

# 密度及塑膠種類對單板貼面木材塑膠複合材 物理機械性質之影響

趙瑩瑩<sup>1</sup> 洪克昌<sup>1</sup> 吳志鴻<sup>2</sup>

【摘要】本研究利用台灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*) 木粒片、原生型高密度聚乙烯 (Virgin high density polyethylene, vHDPE)、回收型高密度聚乙烯 (Recycled high density polyethylene, rHDPE)、回收型低密度聚乙烯 (Recycled low density polyethylene, rLDPE) 及放射松 (*Pinus radiata*) 單板以一次熱壓成型 (One-step hot-press molding) 方式製備單板貼面木材塑膠複合材 (Veneer overlaid wood plastic composite, VWPC), 以探討密度及塑膠種類對 VWPC 物理機械性質之影響。試驗結果顯示, 木材塑膠複合材 (Wood plastic composite, WPC) 之抗彎性質隨密度增加而提高, 但不同密度 VWPC 之抗彎性質則無統計上差異。然而, VWPC 之抗彎性質均優於 WPC。另外, 比較不同密度 VWPC 之性質時可以發現, 以密度 800 kg/m<sup>3</sup> 之 VWPC 較能兼具試材之尺寸安定性及機械性質之表現。此外, 比較原生與回收 HDPE 所製備之 VWPC 時發現, 利用回收塑膠所製備之複合材, 其具有與原生塑膠製備者相似之物理機械性質。

【關鍵詞】單板貼面木材塑膠複合材、一次熱壓成型、回收塑膠、物理機械性質、尺寸安定性。

## Effects of Density and Plastic Type on the Physicomechanical Properties of Veneer Overlaid Wood Plastic Composite

Ying-Ying Chao<sup>1</sup> Ke-Chang Hung<sup>1</sup> Jyh-Horng Wu<sup>2</sup>

【Abstract】The main purpose of this study is to develop and manufacture veneer overlaid wood plastic composite (VWPC) from wood (*Pinus taiwanensis*) particles, different kinds of plastics (including virgin high density polyethylene (vHDPE), recycled high density polyethylene (rHDPE) and recycled low density polyethylene (rLDPE)) and veneer (*Pinus radiata*) by one-step hot-press molding. The effects of density and plastic type on the physicomechanical properties of VWPC were evaluated. The experimental results revealed that the flexural properties of WPC increased with increasing density, while no statistical differences were observed on VWPC of different densities. Compared with WPC, the panels sandwiched with veneers (VWPC) were greatly improved their flexural properties. In addition, among various densities of VWPC, the VWPC with density of 800 kg/m<sup>3</sup> exhibited the outstanding performance on the dimensional stability and mechanical properties. Moreover, mechanical properties of the VWPC containing recycled plastic (rHDPE) were similar and comparable to those of composite made from virgin HDPE.

【Key words】Veneer overlaid wood plastic composite, One-step hot-press molding, Recycled plastic, Physicomechanical properties, Dimensional stability.

<sup>1</sup> 國立中興大學森林學系研究生。

Graduate students, Department of Forestry, National Chung Hsing University.

<sup>2</sup> 國立中興大學森林學系教授, 通訊作者。

Professor, Department of Forestry, National Chung Hsing University. Corresponding Author, E-mail: eric@nchu.edu.tw.

## I、前言

隨著社會工業化的進步與發達，人們對於森林資源的需求量也隨之增加，而近年來因森林的過度砍伐已導致全球生態環境的破壞，致使許多國家逐漸訂立禁止或減少開採之法令。然而，木材具有良好之溫度舒適感及美觀紋理，因此廣泛用於家具裝潢、建築、交通用品及其他生活用品之製造，實難以被其他材料所取代。因此，如何有效地應用木材資源，實值得進一步探討與研究(顏仁德, 2008)。另一方面，全球每年產出 1.4 億噸之塑膠廢棄物，不僅佔據人類的生活空間，亦造成環境污染的問題，故塑膠廢棄物為人們首要解決的問題之一 (Al-Salem *et al.*, 2009)。其中，木材塑膠複合材料 (Wood plastic composite, WPC) 之開發與製作，即為極具潛力的森林資源有效利用及解決塑膠廢棄物的方法之一。

事實上，已有許多學者將大量之農林廢棄物(如：木屑、竹屑、稻殼、麥桿、蔗渣、棕櫚及果殼等)進行木材塑膠複合材製備之研究，此不僅可有效利用寶貴之森林資源，並可減少環境二次污染之危害 (Cerqueira *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2012; Fávoro *et al.*, 2010; Wu *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2007)。另外，亦有許多研究證實利用回收高密度聚乙烯 (Recycled high density polyethylene, rHDPE) 及回收聚丙烯 (Recycled polypropylene, rPP) 等塑膠製備之木材塑膠複合材，具有與原生 (Virgin) 塑膠製備者相似或較佳之物理機械性質，顯示回收塑膠亦具有開發為木材塑膠複合材之潛力 (Adhikary *et al.*, 2008; Najafi *et al.*, 2005)。因此，木材塑膠複合材實為兼具環保及資源永續利用之綠色環保材料。

