

節能構造運用於鄉村綠建築之研究

The Study of Energy Saving Construction Applied for Rural Green Building

台灣大學生物環境系統工程系
副教授

侯文祥

Wen-Shang Hou

台灣大學生物環境系統工程研究所
碩士

謝青晃

Chin-Fang Hsieh

明道大學景觀設計學系
助理教授

張源修*

Yuan-Hsiou Chang

摘要

內政部發展「綠建築評估指標」已近十年，主要用於評估都會區建築。該指標內容是否適用於農村綠建築尚未被探討。本研究針對農委會正推展農村綠建築策略，使用鋼筋混凝土作為建材的農村住宅標準圖 201 型，改為使用節能複層建材作為外殼設計，探討臺灣農村發展綠建築的節能構造與節能指標因子。模擬分析變更主結構材料及外殼構造後，在安全性、經濟性及綠建築節能分級評估之差異。明確探討臺灣用綠建築指標評估現有都市住宅，未來可應用評估於農村住宅的差異性，可作為政府推動農村綠建築指標評估擬訂的基礎資料。

關鍵詞：農村住宅，綠建築評估指標，節能構造，複層外殼。

ABSTRACT

The Ministry of the Interior has been promoting “Green Building Assessment Indicators” for nearly ten years, primarily on buildings in metropolitan areas. However, whether the indicators are suitable for rural green buildings has never been discussed. This study aims to discuss the energy-saving structures and energy-saving indicators for rural green buildings in Taiwan, from the perspective of the rural green building strategies promoted by the Council of Agriculture, Executive Yuan, R.O.C., whereas reinforced concrete is used as the construction materials for the standard 201 type rural residential buildings, and energy-saving encasing materials are used for the exterior. Simulation is conducted to analyze the difference in the safety, economical value, and green building energy-saving levels, after changing the main structure materials and exterior material. The findings on the differences in the application of green building indicators that are

*通訊作者，明道大學景觀設計學系，52345 彰化縣埤頭鄉文化路 369 號，f89622050@ntu.edu.tw

used to assess the current urban residential buildings for the rural residential buildings in the future can serve as reference to the establishment of rural green building assessment indicators by the government.

Keywords: Rural housing, Green building assessment, Energy saving construction, Multi-layer material.

一、前言

台灣地區由於都市發展快速，大量人口移居高度開發的城市及其近郊，形成嚴重的城鄉發展差距。相對於高度發展的都市，鄉村地區之組成架構多為老化人口，並有公共設施普遍不足及居住環境窳陋等問題。隨著城市仕紳化現象的移轉，許多嚮往鄉村生活的都市活動人口，轉向購買農村土地新建農舍及相關設施，並從事觀光休閒等產業。過度消費鄉村資源的行為，往往造成農地零星發展，土地開發畸零破碎等問題。為避免上述情況持續發展，行政院經濟建設委員會在 2007 年 10 月核定「農村改建方案」(行政院經濟建設委員會，2007)，此方案隸屬經建會「國土空間規劃與發展」下之專案計劃，旨在加速推動農村改建工作，期能作為未來農村建設相關工作的執行準據。

農村改建方案中擬訂「2008 年鄉村地區私有合法住宅修繕興建補貼及設計協助作業規定」，除了各項補貼計畫外，更提供「農村住宅標準圖」，相關圖說係由政府單位委由建築師設計之建築圖與說明書，民衆可免費選用，並依建築法第 19 條規定得免由建築師設計及簽章。「農村住宅標準圖」於 2000 年由內政部依據「921 震災重建暫行條例」重新編制，公告實施；2005 年農委會曾針對上述標準圖，嘗試導入農村綠建築評估基準及設計概念，惟該研究除擬定「農村綠建築簡易評估指標與基準」及「農村綠建築設計圖例」等建議內容外，卻無法以更多的數值分析提供農村綠建築設計手法應用在農村住宅後評估效益上之影響，更遑論將其有效推廣至實體環境之農村住宅標準化整體執行架構中。

本研究以農村住宅標準圖-201 型為例，在不更動設計外型及空間配置條件，探討變更主結構材料及外殼構造後，農村住宅在安全性、經濟性及綠建築評估指標等級之差異。期盼藉由更精確的方法及數據能有效的推廣綠建築應用於農村住宅之可行性及普遍性。

二、文獻回顧

依據「行政院農業委員會水土保持局」之相關發展歷程中提及，過去曾委由台灣省建築師公會進行全面的結構檢覈及耐震評估，製作「農村住宅建築工程標準圖」(台灣省建築師公會，2000)，共計為 25 型，其中包括 10 到 90 坪之建築，一層樓構造共 10 種(編號 101~110)，二層樓構造共 5 種(編號 201~205)，三層樓構造共 10 種(編號 301~310)，各類型住宅標準圖包括各層平面、立面、剖面、細部圖、結構圖、水電圖、材料數量表及設備計算書等。於 2000 年依「921 震災重建暫行條例」第 58 條及建築法第 19 條訂定，公告實施，並更名為「農村住宅標準圖」，選用相關圖面可免由建築師簽證。另該局為了因應綠建築相關政策，於 2005 年著手研擬了「農村綠建築局部設計手法彙編」、「農村住宅標準圖集因應綠建築設計之修正建議」及「農村綠建築結合地方風貌之策略」等相關補充資料。

建築結構安全評估方面，依據建築技術規則-建築構造篇第 2 條規定「建築物構造各構材之強度，須能承受靜載重與活載重，並使各部構材之有效強度，不低於規定之設計需要強度」。地震力計算方面，依據技術規則-構造篇第 3 條規定「建築物構造除垂直載重外，須設計能以承受風力或地震力或其他橫力。風力與地震力不必同

時計入；但需比較兩者，擇其較大者應用之(內政部(2007))。故相關規定及計算將依照「建築物耐震設計規範及解說」。並應用 SAP2000 分析結構程式進行分析，此程式由美國 Edward Wilson 等人提出，主要功能著重於將基本的結構分析模型，建立於三維幾何空間中。

建築經濟性評估方面，結構之定量分析依前述方法先對鋼構案例進行結構安全性設計，再依設計結果訂定主結構系統之總用鋼量。建築外殼及屋頂定性分析，則利用誘導式通風冷卻設計之概念，應用於雙層外殼且內置流動空氣層之外牆設計(邱，2002)。顧(2004)提及複層外牆之相關構法概念為設計主軸。建築外殼材料部分則選用雨淋板、石膏板、透氣彩色鋼浪板及矽酸鈣板等隔熱性及經濟性佳且具環保及地域特性之建材(謝，2007)。建築預算與營造物價方面，「營建物價」為台灣營建研究院配合行政院公共工程委員會，依政府採購法規定推動建立工料價格資料庫之重要工作成果，亦為政府監察、主計等單位建立預算編列審查之參考依據。因此，本研究在建築預算估列項目，擬依照「營建物價」為參考依準，據以概估工程經費，作為後續對經濟性項目討論之客觀依據。

