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報告

中華民國 100 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）

建築節能減碳策略及成本效益分析

PG10003-0506
100301070000G1051

建築節能減碳策略及成本效益分析

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 100 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）

建築節能減碳策略及成本效益分析

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

The Strategy and Cost Benefit Analysis of Architecture Energy Saving and Carbon Reduction

BY

Dr. YAU JYH-TYNG

December, 2011

目次

表次 III
圖次 IV
摘要 V
第一章 緒論 1
第一節 研究緣起與背景 1
第二節 研究目的 2
第三節 研究流程 3
第四節 預期成果 4
第二章 文獻回顧與探討 5
第一節 我國能源及電力使用現況 5
第二節 我國二氧化碳排放現況 8
第三節 節能減碳國際趨勢 13
第四節 住宅用電調查 15
第三章 建立分析參數 17
第一節 氣象資料 17
第二節 燃料價格 18
第三節 碳排放係數 21
第四章 建築節能策略成本效益分析 29
第一節 照明節能 29
第二節 空調節能 39
第三節 外殼節能 48
第五章 結論建議 63
第一節 結論 63
第二節 建議 64
參考書目 65

表次

表 2-1 國際能源總署公布之(CO_2)排放量跨國比較.....9
表 2-2 二氧化碳(CO_2)排放量跨年度比較 9
表 2-3 各種燃料碳排放係數 11
表 2-4 各部門燃料燃燒 CO_2 排放量 12
表 2-5 各國於哥本哈根協定中承諾之減碳目標.....14
表 2-6 住宅耗電調查統計結果 15
表 2-7 各區域住宅用電實測戶數.....16
表 3-1 氣象資料彙整 18
表 3-2 國內油品價格 19
表 3-3 臺北市桶裝瓦斯零售價格.....20
表 3-4 電力價格一覽表 21
表 3-5 建築類別單位面積用水量推估計算基準 24
表 3-6 台灣常見樹種之含碳量百分比轉換係數.....26
表 3-7 各種燃料熱值 27
表 3-8 天然氣及液化石油氣熱值及售價比較表 28
表 3-9 住商部門會使用到之能源碳排放係數值 28
表 4-1 各類空間之照明品質及耗能評估參考基準表...31
表 4-2 照明節能改善效益 32
表 4-3 照明節能減碳效益 32
表 4-4 五年之收入現值（貼現率 1.5%） 33
表 4-5 五年之收入現值（貼現率 17.6%） 33
表 4-6 成本效益分析結果 34

表 4-7 成本效益分析結果（通膨 2%） 34
表 4-8 成本效益分析結果（通膨 2%，貸款 20%） ..35
表 4-9 使用年限與內部報酬敏感性分析表.....36
表 4-10 通膨與內部報酬敏感性分析表.....37
表 4-11 貸款利率與內部報酬敏感性分析表 38
表 4-12 貸款比率與內部報酬敏感性分析表 39
表 4-13 窗型冷氣機能源效率比值標準對照表 41
表 4-14 無風管冷氣機能源效率基準 41
表 4-15 相關變數設定值 43
表 4-16 空調 COP 與節能效益表 43
表 4-17 空調溫度設定與節能效益表.....44
表 4-18 空調換氣率與節能效益表.....46
表 4-19 區位因素與空調耗能增量.....47
表 4-20 空調變數差異對不同區位因素之影響 48
表 4-21 2009 年新建築外殼節能設計基準概要.....49
表 4-22 建材熱導係數（綠建築標章計算資料）.....51
表 4-23 建材熱阻值(綠建築標章計算資料).....52
表 4-24 玻璃太陽熱得係數表 53
表 4-25 外殼節能解析變數基本設定值 53
表 4-26 開窗率對空調耗能之影響.....56
表 4-27 Low-e 玻璃對空調節能之影響（開窗率 40%）57
表 4-28 Low-e 玻璃成本效益分析結果（位於南北向） 57
表 4-29 Low-e 玻璃成本效益分析結果（位於東西向） 58
表 4-30 舊有建築物節能改善工程補助補助標準 59

表 4-31 外遮陽對於空調節能之影響（開窗率 40%）.60
表 4-32 外遮陽成本效益分析結果（位於南北向）...60
表 4-33 外遮陽成本效益分析結果（位於東西向）...60
表 4-34 屋頂隔熱成本效益分析結果（開窗 40%）...61
表 4-35 外牆隔熱成本效益分析結果（開窗 40%）...62

圖次

圖 1-1 研究流程 4
圖 2-1 能源供給比例（自產與進口別）..... 5
圖 2-2 我國能源結構圖 6
圖 2-3 國內能源消費結構（部門別）..... 7
圖 2-4 各部門電力使用比例 8
圖 2-5 各部門燃料燃燒 CO2 排放量趨勢..... 12
圖 3-1 燃料價格輸入畫面 21
圖 3-2 電力碳排放係數輸入畫面..... 22
圖 4-1 改善前後之燈具 29
圖 4-2 RETscreen 照明節能分析畫面 30
圖 4-3 5 年現金流分析圖..... 36
圖 4-4 使用年限與內部報酬敏感性分析圖..... 37
圖 4-5 通膨與內部報酬敏感性分析圖..... 37
圖 4-6 貸款利率與內部報酬敏感性分析圖..... 38
圖 4-7 貸款比率與內部報酬敏感性分析圖 39
圖 4-8 空調 COP 與節能效益關係圖..... 44
圖 4-9 空調溫度設定與節能效益關係圖..... 45
圖 4-10 空調溫度設定與節能效益關係圖..... 46

摘　要

關鍵詞：綠建築、節能減碳、成本效益分析

一、研究緣起

根據統計，台灣的住商部門二氧化碳排放量約佔全國總排放量的 28%，而二氧化碳是造成全球暖化之溫室氣體之一，因此為了減緩全球暖化，必須在不影響居住舒適性的前提下，盡可能減少住商部門的能源使用量，以減少溫室氣體排放。本研究之主要目的係利用加拿大自然資源部所開發之清潔能源專案分析軟體 RETScreen，評估我國建築之節能減碳相關方案之成本與效益，從中探勘出較佳推動策略。分析對象為建築物常見或較為可行之節能減碳措施，針對這些方案逐一進行節能量、減碳量、能源效益、能源成本、財務的分析。本研究首先對於 RETScreen 的運算和操作邏輯進行探討，並蒐集分析所需之參數，部分參數則做必要之假設，最後進行各種節能減碳方案之模擬和結果分析。研究結果顯示照明、空調、外殼均可達到節能目的，惟因相關設備或建材的成本不一，導致各項節能措施有不同之投資報酬率，另檢討分析結果，RETScreen 解析結果符合實際狀況及合理之預期，換言之，RETScreen 軟體內建之節能設備、節能專案、地理、及氣候等資料庫及參數，可應用於我國本土性之節能減碳分析，決策者可利用這套軟體進行節能技術與財務之可行性分析，並獲致較佳之決策方案。

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，本研究為彙整建築節能減碳相關應用及發展現況，將先收集國內建築節能減碳相關統計數據及減碳技術、設備與設計概念之相關文獻，並針對文獻進行回顧及探討，同時也將針對相關節能減碳的應用，進行成本效益數據的調查與彙整，以利與 RETScreen 軟體分析結果進行比對。

其次，由於 RETScreen 軟體在建築產業之應用經驗甚少，也缺乏相關學

術論文可資參考，因此在研究的初期，將投注較多心力於 RETScreen 軟體的摸索，並針對分析軟體 RETScreen 之運算和操作邏輯進行深入探討，並蒐集分析所需之參數，部分參數則做必要之假設。

最後，利用 RETScreen 軟體針對相關建築節能減碳方案之成本及效益進行模擬分析，透過數個假設方案的成本效益分析比較，可歸納出不同條件下建築節能減碳策略之成本及效益。

三、重要發現

1. 經查證能源局及環保署公告資料，住宅部門消耗 10.71%的能源及 18.28%的電力;並排放 13.9%二氧化碳，服務業部門則消耗 10.95%的能源及 19.7%的電力;並排放 14.2%的二氧化碳，因此提高住商部門節能減碳的成效，將有助於達成國家減碳總體目標。
2. 以 RETScreen 軟體進行建築節能減碳成本效益分析的過程中，分析者可針對影響節能減碳效益的相關變數，自行輸入參數值進行分析，無須受限於內建參數，可提高分析之可信度。
3. 本研究以置換 T8 燈管為 T5 燈管之案例進行分析，分析結果發現節能減碳效益達 39.6%，投資之內部報酬率可達 17.6%，且此一節能策略可行性甚高，幾無相關受限。
4. 以空調節能而言，經過 RETScreen 解析，本案例之空調溫度的設定若降低 1 度，約可節省空調耗電 9%；若降低新鮮外氣熱負荷 0.1ACH，約可節省空調耗電 2.5%，顯見，不增加初始成本而僅改變空調的使用行為（例如溫度設定、空氣洩漏量等）即可有效節能；至於空調主機之 EER 每增加 0.1，約可節能 3%。
5. 在開窗率的部分，本案例經過解析，開窗越大，方位因素對於耗能影響越大，以 40%的開窗率而言，開窗位於東西向之建築約比開窗為南北向之建築增加耗能 8.2%。若開窗率為 10%，二者相差僅 2.9%。另外，開窗率若由 40%降低為 10%時，可節能 29%～32%（因開窗方位不同而異），顯見大開窗確實會有較大之空調耗能。

6. 在外殼節能部分，當開窗率為40%時，將玻璃的U值由6.5提升至3時，熱得係數由0.66降低至0.52，約可有18%的節能效果，內部報酬最大為1.5%；若採用遮陽係數0.3的外遮陽，依方位不同約可有35%～45%的節能效果，惟內部報酬為-3.2%～-1.7%；至於屋頂隔熱部分，節能效果約1.6%，內部報酬為-12.8%，外牆隔熱的部分，節能效果約1.4%，內部報酬為-6.9%。

四、主要建議事項

根據本研究之研究結果，提出下列具體建議，以下分別從立即可行的建議、及中長期建議加以列舉：

一、立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：國科會、教育部、環保署

建築節能減碳雖可透過使用者行為模式的改變，或透過良好的建築設計而獲得部分成效，但是對於既有建築而言，投入資金汰換設備或裝置節能設備應是較立即可行之作法。設備改善的投資雖可發揮節能減碳之預期效果，但是未必符合經濟性，造成建築管有單位投資意願不高，為解決相關問題，產官學界應投入更多心力研擬具有經濟可行性的配套措施，帶動民間自發性的節能投資行為。

二、中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所、行政院環保署

協辦機關：內政部營建署、國科會、教育部

我國因為國際地位特殊，始終未加入或簽署相關國際減碳公約或協定，政府部門雖已注意到節能減碳的國際潮流與趨勢，但相較於歐美先進國家，民眾自主性的節能意識仍有待提升，建議相關單位或學術機關宜持續辦理相關宣導推廣活動。

Abstract

Key words: green building, energy saving and carbon reduction,
cost-benefit analysis

Houses give off a high percentage of a country's total carbon dioxide emissions. In Taiwan, the figure is about 28%. Since carbon dioxide is one of the greenhouse gases, houses contribute strongly to global warming. One way to cut the greenhouse emissions of houses, and therefore help stop global warming, is to minimize the energy use needed to sustain comfortable living in a house.

The main goal of this research is to apply the RETScreen Clean Energy Project Analysis Software which was developed by the government of Canada to evaluate energy saving projects for school buildings. We evaluated the energy savings, energy efficient, costs, emission reductions, financial viability and risk for various types of common or feasible energy saving projects for school buildings. The research was carried out by the following procedures, studying operating logic of the RETScreen software platform, collecting the parameters of the energy saving projects, making the simulations, and analyzing the results. The results of this research showed that the outputs of RETScreen were consistent with the actual situations and reasonable expectations. We can also say that RETScreen's built-in product, project, hydrology and climate databases were valuable to make some domestic energy saving analysis. In addition, it could be proved that RETScreen Software can help planners and decision-makers to better analyze the technical and financial viability of possible energy saving projects. People can reduce the cost of pre-feasibility studies and make better decisions to implement renewable energy, and energy efficiency projects by applying RETScreen.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

根據國際能源總署IEA/OECD於2008年最新出版之二氧化碳(CO_2)排放量統計資料顯示，台灣年 CO_2 排放總量為 270.33 百萬公噸，占全球排放總量的0.96%，全球排名第22位；但是每人平均年排放量為11.87公噸(人口以2,278萬人計算)，卻明顯高於日本(9.49公噸)、韓國(9.86公噸)平均值，全球排名第16位。其中，住商部門的碳排放量約佔全國總排放量之28%以上，因此，建築物之減碳研究，勢在必行。

近年來，由於氣候變遷及全球暖化趨勢加劇，再加上化石能源(fossil energy)快速消耗，全球莫不關注節能減碳之議題，我國亦將節能減碳列為國家重要施政目標之一，在國家節能減碳總目標之下，建築節能減碳自是不可或缺的一環。另聯合國跨政府氣候變遷專家委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)在其分析報告指出，面對氣候變遷之衝擊，必須採行兩項主要的策略。第一項策略是減緩(mitigation)，亦即積極減少人為溫室氣體的排放以穩定大氣二氧化碳的濃度，京都議定書要求工業化國家，在2012年以前強制減量，其背後之精神意義即在於此；另一項策略是調適(adaptation)，亦即當今社會必須體認氣候異變的現實，積極面對氣候變化對於社會經濟與生態環境系統所產生的影響，此一調適策略，不僅在抑低大氣變化對生命財產、農業的損失，最重要的關鍵在於經濟與社會的結構性轉型。不論是減緩與調適，建築產業都無法自外於這波節能減碳的國際浪潮。

另一方面人居環境的低碳化更為永續發展之重要一環，我國是全球第四個正式執行綠建築評估系統的國家、也是全球第一個強制要求公有建築進行綠建築設計並將於建築技術規則中訂定綠建築專章的國家。有關居住環境之節能減碳相關推動計畫，自1973年第一次世界能源危機以來，國內學界即著手建築節能之研究，自1995年建築技術規則設計施工編增訂「建築節能設計管制」條文，1996年7月行政院成立「永續發展委員會」推動「地球永續發展」、「城鄉永續發展」、「綠色營建政策」及「建築節能政策」，均為「挑戰2008年國家

重點發展計畫」之一環。1998 年建築技術規則第二次修訂「建築節能設計管制」，2002 年建築技術規則第三次修訂「建築節能設計管制」(自 92.01.01 年開始施行)，另內政部營建署已於 2005 年完成研議於「建築技術規則」建築設計施工編中增加第十七章「綠建築」專章，其中第四節之第 308 條至第 315 條即為「建築節約能源」，並自九十四年一月一日起施行。此外，我國綠建築指標中已包含「日常節能指標」，其內含又包括照明節能、外殼節能、空調節能等，然而不同類型之建築、不同使用模式或不同氣候區的建築，其適用的節能設計或節能設備實有必要進行更進一步之成本效益分析。

第二節 研究目的

本研究之主要目的係利用加拿大自然資源部所開發之能源專案分析軟體 RETScreen(RET, Renewable-energy and Energy-efficient Technologies)，評估我國建築領域節能減碳相關方案之成本與效益，從中探勘出較佳推動策略。分析對象為常見之節能減碳措施或具潛力之措施，針對這些方案逐一進行節能量、減碳量、節能效益、節能成本、財務和風險的分析，以期將 RETScreen 分析技術應用於我國本土性之節能減碳分析，協助決策者利用這套軟體進行節能技術與財務之可行性分析，並獲致較佳之減碳決策方案。

本研究之目的，說明如下：

1. 收集國內建築節能減碳相關數據、節能設備與設計概念之相關文獻，並針對文獻進行回顧及探討。
2. 利用加拿大自然資源部所開發之能源專案分析軟體 RETScreen (RET, Renewable-energy and Energy-efficient Technologies)，作為本研究之分析工具，以期將 RETScreen 分析技術應用於我國本土性之節能減碳分析。
3. 瞭解 RETScreen 軟體工具之分析邏輯和操作程序並評估 RETScreen 內建之參數是否適用於台灣地區。
4. 以 RETScreen 軟體分析台灣地區常見之數種建築節能減碳方案之成本效益，並加以比對，以探討不同建築類型、不同使用模式、及不同氣候區之

節能減碳成本效益。

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，本研究為彙整建築節能減碳相關應用及發展現況，將先收集國內建築節能減碳相關統計數據及減碳技術、設備與設計概念之相關文獻，並針對文獻進行回顧及探討，同時也將針對相關節能減碳的應用，進行成本效益數據的調查與彙整，以利與 RETScreen 軟體分析結果進行比對。

其次，由於 RETScreen 軟體在建築產業之應用經驗甚少，也缺乏相關學術論文可資參考，因此在研究的初期，將投注較多心力於 RETScreen 軟體的摸索，並針對分析軟體 RETScreen 之運算和操作邏輯進行深入探討，並蒐集分析所需之參數，部分參數則做必要之假設。

最後，利用 RETScreen 軟體針對相關建築節能減碳方案之成本及效益進行模擬分析，透過數個假設方案的成本效益分析比較，可歸納出不同條件下建築節能減碳策略之成本及效益。

