

## 原料型態對鋁箔包複合材物理機械性質之影響

陳永龍<sup>1</sup> 林啟洋<sup>1</sup> 吳志鴻<sup>2</sup>

**【摘要】**本研究利用粒片狀、細碎片狀及長薄片狀共 3 種不同原料型態製備鋁箔包複合材 (Beverage carton composites, BCC)，並以萬能強度試驗機、X-ray 密度分析儀 (X-ray density profiler)、動態機械分析儀 (Dynamic mechanical analysis, DMA) 及掃描式電子顯微鏡 (Scanning electron microscopy, SEM) 等評估複合材之物理機械性質、密度剖面、動態機械性能及顯微結構，以探討原料型態對複合材性質之影響。試驗結果顯示，3 種 BCC 中以粒片狀原料製備者具有較佳之尺寸安定性及內聚強度。相對的，以長薄片狀製備者具有較佳之抗彎強度、抗彎彈性模數及儲存模數。至於厚度方向之密度剖面，3 種 BCC 間則無明顯差異，皆呈現均勻分布。而由 SEM 影像中發現，原料型態會影響 BCC 之顯微結構，以粒片狀及細碎片狀製備之 BCC 中含有較多之空腔，而以長薄片狀製備者則具有連續的裂縫。綜合上述結果顯示，原料型態會顯著影響鋁箔包複合材之性能表現。

**【關鍵詞】**原料型態、鋁箔包複合材、密度剖面、物理機械性質、動態機械性質。

## Effects of Furnish Shape on the Physicomechanical Properties of Beverage Carton Composite

Yong-Long Chen<sup>1</sup> Chi-Yang Lin<sup>1</sup> Jyh-Horng Wu<sup>2</sup>

**【Abstract】** In this study, beverage carton composites (BCC) were made from various furnish shapes, including particle-, confetti-, and flake-types of recycled beverage cartons. Effects of furnish shape on the physicomechanical property, vertical density profile, dynamic property, and microstructure of BCC were evaluated by a universal testing machine, X-ray density profiler, dynamic mechanical analyzer (DMA), and scanning electron microscopy (SEM), *etc.* The experimental results showed that the particle-based BCC exhibited superior dimensional stability and internal bond. On the contrary, the flake-based BCC showed higher bending strength, bending modulus, and storage modulus. In addition, similar and uniform density profiles were observed for all types of BCC. SEM micrographs revealed that the furnish shape significantly affected the microstructure, in which more voids were observed in particle- and confetti-based BCC, while continuous gap distribution was observed in flake-based BCC. Accordingly, these results indicated that the furnish shape significantly influences the performance of BCC.

**【Key words】** Furnish shape, Beverage carton composite, Density profile, Physicomechanical properties, Dynamic properties.

---

<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

近年來，受到氣候變遷及國際原油價格不斷飆漲的衝擊下，資源回收及再利用的觀念愈來愈被重視。因此，木材塑膠複合材的研究與發展，亦朝向尋找原生塑膠及新鮮木料之替代性原料。目前，塑膠方面主要是以回收材料為主；而木質纖維材料的來源則十分廣泛，除了木材加工業的下腳料及加工殘料之外，甘蔗渣、玉米穗、花生殼、稻殼、稻稈等農林木質廢棄物，亦常見於木材塑膠複合材的製備上（張懋如等，2009；李家皇等，2011；吳東霖等，2011；陳永龍、吳志鴻，2013；Hung *et al.*, 2012；Wu *et al.*, 2013）。許多研究證實，以回收塑膠及農林廢棄物製備之木材塑膠複合材，其物理機械性質與新鮮材料製備者相近，顯示此替代性原料實具有開發為木材塑膠複合材之潛力，且可節省寶貴的天然資源及減少環境二次污染（Rozman *et al.*, 2000；Yao *et al.*, 2008；Ashori and Nourbakhsh, 2010；Fávaro *et al.*, 2010；Nourbakhsh and Ashori, 2010）。

除了回收塑膠及農林廢棄物之外，都市固體廢棄物亦是一值得研究的替代性原料來源。而隨著科技與文明的進步，人們的生活品質不斷提升，消費能力越來越高，都市固體廢棄物的產量亦逐年增加。根據行政院環保署統計，2010 年台灣共產生 800 萬公噸之固體廢棄物，而鋁箔包、鋁罐、鐵罐等可回收資源約占 300 萬公噸。而在可回收資源中，鋁鐵罐、塑膠、玻璃及紙等單一組成的廢棄物回收處理較為簡便；而鋁箔包是由紙、聚乙烯及鋁箔所組成的複合材料，受到其特殊組成結構的影響，鋁箔包長期被視為不可回收之廢棄物，而造成資源的浪費。所幸，在相關單位的宣導與教育下，2013 年全台所回收的鋁箔包已由 1997 年的 1419 公噸增加為 8124 公噸（行政院環境保護署，2013）。

