

建築物屋頂隔熱節能策略探討之研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 110 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)

建築物屋頂隔熱節能策略探討之研究

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 110 年 12 月

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

Research on Energy-saving Strategies of
Building Roof Insulation

BY

YAU JYH-TYNG SHIH HUI-JU

December, 2021

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	4
第三節 研究流程	6
第四節 預期成果	7
第二章 文獻回顧與探討	9
第一節 住商部門節能減碳推動現況	9
第二節 高性能隔熱綠建材	16
第三節 建築物節約能源法規	25
第四節 影響建築物冷房耗能量之因子	34
第五節 住宅用電調查	37
第三章 國內外隔熱材料之規範及標準	41
第一節 隔熱材料之施工綱要規範	41
第二節 隔熱材料之 CNS 國家標準	44
第三節 國外建築隔熱性能基準	48
第四節 材料隔熱與蓄熱性能探討	51
第五節 冷屋頂材料標準	56
第六節 小節	62

第四章 建立解析參數	65
第一節 建築外殼參數	65
第二節 氣候參數	69
第三節 空調及換氣率參數	71
第四節 電力價格及電力碳排放係數	74
第五節 屋頂隔熱策略解析	76
第五章 結論與建議	81
第一節 結論	81
第二節 建議	82
參考書目	83

表次

表 2.1 各部門燃料燃燒二氧化碳排放量.....	10
表 2.2 燃料燃燒排放 CO ₂ 推估結果	15
表 2.3 節能玻璃評定基準表	22
表 2.4 建築門窗用玻璃貼膜材評定基準表	22
表 2.5 建築用隔熱材料評定基準表	23
表 2.6 外牆及屋頂系統或構造評定基準表.....	23
表 2.7 節能塗料評定基準表	24
表 2.8 建築技術規則氣候分區	25
表 2.9 建築技術規則透光天窗日射透過率基準	26
表 2.10 不同海拔之外殼殼熱規定	27
表 2.11 開窗部位隔熱基準	28
表 2.12 建築技術規則外殼耗能基準	29
表 2.13 建築技術規則建築物外殼等價開窗率基準 ...	30
表 2.14 建築技術規則窗面平均日射取得量基準	30
表 2.15 建築技術規則窗面平均日射量計算公式	31
表 2.16 木窗或塑鋼窗窗框面積比 rfi 速查表.....	32
表 2.17 常用開窗之窗框及玻璃部位熱傳透率 U _i	33
表 2.18 降低外殼 U 值設定參數之模擬方案	34
表 2.19 降低玻璃 U 值相關設定參數之模擬方案	35
表 2.20 降低玻璃 η 值相關設定參數之模擬方案	35
表 2.21 建築外殼隔熱性能模擬結果	36

表 2.22 住宅耗電調查統計結果	37
表 2.23 各區域住宅用電實測戶數	38
表 3.1 硬質隔熱材料產品參考標準	42
表 3.2 半硬質隔熱材料產品參考標準	43
表 3.3 隔熱建材國家標準	44
表 3.4 隔熱建材試驗方法	44
表 3.5 住宅用玻璃棉隔熱材料熱阻之分類.....	45
表 3.6 聚乙烯泡沫塑膠隔熱材料國家標準	46
表 3.7 硬質泡沫橡膠隔熱材料之國家標準	47
表 3.8 日本 CASBEE 對於構造隔熱性能之評估.....	49
表 3.9 中國夏熱冬暖地區居住建築傳熱係數.....	50
表 3.10 不同建材熱學性質分析表	55
表 3.11 冷屋頂相關測試標準及儀器.....	59
表 3.12 冷屋頂材料相關規範	61
表 4.1 建材熱導係數(綠建築標章計算資料)	66
表 4.2 建材熱阻值(綠建築標章計算資料)	67
表 4.3 我國歷年電力碳排放係數	75

圖次

圖 1.1 研究流程	6
圖 2.1 108 年二氧化碳排放量部門別占比	10
圖 2.2 108 年住宅部門 CO ₂ 排放分析	11
圖 2.3 108 年商業部門 CO ₂ 排放分析	11
圖 2.4 我國各部門電力消費占比	12
圖 2.5 108 年商業部門總用電量占比	12
圖 2.6 服務業部門行業別	13
圖 2.7 全國及住商部門二氧化碳排放趨勢推估	14
圖 2.8 綠建材標章四大分類及通則	17
圖 2.9 美國住商部門能源使用比例	39
圖 2.10 美國住宅部門能源終端使用比例	40
圖 3.1 SRI 分析計算畫面	57
圖 4.1 RETScreen 氣象參數設定操作畫面	70
圖 4.2 RETScreen 空調參數設定操作畫面	72
圖 4.3 RETScreen 換氣率參數設定操作畫面	73
圖 4.4 RETScreen 燃料價格輸入畫面	74
圖 4.5 RETScreen 電力碳排放係數及線損率畫面	75
圖 4.6 RETScreen 外殼性能輸入畫面	77
圖 4.7 外殼性能輸入畫面(提升玻璃性能)	78
圖 4.8 全年度不同外強熱負荷圖	79

摘 要

關鍵詞：節約能源、建築屋頂

由於淨零排放議題興起，許多民間環保團體呼籲加強外殼隔熱，並建議政府修改外殼隔熱法規，且以外殼節能而言，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。

本研究首先蒐集並分析國內外有關隔熱材料之基準，包括 CNS 國家標準、施工綱要規範、日本及中國大陸建築屋頂隔熱基準、冷屋頂材料基準等等，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。

經本研究分析屋頂隔熱節能效益後，發現在亞熱帶氣候區的臺灣，由於室內室外溫差不大，且目前法規規定之屋頂 U 值為 0.8，在這個 U 值基準下，再去提高屋頂隔熱能力，對於節能效益極為有限，因此不建議採取再降低屋頂 U 值的策略，建議採取改善開口部策略，例如水平天窗或外牆窗戶的遮蔽係數。

Abstract

Key words: Energy-saving, Building Roof

Due to the rise of the Net Zero Emissions initiative, many non-governmental environmental groups have called for the strengthening of enclosure insulation and recommended that the government revise enclosure insulation regulations. In terms of energy saving of the outer shell, although the area of the outer wall is larger, the roof is directly irradiated by the solar heat and infrared rays, and the heating situation is more severe than that of the outer wall. Therefore, the energy-saving benefits of the roof insulation for the building deserve further confirmation.

This research first collects and analyzes domestic and international standards for insulation materials, including CNS national standards, construction guidelines, Japanese and Chinese mainland building roof insulation standards, cold roof material standards, etc. After analyzing and discussing the benchmarks of insulation materials, it is found that some benchmarks are based on thermal resistance (or thermal insulation coefficient, R , which is also the reciprocal of U value), and some are based on thermal conductivity k . Thermal resistance is related to thickness of material. The greater the thickness, the greater the thermal resistance of the material, and the smaller the U value. The thermal conductivity is the essence of the material and it is not related to dimensions such as thickness and length.

After analyzing the energy-saving benefits of roof insulation, it is found that in Taiwan, because the temperature difference between indoor and outdoor is not large, and the current regulations that the roof U value is already strict, the energy-saving benefits of roof insulation is extremely limited. Therefore, it is not recommended to adopt the strategy of lowering the U value of the roof, especially when the U value is already very low. It is recommended to adopt strategies to improve openings, such as the shading factor of horizontal skylights or external wall windows. It is not recommended to adopt the strategy of reducing the U value of the roof. It is recommended to adopt the strategy of improving the opening, such as the shading coefficient of horizontal skylights or external wall windows.

