

木構造於住宅之應用

水分子+二氧化碳經過光合作用變成碳水化合物，並釋放出氧氣。

這個碳水化合物就是我們拿來蓋房子所使用的木材。每次想到這個光合作用的程，就讚歎上帝奇妙的作為。

在台灣唸書開始認識建築時，所學所看的，都是鋼筋混凝土的建築物。過去生活經驗中，除了小時候住過日式宿舍是木構造外，其餘的經驗，都是住在鋼筋混凝土的建築之中。此長久以來，一直認為木構造只存在「古蹟」建築。至於現代化的建築，一定是鋼筋混凝土或鋼構造。記得當時大台北華城剛推出一批現代的豪華別墅，報章媒體大幅報導，標榜著歐美的建築樣式，專為富人打造的尊貴豪華別墅，吸引了大家的注目。我們那時也上山朝聖，看到一棟棟歐美風格的鋼筋混凝土洋房，便認為現代化的住宅別墅都當如此。

及至出國念書，住在大學校園的學生宿舍(84 個房間，容納 120 人，地上兩層，地下一層的建築)。有一天，忽然發現所住的宿舍牆壁竟然不是實心的混凝土，而是空心的木構造加石膏板。這令我非常稀奇，原來這麼一棟現代化的大房子竟然不是用混凝土蓋的！畢業後，留在美國工作，我們前後在安娜堡附近住了好幾年，所住的 3 層樓公寓，也都是木構造的。認識的朋友親戚所住的住宅，也都是木構造的。記得那時在美國事務所工作時，我同時也幫在台灣的家人設計房子。我的同事 Marvin 看著我的設計圖，好奇的問我，那是什麼構造的房子？我回答說是 RC，Marvin 瞪大眼睛說：「RC？！Why not wood？RC 不是很貴嗎？RC 住起來很不舒服的！在台灣那麼濕熱的地方不應該用 RC 啊！」於是他就開始分享他在佛羅里達如何用木構造，設計了一棟自然通風隔熱良好的住宅。只是我那時真不懂為何他們老外的住宅理所當然都用木構造，但我們在台灣的住宅理所當然都用 RC 啊！

後來在美國陸續住了幾個地方，包括南加州的 Santa Monica，還有西雅圖，所住的房子也都是木構造。不論平價住宅或是豪宅，都是木構造。像是我們在 Santa Monica 的鄰居，Frank Gehry 建築師自己的住宅也是木構造 (photo1)。住在西雅圖時，微軟的創辦人比爾蓋茲的湖邊豪宅也是木構造。不只是在郊區，甚至連市區，許多中低層(5~6 樓)的連棟住宅，公寓，宿舍(photo2)，旅館也都是木構造的建築(四層木構住宅疊在二層 RC 公設之上)。似乎在美國不論何處，山上或海邊，城市或鄉村，寒冷如五大湖區，濕熱如佛羅里達區，只要是住宅，第一選擇就是木構造。好像他們深知木構住宅冬暖夏涼及省能健康的優點，是 RC 或鋼

骨構造不能取代的。

對木構住宅喜好的傾向，在日本亦然。雖然日本大部份的木材也都必須由北美進口，但基於對生活品質的高要求，木結構住宅仍占現有住房三分之二左右。日本自古以來即自認為是「樹木文化」之國，至今民間對木構住宅需求依然很大，不只因為木材是再生資源(Renewable Resources)，也因木材的碳固定作用，可防止地球的溫室效應，是非常符合綠建築及環保的構造方式。日本政府的住宅部門因此也採取各種措施來振興並推廣木構住宅(註 1)。在台灣，一般人卻都以為日本人喜歡住清水混凝土的住宅，但其實大部份日本人的選擇仍偏愛木構造住宅，這從電視節目的「全能住宅改造王」亦可得知。在日本濱名花博所展示的生態屋及綠建築，也都以木構造為主。

