

## 研究報告

# 竹微粉炭尺寸與體積濃度對竹炭塗料性質之影響

盧崑宗<sup>1</sup> 方偉銘<sup>2</sup> 張家偉<sup>2</sup>

【摘要】本試驗係利用土窯產不同尺寸孟宗竹微粉炭(150、350及5000 mesh)與展色劑(二液型聚胺基甲酸酯樹脂;PU),依不同體積濃度(10/100、30/100及50/100)調配成9種竹炭塗料,除分析各種尺寸微粉炭之基本性質外,亦探討各種塗料與塗膜性質及對甲醛之吸附效果,以獲得最佳體積濃度及微粉炭尺寸之竹炭塗料配方。試驗結果得知微粉炭愈細者之BET比表面積及微孔表面積愈高。竹炭塗料之固形份及黏度均隨微粉炭體積濃度之增加而提高,乾燥時間則縮短。添加微粉炭後之塗膜機械強度均較透明PU展色劑者為低,又含愈細微粉炭之竹炭塗料可得較佳之塗膜拉伸強度、破壞伸長率及硬度,但耐磨性較差。竹炭塗料之塗膜光澤度均較透明PU展色劑者為低,且有隨體積濃度增加而下降之趨勢,但微粉炭尺寸愈細者之塗膜光澤度較高;又所有竹炭塗料之塗膜附著性尚稱優良,塗膜耐溶劑性亦較透明PU展色劑者為佳。體積濃度30%且微粉炭愈細者具最佳之甲醛吸附效果。

【關鍵詞】竹炭塗料、竹微粉炭、體積濃度

## Research paper

# Effects of Bamboo Micropowder Charcoal Size and Volume Concentration on the Properties of Bamboo Charcoal Coatings

Kun-Tsung Lu<sup>1</sup> Wei-Ming Fang<sup>2</sup> Chia-Wei Chang<sup>2</sup>

【Abstract】In this study, various sizes of Moso bamboo micropowder charcoal (150, 350 and 5000 mesh) produced from earth kiln were blending with vehicle (polyurethane resin; PU) by the different volume concentrations (10/100, 30/100 and 50/100), respectively, and 9 kinds of bamboo charcoal coatings were obtained. The fundamental properties of bamboo micropowder charcoals as well as the efficiency of formaldehyde adsorption and the properties of bamboo charcoal coatings were analyzed for obtaining the best coating formulation with the optimal size of bamboo micropowder charcoal and volume concentration. The results showed that the smaller size of bamboo micropowder charcoal the higher BET specific surface area and micropore surface area observed. The solid content and viscosity of bamboo charcoal coatings increased with increasing the volume concentration, while the adverse result was obtained for the shortening of drying time. The mechanical properties of bamboo charcoal

---

1. 國立中興大學森林系教授, 台中市 402 國光路 250 號, 通訊作者。

Professor, Department of Forestry, National Chung Hsing University, 250 Kuo-Kung Rd. 402, Taichung, Taiwan.  
Corresponding Author.

2. 國立中興大學森林系研究生。

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

coating films were inferior to those of PU vehicle film, and the smaller size of micropowder charcoal containing films had a better tensile strength, elongation at break and hardness, but poor adhesion resistance. The gloss of bamboo charcoal coating film also lowered than that of PU film and decreased with increasing the volume concentration. In addition, the smaller size of micropowder charcoal containing coating had a higher gloss of film. All of the bamboo charcoal coatings possessed an excellent adhesion of film and the solvent resistance was also better than PU film. The films with the volume concentration of 30% and smaller size of micropowder charcoal had the best formaldehyde adsorption efficiency.