目前，國內回收後之鋁箔包廢棄物係由榮成及連泰等紙廠再製成瓦楞芯紙。但由於鋁箔包中含有聚乙烯與鋁箔等雜質，再生處理時需較長時間進行散漿及去污等處理程序；相對的，利用鋁箔包製成複合材，僅需進行簡單的清潔及減型即可利用，是一極具開發潛能之回收再利用的方法。此不僅可減少天然資源的開發及提昇資源回收再利用率之外，亦可降低溫室氣體的排放，對於環境的效益則非金錢所能衡量。

近年來，國內外已有許多研究團隊利用膠合劑與鋁箔包製成複合材，其試驗結果均顯示，以鋁箔包製備複合材具有實際開發利用之潛能（廖國宏，1993；Hwang *et al.*, 2006；Murathan *et al.*, 2007；Ayrilmis *et al.*, 2008）。然而，以膠合劑製造鋁箔包複合材之加工程序較複雜，相對成本較高，且有溶劑揮發或甲醛游離等問題，恐會降低民眾使用之意願。而鋁箔包中含有 20% 之低密度聚乙烯（Low density polyethylene, LDPE），應可做為材料間之結合基質。因此，本研究嘗試以傳統粒片板之平壓式製程，直接利用鋁箔包製備鋁箔包複合材（Beverage carton composite, BCC），同時並探討製備原料之型態對其複合材料物理機械性質與動態機械性能之影響。

## II、材料與方法

### (I) 試驗材料

本研究使用之鋁箔包係由利樂包裝股份有限公司（桃園，台灣）提供，為使用後回收洗淨之材料，其主要係由 75% 牛皮紙（Kraft paper）、20% LDPE 及 5% 鋁（Aluminum）所組成。鋁箔包分別以減型機、碎紙機及裁紙刀製備粒片（Particle）狀（粒徑 < 6.81 mm）、細碎片（Confetti）狀（27.87 × 4.23 × 0.45 mm）及長薄片（Flake）狀（85 × 15 × 0.45 mm）共 3 種不同原料型態（圖 1）。

### (II) 試驗方法

#### 1. 複合材之製備

BCC 之預設密度為 900 kg/m<sup>3</sup>，成板尺寸為 200 mm × 300 mm × 12 mm。以粒片狀及細碎片狀原料製備之 BCC，採隨機分布之單層結構；而以長薄片狀原料製備之 BCC，則採表層（Surface



圖 1、三種鋁箔包物料之型態

Fig. 1. Three types of beverage carton furnish.

layer)、心層 (Core layer) 與底層 (Back layer) 分別定向抄板,層間呈直交之 3 層結構 (||—||), 重量比為 1:2:1。秤取原料並抄製成板坯後,以熱板溫度 180°C、壓力 2.5 MPa 的熱冷交替式平壓機中熱壓 8 min;接著關閉加熱系統並開啟冷卻裝置,以常溫水冷卻循環 10 min,隨之解壓取出板材,並將板材靜置於 20°C、65% RH 之恆溫恆濕室中進行調濕處理。此外,兩種市售酚膠系粒片板 (PB<sub>16</sub>:板材厚度 16 mm;PB<sub>18</sub>:板材厚度 18 mm) 則做為對照組。

## 2. 性質分析

### (1) 物理機械性質分析

複合材之物理機械性質分析係參考 Hung 與 Wu (2010) 之試驗方法,依 CNS 2215 試驗標準,分別測定其密度 (Density)、含水率 (Moisture content)、吸水率 (Water absorption)、吸水厚度膨脹率 (Thickness swelling)、內聚強度 (Internal bond, IB)、木螺釘保持力 (Wood screw holding strength, WSH)、抗彎強度 (Modulus of rupture, MOR) 及抗彎彈性模數 (Modulus of elasticity, MOE)。上述各項試驗均進行 5 重複。

### (2) 動態機械性質分析

本試驗參考 Chen *et al.* (2012) 之試驗方法,採用 PerkinElmer 動態機械分析儀 (DMA-8000, USA),以單懸臂 (Single cantilever) 彎曲試驗模式進行試驗。分析時,系統升溫速率為 5°C/min、頻率為 1 Hz,測試溫度範圍為-180~180°C。

### (3) 厚度方向密度剖面分析 (Vertical density profile analysis)

本試驗參考 Chen *et al.* (2012) 之試驗方法,採用 Quintek Measurement System 之 X-ray 密度檢測儀 (QTRS-01X, USA) 進行 BCC 之密度剖面分析。分析時,試材尺寸為 50 mm × 25 mm × 12 mm,試材間距為 0.04 mm。

### (4) 掃描式電子顯微鏡分析

本試驗參考 Lee *et al.* (2012) 之試驗方法,採用 Hitachi 桌上型電子顯微鏡 (TM-1000, Japan),以加速電壓 15 kV 進行試驗,藉此觀察 BCC 經內聚強度試驗後,其破壞斷面之顯微結構。

