

製程條件對木質粒片－塑膠複合材機械性質之影響

吳東霖¹ 王贊鈞¹ 李家皇¹ 陳合進² 陳載永³ 吳志鴻⁴

【摘要】本研究主要探討不同粒片含水率、熱板溫度以及耦合劑或黏附劑添加量，對於平壓式木質粒片-高密度聚乙烯複合材（Wood particle-HDPE composites, WPHC）理學與機械性質之影響。試驗結果顯示，以粒片含水率 4% 以及熱板溫度為 180°C 所製備之複合材，具有較佳之木螺釘保持力與內聚強度。另外，添加耦合劑（MAPE）之木質粒片-高密度聚乙烯複合材，其抗彎強度及抗彎彈性模數隨耦合劑添加量的增加而降低，而內聚強度與木螺釘保持力則無顯著差異。至於添加黏附劑，雖可提高複合材之抗濕性，但其抗彎強度、抗彎彈性模數與木螺釘保持力卻隨著添加量增加而降低。由此顯示，添加耦合劑或黏附劑無法提升平壓式木質粒片-高密度聚乙烯複合材之機械性質。

【關鍵詞】木質粒片-高密度聚乙烯複合材、平壓式製造法、耦合劑、黏附劑、機械性質。

Effect of Process Conditions on the Mechanical Properties of Wood Particle-HDPE Composites

Tung-Lin Wu¹, Tsan-Chun Wang¹, Chia-Huang Lee¹, Ho-Chin Chen²,
Tsai-Yung Chen³, Jyh-Horng Wu⁴

【Abstract】The effects of moisture content of particle, hot plate temperature, coupling agent, or stick agent on the physical and mechanical properties of wood particle-HDPE composites (WPHC) by flat-platen pressing were investigated in this study. The results demonstrated that the WPHC exhibited good wood screw holding strength and internal bonding strength when the moisture content of particle and the hot plate temperature were 4% and 180 °C, respectively. Furthermore, the MOR and MOE of WPHC decreased with increasing the content of coupling agent (MAPE), but that effect on the internal bonding strength and wood screw holding strength showed no significant differences. In addition, although the water absorption resistance of WPHC was improved by adding the stick agent, the MOR, MOE and wood screw holding strength of WPHC were decreased with the addition of stick agent. Accordingly, the mechanical properties of WPHC could not be improved by the addition of coupling agent or stick agent in the flat-platen hot press.

【Key words】Wood particle-HDPE composites, Flat-platen pressing, Coupling agent, Stick agent, Mechanical properties.

¹ 國立中興大學森林學系研究生。

Graduate Students, Department of Forestry, National Chung-Hsing University.

² 樹德科技大學生活產品設計系暨應用設計研究所助理教授。

Assistant Professor, Department of Product Design, Shu-Te University.

³ 國立中興大學森林學系榮譽教授。

Professor Emeritus, Department of Forestry, National Chung-Hsing University.

⁴ 國立中興大學森林學系助理教授（通訊作者）。

Assistant Professor, Department of Forestry, National Chung-Hsing University (Corresponding author).
email: eric@nchu.edu.tw.

I、前言

木質纖維材料具可再生、低密度、低成本、高韌性、高比強度及生物分解性 (Biodegradability) 等優點, 若與熱可塑性塑膠混合製造複合材料, 能改善材料的引張強度、抗彎強度、彈性模數及降低生產成本 (Lee and Wang, 2006; Ochi, 2006; Stark, 1999; Mohanty *et al.*, 2000; Rao and Rao, 2007; Wibowo *et al.*, 2006)。因此, 自 1990 年開始, 木質纖維-塑膠複合材 (Wood fiber-plastic composites, WPC) 製造工業即蓬勃發展, 對汽車工業、建築業以及家具業等應用具有相當的助益 (Bledzki *et al.*, 2005)。以熱可塑性高分子而言, 全世界聚乙烯 (Polyethylene, PE) 的使用量約佔常用高分子中的四分之一, 其產品種類繁多, 主要包括各式塑膠瓶、容器、薄膜、薄板以及水管等製品, 其中超過 50% 的製品係以吹製成型或射出成型的方式製備 (Lu *et al.*, 2005)。然而, 自 1970 年代第一次石油危機發生以來, 人們即開始致力於廢棄塑膠的再生與利用, 其材料的製造過程常以新鮮塑膠與回收塑膠混合使用, 甚至製作成木質纖維-塑膠複合材料, 以應用於建築工業材料, 如鋪板 (Decking)、柵欄 (Fencing)、外壁板 (Siding)、窗框 (Window framing) 及屋頂材料 (Roof tiles) 等外部非結構或半結構建築產品上 (Kiguchi *et al.*, 2007; Chen *et al.*, 2007)。因此, WPC 的應用, 除了可解決廢棄塑膠的問題之外, 亦可增加材料的強度性質與生物可分解性。

