

南華大學社會科學院國際事務與企業學系歐洲研究碩士班

碩士論文

Master Program in European Studies

Department of International Affairs and Business

College of Social Sciences

Nanhua University

Master Thesis

歐規消防衣於火場救災效能之研究—以熱防護性能為例

The Effectiveness of European Fire Service Protective
Clothing in Fire Field--A Case Study on the Thermal
Protection Performance

朱培言

Pei-Yen Chu

指導教授：鍾志明 博士

Advisor: Chih-Ming Chung, Ph.D.

中華民國 108 年 6 月

June 2019

南華大學
國際事務與企業學系歐洲研究碩士班
碩士學位論文

歐規消防衣於火場救災效能之研究—以熱防護性能為例
The Effectiveness of European Fire Service Protective Clothing in
Fire Field--A Case Study on the Thermal Protection Performance

研究生：朱培子

經考試合格特此證明

口試委員：鍾志明

孫育公

劉華宗

指導教授：鍾志明

系主任(所長)：鍾志明

口試日期：中華民國 108 年 5 月 29 日

摘要

消防法第一條明文規定預防火災、搶救災害及緊急救護，以維護公共安全，確保人民生命財產係為現代消防人員三大任務，搶救災害是消防人員的使命與天職，消防工作備受重視，且與民眾的生命財產安全息息相關。隨著時代的進步及社會的迅速發展，高科技工廠、高樓建築物、及複合型建築物不斷增建，即使消防人員救災技能、觀念日益精進，消防防護裝備功能提升，仍無法保證消防人員於救災現場不會受傷或殉職。

本研究目的在於探討消防人員於火場救災使用之消防衣的效能，消防衣救災包含有熱防護性、舒適性、操作靈活性、包覆性、防穿刺等等效能，筆者選擇熱防護性能為主要研究，並以雲林縣消防局外勤消防人員使用的歐規消防衣為例。希望藉由此研究讓消防人員於救災時多一份安全觀念，透過教育訓練與裝備器材的汰換更新，來改進與提供更完善的防護裝備給消防同仁使用，減少救災受傷或殉職的機率。

關鍵詞：消防衣、熱防護性能、熱效應、灼燙傷、熱壓迫傷害

Abstract

The first article of the Fire Protection Law clearly stipulates that fire prevention, rescue disasters and emergency ambulances are the three major tasks of modern firefighters required to maintain public safety and ensure that people's lives and property. Rescuing disasters is the unshirkable duty of firefighters. Fire protection work is highly valued and closely related to the safety of people's lives and property. With the progress of the times and the rapid development of society, high-tech factories, high-rise buildings, and composite buildings are constantly being built. Even though firefighters' disaster rescue skills, concepts and the fire protection equipment functions are increasingly refined. Firefighters cannot be guaranteed to avoid injury or perish in the line of duty.

The effectiveness of firefighting suits including thermal protection, comfort, flexibility, coating, and puncture resistance. The purpose of this study is mainly focus on investigation of thermal protection performance and take the European firefighting suits used by the firefighters in the Yunlin County Fire Department as an example. Hoping that by this research, firefighters will have more safety concepts during disaster relief. Through training and equipment replacement, to improve and provide more comprehensive protective equipment for firefighters, reducing the chance of injury or perish in the line of duty.

Keywords: firefighting suits, thermal protective performance, thermal effect, burns, thermal damage

目錄

摘要	I
Abstract	II
目錄	III
圖目錄	VI
表目錄	VII
第壹章 緒論	1
第一節 研究動機與目的	1
第二節 研究範圍與限制	2
(一) 研究範圍	2
(二) 研究限制	3
第三節 研究方法與研究架構圖	3
(一) 研究方法	3
(二) 研究架構圖	4
第四節 名詞解釋	5
第貳章 文獻回顧	9
第一節 消防衣規範	9
(一) 三層結構	9
(二) 歐規消防衣 EN469 規範	10
(三) 美規消防衣 NFPA1971 規範	12
(四) 產業用紡織品證明標章 FTTS-FP-108 規範	16
(五) EN469、NFPA1971 規範標準與測試方法比較	18
第二節 熱防護性能與熱效應	22
(一) 熱防護性能	22
(二) 熱效應	25
第三節 火場環境與火場傷害	27

(一) 安全議題	27
(二) 火場環境	28
(三) 火場熱通量	30
(四) 火場傷害	33
(五) 其他傷害	44
第參章 問卷設計	47
第一節 設計問卷架構	47
第二節 研究對象	48
第三節 研究工具	48
(一) 問卷設計	48
(二) 問卷修正	50
(三) 效度分析	50
(四) 預試問卷信度分析	51
第四節 問卷調查資料整理分析	57
(一) 描述性統計資料分析	57
(二) 信度分析	57
(三) 獨立樣本 T 檢定	58
(四) 單因子變異數分析	58
(五) 皮爾森積差相關分析	59
第肆章 問卷分析	60
第一節 問卷基本資料分析	60
(一) 樣本基本資料分析：	60
(二) 描述性統計資料分析：	62
第二節 信度分析	64
第三節 獨立樣本 T 檢定	65
第四節 單因子變異數分析	67
第五節 皮爾森積差相關分析	69
第六節 遭受灼燙傷及熱壓迫傷害案例分析	70
(一) 遭受灼燙傷案例分析	70

(二) 遭受熱壓迫傷害案例分析	71
第伍章 結論	73
第一節 研究發現	73
第二節 建議	75
參考文獻	76



圖目錄

圖 1.1 研究架構圖	4
圖 2.1 消防衣組之外層、防水層及隔熱層	14
圖 2.2 消防人員火場救災時面臨之溫度與輻射熱範圍	30
圖 2.3 九則計算法	37
圖 2.4 手掌示意圖	38
圖 2.5 熱衰竭與熱中暑的比較	43
圖 3.1 問卷架構圖	47
圖 4.1 Google 表單-問卷調查（遭受灼燙傷及熱壓迫傷害百分比）	70



表目錄

表 2.1 EN469 基本防護需求摘錄	11
表 2.2 EN469 測試標準與方式	12
表 2.3 NFPA1971 版本與啟用時間	13
表 2.4 「消防服驗證規範 FTTS-FP-108」要求及測試標準	17
表 2.5 EN469 與 NFPA1971 防火性能規範標準與測試方法比較表	19
表 2.6 EN469 與 NFPA1971 機械抗性規範標準與測試方法比較表	20
表 2.7 EN469 與 NFPA1971 其它配件規範標準與測試方法比較表	21
表 2.8 火災狀況與輻射熱等級	32
表 2.9 一般火災與其他危險狀況之熱通量值	33
表 2.10 灼燙傷深度分類	35
表 3.1 個人基本資料衡量問項	49
表 3.2 專業人士效度建構對象資料表	51
表 3.3 預試問卷信度分析	51
表 3.4 預試問卷-消防衣基本認知	52
表 3.5 預試問卷-熱防護性能與熱效應認知	53
表 3.6 預試問卷-建議消防衣需改進之方向	54
表 3.7 預試問卷-遭受灼燙傷經驗	55
表 3.8 預試問卷-遭受熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑經驗	56
表 3.9 內部一致性程度參照表	58
表 3.10 皮爾森係數相關性	59
表 4.1 消防人員基本資料分析	61
表 4.2 消防衣基本認知	62
表 4.3 熱防護性能與熱效應認知	63
表 4.4 建議消防衣需改進方項	64
表 4.5 信度分析	65
表 4.6 獨立樣本 T 檢定（性別）	65

表 4.7 獨立樣本 T 檢定（養成環境）	66
表 4.8 獨立樣本 T 檢定（工作位階）	67
表 4.9 單因子變異數分析（年齡）	67
表 4.10 單因子變異數分析（教育程度）	68
表 4.11 單因子變異數分析（火災搶救訓練）	68
表 4.12 皮爾森（Pearson）積差相關分析	69
表 4.13 灼燙傷案例狀況表	71
表 4.14 熱壓迫傷害案例狀況表	72



第壹章 緒論

第一節 研究動機與目的

救災是消防人員的使命與職責，消防衣的防護功能隨著科技的進步而有所提升，消防人員救災的知識與技能也在南投竹山訓練中心的成立後，訓練培育出更能判斷火場狀況及執行最佳搶救戰術的消防員，但近年來國內消防人員於救災時殉職人數卻比往年有上升的趨勢，2013 年迄今已有 25 名英勇的消防人員於救災時殉職，其中 2014 年 8 月 1 日高雄氣爆造成 6 名警消殉職¹，2015 年 1 月 20 日桃園新屋保齡球館惡火奪走 6 名消防弟兄生命²，以及 2018 年 4 月 28 日桃園敬鵬工業惡火，6 名消防弟兄殉職³，更是所有人心中的痛。

消防衣主要功能為提供消防人員於救災時防護，但此防護卻非保證消防人員救災時不會因此受傷或者危及生命安全，早期消防人員從事火災搶救勤務時，受限於消防衣、空氣呼吸器等裝備不足因素，因此只能在外部執行週界防護、侷限火勢等非積極性戰術，即使要入室進行人命救助、滅火搶救，也因防護性不足而無法深入火場執行，或者於火場搶救後期入室執行殘火處理任務，在此種環境下，也大幅降低殉職發生的可能性。

現如今的救災技能躍進以及消防衣的防護性能提升，讓消防員能更深入危險區域執行各項任務，相對的，也增加了受傷或殉職的機率。若無法在進入危險區域時做出正確判斷，以及瞭解自身防護裝備的防護功能極限，那麼對於消防人員執行災害搶救任務將會是一場災難。因此筆者想藉由探討消防衣熱防護性能，以期能提供消防人員於救災時多一份安全觀念。

¹ 〈地裂一瞬間！2014 年高雄氣爆釀 3 死，三分鐘回顧事件〉，《聯合新聞網》，<https://udn.com/news/story/12090/3136073>，瀏覽日期 2019.1.11。

² 〈桃園市新屋保齡球館火災〉，《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/桃園市新屋保齡球館火災>，瀏覽日期 2019.1.11。

³ 〈敬鵬工業平鎮廠火災〉，《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/敬鵬工業平鎮廠火災>，瀏覽日期 2019.1.11。

建築型態的改變，從原先的農舍、平房建築，到如今的高樓林立、連棟建築，以及工業區不斷增加，工廠四處可見，且不乏其中有存放危險物品的高風險場所，面對如此複雜多元的救災環境，在執行搶救任務時，勢必增添不少風險，因此消防人員必須要有完整的防護裝備，以及熟悉裝備防護性能及安全極限，才能讓自己安全有所保障。因此筆者想藉由探討消防衣熱防護性能，並以抽樣及問卷調查方式進行研究，以期能達成以下目的：

1.蒐集並整理分析國內外有關消防衣性能的理论基礎及相關規範，在理論基礎上，可作為國內消防衣檢討改進的依據，在滿足實際運用的情形下，提供建設性建議。

2.承第一點所言，藉由量化的性能指標及實際使用的狀態，評估研究雲林縣消防局現行所用歐規消防衣之熱防護性能，是否足以應付目前的救災型態，並分析探討其穿戴狀況對於個人安全上所造成之影響。

3.蒐集並整理分析火場的環境、火場中防護衣使用的狀況、火場中可能造成的危害，及經由問卷案例的分析、歸納，探討分析火場的傷害與消防衣之相關性。

4.抽樣及問卷調查評估雲林縣消防局同仁對現行所用之歐規消防衣基本認知、熱防護性能等相關意見及資料統計，探討現行消防衣之使用上的障礙及不便之處。

5.最後，整合第 2、3、4 點的研究成果，從三個面向出發，評估分析雲林縣消防局目前使用之歐規消防衣熱防護性能，是否有需改進之方向，達到本篇論文的最終目的，提升消防衣在火場中保護消防員的能力。

第二節 研究範圍與限制

(一) 研究範圍

本研究探討之消防衣，主要針對歐規消防衣進行研究，並輔以美規消防衣及產業用紡織品證明標章 FTTS-FP-108 之規範、檢驗基準做為比較；而消防衣防護性能中包含有熱防護性能、包覆性、操作靈活性以及消防人員比較重視的消防衣重量、穿戴後感覺悶熱情形，本研究僅針對熱防護性能之文獻多作探討；最後則針對火場

中消防人員因防護不足而比較容易造成的的傷害，如灼燙傷、熱壓迫傷害及其他傷害進行探討。

（二）研究限制

因受限於人力、時間之因素，本研究受以下之限制：

1.調查以雲林縣消防局第一大隊外勤同仁為主：雲林縣消防局組織架構分為內勤人員及外勤人員，因內勤人員不需執行救災任務，所以研究對象不納入內勤，而外勤共有三個大隊，其中以第一大隊火災勤務量最大，且火災類型多為一般火災搶救，較符合本研究之探討。

2.僅限於個人消防防護裝備中的一般火災搶救之防護性衣物，其他如化學防護衣、耐高溫消防衣、緊急救護防護衣等類型防護衣的標準及規範與消防衣相差甚遠，且使用頻率較低，故不在此做探討。

3.此研究亦不考慮消防帽、消防鞋、消防手套、消防頭套等個人消防防護裝備，因其他消防防護裝備另有其規範標準，若一併放入討論，其範圍會過於廣闊。

第三節 研究方法與研究架構圖

（一）研究方法

1.文件分析法

首先蒐集國內外有關消防衣之論文、書籍、報告、及相關期刊，瞭解消防衣規範，同時分析比較歐規 EN469 與美規 NFPA1971 消防衣之規範標準與測試方法，研究其理論、特性，加以歸納整理；第二大類針對消防衣熱防護性能 TPP 的發展及特性方面的文獻進行探討，瞭解其對消防人員的重要性，其數值提供給消防人員的相關資訊及意義；而熱效應部分的文獻則提供消防人員面對熱效應需注意何種生理變化以防止熱壓迫傷害產生；最後一大類則探討火場環境及火場可能造成之傷害，分析火場灼燙傷、熱壓迫傷害之種類，討論後續處理及傷害發生原因，並以此研擬預防方式，以求防止傷害再次發生。

2.問卷調查法

選定雲林縣消防局第一大隊所屬外勤同仁，針對目前所穿著之消防衣的基本認知、熱防護性能與熱效應的認知、建議消防衣需改進之方向，並調查同仁是否曾於救災、訓練及演習發生灼燙傷、熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑等傷害，發放問卷給予同仁填寫，待問卷回收後，過濾一致性過高及明顯亂填者之問卷，採用 IBM SPSS（Statistic Package for Social Science）22.0 版統計套裝軟體，對有效樣本登錄、編碼，進行統計及分析，分析項目包含有描述性統計資料分析、信度分析、獨立樣本 T 檢定、單因子變異數分析、皮爾森積差相關分析，針對分析結果及數據，探討其原因，瞭解消防人員對於消防衣使用之現況，以作為日後建議改進之方向。

3.案例分析法

針對雲林縣消防局第一大隊所屬外勤同仁於救災、訓練或演習時曾發生之灼燙傷或熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑等熱壓迫傷害之案例，分析其受傷程度、穿著的消防防護裝備、當時執行任務、遭遇到的危害因素等條件，探討其發生原因，分析歐規消防衣熱防護性能、包覆性、操作靈活性等性能是否足夠應付災害之搶救，以及是否有需改善之方向，以求能降低消防人員傷亡案件之機率。

（二）研究架構圖

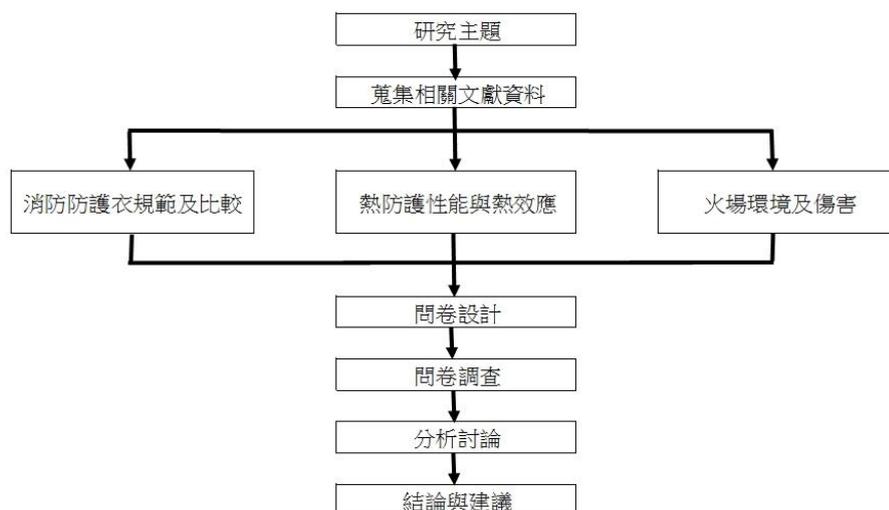


圖 1.1 研究架構圖

第四節 名詞解釋

1. 個人消防防護裝備 PPE

PPE 係指消防人員於火場作業時，所穿著的個人消防防護裝備，包含有消防衣、消防帽、消防鞋、消防手套、消防頭套、空氣呼吸器、個人警示裝備等（Personal Protective Equipment，簡稱 PPE）。

2. 消防防護衣

指消防人員於救災時或值勤時所穿著之防護性衣物，如消防衣、工作服及救助服等，包括上衣、褲子或連身服，主要是保護消防人員的軀幹、手臂、腿等部位免於遭受熱及火焰等之影響，但不包括頭、手掌、腳的部位⁴。本研究之消防衣係指消防上衣及消防褲。

3. 耐燃纖維

傳統消防衣等具有熱防護性衣物的材質，係以耐高溫及不燃性的石棉製成，石棉雖然具有防火功效，但是因為會對人體產生相當大之危害，因此已漸漸由其他纖維品來取代目前用於防護衣物的防火纖維。目前主要使用之耐高溫纖維有 Nomex、PBI、Kevlar、Kermel 以及 PAN 系的氧化纖維，同時也有許多耐高溫、阻燃整理加工技術應用在棉及各種纖維混紡的織物上，以增加防護性衣物耐高溫的有效性⁵；近年來偏向以 PTFE 薄膜黏合來增加消防衣透氣散熱功能，達到減輕熱對人體產生的熱效應，或則通過聚酯的固有阻燃織物等阻燃化學品的處理大幅提高其耐火性。

在消防衣防水層之內是一層阻燃物所構成的隔熱層，可以增加空氣滯留在消防衣的空間並具有熱絕緣效果，大部分是以 Nomex 或是高膨鬆紗所製成之織物⁶。用於製造纖維與塑膠工業的高份子極為相似。較大的表面積要具有難燃效果是不太可能的，因此有機纖維幾乎是不可能達到完全不燃燒的。因此只能以減少燃燒為目標，

⁴ NFPA-1971, *Standard on Protective Ensemble for Structural Fire Fighting: 1997 ed.* (Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1997).

⁵ 〈財團法人中國紡織工業研究中心〉，《防護性紡織品產業專題調查報告》（台北市：經濟部產業技術資訊服務推廣計畫，1994年6月），頁10。

⁶ 同上註，頁11。

熱防護性能調查與分析之研究用「自熄」、「難燃」等術語來描述消防衣的防火性能，要比使用「不燃」更為恰當⁷。

纖維耐燃性除了要考慮纖維本身特性外，也要一併考慮纖維周圍環境。除了使纖維具有某些特性及方便加工，各種具備抗靜電性、柔軟度等助劑，增加白度的漂白劑、改變顏色的染色劑，使纖維集束的漿料，以及其他防皺劑、防污劑、抗水劑等等物質經常加在纖維表面，這些都可能影響到纖維的燃燒速度或難易度；在使用時，被吸收的殘留污物也會影響到耐燃的效果⁸。

4.限氧指數

限氧指數（Limiting Oxygen Index, LOI）是目前用來評估纖維抗燃程度的指標。LOI 值表示該原料在燃燒筒中持續燃燒所需的最低氧濃度的%值，而指數越高的纖維在燃燒時需要高濃度的氧，也就是說 LOI 值愈高，纖維較不易燃燒。該指標測量方式，係將被測物質置於一火焰室中，利用環境中氧氣與氮氣兩者比值，量測出能引發物質燃燒之最低氧氣含量百分比⁹。

氧氣在大氣中的含量約佔 21%，所以物質的抗燃程度定義為：纖維 LOI 指標大於 21 可稱為「抗燃物」，其餘的歸類為「易燃物」或是「可燃物」¹⁰。

5.熱傳導及熱傳導係數

經由聲振子（phonon）的振盪或自由電子傳遞的方式使熱能交換稱為熱傳導，讓熱量從高溫地方傳導到低溫的地方，其傳導的介質可以是氣體、液體或固體。熱傳導模式由法國科學家傅利葉（J. B. Fourier）所提出，說明在穩定狀態下，熱傳導量與垂直於熱傳方向切面的面積以及物體的溫度差成正比，而與熱傳送的距離成反比。熱傳導係數之物理意義與電學上之導電度相似，高熱傳導係數之物質稱熱的良導體，反之稱熱的絕緣體。所以在消防衣的材質上來說，熱傳導係數越小越好。熱傳導係數係為消防衣材料最重要的性能指標之一¹¹。

⁷ 唐湘英、唐靜雯，〈人造纖維的難燃性質〉，收錄於：許永綏，《天然纖維與特殊合成纖維》（台北市：財團法人徐氏基金會，1992年），頁 101-102。

⁸ 同上註，頁 102。

⁹ M. Raheel, "Protective Clothing: An Overview," in H. A. M. Daanen and P. A. Reffeltrath (eds.), *Protective clothing Systems and Materials* (New York, N.Y.: Marcel Dekker, Inc., 1994), pp. 11-12.

