木材用塗料耐久性之研究

張 上 鎮

摘 要

塗料之性質及耐久性直接且嚴重影響木器製品之價值與使用年限。本研究之目的係在比較目前家具業者常使用各種塗料之性質及其耐久性，所測試的塗料計有硝化纖維（NC）拉卡3種，聚脲酯（PU）塗料四種及胺基醇酸（Amino-alkyd）塗料一種，塗料塗佈於橡膠木及橡木後即置入人工促進耐候試驗箱進行耐久性試驗，然後以塗膜表面色澤之變化、化學成分之變化、及其他各種物理性質之變化來比較塗料之耐久性。試驗結果得知塗膜很容易受光之影響而劣化，且各種塗料受光照射後，被破壞的塗膜性質各有不同。在所測試的3類塗料中，以聚脲酯塗料之耐久性較佳，而硝化纖維拉卡的較差；但僅就表面之色變而言，硝化纖維拉卡為3類測試塗料中較輕微者，而聚脲酯塗料的色變却最為明顯。就所有塗膜性質變化總和而言，在3種硝化纖維塗料中，以西德廠牌NC-1之耐久性較佳；在4種聚脲酯塗料當中，以西德廠牌PU-2塗料之耐久性最差，產生極明顯的變化，而國產廠牌 PU-4塗料之變化較為輕微，故其耐久性較佳。總之國產廠牌塗料之性質與耐久性並不遜於進口之塗料。塗膜受光影響之劣化反應機構亦於文中討論。

關鍵字：耐久性、透明塗料、色變、光劣化、塗膜性質

張上鎮・1987，木材用塗料耐久性之研究，林業試驗所研究報告季刊，2(4)：303～318

Durability of Clear Finishes on Wood Surfaces

Shang-Tzen Chang

〔Summary〕

The properties and durability of clear finishes definitely affect their performance on wood surfaces and enhance the life of wood products. A series of clear finishes, including nitrocelluloses, polyurethanes and amino-alkyd, was tested on oak and rubber wood under an aceelerated lightfastness exposure. The performance and durability of the clear finishes were evaluated according to the changes of color on the wood surfaces, the chemical composition modification of the film, and the deterioration of physical properties of the film. Experimental results revealed that all the clear finishes studied were susceptible to degradation by UV light (λ>300nm), and that the changes of film

1987年4月送審
1987年10月接受

主審委員：唐讓雷
黃彥三

properties differed among the clear finishes studied after accelerated lightfastness testing. In addition, the performance of eight clear finishes was compared, and the possible mechanisms of photooxidation of coatings were also discussed in this paper.

Key words: Durability, clear finish, lightfastness, discoloration, infrared spectrum, photooxidation, film property.

Chang, S. T. 1987. Durability of Clear Finishes on Wood Surfaces. Bull. Taiwan For. Res. Inst. New. Series, 2(4) : 303—318

一、緒　　言

由於木材具有天然而高雅的紋理、色澤、外觀及各種優良的物理強度等特性，故一直深受大衆所喜愛而樂於選作爲家具、建築與裝潢用材，但是木材是由纖維素、半纖維素與木質素三主要成分所構成，誠如其他物性材料一樣，未經過保護處理的木材一旦曝露於使用環境下，很容易受環境因子的作用而產生危害，如受大氣濕度的影響而產生膨脹收縮，受溫度變化的影響而產生熱脹冷縮，受蟲、菌、霉等生物因子的危害而產生生物劣化，及受光的影響而產生光劣化等。爲了防止這些破壞，木材必需予以妥善的保護處理，木材的保護處理方法很多，其中最爲方便且有效的方法便是表面塗裝。透明塗裝不但具有保護作用，可防止環境因子對木材的危害，同時亦可更強調木材自然的紋理與吸引人的外觀，因此透明塗裝普遍爲世人喜愛而選用。

木器家具之品質、價格及使用年限直接受到塗裝品質好壞之影響，欲得到優良的塗裝品質固然需要專精的塗裝技術。精良的塗裝機具與設備，及良好的塗裝室管理與控制，其先決條件必需使用品質優良的塗料，目前無論是進口的或國產的塗料種類都很多，如NC拉卡（硝化纖維塗料）、PU（聚脲酯塗料）及 Amino-alkyd（醇酸塗料）等，其性質迥異，即使是同類的塗料也因廠牌的不同，其製造過程及配方的不同而使得性質不盡相同，再加上市場上的競爭，使得塗料的品質參差不齊，並非價格高或進口的塗料，其品質就必定好，故選購塗料時宜比較其品質。又塗膜與木材一樣，在使用環境下很容易受環境危害因子的作用而產生劣化，如色變、龜裂、失去附著力、剝落等，一旦塗膜被破壞就失去其保護作用，如此一來，不但影響木製品之外觀更縮短了其使用年限，因此選購塗料除了注意塗料的品質，亦需重視塗膜之耐久性。本試驗的目的係比較本省家具業常用之 8 種塗料的性質及其耐久性。

二、材料與方法

(一)試驗材料

1. 試材

本試驗所使用的試材爲橡木（Oak）及橡膠木（Rubber wood）兩種，此兩種樹種爲本省家具業者所普遍使用的木料，試爲規格爲 6.8cm×24.3 cm×3.6mm。

2. 塗料

本試驗所測試的塗料種類如表 1 所示，均爲透

表1. 測試之塗料種類
Table 1. Coatings used for test

代　號	塗料種類 *	製造國家
NC—1	NC拉卡	西德
NC—2	NC拉卡	臺灣
NC—3	NC拉卡	美國
PU—1	PU塗料	臺灣
PU—2	PU塗料	西德
PU—3	PU塗料	臺灣
PU—4	PU塗料	臺灣
AA—1	Amino-alkyd	丹麥

*NC: Nitrocellulose lacquer（硝化纖維塗料）
PU: Polyurethane（聚脲酯塗料）
Amino-alkyd 醇酸塗料

明木器塗料，共分爲3大類，即NC拉卡（Nitrocellulose lacquer 硝化纖維塗料）PU（Polyurethane、聚脲酯塗料），及AA（Amino-alkyd 胺基醇酸塗料），NC拉卡計有西德、國產、美國的廠牌各1種，PU塗料計有國產的廠牌3種及西德的廠牌1種，而AA塗料僅有丹麥的廠牌1種，這些塗料均爲家具業者常使用的透明塗料。

㈡試驗方法

1.試材塗裝

8種塗料均依各廠牌所建議的配方調配成適宜的黏度，以壓縮空氣噴塗法進行噴塗，所使用的塗料壓力爲 3kg/cm²。噴塗前先以240號砂紙予以素面砂磨，然後噴塗底漆，充分乾燥後以 240號砂紙砂磨，再噴塗中漆，俟其乾燥後以 400號砂紙磨光，最後施以一道或二道面漆。

2.耐久性試驗

塗裝好的試片置於人工促進耐候試驗箱（Weatherometer, Atlas electric devices Co., model Ci-35），所使用的燈源爲水冷式氙弧燈（xenon long arc water cooled lamp），燈管以硼硅內層濾光玻璃（borosilicate inner filter）與鈉鈣外層濾光玻璃（soda lime outer filter）所組合而成，其能量分佈曲線如圖1。照光時間爲每天24小時，連續照光，黑板（black panel）的溫度設爲53°C，照射度（irradiance）設定爲0.35 W/m²/nm（在340nm波長處），試樣照光室的乾球溫度爲 38°C，相對濕度控制爲42%。耐久性試驗經過25小時，50小時，100小時，250小時及500小時後，取出試樣分析塗膜性質之變化。

