

柳安木合板與一般合板 對防火塗料耐燃性試驗影響之探討

謝漢勳／高雄分局技正

壹、前言

一、研究動機與目的

目前國內進口柳安木（Lauan）合板三大來源－馬來西亞（市佔率 60～65%）、印尼（市佔率 20～30%）及中國（市佔率 10～15%），因柳安木銳減導致合板品種之純度不足，現今已無純柳安木合板。且不少柳安木合板（三夾板）之上下夾板均混雜熱帶雜木、白羊木等，甚至加入其它不同樹種之針葉樹（如松、杉木等）。然國家標準 CNS 11728（89.5.18 修訂）所規定防火塗料試驗板仍為 1 等 2 類 4mm 柳安木合板（芯板 2mm），此與目前進口及市售之規格（厚 3.8mm/ 芯板 2.5mm）不符，即無法購買到標準試驗板，緣此是否影響防火耐燃性能之合格判定？不啻為本文研究之動機，除研究比較分析純柳安木合板和非純柳安木合板（為做區別本文通稱為一般合板）對防火耐燃性能之影響外，並藉以修改不合時宜國家標準，俾消弭業者質疑及建立完善檢驗標準。

本文研究之緣起肇因於業者質疑，基於本文實驗研究累積之心得及相關照片、資料等，期與業者作技術分享及交流。此不僅能解其疑惑更有助於產品之提昇，亦不失去本文研究之意義。除凸顯本局以嚴謹及負責態度來面對質疑外，更主動積極找出癥結所在，俾幫助業者解決問題及提昇品質，共創三贏（政府、業者及民眾）局面。

二、柳安木合板之簡介

柳安 (Lauan) 屬暖帶低海拔之闊葉樹，結構略粗、易於加工、油漆及著釘、膠結性能好，氣乾密度 $0.56 \sim 0.86 \text{ g/cm}^3$ ，大多用來做三合板或五合板，廣用於家具、地板及室內裝潢建材。柳安 (Lauan) 實際上並不是一種單純的樹種，市場上以柳安統稱的木材實際上包括了一個屬群，它包括了娑羅雙屬 (Shorea spp)，龍腦香科 (Bipeerocarpaceae) 下的梅蘭蒂族木材 (Meranti) 大致分為紅梅蘭蒂、淺紅梅蘭蒂和黃梅蘭蒂類。目前市場上稱為紅柳安、白柳安和黃柳安實際上是這些木材的市場俗稱【13】。

目前國內進口的柳安木合板中，品種的「純度」往往不足，也就是說在進口時，不少混雜了熱帶雜木、白羊木，由於品種混雜，物理性能各異，故其比重相差達 30% 以上。此比重（密度）差異對於防火耐燃性能之影響，亦為本文研究分析之參數。

木材之比熱不受樹種及比重的影響，但隨含水率增加而提高。且木材受熱所造成變形量極微，不若含水率之變化大，為熱之不良導體，於實際應用上常略而不計，故在本文亦不討論比熱對防火耐燃性能之影響。

三、今昔進口柳安木合板之比較

表 1-1 今昔進口柳安木合板之比較

名 稱	總厚度	芯板厚度 / 材質	上下夾板厚度 / 材質	現 況 說 明
純柳安木合板 (三夾板)	4.2mm	2mm/ 柳安木	0.8 ~ 1.2mm/ 柳安木	三夾板皆為柳安木，需一定量才可訂製，現無產製及進口此種規格
非純柳安木合板 (本文統稱一般合板，三夾板)	3.8mm	2.5mm/ 柳安木	0.6 ~ 0.7mm/ 白羊木、熱帶雜木	芯板為柳安木，兩側為熱帶雜木或白羊木，為作區分本文以一般合板統稱。現進口及市售皆為此規格及材質。

備註：1. CNS 11728「建築用防火塗料」建築用防火塗料（89.5.18 修訂）第 4.2 節規定防火塗料試驗板為 1 等 2 類 4mm 柳安木合板（芯板 2mm），
2. CNS 1349「普通合板」（97.5.7 修訂）第 4.1 節表 2 規定厚度尺度差為 $4 \pm 0.2\text{mm}$ 。
3. 資料來源：台灣區合板製造輸出業同業公會何總幹事宏哲

四、防火塗料之原理及目的

防火塗料可提供保護可燃性基材表面（減少火災蔓延），及保護材料或構件於火災中仍維持既定結構功能（保持強度不顯著減少）。現今國內所販售之防火塗料不論進口或內銷產製均為國家標準 CNS 11728 所規定第一種或第二種，亦即發泡（膨脹）型防火塗料（Intumescent coating）。故本文僅就此發泡（膨脹）型防火塗料配方、碳化發泡機制及防火原理作一說明。

（一）發泡（膨脹）型防火塗料配方

發泡（膨脹）型防火塗料配方之組成如下：

1. 富有碳化合物的黏著劑：如環氧樹脂、酚醛樹脂或矽酸鹽。
2. 脫水劑：磷酸鹽如聚磷酸銨（Ammonium polyphosphate）。
3. 成碳劑：多元醇類如澱粉、異戊四醇（Pentaerythritol）。
4. 發泡劑：氮系物質如三聚氰胺（Melamine）。
5. 其他助劑：如二甲苯（Xylenes）。

（二）發泡（膨脹）型防火塗料防火原理

發泡（膨脹）型防火塗料表面類似一般塗料，但當火災發生，由於溫度驟升而膨脹形成海綿般之難燃碳化發泡層，膨脹厚度可達數十倍。此多孔性的碳焦層，由於密度減少許多，焦層內充滿孔洞與氣體，導致熱傳減少及抑制可燃性揮發物質的形成，而且膨脹之碳焦具絕熱作用，可降低聚合體的分解速率。並阻絕外界火源對底材直接加熱，進而產生絕熱及阻燃作用。

