

研究報告

全竹材製作竹集成樑

李文昭¹ 藍偉銓²

【摘要】本研究乃將台灣產孟宗竹及麻竹，經簡單裁切、對剖、壓縮等機械加工展成平面竹板材，探討以間苯二酚甲醛膠合劑 (RF 膠) 於厚度方向行平行積層膠合製造竹集成樑之可行性。由其結果得知，RF 膠對木材具良好之膠合性能，然應用於經對剖、壓縮展平後竹材之直接膠合製作竹集成樑時，竹板材在竹節橫隔膜突起部位及竹青表面會影響膠合效果，致竹集成樑之強度性質不佳。而將竹簧側橫隔膜突起及部分竹青側表面去除，則可改善膠合層之密接性，竹青表面以 1% NaOH 溶液處理則可改善膠合劑對其表面之濕潤性，RF 膠中添加樹皮萃取物則可進一步改善所製造竹集成樑之性質。

【關鍵詞】竹、樹皮萃取物、竹集成樑、間苯二酚甲醛膠合劑

Research paper

Laminated Bamboo Beams Made with Whole Bamboo*

Wen-Jau Lee¹ Wei-Chuan Lan²

【Abstract】In this study, flat bamboo boards were made by simple machine processing such as cutting and pressing from Ma bamboo (*Dendrocalamus latiflorus*) and Moso bamboo (*Phyllostachys edulis*). The feasibility of laminated bamboo beams made with flat bamboo board laminated in the thickness using RF as adhesive was investigated. From the results, RF had good bonding performance for wood. But the bulge of diaphragma at bamboo node hindered intimate contact of flat bamboo board to be glued, and the wax existed in the bamboo skin caused the wetting of adhesive difficult, both of these brought laminated bamboo beams with bad strength properties. Planning away the bulge of diaphragma and part of the surface of bamboo skin could improve the contact of glue line. Treatment the surface of bamboo skin with 1 % NaOH solution could improve the wettability of adhesive. RF adhesive blended with bark extractive could improve the properties of laminated bamboo beam.

【Key words】Bamboo, Bark extractive, Laminated bamboo beam, Resorcinol formaldehyde adhesive.

1. 國立中興大學森林學系教授，通訊作者
Professor, Department of Forestry, NCHU. Corresponding author.
2. 國立中興大學森林學系研究生
Graduate student, Department of Forestry, NCHU.

一、前言

竹林在台灣林地面積中占有一相當大之比例，台灣全島竹林地共 152,300 公頃，占所有森林地面積之 7.24%，佔全島面積之 4.24%，仰賴竹栽植為生之竹農亦不在少數。由於竹材之構造為中空管狀、竹厚度薄，且含竹節，以往多應用於低附加價值竹產品之製造。然竹材有生長快速、機械強度大、木理優美、色澤柔和等優點，因此目前有許多提高其利用價值之探討。馬子斌 (1982) 曾就竹材之構造、特性及利用提出說明，陳周宏及歐信斌 (2001) 曾探討孟宗竹竹青化粧板的製作方式，莊純合及蔡崑堉 (2000) 則探討孟宗竹積層壁板作為隔音性材料之效果，張上鎮等人 (2002) 曾探討孟宗竹之低毒性保綠加工處理及其保綠機制，王松永 (1990) 則利用麻竹及孟宗竹之旋切單板製造硬化積層竹材，王恩華及劉正字 (1981) 曾探討竹材之膠合特性。國外則有將竹材應用於複合材料製造之研究，如 Chembi 及 Nimityogskul 等人 (1989) 利用竹材取代鋼筋構成水泥結構體，並將其應用於水槽結構之製造，Ghavami 氏 (1995) 則將竹材應用於強化輕質水泥樑製造，Venkateshwarlu 及 Raj 等人 (1989) 則發展以竹材為基質之水泥板，並應用於低價房屋建築之地板及天花板，Yao 及 Li 等人 (2003) 利用熱熔膠將展開之竹板材與水泥板膠合製作複合集成材，Thwe 及 Liao 等人 (2003) 則利用竹材製造塑膠複合材。筆者與劉正字等人曾將竹材鉋除竹青側與竹簧側後，裁切成無弧度之平面竹片，再使用膠合劑將其膠合製作成竹集成材，由試驗結果發現此竹集成材之抗彎強度遠優於相同比重之木材集成材 (劉正字等，1992、1993、1994)。然為取得此平面之竹片，必須經過許多加工程序，且須鉋除相當比例之竹材，所得竹片厚度小，材料損耗大，且製造成本高。而應用於集成材製造所需之間苯二酚甲醛膠合劑 (RF) 價格昂貴，若竹片厚度小，則要積層至一定厚度時，其膠合層相對較多，用膠量較大，使竹集成材之製造