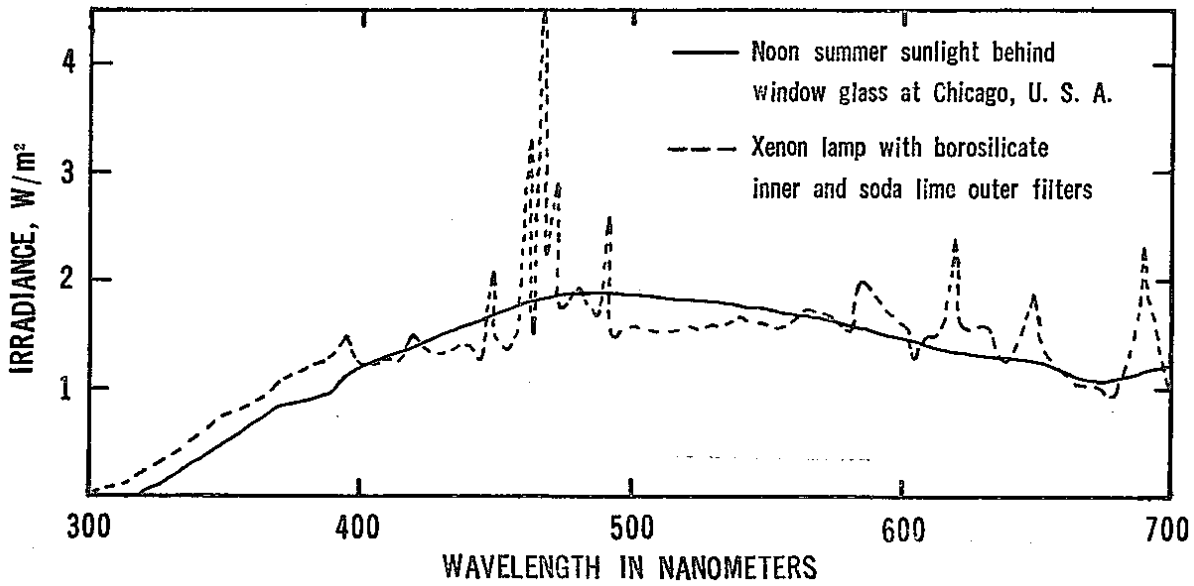


圖1. 氙弧燈之能量分佈圖

Figure 1. Spectral energy distribution of irradiance energy from the Xenon long arc lamp.

㈢分析方法

1.顏色變化分析

試材表面之顏色以東京電色株式會社（Tokyo Denshoka Co., Ltd）的測色差計（color and color difference meters, TC-3600）測量，所使用的光源爲C光源，光學條件爲積分球方式，試材直接置於測試窗上，便可直接由儀器讀得X、Y、Z三刺激值（tristimulus values），根據色彩體系的各種公式（張上鎮，1986）便可求出各種色彩參數。其中CIE（Commission Internation

ale délEclarirage）於1976所推薦之CIE LAB色彩體系不但以色彩參數 L^*, a^*, b^*來表示顏色，同時可以計算色差值（color difference, $\triangle E^*$）以便於比色，本試驗除了色差值外，亦計算明度留存率（brightness retention, %），以此兩值來分析塗膜表面顏色之變化。

$$B.R.(\%)=\frac{Y_t}{Y_0}\times 100\%$$

B.R.：明度留存率

Y_0：未照光試片表面之明度

Y_t：經過t時間照光後試片表面之明度

$\triangle E^*=[(L_t^*-L_0^*)^2+(a_t^*-a_0^*)^2+(b_t^*-b_0^*)^2]^{1/2}$

$\triangle E^*$：色差值

L_0^*, a_0^*, b_0^*：未照光試片之L^*, a^*, b^*

L_t^*, a_t^*, b_t^*：經過 t 時間照光後試片之L^*, a^*, b^*

各種塗料所使用之試片每組爲3片，每片試片均測5次，然後將試片旋轉 90°角後再測5次，故試驗所得之數值爲30個測定值的平均數。

2.塗膜化學組成分變化

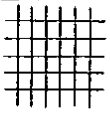
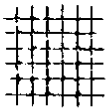
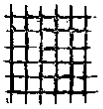
將塗膜的最表層以解剖刀輕輕的刮下使成粉末狀碎屑，以適量的粉末樣品與溴化鉀（KBr）混合製成薄片（disc），然後立即以紅外線光譜儀（Infrared spectrophotometer, Perkin-Elmer Model 783）分析其化學結構，所測定的光譜範圍爲4,000～200cm^{-1}。

3.塗膜物理性質分析

(1)塗膜附著性試驗

以塗膜附著性試驗器（cross cut adhesion tester, Braive instruments）將試片上之塗膜在0.25cm^{2}內，分割成面積爲 1mm^{2}之小方格25格，然後用史高牌（Scotch）透明膠帶黏上，隨即用力撕下，檢視其方格內塗膜剝離的情形，再與表2附著性等級代號表比對，以等級代號來表示塗膜之附著性。

表2. 附著性等級代號表
Table 2. Classification of adhesion test results

等級代號	表面特徵描述	圖示
0	小方格均沒有剝離，且切割線邊緣完全平滑。	
1.	切割線交叉處的塗膜呈片狀剝離，受破壞之面積低於5%。	
2	切割線交叉處及切割線邊緣的塗膜片狀剝離，受破壞之面積超過5%而低於15%。	
3	切割線邊緣及部分小方格的塗膜呈片狀剝離，受破壞之面積超過15%而低於35%。	
4	切割線邊緣的塗膜呈帶狀剝離且大部分的小方格剝離，受破壞之面積超過35%而低於65%。	
5	塗膜之剝離與破壞比第4等級還嚴重。	

(2)塗膜不粘著性試驗

常溫下，俟塗膜完全乾燥後，置一塊紗布於其上，然後再在紗布上置一直徑4cm，重500g之砝碼，經過24小時靜置後，將砝碼取下，檢視塗膜有無紗布痕跡或粘著現象而判定之。

(3)塗膜硬度試驗

塗膜之硬度以兩種方法測定，一爲鉛筆硬度表示法，另一爲Sward搖擺數表示法。

鉛筆硬度表示法是以電動鉛筆硬度計（pencil hardness tester, Braive-instruments）測定塗膜之硬度，以200g固定荷重將鉛筆以45°角接觸塗膜，在塗膜上滑行3cm後，以10倍放大鏡檢視塗膜上是否形成連續的凹痕而判定。每個試片均測試5次，如果塗膜受傷害未滿2次時，即更換硬度大一號之鉛筆作同樣試樣，若受傷害在2次或2次以上時，記錄其鉛筆硬度記號，以此來表示塗膜之硬度。鉛筆之硬度記號依軟硬順序由 6B～9H共分17級。

Sward搖擺數表示法是以Sward搖擺式硬度計（Sward hardness rocker, Braive-instruments）測定塗膜之硬度，此法是將塗料塗佈於玻璃板上，測定前先校對Sward搖擺式硬度計，即先將標準板調整成水平後，把硬度計置於水平標準板上使其搖擺，搖擺之往復次數是由硬度計上左邊之水準器氣泡與中央標線相接觸之最後一次算起至右邊之水準器氣泡與中央標線相接觸之最後一次爲止，硬度計在標準板上之標準擺動次數宜調整爲恰好 100（即往復次數50之兩倍），然後再將塗裝之玻璃板試片置於標準平板上，以同樣的測定法計算硬度搖擺之往復次數，此往復次數之2倍即爲塗膜之硬度。測定時宜將壓克力罩蓋上，以防止受外力之影響而產生誤差。

