框組壁式木構造房屋在節能減碳上的表現

林業試驗所森林利用組　塗三賢

前言

木材的構成元素中 50%爲碳素，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，同時因爲木材具有可燃燒性及生物分解性，所以在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，所以木構造住宅可算是一種碳素貯藏庫，日本的研究即指出，在日本國內已累積 3800 萬棟木質建築物，可貯存碳素量達 1.4 億公噸，約爲該國全森林之 18%。因此木構造住宅無疑的就是一種良好的綠建築。在政府積極推動綠建築政策的同時，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。

台灣地區常見的木構造建築的工法型式主要是樑柱式(Post and beam)、框組壁式(Platform)與原木層疊式(Log house)等 3 大類。其中樑柱式工法的木構造建築是以柱與樑作爲主要的結構元素，能在滿足結構功能的需求下，以最少的構材創造最大的使用空間。在樑柱式木構造建築中，荷重的傳遞是由樑傳到柱，而不依靠承重牆，得以取得牆面開窗的自由度，在近代工業技術的精進下，此種構造在大量使用金屬扣件以及斜撐的運用後，可以提供樑柱式木構造建築更大的跨距，提升設計上的彈性及空間。框組壁式木構造建築則是近代北美的木牆結構，也稱作「2 X 4 工法」，是工業化後的產品，特色爲其以構件的斷面都是 2 X 4 英吋(爲標稱尺寸，實際尺寸則約爲 1.5 X 3.5 英吋，約 3.8 X 8.9 cm)的木材作爲間柱(Stud)，每隔 40 或 60 cm 間距一支，組成承重牆系統的木構造建築。2 X 4 框組壁式工法建築以小斷面、小尺寸的木構材框架，組成高強度、低造價的住宅建築，是北美住宅的主流。原木層疊式木構造建築則是以斷面爲 D 型或 O 型的原木搭接，組成結構牆系統的木構造建築，但近年來，在新建木構造房屋市場中，原木層疊式木構造建築已較少見。

在台灣，框組壁式木構造房屋的新建數量約佔每年新建木構造房屋建築數量的 36%，是目前市場上主要的木構造房屋建築型式之一，本文的目的即在於介紹框組壁式木構造房屋在節能減碳上的表現。

框組壁式木構造房屋的木材使用量與碳素貯存量

以實地調查方式，訪問相關業者，取得現有框組壁式木構造房屋的工料資料，計算框組壁式木構造房屋在興建階段所能達到的碳素貯存量，統計調查結果顯示，台灣地區框組壁式木構造房屋的平均樓地板建築面積約爲 197.8 m^2(約 60

坪)。所使用之木質材料材積平均約爲 40.06 m^3，單位建築面積所使用之木質材料材積平均約爲 0.2143 m^3/m^2。框組壁式木構造房屋主要引進自北美地區，依相關的調查研究指出，美國地區單戶獨棟住宅，平均每單位樓地板面積所使用之木質材料材積約爲 0.2685 m^3/m^2；而加拿大地區框組壁式木構造房屋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 。與本研究調查結果相比較後，可發現台灣地區的框組壁式木構造房屋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式木構造房屋，而與加拿大地區的框組壁式木構造房屋相近。

在框組壁式木構造房屋所使用之木質材料中，主要也是以製材類建材爲主，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，使用量平均約佔全部材積使用量的 23.06%，而其他的木質建材(粒片板、防腐材、木地板等)的使用量平均則僅約佔全部材積使用量的 2.65%。

依統計結果分析，台灣地區的框組壁式木構造房屋每棟約可貯存 10.6 公噸的碳素，相當約爲 38.2 公噸的二氧化碳被固定在木構造建築中；而框組壁式木構造房屋平均每單位樓地板面積的碳素貯存量約爲 53.57 kg/m^2。

框組壁式木構造房屋的減碳效果

將框組壁式木構造房屋在興建時，結構體部分所使用的建材實際使用量依各建材在生產時的單位 CO_2 排放量累算，可求得框組壁式木構造建築物結構體的在興建階段 CO_2 排放量。由研究結果可知，以平均樓地板建築面積約 197.8 m^2 的框組壁工法木構造房屋而言，平均每棟建築物結構體部分的 CO_2 總排放量約爲 11357kg。其中非木質建材(鋼材、混凝土、磁磚、矽酸鈣板、石膏板等)的 CO_2 排放量合計約佔 CO_2 總排放量的 83.80%，而木質建材部分的 CO_2 排放量合計約佔 CO_2 總排放量的 16.20%，將鋼材、混凝土與木材等各種建材在生產時的單位 CO_2 排放量相比較時，可發現鋼材約爲木材之 10～20 倍，混凝土則爲木材之 1～2 倍，因此可知框組壁式木構造建築物在興建時，主要的 CO_2 排放量是來自爲非木質建材。

就單位建築面積 CO_2 排放量分析而言，框組壁工法木構造房屋，每單位建築面積 CO_2 排放量約爲 57.42 kg/m^2，而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，RC 構造建築物與 S 構造建築物每單位建築面積的 CO_2 排放量各爲框組壁工法木構造房屋建築的 4.3 倍及 3.4 倍，由此可知，若以框組壁式木構造房屋取代鋼筋混凝土構造建築物或鋼構造建築物時，將有效的減少 CO_2 的排放，達到減碳的效果。

框組壁式木構造房屋的調溫節能表現

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，日本的研究指出，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；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。