**【Key words】** Bamboo charcoal coatings, Bamboo micropowder charcoals, Volume concentrations

## 一、前言

國內竹炭產業在農委會大力推廣及制定頒行 CAS 認證後，近年來一直廣受國內民眾的注目與採用；竹炭具有獨特的吸附作用、產生遠紅外線及吸收電磁波等功能 (洪崇彬 等人，2004；蔡旭芳、王松永，2002；劉正字，2007；井出 等人，1994；石原，1999；Wang and Hung, 2003)，也經產官學界在學理上的證實，而且諸多高經濟產品如竹炭紗等亦為業界帶來可觀的收益，但在國內佔有廣大市場的建築及室內裝潢塗料工業則未見竹炭塗料產品問世；依竹炭特有的機能性，將會給予住家品質的提升及環境之改善帶來莫大的助益，例如，對家具所釋出甲醛氣體的吸附，及對電氣用品電磁波的吸收並轉換成釋出負離子的健康環境，而本研究試圖將竹炭微粉化並配合展色劑調配成竹炭塗料，將塗料塗佈乾燥成薄膜後，期待更能將竹炭的特性充分發揮。然而，竹炭的微粉化程度、展色劑的種類、竹炭粉與展色劑的配合比例等，均會影響塗料的品質及竹炭的功能，因此，合成及調配高性能且富經濟性的竹炭塗料，值得開發研究，同時也提供擴大竹炭用途的另一可行途徑。本研究係除分析孟宗竹微粉炭之基本性質外，並探討微粉炭尺寸及竹微粉炭添加之體積濃度對竹炭塗料與塗膜性質之影響。

## 二、材料與方法

(一) 試驗材料：由嘉義大埔合作社所提供土窯

產孟宗竹 (*Phyllostachys pubescens*) 微粉炭，共分成 150、350 及 5000 mesh 等 3 種尺寸。展色劑係購自顏昌興業公司之德寶二液型聚胺基甲酸酯 (PU) 透明面漆，主劑/硬化劑=1/1 (重量比)。試材包括美國雲杉 (*Picea engelmannii*; white spruce，含水率約 12%)、玻璃及鐵弗龍板等。

### (二) 不同粒徑孟宗竹微粉炭性質分析

1. pH 值：依據 CNS 697 (1965) 工業用活性碳 (粉狀) 測定竹炭之酸鹼值，即將試料 1 g 置入圓底燒瓶並加入新煮沸之蒸餾水 30 mL，於瓶上裝置迴流冷凝器，煮沸 5 min，待冷卻靜置澄清，取上部澄清液，以 Suntext SP-701 pH meter 測定之。
2. 元素分析：使用 Elementar vario EL III Heraeus CHNOS Rapid F002 元素分析儀 (Elemental analyzer)，進行碳 (C)、氫 (H)、氮 (N)、硫 (S) 等含量分析，並依下式計算試樣氧 (O) 含量的重量百分比， $O(\%) = 100 - (C+H+N+S)$ 。
3. 真密度：使用 Micromeritics Accupyc1330 真密度測定儀，利用氮氣置換試樣內部孔隙體積，計算出試樣之實質體積，在已知質量的情況下即可求得試樣之實質密度 (Solid density) 值，或稱為真密度。
4. 比表面積與微孔直徑：將微粉炭以 100°C 烘箱乾燥 48 h，再以 350°C 除氣後，利用 Micromeritics ASAP2000/CS-05，注入 N<sub>2</sub> 在 77.35 K 下測定其恆溫吸附曲線，並依所附軟體公式計算 BET 表面積、微孔表面積及孔隙直

徑。

### (三) 不同體積濃度及微粉炭粒徑竹炭塗料之調配

將微粉炭 (150、350 及 5000 mesh) / 展色劑 (PU) 分別依 10/100、30/100 及 50/100(v/v) 比例配合，再加入全量 20 % 之 PU 專用混合溶劑 (德寶塗料)，以 Heidolph DIAX-900 攪拌機在 8000 rpm 下攪拌 10 min 即成，共得 9 種竹炭塗料。

### (四) 塗料性質分析

1. 固形分：取約 2 g 塗料置入已知重之鋁箔淺盤中，使均勻分散底部，精稱其重量，置入  $105 \pm 2^\circ\text{C}$  熱風循環式烘箱中，加熱 2 h 後移入玻璃乾燥器中冷卻至常溫，再稱取其重量，並依下式公式計算之。

$$\text{固形分}(\%) = (\text{乾燥塗料重} / \text{試料稱取量}) \times 100$$

2. 黏度：在室溫下，以 Brookfield viscometer RTV 型迴轉式黏度計測定之，單位為 cps。

3. 乾燥時間：將塗料以施膜器塗佈於玻璃板上，濕膜厚度為  $250 \mu\text{m}$ ，以直線驅動之乾燥時間紀錄器 (3-speed B. K. drying time recorder)，在室溫下觀察並記錄觸針從開始至無痕跡之時間，視為塗料完全乾燥之時間。

