

利用廢棄聚乙烯與木粒片製造塑膠木料複合板

黃國雄^{1,2)}

摘要

本研究中於含木率40%—70%之條件下，以無混鍊與混鍊處理製造兩種塑膠木料複合板。無混鍊複合板係將廢棄聚乙烯與粒片均勻混合後，於 180°C 進行熱壓而製成，其中粒片含膠率為9%、6%、3%與0%。混鍊複合板係將廢棄聚乙烯與粒片利用單螺桿擠壓機進行混鍊處理後，切成小片再進行熱壓而製成。爲了瞭解複合板之性質，進行靜曲強度與厚度膨脹率等試驗。

試驗結果歸結如下：1. 塑膠木料複合板之靜曲強度與最大撓距隨含木率之增加與粒片含膠率之減少而降低，但靜曲彈性係數受含木率增加之影響則因混鍊處理而不同。2. 塑膠木料複合板之厚度膨脹率隨含木率之增加與粒片含膠率之減少而增大。3. 混鍊處理使得粒片外表受到聚乙烯之披護，對塑膠木料複合板之強度性質與尺寸安定性具有正面之效果。

關鍵詞：廢棄塑膠、聚乙烯、木料、粒片、塑膠木料複合板。

黃國雄。1997。利用廢棄聚乙烯與木粒片製造塑膠木料複合板。台灣林業科學 12(4): 443-450。

Manufacturing of Plastic/Wood Composite Boards with Waste Polyethylene and Wood Particles

Gwo-shyong Hwang^{1,2)}

[Summary]

Two kinds of plastic/wood composite boards were manufactured by uncompounded and compounded treatments with wood contents between 40% and 70% in this study. The uncompounded boards were made by pressing a mixture of waste polyethylene and wood particles with resin contents (urea resin) of 9%, 6%, 3% and 0% at 180°C. The compounded boards were made by hot pressing small pieces cut from waste polyethylene and wood particles compounded with a single-screw extruder. Static bending strength and thickness swelling tests were carried out to examine the properties of these boards.

Results are summarized below: 1. The MOR and maximum deflection of boards by both treatments decreased with increasing wood content and with decreasing resin content of particles. The effects of increasing wood content on MOE of these boards were different depending on the treatment. 2. The thickness swelling of boards by both treatments increased with increasing wood content and with

1) 台灣省林業試驗所森林利用系，台北市南海路 53 號 Division of Forestry Utilization, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nanhai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.

2) 通訊作者 Corresponding author

1997 年 7 月送審 1997 年 9 月通過 Received July 1997, Accepted September 1997.

decreasing resin content of particles. 3. Particles with surfaces covered by polyethylene film had positive effects on the strength property and dimension stability of compounded boards.

Key words: waste plastic, polyethylene, wood, particle, plastic/wood composite board.

Hwang, G. S. 1997. Manufacturing of plastic/wood composite boards with waste polyethylene and wood particles. *Taiwan J. For. Sci.* 12(4): 443-450.

緒言

近一、二十年來由於國內經濟高度成長與國民生活水準提高，使得家庭日常用品的種類複雜化、型式多樣化，因而廢棄物之產生亦急速地增加，以致現有之垃圾掩埋場紛紛提前爆滿，加上國內環保意識之普遍高漲，使得新的掩埋場所不易尋覓，因此廢棄物之妥善處理問題，實為政府當前之急務。

在一般廢棄物方面，垃圾中之紙類、塑膠類、橡膠類、玻璃類及金屬類等物質，皆為可回收再利用之資源，台灣地區垃圾中塑膠類物質約佔12%—17%(陳永任等，1996)。由於塑膠製品不易腐爛、不易分解，因此其使用後產生很多環保問題。如何有效地將廢棄塑膠製品予以處理，甚至將其轉換為有用之資源是一世人注目的課題(蘇宗榮，1996)。

近年來美國、加拿大與日本等先進國家對廢棄塑膠資源化之研究倍加重視，目前國內外之研究機構對塑膠與木質材料之複合材料，已投入不少之人力與物力進行研究並提出多篇之研究報告(Han *et al.*, 1989; Kishiet al., 1988; Park *et al.*, 1997; Peng *et al.*, 1994; Zaini *et al.*, 1996)。

