

防腐處理對於木材燃燒炭化深度 之影響

內政部建築研究所自行研究期末報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

100301070000G1046

防腐處理對於木材燃燒炭化深度 之影響

研 究 人 員：蘇鴻奇 副研究員

內政部建築研究所自行研究期末報告

中華民國 100 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

**ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH
INSTITUTE
MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT**

**The Effects of The Charring Depth in
Preservative Treatment for Wood-Burning**

BY

Su, Hung-Chi

December,2011

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VII
第一章 緒論	
第一節 研究動機	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究流程與步驟	3
第二章 木材防腐處理與燃燒炭化文獻回顧	
第一節 木材防腐處理概述	5
第二節 木材燃燒炭化理論	7
第三節 木材燃燒炭化深度預估模式	11
第四節 加熱溫度對木材力學性能影響	14
第三章 木材防腐處理與燃燒炭化實驗計畫	
第一節 實驗目的與內容	17
第二節 實驗設備	18
第三節 預備實驗	21
第四節 正式實驗因子確定	25
第四章 實驗結果整理與分析	
第一節 實驗結果整理	27
第二節 實驗結果討論分析	32
第五章 結論與建議	
第一節 結論	35
第二節 建議	36
附錄	37
參考書目	45

表次

表 2-1	炭化相關名詞解釋表	8
表 2-2	木材發火機構說明表	10
表 2-3	不同材種集成材燃燒實驗炭化深度	14
表 2-4	木材加熱影響抗壓強度折減模式彙整表	15
表 3-1	預擬實驗因子表	18
表 3-2	預備實驗之實驗參數與實驗結果表	22
表 3-3	正式實驗因子表	26
表 4-1	木材定溫加熱後進行抗彎力學實驗結果表	30
表 4-2	木材定溫加熱後進行抗壓力學實驗結果表	31
表 4-3	CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗結果表 ...	31

圖次

圖 1-1	研究流程	4
圖 2-1	木材於高溫狀態內部之熱分解與炭化分佈圖	7
圖 2-2	四面受熱與三面受熱安全斷面示意圖	13
圖 2-3	木材之溫度與相對強度及彈性係數關係圖	14
圖 3-1	小型多功能試驗爐	19
圖 3-2	大型門牆試驗爐	19
圖 3-3	電加熱爐	20
圖 3-4	電烘箱	20
圖 3-5	萬能試驗機	21
圖 3-6	預備實驗—加熱炭化實驗試體	22
圖 3-7	預備實驗—加熱實驗前	23
圖 3-8	預備實驗—加熱實驗中試體燃燒情形	23
圖 3-9	預備實驗—30 分鐘加熱實驗後	23
圖 3-10	預備實驗—30 分鐘加熱實驗後試體清除炭化層	24
圖 3-11	預備實驗—60 分鐘加熱實驗後	24
圖 3-12	200℃ 定溫加熱部份試體開始產生無焰燃燒的現象	26
圖 4-1	積層材試體放置於試驗爐之現況	28
圖 4-2	積層材試體於試驗爐加熱中	28
圖 4-3	CNS12514 溫度時間曲線燃燒炭化實驗後試體狀態	28
圖 4-4	CNS12514 溫度時間曲線燃燒炭化實驗後試體冷卻狀態 ...	29
圖 4-5	CNS12514 溫度時間曲線加熱 60 分鐘後試體去除碳化層 狀態	29
圖 4-6	CNS12514 溫度時間曲線加熱 30 分鐘後試體去除碳化層 狀態	29
圖 4-7	木材定溫加熱後進行抗彎力學實驗結果比較圖	32
圖 4-8	木材定溫加熱後進行抗壓力學實驗結果比較圖	33
圖 4-9	CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗結果比較圖 ...	34

摘 要

關鍵詞：防腐、炭化、火災

一、研究緣起

木材因為對於環境汙染少與加工耗能少等特點，而被視為生態與環保性能優異之建材。但於應用上確有部分缺點如可燃燒、腐朽與受蟲蝕等問題，為提升木材之利用價值所以常會進行防火與防腐處理。木構造建築物設計及施工技術規範對於梁柱構架系統的防火設計，係採木材於規定之防火時效內燃燒之後之殘餘斷面須具備結構應有支承载能力，但是對於經防腐加工後之木材其燃燒之炭化情況卻缺少相關資料可供參考。

所以本研究希望對於國內常使用之木材種類有經過防腐處理者，進行燃燒炭化深度之分析研究，以建立國內木材燃燒炭化相關資料，並提供修正「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之木材燃燒炭化深度規定參考。

二、研究方法及過程

所以本研究希望以「防腐處理對於木材燃燒炭化深度之影響」為主題，以目前國內常用之木材進行防腐處理後，進行定溫加熱後進行力學實驗，與採用 CNS12514 溫度時間曲線進行加熱炭化實驗，後續將實驗結果分析探討，研究成果預定擬提供修正「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之木材燃燒炭化深度規定參考。

三、重要發現

- (一) 木材定溫加熱後進行抗彎力學實驗結果比較，實驗結果顯示在 50~150℃ 定溫與 30~120 分鐘的作用下，柳杉經 ACQ 處理者整體抗彎強度約減少 15%，花旗松經 ACQ 處理者整體抗彎強度約減少 12%。而溫度或時間因素之影響較無規律的關係性。

- (二) 木材定溫加熱後進行抗壓力學實驗結果比較，實驗結果顯示在 50~150°C 定溫與 30~120 分鐘的作用下，柳杉經 ACQ 處理者整體壓彎強度約增加 24%，花旗松經 ACQ 處理者整體抗彎強度約減少 12%。而溫度或時間個別之因素之影響性較無規律性之關係。
- (三) CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗結果顯示在 CNS12514 溫度時間曲線加熱作用下，加熱 30 分鐘時花旗松經 ACQ 處理者整體炭化深度約減少 7%，加熱 60 分鐘時花旗松經 ACQ 處理者整體炭化深度約減少 1%。而時間個別之因素之影響性較無規律性之關係。
- (四) 實驗結果與「木構造建築物設計及施工技術規範—第九章建築物之防火」之花旗松炭化深度規定比較，約多增加 12% 的炭化深度。

四、主要建議事項

立即可行建議—未來進行類似木材防火性能實驗應增加試體的樣本數，取材時亦考慮一致性，以降低材料本身的差異性。

主辦機關：本部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

實驗進行過程中因為木材為天然之材料，所以實驗數據間顯現出差異性，未來進行類似實驗應增加試體的樣本數，取材時亦考慮一致性，以降低材料本身的差異性。

中長期建議—制訂木材相關防火測試性規範。

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關：內政部建築研究所

目前缺乏木材相關防火測試性規範，所以各研究之實驗結果可能會存有許多差異性，故未來可朝向建立相關之木材防火測試規範發展。

Abstract

Keywords: preservative treated, charring, fire

1. The research background

This study is in order to research the charring rate of preservative treated wood. And establish the wood-burning debate in Taiwan. The result can provide to correct "Technical code for Design and Construction of Wood-framed Building".

2. Research process

This study use domestic timber that has been preservative treated. The constant-temperature heating conditions-50, 100 and 150°C were applied to the mechanics experiments for wooden. The CNS12514-compliant standard time-temperature curve, were applied to the charring experiments for wooden.

3. Conclusion

- (1) Constant-temperature heating wood bending mechanical test results after the experiment showed that the Japanese cedar by ACQ treatment were bending strength reduction of about 15%, Douglas fir by ACQ treatment by reducing the bending strength of about 12%.
- (2) Conduct wood mechanical compression experiment after the constant temperature heating. The results obtained by the ACQ treatment on the general cedar bending strength increased by about 24%, Douglas fir by ACQ treatment by reducing the bending strength of about 12%.
- (3) The charring experiments apply the CNS12514-compliant standard time-temperature curve for wooden. The experimental results show that charring depth of Douglas-fir by ACQ treatment reduce approximately 7%. The charring depths of Douglas fir by ACQ

treatment after heated 60 minutes reduce approximately 1%.

- (4)The experimental results of charring depth compare with the "Technical code for Design and Construction of Wood-framed Building" , show the charring depth of Douglas fir more than 12%.

第一章 緒論

第一節 研究動機

國內近幾年因「綠建築」觀念普及，且民眾對於永續性與環境品質要求漸增，我們的老祖先千年來皆以木構造建築為主，顯現木構造建築最能符合此趨勢要求。「木構造建築物設計及施工技術規範」於84年12月15日公布以來一直未能對防火性能有所規範，基於此本所除協助修訂木質材料相關國家標準外，同時參考美、日等國木構造之防火規範，歷經93年、94年研究後完成木構造之防火規範草案，並經建築技術審議委員會組成專案小組審議及營建署多次編審討論，終於97年8月15日通過增列「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」，並循法制作業程序辦理後續修正公佈事宜。

木材對於環境汙染少與加工耗能少等特點，而被視為生態與環保性能優異之建材。但於應用上確有部分缺點如可燃燒、腐朽與受蟲蝕等問題，為提升木材之利用價值所以常會進行防火與防腐處理。木構造建築物設計及施工技術規範對於梁柱構架系統的防火設計係採，木材於規定之防火時效內燃燒之後之殘餘斷面須具備結構應有支承載能力，但是對於經防腐加工後之木材其燃燒之炭化情況卻缺少相關資料可供參考。

所以本研究希望對於國內常使用之木材種類有經過防腐處理者，進行燃燒炭化深度之分析研究，以建立國內木材燃燒炭化相關資料，並提供修正「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之木材燃燒炭化深度規定參考。

第二節 研究目的

木材係為天然之優良建材，但卻存有燃燒、蟲蛀、腐朽等問題，為增加對木材的使用性，常須對木材進行之防火與防蟲腐等處理。其中對於經防腐處理木材於遭受火災燃燒時之炭化變化或強度影響，在國內並無相關規定，也缺乏研究探討。本研究收集木材防腐處理與木材燃燒炭化相關文獻資料，並利用本實驗中心所之加熱燃燒實驗設備來對經防腐處理之木材進行燃燒實驗驗證分析研究。最後成果可提出供修正「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之木材燃燒炭化深度規定參考。

