框組壁式木構造房屋在節能減碳上的表現

塗三賢　　林潤宜
農委會林業試驗所森林利用組助理研究員　　農委會林業試驗所森林利用組研究助理

摘要

本研究調查統計台灣地區框組壁式木構造住宅每 1 m^2 樓(地)板面積所使用之主要結構材料，包含混凝土、鋼筋與木質材料之數量，依各種材料製造時所消耗的能源與排放之碳素量，計算其二氧化碳排放量，並與鋼筋混凝土(RC)構造與鋼構住宅(S)建築物做比較，以評估框組壁式木構造住宅對碳貯存與二氧化碳減量之貢獻。研究結果發現，框組壁式木構造住宅每單位建築面積所使用之木質材料材積約爲 0.143 m^3/m^2。而每單位建築面積所使用建材的 CO_2 排放量則約爲 57.42 kg/m^2。若以框組壁式木構造住宅取代鋼筋混凝土(RC)構造與鋼構住宅(S)建築物，可削減的 CO_2 排放量，每 m^2 約爲 382.51 kg/m^2 與 333.35 kg/m^2，顯示框組壁式木構造住宅在節能減碳上具有顯著的效果。

【關鍵詞】框組壁式木構造住宅、CO_2 減量、碳貯存

Performance of Energy Conserving and Carbon Dioxide Reduction by Platform Wooden Construction house in Taiwan

San-Hsien Tu　　Jun-Ⅰ Lin
Assistant research fellow of the Division of Forest Utilization, Taiwan Forestry Research Institute.
Research assistant of the Division of Forest Utilization, Taiwan Forestry Research Institute

Abstract

The objective of this study was to evaluate the CO_2 emission and carbon sequestration under the platform wooden construction buildings in Taiwan. A total 68 platform wooden construction buildings were selected for calculating the CO_2 emission, which generated from construction materials' energy consumption. The results indicated that the usage of wood materials in per unit construction area was 0.2143 m^3/m^2; the CO_2 emission in per unit construction area were 57.42 kg/m^2. By comparing the wooden construction to reinforced concrete (RC) and steel prefabricated (S) construction, the CO_2 emission reduction of the wooden construction can reach 382.51 kg/m^2 and 333.35 kg/m^2, respectively. The results clearly proved the platform wooden construction buildings have significances in CO_2 reduction and carbon sequestration.

[Key words]：Platform wooden construction building, Carbon dioxide reduction, Carbon sequestration

一、前言

京都議定書於 2005 年 2 月 16 日開始生效後，各國對於溫室氣體減量，即 CO_2 減量與碳素固定均相當重視。森林透過適當經營對 CO_2 涵存將是正面的效果，此在日本森林就已獲得 IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change；IPCC)的認同，最高 3.9％之減量，而木材雖在第一約束期（2008～2012 年）IPCC 係採現行預設系統法，即在森林砍伐後，便視同 CO_2 已回歸大氣中，雖然如此，因碳中性（carbon neutral），所以亦不會增加大氣中 CO_2 之含量。而木材在防止溫暖化之功能有次述三項（1）碳素貯藏效果（2）省能源效果（3）石化燃料之替代效果。木材構成元素中 50％爲碳素，所以密度 500kg/m^3 之木材，每 m^3 可固定 250kg 碳素，因此使用愈多之固態木材，在地球表面可貯藏愈多之有機質型態之碳素，如日本累積 3800 萬棟木質建築物，可貯存碳素量達 1.4 億公噸，約該國全森林之 18％(岡崎泰男、大熊幹章，1998)。而各種材料之鋼筋、混凝土與木材之製造時消耗能源量所排放碳素相比較時，鋼筋爲木材之 10～20 倍，混凝土爲木材之 1～2 倍。所以建築一棟 40 建坪之房屋所排放之 CO_2 量，鋼筋混凝土造住宅，鋼構住宅各爲木構住宅之 4.2 倍及 2.9 倍。所以木材在省能源，進而在 CO_2 減量上，將表現相當優異的效果。而在石化燃料替代效果，當比較木材與燃料油燃燒時所排放之 CO_2 時，1 公噸木材效能是相當於 0.229 公噸燃油，但前者會排放出 66.4kg CO_2，而後者則會排放 1023kg CO_2，木材燃燒所排放 CO_2 只爲燃油（石化燃料）之 6.5%，而且又是碳中性(王松永，1998a)。

