


東 海 大 學

工業工程與經營資訊學系

博士論文

鞋墊足壓舒適度與鞋楦圍度適足性於鞋具
評量之研究

The seal of Shanghai University is a circular emblem with a scalloped border. It contains the university's name in Chinese characters '上海大學' at the top, 'SHANGHAI UNIVERSITY' in English around the middle, and the founding year '1955' at the bottom.

研究生：楊慶湖

指導教授：王中行 教授

中華民國一〇八年六月

**The Evaluation on the Comfort of Insoles Plantar
Pressure and
the Fitness of Shoe Last Girths**

By
Ching-Hu Yang

Advisor: Prof. Chung-Shing Wang

A Thesis
Submitted to the Institute of Industrial Engineering and Enterprise
Information at Tunghai University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Doctor of Philosophy
in
Industrial Engineering and Enterprise Information

June 2019
Taichung , Taiwan

鞋墊足壓舒適度與鞋楦圍度適足性於鞋具評量之研究

學生：楊慶湖

指導教授：王中行 博士

東海大學工業工程與經營資訊學系

摘 要

鞋具在人類生活起居上，佔有極為重要之地位，它提供人體足部最基本的保護與溫暖作用，同時更兼具引導時尚潮流之角色。隨著休閒運動風潮的興起與科技的進步，穿著舒適性與適足性之人因工程考量，逐漸成為鞋具設計的主要研發方向；而鞋墊在降低足底壓力，達成穿著的舒適度，鞋楦在與腳型圍度尺寸寬鬆適足性的配合上，為鞋具設計的重要指標。本研究基於此項概念，以足部鞋具穿著之舒適性與適足性為方向，藉由鞋墊足壓量測、足楦特徵圍度比對，達成鞋具設計評量的重要指標分析。研究上分為四階段：1.鞋墊足壓舒適度評價，方法上應用灰關聯與類神經網路分析，比對測試者穿著樣本鞋墊足壓分佈之差異，完成測試與評價，取得個人最適鞋墊，並獲取後續鞋楦設計所需預留之寬鬆舒感值 11 mm、寬鬆範圍 4 mm。2.足楦圍度適足性評量，藉由逆向工程 3D 掃描與切層演算法取得測試者足部與鞋楦特徵圍度，再配合專家問卷，得到特徵圍度權重排序，完成建立鞋楦與足部配合之適足性評量模式。3.快速鞋具篩選系統建立，結合分析所得之鞋墊足壓寬鬆舒感值數據和足部鞋楦正確特徵圍度資料，應用模糊歸屬函數，建立一套最適鞋楦篩選系統。4.實例驗證，以 10 位志願者、20 支鞋楦加入實際測試，驗證本系統之實用性，完成個人最適鞋墊與鞋楦分析之探討。本研究可作為個人鞋具設計舒適性與適足性之參考，廠商鞋具設計模組化之依據，亦可為醫療性鞋具客製化之建構，更可讓一般鞋具零售商，僅需憑藉消費者足部圍度資訊，快速取得最合適之鞋具，免除逐一試穿之時間耗費，增加其方便性。

關鍵詞：鞋墊、足壓舒適度、鞋楦、圍度適足性、灰關聯、類神經網路、模糊理論、寬鬆舒感值

The Evaluation on the Comfort of Insoles Plantar Pressure and the Fitness of Shoe Lasts Girths

Student: Ching- Hu Yang

Advisor: Prof. Chung-Shing Wang

Department of Industrial Engineering and Enterprise Information
Tunghai University

ABSTRACT

Shoes have always occupied an extremely important position in human's life. Not only do they provide the most basic protection and warmth of the human feet, but also play the role of fashion trend. Nowadays, with the rise of leisure sports and the advancement of technology, the comfort and suitability of footwear have gradually become the main research and development direction of footwear design. The Insole reduces the plantar pressure to achieve the comfort of wearing, and the shoe last with the loose fit of the foot shape is an important indicator for the design of the shoe. Based on the concept, this study takes the comfort and adequacy of the foot as the direction, and achieves an important analysis of the design of the shoe design by the Insole Plantar pressure measurement and the characteristic feature circumference comparison. The research is divided into four stages. First is the evaluation of the insole plantar pressure comfort. The method uses grey relational and neural network analysis to evaluate the difference while testing the plantar pressure distribution of the sample insole. It can obtain the most suitable personal insole, in which the relaxed comfort value that are reserved as 11 mm and the loose range 4 mm. Second is the fitness of shoe lasts girths. The reverse engineering 3D scanning and the triangle slicing are used to obtain the specific circumference of the tester's foot and shoe last. Then the feature girths are sorted by the expert questionnaires to complete the assessment of the suitability of the shoe last and the foot. Third is the establishment of rapid shoe screening system. It is to combine the obtained insole plantar pressure comfortable range value data and the correct feature circumference data of the shoe last with application of fuzzy membership function to establish a set of optimal footwear screening system. Fourth is the example verification. 10 volunteers and 20 shoe lasts join the actual test, which will verify the practicability of the system, complete the analysis and discussion of the most suitable insole and shoe last. This study can be used as the reference for future shoe design and acceleration modulization for manufacturers. It can also make contribution to the customized research and development of medical shoes. With the data, it provides convenience that general retailers can quickly get the most suitable shoes for customers who are not required to try on many others.

Key words: Insole, Plantar pressure comfort, Shoe last, Girth fitness, Grey relational, Artificial neural network, Fuzzy theory, Comfortable range value data

致謝詞

承蒙恩師王中行博士的悉心指導，在五年的求學過程中，無論是期刊的投稿還是論文的寫作，從觀念的啟發、研究方向的探討、整體架構之安排..等各方面，都給予無私的教導與匡正，也全賴老師審慎耐心地帶領已屆花甲、天資魯鈍的我，進入這個浩瀚無涯的學術領域，艱難的國際期刊投稿方能如期地被接受，畢業博士論文亦得以完成與付梓，恩師諄諄的勉勵與教誨，將永銘於心。口試期間，承蒙蕭世文博士、吳志富博士、杜瑞澤博士與黃台生博士在百忙之中，撥空參予，悉心審閱，並惠賜諸多寶貴意見，使本論文更為完善，謹在此表達最深的敬意與謝意。另外對於曾經協助我完成研究個案資料蒐集與程式撰寫的碩士班學生們，更是感謝他們的幫忙，讓本研究之成果得以完整呈現。工設系多位老師、系辦公室與院辦公室工作人員，總在我最需要幫忙的時候伸出援手，在此一併致上感謝之意。

我的父母親在我從小到成年過程中，都給我全力的支持與援助，這讓我得以順利完成人生大部分規劃，然而學業成績的未盡人意，總是讓他們引為憾事。如今個人以耳順之年，取得博士學位，雖已晚矣！然此涓滴榮耀或許稍可告慰兩老在天之靈，最後要感謝我親愛的家人，在我求學這段時間，所給予我的鼓勵與包容。讓我在挫折與疲累之時能夠無畏的往前衝刺，才能順利的達成此項願望。

謹以此論文獻給我最親愛的家人和所有關心我的師長、朋友們，生命中有您們的參與，我的人生才能過得如此充實而且有意義，謝謝您們！

楊慶湖 謹誌於
東海大學工業工程與經營資訊系
中華民國一〇八年六月

目 錄

中文摘要.....	i
ABSTRACT.....	ii
致 謝.....	iii
目 錄.....	iv
表 目 錄.....	vi
圖 目 錄.....	viii
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景.....	2
1.2 研究動機.....	4
1.3 研究目的.....	5
1.4 論文探討方向.....	5
1.5 研究流程.....	7
1.5.1 鞋墊足壓舒適度評價.....	8
1.5.2 鞋楦適足性圍度評量.....	10
1.5.3 舒適鞋具篩選評量系統設計.....	11
1.6 研究範圍與限制.....	13
1.6.1 名詞解釋.....	13
1.6.2 樣本規範與受測者條件.....	13
1.6.3 靜態實驗測試選擇.....	13
1.7 論文貢獻.....	14
1.7.1 鞋墊足壓舒適度評價.....	14
1.7.2 鞋楦適足性圍度評量.....	14
1.7.3 舒適鞋具篩選評量系統建立.....	14
1.8 論文架構.....	15
第二章 文獻探討.....	17
2.1 鞋墊與足部探討.....	17
2.1.1 中底材料應用與足部關聯性.....	16
2.1.2 足壓與舒適度關聯性.....	18
2.1.3 足壓量測.....	19
2.1.4 鞋墊材料實驗.....	20
2.2 鞋楦與足部探討.....	20
2.2.1 鞋楦與足部結構關聯性.....	21
2.2.2 鞋具設計特徵與足行量測.....	23
2.3 舒適鞋具篩選評量系統建立.....	24
2.3.1 鞋墊足壓舒適度評價方法應用.....	25
2.3.2 鞋楦適足性圍度評量方法應用.....	33
2.3.3 舒適鞋具篩選評量系統建立方法應用.....	37
2.4 小結：方法恰當性.....	44
第三章 鞋墊足壓舒適度評價.....	45
3.1 鞋墊足壓舒適度評價系統設計探討.....	45

3.1.1 生物力學實驗設計	46
3.1.2 灰關聯鞋墊足壓舒適度評價	57
3.2 實驗驗證	66
3.2.1 灰關聯度評量	66
3.2.2 類神經網路智慧分群	71
3.2.3 類神經網路訓練架構	77
3.3 鞋墊足壓舒適度評價結果	84
3.3.1 灰關聯舒適度評價結果分析	84
3.3.2 類神經自我訓練與智慧分群結果分析	85
3.4 小結	86
第四章 鞋楦適足性圍度評量	87
4.1 鞋楦適足性設計探討	87
4.1.1 足部與鞋楦特徵圍度關聯度	88
4.1.2 足圍與楦圍寬鬆舒感值預留	89
4.1.3 鞋楦適足性設備與評量	90
4.2 鞋楦適足性量測系統設計	107
4.2.1 鞋楦適足性量測系統建構	108
4.2.2 樣本鞋楦與測試者足部資料建立	114
4.3 鞋楦圍度適足性評量系統執行	117
4.3.1 樣本鞋楦、測試者足部特徵資料分析運算	117
4.4 小結	119
第五章 舒適鞋具評量系統建立與實證	120
5.1 舒適鞋具評量系統建立	120
5.1.1 應用模糊分析與排序	121
5.1.2 應用層級分析法 (AHP) 找出主要圍度權重值	122
5.2 鞋具評量系統介面建立	124
5.2.1 測試者足部、樣本鞋楦特徵數據讀入	124
5.2.2 模糊分析運算	125
5.3 實際驗證	127
5.3.1 模糊分析與排序運算取得各圍度歸屬度	127
5.3.2 使用層級分析法 (AHP) 找出各主要圍度權重值	128
5.3.3 結果與討論	135
第六章 結論	139
6.1 研究成果	139
6.2 未來展望	140
參考文獻	142
附錄	148
附表 1 正常裸足壓力表	148
附表 2 舒適度鞋楦選擇系統志願者足部圍度	149
附表 3 受測者鞋楦模糊歸屬度排序	150
附表 4 問卷設計	160
附表 5 60 支不分鞋號鞋楦特徵圍度數據	163

表 目 錄

表 2.1 模糊理論、迴歸理論及灰色理論之特色與差異.....	26
表 2.2 鞋楦設計特徵與生物力學改變參數關係.....	34
表 2.3 解模糊化方法比較.....	39
表 2.4 層級分析法評估尺度意義及說明.....	43
表 3.1 實驗測試者基本資料.....	47
表 3.2 樣本鞋墊特徵比較表.....	48
表 3.3 樣本鞋墊分區厚度與硬度.....	49
表 3.4 Tek-Scan 感測片及系統規格.....	50
表 3.5 S 測試者實驗變數與參數關聯表.....	59
表 3.6 S 測試者變數與參數的正規值.....	62
表 3.7 S 測試者新參考序列值.....	62
表 3.8 S 測試者灰關聯距離值.....	63
表 3.9 S 測試者灰關聯係數.....	64
表 3.10 S 測試者六款鞋墊之灰關聯度.....	65
表 3.11 A 測試者穿著六款鞋墊量測 4 次之足壓圖度.....	66
表 3.12 A 測試者的關聯排序(六隻鞋墊).....	68
表 3.13 A 測試者的關聯排序(五隻鞋墊).....	68
表 3.14 20 位測試者計算灰關聯度以及最適鞋墊排序(六隻鞋墊).....	69
表 3.15 20 位測試者計算灰關聯度以及最適鞋墊排序(五隻鞋墊).....	70
表 3.16 各足型最適鞋墊(五支鞋墊).....	71
表 3.17 網路架構 a 逐次訓練結果 (六隻樣本鞋墊).....	79
表 3.18 網路架構 a 逐次訓練-正確率、梯度性能、網路疊代數.....	80

表 3.19 網路架構 b 一次學習正確率.....	81
表 3.20 網路架構 a 逐次訓練結果 (5 支樣本鞋墊)	82
表 3.21 網路架構 a 逐次訓練-正確率、梯度性能、網路疊代數	83
表 3.22 網路架構 b 一次學習-正確率	84
表 4.1 歐、美、日本男性鞋楦規格表.....	89
表 4.2 站立型 3D 腳型量測儀規格表.....	92
表 4.3 鞋楦設計規格與足型量測尺寸對照表.....	94
表 4.4 足部特徵點與圍度示意圖.....	101
表 4.5 三角網格相交類別.....	104
表 4.6 輸出足部特徵數據資料之儲存格式.....	113
表 4.7 輸出樣本鞋楦特徵數據資料之儲存格式.....	113
表 4.8 擷取測試者足部特徵分析之數據資料.....	117
表 4.9 透過篩選的 20 支鞋楦特徵圍度數據.....	118
表 4.10 減去中底厚度之鞋楦特徵圍度數據.....	119
表 5.1 隨機指數值.....	123
表 5.2 分析排序結果儲存 Excel 檔案	126
表 5.3 問卷計算結果.....	129
表 5.4 10 位測試者最適鞋楦與特徵圍度比較.....	134
表 5.5 6121E 測試者適合鞋楦特徵圍度比較(20 支楦)	136
表 5.6 6121E 測試者 60 支鞋楦測試適合鞋楦特徵圍度比較(60 支楦)	138
表 5.7 61212E 測試者 60 支楦篩選適合鞋楦特徵圍度比較.....	138

圖目錄

圖 1.1 研究流程圖.....	7
圖 1.2 鞋墊足壓舒適度評價研究流程.....	9
圖 1.3 鞋楦量測特徵.....	11
圖 1.4 舒適鞋具篩選評量系統設計流程.....	12
圖 1.5 論文架構圖.....	16
圖 2.1 足部骨骼與足楦關係位置.....	21
圖 2.2 鞋楦主要機能分區.....	21
圖 2.3 AKA64-WMS 製楦指南與中文製楦分級系統.....	23
圖 2.4 舒適鞋具篩選評量系統方法應用.....	25
圖 2.5 人工神經元關聯流程圖.....	27
圖 2.6 單層與多層類神經網路架構比較圖.....	28
圖 2.7 監督式學習演算法.....	29
圖 2.8 非監督式學習演算法.....	30
圖 2.9 倒傳遞類神經網路架構圖.....	31
圖 2.10 倒傳遞類神經訓練流程圖.....	31
圖 2.11 不同形式函數關係.....	38
圖 2.12 連續化歸屬函數形式.....	38
圖 2.13 (a) 三角形模糊數 (b) 梯形模糊數 (c) 鐘型模糊數.....	38
圖 2.14 舒適度之梯形標準歸屬函數.....	39
圖 2.15 完整(左)及不完整(右)層級結構圖.....	42
圖 2.16 成對比較矩陣範例.....	43
圖 3.1 鞋墊足壓舒適度評價系統設計流程圖.....	46

圖 3.2 Tek-Scan 接觸式足壓量測儀與壓力感測墊放置	49
圖 3.3 Tek-Scan 電腦操作設備與接觸式足壓量測墊	50
圖 3.4 (a)量測控制系統(b)可裁式的感測片(c)訊號傳輸	50
圖 3.5 RS-Scan 步態測試.....	51
圖 3.6 足壓量測定位圖.....	53
圖 3.7 足型壓力峰值 PP 曲線圖	54
圖 3.8 足型面積 contact area 曲線圖	54
圖 3.9 足型力量峰值 PF 曲線圖	54
圖 3.10 足型壓力-時間積分值 PTI 曲線圖	55
圖 3.11 足型力量-時間積分值 FTI 曲線圖	55
圖 3.12 量測矯正圖.....	55
圖 3.13 未經篩選的裸足壓樣型 (S 號測試者)	56
圖 3.14 差異性較大的足壓篩選.....	57
圖 3.15 經篩過的足壓樣型 (S 號測試者)	57
圖 3.16 灰關聯舒適度評價流程圖.....	58
圖 3.17 S 測試者 6 款動態壓力樣型圖	66
圖 3.18 原始學習樣本圖樣.....	72
圖 3.19 原始學習樣本灰階圖樣.....	72
圖 3.20 類神經網路架構圖 (驗證)	73
圖 3.21 倒傳遞類神經分群運算結果(學習樣本).....	74
圖 3.22 R 號測試者裸足足壓分佈圖	75
圖 3.23 R 號測試者 6 隻鞋墊 取 2 號最適足壓分佈圖	75
圖 3.24 R 號測試者 5 隻鞋墊取 1 號最適足壓分佈圖	75

圖 3.25 R 號測試者裸足足壓分佈圖矩陣圖.....	76
圖 3.26 R 號測試者 6 隻鞋墊 取 2 號足壓分佈矩陣圖.....	76
圖 3.27 R 號測試者 5 隻鞋墊 取 1 號足壓分佈矩陣圖.....	76
圖 3.28 網路 a 逐次學習架構圖(六隻鞋墊).....	78
圖 3.29 網路架構 a 逐次訓練.....	78
圖 3.30 網路架構 b 一次學習架構圖(六隻鞋墊).....	80
圖 3.31 網路架構 a 逐次學習架構圖(5 支樣本鞋墊).....	81
圖 3.32 網路架構 b 一次訓練學習架構圖(5 支樣本鞋墊).....	84
圖 3.33 R 號測試者裸足與穿著 2 號鞋墊 1 號鞋墊足壓分布比較圖.....	85
圖 4.1 依據腳型數據製造鞋楦程序.....	87
圖 4.2 電腦設計系統與量測設備應用流程圖.....	91
圖 4.3 電腦操控系統.....	92
圖 4.4 扶手站立量測與坐姿踏板裝置.....	92
圖 4.5 量測姿勢示意圖.....	93
圖 4.6 腳中心軸向定法 (右腳)	93
圖 4.7 鞋楦置放平台與方向校正.....	95
圖 4.8 鞋楦與足部參考座標位置.....	95
圖 4.9 尋找踵點、楦尖端點.....	96
圖 4.10 足長點位置.....	96
圖 4.11 踵點位置.....	96
圖 4.12 第二趾尖點位置.....	96
圖 4.13 足中心軸位置.....	96
圖 4.14 旋轉校正角度計算.....	97

圖 4.15 圍度特徵建立流程圖.....	97
圖 4.16 內側足球點.上.....	98
圖 4.17 外側足球點.下.....	98
圖 4.18 足掌圍特徵點.....	98
圖 4.19 檣掌圍特徵點.....	98
圖 4.20 足背圍特徵點.....	99
圖 4.21 檣背圍特徵點.....	99
圖 4.22 足腰圍特徵.....	99
圖 4.23 檣腰圍特徵.....	99
圖 4.24 足高背圍特徵點.....	100
圖 4.25 檣高背圍特徵點.....	100
圖 4.26 足趾圍特徵點.....	100
圖 4.27 檣趾圍特徵點.....	100
圖 4.28 STL 之三角平面演算資料結構	103
圖 4.29 三角網格與切層平面(d)(e)相交之種類	104
圖 4.30 切層平面通過兩點之間與其交點.....	105
圖 4.31 三角網格切層法運算流程.....	106
圖 4.32 特徵擷取與分析運算流程圖.....	108
圖 4.33 檣(圖左)足(圖右)特徵擷取分析操作介面	109
圖 4.34 選取分析類型對話框.....	109
圖 4.35 擷取足檣外型特徵.....	110
圖 4.36 足檣掌圍 (Ball Girth).....	110
圖 4.37 足檣背圍 (Medium Instep Girth)	110

圖 4.38 足楦腰圍 (Waist Girth).....	111
圖 4.39 足楦高背圍 (High Instep Girth).....	111
圖 4.40 足楦趾圍 (Toe Girth).....	111
圖 4.41 足楦各項圍度資料顯示.....	111
圖 4.42 輸出格式選擇對話框.....	112
圖 4.43 圍度座標資料讀入於 Geomagic 中.....	112
圖 4.44 智泰 LSH 800 3D 雷射掃描器.....	114
圖 4.45 CANFIT-PLUS 雷射掃描器.....	114
圖 4.46 鞋楦掃描過程.....	115
圖 4.47 應用 Geomagic Design 的足部修補與鞋楦點群疊合.....	115
圖 4.48 完成座標轉換的鞋楦與足部.....	116
圖 4.49 足楦點群三角網格化.....	116
圖 5.1 足圍與楦圍模糊分析系統流程圖.....	120
圖 5.2 楦圍 X 與合適楦圍 a 之模糊歸屬函式.....	121
圖 5.3 模糊分析系統操作視窗.....	124
圖 5.4 讀入足部鞋楦特徵數據資料進行分析.....	125
圖 5.5 選取足部樣本資料.....	125
圖 5.6 輸入觸感壓值(適穿寬裕數值).....	126

第一章 緒論

鞋具(Footwear)是人類保護足部避免受傷的一種工具，早在幾千年前人們為了克服特殊惡劣環境，使用毛皮製作鞋子，發展到現在，各種廠牌樣式與功能性鞋具隨處可見，其設計與開發常依照人們需求而不斷改變。近年來伴隨科技化設備的研發與人因概念之興起，消費者對於鞋具產品之採購，已逐漸由重視外型美觀之時尚導向，提升到以穿著舒適、足部保護、人體工學(Ergonomics)設計等健康性功能層面。

鞋具主要由鞋面(Upper)、大底(Outsole)與中底(Midsole)組合而成，鞋面具有外型美感與材質舒適之功能，大底能減少足部運動引起之反作用力，也能降低其磨擦力道。中底介於鞋面與大底之間，與足部底面有貼合性之接觸，能降低足壓、提供避震、吸收撞擊力、承受足底壓力(Plantar pressure)與提高足部之穩定性，最重要的是帶來穿著上的舒適感。消費者如要加強其鞋具內部保護和穿著的合腳舒適，產品往往需要透過客製化(Customized)製作程序方能達成，費用甚為昂貴。基於成本考量，多種外在輔助材料，因應而生，其中以鞋墊(Insole)的增添為最常用之方式。

鞋墊可幫助足部達到增加彈性回饋、分散壓力與減緩瞬間性衝擊之功能，效果如同中底，且裝置方便、款式多樣、成本更為低廉。然而現代鞋具產業追求的是如何將產品，進一步達成大量客製化(Mass customization)目標，讓消費者能以較少的花費享有更多的功能，成為滿足顧客需求的客戶導向式經營，這是未來整體鞋具產業的發展趨勢，這也是現代鞋具廠商逐漸將鞋墊外型功能融入中底的主要原因。

消費者採購鞋具常透過視覺上的觀感與功能性需求，但最終條件還是要合腳，這是整個銷售過程中最為繁瑣與耗時一段手續，買者透過簡易的長寬尺寸量測，依鞋號鞋型逐一試穿，最終勉強找到一雙合適鞋子，往後卻需要慢慢地去適應這雙鞋具。至於零售商為了要完整的呈現此段銷售程序，需要充實整體產品庫存量，與人員的安排和成本的增加。仔細探討這些採購時間耗費與多餘資本的支出，究其原因還是鞋具產品的適足性(Fitness)問題，無法快速解決，也是傳統式鞋具量測設備與手工足楦圍度量測，所造成的後果。

鞋楦(Shoe last)是鞋具產品設計中，最重要環節，因為鞋楦型態決定鞋子內部空間的分佈與外觀形狀，同時影響穿著上的舒適度與功能性。要設計出合腳的鞋具，除了要了解足部與鞋楦間適足性問題所涵蓋範圍，更應熟悉其特徵圍度之間的對應關係，因為鞋楦之產生，關鍵還是在於穿鞋之人。傳統鞋業市場中鞋楦模具製作，大多採用傳統CNC、精雕的加工方式生產，從設計到成品，一雙鞋楦需要經過編程、CNC、機械加工、修模、試模、咬花等工序，製程複雜，周期長、成本高，造成勞動成本居高不下、產品更新乏力之景象。

基於上述原因，現行國內鞋具產業，其鞋楦大多委由加工廠製作，依據廠商設計需求，將舊有庫存樣本鞋楦進行局部修改，再以逆向工程(Reverse engineering)技術仿製，憑藉鞋技師傅之經驗加以調整，甚少有依據國人腳型自行開發之鞋楦。然而本研究認為唯有正確量測足型，再依此數據開發標準鞋楦才是一個正確方向，3D量測是目前能夠正確且快速取得足部與鞋楦特徵圍度(Feature girths)數據的方法，若能搭配一套自動化的鞋具評量系統，從足楦資料中取得鞋楦設計需要參考的規格尺寸，將使適足性之鞋楦開發事半功倍。

現代生活品質提升，大眾對於鞋具要求，除了美感、時尚外，穿著舒適合腳更是重要的因素，因此在鞋楦設計上如何能製作出符合大多數使用者足型，將是一項吸引消費者購買的主要誘因。藉由鞋具中底與鞋墊關係探討和鞋楦足部圍度量測之了解，知道鞋墊與鞋楦兩項在促進鞋具穿著之舒適度與適足性，是極為重要的關鍵。因此透過鞋墊足壓舒適度評價分析與足部鞋楦適足性圍度評量，找出鞋楦製造之主要設計特徵數據，並發展出一套適合個人舒適性鞋具篩選系統，必能讓產業以更低廉和省時方式生產成品，讓消費者能快速找到適合之鞋子，為鞋具產業找到一種新的設計模式。

1.1 研究背景

人類足部本質雖然具有吸收和釋放能量之組織結構，提供身體知覺回饋，然而在行動中難免會發生變化，造成受傷或足部病變狀況。這是鞋具研發的最初意義。但隨著科技的日新月異與人因工程的興起，鞋具已逐漸跳脫保護、取暖、動態性的功能侷限，往舒適度與適足性人因方向發展。Mei Qichang, Yaodong G., Sun Dong & Fernandez Justin (2018)在其研究中提到，一雙合適的鞋具，除了保護足部減少潛在受傷的可能，在動態上能提供優勢的牽引力與控制性，減少外在力量的衝擊，降低足部壓力；除了這些屬性，使用者從內心的感受舒適性才是決定因素。

鞋墊的研發，一直是降低足部壓力，緩衝地面作用力的主要鞋具產品。藉由鞋墊研發歷史探討，發現鞋墊與鞋具中底有莫大的關聯性。鞋具中底存在已有多年，早期並未考慮人體工學造型，僅以平面型態呈現，主要功能是增加足底接觸面積，與穿著之舒適。後期發現改變中底形狀、材質與厚度等，便可減少足部翻轉的程度，與過度內轉所造成的韌帶伸張(Price, 2015)。鞋具廠商在公司量化需求與成本支出考量下，不能單以個人設計為主，更不能為每個人個別量測製作出一雙鞋墊，除了特殊醫療需求者以外。如今隨著鞋具產業發展，中底已由廠商配合鞋具功能需求而研發，大多由適合足部穿著之鞋墊取代，鞋墊的角色也再次的從市售通用化鞋具配件，回到鞋具的主要結構，融入中底位置。鞋墊類型，可分為醫療、通用、運動三類，早期以醫學領域之客製化為最大宗，功能在於分散足部腳底壓力，減輕腳背及腳跟疼痛，特別適合腳部有病變之患者，包括：

扁平足、高足弓、拇指外翻...等，以及特定族群，如：糖尿病患、銀髮族、久站工作者...等人士 (Erdemir A., Saucerman J. J., Lemmon D., Loppnow B., Turso B., Ulbrecht J. S., & Cavanagh P. R., 2005 ; Boulton A. J., Cavanagh P. R., & Rayman G., 2006 ; Shariatmadari, 2009 ; Chapman, 2015)。所謂通用型即是所謂的市售簡便鞋墊，因屬於鞋具附屬配備，功能為穿著舒適、價位平實、裝置簡易，是為了解決醫療性與特殊客製化鞋具之昂貴費用而發展的產品。近年在健康運動的風行下，鞋具產業轉而往運動鞋具蓬勃發展，各家廠牌林立，種類繁多，主要功能在於保護足部免於傷害，另外追求的是能吸收外來震盪、快速推動身體前進與跳躍、維持身體穩定度、增加彈性等強化潛力功能，當然還有引導運動時尚與潮流(Karen, 2004 ; Chiu , 2007)。2017 年 Nike 公司所發表的 Air VaporMax 系列，甚至拋去傳統的泡綿中底和防護性外底，將鞋墊、中底、大底合而為一，取代傳統式製鞋觀念。這種新穎設計雖然符合時代潮流與多功能概念，然而卻所費不貲，一雙鞋具價位高達 400 美金，非一般消費者所能負擔。

鞋楦是鞋具設計製造主要基礎，更是使用者穿著是否合腳之關鍵。鞋楦設計包含許多製鞋技術與知識，除了流行時尚美感等因素，鞋楦最基本也是最重要的功能，即是依此鞋楦製造之鞋具能讓穿著者舒適與讓足部得到保護，因此鞋楦尺度、形狀與人體足部的構造、功能以及足型關係非常密切，可說是人體足部型態的表面呈現(Miguel, 2013)。至於鞋楦與足部的量測，更需要有相當的專業知識與技術。現代鞋楦製作，在量產要求下，大都依照標準化規格設計與製作，這些規格尺寸並不能完全符合、適用於每一個人腳型。也因此，造成很多現代人相關足部病痛的產生(Witana C. P., Feng J., & Goonetilleke R. S., 2004 ; Luximon, 2009 ; Bernabéu J. A, Germani M, Mandolini M, Mengoni M, Nester C., Preece S., & Raffaelli R., 2013)。

寶成國際集團是國內最早使用 3D 列印進行鞋模生產廠家，做為全球最大的鞋業造商，寶成集團利用 3D 列印取代 CNC 加工模型應用於鑄造，並由此延伸推廣至全面鞋模運用，並在此基礎上開發專屬程式以提升 3D 列印之成品品質及減少材料損耗。在技術上運用聯泰公司研發之耐高溫光敏樹脂材料列印單支模框，進行 PU 材料灌注，於開發階段可快速取得第一隻實體成品，供設計師可快速確認外觀，較原有的 NC 加工模型更快捷方便。此項技術可直接提取鞋楦三維數據列印鞋樣原型件，無需再手動去修模，製出鞋楦表面精細度及尺寸精度都貼合三維數據，滿足應用需求。

然而 3D 鞋楦製模技術雖然取代傳統 CNC 加工模式，製程縮減精密度提高，成本巨大的耗費依然沒有解決，因為針對後續的試穿鞋楦模具打樣，樣本實體呈現，程序依舊。這也是一般鞋業廠商大多從國外取得鞋具樣本，再依此樣本製作鞋楦之主要原因，況且基於量產要求，鞋具大都依照標準化規格設計與製作，這些規格不能適用於每一個人腳型，廠商更不能為消費者單一製作鞋楦。

1.2 研究動機

1. 傳統鞋具量測與購買之困擾-方便性(Convenience)

以往足部手工量測只依據足長與足寬數據，無法準確得知 3D 立體足型之圍度曲線差異與正確尺寸。消費者零售購買，只依據上述手工量測取得適合鞋具號碼，再將庫存同號鞋具逐一試穿，取得較為適合之鞋具。此舉耗時又不便，日後常有穿著不適情況發生，忽視個人感覺舒適性。況且商家必須增加產品庫存，以因應顧客試穿數量，此舉既浪費空間又增加成本支出。現行特殊鞋具客製化模式，更需要對穿著鞋具詳細量測，然而因為足部與鞋楦組織型態之差異和特徵圍度特徵點設定位置之不同，其量測也無法為使用者帶來方便性。

2. 足部與鞋楦模合研究-適足性(Fitness)

鞋具製造設計過程中，最重要關鍵就是鞋楦設計，因為鞋楦的樣式決定鞋具內部空間的寬裕調整和鞋面外觀形狀之美感，最重要是影響個人穿著的舒適度與功能性。由此可知要製作出一雙適合足部的鞋具，首要之務在於設計的鞋楦要能貼合實際腳型。現代鞋楦製作，在量化的需求下，都依照制式化規格尺寸設計與製作，這些數據往往依據製造者與消費者長年經驗累積，取得之大量人體足型量測資料，所建立的一項常態模式。這種定制化標準雖接近大部份人足部，但是並不完全吻合的適用於每個人腳型(Wang, 2010; Miguel, 2013)。此外這些人體足部特徵圍度量測方式，傳統上都以人工操作，其量測準確性往往受到操作者的技術熟練度以及使用工具之影響，況且鞋楦與人體足部外型皆屬不規則曲面，這更增加了量測之困難。

3. 鞋楦寬鬆舒感值預留-舒適度(Comfort)

為了增加鞋具穿著舒適度，廠商往往著重於主要材質之選用，如增加鞋面、鞋墊的柔軟性、在中底增加彈性材料與舒適設備之配置(Erdemir et al., 2005)。至於鞋楦製造時其舒適寬裕厚度(寬鬆舒感值 Comfortable range value data)之預留，僅依傳統技術經驗之模糊數據應用，未深入探討鞋墊形狀材質與足壓相關舒適度之關聯性。結果只顯示出這些鞋具材料之功能性與可用性，並未考慮使用者之舒適感受。

4. 鞋墊足壓評量分析探討-醫療性(Medical)

鞋墊材料研發與人體測試大都以其避震功能與能量回饋為實驗主軸，這些實驗大都在鞋具研發中心與企業研究室中完成，其效益各有利弊。單一的材料測試，無法真正評估鞋墊避震減壓之能力，人體動態測試則需耗費長久時間，且空間受限無法實際模擬出人體不同動作特性與測驗心理因素，其變數差異更大(Walter N. G. & Engelke D. R., 2002)。考慮這些影響因素，本研究採取靜態測試，探討鞋墊與足壓之舒適度關聯性，

利用篩選最適鞋墊之特徵分析，找出鞋具與人體足部寬鬆舒感值範圍與數據，再將這些資料應用於後續舒適鞋具篩選評量系統上。

1.3 研究目的

鞋具結構項目研究日增，鞋墊功能與角色，已逐漸被發掘出來，而中底也已經跳脫最初的結構接合功能，逐漸融入鞋墊這種後續必須自行採購之配件，甚至被取而代之，儼然已成為未來各家廠商鞋楦設計主要架構之一。傳統鞋具製造，在完成整體設計程序時必須預留模糊厚度數據與內部空間寬裕範圍，這些製程常導致產生多餘無效空間與穿著的不適。透過諮詢製鞋工廠與鞋技專業人員此項鞋具設計疑慮，本研究認為需要針對現代鞋墊作出更精確的探討與分析，配合人體足部壓力量測資料，相互比對和分群。藉以取得適合鞋墊選項，如此方能得知和應證這項傳之已久制式化設計模糊數據，且在後續鞋楦設計過程與消費者採購鞋具時也可加以應用，增加其穿著舒適度與適足性。

在科技發展下，以往需要透過手工量測鞋楦與足部外型而得到的整體資料，已藉由數位足部掃描儀器執行，然而這種數據取得方式，仍有其侷限性。至今尚未開發出一項解決方法，將足部與鞋楦特徵尺寸，快速的轉換成 3D 數據，得以更正確的模合後續鞋楦篩選程序上。文獻中各種製造鞋具虛擬模型的 CAD 系統雖已開發，但是針對鞋具舒適度設計，這些系統尚存有多項缺失，限制了生產鞋具的適用性與普及性(Witana et al., 2004; Luximon, 2009)；主要是這些系統並沒有任何後續支援來處理消費者的特徵圍度數據，即是缺乏消費者足部量測資料庫的建立，只依據業者製造、販售與消費者使用的經驗累積，整理出一些通用數據作為設計規範。其次是沒有為使用者足部量測，找出一套適合足型的標準模式，即是科技化的鞋具與足部評量分析系統。

Weerasinghe (2017) 研究證明足部和足底承受的壓力分佈差異，外在衝擊力與控制穩定性，甚至足部形狀都會影響鞋具穿著之舒適性，因為足部並非長久處於靜態情況，個人足部特徵也不盡相同。可見鞋具之適足性設計，更是影響鞋具穿著舒適的主要原因。因此如何開發一套適合個人足型的鞋具評量系統，具有降低足部壓力與增加穿著上的舒適感。還有精確量測的足部鞋楦設計特徵圍度數據，可促進鞋具穿著適足性，減少廠商鞋楦製作成本之耗費，降低消費者足部疾病產生與傷害加深的機率，是本研究的主要目的。本研究依據這些目標，循序漸進；由鞋墊與足壓評價分析找出符合穿著舒適之樣本鞋墊與其寬鬆舒感值數據，再依此舒感壓值與事先透過 3D 量測所儲存之足部與鞋楦特徵圍度資料，建立一項分析、評量與篩選系統，讓未來廠商與設計者擁有快速又正確的鞋具研發模式，也讓消費者在購賣鞋具時，有一快速篩選模式可供使用。

1.4 論文探討方向

因應研究動機與目的，與現況鞋具研發之比較，本研究設定幾個探討方向：

1. 鞋墊足壓舒適度評價

文獻指出，鞋具研究主要著重於藉由實驗設備探討如何降低足底壓力之能力與使用何種鞋墊材料對鞋具避震能力之影響。甚少直接以人體實際穿著鞋墊量測足壓差異，去找出適合的最舒適度鞋墊(Erdemir et al., 2005)。況且這些實驗都研究室中完成，其效益各有利弊，因為樣本材料或人體實驗大都以垂直方向之反作用撞擊力量峰值（Impact force peak）來評估它的避震能力。而動態量測方式則是應用其最大的負載率來進行評估，以撞擊力和最大負載率之降低，來模擬實驗其避震功能。本研究認為光憑單一物體由高度墜落之撞擊測試，無法確認材料在不同速率下所接收的撞擊力道與反彈作用，和真正評估鞋墊避震減壓之能力，且獨立人體測試也不能模擬出實際的人體動作特性。

以往鞋具舒適度探討，大多以個人穿著舒適感覺問卷，取得之數據作為鞋具設計參考方向。鞋墊製造則依獨立實驗取得之材質壓力參數，相互模擬對照以取得理想之產品，並無深入探討以不同材質型態配合人體實驗方式對鞋具舒適度評價之影響，更無法得到鞋具穿著寬鬆舒感值範圍之正確數據。這在鞋楦設計製造過程中，是無法取得個人適足性鞋具的一項主要關鍵因素。因此建立一項鞋墊足壓舒適度評價系統，融合鞋具材質與生物力學足壓量測，規劃出一項更正確的測試程序也是本研究一個探討方向。

2. 鞋具寬鬆舒感值預留與足壓量測分析

鞋楦設計初期，須依鞋具形式與功能性預留之寬裕厚度，各種厚度尺寸與材料應用，並無一定規則可遵循；如運動鞋因動態需要，需要舒適、安全、耐磨，拖鞋則只配合日常生活行動即可，休閒鞋介於其中，追求的是其合腳與舒適度。考慮上述狀況與未來產品量化和實用性，本研究認為應在鞋楦設計初期，應用系統化方法找出此項既無規則又模糊的足楦寬鬆舒感值數據，此項設計特徵之取得將是整體舒適鞋具篩選評量系統開發主要因素。

3. 建立一套舒適鞋具篩選評量系統

傳統鞋具之鞋楦設計，大都依照廠商需要，找出類似的鞋楦初模，再由經驗豐富的鞋楦設計師依據型式用途而製作，考慮的是成本與方便性。殊不知這些因素是造成鞋楦設計時產生無效空間與穿著不適之主要原因；因為設計師依其經驗設計製造鞋楦，只透過改變鞋楦參數值配合各種足型，並未考慮整體足部形狀，也沒提供任何輔助設計方式，以加速其製程，這並不符合未來的鞋楦設計方向。另外傳統式的足長與足寬量測方式，無法取得正確的足楦舒適寬鬆數據。部分修改鞋楦初模，以適應不同之鞋具型態，更容易影響到鞋具穿著之適足性。因此本研究認為正確的量測足楦特徵圍度，系統化的建立一套鞋具篩選評量模式，是未來此項產業研發之新趨勢。

1.5 研究流程

本研究認為在鞋具舒適度與適足性選擇上，需要一套科學方法，來解決這些問題，這也是研究避免採用測試者舒適度感性問卷，改採專家訪談調查與系統性方法應證之主要原因。本研究流程以鞋具設計製造分類，即是配合鞋墊穿著之足壓舒適評價分析，找出適足性與舒適度較高的足部鞋楦寬鬆舒感值數據與寬裕範圍資料，再將這些鞋楦設計特徵，應用於以模糊歸屬度分析與專家問卷特徵圍度權重排序，所建立的鞋具篩選評量系統，藉以快速取得最適合測試者之鞋具，整體流程共分三階段，分述於下(圖 1.1)：

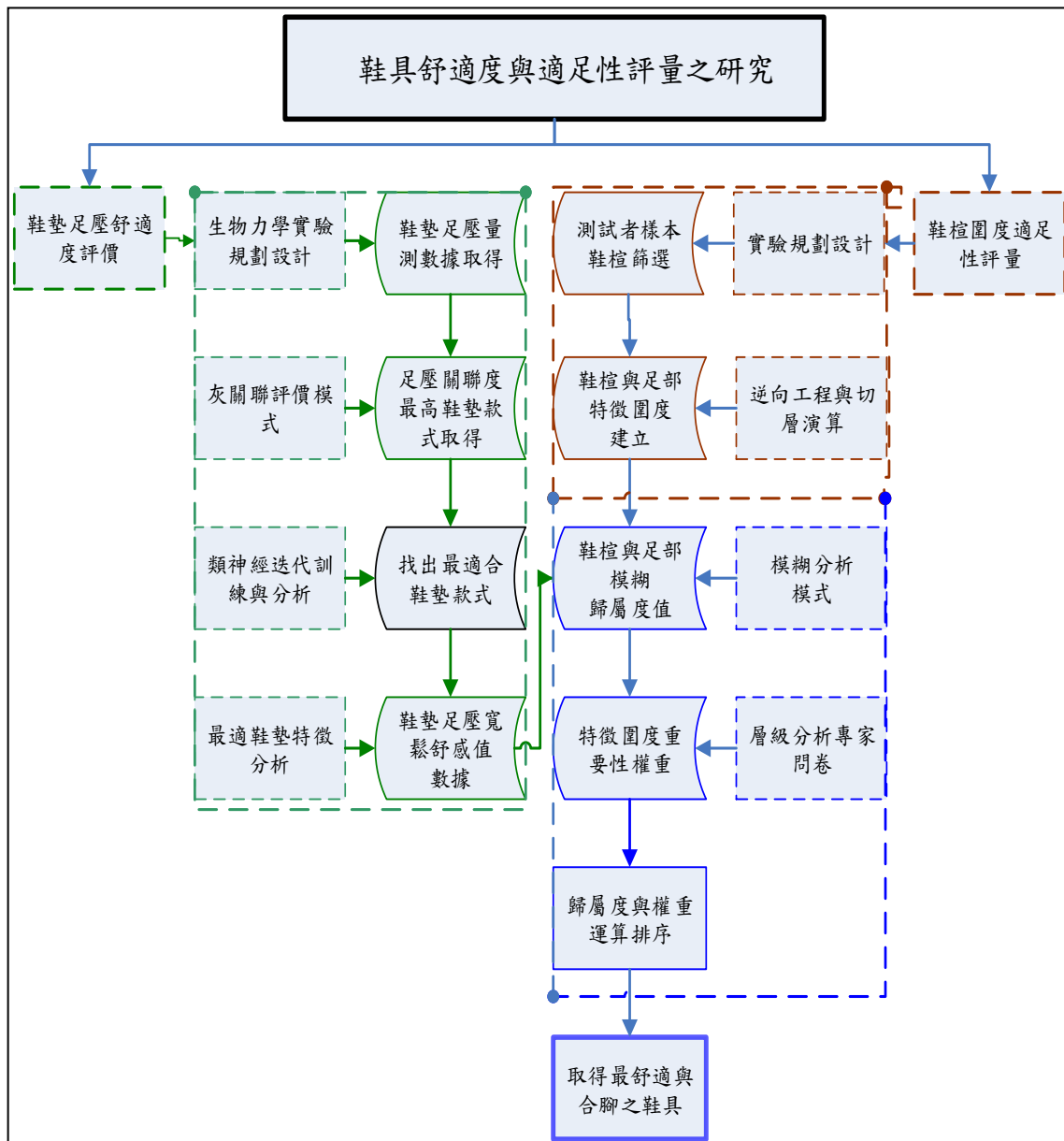


圖 1.1 研究流程圖(本研究整理)

1.5.1 鞋墊足壓舒適度評價

如何有效保護個人足部，減緩足底壓力（Plantar Pressure）一直是維持足部健康相當重要的關鍵，也是鞋具製造上一項主要的設計因素。諸多減壓鞋具之研究，以鞋墊為最方便取得之物，鞋墊最初研發，應用於特定醫療族群，在於分散足底壓力，減輕腳背和腳跟疼痛，適合足部有病變的使用者。從醫療復健角度看，鞋墊功能如同人體之足弓，影響行走之舒適度、吸收行動引起之震盪（Shock Absorption）、推動身體前進力量（Propulsion）、維持身體之穩定（Stability）與增加前足之彈性，具有分散足部壓力、提供足弓兩側支撐功能。

伴隨製鞋科技的進步，鞋墊逐漸跳脫醫療輔具之角色，普遍應用於一般鞋具設計上，演變成一項通用量化之產品，甚而成為諸多鞋技大廠關注的鞋具結構。現代鞋墊更結合運動、醫療與日常生活功能，注重其運動彈性，醫療舒適度，可針對各種不同足型，提供更好的足底壓力減緩能力。因此應用測試者穿著樣本鞋墊之各種足部降壓型態與分析數據，藉以達成舒適鞋墊之選擇與特徵分析，取得鞋具設計時須預留之寬裕厚度與寬鬆舒感值數據，實為本階段之研究方向。

本階段研究內容分為「鞋墊與足底壓力舒適度評價」、「最適鞋墊分群與排序」與「最適鞋墊特徵分析」，最後為適合一般足型「寬鬆舒感值」數據之取得。方法上將鞋墊足壓分布差異數據透過灰關聯評價分析，所得結果再應用倒傳遞類神經網路技術，轉換成數學模式，進行自我訓練學習與智慧分群，最終取得最適鞋墊。再透過此鞋墊之特徵分析找出鞋楦設計時，必須預留之舒適寬裕數值與範圍。流程共分成四個主要步驟：1. 生物力學量測。2. 建立鞋墊足壓舒適度評價系統。3. 倒傳遞類神經網路分析。4. 最適鞋墊特徵分析。針對研究主題需要，本單元研究執行敘述如下(圖 1.2)：

首先提供 20 位測試者生物力學量測之足壓，作為評量對象，針對測試者足壓分佈資料做舒適度的分析與計算，藉此探討足壓降低與樣本鞋墊的適穿關係，找出該足型與樣本鞋墊中關聯度最高的鞋墊款式，當成最適的鞋墊選項。最後再將灰關聯計算所得結果，隨機找出幾組作為類神經網路的訓練樣本對，透過倒傳遞類神經網路執行演算、學習與分群，驗證灰關聯評量所得之最適鞋墊排序吻合率，並作出最適每個測試者鞋墊之預測。最後將個人適合之鞋墊選項，依其分類特徵加以探討分析，將所得數據，應用於後續舒適鞋具篩選評量系統中。此項評量方式可以取代傳統設計決策支援工具，提供未來鞋具設計所需資訊，加速整體設計過程。

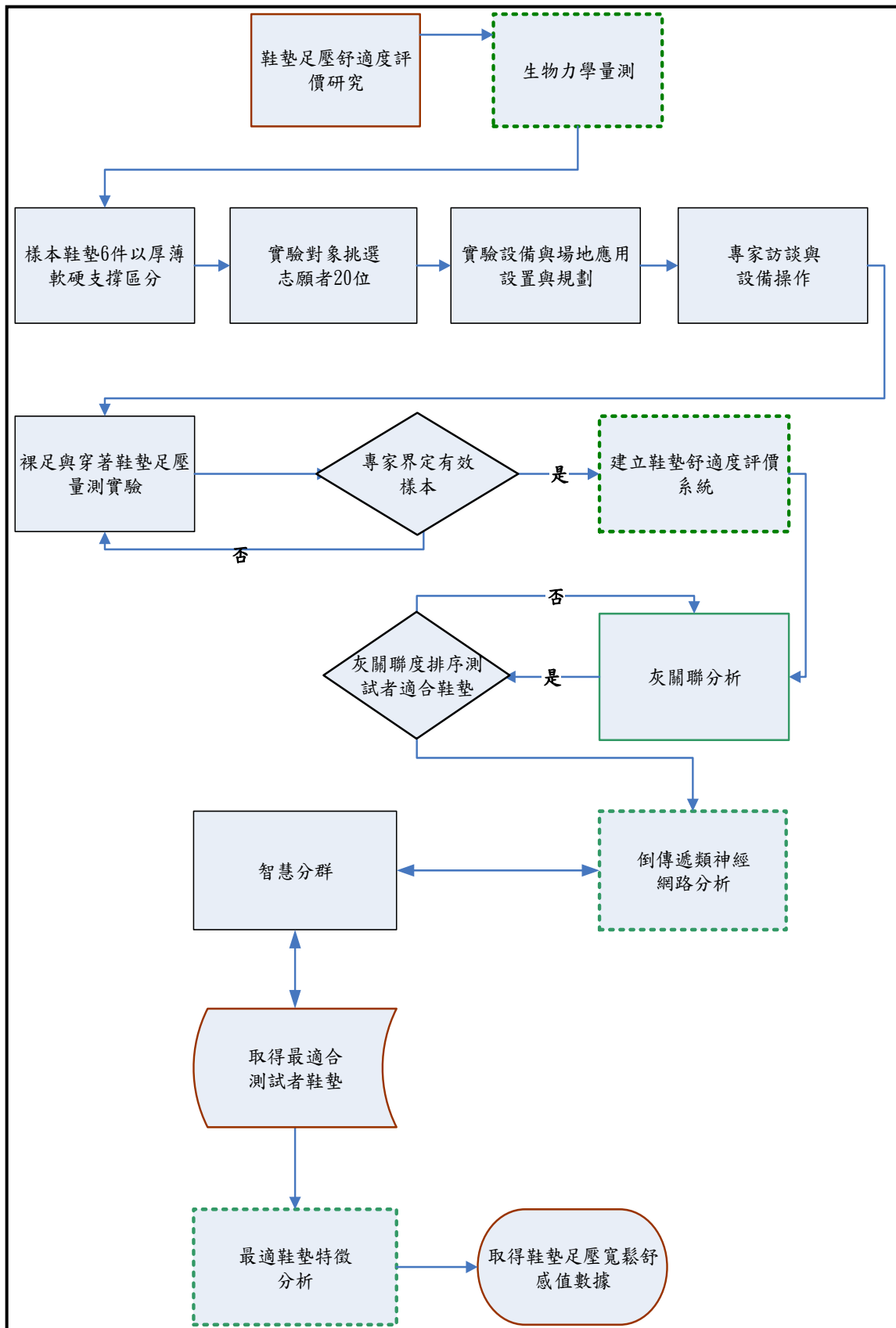


圖 1.2 鞋墊足壓舒適度評價研究流程(本研究整理)

1. 生物力學量測取得足壓數據

提供一個測試者足壓與樣本鞋墊生物力學實驗作為方法實踐之案例，主要目的為取得測試者定點站立（靜態）之壓力資料，即足部踩踏樣本鞋墊時所產生的分佈壓力值，這些數據將使用於後續灰關聯舒適度評價分析。

2. 灰關聯分析建立鞋墊足壓舒適度評價

透過灰關聯計算，由量測者足壓分佈差異狀況參數，從中挑選出差異性較小之樣本值，作為參考序列之設計標準（壓力降低序列值），藉以計算不同樣本鞋墊之序列值對參考序列的灰關聯度，即最適鞋墊排序，進而完成初階「選出最適合測試者足型之鞋墊款式」目的。

3. 類神經網路智慧分群學習與驗證

將灰關聯取得之結果，從中挑選某些測試者與最適鞋墊足壓分析數據，作為類神經網路的訓練樣本對，並透過倒傳遞類神經網路演算進行疊代分析，目的在利用類神經網路可自行辨識資料與反覆學習之能力，自動的將輸入足壓資料進行智慧分群，並從現有鞋墊樣本中找出最合適鞋墊。

4. 最適鞋墊特徵分析

將取得最適合測試者之鞋墊，就其特徵；如厚薄尺寸、軟硬數據、底部支撐位置的差異，進行探討分析，統合出一項鞋墊穿著之寬鬆舒感值範圍數據，亦即(鄭豐聰, 1998)與(游志堅, 1999)所提「觸感壓值」，配合精確的足楦特徵圍度量測資料，應用於後續舒適鞋具篩選評量系統中。

1.5.2 鞋楦適足性圍度量

本階段主要內容在於利用逆向工程量測技術建立測試者足部與樣本鞋楦 3D 模型資料，並應用自動化量測系統擷取足部與鞋楦特徵圍度量數據。

1. 使用逆向工程量測技術建立足部與鞋楦樣本 3D 模型資料

依鞋技專家建議挑選 10 名鞋號相近的男性志願參與者為驗證本系統測試對象，蒐集 20 支與測試者鞋號相近之鞋楦為實驗樣本。量測上應用逆向工程掃描技術，準確而迅速地取得足部與樣本鞋楦，兩者外型點群資料，並將這些點群資料三角網格化藉以取得 STL 網格模式，並進行分析與運算。為了後續建構的自動化系統量測與分析，執行逆向工程足部量測需要準確的設定讀取點群數目。

2. 建立自動化量測系統擷取測試者足部、樣本鞋楦特徵圍度數據

研究建立的 Matlab.GUI 自動化擷取系統，將取得之樣本鞋楦與測試者足部 STL 三角網格模式，使用切層演算執行運算、取得其特徵圍度。這些特徵圍度有足(楦)長 (Last Length)、足(楦)寬 (Last Width)、足(楦)趾圍 (Last Toe Girth)、足(楦)掌圍 (Last Ball Girth)、足(楦)腰圍 (Last Waist Girth)、足(楦)背圍 (Last Medium Instep Girth)以及足(楦)高背圍 (Last High Instep Girth)七項特徵圍度(圖 1.3)，運算所得之特徵資料，將被儲存以供後續查詢與分析使用。伴隨蒐集的使用者數目與鞋楦樣本數日益增加，系統日後將可建立相關資料庫以供快速搜尋與檢索。

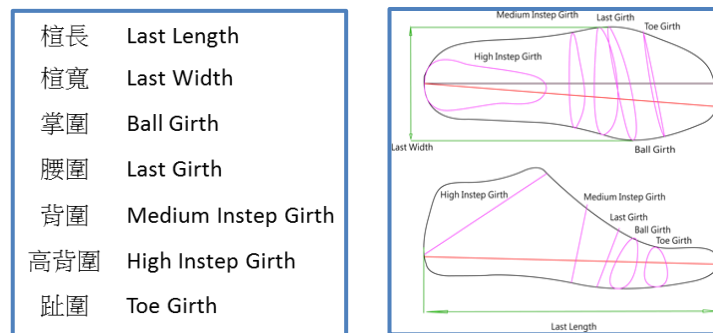


圖 1.3 鞋楦量測特徵(Bernabéu, 2013)

1.5.3 舒適鞋具篩選評量系統設計

配合鞋墊舒適評價分析所得寬鬆舒感值範圍數據，與鞋楦適足性特徵圍度之擷取，導入模糊理論以及層級分析法建立之舒適鞋具篩選評量系統中，藉以取得最具舒適度與適足性鞋具，本階段研究流程敘述如下(圖 1.4)：

透過前述步驟取得之鞋楦足部主要設計特徵圍度與鞋墊足壓量測評價分析所得之適穿寬裕厚度與寬鬆舒感值範圍數據，本研究將以測試者掌圍、腰圍、背圍、高背圍以及趾圍這五項特徵圍度，對應現有鞋楦樣本，與「寬鬆舒感值範圍」數據，進行分析與搜尋，方法上以模糊理論進行關聯度選擇排序，如有重複多款符合個人鞋楦者，再以專家問卷方式，應用層級分析法得到各圍度重要性權重，進行模糊歸屬度與圍度權重之數學運算，重新排序，藉此取得最適合之鞋楦。

本研究以 10 位志願測試者與 20 支鞋楦樣本，實際驗證此項舒適鞋具篩選評量系統之可行性，達成目的後，未來任何形態足型，將可利用此項系統得到取捨之依據，讓消費者快速找到適合之鞋具，對設計者更能加速其研發過程，讓廠商以更低廉和省時方式生產成品，為鞋具產業找到一種新的設計模式。

