

木麻黃木塑材之製造 及其物理性質之研究

洪國榮¹⁾ 廖坤福²⁾

(摘要)

本研究之目的在於探討木麻黃 (*Casuarina* spp.) 木塑材之製造及其物理性質之改良情形。利用滿細胞法 (full-cell process, Loos and others 1967) 將甲基丙烯酸甲酯之單體 (methyl methacrylate, MMA) 注入木麻黃試材中，然後將已注入單體之試材置於電氣烘箱中加熱，使單體轉化成聚合體而製成木材與塑膠之複合體，簡稱木塑材 (Wood-Plastic Combinations, WPC)。

木麻黃經甲基丙烯酸甲酯單體處理後，分別測定其抗壓強度、靜力彎曲強度、衝擊彎曲強度、抗剪強度、硬度、抗縮效能及吸水率等之改良情形。處理後木材之各種物理性質當中，除了抗縮效能及抗剪強度外，其餘均有顯著之改良。

Preparation and Physical Properties of MMA-Polymerized Casuarina Spp.

Kuo-Jung Hong¹⁾ Kun-fu Liao²⁾

(Abstract)

The purpose of this investigation was to improve the physical properties of beefwood (*Casuarina* spp.). The wood was impregnated with methyl methacrylate monomer by using full cell process. Subsequent catalyst-heat polymerization of impregnated wood was made by using heating system to form wood-plastic combinations (WPC).

The physical and mechanical properties of the WPC were determined by the following tests: moisture content, specific gravity, water absorption, dimensional change in water (antishrink efficiency, ASE), compression parallel to the grain, static bending, impact bending, shear, hardness. All the properties but ASE and shear were significantly improved.

一、前言

木麻黃屬於木麻黃科 (*Casuarinaceae*)，它的品種約有 50 多種，主要產於澳洲及馬來西亞等

1) 國立中興大學森林系講師。

Instructor, Department of Forestry, National Chung Hsing University

2) 國立中興大學森林系教授。

Professor, Department of Forestry, National Chung Hsing University

地。臺灣栽培的木麻黃是早年從東南亞、南洋等地引進，因氣候環境適宜，日久逐漸馴化，因此被列為本省主要造林樹種之一（甘偉航/1977）。由於木麻黃生長迅速，且能耐旱、抗風、防潮，在本省海岸防風林組成上，佔有極重要之地位（甘偉航/1977，羅紹麟與林喻東/1980）。

防風林中之木麻黃成林迅速，衰退亦快，如日久不予更新，樹勢衰退，易罹病蟲害，抗風力減弱，必導致鬱閉破裂等缺點，因此極須進行更新，以維持永續經營（羅紹麟與林喻東/1980）。木麻黃由於木材收縮膨脹大，故木材加工性差，因此其用途以供應燃料為主，經濟價值低。

本試驗乃是利用防風林更新作業砍伐下來之木麻黃，針對木麻黃木材之缺點，以甲基丙烯酸甲酯之單體注入木麻黃之木材中，製成木材與塑膠之複合體，簡稱木塑膠（Wood-plastic Combinations, WPC）（3, 4, 5……25），藉以改良木麻黃之物理性質，提高木麻黃之木材利用價值。

二、試驗材料與方法

(一) 試驗材料

1. 樹種：

本試驗所使用之木材為防風林更新作業砍伐下來之木麻黃（*Casuarina* spp.），乃本省主要造林樹種之一。木麻黃木材由於收縮膨脹大，故木材加工性差，其用途以供應燃料為主，經濟價值低。

2. 處理藥液：

本試驗所用之塑膠單體為甲基丙烯酸甲酯（methyl methacrylate, MMA），MMA比重0.94，沸點100~101℃，融點-48.2℃，聚合後之聚合體體積收縮率為20~25%，聚合體性質堅硬、強韌。起始劑（initiator）使用過氧化二苯甲醯（benzoyl peroxide）、交鏈劑（crosslinker）使用乙二醇二甲基丙烯酸酯（ethylene glycol dimethacrylate）（14）。