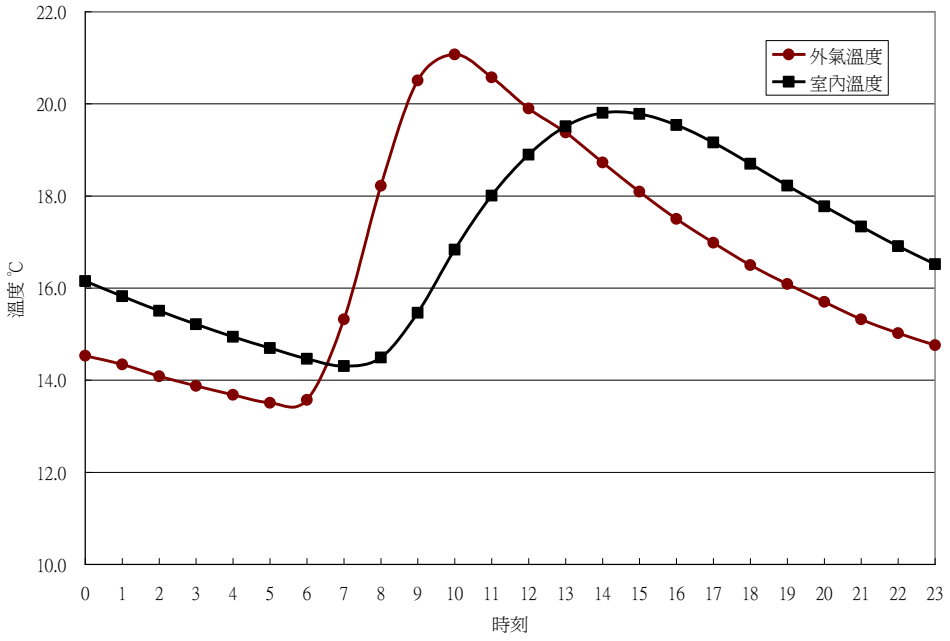
外氣溫度的變動經由屋頂或外壁等住宅構造體的熱貫流或門窗的換氣作用而引發室溫的變動，本研究在一棟密閉式的框組壁木構造房屋的室內與室外，分別設置溫度感測器，於 2008 年 12 月至 2009 年 3 月間，記錄室溫與外氣溫度的變化，結果發現：框組壁式木構造房屋室內溫度的變化會比外氣溫度的變化小；而框組壁式木構造房屋的外氣溫度與室內溫度的差異，當外氣溫度在 23℃以下時，外氣溫度與室內溫度的差異不大，平均而言，在試驗木構造房屋內的室溫會比外氣溫度高約 1 ~ 2℃；但當外氣溫度在 25℃以上時，外氣溫度與室內溫度的差異會有隨外氣溫度升高而變大的趨勢，當外氣溫度在 35℃以上時，室內外溫度差會多達 15~16℃，由此可知框組壁式木構造房屋在調節溫度的能力上具有顯著的效果。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。

結語

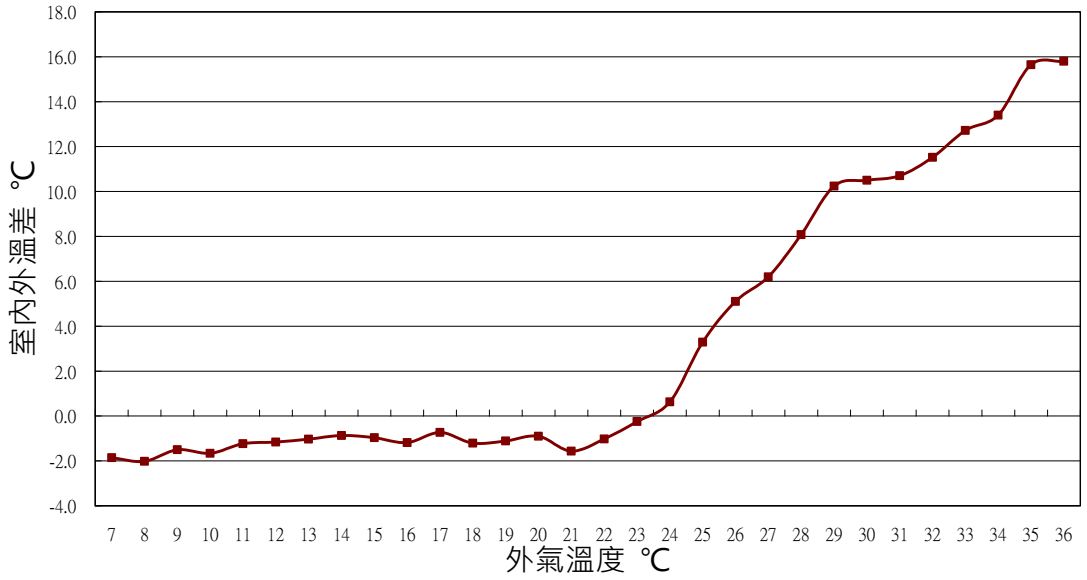
木構造建築物以木材當作主要建材，不但在建設階段會比其他構造建築物省能源，進而使 CO_2 排放減量；同時在其生命週期內，均可將碳素固定在建築物內部，不會使其回歸大氣中。而藉由木構造房屋的溫度調節能力，也可減少冷氣空調的電力消耗，達到節能的效果，因此木構造住宅無疑的就是一種良好的綠建築。在政府積極推動綠建築政策的同時，如何善用木材資源，推廣木構造住宅將是不可或缺的重要工作。

木構造建築物以木材當作主要建材，可算是一種碳素貯藏庫

木構造房屋建造時會比其他構造建築物排放較少的 CO_2，達到減碳的效果



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



木構造房屋有調節溫度的能力，當外氣溫度愈高時，與木構造房屋的室內溫度的差異會愈大。