation material, we took the experimental house which were constructed by Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior and assembled on the roof of the Civil Engineering Research Building of NTU as the research objects. The analysis result of experimental house showed that Thermal insulation material has no remarkable influence on building's energy consumption, when the outer wall has excellent property of heat insulation, and general glass is used. It also showed that the U-value of roof decreases from 0.748 to 0.483, equaling to lowering about 0.25% of energy consumption of the air conditioner, and the U-value of wall decreases from 2.78 to 0.766, equaling to lowering about 3.7% of energy consumption of the air conditioner. Additionally, the study also proposed an evaluation standard of green building material labels for thermal insulation material.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

全球暖化與氣候變遷的議題持續受到全球關注，從2011 年12 月在南非德班(Durban)召開的聯合國氣候變化綱要公約(UNFCCC)第17次締約國會議(COP17)、2012 年12 月在卡達杜哈開的UNFCCC COP18 會議，到2013 年11 月在波蘭華沙召開的UNFCCC COP19 會議，均確認了全球必須努力把溫度上升控制在1.5~2°C的範圍以內，但另一方面，由於全球經濟面臨成長衰退的隱憂，各國的減碳承諾與減碳路線開始產生動搖，國際間許多需要仰賴大量資金挹注的綠能產業與減碳措施，受到金融不確定性因素的影響，面臨被迫暫停或縮小規模的窘境。許多政府不得不開始思考如何在產業發展和促進環境永續之間找到一個平衡點，並且尋找新的科技與生活型態來支撐相關永續政策的推動，以建築部門而言，「Green by ICT」及「ICT for Green」的概念，已被視為兼顧帶動產業發展及確保環境永續的發展策略，在此背景下，全球主要國家對於「綠建築」與「智慧建築」所能發揮的減碳效益與產業推升效益，均予高度重視，並催化了建築節能與綠色建材的快速發展。

面對氣候變遷的嚴肅課題，上世紀末全球發展出新的「永續發展(Sustainable Development)」思維，已成為人類最重要的課題，國際上不論地區國家，都必須加強對當地的環境努力及強化國際間相互的合作，以謀求人類最大的福祉。世界各國，包括美國、歐盟、日本等國際組織及國家，皆積極倡導環境保護，發展節能減碳的綠建築，期降低對環境的衝擊。「綠建築」在歐洲稱為「永續建築」

Sustainable Building」、日本稱為「環境共生建築-Symbiosis Housing」，美加與臺灣都稱為「綠建築-Green Building」，除名稱差異外，其基本理念大致相同。目前全球各國已經有 26 個國家建立綠建築標章制度。臺灣從 1991 年左右，即體認建築開發與使用對生態環境、資源與能源耗用等議題之重要，積極致力於綠建築、綠建材與永續環境技術的研究發展，並在 1999 年底建立綠建築標章評估制度，為全球第 4 個實施具科學量化的綠建築評估系統，也是第一個適用於熱帶及亞熱帶的評估系統，推動以來深獲各界的肯定與支持，成效極為顯著。

另一方面，隨著建築物逐漸朝向密閉化、空調化發展，室內環境品質逐漸受到重視。「綠建材標章制度」的推動，便是基於源頭管制的概念，希望透過優質建材的選用，降低潛藏在室內環境中的危害因子、提高居住環境的舒適度，同時也兼顧環境友善、資源再利用等面向。此外，近年來國際上逐漸興起綠色貿易及綠色經濟的風潮，許多國家都把環境保護產品與綠色採購制度連結，國內建材若想要進入國際綠色貿易市場，必須積極進行產業升級與轉型，並設法符合相關綠色規範。綠建材標章制度係參酌國際間相關建材標章精神、檢測程序及評定基準，並依本土氣候環境、產業現況，擬定相關制度，提出評定項目及評定基準，並自 2004 年 7 月開始受理綠建材標章申請。綠建材標章初期屬推廣及自願申請性質，惟為加強推廣應用，自 2006 年 7 月起，於「建築技術規則」明訂供公眾使用之建築物室內裝修應採用 5% 以上的綠建材，2009 年修正提高其使用率為 30%，2012 年 7 月開始，更將使用率提升至 45%，並增列戶外鋪面部分需使用 10% 以上的綠建材，其規定內容為：「建築物室內裝修材料、樓地板面材料及窗，其綠建材使用率應達總面積

百分之四十五以上，建築物戶外地面扣除車道、汽車出入緩衝空間、消防車輛救災活動空間及無須鋪設地面材料部分，其地面材料之綠建材使用率應達百分之十以上」，在建築法令的強制規定下，帶動了臺灣綠建材的產製及消費風潮。

第二節 研究目的

我國綠建築指標中包含「日常節能指標」，其內涵又包括照明節能、外殼節能、空調節能等，而以外殼節能而言，外牆的面積雖然較大，但是屋頂是直接受到太陽熱紅外線的照射，受熱情形較外牆嚴峻，因此，屋頂隔熱對於建築的節能效益值得進一步確認。此外，臺灣地區五層樓以下的公寓或透天建築仍占多數，目前許多公寓或透天頂樓搭蓋鐵皮屋頂，未來隨著頂樓違建的減少，屋頂隔熱的需求性亦可能隨之增高。在綠建材標章制度部分，目前雖已將隔熱玻璃納入高性能綠建材中予以評定，惟對於屋頂與外牆的隔熱材料並無相關評定基準。

過去的研究鮮少針對屋頂隔熱的節能效益進行單獨探討，大多是將屋頂和外牆視為建築外殼的整體，相關研究雖顯示外殼隔熱的節能效益甚低，但其反應的狀況不足以確認屋頂隔熱對頂樓單一樓層的隔熱效益，此外，為進一步探討隔熱材料的效益，本所去年曾於實驗屋進行屋頂隔熱的量測與模擬，量測結果顯示屋頂隔熱的空調節能效益達到 18%，但是程式解析結果節能效益只有約 2-3%，兩者差異甚大，值得進一步予以驗證。

此外，綠建材標章中，目前僅有高性能節能玻璃與建築節能直接相關，許多民間業者多年來一再反應希望加入隔熱材料的評定項

目，因此本研究目的便是希望釐清屋頂隔熱材料性能對於屋頂層的節能效益，以作為是否繼續推廣屋頂隔熱措施之參考依據，並期能透過解析軟體模擬不同性能隔熱材料對於建築空調節能的影響量，從中評估最適的隔熱材料綠建材評定基準。

本研究之目的，說明如下：

1. 收集國內外有關建築節能與隔熱材料有關之法規(如 ENVLOAD、Req、AWSG)與文獻，並針對文獻進行回顧及探討。
2. 收集國內外有關隔熱材料評定基準(如環保標章、能源之星)，並調查市隔熱建材之性能及隔熱原理。
3. 以本土之建築節能影響因子及建築相關參數，建構隔熱材料分析模型，解析隔熱材料之差異對建築耗能之影響。
4. 根據市售隔熱材料性能調查結果與建築耗能解析結果，研擬高性能隔熱材料之評定基準

第三節 研究流程

建築物節能減碳之相關關鍵技術、設計、設備繁多，與節能有關的建材亦非常多元，本研究係彙整隔熱材料相關應用及發展現況，並配合建築法規與綠建材基準，透過動態耗能解析的方式，評估隔熱材料對於建築耗能之影響程度，本研究之研究方法如下，研究流程與步驟，詳圖 1.1 所示：

1. 調查並蒐集國內外有關隔熱材料之定義、基準及節能效益之文獻。
2. 調查國內市售隔熱材料之性能分佈、用途等相關資料，以瞭解實務上隔熱材料的應用及產業現況。

3. 建立 RETScreen 分析模型，並以節能實驗屋為分析對象，解析隔熱材料對於建築頂樓之節能效益。
4. 根據國內外文獻、市售隔熱材料性能分佈及實驗屋節能解析結果，研擬國內綠建材高性能隔熱材料評定基準。

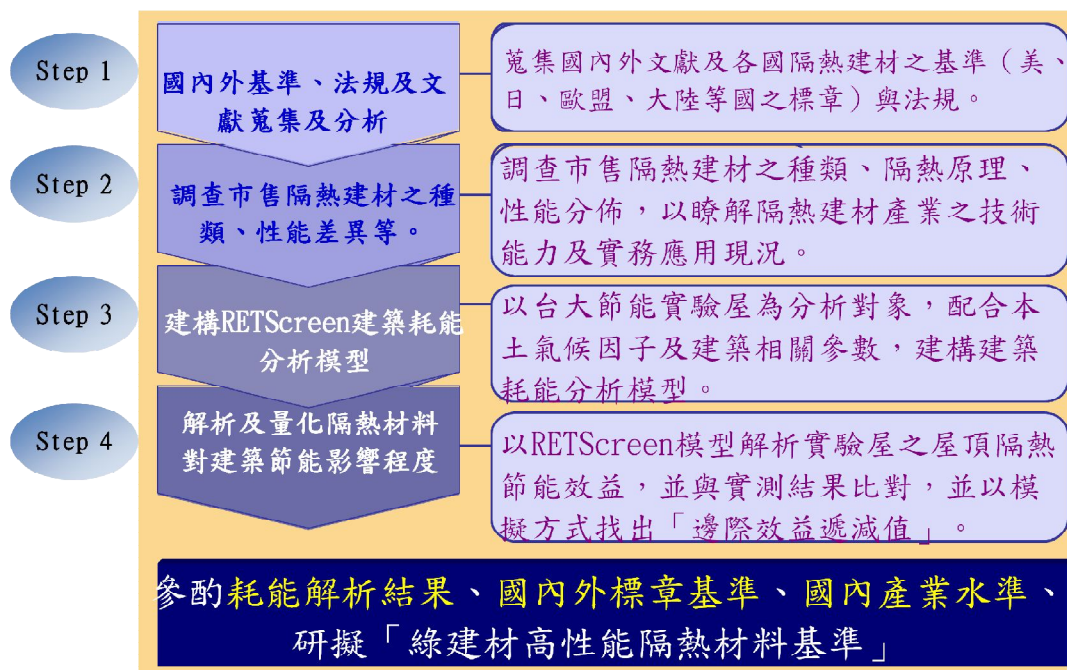


圖 1.1 研究流程

第四節 預期成果

本研究之預期成果，說明如下：

1. 完成國內外隔熱材料相關文獻蒐集。
2. 完成國內外隔熱材料相關基準調查與比較分析。
3. 量化不同性能之隔熱材料對建築節能之影響程度。
4. 完成綠建材高性能隔熱材料評定基準之研擬。

第二章 文獻回顧與探討

第一節 綠建材標章制度

隨著建築物逐漸朝向密閉化、空調化發展，室內環境品質逐漸受到重視。依據統計，人的一生在室內的時間約為 90%，所以室內環境品質之良窳影響健康至鉅，為提升室內環境之健康性及舒適性、降低建材製程中對環境造成之衝擊，並帶動傳統建材產業升級，本所繼綠建築標章制度後，廣續建立「綠建材標章制度」。而「綠建材標章制度」的推動，便是基於源頭管制的概念，希望透過優質建材的選用，降低潛藏在室內環境中的危害因子、提高居住環境的舒適度，同時也兼顧環境友善、資源再利用等面向。此外，近年來國際上逐漸興起綠色貿易及綠色經濟的風潮，許多國家都把環境保護產品與綠色採購制度連結，國內建材若想要進入國際綠色貿易市場，必須積極進行產業升級與轉型，並設法符合相關綠色規範。

綠建材標章是基於「人本健康、地球永續」精神，依據建材生命週期，訂定 4 大分類：生態、健康、高性能及再生綠建材（如圖 2.1）進行評定，4 個分類之綠建材均需為合法之市售建材，且須符合率建材之通則要求及各個分類之特定基準，通則包括不得含有石棉、放射線、行政院環境保護署公告之毒性化學物質、無機鹵化物及其他蒙特婁公約管制化學品，且於原料取得、生產製造、成品運輸及使用等階段皆不造成環境污染，並符合品質及安全性之相關國家法規規定。各個分類之基準則規範了各類綠建材特殊之性能，其中：「生態綠建材」是指使用無匱乏危機之天然材料（例如竹材、再生林木材等），以低人工處理之方式製成之建材；「健康綠建材」

是指低甲醛及揮發性有機化合物（TVOC）逸散之建材；「高性能綠建材」則包括在防音、透水、節能等性能上有高度表現之建材；「再生綠建材」是指將本土廢棄物依一定摻配比例再利用製成之建材。

依照目前綠建材標章制度的設計，高性能綠建材中雖有節能綠建材，惟節能綠建材目前僅受理節能玻璃的評定，對於其他隔熱相關建材的基準仍付之闕如，這部分基準的研究與探討確有其必要性。

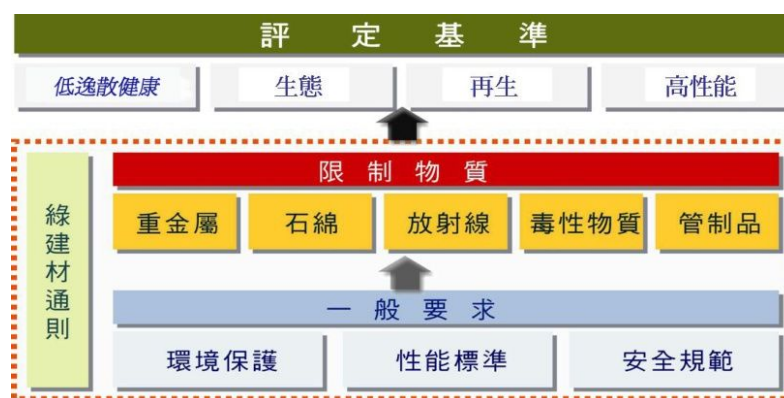


圖 2.1 綠建材標章四大分類及通則

2.1.1 綠建材標章相關法規

綠建材標章制度係參酌國際間相關建材標章精神、檢測程序及評定基準，並依本土氣候環境、產業現況，擬定相關制度，提出評定項目及評定基準，並自 2004 年 7 月開始受理綠建材標章申請。綠建材標章初期屬推廣及自願申請性質，惟為加強推廣應用，自 2006 年 7 月起，於「建築技術規則」明訂供公眾使用之建築物室內裝修應採用 5% 以上的綠建材，2009 年修正提高其使用率為 30%，2012 年 7 月開始，更將使用率提升至 45%，並增列戶外鋪面部分需使用 10% 以上的綠建材，其規定內容為：「建築物室內裝修材料、樓地板面材料及窗，其綠建材使用率應達總面積百分之四十五以上，建