3. 試材之製備：

本試驗所用試材係選自木理通直，且無缺點而年輪密度均勻之部份，茲將各種試材之製備分述如下：

(1) 比重及聚合體率測定用試材：

試材規格為2cm×2cm×2cm之正立方體，重複十次。

(2) 吸水率測定用試材：

試材規格為2cm×2cm×2cm之正立方體，重複十次。

(3) 抗縮效能測定用試材：

試材規格為2cm×2cm×2cm之正立方體，重複十次。

(4) 縱向抗壓強度試材：

試材規格為2cm×2cm×6cm（木理方向）之長方形試材，重複十次。

(5) 靜力彎曲強度試材：

試材規格為2cm×2cm×32cm（木理方向）之長方形試材，測定時其跨距定為28cm。

(6) 衝擊彎曲強度試材：

試材規格為2cm×2cm×30cm（木理方向），徑間為24cm。

(7) 抗剪強度試材：

製成椅子型抗剪強度試材，剪斷面積為2.5cm×2.5cm。

(8) 硬度試材：

試材規格為3cm×3cm×3cm之正立方體。

試驗方法

1. 處理前木材之乾燥：

各種試材於單體注入處理前，先置於電氣烘箱中，以50℃之溫度乾燥，使試材含水率降至12%以下，然後移至於恆溫恆濕控制箱中，控制試材之含水率在12%左右。

2. 單體之注入處理：

本試驗所用之注入裝置與Meyer氏⁽²⁰⁾，所採用者相類似。甲基丙烯酸甲酯單體注入處理前先加入0.2%之過氧化二苯甲醯(benzoyl peroxide)做為起始劑(initiator)及3%之乙二醇二甲基丙烯酸酯(ethylene glycol dimethacrylate)做為交聯劑(crosslinker)。然後將試材置於處理圓筒(treating cylinder)內，旋緊圓筒蓋，然後依下列步驟處理(如圖1)。

- 將處理圓筒抽成真空，真空度為60mm/Hg，使試材細胞腔及細胞間隙盡量接近真空狀態。
- 真空維持時間為30分鐘。
- 利用壓力差使塑膠單體導入處理圓筒內。
- 加壓使處理圓筒內之壓力升高至最高壓力10Kg/cm²。
- 最高壓力維持時間為4小時及8小時。
- 放鬆壓力，恢復常壓，收回多餘之單體。

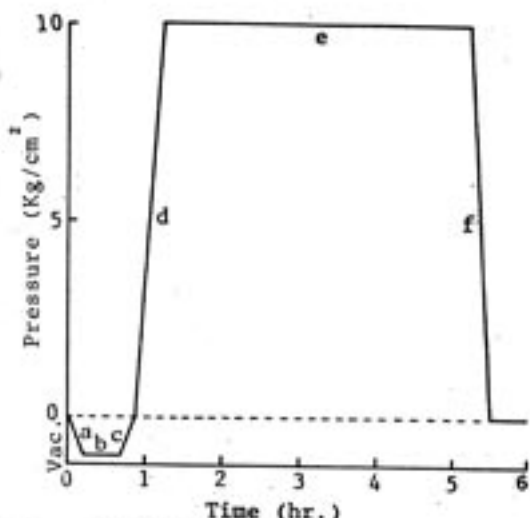


圖1：單體之加壓注入程序

Fig 1: Impregnating cycle for monomer.

3. 單體注入處理後試材之加熱：

試材經單體注入處理後，自處理圓筒中取出，秤重後迅速以鋁箔包紮並以膠帶密封，然後置於68℃之加熱系統中，並通入氮氣，使單體在木材內聚合硬化後，除去鋁箔，再以100℃及真空狀態下處理24小時，以除去未聚合之單體⁽¹⁴⁾。

4. 聚合體率(polymer loading)之測定：

單體聚合硬化後之試材，置於恆溫恆濕控制箱中，使其含水率控制在12%左右，然後以天平秤其重量，計算處理材之聚合體率，其計算式如下：

$$P_o = \frac{W_p - W_o}{W_o} \times 100$$

式中 P_o ：處理材之聚合體率(%)

W_o ：處理前木材之重量(g)

W_p ：聚合後木材之重量(g)

5. 縱向抗壓強度 (crushing strength parallel to grain) 之測定：

經處理後之試材，以木材強度試驗機測定其最大抗壓強度 (maximum crushing strength)，加壓速度，每分鐘定為 100 Kg/cm^2 ，其計算式如下：

$$S_c = \frac{P}{A}$$

式中 S_c ：最大抗壓強度 (Kg/cm^2)

P ：最大荷重 (Kg)

A ：試材橫斷面積 (cm^2)

6 靜力彎曲強度 (static bending strength) 之測定

以試材做靜力彎曲 (static bending) 試驗，測定其破壞係數 (modulus of rupture) 及彈性係數 (modulus of elasticity)。本試驗係採中央荷重 (center loading) 之測定方法，測定時之加壓速度每分鐘定為 100 Kg/cm^2 ，荷重每增加 10 Kg ，則由測微錶 (dial gauge) 上記錄試材之彎曲度 (deflection)，並點繪成荷重變形曲線圖，由此線之荷重和彎曲度定出比例限界 (proportional limit)，至於破壞係數及彈性係數可依下列公式計算之：

$$\text{MOR} = \frac{3 P L}{2 b h^2}$$

$$\text{MOE} = \frac{P' L^3}{4 f b h^3}$$

式中 MOR：破壞係數 (Kg/cm^2)

