

框組式木構造區劃牆耐火性能驗證研究

曾俊達* 蘇鴻奇** 葉世文***

關鍵字：框組壁工法、木構造、區劃牆、耐火性能

摘 要

木構造建築物符合我國永續發展的綠營建政策，唯我國對於木構造建築物防火性能之研究尚屬起步階段，為落實木構造技術之推動及防火避難安全之研究目的，本研究以框組式木構造區劃牆為研究對象，進行耐火性能驗證研究。

實驗依據 CNS12514「建築物構造部分耐火試驗法」及參考國外木構造工法，使用進口及台灣本土材料，採用「田口式直交表實驗法」進行實驗設計與分析，並進行全尺寸之耐火實驗，以探討框組式木構造區劃牆耐火因子與防火性能的關係性。

實驗成果顯示覆蓋板材料與間柱斷面尺寸對阻熱性能有直接影響，且覆蓋板材料固定方式除釘長對於防火性能會有影響外，釘距減少亦能提升防火性能。研究結果顯示依據國外施工規範所組裝使用之國外及國產木材區劃牆的防火性能，皆可滿足建築技術規則一小時防火時效性能之規定。

A Study of the Fire Resistance Performance on the Compartment Walls in Wood Platform Construction

Chun-Ta Tzeng* Hung-Chi Su** Shih-Wen Yeh ***

KEYWORDS : Platform Construction · Wood Framing · Compartment Walls · Fire Resistance Performance

ABSTRACT

Wood structure buildings conform to the sustainable development as well as the green building policy in Taiwan. Nevertheless, the fire-resistant performance research of wood framing construction is still in the initial stage in Taiwan. With the objective of advancing the wood construction techniques, several fire resistance experiments were conducted with the considerations of fire prevention and egress routing.

This study refers to the North America construction methods and adopts the imported and native materials in Taiwan to fabricate the specimens for experiments. The Taguchi orthogonal table method is applied for the design of experiments and analyses. Several full-scale experiments were carried out to explore the effects of factors regarding fire resistance performance according to the fire resistance test for structural parts of building stated in the CNS 12514.

The experiments show that the covering board materials and the dimensions of studs directly affect the properties of thermal resistivity. With covering board material selected, the nail length does affect the fire resistance performance. It is found that by decreasing the nail spacing, the fire resistance performance exhibits improvement. The research results reveal that the wood-framed compartment wall specimens specified as above-mentioned sustain at least one hour fire rating performance according to the current Building Technique Regulations.

* 國立成功大學建築系 助理教授

Assistant Professor, Department of Architecture, National Cheng-Kung University, Taiwan

** 國立成功大學建築系 博士生

Ph. D Student, Department of Architecture, National Cheng-Kung University, Taiwan

***內政部建築研究所 副所長

Deputy Director-General, Architecture and Building Research Institute Ministry Interior, Taiwan

2006 年 8 月 30 日受稿，2007 年 3 月 6 日通過

一、前言

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。為推廣綠建築及配合內政部建築研究所綠建築計畫之推動，內政部建築研究所與加拿大林業委員會（COFI）、國家林產工業技術研究院（Forintek）於民國 92 年 10 月 24 日簽署合作，以協助我國發展木構造建築。唯木構造建築之耐火性能常引人顧慮，恐於國內接受程度不高，故應加強其防火部分之研究，以建立國內運用之信心。

木質房屋結構系統種類，可概分為：框組壁構造系統、柱樑式構造系統及其他經認證之特殊構造系統等三類。其中框組壁構造系統為現今北美地區最主要之木質住宅建築系統，其構造包含組構成房屋之框架系統、間柱及覆蓋板材。目前經濟部標準檢驗局所制定之國家標準 CNS14631「框組壁工法結構用製材」、CNS14632「框組壁工法結構用縱接材」、CNS14633「框組壁工法結構用針葉樹製材之靜曲應力分等」，將框組壁工法中英譯為 Platform construction，然而對於框組壁工法使用對象之構造特徵、結構系統、組成方式、材料使用於建築物之部位別卻無相關之說明。

框組式木構造牆體系統依其力學行為可分為承重牆與非承重牆。其中防火區劃牆為建築物中阻隔火災水平延燒之主要構體，在火勢之控制與安全避難逃生上扮演著極為重要的角色。本研究參採美國、日本、加拿大木構造防火規定，針對框組式木構造非承重區劃牆進行全尺寸耐火試驗，期使我國木構造建築防火性能試驗方法與基準能與國際接軌，並提供國內未來實際推廣方向及應用上之參考。

二、研究範圍及對象

框組式木構造為西式木構架（West framing）之一種，又稱為平台式構架（Platform framing），係指一種木構架系統，其各層樓面地板托梁置於該樓層下部平面之上，而承重牆和分隔板則放在每一層樓的樓面底板之上（加拿大房貸與住屋公司，1997a）。這種方法主要優點是樓板系統與牆體分開組裝，牆體與隔間牆可在此平台或作業空間進行組合和建造，由於牆間柱只有一層樓高，牆壁可以輕易地在其他地方預製或在樓板上組合，牆身可一次一層樓構築，而無需使用重型吊昇設備（加拿大房貸與住屋公司，1997b）。

框組式木構造區劃牆之組構原理為組構牆體以間柱、覆蓋板、填充物、固定件、共同組成，以工業化預鑄的概念，可先在工廠依一定之模矩尺寸與標準規格生產完成，再運至工地現場進行接合，以避免現場高密度人工作業，而達省工、降低成本、縮短工期、提高品質、減少營建廢棄物之目的。而所謂「2×4 工法」係指此種木構造工法的基本構造元素是以木材標稱尺寸 2 英吋×4 英吋斷面的間柱為主，以覆面夾板共同結合為建築的牆體及樓板，進而完成建築體的一種構造及施工方式，就系統而言「2×4 工法」其實應該定義為「框組壁工法」（曾俊達，2004）。

木構造建築物生產過程不僅施工快捷且建築物所應用的材料，具備綠營建政策永續發展的物質性能，唯現階段台灣對於木質構造建築物防火性能的相關研究與成果仍未建構完備。為配合建築防火避難安全研究以落實木構造技術推動之目的，本研究乃以上述框組式木構造區劃牆為研究對象，參考國外木構造工法，使用進口及台灣本土之材料，進行木構造區劃牆耐火性能驗證之研究。

三、框組式木構造區劃牆耐火因子探討方法與步驟

建築物防火區劃牆設置之主要目的在於阻隔火與熱，在火勢之控制與避難逃生之安全上扮演著極為重要的角色。因此，本研究針對框組式木構造區劃牆牆體系統之防火性能進行全尺寸耐火性能驗證研究。研究過程參考美、加木構造建築慣用之框組式構造方式，擬定相關組構因子採用田口式直交表實驗法分析並依據 CNS12514「建築物構造部分耐火試驗法」進行實驗，探討由國外及國產木材所組構之框組式木構造區劃牆牆體系統組構因子之耐火性能，以配合木構造技術之推動契機，落實防火避難安全及建構國內消費者應用信心。有關框組式木構造區劃牆組構之內涵及全尺寸實驗對於框組式木構造區劃牆耐火性能之因子探討方法與步驟，如下討論：

3-1 框組式木構造區劃牆之組構內涵

框組式木構造區劃牆牆體組構之內涵，包括：

1. 牆體構架材料：經濟部標準檢驗局針對框組式木構造建築物於民國 91 年 4 月公佈所制定之國家標準為 CNS14631「框組壁工法結構用製材」、CNS14632「框組壁工法結構用縱接材」、CNS14633「框組壁工法結構用針葉樹製材之靜曲應力分等」等。針對材料之適用範圍、尺度、品質區分與要求、性能基準、試驗方法提出共同之標準。

2. 間柱之斷面、間距：框組式木構造區劃牆牆體構架之間柱為主要之垂直構件，外牆之間柱通常使用斷面尺寸通常為 2 英吋×4 英吋之製材。依覆蓋板材料的類型與尺度通常為 4 英吋長或為 16 英吋長之倍數，故間柱之間距一般使用 16 英吋，然而小樑間常有不同之間柱距。依間柱所支撐之構件載重，或用來提供更多保溫隔熱的空間則採用 2 英吋×6 英吋之間柱，其間距則通常使用 24 吋（加拿大房貸與住屋公司，1997b）。

