

CLT -未來都市革命性的構築

Cross Laminated Timber (CLT)源自歐洲的德國，奧地利及瑞士，是一個全新的木構工法，可取代 RC 運用於都市的高樓。因為 CLT 的材料都來自永續經營的人工林，具有永續環保，省能，施工迅速，低污染，低噪音等優點，現已成為歐美日及澳洲正在競爭發展的新工法。中國也在今年年初決定訂定 CLT 中高樓層的法規，並限期年底完成立法。

木材結合了新科技新思維，開拓了前所未有的可能性。CLT 是一個全新的挑戰，可以運用於高層建築。歐洲在二十多年前開始發展 CLT 工法，奧地利現在全球居領先地位，加拿大及美國試圖後來居上，日本也正努力跟進，中國也抱著超英趕美的決心。

SOM 對 CLT 的 R & D

美國芝加哥的 SOM 建築師事務所也針對 CLT 的運用，在 2014 年提出木構高層建築（42 層）方案 (ARCHITECT 2014 R&D Award)。SOM 的 Timber Tower Research Project 有 42 樓高 (KPF 設計的台中 Hotel One 是 47 樓高)。這棟木構的超高層建築，樓板結構是 8 英吋（約 20 公分）厚的 CLT 實木版，以及實木版構造的剪力牆及剪力核 (shear core)，柱子也是實木構造（應該是 Glulam），環樑則是 RC 構造。利用 RC 樑來連接木樓板與木柱。這樣可將 RC 與鋼骨的量降低，卻可達到足夠的安全性（法規要求的結構強度與防火時效）

SOM 將這棟 Timber Tower 與他們之前設計的 DeWitt Tower（42 層）作比較，木構大樓的重量比傳統的構造輕 55%（在相同的地震規模下，建築所受的地震作用力與重量成正比 $F=MA$ ）。木構大樓構造所產生的 CO2 比傳統少 78%，碳足跡也比傳統少 60~75%。

CLT 木構造運用在高層建築的趨勢

木構造高塔在古時候的中國及日本（奈良，京都）是常見的建築類型，但在現代建築中卻非常少見。然而隨著 Engineered Wood (Glulam, CLT, LVL..) 技術的發展以及對 Heavy Timber, Mass Timber 優越防火性能的認識，以及對於永續建築及低碳設計的追求，使得歐美日國家近年來利用其先進的建築科技，探討木構造運用在高層建築的可行性。

運用 CLT 的木構造蓋 6~10 層的建築，在歐洲及澳洲早已實現，在台灣第一棟 CLT 建築是位於台中 5 層樓高的 WoodTek Headquarter。北美目前法規允許且常見的木構建築是 4+2 或 5+1（4 或 5 層的木構造疊在 2 層 RC 之上，常用於旅館，

公寓，學生宿舍)。然而近年來美國與加拿大則是積極探討木構運用於高層建築技術及法規的突破。這一切的努力，都是為了尋求對環境生態更友善的建築構造。CLT 的發明，恰好滿足了這個需求。

在加拿大溫哥華，18 層樓高的木構造大樓施工中，是 53M 高的學生宿舍。2015 年 11 月開工，2017 年 8 月完工。這是一個 Hybrid 的建築，以 RC 剪力核抗震，1F 是 RC 構造，2~17F 是木構造 (CLT Heavy Timber 樓板，Glulam 集成材柱子)。這是木構結合新技術，在都市裡蓋高樓的一大突破。

如何減低 RC 用量，如何使建築更環保，如何在建築科技上突破，這一直都是歐美先進國家在努力競爭的目標。日本近年來也一直努力在研發本土的 CLT，一方面是為了善用本土的柳杉木材，另一方面也是在佈局，想和歐美先進國家搶亞洲未來的市場。

CLT 在台灣的實踐

我很感謝上帝讓我有機會走在很前端，藉由 CLT 的運用，有機會和國外一些頂尖的團隊合作，拓展我的視野。我們運用 CLT 設計了台中的 WoodTek HQ (2014) 和台南的 Istana (2016) 兩個案子，兩個造型氛圍截然不同，但都用同一種新的技術工法。

台南的 Istana 設計長這樣子，是懷念我以前住在加州 Santa Monica 的一段美好時光，也是懷念年輕時和我太太旅行到西班牙，走在阿爾罕布拉宮的回憶。這也是考工記在台灣以 CLT Mass Timber 為木構建築的再次嘗試。

最初的台南 Istana 案是以 RC 構造來設計，我們把整套設計圖都畫完，而且也向建管單位掛件送審。但過程中，我們說服業主，把整棟建築由 RC 構造改為 CLT 木結構，因此也多花了將近半年的變更設計作業時間。但可以使這個建築更環保，住得更舒適，一切辛苦是值得的。

原本 RC 承重牆為 25 公分厚，改為 CLT 木構承重牆只需 14 公分厚，減少了 40% 的厚度。可以達到一樣的結構強度，卻可大量的減輕了自重及材料的用量。而且木材比重約為 RC 的 1/5，大幅減少對基礎的載重負擔。

改為 CLT 最主要是對節能減碳有頗大貢獻，除了 CLT 本身就是 Renewable 的綠建材之外，CLT 不像 RC 會導熱及儲熱，對於亞熱帶氣候的台灣，可以大幅降低空調的負荷，也可以提供給使用者比 RC 更舒適健康的居住空間。