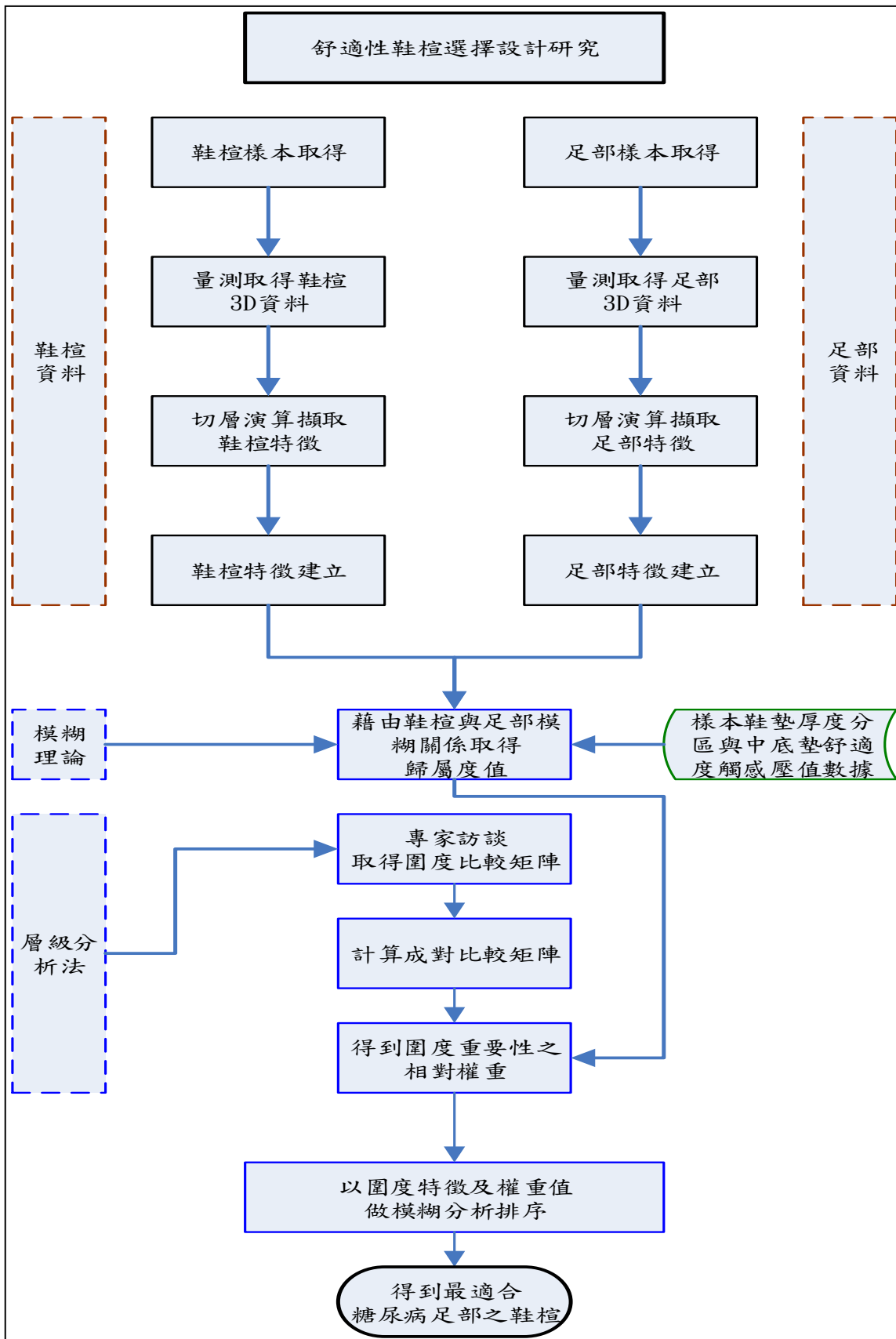


圖 1.4 舒適鞋具篩選評量系統設計流程(本研究整理)

1.6 研究範圍與限制

1.6.1 名詞解釋

1. 中底：相當於車子的懸吊系統，介於鞋面與外底的中間，提供穩定避震和吸收撞擊力的功能，是鞋子最重要的一部分。
2. 鞋墊：鞋墊是放置鞋內底上面的底墊部件，作用是使鞋內底部完美清潔，排除腳汗和吸濕，使鞋底平整光滑穿著舒適。現代鞋墊更有多項功能：加熱、增高、保護、緩衝、吸濕排汗..等。
3. 鞋楦：亦稱楦子或楦頭，是外部形狀似腳的模型，使用於鞋匠製鞋或修鞋之內部模具，材料常用木材、鑄鐵或塑料製成。
4. 舒適度：在人的行走跑跳過程中，鞋具舒適度扮演十分關鍵的角色，不僅決定穿著者的舒適感覺，甚至影響人體足部健康與醫療保健。
5. 適足性：在鞋具與足部模合上給予一致性的寬鬆範圍數據，如此可帶來使用者之舒適感覺與足部動態容裕空間。
6. 寬鬆舒感值：足部因受到鞋具內部空間的束縛，其肌肉神經會對鞋內接觸的各部位產生舒適與否之觸感，進而影響個人的穿著感覺。這即是所謂的「舒適觸感寬裕度數值」，簡稱「寬鬆舒感值」也稱「舒感壓值」。
7. 人因工程：研究人和機器、環境之相互作用與結合關係，使研發設計之產品與操作系統適合人的生理及心理特點，達到提高生產效率、安全、健康和舒適目的的一門科學。
8. AHP 專家問卷：層級分析法操作流程中，首先問題描述，而後判別影響要素並建立層級結構，並設計問卷項目，而後依問卷收集的數據資料找出各層級間決策屬性的相對重要性，並依此建立成對比較矩陣用以計算矩陣特徵值與特徵向量，所得出的數據經由一致性檢定及層級結構一致性檢定的回饋修正後，便可計算出各指標之權重以協助選出最適決策方案。

1.6.2 樣本規範與受測者條件

研究在鞋墊足壓舒適度評價測試使用鞋墊 6 支，以厚薄、軟硬、足弓上下支撐分類，受測者為 20 位男性，體重不限，內有扁平足 3 位、高足弓 7 位、正常足型 9 位(透過足印儀器目視量測)，初級糖尿病患者 1 位(透過諮詢了解)。在鞋楦圍度適足性量測上使用 60 支鞋號各異、圍度不同鞋楦，首先從中隨機挑選 8 號與 9 號鞋楦 20 支，測試者 10 位，作為特徵圍度量測樣本，並進行後續舒適鞋具篩選系統可行性驗證。

1.6.3 靜態實驗測試選擇

鞋墊材料測試與動態分析，目的在於深入探討醫療和特殊客製化鞋具之研發；如醫療復健與專業運動人員之鞋墊、鞋具，有其必要性。本研究目標在於藉由探討穿著鞋墊之足壓分佈改善，了解甚而取得適合一般消費者之鞋具與足部舒適寬裕數據。考慮這些影響因素，本研究採取靜態測試，探討鞋墊與足壓之舒適度關聯性，利用篩選最適鞋墊之特徵分析，找出鞋具與人體足部寬鬆舒感值範圍與數據，再將這些資料應用於後續舒適鞋具篩選評量系統上。

1.7 論文貢獻

1.7.1 鞋墊足壓舒適度評價模式

1. 研究以生理足壓量測為基礎，探討足壓分佈與鞋墊間的舒適關聯度，結合材質配置與生物力學量測，找到適合的鞋墊特徵與鞋墊足壓寬鬆舒感值數據。
2. 研究應用灰關聯與類神經網路建立自動鞋墊舒適度評價系統，藉以取得適合大眾之「鞋墊-足壓舒適寬鬆範圍」數據，取代傳統經驗法則之舒感壓值臆測，提供後續鞋楦設計模式參考依據。更可用於未來鞋具生產模組化與客製化之設計要件。

1.7.2 鞋楦適足性圍度評量

1. 應用逆向工程與切層演算法所建立的「鞋楦與個人足部特徵圍度資料庫」，可以解決以往手工量測，足部與鞋楦幾何曲線模型難以獲取數據之困難。建立的資料庫也可隨樣本數增加而擴充，提供鞋具生產者與設計者之製作參考。
2. 考慮傳統鞋楦設計必須「預留之足楦間寬裕尺度數據」，與鞋楦完成後形成的足前端與足腰部「多餘無效空間」，更思考到東方人較西方人足部長度較短，其足背卻較高且厚的「足型特徵」，本研究在足楦量測上增列了趾圍與高背圍，將讓系統應用時，整體足部與鞋楦模合關係更為正確與舒適。
3. 研究在「實驗者與鞋墊樣本分類」中，另外透過足印儀器觀察與測試者個人訪談，取得試者足型(扁平足、高足弓、糖尿病足、正常足)之分類。後續可作為最適鞋墊評價完成後，分析各種足部疾病患者取得最適鞋具之依據，[可藉此了解其間之關聯性]。

1.7.3 舒適鞋具篩選評量系統建立

1. 建立 MATLAB「舒適鞋具篩選評量系統」，能自動分析樣本鞋楦與測試者足部特徵圍度資料，藉以取得最適合個人足型之舒適性鞋具，如此可加速產業製程，提高品質，減少以往人為量測所造成的誤差與時間耗費。

2. 研究在 MATLAB 鞋楦快速篩選系統中，加入寬鬆舒感值與寬裕度範圍數據，可為各種足型之消費群找到舒適的鞋楦型號尺寸，對某些足部疾病患者，也能取得適合的鞋具，這對鞋具製造業自動化系統之建立與醫療性鞋具之開發，將有所助益。

1.8 論文架構

本論文內容架構共分成六章節，說明如下(圖 1.5)：

第一章 緒論，包含研究背景、研究動機、研究目的、研究方法、論文貢獻、論文架構。

第二章 文獻論述與探討，依據研究主題與應用方法，分成三個方向進行探討；(1) 鞋墊與足部探討。(2) 鞋楦與足部探討。(3) 舒適鞋具篩選評量系統建立；(a) 鞋墊與足壓舒適度評價；灰色理論之灰關聯分析與類神經網路分群與演算。(b) 鞋楦適足性圍度評量；鞋楦設計特徵、逆向工程方法探討、三角網格切層法之應用。(C) 舒適鞋具篩選評量系統建立；模糊分析運算與層級分析法概述與探討。

第三章 鞋墊足壓舒適度評價，藉由灰關聯與類神經計算系統取得測試者者所需要的最適合鞋墊，實驗結果分析。

第四章 鞋楦適足性圍度評量，應用 3D 掃描量測取得足部與鞋楦立體圖檔再使用三角網格切層取得特徵圍度尺寸數據，建立資料庫。

第五章 舒適鞋具篩選評量系統建立與實證，藉由模糊理論與層級分析方法取得測試者所需最舒適鞋具與設計特徵分析，另作結果與討論。

第六章 結論，簡述本研究執行過程，透過實際驗證，與文獻研究比對，再行探討原因與研究成果論述。

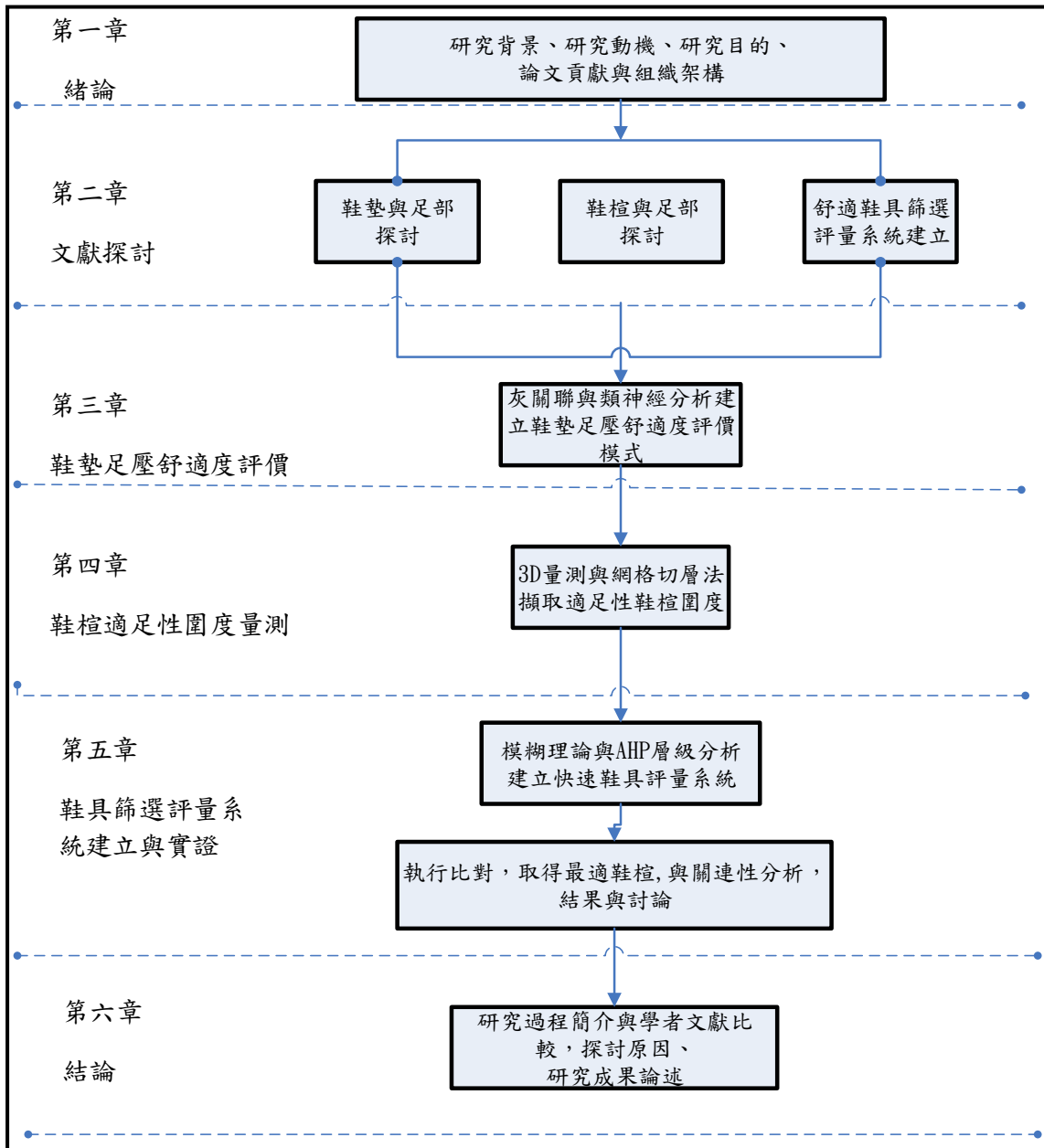


圖 1.5 論文架構(本研究整理)

第二章 文獻探討

為了解鞋墊在鞋具中的設計結構，與鞋具篩選評量系統相關狀況，本章藉由文獻探討歸納整理，取得研究方法應用之參考依據。現將此項研究所探討主題與使用之科學系統方法，依序分成三個方向進行探討；1. 鞋墊與足部探討。2. 鞋楦與足部探討。3. 舒適鞋具篩選評量系統建立；(1) 鞋墊與足壓舒適度評價；灰色理論之灰關聯分析與類神經網路分群與演算。(2) 鞋楦適足性圍度評量；鞋楦設計特徵、逆向工程方法探討、三角網格切層法之應用。(3) 舒適鞋具篩選評量系統建立；模糊分析運算與層級分析法概述與探討。

2.1 鞋墊與足部探討

以往各種鞋具與足部關係文獻，大都偏重於因足部疾病而研發的矯正鞋具與相關醫療鞋具材料之研究，其方式不外乎透過儀器實驗，步態分析，足壓量測，3D 腳型量測...等研究來取得設計數據，至於鞋具組成結構之探討，則大都偏重於鞋具外型設計與鞋楦、鞋墊製造。鞋底(中底與大底)研究則較為缺乏，究其原因應是鞋底設計已由大型廠商為了配合鞋型開發與行銷，自行設置研究中心(如：Nike, Adidas 等)所涵蓋。至於鞋楦為鞋具組成之基礎模具，如同人體骨架之重要，鞋具廠商由於量化需求，與工廠成本管理之專業分工，大多將鞋型設計資料委由專門製楦工廠製作。鞋墊則是現代鞋具必備之組件，它能給予一般人穿著上的舒適感，更能在醫療保健上，修飾人體足部的缺陷，降低其足部壓力與疼痛。

2.1.1 中底材料應用與足壓關聯性

鞋具內中底功能主要在於降低足部承受外在衝擊力道，相關研究可分為兩大類：一是改變中底之材料屬性，透過實驗分析，找出適合的材質；Michel (1996) 在運動鞋中內底墊使用黏彈性材質，以有效分散足底所承受之壓力，且透過材料吸收腳跟落地時所承受之力量峰值。實驗證明，這種材質使用在鞋具上，的確可降低足部受傷之風險。Karen (2004) 探討女子排球員改變鞋具中底材料密度，對地面撞擊力量與運動力學之影響。研究結果證明改變中底密度的變化，對著陸力道與承載率，沒有顯著影響，原因是運動員可能會針對這種重複節奏活動，自動的讓神經肌肉來適應其衝擊變化。Chiu (2007) 從運動鞋的結構中，探討中底在鞋具中所扮演之角色，並進而得知減少撞擊時所產生力量多寡的影響性。Takeshi Yamaguchi & Kazuo Hokkirigawa (2014) 使用新穎鞋具底部外胎型態，探討粗糙胎面花紋和混合橡膠光滑表面兩者圖案紋路，何者可以增加鞋具防滑性能，降低在潮濕的地板表面行走時跌倒之風險。

二是有關中底實驗材料應用與人體足部壓力差異之關係探討；Verdejo & Mills (2004) 探討足部與鞋具中底的承受壓力關聯性，並以 ABAQUS 軟體模擬不同步態測試距離之足壓峰值與壓力分布狀況，將實驗結果做出比較和建立足壓實驗之預測模擬方式。

Ly (2009) 研究人體行進間，其鞋具中底材料屬性之改變與地面剛性撞擊力之關係。他認為探討人體與地面之動態關係，可反映出鞋具中底非線性元素與地面靈活性，由實驗數據可證明地面的反作用力為非線性元素，鞋材改變對沖擊力作用是具有影響性。Price (2015) 以控制中底材料屬性來改變步行中的衝擊特性，結論是修改中底材料的碰觸特性，特別是硬度調整，可以改變步態的運動學和震動力量，也能減少對下肢的負荷並在舒適度上帶來好處。Tobias Wunsch (2017) 將葉狀彈簧結構置於鞋具中底，探討行進中足部關節與下肢之影響，在測驗中證明此項結構相較於傳統發泡中底，更能減少下肢肌肉對運動中身體的平衡，有助於跑步之表現。

以往文獻大多以靜態實驗作為中底材料模擬參數，探討足部承受之壓力差異與分佈狀況模擬出實驗結果；即使是少數的人體參予實驗，這也只有證明這些材質降低壓力的功能，並無深入探討使用不同材質與實驗數據對未來鞋楦設計開發之影響(劉德騏，2016)。另一方面，本研究認為這些文獻缺乏將鞋楦量測數據應用於適合個人足部之鞋具選擇分析，因此依此概念，使用灰關聯分析搭配類神經網路所建立的鞋墊足壓舒適度評量模式，找出影響鞋具穿著舒適之主要設計特徵，並以之設計一套鞋具篩選系統。

2.1.2 足壓與舒適度關聯性

一雙合適的鞋具可降低足壓，減少足部傷害發生，是保護使用者足部之問題重心。過高的足壓容易引起足部功能病變，更可能影響身體其他部位如膝部、髖部，造成部份組織受傷，產生下背部疼痛。一般人若感覺局部足壓過高，會自動調整步態以重新分配足底所受壓力，減少壓力的集中位置，有些則是透過額外增加的輔助器材來改變不適情況，使用鞋墊即是最簡便的方法之一。Perry (1992) 與 Walter & Engelke (2002) 皆認為足壓數據能夠評估人體受力狀況，研究實驗室中測試評估完整步態的重要數據與資料，實驗證明所測得之足壓與正常壓力分佈狀況數值不同時，可根據所得資訊來探討問題產生之來源，並提出建議；包括鞋具挑選，鞋墊的設計與製作，穿著鞋具運動方式的探討，這些研究對步行時所承受下肢的力學分析相當重要。

足壓降低與穿著舒適度的增加是否有相對關係，早期研究大多著重於客製化醫療輔具之研發；Lavery L. A., Vela S. A., Fleischli J. G., Armstrong D. G., & Lavery D. C. (1997) 使用附有黏彈性鞋墊來探討鞋具的醫療、舒適、運動成效。研究發現這種鞋墊在減壓上確實有顯著的差異性，也證明此項裝置於鞋具上，確實有其可行性。葉哲維 (2001) 以小孩為對象，實驗幼童坐於安全座椅，探討其壓力分佈與舒適度之間的關聯性，並以此

建立一項舒適度評價系統。Boulton et al. (2004)透過研究認為舒適度鞋具應該能減少足下壓力，預防足部皮膚的磨損，並對步態控制和平衡能力提供良好的足部支撐。

伴隨運動的風行與科技化實驗設備的研發，有關足壓與舒適度的關係逐漸被人因工程觀念所影響；其中有(李靜、曾全壽、于海濱，2017)，探討長跑選手之主觀舒適感與足壓關係，應用舒適問卷評分量表和足底壓力量測，針對 20 公里跑步實驗中，其舒適度與足底壓力變化進行比較。甚至結合機械測試，對跑鞋的舒適度變化規律及原因進行深入研究；實驗發現，跑後鞋內足底壓力明顯上升，跑者之舒適度評分則隨著跑步持續呈下降趨勢。Mei et al. (2018)則透過二十六名測試者參與實驗，在分別進行 10 和 20 公里跑道運行後，依其舒適感知得分和壓力峰值測試，探討長跑前後的足底壓力，其變化如何影響鞋具之舒適度。結論為跑步後足部型態變化會導致腳後跟中足內側和跖骨壓力的增加，也會影響前足和足跟整體舒適度，實驗證明足部形狀、舒適感和足底壓力關係之知識對於長跑鞋具設計有重大的價值。

本研究依相關降低足壓與舒適度之關聯性文獻，確認足壓降低將會使得鞋具穿著者舒適感增加。依此概念並以其關聯性為前提，應用於鞋墊足壓舒適度評量模式上。

2.1.3 足壓量測

足壓量測可分靜態與動態，靜態是指站立時所承受的壓力，動態則是量測行動時所承受的壓力。在靜態研究實驗中 Cavanagh Rodgers & Iiboshi (1987) 提出站立時足壓分佈，其比例為：足跟 60%、中足 8%、前足 28%與腳趾 4%。Cornwall & McPoil (2000) 發現站立時足壓所佔時間百分比，後足 22.4%、中足 13.7%、前足 55.4%與腳趾 8.5%。(張仲卿，2007) 研究客製化鞋墊之電腦輔助設計系統開發，應用逆向工程之足底 3D 影像擷取設備(3D plantar scanner)取得未受力足底之外形(Natural Profile)，藉此做出符合腳底外形之鞋墊。(洪薇清，2002) 研究踝足裝具之生物力學效應，使用 EMED-PEDAR 鞋墊足底壓力量測系統，量測實驗者站立時足部與踝足裝具間的界面接觸壓力，並求得平均足底壓力與最大足底壓力數據。許盛發與揚世偉 (1996)發現全接觸型鞋墊可以降低足底壓力，並將壓力從前後足轉移到中足區域，以調節足底腳後跟疼痛，並隨著行動而傳遞到中足與前足區域。此項結論可作為本研究實施鞋墊足壓舒適度評量實驗時，選擇測試樣本鞋墊之參考依據。

藉由相關足壓生物力學量測與實驗型態設計之文獻探討，本研究採用部分學者文獻，作為整體鞋具快速篩選系統開發之研究測試與實驗方法擬定。在鞋墊足壓舒適度評量分析之足壓量測上參考(張仲卿，2007)，以足壓量測設備掃描腳底影像，藉此分區建檔，再經由腳底影像分部資訊數學模式推導，採用疊加設計，使用色階轉換計算，求得足底壓力分部數據及參數。至於上述文獻之動態足壓實驗往往應用於足部醫療研究，探討的

都是行動時壓力移動方向與位置對足部之影響，本研究因採用鞋墊足壓靜態實驗，這些資訊只作為鞋墊樣本選擇之參考。

2.1.4 鞋墊材料實驗

鞋墊材料普遍的應用在生活中各個領域上，如交通載具、建設工程、機械工業、貨物包裝..等，其主要功能為吸收震動力量與舒緩衝擊力道，並能夠保護物件主體結構或人類身體免於受損與傷害。

在鞋墊材料與足壓之關係探討；許盛發與楊世偉 (1996) 使用不同材料形狀鞋墊進行評估分析，比較不同鞋墊對足底壓力分佈之影響，應用 Dyna 3D 電腦分析，模擬足部穿戴鞋具在步態中之壓力分佈，結果找出最大壓力在足跟處，其次是蹠骨與大拇指區，結果應證不同鞋墊對足底壓力分佈的確會造成差異性影響。(吳淑霞，1998；朱嘉偉，1999) 等人，提出影響足壓的參數，包括接觸面積，當足底接觸面積改變時，足壓便會反映出不同的數據，使用全觸式鞋墊進行實驗時，發現對於降低足壓均有相當大的效果。張志清 (1997) 則是使用半月型足弓墊實驗，發現可提供下陷的足弓適當支撐，減少後足距骨下關節運動範圍，達到矯正的目的。

陳世軒 (2001) 以彈性 IPN 結構高分子球粒快速製作客製化抒壓鞋墊足底結構與壓力，利用腳底壓力評估系統(TeKscan F-Scan VersaTek System)檢測足底壓力，透過影像處理技術，以 2D 或 3D 顏色編碼顯示壓力分布，擷取高壓力區足形輪廓作為鞋墊設計之依據，並利用 ANSYS 有限元素分析軟體，提供鞋墊結構、材料資訊，對鞋墊抒壓能力進行模擬分析。Chang Y., Lu D. X., & DeSilva C. N. (1998) 應用彈性力學探討發泡材料在遭遇壓縮時之材料性質變異實驗，取得隨壓縮速度之不同而改變的各種數據。發現不論在彈性或塑性範圍內，其速度愈快材質之強度也將提高，隨後並應用於 LS-DYNA3D 上，找到新的材料樣式(Materil Type 83)。Erdemir et al. (2005) 藉由分析鞋材形狀與不同材質應用之影響，設計出舒緩足底局部壓力之方法。Shariatmadari (2009) 提出在不同密度下測試 EVA 發泡材料的材料曲線，並採用足跟踩踏方式來實驗有無穿著鞋墊對足跟的受力影響，模擬出應用靜態位移數值搭配不同密度下材料曲線進行壓縮實驗之結果。

由上述文獻探討了解，大多研究者皆以不同材質之鞋墊作為實驗之評估與分析，結果只應證這些材料之可用性，並未針對鞋墊組成之其他重要設計要素，如厚薄、軟硬、位置重點區分，做出各別或共同之實驗與應證。有鑑於此，本研究在挑選樣本時，即加入鞋墊厚薄尺寸與軟硬度差異性，為了配合人體足弓之形狀不同，更加入足弓位置高低選項，相信必能讓此項實驗增加其信度與效度。

2.2 鞋楦與足部探討

以往研究文獻使用足壓量測實驗於製造設計上，大多偏向於醫療鞋具之研發，本研究認為鞋具研發，適足性與舒適度乃為基本需求，故鞋楦設計要符合消費者需求，必先了解鞋楦與一般足部之功能與結構關係，如此方能更深入探討鞋楦適足性設計之特性。

2.2.1 鞋楦與足部結構關聯性

1. 足部與鞋楦之關係

鞋楦是在鞋具生產過程中用來使之成形的工具，鞋楦同時也是影響鞋具外型美觀，穿著舒適的重要因素，因此鞋楦必需根據人體足部的外部形狀與機能加以設計製作。在人體結構中，足部為弧形曲線構造，其目的：(1).負載人體：站立功能。(2).避免震盪：運動功能。(3).保持平衡：平衡功能，這三項功能配合肌肉、韌帶和脂肪層的相互作用，使足部具有彈性與保護功能，並能防止震盪，避免對身體造成傷害，下圖為足部骨骼與足楦關係對應位置(圖 2.1)。

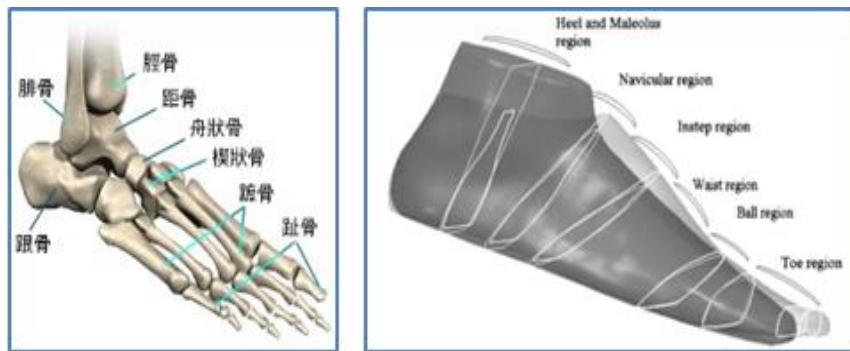


圖 2.1 足部骨骼與足楦關係位置 Luximon (2009)

2. 足部與鞋楦主要機能分區

鞋楦的組成型態，依據機能可區分為五個區域，如(圖 2.2)所示。以下將分別敘述這些區域的涵蓋範圍以及足部與鞋楦的功能意義(林承哲，2002)。

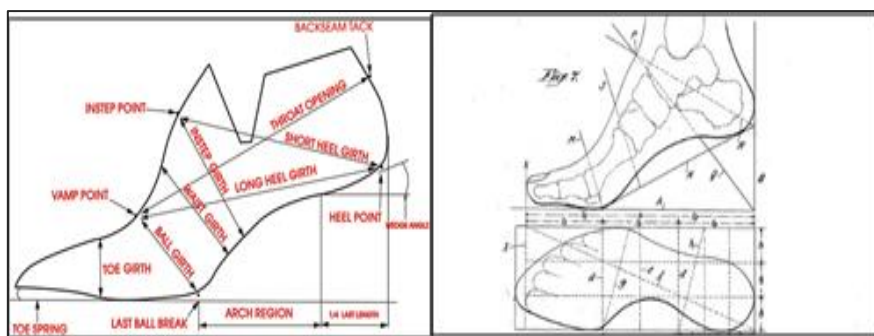


圖 2.2 鞋楦主要機能分區 Rossi (1986)

(1) 足趾(Toe)

位在趾圍(Toe Girth)前後區域，主要的功能在於保護足趾並提供足夠的空間，以容納步行時因壓力變化而擴張的足趾長度以及寬度，此位置也影響鞋具尖部的流行式樣。在足趾區底部與水平面之間，有一橦頭翹度(Toe spring)的設計，可提供起步時的空間，幫助省力。

(2) 足掌(Ball)

位於掌圍(Ball girth)前後區域，提供足部動態以及靜態功能。此區為鞋面的摺疊點(Vamp point)，因此在動態行進間，必需能提供足夠的彈性與彎曲活動，避免造成關節運動阻力。同時此區的底部為前足弓之著地點，對於重量的承載與反作用力的吸收都有其功能需求。此處又屬不能調整的區域，故其圍度與型態必須正確地配合蹠趾關節之圍度、型態、角度..等考量，才能做出適足性之鞋橦。

(3) 足背(Instep)

從鞋面的摺疊點(Vamp point)到足背點(Instep point)，位於長跟圍(Long heel girth)上方的區域。在行進中足背會因腳跟抬高而升高，同時為了提供力矩而形成僵直的狀態。避免在抬升過程，足弓僵硬過度造成磨擦與受力，導致受傷，此區域主要功能為保護足背並提供適當的調整彈性。就鞋橦設計，此區圍度與曲線型態需要參考實際足型圍度與高度變化，即是足背三D型態訂定，同時調整機能上也需要適當設計，因為此區設計決定鞋口的大小(Throat opening)，是鞋具穿脫容易與否之關鍵，應將實際腳足球到踵點長度列入考慮。

(4) 足弓(Arch)

足弓位於長足跟圍下方 (Long heel girth)，在腳掌接地點 (Last ball break)與後跟承重區(約 1/4 橦長)間區域。主要為提供足弓的保護，外型設計上除需考慮未來裝置鞋墊(Shoe insole)之型態，足弓高度與曲面形狀也是關注重點。內側底部如能以適合鞋墊搭配，提供足弓適度的支撐與震動吸收，避免產生中足部位的疼痛症狀，當然適足性的設計更能提供適度的穩定作用，避免重心轉移時腳跟過度的向外擺動。

(5) 足踵(Heel)

此區為後足跟之承重區(約占橦長 1/4)，為後足跟與鞋具貼合之重要位置。其合腳關鍵；1.是鞋跟點(Heel Point)到足背縫線(Backseam tack)間的足背曲線(Back curve)是否與足踵曲線相合。因需要兩者適度配合才不會產生鬆脫或過緊之情況，進而導致足部與鞋具摩擦產生發炎。2.是鞋跟高度與後插角度(Wedge angle，後踵平面與水平面夾角)設定，兩者會影響步態時，足踵接觸之穩定性。故需要配合正確的足踵寬度與足踵曲面設計。

2.2.2 鞋具設計特徵與足型量測

每個國家雖有自己的鞋楦製造尺寸依據，但對鞋楦設計研發卻極為有限，較為重要的鞋楦設計指南有德國 AKA64-WMS 分級系統和中文 National Footwear Research Institute (1984) (圖 2.3)。AKA64 係由德國製造商 "Arbeitskreis Kinderschuh" 1964 年開發，後來系統擴展到 AKA64-WMS ("Weit" 是寬; "Mittel" 是中等; 和 "Schmal" 是狹窄)。AKA64-WMS 系統提供一種生產鞋楦規範，內容涵蓋模型數據檢查，鞋楦放置平台方向，掌圍，腰圍和背圍測量基點確立，但是對鞋楦 3D 量測與舒適空間數據的預留，並沒有提供明確的說明。另外於 1984 年開發的中文製楦分級系統，雖已使用更廣泛的足部研究與鞋楦設計模式，為足部數據提供了許多詳細鞋楦尺寸表格與尺碼表。但它仍然有一些未盡完整細節，如鞋楦只能依據 2D 之數據規格製造完成，整體輪廓量測仍然無法達成 (Luximon, 2009)，這是鞋楦設計初期，3D 足型量測技術尚未研發所致。

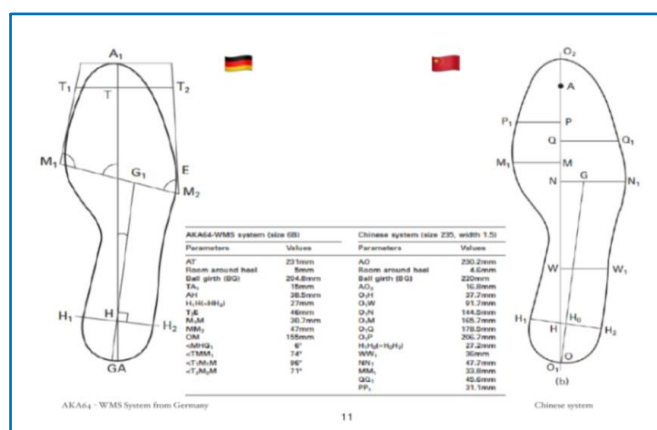


圖 2.3 AKA64-WMS 製楦指南與中文製楦分級系統

現階段鞋具設計和生產製造上，依據鞋技中心為國人所做的腳型量測調查，設定的量測特徵共有 31 項之多。雖然足型量測特徵項目眾多，在鞋楦設計實務中，實際納入參考也只有足長以及足圍。主要原因是：足長是控制鞋具尺碼最大變因，足圍則是調整尺寸寬鬆大小之原因。綜合足長與足圍兩項設計因素，已經可以製造出符合大多消費者鞋楦 (鄭豐聰，1998)。

Witana et al. (2004) 認為現行鞋楦與足型之量測，可以 2D 或 3D 方式進行，以 DDP (Dimensional Difference Plot) 的方法分析人體足部與鞋楦，其 2D 輪廓外型的差異，做為量化鞋具適合或舒適之標準，並透過 20 位自願受測者以及 4 隻鞋楦作為實際驗證，利用此方式尋找個人足型特徵影響鞋具舒適的關鍵部位，並以之設計製作客製化鞋楦。Luximon (2009) 為了解決鞋楦設計師手動設計鞋楦時，所造成設計軟件之局限性，開發一種 CATIA 平台的設計軟件。此鞋楦模型系統依據足部形狀量測數據與足部生物力學，

使用現有的鞋楦設計標準、設計規格與相關程式運算，使鞋楦的設計具有不同的型態與功能。

Wang (2010) 為了定義出足部與鞋楦關係，應用逆向工程 (RE) 技術，構造出人體足部和鞋楦的三項重要的測量位置，即掌圍，腰圍和腳背圍。再使用模糊理論與層級分析法 (AHP) 分析和建立這三個圍度在鞋楦與人腳之間的隸屬度和加權值，確定測試者足部在所有鞋楦數據庫中的適應度。Miguel (2013) 認為針對消費者舒適度和健康因素，穿著合適的鞋子是必要。足部與鞋楦之關係建立是相當重要的，目前鞋具製造設計，還沒有自動化系統模式可整合這兩項元素。原因是傳統鞋具製造技術是基於半自動製作程序，過程耗時而複雜，另一方面，足部與鞋楦的幾何曲線模型，在設備資源的限制下，難以獲取足部 3D 形態結構之數據，再考慮各人足型的非相似性，更不能證明這些鞋楦之準確度。因此建立一項可依足部形狀適時調整數據以符合足部與鞋楦之適足性評量，實有其必要性。

由上述文獻可知，使用 3D 掃描量測在人體足部與鞋具的量測，對於客製化是可行的。本研究利用相關電腦圖形處理、運算等方法，而後分析並得到各項重要量測資料，減少人為操作所造成的誤差。研究為了更精確的量測與考慮穿著舒適度，應用逆向工程技術與切層網格運算，解決了足部與鞋楦幾何曲線模型難以獲取圍度數據之困難。再使用模糊理論與層級分析法建立之快速鞋具篩選系統找出最適合消費者之鞋具，考慮以往傳統鞋楦必須預留中底厚度與舒適寬裕範圍數據和鞋楦製成後形成的足趾前端與足弓部位多餘無效空間，本研究在足部與鞋楦量測上增列趾圍與高背圍，同時足部鞋楦資料導入篩選系統時，更增加鞋墊足壓評價取得之適穿寬裕數據(寬鬆舒感值)，讓整體足部與鞋楦模合關係更為完整。

2.3 舒適鞋具篩選評量系統建立

本研究方法應用，依據探討主題「舒適鞋具篩選評量系統」建立之主要設計要素鞋墊與鞋楦，劃分為兩階段：一為鞋墊與足壓舒適度評價，採用灰關聯與類神經網路分析，比對測試者穿著樣本鞋墊足壓分佈差異之舒適關聯度分析，取得個人最適合鞋墊。再依其設計特徵分析與探討，獲取鞋楦設計初期需預留之寬鬆舒感值資料。二為鞋楦適足性圍度評量，使用逆向工程 3D 掃描與切層演算法取得測試者足部與鞋楦特徵圍度，最終結合此三項因素，應用模糊理論設計一套舒適鞋具篩選評量系統，取得最適鞋楦。如有多重結果再配合 AHP 專家問卷得到的特徵圍度權重排序重新運算 (圖 2.4)。

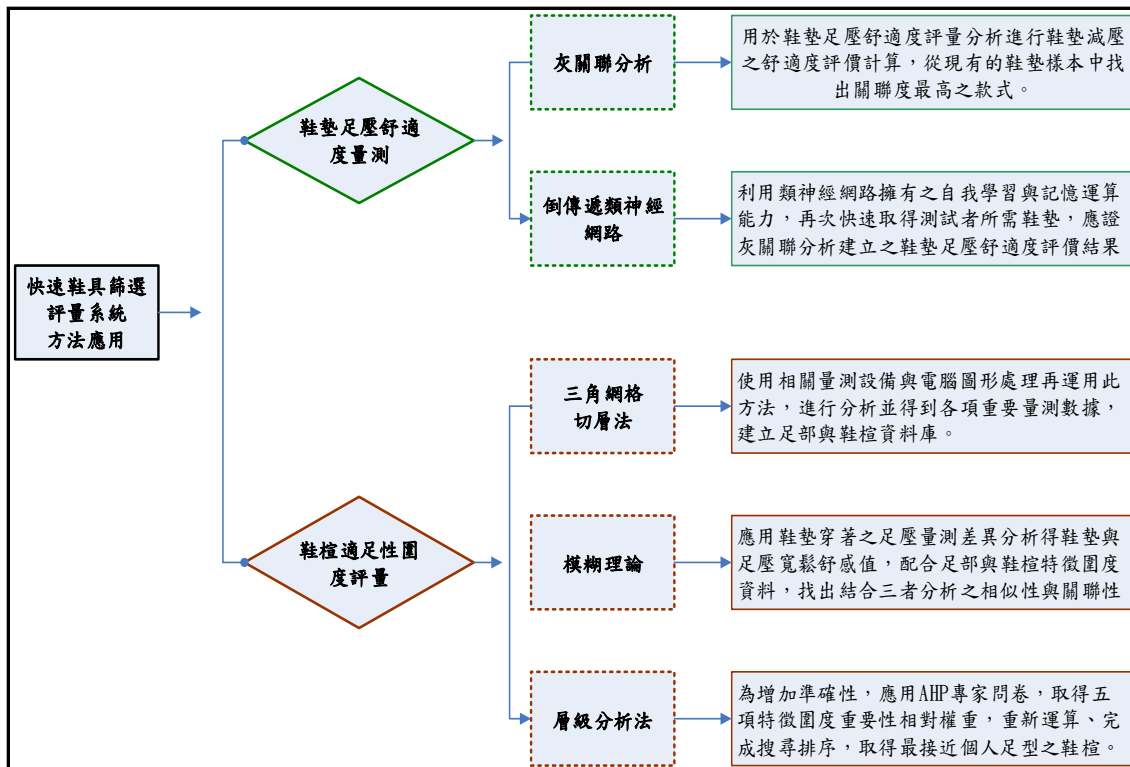


圖 2.4 舒適鞋具篩選評量系統方法應用(本研究整理)

2.3.1 鞋墊足壓舒適度評價方法應用

1. 灰關聯分析法(Grey Relational Analysis, GRA)

灰色理論由華中理工大學鄧聚龍教授於 1982 年提出，至今仍有多數學者提出修正與研究，使這理論更趨近完整與蓬勃發展。灰色理論早期普遍應用於農業、交通、氣象、工程、運輸、經濟與醫療等管理方面，經過多年發展，其應用層面已由原本管理領域延伸到社會學、醫學、工程與自然科學領域，主要是所建立的灰模型（Grey Model）是一項連續微分方程式，利用此模型可以針對不明確與不完整資訊系統，進行關聯分析（Relational Analysis）和模型建構（Model Construction）。並藉由系統自行預測（Prediction）與決策（Decision）功能，進行探討與瞭解，才能對不確定性事務、多變量輸入、離散數據與數據之不完整性做有效處理。

灰色理論假設訊息涵蓋資訊性質元（定性資訊）與數據元（定量資訊），即研究在訊息缺乏時，系統具有自我深入探討之本質，使訊息補充，能充分利用已確定之白色訊息，將系統自其他灰色狀態區域轉化為白化狀態。鄧聚龍（1993）以人體組織來比喻此項系統：「有些外部信息（身高與體重等），與內部信息（血壓及脈搏）為已知資訊，但卻尚有大量未知信息，如人體的生物運行機制、信息存在形式與傳遞型態的不了解，以及本身具有之內部涵蓋和外部延伸特質，因此可將人體系統看成是具有物理原型之灰

色系統」。灰色理論運算，相較其他理論更具簡單性，這從與模糊理論(Fuzzy Theorem)與迴歸理論(Regression)比較表上，可看出其差異性(表 2.1)。迴歸分析理論乃基於大量數據資料，與需要符合某些假設前提作估計，故有多樣限制。然而灰色理論，僅需四筆以上資料，即可建立其模型，且不必對樣本母體分配做更多的限制與假設。

表 2.1 模糊理論、迴歸理論及灰色理論之特色與差異

	模糊理論	迴歸理論	灰色理論
依據	歸屬度函數	機率分布	訊息覆蓋
思維方式	信息邊界取值	最少估計	信息標準生成
特點	經驗(數據)	多數據	少數據
要求	函數	要求典型分布	允許任意分布
目標	認知表達	歷史統計規律	現實規律
應用內涵	認知不確定模型	大樣本不確定模型	小樣本不確定模式
基礎	模糊集	康托集	灰朦朧集

資料來源：依據(鄧聚龍，1982)整理

灰關聯分析是灰色理論中，一種分析離散序列資料間關係程度的測度方法。此方法是根據因素之間發展趨勢的相似或相異程度，來衡量因素間彼此的關聯性。若兩個因素間變化趨勢具有一致性，則表示兩者關聯度較高，反之則較低。而灰關聯分析的最終目的是要取得灰關聯序列，藉由排序順位之前後判定其優劣，以輔助決策進行(鄧聚龍，1982)。有關鞋墊足壓之舒適度探討，本研究針對特別選擇之樣本鞋墊，透過生物力學實驗，建立一套鞋墊足壓舒適度評價系統；方法上即是利用灰關聯善於處理少量且不確定數據之特點，與可分析離散序列之間的關係特性，本研究將之運用於鞋墊足壓舒適度評量分析之減壓舒適度評價計算，從現有的鞋墊樣本中找出關聯度最高(最適合穿著)款式，讓後續倒傳遞類神經網路之樣本對輸入與自我訓練分群，找出吻合率較高舒適性鞋墊。

2. 類神經網路(Artificial Neural Networks, ANN)

近來應用人工智慧以建立預測與評估模式之研究相當廣泛，最常採用的是人工智慧網路 (Bayesian Network)，其中以類神經網路最為普遍，它是一種模仿人體神經網路的資訊處理系統，早在古希臘年代，就有相關人類智慧研究之記載。至於從物理學觀點和多領域科學之整合研究，則始於十九世紀，伴隨電腦科學之發展，多種模擬人腦功能模式逐漸被提出。然而這些模式並非透過行為與腦關係架構之解析而建立，因此無法詳細解析繁複之腦神經組織功能。直到 Rosenblatt 在 1958 年提出的「感知機 Perceptron」模式 (屬於一種單一神經元且無隱藏層之神經網路架構，常用於簡易分類)，才再次掀起類神經網路相關研究熱潮，然而此時「互斥」的問題尚無解決方案。接著 Kohonen&Anderson (1972) 提出擁有記憶能力之類神經網路模式。Hopfield (1982) 發表定迴式「霍普菲爾神經網路 Hopfield Neural Network」，率先將「迴授」(Recurrent) 概念導入神經網路，並應用於鞋具開發研究上，才使類神經網路擁有「時變」(Time Varying) 之特性。

類神經網路可定義為一種計算系統，包括軟體與硬體，使用大量簡單的相連人工神經元模擬人類神經系統，並結合數理運算與統計理論，同時擁有歸納、學習、引伸行為之智慧型資訊處理系統。類神經網路普遍應用於諸多領域，雖然各有不同的出發點考量，卻常有共同的存在問題，主要關鍵在於學習與記憶運算系統將實際事件擷取，再轉換成腦中存取模式「碼」，依據此模式產生決策。

(1) 類神經網路基本架構

類神經網路基本架構可分為「處理單元」、「層」與「網路」三層次：

a. 處理單元 (Processing Element, PE)

處理單元也稱人工神經元，是組成類神經網路之基本要素，可依作用之不同分成集成函數 (Summation Function)、作用函數 (Activity Function)、轉換函數 (Transfer Function)。現行處理單元中最常使用的是轉換函數，因轉換函數直接影響網路學習結構，不同的轉換函數將會使所建構的類神經網路擁有不同特性，其關聯性與流程如下(圖 2.5)。

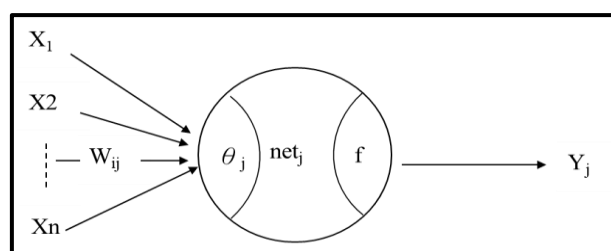


圖 2.5 人工神經元關聯流程圖(本研究整理)

X 網路輸入， W 加權值， θ 偏權值， net_j 處理單元淨值， f 轉換函數， Y 網路輸出。

b. 層 (Layer)

由具相同作用之處理單元集成層，本身有競爭性之輸出與學習特性；一個基本類神經網路，由輸入層、隱藏層與輸出層架構。輸入層接收外部信息，再將信息傳送給隱藏層之神經元，實際輸入層並不包含計算性神經元，因此不處理輸入資料。隱藏層則是提供類神經網路處理單元間之交互作用，是擁有處理問題能力之結構，層之數量通常以試驗方式決定其最佳數值，往往依問題複雜程度而定。輸出層則由隱含層接收信息，並輸出訊息給外在環境，通常層之組成可以單層或多層方式呈現。現將類神經網路中的單層與多層結構比較如下(圖 2.6)：

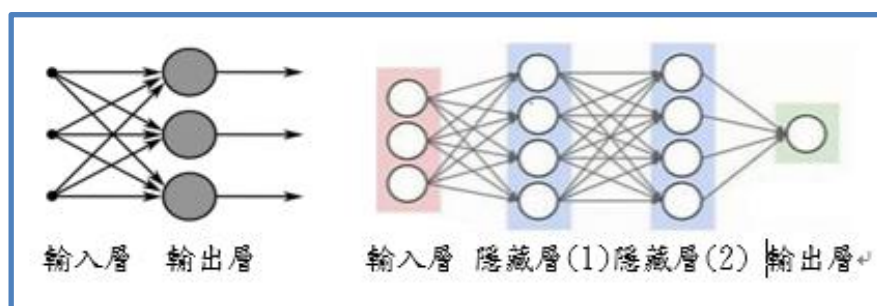


圖 2.6 單層與多層類神經網路架構比較圖(本研究整理)

c. 網路 (Network)

一個完整的類神經網路係由幾個不同作用之層結構組成，層與層之關係則由轉換函數定義，每個層結構各自涵蓋許多處理單元，透過這些處理單元之關聯，即可建構一項擁有學習能力之智慧性系統。類神經網路運作程序可分成「學習」與「回想」過程，學習過程是從範例中透過學習演算法學習，調整網路連結加權值之過程，回想過程則是依據回想演算法，由輸入資料決定網路輸出資料之過程，內含監督式與非監督式、聯想式學習演算法。

(2) 類神經網路種類

現行類神經網路相關研究，已有多種不同架構逐漸被提出，各種問題皆有其之適用之網路，可依網路架構自做分群。其中倒傳遞類神經網路是最具代表性之模式，普遍應用於樣本識別、雜訊過濾、適應控制、資料壓縮與專家系統等各領域。就學習機制看，倒傳遞類神經網路屬前向式架構之監督式學習網路，具回想速度快、精準度高與易於理解之特性，因此本研究應用此網路型態，做為文本中分群學習之演算。

統合現有之類神經網路模式不下數十種，若依據網路學習類型分類，大致可分為四大類：(1)監督式學習網路。(2)非監督式學習網路。(3)聯想式學習網路。(4)最適化應用網路。如果單從改變網路神經元間連結強弱之學習演算法來分類，則大致可歸類成監督式學習(Supervised Learning)與非監督式學習(Unsupervised Learning)二種，以下針對這二類型之演算方式簡要說明。

a. 監督式學習網路 (Supervised Learning Network)

監督式學習網路有實際正確值供比對，可讓進入類神經網路架構每筆輸入值運算輸出值，可依據對應之正確值進行誤差調整，透過不斷修正，整體神經網路架構將更符合輸入與輸出值間之對應關係(張斐章，2010)。也就是說監督式學習常藉由持續的網路修正其傳遞權重，以符合「教師」目標。學習過程中，會給予類神經網路訓練範例，每組訓練範例，包含著輸入項和目標輸出值，此項目標輸出值扮演著「教師」角色，持續進行網路修正傳遞權重之值，藉由訓練過程逐次調節網路連結之強弱，以降低網路輸出值與目標輸出值(Desired Output)之差距，直至其間差距小於一定之「臨界值」，才自行停止，其流程如下圖(圖 2.7)。從問題範圍中提出的訓練範例(輸入變數與輸出變數)，可學習輸入變數與輸出變數兩者對應規則，再應用於新的案例中(由輸入變數值，而推論輸出變數值)；如感知機網路、倒傳遞類神經網路、機率神經網路(Probability Neural Network)、反傳遞網路(Counter-Propagation Network, CPN)等型態。

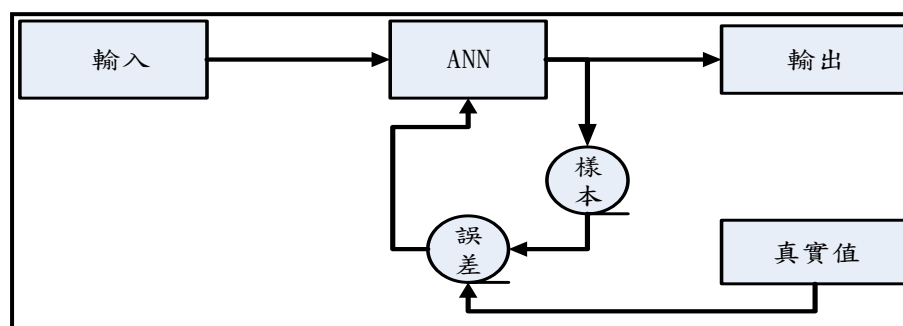


圖 2.7 監督式學習演算法(本研究整理)

b. 非監督式學習網路 (Unsupervised Learning Network)

非監督式學習網路，係指在類神經網路學習過程中，並不需要事先得知答案(或預期達成之目標)，此網路即可以自行取得解答，非監督式學習網路代表性為一種「競爭式學習網路」(Competitive Learning Network)。競爭式學習網路主要，在於將同類或相關圖樣聚集在一起，非監督式神經網路在訓練過程，並無實際輸出值供比對，常藉由權重值之修改，回應網路輸入，用以描述輸入分布關係。此種演算多用於聚類型神經網路，可藉此降低高維度系統之複雜性(張斐章，2010)。

非監督式學習演算之輸入，往往是大量未經處理之雜亂資訊，由這些資料並無法得知其同異性或彼此關係。類神經網路需從這些資料中，找到可能存在的規律性、關係、以及其他屬性，當特性被找出，類神經網路即會修改自身變數，以符合這些資料特性。故在無法提供確切資料之分類特性時，便可藉由非監督學習網路之功能，產生資料的聚類特性，學習演算法流程如下（圖 2.8）。

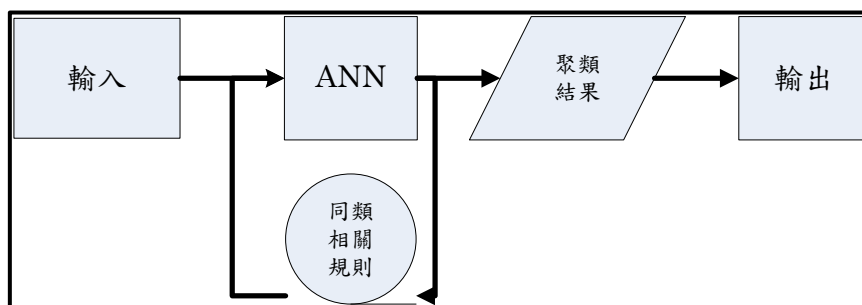


圖 2.8 非監督式學習演算法(本研究整理)

另外，如從問題領域中特別提出訓練範例（只具輸入變數），並從學習範例之內在聚類規則，應用於新的案例（只有輸入變數值，尚須推論它與哪些訓練範例屬於同一聚類的應用）。即是以無師自通的學習方式，使神經元知道如何學習辨識相似的輸入向量，偵測出在輸入中的規則性和關聯性，如自組織映射圖網路（Self-Organization Map, SOM）(Konohen, 1988)。

3. 倒傳遞類神經網路

倒傳遞類神經網路在監督式學習中最具代表性，自從 1957 年感知機模式提出後，各研究成果逐一呈現，然而感知機模式因為缺乏神經網路中的隱藏層（即是運算機能），將導致學習力薄弱。人工智慧創始人 Minsky 曾以專書探討此問題，認為無隱藏層之感知機模式，連簡單的互斥（Exclusive OR）問題都無法解決。即使勉強加入隱藏層，也無合適的學習演算法可以修正權值，尚須透過人為修正。倒傳遞類神經網路擁有智慧分群（Classification）、穩健預測（Forecast）、適配容錯（Tolerance）與回想學習（Learning）特性，是一種模擬人腦而架構出更趨於完整的神經網路模式。此項網路模式被廣泛應用於財務統計、生醫科學、航太工程、高階物理、人工智慧等領域，透過理論及實驗的相互佐證，此項網路系統可做為未來類似人腦功能與臆測之理論依據。倒傳遞類神經網路是利用最陡坡降法（The Gradient Steepest Descent Method）概念將誤差函數極小化，透過隱藏層，使神經網路輸入之處理單元互相影響，最後再使用微分之轉換函數，使最陡坡降概念之神經網路進行加權值（權值與偏權值）修正，其網路架構圖如下(圖 2.9)。