### (五) 塗膜性質分析

1. 硬度：以 DIN 53157 之 König 擺振式硬度計 (Braive Co.) 測定之，以秒為單位，每試片測定 10 點再平均之。

2. 耐磨耗性：以 Taber Model 503 Abrasr 耐磨試驗機測定之，將塗佈於 S-16 標準板之試片，採用 CS-10 號磨輪，荷重 500 g 及 1000 cycles 轉數下，所磨損之重量，每種塗料測定 3 試片再平均之。

3. 拉伸強度：將塗佈於離形紙上之塗膜撕離，依 ASTM D638 規格製成試片，再以拉力試驗機 (EZ Tester, Shimadzu Co.) 測定其拉伸強度，拉伸速度為 5 mm/min，間距 40 mm，取 10 片試片測定再平均之，拉伸強度計算式如下：

$$\text{拉伸強度}(\text{MPa}) = \frac{\text{破壞載重}}{\text{截面積}}$$

並於塗膜破壞的瞬間紀錄其伸長量，以下式

計算破壞伸長率：

$$\text{破壞伸長率}(\%) = (\text{伸長量} / 40) \times 100$$

4. 光澤度：採用鏡面光澤度測定法，將塗佈塗料之美國雲杉弦切面試片以 Pacific Scientific Glossgard II  $60^\circ$  Gloss meter 光澤度計測定之，每試片測定 10 點再平均之。

5. 附著性：將塗佈塗料之美國雲杉弦切面試片，依 CNS 10756 K 6800 之方格試驗法測定之，優劣等級依序為 10、8、6、4、2、0，每試片測定 3 點再平均之。

6. 重量保留率：將塗佈於玻璃板上之各種配方硬化塗膜撕離，並稱重之，再將試片以濾紙包裹後置於索司勒萃取器 (Soxhlet extractor)，加入 250 mL 之丙酮，以每小時虹吸 4 次之速度，連續 6 h 後，再將濾紙置於  $50^\circ\text{C}$  烘箱中乾燥 4 h，待溶劑完全揮發後稱重，並以下式計算塗膜重量保留率，每種塗料測定 3 試片再平均之。

$$\text{重量保留率}(\%) = \frac{\text{浸漬後塗膜絕乾重}(\text{g})}{\text{塗膜原重}(\text{g})} \times 100$$

7. 熱重量分析 (TGA)：將塗佈於玻璃板上之各種配方硬化塗膜撕離，裁切成  $0.5 \text{ mm}^2$  之薄膜，置於白金坩鍋中，使其充分接觸底部並分散均勻，再稱重之，在氮氣環境下，以熱重量分析儀 (Perkin-Elmer thermogravimetric analyzer Pyris 1) 分析塗膜熱解之重量變化情形，溫度範圍從  $50 \sim 700^\circ\text{C}$ ，升溫速度  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ ，並作其導數熱重量分析 (DTG)。

8. 甲醛吸附試驗：在容積 1.1 L 之完全密封保鮮盒中，置入 0.8 g 塗膜 (面積約  $10 \times 15 \text{ cm}^2$ )，再注入 5% 甲醛溶液  $20 \mu\text{L}$  於盒中鋁箔皿中，放置 1 天後，以北川式甲醛氣體檢知管 (KITAGAWA, No. 171SB, 光明理化學工業株式會社) 套入手動式吸氣幫浦，再將檢知管插入保鮮盒中，以幫浦吸氣 3 回，依檢知管中之藥劑與甲醛之呈色反應，由白色變成黃棕色，再以檢知管之刻度判定甲醛濃度 (ppm)，同時亦分析不含塗膜之相當量微粉竹炭的甲醛吸附效果。