所以本研究希望以「防腐處理對於木材燃燒炭化深度之影響」為主題，以目前國內常用之木材進行防腐高壓注入處理後，進行定溫加熱後進行力學實驗，與採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗，達到下列各項研究目的：

一、進行木材定溫加熱之力學性質實驗

收集木材防腐處理與木材燃燒炭化相關文獻資料，採用國內常用之木材種類，配合防腐高壓注入處理方式，將木材試體進行定溫加熱後進行抗壓與抗彎力學實驗，以瞭解經防腐處理後之木材經加熱後，其抗壓與抗彎力學性質變化情況。力學實驗結果可以瞭解木材於炭化前之力學性質，並可進一步評估木材結構於受火害時之結構行為。

二、採用 CNS12514 溫度時間曲線進行加熱炭化實驗

將經防腐高壓注入處理之木材試體，採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗，以瞭解經防腐處理後之木材加熱後其炭化率變化情況。

三、研究成果提供修正「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之木材燃燒炭化深度規定參考

研究成果預定擬提供修正「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之木材燃燒炭化深度規定參考。

第三節 研究流程與步驟

本研究擬採文獻回顧、收集木材防腐處理與木材燃燒炭化相關文獻資料，並利用本實驗中心所之加熱燃燒實驗設備。來對經防腐處理之木材進行燃燒實驗驗證分析研究。

一、文獻回顧

包含相關木材防腐藥劑種類、防腐處理工法、木材受熱後力學變化與木材燃燒炭化之文獻收集與整理。

二、進行木材定溫加熱之力學性質實驗與加熱炭化實驗

採用國內常用之木材種類，配合防腐高壓注入處理方式，再利用本實驗中心所之電加熱實驗設備，將木材試體進行定溫加熱後進行抗壓與抗彎力學實驗，並採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗，以瞭解經防腐處理後之木材加熱後其力學性質變化與燃燒炭化率變化情況。

三、研究成果提供修正「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之木材燃燒炭化深度規定參考

研究成果預定擬提供修正「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之木材燃燒炭化深度規定參考。

防腐處理對於木材燃燒炭化深度之影響

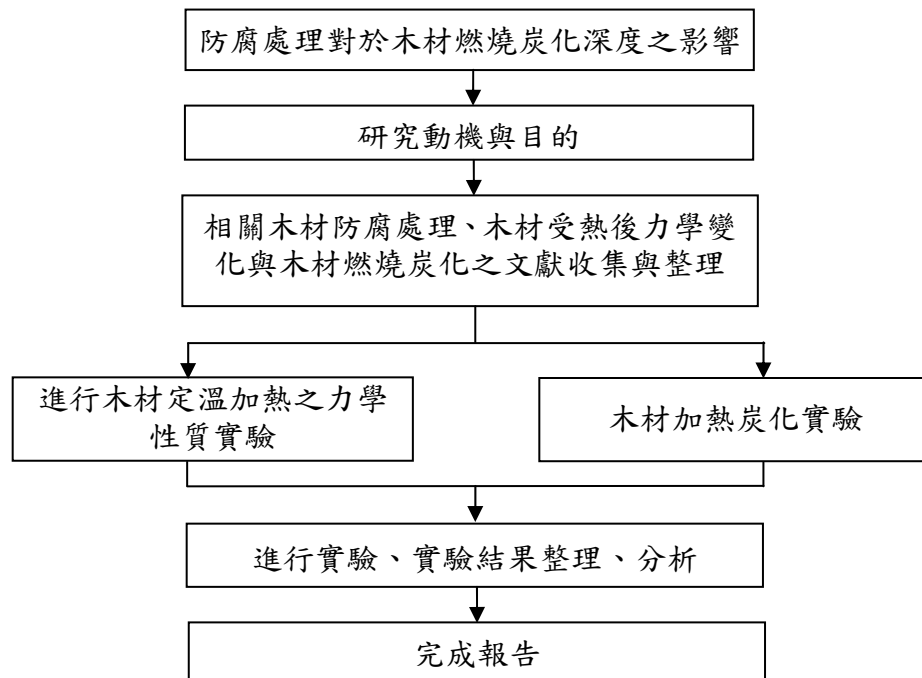


圖 1-1 研究流程

第二章 木材防腐處理與燃燒炭化文獻回顧

第一節 木材防腐處理概述

一、木材防腐處理藥劑的種類

木材對於環境汙染少與加工耗能少等特點，而被視為生態與環保性能優異之建材。但於應用上確有部分缺點如可燃燒、腐朽與受蟲蝕等問題。尤其是台灣高溫、潮濕的氣候環境，微生物容易滋長使木材易遭受為生物性的危害。所以為提升木材之利用價值與延長使用年限常會進行防火與防腐處理。根據國內外試驗的統計報告結果，木材經防腐處理後使用年限是未經處理的 5~6 倍[01]。

目前常用的木材防腐劑可分為三類：1. 煤焦油類、油溶性類及水溶性類。

煤焦油類防腐劑是一種普遍型防腐劑，對各種木材腐朽菌、蟲蟻都右良好的致死性和預防作用，且價格低廉，其抗水性，不易流失，並對金屬的腐蝕性低，但煤焦油類之防腐劑具有刺激味道，黑色之外觀，且處理後之產品無法塗裝。

油溶性類的木材防腐劑係由一種或數種殺菌劑或殺蟲劑溶於有機溶劑中所調配出之防腐劑。此類型之防腐劑有以下之優點：1. 對危害木材的各種生物毒性強，2. 易被木材吸收，可用刷塗、浸漬等簡易方法進行，3. 耐久性佳，4. 處理後木材變形小，5. 被處理材表面乾淨，6. 不腐蝕金屬。但油溶性防腐劑有成本較高，處理後之木材易燃等缺點。

水溶性類防腐劑是目前世界各國應用廣泛、種類最多的一種防腐劑。此類型的防腐劑大都是由具毒性之離子鹽類所組成。國內廣泛使用於新木料之防腐處理是水溶性類木材防腐劑，主要是鉻化砷酸銅 (Chromated Copper Arsenate ; CCA)。但近年由於 CCA 的毒性對人體健康與環境保護可能造成極大威脅，且加上 CNS14495 木材防腐劑的新制訂，國內木材之防腐處理已有採用較環保的新型的低毒性防腐

劑(如 ACQ 與 CuAz)之趨勢[02]。

二、木材防腐處理工法

木材防腐處理工法有二類，為表面處理法與藥劑注入法。表面處理法僅施作於木材表面，僅改變木材表面性質，所以藥劑持久力性較差。藥劑注入法能使藥劑滲透達木材之一定深度以上，使藥劑效力持久性增加。表面處理法又分為表面碳化法與藥劑塗佈法，均於常壓下施作。表面碳化法係使木材表面燒焦使之碳化厚度約 3~10mm，處理方法簡單經濟但效果缺乏永久性。藥劑塗佈法須等待木材十分乾燥了可進行，將藥劑噴塗或刷塗於木材表面，主要適合應用於既存木構造建築物之現場處理。因為其藥劑吸收量比較注入法少，所以防腐效力可持續時間亦較短。[03]

木材防腐處理工法若以施工時之壓力，可分為常壓與加壓二大類，常壓施工例如塗刷法、噴塗法、浸漬法、噴淋法、擴散法與熱-冷浴法，加壓法施工可再分為高壓法與低壓法。高壓法施工壓力高於 5bar，低壓法施工壓力低於 5bar。[02]

此外，在常壓下最有效的防腐與防蟲處理工法是熱-冷浴法。這種方法的原理是將木材先在熱的防腐與防蟲藥劑中加熱，隨著木材內溫度的上升，其中的空氣膨脹、水分蒸發，因此木材內的壓力高於大氣壓，空氣和水蒸氣使會由木材內排出，此時再迅速將木材由熱的防腐與防蟲藥劑槽中移至冷的防腐與防蟲藥劑槽中。因為驟然冷卻，木材內的空氣受冷而收縮，未排出的水蒸氣也冷凝，如此木材內便產生真空。由於木材內和防腐與防蟲藥劑之間的產生壓力差，木材內的壓力低，防腐與防蟲藥劑因此而被吸入木材中，如此之工法，在良好的抽氣候件下，比刷塗、噴塗、噴淋及浸漬等工法來的安全，且效果較佳。

各種防腐與防蟲處理方法中，加壓法是最重要及最有效的。此法是將木材放入密閉的容器中，利用壓力將防腐與防蟲藥劑注入木材內部。加壓法依所使用壓力之高低，可分為高壓法及低壓法。

高壓法的基本方式有三種：1. 充細胞法，又稱為自氏法，2. 空細胞法，包括勞利法與與魯賓法，3. 半空胞法。

第二節 木材燃燒炭化理論

一、木材燃燒炭化理論

木材為一有機物質，所以受熱後，木材會隨著溫度的變化，內部而形成複雜之物理性及化學性作用。木材受熱形成的變化，由溫度來界定熱分解至炭化形成階段，詳見如下圖 2-1。其熱分解位於溫度 200°C ~ 300°C 之間，但是，接下來的炭化層，就很難透過溫度來明確的界定。依據學者 Lache 所量測炭化形成之溫度於 253°C 。此外學者 Schaffer and White 所研究對於炭化形成的相對溫度於 288°C ~ 360°C 之間。

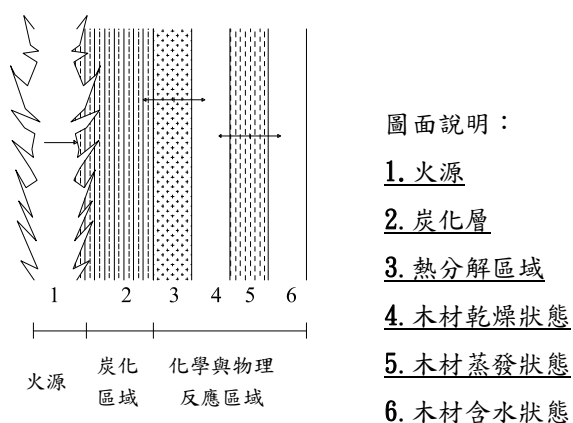


圖 2-1 木材於高溫狀態內部之熱分解與炭化分佈圖[04]