(4)塗膜耐衝擊性試驗

以杜邦衝擊試驗器(Dupont impact testes)測定塗膜之耐衝擊性，將試片塗膜向上置於衝擊鐵鉆及衝擊槌之間，所使用之衝擊槌爲平面衝擊槌，然後以300g重錘從某一高度往下衝撞衝擊槌，記錄塗膜受到破壞時之衝擊高度。

(5)塗膜耐磨性試驗

本試驗以耐磨試驗機（Taber Model 503 abraser）測量塗膜之耐磨性，先將塗料噴塗於S-16試片板上，俟塗膜完全乾燥後再予以試驗，磨輪採用CS-10號，二邊荷重爲250g，耐磨性以磨耗指數（wear index）來表示，測試時先設定研磨迴轉數，然後比較研磨前後塗膜重量的損失量，再換算成每 1,000迴轉數試樣重量被磨耗掉之毫克數，即爲磨耗指數：

$$\text{磨耗指數 (mg)} = \frac{B-A}{C} \times 1000$$

A：研磨前試片之重量（mg）

B：研磨後試片之重量（mg）

C：研磨迴轉數

三、結果與討論

(一)塗膜之基本性質

8種家具業者常使用的木器塗料塗裝於橡膠木與橡木上，俟塗膜完全乾燥後測試其各項性質，結果如表3所示。比較所測試的 NC 拉卡、PU塗料與Amino-alkyd 3大類塗料，得知PU塗料的性質最佳，其次爲Amino-alkyd塗料，而以NC拉卡的性質較差。所測試的3種NC拉卡當中，國產牌之NC-2拉卡較硬，其耐磨性較好，但耐衝擊性較差，西德廠牌之 NC拉卡對於橡膠木與橡木之附著性較好，而美國廠牌對於所測試2種木材之附著性較差。再比較所測試的4種 PU塗料，它們與2種試材之附著性均良好，西德廠牌之 PU塗料的磨耗指數爲22，表示塗膜的耐磨性爲4種所測試 PU塗料中最佳的，又在國產廠牌之PU塗料當中，則以PU-3之耐磨耗性最佳，其磨耗指數爲25。

(二)塗膜表面顏色之變化

塗裝後之橡膠木與橡木經由人工促進耐候箱的

表3.　8種塗料之塗膜性質

Table 3. Film properties of eight coatings examined

塗料代號	樹種	表面顏色 X	Y	Z	CIE LAB L*	a*	b*	塗膜附着力	塗膜不粘着性*	塗膜耐衝擊性**	塗膜鉛筆硬度	塗膜搖擺硬度	塗膜耐磨耗性***
NC—1	橡膠木	41.25	39.88	24.77	69.38	6.58	28.43	2	×	15	H	40	50
	橡木	26.56	25.55	14.26	57.59	6.32	28.07	2	×	15	H		
NC—2	橡膠木	36.10	34.39	17.34	65.27	8.02	34.65	2	×	10	3H	42	65
	橡木	19.27	18.18	7.95	49.71	7.40	31.98	3	×	10	3H		
NC—3	橡膠木	10.28	9.61	4.15	37.05	6.84	26.12	4	×	15	H	40	50
	橡木	9.62	8.74	3.55	35.49	8.67	26.59	5	×	15	H		
PU—1	橡膠木	42.89	41.99	24.29	70.86	5.11	31.77	0	×	20	H	30	47
	橡木	17.98	16.88	7.72	48.10	7.73	30.00	1	×	20	H		
PU—2	橡膠木	34.49	32.28	22.19	68.22	6.16	30.74	1	×	35	H	44	22
	橡木	19.19	17.64	8.40	49.06	9.85	29.35	1	×	30	H		
PU—3	橡膠木	42.32	41.50	24.04	70.52	4.90	31.59	1	×	30	H	50	25
	橡木	17.50	16.23	7.45	47.26	8.76	29.54	0	×	30	H		
PU—4	橡膠木	37.06	35.29	20.09	65.97	8.15	30.57	1	×	30	H	56	41
	橡木	22.12	20.73	10.26	52.65	8.44	29.81	2	×	30	H		
AA—1	橡膠木	33.62	32.67	19.28	63.89	5.58	28.48	1	×	25	H	42	45
	橡木	18.59	17.35	8.59	48.69	8.33	28.12	1	×	25	H		

*: X, 不粘着性

**：以高度（cm）表示

***：以磨耗指數（mg）表示

表4.　塗裝試材經過耐久性試驗後之明度留存率（%）

Table 4. Brightness retention(%) of wood coated with eight different coatings after exposure to UV-lamp

塗料代號	樹種	照光時間，小時 25	50	100	250	500
未塗裝	橡膠木	90.6	86.9	83.6	75.2	65.6
	橡木	89.8	88.8	88.2	81.1	71.4
NC—1	橡膠木	94.1	96.5	99.6	98.8	97.6
	橡木	94.3	96.3	100.7	105.1	111.2
NC—2	橡膠木	87.6	87.4	89.0	87.3	86.3
	橡木	88.9	93.5	100.4	111.8	122.6
NC—3	橡膠木	92.3	94.1	98.8	106.8	111.2
	橡木	91.7	93.6	96.6	102.5	108.1
PU—1	橡膠木	91.9	90.2	90.7	84.9	81.5
	橡木	87.6	91.4	96.6	98.7	104.6
PU—2	橡膠木	81.8	77.2	76.7	75.2	75.9
	橡木	89.1	88.1	88.6	89.4	93.8
PU—3	橡膠木	89.7	87.6	85.1	84.1	86.6
	橡木	96.5	96.1	96.4	98.1	100.4
PU—4	橡膠木	97.6	98.4	100.1	96.7	94.4
	橡木	89.8	90.9	94.0	94.8	98.7
AA—1	橡膠木	93.7	94.5	96.5	95.5	93.5
	橡木	91.6	92.4	96·1	98.8	100.1

表5. 塗裝試材經過耐久性試驗後之色差值(△E*)

Table 5. Color difference (△E*) of wood coated with eight different coatings after exposure to UV-lamp

塗料代號	樹種	照光時間,小時 25	50	100	250	500
未塗裝	橡膠木	3.72	7.26	11.34	17.70	19.48
	橡木	5.31	7.13	9.80	13.82	15.79
NC—1	橡膠木	2.64	5.15	8.41	9.57	9.64
	橡木	4.12	5.81	7.92	7.14	6.02
NC—2	橡膠木	4.49	4.61	4.97	7.13	9.03
	橡木	3.59	3.32	4.84	6.27	7.22
NC—3	橡膠木	3.88	5.08	5.85	7.22	8.62
	橡木	2.67	4.22	5.18	7.32	8.86
PU—1	橡膠木	2.87	4.70	7.86	11.37	13.97
	橡木	3.01	3.92	5.69	7.30	8.43
PU—2	橡膠木	7.63	11.12	14.35	17.73	19.96
	橡木	4.43	6.07	8.22	11.25	13.14
PU—3	橡膠木	3.96	5.28	7.92	10.65	12.65
	橡木	1.97	2.86	4.18	6.39	7.77
PU—4	橡膠木	1.75	4.00	7.50	11.25	13.67
	橡木	2.83	3.67	5.45	7.38	8.58
AA—1	橡膠木	2.35	2.73	6.27	8.65	10.60
	橡木	2.23	2.97	5.07	7.22	8.23