（三）發泡（膨脹）型防火塗料碳化發泡機制

當發泡（膨脹）型防火塗料受熱時，其所產生膨脹碳化過程如下：

1. 表面樹脂熔融軟化。
2. 發泡劑開始分解釋放不燃氣體。。
3. 塗膜膨脹形成發泡層。
4. 脫水劑將碳脫水碳化。
5. 碳化層凝固。

塗料防火的機制

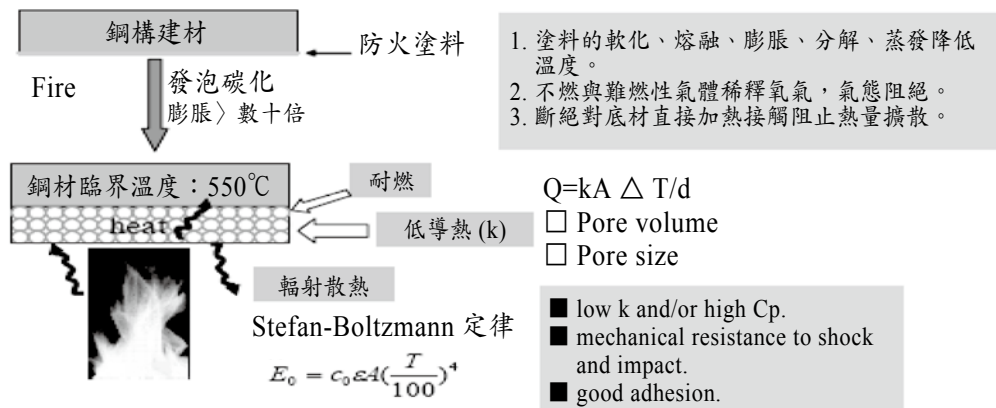
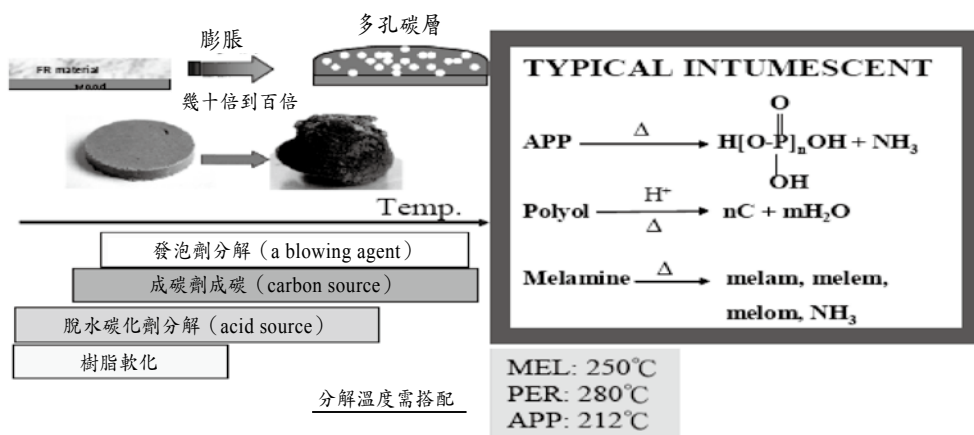


圖 1-1 本圖取自參考文獻【1】，發泡（膨脹）型防火塗料防火機制

防火塗料的膨脹碳化機制



備註：MEL：三聚氰胺（Melamine）

PER：異戊四醇（Pentaerythritol）

APP：聚磷酸銨（Ammonium polyphosphate）

圖 1-2 本圖取自參考文獻【1】，發泡（膨脹）型防火塗料膨脹碳化機制

五、文獻回顧

目前對於防火塗料防火耐燃性能之研究可歸納為二，其一為木質板材物理性質（密度、含水率）、厚度及板材種類對防火耐燃性能之影響，其二為防火塗料塗佈量、阻燃配方比對防火耐燃性能之影響，故本文就此二大方向作一敘述。

（一）木質板材物理性質（密度、含水率）、厚度及板材種類對防火耐燃性能之影響

雷明遠、蔡金木【2】認為木質板材比重（密度）愈大，其著火性、碳化速率、發熱量及背板溫度則愈低，但發煙量則隨比重增加而增高。另板材厚度愈厚，其著火性，發熱量及背板溫度則愈低。

李明賢【3】將防火塗料分別塗佈（塗佈量 600 g/m^2 ）於 6 種樹種之板材，以氧指數法及噴燒貫穿法來評估阻燃效應，發現柳安木之燃燒重量損失率最低。

王越琳【4】以市售發泡型防火塗料塗佈於 4mm 柳安木合板，分別就不同塗佈量、板材含水率及密度，進行耐燃 2 級或 3 級表面試驗，由測試之排氣溫度、發熱量、發煙量、重量減少率、殘焰時間與背面裂隙寬度等燃燒特性，來評估阻燃效應。發現高含水率確能延緩排氣溫度上升，及降低發煙量和殘焰時間；高密度則導致發熱量降低。

（二）防火塗料塗佈量、阻燃配方對防火耐燃性能之影響

蔡宏斌【5】認為防火塗料於火災受熱後將釋放出不可燃氣體，此氣體會稀釋空氣中氧氣和可燃性氣體濃度，並吸收大量熱，延緩火焰之速度與強度。

莊純合等【6】指出防火塗料具有顯著抗燃效果，且塗膜厚度愈厚，其阻燃效應愈佳，並抑制一氧化碳毒氣之釋出。

黃振球等【7】則認為膨脹型防火塗料之最佳阻燃配方比為阻燃劑 12 ~ 15%，溶劑 5% 以下，攪拌時間約 70 分鐘及塗刷次數 3 ~ 5 次，將使碳化發泡層之發泡高度達最佳阻燃絕熱效益。

呂紹元【8】提出以 CNS 6532 耐燃 3 級為標準之膨脹型防火塗料最佳阻燃配方比：黏著劑－聚醋酸乙烯樹脂乳膠（PVA）15%、成碳劑－異戊四醇（PER）35%、發泡劑－三聚氰胺（M）25%、脫水劑－聚磷酸銨（APP）20%，可使塗膜防火性能最佳。

黃柏偉【9】以 CNS 6532 耐燃 3 級為指標，指出防火塗料保存期間約 10 個月，否則隨時間老、劣化愈嚴重，其殘焰時間將無法通過耐燃 3 級之要求。

王越琳【4】也以 CNS 6532 耐燃 3 級為指標，認為塗佈量愈多，愈能降低發熱量、發煙量與殘焰時間；惟於 CNS 6532 耐燃 2 級之試驗，其發煙量與殘焰時間均未符合 2 級之要求，究因耐燃 2 級較 3 級加熱時間長，造成塗膜表面深度熱分解。

郭武彥【10】以黏著劑－聚醋酸乙烯樹脂乳膠（PVA）和環氧樹脂作比較，發現碳化發泡層大且緻密者，擁有較佳阻燃絕熱功效。並非塗佈量愈多愈佳，載體樹脂須提供適當黏著力不致使碳層剝落，即具備良好塗膜完整性，才能發揮防火之功效。

劉益宏【11】以輻射加熱器加熱於尺寸 60cm×60cm 之木質材料，來探討不同著火因子（阻燃塗料配比、板材種類、塗佈量及板材厚度）對阻燃效益之影響。經迴歸分析結果顯示著火性變異因數之大小依序：阻燃塗料配比（48.7%）> 板材厚度（18.5%）> 板材種類（16.4%）> 塗佈量（14.7%）。

六、研究方法

1. 蒐集 2 家廠牌防火塗料（8 種不同規格、種類、耐燃等級與塗佈量），依本體上施工說明，分別塗佈於柳安木合板及一般合板各 3 片。
2. 依 CNS 6532「建築物室內裝飾材料耐燃性試驗法」進行養生與表面試驗。
3. 經試驗後之表面試驗曲線，針對（1）柳安木合板及一般合板之密度、含水率、厚度（2）防火塗料之塗佈量、種類進行對防火耐燃性能影響之分析討論。

4. 將上述建構之資料繪成圖表。
5. 結論與建議。

貳、防火塗料耐燃性能試驗法－表面試驗（CNS 6532）

一、原理與目的

主要用於測定耐燃材料從火災初期至盛大期，或者閃燃（Flashover）前之燃燒發熱性，藉以評估其對火災之助長關係。另外考慮避難安全，所以亦評估材料之發煙性。此外兼顧查核整體性耐燃性能，亦評估材質本身在耐燃過程中有無變形、殘焰、貫通性等其它性能【12】。