¹⁰ 施陽平，〈阻燃織物之發展與應用〉，《紡織中心期刊》，第3卷第5期，1993年，頁 59-60。

¹¹ 劉貞秀，《熱傳導係數量測之研究》（台南市：成功大學工程科學系碩士論文，2008年）。

兩種物體表面直接接觸，而導致熱的轉移稱為傳導熱，濕的消防衣是或是乾的消防衣內外層受到壓縮而緊密貼合身體，也會增加提供熱傳導的效率。假設消防人員爬行於熱的地板上，膝蓋可能會因為消防衣受到壓縮而增加熱傳導的效率，導致起水泡等灼燙傷現象發生¹²。

6.熱轉移指標或對流熱熱傳指數 HTI₂₄ 和 HTI₁₂

熱對流通常發生在流體內或流體與容器之間有溫度差時，因為溫度的差異將熱量由流動之流體傳播到各處。熱轉移指標（heat transfer index）係指藉由使用卡計銅盤重量為（18.00±0.05）g 與起始溫度為（25±5）℃的方法進行試驗，溫度分別達到上升（24.0±0.2）℃與（12.0±0.1）℃的時間，以秒為單位。（HTI₂₄-HTI₁₂）代表消防人員在初次發現到溫度升高瞬間，一直到皮膚造成灼燙傷所需要的時間¹³。

7.輻射熱熱傳時間 t₂₄ 和 t₁₂

熱輻射是指物體用電磁輻射將熱能向外散發的熱傳方式，藉由使用卡計銅板重量為（35.9~36.0）g 的方法進行試驗，溫度分別達到上升（24.0±0.2）℃和（12.0±0.1）℃的時間，以秒為單位。當 40kW/m² 之熱能量穿透樣布到達另一面的時間，便可取得 t₂₄ 和 t₁₂ 兩個數值，熱流通密度升高，t₂₄ 和 t₁₂ 的值也會跟著產生變化¹⁴。

8.熱防護性能 TPP

測試方式是對流熱與輻射熱各半，總共 84kW/m² 的熱通量通過消防衣，穿戴消防衣的人員至少在 X 秒的時間內不會遭受到 2 級的灼燙傷，X 就是 TPP 的一半，NFPA1971 要求消防衣至少要達到 35，也就是要保護消防人員 17.5 秒不會遭受到 2 級灼燙傷¹⁵。

9.總熱逸散率 THL

THL（total heat loss）係指消防衣容許散熱的程度，消防人員火災搶救過程中，經常會因中度以上工作，導致體溫上升而造成體能下降，嚴重的還會發生熱痙攣

¹² 呂學治，《外勤消防人員消防衣之探討-以臺南市政府消防局為例》（台南市：嘉南藥理大學職業安全衛生所碩士論文，2014年），頁9。

¹³ 周國村，〈高溫防護服飾性能與舒適性評估〉，《絲織園地》，第40期，2002年，頁74-79。

¹⁴ 同上註，頁74-79。

¹⁵ 周國祥，《消防防護衣熱防護性能調查與分析之研究》（桃園市：中央警察大學消防科學研究所碩士論文，2000年），頁58。

（抽筋）、熱衰竭、熱中暑，所以消防衣的散熱量對消防人員來說非常重要。

NFPA1971 規定外套和褲子的最低 THL 為 $205 \text{ (W/m}^2\text{)}$ ，並保留在 2013 年修訂版中¹⁶。

10.熱壓迫傷害

消防員穿著全套個人防護裝備執行耗費體力的任務時，熱濕的環境之下，或是像火場這種熱環境下，執行激烈的搶救任務，可能造成的熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑等熱壓迫現象，均稱之為「熱壓迫傷害」。



¹⁶ GOBLE Inc.，「總熱逸散率（THL）介紹」，<https://globe.msasafety.com/thl>，瀏覽日期 2019.2.10。

第貳章 文獻回顧

第一節 消防衣規範

(一) 三層結構

消防人員所穿著的消防衣為了因應任務與服裝需求，是由三層不同功能組合而成，包括有外層、防水層與隔熱層¹⁷。

1.外層：

外層的功能主要是提供消防人員安全的防護，可以隔絕火場環境可能對人體所造成的傷害。外層必須抗火焰、耐高溫及抗靜電，主要是為了要提供有效隔絕外在環境的能力，且能保護防水層與隔熱層免受化學損害。除此之外，還需具備抗拉扯、耐摩擦、撥水與撥油污等性質，才足以因應消防人員執行任務的需求。

2.防水層：

防水層的功能主要是避免水分從外在環境滲入，讓消防人員保持身體的乾燥，在救災上才能多一層保障。防水層可能是分離或是貼在隔熱層上，若是把防水層與隔熱層分開可以獲得更好的耐久性及防護性。防水層的製作大多是使用防水衣料或是直接將布料作防水處理，且在消防衣的縫合處另外加上止水條，方能達到全面性的最佳防水功能。

防水層除了可以防止水分進入消防衣內層之外，也可能會具有減低耐熱的效果或是增加熱量蓄積在消防衣的內部，如果蓄積溫度夠高，有可能會導致灼燙傷。消防人員所穿的消防衣，大部分在外層與隔熱層之間都會有防水層之設計。

3.隔熱層：

¹⁷ W. B. Teele, and N. S. Foley, "Fire Service Protective Clothing and Protective Equipment," in: E. Cote, (ed.), *Fire Protection Handbook: 18th ed* (Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1990) pp.215-238.

隔熱層的功能主要是將身體與防水層隔開，有效隔絕空氣中的熱傳導，除了具備有防寒的功效；即使身處在炎熱的天氣或火場環境裡，隔熱層也為消防人員提供適當的隔熱防護，因此隔熱層是不可以允許破壞或拆除的。

（二）歐規消防衣 EN469 規範

EN469 係指一般通用材質的最低防護性能和測試防護性能的方法，包含一般服裝設計，但使用在高危險場所的特殊服裝不包含在內；EN469 也不包含頭、手、腳部位的防護；或則是對抗化學、輻射、瀘過性病毒和電擊危險等其它危險性防護，這些可能建立在其它規範標準上¹⁸。

EN469 對於消防衣的規定有下列幾點：

1.外觀型式：

相較於美規消防衣受到比較多尺寸上規定的限制，歐規消防衣較為輕巧、方便，比較適用於東方人體型。

2.反光警示：

歐規消防衣採用較多反光條，反光警示效果明顯，由於歐規標準在尺寸上的規定較少，因此較能設計更多人性化的需求在消防衣上。

3.標示：

（1）防熱傳導（火焰與輻射）：Xf1、Xf2 與 Xr1、Xr2。

（2）水壓防水性標示：Y1、Y2。

（3）透濕阻抗性標示：Z1、Z2。

¹⁸ 周國村，同前註，頁 74-79。

表 2.1 EN469 基本防護需求摘錄

特性	測試方法	EN469要求及測試標準
6.1耐火性 Flame spread (外層布料)	EN ISO 15025:2002 程序 A	EN533指數3、火燄不蔓延至邊緣、不形成穿孔、無燃燼或熔融殘骸、平均續燒時間 ≤ 2 秒、無餘燼
6.1耐火性 Flame spread (內裡布料)	EN ISO 15025:2002 程序 A	EN533指數3、火燄不蔓延至邊緣、不形成穿孔、無燃燼或熔融殘骸、平均續燒時間 ≤ 2 秒、無餘燼
6.1耐火性 Flame spread (外層接縫)	EN ISO 15025:2002 程序 A	EN533指數3、火燄不蔓延至邊緣、不形成穿孔、無燃燼或熔融殘骸、平均續燒時間 ≤ 2 秒、無餘燼
6.2熱傳導-火燄Heat transfer- Flame	EN 367 : 1992	Level 1 HTI24 ≥ 9.0 HTI24-12 ≥ 3.0 Level 2 HTI24 ≥ 13.0 HTI24-12 ≥ 4.0
6.3熱傳導-輻射Heat transfer- Radiation	EN ISO 6942:2002 在40kW/m2的條件下使用方法 B 熱流40kW/m2	Level 1 RHTI24 ≥ 10.0 RHTI24-12 ≥ 3.0 Level 2 RHTI24 ≥ 18.0 RHTI24-12 ≥ 4.0
6.4殘餘強度 Residual strength of material when exposed to heat	EN ISO 6942:2002 方法B 熱流10kW/m2	拉伸強度、(EN ISO 13934-1)、外層布料 ≥ 450 N、(所有樣品)
6.5耐熱性 Heat resistance	ISO 17943:2000 以攝氏180度為環境條件	布料不燃燒或熔融收縮率 $\leq 5\%$
6.6拉伸強度 Tensile strength (外層布料)	EN ISO13934-1:1999	≥ 450 N
6.6拉伸強度 Tensile strength (外層縫合處)	EN ISO13935-2:1999	≥ 225 N
6.7撕裂強度 Tear strength (外層布料)	EN ISO13937-2:2000	≥ 25 N
6.8撥水性 Surface wetting	EN 24920:1992	撥水等級 ≥ 4 (取最低值)
6.9尺寸變化 Dimensional change	ISO 5077 : 2007	Max $\pm 3\%$ (-+收縮)
6.10抗化學液體滲透性 Resistance to penetration by liquid chemicals	ISO 6530 : 2005 (40%氫氧化 鈉、36%氯化氫、30%硫酸 氫、100%石油溶劑油)	不滲透至內裡
6.11耐水壓、防水能力 Resistance to water penetration (防水層)(保濕隔離層) (接縫樣本)	En 20811:1992 (1996)	表面撥除率 $> 80\%$
6.12透濕性 Water vapour resistance	EN 31092 : 1993	等級1 > 30 m2.Pa/W 等級2 ≤ 30 m2.Pa/W

資料來源：呂學治，《外勤消防人員消防衣之探討-以臺南市政府消防局為例》(台南市：嘉南藥理大學職業安全衛生所碩士論文，2014年)，頁 21-23。

EN469 將消防衣穿在假人身上，設定對流熱與輻射熱各半，總計熱通量 84KW/m^2 的條件下，持續燃燒 8 秒鐘，計算假人遭受二度與三度灼燙傷的面積，及總灼燙傷面積。

表 2.2 EN469 測試標準與方式

環境條件	暴露時間	溫度	熱通量
一般	8 小時	40°C	1 仟瓦/平方公尺
危害	5 分鐘	250°C	1.75 仟瓦/平方公尺
緊急	10 秒	800°C	40 仟瓦/平方公尺

資料來源：EN-469, *Protective clothing for firefighters-Requirements and test methods for protective clothing for firefighting.*

較為知名的「燃燒假人」在世界上共有 3 類，分別是北卡州立大學的 Pyro-Man、杜邦公司的 Thermo-Man 假人及加拿大阿爾伯特大學的「燃燒假人」測試裝置。這些測試裝置在模擬外界明火燃燒環境都能很理想，很貼合實際環境¹⁹。

（三）美規消防衣 NFPA1971 規範

在 1973 年，「消防隊員防護裝備分區委員會」擬訂出一個暫時性的標準，NFPA19A-T，「消防隊員防護服裝暫時標準」；「分區委員會」與「美國標準局消防服務技術計畫」合作，逐漸發展出 NFPA1971「建築式火災防護服裝標準」，並於 1975 年 11 月 18 日，經過賓州匹茲堡秋季會議通過而成為一個可依循的標準。然

¹⁹ 胡淑蓉、李俊，〈防護服性能測評進展〉，《紡織學報》第 32 卷第 5 期（上海市：東華大學功能防護服裝研究中心，2011 年），頁 148-154。

後「分區委員會」就從「消防隊裝備委員會」分出來，演變成完整的「技術委員會」²⁰。相關 NFPA1971 版本與啟用時間如表 2.3 所示：

表 2.3 NFPA1971 版本與啟用時間

版本	標準	啟用時間（年）
第一版	NFPA1971：1975年版	1975
第二版	NFPA1971：1981年版	1981
第三版	NFPA1971：1986年版	1986
第四版	NFPA1971：1991年版	1991
第五版	NFPA1971：1997年版	1997
第六版	NFPA1971：2000年版	2000
第七版	NFPA1971：2007年版	2007
第八版	NFPA1971：2012年版	2012

資料來源：呂學治，《外勤消防人員消防衣之探討-以臺南市政府消防局為例》（台南市：嘉南藥理大學職業安全衛生所碩士論文，2014年），頁 22-24。

NFPA1971 之內容概述如下²¹：

1.火焰溫度可到達 1093.3°C 以上，接觸時間及溫度皆會影響到身體遭受灼燙傷的狀況。消防人員面臨閃燃、爆燃或是具有高溫火焰的環境時，就算是穿著符合 NFPA1971 規範的消防衣都有機會造成嚴重灼燙傷的危害，另外皮膚溫度達 47.8°C 時即有可能造成一度灼燙傷發生，皮膚溫度達 55°C 時即有可能造成二度灼燙傷，皮膚溫度達 66.7°C 時即有可能造成三度灼燙傷。

2.消防衣不包含化學性、放射性、生物性的恐怖攻擊製劑之防護，如果持續暴露在高溫環境，將有可能導致熱衰竭、中暑或影響判斷力。現場若是感覺到頭暈、視力模糊或呼吸急促時，必須趕快移往安全區域，脫除消防衣並尋求接受醫療處置。

²⁰ 呂學治，同前註，頁 22-24。

²¹ 同上註，頁 25-29。

3.消防衣濕掉或是壓縮消防衣都會降低其防護效果，必須確認所有的防護層均確實組合，且保持應有的寬鬆度，過於緊縮的消防衣會降低隔熱效果以及行動力減緩。

4.NFPA1971 規格之建築物消防防護衣（以下均簡稱為美規消防衣），主要設計在建築物消防搶救作業時提供有限度的防護效能。這套美規消防衣在 NFPA1971 標準的要求之下，被設計於在建築物內消防搶救作業，或為民服務、車禍救助的非火警相關之救援工作、緊急救護、受困者脫困等預防可能出現的危害，對腿、軀幹，及手臂提供有限度的保護。

5.使用前應檢視「安全檢核表」，確認消防衣尺寸是否適合，並知悉消防衣的目的與使用限制。

6.美規消防衣分為三部份來協助消防人員防護熱與火燄。先利用各隔熱層之間形成的空氣層來提供相當程度的隔熱效能。空氣是最佳的熱絕緣體，熱在空氣中的傳導比任何固體、水都還要慢。再來，隔熱層是由特殊防焰防熱材質所編織，這些材質若是暴露於火焰之中不會熔融或燃燒，而只會碳化，可減輕因為防護材質燃燒所引起皮膚的進一步傷害。最後，布料的厚度也提供了熱和火焰某種程度上的絕緣性。



圖 2.1 消防衣組之外層、防水層及隔熱層

資料來源：呂學治，《外勤消防人員消防衣之探討-以臺南市政府消防局為例》，台南市：嘉南藥理大學職業安全衛生所碩士論文，2014年，頁26。

7.領子：外套的領子可利用掛勾和套環固定掛著。

8.補強防護塊：提供美規消防衣對熱、火焰、切割和磨損等更多的保護。

9.襯裡檢查系統：美規消防衣的內襯層有一開口設計，可以利用肉眼從該處觀察到隔熱層、防水層的狀況。大部分的消防上衣開口設計在領子內側下緣處。消防褲則是位於靠近腰部中央右側附近的位置。

10.美規消防衣資訊吊牌：位於外套的內側以及內襯層，寫有美規消防衣的型號、材質、尺寸、製造日期、條碼及序號等相關資訊。可利用條碼及序號幫助追蹤消防衣之清洗及維修記錄，並可在清潔後確認相對應的消防衣。外套及內襯層上的吊牌序號差別在最後一碼：外套是 1，而內襯層是 2。

11.高度摩擦的位置需要特別注意，像是肩膀、背部、腰部、臀部、膝蓋、交叉縫合處。可能的磨損很容易在外層與隔熱層的上述這些部位發現，也應檢查防水層所相對應的部位。

12.以手電筒進行測試評估反光功能。方法是站在約 12 公尺遠處，將手電筒置於眼睛高度，將光束對著美規消防衣的飾帶。與新的飾條做比較。如果反光的情形較新飾條差很多，則應儘速送修。

13.褲頭拉繩可用來調整拉緊使褲頭更符合腰寬。吊帶拉上肩膀可用來調整長度，使褲襠的深度適合。如果褲子穿太低的話會限制行動力，縫線以及內襯層同時很快就會磨損。消防褲適當的合身以及正確的著裝，褲腳應該離地距離 5~12 公分之內。

14.消防鞋如果是可調式的，記得拉上拉鍊或綁上鞋帶，著裝後一定要請夥伴幫忙確認消防上衣背後的衣擺沒有因為 SCBA（Self-contained breathing apparatus，自給式空氣呼吸器）而向上撩起。消防上衣的衣擺與消防褲若沒有達必要的重疊，會使背部下半段暴露在熱及火焰之危險。

15.身高達 173 公分以上的消防人員必須穿著背長 81 公分或更大的尺寸，計算從領口下方到上衣下擺的長度。消防上衣下擺若未有足夠的覆蓋，會使背部下半段暴露在熱及火焰之危險，可能會造成嚴重的傷勢。

16.身高達 173 公分以上的消防人員，要特別注意上半身較長的人員，將雙手同時舉高過頭部，盡力往上舉，要確認消防上衣有必要的覆蓋。消防上衣內襯層必須蓋過褲頭至少 5 公分，站立時將雙手舉高交叉過頭部，往左往右及往後彎 90 度，消防上衣的內襯層必需蓋過褲頭至少 5 公分，消防褲褲管的下緣必須蓋過鞋子的頂部至少 10-15 公分。手套和袖口必須重疊至少 7.5 公分，同時不能有缺口，避免手腕部

位的暴露，所有的消防衣均需要和軀幹、手臂以及大腿保持有適當的寬鬆度，才能確保有足夠的隔熱空氣的空間。

17.如果消防衣在肩膀處有皺褶，或是肩膀、手臂、大腿或任何分叉處有緊縮的感覺，表示尺寸可能太小。美規消防衣也不能太寬鬆，可能會影響行動力或靈活度，及在不適合的地方產生壓力。領取到新的美規消防衣，需先確認在手臂及肩膀區域有足夠寬鬆度，再利用爬梯、慢步或行走測試行動力、靈活度。消防上衣所標示的胸圍尺寸，絕對要比實際的胸圍更大（量測於手臂下方）。消防上衣一般是加 20-25 公分，以利使用者穿著。例如 112 公分的上衣雖然標示為 112 公分，實際上為 132-137 公分，視消防上衣的款式而異。

18.手自然下垂時，其消防上衣袖口應蓋過手腕。消防褲：在肚臍高度量測的實際腰圍絕對要大於消防褲所標示的腰圍。實際腰圍會比標示的大將近 5-8 公分。也必須確認褲腳蓋過鞋子至少 10-15 公分。

（四）產業用紡織品證明標章 FTTS-FP-108 規範

紡織產業綜合研究所（Taiwan Textile Research Institute）溯始於民國 1959 年 12 月的「台灣紡織品試驗中心」，早期以執行我國紡織品之外銷檢驗及維護產品品質為主；民國 1971 年 6 月起更名為「中國紡織工業研究中心」，期間配合紡織產業的快速發展需求，任務由紡織相關廠商品管、分等、追查轉型為科技研發。民國 2004 年 9 月起為開創研發及服務業務營運的多元化及擴大國際化的腳步，更名為「紡織產業綜合研究所」²²。

