

# 科技部補助專題研究計畫成果報告 期末報告

## 木楔鋸縫角度對木材T形插榫結構強度之分析研究

計畫類別：個別型計畫  
計畫編號：MOST 105-2221-E-343-001-  
執行期間：105年08月01日至106年07月31日  
執行單位：南華大學創意產品設計學系

計畫主持人：鄭順福

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：呂俊良

中華民國 106 年 09 月 16 日

中文摘要：本研究旨在探討木楔鋸縫角度對木材單插榫T形結構強度之影響分析，並探討兩者間之相關性。透過蒐集相關資料及實驗研究，並以平均數、獨立樣本t考驗，探討實驗結果之抗拔強度，藉以提供傢俱製造及設計業者參考。

中文關鍵詞：結構、傢俱、榫頭、榫孔、木楔

英文摘要：The purpose of this study is to investigate the influence of the angle of the wedge saw on the strength of the single-tenon T-shaped structure of wood and to explore the correlation between the two. Through the collection of relevant information and experimental research, and the average, independent sample t test, to explore the experimental results of the pull strength, to provide furniture manufacturing and design industry reference.

英文關鍵詞：Structure, Furniture, Tenon, Mortise, Wedges

行政院國家科學委員會專案研究計畫成果報告

**木楔鋸縫角度對木材 T 形插榫結構強度之分析研究**

Analysis On The Strength Of Wood T-shaped Dowel Structures With  
Wood Wedge Saw Angle

計畫編號：MOST 105-2221-E-343-001

執行期間：105/08/01~106/07/31

計畫主持人：鄭順福

研究助理：呂俊良

執行單位：南華大學創意產品設計系

中華民國 106 年 9 月 20 日

## 中文摘要

本研究旨在探討木楔鋸縫角度對木材單插榫 T 形結構強度之影響分析，並探討兩者間之相關性。透過蒐集相關資料及實驗研究，並以平均數、獨立樣本 t 考驗，探討實驗結果之抗拔強度，藉以提供傢俱製造及設計業者參考。

關鍵字: 結構、傢俱、榫頭、榫孔、木楔

## 英文摘要

The purpose of this study is to investigate the influence of the angle of the wedge saw on the strength of the single-tenon T-shaped structure of wood and to explore the correlation between the two. Through the collection of relevant information and experimental research, and the average, independent sample t test, to explore the experimental results of the pull strength, to provide furniture manufacturing and design industry reference.

**Keywords:** Structure, Furniture, Tenon, Mortise, Wedges.

# 目錄

## 第一章 緒論

第一節	研究緣起與動機.....	1
第二節	研究目的.....	4
第三節	待答問題.....	5
第四節	研究方法.....	5
第五節	研究範圍與限制.....	5
第六節	重要名詞界定.....	7

## 第二章 文獻探討

第一節	木質傢俱接合結構之定義.....	8
第二節	木質傢俱榫接結構形式之探討.....	9
第三節	影響木材接合結構因素之探討.....	10
第四節	接合結構行為探討.....	16
第五節	木楔結構之探討.....	18

## 第三章 研究設計與實施

第一節	研究架構.....	23
第二節	試件設計.....	24
第三節	研究工具.....	27
第四節	試件製作.....	30
第五節	引拔強度試驗.....	42
第六節	資料整理.....	43

## 第四章 研究結果與分析

第一節	試件引拔強度結果分析.....	46
第二節	木楔鋸縫角度引拔強度獨立樣本 t 檢定.....	51

## 第五章 結論與建議

第一節	結論.....	53
第二節	建議.....	54

# 第一章 緒論

木質傢俱具有優美的天然紋理、質感及易於加工等特性，因而幾世紀以來深受消費者的喜好。由中國河姆渡遺址（距今六千多年）所發掘之大量木構建築中已有了木材方榫接合（Mortise and Tenon Joints）的發現得知，人類為提高木材的利用價值，在當時就已經對木材的接合方式進行製作及研究（林壽晉，民 70）。傢俱因造型及結構上的需求，有各種不同的接合方式，而如何改善傢俱結構並提高榫接的結合強度，長久以來是傢俱設計及製造業者努力追求的目標。

## 第一節 研究緣起與動機

### 壹、研究緣起

Sparkes (1968) 指出：在各種傢俱結構接合中，榫接接合的強度最大也最為美觀。為了使傢俱榫接的結合強度提高，許多木結構專用膠合劑推陳出新；這些膠合劑與榫接結構結合後的強度，能解決大部分傢俱設計與製造上強度的問題。

根據王松永、楊淑惠（民 89）指出：引拔強度以橢圓榫最大，次為方榫，木釘接合最小。由於工業時代傢俱量化生產的需求，使傢俱榫接接合方式趨向選擇加工簡單、易於裝配的木釘（Dowel Joint）、方榫（Square Joint）及橢圓榫（Ellipse Joint）。

根據 Eckelman (1978)、楊明津、林東陽（民 75）指出：影響榫接強度的因素包括如樹種、含水率、膠合劑種類、佈膠方式、榫頭尺寸、嵌合度等等皆是。

歷年來相關之學者及專家，對傢俱 T 形榫接結構常用之木釘、方榫及橢圓榫結合強度做了許多深入的研究。但是，對於榫接結構遭受破壞的部位及原因並未能深入加以探究，並且，對於如何提高榫接結構強度的技術層面，受限於

專業的傢俱製造技術，並未能深入加以探討或研究。

T 形結構經常使用在椅類傢俱的側面橫桿與後腳連接，這部分經過長時間使用後，最容易出現脫膠或損壞的情況。經檢視破壞狀況發現有兩種情形。

一、加工過程中，榫頭與榫孔的密合度不足，護木漆阻隔膠合劑接觸接合面使膠合力不足，以及空氣濕度變化影響木材含水率控制不當，而引發收縮等因素造成，這些因素只要能在製作過程中嚴格控制品質就能解決(如圖 1-1 所示)。



圖 1-1 榫頭脫離榫孔的現象 (拍攝者：呂俊良)

二、榫頭與榫孔膠合面的木纖維皆有撕裂現象。一般都以外力大於榫接的最大抗拉力作為解釋，並沒有深入探討榫接內部撕裂部分的破壞情況和膠合層撕裂的原因(如圖 1-2 所示)。



圖 1-2 榫頭接合面纖維撕裂的狀 (拍攝者：鄭順福)

經分析榫接的膠合過程，發現榫接在組裝過程中，只針對榫頭與榫孔的垂直面施壓，受限於榫接結構形式而榫孔內部周圍之膠合層未加以施壓，因此影響榫孔內部膠合層的膠合效果。

## 貳、研究動機

依據孫水坤、陳載永(民 82)對台中縣國民小學課桌椅強度檢驗與結構改善(II)——市售方榫結構之美國鐵杉課桌椅之強度研究結論指出：

一、以 JIS 學校用傢俱之檢驗標準，市售方榫結構美國鐵杉之椅子，按反覆衝擊試驗均未能達到合格標準。

二、其原因有：

(一) 材料本身材質較軟。

(二) 榫頭與榫孔之精密度不良。

(三) 接合部位之上膠量不足且不均勻。

依據上述結論未能達到反覆衝擊試驗合格標準之原因，本研究計畫利用楔片 (Wedges) 來增加結構強度。楔片是一種利用斜度扣接的傳統技術，可以解決因材質較軟、榫接精密度不良及上膠量不足的加工缺點。於榫接中嵌入木楔，可以提高榫接的扣接強度。

傳統的木楔榫接係以榫頭側邊距離 10mm 處嵌入木楔，藉由嵌入之木楔使榫頭兩邊產生擴張力，增加榫孔兩邊與榫頭側邊之密合度。

因為榫孔兩邊為木材的端面，端面是植物的維管束切面，它會將膠合劑完全吸進木材裡面，使膠合層的膠合薄膜變得非常少量，導致膠合作用的效果大幅下降，這種方式並無法提高榫接的膠合效果。鄒茂雄 (民 71) 指出：理想的木材膠合面係以材料的面對面或邊對邊最為理想，木材端面的膠合效果是最不理想的。

由上述傳統的木楔接合技術與木材膠合理論的啟萌，本研究是希望透過改變傳統木楔鋸縫的方向，使榫接內部之膠合層都能平均受到適度施壓，達到最理想的膠合效果，同時又能維持木楔斜度扣接的優點，藉以提高 T 型榫接之結構強度。由於方榫較常應用在木材傢俱結構上，加工方式也較簡易，吻合許多傢俱的結構製作方式，所以本研究統一採用貫穿方榫，目前未知最吻合 T 型榫接結構之木楔鋸縫角度，在此測試兩種鋸縫角度的施壓範圍及強度，互相比較測試，希望測試結果能找出最合適的鋸縫角度，並提升傢俱結構強度及品質。

## 第二節 研究目的

依據研究緣起與動機之論述，優良的傢俱榫接結構必須具備高強度、加工快速及材料節省之三大原則。為證明貫穿木楔榫接是否具有實用的發展價值，本研究的目的是如下：

一、了解貫穿方榫木楔榫接的引拔強度。

- 二、了解不同製材方式之端面紋理斜率及斜率差對貫穿方樺木楔榫接引拔強度的影響。
- 三、了解不同木楔鋸縫角度木楔榫接引拔強度的影響。
- 四、提供上述相關數據及影響因素建議，供國內有關單位及相關學者與專家參考，並作為後續研究之依據。

### 第三節 待答問題

本研究將應用木材加工技術，改良傳統之貫穿木楔榫接。利用木楔的原理及膠合理論，設計改變木楔的擠壓方向，使榫接於組合後內部的膠合面能獲得適度的施壓，以達到最佳的膠合效果及結構強度。因此本研究探討之主要問題如下：

- 一、貫穿方樺木楔榫接應用於傢俱結構中，其引拔強度為何？
- 二、不同木楔鋸縫角度對貫穿方樺木楔榫接引拔強度之影響程度為何？

### 第四節 研究方法

本研究採用實驗研究法，以設計及製作試件進行結構破壞為主。首先參考傳統木楔應用於榫接的接合結構，加以改良並應用於試件設計中。本實驗之試件結構採用貫穿方樺木楔榫接，木楔嵌入榫頭的方向採取對角線方式嵌入，使榫接內部膠合面都能獲得壓力。另外，此研究皆用尿素膠混合白膠作為膠合劑，並控制一定浸泡時間，使榫頭均勻布膠。依據榫接設計構想，使用木工機器及加工技術製作 T 形貫穿方樺木楔榫接。並製作拉拔實驗用夾具，將試件固定於微電腦萬能材料試驗機，進行引拔破壞試驗，觀察並紀錄其結構破壞之變化，作為本研究之理論基礎。

為使研究成果具體化，本研究利用上述所得之相關數據，採用統計學之平均數(MEAN)、變異數分析法(ANOVA)及皮爾遜積差相關(Pearson Correlation)及線性迴歸分析(Linear regression)等描述性及推論性統計，進行分析歸納。

## 第五節 研究範圍與限制

由於工業時代傢俱量化生產上的需求，全球森林過度的開發，人造林的速度趕不上人類的需求，替代材料不斷的被開發出來，例如過去台灣地區中小學所使用之課桌椅常以鐵杉材料製造，目前已漸漸被進口之花旗松及白松所替代。由於木楔接合結構以中等軟材較能發揮其效能，因此，本研究選擇以黃松(Pinus ponderosa)為試件製作材料。

### 壹、研究範圍

- 一、本研究以貫穿木楔榫接為研究樣本，不包括不貫穿方榫、不貫穿圓榫、不貫穿橢圓榫、不貫穿圓榫、貫穿橢圓榫、貫穿圓榫等榫接。
- 二、本研究僅進行貫穿方型木楔榫接引拔強度(Withdrawal strength)測定，不包括抗彎強度、抗剪強度的測定。

### 貳、研究限制

- 一、本研究由於時間及經費等因素，僅取用含水率控制在 12%之加拿大黃松為試件製作材料，因此，研究結果無法解釋推論至其他不同含水率及不同樹種。
- 二、榫接因傢俱功能及造型的需要而有各種尺寸，本研究之榫接試件僅取用寬度 38mm，厚度 35mm 一種尺寸，因此，研究結果無法解釋推論至其他不同尺寸之榫接。
- 三、木材膠合劑有許多種類(尿素甲酸樹脂、RF、PU、Epoxy、PVAc)，本研究由於時間及經費等因素，僅取用白膠與尿素膠、氯化銨混和(1:7:0.1)。因此，研究結果將無法解釋推論至其他不同膠合劑。
- 四、本研究的主要變項僅限於「木楔鋸縫角度」與「榫接引拔強度」的關係