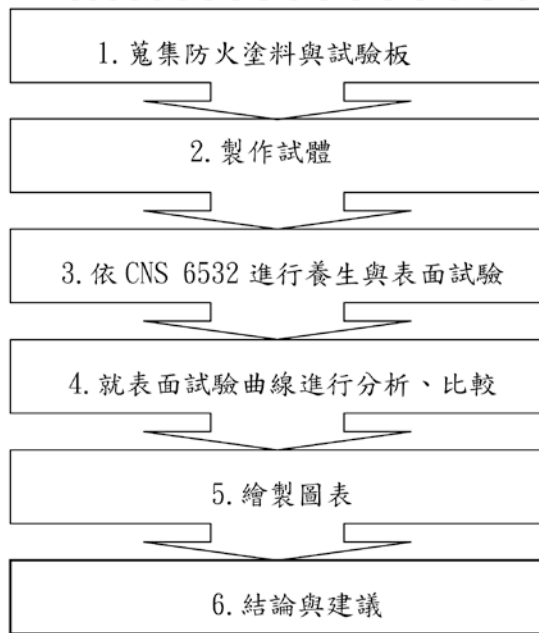


圖 1-3 研究方法流程圖

二、試驗裝置

本裝置大致可分為集煙箱、加熱爐、光量測定裝置，以及由記錄器、對數轉換器、瓦斯流量計、其他控制裝置所構成之操作儀板。

三、試件準備

試件尺寸為長寬各 22cm，厚度即塗佈後含試驗板之總厚度。試體製造風乾後，再放入 35 ~ 45℃ 烘箱中乾燥 24 小時以上後，立即再放入乾燥器皿中養護 24 小時以上。

四、操作方法

試件測試前，加熱爐預先以標準板（珍珠岩板）進行 10 分鐘加熱試驗，

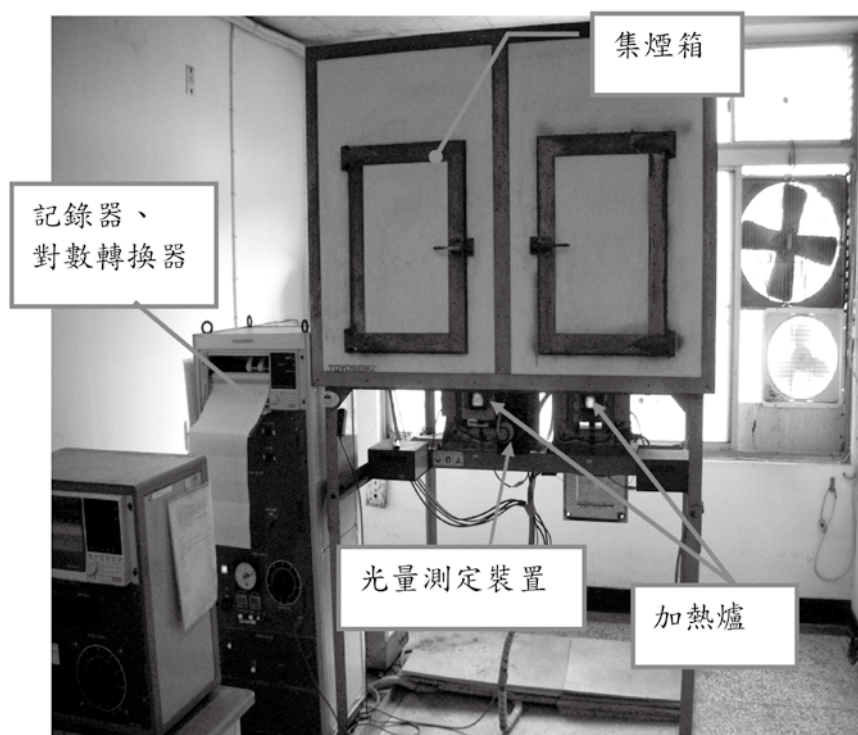


圖 2-1 CNS 6532 表面試驗裝置



圖 2-2 將試體置入表面試驗機燃燒裝置內，加熱燃燒過程共 10 分鐘，前 3 分鐘為瓦斯單純加熱，後 7 分鐘則為瓦斯及石英管共同加熱（以耐燃二級為例）。

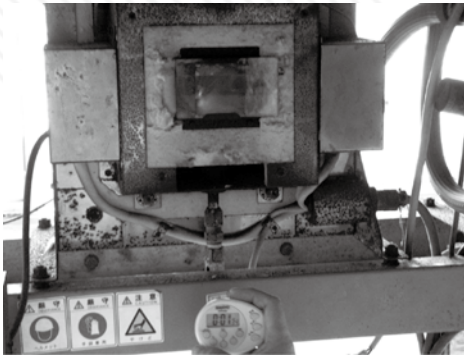


圖 2-3 經 10 分鐘試驗完成後，現場以計時器計量殘焰時間。

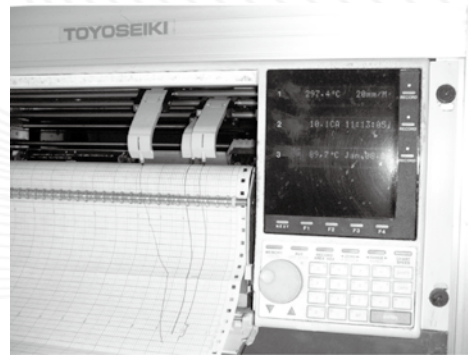


圖 2-4 記錄器、對數轉換器

需確定能夠符合表 2-1 所規定之排氣溫度且其誤差在 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 範圍以內。然後取試件 3 件，重覆進行加熱實驗。加熱試驗結束，觀察殘焰時間，並檢視試件有無龜裂、熔化或變形。

表 2-1 CNS 6532 表面試驗中所規定其標準板之排氣溫度對照表

經過時間 (min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
排氣溫度 ($^{\circ}\text{C}$)	70	80	90	155	205	235	260	275	290	305

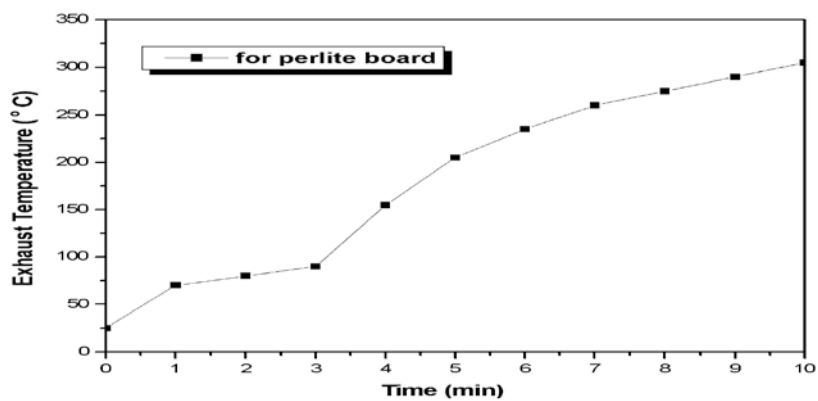


圖 2-6 CNS 6532 表面試驗標準板之排氣溫度圖

五、判定標準

表 2-2 耐燃性表面試驗耐燃等級之判定合格歸納表
(防火塗料依 CNS 11728 規定耐燃等級僅 2 級或 3 級，無耐燃 1 級)