規範編號 FTTS-FP-108 參考歐盟個人防護裝備（PPE）指令 Directive（89/686/EEC），並參考 ISO/IEC Guide 67:2004 符合性評鑑產品驗證系統之基礎，產品驗證系統類型種類如下表所示，財團法人紡織產業綜合研究所目前產品驗證系統採用型式試驗，主要參考歐規 EN469 之試驗方式及標準²³；其規範適用於一般建築物消防用消防服的最低要求與試驗法，不適用進入火場類的高危險狀況或高溫長時間作業；消防衣對消防員的上下軀幹、頸部、手臂和腿部提供對熱源或火焰等危

²² 財團法人紡織產業綜合研究所，<https://www.ttri.org.tw/content/about/about01.aspx>，瀏覽日期 2019.2.25。

²³ 呂學治，同前註，頁 29。

害的防護，但不包括對頭、手、腳的保護以及對化學、生物、輻射和電等危害的防護，亦不包括設計要求的評估及整套衣服的典型環境測試。

表 2.4 「消防服驗證規範 FTTS-FP-108」要求及測試標準

特性	FTTS-FP-108要求及測試標準
3.1限制火焰蔓延性	不應有燃燒至試樣上端或左右兩邊的情形。 不應有破洞形成。 不應有燃燒或溶化的掉落碎片 (debris)。 平均餘焰時間 ≤ 2 秒。 平均餘燼時間 ≤ 2 秒。
3.2對流熱防護性	經過預處理的樣品應符合平均： $HTI_{24} \geq 13.0$ $HTI_{24-12} \geq 4.0$
3.3輻射熱防護性	經過預處理的樣品應符合平均： $t_{24} \geq 22\text{sec}$ $t_{24-12} \geq 6.0\text{sec}$
3.4輻射熱處理後殘餘斷裂強度	拉伸強度、(EN ISO 13934-1)、外層布料 $\geq 450\text{N}$ 、(所有樣品)
3.5耐熱性	不應有熔化、掉落、燃燒等現象，熔融收縮率 $\leq 5\%$
3.6斷裂強度	外層材料需符合縱、橫向的斷裂強度 $\geq 450\text{N}$
3.7撕裂強度	外層材料需符合縱、橫向的撕裂強度 $\geq 25\text{N}$
3.8撥水法防水性	外層材料應符合撥水等級 ≥ 4
3.9尺寸變化	符合縱向、橫向尺寸變化 $\leq \pm 3\%$
3.10液態化學物質穿透性	表面撥除率 $> 80\%$ ，且不會穿透至最內層表面
3.11靜水壓防水性	等級A $\geq 20\text{kPa}$ 等級B $< 20\text{kPa}$
3.12濕阻抗	等級A $\leq 30\text{m}^2 \cdot \text{Pa/W}$ 等級B $> 30\text{m}^2 \cdot \text{Pa/W}$ ， $\leq 45\text{m}^2 \cdot \text{Pa/W}$

資料來源：驗證規範擬定小組，〈FTTS-FP-108 消防服驗證規範 Specified Requirements of Protective Clothing for Firefighting.〉，機能性暨產業用紡織品認證與驗證評議委員會，<http://www.tnet.org.tw/Article/Detail/18126>，瀏覽日期 2019.3.11。

為使消防服達到實際之效果，FTTS-FP-108 還規範其設計應考量下列事項²⁴：

²⁴驗證規範擬定小組，〈FTTS-FP-108 消防服驗證規範 Specified Requirements of Protective Clothing for Firefighting.〉，機能性暨產業用紡織品認證與驗證評議委員會，<http://www.tnet.org.tw/Article/Detail/18126>，瀏覽日期 2019.3.11。

1.消防服應該消防員的上下軀幹、頸部、手臂和腿部提供保護，但頭、手、腳除外。款式應為單件式、兩截式（夾克和褲子組成，重疊部分最少 30CM）或多層次穿著的衣服。

2.設計應減少對動作的限制，且應與所使用的其他 PPE 合適（如鞋靴、頭盔、手套及呼吸具等）

3.當利用多層衣服組合來達到指定的防護等級時，各層應永久固定或清楚標示說明必須組合使用。

4.接縫應減少對強力和防護性的降低作用，以維持衣服的完整性。

5.穿過外層材料的金屬材質不應暴露到最內層的表面。

6.密合系統應符合衣服的性能要求。使用者要求提供有反光元件的衣服時，反光元件不應影響衣服的性能。

7.袖口設計應能保護手腕且預防燃燒掉落碎片的進入。不應妨礙衣服的穿著，且應與穿戴的手套合適。

8.衣服應保護穿著者的頸部。

9.達到需求的性能等級下得盡量輕量化。

10.衣服設計應增進易清潔性。

11.任何標籤或裝飾不應對衣服性能有不利影響。

（五）EN469、NFPA1971 規範標準與測試方法比較

「消防服驗證規範 FTTS-FP-108 基本防護需求」的內容大多採用歐規 EN469 試驗方法、項目、規範及標準，且我國消防機關採購基準也多以歐規 EN469 與美規 NFPA1971 為主；所以整理歐規 EN469 與美規 NFPA1971 消防衣規範標準與測試方法，並分為防火性能、機械抗性及其它配件作為比較²⁵：

²⁵ 呂學治，同前註，頁 32。

表 2.5 EN469 與 NFPA1971 防火性能規範標準與測試方法比較表

要求項目	歐規EN469	美規NFPA1971
耐焰性	依據EN532，消防衣各層、護腕在水洗五次之後，由布料表面（布料垂直擺放）進行測試，必須：未穿洞、熔解餘燃時間 $\leq 2\text{sec}$ 餘燼時間 $\leq 2\text{sec}$	依據ASTM Method 5903.1消防衣各層分層及頭套、護腕，在水洗五次之後，由布料角落測試（垂直燃燒試驗），必須：未熔解、滴融餘焰時間 $\leq 2\text{sec}$ 炭化長度 $\leq 102\text{mm}$
熱傳（對流熱）	依據 EN367，消防衣之衣料組合，在五次水洗之後，其對流熱之抵禦性能： $\text{HTI}_{24} \geq 13$ $\text{HTI}_{24} - \text{HTI}_{12} \geq 4$	將一塊6英吋平方之消防衣完整布料或頭套、護腕，置於總熱量（對流熱及輻射熱）為 $2\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ 之火源上（樣品測試前必須先水洗五次），記錄到達二級灼傷所需時間。消防衣部分 ≥ 17.5 秒護腕及頭套 ≥ 10 秒（TPP值是將 $2\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$ 的數值乘以時間，即消防衣部分TPP值 ≥ 35 ）
熱傳（輻射熱）	依據EN366Method B，在熱通量 $40\text{kW}/\text{m}^2$ 進行測試，消防衣各層組合在五次水洗之後，必須： $t_2 \geq 2\text{sec}$ ； $t_2 - t_1 \geq 6\text{sec}$ 主要熱導常數 $\leq 60\%$	同上
輻射熱後，殘存拉力強度	依據ISO-5081，在暴露於EN366 Method A（熱通量為 $10\text{kW}/\text{m}^2$ ），消防衣外層之拉力強度必須： $\geq 450\text{N}$	未規定
耐熱性	依據EN469 Annex A，消防衣所有組合之部分，暴露於 180°C 五分鐘，必須：未發生熔解、滴融或是起火	依據NFPA1971，消防衣所有組合之部分，在水洗五次之後，暴露於 260°C （ 500°F ）五分鐘，必須：未發生熔解、滴融或是起火
熱收縮	依據EN469 Annex A，消防衣所有組合之部分，暴露於 180°C 五分鐘，必須：收縮率 $\leq 5\%$	依據NFPA1971，消防衣所有組合之部分，在水洗五次之後，暴露於 260°C （ 500°F ）五分鐘，必須：收縮率 $\leq 10\%$

資料來源：周國祥，《消防防護衣熱防護性能調查與分析之研究》（桃園市：中央警察大學消防科學研究所碩士論文，2000年），頁52-56；呂學治，《外勤消防人員消防衣之探討-以臺南市政府消防局為例》（台南市：嘉南藥理大學職業安全衛生所碩士論文，2014年），頁32-38。

表 2.6 EN469 與 NFPA1971 機械抗性規範標準與測試方法比較表

要求項目	歐規EN469	美規NFPA1971
耐炭化性	未規定	依據NFPA1971，消防衣所有組合之部分，在水洗五次之後，暴露於260°C（500°F）五分鐘，必須：未發生炭化
拉力強度	依據ISO-5081，消防衣外層之拉力強度必須： $\geq 450\text{N}$	依據ASTM-D5034，外層及衣領之內襯，破裂強度不得低於140lb（63.6kg）
撕裂強度	依據ISO-4674 Method A2，消防衣外層之撕裂強度必須： $\geq 25\text{N}$	依據NFPA1971，外層之撕裂強度需 $\geq 10\text{kg}$ 防水層、隔熱層之撕裂強度需 $\geq 2.27\text{kg}$
表面撥水性（吸水率）	依據EN24920，消防衣外層之撥水率必須： ≥ 4	依據FTMS-191A Method 5504，消防衣外層於水洗五次後其吸水率必須： $\leq 30\%$
水洗收縮性	依據ISO-5077，消防衣外層於水洗五次之收縮率必須： $\leq 3\%$	依據NFPA1971，消防衣所有各層組合及頭套、護腕，於水洗五次後，必須：收縮率需 $\leq 5\%$
防液態化學藥劑滲透	依據EN368，使用： （1）40% NaOH 20°C （2）36% HCl 20°C （3）30% H ₂ SO ₄ 20°C （4）酒精（white spirit）消防衣各層組合，流失率（run off）必須 $\geq 80\%$ ，且不得滲透至最內層	未規定
防水性	依據EN20811測試消防衣各層組合之防水性能（選擇性要求）	高水壓測試：依據FTMS-191A Method 5512，防水層以25psi進行1小時測試，必須未滲漏 低水壓測試：依據FTMS-191A Method 5516，防水層縫合部分以1psi進行測試，必須未滲漏
透氣性	依據EN31092測試消防衣各層組合之透氣性能（選擇性要求）	依據ISO-11902，測試消防衣各層組合之透氣性能（選擇性要求）

資料來源：周國祥，《消防防護衣熱防護性能調查與分析之研究》（桃園市：中央警察大學消防科學研究所碩士論文，2000年），頁 52-56；呂學治，《外勤消防人員消防衣之探討-以臺南市政府消防局為例》（台南市：嘉南藥理大學職業安全衛生所碩士論文，2014年），頁 32-38。

表 2.7 EN469 與 NFPA1971 其它配件規範標準與測試方法比較表

要求項目	歐規EN469	美規NFPA1971
縫合強度	未規定	依據NFPA1971，消防衣縫合部分： 主要縫合部分A（外層） $\geq 675\text{N}$ ， 主要縫合部分B（防水層及隔熱層） $\geq 337\text{N}$ ， 次要縫合部分 $\geq 180\text{N}$
縫線耐熱性	未規定	依據FTMS-191 A Method 1534，消防衣及頭套、護腕之縫線，測試後必須未起火、未炭化或溶解
反光條性能	未規定	依據ASTM-809，消防衣表面之反光條反光強度必須： $\geq 100\text{cd/lux/m}^2$
配件耐腐蝕性	未規定	依據 ASTM-B117，消防衣上所有配件由5%食鹽溶液浸泡二十小時：金屬未腐蝕及氧化
配件耐熱性	未規定	依據NFPA1971，消防衣上之配件（如扣環、背章、反光條等），以 260°C 五分鐘，必須：未引燃及必須維持原來之功能
整體測試	依據EN469，由三個模擬環境中選擇一項進行測試，並由目視檢查：（選擇性測試） 1.正常：8小時、 40°C 、 1kW/m^2 2.危險：5分鐘、 250°C 、 1.75kW/m^2 3.緊急：10秒、 800°C 、 40kW/m^2	未規定

資料來源：周國祥，《消防防護衣熱防護性能調查與分析之研究》（桃園市：中央警察大學消防科學研究所碩士論文，2000年），頁 52-56；呂學治，《外勤消防人員消防衣之探討-以臺南市政府消防局為例》（台南市：嘉南藥理大學職業安全衛生所碩士論文，2014年），頁 32-38。

第二節 熱防護性能與熱效應

（一）熱防護性能

1960 年代，一般布料的防火性質，是以垂直燃燒試驗來進行量測其餘焰、餘燼、餘燃時間及炭化面積、炭化距離等，其目的是為了測試防火材質是否會燃燒（耐燃的程度），其熱源是對流熱；主要是量測裝潢材料（如窗簾）之引火性²⁶。

1.TPP 之發展

垂直燃燒試驗僅能就熱源是對流熱做為測試條件，且僅提供布料燃燒狀況，無法模擬火場實際狀況來衡量熱防護功能。因此杜邦公司於 1970 年代研發出高溫及高輻射熱防護功能測試方法 Thermal Protective Performance (TPP) Test。該測試設定了暴露在輻射熱與對流熱下的真實條件。其環境設定成典型的防火環境：設定輻射熱和對流熱各一半的組合，熱通量為 84 千瓦/米²（大約 2 卡/厘米²/秒）。然後在測試中，測量當面料背面溫度以及傳遞到面料背面的熱能導致個人防護裝備（PPE）穿著者達到二度灼燙傷時所需經過的時間以及表面積的熱能（TPP 值）²⁷。並由 Behnke²⁸發展成為美國測試材料協會（ASTM）之標準，於 1982 年採用此方法為 ASTM D4108-82，並於 1987 年修正為 ASTM D4108-87。美國國家防火協會（NFPA）也採用此種含有熱對流及輻射熱源各半的模擬實驗方法，並定於 NFPA1971 規範之中，此消防衣測試標準用於一般火災搶救時所用²⁹。

TPP 測試法是將一塊 6 英吋平方之布料置於對流熱及輻射熱各半，總熱量為 2cal/cm².sec 之火源上，接著記錄皮膚到達二級灼燙傷所需時間。所謂 TPP 值是將 2cal/cm².sec 的數值乘以時間。

²⁶ 林元章，〈杜邦 Nomex 纖維應用在防護（火）衣之沿革及其研究與發展〉，台灣杜邦股份有限公司亞太區先進纖維部，1998 年 7 月。

²⁷ 杜邦公司，〈杜邦熱防護性能測試方法〉，<http://www.dupont.cn/products-and-services/personal-protective-equipment/thermal-protective/articles/dupont-thermal-protection-performance-test.html>，瀏覽日期 2019.3.11。

²⁸ W. P. Behnke, "Thermal Protective Performance Test for Clothing," *Fire Technology*, Vol. 13, No. 1, 1977, pp. 6-12.

²⁹ 林元章，同前註。

2.TPP 之特性

熱防護性能（TPP）使用實驗的方法以量化評估消防衣材料及其組合之抗熱性能。TPP 測試方法是經由暴露測試樣本於明顯的熱源之條件下，以量測通過消防衣纖維或是其組合的熱量。其所測量的是模擬穿戴者皮膚受到二級灼燙傷時的時間及熱量，如果材料本身防護性能不好，則傳遞熱量快速，若材料能夠耐熱及隔熱，則能提供較長的防護時間³⁰。

NFPA 對於消防衣厚度的要求在 TPP 測試方法經過驗證之後，被 TPP 實驗結果所取代。針對消防衣反覆的實驗，最後 NFPA 要求 TPP 最小值必須為 35，是為達到消防人員於火場中實際經歷的緊急狀況所應提供有效的防護所擬定的，且必須符合隔熱所需的最小厚度。

模擬消防人員暴露於閃燃發生時的惡劣環境，於是 TPP 實驗設備提供對流及輻射的熱量來自於兩具瓦斯燃燒器，並藉由九支石英加熱管提供輻射熱的來源，並將對流熱及輻射熱校正至合計 $2.0\text{cal}/\text{cm}^2.\text{sec}$ 的熱通量。TPP 實驗時，經過受測布料所上升的熱通量，以銅熱卡計測量並記錄，當溫度到達相當於造成皮膚二度灼燙傷時間，由電腦以秒為單位去紀錄時間，乘以實驗時設定之熱通量，就可換算成 TPP 的值。實驗中的消防衣布料在造成皮膚二度灼燙傷之前的防護時間是 17.5 秒，乘以實驗時設定的熱通量 $2.0\text{cal}/\text{cm}^2.\text{sec}$ ，換算成 TPP 值為 17.5 乘以 2 等於 35³¹。

TPP 的數值的大小與消防衣防護性能有下列幾個因素相關³²：

- (1) 對於熱所造成所有布料層退化分解的抵抗性能。
- (2) 對於防止熱氣從布料滲透而出的性能。
- (3) 布料組成的重量。
- (4) 每一層的厚度。
- (5) 每一層之間所夾的空氣量。

³⁰ Teele and Foley, *op. cit.*, pp. 215-238.

³¹ 周國祥，同前註，頁 58。

³² Teele and Foley, *op. cit.*, pp. 215-238.

如果其他因素不變的話，增加以上任一項，都會使得 TPP 值的提高，例如，芳香族聚醯胺對抗熱性就比棉較好，但是以較高重量棉質的消防衣外層，其 TPP 值會比芳香族聚醯胺及較輕重量棉值來得高³³。

消防衣外層披覆一層不透氣橡膠及增加重量、厚度，都可以加強防止熱氣的滲透，提高 TPP 的值；但一個高的 TPP 值並不是等於代表較好的消防衣，具有極高 TPP 值的消防衣反而可能對於消防人員而言是有害的，因為其重量較高及厚度等因素，造成較高的熱效應及靈活度降低等因素。悶熱而沈重的消防衣會加重消防人員的負擔，可能會是造成傷害事件的原因之一。

持續或重複暴露於高溫的環境中，會在消防衣內部蓄積熱量提高溫度而導致灼燙傷，因此，在暴露於明顯高溫的環境後應立即撤出。同時，熱蓄積可能會導致消防衣在沒有明顯損壞的情況下，造成穿著者的灼燙傷，故感覺皮膚刺痛或可能有灼燙傷之疑慮時，消防人員應立即撤離以保護自身安全³⁴。

TPP 實驗的一個重要資訊是警告時間，皮膚從感覺到痛到造成灼傷之間的時間差稱之為警告時間。警告時間愈長，表示有更多的時間來減少暴露在高熱量中或是在造成灼燙傷之前離開危險環境；在實驗顯示上，在 TPP 值相近，採用透氣材質的消防衣，與採用不透氣材質的消防衣，前者提供比較長的警告時間，同時若是沒有防水層也會明顯降低警告時間；TPP 值較低的消防衣可能容許較敏感的熱滲透而過，提早警告穿戴者注意危險環境，卻縮短了警告逃離的時間；消防衣太過於防護也會使消防人員降低對於危險環境的防禦心理，導至於不自覺超過極限，進而造成嚴重的灼燙傷³⁵。

NFPA1971 規定 TPP 值必須大於 35，是模擬消防人員可以在 17.5 秒內逃離發生閃燃的建築物，避免發生二度灼燙傷³⁶，但另外有學者指出在閃燃發生當下，穿著 TPP 值為 35 的消防衣，也極可能在不到 10 秒內，就發生嚴重的灼燙傷³⁷。而且 NFPA

³³ 周國祥，同前註，頁 59-60。

³⁴ Lion Apparel, Inc., User Instruction Safety and Training Guide for Compliant Structural Fire Fighter Protective Clothing (Dayton, Ohio: Lion Apparel, Inc., 1999), p. 20

³⁵ 周國祥，同前註，頁 59-60。

³⁶ J. F. Krasny, J. A. Rocket, and D. Huang, "Protective Fire Fighters Exposed in Room Fires: Comparison of Results of Bench Scale Test for Thermal Protective and Conditions During Room Flashover", *Fire Technology*, Vol. 24, No. 1, 1988, pp 5-19.

³⁷ R. D. Peacock *et al.*, "Protective Fire Fighters Exposed in Room Fires Part 2: Performance of Turnout Coat Materials Under Actual Fire Conditions", *Fire Technology*, Vol. 26, No. 3, 1990, pp. 202-222.