### 三、結果與討論

#### (一) 不同粒徑孟宗竹微粉炭性質

不同粒徑孟宗竹微粉炭之基本性質如表 1 所示；所有微粉炭均呈鹼性，350 mesh 者更達 10.13；元素碳含量以 350 mesh 者最高，達 87.15%，其餘仍有約 84% 以上，顯示本試驗土窯產孟宗竹炭之炭化程度仍達一定之水準；又

微粉炭之真密度以 350 mesh 者最高，達 1.6870 g/cm<sup>3</sup>，150 mesh 者則最低為 1.5536 g/cm<sup>3</sup>。而 BET 比表面積則隨微粉炭尺寸之減少而增加，5000 mesh 者可達 288.93 m<sup>2</sup>/g，又微孔表面積亦有相同趨勢，孔隙直徑則三者差異不大，約在 3.5-4.0 nm 之間。

表 1. 不同粒徑孟宗竹微粉炭之基本性質

Table 1. Fundamental properties of moso bamboo micropowder charcoals with various particle sizes

Size (mesh)	pH value	Elemental composition (%)					Solid density (g/cm <sup>3</sup> )	BET surface area (m <sup>2</sup> /g)	Micropore surface area (by D-A) <sup>2</sup> (m <sup>2</sup> /g)	Pore diameter <sup>3</sup> (nm)
		C	H	O <sup>1</sup>	N	S				
150	9.67	85.27	1.93	11.18	0.85	0.77	1.5536	156.47	135.65	3.49
350	10.13	87.15	0.93	9.80	1.05	1.07	1.6870	198.45	245.87	3.91
5000	9.39	83.88	2.63	12.34	0.69	0.46	1.6081	288.93	286.26	3.77

Note: 1. by difference

2. D-A: Dubinin-Astakhov

3. by BJH method

#### (二) 塗料性質

將孟宗竹微粉炭依不同體積濃度及粒徑與 PU 展色劑調配成各種竹炭塗料之塗料性質如表 2 所示；一般而言，在相同粒徑下，塗料固形份及黏度均隨微粉炭添加量(即體積濃度)之增加而提高，但乾燥時間則相反，體積濃度增加則塗料乾燥時間縮短。又在相同體積濃度下，固形份有以 350 mesh 者為最高，以添加量 30% 者為例，150、350 及 5000 mesh 者之固形份分別為 55.3、60.5 及 57.7%，此係 350 mesh 者有最高之真密度所致；而在黏度方面，較低之體積濃度如 10% 者，其黏度隨微粉炭尺寸之減少而降低，相反地，體積濃度較高時，則塗料黏度有隨微粉炭尺寸之減少而增大，此因添加 10 及 30% 之塗料黏度均較未添加之 PU 者低，在此二種濃度下，微粉炭不易凝集且均勻分散於 PU 展色劑中，攪拌時因 PU 之搖變性 (thixotropy) 致使黏度變低，而 50% 高濃度的微粉炭則彼此間易凝集或無法充分濕潤，而使黏度提高 (佐藤、1972)；在相同體積濃度

下，塗料乾燥時間雖無一定之趨勢，但一般而言，以 350 mesh 者乾燥較為快速。

#### (三) 塗膜性質

含不同粒徑孟宗竹微粉炭竹炭塗料之塗膜性質如表 3 及表 4 所示；未含微粉炭 PU 展色劑塗佈於美國雲杉之塗膜硬度為 77 sec，添加微粉炭竹炭塗料之塗膜硬度均較 PU 者為低，除添加 150 mesh、體積濃度 10% 者硬度最低，僅達 30 sec，而 5000 mesh、體積濃度 50% 者硬度最高，僅達 64 sec 外，其餘不同粒徑及體積濃度者均差異不大，約在 55-60 sec 之間。在塗膜耐磨性方面，竹炭塗料均較 PU 者為差，在相同粒徑下，150 及 350 mesh 者之不同體積濃度間差異不大，但 5000 mesh 者則以較高體積濃度者塗膜耐磨性較差，如 30 及 50% 者磨耗量高達約 53 mg/1000 轉；又在相同體積濃度下，塗膜耐磨性有隨微粉炭粒徑增加而愈佳之趨勢，例如，相同體積濃度 50% 下，150、350 及 5000 mesh 之磨耗量分別為 25.85、27.07 及 52.20 mg/1000 轉。

