


國立交通大學

機械工程學系

碩士論文

地下場站人員安全避難時間
檢核分析與比較



The Study on Occupant Evacuation Time Simulations
in the Underground Stations

研究生：林世庸

指導教授：陳俊勳 教授

中華民國一〇〇年六月

地下場站人員安全避難時間檢核分析與比較

The Study on Occupant Evacuation Time Simulations
in the Underground Stations

研究生：林世庸

Student：Shih-Yong Lin

指導教授：陳俊勳

Advisor：Chiun-Hsun Chen



Submitted to Department of Mechanical Engineering
College of Engineering

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the Degree of

Master of Science

In Mechanical Engineering

June 2011

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇〇年六月

摘要

本研究利用性能式設計法來進行地下場站人員逃生避難檢討，首先探討案例的建築物內部設計條件，如步行距離、樓梯寬度、人員密度等，接著進行案例逃生避難時間分析，探討案例中樓梯人員通量、閘門阻塞程度、出口阻塞程度及人員逃生情形，此外進行避難弱勢族群逃生模擬，並探討避難弱者逃生時的情況。

本研究案例分析架構可分為逃生效率改善、火災位置對逃生之影響、不同人數之逃生影響、各模擬方法之逃生比較及避難弱勢族群逃生等。案例分析結論部分可分為以下幾點：

1. 弧形牆面可減少人員在樓梯轉角處發生碰撞的情形，有助於縮短人員逃生時間，逃生效率約可增加 11.17%，樓梯通量最高可增加 20%。
2. 若地下場站發生火災，則屬列車失火的情形最為嚴重，因逃生人數過多，使得逃生時間所需最長（8.79min）。
3. 比較各模擬方法後發現，建築物防火避難安全性能驗證手冊在計算人員逃生時間上結果最為嚴苛，而 NFPA 130 與高雄捷運規範原理相近，計算結果最為寬鬆，SIMULEX 軟體結果則介於前述三種方法中間。
4. 利用 SIMULEX 軟體探討避難弱勢族群逃生情形，發現避難弱者逃生花費時間約為一般正常人的 1.6 倍。

關鍵字：避難弱者、人員逃生、SIMULEX 軟體、NFPA 130、性能法比較

The Study on Occupant Evacuation Time Simulations
in the Underground Stations

Student : Shih-Yong Lin

Advisor : Chiun-Hsun Chen

Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

ABSTRACT

This study analyzes occupant evacuation time in an underground station by utilizing performance-based design method. Firstly, it discusses the internal safety design conditions of the building, such as walking distance, stair width, and occupant density. Then it analyzes the occupant flux across the stairs, interference level of gate and corresponding evacuation situation. The analyses for the evacuation time simulation of disable occupant groups are also given.

The framework of this study includes improving the escaping efficiency, the influences on evacuation based on the fire locations and population densities, the comparison by using different simulation methods and the occupant evacuation time simulation of disable groups.

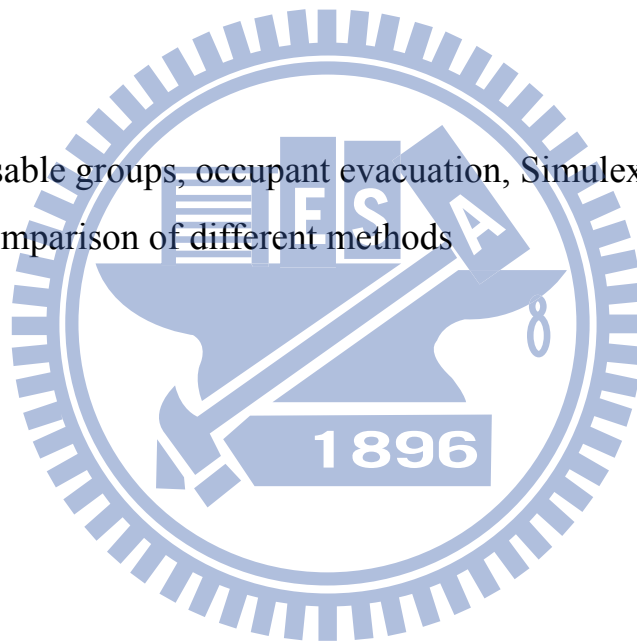
The following conclusions are obtained by this research:

1. Curved walls design can smooth the collision situation of people around the stair corner to help reducing the evacuation time. The escape efficiency of about 11.17% increase, and the occupant flux across the stairs can be increased about 20%.
2. If fire incident occurs in the underground station, the most dangerous case is the fire caused by train because of an excessive population, so the time needed to escape which is 8.79min is the longest.
3. According to the comparison of using different simulation methods, it is

found that evacuation time in Route B calculation is the most strictly. The specification principles applied by NFPA 130 and KMRT are the same and it leads to the most loosing result. The results by Simulex software are intermediate between the methods mentioned previously.

4. The evacuation time analysis of disable groups by using Simulex software finds that the evacuation time for such people is about 1.6 times that for normal people.

Key words : disable groups, occupant evacuation, Simulex, NPFA 130, comparison of different methods



致謝

很快的研究所兩年就這樣過去了，這段日子裡，首先我要感謝我的老師 陳俊勳教授，老師的諄諄教誨與指導，使我在學業與待人處事上都獲益良多，也非常感謝老師對我的論文一直以來不厭其煩的訂正與建議，在此致上最深的感謝。

同時也感謝事故調查及成災因素分析應用於風險評估和災害預防之整合研究計畫所提供的研究經費，使我能順利進行研究，也感謝中台技術學院 徐一量教授與台灣警察專科學校 邱晨瑋教授及高雄第一科技大學 蔡匡忠教授對我論文的指證與建議，使我的論文更加完善。

在這兩年研究所的時光，感謝實驗室彥成、達叔、阿貴、湯圓、家維、宗翰、昶安、金輝、信錡、義嘉、瑋琮等學長對我的照顧與指導，使我不管在論文或是日常雜事都能依循他們的經驗而不致於做錯。同時還要感謝抓抓、黃鈞、云婷、聖容，因為有他們的扶持，使我在這兩年的求學生涯中並不孤單，也很高興我們都一起順利畢業了。還要感謝實驗室的學弟阿扁、小豬、天洋、鈺鈞幫我處理很多雜事還有工作上的協助，讓我能在寫論文之外，也無須花太多心力在其他的事務上。還要感謝巨江楊介雄還有陳嘉勳大哥給我的一些建議。

最後我要感謝的是我的家人，婉如跟我在一起的四年，一直以來都給予我很大的鼓勵，每當我為了論文而心煩時，都能夠讓我再次開心起來，重拾工作的熱情；還要感謝我的媽媽和妹妹，讓我在失意時也能夠給我默默的支持，我要對我深愛的家人們獻上這份榮耀。

目錄

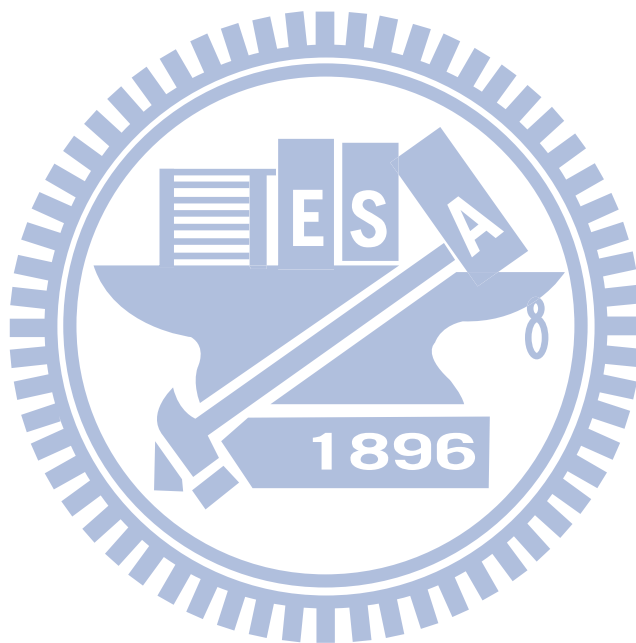
摘要	I
ABSTRACT	II
致謝	IV
目錄	V
表目錄	IX
圖目錄	XII
第一章 緒論	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 文獻回顧	5
1.3 研究內容	8
第二章 地下場站空間型態之特性分析	10
2.1 地下場站空間之特性	10
2.2 使用人員之特性	11
2.3 高齡者行為特性	13
2.4 身心障礙者行為特性	15
2.5 人群逃生速度分析整理	16
2.6 煙層流動特性	22
2.7 災例分析	25
第三章 國內外相關規範	29

3.1 國內外相關規範.....	29
3.1.1 建築技術規則.....	29
3.1.2 鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置標準 規範.....	30
3.1.3 高雄捷運土建及車站工程設計規範第四篇.....	31
3.1.4 NFPA130.....	33
3.1.5 逃生時間檢討標準.....	36
第四章 逃生模擬軟體與計算方法介紹.....	37
4.1 逃生模擬軟體(SIMULEX).....	37
4.2 建築物避難安全檢證技能手冊.....	43
4.3 高雄捷運『土建及車站工程設計規範』.....	46
4.4 NFPA130.....	48
第五章 結果與討論.....	50
5.1 前言.....	50
5.2 案例範圍及法規檢討.....	50
5.3 逃生效率改善.....	53
5.3.1 情境說明.....	53
5.3.2 模擬結果.....	56
5.3.3 小結.....	60
5.4 火源位置對逃生時間之影響.....	64

5.4.1 情境說明	64
5.4.2 模擬結果	67
5.4.3 類似文獻結果	72
5.4.4 小結	74
5.5 不同模擬方法之逃生比較	76
5.5.1 情境說明與模擬方法比較	76
5.5.2 模擬結果	77
5.5.3 綜合比較	84
5.6 不同逃生人數之逃生比較	87
5.6.1 情境說明	87
5.6.2 模擬結果	87
5.6.3 綜合比較	93
5.7 避難弱勢族群探討	95
5.7.1 情境說明	95
5.7.2 模擬結果	96
5.7.3 小結	99
第六章 結論與建議	100
參考文獻	104
附錄 A 高雄捷運規範逃生時間計算	107

附錄 B NFPA 130 逃生時間計算.....130

附錄 C 建築物防火避難安全性能驗證技術手冊逃生時間計算.....153

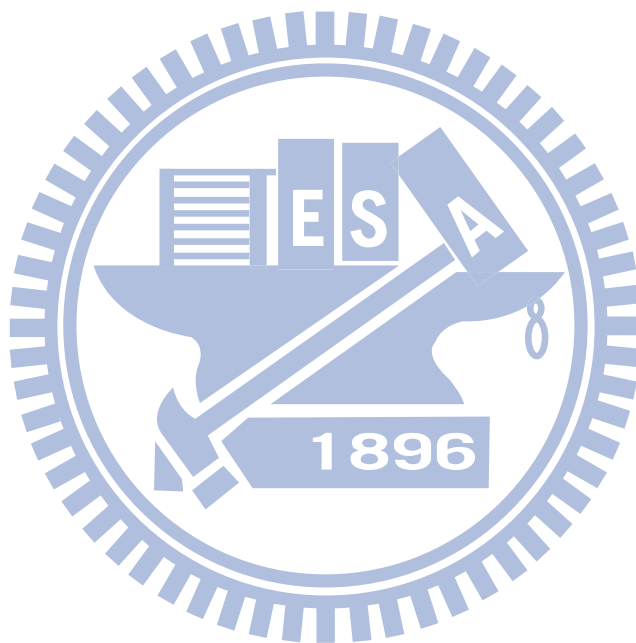


表目錄

表 1.1 世界各國捷運及地下鐵系統重大火災事故一覽表.....	4
表 2-1 避難人員之心理特性	12
表 2-2 各類人員行動能力分類表	13
表 2-3 人員避難行動能力表	13
表 2-4 高齡避難弱者之心理障礙特性	15
表 2-5 各類身心障礙特徵及認知、行動能力	16
表 2-6 逃生速度研究結果整理比較	17
表 2-7 起火位置與原因統計表	26
表 3-1 建築技術規則-避難設施相關條文	30
表 3-2 鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置標準規範-避難設施相關條文.....	31
表 3-3 高雄捷運土建及車站工程設計規範第四篇-避難設施相關條文.....	32
表 3-4 NFPA 130(2010 年版) -避難設施相關條文.....	34
表 3-5 國內外規範彙整比較	35
表 3-6 國內外規範逃生時間標準	36
表 4-1 SIMULEX提供之人體尺寸.....	38
表 4-2 SIMULEX提供不同人群模式之男女分布表	39
表 5-1 法規檢討表.....	51

表 5-2 高雄捷運R11 高雄車站內部規劃.....	51
表 5-3 情境說明.....	54
表 5-4 逃生時間結果.....	57
表 5-5 情境說明.....	64
表 5-6 逃生時間結果.....	68
表 5-7 逃生時間結果表	73
表 5-8 模擬情境設計.....	77
表 5-9 模擬方法比較.....	77
表 5-10 逃生時間結果.....	78
表 5-11 逃生時間結果.....	80
表 5-12 逃生時間結果.....	81
表 5-13 逃生時間結果.....	83
表 5-14 文獻研究時間結果.....	86
表 5-15 本研究時間結果	86
表 5-16 模擬情境設計.....	87
表 5-17 逃生時間結果.....	88
表 5-18 逃生時間結果.....	89
表 5-19 逃生時間結果.....	90
表 5-20 逃生時間結果.....	92

表 5-21 情境說明.....	95
表 5-22 逃生時間結果.....	96
表 6-1 模擬方法個別逃生時間項目之討論比較.....	102



圖目錄

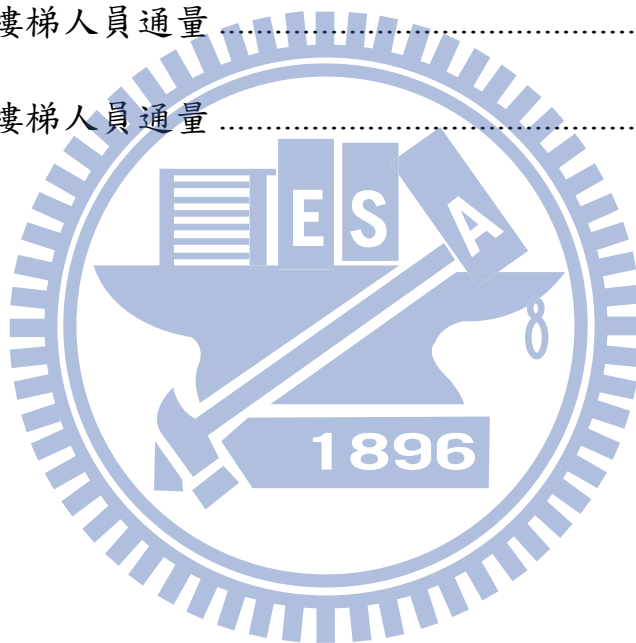
圖 1-1	案例分析流程.....	9
圖 2-1	正煙窗效應.....	25
圖 2-2	逆煙窗效應.....	25
圖 2-3	火災發生位置與火災發生原因關係圖	26
圖 2-4	電氣火災之起火位置統計圖	27
圖 2-5	縱火之起火位置統計圖	27
圖 2-6	人為因素之起火位置統計圖	28
圖 2-7	其他原因之起火位置統計圖	28
圖 4-1	SIMULEX模擬避難流程.....	40
圖 4-2	電腦模擬人體尺寸示意圖.....	40
圖 4-3	人員間的接觸距離	41
圖 4-4	人員間距離與步行速度之關係	41
圖 4-5	避難人員超越之角度	42
圖 4-6	SIMULEX模擬不同方向阻礙下之超越路線圖	42
圖 4-7	樓層避難流程圖	43
圖 4-8	整棟避難流程圖	44
圖 5-2	U-4 層平面圖	52
圖 5-3	U-3 層平面圖	52

圖 5-4 U-2 層平面圖	53
圖 5-5 情境一SIMULEX模擬平面圖.....	54
圖 5-6 U-3 層修正處	55
圖 5-7 U-2 層修正處	55
圖 5-8 U-3 層圓弧設計處	56
圖 5-9 U-2 層圓弧設計處	56
圖 5-10 U-4 層樓梯人員通量	57
圖 5-11 U-3 層樓梯人員通量	57
圖 5-12 U-2 層樓梯人員通量	58
圖 5-13 U-4 層樓梯人員通量	58
圖 5-14 U-3 層樓梯人員通量	58
圖 5-15 U-2 層樓梯人員通量	59
圖 5-16 U-4 層樓梯人員通量	59
圖 5-17 U-3 層樓梯人員通量	59
圖 5-18 U-2 層樓梯人員通量	60
圖 5-19 樓梯平均人員通量	60
圖 5-20 樓梯空間無法充分使用示意圖	62
圖 5-21 樓梯空間正常使用示意圖	62
圖 5-22 U-3 層逃生不合理處	63

圖 5-23 U-2 層逃生不合理處	63
圖 5-24 情境一SIMULEX模擬平面圖.....	65
圖 5-25 情境二SIMULEX模擬平面圖.....	66
圖 5-26 情境三SIMULEX模擬平面圖.....	66
圖 5-27 情境四SIMULEX模擬平面圖.....	67
圖 5-28 U-4 層樓梯人員通量	68
圖 5-29 U-3 層樓梯人員通量	68
圖 5-30 U-2 層樓梯人員通量	69
圖 5-31 U-4 層樓梯人員通量	69
圖 5-32 U-3 層樓梯人員通量	69
圖 5-33 U-2 層樓梯人員通量	70
圖 5-34 U-4 層樓梯人員通量	70
圖 5-35 U-3 層樓梯人員通量	70
圖 5-36 U-2 層樓梯人員通量	71
圖 5-37 U-4 層樓梯人員通量	71
圖 5-38 U-3 層樓梯人員通量	71
圖 5-39 U-2 層樓梯人員通量	72
圖 5-40 避難人數分佈圖	74
圖 5-41 情境說明示意圖	74

圖 5-42 月台層逃生時間	78
圖 5-43 整棟逃生時間.....	79
圖 5-44 月台層逃生時間	80
圖 5-45 整棟逃生時間.....	80
圖 5-46 月台層逃生時間	82
圖 5-47 整棟逃生時間.....	82
圖 5-48 月台層逃生時間	83
圖 5-49 整棟逃生時間.....	84
圖 5-50 逃生時間.....	88
圖 5-51 平均樓梯通量.....	88
圖 5-52 逃生時間.....	89
圖 5-53 平均樓梯通量.....	89
圖 5-54 逃生時間.....	90
圖 5-55 樓梯通量.....	91
圖 5-56 逃生時間.....	92
圖 5-57 樓層避難樓梯通量	92
圖 5-58 整棟避難樓梯通量	93
圖 5-59 樓梯通量比較.....	94
圖 5-60 月台層逃生時間比較	94

圖 5-61 整棟逃生時間比較	94
圖 5-62 模擬平面圖	96
圖 5-63 U-4 層樓梯人員通量	97
圖 5-64 U-3 層樓梯人員通量	97
圖 5-65 U-2 層樓梯人員通量	97
圖 5-66 U-4 層樓梯人員通量	98
圖 5-67 U-3 層樓梯人員通量	98
圖 5-68 U-2 層樓梯人員通量	98



第一章 緒論

1.1 研究動機與目的

建築物防火設計的基本理念，首要保障人命安全，當火災發生時，火源上方會產生一含有高溫煙氣的火柱，其組成除了燃燒物質所釋放出已分解與未燃燒物質外，還有高溫蒸氣與有毒氣體，由於此高溫煙流比重較周遭的冷空氣低，所以會帶動周圍的冷空氣形成一上升氣流而聚集在天花板，並快速的朝四周擴散延伸，隨著火勢的擴大，高溫氣體層也會快速增厚，對火場中的人員造成嚴重的威脅，此高溫濃煙往往是危害生命的最致命因素，根據統計火災中濃煙造成的傷亡幾乎是火造成傷亡的兩倍，因為濃煙中含有大量的有毒物質，特別是一氧化碳造成的致死人數佔死亡總數的 40%以上，若長時間暴露在這樣的環境中，將會引起休克、昏迷，甚至造成死亡，而煙流的高溫也會對人體造成傷害，且因為濃煙遮蔽人員視線，能見度不佳導致人員避難延遲，也容易造成推擠踩踏受傷甚至死亡的情形，另外由於煙擴散的速度較人步行的速度快，若建築物內部空間設計較為單純，常會形成煙擴散方向與人員逃生方向相同的情形，如此一來更會對人員避難逃生造成莫大的威脅性。因此，人員避難逃生行為即為了躲避火源與煙流的危害，選擇適當的逃生路徑至安全地點而展開的求生行為，防火設計的最終目的就是為了確保人員在建築物內進行避難時，使人員能夠在煙或火危及到人身安全前，便能順利抵達安全地點使自身生命安全不受威脅。

目前台灣所制定的火災安全法規為內政部「各類場所消防安全設備設置標準」[1]與「建築技術規則」[2]作為建築物建造時之標準，此為傳統式的規格性規範 (prescriptive-based codes)，建築設計者只要依照法規的內容去設置防火避難設備，便可達到符合水準的消防安全，但人員避難安全這點，僅在建築技術規則內對於人員避難設施有相關規定，如避難出入口數量、走廊寬度、步行距離等，對於其他影響人員避難的因素，如設施配置、人員特性、步行速度等，條文內容幾乎沒有加以討論，但這些因素實際上

與人員逃生有極大的關聯性。另外近 20 年來，由於台灣邁向福利國的趨勢走向，國內生活水平提高、衛生醫療技術快速進步，促使國民平均壽命不斷延長，同時增加社會人口結構老化的速度，台灣老年人口比率已於 1993 年超過 7%，已經超過聯合國定義的高齡化社會標準，另依據內政部統計處「94 年老人狀況報告」[3]資料顯示，2005 年台閩地區 65 歲以上老年人口已增加為 219 萬人，佔總人口數的 9.62%，而高齡者大多行動不便，此與身心障礙者如視覺障礙、聽覺障礙、肢體殘障、智能障礙等，均可視為所謂的避難弱勢族群，當發生火災時，這些避難弱勢族群若能與一般人相同，順利抵達安全地點完成逃生動作，結果當然是能確保其人命安全，但事實上往往不是如此。在前述提到的火災安全法規中，建築法方面所訂頒的建築防火條文規定，包括計算步行距離、出入口、樓梯寬度，均採一般正常人角度訂頒，在避難弱勢人員相關的條文，則以「行動不便者」方式，分別訂於第 2 章第 33 條樓梯與扶手之規定內容、第 10 章公共建築物行動不便者使用設施、第 16 章老人住宅等；另外在消防法部分，以「各類場所消防安全設備設置標準」為主，但該標準並無對於避難弱勢族群特別規定之內容，基於每一個生命都是無價的概念，而不只是僅保障一般人的生命安全，提供必要的避難對策防護，是這些避難弱勢族群的基本權利，也是政府機關未來不可忽視的課題。

隨著經濟發展，國內出現許多各種用途的特殊建築物，這些建築物都是無法依循上述傳統式規格性建築法規來進行規範，尤其軌道運輸系統，目前多以地下化來作為軌道運輸系統之規畫設計，使得地下車站具有深廣、密閉式的結構特性，若再與其它用途建築物結合或與高鐵、台鐵、捷運進行共構整合規劃時，整體建築物將會更加複雜化。由於地下運輸系統之構造較為特殊，加上隧道通風對煙流的影響，一旦發生火災，除了火災本身所引起的危害外，仍有濃煙毒氣遮蔽視線、避難逃生路徑遭到隔絕、消防防災系統功能失效，空間狹小造成滅火困難延誤搶救時效等因素，在搶救上的困難性可想而知。根據相關資料統計，歷年來各國地鐵及捷運系統發生之重大火災事故中（詳見表 1-1），以 2003 年發生於韓國大邱捷運

系統之火災傷亡最為慘重，造成近 200 人死亡，因此地下運輸系統在發生災害時，為了保障人民的生命安全，除了使消防、排煙設備維持正常運作外，人員疏散對策也是非常重要的一環。

故為了確保建築物於火災發生時能確實的保護人員性命安全，有效解決前述問題的方法即為利用性能式火災安全設計方法（performance-based fire safety design method）來評估建築物消防設備的有效性，因此，內政部建築研究所配合世界各先進國家發展性能法規與性能式設計之潮流，出版「建築物防火避難安全性能驗證技術手冊」[4]，提供性能式防火設計之參考，內容可根據人員特性與建築物空間配置等資料，來推估避難完成所需之時間，此外，交通部於 97 年頒布「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範」[5]，來作為地下軌道系統設計之參考依循，其中便有規定自地下多層場站之最低層月台，必須在 4 分鐘內將乘客疏散至逃生口，然後其上每增加一層得增加 2 分鐘之疏散時間，最後疏散至避難層或安全地點。英國軌道運輸相當發達，當災害發生時為了能確保旅客安全，且避免災害持續擴大，也訂定軌道系統營運時之相關災害防治體系規劃設計，內容也有規定月台層到安全通道的避難時間應小於 4.5 分鐘，並於 15 分鐘內完成整體避難動作。另外美國防火協會（Nation Fire Protection Association, NFPA）公佈有關固定式軌道運輸系統之設計標準，NFPA 130「Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems」[6][7]，係針對地上或地下車站本體結構、軌道、隧道、緊急通風系統、運輸列車、機廠及維修站、緊急應變程序、通信連絡等詳加規範，並具體提供消防排煙通風及避難時間計算方法以檢討避難安全性能。而高雄市政府捷運局也就高雄市地下捷運運輸系統訂定「高雄捷運公司土建及車站工程設計規範」[8]來作為高雄地下捷運場站之規畫設計標準，也提供逃生避難時間檢核計算方法來檢討人員避難逃生是否安全。軌道運輸系統為陸路交通體系中極其重要之一環，同時為旅客載運量最大之運輸工具，人們對軌道運輸系統之依存度相較於其他運輸系統來得高，一旦發生災害，常造成重大的人員死傷與財物損失，因此其安全規畫之完善與否也更加重要。

因此本研究利用性能式火災安全設計方法提供的避難時間計算規範來評估地下軌道運輸系統在火災發生時，人員能否在安全的時限內安全逃生，並檢討以上規範在弱勢族群方面是否有其不合理處，此乃本文之動機所在。

表 1.1 世界各國捷運及地下鐵系統重大火災事故一覽表

日期	重大火災事故	死亡人數	受傷人數	事故原因
2005.7.7	英國倫敦地鐵車站火災	56	700	連續3起人為恐怖攻擊炸彈爆炸案件
2003.2.18	南韓 Daegu 捷運系統火災	198	147	人為縱火
1995.10.28	亞塞拜然 Baku 地鐵火災	289	265	列車底盤電氣設備起火引發之火災
1994.5.26	台灣台北車站	0	10	地下二層繼電器電線走火
1987.11.18	英國 King's Cross 捷運車站火災	31	27	香菸掉落造成木製電扶梯失火引發之火災
1979.1.17	美國舊金山地下捷運火災	1	58	列車底盤電氣設備起火引發之火災
1976	英國倫敦地鐵火災	0	25	月台層配電室起火引發火災
1972.11.6	日本國鐵北陸隧道	714	30	運行中的餐車漏電起火，在隧道內緊急停車
1968	日本東京日比谷線神谷町電車火災	0	11	剎車系統故障，一節車廂失火全毀

1.2 文獻回顧

Simcox等人[9]利用小尺寸實驗與電腦模擬King's Cross地下鐵火災，並比對實驗與模擬結果後發現，因菸蒂掉落於電扶梯的齒輪，造成火焰集中在電扶梯溝渠的角落，冷空氣注入角落後產生vortex，造成溝渠效應(trench effect)，使得火勢沿著電扶梯側壁向上延燒至廣告看板與天花板，加上看板上塗料具有高度可燃性，因此加速火勢擴大，他們發現影響火勢大小的主要原因為溝渠效應，而火車進站時帶動的隧道氣流所造成的活塞效應(piston effect)對於火勢影響則較小。

蔡政宏[10]利用台北市政府捷運工程局對於地下車站所訂定的逃生避難時間之計算公式來進行車站人員安全標準之檢討，發現車站驗票閘門之設置位置將直接影響人員逃生時間，另外增加驗票閘門寬度也可有效縮短人員逃生所需時間。

楊智欽[11]利用數值火災模擬軟體 FDS (Fire Dynamics Simulator) 與 SIMULEX 人員逃生避難軟體針對地下車站公共區以及軌道區進行案例分析，來確保消防設備能夠有效的提供人員生命安全保障，另外針對隧道通風問題進行案例分析，探討隧道通風設備對煙流的影響。結果顯示當隧道區發生火災時，迅速開啟 TVF 能有效控制隧道內濃煙，可延緩濃煙流到月台區的時間，減少火災對於月台層的影響。

高永信[12]利用美國ELVAC昇降機避難運輸評估模式及內政部建築研究所出版之「建築物防火避難安全性能驗證法」進行建築物逃生避難安全評估分析，來探討昇降機在緊急避難時作為避難工具，對於整體避難時間效益分析及相關樓層上的管制分析，研究顯示運用昇降機作為避難用途，樓層高度應在50.9m以上，對於避難才是有效益的，而運用昇降機避難之使用人數及樓層數量上，應該採取適當的分配，使用樓層數越少，能使用的人員相對提高，若限制在離安全層較遠之樓層，則運用上的效益會最大。

Chiam[13]利用 FDS 模擬列車火災，火源位置分別位於列車座位上（縱火）、列車裡的某一角落（縱火或電器設備故障）以及列車底盤（電器設備

故障)。經由模擬結果可得知，若火災發生於角落區域，會因為強制通風(forced ventilation)的速度較小，造成火災成長；反之當火災發生於列車底盤時，燃燒面積大於火災發生於角落的區域，並且擁有較大的強制通風，但是燃燒的時間長短取決於火源大小。Chiam 並且發現當強制通風速度過大時，容易發生閃燃(flashover)的現象，因此當火災發生時，必須關閉列車門，防止閃燃現象發生，導致火勢的擴大，Chiam 並建議當火災發生於站內軌道區時，最大火載量為 5 MW，當火災發生於隧道中時，建議最大火載量為 10 MW。

Lin 和 Chuah[14]利用 FDSv3.1 模擬捷運車站火災，火源位置位於車站大廳與月台層，熱釋放率分別為 2.5 MW 和 1.0 MW。火災發生後，車站大廳之排煙系統提供 $15\text{m}^3/\text{s}$ 的排煙量；月台層之排煙系統提供 $13\text{m}^3/\text{s}$ 的排煙量。由模擬結果可得知，排煙系統與防煙垂壁能有效的控制並減緩煙層的擴散與沉降速度，且能見度為逃生環境安全設計最關鍵的指標。

Ethel Graat[15]等人的研究發現，當人們在人員密度大於 $3\text{人}/\text{m}^2$ 的情形下，願意更積極的移動，若處於一個緊急狀況下，則移動的積極性則會更高。另外在樓梯坡度 30° 情形下的移動速度會比樓梯坡度 38° 有更高的效率，這對樓梯單位時間單位寬度之通過量有正面的影響。

在美國殘障法(Americans with Disabilities Act, ADA)[16]就針對未設自動撒水設備及無緊急進口之建築物，有強制設置待援區的要求，待援區必需具有同等防火時效的梯間，有些建築物利用安全梯的樓梯平台做為待援區，此時樓梯平台待援區的面積應考慮所有避難弱者包括使用輪椅者所需的空間，必須不會影響其他避難人流，設計足夠待援區空間的梯間樓梯平台，輪椅使用者可以逕行使用輪椅進入待援，不會影響其他避難人流，如無法提供足夠空間時，亦應設置座椅供避難弱者等待之用。

陳玠佑[17]以醫療院所內避難弱者逃生為對象之研究顯示，在居室或樓層避難步行時間部分，高齡者或病患等弱勢族群所花費的時間大約是一般人的2~2.5倍左右，而須由戒護人員護送之無法自力避難者花費時間約為一般人的1.1~1.44倍，因此建議在避難路徑上的距離設計上應減少一半以上的

距離，或是設計一具備防煙防火性能的空間供弱勢人員暫時使用。

黃進興[18]以安養機構高齡者作實際移動調查，結果顯示能夠自由行動的高齡者平均速度為1.12m/sec，而需要利用拐杖等輔助器具的高齡男性平均速度為0.803m/sec，女性平均速度為0.507m/sec；而自由行動者上樓梯的平均速度為0.63m/sec，下樓梯速度為0.69m/sec。

許銘顯[19]以實際調查方式對醫療院所與老人安養機構的避難弱勢者進行行動特性研究，結果顯示無法自力移動之人員若藉由護送人員協助移動，移動速度為0.55m/sec，而藉由輪椅進行移動人員之速度為0.28m/sec。另外對於無法在安全時間內抵達安全地點之人員，如重症病患，應建立一安全標準較高之安全空間供暫時避難使用。

建築研究所[20]針對高齡化社會防災救助問題進行老人安養機構之防災對策與設備實地調查，並以此工作結果對安養機構防災策略提出建議，內容提到六樓以上之建築，應特別設置一組運輸電梯，其規劃為救災使用之升降設備，且在災害初期供給避難弱者作為初期逃生器具使用，並需指派特定人員操作。

劉昱德[21]進行逃生避難實地實驗，以及使用建築物防火避難安全性能驗證手冊進行計算驗證，兩者結果皆顯示增加電扶梯作為避難路徑使用，可使避難花費時間降低。此外，實際實驗結果與文獻比較後，顯示身體完全健康狀態年長者使用電扶梯逃生是可行的，但因電扶梯踏板高度較高，易導致跌倒受傷，故須解決電扶梯構造問題，方可提供逃生使用。

黃莉芸[22]利用建築物防火避難安全性能驗證手冊進行逃生時間計算，並與SIMULEX的電腦模擬逃生時間比較，發現在樓層逃生時間上，性能驗證手冊與SIMULEX避難模擬兩者結果相近；而在整棟逃生的部分，因SIMULEX模擬較為理想，故時間略短於性能驗證手冊所評估者，但結果相差並不多。此外，若出口集中於同一側易形成壅塞現象，將導致逃生時間的增加；且SIMULEX並未考慮人員完成一出口避難後，其餘人員會使用該出口路徑之情形，無法符合實際逃生的情況。

楊冠雄[23]針對高速鐵路台中站進行大空間煙控與避難系統分系，在人

員動態避難分析部分，使用SIMULEX進行火災時人員避難模擬，結果指出火災情境為一列失火列車進站，另一側列車旅客剛抵站下車，連同月台層的等待人員一起避難之情況，逃生時間需時最久，而花費時間次長的情境則為大廳區樓梯口附近發生火災，導致人員無法使用該樓梯逃生。

吳貫遠[24]進行捷運站實地量測通過電扶梯與樓梯的人員流量實驗，並與NFPA 130規定參數值比較，發現電扶梯人員流量比NFPA 130規定值多出46%，樓梯則減少26%，推測原因是在非避難情形時，人員選擇電扶梯的情形較高；在驗票閘門流量量測部分，量測值則比NFPA 130規定值少24%，原因是人員到達閘門時，需感應後才能出閘門口，而在緊急避難時，閘門會停止運作以利人員直接通過。

1.3 研究內容

性能式火災安全設計方法是目前特殊建築物設計時的重要依據，利用性能式設計來計算火災發生時，人員安全避難逃生所需時間，進而與容許避難時間比較，檢討該空間人員是否能安全逃生，確保人員生命安全。

本研究的內容將以性能式設計法之驗證程序和步驟，並使用國內實際之地下化車站進行設計分析，並利用性能式規範檢討避難設計是否達到安全標準。

本研究利用數種使用於地下軌道運輸系統之性能式設計法來進行逃生避難檢討，首先探討案例之初始條件，出口寬度、樓梯寬度、人員密度等，接著進行案例逃生避難時間分析，討論參數分別為逃生效率之改善、逃生人數、模擬方法種類及火災位置等，分析案例中樓梯人員通量、閘門阻塞程度及出口阻塞程度，依照前述參數去探討人員逃生情形，此外，進行避難弱勢族群逃生模擬，並探討避難弱者逃生時的情況，本研究分析參數如圖1-1所示

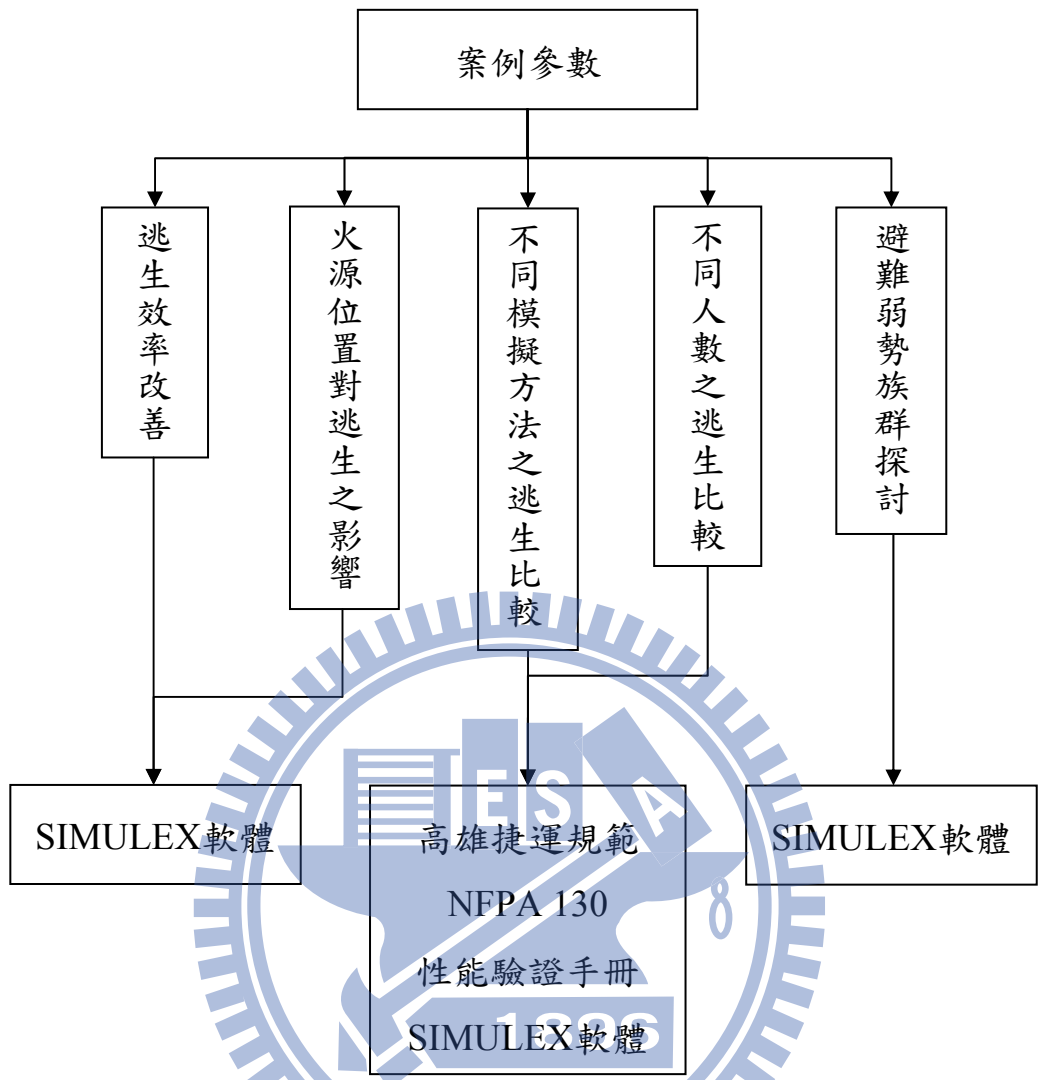


圖 1-1 案例分析流程

第二章 地下場站空間型態之特性分析

2.1 地下場站空間之特性

地下場站等地下空間具有密閉化、地下化等特性，在地下這個封閉且黑暗的有限空間裡，災害事故發生時往往造成人員避難與災害搶救上的困難，因而加重災害的危害程度。在軌道運輸系統地下交通設施之火災意外，是被認為具有較高的公共危險性及社會成本嚴重損失的潛在危害，因此必須瞭解地下空間所存在於火災時之避難危險性，才能清楚的得知火災發生情況，甚至加以預測分析，以減少預防火災的發生，進而減少生命財產的損失。地下場站空間之火災危害特性如下：

一、地下空間型態之特徵：

1. 空間封閉，位置辨識困難，容易迷失方向感。
2. 到達地面仰賴樓梯設施，垂直距離長，向上步行容易疲累。
3. 步行距離明顯受通往地面之出入口數量、位置、大小之限制。
4. 自然光與外氣供應有限，換氣不良，易蓄積有害氣體。
5. 地面難以掌握地下空間之內部狀況；地下空間內部亦不易掌握地面外界之各種情況。

二、地下空間火災特性：

1. 外氣供應受限，火災時易因不完全燃燒或悶燒產生大量濃煙。
2. 開口有限，排煙困難，火災發生地點及火勢狀況難以辨識掌握。
3. 地下層結構複雜，用途分歧，火勢蔓延快速，火災現場瞬息萬變。
4. 空間密閉，散熱困難，易蓄積高溫，火場溫度上升快。
5. 大量高溫燃氣，一旦接收新鮮空氣進入，容易產生二次爆炸或回燃之風險。

三、避難逃生不易：

1. 火災之熱、煙、毒氣難以排出室外，而易蓄積並流入避難路徑。
2. 地下空間火災時，火煙擴散蔓延之流動路徑常與避難方向相同。
3. 採光或照明不足，因濃煙遮蔽，視線不良，影響逃生路徑判斷。

4. 群眾因急欲求生之本能，產生不安、恐慌之負面心理，而造成盲從、壓迫、擁擠之危險行為。
5. 排氣效果不佳，需仰賴大規模耐高溫之通風換氣及排煙設備。

四、消防搶救困難：

1. 消防進入搶救活動與避難路徑方向相反，容易延誤搶救時機。
2. 受地下空間地形、距離及設施之阻隔，內外通信連絡困難。
3. 受出入口及空間限制，同時間不易容納大量消防搶救人員及裝備進入內部救災。
4. 消防人員需仰賴空氣呼吸器具，容量有限，搶救活動範圍受限。
5. 因滅火大量用水，排放不易，造成嚴重水損。

2.2 使用人員之特性

發生火災時，人們逃生避難行動之身心狀況會隨著火勢進展而有所變化，可分為五個階段[25]，發生火災、確認及知覺、思考及心理應變狀態之建立、生理應變狀態之建立、移動至安全區域等階段，人員逃生避難時之心理狀態變化與特性如表 2-1 所示，火災時人員避難主要特徵如下：

1. 火災發生時，人群同時進行避難，造成垂直疏散通道瞬間產生大量人員擁擠的情況。
2. 受到避難路徑限制，至地面逃生路徑步行距離長，可能在到達地面之前，遭到濃煙危害。
3. 地下列車及地表風的影響，將造成氣流的複雜化，甚至加快垂直通道向上氣流的流動，對利用此通道逃生的人群將會造成嚴重危害。
4. 若非列車發生火災，非公共區域火災發生的地點與情況掌握不易。

表 2-1 避難人員之心理特性[26]

避難特性	特性說明	與捷運逃生規劃之關係
歸巢特性	人遇到危險時，會習慣於選擇原先或熟悉之路徑折返。	人們多選擇原途徑逃生，而緊急逃生門較少人使用，造成整體逃生時間增加。
從眾特性	危急時，人們因恐慌而失去判斷，容易受到他人暗示，產生追隨他人的現象	運用此特性，逃生時若有熟悉環境之工作人員引領，應能有效降低混亂程度。
向光特性	火場中濃煙密佈，人們會朝向光亮處移動。	緊急逃生標示、安全樓梯應為明亮。
左轉特性	人們在黑暗處會習慣性左轉，下樓梯時左向迴轉較具有安全感。	避難動線規劃時，在動線會合點利用此特性設計，將可減少傷亡。
鴛鴦心態	當危險接近而無法有效應變時，會產生逃往狹窄處之行為，如逃往廁所或陽台。	旅客可能躲入廁所等待救援。
躲避特性	當察覺有危險逼近時，人們會本能性朝反方向躲避。	人群逃生時，若前方人員察覺危險朝反方向躲避，將造成整體移動的困難與混亂。

針對地下場站收容人員生理特性可分為健康步行者、藉部分輔助移動器具者及全部藉輔助移動器具者，如表 2-2 所示，人員避難行動能力參考日本調查資料如表 2-3 所示。

表 2-2 各類人員行動能力分類表[19]

行動能力類別	輔助物	說明
健康步行者	無	一般健康者，無任何疾病造成之行動障礙。
藉部分輔助移動器具者	人、拐杖、助行器等	可獨自使用輔助器具移動者不需任何輔助器具，但有老化而行動緩慢障礙者不使用輔助器具，緊張時需他人撓扶者。
全部藉輔助移動器具者	人、輪椅等	全部藉輔助器具移動，如坐輪椅者只能水平方向移動，無法垂直方向移動。