依據「CNS14652 建築物防火詞彙—防火試驗用語」對「炭化」的定義—熱裂解或燃燒形成含炭殘餘物之過程，相關名詞解釋詳表 2-1。炭化率定義為單位時間所形成之炭化深度，一般稱之為炭化速度，單位表示為 mm/min [05]。

木材在表面著火、燃燒時，燃燒部分會形成炭化層。此炭化層會遮斷木材燃燒之必要氧氣之供給，同時具有將炭化層內層之健全部分從高溫加熱加以保護之斷熱性。學者 Shaffer 之定義，木材炭化形成之溫度介於 280°C ~ 320°C 之範圍間。其歐美相關研究，均取其平均值 288°C ，將 288°C 視為木材炭化形成之溫度。

而炭化層之形成與炭化速度有關，因炭化速度決定木構材的設計斷面尺寸，以及木材遇火害時經由多少時間，將降低至最低強度。

木材之炭化速度除了受加熱條件外，亦與樹種、比重、含水率、斷面之大小等有關係。一般比重較大之木材較難燃燒，而斷面越大木材內部溫度上昇較慢，亦較難燃燒，因此其炭化速度會較慢。

表 2-1 炭化相關名詞解釋表

1	燃燒行為	burning behaviour	一種材料、構件、構造等曝露於特定引火源所發生之所有物理及(或)化學之所有變化。
2	焦炭	char (n.)	因熱裂解或不完全燃燒形成之含炭殘餘物。
3	炭化	char (v.)	熱裂解或燃燒形成含炭殘餘物之過程。
4	燃燒	combustion	一種可燃物之氧化放熱反應，經常伴隨著火焰與(或)光、與(或)煙霧之現象。
5	防火時效	fire rating	在特定條件下，材料、構件、構造等能持續維持耐火性所經過之時間。
6	熱裂解	pyrolysis	物質或材料藉由溫度升高造成不可逆之非氧化分解反應。
7	溫度時間曲線	time-temperature curve	在特定條件下，溫度隨時間變化之曲線。
依據「CNS14652 建築物防火詞彙－防火試驗用語」			

二、木材燃燒特性

1. 熱分解

在一般使用下，木材通常含有一定程度之含水率，因此木材在常溫下加熱時，木材的溫度將會上升至某一點使木材本身所含有之水蒸散；由木材水份會存在於細胞壁中，因此這些水分之蒸發需要比去除自由水需要更多的能量，且溫度可能需超過 100℃ 才會發生。當木材被加熱時，首先釋出所含有之水分，再經熱分解、發焰燃燒及赤熱燃燒以致毀損。當溫度超過 100℃，木材即「熱分解」，到 100℃ 左右已呈完全乾燥之狀態。若繼續加熱，則會開始熱分解，至 150℃ 即呈黑色。超過 170℃~180℃ 後，熱分解之速度加快，產生 CO、CH₄、C₂H₄、H₂、有機酸、醛類等可燃氣體，以及 CO₂、H₂O 等不燃性氣體。當溫度

超過 200°C 時，顏色更為焦黑。上述過程，一般稱之為「炭化」。

2. 炭化與發火

當溫度上昇至 260-350 °C 時，熱解作用便加速，並會產生一些可燃性氣體，這些氣體不僅可助燃，當溫度高實亦會自燃，一般而言，當溫度超過 270°C 時，熱量足以使可燃性氣體燃燒。木材加熱時，從 200°C 附近會急速減低重量之同時會產生可燃性氣體，氧化結果在 300 °C 附近會發生熱量。在此階段接近火口時會引火，因此被稱為「引火點」，日本之防火試驗是以 260°C 當作火災危險溫度，作為防火工學上之評價判定基準。更繼續加熱時，在 500°C 附近自然發火，殘留灰分而消滅。但是在缺乏氧氣狀態下，進行加熱時，會發生無氧化發熱之熱分解，而形成所謂的木炭。

木材之熱分解，溫度越高，速度越快。當溫度達到 260°C 時，可燃性氣體的析出量迅速增加，此時明火可將其點燃，但並不能維持穩定燃燒。這表示可燃性氣體的量不足，所以 260°C 相當於可燃性液體的「引火點」，這裡稱為木材的引火溫度，是以 260°C 也常被稱為木材之「危險溫度」。當木材加熱至 260°C 時，會有旺火之熱分解，當繼續加熱時，將不需要火焰而直接產生發火現象，惟木材材質若有不同，其發火溫度也不同，不過一般大致在 400°C~450°C 之間。

木材之發火機構，除前述由熱分解發生可燃性氣體與空氣之混合，而「引火」、「發火」之外，尚有一種「無焰發火」，發火機構說明表，整理如下表 2-2：

表 2-2 木材發火機構說明表

發火機構	說明
無焰發火	無焰發火乃熱分解之結果所生之新多孔質炭素，因強力吸收空氣中之氧，表面產生氧化現象，而呈炭火之狀態。通常木材以低溫加熱後，最初先產生無焰發火，無焰發火所生之熱，使溫度劇昇，終於發焰燃燒。
引火	木材通常在 350℃ 左右即可引火。溫度越高，引火所需之時間越短。不過因條件之不同，在 157~195 之低溫下，也可能引火。在實際木造建築物密集之火場現場，此種可燃性火混合氣體之引火現場，乃是促成延燒速度增加之一項原因。
發火	依據日本學者秋田一雄研究之結果，木材種類與發火溫度之關係不大。通常只要其表面溫度達 490℃ 左右，即可滿足發火之條件。

3. 低溫著火

木材類纖維質系材料，若由外部加熱，則內部因熱之蓄積，內部溫度較外部為高，此時即時溫度未上昇至 260℃ 之引火溫度，也可發火，此種現象稱為「木材長期低溫加熱之起火」。〔06〕

4. 燃燒後之破壞

木材燃燒過程所產生的炭化層，在燃燒階段對木材產生了很好的保護作用，但燃燒中止後，木材未炭化的部分，其內部的高溫卻因炭化層的產生而無法排出，使木材內部依然在進行熱分解之行為，導致木材強度持續降低。其持續燃燒行為，依據加熱終了後木材的重量減少情形及燃燒中止來判斷〔07〕；於研究內顯示，（1）實驗終了時間會隨著加熱時間而增加。（2）於 ISO 834 加熱條件下，以加熱時間 20~30 分鐘來界定於整個試驗終了時木材燃燒中止之判斷表示。（3）加熱終了至試驗結束期間重量減少之值，會隨著加熱時間而增加。（4）試驗終了時間與重量減少之量會隨著木材製成的方式而不同，例如同一種材種之下，實木>結構用集成材。

第三節 木材燃燒炭化深度預估模式

一、木材燃燒炭化預估模式

耐火測試規範之標準升溫曲線係屬於隨時間改變加熱溫度的模式。目前對於變溫加熱炭化深度或炭化率評估模式採耐火測試規範之標準升溫曲線者，例如 ASTM-E119 標準升溫曲線其炭化深度的評估模式整理如下 [08]：

$$t = m_1 X_c \quad (7)$$

$$t = m_2 X_c - b \quad (8)$$

$$t = m_3 X_c^a \quad (9)$$

$$\ln t = \ln m_3 + a \ln X_c \quad (10)$$

$$t = m_4 X_c^{1.23} \quad (11)$$

上述公式 (7) ~ (11) 中的共同參數 t 為加熱時間 (min)， X_c 為炭化深度 (mm)，另個別參數 $m_1 \sim m_4$ 則為炭化率係數，是炭化率的倒數。利用公式 (7) ~ (11) 進行木材加熱炭化率評估時之適用性分別說明如下 [08]。

公式 (7) 是單一參數的炭化評估模式，假設加熱時間與炭化深度為一次線性關係，為最簡單常用的評估模式。當加熱時間與炭化深度分別為 60 分鐘與 38mm 時，炭化率係數 m_1 值為 1.575min/mm。

公式 (8) 為雙參數的炭化評估模式，當考量會產生較高的炭化率與加熱初期缺少炭化層隔阻熱能侵入而延阻炭化進行，且加熱時間與炭化深度亦屬一次線性關係者，可利用此評估模式。

公式 (9) 為非線性雙參數炭化評估模式，當 a 值小於 1 時，加熱時間增加則炭化率也會增加；當 a 值大於 1 時，其加熱時間減少則炭化率會增加；當 a 值等於 1 時，則公式 (9) 的結果與公式 (7) 相同。公式 (9) 與公式 (11) 適用於炭化率穩定且炭化率較慢條件下的評估模式。

公式 (10) 係由公式 (9) 推導而來。

公式 (11) 為非線性單參數炭化評估模式，係美國森林與紙業協會(American Forest and Paper Association; AFPA)進行木構造耐

火設計所採用的評估模式，是 Robert H. White 根據 8 種木材種類進行實驗後，所發展出評估木材受熱產生炭化深度之經驗公式。當加熱時間與炭化深度分別為 60min 與 38mm 時， m_4 值為 0.684min/mm1.23(Yang, et al., 2009)。公式 (11) 其中炭化率係數 m_4 計算的方式如公式 (12) [09]。

$$m_4 = -0.147 + 0.000564\rho + 1.21\mu + 0.532fc \quad (12)$$

公式(12)為炭化率的倒數 m_4 的計算方式其相關參數說明如後， ρ ：木材密度 (kg/ m³)。 μ ：木材含水率 (%)。 fc ：木材炭化減少率。透過 m_4 計算的方式可以瞭解公式 (11) 的評估模式中，主要影響炭化深度的因子為樹種之密度 ρ 與含水率 μ [09]，當密度與含水率增加則炭化率減少。

二、「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之木材炭化規定

國內對木材炭化率之相關規範，依於「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」中，節次 9.3 對於木構造防火設計有相關之規定：(摘錄) [10]