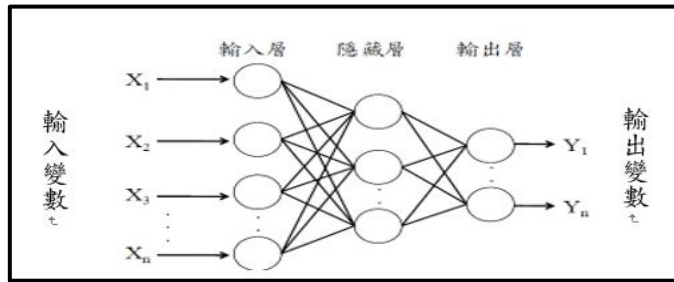
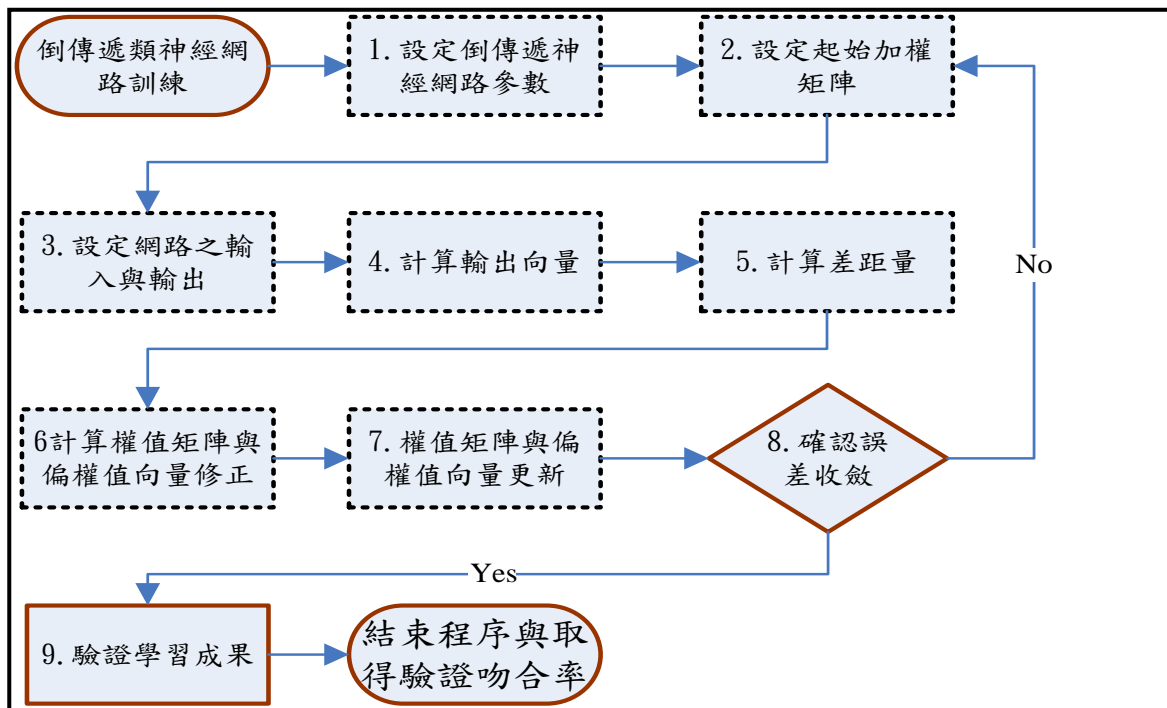


圖 2.9 倒傳遞類神經網路架構(本研究整理)

倒傳遞類神經網路學習過程可分九步驟：1. 設定倒傳遞類神經網路參數。2. 設定起始權值矩陣。3. 設定輸入神經網路之輸入值與輸出值。4. 計算輸出之向量。5. 計算差距量。6. 計算加權值矩陣與偏權值向量之修正值。7. 更新權值矩陣與偏權值向量。8. 確認誤差是否收斂。9. 驗證學習成果。程序流程敘述如下(圖 2.10)。



2.10 倒傳遞類神經訓練流程圖(本研究整理)

a. 倒傳遞類神經網路訓練

當倒傳遞類神經網路權值與偏權值初始化，即可訓練神經網路輸入值與輸出值，作為範例之樣本對。過程中網路的權值與偏權值將以疊代作用，極小化神經網路的性能函數，即是網路輸出值與目標輸出值之間的平均平方誤差 (Mean Square Error, MSE)。而基本倒傳遞類神經網路演算，係以降低性能函數之最快方向 (負梯度之方向)，作為網路更新權值與偏權值之依據，此演算之疊代公式(2-3)如下。

$$x_{k+1} = x_k - a_k g_k \quad (2-1)$$

x_k 是目前權值與偏權值之向量， g_k 是目前梯度， a_k 是學習速率。

使用學習率乘負梯度，可決定權值與偏差量之變化量；當學習速率越大，其變化量即加大，但學習速率過大時，整體演算法反而變不穩定。若學習速率過小，演算則需要較長時間才能完成收斂。網路中止學習之條件有疊代次數與性能指標兩種，如疊代次數超過先前設定之最大次數，其網路將停止訓練，當性能函數落在性能指標以下，其網路也會停止訓練。

b. 動量最陡坡降演算法

動量最陡坡降演算法提供類神經網路更快的收斂性，其動量設計不僅可讓網路回應部份梯度變化，也回應出誤差曲面新的變化方向，作用如過濾器，允許神經網路忽略那些細小變化之誤差曲面特性。此作用下，其神經網路因忽略這樣的極小值，將降低網路對誤差曲面與局部梯度之變化，如此將可有效抑制神經網路陷於局部極小值，其相關權值與偏差量變化如下公式(2-2)與 (2-3)。

$$\Delta W^m(k) = \gamma \Delta W^m(k-1) - \pi(1-\gamma) a s^m (a^{m-1}) \quad (2-2)$$

$$\Delta b^m(k) = \gamma \Delta b^m(k-1) - \pi(1-\gamma) a s^m \quad (2-3)$$

m 是層數， S 是靈敏數， γ 是動量常數， a 是學習率， k 是疊代次數。

4. 類神經網路鞋具相關研究

在鞋類的設計領域中，利用類神經網路案例極為有限，一般都應用於鞋具材料與外型設計之研發預測，現將類神經網路與鞋具相關研究文獻分述如下：

Rupérez M. J., Martín-Guerrero J. D., Monserrat C. & Alcañiz M. (2010) 應用類神經網路探討鞋面與足部表面之間的壓力關係，使用選定材料之彈性參數作為類神經網路的輸入，減少測試舒適鞋具次數，並建立一項神經網路模型；其中包括各種材料的應力和位移資訊，後續可以藉此預測新材料之特性，不必重複舒適度實驗。Rupérez et al. (2012) 再使用類神經網路(ANN)與多層感知器(Multilayer Perceptron, MLP)，將 14 個壓力傳感器均勻放置在鞋面上，用來預測行走時鞋面上不同材質與腳上承受之壓力。藉由這些數據之取得，系統可預知腳面上的可能承受之壓力，減少再次測試壓力分析步驟，大量降低製造的時間與成本。

Shieh & Yeh (2013) 結合類神經網路與感性工學，以慢跑鞋為主要研究對象，在鞋具外形與消費者情感反應之間，利用慢跑鞋之感性形容詞與問卷調查收集數據，其中將收

集的消費者問卷資料再使用主成分分析(Principle Component Analysis, PCA)和偏最小二乘方法(Partial Least Squares, PLS)，使數據進行預處理，減少數據維度，去除冗餘和混合動力或不清楚的學習資料，最後再利用神經網路 PCA-NN 和 PLS-NN 來建立預測模型。Wang Chung Chuan, Yang Ching Hu, Wang Chung Shing, Chang Teng Ruey, & Yang Kai Jey (2016)提出一套結合感性工學與類神經網路為基礎的球鞋造型設計流程，藉由自組織映射網路(SOM)的輸出分布圖，了解自動搜尋事物聚類規則之能力，並以倒傳遞類神經網路(BP)驗證其學習效果，讓設計師能藉此模式作為客製化球鞋造型之設計依據。

類神經網路具有其他理論缺乏之特性及優點；如類神經網路僅需憑藉人為操作經驗、知識與控制法則去推論，因此受到許多研究者青睞。這也是本研究應用類神經網路模型探討足壓量測與鞋墊設計特徵相關舒適度差異之原因，另外監督式學習網路中之 BP(倒傳遞類神經)網路因具有高度的連結性及容錯率，即使有少數雜訊混雜在輸入資料中造成干擾，也不會影響其運作之正確性，因此我們以此模式進行鞋具中鞋墊足壓舒適度探討，將這些雜訊視為訓練樣本中受測的不確定性，且在系統中運作中，即使有部份人工神經元失效，整個類神經網路系統依然可以正常而有效的運作。

為了因應現代科技潮流 傳統制式化設計流程必須藉由專門智慧型研究來實行與驗證。本研究透過灰關聯理論建立之鞋墊足壓舒適度評價結果，後續還需應證此項方法之可靠性，因此利用類神經網路所擁有之自我學習與記憶運算能力，提出此項方法，再次快速取得測試者所需鞋墊，應證其結果。

2.3.2 鞋楦適足性圍度評量方法應用

鞋具除了外型美觀之外，最重要還是要讓使用者覺得舒適，個人腳型外觀、尺寸圍度、厚薄大小均不相同，這些因素卻是影響鞋具穿著舒適與否之重要關鍵。在探討鞋楦設計製造之前，需要對人體足部與鞋楦量測先行了解，方可正確無誤的取得相關數據資訊。本研究已針對鞋墊足壓舒適度量測方法應用之文獻與研究做出介紹與探討，後續將整合鞋楦特徵圍度於鞋具適足性評量系統開發，所應用方法做一論述與探討；研究以逆向工程量測，取得樣本鞋楦與測試者足部外型 3D 圖檔，後續相關鞋楦與人體足部各項特徵圍度之擷取和切層演算法之使用、鞋楦快速篩選系統應用之模糊歸屬度分析、層級分析之專家問卷權重劃分方法相關文獻敘述於下：

1. 鞋楦設計特徵圍度擷取

當前鞋楦設計可分兩種，特殊客製化與商業通用化型態，客製化大多使用 2D 或 3D 儀器量測足部形狀數據，再依據現有的鞋楦設計標準、設計規格表與相關程式運算，使鞋楦設計具符合使用者需求之類型與功能。另一種商業型態則是鞋具廠商，獨立研發或收集最新鞋型，集中楦體模型設計製造，主要以達成鞋具穿著舒適與美觀為目的。同時

這些鞋楦設計型態可隨時修改，設計師可視狀況需要而變化，加速製程，減少鞋楦設計週期，促使產品順應時尚潮流。

鞋楦設計，基礎測量最為重要，因為這項因素影響到使用者所穿鞋具外觀之形狀與大小，也對足部傷害有預防之功能。製程中必須考慮鞋具設計特點與人體生理結構間之關聯性，探討兩者之間有無直接影響，如同在設計鞋具前端時，並不適合使用錐形或尖形之鞋頭，因為此舉使腳趾受到壓力衝擊，使足部進入一個極端不自然姿勢，導致產生硬繭、潰瘍，最後甚至造成腳部的畸形，因此需要將鞋楦頭以圓滑方式設計，讓使用者在行動時能夠更加舒適，但是如果以時尚潮流設計考慮則又另當別論。

Bernabéu et al. (2013)聯合醫生和製鞋行業技術人員，依據一般足型測量方法，在糖尿病患者鞋具之鞋楦設計上，以實驗方法驗證出實際且有用的一組測量數據；實驗中，採用 150 隻足型以及 130 個參數進行了量測分析和標準化，研究後發現，針對患者足部機能探討，許多測量參數相似且多餘，最後定義出最具代表性的正確量測特徵圍度與距離關係，鞋楦設計影響參數關係(表 2.2)。

表 2.2 鞋楦設計特徵與生物力學改變參數關係

設計特點	生物力學改變	鞋楦修改參數
總腳長、 總腳寬	行走時減少足部的形狀改變。 減少足部變形時鞋具對於腳的壓力。	鞋楦長、鞋楦寬
跖骨寬度、圍 度、腳背圍、 腳腰圍、腳掌 圍	行走時減少腳的形狀改變。 降低足底釋放的壓力。	鞋背圍、鞋趾圍、鞋楦寬、鞋 掌圍、鞋腰圍、鞋背圍
穿鞋時進入 的大小	減少前掌和腳趾背側的壓力。 減少腳跟縱向剪切的壓力。 減少第 5 跖骨的壓力。	鞋高背圍
腳趾圍	盡量減少前掌和腳趾的背側壓力。 盡量減少第 5 跖骨的壓力。	鞋趾圍

資料來源：Bernabéu (2013)

本研究認為鞋楦設計特徵因素如能符合糖尿病患者鞋具之使用，相對於一般消費者，必定能產生穿著舒適且更具保護足部之成效。因此同樣的採用這些設計特徵於測試者足部與樣本鞋楦 3D 量測上。

2. 3D 量測

關於人體足部與鞋楦 3D 量測方法之文獻如下；Michael Whittle (1996)以接觸式的量測方式，並定義 13 個特徵點找出 22 個人體足部量測尺寸。Kouchi (2001)提出以足中軸 (Medial axis)的方法探討、尋找足型的關鍵量測尺寸，並以非接觸性三度空間量測法與照像法，以及定義 10 個特徵點找出 17 個人體足部量測尺寸。Mochimaru M., Kouchi M., & Dohi M. (2000)以 FFD(Free Form Deformation)分析物件之差異性，即利用測試者足型與樣本鞋楦找出各個不同足部與鞋楦間之外型差異；實驗上以分析 56 位日本成年女性腳型的差異並加以分類，進而得到其分布狀況，分析之結果可作為設計合適鞋楦之依據。此法可併用於分析人體 3D 外型資料，將其轉換成新產品之外型，此方法也適用於 CAD/CAM 系統中，可用來設計、製作客製化產品。

Luximon A., & Xiao Ma (2004)透過 40 位自願受測者實驗，提出採用足部之高度與側向輪廓線兩個位置，取得人體足部 2D 影像資訊，甚而得到其 3D 外型，比起應用掃描方式得到的足部外型，這種方法應用可讓花費更為減少。然而以 2D 取得之數據，再透過測試驗證，其準確性還是值得商榷。Witana et al. (2006) 應用 3D 掃描，建立一項自動化量測足型方法，實驗上掃描 18 個測試者足部資料，將得到的點群圖檔，以商用軟體(YETI Shape Builder software)以及自行研發之系統進行量測分析，再將所得資訊，做相互的比對和調整，並修正此項量測系統之誤差，證明這套自動化量測足型方法可適用於鞋具之設計與製作。Luximon A., & Luximon Y. (2009)針對前研究「以特徵點與 2D 影像為設計依據，再透過測試者驗證，客製化製造鞋楦」，方法上增加了曲線與剖面曲線，藉以得到楦尖與足根部之自動化鞋楦測量，其優點為考慮到使用者穿著之舒適度與合身性，也藉此設計更有美觀外形之鞋具，且能減少鞋楦設計週期。其研究方向與研究目的與本研究雷同，差異在於藉由曲線構成之鞋楦外型有其侷限性，只能針對楦頭與楦跟做設計改變。

由上述文獻得知，人體足部與鞋楦的量測工作，都必須將足部或鞋楦外型重置於三度空間中，藉以萃取其尺寸、2D 形狀與 3D 型態資料。這些資料大都以辨識其特徵點為基礎，再藉由 CAD 取得模型，進行分析與修改，由此可見 3D 掃描量測於一般人體足部與鞋楦的量測工作是最近鞋具設計研究之方向。

本研究也使用相關量測設備與電腦圖形處理運算方法，進行分析並藉以取得各項重要量測數據，建立足部與鞋楦資料庫。也可以快速為消費者搜尋出最適合之鞋楦，減少人為量測所造成的各種誤差，縮短設計製作鞋楦過程。研究所需量測設備與軟體皆與台中鞋技中心配合，包含上述所提的商用設備軟體(YETI Shape Builder software)之使用。因鞋楦與人體足部皆為複雜之外型，此外在時效性以及人體足部的軟表面考量下，採用

非接觸式的雷射掃描器，進行快速且大量的點資料擷取，再透過 Geomagic Design 點資料處理並進行網格化以取得個人足型與鞋楦之曲面資料，即是 STL 格式的三角網格檔案。這些資料將經由本研究建立的系統運算，藉此得到其相關設計特徵圍度數據，後續才得以對鞋楦與足部進行快速篩選分析應用。

研究使用的 CANFIT-PLUS 雷射掃描器腳型量測儀，屬主動式的非接觸式量測系統，由鞋技中心提供協助。主要是利用雷射光帶掃描以及 CCD 鏡頭讀像技術，進行平面掃描與旋轉掃描、多段式掃描、混合掃描等多種掃描方式，得以快速且準確的取得表面數據。

3. 三角網格切層法(Triangle Slicing)

鞋楦與足部的圍度特徵資料，皆由特徵平面與鞋楦或足型 STL(Stereo Lithography) 檔案中，計算其相交之三角平面取得。因此必須針對對那些三角平面與特徵平面交集狀況進行探討研究，對於 STL 檔案中的任意一個三角平面，其與特徵平面可能交集的情況就有 5 種之多(Choi, 2002)。

快速原型 (Rapid Prototyping, RP) 是一種新穎的實體自由曲面電腦控制製造系統，不需透過人員控制，也免除鑄造模具過程，其製程是『所看到的即是所得到的(What you see is what you get)』，基本上這是在製程中，移除了因人員錯誤判斷所帶來的誤差，物件僅須依據存在電腦檔案庫的資料製造。它能創造出以往使用傳統技術所不能造出的型狀，能以更快、更精密、更經濟的方式製造出傳統物件。此項系統使繁複的設計製程更為縮短，讓工程師在產品設計開發階段，即可先行將物件製造出來並加以測試，減少成品原件的誤差與瑕疵產生(林耕莘，2000)。

王中行 (2003) 以自行開發的 STL 三角網格縮減程式，完成網格 STL 檔縮減，並以兩組不同實例，說明網格縮減對不同產品模型之探討，驗證產品在精準度要求下，網格可適當縮減，達到令人滿意的程度。Martin Isenburg et al. (2003) 使用大型網格簡化於序列順序之處理；主要敘述如何使用非核心網格處理技術，處理與執行它的計算序列範式。Krishnan Suresh et al. (2006) 則透過內側網格減少程序簡化工程分析之概念，提出了一項新的內側網格縮減。計算上比以往使用之中軸減少法，效率更高，所提出的方法還保留中軸縮減所有的優點，包括自動化系統與數值收斂的明確性。另外，計算的方案也可收斂到更小尺寸還能保持其精確性。

三角網格切層法觀念已經延伸並應用到各種不同行業，本研究以三角網格切層演算法，轉換並擷取樣本鞋楦與測試者足型特徵圍度數據，以利後續鞋具快速篩選系統，資料之讀取與分析運算。

2.3.3 舒適鞋具篩選評量系統建立方法應用

1. 模糊理論(Fuzzy theory)

模糊理論是在 1965 年由美國加州大學的 L. A. Zadeh 教授首先提出。它是一種定量表達方法，是為解決真實世界中，普遍存在模糊現象而發展出一項理論，主要是用來描述、掌握具有模糊特性的事物或難以定義之資料而發展出來的。重點是建立一種數學模式，能吸取與模擬人腦處理模糊事物之特點，以便運用於電腦上，使研究者利用其強大、即時的運算能力，處理龐大的模糊事物或資料。

Fuzzy 理論偏向以人類經驗為思考模式以及對問題特性的掌握，主張不使用複雜的數學分析模式來解決問題。Fuzzy 理論將傳統數學，由二元邏輯(Binary logic)擴展到連續多重價值(Continuous-multi-value)概念。應用歸屬函數(Membership function)作為概念的描述，表達一個元素等同某一概念之程度(從 0 至 1 之間)，這個數值即稱為該元素對此集合之歸屬度(Membership grade)；歸屬度為 1，表示該元素完全符合這個概念，歸屬度為 0，則表示該元素完全不符合此概念，介於兩者之間，即是中間模糊的灰色地帶。

以歸屬函數描述 Fuzzy 性質，是 Fuzzy 理論的基本概念，透過歸屬函數才能對 Fuzzy 理論描述的集合進行量化程序，也才能利用數學方法，分析和處理模糊、不確定的資訊。然而歸屬函數因為本質上具客觀事物之屬性，卻存著個人主觀意識，常依據個人經驗或設計加以確認，難有客觀事物的公信力。因此為了建立較為客觀的歸屬函數，通常會先建立簡略之歸屬函數，再透過不斷的實驗與學習，逐步修正與調整，使此項歸屬函數更臻於完善與客觀(李國清，2000)。

Buckley(1985) 以描述、處理資料庫中資料的模糊性質，探討物件或資料的相似性與關聯性，並應用詢問的語意方法建立資料庫的查詢與搜尋功能。Chen & Hwang (1992) 則提出模糊理論多屬性決策新方法，並建立八個模糊數尺度(conversion scales)；研究中提到可使用 13 個語意性措辭，經由其轉換方法可將這些語意性措辭模糊數轉換成介於 [0,1] 的連續性明確分數。

從上述文獻，可知模糊理論對於專家意見與執行決策的彙整是一項重要的分析工具，它可為決策者在規劃設計過程中提供系統性的考量，透過此方法可以整合不同性質的評估結果與影響因素。人類的語言即是模糊特性的代表，很多情況並不需要過於詳盡的資料去判斷，反而使用具有不確定性詞彙更能使決策達到更快速與正確。這也就是人類能夠有效率並活化傳遞訊息的關鍵之一。由於模糊理論可依據專家經驗或文獻探討資訊作為實驗數據，本研究舒適度與適足性鞋具篩選評量系統設計，針對人體足型與鞋楦間長久存在的「舒感壓值」，即是應用鞋墊穿著之足壓量測差異分析所得之鞋楦設計預留「寬鬆舒感值」，配合足部與鞋楦特徵圍度資料庫，找出結合三者分析之相似性與關聯性。

未確定者再配合後續層級分析法取得之各個特徵圍度權重，重新運算排序，最終找到適合測試者之鞋楦，除了目標之達成，研究尚能應證這些傳統經驗數據之可行性。

(1).模糊理論概述

模糊理論運算模糊集合以不明確數字表示，稱為模糊數 (Fuzzy number)；模糊數即所謂「大約數」，是數值的模糊集合，如「寒冷」、「舒適」、「悶熱」等模糊語意之模糊集合。歸屬函數可分成(數值)(一般函數)兩種定義方式，數值型定義方式又稱為離散化歸屬函數，即直接給予有限模糊集合內每個元素的歸屬度，並以向量形式表達，如(圖 2.11)所示；一般函數定義方式又稱之為連續化歸屬函數，以不同形式函數關係(S 函數、Z 函數、Pi 函數、片段連續函數或模糊數等(圖 2.12)來描述模糊集合，常見的有三角型(Triangular shape)以及梯形(Trapezoid shape)、吊鐘型(Bell shape)，如(圖 2.13 a、b、c)所示，至於要採用何種模糊數進行運算，則視需求而定，只要合理化即可。

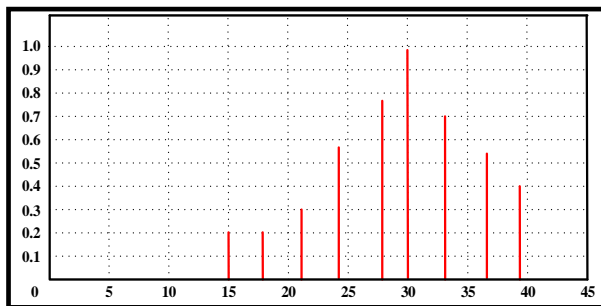


圖 2.11 不同形式函數關係

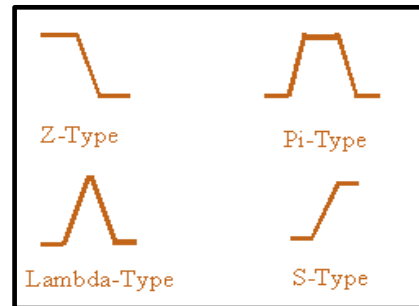


圖 2.12 連續化歸屬函數形式

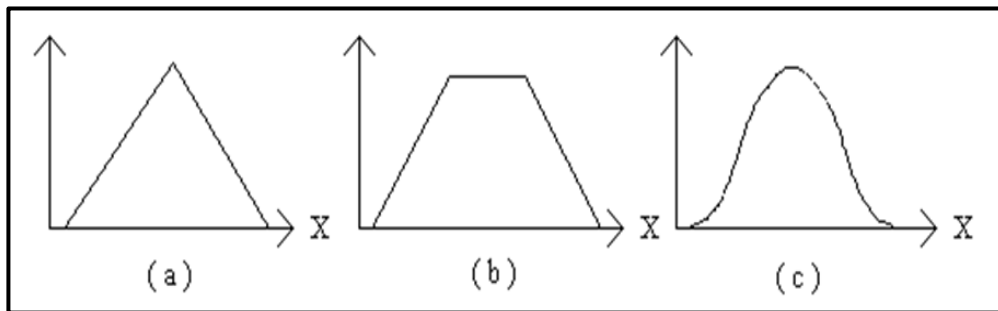


圖 2.13 (a) 三角形模糊數 (b) 梯形模糊數 (c) 鐘型模糊數

資料來源:依據(湯永鴻，2009)整理

現以明確集合與模糊集合示意，將連續化歸屬函數之形成作一解說，將圖(2.13. b)的梯形模糊集合歸屬函數簡化成如(圖 2.14)所示，由(Z-type、P-type 和 S-type)構成一梯形模糊數，藉此我們以溫度與各個語詞之間關係程度解釋此函數。

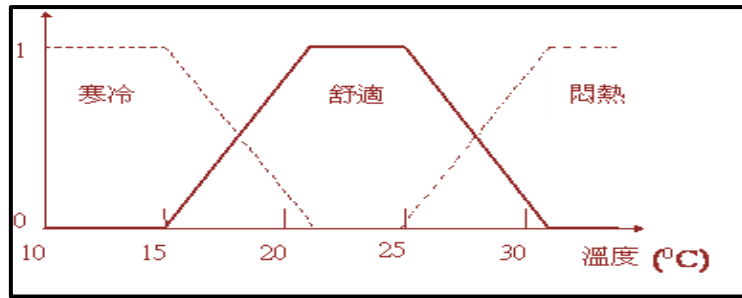


圖 2.14 舒適度之梯形標準歸屬函數(依維基模糊邏輯整理)

(2). 解模糊化

解模糊化是將資料由模糊轉換為明確，方便後續結果之排序，在其運算過程中所使用的工具。而解模糊化並無固定方式，需視問題之特性而使用，一般較常用的方法有以下幾種(表 2.3)：

a. 重心法(Center of gravity defuzzification, CGD)

重心法原理與求取物件的中心位置是一樣的，即是以取得模糊集合之「中心值」來代表整個模糊集合。

b. 形心法(Center of sum defuzzification, CSD)

形心法與重心法類似，可沿用其數學運算求解。

c. 最大歸屬度法(Mean of maximum defuzzification, MMD)

用歸屬度函數中最高歸屬度值之元素值，作為該模糊集合的解模糊化值。若最高歸屬度值的元素不只一個的時候，將所有相對應元素值平均，用平均數來表示解模糊化之值。

表 2.3 解模糊化方法比較

	形心法(CSD)	重心法(CGD)	最大歸屬度法(MMD)
語言特徵	最佳折衷	最佳折衷	最合理的解答
合理性	好	好	好
連續性	是	是	不是
計算效率	高	高	非常高
應用	控制、決策支援、數據資料分析	控制、決策支援、數據資料分析	圓形辨識、決策支援、數據資料分析

資料來源:(本研究整理)

足部因受到鞋具內部空間的束縛，其肌肉神經會對鞋內接觸的各部位產生舒適與否之觸感，進而影響個人的穿著感覺。這即是所謂的「舒適觸感寬裕度數值」，也簡稱「觸感壓值」。本研究考慮觸感壓值會影響楦圍與足圍之間存在的設計模糊邏輯關係，因此

在研究上以模糊理論為基礎，提出建構一項初階搜尋、排序的評估運算法則，為了讓研究達到更精確的結果，採用重心法(Center of gravity defuzzification, CGD)為解模糊化工具，取模糊集合「中心值」，即模糊歸屬度。使系統能夠依據這套法則從現有的鞋楦資料庫中快速的尋找合適之鞋具。

2. 層級分析法(Analytic Hierarchy Process, AHP)

問題解決或需做決策時，經常會造成某些複雜因素的產生，這些因素彼此交互影響，且以被動的影響居多。層級分析法研發的目的就是將一個複雜問題，分割成不同層級，原因是問題透過切割與分解，可更容易分析，其分析效果也會比以前更好，如此將可提供決策者更好方案，亦可減少決策錯誤之產生。此法由 Saaty 教授於 1971 年所提出，主要適用於處理風險性、不確定性之情況以及涵蓋多項評估準則或方案的決策問題上。由於層級分析法理論清晰簡單，操作方法容易，並能同時容納多位專家與決策者意見，因此近年來廣為學術界和實務界所使用。

層級分析法能夠使複雜問題簡化，同時建立具有相互影響的層級結構(Hierarchical Structure)。結構的建立，是集合學者專家以及實際參與決策者之意見評估，藉由評估尺度(Nominal Scale)作要素的成對比較。量化後，建立比較矩陣，以求得優先向量(Priority Vector)和最大特徵值(Maximum Eigen Value)，藉以評定矩陣是否符合一致性，若不符則捨棄，考慮評估要素時，最多以不超過七個為佳，故層級結構的建立有助於對事物瞭解，尤其面臨多重評估方案時，需要某些替代方案做出決策時，使用此方法更能獲得決策分析所需之資訊(Saaty, 2008)。

Narasimhan (1983) 將 AHP 歸納出幾項優點：(1) 可將主觀的決策模式化，提供較為準確的判斷參考。(2) 有相關軟體協助，可進一步作敏感度分析。(3) AHP 數量化的結果可以供作群體決策基礎，做為彼此溝通工具。(鄧振源、曾國雄，1989) 研究提出 AHP 的作用是將複雜且非結構化的問題系統化，由高層次往低層逐步分解，並經過量化、簡化，改進以往只依靠直覺的決策過程，取得各方案間之優先權重值，提供決策者選擇適當方案的充份資訊，降低決策錯誤的風險性。文中也指出 AHP 有以下幾項缺點；如 AHP 評估尺度過於繁瑣，高達九種尺度、標準化方法遭到質疑、在 AHP 假設範圍內的獨立性問題等。

Mon (1994) 指出 AHP 方法在決策問題評估上有五項缺失：(1) AHP 法主要應用在明確(非模糊)決策上。(2) AHP 法使用不對稱尺度衡量問題。(3) AHP 法不能涵蓋人類對事物認知的不確定因素。(4) AHP 法的排序相當不明確。(5) 決策者過於主觀的判斷、其選擇與偏好對 AHP 法評選的結果有很大的影響即判斷是錯誤的，導致決策結果也是不正確的。

(1) 層級分析法應用假設

Saaty (1980) 研究，分析層級程序法的應用領域包含有決定優先順序、產生替代方案、選擇最佳方案、決定需求、資源分配、預測結果與風險評估、衡量績效、系統設計、確保系統穩定、最佳化、規劃、解決衝突等 12 類問題。

因此進行層級分析法時的假設，主要包括下列九項要素：

- a. 系統或問題可被分解成許多被評比的種類或成分(Components)，形成具有方向性的層級結構。
- b. 層級結構中，每一層級的要素均假設具有獨立性(Independence)。
- c. 每一層級中的要素，都可延用上一層級中某些或所有的要素進行評估。
- d. 評比時，可將絕對數值尺度轉換成比例尺度(Ratio scale)。
- e. 成對比較(Pairwise comparison)之後矩陣倒數對稱於主對角線，可使用正倒值矩陣(Positive reciprocal matrix)處理。
- f. 偏好關係滿足遞移性(Transitivity)，不僅優劣關係具遞移性(A 大於 B，B 大於 C，則 A 大於 C)，同時強度關係也要滿足遞移性(A 是 B 的兩倍，B 是 C 的三倍，則 A 是 C 的六倍)。
- g. 無法完全具遞移性，因此容許些微的不具遞移性質，但必須測試其一致性(Consistency)程度，藉以測試不一致性之程度。
- h. 要素的優勢比重，係經由加權法則(Weighting principle)求得。
- i. 任何要素只要出現在層級結構中，不論其優勢比重為多少，均被認為與整個評比目標結構有關。

(2) 層級分析法執行

層級分析法在使用上，分為兩部分；一個是層級建立，另一是層級評估。層級分析法係將複雜性問題，交由專家學者評估出要點之後，再以簡單層級結構表示，接著以尺度評估來做成這些要素的成對比較與建立矩陣，甚而求得其特徵向量。再比較出層級要素間先後順序，後續再檢驗成對比較矩陣之一致性，是否錯誤，是否可作為參考依據，步驟說明如下。

a. 影響因素發想

常用的有群體腦力激盪法(Brainstorming)、德菲法(Delphi method)、KJ 法，透過專家學者的討論與分析，針對要評估的問題，提出可能導致問題影響的要素與其權重排序。

b. 建立層級式架構

同時比較多種物品之好壞很難，因各物品涵蓋因素眾多且差異不同，然而把相似的兩個組成一組，雖然比較數目增多，但是透過成對比較，即可有效率的判斷出其好壞。這也是要在層級架構下建立成對比較之主要原因，層級分析法中，每一層級內的任意兩要素，需要以上一層級之要素作為評估準則，藉以判斷這兩要素對上一層要素之重要性。這也是為何層級是用來探討層級中各要素間，對問題之影響。Saaty 定義此層級結構：將問題所認定之要素(Entities)組合成幾個相互排斥的集合，且形成上下『隸屬』的層級結構關係。並假設(a)每一層的任一集合僅受上一層集合之影響(b)同層中的集合彼此互斥(c)集合中元素與元素之間相互獨立。而將層級的結構圖分為兩種，一是完整的層級關係，表示相鄰層的元素皆有關連，另一是不完整層級，表示相鄰層的元素不一定有完整的關連，其層級結構圖如(圖 2.15)所示。

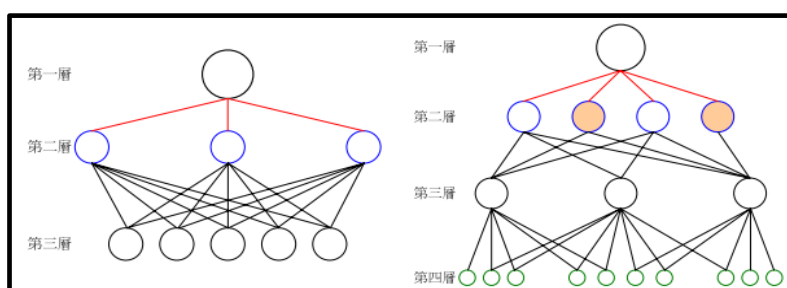


圖 2.15 完整(左)及不完整(右)層級結構圖 Saaty, (1977)

c. 評估尺度建立分類

完成層級結構，即可開始評估其層級要素，因每一層級內的任意兩要素需要以上一層要素作為評估準則，藉以判斷其重要性。以下介紹四種衡量的評估尺度：

(i) 名目尺度 (Nominal Scale)

名目尺度也稱分類尺度，常以數字或特定名稱來代表對象，數字與名稱並不具任何意義。如以 1, 2, 3 ..等數字分別代表各層級與要素間之系統型態，即是定義為將影響系統之要素組合成許多層級(群體)，每一層級只影響另一層級，同時也僅受另一層級之影響。

(ii) 順序尺度 (Ordinal Scale)

順序尺度代表層級存在的順序關係，數字本身不具任何意義，僅表示其順序位階。如品質好壞等級、比賽得獎名次..等。

(iii) 區間尺度 (Interval Scale)

區間尺度也稱為距離尺度 (Distance Scale)，主要將順序尺度中各數字的中間距，使用距離單位尺度表示，因此並無固定的原點 (Origin Scale)，其尺度運算並無意義。

(iv) 比率尺度 (Ratio Scale)

比率尺度不但具有區間尺度之特性，還有固定原點，尺度的差異數值可用基本數學計算，常應用於自然科學之層級關係。由於具相同的原點，因此常以不同單位的任意二個值代表，其比率完全相同。

(3) 評估尺度意涵

層級分析法評估尺度包括五個等級(同等重要、稍重要、頗重要、極重要及絕對重要)等，使用名目尺度量化成 1、3、5、7、9 的衡量值，還有四項介於五個基本尺度之間的 2、4、6、8 的衡量值。有關各尺度所代表之意義，下列表格有明確的定義與解釋(表 2.4)。

表2.4 層級分析法評估尺度意義及說明

評估尺度	定義	說明
1	同等重要(Equal Importance)	貢獻度同等重要
3	稍重要(Weak Importance)	經驗與判斷傾向某一方案
5	頗重要(Essential importance)	經驗與判斷強烈傾向某一方案
7	極重要(Very Strong Importance)	顯示非常強烈傾向某一方案
9	絕對重要(Absolute Importance)	足夠證據肯定絕對某一方案
2,4,6,8	相鄰尺度中間值	需要折衷值時

資料來源:(鄧振源、曾國雄，1989)

(4) 建立成對比較矩陣

建立成對比較矩陣，要先了解各要素間彼此的關聯性，其重要性數值常以 1,3,5,7,9 和它的倒數 1/3,1/5,1/7,1/9 代表，而在比較矩陣右上三角形的部分，是要素間相對重要性之值，而左下三角半部則是這些數值的倒數(圖 2.16)。

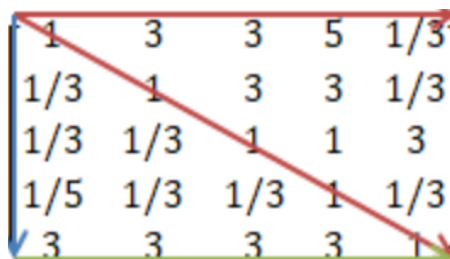


圖 2.16 成對比較矩陣範例(本研究整理)

2.4 小結：方法恰當性

本研究在應用各種系統化方法取得鞋楦設計特徵後，導入模糊理論所開發的鞋具快速篩選系統，經過分析運算與評量排序，最終可得到個人適合之鞋楦尺寸選項。然而伴隨樣本數量的增加，和測試者足部特徵圍度模合之鞋楦，也可能產生多支鞋楦吻合之情況。雖然這些鞋楦都適用，但研究為了增加實驗者之適穿準確性，再應用 AHP 層級分析法之專家問卷，取得五項特徵圍度重要性相對權重，個別重新運算、完成搜尋排序，取得其中最接近個人足型之鞋楦。

為了增加專家問卷可信度，解決決策者與受測者過於主觀之判斷，本研究在邀請技術人員參與時，特別選擇醫療從業人員六位；內有醫師、復健師、護理師。鞋具專業人員五位；30 年經驗的製鞋師傅、鞋廠老闆、鞋具設計人員，平衡醫療復健與鞋具製造兩者專業領域，藉以取得正確解答，最終再配合 Satty 的一致性比率原則，分析篩選以得符合條件之問卷數據。

第三章 鞋墊足壓舒適度評價

由 2.1.1 與 2.1.4 章節之文獻探討了解中底與鞋墊之關聯性與功能性，鑒於中底附屬於鞋具內部，要獨立實驗檢測其材質與特性，從現行量測設備與測試者心理因素考量，準確性值得商榷。因此本研究以市售功能與中底雷同之「鞋墊」為實驗對象，取代中底。以鞋具穿著之「人因舒適度」為探討方向，將鞋墊種類依據材質軟硬、材料厚薄、結構加強區分，模擬中底功能特徵，設計一項以鞋墊足壓量測為前提之灰關聯 (Grey Relational) 評價模式，找出測試者足部壓力分佈差異與樣本鞋墊比對實驗中關聯度最高的鞋墊款式，作為最適合穿著的舒適度鞋墊選項。將此結果再透過後續類神經網路 (Artificial Neural Network, ANN) 之「足壓-鞋墊」的訓練樣本對輸入端，進行自我訓練與學習應證。藉由多次的疊代計算，類神經網路將自動針對所輸入資料進行智慧分群，再次從現有鞋墊樣本中找出更適合測試者之對應鞋墊，並計算出與灰關聯評價結果之吻合率，以確認此項鞋墊足壓舒適度評價之準確性。

3.1 鞋墊足壓舒適度評價系統設計探討

為了將足底承受的壓力分散改變，使足部承受的峰壓值減輕，鞋墊的選用是主要的方法之一。現行有關鞋墊設計研究，偏重醫療與運動用途；如鞋墊形狀、功能的改變與人體測試較偏重於對足部疾病患者的治療應用，而材質選擇則是依消費者各種需求而改變。至於深入探討鞋墊設計特徵如何影響足壓分佈與穿著之舒適度，則需要進一步的實驗測試、探討與證明。

以往鞋墊設計，是鞋具製造商與鞋業技師依據多數消費者個人使用經驗或需要，採用足部立體輪廓資料，設計製造，再做局部修改。依現代人因技術觀點，上述設計模式偏向於個人主觀的認知，即是以未盡完善經驗法則作為設計決策之評價基準，有失偏頗。諸多文獻顯示，鞋墊材料研發與人體測試大都以避震功能與能量回饋為實驗主軸，這些實驗都在鞋具研發中心與研究室中完成，其效益各有利弊(Chang et al., 1998；Erdemir et al., 2005；Shariatmadari, 2009)。因此本研究結合材質型態與人體兩項實驗，以「人體力學足部壓力」作為量測基礎，藉以探討測試者足部與「樣本鞋墊材料與外型設計特徵」之間的舒適關聯度。方法上首先提供測試者足部生物力學量測，作為分析主軸，應用灰關聯理論的解決訊息不完整或不確定性功能，分析測試者穿著鞋墊足壓實驗之舒適度評價運算，藉此探討足壓與樣本鞋墊間舒適關係。並找出該實驗者足型與樣本鞋墊中關聯度最高的鞋墊款式，當成最適合的鞋墊選項。最後再運用類神經網路之適配容錯、快速學習與智慧分群..等特性，使用倒傳遞類神經網路作為學習系統工具，並進行足壓與鞋墊款式的資料學習及識別，建立一套具有自動評價鞋墊舒適度系統，取代傳統專家法則，進行鞋墊舒適度評價。

為方便論述，本研究將方法執行分成下列四個步驟並以圖示說明（圖 3.1）：1. 生物力學實驗設計。2. 灰關聯鞋墊足壓舒適度評價。3. 類神經網路智慧分群。4. 最適鞋墊特徵分析。研究程序敘述如下：

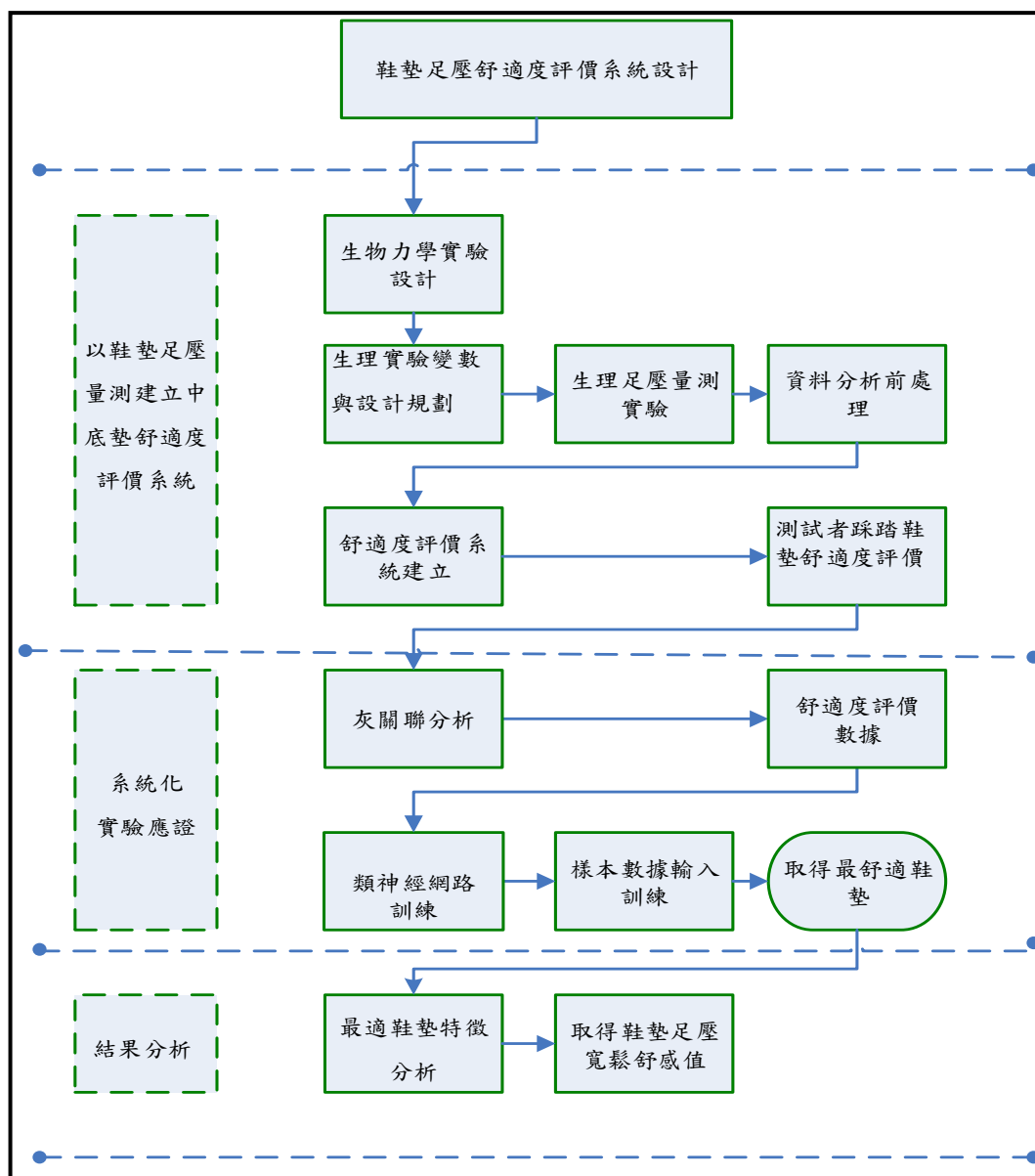


圖 3.1 鞋墊足壓舒適度評價系統設計流程圖(本研究整理)

3.1.1.生物力學實驗設計

生物力學實驗，目的在於探討測試者足部採用何種款式鞋墊，可達到確實分散或降低某一區塊壓力，並以之作為案例，供後續灰色理論建立舒適度評價系統之應用。本節生物力學實驗共分成四個單元：1.實驗變數與設計規劃-依序界定實驗中的相關範疇。2.足壓量測實驗程序-說明實驗量測方式與預計之實驗結果。3.足壓量測實驗。4.資料分析前處理-專家界定實驗之有效樣本數。

1. 實驗變數與設計規劃

為了找出適合大眾之鞋墊足壓寬鬆舒感值厚度與寬裕範圍，研究實驗測試者與樣本鞋墊皆由醫療與鞋技專家挑選，並依照各項特徵分類，以方便後續的系統化評價運算。此項實驗研究變數與相關的規劃設計為：(1)實驗對象選擇。(2)實驗材料與設備介紹。(3)實驗變項控制。(4)實驗假設與限制。

(1) 實驗對象選擇

本實驗主要分析測試者降低足壓之舒適度評價，藉以找出適合測試者穿著之鞋墊形式與材料，實驗對象共計 20 名，20 歲以上男性，體重不限制，志願參與實驗且配合進行，樣本編號由 A-T，測試者基本資料如下（表 3.1）。

表 3.1 實驗測試者基本資料

樣本編號	體重 (kg)	足部特徵
A	72	扁平足
B	65	
C	64	扁平足
D	57	高足弓
E	60	
F	79	扁平足
G	62	
H	54	高足弓
I	84	
J	58	高足弓
K	50	
L	52	高足弓
M	60	高足弓
N	51	高足弓
O	62	
P	77	高足弓
Q	58	
R	89	糖尿病足
S	77	
T	71	




資料來源：(本研究整理)

(2) 實驗材料與設備介紹

a. 實驗材料

本實驗材料為市售男性全墊型鞋墊共計 6 款，以降低足壓為主要功能，可依足型自行裁剪調整，增加穿著舒適度，並避免足部受到傷害，以厚、薄、軟、硬、與足弓上、下支撐分類。為了配合足壓測試墊之侷限與準確性，尺寸為穿著(歐美)規格 7~10 號的足型者最適用，即此 6 款鞋墊可接受的最大號數為 10 號，若小於 7 號則不適用，樣本特徵如下（表 3.2）：

表 3.2 樣本鞋墊特徵比較表.