耐久性試驗 500小時後,各試樣表面的明度留存率與色差值變化如表4與表5所示,由此得知所有的試樣均受光的影響而產生各種不同程度的色變(discoloration) 在照光的初期(25小時)試樣的表面即產生顯著的色變,其明度留存率平均降低,而色差值 (△E*) 却顯著的增加,隨著照光時間的增加,有些試樣的明度留存率亦逐漸降低,但有些試樣的明度留存率却逐漸增加,甚至超過 100%,這表示試樣表面產生白化 (bleaching),然而所有試樣的色差值隨著照光時間的增加而加大。

未經過塗裝保護處理的橡膠木與橡木非常容易受光的影響而產生顯著的色變,經過25小時的照光試驗,橡膠木的明度留存率與色差值爲 90.6 %與3.72,而橡木的明度留存率與色差值則爲89.8%與5.31,由此得知橡木在短時間的照光較容易產生色變,但是經過長時間(500小時)的照光後,橡膠木的度留存率與色差值變爲 65.6%與19.48,而橡木的明度留存率與色差值變爲71.4%與 15.79,由此得知兩種木材的耐光性均不良,但比較此兩種木材的耐久性,則以橡木較佳。

兩種試材經由塗料塗裝後,對於木材表面的色變均產生不同的抑止作用,比較所測試的3類塗料效果,由表4的明度留存率變化與表5的色差值變化得知,以NC拉卡的效果較佳,而PU塗料的效果較差。比較4種所測試的 PU塗料抑止色變的效果,則以國產廠牌 PU-3塗料的保護效果較好,而西德廠牌 PU-2塗料的效果最差,試材仍產生明顯的色變。PU塗料無論是塗佈於橡膠木或橡木上,其保護效果十分類似,並未因樹種之不同而改變,然而NC 拉卡顯然地受塗裝基材的不同而產生不同的色變反應,由表5的色差值變化得知,西德廠牌NC-1塗裝於橡膠木上,經過500小時的耐久性試驗,其色差值爲9.64,爲3種 NC拉卡中色變最嚴重的,然而將 NC-1塗裝於橡木上,其結果却不同,經過

500 小時的耐久性試驗後，其色差值爲6.02，爲3種拉卡中（甚至8種所測試的塗料中）色變最輕微的，由此得知 NC拉卡塗膜的色變受被塗裝材種類之影響而有所不同，另美國廠牌 NC-3拉卡塗料由於先上了黑色的著色漆，故受影響而產生色變現象，如果以肉眼來觀察，不容易看出其顏色的差異，但是以色差計測量其表面顏色變化的量，經過 500小時的照光， NC-3拉卡塗裝的橡膠木，其明度留存率與色差值爲 111.2%與8.62，而塗裝於橡木時，其明度留存率與色差值分別爲108.1%與8.86。

㈢塗膜化學組成分之變化

西德廠牌之NC-1拉卡塗膜經過500小時的耐久性試驗，其紅外線光譜圖並沒有產生任何變異（圖2），這表示 NC-1塗膜之化學組成分並未受光的影響而產生明顯的變化。國產廠牌 NC-2拉卡塗膜經過 500小時的耐久性試驗後，紅外線光譜圖如圖3所示，比較圖3中的光譜，得知 1,730cm^{-1} 及1,380cm^{-1} 兩個吸收峰的強度。幾乎沒有改變，1,730cm^{-1} 爲酯官能基（$-\overset{\overset{\displaystyle O}{\|}}{C}-O-$）的特性吸收峯，而1,380cm^{-1} 則爲CH屈曲振動的吸收峯。位於3,450cm^{-1} 吸收峯是氫氧基（—OH）的特性吸收，經過 500小時耐久性試驗，3,450cm^{-1}吸收峯的強度顯著的增大，這表示塗膜的組成分中 —OH官能基含量增加。又位於1,650cm^{-1}, 1,280cm^{-1}, 840cm^{-1} 3處吸收峯分別爲硝酸酯中 NO_2 非對稱伸縮振動，NO_2對稱伸縮振動及—O—NO_2伸縮振動的吸收，此3個吸收峯的吸收強度均受光的影響而減弱，這表示 NC拉卡中的硝酸酯（—O—NO_2）受光之影響重新排列而產生其他新的官能基，事實上在圖3B中位於1,555cm^{-1}附近出現1個新的吸收峯，此吸收峯在原來的NC拉卡紅外線光譜圖中並不存在，出現在此位置的吸收峯可能是硝基化合物（R—NO_2）

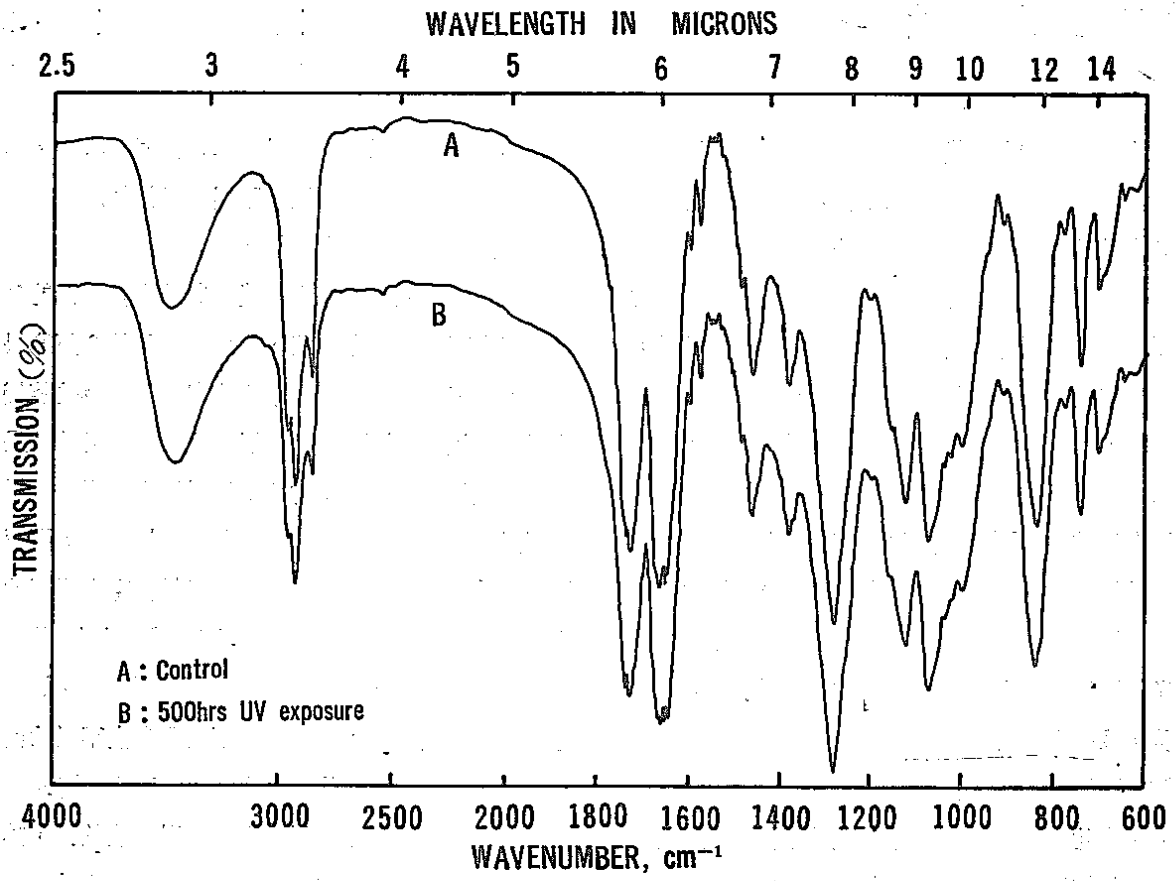


圖2.NC-1硝化纖維塗膜經過500小時耐久性試驗後之紅外線光譜圖

Figure 2. Infrard Spectra of NC-1 nitrocellulose coating film exposed to UV lamp for 500hours