3. 覆蓋板材料：建築設計施工編第八十八條建築物之內部裝修材料應依所列之建築物類別與組別之規定，居室或該使用部份必須使用達耐燃三級以上之材料，通達地面之走廊與樓梯必須使用達耐燃二級以上之材料。故知框組式木構造區劃牆覆蓋板必須使用達耐燃三級以上之材料。

4. 填充材：填充材於框組式木構造建築物之功能係做為隔熱保溫與隔音，常使用玻璃纖維棉、岩棉或使用泡棉保溫隔熱材填入。為提升防火性能應使用不燃材料，因此建議採用同時具有隔熱、保溫、防音之玻璃纖維棉或岩棉為保溫材料。其中岩棉之耐火性能與密度有密切關係，密度較大者有較優之耐火性能（林慶元等，1992）。

5. 固定件：固定件主要用以接合覆蓋板及木框架之用，框組式木構造系統大多使用石膏板做為覆蓋板，其接合方式可分為單釘系統與雙釘系統等兩種接合方式，其固定繫件依材料又分為石膏板專用鐵釘及螺絲釘等兩大類型。

框組式木構造區劃牆牆體組構之內涵，除了上述牆體構架材料、間柱之斷面、間距、填充材、覆蓋板材料及固定件等，在材料應用上亦需考慮覆蓋板組裝與間柱接合之施工界面處理。覆蓋板模矩尺寸一般為 4 英呎×8 英呎，在構造上依其面層分類可分為單層式、雙層式及多層式等類型。使用單層系統時，用 4 英呎之覆蓋板水平或垂直釘於牆上。覆蓋板與間柱間之接合方式，採用鐵釘或螺釘做為固定件，覆蓋板邊緣應固定於間柱上。近年國內產業間發展之覆蓋板種類繁多，除石膏板外尚有使用矽酸鈣板做為覆蓋板材料例，其中矽酸鈣板於接合前先於木構架塗上黏著劑協助固定，固定件則使用平滑釘做為接合覆蓋板和木構架接合之用。

3-2 影響框組式木構造區劃牆之耐火因子

我國建築技術規則建築構造編第一百七十一條之一：木構造建築物之簷高不得超過十四公尺，並不得超過四層樓。但供公眾使用而非供居住用途之木構造建築物，結構安全經中央主管建築機關審核認可者，簷高得不受限制。建築設計施工編第七十條防火構造之建築物，其主要構造之承重牆壁自頂層起算不超過四層之各樓層，應具一小時之防火時效。所以框組式木構造區劃牆若為剪力牆則在火災發生後一小時內必須能維持牆體之遮焰性、阻熱性及穩定性之要求，才能符合目前法規對框組式木構造區劃牆之防火性能要求。

一般而言，防火建築構造須使用非可燃性建材，且須達有效之防火時效以上，木結構若能有效達到要求時，亦不在限制之列。對框組壁工法而言，主要構材部份以炭化率訂定其標準防火時效，除此之外，美國 UBC(Uniform Building Code)或加拿大 NBC(National Building Code)的規範對於木構造防火設計的規定於柱梁系統而言乃針對主要結構構材之最小尺寸作出規範。其他部材則賦予增加的防火時效，將構材及所有部材之防火時效加總，即可得出框組式木構造(如牆及板等)之防火時效。日本木構造建築之設計規範針對柱梁構件之規定分為：最小尺寸小於 12 cm 及大於 12 cm 兩類，其中當柱梁構件愈小時，其防火被覆之合理要求則愈高，在梁構件方面亦因天花板設計之不同有不同之防火設計規定(陳啓仁，2003)。

針對和式及西式之壁體構造，一般而言，西式常用角材解決版材與柱的聯結問題，角材之最小尺寸規定為 36mm×40mm，其構造方式較容易有效阻絕柱構件之受燃機會，防火被覆之施作亦較為單純；但於和式構造中，由於傳統工法常將壁材嵌入柱構件，柱構材反較常暴露於牆面線外，施作防火被覆不易，柱材亦難以完全避燃，須有較周詳之設計手法。根據以上國內與國外法規的規定對於木構造耐火性能要求而言，可依構件種類概分為應力傳遞構件須具備穩定性能與區劃構件須具備阻熱遮焰性能。應力傳遞構件的穩定性對於木構造防火所考量的因素是炭化率，即為木構件於火災時希望於一定時間內炭化的程度能控制於設計範圍內，使木構件能提供符合於設計的最低強度，以確保結構的穩定性與安全性。

區劃構件對於木構造防火所考量的因素則是防止火災延燒，即為木構造區劃牆於火災時希望於一定時間內不要延燒至其他空間，防止火災延燒對於區劃牆而言是要限制其非受火面之熱輻射量與防止火焰穿透，此時非受火牆面之表面溫度與受火面產生貫穿性破壞則必須被限制於一定條件下，以防止或延遲火災延燒的發生。

框組式木構造區劃牆耐火性能由上說明若屬剪力牆者有關結構穩定性則需考慮間柱的斷面尺寸與炭化率，有關區劃牆防止延燒性則需考慮牆體非受火面的阻熱性與遮焰性。加拿大國家研究委員會(National Research Council Canada)曾針對框組式石膏板牆進行耐火性能研究(Kodur, et al., 2002; Sultan and Lougheed, 2002)，設定 4 項組構因子包含：石膏板覆面材(厚度、蕊材、數量)、間柱種類(木質、鋼質)、彈性槽型夾、填充材(玻璃纖維、無機纖維、纖維素纖維)，研究報告內容顯示：石膏板覆面材於受火面由 1 片加為 2 片耐火性能增加 55%效能，厚度增加耐火性能無顯著增加；木質間柱較鋼質間柱耐火性能些微增加；填充材使用與沒有使用只有無機纖維可增加 54%效能。

綜合上述討論及 3-1 框組式木構造區劃牆之結構內涵，包含：牆體構架材料、間柱之斷面尺寸與間距、覆蓋板材料、填充材等因子，皆會影響框組式木構造區劃牆耐火性能之效能。

四、框組式木構造區劃牆耐火性能實驗規劃

本研究進行實驗對象為目前國內外常用的框組式木構造無開口區劃牆，研究探討之區劃牆屬非剪力牆，故暫不考慮量測耐火之穩定性要求。實驗方法係依據國內現行的耐火試驗規範 CNS12514「建築物構造部份耐火試驗法」進行實驗，目的在以實驗方法探討框組式木構造防火區劃牆的耐火性能。實驗規劃則配合國外及國產材料與國外常用的施工方式所組構之框組式木構造區劃牆，並從工法及材料上來探討其耐火性能以檢視國外常見的住宅框組式木構造防火區劃牆之構法與其耐火性能在防火時效上，是否能夠滿足建築技術規則一小時防火時效性能之規定要求。相關分析方法與實驗規劃內涵，如下說明：

4-1 實驗分析方法

實驗分析討論分為二部份，第一部份為整理實驗結果現象討論，第二部份使用「田口式直交表實驗法」分析討論實驗因子的耐火性能。「田口式直交表實驗法」是期望以較少的實驗次數來獲得所需的統計資料，雖然理論上會有精度偏差的情況，但是對於解決設計提高品質的目的而言田口式直交表常常是足夠的（李輝煌，2003）。本研究係進行全尺寸大型實驗，所需分析因子多，若採「全因子實驗法」則實驗次數及經費將非常可觀，基於經費與時程考量本文以「田口式直交表實驗法」進行實驗設計與分析。

4-2 框組式木構造區劃牆耐火性能因子擬定

框組式木構造區劃牆之組構內涵如 3-1 節之說明，主要包含：1.牆體構架材料、2.間柱、斷面、間距、3.覆蓋板、4.填充材、5.固定件等。因固定件之形式及間距配合覆蓋板種類與柱斷面而改變，屬因變數而非主要變數。故實驗因子之設定係以 1.至 4.項目作為主要變數考量，即包含：間柱木材材種、間柱斷面大小（牆間柱距）、覆蓋材料種類、填充材種類等 4 種因子及其因子間的交互關係。各因子各設定二種水準內容說明如下：

