

彰化縣政府 105 年度自行研究報告

○
○
○裝
○
○訂
○
○
○處
○
○

火災搶救之研究-以鐵皮屋工廠為例

研究單位：彰化縣消防局

研究人員：技士 陳錦龍

研究期程：105 年 1 月至 105 年 10 月

備註：封面以 A4 紙張，採直式由左至右橫書方式繕打。

彰化縣政府 105 年度自行研究成果摘要表

計 畫 名 稱	火災搶救之研究-以鐵皮屋工廠為例
研究單位及人員	彰化縣消防局(火災調查科) 技士陳錦龍
期 程	105 年 01 月 01 日-105 年 10 月 30 日
經 費	無
緣 起 與 目 的	我國二層樓以下之工業、倉儲類鐵皮屋建築物，依法可為非防火構造建築物，建築物之主要構造樑、柱及樓板，均不需具有防火時效，只要達到不燃程度即可，因此，國內許多工廠類建築物多採用無防火被覆保護之鐵皮屋建造。然而鐵皮屋建築物遇火災發生時，結構鋼材的強度急速降低，可能導致建築物倒塌，危害入內搶救之消防人員生命安全。故如何因應鐵皮屋建築物火災，應廣泛收集資料，記取過往火災案例事故之教訓，研擬並歸納出適切之消防搶救策略建議。
方 法 與 過 程	有鑑於此，本研究搜集國內近年來有造成人員傷亡之重大鐵皮屋火災事件，深究其火災發生原因、人員傷亡程度等相關資料，研擬並歸納此類鐵皮屋建築物火災適切之消防搶救對策。期望透過本研究成果，調整此類建築物火災的消防搶救之對策，避免鐵皮屋建築物火災造成重大傷亡之悲劇一再發生。
研究發現及建議	(一)鐵皮屋建築物有以下四點火災特性： (1)結構不堅固 (2)火勢成長迅速(3)屋內無防火區劃(4)火災猛烈度大。 (二)鐵皮屋一但發生火災，多數由於內部火載量甚高，火災猛烈度甚大，短時間即超越鋼結構桿件的耐熱強度，其鋼骨容易因受熱而彎曲，整間鐵皮屋即會因重心不穩，失去平衡而塌陷。且鐵皮屋建築物內通常無防火區劃，一旦火災

	<p>形成，如初期無法控制，在預燃相乘效應，可燃物會加速分解，致命之閃燃現象往往在消防隊介入時就已發生，增加了消防搶救困難。</p> <p>(三)支撐鐵皮屋的鋼架在約 538°C 就會大量變形，尤其很多鐵皮建築物都搭建 2 層，當火勢在 2 樓流竄，甚至達到閃燃時，在 1 樓救災人員根本看不到 2 樓的火勢，不知道自己已身陷危險之中，等到屋頂因猛烈燃燒而塌陷時，救災人員已來不及撤退。</p> <p>(四)目前國內多數建築結構多採梁、柱構架系統，當消防搶救人員進入火場後，對高溫的鐵皮屋建築物構造應予以“謹慎射水”，特別是針對鐵皮屋鋼結構之接合處，應避免受到急速冷卻(淬火)情形，進而影響鐵皮屋建築物之結構穩定性。</p>
備	註

目 錄

	頁次
表目錄-----	5
圖目錄-----	6
第一章 緒論	
第一節 研究緣起-----	7
第二節 研究背景-----	8
第三節 研究目的-----	10
第四節 研究方法-----	10
第二章 文獻回顧	
第一節 建築物火災特性-----	11
第二節 鐵皮屋類型概述-----	18
第三節 鋼結構及鋼鐵材火害特性-----	21
第三章 國內火災案例分析	
第一節 新北市幸世機電工業有限公司火警事故案-----	24
第二節 高雄市博愛路家具工廠火警事故案-----	27
第三節 新北市泰山區鐵皮工廠火警事故案-----	31
第四節 桃園市新屋區亞洲保齡球場火警事故案-----	35
第四章 鋼材火害後之金相分析探討	
第一節 金相顯微概論-----	38
第二節 加熱鋼板金相顯微組織成份分析-----	40
第五章 鐵皮屋建築物火災崩塌原因研析	
第一節 概述-----	47
第二節 鐵皮屋火災崩塌原因分析-----	49
第三節 鐵皮屋火災搶救安全原則-----	53
第六章 研究結論與建議	
第一節 研究結論-----	60
第二節 研究建議-----	63
參考文獻 -----	68

表目錄

	頁次
表 2-1 鐵皮屋構築方式-----	20
表 3-1 國內消防義消人員搶救鐵皮屋建築物火災殉職之案件表---	23
表 3-2 新北市幸世機電工業有限公司火警事故燃燒情形及現場 勘查照片彙整表-----	26
表 3-3 高雄博愛路家具工廠火警事故燃燒情形及現場勘查照片 彙整表-----	30
表 3-4 新北市泰山區鐵皮工廠火警事故燃燒情形及現場勘查照 片彙整表-----	33
表 3-5 桃園市新屋區亞洲保齡球場火警燃燒情形及現場彙整表---	36
表 4-1 A36 鋼板於不同受熱條件與冷卻方式之金相顯微組織成 份比例對照表-----	41
表 5-1 民國 72~104 年 1 月消防義消人員因搶救建築物火災事故 死亡人數統計表-----	54

圖目錄

	頁次
圖 1-1 鋼材在高溫下的折減係數圖-----	9
圖 2-1 鐵皮屋常見類型照片-----	19
圖 4-1 拋光及被腐蝕之晶粒示意圖-----	38
圖 4-2 腐蝕所產生之晶界及表面凹溝的橫截面示意圖-----	38
圖 4-3 顯微鏡觀察下光線反射在不平均表面之示意圖-----	39
圖 4-4 A36 鋼板於未加熱與加熱至 1,000°C 持溫 1 小時 淬火處理後其金相顯微組織圖-----	42
圖 4-5 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 水淬處理後其金相顯微組織圖-----	43
圖 4-6 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 自然冷卻處理之抗拉強度曲線圖-----	44
圖 4-7 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 水淬處理之抗拉強度曲線圖-----	44
圖 4-8 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 自然冷卻處理之伸長率曲線圖-----	45
圖 4-9 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 水淬處理之伸長率曲線圖-----	45
圖 4-10 A36 鋼板加熱至 800°C 以上經不同冷卻方式處理 後其金相顯微組織變化圖-----	46
圖 5-1 鐵皮屋火災可能崩塌流程分析圖-----	49
圖 5-2 鐵皮屋建築物火災可能崩塌流程圖-----	51

第一章 緒論

第一節 研究緣起

依照目前國內建築結構使用型態，鐵皮屋建築物占有相當高的使用率，特別是許多高火載量之家具工廠、化學工廠、倉儲量販店等，尤其以工廠廠房以鐵皮屋建造最為普遍，甚至廣泛使用於違章建築物、臨時建築物或建築物改良加建等，然此類建築物不但構築雜亂，有礙都市景觀，且搭建前多未經詳細之結構分析計算，以及完善的施工監造，致使其鋼結構工程品質不佳。

鐵皮屋建築物之耐久性與防火性能嚴重不足，一旦發生火災，多因內部火載量甚高，火災猛烈度甚大，短時間即超越鋼結構桿件之耐熱強度，造成鋼材強度急速降低，致使建築物短時間內即發生崩塌之慘劇，不但大量縮短內部人員的避難逃生時間，亦造成許多消防搶救人員重大傷亡之事故，例如民國94年3月25日高雄市博愛路家具工廠火警2名消防人員殉職、102年7月6日新北市泰山鐵皮工廠火警2名消防人員殉職、104年1月20日桃園市新屋區亞洲保齡球場火警6名消防人員殉職等。而依據現行之建築技術規則第69條規定，2層以下之C類建築物（工業、倉儲類），及3層以上規模較小的工廠類建築物，可不需具有防火時效規定之要求，只要達到不燃程度即可，使得鐵皮屋建築物之耐久性與防火性能嚴重不足，一旦發生火災，內部火載量又很大，火災猛烈度甚大，將造成建築物短時間即發生崩塌之可能性。

第二節 研究背景

目前國內之建築材料多以鋼筋混凝土及鋼結構為主，其中鐵皮屋建築物因具有工期短及耐震性強等優點¹，廣泛使用於工廠建築物中，而根據文獻²，一般鐵皮屋建築物發生火災時，有下列幾點特性：

(一)結構不堅固：

一般鐵皮屋建築物之樑柱多採用鋼骨或C型鋼，屋頂及牆壁皆以鐵皮烤漆浪板搭建，一旦火場溫度達600°C以上，即會破壞建築結構之鋼性，而一般火場溫度皆可高達1,000°C以上，鋼骨即容易受熱彎曲，整間鐵皮屋將因重心不穩，失去平衡而塌陷。

(二)火勢成長迅速：

鐵皮屋建築物常為空間效益及光線良好，多會採用加高、加大之空間設計，而遇火災發生時，將致使火災初、中期即有充沛之氧氣供應，有利於燃燒之進行，且因室溫成長使壓力增高，空間氣體膨脹，加速熱對流之效應，火勢成長相對較快。

(三)屋內無防火區劃：

鐵皮屋建築物內通常無防火區劃，一旦小火形成，如未能於火災初期控制火勢，經預燃相乘效應，輕質可燃物分解加速，致命之閃燃現象往往在消防隊介入搶救時就已發生，增加消防搶救之困難。

(四)火災猛烈度大：

鐵皮屋建築物如用以儲放物品，其火載量與火災猛烈度易較一般之住宅型態大，若屋內堆放可燃性之原料、半成品及成品，當堆放之可燃物相鄰燃燒，致高能量電磁波相互吸收，高溫高熱經由輻射、對流、傳導及能量不斷回饋，加速燃料分解，輻射能回饋效應顯著。鐵皮屋之二樓地板大多為鐵板或木板，其材質不但無法阻隔熱，且空間特性使火災燃燒之熱煙流持續囤積在屋內，容易形成巨大火爐。

根據莊有清等研究，鋼結構在常溫及高溫下之受力行為與其機械

¹簡丞宏、楊國珍，「H型鋼柱高溫整體結構行為研究」，碩士論文，國立高雄第一科技大學營建工程研究所，台灣高雄，2005年。

²陳俊勳，「鐵皮屋火災危險性及閃(復)燃模擬實驗」，內政部消防署，90年10月。

性質有關，如降伏強度、彈性模數等，會隨著溫度的升高而下降。當鋼材受熱溫度達550~600°C時，其強度會折損33~50%，約為原始設計強度之50%，而一般火災現場僅需約5分鐘即可達到此溫度，此時鋼材膨脹率約為1%，即可能導致鋼材變形而倒塌，其溫度與折減係數之關係如圖1-1所示³。鋼材受熱達一定高溫時，火害溫度或冷卻方式將對鋼材之機械性質產生不同程度的影響⁴。

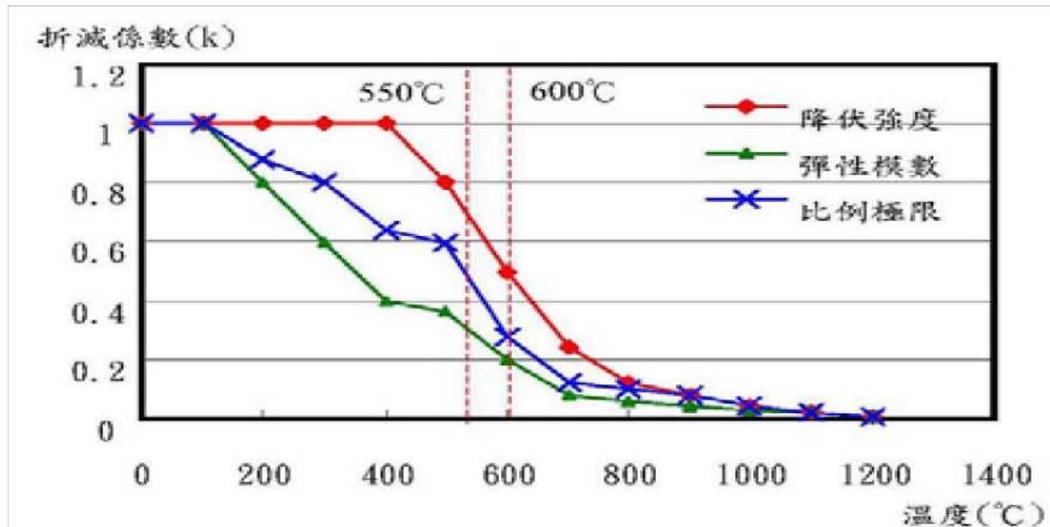


圖1-1鋼材在高溫下的折減係數圖(資料來源：參考書目3)

綜上所述，我國二層樓以下之工業、倉儲類鐵皮屋建築物，依法可為非防火構造建築物，建築物之主要構造樑、柱及樓板，均不需具有防火時效，只要達到不燃程度即可，因此，國內許多工廠類建築物多採用無防火被覆保護之鐵皮屋建造。然而鐵皮屋建築物遇火災發生時，結構鋼材的強度急速降低，可能導致建築物倒塌，危害入內搶救之消防人員生命安全。故如何因應鐵皮屋建築物火災，應廣泛收集資料，記取過往火災案例事故之教訓，研擬並歸納出適切之消防搶救策略建議。

³莊有清，「鋼材在高溫環境下之行為探討」，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所，台南，2004年。

⁴周民瑜、鍾興陽，「常見結構用鋼材火害後機械性質之研究」，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所，台南，2008年。

第三節 研究目地

我國二層樓以下之工業、倉儲類鐵皮屋建築物，依法可為非防火構造建築物，建築物之主要構造樑、柱及樓板，均不需具有防火時效，只要達到不燃程度即可，因此，國內許多工廠類建築物多採用無防火被覆保護之鐵皮屋建造。然而鐵皮屋建築物遇火災發生時，結構鋼材的強度急速降低，可能導致建築物倒塌，危害入內搶救之消防人員生命安全。故如何因應鐵皮屋建築物火災，應廣泛收集資料，記取過往火災案例事故之教訓，研擬並歸納出適切之消防搶救策略建議。

第四節 研究方法

有鑑於此，本研究搜集國內近年來有造成人員傷亡之重大鐵皮屋火災事件，深究其火災發生原因、人員傷亡程度等相關資料，另外，針對鐵皮屋常用的輕量型鋼結構材料(A36)，透過金相分析文獻資料，探討其鋼結構水淬後其表面的金相顯微組織，及內部鋼結構缺陷變化情形，研擬並歸納此類鐵皮屋建築物火災適切之消防搶救對策。期望透過本研究成果，調整此類建築物火災的消防搶救之對策，避免鐵皮屋建築物火災造成重大傷亡之悲劇一再發生。

第二章 文獻回顧

第一節 建築物火災特性

建築物火災之特性依建築物構造、內部裝修材料、收容可燃物之多寡及開口部大小等影響而有所不同，惟火災一般都會以相似之發展過程進行燃燒，如火災初期，只會有發火源附近之可燃物在燃燒，當時室內之溫度並不高，而燃燒的火焰會隨著氣流或牆壁向天花板竄升，此時之室內溫度在逐漸升高，而當天花板附近的可燃性氣體燃燒後，便釋放出大量之輻射熱，致使空間內的其他可燃物開始產生熱分解，而熱分解產生之可燃性氣體濃度達燃燒範圍時，形成激烈燃燒，使得區劃內空間全部陷入火焰包圍之現象⁵。

本研究係以鐵皮屋建築物火災為研究對象，而國內目前一般建築物之構造大致可區分為磚造、鋼筋混凝土造(RC)與鋼構造(SRC)等防火構造居多，木構造建築物較為少數，故國內一般常見的建築物火災類型 6，主要可區分為老舊眷村(木構造房屋)火災、鐵皮屋倉庫火災、高樓及集合住宅火災、高科技廠房火災、地下建築物火災及騎樓火災等六大類，以下就各火災類型之特性提出說明：

一、老舊眷村(木構造房屋)之火災特性

1.木構造房屋延燒迅速：

老舊眷村建築多為木構造之平房房屋，一般內部多採用木材等易燃材料裝修，有的並有搭蓋鐵皮屋頂，又建築物內電源配線多已相當老舊，使建築物發生火災之危險因素，較其他建築物高出許多，且眷村中各戶屋頂一般多相互連通，或僅以木板做為隔間，一旦不小心發生火災極易造成火勢燃燒迅速並擴大延燒。