表 2-3 人員避難行動能力表[27]

人員行動能力種類	人員對象	群眾之行動能力			
		平均移動速度		出口流動係數	
		水平	樓梯	水平	樓梯
自主行動能力差或完全需要協助之人員	重病人、老衰者、嬰幼兒、精神病或身體障礙者	0.8m/sec	0.4m/sec	1.3 人 /m · sec	1.1 人 /m · sec
對逃生路徑不熟之正常行動能力之人員	旅館住宿客、商店或事務所客人、路過人員	1.0m/sec	0.5m/sec	1.5 人 /m · sec	1.3 人 /m · sec
對逃生路徑熟悉且正常行動能力之人員	建物內勤務者、從業員、警備員	1.2m/sec	0.6m/sec	1.6 人 /m · sec	1.4 人 /m · sec

2.3 高齡者行為特性

由於高齡者特殊的心理、生理情況，在活動與心理認知上會受到某種程度之限制，在逃生避難上可能會產生困難，因此分析高齡者之生、心理特性實為重要議題，心理障礙特性與相關影響如表 2-4 所示，生理機能老化

相關特性[28]如下：

1. 視覺：視覺是影響行動的重要因素之一，隨年齡增長，眼球水晶體會逐漸老化，使得光穿透率下降，導致老人對近物無法清晰辨別，且在昏暗情況下，對於避難距離無法正確判斷，此外，因視野角度縮小，對旁邊移動物體或他人行動無法確實掌握，容易被絆倒。
2. 聽覺：因聽覺神經系統退化，老年人對於廣播聲音與警告反應變慢，危險性相對提高，平衡感也因此變差，容易跌倒或受傷。
3. 行動能力：人的行動能力會隨年齡增長而逐漸降低，此特性顯示高齡者在地下場站於火災時避難逃生行動至地面層所需時間勢必比健康步行者更長。

此外，老人因生理機能退化，隨著自理能力的差異可分為下列 4 種不同程度之障礙：

1. 正常老人，體力較弱者。
2. 輕微障礙，藉助輔助器可自由行動者。
3. 中度障礙，坐輪椅可獨立行動者。
4. 重度殘障，長期臥床而無法行動者。

表 2-4 高齡避難弱者之心理障礙特性[29]

	使用環境的障礙現象	避難逃生時之障礙內容
焦慮	1. 擔心意外事故，沒有安全感。 2. 煩惱被侵犯，迫切需要領域與自尊。	應變不足。
沮喪	1. 自認沒有生命價值，容易迷失方向。	根本不想避難逃生。
記憶衰退	1. 空間感無法連續，容易迷失方向。 2. 時間感不足，往往忘記未完成事物。	不知如何避難逃生。
念舊	1. 眷戀熟悉事物，重視過去擁有的關懷。 2. 拒絕學習，去了解新訊息	留戀財物，造成避難延遲。
孤僻	1. 空閒時間長，獨處狀況多。	聽不進話語。
嘮叨	1. 不滿意時容易抱怨。 2. 挑剔。	應變不足。
自我表現	1. 逆向指標。	平時無憂患意識，危急時亂指揮。

2.4 身心障礙者行為特性

身心障礙者指先天或後天在身體或心智上，因殘缺或障礙損傷，造成個人在社會生活方面不能充分使用自己能力的狀態，而依身心障礙者類型不同，其與環境的互動通常會產生知覺或訊息傳遞上的障礙、移動上的障礙及細部動作上的障礙等三種[30]。

1. 知覺或訊息傳遞上的障礙：指失去視覺、聽覺或精神障礙者，其在日常生活中無法順利接受或掌握外界環境給予的訊息，導致無法判斷目前身處環境的情況。
2. 移動上的障礙：指身體因殘缺造成行動不便或發生移動困難，此類障礙者須輔以柺杖、輪椅或其他輔助工具來協助移動。
3. 細部動作上的障礙：指精巧動作上的障礙，因上肢障礙(含暫時性受

傷)或運動調整神經失常等因素，導致如開關門、轉動軸銷及按鈕等動作都會造成不便。

以上障礙與身心特徵整理如表 2-5 所示。

表 2-5 各類身心障礙特徵及認知、行動能力[31]

各障礙類別	身心障礙特徵	認知行動能力
智障	1.對訊息的辨識、認知能力不足。 2.運動機能及行為反應均較遲緩。	情報障礙
視障	1.無法辨別物體形狀、顏色，光覺能力異常。	情報障礙、移動障礙
聽障	1.聽覺麻痺、聽野狹窄或有複聽等聽覺障礙。 2.不易接受聲音訊息。	情報障礙
肢障	1.上下肢或體幹畸形麻痺，各關節無法自由活動。 2.需利用拐杖或輪椅等輔助設備。	移動障礙、動作障礙

2.5 人群逃生速度分析整理

人員逃生速度研究自日本戶川喜九二[32]就提出步行速度會隨著建築物類型而變化，並針對個人及群集探討移動速度公式；美國 John J. Fruin[33]則對行人流動基礎概念有深入的描述；日本神忠久則針對明治神宮參拜民眾與馬拉松觀眾群做實地的實驗，並整理出各時段的公式，一直到近年來，我國也漸漸建立關於人員逃生速度的研究，各研究結果整理如表 2-6 所示：

表 2-6 逃生速度研究結果整理比較[18]

年度	著作名稱	研究內容	步行速率的研究成果	研究人員
1955	根據群眾 流觀測避 難設施之 研究	人員自然步行 速度 群集步行中心 速度	人員自然步行速度大約為 1~2m/s，男子平均自由步行速度為 1.4m/s，女子平均自由步行速度 1.2m/s，全日平均的步行速度為 1.3m/s。不同建築用途，其步行速度也有若干差異，男女混合全體步行速度中心是 70~80m/min，一般步行速度代表值是 1.3m/s；勞動群集擁擠的上下班時間其步行中心是 80~90 m/min，代表值是 1.4m/s，群集步行密度 $\rho=6$ 人/m ³ 以上， $V=0.1$ m/s； $\rho=1$ 人/m ³ ， $V=1$ m/s。	戶川喜 九二
1971	Pedestrian Planning and Design	行人流服務水 準與流量	行人流服務水準依其地點、速度、密度、空間使用性質與流量而有所不同	John J. Fruin
1973	Pedestrian System Planning For High-Rise Building	行人流量	行人流量是平均速度(m/s)與平均密度(人/m ³)的乘積	John J. Fruin
1983	群集的種 類	步行速度和群 集速度的關係 群集流與群集 密度的關係	步行速度和群集密度 $V=-ap+b$ ，群集流與群集密度為 $Q=-cp^2+dp$ 明治神宮夜間群集為 $V=1.36-0.45\rho$ 及 $Q=1.36\rho-0.45\rho^2$ ，可知群集密度為 0.5 人/m ³ ，	神忠久

		<p>明治神宮夜間 群集</p> <p>明治神宮日間 群集</p>	<p>步行速度 1m/s；群集密度為 1.4 人/m³，群集 流最大值為 1.1 人/m*s，步行速度 1m/s。</p> <p>明治神宮日間群集為午前 $V=1.5-0.59\rho$ 及 $Q=1.5\rho-0.59\rho^2$；午後 $V=1.7-0.55\rho$ 及 $Q=1.7\rho-0.55\rho^2$。</p> <p>可知午前群集流量最大值為 0.95 人/m*s，步 行速度 0.82m/s；午後群集流量最大值為 1.2 人 m*s，步行速度 1m/s。</p> <p>觀眾群集之步行速度為 $V=1.14-0.62\rho$、 $Q=1.14\rho-0.62\rho^2$。</p> <p>群集之步行速度為 0.7~1m/s 時，單位時間將 有最大流量</p>	
1996	避難時的 群集步行 速度	<p>樓梯步行速度</p> <p>測定樓梯的群 集流量的群集 密度</p> <p>避難弱者的關 係式</p>	<p>由樓梯步行速度，測量最大群集密度 3.8 人 /m³ 得關係式如下：</p> <p>水平分量 $V=1.03-0.203\rho$；垂直分量 $V=0.566-0.109\rho$。</p> <p>水平分速冬季為 0.65~0.7m/s，夏季為 0.55~0.62m/s；垂直分速冬季為 0.34~0.38m/s，夏季為 0.28~0.34m/s。</p> <p>群集流量：由測定樓梯之群集流量而得群集 密度隨群集流量增加而增加，最大值冬季為 3.8 人/m³，夏季為 2.9 人/m³，關係式為： $Q=0.974\rho-0.13\rho^2$；$Q=1.03\rho-0.203\rho^2$</p> <p>避難弱者之步行特性，若以正常人之步行速 度為 100，老人則為 50，手扶樓梯扶手者為 40，持拐杖者為 30，而接受別人幫忙者為 10</p>	<p>奈良松 範</p> <p>大島泰 伸</p> <p>渡部學</p>
1998	區域性醫 療院所避	醫療院所中三 類不同移動能	<p>第一類步行者(健康步行者)，其平均移動速度 為 1.28m/s。</p>	<p>林慶元 林昕佑</p>

	難逃生設計之研究	力者的移動速度	<p>第二類步行者(需藉助他人或醫療器具或移動工具移動者)，其平均移動速度為0.33~1.29m/s。</p> <p>第三類步行者(須由他人幫助並藉助醫療器具或移動工具移動者)，其平均移動速度為0.82m/s。</p>	
1999	都市空間 大量人群 避難行為 基礎研究	<p>中央警察大學 人群觀察 觀察速度與密 度的關係 流量與密度的 關係 國父紀念館 人群觀察 觀察速度與密 度的關係 流量與密度的 關係 社教館人群觀 察 觀察速度與密 度的關係 流量與密度的 關係 捷運車站人群 觀察 觀察速度與密</p>	<p>由中央警察大學人群觀察得知其步行速度0.32~0.79m/s，$V=0.84-0.2D$，人群密度0.5~2.61 人/m³，相關係數 $R=-0.96$，$Q=-0.01+0.97D-0.23D^2$，相關係數 $R=0.832$。</p> <p>由國父紀念館人群觀察得知其步行速度0.54~0.89m/s，$V=1.04-0.51D$，人群密度0.31~0.88 人/m³，相關係數 $R=-0.858$，$Q=-0.01+1.11D-0.58D^2$，相關係數 $R=0.88$。</p> <p>由社教館人群觀察得知其步行速度0.54~0.85m/s，$V=1.26-0.54D$，人群密度0.78~1.34 人/m³，相關係數 $R=-0.93$，$Q=1.26-0.54D^2$。</p> <p>由捷運車站人群觀察得知其步行速度0.33~1.24m/s，$V=1.32-0.34D$，人群密度0.26~3.29 人/m³，相關係數 $R=-0.963$，$Q=1.32D-0.34D^2$。</p>	何明錦 簡賢文

		度的關係 流量與密度的 關係		
2000	都市空間 大量人員 避難行為 模式之建 構	觀察五月天演 唱會與何嘉仁 運動會的人群 流量、密度與 步行速度 觀察美夢成真 演唱會的人群 流量、密度與 步行速度 觀察何嘉仁運 動會的人群流 量、密度與步 行速度 觀察台北車站 天橋的人群流 量、密度與步 行速度 觀察西門町徒 步區的人群流 量、密度與步 行速度	由五月天演唱會與何嘉仁運動會得知步行速 度為 0.45~0.7m/s。 由美夢成真演唱會得知，當密度為 3 人/m ³ ， 步行速度為 0.5m/s，當密度為 1 人/m ³ ，步行 速度為 0.9m/s。 由何嘉仁親子運動會得知步行速度為 0.42~0.5m/s 由台北火車站天橋得知密度為 0.6 人/m ³ ~0.7 人/m ³ ，步行速度為 1.1~1.4m/s。 由西門町徒步區得知，密度為 1.25 人/m ³ ，步 行速度為 0.52m/s，集中於 0.7~1m/s。	何明錦 簡賢文
2001	老人安養 機構避難 逃生安全	老人安養機構 及其避難逃生 設施之現況調	建立國內老人行動特性 安養院老人行動步行速度，水平方向建康者 之平均速度為 1.02m/s，藉輔助拐杖者為	蔡秀芬

	設計之研究	查 老人安養機構 避難逃生設計 實例分析與驗證	0.6m/s，藉輪椅自行移動者為 0.31m/s；垂直方向建康者之平均速度為 0.17m/s，藉輔助拐杖者為 0.07m/s，藉輪椅自行移動者無法垂直避難。老人水平避難逃生平均速度為 0.64m/s，垂直避難逃生平均速度為 0.12m/s。以林慶元所編製之建築物避難時間評估為標準，來計算所居室、走廊及樓層之避難時間，個別與其容許避難時間比較。	
2001	通道與樓梯一般通行及緊急疏散行人流分析與模擬模式建立之研究	一般情況下，平面與垂直交通系統行人流之調查與分析 緊急疏散下，平面與垂直交通系統行人流之調查與分析 整合一般狀況與緊急疏散狀況建築物內部行人流模擬模式之建立 以捷運新店線(台灣大學站)進行模式測試及模擬	捷運站尖峰時間之行人步行速率 平面通道調查地點與結果 台北車站新店線轉板南線之男性平均速率是 0.95m/s，女性是 0.88m/s；板南線轉新店線之男性為 0.68m/s，女性是 0.94m/s；忠孝復興站男性是 0.75m/s，女性是 0.81m/s 緊急疏散的行人流速率則以台灣大學土木館及化工館樓梯實驗，其垂直步行的平均速率為 1.21~1.52m/s。	賴以軒
2001	老人福利機構避難	各類行動能力者的移動速度	第一類步行者(健康但體力較弱者)為 1.06m/s 第二類步行者(藉助輔助器，可自由行動者)	林慶元 許銘顯

	基礎資料 調查研究	調查	為 0.68m/s。 第三類步行者(坐輪椅，可獨立行動者為 0.28m/s。	鄭紹材
--	--------------	----	--	-----

2.6 煙層流動特性

建築物發生火災時，在火災區域形成一高溫煙氣流場，若氧氣供給不充份，物質燃燒不完全，必產生大量固體微粒，隨著氣流移動，使高溫高熱的煙流擴散至建築物中，而建築物中火災產生的煙和高溫氣體流動主要的驅使力 (Driving Force) 依其性質可分為兩大類：一為自然式 (Passive)，二為強制式 (Active)。自然式驅使力包括：煙囪效應、浮力、熱膨脹、自然風。而強制式驅使力有空調系統與電梯活塞效應兩種。在自然式驅使力中，浮力與熱膨脹為煙的溫度所引起。煙囪效應及自然風則受當時氣象條件中的外氣溫度與風的大小、方向影響。而強制式驅使力中的空調系統和電梯活塞效應，則為建築物內的設施所致。上述六種驅使力會在隔離物、牆、樓地板之間產生壓力差，而影響煙的流動。

(1) 煙囪效應 (Stack Effect)

當建築物室內空氣溫度高於室外時，由於室內外空氣密度的不同而產生浮力。建築物內上部的壓力大於室外壓力，下部的壓力小於室外壓力。當外牆上有開口時，通過建築物上部的開口，室內空氣沿樓梯間、電梯井、管道井等豎井流動而流向室外；通過下部的開口，室外空氣進入豎井流動而流向室內，這就是建築物的煙囪效應。它是由高層建築物內外空氣的密度差造成的，高層建築的外部溫度低於內部溫度而形成的壓力差將空氣從低處壓入，穿過建築物向上流動，然後從高處流出建築物，這種現象被稱為正煙囪效應 (Normal Stack Effect) 如圖 2-1 所示；反之，若建築物外部溫度高於內部溫度時，所形成的壓力差將空氣從高處壓入，則建築物豎井空間則有向下的氣流產生，稱這現象為逆煙囪效應 (Reverse Stack Effect) 如圖 2-2。

火災時，由於燃燒放出大量熱量，室內溫度快速升高，建築物的煙囪效應更加顯著，使火災的蔓延更加迅速。一般煙火災煙氣在垂直方向的擴散流動速度較大，通常為 1~5m/s。在樓梯間或管道井中，由於煙囪效應產生的拉力，煙氣流動的速度可達 6~8m/s。

(2) 浮力 (Buoyancy)

因火焰上方的高溫氣體與周圍冷空氣之間的密度不同，煙的密度跟周為冷空氣相比相對較低，產生煙的浮力。當煙從火場流出後，本身溫度會因熱增關係 (Heat Gain) 而降低，因此煙受浮力影響會因距離愈遠而愈小，也會隨火場的成長而有所改變。

(3) 熱膨脹 (Expansion)

火場的高溫除了會產生浮力驅動煙外，能量的釋放也會有熱膨脹的現象，而使煙流動。根據氣體膨脹定律，可推算出著火期間著火區域內的氣體體積將擴大 3 倍，其中 2/3 氣體將轉移到建築物的其他部分。而且膨脹過程發生相當迅速，並造成相當大的壓力，這些壓力如果不採取措施減弱，就會迫使煙從著火層往上和往下向建築物其他部分流動。

(4) 自然風效應 (Wind Effect)

外界的風對煙的流動有顯著的效應。建築物窗戶、門被打開時，各個不同方向的開口，受到風向的影響，造成了不同壓力差，使建築物內煙流動。室內風向、風力、風速對高層煙霧流動有顯著影響，且這種影響隨建築物的形狀與規模而變化。

氣密較好的建築物而言，風的影響較不顯著。但是火場常發生窗戶玻璃受到火災現場的高溫而膨脹破裂，建築物的氣密性則遭破壞。外界的風可輕易影響內部煙的流動。若再加上前述的煙囪效應，則外界氣象條件，即風與溫度，將會對建築物內部煙的流動造成顯著影響。

(5) 空調系統 (HVAC System)

建築物內通風、空調系統對建築物內壓力的影響，取決於供風和排風的平衡狀況。如果建築物內各處的供風和排風是相同的，那麼空調系統對建築物內的壓力不會產生影響，在建築物某區火災中，該區空調系統的供氣超過排氣，該區便出現增壓現象，空氣就從該區流流向建築物內其他區域部分。反之，該區空調系統的排氣超過供氣，則出現相反的現象。

火災發展時，空調系統將大量的煙送至它所供給的區域。且空調系統還可能將大量新鮮空氣到火場，助長燃燒。故在警報器偵測到火或煙時，便把空調系統電源關掉，使得空調系統不繼續送風或換氣。但為避免空氣經由風管竄到空調系統所供給的區域。可在各送風管回風管的開口，裝上防煙/防火閘門 (Fire Smoke Damper)，則煙不致沿著空調系統，跑得整棟建築物。

建築物內通風、空調系統可依照某種預定而有益的方式設計，以控制建築物內的煙霧流動。如在發生火災時，空調系統亦可運用來做為強制排煙系統，使空調系統在平時或緊急狀態都能發揮效用。

(6) 電梯活塞效應 (Elevator Piston Effect)

當電梯在一豎井中移動時，會在豎井內產生瞬間壓力 (Transient Pressure)。向下移動的電梯，將會迫使在電梯以下部分的空氣，因受擠壓而產生向豎井外的氣流。在電梯以上部分的空氣，會被吸入而產生向豎井內的氣流。換言之，電梯可視為一個活塞，壓出並吸入上下方的空氣，形成氣流，造成壓力差。

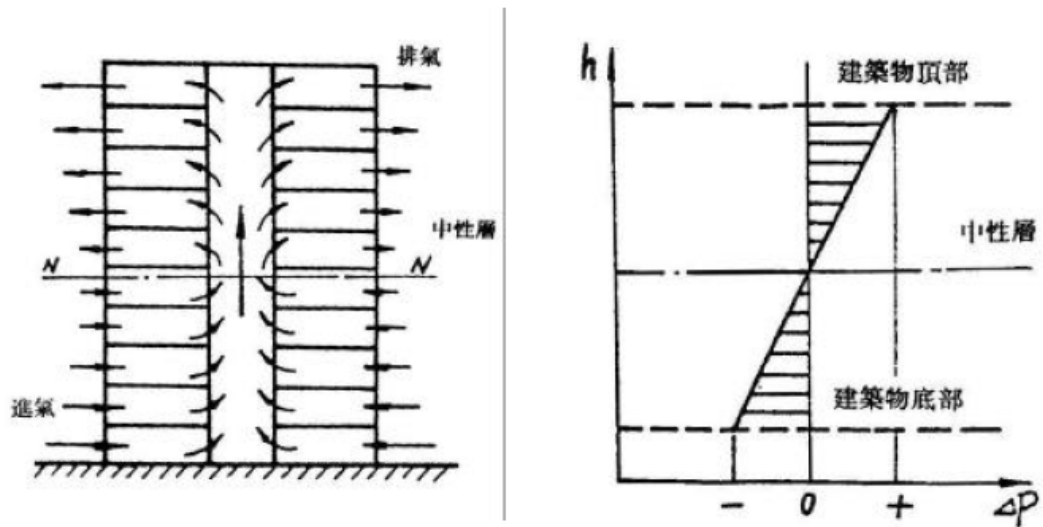


圖 2-1 正煙囪效應

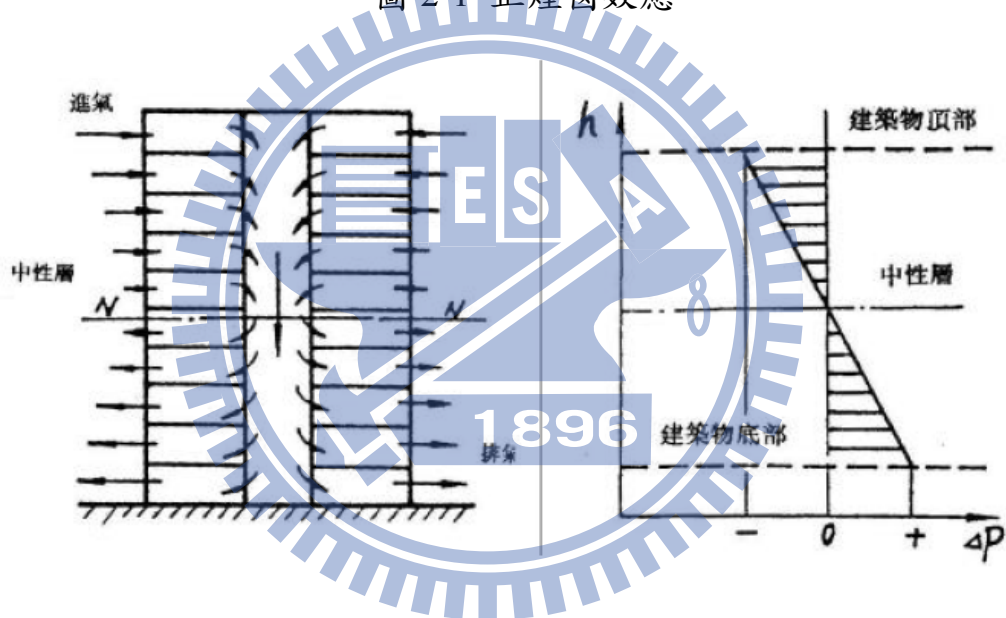


圖 2-2 逆煙囪效應

2.7 災例分析

歷年來軌道系統發生火災時，無論造成的人員死傷及財物損失輕微或是嚴重，這些災例皆是提供法令修改的重要參考，因此在訂定法規時，首先會對歷年案例作地點、時間、起火位置、影響位置等統計分析，進而探討火災發生原因及位置。

統計歷年來的火災案例可發現，火源位置以列車的 69.3% 為最高，其次

是站體部分的 26.7%，剩下則是發生在隧道區域，起火原因部份則以電器火災的比例最高，佔 44%，其次則是人為縱火，佔 28%，相關圖表如表 2-6、圖 2-3~2-7 所示。

表 2-7 起火位置與原因統計表[25]

	電氣火災	縱火	人為疏忽	其他原因	總計(件)
站體	17	1	1	1	20(26.7%)
列車	16	20	8	8	52(69.3%)
隧道	0	0	3	0	3(4%)
總計(件)	33(44%)	21(28%)	12(16%)	9(14%)	75(100%)

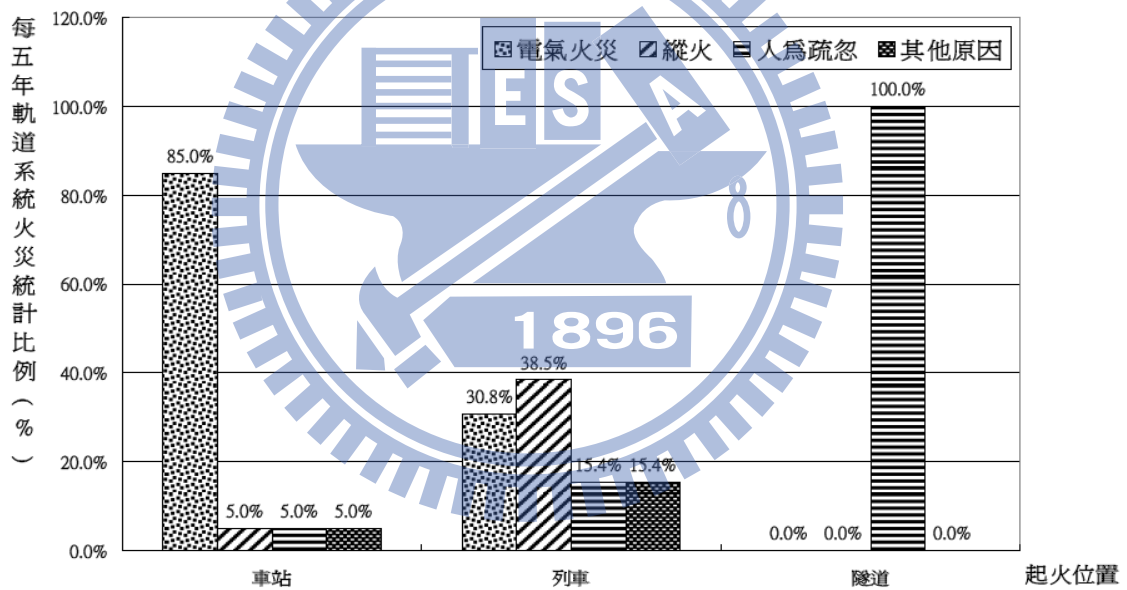


圖 2-3 火災發生位置與火災發生原因關係圖

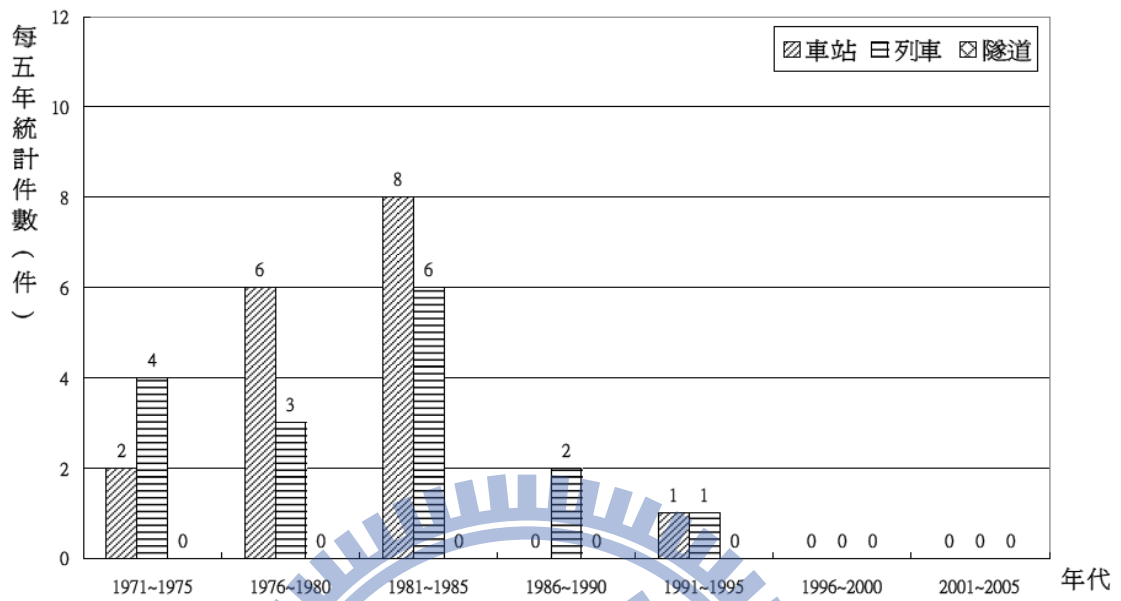


圖 2-4 電氣火災之起火位置統計圖

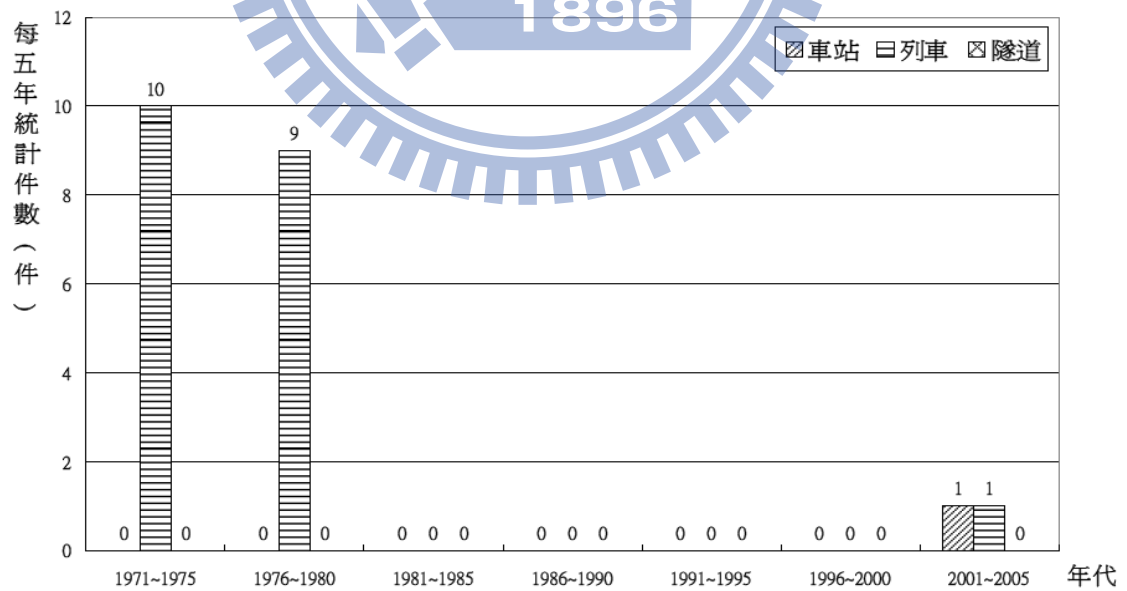


圖 2-5 縱火之起火位置統計圖

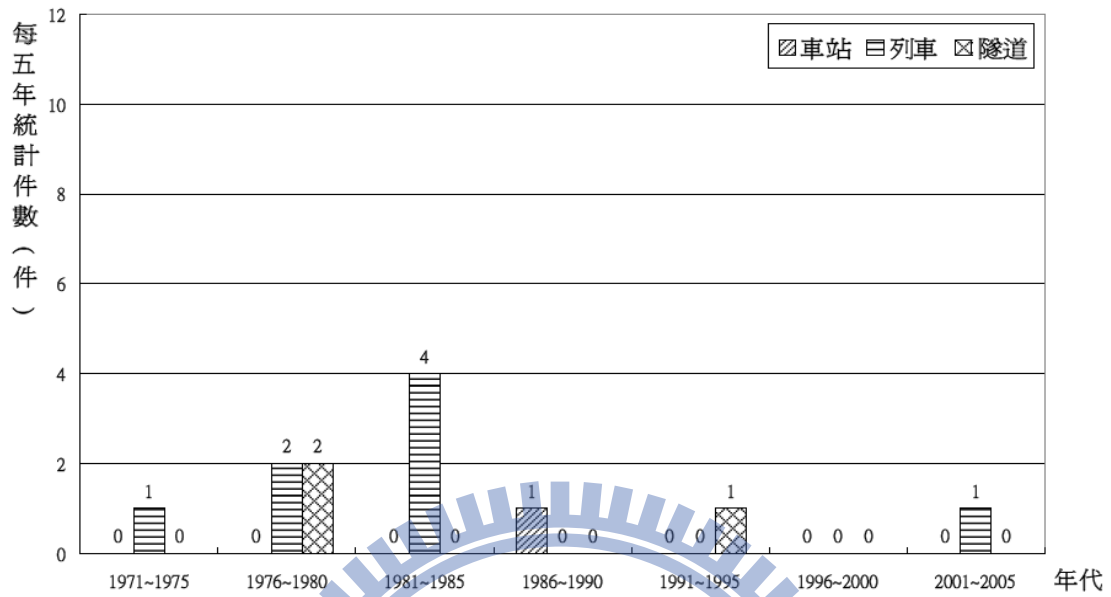


圖 2-6 人為因素之起火位置統計圖

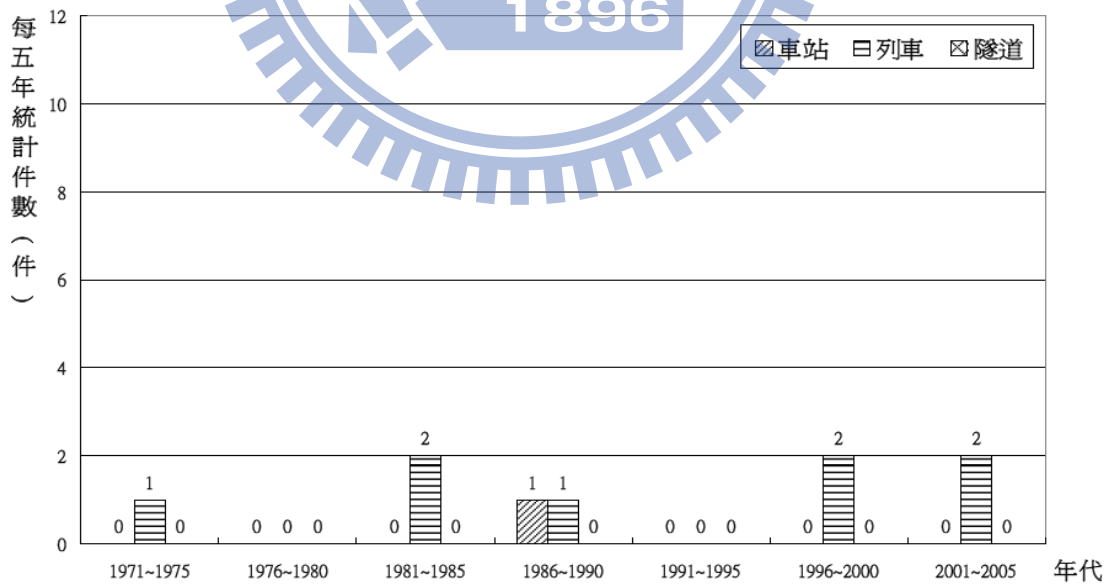


圖 2-7 其他原因之起火位置統計圖

第三章 國內外相關規範

因應社會之發展與進步，國內許多建築物因用途、構造特殊或其他特別需求，於建構時未能、也未必需要完全符合建築法規之要求，依建築法第 98 條之規定：「特種建築物得經行政院之許可，不適用本法全部或一部之規定」，所謂「特種建築物」乃應運而生。因此對於建築物防火安全的規範，已逐漸從規格式法規（Prescriptive-Based Codes）轉換至性能式法規（Performance-Based Codes）。

3.1 國內外相關規範

3.1.1 建築技術規則

地下運輸系統因應大量人潮或是連結其他運輸系統與地下街，通常設計具有複雜廣大的空間，且因講究設計與美感，常採用挑高、不規則形狀屋頂等設計，此種設計未必完全遵循建築法規的規定，也拉長人員逃生所需時間，以高雄地下捷運車站為例，月台層步行至樓梯口之距離即未符合建築法所規定之步行距離，此外，建築法對於地下場站避難設施仍有些遺漏處未詳細規範，如第91條即未針對地下運輸類組之出入口尺寸有所規定，避難設施相關法規整理如表3-1所示。

表 3-1 建築技術規則-避難設施相關條文

檢討內容	條次	條文概述
避難層出入口	第 90 條	規定避難層出入口尺寸
避難層以外樓層出入口	第 91 條	規定非避難層出入口尺寸
一般走廊	第 92 條	規定走廊寬度尺寸計算
設置與步行距離	第 93、94、185 條	規定樓面居室任一點至直通樓梯之步行距離
設置 2 座直通樓梯之限制	第 95 條	依建築規模規定，另限制重覆步距
直通樓梯及平台淨寬度	第 33、98、194 條	規定直通樓梯寬度及樓梯間平台深度
改為安全梯或特別安全梯限制	第 96 條	依建築物規模規定安全梯種類
室內安全梯	第 97 條	說明及要求室內安全梯構造
戶外安全梯	第 97 條	說明及要求戶外安全梯構造
特別安全梯	第 97、102 條	規定特別安全梯構造及排煙

3.1.2 鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置標準規範

因建築技術規則對於地下運輸場所避難設施相關規定有所缺漏，交通部遂於94年委託中央警察大學進行「鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置標準規範草案」之研究，並邀請國內產官學界等專家學者組成審查委員會對本規範草案進行逐條討論，於97年7月頒布本規範，以作為鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備規劃設計時之參考依循，目的為保障鐵路隧道及地下場站內人員及設備之安全，並期望本規範之頒布，能使鐵路隧道及地下場站之防火設施與消防設備之規劃設計符合功能性及安全性之要求，對公共安全之提昇有所助益。其人員避難設施

相關法規整理如表3-2所示。

表 3-2 鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置標準規範-避難設施相關條文

檢討內容		條次	條文概述
疏散時間	月台層	3.2.1	規定應小於 4 分鐘
	整棟建築物	3.2.1	規定應小於 $4+2*\text{層數}(\text{分})$
避難層出口總寬度		3.2.3	依避難層規模規定出口總寬度
避難層出入口設置		3.2.4	規定避難層出入口數量
直通樓梯	出入口寬度	3.2.5	規定直通樓梯出入口尺寸
	數量	3.2.8	非避難層樓梯設置數量
走廊	寬度	3.2.6	規定不同區域走廊寬度
	坡度	3.2.7	規定走廊坡度應小於 4%
樓層間步行距離		3.2.9	規定各樓層逃生步行距離
安全梯設置量		3.2.10	依建築規模規定安全梯種類數量

3.1.3 高雄捷運土建及車站工程設計規範第四篇

高雄捷運系統於2008年開始營運通車，服務範圍涵蓋高雄縣市，未來更計畫延伸至屏東縣，該捷運系統路權範圍內之建築物於83年經行政院核准依建築法第九十八條「特種建築物得經行政院之許可，不適用本法全部或一部之規定」得列為特種建築物，因此，在路權範圍內建築物得依「高雄捷運土建及車站工程設計規範」進行設計，其中第四篇乃針對場站設計進行規範，場站內避難設施規範整理如表3-3所示。

表 3-3 高雄捷運土建及車站工程設計規範第四篇-避難設施相關條文

檢討內容		條次	條文概述
驗票 閘門	疏散容量	2.4.4.2.3	規定正常與緊急情況之分鐘疏散量
	設置規定	2.4.4.2.1~2.4.4.2.2 、2.4.4.2.4~2.4.4.2.7	規定設置計算基準與預留空間
	無障礙設置規定	2.4.4.4	規定疏散量與寬度
維修閘門、緊急閘門		2.4.5	規定疏散量與寬度
電扶 梯	疏散容量	2.5.3.2	規定疏散量及接受電扶梯視為樓梯使用
	設置規定	2.5.3.3.1~2.5.3.3.5	規定斜度、高度與間距
電梯		2.5.4.2	規定電梯數量與位置
樓梯	疏散容量	2.5.5.2~2.5.5.3	規定正常與緊急情況之分鐘疏散量與步行速率
	寬度	2.5.5.4	依緊急疏散需求規定總寬度
	扶手護欄	2.5.5.9~2.5.5.10	車站樓梯、樓梯間平台扶手尺寸
	樓梯間平台	2.5.5.7	樓梯及安全梯平台深度
坡道		2.5.7	規定坡道斜度與坡道旁平台尺寸
走廊	寬度	2.5.8.1~2.5.8.5	依走廊用途規定寬度
通道	疏散容量	2.5.8.6	規定正常與緊急情況之分鐘疏散量
月台寬度設計規定		2.6.2	依據使用狀況有相關計算規定
避難層出入口數量尺寸		2.9.2.2	依不同規劃規定相關數量寬度
步行距離		2.10.3.3	規定各樓層逃生步行距離
疏散	普通型月台	2.10.5.1.2.6	雙層月台應小於 6 分鐘

時間	特殊型月台	2.10.6.1.2	疊式、交會型應小於 4+2*層數 (分)
----	-------	------------	-------------------------

3.1.4 NFPA130

美國對於軌道系統之防火設計方法主要是固定式軌道運輸系統之設計標準，NFPA 130「Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems」，此標準也是國內地下運輸系統最常參考的國外規範，本規範內容涵蓋地上或地下車站本體結構、軌道、隧道、緊急通風系統、運輸列車、機廠及維修站、緊急應變程序、通信連絡等，並對此訂定最低需求，NFPA 130 的設計概念是希望通過該規範的設計方法，有效確保人命及財產安全，而在規範的同時，亦保留性能式設計的概念，只要經由適當的性能驗證，即可排除相關條文的要求，其規範對於避難設施之規定如表 3-4 所示。



表 3-4 NFPA 130(2010 年版) -避難設施相關條文

檢討內容	條次	條文概述	
逃生路徑	5.5.1.3	規定至少 2 方向逃生路徑	
重複步行距離	5.5.1.4	由月台端點起共同路徑小於 25m	
月台疏散時間	5.5.6.1	應小於 4 分鐘	
月台避難路徑長度	5.5.6.1.1	離出口最大長度應小於 100m	
安全疏散時間	5.5.6.2	整棟疏散至安全地點應小於 6 分鐘	
月台、走廊、斜坡通道	寬度	5.5.6.3.1.1	淨寬度應大於 1120mm
	疏散容量	5.5.6.3.1.2~5.6.3.1.5	規定疏散容量與步行速率
樓梯、電扶梯	寬度	5.5.6.3.2.1	淨寬度應大於 1120mm
	疏散容量	5.5.6.3.2.2~5.6.3.2.3	規定疏散容量與步行速率
	扶梯限制	5.5.6.3.2.4~5.6.3.2.7	規定電扶梯之疏散容量及可用數量計算方式
門與開口	寬度	5.5.6.3.4.1	淨寬度應大於 910mm
	疏散容量	5.5.6.3.4.2~5.6.3.4.4	規定疏散容量標準，緊急出口使用率須大於 50%
驗票閘口	5.5.6.3.5.1	規定閘口寬度、尺寸及疏散容量	
驗票十字轉門	5.5.6.3.4.2	規定疏散容量	

表 3-5 國內外規範彙整比較

	建築法	地下場站設施規範	高捷規範	NFPA130
避難層出入口總寬度	無	樓地板面積超過500 m ² ，每增加100 m ² 寬度增加36cm	依實際狀況設計	單一出入口寬度須>0.91m
走廊寬度與坡度	1.走廊旁有居室：1.6m 2.無居室：1.2m 3.坡度：無	1.公共區域：1.8m 2.非公共區域：1.6m 3.其他：1.2m 4.坡度：須<4%	1.公共區域：2.4m 2.非公共區域：1.1m 3.坡度：須<7.5%	須>1.12m
設置與步行距離	樓層間須<30m	樓層間須<30m，月台至避難層須<90m	樓層間須<60m	樓層間須<100m
設置2座直通樓梯之限制	2座，重複步距須<15m	2座，重複步距無規定	依實際狀況設計	2座，重複步距須<25m
直通樓梯寬度	1.2m	1.2m	依實際狀況設計	須>1.12m
樓梯平台淨寬度	須>1.8m	無	不得小於樓梯寬度	無
安全梯	1.地下2層以下：安全梯 2.地下3層以下：戶外安全梯或特別安全梯	1.地下2層以下：安全梯 2.地下3層以下：戶外安全梯或特別安全梯	視為一般樓梯	視為一般樓梯
月台寬度設計	無	無	依實際狀況設計	無
電扶梯	無	無	規定寬度為1m，緊急時視為一般樓梯	規定寬度為1m，緊急時視為一般樓梯

驗票閘門	無	無	規定寬度為 0.5m	規定寬度為 0.5m
疏散時間	無	月台層<4min，整棟<4+2*層數(分)	月台層<4min，整棟(普通)<6min，整棟(特殊)<4+2*層數(分)	月台層<4min，整棟<6min

3.1.5 逃生時間檢討標準

火場中產生的氣體大多具有刺激性與麻痺性等成分，因此當人暴露在此環境中的時間過長，容易因吸入過多有毒氣體導致昏迷、休克嚴重時甚至會造成死亡，因此在人員逃生方面除了避難設施須符合規範外，人員逃生時間檢討標準也有相關規定，相關規範標準整理如表 3-6 所示。

