

## 能源與建築—木建築

能源的議題第一次引起全球的注意，是在 1970 年代的兩次石油危機（註 1），因油價的暴漲導致全球經濟重挫。這是自十八世紀工業革命之後，人類首次意識到能源若供需失衡，可能使累積的經濟成果化為泡沫。過度仰賴石油的後果，可能因國際間的政治動盪（1978 年伊朗政變）或戰爭（1990 年海灣戰爭），使得經濟成長受挫。因此即使物產豐盛、生活富裕的美國，也在 70 年代石油危機後，開始全面尋求節能之道，例如汽車耗油量的改善(80 年代省油小車 Chevette 因此誕生)，電器用品功率的改善(Energy Star 的認證)，以及建築節能的改善(外牆、屋頂保溫、隔熱的改善，以中空雙層玻璃取代單層玻璃)。到了 1997 年京都協議書的簽訂，討論的議題已擴大到對抗全球暖化(Global Warming)問題。CO<sub>2</sub> 及其他溫室氣體排放的減量，成為普世的價值觀，今日我們所面對的問題的複雜度已遠超過 70 年代石油危機—石油夠不夠用而已，我們面對的是整個地球生態體系的存亡問題。若由宏觀的生態角度來探討能源與建築的議題時，「節能」已不只限於建築物使用時耗能的多寡(Operation Energy Cost)，而需以整個生命週期(Life Cycle)所耗費資源的多寡，作為衡量的標準。



建築物的生命週期 (Life Cycle)

(註 1) 1973 年 爆發以阿戰爭後，阿拉伯石油輸出國家組織(Arab OPEC)，為打擊以色列實施減產、禁運，造成第一次石油危機，使油價由每桶 3 美元漲至 10 美元。

1978 年 第二大石油輸出國伊朗發生政變，石油價格每桶 14 美元漲至

35 美元。

所謂建築物的生命週期(Life Cycle)包括由建築材料的提煉、生產、運送、施工、使用、拆除到回收的整體過程中，所消耗的能源、排放的溫室氣體、空氣的汙染、水的汙染、資源的消耗及廢棄物的產生。

ATHENA™ Sustainable Materials Institute(由美國能源部、加拿大工業及加拿大國家資源等部門所贊助的非營利研究機構)曾以生命週期(Life Cycle)分析，來比較同樣的建築物，若分別由不同的構造方式—木構、鋼構、RC 構造來建造，對環境所造成的影響，其分析結果如下：

A. 以一棟 2400 平方英尺(65 坪)的 2 層樓獨棟住宅為例

**Embodied Energy 總能源消耗**

木構比鋼構低 53%，比 RC 低 120%

**Global Warming Potential 溫室效應 (CO<sub>2</sub>排放量)**

木構比鋼構低 23%，比 RC 低 50%

**Air Toxicity Index 空氣汙染排放**

木構比鋼構低 74%，比 RC 低 115%

**Water Toxicity Index 水汙染排放**

木構比鋼構低 247%，比 RC 低 114%

**Weighted Resource Use 生態資源消耗**

木構比鋼構低 14%，比 RC 低 93%

**Solid Waste generation 廢棄物產生**

木構比鋼構高 21%，比 RC 低 58%

B. 以一棟 50,000 平方英尺(1405 坪)的 3 層樓辦公室為例

**總能源消耗**

木構比鋼構低 140%，比 RC 低 70%

#### **溫室效應 (CO<sub>2</sub>排放量)**

木構比鋼構低 45%，比 RC 低 81%

#### **空氣污染排放**

木構比鋼構低 42%，比 RC 低 67%

#### **水污染排放**

木構是鋼構的 1/120，木構比 RC 低 90%

#### **廢棄物產生**

木構比鋼構低 36%，比 RC 低 96%

#### **生態資源消耗**

木構比鋼構低 16%，比 RC 低 97%

我們由 ATHENA™ 分析來看，木構造建築，不論在「總能源消耗」、「CO<sub>2</sub>排放量」、「空氣及水污染」、「生態資源消耗」或「廢棄物的產生」的評比都遠遠優於 RC 構造。