2.巷道狹窄、搶救不易：

⁵李立成，「建築物火災避難行為與空間安全特性之研究－以住宿型建築物為對象」，中央警察大學消防科學研究所碩士論文，民國 87 年 6 月。

⁶鄧子正，「從都市消防救災探討緊急應變之組織及其運作」，國立交通大學經營研究所博士論文。

眷村內之巷道多為狹窄巷弄，部份巷道約僅1~2公尺寬，發生火災時，常造成消防車輛無法迅速進入並靠近起火建築物，易造成搶救困難。

3.居住人口密度高（年齡層老化）

眷村內年輕人多因求學或就業因素而外移，待在村內的皆為年紀較大的長者，眷村普遍皆有高齡化的現象，這些老人常為避難逃生時的弱者，又常因熟睡等因素，警覺心低，致使防火警覺不足，若遇火災發生，往往因無法順利逃生而造成悲劇。

二、鐵皮屋建築物(倉庫或工廠)之火災特性

一般鐵皮屋建築物(倉庫或工廠)有以下四點火災特性：

1.結構不堅固：

一般鐵皮屋建築物之樑柱多採用鋼骨或 C 型鋼，屋頂及牆壁皆以鐵皮烤漆浪板搭建，一旦火場溫度達 600°C 以上，即會破壞建築結構之鋼性，而一般火場溫度皆可高達 1,000°C 以上，鋼骨即容易受熱彎曲，整間鐵皮屋將因重心不穩，失去平衡而塌陷。

2.火勢成長迅速：

鐵皮屋建築物常為空間效益及光線良好，多會採用加高、加大之空間設計，而遇火災發生時，將致使火災初、中期即有充沛之氧氣供應，有利於燃燒之進行，且因室溫成長使壓力增高，空間氣體膨脹，加速熱對流之效應，火勢成長相對較快。

3.屋內無防火區劃：

鐵皮屋建築物內通常無防火區劃，一旦小火形成，如未能於火災初期控制火勢，經預燃相乘效應，輕質可燃物分解加速，致命之閃燃現象往往在消防隊介入搶救時就已發生，增加消防搶救之困難。

4.火災猛烈度大：

鐵皮屋建築物如用以儲放物品，其火載量與火災猛烈度易

較一般之住宅型態大，若屋內堆放可燃性之原料、半成品及成品，當堆放之可燃物相鄰燃燒，致高能量電磁波相互吸收，高溫高熱經由輻射、對流、傳導及能量不斷回饋，加速燃料分解，輻射能回饋效應顯著。二樓地板為鐵板或木板，其材質不但無法阻隔熱，且空間特性使火災燃燒之熱煙流持續囤積在屋內，容易形成巨大火爐。

三、高樓及集合住宅之火災特性

經由無數的火災案例證實，在各種防火條件大致相同之條件下，高層建築較單層建築或多層建築火災危害性更大，且火災發生後更容易造成重大的財物損失及人員傷亡，其火災特性分述如下⁷：

1. 火勢蔓延途徑多且危害大：

高層建築物的樓層間、電梯管道、電線管道、空調管道及排水管道等垂直管道，如未有實施防火區劃或防火區劃措施處理不當，遇火災發生時，即如同一座座高聳的煙囪，通風作用大，易成為火勢蔓延的途徑。

2. 人員疏散困難，易造成重大傷亡事故：

高層建築的特點，一是層數多，垂直距離較遠，需較長的時間進行疏散；二是人員疏散時，容易出現集中而擁擠的情況；三是發生火災時的濃煙和火勢向上蔓延快，對疏散人員的安全帶來危害，而平時使用的電梯一般多非緊急昇降梯，不具有防火防煙和不斷電等因素，故在火災逃生時停止使用。所以火災時，高層建築物的安全疏散主要得依靠樓梯，如果樓梯間不能有效地防止火、煙侵入，則濃煙即會迅速灌滿樓梯間，影響逃生人員的視線，進而阻礙人們疏散安全，嚴重時，甚至威脅人們的生命安全。

3. 消防設備不夠完備導致搶救困難：

⁷葉俊興，「超高層建築物消防搶救管理策略之研擬」，國立臺北科技大學碩士論文，2001年。

搶救高層建築物火災主要立足於建築物內消防給水設備，由於受到建築結構及消防安全設備條件的限制，常常給搶救工作帶來不少困難。例如，大面積火災時，建築物內消防水源就不一定夠用，便無法及時有效控制火勢蔓延；又如消防水泵等建築物內消防給水設備發生故障，就得靠消防車利用本身裝載之水源或抽吸建築物外消防水源進行搶救，但是消防水帶並無法承受巨大壓力，往往由於水壓過大，使得水帶破裂，延誤救災時機。

4.用途複雜而起火因素多：

一些面積大、層數多的高層建築物，其特點在於：內部功能複雜，使用單位多，管理制度鬆散，火災防護漏洞多，容易引起大的火災事故。有些建築物使用單位多，人員集中，管理不良，在疏散走道、樓梯平台甚至門口附近，堆放大量可燃物，在部份房間內，有的存放貴重設備，有的作為實驗室使用，存放多種危險物品，無形中已增加火災發生危險性。

5.各種管道密佈：

高樓內部設有各種管路系統，包括空調系統、電線系統、電梯系統、排煙系統以及供水、排水等水管。這些管路不但平均分佈於各角落，且上下連通，形成網路。火災時，這些管路隨即成為火煙向上延伸之最佳路徑。尤其下層發生火災時，整棟大樓將立即陷入煙霧之中。

四、高科技廠房火災特性⁸

1.廠房寬廣，人員分佈密度小：

高科技廠房為配合不同用途性質、裝設不同流程設備儀及便利修改使用方式等需求，廠房均十分寬敞且高大，而由於工廠寬廣，加上運用高度自動化之儀器及設備，使得廠房內的作

⁸陳火炎，「台南科學工業園區防災體系建制之研究」，台南科學工業園區管理局成果報告書，民國91年8月。

業人員分佈密度變得相當低，且每個工作人員熟知的工作區域極為有限，若探測裝置或警報設備故障時，恰遇火災發生，勢將難以發現並及時進行應變處置。

2. 區劃設計特殊：

高科技廠房內之無塵室多為封閉區劃空間設計，門、窗等開口極少，一旦發生火災，大量的煙、熱易在區域空間內聚集，難以排出。另在廠房設計之初，一旦有一個區域受到污染時，為避免波及其他區域，當確定有狀況發生之情況下，整棟無塵室的空調系統將自動關閉，使得火災產生的煙、熱更難以排出室外。此外，為了減少空氣的流動及防止污染源的侵入，所有人、車、器材及設備進入無塵室時，均需經過嚴格的除塵(污)程序，如換鞋、更衣、盥洗及吹淋等步驟，而為達到上述目的，通常設置除塵(污)室及專用通道，將使建築內的活動通道佈置較為曲折，甚至入內可能須通過多重的管制門，延遲應變人員進入搶救時間。

3. 各種管線錯綜：

高科技廠房內充滿各種儀器、電子備設、機械之線路及化學氣體、液體之管路，其中不乏易燃、易爆的液體或氣體之管線，如矽甲烷及氫氣等，此類氣體的管線承載量大，且常為連續運轉，甚至有的管線即設置於牆內，若不幸發生洩漏，將難以及時發現並處理；而萬一洩漏的易燃(爆)氣體蓄積達燃燒或爆炸下限時，即有可能會引起燃燒或爆炸，並造成各種有害化學氣體及火煙，亦易順著管線迅速蔓延至廠區各處。另一般廠區內的管線四通八達，分佈各處，其穿透牆面處及管路本身，若未能有效的予以填充或裝設閘門，將成為火、煙在廠區擴散的最佳途徑。

4. 伴隨化學物質火災

高科技廠房製程中充滿了高危險性物品，例如處理晶片氧

化過程中所需的純氧、蝕刻過程中使用的各種強酸及進行氧化氣相沉積（Chemical Vapor Deposition，簡稱 CVD）成膜時使用的易燃與高腐蝕性物質等。一般廠區內多會大量儲放這些物質，又半導體廠多屬於二十四小時輪班運轉生產，使得其廠內幾乎是處處暗藏危機。若災害事故一發生，大量具有危害性質之化學物，便可能迅速外洩，進而危害第一線的救災人員及環境安全。

五、地下建築物火災特性

1. 濃煙密佈：

地下建築物發生火災時，常因門、窗等開口部少，空氣不易流通，氧氣不足，易形成缺氧燃燒，產生大量之濃煙充斥整個空間。

2. 高溫灼熱：

地下建築物因四周完全封閉之故，火災發生時，熱氣極難消散，燃燒產生之熱量持續蓄積，自然形成高溫、高熱，故火災溫度常超過 1,000°C 以上。

3. 迅速延燒：

一般火災有向上延燒迅速的特性，地下層一旦發生火災，地面層以下各層頓時間將陷入危險，火煙容易沿管道間或樓梯間向上竄燒。

4. 逃生不易：

地下建築物由於空間大，內部構造複雜，若火災發生後因濃煙密佈，照明光線易被阻斷，加上隔間、通道、門板或雜物之阻礙，在濃煙及高熱中逃生時極容易迷失方向。

5. 搶救困難

地下建築物火災，因受上升之濃煙與高熱之影響，搶救工作困難重重。消防人員進入地下層時，必須攜帶空氣呼吸器始能進入，故無法長時間滯留其內，又常因火場之濃煙，難以判

斷內部燃燒狀況，無法採取有效之搶救作為，且有時因新鮮空氣之突入，而造成可燃物之復燃，釀成極端之危機⁹。

六、騎樓火災特性¹⁰

1. 多為機車火災

因為機車的便利性及高機動性，故在台灣約有一千多萬台機車，平均每二人就有一台。一般機車常被停放在住家前面或騎樓下，而以停放在騎樓下最為常見，有時甚至是雙排停放，據張旭富於建築騎樓主要可燃物燃燒行為研究-機車燃燒行為研究中指出，125c.c 塑膠殼機車之座墊與塑膠外殼燃燒所產生的最大熱釋放率峰值分別為 619.0kW 與 1268.0kW，總發熱量為 68.49MJ 與 210.0MJ，而單輛機車全部塑膠材料之發熱量約佔機車整體可燃物發熱量的 71.2%，可見機車停放於騎樓，若發生火災將燃燒迅速，並波及附近建築物。

2. 容易造成延燒

都市中之騎樓多被店家所佔用，另騎樓附近多尚有廣告物、廣告招牌等易燃物，且部份騎樓設有天花板裝潢，一旦發生火災，火勢容易延騎樓廣告看板或裝潢擴大延燒。

3. 波及建築物後產生煙囪效應

停放於騎樓之機車發生火災擴大燃燒後，如遇僅有單一通道或單一樓梯出入口之建築物，火煙往往會沿著通道或樓梯間向上竄燒，此時即容易形成煙囪效應，造成延燒及阻礙逃生¹¹。

⁹陳秋蒼，「建築物火災人命安全因素及評估之研究」，中央警官學校警政研究所碩士論文，民國 84 年 6 月。

¹⁰張旭富，「建築騎樓主要可燃物燃燒行為研究-機車燃燒行為研究」，國立台灣科技大學碩士論文，民國 86 年 6 月。

¹¹張冠吾、郭豐裕、謝伯毅合著，騎樓火災，消防月刊，2005 年 3 月。

第二節 鐵皮屋類型概述

一、鐵皮屋類型

於民國 60 年代間，鋼筋混凝土之建築工法在台灣開始盛行，其以模板加以固定、澆灌之溼式施工，為可大量製造及快速建造之建築形式，主要之建築特徵為平式屋頂，但因台灣多雨之氣候環境影響，且早期施工技術不佳，以致屋頂容易漏水，為改善此一問題，並增加使用空間，住戶大多採取屋頂加建之方式。初期加蓋以石綿瓦或塑膠浪板為主，但因石綿瓦經研究證實易導致癌症，且此二種建材易因耐候性不足而脆化、損壞，發展至今，變成多以鐵皮烤漆浪板為主要加建材料，即俗稱之「鐵皮屋」。

城市中大量鐵皮屋頂與庭院加建，鄉村區空地上加建鐵皮屋提供儲藏、停車之用，工業區則提供較大跨度與挑高之作業空間；農業區內違規營業之餐飲、特種營業場所，將其價廉與可拆之特性發揮到極致。另一方面，鐵皮屋亦常運用於臨時建築物，例如：營建工地之工寮、事務所、重大災害後之避難屋等。根據文獻¹²，本研究所謂之鐵皮屋，依建築類型可分為加建鐵皮屋、組合屋、倉儲廠房等三類：

- 1.加建鐵皮屋：於原建物屋頂、露台、屋側空地加建之附屬設施。本類型多為建築物完成後，因應實際需要而加建，故多未納入正式建築管理程序而屬違章建築。
- 2.組合屋：屬臨時建築物，常運用於工地工寮、事務所或災後避難組合屋等，事件完成後多即拆除。此一類型係建築之假設工程，或災難後公部門之救接收容設施，故雖未納入正式建管體系，仍屬合法建築物。
- 3.廠房：中小型工廠常於工業區或都市計畫外搭建較大跨度與挑高空間，作為營業、生產、儲藏之用。此類型鐵皮屋因地點、擁有者、使用者之不同，而有所差異，以現今台灣社會情況而言，大

¹²謝明哲，民 90，視而不見、存而不論-鐵窗與鐵皮屋現象：被忽略之本土意義，台北科技大學建築與都市設計研究所

多會納入正式建管體系，以取得水、電裝設及合法營業登記。



屋頂加建型式



工地臨時事務所



小型工廠



儲存倉庫

圖2-1鐵皮屋常見類型照片 (資料來源：參考書目12)

二、鐵皮屋構築方式¹²

鐵皮屋主要由屋頂、牆體、支架物三大部份組成，可採部份使用或整體之獨棟鐵皮屋。因其早期多用以彌補鋼筋混凝土於氣候適應上之不足，最常被使用為屋頂部份，多作為平屋頂之上方加建；牆體部份次之，主要用於建造空間的私密性，或界定所有權區域範圍。鐵皮屋最顯著的特徵即為：斜屋頂、薄牆，在構造型態與組構方式上與木構造最為相似。由於可進行外在加工而較其他構造材料耐候性高。

鐵皮屋為「輕型鋼構建築」之泛稱，在國內制定之中國國家標準 CNSG3122 (一般結構用輕型鋼)，簡稱為輕型鋼 (Light Gange Steel)。主要組構方式可概分為：(1) 支架體；(2) 填充材。若不計基礎部分，鐵皮屋之主要材料為 C 型鋼與烤漆浪板，構築方式為骨架面板式，即以 C 型鋼為梁柱組成支架體，以烤漆浪板為填充材，兩者之間以 C 型鋼、接合鐵件為中介結合。構築原理分述如下：

1. 支架體：為鐵皮屋之主要結構，小型工程常使用 C 型鋼、組合 C 型鋼為柱、梁、屋架，較大工程則使用 H 型鋼、組合 C 型鋼形成構架抵抗垂直力；水平力則以斜撐拉桿（bracing）抵抗。若為貳層以上建物，其樓板採用鋼承板（Deck）。支架體之接合方式在工廠以焊接為主，在工地現場以螺栓(高拉力)為主。
2. 填充體：為鐵皮屋之包覆外殼，可分為開口部、牆面與屋頂，開口部為門、窗，均為外購之「部品化」材料，牆面與屋頂則以烤漆浪板為主。圍封體之接合為利用彎折形狀疊接，門窗、鋼板與各式收邊材以自攻螺絲鎖定、矽膠(Silicone)填縫。另填充體內有一中介結構，即鐵皮屋之支架體與填充體間結合物，可為 C 型鋼或接合鐵件，以螺栓或自攻螺絲固定。

表2-1 鐵皮屋構築方式

區分	力作用	應用部位	使用材料	接合方式
支架體 (主要結構)	抵抗垂直力 抵抗水平力	柱	H型鋼 組合C型鋼 C型鋼	焊接 螺栓鎖合
		梁		
		屋架		
		樓版	鋼承板	剪力釘,RC
		斜撐	圓鋼棒	焊接 螺栓鎖合
填充體 (外殼包覆)	承擔自重	開口	金屬門窗	螺絲鎖合
		外牆	鍍鋅鋼浪	彎折疊接 螺絲鎖合
		屋頂		
填充體 中介結構 (次結構)	傳遞應力	屋頂桁條	C型鋼	螺絲鎖合
		樓板小梁		