雖然木質纖維-塑膠複合材具有諸多優點, 但親水性 (Hydrophilic) 木質纖維與疏水性 (Hydrophobic) 塑膠材料複合時, 常有界面性質不相容的現象。因此, 若要解決

板材之基質 (Matrix) 與木質纖維間相容性之問題, 一般可藉由添加耦合劑 (Coupling agent) 或分散劑等方式來加以改善 (Dalvag *et al.*, 1985; Maldas *et al.*, 1989a; 1989b; Coutinho *et al.*, 1997; 彭武財, 1992a; 1992b; Quinney and Banks, 1995)。目前, WPC 製造流程主要係將木質纖維、塑膠與耦合劑經混鍊的步驟, 使原料充分混合造粒後, 再經單螺桿或雙螺桿射出 (或押出) 成型 (Lu *et al.*, 2000; Lu *et al.*, 2004; 2005)。然而以此方式所生產之產品受機具設備的影響, 除只能按模具製造出成品, 無法達到目前市售裝修用木質板材之尺寸規格 (3' × 6' 或 4' × 8') 之外, 亦無法提高木質纖維尺寸與添加量, 使其材料在應用上廣受限制。因此, 利用幾何形狀較為良好之木質粒片或木竹炭粒片, 依據粒片板製造方法為原則, 將木質粒片與塑膠混合後, 以平壓式 (Flat-platen pressing) 加壓成型製備木質粒片-高密度聚乙烯複合材 (Wood particle-HDPE composites, WPHC), 此方法不僅操作簡單, 同時亦能提高木質粒片的使用率。

然而, 以平壓式方法製備 WPHC 之相關研究目前仍相當缺乏, 因此, 本研究即針對平壓式 WPHC 各項製程條件, 包括粒片含水率、熱壓機熱板溫度、調濕時間與試材裁切時程等條件進行系統性之評估。另外, 界面性質之改善方面, 則以 Maleated polyethylene (MAPE) 做為耦合劑, 或添加黏附劑 (Stick agent), 以改善木質粒片與塑膠分布不均等問題, 期望藉此獲得最佳化平壓式製備條件, 以提高 WPHC 生產效率並拓展其應用範圍。

II、材料與方法

(I) 試驗材料

1. 木材粒片

本試驗所選用之木材取自國立中興大學惠蓀實驗林場之山黃麻 (*Trema orientalis*)。將原木鋸切成適當大小，並經搗切機搗切 (Chopping) 為木片 (Chips)，再經磨切機 (Knife ring flaker) 磨切 (Chipping) 成粒片後，以篩選機篩分其尺寸為 16-24 mesh (平均細長比為 5.16；平均厚度為 0.26 mm) 之粒片備用。

2. 塑膠材料

本試驗所使用之塑膠為高密度聚乙烯 (High density polyethylene, HDPE)，購自台灣聚合化學股份有限公司，型號為聯塑烯 LH 901，密度 953 kg/m³，熔流指數為 0.95 g/10 min，熔融溫度則為 130-140°C。試驗時，利用磨粉機 (Attrition mill) 將 HDPE 磨切成小於 30 mesh 之塑膠粉末，以利後續 WPHC 之製備。

3. 耦合劑與黏附劑

本試驗分別採用市售之 MAPE (LOTADER[®] MAH, France) 為耦合劑，或以大豆沙拉油為黏附劑。

(II) 複合材之製備

本試驗為了探討製程條件對 WPHC 性質之影響，將試驗分為 A-D 四組，其製程條件如表 1 所示。WPHC 預設密度為 900 kg/m³，成板尺寸為 30 cm × 20 cm × 1.2 cm。其製備方法如下：分別秤取絕乾木質粒片與 HDPE (混合比為 60/40, wt%)，將其混合均勻並抄成板坯後，續以平板式熱壓機進行 WPHC 的製備。熱壓時，先在板坯中心層放入熱電耦線以便測定板坯中心溫度，待該溫度升至 160°C 時，即刻關閉加熱系統，同時啟動冷卻系統，當板坯中心溫度降至 70°C 止，關閉冷卻系統及解除壓力並取出複合材。之後，將 WPHC 靜置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中進行調濕，以利後續各項性質檢測。

表 1. 木質粒片-高密度聚乙烯複合材之製程條件

Table 1. Process conditions of WPHC

Group	Moisture content of particle (%)	Hot plate temperature (°C)	Coupling agent content (%)*	Stick agent content (%)*
A1	4	200	-	-
A2	14	200	-	-
A3	25	200	-	-
B1	<3	180	-	-
B2	<3	200	-	-
B3	<3	220	-	-
C1	<3	200	0	-
C2	<3	200	1	-
C3	<3	200	3	-
C4	<3	200	5	-
C5	<3	200	10	-
D1	<3	200	-	0
D2	<3	200	-	3
D3	<3	200	-	5
D4	<3	200	-	10

* Based on the oven dried weight of wood particles.