MOE：彈性係數 (Kg/cm^2)

P ：最大荷重 (Kg)

P' ：比例限界荷重 (Kg)

f ：比例限界彎曲度 (cm)

L ：跨距 (28 cm)

b ：試材寬度 (弦向) (cm)

h ：試材厚度 (徑向) (cm)

7 衝擊彎曲強度 (impact bending strength) 之測定：

試材規格為 $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ ，徑間為 24 cm 。衝擊彎曲強度之計算式如下：

$$\sigma_{IB} = \frac{Q}{bh}$$

式中 σ_{IB} ：衝擊彎曲強度 ($\text{Kg} \cdot \text{m/cm}^2$)

Q ：衝擊彎曲功 ($\text{Kg} \cdot \text{m}$)

b ：試材寬度 (弦向) (cm)

h ：試材厚度 (徑向) (cm)

8 抗剪強度 (shear strength parallel to grain) 之測定：

試材規格為椅子型，剪斷面積為 $2.5 \times 2.5 \text{ cm}^2$ ，荷重方向與木理平行，加壓速度為每分鐘 100 Kg/cm^2 。至於抗剪強度之計算式如下：

$$\sigma_s = \frac{P}{A}$$

式中 σ_s : 抗剪強度 (Kg/cm²)

P : 破壞荷重 (Kg)

A : 試材剪斷面積 (cm²)

9 硬度 (hardness) 之測定:

試材規格為 3cm × 3cm × 3cm 之正立方體。以勃氏硬度 (Brinell hardness) 試驗機分別測定試材橫切面及縱切面之硬度。本試驗所使用之鋼球直徑為 10mm, 而壓入試材時之速度為每分鐘 0.5mm, 加壓荷重, 橫切面為 110Kg, 縱切面為 80Kg。至於硬度之計算公式如下:

$$H_B = \frac{P}{A}$$

式中 H_B : 勃氏硬度 (Kg/mm²)

P : 荷重 (Kg)

A : 鋼球壓入試材之凹痕面積 (mm²)

又可依下式計算之:

$$A = \frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d^2})$$

式中 D : 鋼球直徑 (mm)

d : 試材凹痕直徑 (mm)

10 吸水率 (percentage of water absorption) 之測定:

將聚合硬化後之試材浸漬於蒸餾水中, 每天測定其吸水量, 十天之後則可二天測定一次, 至試材不再增加重量為止。至於吸水率之計算公式如下:

$$T_A = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100$$

式中 T_A : 吸水率 (%)

W_s : 浸水後試材重 (g)

W_d : 浸水前試材重 (g)

11 抗縮效能 (antishrink efficiency) 之測定:

將處理後之試材, 以測微計 (micrometer) 測定徑向及弦向之尺寸, 然後將試材浸漬於蒸餾水中, 至試材吸水達飽和狀態為止, 取出再以測微計測定徑向及弦向之尺寸。至於膨脹率之計算公式如下:

$$S_r = \frac{G_r - D_r}{D_r} \times 100$$

$$S_t = \frac{G_t - D_t}{D_t} \times 100$$

式中 S_r : 徑向膨脹率 (%)

S_t : 弦向膨脹率 (%)

G_r : 生材時徑向長度 (cm)

G_t : 生材時弦向長度 (cm)

D_r : 全乾時徑向長度 (cm)

D_t : 全乾時弦向長度 (cm)

又抗縮效能之計算公式如下:

$$A S E = \frac{S_e - S_r}{S_r} \times 100$$

式中 A S E : 抗縮效能 (%)

S_r : 無處理材之膨脹率 (%)

S_e : 處理材之膨脹率 (%)

三、試驗結果及討論

木麻黃試材經甲基丙烯酸甲酯之單體注入處理後，其單體之注入性及物理與機械性質之改良效果分述於后：

(一) 物理性質

1. 加熱溫度與單體聚合之關係：

單體注入量從表 1 可以看出，A、B、C 三種處理間在 0.05 顯著水準有顯著之差異，即加壓時間長者，單體注入率亦高。通常空隙率較大之木材，經 4 小時之加壓注入處理後，單體注入率平均都在 60% 以上⁽¹⁴⁾，而木麻黃木材由於空隙率只有 40% 左右，且因導管中含有樹脂等沉積物 (gum or other types of deposits)，致單體注入率偏低。而 C 處理中，將加壓時間延長為 8 小時，則單體注入率有顯著之增加。