級別判定	耐燃一級	耐燃二級	耐燃三級
試體背面龜裂	1. 熔融—無貫穿試體全厚之熔化。 2. 變形—無有礙防火性能之顯著變形現象。 3. 背面龜裂—龜裂之寬度應為板厚度十分之一以下，且須於加熱結束後 30 秒內立即量測。	1. 熔融—無貫穿試體全厚之熔化。 2. 變形—無有礙防火性能之顯著變形現象。 3. 背面龜裂—龜裂之寬度應為板厚度十分之一以下，且須於加熱結束後 30 秒內立即量測。	1. 熔融—無貫穿試體全厚之熔化。 2. 變形—無有礙防火性能之顯著變形現象。 3. 背面龜裂—龜裂之寬度應為板厚度十分之一以下，且須於加熱結束後 30 秒內立即量測。
殘留火焰	加熱結束後 30 秒以上無殘留火焰。	加熱結束後 30 秒以上無殘留火焰。	加熱結束後 30 秒以上無殘留火焰。
排氣溫度曲線 $Td\theta$	1. 排氣溫度曲線不可超過標準排氣溫度曲線。 2. $Td\theta (^{\circ}\text{C} \cdot \text{分}) = 0$ 。	1. 試驗開始經 3 分鐘後，排氣溫度曲線可超出標準排氣溫度曲線，惟超出量須在 $Td\theta (^{\circ}\text{C} \cdot \text{分}) = 100$ 以下。 2. $Td\theta (^{\circ}\text{C} \cdot \text{分}) = 100$ 以下。	1. 試驗開始經 3 分鐘後，排氣溫度曲線可超出標準排氣溫度曲線，惟超出量須在 $Td\theta (^{\circ}\text{C} \cdot \text{分}) = 350$ 以下。 2. $Td\theta (^{\circ}\text{C} \cdot \text{分}) = 350$ 以下。
發煙係數 CA	CA = 30 以下。	CA = 60 以下。	CA = 120 以下。

備註：依據標準—CNS 6532 建築物室內裝修材料之耐燃性試驗法 (92.10.09 修訂)。

參、試驗規劃及準備

一、試驗材料

(一) 防火塗料

表 3-1 本文防火塗料實驗樣品之廠牌、塗佈量、種類及耐燃等級彙整表

樣品編號	廠商名稱	品名	塗膜厚度 (g/cm^2)	種類	耐燃等級
1	A	水性防火漆	450	第 1 種	3
2	A	水性防火漆	1000	第 1 種	2
3	A	油性防火漆	525	第 1 種	3
4	A	油性防火漆	680	第 1 種	2
5	A	油性防火漆	面漆 640 底漆 1640	第 2 種	2

樣品編號	廠商名稱	品名	塗膜厚度 (g/cm ²)	種類	耐燃等級
6	B	油性防火漆	727	第1種	3
7	B	水性防火漆	734	第1種	3
8	B	油性防火漆	727/1000	第1種	3

(二) 試驗板

表 3-2 本文實驗使用之合板比較表

名稱	總厚度	芯板厚度／ 材質	上下夾板厚度／ 材質	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
柳安木合板 (三夾板)	4.2mm	2mm/ 柳安木	0.8 ~ 1.2mm/ 柳安木	0.61 ~ 0.64	10.8 ~ 11.2
一般合板 (三夾板)	3.8mm	2.5mm/ 柳安木	0.6 ~ 0.7mm/ 白羊木、熱帶雜木	0.56 ~ 0.58	11.4 ~ 11.9



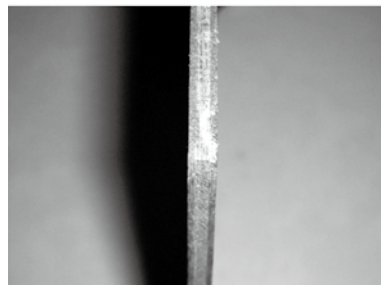
一般合板正面 (芯板為柳安木
/ 上下夾板為白羊木或熱帶雜木)



一般合板側面 (芯板 2.5mm，上下
夾板各 0.65mm，總厚度 3.8mm)



柳安木合板正面 (上下夾板及
芯板皆為柳安木)



柳安木合板側面 (芯板 2mm，上下
夾板各 1.1mm，總厚度 4.2mm)

圖 3-1 本文實驗使用合板之外觀

二、試驗方法

本研究的試驗方法為耐燃性表面試驗，包含耐燃 2 級與 3 級，每一種廠牌防火塗料均各塗佈於 3 片柳安木合板及一般合板試驗板上，均試驗三次。

表 3-3 CNS 6532 試驗法加熱方式及加熱時間表
(防火塗料依 CNS 11728 規定耐燃等級僅 2 級或 3 級，無耐燃 1 級)

試驗法	加熱方式	加熱時間
CNS 6532 (92.10.9 修訂)	起初 3 分鐘，用液化丙烷 (LPG)，3 分鐘後 加上 1.5 kW 之電熱管 (主電源) 一起加熱	耐燃一級 (10 分鐘) 耐燃二級 (10 分鐘) 耐燃三級 (6 分鐘)

三、試驗設備

本研究的試驗設備包含有：

- (一) 表面試驗機。
- (二) 烘箱：使用於試件準備前處理作業 (養生作業)。
- (三) 裁切機：裁切試件。
- (四) 電子天平：量測試件試驗前後之重量。
- (五) 計時器：計算加熱時間或殘焰時間。

肆、結果與分析

一、合板物理性質 (密度、含水率)、厚度及板材種類對防火耐燃性能影響之探討

- (一) 密度 (比重)：由表 4-2 ~ 表 4-9 比較得知高密度柳安木合板之發煙量比低密度一般合板高。此和雷明遠、蔡金木【2】認為木質板材比重 (密度) 愈大，其發煙量亦增加之論點相當。
- (二) 含水率：由表 4-2 ~ 表 4-9 觀察得知，一般合板的殘焰時間較柳安木合板短，此乃一般合板之含水率 (11.4 ~ 11.9%) 較柳安木合板 (10.8 ~ 11.2%) 高。高含水率較能延緩排氣溫度上升，及降低殘焰時間。此與

王越琳【4】於『發泡型阻燃塗料應用於合板時之燃燒特性評估』所提理論相吻合。

- (三) 板材種類：綜合上述說明，目前市售之柳安木合板，雖非純柳安木合板（上下夾板為白羊木、熱帶雜木或桉樹俗稱尤加利），但經本實驗研究得知其對防火性能之影響甚微。究因其同為低海拔熱帶之闊葉木，故其含水率、膨脹及收縮率、比熱及密度皆遠不如參雜高海拔寒帶之針葉木（如松、杉木等）變異大。
- (四) 板材厚度：本文實驗所採用之兩種合板其厚度相差甚小（0.4mm），故不予探討。
- (五) 由實驗顯示，試體基材－柳安木（lauan）及一般合板經耐燃性表面試驗後，其不論排氣溫度曲線、背板溫度曲線及發煙係數（ C_A ）曲線相近甚至重疊；惟一般合板在上述3項曲線均較柳安木合板略低，故其溫度－時間（Td θ ）之面積稍小。