有關木材在溫室氣體減量之效果，IPCC 預定於第二約束期會納入，目前所考慮之計算方法有四種，即（1）現行預設系統法（IPCC default 法）（2）蓄積量變化法（stock change approach）（3）生產法（production approach）（4）大氣流動法（Atmospheric flow approach ）。因此今後如能使用愈多木材，以取代其他高耗能材料，對於溫室氣體減量均有正面效應。木材是一種省能源並且可大量再生的生物資源，從資源轉換成製品、材料的加工能源也比其他材料少許多(王松永，1998a)。又木材因具有燃燒性、生物分解性，廢棄時不但節省能源，且不會發生公害，最終製品的木造住宅在建設、使用、解體、廢棄等各項所需的能源均較其他建物爲少。同時，因木質材料的再利用性大，所以木構造住宅除可考慮爲木材的貯存外，也是一種碳素貯藏庫(王松永，1997)，因此木構造住宅無疑的就是一種良好的綠建築。在政府極力推動綠建築政策時，如何善用木材資源，推廣木構造住宅將是不可或缺的重要工作。

二、材料與方法

木構造住宅於建造時，與其他型式建築物(如鋼筋混凝土造（RC 造）或鋼構造（S 造））相較之下，木構造住宅使用之木材量較多；所以其可發揮「省能源效果，即 CO_2 減量效果」與「碳素貯藏效果」。

1、木構造住宅所使用木質材料之碳素貯存量評估可由次式算出：{建築面積（m^2）}×{單位面積木材使用量（m^3/m^2）}×{絕乾密度（t/m^3）}×{單位絕乾重量碳素貯存量 0.5（t-C/t）}

2、建築物 CO_2 排放量評估：依建築物 CO_2 排放量精算法(張又升等，2002)，將所有建築物結構體的建材(暫不包括水電、設備、室內裝潢、家具等資材)，由各項建材的實際使用量與各建材之單位 CO_2 排放量，累算求得建築物結構體的 CO_2 排放量，如次式所示：

$$ECO_2 = \sum CO_2 i \times Mi \qquad (1)$$

式中：

ECO_2：建築物結構體總 CO_2 排放量計算值(kg/m^2)

CO_2 *i*：各項建材之單位 CO_2 排放量

Mi：建築物結構體中各項建材的實際使用量

3、木構造住宅對於 CO_2 減量評估：可由次式推算出，以每單位面積（m^2）爲例：〔木構造住宅每 m^2 之碳素貯存量 kg〕＋〔非木質構造建築（RC 造），或（S 造），每 m^2 所排放碳素量 kg〕-〔木質構造建築每 m^2 之碳素排放量 kg〕＝〔木構造住宅取代非木質構造建築而削減碳素排放量 kg〕，將所得碳素量×3.6 即等於 CO_2 削減量。

4、於林業試驗所福山研究中心轄區內，建造一座外牆尺寸約 4.2 × 2.8 × 3m，具單斜屋頂之試驗用密閉型框組壁式木構造房屋，並於木屋之室內、外設置 SATO SK-L200THⅡα 自記式溫濕度記錄器，以記錄試驗用框組壁式木構造房屋之室內與外氣溫濕度的變化。

5、以實地調查方式，調查國內現有框組壁式木構造住宅的工料資料，計算框組壁式木構造住宅在興建階段所能達到的碳素貯存量，並與鋼筋混凝土造建築及鋼構造建築等相比較，以評估框組壁式木構造住宅在 CO_2 排放減量與碳素固定上之效果。

三、結果與討論

3.1 框組壁式木構造住宅面積與木質材料使用量

本研究訪問調查國內木構造住宅公司，取得木構造住宅主體建築的材料資料，調查統計結果共計取得 57 棟具有完整建築藍圖與工料單的框組壁式木構造住宅資料。在國內，一般而言，木構造住宅的每 1 m^2 建坪的單位造價成本會較其他型式建築物(鋼筋混凝土造建築或鋼構造建築)爲高，且並非屬於主流的建築物，因此其建築樣式多有變化，以符合業主的需求，故每棟建築物的結構體部分，所使用的木質材料材積就有了顯著的不同。