所規定的實驗方法，實驗樣本是乾燥的而非潮濕，因此無法反應救災的實際狀況；而且實驗的時間過短，消防衣在瞬間面臨高熱通量之前，救災環境長時間蓄熱的問題並未被重視，灼燙傷之後消防衣持續對身體皮膚所造成的傷害也沒有提供相關的訊息³⁸。

（二）熱效應

1. 熱效應之成因

熱效應係指人體在不同環境狀況中有對熱產生反應及調節生理之本能。體溫調節會因人體表面皮膚、穿著衣服及外界溫度之間熱轉移互動狀況而有所變化，身體和外界空氣環境間也會因傳導、對流、輻射與蒸發等造成熱能散失。皮膚脂肪有提供絕緣層，衣服也具有影響平衡的阻隔作用；因此皮膚和衣服皆會改變熱的傳導性³⁹。

體表溫度通常比周圍空氣溫度高，所以身體周圍溫度會變得較為溫暖，溫度升高會產生熱對流。身體的活動會對對流層造成改變，其產生的氣流，雖然經常小於 8KM/hr，但足夠破壞外界空氣的阻隔層而產生冷卻；熱對流經由血液將人體核心溫度帶到皮膚表面，而皮膚表面血液的流動又將皮膚表面溫度交換，對流至空氣中及穿著的衣服；運動或環境所造成的各種不同溫度均可藉由人體的循環系統來調節。衣服會影響皮膚暴露在外的面積、對流環境的特性及皮膚表面溫度。衣服會增加身體的隔絕作用。因為其布料隔離身體和衣服間的空氣層而產生隔絕作用，因此可以阻礙熱環境下蒸發熱的散失⁴⁰。

人體會經由表面皮膚水分蒸發或則流汗而喪失水分，這類蒸發熱的散失約為每日熱能散失的 25%，且是一種看不見的體熱散失。汗腺的主要功能是流汗，人體的

³⁸ W. E. Mell, and J. R. Lawson, , “A Heat Transfer Model for Fire Fighter’s Protective Clothing”, *Fire Technology*, Vol. 36, No. 1, 2000, pp. 39-68.

³⁹ 樂以媛，〈衣物與人體生理舒適性〉，《中國紡織工業研究中心紡織中心期刊》，第 6 卷第 3 期，台北市，1996 年，頁 218-219。

⁴⁰ 周國祥，同前註，頁 63。

水份透過衣服蒸發冷卻，是發生在皮膚與衣服之間，衣服會增加皮膚與衣服間的空氣飽和度，阻止人體蒸發熱過程，減少空氣所產生的對流作用⁴¹。

人體穿著服裝是否感到舒適，會受到服裝、環境與人體等各種綜合因素所影響，衣物是為了調適人體和環境而產生，人體隨時都在散發熱量和水份（包含汗液），而熱與水則必須先通過衣物轉換到環境中，因此衣物調節溫度與濕度的能力將會直接影響人員穿著的舒適性⁴²。

當熱藉由傳導、對流、輻射方式及蒸發的熱散失小於熱的產生，身體便會慢慢蓄積熱能，產生熱應力而使身體感到不舒服。另外身體會產生汗液來因應正常狀況下所需要的熱蒸發率能力，不過較厚的及不透氣的布料會限制蒸發冷卻，較高溫度的蒸氣壓也會限制外界大氣的最高蒸發率，這些狀況均有可能產生熱效應而讓人體感到不舒服，熱產生及散熱間所達成的平衡會影響人體核心溫度是否穩定⁴³。

人體所穿著的衣服材質及設計會影響人體與周遭環境間的熱轉移過程，進而影響人體生理上的舒適感覺。穿著使用者在工作、休息循環的熱效應力，也決定於衣服的熱轉移有效性，其影響因素包括下列幾項要件⁴⁴：

- (1) 衣物的絕緣保溫值。
- (2) 水分透濕指數。
- (3) 衣物透氣性。
- (4) 輻射熱吸收性。
- (5) 布料透氣性。
- (6) 衣服的合身性。

⁴¹ 樂以媛，同前註，頁 218-219。

⁴² 王茂駿，《衣物之吸濕、透濕與透氣特性對人員生理、心理物理與主觀舒適性知影響》（新竹市：國立清華大學工業工程與工業管理學系所，台北市，2012年），頁 4。

⁴³ 周國祥，同前註，頁 64。

⁴⁴ 樂以媛，同前註，頁 218-219。

2.消防人員之熱效應

消防人員在面臨有毒氣體及高輻射熱的危險環境下，又有高濕度及火焰的惡劣狀況，且經常處於大量的重度工作及長時間工作，因此身體會產生內部體熱及外部熱效應，而考驗著消防人員的熱平衡能力⁴⁵。

消防人員救災也同時暴露在生理性的危害中。消防人員救災是一種極度亢奮的行為，高溫的工作環境，導致身體內部溫度從 36°C 升到 37.5°C，身體的核心溫度上升會使皮膚及週遭微血管迅速擴張，熱量從人體內部往外轉移到皮膚表面，工作量持續增加，將會造成消防人員心跳加速以散發體內所產生的熱量，並且利用增加循環功能來攜帶更多氧氣給工作中的肌肉。假如正常的出汗狀況停止，或者汗水無法順利蒸發，身體的核心溫度可能持續上升達到 40°C；有可能是因為消防衣透氣性不佳或者是周遭濕度極高而造成此類情形，而這些情形通常都極為急迫且危險的，包括對於消防人員心臟所造成的壓力⁴⁶。

美國 NFPA 統計，美國消防人員執行各項災害搶救出勤時，其傷害原因中，因為熱應力所造成的致死性傷害大約有 50%⁴⁷。

第三節 火場環境與火場傷害

(一) 安全議題

消防人員於執行各項救災勤務時，需事先評估出災害危險的狀況，並且選擇最適合的防護裝備，即使穿著全套個人消防防護裝備於火災現場搶救災害，仍可能因墜落、撞擊、疲勞、煙熱或防護裝備等因素造成傷亡。制定標準作業程序 SOP、落實平日救災整備、加強體技能訓練都可以運用來減低消防人員救災傷亡，消防人員

⁴⁵ 同上註，頁 225。

⁴⁶ United States Fire Administration, *Minimum Standards on Structural Fire Fighting Protective Clothing and Equipment - A Guide for Fire Service Education and Procurement* (Emmitsburg, Maryland: Fire Fighter Health and Safety U.S. Fire Administration, 1992), pp.9-10.

⁴⁷ T. Zimmerli, and M. Weder, "Protection and Comfort - A Sweating Torso for the Simultaneous Measurement of Protective and Comfort Properties of PPE," in Stull, J. and Schwoppe, A. (eds), *Performance of Protective Clothing: Sixth Volume* (West Conshohocken, PA: ASTM International, 1997), pp. 271-280.

也更應瞭解裝備防護不足時可能對人體造成的危險性，及遭遇突發狀況時該如何應變及處置，這是消防人員救災時面臨到最重要的安全議題及觀念。

（二）火場環境

消防人員在高溫的火場環境中執行救災任務，其嚴苛的工作環境，潛在可能發生的危害包括⁴⁸：

- 1.接觸火焰。
- 2.極高的溫度。
- 3.熱輻射。
- 4.高溫蒸汽。
- 5.危險化學物品。
- 6.電擊。
- 7.物理性傷害（例如：割傷、壓傷等）。

救災時所面臨的高溫環境，視與火源之距離，溫度的熱量對於消防人員救災時的衝擊，藉由傳導、對流及輻射三種途徑傳導。

兩種物體表面直接接觸，而導致熱的轉移稱為傳導熱，濕的消防衣是或是乾的消防衣內外層受到壓縮而緊密貼合身體，也會增加提供熱傳導的效率。假設消防人員爬行於熱的地板上，膝蓋可能會因為消防衣受到壓縮而增加熱傳導的效率，導致起水泡等灼燙傷現象發生⁴⁹。

熱對流通常發生在流體內或流體與容器之間有溫度差時，因為溫度的差異將熱量由流動之流體傳播到各處，熱對流影響到消防衣各層之間及與身體之間的熱傳導；消防衣各層或是衣服與身體之間若具有空氣，則可提供較好之絕熱性。

熱輻射是消防救災時，最明顯常見的一種熱傳導方式。熱輻射是指物體用電磁輻射將熱能向外散發的熱傳方式，熱輻射與兩種表面的溫度、距離及反射性有關，但與兩種表面間的空氣溫度無關，消防衣不需要特別顧慮其顏色來預防輻射熱。例

⁴⁸ United States Fire Administration, *op. cit.*, p.2.

⁴⁹ *Ibid.*

如，在可見光是白色的衣服，可能會在紅外線範圍內比黑色更不具有反射能力，應視其物理的特性及布料使用的染料而決定⁵⁰。

造成消防人員灼燙傷的因素有下列幾點⁵¹：

- 1.事故的熱通量大小及暴露的方式。
- 2.暴露於熱通量的時間。
- 3.在熱源與皮膚之間隔熱之狀況，包括所有衣物，以及存在這些衣物與皮膚之間的空隙大小。
- 4.衣物在熱通量下分解破壞的程度。
- 5.由布料因為熱通量所產生的蒸氣或是熱分解生成物壓縮黏貼於皮膚表面的狀況。

消防衣最主要的功能是可以隔絕熱量傳遞及減低可能造成的灼燙傷，針對輻射熱及對流熱的防護能力，也可利用熱防護性能（TPP）的實驗來測量。不過也是需要考量布料本身在高溫下的穩定性，例如熱收縮、膨脹、熱分解生成物、炭化及結構上的破裂。

消防衣發生最嚴重的狀況是在布料的破損、破洞以及縫線毀損，布料保持完整的狀態下，就不會輕易的突然改變熱傳導特性。對流熱、輻射熱會利用布料結構中的空氣傳導至皮膚表面，布料熔解時，空氣一旦被移除，或是產生炭化物質及氣泡，那麼熱傳導性將會跟著改變⁵²。布料表面因熱脹冷縮原理所產生的變化並不能真的改變布料的隔熱性質，但是，如果介於之間的空氣層改變，將會改變隔熱之實際效果⁵³。

消防衣最重要的目的及功用，並不是能讓消防搶救人員毫無顧慮深入火場，而是在一般救災環境下可以提供更好的保護，及突然發生緊急狀況時可以提供一定程度的防護效果，並無法保證穿著消防衣就不會有受傷情形⁵⁴。

⁵⁰ Ibid., p.5.

⁵¹ B. V. Holcombe, and B. N. Hoschke, "Do Test Methods Yield Meaningful Performance Specifications?", in R. L. Barber, and G. C. Coletta, (eds.), *Performance of Protective Clothing*. (Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1986), pp. 327-339.

⁵² M. Raheel, *op. cit.*, p.198.

⁵³ United States Fire Administration, *op. cit.*, p.5.

⁵⁴ B. W. Teele, *op. cit.*, p.18.

(三) 火場熱通量

火災現場的輻射熱與溫度上升的關聯性如圖 2.2 所示：

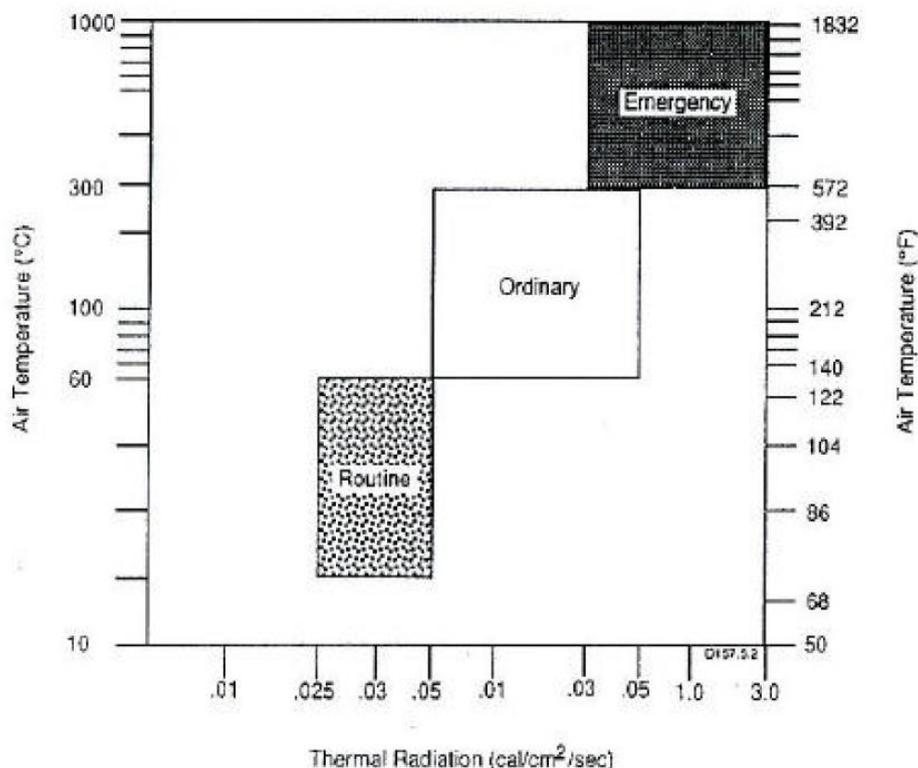


圖 2.2 消防人員火場救災時面臨之溫度與輻射熱範圍

資料來源：United States Fire Administration, Minimum Standards on Structural Fire Fighting Protective Clothing and Equipment - A Guide for Fire Service Education and Procurement, p.6.

而消防人員救災時所遭遇的熱通量大致可分下列三種狀況⁵⁵：

1. 例行狀況：垃圾桶在房間內起火燃燒，輻射熱及空氣溫度差不多與炎熱天氣相同。例行狀況的輻射熱大約介於 0.025 到 0.05cal/cm².sec，空氣溫度則是大約在 20 °C 到 60°C，一般消防衣穿著時僅會感覺悶熱感，阻擋這些熱通量並沒有困難。

2. 一般危害狀況：消防人員搶救難度較高之火災或是即將到達閃燃的環境，其輻射熱大約介於 0.05 到 0.6cal/cm².sec，空氣溫度則是大約在 60°C 到 300°C。消防衣在面臨此種情形下，可抵擋約 10 到 20 分鐘，消防人員是允許在此狀況背負空氣呼吸器進行滅火工作（一般不超過 30 分鐘為原則）。

⁵⁵ United States Fire Administration, *op. cit.*, p.5.

3.緊急狀況：極為嚴苛及不尋常的特殊緊急狀況，閃燃發生的房間內或是極為靠近猛烈火焰。緊急狀況時的輻射熱超過 $0.6\text{cal}/\text{cm}^2.\text{sec}$ ，空氣溫度也達到 300°C 以上。消防人員的全套個人消防防護裝備，大概僅能提供 15 到 30 秒的撤離逃生時間。

發生傷害之輻射熱通量，通常習慣上只從陽光（一般小於 $1\text{kW}/\text{m}^2$ ）到 $20\text{kW}/\text{m}^2$ 之範圍熱通量。在建築物火災時，最大輻射熱密度是閃燃剛要發生之前的樓地板附近，而一個人站在距離 1m 的一個 1m^2 燃燒中油盤，其輻射熱大約是 $20\text{kW}/\text{m}^2$ 。⁵⁶一座大型油槽火災其外在的溫度平均在 $860—1150^\circ\text{C}$ ，相當於 $90—230\text{kW}/\text{m}^2$ （ $2.2—5.6\text{cal}/\text{cm}^2/\text{s}$ ），⁵⁷消防衣和個人防護裝備必須提供抵抗不同的熱量狀況，當遭遇最大的熱量時，防護衣物就變成一個臨界因素及提供限定時間內的保護作用。

國際消防人員協會（International Association of Fire Fighters, IAFF）設計火災搶救熱量分類方法，其火災狀況等級由火場的環境溫度及其所釋放的輻射熱來加以分類（如表 2-8）：



⁵⁶ B. V. Holcombe, and B. N. Hoschke, , *op. cit.*, pp.311-326.

⁵⁷ M. Schoppee, J. Welsford, and N. Abbott, "Protection Offered by Lightweight Clothing Materials to the Heat of a Fire," in R. Barker, and G. Coletta, (eds) *Performance of Protective Clothing* (West Conshohocken, PA: ASTM International, 1986), pp. 340-357.

表 2.8 火災狀況與輻射熱等級

	狀況	溫度	輻射熱 (W/cm ²)	忍受時間
第一級	房間內初期火災	超過 100°F	超過 0.05	30 分
第二級	房間內火災開始	100°F至 200°F	0.05-0.10	15 分
第三級	房間內火勢完全燃燒	200°F至 500°F	0.10-0.175	5 分
第四級	閃燃或煙爆	500°F至 1000°F	0.175-4.2	10 秒

資料來源：United States Fire Administration, *Minimum Standards on Structural Fire Fighting Protective Clothing and Equipment - A Guide for Fire Service Education and Procurement*, p.7.

實驗室中所設定的狀況並不能夠完全模擬消防人員於救災環境時所面臨的實際狀況，一般的測試方法都根據 Behnke⁵⁸分析典型的建築物閃燃之狀況，而將熱防護性能設定於對流熱與輻射熱各半的 84kW/m²；但是一般火災與其他危險狀況之熱通量如表 2-9 所示，由表中很清楚可以查看到消防人員所面臨的最大熱通量往往比 84kW/m² 還要高出許多⁵⁹。

⁵⁸ W. P. Behnke, , *op. cit.*, pp.5-19.

⁵⁹ D. A. Torvi, and G. V. Hadjisophocleous, “Research in Protective Clothing for Fire fighters: Start of the Art and Future Directions,” *Fire Technology*, Vol. 35, No. 2, 1999, pp. 111-130.

表 2.9 一般火災與其他危險狀況之熱通量值

種類	熱通量 kW/m ²	資料出處
實驗室測試標準	80	NFPA1971 ASTM D 4108
居室閃燃	180	Krasny. et al.
礦場爆炸	130-330	Holcombe and Hoschke
油類火災（飛機用油）	167-226	Holcombe and Hoschke
瓦斯爆炸	170	Dale et al.

資料來源：Raheel, M., “Protective Clothing: An Overview,” in Daanen, H. A. M., Reffeltrath, P.A. (eds.), *Protective clothing Systems and Materials* (New York, N.Y.: Marcel Dekker, Inc., 1994), pp. 11-12.