(資料來源：參考書目 12)

第三節 鋼結構及鋼鐵材火害特性

建築物火災的特性依建築物構造、內部裝潢材料、收容之可燃物多寡及開口部的大小等因素而有所不同，惟一般火災都會以相似之發展過程進行燃燒，如火災初期，只會有發火源附近之可燃物在燃燒，當時室內之溫度並不高，而燃燒的火焰會隨著氣流或牆壁向天花板竄升，此時之室內溫度在逐漸升高，而當天花板附近的可燃性氣體燃燒後，便釋放出大量之輻射熱，致使空間內的其他可燃物開始產生熱分解，而熱分解產生之可燃性氣體濃度達燃燒範圍時，形成激烈燃燒，使得區劃內空間全部陷入火焰包圍之現象。

鋼結構在現代建築中有許多優點，如施工快速、耐震性佳及結構重量輕等。因此在地狹人稠的都會區中，鋼構建築為建築業界提供了多種便利性。但鋼結構受火害後，對鋼材之強度影響甚大，故鋼結構雖具工期短及耐震性佳等優點，但是火災高溫對鋼材之影響，仍無法忽視並研究改善對策。另外，鋼結構雖有節能環保、韌性佳等優勢，然因鋼材耐火性能不足，且鋼材的力學性質受溫度的影響甚大，尤其當溫度上升至 600°C 時，其降伏強度下降至原有強度的 50% 左右，而根據 ISO834 的升溫曲線，一般火場在 20 分鐘內即可升溫達 800°C，在此溫度下，一般鋼材的降伏強度及彈性模數，已下降至原有強度的 10% 左右，顯然其強度與勁度嚴重不足，而此一特性，恐將限制鋼結構在工程實務上的應用¹³。為確保鋼結構建築物在火災時之安全性，工程上多採用防火被覆，阻隔鋼結構構件受高溫影響，以彌補傳統鋼結構耐火性能不足之缺點。

另外，根據孫彥輝等人針對 SS400、Q235B 和 Q345B 鋼材的熱塑性進行研究，結果發現此類鋼材存在兩個低塑性區，即凝固脆性溫區與低溫脆性溫區，由試體斷面的金相組織成分顯示，產生凝固脆性溫區的原因，主要是高溫下枝晶間有害元素 S、P 和 O 等雜質元素集結形成液

¹³楊國珍、林南交，「銲接型式對高溫下軸向受力鋼柱破壞模式之影響」，內政部建築研究所委託研究報告，2011 年。

模。而產生低溫脆性溫區的原因，主要是奧氏體晶界出現鐵素體薄膜，以及細小AIN析出造成連鑄環的塑性降低¹⁴。Beland也提出隨著溫度的升高，金屬的表面會呈現不同的顏色，主要是因其在不同溫度下表面與氧氣發生氧化反應，產生金屬氧化物不同，從而造成其顏色上的差異¹⁵。

¹⁴孫彥輝、倪有金、許中波、蔡發科，「中碳鋼溫力學和冶金行為」，北京科技大學學報，VOL.31NO.6JUN.2009年。

¹⁵Beland,B.Examinationofarcbeads,fireandArsonInvestigator,44(4):20-22,1994.

第三章 國內火災案例分析

以銅為鏡，可正衣冠；以史為鏡，可知興替；以人為鏡，可明得失，因此，本研究蒐集國內重大火災案例資料，並整理火災事故之發生因素，經過系統化的整理分析後，作為後續此類建築物防火安全之參考，冀能不再重蹈覆轍及舊事重演，確保人員與設備之安全。

經彙整國內民國 72~104 年 1 月因搶救鐵皮屋建築物火災而發生消防義消人員不幸殉職之案件，共計有 5 件，且為自民國 92 年起有消防人員因搶救鐵皮屋建築物火災而殉職之情形，殉職人員計有義消 1 人、消防人員 11 人，相關之案發日期、地點、消防義消死亡人員及殉職原因，詳如表 3-1。另本研究經由廠房業者、各縣市消防單位的協助，收集國內重大火災案例 4 件之相關資料，並以該類建築物火災發生時間、地點、原因等基本資料，經過適當地資料分析彙整與統計後，探討與分析出各項危害因子，並再進行系統化的火災因素分析，獲得研究成果。

表 3-1 國內消防義消人員搶救鐵皮屋建築物火災殉職之案件表

項次	發生日期	縣市	火災事故案件	消防/義消人員死亡數	殉職情形
1	92.06.26	台南縣	仁德鄉太子路寶生股份有限公司火災案	0/1	入室搶救而空氣瓶內空氣用盡，未能即時退離火場殉職
2	93.07.13	台北縣	三峽鎮幸世機電工廠火災案	1/0	二樓樓板塌陷，致人員掉落 1 樓窒息殉職
3	94.03.25	高雄市	左營區鑫富邦家具行火災案	2/0	入室搶救，遇火場閃燃殉職
4	102.07.06	新北市	泰山鄉利塔國際股份有限公司倉儲廠房火災案	2/0	火場閃燃二樓樓板塌陷，致人員掉落 1 樓窒息殉職
5	104.01.20	桃園市	新屋區新屋保齡球館火災案	6/0	鐵皮屋頂崩塌，不及撤出，受困內部殉職

第一節 新北市幸世機電工業有限公司火警事故案

一、火災概況：

- 1.時間：93年07月13日0時35分。
- 2.地點：新北市三峽鎮溪東路34巷19-3號。
- 3.死傷情形(含消防人員)：1名消防人員死亡。
- 4.死亡原因：二樓樓板塌陷，致人員掉落1樓窒息死亡。
- 5.建築物損毀情形：未倒塌，但內部二樓部分樓板坍塌，且鋼骨結構已受不同程度之火熱影響而變色或變形。
- 6.火災災因：電氣引燃火災。
- 7.消防人員搶救過程(簡述)：
 - (1)於溪東路34巷口可看見19-3號幸世機電有限公司2樓窗戶不斷冒煙，到達現場時2樓尚未有火舌冒出，鐵門及各窗戶均呈關閉狀態，電源未開啟。
 - (2)轄區分隊三峽分隊佈2水線從後面入室搶救射水，期間2樓突出火舌，火勢轉趨猛烈。
 - (3)火災搶救之中後期，支援單位車輛佔據附近4處消防水源中繼供水予三峽車組持續搶救，三峽分隊出水線4線進入射水滅火。
 - (4)於現場1樓約中間處所走道附近發現1具焦屍，另依其陳屍位置附近掉落之空氣瓶、面罩、消防衣、消防鞋及無電等殘骸研判為消防隊員王○○，再據死者軀體嚴重受燒及空氣呼吸器上之壓力表懸掛於上方鐵桿之情形，研判死者最先應陳屍於2樓，待2樓木質地板燒穿後掉落至1樓。
- 8.現場照片、火災搶救照片、火災後照片：詳如下表2-3。
- 9.其他補充資料：
 - (1)火場合法性：不合法。
 - (2)建築物結構：鋼骨鐵皮構造。
 - (3)建築物破壞原因、位置：鋼骨結構承受不同程度之火熱影響而變色或變形，並造成內部二樓東南側部分樓板坍塌。

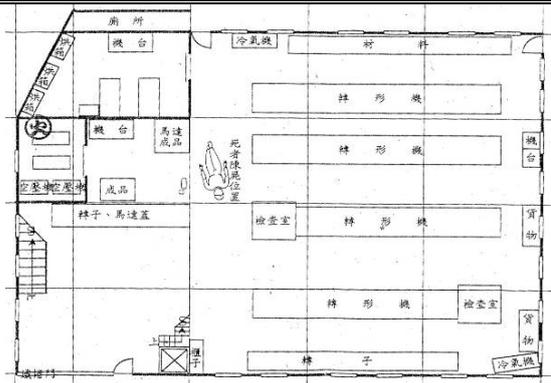
二、進階調查：

- 1.車輛：水箱車 16 輛、水庫車 15 輛、救護車 5 輛，總計 36 輛。
- 2.裝備：空氣呼吸器 130 套、雙節梯 5 具、火鈎 5 支、火斧 4 把、發電機 2 部、圓盤切割器 2 具、瞄子 14 支。
- 3.人數：消防 78 人、義消 49 人、消防役 36 人，總計 163 人。
- 4.水量：約 6,603 噸。
- 5.搶救時間軸：搶救時總計 345 分鐘。
 - (1)通報：93 年 7 月 13 日 0 時 35 分
 - (2)出勤：93 年 7 月 13 日 0 時 36 分
 - (3)到達：93 年 7 月 13 日 1 時 14 分(初報地址有誤)
 - (4)灌救：93 年 7 月 13 日 2 時 15 分
 - (5)控制：93 年 7 月 13 日 2 時 10 分
 - (6)熄滅：93 年 7 月 13 日 6 時 30 分

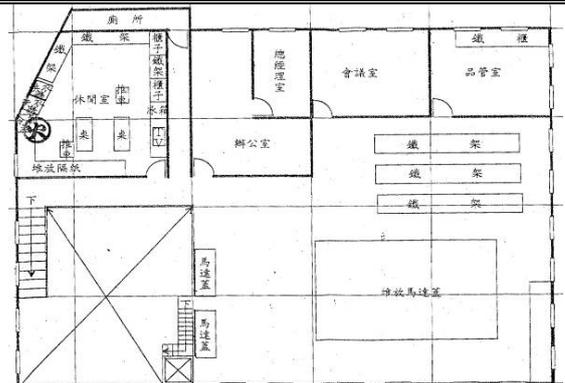
三、火災防範與改善對策：

- 1.製程設備及管線等構件應加強維護及檢測，另外應隨時注意機械設備及控制系統，避免發生故障有過熱及異常反應等風險，造成危險物品外洩引發火災甚至造成爆炸等危害。
- 2.廠房 1 樓內部設備擺設複雜，空間狹小(設備與設備間僅容 1 人)，阻隔分散進入搶救之救災人員。
- 3.廠房內部裝潢隔間採用易燃材料，造成火勢燃燒猛烈，搶救不易。

表 3-2 新北市幸世機電工業有限公司火警事故燃燒情形及現場勘查照片彙整表



廠房內部 1 樓平面配置圖



廠房內部 2 樓平面配置圖



火場東側外觀



火場西側外觀



廠房內部 1 樓東南側燃燒後情形



廠房內部 1 樓約中間處所燃燒後情形



廠房內部 1 樓北側燃燒後情形



廠房內部 2 樓約中間處所燃燒後情形

第二節 高雄市博愛路家具工廠火警事故案

一、火災概況：

- 1.時間：94年3月25日14時30分。
- 2.地點：高雄市左營區博愛三路462號「百芳傢具企業有限公司」，建物招牌名稱為「鑫富邦傢具」。
- 3.死傷情形(含消防人員)：2死3傷(皆為消防人員)。
- 4.死傷原因：火場閃燃。
- 5.建築物損毀情形：全毀。
- 6.火災災因：原因不明。
- 7.消防人員搶救過程(簡述)：

- (1)初期轄區新莊分隊消防人車到達現場時，發現倉庫處有黑煙冒出，另火災戶東側開口有較大量濃煙冒出，加上現場風向為西風，其東側之「安康養護之家」情勢岌岌可危。第一滅火小組由隊員周○○、陳○○擔任，延伸水線至1樓倉庫射水，第二滅火小組則沿第一滅火小組之水線佈線。防護小組為避免火勢向東側延燒安養中心，操作消防水箱車之朝天瞄子射水防護。
- (2)鼎金分隊及中華分隊消防人車到達後，共佈4條水線由南側空地延伸水線至火災戶東南側，並開始射水防護，隨後在現場怪手之協助下，破壞鐵皮射水灌救。十全分隊人車抵達後由博愛路火場正面延伸2線入室灌救；另隨後15公尺雲梯車到達，部署博愛路，升梯破壞2樓正面大型玻璃俾利排煙。
- (3)14時50分火勢持續燃燒，濃煙滾滾，火災戶大型玻璃不時爆裂，瞬間發生全面燃燒(閃燃)。初期指揮官發現隊員周○○、陳○○失聯，指揮中心指派人員進行外部找尋，並針對北側分區現有滅火水線加強延伸入室搶救，及增派一組水線人員加強滅火及執行搜尋。
- (4)後續左營分隊消防人車到達後，分別由曾子路及博愛路火場正面延伸2線入室灌救，大昌分隊人車側延伸2水線防護西南側

車輛修理廠。

(5)中期火勢全面燃燒，後側大樓及對面京城大道大樓受濃煙危害住戶情勢危急，為防護後側 E 世代大樓及養護之家，大昌分隊之水線支援東南側之水線，中華分隊 1 線水線移至該大樓 2 樓防護。

(6)15 時 25 分火勢控制、17 時 10 進行殘火處理，17 時 22 分於火場 1 樓發現 2 具罹難者屍體，20 時 30 分火勢熄滅。

8.現場照片、火災搶救照片、火災後照片：詳如下表 2-4。

9.其他補充資料：

(1)火場合法性：不合法建築物。

(2)建築物結構：鋼骨鐵皮構造。

(3)建築物破壞原因、位置：2 層樓之展示區樓建物多已坍塌，1 層樓之倉儲區鋼骨結構承受不同程度之火熱影響，造成變色或變形。

二、進階調查：消防搶救特性分析：

1.車輛：水箱車 17 輛、水庫車 7 輛、雲梯車 2 輛、空壓車 1 輛、排煙車 1 輛、化學車 1 輛、救護車 4 輛及指揮車 3 輛，合計 36 輛。

2.人數：高雄市消防局消防人員 112 人、高雄縣消防局 4 人、楠梓加工區消防隊 3 人。

3.搶救時間軸：搶救時總計 355 分鐘。

(1)通報：94 年 3 月 25 日 14 時 30 分

(2)出勤：94 年 3 月 25 日 14 時 31 分

(3)到達：94 年 3 月 25 日 14 時 35 分

(4)控制：94 年 3 月 25 日 15 時 25 分

(5)殘火處理：94 年 3 月 25 日 17 時 10 分

(6)熄滅：94 年 3 月 25 日 20 時 30 分

三、火災防範與改善對策：

1. 搶救之人員未攜帶無線電，應加強訓練與教育。
2. 搶救人員失聯後應即時指揮人員及集中水線，組成搜救小組，優先進行人命救援。
3. 充實入室搶救人員之救災裝備器材，如救命器、呼吸器等。