類別	圖檔	說明
1 號鞋墊 薄平板式		厚度 5.2mm，薄型軟式鞋墊：是發泡、乳膠材質，穿著上舒適，因為太薄容易變型，較不耐用。
2 號鞋墊 厚平板式		平均厚度 13mm，軟式鞋墊：是發泡、乳膠材質。較厚能隨著足型而改變接觸面，較為舒適。表面覆蓋軟皮革。
3 號鞋墊 足弓下加厚		平均厚度 11mm 下半月型足弓支撐軟式鞋墊，提供隱藏式足弓支撐。是發泡材質。
4 號鞋墊 足弓上加厚		平均厚度 11mm 上半月型足弓支撐，直接貼合足部，可以提供足弓的支撐，是發泡、乳膠材質。表面覆蓋柔軟彈性纖維。
5 號鞋墊 足弓下加厚		半硬式鞋墊：材質由發泡與 CPU 等材質結合，鞋墊下提供 13mm 硬式足弓支撐。
6 號鞋墊 足弓下特別加厚		半硬式鞋墊：材質由發泡與 CPU 等材質結合，鞋墊下提供 17mm 硬式足弓的支撐。

資料來源：(本研究整理)

市售各種減壓鞋墊樣式眾多，本研究樣本鞋墊特別挑選，依照厚度、硬度、足弓支撐位置差異分類，內有兩款足跟再加軟墊。後續透過灰關連與類神經之評價運算，針對各個測試者取得之最適鞋墊，做出更詳細之特徵分析，以找出較為適合大眾之鞋墊足壓寬鬆舒感值數據。

表 3.3 樣本鞋墊分區厚度與硬度

鞋墊編號	硬度(HC)	足掌區厚度(mm)	足弓區厚度(mm)	足跟區厚度(mm)
Insole01	(20HC)	5.2	5.2	5.2
Insole02	(36HC)	9.5	14	15
Insole03	(48HC)	6.5	13	14.5
Insole04	(28HC)	7	14	11.5
Insole05	(36HC)	5	13	11.5
Insole06	(42HC)	5	17	11.5

資料來源:(本研究整理)

厚度使用德國 GEMMETER 量測，硬度數據以邵氏 C 型硬度計(Shore C Durometer)量測六次平均，此項數據資料只做後續評量完成取得之最適鞋墊特徵分析，為鞋具鞋墊材質使用之參考依據。在 MATLAB 模糊歸屬度分析平台中，並不列入介面運算項目。

b. 實驗設備：

本研究足部力學實驗量測設備為 Tek-Scan 接觸式足壓量測墊（圖 3.2），壓力感測墊片為一般鞋墊尺寸，偵測區域可到 24 鞋號（日規的最小尺寸,長度約 245mm，約美規 5 號），共有 960 點/片，最大取樣頻率為 750Hz。感測片厚度為 0.15mm。測量方式是將壓力感測墊採輕鬆站姿平放，擷取足印與足壓資料，在操作方面為自動手控感應（Manual Trigger）模式，實驗時需要先以個人足部量測設定，再依裸足量測、與穿著不同樣式鞋墊多次量測（圖 3.3），藉以取得正確平均數據。



圖 3.2 Tek-Scan 接觸式足壓量測儀與壓力感測墊放置(本研究整理)

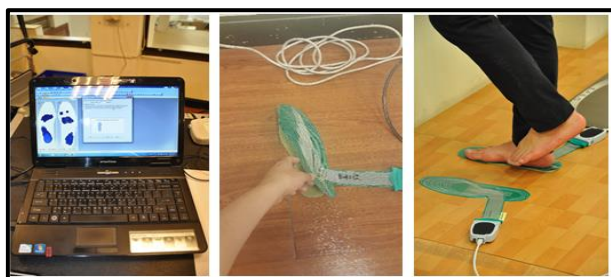


圖 3.3 Tek-Scan 電腦操作設備與接觸式足壓量測墊(本研究整理)

足壓實驗場地位於台中鞋類暨運動休閒科技研發中心(鞋技中心)，實驗場地規劃如下；為了防止金屬、水泥干擾量測運作，量測中心地上設置木製步道尺寸為610×135×16cm，而步道中間設置一套量測控制系統，兩個鞋墊式足底壓力量測墊片，尺寸為一般鞋墊大小，可以裁減，以因應靜態分析時置入腳底(圖 3.4.a.b.c)，系統規格(表 3.4)如下，另有 RS-Scan 平板式足壓測試墊(圖 3.5)，因有鞋墊放置困擾，且本實驗未使用步態數據，故不予採用，僅供參考。

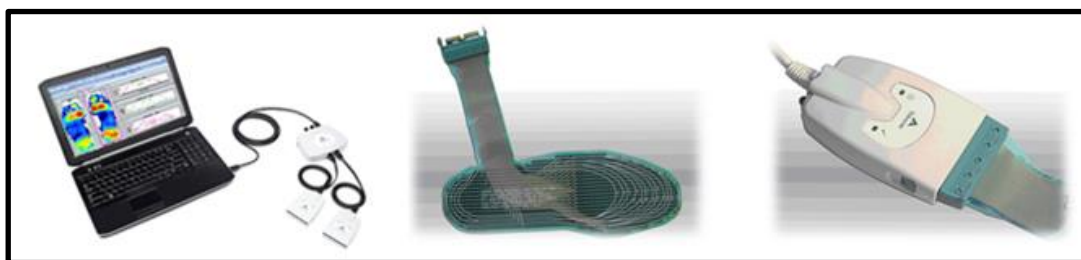


圖 3.4. (a) 量測控制系統 (b)可裁式的感測片 (c)訊號傳輸 (本研究整理)

表 3.4 Tek-Scan 感測片及系統規格

感測片型號	3000E
感測技術	壓阻式
感測面積	最小可至尺寸 24E
感測點數	960 點/片
壓力範圍	50-75 psi (高感度型) 125 psi (標準型)
感測片厚度	0.15mm
取樣率	最高 750Hz
信號連接	USB 2.0
信號線長	4.5 米(標準) 到最長 30 米(選購)

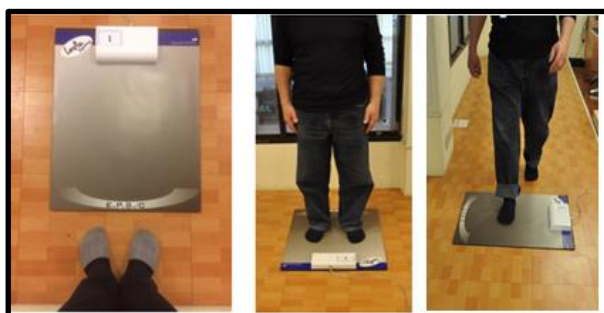


圖 3.5 RS-Scan 平板式足壓測試墊(本研究整理)

(3) 實驗變項控制

a. 實驗控制變項為每人量測時間 30 分鐘，每次站立 30 秒，鑒於足部加入鞋墊，步態量測有其困難度，甚而造成量測信度之不足，本研究採取靜態量測方式。量測次數除了個人裸足設定與正式量測，每一款式鞋墊皆測壓 4 次以上，由測試儀器操作專家自行檢查量測的足壓樣型，如有異常圖檔顯示則須重測，但僅採用其中四次完整圖形，以作為壓力數值之判讀。

b. 自變項為鞋墊款式與壓力量測，兩項將進行（交叉實驗）。

c. 依變項為透過自變項交叉實驗結果計算後所取得之壓力參數：壓力峰值（Peak Pressure, PP）、壓力－時間積分值（Pressure-Time Integral, PTI）、接觸面積（Contact Area）、力量峰值（Peak Force, PF）、力量－時間積分值（Force-Time Integral, FTI）。實驗量測是運用 Tek-Scan 儀器進行足部與鞋墊的壓力量測，再透過 foot-scan 的軟體進行資料讀取。壓力參數之選取，依據本實驗之研究目的，所進行要求的壓力參數界定。

(4) 實驗假設與限制

a. 實驗假設：

依據(吳淑霞，1998；朱嘉偉，1999)提出的影響足壓參數也包括接觸面積，當足底接觸面積改變時，足壓便會反映出不同的數據，使用全觸式鞋墊進行實驗，發現對於降低足壓均有相當大的效果。因此本實驗假設，不同款式的鞋墊款式將影響界面壓力之分佈情形，且當鞋墊款式越接近足部外型，接觸面積將增加，則壓力總值與峰值亦將下降。本實驗因此只採用整足全觸式鞋墊，半截式鞋墊不予採用。

Morag & Cavanagh (1999) 認為足弓高低與足壓呈現線性關係，而足跟墊厚度增加，足跟區壓力峰值亦呈現下降狀態，依據其理論本研究實驗挑選的 2 號鞋墊整體加厚，硬度為 36HC、3 號 4 號鞋墊具有加厚足弓功能、5 號 6 號鞋墊則特別加強鞋墊足弓與足

跟之厚度與硬度。Perry (1992) 提出於一般足部壓力峰值，應落於足掌區與足跟附近，本實驗亦定訂相同的研究假設，並於後續實驗結果作為一驗證與探討。

b. 實驗限制

i. 鑒於研究假設所定義，當足底接觸面積改變時，足壓便會反映出不同的數據，故本研究僅以測試者前足區、中足區、後足區做為實驗評估位置，至於足區界定，則透過文獻探討得知，並未再次透過數學計算或是醫學儀器界定。

ii. 足壓測試次數為 4 次以上，最終只採納其中圖檔完整之 4 次，作平均值計算（操作時已由鞋技專家先行扣除差異性較大的足壓樣型）。

iii. 因研究時間上的限制，且因大部份的人慣用右腳，因此僅以右腳作為探討對象。實驗的量測採用右腳測壓數據，此舉雖然有失實驗效度之疑慮，然而在量測姿態的嚴格要求與一致性，必能彌補其缺失。

iv. 足壓量測數據會因測試者自身生理因素而有所差異，例如長短腳、扁平足、身高、體重、站姿、與平常行走習慣等有關，因此於實驗時主動要求測試者採取一致性姿勢，即視線平視正前方，身體挺直，並放鬆身心。

v. 測壓時採取裸足進行量測，以符合日常穿著鞋具之情況。

vi. 測壓時，雙足採取各 15 度的站立姿勢，誤差為 ± 5 ，主因為足的踝關節關聯性，足部結構上外側相對內側低，並非為對稱。

vii. 根據醫學觀點，腿部於晚上時段較易產生靜脈曲張與水腫情償，因此本實驗為維持數據的真實性與可靠性，故量測時間皆採取上午 10 點至下午 6 點以前。

2. 足壓量測實驗程序

(1) 於實驗前記錄測試者的基本資料（姓名、體重、年齡），說明實驗的相關注意事項，再由測試者簽同意表。

(2) 須遵守赤足進行測壓實驗，避免穿著鞋襪。

(3) 為避免於測壓時數據的準確性降低，於每款鞋墊測量 4 次後，或實驗時若出現身心理疲倦，便可主動要求休憩 15 至 20 分鐘，鞋技專家則趁此時觀察篩選可用之壓力圖檔。

(4) 實驗時主動告知測試者盡量採取視線平視正前方並放鬆身心。

(5) 正式實驗前，將先量測裸足並且為未採踏任一款式鞋墊的足壓狀態，以用於後續比對之用。

(6) 實驗的記錄方面，當單足靜態站立量測一次後，便記錄其相關數據，直達到累計 4 次以上的量測數據，但若測試者未準確踩踏於鞋墊上方之量測墊片處，其可接受範圍為鞋墊後端的外側邊緣，或是出現站姿不穩以致影響實驗量測，出現雜訊則不予以記錄。

(7) 鑒於個人隱私，本實驗未讓測試者了解彼此資訊，當然包括足部異常與疾病患者。

3. 生理足壓量測實驗

量測測試者在靜態下踏踩不同鞋墊以達分散和降低足底壓力，並將壓力分佈數據供後續灰關聯分析建立舒適度評價應用，所得五項壓力參數為：壓力峰值(PP)、接觸面積(contact area)、力量峰值(PF)、壓力-時間積分值(PTI)、力量-時間積分值(FTI)數據，實驗是運用 Tek-Scan 儀器進行足部與鞋墊的壓力量測，並透過 F-Scan Research 軟體進行讀取，共計量測 4 次以上。量測方式採單向靜態量測，將鞋墊固定放置於事先規劃位置，供測試者於裸足狀態下進行量測，為了以清晰的方式表示，實驗以電腦影像型態呈現。各項足壓量測與 min 和 max 數據在(右側視窗)、曲線圖在(中間視窗)足壓圖在(左側視窗)如下(圖 3.6-圖 3.12.)。

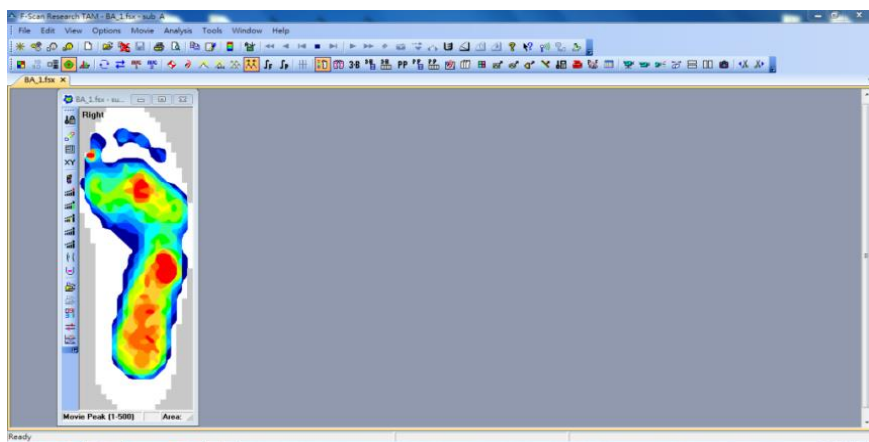


圖 3.6 足壓量測定位(畫面截圖)

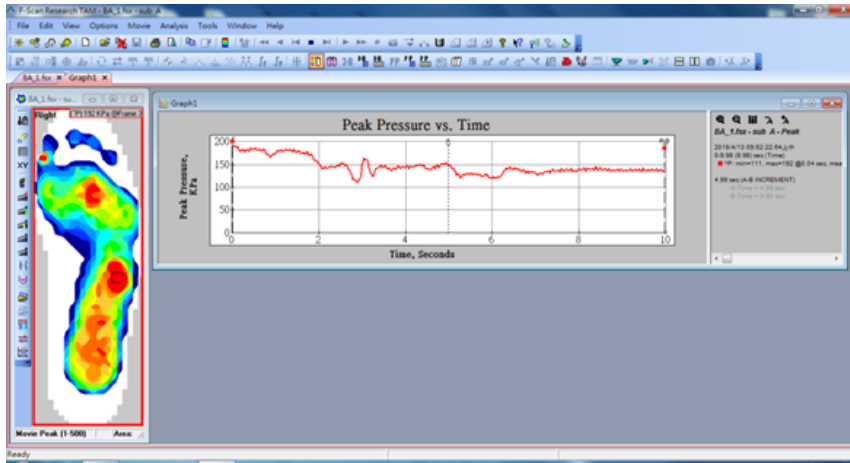


圖 3.7 足型壓力峰值(PP)曲線圖(畫面截圖)

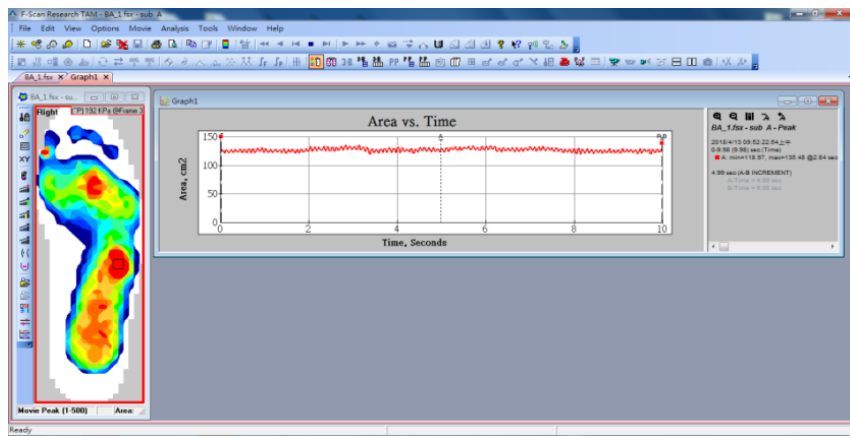


圖 3.8 足型面積(contact area)曲線圖(畫面截圖)

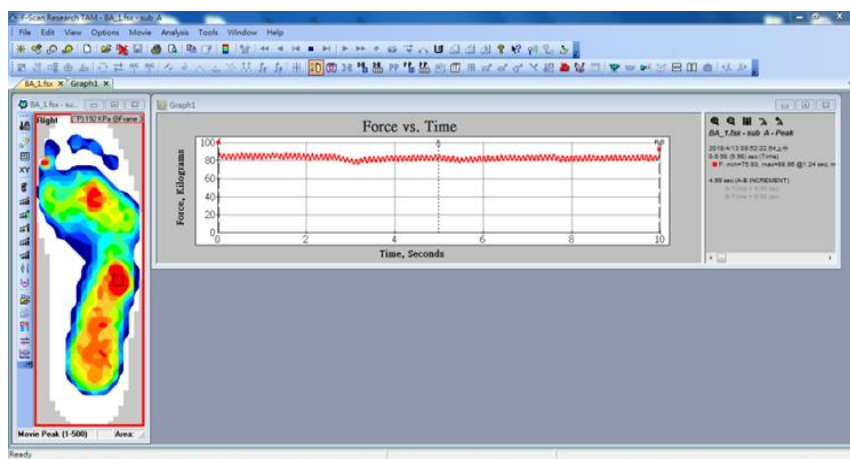


圖 3.9 足型力量—時間積分值(FTI)曲線圖(畫面截圖)

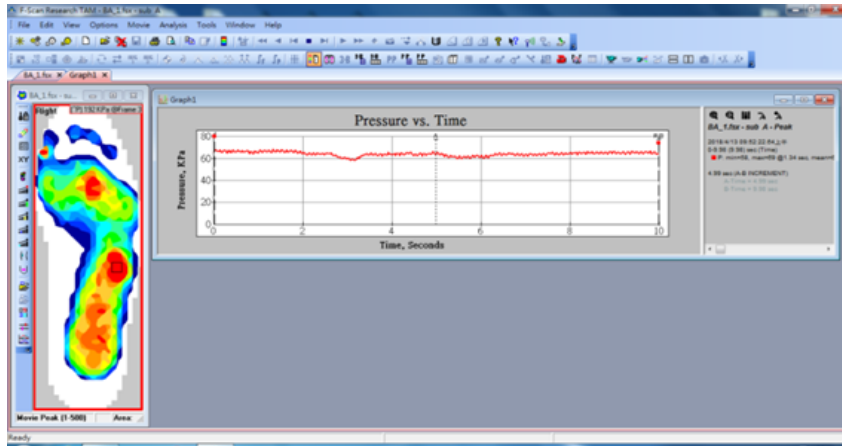


圖 3.10 足型壓力-時間積值(PTI)曲線圖(畫面截圖)

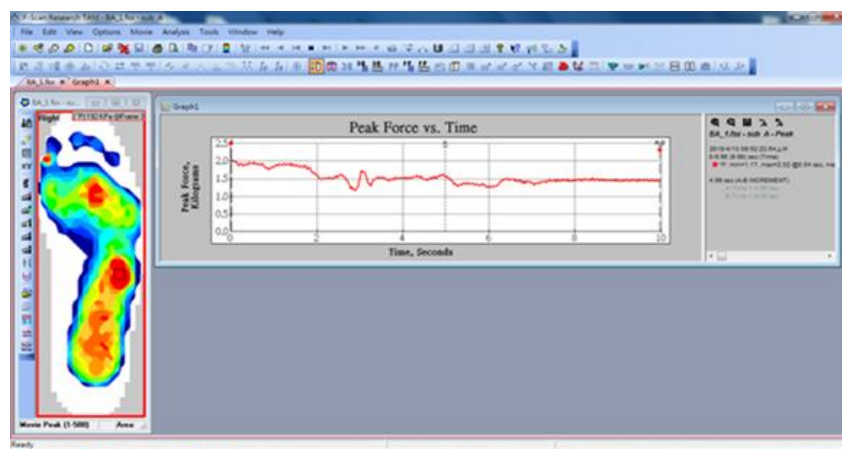


圖 3.11 足型力量-時間積分值(PF)曲線圖(畫面截圖)

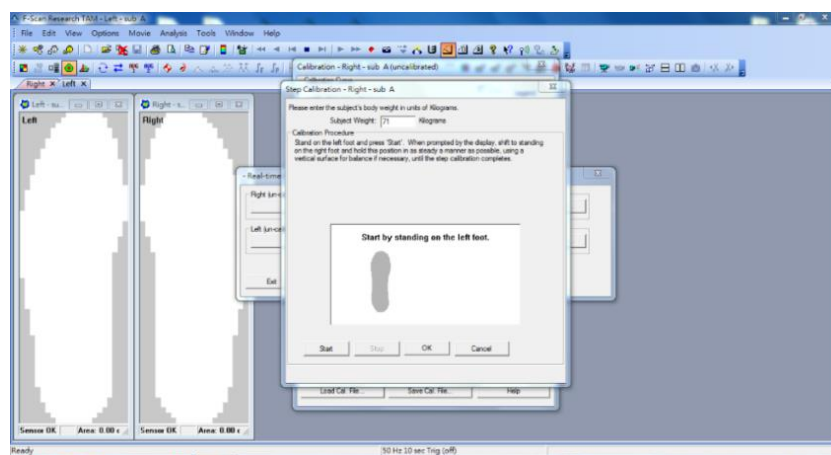


圖 3.12 量測矯正圖(畫面截圖)

4. 資料分析前處理—專家界定實驗之有效樣本數

求得實驗結果之方式，係將各足型與樣本鞋墊之壓力分布圖檔，透過專家經驗，分別將各款式鞋墊之 4 次以上穿著壓力樣型篩選，扣除差異性較大壓力樣型後，僅採納其中 4 次壓力樣型，作為後續判讀資料。以 S 號測試者裸足量測為例（圖 3.13），扣除差異性較大的壓力樣型後（圖 3.14），僅採納其中的四次壓力樣型（圖 3.15），以作為後續的判讀資料，最後，藉由足壓樣型的篩選，與透過 F-Scan 軟體的內建自動運算功能取得各足壓樣型之壓力參數，以用於後續的舒適評價計算。另外，舒適評價所選出的最適鞋墊選項，可將其選項的壓力數值轉成矩陣形式，以進行本研究的「最適鞋墊分群」。

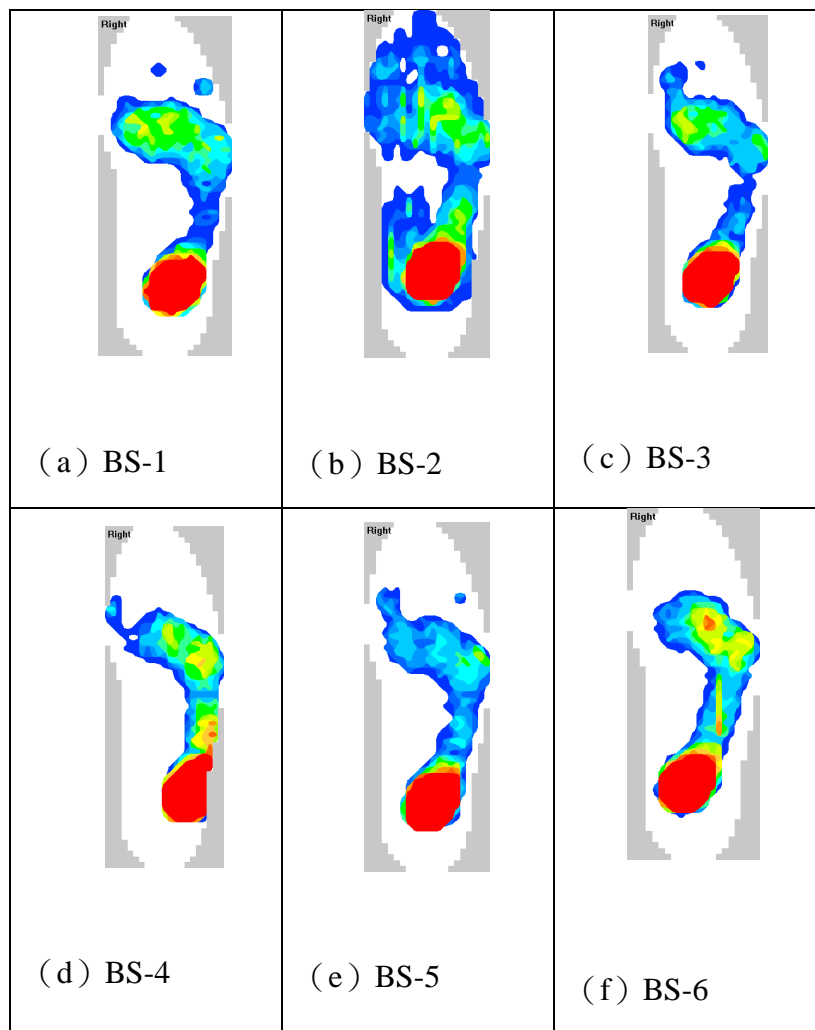


圖 3.13 未經篩選的裸足壓樣型（S 號測試者）（畫面截圖）

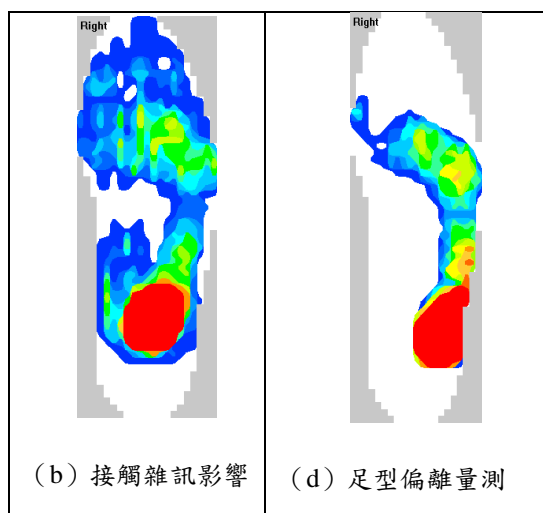


圖 3.14 差異性較大的足壓篩選 (S 號測試者) (畫面截圖)

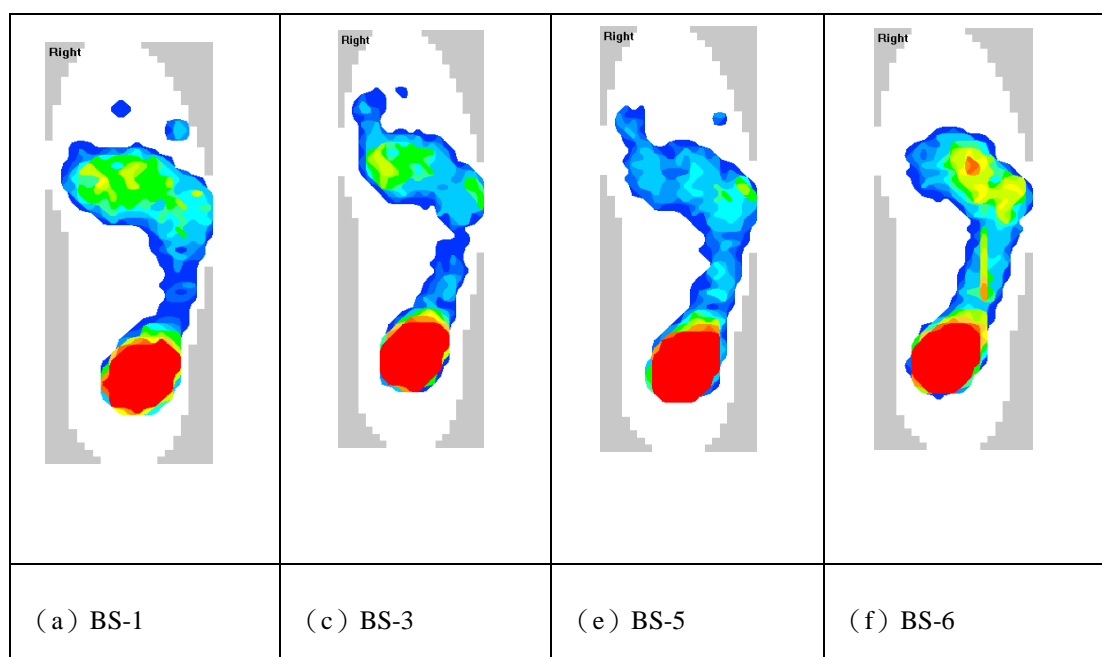


圖 3.15 篩選過之足壓樣型 (s 號測試者) (畫面截圖)

3.1.2. 灰關聯鞋墊足壓舒適度評價

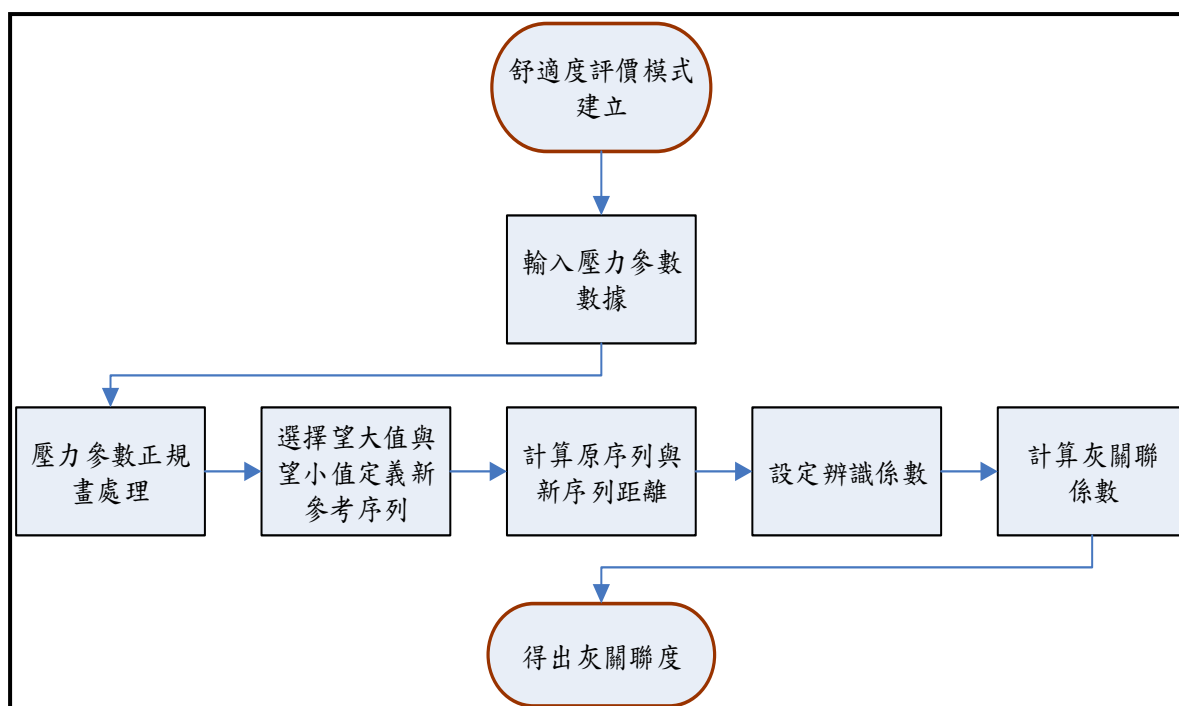
從「人因工程學」角度，舒適度是一種質性觀點，即是以主觀之感覺作為出發點，因此內容包含生理與心理層面，以心理層面來說，人容易受情境或生理狀態，甚或其他因素影響而產生不對等答案，所以「舒適」容易隨著個體或外在因素之不同而有所差異，因此若透過平常問卷方式作為探討工具，將無法得到確切的答案。本研究基於此項原因，透過科學性量測方法，以「力學實驗」進行評量依據，使用人體足壓作為訊息數據，探

討不明確之舒適度資訊，此方式符合灰色理論之「外部訊息清楚，但內部訊息不明確」概念。即是本研究將在訊息缺乏情況，應用灰關聯分析推算出其系統本質，以得到較客觀且正確之適合鞋墊排序。

1. 舒適度評價模式建立

依據足壓與舒適度關聯性相關文獻探討，本研究認為足壓降低與鞋具穿著舒適感有相對的關係(Boulton, et al, 2004；Mei, et al, 2018)，因此針對不同測試者足型的壓力與鞋墊款式參數數據，從中挑選出代表性之樣本值，作為參考序列的設計標準（即最舒適之序列值），以達到計算不同鞋墊款式的序列對參考序列之灰關聯程度，進而完成「選出最適合該足型的鞋墊款式選項」之目的。

為達成目標，本研究運用 Matlab 程式進行舒適評價運算，其運算方式係將力學實驗之壓力參數資料，以統計學之平均法分析處理，完成後將壓力參數以矩陣方式呈現，接著將壓力參數正規化處理，取得各壓力參數之望大值與望小值，藉此定義新的參考序列 X_0 ，完成後，再透過計算原序列與新參考序列之間距離，並設定其辨識係數為 $\zeta=0.5$ ，計算灰關聯係數，求出各個特徵之關聯度，流程如下（圖 3.16）：



3.16 灰關聯舒適度評價流程圖(本研究整理)

實驗有效樣本共計二十名測試者，此項灰關聯分析計算過程與結果，本研究藉由 S 測試者為範例說明；首先建立一項實驗變數與參數之關聯表，作為關聯度分析依據，(表

3.5)即是已扣除差異性較大的足壓樣型後四組樣本，且經由計算後之四組平均值。自變項為鞋墊款式與動態壓力（交叉實驗），依變項為經由自變項交叉實驗結果計算後所取得的壓力參數。

2. 舒適度評價計算方式

藉由變數與參數的關聯作為關聯度的計算依據，步驟共分為七大項：(1).定義壓力參數序列。(2).壓力參數正規化。(3)定義新參考序列。(4)計算灰關聯距離。(5)設定辨識係數為 0.5。(6)計算灰關聯係數。(7)計算灰關聯度與排序。計算流程，詳細說明於下。

表 3.5 S 測試者實驗變數與壓力參數關聯表

鞋墊編號	PP(N / m ²) 壓力峰值	PTI 壓力時間 積 分 值 (Ns / cm ²)	Contact Area% 接觸面積	PF 力量峰值 (N)	FTI 力量時間 積分值(Ns)
1 號	12.43	602.61	-0.206	730.98	3630.1
2 號	6.65	465.92	0.123	557.82	3774.91
3 號	6.55	185.92	0.265	646.31	1742.07
4 號	7.68	436.24	0.093	648.66	3522.94
5 號	8.6	467.79	0	644.45	3455.74
6 號	9.25	396.25	-0.031	688.43	2974.59

資料來源:(本研究整理)

壓力參數期望值(選擇望大與望小值)

(a) PP (壓力峰值)：是造成人體足部傷害的原因之一，為足部承受的壓力超過足部所能負荷，因此過高的足底壓力是造成結構出現問題與傷害之主因。且壓力分佈到達平衡時，應避免壓力集中於同一地方而形成尖端壓力。因此，若局部足底壓力峰值 (Peak Pressure) 過大，就必須考量分散壓力，故 PP 應選擇望小值(Mueller, 1999)。

(b) PTI (壓力－時間積分值)：同 PP (壓力峰值) 理論，故 PTI 應選擇望小值。

(c) Contact Area (接觸面積增減比率)：依據赫茲接觸理論，兩彈性體相互接觸，幾何形狀相互嵌合，可產生最小的接觸界面壓力，故可推論當有效接觸面積愈大，界面壓力愈小，故 Contact Area 應選擇望大值(Landau & Lifshitz, 1970)。

(d.) PF (力量峰值)：足部承受的能量與足底變形量和作用力之大小有關，但測量變形量並不容易，僅能以作用力來預測所承受能量，因此承受地面的反作用力愈大則能量就愈大，如此愈容易造成足部的傷害，故 PF 應選擇望小值(詹益坤，1997)。

(e.) FTI (力量—時間積分值)：同 PF (力量峰值) 理論，故 FTI 應選擇望小值。

(1) 定義壓力參數序列

將關聯表中的鞋墊編號分別定義為。 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$

$$S_1=(12.43, 602.61, -0.206, 730.98, 3630.1, 0.04)$$

$$S_2=(6.65, 465.92, 0.123, 557.82, 3774.91, 0.209)$$

$$S_3=(6.55, 185.92, 0.265, 464.31, 1742.07, 0.139)$$

$$S_4=(7.68, 436.24, 0.093, 648.66, 3522.94, 0.156)$$

$$S_5=(8.6, 467.79, 0, 644.45, 3455.74, 0.076)$$

$$S_6=(9.25, 396.25, -0.031, 688.43, 2974.59, 0.075)$$

(2) 壓力參數正規化

完成正規化處理，即從壓力參數序列期望值中挑選出新的參考序列，藉以定義各壓力參數期望值，將各壓力參數序列內之值(表 3.5)，分別以公式(3-1)進行單位向量正規化處理。

在此，以六款鞋墊的 PP 值正規化為例說明：

$$X_i(k) = \frac{S_i(k)}{\sqrt{\sum_1^m S_m(k)^2}} \quad (3-1)$$

m 為總序列數， k 為序列元素代號。

$$\begin{aligned} X_1(1) &= \frac{S_1(1)}{\sqrt{S_1(1)^2 + S_2(1)^2 + S_3(1)^2 + S_4(1)^2 + S_5(1)^2 + S_6(1)^2}} \\ &= \frac{12.43}{\sqrt{12.43^2 + 6.65^2 + 6.55^2 + 7.68^2 + 8.6^2 + 9.25^2}} \\ &= 0.5794 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_2(1) &= \frac{S_2(1)}{\sqrt{S_1(1)^2 + S_2(1)^2 + S_3(1)^2 + S_4(1)^2 + S_5(1)^2 + S_6(1)^2}} \\
&= \frac{6.65}{\sqrt{12.43^2 + 6.65^2 + 6.55^2 + 7.68^2 + 8.6^2 + 9.25^2}} \\
&= 0.3101
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_3(1) &= \frac{S_3(1)}{\sqrt{S_1(1)^2 + S_2(1)^2 + S_3(1)^2 + S_4(1)^2 + S_5(1)^2 + S_6(1)^2}} \\
&= \frac{6.55}{\sqrt{12.43^2 + 6.65^2 + 6.55^2 + 7.68^2 + 8.6^2 + 9.25^2}} \\
&= 0.3054
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_4(1) &= \frac{S_4(1)}{\sqrt{S_1(1)^2 + S_2(1)^2 + S_3(1)^2 + S_4(1)^2 + S_5(1)^2 + S_6(1)^2}} \\
&= \frac{7.68}{\sqrt{12.43^2 + 6.65^2 + 6.55^2 + 7.68^2 + 8.6^2 + 9.25^2}} \\
&= 0.3579
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_5(1) &= \frac{S_5(1)}{\sqrt{S_1(1)^2 + S_2(1)^2 + S_3(1)^2 + S_4(1)^2 + S_5(1)^2 + S_6(1)^2}} \\
&= \frac{8.6}{\sqrt{12.43^2 + 6.65^2 + 6.55^2 + 7.68^2 + 8.6^2 + 9.25^2}} \\
&= 0.4010
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
X_6(1) &= \frac{S_6(1)}{\sqrt{S_1(1)^2 + S_2(1)^2 + S_3(1)^2 + S_4(1)^2 + S_5(1)^2 + S_6(1)^2}} \\
&= \frac{9.25}{\sqrt{12.43^2 + 6.65^2 + 6.55^2 + 7.68^2 + 8.6^2 + 9.25^2}} \\
&= 0.4313
\end{aligned}$$

其餘參數依此公式計算，即可求得所序列之正規值，結果如(表 3.6)。

表 3.6 S 測試者變數與參數之正規值

	PP (望小值)	PTI (望小值)	Contact Area (望大值)	PF (望小值)	FTI (望小值)
X_1	0.5794	0.5545	-0.5561	0.4557	0.455
X_2	0.3101	0.4287	0.3318	0.3477	0.4731
X_3	0.3054	0.1711	0.7145	0.4029	0.2183
X_4	0.3579	0.4014	0.2513	0.4044	0.4415
X_5	0.401	0.4305	-0.0002	0.4017	0.4431
X_6	0.4313	0.3646	-0.0836	0.4292	0.3728

資料來源:(本研究整理)

(3) 定義新參考序列 (選擇望大與望小值)

由(表 3.6)每個序列中之壓力參數期望值產生的新序列 x_0 ，如 (表 3.7)。

$$X_0 = (0.3054, 0.1711, 0.7145, 0.3477, 0.2183)$$

表 3.7 S 測試者新參考序列值

	PP (望小值)	PTI (望小值)	Contact Area (望大值)	PF (望小值)	FTI (望小值)
X_1	0.5794	0.5545	-0.5561	0.4557	0.455
X_2	0.3101	0.4287	0.3318	0.3477	0.4731
X_3	0.3054	0.1711	0.7145	0.4029	0.2183
X_4	0.3579	0.4014	0.2513	0.4044	0.4415
X_5	0.401	0.4305	-0.0002	0.4017	0.4431
X_6	0.4313	0.3646	-0.0836	0.4292	0.3708
X_0	0.3054	0.1711	0.7145	0.3477	0.2183

資料來源:(本研究整理)

(4) 計算灰關聯距離 (原序列與新參考序列之距離)

分析各因子間的差異距離，可透過公式(3-2)做為差異程度的指標。計算因子間的灰關聯程度，結果如 (表 3.8) 所示。

$$\Delta_{0i}(k) = \Delta_i(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (3-2)$$

(5) 設定辨識係數為 0.5

本研究根據 Deng, (1989) 建議，將辨識係數 ζ 設定為 0.5，分辨係數 ζ 為 0 至 1 間的實數值，大小可根據實際需要作適當調整，灰關聯度亦進行同步調整，如此做法並不會改變灰關聯序，設定辨識係數，目的只在控制係數之大小以利判斷。

表 3.8 S 測試者灰關聯距離值

	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$
$\Delta_{01}(k)$	0.2739	0.3835	1.2706	0.108	0.2366
$\Delta_{02}(k)$	0.0047	0.2577	0.3827	0	0.2548
$\Delta_{03}(k)$	0	0	0	0.0552	0
$\Delta_{04}(k)$	0.0525	0.2303	0.4632	0.0566	0.2232
$\Delta_{05}(k)$	0.0956	0.2594	0.7147	0.054	0.2148
$\Delta_{06}(k)$	0.1259	0.1935	0.7981	0.0814	0.1545

資料來源:(本研究整理)

(6) 計算灰關聯係數

透過公式(3-3)進行計算，以下藉由 x_1 序列作為灰關聯係數的計算範例，結果如 (表 3.9)

$$\gamma(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\min_i \min_k \Delta_i(k) + \zeta \max_i \max_k(k)}{\Delta_i(k) + \zeta \max_i \max_k(k)} \quad (3-3)$$

所示。

$$\begin{aligned} \gamma(x_0(1), x_1(1)) &= \frac{0 + (0.5 \times 1.2706)}{0.2739 + (0.5 \times 1.2706)} \\ &= 0.6987 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma(x_0(1), x_1(2)) &= \frac{0 + (0.5 \times 1.2706)}{0.3835 + (0.5 \times 1.2706)} \\ &= 0.6236 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma(x_0(1), x_1(3)) &= \frac{0 + (0.5 \times 1.2706)}{1.2706 + (0.5 \times 1.2706)} \\ &= 0.3333\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma(x_0(1), x_1(4)) &= \frac{0 + (0.5 \times 1.2706)}{0.108 + (0.5 \times 1.2706)} \\ &= 0.8548\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma(x_0(1), x_1(5)) &= \frac{0 + (0.5 \times 1.2706)}{0.2366 + (0.5 \times 1.2706)} \\ &= 0.7286\end{aligned}$$

表 3.9 S 測試者灰關聯係數

	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$	$k=5$
X_1	0.6987	0.6236	0.3333	0.8548	0.7286
X_2	0.9927	0.7115	0.6241	1	0.7138
X_3	1	1	1	0.9201	1
X_4	0.9237	0.7339	0.5784	0.9182	0.74
X_5	0.8692	0.7101	0.4706	0.9217	0.7473
X_6	0.8346	0.7665	0.4432	0.8864	0.8044

資料來源:(本研究整理)

(7) 計算灰關聯度與建立排序

透過公式(3-4)分別計算 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 之關聯度值，計算結果如(表 3-10)所示，依據灰關聯之定義，當灰關聯度數值愈大，代表愈接近所定義的之參考序列，即是最佳選擇。故依排序結果由高至低選擇，結果為 $X_3 > X_2 > X_4 > X_6 > X_5 > X_1$ ，即 3 號鞋墊 > 2 號鞋墊 > 4 號鞋墊 > 6 號鞋墊 > 5 號鞋墊 > 1 號鞋墊，因此 3 號鞋墊為 S 測試者的最適選擇，(圖 3.17) 為 S 測試者的 6 款動態壓力樣型圖，另外(表 3.10) S 測試者的關聯度排序圖。

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_0(k), x_i(k)) \quad (3-4)$$

$$\begin{aligned}\gamma(x_0, x_1) &= \frac{1}{5}(0.6987+0.6236+0.3333+0.8547+0.7286) \\ &= 0.6478\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma(x_0, x_2) &= \frac{1}{5}(0.9927+0.7115+0.6241+1+0.7138) \\ &= 0.8084\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma(x_0, x_3) &= \frac{1}{5}(1+1+1+0.9201+1) \\ &= 0.9840\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma(x_0, x_4) &= \frac{1}{5}(0.9237+0.7339+0.5784+0.9182+0.74) \\ &= 0.7788\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma(x_0, x_5) &= \frac{1}{5}(0.8692+0.7101+0.4706+0.9217+0.7473) \\ &= 0.7438\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\gamma(x_0, x_6) &= \frac{1}{5}(0.8346+0.7665+0.4432+0.8864+0.8044) \\ &= 0.7470\end{aligned}$$

表 3.10 S 測試者六款鞋墊之灰關聯度

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
灰關聯度	0.6478	0.8084	<u>0.9840</u>	0.7788	0.7438	0.7470

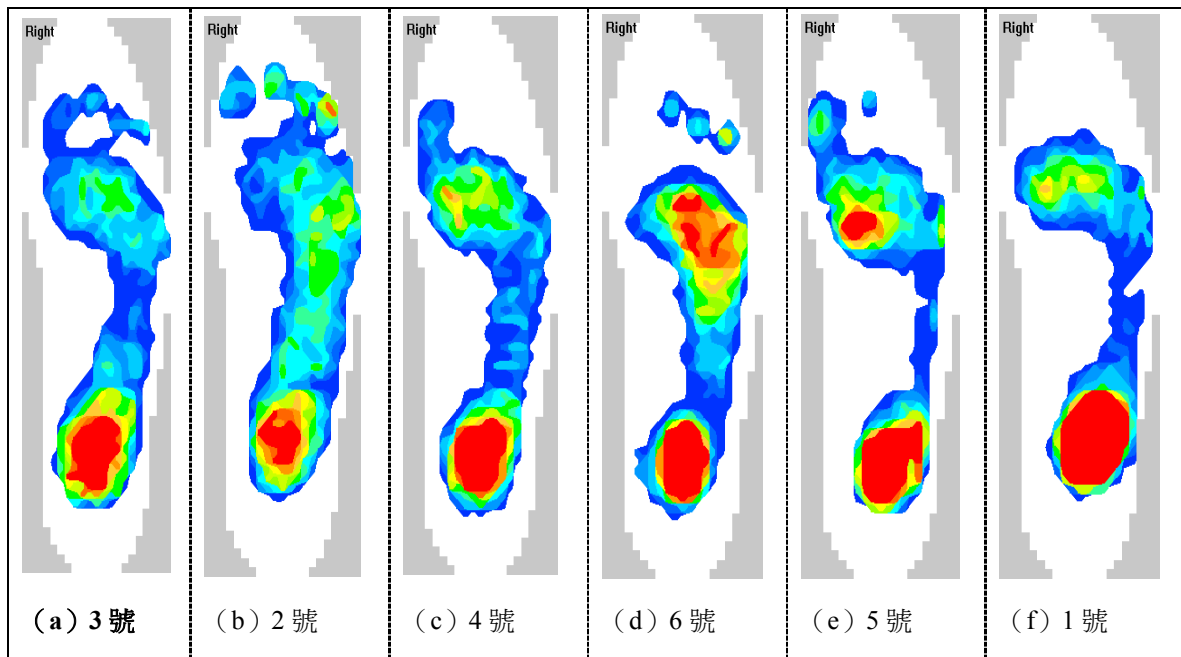
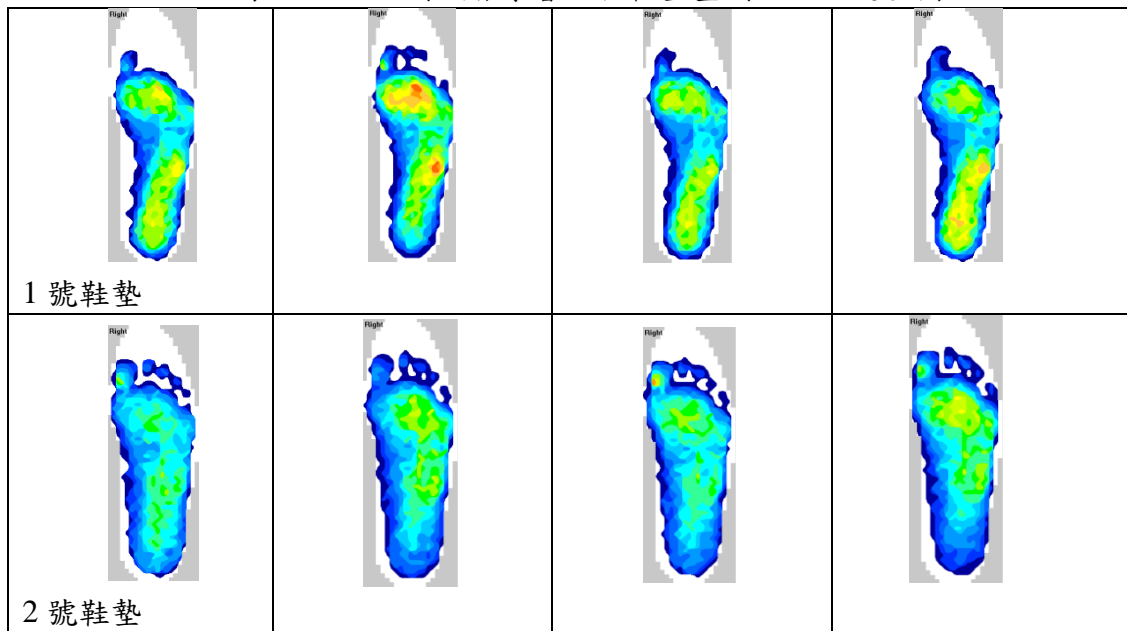


圖 3.17 S 測試者 6 款動態壓力樣型圖(畫面截圖)

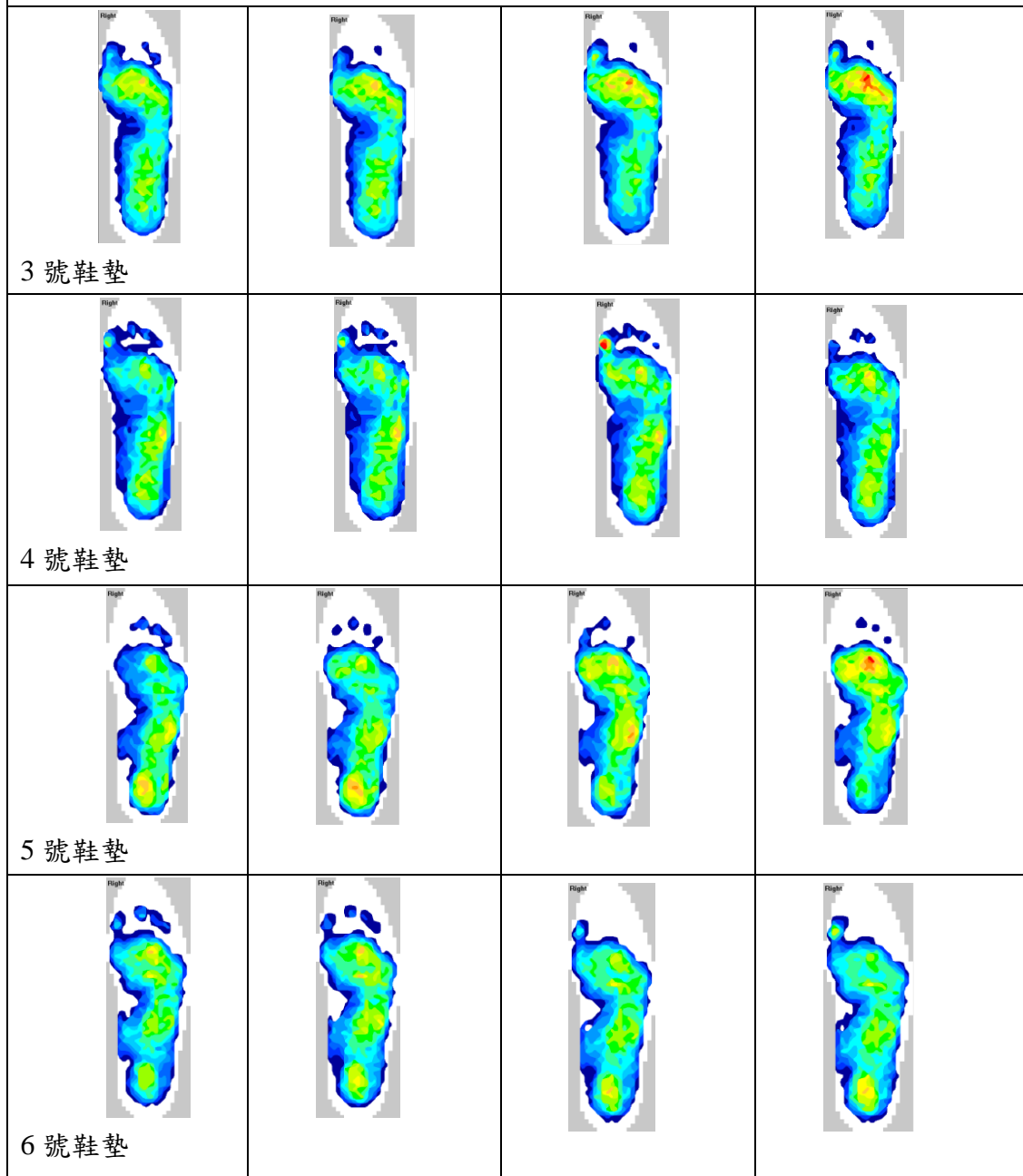
3.2 實驗驗證

3.2.1 灰關聯度評量

表 3.11 A 測試者穿著六款鞋墊量測 4 次之足壓圖

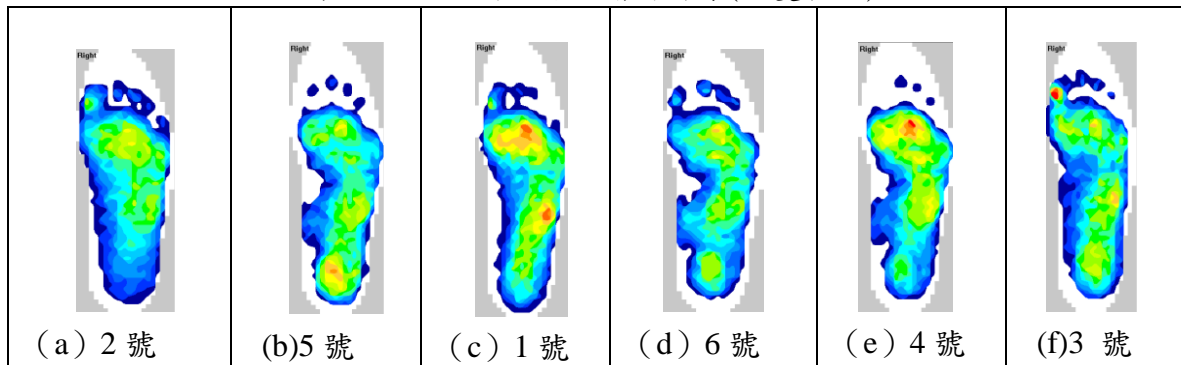


續表- A 測試者穿著六款鞋墊量測 4 次之足壓圖



資料來源:(本研究整理)

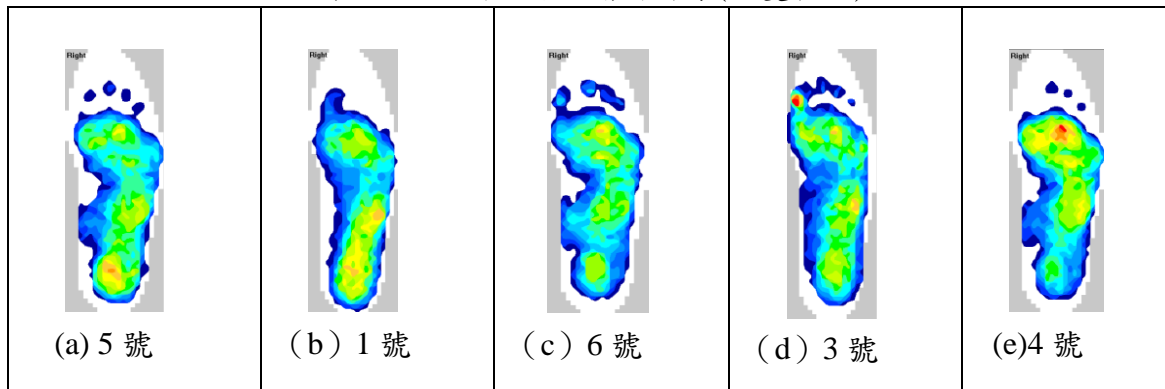
表 3.12 A 測試者的關聯排序(六隻鞋墊)



資料來源:(本研究整理)

由表格看出六隻鞋墊計算灰關聯度以及所得最適鞋墊排序，都是以 2 號鞋墊最適合多數實驗者，由於最初篩選樣本鞋墊係由專家建議，依照厚、薄，軟、硬與支撐位置之差異來分類。主要在於驗證各個樣本鞋墊之不同功能，並未預料到有此實驗結果，為了更深入探討每個測試者最適的鞋墊差異，本研究將 2 號鞋墊先行移開，以剩餘之五隻鞋墊再次做灰關聯分析與計算，藉以得到測試者二次實驗之最適鞋墊排序，並做最終結果分析(表 3.13)(表 3.14)(表 3.15)。

表 3.13 A 測試者的關聯排序(五隻鞋墊)



資料來源:(本研究整理)

表 3.14. 20 位測試者計算灰關聯度以及最適鞋墊排序(六隻鞋墊)

	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號	6 號	最適鞋墊
A 測試者	0.815173	0.943334	0.770541	0.803337	0.839296	0.809525	2
B 測試者	0.744014	0.974009	0.755242	0.603723	0.763376	0.542909	2
C 測試者	0.747783	0.901872	0.701708	0.748046	0.686388	0.756456	2
D 測試者	0.671959	0.960707	0.795055	0.727984	0.654611	0.699062	2
E 測試者	0.524422	0.899278	0.68817	0.699428	0.739524	0.678928	2
F 測試者	0.611056	0.89952	0.689213	0.681308	0.68019	0.831363	2
G 測試者	0.669197	0.982906	0.910551	0.757839	0.874971	0.77478	2
H 測試者	0.584233	0.961564	0.829249	0.694132	0.613606	0.646163	2
I 測試者	0.568563	0.868096	0.807502	0.917348	0.71679	0.714341	4
J 測試者	0.60391	0.889226	0.768586	0.639841	0.643236	0.711983	2
K 測試者	0.656198	0.87938	0.989274	0.839595	0.731824	0.75246	3
L 測試者	0.59647	0.922816	0.78841	0.770352	0.676498	0.783171	2
M 測試者	0.767716	0.807825	0.782753	0.704695	0.732568	0.864776	6
N 測試者	0.559733	0.863501	0.839777	0.648558	0.737679	0.707761	2
O 測試者	0.587535	0.792212	0.790059	0.906465	0.671046	0.717292	4
P 測試者	0.671351	0.993336	0.815081	0.758816	0.662169	0.710241	2
Q 測試者	0.679166	0.733247	0.821136	0.86385	0.685511	0.684502	4
R 測試者	0.810604	0.943334	0.749122	0.776918	0.794452	0.758923	2
S 測試者	0.630442	0.840333	0.94365	0.780798	0.72011	0.722467	3
T 測試者	0.575222	0.814684	0.805749	0.721291	0.655179	0.624268	2

資料來源:(本研究整理) (粗體字為最適鞋墊灰關聯度)。

表 3.15 20 位測試者計算灰關聯度以及最適鞋墊排序(五隻鞋墊)

	1 號	3 號	4 號	5 號	6 號	最適鞋墊
A 測試者	0.830811	0.814813	0.813773	0.866137	0.817291	5
B 測試者	0.859176	0.903541	0.754529	0.833078	0.598971	3
C 測試者	0.744758	0.787211	0.791734	0.682921	0.758246	4
D 測試者	0.650377	0.920272	0.865015	0.624398	0.723428	3
E 測試者	0.505662	0.716049	0.76913	0.746929	0.699684	4
F 測試者	0.616577	0.739706	0.793058	0.714351	0.884497	6
G 測試者	0.708257	0.965969	0.800351	0.909625	0.81129	3
H 測試者	0.602614	0.999576	0.798845	0.637119	0.693266	3
I 測試者	0.597241	0.837411	0.939523	0.745409	0.743188	4
J 測試者	0.626713	0.910739	0.67334	0.656151	0.724672	3
K 測試者	0.654922	0.989118	0.837623	0.729306	0.749597	3
L 測試者	0.618624	0.813089	0.795212	0.696824	0.800855	3
M 測試者	0.804377	0.820304	0.746154	0.773245	0.905107	6
N 測試者	0.579103	0.92885	0.722335	0.763979	0.739087	3
O 測試者	0.627098	0.837256	0.951731	0.714486	0.760365	4
P 測試者	0.672912	0.96151	0.819655	0.660346	0.729521	3
Q 測試者	0.689573	0.836576	0.89064	0.690894	0.692523	4
R 測試者	0.84744	0.803318	0.802712	0.829916	0.773762	1
S 測試者	0.644007	0.983918	0.825085	0.740552	0.742243	3
T 測試者	0.575173	0.836336	0.795565	0.656559	0.619998	3

資料來源:(本研究整理)

拿掉適合所有測試者之 2 號鞋墊，取得之灰關聯數據(粗體字為最適鞋墊灰關聯度)。

表 3.16 各足型最適鞋墊(五支鞋墊) 確認

測試者	R	D、H、J、L、N、 P、	B、G、 I、K、S、 T	C、E、 O、Q	A	F、M
最適鞋墊	1 號鞋墊	3 號鞋墊	3 號 鞋墊	4 號 鞋墊	5 號 鞋墊	6 號 鞋墊
特徵	薄型軟鞋墊： 發泡、乳膠材 質，薄變型、 不耐用。	下半月型足弓支 撐軟式鞋墊，提 供隱藏式足弓支 撐。發泡、乳膠材 質。表面覆上薄 皮革。	軟材質且鞋墊足 弓部位有上支撐 或下支撐。發泡、 乳膠材質。表面 覆上柔軟不織 布。	半硬式鞋墊：材 質由發泡橡膠 與 CPU 材質結 合，鞋墊下提供 低硬式足弓的 支撐。表面覆不 織布。		
分區厚度	5.2/5.2/5.2	6.5/13.5/14.5	3 號 6.5/13.5/14.5 4 號 7/14/11.5	5 號 5/12.5/11.5 6 號 5/17/11.5		
邵式硬度	20	48	3 號 48 4 號 28	5 號 36 6 號 42		

分區厚度為足掌/足弓/足跟三區。資料來源:(本研究整理)

3.2.2 類神經網路智慧分群

本研究智慧分群是將測試者足壓分佈資料與樣本鞋墊透過灰關聯分析與排序，取得之結果，作為類神經網路的訓練樣本對，透過倒傳遞類神經網路演算進行疊代訓練學習，目的是利用類神經網路擁有足以辨識資訊之能力，能自動對輸入的測試者足壓資料進行智慧分群，從鞋墊樣本中找出最為適合的鞋墊。過程中使用的倒傳遞類神經網路 (Back-Propagation Neural Network, BPNN) 技術，主要是把專家經驗與系統性分析技術轉換成數學模式，讓不熟悉相關領域的設計師，能藉由類神經網路計算所得之分群結果，正確的執行設計決策，縮短設計週期，滿足消費者的個別性需求。

1. 類神經網路學習參數設計

驗證倒傳遞類神經網路，大多應用最陡坡降的倒傳遞學習演算法，對 2D 圖形的識別分群進行 Matlab 程式模擬，透過多次實驗，發現類神經網路學習結果因隱藏層之數量與各層間神經元數量和轉換函數種類之差異而有顯著變化。由此可知不良學習參數設計將會影響類神經網路後續的學習品質。

為確立此項類神經網路之學習成效，本研究在原始學習樣本項目，先準備一組包含五張不同原始圖樣 (Cat, Squirrel, Rabbit, Chicken, Bird) (圖 3.18)，透過 Matlab 計算轉為灰階圖樣，再以這些樣本作為類神經網路之參考樣本對，圖樣皆由 12×12 矩陣之灰階值定義，原始灰階圖檔如(圖 3.19)所示。其中灰階值是一個介於 0~1 之實數值(灰階值為 0 時其定義為白色，灰階值為 1 時其定義為黑色)。為方便執行網路學習運算，本研究將各個圖樣調整成 144×1 的行向量型式。