(III) 理學與機械性質檢測

依據 CNS 2215 粒片板之檢測標準，檢測複合材之密度、含水率、24 hr 吸水厚度膨脹率及吸水率、抗彎性質 (MOR 與 MOE)、內聚強度 (Internal bonding strength) 以及木螺釘保持力 (Wood screw holding strength) 等各項理學及機械性質。

(IV) 統計分析

本試驗使用 SAS 統計軟體進行變異數分析 (Analysis of variance, ANOVA)，並透過 Scheffe 檢定 (Scheffe test) 評估各組間之差異 (信賴區間為 95%)。

III、結果與討論

(I) 調濕時間對 WPHC 含水率與抗彎強度之影響

國內目前針對 WPC 或 WPHC 之檢測方式並未建立，因此，為了得知符合穩定板材性質之最佳調濕時間，本試驗以不同調濕時間 (1、2、4、7、10 及 14 天) 之 WPHC 進行含水率及抗彎強度等試驗，試驗結果如圖 1 所示。其中，調濕時間為 2、4、7、10 及 14 天之 WPHC，雖其含水率並無顯著差異，但調濕時間為 2 天及 4 天之 WPHC 其含水率未達平衡狀態，直至調濕時間達 7 天後，WPHC 之含水率方趨於穩定 (約 3.4%)。而抗彎強度 (MOR) 與抗彎彈性模數 (MOE) 方面，當 WPHC 之調濕時間達 7 天時，WPHC 之 MOR 與 MOE 亦方趨於穩定 (約 20.9 MPa 與 2.0 GPa) 且統計上無顯著差異 (圖 2)。由上述試驗結果得知，WPHC 之理學與機械性質於調濕 7 天後即達到穩定，因此，後續不同製程條件對 WPHC 理

學與機械性質之試驗，試材均調濕 7 天後即進行各項性質分析。

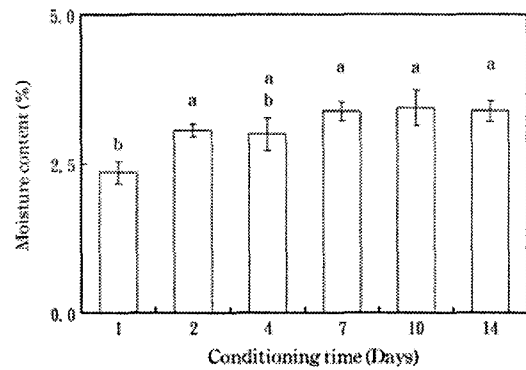


圖 1. 調濕時間對木質粒片-高密度聚乙烯複合材含水率之影響

Fig. 1. Influence of the conditioning time on the moisture content of WPHC. Results are mean \pm SD ($n = 3$). Different letters indicate significant differences among groups ($P < 0.05$).

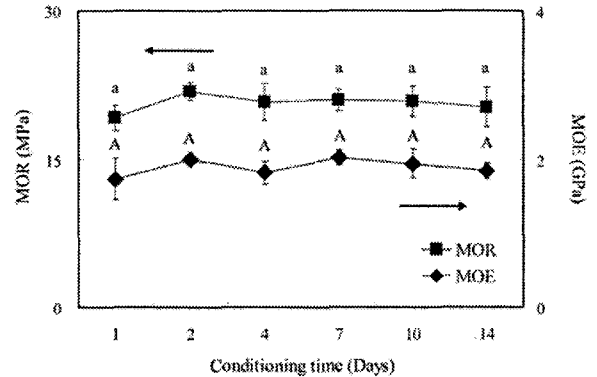


圖 2. 調濕時間對木質粒片-高密度聚乙烯複合材抗彎強度與抗彎彈性模數之影響

Fig. 2. Influence of the conditioning time on the MOR and MOE of WPHC. Results are mean \pm SD ($n = 3$). Different letters indicate significant differences among groups ($P < 0.05$).