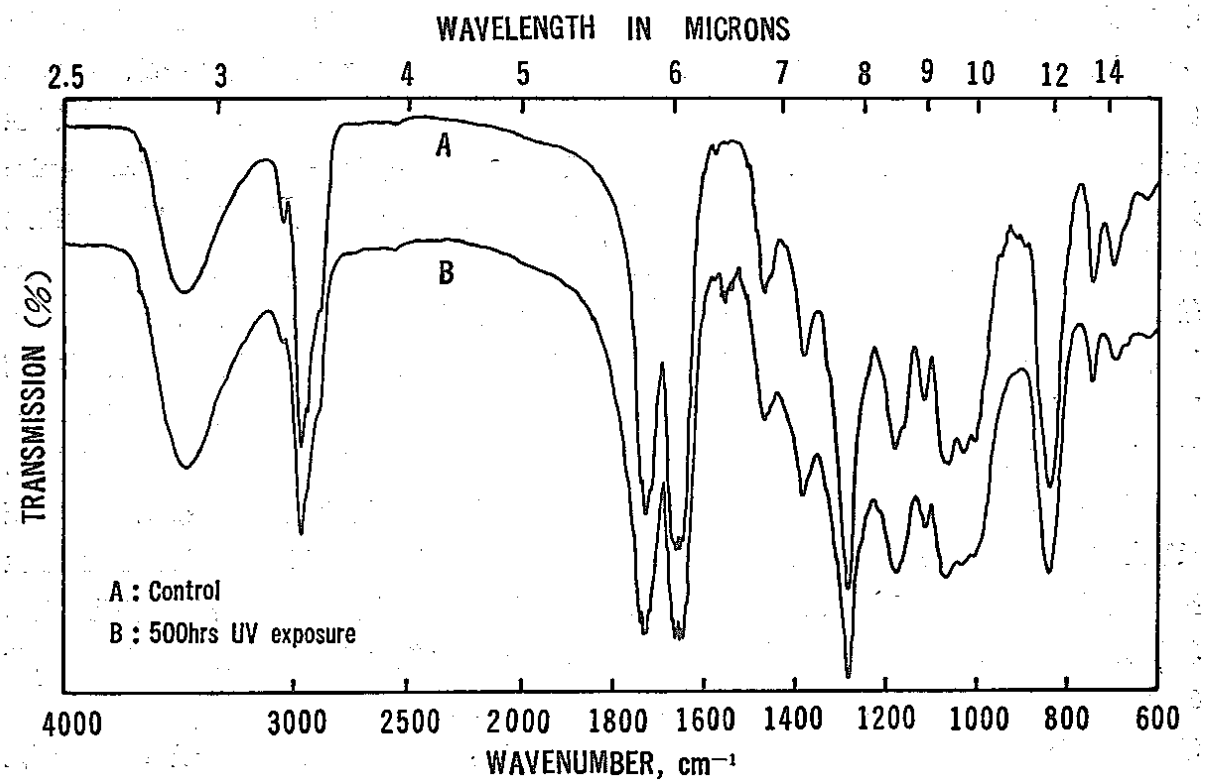


圖3. NC-2硝化纖維塗膜經過500小時耐久性試驗後之紅外線光譜圖

Figure 3. Infrared spectra of NC-2 nitrocellulose coating film exposed to UV lamp for 500 hours

或其他的衍生化合物的特性吸收，其正確的衍生化合物構造則有待進一步的證實。美國廠牌 NC-3拉卡塗膜經過 500小時的耐久性試驗後，其紅外線光譜圖變化與國產廠牌NC-2的類似。

比較3種 NC拉卡塗膜的紅外線光譜圖，得知西德廠牌的 NC拉卡塗膜本身的耐久性較佳，受光照射後其化學組成分並未產生明顯的變化，而國產與美國兩種廠牌的拉卡塗膜則較易受光的影響而產生變化，故塗膜本身的耐久性較差。

根據紅外線光譜吸收峯的變化， NC拉卡受光影響而產生的劣化反應機構可能是：硝化纖維素吸收紫外光的能量，或是由塗料中光敏化劑 (photo sensitizers) 將紫外光能量轉給硝化纖維素而變成激動態硝化纖維素 (excited nitrocellulose) ，然後由 Cell—O—NO_2之官能基處產生鍵的斷裂 (chain scissoring) 而形成2個自由基 (free radicals) ，即Cell—O•與•NO_2 這兩種自由基又分別與鄰近的分子反應形成Cell—OH與RNO_2的化合物，其反應過程如下：