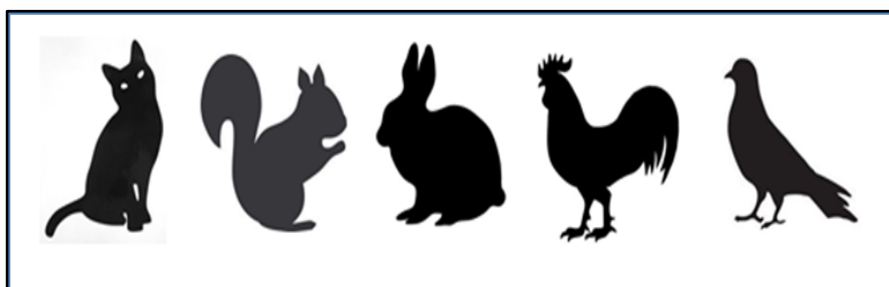


圖 3.18 原始學習樣本圖樣(畫面截圖)

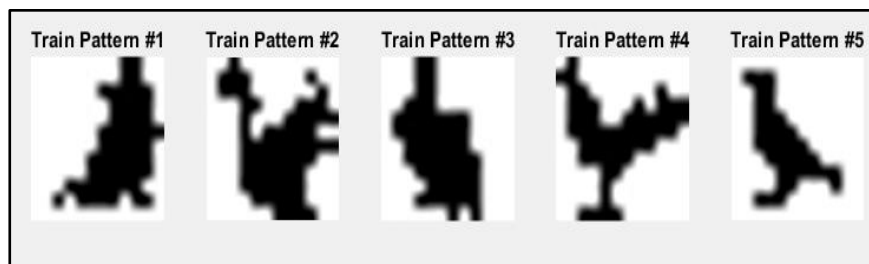


圖 3.19 原始學習樣本灰階圖樣(畫面截圖)

研究使用 R2010b 版的類神經網路工具箱 (Neural Network Toolbox, NNT)，驗證倒傳遞類神經網路處於雜訊資料下的學習效果，再透過內建 Traingdx (Gradient Descent Backpropagation with Adaptive Learning Rate) 學習演算法進行權值學習訓練，類神經網路架構如下(圖 3.20)所示，包含一輸入層、一隱藏層與一輸出層。其中，輸入層與輸出層所包含的神經元數量係依據學習之輸出入樣本對而決定，隱藏層包含之神經元數值並無定性規定，通常以試誤法取得最佳神經網路輸出目標，進而決定神經元數目。有關隱藏層神經元之數量取得，以公式(2-4)(2-5)運算。

$$N = \frac{1}{2}(N_{in} + N_{out}) \quad (2-4) \quad N = \sqrt{N_{in} \times N_{out}} \quad (2-5)$$

N 是建議神經元數， N_{in} 是輸入層神經元數， N_{out} 是輸出層神經元數。

本研究參考樣本利用公式(2-5)進行倒傳遞類神經之神經元數計算，為 $N = \sqrt{144 \times 5}$ ， $N= 27$ ，樣本對圖樣皆由 $12 \times 12 = 144$ 矩陣之灰階值定義，隱藏層神經元數即設定為 27 個。

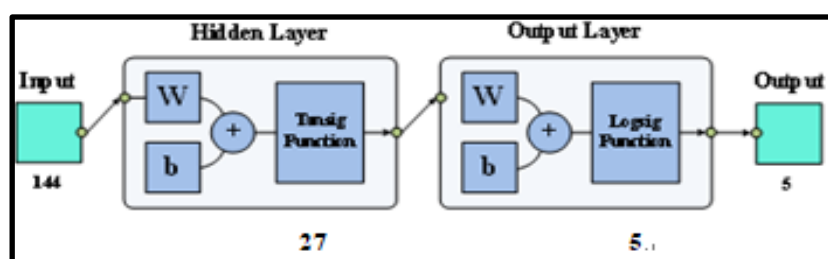


圖 3.20 類神經網路架構圖（驗證）（畫面截圖）

類神經網路相關學習參數設定如下：

epoch = 1000 training epoch 最大疊代次數

neuron = 27 神經元數量

noise = 20 雜訊量

goal = 0 performance goal 性能指標

lr = 0.01 learning rate 學習速率

mc = 0.9 momentum constant 動量常數

min grad = 1e-10 minimum performance gradient 最小梯度性能

t-ext = 100 training pattern extend 樣本擴充

為達到較好辨識效果，與增加神經網路之學習特性，對學習樣本進行資料集擴充，方法是對原始樣本增加雜訊，給予原分群數目相同之輸出，即是透過增加總輸出入樣本量來提升神經網路之參考資訊量。驗證時，透過電腦隨機產生的 1~100 組不同單位雜訊樣本，其雜訊值設在 0~1 間的隨機亂數，再與原始圖樣之灰階值替換，當雜訊量為 1 單位，即產生 1 筆 0~1 亂數值取代原始圖樣之 1 個灰階值，雜訊量為某個數量，即產生該數值 0~1 之亂數值取代原始圖樣中之灰階值。

每一神經元運算，需進行 1,000 次隨機雜訊驗證，再取其平均率作為該神經元數量之辨識正確率，透過模擬實驗得知，神經網路辨識效果與隱藏層之神經元數量並無關連性，較少神經元數量會使神經網路無足夠參數執行智慧分群，即是引申能力（Generalization）較差，相反，過多的神經元數量則因倒傳遞演算之特性，將增加系統計算時效，也會導致學習超過適配率（Over Fitting）之情況，同時也會影響神經網路引申能力。故如何決定隱藏層的神經元數量，將是類神經網路學習注意要點，更是影響類神經網路學習效果之關鍵。

研究將上述學習樣本 (Cat, Squirrel, Rabbit, Chicken, Bird) 圖檔資料透過模擬運算，其結果如(圖 3.21) 所示，其分群正確率可以達到 100%，顯示此項範例之類神經網路參數設置與神經元數量，以及過程中進行的資料集擴充方法是可行的。

```

pattern_recognition_bpn_main.m  main_program_5.m  +
95 - net3.divideFcn = ''; % data division cancel
96 - net3.trainParam.epochs = epochs; %讀取最大疊代次數
97 - [net3, tr] = train(net3, P_ext, T_ext); %執行類神經學習
98 - plotperform(tr) %學習性能圖
99 - %% 輸入之驗證樣本
100 - P1 = P; % testing pattern
101 - P1 = P1.*randi([900 1100], [m n])*0.001; %資料做10%變異，作為驗證樣本
102 - P_tmp = P_tmp/max(P_tmp(:)); %做用為將超出1之數據回歸至1
103 - P1(P1==0) = (rand(size(find(P1==0))))*0.1; %因數據是0:1之數據單純上面10%之變異對於0之數值來說是無意義的，此行
Command Window
Training begins...
Recognizing accurate: 100.000000

Target:
ans =

     1     2     3     4     5

Simulating output:
ans =

fx     1     2     3     4     5

```

圖 3.21 倒傳遞類神經分群運算結果(學習樣本)(畫面截圖)

依據灰關聯計算的舒適度評價排序，可以得到每位測試者最適合之鞋墊樣式，接著將測試者的足壓分佈數據與實驗樣本鞋墊，做為類神經網路的訓練樣本對，即是將「足壓與鞋墊」資料，透過倒傳遞類神經網路之運算進行疊代學習訓練，自動針對輸入的足壓資料進行分群，以找出最適合的鞋墊。研究中，在訓練樣本之足壓資料部分，先排除差異性較大的足壓圖型，篩選剩下 4 組做為網路訓練樣本。為了讓神經網路擁有更好學習效果，參考上述「類神經網路學習參數設計」中做法，透過資料集擴充步驟，針對每組足壓資訊，進行 100 次運算，藉以產生 100 組新的訓練樣本數，供類神經網路學習使用。

研究針對 20 位測試者，合計 80 組訓練樣本，進行資料正規化處理(公式 3-5)，即是將資訊適當編碼，因為編碼後才能當成倒傳遞類神經網路的訓練數據。以 R 號測試者為例，首先將先前透過 Tek-Scan 的系統得到 (圖 3.22) (圖 3.23) (圖 3.24) 的足壓數據與足壓分佈圖，將其轉為 (圖 3.25) (圖 3.26) (圖 3.27) 足壓分佈矩陣圖。一組原始足壓資料為 21×50 矩陣，將其轉換為行向量 1050×1 矩陣，做為網路的輸入樣本。另外，倒傳遞類神經網路為採用雙曲線正切函數與雙彎曲函數當作神經元之非線性轉換函數，轉換函數輸出值介於(0,1)之間，故實際網路輸出值值域必然落在(0 至 1)中間。另外，本研究需要執行分類的鞋墊款式有六款(第一次學習)與五款(第二次扣除通用的 2 號鞋墊)兩項，定義網路的輸出矩陣如下：

以 R 號測試者為例，使用兩次不同鞋墊計算，即六款與五款，先架構 6×1 與 5×1 的矩陣，再由該矩陣中的最大值元素作為網路預測結果（即為最適鞋墊款式）。

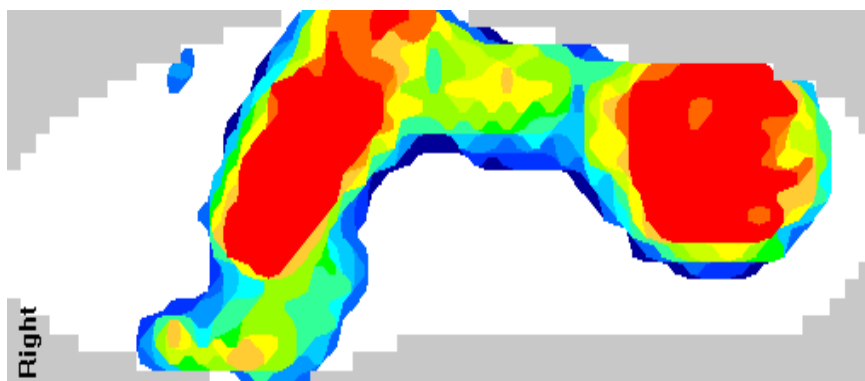


圖 3.22 R 號測試者裸足足壓分佈圖(畫面截圖)

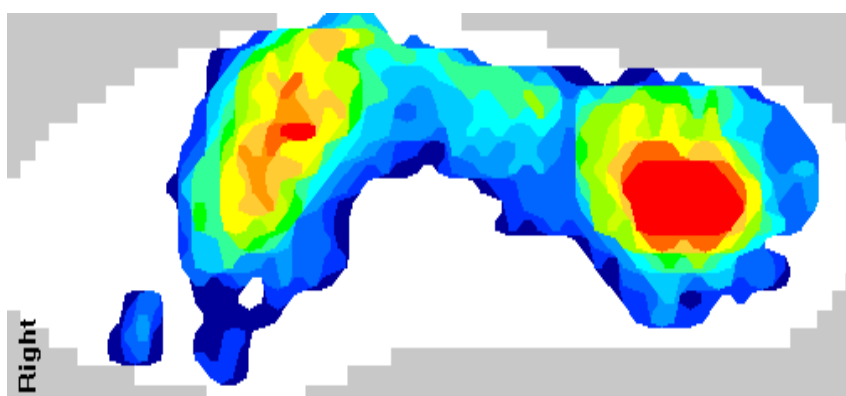


圖 3.23 R 號測試者 6 隻鞋墊 取 2 號最適足壓分佈圖(畫面截圖)

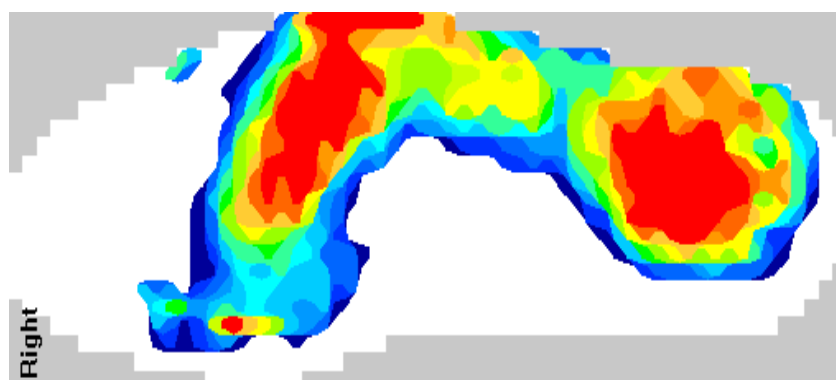


圖 3.24 R 號測試者 5 隻鞋墊取 1 號最適足壓分佈圖(畫面截圖)

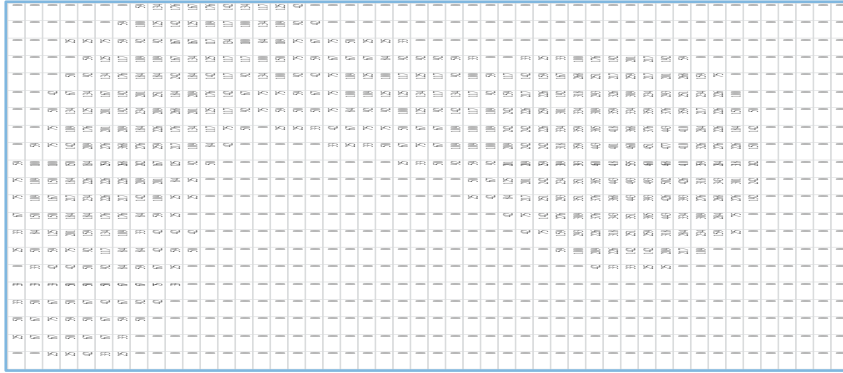


圖 3.25 R 號測試者裸足足壓分佈圖矩陣圖(畫面截圖)

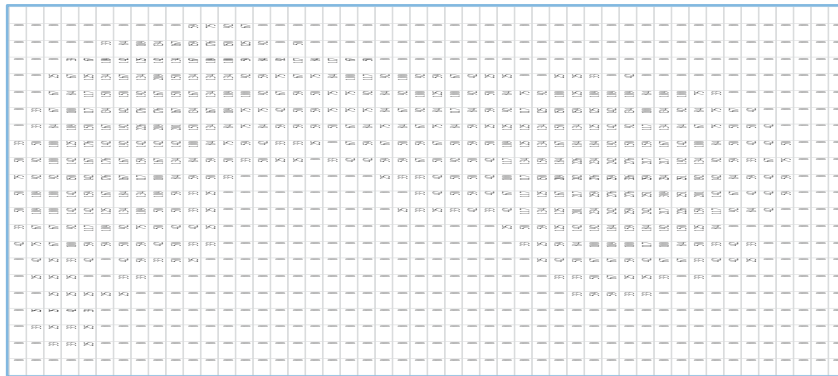


圖 3.26 R 號測試者 6 隻鞋墊 取 2 號足壓分佈矩陣圖(畫面截圖)

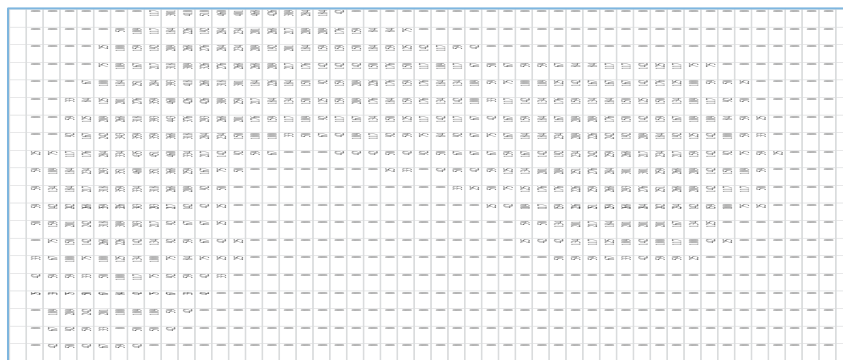


圖 3.27 R 號測試者 5 隻鞋墊 取 1 號足壓分佈矩陣圖(畫面截圖)

智慧分群演算過程中，輸入層神經元在接受輸入樣本檔之前，預先作樣本資料值域之變換，這項程序稱為變數資料正規化，目的在於避免輸入樣本值域差別過大，小值域樣本之重要性無法呈現，導致大值域樣本控制整個神經網路的學習過程，影響運算學習效果。本研究應用(區間對映法)，將樣本中最小值與最大值映射到期望的最大值及最小值，步驟如下：

- (1)從中找出具有同性質輸出參數之最小值 (Min) 與最大值 (Max) 。
- (2)設定期望的輸出變數與正規化後之最大值 (D_{max}) 與最小值 (D_{min}) 。

(3)將資料利用公式(3-5)正規化。

$$V_{new} = D_{min} + \frac{V_{old} - Min}{Max - Min} (D_{max} - D_{min}) \quad (3-5)$$

V_{old} 正規前值， V_{new} 為正規化後的值。

透過正規化處理，過程中以隨機方式將 I、J、Q、R、T 五位測試者之資料挑選出來，每位 4 筆，共計 20 組訓練樣本對，以此做為研究測試樣本。其每組類神經網路的驗證樣本輸入的足壓資料皆為列向量 1050×1 。再將剩下的 15 位測試者資料進行資料集擴充處理，結果輸入倒傳遞網路模型訓練，如此重覆進行學習訓練，直到神經網路達到最大遞代次數，或訓練之最小梯度性能才停止。進行訓練的倒傳遞類神經網路架構包含一層輸入層、一層隱藏層與一層輸出層。而輸入層與輸出層所包含神經元數量係依據訓練樣本對決定，其隱藏層數量則是根據公式(3-5)運算而取得，在本單元中由 $\sqrt{1050 \times 6} = 79$ 計算所得的神經元數量為 79 個。

為了驗證不同轉換函數對類神經網路預測結果之影響，本研究針對兩種不同轉換函數之架構進行測試：(1). 網路 a 架構逐次訓練學習：其隱藏層為雙曲線正切函數，輸出層為雙彎曲轉換函數與(2). 網路 b 架構一次訓練學習：其隱藏層為雙彎曲轉換函數，輸出層同為雙彎曲轉換函數。

相關神經網路訓練參數設定如下：

Training parameters (鞋墊測試)

最大遞代次數 (Epoch) = 2000

性能指標 (Performance Goal) = 0

學習速率 (Learning Rate) lr = 0.01

神經元數量 neurons = 79

動量常數 (Momentum Constant) = 0.9

最小梯度性能 (Minimum Performance Gradient) = $1e-10$

訓練樣本擴充 t_ext = 10

3.2.3 類神經網路訓練架構

1. 使用 6 支樣本鞋墊的網路訓練架構

(1) 網路架構 a 逐次訓練學習：

第一組使用 6 支樣本鞋墊之網路架構，如(圖 3.28)，首先將 15 組訓練樣本輸入網路學習，待網路完成收斂，再將驗證樣本輸入已經完成學習之類神經網路系統，同時參考先前灰關聯舒適度計算結果，運算出此項網路分類的正確率，並將其分別記錄於(表 3.17)與(表 3.18)中。由於輸出層轉換函數是採用雙彎曲函數，因此網路輸出值將是一個介於 0~1 之間，尺寸為 6×1 的實數矩陣。透過運算設定的神經元數量為 79，輸出層為 6。

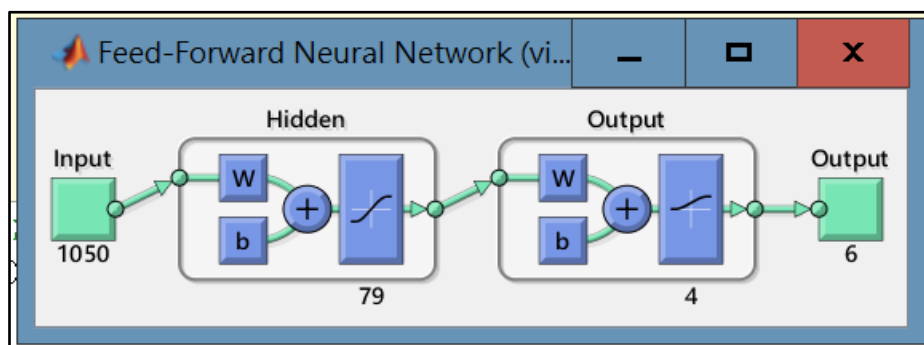


圖 3.28 網路 a 逐次學習架構圖(六隻鞋墊)(畫面截圖)

實驗計算中，取該矩陣最大值為輸出的分類結果，如此網路的輸出矩陣為 (0.2,0.6,0.4,0.5,0.3,0.1)，則分類結果判讀為第 2 項即 (2 號鞋墊)。依此方式，進行 10 次獨立的程式實驗，其網路學習過程之梯度性能曲線變化如下圖中上位置。網路輸出的正確率是將網路輸出結果與先前進行灰關聯計算所得結果互作比較，找出所有相符之比較結果，與所占比例，作為此次訓練神經網路的分群正確率(圖 3.29)。

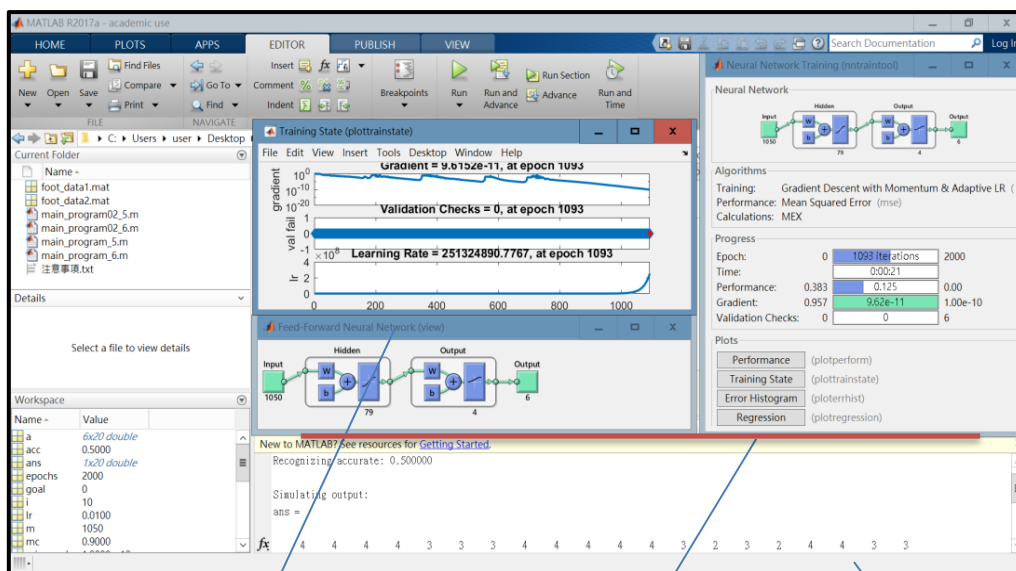


圖 3.29 網路架構 a 逐次訓練 (畫面截圖)

(梯度性能 Gradient 與網路疊代數 epoch 曲線)(訓練執行視窗)(正確率與篩選結果)

表 3.17 網路架構 a 逐次訓練結果 (六隻樣本鞋墊)

	I 測試者				J 測試者				Q 測試者				R 測試者				T 測試者			
灰關聯 計算所得 鞋墊	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2
第 1 次 驗證	4	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
第 2 次 驗證	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
第 3 次 驗證	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	2	3	2	4	4	3	3
第 4 次 驗證	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	4	4	3	4
第 5 次 驗證	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	2	4	2	4	4	4	4
第 6 次 驗證	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4
第 7 次 驗證	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	2	3	2	4	4	4	4
第 8 次 驗證	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4
第 9 次 驗證	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	4	3	4	4	4	4
第 10 次 驗證	6	3	6	6	3	3	3	3	6	4	4	4	3	6	6	6	6	6	3	6

隨機挑選五位測試者作為類神經樣本學習(本研究整理)

表 3.18 網路架構 a 逐次訓練正確率、梯度性能與網路疊代數（六隻樣本鞋墊）

	正確率 Recognizing accurate	梯度性能 Gradient	網路疊代數 epoch
第 1 次學習	40%	9.5599e-011	933
第 2 次學習	40%	9.7455e-011	674
第 3 次學習	50%	9.9638e-011	1093
第 4 次學習	10%	9.9638e-011	1405
第 5 次學習	50%	9.8684e-011	634
第 6 次學習	40%	9.9992e-011	1354
第 7 次學習	50%	9.9592e-011	856
第 8 次學習	40%	9.915e-011	1173
第 9 次學習	40%	9.9705e-011	954
第 10 次學習	15%	9.9078e-011	856
平均值	37.5%	9.8853e-011	993

(本研究整理)

(2) 網路架構 b 一次訓練學習：（六隻樣本鞋墊）

接下來，研究針對網路 b 架構進行學習實驗，網路架構圖如下(圖 3.30)，程序如同網路 a 架構所進行的學習及驗證，以 Matlab 程式撰寫，其網路學習過程由逐次訓練改為一次操作，即可得到十次訓練成果，進而得到最適合之鞋墊與結果數據。其梯度性能變化與網路疊代數曲線圖如同網路架構 a 訓練執行介面圖，不再陳述。只將網路架構 b 的學習結果與學習正確率列於下(表 3.19)。

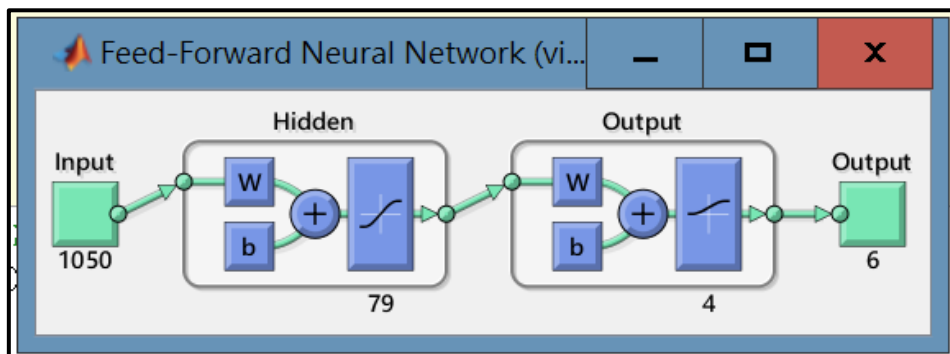


圖 3.30 網路架構 b 一次學習架構圖(六隻鞋墊)(畫面截圖)

表 3.19 網路架構 b 一次學習正確率

	I 測試者				J 測試者				Q 測試者				R 測試者				T 測試者			
灰關聯計算所得鞋墊	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	2	2	2	2	2	2	2	2
一次學習驗證	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	2	4	2	4	4	4	4
Recognizing accurate 正確率：50.0%																				

資料來源:(本研究整理)

由上述表 3.18 與表 3.19，發現 10 次獨立學習其平均正確率僅有 37.5%，一次學習其正確率也僅有 50%，造成正確率如此低的原因，本研究認為是學習樣本數之問題。針對上述結果，究其因是學習測試者樣本過少，因受測者人數上之侷限，解決方法除了利用原有樣本進行數據擴充，另外選擇對測試鞋墊數目進行更改進行第二次運算，原本鞋墊樣本為 6 支，現將適合多數測試者之 2 號鞋墊屏除，鞋墊號數遞補，神經元也是根據公式(3-5)來決定，即 $\sqrt{1050 \times 5} = 72$ ，其計算所得的神經元數量為 72 個，故將輸出層改為 5。

1. 樣本數更改後之重新學習成果：

使用 5 支樣本鞋墊的網路架構訓練

(1) 網路架構 a 逐次訓練學習：

第二組網路架構如(圖 3.31)，神經網路學習程序如同第一組，只將網路輸出改為一個介於 0~1 之間，尺寸為 5x1 的實數矩陣，再取該矩陣最大值作為輸出的分類結果。根據此方式，進行 10 次獨立的程式實驗，網路學習過程之梯度性能變化與結果，程序與曲線圖與第一組類似，在此不在敘述，只將訓練學習結果列表於下(表 3.20)(表 3.21)。

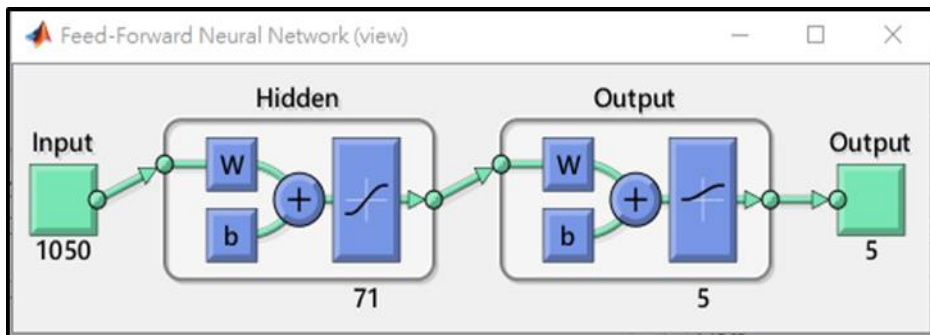


圖 3.31 網路架構 a 逐次學習架構圖(5 支樣本鞋墊)(畫面截圖)

表 3.20 網路架構 a 逐次訓練結果 (5 支樣本鞋墊)

	I 測試者				J 測試者				Q 測試者				R 測試者				T 測試者			
灰關聯計算所得鞋墊	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2
第 1 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
第 2 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2
第 3 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	3	3	3	3
第 4 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	3
第 5 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	3	3	3
第 6 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	4	4
第 7 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	3	2	3
第 8 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1
第 9 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	3	2	2
第 10 次驗證結果	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2

資料來源:(本研究整理)

除了 1 號鞋墊位置不變，3、4、5、6 鞋墊號數皆往前挪一號，本研究不再更改其他訓練鞋墊號數，不過整體分析，這些正常足型者還是較適合 4 號鞋墊。與六隻鞋墊的學習訓練結果相同。

表 3.21 網路架構 a 逐次訓練正確率、梯度性能與網路疊代數（五隻樣本鞋墊）

	正確率 Recognizing accurate	梯度性能 Gradient	網路疊代數 epoch
第 1 次學習	80%	9.706e-011	1163
第 2 次學習	100%	9.6048e-011	704
第 3 次學習	80%	9.857e-011	1844
第 4 次學習	95%	9.9742e-011	724
第 5 次學習	85%	9.9509e-011	690
第 6 次學習	90%	9.6263e-011	1164
第 7 次學習	85%	8.4327e-011	1666
第 8 次學習	80%	9.5131e-011	724
第 9 次學習	90%	9.7236e-011	736
第 10 次學習	90%	9.9871e-011	888
平均值	87.5%	9.6375e-011	1030

資料來源:(本研究整理)

(2) 網路架構 b 一次訓練學習：（五隻樣本鞋墊）

研究針對網路架構 b（五隻樣本鞋墊）進行實驗，網路架構如(圖 3.32)，程序同 a 架構網路學習訓練與驗證，所得到最適合鞋墊與結果數據，其梯度性能變化與網路疊代數曲線圖也如同 a 架構，不再敘述，現將 b 網路架構學習結果與學習正確率列於下(表 3.22)。

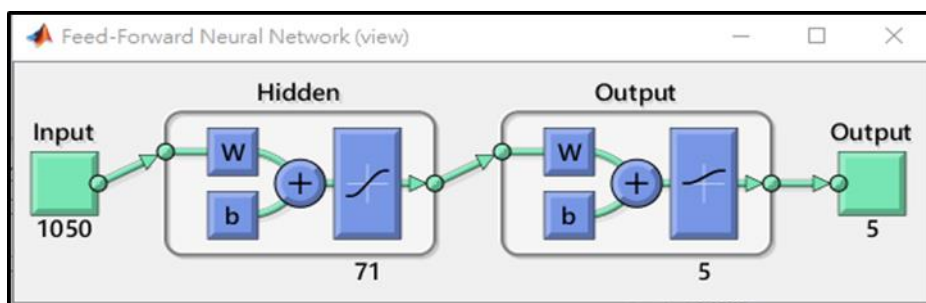


圖 3.32 網路架構 b 一次訓練學習架構圖 (五隻樣本鞋墊) (畫面截圖)

表 3.22 網路架構 b 一次學習-正確率

	I 測試者				J 測試者				Q 測試者				R 測試者				T 測試者			
灰關聯 計算所 得鞋墊	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	2	2	2	2
一次學 習 驗證	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	3
Recognizing accurate 正確率：80.0%																				

資料來源:(本研究整理)

3.3. 鞋墊足壓舒適度評價結果

依據測試者足壓分佈資料與樣本鞋墊之穿著矯正壓力分佈比對，本單元針對灰關聯與類神經網路所建立的自動學習分群系統，透過實例評價與驗證，取得適合之鞋墊，並對結果做出分析與探討。內容依測試過程分為兩部分討論：(1)灰關聯舒適度評價分析。(2)類神經網路自我訓練與智慧分群分析。

3.3.1. 灰關聯舒適度評價結果分析

研究運用足部生物力學實驗是為了提供進行鞋墊穿著減壓之舒適度評價，下列將針對測試結果之相互關聯性進行分析與探討

1. 從(表 3-14)看出，由 20 位測試者計算灰關聯度以及最適鞋墊排序，2 號鞋墊最適合大多數實驗者之足部，2 號鞋墊在所有鞋墊中材質最厚、也最軟，其特色為接觸足底面積處為扁平形狀，故能隨著個人足部形狀而模合，即是所稱的乳膠材料。透過實驗可知此型鞋墊最能夠減低足壓衝擊。由這點也可應證 Lemmon at al. (1997) 提到的鞋墊厚度增加，會直接影響其足底壓力，達到壓力降低效果。

在研究假設中提出的「當鞋墊款式越接近足部外型，壓力總值與峰值亦將下降」觀點，經由力學實驗後，可藉由(表 3.12) A 號測試者的關聯排序圖結果觀察，以 2 號鞋墊最適合大多數實驗者之足部，這確實符合先前所訂定的假設。也應證了(吳淑霞，1998；朱嘉偉，1999)等人所提出影響足壓的參數還包括接觸面積，當足底接觸面積改變時，足壓便會反映出不同的數據。因為 2 號鞋墊是表面平整，材質柔軟，能隨著足底形狀而改變，讓接觸面積加大，足壓分配更平均。

依據李靜,曾全壽等人(2017)和 Mei et al. (2018)之舒適度與足底壓力變化比較研究，發現足底壓力的增加，和舒適感受呈現相對的關聯性，由此可知鞋墊厚度增加與足底接觸面積加大，對矯正足壓分佈區域的降低，有確實的成效，對穿著舒適感覺也有提高的現象。

2. 從(圖 3.15)的 S 號測試者裸足足壓樣型圖與【附表 1】裸足壓力圖，可看出裸足壓高峰發生於足掌區與足跟區域的百分比比較高，至於足趾區只佔極小數，這驗證了先前的假設。也符合(Cavanagh, Rodgers & Liboshi, 1987) 提出足部靜態站立時的壓力分佈，比例分別為：足跟 60%、中足 8%、前足 28%與腳趾 4%，至於 Perry (1992)之研究，足趾只在步態下才有足壓轉換之情況。然而最大壓力還是在足跟處，其次才是跖骨與大拇指區。本研究因實施靜態分析，並沒有做深入的探討。

3. 依據(圖 3.33)的 R 號測試者裸足壓力圖與踩於鞋墊上的壓力作比較，可發現經由灰關聯計算所選出的最適鞋墊 2 號，與原始裸足壓力作比較，壓力較平均，且明顯減少。所以 2 號鞋墊確實可達到提高舒適度的目的。在減掉 2 號鞋墊後的灰關聯計算，選出的 1 號鞋墊足壓也有減少傾向，這應證(吳淑霞，1998；朱嘉偉，1999) 提出的使用全觸式鞋墊進行實驗，對於降低足壓有相當大的效果，因為 2 號鞋墊與 1 號鞋墊，雖然厚薄各有不同，其材質卻完全一樣，況且鞋墊與足部接觸面，也是平整接觸型態，全依材料的柔軟度而塑形。

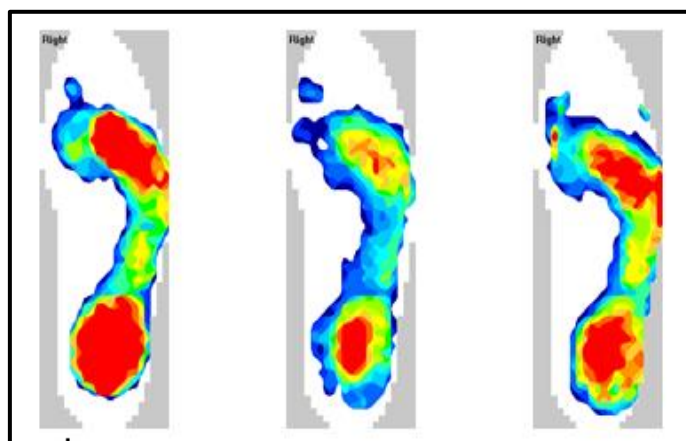


圖 3.33 R 號測試者裸足與穿著 2 號鞋墊 1 號鞋墊足壓分布比較圖(本研究整理)

3.3.2. 類神經自我訓練與智慧分群結果分析

研究過程中使用鞋墊足壓舒適度評價結果之數據，提供倒傳遞類神經網路進行自我訓練演算與學習，藉以得到類神經智慧分群之效果，現將此方法運用與結果分析如下。

1. 倒傳遞類神經網路方法應用

由神經網路學習結果指出，倒傳遞類神經網路於足壓資料辨識度正確率，最高可達 80% 左右，相較於 3.2.2 節，類神經網路智慧分群之類神經網路學習參數設計，針對 5 張不同灰階圖樣 (Cat, Squirrel, Rabbit, Chicken, Bird) 進行的網路學習結果 100%，頗有差距，其原因應為學習樣本數量過少。

類神經網路學習成效與其網路架構和訓練樣本數有直接關係，若架構數值不正確 (如參數設定之神經元數量，或輸出層、隱藏層使用之轉換函數..等)，都會大幅降低類神經網路學習成效。而訓練樣本數太少、相似或雜訊過多，也會影響類神經網路之學習成效，本研究雖已利用資料集擴充步驟增加樣本數，但因樣本特徵過於接近，當新足型變化超過一定範圍，類神經網路則無法有效的進行分群。本研究將倒傳遞類神經程式依功能撰寫，使類神經網路架構能快速的完成十次學習，再將十次學習結果中重複性最高的項目挑出，作為最終答案，如此可將本研究之類神經網路學習正確率提高。

2. 類神經智慧分群結果

為驗證倒傳遞類神經網路智慧分群效果，本研究於 3.2.3 節，類神經網路訓練架構進行四種不同架構倒傳遞類神經網路學習，所得結果如下：

(1) 以六隻樣本鞋墊做的網路架構 a 逐次訓練學習，其平均正確率為 37.5%，改用一次多重訓練學習，其正確率提高為 50%，從這數據可看出，不同的轉換函數的確會影響到學習運算結果。

(2) 拿掉二號鞋墊，以留下的五隻樣本鞋墊做的網路架構 a 逐次訓練學習，其平均確率為 87.5%，改用一次多重訓練學習，重複練習，其平均正確率也達到 80% 以上。可見一次多重學習訓練的正確率也將符合其他項目學習數據，然而研究者還是建議應採用類神經的自我學習功能，多做訓練，藉以求得更正確之結果。

3.4 小結

在小量樣本情況下，使用灰關聯求得最適合之鞋墊可以準確又快速，但若以此方法應用於量產製造時，數量眾多的資訊將無法被快速計算解答，如此將導致整體製程延宕，喪失產品開發先機，因此本研究將灰關聯計算結果配合專家知識經驗，藉以求得最適合鞋墊，再透過類神經網路進行學習與預測。

本研究鞋墊足壓舒適度評價分析，主要在於找出鞋楦與足部之間寬鬆舒感值與寬裕度範圍，在第一次灰關聯灰度排序，6 隻鞋墊以 2 號鞋墊適合大多數測試者。為了更深入探討測試者與最適合鞋墊之特徵分析，和取得數據之可信度，研究過程中移開 2 號鞋墊，再一次執行灰關聯運算，5 隻鞋墊中以 3 號鞋墊符合大多數測試者，最後融合平均這兩隻鞋墊加上第二順位之 4 號鞋墊特徵，取得通用化鞋具之寬裕度數據。

第四章 鞋楦適足性圍度評量

傳統腳型量測與現代化足部分析，最終需求皆來自鞋具與消費者穿著是否合腳與舒適問題，因此如何增進鞋具產品的適足性（Fitness of Footwear）是一項值得深入探討的議題。鞋具合腳與否，首看設計時是否考慮到人體足部實際的幾何外形，方能了解鞋具內部是否有足夠的寬裕空間與具備的足部保護作用。

本研究所建立鞋楦適足性圍度評量，將取得之鞋楦與足部樣本 STL 格式之三角網格資料，以切層法則進行演算、擷取特徵圍度。這些特徵包含足長、足寬、足掌圍、足腰圍、足背圍、高背圍、趾圍共七項圍度，針對每支鞋楦運算所得特徵數據，將被儲存以供後續的查詢與分析使用。同樣對於人體足部，也以此項模式擷取這些特徵，並加以儲存。隨著蒐集鞋楦樣本與消費者足部資訊的增加，日後將可建立廣大的資料庫以供搜尋與評量。

4.1. 鞋楦適足性設計探討

鞋具產品整體製程，最重要即是鞋楦設計，它不僅能夠呈現鞋具的外形美感與時尚流行，更是直接影響個人足部穿著鞋具舒適與否之關鍵。因此鞋楦製作首要考慮的是穿著鞋具之人，必需根據人體實際量測，以其足部形狀和機能加以設計。然而每個人的腳型不盡相同，在大量製造標準需求規格下，設計出的鞋楦，並不能完全符合每個人獨特的腳型，同時鞋楦的型態決定鞋具內部空間的寬裕區域分佈與外觀幾何形狀。基於上述因素，了解到要製作出適足性鞋具，必須先設計出合乎三度空間實際腳型之鞋楦，要設計出這樣的鞋楦，又需事先取得實體 3D 腳型資料，以及鞋楦主要的設計參考尺寸，才能將這些數據轉換成所需的鞋楦設計規格，製作出一雙標準鞋楦（Model Size Shoe Last）（圖 4.1）。

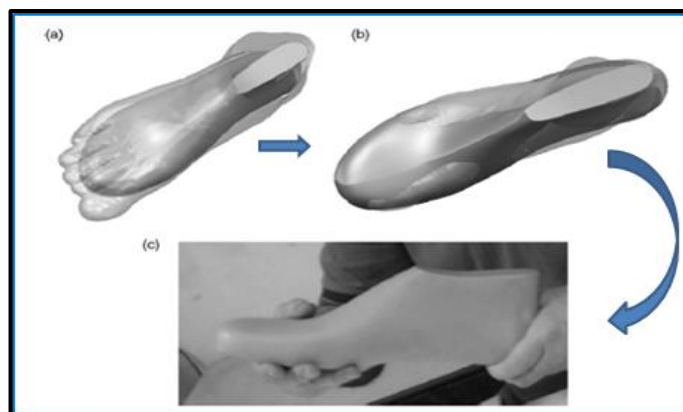


圖 4.1 依據足型數據製造鞋楦客製化程序(Luximon, 2009)

(a)足型量測.(b)設計鞋楦(c)完成符合個人足型之鞋楦

4.1.1 足部與鞋楦特徵圍度關聯度

以往國內鞋具產品楦頭大多仰賴進口，或以逆向工程（Reverse Engineering）方法加以仿製，再憑楦頭師傅依其經驗加以修改製造，少有依據國人腳型自行開發之楦頭。這種製作方式影響鞋具產品設計製造時間之耗費與成本無謂的支出。因為後續這些鞋楦樣本都被以廢料處理，由此可知鞋楦自行研發之重要性。如今傳統鞋具生產模式，已經不限於產品客製化的個人需求上，為了通用化考量，鞋具產業逐漸走向市場導向之產銷與設計模式。然而針對消費者，影響鞋具穿著是否舒適與合腳，依然是主要考慮因素，而精確的足部與鞋楦特徵圍度模和更是鞋具適足性重要關鍵。

1. 足長與楦長關係

鄭豐聰 (1998)認為傳統鞋楦與足部存在著一些特殊關係，研究上利用常態分布原理，以台灣地區 2,486 個成年男子的腳型資料為樣本，依據足長與足圍為變因作統計分析，得到一個有效率之腳型尺碼級放系統，進一步獲得整體腳型尺碼資訊系統，以提供鞋楦設計最重要之資訊。透過這些分析結果，亦可同時算出這些鞋楦相對於適腳性人口的百分比。其綜合結論為：

(1)每個人足長會受到氣候、溫度甚至動作的影響而改變。這種因受到外力所引起的足長變化大約為 3~5mm。

(2)人活動時，足部在鞋內需有一定的活動寬裕空間，這是因為人在行走，足部在鞋內要有彎曲、伸長移動等動作，這些預留的活動寬裕空間或移動範圍大約為 5~8mm。

(3)由於鞋具樣式、組成結構各有不同，尤其是隨著流行時尚之趨勢，款式常有變化，因此鞋具前端往往要有一定的長度增加。通常鞋頭越尖，鞋楦的長度相較足長，其增加幅度就越大。反之，鞋楦長度的增加量便會相對減小。一般足長與楦長的關係為：楦底長度 = 足底長度 + 腳尖餘裕-後踵容差。

(4)根據鞋楦設計經驗法則，可歸納出：

一般性足長，其楦長 \geq (足長 + 8mm)

若足部圍度較為瘦小(小於 235mm)，則其楦長 = 足長 + (9~11)mm。

若足部圍度為中等(235~255mm)，則其楦長 = 足長 + (12~15)mm。

若足部圍度肥大(大於 255mm)，則其楦長 = 足長 + (15~18)mm。

英國傳統固特異手縫鞋製作公司(2004)研究，依據文獻資料經驗值，大人足長加上 2 個號頭(英國制)-約 16mm (每個號頭差 8mm)，小孩及嬰兒約為 2 1/2 個號頭。

比較鄭豐聰與英國鞋具公司之足部特徵和鞋楦需求，可以驗證東方人與西方人楦頭長度、圍度之差異性。也可看出因為這些鞋楦大都早期由國外引進再加以修飾。其對照尺寸完

全以西方規格丈量，如大人每個鞋號差距，足長約 16mm，圍度差距不大，東方人則足長差距 8mm，圍度尚需依個人胖瘦加以增減。

2. 足圍與楦圍

足圍是行動時足部產生彎曲的關鍵，它承受人體重量和各種動作的負荷，如果最初鞋楦圍度的設計無法配合人體足部，則不僅鞋具穿著不舒服，也容易造成鞋趾部位的磨損。現將各項足部圍度功能敘述如下：

足背圍(Instep girth)：影響足部穿脫鞋具之方便性。

足腰圍(Waist girth)：影響足部與鞋具之間的滑動性以及貼腳性。

足掌圍(Ball girth)：是合腳及舒適的關鍵部位。過大時會影響行走滑動，容易造成足部疲勞，過小時則會造成足趾變形。

足圍與足長一樣，也會受氣候和溫度的變化影響產生膨脹或縮小情況，行動時，也會導致尺寸的改變。一般足部的「寬鬆範圍感覺極限值」，男子為 6mm，女子為 2mm，而楦圍與足圍的關係為：楦圍 = 足圍減去足部觸感舒適寬裕數值。依據一般足型度量規格表之參考數據，調整腳型，即可得約略之鞋楦特徵圍度數據。

4.1.2 足圍與楦圍寬鬆舒感值預留

以往鞋楦製造其足部與鞋楦寬鬆舒感值數據之保留，僅依傳統經驗之模糊數據應用，並未深入探討足部鞋楦間相關壓力與圍度影響舒適之關聯性。因此本研究認為探討傳統鞋具之「足圍與楦圍寬鬆舒感值」，需從鞋具製程之特徵圍度量測開始，因為此因素影響到足部與鞋楦之適足性。而鞋楦圍度寬鬆舒感值預留可藉由下表(表 4.1)之傳統歐、美、日男性鞋楦規格表中觀察出東西方足型本質上存在的差異，亦可從中了解進口鞋楦影響本土鞋具產業之巨大。

表 4.1 歐、美、日本男性鞋楦規格表

美規鞋楦規格表 (單位 m/m)							
Size	6#	7#	8#	9#	10#	11#	12#
Lengh	255.08	263.34	272.00	280.46	288.92	297.38	305.84
Ball	225.43	238.13	238.13	244.48	250.83	257.18	263.53
Instep	234.95	241.30	247.65	254.00	260.35	266.70	273.05
Waist	228.60	234.95	241.30	247.65	254.00	260.35	266.70
歐規鞋楦規格表 (單位 m/m)							
Size	39#	40#	41#	42#	43#	44#	45#
Lengh	260.68	267.34	274.00	280.66	287.32	293.98	300.64
Ball	214.48	219.48	224.48	229.48	234.48	239.48	244.48

續表-歐、美、日本男性鞋楦規格表										
Instep	244.00	249.00	254.00	259.00	264.00	269.00	274.00			
Waist	237.65	242.65	247.65	252.65	257.65	262.65	267.65			
日規鞋楦規格表 (單位 m/m)										
Size	24#	24.5#	25#	25.5#	26#	26.5#	27#	27.5#	28#	29#
Lengh	245.00	250.00	255.00	260.00	265.00	270.00	275.00	280.00	285.00	295.00
Ball	235.00	238.50	242.00	245.50	249.00	252.00	256.00	259.50	263.00	270.00
Instep	246.00	249.50	253.00	256.50	260.00	263.50	267.00	270.50	274.00	281.00
Waist	238.00	241.50	245.00	248.50	252.00	255.50	259.00	262.50	266.00	270.00

資料來源: (本研究整理)

以東方人(日規)足長 260.00mm 為例(粗體字)，其掌圍 245.50mm、背圍 256.50mm、腰圍 248.50mm，美國人足長 263.34mm、其掌圍 238.13mm、背圍 241.30mm、腰圍 234.95mm，歐洲人足長 260.68mm、其掌圍 214.48mm、背圍 244.00mm、腰圍 237.65mm。東方人雖然足長較西方人短，但其掌圍、背圍、腰圍，卻比他們大了許多，這種狀況連同體系的歐美人身材，其掌圍也有很大的差異。腳型資料量測特徵有許多項目，但在傳統鞋楦設計實務中，實際納入參考的只有足長與足圍兩項。主要原因為：足長是控制鞋具尺碼大小最重要的變因，而在正常的足型中，足圍是穿著適腳與否之關鍵，也是鞋具不需以鞋帶鬆緊來調整尺寸大小的主要原因。因此傳統上認為結合足長與足圍兩項因素，即能設計出滿足大多數消費者之鞋楦。

從上述資料中我們知道，唯有正確量測國人足型，所開發的標準鞋楦才是鞋具設計未來的正確方向。使用西方人或日本人足型設計的鞋楦修改，只能做小部分的外觀修正，對於鞋楦重心主軸與機能角度設置等主要適足性因素，並無法改變。本研究依據傳統製鞋之「經驗慣性因素」，與「鞋足之間存在適足性寬裕空間預留」概念，由專家選定鞋楦、計算調整測試者足部與鞋楦的特徵圍度，配合鞋墊足壓舒適度評價系統分析與實驗，找出適合大眾之鞋楦「適足性寬鬆舒感值」數據，建立此項鞋具快速評量系統。

4.1.3 鞋楦適足性設備與評量

本階段研究在於整合各種科學性理論與設備，應用於最適鞋楦之選擇系統，主要在於解決消費者足部與鞋楦寬裕度契合問題、解決因溫度與溼度增加，導致鞋內壓力升高引起的足部不適問題。研究內容；主要利用逆向工程量測技術，建立測試者足部與樣本

鞋楦之 3D 空間資料，取得相關足型與鞋楦之特徵圍度，再應用模糊理論與層級分析法，進行足部與樣本鞋楦特徵資料分析，藉以取得最適合測試者穿著之鞋楦。現代鞋楦設計大多經由電腦系統輔助，而 3D 足型量測，則是目前能夠快速且正確取得足部特徵圍度數據之方法。本研究搭配自動化足型分析，從足型資料中取得鞋楦設計所需參考之圍度尺寸，再轉換至電腦分析系統，進而將數據儲存到資料庫中。供後續鞋楦快速篩選系統應用，儀器設備應用流程如下（圖 4.2）：



。 圖 4.2 電腦設計系統與量測設備應用流程圖(本研究整理)

1. 研究設備-三次元足型量測儀

本研究利用三次元量測儀 CMM (Coordinate Measuring Machine) 來取得測試者足型資料，同時將點資料輸出，經由試算表軟體計算特徵點後再輸入 3D 資料，透過軟體加以分析，取得各部特徵尺寸(圖 4.3)。現將 CMM 腳型量測儀的設備規格與量測方法、量測姿勢與量測程序介紹如下：此腳型量測儀可分為線性掃瞄機體與主控電腦兩大部分。線性掃瞄機由機械平台、傳動軸與雷射測頭組成，傳動軸為單方向，依掃瞄方向帶動支架上四個雷射測頭，同時為取得 3D 圖檔，四個雷射測頭並未安置在同一平面上。

線性掃瞄機由電腦控制測可前後移動及掃描，四個雷射測頭沿掃瞄方向同動，每組雷射測頭包含雷射鎗、CCD 照相機及反射鏡。雷射鎗產生一個光平面，再與人體表面相交形成一條光曲線；反射鏡以傾斜的角度將光曲線映射在 CCD 的相片面上。感光器

成像的位置可以求出光曲線上點的平面坐標，再經由移動軸上的解碼器取得深度座標，就可以得到點的空間座標。

量測儀下方由強化玻璃支撐，左側站姿量測式兩側並裝置腳踏與前方扶手，避免量測時因重心不穩而移動，影響掃瞄結果。右側坐姿量測式則沒有扶手（圖 4.4），腳型量測儀的規格如下（表 4.2）。

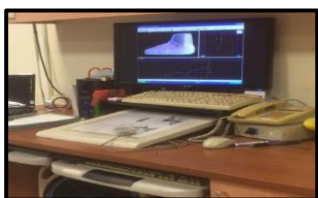


圖 4.3 電腦操控系統(本研究整理) 圖 4.4 扶手站立量測與坐姿踏板裝置(本研究整理)

表 4.2 站立型 3D 腳型量測儀規格表

規格項目	數值
量測範圍	350mm(D) 200mm(W) 200mm(H)
量測解析度	0.8mm
量測精度	±0.3mm
取點率	56000/sec.
掃瞄時間	<6sec.
雷射功率	3mWatt

資料來源:(本研究整理)

本研究採用扶手站立型量測設備，由鞋技中心提供兼派專家指導。

2. 量測方法-量測姿勢與量測程序

Mochimaru et al. (2000)利用三度空間腳型量測所做的腳型調查，其採用的是站立、雙腳均分全身重量的量測姿勢，適度的考慮到因體重負荷所帶來的腳型擴張，本研究亦採用同樣的量測姿勢。根據英國鞋技中心(SATRA)、美國鞋類工業同業公會 (Footwear Industries of America, FIA)、以及日本製鞋工業所採用的腳型量測標準程序，透過專家討論，訂定了以下的標準腳型量測程序：

量測時段調整在下午時間，使測試者受環境影響的條件一致。

配置兩人在現場，一人操作儀器與校正儀器，另一人指導與調整測試者姿勢。

量測之前，記錄測試者姓名、年齡、身高、體重等基本資料，加以編號。

量測之前先請測試者清潔腳底，避免髒污附著在儀器之上增加量測困擾或。

量測時，以右腳量測。

量測時，採用立姿量測。站立量測時請測試者握住輔助支架，避免晃動，同時將雙腳平放，重心平均分佈於雙腳之上，如（圖 4.5）。



圖 4.5 量測姿勢示意圖(本研究整理)

量測時要求測試者將腳後踵與第二趾方向連線、即腳的中心軸方向與量測儀上所標定的掃描方向保持平行，以求固定腳之軸向，便於後續腳型軸向調整、座標轉換、尺寸擷取與資料處理工作。

研究採用之腳型資料分析以足中軸法為基礎，足中軸法是以第二趾尖與踵點連線為長度基準軸，以通過踵點與此線垂直的另一條切線為寬度基準軸（圖 4.6）。針對以第二足趾為最長之高比例的東方人，足中軸法可以正確反映腳長之尺寸，同時在鞋楦製作上與楦底中心軸的方向也較一致，讓分析出來的尺寸不必經過複雜的角度轉換計算，可直接提供鞋楦製作參考。

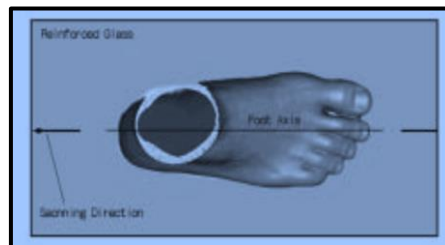


圖 4.6 腳中心軸向定法（右腳）（畫面截圖）

3. 人體部與樣本鞋楦量測

設計合適的鞋具，應先瞭解人體足型與鞋楦設計尺寸之間對應關係，不同的人其足型外觀、圍度、大小都有差異性，這些因素都會影響穿著鞋具的舒適與否，因此在探討鞋具之鞋楦設計前，需要先對人體足部量測架構有所了解，方可進一步地取得正確無誤的相關數據。況且鞋楦是鞋具生產中最重要的一個骨幹。鞋楦外形是依據足部形狀加以修飾與平滑化，加上鞋具特殊設計機能特徵需求。傳統鞋楦製作，通常需要透過以下幾個特徵位置參考，方能製作出一雙理想之鞋楦。