研究，其他影響因素（如硬度、含水率、表面粗糙度、榫頭尺寸等），則因時間及經費的限制，無法納入研究。

五、影響榫接引拔強度的因素包括榫接浸膠時間的長短、木楔嵌入的方向及數量、榫頭不同長度、材料不同硬度、材料不同樹種等等，本研究受限於人力及其他因素，僅就「0 度木楔鋸縫角度」、「90 度木楔鋸縫角度」等兩項進行考驗，其餘則無法逐一進行考驗。

## 第六節 重要名詞界定

### 結構 (Structure)

一個存在物或是一種系統，係由其中每一個構成份子交互作用而成，其構成與功能，只有從整體的觀點，才能獲得理解。傢俱的結構方式是透過「骨架」與「板」的組合，才能成為一個具有功能的實體

### 傢俱 (Furniture)

狹義指家庭所使用的器具，廣義是指提供人類生活、工作所需的輔助工具，本文所稱傢俱係指木質傢俱，如居家與辦公場所使用之櫥櫃、桌椅等。

### 榫頭 (Tenon)

傢俱榫接的接合結構，一般係由兩個組件一凹一凸結合組成，其中將木材端部切削成凸出形狀的單元組件，稱之為榫頭。

### 榫孔 (Mortise)

傢俱榫接的接合結構，一般係由兩個組件一凹一凸結合組成，其中將木材側面加工成凹槽形狀的單元組件，稱之為榫孔。

### 木楔 (Wedges)

木楔是一種接合鎖釦的方法，能靠著榫頭的側邊擠壓增加榫接組合後之緊密度。木楔採用於貫穿榫接時，長度約為 50mm，寬度與榫頭厚度相同，厚度約 6mm 呈錐形，木楔斜率約 5 度，比例為 1：6。採用於不貫穿榫接時，木楔長度必需視榫頭長度及榫孔深度而定。

## 含水率 (Moisture Content)

含水率係木材之絕乾(全乾)重量或測定時重量之比率。一般以百分比(%)表示，前者稱為乾量百分比，後者稱為濕量百分比。為比較木材之標準的含水率通稱為標準含水率 (Standard or Normal Moisture Content) 或平衡含水率 (EMC)，含水率的標準各國及各區域有所不同，有採用 10%、12%、15% 或更高者。

## 第二章 文獻探討

影響傢俱結構強度的因素眾多，本研究僅針對榫接定義、榫接樣式、影響接合結構因素、接合結構行為、木楔結構等進行相關文獻探討，以充分了解榫接結構之精髓，並作為本研究之理論基礎。

### 第一節 木質傢俱接合結構之定義

環華百科全書 (1986) 對「結構」的定義解釋為：一個存在物乃是一種結構，或是一種系統。它之所以成為一個整體，係由其中每一個構成份子交互作用；而每一部分的構成與功能，只有從整體的觀點，才能獲得理解。由此解釋結構的各部分必須經過組合，才能成為一個具有功能的實體。

簡明大英百科全書 (1975)，對木質接頭 (Joint) 的定義為：接頭的目的是將兩個構件固定在一起，使它盡可能的堅固，並不使接頭暴露。依此定義，木質接頭 (榫接) 其主要功能在使不同個體的木材結合在一起，並且能承受所需的強度。

和家麒 (民 82) 指出：傢俱的結構方式歸納起來，不外乎是「骨架」(frame) 與「板」(panel) 的組合。在設計或創造一件傢俱時，其結構上必需考慮三個獨立而又有密切關連的設計步驟：

- 一、傢俱造型設計：對於傢俱而言，「造型」的設計是最重要的，因傢俱製品的結構形態含有藝術及審美的觀點在內，對消費者而言會產生極大的購買意願及吸引力，造型美觀的傢俱也可豐富人們的生活文化。
- 二、傢俱功能設計：「功能」設計也就是結構設計，是根據人體工學原理來確定傢俱結構與各部尺寸，以滿足人們特定的需要，也就是依照最有效的方

式，來表現傢俱預期的功能。

三、傢俱工程設計：「工程」設計又可稱為傢俱強度設計，是根據有系統的結構強度理論，設計有足夠能力承受載重的產品，以便確保傢俱在使用中擁有一定的安全性。

柯善士（民 67）指出：傢俱結構乃是以木材為主要材料，藉著榫接、五金、膠合等方法，使設計中各構件的材料得到緊密的組合。

盧俊宏（民 75）指出：木工榫接（wood joint）乃是木材兩相接合一凸一凹互相接合的部位，凸的部位稱之為榫頭（Tenon）凹的部位稱之為榫孔（Mortise），凹凸相互配合的設計，使之連接為一體的組合方式。

侯世光（民 75）指出：傢俱結構乃是傢俱各組件之間的組合，而這組件必須藉榫接等接合方式使各組件接合在一起。

彙整以上學者專家的看法，研究者將木質傢俱接合結構定義為：木質傢俱接合結構是為了結合構件，並使之能承受使用時所需的強度及功能。其中以一凸一凹互相接合的榫接接合結構，最為經濟、實用及美觀。

## 第二節 木質傢俱榫接結構形式之探討

傢俱使用榫接接合的比例較其他接合方式為高，而榫接因接合結構強度上的需求而有極大之變化，不同樣式及功能的榫接數以百計。不同木工行業常因製品造型、功能、耐用性等因素，分別發展出特殊型式的榫接結構，以符合其行業上需要的。

林壽晉（民 70）將戰國細木工榫接接合方法歸納成：1. 直榫 2. 半直榫 3. 鳩尾榫 4. 半鳩尾榫 5. 圓榫、半圓榫 6. 端頭榫 7. 嵌榫 8. 嵌條 9. 蝶榫 10. 半蝶榫 11. 寬槽接合 12. 窄槽接合 13. 斜切加半直榫接合 14. 雙缺接合等十四類接合方法。

黃彥三（民 77）認為榫接之基本形式可區分為 1. 對接 2. 橫槽接 3. 嵌槽

接 4. 舌槽接 5. 直榫接、橢圓榫接 6. 搭接 7. 鳩尾接 8. 斜接等八種接合法。

鄒茂雄（民 81）將木工接合方式分類為：1. 邊接合 2. 半塔接合 3. 橫槽與嵌槽接合 4. 方榫、橢圓榫接合 5. 木釘接合 6. 三缺榫接合 7. 鳩尾榫接合 8. 舌榫與溝槽接合 9. 斜接 10. 端接等十種接合。

王松永、楊淑惠（民 79）指出：傢俱接合強度關係著傢俱的安全性與耐用性，由於傢俱量化生產的需求，使傢俱接合方式趨向採用加工簡單易於裝配的接合。目前傢俱工廠使用最多的榫接型式為木釘、方榫、橢圓榫的接合。

綜合上述學者專家的論述可以了解，傢俱接合的方式乃因傢俱型式及結構部位之不同而定，而近年來因工業化大量生產要求效率化的緣故，目前傢俱工廠使用最多的榫接為木釘、方榫及橢圓榫的接合。本研究為配合未來傢俱工廠生產效率及精度的要求，擬採用雙邊半圓榫（橢圓榫）為研究樣本，以便研究結果能提供業界參考使用。

### 第三節 影響木材接合結構因素之探討

影響木材接合結構強度的因素除了榫接型式之外，榫接膠合面、嵌合度、膠合劑、膠合層施壓、木材性質、濕度及溫度等因素，均會影響結構之強度。故本研究乃針對上述因素進行文獻探討，並作為本研究的理論基礎依據。

#### 壹、榫接膠合面的選擇

鄒茂雄（民 81）指出：木材是一種多孔性材料(Porous Material)，一塊木材的端部是粗導管線木理，且其吸收作用非常大。把一塊木材端部放在水中，水份將很快的順著導管縱向進入木理之中。如果僅是木材的側面暴露在水中，則其吸收量將大為減少。膠合強度決定於進入表面木理的膠合量，如果膠合劑塗佈於端面木塊(End Grain)，則許多膠合劑將被吸收進去，形成與相鄰材料間

膠合薄膜的膠合劑僅剩下很少量或一點也不留，其膠合強度自然減弱。理想的膠合面是木材膠合劑應該滲入木理一些，以提供抓力(Grip)，但是在兩膠合表面間，必須留有一些以形成連結薄膜(Uniting Film)。

陳殿禮(民87)指出：以帶鋸機、圓鋸機、立軸機製作榫接比較表面粗糙度，其中以帶鋸機表面粗糙度之標準差(5.14 $\mu\text{m}$ )最大而立軸機製作榫接之表面粗糙度標準差(1.96 $\mu\text{m}$ )為最小。而膠合面的表面粗糙度會直接影響膠合強度，表面粗糙度值越小，其結合後之強度越大。

由上述膠合面對膠合強度影響的分析，可以得到選擇正確膠合面的認知，亦即結合兩木材之一或兩者都是端面木理時，太多的膠合劑被吸進木材裡面，兩結合組件間無法留下膠合劑，這種結合將十分脆弱。比較理想的膠合面是由木材的側面對側面接合。另外，膠合面的表面粗糙度會因加工機械之不同而有所差異，橢圓榫機鉋削材料的方式與立軸機鉋削方式是相同的。因此，本研究榫接膠合面將採取橢圓榫機加工，以獲得較佳為適當的表面粗糙度。

## 貳、榫接嵌合度

楊明津、林東陽(民75a)指出：暗榫接合採填縫性的尿素甲酸樹脂時，雖然配合度以-0.5mm為最強，但是考慮其組合施工及施工易產生劈裂，其榫頭與榫孔應選擇配合度以-0.2mm至-0.3mm之過渡配合，能提高結構強度之品質。

蔡佳廷、林慶東(民83)指出：接合條件對橢圓榫接合強度有下列之影響：

- 一、橢圓榫接合強度乃隨著木材比重之增加而強度愈大的趨勢。柳杉積層材方面，兩種方式之接合皆有明顯的增加，A方式(六層)之引拔強度約為柳杉材強度的1.94倍，破壞的撓曲強度約有1.24倍；B方式(十二層)之引拔強度約為1.07倍，破壞的撓曲強度為1.13倍。
- 二、白櫟木材(White Oak)以不同的膠合劑接合，引拔強度、破壞撓曲及接合剛性皆以UF膠所獲得之強度最大。以瞬間接著劑所獲得之引拔強度最

差；而 PVAc 膠所獲得的撓曲強度與接合強度最差。

三、白櫟木材橢圓榫接合之嵌合度，引拔強度以 $-0.2\text{mm}$  最適宜；而破壞之撓曲強度以 $-0.3\text{mm}$  為最佳；另外接合強度以 $-0.4\text{mm}$  為最強。

陳合進（民 84）於應力波非破壞測定法檢測傢俱構件接合強度論文指出：三種接合法之引拔載重試驗中以橢圓榫最大，方榫次之，木釘接合最小；構件的引拔載重會隨著構件榫頭長度的增長而提高。所有構件中以榫長  $40\text{mm}$  的強度最大( $2003\text{ kgf}$ )，而以未佈膠構件之強度最低( $137\text{ kgf}$ )，榫頭寬度  $+0.5\text{ mm}$  嵌合度的構件強度會明顯的降低。3 種接合法中最大彎矩方面以方榫之彎矩最大，橢圓榫次之，而木釘接合最低；榫頭厚度  $+0.5\text{ mm}$  嵌合度之構件，其最大彎矩比嵌合度 $\pm 0$  的構件大。

楊明津、林東陽(民 75b)指出：暗榫接合之抗彎強度與榫頭長度及榫頭寬度皆成正相關。適度的增加榫頭寬度可以獲得較大的抗彎曲強度。暗榫接合之榫厚比約為  $1/2$  時具有最大的抗彎曲強度，目前普遍採用榫厚比為  $1/3$  之情形，就木製傢俱最常遭受的彎曲外力而言並不理想。

綜合上述相關研究之論述得之，榫接之嵌合度採基軸制時以 $-0.2\text{mm}$  至 $-0.3\text{mm}$  之過渡配合其抗拔強度最佳，並能提高結構強度之品質。榫接的引拔強度會隨著榫頭長度的增長而提高。目前普遍採用榫厚比為  $1/3$  之情形，就木製傢俱最常遭受的彎曲外力而言並不理想。本研究考慮榫接嵌入木楔後組合的問題，嵌合度採基孔制 $\pm 0$  配合，榫頭長度採材料寬度  $2/3$  設計，榫頭厚度比榫肩多  $3\text{mm}$  加工。

### 參、膠合劑的選用

木材膠合作用會受無數的因素所影響，並且膠合層的形成其機構也很複雜，目前為止還沒有一種膠合劑能適用於各種不同樹種的木材或其他不同的膠合條件。

陳嘉明（民 85）指出：特定的樹種和膠合條件下，就須有特定種類和配方

的膠合劑。一般來說，用法簡單、容易的膠合劑（例如動物膠和聚醋酸乙烯乳液），或是價格較低的膠合劑（例如澱粉膠）卻是耐久和耐水性較差，而耐久和耐水性良好的膠合劑（例如酚樹脂）卻要小心而精密的控制膠合條件。所以說，膠合劑的選擇和決定就須折衷而且妥協各種要求條件。