然而，現今有關 WPC 之研究，多著重於材料性質之分析及改善，例如：複合材之界面性、耐候性、耐燃性、潛變性及耐衝擊性等 (Baysal *et al.*, 2007; Bledzki and Faruk, 2004; Hung and Wu, 2010; Hung *et al.*, 2012; Jacob, 2006; Lee *et al.*, 2004; Lee *et al.*, 2012); 相對的，以 WPC 為基材所衍生之相關複合材的開發，則仍缺乏相關之研究。因此，本研究即以一次熱壓成型 (One-step hot-press molding) 單板貼面 WPC 方式，製備並建立新型單板貼面 WPC 板 (Veneer overlaid wood plastic composite, VWPC) 之最適化製程條件；除比較 WPC 及 VWPC 間各項物理及機械性質差異

之外，並評估原生與回收塑膠對 VWPC 性質之影響。

## II、材料與方法

### (I) 木質材料

#### 1. 木質粒片

本試驗所使用之木材係取自國立中興大學惠蓀實驗林場之台灣二葉松 (*Pinus taiwanensis*)。試驗前將所得木材以搗切機及磨切機處理成適當尺寸之粒片後，再以篩分機篩分尺寸為-16+24 mesh 之粒片。之後，將粒片置入 70°C 烘箱中烘乾至含水率 3% 以下，並以塑膠袋密封備用。

#### 2. 木材單板

本試驗所使用之木材單板 (厚度約 2 mm) 為購自嘉義縣大林鎮萬財興業有限公司之放射松 (*Pinus radiata*) 單板。將單板裁切為試驗所需尺寸後，置入 105°C 烘箱中烘乾，以供後續試驗之進行。

### (II) 塑膠材料

本試驗所使用之塑膠分別為原生型高密度聚乙烯 (Virgin HDPE, vHDPE)、回收型高密度聚乙烯 (rHDPE) 及回收型低密度聚乙烯 (Recycled low density polyethylene, rLDPE) 共 3 種。其中，HDPE 購自台灣聚合化學股份有限公司 (台灣，高雄)，型號為聯塑烯 LH 901，密度為 950 kg/m<sup>3</sup>，熔流指數 (Melt flow index, MFI) 為 0.95 g/10 min，熔融溫度則為 130–140°C。而 rHDPE 及 rLDPE 則係購自宏聚塑膠公司 (台灣，彰化)，型號分別為 E2010-1 及 D4318-7-1，密度為 940 及 920 kg/m<sup>3</sup>，熔流指數則為 4.20 及 8.00 g/10 min，熔融溫度皆為 130°C。所得之塑膠材料先以圓盤式磨粉機進行磨粉處理，再經篩分機篩選粒徑尺寸通過 20 mesh 之塑膠粉末，以供後續複合材之製備。

### (III) 複合材製備

將台灣二葉松粒片與不同塑膠基質 (vHDPE、rHDPE 及 rLDPE) 以絕乾重量比 50/50 (wt%) 混合後，置入混合機內均勻攪拌 5 min 後取出。複合材之預設密度分別為 700、800 及 1000 kg/m<sup>3</sup>，成板尺寸則為 300 mm × 200 mm × 12

mm。木材塑膠複合材心合板 (VWPC) 之製備則是先將單板置於襯板 (Caul plate) 上作為背板 (Back veneer)，續將混合之台灣二葉松粒片與塑膠均勻灑入成型模具後，再平置放上與底板相同之單板作為面板 (Face veneer)，且上下面之單板其木理方向成平行排列，以完成板坯 (Mat) 製作。之後，於板坯中心層置入 K type 熱電耦線後，將板坯置入熱冷交替式平壓機中，於熱板溫度 200°C 及初期壓力 3.5 MPa 下進行熱壓。當板坯中心溫度達 180°C 時，關閉加熱裝置並啟動冷卻裝置，使板坯中心溫度冷卻至 75°C 以完成 VWPC 之製備 (圖 1)。最後，將試材置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕，以供後續性質之分析。同時，另製備木材塑膠複合材 (WPC) 為對照組，其熱壓條件同 VWPC 製備者。

#### (IV) 複合材之物理性質分析

##### 1. 密度

本試驗參考 CNS 2215 粒片板之檢測標準，將試材裁切成 50 mm × 50 mm × 12 mm 之試材，經 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，測量試材之長度、寬度及厚度，再換算其體積及測定其質量，並依此計算試材之密度。

##### 2. 吸水率及吸水厚度膨脹率

本試驗參考 CNS 2215 粒片板之檢測標準，將尺寸為 50 mm × 50 mm × 12 mm 之試材，置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，測量試材之質量及厚度。隨後，將試材放入常溫水浴中，使試材沉於水面下 30 mm 處，浸水 24 h 後取出，測量其質量及相同位置之厚度，並依此計算試材之吸水率及吸水厚度膨脹率。