築物戶外地面扣除車道、汽車出入緩衝空間、消防車輛救災活動空間及無須鋪設地面材料部分，其地面材料之綠建材使用率應達百分之十以上」，在建築法令的強制規定下，帶動了臺灣綠建材的產製及消費風潮。

2.1.2 綠建材標章推動現況

自 2004 年推動綠建材標章制度以來，每年核發之標章數持續成長，截至 2015 年 4 月底，累計評定通過 1,295 件標章，產品包括塗料、天花板材料、地板材料、隔間牆材料、吸音材、磁磚、透水磚、高壓混凝土地磚、填縫劑、接著劑、節能玻璃、隔音門窗等共 9,401 種產品。2014 年單一年度評定通過件數達 255 件，此數量不僅較前一年度評定通過件數（203 件）大幅成長 25.6%，也是歷年評定通過件數最高的一年。綠建材標章推動十年來，核發的標章件數持續顯著成長，民眾可選購之綠建材產品趨於豐富多元，由此可見，標章制度確實帶動了臺灣綠建材的產製及消費風潮，民間業界更因綠建材產業的蓬勃發展，自發性地成立「臺灣綠建材產業發展協會」，共同推動綠建材產業。

另外，為協助臺灣建材業者進一步提升建材商品之國際競爭力，以爭取國際綠色採購商機，本所近年來積極推動綠建材標章國際接軌，已在 2013 年 10 月份輔導臺灣綠建材標章評定專業機構（財團法人臺灣建築中心）與韓國環保標章評定機構「環境產業技術院」（Korea Environmental Industry & Technology Institute, KEITEI）及泰國環保標章評定機構「泰國環境研究院」（Thailand Environment Institute, TEI）共同簽署合作協議，並於 2014 年 10 月進一步與菲律賓環保標章評定機構「環保與永續發展中心」（The Philippine Center for Environmental Protection and

Sustainable Development, Inc., PCEPSDI) 簽署相關協議，相關協議可簡化臺灣廠商申請韓國、泰國、與菲律賓標章之程序，雙方之評定機構將相互承認對方認可之檢測結果與製程查核結果。未來，將持續進行國際接軌之推動工作，協助臺灣綠建材業者逐步將產品行銷至國際市場。

第二節 建築物節約能源法規

1995年內政部營建署在建築技術規則中正式納入建築節約能源設計之法令與技術規範；1999年內政部建築研究所正式制訂出「綠建築解說與評估手冊」作為綠建築之評審基準；同年推出「綠建築標章」並成立「綠建築委員會」以評定、獎勵綠建築設計；台灣的綠建築政策由此不斷向前邁進。另一方面，在建築外殼節能規範上也不斷強化建築節能設計基準並擴大建築管制對象，對於新建建築的節能管理比例由1995年的2%、1998年的57%、2002年的70%、2004年的80%，擴增到2008年的85%。此外，內政部營建署，為了加強建築外牆及開窗部位節能效益，於一百零一年十一月七日以內政部臺內營字第一〇一〇八一〇〇六一號令修正發布第三百條、第三百零八條之一、第三百零九條、第三百一十條、第三百一十一條、第三百一十二條；增訂第三百零八條之二條文，相關條文並自一百零二年一月一日施行。

建築技術規則建築設計施工編有關建築節能之規定如下：

第三百零八條

建築物建築外殼節約能源之設計，應依據下表氣候分區辦理：

表 2.1 建築技術規則氣候分區

氣候分區	行政區域
北部氣候區	臺北市、新北市、宜蘭縣、基隆市、桃園縣、新竹縣、新竹市、苗栗縣、福建省連江縣、金門縣
中部氣候區	臺中市、彰化縣、南投縣、雲林縣、花蓮縣
南部氣候區	嘉義縣、嘉義市、臺南市、澎湖縣、高雄市、屏東縣、臺東縣

第三百零八條之一

受建築節約能源管制建築物之屋頂平均熱傳透率應低於零點八瓦 / (平方公尺·度)，且當設有水平仰角小於八十度之屋頂透光天窗之水平投影面積 HWa 大於一點零平方公尺時，其透光天窗日射透過率 HWs 應低於下表之基準值 $HWsc$ 。但建築物外牆透空二分之一以上之空間，不在此限。

表 2.2 建築技術規則透光天窗日射透過率基準

水平投影面積 HWa 條件	透光天窗日射透過率基準值 $HWsc$
$HWa < 30m^2$	$HWsc = 0.35$
$HWa \geq 30m^2$ 且 $HWa < 230m^2$	$HWsc = 0.35 - 0.001 \times (HWa - 30.0)$
$HWa \geq 230m^2$	$HWsc = 0.15$

計算單位 HWa : m^2 ; $HWsc$: 無單位

建築物外牆、窗戶與屋頂所設之玻璃對戶外之可見光反射率不得大於零點二五

第三百零八條之二

受建築節約能源管制建築物之外牆平均熱傳透率、立面開窗部位（含玻璃與窗框）之窗平均熱傳透率及窗平均遮陽係數應低於下表所示之基準值。但符合本編第三百零九條、第三百十條、第三百十一條或第三百十二條規定者，不在此限。

表 2.3 開窗部位隔熱基準

類別	外牆平均熱傳透率基準值 (W/(m ² .K))	立面開窗率>0.5		0.5≥立面開窗率>0.4		0.4≥立面開窗率>0.3		0.3≥立面開窗率>0.2		0.2≥立面開窗率>0.1		0.1≥立面開窗率	
		窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值	窗平均熱傳透率基準值	窗平均遮陽係數基準值
住宿類建築	2.75	2.7	0.10	3.0	0.15	3.5	0.25	4.7	0.35	5.2	0.45	6.5	0.55
其他各類建築	2.0	2.7	0.20	3.0	0.30	3.5	0.40	4.7	0.50	5.2	0.55	6.5	0.60

建築物位於海拔高度八百公尺以上者，其窗平均遮陽係數不受前項限制。

住宿類建築物每一居室之可開啟窗面積應大於開窗面積之百分之十五。但符合本編第三百十條規定者，不在此限。

第三百零九條

辦公廳類、百貨商場類、旅館餐飲類及醫院類建築物，為維持室內熱環境之舒適性，其外殼耗能量應低於下表之基準值。但符合本編第三百零八條之二規定者，不在此限：

表 2.4 建築技術規則外殼耗能基準

類別	氣候分區	外殼耗能基準 千瓦·小時／（平方公尺·年）
辦公廳類： G類第一組 G類第二組	北部氣候區	八十
	中部氣候區	九十
	南部氣候區	一百一十五
百貨商場類： B類第二組	北部氣候區	二百四十
	中部氣候區	二百七十
	南部氣候區	三百十五
旅館餐飲類： B類第三組 B類第四組	北部氣候區	一百
	中部氣候區	一百二十
	南部氣候區	一百三十五
醫院類： F類第一組	北部氣候區	一百四十
	中部氣候區	一百五十五
	南部氣候區	一百九十

第三百十條

住宿類建築物外殼不透光之外牆部分之平均熱傳透率應低於三點五瓦／（平方公尺·度），且其建築物外殼等價開窗率之計算值應低於下表之基準值。但符合本編第二百零八條之二規定者，不在此限：

表 2.5 建築技術規則建築物外殼等價開窗率基準

住宿類：	氣候分區	建築物外殼等價開窗率基準值
H類第一組	北部氣候區	百分之十三
	中部氣候區	百分之十五
H類第二組	南部氣候區	百分之十八

第三百十一條

學校類建築物居室空間之窗面平均日射取得量應分別低於下表之基準值。但符合本編第二百零八條之二規定者，不在此限。

表 2.6 建築技術規則窗面平均日射取得量基準

學校類建築物：	氣候分區	窗面平均日射取得量 基準值 單位：千瓦· 小時（平方公尺·年）
D類第三組	北部氣候區	一百六十
D類第四組		
D類第五組		
F類第二組	中部氣候區	二百
F類第三組	南部氣候區	二百三十

第三百十二條

大型空間類建築物居室空間之窗面平均日射取得量應分別低於下表公式所計算之基準值。但平均立面開窗率在百分之十以下，或符合本編第二百零八條之二規定者，不在此限。

表 2.7 建築技術規則窗面平均日射取得量基準值計算公式

大型空間類建築物：	氣候分區	窗面平均日射取得量基準值計算公式
A類第一組	北部	$\text{基準值} = 146.2X^2 - 414.9X + 276.2$
A類第二組		
B類第一組		
C類第一組	中部	$\text{基準值} = 273.3X^2 - 616.9X + 375.4$
C類第二組		
D類第一組		
D類第二組	南部	$\text{基準值} = 348.4X^2 - 748.4X + 436.0$
E類		

X：平均立面開窗率（無單位）基準值單位：千瓦/（平方公尺·度）

第三百十三條（刪除）

第三百十四條

同一幢或連棟建築物中，有供本節適用範圍二類以上用途，且其各用途之規模分別達本編第二百九十八條第三款規定者，其耗能量之計算基準值，除辦公廳類、百貨商場類、旅館類及醫院類建築物應依各用途空間所占外周區空調樓地板面積加權平均計算外，應分別依其規定基準值計算。

第 三百十五條

有關建築物節約能源之外殼節約能源設計，應依設計技術規範辦理。

前項建築物節約能源設計技術規範，由中央主管建築機關定之。

有關第三百零八條之二，其規定所稱之開窗部位是指凡是有透光功能之部位均被視為開窗，包括可開窗、固定窗或玻璃磚外殼，其面積必須包括透光部位之玻璃與非透光部位之窗框，其面積範圍之認定與一般建築圖對於窗面積之標示無異。窗平均熱傳透率必須依公式由窗框與玻璃的 U_i 值與面積之加權計算求得。若為無框構造之玻璃帷幕構造或玻璃磚外殼，則以玻璃 U_i 值計之即可。窗框面積比 r_{fi} 是公式簡化計算的關鍵。據相關研究對實際開窗設計型錄之統計資料顯示， r_{fi} 以固定窗、拉窗、推窗三種形式之乘冪關係，隨著開窗增大而縮小。該規範以表 2.8 之速查表提供 r_{fi} 最簡易精確之算法之。窗玻璃與窗框部位熱傳透率可依表 2.9 中 U_i 值之規定計算。至於窗平均遮陽係數，並無單位，係累算玻璃與外遮陽之日射遮蔽效果。

表2.8 木窗或塑鋼窗窗框面積比rfi 速查表（不鏽鋼窗之r f i 必須依此數據再乘上0.8，鋁窗之r f i 必須依此數據再乘上0.9）

開窗面積(m2) 開窗類型	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.0	3.5	4.0
固定窗	0.55	0.45	0.39	0.35	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19	0.18	0.17	0.16	0.15	0.15	0.14	0.13
推窗	0.79	0.67	0.59	0.54	0.50	0.45	0.41	0.38	0.35	0.32	0.31	0.30	0.28	0.27	0.26	0.25	0.23
拉窗	0.84	0.70	0.62	0.56	0.51	0.45	0.41	0.38	0.34	0.32	0.30	0.29	0.27	0.26	0.25	0.23	0.22

表 2.9 常用開窗之窗框及玻璃部位熱傳透率 U_i

玻璃 (數字代表厚度 mm)		熱傳透率 $U_i[W/(m^2.k)]$	玻璃 (數字代表厚度 mm)		熱傳透率 $U_i[W/(m^2.k)]$
單層玻璃	3	6.31	12 mm 乾燥空氣層雙層玻璃	3+A12+3	3.10
	5	6.21		5+A12+5	3.05
	6	6.16		6+A12+6	3.03
	8	6.07		8+A12+8	2.98
	10	5.97		10+A12+10	2.94
	12	5.88		12+A12+12	2.90
	15	5.75			
	19	5.59			
6mm 乾燥空氣層雙層玻璃	3+A6+3	3.31	12 mm 惰性氣體雙層玻璃	3+Aig12+3	1.93
	5+A6+5	3.25		5+Aig12+5	1.90
	6+A6+6	3.23		6+Aig12+6	1.89
	8+A6+8	3.17		8+Aig12+8	1.86
	10+A6+10	3.12		10+Aig12+10	1.83
	12+A6+12	3.07		12+Aig12+12	1.80
6mm 惰性氣體雙層玻璃	3+Aig6+3	2.62	玻璃磚	5+隔熱膜+5	4.92
	5+Aig6+5	2.58		6+隔熱膜+6	4.88
	6+Aig6+6	2.56		8+隔熱膜+8	4.71
	8+Aig6+8	2.52	玻璃磚	8+A60~80+8	2.98
	10+Aig6+10	2.48			
	12+Aig6+12	2.44			
中(窗框)	鋁門窗窗框	3.5	實木窗窗框 (4.0cm)		2.82
	鋼窗窗框	3.5	實木窗窗框 (5.0cm)		2.47
	塑鋼窗窗框	1.4			

備註： 1. A6代表空氣層厚度6mm，熱阻 $R_a=0.14[m^2.k/W]$ 。 2. A12代表空氣層厚度12mm，熱阻 $R_a=0.16[m^2.k/W]$ 。 3. Aig6代表空氣層填充惰性氣體，厚度6mm。 4. Aig12代表空氣層填充惰性氣體，厚度12mm。 5. 無論普通、吸熱、反射玻璃、膠合玻璃，均依其厚度適用本表之 U_i 值，也可採實驗室之實驗值認定之，亦即 U_i 值與玻璃厚度有關，但與顏色、日射遮蔽性能關係不大。 6. PC (polycarbonte) 中空板以合成樹脂版依各層厚度與空氣層數計算其 U 值。 7. 窗框之 U 值可採本表標準 U 值認定，其他形式窗框以其斷面由表 3-1 公式計算，也可採實驗室之實驗值認定之。

第三節 影響建築物冷房耗能量之因子

為檢討各類建築物的冷房耗能量，相關研究（集合住宅建築節能設計的指標與基準，1995年）曾統計數十棟既有建築物的分析結果，發現：「在建築條件方面的影響因子以開窗率最大，其他依序為遮陽、方位配置與玻璃透射率，而屋頂隔熱處理，建材等方面的設計，對ENVLOAD的影響效果最小。」