二、防火塗料塗佈量、阻燃配方比與種類對防火耐燃性能影響之探討

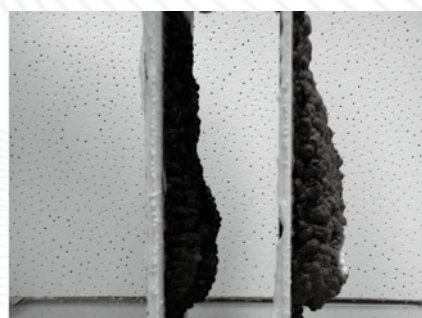
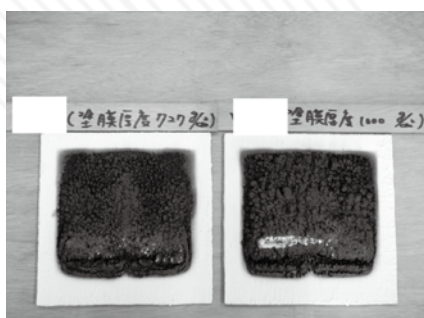
- (一) 塗佈量：圖4-1塗膜厚度增加之碳化發泡厚度變化情形可知隨著塗膜厚度之增加（727 g/cm²→1000 g/cm²），其碳化發泡厚度由2.5cm增至3cm，覆蓋焦碳層不但阻絕熱傳導，產生阻燃作用，更有效降低基材溫度上升，以達保護作用；另釋放出不可燃氣體，以稀釋空氣中氧氣和可燃性氣體濃度，並吸收大量熱。故導致排氣溫度曲線、背板溫度曲線、發煙係數（ C_A ）曲線及殘焰時間均顯著降低（如圖4-2、圖4-3及表4-2～表4-9），王越琳【4】、黃振球等【7】、莊純合等【6】及劉益宏【11】亦實驗證明此理論，惟須在配方比例適當之前提下；郭武彥【10】以黏著劑作比較，發現碳化發泡層大且緻密者，擁有較佳阻燃絕熱功效。但並非塗佈量愈多愈佳，載體樹脂須提供適當黏著力不致使碳層剝落，即具備良好塗膜完整性，才能發揮防火之功效。
- (二) 種類：由實驗比較可知，加塗底漆（塗佈量1640 g/cm²）之第二種防火

漆較僅塗面漆（塗佈量 680 g/cm^2 ）之第一種防火漆，更能延緩排氣與背板溫度上升，同時降低發煙量及殘焰時間。此說明適量抑煙劑及降溫劑，有助於提升絕熱性及阻燃性，亦即防火性能愈佳。

- （三）阻燃塗料配方比：由圖 4-1 碳化發泡層之發泡高度比較分析得知，膨脹型防火塗料於最佳阻燃配方比下（黏著劑、成碳劑、發泡劑及脫水劑），可使塗膜防火性能最佳，亦即碳化發泡層之發泡高度達最佳阻燃絕熱效益。黃振球等【7】、呂紹元【8】、劉益宏【11】及郭武彥【10】均提出相同論點。劉益宏【11】更分析著火性變異因數之大小依序：阻燃塗料配比（48.7%）> 板材厚度（18.5%）> 板材種類（16.4%）> 塗佈量（14.7%）。

表 4-1 本文防火塗料實驗樣品之廠牌、塗佈量、種類、耐燃等級及試驗結果彙整表

樣品 編號	廠商 名稱	品 名	塗膜厚度 (g/cm^2)	種 類	耐燃 等級	是 否 合 格 / 不 合 格 項 目	備 註
1	A	水性防火漆	450	第 1 種	3	不 合 格 (殘焰 / 燒穿破裂)	
2	A	水性防火漆	1000	第 1 種	2	不 合 格 ($\text{Td}\theta/\text{CA}$ / 殘焰 / 燒穿破裂)	
3	A	油性防火漆	525	第 1 種	3	不 合 格 (殘焰)	
4	A	油性防火漆	680	第 1 種	2	不 合 格 ($\text{Td}\theta/\text{CA}$ / 殘焰 / 燒穿破裂)	
5	A	油性防火漆	面漆 640 底漆 1640	第 2 種	2	不 合 格 ($\text{Td}\theta$ / 燒穿破裂)	
6	B	油性防火漆	727	第 1 種	3	合 格	
7	B	水性防火漆	734	第 1 種	3	合 格	
8	B	油性防火漆	727 /1000	第 1 種	3	合 格	增加塗佈量 作比較



樣品 6 塗膜厚度增加（由 $727\text{g}/\text{cm}^2$ 增至 $1000\text{g}/\text{cm}^2$ ）試驗後—正面

試驗後—側面：其碳化發泡厚度由 2.5cm 增加至 3cm

圖 4-1 樣品 6 塗膜厚度增加試驗後之碳化發泡厚度亦增加情形

表 4-2 樣品 1 柳安木及一般合板對耐燃性試驗結果之數據比較表

申請書號碼	樣品 1						
名 稱	水性防火塗料						
耐 燃 等 級	耐燃 3 級						
規 格	—						
種 類	第 1 種						
總 塗 膜 厚 度（重量）	$450\text{g}/\text{cm}^2$ (21.8g)						
試 體 基 材 厚 度	CNS 11728 第 4.2 (1)(a) 規定 4mm 柳安木合板 (芯板 2mm)	柳安木合板 4.2 mm (芯板 2mm)			一般合板 3.8 mm (芯板 2.5mm)		
試 體 基 材 重 量		編號① 121.0g	編號② 123.8g	編號③ 120.9g	編號① 110.2g	編號② 109.1g	編號③ 106.2g
表面試驗：	CNS6532 之規定						
1. 排氣溫度 $T_d\theta$	350°C 。分以下	134	110	75	85	100	107
2. 發煙係數 CA	120 以下	75	60	47	87	61	72
3. 殘焰時間	30 秒以內	114	108	93	83	95	98
4. 龜裂情形	不得貫穿破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂
是 否 合 格		不 合 格			不 合 格		

表 4-3 樣品 2 柳安木及一般合板對耐燃性試驗結果之數據比較表

號 碼	樣品 2						
名 稱	水性防火塗料						
耐 燃 等 級	耐燃 2 級						
規 格	——						
種 類	第 1 種						
總塗膜厚度(重量)	1000 g/cm ² (48.4g)						
試 體 基 材 厚 度	CNS 11728 第 4.2 (1) (a) 規定 4mm 柳安木合板 (芯板 2mm)	柳安木合板 4.2 mm (芯板 2mm)			一般合板 3.8 mm (芯板 2.5mm)		
試 體 基 材 重 量		編號① 116.1g	編號② 137.1g	編號③ 127.6g	編號① 100.9g	編號② 99.1g	編號③ 96.9g
表面試驗：	CNS6532 之規定						
1. 排氣溫度 Td _θ	100 °C。分 以下	325	451	463	409	291	355
2. 發煙係數 CA	60 以下	183	159	179	139	157	134
3. 殘焰時間	30 秒以內	55	69	48	47	39	41
4. 龜裂情形	不得貫穿破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂
是 否 合 格		不 合 格			不 合 格		