表 3-6 國內外規範逃生時間標準

	鐵路隧道地下場站設置規範	高雄捷運規範	美國	英國
月台層	4min	4min	4min	4.5min
整棟	依樓層數量而定	6min	6min	15min
說明	自地下多層場站之最低層月台，必須在 4 分鐘內將乘客疏散至逃生口，然後其上每增加一層得增加 2 分鐘之疏散時間，最後疏散至避難層或安全地點。	普通雙層月台型月台層應於 4 分鐘內疏散完畢，整棟建築物應於 6 分鐘內疏散完畢。	4 分鐘內月台層旅客疏散完畢，6 分鐘內月台層最遠點旅客疏散完畢	4.5 分鐘內，旅客離開月台層進入安全通道，15 分鐘內旅客避難完畢，大量乘客擁擠情形下 20 分鐘內需避難完畢

第四章 逃生模擬軟體與計算方法介紹

4.1 逃生模擬軟體(SIMULEX)

SIMULEX 為英國 Illuminating Engineering Society 所研發高層建築物避難的電腦動態模擬程式，其使用人員間的距離來決定步行的速度，此方式更符合人員在移動時的特性，與一般使用人員密度來決定步行速度的計算方式不同。另外由於 SIMULEX 本身為二維空間之模擬程式，因此在高樓層避難的模擬時，可使用連結(Link)的功能將不同樓層之平面利用樓梯串聯起來，並且在樓梯間由於人員上樓的步行速度比下樓緩慢，Simlex 也蒐集了大量的資料庫模擬人員在上下樓層時速度的不同，以切實的模擬出人員在高樓層必難時之行為與特性。模擬流程如圖 4-1 所示。

其中在模擬中必須要考慮以及假設的相關參數如下：

(1) 建築物內空間的配置：

建築物空間的配置可藉著匯入 AutoCad 案例圖檔 (*.dxf) 來達成，同時設定出口與連結的位置。

(2) 避難人員的設定：

人員尺寸、人員之間的距離、人員步行速度等等的設定。人員的尺寸 SIMULEX 係以三個圓圈來分別代表人員的軀幹及肩膀（手臂）部位，亦即利用一個較大的圓形來代表軀幹，而另兩個等大的圓圈來代表手臂部位。模擬尺寸示意圖如圖 4-2 所示。而程式本身提供了 4 種人體尺寸以為模擬之用，使用者可依照建築物用途的不同來選擇所需使用的尺寸，模擬人員的尺寸如表 4-1 所示。人與人間的距離如圖 4-3 所示，其採用的數學模式為最基本的兩點間距離公式，而此公式除了判斷人員在避難過程中是否重疊之外，同時亦作為人員步行速度之依據，大約離前方人員 1.6 公尺以上時，人員需依最快的速度前進。但當距離前方人員 0.3 公尺以下，步行速度將會減低為零，形成滯留現象，距離與步行速度之關係如圖 4-4。SIMULEX 也可

針對不同場合，依據人群不同屬性，其男女分布百分比作基本設定如表 4-2 所示。此一設定將會影響模擬人群之體型、分布與個人行走最大速度。

至於 SIMULEX 同時也可模擬避難過程中步行速度較快的人超過前方步行速度較慢的人之情況，以使模擬結果符合實際的狀況。當電腦模擬避難進行當中，若身處前方的人員步行速度較慢或甚至停止不動時，後方的人員便進行判斷是否超越的可行性。首先，程式會模擬後方人員先以 θ_1 與 θ_2 判斷新的方向是否有障礙物或其他避難人員，如果沒有阻礙，後方人員就會向 θ_1 或 θ_2 方向行進直到超越前方的人員，超越過後再轉往出口方向進行，如圖 4-5 所示。圖 4-6 為 SIMULEX 模擬不同方向阻礙下之超越路線圖。

表 4-1 SIMULEX 提供之人體尺寸

種類	R(t) [m]	R(s) [m]	S [m]
男性	0.27	0.17	0.11
女性	0.24	0.14	0.09
平均	0.26	0.155	0.10

表 4-2 SIMULEX 提供不同人群模式之男女分布表

人群模式	%平均	%男性	%女性	%兒童
辦公室員工	30	40	30	0
乘客	30	30	30	10
購物者	30	20	30	20
學童	10	10	10	70
老人	50	20	30	0
所有男性	0	100	0	0
所有女性	0	0	100	0
所有兒童	0	0	0	100

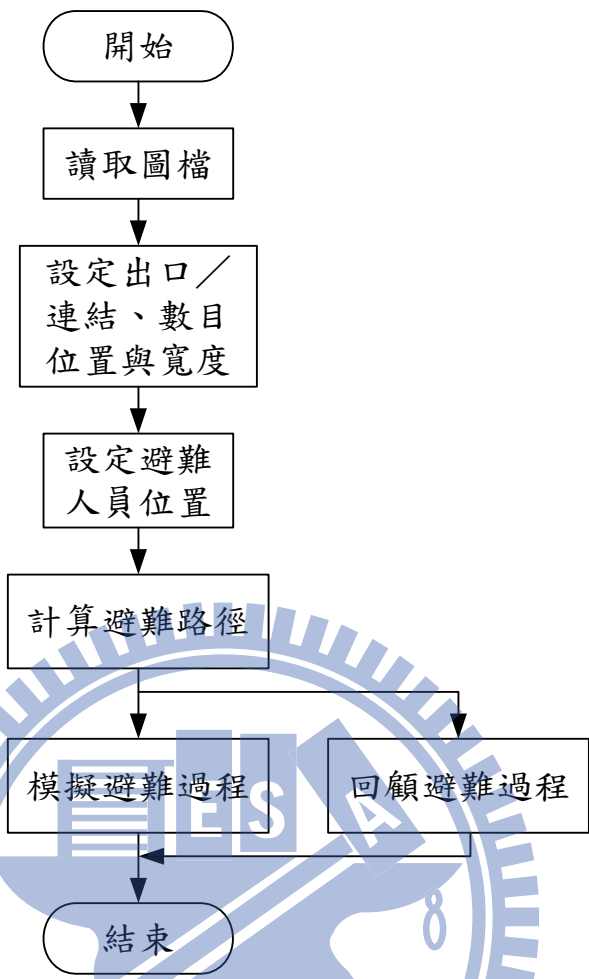


圖 4-1 SIMULEX 模擬避難流程

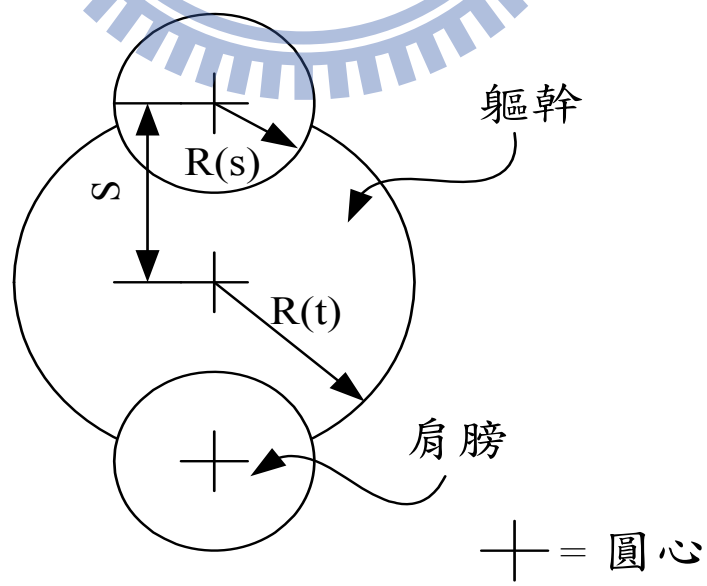


圖 4-2 電腦模擬人體尺寸示意圖

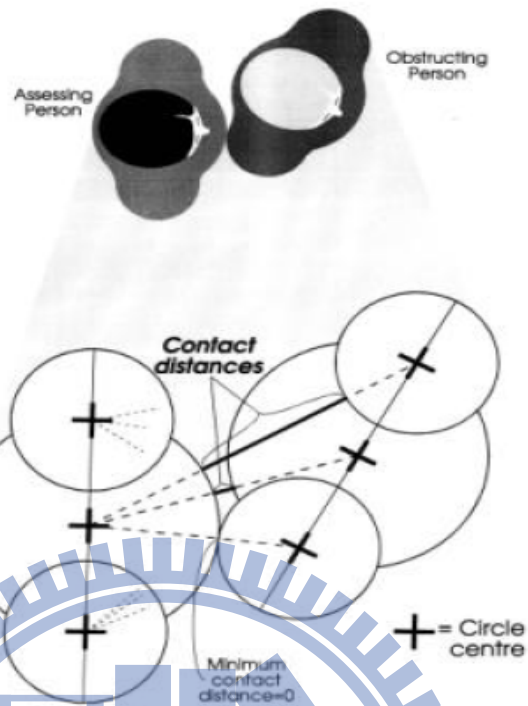


圖 4-3 人員間的接觸距離

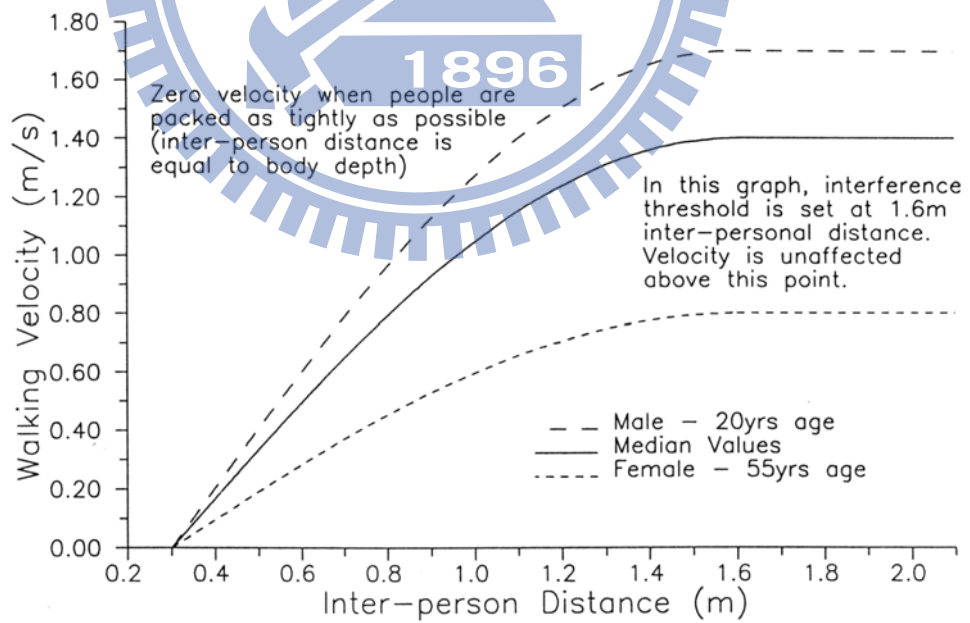


圖 4-4 人員間距離與步行速度之關係

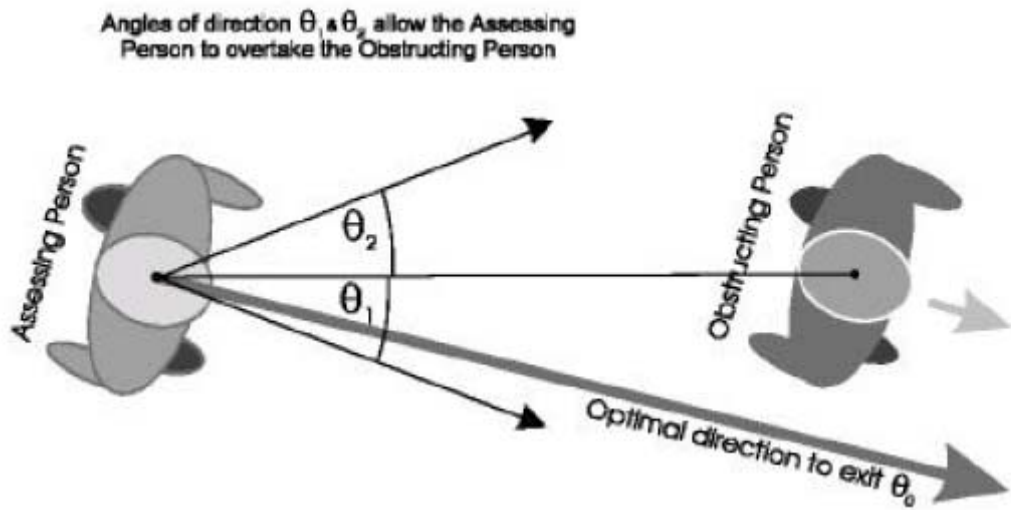


圖 4-5 避難人員超越之角度

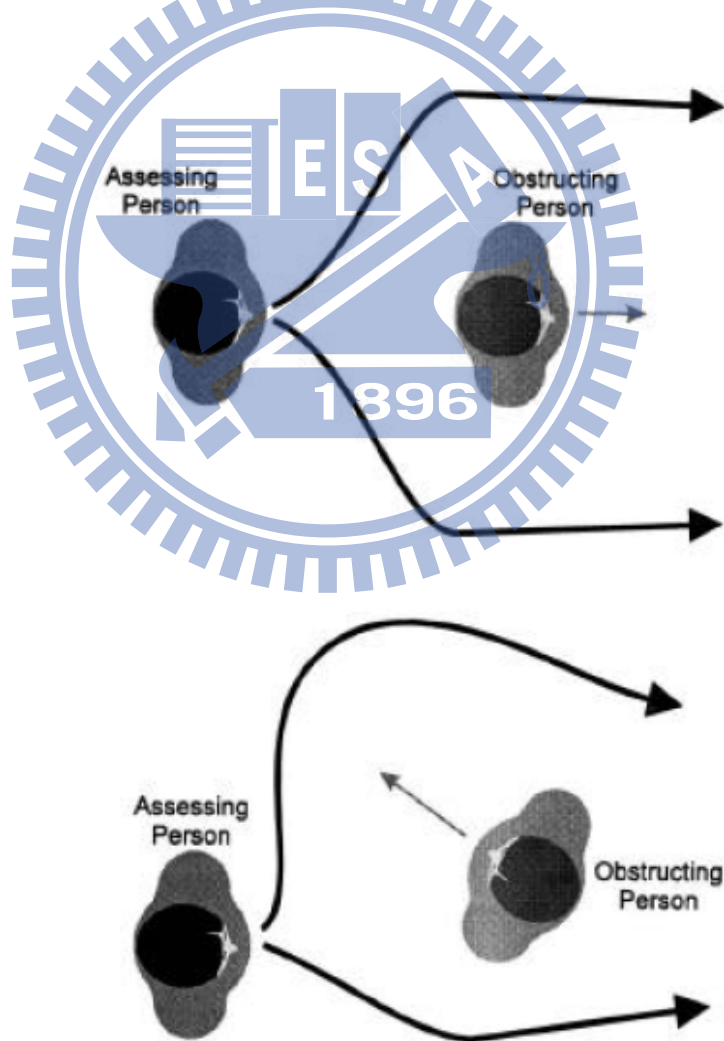


圖 4-6 SIMULEX 模擬不同方向阻礙下之超越路線圖

4.2 建築物避難安全檢證技能手冊

本手冊是內政部建築研究所引用日本檢證公式於 2004 年出版，內容可分為三個部分，分別是居室避難安全檢證、樓層避難安全檢證及整棟避難安全檢證，因地下車站站體部分幾乎都是空曠場地，故本研究採用樓層避難與整棟避難進行逃生人員安全檢討。

1. 樓層避難安全檢證法

樓層避難安全檢證法，分為兩個階段來檢證樓層避難安全是否合格，第一階段先確認居室內人員是否能安全避難，計算該樓層所有人員離開居室所花費總時間；第二階段考量到起火居室火勢延燒至樓層其他區域的情況，故此階段計算樓層所有人員是否能安全抵達樓梯完成避難動作。其流程圖如圖 4-7 所示。

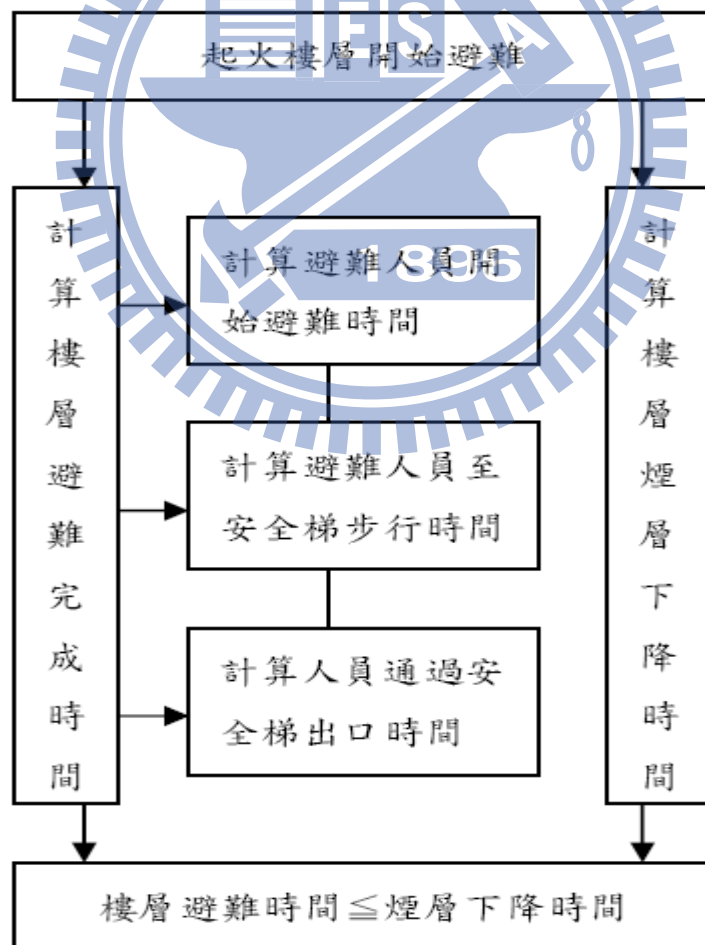


圖 4-7 樓層避難流程圖

2. 整棟避難安全檢證法

整棟避難安全必須先確定起火樓層人員皆能順利逃生後才能進行計算，考慮到雖然起火樓層人員能順利逃生，但起火樓層濃煙可能會藉由直通樓梯蔓延至其他樓層，造成其他樓層人員逃生的危險性，因此，必須確定整棟人員皆能在火勢到達危害人命安全前皆能全部順利逃生至地面層，其流程圖如 4-8 所示。

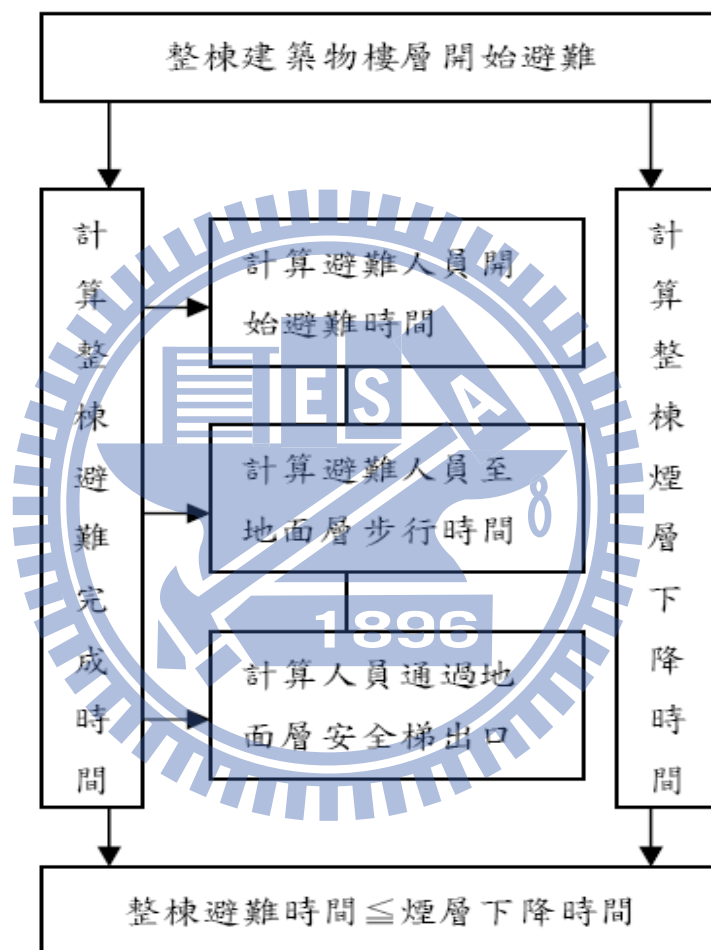


圖 4-8 整棟避難流程圖

3. 逃生時間計算公式

逃生時間所需總時間可分為三個部份，第一部份是避難開始時間，第二部份是到達出口所需時間，第三部份是通過出口所需時間。

$$T_{\text{escape}} = T_{\text{start}} + T_{\text{travel}} + T_{\text{queue}}$$

T_{escape} ：逃生所需總時間

T_{start} ：避難開始所需時間，這階段包含火災從發生至火災警報動作之覺知時間，及從覺知時間至開始反應進行避難行動這兩部分，依下列公式計算。

居室避難開始時間：
$$t_{\text{start}} = \frac{2\sqrt{\sum A_{\text{area}}}}{60} = \frac{\sqrt{\sum A_{\text{area}}}}{30}$$

樓層避難開始時間：
$$t_{\text{start}} = \frac{\sqrt{A_{\text{floor}}}}{30} + 3$$

整棟避難開始時間：
$$t_{\text{start}} = \frac{2\sqrt{A_{\text{floor}}}}{15} + 3$$

T_{travel} ：到達出口所需時間，最長避難逃生路徑距離除以步行速度所得之時間，依下列公式計算。

步行時間：
$$t_{\text{travel}} = \max\left(\sum \frac{l_i}{v}\right)$$

T_{queue} ：通過出口所需時間，指人員通過出口時會造成前方的滯留，而欲使人員解除滯留之時間全部通過出口，花費的總時間即為通過出口所需時間，依下列公式計算。

通過出口時間：
$$t_{\text{queue}} = \frac{\sum p \cdot A_{\text{area}}}{\sum N_{\text{eff}} \cdot B_{\text{st}}}$$

此外，在檢證計算上會運用到人員密度、居室或樓層總面積、步行速度、出入口寬度及有效流動係數等參數

4.3 高雄捷運『土建及車站工程設計規範』

本計算檢證法分為兩個部份，第一部份先針對月台層人員是否能安全逃生進行計算檢核，第二部份則是針對整棟建築物人員是否能安全逃生。

1. 逃生動線所需設施量

- (1) 根據高雄捷運系統之設計目標年運量，取得各車站之上、下列車及轉乘旅客數量。
- (2) 根據上述數目，計算尖峰小時每分鐘上車流量，以求得在尖峰分鐘內各月台上之候車旅客數目。
- (3) 根據尖峰時刻候車人數及列車滿載之人數計算月台容納旅客量，以計算在任何時間內月台上可能出現之最大旅客總數，作為必須自車站內疏散之旅客總數。
- (4) 根據運量及營運之需求，決定在正常營運狀況下所需之垂直動線設施種類，並計算其所需之最小寬度。
- (5) 計算在 4 分鐘內將月台容納旅客量疏散完畢所需之行數。疏散能力以 550 mm 之寬度為計算基準，並以「行」表示之。以疏散路徑之寬度除以 550 mm，所得整數值即為行數；若餘數大於(含)300 mm 可計為 0.5 行。
- (6) 核算依正常營運狀況所設計之垂直動線設施是否足以提供前述所需之最小緊急疏散行數。倘有不足，則應加大安全梯或公共樓梯之寬度，以增加行數。在緊急情況下，電扶梯均應停止運轉，以提供疏散逃生用，且 1.0m 淨寬之電扶梯相當於 1.1m 寬度樓梯之疏散容量。但由於電扶梯之設置數量係根據正常狀況下之動線需求所決定，且電扶梯之造價昂貴，若為符合緊急疏散之需求而有增加疏散容量之必要時，仍以增設或加寬樓梯為宜。
- (7) 計算自穿堂層至地面層所需之緊急疏散行數。自穿堂層至地面層之

緊急疏散行數在正常狀況下不得小於月台層之緊急疏散行數。

- (8) 自月台至地面層安全區域之逃生路徑中，至少應假設車站中有一部電扶梯故障維修，不得計入逃生通道行數中，且應假設其有可能發生於任何一層，故各層均應檢討逃生行數之數量。

2. 逃生時間計算公式

- (1) 月台層至穿堂層間及穿堂層至地面層間之疏散容量，依下列方式計算：各層間疏散容量 = 各層間疏散行數 x 每行之疏散容量。
- (2) 計算管制閘門之總疏散容量，包括驗票閘門、維修閘門、無障礙驗票閘門及緊急閘門：總疏散容量 = 閘門數 x 每道閘門通行容量。
- (3) 計算月台層疏散完畢所需之時間 = 需疏散總人數 / 月台層出口之疏散容量。
- (4) 計算經由最長疏散路徑步行至安全處所需總步行時間：

$$T = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6$$

T1：U-4 月台層之步行時間

T2：U-4 層通往 U-3 層樓梯之步行時間

T3：U-3 穿堂層之步行時間

T4：U-3 層通往 U-2 層樓梯之步行時間

T5：U-2 穿堂層之步行時間

T6：U-2 層通往 U-1 層樓梯之步行時間

步行時間：步行距離 / 步行速度

步行速度：水平方向每分鐘 60 公尺

垂直上行每分鐘 15 公尺

垂直下行每分鐘 18 公尺

對每一條疏散路徑詳加檢核，以求得最長之總步行時間(T)。步行距離之計算依中央行走路徑量測，亦即假設旅客係沿垂直動線設施、管制閘門及通道之中央路徑行走。水平步行距離應自垂直

動線設施之頂端基點或底端基點起算。

- (5) 計算自月台層最遠處步行至安全處所所需之總疏散時間，總疏散時間等於總步行時間再加上等候時間。

其中

月台層等候時間=月台層疏散時間-月台層步行時間

U-3 層等候時間=U-3 層疏散時間-max(月台層疏散時間,驗票閘門疏散時間)

U-2 層等候時間=U-2 層疏散時間-max(月台層疏散時間,驗票閘門疏散時間,U-3 層疏散時間)

- (6) 最遠步行距離所需之總疏散時間超過規定時間（典型雙層車站疏散之規定時間為 6 分鐘）。則可採取下列方式以縮短時間：

- i. 增加疏散閘門。
- ii. 增加穿堂層出口之疏散容量。
- iii. 縮短車站內各層之步行距離。
- iv. 增加月台層出口之疏散容量。

4.4 NFPA130

本計算檢證法主要可分為月台層時間計算檢證及整棟時間計算檢證，檢討標準採用規範內規定 4 分鐘內月台層疏散完畢，6 分鐘內月台層疏散至安全層，時間計算則分為疏散時間、步行時間及等待時間 3 個部份加總，。逃生計算公式如下：

1. 月台層疏散時間：月台層總人數/月台層總疏散量

月台層步行時間：月台層疏散最遠距離/步行速度

月台層等待時間：無

總時間=月台層疏散時間+月台層步行時間+月台層等待時間

2. 樓層疏散時間：(月台層總人數-緊急逃生梯可供疏散之人數)/
樓層總疏散量

閘門疏散時間：通過閘門人數/閘門總疏散量

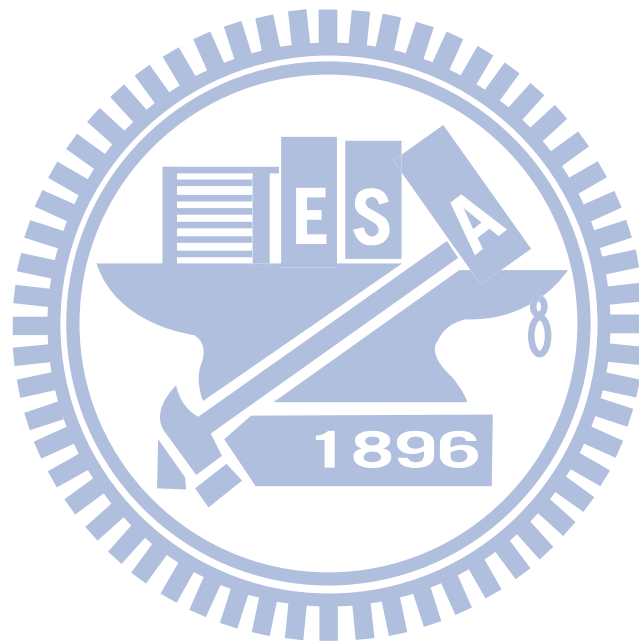
樓層步行時間：樓層步行距離/步行速度

樓梯步行時間：樓層間垂直距離/步行速度

樓層等待時間：該樓層疏散時間-先前所有樓層疏散時間之最大
大值

閘門等待時間：閘門疏散時間-先前所有樓層疏散時間之最大
大值

總時間=月台層疏散時間+樓層步行時間+樓梯步行時間+樓
層等待時間+閘門等待時間



第五章 結果與討論

5.1 前言

本章節利用第四章介紹的性能式計算方法及模擬軟體進行情境分析，討論參數分別為逃生人數、模擬方法種類及火災位置等，依照前述參數去探討人員逃生情形，此外，進行避難弱勢族群逃生模擬，並探討避難弱者逃生時的情況，本章分析參數流程可參見第一章之圖 1-1。

5.2 案例範圍及法規檢討

本章研究案例為高雄捷運 R11 高雄車站，內部規劃共 4 層，人員逃生路徑從地下四樓月台層(U-4 層)起，經由地下三樓穿堂層(U-3 層)及地下二樓穿堂層(U-2 層)，最後抵達地下一樓避難層(U-1 層)。U-4 層用途是作為高雄捷運月台層，為島式月台設計，即月台兩側皆可停靠列車；U-3 層為提供台鐵及捷運轉乘之穿堂層，除捷運使用之區域外，其餘區域皆設計為購物區，為使逃生路徑單純化，購物區有獨立的逃生路徑，避免購物區人員與捷運人員因路徑相同而影響逃生；U-2 層僅為單純的捷運穿堂層，並無與其他運輸系統共用；U-1 層為避難層，因其設計為露天式廣場，廣場上方並無天花板遮蓋，若發生火災，濃煙不會在此層蓄積，且此層有可直接步行至地面之出口，故將此層視為避難層。

在法規檢討部分，本案例在部分樓層無法符合建築技術規則內規定樓層間任一點至樓梯口最長距離不得超過 30m，以及重複步距不得超過 15m 之規定，法規檢討表如表 5-1 所示。

表 5-1 法規檢討表

	樓層任一點至樓梯口之最長步行距離須小於 30m	樓層任一點至兩座樓梯以上之重複步距須小於 15m
U-4 層	40.98m (不符合)	40.98m (不符合)
U-3 層北側	53.15m (不符合)	35.49m (不符合)
U-3 層南側	58.33m (不符合)	0m (符合)
U-2 層北側	111.67m (不符合)	無法討論重複步距
U-2 層南側	45.48m (不符合)	

依據前述說明，本案例因無法符合建築技術規則之規定，故採用性能式設計進行逃生驗證，性能設計計算條件如下：各樓層樓梯寬度與步行距離等條件如表 5-2 所示，各樓層平面圖如圖 5-2~5-4 所示，車站內部人員根據高雄捷運規範內附錄 C-運量預測表[8]進行估算，月台層等待人數為 1000 人，一列列車(6 節車廂)運量為 1000 人。

表 5-2 高雄捷運 R11 高雄車站內部規劃

	U-4 層	U-3 層北側	U-3 層南側	U-2 層北側	U-2 層南側
樓梯數量與寬度	2.85m*1、3m*1、3.6m*1、3.1m*1	4m*1	4m*1	4m*1	4m*1
電扶梯數量與寬度	1m*4	1m*2	1m*2	1m*2	1m*2
驗票閘門數量	0	8	8	0	0
逃生路徑步行距離	40.98m	50.5m	48.57m	16.6m	18.1m

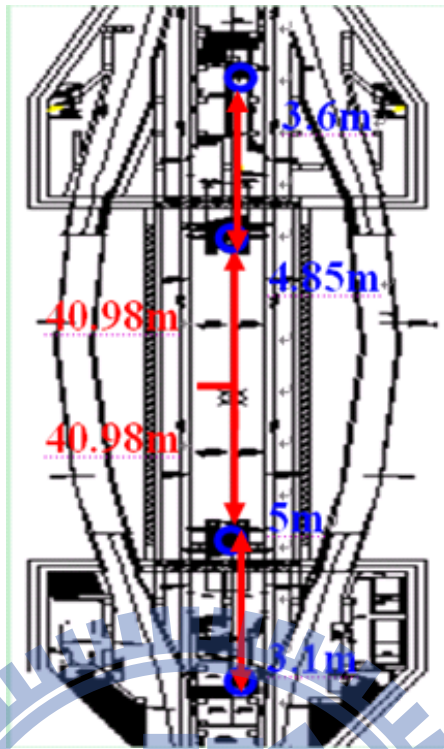


圖 5-2 U-4 層平面圖



圖 5-3 U-3 層平面圖

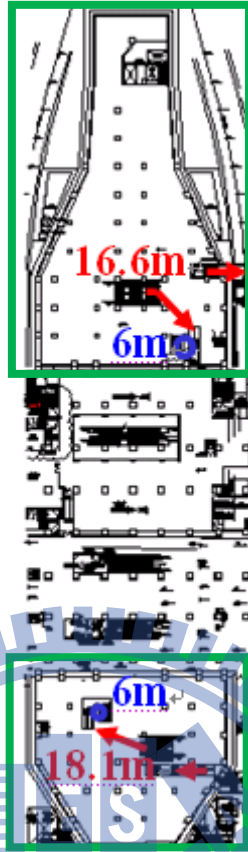


圖 5-4 U-2 層平面圖

5.3 逃生效率改善

本節利用 SIMULEX 逃生模擬軟體探討建築物內部設計對人員逃生效率的改善及 SIMULEX 軟體模擬之不合理處。

5.3.1 情境說明

本節研究可分為三個情境，情境一為原設計，情境二為修正模擬不合理之設計及情境三壁面圓弧設計，說明如表 5-3 所示，逃生路徑請見 5.2 節之說明，但限制電扶梯不可視為逃生路徑使用。火災情況設計為一失火列車進站，且另一側列車抵站旅客正在下車，包含月台層等待人群共 3000 人，另假設火災發生時，有工作人員引導避難人群逃生，因此在進行 SIMULEX 模擬前，先行平均分配各逃生出口之人員，使其能同時間完成避難。

表 5-3 情境說明

	模擬狀況	說明
情境一	原始設計	依照車站內部平面圖進行逃生模擬
情境二	修正模擬不合理處之設計	修正逃生模擬時人員不正常移動之狀況
情境三	壁面圓弧設計	牆面改為圓弧設計，減少轉彎的困難

1. 情境一

本情境依照車站內部原設計進行模擬，SIMULEX 模擬圖如圖 5-5 所示。

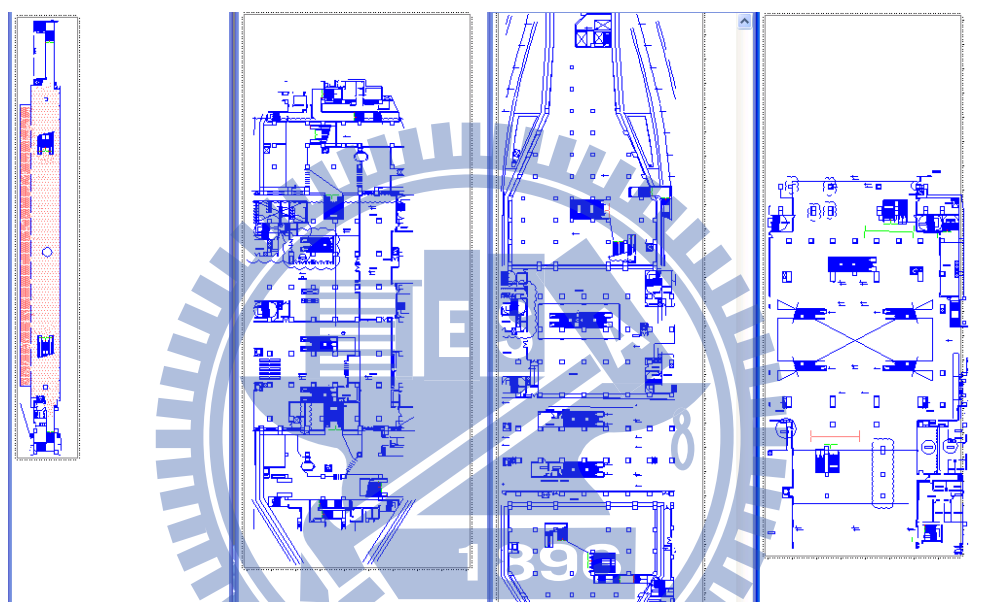


圖 5-5 情境一 SIMULEX 模擬平面圖

2. 情境二

實際狀況下人員會選擇較近出口移動，與 SIMULEX 軟體設計人員逃生選擇最短路徑假設相符，樓梯轉角處與閘門入口處確實會發生人員擁擠的情形，但若發生火災事故，人員逃生的積極度會提高，應會充分利用逃生路徑空間，因此在緊急事故時，情境一的擁擠現象應為不合理，故本情境經修正後，限制人員不得往不正常的地方行進，修正處經放大後如圖 5-6~5-7 所示。

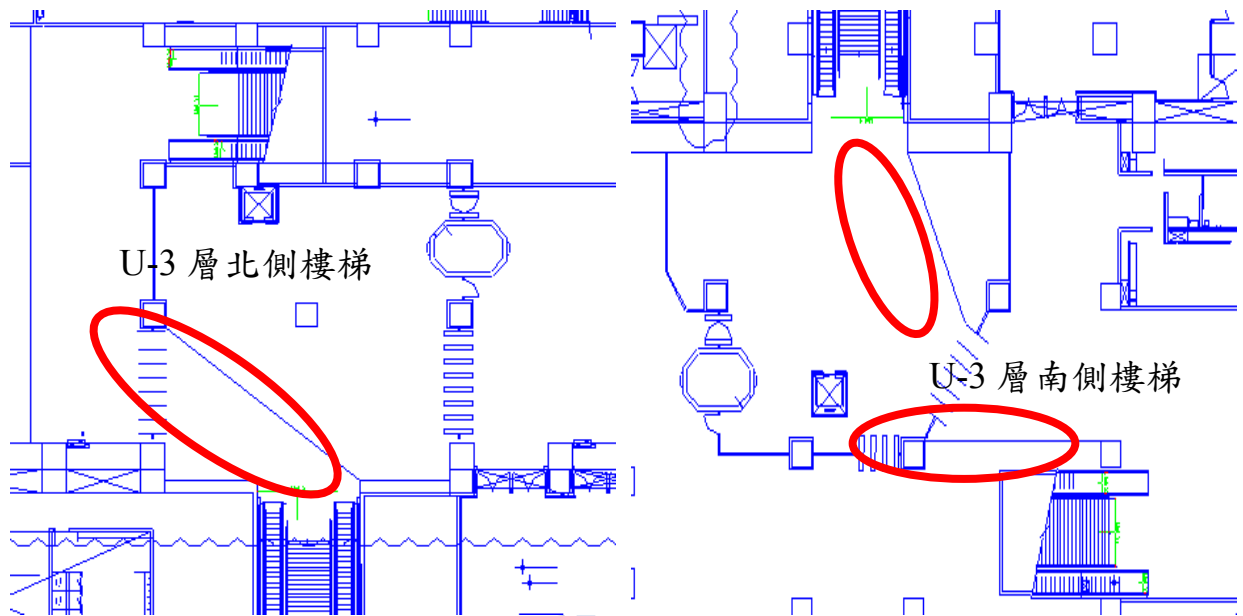


圖 5-6 U-3 層修正處

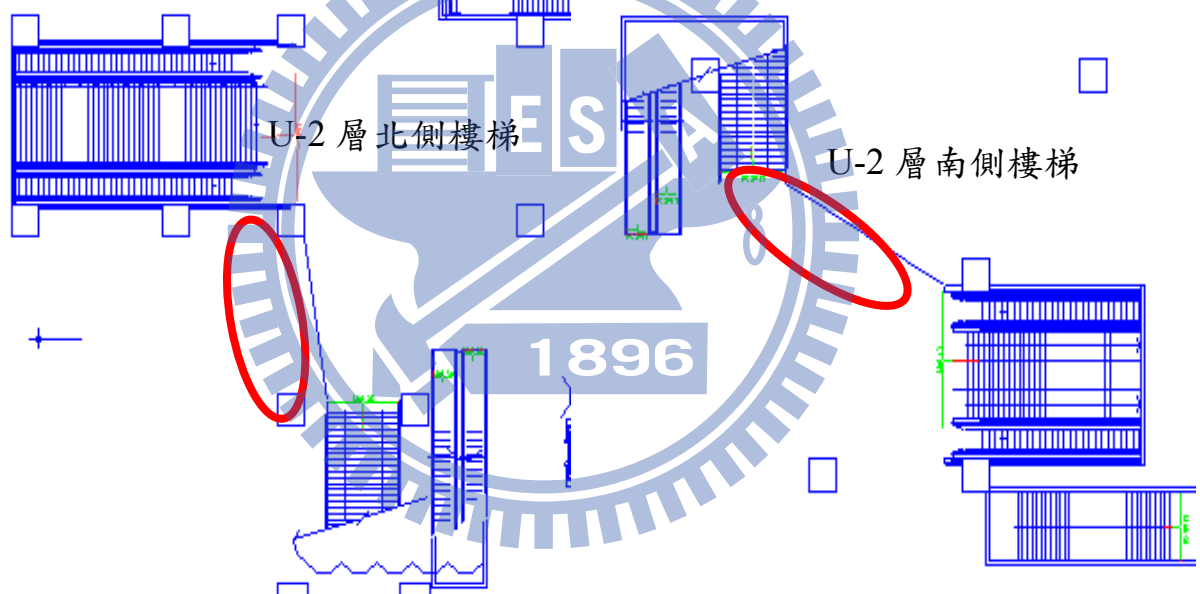


圖 5-7 U-2 層修正處

3. 情境三

將部分牆面由平滑設計改為圓弧設計，減少人員在逃生時，因轉角處角度變化過大而形成步行速度降低的情形，進而提高人員逃生的效率，圓弧設計處放大後如圖 5-8~5-9 所示。

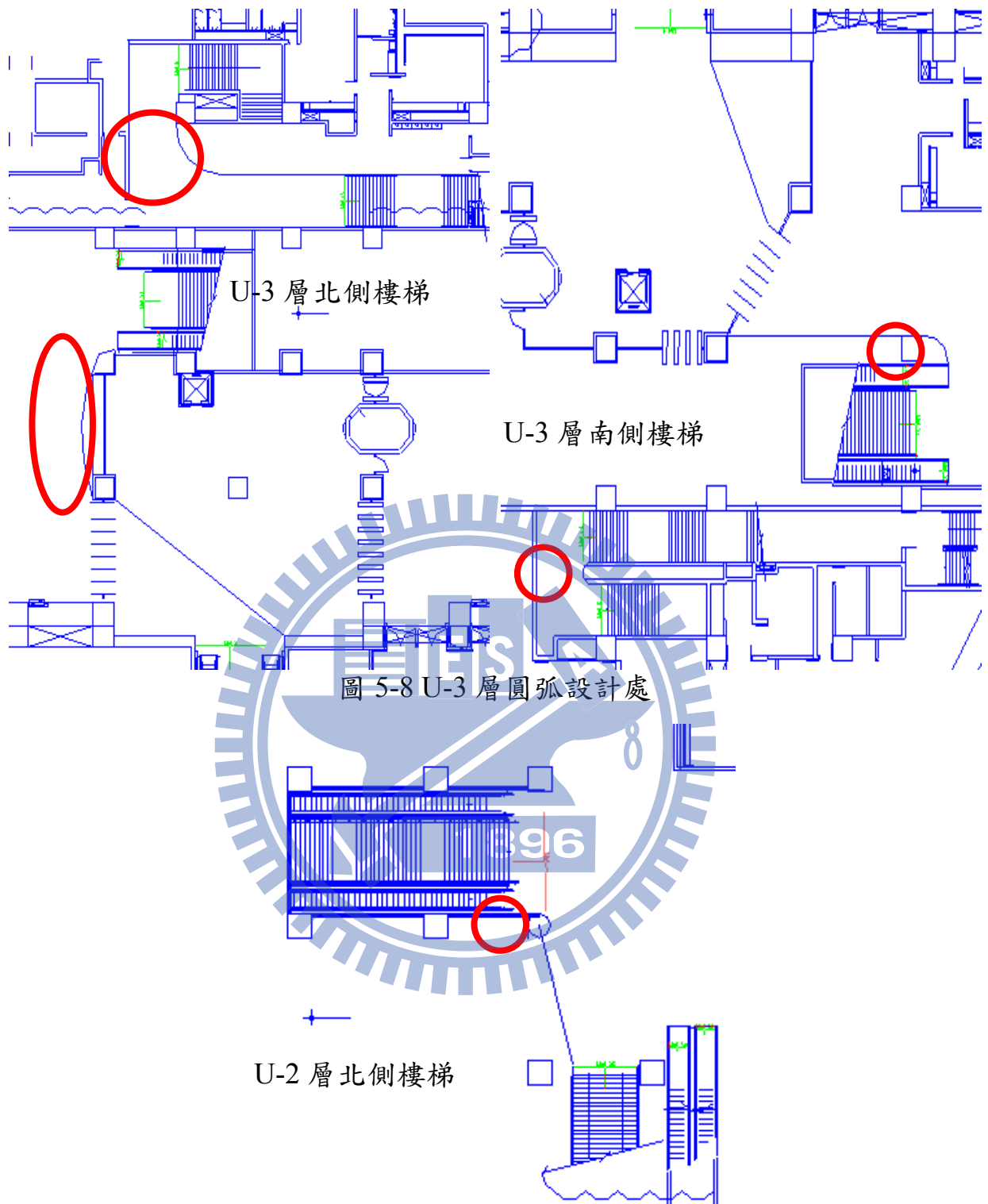


圖 5-9 U-2 層圓弧設計處

5.3.2 模擬結果

模擬結果顯示，情境二逃生效率比情境一增加 8% 左右，情境三逃生效率比情境一增加 11.17%，比情境二增加 5%，逃生時間結果如表 5-4 所示。

整體樓梯人員通量部分，在 U-4 層人員通量結果樓梯皆高於緊急逃生

梯，樓梯大約為 70 人/m*min，緊急逃生梯約為 45 人/m*min；U-3 層樓梯與緊急逃生梯人員通量相近，約為 35 人/m*min；U-2 層樓梯人員通量略低於緊急逃生梯，約為 30 人/m*min，緊急逃生梯則為 35 人/m*min。樓梯平均人員通量差異不大，僅情境三略高於其餘情境，各情境樓梯通量與整棟樓梯平均通量如圖 5-10~5-19 所示。