李文昭、劉正字（民 72）於高含水率木材用膠合劑之製造及其膠合方法之研究結論指出：

- 一、對各膠種，低比重材之高含水率木材膠合均優於高比重者。
- 二、RF 延長硬化劑添加後至塗佈時間為 3 小時，對低比重材之膠合性有改良效果，對高比重材則效果不顯著。
- 三、PU 膠以  $\text{NCO} / \text{COOH} + \text{OH}$  之莫耳比為 2.0~2.5 者，所得膠合結果較佳。
- 四、各膠種間，對低比重材以 RF、PU、Epoxy 膠合性較佳，對高比重材則以 PU 及 Epoxy 之膠合性較佳。
- 五、木材表面熱處理，RF 對杉木有改良效果，對鐵杉木效果較不顯著，PVAc 對氣乾狀態試材有改良效果，對濕潤狀態試材無改良效果，PU 及 UF 則處理無改良效果。

綜合上述相關研究之論述得之，膠合劑的選用必須視特定的樹種和膠合條件來決定，每一種膠合劑有其特性，在膠合工程上有其適用範圍，膠合劑的選擇須折衷而且妥協各種要求條件。本研究之試材係經人工乾燥完成，因此選擇對氣乾狀態試材有改良效果的高結構強度專用之 PVAc 為膠合劑。

#### 肆、膠合層施壓

榫接於佈膠硬化過程，由於膠合劑尚未有足夠抓緊被膠材的強度，因此，必須夾壓或按壓榫接之膠合面。

陳嘉明（民 85）指出：榫接之膠合面加壓時施力要適當，壓力不足則被膠材不能緊密的互相接觸，壓力過度則把膠合劑擠出，甚至於壓壞被膠材和膠合

層。大多數的膠合劑都須達到一定的溫度，才能硬化形成膠膜，所以膠合層的溫度和夾壓時間要足夠使膠合劑充分硬化，所形成的膠膜最少要有最低的標準的強度。

李文昭（民 75）指出：膠合強度的大小是由許多複雜的因子所共同決定，如被膠材表面的不潔物，膠合劑中微小氣泡的存在，膠合膜厚度不均勻而產生集中應力，不正確的壓力與溫度等均會影響膠合強度。

黃耀富（民 73）指出：將壓力施壓於軟材之弦切面，可以調整年輪中春材部分的粗糙度，在徑切面則秋材帶將被壓潰而陷入春材層中，過強的壓力會使秋材部分之硬組織較突起，膠合劑向春材部分流去，秋材部分產生欠膠，而整個膠合層形成波浪狀，使膠合力降低。

綜合上述相關研究論述得之，適當而正確的於榫接膠合層施壓，才能產生良好的膠合效果，施壓的壓力大小，必須依據材料硬度來決定，方可避免破壞材料及欠膠的情形發生。本研究擬以木楔嵌入榫頭的方式，使榫頭側面自然產生向膠合層施壓之力。

## 伍、木材性質

製造傢俱的材料有木材、竹藤、合板、粒片板、纖維板等等。傢俱製造或設計者，必須對材料特性有充份的了解與認識，才能完成有效的設計，以達「物盡其用」。

黃彥三（民 77）認為：木材作為結構用材料時，所具有之優良特性如下：

- 一、易於加工。
- 二、易於釘著或以膠料接合。
- 三、木材在纖維方向具有安定性（Stability），長度幾乎不受含水率變化之影響，而其溫度膨脹係數亦較金屬為小。
- 四、木材具有良好的堅韌性（Toughness），若施以適當乾燥及防腐處理，則更易長久保存。

- 五、木材具有耐各種化學藥品而不易被侵蝕之特性。木材之風化速度亦甚緩慢，若材面被覆漆類則更具耐久性。
- 六、木材為優良熱絕緣材料。其熱傳導係數 (Coefficient of linear thermal expansion) 為磚之 1/6、玻璃之 1/8、混凝土之 1/115、鋼之 1/390、鋁之 1/1700。木材可說是唯一具有熱絕緣性的結構用材料。
- 七、乾燥的木材為電之不良導體。
- 八、木材因較輕，故其強度較金屬材料為大，尤以作為屋樑使用時最為顯著。
- 九、木材具有吸放濕性，當室內空氣乾燥時，可放出木材中所含的水分，當室內空氣潮濕時，又可吸收空氣中過量之水分，具有調節室內濕度之功用。
- 十、木材具天然優美的紋理，為其他材料所不及。高級傢俱多以木材為基材。

#### 陸、溫度及濕度

由於木材是一種有機性的物質，生長過程受氣候、產地、土壤、海拔高度等自然因素的影響，常使內部的組織發生變異。木材的物理、機械、化學等性質亦隨樹種之不同而互有差異。王松永(民 74)認為：木材在纖維飽和點以內，木材愈乾燥其細胞間之結合力愈強，木材的機械性質一般都會增強。在纖維飽和點以上時，含水率的多寡幾乎對機械性質毫無影響。在纖維飽和點以下時，含水率從 20% 到 0% 之間，含水率與機械強度性質間有大約成直線的關係。含水率每減少 1% 時，各種強度的增加率如下：

- 一、靜掙曲強度 4%
- 二、靜曲彈性係數 2%
- 三、靜曲比例限度 5%
- 四、最大小平剪力 3%
- 五、縱向壓縮強度 6%
- 六、縱向壓縮比例限度 5%

- 七、橫向壓縮比例限度 5.5%
- 八、縱向與橫向壓縮彈性係數 2%
- 九、縱向剪斷強度 3%
- 十、縱向引張強度 1%
- 十一、橫向引張強度 1.5%
- 十二、橫切面硬度 4%

含水率減少會使木材的強度增加，由上述增加率得知，含水率 20%之縱向壓縮強度比含水率 15%（氣乾狀態）時之強度約小約 30%。所以，木材在加工利用前應進行適度的乾燥。本研究之榫接試件材料為避免木材含水率不均，而影響實驗之準確性，係採用經人工乾燥完成，含水率控制在 12% 的北美洲白松。

#### 第四節 接合結構行為探討

榫接結構的組合過程必須考慮嵌合度，而材料如經受壓其長度會縮短，如圖 2-1 所示。其應變 (strain)  $\epsilon = \delta / L$ ，其應力 (stress)  $\sigma = P/A$ ，則其楊氏彈性係數 (Young's modulus)  $E = PL/Ad = \sigma / \epsilon$

$\epsilon$ ：應變

$\delta$ ：變形量

$\sigma$ ：應力

A：受外力作用面積

E：楊氏彈性係數

d：變形量

P：作用力

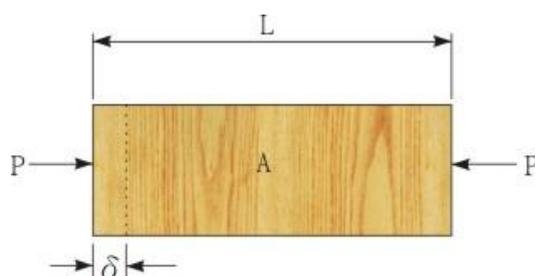


圖 2-1 材料受壓示意圖（繪圖者：鄭順福）

以不貫穿榫接為例，如圖 2-2 所示，如果要將榫頭及榫孔拉開，則其拉力

$$F=2 \mu EA \delta / L$$

$\mu$ ：摩擦係數

$N$ ：為施在此面上的正壓力

$FN$ ：為此面上反抗滑動的摩擦力

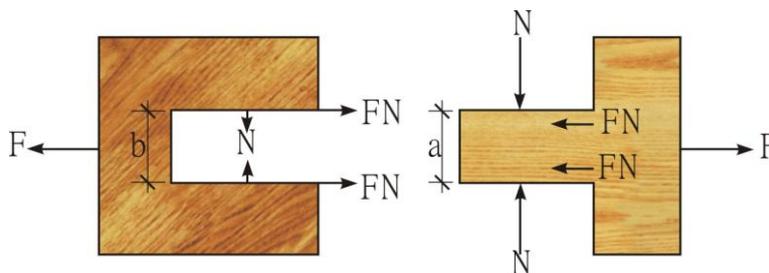


圖 2-2 不貫穿榫接自由體圖 (繪圖者：鄭順福)

由摩擦力公式得知，摩擦＝摩擦係數＊正壓力。故可得之

$FN = \mu * N$ ， $a$  係干涉配合的壓力，故  $N = EA \delta / L$

拉力  $F = 2FN = 2\mu EA \delta / L = 2\mu N$

由上述公式得知，如欲拉動加入木楔的榫接，必須要克服兩種力，一是初結合時材料干涉產生的摩擦力 ( $F_1$ )，二是材料被拉動時 (尚未分開) 因木楔構造導致干涉量增加，而必須去克服的力量 ( $F_2$ )。

如果僅單純考慮榫接接合時，榫頭與榫孔的側面摩擦力大小問題。由於，加入木楔之榫接其榫頭與榫孔的側面摩擦力自然會增加許多。但是，由於木材為非均質材料，而榫接觸面的紋理斜率各有不同，是否會影響榫接結構強度？加入木楔之榫接其結構強度與未加入木楔之榫接，其結構強度有多少的差異性？都有實際進行實驗進行了解的必要性。

## 第五節 木楔結構之探討

Birchard (1998) 指出：貫穿方樺可以在樺孔的外側做成較樺孔內側為寬的形狀，使木楔敲入後能撐開樺頭的側邊，使樺頭形成裡小外大的形狀，除了可以防止樺頭脫落的情形發生，更能加強樺接的嵌合度，如圖 2-3 所示。於敲入木楔之前必須在樺頭端部鋸出木楔縫，如果沒有加寬樺孔的外側尺寸，由於木楔能同時產生向側面擠壓的力量，也可以提供樺接獲得足夠的嵌合度。但是，若樺孔有微量向外的開口對樺接的嵌合情況將較為有利。小樺頭由於樺頭寬度的限制，一般都只採用一個木楔嵌入樺頭，但是，為了使樺頭兩邊受力平均，使用兩個木楔嵌入樺頭是較正確的做法。

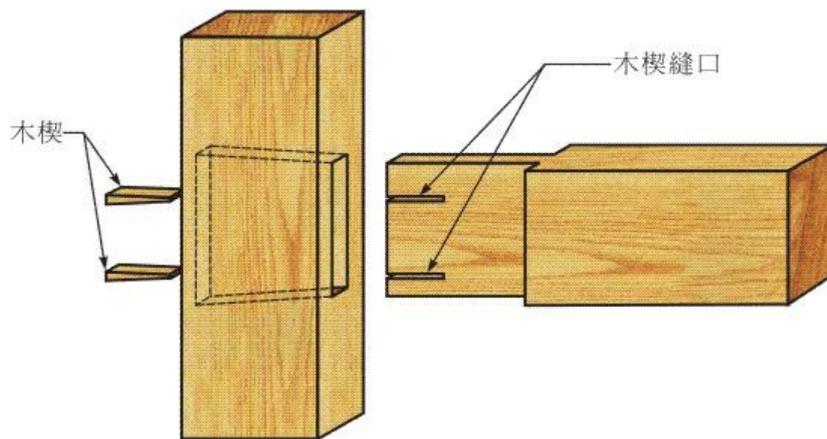


圖 2-3 以木楔壓縮樺頭側面能提高抗拔強度 (繪圖者：鄭順福)

Nesset (2003)、鄒茂雄 (民 81) 對木楔的尺寸及比例認為：木楔的長度與厚度必須有一適當的比例，以避免木楔斜率不一而造成受擠壓面積不均，而影響樺接的結合效果。木楔的長度與厚度比以 1:6 為適當，其斜率以 5 度最佳。樺接嵌入木楔時必須考慮擠壓力量的大小，嵌入木楔壓力的大小必須視材質的軟硬程度而定，一般軟材是較適合進行嵌入木楔的結構。

貫穿方樺木楔的結構，曾於第 23 屆國際技能競賽報告書 (民 66) 門窗木

工職類試題中出現，如圖 2-4 所示。該作品為了提高作品側面結構之抗拉強度，於橫桿的接合中，採取左右兩片木楔來加強結構的接合。由此可見，世界各國於木材製品的接合結構中，於適當的結合部位嵌入木楔，以提高榫接接合強度的做法是非常普遍的一種技術。