表 2. 不同粒徑孟宗竹微粉炭竹炭塗料之塗料性質

Table 2. Coating properties of charcoal coatings with different sizes of moso bamboo micropowder charcoals

Size (mesh)	Coating		Solid content (%)	Viscosity (cps, 27°C)	Drying time (min)
	Volume concentration (%)				
150	10		53.2	237	135
	30		55.3	267	50
	50		66.0	397	38
350	10		56.3	230	88
	30		60.5	277	88
	50		65.7	414	33
5000	10		54.3	216	175
	30		57.7	233	65
	50		62.3	530	50
PU			53.0	306	220

表 3. 不同粒徑孟宗竹微粉炭竹炭塗料之塗膜性質 (I)

Table 3. Film properties of charcoal coatings with different particle sizes of moso bamboo micropowder charcoals (1)

Size (mesh)	Coating		Hardness (sec)	Abrasion resistance (mg)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)
	Volume concentration (%)					
150	10		30	27.35	13.77	3.4
	30		55	29.47	11.12	4.0
	50		59	25.85	14.42	4.2
350	10		55	31.75	21.99	5.1
	30		54	35.07	18.40	5.7
	50		53	27.07	12.94	4.2
5000	10		60	33.77	16.94	7.9
	30		55	53.00	23.21	8.4
	50		64	52.20	14.83	6.7
PU			77	18.35	33.18	12.6

表 4. 不同粒徑孟宗竹微粉炭竹炭塗料之塗膜性質 (II)

Table 4. Film properties of charcoal coatings with different sizes of moso bamboo micropowder charcoals (2)

Size (mesh)	Coating		Gloss (60°)	Adhesion (grade)	Weight retention (%)
	Volume concentration (%)				
150	10		36	10	69.4
	30		38	8	71.6
	50		11	10	73.1
350	10		41	8	70.7
	30		20	10	72.7
	50		14	8	73.7
5000	10		79	10	67.5
	30		38	10	69.3
	50		32	10	72.7
PU			74	10	63.2

在塗膜拉伸強度方面，PU 展色劑者高達 33.18 MPa，塗膜破壞伸長率亦達 12.6%，顯示其為一較具強韌性的塗膜，添加微粉炭後，竹炭塗料之塗膜拉伸強度及破壞伸長率均隨之降低，但每種尺寸之微粉炭竹炭塗料均有其最佳拉伸強度之體積濃度，例如，150 mesh 者以添加量 50% 者最佳，350 mesh 者則為 10% 者，而 5000 mesh 者以 30% 者最為優良，其塗膜拉伸強度及破壞伸長率分別 23.21 MPa 及 8.4%；整體而言，在相同體積濃度下，添加愈細微粉炭之竹炭塗料可得較具強度的塗膜。

竹炭塗料之塗膜光澤度除 5000 mesh 之體積濃度 10% 之外，其餘均較透明 PU 展色劑者為低，且不論何種尺寸均有隨體積濃度增加而下降之趨勢，又在相同添加量下，微粉炭尺寸愈細者之塗膜光澤度有愈高之趨勢，以添加量 10% 為例，尺寸 150、350 及 5000 mesh 者之塗膜光澤度分別為 36、41 及 79。又塗膜附著性均有 8 等級以上之水準，尤其 5000 mesh 者均可達 10 等級；整體而言，本試驗之竹炭塗料有優良之附著性。在塗膜耐溶劑性方面，添加微粉炭有助於塗膜耐溶劑性，經丙酮連續萃取 6 h 後，在相同微粉炭尺寸下，塗膜重量保留率均隨體積濃度之增加而上升；而在相同體積濃度下，以 350 mesh 者有最佳之塗膜耐溶