表 5-4 逃生時間結果

	逃生時間	增加效率
情境一	9.4min	-
情境二	8.79min	6.5%
情境三	8.35min	11.17%

1. 情境一各樓層樓梯通量

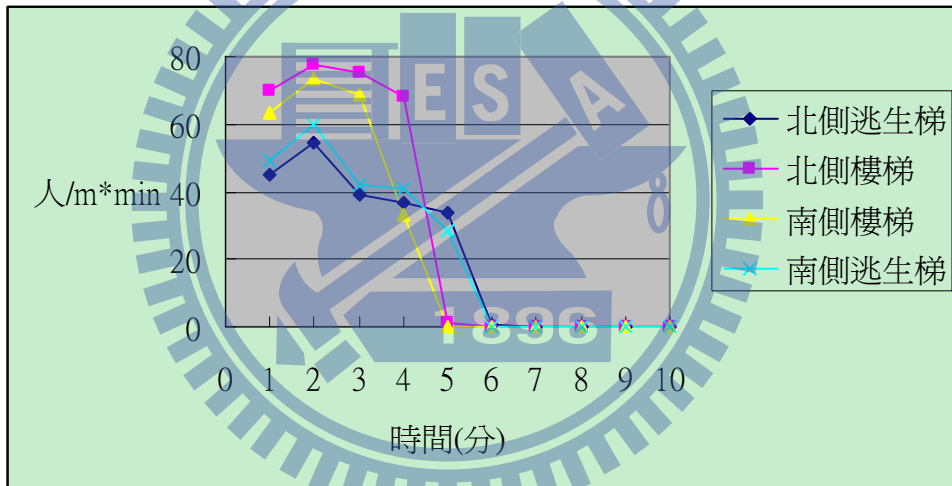


圖 5-10 U-4 層樓梯人員通量

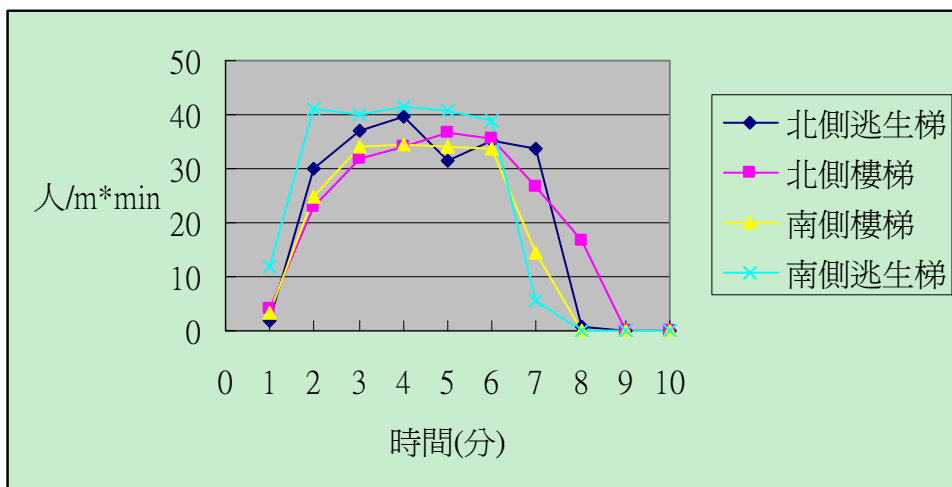


圖 5-11 U-3 層樓梯人員通量

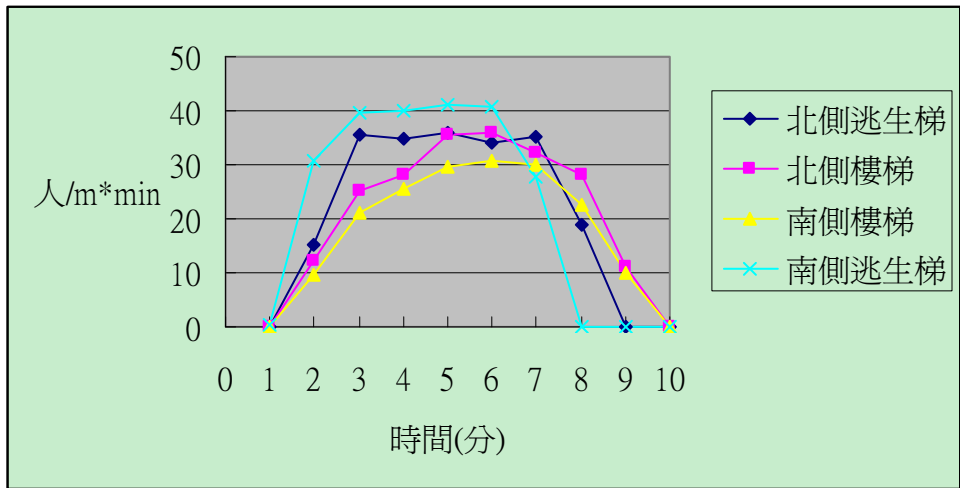


圖 5-12 U-2 層樓梯人員通量

2. 情境二各樓層樓梯通量

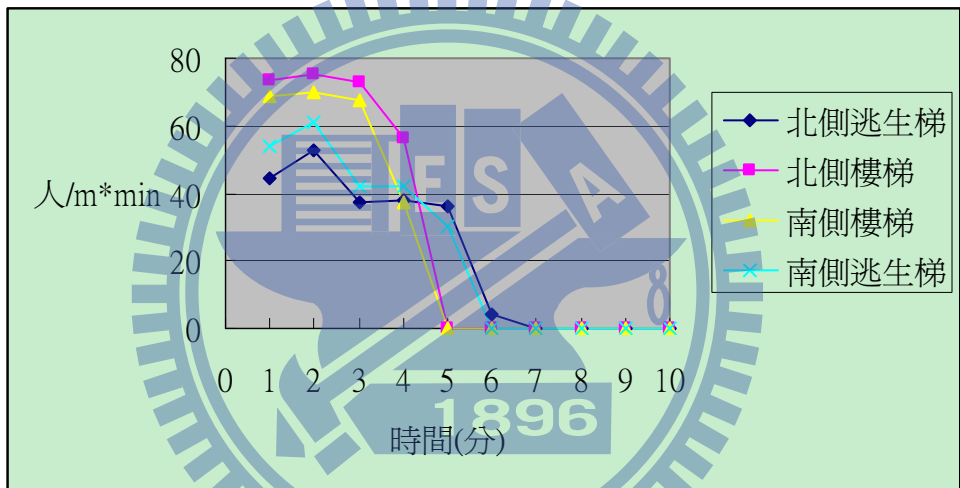


圖 5-13 U-4 層樓梯人員通量

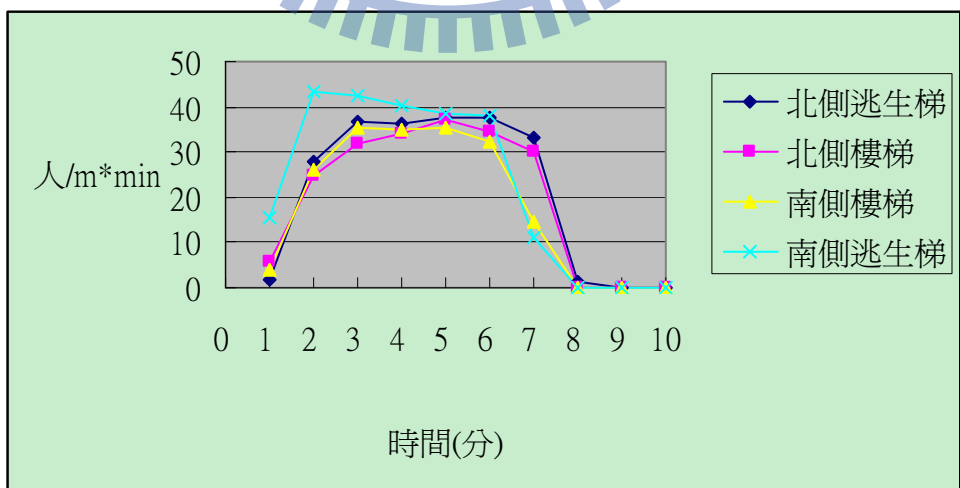


圖 5-14 U-3 層樓梯人員通量

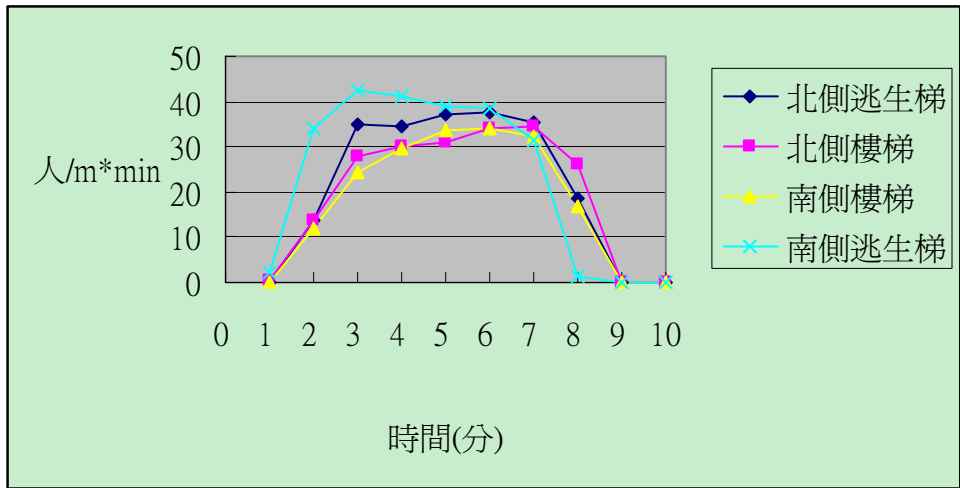


圖 5-15 U-2 層樓梯人員通量

3. 情境三各樓層樓梯通量

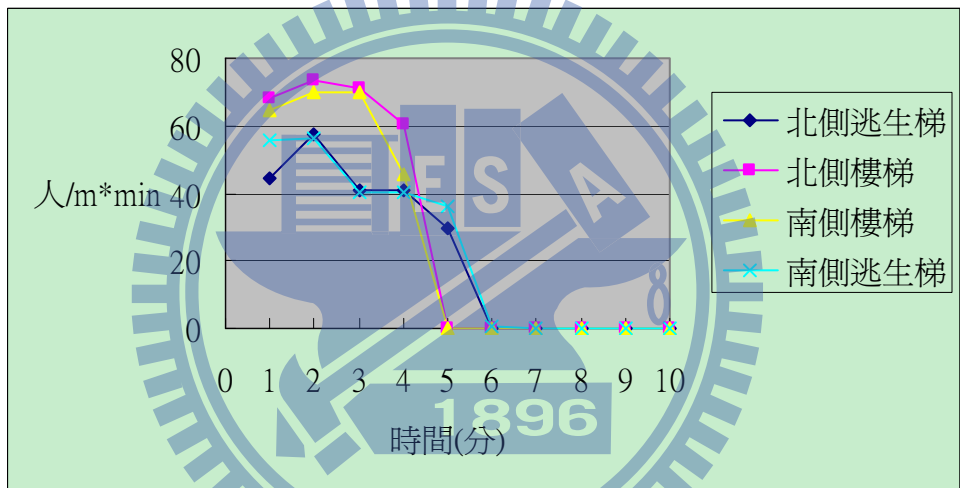


圖 5-16 U-4 層樓梯人員通量

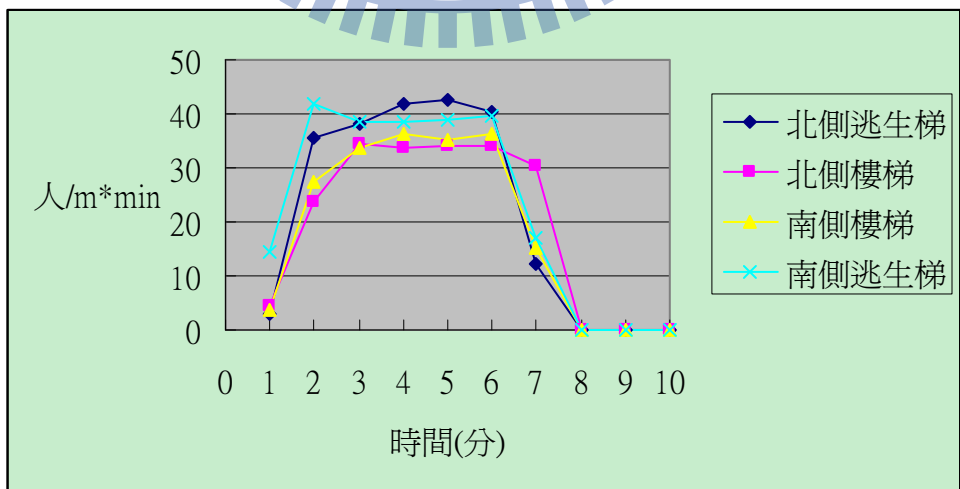


圖 5-17 U-3 層樓梯人員通量

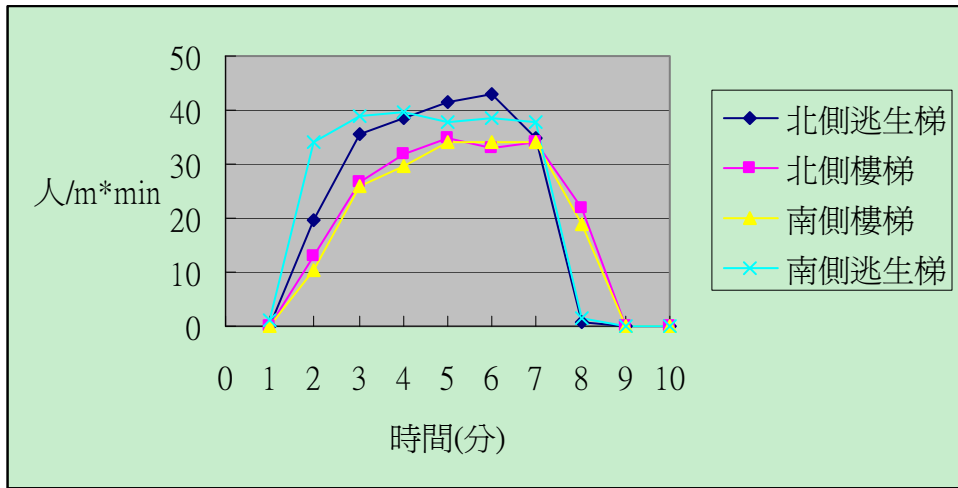


圖 5-18 U-2 層樓梯人員通量

4. 各情境樓梯平均通量

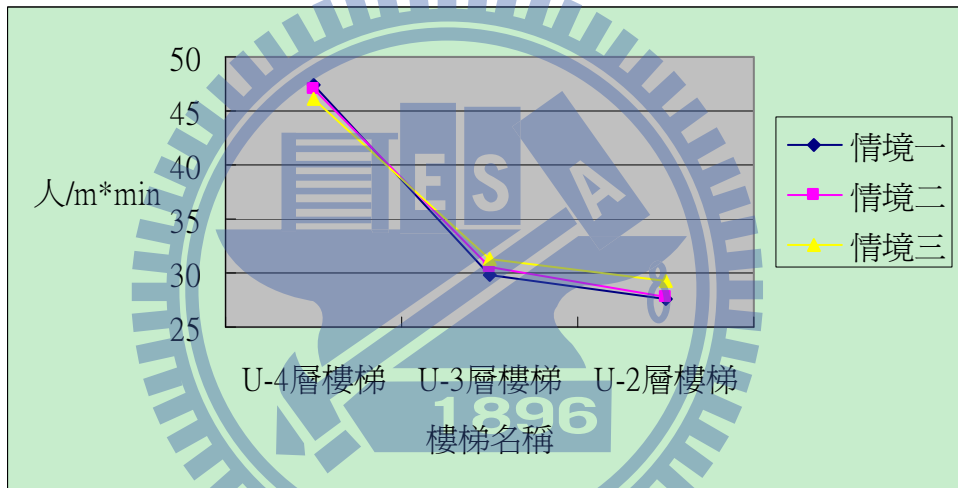


圖 5-19 樓梯平均人員通量

5.3.3 小結

由情境一的 SIMULEX 逃生歷程顯示，因使用最短路徑逃生，人員逃生時會在轉角處形成阻塞，反而造成樓梯空間無法充分利用，並且導致逃生時間拉長，如圖 5-20~5-21 所示，此外，發生火災事故時，人員逃生的積極度會提高，應會充分利用逃生路徑空間，因此在樓梯轉角處與閘門入口處發生的人員擁擠情形應為現實人員逃生時不會發生的現象，如圖 5-22~5-23 所示，此為模擬時人員逃生的不佳路徑，應於模擬前修正，經校正不合理處後，可看出情境二之樓梯通量略高於情境一，顯示樓梯使用狀況已有改善，且逃生結束時間也略為提前，因此情境一人員不正常移動的

狀況確實會影響人員逃生，使得情境一避難時間花費最久。在情境三的模擬中，將原先平滑的壁面改為圓弧型壁面，目的是減少人員在轉角處因角度變化過大而有人員碰撞降低速度的情形。由模擬結果比較後得知逃生效率略為提高，在 U-3 層北側逃生梯效果最為顯著，人員通量效率約增加 20%，其餘區域約提高 6%~14% 不等，顯示圓弧壁面對人員逃生有正面的影響。此外，因緊急逃生梯路徑距離比樓梯短，故所有情境緊急逃生梯逃生所需時間皆比樓梯時間短。

此外在樓梯通量部分，由 U-4 層樓梯通量圖可明顯看出樓梯通量高於緊急逃生梯通量，原因是 U-4 層人員離緊急逃生梯尚有一段距離，而離樓梯較近，故在 U-4 層樓梯通量部分，正常樓梯起始通量皆比逃生梯來得高，且因 U-3 層可滯留面積較大，使用正常樓梯之人員回堵至 U-4 層的時間較晚，樓梯可維持較高的通量，但緊急逃生梯的樓梯間面積較小，因此逃生梯通量則會因人員回堵問題較快下降；在 U-3 層樓梯通量部分，各處樓梯都有阻塞的情形，因此通量結果都很相近，而緊急逃生梯因為逃生路徑轉折處比正常樓梯少，人員逃生較順暢，故通量較正常樓梯略高，而在情境三(見圖 5-17)，緊急逃生梯牆面都使用圓弧牆面規畫，因此緊急逃生梯和正常樓梯間的通量差距比其餘情境來得高；U-2 層部分延續 U-3 層之逃生情形，情境二與情境三樓梯通量趨勢大致與 U-3 層相同，而情境一因有不合理的情形發生，導致 U-2 層樓梯通量較不穩定(見圖 5-12)，各處樓梯通量值差距較大。

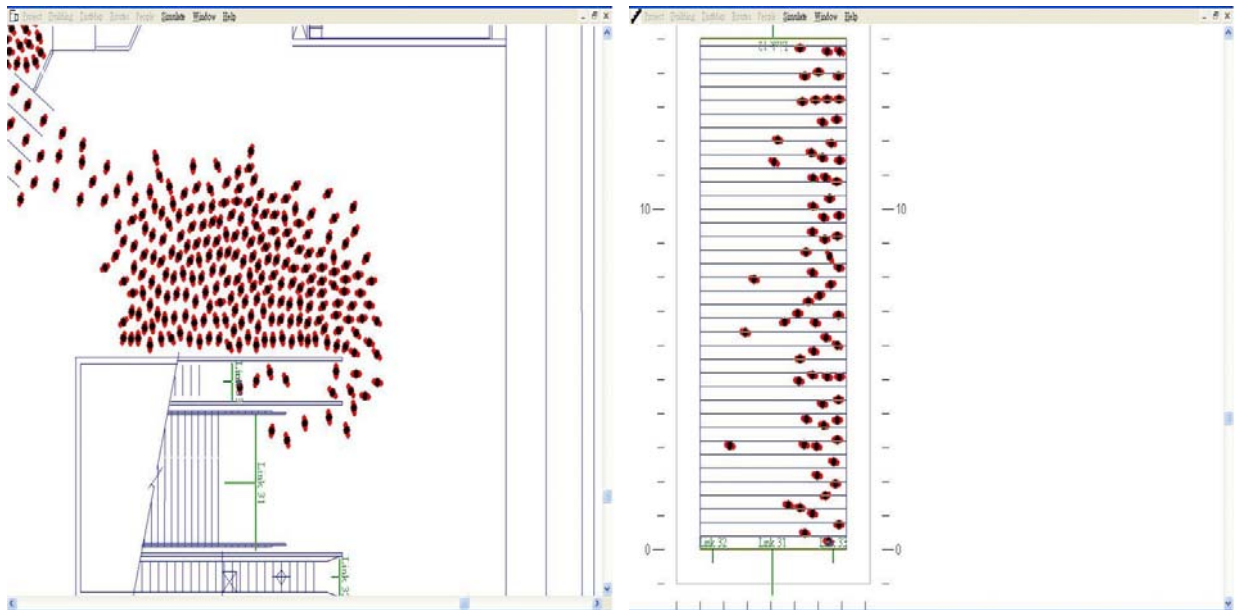


圖 5-20 樓梯空間無法充分使用示意圖

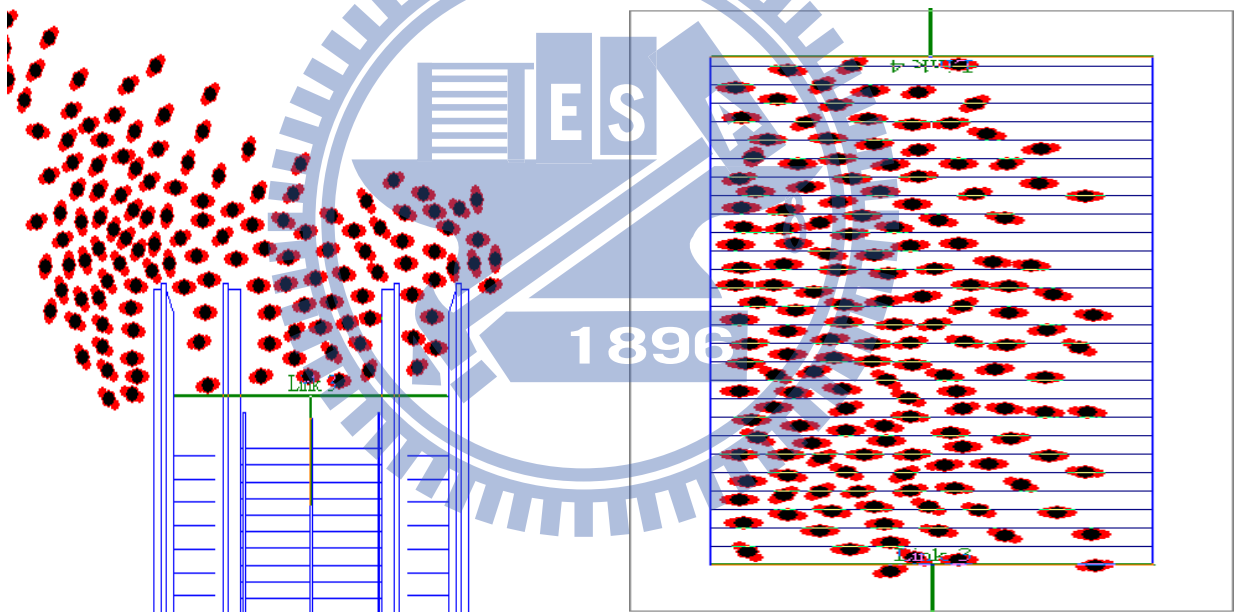


圖 5-21 樓梯空間正常使用示意圖

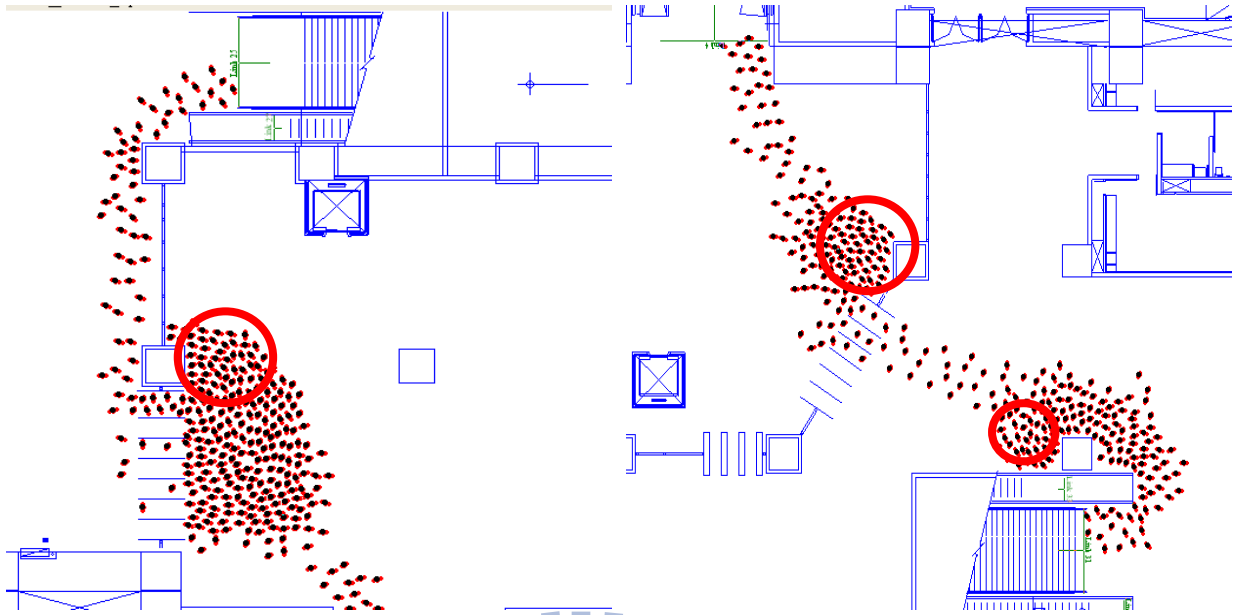


圖 5-22 U-3 層逃生不合理處

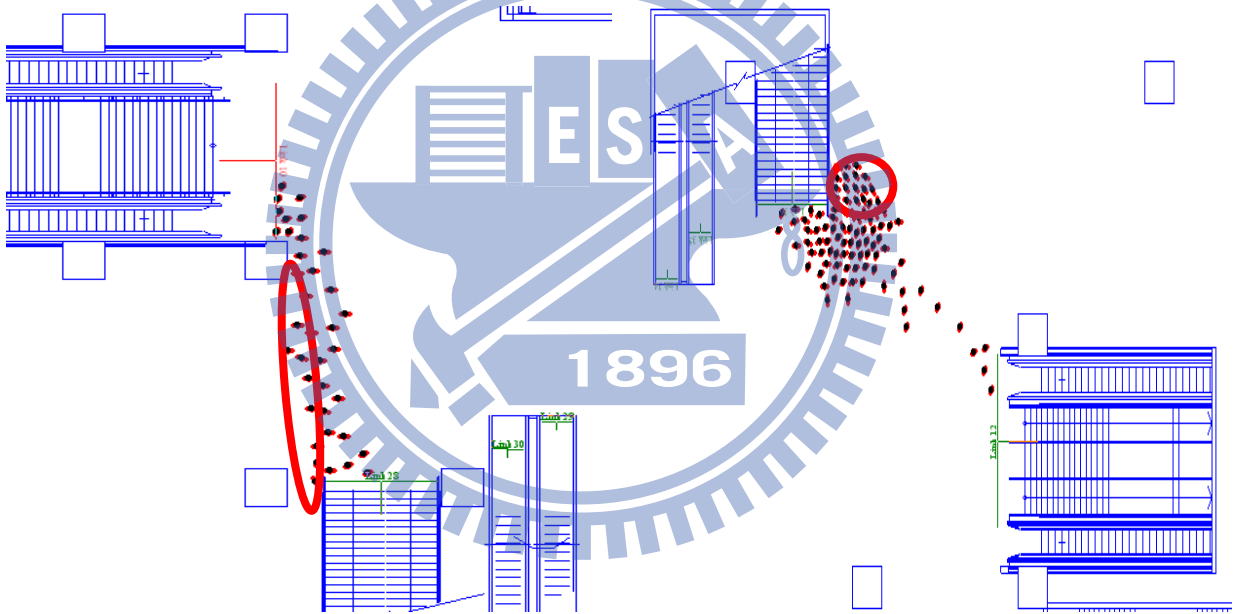


圖 5-23 U-2 層逃生不合理處

5.4 火源位置對逃生時間之影響

本節利用 SIMULEX 軟體模擬車站不同樓層發生火災，從各樓層樓梯通量來探討人員逃生時間的影響，並與文獻類似案例進行比較說明。

5.4.1 情境說明

本節共可分為四種情境，情境一為一列失火列車抵站，而月台另一側有一列列車已抵站，且車上乘客正在下車，包含月台層等待人員，共 3000 人需進行避難行動；情境二為月台層南側樓梯口發生火災，導致南側樓梯無法使用，人員僅能使用其餘樓梯避難；情境三為 U-3 層南側樓梯口發生火災，導致 U-3 層南側樓梯無法使用；情境四為 U-2 層南側樓梯口發生火災，導致 U-2 層南側樓梯無法使用，以上情境電扶梯皆不可視為逃生路徑使用，情境說明如表 5-5 所示，逃生路徑請見 5.2 節之說明，另假設火災發生時，有工作人員引導避難人群逃生，因此在進行 SIMULEX 模擬前，先行平均分配各逃生出口之人員，使其能同時間完成避難。

表 5-5 情境說明

	模擬狀況	人數	逃生路徑限制
情境一	一失火列車抵站，月台另一側列車乘客正在下車。	兩列列車乘客+等待人數： $1000*2+1000=3000$ 人	僅電扶梯不可視為逃生路徑使用
情境二	U-4 月台層南側樓梯口發生火災	等待人數：1000 人	U-4 層南側樓梯及電扶梯不可視為逃生路徑使用
情境三	U-3 月台層南側樓梯口發生火災	等待人數：1000 人	U-3 層南側樓梯及電扶梯不可視為逃生路徑使用
情境四	U-2 月台層南側樓梯口發生火災	等待人數：1000 人	U-2 層南側樓梯及電扶梯不可視為逃生路徑使用

1. 情境一

本情境模擬設定一失火列車抵站，且另一側列車旅客正在下車，加上月台層原先等待人數共 3000 人。逃生路徑皆無任何阻隔，僅電扶梯不可視為逃生路徑使用，模擬平面圖如圖 5-24 所示。

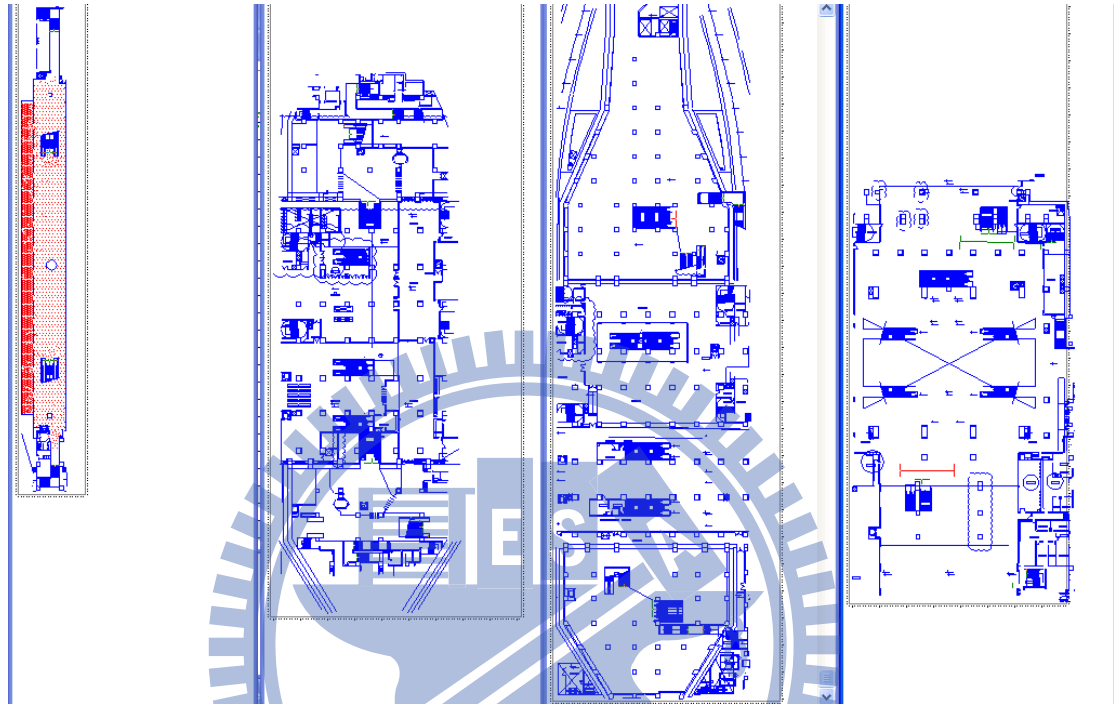


圖 5-24 情境一 SIMULEX 模擬平面圖

2. 情境二

本情境設定 U-4 層南側樓梯口發生火災，導致該樓梯無法使用，其餘樓梯皆可正常使用，僅電扶梯不可視為逃生路徑使用，此外，因火災之緣故，人員以樓梯口為界線朝兩側進行避難動作，逃生人數為月台層原先等待人員 1000 人，模擬平面圖如圖 5-25 所示。

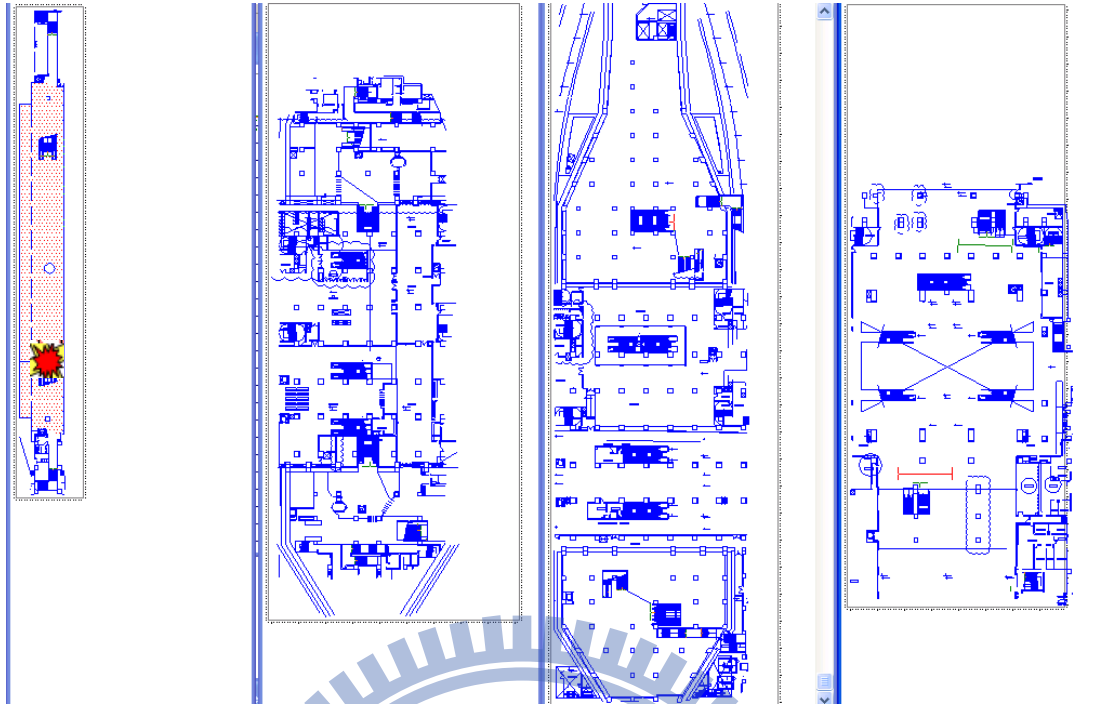


圖 5-25 情境二 SIMULEX 模擬平面圖

3. 情境三

本情境設定 U-3 層南側樓梯口發生火災，導致該樓梯無法使用，其餘樓梯皆可正常使用，僅電扶梯不可視為逃生路徑使用，逃生人數為月台層原先等待人員 1000 人，模擬平面圖如圖 5-26 所示。

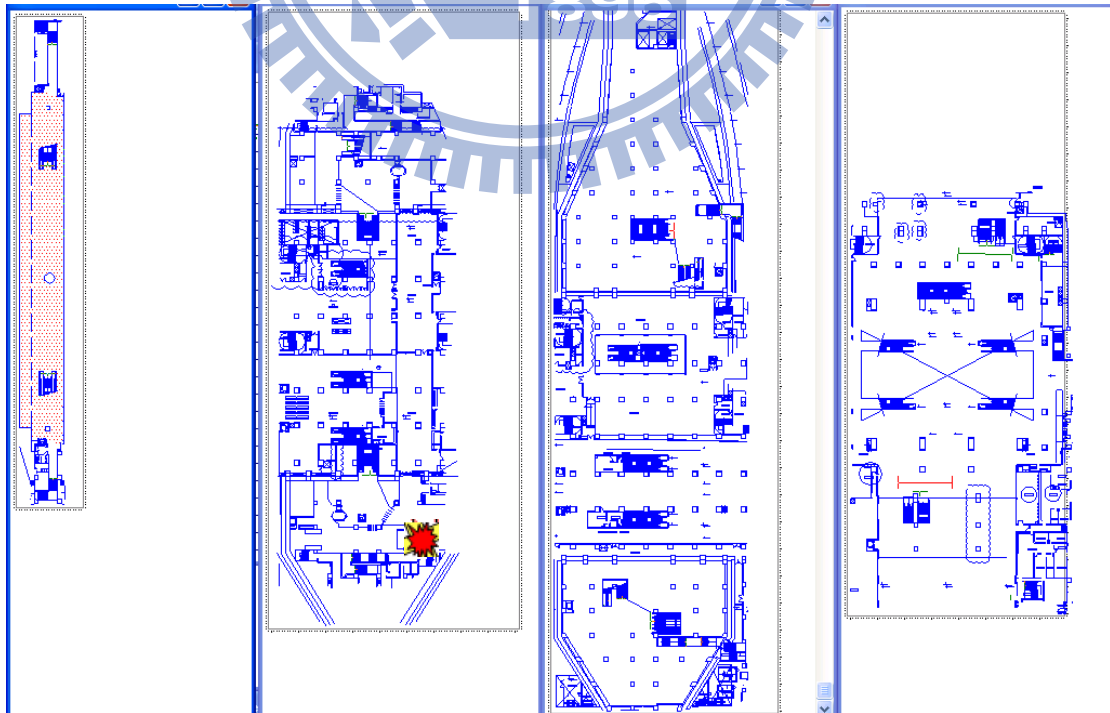


圖 5-26 情境三 SIMULEX 模擬平面圖

4. 情境四

本情境設定 U-2 層南側樓梯口發生火災，導致該樓梯無法使用，其餘樓梯皆可正常使用，僅電扶梯不可視為逃生路徑使用，逃生人數為月台層原先等待人員 1000 人，模擬平面圖如圖 5-27 所示。



圖 5-27 情境四 SIMULEX 模擬平面圖

5.4.2 模擬結果

模擬結果顯示，情境一逃生模擬時間多出情境二約 2.4 分鐘左右，比情境三與情境四多出約 3 分鐘，而情境三與情境四時間結果則相同，如表 5-6 所示。

整體樓梯人員通量部分，情境一 U-4 層正常樓梯大約為 70 人/m*min，緊急逃生梯約為 45 人/m*min，之後通量值開始降低，U-3 層與 U-2 層樓梯通量皆約為 35 人/m*min；在情境二~情境四部分，南側樓梯因失火緣故無法通行，人員通量為 0，U-4 層正常樓梯為 70 人/m*min，之後開始下降，緊急逃生梯約為 45~55 人/m*min，之後開始下降，U-3 層正常樓梯通量最大值約為 35 人/m*min，緊急逃生梯則為 35~40 人/m*min，U-2 層正常樓梯