本研究之目的在探討利用廢棄聚乙烯與木質粒片製造塑膠木料複合板之適性，並期協助解決國內垃圾處理之問題，進而達到資源再生之目標。試驗中以無混鍊處理與混鍊處理於含木率40%~70%之條件下，將廢棄聚乙烯與木質粒片製造塑膠木料複合板，其中無混鍊處理者之粒片含膠率設定為9%、6%、3%與0%，由靜曲試驗與厚度膨脹率試驗之結果檢討各種製造條件塑膠木料複合板之性質。

材料與方法

一、材料

(一)粒片

係取自國內粒片板廠生產線上已完成乾燥作業之粒片，其含水率為2%~3%，粒片大小分佈為6 mesh佔3.1%，10 mesh佔18%，18 mesh佔18.9%，24 mesh佔3.8%，36 mesh佔32.1%，bottom佔24.1%。

(二)尿素膠

由國內粒片板廠提供，其固體含量約60%。硬化劑之添加量為0.4%。

(三)廢棄聚乙烯

由經營寶特瓶回收利用之業者所提供，此等廢棄聚乙烯(以下簡稱PE塑膠)係作為寶特瓶之底座用。回收之寶特瓶經清洗後，PE塑膠之底座與瓶身分離，並予以粉碎成小片，以供再生利用。

二、塑膠木料複合板之備製

(一)無混鍊處理塑膠木料複合板

無混鍊處理塑膠木料複合板(以下簡稱無混鍊複合板)係將PE塑膠與含膠之粒片均勻混合後，進行熱壓而成。以重量計算複合板中粒片之百分率(以下簡稱含木率)設定為40%、50%、60%與70%，粒片之含膠率為9%、6%、3%與0%，板比重設定為0.75。依上述條件將PE塑膠與粒片均勻混合後，以180℃進行熱壓製成1 cm×45 cm×45 cm之複合板。採3段加壓方式，其壓力與時間分別為第1段30 kgf/cm², 1 min 30 s; 第2段15 kgf/cm², 4 min; 第3段3 kgf/cm², 30 s。

(二)混鍊處理塑膠木料複合板

混鍊處理塑膠木料複合板(以下簡稱混鍊複合板)係將PE塑膠與木粒片混合後，以單螺

桿擠壓機於160~175°C之溫度與750 rpm之螺桿轉速下進行混鍊處理並擠壓出厚度約5 mm，寬度約8 cm，長度約15 cm之片狀塑膠木料複合物，再將此複合物經碎片機並通過直徑1.5 cm之網孔成小片後再如同上述之熱壓方法製成複合板，其尺寸為1 cm×30 cm×30 cm，板比重設定為0.95，熱壓解壓後再經約30分之冷壓（壓力為3 kgf/cm²），使其冷卻而定形。除了直接使用由粒片板廠取回之粒片，於含木率40%、50%、60%及70%之條件下，進行混鍊處理製造塑膠木料複合物外，又將該等粒片以網孔1~5 mm之篩網分離出5種不同大小之粒片，於含木率50%之條件下，進行混鍊處理製造塑膠木料複合物。

三、性質測試

參照CNS2216粒片板檢驗法製取試片，並進行靜曲強度試驗、濕潤時靜曲強度試驗與吸水厚度膨脹率試驗，每一條件之試片數為8。其中濕潤時之靜曲強度試驗係將試片於70±3°C之溫水中浸漬2 h，再在常溫之水中浸漬1 h之後，在濕潤狀態下進行靜曲強度試驗。吸水厚度膨脹率試驗中，試片吸水後之含水率亦予以測定。

四、掃描式電子顯微鏡之觀察

將欲觀察之試體以雙面膠布黏置於樣品台，經真空乾燥後以離子鍍膜機將金原子蒸鍍於試體之表面，使用日立製S2400掃描式電子顯微鏡觀察PE塑膠與粒片混鍊後之表面與複合板之橫斷面。

結果與討論

一、無混鍊複合板之性質

無混鍊複合板係以不同含膠率之粒片，於含木率40%~70%之條件，與PE塑膠混合經熱壓而成者。Fig. 1所示為無混鍊複合板於乾燥狀態與濕潤狀態下進行靜曲強度試驗之結果。Fig. 1顯示無論是乾燥狀態或是濕潤狀態下，於同一含木率之無混鍊複合板中，粒片之含膠率對靜