本研究之研究方法如下，研究流程與步驟，詳圖 1-1 所示：

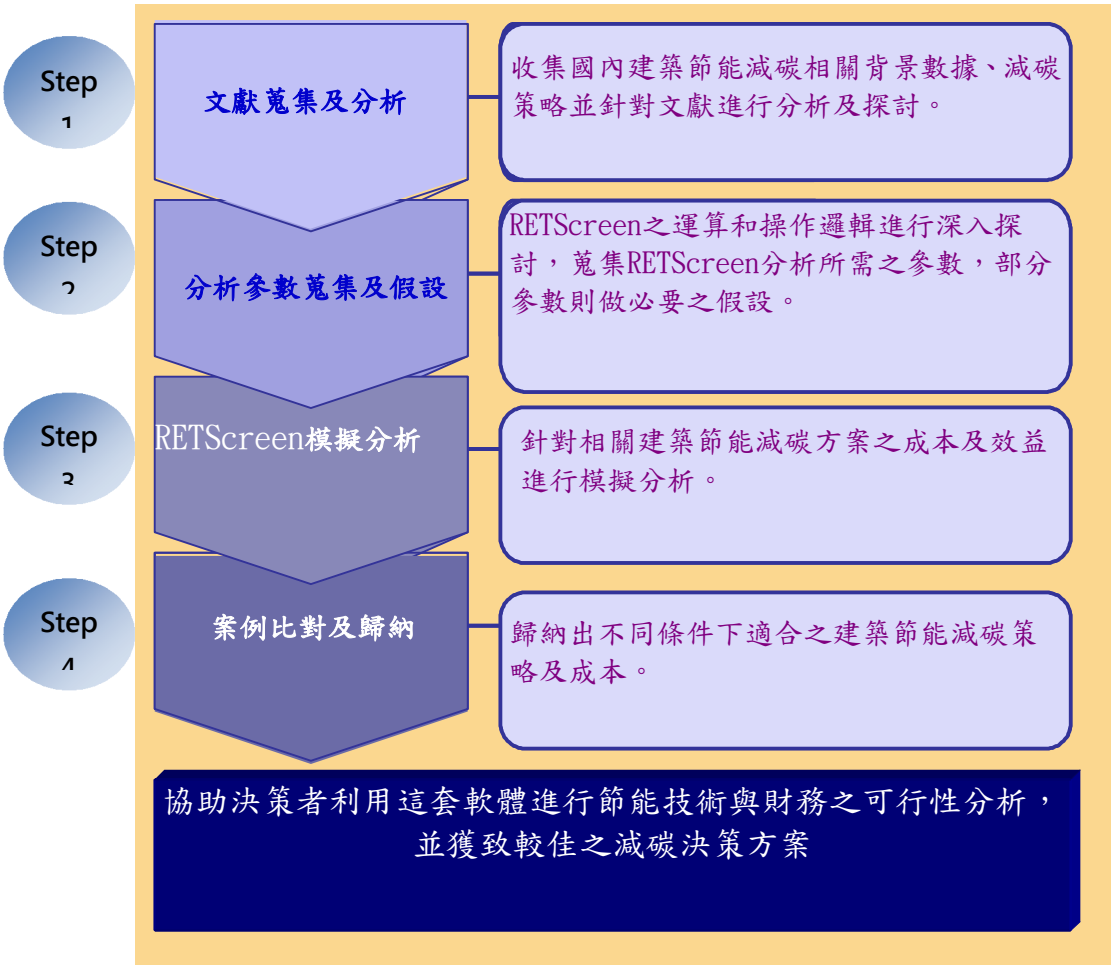

圖 1-1 研究流程

第四節 預期成果

本研究之預期成果，說明如下：

一、完成台灣地區建築節能減碳相關背景數據蒐集。

二、完成台灣地區具發展潛力之各類建築節能減碳技術之文獻探討。

三、建立 RETScreen 軟體分析所需之各項基本參數。

四、針對不同之建築節能策略完成節能減碳方案之成本效益分析

第二章 文獻回顧與探討

第一節 我國能源及電力使用現況

2.1.1 能源使用現況

依據經濟部能源局目前公布之 99 年度「能源統計年報-99 年能源供需概況」顯示，我國 99 年能源總供給量為 145,560.9 千公秉油當量，較 98 年（138,159.8 千公秉油當量）增加 5.36%；其中自產能源為 893.0 千公秉油當量，占總供給量 0.61%，較上年增加 2.03%；而進口能源為 144,667.9 千公秉油當量，占總供給量 99.39%，較上年增加 5.38%（如圖 2-1），顯見我國能源依賴進口的比例甚高，亟需進行節能相關推動工作。

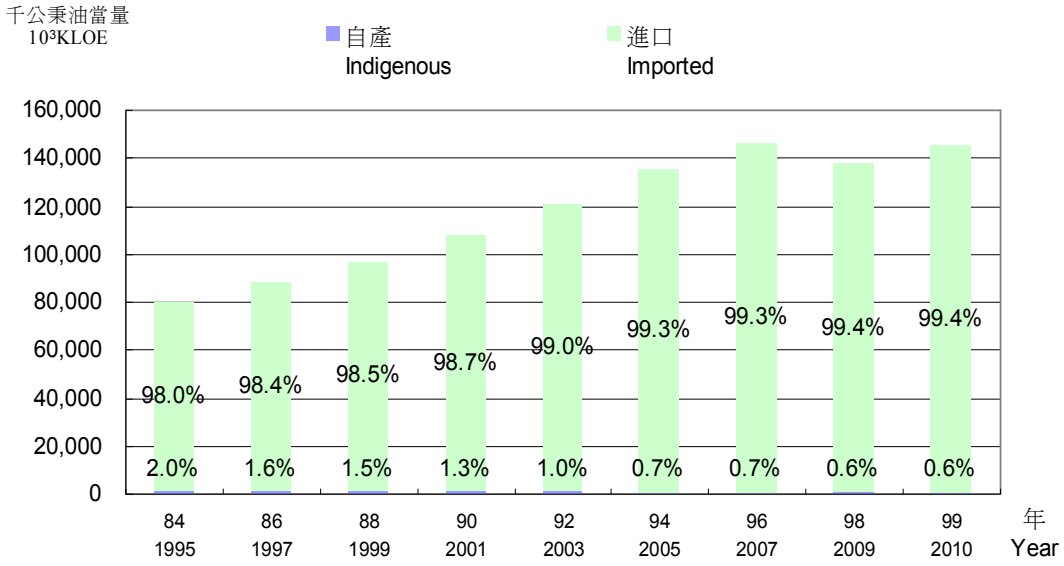

圖 2-1 能源供給比例（自產與進口別）

資料來源：經濟部能源局 99 年度「能源統計年報」

另若按能源種類區分，則煤炭占 32.09%，較上年增加 10.85%；石油占 49.04%，較上年減少 0.2%；天然氣占 10.16%，較上年增加 24.27%；水力占 0.28%，較上年增加 11.89%；風力、太陽能及太陽熱能占 0.15%，較上年增加 13.41%；核能占 8.28%，較上年增加 0.14%（如圖 2-2）。

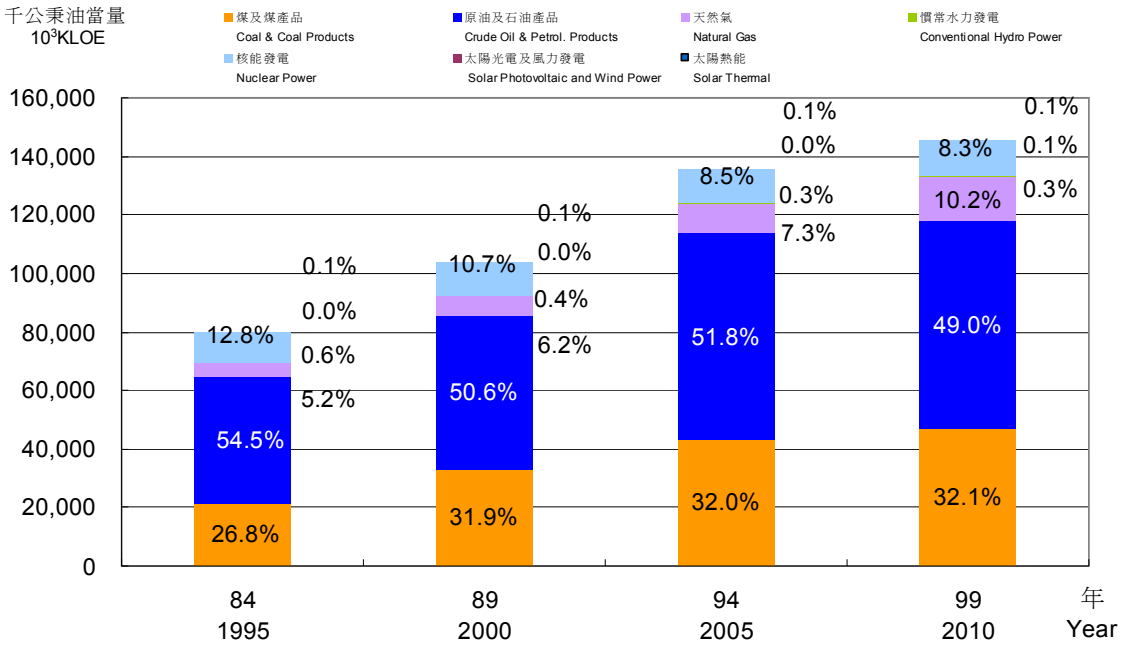

圖 2-2 我國能源結構圖

資料來源：經濟部能源局 99 年度「能源統計年報」

99 年國內能源消費量為 120,308.0 千公秉油當量，較上年（113,063.9 千公秉油當量）增加 6.40%；其中能源消費（燃料用）為 115,704.3 千公秉油當量，占國內最終消費 96.17%，較上年增加 5.63%；若按能源種類區分，則煤及其產品占 8.33%，較上年增加 30.43%；石油產品占 40.23%，較上年增加 3.50%；天然氣占 2.46%，較上年增加 18.90%；電力占 48.60%，較上年增加 4.91%；太陽熱能占 0.09%，較上年增加 0.99%；熱能占 0.29%，較上年增加 17.25%。若按各經濟部門能源消費量區分，則能源部門自用占 6.97%，較上年增加 2.72%；工業部門占 53.81%，較上年增加 8.99%；運輸部門占 12.92%，較上年增加 4.51%；農業部門占 0.82%，較上年減少 2.84%；**服務業部門占 10.95%**，較上年增加 1.08%；**住宅部門占 10.71%**，較上年減少 1.37%；非能源消費占 3.83%，較上年增加 30.32%（如圖 2-3）。上開統計顯示，住商部門對於能源的消耗量總計達 21.66%，因此住商部門節能減碳措施的推動工作可說是迫在眉睫。

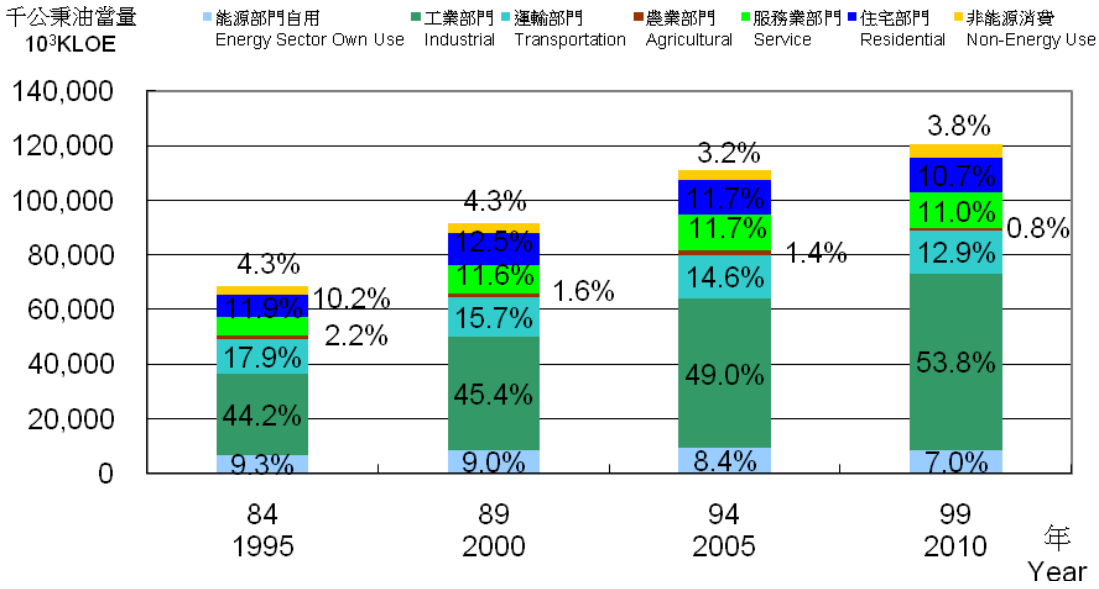

圖 2-3 國內能源消費結構（部門別）

資料來源：經濟部能源局 99 年度「能源統計年報」

2.1.2 電力使用現況

依據經濟部能源局99年公布之「-99年能源供需概況」顯示， 99年度全國總毛發電量為247,045.4百萬度，較98年（229,694.0百萬度）增加7.55%；其中水力發電占2.94%，火力發電占79.79%，核能發電占16.85%，地熱、太陽能及風力發電占0.42%。另99年台電公司火力發電廠燃料耗用量為28,859.8千公秉油當量，較上年（25,733.6千公秉油當量）增加12.15%；其中煤炭占63.06%，柴油占0.21%，燃料油占7.32%，液化天然氣占29.42%。至於在電力使用部分，99年度電力各部門消費量之百分率如下：能源部門自用占8.09%，工業部門占52.26%，運輸部門占0.49%，農業部門占1.10%，**服務業部門占19.78%，住宅部門占18.28%**；而與上年消費量比較，則其增減情形如下：能源部門自用增加0.20%，工業部門增加13.18%，運輸部門增加5.19%，農業部門增加1.30%，服務業部門增加3.96%，住宅部門增加0.84%。99年平均每人用電量為10,312.8度，較98年（9,609.5度）約增加7.32%。

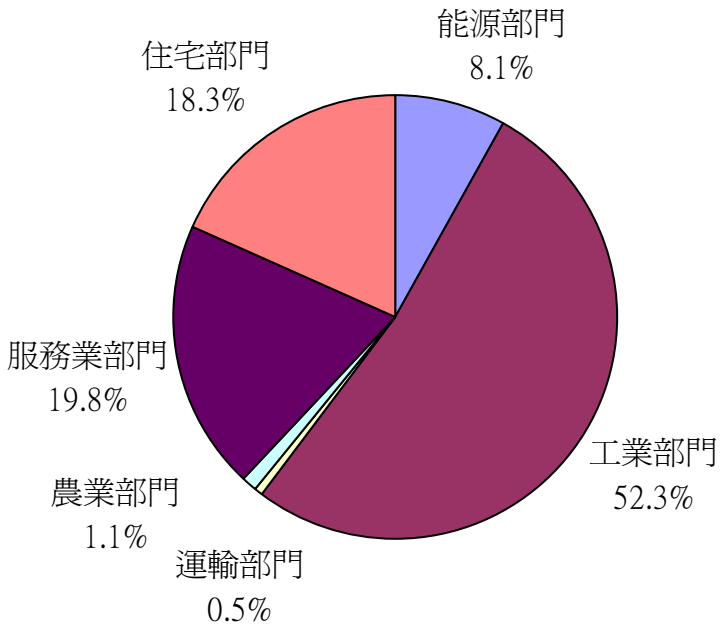

圖 2-4 各部門電力使用比例

第二節 我國二氧化碳排放現況

2.2.1 二氧化碳排放跨國比較

依據國際能源總署 IEA/OECD 於 2010 年 9 月出版之能源使用二氧化碳（CO_2）排放量統計資料顯示（詳表 2-1），2008 全球 CO_2 排放總量最高之國家為中國大陸，排放總量為 6508 百萬公噸，其次是美國的 5596 百萬公噸，我國年能源使用 CO_2 排放總量為 264.29 百萬公噸，占全球排放總量的 0.9 %，全球排名第 22 名(人口排名 48)；每人平均排放量為 11.53 公噸，高於日本、韓國及 OECD 平均值，介於阿曼與俄羅斯之間，全球排名第 17 位，每人平均排放量最高之國家為卡達，人均排放量達 42.09 公噸。

表2-1 國際能源總署公布之二氧化碳(CO_2)排放量跨國比較

	台灣（排名）	全球	OECD	日本	韓國	美國	中國	卡達
排放量(a)（百萬公噸CO2）	264.29 (22)	29,318	12,630	1,151.1	501.27	5,595.92	6,508.24 (排名第1)	53.91
人口（百萬）	22.92 (48)	6,688	1,190	127.69	48.61	304.53	1,325.54	1.28
每人平均排放量（公噸CO2/人）	11.53 (17)	4.39	10.61	9.02	10.31	18.38	4.91	42.09 (排名第1)
排放密集度(b)（CO2/美元）	0.41 (52)	0.46	0.38	0.32	0.44	0.48	0.60	1.6

資料來源：International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2010.

(本研究製表)

相較於2008年的統計資料（如表2-2），可發現台灣之CO_2排放總量自2008年的270.33百萬公噸，下降至2010年的264.99公噸，減幅約為2.2%，全世界排名皆為22名，在人均排放量部分，自2008年的11.87公噸下降為11.53公噸，減幅約為2.9%，排名由全球16名後退至17名。由此可見我國溫室氣體減量推動工作已初具成效，惟其減幅尚小，仍有繼續努力之空間。

表2-2 二氧化碳(CO_2)排放量跨年度比較

	2010 台灣（排名）	2008 台灣（排名）
排放量(a)（百萬公噸CO_2）	264.29 (22)	270.33 (22)
人口（百萬）	22.92 (48)	22.78 (48)
每人平均排放量（公噸CO_2/人）	11.53 (17)	11.87 (16)

資料來源：International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2008.
International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2010.