劑性，但彼此之間差異不大。

以 350 mesh 者為例，微粉竹炭、PU 塗膜及不同體積濃度竹炭塗料之熱重量分析 (TGA) 及導數熱重量分析 (DTG) 分別如圖 1 及圖 2 所示，而各種試樣之熱重量分析參數則整理如表 5。由表 5 得知，當加熱至 700°C 時，微粉竹炭之熱重損失隨粒徑之愈細而加大，例如，150、350 及 5000 mesh 之重量殘留率分別為 93.92、89.72 及 84.97%；而純 PU 塗膜幾乎熱解殆盡，其殘留率僅 1.94%；又含相同粒徑微粉竹炭塗料之塗膜殘留率均隨體積濃度增加而提高，以 350 mesh 為例，體積濃度 10 (代號 350-10)、30 及 50% 之塗膜殘留率分別為 13.35、22.98 及 36.79%；又在相同體積濃度下，均以含 350 mesh 者有最高之塗膜殘留率，以體積濃度 30% 者為例，含 150、350 及 5000 mesh 微粉竹炭塗料之塗膜殘留率分別為 22.20、22.98 及 17.68%。

又從圖 1 及圖 2 之 TGA 與 DTG 曲線可以看出，微粉炭受熱後呈穩定緩慢地熱解，並無特定熱解峰，而 PU 塗膜則約於 350 及 400°C 處有明顯 2 個熱解峰，前者是代表 PU 之胺酯結合(urethane bonding)之降解，而後則為整體 PU 分子之降解 (Desai *et al.*, 2000)；而添加微粉炭竹炭塗料之熱解峰均向低溫側偏移，且有

表 5. 不同粒徑孟宗竹微粉炭竹炭塗料之塗膜熱重量分析參數

Table 5. Parameters of TGA of charcoal coatings with different sizes of moso bamboo micropowder charcoals

Size (mesh)	Coating		Onset (°C)	Residue (%)
	Volume concentration (%)			
150	10		290.2	6.99
	30		289.1	22.20
	50		289.7	28.26
350	10		298.0	13.35
	30		279.8	22.98
	50		275.1	36.79
5000	10		297.3	9.25
	30		302.1	17.68
	50		284.9	26.58
PU			304.0	1.94

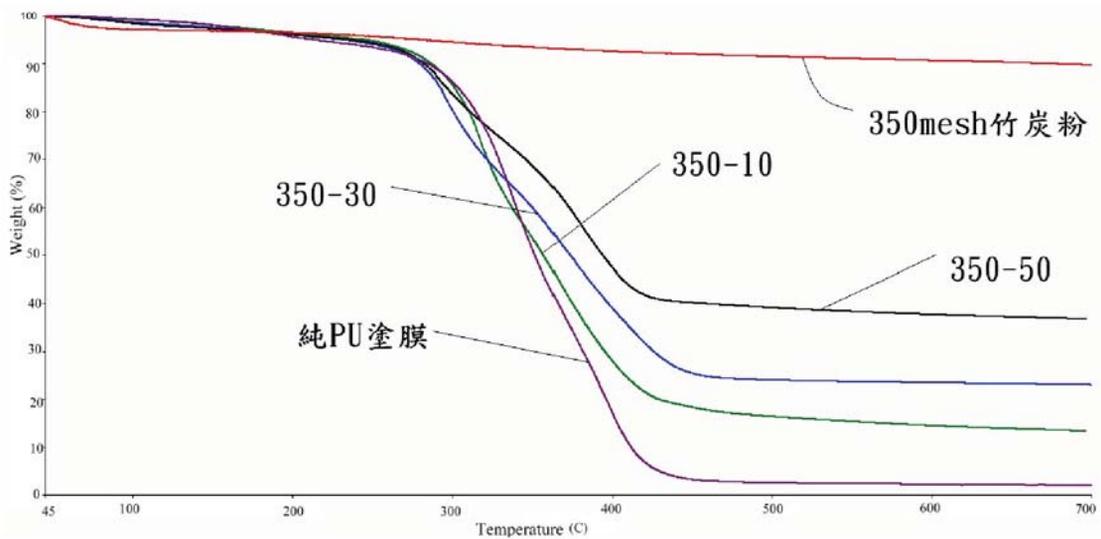


圖 1. 微粉竹炭、PU 塗膜及不同體積濃度竹炭塗料之熱重損失曲線 (350 mesh)

Fig. 1. TGA curves of micropowder charcoal, PU film and charcoal coating with different volume concentrations.