加熱溫度與單體在木材中之聚合情形，由表 1 可看出，A、B 兩種處理，加壓時間同為 4 小時，而加熱溫度分別為 60℃ 及 68℃，結果加熱溫度較高者，聚合體率亦較高，即 B 處理之聚合體率高於 A 處理之聚合體率。此外，從 B 與 C 處理可看出，單體注入率提高後，在相同之加熱溫度下，因單體之揮發量一定，故聚合體率亦隨之提高，即 C 處理之聚合體率高於 B 處理之聚合體率。

表 1：木麻黃木塑材之聚合體率

Table: Polymer loading of MMA - Polymerized Casuarina spp.

處理編號 Treatment	木麻黃 氣乾比重 Sp. gr. of Casuarina spp.	空隙率 Void volume (%)	單體注入率 Monomer loading (%)	聚合體率 Polymer loading (%)	單體轉化率 Monomer conversion (%)
A	0.932	37.9	26.2 ^a	9.3 ^a	35.5 ^a
B	0.932	37.9	25.2 ^a	18.0 ^b	71.4 ^b
C	0.932	37.9	37.1 ^b	31.9 ^c	85.9 ^c

MMA : Methyl methacrylate.

A : Impregnating time 4 hours, heating temp. 60 °C.

B : Impregnating time 4 hours, heating temp. 68 °C.

C : Impregnating time 8 hours, heating temp. 68 °C.

1. 空隙率 (% of void volume) = $(1 - \frac{DW}{1.05}) \times 100$ (26)

DW : density of wood, g/cm³.

1.05 : assumed density of cell-wall material⁽²³⁾.

$$2. \text{單體注入率 (Monomer loading)} = \frac{\text{Wt. of included monomer}}{\text{Wt. of specimen}} \times 100$$

$$3. \text{聚合體率 (Polymer loading)} = \frac{\text{Wt. of included polymer}}{\text{Wt. of specimen}} \times 100$$

$$4. \text{單體轉化率 (Monomer conversion)} = \frac{\text{Wt. of polymer}}{\text{Wt. of monomer}} \times 100$$

5. 同欄數值右上角有相同之 a、b、c 字母時，表示在 0.05 水準不顯著。

2. 比重與含水率：

處理材之氣乾及全乾比重與無處理材之氣乾及全乾比重如表 2 所示，在 0.05 顯著水準有顯著之差異，但彼此間之差異不大，此乃因處理材之聚合體率不高所致。

處理材之含水率與無處理材之含水率在 0.05 顯著水準亦呈顯著之差異，而彼此間之差異不大，此乃因加熱溫度之差異不大所致。

表 2：木麻黃木塑材之比重與含水率

Table 2: Specific gravity and moisture content of MMA-polymerized Casuarina spp.

處理編號 Treatment	單體注入率 Monomer loading (%)	聚合體率 Polymer loading (%)	氣乾比重 Air-dry sp. gr.	全乾比重 Oven-dry sp. gr.	含水率 Moisture content (%)
A	26.2	9.3	0.95 ^a	0.92 ^a	10.2 ^a
B	25.2	18.0	1.03 ^b	1.01 ^b	8.2 ^b
Untreated	0	0	0.93 ^a	0.89 ^c	12.4 ^c

MMA: Methyl methacrylate.

A: Impregnating time 4 hours, heating temp. 60°C.

B: Impregnating time 4 hours, heating temp. 68°C.

同欄數值右上角有相同之 a、b、c 字母時，表示在 0.05 水準不顯著。

3. 吸水率：

木材之吸水乃由於木材中之纖維素具有親水性之 OH 基所致，又吸水率之大小與木材之空隙率 (26) 有關。以甲基丙烯酸甲酯單體處理後之木麻黃木塑材，經過吸水試驗後之結果如表 3 所示，木塑材之吸水量與聚合體率成反比，即木材內塑膠含量愈多者，則吸水量愈少。

木塑材之吸水率從表 3 可看出，浸水十日後，無處理材之吸水率為 43.0%，而處理材為 29.3%，浸水三十日以後，無處理材之吸水率為 43.4%，而處理材為 32.3%。由此可知，木塑材之吸水率較無處理材緩慢。而木塑材之吸水率，68°C 聚合者較 60°C 聚合者為低。

表3：處理材與無處理材吸水率之差距

Table 3: The differences of water absorption between treated and untreated specimens.