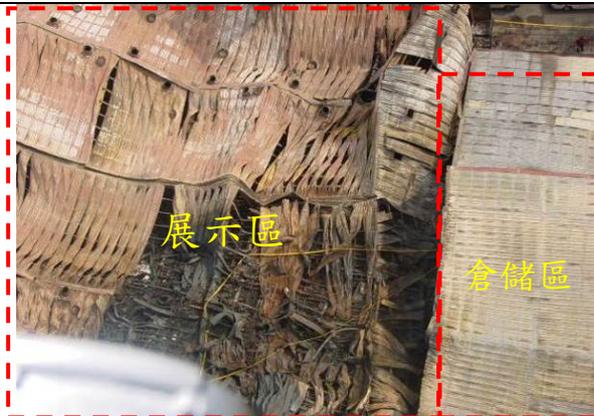
表 3-3 高雄博愛路家具工廠火警事故燃燒情形及現場勘查照片彙整表



火災發生時消防人員搶救之情形



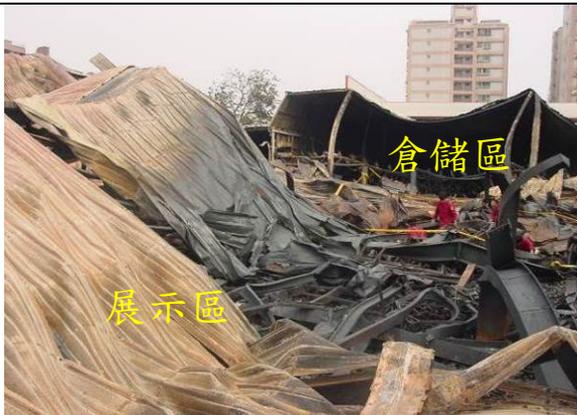
火災發生時消防人員搶救之情形



火災後 2 層樓之展示區樓建物多已坍塌，1 層樓之倉儲區鋼骨結構承受不同程度之火熱影響，造成變色或變形



火災後 2 層樓之展示區樓建物多已坍塌



火災後 2 層樓之展示區樓建物多已坍塌



火災後展示區未完全坍塌之內部鋼骨結構亦承受不同程度之火熱影響而變色或變形

第三節 新北市泰山區鐵皮工廠火警事故案

一、火災概況：

- 1.時間：102 年 07 月 06 日下午 13 時 15 分。
- 2.地點：新北市泰山區中港西路鐵皮工廠。
- 3.死傷情形(含消防人員)：2 名消防人員死亡。
- 4.死傷原因：火場閃燃二樓樓板塌陷，致人員掉落 1 樓窒息死亡。
- 5.建築物損毀情形：全毀。
- 6.火災災因：電氣引燃火災。
- 7.消防人員搶救過程(簡述)：
 - (1)13 時 26 分初期消防人車抵達現場，發現現場為 3 間連棟鐵皮工廠冒黑煙，為傢俱工廠火載量很大，已佈線搶救，對面工廠員工表示該工廠員工發現冒煙後就跑掉了，尚未發現火點，3 間鐵皮工廠各約 200 坪。泰山分隊出水線 1 線攻擊第 3 面、出水線 2 線攻擊第 1 面、出水線 1 線中繼供水予德音分隊，德音分隊出 4 線防護阻隔第 3 面延燒。
 - (2)13 時 29 分回報中港及泰山消防人員已入室搜索，尚未發現火點。
 - (3)中港分隊於 13 時 33 分到達現場後出 2 水線中繼供水予前方泰山分隊，並出 1 水線攻擊第 1 面；中、後期時為出 2 水線攻擊第 1 面。
 - (3)13 時 34 分回報尚未找到火點，持續搜索中，目前 5 間在冒黑煙，黑煙持續擴大，137 號之 4 有發現些許火源。
 - (4)13 時 34 分，137-4 號工廠發生閃燃。13 時 35 分，泰山分隊入室搜索之 2 名消防人員失聯。
 - (6)15 時 1 分火勢控制，15 時 27 分殘火處理。
 - (7)16 時 15 分在火場找到兩名失聯泰山分隊同仁。
 - (8)7 日 00 時 49 分火勢熄滅。
- 8.現場照片、火災搶救照片、火災後照片：詳如下表 2-6。

9.其他補充資料：

(1)火場合法性：不合法。

(2)建築物結構：鋼骨鐵皮構造。

(3)建築物破壞原因、位置：內部夾層樓板坍塌，且鋼骨結構已承受不同之火熱影響而變色或變形。

(二)進階調查：(以投入各火災案例進行火災搶救過程進行調查)

1.車輛：水箱車 14 輛、水庫車 19 輛、化學車 3 輛、雲梯車 1 輛、救助器材空壓照明車 5 輛、一般型救護車 4 輛、前進指揮車 2 輛、後勤車 4 輛、照明車(器材)1 輛、器材車 2 輛、排煙車 1 輛、器材車(空壓)1 輛合計共 57 輛。

2.人數：消防 136 人、義消 87 人、消防役 2 人與實習生 2 人，合計 227 人。

3.搶救時間：搶救時間總計 695 分鐘。

(1)通報：102 年 7 月 6 日 13 時 14 分

(2)到達：02 年 7 月 6 日 13 時 26 分

(3)控制：102 年 7 月 6 日 15 時 01 分

(4)殘火處理：102 年 7 月 6 日 15 時 27 分

(5)熄滅：102 年 7 月 7 日 0 時 49 分

(三)火災防範與改善對策：

1、國內外救災現場因閃燃或爆燃導致建築物坍塌，致救災人員發生傷亡案例頗多，應加強消防人員針對此類型火災進行相關教育訓練。

2、消防人車到達現場後若發現有大量火煙狀況時，因火場內部資訊不明且火載量過大恐有坍塌之虞，在確定火場內部無人員受困後，初期搶救應以阻隔火勢延燒為第一優先

表 3-4 新北市泰山區鐵皮工廠火警事故燃燒情形及現場勘查照片彙整表



初期消防人員搶救情形



火勢初期係由 137-4 號竄出，其餘工廠並未有火勢(光)竄出



初期消防人員搶救情形



火災中期配合重型機具進行搶救



火災中後期搶救之情形



137-4 號火災後南側外觀情形



137-4 號北側 1 樓內部火災後情形



137-4 號北側上方夾層之 C 型鋼橫樑火災

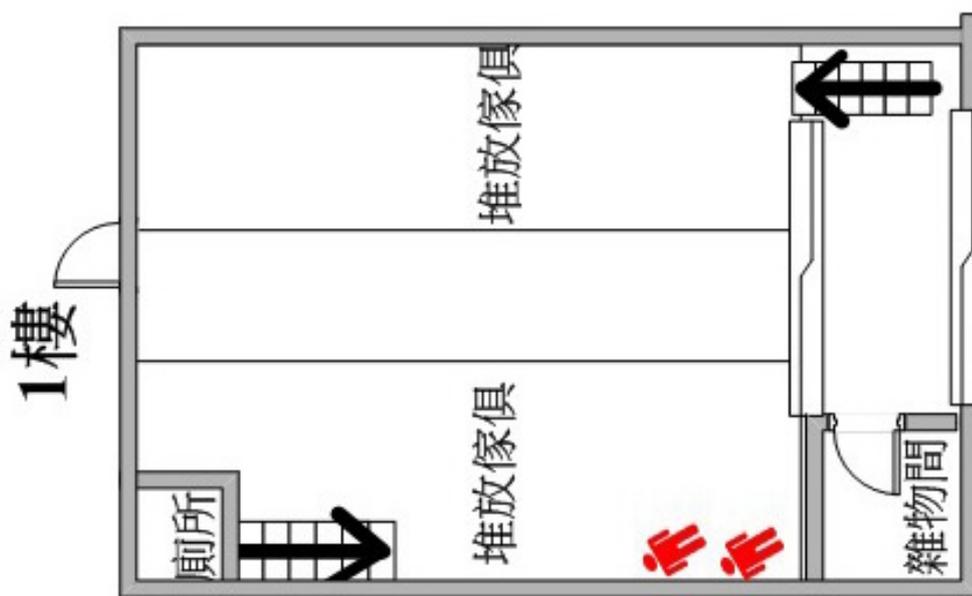
後變形嚴重



137-4 號西南側上方夾層之 C 型鋼支架及橫樑嚴重變形



泰山消防分隊 2 名同仁於搶救火場中，於 137-4 號雜物間北側罹難



137-4 號廠區 1 樓平面及死傷人員示意圖

第四節 桃園市新屋區亞洲保齡球場火警事故案

一、火災概況：

1.時間：104年1月20日

2.地點：桃園市新屋區中興北路101號2樓鐵皮保齡球場

3.死傷情形(含消防人員)：6人死亡(消防隊員)

4.火災災因：電氣因素。

5.造成人命死亡原因分析：

(1)凌晨2時2分左右，據報2樓保齡球館火災產生大量濃煙，消防人員疏散2民眾，並進入2樓搶救，因火勢猛烈致房屋倒塌，經現場清點人數後，發現6名消防人員失聯，立即報告現場指揮官，指揮官立即編組搜救展開全面性的搜索，分別於4時54分及5時5分在工廠內部倒塌結構下發現6名罹難消防人員。

(2)經桃園市政府消防局初步研判資料，現場疑似因爆燃產生劇烈火勢高溫造成鋼骨結構強度下降而崩塌，救災人員冒險犯難深入搶救(由2樓梯間深入約15m範圍處)，不及撤出。

6.現場照片、火災搶救照片、火災後照片：詳如下表2-7。

7.其他補充資料：

(1)火場合法性：建築物領有合法之使用執照，惟2樓違規使用。

(2)建築物結構：鋼骨鐵皮構造。

(3)建築物破壞原因、位置：建築物半全毀。

(二)火災防範與改善對策：

1.加強教育訓練:辦理火災搶救訓練班相關訓練課程時，強化救災人員現場火災搶救技能及團隊行動、人員掌控以及人命救助編組之訓練等。

2.強化入室安全管理概念:當救災人員發現鐵皮工廠內，突然發生或已經達全面燃燒時，救災人員則不建議進入搶救。進行人員管控，定期向指揮官回報。。

3.強化鐵皮結構救災概念:於火災搶救課程中運用現有的仿工廠設

施，參考近年來災害狀況模擬訓練，並研擬未來鐵皮屋火災搶救安全指導原則。

表 3-5 桃園市新屋區亞洲保齡球場火警燃燒情形及現場照片彙整表



消防人員搶救情形



消防人員搶救情形



起火建築物東北側外觀



起火建築物北側外觀



起火建築物東側外觀



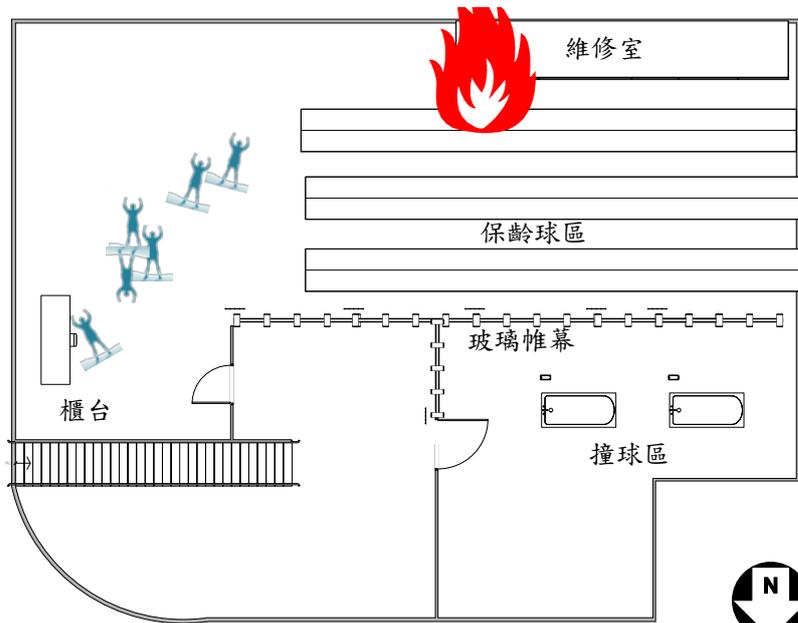
起火建築外觀



起火建築內部現況照片



起火建築內部現況照片



桃園市新屋區中興北路 101 號 2 樓平面及死傷人員示意圖

第四章 鋼材火害後之金相分析探討

第一節 金相顯微概論

光學顯微鏡學是使用光學顯微鏡來研究微結構，由於此一技巧剛開始是運用在金屬檢驗上，所以又被稱為金相學(metallographic)。

首先，試片的表面必須經過研磨、拋光至光滑近似鏡面，砂紙用來研磨，而粉末則用來拋光。接著，利用一種稱為浸蝕(etching)的化學表面處理技術，以適當的化學藥劑進行表面處理來顯示微結構。

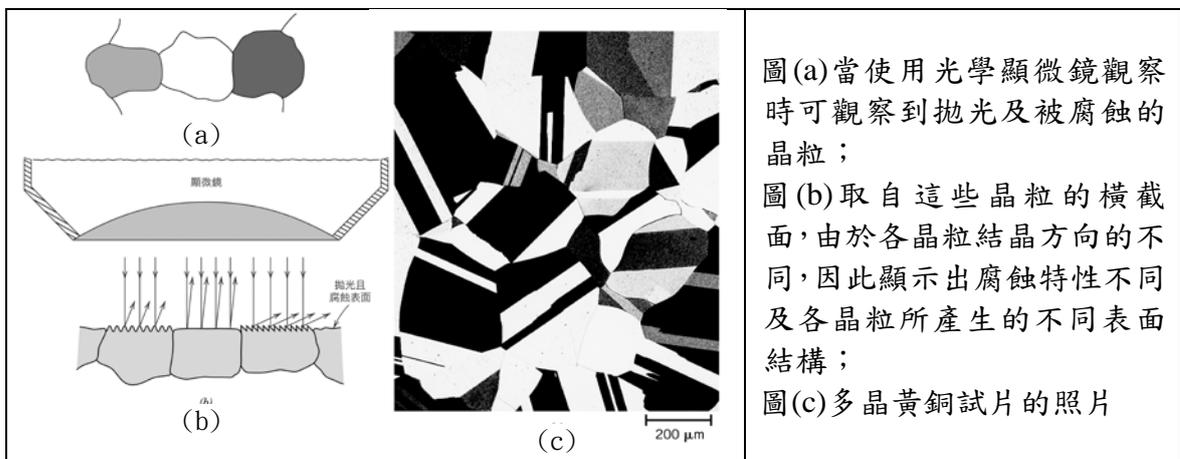


圖 4-1 拋光及被腐蝕之晶粒示意圖

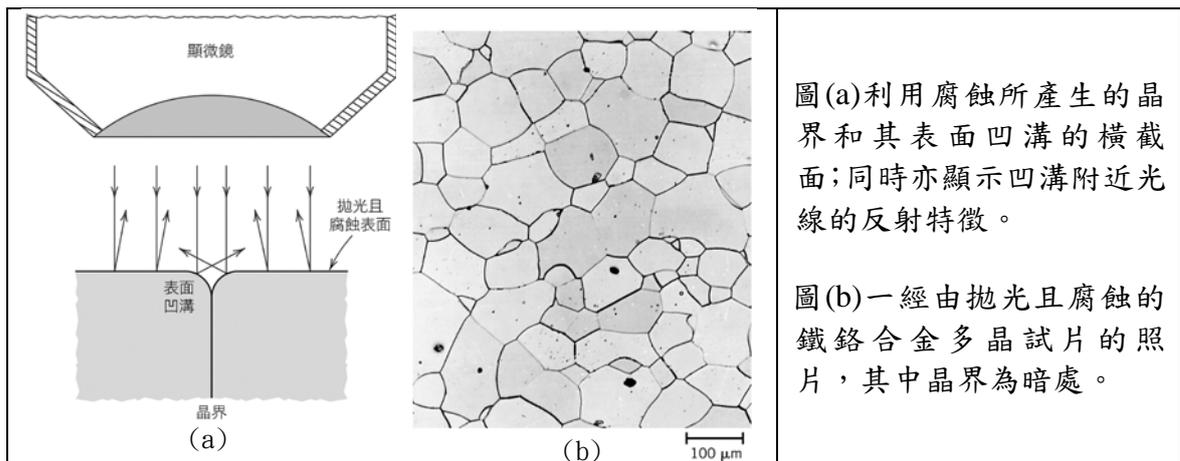


圖 4-2 腐蝕所產生之晶界及表面凹溝的橫截面示意圖

金相分析實驗經拋光後，試片在顯微鏡下可觀察到夾雜物顆粒及孔洞，主要是因為這些非金屬夾雜物的光學反射率與金屬基材差異很大，而孔洞處的凹陷會造成光線反射的不平均，如圖 3-3 所示。因此，在顯微鏡下觀察時，夾雜物與孔洞呈現暗色，而金屬基地則為亮色，若拋光面上存在兩種不同的物相，如果兩相間的光學反射率差異很大，也能產生足夠的對比將其分辨出來。

對於大部分的材料，由於拋光後的鏡面會使顯微鏡光源的入射光線造成平行的反射，因此只能看到光亮的一邊，無法觀察到細部的組織，將拋光面浸蝕處理後，顯微鏡組織內部的各細節，如不同的晶粒方向、不同的相、相邊界、晶界、微觀偏析、差排等，會反映出不同程度的腐蝕效應，經浸蝕的結果，將使鏡片拋光面，產生不平坦的地形效果，藉著光線反射，將隱藏在內部的顯微組織完全顯現出來¹⁶。