表 4-4 樣品 3 柳安木及一般合板對耐燃性試驗結果之數據比較表

申請書號碼	樣品 3						
名 稱	油性防火塗料						
耐 燃 等 級	耐燃 3 級						
規 格	——						
種 類	第 1 種						
總塗膜厚度(重量)	525 g/cm ² (25.4g)						
試 體 基 材 厚 度	CNS 11728 第 4.2 (1) (a) 規定 4mm 柳安木合板 (芯板 2mm)	柳安木合板 4.2 mm (芯板 2mm)			一般合板 3.8 mm (芯板 2.5mm)		

試材	體重	基量	編號① 126.7g	編號② 131.0g	編號③ 138.0g	編號① 83.9g	編號② 78.9g	編號③ 82.6g
表面試驗：	CNS6532 之規定							
1. 排氣溫度 Tdθ	350 °C。分 以下		38	17	32	46	10	17
2. 發煙係數 CA	120 以下		34	19	12	33	19	23
3. 殘焰時間	30 秒以內		88	99	102	37	44	51
4. 龜裂情形	不得貫穿破裂		無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿
是否合格			不 合 格			不 合 格		

表 4-5 樣品 4 柳安木及一般合板對耐燃性試驗結果之數據比較表

申請書號碼	樣品 4							
名 稱	油性防火塗料							
耐 燃 等 級	耐燃 2 級							
規 格	—————							
種 類	第 1 種							
總塗膜厚度 (重量)	680 g/cm ² (32.9g)							
試材	體厚	基度	柳安木合板 4.2 mm (芯板 2mm)			一般合板 3.8 mm (芯板 2.5mm)		
試材	體重	基量	編號① 109.7g	編號② 110.2g	編號③ 121.6g	編號① 103.1g	編號② 107.4g	編號③ 96.1g
表面試驗：	CNS6532 之規定							
1. 排氣溫度 Tdθ	100 °C。分 以下		496	347	266	460	255	208
2. 發煙係數 CA	60 以下		96	81	107	74	101	85
3. 殘焰時間	30 秒以內		104	89	75	47	33	24
4. 龜裂情形	不得貫穿破裂		燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂	燒穿 破裂
是否合格			不 合 格			不 合 格		

表 4-6 樣品 5 柳安木及一般合板對耐燃性試驗結果之數據比較表

申請書號碼	樣品 5						
名 稱	油性防火塗料						
耐 燃 等 級	耐燃 2 級						
規 格	——						
種 類	第 2 種						
總塗膜厚度(重量)	面漆：640 g/cm ² (31g) / 底漆：1640 g/cm ² (79.4g)						
試 體 基 材 厚 度	CNS 11728 第 4.2 (1) (a) 規定 4mm 柳安木合板(芯板 2mm)	柳安木合板 4.2 mm (芯板 2mm)			一般合板 3.8 mm (芯板 2.5mm)		
試 體 基 材 重 量		編號① 122.5g	編號② 113.7g	編號③ 101.3g	編號① 111.0g	編號② 109.8g	編號③ 107.5g
表面試驗：	CNS6532 之規定						
1. 排氣溫度 Tdθ	100 °C。分 以下	214	182	126	105	138	109
2. 發煙係數 CA	60 以下	51	18	27	21	16	20
3. 殘焰時間	30 秒以內	16	24	21	13	21	15
4. 龜裂情形	不得貫穿破裂	無燒穿	燒穿破裂	無燒穿	無燒穿	燒穿破裂	無燒穿
是 否 合 格		不 合 格			不 合 格		

表 4-7 樣品 6 柳安木及一般合板對耐燃性試驗結果之數據比較表

申請書號碼	樣品 6						
名 稱	油性防火塗料						
耐 燃 等 級	耐燃 3 級						
規 格	——						
種 類	第 1 種						
總塗膜厚度(重量)	727 g/cm ² (35.2g)						
試 體 基 材 厚 度	CNS 11728 第 4.2 (1) (a) 規定 4mm 柳安木合板(芯板 2mm)	柳安木合板 4.2 mm (芯板 2mm)			一般合板 3.8 mm (芯板 2.5mm)		

試材	體重	基量	編號① 130.7g	編號② 114.8g	編號③ 123.1g	編號① 112.3g	編號② 114.5g	編號③ 110.5g
表面試驗：	CNS6532 之規定							
1. 排氣溫度 Tdθ	350 °C。分 以下		0	0	0	0	0	0
2. 發煙係數 CA	120 以下		24	19	19	25	23	19
3. 殘焰時間	30 秒以內		7	5	9	3	4	3
4. 龜裂情形	不得貫穿破裂		無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿
是否合格			合 格			合 格		

表 4-8 樣品 7 柳安木及一般合板對耐燃性試驗結果之數據比較表

申請書號碼	樣品 7						
名 稱	水性防火塗料						
耐 燃 等 級	耐燃 3 級						
規 格	—————						
種 類	第 1 種						
總塗膜厚度 (重量)	734 g/cm ² (35.5g)						
試 體 基 材 厚 度	CNS 11728 第 4.2 (1)(a) 規定 4mm 柳安木合板 (芯板 2mm)	柳安木合板 4.2 mm (芯板 2mm)			一般合板 3.8 mm (芯板 2.5mm)		
試 體 基 材 重 量		編號① 115.9g	編號② 119.3g	編號③ 129.2g	編號① 93.8g	編號② 98.8g	編號③ 97.5g
表面試驗：	CNS6532 之規定						
1. 排氣溫度 T d θ	350 ℃。分 以下	0	0	0	0	0	0
2. 發 煙 係 數 CA	120 以下	19	17	16	15	14	13
3. 殘焰時間	30 秒以內	13	15	9	7	2	3
4. 龜裂情形	不得貫穿破裂	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿
是 否 合 格		合 格			合 格		

表 4-9 樣品 6（塗膜厚度增加）柳安木及一般合板對耐燃性試驗結果之數據比較表

申請書號碼	樣品 6（塗膜厚度增加）						
名 稱	油性防火塗料						
耐 燃 等 級	耐燃 3 級						
規 格	——						
種 類	第 1 種						
總 塗 膜 厚 度（重量）	分別塗佈 727 g/cm ² (35.2g) 及 1000 g/cm ² (48.4g)						
試 體 基 材 厚 度	CNS 11728 第 4.2 (1)(a) 規定 4mm 柳安木合板 (芯板 2mm)	一般合板（塗佈 727 g/cm ² 3.8 mm（芯板 2.5mm）			一般合板（塗佈 1000 g/cm ² 3.8 mm（芯板 2.5mm）		
試 體 基 材 重 量		編號① 112.3g	編號② 114.5g	編號③ 110.5g	編號① 112.3g	編號② 110.4g	編號③ 114.5g
表面試驗：	CNS6532 之規定						
1. 排氣溫度 Td _θ	350 °C。分 以下	0	0	0	0	0	0
2. 發煙係數 CA	120 以下	25	23	19	22	15	13
3. 殘焰時間	30 秒以內	3	4	3	0	0	0
4. 龜裂情形	不得貫穿破裂	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿	無燒穿
是 否 合 格		合 格			合 格		