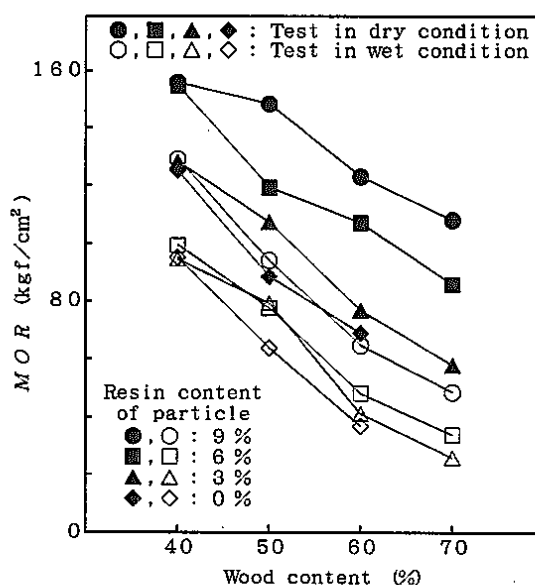


Fig. 1. Relationships between MOR and wood content for un-compounded boards.

曲強度之增加具正面之作用，即粒片含膠率較高者可獲得較大之靜曲強度，因而可知含膠粒片在無混鍊複合板中可發揮相當程度之膠合效果。又Fig. 1顯示於相同粒片含膠率之條件下，無混鍊複合板之靜曲強度隨含木率之增加即PE塑膠含有率之減少而明顯降低，同時在粒片含膠率為0%，含木率40%者之靜曲強度可達120 kgf/cm²，符合CNS2215中100型粒片板靜曲強度在80 kgf/cm²以上之規定，由此可知PE塑膠對無混鍊複合板靜曲強度之表現，亦有所貢獻。其可能原因為於熱壓製板時，PE塑膠因受熱而產生融流，並相互融合而形成立體網狀結構，而有利其強度表現，又由於熱壓過程中板內所產生之壓力，使得部份PE塑膠之融流進入粒片表面之凹處或孔隙中，俟其冷卻後產生投錨效果並將粒片結合一起。然而粒片含膠率仍為0%，含木率增至70%時，於熱壓製板時，由於粒片相對量增多，使得受熱產生之PE塑膠融流無法充分流動與融合，因而無法產生良好之立體網狀結構，亦無法充分發揮投錨效果，故不能順利熱壓成板。

又如Fig. 1所示，於任一粒片含膠率之條件

下，其濕潤時之靜曲強度亦隨含木率之增加而明顯降低，若以乾燥時之靜曲強度為100%，則濕潤時之靜曲強度為同一製造條件乾燥時者之40%~83%。其降低之幅度隨複合板含木率之增加或粒片含膠率之減少而有增大之趨勢。尤其於含木率70%之條件下，粒片含膠率9%、6%與3%之複合板中，其濕潤時之靜曲強度均分別為其同一粒片含膠率乾燥時者之50%以下，顯示粒片之增多對無混鍊複合板濕潤時之靜曲強度會產生不良之影響。同時以電子顯微鏡觀察無混鍊複合板之橫斷面，如Fig. 2所示，其橫斷面上仍可清晰地觀察到粒片之表外與形狀。由此推知，由於無混鍊複合板係將PE塑膠與粒片均勻混合後進行熱壓而成，PE塑膠無法充分地披覆於全體粒片之表面，因而使得部分無PE塑膠披覆之粒片易於吸水與膨潤，並降低其濕潤時之靜曲強度。

Fig. 3所示為無混鍊複合板之靜曲彈性係數，Fig. 3顯示粒片含膠率9%者，乾燥時之靜曲彈性係數為12000~14000 kgf/cm²，介於CNS2215中規定粒片板彈性係數15000~25000 kgf/cm²與PE塑膠彈性係數4000~10000kgf/cm² (陳世春,1992)之間而可獲得合理之解釋，然其彈性係數隨含木率增加而變化之趨勢，與Fig. 1所示相同粒片含膠率9%者之靜曲強度差異明顯，即含木率40%者之彈性係數較含木率50%以

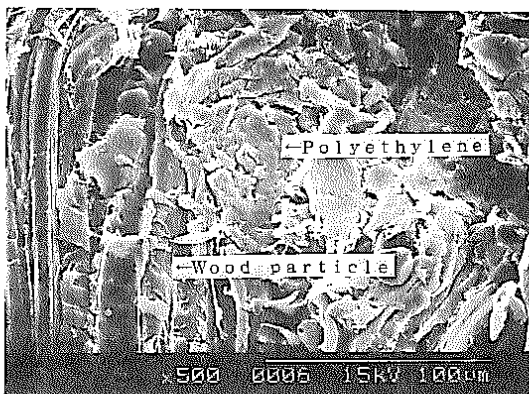


Fig. 2. Scanning electron micrograph of the cross section of an uncompounded board.