但是為何在台灣，我們普遍認為木構不適合台灣的氣候？雖然與台灣氣候相近，也都靠海且濕熱多雨的佛羅里達、夏威夷(photo3,4)，其民眾在住宅的選擇都以木構為優先，而台灣卻以 RC 為優先。其實真正的原因在於「教育」的缺乏，使得台灣人在選擇居住的構造型態時，被限制在 RC 及鋼構之中。回顧我們大學建築教育的構造及結構課程，自從光復以來，日籍老師離開台灣後，就再也沒有人教木構造章節了。以致於六十多年來，木構造的學習在台灣建築教育裏中斷了。不只建築教育，土木系的結構課程裏的木構造也沒人會教。「教育」的缺乏，使得我們對木構建築陌生且害怕。

在過去六十多年來，先進國家的木構科技不斷演變。不只在構材，接頭的創新進步，在防水、隔熱、防潮更運用了當今的科技，例如在多雨區(日本、溫哥華、佛羅里達)Rain Screen 外牆工法的運用，使得現代的木構造成為耐久、舒適、省能、健康且環保的最佳住宅選項。但這些優點在台灣的業界卻普遍缺乏認知，而且因專業的不足，過去一、二十年許多木屋的興建，因為不當的設計及施工，反而造成了一些錯誤的示範，使得社會大眾提到木構造的直接反應就是「不適合台灣氣候與環境」，甚至有些人被植入了「蓋木屋就是要砍樹破壞生態」的錯誤概念。

有鑑於此，在過去幾年，我曾在建築師公會的教育課程中授課，也在大學建築系開課，期待讓設計者認識「現代」的木構造，了解在台灣濕熱氣候且地震颱風頻繁的環境之下，如何設計「耐久」的木構造，使得國人在面對溫室效應、氣候變遷環境中，對建築可以有一個更符合永續設計的選擇。針對目前一般台灣大眾對木構住宅存在的迷思及回應，有下列幾項：

現代木構造 – 隱藏尖端的科技的現代構築

在先進國家，木構造不再只是木頭而已，需認識自然界的法則，因應氣候及自然

界的力量，融入了科學的認知及尖端的科技，使得木建築能在各種惡劣的氣候條件下(颱風、地震、下雪、烈日、暴雨、潮溼)都能安然渡過。

以北美的氣候為例，可分為**寒帶**(阿拉斯加)，**溫帶**(紐約，華盛頓)，**炎熱乾燥**的沙漠地帶(亞利桑那)，**炎熱潮溼**的亞熱帶(佛羅里達，夏威夷)。在不同的氣候條件下，建築細部需作局部微調以適應氣候。

例如年降雨量超過 1200mm 的地區(台灣，邁阿密)，外牆需設計為 **Pressure Equalized Rainscreen** 的構造才能有效防水(photo5)。為了防潮，在使用冷氣的地區，防潮層(**Vapor Barrier**)需放在牆外側，在使用暖氣的地區，防潮層需放在牆內側。也就是說，同樣在嘉義縣，在阿里山或在竹崎，防潮層放置的位置會不同。認識自然界的法則，並運用在建築的細部，就是所謂的 **"God dwells in the Details"**

蓋木構造要砍樹，環保嗎？

這應該是在台灣一般人普遍的迷思。若是木材來自原始林或熱帶雨林，會導致生態體系的破壞，使用這些木材是非常不環保且不道德的。若是木材來自「永續經營」的人工林，就像種稻子一般，有計劃的造林並運用木材。因木材是屬於 **renewable materials**，且有「固碳」的功能，選擇木材當建材是比使用 **RC** 或鋼鐵更環保的。

人工林大約 70 年可伐木使用。年齡越大，年輪越密，材質越好，一般而言，原始林的木材優於人工林。但我們不建議使用原始林的木材，因人工林的木材強度已足夠建築使用。北美木材分等依強度可分為 **Select Structural, No.1, No.2, Utility** 等不同等級，結構上我們大都使用 **No1** 或 **No.2** 的等級(經結構計算來確認)在永續及生態的考量之下，北美的木材來源只有少量的 **Primary Forest** 容許伐木，大部份木材來自二次 **Secondary Forest** 或三次的人工林。