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，甚至歐盟在2019年提出2050年達到碳中和目標後，在全球帶動淨零討論的雪球效應，截至110年1月底，全球已有127個國家宣示或規劃2050年淨零排放目標。我國行政院也因應全球趨勢，成立「淨零排放路徑專案工作組」，並分為去碳能源、產業及能源效率、運具電氣化及負碳技術等四大工作圈進行研討評估。

另一方面，由於全球面臨新冠肺炎疫情肆虐及經濟成長衰退的隱憂，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」，到了 2021 年 1 月 1 日，相關法規已將室內綠建材使用率提升至 60%，室外 20%。

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，目前也已將隔熱玻璃及隔熱材料納入高性能綠建材中予以評定。

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，本所過去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，目前已有高性能節能玻璃與隔熱材料與建築節能直接相關，過去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，顯見隔熱材料有其市場需求，也符合本土營建習慣，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（如綠建材及綠建築）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，並調查市售屋頂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，建構屋頂隔熱材料分析模型，解析屋頂隔熱材料之差異對建築耗能之影響。
4. 根據市售屋頂隔熱材料性能調查結果與建築耗能解析結果，研擬建築屋頂隔熱策略。

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，評估屋頂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. 完成國內外屋頂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. 完成建築物屋頂隔熱節能策略之研擬。

第二章文獻回顧與探討

第一節 住商部門節能減碳推動現況

近年來，氣候變遷和全球暖化一直是公眾關注的重要議題，因其對於生態系統和人居環境的潛在威脅與大眾息息相關。政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)在第五次評估報告(IPCC AR5)中預測，在不同溫室氣體排放情景下，二十一世紀末全球地表溫度變化相對於 1986-2005 (75 - 94) 年的氣候值上升 $1.0^{\circ}\text{C} - 3.7^{\circ}\text{C}$ ，且在熱帶和亞熱帶地區年平均溫度上升較中緯度地區明顯。除了溫度的變化以外，全球環境之濕度、風和太陽輻射等，也可能因為多年來大量的二氧化碳排放而改變，由於這些戶外條件的變化，氣候變遷將對建築能源的使用產生巨大影響，其中建築能耗的部分約有 50% 左右用於供暖和空調。

2.1.1 溫室氣體排放結構

依據聯合國氣候變化政府間專家委員會 (IPCC) 國家溫室氣體排放清冊指南與環保署溫室氣體排放清冊 (108 年)，以二氧化碳 (CO_2) 為我國所排放溫室氣體中最大宗，106 年約占 95.36% 為 284,803 百萬公噸 CO_2e ，其次分別為甲烷 (CH_4)、氧化亞氮 (N_2O) 等。

108 年我國各部門 CO_2 排放量分析 (含電力消費排放)，以製造部門占比最高為 48.90%，能源部門占 14.51%，運輸部門占 13.99%，商業部門占 10.45% 為 27.03 百萬公噸，住宅部門占 10.97% 為 28.38 百萬公噸，農業部門占 1.18% 為最少 (圖 2.1)。另 108 年 CO_2 排放量較 107 年下降 3.15%，其中住宅部門 CO_2 排放量由 29.35 百萬公噸下降為 28.38 百萬公噸 (占總排放 10.97%)，減少約 0.97 百萬公噸 (較

107 下降 3.3%);商業部門則由 28.32 百萬公噸下降 27.03 百萬公噸 (占總排放 10.45%) , 減少約 1.29 百萬公噸(較 107 下降 4.56%) 如表 2.1 所示。

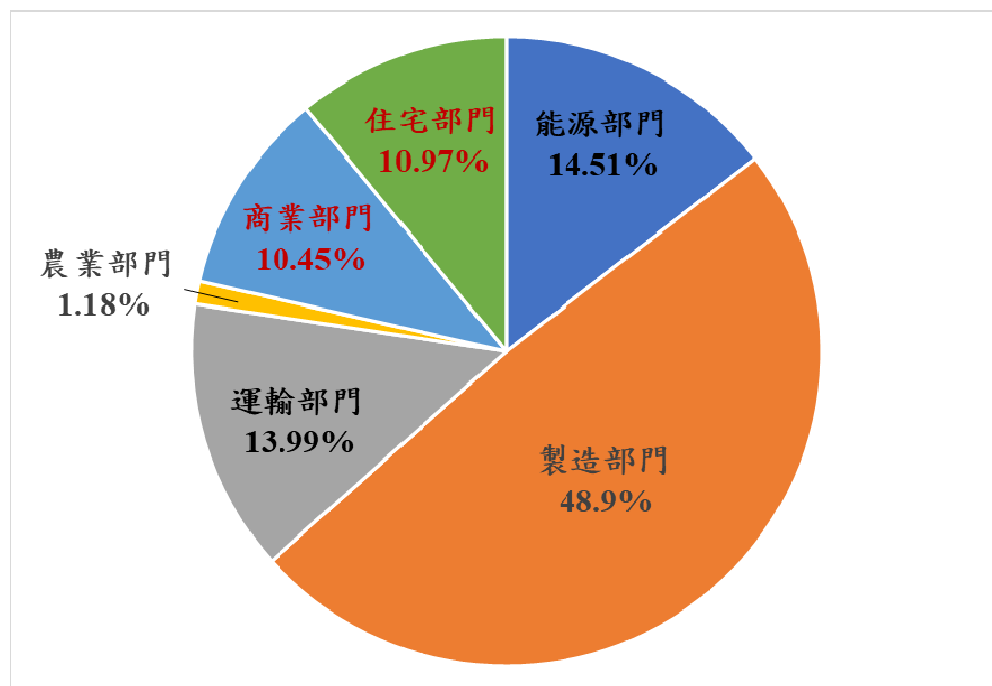


圖 2.1 108 年二氧化碳排放量部門別占比

資料來源：經濟部能源局 108 年度我國燃料燃燒 CO₂ 排放統計與分析

表 2.1 各部門燃料燃燒二氧化碳排放量 (含電力消費)

單位：百萬公噸 CO₂

年	能源		製造		運輸		農林漁牧		商業		住宅		合計	
	數量	%	數量	%	數量	%	數量	%	數量	%	數量	%	數量	%
106	37.87	14.05	130.63	48.48	37.01	13.73	2.88	1.07	30.43	11.29	30.66	11.38	269.46	100
107	38.02	14.23	132.37	49.55	35.99	13.47	3.07	1.15	28.32	10.60	29.35	10.99	267.13	100
108	37.53	14.51	126.52	48.90	36.20	13.99	3.06	1.18	27.03	10.45	28.38	10.97	258.72	100
成長率 (%)	-1.29		-4.42		0.58		-0.326		-4.56		-3.3		-3.15	

資料來源：經濟部能源局，109 年 7 月。

根據 108 年住宅部門與服務業部門二氧化碳排放分析(圖 2.2 與圖 2.3) 顯示，住商部門二氧化碳排放主要來自於電力排放，排放量分別為 23.91 百萬與 23.69 百萬百萬公噸，占整體部門之比例為 84.2%與 87.6%。根據前述結果顯示，節約用電為後續推動住商部門溫室氣體減量之首要工作。

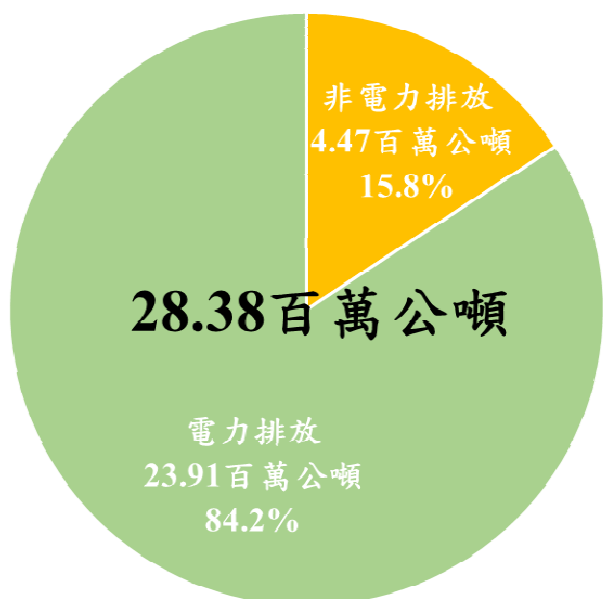


圖 2.2 108 年住宅部門 CO₂ 排放分析



圖 2.3 108 年商業部門 CO₂ 排放分析

資料來源：經濟部能源局 108 年度我國燃料燃燒 CO₂ 排放統計與分析

依經濟部能源統計年報我國各部門電力消費占比資料(圖 2.4) 顯示，108 年電力消費以工業部門占 55.6%約 147,542 百萬度為最高，住宅部門占 17.8%約 47,189 百萬度，商業部門則占 17.6%約 46,742 百萬度。