(II) 試材裁切時程與檢測面向對 WPHC 理學與機械性質之影響

為了探討試材裁切與調濕順序是否影響複合材之性質，本試驗分別針對裁切後再行調濕 (CBC) 以及調濕後再裁切 (CAC) 之試材，進行各項理學與機械性質檢測，以比較二者間之差異。試驗結果由表 2 可以得知，CBC 及 CAC 之 24 hr 吸水率分別為 14.7% 及 15.7%，兩組試材間無顯著差異；而密度、含水率及 24 hr 吸水厚度膨脹率等理學性質亦無顯著差異。另外，在機械性質方面，CBC 及 CAC 之抗彎強度則

分別為 21.4 MPa 及 20.5 MPa，兩組間無明顯差異；同樣的，抗彎彈性模數、內聚強度與木螺釘保持力等機械性質亦無統計上的差異。此外，為進一步比較複合材檢測面向對其機械性質之影響，分別將複合材之底面朝下 (CAC) 以及朝上 (CAC-1) 進行檢測，其試驗結果顯示 (表 2)，CAC 及 CAC-1 之抗彎強度分別為 20.5 MPa 及 20.6 MPa，兩組試材間無顯著差異，且各項機械性質亦無統計差異。綜合上述結果可以得知，試材裁切時程與複合材檢測面向，均不影響 WPHC 之理學與機械性質。

表 2. 裁切時程對木質粒片-高密度聚乙烯複合材於理學與機械性質之影響

Table 2. Influence of sample cutting timing (before or after conditioning) on physical and mechanical properties of WPHC

Properties	Tested sample		
	Cutting before conditioning (CBC)	Cutting after conditioning (CAC)	Cutting after conditioning (CAC-1)*
Density (kg/m ³)	856 ± 23 ^a	873 ± 45 ^a	-
Moisture content (%)	4.6 ± 0.1 ^a	4.6 ± 0.2 ^a	-
Thickness swelling for 24 hr (%)	4.5 ± 0.9 ^a	4.9 ± 1.0 ^a	-
Water absorption for 24 hr (%)	14.7 ± 6.1 ^a	15.7 ± 7.2 ^a	-
MOR (MPa)	21.4 ± 1.9 ^a	20.5 ± 1.1 ^a	20.6 ± 0.4 ^a
MOE (GPa)	1.8 ± 0.1 ^a	1.7 ± 0.1 ^a	1.7 ± 0.1 ^a
Internal bonding strength (MPa)	1.9 ± 0.2 ^a	2.2 ± 0.2 ^a	1.9 ± 0.2 ^a
Wood screw holding strength (N)	909.0 ± 90.2 ^a	939.3 ± 27.2 ^a	1006.7 ± 61.3 ^a

* The back layer of WPHC was faced to loading side.

Values are mean ± SD (*n* = 5). Different letters in superscript indicate significant differences among groups (*P* < 0.05).

(III) 製程條件對 WPHC 理學性質之影響

不同製程條件製備之 WPHC 其密度如表 3 所示，由表可得知各組 WPHC 之密度介於 842-938 kg/m³ 之間，同時粒片含水率、熱板溫度以及添加不同量耦合劑與黏附劑對於 WPHC 密度均無顯著影響。而在 WPHC 含水率方面，由表 3 中可以明顯發現，複合材之含水率隨粒片含水率增加而上升；其中，以含水率為 4% (A1)、14% (A2) 及 25% (A3) 之木質粒片所製備之 WPHC，其複合材調濕後之含水率分別為 4.2%、5.9% 及 7.1%。理論上，應以絕乾之木質粒片為原則，但由此顯示木質粒片可乾燥至適當含水率，即能使複合材達到穩定與理想之含水率。而不同熱板溫度 180°C (B1)、200°C (B2)、220°C (B3) 並不會直接影響複合材之含水率。至於，添加不同量之耦合劑 (0-10%)，其複合材 (C1-C5) 含水率間亦無顯著差異。另外，添加不同量黏附劑之複合材 (D1-D4)，其含水率則隨黏附劑添加量提高而略呈下降之趨勢，推測其原因，主要為黏附劑屬於疏水性之油脂，會降低 WPHC 中木質粒片之親水性，故黏附劑添加量高時，相對的，其 WPHC 含水率則較低。綜觀以上試驗結果得知，以相同比例之木質粒片與塑膠製備複合材時，其試材含水率主要受粒片含水率與黏附劑添加量而有顯著差異。

此外，本試驗以 24 hr 吸水厚度膨脹率與吸水率之性質做為材料吸水後尺寸安定性之依據，吸水厚度膨脹率與吸水率愈低，即表示複合材之抗濕性及尺寸安定性愈佳。由表 3 的試驗結果可以得知，不同含水率之粒片 (4-25%；A1-A3) 其 WPHC 之吸

