

國產工程木材的發展現況 ——以臺大實驗林為例

李佳如¹、莊閔傑¹、蔡明哲^{2*}

前言

臺灣林業秉持在國土保安與生態保育的經營基礎之下，以朝向振興國產木竹材產業為發展方向，並藉由森林資源的多元利用來達到永續林業經營的價值，因此人工林栽植及撫育期間所進行的疏伐作業(Thinning operation)除了可促進林木更新、提高林木品質及收穫林產品(Harvested wood products, HWP)之外，亦可達到林木資源之循環經濟利用及提

升森林碳匯(Carbon sink)的經營效益。再者，目前國內人工林每年至少可以提供 30,000 M³ 材積的疏伐木材，其中以中高海拔區域生長之臺灣杉(*Taiwania cryptomerioides*)、柳杉(*Cryptomeria japonica*)及杉木(*Cunninghamia lanceolata*)等針葉樹種為主(圖1)。一般而言，疏伐木的材部直徑以 50 cm 以下的中小徑木為主，普遍存在未成熟材及邊材比例偏高導致不易於大尺寸木料利用的情形。許多林業資源較豐富的國家，將中小徑木以結合集成



原木進廠及貯木場堆放原木



製材品堆放情形

圖1 國產材疏伐木於現場之原木及製材品堆放情形

¹ 臺大實驗林管理處研究人員

² 臺大森林環境暨資源學系教授，實驗林管理處處長

* 通訊作者(tmj@ntu.edu.tw)

(Lamination)與膠合(Gluing)方法發展成不同型的木質複合材料(Wood composites)，由此可知提高疏伐木的利用價值並符合市場需求即為目前推動國產材產業的重點之一。

另一方面，「建築」提供人類居住及工作的場域，與生活及文化息息相關，然而建築業卻為資源重度使用者(Heavy user of resources)，一般建築物主要以鋼筋、水泥及各種人工合成的玻璃及塑化材質做為建築物所使用的搭建材料，其石化、鋼鐵製造及人工合成材料生產過程中需要排放相當大的CO₂溫室氣體。Jones *et al.*(2016)指出建築業佔30%以上全球總能源消耗量及全球約40%的CO₂排放量，此表示建築所使用的材料除了對於氣候變遷造成衝擊之外，亦無法提供一個環境友善的安全住宅環境。有鑑於此，人們開始思考開發可達到節能及低環境衝擊之建築材料的重要性，而林木做為建築材料時，除了兼具減碳及固碳的應用價值外，亦可帶來巨大的林業經濟和環境效益。再者，木材具有永續、可再生、良好的物理/機械性質及可調節環境的濕度等特性，亦有許多研究表示大木構之集成材(Laminated lumber)生產製程的碳足跡明顯地較混凝土和鋼材低，由此可知將中小徑木應用於建築及結構材料時，不但可做為健康及生態的綠建材之外，亦可提升林木利用價

值及促進國內工程木材的發展(圖1)。

工程木材加工

近年來，天然林大型原木資源取得來源受到限制，大型實木取得不易，因此人工林中小徑木之加工利用更受到重視。集成材的發展即為克服中小徑木利用的問題，由較小尺寸的集成單元(Lamina)排列集合而成，加工期間除了可將板材缺點(如：節、腐朽及空洞等缺陷)移除而減少製品的變異性之外，並可提升其材料均一性材質及尺寸安定性。當木材欲做為結構用集成材(Structural laminated timber)使用時，即需先經過製材加工、人工乾燥、集成元成形加工、強度分等(Strength grading)、長度接合、依強度配置規劃進行同等級集成元側向寬度膠合及不同等級層板的厚度膠合等加工作業後才能符合工程或結構用材之條件(圖2)。