（四）火場傷害

1. 灼燙傷

消防衣並不能保護消防人員完全不被灼燙傷，因為它所能提供的保護是有限的，雖然消防衣可以減低被灼燙傷的危險，但是當穿著消防衣曝露在輻射、對流、或傳導熱下時，可能會在無預警或是消防衣無任何損傷時被灼燙傷⁶⁰。

灼燙傷的程度會取決於曝露在熱源的時間，以及有多少熱量傳送到身體，這代表若是時間夠長，即便是環境溫度較低，仍有可能遭受灼燙傷；相同的，即便是時間很短暫，若是周遭的溫度較高，仍有可能遭受灼燙傷。

消防衣是由耐燃的原料組成的，熱會穿透的裝備，使表皮溫度上昇，皮膚將有可能遭受灼燙傷，而這個溫度可能低於消防衣所能負荷的溫度，不要誤認為消防衣損壞後，才會導致受傷。

⁶⁰ 新北市消防局災害搶救科，〈火場個人安全防護裝備-消防衣褲的使用須知〉，2009年。

(1) 熱源造成灼燙傷的途徑

熱傳遞至人體，途徑有傳導熱、輻射熱、對流熱三種，均有可能造成灼燙傷，以下逐一說明。

A. 傳導熱灼燙傷

傳導熱來自於直接接觸熱源。跪在灼熱的地板上、倚靠在灼熱的牆面、或是碰到熱碎片，這些都是傳導熱，在此情形下，消防衣可能無任何損傷，但仍有可能遭受灼燙傷。

例如：消防人員在火場中，倚靠在一面發熱的牆上，熱量由牆壁傳導至肩膀（直接接觸），消防衣肩部的防火層，正被緊緊地壓在灼熱的牆面，若是你一直保持這個姿勢，熱量會逐漸增加，最後會穿透防護衣的各層，而使皮膚灼燙傷。

B. 輻射熱灼燙傷

消防衣未與熱源直接接觸，熱量可藉由輻射的形式，穿透進入裝備當中。

例如：滅火時有可能長時間曝露在輻射熱底下，此時消防衣會開始吸收熱量，即使沒直接和熱源接觸，或是倚靠在不熱的牆上，消防衣所吸收的輻射熱仍有可能將身體灼燙傷。另外，可能因為某個姿勢而使裝備緊貼於你的身體（如：蹲伏時，膝部會與衣料緊貼；舉起手臂時，肩部和上半身會與衣料緊貼），這種壓迫也會更容易被灼燙傷。

C. 對流熱灼燙傷

對流熱是經由熱空氣來傳遞。不需要接觸到火焰就會被灼燙傷，一旦消防衣曝露在熱空氣下，就有遭受灼燙傷的可能。

(2) 灼燙傷對身體之影響

嚴重的灼燙傷往往伴隨著許多的生理變化，包括受傷部位會釋放出造成血管滲透性改變的化學介質，會導致全身性的水腫。若沒有獲得妥善的治療，將會造成血壓降低、嚴重時會產生休克。灼燙傷也會造成代謝方面的障礙。灼燙傷患者的基礎代謝率與面積呈現正比的關係，也會有蛋白質的異化作用及營養不良的情形。代謝

速率的改變可能與神經末梢向心臟傳送訊息的影響及受灼燙傷區域所釋出的化學介質有關⁶¹。

灼燙傷病人通常有極高危險會受到感染，其主要原因有以下三點⁶²：

第一：灼燙傷造成大量表面皮膚燒損，而喪失抵抗外部微生物入侵的保護。

第二：吸入性的灼燙傷，容易造成肺部的感染及其他併發症。

第三：腸繫膜血管收縮，造成腸道通透性增加、腸內細菌位置改變。免疫系統機能減退，減低處理傷口、肺部及腸道內微生物的能力。

(3) 傷口深度鑑別

灼燙傷嚴重度的兩個最重要的因素是灼燙傷的深度和面積。灼燙傷深度一般採用“三度四分法”來分類，一度灼燙傷僅傷及表皮層，二度灼燙傷達到部份真皮層，三度灼燙傷則傷及真皮層全層皮膚，甚至可深及皮下組織及肌肉骨骼⁶³。

表 2.10 灼燙傷深度分類

灼燙傷深度	受傷範圍	傷口外觀	感覺	癒合時間與情形
一度	表皮	紅、腫	劇痛、敏感	3~5 天、無疤痕
淺二度	表皮及真皮乳頭層	紅、水泡	痛、敏感	14 天以內、輕微疤痕或無
深二度	真皮深層	紅或白大水泡	稍痛、不敏感	21 天以上、有疤痕
三度	含表皮及真皮之全層皮膚	死白色或焦黑、乾硬如皮革	消失	需以植皮癒合傷口，有功能障礙

資料來源：〈認識燒燙傷〉，《中華民國兒童燙傷基金會網站》，http://www.cbf.org.tw/ugC_Know01.asp，瀏覽日期 2019.3.15。

⁶¹ 梁金銅、張金堅等譯，《莎氏外科精要》，藝軒圖書出版社，台北市，1997 年 6 月，頁 131。

⁶² 梁金銅、張金堅等譯，同上註，頁 132。

⁶³ 中華民國兒童燙傷基金會網站，http://www.cbf.org.tw/ugC_Know01.asp，瀏覽日期 2019.3.15。

(4) 灼燙傷之嚴重度

灼燙傷的嚴重性可由以下幾個因素來決定⁶⁴：

- A.灼燙傷程度。
- B.身體灼燙傷的百分比。
- C.灼燙傷嚴重度。
- D.灼燙傷部位。
- E.伴隨併發症。
- F.患者年齡。

A.灼燙傷程度

灼燙傷係依對皮膚皮下組織損傷的程度來分類。

a.一度灼燙傷

一度灼燙傷在所有的灼燙傷當中，是最普遍但最輕微的，常發生在日常生活中，可能是因燃燒、燙傷、火焰或日曬所引起。皮膚表面乾燥，沒有水泡和腫脹發生。皮膚會變泛紅，雖然疼痛但是僅有表皮層皮膚受影響。通常2到5天之內就會痊癒，而且不會留下疤痕，外在的表皮層會逐漸脫落而且皮膚會暫時變色。

b.二度灼燙傷

二度灼燙傷是皮膚的表面會潮濕而且顏色產生變化，變色的範圍是從白到櫻桃紅色，灼燙傷特徵是皮膚會起水泡和疼痛，造成的原因通常是接觸熱的液體和固體、接觸火源、接觸化學物質或嚴重日曬的結果。皮膚的表皮層和真皮層灼燙傷之外，皮下層的脂肪亦會損傷（皮下的脂肪組織）。

輕微的二度灼燙傷是指成人身體灼燙傷表面積小於 15%及兒童身體灼燙傷表面積小於 10%。中等的二度灼燙傷是指成人身體灼燙傷表面積灼燙傷 15%到 30%，兒童身體灼燙傷表面積 10%到 20%。如果灼燙傷傷及臉部、手、腳及生殖器等的範圍，則是屬於嚴重程度。危險程度的二度灼燙傷是指成人灼燙傷表面積超過 30%，而兒童身體灼燙傷表面積超過 20%。輕微的二度灼燙傷通常需要 5 到 20 天方能痊癒，一旦受到感染則會延長痊癒的時間。

⁶⁴ 胡勝川等譯，《到院前緊急救護》（台北市：中華民國加護醫學會，1990年），頁 487-490。

c.三度灼燙傷

最嚴重的三度灼燙傷，皮膚會變成乾燥類似皮革，可看見燒焦的血管。膚色從白色、暗色到焦黑，通常是因為皮膚接觸極高熱的液體和固體、化學藥品、火焰或電擊的結果。三度灼燙傷雖然非常疼痛，但是患者因為神經末端被破壞的原因，也可能感覺少許或者根本沒有疼痛感。灼燙傷的範圍包括真皮層和部分皮下層、肌肉、骨頭和器官。小範圍的三級灼燙傷也需要數週才能痊癒，如果範圍太大通常需要做皮膚移植手術，也需要數月或數年才能痊癒。

B.身體灼燙傷的百分比⁶⁵

a.九的規則：把身體分成不同區域，每個區域代表身體總面積的 9%。頭與頸部共 9%，前軀幹 18%，後軀幹 18%，左、右上肢各佔 9%，生殖器 1%，左、右下肢各 18%。

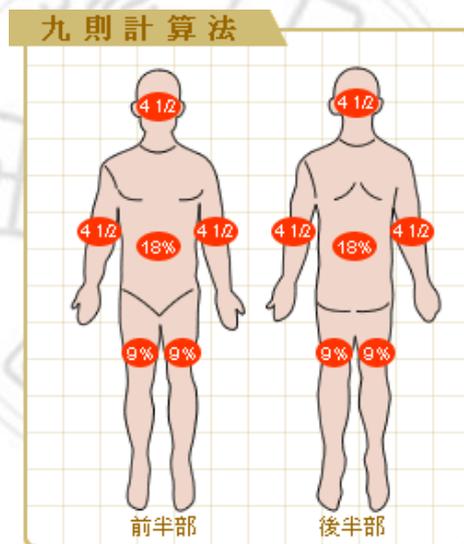


圖 2.3 九則計算法

資料來源：〈認識燒燙傷〉，《中華民國兒童燙傷基金會網站》，http://www.cbf.org.tw/ugC_Know01.asp，瀏覽日期 2019.3.15。

⁶⁵ 中華民國兒童燙傷基金會網站，同前註。

b.簡易計算：可適用於成人及兒童，患者自身的手掌，包含五指合併部位，約相當於其身體表面積的 1%。



圖 2.4 手掌示意圖

資料來源：〈認識燒燙傷〉，《中華民國兒童燙傷基金會網站》，
http://www.cbf.org.tw/ugC_Know01.asp，瀏覽日期 2019.3.15。

C.灼燙傷嚴重度

大部份的灼燙傷是合併程度不同的灼燙傷，一度、二度及三度的灼燙傷可能並存於同一次的傷害事件中⁶⁶。

(A) 嚴重性灼燙傷：

- a.灼燙傷又合併呼吸道傷害、骨折或其他重大傷害。
- b.臉、手、腳、外生殖器等範圍三度灼傷。
- c.三度灼燙傷超過成人身體表面 10%面積。
- d.三度灼燙傷超過兒童身體表面 2%到 3%面積。
- e.二度灼燙傷超過成人身體表面 30%以上面積。
- f.二度灼燙傷超過兒童身體表面 20%以上面積。
- g.一度灼燙傷超過身體表面 75%以上面積。
- h.大部份的化學灼燙傷。
- i.大部份的電擊灼燙傷。

⁶⁶ 周國祥，同前註，頁 18-19。

j. 灼燙傷的病人又有如糖尿病、高血壓、癲癇症等症狀。

(B) 中等程度灼燙傷：

a. 三度灼燙傷成人身體面積 2% 到 10% 之間，除了臉、眼、耳、手、腳和生殖器
等範圍以外。

b. 二度灼燙傷成人身體面積 15% 到 30% 之間。

c. 一度灼燙傷成人身體面積 50% 到 70% 之間。

d. 一個不複雜的二度灼燙傷在兒童身體面積 10% 到 20% 之間。

(C) 輕度灼燙傷：

a. 二度灼燙傷成人身體面積 15% 以下。

b. 二度灼燙傷兒童身體面積 10% 以下。

c. 一度灼燙傷成人和兒童的身體面積 20% 以下。

D. 灼燙傷部位

臉部及頸部發生灼燙傷應立即檢查是否同時傷害到眼睛或則呼吸道，手、腳以及生殖器
等部位均屬於嚴重的灼燙傷。

E. 伴隨併發症

灼燙傷病人如果同時發生心臟病、糖尿病等併發症及其他外傷，則要視為嚴重
程度的灼燙傷。

F. 患者年齡

5 歲以下及 60 歲以上對於灼燙傷的疼痛忍受度非常差，而且年老病人身體表面
積 20% 以上的灼燙傷通常會導致致死。

(5) 熱與灼燙傷之關係

A. 灼燙傷與溫度之關係

皮膚溫度 44°C 時的環境就會感到疼痛或是不舒服，大約在溫度 48°C 時就可能
造成一度灼燙傷，皮膚溫度到大約 55°C 將可能造成二度灼燙傷。這並不表示如果皮
膚接觸溫度到 55°C 的氣體、液體或是固體就會立即造成灼燙傷，例如手在 55°C 的熱
水龍頭之下，會感到不舒服，但若瞬間將手抽離，也不一定造成灼燙傷。但是持
續暴露在這種高熱量或更高溫度環境之下，會因為皮膚散熱功能無法負荷，使皮膚

造成灼燙傷，人體主要是由血液流動、皮膚表面熱輻射散失以及流汗來達到皮膚散熱之功能。如果皮膚溫度到達 72°C 將會馬上造成皮膚組織的破壞⁶⁷。

以環境溫度而言，一般人在溫度 65°C 上能忍受一小段時間，溫度 175°C 時，忍受時間則小於 1 分鐘，在 500°C 高溫中，未穿著防護性衣物的人能忍受的時間大約僅有 1 到 2 秒⁶⁸。

B. 灼燙傷與熱通量之關係

根據皮膚暴露於熱通量，以灼燙傷之狀況評估消防衣的性能已有相關研究，Stoll 及 Chianta 兩位學者是首先應用灼燙傷與防護性能評估研究，他們利用動物皮膚在一定時間、一定熱通量下評估熱通量其所造成的傷害。研究所得之結果就是熱通量為 330kW/m²，將於 0.07 秒對人體造成二度灼燙傷，如果熱通量為 100kW/m²，則造成二度灼燙傷時間為 0.39 秒，但在 100kW/m² 熱通量之下，皮膚表面如果有 0.5mm 厚度的物質阻擋熱量，則人體發生二度灼燙傷的時間可從 0.39 秒延長至 2.5 秒，100kW/m² 熱通量的模擬環境相當於火災時閃燃的狀況⁶⁹。

2. 熱壓迫傷害

導致消防員死亡或受傷的首要因素。穿著全套個人防護裝備執行耗費體力的任務時，熱濕的環境之下，或是像火場這種熱環境下，執行激烈的搶救任務，可能會增加遭受「熱壓迫傷害」的危險，「熱壓迫傷害」是一種體溫上昇及新陳代謝加快的現象，引起的原因可能是運動過量，或是曝露在熱環境之下，它會導致虛脫、精神錯亂、迷失方向、脫水、心神喪失、心臟病、中風、或其他致命的症狀。

(1) 熱壓迫傷害之症狀與處置

消防搶救上發生熱壓迫傷害，不論是中暑、熱衰竭、熱痙攣可說是時有耳聞，國內外都曾有相關案例發生，其造成原因可能是消防衣的總熱逸散率不佳，並且與以下條件成正相關⁷⁰：

⁶⁷ J. Lawson, "Fire Fighters' Protective Clothing and Thermal Environments of Structural Fire Fighting," in J. Stull, and A. Schwoppe, (eds.) *Performance of Protective Clothing: Sixth Volume* (West Conshohocken, PA: ASTM International, 1997) pp. 334-352.

⁶⁸ 李引擎等，《建築安全防火設計手冊》（河南省：河南科學技術出版社，1998 年），頁 82。

⁶⁹ M. Raheel, *op. cit.*, pp.197-198.

⁷⁰ 鄭少書，〈淺談消防員熱傷害〉，《消防月刊》，2018 年 11 月，頁 22-23。

(A) 脫水與鹽分攝取不足；救災會大量流和消耗身體水份，同時帶走鹽分。
(B) 溫度適應能力不足。
(C) 肥胖：美軍研究顯示肥胖者遭受熱壓迫傷害機率較常人高出 9 倍。
(D) 皮膚問題：痱子或曬傷等因素皆會影響皮膚散熱機能。
(E) 自身疾病：發燒會影響體溫調節，腸胃炎會導致脫水及電解質失衡。
(F) 藥物：如三環抗憂鬱劑或過敏族群常吃的抗組織胺等藥物均會抑制排汗。
(G) 慢性病：如糖尿病、心血管疾病均會降低同仁熱壓迫傷害耐受性。
(H) 喝酒：酒精本身就導致脫水，飲酒亦降低人員對熱壓迫傷害之警覺性，加重脫水情形。

(I) 已經有熱壓迫傷害：熱壓迫傷害會累積，前次熱壓迫傷害尚未恢復時又暴露於熱環境將增加風險。

(J) 年齡：美軍研究顯示 40 歲以上人員即使體能很好，熱壓迫傷害風險仍高於年輕人。

(K) 責任感：責任感過強者較易忽視熱壓迫傷害警訊直到倒下。

(L) 先天體質：如同仁曾在麻醉時發生惡性高熱症況，應予格外嚴密監控。

大多從事第一線火場救災人員一生中多多少少都會經歷程度不等的熱壓迫傷害，有人在初期馬上察覺，阻斷症狀惡化，也有人無法平安返家，針對消防人員常遇到熱壓迫傷害症狀有以下三項：

A.熱痙攣：

本文所稱熱痙攣是指人體肌肉因大量流汗、流失電解質導致抽筋，此症狀在四肢或軀幹皆可能發生，通常只要補充運動飲料即可大幅改善，嚴重患者可由現場 T2 以上同仁在 IV 施打生理食鹽水後矯正。需注意熱痙攣可能是進一步熱壓迫傷害前兆，一旦發生需妥善處理才能繼續執行勤務。

B.熱衰竭：

熱衰竭是指在熱的環境下過久，持續的流汗，且未補充適當的鹽分及水分，造成全身性不舒服，主要有兩種狀況，一種是水分的大量流失，病患會覺得非常口渴；或一時飲用過量的水，而忽略鈉離子的補充。體溫大多是正常，或者稍微上升一些；

病患會有頭痛、疲倦、無力、躁動不安、定向力變差、噁心、嘔吐、蒼白、肌肉痙攣等現象。⁷¹

熱衰竭與熱痙攣處置大致相同，此類患者應立即移動至陰涼處、脫除裝備給予降溫，以冷飲補充水分、可以的話施打 IV 生理食鹽水。在受到妥善處置後，通常可以快速恢復體力，但仍然不建議立即再派遣救災工作。⁷²

而熱衰竭若是放著不管，接著可能就會進展到致命危害-中暑。

C.中暑

在無法散發熱量的環境中，造成身體的核心體溫升高超過 40.5°C，同時中樞神經的功能出現障礙，有危及生命的狀況，起初身體會覺得到熱、皮膚乾躁發紅、心跳過快、呼吸過快、低血壓；情況繼續惡化時會發生熱的調節機能失效，身體體溫上升很高，無法流汗、頭痛、頭昏、噁心、嘔吐、視力障礙，多個器官衰竭、神智混亂、定向力變差、以及昏迷、抽筋。⁷³

任何一位消防同仁發現有人產生以上症狀，皆應立即通知現場待命救護人車與現場指揮官進行以下處置⁷⁴：

(A) 降溫是首要工作，應與後送同步進行，尤其是針對頸部、腋下、鼠蹊三處。脫除 PPE，剪除患者衣物並以各種激烈手段降低體溫，只要現場有器材，水霧瞄子、冰袋、將患者全身泡入冰水、把人弄濕用電動排煙機吹都是 FEMA 推薦做法，部份研究指出從現場開始積極降溫將會讓死亡率由 50% 降至 5%，學理上過度降溫將會導致反彈性低體溫，但這通常來不及發生，患者即已到院，故到院前降溫仍應盡力放手去執行。

(B) 由 T2 以上同仁實施靜脈注射生理食鹽水。

(C) 如出現呼吸困難、發紺或低血氧，應給予氧氣。

(D) 立即送醫。

⁷¹ 〈熱衰竭與中暑〉，〈衛生福利部中央健康保險署網站〉，https://www.nhi.gov.tw/Content_List.aspx?n=2BA9564656AB07BB&topn=3185A4DF68749BA9，瀏覽日期 2019.3.19。

⁷² 鄭少書，同前註，頁 23。

⁷³ 衛生福利部中央健康保險署網站，同前註。

⁷⁴ 鄭少書，同前註，頁 24。



圖 2.5 熱衰竭與熱中暑的比較

資料來源：〈熱衰竭與中暑〉，《衛生福利部中央健康保險署網站》，
https://www.nhi.gov.tw/Content_List.aspx?n=2BA9564656AB07BB&topn=3185A4DF68749BA9，瀏覽日期 2019.3.19。

(2) 熱壓迫傷害防治要點：

要防止消防員發生熱壓迫傷害可從下列幾點著手，除根據 NFPA1584 要點建議消防人員休息及休息區應有之配置，另依照 FEMA 建議同仁於現場或後送接受進一步治療：⁷⁵

(A) 保持健康體態。

(B) 實施熱環境適應訓練：於炎熱環境底下，讓消防人員試著從事重度工作，增加適應能力。

(C) 大量喝水：用口不口渴來判斷是否需要喝水是不夠的，要喝到想尿尿，且尿意顏色不能太深，聞起來不能有明顯尿味才夠，電解質方面則建議運動飲料與水以 1：1 方式攝取。

(D) 依照 NFPA1584 建議適當休息，內容約略如下：

⁷⁵ 鄭少書，同前註，頁 24-25。

a.消防人員吸完一支氣瓶或沒背氣瓶連續作業 20 分鐘後一定要自己補充水分，並至少休息 10 分鐘。

b.消防人員吸完兩支氣瓶，脫下化學防護衣或沒背氣瓶連續作業 40 分鐘後一定要正式進入休息區至少休息 20 分鐘，並接受救護人員評估生命徵象。

c.帶班幹部一定要確認，同仁返回工作崗位時身體狀況。

歐洲平均溫度較低，但因近年來極端氣候盛行，也時常出現 40 度以上高溫，消防人員面對火場環境，穿著消防衣執行救災勤務，即使歐規消防衣對於總熱逸散率亦有相當要求，但還是無法避免消防人員遭受到熱壓迫傷害，除了提升消防衣的熱防護性能外，總熱逸散率亦不可被輕忽，搶救災害時亦要針對熱壓迫傷害進行有效的預防與處理，期能讓消防業界的熱壓迫傷害降到最低。

（五）其他傷害

有相當多的因素和方式，會導致遭受灼燙傷，這些因素分別是傳導熱、輻射熱、對流熱、熱量、與熱源的距離、曝露在熱環境的時間及防護裝備的清潔和保存的狀態，在同一個火場中，這些因素也一直在改變，有時也會結合多種因素而遭受灼燙傷。⁷⁶

1.潮濕

在某些環境之下，只要消防衣受潮沾了水，都會增加灼燙傷的危險，但有時，潮濕能降低被灼燙傷的可能。譬如說，假設消防衣被射水或是自己的汗弄濕了，在某一個程度之下，這些在消防衣上的水會吸收熱量，而減低被灼燙傷的可能；然而，這些水若吸收了過多的熱量，當它穿透消防衣時，就會灼燙傷皮膚，這種現象多快會發生，有很多影響的因素，像是曝露在火場中的時間、熱傳的量、消防衣上的水量、哪一層是濕的，哪一層是乾的、消防衣所使用的材質、消防衣的清潔和保存狀態等都會造成影響。

