

## 研究報告

# PE-NC semi-IPNs 木器塗料 (I)<sup>1</sup> 塗料之可使用時間及乾燥性

盧崑宗<sup>2</sup> 李文昭<sup>2</sup> 劉正字<sup>2</sup>

**【摘要】**本研究係將不飽和聚酯樹脂 (PE) 與硝化纖維素 (NC) 摻合而成 PE-NC 半互穿聚合體網狀結構物 (PE-NC semi-IPNs)，並分析其作為木器塗料之可行性。其中 PE 係由順丁烯二酸酐：鄰苯二甲酸酐：乙二醇依莫耳比 1：1：2.05 之條件反應而成，並添加 30 % 之苯乙烯及不同比例催化劑 (甲乙酮過氧化物) / 促進劑 (環烷酸鈷) / 氧化防止劑 (十二烷硫醇)，調配成各種 PE 塗料，另將 PE 與 NC 以不同重量比摻合製成 PE-NC semi-IPNs，各調配塗料分別探討其可使用時間及乾燥性。試驗結果得知，各種配方之 PE 塗料，可使用時間以催化劑 / 促進劑 / 氧化防止劑 = 1.5 / 0.05 / 0.1 (對樹脂重量之百分比) 者最長，然僅達 17 min，而 PE-NC semi-IPNs 塗料則可大幅延長塗料之可使用時間。又各種配方之 PE 塗料在常溫及空氣中均無法乾燥，而 PE-NC semi-IPNs 塗料在 NC 含量在 40 % 以上時，其塗膜可在常溫及空氣下乾燥，PE / NC=50 / 50 者塗膜乾燥時間可縮短至 2.15 hr。

**【關鍵字】**不飽和聚酯樹脂、硝化纖維素、半互穿聚合體網狀結構物、可使用時間、乾燥性、木器塗料

## Research paper

# PE-NC semi-IPNs Wooden Coatings (I)<sup>1</sup> Pot-life and Drying Character of Coatings

Kun-Tsung Lu<sup>2</sup> Wen-Jau Lee<sup>2</sup> Cheng-Tzu Liu<sup>2</sup>

**【Abstract】** Unsaturated polyester resin (PE) was synthesized with maleic anhydride: phthalic anhydride: diethylene glycol=1:1:2.05 (molar ratio), and 30 % styrene (by wt.) would be added and mixed with catalyst (MEKPO) / accelerator (Co-Naph.) / oxidation inhibitor (dodecyl mercaptan) at various wt.% ratio to form PE coatings. Meanwhile, PE-NC semi-IPNs (Semi-interpenetrating polymer networks) were prepared by blending PE and NC (nitrocellulose) at various wt. % ratio for wooden coatings. The pot-life and drying character of PE and PE-NC semi-IPNs coatings were examined. The results revealed that PE

1. 本研究為國科會88年度專題研究計劃 (NSC-88-2313-B-005-082) 之部分結果，承蒙國科會經費補助，謹此致謝

This project was sponsored by the National Science Council, R.O.C. Grant number (NSC-88-2313-B-005-082)

2. 國立中興大學森林學系 助理教授、副教授 (通訊作者)、教授

Assistant professor, Associate professor (Corresponding author), Professor Department of Forestry, NCHU.

coating at catalyst/ accelerator/ oxidation inhibitor=1.5/0.05/0.1 condition had the longest pot-life, but only 17 min. However, blending PE with NC, i.e. PE-NC semi-IPNs coatings, could prolong the pot-life of PE coatings significantly. All of PE coatings were unable to dry at room temperature and ambient atmosphere, but the films of PE-NC semi-IPNs coatings which NC content was above 40 % could be dried at the same environment, especially that of PE/NC=50/50 had the shortest drying time of 2.15 hr only.

**【Key words】** Unsaturated polyester resin, Nitrocellulose, Semi-interpenetrating polymer networks, Pot-life, Drying character, Wooden coatings.