本所 100 年度協同研究計畫「隔熱材料對建築外殼隔熱性能及節能效益影響之研究」利用 e-Quest 動態解析軟體，以台北之辦公建築為對象，來模擬建築外殼熱性能對於建築空調耗能之影響。該研究的模擬方式首先建立模型的原型，原型之外殼熱性能之因子皆採用一般建築外殼常用的材料性質，對於改善建築外殼熱性能的手法則包括「降低外殼 U 值」、「降低玻璃 U 值」、及「降低玻璃 η 值（日射透射率）」，分述如下：

1. 降低外殼 U 值

本方案主要變因為降低外殼 U 值，提升一倍的外殼隔熱性能。故相對於原型設定之台灣現行法規一般外牆的熱傳透率上限值 $3.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ 、屋頂熱傳透率上限值 $1.0 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ ；本方案設定之外牆 U 值為 $1.75 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ 、屋頂 U 值為 $0.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ ，如表 2.10 所示。

表 2.10 降低外殼 U 值設定參數之模擬方案

	外牆熱傳透率 $U_i(\text{W/m}^2 \cdot \text{k})$	屋頂熱傳透率 $U_i(\text{W/m}^2 \cdot \text{k})$
原型外殼	3.5	1
改善後之外殼	1.75	0.5

2. 降低玻璃 U 值

本方案主要變因為降低玻璃 U 值，將玻璃的隔熱性能提升一倍。故相對於原型設定之一般 6mm 單片玻璃的熱傳透率為 $6.16 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ ，本模擬方案的玻璃 U 值設定為 $3.23 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ 之雙層玻璃夾 6mm 乾燥空氣層，其相關變因如表 2.11 所示。

表 2.11 降低玻璃 U 值相關設定參數之模擬方案

類型		厚度	熱傳透率 $U_i (\text{W/m}^2 \cdot \text{k})$	日射透過 率 η_i
原型玻璃	單片玻璃	6mm	6.16	0.82
改善後玻璃	雙層玻璃夾 6mm 乾燥空氣層	6+A6+6	3.23	0.73

3. 降低玻璃 η 值

本方案主要變因為降低玻璃 η 值（日射透過率），將玻璃的遮陽性能提升一倍。相對於原型設定一般 6mm 單片玻璃的日射透過率 η_i 為 0.82，本模擬方案設定之玻璃日射透過率 η_i 為 0.42，其相關變因如表 2.12 所示。

表 2.12 降低玻璃 η 值相關設定參數之模擬方案

類型		厚度	熱傳透率 $U_i (\text{W/m}^2 \cdot \text{k})$	日射透過 率 η_i
原型玻璃	單片玻璃	6mm	6.16	0.82
改善後玻璃	單片玻璃	6mm	6.16	0.42

研究結果顯示「降低外殼 U 值」及「降低玻璃 U 值」僅分別降低空調耗能 3.3% 及 2.4%，而「降低玻璃 η 值」可降低 15% 之空調耗能，詳表 2.13。

表 2.13 建築外殼隔熱性能模擬結果

台北	原型	降低 外殼 U 值	降低 玻璃 U 值	降低 玻璃 η 值
平均空調 EUI (kwh/ m ² yr)	65.3	63.2	63.7	55.6
空調節能效率	—	3.3%	2.4%	15.0%

改善玻璃、外牆及屋頂材料之 U 值係為抑制建築外殼溫差傳透熱 (thermal transfer heat) 的進出，亦即在於減少經由玻璃面、外牆及屋頂以熱傳導方式進出的熱能。在溫帶或寒帶地區，透過提升材料保溫性 (降低 U 值)，可獲得顯著之節能效果，而台灣地區由於氣候溫和，室內外溫差相對較小，經由溫差產生的熱傳導較少，因此，U 值對於空調耗能影響也較小。

室外的熱源除了以溫差熱傳導方式進入室內以外，亦可從開口部位以輻射方式進入室內，因此降低玻璃之日射透過率 (η 值)，可抑制經由太陽輻射傳入室內的日射熱得 (solar heat gain)，其對於建築耗能之影響較為顯著。

至構造蓄熱部分，相關研究 (成大建築 95 年碩士論文，亞洲地區辦公建築外殼節能計畫) 曾對亞洲地區 11 個城市建築進行解析，該研究指出，蓄熱造成建築熱時滯效應，但在各氣候區下，構造體蓄熱對於建築全年空調耗能影響皆不明顯，建築構造隔熱性能對熱負荷之影響遠大於蓄熱之作用。

第四節 建築外殼隔熱性能量測及計算

建築隔熱性能的優劣攸關室內人員熱舒適狀態、空調能源需求等，影響環境控制品質甚巨，然而，在熱阻值的數據來源上，材料廠商所提供者、設計時所採用者以及建成後實際構造體的熱阻值，三者之間有可能產生差異，這使得建築物的實際能耗和設計值與分析值產生誤差，因此，本所在 103 年度特別進行「外牆構造隔熱性能之研究」，以針對建築物外殼隔熱性能之現地量測進行研究與探討。

我國建築牆體或屋頂板多為由鋼筋以及混凝土組合而成的鋼筋混凝土構造，除了鋼筋與混凝土外，尚有支柱、水電管線、出線盒等，因此，總熱阻難以由各材料熱阻加總而成，可惜，國內既有研究成果以單一構件之熱阻值量測為主，對於構件熱阻值現地量測以及環境控制構造熱阻值分析則不多見，現地量測方法包括包含：(1)溫度合成法（ISO standard 8301-1991）、(2)表面溫度法（ISO 9869-2014），概述如下：

一、溫度合成法（Method of synthetic temperatures）（ISO standard 8301-1991；BS EN ISO 6946-1997）

在現地測試時，吾人可藉助太陽日照作為高溫側熱源，然而，此熱源係隨時間而變，並非完美穩態；室內側則可藉助空調來達成穩定的對流邊界。由於建築外殼熱阻的因素，僅有部分的日照能量得以進入室內而成為室內熱得（heat gain），且由於我國建築外殼需負擔部分耐震之責，厚實的建材其高熱容性會造成室內外熱流的時滯現象。因此，為了避免牆體熱容效應，在分析外牆體或屋頂板

的熱阻值時，實驗量測溫度與熱流率的時間必須足夠（至少一天），無法利用暫態量測方式來取代。熱阻值 R_{total} 的計量方式為：

$$R_{total} = \frac{\bar{T}_{\infty,1} - \bar{T}_{\infty,2}}{\dot{Q}}$$

$$\bar{T}_{\infty,1} = \frac{1}{24} \sum_l T_{\infty,1}$$

$$T_{\infty,1} = T_o + \frac{\alpha E_t}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o}$$

此方法有則關鍵參數 $\dot{Q}$ （穿越實驗體之熱流率(W)），可配合熱流計之方式來加以估算：

$$\dot{Q} = q_{hf}'' A \frac{T_{s,i} - T_{\infty,2}}{T_{hf} - T_{\infty,2}}$$

其中， q_{hf}'' 為熱流計量得之熱通量(W/m²)；A 為試體表面積(m²)； $T_{s,i}$ 為室內側壁溫； T_{hf} 為熱流計室內側表面溫度； h_o 為表面熱對流係數，單位：

W/m² K； $T_{\infty,1}$ 為等價日照溫度（Sol-air temperature），用以設定溫度邊界，等價日照溫度 $T_{\infty,1}$ 是一種虛擬的外氣溫度，等同於外氣溫度 T_o 與日射熱輻射綜合作用於相同表面時的熱傳。

二、表面溫度法(Method of surface temperatures)(ISO 9869-2014; ISO 8301-1991; BS EN ISO 6946-1997)

利用實驗牆體之表面溫度之一日平均值 ($\bar{T}_{s,o}, \bar{T}_{s,i}$) 以及 $h_1, h_2, \bar{Q}$ 來決定牆體熱阻值 R_{total} :

$$R_{total} = \frac{l}{h_1 A} + \Sigma R_{wall} + \frac{l}{h_2 A}$$
$$\Sigma R_{wall} = \frac{\bar{T}_{s,o} - \bar{T}_{s,i}}{\bar{Q}}$$

T_s 為表面溫度，單位： $^{\circ}\text{C}$ ， h 為表面熱對流係數單位： $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$

依據本標準進行量測時，需讓室內溫度盡可能保持穩定，並盡可能讓牆體兩側壁溫差高於 10°C 。依據 ISO 9869-1994 所述，此標準所衍生之量測不確定度為 14-28 %。

該研究利用 ISO 9869-2014 標準進行 3 種外牆實際構造之熱傳導係數實地量測，第一種構造內容由外至內分別為：二丁掛磁磚、水泥砂漿、鋼筋混凝土(15cm 厚)、水泥砂漿，實測結果最終收斂熱傳透係數為 $5.35 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 。第二種構造由外至內分別為：水泥砂漿、鋼筋混凝土(20cm 厚)、水泥砂漿，實測結果最終收斂熱傳透係數為 $3.74 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 。第三種構造是輕鋼構建物牆體，該牆體厚度為 4.2 cm，內外壁用 0.27 mm 雙面烤漆鋼板，採用一體成型 PU 發泡牆板，實測結果最終收斂熱傳透係數為 $0.671 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ 。

第三章 國內外隔熱材料之規範及標準

第一節 隔熱材料之施工綱要規範

行政院公共工程委員會施工綱要規範 07221 章為「屋頂隔熱」，惟施工綱要規範並無外牆隔熱之相關規範，在 07221 章中，定義之屋頂隔熱材料包括使用於建築物屋頂防水層上或下之材料，包括玻璃纖維類、礦石纖維類、發泡玻璃類、化工隔熱材類、多孔噴漿類、輕質混凝土類等材質所組成之隔熱層。該規範將產品分為硬質隔熱材料和半硬質隔熱材料，其規範如下

一、硬質隔熱材料：產品共分 5 類，參考標準如表 3.1。

- (1) 輕質混凝土類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 60mm±，並加鋼絲網補強之。
- (2) 化工隔熱材類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (3) 發泡玻璃類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (4) 多孔噴漿類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (5) 水泥隔熱磚類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 30mm±。

表 3.1 硬質隔熱材料產品參考標準

項 目	輕質混凝土材	化工隔熱材類	發 泡玻璃類	多 孔噴漿類	水泥隔熱磚類	依據標準
厚度 (單層厚度)	[60mm±]	[25mm±]	[25mm±]	[25mm±]	[30mm±]	CNS
密度	[48 ± 5kg/m ³]	[]	[48 ± 5kg/m ³]	[48 ± 5kg/m ³]	[]	[ASTM C303]
抗壓強度	[4.0kg/cm ²]	[]	[4.0kg/cm ²]	[4.0kg/cm ²]	[]	[ASTM D1621]
吸水率	[最 低 1%，最高 2%]	[]	[最低 1%，最高 2%]	[最 低 1%，最高 2%]	[]	[ASTM D2842] [ASTM C272]
火焰蔓延度	[5]	[]	[5]	[5]	[]	[ASTM E84]
煙霧生成度	[45-175]	[]	[45-175]	[45-175]	[]	[ASTM E84]
R 值 (隔熱係數)	[]	[]	[]	[]	[]	[]

備註：[] 表示主管機關可考量本身工程特性，選擇選擇適合數值作為工程契約之依據。

二、半硬質隔熱材料： 產品共分 3 類，參考標準如表 3.2：

- (1) 玻璃纖維類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (2) 礦石纖維類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。
- (3) 化工隔熱材類：除設計圖另有註明外，其厚度至少 25mm±。

表 3.2 半硬質隔熱材料產品參考標準

項目	玻璃纖維類	化工隔熱材料類	礦石纖維類	依據標準
厚度（單層厚度）	[25mm±]	[25mm±]	[25mm±]	
密度	[48±5kg/m ³]	[]	[]	[ASTM C303]
吸水率	[最低 1%，最高 2%]	[]	[]	[ASTM D2842] [ASTM C272]
火焰蔓延度	[5]	[]	[]	[ASTM E84]
煙霧生成度	[45~175]	[]	[]	[ASTM E84]
R 值(隔熱係數)	[]	[]	[]	

備註：[] 表示主管機關可考量本身工程特性，選擇適合數值作為工程契約之依據。

第二節 隔熱材料之 CNS 國家標準

目前 CNS 國家標準中，和建築隔熱材料有關的標準包括 CNS 7331 A2103（硬質泡沫橡膠隔熱材料）、CNS 10487 A2165（聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料）、CNS 12055 A2211（住宅用玻璃棉隔熱材料）等，而相關的檢測方法包括 CNS 7332 A3121（隔熱材料之導熱係數測定法（平板比較法））、CNS 7332 A3122（隔熱材料之熱傳導係數測定法（平板直接法））、及 CNS 9960（住宅用隔熱材料之隔熱性能試驗法），詳表 3.3、3.4。

表 3.3 隔熱建材國家標準

編號	名稱
CNS 12055 A2211	住宅用玻璃棉隔熱材料
CNS 10487 A2165	聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料
CNS 7331 A2103	硬質泡沫橡膠隔熱材料
CNS 2535 K3014	泡沫聚苯乙烯隔熱材料
CNS 7774 A2108	硬質聚胺基甲酸脂泡沫塑膠隔熱材料
CNS 12057 A2212	噴敷用玻璃棉隔熱材料

表 3.4 隔熱建材試驗方法

編號	名稱
CNS 7332 A3121	隔熱材料之熱傳導係數測定法 (平板比較法)
CNS 9960 A3177	住宅用隔熱材料之隔熱性能試驗法
CNS 7333 A3122	隔熱材料之熱傳導係數測定法 (平板直接法)
CNS 2536 K6224	泡沫聚苯乙烯隔熱材料檢驗法

CNS 12055 A2211 (住宅用玻璃棉隔熱材料) 對於玻璃棉之重要規範為熱阻與被覆之著火性，在熱阻的部分，僅進行熱阻的分類，並規範必須將熱阻之分類標示，其熱阻之分類自 0.9 至 3.9 共分 14 類，如表 3.5，至於被覆之著火性部分則規定依著火試驗法進行試驗，3 組試體均不得有著火現象。

表 3.5 住宅用玻璃棉隔熱材料熱阻之分類

依熱阻之分類	熱阻值($\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C} / \text{kcal}$)
0.9	0.9
1.0	1.0
1.2	1.2
1.4	1.4
1.5	1.5
1.8	1.8
2.0	2.0
2.3	2.3
2.6	2.6
2.8	2.8
3.1	3.1
3.4	3.4
3.6	3.6
3.9	3.9

至於 CNS 10487 A2165（聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料），其規範之品質項目較多，包括視密度、吸水率、25%壓縮應力、抗拉強度、伸長率、導熱係數、壓縮永久變形量、燃燒性加熱尺度變化率等。其中與隔熱性能相關的項目為導熱係數，該標準規定之導熱係數是 0.0034 以下，如表 3.6 所示。

表 3.6 聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料國家標準

項目	標準值
視密度 kg/m ³	24±3
吸水率 g/cm ³	0.010 以下
25%壓縮應力 kgf/cm ²	0.2 以上
抗拉強度 kgf/cm ²	1.7 以上
伸長率 %	200 以上
導熱係數 (kcal / m · h · °C)	0.034 以下
壓縮永久變形量 %	8 以下
燃燒性	燃燒時間 120 秒以內，且其燃燒長度須在 60mm 以下
加熱尺度變化率 %	±5 以內

1Kca/hl=1.163W，1kcal/ (m. h. °C) =1.163W/m*k.