2.電

⁷⁶ 新北市消防局災害搶救科，同前註。

無論消防衣是潮濕是乾燥，都無法保護消防員不受電擊。如果消防衣接觸到電源，可能因為觸電而死亡、灼燙傷或受傷，即使消防衣是乾燥、清潔、而且保存良好，也有可能觸電。

水或其他的流體都會導電。潮濕、骯髒的消防衣，都會增加被電擊的危險。

3. 感覺到熱

消防衣或其他裝備器材將使消防員降低對熱的敏感性，別被這種感覺所欺騙了，即使沒有感覺到任何的熱或不適，都有可能在無預警的情況下突然地被灼燙傷，要隨時注意，可能已經曝露在熱或其他的危險當中。

消防衣會降低對熱的敏感性，一定得時時保持警覺，因為消防員是在一個極度危險的熱環境之中，若是還穿戴 SCBA，耳套，或其他的裝備，感熱的能力會更差。

若消防員沒有穿上防護裝備、SCBA、和其他現代安全裝具，就會因熱及濃煙所帶來的不適，而無法待在火場過久或深入火場，這些防護裝備，不但能夠保護消防員，也能夠增加消防員在火場中的舒適感，也就是說，消防員對熱的敏感度也會降低！除非隨時提高警覺，不然你能會因此而太靠近危險環境，或是待得太久，在任何時候都要非常地小心，儘可能不要接觸到熱。

從感覺到痛，到真正被燒傷的時間，稱為「alarm time」。在任何的時間若感覺到熱，或輕微的不適，或不尋常的感覺，特別是穿著消防衣時，灼燙傷就有可能立刻發生。這時，就要考慮立即離開現場，遠離火源；若這時無法安全地逃出，立即改變所在的位置（如：往熱源的反方向跑，或背對熱源），逃到通風處，或是以水來冷卻周圍的溫度。

4. 配件和各個組成

消防衣可能會有附加的組成、配件、補強，在指尖、耳朵、手肘、膝部、肩部等部位，所以必須把消防衣各配件裝備視為一個整體，當要使用時，千萬別把這些組成或元件拆卸下來，所有的組成（外層、防水透氣層、隔熱層、補強、內裡等）在使用時必須互相結合在一起，若非如此，將會有死亡、灼燙傷、或受傷的可能。

5. 閉合系統

為了減低救災風險，必須扣緊消防衣上的閉合系統（如：消防衣護頸、拉鍊、魔鬼沾、護腕等）。否則，消防衣將出現空隙。若是沒有密合，則一些熱碎片有可

能會飛進消防衣內，造成灼燙傷；同樣地，若是消防大衣沒有扣上或拉上，將有可能直接曝露在輻射熱或有毒物質前面，若沒有緊扣閉合系統，則可能會導致死亡、灼燙傷、或受傷的危險。

6.修改、變更

修改、變更或任何消防衣的配件，都有可能影響到消防衣防護的性能，同時，也有可能增加搶救上的風險。非經製造廠商認可，千萬不要對消防衣作任何的改變，這些改變都可能增加危險。



第參章 問卷設計

第一節 設計問卷架構

本研究根據整理相關文獻進行理論性分析，及設計問卷調查進行實證研究，希望能提升消防人員對消防衣的認知，對於災害搶救時能避免不必要的傷亡，並希望消防機關在爾後採購上能做為參考依據。首先第一大項個人基本資料方面，包括有性別、年齡、教育程度、養成環境、服務年資、工作位階、BMI 身體質量指數、火災搶救訓練、單位隸屬行政區等九個項目；第二大項為消防衣基本認知：調查消防人員對消防衣的基本概念及認知；第三大項熱防護性能與熱效應認知：調查消防人員對消防衣的熱防護性能與熱效應的相關認知；第四大項為建議消防衣需改進之方向：調查目前雲林縣消防局外勤人員所使用之消防衣是否有需改進的部分；第五大項為遭受灼燙傷經驗：調查是否曾經於救災、訓練或演習時，有灼燙傷之情形；第六大項為遭受熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑經驗：調查是否曾經於救災、訓練或演習時，有熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑等現象；總共六大項。如下圖所示。

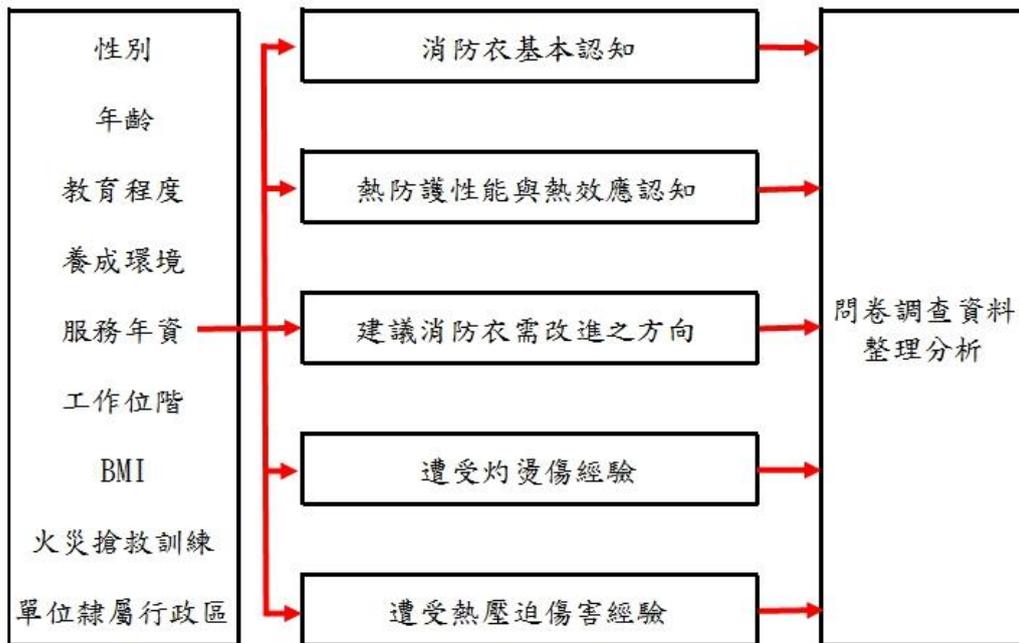


圖 3.1 問卷架構圖

第二節 研究對象

本研究以 GOOGLE 表單方式進行問卷調查，做為資料收集之方式，以雲林縣消防局外勤消防人員為研究對象，外勤單位共有三個大隊、二十二個分隊及一個小隊共約 350 人，問卷調查對象選擇第一大隊及所屬的斗六分隊、公園分隊、斗南分隊、林內分隊、蔴桐分隊、古坑分隊、大埤分隊及六合小隊共約 120 人。於 2019 年 4 月 12 日第一大隊主管會報後委請各單位主管將 GOOGLE 表單傳送給各分（小）隊同仁填表，問卷調查時間為期五天，日期為 2019 年 4 月 12 日至 2019 年 4 月 16 日，總計回收 104 份，含無效問卷 2 份，有效問卷計 102 份。

第三節 研究工具

（一）問卷設計

1.第一大項：基本資料

問卷調查內容為：（1）性別。（2）年齡。（3）教育程度。（4）養成環境。（5）服務年資。（6）工作位階。（7）BMI 身體質量指數。（8）火災搶救訓練。（9）單位隸屬行政區。問卷內容使用衡量尺度如表 3.1 所示：

2.第二大項：消防衣基本認知

問卷調查主要內容為：（1）消防衣相關知識的瞭解。（2）消防衣使用、保養及注意事項的認知。

3.第三大項：熱防護性能與熱效應認知

問卷調查主要內容為：（1）消防衣熱防護性能的認知。（2）穿著消防衣可能造成的熱效應認知。

表 3.1 個人基本資料衡量問項

題號	題目	問項	衡量尺度
1	性別	男 女	名義
2	年齡	未滿 25 歲 25-29 歲 30-39 歲 40-49 歲 50 歲以上	比率
3	教育程度	高中職 專科 大學（二技） 碩士 博士	順序
4	養成環境	警專或警大 特考班	順序
5	服務年資	未滿 3 年 3-9 年 10-19 年 20-29 年 30 年以上	比率
6	工作位階	非幹部 幹部	名義
7	BMI 身體質量指數	<18.5 $18.5 \leq \text{BMI} < 24$ $24 \leq \text{BMI} < 30$ $30 \leq \text{BMI} < 35$ 35 以上	比率
8	火災搶救訓練	無 FF1 FF2	順序
9	單位隸屬行政區	鎮、市 鄉	名義

4.第四大項：建議消防衣需改進之方向

問卷調查主要內容為：（1）目前所穿著的消防衣缺失之探討。（2）對消防衣的其他建議。

二、三、四大項預試問卷在問卷量表的尺度方面，採取 5 點尺度量表來衡量。依照同意程度分為非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意做為區別，分數依

序為 5 分至 1 分的分配方式進行衡量，分數愈高表示對問題項目的同意影響程度愈高，反向題則以反向計分處理。

5.第五大項：遭受灼燙傷經驗

問卷調查主要內容為：（1）調查是否曾經有灼燙傷之情形。（2）瞭解當時狀況。

6.第六大項：遭受熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑經驗

問卷調查主要內容為：（1）調查是否曾經有熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑等現象。（2）瞭解當時狀況。

（二）問卷修正

本問卷初稿完成後，由指導老師鍾志明教授先作審題，確認問卷調查方向無誤後，接著請雲林縣消防局第一大隊斗六分隊何建樞分隊長預試，將問卷調查題目確定之後，再請雲林縣消防局第一大隊斗六分隊同仁進行問卷調查預試，針對語意不清、用字遣詞、問卷題目設計不佳之題目，均予以增刪及修正，最後再由指導老師鍾志明教授審核通過後，始完成正式問卷。

（三）效度分析

效度（Validity）目的是在衡量研究工具是否能真正達到研究者想要衡量的問題。本研究問卷設計完成後，請 3 位專業人士進行內容之審視，提供問卷內容之修正及補充意見，以形成本研究問卷之專家效度，作為正式問卷調查修訂之依據，經過專業人士的審視，彙整建議，經指導老師指導後修正完成正式問卷，然後再發放給同仁填寫。

表 3.2 專業人士效度建構對象資料表

姓名	效度建構對象專業背景
黃朝群	雲林縣消防局救護科科員 (南投竹山訓練中心火搶教官)
高育生	雲林縣消防局災害搶救科科員 (承辦消防衣採購業務)
何建樺	雲林縣消防局第一大隊斗六分隊分隊長 (南投竹山訓練中心火搶教官)

(四) 預試問卷信度分析

信度 (Reliability) 目的是在測試研究工具的穩定性、準確性、一致性是否可以信賴，本研究採用 Cronbach's α 來衡量內部一致性，以雲林縣消防局第一大隊斗六分隊同仁進行問卷調查預試，填答前不經過任何說明及討論，填答後再與各預試者討論，針對問卷語意不清可能造成認知不同、問卷題目設計不佳之題目進行增刪及修正。Cronbach's α 值至少要大於 0.5，以大於 0.7 為高信度值，分析預試結果如下表所列：

表 3.3 預試問卷信度分析

架構主題內容	項次	題數	Cronbach' s α 值
消防衣基本認知	第二大項	11	.822
熱防護性能與熱效應認知	第三大項	9	.804
建議消防衣需改進之方向	第四大項	5	.888

表 3.4 預試問卷-消防衣基本認知

二、消防衣基本認知	
題號	問卷題目內容
1	我對消防衣具備有足夠的相關知識。
2	救助服不具有防火、防焰性能，不可用於火場環境救災。
3	我瞭解歐規消防衣在材質結構上具有外層、防水層及隔熱層。
4	我瞭解最主要的目的及功用，是在一般救災環境時提供更好的保護，在使用上仍有防護的極限，救災時也有可能受傷。
5	我瞭解目前雲林縣消防局配發的消防衣是符合歐規 EN469 標準。
6	我曾經接受過消防衣的使用、保養及注意事項的相關訓練。
7	配發消防衣時需詳讀使用說明書及安全、清洗及相關資訊的標籤。
8	我覺得用清潔劑清洗消防衣，時間久了會間接影響其防護性能。
9	消防衣平日保養維護時，我覺得直接在太陽底下曝曬會影響防護性能。
10	消防衣使用頻繁，破損未更換會影響防護性能。
11	修改消防衣配件會影響防護性能。

本大項題號2部分，因語意不清，經建議後修正為「救助服部分具有防火、防焰性能，仍不可用於火場環境救災。」；本大項題號11部分，因題目定義不明，容易造成混淆，經建議後予以刪除。其餘題目未做修正，均予以保留。

表 3.5 預試問卷-熱防護性能與熱效應認知

三、熱防護性能與熱效應認知	
題號	問卷題目內容
1	在符合 EN469 歐規標準條件下，我覺得熱防護性能愈好的消防衣，可能會導致總熱逸散率不佳。
2	在符合 EN469 歐規標準條件下，我覺得熱防護性能太好的消防衣，可能會導致消防人員過於深入火場，反而造成更大的危機。
3	消防衣穿著確實，仍有可能在火場發生灼燙傷情形。
4	長時間暴露在高溫環境中救災，因為熱效應可能會造成人體生理機能失調，導致熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑現象。
5	我覺得消防衣越厚重，並不代表熱防護性能越好。
6	消防衣的熱防護性能有一定之限制及規定，如火場溫度、受熱時間等。
7	消防衣上面沾染的油污、碳粒、煤灰等物質，會妨礙消防衣外層防火性與防水性。
8	穿著消防衣救災時，我會盡量在裡面穿透氣性較好衣物，避免因為熱效應造成熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑現象。
9	我覺得目前雲林縣消防局配發的歐規消防衣熱防護性能已經符合我的需求。

本大項題目未做修正，均予以保留。

表 3.6 預試問卷-建議消防衣需改進之方向

四、建議消防衣需改進之方向	
題號	問卷題目內容
1	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為重量太重。
2	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為操作靈活性不佳。
3	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為活動會造成包覆性不足。
4	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為熱防護性能不足。
5	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為穿戴時感覺太過悶熱。

本大項經建議新增題號6，「我對消防衣的其他建議」。其餘題目未做修正，均予以保留。

表 3.7 預試問卷-遭受灼燙傷經驗

五、遭受灼燙傷經驗	
1	我曾經於救災、訓練或演習時，有遭遇灼燙傷之情形。 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 未曾有過（跳過本大項）
2	灼燙傷的部位為？（複選） <input type="checkbox"/> 頭 <input type="checkbox"/> 頸 <input type="checkbox"/> 上肢 <input type="checkbox"/> 軀幹（不含手臂） <input type="checkbox"/> 下肢
3	灼燙傷面積及嚴重程度？ 度 %
4	當時執行的任務？ <input type="checkbox"/> 人命救助 <input type="checkbox"/> 滅火攻擊 <input type="checkbox"/> 侷限火勢或周界防護 <input type="checkbox"/> 殘火處理 <input type="checkbox"/> 司機或待命
5	造成灼燙傷的當時狀況？ <input type="checkbox"/> 閃、爆燃 <input type="checkbox"/> 高溫蒸氣或熱水 <input type="checkbox"/> 電擊或化學品 <input type="checkbox"/> 接觸高溫物體 <input type="checkbox"/> 其它
6	當時防護裝備？ <input type="checkbox"/> PPE（PPC+PASS+SCBA） <input type="checkbox"/> PPC（消防衣帽鞋手套） <input type="checkbox"/> 工作服
7	當時消防衣是乾或潮濕？ <input type="checkbox"/> 潮濕 <input type="checkbox"/> 乾
8	是否有就醫治療？ <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

本大項題目未做修正，均予以保留。

表 3.8 預試問卷-遭受熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑經驗

六、遭受熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑經驗	
1	我曾經於救災、訓練或演習時，有熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑等現象。 <input type="checkbox"/> 有 <input type="checkbox"/> 未曾有過（跳過本大項）
2	發生的熱壓迫傷害情形為？ <input type="checkbox"/> 熱痙攣（抽筋） <input type="checkbox"/> 熱衰竭 <input type="checkbox"/> 熱中暑
3	當時防護裝備？ <input type="checkbox"/> PPE（PPC+PASS+SCBA） <input type="checkbox"/> PPC（消防衣帽鞋手套） <input type="checkbox"/> 工作服
4	是於該事件到達現場多久後發生？ <input type="checkbox"/> 未滿 1 小時 <input type="checkbox"/> 1-2 小時 <input type="checkbox"/> 2-3 小時 <input type="checkbox"/> 超過 3 小時
5	當時執行的任務？ <input type="checkbox"/> 人命救助 <input type="checkbox"/> 滅火攻擊 <input type="checkbox"/> 侷限火勢或周界防護 <input type="checkbox"/> 殘火處理 <input type="checkbox"/> 司機或待命
6	當時身體處於何種狀況？ <input type="checkbox"/> 疲憊 <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 良好
7	當時體感溫度如何？ <input type="checkbox"/> 炎熱 <input type="checkbox"/> 普通 <input type="checkbox"/> 涼爽
8	是否有就醫治療？ <input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否

本大項題目未做修正，均予以保留。

第四節 問卷調查資料整理分析

本研究待問卷回收後，過濾一致性過高及明顯亂填者之問卷，採用 IBM SPSS (Statistic Package for Social Science) 22.0 版統計套裝軟體，對有效樣本登錄、編碼，進行統計及分析，分析項目包含有描述性統計資料分析、信度分析、獨立樣本 T 檢定、單因子變異數分析、皮爾森積差相關分析。

(一) 描述性統計資料分析

描述性統計資料分析 (Descriptive Statistical Analysis) 是將回收的有效樣本進行加工處理與顯示，通過描述性統計量和圖表等形式，反映客觀現象的規律性數據，使得原始樣本特性更有組織、系統化；量化的結果可透過分析各問項得到的百分比、標準差、平均數等，以便瞭解受測樣本的分佈情形和結構，百分比代表受測者對此問項的看法的各選項百分比；標準差代表受測者對此問項看法的一致性，數值小表示整體受測樣本對此問項的看法差異性較小 (有較高一致性)；平均數代表受測者對此問項的平均看法，數值高表示整體受測樣本對此問項有較高的認同度。

(二) 信度分析

信度 (Reliability) 目的是在測試研究工具的穩定性、準確性、一致性是否可以信賴，本研究採用 Cronbach's α 來衡量內部一致性，以雲林縣消防局第一大隊同仁進行問卷調查，填答前不經過任何說明及討論，填寫後針對問卷第二、三、四大項進行信度分析，以 SPSS 22.0 版分析，Cronbach's α 值至少要大於 0.5，以大於 0.7 高信度值。

表 3.9 內部一致性程度參照表⁷⁷

Cronbach's α	內部一致性
$\alpha \geq 0.9$	極好
$0.9 > \alpha \geq 0.8$	良好
$0.8 > \alpha \geq 0.7$	可接受
$0.7 > \alpha \geq 0.6$	不穩定
$0.6 > \alpha \geq 0.5$	較差
$0.5 > \alpha$	不可接受

(三) 獨立樣本 T 檢定

當兩組不同樣本不會互相影響跟干擾時，就可以使用獨立樣本 T 檢定 (Independent Sample T test)，來檢查這兩個組別計算出來的平均數是否有顯著的不同。本研究以獨立樣本 T 檢定來分析不同性別、養成環境、工作位階、單位隸屬行政區在「消防衣基本認知」、「熱防護性能與熱效應認知」、「建議消防衣改進之方向」、「遭受灼燙傷經驗」、「遭受熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑」五個分量表的差異狀況。

(四) 單因子變異數分析

本研究以年齡、教育程度、服務年資、火災搶救訓練為單一因子，設定「消防衣基本認知」、「熱防護性能與熱效應認知」、「建議消防衣改進之方向」、「遭受熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑」為變異數，使用單因子變異數分析 (One-

⁷⁷ George, D. and Mallery, P., SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference. (Boston: Allyn & Bacon, 2003.)

way ANOVA)，查看某一個變異數是否有顯著的差異，若有達顯著水準的差異性，則以 LSD 法進行事後比較，以瞭解其差異性為何。

（五）皮爾森積差相關分析

皮爾森積差相關分析（Pearson product-moment correlation coefficient），此分析方法是用来衡量兩個變數間的相關性，其值會在-1 至 1 之間，其數值所代表的相關性如下表 3.10：

表 3.10 皮爾森係數相關性

相關性	負	正
無	-0.09 to 0.0	0.0 to 0.09
弱	-0.3 to -0.1	0.1 to 0.3
中	-0.5 to -0.3	0.3 to 0.5
強	-1.0 to -0.5	0.5 to 1.0