圖2 結構用集成材加工製程

再者，集成元的木理方向與板材的長度平行時則稱為集成板材(Laminated timber)，集成元的厚度一般介於25~50 mm，單元之間可首尾相接、邊對邊、面對面連接，由此可知集成材的尺寸僅受製造工廠和運輸系統能力的限制。集成樑(Glued laminated timber, Glulam, GLT)及直交集成板(Cross-laminated timber, CLT)透過強度設計可以製作品質穩定的建築結構，為歐洲國家與加拿大地區高度關注的工程木材。於CLT生產方面即利用集成元以橫向排列或膠合拼接，並於厚度方向做木理直交式之集成堆疊膠合而成。CLT為板狀型態之工程木材，可作承重牆(Load bearing wall)、剪力牆(Shear wall)與樓板(Floor)等結構牆體，相較於其它板類工程產品，不僅是結構牆體之構成元素，配合集成樑或柱，可應用於木結構建築之構成要素(圖 3)。

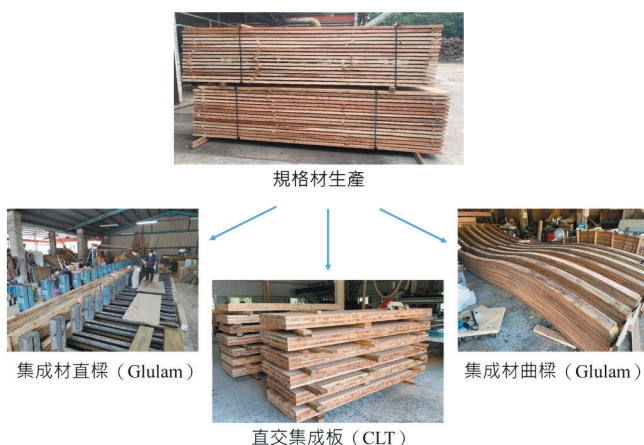


圖3 集成樑及直交集成板加工製品



圖4 工程木材加工生產所需的各項設備

實務應用

木構造建築提供了各種形狀和設計的可能性，並廣泛應用於房屋、橋樑、休憩設施等的承重結構。近年來臺大實驗林致力於國產材開發成集成樑及直交集成板等工程木材的應用，圖4顯示其加工生產所需的設備包括：人

工乾燥窯、含水率計、四面鉋木機、機械強度分等設備、集成樑成型設備、拼板機、冷壓機、大型鉋砂機及大型龍門式裁板機等。目前臺大實驗林木材利用實習工廠對於集成樑的加工單元除了可進行不同曲度的加工之外，其單元長度亦可達到15公尺。於CLT方面，為能符合建築設計及現場施工的需求，其加工長度、寬度及厚度分別可達3.5公尺、1.2公尺及18公分，為目前國內以國產材發展成工程木材的重要生產及示範據點。



工程性能評估



耐燃性能評估

圖5 國產材生產直交集成板(CLT)之實大尺寸強度及耐燃性能評估

當集成材加工成集成樑或直交集成板並應用於大木構時，其強度及耐燃性能將影響其發展甚巨，圖5即顯示國產材生產直交集成

板之實大尺寸強度及耐燃性能評估，其試驗結果均顯示具有良好的工程材料的表現。圖中亦可得知直交集成板因大斷面而具有良好的耐燃特性，甚至可減少表面塗覆防焰塗料或注入耐火藥劑於木材內的製程。再者，結構用集成材可製成樑柱、樓層板、牆板及曲線成形加工等多樣的型態，若集成元結合縱向指接加工更可製作大跨距的集成材料。圖6為溪頭自然教育園區內43公尺長的「銀杏橋」，其為第一座國產材工程木材所構成的木橋，利用曲線成形加工的集成材做為橋樑的主體材料，結合金屬連接件完成，除了可獲得結構安全的木構橋樑之外，未來亦可藉由局部抽換木料的方式達到安全及更長久的