(本研究製表)

2.2.2 國內各部門二氧化碳排放量

依據經濟部99年7月「我國燃料燃燒CO_2 排放統計與分析」顯示，我國燃料燃燒CO_2 排放統計，係遵照聯合國「跨政府氣候變遷專家委員會(IPCC)」1996年發布之「IPCC 國家溫室氣體清冊指南」計算方法，及排放係數等相關規範與我國能源最新統計數據所估算的結果，且逐年隨我國能源統計資料更新而作調整。《聯合國氣候變化綱要公約》鼓勵有詳細的能源使用資料的國家，依據「部門方法」的分類方式計算，並按IPCC 國家溫室氣體清冊指南中的報告格式提報該項計算結果。「部門方法」就是由「最終消費部門」計算其能源消費所產生之CO_2 排放量。為了確保各國排放統計的一致性、透明性及可比較性，避免各部門之間的重複計算，並顧及既有國際通用的部門分類方式，《聯合國氣候變化綱要公約》要求各成員國共同採行IPCC 國家溫室氣體清冊指南的「部門方法」。部門方法目前使用於所有OECD 的國家及部門數據完整之開發中國家，此法計算結果作為OECD 國家CO_2 排放指標跨國比較之基礎，我國亦採用此法作為各項指標基準。目前國際能源署(IEA)關於各項跨國指標(例如總排放量、人均CO_2排放、每單位GDP 之CO_2 排放、每單位能源耗用之CO_2 排放)等比較，均採用部門方法之排放來計算，因此我國能源局比照IEA 做法統計相關排碳量。其中，部門方法計算步驟簡介如下：

1. 計算部門能源消費量：依據各部門最終能源消費量進行單位轉換。

2.採用IPCC 1996 年「IPCC 國家溫室氣體清冊指南」各燃料類別CO_2排放係數(tC/TJ)預設值（詳表2-3）。

3.將能源消費量乘上CO_2 排放係數，可得各部門燃料燃燒CO_2 排放量Qfin (ktonCO2)。

4.將電力排放按各部門用電量比例分配於各部門之計算方式：

(1)計算發電部分之CO_2 電力總排放量Qelec（ktonCO2）

(2)電力排放之總CO_2 排放量x各部門消費電量比例；分配原則為：部門消費電力之CO2 排放量Qelec-s=發電之CO_2 總排放量Qelecx【(部門之消費電量/(能源部門自用之消費電量+最終消費之消費電量)】

(3)各部門別CO_2 總排放量=各部門燃料燃燒之CO_2 排放量Qfin +各部門電力消費之CO_2 排放量Qelec-s。

表2-3 各種燃料碳排放係數

燃料類別	排放因子（tC/TJ）	燃料類別	排放因子（t C/TJ）
固體燃料部分		**液體燃料部分**	
自產煤、進口燃料煤	26.8	原油	20.0
進口原料煤	25.8	天然汽油	17.2
煤球	25.8	航空汽油、車用汽油	18.9
焦炭	29.5	航空燃油	19.5
		煤油	19.6
氣體燃料部分		柴油	20.2
液化天然氣、天然氣	15.3	燃料油	21.1
煉油氣	18.2	液化石油氣	17.2
煤氣	13	石油腦、烯烴類、芳香烴類	20.0
高爐氣	66	柏油	22.0
		潤滑油	20.0
		石油焦	27.5
		溶劑油、其他石油產品	20.0

資料來源：Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gases Inventories

以部門方法統計各部門包含電力消費CO_2 排放結果，詳如圖2-5及表2-4 2009 年工業排放110,546 千公噸，占燃料燃燒總排放的46.1%為最高，其**次為服務業33,956 千公噸占14.2%**，運輸為34,182 千公噸占14.3%，**住宅為33,403 千公噸占13.9%**，能源部門24,829 千公噸占10.4%，農業排放2,699 千公噸占1.1%為最低。工業部門因電機電子業、鋼鐵業能源消費2009 年存貨去化加速，產能逐漸增加，加上2009 年下半年後中國大陸、歐美及新興市場景氣回溫，對產品需求上揚，有效提振產品之增產動能，逐漸抵銷上半年金融風暴景氣急凍之影響，但全年能源消費仍呈衰退趨勢；化學材料製造業在景氣復甦帶動石化產品需求下，能源消費僅小幅成長，總排放量仍較2008 年減少。2009 年與2008 年各部門之CO2 排放量比較，工業減少7.6%，服務業減少4.1%，住宅減少0.7%，能源減少5.9 %，農業減少13.0%，運輸則增加1.0%。

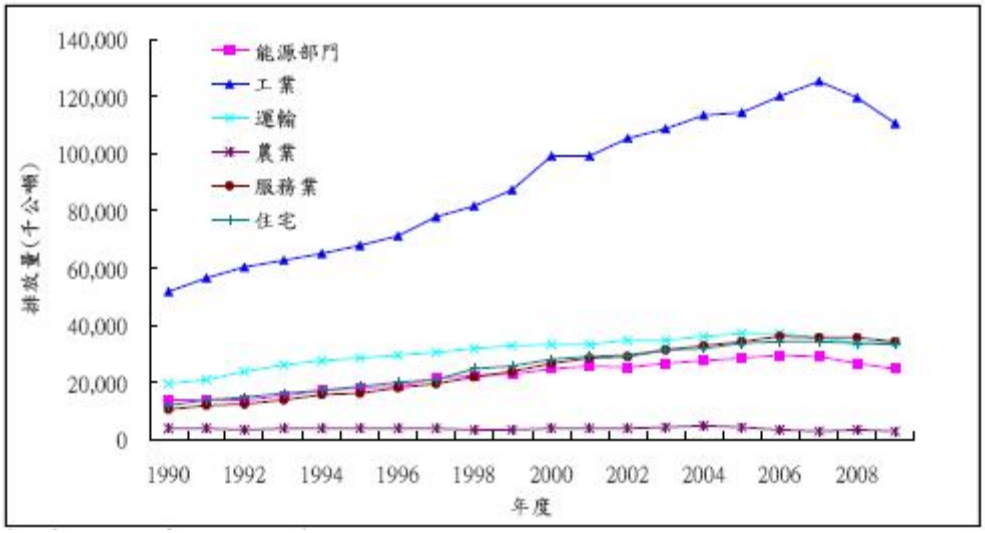

圖2-5 各部門燃料燃燒CO_2排放量趨勢

資料來源：經濟部99年7月「我國燃料燃燒CO_2 排放統計與分析」

表2-4 各部門燃料燃燒CO_2排放量(各部門包括電力消費排放)

單位：千公噸CO_2

年別	能源	工業	運輸	農業	服務業	住宅	合計
1990	13,595	51,607	19,548	3,697	10,483	11,921	110,851
1991	13,705	56,317	20,781	3,575	11,995	13,569	119,943
1992	13,598	60,099	23,919	3,523	12,521	14,561	128,220
1993	15,207	62,771	25,971	3,666	13,822	16,189	137,626
1994	16,967	65,150	27,389	3,720	15,468	16,976	145,669
1995	17,910	68,006	28,660	3,872	16,229	18,501	153,176
1996	18,659	70,994	29,644	4,015	18,215	20,096	161,624
1997	21,252	77,857	30,429	3,775	19,603	21,109	174,024
1998	22,360	81,408	31,753	3,259	21,923	24,699	185,403
1999	22,550	87,513	32,701	3,358	23,583	25,680	195,384
2000	24,792	98,999	33,174	3,821	26,723	27,979	215,488
2001	25,836	99,420	33,215	3,927	28,360	29,097	219,855
2002	25,180	105,337	34,510	3,971	29,184	29,654	227,836
2003	26,604	108,805	34,478	4,427	31,461	31,439	237,213
2004	27,306	113,234	35,848	4,629	32,667	31,619	245,303
2005	28,502	114,194	36,829	4,272	34,302	33,600	251,699
2006	29,192	120,014	36,782	3,404	35,879	33,994	259,265
2007	28,843	125,375	35,634	2,857	35,757	34,320	262,787
2008	26,383	119,664	33,842	3,102	35,401	33,650	252,042
2009	24,829	110,546	34,182	2,699	33,956	33,403	239,615

第三節 節能減碳國際趨勢

2007年12月於印尼召開的「聯合國氣候變化綱要公約第十三屆締約國大會暨京都議定書第三屆締約國會議〈簡稱COP13/MOP3〉」上，全體締約國認同IPCC第四次評估報告：「即為了控制全球升溫，要求相關國家作出2020年排放量比1990年排放水準減少25%至40%的承諾，而後全球溫室氣體排放量必須在2050降到2000年排放水準一半以下」，儘管締約國立場分歧，COP13/MOP3仍於12月15日通過峇里島行動計畫(Bali Action Plan)，規劃在2009年完成後京都談判工作。已開發國家對於後京都的減量責任於2009年前將出現明確談判結果，而開發中國家也被要求將減量行動提供透明化、量化及可供檢證之資訊。

此外，2009 年 12 月，包含美、中、歐、印、日、加等全球主要溫室氣體排放國，簽署了哥本哈根協議，在這份新出爐的哥本哈根協議裏，明定各國需努力減少溫室氣體排放量，以將全球的升溫控制在攝氏兩度以內。在金融援助方面，簽署協議的已開發國家則承諾，應在 2010-2012 年三年內前湊足 300 億美元的緊急援助資金，提供給開發中國家對抗氣候變遷，資金規模到 2020 年時每年必須達到 1000 億美元，並將成立哥本哈根綠色氣候基金(Copenhagen Green Climate Fund)來管理。此份已獲美國、歐盟、日本、加拿大、中國、印度等總排放量佔 80%以上與受害最深的小島國家同意的編號為 FCCC/CP/2009/L.7 哥本哈根協定(Copenhagen Accord)，詳列出要求相關國家，均需於 2010 年 1 月 31 日之前，提出其減量目標，而非上述列名之國家亦須在該期限前，提出其國內所規劃採行的減緩行動。截至 2010 年 1 月為止，全球主要的溫室氣體排放國，紛紛簽署了《哥本哈根協定(Copenhagen Accord)》，並提出各自的減碳目標（表 2-5）。根據該協定，各國將努力控制地球的平均溫度，較工業革命前升溫不超過兩度；並應在年底的氣候公約締約國大會上(COP16)，完成接替《京都議定書》的國際新法修訂。目前簽署哥本哈根氣候協定的國家已有 55 國（簽約但未設目標），合計佔全球的碳污染量達 78%；而包括沒有簽署《京都議定書》的美國，以及雖簽有議定書、

但在 2012 年前不需承擔減碳義務的中國，都包含在這份減碳協定內，也使得該協定實質管制的全球溫室氣體，已大過於《京都議定書》所管制的總量。

表 2-5 各國於哥本哈根協定(Copenhagen Accord)中承諾之減碳目標

國家	2020 年減碳目標	減碳基準年	減碳形式	換成 1990 年減碳量	佔全球溫室氣體排放比
New Zealand 紐西蘭	減 10%-20%	1990	依基準年	減 10-20%	0.18%
Maldives 馬爾地夫	減 100%	2009	依基準年	減 100%	0.00%
Kazakhstan 哈薩克	減 15%	1992	依基準年		0.48%
Russian 俄羅斯	減 15%-25%	1990	依基準年	減 15%-25%	4.64%
Canada 加拿大	減 17%	2005	依基準年	增 0.25%	1.86%
US 美國	減 17%	2005	依基準年	減 3.67%	15.78%
Israel 以色列	減 20%		依排放趨勢		0.19%
India 印度	減 20%-25%	2005	依碳密集度		4.32%
EU 歐盟 27 國	減 20%-30%	1990	依基準年	減 20%-30%	11.69%
Japan 日本	減 25%	1990	依基準年	減 25%	3.14%
Moldova 摩爾多瓦	減 25%	1990	依基準年	減 25%	0.03%
Indonesia 印尼	減 26%		依排放趨勢	增 22%	4.73%
Mexico 墨西哥	減 30%		依排放趨勢		1.58%
South Korea 南韓	減 30%		依排放趨勢	增 63.9%	1.30%
Norway 挪威	減 30%-40%	1990	依基準年	減 30-40%	0.12%
South Africa 南非	減 34%		依排放趨勢	增 48.2%	0.98%
Brazil 巴西	減 36.1%-38.9%		依排放趨勢	增 6.4%-1.7%	6.60%
Marshall Islands 馬紹爾群島	減 40%	2009	依基準年		
China 中國	減 40%-45%	2005	依碳密集度		16.64%
Croatia 克羅埃西亞	減 5%	1990	依基準年	減 5%	0.07%
Australia 澳洲	減 5%-25%	2000	依基準年	減 3.89% ~24.1%	1.30%
Singapore 新加坡	減 7%-11%		依排放趨勢	增 124%-115%	0.11%

資料來源：
UNFCCC 網站 2-Feb-2010 (http://unfccc.int/home/items/5262.php)
USCAN 網站 2-Feb-2010
(http://www.usclimatenetwork.org/policy/copenhagen-accord-commitments)

第四節 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2-6 ）。

表2-6 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/m2・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，公寓式住宅的抽水泵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2-7，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 2-7 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）

第三章 建立分析參數

第一節 氣象資料

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。

暖房度日（heating degree days, HDD）表示當溫度低於華氏65°時，華氏 65 渡減一天當中（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。

冷房度日（ cooling degree days, CDD）表示當溫度高於華氏 65°時，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減華氏 65 渡之差值，例如，日平均溫度為華氏70°時，其日CDD 值即為5。將每個月之CDD值累加，則為每月冷房度日數。

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。

依據氣象局公告之氣象數據及RETScreen內建之參數，本研究彙整而成下列氣象數據（詳表3-1）。

表 3-1 氣象資料彙整

月	空氣溫度	相對濕度	每日的太陽輻射 - 水平線	大氣壓力	風速	土地溫度	每月暖房度日數	每月冷房度日數
	攝氏度	%	度/平方米/日	千帕	米/秒	攝氏度	攝氏度日數	攝氏度日數
一月	16.1	79.2%	2.16	100.8	3.2	17.6	59	189
二月	16.0	81.7%	2.51	100.7	3.2	17.7	56	168
三月	18.2	80.9%	3.03	100.4	3.0	19.4	0	254
四月	21.7	78.6%	3.63	100.1	3.0	22.2	0	351
五月	25.0	77.3%	4.43	99.7	2.9	25.1	0	465
六月	27.7	76.7%	4.57	99.4	2.5	27.1	0	531
七月	29.4	73.6%	4.65	99.3	2.5	28.5	0	601
八月	29.0	74.5%	4.79	99.2	2.7	28.3	0	589
九月	27.2	75.7%	3.96	99.6	3.2	26.8	0	516
十月	24.5	75.5%	3.95	100.2	3.8	24.5	0	450
十一月	21.3	74.9%	3.44	100.6	3.7	22.0	0	339
十二月	17.8	75.9%	2.62	100.8	3.4	19.2	6	242
年平均數	22.9	77.0%	3.65	100.1	3.1	23.2	121	4,695

資料來源：中央氣象局 http://www.cwb.gov.tw/

第二節 燃料價格

燃料價格為評估建築節能減碳效益之重要參數，不同燃料之價格影響到經濟效益相關問題，而燃料的熱值及排碳係數則影響到減碳的效益。本小節係為建立相關燃料的成本、熱值、減碳係數。在價格的部分，參考中油及台塑公司網頁可知，目前的汽油價格每公升約略介於30.8元至33.1元間，柴油約為28.6～29元間浮動，至於煤油則為每公升41.5元（詳表3-2）。

表3-2 國內油品價格

供應商	油價	日期
中油 98	33.00	2011/8/5
中油 95	31.50	2011/8/5
中油 92	30.80	2011/8/5
中油柴油	28.60	2011/8/5
中油煤油	41.5	2011/8/5
台塑 98	33.10	2011/8/5
台塑 95	31.50	2011/8/5
台塑 92	30.80	2011/8/5
台塑柴油	28.60	2011/8/5

資料來源：中油及台塑公司網頁

天然氣及桶裝瓦斯為國內常見的住商部門使用能源，國內天然氣以立方公尺為計算單位，每立方公尺為一度，用戶使用瓦斯按計量表指示度數計算，每度約為16元，至於部分地區使用之液化石油氣（桶裝瓦斯），係由原油煉製或天然氣處理過程中所析出的丙烷與丁烷混合而成，在常溫常壓下為氣體，經加壓或冷卻即可液化，通常是加壓裝入鋼瓶中供用戶使用，故又稱之為液化瓦斯或桶裝瓦斯。經蒐集，桶裝瓦斯價格詳如表3-3。