長度方面：楦體長、腳掌著地點與腳跟著地點長。

寬度方面：腳趾寬、腳掌寬與腳跟寬。

高度方面：腳趾高度、腳掌高度、足弓高度、腳背高度，檯尖蹠度與鞋跟高度。

圍度方面：趾圍、掌圍、腰圍、短跟圍與長跟圍。

曲線弧度方面：後跟弧度與足背弧度。

配合一般鞋檯設計規格需求，以及這些數據內含之機能與型態意涵，本研究依據鞋具設計量測所需特徵，整理出(表 4.3)的鞋檯設計規格與足型量測尺寸對照表。

表 4.3 鞋檯設計規格與足型量測尺寸對照表

鞋檯機能區域	鞋檯設計規格	相關足型計測尺寸
足趾區	檯體長	足長 (Foot Length)
	檯趾寬	足趾寬 (Toe Width) 第一趾角度 (1th Toe Angle) 第五趾角度 (5th Toe Angle)
	檯趾圍	依檯頭形式設定，縮率計算變化大
足掌區	腳掌著地點長	內側足球點長 (Medial Ball Length) 外側足球點長 (Lateral Ball Length)
	檯掌寬	足掌寬 (Ball Width)
	檯掌圍	足掌圍 (Ball Girth)
足背區	檯背高度	足背高 (Instep Height)
	檯高背圍	足高背圍(Hight Instep Girth)
足弓區	檯足弓高度	足弓高 (Arch Height)
	腰圍	足腰圍 (Waist Girth)
	背圍	足背圍 (Instep Girth)

資料來源:依據(林承哲，2002)整理

此為配合一般鞋檯製造規格，所訂定之相關足型量測對應尺寸，亦是必要的量測尺寸。本研究考量足部穿著舒適度之提高，在足型量測上，除了原有的五個圍度，再加上趾圍與高背圍，作為後續鞋具快速篩選系統需要的設計特徵，藉此取得到最為適合之鞋檯。

4. 足部與樣本鞋檯外型特徵擷取流程

(1) 外型之 STL (Stereo Lithography)圖形檔案：

以三次元量測儀 CMM 取得之測試者足部與樣本鞋楦龐大點群資料，需要透過相關逆向工程處理軟體進行雜訊消除、點群數合併與縮減等工作，最後再將點群三角網格化，並儲存成 .STL 檔案格式。

3D 座標轉換與校正

進行樣本鞋楦特徵分析前，須先將鞋楦置於空間平台上旋轉、並調整至正確的契合位置與方向，方可找出正確的共同特徵資料(圖 4.7)，至於足部，利用前述 3D 腳型量測儀取得之三度空間足部檔案資料，必須先對此資訊進行足型圖檔修補、網格數的縮減、軸向調整與座標軸轉換之工作，處理後以模型 Y 軸方向做為鞋楦與足型的長度方向，Z 軸方向為鞋楦或足部高度如 (圖 4.8)。

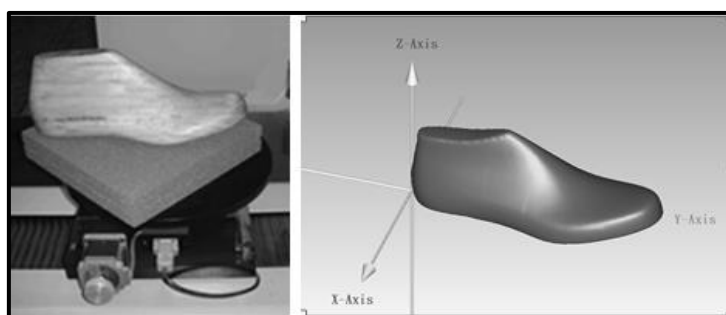


圖 4.7 鞋楦置放平台與方向校正(本研究整理)

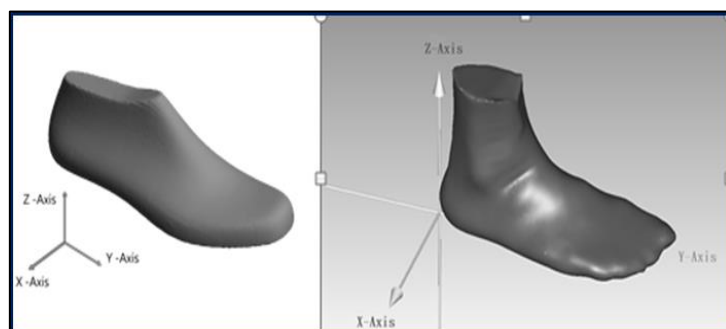


圖 4.8 鞋楦與足部參考座標位置(本研究整理)

(2) 足部與鞋楦特徵點辨識

所有足楦量測方法，都是以鞋楦跟部踵點與鞋楦尖端點(圖 4.9)為基準，因此必需先找出這些點位置，再以這些點來決定樣本鞋楦與測試者足型圖檔最後的擺放位置。首先以足跟部踵點與足部前端第二趾尖點之連線為長度方位的基準軸方向 FA (圖 4.10)，有關樣本鞋楦踵點、鞋楦尖端點和測試者足部踵點 p1 (圖 4.11)、第二趾尖點 p3 (圖 4.12)，由於這兩點分別位於足部、鞋楦模型上兩端最遠距離。故將這兩個位置，定義為距離最長的兩個點。因此 p3 可以將這兩個局部區域上點線抓出，如下圖所示，最後找出最長距離的兩點即為所求 (圖 4.13)。找到踵點以及楦尖端點或第二趾尖點之後，需使這兩

點的連線平行 Y-Z 平面，計算由這兩點所構成的向量，可得知鞋楦或足部模型須繞著 Z 軸旋轉角度 θ ，方可使之與 Y-Z 平面平行（圖 4.14）。

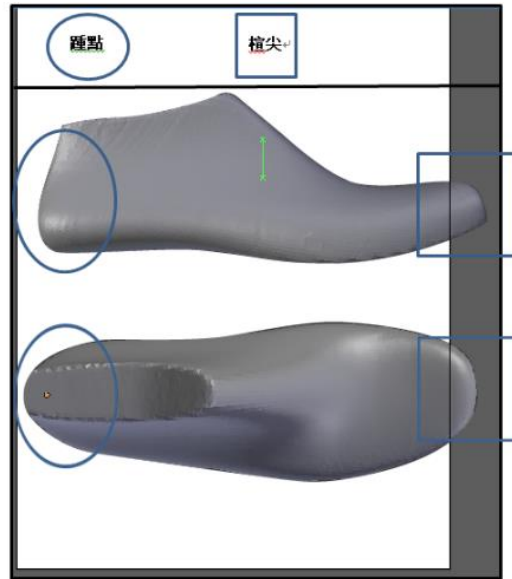


圖 4.9 尋找踵點、楦尖端點(本研究整理)

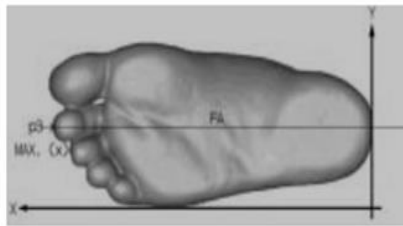


圖 4.10 足長點位置

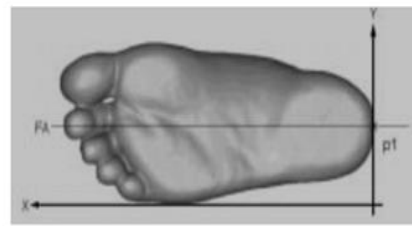


圖 4.11 踵點位置

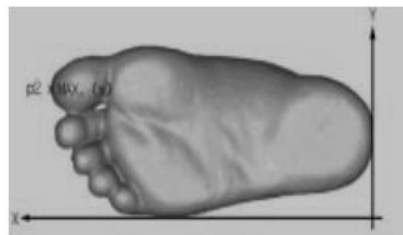


圖 4.12 第二趾尖點位置



圖 4.13 足中心軸位置

踵點： $A(x_1, y_1, z_1)$ 楦尖端點或趾尖點： $B(x_2, y_2, z_2)$

θ 值如公式 4-1、4-2 所示。

$$\overline{AB} = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) \quad (4-1)$$

$$\theta = \tan^{-1}(x_2-x_1/y_2-y_1) \quad (4-2)$$

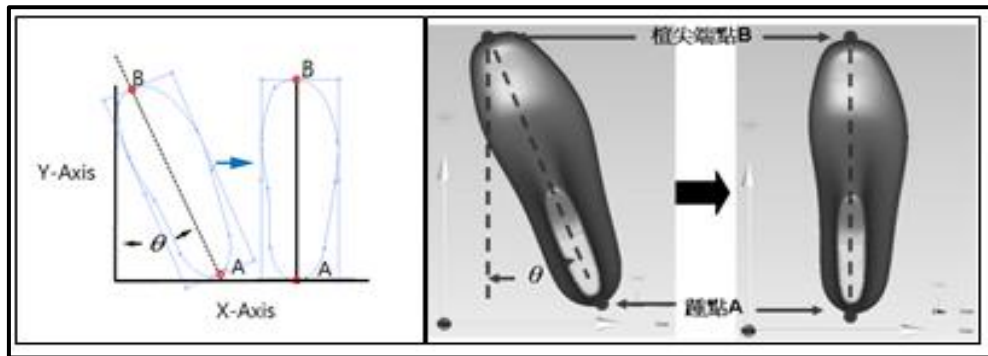


圖 4.14 旋轉校正角度計算(本研究整理)

5. 足部與樣本鞋楦各項重要特徵量測計算

(1) 建立辨識圍度特徵點與平面

由第二章文獻探討得知，足部與鞋楦的圍度量測，其圍度擷取皆由辨識足部或鞋楦外形，表面上的特徵點而得知。故透過 3D 掃描所得的點群資料，後續需要透過公式運算，即三角網格切層法，才能轉換成足部與鞋楦的圍度特徵數據，在此程序執行之前，本研究把 STL (Stereo Lithography)圖形檔案，圍度特徵建立流程圖（圖 4.15）。

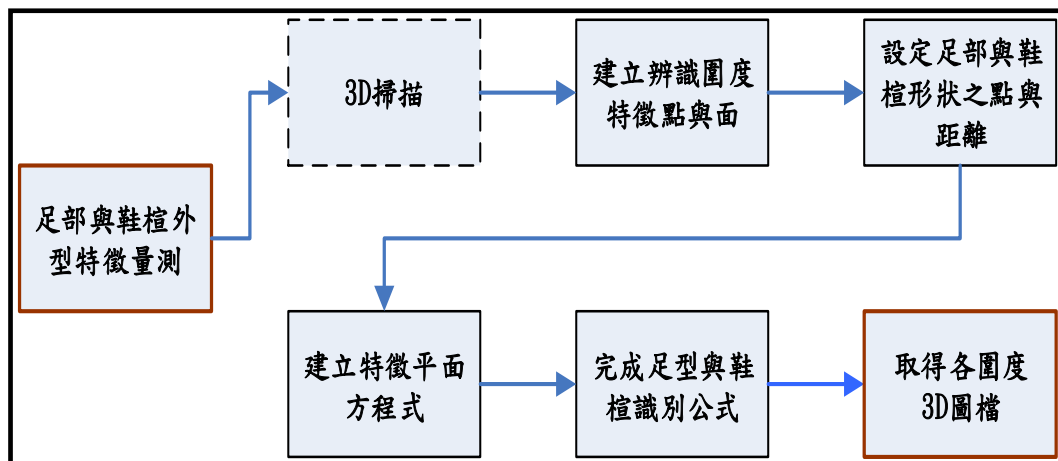


圖 4.15 圍度特徵建立流程圖(本研究整理)

探討鞋楦設計，必須先了解有關鞋楦與足部幾個重要特徵 Bernabéu et al. (2013)。現這些特徵點辨識方式，分別敘述於下。並將足部特徵點與圍度示意圖詳列於（表 4.4）。

a. 足掌圍與楦掌圍

足掌圍之定義為拇趾靠近本節骨外側最凸點，與小趾本節骨外側最凸點，環繞腳底至腳背一圈的長度。依據足部圖檔在投射平面之空間座標即可找出此兩特徵點

內側足球點：是拇趾靠近本節骨外側之最凸點，也是足部表面兩點座標中，X 軸座標較小值之點。（圖 4.16.P4）

外側足球點：就是小趾本節骨外側最凸點，也是足部表面兩點座標中，X 軸座標較大值之點。（圖 4.17.P5）

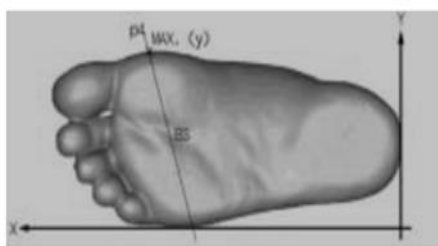


圖 4.16 內側足球點.上

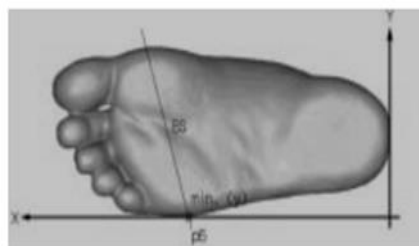


圖 4.17 外側足球點.下

連結此兩點成一直線，以此線平行 Z 軸而形成一剖面，此剖面與足部 STL 三角網格交點之集合即是足掌圍，如（圖 4.18）。而楦掌圍兩特徵點分別位於楦底的投射平面上，在輪廓線之內測與外側最突出位置點，如下（圖 4.19）所示

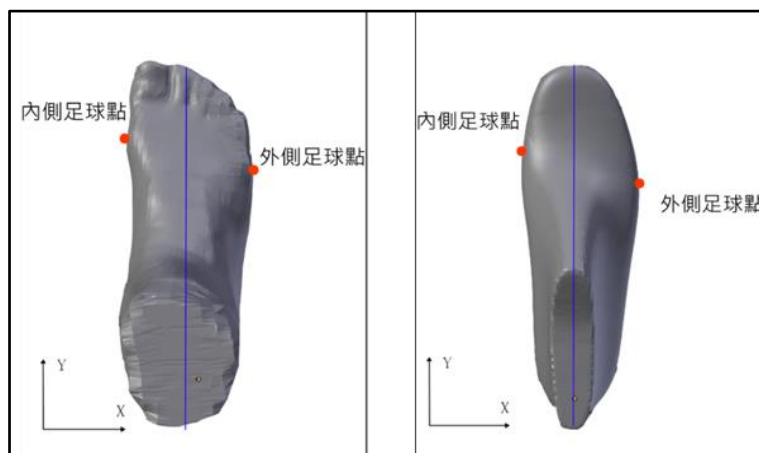


圖 4.18 足掌圍特徵點

圖 4.19 楦掌圍特徵點

b. 足背圍與楦背圍

足背圍是足底中線 50%位置的點 M，與腳尖方向的最長點 F 連線，兩點連成之直線在 Y 軸上，平行 X 軸並向上旋轉至足背之交點 MI，M 與 MI 兩點連成剖面線，此剖面線平行 Z 軸即構成足背剖面，此剖面與足部 STL 三角網格交點之集合即為足背圍，如（圖 4.20）所示。

早期人工量測係在鞋楦全長二分之一處，以布尺繞過鞋楦背部中點一圈，即為鞋楦之背圍，足背圍量測方法與楦背圍相同，如（圖 4.21）。

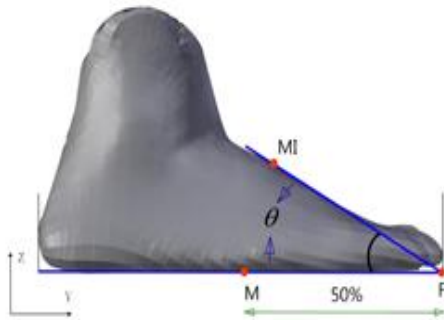


圖 4.20 足背圍特徵點

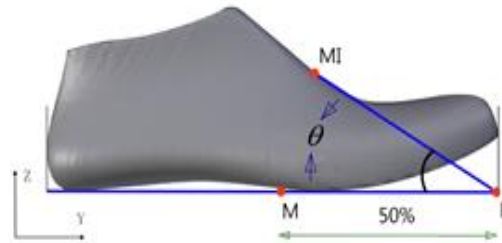


圖 4.21 楦背圍特徵點

c. 足腰圍與楦腰圍

足腰圍位於足掌圍與足背圍中間，在所有足弓剖面線中，剖面圍度最小者即是腰圍剖面線，以此剖面線平行 Z 軸即可構成足腰剖面，此剖面與足部 STL 三角網格交點之集合即為足腰圍，楦腰圍量測方法與足腰圍相同，如（圖 4.22）、（圖 4.23）所示。

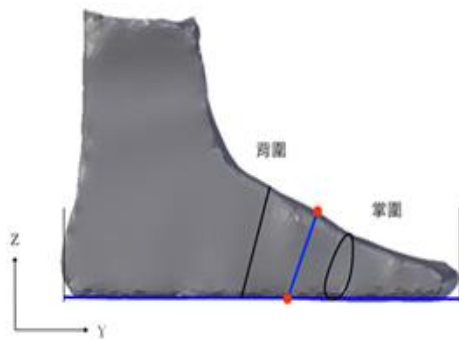


圖 4.22 足腰圍特徵點

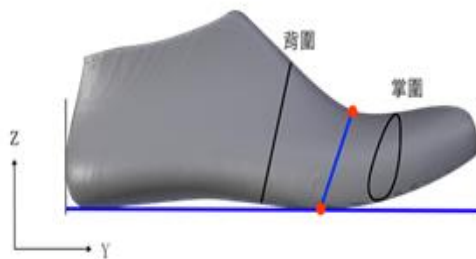


圖 4.23 楦腰圍特徵點

d. 足高背圍與楦高背圍

在足型側面投影中，在 Y 軸最短處找到座標 B 點，與足中線之 50% 位置 M 點，在 Y 軸上連接此兩點之直線，沿 Z 軸平行 X 軸向上旋轉至腳背線之交點 HI，B 點與 HI 點連成一剖面線，以此剖面線平行 X 軸即構成足一高背剖面，此剖面與足部 STL 三角網格交點之集合即為高背圍，楦高背圍量測方法與足高背圍同，如（圖 4.24）、（圖 4.25）所示。

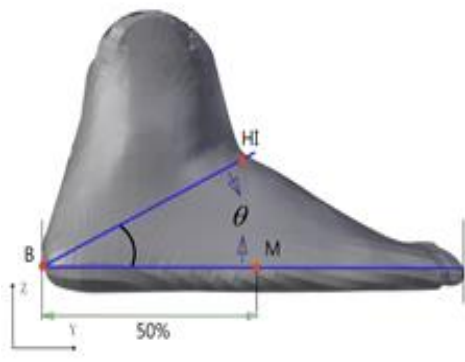


圖 4.24 足高背圍特徵點

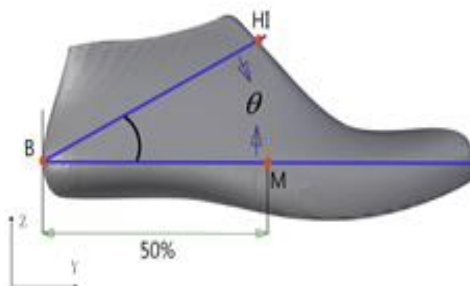


圖 4.25 楦高背圍特徵點

e. 足趾圍與楦趾圍

找到位於足中線上端 85% 的位置 D 點，與 X 軸上 75% 位置之法線，以外側足球點為方向，與足部輪廓線產生交點 T1，D 與 T1 兩點連成足趾剖面線，以此剖面線平行 Z 軸即可形成足趾圍剖面，此剖面與足部 STL 三角網格交點之集合即為足趾圍，楦趾圍的量測方法與足趾圍同，如（圖 4.26）（圖 4.27）。

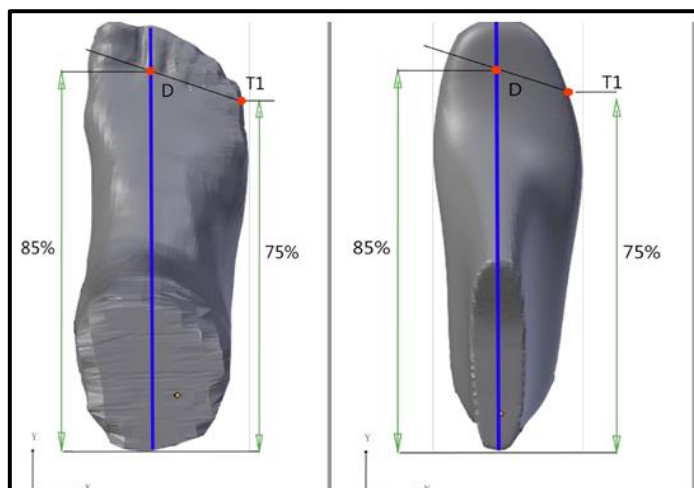
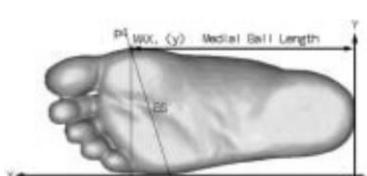
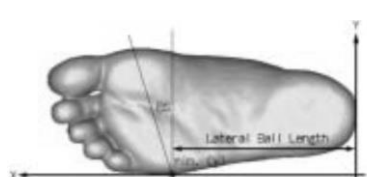
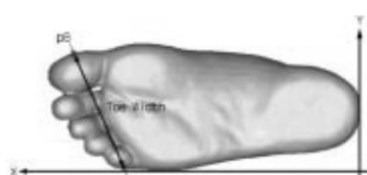

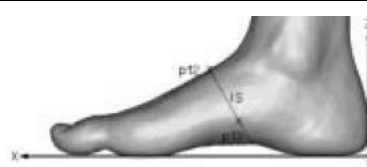

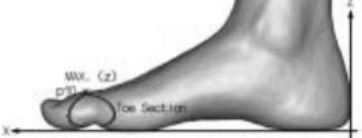


圖 4.26 足趾圍特徵點

圖 4.27 楦趾圍特徵點

表 4.4 足部特徵點與圍度示意圖

名稱	圖示
足長 (Foot Length)	 <p>A 3D model of a foot from a dorsal perspective. A vertical line at the heel is labeled 'pC'. A horizontal line from the tip of the longest toe to the heel is labeled 'Foot Length'. A coordinate system with X and Y axes is shown at the bottom.</p>
內側足球點長 (Medial Ball Length)	 <p>A 3D model of a foot from a dorsal perspective. A point on the medial ball is labeled 'p1 (Mx, Cy)'. A horizontal line from this point to the heel is labeled 'Medial Ball Length'. A point 'p5' is marked at the heel. A coordinate system with X and Y axes is shown at the bottom.</p>
外側足球點長 (Lateral Ball Length)	 <p>A 3D model of a foot from a dorsal perspective. A point on the lateral ball is labeled 'p2 (Lx, Cy)'. A horizontal line from this point to the heel is labeled 'Lateral Ball Length'. A point 'p5' is marked at the heel. A coordinate system with X and Y axes is shown at the bottom.</p>
足趾寬 (Toe Width)	 <p>A 3D model of a foot from a dorsal perspective. A horizontal line across the widest part of the toes is labeled 'Toe width'. A point 'p5' is marked at the heel. A coordinate system with X and Y axes is shown at the bottom.</p>
足掌寬 (Ball Width)	 <p>A 3D model of a foot from a dorsal perspective. A diagonal line across the ball of the foot is labeled 'Ball Width'. A point 'p4' is marked at the toe end and 'p5' at the heel. A coordinate system with X and Y axes is shown at the bottom.</p>
足掌圍 (Ball Girth)	 <p>A 3D model of a foot from a lateral perspective. A horizontal line around the ball of the foot is labeled 'Ball Girth'. A coordinate system with X and Z axes is shown at the bottom.</p>
足腰圍 (Waist Girth)	 <p>A 3D model of a foot from a lateral perspective. A horizontal line around the ankle area is labeled 'min. circumference'. A point 'p10' is marked on the ankle. A coordinate system with X and Z axes is shown at the bottom.</p>
足背圍 (Instep Girth)	 <p>A 3D model of a foot from a lateral perspective. A horizontal line around the instep is labeled 'Instep Girth'. Points 'p12' and 'p13' are marked on the instep. A coordinate system with X and Z axes is shown at the bottom.</p>

足高背圍 (High Instep Girth)	
足趾圍 (Toe Girth)	

資料來源:依(林承哲, 2002)整理

(2) 建立特徵圍度平面方程式

不管是人體足部還是鞋楦，圍度特徵的擷取都是由辨識、搜尋足部或是鞋楦外形，其表面上的特徵點而得之。這些特徵點被辨識、尋找到後，即可根據這些特徵點來建立特徵平面方程式。相關鞋楦與足部特徵平面方程式之建立可分為下列幾種。

a. 由一個特徵點所定義(如：足腰圍、楦腰圍)

若一個平面法向量 $\vec{n} (a, b, c)$ 通過一個特徵點 (x_1, y_1, z_1) ，則此平面方程式之公式(4-3)為：

$$d = ax_1 + by_1 + cz_1 \quad (4-3)$$

b. 由二個特徵點所定義(如：足掌圍、楦掌圍)

定義為由兩特徵點連線並平行於 X、Y、Z 任意之一軸，此兩點為空間中任意兩點，其空間座標分別為 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) ，其平面方程式為 $ax + by + cz = d$ ，因此 a、b、c、d 四個係數值可由以下條件求得(如足掌圍、楦掌圍)。

平行於 X 軸，此四個係數值，如公式(4-4)所示：

$$a=0, \quad b=z_2-z_1, \quad c=y_1-y_2, \quad d=y_1z_2-z_1y_2 \quad (4-4)$$

平行於 Y 軸，此四個係數值，如公式(4-5)所示：

$$a=z_2-z_1, \quad b=0, \quad c=x_1-x_2, \quad d=x_1z_2-z_1x_2 \quad (4-5)$$

平行於 Z 軸，此四個係數值，如公式(4-6)所示：

$$a=y_2-y_1, \quad b=x_1-x_2, \quad c=0, \quad d=x_1y_2-x_2y_1 \quad (4-6)$$

〔範例〕以足掌圍為例，需找出足型的內側足球點與外側足球點。這兩點在定義上分別為足部模型在空間座標中，X 軸方向上之較大與較小值點。此兩點空間座標分別為

(x_1, y_1, z_1) 以及 (x_2, y_2, z_2) ，以這兩點的連線並平行 Z 軸即為足掌圍平面，應用公式(4-6)：

$$a=y_2-y_1, \quad b=x_1-x_2, \quad c=0, \quad d=x_1y_2-x_2y_1$$

c. 由三個特徵點所定義(如足趾圍、檯趾圍)

由三個特徵點所定義的空間中任意不共線三點，空間座標分別為 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3) ，其平面方程式為 $ax+by+cz=d$ ，其中 a、b、c、d 四個係數值，如公式(4-7)所示：

$$a=(y_2-y_1)(z_3-z_1)-(z_2-z_1)(y_3-y_1)$$

$$b=(z_2-z_1)(x_3-x_1)-(z_3-z_1)(x_2-x_1)$$

$$c=(x_2-x_1)(y_3-y_1)-(y_2-y_1)(x_3-x_1)$$

$$d=ax_1+by_1+cz_1 \quad (4-7)$$

(3) 3D 模型切層演算法

快速原型係以疊層製造 (Layered Manufacturing) 之迭代算法 (Iterative algorithm) 來進行，其過程係以 2.5D 薄層堆疊成 3D 實體，每一個 2.5D 薄層之幾何形狀都由運算實體模型與水平切層面之交集而得，其切層演算程序如下：

a. STL 三角網格式

標準模板庫 STL (Stereo Lithography) 圖形檔案，係由許多小三角平面集合構成之實體模型，小三角平面是由三個頂點與一個單位法向量描述，各頂點都有一組 X, Y, Z 座標，單位法向量可指出哪個三角平面是面向於物體的外側。STL 檔案格式有兩種，一種為 ASCII (American Standard Code for Information Interchange) 格式，另一種則是二進位 (Binary) 格式。(Chua, 2003)

本研究將掃描取得之鞋檯與足部 3D 點群圖檔，透過三角網格化後，以 ASCII 純文字格式之 STL 檔案儲存，供後續系統讀取與處理。現將 ASCII 格式的 STL 圖形檔案介紹如下 (圖 4.28)。現以當中一個三角平面結構演算紀錄為例

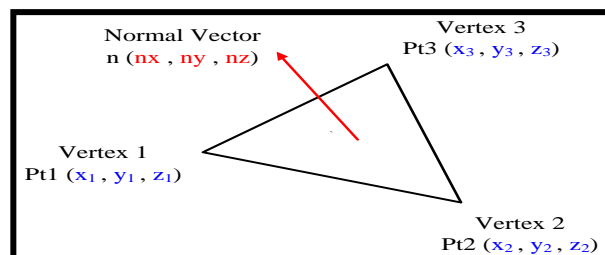







圖 4.28 STL 之三角平面演算資料結構。依(王中行等人，2003)整理
(正常面 $n_x n_y n_z$ 頂點 1 $x_1 y_1 z_1$ 頂點 2 $x_2 y_2 z_2$ 頂點 3 $x_3 y_3 z_3$)

STL 存在逆時轉向特性，說明檔案中資料之先後順序，亦即法向量符號 n 是由 Pt1-Pt2 向量與 Pt2-Pt3 向量的外積而產生，facet normal 記錄此三角平面的法向量 n_x 、 n_y 、 n_z ，而 vertex 三點，是分別記錄此三角平面三個頂點之 X、Y、Z 座標，在檔案格式中以七行為一組，記錄所有三角平面。在後續演算處理上，只要讀取三頂點之 X、Y、Z 座標與法向量即可。

b. 三角網格切層法(Triangle Slicing)

鞋楦與足型特徵圍度，皆從特徵平面與楦足之 STL 檔案，計算其切層平面與各個三角平面交集之結果。因此需要針對各種三角平面與切層平面交集之狀況，進行探討。一般 STL 中任何一個三角平面，其與切層平面可能之交集，有 5 種情況，敘述如下(表 4.5)：

表 4.5 三角網格相交類別

(a)三角平面其中兩邊與切層面相交	
(b)三角平面之一點與切層面一邊相交	
(c)三角平面有一邊位於切層平面上	
(d)三角平面之一頂點與切層面相交	
(e)三角面與切層平面共平面	

資料來源：依據 Choi (2002)整理

從(a)、(b)、(c)三種情況知道，每個三角平面皆可求得兩交點，(c)情況表示三角平面只有一邊在切層平面上。(d)、(e)兩種雖然有交集情況，但仍被視為無交點，故不進行交點運算。蓋(d)情況中交點已由緊鄰的其它三角平面求得，如同(b)之情況。(e)情況中交點也由其他緊鄰的三角平面計算而求得，如同(c)之情況。

統合這五種相交情況，最後只需針對(a)、(b)、(c)三種處理運算，說明如下(圖 4.29)：

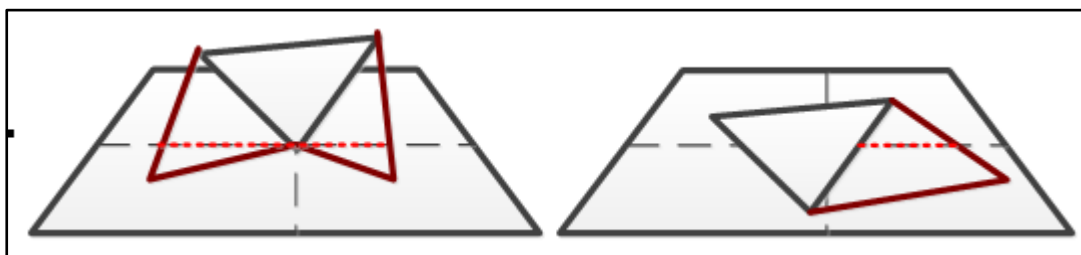


圖 4.29 三角網格與切層平面(d)(e)相交之種類。依據 Choi (2002)整理

(d)(e)黑框三角雖無交點，緊鄰其他三角紫框則有交點可供計算

綜合上述所得結論為，只要三角平面與切層平面相交具兩個交點，且滿足圖(a)(b)(c)情況，此兩交點即為所求，交點判斷與計算可從下面兩個情況討論。

c. 計算三角平面三頂點是否位於切層平面

將三頂點座標帶入切層平面方程式

三頂點座標 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2) 、 (x_3, y_3, z_3)

其切層平面方程式為 $ax + by + cz = d$

$ax_1 + by_1 + cz_1 = d$ ，該頂點 (x_1, y_1, z_1) 即為所求。

$ax_2 + by_2 + cz_2 = d$ ，該頂點 (x_2, y_2, z_2) 即為所求。

$ax_3 + by_3 + cz_3 = d$ ，該頂點 (x_3, y_3, z_3) 即為所求。

d. 計算切層平面是否與三角平面三邊相交

將三頂點中任意兩點形成線段，分別與切層平面進行相交，而切層平面是否通過這兩點間，可由下述條件判別：

空間中兩點座標為 (x_1, y_1, z_1) 、 (x_2, y_2, z_2)

其切層平面方程式 $ax + by + cz = d$

$$(d - ax_1 - by_1 - cz_1)(d - ax_2 - by_2 - cz_2) < 0 \quad (4-8)$$

如公式(4-8)小於 0 成立，則此平面方程式必然通過這兩點之間，如(圖 4.30)所示：

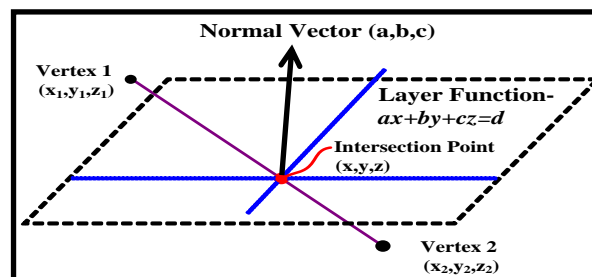


圖 4.30 切層平面通過兩點之間與其交點(曹文彬，2007)

當確定某三角平面與切層面有交點，即可進行交點座標運算，三角形兩邊與切層面相交之兩點，分別利用內插法，以快速求得其交點。如公式(4-9)所示：

交點座標 (x, y, z)

$$x = x_1 + (x_2 - x_1)t$$

$$y = y_1 + (y_2 - y_1)t$$

$$z = z_1 + (z_2 - z_1)t$$

$$t = \frac{d - ax_1 - by_1 - cz_1}{a(x_2 - x_1) + b(y_2 - y_1) + c(z_2 - z_1)} \quad (4-9)$$

如前述兩種狀況所求之點數和為 2，則此兩點空間座標即為所求，特徵平面與這些三角平面相交之兩點形成的線段，即是構成圍度之輪廓線段，結合所有線段即可構成完整的圍度輪廓線。有關網格切層法之運算流程，敘述如下（圖 4.31）：

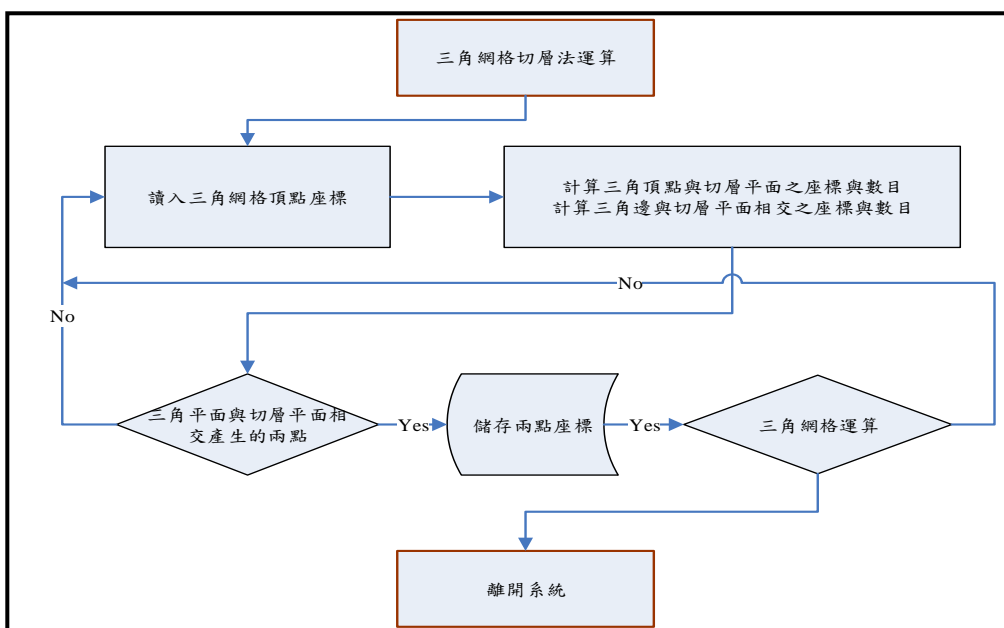


圖 4.31 三角網格切層法運算流程(本研究整理)

6. 適穿寬鬆舒適感值數據-觸感壓值(Sense Threshold)

應用模糊理論進行相關設計特徵之分析比對，即透過三次元量測系統，可準確地建立樣本鞋楦與人體足部之三度空間圖檔，再依此資料找到鞋楦設計所需的關鍵特徵圍度，分別為長、寬、掌圍、腰圍、背圍、高背圍與趾圍。由於鞋楦這些特徵圍度影響鞋具穿著時，人體足部能接受過緊或寬鬆的舒適感覺，本研究即依據測試者特徵足圍與樣本楦圍之寬裕適腳尺寸，所產生的人體穿著舒適感寬裕數據，找到適合個人的鞋楦。

傳統文獻上「舒感壓值」(Sense Threshold)是鞋具設計製造時，為了穿著之適足性與舒適度，預留適當的舒適寬裕數值，此項數據雖然稱為壓值，卻是一種厚度數據單位(英國傳統固特異手縫鞋製作公司,2004)(鄭豐聰,1998)。本研究藉由穿著鞋墊之足壓降低資料，

取得中底之舒適寬裕數值，將之定義為「寬鬆舒感值」，因為配合最初使用之足壓量測實驗，簡化名稱，在鞋楦快速篩選系統上簡稱之為「舒感壓值」。

人體足部受到鞋具內部空間束縛，其肌肉神經會對鞋具裡面各部位產生舒適與否之觸覺，進而影響個人的穿著感。如果空間設計不良，經由長時間接觸壓迫，對於人體足部的健康也會有不良的影響。因此在鞋楦設計實務中，傳統上有一項促進人體足部寬裕舒適度的運用法則，即是足圍(FG)與楦圍(LG)的設計關係為足圍減去足部之「觸感壓值(ST)」即為楦圍，如公式(4-9)所示。

$$L_G = F_G - ST$$

$$ST_F = L_R - L_T$$

$$S = F_G - L_G \text{ 與 } S_F = (L_T + 2\text{mm}) - (L_G + 2\text{mm}) \quad (4-9)$$

以一般腳型為例，足長(F_L)為 260mm，足寬(F_W)為 105mm，足掌圍(F_G)為 251mm，因此可依據其資料找出長、寬適中且具各種不同圍度的鞋具測試，結果以楦圍 245mm 之鞋具穿著最舒服，因此可認定 245mm 圍度(L_G)之鞋具最適合測試者，如此可將其“觸感壓值(S)”定義為 6mm。再進一步測試，研究尚發現圍度在 242-249mm 範圍內之鞋具均適合穿著，只是前者 242mm 緊些(L_R)，而後者 249mm 鬆些(L_T)。圍度如超出此範圍，即可能造成過於緊鬆而導致穿著的不適。故認定此人在鞋具選擇寬鬆範圍應為 249-242=7mm，這 7mm 即為“適穿的觸感壓值(S_F)”。

4.2 鞋楦適足性量測系統設計

根據 4.1.2 章節詳述之方法；從辨識特徵點以建立特徵平面、應用 STL 三角網格切層法與內插法計算，針對所讀入之人體足部以及鞋楦 STL 模型檔案進行分析與運算，此項操作系統除了可以得到準確的特徵圍度數據資料，亦可進一步取得這些特徵圍度於 3D 空間的幾何形狀等，系統架構流程如(圖 4.32)：

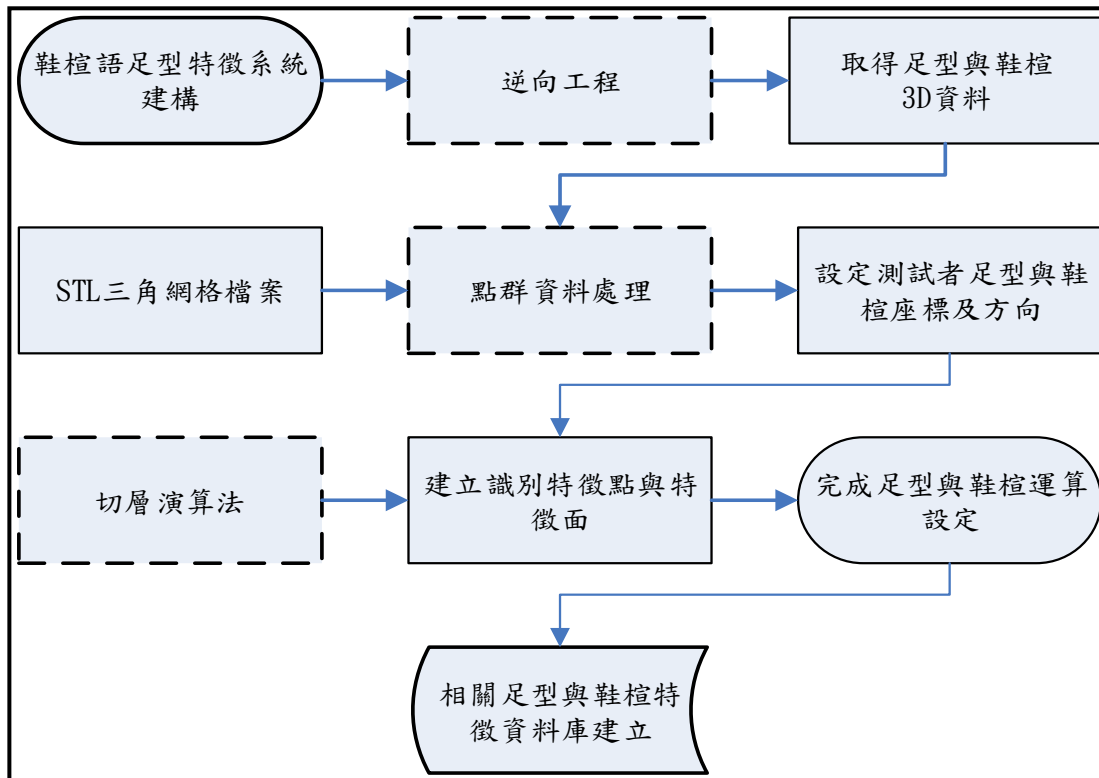


圖 4.32 特徵擷取與分析運算流程圖(本研究整理)

4.2.1 鞋楦適足性量測系統建構

本單元研究以 Matlab 程式建構一套自動化運算系統，整個架構可分為兩部分：一為擷取樣本鞋楦以及測試者足部特徵資料；另一則應用模糊理論建立分析與搜尋系統，計算足圍與楦圍兩者在圍度上之模糊設計關係，並產生排序，做為後續篩選合適鞋楦之依據。

本研究首先以逆向工程量測，取得測試者足部以及樣本鞋楦外形之空間點群資料，並使用 Geomagic 軟體進行轉換座標、雜點消除、三角網格化等工作。故在後續分析處理，需要讀入龐大的點群座標數據並加以運算，基於 MATLAB 專長於矩陣相關數值運算，對空間座標與各種數據資料，具強大且快速的處理能力，因此本單元的鞋楦足型量測系統之設計驗證，將運用前述之文獻資料方法與理論，完成相關計算和分析。

1. 測試者足部與樣本鞋楦特徵擷取

以 Matlab 程式撰寫，運用其內含圖形使用者介面 GUI(Graphic User Interface)，建立一項自動化視窗操作介面，如(圖 4.33)所示。逐一針對樣本鞋楦以及測試者足部外形 STL 圖形檔，進行各項特徵尺寸量測擷取與運算。

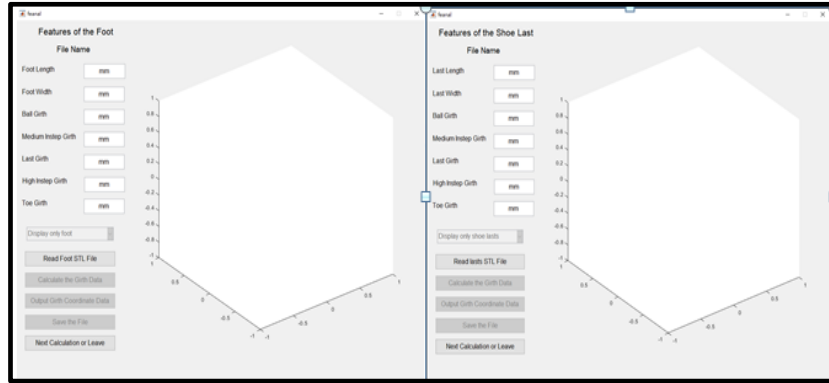


圖 4.33 鞋(圖左)足(圖右)特徵擷取分析操作介面(畫面截圖)

Matlab 系統介面左上方訊息欄文字，顯示計算讀取之各項特徵圍度，左下範圍，為使用功能鍵，功能涵蓋讀取、計算、儲存以及離開系統程式，右邊則顯示所讀入計算之腳型或鞋楦外觀。

(1) 檔案讀取選項

開啟操作系統介面視窗，畫面顯示要求操作者選擇所要分析之類型，如(圖 4.34)中間所示。為了可在系統中直接進行足部與鞋楦的特徵擷取，操作者須在一開始進入系統時選擇要進行分析的類型，分別對鞋楦(Shoe Last Model)或是足部(Foot Model)進行分析運算。

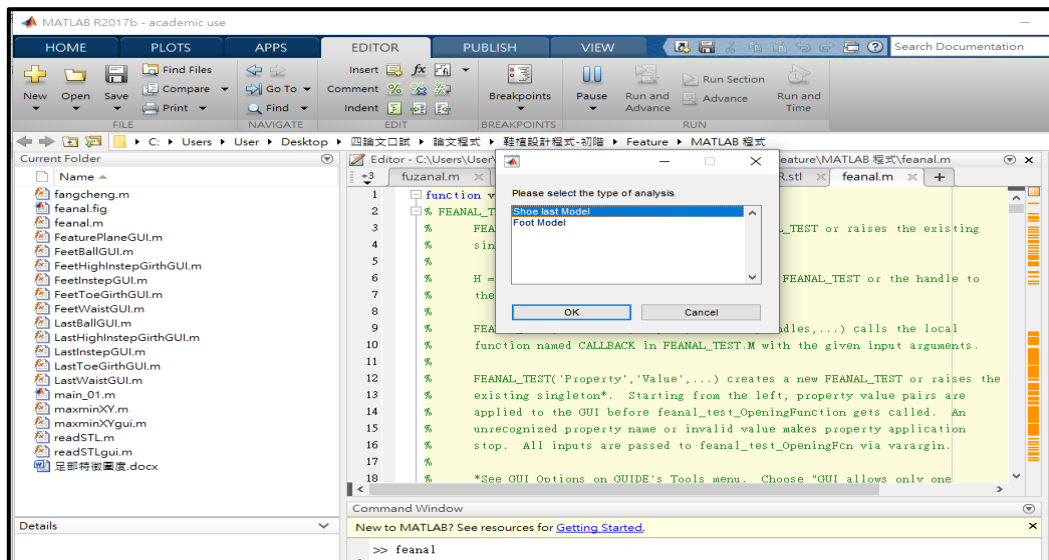


圖 4.34 選取分析類型對話框(畫面截圖)

研究基於擷取物件之外形，係以三角網格之 3D 圖形檔案 STL 格式，作為最終的檔案儲存，因此有關資料讀取、輸入，系統只接受 ASCII 格式的 STL 圖形檔案，無法讀取

其它格式圖形檔案。依據讀取選項，系統只針對鞋楦或人體足部外形進行分析、計算，如果讀入非此類型之 STL 圖形檔，將使系統在後續分析運算上產生錯誤之解答。

進行檔案讀取過程中，首先系統將依據先前選擇之類型，自動運算並取得讀入物件之長與寬。此外，系統也會自動進行各個圍度之特徵點辨識，並根據這些特徵點計算取得其特徵平面與圍度尺寸。此階段讀入物件之長與寬將顯示於(圖 4.35)視窗中左上方訊息欄內，物件之外形則顯現於右方的圖形欄中。

(2) 特徵圍度分析與運算

讀取鞋楦或足型 STL 檔案後，接著進行長度、寬度、掌圍、腰圍、背圍、趾圍以及高背圍之擷取與計算，透過系統運算所得數據將呈現於左方訊息欄(圖 4.35)。各特徵圍度數據也可以在右邊視窗足楦 3D 圖形欄中，操作點擊視窗中之按鈕來顯示足楦模型之各特徵圍度資料曲線，結果如 (圖 4.36)、(圖 4.37)、(圖 4.38)、(圖 4.39)及(圖 4.40)(圖 4.41)。

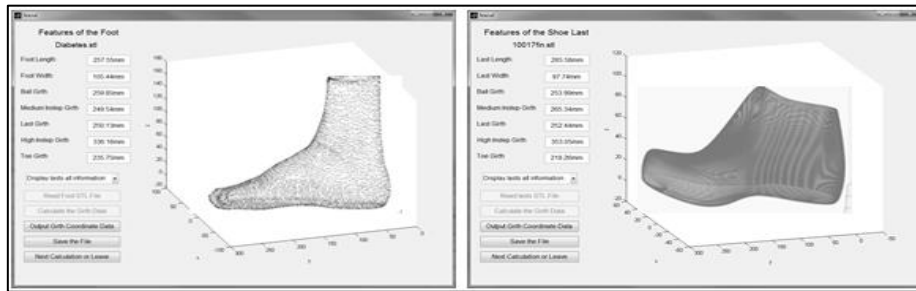


圖 4.35 擷取足楦外型特徵(畫面截圖)

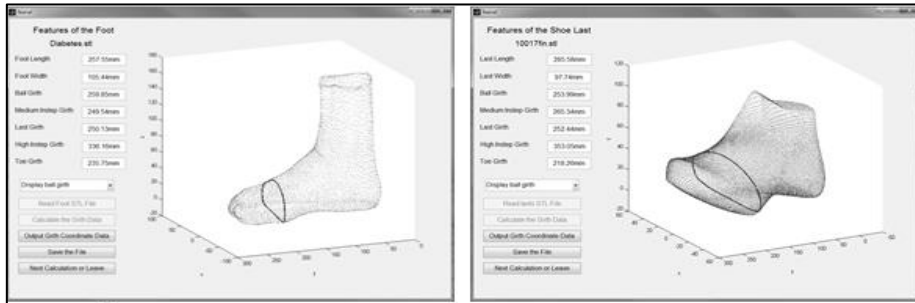


圖 4.36 足楦掌圍 (Ball Girth) (畫面截圖)

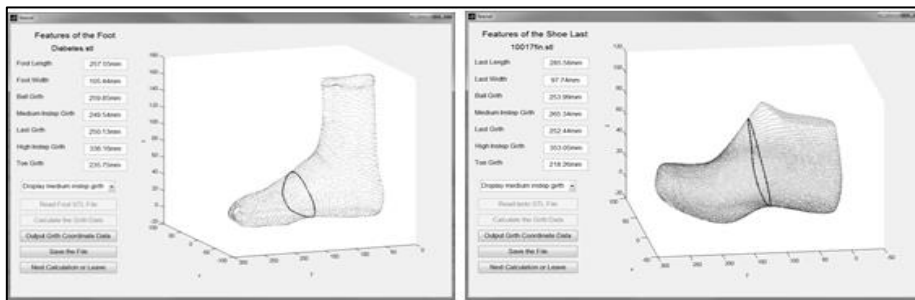


圖 4.37 足楦背圍 (Medium Instep Girth) (畫面截圖)

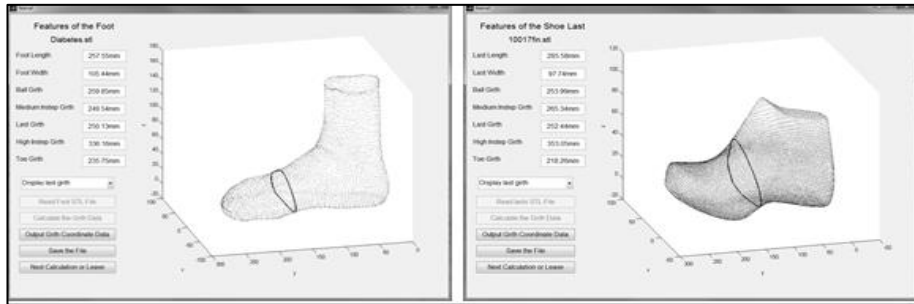


圖 4.38 足楦腰圍 (Waist Girth) (畫面截圖)

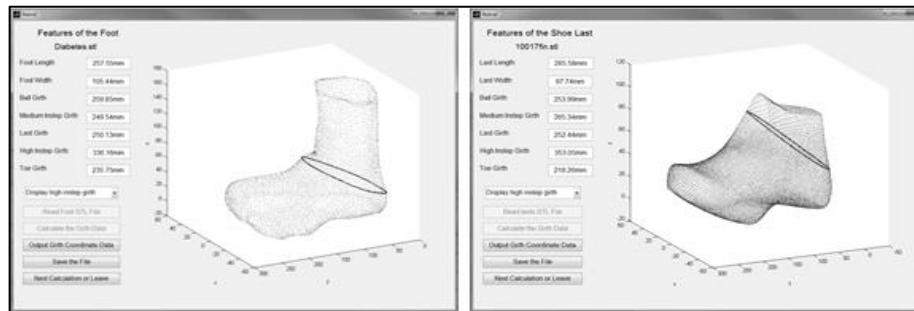


圖 4.39 足楦高背圍 (High Instep Girth) (畫面截圖)

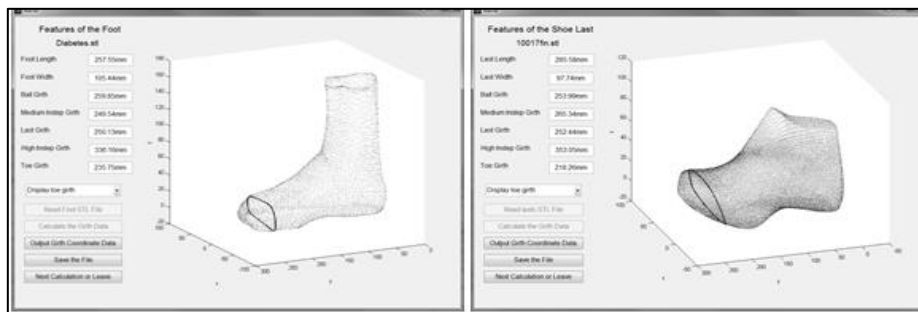


圖 4.40 足楦趾圍 (Toe Girth) (畫面截圖)

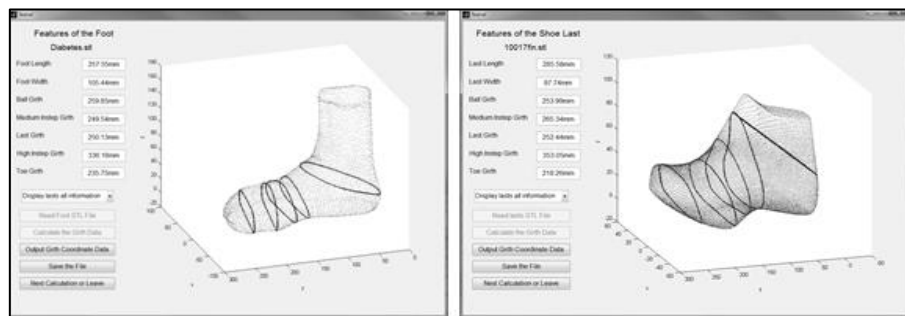


圖 4.41 足楦各項圍度資料顯示(畫面截圖)

(3) 資料輸出與存檔

完成所有特徵圍度擷取與運算後，最後再將這些結果輸出或儲存。

輸出資料這部分，系統將各圍度點座標以 ASCII 純文字格式輸出，操作者可以點擊操作視窗中的輸出圍度座標功能鍵，開啟選擇對話框，再將座標資料輸出成 Geomagic 或 Auto CAD 可以讀入之格式，如下(圖 4.42)所示。



圖 4.42 輸出格式選擇對話框(畫面截圖)

輸出座標檔案可讀入於 Geomagic 中並顯示，也可以讀入 Auto CAD 中，利用 Auto CAD 將這些座標資料連結成曲線，本研究為了後續鞋楦快速選擇系統之需要，能更精確的取得足部與鞋楦特徵圍度，在控制介面上輸出格式採用 Geomagic。