## 3. 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's test) 評估各組間之差異性 (信賴區間為 95%)。

## III、結果與討論

### (I) 厚度方向密度剖面

由於複合材之物理及機械性質均會受到其厚度方向之密度剖面影響 (Wong *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2000; Chen *et al.*, 2012),因此本試驗利用 X-ray 密度檢測儀測定 BCC 厚度方向之密度剖面。以粒片狀、細碎片狀及長薄片狀 3 種不同原料型態製備之 BCC,其密度剖面之結果如圖 2 所示。由圖中可以發現,無論以何種型態之原料製備 BCC,其厚度方向之密度剖面均呈均勻分布,此密度剖面型態與傳統平壓式粒片板不同。一般而言,傳統粒片板係以含水率及佈膠量較高之細粒片配置在表層與底層,含水率及佈膠量較低之粗粒片配置於心層,且熱壓成型過程中,其表層/底層與心層會產生水分、溫度及壓力梯度,使得表層與底層先行軟化而被壓縮,進而形成 U 型分布之密度剖面 (Wong *et al.*, 1999; Strokke *et al.*, 2014),但 BCC 之表層、心層及底層之原料含水率與尺寸均相同,故在厚度方向之密度剖面並不明顯。而由粒片狀、細碎片狀及長薄片狀 3 種不同原料型態

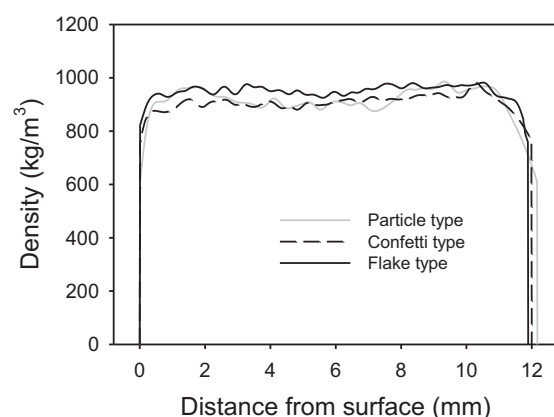


圖 2、原料型態對鋁箔包複合材厚度方向密度剖面之影響

Fig. 2. Effect of furnish shape on the vertical density profile of beverage carton composites.



製備之 BCC 中發現，3 種 BCC 間之密度剖面並無明顯差異，顯示其密度剖面並非影響 BCC 物理及機械性質之主要因素。

## (II) 物理性質

表 1 為 3 種 BCC 及 2 種市售粒片板 (PB<sub>16</sub> 及 PB<sub>18</sub>) 之密度、含水率、24 h 吸水率及厚度膨脹率。由表中可以發現，以粒片狀、細碎片狀及長薄片狀 3 種不同原料型態製備之 BCC 以及市售粒片板 PB<sub>16</sub> 與 PB<sub>18</sub>，其密度依序為 889、861、951、617 及 656 kg/m<sup>3</sup>，此結果顯示，組間密度有統計上之差異。而密度為影響複合材機械性之重要因素之一，因此在後續機械性質之表現上則以比強度 (Specific strength) 方式表示。另一方面，3 種 BCC 以及 PB<sub>16</sub> 與 PB<sub>18</sub> 之含水率依序為 4.5%、3.3%、2.8%、10.9% 及 10.9%，此結果顯示，其組間含水率有統計上之差異。3 種 BCC 中，以粒片狀原料製備者之含水率較其他二者略高，但僅相差約 1%。推測其原因，主要為粒片狀原料之尺寸較小，表面積較大，因此較易吸附空氣中之水分 (Sackey *et al.*, 2011)，使其含水率較細碎片狀及長薄片狀製備者略高。此外，3 種 BCC 之含水率均遠低於市售粒片板 PB<sub>16</sub> 及 PB<sub>18</sub>。其原因，主要是原料係由牛皮紙、LDPE 及鋁所組成，其中，占 25% 之 LDPE 及鋁為疏水性 (Hydrophobic) 材料。而 BCC 之原料為以硫酸鹽製漿法所獲得之木材纖維所製成，其具有較高比例的結晶型纖維素及木質素 (Gellerstedt, 2001)，因此可大幅降低木材纖維之親水性，故 3 種 BCC 之含水率均遠低於本試驗所使

用之 2 種市售粒片板。

另一方面，由表 1 中亦可發現，3 種 BCC 中以粒片狀原料製備者具有最低之 24 h 吸水率及吸水厚度膨脹率，而以細碎片狀及長薄片狀原料製備之 BCC 具有相似的 24 h 吸水率，但後者之吸水厚度膨脹率最大 (21.9%)。另一方面，2 種市售粒片板之 24 h 吸水率均遠大於 BCC，但吸水厚度膨脹率僅介於 8.7–8.8% 之間，其與粒片狀原料製備之 BCC 相似。一般而言，木質複合材之吸水機制可分為下列 3 個階段：(1) 水分自複合材表面之孔洞擴散入複合材內部孔隙；(2) 水分透過毛細管擴散至複合材界面間之孔隙；(3) 水分滲透入木質材料及複合材中之親水性物質 (Das *et al.*, 2000; Adhikary *et al.*, 2008; Akil *et al.*, 2011; Cigasova *et al.*, 2013; Stevulova *et al.*, 2015)。其中，複合材孔隙中所吸收之水分僅會影響其吸水率，並不會影響其吸水厚度膨脹率；相反的，木質材料及其他親水物質吸收之水分不僅會增加複合材之吸水率，亦會造成其吸水膨脹率的增加 (Sackey *et al.*, 2011)。而在本研究所使用之 2 種市售粒片板中，其原料為木粒片，其巨視與微視孔隙較多，且粒片板密度較低，粒片相互間之空隙較多，水分可以毛細管現象進入這些孔隙，因此其吸水率較高。但在粒片板中，木材粒片之吸水膨脹會受到酚系膠合劑的限制，且板材密度較低，因此其吸水厚度膨脹率較低。相對的，鋁箔包係由牛皮紙、LDPE 及鋁箔以淋膜方式所組成之層積狀結構，其中，牛皮紙係由結晶度較高之纖維