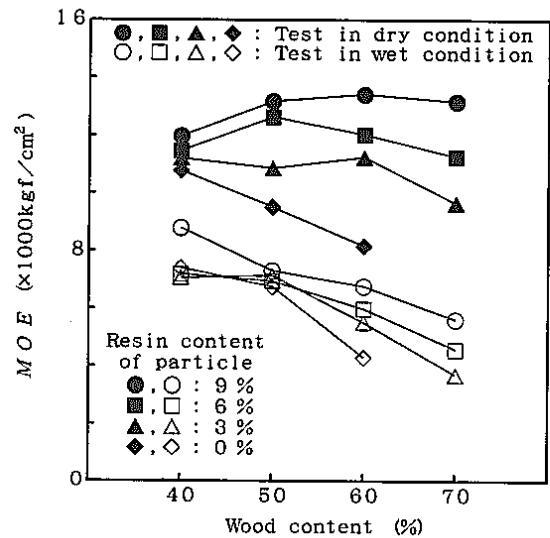


Fig. 3. Relationships between MOE and wood content for uncompounded boards.

上者小，此仍由於含木率40%者之PE塑膠含量較多且PE塑膠彈性係數較小之故。粒片含膠率6%者乾燥時之靜曲彈性係數，於含木率40%與50%時雖較同一含木率中粒片含膠率9%者小，但具有相似之趨勢，含木率50%以上時則明顯降低。粒片含膠率3%者乾燥時之靜曲彈性係數，雖在含木率40%~60%時無明顯之降低，但含木率70%時亦明顯降低。粒片含膠率0%者之乾燥時之彈性係數則隨含木率之增加而明顯降低。綜合言之，無混鍊複合板乾燥時之靜曲彈性係數，於不同粒片含膠率之條件下，隨含木率增加而變化之趨勢不盡相同，但在同一含木率之條件下，粒片含膠率較高者則有較大之靜曲彈性係數，顯示粒片含膠率對無混鍊複合板乾燥時之靜曲彈性係數具有增大之效果。

Fig. 3所示濕潤時之靜曲彈性係數中，於相同含木率之條件下，粒片含膠率較高之複合板具有較大之靜曲彈性係數，此一趨勢與乾燥時之靜曲彈性係數相似。然而在任一粒片含膠率下，濕潤時之靜曲彈性係數則隨含木率之增加而明顯降低，由此可推知試片於70 °C之溫水中浸漬2 h與再在常溫之水中浸漬1 h之過程中，含木率較高之複合板可吸收較多量之水並產生較

大之膨潤，使得其內部之膠合力或結合力之減弱程度增大。

無混鍊複合板於靜曲強度試驗時最大荷重之撓距(以下簡稱最大撓距)與含木率之關係如Fig. 4所示。同一粒片含膠率之條件下，無論是乾燥狀態或濕潤狀態下無混鍊複合板之最大撓距均隨含木率之增加而降低，含木率40%之最大撓距為含木率70%者之1.8~2.2倍，顯示PE塑膠之增加對複合板之可塑性與振動或衝擊時之能量吸收具有正面之作用。然而，如前所任一條件下濕潤時之靜曲強度均較乾燥時者明顯減小(Fig. 1)，但如Fig. 4所示濕潤時之最大撓距均較乾燥時

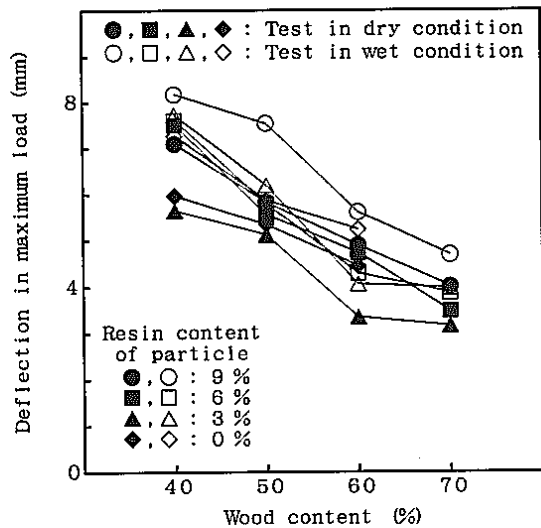


Fig. 4. Relationships between maximum deflection and wood content for un compounded boards.