人工林的樹木約 50~100 年才能砍伐使用，這也是為何早期漢人開發台灣森林是砍樹之後，就不再種樹，而改種茶葉，果樹及蔬菜。台灣的人工林的引進反而是從日本人開始的！

台灣白蟻多，木構造合適嗎？

白蟻只吃潮濕的木材，乾燥的木材白蟻無法食用。就像家裡的木家具桌椅，放在室內不淋雨受潮，百年也不會朽壞的。只要保持木材含水率在 **19%**以下(**Dry Wood**)，就可避免白蟻及腐朽的問題。含水率超過 **19%**以上稱為 **Green Wood**，容易導至白蟻及真菌的的攻擊。因此在建材的選擇上，都會要求乾燥過的木材(含水率在 **19%**以下)。木材在室內環境會漸漸脫水達到平衡含水率約 **15%~17%**左右，在這樣的條件之下，白蟻無法以之為食物，如此就可確保木構造的耐久性。木材的含水率在木材的使用上是非常重要的，經由正確的細部與施工，木構造住宅在台灣使用年限超過 **60** 年以上是非常容易的。

台灣地震多，木構造抗震嗎？

木構造住宅比 RC 構造耐震。牛頓的力學公式 $F=ma$ 告訴我們，在同樣的地震加速度下，重量越大的房子，所受的地震力越大。同樣的設計，木構造住宅的重量只有 RC 構造住宅的重量的 $1/6$ ，也就是木構造所受的地震力只有 RC 構造的 $1/6$ 。這也是為何在過去的強震紀錄之中，木構住宅的耐震性能非常優越。1995 年阪神地震，死亡人數 6300 人，在木構造住宅的死亡人數是 0。(註 2)

現代木構造住宅的結構系統有兩種：

1. Shear Wall & Diaphragm

剪力牆 (Shear Wall) 的系統普遍運用在木構造建築來抵抗側向力 (地震及風力)，北美慣用的 Light Framing 木構建築中，運用 2x4 或 2x6 的間柱 (wood studs)，每根間隔 40 公分，再以夾板或 OSB 覆蓋釘在間柱上，形成剪力牆。整棟房子包括牆，樓板，屋頂都以這樣的工法，就好像木廂一般。這是非常有效的抗震系統，在加州，阿拉斯加及日本的強震區，表現都相當優秀。在強震區如台灣，住這種房子是比一般 RC 房子更安全。

2. Bracing 斜撐

在大木構造 (Post & Beam 或 Heavy Timber) 的建築，柱與樑的結合都以 Shear Connection 的方式設計，不像 RC 的柱樑是以 Moment Connection 來設計。因此大木構造的樑柱之間需以斜撐來抵抗側向力，或在建築物中恰當位置配置剪力牆，這種構造也可適用在強震區。921 地震時，東勢災情慘重，許多 RC 大樓倒塌，東勢高工校舍也受重創，但在東勢高工旁的林務局大雪山製材廠 (大木構造，美國設計，台灣施工，1963) 卻毫髮無傷。

榫接 vs 鐵件 東方西方何者為優？

一般人普遍認為榫卯接頭 (Mortise & Tenon Connection) 是東方木建築的特色，西方木建築則依靠鐵件 (Metal Connection) 來結合構件。其實不論東西方，最早的木構造都是採用榫卯接頭。鐵件的運用是在工業革命，鋼鐵可以量產之後，使得西方國家「船堅炮利」之外，也被廣泛運用在西方木構造的構件聯結 (photo6)，而取代了榫卯接頭。原因如下：

1. 結構強度增加：由材料力學的觀點，榫卯的加工處都是應力集中處，結構遭破壞都是由此開始。若採用榫卯接頭，必需增加「有效斷面」來彌補這問題，如此使得材料在運用上較不經濟。採用金屬鐵件則可減少木材構件的破壞，且可增加接合處的強度。

2. 施工容易：木工師傅需經過長時間訓練才能出師，榫卯接頭製作過程相當費時，且需保持「心平氣和」，這在現代社會的運作之下是困難的。相對而言，鐵件接合在工地的施作是省時省工且不需高技術的木工