表 1、原料型態對鋁箔包複合材物理性質之影響

Table 1. Effect of furnish shape on the physical properties of beverage carton composites

Composites	Geometry of furnish	Density (kg/m <sup>3</sup> )	Moisture content (%)	Water absorption (%)	Thickness swelling (%)
BCC	Particle	889±34 <sup>AB</sup>	4.5±0.4 <sup>B</sup>	10.1±0.4 <sup>D</sup>	8.3±0.4 <sup>C</sup>
BCC	Confetti	861±21 <sup>B</sup>	3.3±0.2 <sup>C</sup>	13.6±3.0 <sup>C</sup>	16.7±1.7 <sup>B</sup>
BCC	Flake	951±50 <sup>A</sup>	2.8±0.5 <sup>C</sup>	12.1±1.4 <sup>CD</sup>	21.9±1.5 <sup>A</sup>
PB <sub>16</sub>	Particle	617±18 <sup>C</sup>	10.9±0.6 <sup>A</sup>	23.5±1.1 <sup>B</sup>	8.7±0.2 <sup>C</sup>
PB <sub>18</sub>	Particle	656±5 <sup>C</sup>	10.9±0.2 <sup>A</sup>	50.2±1.1 <sup>A</sup>	8.8±0.6 <sup>C</sup>

Values are mean ± SD (n = 5). Different superscript letters within a column indicate significant difference at P < 0.05.

維材料所組成，且其巨視孔隙較少，而 LDPE 及鋁箔為疏水性材料，且板材密度較高，因此其吸水率較低。但牛皮紙之吸水膨脹較不會受到 LDPE 之限制，且板材密度較高，再加上 LDPE 與牛皮紙間極性不同，其結合性能不佳，因此以鋁箔包製備之 BCC 吸水後之回彈 (Springback) 較市售粒片板高。此外，在粒片狀、細碎片狀及長薄片狀 3 種不同原料型態製備之 BCC 中，由於長薄片狀原料之尺寸較大，水分可透過原料中之木質纖維 (牛皮紙) 傳遞，造成纖維吸水膨脹，進而導致複合材之吸水厚度膨脹率較高。綜合上述結果得知，原料型態會影響 BCC 之尺寸安定性；其中，以粒片狀製備者尺寸安定性較佳，而以細碎片狀及長薄片狀製備者較差。

### (III) 機械性質

不同原料型態製備 BCC 之機械性質如表 2 所示，由表中可以發現，不同原料型態製備之 BCC，其內聚強度 (IB) 與比內聚強度 (sIB) 均以粒片狀及細碎片狀製備者較佳，而以長薄片狀製備者最低，此結果與前人研究之成果相似 (Post, 1961; Suzuki and Miyagawa, 2003)。Sackey *et al.* (2008) 指出，原料型態與尺寸會影響複合材之內聚強度。Marashdeh *et al.* (2011) 則指出，原料尺寸愈小，複合材之內聚強度愈大；反之，原料尺寸愈大，則複合材內聚強度愈小。Post (1961) 亦曾指出，以粒片製成之複合材，其內聚強度較長薄片製成者高。此外，由表中亦可發現，3 種 BCC 之內聚強度與比內聚強度均較市售粒片板為弱。而在木螺釘保持力方面，3 種 BCC 之木螺釘保持力 (WSH) 及比木螺釘保持力 (sWSH) 均以長薄片狀製備者表現較佳，而以粒片狀製備者較差，其值均較市售粒片板低。Çolakoğlu (2009) 指出，以不同原料型態製成之複合材，由於其顯微結構不同，可能會影響複合材之木螺釘保持力。

而在抗彎性質方面，3 種 BCC 之抗彎強度 (MOR) 與比抗彎強度 (sMOR) 均以長薄片狀鋁箔包製備者最高，細碎片狀製備者次之，而粒片狀製備者最低。其中，長薄片狀製備之 BCC，其抗彎強度與比抗彎強度均較市售粒片板為高。此外，由表 2 中亦可發現，3 種 BCC 之抗彎彈性模數 (MOE) 及抗彎彈性模數 (sMOE) 均以長薄片狀製備者較高，而以粒片狀製備者較差。而造成

長薄片狀 BCC 抗彎性質較高之原因，推測主要是因原料長度較長，且為定向排列，故其抗彎性能較為優異，此結果與前人研究定向粒片板 (Nishimura *et al.*, 2004) 及無膠合劑型粒片板 (Hashim *et al.*, 2010) 之成果相似。Suzuki 與 Takeda (2000) 之研究報告亦曾指出，隨著定向粒片板中之粒片長度及定向排列程度愈高，則其抗彎性能愈佳。