綠建築在日本稱為「環境共生建築」，在歐美稱為「生態建築(Ecological Building)」、「永續建築(Sustainable Building)」，在北美則稱為「綠建築(Green Building)」(林，2007)。我國在 1999 年訂定了第一本「綠建築解說與評估手冊」當時屬於草創時期僅定義了七大指標評估體系作為評估之基本準則。前述系統由於十分簡化且缺乏更深入之內容，內政部建築研究所於 2003 年全面檢討後另外加入了兩項評估指標，組成九大評估範圍。依評估手冊，將內容屬性相近的指標統合，歸納為生態(Ecology) (含生物多樣性、綠化量、基地保水三指標)、節能(Energy Saving) (日常節能指標)、減廢(Waste Reduction) (含 CO₂ 及廢棄物減量二指標)、健康(Health) (含室內環境、水資源、污水及垃圾改善三指標)等四大範疇。與建築本體有直接關聯者包括，日常節能、CO₂ 減量、廢棄物減量及室內環境共四項指標，其他指

標多為分析基地開放空間及設備類之綠色指標。由於其他指標與建築本體之關聯性低，不列入本研究分析。另此九大評估指標系統取合格門檻制，各單項之合格門檻難易有別；且國內因強制公有建築必須接受候選綠建築證書之評估，致使各指標僅維持較低門檻水準。本研究將依照上述方法，分別對兩案例進行四項指標之個別評估及最後之分級評估。

綠建築分級評估法(林，2007)訂定了「九大指標之綜合計分值及權重比例，以連續性的計分換算，給予每個指標不同高得分，最高總分為 100 分，同時劃定鑽石級、黃金級、銀級、銅級及合格認證等五等級評估法」，其目的在於作為合格綠建築優劣品質認定的評估工具。本研究兩案例在完成各項指標之初步數值計算後，亦可使用此評估方式檢核兩案例對應之綠建築評估等級。

林(2007)提及「綠建築創新設計升級認定辦法」。鼓勵某些新的綠建築技術與創意，當中提及了誘導式通風設計、雙層牆通風除濕設計，這些系統都不是現行的評估系統能量化的設計，但也是亟需獎勵評估的綠建築創意，所以該評估系統特別針對所謂的「綠建築創新設計」給予升級認證。多數的綠建築指標，在擬訂初期多針對都市中具有大型耗能的建築物作為評估標的，其評估的方式繁雜、評估的數據也不足以反應農村環境所提供之條件對應指標形成之分級落差。鑒此，行政院農委會水保局(2005)針對農村建築執行「農村綠建築評估基準與設計圖例之研究」計劃，該計畫定義了「農村綠建築簡易評估指標與基準」，其與通用的綠建築評估指標仍有些許差異，主要比較差異在於日常節能部份，因空調及照明系統於住宿類建築中免評，且農村建築之對象僅為住宿類建築，故建議免評估空調及照明系統節能效率。另 CO₂ 減量部分則因為農村建築多在五層以下，其形狀係數則設為定值 $F = 1.0$ 。最後則為室內環境指標中音環境、光環境及通風換氣環境的係數差異，主因為農村地區音環境明顯優於都市地區，故該研究計畫考量將其係數向下修正 10%，相對的提高光環境及通風環境各 5% 之修正，使得光及通風環境成為農村綠建築室內

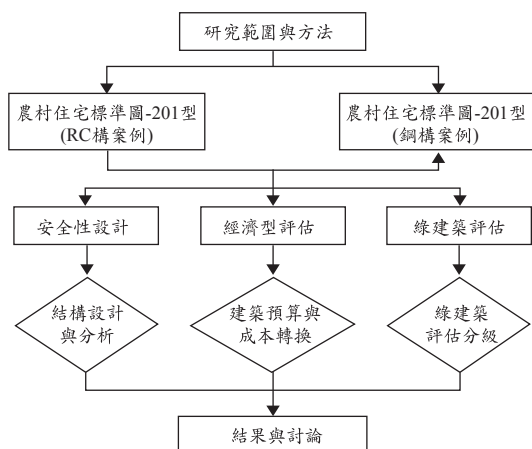


圖 3.1 研究流程圖

環境指標項目上之主要設計影響因子。

本研究依據上述理論運用於臺灣一般建築常用之鋼筋混凝土(RC)外殼材料與鋼骨構造(SRC)複層材料兩者相較，以安全、經濟與節能三向度來進行模擬分析農村建築外殼之材料與構法之改善。

三、材料與方法

本研究選用符合多項綠建築設計指標之輕型鋼架構及複層外牆，作為改良設計的實驗模組。比較應用鋼筋混凝土材及鋼構材之農村住宅 201 型，在安全性設計、經濟性評估及綠建築指標評估等項目之探討，研究流程如圖 3.1 所示。

3.1 農村住宅 201 型構造特徵簡介

3.1.1 建築基本資料

關於建築本體相關基本資料分析如表 3.1。

行政院主計處指出，2007 年之戶量年平均人口值達 3.06 人/戶，意即小家庭是目前單位住宅中最常見的需求。故本研究選擇以較符合此需求常態之人口數，探討相對應的住宅空間，三房兩廳的尺度，以主臥、親子及客房三項使用機能為主。另為使變異因子單純化、結構形式簡單化及建築空間模矩化，此建築樣式以對稱方整為原則，選出農村住宅標準圖 201 型作為本研究對象。基本資料如圖 3.2。

表 3.1 農村住宅 201 型之基本資料

樓層	樓地板面積 (m ²)	陽台面積 (m ²)	樓層高度 (m)
1F	52.26	0	3.85
2F	55.65	17.66	3.2
夾層	23.45	0	3.25
小計	131.36	17.66	---
總計	149.02		10.3

表 3.2 農村住宅 201 型之兩案例應用建材比較表

比較項目		鋼筋混凝土構案例	鋼構案例	用材異同
基礎		筏式基礎	獨立基腳	異
主結構		鋼筋混凝土	鋼骨	異
外牆		鋼筋混凝土	複層外殼	異
隔間牆		磚牆	輕隔間	異
屋頂		雲田瓦	複層屋頂	異
樓板		鋼筋混凝土	鋼承板澆灌混凝土	異
樓梯		鋼筋混凝土	鋼骨	異
室內	平頂	矽酸鈣板+pcv企口天花板	矽酸鈣板	異
	牆面	壁磚+二丁掛	石膏板	異