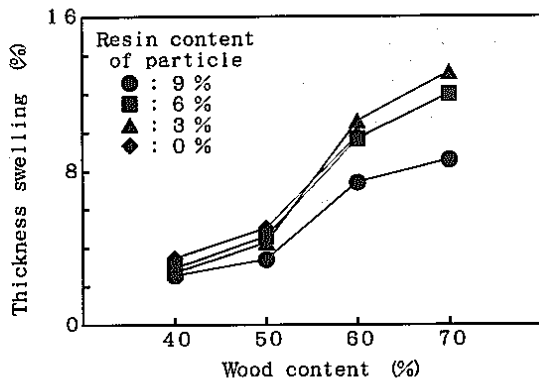


Fig. 5. Relationships between thickness swelling and wood content for un compounded boards.

者大。又在同一含木率之條件下，最大撓距隨粒片含膠率增加而增大之趨勢不甚明顯。

不同粒片含膠率與不同含木率之條件下，熱壓製成無混鍊複合板吸水厚度膨脹率試驗之結果如Fig. 5所示。Fig. 5顯示於任一粒片含膠率之條件下，複合板之厚度膨脹率均隨含木率之增加而明顯增大，由於PE塑膠幾乎不吸水而膨脹，可推知複合板之厚度膨脹均因粒片吸水而膨脹所引起的，因此含木率較高者具有較大之厚度膨脹率，且如Fig. 6所示含木率較高者於厚度膨脹試驗時，吸收較多之水分而使得其含水率明顯增大，其中含木率70%者之含水率約為含木率40%者之3~4倍。Fig. 5亦顯示在同一含木率之條件下，粒片含膠率較高者具有較小厚度膨脹率之趨勢，因而可知粒片含膠率之增加對複合板厚度膨脹率之降低亦具有相當程度之貢獻。又由Fig. 5得知於任一粒片含膠率之條件下，含木率40%或50%以下時，複合板之厚度膨脹率分別為4%或6%以下，顯示出令人滿意之尺寸安定性。除了粒片含膠率3%中含木率70%之複合板厚度膨脹率13.10%不符合CNS2215中粒片板吸水厚度膨脹率12%以下之規定外，其餘者皆符合規定。

二、混鍊複合板之性質

於含木率50%之條件下，不同尺寸之粒片與PE塑膠先經混鍊處理，再熱壓製成複合板後，

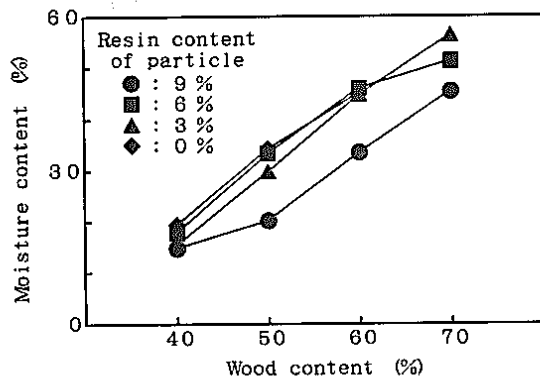


Fig. 6. Relationships between moisture content and wood content for un compounded boards in thickness swelling test.

Table 1. Test results of plastic/wood composites¹⁾ compounded with polyethylene and particles screened by different mesh size

Mesh size (mm)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	Thickness swelling (%)
1	163.9(136.2) ²⁾	18470(13720) ²⁾	1.03(6.21) ³⁾
2	142.8(138.4)	15710(12360)	1.47(8.99)
3	140.6(136.2)	15830(13720)	1.90(9.78)
4	149.1(134.6)	16410(10980)	2.37(9.66)
5	162.3(146.7)	17320(12290)	2.64(9.13)

¹⁾ Wood content of composites are 50%.

²⁾ Values in parentheses are tested in wet conditions.