成本相對較高。在台灣加入世界貿易組織後，國內竹農面臨中國大陸及東南亞國家低廉之勞工成本所生產竹材及竹製品之衝擊，因此就台灣產竹材，開發出省工、高利用率、低材料成本，且具備高附加價值之竹產品，實為解決台灣竹農所將面臨困境之因應之道。本研究乃針對台灣產竹材，探討經簡單之裁切、對剖、壓縮等機械加工展平後，將全竹材膠合製作竹集成樑之可行性。

二、材料與方法

(一) 材料

麻竹 (*Dendrocalamus latiflorus* ; Ma bamboo)：禾本科竹亞科麻竹屬，地下莖生長型式為叢生型，採自南投縣竹山地區，5-7 年生。

孟宗竹 (*Phyllostachys edulis* ; Moso bamboo)：禾本科竹亞科孟宗竹屬，地下莖生長型式為散生型，別名毛竹、南竹，採自南投縣竹山地區，5-7 年生。

樹皮：相思樹 (*Acacia confusa* ; Taiwan acacia)

強化材：玻璃纖維布。

藥品：間苯二酚、福馬林、甲醇、苯磺酸、氫氧化鈉、聚甲醛、鹽酸等，均為試藥一級。

(二) 方法

1. 竹材前處理

將新砍伐之圓竹材表面洗淨，隨後將圓竹筒對剖成半圓竹材，並裁切成約 70 cm 之長度，去除竹節部位靠竹筒內側之橫隔膜，並以冷壓機將之壓平成平面竹板材，備用。然竹節處突起部分將影響膠合時之密接性，且竹材外表之竹青表面所含蠟質將影響膠合劑之濕潤性，故對其表面先進行機械或化學之前處理。記錄機械處理之重量損失，並以表面接觸角測定儀 (FACE CA-D) 測定水及 RF 樹脂對不同處理條件竹材表面之濕潤性變化。