(一) 梁柱構架

1. 構材最小斷面應依防火時效設計，於時效內燃燒之殘餘斷面須符合結構設計承載能力所需之最小斷面尺寸規定。
2. 集成材 1 小時燃燒炭化深度設定為 50mm 以上，半小時為 25mm 以上；非集成材之 1 小時燃燒炭化深度設定為 60mm 以上，半小時為 30mm 以上。

(二) 框組壁式系統防火設計

1. 框組壁式 2x4 工法之最小間柱斷面為 38 mmx89 mm，牆間柱之中心距不得超過 455mm。
2. 框組壁式 2x6 工法之最小間柱斷面為 38 mmx140 mm，牆間柱之中心距不得超過 610mm。

3. 常見防火被覆用板材之種類及最小厚度，可採用厚度為 15mm 以上之耐燃一級石膏板材（符合 CNS4458）或厚度為 12mm 以上之耐燃一級矽酸鈣板（符合 CNS13777）等。
4. 壁內填充材可採用密度 60kg/m³ 以上岩棉（符合 CNS9659），最小厚度 50mm。
5. 依上述規定建造者可認定具有 1 小時防火時效。

（三）原木層疊

原木層疊系統除梁柱構架系統考慮炭化率計算構材之安全斷面與接合部依梁柱構架系統規定處理外，其餘依相關設計及施工規範處理。

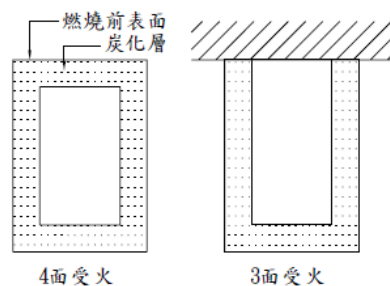


圖 2-2 四面受熱與三面受熱安全斷面示意圖

而於該節次之解說中有關於梁柱構架系統防火設計摘錄如下：

[10]

柱、梁、間柱、橫撐木等主構架所使用的構材，若未設置防火被覆時，應預估防火時效內構材之燃燒炭化深度，設計適當之斷面尺寸，於規定防火時效內燃燒之殘餘斷面（即安全斷面）仍具備結構應有之承載能力。木材炭化深度，係假設炭化率（火災發生時，從木材表面向內部燃燒炭化之速度）固定，將其乘上持續燃燒時間後求得。

在規範中「CNS12514 建築物構造部份之耐火試驗法」進行 5 種材種集成材炭化深度實驗，燃燒時間為 30、60 分鐘，實驗結果表 3-12。依實驗結果建議集成材 1 小時炭化深度設定為 50mm 以上，半小時為 25mm 以上，非集成材 1 小時炭化深度設定為 60mm 以上，半小時為 30mm 以上。若不依此數據設計，得採用經中央主管機關認可實際實驗值設計。如非採炭化深度設計之火災安全防護措施，則應經中央主管機關認可。

表 2-3 不同材種集成材燃燒實驗炭化深度[10]

材種	實驗時間	側邊炭化深度	底部炭化深度	備註
杉木	30分鐘	20.0 mm	23.5 mm	1. 實驗方法採「CNS12514建築物構造部份之耐火試驗法」。 2. 試體三面受火。 3. 30分鐘實驗：試體斷面尺寸260 mm x 140 mm 4. 60分鐘實驗：試體斷面尺寸260 mm x 203 mm
	60分鐘	43.4 mm	46.0 mm	
柳杉	30分鐘	20.4 mm	21.5 mm	
	60分鐘	42.1 mm	46.8 mm	
台灣杉	30分鐘	22.7 mm	23.5 mm	
	60分鐘	45.4 mm	49.0 mm	
花旗松	30分鐘	19.2 mm	20.8 mm	
	60分鐘	37.4 mm	37.9 mm	
南方松	30分鐘	17.0 mm	17.2 mm	
	60分鐘	32.8 mm	34.0 mm	

第四節 加熱溫度對木材力學性能影響

木材表面受熱後，內部溫度會呈現曲線分布；依據 J. urgen K. onign, y [11]表示，在溫度 20℃~300℃時，木材開始進入強度破壞階段，其強度隨著溫度增加而減少，至 300℃後，木材就不具有力學特性，因已進入炭化階段。圖 2-3-a 表示木材在 20℃~300℃時，受張力、壓力、剪力測試時的力學反應，圖 2-3-b 表示木材在 20℃~300℃時，其彈性係數的變化；此外溫度在 100℃時，為力學變化過程中的一轉則點。

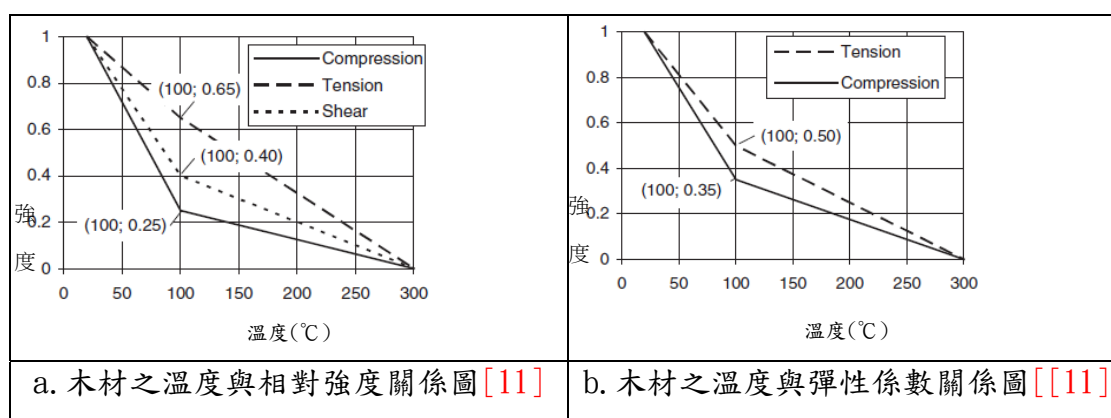


圖 2-3 木材之溫度與相對強度及彈性係數關係圖

對於木材受到溫度加熱之後，木材的抗壓強度會隨著溫度的增加而減少，國外其他的學者尚有提出許多的變化模式。如下表所示。[\[12\]](#)

表 2-4 木材加熱影響抗壓強度折減模式彙整表

Table II. Percentage-compression-strength reduction models from literature.						
Authors	Model	Temperature range (°C)	Wood species	Specimen size (mm)	Moisture content	Testing conditions
Kollman [21]	$P = 105 - 0.25T$	$20 \leq T \leq 220$	Fir and beech	$20 \times 20 \times 30$	Some kiln-dried, some air-dried, some 12% MC	Clear specimens
Schaffer [14]	$P = 102.8 - 0.1139T$ $P = 126.1 - 0.4509T$ $P = 80.25 - 0.155T$ $P = 119.9 - 0.3502T$	$25 \leq T < 68.9$ $68.9 \leq T < 154.8$ $154.8 \leq T < 203.2$ $203.2 \leq T \leq 342.4$	Douglas-fir	$3 \times 25 \times 95$	Vacuum-dried	Clear specimens; fully heated to exposure temperature, then constant strain-rate applied to failure
Knudson and Schniewind [15]	$P = 106 - 0.29T$	$20 \leq T \leq 288$	Douglas-fir	$5 \times 5 \times 19$	12% MC	Clear specimens; fully heated to exposure temperature, then ramp-load applied to failure
Rykov [23]	$P = 122.3 - 1.114T$ $P = 72 - 0.2T$	$20 \leq T < 55$ $55 \leq T \leq 190$	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown
Hosser <i>et al.</i> [24]	$P = 111.4 - 0.57T$	$20 \leq T \leq 160$	Unknown	Unknown	Unknown	Unknown
Young and Clancy [11]	$P = 115 - 0.75T$ $P = -760 + 8T$ $P = 168.9 - 0.444T$ $P = 240 - 0.8T$	$20 \leq T < 100$ $100 \leq T < 110$ $110 \leq T < 200$ $200 \leq T \leq 250$	<i>Radiata</i> pine	$90 \times 35 \times 300$	~12% MC below 100°C, oven-dry above 100°C	Fully heated to exposure temperature, then constant strain-rate applied to failure
König and Walteij [10]	$P = 118.8 - 0.9375T$ $P = 37.5 - 0.125T$	$20 \leq T < 100$ $100 \leq T \leq 300$	Spruce	45×195 cross-section	12% - 13%	Relatively clear specimens; bending tests used; exposed to fire on compression side

COMPRESSIVE STRENGTH OF LUMBER

75

第三章 木材防腐處理與燃燒炭化實驗計畫

第一節 實驗目的與內容

木構造建築物具有低污染、低耗能、施工快捷、耐震及有益健康等優點，符合我國永續發展的綠營建政策，值得國內加強推廣運用。但於應用上確有部分缺點如易燃燒、腐朽與受蟲蝕等問題，為提升木材之利用價值所以常會進行防火與防腐處理。對於經防腐處理木材於遭受火災燃燒時之炭化變化或強度影響，在國內並無相關規定，也缺乏研究探討。本研究希望利用本實驗中心所之加熱燃燒實驗設備來對經防腐處理之木材進行燃燒實驗驗證分析研究，炭化實驗結果可以瞭解經防腐處理之木材炭化率變化；力學實驗結果可以瞭解木材於炭化前之力學性質，並可進一步評估木材結構於受火害時之結構行為。

本研究實驗以目前國內常用本土與進口木結構用材選取杉木、柳杉、雲杉等三類材種為對象。實驗木材試體進行防腐處理，防腐處理藥劑採用「烷基銅銨化合物 (Ammonical Copper Quat, ACQ)」與「銅唑系防腐劑 (Copper Azole, CuAz)」，防腐藥劑處理方式採真空高壓方式。木材試體處理後，進行定溫加熱後進行力學實驗，與採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗，實驗內容如下說明：

一、進行木材定溫加熱之力學性質實驗

採用國內常用之木材種類，配合防腐藥劑真空高壓處理方式，之後將木材試體進行定溫加熱後，進行壓縮與靜曲力學實驗，以瞭解經防腐處理後之木材加熱後，其抗壓與抗彎力學性質變化情況。壓縮實驗依據 CNS453 木材壓縮試驗法進行，靜曲實驗依據 CNS454 木材靜曲試驗法進行。