## 一、前言

不飽和聚酯樹脂 (Unsaturated polyester resin ; PE) 一般是由不飽和的多元酸如順丁烯二酸酐 (Maleic anhydride), 飽和多元酸如鄰苯二甲酸酐 (Phthalic anhydride) 及多元醇如乙二醇 (Diethylene glycol)、乙二醇 (Ethylene glycol)、丙二醇 (Propylene glycol) 等, 先行縮合反應製成含有酯結合的線狀不飽和醇酸樹脂, 再溶於具反應性的乙烯基單體如苯乙烯 (Styrene) 中而得, 作為塗料使用時再添加工催化劑 (Catalyst) 如甲乙酮過氧化物 (Methyl ethyl ketone peroxide ; MEKPO), 及促進劑 (Accelerator) 如環烷酸鈷 (Cobalt naphthenate) 等而成為常溫硬化型塗料。PE塗料中的單體係作為反應稀釋劑使用, 因此, PE塗料可稱為無溶劑型塗料, 或 100 % 固形分塗料, 一次可厚塗, 膜厚感佳, 溶劑少揮發, 少空氣污染, 耐酸性、耐水性及耐熱性等均極優良, 可以說是符合現代需求的環保型塗料之一, 是一種重要的木器塗料, 常用於合板、樂器及家具等的鏡面塗裝。然而, PE塗料可使用時間 (Pot-life) 相當短, 當催化劑與促進劑混合後, 短時間內即膠化 (約 15~80 min, 視組成分或用途而定), 因此作業性不佳, 此亦常為業界所詬病之處, 另一方面, PE塗膜較具塑膠的冷硬感, 用途也受到相當的限制, 因此, 如何延長 PE塗料的可使用時間, 並使其塗膜具柔和感, 讓此種優良木器塗料更為業界

所樂於採用, 實為當前重要的課題。

常用木器塗料樹脂中, 硝化纖維素 (Nitrocellulose ; NC) 具高硬度及透明性, 乾燥性佳且與其他樹脂相容性優良 (植木, 1978 ; Staddon, 1980), 由於 NC 是以棉花或紙漿纖維等材料, 經硫酸加硝酸硝化而製成, 因此與木材的天然纖維有極佳的相容性, 經含此成分之木器塗料塗裝後的木材製品仍然能保持木材溫潤的質感 (鎌田, 1995), 但 NC 耐熱性及耐溶劑性差, 低溫易脆裂 (Radhakrishnan *et al.*, 1991), 實用上, 若能針對這些缺點加以改善, 則 NC 應用在木器塗料上, 仍有相當寬廣的空間。

互穿聚合體網狀結構物 (Interpenetrating Polymer Networks, IPNs) 是一種特殊的高分子摻合 (Polymer blends) 方式所獲得, 一個 IPNs 是由兩個獨立的網狀物 (或其中之一為線狀物) 所組成, 其中至少一個被合成且交聯穿透到另一個網狀 (或線狀) 結構物上; 理論上, 此互穿作用是一種物理的特性, 兩種高分子間很少或沒有化學接枝反應產生, 其乃經由組成分個別化學交聯而互相永久纏繞在一起 (Derrough *et al.*, 1993 ; Hourston and Huson, 1992 ; Hourston and Schafer, 1996b ; Xiao and Frisch, 1989), 與其他經由嵌段 (Block) 或接枝共聚合 (Graft copolymerization) 高分子相比, IPNs 是可以簡單機械式摻合方式, 使兩種通常是互不相容的高分子緊密結合而限制

相分離 (Phase separation)，並藉以提升其性質而顯現引人特徵的方法 (Derrough *et al.*, 1993 ; Chou and Lee, 1995 ; Han *et al.*, 1996)。因可由不同化學形態的高分子所組成，且具有傳統單一高分子所無法獲得的特定性能 (Xiao and Frisch, 1989 ; Kamath *et al.*, 1996 ; Suthar *et al.*, 1996)，因此，最近在高分子領域中頗受注目。IPNs 中，如果兩者均為網狀結構，則稱為全互穿聚合體網狀結構物 (Full-IPNs)；若其中之一為線狀高分子，另一為網狀高分子，則稱為半互穿聚合體網狀結構物 (Semi-IPNs)，而此 semi-IPNs 可以由具官能基之反應性高分子與線狀高分子摻合而交聯，或將具多官能性之單體分散於線狀高分子中而聚合 (Sperling and Mishra, 1996)。IPNs 可廣泛用於各種材料上，目前也廣受世界各國之注意與研究，未來在高分子領域的發展，實不容忽視。