(1) 機械處理：將竹板材在竹筒內部竹簧側之竹

- 節橫隔膜突起部分以鉋光機刨除，在竹筒外部竹青側之竹節突起處及表面竹青層則利用鉋光機刨除或以砂磨處理去除。
- (2)化學處理：將竹板材浸漬於 1% NaOH 溶液，以 100°C 加熱浸煮 20-30 min，隨後以流動水充分洗淨，乾燥，進一步以鉋光機將竹簧側竹節橫隔膜突起部分刨除。
 - 2.間苯二酚甲醛膠合劑 (RF 膠) 合成：於 500 mL 四口圓底燒瓶裝設攪拌器、溫度計、冷凝管、分液漏斗，反應瓶中置入 1 mole 間苯二酚，以 50 g 甲醇為溶劑，1 g 苯磺酸為催化劑，攪拌並加熱至 50°C 使間苯二酚完全溶解。取相當於 0.65 mole 甲醛含量之福馬林於分液漏斗中，將其逐漸滴入反應瓶中，控制添加速度使液溫不超過 80°C。待福馬林添加完畢後維持溫度 80°C，反應 1 hr。將反應液冷卻至常溫，以 40% NaOH 溶液調整 pH 至 7.0-7.5。
 - 3.RF 膠性質測定：測定項目包含固形分、pH 值、粘度；另添加膠液重 10% 之聚甲醛為硬化劑，測定其常溫下之膠化時間，並以白櫟木為試材進行常溫硬化之木塊膠合強度試驗。
 - 4.樹皮組成分分析：氣乾相思樹樹皮，經磨粉，並取粒徑 40-60 mesh 之樹皮粉依 CNS 中國國家標準中相關規範測定其全纖維素、木質素及灰分含量，並測定其熱水、乙醚、醇苯及 1% NaOH 等之萃取物含量。
 - 5.樹皮萃取物之製備：取氣乾相思樹樹皮，以 1% NaOH 或熱水為萃取液，於液比 8/1，萃取溫度 100°C，萃取時間 1 hr 之條件下行萃取處理，過濾後之殘渣以同樣條件再進行第二次萃取，將兩次所得萃取液混合，並以噴霧乾燥機 (EYELA SD-1) 進行脫水使成粉末狀萃取物，噴霧乾燥時採用之試料入口溫度為 120-130°C，出口溫度 100-110°C，送料速度 350 mL/hr，抽氣量 0.5-0.7 m³/min，噴霧氣壓 0.8 kg/cm²，經噴霧乾燥後之抽出物粉末含水率約 8%。
 - 6.萃取物中反應性酚含量測定：採 Stiasny 法，取萃取液於燒杯中，調整 pH 值至 7.0，加入 10 mL 福馬林及 5 mL 濃鹽酸。裝上冷凝管並於 100°C 水浴器中加熱反應 1 hr。將反應液以 G3 玻璃濾杯行抽吸過濾，並以熱水將殘留物充分洗淨。將玻璃濾杯及殘留物置於 103±2°C 之烘箱中乾燥至重量不變，取出置於玻璃乾燥器中冷卻後，稱取殘留物重，並計算反應性酚含量。
 - 7.竹集成樑製造：竹片規格 52 cm 長，20 cm 寬，厚度為原竹材之厚度或經輕度刨削後之厚度，各竹板材先置於溫度 20±2°C，相對濕度 65±3% 之恆溫恆濕室中使達平衡含水率。集成方式為四層結構之竹集成材，膠合時各相鄰層之纖維方向相互平行，且膠合材面為竹青側對竹簧側膠合，採雙面佈膠，每一膠合層佈膠量 200 g/m²，以冷壓法製造四層竹集成樑，加壓壓力為 15 kgf/cm²，冷壓時間 24 hr。解壓後放置溫度 20°C，相對溼度 60% 恆溫恆濕室一週，以縱切機裁切為寬度 4 cm 之試片。
 - 8.竹集成樑機械性質測定：依 CNS 11031 標準以強度試驗機採中央載重方法測試竹集成材之最大載重，並計算其抗彎強度 (MOR) 抗彎彈性係數 (MOE)，測試時，跨距為試材厚度之 14 倍，並採竹青側為受張側，竹簧側為受壓側。
- ### 三、結果與討論
- 本研究乃將台灣產孟宗竹及麻竹，經簡單之裁切、對剖、壓縮等機械加工成平面竹板材，以 RF 膠或 RF 膠添加樹皮萃取物為膠合劑，於其厚度方向行纖維平行積層膠合成竹集成樑。表 1 為孟宗竹及麻竹之基本資料，兩種竹材均為 5-7 年生，其外部直徑差異不大，約 11.7 cm，竹厚度則以孟宗竹之 11.8 mm 略大於麻竹之 10.6 mm。節間長度則麻竹遠大於孟宗竹，麻竹平均為 41.3 cm，孟宗竹則僅 16.8 cm。

表 1. 竹材基本資料

Table 1. Basic data of bamboo.

特 性	孟宗竹	麻竹
外徑(cm)	11.7 ± 1.3	11.7 ± 1.3
厚度(mm)	11.8 ± 2.5	10.6 ± 4.0
節間長(cm)	16.8 ± 4.6	41.3 ± 7.0

研究中所採用之 RF 膠為實驗室自行合成者，合成時 F/R 之莫爾比為 0.65/1，合成終了並將膠液調整至中性，使用前加入膠液重 10% 之聚甲醛做為硬化架橋劑，其膠液固形分含量為 51%，常溫下之膠化時間約 3 hr，以白櫟木進行木塊膠合力試驗時，此 RF 膠具良好之膠合性能，膠合材經耐沸水反覆處理後，其強度測試之木破率達 100%。然所合成 RF 膠之粘度偏低，其粘度值僅約 30 cps，為改善其膠合性能，研究中另探討將相思樹之樹皮萃取物添加

於 RF 膠，並將其應用於竹集成樑製造。

表 2 為所採用相思樹樹皮之化學組成分，其中全纖維素含量為 46.9%，木質素含量為 41.8%，灰分為 3.5%，不同溶劑之萃取物含量以乙醚及醇-苯之萃取物含量較低，分別為 2.0% 及 4.5%，熱水萃取物含量為 18.3%，1% NaOH 萃取物之含量則可達樹皮絕乾重之 53.9%。而 1% NaOH 萃取物中除單寧等酚類成分外，低分子量或被降解之纖維素、半纖維素及木質素等亦可被溶出而混雜於萃取液中。

表 2. 相思樹樹皮之化學組成分

Table 2. Chemical components of Taiwan acacia bark.