³⁾ Values in parentheses are moisture contents of composites in thickness swelling test.

進行靜曲試驗與厚度膨脹率試驗之結果，如Table 1所示。由Table 1得知無論乾燥狀態或濕潤狀態之靜曲強度與靜曲彈性係數受粒片尺寸之影響不甚明顯，而厚度膨脹率雖隨粒片尺寸之增大而增加，但其最大者僅為2.46%，且均較Fig. 4含木率50%無混鍊複合板中之任一粒片含膠率者小，顯示混鍊複合板較無混鍊複合板者具有更良好之尺寸安定性。同時由吸水厚度膨脹率試驗中，試片之含水率均於10%以下，較Fig. 6含木率50%無混鍊複合板厚度膨脹試驗中試片含水率20%~34%明顯減小，可推知於混鍊處理與熱壓製板之過程中，使得受熱熔融之PE塑膠均勻地分散於粒片表面並於冷卻後形成較完整之保護膜而達到減少複合板吸水與降低複合板膨脹之效果。此推論亦可由電子顯微鏡觀察混鍊複合板橫斷面之結果(如Fig. 7所示)獲得証實，Fig. 7顯示複合板中之粒片幾乎都受到PE塑膠之覆蓋而無法直接觀察到其外表。

不同含木率之混鍊複合板進行靜曲強度試驗之結果，如Fig. 8所示。由Fig. 8得知無論是乾燥狀態或是濕潤狀態下，其靜曲強度均隨含木率之增加而明顯降低，與Fig. 1所示無混鍊者具有相同之趨勢。其中含木率50%者之靜曲強度為148.4 kgf/cm²，與Table 1所示同一含木率5種不同粒片尺寸混鍊複合板靜曲強度之平均值相近。如試驗方法中所述，混鍊複合板之比重雖

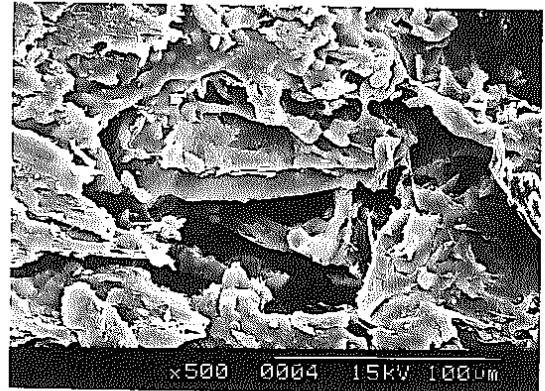


Fig. 7. Scanning electron micrograph of the cross section of a compounded board.

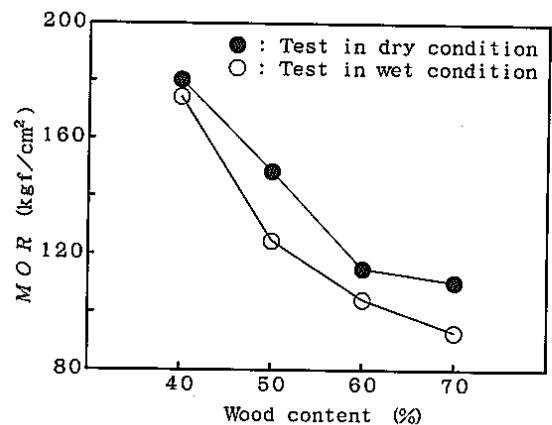


Fig. 8. Relationships between MOR and wood content for compounded boards.

較無混鍊者大，但以比靜曲強度而言，仍較無混鍊複合板中粒片含膠率為0%者(如Fig. 1)明顯增大，顯示混鍊處理對複合板靜曲強度之增加具有相當程度之正面作用。其理由係於高溫高壓之混鍊處理過程中，熔融之PE塑膠流入細胞間隙或受切斷之細胞腔內，又於熱壓製板時使得PE塑膠再度熔融而獲得較良好之結合。同時在任一含木率之條件下，濕潤狀態之靜曲強度與乾燥狀態者相比較，其降低之幅度較Fig. 1所示無混鍊者小，顯示混鍊處理對減少複合板濕潤時靜曲強度之降低具有良好之效果。其理由亦如上所述，混鍊複合板中之粒片獲得較完