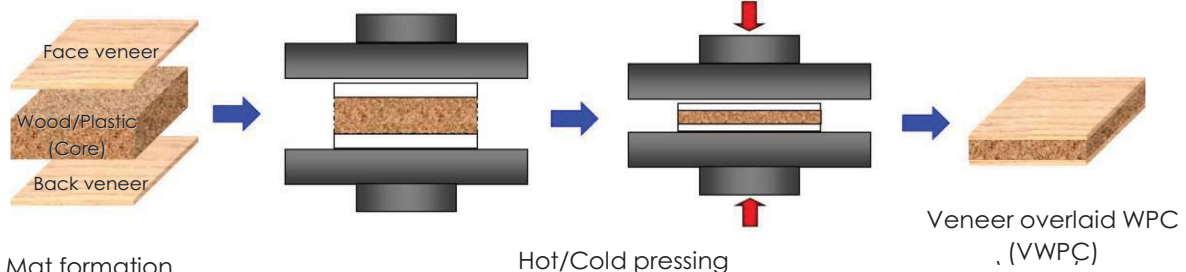


圖 1、VWPC 製程示意圖

Fig. 1. Scheme of VWPC processing.

##### 3. VWPC 之單板壓縮率

本試驗參照 Anshari 等人 (2011) 之試驗方法，使用尺寸為 50 mm × 50 mm × 12 mm 之試材。分析時，以 MOTIC 之立體顯微鏡 (Motic M500) 測量 VWPC 之單板厚度，之後並依下列式子計算 VWPC 之單板壓縮率 (Compression ratio, CR)。

$$CR (\%) = ((T_0 - T_1) / T_0) \times 100$$

式中， $T_0$  為木材單板熱壓前之厚度 (mm)， $T_1$  為木材單板熱壓製成 VWPC 之厚度 (mm)。

##### 4. VWPC 之單板回彈率

本試驗參照 Dwianto 等人 (1999) 之試驗方法，使用尺寸為 50 mm × 50 mm × 12 mm 之試材。分析時，以 MOTIC 之立體顯微鏡測量 VWPC 之單板厚度後，將試材放入常溫水浴中，使試材沉於水面下 30 mm 處，浸水 24 h 後取出，測量其相同位置之厚度，並以下列式子計算 VWPC 之單板回彈率 (Spring-back)。

$$\text{單板回彈率} (\%) = ((T_2 - T_1) / (T_0 - T_1)) \times 100$$

式中， $T_0$  為木材單板熱壓前之厚度 (mm)， $T_1$  為木材單板熱壓製成 VWPC 之厚度 (mm)，而  $T_2$  為 VWPC 單板經 24 h 浸水後之厚度 (mm)。

#### (V) 複合材之機械性質分析

##### 1. 抗彎強度

本試驗參考 CNS 2215 粒片板之檢測標準，將尺寸為 230 mm × 50 mm × 12 mm 之試材，置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，測量試材質量、長度、寬度及厚度。隨後，以 180 mm



之載重跨距及 10 mm/min 之載重速率進行檢測。VWPC 之測定方向為單板木理與載重頭 (Crosshead) 成垂直，且記錄試材之最大載重及經時載重與變形量，並依此計算試材之抗彎強度 (Modulus of rupture, MOR) 及抗彎彈性模數 (Modulus of elasticity, MOE)。

## 2. 木螺釘保持力 (Wood screw-holding strength, WS)

本試驗參考 CNS 2215 粒片板之檢測標準，將尺寸為 50 mm × 50 mm × 12 mm 之試材，置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中調濕 7 天後，於試材中央以直徑 2 mm 之鑽頭，鑽取深度約 3 mm 之導引孔。接著將直徑 2.7 mm，長 16 mm 之木螺釘垂直旋入於試材表面，使螺牙完全鑽入而未貫穿試材。最後，以 2 mm/min 之引拔速度，垂直拔起木螺釘，所測得之最大載重 (N)，即為木螺釘保持力。

### (VI) 統計分析

本試驗利用 SAS 統計系統進行變異數分析 (Analysis of variance, ANOVA)，並透過 Scheffe 檢定 (Scheffe's test) 評估各組之差異 (信賴區間為 95%)。

## III、結果與討論

### (I) 密度對 WPC 及 VWPC 物理性質之影響

為探討密度對 WPC 及 VWPC 性質之影響，複合材製備時，分別以密度 700、800 及 1000 kg/m<sup>3</sup> 進行抄製。而表 1 即為不同密度 WPC 及 VWPC 之物理性質，由表中可以得知，複合材密度會影響 WPC 與 VWPC 之 24 h 吸水率，此結果與 Clemons 及 Ibach (2004) 之試驗結果相似。其中，高密度 (967 kg/m<sup>3</sup>) WPC 具有最低之吸水率 (3.2%)，而低密度 (695 kg/m<sup>3</sup>) VWPC 具有最高之吸水率 (28.8%)。其原因主要係製備高密度 WPC 時，木材受到充分壓縮或填充而與塑膠具有較緊密的結合，因此可有效抵擋水分進入複合材內部。相對的，製備低密度 VWPC 時，WPC 板心之木粒片與塑膠的結合較為鬆散，導致複合材具有較多的縫隙使水分容易進入複合材內部，並增加單板對水分的吸收。

