

使用Unity軟體進行建築物火災疏散模擬之研究

*邱勇標 (Yung-Piao Chiu)

華夏科技大學數位媒體設計系

中華大學科技管理博士班

賴淑貞 (Shu-Chen Lai)

中華大學營建管理學系

蕭炎泉 (Yan-Chyuan Shiau)

中華大學營建管理學系

摘要

建築物當發生火災時，居民能否及時順利的自火場疏散，是保護人員生命及財產安全的重要課題。本文以文獻回顧探索我國火災相關法規、火災發生之過程、及疏散時間之計算方式等，並彙整目前較常被使用的相關火災模擬軟體，並嘗試以Unity軟體建構火災模擬模型，針對不同之開口尺寸及位置、人數、及年齡等變數做調整，以求得各不同條件下人員疏散所需之時間。本研究獲致之模擬結果，與其他學者使用其他火災模擬軟體所獲得之結果相當吻合，顯示Unity軟體可供用於防災模擬之用。本軟體也可以輸出成行動平台模式，置入手機或平板中，方便於現場依傢俱擺設作設定，以模擬人員疏散情形。

關鍵詞：火災疏散模擬、開口尺寸、Unity、疏散時間

Study on Simulating Building Fire Evacuation Using Unity Software

Abstract

In the event of a building fire, whether occupants can promptly and effectively evacuate is a matter of life and death. After reviewing relevant literature, the laws and regulations pertinent to firefighting in Taiwan, the fire outbreak process, and simulated evacuation times were explored. Several popular sets of fire simulation software were compared, and the Unity software was used to reconstruct a simulated fire model. Various parameters were manipulated, such as the sizes and locations of exits and crowd sizes and ages, to estimate the amounts of time needed for evacuation in various conditions. The results were consistent with those of other simulation software studies, demonstrating the efficacy of Unity as a tool for disaster prevention simulation. The models constructed using the software can be exported to mobile devices, enabling convenient on-scene furniture relocation by using mobile phones or tablet computers during evacuation scenario simulations.

Keywords: Fire Evacuation Simulations, Exit Size, Unity, Evacuation Time

一、前言

國內近年來公共場所發生多次重大的火災事故，造成許多人員在生命財產上有莫大的損失，例如1995年台中市衛爾康西餐廳發生大火，由於火源在主樓梯旁邊，因此造成64死11傷的慘劇；2011年位於台中市阿拉夜店，因為表演人員甩火不慎，加上室內燈光昏暗，使人員無法迅速離開現場，而造成9死12傷的慘劇。當火災發生時，若建築物內的空間規劃不當而讓人員無法快速疏散，往往會造成許多人員傷亡，因此如何使人員以最安全、快速的方式離開建築物，是一項很重要的課題。

二、火災相關法規

我國現有之防災相關法令，如建築技術規則[1]、各類場所消防安全設備設置標準[2]等法令中，對於建築物之規模與用途而做出各種不同之規定。目前建築防災相關法規體系，大致有下列兩類法令：

2.1 建管法令

「建築技術規則」內與建築防災有關的規定主要有兩個部份：

1. 「建築設計施工篇」：係以建築物之防火、防火避難設施及消防設備之設置等規定為主。
2. 「建築設備篇」：針對消防栓設置、自動撒水設備、火警自動警報器等防火設備訂定其規格與性能之標準。

2.2 消防法令

我國主要之消防法令為「消防法」[3]與「消防法施行細則」[4]，其內容大多為定義消防工作範圍與主管之機構、火災預防方式、災害搶救等。為了因應目前世界各國大多施行消防單行法，我國於1989年發布「各類場所消防安全設備設置標準」，該標準是依據「建築技術規則」中有關消防設備之設置、規格及性能等架構下將其合併，以彌補「建築技術規則」中不足之部分。

三、火災發生過程

一般火災發生之過程大致可分為五個階段（如圖1所示），從一開始火源著火之「起火期」、火焰延燒之「成長期」、局部燃燒瞬間擴大成全面燃燒之「閃燃」階段、火勢全面燃燒之「全盛期」及從嚴重燒損到熄火之「衰退期」[5]。

1. 起火期（Initial Fire）：造成起火之原因很多，通常有香煙、火柴引起之失火，或因電氣過熱，與來自鄰接構造物的延燒等火源。火災自「火源」開始，通常須經由「第一著火物」，甚至「第二著火物」之著火、燃燒、火焰傳播，始能成災（即「起火」之確定）。
2. 成長期（Fire Growth）：當材料被引燃著火形成局部之火焰，可藉傳導

(conduction)、對流(convection)、輻射(radiation)等熱傳方式對其它可燃物加熱，使整個房間的溫度上昇，加速火災居室內其它可燃物之焦化裂解，助長燃燒並形成延燒(flame spread)，該階段稱為成長期。