1.牆體構架材料：依據民國 92 年內政部修正實施之「木構造建築物設計及施工技術規範」7.2.3 節對於框組式構造製材之要求及 CNS14631「框組壁工法結構用製材」、CNS14632「框組壁工法結構用縱接材」、CNS14633「框組壁工法結構用針葉樹製材之靜曲應力分等」三項標準，實驗間柱選用國內材種—杉木（*Cunninghamia lanceolata*）與簡稱 SPF 之北美材種—雲杉 Spruce（*Picea Spp.*）、松 Pine（*Pinus Spp.*）、冷杉 Fir（*Abies Spp.*）等混合木材，共二種。

2.間柱斷面大小（牆間柱距）：一般框組壁工法牆體構架常由斷面標稱尺寸 2 英吋×4 英吋（38 mm×89 mm）與 2 英吋×6 英吋（38 mm×140 mm）木材所組成，構材斷面尺寸的增加牆厚亦增加，如此可增加牆體之隔熱與隔音的性能。柱斷面 2 英吋×4 英吋其間距一般使用 16 英吋（406mm），柱斷面 2 英吋×6 英吋其間距通常增加為 24 英吋（610mm）。本研究實驗間柱之斷面尺寸即採取 2 英吋×4 英吋與 2 英吋×6 英吋二種斷面尺寸。

3.覆蓋材料種類：本研究所設定之木構造區劃牆雖不探討其結構性能卻著重於防火區劃性能，所以設定使用符合 CNS6532「建築物室內裝修材料之耐燃性試驗法」耐燃一級覆蓋板材。故實驗覆蓋材料選用國外木構造覆蓋板最常使用厚度 15mm 耐燃一級之石膏板及國內生產使用於輕隔間牆面覆蓋板材厚度 12mm 耐燃一級之矽酸鈣板共二種。

4. 填充材：框組式木構造區劃牆體屬防火性能主要構造，因此建議採用同時具有隔熱、保溫、防音之玻璃纖維棉或岩棉為保溫材料，而填充材使用玻璃纖維對提昇防火性能效益有其限制性之條件（Sultan and Lougheed, 2002），但目前玻璃纖維普遍使用於國內輕隔間牆內，故預備實驗填充材使用玻璃纖維以確認其防火性能，而於正式實驗則使用屬無機纖維岩棉為填充材之考量。

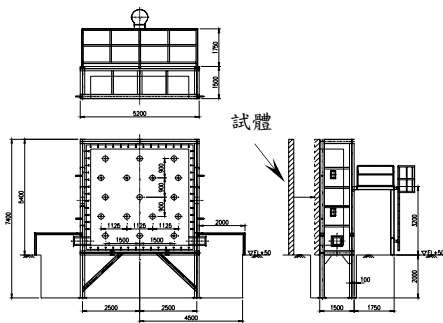
以上各實驗因子設定二種水準內容，整理如下表 1。

表 1 試體因子設定表

實驗因子	牆體構架材料		間柱斷面		覆蓋板材料		填充材		
	因子條件設定	SPF	杉木	2×4	2×6	石膏板	矽酸鈣板	玻璃纖維棉	岩棉
條件設定內容	性能	1.CNS14631 2.CNS14632 3.CNS14633	1.CNS14631 2.CNS14632 3.CNS14633	1.CNS14631 2.CNS14632 3.CNS14633	1.CNS14631 2.CNS14632 3.CNS14633	1.CNS6532 耐 燃一級	1.CNS6532 耐 燃一級	1.CNS12055 2.CNS9057	1.CNS9659 2.CNS3657
	尺寸	—	—	1.斷面尺寸：2 英吋×4 英吋 (38 mm×89 mm) 2.間柱距：16 英吋 (406mm)	1.斷面尺寸：2 英吋×6 英吋 (38 mm×140 mm) 2.間柱距：24 英吋 (610mm)	1.厚：15mm	1.厚：12mm	1.厚度 50mm 2.密度 12K	1.厚度 60K

4-3 實驗條件的設定與程序

1. 加熱爐設備：本研究之試驗儀器主要為內政部建築研究所台南防火試驗中心之門牆耐火試驗爐（如圖 1）。其中試驗爐之加熱溫度控制乃透過爐內 16 支測溫棒控制。爐內溫度測溫棒依據 CNS12514 第 4.4.1 節加熱試驗中測定爐內加熱溫度所用之熱電偶。



耐火試驗爐設備各向立面圖（單位：cm）



耐火實驗設備外觀

圖 1 耐火試驗爐設備各向立面圖與外觀

2. 加熱升溫條件設定：國內外關於適用於建築物構造之試驗方法包含 ISO834、BS476、ASTM E119、UL263 與 CNS12514 等規範，相關規範加熱時間升溫曲線整理如圖 3，本文所設定採用之 CNS12514 加熱時間升溫曲線與 ISO834、BS476 相同，相較於 ASTM E119、UL263 規範而言，

CNS12514 僅約於加熱昇溫 10 至 30 分鐘時低於 ASTM E119 與 UL263，其餘時間高則較高（如圖 2）。亦即進行 30 分鐘防火時效實驗時，則 ASTM E119 與 UL263 升溫曲線條件較嚴格；而進行 1 小時防火時效以上之實驗時，則 CNS12514 升溫曲線條件較嚴格。

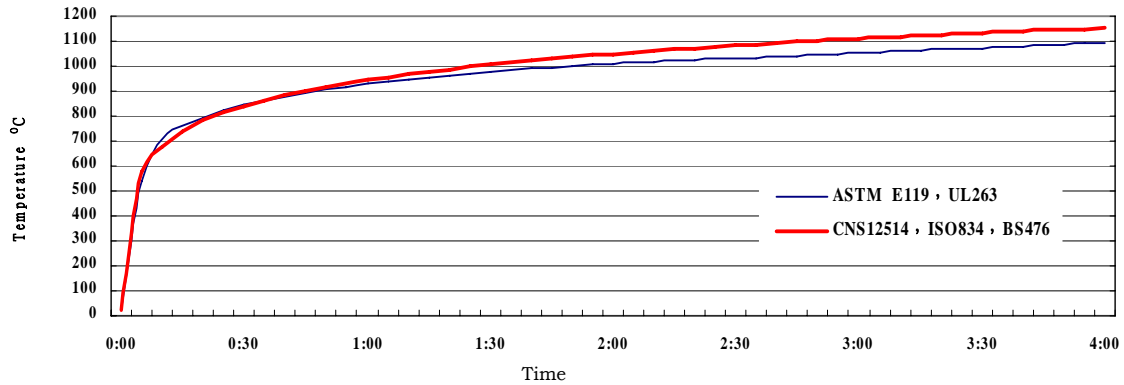


圖 2 CNS12514、ISO834、BS476、與 ASTM E119、UL263 加熱時間升溫曲線比較圖

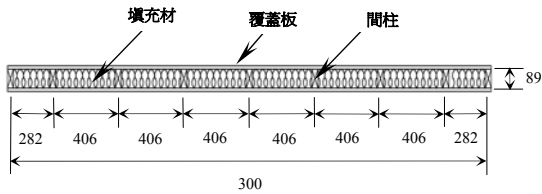
3.實驗耐火性能判定條件：CNS12514「建築物構造部分耐火試驗法」其適用範圍包括建築物之牆壁、柱、梁、樓板、屋頂等構造部分，對於建築物之牆壁部份其實驗結果判定內容包含：遮焰性(fire integrity)、穩定性(fire stability)與阻熱性。本研究係設定討論木構造區劃牆而非承重牆所以暫不討論穩定性(fire stability)的部份，故本實驗係以達到遮焰性(fire integrity)與阻熱性破壞的時間點作為主要量測與討論的考量重點。實驗耐火性能判定條件整理如表 2。