在所調查之 68 棟框組壁式木構造住宅中，建築物的樓地板建築面積最小者約爲 34.24 m^2，最大者約爲 403.11 m^2，平均每棟建築物樓地板建築面積約爲 197.81 m^2。每棟建築物所使用之木質材料材積合計平均約爲 40.06 m^3，其中主要是以製材類建材爲主，使用量約爲 29.76 m^3，其使用量佔了全部木質材料材積使用量的 74.29%；其次是合板類建材，使用量約爲 9.24 m^3，約佔全部材積使用量的 23.06%；而其他類的木質建材(粒片板、防腐材、木地板等)的使用量則約爲 1.06 m^3，約佔全部材積使用量的 2.65%。至於其他非木質建材的使用量，依本研究調查結果，鋼筋類建材的使用量平均每棟建築物約爲 4.44 公噸，而混凝土的使用量平均約爲 34.71 m^3/棟，如表 1 所示。因此，框組壁式木構造住宅物，每單位建築面積所使用之木質材料材積約在 0.1214 – 0.3528 m^3/m^2 之間，平均約爲 0.2143 m^3/m^2，可固定碳素貯存量約爲 53.57 (500×0.5×0.2090) kg/m^2，換算爲 CO_2 量約爲 192.85 kg/m^2。

由台灣地區樑柱工法木構造住宅(塗三賢，2008)資料可知，台灣地區樑柱工法木構造住宅平均每棟建築物樓地板建築面積約爲 230.07m^2，可知框組壁式木構造住宅平均每棟建築物樓地板建築面積會約比樑柱工法木構造住宅少約 14.02%，因此所使用的木質材料總材積會較樑柱工法木構造住宅少，但就每單位建築面積所使用之木質材料材積而言，樑柱工法木構造住宅約爲 0.2090 m^3/m^2，框組壁式則較樑柱工法木構造多了約 2.5%。由此可知，在每單位樓地板建築面積中，框組壁式木構造住宅可比樑柱工法木構造住宅有較多碳素貯存量。

表 1 框組壁式木構造住宅建材使用量

建材種類		使用量(m^3)	百分比(%)
木質建材	製材	29.76	74.29
	合板	9.24	23.06
	其他木質建材	1.06	2.65
	木質建材合計	40.06	100.00
非木質建材	混凝土	34.71	
	鋼筋	4.44 (t)	

框組壁工法木構造建築主要引進自北美地區，依 McKeever and Phelps (1994)的調查研究指出，1950 年代在美國地區單戶獨棟住宅平均的樓地板面積約爲 92.90 m^2 (1000 ft^2)，平均每單位樓地板面積所使用之木質材料材積約爲 0.2615 m^3/m^2；到了 1992 年時，美國地區單戶獨棟住宅平均的樓地板面積已增加到了 185.80 m^2 (2000 ft^2)，平均每單位樓地板面積所使用之木質材料材積則略增爲 0.2685 m^3/m^2；而加拿大地區框組壁工法木構造建築的平均每單位樓地板面積所使用之木質材料材積則約爲 0.2100 m^3/m^2 (Kesik, 1998)。與本研究調查結果相比較後，可發現台灣框組壁工法木構造建築每單位建築面積所使用之木質材料材積會少於美國地區的框組壁工法木構造建築，而與加拿大地區的框組壁工法木構造建築相近。

就統計資料分析，框組壁式木構造住宅所使用之總木質材料材積會隨著建築物的樓地板建築面積的增加而增加，但平均每單位建築面積所使用之木質材料材積卻有隨建築物的樓地板建築面積的增加而減少的趨勢，原因應是 2 樓層以上的木構造住宅，上層樓的地板結構也當作是下層樓的天花板結構，二者是共用的；同時，二樓層以上木構造建物，樓地板建築面積普遍較大，因此所使用之木質材料材積雖然較多，但平均每單位建築面積所使用之木質材料材積卻會比較低。

3.2 框組壁式木構造住宅主體結構之CO_2排放量

本研究使用建築物 CO_2 排放量精算法(張又升等，2002)，將所有建築物結構體的建材(暫不包括水電、設備、室內裝潢、家具等的資材)，由各項建材的實際使用量與各建材生產之單位 CO_2 排放量，以累算求得建築物結構體在興建階段的 CO_2 排放量。所求得框組壁式木構造住宅結構體的 CO_2 排放量結果詳如表 2 所示。