此外，108 年住宅部門與商業部門電力消費分別為 471.8 億度與 467.4 億度；其中商業部門 800kW 以上能源大用戶用電量為 94.9 億度，占 24.6%；800kW 以下用戶用電量為 117.2 億度，占 30.4%；表燈用電戶用電量為 173.6 億度，占整體商業用電 45.0%；商業部

門電力消費用戶(800kW 以上能源大用戶及 800kW 以下用戶)用電量合計為 212.1 億度，占整體商業用電 55%；如圖 2.5 所示。

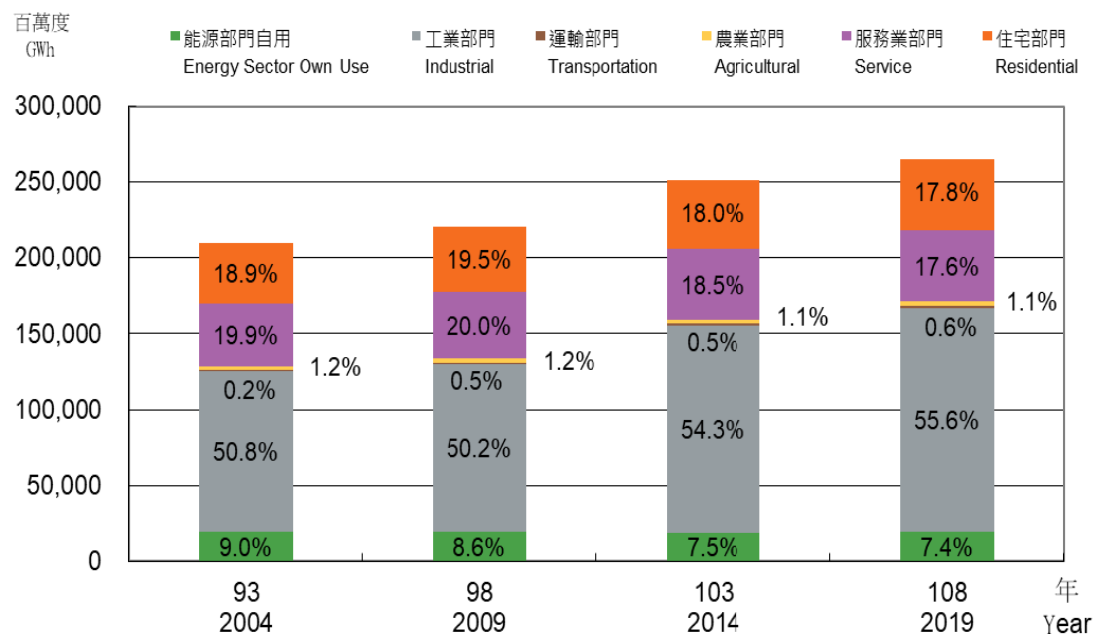


圖 2.4 我國各部門電力消費占比

資料來源：經濟部能源局 108 年能源統計年報

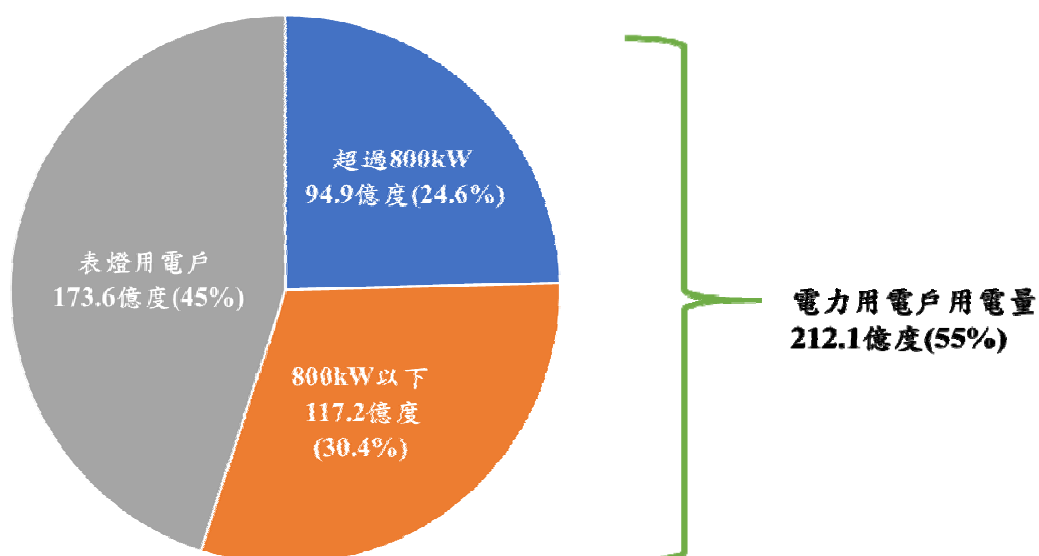


圖 2.5 108 年商業部門總用電量占比

資料來源：台灣電力公司縣市住商用電資訊(服務業售電資訊 108 年)

觀察我國服務業產業特性，行業別眾多且業態相當多元，並多屬於中小型之企業，包含批發及零售業、住宿業、餐飲業、通信業、金融保險及不動產業、社會服務及個人服務業、公共行政業、運輸業、工商服務業及倉儲業等 10 個業別，所涵蓋範圍廣，如圖 2.6 所示。

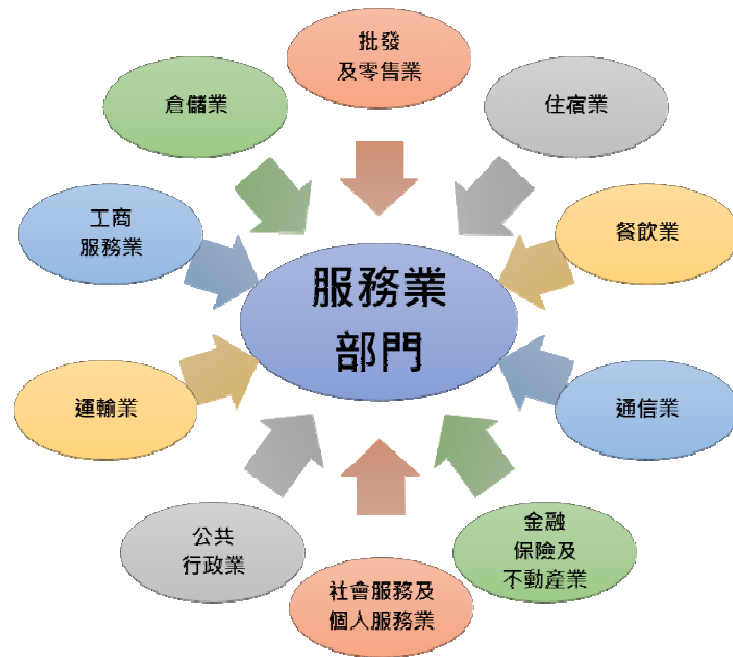


圖 2.6 服務業部門行業別

2.1.2 電力排放係數現況

遵循 108 年度經濟部能源局公布電力排放係數 0.509 公斤 CO₂e/度做為計算依據。另燃料油、汽油、柴油、液化石油氣、天然氣及燃料煤等排放係數等，則遵循據環保署公布溫室氣體排放係數管理表 6.0.4 版做為計算依據。

2.1.3 二氧化碳排放趨勢推估

依據 109 年 1 月經濟部能源局提供燃料燃燒排放 CO₂ 推估資料顯示，預估 110 年至 114 年期間住宅部門 CO₂ 排放自 27.591 百萬公噸降至 22.832 百萬公噸，與商業部門由 27.245 百萬公噸降至 23.327 百萬公噸，住商部門 CO₂ 排放皆呈現減量趨勢。預估 114 年