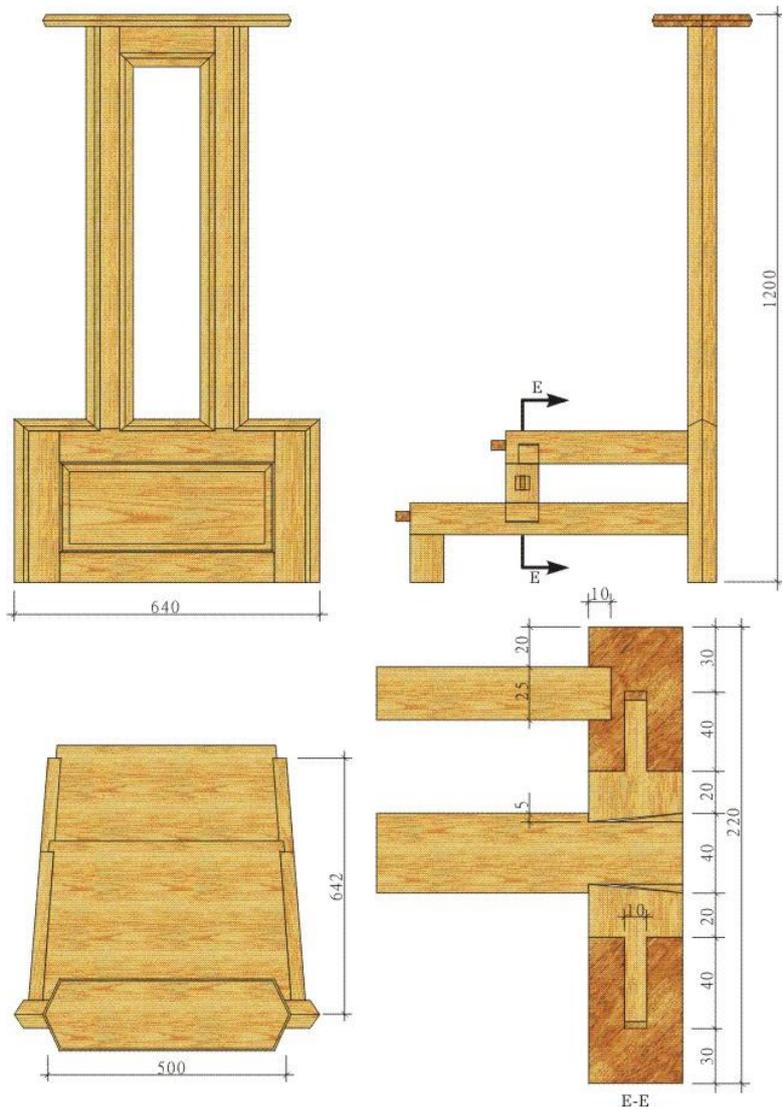


圖 2-4 第 23 屆國際能競賽門窗木工職類試題 (繪圖者：鄭順福)

Cliffe(2000)、鄒茂雄(民 81)指出：不貫穿方榫可以採用狐尾木楔(Foxtail Wedge)來提高榫接接合強度，其原理是利用木楔頂住榫孔底部，使榫頭端部兩邊擴展開來，因榫頭擴展開之後，其嵌合度自然增加，而且榫接經過佈膠的程

序之後，接合結構將因加入木楔的緣故而無法分開，如圖 2-5 所示。

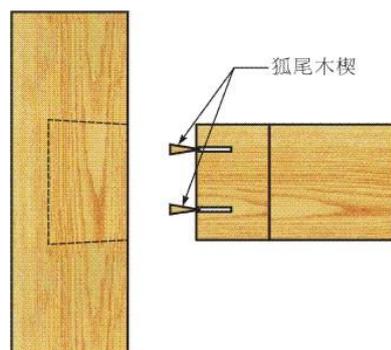


圖 2-5 不貫穿方樺可以採用狐尾木楔（繪圖者：鄭順福）

Nesset (2003)、鄒茂雄 (民 81) 指出：大面積的樺頭使用木楔時，可採取於鋸縫尾端鑽圓孔，以防止木楔擠入後材料產生開裂的現象，如圖 2-6 所示。

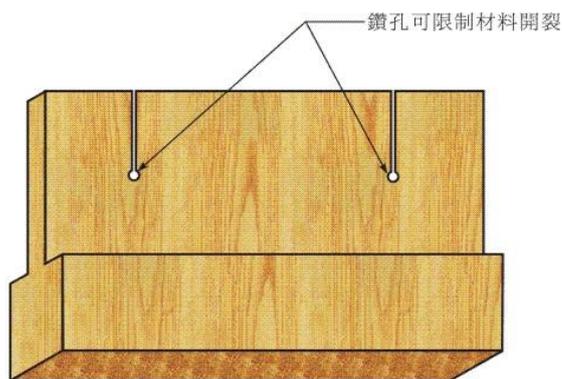


圖 2-6 樺頭鋸縫端部鑽孔可防止材料開裂（繪圖者：鄭順福）

鄒茂雄 (民 81) 指出：木釘也可採用與方樺相同的方式以木楔來加強接合，其原理與貫穿方樺嵌入木楔雷同，於木釘端部鋸出鋸縫，將木楔嵌入，如圖 2-7 所示。

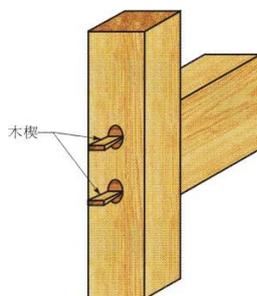


圖 2-7 木釘採用木楔來加強接合的方式（繪圖者：鄭順福）

鄒茂雄（民 81）指出：木楔除了可以提高榫接接合強度的功能之外，也可採用十字交叉方式做為裝飾之用，如圖 2-8 所示。

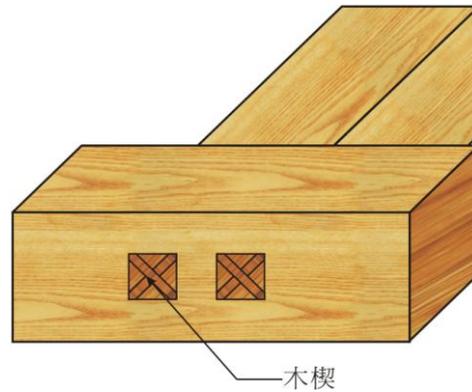


圖 2-8 木楔也可採用十字交叉方式做為裝飾（繪圖者：鄭順福）

綜合以上對木楔應用的相關論述得之，不論是方榫、圓榫、貫穿或不貫穿的榫接，都能以不同的方式將木楔嵌入榫接中，以提高榫接的結合強度。木楔之尺寸以長度與厚度比例為 1：6 最恰當。但是，對於木楔鋸縫深度如何搭配木楔長度加以規劃，相關文獻卻都無具體的說明或探究。因此，本研究計畫以不同木楔鋸縫深度分別製作試件，探究其對榫接結構強度的影響及差異性，作為本研究的重點之一。

### 第三章 研究設計與實施

本研究除了透過文獻探討之內容，了解接合結構強度的影響因素及分析之外，為了證實方型貫穿木楔榫接的結構強度與實用價值性，所以必須製作試件來測試結構的引拔破壞，觀察並紀錄其結構破壞之變化，作為本研究的理論基礎，再以 SPSS 統計軟體進行分析，以了解不同木楔角度對結構強度影響的相關性。本章主要在說明實驗架構的設計、實驗進行情形及資料整理。本研究實施流程，如圖 3-1 所示。

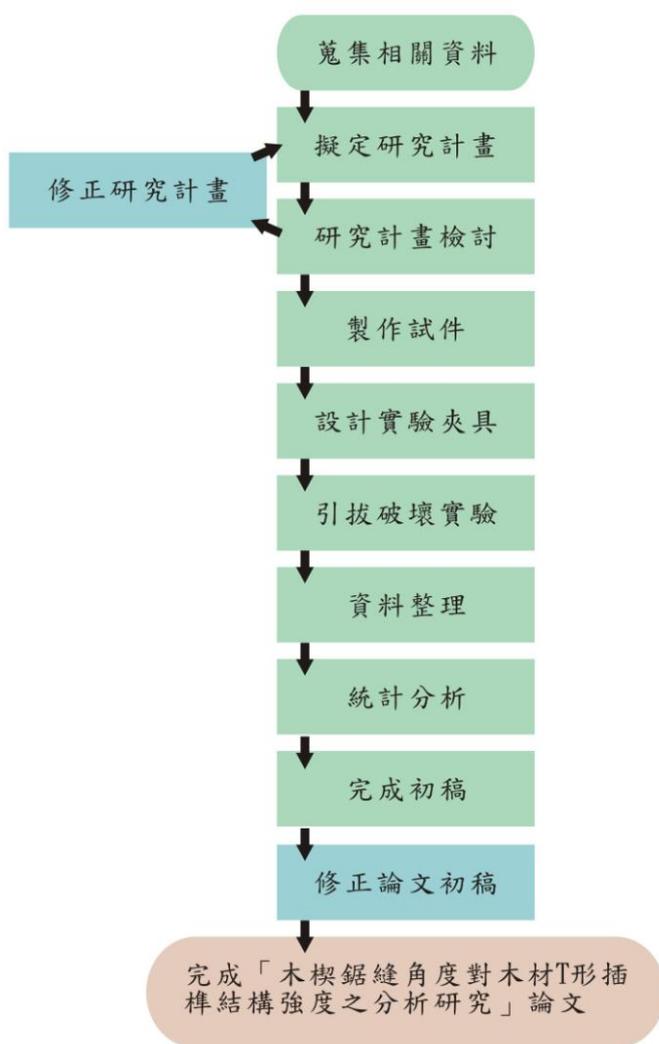


圖 3-1 研究實施流程圖 (繪圖者：呂俊良)

## 第一節 研究架構

本研究以製作 T 形方型貫穿木楔榫接試件，進行引拔破壞實驗為主。首先將木楔鋸縫角度設定為 0 度及 90 度兩種，並將 90 度試件設為兩條鋸縫用以達到適度向外擴展的效果，以探究不同木楔鋸縫角度對榫接結構強度的影響，上述之分類即為本研究之自變項。T 形榫接試件經萬能材料實驗機拉拔破壞，所得最大抗拒為本研究之依變項，透過統計軟體 SPSS 的操作，藉以了解各組試件間抗拔強度之差異，並分析不同變項對 T 形榫接試件的影響程度及相關性。本研究之實驗架構，如圖 3-2 所示。

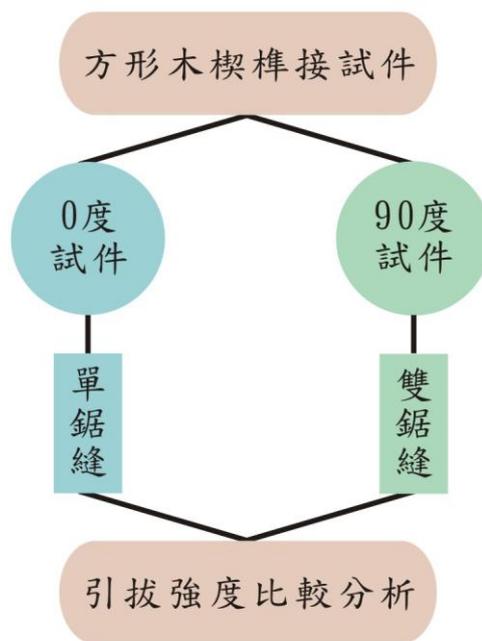


圖 3-2 實驗架構 (繪圖者：呂俊良)

## 第二節 試件設計

本研究之試件材料採用業界常用材料，包括輕型框架表面覆板、樓面、屋面板、以及桌椅結構的加拿大黃松材料經人工乾燥完成含水率為 12%。以木材加工機器加工成長 250mm、寬 215mm、厚 35 mm 之 T 形榫接試件 40 組，即為本研究之樣本。

- 一、 榫頭嵌入木楔必須鋸切鋸縫，為降低木楔鋸縫對材料強度的影響，木楔鋸縫厚度採取圓鋸機鋸路厚度 3mm 設計，如圖 3-3、3-4 所示，A 組試件鋸縫為 0 度，與 B 組組試件鋸縫為 90 度。

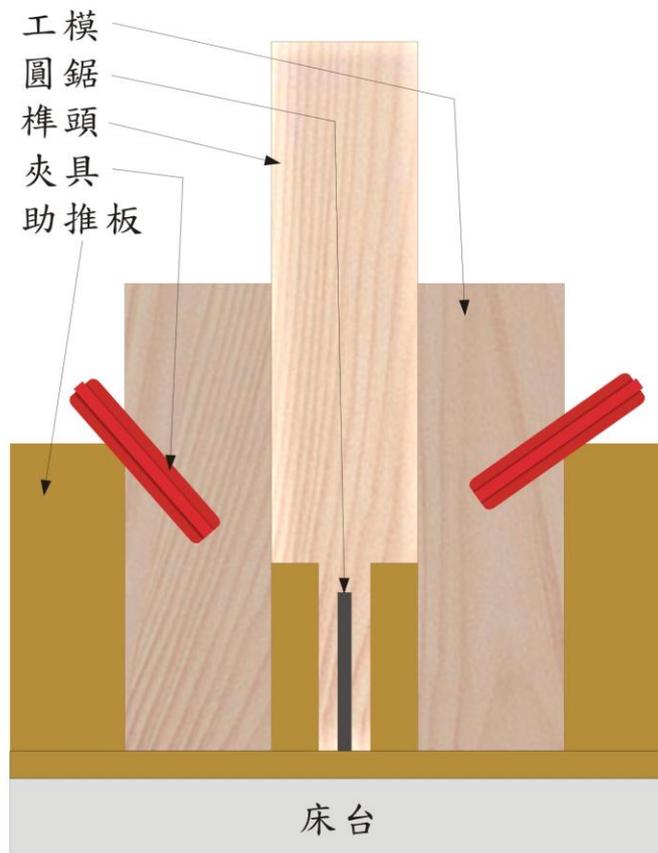


圖 3-3 以圓鋸機鋸切木楔鋸縫 A 組 (繪圖者：呂俊良)