全纖維素 (%)	木質素 (%)	灰分 (%)	萃取物含量(%)			
			乙醚	醇苯	熱水	1 % NaOH
46.9	41.8	3.5	2.0	4.5	18.3	53.9

由於萃取物應用於膠合劑製備時，主要乃利用其中可與甲醛反應之酚類物質，此主要為一些縮合型單寧，為了解其應用於膠合劑製備之適性，研究中以 Stiasny 法測定相思樹樹皮之熱水及 1% NaOH 萃取物中可與甲醛反應之成分之含量。表 3 為其萃取物中反應性酚物質之含量，由表可知熱水萃取物中反應性酚物質含量為 66.3%，較 1% NaOH 萃取物之 61.5% 為高，然 1% NaOH 之萃取量較熱水為高 (53.9% 比 18.3%)，因此換算成對樹皮重時則以 1% NaOH 萃取物中共含有 33.1% 之反應性酚物

質，較熱水萃取物之 12.1% 為高。

為探討全竹材應用於竹集成材製造之可行性，首先將對剖竹材除去橫隔膜後以冷壓機壓平，此壓平之竹片板經 RF 膠直接膠合製造竹集成材時，由於壓縮展平之竹板材在竹節部位有明顯之突起部，致其膠合層無法密接，膠合竹集成材之強度性質不佳，破壞多發生在膠合界面，其中孟宗竹因節間距離較麻竹短，節突起部對膠合效果之影響更為明顯。另由破壞面之膠合層外觀亦可看出，膠合劑對竹青面之濕潤性不良，硬化後之膠合層有脫落及呈現光澤

現象，無法附著於表面。

表 3. 相思樹樹皮萃取物中反應性酚物質含量

Table 3. Content of reactive phenolic materials in extractives of Taiwan acacia bark.

萃取物種類	反應性酚物質含量 (%)	
	對萃取物重	對樹皮重
熱水	66.3	12.1
1 % NaOH	61.5	33.1

為改善竹材之膠合性能，試驗中將竹簧側以鉋光機去除竹節突起部分以改善膠合竹材間之密接性，竹青側則採鉋削或砂磨等機械處理法，或以 1% NaOH 溶液煮沸處理以去除表面蠟質之化學處理法。表 4 為竹材表面經機械加

工處理後之重量損失率，竹簧側以鉋光機將節部橫膈膜突起部分鉋除時，其重量損失約 6%，而竹青採鉋光處理與砂磨處理之損失率則分別為 12.3% 及 2.3%。

表 4. 竹材表面處理之重量損失率

Table 4. Weight loss of bamboo with various surface treatments.

處理部位	處理方式	重量損失率 (%)
竹簧	鉋削	6.0 ± 3.2
竹青	鉋削	12.3 ± 2.3
	砂磨	2.3 ± 1.1

表 5 為蒸餾水及 RF 樹脂對不同處理竹材之竹青側表面之接觸角。其中蒸餾水及 RF 樹脂對未處理孟宗竹與麻竹之接觸角分別為 70°、76° 及 76°、89°，經過鉋光處理或砂磨處理後之接觸角均降低，顯示去除竹青後因表面蠟質被移除而可改善竹材表面之濕潤性。而直接利用 1% NaOH 溶液煮沸處理以去除竹青側表面蠟質之化學處理法對其表面濕潤性改善之效果最為明顯，其接觸角降低至 31°、28° 及 48°、44°。

進一步將竹簧側經平鉋機鉋除竹節橫膈膜突起部分，而竹青側則經不同表面處理之竹板材，以 RF 膠膠合製造之四層竹集成材，其竹集成材之機械性質如表 6 所示，竹青側採鉋光處理之孟宗竹與麻竹所製造集成材之 MOR 分別為 257 kgf/cm² 及 249 kgf/cm²，MOE 分別為

43710 kgf/cm² 及 34080 kgf/cm²；竹青側採砂磨處理者，孟宗竹及麻竹之 MOR 分別為 177 kgf/cm² 及 277 kgf/cm²，MOE 則分別為 33040 kgf/cm² 及 38700 Kgf/cm²；而經化學處理麻竹之 MOR 及 MOE 則可大幅提高為 464 及 45410 kgf/cm²。

由於前述竹板材所製造之竹集成材結構中存在有許多裂隙，而竹集成材製造時所使用 RF 膠之黏度低，缺乏填縫性，因此嘗試於 RF 膠中添加樹皮萃取物粉末以提高黏度，或使用浸漬 RF 膠之玻璃纖維布為中膠層加以改善。表 7 為改良膠合方式後所製集成材之性質，由表其 MOR 與 MOE 值皆有提升，顯示可有改善之效果，可達 CNS 11031 號標準中四層以上同等級結構用集成材中 E150-F465 等級對抗彎強度 465 kgf/cm² 以上之要求。

表 5. 不同處理方式竹材表面之接觸角

Table 5. Contact angles of bamboos with various treatments.