讀入 Geomagic 的點座標資料格式，如下所示。其 x 、 y 、 z 分別為點座標，中間以空白間隔表示分隔符號。

x y z

輸出座標檔案讀入於 Geomagic 顯示如下(圖 4.43)。

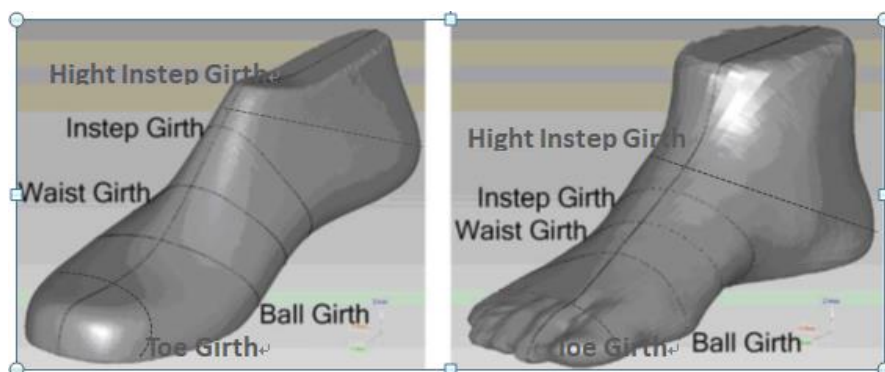


圖 4.43 圍度座標資料讀入於 Geomagic 中(本研究整理)

在檔案儲存這方面，系統提供 Matlab 的檔案儲存格式(*.mat)，將所有計算結果儲存，另外系統也提供將所有特徵數據儲存於 Excel 的檔案格式(*.xls)中。這些檔案將使用於後續模糊分析之比對與歸屬度運算，操作者可點擊視窗中的儲存檔案功能鍵，將資料儲存，檔案儲存後，可點擊操作視窗中的離開功能鍵離開系統。系統儲存之各特徵圍度數值 Excel 檔案格式，如下(表 4.6)、(表 4.7)所示：

表 4.6 輸出足部特徵數據之儲存格式

檔名	足 長 (mm)	足 寬 (mm)	足掌圍 (mm)	足背圍 (mm)	足腰圍 (mm)	高背圍 (mm)	足趾圍 (mm)

(本研究整理)

表 4.7 輸出樣本鞋楦特徵數據之儲存格式

檔名	楦 長 (mm)	楦 寬 (mm)	楦掌圍 (mm)	楦背圍 (mm)	楦腰圍 (mm)	高背圍 (mm)	楦趾圍 (mm)

(本研究整理)

(4) 實驗假設

由文獻探討與長年累積的鞋技經驗，知道傳統製鞋方式只要取得足型徑距長度 (length)、掌圍度 (ball girth)、腰圍 (waist girth)、足背圍度 (instep girth)，再加上預估鞋墊厚度與鞋子之空間後，將所量得數值與楦頭比對後直接製作鞋楦。

本研究透過專家訪談，統合傳統鞋楦設計製造，將此實驗設定幾項重要因素；1. 鞋具號數選擇與個人足部長度量測有其規則性，此項規則由來已久，甚至已經成為消費者購買鞋具的第一項量測要素。2. 鞋楦製造設計時必須考慮未來鞋墊與襪子的厚度加總與氣候運動因素。3. 鞋楦與足部存在著些許的適穿空間，即是鞋具穿著的適足性，此項適穿空間是上述的「寬鬆舒感值」，也是鄭豐聰 (1998)與游志堅 (1999)所提的「適穿觸感數值」，是研究首項足壓與鞋墊舒適度評價實驗取得之特徵數據。4. 配合傳統鞋楦量測，為了更精確得知舒適度空間的精確性，本研究再加上趾圍與高背圍兩部分圍度。

4.2.2 樣本鞋楦與測試者足部資料建立

1. 鞋楦樣本取得與掃描工作

實驗採用之逆向工程量測設備為雷射三次元掃描系統，對於鞋楦的掃描工作，以鞋技中心研究室之設備—智泰 LSH 800 3D 雷射掃描器完成此工作，其量測精度為 0.05mm，如(圖 4.44)所示。對於測試者足部掃描，也以鞋技中心的雷射掃描設備 CANFIT-PLUS 雷射掃描器完成人體足部外形之掃描，其量測精度為 0.5mm，如(圖 4.45)所示。



圖 4.44 智泰 LSH 800 3D 雷射掃描器



圖 4.45 CANFIT-PLUS 雷射掃描器

此項設備應用上較傳統接觸式掃描設備實用，畢竟鞋楦以及人體足部皆由不規則曲面構成，使用非接觸式雷射系統掃描，其速度更快、且不會損害被掃描物件之外形。因此非接觸式雷射掃描系統成為本研究取得測試者足部與樣本鞋楦外型資料的最佳工具。在鞋楦樣本之取得，本研究所採用之 20 支鞋楦，主要為男性休閒鞋、右腳、大小 8 號、9 號，分別來自不同廠商的鞋楦。

由於鞋技中心研究室之掃描設備無法一次掃描，即可得到完整的鞋楦與足部外形圖檔，通常需要以四個角度方向進行掃描，以致會產生多筆的 STL 點群資料。因為後續系統執行讀取之需要，這些圖檔須於 Geomagic Design 中進行點群修補與疊合等相關工作，藉以得到更為完整的外型特徵圍度數據。

2. 點群處理、座標轉換、三角網格化

(1) 點群處理

從各個角度方向所取得之點群資料進行定位、合併，最後得到一個完整的足部與鞋楦外形點群資料(圖 4.46)。

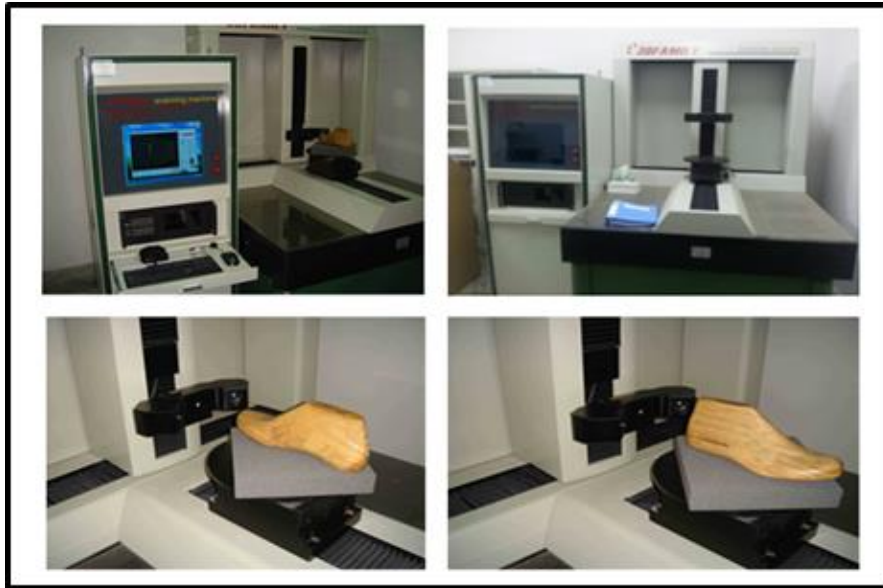


圖 4.46 鞋楦掃描過程(本研究整理)

在完成取得所有兩者點群資料之後，接著在 Geomagic Design 中進行各足部與鞋楦之點群處理工作，得到足部與鞋楦完整外形點群圖檔之後，接續要進行雜訊點之去除，以及將龐大的點群資料縮減成只有數萬筆的點群資料。為了後續系統特徵圍度之易於讀取，本研究把將每支樣本鞋楦以及測試者足部的點群資料，控制在 15,000 點，藉以增加系統運算速度與減少讀取之錯誤(圖 4.47)。

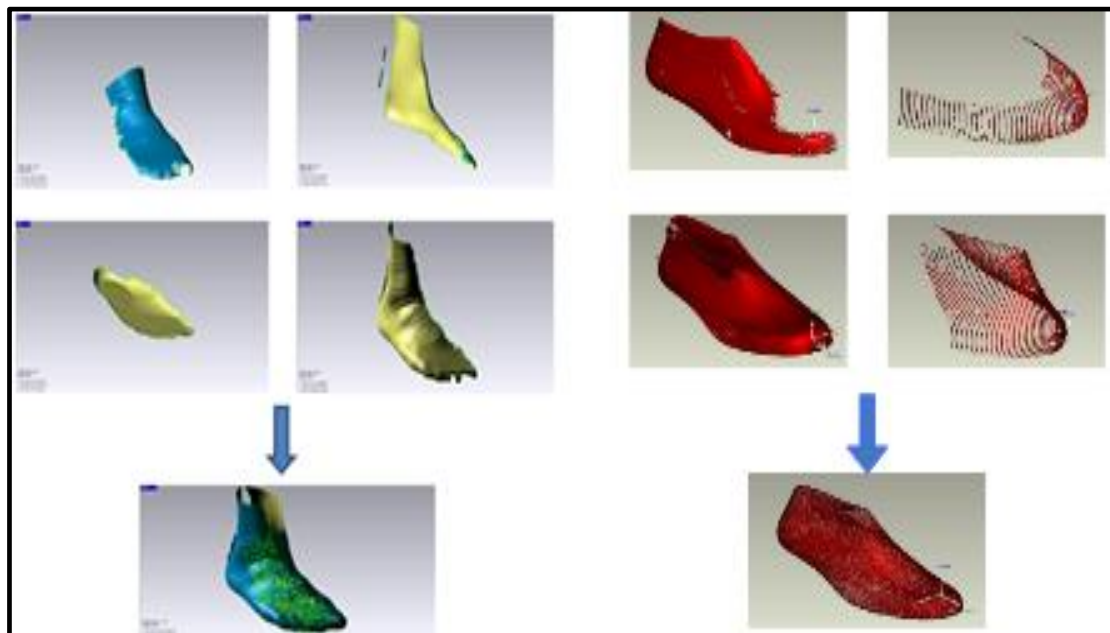


圖 4.47 應用 Geomagic Design 的足部修補與鞋楦點群疊合(畫面截圖)

(2) 座標轉換

系統要自動的擷取鞋楦、足部特徵，必須先將物件擺放到正確的位置與方向上，使系統能正確辨識各個特徵點以進行擷取。在完成所有鞋楦以及足部樣本的點群處理工作後，接續還要於 Geomagic Design 中將鞋楦與足部點群模型旋轉、移動到正確的位置與方向。本研究所有樣本鞋楦與足部模型，其方向、位置大致都遵循相同的規則，此部分已於之前三角網格切層法中詳細說明，最終完成座標轉換之鞋楦、足部點群資料。其位置、方向如下(圖 4.48)所示。

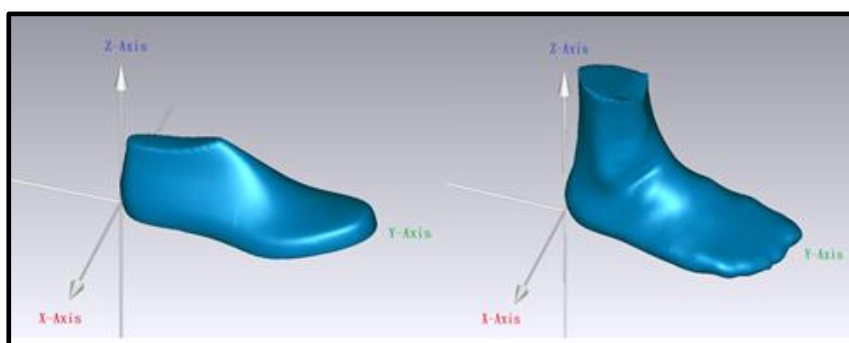


圖 4.48 完成座標轉換的鞋楦與足部(畫面截圖)

(3) 三角網格化

完成上述工作，接著即是將足楦點群資料轉換成三角網格之圖形檔案格式，即是 STL 格式之 3D 圖形檔案，此部分操作也是應用 Geomagic Design 進行。每一個完成三角網格化的鞋楦與足部 3D 模型，其三角網格數則均控制在 50,000 個以內，如(圖 4.49)所示。而最後將所有的 STL 網格檔案以 ASCII 文字格式儲存，並應用於後續舒適鞋具篩選評量系統之讀取與運算。

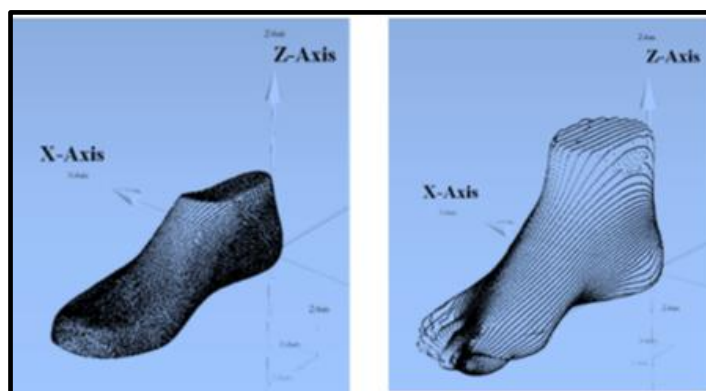


圖 4.49 足楦點群三角網格化(畫面截圖)

4.3 鞋楦圍度適足性評量系統執行

4.3.1 樣本鞋楦、測試者足部特徵資料分析運算

將已完成座標轉換之各個樣本鞋楦與測試者足部外型 STL 檔案，輸入本研究建立的 MATLAB(圖形使用者介面 GUI)特徵圍度擷取系統進行分析、運算，所得各項結果數據如下(表 4.8)所示。

表 4.8 擷取測試者足部特徵分析之數據資料

檔案(足)	足長(mm)	足寬(mm)	足掌圍(mm)	足背圍(mm)	足腰圍 (mm)	足高背圍 HIG(mm)	足趾圍 TG(mm)
61212F	257.55	105.44	259.85	249.54	250.13	336.16	235.75
61212C	258.77	105.72	252.32	254.12	248.16	337.12	216.89
61212E	260.65	102.54	251.81	254.03	243.66	345.43	212.43
61212B	259.44	99.53	242.43	244.89	235.95	343.33	216.47
61212H	258.55	98.56	244.39	262.28	240.53	341.37	215.49
61212I	255.23	110.51	239.26	235.59	225.28	310.62	215.31
61212K	259.11	100.33	247.57	260.24	245.69	325.34	223.39
61212N	259.45	100.54	256.17	262.34	258.63	355.72	213.24
61212R	256.22	97.23	248.36	258.32	250.54	337.21	212.83
61212S	261.46	98.16	259.58	268.71	256.19	352.64	220.66

資料來源:(本研究整理)

配合實驗需要，本研究從 19 位志願參加系統驗證者【附表 2】，挑選 10 位足號較為接近者，做為測試對象，有關樣本鞋楦挑選，本研究採用英國傳統固特異手縫鞋製作公司，(2004) 研究資料，再依據以往傳統製鞋經驗，將這些測試者足長加上 2 個號頭(英國制)約 16mm-18mm，依個人足型量測數據，調整其腳型的尺寸，即可得到合腳之鞋楦，範圍約略 8 號與 9 號鞋楦(表 4.9)。

表 4.9 透過篩選的 20 支鞋楦特徵圍度數據

檔案 (楦)	長 (mm)	寬 (mm)	掌圍 (mm)	背圍 (mm)	腰圍 (mm)	高背圍 (mm)	趾圍(mm)
7D907.	274.36	97.38	244.19	245.61	239.21	329.69	223.37
9D909.	276.16	93.65	238.22	251.07	235.70	339.34	199.96
10D910	280.71	96.78	248.02	259.15	247.70	348.07	210.80
11D801	275.58	94.32	237.38	248.33	235.89	340.70	210.62
12D802	272.12	95.17	243.98	253.23	244.70	329.88	207.52
13D803	277.28	93.66	245.60	255.25	243.05	339.53	205.82
14D804	274.08	95.50	246.13	247.24	243.74	327.32	211.08
15D805	275.89	91.82	242.90	252.51	240.04	322.54	206.07
16D806	276.18	96.83	244.50	254.43	242.71	336.86	222.58
18D808	272.37	89.90	236.20	252.22	236.03	343.22	199.12
31H801	280.58	96.03	241.69	252.84	240.17	346.88	214.44
32H802	277.12	96.91	248.46	257.89	249.19	335.94	211.33
34H804	279.08	97.24	250.62	251.75	248.19	333.29	214.93
35H805	280.89	93.48	247.30	257.08	244.39	328.39	209.81
37H807	269.36	95.60	239.74	241.13	234.85	323.68	219.30
38H808	277.37	91.55	240.53	256.85	240.36	349.52	202.78
39H809	271.16	91.95	233.90	246.52	231.43	333.19	196.34
40H810	275.71	95.06	243.60	254.53	243.29	341.87	207.04
47H907	279.36	99.15	248.64	250.08	243.57	335.69	227.44
49H909	281.16	95.34	242.53	255.61	239.97	345.48	203.58

資料來源:(本研究整理)

這 20 支鞋楦樣本，廠商在設計製作鞋具時，已加入中底空間預留考量，所以需要再減掉 4 mm 的鞋墊厚度(數據由鞋廠提供)，因此所有的鞋楦圍度長需再減掉中底兩邊的厚度和，也就是 8mm ，結果如(表 4.10)所示。

本研究以此 20 鞋楦做為快速鞋楦評量系統測試樣本，後續再導入測試者足部特徵圍度數據，藉以取得個人最適鞋楦選項。

表 4.10 減去中底厚度之鞋楦特徵圍度數據

檔案 (楦)	長 (mm)	寬 (mm)	掌圍 (mm)	背圍 (mm)	腰圍 (mm)	高背圍 (mm)	趾圍 (mm)
7D907.	274.36	97.38	236.19	237.61	231.21	321.69	215.37
9D909.	276.16	93.65	231.22	243.07	227.70	331.34	191.96
10D910	280.71	96.78	240.02	251.15	239.70	340.07	202.80
11D801	275.58	94.32	229.38	240.33	227.89	332.70	202.62
12D802	272.12	95.17	235.98	245.23	236.70	321.88	199.52
13D803	277.28	93.66	237.60	247.25	235.05	331.53	197.82
14D804	274.08	95.50	238.13	239.24	235.74	319.32	203.08
15D805	275.89	91.82	234.90	244.51	232.04	314.54	198.07
16D806	276.18	96.83	236.50	246.43	234.71	328.86	214.58
18D808	272.37	89.90	228.20	244.22	228.03	335.22	191.12
31H801	280.58	96.03	233.69	244.84	232.17	338.88	206.44
32H802	277.12	96.91	240.46	249.89	241.19	327.94	203.33
34H804	279.08	97.24	242.62	243.75	240.19	325.29	206.93
35H805	280.89	93.48	239.30	249.08	236.39	320.39	201.81
37H807	269.36	95.60	231.74	233.13	226.85	315.68	211.30
38H808	277.37	91.55	232.53	248.85	232.36	341.52	194.78
39H809	271.16	91.95	225.90	238.52	223.43	325.19	188.34
40H810	275.71	95.06	235.60	246.53	235.29	333.87	199.04
47H907	279.36	99.15	240.64	242.08	235.57	327.69	219.44
49H909	281.16	95.34	234.53	247.61	231.97	337.48	195.58

資料來源: (本研究整理)

4.4 小結

藉由本階段鞋楦圍度適足性評量，研究發現傳統鞋具之鞋號規格訂立，有美規、歐規、日規..等，複雜且無一定規則可循 (表 4.1)。從表中可發現東西方足型之種族性差異；西方的足部長度、東方的足背厚度，很難協調與模合，究其原因還是在鞋楦設計製造問題。因此可知現代鞋具內部印製的小型鞋號配合規格之荒謬與不正確，這些是造成消費者穿著不適、引起足部病變，鞋具廠商設計方向錯誤、製程延宕之主要原因，因此適足性研究才是鞋具設計未來的正確導向，而足部鞋楦正確的特徵圍度評量，更是其重要基礎。

第五章 舒適鞋具評量系統建立與實證

本階段研究係將傳統鞋具製造與穿著累積經驗，「鞋足間適穿寬裕度預留」概念，延伸至鞋楦設計。藉由解析足圍與楦圍之間存在的長久模糊寬鬆關係，建構一項搜尋排序的鞋具評量計算法則，方法上以使用模糊理論與層級分析法完成足部與鞋楦之契合分析，藉以快速找出最適合測試者足型之鞋楦。針對如何擷取特徵圍度以及進行系統分析排序，整體研究程序說明如(圖 1.3)之鞋具快速篩選系統設計流程。

5.1 舒適鞋具評量系統建立

考慮足楦之寬鬆舒感值會影響楦圍與足圍之間存在的設計模糊邏輯關係，本研究以模糊理論為基礎，提出建構一項初階搜尋、排序的評估運算法則，使系統能夠依據這套法則從現有的鞋楦資料庫中快速的尋找合適之鞋楦(圖 5.1)。

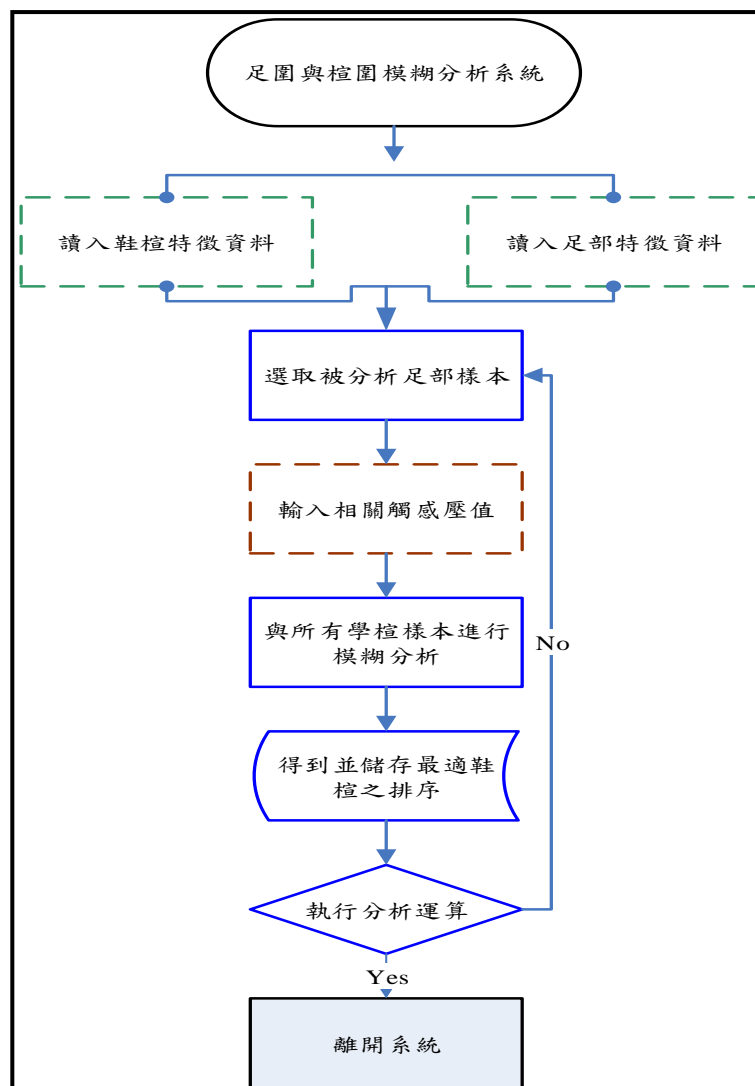


圖 5.1 足圍與楦圍模糊分析系統流程圖(本研究整理)

系統將針對上一章節，透過 3D 掃描量測與三角網格切層運算所取得之樣本鞋楦與測試者足部各項特徵圍度數據資料，配合鞋墊足壓評價取得之鞋足間寬鬆舒感值進行分析與排序。在蒐集的樣本鞋楦資料庫，找到最適合測試者足部的樣本鞋楦排序。

5.1.1. 應用模糊分析與排序

三角型歸屬函式，其數學函式與運算較為簡單，廣為大家所應用，本研究僅以模糊歸屬度大小，作為評估合適鞋楦排序之依據，故選擇以三角型歸屬函式，作為足圍與楦圍之模糊歸屬函式，研究所提出足圍與楦圍之模糊歸屬函式關係如下(圖 5.2)。

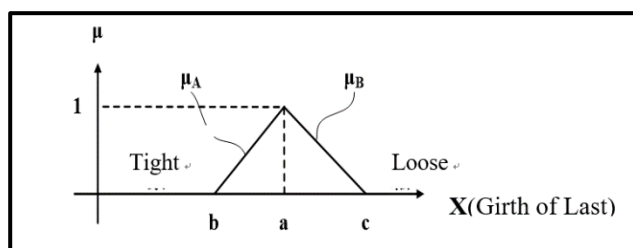


圖 5.2 楦圍 X 與合適楦圍 a 之模糊歸屬函式 Wang (2010)

其中 a 為測試者之足圍與觸感壓值求得之合適楦圍，而 b 與 c 之間則為測試者適穿的鞋楦圍度範圍。楦圍小於 b 則造成太緊之不舒適感，楦圍大於 c 則會造成太鬆之不舒適感。楦圍如果介於 b 與 c 範圍內則可透過歸屬函式 $\mu(x)$ 求得一個 0~1 的歸屬度值，該數值越大者則表示越適合此測試者之足部。依據此法則運算所得歸屬度，可產生適穿鞋楦之排序，最後將這些數值再次評估以找出最合適之鞋楦。楦圍與足圍之模糊歸屬函式運算如公式(5-1)所示： $\mu(x)$ 歸屬函式

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < b \\ (x-b)/(a-b), & b \leq x \leq a \dots \mu_A \\ (c-x)/(c-a), & a \leq x \leq c \dots \mu_B \\ 0, & x > c \end{cases} \quad (5-1)$$

本研究以各圍度之歸屬度大小，利用資料庫中的搜尋或查詢功能，做為合適鞋楦之排序依據。排序的目的是從現有鞋楦中，找出最接近期望值 a 楦圍之鞋楦。b、c 具有人體足部觸感壓值極限之門檻意義，必須透過實驗找出個人之 a、b、c 三個適合人體之感覺數值，當此系統應用於大規模鞋楦設計數據之搜尋時，即可利用 b、c 二值之設定，快速將不符合此二值範圍內之鞋楦先行排除，僅就符合條件之鞋楦再做精確的排序。

模糊歸屬度排序：

1. 五項全部都不為 0
2. 只有四項不為 0
3. 只有三項不為 0
4. 只有兩項不為 0
5. 只有一項不為 0
6. 全部都為 0

在此計算所得各圍度之歸屬度，1 為此檯圍最適合之足圍，0 為不適合之足圍。而介於 0~1 的模糊歸屬度者，值越大代表此檯圍越適合此人足圍的程度。而越多圍度項目之歸屬度不為 0 的鞋檯，代表此檯越滿足此人之足部，所以後續可作一項初步排序。上列為分析五個圍度所得之模糊歸屬度排序。

5.1.2 應用層級分析法 (AHP)找出主要圍度權重值

AHP 的評估尺度有五項等級，(同等重要、稍重要、頗重要、極重要及絕對重要)，可將其量化成 (1、3、5、7、9) 之衡量數值，及四項介於五項基本尺度中間 (2、4、6、8) 之衡量數值。再透過專家問卷得知各個要素間相對的重要性，並建立比較矩陣。因在傳統的 AHP 中，每個成對比較中之比值皆需要有明確數值，方能建立成對比較矩陣，但通常過於主觀、不精確、模糊等問題產生。Buckly (1985) 的方法是要求決策者以梯型模糊數 (Flat or trapezoidal fuzzy number) 取其精確數值，來表示其對兩兩準則間相對重程度的看法，所形成的模糊正倒值矩陣。

目前解 AHP 法可分兩類，一項為特徵值法(Eigenvector Methd, EM)，另一項為數學規畫法。由於本研究選擇以特徵值法解 AHP 並得其權重，因此僅就特徵值法加以介紹，公式(5-2)如下：

a_{ij} 為矩陣 A 中元素，由使用者給予成對比較評估值。

$$\begin{cases} a_{ij} = 1/a_{ji} & , i \neq j \\ a_{ij} = 1 & , i = j \end{cases} \quad i, j = 1 \sim n \quad (5-2)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} w_j = \lambda_{\max} w_j \quad , \quad i = 1 \sim n \quad \rightarrow \quad (A - \lambda_{\max} I) = 0$$

A 為成對比較矩陣。

λ_{\max} 為矩陣 A 的最大特徵值(Eigen Value)。

w_j 對應最大特徵值之特徵向量(Eigen Vector)。

解出之特徵向量 w_j 即為各個要素間的相對權重值。此外計算所得特徵向量，尚需要檢驗此項結果是否合理，這即是「一致性的檢驗」。

Satty (1980) 提出一致性指標 CI (Consistency Index) 做為衡量標準，方法如下列公式(5-3)(5-4)所示

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (5-3)$$

再行定義一致性比率 CR (Consistency Ratio) 公式(4-13)

$$CR = CI/RI \quad (5-4)$$

其中 RI (Random Index) 稱為隨機指標，是隨機產生矩陣之一致性指數值(表 5.1)， RI 值與矩陣階數有關，可由 Satty (1990) 之矩陣階數值中查出對應之 RI 值。

表 5.1 隨機指數值

階數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

資料來源 Satty, (1990) Decision Making For Leaders

Saaty 認為當 CR 值趨近於 1，表示該次評比是隨機產生的，當 CR 值越趨近於 0，表示一致性越高。原則上，當 $CR \leq 0.1$ 是可接受範圍，若 $CR > 0.1$ ，表示該評比是不一致的。

本研究藉由模糊分析所得鞋楦量測圍度歸屬度值 M ，並得到初步排序，然而隨著樣本數的增加，將會產生數個皆符合足圍觸感壓值之鞋楦。因此在後續研究之準確性考量以及方法運用上，需要針對各個圍度相對重要性，賦予權重值 w 再予以比較，因此研究再行使用層級分析法，來處理這些圍度屬性與權重分布的問題，藉以得到綜合評估值 R ，所有的樣本鞋楦可由其 R 值的大小，再進一步做精確的排序，並得到最適合的鞋楦，(所有運算皆使用 MATLAB 程式設計) 公式(5-5)。

$$R = w_B M_B + w_M M_M + w_L M_L + w_H M_H + w_T M_T \quad (5-5)$$

M_B 為掌圍之歸屬度， w_B 為掌圍之權重值(Ball Girth Weights)。 M_M 為背圍之歸屬度， w_M 為背圍之權重值(Medium Instep Girth Weights)。 M_L 為腰圍之歸屬度， w_L 為腰圍之權重值(Last Girth Weights)， M_H 為高背圍之歸屬度， w_H 為高背圍之權重值(High Instep Girth Weights)， M_T 為趾圍之歸屬度， w_T 為趾圍權重值(Toe Girth Weights)。

5.2 鞋具評量系統介面建立

有關應用模糊理論建立的分析、搜尋合適鞋楦系統，本研究是以 MATLAB 之 GUI 圖形使用者介面，建立一項自動視窗操作系統，顯示如下(圖 5.3)所示。

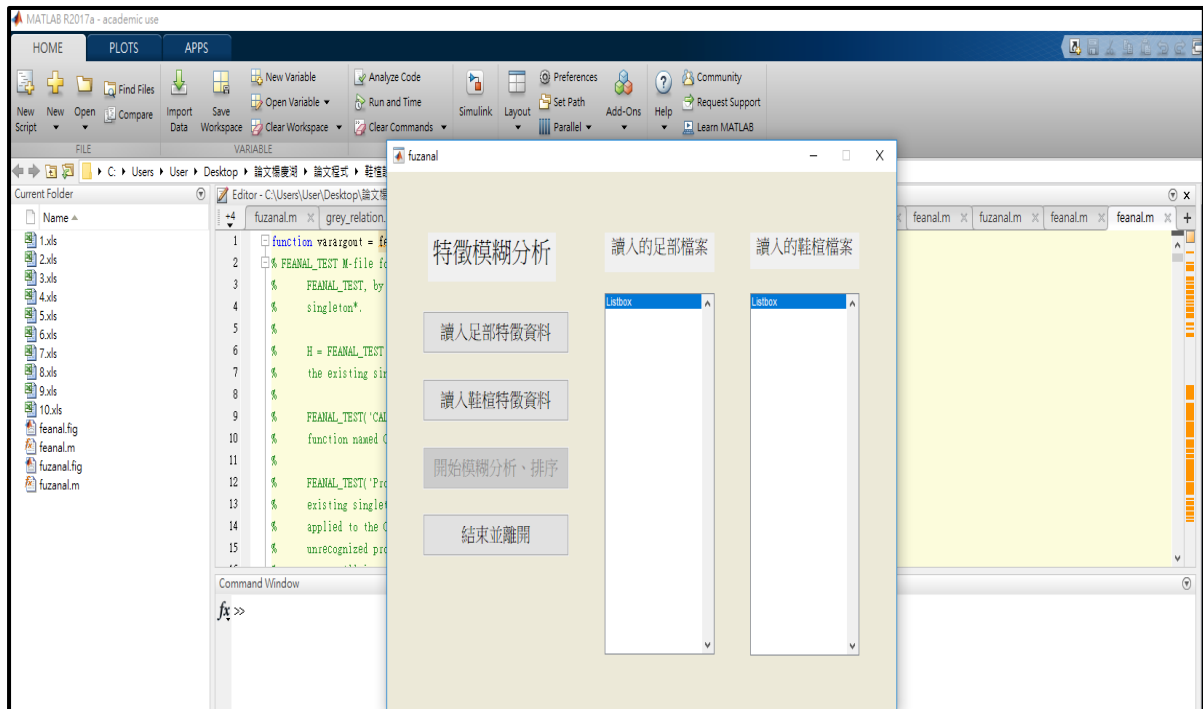


圖 5.3 模糊分析系統操作視窗(畫面截圖)

5.2.1 測試者足部、樣本鞋楦特徵數據讀入

在上一章節中，儲存至 Excel 中的測試者足部、樣本鞋楦特徵數據資料檔，將作為此階段操作系統的讀入來源。操作者需分別點選「讀入足部特徵資料」以及「讀入鞋楦特徵資料」之功能鍵，開啟對話框與讀入相關數據。讀入數據資料後，讀入物件之檔名將顯示於視窗右邊的目錄欄中，操作者可即時知道目前系統讀入物件之資料，如下(圖 5.4)所示。

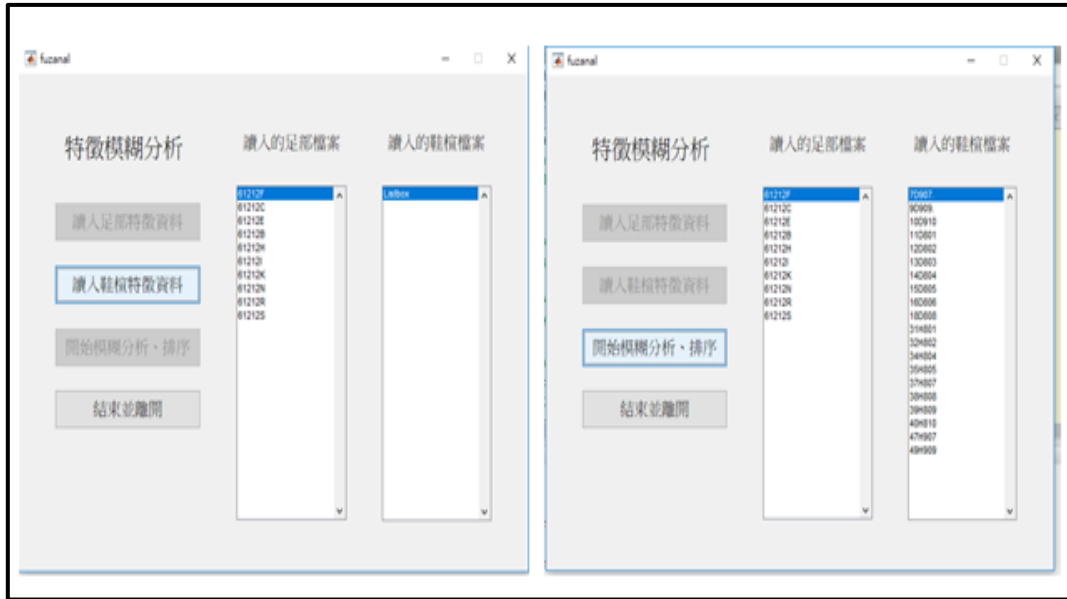


圖 5.4 讀入足部鞋楦特徵數據資料進行分析*.xls(畫面截圖)

5.2.2 模糊分析運算

讀入資料後，直接點選「開始模糊分析、排序」功能鍵，然後系統會要求操作者選取一個測試者足部樣本檔案之特徵數據，進行分析與排序，顯示如(圖 5.5)所示。後續系統將會要求「輸入相關的觸感壓值」即是上一單元所取得之(適穿寬裕數值)，顯示如下(圖 5.6)。

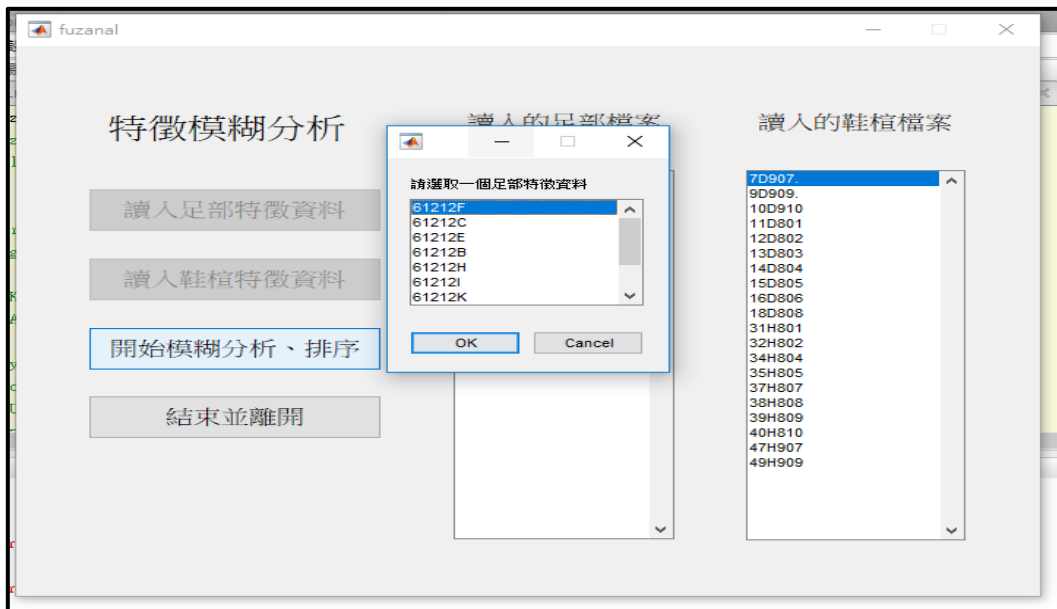


圖 5.5 選取足部樣本資料(畫面截圖)

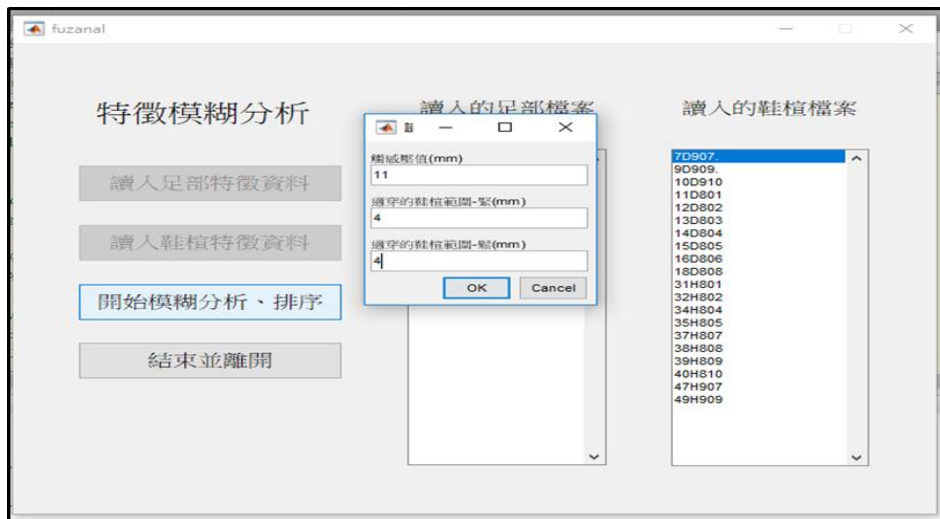


圖 5.6 輸入觸感壓值(適穿寬裕數值)(畫面截圖)

輸入運算，所得結果，系統進行排序，再將其儲存於 Excel 檔案中，顯示如下(表 5.2)。

表 5.2 分析排序結果儲存 Excel 檔案

Untitled					
VarName1	F	VarName3	VarName4	VarName5	VarName6
Text	Number	Number	Number	Number	Number
1 足部受測樣...	61212F				
2 觸感壓值	11	4	4		
3					
4 鞋楦檔案名...	掌圍歸屬度	背圍歸屬度	腰圍歸屬度	足HIG歸屬度	足TG歸屬度
5 14D804	0	0.8250	0.1525	0	0
6 47H907	0	0.1150	0.1100	0.3675	0
7 7D907.	0	0.7675	0	0.1325	0
8 11D801	0	0.5525	0	0	0
9 39H809	0	0.9950	0	0.9925	0
10 10D910	0	0	0.8575	0	0
11 12D802	0	0	0.3925	0.1800	0
12 32H802	0	0	0.4850	0.3050	0
13 34H804	0	0	0.7350	0.9675	0
14 35H805	0	0	0.3150	0	0
15 40H810	0	0	0.0400	0	0
16 9D909.	0	0	0	0	0
17 13D803	0	0	0	0	0
18 15D805	0	0	0	0	0
19 16D806	0	0	0	0.0750	0
20 18D808	0	0	0	0	0
21 31H801	0	0	0	0	0
22 37H807	0	0	0	0	0
23 38H808	0	0	0	0	0
24 49H909	0	0	0	0	0

資料來源:(畫面截圖)

根據上節模糊理論之分析與排序說明，此計算所得到各特徵圍度模糊歸屬度，1 為此樣本鞋圍最適合此測試者足圍；0 為不適合此者之足圍，至於介於 0 至 1 的模糊歸屬度，其值越大者代表此鞋圍越適合此測試者足圍之程度。當越多特徵圍度項目歸屬度不為 0 之鞋圍，即代表越能滿足此測試者之足部，本研究在此作一初步的排序範例說明，即是分析五項圍度所得之模糊歸屬度狀況：

- 1.五項全部都不為 0
- 2.只有四項不為 0
- 3.只有三項不為 0
- 4.只有兩項不為 0
- 5.只有一項不為 0
- 6.全部都為 0

依據上述的排列順序，系統會將分析運算完成之樣本鞋圍檔案名稱與其模糊歸屬度存入 Excel 檔案中，因此顯示出排在越前面之樣本鞋圍代表其越適合此測試者足部。

5.3 實際驗證

為了驗證上一節中所建立快速鞋具篩選系統操作之可行性，研究從 19 位志願參與測試者中選出 10 位鞋號相近者。再從廠商蒐集 20 支鞋圍，作為系統操作實驗驗證樣本。在測試者的部份，以測者右腳為主，足長為 260mm 左右，鞋長 270mm-280mm 左右。在鞋圍樣本選擇部分，係透過醫療與鞋技專家訪談，彼此討論，取得之鞋圍以合腳、舒適、寬鬆適中為考慮選項，即長度尺寸為 8 號與 9 號(較為寬鬆)，其他五項特徵圍度尺寸數據各有差異之鞋圍為主。

透過鞋圍適足性評量擷取之鞋圍特徵圍度，加入藉由「鞋墊足壓舒適度評價研究」取得測試者足部與鞋圍之間存在的寬鬆舒感值數據。此項鞋具評量系統運算與分析後，最終將找到測試者最適鞋圍之模糊歸屬度，如有多支相同歸屬度鞋圍排序產生，後續需要再經由專家問卷取得各特徵圍度之重要性權重數據，兩者合併運算，重新排序，再從這些具有同樣歸屬度之鞋圍樣本中，找出更適合之鞋圍，(問卷專家團隊由外科醫師、神經內科醫師、復健師、護理師、與鞋技專家組合而成)。

5.3.1. 模糊分析與排序運算取得各圍度歸屬度

接著本研究以建立的 MATLAB(GUI)之模糊分析使用介面，對測試者足部特徵與樣本鞋圍特徵數值進行分析。再從上一單元鞋墊穿著與矯正足壓分佈之舒適度評量實驗，取得的鞋圍與足部寬鬆舒感值數據，代入系統進行篩選驗證，即輸入 11 mm 做為「觸感壓值」，輸入 4 mm 作為緊與鬆之適穿觸感壓寬裕值，最後透過模糊分析平台計算、

搜尋所得到的排序結果。現以 61212F 受測者試算為例，其結果如(表 5.2)所示，其他測試者模糊分析排序結果放置於【附表 3】中。

5.3.2 使用層級分析法 (AHP)找出各主要圍度權重值

1. 專家問卷分析與結果

在執行層級分析法 (AHP)之前，本研究先以問卷詢問醫療專家以及鞋技廠商之專業意見，取得鞋楦五個特徵圍度間的相對重要性權重，一共得到 11 份資料。問卷樣式如【附表 4】，接著以特徵值法(EM)解各項問卷之比較矩陣並得到各個圍度權重值，本研究以其中一份 A1 復健師之問卷數據為例，所得之成對比較矩陣 A 如下：

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

因此利用 Matlab 解出矩陣 A 之最大特徵值 λ_{\max} 、對應最大特徵值之特徵向量 W ，以及一致性指標 CI (Consistency Index)：

$$\lambda_{\max} = 5.3829 \qquad w = \begin{bmatrix} 0.2055 \\ 0.0685 \\ 0.0685 \\ 0.0411 \\ 0.6164 \end{bmatrix}^T$$

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1) \qquad CI = 0.0957$$

計算一致性比率 CR (Consistency Ratio)

$$CR = CI / RI \qquad CR = 0.0854$$

RI (Random Index)為隨機指數，依據 Satty 的指數值表得知 RI 五階為 1.12(參考表 4.7)

由以上算法可以得知此份問卷之評比值是否符合一致性比率，如此求得之權重值才有其信度與效度，11 份問卷計算結果，如(表 5.3)所示。

表 5.3 問卷計算結果

問卷	成對比較矩陣	λ_{\max}	CR	W
A1 復健師	$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 5 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 3 & 3 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}$	5.3829	0.0854	$\begin{bmatrix} 0.2055 \\ 0.0685 \\ 0.0685 \\ 0.0411 \\ 0.6164 \end{bmatrix}^T$
B2 醫師	$\begin{bmatrix} 1 & 7 & 7 & 7 & 1/3 \\ 1/7 & 1 & 1/5 & 5 & 1/5 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 3 & 1/7 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1/7 \\ 3 & 5 & 7 & 7 & 1 \end{bmatrix}$	5.1955	0.0436	$\begin{bmatrix} 0.2258 \\ 0.0323 \\ 0.0323 \\ 0.0323 \\ 0.6774 \end{bmatrix}^T$
C3 復健師	$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 & 5 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 1/3 & 1 & 1/5 \\ 1/3 & 1/3 & 3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$	5.1037	0.0231	$\begin{bmatrix} 0.4545 \\ 0.1515 \\ 0.1515 \\ 0.0909 \\ 0.1515 \end{bmatrix}^T$
D4 護理師	$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 5 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1 & 3 & 5 & 1/5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/5 \\ 3 & 5 & 3 & 5 & 1 \end{bmatrix}$	5.7907	0.1764	$\begin{bmatrix} 0.2174 \\ 0.0435 \\ 0.0435 \\ 0.0435 \\ 0.6522 \end{bmatrix}^T$
E5 護理師	$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 & 7 & 1/3 \\ 1/5 & 1 & 5 & 5 & 1/3 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 1 & 1/5 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 1 & 1/5 \\ 3 & 3 & 5 & 5 & 1 \end{bmatrix}$	5.5252	0.1172	$\begin{bmatrix} 0.2229 \\ 0.0446 \\ 0.0318 \\ 0.0318 \\ 0.6688 \end{bmatrix}^T$
F6 護理師	$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 7 & 5 & 1/5 \\ 3 & 1 & 7 & 7 & 1/5 \\ 1/7 & 1/7 & 1 & 3 & 1/7 \\ 1/5 & 1/7 & 1/3 & 1 & 1/9 \\ 5 & 5 & 7 & 9 & 1 \end{bmatrix}$	5.6287	0.1402	$\begin{bmatrix} 0.1070 \\ 0.3211 \\ 0.0153 \\ 0.0214 \\ 0.5352 \end{bmatrix}^T$
G7 鞋技 專家	$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 3 & 5 & 3 \\ 1/3 & 1 & 5 & 7 & 5 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 3 & 1 \\ 1/5 & 1/7 & 1/3 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/5 & 1 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$	5.2549	0.0568	$\begin{bmatrix} 0.4545 \\ 0.1515 \\ 0.1515 \\ 0.0909 \\ 0.1515 \end{bmatrix}^T$

續表-問卷計算結果				
H8 鞋技 專家	$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 & 7 & 3 \\ 1/3 & 1 & 3 & 5 & 5 \\ 1/5 & 1/3 & 1 & 3 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/5 & 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$	5.3405	0.0760	$\begin{bmatrix} 0.4976 \\ 0.1659 \\ 0.0995 \\ 0.0711 \\ 0.1659 \end{bmatrix}^T$
I9 鞋技 專家	$\begin{bmatrix} 1 & 5 & 7 & 7 & 3 \\ 1/5 & 1 & 3 & 5 & 3 \\ 1/7 & 1/3 & 1 & 5 & 1 \\ 1/7 & 1/5 & 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 & 3 & 1 \end{bmatrix}$	5.4144	0.0925	$\begin{bmatrix} 0.5497 \\ 0.1099 \\ 0.0785 \\ 0.0785 \\ 0.1832 \end{bmatrix}^T$
J10 鞋技 專家	$\begin{bmatrix} 1 & 3 & 7 & 9 & 5 \\ 1/3 & 1 & 5 & 7 & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 3 & 1/3 \\ 1/9 & 1/7 & 1/3 & 1 & 1/3 \\ 1/5 & 1/3 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}$	5.2203	0.0491	$\begin{bmatrix} 0.5595 \\ 0.1865 \\ 0.0799 \\ 0.0622 \\ 0.1119 \end{bmatrix}^T$
K11 鞋技 專家	$\begin{bmatrix} 1 & 1/3 & 5 & 3 & 1/5 \\ 3 & 1 & 7 & 5 & 1/3 \\ 1/5 & 1/7 & 1 & 1/3 & 1/5 \\ 1/3 & 1/5 & 3 & 1 & 1/3 \\ 1 & 3 & 5 & 3 & 1 \end{bmatrix}$	5.2129	0.0475	$\begin{bmatrix} 0.1807 \\ 0.5422 \\ 0.0361 \\ 0.0602 \\ 0.1807 \end{bmatrix}^T$

資料來源:(本研究整理)

Saaty 認為當 CR 值趨近於 1，表示該次評比是隨機產生的，當 CR 值越趨近於 0，表示一致性越高。原則上，當 $CR \leq 0.1$ 是可接受範圍，若 $CR > 0.1$ ，表示該評比是不一致的。由於在 11 份醫療與鞋技專家問卷中共有 8 份問卷 $CR \leq 0.1$ 通過一致性的檢驗，為了尊重醫療與鞋技人員的專業知識和配合 Satty 的一致性比率原則，本研究將此 8 份問卷得到之各權重值以幾何平均法求得五個圍度之綜合權重。

$$W_B = \sqrt[8]{0.2055 \times 0.2258 \times 0.4545 \times 0.4545 \times 0.4976 \times 0.5497 \times 0.5595 \times 0.1807}$$

$$= \sqrt[8]{2.6507e - 04} = 0.3572$$

$$W_M = \sqrt[8]{0.0685 \times 0.0323 \times 0.1515 \times 0.1515 \times 0.1659 \times 0.1099 \times 0.1865 \times 0.5422}$$

$$= \sqrt[8]{9.3627e - 08} = 0.1323$$

$$W_L = \sqrt[8]{0.0685 \times 0.0323 \times 0.1515 \times 0.1515 \times 0.0995 \times 0.0785 \times 0.0799 \times 0.0361}$$

$$= \sqrt[8]{1.1441e - 09} = 0.0763$$

$$W_H = \sqrt[8]{0.0411 \times 0.0323 \times 0.1515 \times 0.0909 \times 0.0711 \times 0.0785 \times 0.0622 \times 0.0602}$$

$$= \sqrt[8]{3.8207e - 10} = 0.0665$$

$$W_T = \sqrt[8]{0.6164 \times 0.6774 \times 0.1515 \times 0.1515 \times 0.1659 \times 0.1832 \times 0.1119 \times 0.1807}$$

$$= \sqrt[8]{5.8897e - 06} = 0.2220$$

由以上可得知，經由初步的問卷分析可得到五個圍度，其重要性的相對權重，分別為：

掌圍的權重 W_B 為 0.3572

背圍的權重 W_M 為 0.1323

腰圍的權重 W_L 為 0.0763

高背圍的權重 W_H 為 0.0665

趾圍的權重 W_T 為 0.2220

就數值上的意義來看，五個圍度的重要性順序為：

掌圍 > 趾圍 > 背圍 > 腰圍 > 高背圍

從(表 5.4)透過專家問卷調查計算結果，分析其圍度權重值，在足部舒適度量測，得到的重要性排序，醫療專家認為為趾圍最重要，掌圍其次，這兩部位都是貼合足底，為不舒服最明顯部位。至於背圍重要性排在第三，應該是醫療專家考慮到足弓高低與東方人腳背較為厚實，穿著時鞋具與足部摩擦容易引起的不適。

至於鞋技專家認為掌圍最重要，背圍其次，趾圍重要性排在第三，其原因應該也是考慮東方人高足背的足型特徵，為均衡兩項專業觀點，本研究以幾何平均運算取得五個圍度的重要性。

2. 模糊歸屬度與 AHP 權重值之運算與從新排序

AHP 層級分析所得之五個圍度相對權重值，再與與模糊分析所得足圍歸屬度搭配計算可得一綜合評估值 R ，依此評估值 R 可做更進一步分析、排序。

$$R=w_B M_B+w_M M_M+w_L M_L+w_H M_H+w_T M_T$$

M_B 為掌圍之歸屬度， w_B 為掌圍之權重值。 M_M 為背圍之歸屬度， w_M 為背圍之權重值。 M_L 為腰圍之歸屬度， w_L 為腰圍之權重值， M_H 為高背圍之歸屬度， w_H 為高背圍之權重質， M_T 為趾圍之歸屬度， w_T 為趾圍權重質。

在模糊分析、搜尋這一部份，系統運算所輸出之數據中，各圍度之模糊歸屬度，0為不適合此人之足圍；1為此楦圍最適合此人足圍，而介於0~1的模糊數值，值越大者則代表此楦圍越適合此人足圍的程度。

由得到之資料數據【附表3】中可得知10位測試者最適鞋楦之模糊歸屬度排序。

(1) 5個模糊歸屬不屬於0：

61212C 受測者，其最適鞋楦為34H804。

61212R 受測者最適鞋楦為32H802。

(2) 4個模糊歸屬不屬於0(單一鞋楦符合)：

61212B 受測者，其最適鞋楦為11D801。

61212K 受測者最適鞋楦為16D806。

(3) 4個模糊歸屬不屬於0(3支鞋楦符合)：有61212E受測者，需配合專家問卷之圍度權重，重新運算排序，以取得最適合鞋楦。

(4) 3個模糊歸屬都不屬於0：有61212F受測者最適鞋楦為47H907。61212H受測者(6支鞋楦符合)，需配合專家問卷之圍度權重，重新運算排序，以取得最適合鞋楦。

(5) 2個模糊歸屬不屬於0(只有單一鞋楦)：

61212S 受測者。其最適鞋楦為31H801。

61212I 受測者。其最適鞋楦為11D801

2個模糊歸屬不屬於0，有61212N受測者(3支鞋楦)，需配合專家問卷之圍度權重，重新運算排序，以取得最適合鞋楦。

戴入公式(5-5)，歸屬度與權重值重新運算

為求更精確之排序，針對受測有多隻鞋楦皆符合者，將上述分析運算所得到之各項權重以及歸屬度，代入式子 $R=w_B M_B+w_M M_M+w_L M_L+w_H M_H+w_T M_T$ 運算得到之結果如下：

61212E 受測者，4 個模糊歸屬不屬於 0 (3 支鞋楦符合)，模糊 AHP 運算排序結果如下

—

$$14D804=0.3572 \times 0.33 + 0.1323 \times 0.0525 + 0.0763 \times 0.23 + 0.0665 \times 0 + 0.2220 \times 0.5875=0.2728$$

$$13D803=0.3572 \times 0.1975 + 0.1323 \times 0 + 0.0763 \times 0.4025 + 0.0665 \times 0.275 + 0.2220 \times 0.0975=0.1412$$

$$40H810=0.3572 \times 0 + 0.1323 \times 0.125 + 0.0763 \times 0.3425 + 0.0665 \times 0.86 + 0.2220 \times 0.4025=0.1892$$