住商部門 CO₂排放量約為 46.16 百萬公噸，占我國整體溫室氣體排放量比重約為 18.92%，如圖 2.7 與表 2.2 所示。現階段由國發會推估我國整體及各業別 GDP 成長率，後續將滾動式調整住商部門二氧化碳排放推估趨勢。

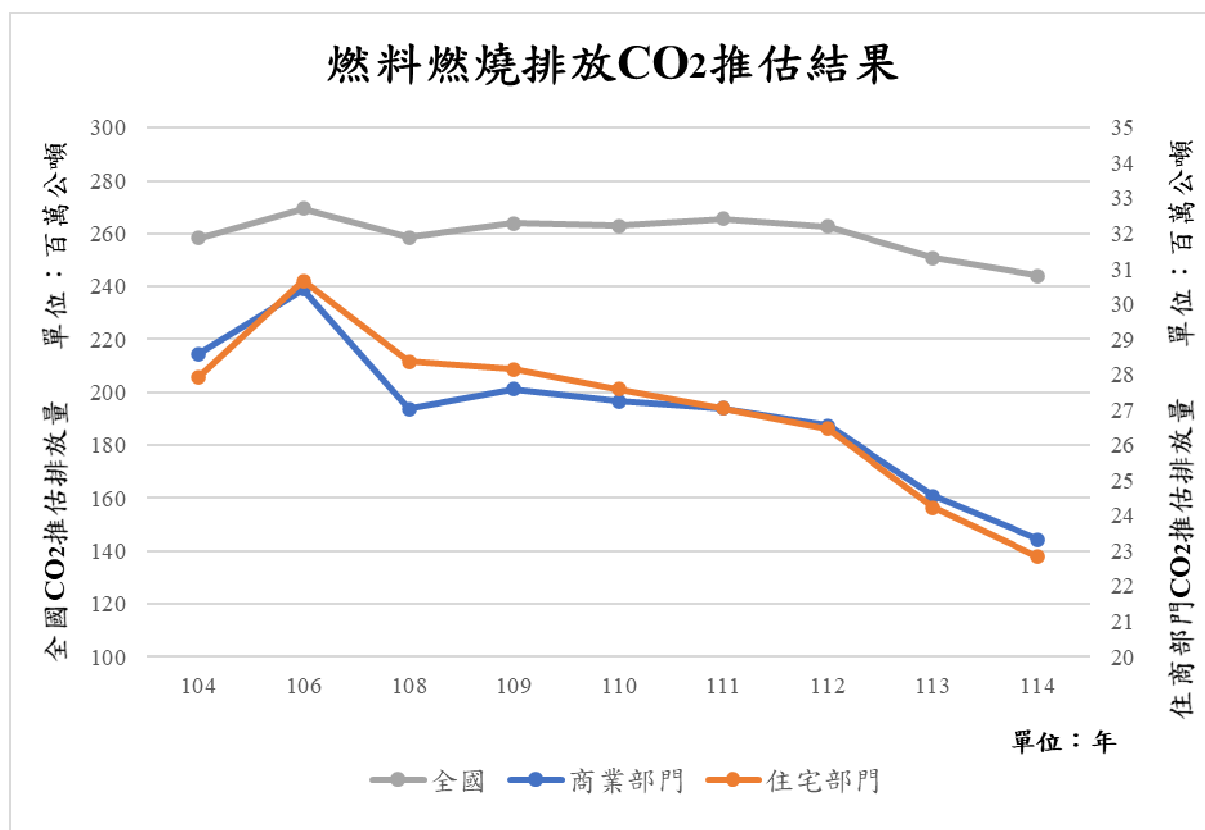


圖 2.7 全國及住商部門二氧化碳排放趨勢推估

資料來源：燃料燃燒排放 GHG 推估結果說明，經濟部能源局(109 年 1 月 20 日)。

表 2.2 燃料燃燒排放 CO₂ 推估結果

單位：百萬公噸

年 部門	94 (基準 年)	109	110	111	112	113	114
能源 (自用)	35.519	37.689	37.470	37.421	36.933	35.221	33.978
製造	114.118	130.899	131.260	134.696	133.475	127.810	125.173
商業	28.610	27.597	27.245	27.041	26.564	24.560	23.327
住宅	28.650	28.159	27.591	27.047	26.460	24.240	22.832
運輸	37.158	36.802	36.858	36.795	36.673	36.527	36.402
農業	4.005	2.714	2.660	2.620	2.560	2.399	2.288
合計	248.058	263.860	263.084	265.620	262.664	250.757	244.002

備註：備註：104 年數據為實績值，109 至 114 年數據則為推估值。

資料來源：經濟部能源局(109)

第二節 高性能隔熱綠建材

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 2.8）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 2.8 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%，2021 年 1 月開始，更將使用率提升至 60%，並增列戶外鋪面部分需使用 20% 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六十以上，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二十以上」，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。

2.1.3 綠建材高性能節能綠建材基準

高性能節能綠建材之受理項目包含「節能玻璃」、「建築門窗用玻璃貼膜材料」、「建築用隔熱材料」、「節能塗料」、「外牆系統或構造」、「屋頂系統或構造」等 6 類，而其他形式之節能建材，因其影響建築節能之因子較複雜及未有相對應量測標準，擬於未來逐步探討。

節能玻璃與建築門窗用玻璃貼膜材料評定要項首重材料對建築外殼耗能之影響，除此之外材料對建築室內照明以及材料對建築物周圍光環境之影響亦為評定項目考量，評定要項包含遮蔽係數、可見光反射率及可見光穿透率，其各項參數所代表之意義如圖 7-25、7-26 所示。建築用隔熱材料之評定要項為熱傳導係數，外牆系統或構造、屋頂系統或構造之評定要項為熱傳透率(U 值)，而節能塗料的評定要項為太陽輻射反射率(Solar Reflectance)，以及太陽反射指數 SRI (Solar Reflectance Index)。

目前我國相關檢測單位已建立試驗標準、試驗方法及程序，可針對各項高性能節能綠建材之進行試驗。再配合基準值評定程序，即能判斷是否達到高性能節能綠建材標章之取得資格。

試驗項目應檢附由內政部指定之「綠建材性能試驗機構」出具之試驗報告書辦理，若性能試驗項目尚無內政部指定之綠建材性能試驗機構，得檢具符合「綠建材性能試驗機構申請指定作業要點」第 2 點第 1 至 3 款之機關（構）認可或認證之試驗室出具之試驗報

告書辦理，若無上述認可或認證之試驗室，得由其他實驗機構出具試驗報告書，並經綠建材標章分類評定小組同意。

(一) 遮蔽係數：

遮蔽係數 Sc 值(shading coefficient)代表玻璃建材對建築外殼耗能之影響程度，遮蔽係數被定義為玻璃試件之日射透過率 η ，與 3mm 透明玻璃日射透過率 η_s (一般以 0.88 為基準)之比值，如下式所示：

$$Sc = \frac{\eta}{\eta_s}$$

Sc：遮蔽係數

η ：玻璃試件之日射透過率

η_s ：3mm 透明玻璃之日射透過率（一般以 0.88 為基準）

遮蔽係數越低代表玻璃建材阻擋外界熱能進入建築物之能量越少。節能玻璃之遮蔽係數評定基準為 Sc 值 ≤ 0.35 ，建築門窗用玻璃貼膜材料評定基準為 Sc 值 < 0.57 。

(二) 可見光反射率：

可見光反射率為太陽光之可見光部分照射至玻璃建材後反射之比例。可見光反射率越高代表玻璃建材造成環境光害之程度愈大。節能玻璃之評定基準為可見光反射率 ≤ 0.20 ，建築門窗用玻璃貼膜材料之評定基準為可見光反射率 < 0.20 。

(三) 可見光穿透率：

可見光穿透率為太陽光之可見光部分照射至玻璃建材後直接穿透進入室內之比例。可見光穿透率愈高代表太陽光轉為有效室內照明之效益愈大。節能玻璃之評定基準為可見光穿透率 ≥ 0.50 ，建築門窗用玻璃貼膜材料之評定基準為可見光穿透率 > 0.60 。