3. 木材乾縮，導致榫卯接頭鬆脫：木材含水率降低之後尺寸會乾縮，榫卯接頭易鬆脫，嚴重影響整體結構強度。一般榫卯接頭多運用於大木構造 (Heavy Timber)，所用之木材尺寸若大於 8x8 英寸 (18.5cmx18.5cm)，不易取得窯乾之木

材，木材含水率常大於 19%。且施工過程木材長期曝露在戶外淋雨，在樺卯製作之時，所用木材含水率過高，在完工初期接頭雖然緊密，但完工後 1~2 年，木材會逐漸脫水達到平衡含水率（在台灣約是 15~17%，在空調空間有可能降到 15%以下）木材乾縮之後，所有樺卯接頭緊密度都受影響，無法有效抵抗地震颱風等側向力。也因此，西方國家在鐵件普及之後，除了維修古蹟之外，逐漸放棄樺接而改用鐵件來聯結建築之木材構件。

真正的「省能綠建築」

針對台灣炎熱的氣候，房子要住的舒服，隔熱與通風是最主要的考量因素。木材的隔熱性能遠超越 RC 及鋼骨，而且木材不像 RC 在太陽照射下會吸熱，從省能的觀點而言，木構造才是真正的「省能綠建築」。

一棟房子，屋頂是最大的 Heat Gain 來源，也是空調耗能最多的部分(約占 40%)。因此在台灣炎熱的氣候下作設計，屋頂隔熱不可忽視。良好的隔熱，再加上使用木構屋頂，不會像 RC 構屋頂般的蓄熱，在節能上可遠遠超越台灣綠建築的標準。目前台灣綠建築標準只要求屋頂隔熱 $R > 4.7$ (英制)，但是與台灣氣候接近的佛羅里達州則要求屋頂隔熱 $R > 30$ (英制)，其隔熱標準是台灣的 6 倍之多。

外牆的隔熱也是重點之一，尤其是西曬的外牆。一般台灣的住宅，15 公分厚的 RC 外牆隔熱值約是 $R \approx 1.7$ (英制)，這種構造的外牆若在東西向的牆面，夏季會吸收很大的熱量，而且 RC 是很好的儲熱體(Thermal Mass)。在寒帶國家常運用來當作儲存白日的太陽輻射熱，到了夜間釋放熱能，以減低暖氣的消耗。但在亞熱帶的台灣，RC 的儲熱功能卻成為空調耗能的殺手。若是外牆改採用低儲熱質的木構外牆，且在外牆的組構(Assembly)中加入 R11 的隔熱材，便可將夏日高熱阻擋在室外，是非常節能省碳的工法。

台灣是能源極度短缺的國家，99%的能源仰賴進口，所以真的必須「對症下藥」找出建築省能的對策。建築外殼的隔熱與蓄熱問題必須真誠面對，才能有效大幅減低夏日的空調耗能。

永續建材與固碳功能



水加上二氧化碳經過光合作用轉化成樹木並釋放出氧氣，每想到我們用的木材是這樣產生的，就不禁讚歎上帝造物之奇妙！

人類科技文明發展至今，所有人造建材(磚，混凝土，鋼鐵，玻璃)的製造過程都是耗掉氧氣而排放出二氧化碳。而木材的生產過程卻是吸收二氧化碳，排放出氧氣。以木材取代 RC 及鋼骨來蓋房子，可大量降低溫室效應。因此在永續設計的思維中，Renewable Materials(木材，竹子)的運用是我們需深刻認知的(photo7)。

邁向永續

木構的住宅比起 RC 或鋼骨的住宅更符合低碳設計，這在歐美日等先進國家早已成為共識，但目前台灣因為法規的障礙及專業認知的不足，木構住宅非常稀少，使得台灣住宅過度依賴高耗能，高污染的水泥業。我們若是想要邁向低碳城市的目標，政府不只要更新過時且不合理的木構防火法規，更應效法先進國家，像是日本政府振興木造住宅的政策，溫哥華的 **Greenest City 2020** 的低碳住宅策略。這樣或許有機會使得台灣在環保及永續的領域迎頭趕上先進國家。