二、採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗

將經防腐高壓注入處理之木材試體，採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗，加熱時間設定為 30 分鐘、45 分鐘、60 分鐘，

以瞭解經防腐處理後之木材加熱後其炭化率變化情況。

表 3-1 預擬實驗因子表

實驗因子	內容			備註
木材種類	杉木	柳杉	雲杉	
防腐藥劑	ACQ	CuAz		處理方式採真空 高壓方式
定溫加熱力學性質實驗	CNS453木材壓縮試驗法	CNS454木材靜曲試驗法		溫度50℃～ 300℃，間隔50℃
CNS12514加熱炭化實驗	30分鐘	45分鐘	60分鐘	採用CNS12514溫度時間曲線進行 燃燒炭化實驗

第二節 實驗設備

本研究利用本實驗中心所之加熱燃燒實驗設備來對經防腐處理之木材進行燃燒實驗驗證分析研究。有關木材定溫加熱之力學性質實驗設備以及加熱炭化實驗設備主要包含：(一) 小型多功能試驗爐或大型門牆試驗爐、(二) 電加熱爐或電烘箱、(三) 萬能試驗機。

各實驗設備內容詳述如下：

一、小型多功能試驗爐或大型門牆試驗爐

小型多功能試驗爐之加熱系統係由爐內左右兩側牆面各2具燃燒機所構成，並有供氣及排氣管線平衡爐內壓力，可提供符合CNS12514之加熱溫度時間曲線。



圖 3-1 小型多功能試驗爐

大型門牆試驗爐之加熱系統係由爐內共 17 具燃燒機所構成，並有供氣及排氣管線平衡爐內壓力，可提供符合 CNS12514 之加熱溫度時間曲線。



圖 3-2 大型門牆試驗爐

二、電加熱爐或電烘箱

電加熱爐之加熱系統係由爐內左、右及上側共三面牆內各設置電加熱絲構成。可提供 50℃～300℃ 固定溫度。



圖3-3 電加熱爐

電烘箱之加熱系統係由烘箱內左、右兩側牆面提供熱氣循環。可提供 50°C ~ 260°C 固定溫度。



圖3-4 電烘箱

三、萬能試驗機

萬能試驗機最大可提供 5 噸之拉壓荷重，可進行進行木材試體之抗壓與抗彎力學實驗。



圖 3-5 萬能試驗機

第三節 預備實驗

先進行預備實驗，其實驗結果可供後續燃燒炭化實驗規劃參考。預備實驗選取國內常用本土與進口木結構用材之杉木、柳杉、雲杉等三類材種。經考量 60 分鐘預估不超過 60mm 炭化深度，將木材試體斷面尺寸設定為 140mm×140mm，長度設定為 180mm。並模擬邊柱之情境，進行三面受火加熱。本項實驗以 CNS12514 之標準溫度時間曲線為加熱條件設定，加熱時設定為 30 分鐘與 60 分鐘。相關實驗參數與實驗結果詳如下表。

表 3-2 預備實驗之實驗參數與實驗結果表

試體 編號	木材 種類	長 cm	寬 cm	高 cm	體積 cm ³	重量 g	密度 kg/m ³	含水率 %	加熱時 間	炭化深度 cm		
										上端	側邊1	側邊2
1-3	雲杉	13.60	13.52	18.38	3379.57	1531.60	453.19	0.15	30	30.92	30.48	25.39
1-4		13.49	13.49	18.22	3315.68	1468.17	442.80		30	26.93	29.43	28.59
1-5		13.63	13.62	18.15	3369.38	1677.86	497.97		60	—	—	—
1-6		13.16	13.13	18.30	3162.07	1716.67	542.89		60	—	—	—
2-3	杉木	13.55	13.67	18.09	3350.78	1400.27	417.89		30	29.58	23.47	26.05
2-4		13.72	13.60	18.11	3379.18	1407.07	416.39		30	27.44	19.75	26.04
2-5		13.64	13.69	18.13	3385.44	1291.53	381.50		60	—	—	—
2-6		13.70	13.55	18.02	3345.14	1460.89	436.72		60	—	—	—
3-3	柳杉	13.79	13.85	18.11	3458.86	1721.31	497.65		30	18.99	27.44	27.32
3-4		13.86	13.70	18.12	3440.66	1474.67	428.60		30	25.58	28.33	30.05
3-5		13.83	13.81	18.05	3447.41	1857.27	538.74		60	—	—	—
3-6		13.70	13.78	18.18	3432.13	1600.19	466.24		60	—	—	—

預備實驗結果顯示當 60 分鐘加熱實驗後，部分試體接近全部燃燒炭化，無法量測炭化深度。故當正式實驗進行 60 分鐘「CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗」時，木材試體斷面應規劃大於 14cm×14cm 以上，以利炭化深度量測。

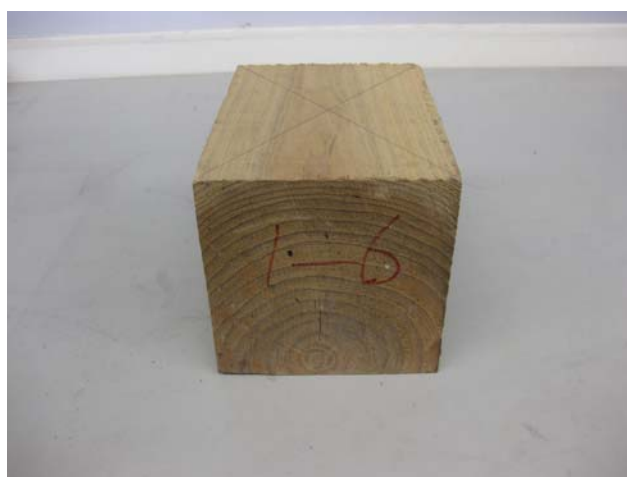


圖 3-6 預備實驗—加熱炭化實驗試體



圖 3-7 預備實驗－加熱實驗前



圖 3-8 預備實驗－加熱實驗中試體燃燒情形



圖 3-9 預備實驗－30 分鐘加熱實驗後



圖 3-10 預備實驗—30 分鐘加熱實驗後試體清除炭化層



圖 3-11 預備實驗—60 分鐘加熱實驗後

第四節 正式實驗因子確定

預備實驗之後整體考量設備使用及試體製作等因素，正式試體尺寸將大於預備實驗試體，並採用大型門牆爐進行實驗以利試體置入。確定正式實驗使用木材種類選取「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」燃燒實驗之材種中常用之柳杉與花旗松兩種。實驗木材試體進行防腐處理，防腐處理藥劑採用「烷基銅銨化合物 (Ammonical Copper Quat, ACQ)」，防腐藥劑處理方式採真空高壓方式。木材試體處理後，進行實驗項目包含定溫加熱後進行力學實驗，與採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗共兩項。正式實驗內容如下說明：

一、進行木材定溫加熱之力學性質實驗

壓縮與靜曲力學實驗分別依據「CNS453 木材壓縮試驗法」與「CNS454 木材靜曲試驗法」進行。木材種類選用柳杉與花旗松。試體尺寸分別為 30×30×60mm 及 30×30×480mm，每一項實驗重複次數 3 次。固定加熱溫度設定為 50、100、150℃、200℃、250℃。加熱時間設定為 30、60、90、120 分鐘。試體於電烘箱加熱過程中，當進行至 200℃定溫加熱，約於 60 分鐘時部份試體開始產生無焰燃燒的現象如圖 3-12 所示，所以後續加熱溫度僅設定為 50℃～150℃。

二、採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗

將經防腐高壓注入處理之木材試體。木材種類選用花旗松集成材，試體尺寸 170×210×800mm，每一項實驗重複次數 3 次。採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗，加熱時間參考建築技術規則設定為 30 分鐘、60 分鐘，以瞭解經防腐處理後之木材加熱後其炭化率變化情況。



圖 3-12 200℃定溫加熱部份試體開始產生無焰燃燒的現象

表 3-3 正式實驗因子表

實驗因子	內容	備註
木材種類	1. 柳杉 (原木) 2. 花旗松(積層材)	
防腐藥劑	1. ACQ	1. 處理方式採真空高壓方式 2. 對照組不做防腐處理
定溫加熱力學性質實驗	1. CNS453 木材 2. CNS454 木材靜壓縮試驗法 曲試驗法	1. 定溫溫度 50℃~150℃, 間隔 50℃。 2. 木材試體尺寸(壓縮試驗-縱向壓縮靜 30*30*60mm, 靜曲強度 30*30*480mm) 3. 每一項實驗重複次數 3 次
CNS12514 加熱炭化實驗	1. 30 分鐘 2. 60 分鐘	1. 採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗 2. 木材試體尺寸(花旗松-積層材 170*210*800mm) 3. 每一項實驗重複次數 3 次

第四章 實驗結果整理與分析

第一節 實驗結果整理

本研究希望利用本實驗中心所之加熱燃燒實驗設備來對經防腐處理之木材進行燃燒實驗驗證分析研究。正式實驗使用木材種類為柳杉與花旗松兩種。實驗木材試體進行防腐處理，防腐處理藥劑採用「烷基銅銨化合物 (Ammonical Copper Quat, ACQ)」，防腐藥劑處理方式採真空高壓方式。木材試體處理後，進行實驗項目包含定溫加熱後進行力學實驗，與採用 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗共兩項。實驗過程與實驗結果如下所述。

一、實驗過程

1. 「定溫加熱力學性質實驗」：

「定溫加熱力學性質實驗」之木材試體尺寸(壓縮試驗-縱向壓縮靜 30*30*60mm, 靜曲強度 30*30*480mm)置入電烘箱進行加熱，溫度 50°C~150°C, 間隔 50°C 定溫加熱後力學實驗。

2. 「CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗」：

本項實驗積層材試體尺寸約為 38*190*800mm@8 層，受限小型多功能試驗爐之燃燒機配置現況，可能會對積層材試體產生受熱不均勻之情況，所以正式實驗時使用大型門牆試驗爐，試體放置於試驗爐之現況如圖 4-1 所示。試體加熱後如圖 4-2~圖 4-6。