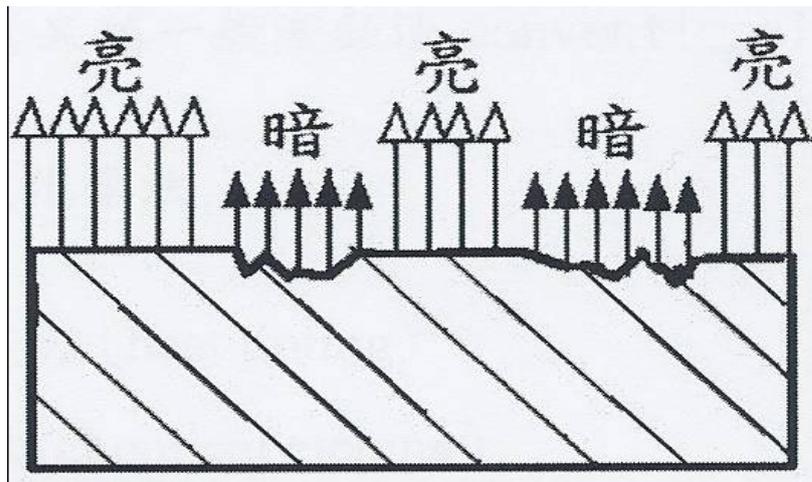


圖 4-3 顯微鏡觀察下光線反射在不平均表面之示意圖

(資料來源：參考書目 16)

¹⁶朱世富，「材料科學與工程」，新文京開發出版股份有限公司，台灣，2002 年。

第二節 加熱鋼板金相顯微組織成份分析

根據陳瑞鈴及紀人豪等人之研究¹⁷，分別將建築結構常用之建材(A36 鋼板)利用中龍鋼鐵股份有限公司冶金技術服務處的密閉式高溫爐加熱至 600、700、800、900、950、1,000°C，並持溫 1 小時後，將試體自加熱爐取出，立即置入水槽急速冷卻(淬火處理)，再以金相複製技術取得不同受熱條件下，鋼板的金相顯微組織，經具有專業證照的金相工程師認定後，將其結果整理如表 4-1 所示。

由表 4-1 的試驗結果發現，未受加熱的鋼板或加熱溫度達 600°C 以上，若採用自然冷卻方式，其組織成份皆無任何變異。其金相顯微組織的成份與比例，皆為 80% 的肥粒鐵(簡稱 F)及 20% 的波來鐵(簡稱 P)，如圖 3-8(a)。如同樣試體在加熱至 800°C，持溫 1 小時後，淬火(急速冷卻方式)處理後的金相顯微組織的成份與比例，已改變為 75% 的肥粒鐵(F)、10% 的變韌鐵(簡稱 B)及 15% 的麻田散鐵(簡稱 M)，而原來的波來鐵成份則完全消失。且同樣試體條件，加熱至 1,000°C 時，其金相顯微組織的成份與比例，則變為 20% 的肥粒鐵(F)、35% 的變韌鐵(B)及 45% 的麻田散鐵(M)，同樣波來鐵(P)成份亦完全消失，組織變細化，亦會改變超音波訊號。

由前述金相顯微組織的相變化可知，原有鋼板在未加熱前的波來鐵(P)，當加熱溫度達 800°C 以上，且採用淬火處理時，其波來鐵(P)成份即完全消失；而原來成分比例高達 80% 的肥粒鐵(F)，當加熱溫度達 1,000°C 以上時，即迅速減少至 20%；而前述所消失的成分比例，則因高溫加熱轉換成變韌鐵相(B)及麻田散鐵相(M)，其中麻田散鐵相(M)最高達 45%，雖可使鋼板降伏及抗拉強度提高，但卻會變得容易脆化，使鋼板幾乎沒有延展性，造成鋼板組織細化如圖 3-8(b)及脆化的情形，將使鋼板產生突發性的脆裂破壞，失去鋼結構材料應有的優勢。

圖 4-4 為 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 淬火處

¹⁷陳瑞鈴、紀人豪、陳政洞、蘇鴻奇、張尚文、白坤鼎，「輕量型鋼結構建築物(鐵皮屋)防火安全與消防搶救對策之研究」，內政部建築研究所，民國 103 年 12 月。

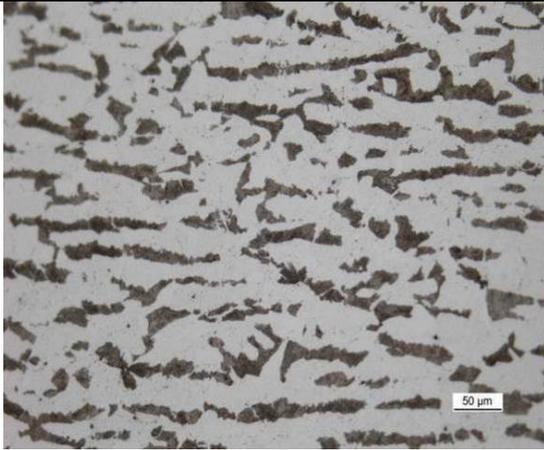
理後其金相顯微組織圖，可明顯看出加熱溫度愈高時，其麻田散鐵相比例愈高。

800°C 以上之水冷試體部分組織已轉為變韌鐵及麻田散鐵相，經拉伸試驗發現降伏強度及抗拉強度有增加趨勢，但伸長率明顯降低(尤其 1,000°C 水冷試片)。另 800°C 以上之水冷試體衝擊值明顯降低(韌性較差)，但硬度值提高。

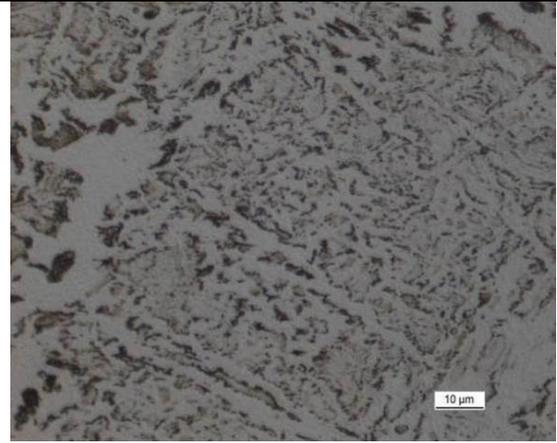
表 4-1 A36 鋼板於不同受熱條件與冷卻方式之金相顯微組織成份比例對照表

加熱溫度(°C)	持溫時間(分)	冷卻方式	組織比例(%)
未加熱	-	-	80%F+20%P
600	60 分鐘	自然冷卻	80%F+20%P
		淬火處理	
700		自然冷卻	80%F+20%P
		淬火處理	
800		自然冷卻	80%F+20%P
		淬火處理	75%F+10%B+15%M
900		自然冷卻	80%F+20%P
		淬火處理	60%F+15%B+25%M
950		自然冷卻	80%F+20%P
		淬火處理	40%F+25%B+35%M
1,000	自然冷卻	80%F+20%P	
	淬火處理	20%F+35%B+45%M	
註：F(肥粒鐵)、P(波來鐵)、B(變韌鐵)、M(麻田散鐵)			

(資料來源：參考書目 17)

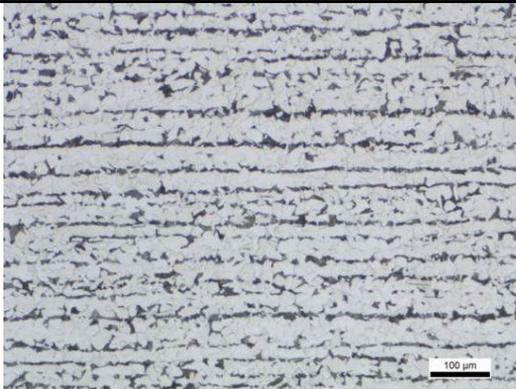


(a)未加熱或採自然冷卻方式之鋼板金相顯微組織(成份比例為 80%F+20%P)

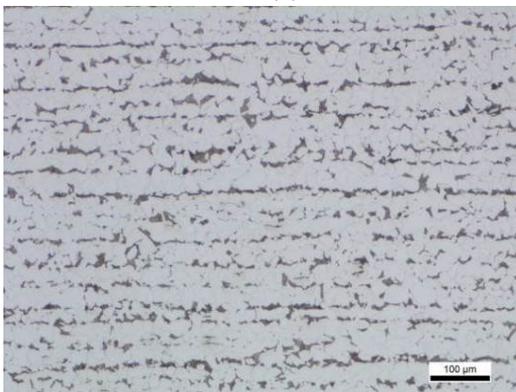
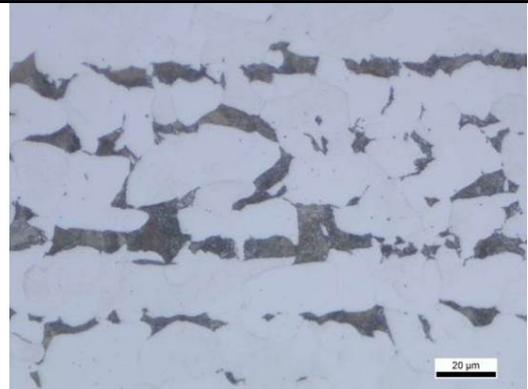


(b)加熱至 1,000°C 鋼板淬火處理後之金相顯微組織
(成份比例為 20%F+35%B+45%M)

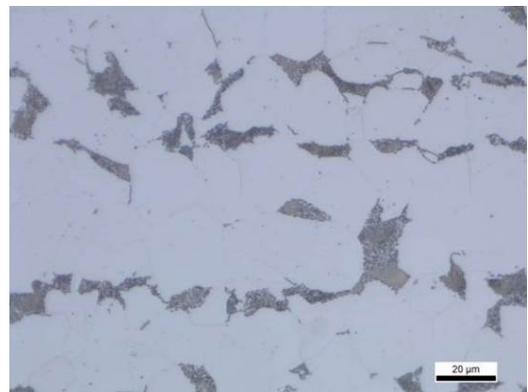
圖 4-4 A36 鋼板於未加熱與加熱至 1,000°C 持溫 1 小時淬火處理後其金相顯微組織圖(資料來源：參考書目 17)

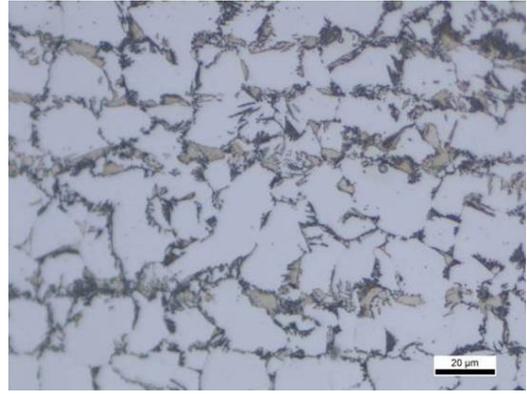
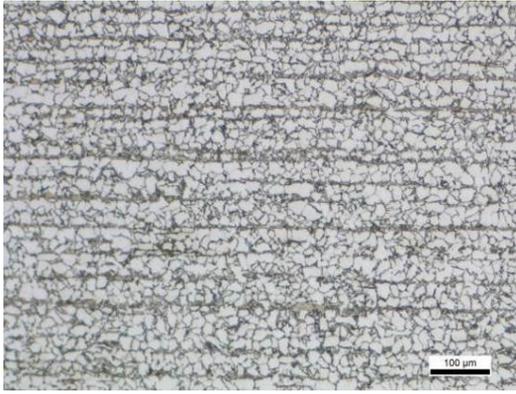


(a)600 度/1hr/水冷，組織：波來鐵+肥粒鐵

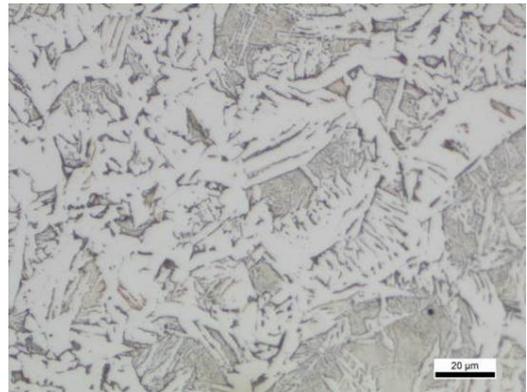
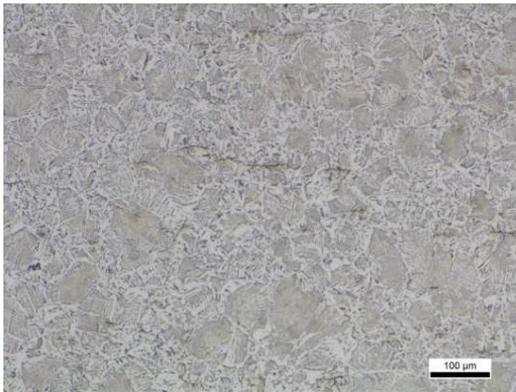


(b)700 度/1hr/水冷，組織：波來鐵+肥粒鐵

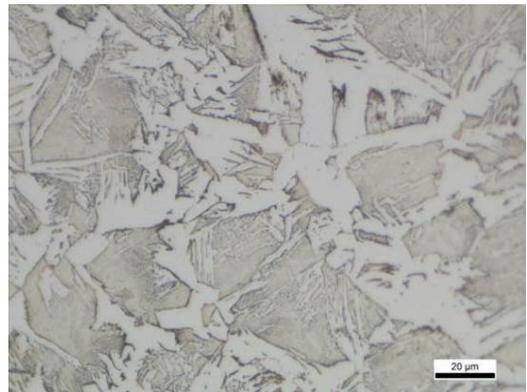
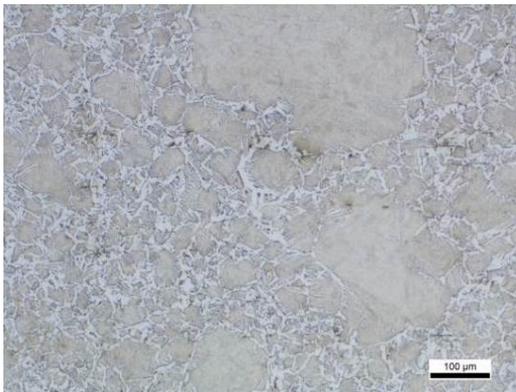




(c)800 度/1hr/水冷，組織：波來鐵+肥粒鐵+麻田散鐵



(d)900 度/1hr/水冷，組織：變韌鐵+肥粒鐵+麻田散鐵



(e)1000 度/1hr/水冷，組織：變韌鐵+肥粒鐵+麻田散鐵

圖 4-5 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 水淬處理後其金相顯微組織圖(資料來源：參考書目 17)

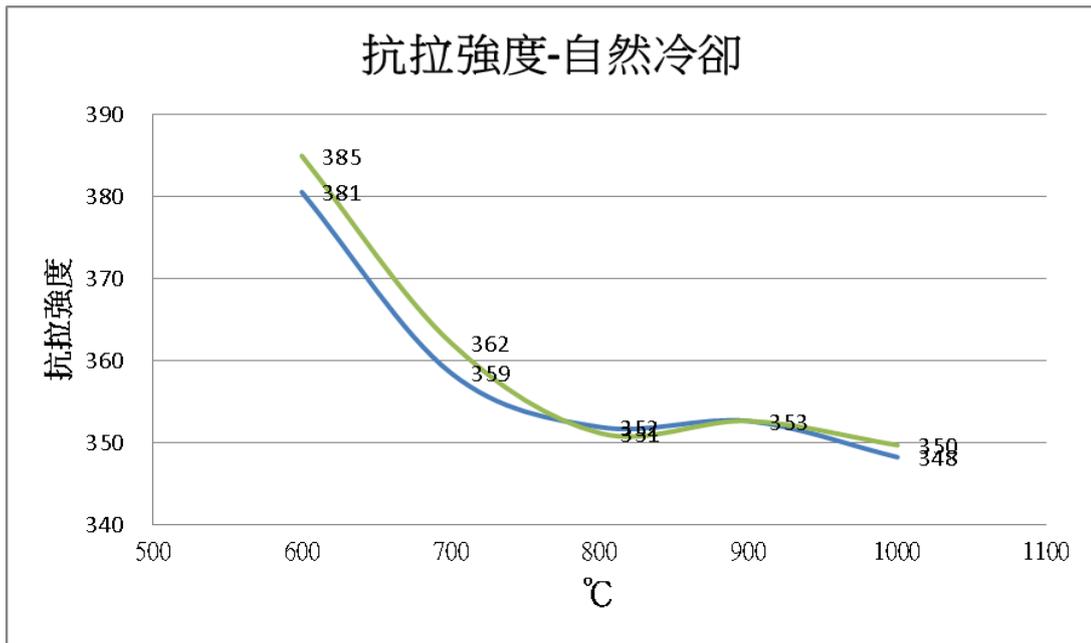


圖 4-6 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 自然冷卻處理之抗拉強度曲線圖(資料來源：參考書目 17)