(四) 熱傳導係數：

熱傳導係數又稱為 k 值，單位為 $W/m \cdot K$ ，定義為在單位時間、單位溫差之條件下，垂直通過單位面積材質之傳導熱量。建築用隔熱材料之評定基準參照我國環保標章之基準，訂為熱傳導係數 $<0.044W/m \cdot K$ 。

(五) 熱傳透率：

熱傳透率又稱為 U 值，單位為 $W/m^2 \cdot K$ ，定義為當室內外溫差在 $1K$ 時，建築物外殼單位面積在單位時間內之傳透熱量。外牆系統或構造之評定基準為 U 值 $<1.8W/m^2K$ ，屋頂系統或構造之評定基準為 U 值 $<0.72/m^2 \cdot K$ 。

(六) 太陽輻射反射率及太陽反射指數：

節能塗料之評定要項包含太陽輻射反射率(solar reflectance)以及熱輻射率(thermal emittance)，前者用於評估屋頂反射太陽輻射能量的能力，後者則用於評估屋頂將表面熱量輻射至外界環境的效率，而太陽反射指數 SRI 是結合太陽輻射與熱輻射率的綜合指標。節能塗料之評定基準為太陽輻射反射率 >0.70 且 $SRI > 80$ 。

各項高性能節能綠建材之評定基準如表 2.3 至表 2.7 所示，所認定之建材產品除了需符合上述性能基準之外，同樣需依據通則的精神，確認產品的品質基準符合基本性能。

表 2.3 節能玻璃評定基準表

受理項目	評定基準	試驗法	備註
1. 單層玻璃 2. Low-E 玻璃 3. 膠合玻璃 4. 複層玻璃	Sc 值 ≤ 0.35 可見光反射率 ≤ 0.20 可見光穿透率 ≥ 0.50	CNS 12381 ISO 9050	
【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。 【試驗方法】1. CNS 12381：平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得率係數試驗法。 2. ISO 9050: Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors. 3. 上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提由綠建材標章分類評定小組審查。			

表 2.4 建築門窗用玻璃貼膜材評定基準表

受理項目	評定基準	試驗法	備註
建築門窗用玻璃貼膜材料	Sc 值 < 0.57 可見光反射率 < 0.20 可見光穿透率 > 0.60	CNS 12381 ISO 9050	需符合國家標準耐候性要求，若國內尚無可符合之耐候性國家標準時，得另提出適合之國際標準進行評定
【受理範圍】適用於建築物外殼門窗與出入口設置之單層或複層透明玻璃(但不包括有機玻璃)。 【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。 【試驗方法】1. CNS 12381：平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得率係數試驗法。 2. ISO 9050: Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors. 3. 上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提由綠建材標章分類評定小組審查。			

表 2.5 建築用隔熱材料評定基準表

受理項目	評定基準	試驗法	備註
建築用隔熱材料	熱傳導係數 ≤ 0.044 $\text{W/m} \cdot \text{K}$	CNS 7332	品質基準參照 CNS 9960
【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。 【試驗方法】1. CNS 7332：隔熱－穩態下之熱阻及相關性質測定－熱流計儀器。 2. 上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提由綠建材標章分類評定小組審查。			

表 2.6 外牆及屋頂系統或構造評定基準表

受理項目	評定基準	試驗法	備註
外牆系統或構造	U 值 $< 1.8 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	ISO 8990	
屋頂系統或構造	U 值 $< 0.72 \text{W/m}^2 \cdot \text{K}$	ISO 8990	
【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。 【試驗方法】1. ISO 8990：Thermal insulation-Determination of steady-state thermal transmission properties-Calibrated and guarded hot box. 2. 上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提由綠建材標章分類評定小組審查。			

表 2.7 節能塗料評定基準表

受理項目	評定基準	試驗法	備註
節能塗料	太陽輻射反射率 >0.70 SRI >80	CNS 12381 ISO 9050 ASTM E 1980	需符合耐候性要求
【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合高性能節能建材設計及要求。 【試驗方法】1. CNS 12381：平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得率係數試驗法。 2. ISO 9050: Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors. 3. ASTM E 1980: Standard Practice for Calculating Solar Reflectance Index of Horizontal and Low-Sloped Opaque Surfaces. 4. 上述評定項目如採其他規範進行評定，請出具相關試驗報告書提出綠建材標章分類評定小組審查。			

第三節 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也逐漸擴大。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，於一百零八年八月十九日內政部台內營字第 1080813597 號令修正發布第 46-1、46-3、46-4、299、300、302、304、308-1、308-2、309、311、312、314、321 條條文；並於中華民國一百零八年十二月三十一日內政部台內營字第 1080824127 號令發布，除第 46-1、46-3、46-4 等條文外(自一百零九年一月一日施行)，其餘修正條文自一百一十年一月一日施行。

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 2.8 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 $HWsc$ 。

表 2.9 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

有下列情形之一者，免受前項規定限制：

- 一、屋頂下方為樓梯間、倉庫、儲藏室或機械室。
- 二、除月臺、觀眾席、運動設施及表演臺外之建築物外牆透空二分之一以上之空間。

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。

第三百零八條之二

受建築節約能源管制建築物，位於海拔高度八百公尺以上者，其外牆平均熱傳透率、立面開窗部位（含玻璃與窗框）之窗平均熱傳透率應低於下表所示之基準值：

表 2.10 不同海拔之外殼殼熱規定

海拔	外牆平均熱傳透率基準值 ($W/(m^2 \cdot K)$)	立面開窗率 WR			
		WR > 0.4	$0.4 \geq WR$ >0.3	$0.3 \geq WR$ >0.2	$0.2 \geq WR$
		窗平均熱傳透率基準值 ($W/(m^2 \cdot K)$)			
海拔 800~1800m	2.5	3.5	4.0	5.0	5.5
海拔高於 1800m	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5

受建築節約能源管制建築物，其外牆平均熱傳透率、外窗部位（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；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。但符合前項、本編第二百零九條至第三百十二條規定者，不在此限：

表 2.11 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

第三百零九條

A 類第二組、B 類、D 類第二組、D 類第五組、E 類、F 類第一組、F 類第三組、F 類第四組及 G 類空調型建築物，及 C 類之非倉儲製程部分等空調型建築物，為維持室內熱環境之舒適性，應依其耗能特性分區計算各分區之外殼耗能量，且各分區外殼耗能量對各分區樓地板面積之加權值，應低於下表外殼耗能基準對各分區樓地板面積之加權平均值。但符合本編第三百零八條之二規定者，不在此限：

表 2.12 建築技術規則外殼耗能基準

耗能特性分區	氣候分區	外殼耗能基準值 千瓦·小時 / (平方公尺·年)
辦公、文教、宗教、照護分區	北部氣候區	一百五十
	中部氣候區	一百七十
	南部氣候區	一百八十
商場餐飲娛樂分區	北部氣候區	二百四十五
	中部氣候區	二百六十五
	南部氣候區	二百七十五
醫院診療分區	北部氣候區	一百八十五
	中部氣候區	二百零五
	南部氣候區	二百十五
醫院病房分區	北部氣候區	一百七十五
	中部氣候區	一百九十五
	南部氣候區	二百
旅館、招待所客房區	北部氣候區	一百十
	中部氣候區	一百三十
	南部氣候區	一百三十五
交通運輸旅客大廳分區	北部氣候區	二百九十
	中部氣候區	三百十五
	南部氣候區	三百二十五

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 2.13 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

學校類建築物之行政辦公、教室等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 2.14 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		
F類第二組		
	中部氣候區	二百
	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 2.15 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：		
A類第一組	氣候分區	窗面平均日射取得量基準值計算公式
D類第一組	北部氣候區	基準值 = $146.2X^2 - 414.9X + 276.2$
	中部氣候區	基準值 = $273.3X^2 - 616.9X + 375.4$
	南部氣候區	基準值 = $348.4X^2 - 748.4X + 436.0$

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，除本編第二百零九條之空調型建築物應依各耗能特性分區樓地板面積加權計算其基準值外，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。