### (IV) 動態機械性質

本研究除分析 BCC 之物理及機械性質外，亦利用 DMA 分析複合材之動態機械性質，其儲存模數 (Storage modulus,  $E'$ ) 及損失正切模數 (Loss tangent,  $\tan \delta$ ) 之表現如圖 3 所示。由圖 3A 中可以發現，3 種不同原料型態製備之 BCC 中，當環境溫度低於 LDPE 玻璃轉移溫度時 (約-110°C)，複合材之儲存模數較高，且以細碎片狀及長薄片狀製備之 BCC 具有較高之儲存模數，而以粒片狀製備者，其儲存模數表現較低。再者，隨著溫度升高，分子移動性亦隨之增加，進而導致複合材之儲存模數下降。當溫度升高至室溫時 (25°C)，係以長薄片狀製備之 BCC 具有最高之儲存模數，細碎片狀製備者次之，而以粒片狀製備者最低。此結果與抗彎試驗之結果相似，其原因可能為長薄片狀製備之 BCC 具有較長之膠合連續面，且為定向排列，故具有較佳之界面應力轉移能力。而當溫度升高至 100°C 左右時，3 種 BCC 之儲存模數已無差異，顯示環境溫度愈高，原料型態對 BCC 性質之影響程度愈不明顯。另一方面，由圖 3B 中可以發現，3 種不同原料型態製備之 BCC 均於 -110°C 附近有一微弱的 LDPE 玻璃轉移溫度 (Matthews *et al.*, 1999)，此結果顯示原料型態對 BCC 之玻璃轉移溫度並無明顯之影響。而在 120°C 附近則為 LDPE 之熔融溫度 (Melting temperature)，以粒片狀、細碎片狀及長薄片狀製備之 BCC，其 LDPE 之熔融溫度依序為 124.5、121.5 及 119.9°C，此結果顯示原料型態會影響 BCC 中 LDPE 之熔融溫度。至於粒片狀製備之 BCC 中 LDPE 熔融溫度最高之原因，主要係因為複合材中非連續性之空腔 (Void) 較多，可有效延遲熱的傳遞，進而造成 LDPE 之熔融溫度往高溫側偏移 (Khedari *et al.*, 2003; Wang *et al.*, 2010)。

表 2、原料型態對鋁箔包複合材機械性質之影響

Table 2. Effect of furnish shape on the mechanical properties of beverage carton composites

Composites	Geometry of furnish	Strength					Specific strength				
		IB (MPa)	WSH (kN)	MOR (MPa)	MOE (GPa)	sIB (MPa)	sWSH (kN)	sMOR (MPa)	sMOE (GPa)	sMOR (MPa)	sMOE (GPa)
BCC	Particle	0.40±0.01 <sup>C</sup>	0.47±0.06 <sup>C</sup>	10.3±1.1 <sup>C</sup>	1.2±0.1 <sup>C</sup>	0.44±0.01 <sup>C</sup>	0.52±0.05 <sup>C</sup>	11.7±1.0 <sup>C</sup>	1.4±0.1 <sup>D</sup>		
BCC	Confetti	0.37±0.02 <sup>C</sup>	0.66±0.14 <sup>BC</sup>	18.2±3.3 <sup>B</sup>	1.7±0.2 <sup>BC</sup>	0.40±0.02 <sup>C</sup>	0.70±0.13 <sup>BC</sup>	20.1±2.9 <sup>B</sup>	1.9±0.2 <sup>CD</sup>		
BCC	Flake	0.16±0.01 <sup>D</sup>	0.87±0.12 <sup>A</sup>	25.9±3.8 <sup>A</sup>	2.4±0.4 <sup>AB</sup>	0.16±0.01 <sup>D</sup>	0.90±0.11 <sup>AB</sup>	25.8±1.9 <sup>A</sup>	2.4±0.3 <sup>C</sup>		
PB <sub>16</sub>	Particle	0.90±0.12 <sup>A</sup>	0.69±0.08 <sup>AB</sup>	13.3±1.2 <sup>BC</sup>	2.7±0.3 <sup>A</sup>	1.33±0.18 <sup>A</sup>	1.00±0.12 <sup>A</sup>	18.9±1.2 <sup>B</sup>	3.9±0.3 <sup>A</sup>		
PB <sub>18</sub>	Particle	0.61±0.03 <sup>B</sup>	0.69±0.06 <sup>AB</sup>	9.6±0.2 <sup>C</sup>	2.4±0.1 <sup>AB</sup>	0.86±0.05 <sup>B</sup>	0.95±0.08 <sup>A</sup>	13.2±0.3 <sup>C</sup>	3.3±0.1 <sup>B</sup>		

Values are mean ± SD (n = 5). Different superscript letters within a column indicate significant difference at P < 0.05.