圖 4-1 積層材試體放置於試驗爐之現況



圖 4-2 積層材試體於試驗爐加熱中



圖 4-3 CNS12514 溫度時間曲線燃燒炭化實驗後試體狀態



圖 4-4 CNS12514 溫度時間曲線燃燒炭化實驗後試體冷卻狀態



圖 4-5 CNS12514 溫度時間曲線加熱 60 分鐘後試體去除碳化層狀態



圖 4-6 CNS12514 溫度時間曲線加熱 30 分鐘後試體去除碳化層狀態

二、實驗結果

定溫加熱後進行力學實驗結果如表 4-1 與表 4-2 所示，CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗如表 4-3 所示。

表 4-1 木材定溫加熱後進行抗彎力學實驗結果表

材種	ACQ處理	溫度 (°C)	時間 (分)	平均抗壓載重 (kg)	標準差
柳杉	無	50	30	312.4	28.2
			60	294.2	87.8
			90	324.9	25.1
			120	309.5	35.1
		100	30	249.1	51.1
			60	263.9	20.5
			90	312.6	49.1
			120	300.3	70.8
		150	30	279.5	17.2
			60	224.8	60.2
			90	313.6	61.0
			120	264.8	37.3
柳杉	有	50	30	218.0	84.4
			60	240.5	54.4
			90	212.5	26.6
			120	273.3	36.2
		100	30	258.0	14.2
			60	268.6	58.6
			90	198.8	6.2
			120	267.3	31.6
		150	30	296.1	13.6
			60	283.2	63.1
			90	200.9	45.0
			120	224.0	98.5
花旗松	無	50	30	355.9	71.9
			60	196.1	114.9
			90	301.8	96.3
			120	196.0	49.9
		100	30	360.0	17.2
			60	354.9	75.6
			90	329.3	143.8
			120	293.9	17.5
		150	30	266.2	75.0
			60	307.9	126.7
			90	317.5	101.3
			120	271.4	121.1
花旗松	有	50	30	186.1	46.2
			60	184.5	107.4
			90	214.2	52.3
			120	251.5	49.7
		100	30	307.5	28.7
			60	209.9	102.6
			90	334.8	48.7
			120	260.6	53.9
		150	30	203.2	76.9
			60	294.4	77.5
			90	383.9	6.0
			120	302.9	149.7

表 4-2 木材定溫加熱後進行抗壓力學實驗結果表

材種	ACQ處理	溫度(℃)	時間(分)	平均抗壓載重 (ton)	標準差
柳杉	無	50	30	2.584	0.667
			60	3.291	0.406
			90	3.460	0.623
			120	2.836	0.098
		100	30	3.147	0.497
			60	3.137	0.537
			90	3.521	0.630
			120	3.450	0.602
		150	30	3.012	0.193
			60	3.657	0.131
			90	3.329	0.696
			120	3.013	0.060
柳杉	有	50	30	3.888	0.444
			60	3.891	0.111
			90	3.192	0.432
			120	3.606	0.204
		100	30	3.530	0.669
			60	4.271	0.327
			90	4.378	0.430
			120	3.931	0.475
		150	30	3.976	0.651
			60	4.510	0.634
			90	4.094	0.191
			120	4.422	0.208
花旗松	無	50	30	4.363	0.386
			60	3.732	0.179
			90	3.563	0.485
			120	4.096	0.509
		100	30	3.998	0.663
			60	3.504	0.229
			90	3.724	0.434
			120	4.170	0.102
		150	30	3.830	0.236
			60	4.157	0.243
			90	3.777	0.850
			120	4.075	0.141
花旗松	有	50	30	2.306	0.252
			60	2.520	0.535
			90	3.762	2.085
			120	2.675	0.490
		100	30	2.554	0.246
			60	2.907	0.484
			90	3.820	0.455
			120	4.061	0.112
		150	30	4.025	0.232
			60	4.070	0.676
			90	4.225	1.050
			120	4.279	0.636

表 4-3 CNS12514 溫度時間曲線進行燃已平居結果計算燒炭化實驗結果表

編號	材種	ACQ處理	加熱溫度	時間 (分)	頂部炭化深度 (mm)						側邊炭化深度 (mm)							
					1	2	3	4	5	平均	標準差	1	2	3	4	5	平均	標準差
301	花旗松	無	CNS12514	30	22.6	22.9	23.4	25.0	22.5	23.3	1.1	20.0	20.5	20.5	21.0	22.0	20.8	0.7
302					20.1	20.3	20.0	19.4	18.8	19.7	0.6	22.6	22.1	23.5	22.9	22.0	22.6	0.6
303					24.9	20.9	25.8	23.9	24.0	23.9	1.9	24.7	22.6	23.5	24.2	26.1	24.2	1.3
304		有			21.5	20.7	23.2	22.2	22.5	22.0	0.9	22.7	24.0	24.0	23.3	20.6	22.9	1.4
305					19.9	19.3	19.3	17.3	11.2	17.4	3.6	20.8	21.8	21.8	20.2	21.1	0.7	
306					20.3	19.1	20.4	19.4	20.7	20.0	0.7	21.7	22.1	21.8	22.2	21.8	22.0	0.2
601		無		60	40.9	40.8	40.9	40.1	39.5	40.4	0.6	43.2	44.2	44.6	41.1	39.0	42.4	2.3
602					40.8	45.9	40.1	38.8	38.4	40.8	3.0	41.4	42.4	37.9	42.2	40.0	40.8	1.9
603					44.8	48.9	48.6	47.8	47.3	47.5	1.6	40.9	41.6	39.6	39.5	41.8	40.7	1.1
604		有			42.4	44.3	43.8	41.9	39.0	42.3	2.1	42.9	42.9	42.4	43.5	40.3	42.4	1.2
605					39.6	39.2	43.1	44.4	42.4	41.7	2.3	41.6	43.0	41.8	41.8	41.9	42.0	0.5
606					37.1	45.8	40.9	34.4	38.7	39.4	4.3	42.9	44.6	43.8	42.0	43.1	43.3	1.0

第二節 實驗結果討論分析

一、木材定溫加熱後進行力學實驗結果比較分析

1. 抗彎力學實驗結果比較

實驗結果顯示在 50~150℃ 定溫與 30~120 分鐘的作用下，柳杉經 ACQ 處理者整體抗彎強度約減少 15%，花旗松經 ACQ 處理者整體抗彎強度約減少 12%。而溫度或時間個別之因素之影響較無規律的關係性。

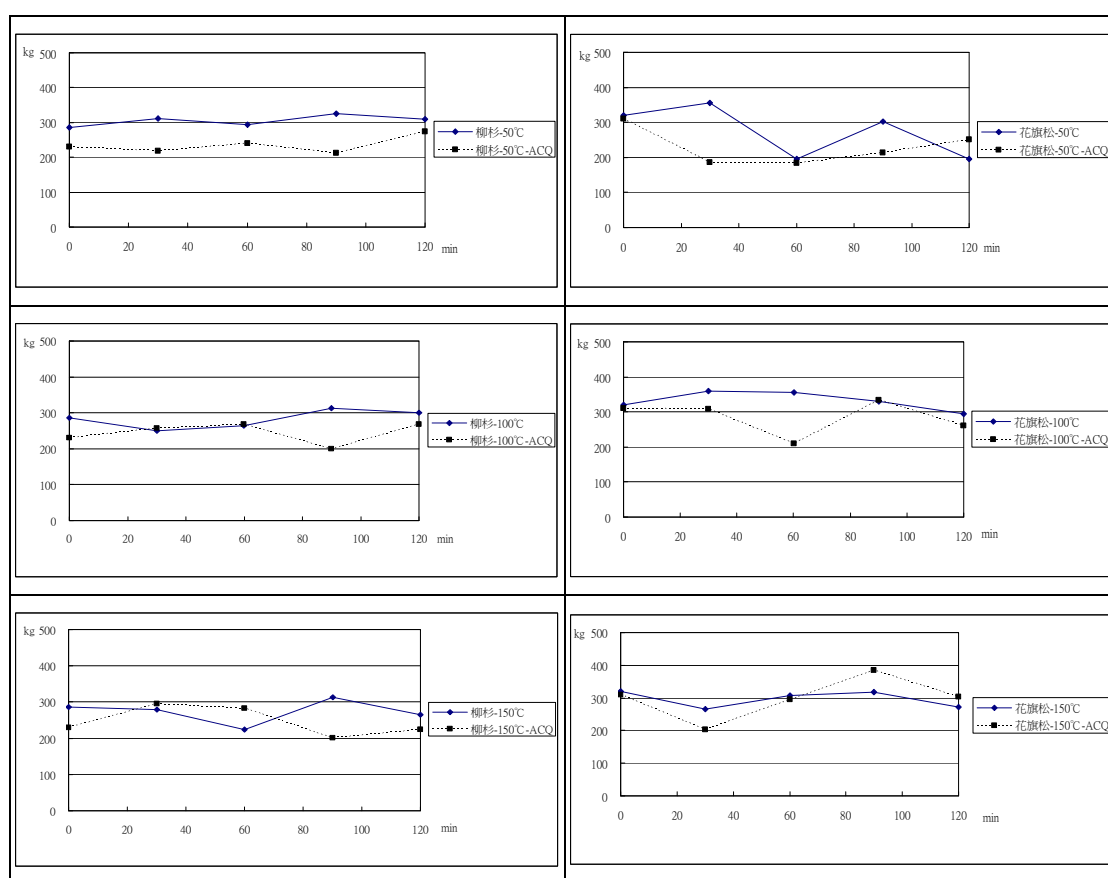


圖 4-7 木材定溫加熱後進行抗彎力學實驗結果比較圖

2. 抗壓力學實驗結果比較

實驗結果顯示在 50~150℃ 定溫與 30~120 分鐘的作用下，柳杉經 ACQ 處理者整體抗壓強度約增加 24%，花旗松經 ACQ 處理者整體抗壓強度約減少 12%。而溫度或時間個別之因素之影響性較無規律