通量最大值約為 30 人/m*min，緊急逃生梯則為 30~35 人/m*min，各情境樓梯通量如圖 5-28~5-39 所示。

表 5-6 逃生時間結果

	逃生時間
情境一	8.79min
情境二	6.42min
情境三	5.61min
情境四	5.61min

1. 情境一各樓層樓梯通量

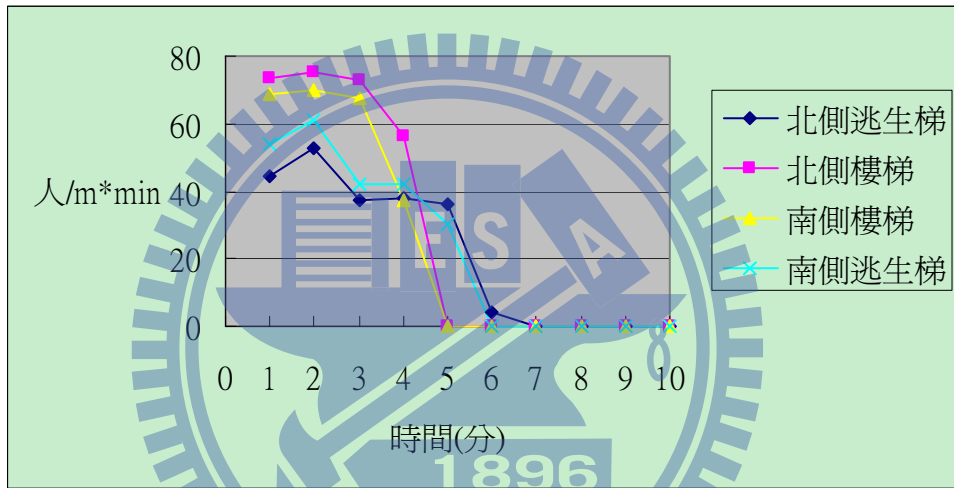


圖 5-28 U-4 層樓梯人員通量

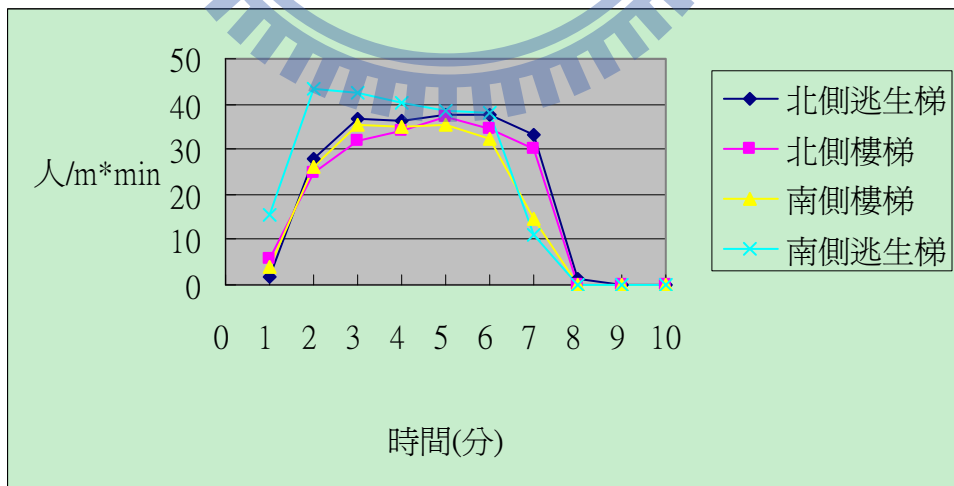


圖 5-29 U-3 層樓梯人員通量

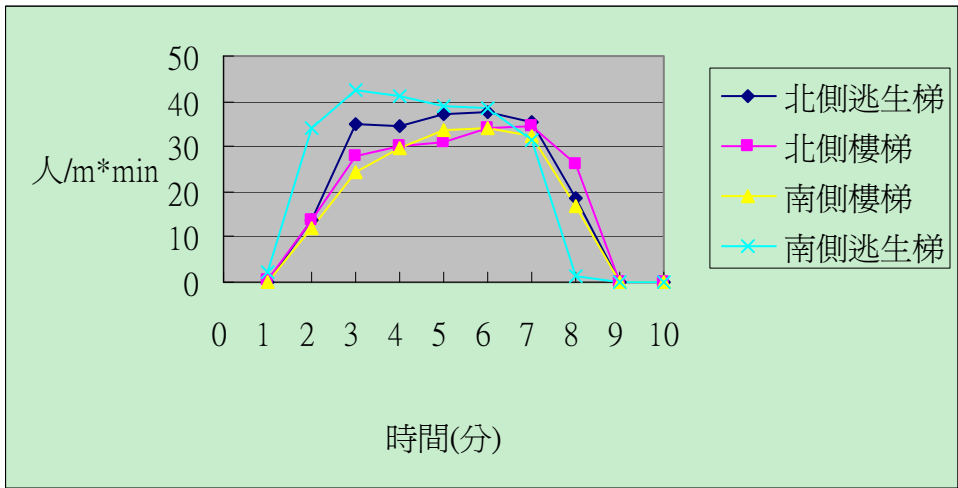


圖 5-30 U-2 層樓梯人員通量

2. 情境二各樓層樓梯通量

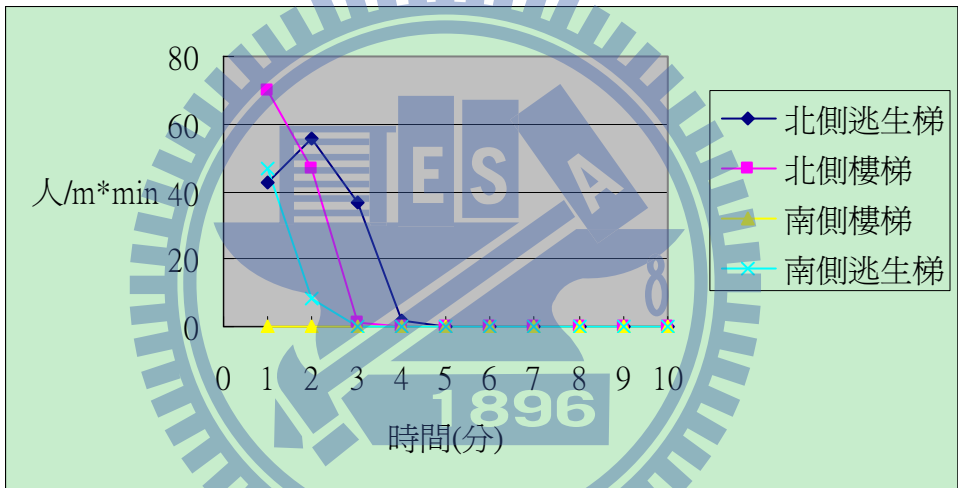


圖 5-31 U-4 層樓梯人員通量

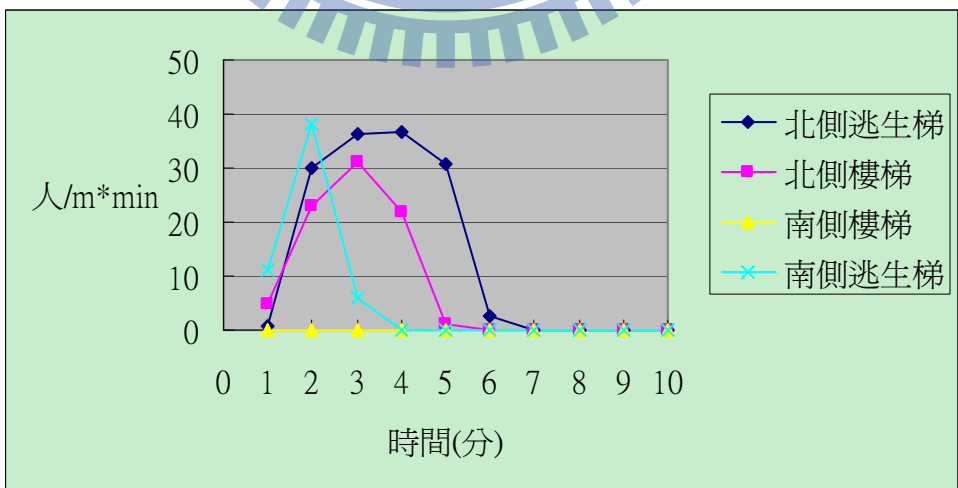


圖 5-32 U-3 層樓梯人員通量

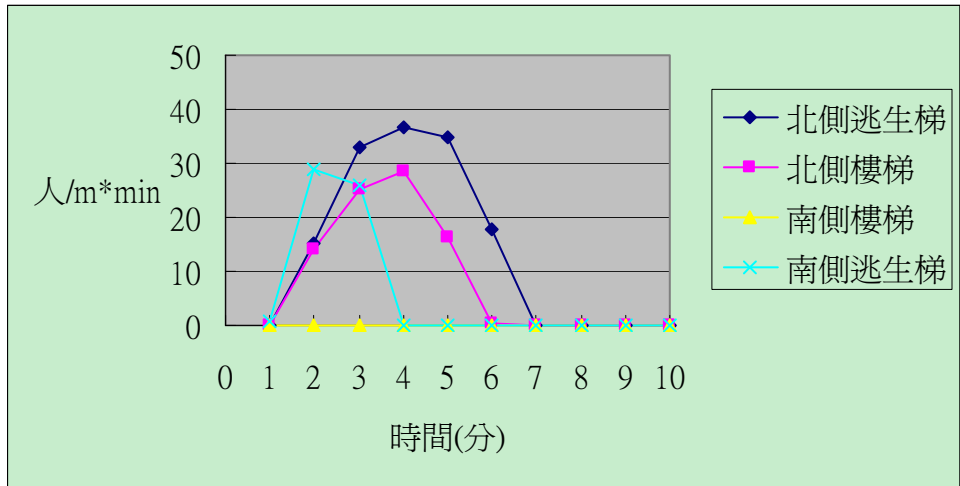


圖 5-33 U-2 層樓梯人員通量

3. 情境三各樓層樓梯通量

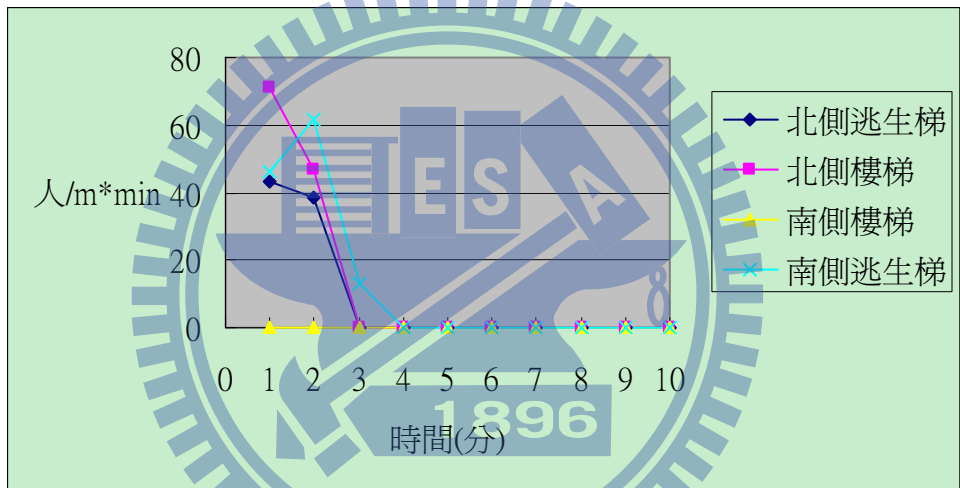


圖 5-34 U-4 層樓梯人員通量

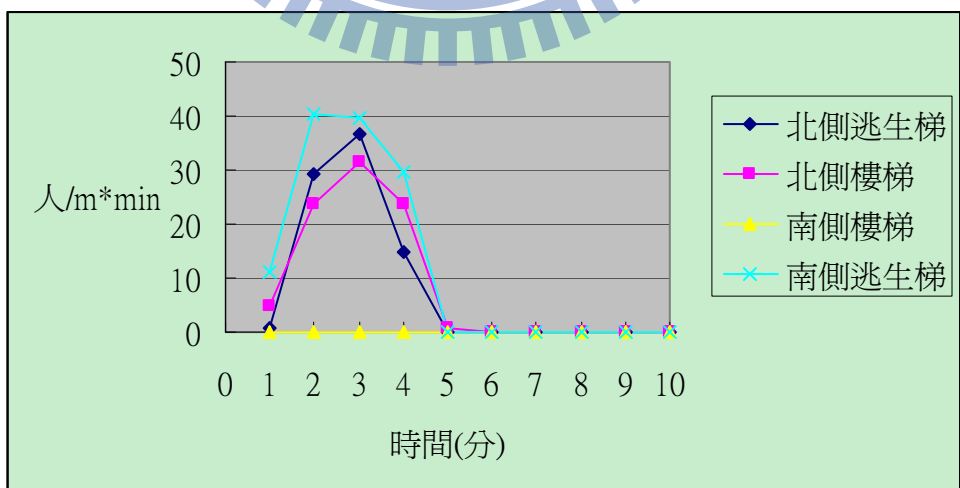


圖 5-35 U-3 層樓梯人員通量

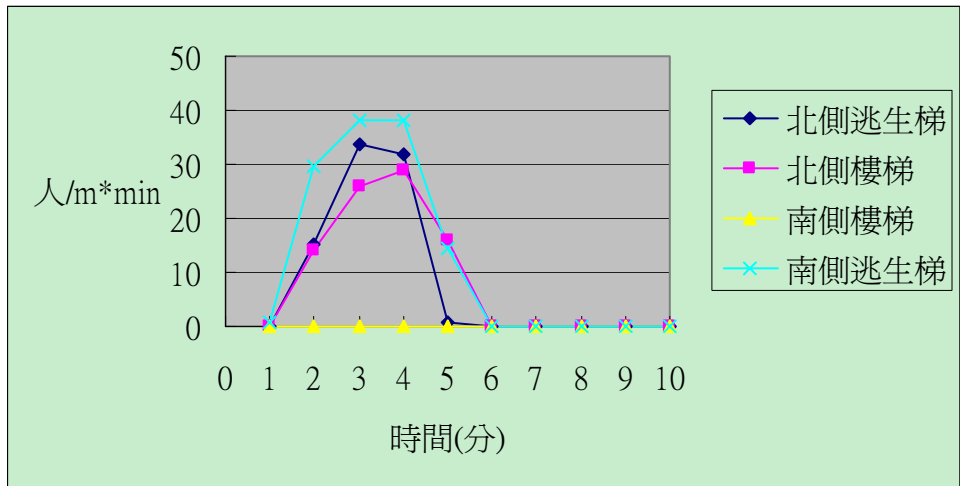


圖 5-36 U-2 層樓梯人員通量

4. 情境四各樓層樓梯通量

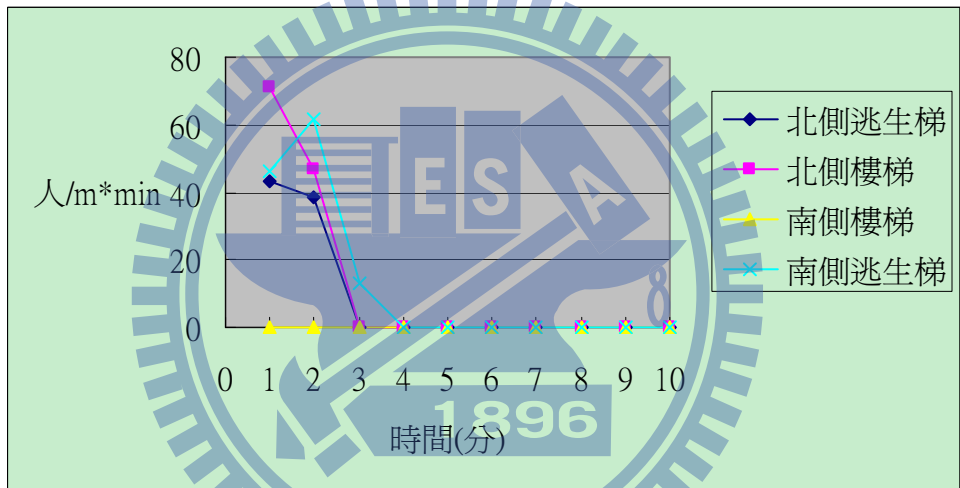


圖 5-37 U-4 層樓梯人員通量

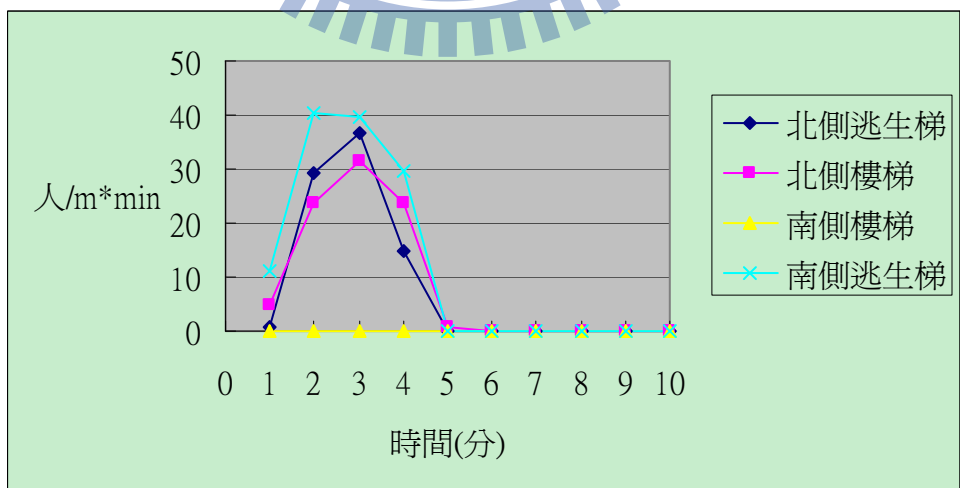


圖 5-38 U-3 層樓梯人員通量

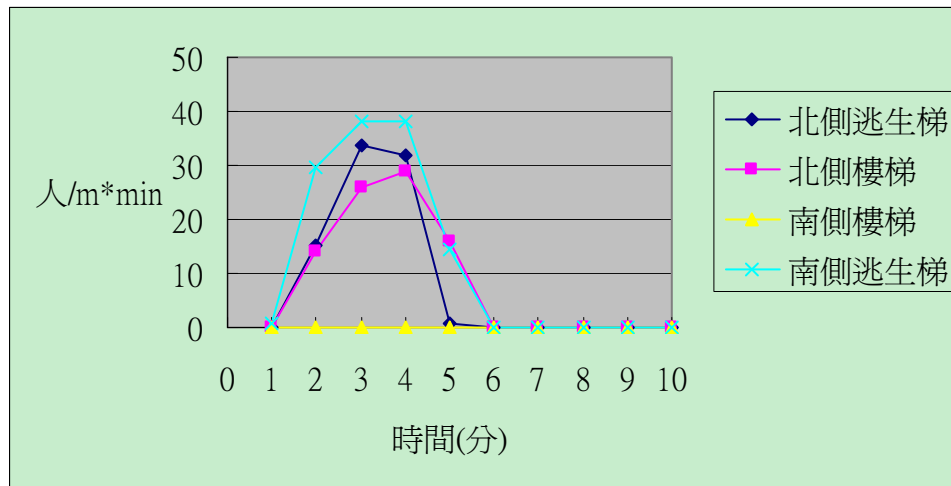


圖 5-39 U-2 層樓梯人員通量

5.4.3 類似文獻結果

楊冠雄針對高速鐵路台中站進行避難系統分析，共假設 13 個逃生情境進行 SIMULEX 模擬，情境一~情境六模擬大廳層不同位置發生火災，情境七~情境十一模擬月台層不同位置發生火災，情境十二與情境十三則模擬失火列車進站的情形，結果發現若為列車失火的情形，則因避難人數較多，逃生時間會比火災發生在其他場所來得長（平均時間為 7.08min）。而在火災發生於大廳層的情形下，因本案例為側式月台車站設計，火勢容易阻隔人員在兩側樓梯的通行，使得逃生時間變長（平均時間為 5.59min）。在火災發生於月台層的情況，因火勢僅能封鎖一座樓梯使用，且避難人員不包含列車人數，故整體逃生時間最快（平均時間為 5.03min），本文獻情境逃生時間整理如表 5-7 所示，高鐵台中站避難人數分佈圖如圖 5-40 所示，情境說明示意圖如圖 5-41 所示。

表 5-7 逃生時間結果表

	情境說明	逃生時間
情境一	大廳層南側付費區發生火災，月台層人員無法利用該區之樓梯經由大廳層進行避難。	6.66min
情境二	大廳層南側付費區之驗票閘門附近發生火災，人員無法利用該閘門進行避難。	4.66min
情境三	大廳層南側付費區之驗票閘門附近發生火災，人員無法利用該閘門進行避難。	4.83min
情境四	大廳層南側付費區之候車區發生火災，月台層人員無法利用該區之樓梯經由大廳層進行避難。	5.58min
情境五	大廳層北側付費區之驗票閘門附近發生火災，人員無法利用該閘門進行避難，利用另一方向之逃生口避難。	5.5min
情境六	大廳層北側非付費區之候車區發生火災，人員無法利用該區兩側閘門進行避難。	6.33min
情境七	南下或北上月台中央發生火災，人員避難動線無受到影響。	4.66min
情境八	北上月台北側樓梯發生火災，人員無法使用該樓梯進行避難。	4.58min
情境九	北上月台南側樓梯發生火災，人員無法使用該樓梯進行避難。	5.17min
情境十	南下月台之北側樓梯發生火災，人員無法使用該樓梯進行避難。	5.83min
情境十一	南下月台之南側樓梯發生火災，人員無法使用該樓梯進行避難。	4.92min
情境十二	一列失火北上列車進入北上月台。	6.5min
情境十三	一列北上列車旅客正在下車，此時一失火南下列車進站。	7.66min

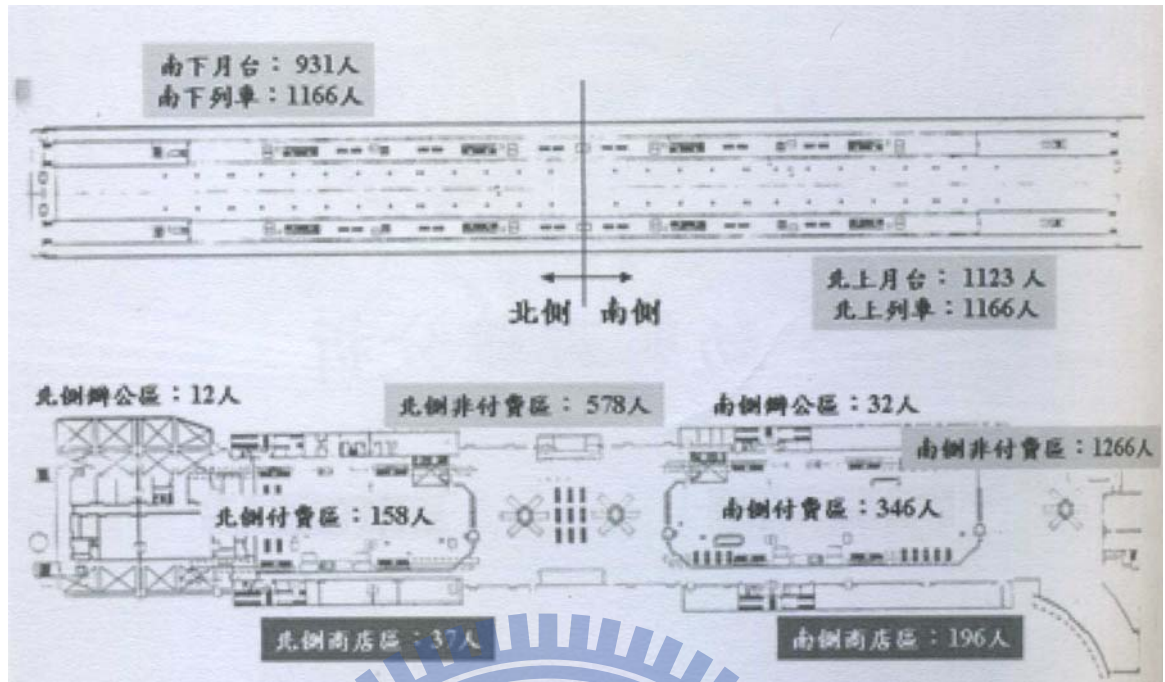


圖 5-40 避難人數分佈圖

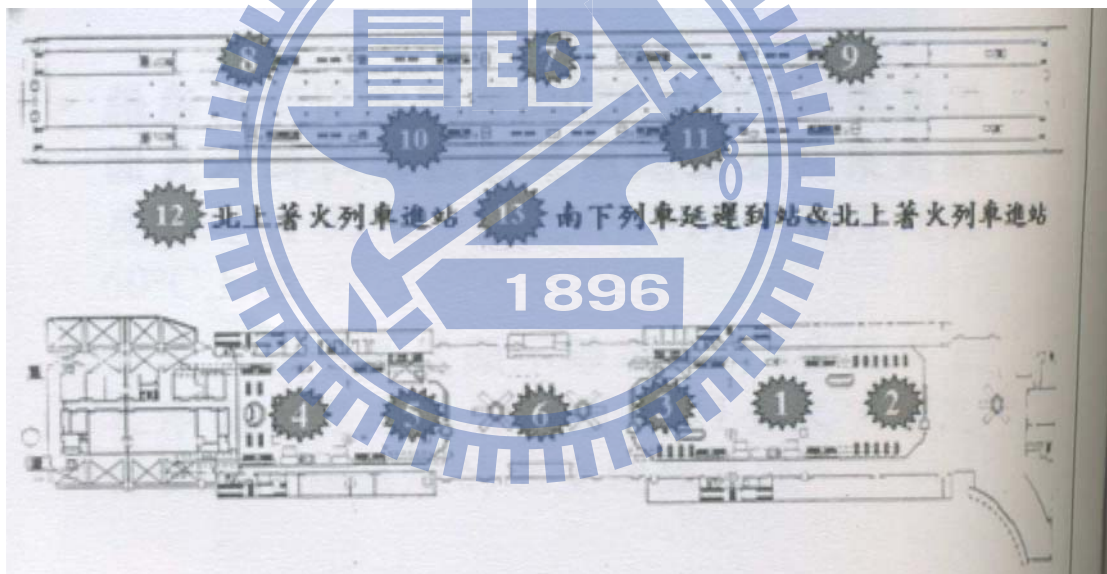


圖 5-41 情境說明示意圖

5.4.4 小結

分析四種情境之樓梯通量後，可發現情境一因逃生人數為其餘情境的三倍，故逃生時間最長，U-4 層巔峰樓梯通量也因人數眾多而維持較長的時間，另 U-4 層因人員離緊急逃生梯尚有一段距離，故起始通量較正常樓梯低，而在第二分鐘時略為提高，但因緊急逃生梯樓梯間面積狹小，人員會回流至 U-4 層，人員通量反而會再往下降。正常樓梯與緊急逃生梯在 U-3

層與 U-2 層的最大通量值皆很相近，僅南側緊急逃生梯略高，原因是此路徑距離較短，且轉折處較少，人員可較順利的疏散至避難層。

在情境二部分，因為火源位置設定在 U-4 層南側樓梯口，且月台層設計通常為狹長型，火勢會將人員逃生路線分割開來，使用南側緊急逃生梯人數會變少，而使用北側樓梯與緊急逃生梯的人數則會變多，由圖 5-30 可看出，南側樓梯人數較少，因此人員很快便逃離月台層，而月台北側部分，因逃生人數與情境一相比較少，因此不會像情境一一樣產生通量長時間維持在巔峰的情況。在 U-3 層與 U-2 層方面，因南側人數較少，樓梯通量僅在人員通過時變大，但隨著人員疏散完畢，通量會瞬間下降（見圖 5-32），而北側則會有維持巔峰通量一段時間的情形，北側逃生梯也因疏散路徑較單純，通量比北側樓梯略高出 5 人/m*min（16.67%）。

在情境三與情境四部分，因火源分別設計在 U-3 層與 U-2 層南側樓梯口，U-4 層逃生動線並無被火勢阻隔，因此逃生人員較平均分布，逃生情況也較為類似，考慮人員平均分布，南北側人員完成避難時間也較接近，整體逃生時間也比情境二來得短。而在 U-3 層與 U-2 層通量結果方面，可發現情境三與情境四因為使用南側緊急逃生梯人數較多，相對的北側人員逃生需要時間會降低，且樓梯通量結果也較為平均，僅緊急逃生梯因動線單純，所以略高於正常樓梯 10 人/m*min（33.3%）。

與類似文獻結果比較後發現，兩者在失火列車進站的逃生情境結果類似，逃生所需時間都是最久的。但在月台層與穿堂層發生火災的情境，本研究的結果與文獻結果不同，原因是文獻中建築物內部設計會導致若大廳層發生火災將會有兩座樓梯無法作為逃生使用的情形發生，而月台層發生火災的情況，則只會有一座樓梯無法使用，本研究則都只有一座樓梯無法使用，人員無法平均分散逃生的因素影響較為嚴重，因此月台層發生火災之情境會比穿堂層發生火災來得嚴重。

5.5 不同模擬方法之逃生比較

本節利用高雄捷運規範、NFPA 130、性能驗證手冊及 SIMULEX 模擬等方法探討逃生時間的差異性，並且設計電扶梯供逃生路徑使用的情形，並以此討論避難設施對逃生的影響。

5.5.1 情境說明與模擬方法比較

本節設定五種情境進行模擬計算方法之比較，情境一~情境三設定單一樓層中有一座電扶梯故障處於維修狀態而不得使用，並於此時發生火災事故，情境四則設定無電扶梯故障，人員皆可利用電扶梯逃生，情境五則不允許電扶梯作為逃生使用，模擬情境設計如表 5-8 所示，逃生路徑請見 5.2 節之說明。逃生人員部分，參考 5.4 節結論，設定一失火列車進站，且另一側列車旅客已抵站下車，包含月台層等待人數共 3000 人，另假設火災發生時，有工作人員引導避難人群逃生，因此在進行 SIMULEX 模擬前，先行平均分配各逃生出口之人員，使其能同時間完成避難。

由表 5-9 所整理出的模擬方法比較可看出高雄捷運規範與性能驗證手冊的水平移動速度皆為 60m/min，而 NFPA 130 所規定的速度則較低；垂直移動速度除了數值不同之外，在計算性質上也有所不同，高雄捷運規範與 NFPA 130 皆使用樓層之間的垂直高度進行計算，但性能驗證手冊則使用斜面的距離進行計算。在有效流動係數部分，高雄捷運規範規定每 0.55 公尺寬可疏散 35 人/min，超過 0.3m 可疏散 17.5 人/min，但不足 0.3m 之寬度，皆不允許被使用，而 NFPA 130 即規定為 55.5 人/m*min，性能驗證手冊則使用手冊內規定公式進行計算，樓層計算最大值為 90 人/m*min，整棟 80 人/m*min，若寬度小於 0.6m，有效流動係數為 0。

表 5-8 模擬情境設計

	模擬狀況
情境一	U-4 層有一電扶梯故障
情境二	U-3 層有一電扶梯故障
情境三	U-2 層有一電扶梯故障
情境四	無電扶梯故障
情境五	所有電扶梯皆不可視為逃生路徑使用

表 5-9 模擬方法比較

	移動速度 (m/min)		有效流動係數		
	水 平	垂直上 行	樓梯	閘門	電扶梯
高捷規範	60	15(垂 直)	每 0.55m 疏散 35 人/min， 超過 0.3m 可算 17.5 人/min	50 人 /min	70 人/min
NFPA130	38	15(垂 直)	55.5 人/m*min	50 人 /min	55.5 人/m*min
性能驗證手 冊	60	27(斜 面)	利用公式計算 樓層：90 人/m*min(max) 整棟：80 人/m*min(max) 樓梯寬度小於 60cm 時 Neff=0	無	無

5.5.2 模擬結果

本小節將四種模擬分段討論，第一段討論高雄捷運規範，詳細計算過程請見附錄 A；第二段討論 NFPA 130，詳細計算過程請見附錄 B；第三段討論性能驗證手冊，詳細計算過程請見附錄 C；第四段討論 SIMULEX 模擬結果。

1. 高雄捷運規範

月台層逃生部分，情境一因缺少一座供逃生使用，因此逃生時間會比情境二~情境四多出 0.2min，為 3.06min；情境二和情境三因缺少的電扶梯

並不是設定在 U-4 層，故月台層逃生時間為 2.86min，略低於情境一；情境四設定無電扶梯故障，因此月台層逃生情形與情境二和情境三相似，時間為 2.86min；情境五因為所有電扶梯都不得使用，因此逃生時間（3.9min）大幅拉長較其他情境來得高，顯示缺少電扶梯作為逃生使用，會直接影響到人員逃生。

整棟逃生計算部分，整棟時間結果受到月台層逃生的影響，整體趨勢與月台層類似，而檢視計算過程可發現，因為 U-4 層樓梯總寬度小於 U-3 層與 U-2 層，所以人員主要阻塞在 U-4 層樓梯口，造成此處人員等候時間過長，而只要通過 U-4 層樓梯口後，即使穿堂層設計一座電扶梯無法使用，其他樓層樓梯口與驗票閘門也都沒有人員阻塞的情形，時間結果整理如表 5-10 與圖 5-42~5-43 所示。

表 5-10 逃生時間結果

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
月台層(min)		3.06	2.86	2.86	2.86	3.9
整棟 (min)	步行時間	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
	等候時間	2.38	2.18	2.18	2.18	3.22
	總和	5.63	5.43	5.43	5.43	6.47

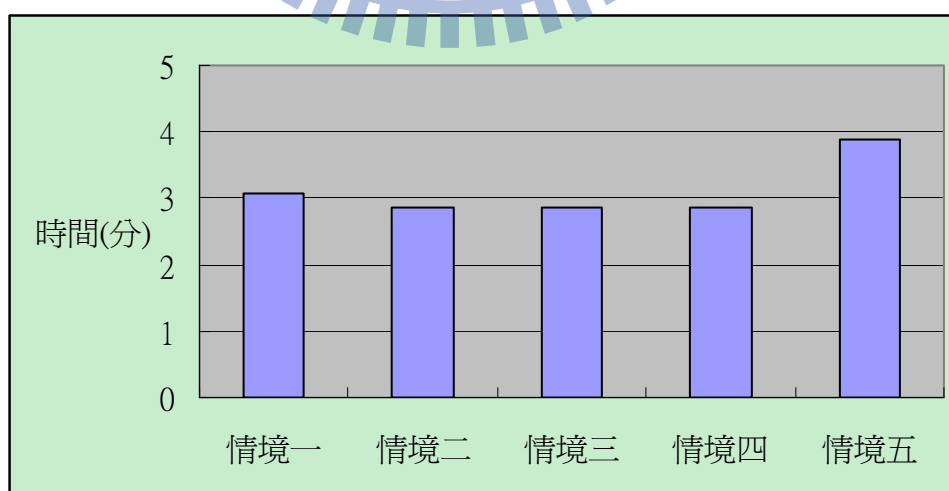


圖 5-42 月台層逃生時間

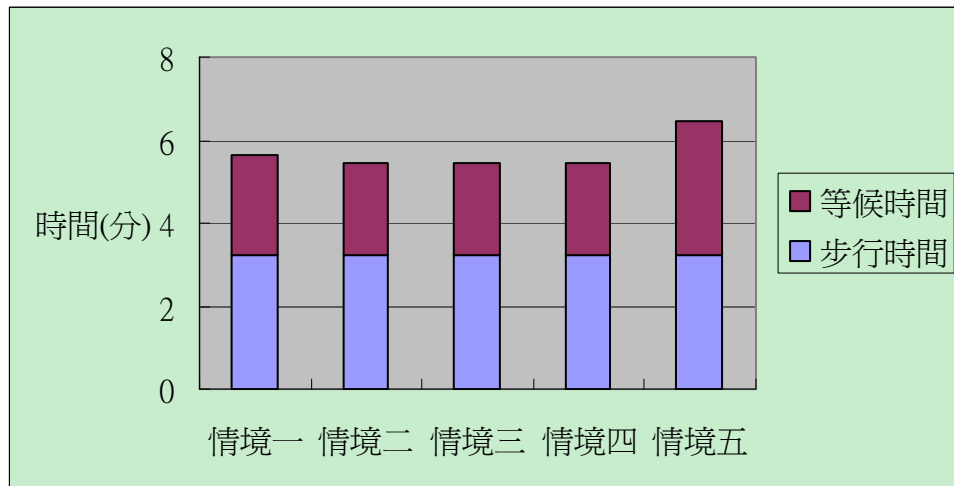


圖 5-43 整棟逃生時間

2. NFPA 130

月台層逃生部分，情境一因缺少一座供逃生使用，因此逃生時間會比情境二~情境四多出 0.21min，為 3.47min；情境二和情境三因缺少的電扶梯並不是設定在 U-4 層，故月台層逃生時間為 3.26min，略低於情境一；情境四設定無電扶梯故障，因此月台層逃生情形與情境二和情境三相似，時間為 3.26min；情境五因為所有電扶梯都不得使用，因此逃生時間大幅拉長（4.3min）較其他情境來得高，顯示缺少電扶梯作為逃生使用，會直接影響到人員逃生。

整棟逃生計算部分，整棟時間結果受到月台層逃生的影響，整體趨勢與月台層類似，而檢視計算過程可發現，因為 U-4 層樓梯總寬度小於 U-3 層與 U-2 層，所以人員主要阻塞在 U-4 層樓梯口，造成此處人員等候時間過長，而只要通過 U-4 層樓梯口後，即使穿堂層設計一座電扶梯無法使用，其他樓層樓梯口與驗票閘門也都沒有人員阻塞的情形，時間結果整理如表 5-11 與圖 5-44~5-45 所示。

表 5-11 逃生時間結果

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
月台層(min)		3.47	3.26	3.26	3.26	4.3
整棟 (min)	步行時間	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
	等候時間	2.39	2.18	2.18	2.18	3.22
	總和	6.69	6.48	6.48	6.48	7.52

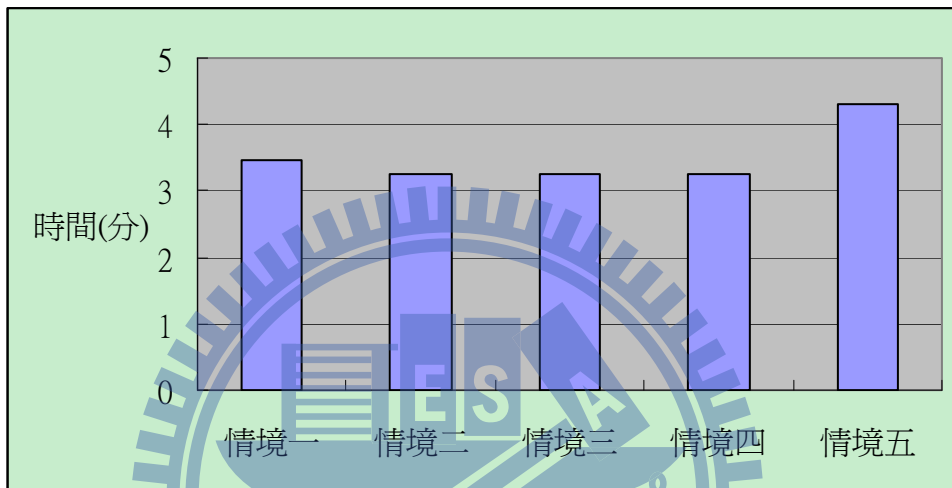


圖 5-44 月台層逃生時間

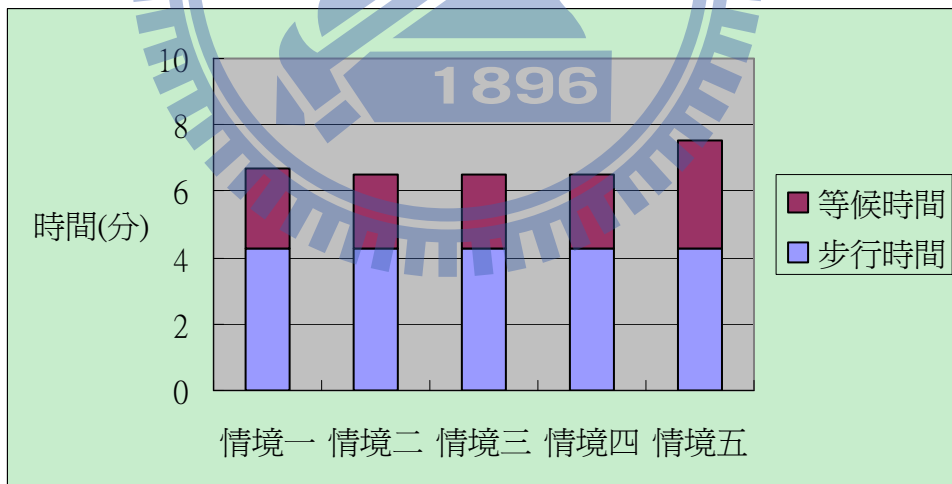


圖 5-45 整棟逃生時間

3. 性能驗證手冊

性能驗證手冊逃生時間為開始避難時間、步行時間及通過出口時間之合計，開始避難時間指發生火災後至人員察覺並開始避難的這段時間，從計算結果可得知，這個項目約佔總和時間的 50%~70%，原因在於此項目公

式是利用樓層面積進行計算，而本案例樓層面積廣大，使得結果時間拉長。

月台層逃生部分，情境一~情境五的開始避難時間皆為 4.19min，約佔總時間的 56%左右，而情境一因為缺少一座電扶梯的寬度，在通過出口時間項目計算上，高出情境二~情境四約 0.13min，情境二~情境四在月台層無電扶梯故障，此項目時間皆為 2.01min，在情境五部分，此項目計算上因電扶梯不可使用，所以無法併入電扶梯寬度進行計算，故此項目時間較長，為 2.66min。

整棟結果部分，開始避難時間約佔總時間的 67%左右，此外在總時間結果部分，與月台層結果不相符，情境三總時間為 20.27min，高出情境一、情境二及情境四 0.2min 左右，檢討計算結果可發現，因在整棟避難之通過出口時間公式僅考慮避難層出口寬度，而情境三設定 U-2 層一座電扶梯無法使用，所以此項目時間略高於情境一、情境二及情境四，但此計算方式可能沒有考慮其他樓層可能因出口寬度過小或是可滯留面積過小而發生人員堵塞的情形，與現實人員逃生情形較不符合，時間結果整理如表 5-12 與圖 5-46~5-47 所示。

表 5-12 逃生時間結果

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
月台層 (min)	開始避難時間	4.19	4.19	4.19	4.19	4.19
	步行時間	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
	通過出口時間	2.14	2.01	2.01	2.01	2.66
	總和	7.41	6.88	6.88	6.88	7.53
整棟 (min)	開始避難時間	14.09	14.09	14.09	14.09	14.09
	步行時間	3.38	3.38	3.38	3.38	3.38
	通過出口時間	2.6	2.6	2.8	2.6	3.61
	總和	20.07	20.07	20.27	20.07	21.08

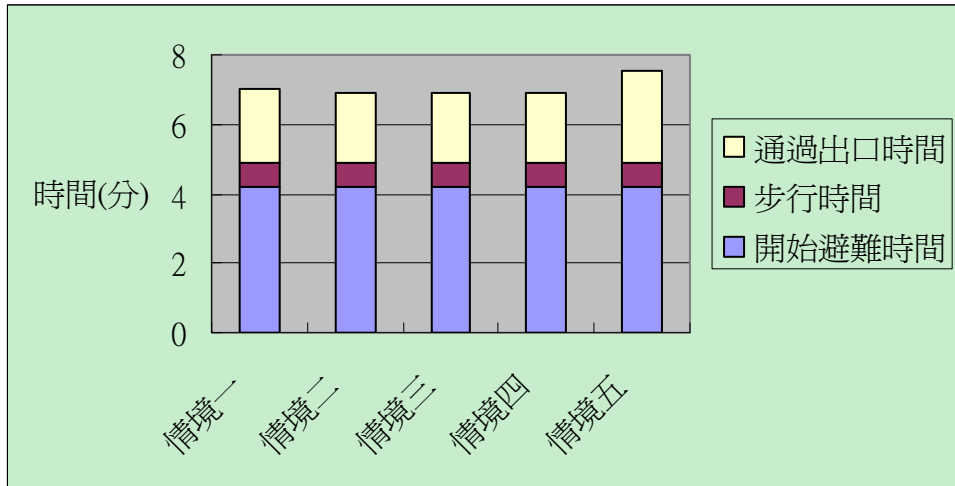


圖 5-46 月台層逃生時間

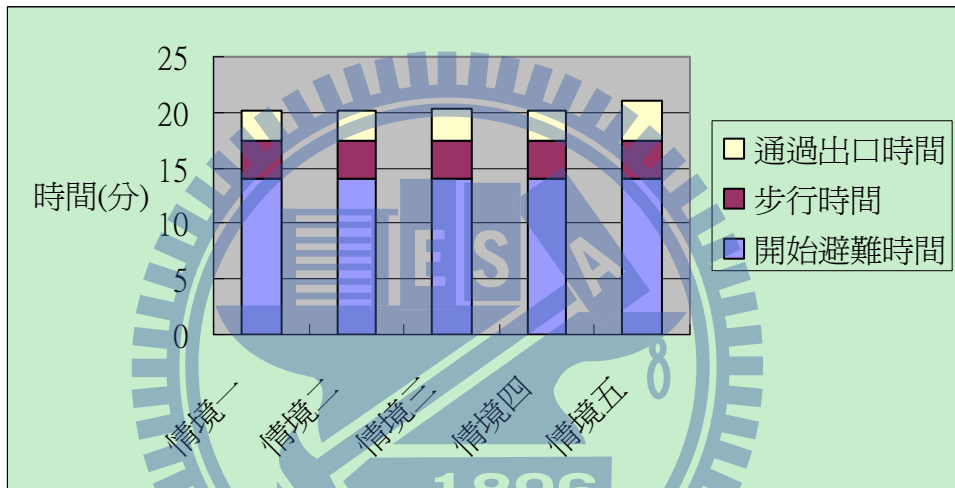


圖 5-47 整棟逃生時間

4. SIMULEX 模擬

SIMULEX 軟體基本假設為：人群會選擇逃生距離最短的出口逃生，但在真實狀況中，由於人群對現場不熟悉，逃生應無法如此順利，因此 SIMULEX 軟體之逃生時間，建議乘以 1.5 倍安全係數，此外由於人員並非火災一發生即開始避難，因此應該加上火警探測器反應時間 30 秒與人員反應 60 秒，才比較貼近真實的狀況。

由本節逃生結果中發現，在月台層部分，情境一~情境四逃生時間皆為 4.1min，顯示缺少一座電扶梯並不會對人員逃生造成太大的影響，但可從情境五結果發現，若所有電扶梯都無法使用，還是會對人員逃生產生影響。

在整棟逃生部分，各情境結果差異不大，檢視逃生歷程後發現，因為

人群選擇最近的出口逃生，使得樓梯空間無法充分利用，而在轉角處會形成阻塞，並且導致逃生時間拉長，顯示樓梯轉角處的影響較缺少電扶梯嚴重，時間結果整理如表 5-13 與圖 5-48~5-49 所示。

表 5-13 逃生時間結果

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
月台層 (min)	開始避難時間	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	疏散時間	2.73	2.73	2.73	2.73	3.26
	總和	5.6	5.6	5.6	5.6	6.39
整棟 (min)	開始避難時間	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
	疏散時間	12.96	12.83	12.78	12.78	13.19
	總和	14.46	14.33	14.28	14.28	14.69