表 4-10 柳安木及一般合板密度試驗紀錄表

（一）柳安木合板

項 目	樣品①	樣品②	樣品③	樣品④	樣品⑤	樣品⑥
質 量 m (g)	121.01	123.83	120.94	122.51	126.72	127.67
體 積 V (cm ³)	厚 0.42× 長 21.8× 寬 21.8	厚 0.42× 長 21.8× 寬 21.9	厚 0.42× 長 21.8× 寬 21.8	厚 0.42× 長 21.9× 寬 21.8	厚 0.42× 長 21.8× 寬 21.8	厚 0.42× 長 21.9× 寬 21.8
密 度 $\rho = m/V$ (g/cm ³)	0.61	0.62	0.61	0.61	0.63	0.64
備 註	檢驗標準：依據 CNS 1349 普通合板第 6.3.3 節（97 年 5 月 7 日修訂）。					

(二) 一般合板

項目	樣品①	樣品②	樣品③	樣品④	樣品⑤	樣品⑥
質量 m (g)	110.21	109.13	106.26	107.45	107.54	109.82
體積 V (cm ³)	厚 0.38× 長 22.3× 寬 22.3	厚 0.38× 長 22.3× 寬 22.2	厚 0.38× 長 22.3× 寬 22.3	厚 0.38× 長 22.2× 寬 22.3	厚 0.38× 長 22.3× 寬 22.3	厚 0.38× 長 22.3× 寬 22.3
密度 $\rho = m/V$ (g/cm ³)	0.58	0.58	0.56	0.57	0.57	0.58
備註	檢驗標準：依據 CNS 1349 普通合板第 6.3.3 節 (97 年 5 月 7 日修訂)。					

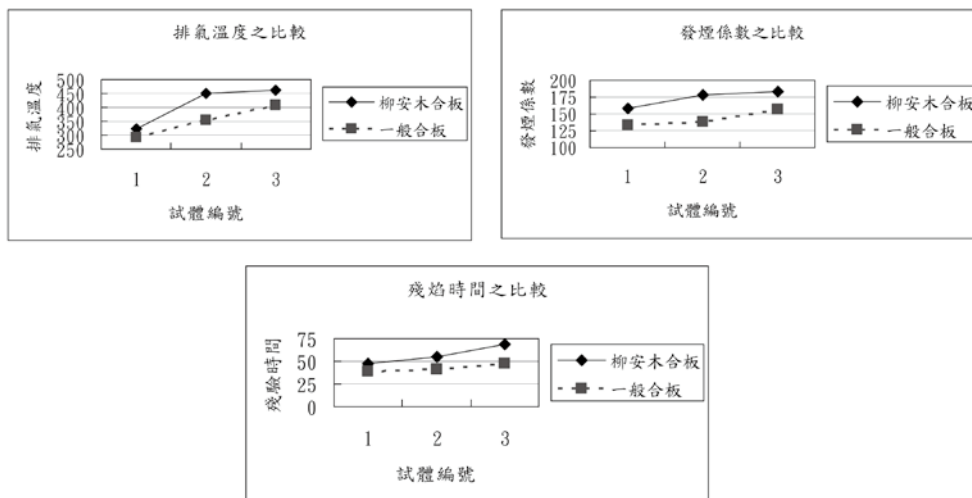


圖 4-2 樣品 2 柳安木及一般合板對耐燃性試驗結果之比較

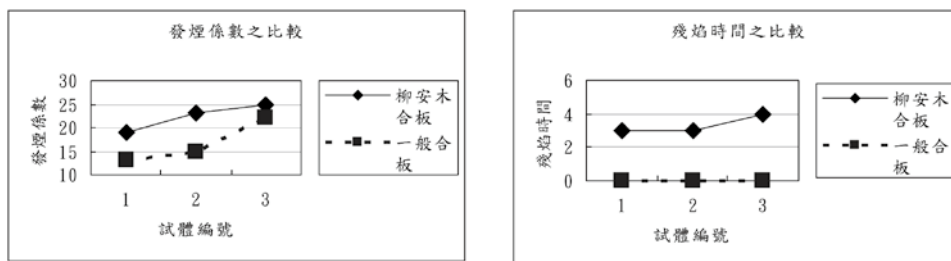


圖 4-3 樣品 6 塗膜厚度增加對耐燃性試驗結果之數據比較

表 4-11 柳安木及一般合板含水率試驗紀錄表

(一) 柳安木合板

項 目	樣品①	樣品②	樣品③	樣品④	樣品⑤	樣品⑥
乾燥前質量 m_1 (g)	121.01	123.83	120.94	122.51	126.72	127.67
乾燥後質量 m_0 (g)	108.82	111.46	109.05	110.17	114.37	114.91
含水率 (%) $\psi = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$	11.2	11.1	10.9	11.2	10.8	11.1
備 註	檢驗標準：依據 CNS 1349 普通合板第 6.3.2 節 (97 年 5 月 7 日修訂)。					

(二) 一般合板

項 目	樣品①	樣品②	樣品③	樣品④	樣品⑤	樣品⑥
乾燥前質量 m_1 (g)	110.21	109.13	106.26	107.45	107.54	109.82
乾燥後質量 m_0 (g)	98.93	97.70	95.04	96.11	96.28	98.14
含水率 (%) $\psi = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100$	11.4	11.9	11.8	11.8	11.7	11.9
備 註	檢驗標準：依據 CNS 1349 普通合板第 6.3.2 節 (97 年 5 月 7 日修訂)。					

伍、結論與建議

- 一、木質板材物理性質（密度、含水率）及板材種類均影響防火耐燃性能。木質板材比重（密度）愈大，其著火性、碳化速率、發熱量及背板溫度則愈小，但發煙量則隨比重增加而增強。高含水率確能延緩排氣溫度上升，及降低發煙量和殘焰時間。
- 二、防火塗料塗佈量、阻燃配方亦影響防火耐燃性能。隨著塗膜厚度之增加，其碳化發泡高度亦增大，覆蓋焦碳層不但阻絕熱傳導，產生阻燃作用，更有效降低基材溫度上升，以達保護作用；另釋放出不可燃氣體，以稀釋空氣中氧氣和可燃性氣體濃度，並吸收大量熱。故導致排氣溫度曲線、背