有關第二百零八條之二，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2.16 木窗或塑鋼窗窗框面積比 r_{fi} 速查表（不鏽鋼窗之 r_{fi} 必須依此數據再乘上0.8，鋁窗之 r_{fi} 必須依此數據再乘上0.9）

開窗面積(m ²) 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 2.17 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	膠合玻璃	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			
中空窗框	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。

第四節 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 2.18 所示。

表 2.18 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 2.19 所示。

表 2.19 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 2.20 所示。

表 2.20 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 2.21。

表 2.21 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。

第五節 住宅用電調查

有關住商部門耗電狀況部分，國立成功大學建築研究所博士論文《住宅耗電實測解析與評估系統之研究》（郭柏巖，2005），曾有相關研究，該論文針對台灣 62 件住宅案例（包含公寓住宅 26 例，透天住宅 36 例）進行各種家用電器實際用電之掛表量測。該研究調查範圍以台灣本島內的住宅為主，將調查樣本範圍涵蓋北、中、南三區域，其中包括了台北、桃園、新竹、台中、彰化、嘉義、台南、高雄、屏東等縣市。調查對象以研究者之朋友、親戚、同學、鄰居、老師等自宅做出發，並請以上對象提供可受測與訪問的住戶並回報進行篩選後，才進行調查與監測之工作。由於住宅內電器設備的差異性與人口組成對於耗電有關鍵性的影響，因此該研究受測對象的職業與人口組成則力求涵蓋社會中主要的類型分佈。以家庭人口組成來說，有典型的上班族，也有長輩退休常年在家型；以規模來說，有小至夫妻兩人的小家庭，也有大到三代同堂的大家庭。至於調查與監測時間，原則上每戶住宅以連續監測一年的時間為限，整個研究先後歷時三年（2001～2003），無法全部樣本同時進行的原因在於電力監測設備的數量有限，加上研究對象來源取得相當困難等原因，受測期間定期至各住戶家下載電力資料。該研究將實測結果分為「家電」、「照明」、「空調」三類耗電量進行解析而得下列統計結果（詳表 2.22）。

表 2.22 住宅耗電調查統計結果

住宅種類	家電耗電量及比例(kWh)		空調耗電量及比例(kWh)		照明耗電量及比例(kWh)		全年總耗電量(kWh)	單位面積耗電量 (kWh/m ² · a)
公寓	2088.3	50.6%	932.4	22.6%	1103.4	26.8%	4124.1	41.8
透天	3033.2	47.6%	1165.1	18.3%	2179.8	34.2%	6378.1	32.1

根據該研究統計，平均每戶透天式住宅全年耗電量為6,371.0(kWh/年)，而公寓式住宅為4,119.0(kWh/年)，每戶透天式住宅耗電量為公寓式的1.55 倍。除了中南部的氣候比北部地區炎熱許多，所以中南部平均住宅的空調時間要比北部地區長外，公寓式住宅的抽水馬達與電梯等公共用電並不包括在自家的電表中，而是透過公共電表平均分攤，但是透天式住宅的所有用電設備則涵蓋在自

家的電表中，基於以上原因造成公寓式住宅低於透天式住宅。全年耗電量南部地區的透天住宅為北部地區的1.72 倍，公寓則為北部的1.33 倍。

根據內政部統計處在1995 年對台灣各縣市的住宅專用戶數之統計資料，台灣住家專用的戶數共達到4,818,643 戶（所謂的住家專用是指純粹作為居住使用，而不包括住家兼工業用、住家兼商業用及住家兼其他用等類型），以位於北部地區的住宅數量最多為2,277,144 戶，約佔全台灣數量的47.3%，南部次之佔30.4%，中部所佔比例為22.3%。惟該研究因北部地區的樣本取得困難，因此北部共取19戶，中部取15戶，南部取28戶，詳如表2.23，此一抽樣比例，與實際比例略有差異。由於住宅用電狀況與住宅人口數、人口結構、生活形態、居住者所得、氣候、坪數等因素密不可分，因此本研究在區域取樣的比例上，與實際狀況的差異，似可能成為實測誤差的來源之一，不過，本研究對於住宅用電的比例，至少已能提供一個較可信的實測數據。

表 2.23 各區域住宅用電實測戶數

分區	地點	公寓	透天	總戶數	
北部	台北縣市	13	1	14	19
	桃園縣市	2	1	3	
	新竹縣市	1	1	2	
中部	台中縣市	5	8	13	15
	彰化市	1	1	2	
南部	嘉義地區	0	1	1	28
	台南縣市	3	17	20	
	高雄縣市	1	5	6	
	屏東縣市	0	1	1	

資料來源：《住宅耗電實測解析與評估系統之研究》（郭柏巖，2005）

根據美國能源資訊局（Energy Information Administration；簡稱 EIA，網址為 <http://www.eia.gov>）官方的統計及預測資料顯示，目前中國耗能占世界的 20%，略大於美國的 19%（詳圖 2.9），而美國的住商部門對於能源的消耗量，從 1960 年代至今，逐步提升，目前住商部門大約消耗了美國總體能源的 40%，這個比例竟比交通部門及工業部門高，而且預測至 2020 年，其所占比例仍持續的增加，而建築部門耗用的能源以煤、天然氣為最多，此係因美國主要以煤作為發電的初級能源，使用石油發電的比例甚低。美國的住商部門消耗的總體能源比重（40%），恰巧與全世界平均值約略相當（依據 WBCSD（2009）的研究指出：建築能耗占全世界總能耗的約 40%），而越先進的國家，住商部門耗能的百分比越高，發展中國家建築耗能的比重較低，約略為 20%~30%。另根據美國能源局公布資料顯示，美國辦公建築能源使用費用約是整體營運費用（不包括人事成本）的 30%，而住宅部門中消耗能源最多者為空間供暖（45%），其次依序為熱水供應（18%）、冷氣（9%），照明部分僅為 6%（詳圖 2.10），此與國內相關研究和統計結果，住宅部門之照明耗電量達 30%，差異頗大。