CNS 7331 A2103 (硬質泡沫橡膠隔熱材料)，對於隔熱材料的規定包括四大項，包括密度、導熱係數、壓縮試驗及吸水率等，其中導熱係數部分考慮到材料在不同溫度的導熱係數有所不同，因此規範了 30°C 及 0°C 的導熱係數，除此之外，由於橡膠材料有老化之現象，因此該規範對於成形後未滿六個月與六個月以上之材料，給予不同之規範值，如表 3.7 所示。

表 3.7 硬質泡沫橡膠隔熱材料之國家標準

密度 (kg/m3)	導熱係數 (kcal / m・h・ ℃)			壓縮試驗				吸水 率 (%)
	平均溫度 (30±5℃)		平均溫 度(0℃)	壓縮量 (mm)				
				壓縮荷 重(kgf) (每 25cm2)	板厚 (mm)			
100 以下	成形後 未滿 6 個月	0.030 以下	0.027 以 下		25	50	75	
	成形後 6 個月 以上	0.034 以下	0.031 以 下	5.0 以上	1.0 以 下	2.0 以 下	3.0 以 下	1.0 以下

根據 CNS 國家標準，我國對於隔熱建材之隔熱性能之規範主要以導熱係數（CNS 10487 A2165 及 CNS 7331 A2103 等）及熱阻（例如 CNS 12055 A2211）進行規範。在熱力學、機械工程與化學工程中，導熱係數是用來計算熱傳導的，主要是對流的熱傳導或流體與固體之間相態變換的熱傳導，其定義為在單位溫差下，單位時間通過單位面積單位距離的熱量，稱為該物質之熱傳導係數，若以厚度 L 之物質量測，則量測值要乘以 L ，所得之值是為熱傳導係數，通常記成 k ，單位為： $W/m \cdot k$ 或 $kcal / m \cdot h \cdot ^\circ C$ 。熱阻係數為熱導係數之倒數，熱阻係數一般表示為 $1/kx$ ，其單位為： $m \cdot K/W$ 。該係數乘材料厚度即為材料熱阻，熱阻一般表示為 R ，單位為 $(m^2 \cdot K) / W$ 。例如矽酸鈣板之熱導係數為 0.15，熱阻係數為 $1/0.15$ ，若使用 2.5 公分之石膏板則其熱阻為 $0.025 \times (1/0.15) = 0.17$ 。因此，導熱係數和熱阻的差異在於是否和厚度有關，導熱係數反應物質本身的一種特性，與厚度長度等無關，當然這種特性與其他外界因素有關，例如溫度等。但是熱阻則與厚度有關，厚度越厚，熱阻越高，因此如果要規範材料的本質，可以熱導係數作為標準，若規範後端材料的整體性能表現，可以熱阻予以規範較佳。

第三節 國外建築隔熱性能基準

台灣於2004年開始在「建築技術規則」中增列第十七章「綠建築基準」專章，該章詳細規範各類建築外殼節能設計之準則。以住宿類建築為例，考量當時營建技術與社會接受度，所以採用較寬鬆的表準並逐年提高，2002年屋頂平均熱傳透率基準值由

1.5[W/(m²·k)]強化為1.2[W/(m²·k)]，2010年修正至1.0[W/(m²·k)]，2013年再修正屋頂平均熱傳透率(Ui)基準值提高至0.8[W/(m²·k)]，至於外牆平均熱傳透率基準值仍為3.5[W/(m²·k)]。

世界各國基於材料科學與技術進步，逐步提高隔熱標準，台灣雖有提高標準但相較於鄰近其他國家仍寬鬆，例如，日本目前建築節能設計依照國土交通省(Ministry of Land, Infrastructure and Transport; MLIT)發布「住房基本綱領(Basic Program for Housing)」來執行，該基準將日本分為六大氣候區，並配合日本國內綠建築評估指標(CASBEE)，將構造隔熱性能區分為五個等級、六個區域作為評估標準，且於2010年提高各地區之評分等級(表3.8)。而在中國大陸對於建築構造隔熱性能推行的「民用建築熱工設計規範：GB50176-1993」中可看到，按照地區氣候條件分為5個區域，台灣地區氣候條件被歸類為「夏熱冬暖區」，表3.9是與台灣有相同氣候的中國夏熱冬暖氣候區的居住建築屋頂和外牆的傳熱係數(K)和熱惰性指標(D)節能設計標準[6]。

表3.8 日本綠建築評估制度CASBEE對於構造隔熱性能之評估

評分		居住與住宿部分(醫院、旅館類)				
評分1		不考慮窗、外牆、屋頂及地板的傳熱，隔熱能力差(窗SC=0.7，U=6.0)；外牆及其他U=3.0[W/m ² ·k]				
評分2		—				
評分3		考慮窗、外牆、屋頂及地板的傳熱，無遮陽及隔熱性能問題(窗SC=0.5，U=4.0)；外牆及其他U=2.0[W/m ² ·k]				
評分4		—				
評分5		充分考慮窗、外牆、屋頂及地板的傳熱，具有最好的遮陽及隔熱性能(窗SC=0.2，U=3.0)；外牆及其他U=1.0[W/m ² ·k]				
評分		居住與住宿部分(公寓式住宿類)				
傳熱係數U[W/m ² ·k]						
	地區 I	地區 II	地區 III	地區 IV	地區 V	地區 VI
評分1	2.8<U	4.0<U	4.4<U	4.9<U	7.1<U	7.1<U
評分2	1.8<U≤ 2.8	2.7< U≤ 4.0	3.1< U≤ 4.4	3.6< U≤ 4.9	3.9< U≤ 7.1	6.2< U≤ 7.1
評分3	1.6<U≤ 1.8	1.9< U≤ 2.7	2.4< U≤ 3.1	2.7< U≤ 3.6	2.7< U≤ 3.9	3.7< U≤ 6.2
評分4	—	—	—	—	—	—
評分5	U≤1.6	U≤1.9	U≤2.4	U≤2.7	U≤2.7	U≤3.7

(資料來源：日本CASBEE技術手冊，2010)

表 3.9 中國夏熱冬暖地區居住建築屋頂和外牆的傳熱係數(K)和熱惰性指標(D)基準

屋頂和外牆的 $U[W/(m^2 \cdot K)]$ 、熱惰性指標D	
屋頂	外牆
$0.4 < U \leq 0.9, D \geq 2.5$	$2.0 < U \leq 2.5, D \geq 3.0$ 或 $1.5 < U \leq 2.0, D \geq 2.8$ 或 $0.7 < U \leq 1.5, D \geq 2.5$
$U \leq 0.4$	$U \leq 0.7$
注： 1. $D < 2.0$ 的輕質屋頂和東西牆，還應滿足現行國家標準《民用建築熱工設計規範》GB50176所規定的隔熱要求。 2. 外牆傳熱係數K和熱惰性指標D要求中， $2.0 < K \leq 2.5, D \geq 3.0$ 這一檔僅適用於南區。	

資料來源：夏熱冬暖地區居住建築節能設計標準JGJ75-2012)

第四節 材料隔熱與蓄熱性能探討

牆體的熱惰性指標：當牆體的熱阻相同而組成材料不同時，室外溫度對室內環境的影響不同，牆體材料的蓄熱係數愈大，則對室內環境的影響也就愈大；所以在實際的建築牆體中，也會採用牆體的熱阻與牆體材料的蓄熱係數的積，即建築牆體的熱惰性指標，來評價牆體的傳熱、蓄熱性能。牆體熱惰性指標的計算公式如下：

$$D = R \cdot S$$

若為多層牆體材料，則

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot S_i$$

式中 R 為牆體材料的熱阻， $m^2 K/W$ ；S 為牆體材料的蓄熱係數， $W/m^2 K$ 。

牆體的隔熱能力是指阻止或減緩熱量通過牆體的能力。牆體或材料的隔熱能力是以熱阻 R 值來衡量測量。 R 值為熱傳導率(U 值)的倒數，其計算式為：

$$R = \frac{1}{U} = \frac{L}{k}$$

蓄熱係數：材料的蓄熱係數是指在一定週期性的熱作用下，當牆體表面溫度的波幅為 1°C 時，消耗在加熱無限大之厚度牆體材料的熱流波振幅，亦可代表：在周期性熱作用下，物體表面溫度升高或降低 1°C 時，在 1h 內， 1 m^2 表面積貯存或釋放的熱量，材料的蓄熱係數可以表示材料的穩定性。材料蓄熱係數的單位為 $\text{W/m}^2\text{ K}$ ，計算公式如下：

$$S = \sqrt{\frac{2\pi\rho ck}{w}} = 0.51\sqrt{\rho ck}$$

式中 ρ 為材料的密度(kg/m^3)； c 為材料的比熱(KJ/kg-K)； k 為材料的導熱係數(W/m-K)； w 為溫度的波動週期(秒)，一般取 86,400 秒(24 小時)為週期。

在熱惰性指標中熱阻反映介質或介質間的傳熱能力的大小，蓄熱係數表達吸收和釋放熱能的能力。因此，熱惰性指標表達了牆體對於溫度變化和傳熱變化的抵抗能力；熱惰性指標越大，牆體越不易改變其溫度。

為了探討材料的熱學性質，本研究以水、木材、鋼材、混凝土、磚、石材進行熱學性質的計算和探討（計算結果詳表3.10），其中和物體蓄熱隔熱性質有關的材料參數包括比熱容、密度、熱導係數和厚度，本分析假設各材料之厚度都是1單位。其中：

熱導係數又稱為熱傳導率，定義為單位截面、長度的材料在單位溫差下和單位時間內直接傳導的熱量

熱質量（Thermal Mass）：定義為一個物體儲存能量的能力或一個物體蓄熱的能力。熱質量=比熱 $\times$ 密度，因此以水而言，熱質量為4200 kJ/m³K，其意義代表每立方公尺的水上升或下降一攝氏度需要吸收或會釋放出一千焦耳的能量。木材的熱質量為800 kJ/m³K，鋼則為3510 kJ/m³K，這表示讓1立方公尺的鋼上升或下降一攝氏度需要吸收或會釋放出的能量比木材高。當然，熱質量並不考慮時間因素，而是評估固定體積的材料所能吸收或釋放的熱量，因此與密度相關。雖然鋼材比熱比木材小，但是鋼材密度遠大於木材，所以單位體積所能吸收或釋放的熱比木材多。

蓄熱係數：當某一足夠厚度單一材料層一側受到諧波熱作用時，表面溫度將按同一周期波動。通過表面的熱流波幅與表面溫度波幅的比值。是材料在周期性熱作用下得出的一個熱物理量。對於一個有一定厚度的均質材料層來說，如果一次的空氣溫度作週期性波動，那麼，材料層表面的溫度和熱流也要隨著作同樣皺起的波動，此時，用表面上的熱流波幅與表面波幅之比表示材料蓄熱能力的大小，稱為材料的蓄熱係數。換言之，當某一均質半無限大物體一側收到簡諧熱作用時，迎波面上接受的熱流振幅與該表面溫度波動的振幅比。通俗的講就是材料儲存熱量的能力，亦即，在周期性熱作用下，物體表面溫度升高或降低1℃時，在1h內，1m²表面積貯存或釋放的熱

量，牆體材料的蓄熱係數愈大，則對室內環境的影響也就愈大，因為蓄熱係數反應材料在單位時間內吸收和釋放熱能的能力。

經計算鋼材的蓄熱係數遠遠大於木材，表示在單位時間內讓鋼材面溫度升高或降低 1°C ， 1m^2 表面所需積貯存或釋放的熱量比木材高。這是因為鋼材的熱質量比木材高，且熱導係數（單位截面、長度的材料在單位溫差下和單位時間內直接傳導的熱量）比木材高，換言之，鋼材熱質量大且傳導的量也大，因此吸收和釋放熱能的能力較大，也因此對於環境熱負荷影響較大。不過，由於鋼材可以在短時間吸收大量的熱能，但也同時間釋放大量的熱能，因此對於室內熱能的時間延遲(Time lag)與強度衰減(Decrement factor)效應並不明顯，而混凝土材料的蓄熱係數約大於木材的6倍，但約是鋼材的6分之1，因此熱量在混凝土材料的表面和內部之間的傳遞速率，和建築物熱量的日/夜間交替循環的速率較為一致，換言之，混凝土在白天蓄熱，對於室內熱負荷有遲滯和強度衰減的作用，但是到了晚上，混凝土逐漸將所蓄之熱能釋放出來，造成成為都市熱島效應的原因之一。

另外一個和蓄熱相關的指標為熱惰性指標，中國大陸的建築屋頂和外牆的節能設計標準已經同時納入熱傳透係數(U)和熱惰性指標(D)，以同時考量蓄熱和隔熱特性。熱惰性指標是外殼結構抵抗溫度波和熱流波在材料層傳播的指標，換言之，熱惰性指標表達了牆體對於溫度變化和傳熱變化的抵抗能力；熱惰性指標越大，牆體越不易改變其溫度。經計算（均假設厚度為一公分），鋼材的蓄熱係數遠遠大於木材，但是熱惰性指標遠小於木材，主要因素是因為鋼材的熱阻($1/k$)極小所致，鋼材熱惰性指標小表示對於溫度變化和