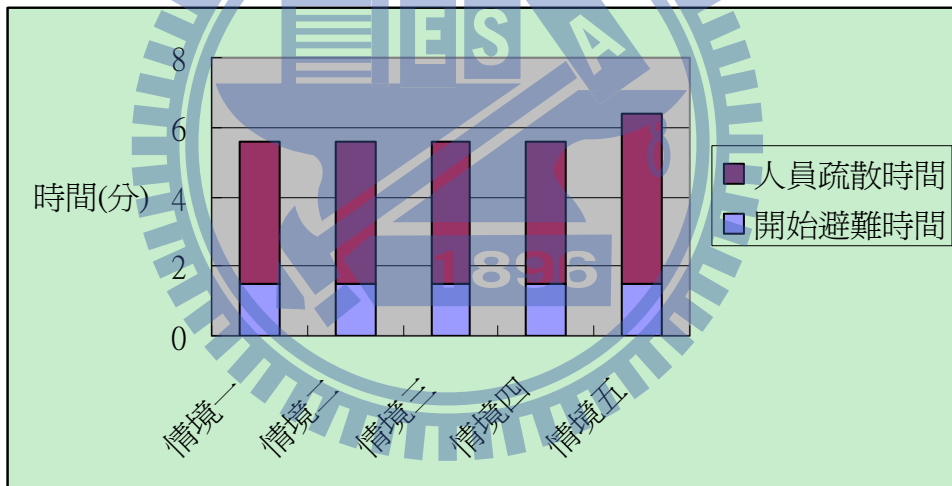


圖 5-48 月台層逃生時間

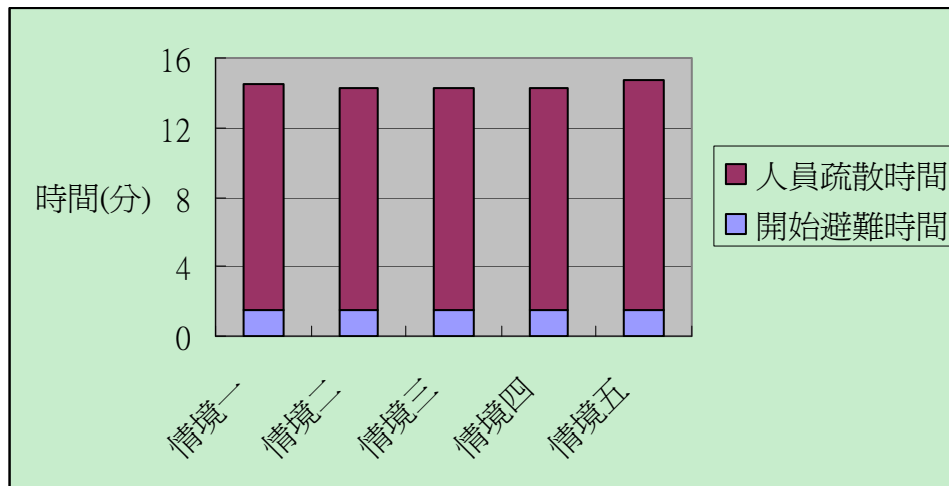


圖 5-49 整棟逃生時間

5.5.3 綜合比較

由 5.5.2 節結果綜合比較後作出以下結論。

高雄捷運規範與 NFPA 130 皆未考慮火災發生後至人員反應開始避難之時間計算，較無法反應出真實發生火災後，人員察覺並完成避難行為的實際情況；而在性能驗證手冊的逃生時間中，開始避難時間佔了很大的比例，甚至是其餘項目的 2~4 倍，即使樓層面積廣大，訊息傳遞速度較慢，但火警探測器作動後，人員應能迅速反應，因此在此項目計算上，本方法實比其餘模擬方法嚴苛許多；SIMULEX 模擬時間須加上火警探測器反應時間 30 秒與人員反應 60 秒，介於性能驗證手冊與 NFPA 130 之間，應較符合現實狀況。

而在人員逃生部份，除 SIMULEX 模擬外，其餘三種模擬方法皆有考慮步行時間與通過出口時間的個別計算，而 SIMULEX 軟體因採電腦模擬，故整體模擬時間已包含步行時間與通過出口時間。四種方法雖都有考慮步行時間與通過出口時間，但因高雄捷運規範與 NFPA 130 計算是採用人數除以樓梯疏散量的公式，並未考慮人員擁擠造成的樓梯通量下降情形，因此較為理想化；而性能驗證手冊的樓梯通量公式在計算上已有考慮人員擁擠的情形，唯整棟避難之通過出口時間公式僅計算避難層出口情況，未考慮其餘樓層，無法呈現因建築物內部設計複雜度造成的人員擁擠情形，於現

實逃生較不合理，故而有失真的情況；SIMULEX 軟體採用真實人員步行速度的實地調查作為模擬資料庫，可選擇逃生人員組成的比例，此外也能反應人員在擁擠時步行速度降低的情況，應較接近真實人員逃生之情形，但從本案例中發現，人員容易在轉角處形成阻塞的情形，使得逃生空間無法充分利用，此情形在真實緊急避難情況下不易發生（可參見 5.3 節說明），因此推測若建築物內部設計越複雜，則 SIMULEX 模擬會有少許誤差。綜合比較後發現，手算方法無法呈現建築物內部設計複雜度，結果較理想，而 SIMULEX 軟體可依照建築內部設計進行模擬，但受於軟體基本假設限制，則視建築物內部設計複雜度情形而有逃生時間拉長的誤差產生，真實逃生情形應介於手算法與電腦模擬之間。

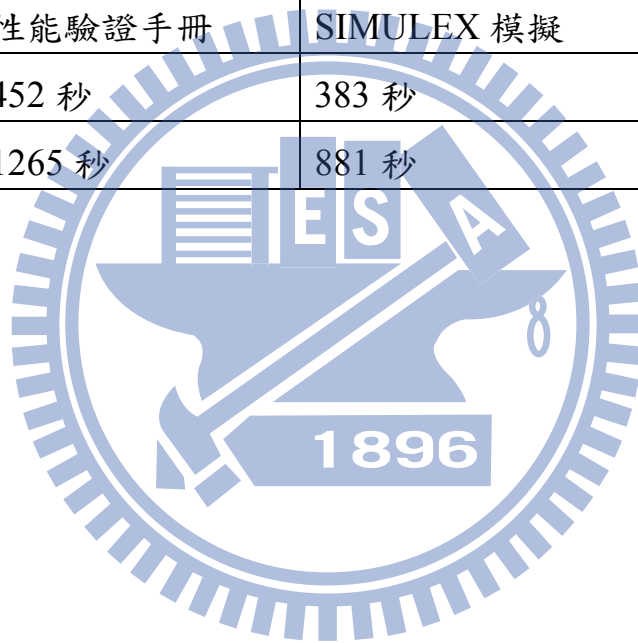
此外與黃莉芸在 2010 年所做的商場避難時間之研究進行比較，該研究利用建築物防火避難安全性能驗證手冊與 SIMULEX 軟體計算避難時間，其文獻研究結果如表 5-14 所示，文獻結論指出性能驗證手冊與 SIMULEX 模擬結果差異不大，時間差距最小約為 2 秒，最大約為 190 秒，而本研究結果樓層避難時間差距為 69 秒，整棟避難則為 384 秒，研究結果如表 5-15 所示，本研究與文獻在兩種方法比較上結果有所異同，在樓層避難部分，本研究與文獻結果相同，兩方法時間結果差異並不大，顯示在此部分結果應具可信度；而在整棟避難部分，文獻時間結果差距為 122 秒，本研究為 384 秒，推測相異原因是本研究在 SIMULEX 模擬前，已先行分配人員逃生路徑，因此人員逃生並不會發生文獻中提到的避難軟體完成某一出口避難時，其他出口人員未有重新分配出口路徑的現象，使得模擬時間較短，與性能驗證手冊之差距也拉大。

表 5-14 文獻研究時間結果

		性能驗證手冊	SIMULEX 模擬	時間結果 差距
樓層避難	地下一樓	449 秒	451 秒	2 秒
	一樓	444 秒	441 秒	3 秒
	二樓	324 秒	134 秒	190 秒
整棟避難		1078 秒	956 秒	122 秒

表 5-15 本研究時間結果

	性能驗證手冊	SIMULEX 模擬	時間結果差距
樓層避難	452 秒	383 秒	69 秒
整棟避難	1265 秒	881 秒	384 秒



5.6 不同逃生人數之逃生比較

本節利用高雄捷運規範、NFPA 130、性能驗證手冊及 SIMULEX 模擬等方法探討若更改逃生人數，是否會因人員過多的擁擠現象，導致樓梯通量下降的情形。

5.6.1 情境說明

本節設定四種情境進行模擬計算方法之比較，如表 5-16 所示，逃生路徑請見 5.2 節之說明，但不允許電扶梯作為逃生使用，另假設火災發生時，有工作人員引導避難人群逃生，因此在進行 SIMULEX 模擬前，先行平均分配各逃生出口之人員，使其能同時間完成避難。

表 5-16 模擬情境設計

	模擬狀況
情境一	U-4 層逃生人數 1000 人
情境二	U-4 層逃生人數 2000 人
情境三	U-4 層逃生人數 3000 人
情境四	U-4 層逃生人數 4000 人

5.6.2 模擬結果

本小節將四種模擬分段討論，第一段討論高雄捷運規範，詳細計算過程請見附錄 A；第二段討論 NFPA 130，詳細計算過程請見附錄 B；第三段討論性能驗證手冊，詳細計算過程請見附錄 C；第四段討論 SIMULEX 模擬結果。

1. 高雄捷運規範

因本方法採固定公式計算，若人數為比例成長，逃生時間也應成比例增加，從逃生結果時間可發現，情境一~情境四呈線性成長，與此假設相符。而平均樓梯通量部分，所有情境皆相同，但可發現通量值介於 61~62 人/m*min 之間，與規範內規定 63.6 人/m*min 有所不同，原因是因為樓梯通量限制不足 0.3m 的寬度不可視為可通行寬度，故產生此誤差，逃生時間結

果與樓梯通量請見表 5-17 與圖 5-50~5-51 所示。

表 5-17 逃生時間結果

		情境一	情境二	情境三	情境四
月台層(min)		1.3	2.6	3.9	5.2
整棟 (min)	步行時間	3.25	3.25	3.25	3.25
	等候時間	0.62	1.92	3.22	4.52
	總和	3.87	5.17	6.47	7.77

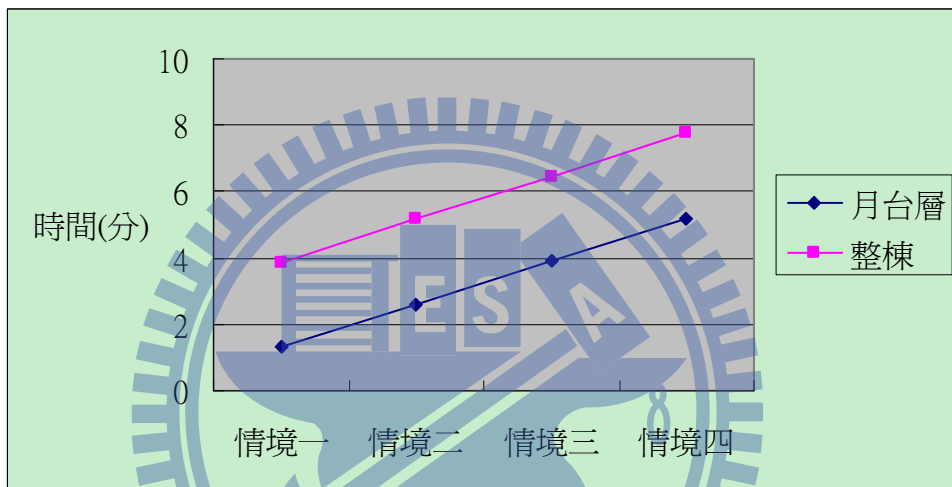


圖 5-50 逃生時間

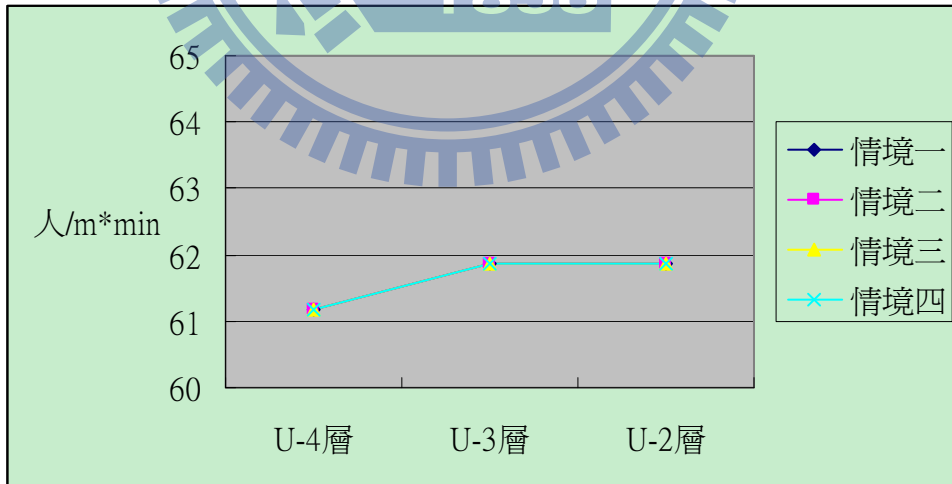


圖 5-51 平均樓梯通量

2. NFPA 130

因本方法採固定公式計算，若人數為比例成長，逃生時間也應成比例增加，從逃生結果時間可發現，情境一~情境四呈線性成長，與此假設相符。

而平均樓梯通量部分，所有情境皆相同，約為 55.5 人/m*min 左右，雖與規範內規定 55.5 人/m*min 相近，但實際上仍有微小不同，檢視原因是寬度計算時的誤差，逃生時間結果與樓梯通量請見表 5-18 與圖 5-52~5-53 所示。

表 5-18 逃生時間結果

		情境一	情境二	情境三	情境四
月台層(min)		1.43	2.87	4.31	5.75
整棟 (min)	步行時間	4.3	4.3	4.3	4.3
	等候時間	0.35	1.79	3.23	4.67
	總和	4.65	6.09	7.53	8.97

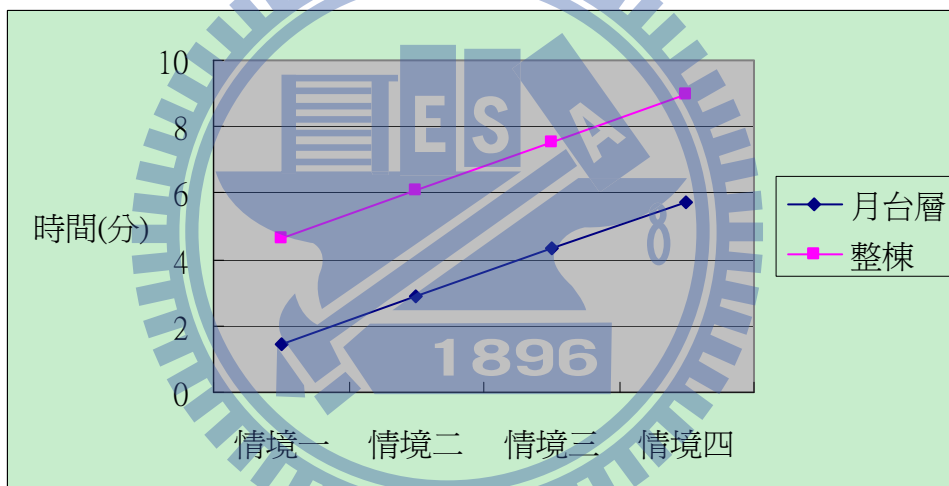


圖 5-52 逃生時間

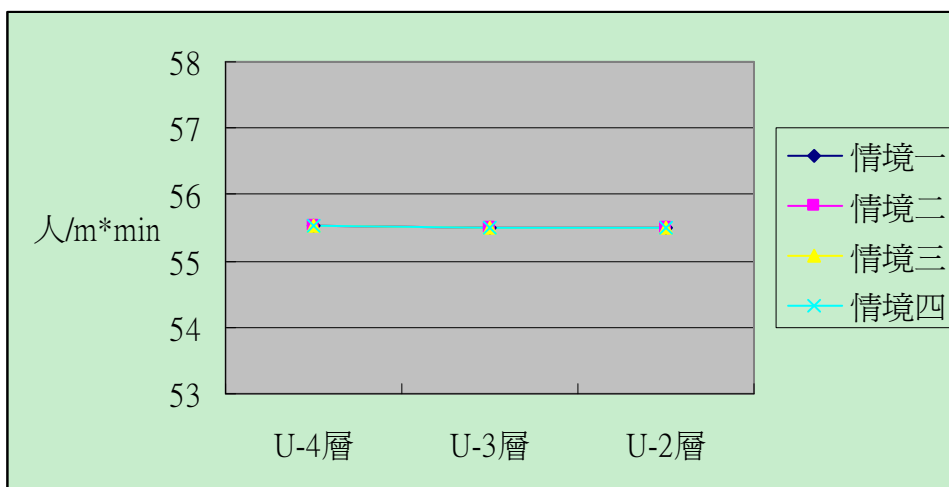


圖 5-53 平均樓梯通量

3. 性能驗證手冊

從計算結果得知，在所有情境之樓層樓梯通量皆為最大值 90 人/m*min，整棟樓梯通量皆為最大值 80 人/m*min，因樓梯通量皆為定值，使得月台層與整棟逃生時間，都隨著人數比例呈線性成長。而樓梯通量皆為最大值的原因是：車站樓梯直接連結穿堂層，並無樓梯間之設計，因此可滯留面積廣大，人員不會形成擁擠的情形，而緊急逃生梯樓梯間雖然較為狹小，但分配人數也較少，人員不會產生阻塞情況，故計算得通量最大值，逃生時間結果與樓梯通量請見表 5-19 與圖 5-54~5-55 所示。

表 5-19 逃生時間結果

		情境一	情境二	情境三	情境四
月台層 (min)	開始避難時間	4.19	4.19	4.19	4.19
	步行時間	0.68	0.68	0.68	0.68
	通過出口時間	0.89	1.77	2.66	3.54
	總和	5.76	6.64	7.53	8.41
整棟 (min)	開始避難時間	14.09	14.09	14.09	14.09
	步行時間	3.38	3.38	3.38	3.38
	通過出口時間	1.2	2.45	3.61	4.81
	總和	18.67	19.92	21.08	22.28

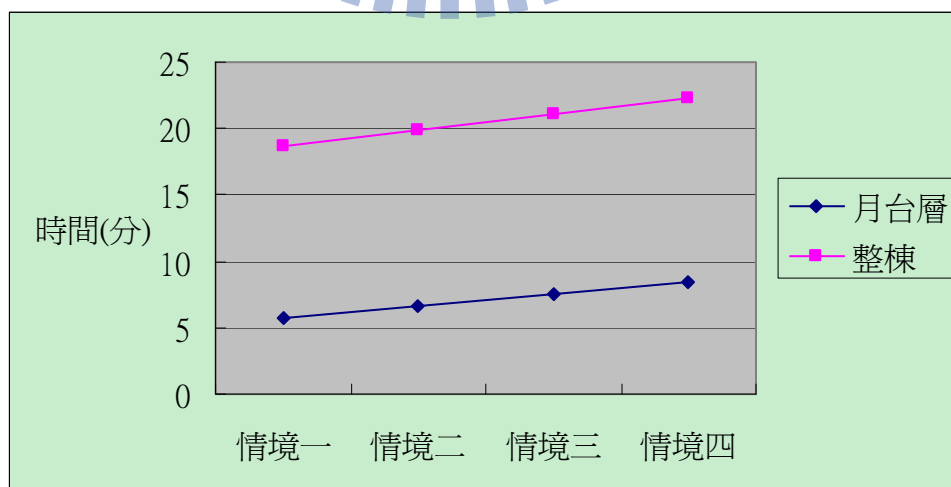


圖 5-54 逃生時間

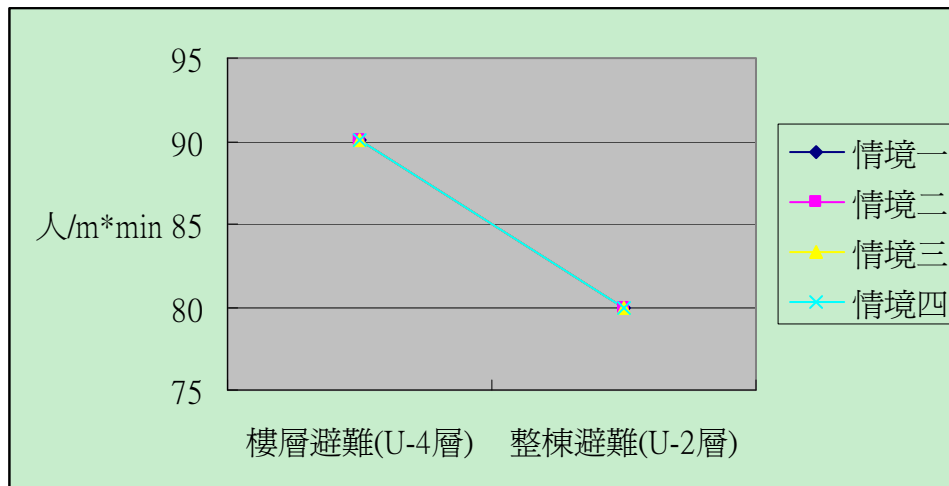


圖 5-55 樓梯通量

4. SIMULEX 模擬

由模擬結果與樓梯通量比較後發現，樓層避難樓梯通量並不為定值，但月台層逃生時間呈線性成長，此結果與其餘三種計算方法不相符，推測原因是：上述三種計算方法皆是採用公式計算，若通量有變化，即可馬上反映在逃生結果上，而 SIMULEX 軟體採電腦模擬，因樓梯通量成長幅度小，且人員有無法充分利用樓梯空間的情形，因此仍不足以影響逃生結果，使得逃生時間還是呈線性增加。

而在整棟避難部分，可發現情境二~情境四樓梯通量已經趨近於定值，此結果也反映在逃生時間上，其時間增加幅度略呈定值；而在情境一的結果顯示，因情境一逃生人數僅 1000 人，使用樓梯上無法完全利用樓梯寬度，便已疏散完畢，使得樓梯通量略低於情境二~情境四，逃生時間也比預估來得快，逃生時間結果與樓梯通量請見表 5-20 與圖 5-56~5-58 所示

表 5-20 逃生時間結果

		情境一	情境二	情境三	情境四
月台層 (min)	開始避難時間	1.5	1.5	1.5	1.5
	疏散時間	1.92	3.3	4.89	6.18
	總和	3.42	4.8	6.39	7.68
整棟 (min)	開始避難時間	1.5	1.5	1.5	1.5
	疏散時間	7.98	9.99	13.19	15.98
	總和	9.48	11.49	14.69	17.48

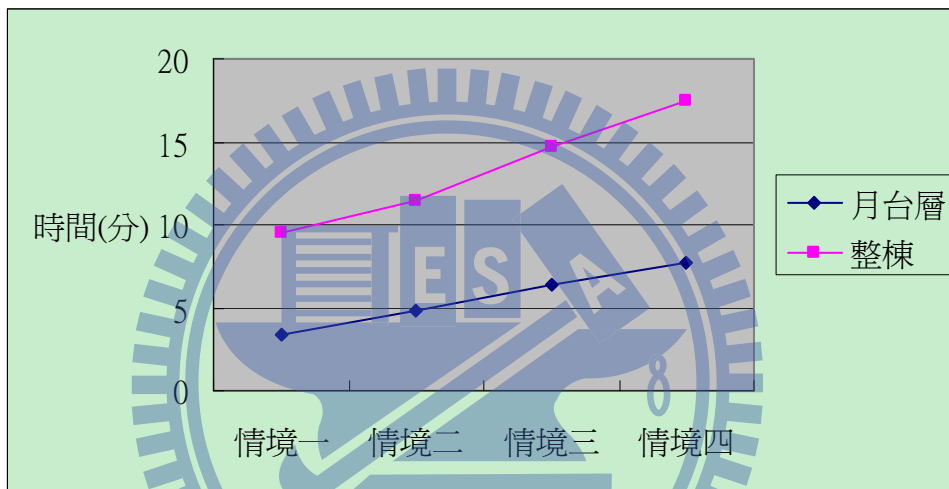


圖 5-56 逃生時間

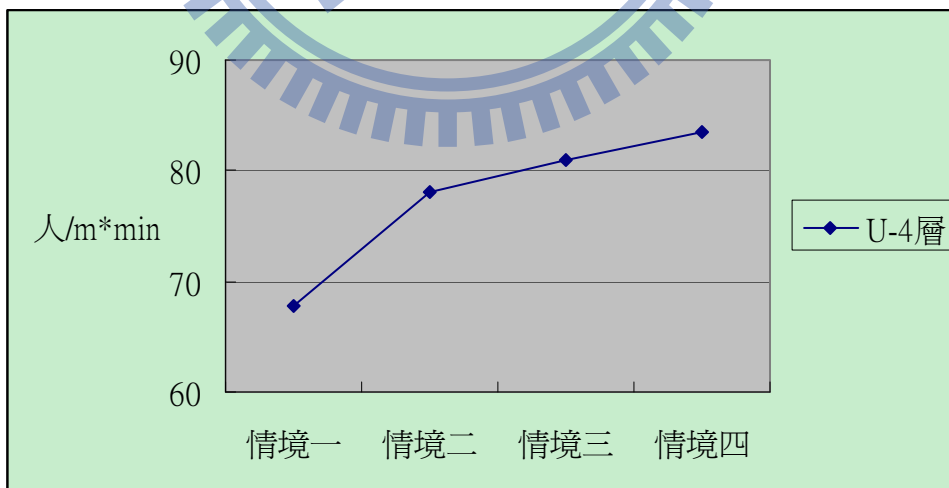


圖 5-57 樓層避難樓梯通量

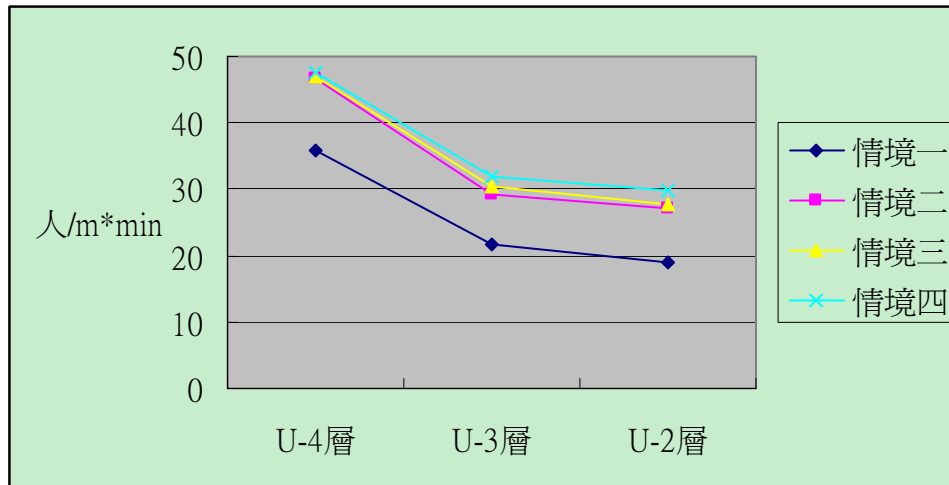


圖 5-58 整棟避難樓梯通量

5.6.3 綜合比較

將四種模擬方法進行綜合比較後，可發現高雄捷運規範與 NFPA 130 所計算出的時間非常接近，原因是此兩種方法原理接近，且樓梯通量值相差不大，僅在步行時間項目，NFPA130 會略高於高雄捷運規範，此外，因這兩種方法皆無考慮開始避難時間，故整體時間小於 SIMULEX 模擬與性能驗證手冊；性能驗證手冊是四種方法中逃生時間最長者，推測原因是開始避難時間項目因樓層面積廣大導致此項目時間過長，而這也使得此方法為四種方法中最嚴苛者；而 SIMULEX 模擬結果則介於以上三種方法之間，但可發現時間成長斜率較其餘三種方法大，推測原因可能是人數愈多人員間距愈小，將導致步行速度降低的情形更加嚴重，間接拉長逃生時間。

樓梯通量部分，高雄捷運規範、NFPA130 及性能驗證手冊在所有情境皆相同，SIMULEX 軟體因情境一通量尚未到達模擬最大值，而情境二~情境四已趨近於定值，故採情境二~情境四之平均值進行綜合比較。比較後發現，性能驗證手冊因公式限制，使得計算整棟逃生時僅考慮 U-2 層通量，即未計算 U-3 層通量，與其他算法不同；NFPA130 與高雄捷運規範，在所有樓層通量皆相同，未考慮因人員擁擠造成通量下降的因素，較不符合實際狀況；而 SIMULEX 軟體在各樓層通量值皆小於其他方法，且呈現隨樓層降低的情況，反映出人員阻塞速度降低的情形，另外檢視逃生過程也可

發現，人員會因為阻塞而回流至前一樓層，使得前一樓層通量也隨之下降，樓梯通量比較與逃生時間比較如圖 5-59~5-61 所示。

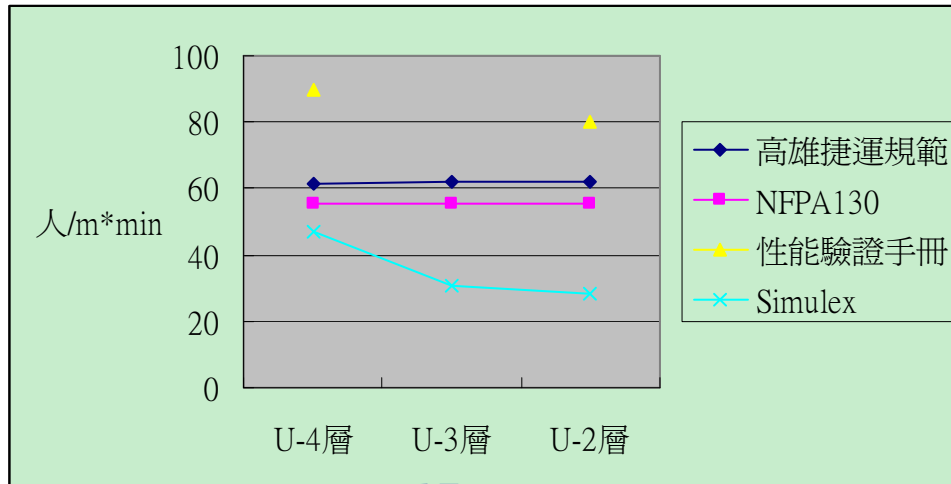


圖 5-59 樓梯通量比較

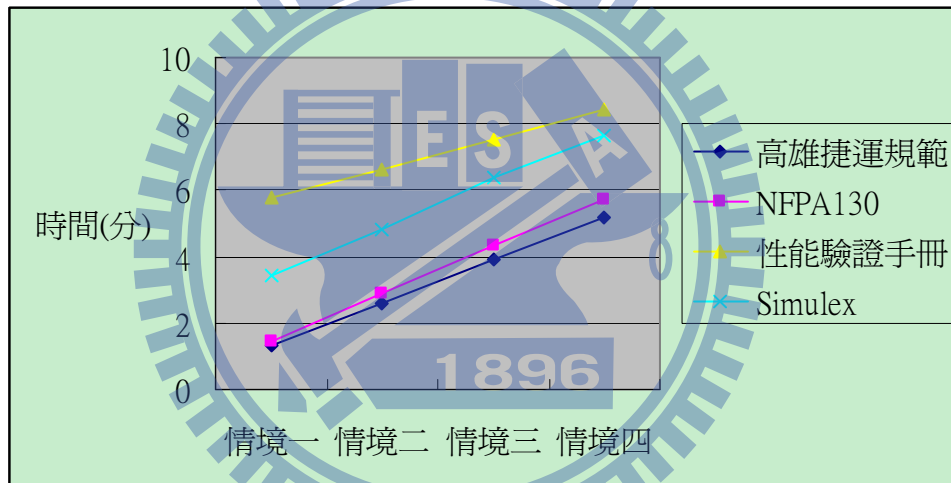


圖 5-60 月台層逃生時間比較

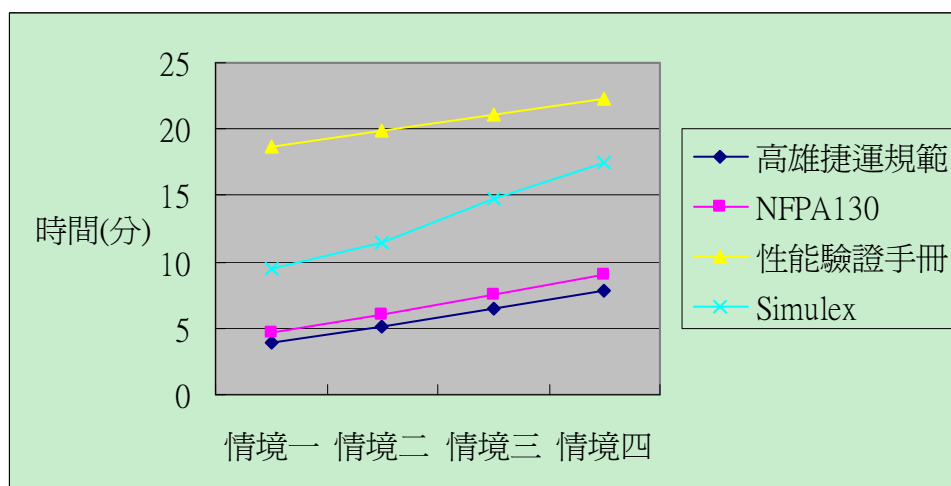


圖 5-61 整棟逃生時間比較

5.7 避難弱勢族群探討

本節利用 SIMULEX 軟體模擬一般乘客與高齡者在車站的逃生情形，並分析其各層樓梯通量。

5.7.1 情境說明

本節共可分為二種情境，情境一利用 SIMULEX 軟體內建人員性質模擬乘客類型，情境二使用老人類型，火災情境設定為一列失火列車抵站，而月台另一側有一列列車已抵站，且車上乘客正在下車，包含月台層等待人員，共 3000 人需進行避難行動，逃生路徑設定請見 5.2 節說明，但限制電扶梯不得視為逃生路徑使用，情境說明如表 5-21 所示，模擬平面圖如圖 5-62 所示，另假設火災發生時，有工作人員引導避難人群逃生，因此在進行 SIMULEX 模擬前，先行平均分配各逃生出口之人員，使其能同時間完成避難。

表 5-21 情境說明

	模擬狀況
情境一	SIMULEX 軟體乘客模式，人員比例：30%平均，30%男性，30%女性，10%兒童。
情境二	SIMULEX 軟體老人模式，人員比例：50%平均，20%男性，30%女性。

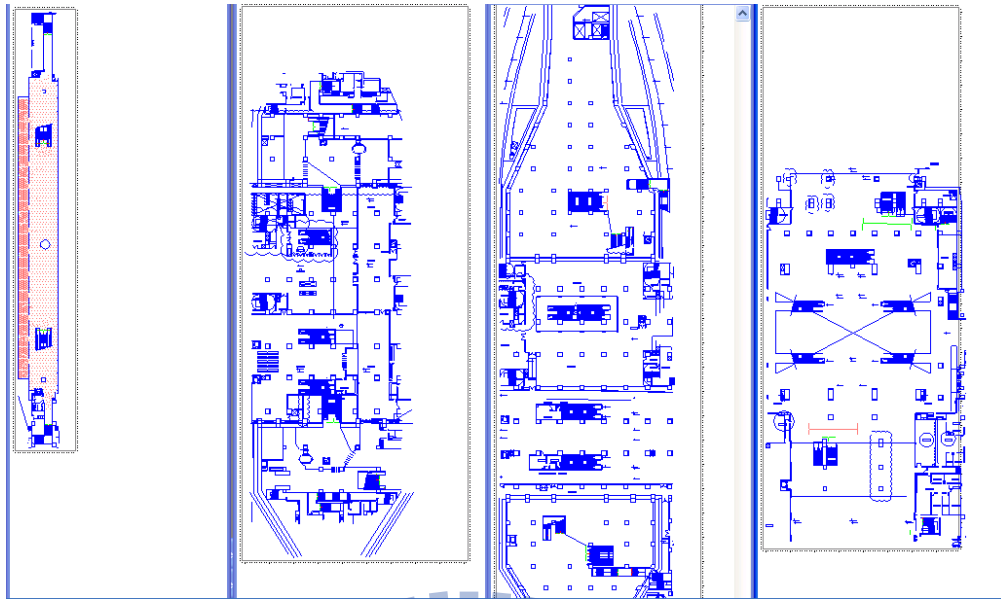


圖 5-62 模擬平面圖

5.7.2 模擬結果

在逃生時間方面，情境二逃生時間約為情境一的 1.6 倍。在樓梯通量結果部分，情境一 U-4 層正常樓梯通量最大值約為 70 人/m*min，緊急逃生梯通量最大值約為 50 人/m*min，之後皆開始下降，U-3 層與 U-2 層正常樓梯通量均約為 35 人/m*min，而緊急逃生梯略高出 5 人/m*min，巔峰通量時間約維持 5 分鐘左右。而在情境二部分，正常樓梯通量約為 45 人/m*min，緊急逃生梯通量則由 20 人/m*min 上升至 40 人/m*min 後，又再下降至 20 人/m*min，在 U-3 層部分，通量維持在 20~25 人/m*min 左右，巔峰通量維持時間約為 9 分鐘，U-2 層部分，正常樓梯通量約 20 人/m*min，緊急逃生梯則高出約 3 人/m*min 左右，逃生時間結果與各情境樓梯通量如表 5-22 與圖 5-63~5-68 所示。

表 5-22 逃生時間結果

	逃生時間
情境一	8.79min
情境二	14.03min

1. 情境一各樓層樓梯通量

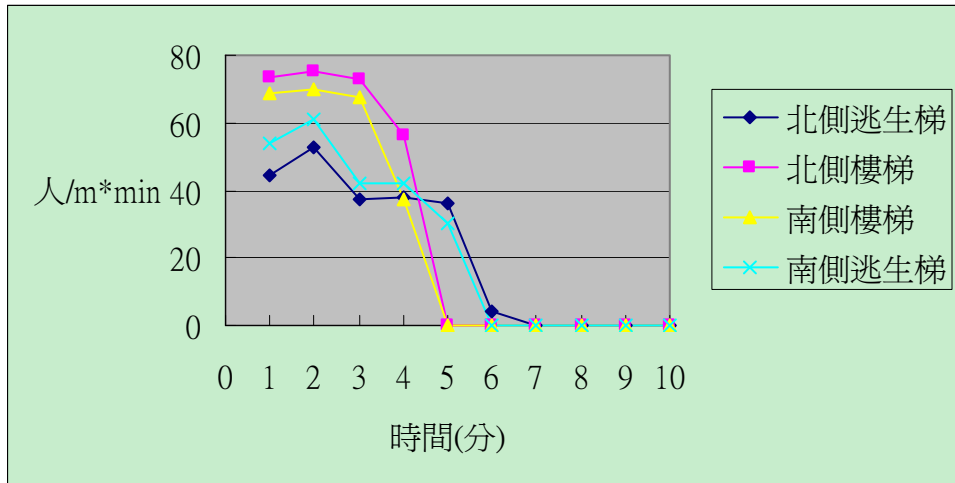


圖 5-63 U-4 層樓梯人員通量

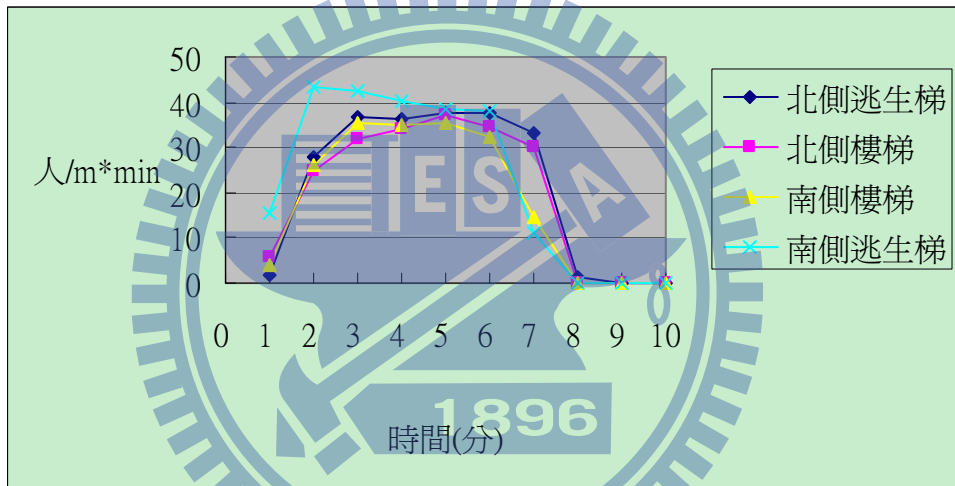


圖 5-64 U-3 層樓梯人員通量

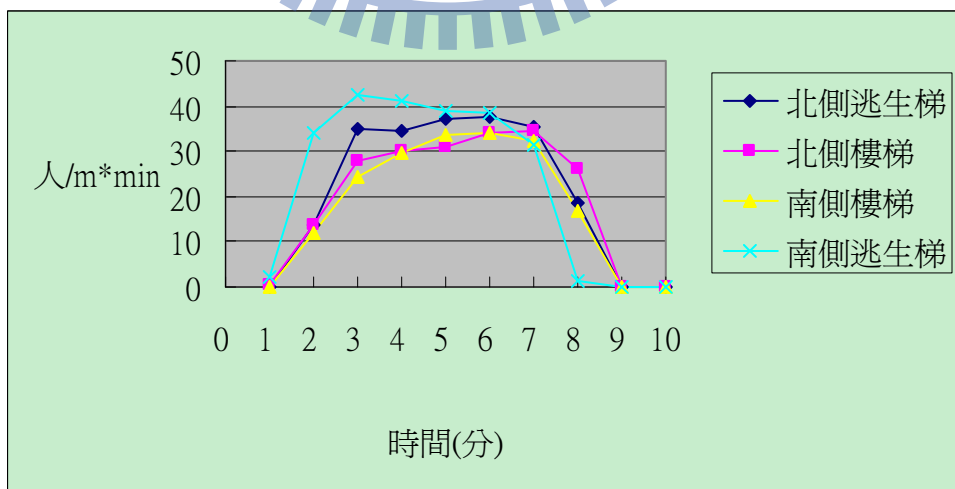


圖 5-65 U-2 層樓梯人員通量

2. 情境二各樓層樓梯通量

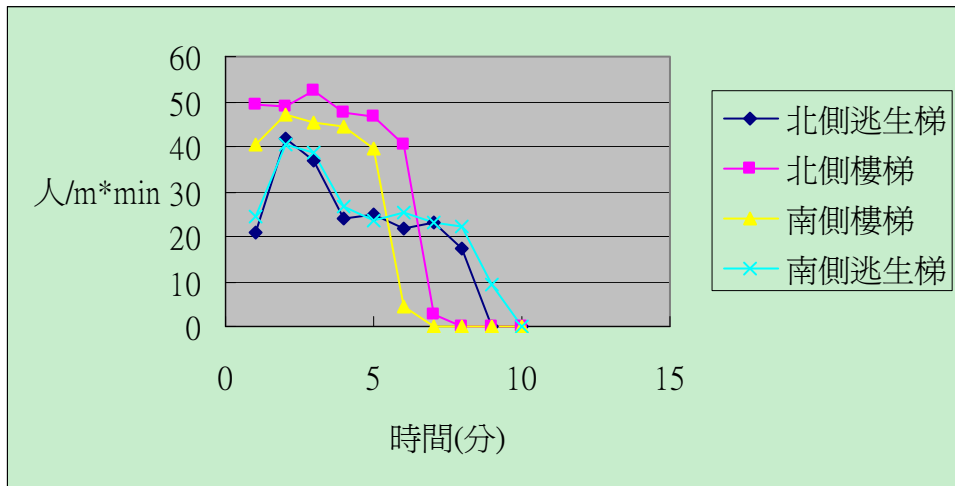


圖 5-66 U-4 層樓梯人員通量

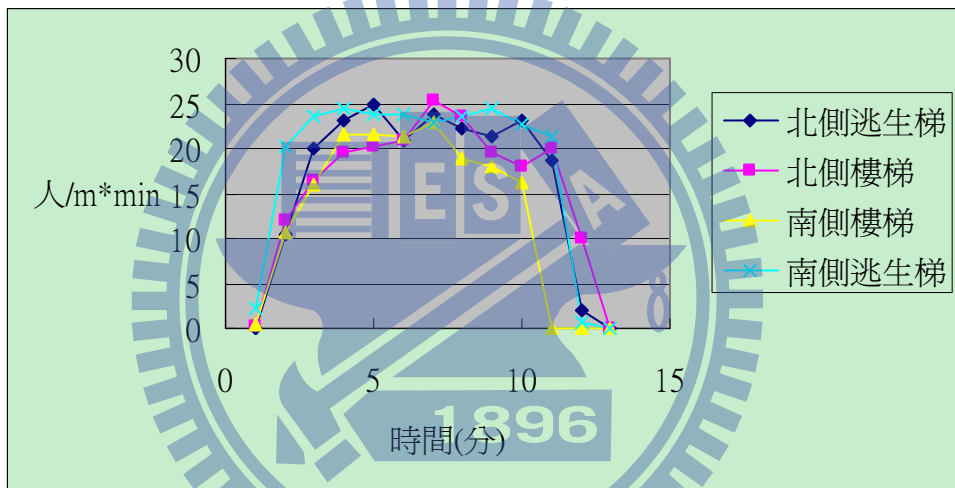


圖 5-67 U-3 層樓梯人員通量

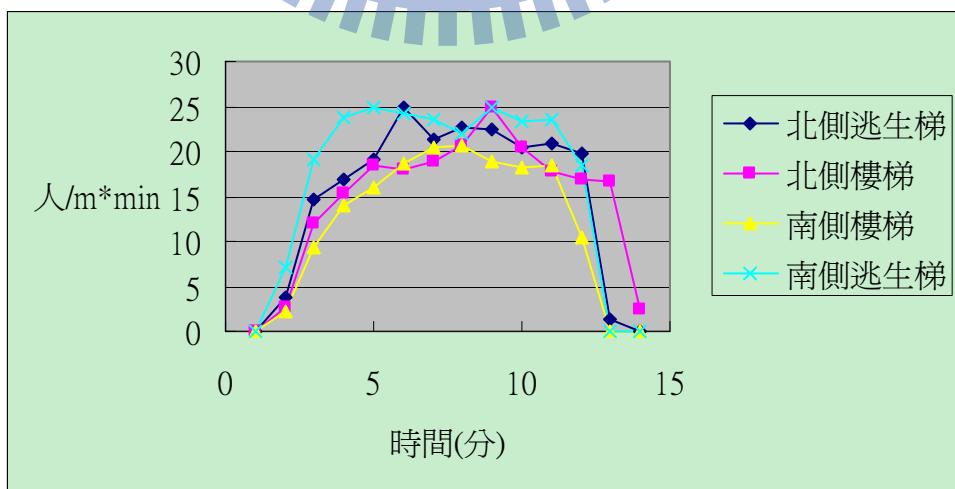


圖 5-68 U-2 層樓梯人員通量

5.7.3 小結

分析逃生時間後，發現情境一逃生時間與樓梯通量約為情境二的 1.6 倍。比較樓梯通量後得知，情境一與情境二在各樓層通量趨勢是類似的，U-4 層部分，因人員離緊急逃生梯尚有一段距離，故起始通量較正常樓梯低，而在第二分鐘時略為提高，但因緊急逃生梯樓梯間面積狹小，人員會回流至 U-4 層，人員通量反而會再往下降，且正常樓梯在 U-3 層可滯留面積較大，人員不會因此而回堵至 U-4 層，故巔峰通量時間維持得也比緊急逃生梯久；在 U-3 層樓梯通量部分，各處樓梯都有阻塞的情形，因此樓梯通量結果都很相近，而逃生梯因為逃生路徑轉折處比正常樓梯少，人員逃生較順暢，故通量較正常樓梯略高；U-2 層部分延續 U-3 層之結果，此外，因緊急逃生梯路徑距離比樓梯短，故逃生結束時間比樓梯部分早。兩情境之差別在於情境二高齡者比例較高，因此雖然兩情境通量趨勢相似，但情境二整體通量值皆較情境一低。