表 2 CNS12514 有關阻熱性與遮焰性之判定依據

用語	來源依據	說明	判定依據內容	研究性能判定依據
阻熱性	CNS12514 9.2	在耐火試驗條件下，建築構件當一面受火時，能在一定時間內，其非加熱面溫度不超過規定值之能力。	(1) 試驗中平均溫度超過 170°C	○
			(2) 試驗中在任一位置之溫度，包括移動式熱電偶所測者) 超過 210°C	○
遮焰性	CNS12514 9.3	在耐火試驗條件下，建築構件當其一面受火時，能在一定時間內，防止火焰及熱氣穿透或非加熱面出現火焰之能力。	(1) 棉花墊引燃	×
			(2) 在非加熱面之持續火焰超過 10 秒	○
			(3) 從加熱側通達非加熱側之持續噴出火焰超過 10 秒	○
穩定性	CNS12514 9.1	在一定時間內做耐火測試，建築構造、構件在有承載負荷或無承載負荷時，避免坍塌之能力。	(1) 最大軸向壓縮量 (mm) : $C=h/100$	×
			(2) 最大軸向壓縮速率 (mm/min) : $dC/dt=3h/1000$	×

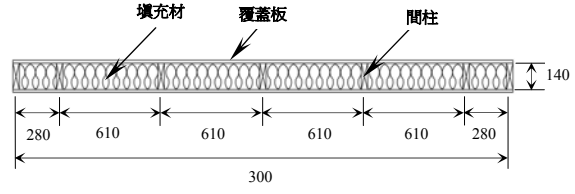
註：○ 表示本實驗採用、 × 表示本實驗未採用

4. 試體構造與測溫點配置：試體構造採用 2 英吋×4 英吋與 2 英吋×6 英吋 2 種間柱斷面尺寸規格。CNS12514 阻熱性之性能係根據非加熱面溫度來判定，試體非加熱面溫度測點除規定之測溫點之外並對於可能產生最高溫度之處再增設共計為 11 點。試體木構架組成係依據前述間柱斷面 2 英吋×4 英吋 (38 mm×89 mm、如圖 3) 與 2 英吋×6 英吋 (38 mm×140 mm、如圖 4)，設定水平間距為 406mm 與 610mm，橫樑配合覆面材之面尺寸為 240cm×120cm 設定垂直間距為 122cm。



單位：mm

圖 3 2x4 試體橫向斷面圖



單位：mm

圖 4 2x6 試體橫向斷面圖

依據 CNS12514 第 5.6 節之規定非加熱面溫度測點數量不得少於 5 個，其中 1 個位於試體中心，其餘分別在試體四等分每一部分之中心。所有熱電偶測點應避開接縫、銲點、螺絲、螺釘、鉚釘等可能令熱電偶受到穿透試體之熱氣直接影響，距離須為 5cm 以上。為測定最高溫度，應在預期會有高溫位置增設測點，但不得接近任一邊緣 10cm 範圍以內。

除以上規定 5 個測點外並對於試體背溫可能產生最高溫度之處再增設 6 個測點共 11 個測溫點如圖 5 與圖 6。

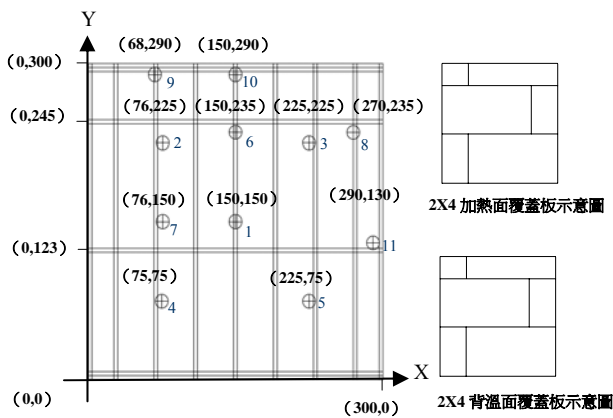


圖 5 (2X4 間柱) 背溫面覆蓋板橫向封板測點分布圖 單位：cm

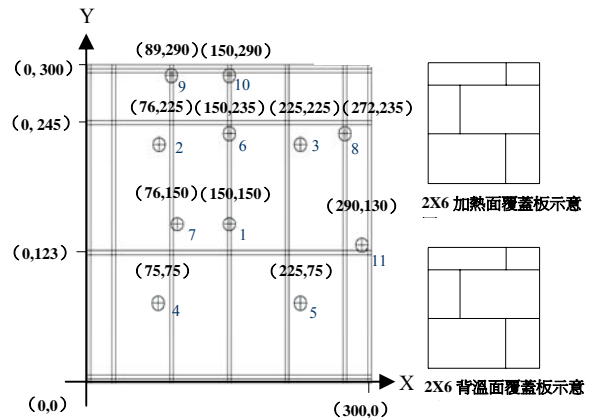


圖 6 (2X6 間柱) 背溫面覆蓋板橫向封板測點分布圖 單位：cm

5. 實驗程序：實驗流程包含預備實驗與正式實驗二個階段，為熟悉實驗的步驟第一階段先以兩組試體進行預備試驗，期能透過預備試驗的操作以作為第二階段正式實驗之定案及修正依據。

預備實驗採用 2 組試體，規格如表 3：牆體構架材料為 SPF、間柱斷面為 2×4、覆蓋板為耐燃一級厚度 15mm 石膏板、填充材為玻璃纖維棉厚度 50mm，固定方式採豎向與橫向 2 種方式。

表 3 預備實驗試體規格表

規 格	試 體 編 號	
	試體編號 W (test1)	試體編號 W (test2)
牆體構架材料	SPF	SPF
間柱斷面	2x4	2x4
覆 蓋 板	耐燃一級厚度 15mm 石膏板符合 CNS4458 之規定	
填 充 材	玻璃纖維棉厚度 50mm 密度 12K，符合 CNS12055 之規定	
接 縫 膠 泥	USG All purpose Joint Compound 乾燥硬化後不得乾裂	
接 縫 帶	寬度約 50mm	寬度約 50mm
螺 釘	螺釘長度 318 mm	螺釘長度 318 mm
覆蓋板固定方式	豎向封板	橫向封板

預備實驗結果，兩組試體於加熱面部分之石膏板已全部掉落，玻璃纖維棉皆已全部熔化，牆體構架中間部分已炭化且掉落，僅殘餘部分間柱固定於試體框。經確認玻璃纖維棉對於防火性能並無多大幫助，此預備實驗結果與加拿大國家研究委員會 NRC (National Research Council Canada) 於 2002 年進行石膏板構造牆耐火性能實驗之結論一致 (Sultan and Lougheed, 2002)。因此，正式試驗將使用耐燃性能較好的岩棉，以觀察其是否能提高整體構造之防火性能。

預備實驗兩組試體於非受火面升溫觀察，平均背溫上升趨勢相近，但試體 W (test1) 試驗一開始前 19 分鐘試體平均背溫上升確較為快速。非受火面之平均背溫觀察與比較中如圖 7。

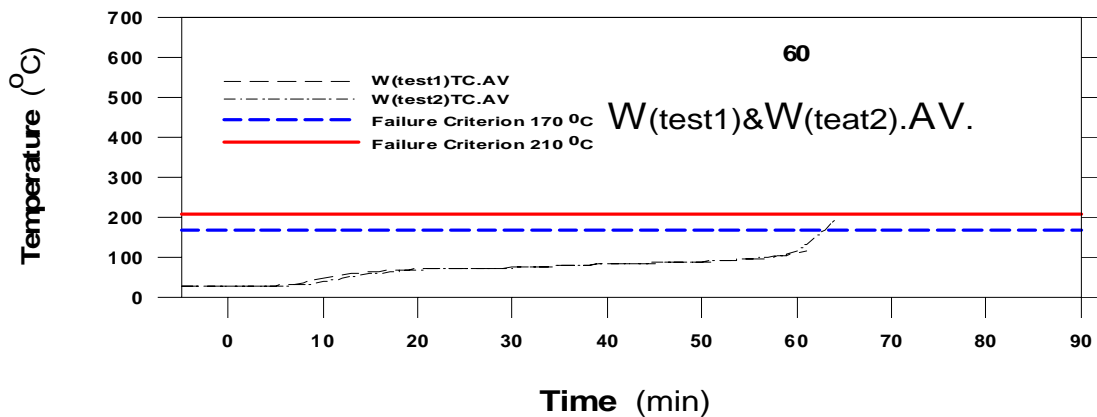


圖 7 兩組試驗平均背溫觀察與比較表

由上述預備實驗討論成果確認正式實驗耐火性能因子的實驗因子設定如下為：(1) 覆蓋板、(2) 間柱斷面與間距、(3) 牆體構架材料等三項。全部試體填充材使用耐火性能較好的岩棉。