$$Sens^* \xrightarrow{hv} [Sens]^*$$

$$[Sens]^* + Cell-ONO_2 \longrightarrow Sens + [Cell-ONO_2]^*$$

$$Cell-ONO_2 \xrightarrow{hv} [Cell-ONO_2]^*$$

$$[Cell-ONO_2]^* \longrightarrow Cell-O\cdot + \cdot NO_2$$

$$Cell-O\cdot + RH \longrightarrow Cell-OH + \cdot R$$

$$R\cdot + \cdot NO_2 \longrightarrow R\ NO_2$$

Sens: Sensitizers

$[Sens]^*$: Excited Sensitizers

Cell—ONO_2:Nitrocellulose

$[Cell-ONO_2]^*$: Excited Nitrocellulose

所測試的4種PU塗料經過500小時耐久性試驗後，以紅外線光譜儀分析每一種塗膜的化學成分變化。圖4為國產廠牌 PU-1塗膜的分析結果，圖4

中照光前與照光後之2條紅外線光譜曲線幾乎一樣，這表示塗膜的化學組成分並未受光的影響而產生明顯的變化，而國產廠牌 PU-4塗膜的紅外線光譜分析結果也是一樣，並未產生明顯的變化，由此得知國產廠牌PU-1與PU-4兩種塗膜本身的耐光性良好。圖5爲國產廠牌 PU-3塗膜的紅外線光譜分析結果，位於2,270cm^{-1}的吸收峯爲異氰酸官能基（isocyanate —N=C=O）的特性吸收，此吸收峯隨照光時間的，增加而逐漸減弱而終至消失，這表示原來塗膜硬化不盡完全，在塗膜中存有自由的異氰酸鹽化合物，經由紫外光的作用使得異氰酸鹽的反應完全或是因揮發而釋出於塗膜外，因此異氰酸鹽吸收峯由塗膜的紅外線光譜圖中消失。其他的吸收峯均變得較爲寬廣（圖5 B），尤其是位於3,350cm^{-1}及 1,730cm^{-1}的兩個吸收峯，其强度顯著的增强，對照組的 3,350cm^{-1}吸收峯是—NH伸縮振動的吸收，而1,730cm^{-1} 附近的吸收峯則爲 PU中醯胺（amide）與酯類（ester）結構內之羰基（carbonyl, —C=O）的特性吸收，位於 3,350cm^{-1}處吸收峯之增强與變寬表示塗膜變光照射後產生了羧基（carboxylic, —COOH）或胺基（amine —NH_2）化合物，而位於 1,730cm^{-1}處吸收峯之增强與變寬表示塗膜表面的羧酸與醛等含有羰基（—C=O）之化合物的含量增加。此外，依據Kaplan等（1970）的研究指出 PU樹脂受到光氧化作用而產生過氧化物，又根據前人的研究（Shollenberger, 1976；Gardethe etc., 1981）芳香聚脲酯樹脂容易受光影響而產生色變主要是由於醌醯亞胺類化合物（quinone imides）的形成，而此種衍生物的特性吸收峯位於1,660cm^{-1}附近，因此在1,730cm^{-1} 寬廣的吸收峯內必包含有醌醯亞胺類化合物的特性吸收峯。

位於1,535cm^{-1}, 1,220 cm^{-1}及 1,070cm^{-1}之吸收峯分別爲脲酯結合鍵（urethane linkage）

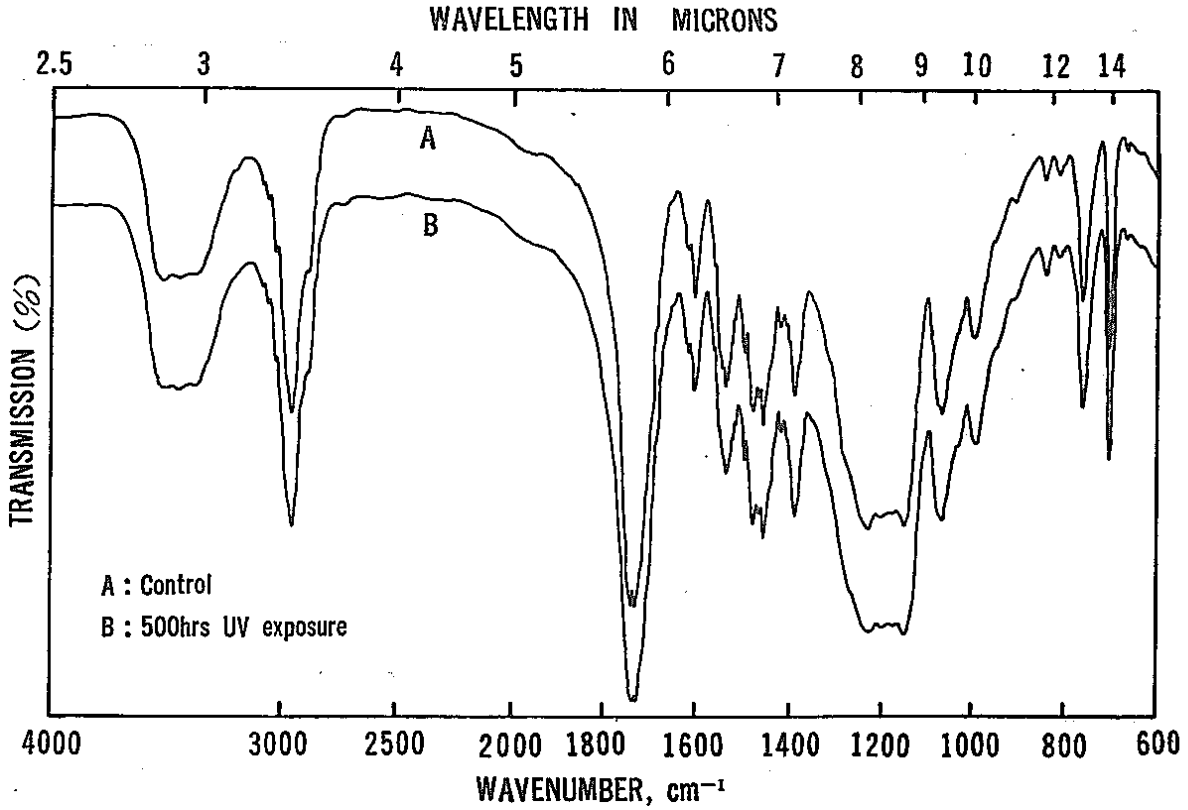


圖4. PU-1聚脲酯塗膜經過500小時耐久性試驗後之紅外線光譜圖

Figure 4. Infrared Spetra of PU-1 polyurethane coating film exposed to UV lamp for 500 hours

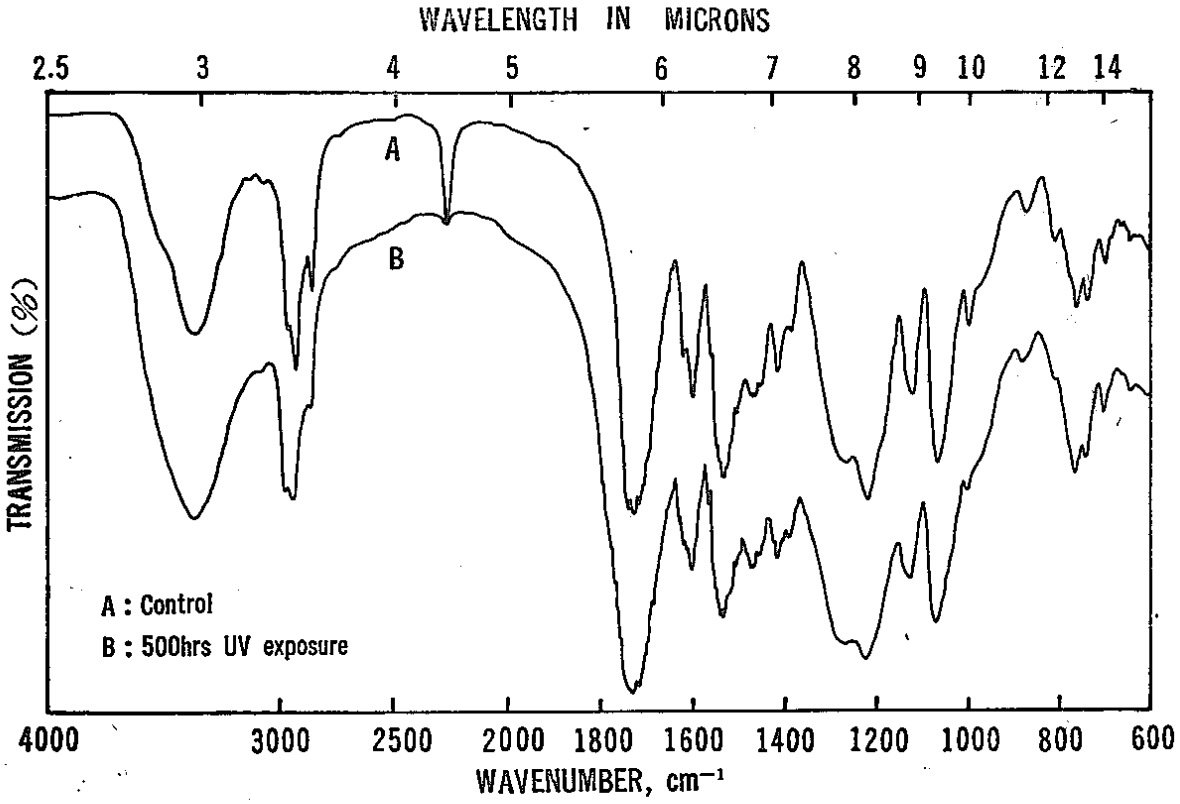
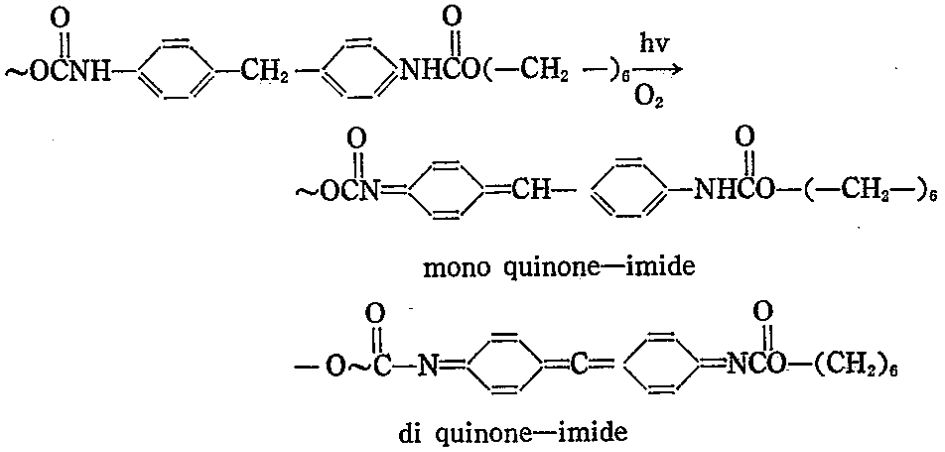