但在台灣，我們居住的地方、工作的地方，幾乎都是 RC 構造。一般人的經驗之中，鮮有在木構造中生活的體驗。主要的原因之一是在台灣自二次大戰結束之後，大學裡的木構造課程也隨之結束，台灣也順著 International Style 的潮流，成為 Le Corbusier 理論的忠實實踐者—雖然我們並不自知。RC 構造的引進，取代了台灣襲自中國及日本傳統的木構建築。木構造在近代台灣式微的另一主要原因是 RC 的施工相對於木構造而言，是屬於低技術的工法。傳統木工師父的訓練是 3 年 10 個月才能「出師」。但在台灣，RC 的施工，不論是模板、鋼筋到灌漿所需的工人都是低技術的工人，因為我們對 RC 品質的要求不高(不是清水混凝土)，一個生手只要在工地 3-5 個月也可出師了。再加上台灣對環保的要求不高，工業污染的管制也不嚴格，砂石可以盜採(市場上的砂石 6 成來自盜採)，水泥廠可以設在國家公園裡。因此 RC 在台灣，竟成為最便宜的構造方式，這對環保嚴格的

歐美國家是難以理解的。

經濟的因素再加上學校木構課程的中斷，五、六十年來，沒人教木構造，也沒人會蓋木構造，木構造在台灣因此形成斷層。台灣的消費者也失去了選擇較佳的居住品質的機會。以我們實際的生活體驗而言，在亞熱帶氣候的台灣，很多人住過 RC 構造的頂樓，或是朝西的房間。每年夏天都是最難受的季節，RC 的構造，經過一天烈日的曝曬，儲存了大量的熱能，再傳入室內。若無通風，到了傍晚太陽下山後，室內溫度仍可高達 30-35°C，受到太陽照射的 RC 牆可達 50°C 以上的高溫，受到太陽直射的屋頂表面可達 60°C~80°C 的高溫。於是我們得終夜開冷氣以降低房間的溫度以及 RC 構造體中儲藏的高熱。RC 的特性是容易導熱(RC 熱傳導係數為  $1.4 \text{ w/m}\cdot\text{k}$  是木材的 10 倍)，而且是具高儲熱性(Thermal Mass)的材料。在寒冷的歐美國家地區，會利用 RC 的高儲熱性，將 RC 牆設置在南側，或利用 RC 樓板讓冬日的陽光照射以儲熱。到了夜間，RC 構造中儲藏的熱量釋放進室內，可減輕冬天暖氣的負荷。但對於亞熱帶的台灣而言，RC 的高儲熱性(High Thermal Mass)反而成為耗費冷氣的主要因素之一。

相對於 RC，木材的導熱性低( $0.14 \text{ w/m}\cdot\text{k}$ )，只有 RC 的 1/10，鋼骨的 4/1000，在生活的用品中，木材常用於隔熱的鍋柄、把手。而且木材儲熱性低，既不吸熱，也不儲熱。這也是為何木構的房子具有冬暖夏涼的特性。

美國在 1970 年代能源危機之後，做了一個重大的能源政策的改變。在建築上，大幅提升了建築外殼的隔熱保溫(Insulation)標準。美國因幅員廣闊，涵蓋了寒帶的阿拉斯加、溫帶的華盛頓州、亞熱帶的佛羅里達(Miami Florida)，以及熱帶的夏威夷。建築具良好的 Insulation(在寒冷的地方為保溫，在炎熱的地方為隔熱)，不論在何種氣候條件下，都是省能的關鍵，這也是美國的能源部所推行的 Energy Star 住宅裡，最強調的就是增加保溫隔熱 (Insulation) 以節省能源。

以氣候接近台灣的夏威夷為例，在夏威夷住宅設計法規規定外牆的隔熱值(R-Values)需大於 R-11~R-13(英制)，屋頂的隔熱值需大於 R-11~R-30(英制)。若設計的隔熱值低於此標準，是不可能取得建築執照的，更遑論是否為綠建築。若以台灣常用的 RC 外牆構造(15cm 厚 RC，外貼瓷磚，內部粉刷)，其熱傳導係數為  $3.5 \text{ w/m}^2\text{k}$ (公制)，隔熱為 R-0.29(公制)，換算成英制隔熱值(R-Values)只有 R-1.6(英制)，是夏威夷法規最低標準的 1/7。台灣常用的 RC 屋頂(15cm 厚 RC，上加 5cm 厚泡沫水泥)，其熱傳導係數為  $1.39 \text{ w/m}^2\text{k}$ (公制)，隔熱值為 R-0.72(公制)，換算成英制隔熱值(R-Values)只有 R-4.1(英制)是夏威夷法規最低標準的 1/3~1/7。由這些數據，我們發現在夏威夷，若用台灣目前的 RC 構造標準，其隔熱值遠低於法規的標準，是不可能通過審查，取得建照的。