性之關係。

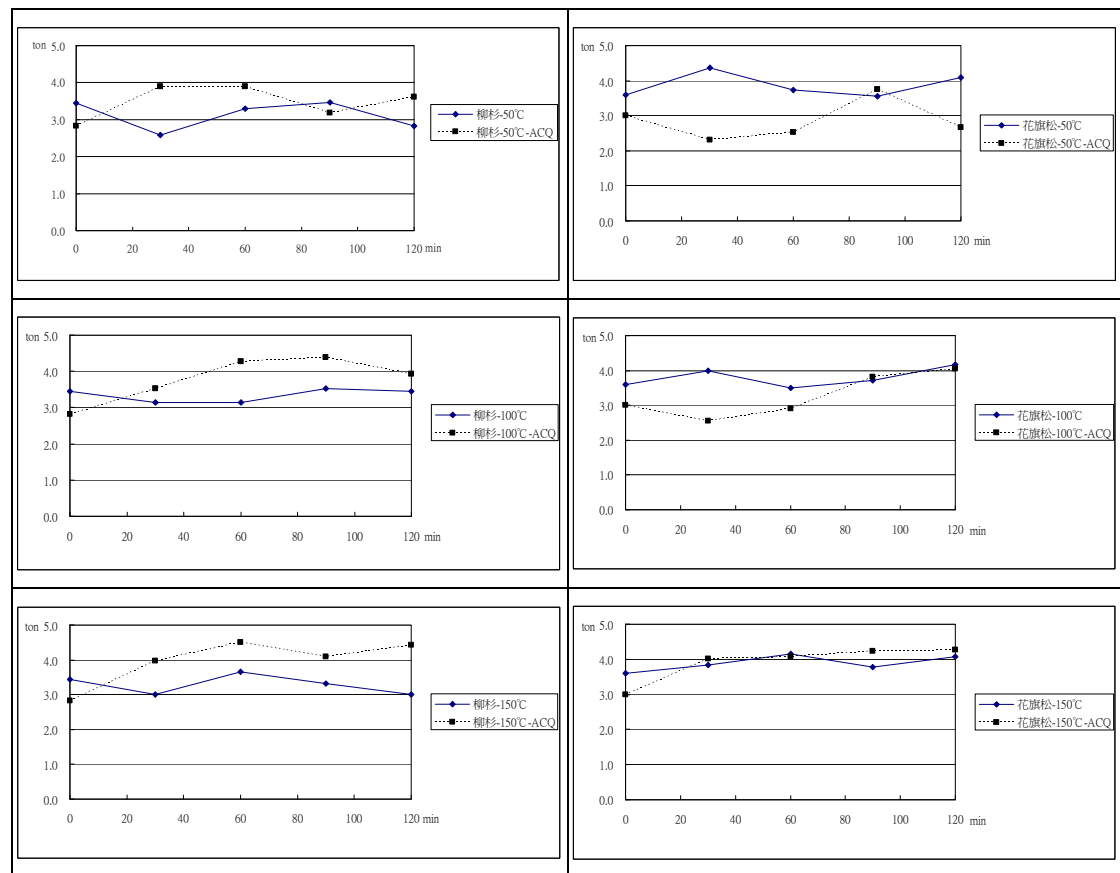


圖 4-8 木材定溫加熱後進行抗壓力學實驗結果比較圖

二、CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗比較分析

實驗結果顯示在 CNS12514 溫度時間曲線加熱作用下，加熱 30 分鐘時花旗松經 ACQ 處理者整體炭化深度約減少 7%，加熱 60 分鐘時花旗松經 ACQ 處理者整體炭化深度約減少 1%。而時間個別之因素之影響性較無規律性之關係。

實驗結果與「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之花旗松炭化深度規定比較，約多增加 12% 的炭化深度。

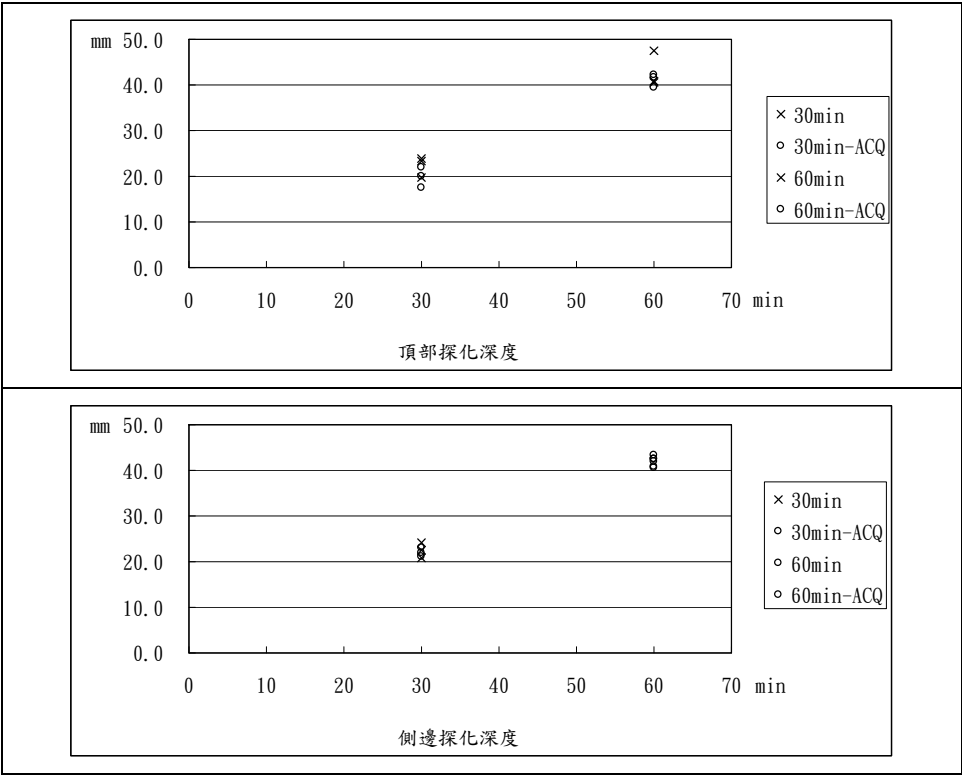


圖 4-9 CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗結果比較圖

第五章 結論與建議

第一節 結論

- 一、定溫加熱力學性質實驗之木材試體置入電烘箱進行加熱，試體於電烘箱加熱過程中，當進行至 200°C 定溫加熱，約於 60 分鐘時部份試體開始產生無焰燃燒的現象，此可能係設備之因素所造成，例如烘箱之熱氣流循環。
- 二、木材定溫加熱後進行抗彎力學實驗結果比較，實驗結果顯示在 50~150°C 定溫與 30~120 分鐘的作用下，柳杉經 ACQ 處理者整體抗彎強度約減少 15%，花旗松經 ACQ 處理者整體抗彎強度約減少 12%。而溫度或時間個別之因素之影響較無規律的關係性。
- 三、木材定溫加熱後進行抗壓力學實驗結果比較，實驗結果顯示在 50~150°C 定溫與 30~120 分鐘的作用下，柳杉經 ACQ 處理者整體抗壓強度約增加 24%，花旗松經 ACQ 處理者整體抗壓強度約減少 12%。而溫度或時間個別之因素之影響性較無規律性之關係。
- 四、CNS12514 溫度時間曲線進行燃燒炭化實驗結果顯示在 CNS12514 溫度時間曲線加熱作用下，加熱 30 分鐘時花旗松經 ACQ 處理者整體炭化深度約減少 7%，加熱 60 分鐘時花旗松經 ACQ 處理者整體炭化深度約減少 1%。而時間個別之因素之影響性較無規律性之關係。
- 五、實驗結果與「木構造建築物設計及施工技術規範－第九章建築物之防火」之花旗松炭化深度規定比較，約多增加 12% 的炭化深度。

第二節 建議

建議一

未來進行類似木材防火性能實驗應增加試體的樣本數，取材時亦考慮一致性，以降低材料本身的差異性：立即可行建議

主辦機關：本部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

實驗進行過程中因為木材為天然之材料，所以實驗數據間顯現出差異性，未來進行類似實驗應增加試體的樣本數，取材時亦考慮一致性，以降低材料本身的差異性。

建議二

制訂木材相關防火測試性規範：中長期建議

主辦機關：經濟部標準檢驗局

協辦機關：內政部建築研究所

目前缺乏木材相關防火測試性規範，所以各研究之實驗結果可能會存有許多差異性，故未來可朝向建立相關之木材防火測試規範發展。

附錄 期初、期中及期末審查會議記錄

期初審查會議記錄

審查意見	意見回應
1. 本研究之實驗加熱方式與試體尺寸，建議與木構造建築物設計及施工技術規範一致。 2. 實驗規劃採用之木材種類與加工型式，請以目前常用情況為優先考量，並妥適規劃試體採購與掌控實驗期程。 3. 本研究除探討木材防腐處理後燃燒炭化深度外，建議增列木材殘餘力學性質之實驗，俾供木構造之結構設計參考。	1. 本研究之實驗加熱方式與木構造建築物設計及施工技術規範一致。 2. 納入參考。 3. 本研究除探討木材防腐處理後燃燒炭化深度外，會規劃進行木材殘餘力學性質之實驗。

期中審查會議記錄

審查意見	意見回應
<u>中華民國全國建築師公會（江建築師星仁）</u> - 第 18 頁實驗因子表中為何不是杉木、柳杉、雲杉均有以 ACQ、CuAz 處理？ - 第 20 頁表 3-2 之數字或單位有問題。 - 第 23 頁試體斷面大於 14cm×14cm，在燃燒試驗之前應可以想到要多大？ - 第 24 頁委外做防腐及高壓處理有無監督機制。	- 第 18 頁實驗因子表中之杉木、柳杉、雲杉初步規劃均會以 ACQ、CuAz 處理。 - 已確認。 - 已有評估。 - 納入參考。
<u>中華民國室內裝修商業同業公會全國聯合會（洪晉鈺先生）</u> 可否再改變木材種類進行測試不同樹種，以「木構造建築物設計技術規範依第九章建築物之防火」之木材炭化規定為例，如杉木與松木類。	納入參考。
<u>徐主任一量</u> - 研究目標與預測成果清楚。 - 已有初步成果，可再加速實驗測試之進行。 - 建議用三種以上木材進行實驗與比較，較能得出趨勢。	- 謝謝指正。 - 謝謝指正。 - 納入參考。
<u>葉教授民權</u> 欲評估木材經防腐處理後之燃燒特性，則有必要註明木材吸	正式實驗會註明木材吸收藥劑之量。