水厚度膨脹率與吸水率無顯著差異，但以標準偏差變化而言，粒片含水率愈高，其標準偏差值愈大；換言之，以高含水率粒片製備 WPHC 會增加 WPHC 間之性質變異。此外，以不同熱板溫度 (180-220°C；B1-B3) 製備 WPHC 時，其吸水厚度膨脹率與吸水率亦無顯著差異，由此顯示不同的熱板溫度不會影響複合材之尺寸安定性。至於添加不同量耦合劑之複合材 (C1-C5)，其吸水厚度膨脹率與吸水率則無顯著差異。該結果與 Bledzki 等人 (2005) 添加 Maleated polypropylene (MAPP, 5 wt%) 製備木質纖維與聚丙烯 (Polypropylene, PP) 時，可明顯降低吸水率之結果相異。推測其原因，主要為以平壓式熱壓機製備複合材時，MAPE 未經混鍊與捏合，故無法有效形成良好的界面作用 (Interfacial interaction)，導致 WPHC 表面產生許多未分散之團塊，而無法藉由耦合劑來改善 WPHC 之抗濕性。另外，添加不同量黏附劑之複合材 (D1-D4)，於添加 5% 黏附劑 (D3) 製備 WPHC 時，其吸水厚度膨脹率與吸水率分別為 3.4% 及 6.3%，此結果與陳合進等人 (2005) 添加 5% 黏附劑於廢棄木質粒片與 HDPE 製備複合材之結果相似。另一方面，再由表 3 結果發現，添加黏附劑對 WPHC 吸水厚度膨脹率間並無明顯變化，但其吸水率則隨黏附劑添加量增加而下降，且其標準偏差較對照組 (D1) 小。由此可知，添加黏附劑除可增加複合材之疏水性外，亦能減少複合材間之性質差異。此外，若與傳統山黃麻粒片板 (陳載永, 1979) 比較時，WPHC 之吸水厚度膨脹率及吸水率均較粒片板為低 (粒片板吸水厚度膨脹率及吸水率分別為 13.9% 及 97.2%)，顯示 WPHC 具有較佳之尺寸安定性。

表 3. 製程條件對木質粒片-高密度聚乙烯複合材於理學性質之影響

Table 3. Influence of process conditions on physical properties of WPHC

Group	Density (kg/m ³)	Moisture content (%)	Thickness swelling for 24 hr (%)	Water absorption for 24 hr (%)
A1	889±23 ^a	4.2±0.1 ^c	4.6±0.4 ^a	9.3±1.7 ^a
A2	931±24 ^a	5.9±0.2 ^b	3.6±2.4 ^a	6.2±1.9 ^a
A3	938±33 ^a	7.1±0.2 ^a	4.0±2.7 ^a	9.2±4.0 ^a
B1	875±37 ^a	4.2±0.2 ^a	3.7±0.8 ^a	8.8±2.2 ^a
B2	842±60 ^a	4.3±0.3 ^a	4.7±1.0 ^a	11.0±1.8 ^a
B3	861±33 ^a	4.5±0.1 ^a	4.9±0.9 ^a	11.4±3.2 ^a
C1	873±24 ^a	4.5±0.2 ^a	3.7±0.7 ^a	9.6±2.7 ^a
C2	861±28 ^a	4.4±0.2 ^a	3.1±0.4 ^a	9.3±1.9 ^a
C3	871±27 ^a	4.4±0.2 ^a	3.1±0.5 ^a	9.0±1.2 ^a
C4	852±38 ^a	4.6±0.2 ^a	3.6±0.6 ^a	10.6±3.4 ^a
C5	865±29 ^a	4.5±0.1 ^a	3.9±0.3 ^a	10.1±2.4 ^a
D1	864±72 ^a	4.2±0.2 ^{ab}	4.3±1.4 ^a	10.7±4.5 ^a
D2	872±28 ^a	4.6±0.2 ^a	2.6±0.5 ^a	6.4±1.0 ^{ab}
D3	915±17 ^a	3.7±0.4 ^b	3.4±0.4 ^a	6.3±0.1 ^{ab}
D4	901±9 ^a	4.1±0.2 ^b	2.7±0.9 ^a	5.1±0.6 ^b

Values are mean ± SD ($n = 5$). Different letters in superscript indicate significant differences among groups ($P < 0.05$).

(IV) 製程條件對 WPHC 機械性質之影響

本研究參照 CNS 2215 粒片板之測試方法，以做為 WPHC 強度性質評估之依據。由表 4 可得知，以粒片含水率 25% (A3) 所製備之 WPHC，其抗彎強度為 17.1 MPa，僅達 CNS 2215 素面粒片板 13 型之標準；而以粒片含水率為 4% 或 14% 抄製者，其抗彎強度均大於 20 MPa。由此顯示，以高含水率之粒片製備 WPHC 會導致材料強度降低，因此製備 WPHC 時，需將粒片乾燥至適當含水率。而改變熱板溫度為 180°C (B1)、200°C (B2) 或 220°C (B3) 時，並不影響 WPHC 抗彎強度與抗彎彈性模數，顯示熱板溫度對材料抗彎性質影響甚小。此外，添加耦合劑之目的主要為改善木質粒片與塑膠間的界面性質，但從試驗結果發現，耦合劑添加量為 1%、3%、5% 及 10% 時，其 MOR 分別為 17.1、16.4、15.8 及 13.6 MPa，顯示抗彎強度會隨著耦合劑添加量的