項 目 Items Species		無 處 理 Untreated		甲 基 丙 烯 酸 甲 酯 處 理 MMA treated			差 距 Differences (%)
		Sp. gr.	Water absorption (%)	Sp. gr.	Polymer loading (%)	Water absorption (%)	
木 麻 黃(A) Casuarina spp.	浸 水 十 日 後	0.932	43.0	0.95	9.3	36.8	- 6.2
木 麻 黃(B) Casuarina spp.		0.932	43.0	1.03	18.0	29.3	- 13.7
木 麻 黃(A) Casuarina spp.	浸 水 卅 日 後	0.932	43.4	0.95	9.3	40.5	- 2.9
木 麻 黃(B) Casuarina spp.		0.932	43.4	1.03	18.0	32.3	- 11.1

MMA: Methyl methacrylate.

A: Impregnating time 4 hours, heating temp. 60°C.

B: Impregnating time 4 hours, heating temp. 68°C.

4. 抗縮效能:

木塑材之形體安定性直接與細胞壁內之聚合體率成正比 (Timmons and others /97/), 而且要改良木材之形體安定性, 必須要使細胞壁起膨潤作用 (bulking) 才能得到「真正」之形體安定性 (16)。而甲基丙烯酸甲酯單體對於細胞之膨潤作用不大 (18), 且經試驗結果, 證明甲基丙烯酸甲酯單體大部份存在於細胞腔中, 只有極少量之單體進入細胞壁內 (Gibson and others /966; Siau and Meyer /966; Timmons and others /97/)

木塑材之抗縮效能, 以往之試驗結果, 其數值皆不大 (19, 21, 22), Siau 氏與 Meyer 氏試驗所得為 12.6%, Rosen 氏試驗所得為 9~12%, Loos 氏試驗之結果為 20~30% 左右。本試驗所得之抗縮效能從表 4 可得知, 木麻黃木塑材對於木材形體安定性之改良效果不大。但木塑材確實有效地減慢水或水汽進入細胞壁之速度 (Gibson and others /966; Rosen /976)。因此, 就實際利用上之環境而論, 木塑材多少已有安定木材形體之作用。

表4：木麻黃木塑材之抗縮效能

Table 4 : Antishrink efficiency of MMA - polymerized.

項目 Items 樹種 Species	單體注入率 Monomer loading (%)	聚合體率 Polymer loading (%)	膨脹百分率 Average Swelling		抗縮 Water soak Radial (%)	效能 A S E Tangentia (%)
			Radial (%)	Tangentia (%)		
木麻黃(A) Casuarina spp. (A)	25.1	5.8	4.24	13.11	0	10.1
木麻黃(B) Casuarina spp. (B)	25.6	12.8	3.08	13.44	14.7	7.9

A : Impregnating time 4 hours, heating temp. 60 °C.

B : Impregnating time 4 hours, heating temp. 68 °C.

A S E : Antishrink efficiency.

機械性質

1. 縱向抗壓強度：

木麻黃木材經甲基丙烯酸甲酯處理後，抗壓強度之改良效果如表5，B處理之抗壓強度為632.3 Kg/cm²，較A處理為佳，此乃因B處理所用之加熱溫度高於A處理所致。又C處理之抗壓強度為835.5 Kg/cm²，比B處理高，此乃因C處理延長單體之注入時間，使單體注入率及聚合體率提高，故強度亦隨之增強。

又從表5可看出，處理材之抗壓強度較低之原因，乃由於素材被加壓時，細長之細胞壁產生皺曲 (buckling) 之結果 (Siau and others / 1968)。而木材經塑膠單體處理後，聚合體塗佈於細胞壁上，使得細胞壁厚增加，而提高其側向穩固力，因此，木塑材之抗壓強度亦隨之提高。

表5：木麻黃木塑材之抗壓強度

Table 5 : Crushing strength of MMA - polymerized Casuarina spp.

處理編號 Treatment	氣乾比重 Air-dry sp. gr.	聚合體率 Polymer loading (%)	縱向抗壓強度 Crushing strength (Kg/cm ²)	比強度 Specific strength (Kg/cm ²)	強度增加率 Strength increase (%)
A	0.95	9.0	574.9 ^a	615.2 ^a	1.2
B	1.03	18.0	632.3 ^b	613.8 ^a	11.3
C	1.15	31.9	835.5 ^c	726.5 ^b	47.0
Untreated	0.93		568.2 ^a	610.9 ^a	

MMA : Methyl methacrylate.

A : Impregnating time 4 hours, heating temp. 60 °C.

B : Impregnating time 4 hours, heating temp. 68 °C.

C : Impregnating time 8 hours, heating temp. 68 °C.