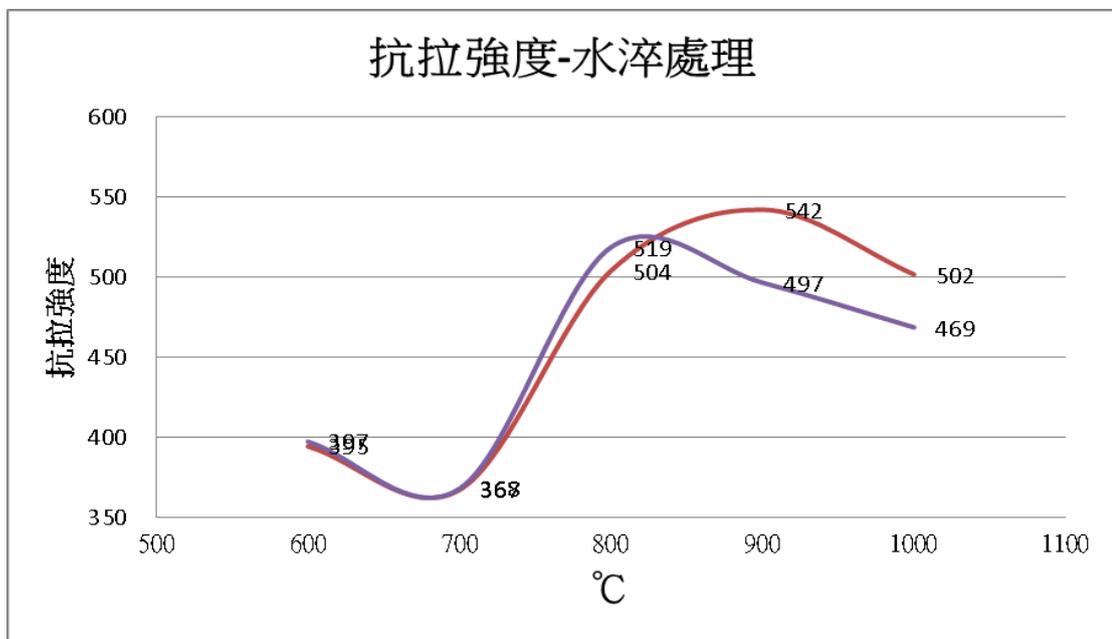


圖 4-7 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 水淬處理之抗拉強度曲線圖(資料來源：參考書目 17)

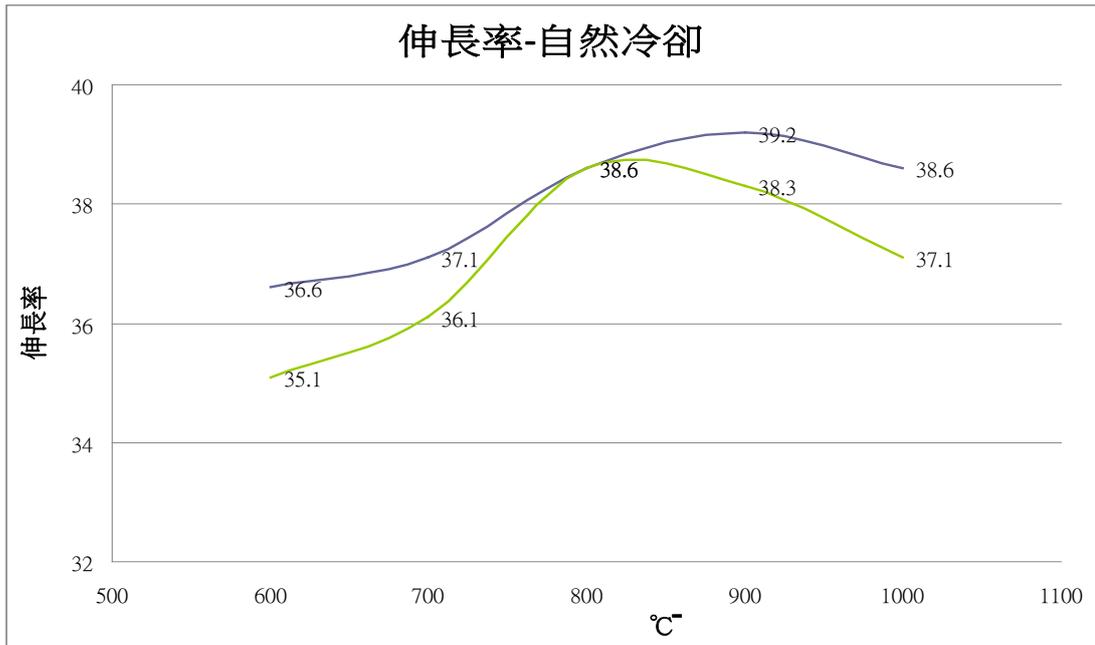


圖 4-8 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 自然冷卻處理之伸長率曲線圖(資料來源：參考書目 17)

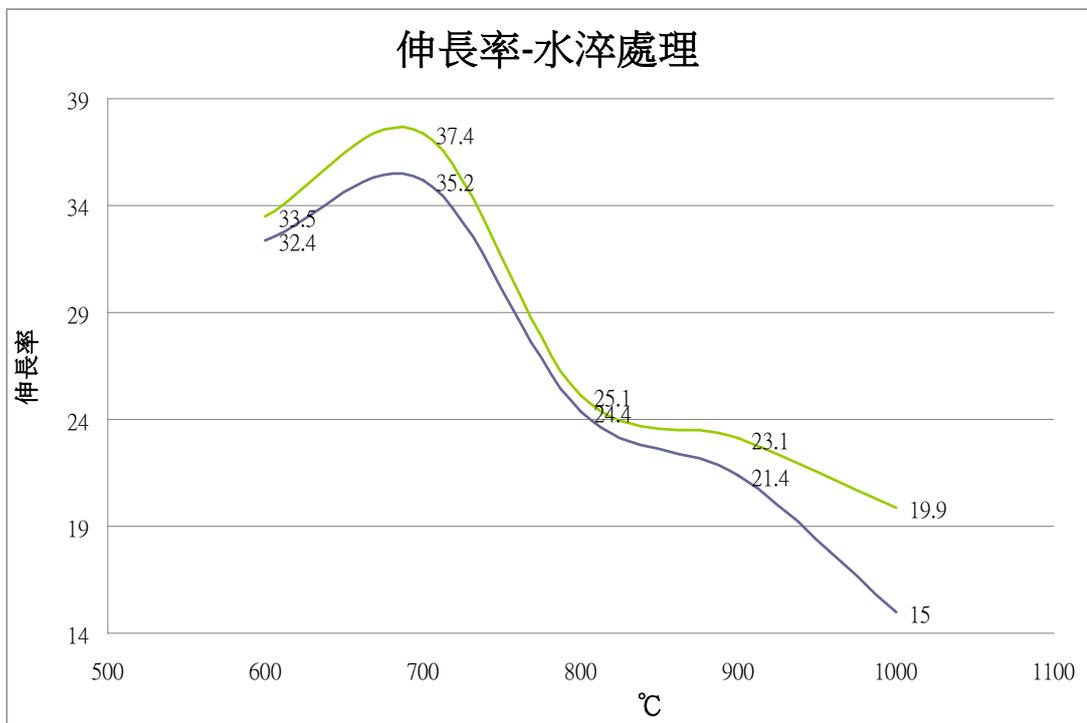


圖 4-9 A36 鋼板加熱至 600、700、800、900 及 1,000°C 水淬處理之伸長率曲線圖(資料來源：參考書目 17)

根據文獻資料，發現鋼板加熱至 800°C 以上時，多已轉變為沃斯田鐵相，經急速水冷(淬火處理)後，受熱鋼板的金相組織將變為變韌鐵相及麻田散鐵相，此時如重新加熱，則其金相組織仍為麻田散鐵相。反之，若同樣鋼板加熱至 800°C 以上時，雖已轉變為變韌鐵相，但如以自然冷卻方式，使高溫鋼板慢慢冷卻，則其金相組織將恢復部分波來鐵相，此時鋼板仍保有部分的韌性，不會發生突發性的脆裂行為，如圖 4-9¹⁸所示。

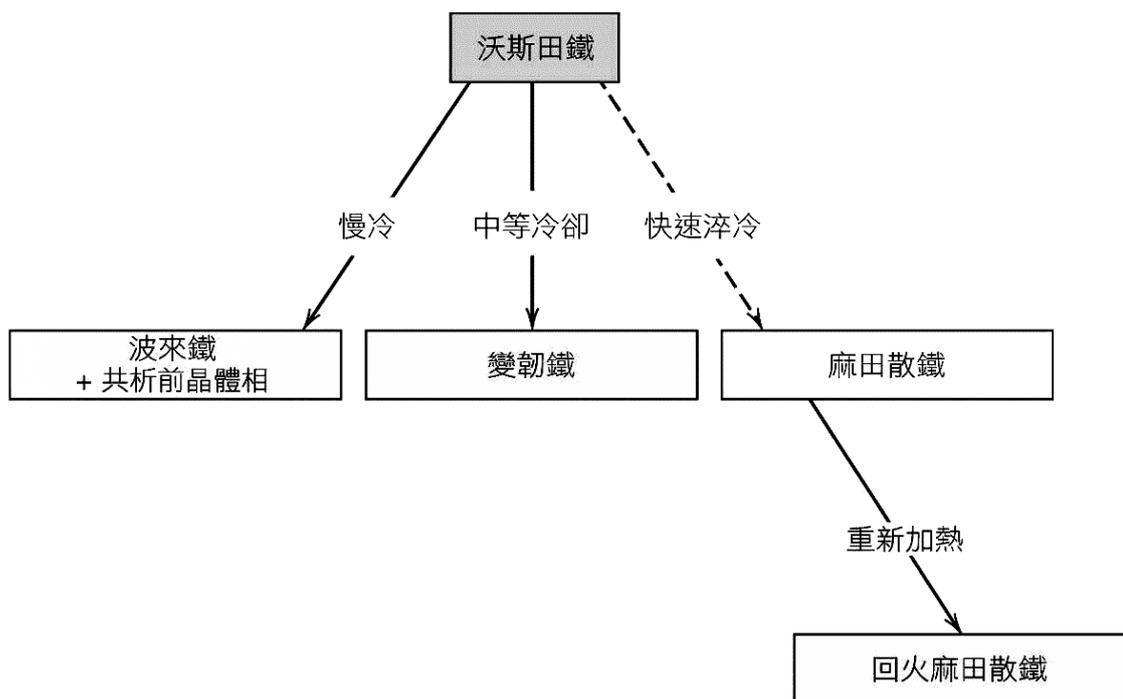


圖 4-10 A36 鋼板加熱至 800°C 以上經不同冷卻方式處理後其金相顯微組織變化圖

¹⁸ Svensson S., "Solving tactical problems using control engineering : systems identification and modeling", Lund, 1998.

第五章 鐵皮屋建築物火災崩塌原因研析

第一節 概述

消防搶救作業是一項複雜的過程，由於火災情勢的複雜與狀況的易變，加上各種主、客觀因素的差異，使得每一次的火災搶救過程難以一致。但在前人不斷的努力與經驗累積下，逐漸掌握了影響消防搶救滅火效果之關鍵所在。這些因素對於從事火災搶救的消防機關而言，是絕佳的借鏡與參考資料。

當火災發生時，消防機關所進行的相關搶救工作是減少火災損失的重要作為，也是消防機關直接介入火災防護體系的最後一道防線。但在執行這些搶救工作時，有許多的因素會影響到其滅火效果。

以滅火過程而言，消防力越早介入，所能達到的滅火效果越高。根據分析將可能影響消防搶救滅火效果因子整理如下：

(一)在建築物火災特性方面

- 1.火災的發展過程受到熱釋放速率、閃燃發生的時間、抑制系統作動後對火災的影響、引火源的種類、空間幾何學、門窗呈開啟或關閉狀及建築物的性質等因素影響。
- 2.火災區劃空間內的溫度變化視內部的燃燒情況而定，起火後一段時間，溫度會急劇上升，此一急劇上升的現象就是所謂的「閃燃」。閃燃之後，室內的火勢如同火海一般，並持續一定的高溫。俟所有的可燃物燃燒殆盡後，溫度逐漸下降。
- 3.火災中的熱釋放率(HeatReleaseRate)是表示火災發展的一個主要參數。火災初期的熱釋放率是控制火災主要關心的問題之一。

(二)在消防搶救與火災發展過程相關性方面

- 1.根據統計資料與文獻探討分析結果顯示，消防單位的人車幾乎很難在起火空間內燃燒物質發生致命火勢之臨界點(閃燃)前，到達

火災現場並完成部署射水。

- 2.消防搶救射水主要有兩大滅火效果，其一為經由射水降低火焰和熱氣散佈，進而使燃燒物之熱解率降低，亦即減少外加的熱流，另一為經由射水穿越火焰抵達燃燒物的表面，高溫將使水分蒸發並帶走熱量，藉以冷卻燃燒物表面而降低熱解率，亦即增加表面熱流失的速率。
- 3.消防單位的人力及裝備是火災搶救之兩大要素；面對可能之火場規模，足夠的人力及物力是消防單位能否成功介入，以及能否達到預期搶救目標之關鍵。
- 4.火場指揮官依現場火勢情況、可用資源之情形及對消防人員可能造成的傷害來判斷採取合適之戰術策略。如採攻勢作業，消防人員必須延伸水帶進入火場找出火點，並將火源撲滅；而採守勢時，則只須將水帶部署於火場外，進行防禦並侷限火勢。

第二節 鐵皮屋火災崩塌原因分析

本研究係以鐵皮屋建築物為研究標的物，經由收集國內重大火災案例相關資料，並以該類建築物火災發生時間、地點、原因等基本資料，經過系統化資料彙整分析，深入瞭解鐵皮屋的火災概況、危害因子，以及此類建築物在火災防範方面的困境。