傳熱變化的抵抗能力較弱，而透過增加材料厚度(L)，可使熱惰性指標增加。

中國大陸對於隔熱材料的規範同時包括了熱傳透係數U值 $[W/(m^2 \cdot K)]$ 、熱惰性指標D，惰性指標則與厚度有關，換言之，依其精神，若使用U值小的材料，對於厚度的要求可以降低，反之使用U值大的材料，必須加大材料厚度。而在台灣，建築外牆與屋頂節能法規僅規範材料的U值（熱傳透率），U值為厚度與 $(1/k)$ 的乘積，因此已經考量了厚度與k的影響，但是並未考慮到比熱容與密度的影響，而比熱容與密度影響的是材料的蓄熱能力，依大陸規範之精神，良好的隔熱材料必須有低的k值，但是有大的熱質量或蓄熱係數。

表3.10 不同建材熱學性質分析表

建築材料	A 比熱容 (KJ/kg.K)	B 密度 (kg/m ³)	C 熱導係數 (k) (W/m.k)	A*B 熱質量 (KJ/m ³ .K)	$0.51\sqrt{ABC}$ 蓄熱係數 (W/m ² K)	$0.51\sqrt{ABC} \cdot L/k$ 熱惰性指標
水	4.2	1000	0.6	4200	25.6	0.43
木材	1.6	500	0.13	800	5.2	0.40
鋼	0.45	7800	50.0	3510	213.6	0.04
混凝土	1	2300	1.75	2300	32.3	0.18
磚	1	1750	0.77	1750	18.7	0.24
石材	1	2300	1.8	2300	32.8	0.18

瓦數=焦耳/秒

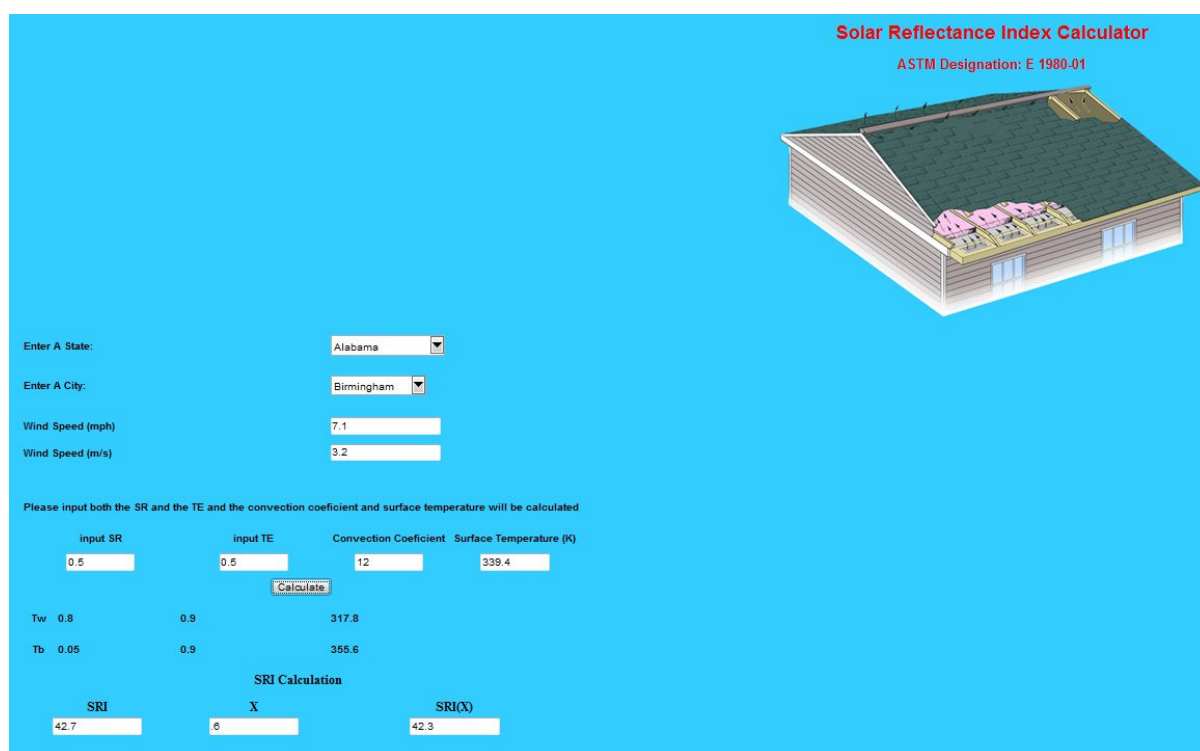
假設厚度L為1cm

第五節 冷屋頂材料標準

在建築外殼設計上，大面積水平屋頂更為造成建築空調負荷主因，屋頂表面溫度過高也會造成都市熱島效應更加的顯著，因此，國外先進國家皆投注人力、物力進行冷屋頂(Cool Roof)設計手法研究及開發相關節能建材，所謂冷屋頂的定義是指具有高反射率(solar reflectance)與高發射率(thermal emittance)之屋頂。此類屋頂能阻擋大量原本要進入建築物內的太陽輻射，而且因為高的熱發射率使得屋頂表面溫度較低，進而能較低都市熱島效應。高反射率(solar reflectance)與高發射率(thermal emittance)之屋頂材料選擇，係冷屋頂設計主要關鍵技術，經由屋頂塗佈反射塗料(solar reflective coating)方式，或綠屋頂(green roof)等設計手法來降低室內熱負荷，進而達到建築節能效果。目前已有數個單位與組織，制定反照率與輻射率相關之涼屋頂標準，這些標準主要係規範材料之反射率、發射率及太陽反射指標SRI。

反射率(solar reflectance)或稱反照率(Albedo)，是指物體反射太陽輻射與該物體表面接收太陽總輻射的兩者比率或分數度量，也就是指反射輻射與入射總輻射的比值。反射率是透過儀器量測出來的值，ASTM及CRRC均有相關檢測標準。發射率(thermal emittance)或稱輻射率是指物體輻射的能量與同溫度的黑體輻射能量的比值，它是物質吸收與輻射能量能力的指標，ASTM亦有現場與實驗室的量測法。至於太陽反射指標(Solar Reflectance Index)是一個結合屋頂反射率與輻射率的一個指標，用以判定屋頂降低熱島效應的程度。太陽反射指標定義0代表標準的黑體表面(反射率=0.05, 輻射率=0.90)，100為標準的白色表面(反射率=0.80, 輻

射率=0.90)。一般常見屋頂材料之SRI為：瀝青=0、灰色水泥瓦=25、白色礦物顆粒瀝青=28紅色陶土屋瓦=6、鋁=56、白色EPDM橡膠=84、白色水泥瓦=90、白色PVC=104、白色塗料=100~107，一般來說，屋面材料顏色越深，SRI越低，大部分材料的SRI都在0-100範圍內，但也有少數白色塗料的SRI超過100。金屬的反射率很高，但是發散率並不高，因此，金屬屋面材料的SRI通常只有40-60左右，遠遠不及白色塗料的SRI高。許多因素影響了一種材料的SRI，包括反射率，發散率，氣溫，氣流，等等，但是在實際操作中，只需用反射率和發散率這兩個值，便可以依據ASTM 1980-01計算出SRI。其計算方法較為複雜，惟網頁可搜尋免費之SRI計算器可以進行計算(如圖3.1)。(http://web.ornl.gov/sci/roofs%2Bwalls/calculators/sreflect/index.htm)



Solar Reflectance Index Calculator
ASTM Designation: E 1980-01

Enter A State:

Enter A City:

Wind Speed (mph):

Wind Speed (m/s):

Please input both the SR and the TE and the convection coefficient and surface temperature will be calculated

input SR	input TE	Convection Coefficient	Surface Temperature (K)
0.5	0.5	12	339.4
Calculate			
T _{sr} 0.8	0.9	317.8	
T _b 0.05	0.9	355.6	

SRI Calculation

SRI	X	SRI(X)
42.7	6	42.3

圖3.1 SRI分析計算畫面

國外的許多研究顯示冷屋頂之節能減碳效益相當可觀。目前已有數個單位與組織，制定反照率與輻射率相關之涼屋頂標準，內容如下表3.12所示，簡要摘述如下

1. 冷屋頂評級委員會

美國冷屋頂性能評估協會(Cool Roof Rating Council, CRRC)已經針對多項冷屋頂相關產品進行定義與評估，並且提供冷屋頂標章認證。CRRC的標章認證分為新設和三年老化冷屋頂兩種。CRRC先採用ASTM測試方法E1918、C1549和E903進行太陽能反射率測試，也用C1549的修訂版CRRC-1測試方法#1進行測量，採用ASTM C1371進行熱輻射率測量（表3.11）。CRRC還針對區域應用塗層樣品進行厚度測試，以確保被測產品處於製造商所申報的應用範圍內。在經過新設冷屋頂產品之測試後，產品樣品就送到美國的三個不同氣候區的測試場進行測試（炎熱/潮濕，寒冷/溫暖，炎熱/乾燥）。每個地方的樣品都要經歷3年的風吹雨淋。其用意在於類比產品是如何隨著時間發生老化和性能變化的，如受煙灰、藻類生長、以及其他自然氣候條件的影響。三年之後，從測試場撤除樣品，在不清洗的情況下重新測試輻射特性值。進行測試之後，將老化值增列到線上冷屋頂目錄中，使得目錄用戶能夠看到在三年周期內產品的性能狀況。目前，CRRC的測試場和測試實驗室僅僅位於美國境內，但是經CRRC評級的產品已經生產、銷售於世界各個角落。依其規定，新建的低斜屋頂反射率為65%以上，輻射率0.8以上，或以ASTM 1980標準之SRI值最小應達75%。而陡斜屋頂為40%以上，輻射率0.8以上或ASTM1980標準之SRI值最小應達41%。

表 3.11 冷屋頂相關測試標準及儀器

項目	測試標準	儀器設備	測試地點
太陽輻射反射率	ASTM E 903	積分球與光譜儀	實驗室
太陽輻射反射率	ASTM C 1549	可攜式太陽反射率量測器	實驗室/現場
太陽輻射反射率	ASTM E 1918	日照強度計	現場
太陽輻射反射率	CRRC Test Method #1	可攜式太陽反射率量測器	實驗室/現場
熱輻射率	ASTM E 408-71	發射率/反射率量測儀	實驗室
熱輻射率	ASTM C1371	發射率量測儀	現場
太陽反射指標	ASTM E 1980	無（計算）	

2. 能源之星

ENERGY STAR是美國環境保護署的認證計畫，也是消費者普遍認知的節能標章，製造商生產的冷屋頂產品可以申請進行ENERGY STAR標章認證，只要產品符合ENERGY STAR對新設和老化屋頂的太陽能反射率最低評定基準，就可獲得ENERGY STAR標章。能源之星節能標章對於新設低傾斜度屋頂評定基準必須是 $SRI \geq 0.65$ ，老化低傾斜度屋頂為 $SRI \geq 0.50$ ；而新設高傾斜度屋頂必須是 $SRI \geq 0.25$ ，老化高傾斜度屋頂為 $SRI \geq 0.15$ 。

3. USGBC LEED

美國LEED綠建築評估指標在第7.2項中規定使用冷屋頂來降低都市熱島效應。LEED 使用太陽反射指標（SRI）來作為冷屋頂的評定基準。從2009年8月開始生效的LEED 2009最新版本的評定基準

規定當 75%屋頂覆蓋面積滿足或者超過最低 SRI 評定基準（低傾斜度 = 0.78，高傾斜度 = 0.29）材料的建築才能獲得 1 點積分。

加州Title24

加利福尼亞能源委員會（CEC）在 1978 年對於住宅建築和非住宅建築建立了能源效率標準，是為了要求降低加利福尼亞能源消耗的一項新設法規。加州建築法規標準的最新版被稱為 Title 24（於 2009 年 8 月 1 日生效），是按照建造類型、建築用途、傾斜度和屋頂產品密度規定了屋頂節能的要求。。加利福尼亞的 Title24 要求的冷屋頂規範標準對於反射率、輻射率及 SRI 均有所規範。

美國冷凍空調學會（ASHRAE）

ASHRAE團隊於1997年開始分析冷屋頂在不同氣候下各項節能好處，並建議訂定太陽能反射率對於屋頂之標準。美國冷凍空調學會（ASHRAE）90.1 標準規定，涼屋頂之初始反照率必須大於0.70，輻射率必須大於0.75。ASHRAE 90.2 標準採用太陽反射指數（Sun reflection index, SRI）規範涼屋頂，SRI 需大於75 方符合涼屋頂之要求。

表3.12 冷屋頂材料相關規範

規範來源	屋頂種類	新舊類別	反射率(Solar Reflectance /Albedo)	輻射率 (Emittance)	太陽反射指數 SRI
能源之星 Energy Star	低斜	初始	0.65	—	75
		老化	0.50	—	53
	陡斜	陡斜	0.25	—	18
		老化	0.15	—	4
冷屋頂評級 委員會 CRRC	低斜	初始	0.65	0.80	75
	陡斜	初始	0.40	0.80	41
LEED	低斜	—	—	—	78
	陡斜	—	—	—	29
加州 Title24	低斜	老化	0.55	0.75	64
	陡斜	老化	0.20	0.75	16
ASHRAE90.1	—	—	0.70	0.75	82

註：低斜屋頂為屋頂高長比為 1:6；新舊類別之初始表示新建時，老化表示 3 年後。

第六節 小結

經分析探討國內外隔熱材料之基準，部分基準以熱阻（或稱隔熱係數，R，亦為 U 值之倒數）做為基準，部分則以導熱係數（或稱熱導係數，k），熱阻與厚度相關，厚度越大，材料的熱阻越大，U 值越小，而熱導係數則是反應材料的本質，與厚度、長度等尺寸無關，如果綠建材以熱阻作為基準指標，那麼將導致任何材料只要厚度加大，都可以符合熱阻的評估基準，而都可以成為綠建材，此一現象將與目前的隔音綠建材的精神相同，目前隔音綠建材只規定材料隔音之分貝數，因此任何材料只要加大厚度，都可以成為隔音綠