筆者 (盧崑宗、劉正字, 1997a、1997b) 曾以預塗法、三明治式法等塗裝方式延長 PE 塗料可使用時間，此可以有效地解決 PE 塗料調配後快速膠化的缺點，但其作業繁複且需相當的技巧，故本研究乃將 PE 和 NC 摻合而成 PE-NC semi-IPNs，希望藉由 NC 的導入而延長 PE 的可使用時間，進而探討 PE-NC semi-IPNs 作為木器塗料的可行性。

PE 塗料的可使用時間受催化劑、促進劑、聚合抑制劑 (Inhibitor)、溫度及水分等因素所左右 (熊崎、藤井, 1975)，又 PE 塗料在乾燥的過程中，由樹脂和單體所產生的自由基，容易和空氣中的氧反應，此種鏈轉移反應 (Chain transfer reaction) 會得到低分子量的塗膜，而妨礙塗膜硬化，因此本研究的第一部分乃探討催化劑、促進劑與氧化防止劑，對 PE 塗料之可使用時間及乾燥性之影響，同時亦分析不同 PE/NC 摻合比之 PE-NC semi-IPNs 塗料對可使用時間及乾燥性之改善效果。

## 二、試驗材料與方法

### (一) 試驗材料

1. 多元酸：順丁烯二酸酐、鄰苯二甲酸酐。
2. 多元醇：二乙二醇。
3. 反應性單體：苯乙烯。
4. 催化劑：甲乙酮過氧化物 (MEKPO)。
5. 促進劑：環烷酸鈷 (Co-Naph.)，濃度 6%。
6. 聚合抑制劑：對苯二酚 (Hydroquinone ; HQ)。
7. 氧化防止劑：十二烷硫醇 (Dodecyl mercaptan)。
8. 溶劑：二甲苯。  
以上材料均為試藥級。
9. 硝化纖維素 (NC)：白色片狀，黏度 1/2" (落球式黏度計)，ICI 公司產品，以甲乙酮 (MEK) 溶解，調配成固形分 35 % 溶液備用。
10. 石蠟油 (Paraffin oil)：透明液體，關東化學株式會社產品
11. 聚乙烯膜 (Polyethylene film)：市售保鮮膜，南亞公司產品。

### (二) 試驗方法

1. 不飽和聚酯樹脂之合成：以順丁烯二酸酐：鄰苯二甲酸酐：二乙二醇=1：1：2.05 (莫耳比) 為依據，取計算量之多元酸及多元醇，置入 500 mL 之四口圓底反應瓶中，並加入全部反應物重 10 % 之二甲苯為溶劑，於反應瓶各接口分別裝上攪拌器、祛水器、冷凝管及溫度計，通入氮氣，以電熱包加熱，並於 1 hr 內將溫度升至 130~140 °C，2 hr 時升溫至 160~170 °C，3 hr 時升溫至 210~220 °C，並維持此溫度至反應終了。反應過程中每隔 30 min 取樣測定反應液之酸價，至酸價降低緩慢約至 40~50 時，停止加熱，待溫度降至 120 °C 時加入反應液重 0.015 % 之對苯二酚 (HQ)，冷卻至室溫。
2. PE 塗料之調配：取定量上述合成之 PE 樹

脂，加入對 PE 樹脂重 30 % 的苯乙烯（含 0.015 % 對苯二酚），攪拌均勻，接著依序添加對全量 0.05~0.5 % 的環烷酸鈷促進劑，攪拌均勻後再添加 1.5~2.5 % 的 MEKPO 催化劑，接著再加入 0.1~0.5 % 的十二烷硫醇氧化防止劑，依各種添加劑的組合共得 5 種配方。