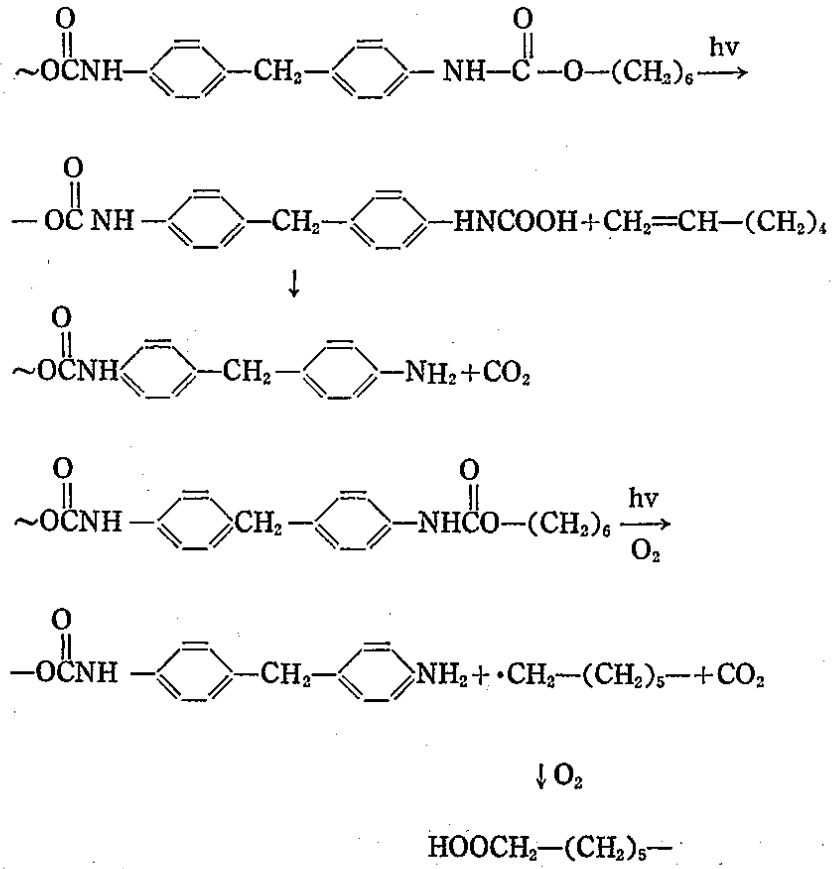
圖5. PU-3聚脲酯塗膜經過500小時耐久性試驗後之紅外線光譜圖

Figure 5. Infrared spectra of PU-3 polyurethane coating film exposed to UV lamp for 500 hours

中—NH屈曲振動、—N—O=C—O—伸縮振動及—C—O—C—伸縮振動的特性吸收，經過500小時的耐久性試驗，此3個吸收峯的強度均減弱，這表示 PU塗膜中之脲酯結合鍵受光之影響而破壞。

西德廠牌PU-2之塗膜經過500小時耐久性試驗後，紅外線光譜圖之變化與國產廠牌 PU-3的相似，即此2種 PU塗膜均受光的影響而使其化學結構產生變化，由上述的紅外線光譜變化情形及前人的研究 (Gardette and Lemaire, 1981；1982) 可以得知 PU塗料及空氣中受光之影響而使得脲酯結合鍵被破壞重新組合而產生了醌醯亞胺類化合物。羧酸類衍生物、胺類衍生物及過氧化物等，其反應過程如下：





四塗膜物理性質之變化

1.塗膜附著性試驗

表6爲塗膜附著性之試驗結果，8種塗料之塗膜經過耐久性試驗後，塗膜均受到破壞，尤其是NC拉卡系統的塗膜，它的附著性原來就是3類塗料中最差的，受光照射後塗膜的附著性便降低，且隨著照光時間之增加而更差，比較3種所測試的NC拉卡，又以美國廠牌的NC塗膜附著性最差，且受光照射50小時後，其附著性等級代號變爲5，換言之，塗膜受到嚴重的破壞。HP塗料之附著性相當良好，經過耐久性試驗，塗膜的附著性受到輕微的影響，其中西德廠牌PU塗膜之附著性並未受到光之影響而改變，就附著性試驗而言，以西德廠牌PU-2之塗料爲最佳。

2.塗膜不黏著性試驗

塗膜不黏著性試驗結果如表7所示，8種塗膜經過試驗均沒有砂布痕跡，表示均具不黏著性質，即使經過500小時長時間的照光試驗，所有的塗膜仍保持其不黏著性質。

3.塗膜硬度試驗

本試驗所測試之8種塗料，其塗膜經過耐久性試驗後的硬度變化如表8所示，所測試的塗料中，國產之NC拉卡的硬度爲3H，其他7種塗料之硬度均爲H，經過500小時之照光試驗，除了PU-2

表6. 塗膜附着性試驗結果

Table 6. Adhesion test results of coating films exposed to UV-lamp

樹種	塗料代號	照光時間,小時				
		0	50	100	250	500
橡膠木	NC—1	2	3	3	4	4
	NC—2	2	3	4	4	4
	NC—3	4	5	5	5	5
	PU—1	0	1	1	2	2
	PU—2	1	1	1	1	1
	PU—3	1	1	1	2	2
	PU—4	1	2	2	2	2
	AA—1	1	2	2	2	3
橡膠木	NC—1	2	2	3	3	4
	NC—2	3	3	3	4	5
	NC—3	5	5	5	5	5
	PU—1	1	2	2	2	2
	PU—2	1	1	1	1	2
	PU—3	0	1	3	3	3
	PU—4	2	2	2	3	3
	AA—1	1	2	2	2	2