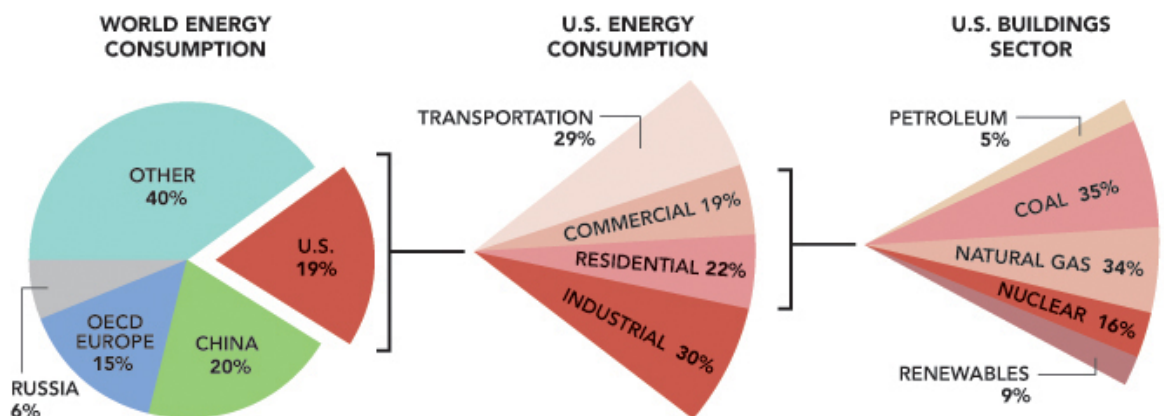


圖 2.9 美國住商部門能源使用比例

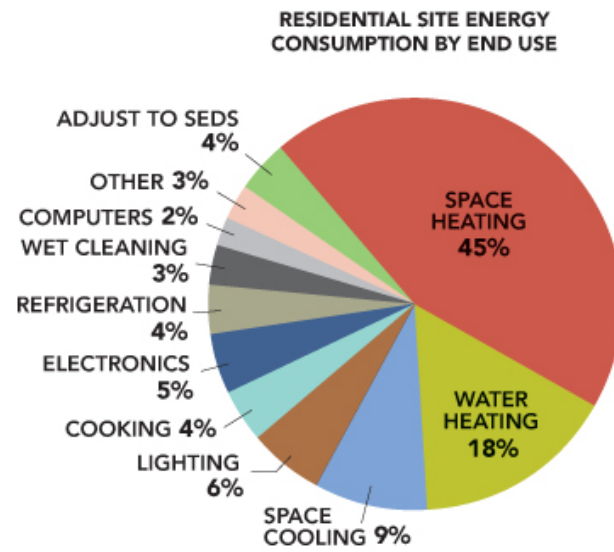


圖 2.10 美國住宅部門能源終端使用比例

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 $kcal / m \cdot h \cdot ^\circ C$ 。熱阻係數為熱傳導係數之倒數，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 $(m^2 \cdot K) / W$ 。例如矽酸鈣板之熱傳導係數為 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，可以熱傳導係數作為標準，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 $1.5[W/(m^2 \cdot k)]$ 強化為 $1.2[W/(m^2 \cdot k)]$ ，2010年修正至 $1.0[W/(m^2 \cdot k)]$ ，2013年再修正屋頂平均熱傳透率(U_i)基準值提高至 $0.8[W/(m^2 \cdot k)]$ ，至於外牆平均熱傳透率基準值仍為 $3.5[W/(m^2 \cdot k)]$ 。

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， $\text{m}^2 \text{K/W}$ ； S 為牆體材料的蓄熱係數， $\text{W/m}^2 \text{K}$ 。

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×密度，因此以水而言，熱質量為 $4200 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ ，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 $800 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ ，鋼則為 $3510 \text{ kJ/m}^3\text{K}$ ，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°C 時，在1h內， 1m^2 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)	$0.51\sqrt{ABC} * L/k$ 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。

4. 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。

5. 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。

第四章屋頂節能策略解析

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。

第一節 建築外殼參數

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4.1所示。

(2). 熱阻係數：

為熱導係數之倒數，熱阻係數一般表示為 $1/k$ ，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4.2所示。

表4.1 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	2400 2000	1.5 1.5
	泥砂漿		
	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4.2 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 $W/(m^2 \cdot K)$ 。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)。

第二節 氣候參數

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。

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 4.1 示)。

建築物屋頂隔熱節能策略探討之研究

Country - region 

Province / State

Climate data location [See map](#)

Latitude °N

Longitude °E

Elevation m

Heating design temperature °C

Cooling design temperature °C

Earth temperature amplitude °C

Source

Source

Source

Month	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 18 °C °C-d	Cooling degree-days 10 °C °C-d
January	16.1	78.8%	2.16	100.8	3.1	17.6	59	189
February	16.3	81.0%	2.51	100.7	3.1	17.7	48	176
March	18.3	80.2%	3.03	100.4	3.0	19.4	0	257
April	22.0	78.3%	3.63	100.1	2.9	22.2	0	360
May	25.2	77.3%	4.43	99.7	2.9	25.1	0	471
June	27.8	76.8%	4.57	99.4	2.5	27.1	0	534
July	29.5	73.3%	4.65	99.3	2.5	28.5	0	605
August	29.2	74.1%	4.79	99.2	2.7	28.3	0	595
September	27.3	75.6%	3.96	99.6	3.2	26.8	0	519
October	24.5	74.9%	3.95	100.2	3.7	24.5	0	450
November	21.5	74.8%	3.44	100.6	3.6	22.0	0	345
December	17.9	75.8%	2.62	100.8	3.3	19.2	3	245
Annual	23.0	76.7%	3.65	100.1	3.0	23.2	110	4,746
Source	Ground	Ground	Ground	NASA	Ground	NASA	Ground	Ground
Measured at	m	10	0					

圖4. 1RETScreen氣象參數設定操作畫面

第三節 空調及換氣率參數

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。目前假設以能效二級 EER 值 3.93(W/W) 作為解析用的空調參數，換算為 COP 值為 4.56，其使用能源為電力（軟體畫面如圖 4.2）。惟從 2017 年開始，能源局已經改用「CSPF 冷氣季節性能因數」取代了 EER，做為讓消費者判定冷氣省電與否的新標準，所謂「CSPF」冷氣季節性能因數（Cooling Seasonal

Performance Factor)，就是考慮到冷氣使用季節的外氣溫度條件，測試計算冷氣機滿足建築物所需的製冷量與其對應的耗電量，更準確地計算冷氣/空調機的能源效率。考量解析軟體仍以 COP 進行分析，暫不採用 CSPF，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，至於冷氣使用排程，本研究設定 24 小時。

	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 4.2 RETScreen 空調參數設定操作畫面

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4.3）。

		Base case	Proposed case	Incremental initial costs
Natural air infiltration				
Method		Air change rate		
Volume	m³	26.22	26.22	\$ 0
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%

圖4.3 RETScreen換氣率參數設定操作畫面

第四節 電力價格及電力碳排放係數

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，目前夏月電費計算公式分6級距，120度以下：每度1.63元；121度至330度：每度2.38元；331度至500度：每度3.52元；501度至700度：每度4.80元；701度至1000度：每度5.66元；1001度以上：每度6.41元。本研究暫定以4.8元作為分析條件，並建立燃料格參數（如圖4.4）：

Fuel type 1	Fuel type 2	Fuel type 3	Fuel type 4	Fuel type 5
Electricity	Natural gas - m ³	Diesel (#2 oil) - L	Gasoline - L	Kerosene - gal
MWh	m ³	L	L	gal
TWD/kWh	TWD/m ³	TWD/L	TWD/L	TWD/gal
4.800	16.000	29.000	32.000	41.500

圖4. 4RETScreen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108年度電力排放係數，該年度係數為0.509公斤CO₂/度（詳表4.3），其算式為：

$$(\text{綜合電業排放量} + \text{民營電廠排放量} + \text{汽電共生業排放量} - \text{線損之排放量}) / \text{總銷售電量} = 0.509 \text{ 公斤 CO}_2 / \text{度}$$

說明：

777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0.509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0.509公斤的。根據台電資料顯示，109年度線路損失率為4.0%。

表4.3 我國歷年電力碳排放係數

年度	101	102	103	104	105	106	107	108
電力排放係數	0.529	0.519	0.518	0.525	0.530	0.554	0.533	0.509

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	0.509	4.0%	0.530

圖4.5 RETScreen電力碳排放係數及線損率輸入畫面

第五節 屋頂隔熱策略解析

至於屋頂隔熱部分，目前的法規規定是U值必須低於 $0.8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ ，其標準已較外牆平均傳透率 $3.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{k}$ 嚴格許多，換言之，屋頂隔熱策略均是透過降低屋頂U值來達成，只是採用的材料不同，例如混凝土隔熱磚、橡膠隔熱磚等，另外的一項主要策略為屋頂綠化策略，惟屋頂綠化研究本所於105年已有「屋頂綠化隔熱效能影響因子及組合最適化研究」之研究，且其效益受到植物種類、土壤種類、土壤厚度、澆水頻率等複雜影響，本研究暫不探討。

本研究首先探討屋頂隔熱的效益，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，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，不過，值得注意的是，外殼包括窗戶、牆壁和屋頂三部分，三部分的改善策略係彼此影響。

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。

本研究模擬兩組房屋，其中一組屋頂U值是 0.8 ，另一組是 0.5 ，其餘參數均一致，外牆U值為 $2.783 \text{ W/m}^2 \text{K}$ ，玻璃均為U值 6.31 ，SHGC為 0.83 （詳圖6）。