3. PE-NC semi-IPNs 塗料之調配：依 PE / NC=70 / 30、60 / 40、50 / 50 及 30 / 70（重量比）之條件，分別先取計算量之 PE 樹脂，加入對 PE 樹脂重 30 % 之苯乙烯（含 0.015 % 對苯二酚）攪拌混合均勻，再一邊攪拌一邊逐滴加入計算量的 NC 溶液，並繼續攪拌 30 min 使混合均勻後，加入對 PE 樹脂重 1.5 % 之 MEKPO 催化劑，0.1 % 之環烷酸鈷促進劑及 0.1 % 之十二烷硫醇氧化防止劑，並攪拌均勻。
4. 可使用時間：取上述調配完成之各種配方之 PE 及 PE-NC semi-IPNs 塗料，取 10 g 於塑膠杯中後開始計時，在常溫下攪拌至塗料膠化而無法攪動所需之時間，視為塗料之可使用時間。
5. 乾燥性：將調配完成之 PE 及 PE-NC semi-IPNs 塗料，以施膜器塗佈於玻璃板上，濕膜厚 100  $\mu$ m，在室溫下以指觸乾燥（Set to touch）及硬化乾燥（Dry hard）法觀察塗膜乾燥情形，以判定 PE 塗膜之乾燥性。而以直線驅動式之乾燥時間測定儀，記錄塗料塗佈後至無觸針痕跡之時間為塗膜之乾燥時間。

### 三、結果與討論

#### (一) 可使用時間

不飽和聚酯樹脂之組成中，一般是由不飽和酸導入雙鍵，其中順丁烯二酸酐是最常用的不飽和酸，其有價廉、反應性良好之優點，但僅以不飽和酸為原料之 PE 樹脂有硬脆之缺點，所以樹脂合成時常以飽和酸取代

部分的不飽和酸，使 PE 樹脂在硬化過程中之交聯密度適度降低，可撓性增加，以改善硬脆的缺點，而其中最常使用者為芳香族飽和酸之鄰苯二甲酸酐。又多元醇之選用亦會影響 PE 樹脂之性質，含醚結合越多之醇類，能賦予 PE 樹脂之耐衝擊性愈佳，故本試驗採用具醚結合之二乙二醇為多元醇。又調配 PE 塗料時，須加入具有不飽和雙鍵的單體，作為反應性稀釋劑使用，一方面藉此降低 PE 樹脂的黏度，以利於塗裝作業，另一方面則藉其雙鍵與 PE 樹脂之雙鍵產生交聯反應，使形成三次元之硬化塗膜，本試驗採用苯乙烯單體，其添加量為 PE 樹脂重之 30 %。為避免 PE 樹脂在儲存其間進一步發生架橋反應，因此添加對苯二酚為聚合抑制劑，其添加量為全樹脂重之 0.015 %。

PE 塗料之常溫硬化反應，係靠過氧化物催化劑之分解產生自由基，再引發樹脂的聚合反應而硬化，有機過氧化物 R-O-O-R' 的結合解離能約 30 kcal / mol，比其他原子間的結合能從數十至數百 kcal / mol，顯然較小，因此容易分解而產生自由基（長倉，1993）。又 PE 樹脂在聚合硬化反應時，若併用促進劑則更能促進自由基之產生且能於低溫下硬化，促進劑主要是利用氧化—還原作用，使催化劑分解產生自由基，其反應如圖 1 所示，因此催化劑與促進劑的組合對 PE 塗料的影響非常重大，本試驗採一般最常使用的甲乙酮過氧化物（MEKPO）/ 環烷酸鈷（Co-Naph.）的組合（大澤，1984），又 PE 塗料在乾燥的過程中，空氣中的氧容易和自由基反應而妨礙塗膜的硬化，為防止氧氣的影響，一般都是添加 0.05~0.1 % 的蠟以隔絕空氣，排除此障害，但蠟因浮出塗膜表面會影響塗膜光澤，再塗裝時會產生塗膜附著性不佳的缺點，所以本試驗亦嘗試使用氧化防止劑（十二烷硫醇），探討其對乾燥性之影響。

表 1 為不同催化劑/促進劑/氧化防止劑之

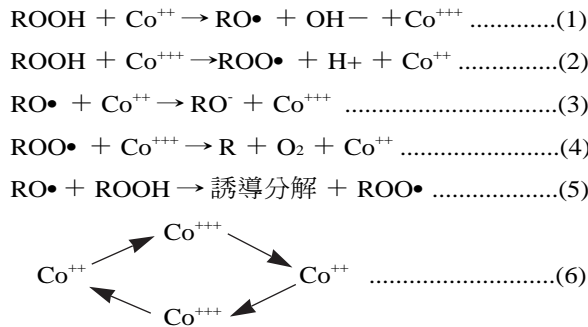


圖 1. 鈷對過氧化物分解之促進作用反應 (長倉, 1993)

Fig. 1. Decomposition reaction of peroxide accelerated by cobalt promoter.