由表 2 中可得知，以本研究中平均樓地板建築面積約 197.81 m^2(約 60 坪) 的框組壁式木構造住宅物而言，平均每棟建築物結構體部分的 CO_2 總排放量約爲 11357.14 kg，其中鋼材部分之 CO_2 排放量約爲 4100.12 kg，佔總排放量的 36.10%；混凝土部分之 CO_2 排放量約爲 5170.05 kg，佔總排放量的 45.52%；其他非木質建材(包括磁磚、矽酸鈣板、石膏板等)部分之 CO_2 排放量約爲 247.80 kg，佔總排放量的 2.18%；木質建材中的製材類之 CO_2 排放量約爲 935.95 kg，佔總排放量的 8.24%；合板類之 CO_2 排放量約爲 867.36 kg，佔總排放量的 7.64%；其他木質建材類之 CO_2 排放量約爲 35.86 kg，則僅約佔總排放量的 0.32%而已。總而言之，在框組壁工法木構造建築物中非木質建材 CO_2 排放量合計，平均約爲 9517.97 kg，佔 CO_2 總排放量的 83.80%，而木質建材部分的 CO_2 排放量合計平均約爲 1839.17 kg，佔 CO_2 總排放量的 16.20%。

表 2 框組壁式木構造住宅 CO_2 排放量

建材種類		CO_2 排放量(kg)	百分比(%)
木質建材	製材	935.95	8.24
	合板	867.36	7.24
	其他木質建材	35.86	0.32
	木質建材合計	1839.17	16.20
非木質建材	混凝土	5170.05	45.52
	鋼筋	4100.12	36.10
	其他建材	247.80	2.18
	非木質建材合計	9517.97	83.80

就單位建築面積 CO_2 排放量分析而言，本研究中的框組壁式木構造住宅，每單位建築面積 CO_2 排放量約爲 57.42 kg/m^2，其中非木質建材的 CO_2 排放量約爲 48.12 kg/m^2，而木質建材部分的 CO_2 排放量約爲 9.30 kg/m^2，如表 3 所示。

表 3 框組壁式木構造住宅每單位建築面積 CO_2 排放量

建材種類	CO_2排放量 (kg)	單位建築面積 CO_2排放量(kg/m^2)
木質建材	1839.17	9.30
非木質建材	9517.97	48.12
合計	11357.14	57.42

註：樓地板面積 197.81 m^2

參考國內已進行之相關研究，台灣地區樑柱工法木構造住宅每單位建築面積 CO_2 排放量約爲 47.47 kg/m^2(塗三賢，2008)，因此框組壁式木構造住宅平均每棟建築物樓地板建築面積的 CO_2 排放量會約比樑柱工法木構造住宅多約 20.96%。主要原因在於本研究所調查的框組壁式木構造住宅所使用的非木質建材量明顯較樑柱工法木構造住宅爲多，而大部分的 CO_2 排放量即是來自於非木質建材所排放，因此在每單位樓地板建築面積中，框組壁式木構造住宅會比樑柱工法木構造住宅排放較多的有較多 CO_2。

其他研究則指出，每單位建築面積鋼筋混凝土(RC)構造建築物之 CO_2 排放量約爲 247.08 kg/m^2，鋼構住宅(S)構造建築物的 CO_2 排放量則約爲 197.92 kg/m^2 (張又升，2001)，均明顯大於框組壁式木構造住宅物 CO_2 排放量的 57.42 kg/m^2，其中 RC 構造建築物與 S 構造建築物每單位建築面積的 CO_2 排放量各爲木構建築的 4.3 倍及 3.4 倍。在日本，RC 構造建築物與 S 構造建築物每單位建築面積的 CO_2 排放量則約爲日本傳統木構建築的 4.20 倍及 2.90 倍(岡崎泰男與大熊幹章，1998)。

表 4 不同構造建築物每單位建築面積 CO_2 排放量比較

住宅型式	單位建築面積CO_2排放量(kg/m^2)
鋼筋混凝土住宅	247.08[1)]
鋼構住宅	197.92[1)]
框組壁式木構造住宅	57.42[2)]