表 3-3 臺北市桶裝瓦斯零售價格

中正區家數：	5 家	總平均價格(16 公斤/桶)	739 元	最高：795 元	最低：700 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	866 元	最高：910 元	最低：800 元
萬華區家數：	14 家	總平均價格(16 公斤/桶)	723 元	最高：780 元	最低：670 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	861 元	最高：900 元	最低：810 元
文山區家數：	8 家	總平均價格(16 公斤/桶)	709 元	最高：720 元	最低：690 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	870 元	最高：875 元	最低：850 元
大安區家數：	7 家	總平均價格(16 公斤/桶)	730 元	最高：750 元	最低：720 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	881 元	最高：910 元	最低：830 元
松山區家數：	4 家	總平均價格(16 公斤/桶)	738 元	最高：775 元	最低：710 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	893 元	最高：905 元	最低：885 元
信義區家數：	15 家	總平均價格(16 公斤/桶)	711 元	最高：780 元	最低：650 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	872 元	最高：910 元	最低：800 元
南港區家數：	8 家	總平均價格(16 公斤/桶)	726 元	最高：760 元	最低：690 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	849 元	最高：895 元	最低：810 元
內湖區家數：	6 家	總平均價格(16 公斤/桶)	742 元	最高：800 元	最低：705 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	890 元	最高：935 元	最低：860 元
中山區家數：	15 家	總平均價格(16 公斤/桶)	748 元	最高：800 元	最低：700 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	885 元	最高：930 元	最低：800 元
大同區家數：	12 家	總平均價格(16 公斤/桶)	713 元	最高：750 元	最低：660 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	847 元	最高：890 元	最低：780 元
士林區家數：	25 家	總平均價格(16 公斤/桶)	683 元	最高：750 元	最低：640 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	832 元	最高：890 元	最低：750 元
北投區家數：	16 家	總平均價格(16 公斤/桶)	704 元	最高：755 元	最低：675 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	832 元	最高：885 元	最低：780 元
總家數：	135 家	總平均價格(16 公斤/桶)	715 元	最高：800 元	最低：640 元
		總平均價格(20 公斤/桶)	858 元	最高：935 元	最低：750 元

資料來源：台北市政府產業發展局網頁：
http://www.ed.taipei.gov.tw/cgi-bin/SM_themePro?page=487ff5b7

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，大部分表燈用電話仍採用非時間電價（詳表3-4），其電價與夏月或非夏月及用點度數相關，本研究以每度電3.5元作為分析條件，並建立各種燃料價格參數（如圖3-1）

表3-4 電力價格一覽表

分類			夏月(6 月1 日至9 月30 日)	非夏月(夏月以外時間)
非營業用	110 度以下部分	每度	2.10	2.10
	111~330 度部分	每度	2.87	2.54
	331~500 度部分	每度	3.85	3.09
	501~700 度部分	每度	4.11	3.24
	701 度以上部分	每度	4.47	3.48
營業用	330 度以下部分	每度	3.61	2.87
	331~500 度部分	每度	3.85	3.09
	501~700 度部分	每度	4.11	3.24
	701 度以上部分	每度	4.47	3.48

資料來源：台電公司網頁http://www.taipower.com.tw/

Fuel	Fuel type 1	Fuel type 2	Fuel type 3	Fuel type 4	Fuel type 5
Fuel type	Electricity	Natural gas - m^3	Diesel (#2 oil) - L	Gasoline - L	Kerosene - gal
Fuel consumption - unit	MWh	m^3	L	L	gal
Fuel rate - unit	TWD/kWh	TWD/m^3	TWD/L	TWD/L	TWD/gal
Fuel rate	3.500	16.000	29.000	32.000	41.500

圖3-1 燃料價格輸入畫面

第三節 碳排放係數

3.3.1 電力碳排放係數

欲知建築用電總碳排放量，須知一度電之CO_2排放量計算，及推估建築總用電量，其中一度電之CO_2排放量計算，根據台灣電力公司最新公布之99 年度電力排放係數為0.612公斤CO_2/ 度，其算式為：

(綜合電業排放量+民營電廠排放量+汽電共生業排放量-線損之排放量)/總銷售電量＝0.612公斤CO_2/ 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. 98年排放係數為0.616公斤CO2/度，99年排放係數較98年下降0.57%，主要係因燃氣發電比重提高致使發電燃料結構的改變。
4. 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。

吾人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0.612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0.612公斤的。根據台電資料顯示，我國電網的線損率從早年的6～7%降到96年的4.75%，甚至到97年降至4.58%，由於98年級99年的線損數據尚未公開，本研究以4.58作為分析參數。相關排放係數輸入畫面如圖3-2所示。

Base case electricity system (Baseline)		GHG emission factor (excl. T&D)	T&D losses	GHG emission factor
Country - region	Fuel type	tCO2/MWh	%	tCO2/MWh
Taiwan	All types	0.612	4.6%	0.641

圖3-2 電力碳排放係數輸入畫面

而建築內相關住宅及機構之用電量，可依據經濟部能源局公布之用電指標(Energy Use Index, EUI)(單位；kWh/ m2/year)基準值(詳表)推算，EUI定義為：

EUI=年度用電度數/建築物總樓地板面積(單位；kWh/ m^2/year)

其中建築物總樓地板面積，係指建築物使用執照所登載之樓地板面積總和，各類型用電指標(EUI)基準可於經濟部能源局網頁查詢。

3.3.1 用水碳排放係數

過去談到節能的議題題，大多會將關注的焦點聚焦於能源及電力的議題，事實上，節水和節電是有密切關連的，建築的低碳化，必須重視節水問題，

根據台灣自來水公司最新公布之97年度每度用水排放CO_2約當量，每度水排放之CO_2為 0.195公斤，此一數據係根據該公司總用電量產生CO_2量(kg)+總用油量產生CO_2量(kg)除以總供水量(度)，其公式為：

$$\frac{\text{該公司總用電量產生}CO_2\text{量(kg)+該公司總用油量產生}CO_2\text{量(kg)}}{\text{總供水量(度)}}$$

依據上述公式，及台灣自來水公司每個年度之用電量及用油量，可計算出每度水的CO_2排放量，此一當量並隨著台灣自來水公司每個年度用電量及用油量的比例不同而有所差異，例如96年度當量為：*0.207* kg CO_2/度。由於台灣自來水公司僅考慮了部分處理水及運輸水的能源成本，例如：自水源地抽出水、淨水場、給水廠處理的用電、送水到家戶的加壓程序等，但是，各個住戶抽水馬達的耗電、污水處理的成本、興建水庫、輸水管線佈線等成本均未涵蓋進去，因此，國內有學者提出一度水的生成須耗用一度電的數據。而台灣地區水費相對過於廉價，平均每度水價只有10~11元(1度的水就是1立方公尺，也是1,000公升，亦是高達1,000公斤重)，日本一度水約合台幣六十元，產生的廢水還需要付下水處理費，下水處理費與自來水使用費相當；換句話說，一度水，除六十元自來水費外，還得付六十元處理費，等於一度水要一百二十元，是台灣的12倍，正因為台灣低水價，使得民眾忽略了節水對於減碳的重要性。

除已知每度水之CO_2排放量，仍須推估建築之用水量，而建築之用水量可依建築內建築物之樓地板總面積推估，而建築物用水量之估計，可參考營建署「建築物生活雜排水回收再利用設計技術規範」算式：

其中Wst為建築物總用水量，分住宅類及非住宅類依(1)、(2)式計算之：

住宅類Wst＝250公升/(人・日)×4.0(人/)×Nf.....(1)

非住宅類Wst＝Wf×Af .....(2)

上述各式之參數意義與規定如下：

Wst：建築物總用水量(公升/日)。

Nf：住宅總戶數。

Wf：單日單位面積用水量(公升/(㎡・日))。

Af：建築物之居室總樓地板面積(㎡)。

建築類別單位面積用水量推估計算基準詳如表3-5所示。

表3-5 建築類別單位面積用水量推估計算基準

建築類別	規模類型	單位面積用水量(註2)Wf(公升/m2・日)
辦公類	一般專用	7
	複合使用	9
百貨商場類	有餐飲設施	20
	無餐飲設施	10
旅館類	都市商務旅館	15
	一般複合型旅館	20
	中大型休閒旅館	25
學校建築	行政及教學大樓	10
	其他	比照其他類
宿舍類	—	10
住宅類	—	—
其他類	—	—

資料來源：營建署「建築物生活雜排水回收再利用設計技術規範」

3.3.3 樹木固碳效益量化

樹木由於本身具有光合作用之生理特性，吸收大氣中之二氧化碳並釋出氧氣，雖然同時也會因呼吸作用排出二氧化碳，然光合作用會將碳元素在樹木體內轉化為有機形式加以固定貯存，經過時間累積而形成木材組織，因此，樹木具有吸存二氧化碳並固定碳素之貢獻在全球減緩溫室氣體之策略中已是經國際間確認之事實。

對於林木固定碳素效益之估算，自1990年初期國際間各國之林業部門即已掀起估算森林資源碳量貯存與吸存能力之工作，以期獲得較準確估算結果，作為未來進行碳交易機制之計量基礎。

林木從根、莖、枝及葉均有固定碳素之功能，然在歷經數年、數十年，甚至數百年生長後，其樹幹之木材部分會愈來愈高，愈來愈粗大，其佔全株之

比例也將愈來愈大，根、葉所佔比例相較之下將愈來愈小。對於單株林木所固定之碳素量是以林木生物量(Biomass)進行轉換。根據IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change：聯合國跨政府氣候變遷專家委員會) 所建議之估算原則，林木之生物量係利用林木平均比重乘以林木樹幹部分之木材材積，再乘以全株材積與幹材材積之比例(一般全株材積約為幹材材積之1.3~2.0倍，平均值約為1.65倍)轉換而得，林木生物量最後再乘以林木之碳含量百分比，即為林木所固定之碳素量。

現以台灣肖楠為例說明，台灣肖楠之絕乾比重為0.54，則表示木材生物量每m^3有540kg，其碳含量比為48.57%，故該木材固定碳素能力為262 kg/m^3；若單株台灣肖楠木材材積經測量計算為1.2m^3，則台灣肖楠之全株固定碳素量為262×1.2×1.65 = 518.76kg。又如相思樹之絕乾比重為0.77，該木材生物量為770 kg/m^3，其碳含量比為47.17%，其固定碳素量為363 kg/m^3；若其單株木材材積經測量計算同樣為1.2 m^3，則相思樹之全株固定碳素量為363×1.2×1.65 = 718.74 kg。兩者木材經此換算比較下，單位材積下相思樹比台灣肖楠具有較高之碳素固定能力。若為大面積之森林，再乘上單位面積之平均株數即得該片森林之固定碳素量。另根據聯合國環境規劃署(United Nations Environment Programme, UNEP)所估算每株高度12公尺、直徑15至20公分的樹木每年固碳量12公斤估算，以生命週期100年而言，約可吸收730公斤CO2，台灣常見24種造林樹種之碳含量百分比及轉換係數詳如表3-6所示。

表3-6 台灣常見樹種之絕乾比重、碳含量百分比及轉換係數

商品名(Common name)	學　名(Species name)	So1)	C2)(%)	Conversion factor3)
相思樹 (Taiwan acacia)	Acacia confusa	0.77	47.17	0.363
台灣赤楊 (Formosan alder)	Alnus japonica	0.47	46.20	0.217
茄冬 (Autumn maple tree)	Bischofia javanica	0.65	46.78	0.304
木麻黃 (Polyesian iron wood)	Casuarina equisetifolia	0.67	46.61	0.312
樟木 (Camphor tree)	Cinnamomum camphora	0.37	47.00	0.174
牛樟 (Stout camphor tree)	Cinnamomum micranthum	0.39	45.69	0.178
光蠟樹 (Formosan ash)	Fraxinus formosana	0.73	46.83	0.342
大葉楠 (Large-leaved nanmu)	Machilus kusanoi	0.46	47.45	0.218
香楠 (Incense machilus)	Machilus zuihoensis	0.47	46.93	0.221
楝樹 (China berry-tree)	Melia azedarach	0.54	46.63	0.252
烏心石 (Formosan michelia)	Michelia compressa	0.52	47.51	0.247
印度紫檀 (Paudauk)	Pterocarpus indicus	0.58	47.02	0.273
木荷 (Chinese guger-tree)	Schima superba	0.61	46.87	0.286
大葉桃花心木 (Honduras mahogany)	Swietenia macrophylla	0.50	47.26	0.236
台灣櫸 (Taiwan zelkova)	Zelkova serrata	0.73	47.66	0.348

註：1. So：絕乾比重：Oven-dried specific gravity.
2. C：碳含量：Carbon content.
3. Conversion factor：轉換係數= SO*C/100.
資料來源：農委會網頁 http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=17871

3.3.4 燃料碳排放係數

燃料之探排放係數係指一單位燃料燃燒後所排放之二氧化碳，然而該係數必須從燃料之熱值予以換算，所謂熱值係指一單位的固體或液體燃料的完全燃燒所產生的反應熱。例如一公升的原油燃燒將產生 9000 千卡的熱，則原油之熱值為 9000 千卡，各種燃料之熱值詳如表 3-7 所示。

表3-7 各種燃料熱值

號	能源種類	計量單位	熱值(千卡)	油當量換算值	備 註
1	原油	公升	9,000	1	
2	液化石油氣	公升	6,635	0.6667	一公噸=1786 公升
3	航空汽油	公升	7,500	0.8333	
4	航空燃油	公升	8,000	0.8889	
5	煤油	公升	8,500	0.9444	
6	柴油	公升	8,800	0.9778	
7	燃料油	公升	9,200	1.0222	
8	車用汽油	公升	7,800	0.8667	
9	天然汽油	公升	6,700	0.7444	
10	煉油氣	公升油當量	9,000	1	以實測值換算之
11	石油腦	公升	7,800	0.8667	
12	溶劑	公升	8,300	0.9222	
13	柏油	公升	10,000	1.1111	
14	石油焦	公升	8,200	0.9111	
15	烯烴類	公升	5,600	0.6222	
16	芳香烴類	公升	8,800	0.9778	
17	其他石化產品	公升油當量	9,000	1	以實測值換算之
18	煤炭	公升	6,200	0.6889	
19	焦炭	公升	7,000	0.7778	
20	煤氣	立方公尺	5,000	0.5556	
21	煤球	公升	3,800	0.4222	
22	天然氣	立方公尺	8,900	1	
23	核子燃料	公升油當量	9,000	1	以實測值換算之
24	電能	度	860	0.0956	係理論可作功值

資料來源 台塑石化公司網頁

http://www.fpcc.com.tw/knowledge/knowledge_11.asp

熱值對於比較燃料間的經濟效益甚為重要，例如天然氣每度熱值為8900千卡，而液化石油氣每公斤熱值為12,000仟卡。液化石油氣16公斤熱值 = 12,000仟卡 X 16公斤 = 192,000仟卡，而此熱值192,000仟卡 ÷ 8,900仟卡 = 21.6度的天然氣熱值，液化石油氣16公斤每桶售價約730元，天然氣每度售價16元，16元 X 21.57.度 = 345元，故若不計天然氣瓦斯表押、租金等費用，使用天然氣較石油氣節省約53%，分析表詳表3-8所示。

表3-8 天然氣及液化石油氣熱值及售價比較表

	熱值	售價	備註
天然氣（每度=每立方公尺）	8,900 仟卡	15.87 元	
液化石油氣（每公斤）	12,000 仟卡	45.6 元	家用 16 公斤每桶約 730 元

熱值除了比較經濟效益外，亦可計算燃料之探排放係數，例如一立方米的天然氣燃燒將產生8900千卡的熱，天然氣產生1 千卡（kcal） 的熱會排放0.000235公斤的碳，因此經換算即可知每立方米天然氣碳排放係數為2.09，而液化石油氣 1公斤(液態)=1.320立方公尺(氣態)=2.207公升(液態)，故可換算一立方米之液化石油氣碳排放係數為2.93碳排放係數，約比天然氣高出29%。而用電的部分，一度電之熱值約為860千卡，每度電之排碳量為0.612公斤，換算每產生1千卡的熱，需排碳0.00071公斤的碳，相較於天然氣，排碳量約高出3倍。若以單位熱值的能源價格而言，電力產生每千卡熱之電費約為0.0041，瓦斯產生每千卡熱之電費約為0.0019元，瓦斯產生每千卡熱之電費約為0.00375元。

由各種能源的熱值，及單位熱值的碳排放係數（環保署公告），可以推算每單位能源的二氧化碳排放係數，詳如表3-9。

表 3-9、住商部門會使用到之能源碳排放係數值

	環保署係數		我國各項能源之熱值	碳排放係數（kg CO_2/ 單位）
	kgC / GJ	kg CO_2 / kcal		
液化石油氣（LPG）	17.2	2.64E-04	6,635 kcal/公升	1.75 kg CO2 /公升 LPG
煤油（Kerosene）	19.6	3.01E-04	8,500 kcal/公升	2.56 kg CO2 /公升煤油
柴油（Diesel Oil）	20.2	3.10E-04	8,800 kcal/公升	2.73 kg CO2 /公升柴油
燃料油（Fuel Oil）	21.1	3.24E-04	9,200 kcal/公升	2.98 kg CO2/公升燃料油
天然氣(Natural Gas)	15.3	2.35E-04	8,900 kcal/m3	2.09 kg CO2 / m3 天然氣
液化天然氣（LNG）	17.5	2.69E-04	9,900 kcal/m3	2.66 CO2 / m3 LNG

1 卡（cal）= 4.18599 J ； 1 kg LPG = 1.818 公升（L）；1 度天然氣 = 1 m3

資料來源:環保署「溫室氣體盤查與登錄指引」2009

本研究整理

第四章 建築節能策略成本效益分析

第一節 照明節能

照明設備的耗電量在建築中所佔的比重約為 25%～30%，而且，照明耗電的比例並無明顯的季節性差異，可說是建築電力結構中的經常性支出的基本用電。照明耗電量主要與建築採用的光源類型有關，大量採用白熾燈泡系列(鎢絲燈或鹵素燈）的建築，照明耗電就比普遍採用螢光燈系列（螢光燈、省電燈泡、PL 燈等）的建築耗電量高。但大部分的家庭為了節能省電，平日很少啟動全部燈具，通常只有在客人來訪或特殊活動時才會全部啟動，因此燈具數量的多寡與耗電量並無明顯相關性，也較難從燈具的數量多寡來推算耗電量，但是辦公大樓或是學校使用時間與模式較為固定，故本節利用學校教室燈具改善的真實案例進行分析。