另外，由表 1 結果亦可以得知，高密度 (967 kg/m<sup>3</sup>) WPC 具有最低之 24 h 吸水厚度膨脹率 (2.3%)。相反的，高密度 (1030 kg/m<sup>3</sup>) VWPC 卻具有最高之 24 h 吸水厚度膨脹率 (13.4%)。而導致高密度 VWPC 吸水厚度膨脹率提高之原因，推測主要係製備高密度 VWPC 時，其面板及背板之單板壓縮程度較高所致。為了驗證此推論，本研究進一步檢測不同密度 VWPC 之面板及背板壓縮率，其試驗結果如圖 2 所示。由圖中可以發現，VWPC 的面板壓縮率隨密度增加而上升，且三者間具有顯著差異，其壓縮率介於 19.6–57.5%。同樣的，比較三者之背板壓縮率亦可以發現，密度為 1000 kg/m<sup>3</sup> 之 VWPC 具有最高之背板壓縮率，其值為 59.1%，且與密度為 700 及 800 kg/m<sup>3</sup> 之 VWPC 背板壓縮率 (其值分別為 45.4 及 43.1%) 具有統計上差異。由上述結果可以得知，製備高密度 (1000 kg/m<sup>3</sup>) VWPC 時，其面板及背板受壓縮的程度最高。因此，當 VWPC 經 24 h 浸水試驗後，單板的厚度膨脹率隨壓縮程度增加而上升。

同樣的，由圖 3 面板及背板回彈率之試驗結果亦可得知，密度愈高之 VWPC 其單板回彈率愈大。其中，密度 1000 kg/m<sup>3</sup> 之 VWPC，其浸水後之面板及背板回彈率分別為 58 及 60%，明顯較密度 700 kg/m<sup>3</sup> 者 (6.6 及 11.0%) 高，此一趨勢與 Zhou 等人 (2000) 之試驗結果相似。而造成此結

表 1、不同密度 WPC 與 VWPC 之物理性質

Table 1. Physical properties of HDPE-based WPC and VWPC with various densities

Samples	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Thickness swelling (%)
WPC	744±23 <sup>D</sup>	16.2±5.4 <sup>B</sup>	3.0±0.3 <sup>BC</sup>
	846±11 <sup>C</sup>	17.8±2.9 <sup>B</sup>	3.4±0.2 <sup>BC</sup>
	967±13 <sup>B</sup>	3.2±0.6 <sup>C</sup>	2.3±0.4 <sup>C</sup>
VWPC	695±31 <sup>D</sup>	28.8±3.1 <sup>A</sup>	5.5±0.7 <sup>B</sup>
	816±38 <sup>C</sup>	11.4±0.4 <sup>B</sup>	4.0±1.2 <sup>BC</sup>
	1030±17 <sup>A</sup>	17.2±1.5 <sup>B</sup>	13.4±2.4 <sup>A</sup>

Values are mean ± standard deviation (SD) ( $n = 5$ ). Different letters within a column indicate significant difference at  $p < 0.05$ .

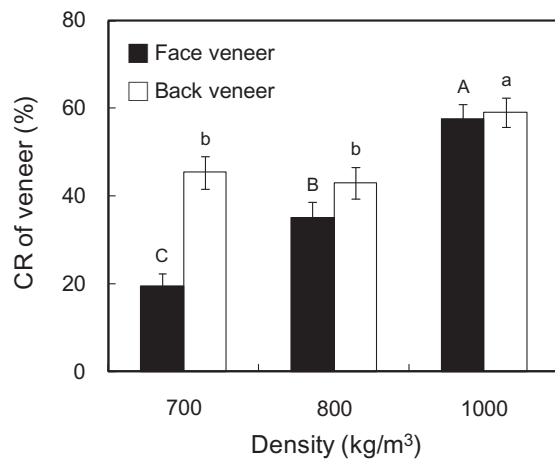


圖 2、不同密度 VWPC 其面板及背板之壓縮率  
Fig. 2. Compression ratio (CR) of face and back veneers of vHDPE-based VWPC with various densities. Values are mean  $\pm$  standard error of measurement (SEM) ( $n = 10$ ). Bars with different letters indicate significant difference at  $p < 0.05$ .

果之原因，主要係單板的壓縮應力在高濕度環境下釋放，且膨脹後之試材厚度無法回復至乾燥時之尺寸，使得單板之吸水厚度膨脹率隨著壓縮率增加而提升。

## (II) 密度對 WPC 及 VWPC 機械性質之影響

為進一步了解密度對 WPC 及 VWPC 強度性質之影響，本試驗對 WPC 及 VWPC 進行抗彎試驗及木螺釘保持力試驗，其試驗結果分別如表 2 及圖 4 所示。由表 2 可以得知，WPC 之抗彎性質隨密度增加而提高，其 MOR 及 MOE 分別介於 18.1–24.1 MPa 及 1.6–2.0 GPa 之間；但 VWPC 之抗彎性質則不受密度影響，其 MOR 及 MOE 分別介於 53.1–57.3 MPa 及 7.7–6.1 GPa 之間。另外，各密度 VWPC 之抗彎性質均優於 WPC，顯示單板貼面能有效的提高 WPC 之抗彎性質。其原因主要係木材之挺性較 WPC 為高，故單板貼面能提高 WPC 之抗彎性質。再者，為了比較各組間之差異，本研究進一步以比強度進行探討，以降低密度對材料性質之影響。由表 2 可以發現，各組 WPC 之比抗彎強度 (Specific modulus of rupture, sMOR) 均無顯著差異，其 sMOR 介於 24.5–25.6 MPa 之間。而各組 VWPC 則均具有較 WPC 為佳之 sMOR，但隨著密度的增加，其 sMOR 由 79.9 MPa