經由案例研析，初步找出鐵皮屋建築結構物火災崩塌原因，詳如後圖 5-1 說明。另將鐵皮屋建築物火災時，可能產生崩塌之流程繪製成流程圖，詳如後圖 5-2。



(1) 火災案例空照圖



(2) 單層山形結構系統



(3) 內部少部分區域有夾層



(4) 鋼梁接頭受熱後產生強大拉力



(5)鋼樑與鋼柱產生大量變形，造成屋頂塌陷



(6)鋼柱挫屈變形(近照)，造成屋頂塌陷



(7)原鋼樑於屋脊接頭處(圓圈)，尚未拉斷，故屋頂未完全塌陷



(8)原鋼樑於屋脊接頭處(圓圈)，因接合螺栓已被“剪斷”，故屋頂完全塌陷



(9)鋼樑與鋼柱產生大量變形(近照)，造成屋頂塌陷、鋼柱挫屈



(10)鋼樑變形，屋頂完全塌陷(殘跡以清理)，鋼柱大量挫屈變形

圖 5-1 鐵皮屋火災可能崩塌流程分析圖

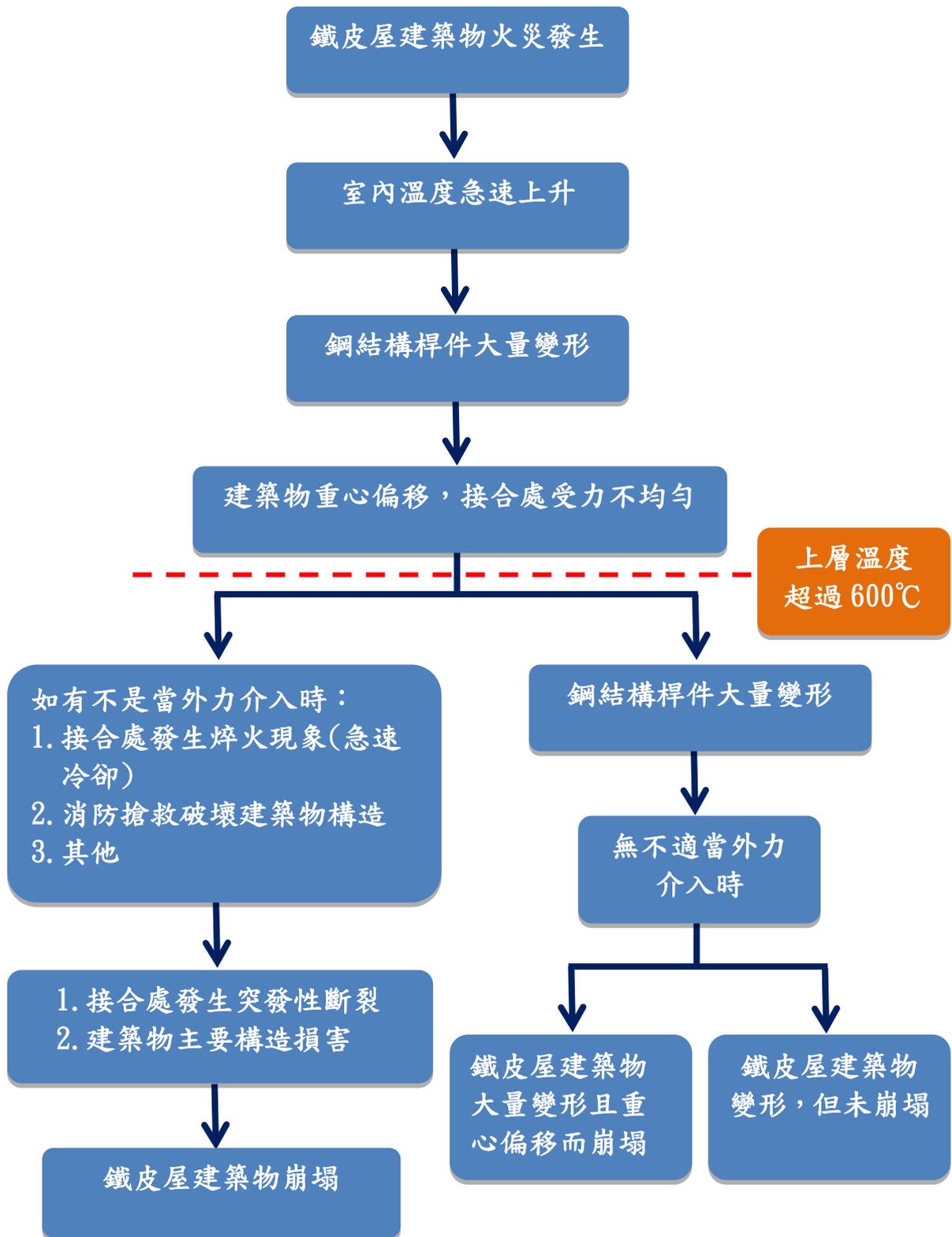


圖 5-2 鐵皮屋建築物火災可能崩塌流程圖

綜合前述，鐵皮屋建築物火災主要崩塌原因為鋼結構“桿件”受熱產生大量變形，造成整體結構重心偏移，使鋼結構“接合處”的螺栓受力不平均，如該處高溫的螺栓因受消防搶救射水而產生急速冷卻(淬火處理)現象，即會造成韌性大幅降低，一旦受力超過其強度，將會發生瞬間剪斷，此時接合處的其他螺栓將受力更大，恐有連鎖剪斷效應，造成整個接合處斷裂，導致屋頂塌陷之情形。本研究勘查許多鐵皮屋火災現場，發現許多接合處的螺栓都有 90 度剪力破壞的斷裂情形，如圖 5-1 第(8)項虛線圓圈處。

因此，基於前述原因，本研究建議消防人員應該要“謹慎射水”，特別是針對鐵皮屋鋼結構之接合處。另外，對鐵皮屋建築物的鋼結構“桿件”降溫，可減少結構桿件變形，降低結構物崩塌之風險，但考量避免對鋼結構接合處造成急速降溫，形成淬火情形而影響其機械性質，本研究建議消防人員，可優先適當位置，破壞鐵皮屋外牆、門窗等製造大量開口，以達到“自然冷卻”之效果，除可對鐵皮屋的鋼結構桿件降溫，並可避免閃(爆)燃發生的機會外，更能有效排煙增加火場能見度，以及爭取妥善佈署攻擊水線的時機，不可貿然進入鐵皮屋火場內部，以免發生危險。

第三節 鐵皮屋火災搶救安全原則

一、國內鐵皮屋火災及消防人員殉職比例

在台灣到處都可以看得到鐵皮建築，經統計 102 及 103 年度此類工廠火災占總體建築物火災發生率於台中市為 35%~50%、於彰化縣為 25%~31%、於南投縣為 30%~36%、於雲林縣為 14%~23%，另經內政部消防署統計 99~103 年全國鐵皮屋火災死亡人數死亡率占總體火災死亡率分別為 8.4%、13.4%、18.3%、10.9% 及 13.7%，而火災的財損、燒損面積及使用消防車輛數，都超乎一般建築物甚多，深入觀察發現在新北市、台中市及桃園縣呈現較高傷亡數¹⁹；而當建物面積超過 500m²，呈現車多、人多、時間長、水線多但幾乎建物全毀的結局；又中午之前的火災，燒損面積小，而下午或下班之後火災，燒損面積幾乎達整棟建物，值得探索。

鐵皮屋建築物之耐久性與防火性能嚴重不足，一旦發生火災，多因內部火載量甚高，火災猛烈度甚大，短時間即超越鋼結構桿件之耐熱強度，造成鋼材強度急速降低，致使鐵皮屋發生崩塌之危險，進而造成入室搶救之消防搶救人員因屋頂或樓板坍塌而受困其中，造成傷亡，經統計國內民國 72 年至 104 年消防義消人員因搶救建築物火災事故發生意外而殉職之人數，總計有 34 人，其中因搶救鐵皮屋建築物而死亡之消防義消計有 12 人，約佔歷年殉職總數之 35.29%，詳如下表 5-1 所示。

¹⁹ 吳武泰，「提升鐵皮工廠火災搶救指揮效能之研究—以台北市社子島為例」。

表 5-1 民國 72~104 年 1 月消防義消人員因搶救建築物火災事故死亡人數統計表

項次	姓名	擔任職務	單位	殉職日期	事故案件
1	郭○○	義消副分隊長	台中市消防隊	72.06.25	搶救台中市中英大樓火警殉職
2	李○○	消防隊員	台南市消防隊	77.07.05	搶救火警中正路合作大樓火警，因倒塌物壓倒殉職
3	余○○	消防隊員	台北市消防隊	77.10.10	搶救健康路文化城理容院火警殉職
4	高○○	義消幹事	台北市消防隊	78.08.04	搶救峨嵋街今日百貨公司火警殉職
5	高○○	義消副小隊長	台北市消防隊	78.08.04	搶救峨嵋街今日百貨公司火警殉職
6	熊○○	消防隊員	台北市消防隊	80.12.08	搶救中山北路海霸王餐廳火警殉職
7	張○○	消防隊員	台北市消防隊	81.08.28	搶救漢口街六福大樓火警殉職
8	吳○○	消防隊員	台北市消防隊	81.08.28	搶救漢口街六福大樓火警殉職
9	孟○○	消防隊員	台北市消防隊	81.08.28	搶救漢口街六福大樓火警殉職
10	陳○○	消防隊員	台中市消防隊	84.03.15	搶救夏威夷按摩中心火警殉職
11	黃○○	消防隊員	桃園縣消防隊	85.10.07	搶救永興樹脂公司火警爆炸殉職
12	吳○○	消防隊員	桃園縣消防隊	85.10.07	搶救永興樹脂公司火警爆炸殉職
13	雷○○	消防隊員	桃園縣消防隊	85.10.07	搶救永興樹脂公司火警爆炸殉職
14	黃○○	消防隊員	桃園縣消防隊	85.10.07	搶救永興樹脂公司火警爆炸殉職
15	陳○○	消防隊員	桃園縣消防隊	85.10.07	搶救永興樹脂公司火警爆炸殉職

16	藍○○	消防隊員	桃園縣消防隊	85.10.07	搶救永興樹脂公司火警爆炸殉職
17	張○○	義消隊員	彰化縣消防隊	87.09.25	搶救歐鎰家俱公司火警殉職
18	謝○○	消防隊員	基隆市消防局	90.07.13	搶救基隆市東信路火警殉職
19	孫○○	義消小隊長	台南市消防局	92.06.26	搶救台南仁德鄉寶生工廠火警殉職
20	陳○○	消防隊員	桃園縣消防局	93.04.26	搶救桃園市經國路貨櫃火警殉職
21	王○○	消防隊員	台北縣消防局	93.07.13	搶救三峽鎮幸世機電工廠火警殉職
22	陳○○	消防隊員	高雄市消防局	94.03.25	搶救高雄市鑫富邦家具行火警殉職
23	周○○	消防隊員	高雄市消防局	94.03.25	搶救高雄市鑫富邦家具行火警殉職
24	黃○○	消防隊員	新北市消防局	102.02.12	搶救五股工業區冷凍食品工廠火警墜樓殉職
25	陳○○	消防隊員	新北市消防局	102.07.06	搶救泰山鄉利塔國際股份有限公司倉儲火警殉職
26	彭○○	消防隊員	新北市消防局	102.07.06	搶救泰山鄉利塔國際股份有限公司倉儲火警殉職
27	方○○	消防小隊長	台北市消防局	103.03.27	搶救台北市中正區仁愛路地下室火警殉職
28	張○○	消防隊員	新北市消防局	103.06.27	搶救新北市中和區華夏之星社區地下停車場火災殉職
29	陳○○	消防隊員	桃園市消防局	104.01.20	搶救桃園市新屋區新屋保齡球館火警殉職
30	蔡○○	消防隊員	桃園市消防局	104.01.20	搶救桃園市新屋區新屋保齡球館火警殉職
31	陳○○	消防隊員	桃園市消防局	104.01.20	搶救桃園市新屋區新屋保齡球館火警殉職
32	張○○	消防隊員	桃園市消防局	104.01.20	搶救桃園市新屋區新屋保齡球館火警殉職
33	曾○○	消防隊員	桃園市消防局	104.01.20	搶救桃園市新屋區新屋保齡球館火警殉職

34	謝○○	消防隊員	桃園市消防局	104.01.20	搶救桃園市新屋區新屋保齡球館火警殉職
註：表格內黃底者即為搶救鐵皮屋建築物而死亡之消防義消人員。					

二、鐵皮屋火災搶救安全原則

鐵皮屋建築物因具有工期短及耐震性強等優點，廣泛使用於許多家具工廠、化學工廠、倉儲量販店等，另於違章建築物、臨時建築物、建築物改良或加建部分亦常被大量應用，故在國內都市或鄉村間皆隨處可見到鐵皮屋。而鐵皮屋建築物之樑柱結構與內部夾層多為金屬材質，發生火災時，會因其結構不堅固、火勢成長迅速、屋內無防火區劃、火災猛烈度大等火災特性，使得消防人員在搶救鐵皮屋建築物火災入室搶(搜)救時，危險性相當之高，而從前述統計資料得知，民國72年至104年1月消防義消人員因搶救鐵皮屋建築物而死亡之消防義消人數，約佔歷年殉職之總人數35.29%，達三分之一以上，故遇搶救鐵皮屋火災時建議依循下列安全注意原則進行佈署及搶救作業²⁰：

(一)救災車輛停放與火場保持適當距離

鐵皮屋建築物延燒速度快速，救災車輛停放需儘量停放於火場上風處，並與起火場所四周或延燒方向之建物保持適當距離，若未保持距離，車輛則可能受到輻射熱與火煙影響，而使車輛故障與損壞。

(二)人員任務編組與進出管制

火場任務編組有滅火、破壞、搜索、後勤與司機，指揮官可於出勤途中以無線電初步分配任務，並且指定幹部或資深人員擔任小組長，抵達現場後指定人員擔任安全官，負責收取入室搶(搜)救人員之名牌及救命器插梢，或以白板記錄，管制人員動向與進出火場時間並定時予以提醒，另於火場外部觀察火煙變化情形，若有閃(爆)燃之徵兆或建築物變形、坍塌、其他意外事故發生之虞，則應當主動提醒入室之搶(搜)救人員，並立即向指揮官建議

²⁰ 內政部消防署，「搶救鐵皮屋建築物火災安全指導原則」。

下達入室人員撤離之指令。

(三)起火處所不明則不可貿然行動

起火場所或場所內起火位置不明時，可使用熱顯像儀觀測場內溫度分布情形，佈署水線射水搶救並同時進行測溫，觀察射水後落回地面之水量與水蒸發的速度，或觀察冒出煙的流速與滾動的差異等，均可協助確定起火處所與位置，以避免初期耗損人力一一破門，冒險尋找起火處所，使同仁陷於閃燃或爆燃的危害中。

(四)注意夾層坍塌或建物塌陷情形

進入鐵皮屋內搶救時，應先觀察火焰、夾層與金屬支撐柱的相對位置，火焰於夾層下方或上方即有塌陷之虞，應避免接近夾層，另金屬支撐柱會朝受熱方向彎曲、倒塌，當有明顯火焰竄出時，儘量避免再深入火場內部。

(五)注意貨架倒塌或物品掉落情形

鐵皮屋建築物之用途若為倉庫或工廠時，場所內之物品易有掉落之虞，且貨架亦可能傾倒，若樓板或夾層地板材質為木材時，易因火場高溫而有燒穿情形，此時，上層之物品亦會掉落至下層，搶救時應觀察場所內貨架、物品位置、貨物堆置情形與上層樓板材質，避免在危害範圍內作業。

(六)注意墜落危害

一般火災現場內部會因濃煙阻礙視線範圍，入室搶(搜)救時應有充足的照明設備並慢速前進，利用熱顯像儀、手電筒、撬棒或火斧等器材，仔細探測周遭地板狀況，避免救災人員發生墜落事故，屋頂作業可以雙節梯或掛梯固定在橫樑處，做為固定點或安全作業區，行走時應踩踏在固定螺絲之橫樑處，以避免不慎從屋頂墜落。

(七)救災人員不可單獨行動且需搭配水線救災

消防救災工作是團體行動，帶隊官分配任務編組時，每一任務編組至少需有2名消防人員，而且編組人員開始執行救災行動後，編組成員就不可脫隊行動，以確保救災人員安全，再加上火

勢變化瞬息萬變，為預防閃燃、爆燃、輻射熱及高溫之火煙造成消防人員傷亡，破壞與搜索工作均必須搭配水線進行，以保護救災人員面對各種突發狀況，並可在危急情況下指引救災人員撤退與搜救路線。

(八)使用熱顯像儀搭配救災

熱顯像儀可用來觀察火場內部環境情況，讓消防人員了解內部隔間、物品擺設位置與地板是否有坑洞或電梯井，加速搜索受困民眾速度，並可利用溫度分布情況研判火點位置，使消防人員救災行動更有效率及安全。

(九)避免於開口正面位置進行作業

有關鐵皮屋工廠火災時，由於其火載量大，內部儲放物品眾多且延燒迅速，常可能發生閃、爆燃的狀況，消防搶救人員若於閃、爆燃發生時於開口處作業，勢必會受到閃、爆燃發生時伴隨之衝擊波造成重大危害，故救災人員應儘量避免於開口正面位置進行作業，若有於開口附近作業之必要，則應以側面佈署為原則。

(十)直線射水儘量避開鋼結構接合部

鐵皮屋建築物火災主要崩塌原因為鋼結構“桿件”受熱產生大量變形，造成整體結構重心偏移，使鋼結構“接合處”的螺栓受力不平均，如該處高溫的螺栓因受消防搶救射水而產生急速冷卻(淬火處理)現象，即會造成韌性大幅降低，一旦受力超過其強度，將會發生瞬間剪斷，此時接合處的其他螺栓將受力更大，恐有連鎖剪斷效應，造成整個接合處斷裂，導致屋頂塌陷之情形，故消防人員於直線射水搶救時，儘量避開鋼結構之接合部位。

(十一)進退路徑儘量靠近主結構鋼柱

鐵皮屋建築結構多採「強柱弱樑」設計，消防人員進入火場後，儘量靠近外牆的柱桿件行進，減少遭受坍塌物掉落觸擊的風險。

(十二)建立穩定中繼供水與保持車輛水箱水源不溢滿

位於水源缺乏地區之鐵皮屋建築物，應積極尋找河川、池塘

或灌溉用水渠等替代水源，調度水箱車或移動式消防幫浦汲水，或延長消防車間距建立長距離中繼送水路徑，或是在適當位置建等天然水源集結區，視距離採車輛中繼供水或調度消防車往返送水等方式，且中繼之水源車輛與攻擊車應透過操作水箱進水開關、水箱開關與河川吸水口開關，調節進水量與進水方式，或無線電聯繫中繼水源車輛減壓供水，以控制水箱不溢滿。