竹青表面 處理方式	蒸餾水		RF 樹脂	
	孟宗竹	麻竹	孟宗竹	麻竹
未處理	70	76	76	89
鉋平處理	60	61	59	64
砂磨處理	53	63	47	41
化學處理	31	28	48	44

單位：度

表 6. 竹集成材之機械性質

Table 6. Mechanical properties of laminated bamboos.

竹青表面 處理方式	孟宗竹		麻竹	
	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)
鉋光處理	257	43710	249	34080
砂磨處理	177	33040	277	38700
化學處理	—	—	464	45410

膠合劑：RF 樹脂

表 7. 改良竹集成材之機械性質

Table 7. Mechanical properties of modified laminated bamboos.

竹種	竹青表面處 理方式	改良方式	未改良		改良	
			MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)
麻竹	砂磨處理	RF+萃取物	277	38700	490	53870
麻竹	化學處理	RF+萃取物	464	45410	514	61500
孟宗竹	鉋光處理	玻璃纖維布	257	43710	354	55170

四、結論

本研究乃將台灣產孟宗竹及麻竹，經簡單之裁切、壓締等機械加工成平面竹板材，並以 RF 膠於其厚度方向行積層膠合，探討全竹材製造竹集成樑之可行性。由結果得知，竹節橫隔膜突起部位及竹青表面會影響膠合效果，致竹集成樑之強度性質不佳。以鉋光機去除竹簧側橫隔膜突起部分及竹青側表面可改善膠合層

之密接性，以 1% NaOH 溶液處理則可改善 RF 膠對竹青表面之濕潤性，RF 膠中添加樹皮萃取物則可進一步改善其所製造竹集成樑之性質。

五、參考文獻

王松永 (1990) 硬化積層竹材之性質。林產工業 9(1)：134-149。

- 王恩華、劉正字 (1981) 竹材膠合之研究。國立中興大學農學院實驗林研究報告 3 : 115-123。
- 馬子斌 (1982) 竹材之利用。林產工業 1(1) : 97-100。
- 陳周宏、歐信斌 (2001) 竹青化粧板之開發研究。林產工業 20(1) : 29-38。
- 莊純合、蔡崑堉 (2000) 孟宗竹積層壁板隔音性能之研究-聲音透過損失之測定與分析。林產工業 19(4) : 425-434。
- 張上鎮、葉汀峰、吳志鴻 (2002) 孟宗竹之低毒性保綠加工處理及其保綠機制。林產工業 21(3) : 151-160。
- 劉正字、李文昭、王恩華 (1992) 竹木材積層膠合製作高級製品及結構建材(I) -竹材基本物理機械性質及膠合性之探討。林產工業 11(1) : 19-29。
- 劉正字、李文昭、王恩華 (1993) 竹材積層膠合製作高級製品-數種竹材積層膠合用膠合劑之特性及其膠合強度變化之探討。林產工業 12(3) : 51-64。
- 劉正字、李文昭、王張光 (1994) 竹材積層膠合製作高級製品-竹材塗裝性能之探討。林產工業 13(4) : 528-543。
- Chembi, A. and P. Nimityogskul (1989) A bamboo reinforced cement water tank. J. Ferrocement 19(1):11-17.
- Ghavami, K. (1995) Ultimate load behaviour of bamboo-reinforced light-weight concrete beams. Cement Concrete Comp. 17(4):281-288.
- Thwe, M.M. and K. Liao (2003) Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. Compos. Sci. Technol. 63:375-387.
- Venkateshwarlu, D. and V. Raj (1989) Development of bamboo based ferrocement roofing elements for low cost housing. J. Ferrocement 19(4):331-337.
- Yao, W. and Z. Li (2003) Flexural behavior of bamboo-fiber-reinforced mortar laminates. Cement and Concrete Res. 33:15-19.