建材，另外，倘若以熱導係數 k 作為隔熱綠建材基準，雖可以確保材料具有優越的隔熱本質，但是，如果未使用足夠厚度之材料，即使材料具有隔熱之高性能，在使用上，亦不足以確保有足夠之隔熱性能，另外中國大陸之標準，以熱傳透係數 U 及熱惰性指標 D 作為評定基準，其中熱惰性指標 D 為熱阻和蓄熱係數的乘積，蓄熱係數又與材料密度、比熱、熱導係數 K 有關，換言之，若同時考量熱惰性指標 D 與熱傳透係數 U ，則可兼顧材料的厚度、熱導係數 K 、及蓄熱能力，但是，另一方面，相關的研究已經指出，以臺灣的氣候條件而言，蓄熱能力對於建築節能影響甚微，因此，可暫不考慮。參考相關國內外基準，本研究提出隔熱材料綠建材基準草案，即隔熱材料之厚度應至少達到 2.5 公分，其導熱係數（或稱熱導係數， k ）應小於 $0.028 \text{ (kcal / m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C)}$ ，未來可再視申請狀況，酌予調整。

至於國際上冷屋頂材料的基準大多是評估材料反射率與輻射率，而反射率與輻射率主要與材料表面之顏色相關，例如黑體表面之反射率約為 0.05，輻射率約為 0.90，白色表面之反射率約為 0.80，輻射率約為 0.90。若將反射率與輻射率納入綠建材基準，那麼淺色系的材料將容易符合基準，實務上，又常以塗料來改變外殼材料的表面顏色，但是，由於臺灣屬於海島型亞熱帶氣候，鹽霧、酸雨、落塵的對於戶外塗料相關性能的影響，應不容忽視，因此單以新材料表面的反射率與輻射率來評估塗料或隔熱材料的熱學性能，似不足以反應長期的性能。

第四章 外殼隔熱對建築耗能之影響

國內外相關文獻利用實驗證實建築物外牆隔熱、遮陽措施及外殼綠化確實能降低室內溫度，但都侷限於小規模實驗或數值模擬，缺乏本土氣候下的實際效應以及各種定量的分析；此外對於降溫造成之實際空調節能效益也缺乏數據。因此內政部建築研究所於 101 年度特辦理協同研究計畫「建築節能策略實驗屋設計與實測驗證」，並於 103 年持續補助辦理「節能實驗屋驗證計畫」，該計畫建置兩組實驗屋，分別規劃作為實驗組與對照組。本研究以該計畫所建置之節能屋（詳圖 4.1 所示）作為本研究玻璃性能模擬之對象。此外本實驗屋目前已經裝置空調與電表，本研究完成後，可以規劃於實驗屋進行各種玻璃之實際配置，並以電表進行空調耗能實測，實測結果可以解析結果進行比對。



圖 4.1 節能實驗屋外觀

照片來源：建研所「節能實驗屋驗證計畫」期末成果報告

兩組實驗屋以 5.7 公尺乘 2.0 公尺乘 2.3 公尺的貨櫃屋做為基礎結構，放置位置為臺灣大學土木研究大樓頂樓，方位配置採南北向，在東、西曬的長向牆面上各做三個開口，每一開口的窗戶尺寸為 110 公分乘 90 公分。另外在南向牆面上左邊設置一扇門方便進出，此為不鏽鋼門，尺寸為 90 公分乘 200 公分；兩棟實驗屋皆為南北向配置，依照方位西側棟的命名為 West House，東側棟的即 East House，其中一棟為實驗組而另一棟當做對照組。由於兩棟實驗屋皆由貨櫃屋構成，且放置在十層樓高的大樓樓頂，無任何陰影遮蔽，以至於貨櫃屋的室內溫度上升速度很快，而且溫度很高。為了讓後續的實驗能真實地模擬出一般住宅裝置節能系統之前與之後的變化比較，故兩棟貨櫃屋都必須做外牆與屋頂隔熱，使實驗屋的室內溫度能與一般住宅相近，並且裝修實驗屋的內牆、地板與內屋頂，美化室內環境。實驗屋外牆構造為 0.2 公分的鐵皮及 0.6 公分的矽酸鈣版與水泥板組合而成，至於屋頂部分，由於建築法規對於屋頂 U 值規定較嚴格，因此，屋頂構造為 0.2 公分的鐵皮、0.6 公分的矽酸鈣版與水泥板，內外再外加各一層 3.5 公分的 EPS 板。實驗屋基本參數詳表 4.1 所示。

表4.1 實驗屋基本參數

項目	參數
材質：	鐵櫃式貨櫃
尺寸	長5.7公尺 寬2公尺 高2.3公尺
地點	台北市（緯度為北緯25.07度，經度為東經121.85度）
方位	南北向，正門朝向方位角180度（朝正南方）
開窗	東西曬之長向牆面各三窗110*90公分，開窗率18.8%。
窗戶材質	金屬窗框
開門	南向牆面開一門（90*200公分）
玻璃	8mm 單層清玻璃（ $U=6.31W/m^2K$ ，遮蔽係數 $SC=1.00$ ，日射穿透率 $\eta_i=0.83$ ）
外牆構造（由外而內）	水泥板（0.6 cm） 角材（45*90*3.3*2.8 cm） 鐵皮（0.2cm） 角材（45*90*3.3*2.8 cm） 矽酸鈣板（0.6 cm）
屋頂構造	水泥板（0.6 cm） EPS板（3.5cm） 鐵皮 EPS板（3.5cm） 矽酸鈣板（0.6 cm）
溫度設定	26度
空調EER	3.93（能源效率第2級）
換氣率（本研究假設）	0.5ACH

表格來源：本研究製表

第一節 建立實驗屋外殼參數

與外殼建材隔熱性能相關的三個參數分別是熱導係數（ k ）、熱阻係數（ R ）、熱傳透率（ U ）。概述如下：

(1). 熱導係數 k ：

在熱力學、機械工程與化學工程中，熱傳導係數是用來計算熱傳導的，主要是對流的熱傳導或流體與固體之間相態變換的熱傳導，其定義為在單位溫差下，單位時間通過單位面積單位距離的熱量，稱為該物質之熱傳導係數，若以厚度 L 之物質量測，則量測值要乘以 L ，所得之值是為熱傳導係數，通常記成 k ，單位為： $W/m \cdot K$ 。綠建築標章設計之熱導係數詳表4.2所示。

(2). 熱阻係數：

為熱導係數之倒數，熱阻係數一般表示為 $1/kx$ ，其單位為： $m \cdot K/W$ 。該係數乘材料厚度即為材料熱阻，熱阻一般表示為 R ，單位為 $(m^2 \cdot K) / W$ 。例如矽酸鈣板之熱導係數為0.15，熱阻係數為 $1/0.15$ ，若使用2.5公分之石膏板則其熱阻為 $0.025 \times (1/0.15) = 0.17$ 。綠建築標章設計之熱阻詳表4.3所示。

表4.2 建材熱導係數（綠建築標章計算資料）

分類	材 料 名 稱	密度 ρ [kg/m ³]	熱導係數k 濕潤80%[W/m·k]
木 材	杉、檜木（輕量材）	330	0.13
	松、橡木（中量材）	480	0.17
	柳安木、柚木、紅木（重量材）	557	0.2
	合板	550	0.18
	鋸木屑	200	0.093
	絲狀木屑	130	0.088
	炭化軟木板	240	0.051
石 膏 、 水 泥 二 次 製 品	石膏	1950	0.8
	石膏板	710-1110	0.17
	纖維板、瓦	1500	1.20
	纖維水泥矽酸鈣板	600-1200	0.15
	纖維水泥珍珠岩板	400-1000	0.12
	泡沫水泥板	1100	0.24
	半硬質碳酸鎂板	450	0.12
	硬質碳酸鎂板	850	0.21
金 屬	鋼材、鍍鋅鋼板	7860	45
	鋁板、鋁合金板	2700	210
	銅板	8960	375
	不銹鋼板	7400	25
水 泥	泡沫混凝土（ALC）	600	0.17
	輕質混凝土	1600	0.8
	普通混凝土	2200	1.4
	預鑄混凝土（PC）水 泥砂漿	2400 2000	1.5 1.5
	輕型空心磚（實心）	1380	0.51

資料來源：學校類大型空間類及其他類建築物節約能源設計技術規範

表4.3 建材熱阻值(綠建築標章計算資料)

建材名稱	熱阻 R	建材名稱	熱阻 R
外氣膜	0.043	石膏板	0.0706
內氣膜(熱阻係數 1/9)	0.111	石棉浪板	0.003
內氣膜(熱阻係數 1/7)	0.143	岩棉保溫材	0.762
磁磚	0.008	石棉矽酸鈣板	0.167
水泥砂漿	0.007	璃棉	0.714
水泥砂漿	0.01	瀝青防音塗料	0.004
鋼筋混凝土	0.086	花崗石	0.009
鋼筋混凝土	0.107	柏油	0.004
紅磚	0.288	水泥防水粉光	0.007
輕質混凝土	0.125	馬賽克	0.004
鋼筋混凝土預鑄版	0.12	泡沫混凝土	0.471
鑽泥板	0.139	PU 板	0.04
玻璃	0.01	泡沫混凝土	0.588
石棉板	0.008	油毛氈	0.091
合板	0.1	岩棉吸音板	0.234
鋁板	7.62E-06	空氣層(無厚度)	0.086
鋁板	2.86E-05	空氣層	0.182
玻璃棉	0.714		

(資料來源:蔡尤溪「空調負荷計算理論及降低空調負荷」簡報資料)

(3). 熱傳透率 (U) :

熱阻之倒數即為熱傳透率 (U)，其單位為 $W/(m^2.K)$ 。所謂的平均熱傳透率 U_{ar} 與 U_{aw} ，指建築物外殼構造當室內外溫差在1K時，單位建築物外殼面積在單位時間內之傳透熱量。也代表屋頂及立面外殼的溫差熱取得。規定 U_{ar} (屋頂平均熱傳透率)及 U_{aw} (外牆平均熱傳透率)的目的在於維持建築外殼最基本的隔熱水準。

物體間會因為溫度不同而造成能量傳遞，這種傳遞的能量被定義為熱。而根據能量傳遞的方法不同，可以將熱傳遞分成3種方式，傳導 (conduction)、對流 (convection)、輻射 (radiation)。

其中傳導是一種重要的能量傳遞方式，當一物體內有溫度梯度存在時，能量會從高溫區傳到低溫區且單位面積之熱傳導速率和法線溫度梯度成正比，因此可寫成以下公式：

$$\frac{q}{A} \propto \frac{\partial T}{\partial n} \quad (4.1)$$

代入比例常數後，可得

$$q = kA \frac{\partial T}{\partial n} \quad (4.2)$$

其中 q 為熱傳遞速率 (W)， A 為熱傳遞面積 (m²)， $\frac{\partial T}{\partial n}$ 是面之法線方向的溫度梯度 (°C / m)， k 稱為材料的熱傳導係數 (thermal conductivity) (W / m-°C)；因此根據能量平衡可得出熱傳導通式；假設一個一維傳導系統，且考慮一自由體元素即可列出能量平衡式：

傳入左面的能量 + 傳入右面的能量 = 內能的改變量

$$q_{left} + q_{right} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (4.3)$$

代入式 (4.2) 可得：

$$k_x \frac{\partial T}{\partial (-x)} dy dz + \left[k_x \frac{\partial T}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) dx \right] dy dz = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (4.4)$$

當熱傳導係數為常數，將式 (4.4) 整理後同除 $dx dy dz$ 可得：

$$k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.5)$$

若考慮三軸方向之熱傳導，以式 (4.3) 至式 (4.5) 同理可得：

$$k_x \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + k_y \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + k_z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (4.6)$$

其中 ρ 為密度 (kg / m³)， c 為比熱 (J / kg-°C)， $\frac{\partial T}{\partial t}$ 為溫度對時間的微分 (°C / s)。

4.1.1 牆體材料參數

節能實驗屋為鐵皮架構，鐵皮0.2公分，內外分別以木質角材組裝0.6公分的矽酸鈣板及0.6公分的水泥板。木質角材厚度約為2公分，視為空氣層。（詳圖4.2所示），其中鋼板熱導係數 k 為45（W / K-m），矽酸鈣板為0.45（W / K-m），水泥板為0.31（W / K-m），經計算其 U 值為2.83 W / m² · K（詳表4.4所示），相較於建築技術規則規定3.5 W / m² · K， U 值較低但尚在合理範圍內。

表4.4 牆體材料組成及 U 值

材料	厚度 m	熱傳導係數 W/m · k	熱阻係數 m. K/W	熱阻 m ² . K / W
外氣膜	----	----	----	0.04348
水泥板	0.06	0.45	2.22	0.01333
空氣層	0.02	—	—	0.086
鐵皮	0.002	45	0.022222	4.44E-05
空氣層	0.02	—	—	0.086
矽酸鈣板	0.006	0.311	3.215434	0.01935
內氣膜	----	----	----	0.111
總熱阻				0.359
U(W / m² · K)				2.78



圖4.2 外牆構造示意圖

照片來源：建研所「節能實驗屋驗證計畫」期中成果報告

4.1.2 屋頂材料參數

由於建築技術規則對於屋頂U值的規定是0.8，比外牆嚴格許多，為了使實驗屋符合法規的相關要求並貼近實務做法，實驗屋在鐵皮的內外各裝置一層3.5公分的EPS板，EPS板外面則以木質角材再構築0.6公分的水泥板及矽酸鈣板，木質角材厚度約為2公分，視為空氣層（詳圖4.2所示）。EPS熱導係數 k 為 0.037 （ $W / K\cdot m$ ），水泥板為 0.45 （ $W / K\cdot m$ ），矽酸鈣板為 0.311 （ $W / K\cdot m$ ），經計算其U值為 $0.438 W / m^2 \cdot K$ ，相較於建築技術規則規定 $0.8 W / m^2 \cdot K$ ，U值甚低。

第二節 建立解析參數

本研究係利用加拿大自然資源部所開發之節能專案分析軟體 RETScreen(RET, Renewable-energy and Energy-efficient Technologies)，作為解析工具。相較於DOE、Equest等軟體，RETScreen解析所需的參數較為精簡，但是影響建築耗能的幾個重要參數例如氣候參數、空調參數、換氣率參數等重要仍是必須給定之參數。

4.2.1 氣候參數

氣候資料對於建築節能的關係甚大，例如溫度與濕度對於空調及除濕設備的耗電會產生一定之影響，太陽輻射及風速則和再生能源的使用息息相關，另外，暖房度日及冷房度日也是建築能源管理的重要指標，其中，暖房度日(heating degree days, HDD)表示當溫度低於華氏 65°時，華氏 65 度減一天當中(當天午夜至翌日午夜)最高溫度與最低溫度的平均值之差值，例如，日平均溫度為華氏 60°時，其日 HDD 值即為 5。將每個月之 HDD 值累加，則為每月暖房度日數。