資料來源：1)張又升(2001)，2)本研究

3.3 框組壁式木構造住宅對CO_2排放減量評估

以每單位面積（m^2）木構造建築對於 CO_2 減量評估可由次式推算出：〔木構造建築每 m^2 之碳素貯存量 kg〕＋〔非木質構造建築（RC 造或 S 造），每 m^2 所排放碳素量 kg〕-〔木構造建築每 m^2 之碳素排放量 kg〕＝〔木構造建築取代非木質構造建築而削減碳素排放量 kg〕(王松永，2003)。而由前所述可知，國內框組壁式木構造住宅每 1 m^2 之木材使用量爲 0.2143 m^3/m^2，則其可固定碳素貯存量約爲 53.57 kg/m^2，換算爲 CO_2 量約爲 192.85 kg/m^2；RC 構造建築物每 m^2 所排放 CO_2 量約爲 247.08 kg/m^2，S 構造建築物每 m^2 所排放 CO_2 量約爲 197.92 kg/m^2，而木質構造建築每 m^2 所排放之 CO_2 量約爲 57.42 kg/m^2，因此，若以框組壁式木構造建築取代 RC 構造建築物而削減的 CO_2 排放量，每 m^2 約爲：

$192.85 + 247.08 – 57.42 = 382.51$ kg/m^2

若以框組壁式木構造建築取代 S 構造建築物時，可削減的 CO_2 排放量每 m^2 約爲：

$192.85 + 197.92 – 57.42 = 333.35$ kg/m^2

與日本資料相比較，建築物面積同以 136 m^2(約 40 坪)計時，則日本之木質構造建築物 CO_2 排放量爲 18,504 kg，RC 構造建築物爲 78,530.4 kg，而 S 構造建築物排放 CO_2 量約爲 53,074.8 kg，而日本木質構造建築物可固定 CO_2 量爲 24,480 kg(岡崎泰男與大熊幹章，1998)，因此在日本以木質構造建築取代 RC 造與 S 構造建築物時，每棟建築物可削減的 CO_2 排放量達 84,506.4 與 59,050.8 kg。在台灣以框組壁式木構造建築取代 RC 造與 S 構造建築物時，可削減的 CO_2 排放量，則各約爲 52021.36 與 45335.60 kg(表 5)，雖略少於日本相關研究的結果，但仍顯示木構造住宅在 CO_2 減量與碳素固定上具有顯著的效果。

表 5 以框組壁式木構造住宅取代非木構造住宅之 CO_2 減量效果

住宅型式	以框組壁式木構造住宅取代時的 CO_2 排放削減量(kg)
RC 構造住宅	52021.36
S 構造住宅	45335.60

註：樓地板面積 136 m^2

3.4 框組壁式木構造住宅的調溫節能表現

由於不同的建材種類(木材、鋼材、混凝土、磚牆、石膏板等)的密度、熱傳導率、熱貫流率等特性均有不同，因此，以不同建材構成的壁體，在室溫變動比(室溫日變化量與外氣溫日變化量之比值)上會有相當大的差異，前人研究指出，當壁體厚度爲 15cm 時，混凝土牆與磚牆的室溫變動比會各爲木材(柳杉)牆

室溫變動比的 3.8 倍與 3.1 倍(王松永，1998b)；這表示混凝土房屋牆與磚構造房屋的室溫會比木構造房屋更容易受到外氣溫度變化的影響。當外氣溫度高較室溫高，若要維持一定的室溫而使用空氣調節器(冷氣機)時，則混凝土房屋牆與磚構造房屋會比木構造房屋耗用更多的能源。

外氣溫度的變動經由屋頂或外壁等住宅構造體的熱貫流或門窗的換氣作用而引發室溫的變動，本研究在一棟密閉式的框組壁木構造房屋的室內與室外，分別設置溫度感測器，於 2008 年 12 月至 2009 年 3 月間，記錄室溫與外氣溫度的變化，結果發現：框組壁式木構造房屋室內溫度的變化會比外氣溫度的變化小(圖 1)；由圖 1 中可見到在觀測期內，試驗木構造房屋室內的平均溫度約在 14~20℃之間，而外氣平均溫度的變動則約在 13~21℃之間。