表 1. 不同催化劑/促進劑/氧化防止劑配方 PE 塗料之可使用時間

Table 1. Pot-life of PE coatings at various catalyst/accelerator/oxidation inhibitor compositions.

催化劑 (%) (甲乙酮過氧化物)	促進劑 (%) (環烷酸鈷)	氧化防止劑 (%) (十二烷硫醇)	可使用時間 (min)
2.5	0.5	0.1	4
2.0	0.1	0.5	8
1.5	0.1	0.5	12
1.5	0.1	0.1	13
1.5	0.05	0.1	17

配方對 PE 塗料可使用時間之影響。由表 1 中可以得知，催化劑含量愈少，PE 塗料的可使用時間則有愈長的趨勢，但據筆者之前研究 (盧崑宗、劉正字, 1997a) 在相同促進劑含量下，催化劑含量愈多，雖然可使用時間較短，但其放熱溫度愈高，亦即反應較為完全。又本試驗之促進劑添加量愈少，可使用時間亦有愈長的趨勢，例如，催化劑 / 促進劑 / 氧化防止劑=1.5 / 0.1 / 0.1者為 13 min，而 1.5 / 0.05 / 0.1者則為 17 min。此外，在相同之催化劑/促進劑配方下，添加氧化防止劑對 PE 塗料的可使用時間似乎影響不大，例如，氧化防止劑添加量為 0.5 % 者，可使用時間為 12 min，而添加量 0.1 % 為 13 min。但不論如

何，本試驗所合成之 PE 塗料，即使催化劑與促進劑的添加量分別已降至 1.5 % 及 0.05 %，其塗料可使用時間最長，但亦僅達 17 min 而已，與一般市售 PE 塗料相似，顯見其塗裝作業性受到相當的限制。

另取催化劑 / 促進劑 / 氧化防止劑添加量為 1.5 / 0.1 / 0.1 之 PE 樹脂，利用無可使用時間限制，且為線狀結構的 NC，將其與 PE 依不同重量比摻合而成不同 PE-NC semi-IPNs 塗料。由前述表 1 單獨採用 PE 塗料之可使用時間為 13 min，然如圖 2 將 PE 與 NC 摻合後，塗料之可使用時間可大幅延長，在 PE / NC=70 / 30 時之 semi-IPN 塗料之可使用時間達 9 hr，隨 NC 含量增加，可使用時間進一步

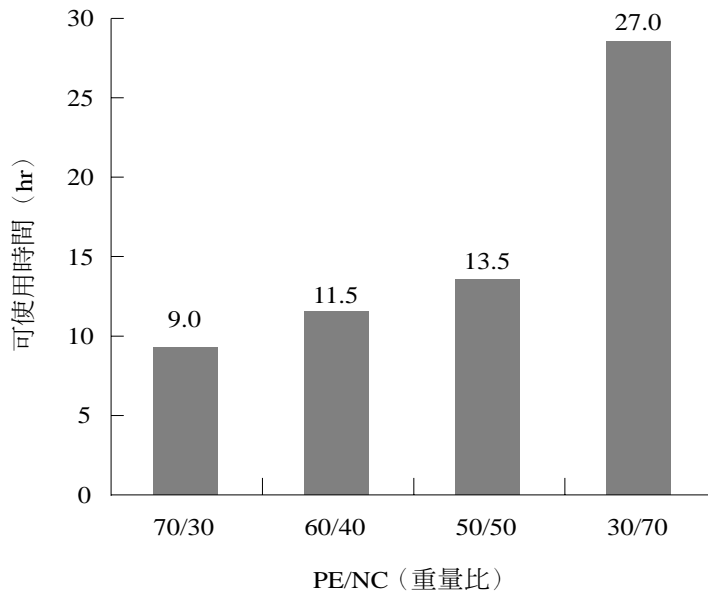


圖 2. PE-NC semi-IPNs 塗料之可使用時間  
Fig. 2. Pot-life of PE-NC semi-IPNs coatings.