華氏 65°(攝氏 18 度)是氣象學家所設立的一般產業標準。當氣溫上升高於華氏 65°時，人們逐漸需要以冷氣來降低室內溫度，反之，當氣溫下降低於華氏 65°時，人們逐漸需要以暖氣來提高室內溫度。然而不同氣溫區的民眾對氣溫冷熱的感受度或許不同，例如，亞熱帶區的居民可能覺得華氏 65°已接近低溫狀態，而寒帶地區的居民可能覺得華氏 65°仍屬高溫狀態，然而，HDD 和 CDD 值仍是建築能源管理上之重要指標。在氣象資料部分，由於本節能實驗屋位於台北，相關氣象資料採用台北測站之氣象資料(詳圖 4.3 示)。

RETScreen

Country - region: Taiwan

Province / State: n/a

Climate data location: Taipei

Latitude: 25.0 °N

Longitude: 121.5 °E

Elevation: 9 m

Heating design temperature: 10.7 °C

Cooling design temperature: 34.0 °C

Earth temperature amplitude: 8.0 °C

Source: Ground

Source: Ground

Source: NASA

	Air temperature °C	Relative humidity %	Daily solar radiation - horizontal kWh/m ² /d	Atmospheric pressure kPa	Wind speed m/s	Earth temperature °C	Heating degree-days °C-d	Cooling degree-days °C-d
Jan	16.1	79.2%	2.16	100.8	3.2	17.6	59	189
Feb	16.0	81.7%	2.51	100.7	3.2	17.7	56	168
Mar	18.2	80.9%	3.03	100.4	3.0	19.4	0	254
Apr	21.7	78.6%	3.63	100.1	3.0	22.2	0	351
May	25.0	77.3%	4.43	99.7	2.9	25.1	0	465
Jun	27.7	76.7%	4.57	99.4	2.5	27.1	0	531
Jul	29.4	73.6%	4.65	99.3	2.5	28.5	0	601
Aug	29.0	74.5%	4.79	99.2	2.7	28.3	0	589
Sep	27.2	75.7%	3.96	99.6	3.2	26.8	0	516
Oct	24.5	75.5%	3.95	100.2	3.8	24.5	0	450
Nov	21.3	74.9%	3.44	100.6	3.7	22.0	0	339
Dec	17.8	75.9%	2.62	100.8	3.4	19.2	6	242
Annual	22.9	77.0%	3.65	100.1	3.1	23.2	121	4,695
Source	Ground	Ground	Ground	NASA	Ground	NASA	Ground	Ground

Measured at: m 10 0

Buttons: [Check] [Cancel] [Print] [Help]

圖4.3 RETScreen氣象參數設定操作畫面

4.2.2 空調參數

本實驗屋在101年建置初期並無裝設空調，但為了實際量測耗能量，目前已經加裝冷氣，而對於空調系統而言最重要之參數便是空調效率，一般而言，以EER (energy efficiency ratio) 和COP (coefficient of performance) 定義空調的效率，其中，EER定義為冷房能力除以使用電力，冷房能力以熱度單位每小時消耗千卡 (Kcal/hr) 為準，使用電力則以瓦數(W)為準，EER值愈高，冷氣機愈

省電。EER即為1瓦特電力功能供給冷氣運轉一小時所吸收之熱量(冷凍能力)kcal值，其公式：

$$\text{EER 值} = \text{冷氣能力 (kcal/hr)} / \text{消耗功率 (w)}$$

至於 COP 則是則是壓縮機功能係數，其公式為：

$$\text{COP 值} = \text{冷房能力 (kw)} / \text{消耗功率 (kw)}$$

由於熱力學及化學使用的「熱化學卡路里」而言，1 卡(cal)=4.184 焦耳(J)

冷房能力的單位為 kW 或 kcal/h，因此：

$$\begin{aligned} 1\text{kcal/h} &= 1000\text{cal} \times (4.184\text{J/cal}) / [1\text{h} \times (3600\text{s/h})] \\ &\doteq 1.1622\text{J/s} \\ &\doteq 1.1622\text{W} \end{aligned}$$

因此：COP=1.16 EER

我國 CNS 國家標準亦訂有窗型冷氣機能源效率比值標準對照表可供參考，台灣 CNS 國家標準訂定方式與歐美、日本等先進國家相同，都是以 EER 或 COP 能源效率比值的高低作為冷氣是否省電的標準，當 EER 數值越高越省電。目前本實驗屋使用分離式變頻冷氣 (Panasonic CS-K36CA2 室內機與 CU-K36CA2 室外機) 分別裝於兩棟實驗屋，其冷房能力為 3010(3610~690) kcal/h、EER 值為 3.93(W/W)，屬能源效率第 2 級空調，換算為 COP 值為 4.56，其使用能源為電力（軟體畫面如圖 4.4）。至於冷媒類型、冷媒冷卻率、每年冷媒損失率等變數，本研究暫不考慮。

	Base case	Proposed case
Fuel type	Fuel type 1	Fuel type 1
Fuel	Electricity	Electricity
Coefficient of performance - seasonal	4.56	4.56
Incremental initial costs	TWD	
Incremental O&M savings	TWD	

☒ Refrigerant

圖 4.4 RETScreen 空調參數設定操作畫面

4.2.3 換氣率參數

外氣換氣率是另外一項影響空調耗電量之因素，這與建築外殼有關，例如門窗氣密程度，也與使用行為有關，例如是否隨手關門，或是門窗開啟的頻率等。另外有關換氣率部分，目前換氣量經常採用ACH或L/s person兩種標準，許多單位包括美國疾病管制局(CDC)、美國建築協會(AIA)及ASHRAE (IAQ Standard 62—1989)等，換氣標準都是採用每小時空氣換氣率ACH (Air Change Per Hour)，即每小時流進房間之空氣量與房間體積之比值，另一種標準則是L/s person每人每秒所需換氣量，適用於區域內污染物濃度受人員數影響比空間影響還要大之狀況，由於本研究並未針對案例之換氣率進行實測，惟根據成大江哲銘教授等人在「辦公空間通風效果與污染物濃度之研究」論文中，提及其測試案例中，總換氣率分佈範圍為0.35~4.71 ACH(h⁻¹)，本研究是一個幾近密閉之鐵皮構造實驗屋，因此換氣率應較低，另考量本所建材逸散模擬環控箱之實驗，其換氣率亦以0.5 ACH進行模擬，故本研究設定換氣率為0.5 ACH進行分析，另本實驗屋體積為26.22(5.7*2.3*2)立方米，可推估每秒空氣

滲入量為3.6公升。此外，本研究僅考慮供冷系統，暫不考慮供暖系統。（軟體畫面如圖4.5）。

Building envelope: 1 2 3 4 5

Description:

Natural air infiltration

		Base case	Proposed case	Incremental initial costs
Method		Air change rate		\$ 0
Volume	m³	26.22	26.22	
Air change rate	ac/h	0.5	0.5	
Natural air infiltration	L/s	3.6	3.6	
Incremental initial costs	TWD		0	
Incremental O&M savings	TWD			
Number of building envelope units		1	1	
System selection		Cooling	Cooling	
Cooling system		Cooling system 1	Cooling system 1	
Cooling system description				
Cooling	MWh	2	2	0.6%

[Back](#) [Back](#)

圖4.5 RETScreen換氣率參數設定操作畫面

4.2.4 電力價格

至於電力部分，一般住宅與小型店家所用的表燈用戶適用的電價雖然有時間電價與非時間電價兩種計費方式，如果用電負載率高且能集中在離峰時段用電者，較有潛力可以選用時間電價計費，以享受較低的電費，反之，用電負載率偏低且無法大量提升離峰用電比率者，不宜選用時間電價計費，根據台電統計，大部分表燈用電仍採用非時間電價，其電價與夏月或非夏月及用電度數相關，由於101年6月1日起，台電調漲電價，本研究以每度電4元作為分析條件，並建立燃料價格參數（如圖4.6）

Fuel	Fuel type 1	Fuel type 2	Fuel type 3	Fuel type 4	Fuel type 5
Fuel type	Electricity	Natural gas - m³	Diesel (#2 oil) - L	Gasoline - L	Kerosene - gal
Fuel consumption - unit	MWh	m³	L	L	gal
Fuel rate - unit	TWD/MWh	TWD/m³	TWD/L	TWD/L	TWD/gal
Fuel rate	4.000	16.000	29.000	32.000	41.500

圖4.6 RETScreen燃料價格輸入畫面

4.2.5 電力碳排放係數

欲知建築用電總碳排放量，須知一度電之CO₂排放量計算，及推估建築總用電量，其中一度電之CO₂排放量計算，目前台電已公布103年度電力排放係數，該年度係數為0.521公斤CO₂/度（詳表4.5），其算式為：

$$(\text{綜合電業排放量} + \text{民營電廠排放量} + \text{汽電共生業排放量} - \text{線損之排放量}) / \text{總銷售電量} = 0.521 \text{ 公斤CO}_2 / \text{度}$$

說明：

(1)適用範圍：於溫室氣體盤查或排放量化作業，計算所有因購買、使用電力(範疇二)所需間接承擔之溫室氣體排放量之各種用途均屬之。

(2)本年度計算方式與排放係數未調整。

(3)我國電力排放係數計算將線損之GHG 排放量予以扣除，考量本係數為提供能源部門以外之消費端使用，而線損為供應端之輸配電系統所產生，爰宜由供應端承擔，對消費端較公平合理。

在計算用電之探排放係數時，通常使用台灣電力公司公告之碳排放係數，惟值得注意的是該係數線損之溫室氣體排放量扣除，亦即台電發一度電雖然是排放0.521公斤的二氧化碳，而電力經過變電、傳輸的過程，到了使用端，消費者使用一度電的二氧化碳排放量實際上是超過0.521公斤的。根據台電資料顯示，103年度線路損失率為4.09%，再創歷年最佳之成績，較102年度之目標值4.25，減少0.16%；其中輸電損失率減少0.13%，配電損失減少0.03%。相關排放係數及線損率輸入畫面如圖4.7所示。

表4.5 我國歷年電力碳排放係數

年度	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
電力排放係數	0.559	0.564	0.559	0.557	0.543	0.535	0.536	0.532	0.522	0.521

Base case electricity system (Baseline)		GHG emission factor (excl. T&D)	T&D losses	GHG emission factor
Country - region	Fuel type	tCO ₂ /MWh	%	tCO ₂ /MWh
Taiwan	All types	0.521	4.1%	0.543

圖4.7 RETScreen電力碳排放係數及線損率輸入畫面

第三節 外牆隔熱性能解析

建築物外殼分隔了室內和室外環境，它包括地基、屋頂、牆壁、門和窗等。建築物外殼可作為一個隔熱層，它在調節室內溫度發揮了重要作用，並且決定維持室內舒適溫度所需要的能量。降低外殼的傳熱量可有效地減少室內熱負荷和冷負荷。在熱帶氣候地區，建築物外殼可以減少供冷的能耗；而在寒冷地區，建築物外殼又可以減少供熱的能耗，建築物外殼對照明和空調系統的能耗有很大影響，因此改善建築物外殼可以減少新建或現有住宅及商業大廈的能耗和溫室氣體排放。一般而言，空調負荷之組成主要分為三大部分：建築物之外殼、外氣量、室內發散熱，其於空調負荷量中約各占三分之一，由此可見，建築設計者於規劃設計之初所能輕易掌握之建築物外殼形式，可大致決定建築物之耗能與否。因此，而影響建築耗能之外殼設計因素，也成為所有建築設計者掌握建築節能設計時之重要參考依據。

一般來說，我們希望建築外殼的 U 值越小越好。 U 值越小，代表在相同熱量的情況下，室外與室內的溫差越大，如此當室外氣溫較高時，室內的溫度可以維持較低溫，以保持涼爽。節能實驗屋設計的兩種外牆及屋頂 U 值可由熱傳遞係數公式計算，考慮中間壁體多層相異材料，亦即含有不同的熱傳導係數與厚度，公式如下式：

$$U \equiv \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\Delta x_i}{k_i} + \frac{1}{h_2}}$$

其中

h_1 ：外表面的熱傳遞率 [$W/(m^2 \cdot K)$] (採住宿類建築節約能源設計技術規範 23.0)

h_2 ：內表面的熱傳遞率 [$W/(m^2 \cdot K)$] (採住宿類建築節約能源設計技術規範 7.0)

k_i ：第 i 層材料之熱傳導係數 [$W/(K \cdot m)$]，

Δx_i ：第 i 層材料之厚度 [m]，

實驗共規劃兩種 U 值外牆，實驗組(外牆隔熱(U 值=0.766))與對照組(裸牆(U 值=2.783)，計算時因角材為支撐結構故不考慮，兩種屋頂和外牆的 U 值計算如下：

一、 對照組(裸牆， U 值=2.783W/m²K)，其 U 值為：

$$U = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0.006}{0.45} + 0.020 + \frac{0.002}{45.01} + 0.020 + \frac{0.006}{0.31} + \frac{1}{9}} = 2.783$$

二、 實驗組(外牆隔熱， U 值=0.766 W/m²K)，比對照組外牆中再增加一層厚度 3.5 公分的隔熱材質， U 值為：

$$U = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0.006}{0.45} + \frac{0.035}{0.037} + 0.020 + \frac{0.002}{45.01} + 0.020 + \frac{0.006}{0.31} + \frac{1}{9}} = 0.766$$

本章節係模擬節能實驗屋採用2種外牆 (U 值=2.783W/m²K 及 0.766 W/m²K) 實驗屋長面外牆在東西向，扣除開窗面積後，牆面面積10.14 (M²)，南北向並未開窗，面積為4.6 (M²)，牆壁之 U 值分

別為為 $2.78 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 及 $0.766 \text{ W/m}^2 \text{K}$ ，屋頂的部分，兩實驗屋面積均為 $11.4 (\text{M}^2)$ ，U值均為 $0.438 (\text{W/m}^2 \cdot \text{K})$ ，開窗部分，兩節能屋均僅東西向有開窗，開窗面積為 $2.97 (\text{M}^2)$ ，目前採用之玻璃均為U值 6.31 ，SHGC為 0.83 （詳表4.6～4.8所示）。