同欄數值右上角有相同之 a、b、c 字母時，表示在 0.05 水準不顯著。

2. 靜力彎曲強度及彈性係數：

木麻黃木塑材之靜力彎曲強度及彈性係數之測定結果列於表 6。處理材之抗彎強度顯然比無處理材為強，但 A 處理之抗彎強度在 0.05 水準與無處理材沒有顯著之差異，此乃因 A 處理在聚合時所使用之加熱溫度為 60 °C，比 B 處理低，以致聚合體率低，即塑膠含量較低，所以抗彎強度之值亦小，從表 6 可看出，A 處理之抗彎強度增加率只有 7.0 % 而已，而 B 處理之抗彎強度增加率為 20.9 %。

至於處理材之彈性係數亦比無處理材為大，從表 6 可看出，木麻黃經單體處理後，B 處理之彈性係數為 163252 Kg/cm²，較無處理材為高。而 A 處理之彈性係數在 0.05 水準與無處理材沒有顯著之差異。又從圖 2 之荷重與彎曲 (deflection) 之關係可看出，處理材之比例限界 (Proportional limit) 較無處理材大，而變形量則較小，因此計算出來之彈性係數 (modulus of elasticity) 較無處理材大。木材之彈性係數愈大，即表示木材愈無彈性。

表 6：木麻黃木塑材之抗彎強度及彈性係數

Table 6: Bending strength and MOE of MMA-polymerized Casuarina spp.

處理編號 Treatment	氣乾比重 Air-dry sp. gr.	聚合體率 Polymer loading (%)	破壞係數 MOR (Kg/cm ²)	彈性係數 MOE (Kg/cm ²)	強度增加率 Strength increase	
					MOR (%)	MOE (%)
A	1.08	17.8	1346.1 ^a	152434 ^a	7.0	5.1
B	1.13	23.5	1520.4 ^b	163252 ^b	20.9	12.6
Untreated	0.93		1257.9 ^a	14987 ^a		

MMA : Methyl methacrylate.

A : Impregnating time 4 hours, heating temp. 60 °C.

B : Impregnating time 4 hours, heating temp. 68 °C.

同欄數值右上角有相同之 a、b 字母時，表示在 0.05 水準不顯著。

MOR : Modulus of rupture.

MOE : Modulus of elasticity.

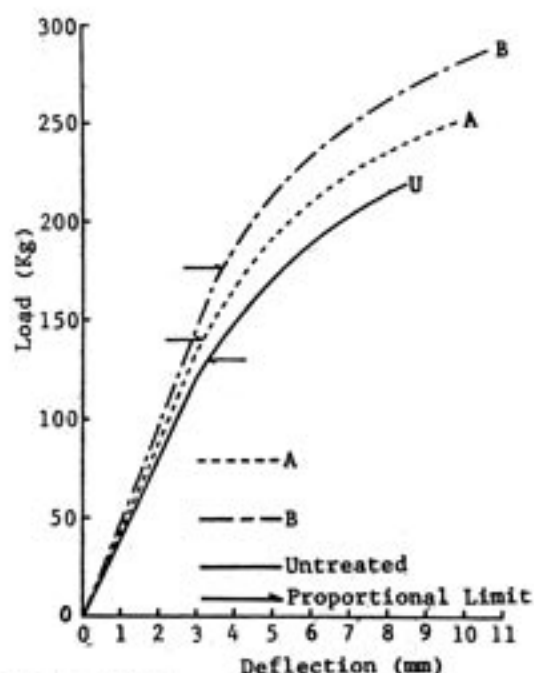


圖 2： 木麻黃抗彎強度之荷重變形圖

Fig 2 : Static bending load-deflection curves for *Casuarina* spp.

3. 衝擊彎曲強度：

測定衝擊彎曲強度與靜力彎曲強度時，木材所受之應力各有不同，以中央荷重 (center loading) 法測定靜力彎曲強度時，木材所受應力可用彎曲力矩圖及剪力圖來表示，但衝擊彎曲試驗時，木材所受之應力，幾乎是一種瞬間荷重 (dynamic load)，荷重速度愈快，應力之分佈愈集中於樑之中央部分，而不傳至試材兩端，因此，破壞僅發生於中央部分。

木麻黃木膠材之衝擊強度，其測定結果列於表 7，B 處理之衝擊強度為 $1.31 \text{ Kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ，A 處理之衝擊強度為 $1.11 \text{ Kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ，二者之間在 0.05 水準有顯著之差異，而處理材與無處理材之間並無顯著之差異。處理材衝擊強度沒有顯著增加之原因，可能由於聚合體率低，而無法在細胞腔內發揮強化之作用。

表 7： 木麻黃木膠材之衝擊彎曲強度

Table 7 : Impact bending strength of MMA - polymerized *Casuarina* spp.