覆蓋板豎向與橫向封版型式經預備實驗得知兩種型式結果差異不大，所以在考慮施工之簡易性及常用之施工法；正式之試驗將全部選擇使用橫向封版之組構方式進行。石膏板配合之固定件為螺釘系統，矽酸鈣板因材料硬度大配合之固定件為平滑釘加接著劑系統。

木材之含水率會影響燃燒性，故預備實驗並進行牆體構架材料之含水率實驗，依據 CNS14631 「框組壁工法結構用製材」中第 8 節含水率試驗之規定進行試驗，結果為 SPF 含水率平均為 13.69%，杉木含水率平均為 15.96%，皆小於 19% 符合 CNS14631 之乾燥材規定。

正式實驗之實驗因子設定包含 (1) 覆蓋板材料、(2) 間柱斷面、(3) 牆體構架材料等 3 項，各項因子設定 2 水準，並配合田口氏 $L_8 (2^7)$ 直交表將因子整理如表 4，實驗次數設定為 8 次。

表 4 試體編號與組構材料表

因子配置		A	B		C		填充材	固定釘件				
		覆蓋板材料	間柱斷面	間柱斷面	牆體構架材料	牆體構架材料		螺 釘		平滑釘+接著劑		
試體 編號	試體類 型代號	石膏板	矽酸鈣板	2×4	2×6	SPF	杉木	岩 棉 60k	釘長 31.8mm	釘長 63.5mm	釘長 50.0mm	釘長 60.0mm
		(G)	(C)	(4)	(6)	(S)	(T)		釘距 300mm	釘距 180mm	釘距 150mm	釘距 150mm
W1	G-4-S	○		○		○		○	○			
W2	G-4-T	○		○			○	○	○			
W3	G-6-S	○			○	○		○		○		
W4	G-6-T	○			○		○	○		○		
W5	C-4-S		○	○		○		○			○	
W6	C-4-T		○	○			○	○			○	
W7	C-6-S		○		○	○		○				○
W8	C-6-T		○		○		○	○				○

註：試體類型代號依實驗 3 項因子：覆蓋板材料、間柱斷面、牆體構架材料，之 2 水準代號：G/C、4/6、S/F 加以編列。

五、實驗結果整理與分析

實驗經由預備實驗條件的設定與程序檢討後，確定正式實驗項目，配合田口氏直交表之原理將因子重新整理採用 $L_8 (2^7)$ 直交表，實驗次數設定為 8 次。實驗結果歸納與分析分為二部份，第一部份係為實驗結果現象討論，第二部份則以田口式直交表實驗法分析實驗結果，以找出影響框組式木構造區劃牆防火性能的主要因子，相關內容檢討如下：

5-1 實驗結果現象討論

實驗結果現象的討論依溫度紀錄、觀察紀錄與實驗因子討論可分為：(1) CNS12514 耐火性能討論、(2) 試體背溫紀錄討論、(3) 爐內溫度紀錄討論、(4) 試體觀察紀錄討論、(5) 實驗因子影響分析等 5 項，如下說明：

1. CNS12514 耐火性能討論

實驗結果顯示所有試體雖因加熱實驗之時間各有不同，但於 60 分內於非加熱面皆沒有產生持續火焰超過 10 秒或從加熱側通達非加熱側之持續噴出火焰超過 10 秒，顯現試體皆具 1 小時遮焰性能。因建築技術規則七十條規定防火構造分間牆所具有之防火時效皆為 1 小時，實驗所有試體皆超過此性能要求。所以後續田口方法分析有關遮焰性品質部份擬不再分析討論，而耐火性能分析討論以阻熱性為主。實驗有關阻熱性與遮焰性結果統計整理如表 5。

表 5 框組式木構造區劃牆進行 CNS12514 耐火性能實驗結果

試體編號	試體類型代號	阻熱性		遮焰性		備註
		背溫單點達 210°C 之時間	背溫均溫達 170°C 之時間	在非加熱面之持續火焰超過 10 秒	從加熱側通達非加熱側之持續噴出火焰超過 10 秒	
W1	G-4-S	65 分 50 秒 (3950 秒)	69 分 40 秒 (4180 秒)	×	×	×表示未發生
W2	G-4-T	64 分 50 秒 (3890 秒)	71 分 40 秒 (4300 秒)	×	×	
W3	G-6-S	80 分 10 秒 (4810 秒)	86 分 00 秒 (5160 秒)	×	×	86 分停爐
W4	G-6-T	77 分 40 秒 (4660 秒)	81 分 50 秒 (4910 秒)	×	×	
W5	C-4-S	77 分 00 秒 (4620 秒)	88 分 40 秒 (5320 秒)	×	×	
W6	C-4-T	72 分 50 秒 (4370 秒)	75 分 00 秒 (4500 秒)	×	×	
W7	C-6-S	82 分 40 秒 (4960 秒)	98 分 50 秒 (5930 秒)	125 分 20 秒發生並持續 2 分 40 秒		125 分 20 秒發生並持續 2 分 40 秒
W8	C-6-T	83 分 20 秒 (5000 秒)	108 分 50 秒 (6530 秒)	×	×	

2. 試體背溫紀錄討論

試體非受火面背溫於實驗過程中前 60 分鐘內大部份各點溫度上升曲線趨勢都相差不大，但在實驗 60 分鐘後部份試體如 W1、W2、W4、W6（如圖 8）有突然上升的情況，這種現象經由耐火爐之觀視窗觀察比對研判是因為試體受火面之覆蓋板崩落且岩棉失去支撐物也掉落，爐內溫度直接加熱非受火面之覆蓋板爐內側而導致背溫全部突然上升。