詳如網址：<http://www.swcb.gov.tw/class.asp?autoid=300>

3.1.2 主建材資料

兩案例之主要建築材料設定變因異同處詳如表 3.2。

本研究依據複層外牆及複層屋頂的概念設計繪製而成，如圖 3.3 所示，本研究中農村住宅 201 型之鋼構案例外牆為複層外殼、樓板為鋼承板(DECK)澆灌混凝土、室內牆面為石膏板等設計。本設計經由安全、經濟、綠建築指標等多種評估因子，評量此設計概念對於農村住宅達成綠建築評估分級之影響性。鋼構案例之屋頂構造與外牆構造，在設計概念的最大差異為空氣層的設計。外牆設置之空氣層屬於對流型空氣層，可藉由活動式的外牆開口於外牆壁中形成空氣對流層；考慮 201 型之屋頂型式屬「雙斜屋頂」，在不更動建築外型之前提下，若設置對流型空氣層恐有防水施做困難之疑慮，故以密閉式空氣層作為屋頂設計概念主軸。

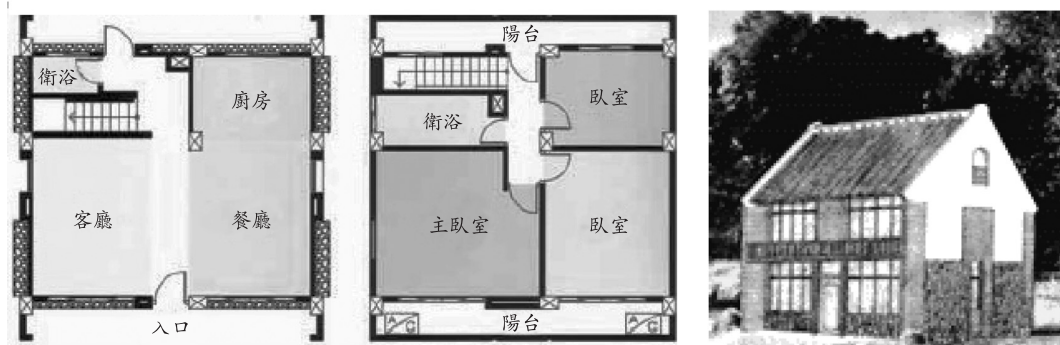


圖 3.2 農村住宅標準圖 201 型示意圖(行政院農業委員會水土保持局，2005)

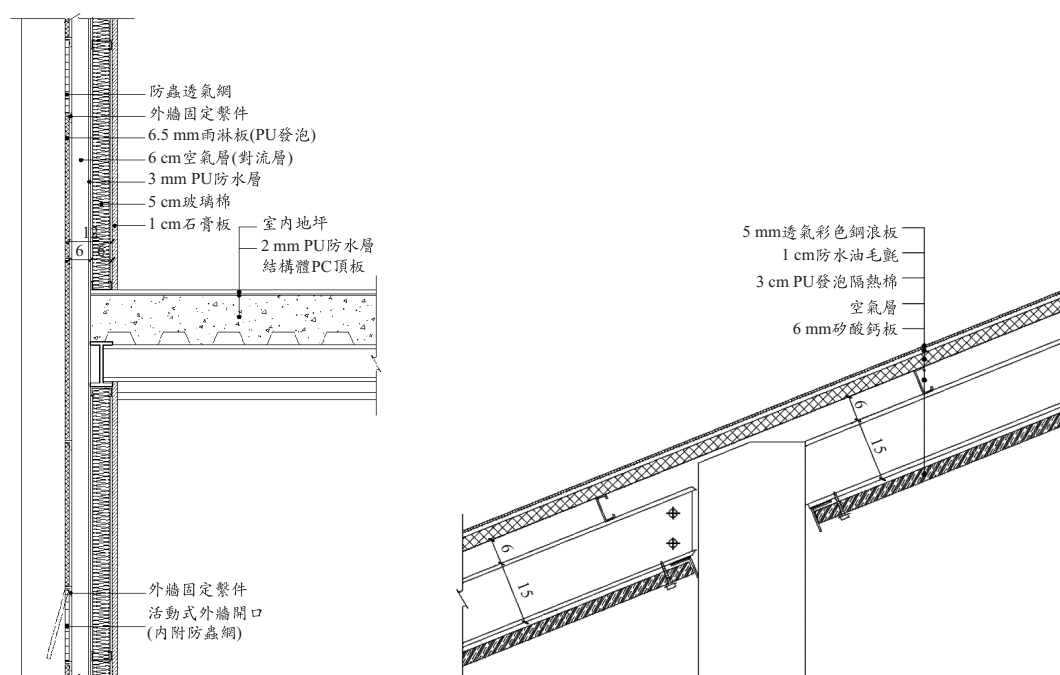


圖 3.3 鋼構案例外牆與屋頂構造剖面示意圖

3.2 安全性設計方法

鋼筋混凝土案例係經建築師設計簽證之圖面，故本研究將不再討論其安全性。另鋼構案例建築物安全設計將依內政部(2007)之「冷軋型鋼構造建築物施工規範、建築技術規則-建築構造篇、建築技術規則-設計施工篇、建築法、鋼構造建築物鋼結構設計技術規範」等之相關規定，完成外力計算後將之置入結構分析軟體中運算，以達成安全且經濟之設計目標。

載重計算方面，本研究依內政部(2007)，「建築技術規則構造篇」相關規定定義各項外力。依據內政部營建署編輯委員會(2006)提出之「建築物耐震設計規範及解說」計算地震力。SAP2000 結構計算分析方面，本研究依據李(2005)與李(2006)，以結構分析軟體 SAP2000 建立和修改數位建築結構模型、執行分析、檢視結果，並完成最佳化設計，以進行後續分析。

3.3 經濟性評估方法

本研究將對鋼筋混凝土構案例進行數量計算及建築工程概算。另鋼構案例則先從主結構體定量做起，然後對建築外殼及屋頂定義相關材料及工法，依據黃(2008)所建立營建物價進行數量計算完成建築工程概算程序。