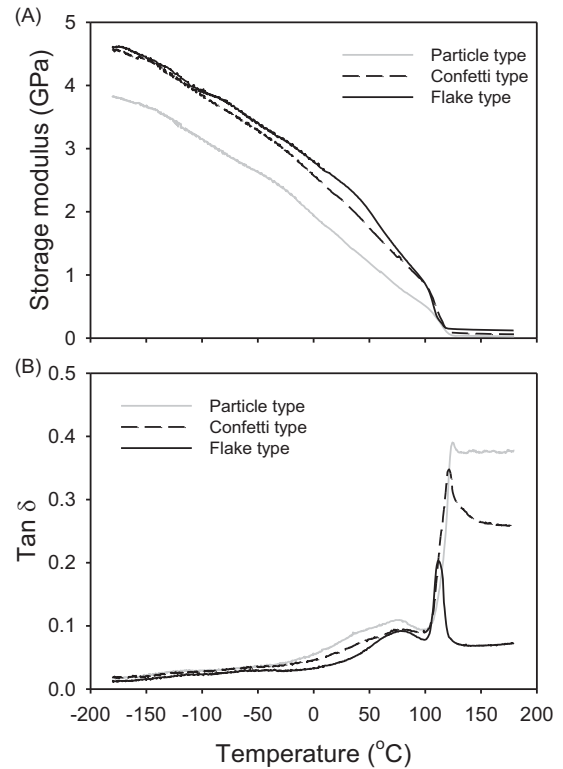


圖 3、原料型態對鋁箔包複合材動態機械性質之影響

Fig. 3. Effect of furnish shape on the storage modulus (A) and tan δ (B) of beverage carton composites.

(V) 顯微影像分析

一般而言，原料在複合材中分布情形及其組成結構，會影響該複合材料之性質表現 (Chen *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2010)。因此，本研究利用 SEM 分析 BCC 經內聚強度試驗後之破壞斷面，其結果如圖 4 所示。由圖中可明顯發現，3 種不同原料型態所製備之複合材中，均可發現於原料界面間有大量的空腔及裂縫 (Gap)。其中，尤以粒片狀及細碎片狀製備者具有較多之空腔 (圖 4A-D)。此結果再次證實 BCC 中 LDPE 熔融溫度往高溫側偏移 (圖 3) 之原因，主要與複合材中空腔多寡有關。此外，由於複合材料破壞起始所需之能量較破壞延伸時所需之能量為高 (Kapp and Jolles, 1986)，而長薄片狀製備之複合材，因長薄片界面間之裂縫狹長且連續 (圖 4E、F)，其材料破壞起始所需之能量較粒片狀及細碎片狀者為低，故造成其內聚強度較此二者製備者為差 (表 2)。