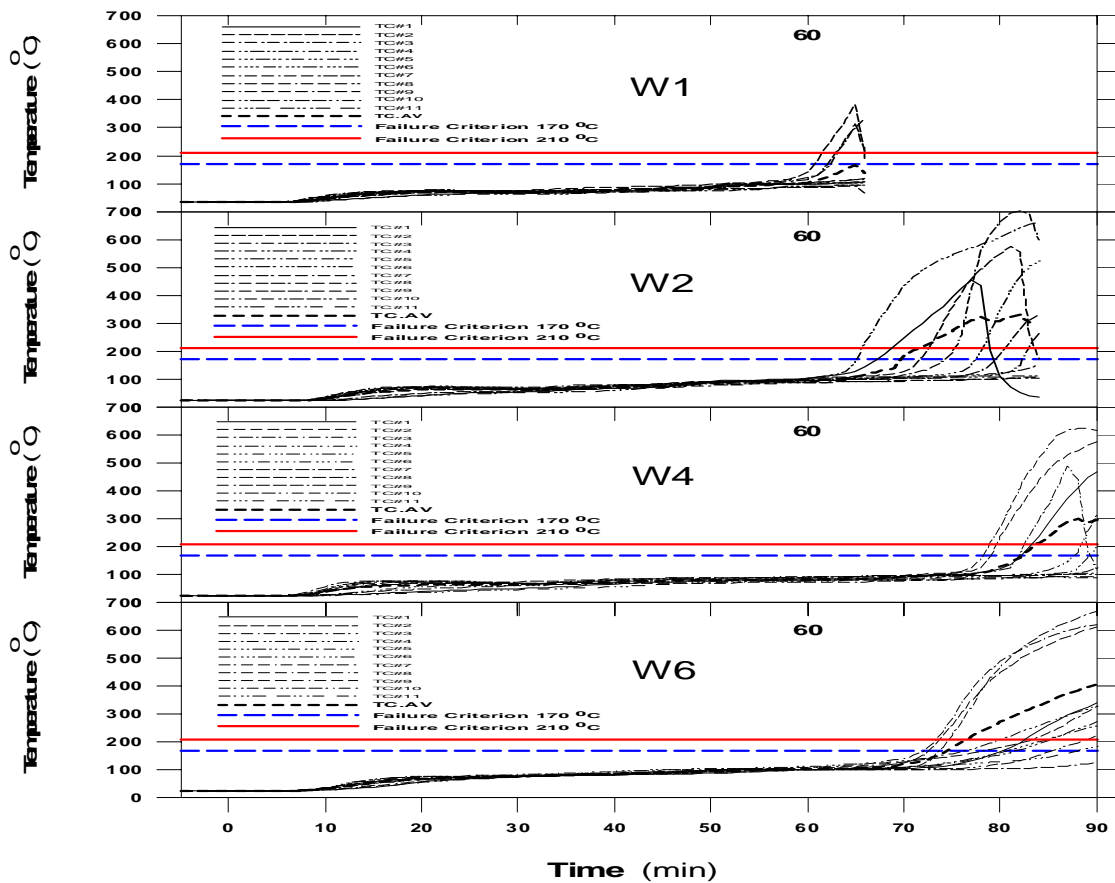


圖 8 試體 W1、W2、W4 與 W6 背溫紀錄

實驗所有試體有關背溫單點達 210°C 之時間與同一試體比較皆小於均溫達 170°C 之時間，亦是背溫單點達 210°C 之時間皆較早到達，所以阻熱性之時間判定應以背溫單點達 210°C 之時間為主。據此後續田口方法分析有關阻熱性品質是以背溫單點達 210°C 之時間為主。所有試體之阻熱性能範圍約為 64 分鐘至 83 分鐘，皆具備 60 分鐘之阻熱性能。

3. 爐內溫度紀錄討論

爐內溫度曲線符合 CNS12514 要求如圖 9，W1、W2、W4 試體於實驗進行約 40 分鐘後有爐內溫度突然上升，這種現象經由耐火爐之觀視窗觀察研判是試體加熱面的覆蓋板材料經燃燒後產生大面積的崩落後木構架整體燃燒，導致爐內溫度突然上升。W6 試體於實驗進行約 75 分鐘時試體覆蓋板非加熱面 1/2 面積破壞崩落，爐內溫度由破壞崩處落竄出，所以爐內溫度突然下降。

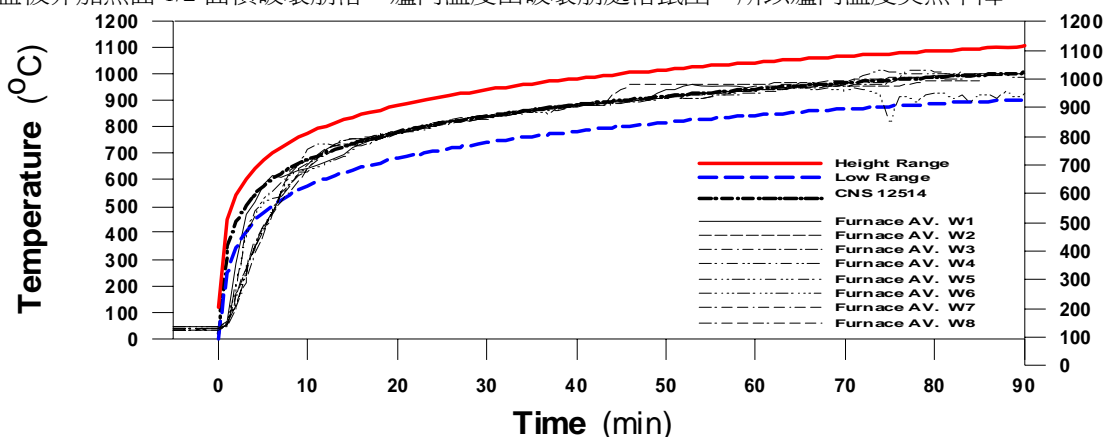


圖 9 實驗爐溫紀錄

4. 試體觀察紀錄討論

試體受火面觀察紀錄經由耐火爐之觀視窗觀察，試體受火面之覆蓋板接縫位置容易產生燃燒竄出火焰應屬於耐火的弱點。於實驗後階段加熱面的覆蓋板材料經燃燒引致材料劣化，且因木構架炭化致固定件失效，而產生大面積的崩落，致使木構架整體燃燒，岩棉因失去支撐物而掉落，如圖 10 試體受火面紀錄相片所示。



從加熱爐觀測窗觀察受火面覆蓋板崩落木構架整體燃燒



覆蓋板材料燃燒後崩落，岩棉失去支撐也掉落

圖 10 試體受火面紀錄相片

試體非受火面觀察紀錄部份，覆蓋板於實驗中所產生的破壞行為，是由溫度升高造成試體逐漸產生性質劣化，而致使材料強度降低，同時於加熱過程中，溫度逐漸傳導至木構架而導致溫度升高使木構架逐漸炭化，固定釘件之承載剪應力消失，最後導致覆蓋板崩落而致木構架開始產生燃燒，岩棉也逐漸崩落，非加熱面失去加熱面之覆蓋板與岩棉之屏障，材料開始產生變質。覆蓋板材料因背溫上升矽酸鈣板會變成較為焦黃色，石膏板因背面材料為紙板亦產生炭化的黑色，如圖 11 試體非受火面紀錄相片所示。



矽酸鈣板覆蓋板材料會變成較為焦黃色



石膏板覆蓋板材料表面為紙板產生炭化的黑色

圖 11 試體非受火面紀錄相片

5. 實驗因子影響分析

框組式木構造區劃牆實驗因子防火性能影響分析比較如表 6，有關牆體構架木材材種因子對於框組式木構造區劃牆防火性能之影響中，木材材種由 SPF 改變為杉木，會微幅減少防火性能，由 SPF 改變為杉木防火性能減少之平均百分比 0.025%。有關間柱斷面大小（牆間柱距）因子之影響，間柱斷面由 2×4 改變為 2×6，會增加防火性能的提升，由 2×4 改變為 2×6 防火性能提升之平均百分比 18.88%。有關覆蓋板材料因子對於防火性能之影響中，經整體觀察覆蓋板由石膏板改變為矽酸鈣板，會增加防火性能的提升，由石膏板改變為矽酸鈣板防火性能提升之平均百分比 15.17%。

表 6 木構造區劃牆實驗因子防火性能影響分析比較表

牆體構架材料因子之防火性能影響分析比較					
組別	(一)	(二)	(三)	(四)	平均
【S】：SPF	W1 (3590sec)	W3 (4810sec)	W5 (4620sec)	W7 (4960sec)	
【T】：杉木	W2 (3890sec)	W4 (4660sec)	W6 (4370sec)	W8 (5000sec)	
【T】－【S】	300sec	-150sec	-250sec	40sec	-60 sec
(【T】－【S】) / 【S】×100%	8.35%	-3.11%	-5.41%	0.08%	-0.025%
間柱斷面大小（牆間柱距）因子之防火性能影響分析比較					
【4】：間柱斷面 2×4	W1 (3590sec)	W2 (3890sec)	W5 (4620sec)	W6 (4370sec)	
【6】：間柱斷面 2×6	W3 (4810sec)	W4 (4660sec)	W7 (4960sec)	W8 (5000sec)	
【6】－【4】	1220sec	770sec	340sec	630sec	740 sec
(【6】－【4】) / 【4】×100%	33.98%	19.79%	7.35%	14.41%	18.88%
覆蓋板因子之防火性能影響分析比較					
【G】：試體（石膏板）	W1 (3590sec)	W2 (3890sec)	W3 (4810sec)	W4 (4660sec)	—
【C】：試體（矽酸鈣板）	W5 (4620sec)	W6 (4370sec)	W7 (4960sec)	W8 (5000sec)	—
【C】－【G】	1030sec	840sec	150sec	340sec	590 sec
(【C】－【G】) / 【G】×100%	28.69%	21.59%	3.11%	7.29%	15.17%

在使用 2×4 間柱斷面的木構架條件下，改變覆蓋板所增加的防火性能較顯著，實驗所使用之覆蓋板皆具有耐燃一級的性能所以固定方式可能為產生此差異性之原因之一，因相同 2×4 間柱斷面對應到使用矽酸鈣板其施工方法釘長由 31.8mm 增加至 50.0mm，釘距由 300mm 減少至 150mm，所以顯然若木構架炭化率相同時，矽酸鈣板固定釘較多且釘長較長能將覆蓋板固定於木構架上時間較長，延長覆蓋板崩落的時間，所以提升防火性能。