在夏威夷，蓋低層建築慣用的工法就是木構造，蓋高層建築慣用鋼構造。以住宅而言，不論是採用 2x4 木構造或輕型鋼構(Lightguage Steel Framing)，在牆體內的空隙(Cavity)填塞玻璃棉當作隔熱，即可輕易達到能源法規的標準。若是採用 RC 壁體，則需要在 RC 外牆包覆一層 PU 或 PS 硬質泡棉(Rigid Insulation)，再以 Stucco(灰泥)包覆在外以保護隔熱泡棉，以達到能源法規的需求。但如此的工法，會導致 RC 構造的成本增高，而無法與木構造競爭。能源法規的標準提高，確實會改變建築構造的生態。這也是為何美國 70 年代之後，RC 構造大多只用在不需保溫隔熱的停車場了，一般住宅是沒有人用 RC 構造的。我們常批評美國是個浪費能源的國家，但若由建築法規的節能標準而言，台灣竟是遠比美國浪費能源。對一個能源幾乎完全仰賴進口，外交處境艱困的台灣，卻如此浪費能源，是非常諷刺的。

最近台灣流行 Ando 熱。很多人可能以為日本的住宅都是像 Ando 的清水混凝土構造。其實若到東京周邊的住宅區去看，那些三、四樓的住宅，不論新舊多是木構造建築。日本人有喜好木構造住宅的傾向，百分之八十的人希望他們的住宅是木構造。因為冬暖夏涼，住起來舒服，且木材的天然紋理具親切感。這是偏愛

RC 的台灣人很難理解的。這也是為何 Ando 說他在台灣比在日本受歡迎吧？

日本自古以來，就是個有效利用樹木的「樹木文化」之國。至今日本人對木構住宅的需求仍遠高於台灣及韓國，即使在非常現代化的日本三大都會區（東京、大阪、名古屋），木構造住宅仍佔全部住宅的百分之 55.5。在三大都會區之外木構造住宅佔全部住宅的百分之 73.6。也就是說，即使在人口密集的三大都會區裡，一半以上的住宅是木構造，在三大都會區之外，將近四分之三的住宅是木構造。這除了日本人鍾情木材之外，木構造的房子冬暖夏涼，住起來舒適亦是主因。

雖然，現在的日本，大部分的木材都由北美輸入，但因為木材是永續的建材，省能又環保，而且木材在成長過程具碳固定作用，可減低地球溫室效應，因此，日本住宅部門的策略是進一步再推廣物美價廉的木構住宅，發展高效率的施工法及提供消費者高品質，耐久性的木構住宅。（註 2）

經濟部能源局在今年推動「今夏不再冷」夏日節能運動，呼籲民眾把冷氣調高 1°C 以省電 6%，便可省 10 億度電，減少 69 萬噸 CO<sub>2</sub> 的排放，相當於 4 座陽明山國家公園的吸收量（中國時報 96.5.25）。因為木材的隔熱值是 RC 的 10 倍，且又不會儲熱，所以木構建築在省能的效率上優於 RC 建築。依據台電節能小組的分析（中央日報 70.1.11），具有適當隔熱的房子，較之隔熱不當的房子，可節省三分之一的冷氣用電。依此可知，若能提高房子的隔熱值，便可省電 33%，可省 55 億度電，減少 380 萬噸 CO<sub>2</sub> 的排放，相當於 22 座陽明山國家公園的吸收量。建築要達到如此省能的標準，應充分利用木材的高隔熱值及低儲熱值來取代 RC 構造。

(註 2) 日本建築中心——日本的住宅狀況 5<sup>th</sup> Edition 2003

在全球環保的共識之下，先進國家不斷的由永續的觀點來探討建材與構造各種可能性。木材（Sawn Lumber 或 Engineered Wood）無論是對自然環境或人體健康都有極正面的評價，因此在歐、美及日本，木構造不只用在住宅，更廣泛被運用在各種公共場所，如旅館、捷運站、體育館、橋樑等大型的公共建築構造。相對於台灣，目前的新建築有 95% 為 RC 構造，木構造卻不到 1%。這是與世界的永續潮流背道而馳的。倘若我們真正認真的面對「永續性」、「綠建築」的議題，而不只是把這些名詞當作口號，那我們需重新反省構造的選擇，以及如何扮演一個有良知的消費者。