3.4 綠建築評估方法

綠建築評估指標已可針對建築設計達成評估量化之目的，可明確計算相關設計所能提供之綠建築指標等級。本研究擬應用至農村住宅 201 型的評估項目包含日常節能指標、CO₂ 減量指標、廢棄物減量指標及室內環境指標等共計四項。日常節能計算方面，農村建築在林(2007)分類中屬於住宿類建築，主要的評估目標為通風要求、建築外殼熱傳及外殼遮陽設計等項目。於通風要求中，對住宿類建築居室空間之最低通風要求，計算過程及方法如下所示：

$$\begin{aligned} OW_{ai} &= \text{每樞窗面積} \times \text{可完全開啓比例} \\ &= \text{單樞可開窗面積} \end{aligned}$$

$$OW_{ai} = (1.2 \times 0.45) \times 50\% = 0.27 \text{ m}^2$$

上述數值再依方位及各窗編號加總計算，求得可開窗總面積 OW_{ai} ，兩案例開窗方式一致，總計皆為 20.67 m^2 。在建築外殼節能設計方面，依據內政部營建署編輯委員會(2005)將建築外殼節能設計主要分為兩部分，一為外殼平均熱傳透率 U_{aw} 與 U_{ar} ；二為等價開窗率 Req ，而計算流程則依據建築技術規則建築設計施工編第三百十五條第二項規「住宿類建築物節約能源設計技術規範」本進行之(內政部，2007)。依據林(2007)所提出之 CO₂ 減量計算，求得形狀係數 F 、輕量化係數 W 、耐久化係數 D 、非金屬再生建材使用係數 R 值、輕量化因子 w_i 、使用率 r_i 、耐久化因子 d_i 、再生建材使用率 X_i 、CO₂ 排放量影響率 Z_i 與優待倍數 Y_i 。本案例為五層以下建築物故 $F = 1$ ； $W = \sum w_i \times r_i$ ； $D = \sum d_i$ ； $R = \sum X_i \times Z_i \times Y_i$ 。再將上述係數代入評估手冊公式即可求得綠構造係數 CCO_2 。廢棄物減量計算方面，依據工程不平衡土方比例 PI_e 、施工廢棄物比例 PI_b 、

拆除廢棄物比例 PI_d 及施工空氣污染比例 PI_a 。上述數值分別須滿足 $0.5 \leq PI_e \leq 1.5$ ； $PI_b \geq 0.0$ ； $PI_d \geq 0.0$ ； $PI_a \geq 0.2$ 等。室內環境指標計算方面，本項目之計算應依音環境、光環境、通風換氣環境及室內建材裝修等部分，依據林(2007)求得各子項積分與加權係數乘積以換算室內環境指標之設計值 IE 。綠建築分級評估方法，依林(2007)計算之，即可求得鋼筋混凝土構及鋼構案例的綠建築分級評估等級，以供本研究做後續討論。

四、結果與討論

4.1 農村住宅 201 型之安全性設計結果

依據 3.2 節方式對農村住宅 201 型鋼構案例進行結構安全設計，本研究將節點、桿件、樓板、載重、地震力、材料性質及設計規範等輸入 SAP2000 中執行分析，在符合規範安全下經由分析模式求出構架模組之最低用鋼量，桿件配置、尺寸及位置圖詳如圖 4.1。

4.2 農村住宅 201 型之經濟性評估結果

依據上述結果將農村住宅 201 型鋼構案例進行結構安全設計，本研究將節點、桿件、樓板、載重、地震力、材料性質及設計規範等輸入 SAP2000 中執行分析，在符合規範安全下經由分析模式求出構架模組之最低用鋼量。依據最低用鋼量與黃(2008)之方法，完成鋼筋混凝土構案例及鋼構案例的工程概算表，相關數據比較詳表 4.1。

就整體工程造价而言，鋼筋混凝土構案例為 3,792,319 元；鋼構案例則為 4,414,917 元，其中結構工程部分則分別佔了總體費用之 49.54% 及 48.02%，相當於五成的比例。由此顯示，整體建築造价之控制主因將以結構用量作為最大之控制變因。

農村住宅標準圖之訂定，在使用者需求項目上係考量實用性及推廣性為主之設計，故裝修工程之比例相對較低，鋼筋混凝土構案例之裝修工程費佔總經費的 13.88%；而鋼構案例只佔 2.57%，然鋼構案例在本項目之比例遠低於鋼筋

表 4.1 農村住宅 201 型兩案例工程概算分析結果

項次	主項	細項	鋼筋混凝土 構案例	佔總工程費 之比例(%)	鋼構案例	佔總工程費 之比例(%)
一	主構體部份	基礎工程	99,790	2.63%	84,395	1.91%
		結構工程	1,878,881	49.54%	2,119,904	48.02%
		外殼構造	436,650	11.51%	1,246,665	28.24%
	小計		2,415,321	63.69%	3,450,964	78.17%
	裝修部份	地坪	110,907	2.92%	101,107	2.29%
		牆面	302,370	7.97%	9,800	0.22%
		天花	110,675	2.92%	0	0.00%
		其他	2,600	0.07%	2,600	0.06%
	小計		526,552	13.88%	113,507	2.57%
	土木工程總計		2,941,873	77.57%	3,564,471	80.74%
二	門窗工程		258,320	6.81%	258,320	5.85%
三	雜項工程		279,412	7.37%	279,412	6.33%
四	機電設備工程		312,714	8.25%	312,714	7.08%
	工程費合計		3,792,319	100.00%	4,414,917	100.00%