- 板溫度曲線、發煙係數（ C_A ）曲線及殘焰時間均顯著降低，惟須在配方比例適當之前提下。膨脹型防火塗料於最佳阻燃配方比下（黏著劑、成碳劑、發泡劑及脫水劑），可使塗膜防火性能最佳，亦即碳化發泡層之發泡高度達最佳阻燃絕熱效益。
- 三、加塗底漆之第二種防火漆較僅塗面漆第一種防火漆，更能延緩排氣與背板溫度上升，同時降低發煙量及殘焰時間。此說明適量抑煙劑及降溫劑，有助於提升絕熱性及阻燃性，亦即防火性能愈佳。
- 四、目前市售之柳安木合板，雖非純柳安木合板（上下夾板為白羊木、熱帶雜木或桉樹俗稱尤加利），但經本實驗研究得知其對防火性能之影響甚微，遠不如防火塗料之阻燃配方比。究因其同為低海拔熱帶之闊葉木，故其含水率、膨脹及收縮率、比熱及密度皆遠不如參雜高海拔寒帶之針葉木（如松、杉木等）變異大。惟市面上柳安木材質、厚度、比重及含水率參差不齊，雖對防火耐燃性能影響不若防火塗料塗佈量、阻燃配方顯著。但為求謹慎勿枉勿縱，將建請修訂國家標準 CNS 11728 有關試驗板（3 片）之選取應相差在 10g 以內，以避免影響檢驗結果。為確立本局各實驗室檢驗一致性，並避免劣質試驗板影響檢驗結果，擬建議總局統一購買品質符合標準試驗板。
- 五、防火塗料原料配方具高度致癌之二甲苯，於高溫試驗燃燒下易生煙霧及毒物（ NH_3 、 HCN 、 HF 、 NO_x 、 CO 、 Cl_2 、 Br_2 等），行政院勞工委員會亦規範此有害物容許濃度標準（如附錄）。防火塗料於高溫試驗燃燒下所生有害毒物，尤以氰化氫、氯、溴與二甲苯為高度致癌物質，為維護檢驗人員健康及瞭解檢驗時實驗室作業環境空氣中有害物濃度，建請建置毒氣偵測儀。故未來檢驗方法將建議以圓錐量熱儀（Cone calorimeter）及毒氣分析儀組合測試，以評估燃燒熱、質量熱損失速率、引燃性、發生煙霧量及產生毒性氣體量。
- 六、經向台灣區合板製造輸出業同業公會何總幹事宏哲請益及合板市售調查發現，不論從馬來西亞（市佔率 65%）、印尼（市佔率 20 ~ 30%）或中國

(市佔率 10 ~ 15%) 進口柳安木合板之芯板皆為 2.5mm (厚度 4mm)，此與 CNS 11728 (89.5.18 修訂) 4.2 節 (1)(a) 試驗板係自 CNS 1349 (合板) 所規定之 1 等 2 類 4mm 柳安木合板 (芯板 2mm) 要求不符。鑑於本局需求量少無法訂製，且本文亦實驗證明對防火性能之影響甚微，故將提案敦請修訂國家標準 CNS 11728 有關試驗板之規範為「1 等 2 類 4mm 柳安類、椴木或其他闊葉樹材合板 (芯板 2.5mm)」，且 3 片試驗板之選取其重量應相差在 10g 以內」。

七、目前室內裝潢之建材不勝枚舉，民眾基於喜好也不再僅侷限於以木材作裝飾隔間，其他如石材、金屬、玻璃、織物和塑膠等亦大為採用。故如何制定防火塗料塗佈於上述建材之國家標準，俾更貼近民意及需求，實為刻不容緩。

陸、參考文獻

1. 鍾松政，2008，「防火塗料的現況與發展趨勢」，化工資訊與商情，頁 17 ~ 23。
2. 雷明遠、蔡金木，1991，「木材及木質複合板材火災性狀之評估」，台灣大學實驗林研究報告，頁 151 ~ 181。
3. 李明賢，1996，「木質材料之難燃處理效果及耐燃性試驗法評估」，台灣大學森林研究所碩士論文。
4. 王越琳，1992，「發泡型阻燃塗料應用於合板時之燃燒特性評估」，台灣大學森林研究所碩士論文。
5. 蔡宏斌，1991，「防火塗料簡介」，塗料與塗裝技術，30 期，頁 55 ~ 59。
6. 莊純合、黃金城、林慶東、蔡崑堉，1992，「應用在新開發商用木材防火塗料之抗燃效應」，嘉義農專學報，30 期，頁 9 ~ 24。
7. 黃振球、鐘明樺，1997，「膨脹型防火塗料發泡性能研究」，塗料與塗裝技術，62 期，頁 57 ~ 59。
8. 呂紹元，1999，「室內用防火塗料之配方與效益」，台灣大學森林研究所碩士論文。
9. 黃柏偉，2001，「室內用膨脹型防火塗料耐久性之探討」，台灣大學森林研究所碩士論文。
10. 郭武彥，2003，「防火時效用膨脹型塗料之研究」，台灣科技大學營建工程研究所碩士論文。
11. 劉益宏，2003，「木質材料受熱輻射引燃之著火性研究」，中華大學營建管理研究所碩士

論文。

12. 鐘榮欽、楊永名，2006，「CNS 6532 基材試驗溫度效應與 CNS14705 圓錐量熱儀熱效率理論與實驗實務關係式之探討」，經濟部標準檢驗局高雄分局 96 年度自行研究計劃，頁 15～21。
13. 賴昆芳，2009，「木材的結構特性」，南天門耐火工業材料有限公司。

柒、附錄

防火塗料相關勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準

編號	中文名稱	英文名稱	化學式	符號	八小時日時量容許濃度		化學文摘社號碼 (CAS.NO.)	備註
					ppm	mg/m ³		
17	氨	Ammonia	NH ₃		50	35	7664-41-7	丁類特定化學物質
40	溴	Bromine	Br ₂		0.1	0.66	7726-95-6	
70	一氧化碳	Carbon monoxide	CO		35	40	630-08-0	丁類特定化學物質
75	氯	Chlorine	Cl ₂	高	0.5	1.5	7782-50-5	丙類第一種特定化學物質
233	氰化氫	Hydrogen cyanide	HCN	皮	10	11	74-90-8	丙類第一種特定化學物質
282	甲醇	Methyl alcohol	CH ₃ OH	皮	200	262	69-56-1	第二種有機溶劑
324	一氧化氮	Nitric oxide	NO		25	31	10102-43-9	
330	二氧化氮	Nitrogen dioxide	NO ₂	高	5	9	10102-44-0	
481	二甲苯	Xylenes (Xylol)	C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂		100	434	1330-20-7；95-47-6；108-38-3	第二種有機溶劑

說明：

1. 本表內註有「皮」字者，表示該物質易從皮膚、黏膜滲入體內，並不表示該物質對勞工會引起刺激感、皮膚炎及敏感等特性。
2. 本表內註有「高」字者，表示不得使一般勞工有任何時間超過此濃度之暴露，以防止勞工不可忍受之刺激或生理病變者。
3. 本標準所稱 ppm 為百萬分之一單位，係指溫度在攝氏二十五度、一大氣壓條件下，每立方公尺空氣中氣狀有害物之立方公分數。
4. 本標準所稱 mg/m³ 為每立方公尺毫克數，係指溫度在攝氏二十五度、一大氣壓條件下，每立方公尺空氣中粒狀或氣狀有害物之毫克數。
5. 資料來源：勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準（99.1.26 公布，公布機關：行政院勞工委員會）