以北部某學校為例，教室面積為 140 平方公尺，原使用 48W 之傳統式 T8 螢光燈管，一個教室共有 24 盞（每盞兩根燈管)。假設該校 30 間相同教室，則全校之教室面積為 4200 平方米。由於 T8 燈管較為耗電，因此本案例將教室之 T8 燈管更換成 32W 之 T5 燈管(改善前後照片如圖 4-1 所示)。T5 燈管每盞換製成本約為 1200 元，因此全校換置燈管之費用為 86 萬 4000 元。另外本案例假設之情境為每週開燈 55 小時，若配合隨手關燈之習慣，在無人使用教室的時間關閉電燈，假設可將開燈時間降低至 50 小時，將前開數據輸入 RETscreen（如圖 4-2 所示)。

改善前懸吊式傳統 T8 螢光燈具	改善後懸吊式 T5 高效率螢光燈具

圖 4-1 改善前後之燈具

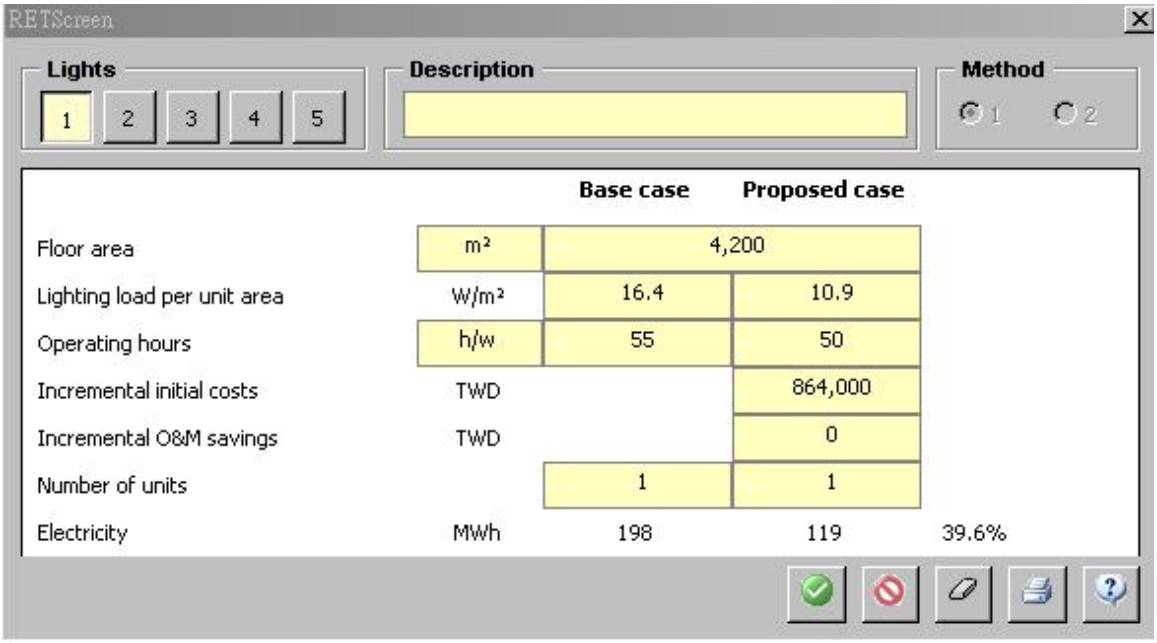

圖 4-2 RETscreen 照明節能分析畫面

建築節能是建築設計及電器選用之重要考量之一，然而若為節能減碳而影響了建築使用者對於舒適及健康的基本要求，那便是本末倒置，因為照明節能改善之基本思維，乃為於確保應有照明品質之條件下，追求最低之照明耗能。因此，進行照明節能時，首應確認照明之品質是否良好。一般而言，照明品質與照度、眩光、演色性、輝度及均齊度等項目有關。其中，照度值(Lux)應可視為目前評估照明品質之最重要基礎指標。另一方面，在照明耗能部分，目前國內外均使用照明功率密度(W/m^2)做為基礎評估指標之一，若再考慮空間環境及照明器具安裝狀況之整體照明效果後，則可以單位照度之照明功率密度(W/m2・Lux)進行評估（詳如表 4-1）。

本案例改善前之照明功率密度：

T8 燈具：（48W×2）× 24 ＝ 2304W

照明功率密度＝1920 / 140 ≒ 16.4 W/ m^2

本案例改善後之照明功率密度：

T5 燈具：（32W×2）× 24 ＝ 1536W

照明功率密度＝1536 / 140 ≒ 10.9 W/ m^2

分析可知改善前之照明功率密度為 16.4 W/ m^2 ，高於參考基準值 15 W/ m^2，改善後之值 10.9 W/ m^2 已低於 15 W/ m^2。

表 4-1 各類空間之照明品質及耗能評估參考基準表

參考基準 / 空間分類		耗能	
建物類別	空間類別	照明功率密度 (W/m^2)	單位照度之照明功率密度 ($W/m^2 \cdot Lux$)
通用	出入門廳	≦10	≦0.03
	走廊	≦10	≦0.03
	梯間	≦6	≦0.03
	休憩	≦10	≦0.03
	一般餐廳	≦10	≦0.03
	停車位	≦6	≦0.03
	室內車道	≦10	≦0.03
	戶外活動空間	≦6	≦0.03
辦公室	辦公座位區	≦15	≦0.03
教室	座位區	≦15	≦0.03
	黑板	-	-
住宿	臥室	≦10	≦0.03
商場	產品展售區	≦20	≦0.03
	營業餐廳	≦12	≦0.03

資料來源：舊有建築物照明節能技術應用之研究，內政部建築研究所協同研究報告，2009

經計算，原方案每年需要能量約為 711G.J.（焦耳），焦爾是功或能量的單位，每秒做功 1 焦爾則 1 瓦（W），瓦為功率單位，一千瓦使用一小時則為一度電位，因此，換算出消耗電力達 19 萬 7500 度電，每度電以 3.5 元計算，電費約為 69 萬 1383 元，平均每月支應電燈之電費約為 5 萬 7615 元，經改善後大約可以檢少 39.6%的電費支出，每年電費為 41 萬 7743 元，平均每個月電費支出為 3 萬 4812 元。

表 4-2 照明節能改善效益

	原方案	改善方案	改善量
每年能量需求(10^9焦耳))	711	430	281
每年燃料消耗量（千度）	197.5	119.4	78.1
每年燃料成本（元）	691383	417743	273640
改善效益	39.6%		

依據台電公告之電力碳排放係數為每度電排放 0.612 公斤二氧化碳，另根據台電公告之線損率為 4.6%，經系統計算出改善方案每年可以檢少 50.1 萬噸之二氧化碳排放量，相當於 117 桶原油或 21564 公升排碳量，約為 9.2 輛小汽車一年排放量、4.6 公頃森林一年的固碳量，亦相當於回收 17.3 噸垃圾所減少的排碳量。

表 4-3 照明節能減碳效益

數量	單位	項目
117	桶	原油
21564	公升	汽油
9.2	輛	小汽車一年排放量
4.6	公頃	森林一年固碳量
17.3	頓	垃圾回收減少的排放量

成本效益的分析攸關節能減碳設備或是技術應用之可行性，因此 RETscreen 分析特別著重於經濟性分析，以本案例而言，更換燈管的初始成本為 86 萬 4000 元，更換後每年可以節省的電費是 27 萬 3640 元（相當於賺到的金額）。依簡單回報年限概念計算，則回報年限為 3.2 年 864000/273640=3.2。

假設燈管可以使用五年,再不考慮其他風險的情況下,5 年可以回收 136 萬 8200 元，賺到的金額為 50 萬 4200 元。但是，實際上的投資報酬率並不是 504200/864000=58.3%。因為把時間價值考慮進去以後，目前投入的 86 萬 4000 元，5 年後本來就會值更多錢，而未來的 5 年，每年回收的 27 萬 3640 元，現在的價值其實也不到 27 萬 3640 元，這即所謂貼現率（Discount rate）的概念。假設目前銀行定存一年的利率為 1.5%，每年計息一次，本案例未來 5 年的收入現值如表 4-4 所示：

表 4-4 五年之收入現值（貼現率 1.5%）

N 年	0	1	2	3	4	5
收支	-864000	273640	273640	273640	273640	273640
$(1+Rate)^n$	1	1.015	10.302	1.047	1.0614	1.0773
現值	-864000	269596	265611	261687	257819	254009

註：Rate=0.015

依上表 5 年的淨現值（Net present value）為：
-864000+269596+265611+261687+257819+254009=444722 此一淨現值與貼現率相關，貼現率改為 5%，則淨現值則降為 320718。由此可知，利率的高低對於節能減碳投資效益關係甚大，低利率的經濟環境較利於相關的投資行為。

以本案而言這項投資的貼現率為 1.5%時，淨現值為 444722 元，貼現率為 5%時，淨現值為 320718 元，而經濟分析中的內部報酬率（Internal rate of reten）便是使這項投資現在和未來資金的收支淨現值總和為零的貼現率。當內部報酬率高於利率，則便是有投資價值，反之則無投資價值。以此定義可計算出本投資之內部報酬率為 17.6%。以下表可知當貼現率為 17.6%時，淨現值為約為零（詳表 4-5）。

表 4-5 五年之收入現值（貼現率 17.6%）

N 年	0	1	2	3	4	5
收支	-864000	273640	273640	273640	273640	273640
$(1+Rate)^n$	1	1.1758	1.382506	1.62555	1.911322	2.247332
現值	-864000	232726.6	197930.5	168336.9	143167.9	121762.1

註：Rete=17.6

分析結果如表 4-6 所示，初始成本為 86 萬 4000 元，若以最簡單之經濟模型分析，並假設使用年限為 5 年，則每年節省之電費為 27 萬 3640 元，內部報酬率為 17.6 元，簡單回報年限為 3.2 年。

表 4-6 成本效益分析結果

初始成本（元）	864000
使用年限（年）	5
每年節省電費(元)	273640
內部報酬（IRR）	17.6%
簡單回報年限(年)	3.2

然而，在經濟分析領域中，通膨亦是必須考量之重點之一，通膨會使目前的投資報酬率提高，其公式為：

（1＋通貨膨脹率)(1＋原投資報酬率）＝（1＋通膨後投資報酬率）

假設通膨率為 2%，經分析，內部報酬率則由 17.6%提高為 19.9%。另外通膨將使得實質現金流增大成為名目現金流，其公式如下：

名目現金流量＝實質現金流量×(1+通貨膨脹率)

因此若有通膨情況，由於現金流增加，股本回報年限（equity payback）將會比簡單回報年限短。若通膨為 2%，則股本回報年限為 3 年，回報年限較簡單回報年限 3.2 年為短（分析結果詳表 4-7)。

表 4-7 成本效益分析結果（通膨 2%）

通膨	2%
初始成本（元）	864000
使用年限（年）	5
每年節省電費(元)	273640
內部報酬（IRR）	19.9%
簡單回報年限(年)	3.2
股本回報年限(年)	3

對於部分規模龐大的節能改善措施，貸款或是必要的資金籌措管道，因此貸款對於成本效益的分析亦頗為重要，假設初始成本有 20%是貸款貸，而貸款利率為 3%，則內部報酬率降為 13.9%，但是由於實際投資成本（股本）僅有 80%，因此股本內部報酬（Internal rate of reten－equity）為 23．7%。股本回報年限為 2.8 年，每年需償還貸款為 37732 元（詳表 4-8 所示），依據本分析模型分析得出之 5 年現金流圖形如圖 4-3 所示。

表 4-8 成本效益分析結果（通膨 2%，貸款 20%）

貸款比例	20%
貸款利率	3%
通膨	2%
初始成本（元）	864000
使用年限（年）	5
每年節省電費（元）	273640
每年償還貸款（元）	37732
內部報酬（IRR）	13.9%
股本內部報酬（IRR－equity）	23.7%
簡單回報年限（年）	3.2 年
股本回報年限（年）	2.8 年

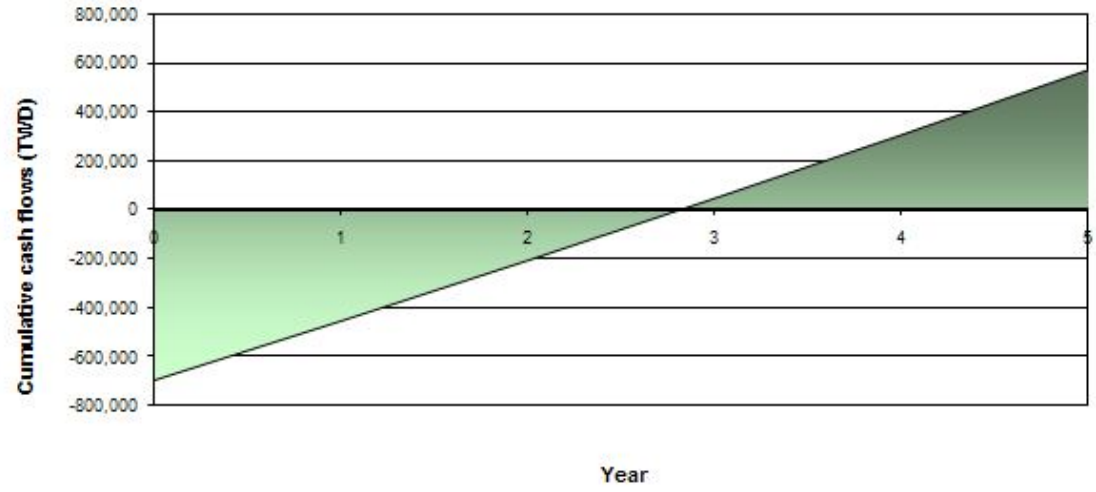

圖 4-3 5 年現金流分析圖

經由分析可知影響到投資成本效益的幾個經濟分析的變數分別是「使用年限」、「通膨」、「貸款比例」、「貸款利率」。本節便針對相關變數進行敏感性分析，分析所使用之經濟參數係表 4-7 之數據，並且分別在「使用年限」、「通膨」、「貸款比例」、「貸款利率」等四個變數上進行調整，以計算調整後之內部報酬率值。

以使用年限而言如果該批燈泡之使用年限僅為 3 年，則本方案之內部報酬率（IRR）為-14.1，若使用年限提高至 4 年，IRR 值提高為 4.6，增加了 18.7%，隨著使用年限提高，其 IRR 值持續提高，惟升幅逐漸趨緩。由分析可知使用壽命對於成本效益影響甚大，尤其是 IRR 由負轉正的數年，而隨著使用年限延長，其 IRR 將趨於穩定（如表 4-9 及圖 4-4 所示）。

表 4-9 使用年限與內部報酬敏感性分析表

使用年限（年）	3	4	5	6	7	8
內部報酬（IRR %）	-14.1	4.6	13.9	19.5	23	25.4
股本內部報酬（IRR－equity）	-2.2	15	23.7	28.8	31.9	33.8

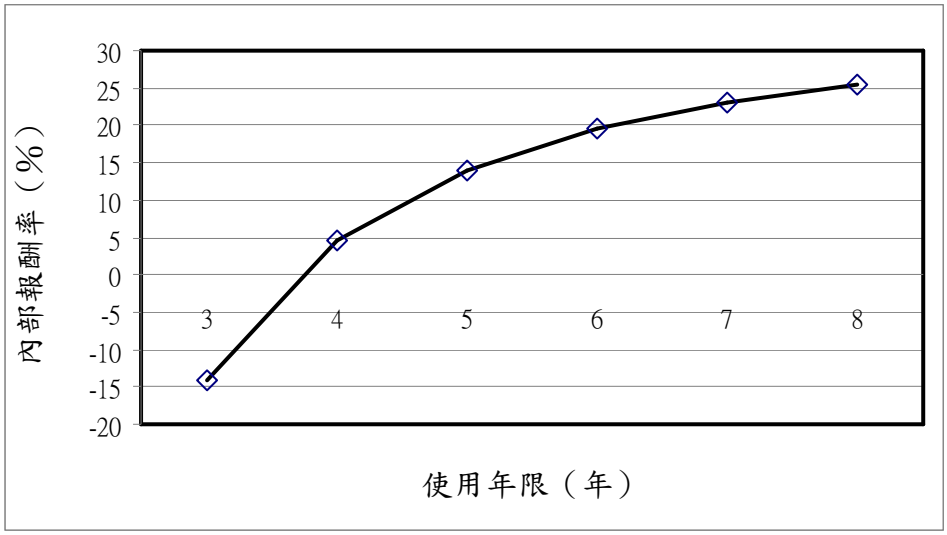

圖 4-4 使用年限與內部報酬敏感性分析圖

經分析，通膨每增加 1%，內部報酬率約會提高 1.2%，(如表 4-10 及圖 4-5 所示)。由此可知，在通膨的環境下，投資者的報酬提高，因此投資意願提高，反之，在通縮的情況下，反而會造成投資意願降低，而形成經濟上的惡性循環。