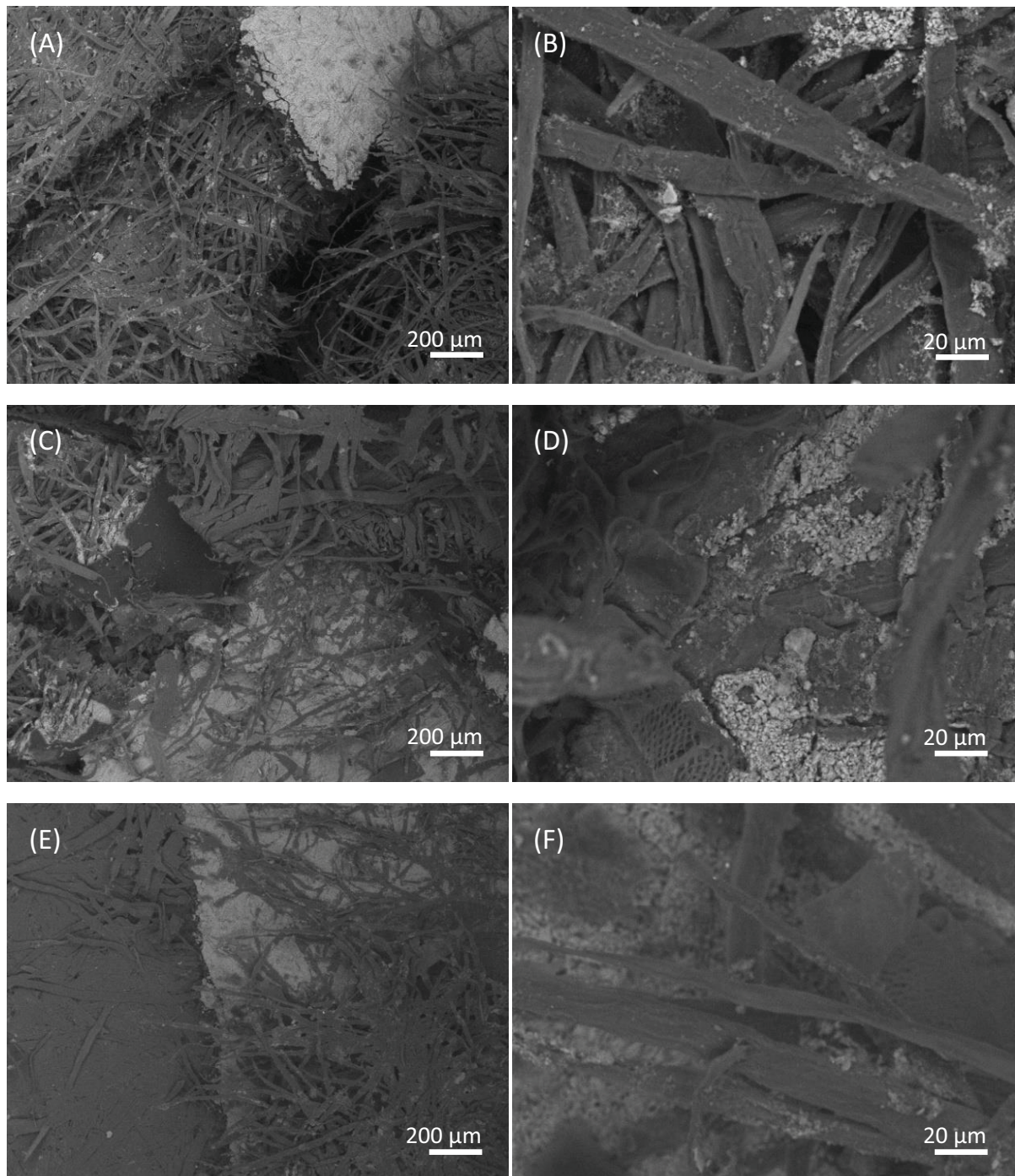


圖 4、不同原料型態之鋁箔包複合材之 SEM 照片

Fig. 4. SEM micrographs of the fracture surface of beverage carton composites made from various furnish shapes. (A), (B): Particle-based BCC; (C), (D): Confetti-based BCC; (E), (F): Flake-based BCC.

## IV、結論

鋁箔包複合材之研製可做為鋁箔包廢棄物回收再利用的方法之一，而現有相關的鋁箔包複合材製備大多額外添加膠合劑，顯少嘗試以鋁箔包內含之 20% LDPE 做為結合基質。本研究成功地以傳統粒片板之製程方式，以不同原料型態製備鋁箔包複合材。試驗結果顯示，粒片狀、細碎片狀及長薄片狀 3 種不同原料型態製備之複合材，其厚度方向之密度剖面均呈均勻分布。其中，以粒片狀原料製備之複合材具有較佳之尺寸安定性及內聚強度；而以長薄片狀原料製備之複合材則具有較佳之木螺釘保持力、抗彎強度、抗彎彈性模數及儲存模數。綜合以上結果得之，以鋁箔包複合材係廢棄鋁箔包回收再利用之可行方法之一，其不僅能減少資源浪費及環境衝擊，亦可延長鋁箔包之生命週期，以達到節能減碳之效益。然而，以長薄片狀原料製備之複合材雖具有優異之強度性能表現（抗彎強度及比抗彎強度均較市售粒片板為佳），但其尺寸安定性不佳之問題。因此，如何改善此一問題，則係未來需進一步探討的研究課題。