Building envelope

1 2 3 4 5

Description

Building north: 0

Schedule: Schedule 2

Description: 0

Base case

Proposed case

☒ Base case = proposed case

Building envelope

Walls

Area: m² 4.6 10.14 4.6 10.14

U-value: (W/m²)/°C 2.78 2.78 2.78 2.78

☐ Base case = proposed case

Window

Area: m² 0 2.97 0 2.97

U-value: (W/m²)/°C 0 6.31 0 6.31

Solar heat gain coefficient: 0 0.83 0 0.83

☐ Base case = proposed case

☐ Solar shading - season of use

☐ Doors

☒ **Roof**

Area: m² 11.4

U-value: (W/m²)/°C 0.8

☐ Base case = proposed case

☐ Floor

☐ Wall - below-grade

☐ Floor - below-grade

Incremental initial costs

TWD 0

Next

圖4. 6RETscreen外殼性能輸入畫面

分析結果顯示，在不考慮採暖的情況下，兩組節能效益僅0.25%，幾乎沒有顯著效益，由此可知，屋頂U值若從0.8提升至0.5，並非值得推廣之策略，此係因為0.8的U值已經是很好的屋頂隔熱材，若加大厚度到U值0.5，會衍生蓄熱、散熱不意等問題。另外，檢討此一案例發現，此案例外牆U值為2.97，也算是良好的隔熱材料，但是其玻璃的部分，U值為6.31，SC值為0.83，顯然都不具有良好的隔熱和遮陽效果。爰本研究假設另一個情境，就是採用兩組都採用較好的玻璃，SC值比照綠建材高性能節能玻璃基準為0.35，U值也提高至4，但屋頂部分一組U值是0.8，另一組是0.5(圖4.7)，分析結果顯示改善屋頂隔熱的效益相較原來的情境增加一倍(0.56%)。但是前後兩種情境(窗戶玻璃的差別)，節能卻達到48%。

Building envelope

1 2 3 4 5

Description

Building north: 0

Schedule: Schedule 2

Description: 0

Base case

Proposed case

☒ Base case = proposed case

Building envelope

		North	East	South	West	North	East	South	West	Incremental initial costs
Walls										
Area	m ²	4.6	10.14	4.6	10.14	4.6	10.14	4.6	10.14	
U-value	(W/m ²)/°C	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78	TWD 0
☒ Window										
Area	m ²	0	2.97	0	2.97	0	2.97	0	2.97	
U-value	(W/m ²)/°C	0	4	0	4	0	4	0	4	TWD 0
Solar heat gain coefficient		0	0.35		0.35	0	0.35	0	0.35	
☐ Solar shading - season of use										
☐ Doors										
☒ Roof										
Area	m ²					11.4				
U-value	(W/m ²)/°C					0.5				TWD 0
☐ Floor										
☐ Wall - below-grade										
☐ Floor - below-grade										

[Next](#)

圖4.7 外殼性能輸入畫面(提升玻璃性能)

此一結果，或許與直觀上既定印象有些差距，但參考本所 103 年「建築外牆隔熱及蓄熱效果對室內環境溫度影響之探討」，該研究亦顯示如果以全年的空調顯熱負荷來看，增加外牆的 U 值反而造成全年空調耗能增加，而本研究也顯示增加屋頂材料隔熱性能，對全年度的空調耗能幾無效益，造成此結果的原因是因為，不論是外牆或屋頂，提高隔熱性能也同時增加了材料蓄熱的問題，材料蓄積的熱能，還是必須透過空調來去除，但這不意味提高外牆或屋頂的隔熱性能，是沒有意義的，因為即使節能效益並不顯著，但是許多的研究均顯示，提高屋頂或外牆隔熱性能有助於提高室內熱舒適性。

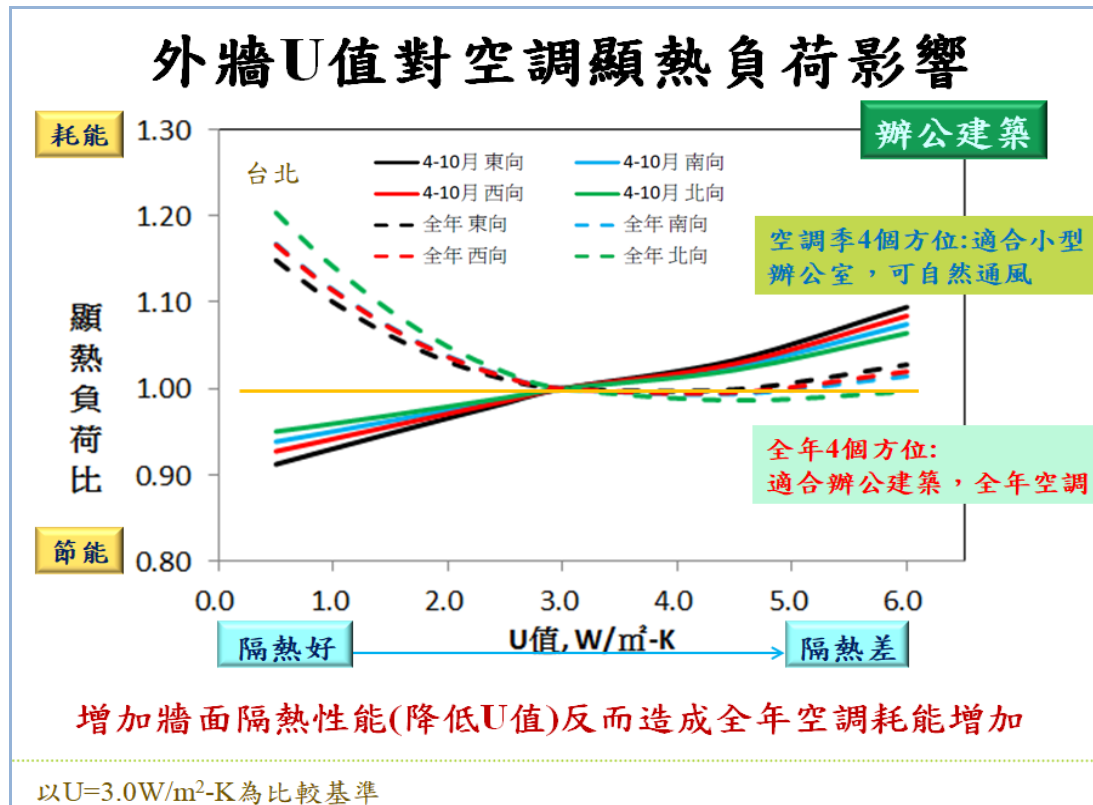


圖 4.8 全年度不同外強熱負荷圖

圖片來源: 建築外牆隔熱及蓄熱效果對室內環境溫度影響之探討

第五章結論與建議

第一節結論

由於淨零排放議題興起，許多民間環保團體呼籲加強外殼隔熱，並建議政府修改外殼隔熱法規，經本研究分析屋頂隔熱節能效益後，發現在亞熱帶氣候區的臺灣，由於室內室外溫差不大，且目前法規規定之屋頂 U 值為 0.8，在這個 U 值基準下，再去提高屋頂隔熱能力，對於節能效益極為有限，因此不建議採取再降低屋頂 U 值的策略，建議採取改善開口部策略，例如水平天窗或外牆窗戶的遮蔽係數。而在開口部遮蔽係數良好的前提下，再去改善屋頂隔熱，所獲得的節能效益會明顯大於未改善開口部遮蔽係數便先改善屋頂隔熱層的情況，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，這是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，加大屋頂厚度雖可以降低 U 值，但也會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，而且，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，因此對於空調耗能幾乎沒有影響，但提高屋頂隔熱所帶來的熱流時滯效應，仍有助於維持室內的舒適度和溫度穩定度。

第二節建議

建議

建議進行綠屋頂之節能效益相關研究：中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

綠屋頂雖也是常被討論的策略，但是其仍涉及防水、結構等問題，其效益也不僅是節能，尚有美觀或心理效益，且其效益會因為植栽種類，土壤種類不同而有顯著差異，量化不易，欲探討其策略，仍需進行系統性的研究或實驗，建議後續可持續進行相關研究或討論，使屋頂節能策略的探討更為全面。

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. 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。
10. 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。
11. 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。
12. 「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。
13. 「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。

14. 「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。
15. 「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。
16. 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。
17. 「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。
18. 我國燃料燃燒CO₂ 排放統計與分析，經濟部能源局，101年10月。
19. 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。
20. 陳麒任，屋頂綠化隔熱效能影響因子及組合最適化研究，內政部建築研究所自行研究計畫，2016。
21. 林子平，內政部建築研究所103年度「建築外牆隔熱及蓄熱效果對室內環境溫度影響之探討」委辦案。