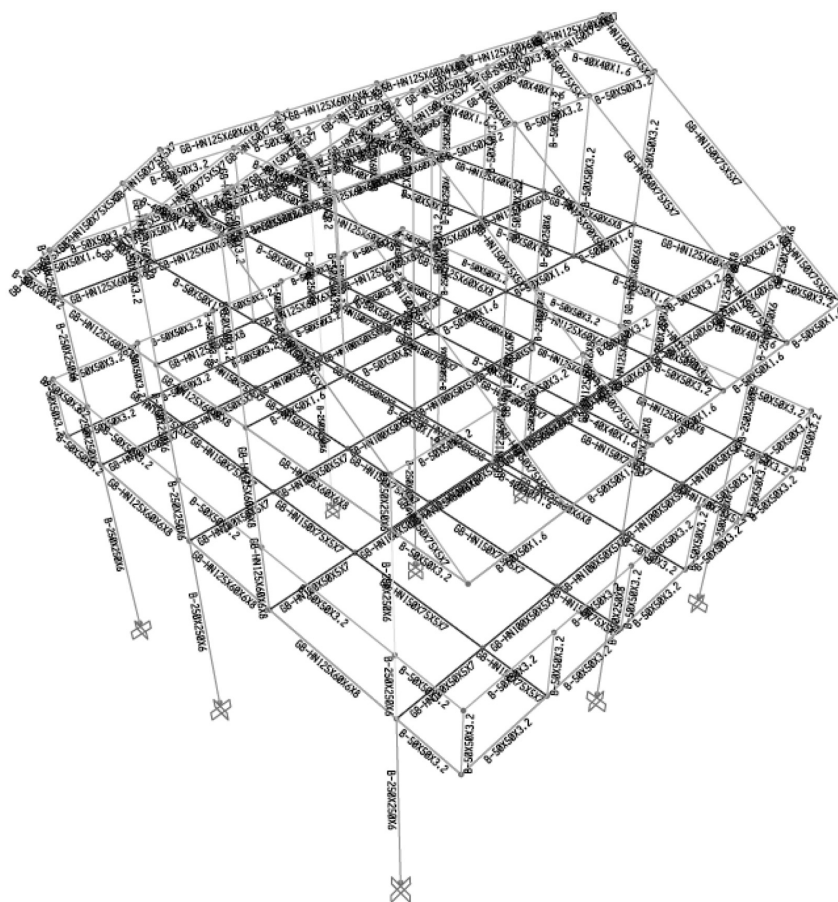


圖 4.1 農村住宅 201 型鋼構案例分析結果

表 4.2 農村住宅 201 型兩案例工程單位造價分析結果

	建築面積(m ²)	建坪(坪)	總工程費(元)	單位面積造價(元/坪)
鋼筋混凝土構案例	126	38	3,792,319	99,798
鋼構案例	126	38	4,414,917	116,182

混凝土構案例，推測應為本研究將部分屬於室內牆面及天花之材料，合併於主構體之外殼構造中計算，因為本研究之外牆及屋頂構造設計已將內牆及天花併入成為整體外殼考量之，此法可有效判斷外殼整體隔熱及隔音效能，且外殼室內面材選定可納入室內裝修材料一併考量，運用適當之設計手法或工法，可有效免除室內裝修材料及費用，除可在經濟性上得到較佳之結果，亦可於綠建築設計中同時實現減少室內裝修量之概念。

門窗工程、雜項工程及機電設備工程，上述三項工程項目在此次研究中，因非屬變易因子，爰此本研究將之設為定量而求得定值，如此可免除過多變異項目造成數據判斷困難或不易找出影響趨勢之情況。

依據黃(2008)之研究，農村住宅 201 型兩案例之總工程造價換算每坪之單位造價，詳如表 4.2。

鋼筋混凝土構案例單位面積造價為 99,798 元/坪，鋼構案例則為 116,182 元/坪，兩案例在單位面積造價差異為 16,384 元/坪，鋼構案例較高於鋼筋混凝土構案例。若以總工程費用而言，鋼構案例約為鋼筋混凝土構案例之 1.16 倍。兩案例之結構工程費用佔了總體工程費用達五成，因此可以結構用量作為建築預算控制之最大變因。且依據黃(2008)之內容，自 2005 年 5 月起至 2008 年初，營建工程鋼鐵原物料之漲幅在鋼筋價格部分達 1.1 倍、型鋼價格達 1.8 倍，前述兩項材料分別為鋼筋混凝土構案例及鋼構案例整體建築工程預算中，造價百分比最高的項目。因此若能研擬鋼骨用量縮減之可能性，應能有效降低鋼構案例之總工程造價。

另依照行政院主計處公告之財物標準分類「房屋建築及設備分類明細表」中，定義平價住宅鋼筋混凝土構造之使用年限為 55 年，鋼構造

之使用年限為 60 年；鋼構案例約為鋼筋混凝土構案例之 1.1 倍。亦即將工程費用攤除於相對使用年限之後，鋼構案例僅比鋼筋混凝土案例在經濟成本考量上多出約 5% 的成長。鋼構材料屬於可回收再利用之建材，對於成本轉換再利用之效能亦相對提高；另由於鋼構工程屬於乾式施工，可有效縮短建築施工工期、構材維修容易、非單一性外殼材料可依地區調整及材料介面整合容易可替代性高等特性，將能有效配合農村住宅因地制宜的特殊條件，以利推廣。

4.3 農村住宅 201 型之綠建築評估結果

4.3.1 日常節能指標之能力比較

本指標是目前四項指標中唯一進入「建築技術規則-綠建築篇」，且已公告實施之項目，故申請綠建築之日常節能指標，林(2007)中規範須高於法規(建築技術規則)之基本門檻規定。其主要針對建築外殼節能中之透光部位與不透光部位兩要項之影響數據討論，各項數值比較詳如表 4.3。

不透光部位，以外牆平均熱傳透率及屋頂平均熱傳透率為討論對象，外牆平均熱傳透率(Uaw)，本項目係沿用建築技術規則第 310 條第二款 $Uaw < 3.5 (w/m^2 \cdot k)$ 為評估基準，但若依照材料之 U 值而論，本項目之合格標準僅需以 15 cm 面貼磁磚之鋼筋混凝土外牆為基礎，即可達到 $U = 3.49 (w/m^2 \cdot k)$ 之標準，亦即外牆之隔熱性能設計只需不低於此，則可通過本指標，且 Uaw 依材料使用面積加權平均，更有可能將某些不合標準之材料在加權平均的過程中，稀釋了影響性。另鋼構案例之 Uaw 僅為 $0.66 (w/m^2 \cdot k)$ ，得知該外牆之隔熱設計除內外表面材之隔熱效能頗佳之外，利用鋼構層間所設置的 5 cm 隔熱玻璃棉效能，佔該外牆斷面整體隔熱效能之

表 4.3 鋼筋混凝土與鋼構案例在日常節能指標之各項目分析結果

類別 \ 評估指標	日常節能				
	建築外殼節能				建築外殼 節能效率 (EEV)
	居室最低通風檢討 (Owai, m²)	外殼節能檢討			
		平均熱傳透率(w/m²·k)		外殼等價開窗率 (Req, %)	
		外牆(Uaw)	屋頂(Uar)		
鋼筋混凝土構案例	20.94	2.62	1.10	6.47%	0.5
鋼構案例	20.94	0.66	0.63	6.47%	0.5
法規基準	---	<3.5	<1.2	<13%	---
指標基準	>10.65	同法規	同法規	同法規	<0.8