表 4-10 通膨與內部報酬敏感性分析表

通膨	1	2	3	4	5
內部報酬(IRR %)	12.7	13.9	15.2	16.5	17.8

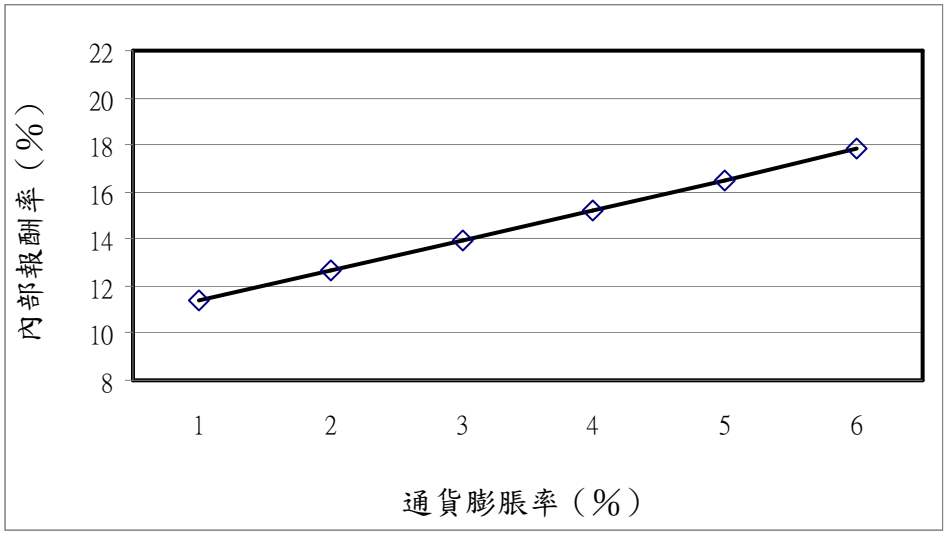

圖 4-5 通膨與內部報酬敏感性分析圖

至於貸款利率部分，當貸款成數為 2 成時，貸款利率的提高，對於整體內部報酬率的影響不大，貸款利率每提高 1%時，IRR 僅降低 0.8%（如表 4-11 及圖 4-6 所示）。因此，進行相關節能減碳投資時，應盡可能降低貸款成數，以免侵蝕內部報酬率。

表 4-11 貸款利率與內部報酬敏感性分析表

貸款利率（%）	1	2	3	4	5	6
內部報酬（IRR %）	14.3	14.1	13.9	13.8	13.6	13.4

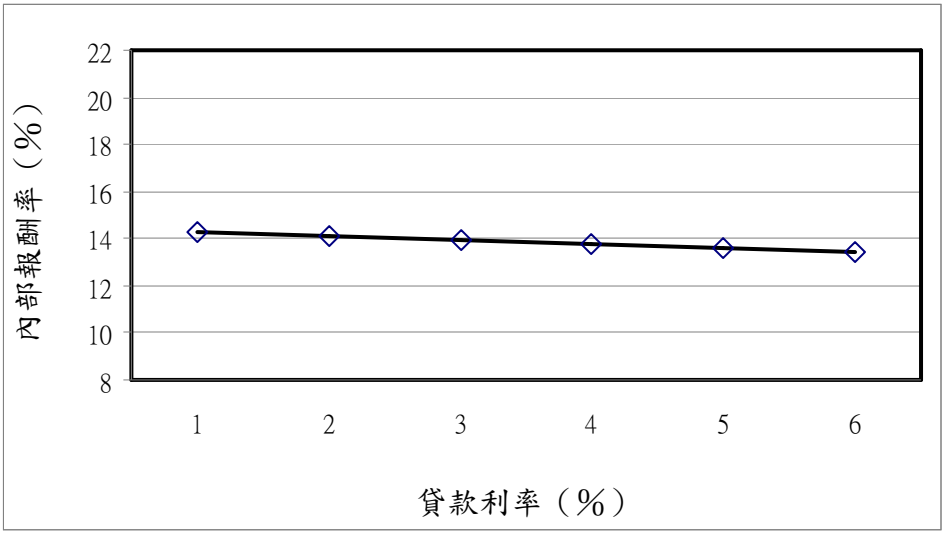

圖 4-6 貸款利率與內部報酬敏感性分析圖

至於貸款比例部分，即使在一個低利率的環境下（假設為 3%），貸款比例對於內部報酬率的影響，仍然相當顯著，例如貸款比例為 0 時，IRR 達 19.9%，但是當貸款比例達到 60%時，整體 IRR 降至 0.8%（如表 4-12 及圖 4-7 所示）。

表 4-12 貸款比率與內部報酬敏感性分析表

貸款比例（%）	0	10	20	30	40	50	60
內部報酬(IRR %)	19.9	17	13.9	10.8	7.6	4.3	0.8

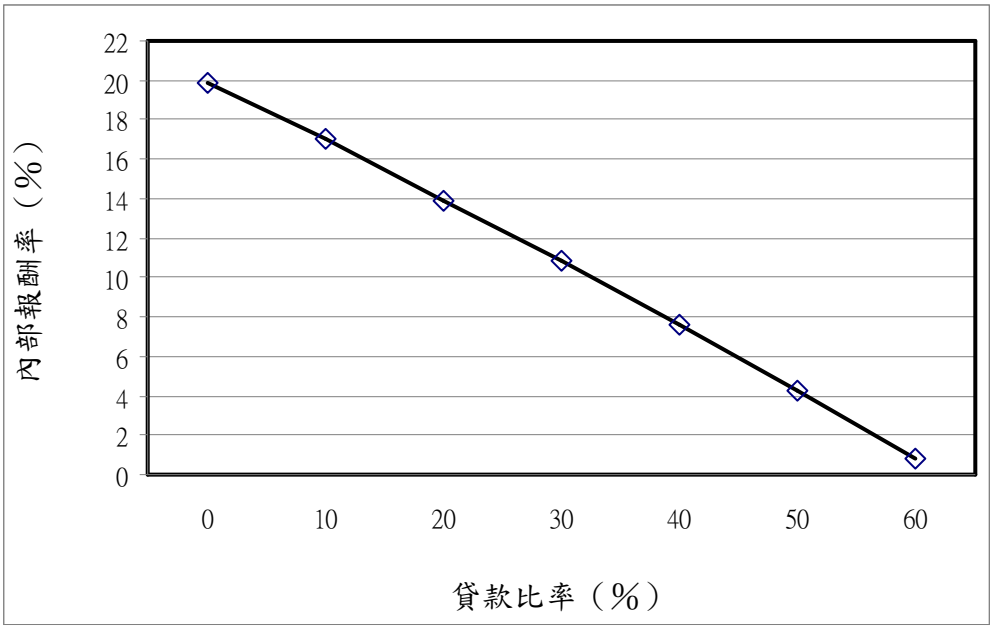

圖 4-7 貸款比率與內部報酬敏感性分析圖

第二節 空調節能

由於台灣位處亞熱帶氣候區，夏季炎熱的氣溫與住宅耗電的變化趨勢有很大的關係，無論是學校建築、辦公大樓、公寓式或透天式住宅，每年從四、五月底氣溫開始升高後，耗電量也跟著激增。根據研究顯示，夏季月期間平均每個月的耗電量是非夏季月期間耗電量的1.6～1.8倍，由於過大巨大的耗電差異，使得台灣夏季電力系統長期處於備轉率不足的窘境，供電吃緊限電危機頻傳，民眾面臨電價上漲的壓力也越大。

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：

EER 值 ＝ 冷氣能力（kcal/hr） / 消耗功率（w）

至於 COP 則是則是壓縮機功能係數，其公式為：

COP 值 ＝ 冷房能力（kw） / 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：

1kcal/h=1000cal×(4.184J/cal)/[1h×(3600s/h)]

≒1.1622J/s

≒1.1622W

因此：COP=1.16 EER

一般窗型冷氣 EER 值約為 3.2，故換算 COP 約為 3.71，我國經濟部能源局亦訂有窗型冷氣機能源效率比值標準對照表（詳表 4-13）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（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。根據 98 年 8 月最新修正的「無風管冷氣機節能標章能源效率基準與標示方法」之規定，只要是符合國家標準 CNS3615 規範之無風管空氣調節機，都要符合（表 4-14）之 EER 值。

表 4-13 窗型冷氣機能源效率比值標準對照表

窗型氣冷式(消耗電功率 3KW 以下)				適用舊版 CNS3615	適用新版 CNS3615 及 CNS14464	實施日期
機種	總冷氣能力		型式	能源效率比值(EER) Kcal/h·W (BTU/h·W)	能源效率比(EER)	
	適用舊版 CNS3615	適用新版 CNS3615 及 CNS14464				
單體式	低於 2,000Kcal/h	低於 2.3kW	一般型式、變頻式(60Hz)	2.33(9.24)	2.71	民國 91 年 1 月 1 日
	2,000Kcal/h 以上 3,550Kcal/h 以下	2.3kW 以上 4.1kW 以下	一般型式、變頻式(60Hz)	2.38(9.44)	2.77	
	高於 3,550Kcal/h	高於 4.1kW	一般型式、變頻式(60Hz)	2.24(8.89)	2.60	
分離式	3,550Kcal/h 以下	4.1kW 以下	一般型式	2.55(10.12)	2.97	
			變頻式(60Hz)	2.38(9.44)	2.77	
	高於 3,550Kcal/h	高於 4.1kW	一般型式、變頻式(60Hz)	2.35(9.32)	2.73	

表 4-14 無風管冷氣機能源效率基準

機種		冷氣能力分類(kW)	能源效率比 EER (W/W)
氣冷式	單體式	2.2 以下之機種	3.30
		高於 2.2，4.0 以下之機種	3.35
		高於 4.0，7.1 以下之機種	3.10
		高於 7.1，10.0 以下之機種	3.05
	分離式	4.0 以下之機種	3.85
		高於 4.0，7.1 以下之機種	3.55
		高於 7.1（冷氣能力 70kW 以下機種）	3.40
水冷式、蒸發式		全機種（冷氣能力 70kW 以下機種）	4.80

資料來源經濟部能源局「無風管冷氣機節能標章能源效率基準與標示方法」

根據「綠建築設計手法及實例彙編研究(一) 住宅節能減碳案例圖解」研究報告， EER 值提高可節省用電量，室內溫度則設定在 26～28℃，因為溫度設定值提高亦可節省電費。本研究為比較各種節能設備或措施之成本效益，必須假設建築物為同一對象，否則將因為過多變數無法控制，影響比較分析的可信度。故前節中，本研究既以臺北某大學教室為照明節能之分析案例，故本節中之空調耗能亦採用該案例，以利比對。本案例教室面積為 140 平方米，樓高 3.2 米，共有 30 間教室。

經探討 Retscreen軟體分析架構，可知影響空調耗電量之主要變數包括氣候區、建築方位、空間大小、EER（本軟體採用COP值）、設定溫定、換氣率、室內熱源、建築外殼（牆壁面積、牆壁隔熱型能、開窗率、窗戶隔熱性能、遮陽性能、窗戶熱得係數、門面積及隔熱、屋定面積及隔熱、地面面積及隔熱、外露的周界等），至於冷媒類型、冷媒冷卻率、每年冷媒損失率，本研究暫不考慮。在氣候區方面，本案例位於臺北市，其方位為做東北朝西南，空間大小為448 M^3 ，至於COP則以3.71（EER 3.2 換算所得）進行分析，熱源部分則因案例為教室，故僅考慮燈具熱源，而外殼節能則設定無特殊隔熱，即牆R值為0.268、開窗率40％、窗之R值0.15（細節將於外殼節能章節細述）。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 Pre 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)，本研究採1ACH進行分析，故在空調耗能的分析上，基本分析數據彙整如表4-15，經模擬解析，30間教室每年之空調77萬9703元。研究並將針對相關變數進行敏感性分析，以模擬各變數對於空調耗能之影響程度。

表 4-15 相關變數設定值

變數	設定值
氣候區	臺北
建築方位	東北-西南向
空間大小	每間 420 M^3
COP	3.71
溫度設定	25 度
換氣率	0.6 ACH
室內熱源	僅考慮照明 照明密度 16.4 w/m2
建築外殼	無特殊隔熱 （牆 R 值為 0.268、 開窗率 40%、 窗之 R 值 0.15、 窗太陽熱得係數 0.66 屋頂 R 值 1、 不考慮地面隔熱性能）

4.2.1 空調COP解析

為具體解析空調EER或是COP值對於空調節能的影響量，本研究以COP3.71為基準，分別模擬COP值為3.81、3.81、4.01、4.11、4.5、5等，模擬結果發現，COP值每增加0.1，大約節能2.6%，由於COP為EER值的1.16倍，因此EER每增加0.1，約可節能3%（如表4-16、圖4-8），因此，在選購冷氣時，應盡可能選用高EER值的機型，以發揮節能效果。

表4-16 空調COP與節能效益表

COP	節能量（%）	節省電費
3.71	—	—
3.81	2.62	20465
3.91	5.12	39883
4.01	7.48	58332
4.11	9.73	75884
4.5	17.56	136881
5	25.80	201163

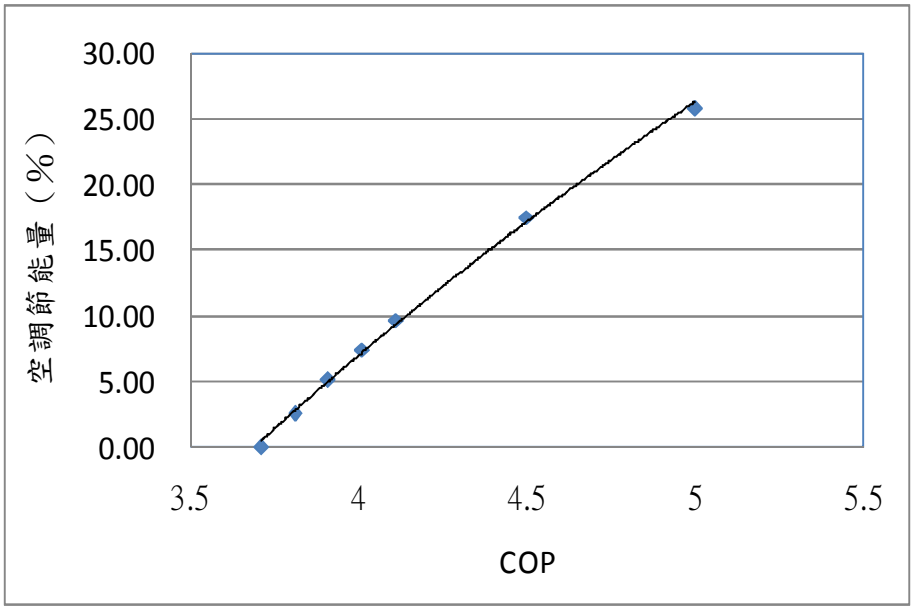

圖4-8 空調COP與節能效益關係圖

4.2.2 空調溫度設定解析

影響空調耗電量之因素之一為使用行為，其中溫度設定更為主因，為解析使用者設定之溫度對於空調號能之影響，本研究進行相關解析，若以26度為基準，分析結果顯示，如將溫度設定降低至25度，將增加9.57%的耗電量，反之，若提高之至27度，可節能8.69%，提高至28度，節能可達到16.75%，顯見溫度設定對於空調耗電量影響甚大。相關分析圖表可見表4-17及圖4-9所示。

表4-17 空調溫度設定與節能效益表

溫度設定	節能量（%）	節省電費
25	-9.57	-74654
26	—	—
27	8.69	67767
28	16.75	130628
29	23.97	186910

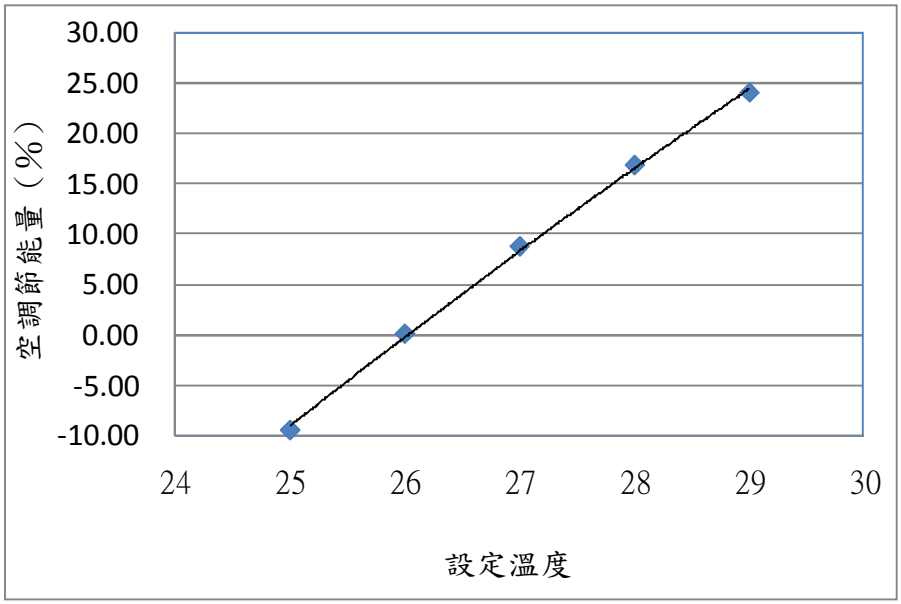

圖4-9 空調溫度設定與節能效益關係圖

4.2.3 空調換氣率解析

另外一項影響空調耗電量之因素即為外氣換氣率，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。為解析換氣率對於空調節能之影響，本研究針對不同換氣率進行模擬，分析發現當換氣率由0.6降低時，每降低0.1ACH，約可節能2.5%，反之換氣率增加0.1ACH，則增加耗能2.5%，因此，若是換氣率由0.6增加至2.5ACH時，耗能增加了48.19%，由此可知，氣密性不佳開口部的漏氣量（間隙風）增大，在空調空間中造成了能量的損失，在非空調空間中則由於難控制冬季風漏入而產生不快，氣密性差的窗戶，對於阻絕外界噪音的功效亦不佳。氣密性高的開口通常亦有良好的隔音性，有隔絕噪音之好處。提高建築氣密性及降低門窗開啟的頻率，可以大幅提高空調耗能。