整之保護膜，可減小粒片之吸水與膨脹，因而複合板內仍具有較大之結合力即其濕潤時之靜曲強度所降低之幅度較小。

混鍊複合板之靜曲彈性係數隨含木率增加之變化情形，如Fig. 9所示。在乾燥狀態之條件下，靜曲彈性係數隨含木率增加而增大之趨勢，與同條件之靜曲強度隨含木率增加而降低之趨勢(如Fig. 8)迥然不同。於含木率60%以下時，複合板之靜曲彈性係數隨含木率之增加而略為增大，而含木率為70%時，其靜曲彈性係數則急速增大，其增大之現象與Fig. 2中所示無混鍊複合板中粒片含膠率0%者亦完全不同。在濕潤狀態之條件下，混鍊複合板之靜曲彈性係數隨含木率之增加而降低，並與同狀態之靜曲強度者(Fig. 8)相似，但由含木率增加而降低之幅度則較靜曲強度者明顯降低，於含木率60%以下時，其靜曲彈性係數隨含木率之增加而略為降低，而於含木率70%時則無明顯降低。

混鍊複合板靜曲強度試驗時之最大撓距與含木率之關係，如Fig. 10所示，無論乾燥狀態或濕潤狀態下，其最大撓距均隨含木率之增加而降低，同時於同一含木率之條件下濕潤狀態之最大撓距均較乾燥狀態者大，以上之結果均與無混鍊者之趨勢(如Fig. 4)相似，但混鍊複合板之最大撓距則明顯地較無混鍊者小。

Fig. 11所示為混鍊複合板厚度膨脹率試驗之結果，由Fig. 11得知其厚度膨脹率隨含木率

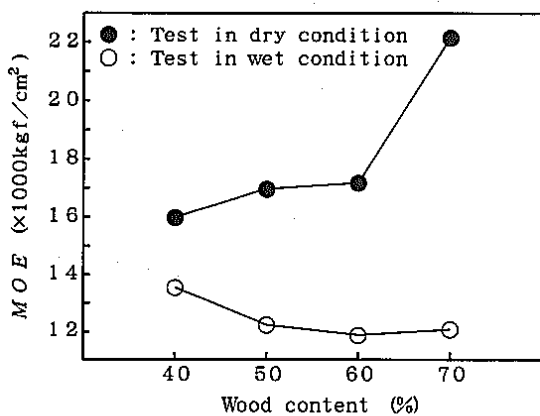


Fig. 9. Relationships between MOE and wood content for compounded boards.

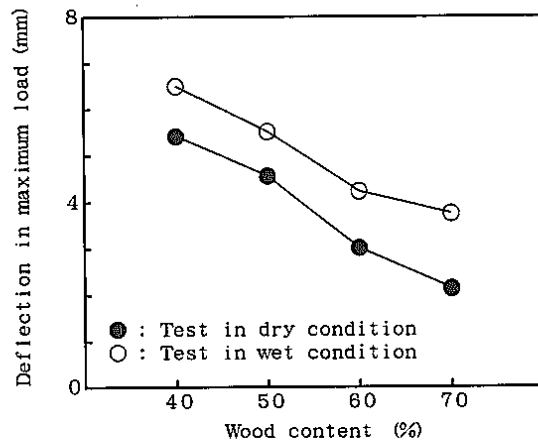


Fig. 10. Relationships between maximum deflection and wood content for compounded boards.

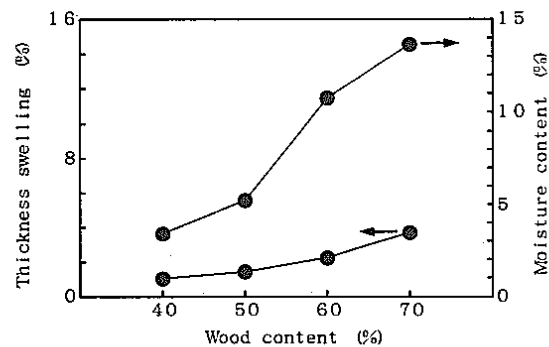


Fig. 11. Changes in thickness swelling and moisture content for compounded boards.