(十三) 全程應穿戴整套消防衣帽鞋

消防人員於搶救作業中應全程穿戴齊全之消防衣帽鞋、空氣呼吸器，確保自身之搶救安全，而火勢熄滅後雖無高溫與輻射熱危害，但仍有切割傷、穿刺傷或物品掉落等危害，故於救災現場應穿戴整套消防衣帽鞋。

(十四) 注意重機械支援救災安全

重機械進行移除鐵皮與翻動堆積物等殘火處理作業時，消防人員不可站立在其作業半徑範圍內，應於重機械兩側後方射水，如需靠近堆積物射水降溫，可請重機械操作人員暫時停止作業後，再接近處理。

(十五) 危險判斷參考

熱顯像儀若觀測火場上層(熱煙層)溫度超過 600°C，宜有撤離之準備。在閃燃發生前，門窗開口處濃煙變成黑色夾雜著黃褐色，且呈現滾動狀，最好立即撤離，以免發生危險。

第六章 研究結論與建議

第一節 研究結論

一、國內鐵皮屋火災案例分析

- (一)彙整國內重大鐵皮屋火災案例調查資料，研究找出鐵皮屋火災的特性，並研擬分析鐵皮屋火災可能崩塌流程及原因。
- (二)發現鐵皮屋建築物於火災時很容易變形，就會產生縫隙，形成通風良好，所以容易達到閃燃條件，進而引起擴大燃燒。而鐵皮變色會先變白，然後變成鐵灰色、最後變成氧化生鏽，跟 NFPA921 的解釋相吻合。
- (三)一般燃燒可分為初期、成長期、最盛期及衰退期四個階段，而從火災發生初期，約經過 4 至 6 分鐘，溫度可達到 500°C 至 600°C 時就會發生閃燃，閃燃後才會進入全面燃燒之最盛期。閃燃發生前，門窗等開口處之濃煙會變成黑色中夾雜著黃褐色，而且呈現滾動狀，因此，不管指揮官或救災人員發現這種現象時，最好立即撤離，以免發生危險。
- (四)鐵皮屋建築物有以下四點火災特性：(1)結構不堅固。(2)火勢成長迅速。(3)屋內無防火區劃。(4)火災猛烈度大。
- (五)鐵皮屋一但發生火災，多數由於內部火載量甚高，火災猛烈度甚大，短時間即超越鋼結構桿件的耐熱強度，其鋼骨容易因受熱而彎曲，整間鐵皮屋即會因重心不穩，失去平衡而塌陷。且鐵皮屋建築物內通常無防火區劃，一旦火災形成，如初期無法控制，在預燃相乘效應，可燃物會加速分解，致命之閃燃現象往往在消防隊介入時就已發生，增加了消防搶救困難。

二、火害鋼板金相顯微組織成份分析

- (一)根據文獻資料，A36 鋼板加熱溫度至 600°C 以上，若採用自然冷卻方式降溫，其組織成份無任何變異，另結構用低碳鋼板(A36)成份為 80% 肥粒鐵+20% 波來鐵，在經過鋼板加熱至 800°C 以上時，多已

轉為變為沃斯田鐵相，經急速水冷(淬火處理)後，受熱鋼板的金相組織將變為變韌鐵相及麻田散鐵相，此時如重新加熱，則其金相組織仍為麻田散鐵相。

(二)加熱溫度至 800°C 以上時，如經過自然冷卻方式，其組織成份比例無任何改變；反正，如經過淬火處理(急速水冷至常溫方式)，其組織成份變化為肥粒鐵下降、波來鐵消失，麻田散鐵產生增加。

(三)若同樣鋼板加熱至 800°C 以上時，雖已轉為變為沃斯田鐵相，但如以自然冷卻方式，使高溫鋼板逐漸冷卻，則其金相組織將恢復部分波來鐵相，此時鋼板仍保有部分的韌性，不會發生突發性的脆裂行為。

三、鐵皮屋火災搶救方面

(一)支撐鐵皮屋的鋼架在約 538°C 就會大量變形，尤其很多鐵皮建築物都搭建 2 層，當火勢在 2 樓流竄，甚至達到閃燃時，在 1 樓救災人員根本看不到 2 樓的火勢，不知道自己已身陷危險之中，等到屋頂因猛烈燃燒而塌陷時，救災人員已來不及撤退。

(二)在許多鐵皮建築物，1 樓有許多鋼架支撐 2 樓地板，而 2 樓地板至天花板則為挑空，看不到任何垂直支撐之鋼架，所以當 2 樓猛烈燃燒時，非常容易塌陷，這也是所有消防救災人員必須特別注意的狀況，如果鐵皮屋是屬於 2 樓以上之結構，1、2 樓同時有燃燒現象，如果沒有人命救助的任務時，現場指揮官一定要瞭解清楚火勢延燒的路徑，妥善部署後，建議才可以命令同仁深入火場搶救。

(三)消防搶救作業是一項極為複雜的過程，由於火災情勢的複雜與狀況的易變，加上各種主、客觀因素的差異，使得每一次的火災搶救過程很難一致。以滅火過程而言，效果的表現應該是在「火災發生 (Fire Cue or Begging Ignition) 到撲滅火災 (Extinguish)」的這段時間內。以理論上而言，消防力越早介入，所能達成的滅火效果應該越高。

(四)目前國內多數建築結構多採梁、柱構架系統，當消防搶救人員進入

火場後，對高溫的鐵皮屋建築物構造應予以“謹慎射水”，特別是針對鐵皮屋鋼結構之接合處，應避免受到急速冷卻(淬火)情形，進而影響鐵皮屋建築物之結構穩定性。

(五)研擬提出鐵皮屋建築物消防搶救對策，分為進場前準備作業及進場後應變對策等各項應注意要點。

第二節 研究建議

一般消防搶救指揮官面臨火災災害事故搶救時，均先掌握地區環境、建築物外觀、面積及現場初期燃燒狀況，並隨著燃燒行為及時間先預測可能之燃燒範圍，而為避免燃燒範圍持續擴大，依現場狀況判斷及指揮調度消防戰力部署，計算所需出動車輛數（如第一梯次轄區消防分隊出動 3~4 輛、鄰近支援單位出動 4~6）、車輛佈署位置、放水車輛數（事先指定攻擊車、中繼車）、佈署水線數（為入室搶救水線或週界防護水線、各水線所需放水壓力、各水線水平射水距離及防護半徑）、火場週邊可用消防栓數量、管徑大小、有無消防栓水源共撞情、消防水源最大間隔及平均間隔，期以優勢之消防戰力，有效阻絕火勢擴大延燒，進而在確保消防搶救人員安全下撲滅火災。一般火災之消防搶救流程簡要說明如下：

(一)佈線射水：

第一部消防車到達現場即佈署水線，並由瞄子手選擇最有利的攻擊位置，當車輛放水開始即展開射水搶救，一般消防戰術策略為小火採攻擊戰，中火採攻防戰，大火採防禦戰，並要求需有充足之消防水源及人力同時才進入火災建築物內搶救，因要實施入室搶救或射水需要複數水數進入，同時進行射水及人員防護，以確保入室搶救之消防人員安全。另在射水前應先瞭解有無斷電，建築物有無倒塌之虞，入室前視情況先以水線向上方掃射，確定安全才深入，射水時應視火煙及燃燒狀況，採取直線射水或水霧射水等方式。

(二)搶救受困人員：

當消防搶救車組到達火災現場，發現有人員受困呼救，佈署水線的同時並利用如雙節梯、掛梯、雲梯車或配合水線佈署進入屋內引導人員至安全區域。若現場內部還有人員受困，指揮官應立刻組成搜救小組展開搜救行動，以 2 至 3 人為一組，配戴空氣呼吸器、救命器、無線電、照明燈、破壞器材等，並配合水線射水掩護入室，

搜索樓梯轉角、浴室、陽台、各隔間區域內桌子下、床鋪下等處所，若發現到受困人員，立即將其救助出火場，若受困者意識昏迷亦須搬運出火場送醫救治。

(三)侷限火勢：

鐵皮工廠火災，必須防止火勢向上及向水平橫向擴大延燒，只要有延燒之虞，研判現有消防戰力無法順利將火勢壓制並撲滅，則必須請求支援並防止火勢擴大延燒。

(四)建構有效水源：

水源的佔據使用以消防栓為第一優先，其次考慮鄰近之天然水源或農用灌溉幫浦，消防栓有選擇性時應優先使用水量充足之大管徑消防栓，另佔據水源之消防車汲水時應使用機械進水方式，以幫浦運轉吸水送出，確保進水量足以因應搶救所需之出水量。

(五)延伸供水：

當佈線攻擊車與佔據水源車距離過長時，易導致搶救水線壓力不足，應調派消防車輛或移動式幫浦進行中繼，確保充足的水量輸送，送水時水源車或中繼車應以幫浦加壓送水予攻擊車或中繼車之進水口方式，有效地將水源供應予前線之消防車。

(六)破壞：

火災搶救進行中，往往因門、窗、鐵捲門、廣告招牌等，阻礙了救災通道，使消防人員無法順利進入火場，此時必須使用各式破壞器材，如圓盤切割器、氧氣切割器、油壓破壞器材、切斷器、鏈鋸、斧頭等迅速加以排除，以利持續執行消防搶救行動。

(七)排除煙熱：

在進入火場搶救時，往往受到濃煙及火熱的侵襲，無法順利靠近火點，必須利用排煙機具做機械排煙或運用建築物本身的開口(如門、窗等)進行自然排煙，將室內之高溫濃煙排出散熱，除能提

高能見度，並能實施有效的射水。

另根據上述各章節研究，本研究綜整鐵皮屋建築物消防搶救對策，可區分為進場前準備作業及進場後應變對策等二方面，臚列如下：

(一)鐵皮屋建築物消防搶救對策之進場前準備作業

- 1.消防搶救人車到達後，若發現火災現場已有大量火煙狀況，且對火場內部狀況、資訊不明時，確認內部無人受困，應以侷限火勢延燒為初期搶救之第一優先對策。
- 2.搶救人員不得已需進入火場搶救時，應有完善之救災裝備器材，如無線電通訊設備、救命器或電子式空氣呼吸器等，否則指揮人員不應指派人員進場。
- 3.搶救人員進場前，應確認火場內部各項資訊，包含儲存物品、內部裝潢隔間、建築物配置等，瞭解屋內燃燒情形，是否有毒性化學物質或爆炸物質，採取必要之防護措施，始可在防護裝備齊全下進入火場。
- 4.到達現場後應先訪查廠房人員或查看現場危險物標誌，以探知危險物種類，並瞭解工廠儲存之化學物品有無毒性、爆炸性、禁水性、腐蝕性等相關特性後，查閱「緊急應變指南」，參照應變指南選擇最有效之滅火方法或防堵化學物質外洩方式以降低傷害。
- 5.火場指揮人員應確認相關救災能量已妥善部署後，方能要求同仁進入火場搶救，並能隨時掌握內部搶救人員之位置及動線，另亦需清楚瞭解火勢延燒路徑。
- 6.應加強消防搶救人員於建築結構方面之知識，尤其是對於結構火害後之特徵，應有充分之瞭解，以做為入室搶救時，緊急撤離之判斷基準。

(二)鐵皮屋建築物消防搶救對策之進場後應變對策

- 1.目前建築結構多採”強柱弱梁”設計，消防搶救人員進入火場後，應

盡量靠近外牆的柱桿件緩緩向前推進。

- 2.消防搶救人員應隨時注意建築結構桿件，受火場高溫火熱後的變化情形，特別是鋼結構接合處如產生變形，或是有大量墜落物時，應立即回報指揮人員，並迅速撤出火場。
- 3.消防搶救人員進入火場後，對高溫建築物構造部分應“謹慎射水”，特別是針對鋼結構之接合處，避免其因消防搶救之冷水而產生急速冷卻(淬火)情形，進而造成建築物有崩塌之危險。
- 4.火災中的鐵皮屋鋼結構，其降伏強度會因高溫降低，韌性會因淬火而消失等因素，易造成結構呈現不穩定狀態，消防搶救人員身處此類高度危險場所時，應保持高度警覺性，一旦遇有不利自身安全之情況時，應立即回報指揮人員，並迅速撤出火場。
- 5.鐵皮屋建築物因有太多潛在風險，火災發生時，應不宜冒然入室內搶救。如一定要入室搶救，可先以熱顯像儀於入口處對建築物內部上層(熱層)進行”測溫”；入室後，亦應隨時測量建築物上層溫度，並以溫度達 550~600°C 度做為危險撤離之參考基準。
- 6.入室搶救或搜救小組編組應由複數人員以上組成，並指定 1 名具有豐富經驗者為帶隊官，配合水線進入火災建築物內搶救或搜索，不可 1 人單獨貿然進入。
- 7.建議消防搶救人員，除以射水降溫外，亦可利用重機械設備進行破壞挖掘，開設大量對外開口，以自然冷卻方式進行降溫，如此不但可以降低火場內部溫度，亦可快速排煙，增加室內能見度等。另前述消防人員開設對外開口時，需隨時注意火場內部火勢之變化，以避免閃(爆)燃危害的發生。
- 8.入室搶救時，應逐層部署搶救，不可跳層搶救以免被困，另進入複雜通道須注意退路，熟記每個分叉路口進入通道之特徵，或循水帶退出火場。
- 9.進行建築物之搶救或搜索時應注意深入之距離，需定時與建築物

外指揮官保持無線電聯繫，回報所在位置及週邊狀況，遇有無線電斷訊處所，應建立臨時中繼站，另需留意空氣呼吸器的使用時間(當空氣瓶殘壓警報音響鳴動時，應迅速沿原路或預留退路退出)。

參考文獻

簡丞宏、楊國珍，「H型鋼柱高溫整體結構行為研究」，碩士論文，國立高雄第一科技大學營建工程研究所，台灣高雄，2005年

陳俊勳，「鐵皮屋火災危險性及閃(復)燃模擬實驗」，內政部消防署，90年10月。

莊有清，「鋼材在高溫環境下之行為探討」，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所，台南，2004年。

周民瑜、鍾興陽，「常見結構用鋼材火害後機械性質之研究」，碩士論文，國立成功大學土木工程研究所，台南，2008年。

李立成，「建築物火災避難行為與空間安全特性之研究—以住宿型建築物為對象」，中央警察大學消防科學研究所碩士論文，民國87年6月。

鄧子正，「從都市消防救災探討緊急應變之組織及其運作」，國立交通大學經營研究所博士論文。

葉俊興，「超高層建築物消防搶救管理策略之研擬」，國立臺北科技大學碩士論文，2001年。

陳火炎，「台南科學工業園區防災體系建制之研究」，台南科學工業園區管理局成果報告書，民國91年8月。

陳秋蒼，「建築物火災人命安全因素及評估之研究」，中央警官學校警政研究所碩士論文，民國84年6月。

張旭富，「建築騎樓主要可燃物燃燒行為研究-機車燃燒行為研究」，國立台灣科技大學碩士論文，民國86年6月。

張冠吾、郭豐裕、謝伯毅合著，騎樓火災，消防月刊，2005年3月。

謝明哲，民90，視而不見、存而不論-鐵窗與鐵皮屋現象：被忽略之本土意義，台北科技大學建築與都市設計研究所。

楊國珍、林南交，「銲接型式對高溫下軸向受力鋼柱破壞模式之影響」，

內政部建築研究所委託研究報告，2011 年。

孫彥輝、倪有金、許中波、蔡發科，「中碳鋼溫力學和冶金行為」，北京科技大學學報，VOL. 31NO. 6JUN. 2009 年。

Beland, B. Examination of arc beads, fire and Arson Investigator, 44(4):20-22, 1994

朱世富，「材料科學與工程」，新文京開發出版股份有限公司，台灣，2002 年。

陳瑞鈴、紀人豪、陳政洞、蘇鴻奇、張尚文、白坤鼎，「輕量型鋼結構建築物(鐵皮屋)防火安全與消防搶救對策之研究」，內政部建築研究所，民國 103 年 12 月。

Svensson S. ,

“Solving tactical problems using control engineering : systems identification and modeling” , Lund, 1998.

吳武泰，「提升鐵皮工廠火災搶救指揮效能之研究—以台北市社子島為例」。

內政部消防署，「搶救鐵皮屋建築物火災安全指導原則」。