增加而有下降之趨勢。該結果與 Lu 等人 (2005) 利用雙螺桿製備木質纖維與 HDPE 複合材時，其抗彎性質隨耦合劑添加量增加而提高之結果相異。推測其原因，由於材料間未先經混鍊及捏合，無法有效形成良好的界面作用，而降低其抗彎強度。因此，未來利用耦合劑改善 WPHC 之界面性質時，應以單螺桿或雙螺桿混鍊捏合方式製備 WPHC，以提高耦合劑與木質材料間之反應性。至於，添加不同量之黏附劑 (3-10%) 方面，其 WPHC 之抗彎強度與抗彎彈性模數則隨著添加量增加而降低。推測其原因，主要為粒片表面黏附沙拉油，其雖可改善塑膠分布不均之現象，但沙拉油會降低木質粒片與塑膠間的界面性質。因此，添加高比例黏附劑 (5% 及 10%) 時，雖可提高 WPHC 之抗濕性，但抗彎強度卻僅達素面粒片板 13 型之標準。而此結果與 Chen 等人 (2006) 添加 5% 黏附劑於廢棄木質粒片與 HDPE 製備複合材時，其抗彎強度達素面粒片板 13

型標準之結果相似。相對的，添加適量之黏附劑（約 3%），除可增加塑膠沾黏的表面積及抗濕性外，亦可達素面粒片板 18 型之標準。綜合上述試驗結果得知，在木質粒片與塑膠為相同比例之條件下，WPHC 之抗彎強度與抗彎彈性模數會隨粒片含水率、耦合劑或黏附劑添加量的增加而降低，且其抗彎強度亦較傳統山黃麻中密度纖維板（22.6 MPa）為低（藍浩繁、黃耀富，1991）。

另一方面，內聚強度為垂直複合材板面之機械性質，可做為兩相材料間界面性質與內部膠合性質優劣之依據（Lin *et al.*, 2002）。由表 4 可以發現，以 60/40（wt%）之木質粒片與塑膠混合比製備複合材時，於不同製程條件，其內聚強度皆能達到 CNS 2215 素面粒片板 18 型之標準（0.3 MPa 以上）。其中，以不同粒片含水率製備之 WPHC，其內聚強度無明顯差異，此結果與 Lin 等人（2002）所試驗粒片板之內聚強度隨含水率提高而降低的趨勢有所不同，顯示 WPHC 製備時，粒片含水率對板材內聚強度之影響小於傳統粒片板。此外，當熱板溫度由 180°C（B1）提高至 220°C（B3）時，其內聚強度由 2.4 MPa 降至 1.8 MPa，顯示熱板溫度會影響 WPHC 之界面性質。推測其原因，主要為熱板溫度過高時，板坯表層之塑膠快速流動到板坯底部，導致板材易有兩面性之現象，因而降低複合材之界面性質。此外，添加不同量耦合劑（0-10%；C1-C5）之 WPHC 其內聚強度無顯著差異。推測此原因，主要為以平壓式方法製造複合材時，由於材料間未先經混鍊及捏合，因此無法藉由耦合劑改善其界面性質。另外，黏附劑添加量（0-10%；D1-D4）對 WPHC 之內聚強

度亦無顯著之影響，其原因主要為黏附劑僅提供木質粒片與塑膠間的物理沾附，因此無法有效的改善其界面特性。此外，若與傳統山黃麻中密度纖維板（藍浩繁、黃耀富，1991）比較時，WPHC 之內聚強度均較中密度纖維板（0.8 MPa）為高，顯示 WPHC 具有較佳之內聚強度。

此外，木螺釘保持力為複合材螺釘施工法之重要評估指標，其可做為實際應用時複合材接合強度評估依據。由表 4 可以得知，不同製程條件製備之 WPHC，其木螺釘保持力皆能達到 CNS 2215 素面粒片板 18 型之標準（500 N 以上）。其中，粒片含水率為 4%（A1）、14%（A2）及 25%（A3）時，複合材之木螺釘保持力分別為 872.6、844.6 及 749.7 N，顯示 WPHC 之木螺釘保持力隨粒片含水率提高而降低。推測其原因，主要為以高含水率粒片製備 WPHC 時，板坯內部水蒸氣會影響木質粒片之組成構造，因而使複合材之木螺釘保持力降低。至於不同熱板溫度（B1-B3）及添加不同量耦合劑（C1-C5）對 WPHC 之木螺釘保持力則無顯著之影響。然而，添加不同量黏附劑（D1-D4）之複合材，其木螺釘保持力則隨添加量增加而降低，其原因主要係沙拉油會降低木質粒片與塑膠間的界面性質，使塑膠無法完整產生物理性包覆（Mechanical interlocking），導致木螺釘保持力降低。此外，所有 WPHC 之木螺釘保持力較山黃麻中密度纖維板（666.4 N）為高（藍浩繁、黃耀富，1991），顯示 WPHC 具有較佳之木螺釘保持力。