(密度 695 kg/m<sup>3</sup>) 下降至 51.6 MPa (密度 1030 kg/m<sup>3</sup>)，顯示 VWPC 在低密度時具有較高之比強度。推測造成此現象之原因，主要係高密度者於熱壓過程中板材內部之殘留應力較高，導致其抗彎強度降低。此外，VWPC 之比抗彎彈性模數 (Specific modulus of elasticity, sMOE) 與 sMOR 具有相同之趨勢，其 sMOE 亦由 11.0 GPa (695 kg/m<sup>3</sup>) 下降至 5.9 GPa (1030 kg/m<sup>3</sup>)，但各組 VWPC 之 sMOE 仍較 WPC 為佳。此外，由圖 4 密度對 WPC 與 VWPC 木螺釘保持力影響之結果可以得知，WPC 與 VWPC 之木螺釘保持力均隨著複合材密度增加而提高。同時，根據 Stokke 等人 (2014) 指出，複合材之內聚強度與其壓縮比 (Compaction ratio) 呈線性正相關。而影響 WPC 木螺釘保持力之因素與內聚強度相似，故推測 WPC 與 VWPC 之木螺釘保持力主要係受其壓縮率影響，單板貼面則無法改善 WPC 之木螺釘保持力。

綜合上述 WPC 與 VWPC 之物理及機械性質結果可以得知，以預設密度為 700 及 800 kg/m<sup>3</sup> 所製備之 VWPC 具有較佳之抗彎性質；同時，以密度 800 kg/m<sup>3</sup> 製備者兼具較佳之尺寸安定性。因此，後續複合材製備時均採用預設密度 800 kg/m<sup>3</sup>，以進一步評估塑膠種類對 VWPC 各項性質之影響。

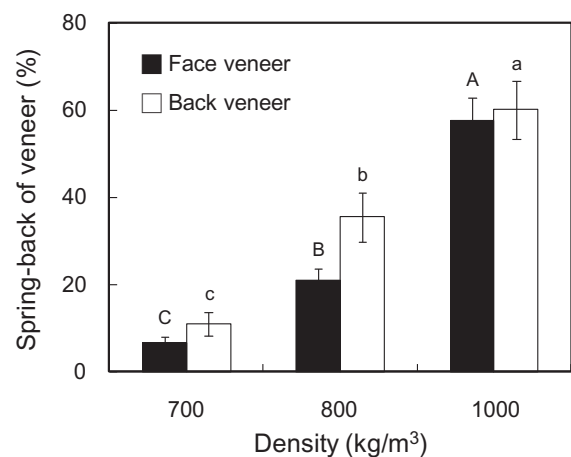


圖 3、不同密度 VWPC 其面板及背板之回彈率  
Fig. 3. Spring-back of face and back veneers of vHDPE-based VWPC with various densities. Values are mean  $\pm$  standard error of measurement (SEM) ( $n = 10$ ). Bars with different letters indicate significant difference at  $p < 0.05$ .

表 2、不同密度 WPC 與 VWPC 之抗彎性質及比抗彎性質

Table 2. Bending strength and specific bending strength of vHDPE-based WPC and VWPC with various densities

Samples	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Bending strength		Specific bending strength	
		MOR (MPa)	MOE (GPa)	sMOR (MPa)	sMOE (GPa)
WPC	744 ± 23 <sup>D</sup>	18.1 ± 0.6 <sup>c</sup>	1.6 ± 0.1 <sup>c</sup>	24.5 ± 0.8 <sup>C</sup>	2.1 ± 0.1 <sup>C</sup>
	846 ± 11 <sup>C</sup>	20.5 ± 0.9 <sup>b</sup>	1.8 ± 0.1 <sup>b</sup>	25.6 ± 1.2 <sup>C</sup>	2.1 ± 0.1 <sup>C</sup>
	967 ± 13 <sup>B</sup>	24.1 ± 0.9 <sup>a</sup>	2.0 ± 0.1 <sup>a</sup>	24.9 ± 0.9 <sup>C</sup>	2.1 ± 0.1 <sup>C</sup>
VWPC*	695 ± 31 <sup>D</sup>	56.0 ± 8.2 <sup>A</sup>	7.7 ± 1.9 <sup>A</sup>	79.9 ± 11.7 <sup>A</sup>	11.0 ± 2.8 <sup>A</sup>
	816 ± 38 <sup>C</sup>	57.3 ± 5.9 <sup>A</sup>	7.2 ± 1.2 <sup>A</sup>	69.9 ± 7.1 <sup>A</sup>	8.8 ± 1.5 <sup>AB</sup>
	1030 ± 17 <sup>A</sup>	53.1 ± 3.7 <sup>A</sup>	6.1 ± 0.3 <sup>A</sup>	51.6 ± 3.6 <sup>B</sup>	5.9 ± 0.3 <sup>B</sup>

\* Bending properties and specific bending properties for perpendicular veneer of vHDPE-based VWPC with various densities. Values are mean ± standard deviation (SD) ( $n = 5$ ). Different letters within a column indicate significant difference at  $p < 0.05$ .