處理編號 Treatment	氣乾比重 Air - dry sp. gr.	聚合體率 Polymer loading (%)	衝擊彎曲強度 Impact strength (Kg/cm^2)	強度增加度 Strength increase (%)
A	1.03	12.4	1.11 ^b	-13.2
B	1.12	22.1	1.31 ^a	2.3
Untreated	0.93		1.28 ^a	

MMA : Methyl methacrylate.

A : Impregnating time 4 hours, heating temp. 60 °C.

B : Impregnating time 4 hours, heating temp. 68 °C.

同欄數值右上角具相同之英文字母時，表示在 0.05 水準不顯著。

4. 抗剪強度：

木麻黃木塑材之抗剪強度測定結果列於表 8，處理材之抗剪強度與無處理材之抗剪強度在 0.05 水準沒有顯著之差異。從表 8 可看出 A、B 二處理之聚合體率偏低，加以塑膠聚合硬化時，產生放熱反應，都很可能會改變纖維間之結構，以致影響纖維間之滑動力。因此，B 處理雖然含有 15.1 % 之塑膠，而抗剪強度却沒有增加。

表 8：木麻黃木塑材之抗剪強度

Table 8 : Shear strength of MMA - polymerized Casuarina spp.

處理編號 Treatment	氣乾比重 Air-dry sp. gr.	聚合體率 Polymer loading (%)	抗剪強度 Shear strength (Kg/cm ²)	比強度 Specific strength	強度增加率 Strength increase (%)
A	0.96	4.3	223.4 ^a	232.7	1.9
B	1.05	15.1	214.6 ^a	204.4	-2.1
Untreated	0.93		219.3 ^a	235.8	

MMA : Methyl methacrylate.

A : Impregnating time 4 hours, heating temp. 60 °C.

B : Impregnating time 4 hours, heating temp. 68 °C.

同欄數值右上角具相同之英文字母時，表示在 0.05 水準不顯著。

5. 硬 度：

硬度之測定可分為端面硬度 (end hardness) 及側面硬度 (side hardness) 之測定。木材之硬度通常為側面硬度之 2 倍。端面硬度較大之原因乃由於纖維之縱向壓縮強度大於橫向壓縮強度所致。

木麻黃木塑材，利用勃氏硬度試驗機測定其端面及側面之硬度，硬度之改良效果由表 9 可看出，處理材之硬度較無處理材之硬度有顯著之改良。而側面硬度之改良效果又較端面硬度之改良效果為大，此乃由於塑膠填充於細胞腔中，而增加纖維之側向攪固力所致。

表 9：木麻黃木塑材之硬度

Table 9 : Brinell hardness of MMA - polymerized Casuarina Spp.

處理編號 Treatment	硬 度		比 強 度		強 度 增 加 率	
	Brinell End (Kg/mm ²)	hardness Side (Kg/mm ²)	Specific End (Kg/mm ²)	strength Side (Kg/mm ²)	Strength End (Kg/mm ²)	increase Side (Kg/mm ²)
A	10.27 ^a	6.74 ^a	10.48	6.87	14.0	31.4
B	12.27 ^b	7.72 ^b	11.91	7.49	36.2	50.5
Untreated	9.01 ^c	5.13 ^c	8.69	5.52		

MMA: Methyl methacrylate.

End: Cross section.

Side: Longitudinal section.

A: Impregnating time 4 hours, heating temp. 60°C.

B: Impregnating time 4 hours, heating temp. 68°C.

同欄數值右上角具相同之英文字母時，表示在 0.05 水準不顯著。

四、結論

- (1) 木麻黃木材以甲基丙烯酸甲酯單體注入處理後，單體於加熱聚合時，加熱之溫度以 68°C 為宜，60°C 時，則聚合體率偏低。
- (2) 木麻黃木材行單體注入時，於加壓 4 小時後，單體注入率仍低，加壓至 8 小時後，則單體注入率有顯著之改善。
- (3) 處理材之改良效果，以硬度之改良效果為最大，抗壓強度及抗彎強度次之。
- (4) 木麻黃木塑材之抗縮效能雖然不大，但吸水率比無處理材為小，可知木塑材具有阻擋並減緩水分進入木材之作用，就實際利用上之環境而論，木塑材具有安定木材形體之作用。
- (5) 本試驗木麻黃木塑材之聚合體率偏低，如果延長加壓注入之時間，提高木材之聚合體率，則各種物理性質將有更顯著之改善。
- (6) 木麻黃木塑材之硬度高，可望發展成為製造地板之材料。