表 4.4 鋼筋混凝土與鋼構案例在 CO₂ 減量指標之各項目分析結果

評估指標 類別	CO ₂ 減量				
	CO ₂ 減量簡易評估項目				綠構造 係數(CCO ₂)
	形狀係數(F)	輕量化係數(W)	耐久化係數(D)	非金屬再生建材使用係數(R)	
鋼筋混凝土構案例	1.0	1.0	0.0	0.0	1.0
鋼構案例	1.0	0.7	0.13	0.0	0.61
法規基準	---	---	---	---	---
指標基準	5F 以下 F=1	≥0.7	≤0.2	≤0.3	≤0.82

67%。屋頂平均熱傳透率-Uar 部分，鋼筋混凝土案例之 $Uar = 1.1 \text{ (w/m}^2 \cdot \text{k)}$ ，符合法規最高不超過 $1.2 \text{ (w/m}^2 \cdot \text{k)}$ 之規定，而鋼構案例中 Uar 可達 $0.63 \text{ (w/m}^2 \cdot \text{k)}$ 之效能，主要原因為 3 cm 厚之 PU 發泡隔熱棉提供之隔熱效能，其佔屋頂斷面整體隔熱效能之 67%。

建築外殼節能效率(EEV)部分，在整個綠建築評估指標體系中，認定住宿類外殼節能之控制要因在於建築外殼耗能指標-等價開窗率 Req ，該值與外殼開口部之遮陽設計有關，其值在本研究中屬與非變異之因子，故兩案例換算後之 EEV 值同為 0.5，符合指標需求。

4.3.2 CO₂ 減量指標之能力比較

本項目旨在探討建築結構在設計時選定結構用材及結構用量對 CO₂ 減量之影響。 CCO_2 為綠構造係數， $CCO_2 = F \times W \times (1-D) \times (1-R)$ ，各項數值比較如表 4.4。

本研究案例為兩層樓建築，故設 $F = 1$ 定值。結構輕量化係數(W)，雖然建築材料確實與建築本體的輕量化有關，但探討輕量化因子 W_i

之相關影響因素，該指數係在概算構造材料對 CO₂ 減量的影響比重，影響的項目包括主結構體、外牆、隔間牆及其他性能式的減量設計。鋼筋混凝土構案例中由於使用傳統的鋼筋混凝土構體，使得 W 值在主結構體項目獲得較高之積分 1，後面各項指數又因鋼筋混凝土外牆及磚隔間牆等設計皆無法下修各指數之積分，最後取得 $W = 1$ 。而鋼構案例在主結構項，以鋼構造取得 0.85 之相對低分，又以輕隔間牆及帷幕外牆之設計，下修積分致單項總分僅為 0.67，本係數之最低數值至少應為 0.7，因此取 0.7 為終值。 W 係數對整體 CCO_2 之影響範圍為 1.2~0.7 倍，屬強項影響係數。耐久化係數(D)部分，鋼筋混凝土構案例皆為 0 分，因早期之結構設計皆為符合法規之基本設計，遂無法於此項目得到積分，而更因鋼筋混凝土構造多搭配做暗管設計而使其維修性不佳僅得到 0 分，故總積分為 0。鋼構案例亦為 0 分，因本研究基於經濟性為農村綠建築推廣成效主要關鍵之一，若為達較高之耐震設計規範條件而調整設計，恐使結構體之總用鋼量激增，

表 4.5 鋼筋混凝土與鋼構案例在廢棄物減量指標之各項目分析結果

評估指標 類別	廢棄物減量					
	廢棄物減量計算					營建污染 指標 (PI)
	工程不平衡 土方比例 (PIe)	施工廢棄物 比例 (PIb)	拆除廢棄物 比例 (PI _d)	施工空氣 污染比例 (PI _a)	公害防治 加權係數 (β)	
鋼筋混凝土構案例	1.48	0.9	1.0	0.52	0	3.90
鋼構案例	0.5	0.8	0.8	0.52	0	2.62
法規基準	---	---	---	---	---	---
指標基準	0.5~1.5	≥0.0	≥0.0	≥0.2	---	≤3.3

故本研究仍以符合基本規範為主。綜合以上說明，僅有鋼構案例能配合乾式工法施做明管設計，在維修性項目取得修正積分，該性能設計在於降低建築生命週期中，因維修而產生的 CO₂ 排放量。另 D 係數對整體 CCO₂ 之影響範圍為 1~0.8 倍。非金屬再生建材使用係數(R)方面，此項係數在兩項案例中均無積分，係因再生建材未列入本研究之變異影響因子設定之中，認定均無使用。R 係數對整體 CCO₂ 之影響極值為 1~0.7 倍。在綠構造係數(CCO₂)部分，本案例，F、W、D 及 R 四項係數，僅 W 及 D 成為影響 CCO₂ 之影響因子。鋼筋混凝土構案例因構造材料與構造型式，使各項積分皆無法下修至合格標準，最終以 CCO₂ = 1 無法小於標準值 0.82，無法符合指標基準。鋼構案例在輕量化係數上已利用 W = 0.7 將整體積分下修 70%，此時已可符合指標基準，後又因 D 係數再將積分下修 87%，最終以 0.61 之優勢積分小於標準之 0.82，可通過指標門檻。

4.3.3 廢棄物減量指標

鋼筋混凝土與鋼構案例在廢棄物減量指標之各項目分析結果，如表 4.5 所示。

在工程不平衡土方比例(PIe)方面，本係數之公式， $PIe = (M - Mr)/(AF \times Mc)$ ，其中 M:工程不平衡土方量(m³)、Mr:有利於他案土方平衡之土方量(m³)、AF:總樓地板面積(m²)、Mc:單位樓地板面積容許開挖土方基準(m³/m²)，而 $PIe = A / \Sigma B \times 0.65$ (m³/m²)，其中 A：地下室挖方總量、ΣB：總樓地板面積。鋼筋混凝土構案例因地面下筏式基礎之設計，使得工程挖方達 113.35 m³，PIe 值

高達 1.48，趨近上限的 1.5。反觀鋼構案例因配合鋼結構柱將基礎設計為固定基腳，使基地內挖方降為 19.35 m³，對應 PI 值下修至 0.25，由於此指數設有控制區間，最終採用 PI = 0.5。

施工廢棄物比例(PIb)部分，公式 $PIb = 1.0 - 5.0 \times \alpha_1 - \alpha_2$ 。其中 α₁ 係針對鋼筋混凝土及鋼骨構造而定之營建自動化優惠修正係數，α₁ 上限為 0.2。α₂ 則為認定鋼構建築物在構造形式上，能有效降低施工中產生的廢棄物而給予優惠，α₂ 上限為 0.2。但由公式內容得知，α₁ 在係數前被乘以五倍之放大量，係因「α₁ 值乘上獎勵係數 5.0 的用意在於大幅鼓勵營建自動化之意」。鋼筋混凝土構案例因選用木模板系統使得 α₁ = 0.02、PIb = 0.9，鋼構案例則以 α₂ = 0.2，得知 PIb = 0.8。