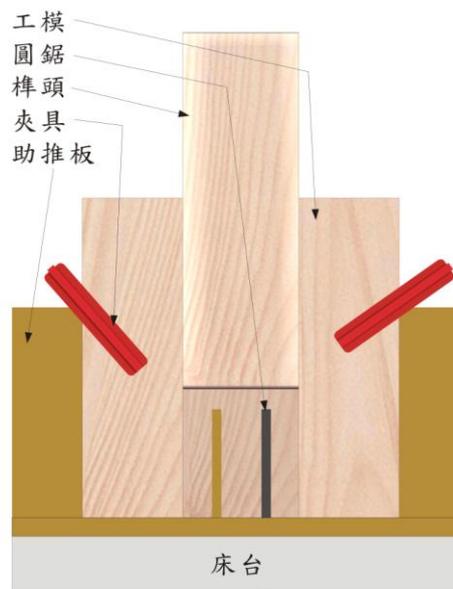


圖 3-4 以圓鋸機鋸切木楔鋸縫 B 組 (繪圖者：呂俊良)

二、為探究不同壓力面積對榫接強度的影響，木楔鋸縫角度以榫頭長度水平、垂直 0 度及 90 度設計。鋸縫鋸切深度採取 30mm 的方式，使木楔嵌入之後產生不同方向對榫孔四周擠壓的效果；為使木楔嵌入榫頭之後，能產生擠壓膠合面增加摩擦力。本研究將榫孔深度設計成 45mm，榫頭長度設計成 45mm，使木楔有 30mm 的長度能嵌入榫頭內部，如圖 3-5 所示。

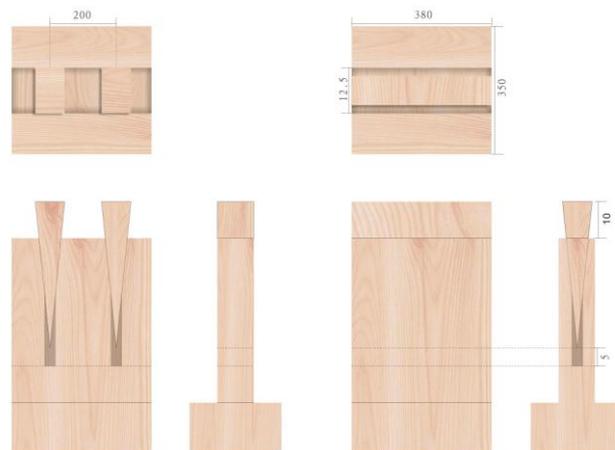


圖 3-5 鋸縫角度以 0 度及 90 度設計 (繪圖者：呂俊良)

三、為使木楔材質與樺接材質一致，本研究之木楔以同一批加拿大黃松材料製作。木楔寬度配合鋸切於樺頭端部的鋸縫長度設計，因此，木楔 0 度之尺寸設計成長度 40mm，寬度 38mm，厚度 8mm。木楔採 1：5 比例設計，如圖 3-6 所示。

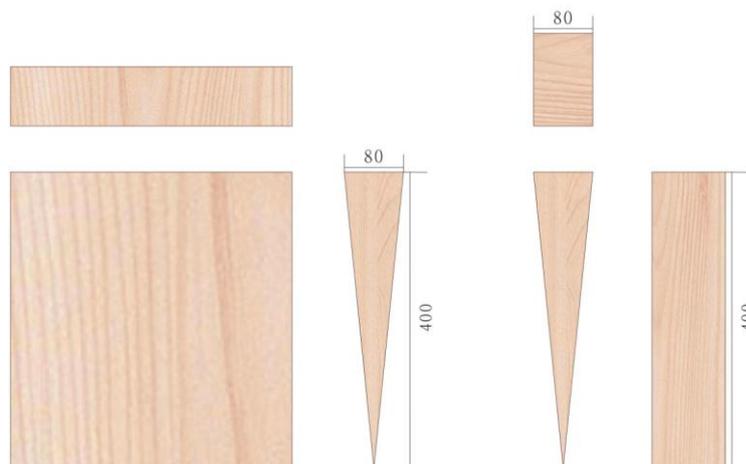


圖 3-6 木楔採取 1：5 比例設計（繪圖者：呂俊良）

四、將 T 型樺接試件之尺寸設計成長 250mm 寬 215mm 以配合萬能材料實驗機拉力行程，如圖 3-7、3-8 所示。



圖 3-7 試件 A 設計圖（繪圖者：呂俊良）

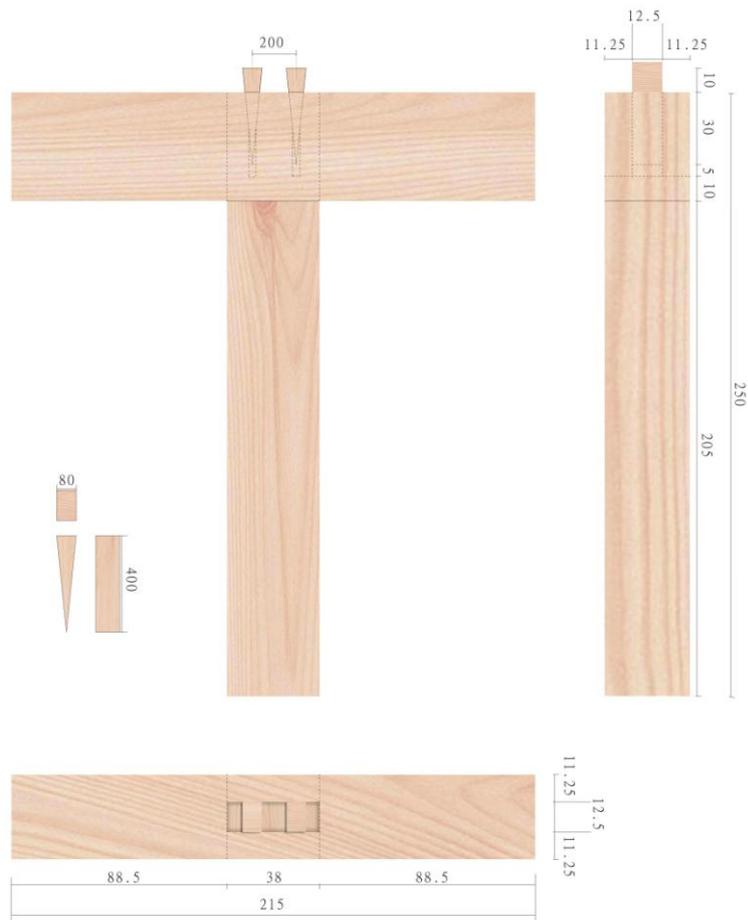


圖 3-8 試件 B 設計圖 (繪圖者：呂俊良)

### 第三節 研究工具

本研究所使用的研究工具可分為試件製作及檢測、分析二部份。

#### 壹、試件製作工具

##### 一、手壓鉋木機 (Hand Jointer)

機器廠牌：SCM，型號：Model：F520，產地：Italy。本機刀軸為圓形四片刀型式，係由電動機透過三角皮帶及塔輪帶動迴轉，轉速穩定。床台以油壓方式調整升降，鉋削量的多寡由輸入床台之高低決定。本機主要功能為鉋削材料基準面及直角邊，基準面為後續加工之依據。

## 二、自動單面鉋光機 (Single Planers)

機器廠牌：CHANG IRON，型號：CM-609，產地：Taiwan。本機刀軸係由電動機透過三角皮帶及塔輪帶動迴轉，轉速穩定。近料速度可視鉋劑量的多寡及材料硬度加以調整，鉋劑量藉由床台的升降控制。工作物經由進料滾輪自動帶入刀軸，進行一個指定厚度的平面鉋削。其精度可控制在 $\pm 0.1\text{mm}$ 範圍之內。鉋削後之木屑由吸塵裝置自動排除。

## 三、懸臂鋸機 (Radial Arm Saw)

機器廠牌：Omca，型號：900，產地：Italy。本機鋸片由馬達直接驅動，馬達固定於可調整旋轉 $180^\circ$ 及傾斜 $90^\circ$ 之機座上，機座透過滑輪裝置懸吊於機器主軸之懸臂軌道內，能自由的在軌道上滑動以進行鋸切。主要功能為材料的橫斷、斜角、斜邊及開槽等加工。

## 四、自動縱開鋸機 (Ripsaw)

機器廠牌：KUANG YONG，型號：RS-16A，產地：Taiwan。本機鋸片心軸係由馬達直接驅動，床台上具有送材鏈，可將材料自動送入進行縱向的鋸切。本機送材速度分為四段變速，可視加工物之厚度及硬度調整進料速度，最大縱開厚度為 $90\text{mm}$ 。本機鋸切長度在 $600\text{mm}$ 時，精確度在 $\pm 0.2\text{mm}$ 範圍之內，適合作為備料定寬、修邊的機器

## 四、電動角鑿機 (Electric angle chisel machine)

機器廠牌：YUNG CHANG SHUEN，型號：YC-CM127，產地：Taiwan。

將木材鉋削方正，選擇適當大小之角鑿與鑽錐，角鑿及鑽錐之大小改變，以便鑽鑿不同尺寸之方孔，角鑿之鑿削端內側有斜角類似鑿刀，故能鑿削入木材中。其最大面徑幾乎與角鑿本身外方相等，如此設計之目的在使鑽錐儘量能鑽削除去木材。角鑿之作用僅為將榫孔鑿削方正。

## 貳、檢測及統計分析工具

### 一、微電腦萬能材料試驗機 (Material Test System)

機器廠牌：MTS，型號：MTS-810，產地：American。本機係由嘉義大學木質材料與設計學系提供使用，主要作為材料或試件的拉伸、壓縮、彎曲...等靜態試驗，如圖 3-9 所示。其主要規格及控制模式如下：

- (一) 最大容量 15 kN 和 100 kN 液壓式，最大速率控制 150mm/min。
- (二) 拉力行程 900mm、有效測試寬度 450mm。
- (三) 荷重以液晶數字顯示，可讀性 1/100,000，並可列印曲線圖及測試資料。
- (四) 超載保護測試、完成測試等自動停機功能。
- (五) 試驗力示值相對誤差 $\pm 1\%$ 。

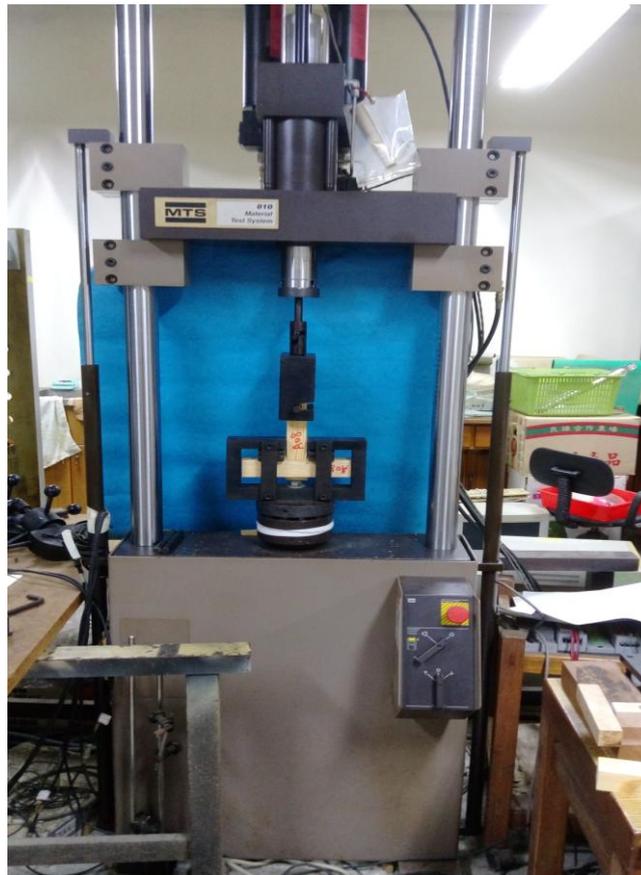


圖 3-9 微電腦萬能材料試驗機 (拍攝者：呂俊良)