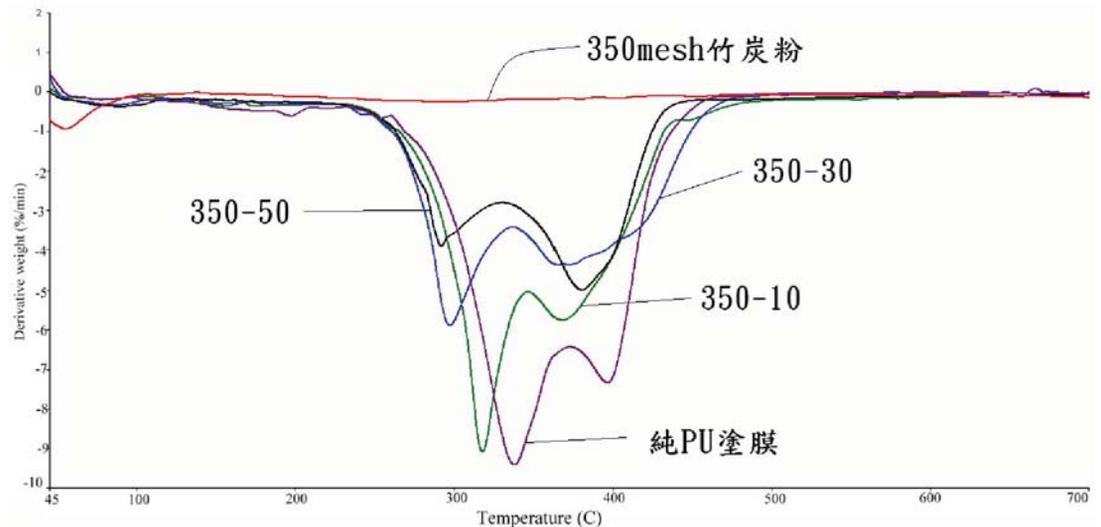


圖 2. 微粉竹炭、PU 塗膜及不同體積濃度竹炭塗料之導數熱重損失曲線 (350 mesh)

Fig. 2. DTG curves of micropowder charcoal, PU film and charcoal coating with different volume concentrations.

隨體積濃度增加而愈往左移之趨勢，顯示竹炭塗料之耐熱性不如純 PU 者，此由竹炭塗料 TGA 曲線 Onset 溫度均稍低於純 PU 者亦可得證，此可能因添加微粉炭而產生吸收塗料樹脂效果，且隨體積濃度增加其吸收效果更明顯，進而使 PU 展色劑之主劑及硬化劑反應較不完

全或影響塗膜之連續性所致。

為探討竹炭塗料對甲醛之吸附效果，本試驗自行設計在 1.1 L 之完全密閉保鮮盒中，底部分別平鋪 PU 塗膜及竹炭塗料之塗膜，各為 0.8 g，塗膜展開面積約 10×15 cm<sup>2</sup>，另置入盛於鉛箔皿中之不含 PU 展色劑且重量與竹炭塗

料相同之微粉竹炭，再將 5% 甲醛溶液 20  $\mu\text{L}$  注入盒中小型鋁箔皿中，放置 1 天後，以檢知管測定，利用管中藥劑與甲醛反應，由白色變成橘黃色之刻度值可測得甲醛濃度，試驗結果如表 6 所示；未放置任何試樣之空白試驗甲醛濃度為 30 ppm，放置 PU 塗膜者仍會吸附少量甲醛，其濃度降為 23 ppm，此可能少許的氫鍵結合而使甲醛附著於 PU 塗膜表面，而放置竹炭塗料者，甲醛濃度均明顯降低，不同微粉炭尺寸及體積濃度間對甲醛之吸附效果並無一定之規則性，其中以 350 mesh 之體積濃度 30% 者有最低之甲醛濃度 8.5 ppm，顯示此配方之竹炭塗料對甲醛有最佳之吸附效果，此可能在此配下方，微粉炭在塗膜中分散最為均勻，又是否具有最大比表面積，將於後續試驗加以確認。