拆除廢棄物比例(PI_d)，使用公式 $PId = 1.0 - \alpha_2 - 5.0 \times \gamma$ ，其中 γ 值為非金屬再生建材使用率，其主要針對使用鋼筋混凝土材料為主之混凝土、鋼骨構造及部份再生建材之使用者為優惠對象，但兩案例都無使用相關材料，使得 γ = 0；但 α₂ 的差異，使鋼筋混凝土構案例的 P_{id} = 1，鋼構案例的 P_{id} = 0.8。施工空氣污染比例(PI_a)，使用公式 $PIa = 1.0 - \Sigma \alpha_{3i}$ 。其中 α_{3i} 係針對建築工程中各項粒狀污染防治措施而定，然其項目多是涉及建築之假設工程項目，與建築本體材料及施工方式較無關聯性。於是本研究依照一般工地的基準設置條件，對兩案例定義相關數值，使其成為相同基準數值，得知 P_{ia} = 0.52。α₁ 為專屬鋼筋混凝土及鋼骨之修正係數，γ 之評分項也多是鋼

表 4.6 鋼筋混凝土與鋼構案例在室內環境指標之各項目分析結果

主項	細項	對象	鋼筋混凝土構案例		鋼構案例	
			單項積分	加權得分	單項積分	加權得分
音環境		外牆、分界牆	30	12	10	8
		窗	5		5	
		樓版	25		25	
光環境	自然採光	玻璃透光性	10	16.4	10	16.4
		住宿類建築之一般居室空間	60		60	
	人工照明	住宿類建築之照明	12		12	
通風換氣環境	自然通風型	可自然通風型建築(住宿類)	100	20	100	20
室內建材裝修	整體裝修建材	一般建築 主要居室空間	30	12	30	36
		表面裝修建材	天花板面		0	
	牆壁面		0		20	
	地板面		0		20	
室內建材裝修	其他生態建材	接著劑	0	0	0	0
		填縫劑	0		0	
		塗料或染色劑	0		0	
		管材	0		0	
		隔熱材	0		0	
		其他	0		0	
室內環境指標 IE			60.4		80.4	
指標基準			60			

筋混凝土構造專用之調整項目，且其公式前又同時將兩係數放大 5 倍，亦即鋼筋混凝土構造若能在營建自動化及再生建材兩項目上強化使用率，將使 PIb 及 PId 成為鋼筋混凝土構之強項指標。在營建污染指標(PI)方面，本次案例的 PIe、PIb、Pid 及 Pla，僅以前三項成為變異因子，但如前項所言，PIb 及 PId 為鋼筋混凝土構造之強項指標，即便本研究的鋼筋混凝土構案例，並未設計任何營建自動化之項目，亦未使用任何再生建材，然其與鋼構案例在這兩項數值之總分差異僅 0.1(表 4.5)，雖然最終的鋼筋混凝土案例以 PI = 3.9 大於指標基準 3.3 而無法合格，鋼構案例則以 PI=2.62 之懸殊差異符合指標。究其最大影響因子，應屬工程不平衡土方比例(PIe)，如前述所言，該數值在農村建築中恐有被過度放大之情況。以鋼筋混凝土構案例而言，該項數值 1.48，已佔指標合格總積分 3.3 的 45%，具有極大之影

響率。

4.3.4 室內環境指標

鋼筋混凝土與鋼構案例在室內環境指標之各項目分析結果如表 4.6 所示。

音環境於外牆與分界牆部分，鋼筋混凝土構案例在外牆項目中符合單項最高積分 30，係因其符合「單層牆」該項目之規定，而鋼構案例則因無法符合「雙層板牆」規定中「雙層實心面板總厚度 $db \geq 2.4$ 或 4.8 cm 」，而僅能以未達標準之單項積分 10 定案。然上述項目在於考量外牆之隔音性能，故每一組積分評定皆有三項，前一、二兩項是屬於性能式的設計方法定性，第三項則是對於隔音的性能給予定量的基準。由於鋼構案例，外牆的構造方式係由本研究提出之概念原型，整體外牆之隔音性能尚未經過任何專業單位之認證試驗，無法提出隔音性能證明，故僅能以前兩項性能設計作評估。窗部分，本研究中窗

表 4.7 綠建築分級評估分析結果比較表

綠建築評量等級 得分概率分佈	合格級 0~30%	銅級 30~60%	銀級 60~80%	黃金級 80~95%	鑽石級 95%以上
新調整總得分 RS	$6 \leq RS < 20$	$19.1 \leq RS < 27.1$	$25.7 \leq RS < 33.7$	$32.6 \leq RS < 43.6$	$42 \leq RS$
鋼筋混凝土構總分 分級評估別	RS=7.48				
鋼構總分分級評估別			RS=26.59		

戶之設定因子非屬變異，故兩案例之分項積分相同，皆未達標準，僅得 5 分。樓版部分，樓板部分在鋼筋混凝土構案例中以「15cm $\leq$ 鋼筋混凝土」獲得分項積分 25，鋼構案例則因「鋼構複合樓版厚度 <18 cm」亦得到 25 分，本項目分數相同係因兩例均屬同一性能設計分項衍生之範圍，造成積分相同。綜合以上，在音環境部分，鋼筋混凝土構案例之加權得分為 12，鋼構案例為 8。光環境於自然採光部分，本研究案例中，玻璃非屬變異因子故兩案例在此項目相同，皆為「低反射玻璃」，得分 10。所謂有效採光深度，係指房間深度與天花板高度比小於 3，公式如下：

$$\text{有效採光深度} = H / X \leq 3$$

H：天花板高度

X：採光開窗平行距離最深處之空間深度

在有效採光深度項中由於兩案例之開口位置、大小及數量皆相同，故同為 60 分。本項目在評估農村綠建築時應屬強項指數，係因農村住宅多屬小單元的住宅設計，而影響有效採光深度的深高比亦不可能過高，故多數設計均容易符合最高積分之條件。人工照明部分，住宿類建築將不予評估本項目，故兩者積分同為 12。通風換氣環境中之自然通風型方面，本研究之案例屬於可自然通風型之建築，兩案例均屬「所有居室空間均為可自然通風空間」，故單項積分為 100。在光環境及通風換氣環境中，由於兩案例相關因子之設定條件相同，使得兩項目之加權得分各分別為 16.4 及 20。室內建材裝修之整體裝修建材，本研究在兩個案例中均屬「少量裝修量(七成以上天花或牆面未被板材裝潢裝修者)」，故同為