表 4.6 實驗屋外牆面積及 U 值

牆壁	對照組				實驗組			
	北	東	南	西	北	東	南	西
面積 (M^2)	4.6	10.14	4.6	10.14	4.6	10.14	4.6	10.14
U 值 ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	2.78	2.78	2.78	2.78	0.766	0.766	0.766	0.766

表 4.7 實驗屋窗戶面積及 U 與 SHGC 值

窗戶	對照組				實驗組			
	北	東	南	西	北	東	南	西
面積 (M^2)	0	2.97	0	2.97	0	2.97	0	2.97
U 值 ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	—	6.31	—	6.31	—	6.31	—	6.31
太陽熱得 係數	—	0.83	—	0.83	—	0.83	—	0.83

表 4.8 實驗屋屋頂面積及 U 值

屋頂	對照組	實驗組
面積 (M^2)	11.4	11.4
U 值 ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$)	0.483	0.483

Building envelope

Description

Base case **Proposed case**

Building north 0 0 ☒ Base case = proposed case

Schedule Schedule 2 Schedule 2

Description 0 0

Building envelope

Walls

Area m² 4.6 10.14 4.6 10.14 4.6 10.14 4.6 10.14

U-value (W/m²)/°C 2.78 2.78 2.78 2.78 0.766 0.766 0.766 0.766 TWD 0

☒ **Window**

Area m² 0 2.97 0 2.97 0 2.97 0 2.97

U-value (W/m²)/°C 0 6.31 0 6.31 0 6.31 0 6.31 TWD 0

Solar heat gain coefficient 0 0.83 0 0.83 0 0.83 0 0.83

☐ **Solar shading - season of use**

☐ **Doors**

☒ **Roof**

Area m² 11.4 11.4

U-value (W/m²)/°C 0.483 0.483 TWD 0

☐ **Floor**

☐ **Wall - below-grade**

☐ **Floor - below-grade**

[Next](#)

圖 4.8 RETscreen 外殼性能輸入畫面

分析結果顯示（圖4.9），在不考慮採暖的情況下，實驗組（無外牆隔熱）全年電費為1996元，對照組（有外牆隔熱）全年電費為1922元，以全年來看，節能效益僅3.7%，與第二章回顧之文獻分析結果差異不大。

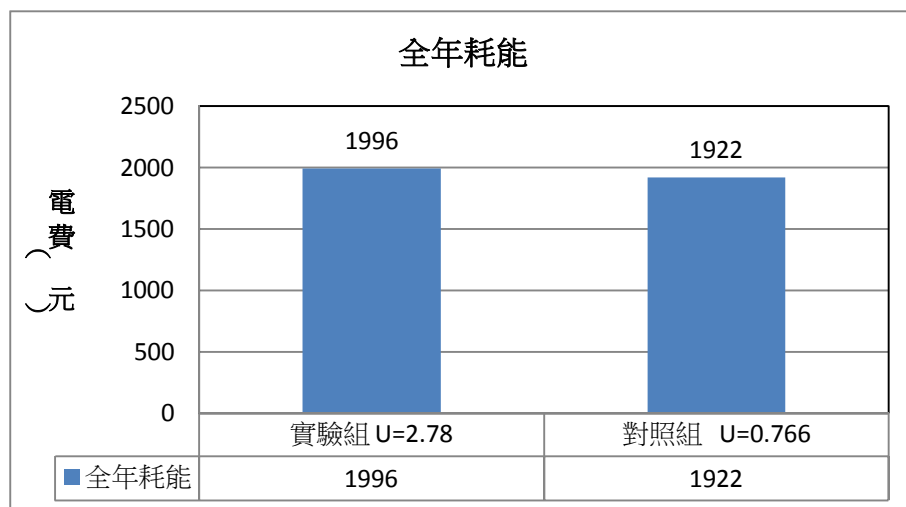


圖4.9 不同外牆隔熱性能之全年耗能分析

第四節 屋頂隔熱性能解析

至於屋頂隔熱部分，目前的法規規定是U值必須低於0.8 W/m²·k，其標準已較外牆平均傳透率3.5 W/m²·k 嚴格許多，本研究模擬兩組屋頂隔熱性能，分別是實驗組(屋頂版隔熱U值=0.438)與對照組(裸牆U值=0.748)，兩組都能符合目前法規規定，屋頂隔熱實驗同外牆隔熱實驗都是在於貨櫃屋鐵皮與水泥板之間裝置發泡隔熱材料，以降低熱傳透率U值。由於實驗屋水泥板以螺絲鎖固於木質角材，方便拆卸，可任意拆除或填充發泡隔熱材，故較一般建築物容易變換屋頂熱傳透率U值。而新建建築設計階段或既有建築屋頂翻新時，考慮採用U值較低的屋頂型式及工，兩種屋頂的U值計算如下：

對照組(裸屋，U 值=0.748 W/m²K)，U 值為：

$$U = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0.006}{0.45} + 0.086 + \frac{0.002}{45.01} + \frac{0.035}{0.037} + 0.086 + \frac{0.006}{0.31} + \frac{1}{7}} = 0.748$$

實驗組(屋頂隔熱，U 值=0.438 W/m²K)，相較於對照組屋頂中多了一層厚度 3.5 公分的隔熱材質，U 值為：

$$U = \frac{1}{\frac{1}{23} + \frac{0.006}{0.45} + 0.086 + \frac{0.035}{0.037} + \frac{0.002}{45.01} + \frac{0.035}{0.037} + 0.086 + \frac{0.006}{0.31} + \frac{1}{7}} = 0.438$$

在分析屋頂隔熱差異對耗能影響時，其外牆 U 值為 2.78，開窗部分，兩節能屋均僅東西向有開窗，開窗面積為 2.97 (M²)，採用之玻璃均為 U 值 6.31，SHGC 為 0.83 (詳表 4.9~4.11 所示)。

表 4.9 實驗屋外牆面積及 U 值

牆壁	對照組				實驗組			
	北	東	南	西	北	東	南	西
面積 (M^2)	4.6	10.14	4.6	10.14	4.6	10.14	4.6	10.14
U 值 ($W/m^2 \cdot K$)	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78

表 4.10 實驗屋窗戶面積及 U 與 SHGC 值

窗戶	對照組				實驗組			
	北	東	南	西	北	東	南	西
面積 (M^2)	0	2.97	0	2.97	0	2.97	0	2.97
U 值 ($W/m^2 \cdot K$)	-	6.31	-	6.31	-	6.31	-	6.31
太陽熱得 係數	-	0.83	-	0.83	-	0.83	-	0.83

表 4.11 實驗屋屋頂面積及 U 值

屋頂	對照組	實驗組
面積 (M^2)	11.4	11.4
U 值 ($W/m^2 \cdot K$)	0.483	0.748

分析結果顯示(圖4.10)，實驗屋U值從0.748降低到0.483後，耗能幾乎無顯著差異，全年僅相差5元電費(約為0.25%)，此一結論和相關文獻有所呼應，即一味的增加隔熱層厚度，並無助於降低建築耗能，因為原本U值0.748已屬良好之隔熱性能，再予提升，並無顯著意義，反而不利於建築散熱。

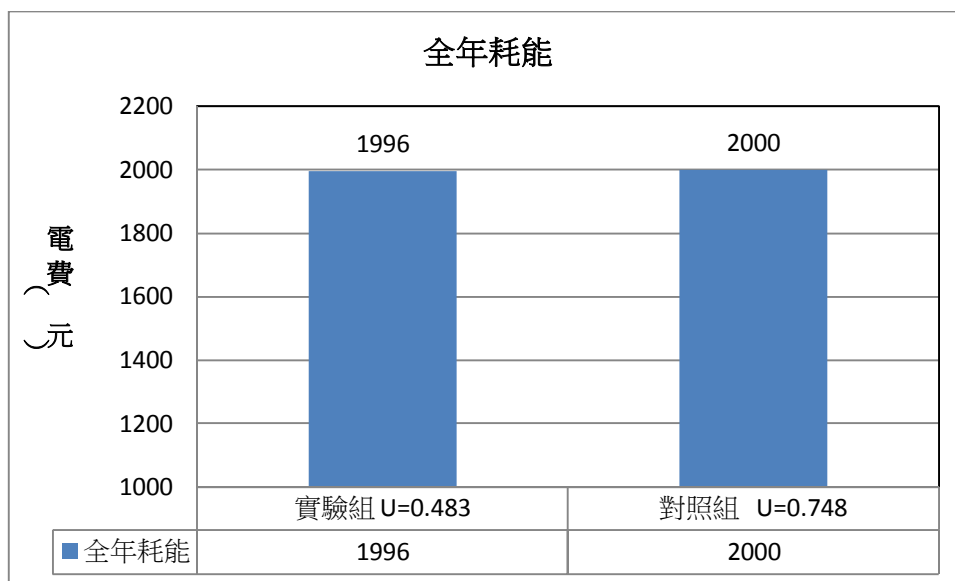


圖4.10 不同屋頂隔熱性能之全年耗能分析

第五章 結論建議

第一節 結論

隔熱材料欲納入綠建材評定範圍，必須先有科學及客觀之檢測方法，再據以訂定評估基準。目前隔熱材料的檢測方法包括現地檢測及樣品之實驗室檢測方法，以綠建材標章制度精神及審查程序而言，實驗室樣品檢測較現地檢測可行。實驗室樣品檢測與現地檢測必定存在某種程度的差異，導致差異之原因包括施工、材料均質性、熱源模擬、通風狀態等因素，而這個差異正是不易以軟體精準解析隔熱材料對耗能影響之原因。

本研究參考相關國內外基準，提出隔熱材料綠建材基準草案，即隔熱材料之厚度應至少達到 2.5 公分，其導熱係數（或稱熱導係數， k ）應小於 0.028 ($\text{kcal} / \text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$)，此一基準考量了材料之基本性質及材料厚度，可避免廠商以增加材料厚度之方式取得標章，也可避免 K 值夠小的材料，但因材料厚度不足，導致整體隔熱性能不佳之狀況。

本研究以 RETScreen 軟體針對實驗屋進行解析，解析結果顯示實驗屋之屋頂 U 值從 0.748 降低至 0.483 後，全年度整體建築耗能差異極其不顯著，僅約 0.25%，同樣地，外牆 U 值從 2.78 降低至 0.766，全年度之耗能差異亦不顯著，僅約 3.7%，此係因為屋頂 U 值 0.748 已較建築技術規則規定（0.8）為佳，外牆 U 值 2.78 亦較建築技術規則規定（3.5）佳，換言之，在隔熱性能良好的屋頂或外牆，再一味增加厚度以提高 U 值，能獲得的節能效益非常有限，而且，以該實驗屋而言，因為開口部位的玻璃性能較差，室外的熱能

主要從開口部位進入室內，因此提高屋頂與外牆隔熱性能，效益有限。此外，外牆或屋頂增厚，也造成室內外熱流的時滯效應，雖然，室外在高溫時，熱不易進入室內，但室內的熱流，同樣不易散熱。此外，牆體的熱容效應亦隨厚度提高而提高，這些熱容仍需要依賴空調排除。

第二節 建議

建議一

建議進行材料隔熱性能與材料老化之關連性研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

部分標準規範了材料的長期熱學性能，例如 CNS 10487 A2165（聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料）規範了材料成形後6個月的導熱係數，另外能源之星冷屋頂材料則規範了材料3年後老化之反射率及太陽反射指數，但是，隔熱材料如欲納入綠建材評定，不論是6個月的老化或3年的老化實驗均有執行上的難度，因此，材料隔熱性能與材料老化之關連性，值得持續深入研究。

參考書目

1. International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2012.
2. National academy of sciences, America' s Energy Future technology and transformation,2010.
3. Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China, Jinghua Yu, Changzhi Yang, Liwei Tian, Energy and Buildings 40 (2008) 1536-1546.
4. Jinghua Yu, Changzhi Yang, Liwei Tian, Dan Liao. (2009). "A study on optimum insulation thicknesses of external walls in hot summer and cold winter zone of China" . Energy and Buildings, Vol. 86, pp. 2520-2529.
5. Chi-Ming Lai, Yao-Hong Wang, (2011) "Energy-Saving Potential of Building Envelope Designs in Residential Houses in Taiwan" . Energies, Vol. 4, pp. 2061-2076.
6. Yu, J. H., Yang, C. Z., & Tian, L. W. (2008). Low-energy envelope design of residential building in hot summer and cold winter zone in China. *Energy and Buildings* , 40, 1536-1546.
7. 何明錦、江哲銘，2011年版綠建材解說與評估手冊，內政部建築研究所，2011年。
8. 何明錦、林憲德，隔熱材料對建築外殼隔熱性能及節能效益影響之研究，內政部建築研究所協同研究計畫，2011年。
9. 楊斐娜、翁彩瓊，居室空間類型自然光需求之探討，華民國建築學會第二十二屆第一次建築研究成果發表會論文集，2010年。
10. 林啓發，亞洲地區辦公建築外殼節能計畫，國立成功大學建築研究所碩士論文，2005年。
11. 李君婷，建築物立體綠化應用於增加室內熱舒適度之數值模擬及實驗。國立臺灣大學工學院土木工程學系碩士論文，2012年。
12. 夏熱冬冷地區辦公建築不同朝向窗牆比配置研究，《建築科學》2009年第6期，80-85頁,共6頁。

13. 夏熱冬冷地區窗牆比對建築能耗的影響，《建築技術》，2001年第10期，661-662頁,共2頁。
14. 「建築節能減碳策略及成本效益分析」，內政部建築研究所自行研究計畫，2011。
15. 「建築節能影響因子之關連性及敏感性分析」，內政部建築研究所自行研究計畫，2012。
16. 「建築開窗率對節能減碳影響之研究」，內政部建築研究所自行研究計畫，2013。
17. 「節能實驗屋驗證計畫」期中成果報告，內政部建築研究所補助計畫，2014。
18. 建築節能策略實驗屋設計與實測驗證，內政部建築研究所協同研究計畫成果報告，2012。
19. 「隔熱材料對建築外殼隔熱性能及節能效益影響之研究」，內政部建築研究所協同研究計畫，2011。
20. 我國燃料燃燒CO₂ 排放統計與分析，經濟部能源局，101年10月。
21. 林明照，「應用RETScreen 軟體平台於風能發電專案分析」，國立高雄應用科技大學電機工程系碩士論文，2006。