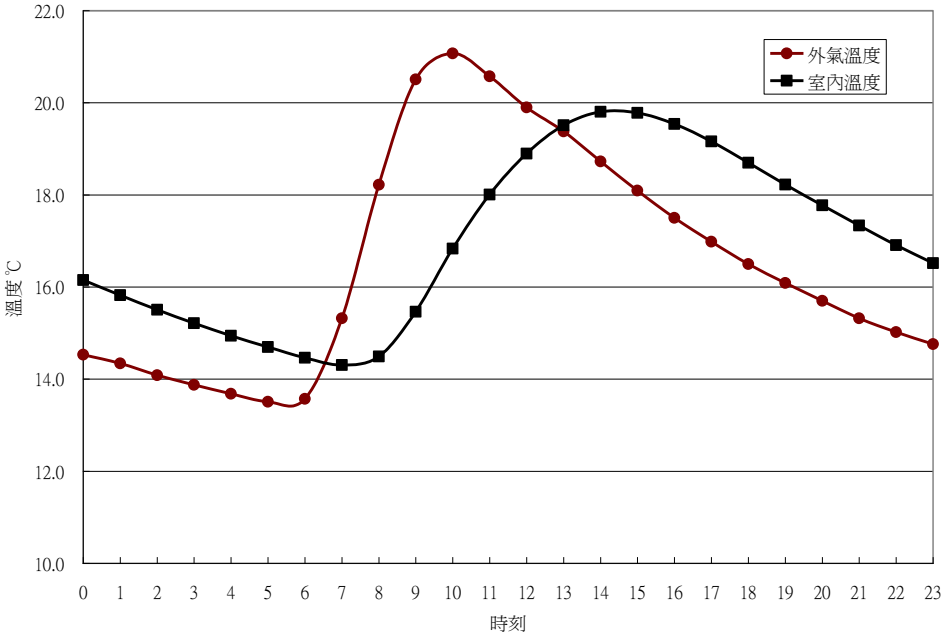

圖 1 試驗用木構造房屋室內及外氣平均溫度分時變化

而在框組壁式木構造房屋的外氣溫度與室內溫度的差異上(圖 2)，在觀測期內，當外氣平均溫度在 23℃以下時，外氣溫度與室內溫度的差異不大，此時試驗木構造房屋的室內溫度會比外氣溫度高約 1 ~ 2℃；但當外氣溫度在 25℃以上時，外氣溫度會開始較室內溫度高，外氣溫度與室內溫度的差異會有隨外氣溫度升高而變大的趨勢，當外氣溫度達到 35℃時，室內、外溫度的差異則會高達 15~16℃。江哲銘等(2003)曾同樣在宜蘭地區針對數棟建築物進行溫度的監測，結果發現在夏季時外氣平均溫度約 32.75℃，RC 建築物的室內平均溫度約 29.44℃；冬季時外氣平均溫度約 19.96℃，而 RC 建築物的室內平均溫度則約爲 23.24℃。依本研究的監測結果，當外氣溫度同樣達 32℃時，則本研究的試驗用框組壁式木構造房屋的室內溫度則約爲 21~22℃，可得知框組壁式木構造房屋的室內溫度會比 RC 建築物的室內溫度低。而依據台灣電力公司的研究指出，當冷氣機的溫度設定每調高 1℃時，可節省約 6%的電力消耗，因此在高溫炎熱的夏季，藉由木構造房屋的溫度調節能力，可減少冷氣空調的電力消耗，達到節能的效果，由此可知框組壁式木構造房屋在調節溫度的能力上具有明顯的效果。