此外與陳玠佑在 2009 年針對醫療院所內避難弱者逃生研究進行比較，該研究收集歷年來針對人員逃生速度的文獻進行統計，並歸納出避難弱勢族群的速度，最後利用建築物防火避難安全性能驗證手冊公式計算，結果顯示醫療院所內老人與病患逃生所花費的時間約為正常人的 2~2.25 倍；而無法自力進行避難，需經由正常人員輔助移動者花費時間約為正常人的 1.2~1.44 倍。比較後可發現，本研究老人與乘客時間倍數低於此參考文獻，推測原因是陳玠佑針對醫療院所區域討論，該區域與養老院性質較相近，皆屬弱勢族群比例較高之情形，雖也有病患家屬與醫護人員等一般人活動，但假使火災發生，正常人應會幫助病患而延遲避難時間，而 SIMULEX 模擬人員模式高齡者佔全體比例 50%，其餘為正常人，因此在逃生時間上，與文獻產生此一時間差距。

第六章 結論與建議

地下場站受限於結構特性，無法依循傳統式規格性建築法規來進行規範，如步行距離、重複步距及直通樓梯設置等規定，因此採用性能式設計進行人員避難分析，為目前較適合的驗證方式。

本研究使用高雄捷運規範、NFPA 130、建築物防火避難安全性能驗證技術手冊及 SIMULEX 軟體等性能式設計法針對地下場站人員避難時間進行分析與比較，案例變因分別為 SIMULEX 修正設計、火災位置、模擬方法種類、逃生人數及人群類型，現將本研究成果與發現歸納整理如下：

1. SIMULEX 軟體基本假設是人員會採用離出口最近的路徑逃生，由 5.3 節情境一的逃生歷程可發現，此假設導致模擬時容易發生人員在逃生不佳路徑上產生阻塞的情形，此為現實人員在緊急逃生時不會發生的現象，建議應在模擬前進行修正。
2. 由 5.3 節模擬結果得知，若轉角處牆面改為圓弧設置，可減少人員在轉角處因轉彎角度變化過大而有人員碰撞降低速度的情形發生，結果顯示各樓梯人員通量值約可提高 6%~14%，在 U-3 層北側逃生梯效果最為顯著，人員通量效率約增加 20%。
3. 從各樓梯通量結果發現，U-4 層正常樓梯通量圖可明顯看出其通量高於緊急逃生梯通量，原因是 U-4 層人員離緊急逃生梯尚有一段距離，人員需步行一段時間才到達緊急逃生梯，故在 U-4 層通量部分，正常樓梯起始通量皆比緊急逃生梯來得高，且因 U-3 層可滯留面積較大，使用正常樓梯之人員回堵至 U-4 層的時間較晚，樓梯可維持較高的通量，但緊急逃生梯的樓梯間面積較小，逃生梯通量則會因人員回堵問題較快下降。
4. 由 5.4 節模擬結果與相關文獻結果可知，一旦地下場站發生火災，則屬列車失火的情況最為危險，因其避難人數最多，故逃生時間所需最長。此外比較本研究結果與相關文獻後發現，若車站為側式月台設計，則可能因其空間內部設計導致發生火災時將會有兩座樓梯無法作為逃

生使用的情形發生；若車站為島式月台設計，則火勢分割人員逃生路線而使得人員無法平均分散逃生的因素影響較為嚴重。

5. 本研究採用四種性能式方法進行逃生時間計算，比較其結果後發現，高雄捷運規範與 NFPA 130 皆未考慮火災發生後至人員反應開始避難之時間計算，較無法反應出真實發生火災後，人員察覺並完成避難行為的實際情況；而在性能驗證手冊的逃生時間中，開始避難時間佔總時間中很大的比例（55%~70%），但現實中即使樓層面積廣大，訊息傳遞速度較慢，在火警探測器作動後，人員應能迅速反應，因此在此項目計算上，本方法實比其餘模擬方法嚴苛許多；SIMULEX 模擬時間須加上火警探測器反應時間 30 秒與人員反應 60 秒，介於性能驗證手冊與 NFPA 130 之間，應較符合現實狀況。

在人員逃生部份，除 SIMULEX 模擬外，其餘三種模擬方法皆有考慮步行時間與通過出口時間的個別計算，而 SIMULEX 軟體採電腦模擬，整體模擬時間已包含步行時間與通過出口時間。四種方法雖都有考慮步行時間與通過出口時間，但因高雄捷運規範與 NFPA 130 計算是採用人數除以樓梯疏散量的公式，並未考慮人員擁擠造成的樓梯通量下降情形，因此較為理想化；而性能驗證手冊的樓梯通量公式在計算上已有考慮人員擁擠的情形，唯整棟避難之通過出口時間公式僅計算避難層出口情況，未考慮在逃生過程中其餘樓層有可能發生阻塞的情形，較無法反映真實情況；SIMULEX 軟體採用真實人員資料庫方式進行電腦模擬，可反映人員在擁擠時步行速度降低的情況，應較接近真實人員逃生之情形，但從本案例中發現，人員容易在轉角處形成阻塞的情形，使得逃生空間無法充分利用，因此推測若建築物內部設計越複雜，則 SIMULEX 模擬可能會有少許誤差，建議在建築物設計時應求設計簡單，無障礙物遮蔽視線，並增加引導標誌，可減少模擬誤差與人員逃生難度。

綜合比較後發現，手算方法無法呈現建築物內部設計複雜度，結果較理想，而 SIMULEX 軟體可依照建築內部設計進行模擬，但受於軟體

基本假設限制，則視建築物內部設計複雜度情形而有逃生時間拉長的誤差產生，真實逃生情形應介於手算法與電腦模擬之間，模擬方法逃生項目比較表如表 6-1 所示。

表 6-1 模擬方法個別逃生時間項目之討論比較

	開始避難時間	步行時間	通過出口時間
高雄捷運規範	無此項目之計算，過於理想。	樓層避難的步行時間已包含在通過出口時間，整棟避難則有此項目之計算。	公式原理假設人員能充分利用樓梯空間疏散，未能考慮因擁擠造成的通量下降情形，且計算公式無法呈現建築物內部設計，而有失真的狀況。
NFPA 130	無此項目之計算，過於理想。	樓層避難的步行時間已包含在通過出口時間，整棟避難則有此項目之計算。	公式原理假設人員能充分利用樓梯空間疏散，未能考慮因擁擠造成的通量下降情形，且計算公式無法呈現建築物內部設計，而有失真的狀況。
性能驗證手冊	利用樓地板面積計算，若佔地廣大，則計算結果過大，過於嚴苛。	樓層與整棟都有此項目之計算。	可計算因人員擁擠而造成的通量下降情形，但在整棟避難上僅能計算避難層，而未能考慮其他樓層的逃生情況，且計算公式無法呈現建築物內部設計，而有失真的狀況。
SIMULEX 軟體	火警探測器反應時間 30 秒+ 人員反應時間 60 秒。	已包含在通過出口時間。	可呈現人員擁擠的逃生情形，較符合真實狀況，但若建築物內部設計愈複雜的話，人員較無法真實呈現緊急避難時，人員對於逃生路徑積極度提高的情形，因此會有少許失真的情形。

6. 在不同人數逃生時間之比較部分，高雄捷運規範、NFPA130 及性

能驗證手冊因採用公式計算，若樓梯通量為定值，則時間隨人數呈線性增長，而 SIMULEX 軟體採電腦模擬，因此若逃生人數較少時，則樓梯通量不會到達最大值，故逃生時間並不會呈現線性成長，但可發現時間成長曲線上升趨勢較其餘三種方法大，推測原因可能是人數愈多人員間距愈小，將導致步行速度降低的情形更加嚴重，間接拉長逃生時間。此外經綜合比較後，性能驗證手冊計算結果時間最長，SIMULEX 模擬次之，高雄捷運規範與 NFPA130 因計算方法原理相同，總時間結果差異不多，計算結果時間花費最短。

7. 在避難弱勢族群逃生比較部分，本研究弱勢族群逃生花費時間約為正常人的 1.6 倍，比較樓梯通量後發現，避難弱勢族群因高齡者比例較高，整體通量值皆比正常人情境低，使得逃生時間較長，但兩者通量趨勢曲線是相似的。此外與相關文獻進行比較，該文獻研究結果顯示醫療院所內老人與病患逃生所花費的時間約為正常人的 2~2.25 倍，與本研究結果有所差異，推測原因是該文獻之研究範圍屬於弱勢族群比例較高的區域，雖也有一般人活動，但假使火災發生，正常人應會幫助病患而延遲避難，造成整體逃生速度降低，而 SIMULEX 模擬的人員模式中，高齡者佔全體比例的 50%，其餘為正常人，且不會發生協助高齡者逃生的情形，因此本研究在逃生時間上，與該文獻產生此一時間差距。

參考文獻

1. 內政部消防署, “各類場所消防安全設備設置標準”, 2004
2. 內政部營建署, “建築技術規則”, 2005
3. 內政部統計處, “94 年老人狀況報告”, 2005
4. 內政部建築研究所, “建築物防火避難安全性能驗證技術手冊”, 2004
5. 交通部, “鐵路隧道及地下場站防火避難設施及消防安全設備設置規範”, 2008
6. NFPA 130, 「Standard for Fixed Guideway Transit and Passenger Rail Systems」, 2000 Edition。
7. NFPA, 2000 “NFPA 92B Guide for Smoke Management Systems in Malls, Atria, and Large Areas”, National Fire Protection Association.
8. 高雄市政府捷運工程局, “高雄捷運公司土建及車站工程設計規範”, 2002
9. S. Simcox, N. S. Wilkes & I. P. Jones, “Computer Simulation of the Flows of Hot Gases from the Fire at King’Cross Underground Station”, Fire Safety Journal, No.25, pp.305-322, 1995
10. 蔡政宏, “台鐵台北車站避難逃生時間計算評估之研究”, 2002
11. 楊智欽, “鐵路地下隧道及車站之防火性能設計研究”, 2009
12. 高永信, “高層建築物運用昇降機避難效益評估之研究”, 2006
13. Boon Hui Chiam, “Numerical Simulation of a Metro Train Fire”, Department of Civil Engineering of Canterbury University, 2005
14. Chi-Ji Lin and Yew Khoy Chuah, “Smoke Management Design and Computer Simulation of an Underground Mass Transit Station in Taiwan”, National Taipei University of Technology, Taiwan
15. Ethel Graat, Cees Midden and Paul Bockholts, “Complex evacuation; effects of motivation level and slope of stairs on emergency egress time in a sports stadium”, Department of Technology Management, Eindhoven

University of Technology,1999

16. ADA , “Americans with Disabilities Act” , “ADA Accessibility Guidelines” ,1990
17. 建築研究所, “弱勢人員防火避難等待空間規畫原則初探” ,2009
18. 黃進興, “高齡者水平逃生速度之研究-以台北市立安養機構高齡者為例” ,2002
19. 許銘顯,“醫療院所及老人安養機構防火安全水平避難對策之研究”,2004
20. 交通部運輸研究所, “高齡化社會防災救助問題研究小型老人長期照顧機構防災規畫研究” ,2007
21. 劉昱德,“商場建築使用電扶梯進行逃生避難行動之可行性研究”,2010
22. 黃莉芸,“應用 SIMULEX 模擬公共建築避難時間之研究-以大型量販店為例”,2010
23. 楊冠雄,“高速鐵路台中站大空間煙控與避難系統分析”,智慧型軌道運輸系統安全論壇-消防防災設計規畫與案例探討研討會,2002
24. 吳貫遠,“Modeling the Occupant Evacuation of the Mass Rapid Transit Station Using the Control Volume”,2010
25. 交通部運輸研究所, “軌道系統地下交通設施之防火設計評估與防救災系統研究” ,2006
26. 黃弟勝,“我國捷運系統地下車站避難安全性評估之研究”,1999
27. 堀內三郎,“建築防火第 96 頁”,朝倉書店,1994
28. 呂寶靜,“人口政策白皮書及實施計畫之研究子計畫因應我國邁入高齡社會對策之研究”,交通部運輸研究所,2007
29. 社團法人中華火災學會,“老人及身心障礙社會福利機構安全管理標準作業程序範例”,2003
30. 洪明瑞、張淑芳、吳孟翰、陳善澤、吳桂陽,“建築物無障礙環境的規劃理念、設計基準以及檢查作業的探討~(二)”,現代營建 326 期,2007
31. 沈子勝,“公共安全白皮書實施計畫-消防部分實施策略之分析調查案子計畫~適用老人及身心障礙者消防安全設備之研究”,內政部消防署,2005

32. 戶川喜九二,“根據群眾流觀測避難設施之研究”,1955
33. John J. Fruin,“Pedestrian Planning and Design”,1971



附錄 A 高雄捷運規範逃生時間計算

1.1 模擬計算範圍及情境說明

本附錄模擬計算範圍為高雄捷運 R11 永久站，內部規劃共 4 層：U-4 月台層、U-3 穿堂層、U-2 穿堂層及 U-1 避難層，如圖 A-1 所示，其各樓層樓梯寬度與步行距離等條件如表 A-1 所示，模擬計算情境設定為火災時有一座電扶梯故障處於維修狀態而不得使用，並以此探討避難設施對逃生的影響，模擬情境說明如表 A-2 所示，逃生時間計算公式主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，公式如下：

樓梯疏散行數=樓梯寬度/0.55（不足 0.3m 需捨去，超過 0.3m 未滿 0.55m 可算 0.5 行）

樓梯疏散量=疏散行數*35

驗票閘門疏散量=50*閘門數量

月台層疏散時間=月台層人數/月台總疏散量

U-3 層總人數=月台層人數-(月台層疏散時間 x 緊急逃生梯疏散量)

U-3 層北側人數=U-3 層總人數*U-4 層北側樓梯佔 U-4 層樓梯之比例

驗票閘門疏散時間=U-3 層北側人數/U-3 層北側驗票閘門疏散量

U-3 層疏散時間=U-3 層北側人數/U-3 層北側疏散量

U-2 層北側人數=U-3 層北側人數

U-2層疏散時間=U-2層北側人數/U-2層北側疏散量

月台層等候時間=月台層疏散時間-月台層步行時間

驗票閘門等候時間=驗票閘門疏散時間-月台層疏散時間

U-3層等候時間=U-3層疏散時間-max(月台層疏散時間,驗票閘門疏散時間)

U-2層等候時間=U-2層疏散時間-max(月台層疏散時間,驗票閘門疏散時間,U-3層疏散時間)

疏散路線步行總時間=樓層步行時間+樓梯步行時間

樓層步行時間=水平步行距離/水平移動速度

樓梯步行時間=樓層垂直距離/垂直移動速度

整棟逃生時間=疏散路線步行總時間+月台層等候時間+驗票閘門等候時間+U-3層等候時間+U-2層等候時間



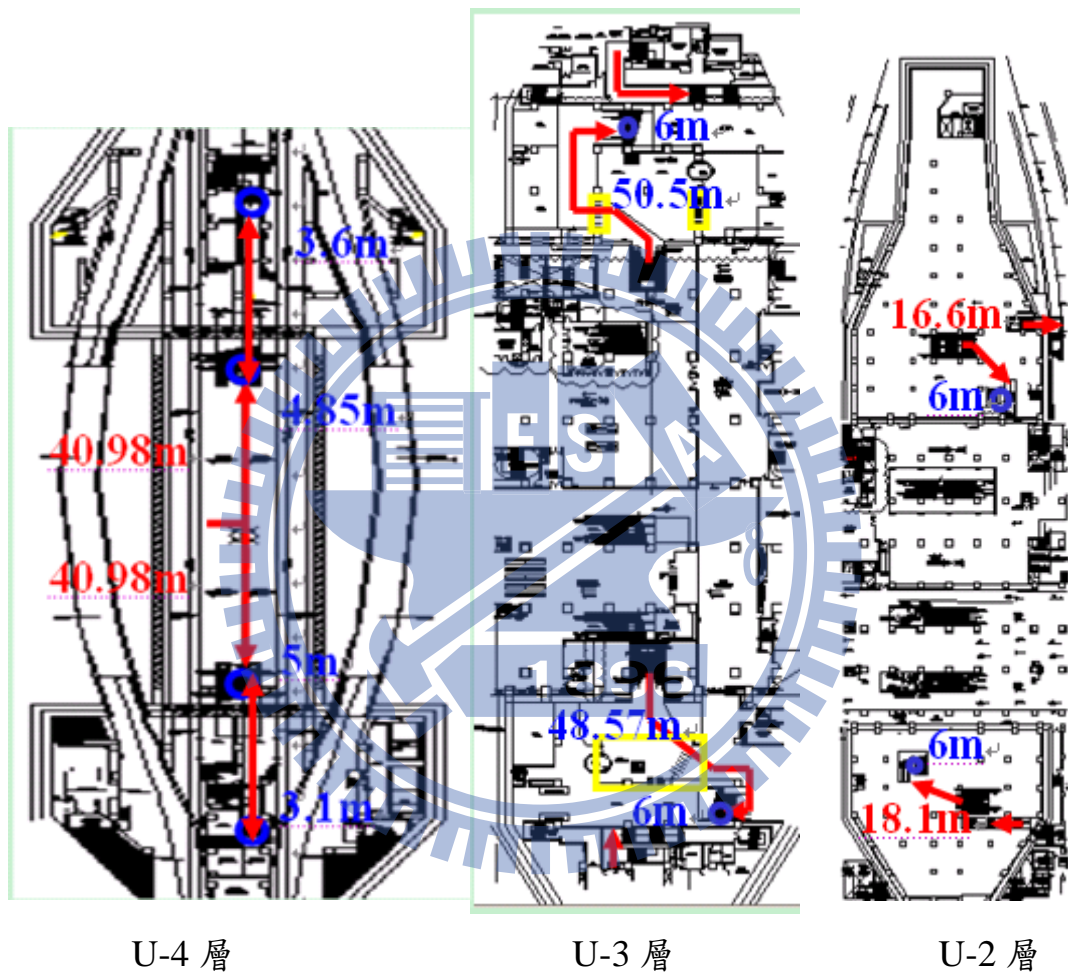


圖 A-1 避難路徑圖

表 A-1 R11 站內部規劃

	U-4 層	U-3 層北側	U-3 層南側	U-2 層北側	U-2 層南側
樓梯數量與寬度	2.85m*1 座、3m*1 座、3.6m*1 座、3.1m*1 座	4m*1 座	4m*1 座	4m*1 座	4m*1 座
電扶梯數量與寬度	1m*4 座	1m*2 座	1m*2 座	1m*2 座	1m*2 座
驗票閘門數量	0 座	8 座	8 座	0 座	0 座
最長步行距離	40.98m	50.5m	48.57m	16.6m	18.1m

表 A-2 情境設計說明

	模擬狀況
情境一	U-4 層有一電扶梯故障處於維修狀態而不得使用
情境二	U-3 層有一電扶梯故障處於維修狀態而不得使用
情境三	U-2 層有一電扶梯故障處於維修狀態而不得使用
情境四	無電扶梯故障
情境五	所有電扶梯皆不可視為逃生路徑使用

1.2 計算範例

因本方法計算過程繁複，故在本節詳細列出公式及計算過程作為範例參考，範例情境假設當火災發生時月台層共有 1000 人需進行逃生，但所有電扶梯皆無法作為逃生路徑使用，逃生路徑及內部規劃請見 1.1 節，而其餘情境之計算採用表格列出各項參數及結果（見 1.3~1.6 節）。

1. 各樓層動線設施旅客疏散量之計算

(1). U-4 層樓梯

北側樓梯： $2.85/0.55=5.18$ （視為 5 行）； $5*35=175$ 人/min

南側樓梯： $3/0.55=5.45$ （視為 5 行）； $5*35=175$ 人/min

北側緊急逃生梯： $3.6/0.55=6.54$ （視為 6.5 行）； $6.5*35=227.5$ （視為 227 人/min）

南側緊急逃生梯： $3.1/0.55=5.63$ （視為 5.5 行）； $5.5*35=192.5$ （視為 192 人/min）

(2). U-3 層樓梯

北側樓梯： $4/0.55=7.27$ （視為 7 行）； $7*35=245$ 人/min

驗票閘門： $50*8=400$ 人/min

(3). U-2 層樓梯

北側樓梯： $4/0.55=7.27$ （視為 7 行）； $7*35=245$ 人/min

2. 月台層疏散時間之計算

月台層疏散時間=月台層旅客量/月台層總疏散量=1000/769=1.3min

3. 整棟疏散時間之計算

(1). 疏散路線步行時間計算

U-4 層樓層步行時間：40.98/60=0.68min

U-4 層樓梯步行時間：7.3/15=0.49min

U-3 層樓層間步行時間：50.5/60=0.84min

U-3 層樓梯步行時間：7.67/15=0.51min

U-2 層樓層間步行時間：16.6/60=0.28min

U-2 層樓梯步行時間：6.7/15=0.45min

步行時間總計：0.68+0.49+0.84+0.51+0.28+0.45=3.25min

(2). 疏散人潮之計算

通往 U-3 層總人數：月台層人數-(月台層疏散時間 x 緊急逃生梯疏散量)=1000-1.3*419=455 人

由於 U-3 層南北兩側逃生路線並不相通，因此計算時需要考慮人群在逃生時會有分流人數比例因素，考量較危險的情況，計算疏散人潮較多側。

U-3 層北側穿堂層人數比例： $U-4$ 層北側樓梯疏散量/ $U-4$ 層樓梯總疏散量 $=175/350=0.5$

U-3 層北側穿堂層人數：通往 U-3 層人數乘以 0.5 $=455*0.5=228$ 人

U-2 北側穿堂層逃生人數：同 U-3 北側穿堂層逃生人數

(3). 疏散時等候時間之計算

月台層額外等候時間： $月台層旅客量/月台層疏散量-月台層步行時間=1000/769-0.68=0.62min$

驗票閘門額外等候時間： $U-3$ 層北側穿堂層人數/ $U-3$ 層北側樓梯疏散量-月台層疏散時間 $=228/400-1.3=-0.73$ (視為 0min)

U-3 層額外等候時間： $U-3$ 層北側穿堂層人數/ $U-3$ 層北側樓梯疏散量-月台層疏散時間 $=228/245-1.3=-0.37$ (視為 0min)

U-2 層額外等候時間： $U-2$ 層北側穿堂層人數/ $U-2$ 層北側樓梯疏散量- $U-3$ 層疏散時間 $=228/245-1.3=-0.37$ (視為 0min)

(4). 整棟疏散時間之計算

整棟逃生時間： $疏散路線步行總時間+月台層等候時間+驗票閘門等候時間+U-3$ 層等候時間+ $U-2$ 層等候時間 $=3.25+0.62+0+0+0=4.08min$

1.3 模擬計算人數：1000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 1000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 各樓層垂直動線旅客疏散量

因南北兩側逃生路線並不相通，故計算時考慮人數比例多較危險的情況，各樓層疏散量如表 A-3 所示。

表 A-3 樓梯疏散量

	疏散量(人/min)										
	U-4 層北側			U-4 層南側			U-3 層北側			U-2 層北側	
	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	驗票閘門	樓梯	電扶梯
情境一	175	140	227	175	70	192	245	140	400	245	140
情境二	175	140	227	175	140	192	245	70	400	245	140
情境三	175	140	227	175	140	192	245	140	400	245	70
情境四	175	140	227	175	140	192	245	140	400	245	140
情境五	175	0	227	175	0	192	245	0	400	245	0

2. 逃生時間計算

逃生時間計算主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 A-4~A-6 所示

表 A-4 逃生時間計算

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五	
月台層		人數(人)	1000	1000	1000	1000	
		疏散量(人/min)	979	1049	1049	1049	769
		逃生時間(min)	1.02	0.95	0.95	0.95	1.3
		等候時間(min)	0.34	0.27	0.27	0.27	0.62
整棟	驗票閘門	人數(人)	321	301	301	301	228
		疏散量(人/min)	400	400	400	400	400
		逃生時間(min)	0.8	0.75	0.75	0.75	0.57
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-3 層	人數(人)	321	301	301	301	228

		疏散量(人/min)	385	315	385	385	245
		逃生時間(min)	0.83	0.96	0.78	0.78	0.93
		等候時間(min)	0	0.01	0	0	0
	U-2 層	人數(人)	321	301	301	301	228
		疏散量(人/min)	385	385	315	385	245
		逃生時間(min)	0.83	0.78	0.96	0.78	0.93
		等候時間(min)	0	0	0.01	0	0

表 A-5 步行總時間

	U-4 層		U-3 層		U-2 層		合計
	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	
距離(m)	40.98	7.3	50.5	7.67	16.6	6.7	
速度(m/min)	60	15	60	15	60	15	
時間(min)	0.68	0.49	0.84	0.51	0.28	0.45	3.25

表 A-6 整棟逃生時間

	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
疏散路線所花時間(min)	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
月台層額外等候時間(min)	0.34	0.27	0.27	0.27	0.62
驗票閘門額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-3 層額外等候時間(min)	0	0.01	0	0	0
U-2 層額外等候時間(min)	0	0	0.01	0	0
合計(min)	3.59	3.53	3.53	3.52	3.87

1.3 模擬計算人數：1000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 2000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 各樓層垂直動線旅客疏散量

因南北兩側逃生路線並不相通，故計算時考慮人數比例多較危險的情況，各樓層疏散量如表 A-7 所示。

表 A-7 樓梯疏散量

	疏散量(人/min)										
	U-4 層北側			U-4 層南側			U-3 層北側			U-2 層北側	
	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	驗票閘門	樓梯	電扶梯
情境一	175	140	227	175	70	192	245	140	400	245	140
情境二	175	140	227	175	140	192	245	70	400	245	140
情境三	175	140	227	175	140	192	245	140	400	245	70
情境四	175	140	227	175	140	192	245	140	400	245	140
情境五	175	0	227	175	0	192	245	0	400	245	0

2. 逃生時間計算

逃生時間計算主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 A-8~A-10 所示

表 A-8 逃生時間計算

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五	
月台層		人數(人)	2000	2000	2000	2000	
		疏散量(人/min)	979	1049	1049	1049	769
		逃生時間(min)	2.04	1.91	1.91	1.91	2.6
		等候時間(min)	1.36	1.23	1.23	1.23	1.92
整棟	驗票閘門	人數(人)	641	600	600	600	456
		疏散量(人/min)	400	400	400	400	400
		逃生時間(min)	1.6	1.5	1.5	1.5	1.14
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-3 層	人數(人)	641	600	600	600	456

		疏散量(人/min)	385	315	385	385	245
		逃生時間(min)	1.66	1.9	1.56	1.56	1.86
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-2 層	人數(人)	641	600	600	600	456
		疏散量(人/min)	385	385	315	385	245
		逃生時間(min)	1.66	1.56	1.9	1.56	1.86
		等候時間(min)	0	0	0	0	0

表 A-9 步行總時間

	U-4 層		U-3 層		U-2 層		合計
	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	
距離(m)	40.98	7.3	50.5	7.67	16.6	6.7	
速度(m/min)	60	15	60	15	60	15	
時間(min)	0.68	0.49	0.84	0.51	0.28	0.45	3.25

表 A-10 整棟逃生時間

	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
疏散路線所花時間(min)	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
月台層額外等候時間(min)	1.36	1.23	1.23	1.23	1.92
驗票閘門額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-3 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-2 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
合計(min)	4.61	4.48	4.48	4.48	5.17

1.5 模擬計算人數：3000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 3000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 各樓層垂直動線旅客疏散量

因南北兩側逃生路線並不相通，故計算時考慮人數比例多較危險的情況，各樓層疏散量如表 A-11 所示。

表 A-11 樓梯疏散量

	疏散量(人/min)										
	U-4 層北側			U-4 層南側			U-3 層北側			U-2 層北側	
	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	驗票閘門	樓梯	電扶梯
情境一	175	140	227	175	70	192	245	140	400	245	140
情境二	175	140	227	175	140	192	245	70	400	245	140
情境三	175	140	227	175	140	192	245	140	400	245	70
情境四	175	140	227	175	140	192	245	140	400	245	140
情境五	175	0	227	175	0	192	245	0	400	245	0

2. 逃生時間計算

逃生時間計算主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 A-12~A-14 所示

表 A-12 逃生時間計算

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五	
月台層		人數(人)	3000	3000	3000	3000	
		疏散量(人/min)	979	1049	1049	1049	769
		逃生時間(min)	3.06	2.86	2.86	2.86	3.9
		等候時間(min)	2.38	2.18	2.18	2.18	3.22
整棟	驗票閘門	人數(人)	962	901	901	901	683
		疏散量(人/min)	400	400	400	400	400
		逃生時間(min)	2.41	2.25	2.25	2.25	1.71
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-3 層	人數(人)	962	901	901	901	683

		疏散量(人/min)	385	315	385	385	245
		逃生時間(min)	2.5	2.86	2.34	2.34	2.79
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-2 層	人數(人)	962	901	901	901	683
		疏散量(人/min)	385	385	315	385	245
		逃生時間(min)	2.5	2.34	2.86	2.34	2.79
		等候時間(min)	0	0	0	0	0

表 A-13 步行總時間

	U-4 層		U-3 層		U-2 層		合計
	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	
距離(m)	40.98	7.3	50.5	7.67	16.6	6.7	
速度(m/min)	60	15	60	15	60	15	
時間(min)	0.68	0.49	0.84	0.51	0.28	0.45	3.25

表 A-14 整棟逃生時間

	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
疏散路線所花時間(min)	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
月台層額外等候時間(min)	2.38	2.18	2.18	2.18	3.22
驗票閘門額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-3 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-2 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
合計(min)	5.63	5.43	5.43	5.43	6.47

1.5 模擬計算人數：4000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 4000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 各樓層垂直動線旅客疏散量

因南北兩側逃生路線並不相通，故計算時考慮人數比例多較危險的情況，各樓層疏散量如表 A-15 所示。

表 A-15 樓梯疏散量

	疏散量(人/min)										
	U-4 層北側			U-4 層南側			U-3 層北側			U-2 層北側	
	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	驗票閘門	樓梯	電扶梯
情境一	175	140	227	175	70	192	245	140	400	245	140
情境二	175	140	227	175	140	192	245	70	400	245	140
情境三	175	140	227	175	140	192	245	140	400	245	70
情境四	175	140	227	175	140	192	245	140	400	245	140
情境五	175	0	227	175	0	192	245	0	400	245	0

2. 逃生時間計算

逃生時間計算主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 A-16~A-18 所示

表 A-16 逃生時間計算

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五	
月台層		人數(人)	4000	4000	4000	4000	
		疏散量(人/min)	979	1049	1049	1049	769
		逃生時間(min)	4.09	3.81	3.81	3.81	5.2
		等候時間(min)	3.41	3.13	3.13	3.13	4.52
整棟	驗票閘門	人數(人)	1280	1202	1202	1202	911
		疏散量(人/min)	400	400	400	400	400
		逃生時間(min)	3.2	3	3	3	2.28
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-3 層	人數(人)	1280	1202	1202	1202	911

		疏散量(人/min)	385	315	385	385	245
		逃生時間(min)	3.32	3.82	3.12	3.12	3.72
		等候時間(min)	0	0.01	0	0	0
	U-2 層	人數(人)	1280	1202	1202	1202	911
		疏散量(人/min)	385	385	315	385	245
		逃生時間(min)	3.32	3.12	3.82	3.12	3.72
		等候時間(min)	0	0	0.01	0	0

表 A-17 步行總時間

	U-4 層		U-3 層		U-2 層		合計
	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	
距離(m)	40.98	7.3	50.5	7.67	16.6	6.7	
速度(m/min)	60	15	60	15	60	15	
時間(min)	0.68	0.49	0.84	0.51	0.28	0.45	3.25

表 A-18 整棟逃生時間

	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
疏散路線所花時間(min)	3.25	3.25	3.25	3.25	3.25
月台層額外等候時間(min)	3.41	3.13	3.13	3.13	4.52
驗票閘門額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-3 層額外等候時間(min)	0	0.01	0	0	0
U-2 層額外等候時間(min)	0	0	0.01	0	0
合計(min)	6.66	6.39	6.39	6.38	7.77

附錄 B NFPA 130 逃生時間計算

1.1 模擬計算範圍及情境說明

本附錄模擬計算範圍為高雄捷運 R11 永久站，內部規劃共 4 層：U-4 月台層、U-3 穿堂層、U-2 穿堂層及 U-1 避難層，如圖 B-1 所示，其各樓層樓梯寬度與步行距離等條件如表 B-1 所示，模擬計算情境設定為火災時有一座電扶梯故障處於維修狀態而不得使用，並以此探討避難設施對逃生的影響，模擬情境說明如表 B-2 所示，逃生時間計算公式主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，公式如下：

$$\text{樓梯疏散量} = \text{樓梯寬度} * 55.5$$

$$\text{驗票閘門疏散量} = 50 * \text{閘門數量}$$

$$\text{月台層疏散時間} = \text{月台層人數} / \text{月台總疏散量}$$

$$\text{U-3 層總人數} = \text{月台層人數} - (\text{月台層疏散時間} * \text{緊急逃生梯疏散量})$$

$$\text{U-3 層北側人數} = \text{U-3 層總人數} * \text{U-4 層北側樓梯佔 U-4 層樓梯之比例}$$

$$\text{驗票閘門疏散時間} = \text{U-3 層北側人數} / \text{U-3 層北側驗票閘門疏散量}$$

$$\text{U-3 層疏散時間} = \text{U-3 層北側人數} / \text{U-3 層北側疏散量}$$

$$\text{U-2 層北側人數} = \text{U-3 層北側人數}$$

$$\text{U-2 層疏散時間} = \text{U-2 層北側人數} / \text{U-2 層北側疏散量}$$

月台層等候時間=月台層疏散時間-月台層步行時間

驗票閘門等候時間=驗票閘門疏散時間-月台層疏散時間

U-3層等候時間=U-3層疏散時間-max(月台層疏散時間,驗票閘門疏散時間)

U-2層等候時間=U-2層疏散時間-max(月台層疏散時間,驗票閘門疏散時間,U-3層疏散時間)

疏散路線步行總時間=樓層步行時間+樓梯步行時間

樓層步行時間=水平步行距離/水平移動速度

樓梯步行時間=樓層垂直距離/垂直移動速度

整棟逃生時間=疏散路線步行總時間+月台層等候時間+驗票閘門等候時間+U-3層等候時間+U-2層等候時間



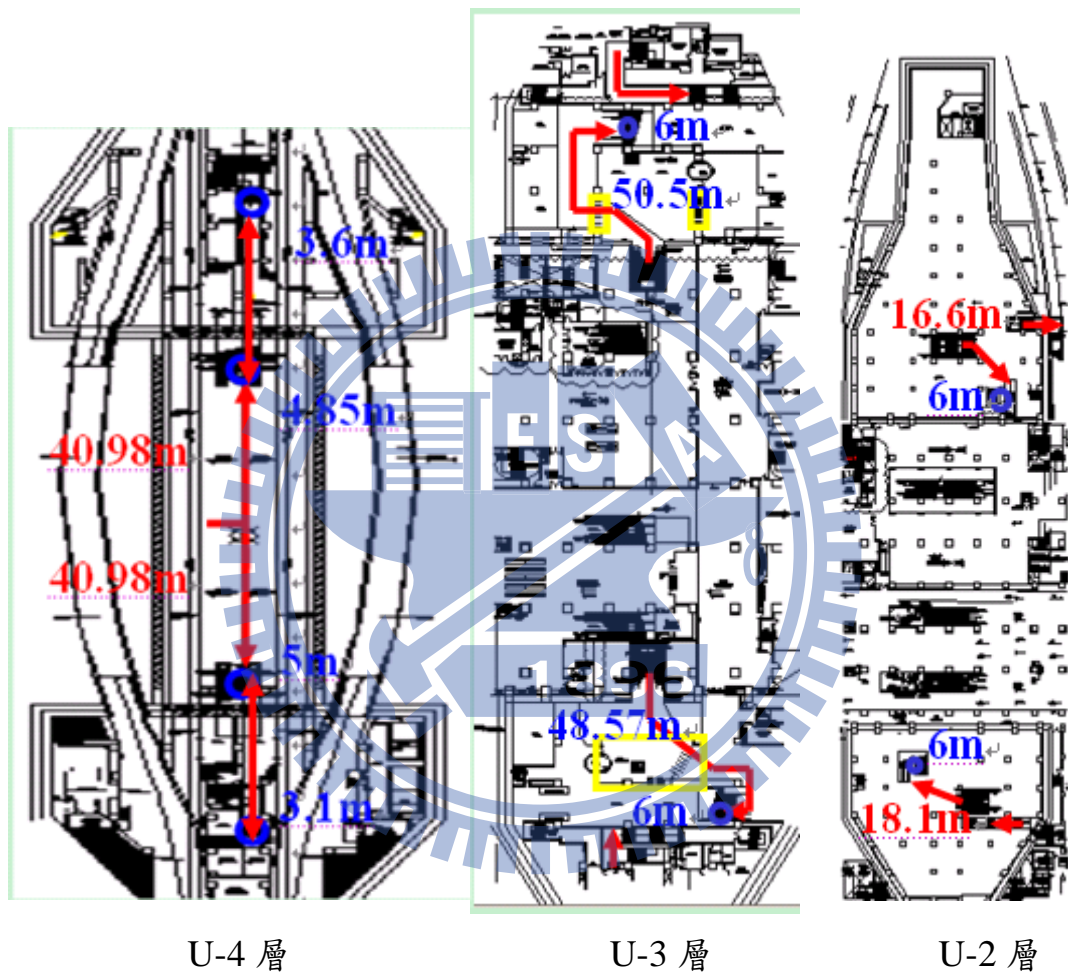


圖 B-1 避難路徑圖

表 B-1 R11 站內部規劃

	U-4 層	U-3 層北側	U-3 層南側	U-2 層北側	U-2 層南側
樓梯數量與寬度	2.85m*1 座、3m*1 座、3.6m*1 座、3.1m*1 座	4m*1 座	4m*1 座	4m*1 座	4m*1 座
電扶梯數量與寬度	1m*4 座	1m*2 座	1m*2 座	1m*2 座	1m*2 座
驗票閘門數量	0 座	8 座	8 座	0 座	0 座
最長步行距離	40.98m	50.5m	48.57m	16.6m	18.1m

表 B-2 情境設計說明

	模擬狀況
情境一	U-4 層有一電扶梯故障處於維修狀態而不得使用
情境二	U-3 層有一電扶梯故障處於維修狀態而不得使用
情境三	U-2 層有一電扶梯故障處於維修狀態而不得使用
情境四	無電扶梯故障
情境五	所有電扶梯皆不可視為逃生路徑使用

1.2 計算範例

因本方法計算過程繁複，故在本節詳細列出公式及計算過程作為範例參考，範例情境假設當火災發生時月台層共有 1000 人需進行逃生，但所有電扶梯皆無法作為逃生路徑使用，逃生路徑及內部規劃請見 1.1 節，而其餘情境之計算採用表格列出各項參數及結果（見 1.3~1.6 節）。

1. 各樓層動線設施旅客疏散量之計算

(1). U-4 層樓梯

北側樓梯： $2.85 \times 55.5 = 158.175$ （視為 158 人/min）

南側樓梯： $3 \times 55.5 = 166.5$ （視為 167 人/min）

北側緊急逃生梯： $3.6 \times 55.5 = 199.8$ （視為 200 人/min）

南側緊急逃生梯： $3.1 \times 55.5 = 172.05$ （視為 172 人/min）

(2). U-3 層樓梯

北側樓梯： $4 \times 55.5 = 222$ 人/min

驗票閘門： $50 \times 8 = 400$ 人/min

(3). U-2 層樓梯

北側樓梯： $4 \times 55.5 = 222$ 人/min

2. 月台層疏散時間之計算

月台層疏散時間=月台層旅客量/月台層總疏散量=1000/697=1.43min

3. 整棟疏散時間之計算

(1). 疏散路線步行時間計算

U-4 層樓層步行時間：40.98/38=1.08min

U-4 層樓梯步行時間：7.3/15=0.49min

U-3 層樓層間步行時間：50.5/38=1.33min

U-3 層樓梯步行時間：7.67/15=0.51min

U-2 層樓層間步行時間：16.6/38=0.44min

U-2 層樓梯步行時間：6.7/15=0.45min

步行時間總計：1.08+0.49+1.33+0.51+0.44+0.45=4.3min

(2). 疏散人潮之計算

通往 U-3 層總人數：月台層人數-(月台層疏散時間 x 緊急逃生梯疏散量)=1000-1.43*372=468 人

U-3 層南北兩側逃生路線並不相通，因此計算時需要考慮人群在逃生時會有分流人數比例因素，考量較危險的情況，計算疏散人潮較多側。

U-3 層北側穿堂層人數比例： $U-4$ 層北側樓梯疏散量/ $U-4$ 層樓梯總疏散量 $=167/325=0.51$

U-3 層北側穿堂層人數：通往 U-3 層人數*U-4 層北側樓梯疏散量比例 $=468*0.51=239$ 人

U-2 北側穿堂層逃生人數：同 U-3 北側穿堂層逃生人數

(3). 疏散時等候時間之計算

月台層額外等候時間 $=$ 月台層旅客量/ $U-3$ 層北側穿堂層人數/ $U-3$ 層北側樓梯疏散量 $-$ 月台層步行時間 $=1000/697-1.08=0.35$ min