5-2 田口直交表分析結果

由 3-1 木構造區劃牆組構內容討論耐火性能因子，實驗因子之設定，包含：覆蓋板材料種類、間柱斷面大小（牆間柱距）、牆體構架材料、填充材種類等 4 種因子，各因子各設定二種水準。經預備實驗檢討後填充材的部份因玻璃纖維棉會產生溶化現象防火性能較差，故取消該項目討論，將確定正式實驗因子配合田口氏直交表之原理將因子重新整理採用 $L_8(2^7)$ 直交表，實驗次數設定為 8 次。本節將配置田口氏直交表、試驗結果整理、討論阻熱性失敗時間反應結果與因子交互作用關係以找出影響框組式木構造區劃牆防火性能的主要因子，如以下說明：

1. 配置田口氏直交表

本研究框組式木構造區劃牆耐火性能因子設定覆蓋材料種類、牆體構架材料、間柱斷面大小（牆間柱距）等 3 種因子，各因子各設定二種水準如表 8，並進行 8 次實驗。所以依據田口直交表分析法設定採用 $L_8(2^7)$ 直交表來配置實驗因子與實驗次數，計劃進行 8 次實驗，配置 3 個因子與討論因子間的交互作用，採用 2 水準，設定 2 個品質標準。

修正後的主要因子推測其重要性排列次序為：A 覆蓋板材料、B 間柱斷面大小（牆間柱距）、C 牆體構架材料。 $L_8(2^7)$ 直交表因子及交互作用之配置與說明如表 7、8。

表 7 $L_8(2^7)$ 直交表因子及交互作用之配置

	A 覆蓋板材料	B 間柱斷面	AxB	C 牆體構架材料	AxC	BxC	AxBxC
Exp 實驗次數	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

表 8 直交表實驗因子、水準、品質標準配置說明

3 因子	覆蓋板材料 (A)		間柱斷面 (B)		牆體構架材料 (C)		品質標準	
	(A1)	(A2)	(B1)	(B2)	(C1)	(C2)	阻熱性	遮焰性
2 水準	石膏板 (G)	矽酸鈣板 (C)	2×4 (4)	2×6 (6)	SPF (S)	杉木 (T)	失敗時間點 (秒)	失敗時間點 (秒)

2. 試驗結果整理

建築技術規則七十條規定防火構造分間牆所具有之防火時效皆為 1 小時，因所有試體實驗結果皆超過遮焰性 1 小時，所以後續田口直交表方法分析有關遮焰性性能部份擬不再分析討論。

實驗所有試體有關背溫單點達 210°C 之時間皆較均溫達 170°C 之時間早到達，所以阻熱性之時間判定應以背溫單點達 210°C 之時間為主。據此後續田口方法分析有關阻熱性品質也是以背溫單點達 210°C 之時間為主。所以「阻熱性失敗之時間點－單點溫度超過 210°C」為品質特性之因子效應及因子交互作用配置如表 9。

表 9 L₈ (2⁷) 直交表因子及交互作用配置(阻熱性失敗之時間點－單點溫度超過 210°C)

	A 覆蓋板材料	B 間柱斷面	AxB	C 牆體構架材料	AxC	BxC	AxBxC	阻熱性失敗時間點 (秒數)
Exp. 實驗次數	1	2	3	4	5	6	7	
1	1	1	1	1	1	1	1	3950
2	1	1	1	2	2	2	2	3890
3	1	2	2	1	1	2	2	4810
4	1	2	2	2	2	1	1	4660
5	2	1	2	1	2	1	2	4620
6	2	1	2	2	1	2	1	4370
7	2	2	1	1	2	2	1	4960
8	2	2	1	2	1	1	2	5000

3. 阻熱性失敗時間反應結果與因子交互作用討論

本實驗計畫中每一種因子組合只進行一次實驗，所以不計算標準差，計劃中阻熱性品質標準背溫性能數值表示是以時間（秒）為單位，以單點溫度達 210°C 之時間為主，也就是其時間計量值越大越好。

(1) 因子效應分析

因子效應分析，由表 10 與圖 12 品質標準之因子反應圖可知 B 因子間柱斷面改變影響最大，A 因子覆蓋板材料改變影響次之，C 牆體構架材料則影響不大。最佳的品質組合為 A2B2C1（覆蓋板材料矽酸鈣板＋間柱斷面 2×6＋牆體構架材料 SPF）。但 A×B 之間存有不可忽略的交互作用。

表 10 因子及交互作用反應結果表(單點溫度超過 210°C)

	A 覆蓋板材料	B 間柱斷面	AxB	C 牆體構架材料	AxC	BxC	AxBxC	阻熱性失敗時間點 (秒數)
Level 1	4327.5	4207.5	4450.0	4585.0	4532.5	4557.5	4485.0	AVE.
Level 2	4737.5	4857.5	4615.0	4480.0	4532.5	4507.5	4580.0	4532.5
Effect	410	650	165	-105	0	-50	95	

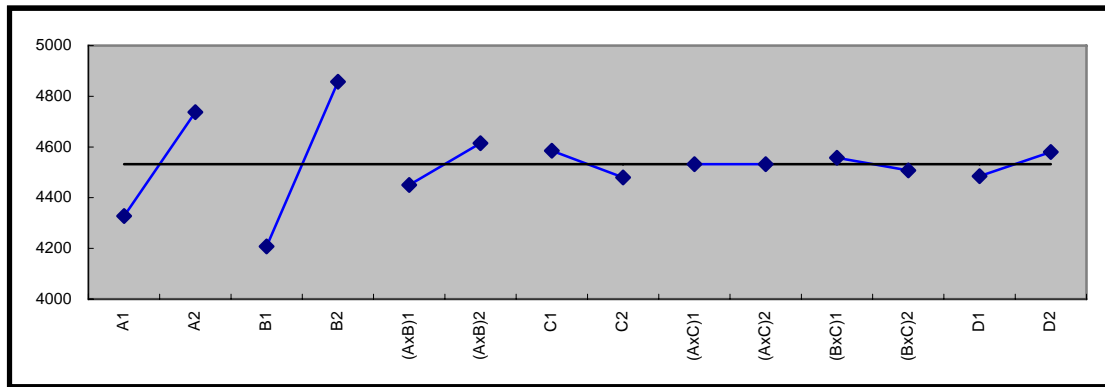


圖 12 因子及交互作用反應圖（單點溫度超過 210°C）

框組式木構造區劃牆之防火性能理論上係由覆蓋板材料與填充材所提供，但 B 因子間柱斷面改變時所產生的防火性能影響最大，又因 A 因子覆蓋板材料及 B 因子間柱斷面之間有交互影響性，當討論因子條件之設定發覺 B 因子間柱斷面改變或 A 因子覆蓋板材料改變時其固定方式也會變，B 因子間柱斷面由 2×4 改為 2×6 其釘長變長而且於石膏板組別釘數也增加，由圖 13 得知當 B 因子間柱斷面改變時石膏板組別防火性能之影響性改變最大，即是因釘長與釘距改變所致。A 因子覆蓋板材料及 B 因子間柱斷面間之交互影響性也大部份屬釘長與釘距的影響。

(2) 交互作用影響分析

由圖 13 知 AB 因子間的交互作用影響較 AC 因子間或 BC 因子間大，當使用石膏板覆蓋板材 (A1) 時，間柱斷面使用 2×6 系統較 2×4 系統耐火時間多 485 秒；當使用矽酸鈣板覆蓋板材 (A2) 時，間柱斷面使用 2×6 系統較 2×4 系統耐火時間多 815 秒。間柱斷面的改變會產生釘長與釘距的改變，石膏板 (A1) 所使用的釘長釘距皆改變時，對於阻熱性能的提升也較為顯著。AC 因子間與 BC 因子間因為線型趨勢接近平行，所以交互作用影響較小。