之增加而增大，但其增大之幅度較無混鍊者(Fig. 5)小，如Fig. 11中含木率70%者之厚度膨脹率為3.71%，而Fig. 5中同一含木率無混鍊者之厚度膨脹率為7.61%~13.1%。混鍊複合板具有較低之厚度膨脹率，其理由如前所述，混鍊處理使得粒片表面形成較完整之PE塑膠保護膜而不易吸水，Fig. 12所示為PE塑膠與粒片混鍊處理後，直接以電子顯微鏡所觀察之結果，Fig. 12顯示出混鍊處理之過程，可使得粒片外表獲得相當完整之PE塑膠覆蓋，其不易吸水之效果亦可由厚度膨脹率試驗之試片含水率變化之情形得到証實，如Fig. 11含木率70%者進行厚度膨脹率試驗之試片經浸於室溫之水中24小時後，其含水率僅為13.65%，而Fig. 6所示無混鍊複合板

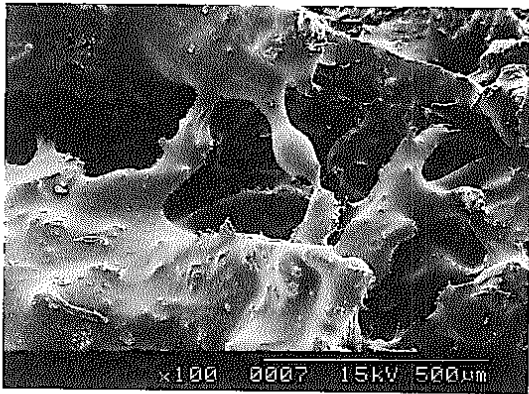


Fig. 12. Scanning electron micrograph of the surface compounded with waste polyethylene and wood particles.

中含木率70%者進行厚度膨脹率試驗後，其試片之含水率為45.46%~56.33%，明顯地較混鍊複合板增大。

結論

- 一、任一粒片含膠率之無混鍊複合板，其靜曲強度與濕潤時之靜曲強度均隨含木率之增加而降低，而其靜曲彈性係數隨含木率增加而降低之趨勢不甚明顯，但濕潤時之趨勢則較為明顯。
- 二、無混鍊複合板之吸水厚度膨脹率隨含木率之增加而明顯增大，且同一含木率中粒片含膠率較高者，其吸水厚度膨脹率較小。
- 三、含木率50%不同粒片尺寸之混鍊複合板，其靜曲強度與靜曲彈性係數、濕潤時之靜曲強度與靜曲彈性係數，受粒片尺寸之影響不明顯，而吸水厚度膨脹率則隨粒片尺寸之增大而略為增加。
- 四、混鍊複合板之靜曲強度與濕潤時之靜曲強度亦隨含木率之增加而降低，且均較無混鍊中粒片含膠率0%者明顯增大，靜曲彈性係數隨含木率之增加而增大，但濕潤時之靜曲彈性係數則略為降低。

- 五、混鍊複合板之吸水厚度膨脹率隨含木率之增加而增大，但其增大之幅度較無混鍊者小。

引用文獻

- 陳永仁、呂文賢、黃揮原、黃基森。1996。我國推動資源回收再利用之現況與策略。工業污染防治 59: 133-144。
- 陳世春譯著。1992。塑膠物性入門。復漢出版社。73頁。
- 蘇宗榮。1996。國內推動廢塑膠資源化的現況。工業污染防治 59: 111-123。
- Han, G. S., H. Ichinose, S. Takase, and N. Shiraishi. 1989. Composites of wood and polypropylenes III. *Mokuzai Gakkaishi* 35(12):1100-1104.
- Kishi, H., M. Yoshioka, A. Yamanoi, and N. Shiraishi. 1988. Composites of wood and polypropylenes I. *Mokuzai Gakkaishi*. 34(2): 133-139.
- Park, B.-D., and J. J. Balatinecz. 1997. Mechanical properties of wood- fiber/toughened isotactic polypropylene composites. *Polymer Composites* 18(1): 79-89.
- Peng, W. T., Y.-S. Huang, and Y.-S. Chen. 1994. Research and development of wood /plastic composite (I), physical and mechanical properties of the composites of sander dust, saw dust, shaving fines and polypropylene. *Bull. Taiwan For. Res. Inst. New Series* 9(2): 167-189.
- Zaini, M. J., M. Y. A. Fuad, Z. Ismail, M. S. Mansor, and J. Mustafah. 1996. The effect of filler content and size on the mechanical properties of polypropylene /oil palm wood flour composites. *Polymer Internat.* 40(1): 51-55.