驗票閘門額外等候時間 $=U-3$ 層北側穿堂層人數/ $U-3$ 層北側樓梯疏散量 $-$ 月台層疏散時間 $=239/400-1.43=-0.83$ (視為 0min)

U-3 層額外等候時間 $=U-3$ 層北側穿堂層人數/ $U-3$ 層北側樓梯疏散量 $-$ 月台層疏散時間 $=239/222-1.43=-0.35$ (視為 0min)

U-2 層額外等候時間 $=U-2$ 層北側穿堂層人數/ $U-2$ 層北側樓梯疏散量 $-U-3$ 層疏散時間 $=239/222-1.43=-0.35$ (視為 0min)

(4). 整棟疏散時間之計算

整棟逃生時間： $疏散路線步行總時間+月台層等候時間+驗票閘門等候時間+U-3$ 層等候時間 $+ U-2$ 層等候時間 $=4.3+0.35+0+0+0=4.68$ min

1.3 模擬計算人數：1000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 1000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 各樓層垂直動線旅客疏散量

因南北兩側逃生路線並不相通，故計算時考慮人數比例多較危險的情況，各樓層疏散量如表 B-3 所示。

表 B-3 樓梯疏散量

	疏散量(人/min)										
	U-4 層北側			U-4 層南側			U-3 層北側			U-2 層北側	
	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	驗票閘門	樓梯	電扶梯
情境一	158	111	200	167	56	172	222	111	400	222	111
情境二	158	111	200	167	111	172	222	56	400	222	111
情境三	158	111	200	167	111	172	222	111	400	222	56
情境四	158	111	200	167	111	172	222	111	400	222	111
情境五	158	0	200	167	0	172	222	0	400	222	0

2. 逃生時間計算

逃生時間計算主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 B-4~B-6 所示

表 B-4 逃生時間計算

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五	
月台層		人數(人)	1000	1000	1000	1000	
		疏散量(人/min)	864	919	919	919	697
		逃生時間(min)	1.16	1.09	1.09	1.09	1.43
		等候時間(min)	0.08	0.01	0.01	0.01	0.35
整棟	驗票閘門	人數(人)	312	298	298	298	238
		疏散量(人/min)	400	400	400	400	400
		逃生時間(min)	0.78	0.75	0.75	0.75	0.6
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-3 層	人數(人)	312	298	298	298	238

		疏散量(人/min)	333	278	333	333	222
		逃生時間(min)	0.94	1.07	0.89	0.89	1.07
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-2 層	人數(人)	312	298	298	298	238
		疏散量(人/min)	333	333	278	333	222
		逃生時間(min)	0.94	0.89	1.07	0.89	1.07
		等候時間(min)	0	0	0	0	0

表 B-5 步行總時間

	U-4 層		U-3 層		U-2 層		合計
	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	
距離(m)	40.98	7.3	50.5	7.67	16.6	6.7	
速度(m/min)	38	15	38	15	38	15	
時間(min)	1.08	0.49	1.33	0.51	0.44	0.45	4.3

表 B-6 整棟逃生時間

	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
疏散路線所花時間(min)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
月台層額外等候時間(min)	0.08	0.01	0.01	0.01	0.35
驗票閘門額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-3 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-2 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
合計(min)	4.38	4.31	4.31	4.31	4.65

1.4 模擬計算人數：2000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 2000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 各樓層垂直動線旅客疏散量

因南北兩側逃生路線並不相通，故計算時考慮人數比例多較危險的情況，各樓層疏散量如表 B-7 所示。

表 B-7 樓梯疏散量

	疏散量(人/min)										
	U-4 層北側			U-4 層南側			U-3 層北側			U-2 層北側	
	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	驗票閘門	樓梯	電扶梯
情境一	158	111	200	167	56	172	222	111	400	222	111
情境二	158	111	200	167	111	172	222	56	400	222	111
情境三	158	111	200	167	111	172	222	111	400	222	56
情境四	158	111	200	167	111	172	222	111	400	222	111
情境五	158	0	200	167	0	172	222	0	400	222	0

2. 逃生時間計算

逃生時間計算主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 B-8~B-10 所示

表 B-8 逃生時間計算

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五	
月台層		人數(人)	2000	2000	2000	2000	
		疏散量(人/min)	864	919	919	919	697
		逃生時間(min)	2.31	2.18	2.18	2.18	2.87
		等候時間(min)	1.23	1.1	1.1	1.1	1.79
整棟	驗票閘門	人數(人)	628	595	595	595	475
		疏散量(人/min)	400	400	400	400	400
		逃生時間(min)	1.57	1.49	1.49	1.49	1.19
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-3 層	人數(人)	628	595	595	595	475

		疏散量(人/min)	333	278	333	333	222
		逃生時間(min)	1.89	2.14	1.79	1.79	2.14
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-2 層	人數(人)	628	595	595	595	475
		疏散量(人/min)	333	333	278	333	222
		逃生時間(min)	1.89	1.79	2.14	1.79	2.14
		等候時間(min)	0	0	0	0	0

表 B-9 步行總時間

	U-4 層		U-3 層		U-2 層		合計
	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	
距離(m)	40.98	7.3	50.5	7.67	16.6	6.7	
速度(m/min)	38	15	38	15	38	15	
時間(min)	1.08	0.49	1.33	0.51	0.44	0.45	4.3

表 B-10 整棟逃生時間

	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
疏散路線所花時間(min)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
月台層額外等候時間(min)	1.23	1.1	1.1	1.1	1.79
驗票閘門額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-3 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-2 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
合計(min)	5.53	5.4	5.4	5.4	6.09

1.5 模擬計算人數：3000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 3000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 各樓層垂直動線旅客疏散量

因南北兩側逃生路線並不相通，故計算時考慮人數比例多較危險的情況，各樓層疏散量如表 B-11 所示。

表 B-11 樓梯疏散量

	疏散量(人/min)										
	U-4 層北側			U-4 層南側			U-3 層北側			U-2 層北側	
	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	驗票閘門	樓梯	電扶梯
情境一	158	111	200	167	56	172	222	111	400	222	111
情境二	158	111	200	167	111	172	222	56	400	222	111
情境三	158	111	200	167	111	172	222	111	400	222	56
情境四	158	111	200	167	111	172	222	111	400	222	111
情境五	158	0	200	167	0	172	222	0	400	222	0

2. 逃生時間計算

逃生時間計算主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 B-12~B-14 所示

表 B-12 逃生時間計算

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五	
月台層		人數(人)	3000	3000	3000	3000	
		疏散量(人/min)	864	919	919	919	697
		逃生時間(min)	3.47	3.26	3.26	3.26	4.3
		等候時間(min)	2.39	2.18	2.18	2.18	3.22
整棟	驗票閘門	人數(人)	940	894	894	894	714
		疏散量(人/min)	400	400	400	400	400
		逃生時間(min)	2.35	2.24	2.24	2.24	1.79
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-3 層	人數(人)	940	894	894	894	714

		疏散量(人/min)	333	278	333	333	222
		逃生時間(min)	2.82	3.22	2.68	2.68	3.22
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-2 層	人數(人)	940	894	894	894	714
		疏散量(人/min)	333	333	278	333	222
		逃生時間(min)	2.82	2.68	3.22	2.68	3.22
		等候時間(min)	0	0	0	0	0

表 B-13 步行總時間

	U-4 層		U-3 層		U-2 層		合計
	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	
距離(m)	40.98	7.3	50.5	7.67	16.6	6.7	
速度(m/min)	38	15	38	15	38	15	
時間(min)	1.08	0.49	1.33	0.51	0.44	0.45	4.3

表 B-14 整棟逃生時間

	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
疏散路線所花時間(min)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
月台層額外等候時間(min)	2.39	2.18	2.18	2.18	3.22
驗票閘門額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-3 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-2 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
合計(min)	6.69	6.48	6.48	6.48	7.52

1.6 模擬計算人數：4000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 4000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 各樓層垂直動線旅客疏散量

因南北兩側逃生路線並不相通，故計算時考慮人數比例多較危險的情況，各樓層疏散量如表 B-15 所示。

表 B-15 樓梯疏散量

	疏散量(人/min)										
	U-4 層北側			U-4 層南側			U-3 層北側			U-2 層北側	
	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	緊急逃生梯	樓梯	電扶梯	驗票閘門	樓梯	電扶梯
情境一	158	111	200	167	56	172	222	111	400	222	111
情境二	158	111	200	167	111	172	222	56	400	222	111
情境三	158	111	200	167	111	172	222	111	400	222	56
情境四	158	111	200	167	111	172	222	111	400	222	111
情境五	158	0	200	167	0	172	222	0	400	222	0

2. 逃生時間計算

逃生時間計算主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 B-16~B-18 所示

表 B-16 逃生時間計算

		情境一	情境二	情境三	情境四	情境五	
月台層		人數(人)	4000	4000	4000	4000	
		疏散量(人/min)	864	919	919	919	697
		逃生時間(min)	4.63	4.35	4.35	4.35	5.74
		等候時間(min)	3.55	3.27	3.27	3.27	4.66
整棟	驗票閘門	人數(人)	1253	1191	1191	1191	951
		疏散量(人/min)	400	400	400	400	400
		逃生時間(min)	3.13	2.98	2.98	2.98	2.38
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-3 層	人數(人)	1253	1191	1191	1191	951

		疏散量(人/min)	333	278	333	333	222
		逃生時間(min)	3.76	4.28	3.58	3.58	4.28
		等候時間(min)	0	0	0	0	0
	U-2 層	人數(人)	1253	1191	1191	1191	951
		疏散量(人/min)	333	333	278	333	222
		逃生時間(min)	3.76	3.58	4.28	3.58	4.28
		等候時間(min)	0	0	0	0	0

表 B-17 步行總時間

	U-4 層		U-3 層		U-2 層		合計
	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	樓層步行 所需時間	樓梯步行 所需時間	
距離(m)	40.98	7.3	50.5	7.67	16.6	6.7	
速度(m/min)	38	15	38	15	38	15	
時間(min)	1.08	0.49	1.33	0.51	0.44	0.45	4.3

表 B-18 整棟逃生時間

	情境一	情境二	情境三	情境四	情境五
疏散路線所花時間(min)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3
月台層額外等候時間(min)	3.55	3.27	3.27	3.27	4.66
驗票閘門額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-3 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
U-2 層額外等候時間(min)	0	0	0	0	0
合計(min)	7.85	7.57	7.57	7.57	8.96

附錄 C 建築物防火避難安全性能驗證技術手冊逃生時間計算

1.1 模擬計算範圍及情境說明

本附錄模擬計算範圍為高雄捷運 R11 永久站，內部規劃共 4 層：U-4 月台層、U-3 穿堂層、U-2 穿堂層及 U-1 避難層，如圖 C-1 所示，其各樓層樓梯寬度與步行距離等條件如表 C-1 所示，模擬計算情境設定為火災時有一座電扶梯故障處於維修狀態而不得使用，並以此探討避難設施對逃生的影響，模擬情境說明如表 C-2 所示，逃生時間計算公式主要分為月台層疏散時間及整棟疏散時間，公式與參數意義如下。

1. 樓層完成避難所需時間公式

開始避難時間： $t_{start} = \frac{\sqrt{A_{floor}}}{30} + 3$ 到達直通樓梯步行時間： $t_{travel} = \max\left(\sum \frac{l_i}{v}\right)$

有效流動係數：	$\sum A_{st} \geq 0.25 \sum pA_{load}$ 時	$N_{eff} = 90$
	$\sum A_{st} < 0.25 \sum pA_{load}$ 時	$N_{eff} = \frac{320B_{neck} \sum A_{st}}{B_{st} \sum pA_{load}}$

通過出口時間：
$$t_{queue} = \frac{\sum p \cdot A_{area}}{\sum N_{eff} \cdot B_{st}}$$

A_{floor} ：該樓層總樓地板面積； l_i ：步行距離； v ：步行速度； A_{st} ：該樓層至下層樓梯間之樓地板面積

P ：人員密度； A_{load} ：該樓層必須經由該直通樓梯出口進行避難之樓地板面積

B_{neck} ：避難路線上各出口寬度之最小值； B_{st} ：通往該直通樓梯之出口寬度

A_{area} ：該樓層各居室部分之樓地板面積

2. 整棟完成避難所需時間公式

開始避難時間：
$$t_{start} = \frac{2\sqrt{A_{floor}}}{15} + 3$$
 到達地面之步行時間：
$$t_{travel} = \max\left(\sum \frac{l_i}{v}\right)$$

有效流動係數：	$\sum A_{st} \geq 0.25 \sum pA_{load}$ 時	$N_{eff} = 80$
	$\sum A_{st} < 0.25 \sum pA_{load}$ 時	$N_{eff} = \frac{320B_{neck} \sum A_{st}}{B_{st} \sum pA_{load}}$

通過出口時間：
$$t_{queue} = \frac{\sum p \cdot A_{area}}{\sum N_{eff} \cdot B_d}$$

A_{floor} ：該建築物最大樓層總地板面積； l_1 ：步行距離； v ：步行速度； A_{st} ：樓梯間之樓地板面積總合

P ：人員密度； A_{load} ：該樓層必須經由該出口進行避難之樓地板面積

B_{neck} ：通往地面出口的樓梯寬度、地面或是通往安全梯出口寬度中的最小值； B_{st} ：通往地面出口之樓梯寬度

A_{area} ：該建築物各部分之樓地板面積； B_d ：避難層以外樓層人員安全通過避難路徑之出口寬度



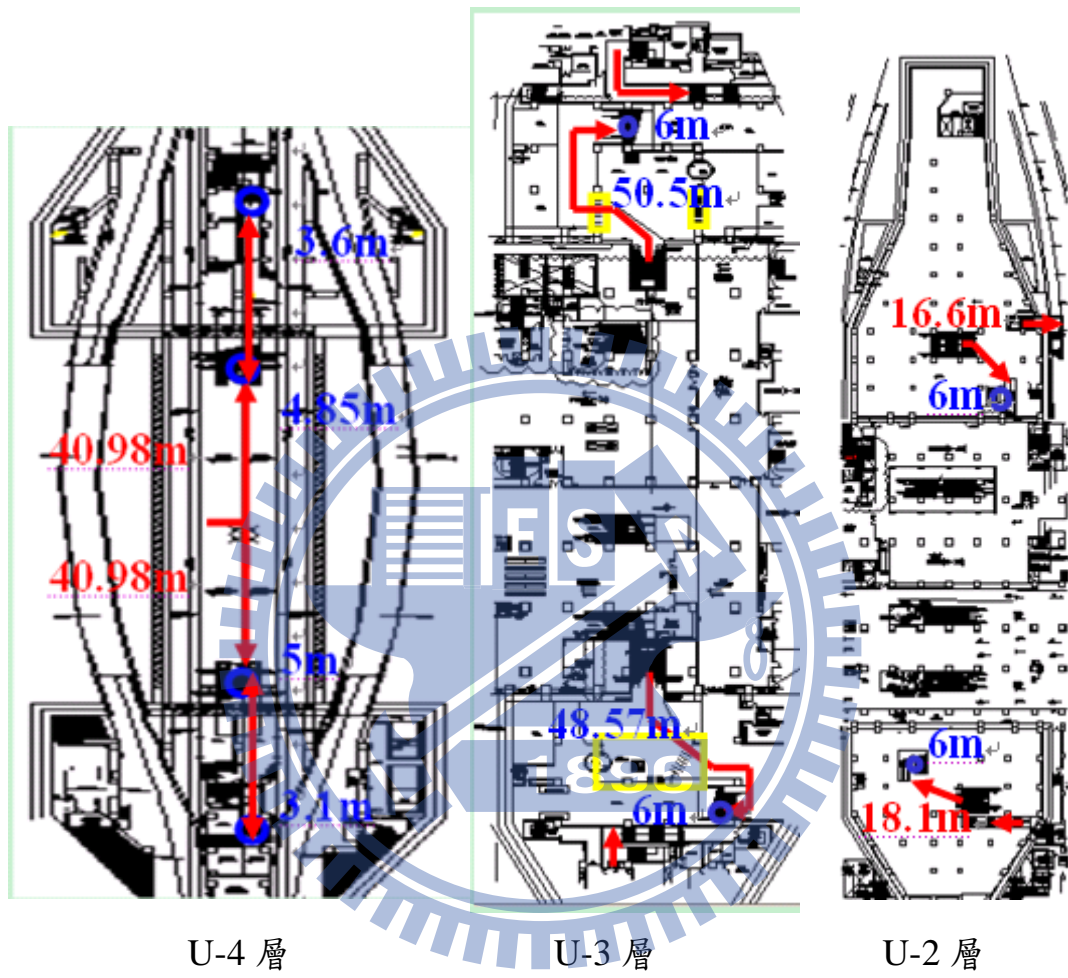


圖 C-1 避難路徑圖

表 C-1 R11 站內部規劃

	U-4 層	U-3 層北側	U-3 層南側	U-2 層北側	U-2 層南側
樓梯數量與寬度	2.85m*1 座、3m*1 座、3.6m*1 座、3.1m*1 座	4m*1 座	4m*1 座	4m*1 座	4m*1 座
電扶梯數量與寬度	1m*4 座	1m*2 座	1m*2 座	1m*2 座	1m*2 座
驗票閘門數量	0 座	0 座	0 座	0 座	0 座
最長步行距離	40.98m	50.5m	48.57m	16.6m	18.1m

表 C-2 情境設計說明

	模擬狀況
情境一	U-4 層有一電扶梯故障處於維修狀態而不得使用
情境二	U-3 層有一電扶梯故障處於維修狀態而不得使用
情境三	U-2 層有一電扶梯故障處於維修狀態而不得使用
情境四	無電扶梯故障
情境五	所有電扶梯皆不可視為逃生路徑使用

1.2 計算範例

因本方法計算過程繁複，故在本節詳細列出公式及計算過程作為範例參考，範例情境假設當火災發生時月台層共有 1000 人需進行逃生，但所有電扶梯皆無法作為逃生路徑使用，逃生路徑及內部規劃請見 1.1 節，而其餘情境之計算採用表格列出各項參數及結果（見 1.3~1.6 節）。

1. 樓層避難時間之計算

(1). 開始避難時間： $\sqrt{1271.16/30+3}=4.19\text{min}$

(2). 到達直通樓梯時間

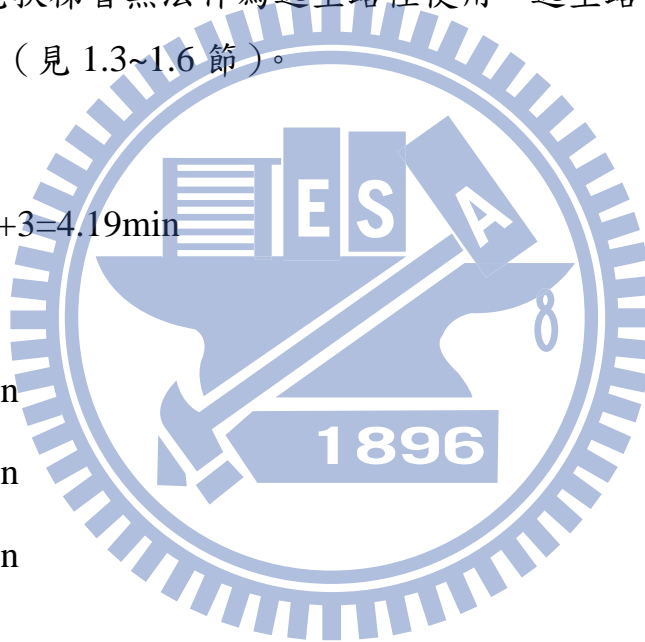
直通樓梯 1： $26.56/60=0.44\text{min}$

直通樓梯 2： $40.98/60=0.68\text{min}$

直通樓梯 3： $40.98/60=0.68\text{min}$

直通樓梯 4： $23.77/60=0.4\text{min}$

取最大值： 0.68min



(3). 有效流動係數

i. 直通樓梯 1 相關參數及計算

可滯留面積：198.82m²；必要滯留面積：0.25m²/人；可滯留人數：198.82/0.25=795.28 人

直通樓梯 1 避難逃生人數：直通樓梯 1 可滯留面積/總滯留面積*總人數=198.82/1399.82*1000=142.03

∵795.28 > 142.03 ∴有效流動係數=90

ii. 直通樓梯 2 相關參數及計算

可滯留面積：378.24m²；必要滯留面積：0.3m²/人；可滯留人數 590.34/0.3=1967.8 人

直通樓梯 2 避難逃生人數：直通樓梯 2 可滯留面積/總滯留面積*總人數=590.34/1399.82*1000=421.73

∵1967.8 > 421.73 ∴有效流動係數=90

iii. 直通樓梯 3 相關參數及計算

可滯留面積：402.13m²；必要滯留面積：0.3m²/人；可滯留人數：521.82/0.3=1706.07 人

直通樓梯 3 避難逃生人數：直通樓梯 2 可滯留面積/總滯留面積*總人數=521.82/1399.82*1000=365.63

∵1706.07 > 365.63 ∴有效流動係數=90

iv. 直通樓梯 4 相關參數及計算

可滯留面積：98.84m²；必要滯留面積：0.25m²/人；可滯留人數：98.84/0.25=395.36 人

直通樓梯 4 避難逃生人數：直通樓梯 2 可滯留面積/總滯留面積*總人數=98.84/1399.82*1000=70.6

∵395.36 > 70.6 ∴有效流動係數=90

(4). 通過出口時間

總人數/(有效流動係數*樓梯寬度)=1000/(90*3.6+90*2.85+90*3+90*3.1)=0.89min

(5). 樓層避難總時間

開始避難時間+步行時間+通過出口時間=4.19+0.68+0.89=5.76min

2. 整棟避難時間之計算

(1). 開始避難時間：2*√6916.07/15+3=14.09min

(2). 到達直通樓梯時間

i. 直通樓梯 1

樓層間總步行時間=樓層間總距離/水平移動速度=60.44/60=1min

樓梯總步行時間=樓梯總距離/垂直移動速度=39.17/27=1.45min

合計：1+1.45=2.45min

ii. 直通樓梯 2：40.98/60=0.68min

樓層間總步行時間=樓層間總距離/水平移動速度=108.08/60=1.8min

樓梯總步行時間=樓梯總距離/垂直移動速度=42.7/27=1.58min

合計：1.8+1.58=3.38min

iii. 直通樓梯 3：40.98/60=0.68min

樓層間總步行時間=樓層間總距離/水平移動速度=107.65/60=1.79min

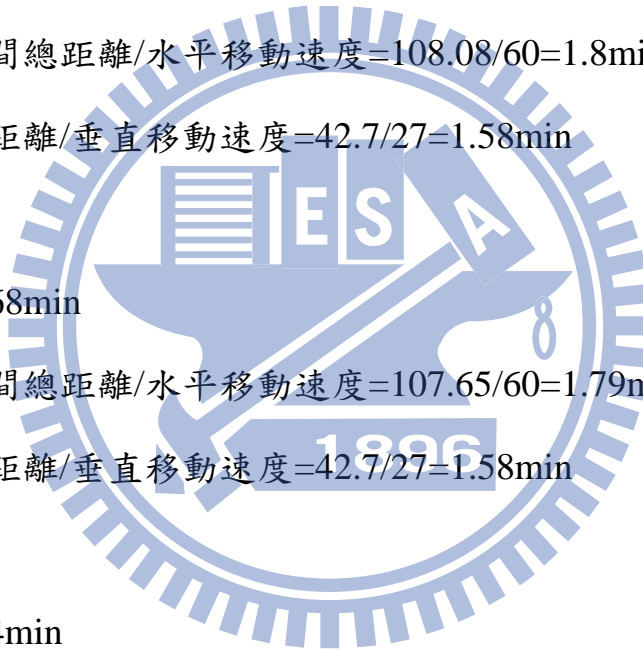
樓梯總步行時間=樓梯總距離/垂直移動速度=42.7/27=1.58min

合計：1.79+1.58=3.37min

iv. 直通樓梯 4：23.77/60=0.4min

樓層間總步行時間=樓層間總距離/水平移動速度=39.45/60=0.66min

樓梯總步行時間=樓梯總距離/垂直移動速度=40.01/27=1.48min



合計：0.66+1.45=2.14min

v. 取最大值：3.38min

(3). 有效流動係數

i. 直通樓梯 1 相關參數及計算

可滯留面積：329.78m²；必要滯留面積：0.25m²/人；可滯留人數：329.78/0.25=1319.12 人

∵1319.12 > 184.43 ∴有效流動係數=80

ii. 直通樓梯 2 相關參數及計算

可滯留面積：1845.2m²；必要滯留面積：0.3m²/人；可滯留人數 1845.2/0.3=6150.67 人

∵6150.67 > 350.86 ∴有效流動係數=80

iii. 直通樓梯 3 相關參數及計算

可滯留面積：2242.88m²；必要滯留面積：0.3m²/人；可滯留人數：2242.88/0.3=7476.27 人

∵7476.27 > 373.02 ∴有效流動係數=80

iv. 直通樓梯 4 相關參數及計算

可滯留面積：237.39m²；必要滯留面積：0.25m²/人；可滯留人數：237.39/0.25=949.56 人

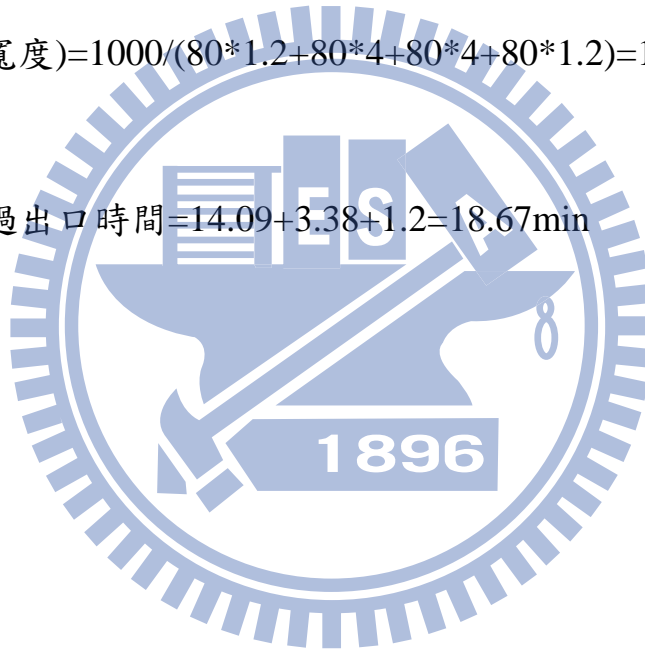
∵949.56 > 91.69 ∴有效流動係數=80

(4). 通過出口時間

總人數/(有效流動係數*出口寬度)=1000/(80*1.2+80*4+80*4+80*1.2)=1.2min

(5). 整棟避難總時間

開始避難時間+步行時間+通過出口時間=14.09+3.38+1.2=18.67min



1.3 模擬計算人數：1000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 1000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 樓層完成避難所需時間

樓層完成避難時間為樓層開始避難時間、步行時間及通過出口時間的加總，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 C-3~C-7 所示。

表 C-3 樓層開始避難時間

	樓層總樓地板面積(m ²)	樓層開始避難時間(min)
全情境	1271.16	4.19

表 C-4 到達直通樓梯時間

	最長步行距離(m)	到達直通樓梯之最長步行時間(min)
全情境	40.98	0.68

表 C-5 有效流動係數

	樓梯編號	可滯留面積(m ²)	必要滯留面積(m ² /人)	可滯留人數((m ²)/人)	避難人數(人)	有效流動係數(人/m*min)
情境一	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	136.99	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	430.42	90
	樓梯 3	528.99		1763.3	364.49	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	68.1	90
情境二	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	135.39	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	425.39	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	371.92	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	67.3	90
情境三	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	135.39	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	425.39	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	371.92	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	67.3	90
情境四	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	135.39	90

	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	425.39	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	371.92	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	67.3	90
情境五	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	142.03	90
	樓梯 2	590.34	0.3	1967.8	421.73	90
	樓梯 3	511.82		1706.07	365.63	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	70.6	90

表 C-6 通過出口時間

	避難總人數(人)	樓梯編號	有效流動係數(人/m*min)	樓梯出口寬度(m)	通過出口時間(min)
情境一	1000	樓梯 1	90	3.6	0.71
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	4	
		樓梯 4	90	3.1	
情境二	1000	樓梯 1	90	3.6	0.67
		樓梯 2	90	4.85	

		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境三	1000	樓梯 1	90	3.6	0.67
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境四	1000	樓梯 1	90	3.6	0.67
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境五	1000	樓梯 1	90	3.6	0.89
		樓梯 2	90	2.85	
		樓梯 3	90	3	
		樓梯 4	90	3.1	

表 C-7 樓層完成避難所需時間

	避難開始時間	到達直通樓梯之步行時間	通過出口所需時間	樓層完成避難所需時間
情境一	4.19	0.68	0.71	5.58
情境二	4.19	0.68	0.67	5.54
情境三	4.19	0.68	0.67	5.54
情境四	4.19	0.68	0.67	5.54
情境五	4.19	0.68	0.89	5.76

2. 整棟完成避難所需時間

整棟完成避難時間為整棟開始避難時間、步行時間及通過出口時間的加總，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 C-8~C-12 所示。

表 C-8 樓層開始避難時間

	樓層總樓地板面積(m ²)	樓層開始避難時間(min)
全情境	6916.07	14.09

表 C-9 到達地面時間

	最長步行距離(m)	到達直通樓梯之最長步行時間(min)
全情境	150.78	3.38

表 C-10 有效流動係數

	樓梯編號	可滯留面積(m ²)	必要滯留面積(m ² /人)	可滯留人數((m ²)/人)	避難人數(人)	有效流動係數(人/m*min)
情境一	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	136.99	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	430.42	80
	樓梯 3	2362.1		7873.67	364.49	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	68.1	80
情境二	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	135.39	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	425.39	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	371.92	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	67.3	80
情境三	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	135.39	80

	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	425.39	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	371.92	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	67.3	80
情境四	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	135.39	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	425.39	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	371.92	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	67.3	80
情境五	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	142.03	80
	樓梯 2	1845.2	0.3	6150.67	421.73	80
	樓梯 3	2242.88		7476.27	365.63	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	70.6	80

表 C-11 通過出口時間

	避難總人數(人)	樓梯編號	有效流動係數(人/m*min)	樓梯出口寬度(m)	通過出口時間(min)
情境一	1000	樓梯 1	80	1.2	0.87
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境二	1000	樓梯 1	80	1.2	0.87
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境三	1000	樓梯 1	80	1.2	0.93
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	5	
		樓梯 4	80	1.2	
情境四	1000	樓梯 1	80	1.2	0.87

		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境五	1000	樓梯 1	80	1.2	1.2
		樓梯 2	80	4	
		樓梯 3	80	4	
		樓梯 4	80	1.2	

表 C-12 整棟完成避難所需時間

	避難開始時間	到達直通樓梯之步行時間	通過出口所需時間	樓層完成避難所需時間
情境一	14.09	3.38	0.87	18.34
情境二	14.09	3.38	0.87	18.35
情境三	14.09	3.38	0.93	18.4
情境四	14.09	3.38	0.87	18.34
情境五	14.09	3.81	1.2	18.67

1.4 模擬計算人數：2000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 2000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 樓層完成避難所需時間

樓層完成避難時間為樓層開始避難時間、步行時間及通過出口時間的加總，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 C-13~C-17 所示。

表 C-13 樓層開始避難時間

	樓層總樓地板面積(m ²)	樓層開始避難時間(min)
全情境	1271.16	4.19

表 C-14 到達直通樓梯時間

	最長步行距離(m)	到達直通樓梯之最長步行時間(min)
全情境	40.98	0.68

表 C-15 有效流動係數

	樓梯編號	可滯留面積(m ²)	必要滯留面積(m ² /人)	可滯留人數((m ²)/人)	避難人數(人)	有效流動係數(人/m*min)
情境一	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	273.98	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	860.84	90
	樓梯 3	528.99		1763.3	728.98	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	136.2	90
情境二	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	270.78	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	850.78	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	743.84	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	134.6	90
情境三	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	270.78	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	850.78	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	743.84	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	134.6	90
情境四	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	270.78	90

	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	850.78	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	743.84	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	134.6	90
情境五	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	284.06	90
	樓梯 2	590.34	0.3	1967.8	843.46	90
	樓梯 3	511.82		1706.07	731.26	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	141.2	90

表 C-16 通過出口時間

	避難總人數(人)	樓梯編號	有效流動係數(人/m ² *min)	樓梯出口寬度(m)	通過出口時間(min)
情境一	2000	樓梯 1	90	3.6	1.43
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	4	
		樓梯 4	90	3.1	
情境二	2000	樓梯 1	90	3.6	1.34
		樓梯 2	90	4.85	

		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境三	2000	樓梯 1	90	3.6	1.34
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境四	2000	樓梯 1	90	3.6	1.34
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境五	2000	樓梯 1	90	3.6	1.77
		樓梯 2	90	2.85	
		樓梯 3	90	3	
		樓梯 4	90	3.1	

表 C-17 樓層完成避難所需時間

	避難開始時間	到達直通樓梯之步行時間	通過出口所需時間	樓層完成避難所需時間
情境一	4.19	0.68	1.43	6.3
情境二	4.19	0.68	1.34	6.21
情境三	4.19	0.68	1.34	6.21
情境四	4.19	0.68	1.34	6.21
情境五	4.19	0.68	1.77	6.64

2. 整棟完成避難所需時間

整棟完成避難時間為整棟開始避難時間、步行時間及通過出口時間的加總，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 C-18~C-22 所示。

表 C-18 樓層開始避難時間

	樓層總樓地板面積(m ²)	樓層開始避難時間(min)
全情境	6916.07	14.09

表 C-19 到達地面時間

	最長步行距離(m)	到達直通樓梯之最長步行時間(min)
全情境	150.78	3.38

表 C-20 有效流動係數

	樓梯編號	可滯留面積(m ²)	必要滯留面積(m ² /人)	可滯留人數((m ²)/人)	避難人數(人)	有效流動係數(人/m*min)
情境一	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	273.98	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	860.84	80
	樓梯 3	2362.1		7873.67	728.98	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	136.2	80
情境二	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	270.78	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	850.78	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	743.84	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	134.6	80
情境三	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	270.78	80

	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	850.78	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	743.84	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	134.6	80
情境四	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	270.78	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	850.78	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	743.84	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	134.6	80
情境五	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	284.06	80
	樓梯 2	1845.2	0.3	6150.67	843.46	80
	樓梯 3	2242.88		7476.27	731.26	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	141.2	80

表 C-21 通過出口時間

	避難總人數(人)	樓梯編號	有效流動係數(人/m*min)	樓梯出口寬度(m)	通過出口時間(min)
情境一	2000	樓梯 1	80	1.2	1.74
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境二	2000	樓梯 1	80	1.2	1.74
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境三	2000	樓梯 1	80	1.2	1.87
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	5	
		樓梯 4	80	1.2	
情境四	2000	樓梯 1	80	1.2	1.74

		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境五	2000	樓梯 1	80	1.2	2.45
		樓梯 2	80	4	
		樓梯 3	80	4	
		樓梯 4	80	1.2	

表 C-22 整棟完成避難所需時間

	避難開始時間	到達直通樓梯之步行時間	通過出口所需時間	樓層完成避難所需時間
情境一	14.09	3.38	1.74	19.21
情境二	14.09	3.38	1.74	19.21
情境三	14.09	3.38	1.87	19.34
情境四	14.09	3.38	1.74	19.21
情境五	14.09	3.38	2.45	19.92

1.5 模擬計算人數：3000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 3000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 樓層完成避難所需時間

樓層完成避難時間為樓層開始避難時間、步行時間及通過出口時間的加總，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 C-23~C-27 所示。

表 C-23 樓層開始避難時間

	樓層總樓地板面積(m ²)	樓層開始避難時間(min)
全情境	1271.16	4.19

表 C-24 到達直通樓梯時間

	最長步行距離(m)	到達直通樓梯之最長步行時間(min)
全情境	40.98	0.68

表 C-25 有效流動係數

	樓梯編號	可滯留面積(m ²)	必要滯留面積(m ² /人)	可滯留人數((m ²)/人)	避難人數(人)	有效流動係數(人/m*min)
情境一	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	410.97	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	1291.26	90
	樓梯 3	528.99		1763.3	1093.47	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	204.3	90
情境二	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	406.17	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	1276.17	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	1115.76	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	201.9	90
情境三	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	406.17	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	1276.17	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	1115.76	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	201.9	90
情境四	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	406.17	90

	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	1276.17	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	1115.76	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	201.9	90
情境五	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	426.09	90
	樓梯 2	590.34	0.3	1967.8	1265.19	90
	樓梯 3	511.82		1706.07	1096.89	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	211.8	90

表 C-26 通過出口時間

	避難總人數(人)	樓梯編號	有效流動係數(人/m ² *min)	樓梯出口寬度(m)	通過出口時間(min)
情境一	3000	樓梯 1	90	3.6	2.14
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	4	
		樓梯 4	90	3.1	
情境二	3000	樓梯 1	90	3.6	2.01
		樓梯 2	90	4.85	

		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境三	3000	樓梯 1	90	3.6	2.01
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境四	3000	樓梯 1	90	3.6	2.01
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境五	3000	樓梯 1	90	3.6	2.66
		樓梯 2	90	2.85	
		樓梯 3	90	3	
		樓梯 4	90	3.1	

表 C-27 樓層完成避難所需時間

	避難開始時間	到達直通樓梯之步行時間	通過出口所需時間	樓層完成避難所需時間
情境一	4.19	0.68	2.14	7.41
情境二	4.19	0.68	2.01	6.88
情境三	4.19	0.68	2.01	6.88
情境四	4.19	0.68	2.01	6.88
情境五	4.19	0.68	2.66	7.53

2. 整棟完成避難所需時間

整棟完成避難時間為整棟開始避難時間、步行時間及通過出口時間的加總，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 C-28~C-32 所示。

表 C-28 樓層開始避難時間

	樓層總樓地板面積(m ²)	樓層開始避難時間(min)
全情境	6916.07	14.09

表 C-29 到達地面時間

	最長步行距離(m)	到達直通樓梯之最長步行時間(min)
全情境	150.78	3.38

表 C-30 有效流動係數

	樓梯編號	可滯留面積(m ²)	必要滯留面積(m ² /人)	可滯留人數((m ²)/人)	避難人數(人)	有效流動係數(人/m*min)
情境一	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	410.97	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	1291.26	80
	樓梯 3	2362.1		7873.67	1093.47	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	204.3	80
情境二	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	406.17	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	1276.17	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	1115.76	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	201.9	80
情境三	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	406.17	80

	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	1276.17	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	1115.76	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	201.9	80
情境四	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	406.17	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	1276.17	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	1115.76	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	201.9	80
情境五	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	426.09	80
	樓梯 2	1845.2	0.3	6150.67	1265.19	80
	樓梯 3	2242.88		7476.27	1096.89	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	211.8	80

表 C-31 通過出口時間

	避難總人數(人)	樓梯編號	有效流動係數(人/m*min)	樓梯出口寬度(m)	通過出口時間(min)
情境一	3000	樓梯 1	80	1.2	2.6
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境二	3000	樓梯 1	80	1.2	2.6
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境三	3000	樓梯 1	80	1.2	2.8
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	5	
		樓梯 4	80	1.2	
情境四	3000	樓梯 1	80	1.2	2.6

		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境五	3000	樓梯 1	80	1.2	3.61
		樓梯 2	80	4	
		樓梯 3	80	4	
		樓梯 4	80	1.2	

表 C-32 整棟完成避難所需時間

	避難開始時間	到達直通樓梯之步行時間	通過出口所需時間	樓層完成避難所需時間
情境一	14.09	3.38	2.6	20.07
情境二	14.09	3.38	2.6	20.07
情境三	14.09	3.38	2.8	20.27
情境四	14.09	3.38	2.6	20.07
情境五	14.09	3.38	3.61	21.08

1.6 模擬計算人數：4000 人

本節假設當火災發生時逃生人數共 4000 人，且有電扶梯故障處於維修狀態而不得使用的情形，情境說明請見 1.1 節。

1. 樓層完成避難所需時間

樓層完成避難時間為樓層開始避難時間、步行時間及通過出口時間的加總，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 C-33~C-37 所示。

表 C-33 樓層開始避難時間

	樓層總樓地板面積(m ²)	樓層開始避難時間(min)
全情境	1271.16	4.19

表 C-34 到達直通樓梯時間

	最長步行距離(m)	到達直通樓梯之最長步行時間(min)
全情境	40.98	0.68

表 C-35 有效流動係數

	樓梯編號	可滯留面積(m ²)	必要滯留面積(m ² /人)	可滯留人數((m ²)/人)	避難人數(人)	有效流動係數(人/m*min)
情境一	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	547.96	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	1721.68	90
	樓梯 3	528.99		1763.3	1457.96	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	27.24	90
情境二	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	541.56	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	1701.56	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	1487.68	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	269.2	90
情境三	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	541.56	90
	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	1701.56	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	1487.68	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	269.2	90
情境四	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	541.56	90

	樓梯 2	624.68	0.3	2082.27	1701.56	90
	樓梯 3	546.16		1820.53	1487.68	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	269.2	90
情境五	樓梯 1	198.82	0.25	795.28	568.12	90
	樓梯 2	590.34	0.3	1967.8	1686.92	90
	樓梯 3	511.82		1706.07	1462.52	90
	樓梯 4	98.84	0.25	395.36	282.4	90

表 C-36 通過出口時間

	避難總人數(人)	樓梯編號	有效流動係數(人/m ² *min)	樓梯出口寬度(m)	通過出口時間(min)
情境一	4000	樓梯 1	90	3.6	2.86
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	4	
		樓梯 4	90	3.1	
情境二	4000	樓梯 1	90	3.6	2.69
		樓梯 2	90	4.85	

		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境三	4000	樓梯 1	90	3.6	2.69
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境四	4000	樓梯 1	90	3.6	2.69
		樓梯 2	90	4.85	
		樓梯 3	90	5	
		樓梯 4	90	3.1	
情境五	4000	樓梯 1	90	3.6	3.54
		樓梯 2	90	2.85	
		樓梯 3	90	3	
		樓梯 4	90	3.1	

表 C-37 樓層完成避難所需時間

	避難開始時間	到達直通樓梯之步行時間	通過出口所需時間	樓層完成避難所需時間
情境一	4.19	0.68	2.86	7.73
情境二	4.19	0.68	2.69	7.56
情境三	4.19	0.68	2.69	7.56
情境四	4.19	0.68	2.69	7.56
情境五	4.19	0.68	3.54	8.41

2. 整棟完成避難所需時間

整棟完成避難時間為整棟開始避難時間、步行時間及通過出口時間的加總，計算公式參照本附錄第一節，並將計算結果整理如表 C-38~C-42 所示。

表 C-38 樓層開始避難時間

	樓層總樓地板面積(m ²)	樓層開始避難時間(min)
全情境	6916.07	14.09

表 C-39 到達地面時間

	最長步行距離(m)	到達直通樓梯之最長步行時間(min)
全情境	150.78	3.38

表 C-40 有效流動係數

	樓梯編號	可滯留面積(m ²)	必要滯留面積(m ² /人)	可滯留人數((m ²)/人)	避難人數(人)	有效流動係數(人/m*min)
情境一	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	547.96	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	1721.68	80
	樓梯 3	2362.1		7873.67	1457.96	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	27.24	80
情境二	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	541.56	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	1701.56	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	1487.68	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	269.2	80
情境三	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	541.56	80

	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	1701.56	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	1487.68	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	269.2	80
情境四	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	541.56	80
	樓梯 2	1944.55	0.3	6481.83	1701.56	80
	樓梯 3	2379.77		7932.57	1487.68	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	269.2	80
情境五	樓梯 1	329.78	0.25	1319.12	568.12	80
	樓梯 2	1845.2	0.3	6150.67	1686.92	80
	樓梯 3	2242.88		7476.27	1462.52	80
	樓梯 4	237.39	0.25	949.56	282.4	80

表 C-41 通過出口時間

	避難總人數(人)	樓梯編號	有效流動係數(人/m*min)	樓梯出口寬度(m)	通過出口時間(min)
情境一	4000	樓梯 1	80	1.2	3.47
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境二	4000	樓梯 1	80	1.2	3.47
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境三	4000	樓梯 1	80	1.2	3.73
		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	5	
		樓梯 4	80	1.2	
情境四	4000	樓梯 1	80	1.2	3.47

		樓梯 2	80	6	
		樓梯 3	80	6	
		樓梯 4	80	1.2	
情境五	4000	樓梯 1	80	1.2	4.81
		樓梯 2	80	4	
		樓梯 3	80	4	
		樓梯 4	80	1.2	

表 C-42 整棟完成避難所需時間

	避難開始時間	到達直通樓梯之步行時間	通過出口所需時間	樓層完成避難所需時間
情境一	14.09	3.38	3.47	20.94
情境二	14.09	3.38	3.47	20.94
情境三	14.09	3.38	3.73	21.2
情境四	14.09	3.38	3.47	20.94
情境五	14.09	3.38	4.81	22.28