二、統計軟體採用 IBM\SPSS\Statistics\24 版（南華大學提供）

為使本研究的成果具體化，將經由微電腦萬能材料試驗機引拔破壞試驗所得之數據資料，以 IBM\SPSS\Statistics\24 版統計軟體進行分析，以科學、客觀之立場，解釋、闡明統計數字所代表的意義。為使本研究的成果具體化，將結構強度試驗結果分成四個步驟分析：

- （一）以平均數說明各組試件引拔強度之差異。
- （二）以單因子變異數及 t 考驗分析不同端面紋理斜率與不同木楔鋸縫深度的榫接結構強度是否有差異。
- （三）以皮爾遜積差相關分析不同端面紋理斜率、斜率差及木楔鋸縫深度對榫接結構強度是否具有相關性。

#### 第四節 試件製作

本研究之試件製作分為備料階段、加工階段、膠合階段、製作夾具等四個階段實施，各階段流程詳述如下：

##### 壹、備料階段

本研究採用市售傢俱桌椅及建築門窗常用之北美洲白松為實驗材料，試件備料階段的作業程序如下：

##### 一、試件長度備料

由於購買之材料係長板料，因此，首先必須使用懸臂鋸機將材料鋸切成三段長度 520mm 方便加工，如圖 3-10 所示。



圖 3-10 使用懸臂鋸機備製材料長度 (拍攝者：呂俊良)

## 二、試件鉋削基準面及直角邊

為確保材料的方正，所有材料必須經過手壓鉋木機進行基準面及直角邊的鉋削，如圖 3-11 所示。



圖 3-11 使用手壓鉋木機鉋削基準面及直角邊 (拍攝者：呂俊良)

### 三、試件鉋削寬厚度

使用自動鉋光機鉋削材料厚度 35mm，如圖 3-12 所示。



圖 3-12 使用自動鉋木機鉋削材料寬厚度 (拍攝者：呂俊良)

### 四、試件定寬度

使用自動縱開機將材料縱開成榫頭寬度 38 mm 與榫孔寬度 45mm 之角材，如圖 3-13 所示。



圖 3-13 使用自動縱開鋸機備製材料寬度 (拍攝者：呂俊良)

## 五、試件定長度

使用懸臂鋸機將材料鋸成長度 250mm 與 215mm，兩種尺寸分別為樺頭與樺孔，如圖 3-14 所示。



圖 3-14 使用懸臂鋸機定長度（拍攝者：呂俊良）

## 五、試件選材及做記號

將試件材料依不同的鋸縫角度區分為 A 組及 B 組兩類，並隨機取樣配對，分別編號紀錄，如圖 3-15 所示。



圖 3-15 材料依紋理分類編號（拍攝者：呂俊良）

## 貳、加工階段

### 一、製作方形貫穿榫孔試件

使用方形貫穿榫孔試件，如圖 3-19 所示。茲將操作及調整過程說明如下：

- (一) 安裝直徑 12.7 之角鑿刀。
- (二) 調整角鑿刀是否平行靠板。
- (三) 調整床抬高度（距離角鑿刀底部 60mm）
- (四) 調整角鑿刀之鑽間至材料畫線中心點。
- (五) 調整材料位置固定以控制角鑿孔的正確位置。
- (六) 進行方形貫穿榫孔之製作。
- (七) 以游標卡尺檢測榫孔長度 380、寬度 127mm、深度 450mm。
- (八) 檢測尺寸無誤後即進行榫孔的加工如圖 3-16 所示。



圖 3-16 使用橢圓孔機製作榫孔試件（拍攝者：呂俊良）

### 二、製作方形貫穿榫頭試件

使用圓鋸機製作方形貫穿榫頭試件，茲將操作及調整過程說明如下：

- (一) 調整鋸片出刀量為 450mm，以控制試件榫頭的長度。
- (二) 調整榫頭與圓鋸進刀位置，圓鋸距離榫頭邊緣內 8.15mm。

- (三) 固定試件榫頭調整左右兩側工模緊密貼齊，並用夾具固定工模。
- (四) 確認位置後鋸切，再轉至另一側以相同方式鋸切。
- (五) 以游標卡尺檢測榫頭寬度 12.7mm。
- (六) 檢測尺寸無誤後即進行榫頭的加工，如圖 3-17、3-18 所示。



圖 3-17 使用橢圓孔機製作榫孔試件 (拍攝者：呂俊良)

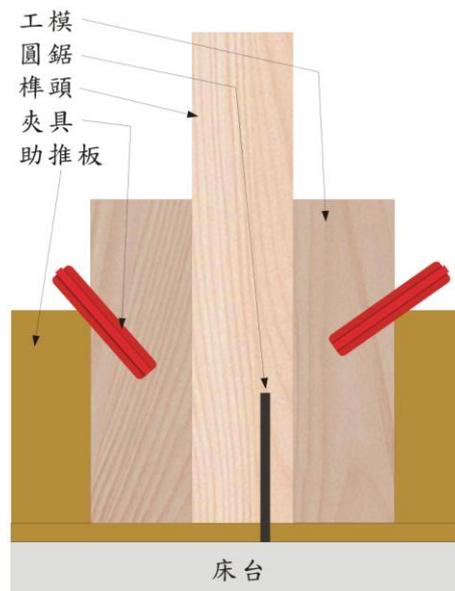


圖 3-18 使用圓鋸機工模製作方形貫穿榫頭試件 (拍攝者：呂俊良)

- (七)調整鋸片出刀量為 10mm。
- (八)將榫頭試件橫躺，並調整圓鋸距離榫頭深度 447mm 位置。
- (九)固定試件榫頭調整一側工模緊密貼齊，並用夾具固定工模。
- (十)確認位置後鋸切，再轉至另一側以相同方式鋸切如圖 3-19、3-20 所示。



圖 3-19 使用圓鋸機製作方形貫穿榫頭試件 (拍攝者：呂俊良)

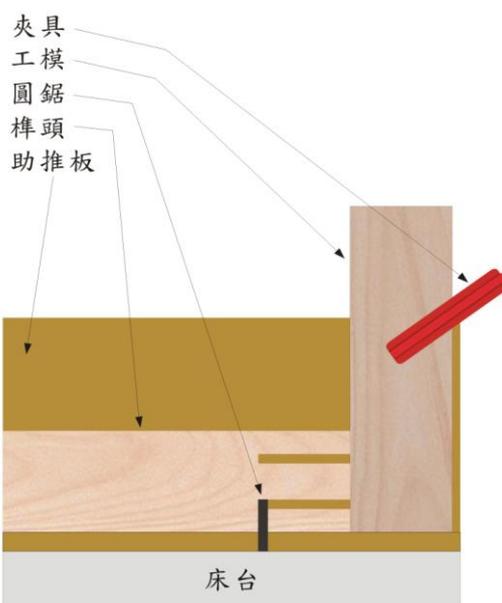


圖 3-20 使用圓鋸機工模製作方形貫穿榫頭試件 (拍攝者：呂俊良)

- (十一) 為避免材料含水率回潮，加工完成的榫頭及榫孔以塑膠袋套封包

裝，如圖 3-21 所示。



圖 3-21 以塑膠袋套封避免試件回潮 (拍攝者：鄭順福)

### 三、鋸切試件樺頭木楔鋸縫(A 組試件)

使用線圓機鋸切樺頭之 0 度木楔鋸縫，茲將操作及調整過程說明如下：

- (一) 調整鋸片出刀量為 400mm，以控制試件鋸縫的深度。
- (二) 調整樺頭與圓鋸進刀位置在樺頭中央。
- (三) 固定試件樺頭調整左右兩側工模緊密貼齊，並用夾具固定工模。
- (四) 確認位置後鋸切，以游標卡尺檢測是否垂直於中央。
- (五) 檢視鋸縫深度，如尺寸不正確，必須調整控制鋸縫深度的圓鋸，使鋸切之深度符合要求。
- (六) 檢測尺寸無誤後即進行樺頭的加工，如圖 3-22 所示。



圖 3-22 以圓鋸機鋸切 0 度木楔鋸縫 (拍攝者：呂俊良)

#### 四、鋸切試件榫頭木楔鋸縫(B組試件)

使用線圓機鋸切榫頭之 90 度木楔鋸縫，茲將操作及調整過程說明如下：

- (一) 調整鋸片出刀量為 400mm，以控制試件鋸縫的深度。
- (二) 調整榫頭與圓鋸進刀位置距榫頭側邊 12.5mm。
- (三) 固定試件榫頭調整左右兩側工模緊密貼齊，並用夾具固定工模。
- (四) 確認位置後鋸切，以游標卡尺檢測是否距榫頭側邊 12.5mm。
- (五) 檢視鋸縫深度，如尺寸不正確，必須調整控制鋸縫深度的圓鋸，使鋸切之深度符合要求。
- (六) 檢測尺寸無誤後即進行榫頭的加工，如圖 3-23 所示。



圖 3-23 以圓鋸機鋸切 90 度木楔鋸縫 (拍攝者：呂俊良)

#### 四、製作試件木楔

本研究之木楔使用懸臂鋸機鋸切，首先於床台上固定一符合木楔角度的導板，並釘一止塊以控制木楔鋸切之厚度。茲將操作及調整過程說明如下：

- (一) 於床台釘一個符合木楔角度的導板，如圖 3-24 所示。

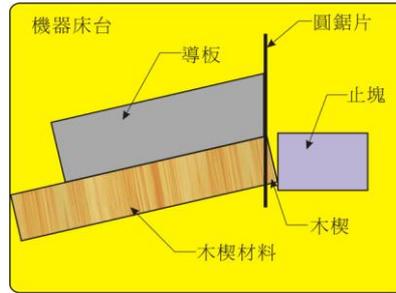


圖 3-24 固定鋸切試件木楔的導板及止塊位置 (繪圖者：鄭順福)

(二) 固定止塊以控制木楔鋸切之厚度。

(三) 將材料貼於導板進行木楔之鋸切，如圖 3-25 所示。



圖 3-25 以懸臂鋸機鋸切試件木楔 (拍攝者：鄭順福)

(四) 翻轉材料至另一面，進行另一片木楔的加工。

(五) 鋸切完成的木楔為避免材料回潮，以塑膠袋套封，如圖 3-26 所示。



圖 3-26 鋸切完成的試件木楔 (拍攝者：呂俊良)

### 參、試件膠合階段

本研究之膠合劑採用德國 RAKOLL 公司生產之高強度結構醋酸乙烯膠 (PVAc)，此膠為傢俱生產工廠膠合榫接之專用膠。茲將榫接試件之膠合過程說明如下：

一、榫頭及木楔採取浸膠方式佈膠，浸入時間為 5 分鐘，如圖 3-27 所示。

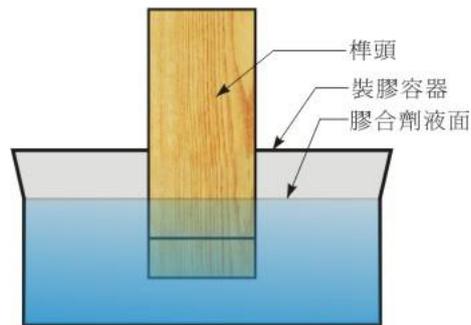


圖 3-27 試件榫頭佈膠示意圖 (繪圖者：鄭順福)

二、榫孔採用油壺注滿膠合劑，經 5 分鐘後再倒出之方式佈膠，如圖 3-28 所示。

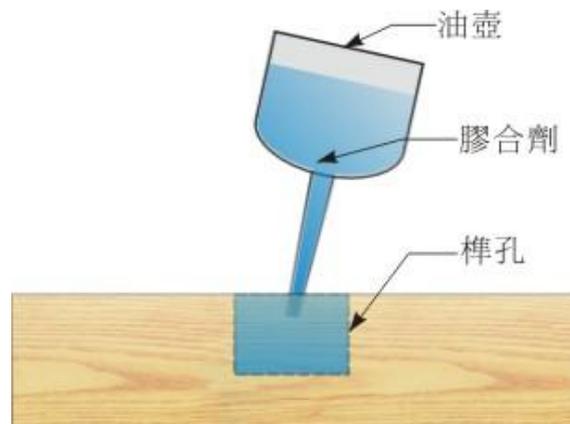


圖 3-28 試件榫孔佈膠示意圖 (繪圖者：鄭順福)