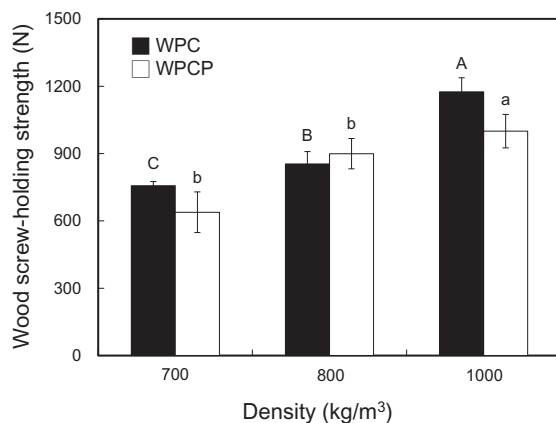


圖 4、不同密度 WPC 及 VWPC 之木螺釘保持力  
Fig. 4. Wood screw-holding strength of HDPE-based WPC and VWPC with various densities. Values are mean ± standard deviation (SD) ( $n = 5$ ). Bars with different letters indicate significant difference at  $p < 0.05$ .

### (III) 塑膠種類對 VWPC 物理機械性質之影響

表 3 為三種不同塑膠種類所製備之 VWPC 其物理性質。由表中可以得知，各組 VWPC 的密度介於 773–816 kg/m<sup>3</sup> 之間，且無統計上差異。因此，於強度性質的比較上，可忽略密度對其性質之影響。而在 24 h 吸水率方面，以 rHDPE 及 rLDPE 所製備之 VWPC 具有較高吸水率，且無顯著差

異，其值分別為 15.6 及 16.3%。另外，VWPC 之 24 h 吸水厚度膨脹率以 rLDPE 製備者為最高 (9.0%)，其次分別為 rHDPE (7.1%) 及 vHDPE (4.1%)。綜合上述試驗結果顯示，rHDPE 及 rLDPE 製備之 VWPC 具有相似之吸水率，但 rLDPE 製備者卻具有較高之吸水厚度膨脹率。其原因主要係複合材吸水厚度膨脹率除了受材料之吸水性質影響外，複合材之挺性亦會影響吸水膨脹所需能量之大小，即複合材之挺性愈高，其試材產生尺寸變化所需之能量亦愈高 (Migneault *et al.*, 2009)。而 LDPE 塑膠本身強度即小於 HDPE，導致 LDPE 製備之 WPC 其 MOE 較低 (即挺性較低) (Achilias *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2010)。因此，相較於 rHDPE 所製備之 VWPC，rLDPE 製備者具有較低之 MOE，故其吸水厚度膨脹率較大。

另外，由表 3 不同塑膠種類所製備 VWPC 之機械性質可以得知，三種 VWPC 中，以 vHDPE 及 rHDPE 製備之 VWPC 具有相似的機械性質，其 MOR、MOE 及 WS 分別為 57.3 MPa 及 50.7 MPa、7.2 GPa 及 4.6 GPa 以及 899 N 與 885 N。同樣的，Adhikary 等人 (2008) 及 Najafi 等人 (2005) 之研究結果均指出，以 rHDPE 製備之 WPC 具有與 vHDPE 製備者相似或較佳之強度性質。由此可知 HDPE 經回收再製後，並不影響其製備之 VWPC 機械性質表現。然而，以 rLDPE 製備者則具有較

表 3、塑膠種類對 VWPC 物理機械性質之影響

Table 3. Effects of polymeric matrix on physicomechanical properties of VWPC

Polymeric matrix (WPC core)	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Thickness swelling (%)	Bending strength		WS (N)
				MOR (MPa)	MOE (GPa)	
vHDPE	816 ± 38 <sup>A</sup>	11.4 ± 0.4 <sup>B</sup>	4.0 ± 1.2 <sup>C</sup>	57.3 ± 5.9 <sup>A</sup>	7.2 ± 1.2 <sup>A</sup>	899 ± 67 <sup>A</sup>
rHDPE	803 ± 18 <sup>A</sup>	15.6 ± 1.1 <sup>A</sup>	7.1 ± 0.8 <sup>B</sup>	50.7 ± 6.1 <sup>A</sup>	4.6 ± 0.9 <sup>AB</sup>	885 ± 72 <sup>A</sup>
rLDPE	773 ± 9 <sup>A</sup>	16.3 ± 0.9 <sup>A</sup>	9.0 ± 1.3 <sup>A</sup>	38.4 ± 4.8 <sup>B</sup>	3.7 ± 0.7 <sup>B</sup>	573 ± 57 <sup>B</sup>

Values are mean ± standard deviation (SD) ( $n = 5$ ). Different letters within a column indicate significant difference at  $p < 0.05$ .