表7. 塗膜粘着性試驗結果

Table 7. Tack-free test results of coating films exposed to UV-lamp

樹種	塗料代號	照光時間,小時				
		0	50	100	250	500
橡膠木	NC—1	無	無	無	無	無
	NC—2	無	無	無	無	無
	NC—3	無	無	無	無	無
	PU—1	無	無	無	無	無
	PU—2	無	無	無	無	無
	PU—3	無	無	無	無	無
	PU—4	無	無	無	無	無
	AA—1	無	無	無	無	無
橡膠木	NC—1	無	無	無	無	無
	NC—2	無	無	無	無	無
	NC—3	無	無	無	無	無
	PU—1	無	無	無	無	無
	PU—2	無	無	無	無	無
	PU—3	無	無	無	無	無
	PU—4	無	無	無	無	無
	AA—1	無	無	無	無	無

表8. 塗膜鉛筆硬度試驗結果
Table 8. Hardness of coating films exposed to UV-lamp

樹種	塗料代號	照光時間，小時				
		0	50	100	250	500
橡膠木	NC—1	H	H	H	H	H
	NC—2	3H	3H	3H	3H	3H
	NC—3	H	H	H	H	H
	PU—1	H	H	H	H	H
	PU—2	H	H	H	3H	3H
	PU—3	H	2H	3H	3H	3H
	PU—4	H	H	H	H	H
	AA—1	H	H	H	H	H
橡膠木	NC—1	3H	3H	H	H	H
	NC—2	3H	3H	3H	3H	3H
	NC—3	H	H	H	H	H
	PU—1	H	H	H	H	2H
	PU—2	H	2H	2H	3H	3H
	PU—3	H	2H	2H	2H	2H
	PU—4	H	H	H	H	H
	AA—1	H	H	H	2H	3H

表9. 塗膜耐衝擊性試驗結果
Table 9. Dupont impact test results of coating films exposed to UV-lamp

樹種	塗料代號	照光時間，小時				
		0	50	100	250	500
橡膠木	NC—1	15	10	10	10	10
	NC—2	10	10	10	10	10
	NC—3	15	10	10	10	10
	PU—1	20	20	20	15	15
	PU—2	35	30	25	25	25
	PU—3	30	25	25	20	20
	PU—4	30	25	20	20	20
	AA—1	25	20	15	15	15
橡膠木	NC—1	15	10	10	10	10
	NC—2	10	10	10	10	10
	NC—3	15	10	10	10	10
	PU—1	20	20	20	15	15
	PU—2	30	30	25	25	25
	PU—3	30	30	25	15	15
	PU—4	30	30	30	30	25
	AA—1	25	25	25	25	25

表10. 橡膠木表面8種塗料經由耐久性試驗後各項塗膜性質變化之比較表

Table 10. Comparison of film properties of eight finishes coated on rubber wood surface after exposure to UV-lamp

塗料代號	明度留存率	色差值	化學變化	附着性	不粘着性	硬度	耐衝擊性	總評
NC—1	好 (3)	尚可(2)	好(3)	差 (1)	好(3)	好 (3)	尚可(2)	17
NC—2	尚可(2)	尚可(2)	差(1)	差 (1)	好(3)	好 (3)	好 (3)	15
NC—3	尚可(2)	尚可(2)	可(2)	差 (1)	好(3)	好 (3)	尚可(2)	15
PU—1	尚可(2)	尚可(2)	好(2)	尚可(2)	好(3)	好 (3)	尚可(2)	17
PU—2	差 (1)	差 (1)	可(2)	好 (3)	好(3)	差 (1)	尚可(2)	13
PU—3	尚可(2)	尚可(2)	可(2)	好 (3)	好(3)	差 (1)	尚可(2)	15
PU—4	好 (3)	尚可(2)	好(3)	好 (3)	好(3)	好 (3)	尚可(2)	19
AA—1	好 (3)	尚可(2)	可(2)	尚可(2)	好(3)	尚可(2)	尚可(2)	16

PU-3與AA-1 3種塗膜之硬度受照光時間之增加而變硬外，其他5種塗膜之硬度都未受到影響，均維持原來的硬度。

4.塗膜耐衝擊性試驗

本試驗所使用之擊槌爲平面擊槌，同時以300g之重錘進行衝擊試驗，塗膜之耐衝擊性以高度來表示，高度愈高表示塗膜之耐衝擊性愈好，表9爲塗膜之耐衝擊性試驗結果，經過500小時耐久性試驗後，除了NC-2拉卡塗膜之耐衝擊性不受影響外，其他7種塗膜之耐衝擊性均降低。

(五)塗膜耐久性之比較

如將上述各項塗膜性質變化之程度以好（變化小），尚可（變化中等），差（變化較大）3種等級予以區分，同時分別列以3，2，1給予計點以評估所測試塗膜之耐久性，其結果如表10所示，由此得知3種NC拉卡塗料中，以西德廠牌NC-1之耐久性較佳；而4種PU塗料中，以國產廠牌PU-4塗料之耐久性最佳，而西德廠牌PU-2塗料之耐久性最差。

四、結論與建議

依據本研究之試驗結果得到下列7點結論與建議：

1.未經過塗裝處理之橡膠木與橡木，經由人工促進耐候箱之耐久性試驗得知橡膠木受光影響而產生之色變較爲激烈。

2.所測試的3類塗料中，以PU塗料之耐久性較佳，而NC拉卡的耐久性較差。

3.就表面顏色變化而言，NC拉卡的色變爲3類測試塗料中較輕微者，而PU塗料的色差最爲嚴重，又在4種PU塗料當中，以西德廠牌PU-2塗料之色變最爲顯著。

4.塗膜表面之色變因被塗裝材樹種之不同而有所變異。

5.由塗膜之化學組成分變化分析得知所測試的塗料中，西德廠牌NC-1、國產廠牌PU-1與PU-4 3種塗膜本身的耐久性較佳，並不受光的影響而產生化學結構變化，而其他塗膜均受光的影響而產生破壞。

6.就所有塗膜性質變化予以比較，得知所測試之3種NC拉卡中，以西德廠牌NC-1之耐久性較佳，而所測試之4種PU塗料中，則以西德廠牌PU-2之耐久性最差，國產廠牌PU-4之耐久性最佳。

7.塗膜很容易受光之影響而劣化，且各種塗料

受光影響後，被破壞的塗膜性質各有不同，因此選擇使用塗料時必需注意其耐光性，且在針對所使用之場所及所需要之塗膜性質來選擇合適之塗料。

引用文獻

張上鎮、1986、木材顏色的數值化測定法。臺灣省林業試驗所研究報告第471號。pp. 14.

Gardette, J.-L. and J. Lemaire. 1981. Oxydation photothermique délastomeres de polyuré thannes thermoplastiques, partie 1. Mar kromol. Chem. 182 : 2723-2736.

Gardette, J.-L. and J. Lemaire. 1982. Oxydation photothermique délastomeres de polyuré thannes thermoplastiques, partie 2. Mar kromol. Chem. 183 : 2415-2425

Kaplan, M. L. and P. G. Kelleher. 1970. J. polymer Science. A1(8) : 3163-3175.

Schollenberger, C. S. and F. D. Stewart. 1976. Thermoplastic Polyurethane Elastomer UV Stabilization. J. Elastomers and Plastics. 8 : 11-29.