收藥劑之量，未來結果也可以再比較滲透深度與炭化深度是否有關聯。 2. 定溫加熱力學實驗中，宜考量加溫時間，才能確定是否有熱裂解進行，同時宜考量是在有氧或無氧環境之影響。 3. 由於木材尺寸增大將會產生炭化梯度或熱裂解梯度，此對抗壓及抗彎力學影響不同，宜注意試體尺寸之決定，以及未來結果之詮釋。 4. 建議力學實驗要有對照組，同時要注意試體製取時有心材、邊材或髓心材之區別。 5. 如評估密度與炭化深度關聯性時，宜增加高密度範圍樹種，如鐵杉、松材。	2. 納入參考。 3. 納入參考。 4. 委外製作試體較無法特別要求試體製取之一致性。 5. 納入參考。
<u>鄭主任紹材</u> 1. 建議研究流程圖納入預備備試驗、正式試驗等流程，稍作更新。 2. 在試驗中建議增加「無防腐處理」之對照組，可強化試驗成果分析之解釋能力。 3. 在目前預備試驗的試驗結果數據，發現炭化深度大都大於建築技術規範防火設計的加厚設計，建議能有一些機理探討。	1. 納入參考。 2. 正式實驗會有對照組試體。 3. 正式實驗試體規劃時會加大尺寸。
<u>蕭教授邦安（書面意見）</u> 1. 本研究案於第二章針對木材防	1. 謝謝指正。

腐處理與燃燒炭化文獻回顧，堪稱完整，亦具參考性質，另關於第 7 頁中之木材燃燒炭化理論出現之學者如 Lache、Schaffer and White 之文獻出處建議予以補述之。 2. 本研究案於第三章採用之防腐處理採用 ACQ、CuAz 等藥劑，並採取真空高壓方式，採用此等藥劑與處理方式之理由為何，建議予以補述之，並略以說明與第 6 頁木材防腐處理工法之關連性。 3. 本研究案之實驗設計、執行，以及後續的實驗分析與整理初步由第三章與第四章之初步結論觀之，深值研究與實務參考，建議相關實驗結論與成果可以發表於國內外研討會與期刊。 4. 本研究案整體而言符合預期成果之需求。	2. 報告內容會加以修正。 3. 謝謝指正。
<u>主席（陳組長建忠）</u> 1. 請加強防腐處理對木材炭化深度的學理、原理、化學反應及相關文獻的收集與分析探討。 2. 木構造規範是否僅列本計畫所用木結構材之杉木、柳杉、雲杉等三種，請說明。	1. 謝謝指正。 2. 木構造規範炭化實驗之集成材才重包含杉木、柳杉、台灣、花旗松與南方松等五種。

期末審查會議記錄

審查意見	意見回應
<u>中華民國全國建築師公會（莊建築師金生）</u> - 第 32 頁第 10 行「壓彎」強度，是否應為「抗壓」強度，第 11 行「抗彎」強度，是否應為「抗壓」強度。 - 第 35 頁結論第三點之內容，「壓彎」與「抗彎」強度是否應為「抗壓」強度。	- 已修正。 - 已修正。
<u>中華民國室內裝修商業同業公會全國聯合會（洪設計師晉鈺）</u> - 室內裝修全國聯合會對本研究案，抱持非常大之期盼，並期待其應用實施。 - 本案與室內裝修業息息相關，更是室內裝修業將來亦會面臨之課題，故本會亦期待將來如有機會能在本會明年度所發表之會刊刊登，以建立本會從業人員之專業技能，將本研究案發揮最大效益。 - 建議將來把研究內容擴大及項目增多，以提供各業界參考使用。	- 謝謝指正。 - 謝謝指正。 - 納入參考。
<u>林副理事長世昌</u> 結論抗彎強度增加或減少的百分比，建議提供數據及計算式。以佐證其結論。	謝謝指正。
<u>高榮譽理事長士峰</u>	

1. 第 35 頁結論四未提及柳杉(原木)之炭化深度，請說明。 2. 試體尺寸(柳杉、花旗松)之選定尺寸為何大小不同，請說明。	1. 修正實驗規劃內容。 2. 試體尺寸規劃須大於實驗炭化之尺寸。
<u>葉教授民權</u> 1. 實驗結果抗彎強度(表 4-1)與抗壓強度(表 4-2)之數據相同，請修正。數據單位請再確認。 2. 有關木材經過防腐處理之程序或資訊宜再補強，以確認與試驗材料製備之關係，或能進一步解釋實驗結果的變異性。 3. 木材之藥劑吸收量會因邊材及心材之不同而異，建議檢視試驗結果之數值是否受到影響。	1. 已修正。 2. 謝謝指正。 3. 謝謝指正。
<u>楊教授德新</u> 1. 本研究立意，目的良好，唯在研究設計上，宜再嚴謹並增加試驗材料之重複數，以避免材料變異導致研究內容無法有效參考，建議本計劃可再深入探討規劃。 2. 預備試驗與後續試驗內容似乎無明顯相關對於選材部分宜注意，在表列中之條件宜再清楚表明。 3. 目前已有規範 60min 之深度為 60mm，故選用 140x140mm 之斷面將無法進行。	1. 謝謝指正。 2. 已修正。 3. 已修正試體規劃斷面尺寸為 170x210mm。

4. 名稱名詞宜統一，單位有誤，表 4-1，抗彎強度 (kgf/cm²)。 5. 表 4-3 建議加入同質性分析，與列出標準差。 6. 第 32 頁中之各強度增加、減少百分率如何得到，由表中無法計算出，同樣結果在炭化深度方面亦同。 7. 建議本研究再進一步深入探討。	4 已修正。 5. 已列出標準差。 6. 以平均結果計算。 7. 謝謝指正。
<u>李教授訓谷(書面意見)</u> 1. 計畫成果對於防腐處理木材之燃燒炭化特性之了解有所助益。 2. 表 4-1 與表 4-2 之數據相同，請修正。 3. 建議增加防腐處理藥劑 (ACQ) 的熱學性質於報告中，以進一步判斷 ACQ 對木材炭化之影響。 4. 建議增加樣本數。	1. 謝謝指正。 2. 已修正。 3. 謝謝指正。 4. 謝謝指正，未來規劃木材燃燒實驗會增加樣本數。
<u>徐主任一量(書面意見)</u> 1. 計畫使用天然木材，材質難一致化，故難獲得一致性的結果，建議延續計畫可再多充實實驗樣本數。 2. 本計畫成果有助於建置國內木質建材防火測試規範，然仍待後續再充實實驗之樣本數及數據。	1. 謝謝指正，未來規劃木材燃燒實驗會增加樣本數。 2. 謝謝指正，納入未來實驗規劃參考。

3. 防火測試樣本數多，時間長，變異數多，實驗難度高，本計劃已有初步成果，相當可貴，建議再擬定後續之測試材質及樣本數。 4. 結論三的文字似有混淆，請再檢視。	3. 謝謝指正，納入未來實驗規劃參考。 4. 已修正。
<u>主席（陳組長建忠）</u> 1. 鉻化砷酸銅防腐處理，有關對木材防火耐燃性能影響之機轉，請就學理上來探討。以免一再面臨實驗樣本與次數不足的原因存在。 2. 定溫在火災歷程要表達的意涵，以及其設計方式，請詳為說明。	1. 謝謝指正。 2. 已修正。

參考書目

1. 蔡明哲 (2008),「新型木材防腐劑在古蹟修復工程成效之研究」, 內政部建築研究所, 台北市
2. 王松永 (2006),「防腐防蟲以處理對大木構材玉里與力學性質之影響」, 內政部建築研究所, 台北市
3. 巫佳芸 (2005),「經防火、防腐處理之木材機械性能—以高壓注入工法探討之」, 國立成功大學碩論
4. Marc L. Janssens (2004),「Modeling of the thermal degradation of structural wood members exposed to fire」, FIRE AND MATERIALS, Fire Mater.; 28:199 – 207, 2004.
5. Robert H. White (1995),「The SFPE handbook of fire protection engineering」2d ed, Chapter 11. 4-217-4-229. Analytical Methods for Determining Fire Resistance of Timber, 1995.
6. 王松永,「木構造古蹟與歷史建築物之火災性狀與防火措施」, 文化資產保存學刊, Vol.1(1)/pp. 18-26C04
7. 須藤昌照, 山田誠, 宮林正幸, 吉川利文, 中村賢一 (2003),「木質系構造部材の燃え止まりに関する研究」, 日本建築学会大学術講演梗概集. A-2, 防火, 海洋, 情報システム技術, 日本, 2003, 323-324, 20030730
8. White, R. H., and Nordheim, E. V. (1992) 「Charring rate of wood for ASTM E119 exposure」, Fire Technology, 28(1):5 – 30.
9. White, R. H. and Dietenberger, M. A. (1999) 「Wood handbook—Wood as an engineering material, CH17 Fire Safety」, Forest Products Laboratory.
10. 內政部營建署 (2008),「木構造建築物設計及施工技術規範—第九章建築物之防火」, 營建署審查會議後修訂版, 2008.10。
11. Jürgen K. Konig, y (2005),「Structural fire design according to Eurocode 5-design rules and their background」, 29:147 – 163. FIRE AND MATERIALS, 2005.12.

12. I. M. Van Zeeland^{1, n, y}, J. J. Salinas¹ and J. R. Mehaffey², 2005 (2005) , 「Compressive strength of lumber at high temperatures」 29:71 – 90, FIRE AND MATERIALS Fire Mater. 2005.