低之 MOR、MOE 及 WS，其強度值分別為 38.4MPa、3.7 GPa 及 572.8 N，此結果亦驗證上述 rLDPE 製備之 VWPC 具有較高吸水厚度膨脹率之推論。此外，造成 rLDPE 製備之 VWPC 機械性質較低之原因，主要係 LDPE 塑膠本身強度小於 HDPE 所致 (Achilias *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2010)。

#### IV、結論

本研究以單板被覆木材塑膠複合材 (WPC) 之方式製備新型之單板貼面 WPC (VWPC)，除分析及比較 WPC 及 VWPC 間各項物理及機械性質之差異外，亦評估原生與回收塑膠對 VWPC 性質之影響。試驗結果顯示，高密度 (967 kg/m<sup>3</sup>) WPC 具有最低之吸水率及吸水厚度膨脹率。相對的，高密度 (1030 kg/m<sup>3</sup>) VWPC 則具有最高之吸水厚度膨脹率，且 VWPC 之單板壓縮率及回彈率均隨密度增加而提高。另外，強度性質方面，VWPC 之抗彎強度及抗彎彈性模數均較 WPC 為佳，而二者之木螺釘保持力則無顯著差異。比較不同密度 VWPC 之性質差異時，以板材密度為 800 kg/m<sup>3</sup> 較能兼具複合材之尺寸安定性及機械性質之表現。此外，以回收型高密度聚乙烯製備 VWPC 時，除具有與原生高密度聚乙烯製備者相似之機械強度外，亦具有減少塑膠廢棄物含量與降低石油資源利用等環保訴求之優點。此試驗結果不僅可提供 WPC 相關複合材研究之參考，亦可啟發木質複合材料新的研發方向。未來，若能繼續針對 VWPC 進行系統性的研究及商業化產品之開發，將更能提升我國綠建材之國際競爭力。

#### V、參考文獻

- 顏仁德 (2008) 老幹新枝，創新價值－談林務局的轉型與契機。台灣林業 34(1): 6-15。
- Achilias, D. S., C. Roupakias, P. Megalokonomos, A. A. Lappas and E. V. Antonakou (2007) Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *J. Hazard. Mater.* 149:536-542.
- Adhikary, K. B., S. Pang and M. P. Staiger (2008) Dimensional stability and mechanical behaviour of wood-plastic composites based on recycled and virgin high-density polyethylene (HDPE). *Compos. Part B-Eng.* 39:807-815.
- Al-Salem, S. M., P. Lettieri and J. Baeyens (2009) Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review. *Waste Manage.* 29:2625-2643.
- Anshari, B., Z. W. Guan, A. Kitamori, K. Jung, I. Hassel and K. Komatsu (2011) Mechanical and moisture-dependent swelling properties of compressed Japanese cedar. *Constr. Build. Mater.* 25:1718-1725.
- Baysal, E., M. K. Yalinkilic, M. Altinok, A. Sonmez, H. Peker and M. Colak (2007) Some physical, biological, mechanical and fire properties of wood polymer composite (WPC) pretreated with boric acid and borax mixture. *Constr. Build. Mater.* 21:1879-1885.



7. Bledzki, A. K. and O. Faruk (2004) Creep and impact properties of wood fibre–polypropylene composites: Influence of temperature and moisture content. *Compos. Sci. Technol.* 64:693–700.
8. Cerqueira, D. A., G. R. Filho and C. S. Meireles (2007) Optimization of sugarcane bagasse cellulose acetylation. *Carbohydr. Polym.* 69:579–582.
9. Chen, Y.-L., C.-Y. Lin, T.-L. Wu, M.-J. Chung, T.-Y. Chen, T.-H. Yang, H.-C. Chen and J.-H. Wu (2012) Evaluation and application of the invasive weed *Mikania micrantha* as an alternative reinforcement in recycled high density polyethylene. *BioResources* 7:2403–2417.
10. Clemons, C. M. and R. E. Ibach (2004) Effects of processing method and moisture history on laboratory fungal resistance of wood–HDPE composites. *For. Prod. J.* 54:50–57.
11. Dwianto, W., T. Morooka, M. Norimoto and T. Kitajima (1999) Stress relaxation of Sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) wood in radial compression under high temperature steam. *Holzforschung* 53:541–546.
12. Fávaro, S. L., M. S. Lopes, A. G. V. C. Neto, R. R. Santana and E. Radovanovic (2010) Chemical, morphological, and mechanical analysis of rice husk/post-consumer polyethylene composites. *Compos. Part A-Appl. S.* 41:154–160.
13. Hung, K.-C. and J.-H. Wu (2010) Mechanical and interfacial properties of plastic composite panels made from esterified bamboo particles. *J. Wood Sci.* 56:216–221.
14. Hung, K.-C., Y.-L. Chen and J.-H. Wu (2012) Natural weathering properties of acetylated bamboo plastic composites. *Polym. Degrad. Stabil.* 97:1680–1685.
15. Jacob, A. (2006) WPC industry focuses on performance and cost. *Reinf. Plast.* 50:32–33.
16. Lee, C.-H., K.-C. Hung, Y.-L. Chen, T.-L. Wu, Y.-C. Chien and J.-H. Wu (2012) Effects of polymeric matrix on accelerated UV weathering properties of wood-plastic composites. *Holzforschung* 66:981–987.
17. Lee, C.-H., T.-L. Wu, Y.-L. Chen and J.-H. Wu (2010) Characteristics and discrimination of five types of wood-plastic composites by FTIR spectroscopy combined with principal component analysis. *Holzforschung* 64:699–704.
18. Lee, S. Y., H. S. Yang, H. J. Kim, C. S. Jeong, B. S. Lim and J. N. Lee (2004) Creep behavior and manufacturing parameters of wood flour filled polypropylene composites. *Compos. Struct.* 65:459–469.
19. Migneault, S., A. Koubaa, F. Erchiqui, A. Chaala, K. Englund and M. P. Wolcott (2009) Effects of processing method and fiber size on the structure and properties of wood-plastic composites. *Compos. Part A-Appl. S.* 40:80–85.
20. Najafi, S. K., E. Hamidinla and M. Tajvidi (2005) Mechanical properties of composites from sawdust and recycled plastics. *J. Appl. Polym. Sci.* 100:3641–3645.
21. Stokke, D. D., Q. Wu and G. Han (2014) Consolidation behavior of lignocellulosic materials. *Introduction to wood and natural fiber composites.* John Wiley & Sons Ltd, West Sussex. p. 85–127.
22. Wu, T.-L., Y.-C. Chien, T.-Y. Chen and J.-H. Wu (2013) The influence of hot-press temperature and cooling rate on thermal and physicomechanical properties of bamboo particle-poly(lactic acid) composites. *Holzforschung* 67:325–331.
23. Yang, H. S., H. J. Kim, H. J. Park, B. J. Lee and T. S. Hwang (2007) Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composites. *Compos. Struct.* 77:45–55.
24. Zhou, Y., M. Fushitani, K. Sato and M. Ozawa (2000) Bending creep behavior of hot-pressed wood under cyclic moisture change conditions. *J. Wood Sci.* 46:423–430.