三、將試件榫頭插入榫孔中，敲打至緊密後再將木楔敲打入榫頭鋸縫中，木楔必須統一預留 10mm 在鋸縫外面。

四、以塑膠袋套封試件 20 天，避免試件材料回潮，如圖 3-29 所示。引拔破

壞之前，再次測定其含水率結果，並未發生回潮現象。



圖 3-29 試件組合後以塑膠袋套封（拍攝者：呂俊良）

#### 肆、製作試件夾具階段

為使引拔試驗標準化，因此，配合萬能材料試驗機之夾頭進行夾具設計，本研究設計之夾具如圖 3-30 所示。

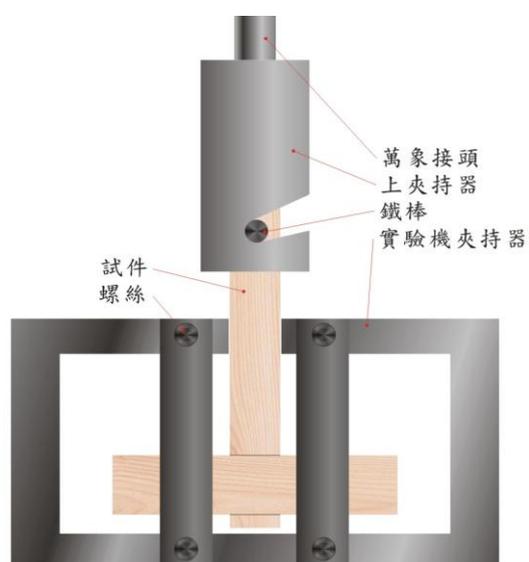


圖 3-30 試驗夾具之外觀（繪圖者：呂俊良）

夾具固定於萬能材料試驗機的夾頭上之後，必須依據一定的程序裝入試件，安裝程序如圖 3-31 所示。

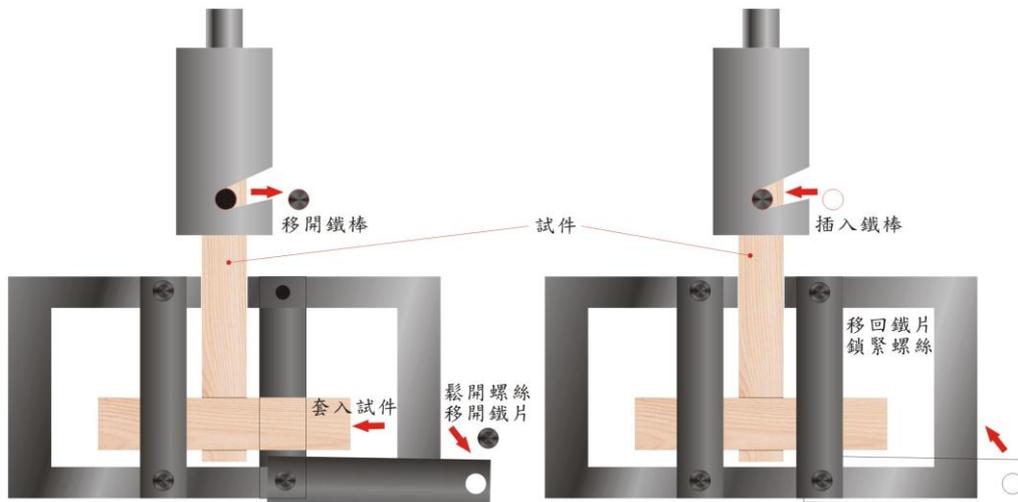


圖 3-31 安裝試件於夾具中之程序 (繪圖者：呂俊良)

### 第五節 引拔強度試驗

本研究試件引拔破壞，係採用經國家實驗室認證體系 (CNAL) 認可的木質材料與設計學系之萬能拉伸試驗機。

引拔試驗前，試件必須先固定於夾具上，其順序為先將試件由夾具前面套入，將前側兩片與插銷固定，在將上方鐵棒放入孔中，如圖 3-32 所示。

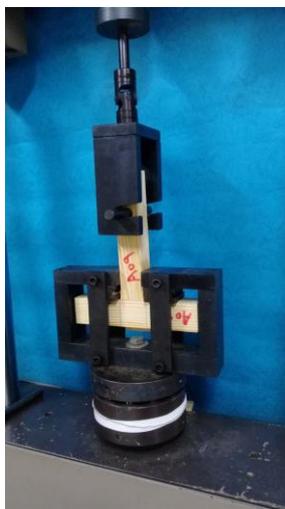


圖 3-32 試件套入夾具之方式

試驗期間，實驗室溫度符合 ISO/IEC 170255 之要求。速度設定為 2.5mm/min，顯示器畫面如圖 3-33 所示。

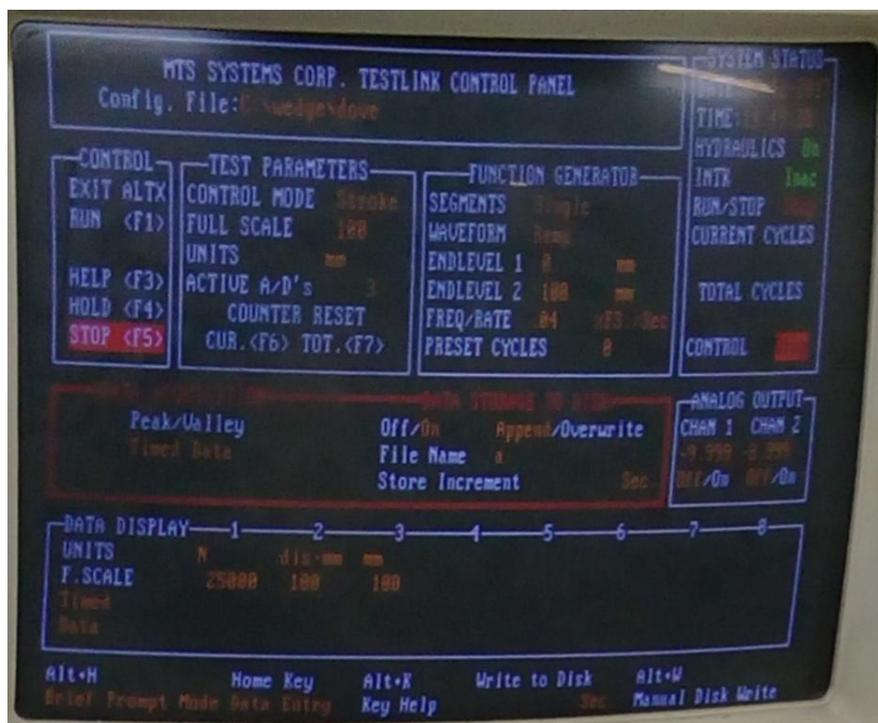


圖 3-33 試件拉拔時試驗機顯示器畫面（拍攝者：呂俊良）

試驗期間，對於每一試件之破壞情形加以拍攝並紀錄，以作為分析結構破壞之依據。

## 第六節 資料整理

本研究於試件備料階段對各組試件鋸縫不同角度記錄有兩種基本資料，因此本研究之自變項為鋸縫不同角度，兩組試件經萬能材料試驗機引拔破壞後，所獲得之引拔強度數據如表 3-1、3-2 所示，為本研究之依變項。利用 SPSS10.0 版統計軟體進行分析，以科學、客觀之立場，解釋、闡明統計數字所代表的意

義。

表 3-1 A 組試件 (0 度) 抗拔強度紀錄表

編號	組別	樁孔	結構	樁頭
		角度	瞬間 最大拉力	鋸縫 深度
1	A-01	0	1257.50	45 mm
2	A-02	0	1356.70	45 mm
3	A-03	0	1582.00	45 mm
4	A-04	0	1538.50	45 mm
5	A-05	0	1068.70	45 mm
6	A-06	0	1142.00	45 mm
7	A-07	0	1431.20	45 mm
8	A-08	0	1147.70	45 mm
9	A-09	0	1300.70	45 mm
10	A-10	0	1160.00	45 mm
11	A-11	0	1412.00	45 mm
12	A-12	0	1451.20	45 mm
13	A-13	0	1430.70	45 mm
14	A-14	0	1223.50	45 mm
15	A-15	0	1265.50	45 mm
16	A-16	0	1418.50	45 mm
17	A-17	0	1505.00	45 mm
18	A-18	0	1880.20	45 mm
19	A-19	0	1502.70	45 mm
20	A-20	0	1442.20	45 mm

表 3-2 B 組試件 (90 度) 抗拔強度紀錄表

編號	組別	樁孔	結構	樁頭
		角度	瞬間 最大拉力	鋸縫 深度
1	B-01	90	1288.50	45 mm
2	B-02	90	1577.70	45 mm
3	B-03	90	1528.70	45 mm
4	B-04	90	1380.00	45 mm
5	B-05	90	1799.20	45 mm
6	B-06	90	1332.50	45 mm
7	B-07	90	1497.70	45 mm
8	B-08	90	1425.50	45 mm
9	B-09	90	1455.50	45 mm
10	B-10	90	1402.70	45 mm
11	B-11	90	1677.20	45 mm
12	B-12	90	1733.00	45 mm
13	B-13	90	1383.00	45 mm
14	B-14	90	1347.50	45 mm
15	B-15	90	1496.50	45 mm
16	B-16	90	1441.70	45 mm
17	B-17	90	1262.70	45 mm
18	B-18	90	1629.20	45 mm
19	B-19	90	1389.20	45 mm
20	B-20	90	1258.70	45 mm

## 第四章 研究結果與分析

本章係分析說明實驗所得資料，其中對試件之引拔強度採描述性統計說明，並以推論統計進行木楔鋸縫角度對引拔強度是否有差異性及相關性的分析。

### 第一節 試件引拔強度結果分析

本研究之 T 形方形貫穿木楔樁接試件，經組裝膠合並以塑膠袋封裝，存放於室內 20 天。待膠合劑完全乾固之後，將試件夾具固定於萬能試驗機上，將試件依序固定，進行引拔破壞實驗，引拔強度之統計分為以平行木楔試件及 90 度木楔試件兩組進行，並加以分析各組之引拔強度。

#### 壹、全體試件引拔強度統計量分析

本研究之全體樁接試件共 40 個，引拔強度經統計結果，如表 4-1 所示。全體樁接試件引拔強度最小值為 1068.7kgf，最大值為 1880.2kgf，平均數為 1420.58kgf，標準差為 175.75197 kgf。

表4-1 全體試件引拔強度統計量 單位 (kgf)

平均值	N	標準差	最小值	最大值	中位數
1420.5800	40	175.75197	1068.70	1880.20	1422.0000

全體試件引拔強度呈常態分佈狀況，如圖 4-1 全體試件引拔強度常態分佈直方圖。

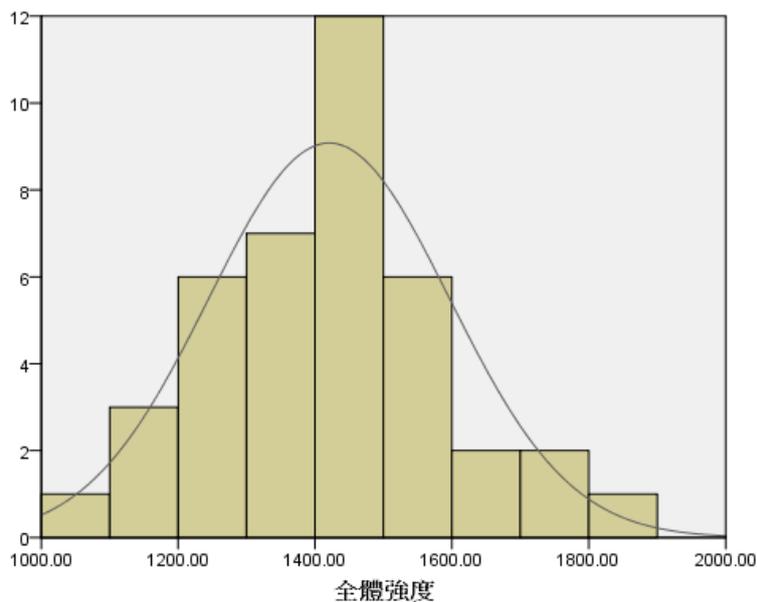


圖4-1全體試件引拔強度常態分佈直方圖

## 貳、不同木楔角度之引拔強度統計量分析

### 一、角度平行木楔試件引拔強度分析

本組試件共 20 個，引拔強度統計量如表 4-2 所示。引拔強度最小值為 1068.70 kgf，最大值為 1880.2 kgf，平均數為 1375.82 kgf，標準差為 188.96 kgf。

表 4-2 角度平行木楔試件引拔強度統計量 單位 (kgf)

	N	最小值	最大值	和	平均值	標準差
角度平行	20	10.00	10.00	200.00	10.0000	.00000
角度平行拉拔強度	20	1068.70	1880.20	27516.50	1375.82	188.96