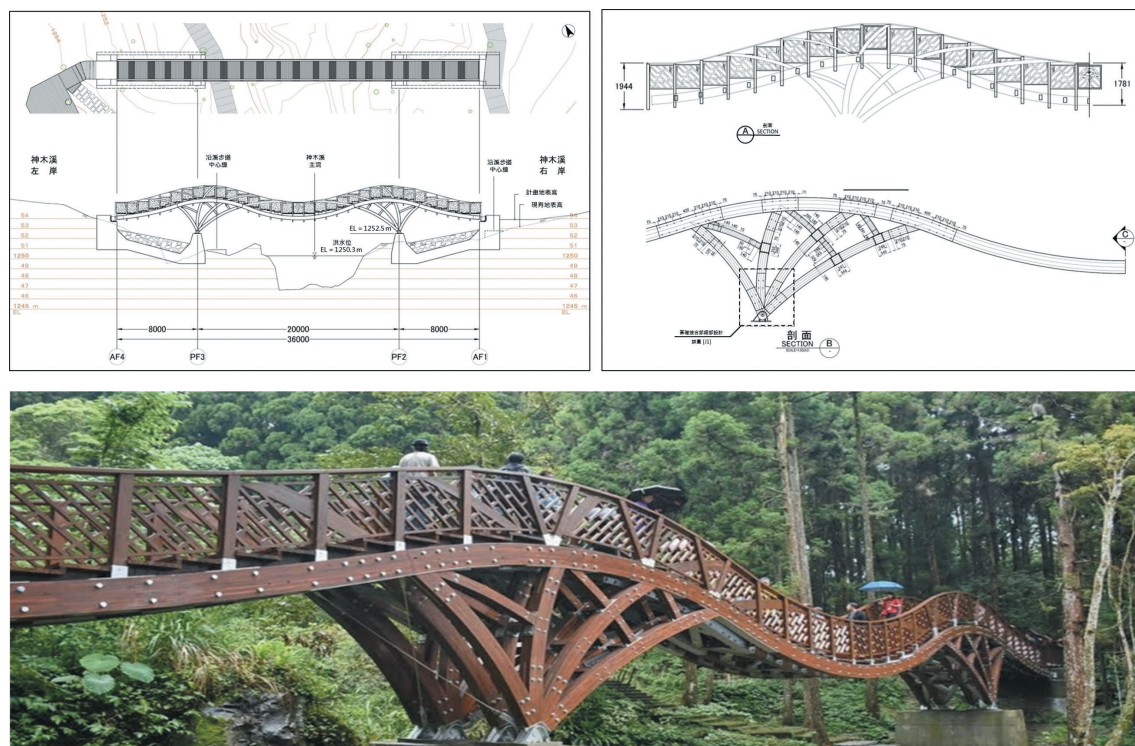


圖6 由單向彎曲集成材所構成的溪頭「銀杏橋」工程圖及實體



圖7 由二次彎曲集成材構成的臺東知本國家森林遊樂區內「柳心亭」實物

使用時間。圖7為臺東知本國家森林遊樂區內「柳心亭」，其主體材料則是藉由二次彎曲加工方式製成不同向度的柳杉集成材料，此涼亭結合樹木造形的設計及集成材的加工技術，創造出簡約的現代木構設計美學。

圖8為「臺灣厝」實木構造建築物，為首棟國產木材的大型CLT木結構建築，自原木端到建築端全部由國人親自加工建置，此案主體木結構材料之CLT與GLT分別使用約32.2及13.2 M³(共45.4 M³)，完成二層樓近60坪的木構造結構體。利用柳杉中小徑木做為材料，加工製成集成樑及直交集成材後，將集成樑做為屋樑及立柱，而直交集成板則可直接做為地板、牆板及樓層板材料，配合金屬連接件將各木構件單元連結後即可組成一個安全舒適的木構建築。此次使用柳杉比重為0.36，表示質量為360 kg/M³；由於碳含量為49.03%，而生物量則為16,344 kg，其固定碳素能力即為8,013.5 kg，從建材生產到組裝皆

為負的碳排放。換言之，建造這棟房子的過程即為固定碳素於木材中的利用。

結語

由臺大實驗林所搭建的「銀杏橋」、

「柳心亭」及「臺灣厝」等三個實構建築案例顯示，國產材除了具有調節室內溫濕度、吸音性、耐火性佳等優點，於加工製成集成材亦可做為建築材料的利用，可提升國產材加工品質及國產材多元應用的價值，且木材具有較大加工設計的自由度及更好的強度性質等優點。由此可知，利用木材即為利用對環境友善的負碳材料，不但符合林業永續利用的精神，更可提升收穫林產品(HWP)於循環經濟的價值。



圖8 由集成樑及直交集成材構成的「臺灣厝」實物