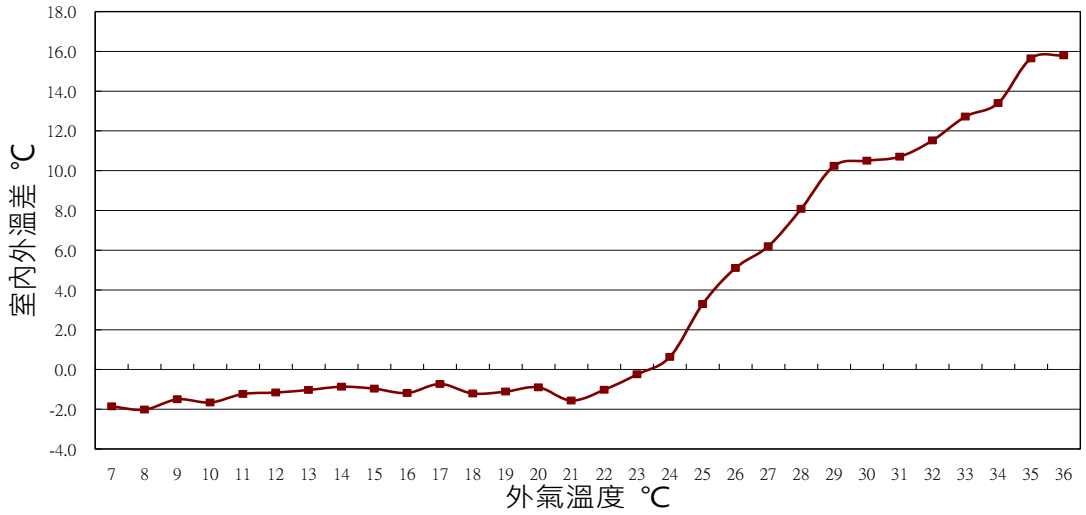

圖 2 試驗用木構造房屋不同外氣溫度下的室內外溫度差

四、結論

依本研究調查結果，框組壁式木構造住宅每棟建築物所使用之木質材料材積合計平均約爲 40.06 m^3，其中主要是以製材類建材爲主，使用量約爲 29.76 m^3，其使用量佔了全部木質材料材積使用量的 74.29%；其次是合板類建材，使用量約爲 9.24 m^3，約佔全部材積使用量的 23.06%；每單位建築面積所使用之木質材料材積約在 0.1214 – 0.3528 m^3/m^2 之間，平均約爲 0.2143 m^3/m^2。因此，框組壁式木構造住宅可固定碳素貯存量約爲 53.57kg/m^2，換算爲 CO_2 量約爲 192.85 kg/m^2。

框組壁式木構造住宅平均每單位建築面積所使用 CO_2 排放量約爲 57.42 kg/m^2，而 RC 構造建築物之 CO_2 排放量約爲 247.08 kg/m^2，S 構造建築物的 CO_2 排放量則約爲 197.92 kg/m^2，因此每單位建築面積 RC 構造建築物與 S 構造建築物的 CO_2 排放量各爲框組壁式木構建築的 4.3 倍及 3.4 倍。

若以框組壁式木構造建築取代 RC 與 S 構造建築物而削減的 CO_2 排放量，則可達約 382.51 kg/m^2 與 333.35 kg/m^2，顯示木構造住宅在 CO_2 減量與碳素固定上具有顯著的效果。

框組壁式木構造房屋室內溫度的變化會比外氣溫度的變化小，外氣溫度與室內溫度的差異會有隨外氣溫度升高而變大的趨勢，在夏季外氣平均溫度高時，框組壁式木構造房屋的室內溫度會比 RC 建築物的室內溫度低，可知框組壁式木構造房屋在調節溫度的能力上具有明顯的效果。因此，在我們極力推動綠建築的同時，如何善用木材資源，推廣木構建築將是不可或缺的重要工作。

參考文獻

1. 王松永 (1997) 木材資源利用對地球環境之正面效應，木質構造物之居住性與維護管理研討會論文集，1-12 頁。

2. 王松永 (1998a) 從碳素貯存 CO_2 釋出觀點評價木質構造建築，造林木應用於木質構造建築研討會論文集，P1-13。

3.王松永 (1998b) 牆壁材料之熱特性對於住宅溫度調節作用之影響，造林木應用於木質構造建築研討會論文集，P188-214。
4.江哲銘、鄭元良、賴榮平、周伯丞、張桂鳳、鍾博任 (2003) 從永續健康的室內溫熱環境觀點探討歷史建築再利用之因應課題，中華民國建築學會第十五屆建築研究成果發表會論文集，E25:1-6。
5.張又升、鄭元良、林憲德、許茂雄 (2002) 台灣建築物 CO_2 排放量簡易評估法之研究，建築學報 41：1-21。
6.塗三賢、王松永 (2008) 台灣地區樑柱工法木構造住宅對碳貯存與二氧化碳減量之貢獻，林產工業 27(3)：143-152。
7.外崎真理雄、恒次祐子(2004)「建設資材・勞動力需要實態調查」による建築木材投入量原單價，木材工業 59(8)：360-362。
8.岡崎泰男、大熊幹章 (1998) 炭素ストツク，CO_2 放出の觀點から見た木造住宅建設の評價，木材工業，53(4)：161-165。
9.McKeever DB, Phelps RB. (1994) Wood products used in new single-family house construction: 1950 to 1992. For. Prod. J. 44(11/12): 66-74.
10. Kesik TJ (1998) Canadian wood-frame house construction, Canada mortgage and housing corporation. 26 p.