表4-18 空調換氣率與節能效益表

換氣率（ACH）	節能量（%）
0.3	7.61
0.4	5.07
0.5	2.54
0.6	0.00
1	-10.15
1.5	-22.83
2	-35.51
2.5	-48.19

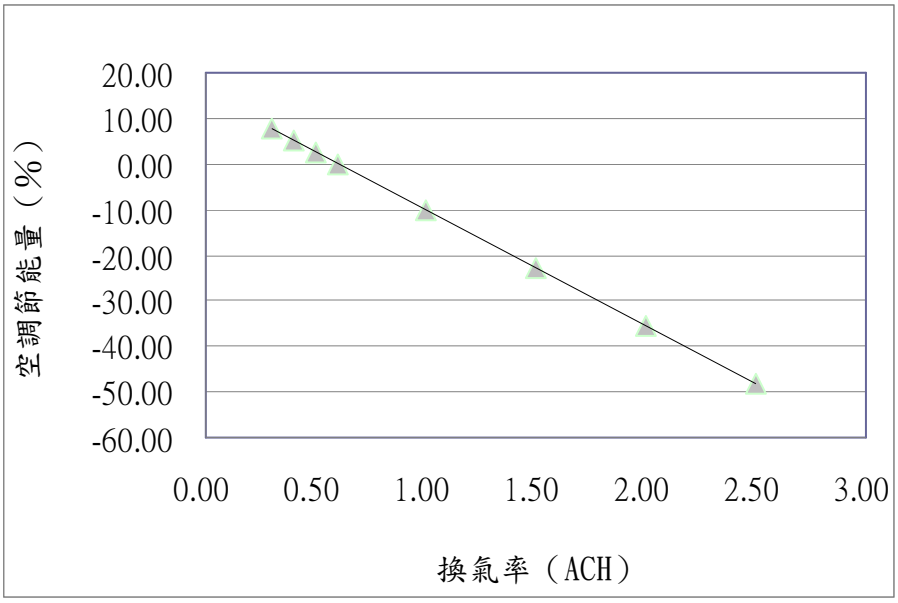

圖4-10 空調溫度設定與節能效益關係圖

4.2.4 室內熱源

室內的熱源也是消耗空調電量的因素之一，主要的熱源包括電器的使用及照明設備，由於本案例是教室，因此僅考量照明熱源的影響，在本研究第四章第一節中已分析了照明改善的節能效益，該案例中原照明功率密度為16.4(W/m^2)，經改善後為10.9(W/m^2)，其照明節能之成本效益已經於該節中論述，惟值得注意的是，照明的改善，由於降低了功率密度，因此，理論上也將影響室內熱源的多少，進而影響到空調耗電量，因此，本研究將對此部分的影響量納入分析。經過解析，前開照明節能措施，對於空調節能的影響量

達43025，約為5.5%。此部分的影響量不容小覷，卻時常被忽略。

4.2.5 區位因素對空調之影響

由於台灣地區南北狹長，本案例係位於臺北市，在不變動任何參數的情況下，僅考慮氣候區，發現宜蘭之空調耗能量比臺北少，花蓮、新竹差異不大，至於台中、台南、高雄、屏東則明顯比臺北高，尤其以屏東最高、其空調耗能量約比臺北高20.4%（詳表4-20所示）。

表4-19 區位因素與空調耗能增量

地區	空調耗能增量（%）
臺北	0.00
宜蘭	-2.41
花蓮	0.46
新竹	0.87
台中	5.42
台南	9.13
高雄	15.14
屏東	20.41

區位也影響各變數之敏感度，例如，以臺北跟屏東比較（詳表4-21），當COP由由3.71提高至3.81，臺北和屏東的案例均節能2.62%，由此可知COP對於空調耗電量的影響與區域無關，但溫度由26度提高到27度，臺北可節省電費67767元，屏東可節省83439元，但是屏東之總空調電費高於臺北，因此改善量僅有7.73%，低於臺北8.69%。而換氣率對節能的影響部分，當換氣率由0.6降至0.5時，屏東可節能3.73%，高於臺北2.54%，此係因為屏東外氣溫度較高，至於照明改善對於空調之影響部分，臺北節省電費43025元(5.5%)，屏東節省電費55318元（5.12%）。

表4-20 空調變數差異對不同區位因素之影響

空調變數差異	空調節能量（%）	
	臺北	屏東
COP由3.71提高至3.81	2.62	2.62
溫度由26提升至27度	8.69	7.73
換氣率從0.6降至0.5	2.54	3.73
照明改善	5.5	5.12

第三節 外殼節能

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。

有鑑於外殼節能的重要性，我國「建築外殼節能設計法」在 1995 年第一次被納入「建築技術規則」，於 1998 年第二次修正，2002 年 6 月第三次修正，全面更新基準與規範，2003 年 9 月第四次修正，不但將法令全文歸併於建築技術規則新增訂之「綠建築專章」以凸顯其重要性，更針對 ENVLOAD 計算提供更為精簡的演算法。2008 年再度修正建築節能設計法規，強化屋頂隔熱與天窗遮陽規定、擴大大型空間建築的管制範圍，我國建築節能設計基準

如表 4-22 所示。其中有關建築外殼隔熱水準之規定為屋頂平均熱傳透率 Uar 與外牆平均熱傳透率 Uaw 兩指標。

表 4-21 2009 年新建築外殼節能設計基準概要

建築類別		使用項目例舉	節能指標	氣候分區	基準值
基本門檻指標		所有受管制建築物	屋頂平均熱傳透率Uar	不分區	＜1.0W/ m^2・k
			屋頂天窗日射透過率 η	不分區	＜0.35~0.15
			玻璃可見光反射率	不分區	≦0.25
空調型建築	辦公廳類	政府機關、辦公室	建築外殼耗能量 ENVLOAD	北區	＜80 kWh／m^2・yr
				中區	＜90 kWh／m^2・yr
				南區	＜115 kWh／m^2・yr
	百貨商場類	百貨公司、商場	建築外殼耗能量 ENVLOAD	北區	＜240 kWh／m^2・yr
				中區	＜270 kWh／m^2・yr
				南區	＜315 kWh／m^2・yr
	旅館餐飲類	旅館、觀光旅館、餐廳	建築外殼耗能量 ENVLOAD	北區	＜100 kWh／m^2・yr
				中區	＜120 kWh／m^2・yr
				南區	＜135 kWh／m^2・yr
	醫院類	醫院、療養院	建築外殼耗能量 ENVLOAD	北區	＜140 kWh／m^2・yr
				中區	＜155 kWh／m^2・yr
				南區	＜190 kWh／m^2・yr
住宿類建築		住宅、集合住宅、寄宿舍、養老院、安養中心、招待所	外牆平均熱傳透率Uaw	不分區	＜3.5 W/ m^2・k
			等價開窗率Req	北區	＜13%
				中區	＜15%
				南區	＜18%
學校類建築		普通教室、特殊教室、行政辦公室、學校附屬圖書館	窗面平均日射取得率 ASWG	北區	＜160kWh/ m^2・yr
				中區	＜200kWh/ m^2・yr
				南區	＜230kWh/ m^2・yr
大空間類建築		圖書館、體育館、禮堂、體育館、音樂廳、航空站、倉儲場、汽車商場等	窗面平均日射取得率 ASWG，依開口率X計算基準值	北區	＜146.2X^2－414.9X＋276.2kWh/ m^2・yr
				中區	＜273.3X^2－616.9X＋375.4kWh/ m^2・yr
				南區	＜348.4X^2－748.4X＋436.0kWh/ m^2・yr

(資料來源：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 100 年協同研究期末報告)

4.3.1 外殼節能影響變數

與外殼節能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‧k。綠建築標張設計之熱阻詳表4-23所示。

2.熱阻係數R：

為熱導係數之倒數，熱阻係數一般表示為1/kx，其單位為：m.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(㎡.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0.025x（1/0.15）＝0.17。綠建築標張設計之熱阻詳表4-24所示。

3.熱傳透率（U）：

熱阻之倒數即為熱傳透率（U），其單位為W/(㎡.K)。所謂的平均熱傳透率Uar與Uaw，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Uar(屋頂平均熱傳透率)及Uaw(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。以住宿類建築為例，2002年屋頂的Uar基準值由1.5強化為1.2 [W / (m2‧K)]，相當於15 cm RC樓版、油毛氈防水層外加內附保力龍隔熱層之水泥五腳磚的屋頂構造，或是1.5 mm彩色鋼版內加10 mm PU 保溫層及鋁箔處理的屋頂構造。此屋頂隔熱水準為1.2 （W / (m2‧K)）之規定，並非特別嚴格之基準。故至2009年建築技術規則又將屋頂熱傳透率提高至1 W / (m2‧K)，至於外牆的Uar基準值3. 5 (W / (m2‧K)未能在強化要求之原因，在於它是國內最普遍、最常用的一般外牆構造水準。相當於15 cm RC外牆、外貼磁磚的外牆構造。

表4-22 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/m3]	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4-23 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)

由於建築技術規則規定外殼隔熱水準為3.5 (W / (m2・K),且以台灣目前的營建習慣,外牆隔熱水準也約略為3.5左右,由於Retscreen 是採用R值分析,因此換算為R值約為0.286,至於屋頂之R值亦依建築技術規則規定假設為1。窗戶部分,假設為普通清玻璃,參考「隔熱材料對建築外殼隔熱性能及節能效益影響之研究」,窗平均熱傳透率採用6.5,另外,玻璃另一熱學性能為太陽熱得係數(Solar Heat Gain Coefficient,SHGC),或稱太陽能的吸熱係數或太陽能輻射,該係數是量測多少熱能(太陽的幅射線)經過一扇窗戶進入到一棟建築物內的量,其量包括日光直接穿透率以及玻璃吸收熱能二次輻射進入室內之總和,本分析中太陽熱得係數參考表4-25設定為0.66,假設並無外遮陽設備,相關變數設定為表4-26所示。

表 4-24 玻璃太陽熱得係數表

玻璃系統			玻璃屬性							
	玻璃厚度		入射角							
ID	in. (mm)			0	40	50	60	70	80	漫射
	1/8 (3.2)	未上塗料的單層玻璃 CLR	SHGC	0.86	0.84	0.82	0.78	0.67	0.42	0.78
	1/8 (3.2)	未上塗料的雙層玻璃 CLR	SHGC	0.76	0.74	0.71	0.64	0.5	0.26	0.66
5b	1/4 (6.4)	未上塗料的雙層玻璃 CLR CLR	SHGC	0.7	0.67	0.64	0.58	0.45	0.23	0.6
	1/8 (3.2)	Low-e 雙層玻璃，e=0.1，LE CLR	SHGC	0.65	0.64	0.62	0.56	0.43	0.23	0.57
	1/8 (3.2)	Low-e 雙層玻璃，e=0.1，CLR LE	SHGC	0.6	0.58	0.56	0.51	0.4	0.22	0.52
	1/8 (3.2)	三層玻璃 CLR CLR CLR	SHGC	0.68	0.65	0.62	0.54	0.39	0.18	0.57
29b	1/4 (6.4)	三層玻璃 CLR CLR CLR	SHGC	0.61	0.58	0.55	0.48	0.35	0.16	0.51
	1/8 (3.2)	三層玻璃，e=0.2，LE CLR CLR	SHGC	0.6	0.58	0.55	0.48	0.35	0.17	0.51
	1/8 (3.2)	三層玻璃，e=0.2，CLR CLR LE	SHGC	0.62	0.6	0.57	0.49	0.36	0.16	0.52

（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）

表 4-25 外殼節能解析變數基本設定值

變數	基本設定值
氣候區	臺北
開窗方位	東西向 南北向
開窗率	10% 40%
外牆 R 值	0.286
屋頂 R 值	1
窗戶 R 值	0.15
窗戶熱得係數	0.66
外遮陽（%）	0

4.3.1 開窗率解析

外殼隔熱設計涉及開窗面積的大小，在國外的外殼隔熱性能規範中，許多也對開窗率加以限制，對於越大的開窗面積，給予越嚴格的傳熱係數與遮陽係數限制，此一目的是希望縮小建築物開口部的面積，使得從玻璃傳進的日射熱得及熱傳導降低。國內甚至有研究指出：「外殼節能設計最重要的因素在於開窗率，它影響空調負荷的比重佔高達五成以上，因此降低開窗面積率是空調節能最重要的手段。在確保適當的自然採光，並免除心理封閉感的條件下，建築立面設計應要避免全面玻璃的大開窗形式。住宅類建築的開窗率應維持在30% 以下，而其他大型建築的開窗率應在40% 以下。」另一方面，亦有相關理論對於開窗議題提出不同之觀點，認為較大之開窗率，對於建築亦有其他的優點，概述如下：

1.減緩構造蓄熱

建築構造在建築熱環境上的意義，除了隔熱性能，亦應考量建築物軀體的蓄熱能力，此能力影響了日後建築物之熱時滯效應，及對熱負荷的影響效果。因此欲單獨討論建築物構造體之蓄熱能力對空調耗能的影響時，勢必得將構造之隔熱與蓄熱兩種能力區分開來考量，尤其在夏天時， 鋼筋混凝土構造的溫度都顯然高於外溫，其蓄熱情形相當嚴重，到晚上時仍然會明顯的在釋出輻射熱源，這與台灣科技大學的李魁鵬教授觀測研究，臺北的熱島效應也是在夜間發生，不謀而合，因此某些學者建議將屋頂 或外牆漆成具反光的白色，減少建築物的蓄熱程度。建築若採用大開窗，必然可以減少混凝土的用量，減少蓄熱。

2.因應全球暗化

全球暗化(GlobalDimming)是指由太陽照射至地面的光能減少了，但是全球暗化，卻不是由於太陽發出的光和能量減少，而是太陽照射至地面的光變得暗了。全球暗化這現像是由一位日本裔的科學家 AtsumuOhmura 提出，他在瑞士的全球氣象研究所工作，他在 89 年集合了他和許多其他科學家的相關研究資料，而提出全球暗化這現象。科學家比較 80 年代和 60 年代的太陽光照量(solarradiation)，或地面接收的太陽幅射量，發現全球各地的情況是減少了 2%到 7%，平均數約為 5%。更有些學者指出，若以城市來計算，光照量

減少達10%之多。據香港天文臺資料顯示，相比90年代和60年代，太陽照射至香港的光量全年計算已減少了10至15%。（資料來源：2005年6月11日香港明報報導） 全球暗化的主因是由於空氣污染嚴重，懸浮粒子增多（包括硫酸鹽、黑碳、有機碳、微塵、海鹽等），煙霧(smog)和煙霞增加，也直接反射太陽光線。另外，由於雲中的雨滴需要凝結核才能形成，污染微粒比自然微粒還微小，因此污染微粒使得雨滴數量多且直徑小，因而改變雲層的光學性質，讓雲層變成巨大的反射鏡，反射更多的太陽光回外太空（稱為懸浮微粒間接輻射效應），即反射到地表的陽光減少，全球暗化現象抵銷了部分全球暖化現象，換言之如果全球暗化趨緩，伴隨著是暖化加劇，但是由於地球的污染持續進行中，科學家估計言全球地面的陽光量每十年便下降1-2%，此一現象對於建築設計而言，亦是相當重要的課題，因為自然光線的減弱，室內採光的需求將逐漸增加，居住者對於開窗的需求也將趨於強烈。

3.二氧化碳減量

築物的輕量化直接降低了建材使用量，進而減少建材之生產耗能與CO_2排放。「鋼構造建築」以及「金屬帷幕外牆設計」均有輕量化之優勢。另外，開窗面積越大，混凝土實牆的面積越小，而以玻璃取代，根據張又升君博士論文研究顯示，每公斤平板玻璃生產排放出0.68公斤的CO_2，Low-E玻璃則為1.148公斤，而每公斤鋼筋生產則排放出2.3公斤的CO_2，水泥每公斤則排放出0.41公斤的CO_2，顯見大開窗對於建築二氧化碳減量亦有助益。

4.增加採光通風

此外開窗對於視覺舒適度、通風、採光等亦有正面之效益，尤其善用晝光不但可為建築物節省能源，而且能使室內有更舒適的光度。若與人工照明系統配合得宜，使用晝光可以大大地減少人工照明系統的用電量。另一方面，由於減少使用人工照明系統亦減少來自它們的熱量，所以空調系統的負荷也相應降低。而除了節能之外，採用晝光還可為用戶創造一個舒適的視覺環境，從而增加他們的生產力。晝光可以通過不同的設計概念來應用在建築物之中。窗戶的設計也會影響到天然光使用的效率。晝光還可以與人工照明系統配合使用，從而達到更大的節能效果。如果所有這些因素都可協調得當，利用晝光的效益就可以更大。例如可使用根據日光強度自動調節或開關的照明