30。表面裝修建材中，鋼筋混凝土構案例，均未使用任何綠建材故各項積分皆為 0。反觀鋼構案例，在外牆、天花及地坪等壁面上，皆以挑選符合環境之綠建材作為優先之考量，可得 I、J、K 各單項各 20 分。其他生態建材中，本項目中兩案例均未對其設定，故本研究定義該項目於兩案例中均未使用其他生態建材，致 L、M、N、O、P、Q 均為 0。

4.3.5 綠建築分級評估影響性

綠建築九大指標綜合計分之方式在鋼筋混凝土構案例，鋼構案例；兩案例之分級評估等級劃分則分析結果比較詳如表 4.7。

農村住宅 201 型鋼筋混凝土構案例，僅有日常節能指標之外殼節能為 0.5 符合指標基準最大 0.8，在分級評估得分上取得 5.35 分，佔總分之 72%；室內環境指標 60.4 分符合指標合格基準 60 分，分級評估得分為 2.13 分，佔總分之 28%，合計評價總分為 7.48 分，最後雖可勉強屬於合格級，但其實此案例多項指標皆未通過門檻，包括 CO₂ 減量及廢棄物減量，且室內環境指標也僅高出合格基準分 0.4 分，顯示傳統鋼筋混凝土構造建築物若未在工法或材料上選用較有利環境之手法，在綠建築分級評估上將僅能取得合格級基準。而農村住宅 201 型鋼構案例中，各項指標皆符合指標基準，故分別在日常節能取得 5.35 分，佔總分之 20%、CO₂ 減量為 7.15 分，佔總分之 27%、廢棄物減量 5.25 分，佔總分之 20%及室內環境 8.84 分，佔總分之 33%。但其與該項目得分上限間之比例以，日常節能達到上限之 45%，CO₂ 減量達到 80%，廢棄物減量達 58%，室內環境達 74%。

由上述可推論，日常節能指標應與建築外殼

透光部位遮陽型式有關，與主結構體及外殼構造較無直接關聯性；CO₂減量與變更主結構及外殼構造之關連性最強，可使整體積分達到指標最大積分之 80%；廢棄物減量部分則因本指標對鋼構建築採符合構造別統一定意積分數值，使得本項目之積分約達總積分之六成；室內環境部分，外殼材料的選用反而在音環境項目中取得低於鋼筋混凝土構案例之積分，但由於本案例在室內裝修建材上已全面使用符合綠建材標章之建築材料，故仍能在室內裝修建材細項中得到較高之分項積分。

綜合上述所言，在農村住宅 201 型案例中，僅需更動主結構材料，以鋼構造取代原來之鋼筋混凝土構造，再配合鋼結構以乾式構法為構造主軸，即能使得該案例在綠建築指標分級評估項目中，從合格級的邊緣，躍升至銀級。且本研究在此次評估系統中，僅針對與結構本體有關之指標進行評估，除部分指標在住宅類建築免評估之外，綠化量指標、基地保水指標及污水垃圾指標之分級評估得分皆為 0。但一般農村住宅因為基地條件位於農村內，在綠化量及基地保水項目上都能輕易符合規定門檻，而污水垃圾指標對於小單元之住宿類建築，亦為簡易概念式之規範，此三項指標在農村住宅中屬於容易達成之指標，可知本案例要達成高於銀級之等級劃分，應非屬難事。

五、結 論

結構鋼骨工程費佔總體工程費約五成，而鋼筋及 H 型鋼又為結構工程費用中造價最高項目，故可以結構用量作為建築預算控制之最大影響因子。而鋼構材料屬於可回收再利用之建材，對於成本轉換再利用之效能亦相對提高；另由於鋼構工程屬於乾式施工，可有效縮短建築施工工期、構材維修容易、非單一性外殼材料可依地區調整，材料介面整合容易可替代性高等特性，將能有效配合農村住宅因地制宜的特殊條件，以利推廣。

本研究外牆構造之概念設計，將外牆平均熱傳透率下修至僅為法規值之 19%，亦即其隔熱效

能約為法規值之 5 倍。而屋頂構造之概念設計，將屋頂平均熱傳透率下修至僅為法規值之 50%，亦即其隔熱效能約為法規值之 2 倍。另外，農村住宅為住宿類建築中最基礎之模矩單元，如能完善發展此模矩單元，將更易於推廣相關設計概念至整體住宿類建築群中。

參考文獻

1. 內政部(2007)，冷軋型鋼構造建築物施工規範，營建雜誌社。
2. 內政部(2007)，建築技術規則-建築構造篇，營建雜誌社。
3. 內政部(2007)，建築技術規則-設計施工篇，營建雜誌社。
4. 內政部(2007)，建築法，營建雜誌社。
5. 內政部(2007)，鋼構造建築物鋼結構設計技術規範，營建雜誌社。
6. 內政部營建署編輯委員會(2005)，綠建築設計技術規範，台北市建築師公會。
7. 內政部營建署編輯委員會(2006)，建築物耐震設計規範及解說，營建雜誌社。
8. 台灣省建築師公會(2000)，農村住宅建築工程標準圖。
9. 行政院經濟建設委員會(2007)，農村改建方案。
10. 行政院農業委員會水土保持局(2005)，農村綠建築成果報告-農村綠建築評估基準與設計圖例之研究。
11. 李森冉(2005)，SAP2000 入門與工程上之應用，科技圖書股份有限公司。
12. 李森冉(2006)，SAP2000 結構設計實務(V8&V9)，科技圖書股份有限公司。
13. 林憲德(2006)，綠建築標準申請作業示範資料集，內政部建築研究所。
14. 林憲德(2007)，綠建築解說與評估手冊(2007年更新版)，內政部建築研究所。
15. 邱繼哲(2002)，建築物及生物成長設施之誘導式通風冷卻設計研究-以雙層外殼內置流動空氣層構造為例，台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。

16. 黃正翰(2008)，營建物價，財團法人台灣營建研究院。
17. 謝恩倉(2007)，節能建築複層外殼材料之隔熱效率與經濟性研究，台灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文。
18. 顧宗沛(2004)，以雙重壁原理探討外牆改修構

法，成功大學建築研究所碩士論文。

收稿日期：民國 98 年 9 月 14 日

修正日期：民國 98 年 11 月 5 日

接受日期：民國 98 年 11 月 16 日