第肆章 問卷分析

本章節依據本研究之論述進行網路問卷調查，使用方式為 Google 表單，回收之問卷有效樣本以 SPSS 22.0 統計軟體進行資料分析，本章共分為六節，第一節為問卷基本資料分析；第二節為針對「消防衣基本認知」、「熱防護性能與熱效應認知」、「建議消防衣需改進之方向」三大項進行信度分析；第三節為不同背景變項（性別、養成環境、工作位階、單位隸屬行政區）對各問項進行獨立樣本 T 檢定；第四節為不同背景變項（年齡、教育程度、服務年資、BMI 身體質量指數、火災搶救訓練）對各問項進行單因子變異數分析，有顯著性之問項再以 LSD 進行事後檢定；第五節為消防衣需改進方項五個問項與灼燙傷、熱壓迫傷害經驗進行皮爾森積差相關分析，第六節針對問卷中遭受灼燙傷及熱壓迫傷害案例進行相關統計及比對。

第一節 問卷基本資料分析

（一）樣本基本資料分析：

採用次數及百分比來分析性別、年齡、教育程度、養成環境、服務年資、工作位階、BMI 身體質量指數、火災搶救訓練、單位隸屬行政區等九項資料，藉以瞭解消防人員基本資料分布情形，其分析顯示結果如表 4.1：

表 4.1 消防人員基本資料分析

變項	類別	次數	百分比 (%)	累積百分比 (%)
1.性別	男	96	94.1	94.1
	女	6	5.9	100.0
2.年齡	未滿 25 歲	3	2.9	2.9
	25-29 歲	25	24.5	27.4
	30-39 歲	45	44.1	71.5
	40-49 歲	24	23.5	95.0
	50 歲以上	5	4.9	100.0
3.教育程度	高中職	4	3.9	3.9
	專科	43	42.2	46.1
	大學(二技)	45	44.1	90.2
	碩士	10	9.8	100.0
4.養成環境	警專或警大	64	62.7	62.7
	特考班	38	37.3	100.0
5.服務年資	未滿 3 年	24	23.5	23.5
	3-9 年	21	20.6	44.1
	10-19 年	36	35.3	79.4
	20-29 年	18	17.6	97.1
	30 年以上	3	2.9	100.0
6.工作位階	非幹部	84	82.4	82.4
	幹部	18	17.6	100.0
7.BMI 身體質量指數	<18.5	1	1.0	1.0
	$18.5 \leq \text{BMI} < 24$	41	40.2	41.2
	$24 \leq \text{BMI} < 30$	46	45.1	86.3
	$30 \leq \text{BMI} < 35$	13	12.7	99.0
	35 以上	1	1.0	100.0
8.火災搶救訓練	無	30	29.4	29.4
	FF1	66	64.7	94.1
	FF2	6	5.9	100.0
9.單位隸屬行政區	鎮、市	61	59.8	59.8
	鄉	41	40.2	100.0

(二) 描述性統計資料分析：

為瞭解研究構面各變數概略性資料分佈狀況，利用平均數及標準差進行統計，藉以瞭解受測者對於各衡量問項的平均看法及集中趨勢，其分析顯示結果如表 4.2、表 4.3、表 4.4 所示：

表 4.2 消防衣基本認知

題號	問項內容	平均數	標準差
1	我對消防衣具備有足夠的相關知識。	3.69	.703
2	救助服部分雖具有防火、防焰性能，仍不可用於火場環境救災。	4.65	.608
3	我瞭解歐規消防衣在材質結構上具有外層、防水層及隔熱層。	4.08	.780
4	我瞭解消防衣最主要的目的及功用，是在一般救災環境時提供更好的保護，在使用上仍有防護的極限，救災時也有可能受傷。	4.60	.531
5	我瞭解目前雲林縣消防局配發的消防衣是符合歐規 EN469 標準。	3.73	.810
6	我曾經接受過消防衣的使用、保養及注意事項的相關訓練。	3.56	.929
7	配發消防衣時需詳讀使用說明書及安全、清洗及相關資訊的標籤。	4.00	.745
8	我覺得用清潔劑清洗消防衣，時間久了會間接影響其防護性能。	4.30	.672
9	消防衣平日保養維護時，我覺得直接在太陽底下曝曬會影響防護性能。	4.38	.745
10	消防衣使用頻繁，破損未更換會影響防護性能。	4.59	.619

在此分析可知樣本問卷中「我對消防衣具備有足夠的相關知識。」、「我瞭解目前雲林縣消防局配發的消防衣是符合歐規 EN469 標準。」、「我曾經接受過消防衣的使用、保養及注意事項的相關訓練。」、「配發消防衣時需詳讀使用說明書及安全、清洗及相關資訊的標籤。」四個問項的平均數為 4 分以下，分數較其他問項低；而「我曾經接受過消防衣的使用、保養及注意事項的相關訓練。」此問項在標準差方面為 0.929，明顯表示樣本問卷對此問項看法差異性頗大。

表 4.3 熱防護性能與熱效應認知

題號	問項內容	平均數	標準差
1	在符合 EN-469 歐規標準條件下，我覺得熱防護性能愈好的消防衣，可能會導致總熱逸散率不佳。	4.09	.615
2	在符合 EN-469 歐規標準條件下，我覺得熱防護性能太好的消防衣，可能會導致消防人員過於深入火場，反而造成更大的危機。	4.17	.833
3	消防衣穿著確實，仍有可能在火場發生灼燙傷情形。	4.42	.636
4	長時間暴露在高溫環境中救災，因為熱效應可能會造成人體生理機能失調，導致熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑現象。	4.58	.496
5	我覺得消防衣越厚重，並不代表熱防護性能越好。	4.32	.632
6	消防衣的熱防護性能有一定之限制及規定，如火場溫度、受熱時間等。	4.52	.502
7	消防衣上面沾染的油污、碳粒、煤灰等物質，會妨礙消防衣外層防火性與防水性。	4.44	.518
8	穿著消防衣救災時，我會盡量在裡面穿透氣性較好衣物，避免因為熱效應造成熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑現象。	4.35	.574
9	我覺得目前雲林縣消防局配發的歐規消防衣熱防護性能已經符合我的需求。	3.86	.797

在此分析可知樣本問卷中「我覺得目前雲林縣消防局配發的歐規消防衣熱防護性能已經符合我的需求。」平均數為 3.86，顯示消防人員認為消防衣仍有小部份的改善空間，方能符合更多人的需求，至於需改善的部分由下一大項問卷進行分析探討；問卷中獲得較高平均分數的問項，「長時間暴露在高溫環境中救災，因為熱效應可能會造成人體生理機能失調，導致熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑現象。」、「消防衣的熱防護性能有一定之限制及規定，如火場溫度、受熱時間等。」分別獲得 4.58、4.52 高分，顯示消防人員一般對此兩問項有較高認同度。

表 4.4 建議消防衣需改進方項

題號	問項內容	平均數	標準差
1	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為重量太重。	2.81	1.078
2	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為操作靈活性不佳。	2.73	1.100
3	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為活動會造成包覆性不足。	3.01	1.029
4	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為熱防護性能不足。	3.21	1.102
5	我覺得目前所穿著的消防衣有需改進的地方或不符合個人需求，因為穿戴時感覺太過悶熱。	2.69	1.081

在此分析可知樣本問卷中，各問項平均數皆為 3 左右，顯示消防人員認為消防衣在「重量」、「操作靈活性」、「包覆性」、「熱防護性能」及「悶熱狀況」，仍有需改善空間，方能符合更多人的需求，且在標準差部分各問項也皆在 1 左右，代表看法差異義較大，其中以消防衣穿戴時感覺太過悶熱、操作靈活性、重量太重部分為較多人所不滿意。

第二節 信度分析

為瞭解問卷的一致性是否可以信賴，以 SPSS 22.版本針對問卷第二、三、四大項進行信度分析，分析出「消防衣基本認知」架構內容部份，總題數為 10 題，Cronbach's α 為 0.803，屬於良好；「熱防護性能與熱效應認知」架構內容部份，總題數為 9 題，Cronbach's α 為 0.790，屬於可接受；「建議消防衣需改進方項」架構內容部份，總題數為 10 題，Cronbach's α 為 0.928，屬於極好；此三大項均屬於高信度值，如下表 4.5 所示：

表 4.5 信度分析

大項	架構內容	題數	Cronbach's α	內部一致性
二	消防衣基本認知	10	0.803	良好
三	熱防護性能與熱效應認知	9	0.790	可接受
四	建議消防衣需改進方項	5	0.928	極好

第三節 獨立樣本T檢定

針對不同性別、養成環境、工作位階、單位隸屬行政區在「消防衣基本認知」、「熱防護性能與熱效應認知」、「建議消防衣改進之方向」、「遭受灼燙傷經驗」、「遭受熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑」五個分量表進行獨立樣本 T 檢定，可獲得表 4.6、表 4.7、表 4.8 分析結果，因單位隸屬行政區的獨立樣本 T 檢定的 P 值沒發現有較為顯著差異性，故不列在此處討論， $P < 0.05$ 為顯著； $P < 0.01$ 為很顯著； $P < 0.001$ 為非常顯著。

表 4.6 獨立樣本 T 檢定（性別）

大項-題號	性別	樣本數	平均數	標準差	T 值	P 值
二-1	男	96	3.75	0.665	3.911	0.000***
	女	6	2.67	0.516		
二-5	男	96	3.78	0.784	2.878	0.005**
	女	6	2.83	0.753		
二-6	男	96	3.63	0.909	2.989	0.004**
	女	6	2.50	0.548		
三-2	男	96	4.21	0.820	2.051	0.043*
	女	6	3.50	0.837		
四-5	男	96	2.73	1.090	2.593	0.036*
	女	6	2.00	0.632		
五-1	男	96	1.89	0.320	-3.506	0.001**
	女	6	2.00	0.000		

以性別針對各問項進行獨立樣本 T 檢定後，可發現在問項二-1 有非常顯著結果，男性平均分數為 3.75、女性平均分數為 2.67，代表男性消防人員非常顯著的在消防衣相關知識上的認知大於女性。而問項二-5、問項二-6、問項五-1 則具有很顯著的差異性，其中問項二-5 及問項二-6 之平均分數，男性分別大於女性 0.95 分及 1.13 分，代表男性很顯著的比女性更瞭解雲林縣消防局目前所配發的消防衣是符合歐規 EN469 標準，以及曾經接受過消防衣的使用、保養及注意事項的相關訓練；問項五-1 部分，女性未曾有過灼燙傷經驗且很顯著低於男性。問項三-2 及問項四-5 部份有顯著差異性，男性平均分數大於女性 0.71 及 0.73 分，問項三-2 代表男性對於熱防護性能太好的消防衣，可能會導致消防人員過於深入火場，造成危險有較高認知；問項四-5 分析結果可知男性比女性更認為消防衣穿戴時過於悶熱。

表 4.7 獨立樣本 T 檢定（養成環境）

大項-題號	養成環境	樣本數	平均數	標準差	T 值	P 值
二-1	警專或警大 特考班	64	3.81	0.664	2.407	0.018*
		38	3.47	0.725		
二-5	警專或警大 特考班	64	3.86	0.732	2.207	0.030*
		38	3.50	0.893		
三-4	警專或警大 特考班	64	4.50	0.504	-2.157	0.034*
		38	4.71	0.460		
三-9	警專或警大 特考班	64	4.00	0.667	2.116	0.039*
		38	3.63	0.942		
四-5	警專或警大 特考班	64	2.89	0.961	2.545	0.012**
		38	2.34	1.192		

以養成環境針對各問項進行獨立樣本 T 檢定後，可發現在問項四-5 有很顯著差異性，警專或警大養成環境畢業的消防人員在消防衣穿戴時，其平均分數大於特考班 0.55 分，代表比較能接受目前消防衣的悶熱狀況。而在問項二-1、二-5、三-9 則有顯著差異性，警專或警大畢業的消防人員平均分數分別大於特考班 0.34、0.36、0.37 分，在消防衣相關知識、符合 EN469 標準及熱防護性能符合需求部份有較高知認同度，問項三-4 部份有顯著差異性，不過平均分數為特考班較高 0.21 分，表示特考班消防人員對於熱效應可能造成人體生理機能失調部份有較高疑慮。

表 4.8 獨立樣本 T 檢定（工作位階）

大項-題號	工作位階	樣本數	平均數	標準差	T 值	P 值
二-1	非幹部	84	3.62	0.710	-2.381	0.024*
	幹部	18	4.00	0.594		
二-3	非幹部	84	4.00	0.807	-2.238	0.027*
	幹部	18	4.44	0.511		
二-5	非幹部	84	3.63	0.833	-3.535	0.001**
	幹部	18	4.17	0.514		

以工作位皆針對各問項進行獨立樣本 T 檢定後，可發現在問項二-5 有很顯著差異性，問項二-1 及問項二-3 則有顯著差異性，幹部平均分數也比非幹部分別多 0.54、0.38、0.44 分，代表幹部在消防衣符合 EN469 標準、材質結構及相關知識上明顯比非幹部得分較高。

第四節 單因子變異數分析

本研究以年齡、教育程度、服務年資、火災搶救訓練為單一因子，設定「消防衣基本認知」、「熱防護性能與熱效應認知」、「建議消防衣改進之方向」、「遭受熱痙攣（抽筋）、熱衰竭、熱中暑」為依變數，使用單因子變異數分析，查看某一個依變數是否有顯著的差異， $P < 0.05$ 為顯著； $P < 0.01$ 為很顯著； $P < 0.001$ 為非常顯著，若有達顯著水準的差異性，則以 LSD 法進行事後比較，以瞭解其差異性為何。因服務年資對各問項的單因子變異數分析無較明顯差異存在，故不在此節加以討論。

表 4.9 單因子變異數分析（年齡）

大項-題號		平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	事後比較 (LSD)
三-1	群組之間	3.781	4	0.945	2.663	0.037	4>1* 2>1*
	在群組內	34.425	97	0.355			
	總計	38.206	101				
三-4	群組之間	2.888	4	0.722	3.186	0.017	2>1* 4>1* 4>5* 2>5*
	在群組內	21.984	97	0.227			
	總計	24.873	101				

針對年齡分層對各問項進行單因子變異數分析後，由表 4.9 可知在問項三-1 及問項三-4 有顯著差異性，且透過 LSD 事後比較可發現，在問項三-1 年齡「40-49 歲」及「25-29 歲」消防人員顯著比「未滿 25 歲」更覺得熱防護性能愈好的消防衣，可能會導致總熱逸散率不佳；在問項三-4 部分，年齡「40-49 歲」及「25-29 歲」消防人員顯著比「未滿 25 歲」及「50 歲以上」更認同長時間暴露在高溫環境中救災，因為熱效應可能會造成人體生理機能失調，導致熱壓迫傷害現象發生。

表 4.10 單因子變異數分析（教育程度）

大項-題號		平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	事後比較 (LSD)
二-5	群組之間	5.866	3	1.955	3.170	0.028	4>2** 4>3*
	在群組內	60.448	98	0.617			
	總計	66.314	101				
三-1	群組之間	3.821	3	1.274	3.630	0.016	4>2* 4>3**
	在群組內	34.385	98	0.351			
	總計	38.206	101				

針對教育程度分層對各問項進行單因子變異數分析後，由表 4.10 可知在問項二-5、三-1 均有顯著差異性，透過 LSD 可發現在問項二-5 及問項三-1，教育程度為「碩士」明顯比「大學（二技）」、「專科」更同意「雲林縣消防局目前配發的消防衣是符合歐規 EN469 標準」及「熱防護性能愈好的消防衣，可能會導致總熱逸散率不佳」。

表 4.11 單因子變異數分析（火災搶救訓練）

大項-題號		平方和	自由度	均方和	F 值	P 值	事後比較 (LSD)
三-2	群組之間	5.436	2	2.718	4.157	0.018	2>3** 1>3*
	在群組內	64.730	99	0.654			
	總計	70.167	101				

針對火災搶救訓練分層對各問項進行單因子變異數分析後，由表 4.11 可知在問項三-2 有顯著差異性，曾經受過火災搶救訓練進階班的消防人員在「熱防護性能太

好的消防衣，可能會導致消防人員過於深入火場，反而造成更大的危機」部分，明顯比未受過火災搶救訓練及僅受過火災搶救訓練初階班人員更不認同，研判與受過進階班訓練人員在火場均有豐富的搶救經驗，所以不會因為消防衣熱防護性能過佳而造成誤判，讓自己身陷危險環境有相關聯性。

第五節 皮爾森積差相關分析

表 4.12 皮爾森 (Pearson) 積差相關分析

	四-1	四-2	四-3	四-4	四-5	五-1	六-1
四-1 皮爾森 (Pearson) 相關	1	.832**	.671**	.691**	.756**	.175	.264**
四-1 顯著性 (雙尾)		.000	.000	.000	.000	.078	.007
四-1 N	102	102	102	102	102	102	102
四-2 皮爾森 (Pearson) 相關	.832**	1	.693**	.725**	.784**	.259**	.259**
四-2 顯著性 (雙尾)	.000		.000	.000	.000	.009	.009
四-2 N	102	102	102	102	102	102	102
四-3 皮爾森 (Pearson) 相關	.671**	.693**	1	.775**	.599**	.219*	.065
四-3 顯著性 (雙尾)	.000	.000		.000	.000	.027	.516
四-3 N	102	102	102	102	102	102	102
四-4 皮爾森 (Pearson) 相關	.691**	.725**	.775**	1	.670**	.238*	.036
四-4 顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000		.000	.016	.716
四-4 N	102	102	102	102	102	102	102
四-5 皮爾森 (Pearson) 相關	.756**	.784**	.599**	.670**	1	.134	.163
四-5 顯著性 (雙尾)	.000	.000	.000	.000		.180	.101
四-5 N	102	102	102	102	102	102	102
五-1 皮爾森 (Pearson) 相關	.175	.259**	.219*	.238*	.134	1	.185
五-1 顯著性 (雙尾)	.078	.009	.027	.016	.180		.063
五-1 N	102	102	102	102	102	102	102
六-1 皮爾森 (Pearson) 相關	.264**	.259**	.065	.036	.163	.185	1
六-1 顯著性 (雙尾)	.007	.009	.516	.716	.101	.063	
六-1 N	102	102	102	102	102	102	102

** . 相關性在 0.01 層上顯著 (雙尾)。

* . 相關性在 0.05 層上顯著 (雙尾)。

對於問項五-1 而言，使用皮爾森（Pearson）積差相關分析第四大項-建議消防衣需改進之方向，可獲得如上表之資料，顯示曾經於救災、訓練或演時時，有遭遇灼燙傷之情形的消防人員，對於「操作靈活性不佳」、「包覆性不足」、「熱防護性能不足」之問項分別有 0.259、0.219、0.238 的正相關性及 0.009、0.027、0.016 的顯著差異性，此三個問項均與消防人員遭受灼燙傷有正相關性及顯著差異性。

對於問項六-1 而言，顯示曾經於救災、訓練或演時時，有遭遇灼燙傷之情形的消防人員，對於「重量太重」、「操作靈活性不佳」之問項分別有 0.264、0.259 的正相關性及 0.007、0.009 的很顯著差異性。

第六節 遭受灼燙傷及熱壓迫傷害案例分析

本研究之問卷調查，102 份有效問卷裡，曾經於救災、訓練或演習時，有遭遇灼燙傷之情形的消防人員共有 11 位，占所有問卷樣本的 10.8%；曾經有遭遇熱壓迫傷害的消防人員也有 11 位，占所有問卷樣本的 10.8%，其中有 3 名消防人員是兩種情形均遭遇過，其問卷調查的 Google 表單之百分比如下圖：

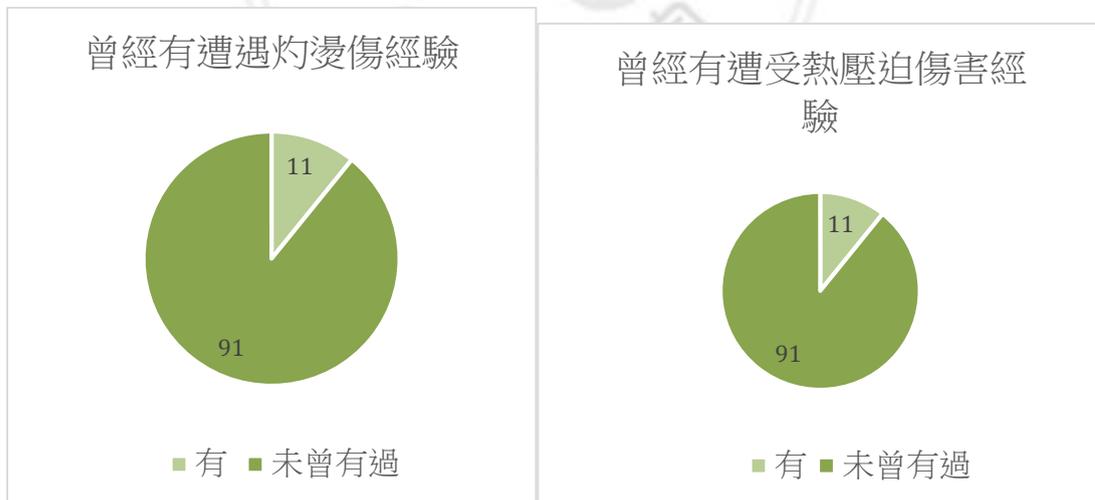


圖 4.1 Google 表單-問卷調查（遭受灼燙傷及熱壓迫傷害百分比）

（一）遭受灼燙傷案例分析

遭受灼燙傷案例 11 名，其灼燙傷狀況如下表 4.13，以灼燙傷程度而言，11 名案例裡，均分別遭受到 1 度 1~5% 的灼燙傷；防護裝備方面，有 10 人是穿著個人消防