系統。除了採光外，通風亦是開窗的優點之一，尤其實牆並無通風的可能性，因此開窗使得室內通風變得較為可能。

正因為開窗率是否應嚴加限制，以及玻璃的使用是否符合綠建築的概念，尚有相關爭議，本研究擬就開窗率對於建築耗能的影響進行解析，本研究為探討開窗率、及開窗方位對於空調節能之影響，分別模擬開窗率10%及40%的空調耗能，另外開窗方位亦分別假設窗戶開於南北向及東西向，分析結果發現，方位對於空耗能有影響，當窗戶開於南北向時，開窗率為10%時，空調耗能為529579元，若開窗於東西向時，空調耗能為545092元，增加2.9%，但是當開窗率增加到40%時，當窗戶開於南北向時，空調耗能為748756元，若開窗於東西向時，空調耗能為810651元，大幅增加8.2%，顯見當開窗率越大時，方位影響程度越大。當開窗率為40%時，開窗於南北向的案例，耗能為748756元，若開窗率縮小至10%，則耗能529579元，耗能量可以降低29.3%，若開窗方位為東西向時，開窗率由40%降低為10%時，耗能量可以降低32.8%，顯見開窗率確實影響建築空調耗能，且開窗位於東西向，其開窗率對於耗能影響較大。相關分析結果詳表4-27。

表 4-26 開窗率對空調耗能之影響

方向	空調電費（元）	
	開窗率 10%	開窗率 40%
開窗於東西向	545092	810651
開窗於南北向	529579	748756

4.3.2 玻璃隔熱性能解析

由於開窗有其他視覺及設計上之優點，雖然經過分析，40%的大開窗確實比10%的小開窗耗能29%～32%（因開窗方位不同），但是實務上若採用大開窗，則採用隔熱玻璃便是可以採行之方案之一，為瞭解提升玻璃隔熱性能對於整體耗能之影響，本研究假設玻璃的U值由6.5提升至3，熱得係數由

0.66降低至0.52，其餘條件不變，經過解析發現，開窗位於東西向的模擬，U值由6.5提升至3，熱得係數由0.66降低至0.52，可以有18.7%的改善率，至於南北向，改率為18.1%，分析結果詳表4-28。

表4-27 Low-e玻璃對於空調節能之影響（開窗率40%）

開窗方向	原空調電費（元）	改善後空調電費（元）	節省電費（元）	改善率（%）
開窗於東西向	810651	682967	127684	18.7
開窗於南北向	748756	634201	114555	18.1

Low-e玻璃雖可以發揮節能效益，惟本研究之目的之一係為分析各項節能措施的成本效益，本節特針對Low-e玻璃的成本效益進行分析，參考內政部建築研究所100年協同研究「隔熱材料對建築外殼隔熱性能及節能效益影響之研究」報告， Low-e玻璃之單價約比清玻璃高出2850/m^2，而本研究之教室若以開窗率40%計算，窗面積每間達31.6平方公尺，若全面採用Low-e玻璃，成本將增加90060元，30間教室需增加成本270萬1800元，經濟分析結果，若開窗位於南北向，則該方案之內部報酬（IRR）僅0.4%，簡單回報年限達23.6年，若開窗位於東西向，則該方案之內部報酬（IRR）為1.5%，簡單回報年限達21.2年，可見其改善雖有節能成效，但是因內部報酬僅分別為0.4%及1.5%，並無投資效益，惟東西向之窗戶之改善成效較南北佳，因此，應優先改善南北向之窗玻璃，分析結果詳表4-29、4-30。

表 4-28 Low-e 玻璃成本效益分析（開窗 40%，位於南北向）

通膨	2%
初始成本（元）	2701800
使用年限（年）	20
貸款比率	0
每年節省電費(元)	114555
內部報酬（IRR）	0.4%
簡單回報年限(年)	23.6
股本回報年限(年)	19.2

表 4-29 Low-e 玻璃成本效益分析結果（開窗 40%，位於東西向）

通膨	2%
初始成本（元）	2701800
使用年限（年）	20
貸款比率	0
每年節省電費(元)	127684
內部報酬（IRR）	1.5%
簡單回報年限(年)	21.2
股本回報年限(年)	17.5

4.3.3 外遮陽解析

建築物外遮陽一般可分為水平、垂直與格子式遮陽板。水平遮陽板，由數層平板重疊而成，採光較佳，適合設置於南向窗面；垂直遮陽板，設於窗前或兩邊之直式凸出板，可遮擋角度較低的陽光，對採光有方向性，適合設置於東西向窗面；格子遮陽板：由水平與垂直遮陽板所組成，於各方位均優於水平遮陽及垂直遮陽，但造價較高，無法活動。而外遮陽適用遮光效果因建築所在區域而有所差別，遮陽的方式也非常多元，從簡單的遮陽紙、百葉窗到複雜的BIPV系統（太陽光電與建築結合應用）等。

一般可用外遮陽係數（Ki）來決定遮陽的效果，所謂外遮陽係數即是指可以阻擋全年日射熱的量穿透過外遮陽而達到某窗面之百分比，例如Ki為0.4即表示外遮陽可以阻擋全年日射熱得60%，外遮陽係數依各方位別、遮陽形式及保護角等參數進行查表。

由於外遮陽對於建築節能具有一定之效益，因此內政部建築研究所於民國93至96等年度曾配合「綠建築推動方案」實施，補助公私有舊有建築物進行立面外遮陽及屋頂隔熱改善工程（現已停止補助），減少建築物耗能，以達節約能源效果，並選擇具有改善潛力之舊有建築物，優先予以補助經費進行節能改善，期望改善成果作為綠建築之示範與教育宣導，該計畫補助外遮陽標準詳如表4-31所示，另依據內政部建築研究所出版之「舊有建築物外遮

陽節能改善工程設計手冊」建議，外遮陽設施必須達到外遮陽係數小於0.5，亦即外遮陽必須阻擋全年日射熱一半以上的功效，才能符合政府的補助基準。

本研究模擬採用活動百葉鋁窗型遮陽板，依照內政部建研所所訂「舊有建築物節能改善工程補助計畫所訂補助標準」（詳表4-31），該種百葉遮陽板造價約為每平方公尺8000元，另參考營建署「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」，若設有電腦自動控制的活動式水準、垂直百葉遮陽板時,依「各種形狀遮陽板之外遮陽修正係數Ki表」深度比＝ 1.0(即4 5度遮陽角)所讀取的ki值的三成(即0 .3 × k i值)為其ki值。唯設計者必須提供電腦自動控制之證明，始得承認其效果。若為手動式活動百葉遮陽則只認定ki值為深度比＝ 1.0 所讀取的ki值。另外百葉的寬度、厚度、間隙尺寸等亦會影響遮陽係數，另綜合參考許多市售遮陽板業者所宣告之遮陽係數可達0.2以上，本分析假設遮陽係數為0.3，亦即可以阻擋全年日射熱得70%。

表4-30 舊有建築物節能改善工程補助計畫所訂補助標準

遮陽板型式	每平方公尺單位造價（元）
1.鋼板型遮陽	10,000以下
2.鋁板型遮陽	9,000以下
3.活動百葉鋁窗型遮陽	8,000以下
4.帆布型遮陽	5,000以下
5.其他類遮陽	由審查委員會核定

分析結果顯示當開窗率達40%，且開窗位於東西向，則加裝活動百葉鋁窗型遮陽板，30間教室需成本758萬4000元，每年可以節能251302，節能成效高達45%，若開窗位於南北向，則改善成效達35.5%（詳表4-32），惟透過成本效益分析，可發現不論開窗的方位為何，加裝活動百葉鋁窗型遮陽板的投資內部報酬率均為負值，開窗位於南北向之IRR為-3.2%，開窗位於東西向之IRR為-1.7%（詳表4-33、4-34），由此，可以獲致兩點重要結論，其一，開窗處的外遮陽節能效果遠比提高玻璃隔熱性能為高，但因外遮陽之施做成本較高，其投資內部報酬率反而較低，其二，東西向與南北向之方位因素對於外遮陽的節能成效影響較大，但是開口位於南北向或東西向的玻璃，提高隔熱性能所能獲得的節能成效約略相當，此係因為玻璃內外溫差與開口方位關連不大，因此透過玻璃材料傳導到室內的熱能不論什麼方位差異都不大，

但是太陽的熱透過輻射進入室內的量與開窗方位關連較大，因此東西向的開窗進行外遮陽所獲得的節能效果遠高於位於南北向的開窗。

表4-31 外遮陽對於空調節能之影響（開窗率40%）

方向	原空調電費（元）	改善後空調電費（元）	節省電費（元）	改善率（%）
開窗於東西向	810651	559349	251302	45.0
開窗於南北向	748756	540781	207975	35.5

表 4-32 外遮陽成本效益分析結果（開窗 40%，位於南北向）

通膨	2%
初始成本（元）	2701800
使用年限（年）	20
貸款比率	0
每年節省電費(元)	207975
內部報酬（IRR）	-3.2%
簡單回報年限(年)	36.5
股本回報年限(年)	27.2

表 4-33 外遮陽成本效益分析結果（開窗 40%，位於東西向）

通膨	2%
初始成本（元）	2701800
使用年限（年）	20
貸款比率	0
每年節省電費(元)	251302
內部報酬（IRR）	-1.7%
簡單回報年限(年)	30.2
股本回報年限(年)	23.5

4.3.4 屋頂隔熱解析

至於屋頂隔熱部分，目前的法規規定是U值必須低於1W/ m^2・k，其標準已較外牆平均傳透率3.5 W/ m^2・k 嚴格許多，本研究模擬屋頂之U值由1.0 W/ m^2・k降低為0.8W/ m^2・k，換言之R值（熱阻）由1 m^2・k/ W提高至1.25 m^2・k/ W（增加0.25），以矽酸鈣板為例，矽酸鈣板之熱導係數為0.15，熱阻係數為1/0.15，若使用3.8公分之矽酸鈣板則其熱阻可增加0.038×（1/0.15）＝0.25。經調查市售隔熱材料並參考內政部建築研究所100年協同研究期末報告「隔熱材料對建築外殼隔熱性能及節能效益影響之研究」，每平方米之隔熱材需增加450元。經過Retscreen分析，屋頂隔熱所需總經費為189萬，每年可節省電費12557，對於整體空調耗能的改善率僅1.5～1.6%，成本效益分析結果顯示（表4-35），內部報酬率為-12.8%。

表 4-34 屋頂隔熱成本效益分析結果（開窗 40%）

開窗方位	原空調電費（元）	改善後空調電費（元）	節省電費（元）	改善率（%）	內部報酬率（%）
開窗於東西向	810651	798094	12557	1.57	-12.8
開窗於南北向	748756	736199	12557	1.67	-12.8

4.3.5 屋頂隔熱解析

至於建築物之外牆節能部分，現有的法規基準是3.5 W/ m^2・k，其規範水準低於大陸華南地區或是美國佛羅里達州等地水準，此係因為國內長年以來的營建習慣並不重視外牆隔熱性能，慣用的工法與材料均以滿足結構需求之簡單構造為之，也間接壓抑了外牆隔熱材料與工法的市場與研發能量，也因此建築技術歷經多次修改，始終也無針對外牆隔熱性能的基準予以提升，惟究竟外牆的隔熱性能對於建築空調節能效益的影響為何，頗值得深入探究，本節為解析外牆隔熱水準對於空調節能的影響，模擬外殼U值由3.5提升至2 W/ m^2・k，換言之R值（熱阻）由0.286提升至0.5，m^2・k /W，其增幅亦約略等同於屋頂R值的增幅，同樣參考相關文獻及市場價格，每平方米造價假定為450元，外牆隔熱所需總經費為64萬2600，每年可節省電費10738，對於整體空調耗能的改善率僅1.3～1.4%，成本效益分析結果顯示（表4-36），內

部報酬率為-6.9%。

表 4-35 外牆隔熱成本效益分析結果（開窗 40%）

開窗方位	原空調電費（元）	改善後空調電費（元）	節省電費（元）	改善率（%）	內部報酬率（%）
開窗於東西向	810651	799913	10738	1.34	-6.9
開窗於南北向	748756	738018	10738	1.45	-6.9

第五章 結論建議

第一節 結論

1. 經查證能源局及環保署公告資料，住宅部門消耗 10.71%的能源及18.28%的電力;並排放13.9%二氧化碳，服務業部門則消耗 10.95%的能源及19.7%的電力;並排放14.2%的二氧化碳，因此提高住商部門節能減碳的成效，將有助於達成國家減碳總體目標。
2. 以RETScreen軟體進行建築節能減碳成本效益分析的過程中，分析者可針對影響節能減碳效益的相關變數，自行輸入參數值進行分析，無須受限於內建參數，可提高分析之可信度。
3. 本研究以置換T8燈管為T5燈管之案例進行分析，分析結果發現節能減碳效益達39.6%，投資之內部報酬率可達17.6%，且此一節能策略可行性甚高，幾無相關受限。
4. 以空調節能而言，經過RETScreen解析，本案例之空調溫度的設定若降低1度，約可節省空調耗電9%；若降低新鮮外氣熱負荷0.1ACH，約可節省空調耗電2.5%,顯見,不增加初始成本而僅改變空調的使用行為(例如溫度設定、空氣洩漏量等）即可有效節能；至於空調主機之EER每增加0.1，約可節能3%。
5. 在開窗率的部分，本案例經過解析，開窗越大，方位因素對於耗能影響越大，以40%的開窗率而言，開窗位於東西向之建築約比開窗為南北向之建築增加耗能8.2%。若開窗率為10%，二者相差僅2.9%。另外，開窗率若由40%降低為10%時，可節能29%～32%（因開窗方位不同而異)，顯見大開窗確實會有較大之空調耗能。
6. 在外殼節能部分,當開窗率為40%時,將玻璃的U值由6.5提升至3時，熱得係數由0.66降低至0.52，約可有18%的節能效果，內部報酬最大為1.5%；若採用遮陽係數0.3的外遮陽，依方位不同約可有35%～45%的節能效果，惟內部報酬為-3.2%～-1.7%；至於屋頂隔熱部分，節

能效果約1.6%，內部報酬為-12.8%，外牆隔熱的部分，節能效果約1.4%，內部報酬為-6.9%。

第二節 建議

根據本研究之研究結果，提出下列具體建議，以下分別從立即可行的建議、及中長期建議加以列舉：

一、立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：國科會、教育部、環保署

建築節能減碳雖可透過使用者行為模式的改變，或透過良好的建築設計而獲得部分成效，但是對於既有建築而言，投入資金汰換設備或裝置節能設備應是較立即可行之作法。設備改善的投資雖可發揮節能減碳之預期效果，但是未必符合經濟性，造成建築管有單位投資意願不高，為解決相關問題，產官學界應投入更多心力研擬具有經濟可行性的配套措施，帶動民間自發性的節能投資行為。

二、中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所、行政院環保署

協辦機關：內政部營建署、國科會、教育部

我國因為國際地位特殊，始終未加入或簽署相關國際減碳公約或協定，政府部門雖已注意到節能減碳的國際潮流與趨勢，但相較於歐美先進國家，民眾自主性的節能意識仍有待提升，建議相關單位或學術機關宜持續辦理相關宣導推廣活動。

參 考 書 目

壹、中文部分

「台電月刊」3月號，台灣電力公司，2009。

經濟部能源局99年度「能源統計年報」。

經濟部99年7月「我國燃料燃燒CO2 排放統計與分析」。

住宅耗電實測解析與評估系統之研究，郭柏巖，2005。

營建署「建築物生活雜排水回收再利用設計技術規範」。

環保署「溫室氣體盤查與登錄指引」2009。

舊有建築物照明節能技術應用之研究，內政部建築研究所協同研究報告，2009。

中央氣象局 http://www.cwb.gov.tw/。

臺北市政府產業發展局網頁。
http://www.ed.taipei.gov.tw/cgi-bin/SM_themePro?page=487ff5b7。

台電公司網頁http://www.taipower.com.tw/。

農委會網頁 http://www.coa.gov.tw/view.php?catid=17871。

台塑石化公司網頁 http://www.fpcc.com.tw/knowledge/knowledge_11.asp。

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，內政部營建署，民國98年。

辦公廳類建築物節約能源設計技術規範，內政部營建署，民國98年。

蔡尤溪，「空調負荷計算理論及降低空調負荷」簡報資料，國立臺北科技大學能源與冷凍空調工程系。

陳寒濤，「綠色節能玻璃之量測與設計」簡報資料，國立成功大學機械工程學系。

彭文正，以生命週期評估技術應用於建築耗能之研究，朝陽科技大學環境工程與管理所碩士論文，民國92年。

楊斐娜、翁彩瓊，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。

江哲銘等，辦公空間通風效果與污染物濃度之研究 ，中華民國建築學會第十

三屆 建築研究成果發表會論文集，2001年。

李昭仁、朱時梁，玻璃日光熱輻射取得率(SHGC)之量測理論，玻璃世界，2008年8月。

林子平，「綠建築基準」專章修正方向暨建築物節約能源設計技術規範說明簡報資料。

2007能源科技研究發展白皮書，經濟部能源局，2007年。

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，民國95年。

張又升，建築物生命週期二氧化碳減量評估，國立成功大學建築研究所博士論文，民國91年。

傅任淇，強化建築物外殼隔熱基準與成本效益之研究-以學校類建築為例，朝陽科技大學建築及都市設計研究所碩士論文民國97年。

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100年協同研究期末報告。

內政部建築研究所，舊有建築物外遮陽節能改善工程設計手冊，民國91年。

貳、英文部分

International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2010.

International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2008.

Revised 1996 IPCC Guideline for National Greenhouse Gases Inventories

UNFCCC網站 2-Feb-2010 (http://unfccc.int/home/items/5262.php)

USCAN網站 2-Feb-2010
http://www.usclimatenetwork.org/policy/copenhagen-accord-commitments)