CLT 採用 Prefab 的預製工法。建築設計在台灣進行，結構委託加拿大的 rjc 結構設計，CLT 預製工廠是奧地利的 K LH。三方需在前期作業時密切討論 CLT 預製分割，預留門窗開口尺寸以及鐵件固定方式。初期作業花較多時間，但是一旦進入生產流程，整體的製造及施工可以精準乾淨而且迅速。

在這個案子第一次使用歐洲的 rothoblass 鐵件 (Metal Connectors) 來連結木材的構件。原理和美國的 Simpson Strong tie 鐵件類似，但義大利 rothoblass 的鐵件在美觀上是有比較講究。

在安平 Istana 的四百多坪的 CLT 木構建築，負責施工的森科 WoodTek 只用了 5 個工人，僅僅 38 天，結構體就組裝完成，施工比傳統 RC 構造更精準(只有 1~2mm 的誤差)，施工更乾淨而且迅速。這個結構體才組裝完成，剛好 9/14 晚就經過超級颱風莫蘭蒂的風雨測試。未安裝門窗的木構建築最怕颱風 uplift 的力量把屋頂掀開，但這個結構那晚通過了狂風暴雨的考驗。

在整個施工過程中，歐洲的五金及木材供應商，以及來台指導施工的義大利人 Constantin Tistea 也一直在關切這個案子，畢竟歐洲沒有颱風，台灣確實是很好的試驗場。相信加拿大的結構技師在這個超級颱風的考驗後，也可安心睡覺。真的是感謝這個夢幻團隊美好的合作！

God Dwells in the Details

台中的 WoodTek HQ 以及安平的 Istana CLT 木構建築外牆都採用了 Rainscreen Wall 工法。運用 Rainscreen Wall 在多雨潮溼的地區（年降雨量超過 1500mm）是必要的。

台灣建築物目前常使用的外牆防水方式屬於 Mass Wall（RC 外牆或磚牆）Face sealed 的工法，但是在台灣多雨潮溼的氣候下（大部分地區年降雨量都在 1800mm 以上）這種外牆工法無法有效防潮。因為雨水會藉由風壓及毛細現象滲入室內。大雨過後，潮溼的牆壁內的水氣會因為太陽的曝曬，由室外側往室內側移動，尤其是室內使用冷氣時，室內外蒸汽壓不平衡，更會加強水氣內移的現象，不只增加空調額外除濕的負擔，也會使室內建材受潮發霉，導致 Sick Home Syndrome 的後果。

恰當的 Rain Screen Walls System 的設計及施工，可避免外牆滲水受潮的問題。利用等壓空間／隔雨層工法（Pressure Equalized Rain Screen System）的原理-在臺灣潮溼多雨的氣候下，建築外牆要防止滲水，除了防水層，還要有排水層。若只靠外牆防水（face sealed, 目前臺灣大部分建築外牆的工法），實際上無法防止外牆滲水問題。因為建築會有施工瑕疵，地震後會有裂縫，颱風時有風壓，外牆材料（不論是水泥，磚塊或木材）會有毛細現象...這都會使外牆滲水潮溼而產生壁癌，也會導致室內建材發霉腐爛等現象。

在外牆飾材（磁磚，石材，雨淋板，stucco 灰泥）與壁體防水材之間設置一個等壓空間作為排水層（drainage plane），可以將滲入壁體的水導出牆外。

等壓層的設置是依據牛頓基本力學原理 $F=ma$ ，當 $F=0$ 的時候， $a=0$ 。也就是外力（風壓）被平衡之時，水就不會被外力推入室內。而且在此空隙（cavity）中也沒有毛細現象的作用，因此水在地心引力的作用下，會被引導往下流到牆壁下端，再經由泛水片（flashing）及滴水孔（weep hole）導出外牆。

等壓空間／隔雨層工法（Pressure Equalized Rain Screen System）其實就是依循上帝隱藏在自然界的原理，運用在建築之上。當我們思考這些細部之時，真能體會 Mies 所說的「**God dwells in the details**」的原意。

CLT -取代 RC 的新構築

Cross Laminated Timber(CLT) 是一種嶄新的建築構築形式，起源於歐洲，也正在全球的建築界醞釀一個革命性的建築風潮。CLT 的運用，使得越來越多中高層樓的木構建築在都會地區得以實現。以 CLT 取代用了一個世紀的鋼筋混凝土來蓋大樓，使得「環保」，「節能減碳」，「健康」的訴求更易達成，這也是先進國家所普遍追求的。

最近因為建築設計及室內設計，重新認識了奧地利這個國家。這個人口(841 萬)比台灣少的小國家，不只是音樂之都維也納的所在地，在工業上竟然可以發展出領先全球的 Cross Laminated Timber (CLT)木構造，以及行銷全球的 Swarovski 水晶飾品及水晶燈，實在是令人敬佩且羨慕。

建築科技日新月異，在永續低碳設計的追求上，先進國家近年來的發展確實突破了許多傳統觀念的限制。台灣也需加油，在居住環境的永續性及新的科技上跟上腳步！台灣過去在新材料新工法以及 Building Science 這方面的突破是比較落後的，一方面是專業的知識的侷限，一方面是勇氣不足，也缺乏前瞻性。希望台灣也能有 Vision，有企圖心，預備自己，可以和先進國家在國際舞台競爭。