延長，當PE / NC=30 / 70時，更可長達 27 hr，可明顯改善塗裝作業性。

#### (二) 乾燥性

為防止空氣中氧氣影響 PE 塗料的乾燥，本試驗嘗試添加氧化防止劑加以改良，但表 1 中之各種配方，其塗膜在常溫下均無法乾燥，即使將氧化防止劑之添加量提高至 0.5 %，仍無法達硬化乾燥狀態。表 2 乃取催化劑 / 促進劑 / 氧化防止劑=1.5 / 0.1 / 0.5之 PE 塗料，塗佈於玻璃板後，利用各種乾燥方式，以探討 PE 塗料的乾燥性。

由結果可以得知，於塗料中添加 0.5 % 的石蠟油，或將塗膜以聚乙烯薄膜覆蓋以隔絕氧氣，均無法使 PE 塗料乾燥。然將塗膜置於 60 °C 的烘箱中，或將其置於氮氣環境下則可乾燥硬化成膜。

NC具有可快速乾燥的特性，圖 3 為將其與 PE（催化劑/促進劑/氧化防止劑=1.5 / 0.1 / 0.5者）依不同重量比摻合而成之 PE-NC semi-

IPNs 塗料之乾燥時間。由結果得知，在 PE / NC=70 / 30 時其塗膜經 24 hr 仍無法乾燥，然若增加 NC 含量至 40 % 以上時則可在常溫及空氣下乾燥，其中 PE / NC=60 / 40 者乾燥時間 4.15 hr，PE / NC=50 / 50 者更可縮短至 2.15 hr 即可達乾燥之目的。可使用時間長達 27 hr 之 PE / NC=30 / 70 者，經塗佈成薄膜後，可能由於 NC 與 PE 互穿的結果，塗膜可於 2.35 hr 硬化。

#### 四、結論

1. PE 塗料之各種配方中，以催化劑 / 促進劑 / 氧化防止劑=1.5 / 0.05 / 0.1 者之可使用時間最長，然僅達 17 min 而已，顯示塗裝作業性受到相當的限制。
2. 將 PE 與 NC 摻合而成之 PE-NC semi-IPNs 塗料，可大幅延長塗料之可使用時間，尤其 PE / NC=30 / 70 者更可長達 27 hr，可明顯改善塗裝作業性。

表 2. 不同塗膜乾燥方式下 PE 塗料之乾燥性  
Table 2. Drying character of PE coatings at various conditions.

催化劑 (%)	促進劑 (%)	氧化防止劑 (%)	乾燥方式	乾燥性
1.5	0.1	0.5	無處理 (在空氣及常溫下)	塗膜無法乾燥
1.5	0.1	0.5	塗料中添加 0.5% 石蠟油	塗膜無法乾燥
1.5	0.1	0.5	塗膜覆蓋聚乙烯薄膜	塗膜無法乾燥
1.5	0.1	0.5	塗膜於烘箱中加熱 (60°C)	塗膜可乾燥
1.5	0.1	0.5	塗膜置於氮氣環境下	塗膜可乾燥

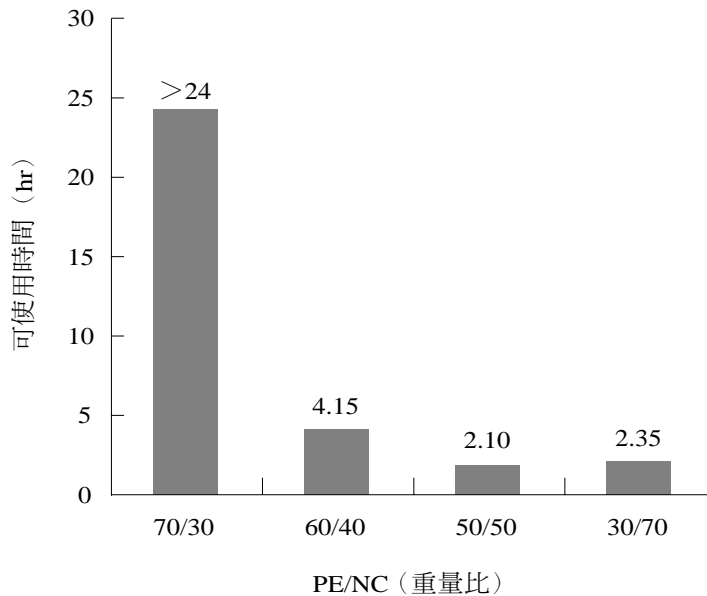


圖 3. PE-NC semi-IPNs 塗料之乾燥時間  
Fig. 3. Drying time of PE-NC semi-IPNs coatings.