防護裝備（其中 6 人為 PPE 等級）執行任務時遭受灼燙傷，只有 1 人是僅著工作服時受傷；消防衣乾燥或潮濕均有各半的灼燙傷案例，在火場中遭受到灼燙傷的機率與消防衣是否乾燥無直接關聯；執行任務方面，遭受灼燙傷人員當時所執行的任務大多數為滅火攻擊，主要是其危險性及困難度較其他任務高，且消防人員較常遇到滅火攻擊狀況，然其中最危險的人命救助任務，因消防人員較少機率遇到，所以在執行該項任務遭受灼燙傷次數也較少；而就醫治療部分僅有 1 名，其餘自行處理。

由灼燙傷部位觀察到僅有 1 名消防人員是下半身（下肢）遭受灼燙傷，且該名消防人員僅著工作服救災；以灼燙傷當時狀況研判問卷中之案例多數傷害來自於高溫蒸氣與熱水，接觸高溫物體等僅為少數。

表 4.13 灼燙傷案例狀況表

編號	灼燙傷部位	灼燙傷程度	執行任務	當時狀況	防護裝備	乾、潮濕?	就醫治療
1	頸	1 度 5%	滅火攻擊	高溫蒸氣或熱水	PPE	潮濕	否
2	頸	1 度 1%	滅火攻擊	高溫蒸氣或熱水	PPE	潮濕	否
3	頭	1 度 1%	滅火攻擊	其它	PPC	乾	是
4	上肢	1 度 1%	人命救助	高溫蒸氣或熱水	PPE	潮濕	否
5	上肢	1 度 3%	殘火處理	高溫蒸氣或熱水	PPC	潮濕	否
6	軀幹	1 度 1%	滅火攻擊	高溫蒸氣或熱水	PPE	乾	否
7	上肢	1 度 1%	滅火攻擊	閃、爆燃	PPE	乾	否
8	頸、上肢	1 度 2%	殘火處理	高溫蒸氣或熱水	PPC	乾	否
9	下肢	1 度 1%	滅火攻擊	接觸高溫物體	工作服	乾	否
10	頸	1 度 1%	滅火攻擊	高溫蒸氣或熱水	PPE	潮濕	否
11	頸	1 度 2%	滅火攻擊	高溫蒸氣或熱水	PPC	乾	否

（二）遭受熱壓迫傷害案例分析

遭受熱壓迫傷害案例 11 名，其狀況如下表 4.14，以傷害嚴重程度，多數為症狀較輕的熱痙攣（抽筋）以及熱衰竭，僅有 1 位為較嚴重之熱中暑現象；以防護裝備

而言，全部 11 人均穿著個人消防防護裝備（其中 10 人為 PPE 等級）；發生熱壓迫傷害時間有 6 位為 1-2 小時，是佔最大多數；當時執行的任務有 9 位是在從事勞累度及危險度較高的滅火攻擊及人命救助；當時身體狀況普通及疲憊各半，判斷身體在不是良好的情況從事重度勞累工作均有機率發生熱壓迫傷害；至於體感溫度於發生熱壓迫傷害時，均感覺炎熱；而就醫治療部分僅有 1 名狀況較嚴重的熱中暑同仁就醫，其餘皆為自行處理。

表 4.14 熱壓迫傷害案例狀況表

編號	熱壓迫傷害嚴重度	防護裝備	救災時間	當時任務	身體狀況	體感溫度	就醫治療
1	熱痙攣（抽筋）	PPE	超過 3 小時	侷限火勢或周界防護	普通	炎熱	否
2	熱衰竭	PPE	1-2 小時	滅火攻擊	普通	炎熱	否
3	熱痙攣（抽筋）	PPE	2-3 小時	滅火攻擊	疲憊	炎熱	否
4	熱中暑	PPE	1-2 小時	滅火攻擊	普通	炎熱	是
5	熱痙攣（抽筋）	PPE	1-2 小時	滅火攻擊	疲憊	炎熱	否
6	熱衰竭	PPE	未滿 1 小時	滅火攻擊	普通	炎熱	否
7	熱痙攣（抽筋）	PPE	2-3 小時	滅火攻擊	普通	炎熱	否
8	熱衰竭	PPE	1-2 小時	人命救助	疲憊	炎熱	否
9	熱衰竭	PPE	未滿 1 小時	滅火攻擊	疲憊	炎熱	否
10	熱衰竭	PPE	1-2 小時	滅火攻擊	普通	炎熱	否
11	熱衰竭	PPC	1-2 小時	殘火處理	疲憊	炎熱	否

第五章 結論

火場救災極具危險性，消防人員在面臨惡劣環境時，消防衣是提供保護的最重要防線，所以本研究主要探討目前雲林縣消防局同仁所使用的歐規消防衣於火場的熱防護性能是否足夠。研究方法分為文獻探討及實證性研究兩種：文獻探討依據研究的主題，分別歸納為以下三類，第一類為消防防護衣規範及比較，第二類為熱防護性能與熱效應，最後第三類針對火場環境及防護不足時可能造成的火場傷害作介紹；實證性研究則以設計問卷調查，搜集資料後以 SPSS 22.0 版本進行描述性統計資料分析、信度分析、獨立樣本 T 檢定、單因子變異數分析、皮爾森積差相關分析以及案例分析。

第一節 研究發現

經由本研究的文獻探討及實證性研究，期望消防人員對於消防衣能具有基本認知，瞭解其使用極限，避免因消防衣的防護，而造成對環境危險程度的誤判；也希望透過本研究資料，提供消防主管機關更加重視消防衣的採購，以提升與消防人員救災安全密切相關的消防衣必須具備的各項性能。綜合上述提供以下幾點結論：

- 1.由文獻探討可瞭解到消防衣在材質結構上具有外層、防水層及隔熱層，是在一般救災環境時，提供更好的保護，在使用上仍有防護的極限，即使穿著確實，仍有可能在火場受傷或殉職。

- 2.救助服部分雖具有防火、防焰性能，但其各項標準與歐規消防衣 EN469 規範相差甚遠，且不具有任何包覆性，絕對不可用於火場環境救災。

- 3.消防衣的熱防護性能有一定之限制及規定，如火場溫度、受熱時間等，消防人員應瞭解到熱防護性能太好的消防衣，可能會導致消防人員過於深入火場，反而造成更大的危機。

- 4.長時間暴露在高溫環境中救災，因為熱效應可能會造成人體生理機能失調，導致熱壓迫現象，需注意隨時補充水分、鹽分，體力不足時需適時的休息，進行救災人員任務替換，切勿逞強。

5.由實證性研究的問卷調查樣本中，可瞭解到目前同仁針對「我對消防衣具備有足夠的相關知識。」、「我瞭解目前雲林縣消防局配發的消防衣是符合歐規 EN469 標準。」、「我曾經接受過消防衣的使用、保養及注意事項的相關訓練。」、「配發消防衣時需詳讀使用說明書及安全、清洗及相關資訊的標籤。」四個問項的平均分數較低，同仁的消防衣相關知識及認知仍有待加強。

6.女性未曾有過灼燙傷經驗且很顯著低於男性，研判與女性較少從事火場中危險性較高任務有關；男性比女性更認為消防衣穿戴時過於悶熱，應該與男性經常於火場從事較勞累任務有關。

7.曾經受過火災搶救訓練進階班的消防人員在「熱防護性能太好的消防衣，可能會導致消防人員過於深入火場，反而造成更大的危機」部分，明顯比未受過火災搶救訓練及僅受過火災搶救訓練初階班人員更不認同，研判與受過進階班訓練人員在火場均有豐富的搶救經驗，所以不會因為消防衣熱防護性能過佳而造成誤判，讓自己身陷危險環境有相關聯性。

8.有灼燙傷經驗同仁較在乎衣服的包覆性及熱防護性能，推測可能活動時容易造包覆性不足，使得火場的高溫、火焰藉由傳導、對流、輻射使消防人員皮膚外露的部份更容易遭受灼燙傷；而消防衣熱防護性能是保護消防人員在完整穿戴下免於遭受灼燙傷最主要的要件；在操作靈活性方面若不佳的話，容易造成消防人員無法有效迴避火場的高溫及火焰所帶來的傷害，此三個問項均與消防人員遭受灼燙傷有正相關性及顯著差異性。

9.有熱壓迫傷害經驗同仁較在乎消防衣的重量及操作靈活性，反而不在乎穿戴的悶熱感，可推測在他們的認知裡，總熱逸散率不佳反而不是造成熱壓迫傷害的主因，而是裝備的重量過重及操作靈活性不足，使得消防人員救災時耗費太多體力使自身過於勞累並流失過多水份、鹽份，以至於在火場發生熱痙攣（抽筋）、熱衰竭或熱中暑現象。

10.由灼燙傷部位觀察到僅有 1 名消防人員是下半身（下肢）遭受灼燙傷，且該名消防人員僅著工作服救災，可判斷以熱防護性能而言，現行雲林縣消防局所使用的歐規消防衣針對下半身已有足夠的熱防護性能，但對於上半身仍有需加強的空間；以灼燙傷當時狀況研判問卷中之案例多數傷害來自於熱傳導途徑之中的對流熱，也就是高溫蒸氣或熱水所引起，可見消防衣對對流熱的熱防護性能或包覆性較為不足。

第二節 建議

本研究因受限於人力、時間之因素，僅探討個人消防防護裝備中的一般火災搶救之消防衣，其它如消防帽、消防鞋、消防手套、消防頭套等個人消防防護裝備不考慮在內，並針對雲林縣消防局第一大隊外勤同仁進行問卷調查，分析研究後僅提供以下幾點建議，提供給消防主管機關參考：

1.有灼燙傷經驗同仁較在乎衣服的熱防護性能、包覆性、及操作靈活性，此三個問項均與消防人員遭受灼燙傷有正相關性及顯著差異性。其中消防衣熱防護性能及包覆性是保護消防人員在完整穿戴下免於遭受灼燙傷最主要的要件，而操作靈活性方面若不佳的話，容易造成消防人員無法有效迴避火場的高溫及火焰所帶來的傷害。

2.由灼燙傷部位觀察到僅有 1 名消防人員是下半身（下肢）遭受灼燙傷，且該名消防人員僅著工作服救災，可判斷以熱防護性能而言，現行雲林縣消防局所使用的歐規消防衣針對下半身已有足夠的熱防護性能，但對於上半身仍有需加強的空間，若日後要針對消防衣熱防護性能補強，可在增加消防衣最少重量的狀況下，提升熱防護性能等級。

3.以灼燙傷當時狀況研判問卷中之案例多數傷害來自於熱傳導途徑之中的對流熱，也就是高溫蒸氣或熱水所引起，可見消防衣對對流熱的熱防護性能或包覆性較為不足，消防機關應重視此一問題，並設法改善熱防護性能與包覆性，也要藉由訓練告知個人消防防護裝備的穿戴完整性。

4.有熱壓迫傷害經驗同仁較在乎消防衣的重量及操作靈活性，反而不在乎穿戴的悶熱感，可推測在他們的認知裡，總熱逸散率不佳反而不是造成熱壓迫傷害的主因，而是裝備的重量過重及操作靈活性不足，使得消防人員救災時耗費太多體力使自身過於勞累並流失過多水份、鹽份，以至於在火場發生熱痙攣（抽筋）、熱衰竭或熱中暑現象，日後在改善消防衣部分，可朝向在不影響熱防護性能的狀況下，減少消防衣重量及增加操作靈活性，以減少同仁在火場遭受熱壓迫傷害的情形；亦可在平日訓練時，藉由在炎熱天氣時，訓練同仁從事中度勞累以上工作，提升同仁耐熱能力。

參考文獻

(一) 中文文獻

1. 〈地裂一瞬間！ 2014 年高雄氣爆釀 32 死，三分鐘回顧事件〉，《聯合新聞網》，<https://udn.com/news/story/12090/3136073>，瀏覽日期 2019.1.11。
2. 〈桃園市新屋保齡球館火災〉，《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/桃園市新屋保齡球館火災>，瀏覽日期 2019.1.11。
3. 〈財團法人中國紡織工業研究中心〉，《防護性紡織品產業專題調查報告》，台北市：經濟部產業技術資訊服務推廣計畫，1994 年 6 月。
4. 〈敬鵬工業平鎮廠火災〉，《維基百科》，<https://zh.wikipedia.org/wiki/敬鵬工業平鎮廠火災>，瀏覽日期 2019.1.11。
5. 〈認識燒燙傷〉，《中華民國兒童燙傷基金會網站》，http://www.cbf.org.tw/ugC_Know01.asp，瀏覽日期 2019.3.15。
6. 〈熱衰竭與中暑〉，《衛生福利部中央健康保險署網站》，https://www.nhi.gov.tw/Content_List.aspx?n=2BA9564656AB07BB&topn=3185A4DF68749BA9，瀏覽日期 2019.3.19。
7. GOBLE Inc.，「總熱逸散率 (THL) 介紹」，<https://globe.msasafety.com/thl>，瀏覽日期 2019.2.10。
8. 王茂駿，《衣物之吸濕、透濕與透氣特性對人員生理、心理物理與主觀舒適性之影響》，新竹市：國立清華大學工葉工程與工業管理學系所，2012 年。
9. 呂學治，《外勤消防人員消防衣之探討-以臺南市政府消防局為例》，台南市：嘉南藥理大學職業安全衛生所碩士論文，2014 年。
10. 李引擎等，《建築安全防火設計手冊》，河南省：河南科學技術出版社，1998 年。
11. 杜邦公司，《杜邦熱防護性能測試方法》，<http://www.dupont.cn/products-and-services/personal-protective-equipment/thermal-protective/articles/dupont-thermal-protection-performance-test.html>，瀏覽日期 2019.3.11。
12. 周國村，〈高溫防護服飾性能與舒適性評估〉，《絲織園地》，第 40 期，2002 年，頁 74-79。
13. 周國祥，《消防防護衣熱防護性能調查與分析之研究》，桃園市：中央警察大學消防科學研究所碩士論文，2000 年。

14. 林元章，〈杜邦 Nomex 纖維應用在防護（火）衣之沿革及其研究與發展〉，台灣杜邦股份有限公司亞太區先進纖維部，1998 年 7 月。
15. 施陽平，〈阻燃織物之發展與應用〉，《紡織中心期刊》第 3 卷第 5 期，財團法人中國紡織工業研究中心，1993 年，頁 58-61。
16. 胡淑蓉、李俊，〈防護服性能測評進展〉，《紡織學報》第 32 卷第 5 期，上海市：東華大學功能防護服裝研究中心，2011 年，頁 148-154。
17. 胡勝川等譯，《到院前緊急救護》，中華民國加護醫學會，台北市，1990 年 10 月。
18. 唐湘英、唐靜雯，〈人造纖維的難燃性質〉，收錄於：許永綏，《天然纖維與特殊合成纖維》，財團法人徐氏基金會，台北市，1992 年 6 月，頁 101-102。
19. 財團法人紡織產業綜合研究所，<https://www.ttri.org.tw/content/about/about01.aspx>，瀏覽日期 2019.2.25。
20. 梁金銅、張金堅等譯，《莎氏外科精要》，藝軒圖書出版社，台北市，1997 年 6 月。
21. 新北市消防局災害搶救科，〈火場個人安全防護裝備-消防衣褲的使用須知〉，2009 年。
22. 劉貞秀，《熱傳導係數量測之研究》，台南市：成功大學工程科學系碩士論文，2008 年。
23. 樂以媛，〈衣物與人體生理舒適性〉，《中國紡織工業研究中心紡織中心期刊》，第 6 卷第 3 期，台北市，1996 年，頁 218-225。
24. 鄭少書，〈淺談消防員熱傷害〉，《消防月刊》，2018 年 11 月，頁 22-25。
25. 驗證規範擬定小組，〈FTTS-FP-108 消防服驗證規範 Specified Requirements of Protective Clothing for Firefighting.〉，機能性暨產業用紡織品認證與驗證評議委員會，<http://www.tnet.org.tw/Article/Detail/18126>，瀏覽日期 2019.3.11。

（二）英文文獻

1. Behnke, W. P., "Thermal Protective Performance Test for Clothing," *Fire Technology*, Vol. 13, No. 1, 1977, pp. 6-12.
2. EN-469, *Protective clothing for firefighters-Requirements and test methods for protective clothing for firefighting*, CEN, Brussels: European Committee for Standardization, 2005.
3. George, D. and Mallery, P., *SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference*. Boston: Allyn & Bacon, 2003.
4. Holcombe, B. V. and Hoschke, B. N., "Do Test Methods Yield Meaningful Performance Specifications?", in Barber, R. L. and Coletta, G. C. (eds.), *Performance of Protective Clothing*. (Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1986), pp. 327-339.

5. Krasny, J. F., Roche, J. A. t, and Huang, D., "Protective Fire Fighters Exposed in Room Fires: Comparison of Results of Bench Scale Test for Thermal Protective and Conditions During Room Flashover", *Fire Technology*, Vol. 24, No. 1, 1988, pp 5-19.
6. Lawson, J., "Fire Fighters' Protective Clothing and Thermal Environments of Structural Fire Fighting," in Stull, J. and Schwoppe A. (eds.) *Performance of Protective Clothing: Sixth Volume* (West Conshohocken, PA: ASTM International, 1997) pp. 334-352.
7. Lion Apparel, Inc., *User Instruction Safety and Training Guide for Compliant Structural Fire Fighter Protective Clothing*, Dayton, Ohio: Lion Apparel, Inc., 1999, p. 20
8. Mell, W. E. and Lawson, J. R., "A Heat Transfer Model for Fire Fighter's Protective Clothing" *Fire Technology*, Vol. 36, No. 1, 2000, pp. 39-68.
9. NFPA-1971, *Standard on Protective Ensemble for Structural Fire Fighting: 1997 edition*. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1997
10. Peacock, R. D., Krasny, J. F., Rocket, J. A. and Huang, D., "Protective Fire Fighters Exposed in Room Fires Part 2: Performance of Turnout Coat Materials Under Actual Fire Conditions", *Fire Technology*, Vol. 26, No. 3, 1990, pp 202-222
11. Raheel, M., "Protective Clothing: An Overview," in Daanen, H. A. M., Reffeltrath, P.A. (eds.), *Protective Clothing Systems and Materials* (New York, N.Y.: Marcel Dekker, Inc., 1994), pp. 11-12.
12. Schoppee, M., Welsford, J., and Abbott, N., "Protection Offered by Lightweight Clothing Materials to the Heat of a Fire," in Barker, R. and Coletta, G. (eds) *Performance of Protective Clothing* (West Conshohocken, PA: ASTM International, 1986), pp. 340-357.
13. Teele, W. B. and Foley, N. S., "Fire Service Protective Clothing and Protective Equipment," in: Cote, E. (ed.), *Fire Protection Handbook: 18th ed* (Quincy, MA: National Fire Protection Association, 1990) pp.215-238.
14. Torvi, D. A., and Hadjisophocleous, G. V., "Research in Protective Clothing for Fire fighters: Start of the Art and Future Directions," *Fire Technology*, Vol. 35, No. 2, 1999, pp. 111-130.
15. United States Fire Administration, *Minimum Standards on Structural Fire Fighting Protective Clothing and Equipment - A Guide for Fire Service Education and Procurement* (Emmitsburg, Maryland: Fire Fighter Health and Safety U.S. Fire Administration, 1992), pp.9-10.
16. Zimmerli, T. and Weder, M., "Protection and Comfort - A Sweating Torso for the Simultaneous Measurement of Protective and Comfort Properties of PPE," in Stull, J. and Schwoppe, A. (eds), *Performance of Protective Clothing: Sixth Volume* (West Conshohocken, PA: ASTM International, 1997), pp. 271-280.