## V、參考文獻

1. 行政院環境保護署 (2013) 資源回收管理基金管理委員會。  
<http://recycle.epa.gov.tw/Recycle/index2.aspx>  
(2014/06/20)
2. 李家皇、吳東霖、洪克昌、吳志鴻 (2011) 塑膠基質對木材塑膠複合材戶外耐候性質之影響。林產工業 30：135-147。
3. 吳東霖、陳載永、吳志鴻 (2011) 竹材加工廢料應用在生物可降解型塑膠複合材製備之研究。中華林學季刊 44：613-626。
4. 張懋如、吳東霖、洪克昌、陳載永、吳志鴻 (2009) 台灣二葉松木材-塑膠複材之理學機械性質。林業研究季刊 31：65-74。
5. 陳永龍、吳志鴻 (2013) 菇類太空包木質殘料製備木材塑膠複合材之性質。林產工業 32：63-70。
6. 廖國宏 (1993) 利用飲料包裝紙之廢料製造粒片板之研究，國立中興大學森林學研究所碩士論文。
7. 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.
8. Akil, H. M., M. F. Omar, A. A. M. Mazuki, S. Safiee, Z. A. M. Ishak, and A. Abu Bakar (2011) Kenaf fiber reinforced composites: a review. *Mater. Des.* 32:4107-4121.
9. Ashori, A. and A. Nourbakhsh (2010) Bio-based composites from waste agricultural residues. *Waste Manage.* 30:680-684.
10. Ayrilmis, N., Z. Candan, and S. Hiziroglu (2008) Physical and mechanical properties of cardboard panels made from used beverage carton with veneer overlay. *Mater. Des.* 29:1897-1903.
11. 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. *Eur. J. Wood Wood Prod.* 64:172-177.
12. 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.
13. Cigasova, J., N. Stevulova, A. Sicakova, and J. Junak (2013) Some aspects of lightweight composites durability. *Chem. Eng. Trans.* 32:1615-1620.
14. Çolakoğlu, M. H. (2009) Determination of bending strength elongation in bending screw withdrawal strength and swelling in thickness of some panels. *J. Appl. Sci.* 9:4061-4065.
15. Das, S., A. K. Sara, P. K. Choudhury, B. C. Mitra, T. Todd, and S. Lang (2000) Effect of steam pretreatment of jute fiber on dimensional stability of jute composite. *J. Appl. Polym. Sci.* 76:1652-1661.
16. Fávoro, 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. *Composites Pt. A-Appl. Sci. Manuf.* 42:154–160.
17. Gellerstedt, G. (2001) Pulping chemistry. In: Hon, D. N.-S. and N. Shiraiishi (ed) *Wood and Cellulosic Chemistry*. Marcel Dekker, NY. p. 859–905.
  18. Hashim, R., N. Saari, O. Sulaiman, T. Sugimoto, S. Hiziroglu, M. Sato, and R. Tanaka (2010) Effect of particle geometry on the properties of binderless particleboard manufactured from oil palm trunk. *Mater. Des.* 31:4251–4257.
  19. 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.
  20. Hung, K.-C., Y.-L. Chen, and J.-H. Wu (2012) Natural weathering properties of acetylated bamboo plastic composite. *Polym. Degrad. Stabil.* 97:1680–1685.
  21. Hwang, G.-S., E. I.-C. Wang, and Y.-C. Su (2006) Preparation of composite board using foil-laminated and plastic-laminated liquid packaging paperboard as raw materials. *J. Wood Sci.* 52:230–235.
  22. Kapp, J. K. and M. I. Jolles (1986) Assessment of J-R curves obtained from precracked charpy specimens. In: Underwood, J. H., R. Chait, C. W. Smith, D. P. Wilhem, W. R. Andrews, and J. C. Newman (ed) *Fracture Mechanics: Seventeenth Volume. 17th National Symposium on Fracture Mechanics*, New York. p. 401–414.
  23. Khedari, J., S. Charoenvai, and J. Hirunlabh (2003) New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. *Build. Environ.* 38:435–441.
  24. 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.
  25. 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.
  26. Marashdeh, M. W., R. Hashim, A. A. Tajuddin, S. Bauk, and O. Sulaiman (2011) Effect of particle size on the characterization of binderless particleboard made from *Rhizophora* spp. Mangrove wood for use as phantom material. *BioResources* 6:4028–4044.
  27. Matthews, R. G., A. P. Unwin, I. M. Ward, and G. Capaccio (1999) A comparison of the dynamic mechanical relaxation behavior of linear low- and high-density polyethylenes. *J. Macromol. Sci. B* 38:123–143.
  28. Murathan, A., A. S. Murathan, M. Gürü, and M. Balbaşı (2007) Manufacturing low density boards from waste cardboards containing aluminum. *Mater. Des.* 28:2215–2217.
  29. Nishimura, T., J. Amin, and M. P. Ansell (2004) Image analysis and bending properties of model OSB panels as a function of strand distribution, shape and size. *Wood Sci. Technol.* 38:297–309.
  30. Nourbakhsh, A. and A. Ashori (2010) Wood plastic composites from agro-waste materials: Analysis of mechanical properties. *Bioresour. Technol.* 101:2525–2528.
  31. Post, P. W. (1961) Relationship of flake size and resin content to mechanical and dimensional properties of flake board. *For. Prod. J.* 11:34–37.
  32. Rozman, H. D., C. Y. Lai, H. Ismail, and Z. A. Mohd Ishak (2000) The effect of coupling agents on the mechanical and physical properties of oil palm empty fruit bunch–polypropylene composites. *Polym. Int.* 49:1273–1278.
  33. Sackey, E. K., C. Zhang, Y.-L. Tsai, A. Prats, and G. D. Smith (2011) Feasibility of a new hybrid wood composite comprising wood particles and strand. *Wood Fiber Sci.* 42:11–20.
  34. Sackey, E. K., K. E. Semple, S. W. Oh, and G. D. Smith (2008) Improving core bond strength of particleboard through particle size redistribution.

- Wood Fiber Sci. 40:214–224.
35. Stevulova, N., J. Gigasova, P. Purcz, I. Schwarzova, F. Kacik, and A. Geffert (2015) Water absorption behavior of hemp hurds composites. *Materials* (in press).
  36. Strokke, D. D., Q. Wu, and G. Han (2014) *Introduction to Wood and Natural Fiber Composites*. John Wiley & Sons, UK. p. 85–127.
  37. Suzuki, S. and H. Miyagawa (2003) Effect of element type on the internal bond quality of wood-based panels determined by three methods. *J. Wood Sci.* 49:513–518.
  38. Suzuki, S. and K. Takeda (2000) Production and properties of Japanese oriented strand board I: effect of strand length and orientation on strength properties of sugi oriented strand board. *J. Wood Sci.* 46:289–295.
  39. Wang, D. C., Y. H. Li, D. Li, Y. Z. Xia, J. P. Zhang (2010) A review on adsorption refrigeration technology and adsorption deterioration in physical adsorption systems. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 14:344–353.
  40. Wong, E. D., M. Zang, Q. Wang, and S. Kawai (1999) Formation of the density profile and its effects on the properties of particleboard. *Wood Sci. Technol.* 33:327–340.
  41. Wu, T.-L., Y.-C. Chien, T.-Y. Chien, 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.
  42. Yao, F., Q. Wu, Y. Lei, and Y. Xu (2008) Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composites: Effect of fiber type and loading. *Ind. Crop Prod.* 28:63–72.