- 各種配方之 PE 塗料在常溫及空氣中均無法乾燥，添加 0.5 % 的石蠟油，或將其塗膜以聚乙烯薄膜覆蓋均無法使塗膜乾燥。
- 將 PE 與 NC 摻合而成之 PE-NC semi-IPNs 塗料，當 NC 含量在 40 % 以上時，塗膜可在常溫及空氣下乾燥，PE / NC=50 / 50 者塗膜乾燥時間可縮短至 2.15 hr。

### 五、參考文獻

盧崑宗、劉正字 (1997a) 延長不飽和聚酯塗料可使用時間之研究 (一) 硬化劑配方與塗裝方式對硬化反應與乾燥時間之影響。林產工業 16(2) : 169-179。

盧崑宗、劉正字、黃金城 (1997b) 延長不飽和聚酯塗料可使用時間之研究 (二) 硬化劑配方與塗裝方式對塗膜性質之影響。林

- 産工業 16(3) : 407-422。
- 大澤 晃 (1984) 塗料分野における橋かけ硬化剤の進歩, 第 4 回, 塗装技術 23(2) : 99-105。
- 長倉 稔 (1993) コーティング用ビヒクルの材料設計, 第 43 回。塗装技術 32(7) : 152-162。
- 植木憲二 (1978) 新稿塗料物性入門・第九回/塗膜の形成 (その1)。塗装技術 17(2) : 81-90。
- 熊崎榮人、藤井 正 (1975) 不飽和ポリエステル樹脂塗料の特性と塗装上の注意事項, 最新塗料・塗装マニュアル 29 頁, 理工出版社。
- 鎌田賢一 (1995) 木工製品の木地お生カした塗装。塗装工學 30(10) : 4-12。
- Chou, Y. C. and L. J. Lee (1995) Mechanical properties of polyurethane-unsaturated polyester interpenetrating polymer network. *Polymer Engineering and Science* 35(12):976-988.
- Derrough, S. N., C. Rouf, J.M. Widmair and G.C. Meyer (1993) Investigations for obtaining semi- interpenetrating polymer networks base on monomers of different reactivity toward radicals. *Journal of Applied Polymer Science* 48:1183-1188.
- Han, X., B. Chen and F. Guo (1996) Polyepichlorohydrin polyurethane/poly (methylmethacrylate) interpenetrating polymer network. *Polymer for Advanced Technologies* 7:315-322.
- Hourston, D. J. and M. G. Huson (1992) Semi- and fully interpenetrating polymer networks based on polyurethane-polyacrylate systems. XI. The influence of polymerization temperature on morphology and properties. *Journal of Applied Polymer Science* 45:1753-1762.
- Hourston, D.J. and F.U. Schafer (1996) Poly (ether urethane) / poly (ethyl methacrylate) IPNs with high damping characteristics: The influence of the crosslink density in both networks. *Journal of Applied Polymer Science* 62:2025-2037.
- Kamath, M., J. Kincaid and B.K. Mandol (1996) Interpenetrating polymer networks of photocrosslinkable cellulose derivatives. *Journal of Applied Polymer Science* 59:45-50.
- Radhakrishnan, G., P. Rajalingam and N. Natchimuthu (1991) Modification of nitrocellulose through interpenetrating polymer networks for coatings. Supplement to *Polymer Paint Color Journal* 16:84-85.
- Sperling, L.H. and V. Mishra (1996) The current status interpenetrating polymer networks. *Polymer for Advanced Technologies* 7:197-208.
- Staddon, A. W. E. (1980) Industrial nitrocellulose. *J. Oil Col. Chem. Assoc.* 63:446-451.
- Suthr, B., H. X. Xiao, D. Klempner and K.C. Frisch (1996) A review of kinetic studies on the formation of interpenetrating polymer networks. *Polymer for Advanced Technologies* 7:221-233.
- Xiao, H.X. and K.C. Frisch (1989) Coating containing interpenetrating polymer networks. *Journal of Coating Technology* 61 (770) : 51-63.