有效的 N (listwise)	20				
------------------	----	--	--	--	--

角度平行木楔試件引拔強度呈低峰偏態，表示本組試件拉拔強度並未成常態分佈狀況，如圖4-2角度平行木楔試件引拔強度常態分佈直方圖所示。

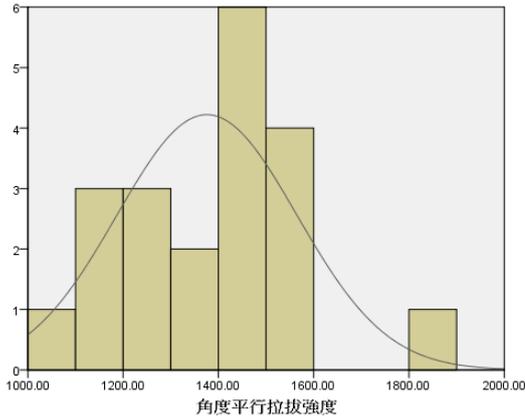


圖4-2角度平行木楔試件引拔強度常態分佈直方圖

二、角度 90 木楔試件引拔強度分析

本組試件共 20 個，引拔強度統計量如表 4-3 所示。引拔強度最小值為 1258.70 kgf，最大值為 1799.20 kgf，平均數為 1465.33 kgf，標準差為 153.22 kgf。

表4-3 角度90平行木楔試件引拔強度統計量 單位 (kgf)

	N	最小值	最大值	和	平均值	標準差
角度90	20	90.00	90.00	1800.00	90.0000	.00000
角度90拉拔強度	20	1258.70	1799.20	29306.70	1465.33	153.22
有效的 N (listwise)	20					

角度 90 度木楔試件引拔強度呈峰值呈常態分佈，表示本組試件拉拔強度能以常態分佈，如圖 4-3 角度 90 度木楔試件引拔強度常態分佈直方圖所示。

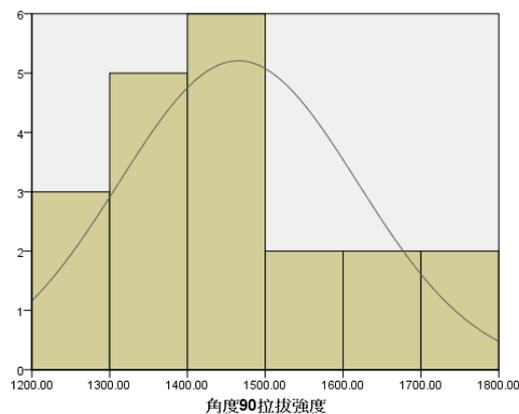


圖4-3 角度90度木楔試件引拔強度常態分佈直方圖

經比較上述不同角度木楔試件式之引拔強度統計量，發現角度 90 木楔試件引拔強度平均數 1465.33 kgf 大於角度平行木楔試件引拔強度平均數 1375.82 kgf 約 89.5 kgf。角度平行木楔試件引拔強度最大值為 1880.2 kgf 最小值為 1068.70 kgf，角度 90 木楔試件引拔強度最大值為 1799.20 kgf 最小值為 1258.70 kgf，但是從圖 4-2 及 4-3 之常態分佈直方圖可以觀察出角度 90 木楔試件引拔強度分佈直方圖趨近於常態分佈，角度平行木楔試件引拔強度分佈較集中於低峰，因此導致整體平均數較角度 90 木楔試件引拔強度為低的結果。

### 參、引拔強度與過去類似研究之比較分析

本研究之試件材料加拿大黃松比重為 0.42，引拔強度平均數為 1420.58kgf，如表 4-4 所示。學者蔡佺廷、林慶東（民 83）在「接合條件對橢圓樺接合強度之影響」研究中，選用多種不同比重之樹種製成 T 形試件，使用粉末狀尿素膠（Powdered UF），試件材料尺寸為寬 57mm 厚 27mm，樺頭尺寸長 35mm 寬 51mm、厚 12mm，其樺接尺寸與本研究之試件雷同，經萬能試驗機引拔

破壞後各樹種之接合強度，如表 4-5 所示。以同為針葉樹種而比重相當的花旗松 (0.42) 引拔強度 411.2 kgf 作比較，本研究之引拔強度明顯大於該材料的引拔強度 411.2 約 3.5 倍，雖然使用之膠合劑對引拔強度會有所影響，但由此可以說明雙邊半圓不貫穿榫接於嵌入木楔之後，確實能提高榫接的引拔強度。

表4-4 全體試件引拔強度平均數

	N	最小值	最大值	平均值	標準差
全體強度	40	1068.70	1880.20	1420.58	175.75
有效的 N (listwise)	40				

表 4-5 蔡、林氏所著不同材料比重與引拔強度對照表

樹種	比重 (Sp)	引拔強度 (Kgf)
加拿大黃松	0.42	1465.33
花旗松	0.42	411.2
烏心石	0.41	1240
桂蘭	0.53	1288.3
拉敏	0.59	1293.9
冰片	0.62	1310.8

## 第二節 木楔鋸縫角度引拔強度獨立樣本 t 檢定

本研究為了解不同木楔鋸縫角度對樺接引拔強度的影響，將樺接內部之木楔鋸縫角度分為平形及 90 度兩種。以獨立樣本 t 檢定考驗不同鋸縫角度與引拔強度是否具有差異性存在。全體試件經獨立樣本 t 檢定結果，如表 4-4 所示。其 F 值為 .561， $P > .05$ ，代表兩個母群的變異數相等，則  $t = -1.645$ ， $P < .001$ ，表示不同木楔鋸縫深度之樺接試件引拔強度，相互之間確實有顯著的差異存在。

表4-4 全體試件獨立樣本檢定

		變異數等式的 Levene 檢定		平均值等式的 t 檢定				差異的 95% 信賴 區間		
		F	顯著性	t	自由 度	顯著性 (雙尾)	平均值 差異	標準誤 差異	下限	上限
全體 強度	採用相等變異數	.561	.459	-1.64	38	.108	-89.51	54.39	-199.63	20.61
	不採用相等變異數			-1.64	36.44	.108	-89.51	54.39	-199.79	20.77

## 第五章 結論與建議

本章主要透過研究結果與分析，統整出本研究之結論，並進一步提出具體建議，期望能提供作為傢俱製造及設計業之參考。

### 第一節 結論

依據本研究引拔破壞實驗數據的統計分析結果，歸納出研究結論如下：

一、角度平行木楔試件引拔強度經分析結果，引拔強度最小值為 1068.70 kgf，最大值為 1880.2 kgf，平均數為 1375.82 kgf，標準差為 188.96 kgf。

二、角度 90 木楔試件引拔強度經分析結果，引拔強度最小值為 1258.70 kgf，最大值為 1799.20 kgf，平均數為 1465.33 kgf，標準差為 153.22 kgf。

三、角度平行木楔試件引拔強度平均數為 1375.82 kgf，角度 90 木楔試件引拔強度平均數為 1465.33 kgf，由上述數據可證明角度 90 木楔試件之引拔強度確實大於角度平行木楔試件引拔強度。

四、以加拿大黃松製成之方形貫穿木楔榫接，引拔強度平均數為 1420.58kgf kgf，較一般未嵌入木楔之橢圓榫接引拔強度約大 3.5 倍。

五、全體試件經獨立樣本 t 檢定結果，如表 4-4 所示。其 F 值為 .561， $P > .05$ ，代表兩個母群的變異數相等，則  $t = -1.645$ ， $P < .001$ ，表示不同木楔鋸縫深度之榫接試件引拔強度，相互之間確實有顯著的差異存在。

## 第二節 建議

綜合本研究所獲得之結論，僅提出具體之建議，作為傢俱設計及製造業者進行傢俱創作及製造之參考。

- 一、傢俱設計及製造業者，可採用方形貫穿木楔榫接於中軟材傢俱的 T 型結構中，除了可以提高傢俱的結構強度及耐用程度之外，並能藉以提升產品的競爭力。
- 二、傢俱設計及製造業者，採用方形貫穿木楔榫接於傢俱的 T 型結構時，宜選擇角度 90 度木楔結構，可提高傢俱 T 型結構的抗拔強度，藉以提升傢俱的耐用程度。
- 三、傢俱設計及製造業者，採用方形貫穿木楔榫接為傢俱接合結構時，可參考本研究之木楔鋸縫設計方式。除了能使組裝膠合作業更順利之外，對於提高榫接膠合層的施壓面積及榫接的結構強度有正面的幫助。
- 四、後續研究者，進行 T 形榫接引拔破壞試驗時，夾具之設計必須考慮材料內部應力因素，避免影響榫接試件引拔強度之正確性。
- 五、傢俱製造業者，於進行木楔榫接製造時，木楔鋸縫宜採取圓鋸機鋸切，以避免對榫頭材料造成過大的破壞。
- 六、不同用途的木材膠合劑，對傢俱榫接的結構強度有不同的影響。建議傢俱製造業者，應針對使用材料之性質、硬度選擇合宜的膠合劑，以確保傢俱榫接的膠合效果。
- 七、傢俱製造業者，應選擇經人工乾燥完成的材料製造傢俱，製造過程必須嚴格控制含水率回潮的情形發生，以避免結構及塗裝遭受材料收縮而破壞，影響傢俱的品質。
- 八、建議工業局或政府相關機構，制定及執行「傢俱結構認證制度」，針對傢俱之結構強度、耐久性、安全性等，加以制定規範及檢驗標準，達到認證標準者，授予認證標章。此制度對於傢俱製造業者而言是一種品質的

肯定，對消費者而言亦是一種權益的保障。

九、影響貫穿木楔榫接引拔強度之因素，除了本研究所探討之木楔角度之外，尚有許多因素值得深入探討。例如：榫接浸膠時間的長短、木楔嵌入的方向及數量、榫頭不同長度、材料不同硬度、不同材料樹種、不同膠合劑等等，均可能產生不同的結構強度。有賴後續研究者再作更深入的研究及探討。

105年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：鄭順福			計畫編號：105-2221-E-343-001-			
計畫名稱：木楔鋸縫角度對木材T形插榫結構強度之分析研究						
成果項目			量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)	
國內	學術性論文	期刊論文		0	篇	
		研討會論文		0		
		專書		0	本	
		專書論文		0	章	
		技術報告		0	篇	
		其他		0	篇	
	智慧財產權及成果	專利權	發明專利	申請中	0	件
				已獲得	0	
			新型/設計專利		0	
		商標權		0		
		營業秘密		0		
		積體電路電路布局權		0		
		著作權		0		
		品種權		0		
		其他		0		
	技術移轉	件數		0	件	
		收入		0	千元	
	國外	學術性論文	期刊論文		0	篇
			研討會論文		0	
			專書		0	本
專書論文			0	章		
技術報告			0	篇		
其他			0	篇		
智慧財產權及成果		專利權	發明專利	申請中	0	件
				已獲得	0	
			新型/設計專利		0	
		商標權		0		
		營業秘密		0		
		積體電路電路布局權		0		
		著作權		0		
		品種權		0		
其他		0				

	技術移轉	件數	0	件	
		收入	0	千元	
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次	1. 研究生參與本項研究之後，對實驗研究法及統計方法之運用有正面的助益，對未來撰寫研究論文有很大的幫助 2. 透過實驗事件的製作，研究生在木材加工技術能力有顯著的提升
		碩士生	1		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
	非本國籍	大專生	0		
		碩士生	0		
		博士生	0		
		博士後研究員	0		
		專任助理	0		
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)					

## 科技部補助專題研究計畫成果自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現（簡要敘述成果是否具有政策應用參考價值及具影響公共利益之重大發現）或其他有關價值等，作一綜合評估。

### 1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以100字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

### 2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形（請於其他欄註明專利及技轉之證號、合約、申請及洽談等詳細資訊）

論文： 已發表  未發表之文稿  撰寫中  無

專利： 已獲得  申請中  無

技轉： 已技轉  洽談中  無

其他：（以200字為限）

### 3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性，以500字為限）

綜合本研究所獲得之結論，僅提出具體之建議，作為傢俱設計及製造業者進行傢俱創作及製造之參考。

一、傢俱設計及製造業者，可採用方形貫穿木楔榫接於中軟材傢俱的T型結構中，除了可以提高傢俱的結構強度及耐用程度之外，並能藉以提升產品的競爭力。

二、傢俱設計及製造業者，採用方形貫穿木楔榫接於傢俱的T型結構時，宜選擇角度90度木楔結構，可提高傢俱T型結構的抗拔強度，藉以提升傢俱的耐用程度。

三、傢俱設計及製造業者，採用方形貫穿木楔榫接為傢俱接合結構時，可參考本研究之木楔鋸縫設計方式。除了能使組裝膠合作業更順利之外，對於提高榫接膠合層的施壓面積及榫接的結構強度有正面的幫助。

### 4. 主要發現

本研究具有政策應用參考價值： 否  是，建議提供機關文化部，  
（勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關）

本研究具影響公共利益之重大發現： 否  是

說明：（以150字為限）