表 4. 製程條件對木質粒片-高密度聚乙烯複合材機械性質之影響

Table 4. Influence of process conditions on mechanical properties of WPHC

Group	MOR (MPa)	MOE (GPa)	Internal bonding strength (MPa)	Wood screw holding strength (N)
A1	20.6±0.9 ^a	1.7±0.1 ^a	1.9±0.3 ^a	872.6±22.8 ^a
A2	20.3±0.7 ^a	1.8±0.2 ^a	1.8±0.8 ^a	844.6±58.7 ^a
A3	17.1±0.8 ^b	1.4±0.5 ^a	1.4±0.2 ^a	749.7±46.5 ^b
B1	25.2±2.5 ^a	2.2±0.2 ^a	2.4±0.1 ^a	854.8±46.1 ^a
B2	22.2±0.6 ^a	2.0±0.2 ^a	2.2±0.3 ^{ab}	801.9±46.7 ^a
B3	22.8±1.8 ^a	2.2±0.4 ^a	1.8±0.2 ^b	841.0±38.2 ^a
C1	20.4±2.0 ^a	1.8±0.2 ^a	2.2±0.2 ^a	870.0±55.0 ^a
C2	17.1±1.3 ^{ab}	1.4±0.1 ^{ab}	2.4±0.1 ^a	903.0±42.3 ^a
C3	16.4±2.9 ^{ab}	1.4±0.4 ^{ab}	2.4±0.1 ^a	884.5±38.9 ^a
C4	15.8±2.7 ^b	1.4±0.2 ^{ab}	2.2±0.3 ^a	871.8±32.8 ^a
C5	13.6±1.5 ^b	1.2±0.2 ^b	2.2±0.1 ^a	821.8±24.9 ^a
D1	22.8±1.1 ^a	2.0±0.1 ^a	1.9±0.4 ^a	901.0±66.5 ^a
D2	20.7±2.0 ^a	1.7±0.3 ^{ab}	2.1±0.1 ^a	809.1±42.6 ^b
D3	17.9±1.0 ^b	1.3±0.2 ^{bc}	2.1±0.1 ^a	787.9±25.5 ^b
D4	17.7±0.5 ^b	1.3±0.0 ^c	1.9±0.0 ^a	688.2±14.9 ^c

Values are mean ± SD ($n = 5$). Different letters in superscript indicate significant differences among groups ($P < 0.05$).

IV、結論

以平壓式製備木質粒片-高密度聚乙烯複合材時，其含水率與抗彎強度僅須調濕 7 天即可穩定。此外，複合材之裁切時程對 WPHC 之理學與機械性質並無顯著影響，且在進行性質檢測時，複合材底部朝下或朝上對 WPHC 其性質檢測結果亦無顯著影響。另外，以高含水率之粒片(25%)製備 WPHC 時，其 24 hr 吸水厚度膨脹率、24 hr 吸水率、抗彎強度及木螺釘保持力等性質，均較以低含水率粒片製備 WPHC 者為低，顯示以低含水率粒片製備 WPHC 時，其性質較佳。至於在不同製程對複合材性質之影響方面，則以熱板溫度為 180°C 製備之 WPHC 具較佳之機械性質。而添加不同量耦合劑 (1-10%)，其 WPHC 抗彎強度與抗彎彈性模數均隨添加量增加而降低，但其內聚強度

與木螺釘保持力則無顯著差異，顯示耦合劑應用於平壓式 WPHC 製備時，無法改善試材界面性質。另外，添加黏附劑雖可提高複合材之抗濕性，但其抗彎強度、抗彎彈性模數與木螺釘保持力則隨添加量增加而降低。綜合上述試驗結果得知，不同製程之 WPHC 均能符合 CNS 2215 素面粒片板 13 型之規範；因此，未來 WPHC 將可朝向材料機能性或多功能性方面進行相關研究，以拓展及提升 WPHC 之開發與應用潛能。