又整體而言，以 150 mesh 之竹炭塗料對甲醛有最佳之吸附能力，此可能較大粒徑微粉竹炭之孔隙不易被 PU 塗料遮蔽所致；又僅微粉竹炭對甲醛之吸附效果隨其含量之增加而提高，以 350 mesh 者為例，對 PU 塗料含量 10、30 及 50% 之竹微粉炭之甲醛濃度分別為 20、14 及 8.5 ppm；又在相同微粉竹炭含量下，粒徑愈細即比表面積愈高者，並不一定有最佳之甲醛吸附效果，且又由試驗結果得知，在相同微粉炭含量下，僅放置微粉竹炭對甲醛之吸附效果並不如竹炭塗料者，以粒徑 350 mesh、體積濃度 30% 者為例，微粉竹炭者之甲醛濃度達 14 ppm，而竹炭塗料者為 8.5 ppm，此可能竹炭塗料中的 PU 塗膜能稍微吸附甲醛外，經塗佈成膜後，可將微粉竹炭均勻開展成薄層狀，雖然部分孔隙為樹脂所填塞，但仍能充分發揮吸附甲醛之功能，反觀純微粉竹炭者，因本試驗係另盛於直徑約 2 cm 鋁箔皿中再置於保鮮盒中，微粉竹炭無法如竹炭塗料者充分展開，是否因短時間內 (1 天) 無法充分吸附甲醛所致，將於後續試驗加以探討。

#### 四、結論

本試驗係利用土窯產不同尺寸孟宗竹微粉炭及添加量調配成竹炭塗料，分析最佳體積濃度及微粉炭尺寸之塗料配方，試驗結果獲得以下 6 點結論。

1. 微粉炭愈細者之 BET 比表面積及微孔表面積愈高。
2. 竹炭塗料之固形份及黏度均隨微粉炭體積濃度之增加而提高，乾燥時間則縮短，且以含 350 mesh 微粉炭者有較高之固形份及較短的乾燥時間。
3. 添加微粉炭後之塗膜機械強度均較透明 PU 展色劑者為低，又含愈細微粉炭之竹炭塗料可得較佳之塗膜拉伸強度、破壞伸長率及硬度，但耐磨性較差。
4. 竹炭塗料之塗膜光澤度均較透明 PU 展色劑者為低，且有隨體積濃度增加而下降之趨勢，但微粉炭尺寸愈細者之塗膜光澤度較高；又所有竹炭塗料之塗膜附著性尚稱優良，塗膜耐溶劑性亦較透明 PU 展色劑者為佳，但耐熱性則不如純 PU 展色劑者。
5. 竹炭塗料可以明顯吸附甲醛，而不同微粉炭尺寸及體積濃度間對甲醛之吸附效果並無一定之規則性，但整體而言，以添加 150 mesh 微粉炭之竹炭塗料對甲醛有最佳之吸附能力。
6. 綜合以上試驗結果，以採用 350 mesh 微粉竹炭且體積濃度 30% 調配而成之竹炭塗料具有最佳之甲醛吸附效果，其他塗料與塗膜性質尚稱均衡。

#### 五、參考文獻

- 洪崇彬、許德仁、王松永、蕭英倫、柯淳涵 (2004) 炭化條件對竹炭室內空氣淨化效能之探討，林產工業 23(3): 183-197。
- 蔡旭芳、王松永 (2002) 木炭粉被覆木質複合板與木炭板在電場之電磁波屏蔽效應，林產工業 21(3): 207-216。
- 劉正字 (2007) 竹炭的功能及其利用。台灣林業

33(3): 30-36。

井出 勇、石原茂久、樋口尙登、西川昌信  
(1994) 竹炭からの機能性炭素複合材料素  
材の開発とその応用。J. Soc. Mat. Sci. 43  
(485): 152-157。

石原茂久 (1999) 機能性炭素材料としての木  
炭。J. Soc. Mat. Sci. 48(5): 473-482。

佐藤弘三 (1972) 概説塗料物性工学。理工出版  
社 東京。p25。

Desai, S., M. Thakore, B. D. Sarawade and S.  
Devi (2000) Effect of polyols and diisocyanates  
on thermo-mechanical and morphological  
properties of polyurethanes. Eur. Polym. J.  
36: 711-725.

Wang, S. Y. and C. P. Hung (2003) Electromagnetic  
shielding efficiency of electric field charcoal  
from six wood species. J. Wood Sci. 49(5):  
450-454.