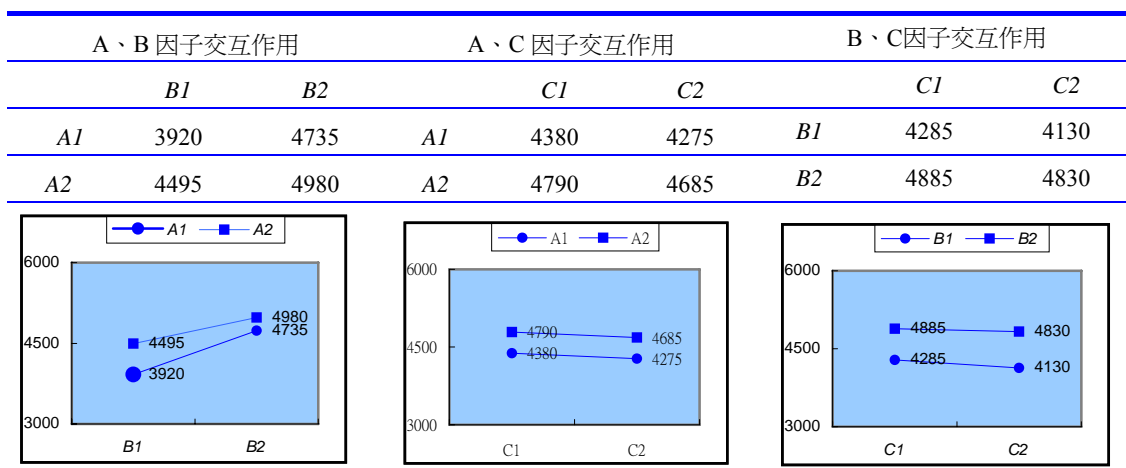


圖 13 因子交互作用圖

六、結語

本文研究以框組式木構造區劃牆為研究對象，使用國外及國產木材，參考國外標準制式工法，進行全尺寸框組式木構造區劃牆防火性能驗證。研究結果顯示框組式木構造區劃牆之耐火性能因子中覆蓋板材料種類與間柱斷面大小對阻熱性能影響較大，牆體構架材料影響較小。

本研究於試驗過程亦發現木構造框組式系統阻熱性失敗現象，係受牆體覆蓋板材料因固定性能失效引起覆蓋板材料大面積之崩落，間接導致岩棉填充材因失去覆蓋板支撐而同時崩落，引致木框架體著火而致爐內溫度突升狀況。研究成果顯示框組式木構造區劃牆覆蓋板固定方式對於防火性能影響很大，釘長增加與釘距減少對於防火性能會有提升的效果。此項因素不僅致使非加熱面的覆面材料直接受火，且是影響背溫急速上升導致阻熱性能失效之關鍵。根據背溫反應判定耐火性能而言，影響阻熱性能之因子主要包含覆蓋板材料種類與間柱斷面大小。綜合整理說明如下：

1.框組式木構造區劃牆之防火性能主要係覆蓋板材料與填充材，但間柱斷面因子改變其固定件因素也會改變，如何讓覆蓋板延長固定於木構架上之時間即會延長防火性能。木構架材料於實驗加熱過程中會隨時間逐漸炭化，同時木構架也逐漸喪失對固定釘件之握裹力，固定釘件之剪力逐漸消失；釘距減少則釘數增加，相對的每一支固定釘所負擔之剪應力減少，所以釘長越長與釘距減少對於防火性能越顯著。

2.覆蓋板材料的使用上比較而言，矽酸鈣板之阻熱性較石膏板略佳。除了材料本身的性質考量外，兩種材料的固定方式略有不同也是造成阻熱性差異之原因，石膏板固定僅採用螺釘，而矽酸鈣板因材料硬度高且重量重採用螺釘較不適當，一般於金屬框架固定時係使用自攻螺釘，但自攻螺釘卻不適宜使用於木質材料系統上，故施工時先使用接著劑黏合後再加上平滑釘固定，所以此種固定方式應為矽酸鈣板可適用之施工方式。

綜合本研究之成果，除上述討論事項外，本次研究依據國外框組式木構造標準制式工法及 CNS12514 建築物構造部分耐火試驗法之規定所設定各項因子進行試驗成果顯示，所使用之國外及國產木材依據國外施工規範所組裝之區劃牆體之防火性能，皆能夠滿足建築技術規則一小時防火時效性能之規定。

致謝

本研究 承內政部建築研究所 2004 年協同研究計劃“木構造區劃牆耐火性能設計與驗證研究”（093-301070000-G3027）提供研究經費及 承內政部建築研究所台南防火實驗中心協助性能驗證，謹此致謝。

參考文獻

1. 內政部營建署編輯委員會編輯，2003，“木構造建築物設計及施工技術規範”，營建雜誌社。
2. 加拿大房貸與住屋公司，1997a，“房屋建築術總匯”，P.109。
3. 加拿大房貸與住屋公司，1997b，“加拿大木結構房屋構造”，P.56~P.85。
4. 李輝煌，2003，“田口方法－品質設計的原理與實務”，高立圖書有限公司，台北。
5. 林慶元、鄭紹材、王國振，1992，“鋼骨結構耐火批覆材料組成與耐火性能關係之研討”，〈第十三屆中日工程技術研討會論文集〉p.82~p.106。

6. 陳啓仁，2003，“建築結構體耐火耐震性能研究（二）木構造防火基準之國際比較研究”，內政部建築研究所，台北。
7. 曾俊達，2004，“框組壁工法壁體防火性能檢證”，〈台加合作木質構造建築物之防火、耐久性及市場〉研討會論文集，p.81~p.90，加拿大 BC 省總商會台北服務處。
8. 葉世文、曾俊達、陳啓仁，2004，“木構造區劃牆耐火性能設計與驗證研究”內政部建築研究所九十三年度研究計畫聯合研討會-安 1 主題，內政部建築研究所，台北。
9. Kodur, V.K.R., Sultan, M.A., Latour, J.C., Leroux, P. and Monette, R.C., 2002, “Fire Resistance Tests on Cellulose and Glass Fiber Insulated Wood Shear Walls,” National Research Council Canada
10. Sultan, M.A. and Lougheed, G.D., 2002, “Result of Fire Tests on Full-Scale Gypsum Board Wall Assemblies,” National Research Council Canada

REFERENCES in English

1. Editor Committee of Construction and Planning Agency, Ministry of The Interior, 2003, “Technical Code for Design and Construction of Wood-Framed Building” Construction Magazine Corporation.
2. Canada Mortgage and Housing Corporation, 1997a, “Glossary of Housing Terms,” P.109, Canada
3. Canada Mortgage and Housing Corporation, 1997b, “Canadian Wood-Frame House Construction,” P.56~P.85, Canada.
4. Lee H.H., 2003, “Taguchi Methods – Principles and Practices of Quality Design,” Taipei.
5. Lin, C.Y., Cheng, S.T., Wang, K.C., 1992, “A study of the relationship between the constitution and fire resistive performance of sprayed fire resistive materials applied to steel structures,” *The 13th Sino-Japanese Modern Engineering And Technology Symposium*, p.82~p.106.
6. Chen, C.J., 2003, “Fire Resistance And Earthquake Resistance of RC Beams and Columns-Comparison of International Standards of Timber Structure,” Architecture And Building Research Institute, Ministry of the Interior, Taipei.
7. Tzeng, C.T., 2004, “Framed Wall Construction Fireproof Function Verification,” *ROC-Canada Cooperative Conference on Wooden Structure Architecture—Fire Resistance, Sustainability and Market, Conference Proceedings*, pp.81-90, The Representative Office of British Columbia Canada
8. Yeh, S.W., Tzeng, C.T., Chen, C.R., 2004, “Wooden Structure Fireproof Function Design and Verification,” A Topic Research Paper, 2004 Joint Research Project Conference, Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior, Taipei.
9. Kodur, V.K.R., Sultan, M.A., Latour, J.C., Leroux, P. and Monette, R.C., 2002, “Fire Resistance Tests on Cellulose and Glass Fiber Insulated Wood Shear Walls” National Research Council Canada.
10. Sultan, M.A. and Lougheed, G.D., 2002, “Result of Fire Tests on Full-Scale Gypsum Board Wall Assemblies,” National Research Council Canada.