五、參考文獻

- 1 甘偉航/1977: "本省主要造林樹種簡介—木麻黃"。臺灣林業 3 (5): 32 — 33。
- 2 羅紹麟、林驗東/1980: "本省海岸防風林經濟利用之研究(一)木麻黃之更新及木材利用"。國立中興大學實驗林研究報告第二號: 55 — 84。
- 3 廖坤福/1973: "以各種不同人造樹脂單量體處理木材比較其強度硬度及抗縮效能之研究"。國科會研究彙報 6: 169 — 200。
- 4 廖坤福/1974: "木材解剖構造與木材塑膠複合體之物理力學性改良效果"。國立中興大學森林學報第三輯: 15 — 37。
- 5 廖坤福、林東陽/1974: "改良木材及其加工與利用之研究"。國立中興大學森林系研究報告 126 號。
- 6 蔡金木、賴玉奴、林秀彥/1970: "觸媒熱聚合塑膠木之基本製造條件"。國立臺灣大學實驗林研究報告第 82 號。
- 7 蔡金木、張理邦/1972: "觸媒熱聚合木塑材之製造及其理學性質"。國立臺灣大學實驗林研究報第 107 號。
- 8 蔡金木/1973: "加壓觸媒熱聚合木塑材之製造"。國科會研究彙報 6: 155 — 162。
- 9 蔡金木、黃立宏/1973: "聚合體限量注入處理對於木塑材性質之影響"。中華林學季刊第六卷年會特號: 17 — 29。
- 10 王文濱/1967: "利用鈾十六伽瑪射線照射結合木材塑膠之研究"。工程 40(8): 46 — 64。
- 11 王文濱/1968: "伽瑪射線照射法製造木材塑膠結合體之研究(第一報)"。農復會合作研究計劃 67 — A 43 — N — 588(4), 聯合工業研究所。
- 12 王文濱/1968: "同上(第二報)"。農復會合作研究計畫 68 — A — 43 — N — 613(3)。聯合工業研究所。

- 13 林東陽、廖坤福 / 1975 : “樹脂單體及聚乙二醇改良木材力學性質和安定性之效應” 。國立中興大學森林學研究所碩士論文。
- 14 洪國榮、廖坤福 / 1978 : “聚乙二醇加熱聚合木塑材之機械及膠合性質 (第一報)” 。國立中興大學森林學報第七輯 : 97 - 125 。
- 15 Gibson, E.J.; Lailaw, R.A., and Smith, G.A. (/ 1966) Dimensional stabilization of wood: impregnation with methyl methacrylate and subsequent polymerization by means of gamma radiation. *J. Appl. Chem.*, 16, February, 58 - 64 。
- 16 Kenaga, D.L.; Fennessey, J.P., and Stannett, V.I. (/ 1962) Radiation grafting of vinyl monomers to wood. *Forest Prod. J.* 12(4) : 161 - 168
- 17 Loos, W.E.; Walters, R.E., and Kent, J.A. (/ 1967) Impregnation of Wood with vinyl monomers. *Forest Prod. J.* 17(5) : 40 - 50 。
- 18 Loos, W.E., and Robinson, G.L. (/ 1968) Rates of swelling of wood in vinyl monomers. *Forest Prod. J.* 18 (9) : 109 - 112 。
- 19 Loos, W.E., (/ 1968) Dimensional stability of wood - plastic combinations to moisture changes. *Wood Science and Technology* 2 : 308 - 364 。
- 20 Meyer, J.A. (/ 1965) Treatment of wood-polymer system using catalyst-heat techniques. *Forest Prod. J.* 15(9) : 362 - 364 。
- 21 Rosen, H.N. (/ 1976) Moisture adsorption and swelling in polyethylene glycol and polymethyl methacrylate treated wood at high relative humidity. *Wood and Fiber* 7 (4) : 249 - 255 。
- 22 Siau, J.F., and Meyer, J.A. (/ 1966) Comparison. *Forest Prod. J.* 16(8) : 47 - 56 。
- 23 Siau, J.F.; Davidson, R.W.; Meyer, J.A., and Skaar, C. (/ 1968) A geometrical model for wood-polymer composites. *Wood Science* 1 (2) : 116 - 128 。
- 24 Timmons, T.K.; Meyer, J.A., and Côté, W.A., Jr. (/ 1977) Polymer location in the wood-polymer composite. *Wood Science* 4 (1) : 13 - 24 。
- 25 Young, R.A., and Meyer, J.A. (/ 1968) Heartwood and sapwood impregnation with vinyl monomers. *Forest Prod. J.* 18 (4) : 66 - 68 。
- 26 北原覺一 (/ 1968) 木材物理, 森林出版社, P. 23.