V、誌謝

本研究承蒙國立中興大學實驗林管理處提供試驗材料，使得本研究順利完成，特此致謝。

VI、參考文獻

1. 陳合進、陳載永、徐俊雄 (2005) 戶外曝露對木材粒片-塑膠複合材性質之影響。林產工業 24:107-112。
2. 陳載永 (1979) 山黃麻全株樹製造粒片板之試驗。國立中興大學農學院實驗林研究報告 4:42-58。
3. 彭武財 (1992a) 廢木料及其他廢纖維質料之精研及其與塑膠混合合成製物之研究。林產工業 11 (1):125-138。
4. 彭武財 (1992b) 廢木料及其他廢纖維質料之精研及其與塑膠混合合成製物之研究 (II) 蔗渣、麥桿、椰子、纖維碎末與聚丙烯之合成物。林產工業 11 (2):143-158。
5. 藍浩繁、黃耀富 (1991) 中密度纖維板之研製 (2): 江某、臺灣赤楊、山黃麻、銀合歡為原料之纖維板製造。林產工業 10 (1):35-49。
6. Bledzki, A. K., M. Letman, A. Viksne and L. Rence (2005) A comparison of compounding processes and wood type for wood fibre-PP composites. *Compos. Part A* 36:789-797.
7. Chen, H. C., J. D. Fann, T. Y. Chen, C. H. Hsu and Y. P. Chen (2007) Interior flooring material made of wood particle-plastic composites by flat-platen pressing. *Forest Prod. J.* 57 (9):42-45.
8. Chen, H. C., T. Y. Chen and C. H. Hsu (2006) Effects of wood particle size and mixing ratios of HDPE on the properties of the composites. *Holz Roh Werkst.* 64:172-177.
9. Coutinho, F. M. B., T. H. S. Costa and D. L. Carvalho (1997) Polypropylene-wood fiber composites: effect of treatment and mixing condition on mechanical properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 65:1227-1235.
10. Dalvag, H., C. Klason and H. E. Stromvall (1985) The efficiency of cellulosic fillers in common thermoplastics. II. Filling with processing aids and coupling agents. *Intern. J. Polym. Mater.* 11:9-38.
11. Kiguchi, M., Y. Kataoka, H. Matsunaga, K. Yamamoto and P. D. Evans (2007) Surface deterioration of wood-flour polypropylene composites by weathering trials. *J. Wood Sci.* 53:234-238.
12. Lee, S. H. and S. Wang (2006) Biodegradable polymers/bamboo fiber biocomposite with bio-based coupling agent. *Compos. Part A* 37:80-91.
13. Lin, H. C., Y. Fujimoto, Y. Murase and Y. Mataka (2002) Behavior of acoustic emission generation during tensile tests perpendicular to the plane of particleboard II: effects of particle sizes and moisture content of boards. *J. Wood Sci.* 48:374-379.
14. Lu, J. Z., Q. Wu and H. S. McNabb Jr. (2000) Chemical coupling in wood fiber and polymer composites: a review of coupling agents and treatments. *Wood Fiber Sci.* 32:88-104.
15. Lu, J. Z., Q. Wu and I. I. Negulescu (2004) Wood-fiber/high-density-polyethylene composites: compounding process. *J. Appl. Polym. Sci.* 93:2570-2578.
16. Lu, J. Z., Q. Wu and I. I. Negulescu (2005) Wood-fiber/high-density-polyethylene composites: coupling agent performance. *J. Appl. Polym. Sci.* 96:93-102.
17. Maldas, D., B. V. Kokta and C. Daneault (1989a) Thermoplastic composites of polystyrene: effect of different wood species on mechanical properties. *J. Appl. Polym. Sci.* 38:413-439.
18. Maldas, D., B. V. Kokta and C. Daneault (1989b) Influence of coupling agents and treatment on the mechanical properties of cellulose fiber-polystyrene composites. *J. Appl. Polym. Sci.* 37:751-775.

19. Mohanty, A. K., M. Misra and G. Hinrichsen (2000) Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. *Macromol. Mater. Eng.* 276/277:1-24.
20. Ochi, S. (2006) Development of high strength biodegradable composites using Manlia hemp fiber and starch-based biodegradable resin. *Compos. Part A* 37:1879-1883.
21. Quinney, R. F. and W. B. Banks (1995) The activation of wood fibre for thermoplastic coupling, the reaction of wood with a potential coupling agent. *J. Wood Chem. Technol.* 15:529-544.
22. Rao, K. M. M. and K. M. Rao (2007) Extraction and tensile properties of natural fibers: vakka, date and bamboo. *Compos. Struct.* 77:288-295.
23. Stark, N. M. (1999) Wood fiber derived from scrap pallets used in polypropylene composites. *Forest Prod. J.* 49 (6):39-46.
24. Wibowo, A. C., M. Misra, H. M. Park, L. T. Drzal, R. Schalek and A. K. Mohanty (2006) Biodegradable nanocomposites from cellulose acetate: mechanical, morphological, and thermal properties. *Compos. Part A* 37:1428-1433.