# 外科處置樹木空洞的概念及原則

## Concepts and Principles of Surgery Treatment in Tree Cavities

林振榮<sup>1</sup> 張婕瑜<sup>2</sup> 龔其主<sup>2</sup>

Cheng-Jung Lin<sup>1</sup> Jie-Yu Zhang<sup>2</sup> Chi-Chu Kung<sup>2</sup>

### I、背景

最近處理到數件樹木空洞的外科處置後，經過數年後，再處理的個案諮詢（如圖 1），許多人關心外科手術的利弊得失，適當的方式為何，施作及不施作的原因，搶救樹木的方法，如何達成可以接受的標準，以及日後定期監測維護管理樹木等，本報告將介紹外科處置樹木空洞的概念及原則，提供各界交流及討論之參考。

### II、基本概念

強化樹木的腐朽空洞或中空的處置選項是有限制性的方法，過去的做法是涉及去除腐朽的木材和使用各種硬質填充物來填充空洞。目前認為充填空洞的做法是一種弊多於利（More harm than good）的方式。填充物質不會強化及支持樹木，也不會如同樹木受傷時，其周圍會發展出來的新生長部分（癒傷組織的增生）。假如樹木有良好的耐受生命活力（Vitality），樹木可以維持結構性完整性，藉由在受傷周圍產生新的木材來支持。從洞中將腐朽木材移除，沒有多大效果。然而假如健康的木材組織是在移除腐朽部位的過程而受損害，樹木的本身能力可以控制腐朽的擴展及限制性可能會降低，也就是傷害到樹木區隔化作用的防禦機制（CODIT），大部份的情形是留下空洞是較好的選擇之一，假如空洞較大到會影響結構強度及有威脅到存在的目標時，樹木可能需要移除

或修剪作業等以降低樹木大小及重量，以減輕較弱區域的強度支持作用，亦即實施樹木風險減緩處置作業。

對於樹木的安定性而言，新木材的產生是重要的（例如癒合組織），所以確認有幫助的生長情況，對於樹木是一種很重要的管理要件。確認好的土壤健康、含水率、及通氣，與應用有機物的覆蓋物是好的管理實務的例子（例如樹木環境管理，包括土壤），如此樹木可以反應出有幫助的生長及改善健康的情況。另外的一個作法是加強樹木的自然過程中，幫助限制強度損失或補救強度損失，此方法主要集中於促進樹木新的根系發育，以及自我嫁接（Self-grafting）方式來幫助樹木。

### III、樹木空洞的處理原則

樹藝師已建議樹木空洞進行清潔、消毒、橫拉桿、密封、並填充或覆蓋，使得腐朽將可以停止，樹木強化，硬質表面提供用於傷口閉合（癒合）。這種做法已經發展成為樹木外科技術的一部分。不幸的是，這種處理的價值是完全坊間傳聞。沒有任何科學或實驗證據來支持“樹木空洞的處置”。

有更多的證據顯示出空洞處理，可能實際上是有害的。從空洞中除去木材感染有腐朽菌部位的方式是不切實際的。這樣做可能會破壞（突破）

<sup>1</sup> 林業試驗所森林利用組副研究員，通訊作者。

Associate Researcher, Forest Utilization Division, Taiwan Forestry Research Institute.

Corresponding Author, E-mail: d88625002@yahoo.com.tw

<sup>2</sup> 林業試驗所森林利用組助理。

Assistant, Forest Utilization Division, Taiwan Forestry Research Institute.