由 $14D804 > 40H810 > 13D803$ 來看，14D804 這支鞋楦可能是在目前 20 支鞋楦中最適合 61212E 這位測試者。

61212H 受測者，3 個模糊歸屬都不屬於 0，(6 支鞋楦符合)模糊 AHP 分析排序結果如下

—

$$38H808=0.3572 \times 0.785 + 0.1323 \times 0.3925 + 0.0763 \times 0.2905 + 0.0665 \times 0.9675 + 0.2220 \times 0 = 0.4188$$

$$49H909=0.3572 \times 0.715 + 0.1323 \times 0.0825 + 0.0763 \times 0.39 + 0.0665 \times 0 + 0.2220 \times 0 = 0.2961$$

$$9D909=0.3572 \times 0.4575 + 0.1323 \times 0 + 0.0763 \times 0.5425 + 0.0665 \times 0.7575 + 0.2220 \times 0 = 0.2552$$

$$31H801=0.3572 \times 0.925 + 0.1323 \times 0 + 0.0763 \times 0.34 + 0.0665 \times 0 + 0.2220 \times 0.5125 = 0.4701$$

$$32H802=0.3572 \times 0 + 0.1323 \times 0.6525 + 0.0763 \times 0 + 0.0665 \times 0.3925 + 0.2220 \times 0.71 = 0.2700$$

$$11D801=0.3572 \times 0 + 0.1323 \times 0 + 0.0763 \times 0.59 + 0.0665 \times 0.4175 + 0.2220 \times 0.5325 = 0.1910$$

由 $31H801 > 38H808 > 49H909 > 9D909 > 32H802 > 11D801$ 來看，31H801 這支鞋楦可能是在目前 20 支鞋楦中最適合 61212H 這位測試者。

61212N 受測者，2 個模糊歸屬都不屬於 0，(3 支鞋楦符合)模糊 AHP 分析排序結果如下

—

$$10D910=0.3572 \times 0 + 0.1323 \times 0.9525 + 0.0763 \times 0 + 0.0665 \times 0 + 0.2220 \times 0.86 = 0.3169$$

$$32H802=0.3572 \times 0 + 0.1323 \times 0.6375 + 0.0763 \times 0 + 0.0665 \times 0 + 0.2220 \times 0.7275 = 0.2458$$

$$35H805=0.3572 \times 0 + 0.1323 \times 0.435 + 0.0763 \times 0 + 0.0665 \times 0 + 0.2220 \times 0.8925 = 0.2557$$

由 $10D910 > 35H805 > 32H802$ 來看，10D910 這支鞋楦可能是在目前 20 支鞋楦中最適合 61212N 這位測試者。

以下表格為 10 位測試者最適鞋楦，其特徵圍度與足部之比較。(表 5.4)

表 5.4 10 位測試者最適鞋楦與特徵圍度比較

檔案	長 mm	寬 mm	掌圍 mm	背圍 mm	腰圍 mm	高背圍 mm	趾圍 mm
61212F 足	257.55	105.44	259.85	249.54	250.13	336.16	235.75
47H907 楦	279.36	99.15	240.64	242.08	235.57	327.69	219.44
61212C 足	258.77	105.72	252.32	254.12	248.16	337.12	216.89
34H804 楦	279.08	97.24	242.62	243.75	240.19	325.29	206.93
61212E 足	260.65	102.54	251.81	254.03	243.66	345.43	212.43
14D804 楦	274.08	95.50	238.13	239.24	235.74	319.32	203.08
61212B 足	259.44	99.53	242.43	244.89	235.95	343.33	216.47
11D801 楦	275.58	94.32	229.38	240.33	227.89	332.70	202.62
61212H 足	258.55	98.56	244.39	262.28	240.53	341.37	215.49
31H801 楦	280.58	96.03	233.69	244.84	232.17	338.88	206.44
61212I 足	255.23	110.51	239.26	235.59	225.28	310.62	215.31
11D801 楦	275.58	94.32	229.38	240.33	227.89	332.70	202.62
61212K 足	259.11	100.33	247.57	260.24	245.69	325.34	223.39
16D806 楦	276.18	96.83	244.50	254.43	242.71	336.86	222.58
61212N 足	259.45	100.54	256.17	262.34	258.63	355.72	213.24
10D910 楦	280.71	96.78	248.02	259.15	247.70	348.07	210.80
61212R 足	256.22	97.23	248.36	258.32	250.54	337.21	212.83
32H802 楦	277.12	96.91	240.46	249.89	241.19	327.94	203.33
61212S 足	261.46	98.16	259.58	268.71	256.19	352.64	220.66
31H801 楦	280.58	96.03	233.69	244.84	232.17	338.88	206.44

資料來源:(本研究整理)

透過上表測試者最適鞋楦取得與足部特徵圍度比較，可觀察出各個圍度之差異，的確符合快速鞋楦選擇系統，最初設定之規範(1.鞋楦號數多出鞋長 2 個號數，2.鞋楦圍度必定小於足部圍度，3.舒感壓值與寬鬆度的數據預留也符合預期設定)，特別是結合專家問卷取得之權重值運算，最終取得結果將更為正確。

5.3.3 結果與討論

1. 鞋墊足壓舒適度評價結果分析

本研究在少數樣本情況下，使用灰關聯分析評價可快速而正確的取得最適鞋墊，但若以此評價模式應用於產品設計需要大量樣本數據，如此眾多的資訊將無法快速運算與解答，將導致製程延宕，喪失產品開發先機，因此將灰關聯計算結果，再透過類神經網路進行學習、預測與應證。兩者相輔相成，其效果遠超過其中之一方法的單獨使用。

(1) 鞋楦寬鬆舒感值預留-舒適度與適足性

由灰關連計算與類神經網路評量分析結果，可以知道 2 號鞋墊最適合大多數實驗者之足部，在拿掉 2 號鞋墊所做的實驗則以 3 號鞋墊較為適合多數測試者，其正確率也可達到 80%。從(表 3.2).樣本鞋墊特徵比較表與(表 3.3)樣本鞋墊分區厚度，可以知道 2 號鞋墊與 3 號鞋墊其足弓區厚度相近，平均 13.5mm，足跟區厚度從 14.5mm 至 15mm，足掌區厚度從 6.5mm 至 9.5mm。為了訂出更正確數據，本研究加上第二順位之 4 號鞋墊，綜合三款鞋墊平均數據，訂定鞋墊舒適厚度為 11mm，因為舒適度範圍從 6.5mm 至 15mm，將其前後寬鬆度為訂 4mm，再將此數據做為後續鞋具快速篩選平台之分析要素。

回顧文獻與傳統製鞋經驗提及之「舒感壓值」為 6.5mm，寬鬆度為 ± 5 mm，「中底厚度保留」為 4mm(鄭豐聰，1998)、(游志堅，1999)。本研究發現透過鞋墊足壓舒適度評價實驗取得之最舒適寬鬆舒感值範圍為 $11\text{mm} \pm 4\text{mm}$ 與前(舒感壓值 6.5mm)+(中底厚度 4mm)=10.5mm，加上寬鬆度 ± 5 mm，相互比較，亦然相差不多。此項結果應證以往傳統經驗累積的製鞋技術，還是有其依據與可靠性，重要的是本研究係藉由科學性量化實驗證明此數據之可行性。

(2) 材質結構應用-舒適度

此項最適鞋墊與矯正足壓分佈評價實驗，主要目的在於修正長久以來鞋楦設計預留舒適空間之傳統數據。實驗初期專家建議取得之樣本鞋墊，依照「厚度」、「材質軟硬度」、「材料結構」、「支撐位置差異」而分類，透過此項系統化評量取得之最舒適鞋墊特徵分析，本研究建議未來鞋具設計生產、大量客製化時，依據 2 號 3 號 4 號樣本鞋墊硬度與材質分析(表 3.2)(表 3.3)，鞋墊硬度介於 28HC 到 48HC 之間，內層材料使用乳膠與聚氨酯材質，表面覆蓋柔軟皮革或彈性織物，對於矯正足壓分佈最有成效，其使

用舒適度也會相對提高。至於消費者日常挑選市售鞋墊，此項數據也可作為購買之參考。針對透過特徵分析取得之鞋墊足壓寬鬆舒感值範圍，亦可應用於未來新穎鞋具設計製造之依據。

2. 鞋楦圍度適足性評量結果分析

透過鞋具評量系統之模糊歸屬度與 AHP 權重值運算與從新排序，每個人都可找到最適合個人之鞋楦與其他較適合鞋楦。然而此項最適鞋楦之最終篩選，還是結定於 AHP 層級分析之專家問卷，由(表 5.3)問卷計算結果分析，可以觀察到醫療專業人員挑選的圍度權重，以趾圍為最優先選項，其次才是掌圍。而鞋技專家挑選之圍度權重，則是掌圍最重要，其次才是趾圍或背圍，為了增加問卷的信度與效度，本研究採其平均數，現以 61212E 測試者為例說明其結果與原因探討。

61212E 受測者，4 個模糊歸屬不屬於 0 (3 支鞋楦符合)，模糊 AHP 運算排序結果
 $14D804=0.2728$ $13D803=0.1412$ $40H810=0.1892$

由 $14D804 > 40H810 > 13D803$ 看，14D804 最適合 61212E 這位測試者之鞋楦，13D803 與 40H810 是還算適合之鞋楦選項。觀察各圍度權重，發現此項 14D804 最適鞋楦，除了高背圍外其他圍度都符合評量系統所設定篩選條件，再參考各圍度功能說明，高背圍(High Instep Girth)影響穿卸的位置，是決定鞋子穿脫容易與否的關鍵，主要功能是保護足背並提供適當的調整彈性。由此可證明此項鞋具評量系統係以鞋楦適足性為主要考慮選項，功能性反是其次，何況高背圍對應之鞋具位置結構，還可做鞋帶寬鬆調整，解決楦圍與足圍過多差距之疑惑(表 5.5)。

表 5.5 61212E 測試者適合鞋楦特徵圍度比較(20 支楦)

檔案	長 mm	寬 mm	掌圍 mm	背圍 mm	腰圍 mm	高背圍 mm	趾圍 mm
61212E 足	260.65	102.54	251.81	254.03	243.66	345.43	212.43
14D804 楦	274.08	95.50	238.13	239.24	235.74	319.32	203.08
13D803 楦	277.28	93.66	237.60	247.25	235.05	331.53	197.82
40H810 楦	275.71	95.06	235.60	246.53	235.29	333.87	199.04

資料來源:(本研究整理)

3. 舒適鞋具篩選評量系統分析

(1) 醫療性

研究在鞋墊足壓舒適度評價實驗中，針對實驗對象之選擇，20 位年輕志願者內有扁平足 3 位、高足弓 7 位、初級糖尿病足型 1 位、正常足型 9 位(表 3.1)。灰關聯度計算結果顯示這些足部疾病患者，除了 M 測試者，其他人的最舒適鞋墊選項都一樣，比率高達 90%(表 3.16)。由此可見此項鞋具評量系統，不只對一般消費者有很大的功能性，針對那些足部疾病患者，甚至患有糖尿病初級症狀，其個人鞋具採購都有所助益，對醫療性鞋具的客製化研發更有幫助。

(2) 方便性

此項舒適鞋具篩選評量系統，可讓消費者採購鞋具時，快速找到適合個人足部之鞋子，免除逐一試穿與量測的困擾，可避免他日因選錯鞋具，引起的足部畸形與病變。也可讓零售商減少產品庫存的資金耗費，轉向電腦資訊與 3D 量測設備之擴充，促進整體銷售型態科技化與方便性。

(3) 生產率

鞋具屬於消費市場變動快速的民生產品，隨著客製化需求與生產週期縮短，過去勞力密集的製鞋業也需要透過自動化技術來提升整體生產效率，透過此項舒適鞋具篩選評量系統，可以快速設計出舒適性與適足性產品，增加生產效率以因應現今生產週期縮短之趨勢，更可大舉降低製造成本。

4. 系統應證

為了再次應證此項舒適鞋具篩選系統之成效，本研究將樣本鞋楦增加到 60 支(鞋號尺寸不限)【附表 5】，再次以 61212E 測試者輸入，進行演算與排序，結果以 14D804 與 47H907 兩支鞋楦，4 個模糊歸屬不屬於 0(表 5.6)，再運用模糊 AHP 之圍度權重從新運算與排序，所得為：

$$14D804=0.3572\times 0.33+0.1323\times 0.0525+0.0763\times 0.23+0.0665\times 0+0.2220\times 0.5875=0.2728$$

$$47H907=0.3572\times 0.957+0.1323\times 0.762+0.0763\times 0.271+0.0665\times 0.683+0.2220\times 0=0.5087$$

結果為 47H907 比 14D804 更適合 61212E 測試者，此項實驗證明當鞋楦樣本數增加，本系統也會藉由模糊關聯度之「中心值」調整，再次從中挑選更為適合之鞋具，仔細觀察兩隻鞋楦，可發現差異在於趾圍與高背圍，透過權重分析與運算，再找出最適合之選項(表 5.7)。

表 5.6 61212E 測試者測試適合鞋楦特徵圍度比較(60 支楦)

足部受測 樣本	61212E				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
14D804.stl	0.33057	0.051489	0.229822	0	0.586977
47H907.stl	0.957102	0.76277	0.271977	0.683864	0
34H804.stl	0.546903	0.820951	0	0.715135	0
1D901.stl	0.295542	0	0.053006	0	0
13D803.stl	0.197969	0	0.402185	0	0.096393
29D1009.st	0.508302	0	0.10675	0	0.441965
35H805.stl	0.623167	0	0.066866	0	0.905492
15D805.stl	0	0.630631	0.845539	0	0.160822
16D806.stl	0	0.150132	0.487571	0.392099	0
20D810.stl	0	0.72089	0.554303	0.689457	0
31H801.stl	0	0.548401	0.877045	0	0
40H810.stl	0	0.125145	0.342692	0	0.402739
5D905.stl	0.276289	0	0	0.950134	0
8D908.stl	0.014944	0	0	0	0.250881
10D910.stl	0.802743	0	0	0	0.658595
32H802.stl	0.912344	0	0	0.623362	0.524605

資料來源:(本研究整理)

此表僅保留三個圍度不等於 0 以上數據，**粗體字**為最適鞋楦選項。

表 5.7 61212E 測試者 60 支楦篩選適合鞋楦特徵圍度比較

檔案	長 mm	寬 mm	掌圍 mm	背圍 mm	腰圍 mm	高背圍 mm	趾圍 mm
61212E 足	260.65	102.54	251.81	254.03	243.66	345.43	212.43
47H907 楦	279.36	99.15	240.63	242.08	235.57	335.69	219.43
14D804 楦	274.08	95.50	238.13	239.24	235.74	319.32	203.08

資料來源:(本研究整理)

第六章 結論

為了建立一套適合個人鞋具評量系統，本研究依據舒適度與適足性兩項設計目的，將流程劃分為三階段；首先，鞋墊足壓舒適度評價，針對挑選的樣本鞋墊與人體穿著壓力量測，進行分析取得足壓分佈差異數據。再將灰關聯理論應用於鞋墊足部之舒適度評價模式，透過系統運算，選出最適合測試者足型之鞋墊。計算部份係以 MATLAB 程式設計作為呈現平台，再透過類神經網路之倒傳遞類神經網路進行舒適度評價實驗。即是將不同足型與穿著樣本鞋墊壓力分佈數據，再次透過程式之運算與分析，依據類神經網路擁有之資料預測、智慧學習、自動分群與樣本型態識別特性，進行交叉訓練與學習，藉以完成本研究取得之鞋墊足壓寬鬆舒感值範圍數據最初目的。

第二階段，鞋楦適足性圍度評量，使用逆向工程掃描量測，準確的取得樣本鞋楦與測試者足部外型 3D 模型資料，並以特徵點辨識系統建立兩者之特徵曲面，使用三角網格切層法，取得這些樣本特徵圍度數據，降低產生人為誤差之可能性。同時陸續將相關足部與鞋楦特徵圍度數據收集，統合建立一套龐大資料庫，供未來應用與參考。

第三階段統合兩階段研究成果，導入模糊理論所建立的 MATLAB 鞋具篩選評量系統，即是將最初取得之鞋墊足壓寬鬆舒感值數據與樣本足部鞋楦之精確特徵圍度值輸入篩選平台中，快速搜尋並取得適合各個測試者之鞋楦歸屬度排序。實驗中如有多支鞋楦符合單一測試者之狀況，研究再應用層級分析法之專家問卷，取得鞋具設計特徵圍度之重要性權重，重新運算與排序，最終將得到較為接近個人足型與穿著舒適之鞋楦，完成此項鞋具評量研究。

6.1 研究成果

1. 本研究將生物力學理論應用於鞋墊舒適度設計量測上，藉由測試者足壓分佈差異數據，與樣本鞋墊進行自動化分析與比對，從後續評價分析中找出最適合之鞋墊。此項壓力量測方式可讓鞋具設計者與廠商，了解材質結構與壓力之相對關係，作為鞋具底部研發生產之依據，針對醫療性鞋具之開發也有所助益。
2. 本研究利用足部壓力量測數據，找出適合使用者之鞋墊，並分析其材質特徵，做為未來鞋具設計參考。實驗結果發現最適鞋墊材質柔軟、表面平整、厚度加深，具可塑性，可依足底塑型、不必在表面與底部加上額外裝置，這種鞋墊材質與型態對一般人體足部最具舒適性。
3. 由實驗所得鞋墊設計要素，本研究認為將此材質放置於鞋具上，融入鞋具中底之角色，並做前置處理，可省卻未來另行購買鞋墊之費用。將客製化鞋墊延伸成通用化鞋具產品，不只讓使用者擁有安全舒適鞋具，也鞋具產業擁有一套新的鞋底設計參考模式。

4. 以三角網格切層演算法發展之自動化模型辨識系統，可藉此套程式精確的讀取人體足部以及鞋楦之 STL 模型資料，而後直接進行其相關特徵資料之量測、擷取，減少傳統人為量測操作上的誤差，增加消費者選擇鞋具之時效與準確性。
5. 經由系統運算所得之人體足部和樣本鞋楦各項特徵圍度與圖檔，可加以儲存並建立資料檔案庫，供後續相關研究者參考設計與使用。此項鞋具快速篩選評量系統可讓鞋具廠商或零售業，針對不同鞋款、用途及功能，只要輸入消費者足部圍度資訊，即可快速取得最合適之鞋具，免除逐一試穿之時間耗費，增加方便性，也可達成鞋具產業大量客製化之目標。
6. 本研究修正傳統「舒感壓值」在鞋楦設計初期中底預留之概念，詳細探討鞋墊足壓舒適度之「寬鬆舒感值數據」與「鬆緊範圍」。並導入模糊理論與層級分析建立之鞋具篩選系統，使得此項模式能依據測試者正確的足部特徵圍度數據，從現行鞋楦資料庫進行搜尋、模合、運算與排序，快速的找出既舒適又合腳之鞋具。
7. 本研究在 AHP 層級分析法之專家問卷中發現，醫療專業人員對足部特徵圍度權重排序以趾圍為最重要，掌圍其次，鞋技專家則掌圍最重要，背圍其次，各依其專業認定。醫務人員認為足趾部是鞋具穿著不舒適，最容易產生病變之位置，鞋具從業人員則認為東方人足背厚度特徵，是影響鞋楦適足性設計之主要因素。本研究在足楦特徵圍度量測上增加了趾圍與高背圍，在專家問卷人員挑選上，平衡兩者專業認知，解決 AHP 之決策者過於主觀的判斷缺失，確可增加此系統之可靠性。

6.2 未來展望

現行國內鞋具產業隨著市場環境變化，生產方式急需從過去傳統機械式生產，朝向市場導向的專業智能化控制和量產化生產方式轉變，本研究針對此項評量結果提出以下幾項未來方向與建議：

1. 在鞋墊足壓舒適度評量上，對測試者所做的足型分類(高足弓、低足弓，正常足弓、糖尿病足)，本研究並沒有深入探討這些足型與實驗取得最適鞋墊之關聯性；即是藉由鞋墊之材質外型功能特徵，了解足部疾病患者取得個人適合鞋墊之主要原因，這些研究涵蓋醫療復健、力學實驗、材料科學..等領域，範圍寬廣，非一蹴可及。希望未來學者能夠利用本研究初步成果，針對這些方向議題，做出更詳細的研究與分析，此舉對未來醫療性鞋具研發，必然更有貢獻。
2. 研究在探討鞋楦與足部特徵圍度量測上，發現傳統東西方足型與鞋楦規格之差異，進而了解國人鞋楦製造之問題與困境。唯有正確量測國人足型，所開發的標準鞋楦才是鞋具設計未來的正確方向，使用西方人或日本人足型設計的鞋楦修改，只能做小部分的外

觀修正，對主要適足性與舒適性因素，並無法改變。本研究冀望後續鞋具產業在鞋楦研發製作上，能有一獨立設計單位，擁有自己鞋楦離形模具，並有一套適合國人的鞋楦與鞋號規格表，提供消費者選擇鞋具、設計者研發之參考。

3. 研究在 3D 量測與 STL 圖形檔案，需要透過三角網格切層演算，取得正確圍度數據，過程中需要將圖檔再透過 Geomagic Design 軟體，進行點群修補與疊合等相關工作，藉以得到更為完整的外型特徵。在將這些圖形資料導入系統量測前，尚需將每支樣本鞋楦以及測試者足部的點群資料，控制在有效讀取點數內，這些程序造成研究時間之浪費。本研究希望未來研究者針對此問題，能開發一套結合 3D 量測、點群修補與穩定性控制之軟體，如此必能縮短量測與製楦時程，增加系統運算速度與減少讀取之錯誤。

4. 研究在鞋楦圍度適足性量測，取得之測試者與樣本鞋楦圍度，雖然正確且有其實用性，在消費者採購鞋具時也確實有其方便性。鑒於思考本研究之大量客製化方向，研究者希望未來鞋具製造商擁有龐大的鞋楦圍度數據資源，能與零售商共享，甚而藉由銷售管道，收集擴充資料庫。如此必能完全的改變整體產銷模式，進入數據化營運方式。

參考文獻

中文部分

- 王中行、張庭瑞、賴後權 (2003)。網格縮減對逆向工程與快速原型間產品模型設計之研究。設計學報，第 9 卷，第 1 期，頁 33-46。
- 朱嘉偉 (1999)。功能性足部輔具之生物力學評估。碩士論文，中原大學醫工所。
- 李靜、曾全壽、于海濱(2017)。長跑運動之主觀舒適與足壓間關係。華岡紡織期刊，第二十四卷 第八期，頁 546-549。
- 李國清 (2000)。以輪廓特徵及模糊比對為基礎的平面圖形辨識系統。碩士論文，國立中興大學應用數學系。
- 林承哲 (2002)。3D 腳型量測與自動化腳型分析方法之研究。碩士論文，國立清華大學工業工程與工程管理系。
- 林耕莘 (2000)。快速原型製造系統之有效率的進階適應性切層方法。碩士論文，國立中正大學機械系。
- 吳淑霞 (1998)。全觸式鞋內墊與足部之生物力學評估。碩士論文，中原大學醫工所。
- 洪薇清 (2002)。踝足裝具之生物力學效應。碩士論文，國立成功大學工業設計系。
- 黃台生 (2008)。3D 量測在鞋款設計之應用。設計學報，第 13 卷，第 1 期，頁 71-90。
- 游志堅 (1999)。個人專用鞋楦及鞋型之研究與設計。台北市:全華科技圖書。
- 許盛發、揚世偉 (1996)。鞋墊對減低足底壓力效益之生物力學分析。中華醫學工程學刊，第 16 卷，第 4 期，頁 367-380。
- 曹文彬 (2007)。客製化人體足部之鞋楦特徵設計之研究。碩士論文，東海大學工業設計系。
- 葉哲維 (2001)。應用灰關聯分析方法於嬰幼兒汽車安全座椅。碩士論文，國立成功大學工業設計研究所。
- 陳靜如 (2010)。類神經網路於鞋墊舒適度預測與評價。碩士論文，東海大學工業設計系。
- 詹益坤、李淑貞、楊世偉、趙令怡、林佳貞、張惠芳 (1997)。正常青年人之足底壓力分析。中華物療誌，第 2 期，頁 81-90。

- 湯永鴻 (2009)。應用模糊理論於產品創新設計之研究。碩士論文，東海大學工業設計系。
- 張志清 (1997)。足弓墊對扁平足在後足運動與足底壓力影響之研究。碩士論文，國立中央大學機械工程學系。
- 張仲卿、周大龠鹿 (2007)。客製化鞋墊之電腦輔助設計製造系統開發。中國機械工程學會第二十四屆全國學術研討會論文集，頁 117-120。
- 張斐章、張麗秋 (2006)。類神經網路。台北市:東華書局。
- 楊凱傑 (2013)。應用類神經網路於球鞋造形曲線認知與設計之研究。碩士論文，東海大學工業設計系。
- 鄭豐聰 (1998)。腳型尺碼資訊系統與鞋楦設計關係之研究。碩士論文，國立交通大學工業工程與管理研究所。
- 劉德騏, 陳自豪, 游凱迪 (2016)。發泡材料在變速率衝擊下材料壓縮性質分析與緩衝效應評估。國立中正大學，**SIMULIA Regional User Meeting**。
- 鄧聚龍 (2003)。灰色系統理論教程。武昌華中理工大學。
- 鄧振源、曾國雄 (2009)。分析層級法的內涵特性與應用。中國統計學報，第 27 卷，第 6 期，頁 5-27. 第 7 期，頁 1-20。

英文部分

- Andrew, J. M, & Boulton, M .D. (2004). Pressure and the diabetic foot: clinical science and offloading techniques.*The American Journal of Surgery*,187(5) : Supplement 1, 17S–24S.
- Bernabéu, J. A, Germani, M, Mandolini, M, Mengoni, M, Nester, C., Preece, S., & Raffaelli, R. (2013).CAD tools for designing shoe lasts for people with diabetes.*Computer-Aided Design*,45(6) : 977-990.
- Buckley, J. J. (1985).*Fuzzy Hierarchical Analysis*. Fuzzy Sets and Systems,17:233-247.
- Boulton, A. J., Cavanagh, P. R., & Rayman, G. (2006). *The Foot in Diabetes*. John Wiley & Sons.

- Cavanagh, P. R., Rodgers, M. M., & Iiboshi, A. (1987). Pressure distribution under symptom-free feet during barefoot standing. *Foot & Ankle*, 7(5):262-276.
- Chapman, G. J, Parkes, M. J., Forsythe, L., Felson, D. T., & Jones, R. K. (2015). Ankle motion influences the external knee adduction moment and may predict who will respond to lateral wedge insoles: an ancillary analysis from the SILK trial. *Osteoarthritis and Cartilage*, 23 : 1316-1322.
- Chang, F. S., Song, Y., Lu, D. X., & DeSilva, C. N. (1998). Unified constitutive equations of foam materials. *Journal of engineering materials and technology*, 120, 212-217.
- Chiu, H. T., & Shiang, T. Y. (2007). Effects of Insoles and Additional Shock Absorption Foam on the Cushioning Properties of Sport Shoes *Journal of Applied Biomechanics*, 23(2) :119-127.
- Chua, C. K., Leong, K. F., & Lim, C. S. (2000). Rapid Prototyping: Principles & Applications in Manufacturing. *World scientific*, Singapore, 3rd Edition, World scientific.
- Erdemir, A., Saucerman, J. J., Lemmon, D., Loppnow, B., Turso, B., Ulbrecht, J. S., & Cavanagh, P. R. (2005). Local plantar pressure relief in therapeutic footwear-design guidelines from finite element models. *Journal of Biomechanics*, 38 (9): 1798-1806.
- Hopfield, J. J. (1982). Neural networks and physical systems with emergent collective computational properties. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79: 2554-2558.
- Isenburg, M., Lindstrom, P., Gumhold, S., & Snoeyink, J. (2003). Large mesh simplification using processing sequences. *In: Visualization (VIS)*, 465-472
- Kouchi, M., & Mochimaru, M. (2001). *Development of low cost foot-scanner for a custom shoe making system*. Proceeding of 5th Symp. Footwear Biomechanics. Oceanic Sciences, 9: 533-550.
- Krishnan Suresh, & Murari Sinha (2006). A 2-D model that accounts for 3-D fringing in MEMS devices, *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 30 : 963-970.
- Lavery, L. A., Vela, S. A., Fleischli, J. G., Armstrong, D. G., & Lavery, D. C. (1997). Reducing plantar pressure in the neuropathic foot. A comparison of footwear. *Diabetes Care*, 20(11):1706-1710.

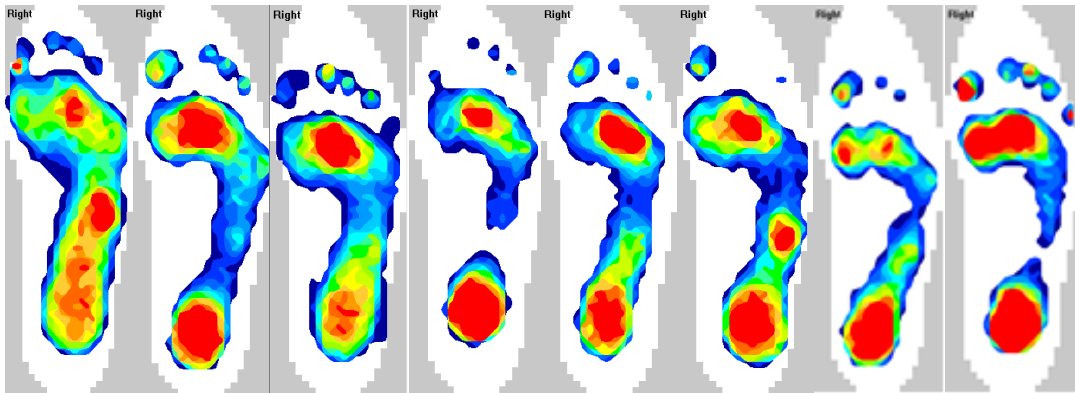
- Luximon, A., & Xiao Ma (2004).3D foot prediction method for low cost scanning. *International Journal of Industrial Ergonomics*,44 : 866-873.
- Luximon, A., & Luximon, Y. (2009).Shoe-last design innovation for better shoe fitting, *Computers in Industry*,60: 621-628.
- Ly Quoc Hung, Alaoui Amina, Erlicher Silvano, & Baly Laurent (2010).Towards a footwear design tool: Influence of shoe midsole properties and ground stiffness on the impact force during running. *Journal of Biomechanics*,43(2) : 310-317.
- Mei Qichang, Yaodong, G., Sun Dong, & Fernandez Justin (2018).How foot morphology changes influence shoe comfort and plantar pressure before and after long distance running? *Acta of Bioengineering and Biomechanics*,20(2):179-186.
- Michael Whittle (1996).*The use of viscoelastic materials in shoes and insoles: a review*. Clinie Chair of Rehabilitation Technology, The University of Tennessee at Chattanooga, Chattanooga. Tennessee 37403, U.S.A,1-13.
- Miguel Davia Antonio, Jimeno-Morenilla, & Faustino Salas (2013).Footwear bio-modelling,An industrial approach, *Computer-Aided Design*,45: 1575–1590.
- Mochimaru, M., Kouchi, M., & Dohi, M. (2000).Analysis of 3D human foot forms using the Free Form Deformation method and its application in grading shoe lasts,*Ergonomics*,43(9):1301-1313.
- Mon, D. L., Cheng, C. H., & Lin, J. C. (1994). Evaluating weapon system using fuzzy analytic hierarchy process based on entropy weight, *Fuzzy Sets and Systems*,62(2):127-134.
- Morag, E., & Cavanagh, P. R. (1999).Structural and functional predictors of regional peak pressures under the foot during walking. *Journal of Biomechanics*,32(4):359-70.
- Mueller, M. J. (1999).Application of plantar pressure assessment in footwear and insert design, *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*,29(12):747-755.
- Perry Jacquelin (1992). *Gait Analysis:Normal and Pathological Function*,New York: Slack.
- Price, C., Cooper, G., & Jones, R. (2015).The manipulation of midsole properties to alter impact characteristics in walking,*Footwear Science*,7(1): 9-16.

- Rupérez, M. J., Martín-Guerrero, J. D., Monserrat, C., & Alcañiz, M. (2010). Contact model, fit process and, foot animation for the virtual simulator of the footwear comfort. *Computer-Aided Design*,42(5) : 425-431.
- Rupérez, M. J., Martín-Guerrero, J. D., Monserrat, C., & Alcañiz, M. (2012).Artificial neural networks for predicting dorsal pressures on the foot surface while walking.*Expert Systems with Applications*,39(5): 5349-5357.
- Saaty, T. L. (2008).Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*,1(1):83-98.
- Shariatmadari, M. R. (2009).Finite Element Analysis into the Foot-Footwear Interaction Using EVA Footwear Foams,*13th International Conference on Biomedical Engineering*,23:1627-1630.
- Shieh, M. D., & Yeh, Y. E. (2013).Developing a design support system for the exterior form of running shoes using partial least squares and neural networks, *Computers & Industrial Engineering*,65(4):704-718.
- Takeshi Yamaguch & Kazuo Hokkirigawa (2014).Development of a High Slip-resistant Footwear Outsole Using a Hybrid Rubber Surface Pattern. *National Institute of Occupational Safety and Health*,52(5):414–423.
- Tang Yuk-Ming, & Hui Kin-Chuen (2011).Human foot Modeling towards footwear design.*Computer-Aided Design*,43(12):1841-1848.
- Tobias, W., Nathalie A., Josef, K., Thomas, S., & Herman, S. (2017). Effects of a leaf spring structured midsole on joint mechanics and lower limb muscle forces in running. *PLOSone*,12(2):1-12.
- Verdejo, R., & Mills, N. J. (2004). Heel--shoe interactions and the durability of EVA foam running-shoe midsoles, *Journal of Biomechanics* ,37(9):1379-1386.
- Walter, N. G., & Engelke, D. R. (2002).Ribozymes: Catalytic RNAs that cut things, make things, and do odd and useful jobs. *The Biologist*,49(5): 199-203.
- Wang Chung Chuan , Yang Ching Hu , Wang Chung Shing , Chang Teng Ruey, & Yang Kai Jey (2016).Feature recognition and shape design in sneakers.*Computers & Industrial Engineering*,102: 408-422. (SCI, IF=2.086)

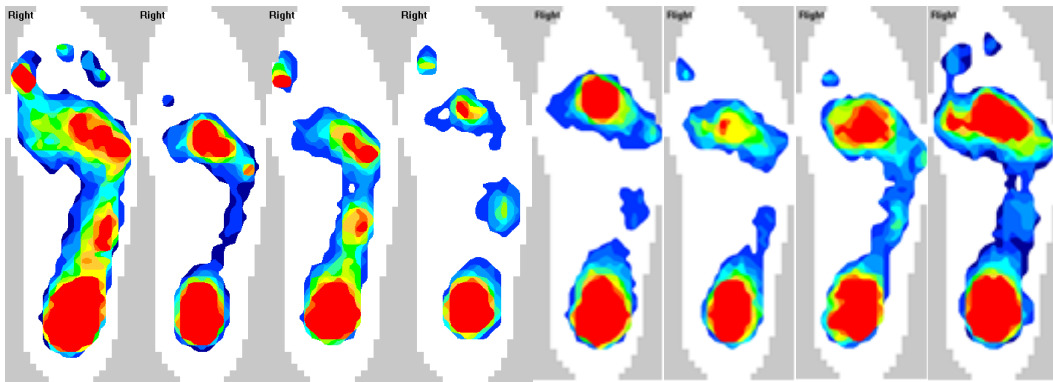
- Wang Chung-Shing (2010).An analysis and evaluation of fitness for shoe lasts and human feet, *Computers in Industry*,61(6): 532–540
- Weerasinghe, T. W., & Goonetilleke, R. S. (2017) Pressure thresholds and stiffness on the plantar surface of the human foot, *Ergonomics*,60(7) : 985-996.
- Witana, C. P., Feng, J., & Goonetilleke, R. S. (2004).Dimensional differences for evaluating the quality of footwear fit. *Ergonomics*,47(12):1301-1317.
- Witana, C. P., Xiong, S., Zhao, J., & Goonetilleke, R. S. (2006). Foot measurements from three-dimensional scans: A comparison and evaluation of different methods.*International Journal of Industrial Ergonomics*,36(9):789-807.
- Yu-Chun Hsu, Yih-Wen Gung, Shih-Liang Shih, Chi-Kuang Feng, Shun-Hwa Wei, Chung-huang Yu, & Chen-Sheng Chen (2008).Using an Optimization Approach to Design an Insole for Lowering Plantar Fascia Stress—A Finite Element Study. *Annals of Biomedical Engineering*, 36(8):1345-52.

附錄

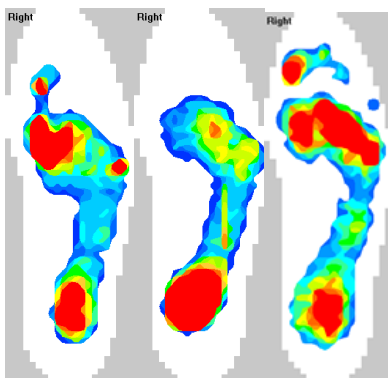
附表 1 正常裸足壓力表



A-H



I-P



Q-T(R 測試者不在內)

附表 2 舒適度鞋楦選擇系統志願者足部圍度(粗線為挑選測試者)

檔案(足)	足長(mm)	足 寬 (mm)	足 掌 圍 (mm)	足 背 圍 (mm)	足 腰 圍 (mm)	足高背圍 HIG(mm)	足 趾 圍 TG(mm)
61212F	257.55	105.44	259.85	249.54	250.13	336.16	235.75
61212C	258.77	105.72	252.32	254.12	248.16	337.12	216.89
61212E	260.65	102.54	251.81	254.03	243.66	345.43	216.43
61212A	246.57	100.04	226.02	235.38	232.28	322.34	220.08
61212D	254.32	100.85	245.55	250.65	240.87	336.95	226.05
61212B	259.44	99.53	242.43	244.89	235.95	343.33	216.47
61212G	245.31	105.34	263.06	275.35	269.22	331.88	220.54
61212H	258.55	98.56	244.39	262.28	240.53	341.37	215.49
61212I	255.23	110.51	239.26	235.59	225.28	310.62	215.31
61212J	253.42	105.68	239.66	243.37	249.32	338.82	228.25
61212K	259.11	100.33	247.57	260.24	245.69	325.34	228.39
61212L	252.23	90.52	250.21	251.61	243.41	328.66	220.11
61212M	277.76	90.36	258.69	261.25	249.22	342.29	201.68
61212N	259.45	100.54	256.17	262.34	258.63	355.72	213.24
61212O	250.21	95.22	245.63	249.88	238.87	318.22	208.71
61212P	235.68	91.38	232.26	250.51	241.62	310.25	195.22
61212Q	237.13	96.87	225.47	252.58	232.33	310.93	182.51
61212R	256.22	97.23	248.36	258.32	250.54	337.21	212.83
61212S	261.46	98.16	259.58	268.71	256.19	352.64	220.66

附表 3 受測者鞋楦模糊歸屬度排序

附表 3.1

足部受測 樣本	61212F				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
14D804	0	0.825	0.1525	0	0
47H907	0	0.115	0.11	0.3675	0
7D907.	0	0.7675	0	0.1325	0
11D801	0	0.5525	0	0	0
39H809	0	0.995	0	0.9925	0
10D910	0	0	0.8575	0	0
12D802	0	0	0.3925	0.18	0
32H802	0	0	0.485	0.305	0
34H804	0	0	0.735	0.9675	0
35H805	0	0	0.315	0	0
40H810	0	0	0.04	0	0
9D909.	0	0	0	0	0
13D803	0	0	0	0	0
15D805	0	0	0	0	0
16D806	0	0	0	0.075	0
18D808	0	0	0	0	0
31H801	0	0	0	0	0
37H807	0	0	0	0	0
38H808	0	0	0	0	0
49H909	0	0	0	0	0

附表 3.2

足部受測 樣本	61212C				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
14D804	0.2025	0.03	0.645	0	0.2975
34H804	0.675	0.8425	0.2425	0.7925	0.74
47H907	0.83	0.74	0.6025	0.6075	0
10D910	0.675	0	0.365	0	0.2275
13D803	0.07	0	0.4725	0	0
35H805	0.495	0	0.8075	0	0
12D802	0	0.4725	0.885	0	0
16D806	0	0.1725	0.3875	0.315	0
40H810	0	0.1475	0.5325	0	0
32H802	0.785	0	0	0.545	0.36
9D909.	0	0.9875	0	0	0
11D801	0	0.3025	0	0	0.1825
15D805	0	0.6525	0	0	0
18D808	0	0.725	0	0	0
31H801	0	0.57	0	0	0.8625
7D907.	0	0	0	0	0
37H807	0	0	0	0	0
38H808	0	0	0	0	0
39H809	0	0	0	0.7675	0
49H909	0	0	0	0	0

附表 3.3

足部受測 樣本	61212E				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
14D804	0.33	0.0525	0.23	0	0.5875
47H907	0.9575	0.7625	0.2725	0	0
34H804	0.5475	0.82	0	0	0
13D803	0.1975	0	0.4025	0.275	0.0975
35H805	0.6225	0	0.0675	0	0.905
15D805	0	0.63	0.845	0	0.16
16D806	0	0.15	0.4875	0	0
31H801	0	0.5475	0.8775	0	0
40H810	0	0.125	0.3425	0.86	0.4025
10D910	0.8025	0	0	0	0.6575
32H802	0.9125	0	0	0	0.525
9D909.	0	0.99	0	0.2275	0
11D801	0	0.325	0	0.5675	0.7025
12D802	0	0.45	0	0	0.5225
18D808	0	0.7025	0	0.8025	0
7D907.	0	0	0.6375	0	0
38H808	0	0	0.925	0	0
49H909	0	0	0.8275	0.2375	0
37H807	0	0	0	0	0
39H809	0	0	0	0	0

附表 3.4

足部受測 樣本	61212B				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
37H807	0.9225	0.81	0.525	0	0
9D909.	0.9475	0	0.3125	0.7525	0
11D801	0.4875	0	0.265	0.9075	0.2875
18D808	0.1925	0	0.23	0.2775	0
15D805	0.1325	0	0	0	0
31H801	0.435	0	0	0	0.7575
38H808	0.725	0	0	0	0
49H909	0.225	0	0	0	0
7D907.	0	0.07	0	0	0
39H809	0	0	0.62	0	0
10D910	0	0	0	0	0.3325
12D802	0	0	0	0	0
13D803	0	0	0	0.8	0
14D804	0	0	0	0	0.4025
16D806	0	0	0	0.1325	0
32H802	0	0	0	0	0.465
34H804	0	0	0	0	0.635
35H805	0	0	0	0	0.085
40H810	0	0	0	0.615	0
47H907	0	0	0	0	0

附表 3.5

足部受測 樣本	61212H				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
38H808	0.785	0.3925	0.2925	0	0
49H909	0.715	0.0825	0.39	0	0
7D907.	0.3	0	0.58	0	0
9D909.	0.4575	0	0.5425	0.7575	0
15D805	0.6225	0	0.3725	0	0
31H801	0.925	0	0.34	0	0.5125
37H807	0.5875	0	0.33	0	0
12D802	0.3525	0	0	0	0
16D806	0.2225	0	0	0.6225	0
40H810	0.4475	0	0	0.125	0
10D910	0	0.9675	0	0	0.5775
32H802	0	0.6525	0	0.3925	0.71
35H805	0	0.45	0	0	0.33
11D801	0	0	0.59	0.4175	0.5325
18D808	0	0	0.625	0	0
13D803	0	0	0	0.71	0
14D804	0	0	0	0	0.6475
34H804	0	0	0	0	0.39
39H809	0	0	0	0	0
47H907	0	0	0	0.33	0

附表 3.6

足部受測 樣本	61212I				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
9D909.	0.26	0	0	0	0
11D801	0.72	0	0	0	0.5775
18D808	0.985	0	0	0	0
37H807	0.13	0	0	0	0
39H809	0.41	0	0	0	0
7D907.	0	0	0	0	0
10D910	0	0	0	0	0.6225
12D802	0	0	0	0	0
13D803	0	0	0	0	0
14D804	0	0	0	0	0.6925
15D805	0	0	0	0	0
16D806	0	0	0	0	0
31H801	0	0	0	0	0.4675
32H802	0	0	0	0	0.755
34H804	0	0	0	0	0.345
35H805	0	0	0	0	0.375
38H808	0	0	0	0	0
40H810	0	0	0	0	0
47H907	0	0	0	0	0
49H909	0	0	0	0	0

附表 3.7

足部受測 樣本	61212K				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
13D803	0.7425	0.5025	0.91	0	0
16D806	0.9825	0.2975	0.995	0	0.4525
35H805	0.3175	0.96	0.575	0	0
40H810	0.7575	0.3225	0.85	0	0
49H909	0.49	0.5925	0.32	0	0
10D910	0.1375	0.5225	0	0	0
32H802	0.0275	0.8375	0	0	0
7D907.	0.905	0	0.13	0	0.255
12D802	0.8525	0	0.4975	0	0
14D804	0.61	0	0.7375	0	0
15D805	0.5825	0	0.3375	0.95	0
31H801	0.28	0	0.37	0	0
38H808	0	0.9025	0.4175	0	0
47H907	0	0	0.78	0	0
9D909.	0	0	0	0	0
11D801	0	0	0	0	0
18D808	0	0	0	0	0
34H804	0	0	0	0	0
37H807	0	0	0	0.665	0.7275
39H809	0	0	0	0	0

附表 3.8

足部受測 樣本	61212N				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
34H804	0.3625	0	0	0	0
10D910	0	0.9525	0	0	0.86
32H802	0	0.6375	0	0	0.7275
35H805	0	0.435	0	0	0.8925
38H808	0	0.3775	0	0.2	0
49H909	0	0.0675	0	0	0
7D907.	0	0	0	0	0
9D909.	0	0	0	0	0
11D801	0	0	0	0	0.905
12D802	0	0	0	0	0.32
13D803	0	0	0	0	0
14D804	0	0	0	0	0.79
15D805	0	0	0	0	0
16D806	0	0	0	0	0
18D808	0	0	0	0	0
31H801	0	0	0	0	0
37H807	0	0	0	0	0
39H809	0	0	0	0	0
40H810	0	0	0	0	0.2
47H907	0	0	0	0	0

附表 3.9

足部受測 樣本	61212R				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
10D910	0.335	0.0425	0.96	0	0.7575
12D802	0.655	0.4775	0.29	0	0.4225
32H802	0.225	0.3575	0.5875	0.5675	0.625
35H805	0.515	0.56	0.2125	0	0.995
13D803	0.94	0.9825	0	0	0
15D805	0.385	0.2975	0	0	0.06
16D806	0.785	0.7775	0	0.3375	0
31H801	0.0825	0.38	0	0	0
40H810	0.56	0.8025	0	0	0.3025
49H909	0.2925	0.9275	0	0	0
14D804	0.8075	0	0.05	0	0.6875
47H907	0.18	0	0.0075	0.63	0
34H804	0	0.1075	0.8375	0.77	0
7D907.	0.7075	0	0	0	0
18D808	0	0.225	0	0	0
38H808	0	0.6175	0	0	0
9D909.	0	0	0	0	0
11D801	0	0	0	0	0.8025
37H807	0	0	0	0	0
39H809	0	0	0	0.745	0

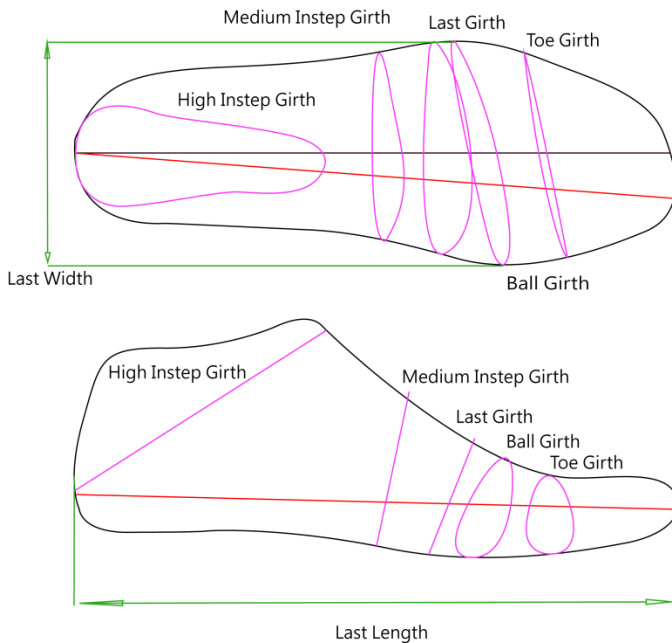
附表 3.10

足部受測 樣本	61212S				
觸感壓值	11	4	4		
鞋楦檔案名 稱	掌圍 歸屬度	背圍 歸屬度	腰圍 歸屬度	足 HIG 歸屬度	足 TG 歸屬度
7D907.	0	0	0	0	0
9D909.	0	0	0	0	0
10D910	0	0	0	0.6075	0
11D801	0	0	0	0	0
12D802	0	0	0	0	0
13D803	0	0	0	0	0
14D804	0	0	0	0	0
15D805	0	0	0	0	0
16D806	0	0	0	0	0
18D808	0	0	0	0	0
31H801	0	0	0	0.31	0.195
32H802	0	0	0	0	0
34H804	0	0	0	0	0.3175
35H805	0	0	0	0	0
37H807	0	0	0	0	0.59
38H808	0	0	0	0.97	0
39H809	0	0	0	0	0
40H810	0	0	0	0	0
47H907	0	0	0	0	0
49H909	0	0	0	0	0

附表 4 問卷設計

敬愛的受訪者 您好：

本問卷主要目的，在於為消費者設計出較為合腳之鞋楦，因應鞋楦的舒適度要求(即鞋具穿著與足部圍度之模合程度)，透過研究整理出五項量測設計特徵，分別是趾圍、掌圍、腰圍、背圍與高背圍，如下圖所示。希望透過專業技術豐富的您，回答下列問題並給予評分，所得評分結果後續將以層級分析法(AHP)來進行分析，藉此取得這五個圍度之強弱關係權重排序。



五個圍度功能說明：

趾圍(Toe Girth)-保護足趾並提供足夠的空間，以容納步行間因壓力變化而擴張的足趾長度以及寬度。

掌圍(Ball Girth)-提供動態上需要的足夠彈性與彎曲活動，避免造成關節運動阻力。以及重量的承載與反作用力的吸收。

腰圍(Last Girth)-提供適度的穩定作用，避免重心轉移時腳跟過度的向外擺動。

背圍(Medium Instep Girth)- 避免在抬升過程中，足弓僵硬過度造成磨擦與受力，導致受傷。

高背圍(High Instep Girth)-影響穿卸的位置，是決定鞋子穿脫容易與否的關鍵。主要功能是保護足背並提供適當的調整彈性。

請先填寫個人基本資料，並依您的專業知識和經驗背景作答，所有資料將作為研究使用，絕不外流，感謝您的支持。

基本資料

1.年齡-

25-29 30-34 35-39 40-44 45-49 50 以上

2.職業別-

醫師 復健師 護理師 鞋技專業人員 其他

3.從事醫療或鞋類研究之工作年資-

1-3 4-6 7-9 10-12 13-15 16-18 19 以上

4.學歷-

專科 大學 研究所 博士

本問卷設計採層級分析法之格式，回答方式如下：

您認為哪一個鞋具特徵圍度對於消費者的腳型是較重要的，請在下框中區域，依照您個人對於一般足部護理與鞋具設計、製作、穿著的專業認識作答，在表格上給予各階段「強烈程度」的評分，所有資料將作為研究使用。

重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
掌圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	腰圍
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
掌圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	背圍
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
掌圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	高背圍
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
掌圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	趾圍

重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
腰圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	背圍
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
腰圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	高背圍
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
腰圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	趾圍
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
背圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	高背圍
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
背圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	趾圍
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										
	9	7	5	3	1	3	5	7	9	
高背圍	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	趾圍
重要度比較										
極強 ← 強 ← 相等 → 強 → 極強										

附表 5 60 支不分鞋號鞋楦特徵圍度數據

檔案名稱	長(mm)	寬(mm)	掌圍(mm)	背圍(mm)	腰圍(mm)	高背(mm)	趾圍(mm)
1_D901.	285.58	97.74	237.99	249.34	236.45	353.06	210.26
2_D902.	282.12	98.66	244.94	254.54	245.69	342.00	207.14
3_D903.	287.28	97.04	246.46	256.46	243.82	351.78	205.24
4_D904.	284.08	98.98	247.11	248.26	244.63	339.26	210.78
5_D905.	285.89	95.14	243.70	253.66	240.74	334.23	205.54
6_D906.	286.18	100.33	245.35	255.64	243.50	349.06	222.64
7_D907.	274.36	97.38	236.19	237.61	231.21	329.69	215.37
8_D908.	282.37	93.20	236.87	253.48	236.70	355.82	198.43
9_D909.	276.16	93.65	230.22	243.07	227.70	339.34	191.96
10_D910.	280.71	96.78	240.02	251.15	239.70	348.07	202.80
11_D801.	275.58	94.32	229.38	240.33	227.89	340.70	202.62
12_D802.	272.12	95.17	235.98	245.23	236.70	329.88	199.52
13_D803.	277.28	93.66	237.60	247.25	235.05	339.53	197.82
14_D804.	274.08	95.50	238.13	239.24	235.74	327.32	203.08
15_D805.	275.89	91.82	234.90	244.51	232.04	322.54	198.07
16_D806.	276.18	96.83	236.50	246.43	234.71	336.86	214.58
17_D807.	264.36	93.83	227.29	228.65	222.49	317.67	207.23
18_D808.	272.37	89.90	228.20	244.22	228.03	343.22	191.12
19_D809.	266.16	90.26	221.59	233.98	219.16	327.05	184.72

檔案名稱	長(mm)	寬(mm)	掌圍(mm)	背圍(mm)	腰圍(mm)	高背(mm)	趾圍(mm)
20_D810.	270.71	93.33	231.19	241.91	230.88	335.67	195.29
21_D1001	295.58	101.16	246.61	258.35	245.01	365.42	217.91
22_D1002	292.12	102.16	253.91	263.84	254.68	354.12	214.77
23_D1003	297.28	100.42	255.32	265.66	252.58	364.02	212.66
24_D1004	294.08	102.47	256.09	257.28	253.53	351.20	218.48
25_D1005	295.89	98.47	252.51	262.81	249.44	345.92	213.01
26_D1006	296.18	103.84	254.20	264.85	252.29	361.26	230.70
27_D1007	284.36	100.93	245.09	246.56	239.93	341.70	223.51
28_D1008	292.37	96.50	245.54	262.74	245.36	368.42	205.74
29_D1009	286.16	97.04	238.84	252.16	236.23	351.62	199.20
30_D1010	290.71	100.23	248.86	260.38	248.53	360.47	210.30
31_H801.	280.58	96.03	233.69	244.84	232.17	346.88	206.44
32_H802.	277.12	96.91	240.46	249.89	241.19	335.94	203.33
33_H803.	282.28	95.35	242.03	251.86	239.43	345.66	201.53
34_H804	279.08	97.24	242.62	243.75	240.19	333.29	206.93
35_H805.	280.89	93.48	239.30	249.08	236.39	328.39	201.81
36_H806.	281.18	98.58	240.93	251.04	239.10	342.96	218.61
37_H807.	269.36	95.60	231.74	233.13	226.85	323.68	211.30
38_H808.	277.37	91.55	232.53	248.85	232.36	349.52	194.78
39_H809.	271.16	91.95	225.90	238.52	223.43	333.19	188.34

檔案名稱	長(mm)	寬(mm)	掌圍(mm)	背圍(mm)	腰圍(mm)	高背(mm)	趾圍(mm)
40_H810.	275.71	95.06	235.60	246.53	235.29	341.87	199.04
41_H901.	290.58	99.45	242.30	253.85	240.73	359.24	214.08
42_H902.	287.12	100.41	249.43	259.19	250.18	348.06	210.96
43_H903.	292.28	98.73	250.89	261.06	248.20	357.90	208.95
44_H904.	289.08	100.73	251.60	252.77	249.08	345.23	214.63
45_H905.	290.89	96.81	248.11	258.24	245.09	340.08	209.28
46_H906.	291.18	102.09	249.78	260.25	247.89	355.16	226.67
47_H907.	279.36	99.15	240.64	242.08	235.57	335.69	219.44
48_H908.	287.37	94.85	241.21	258.11	241.03	362.12	202.09
49_H909.	281.16	95.34	234.53	247.61	231.97	345.48	195.58
50_H910.	285.71	98.50	244.44	255.76	244.11	354.27	206.55
51_H1001	300.58	102.88	250.91	262.86	249.29	371.60	221.73
52_H1002	297.12	103.91	258.39	268.50	259.18	360.18	218.58
53_H1003	302.28	102.11	259.75	270.27	256.96	370.15	216.37
54_H1004	299.08	104.21	260.58	261.79	257.97	357.18	222.34
55_H1005	300.89	100.14	256.91	267.39	253.79	351.77	216.75
56_H1006	301.18	105.59	258.63	269.46	256.68	367.35	234.73
57_H1007	289.36	102.70	249.54	251.03	244.29	347.71	227.58
58_H1008	297.37	98.15	249.88	267.37	249.70	374.72	209.40
59_H1009	291.16	98.74	243.16	256.70	240.50	357.77	202.82

檔案名稱	長(mm)	寬(mm)	掌圍(mm)	背圍(mm)	腰圍(mm)	高背(mm)	趾圍(mm)
60_H1010	295.71	101.95	253.27	264.99	252.94	366.67	214.06