3. 閃燃(flashover)：隨著溫度的升高，對其它可燃物的加熱方式由最初的對流效應轉變為由輻射效應所主導。因火勢持續成長，火焰會逐漸增大且煙層高度逐漸降低，並增加向下的輻射熱強度。本階段增加的輻射熱不只增加可燃物的燃燒速度，相對的也增加未燃物熱裂解為可燃蒸氣的產生。當大量可燃性蒸氣與空氣混合至燃燒界限內，且溫度已達多數可燃物著火點以上時，火勢迅速從局部性燃燒轉變成全面性燃燒，這種情形稱為閃燃(flashover)。
4. 全盛期(fully developed fire)：從閃燃發生後，火場之火勢旺盛、溫度持續在高溫的時間，稱為全盛期或穩定燃燒期(steady state combustion)，全盛期中各可燃物品全面起火燃燒，燃燒速度急增，釋放大量熱能。
5. 衰退期(fire decay)：當可燃物逐漸燃燒完畢，室內火勢即逐漸轉弱進入衰退期。本期火勢變小，溫度逐漸降低，直到最後完全熄滅為止。

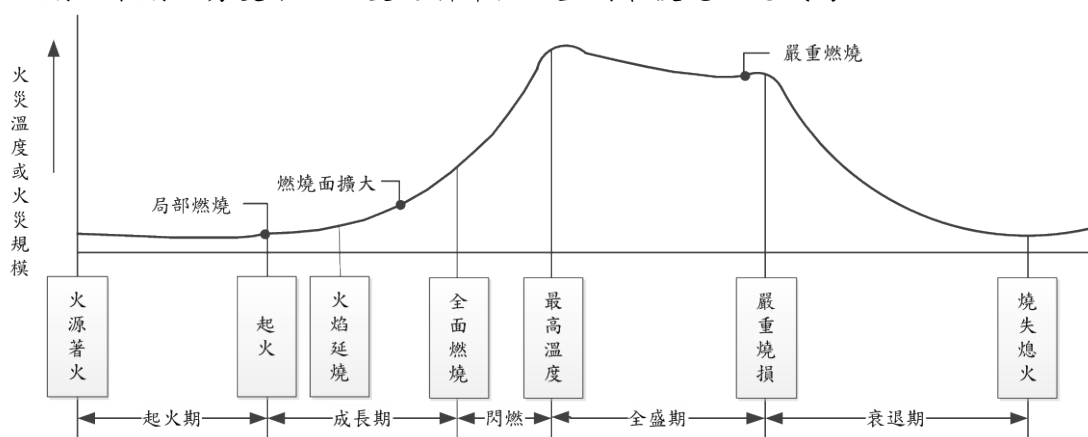


圖1、火災成長過程示意圖

四、疏散時間

在火災事故發生時，人員從建築物內及時疏散到達安全地帶是減小傷亡事故的重要保證。建築物內人員的疏散時間一般分為預先反應時間和移動時間[6]。其中移動時間的計算受制於疏散時所經通道不同而有不同的計算方法，然而在恐慌狀態下人群容易在出口處發生擁塞現象，使得移動時間難以精確計算。疏散時間的計算公式基本上都是根據大量的實際觀測所獲得的經驗公式，透過軟體對疏散過程做模擬雖然也可以得到疏散時間，但是對於不同建築物採用不同模擬軟體往往會得到不同的結果[7]，因此軟體模擬基本上還是輔助手段。

在避難時間的計算中，國內外有很多學者做過相關研究，其研究方法主要分為影帶目視觀察、問卷調查以及實地演練，在取得相關數據後再推導相關經驗公式。目前以日本學者Togawa所提出的避難時間公式較為廣泛使用[8]，而該理論之簡化公式(1)所示[7]：

表建築物內的不同的廳、室、通道、樓梯間、安全出口以及其他的空間部分，模型將室外或建築內的其他安全地點定義為目標節點。

2. FDS+Evac：FDS(Fire Dynamics Simulator)，是由美國國家標準與科技研究所(National Institute of Standard and Technology；NIST)發展之火場模擬軟體。FDS可以計算三維空間之火災行為，它的計算方式是先將整個空間分割成許多小的格點，再以質量、動量、能量、燃燒與熱傳求解。當計算完成後再利用後處理軟體 SmokeView [9]將流場做靜態或動態的可視化輸出。
3. building EXODUS：building EXODUX是由英國格林威治大學火災安全工學小組所研發，利用避難者、動作、行動、有毒性、行為模型等技術控制模擬，這五個相互作用的子模型在已經定義好的室內空間動作。內部的形狀包含在節點網格內，節點通過圓弧系統連接。
4. Simulex：Simulex為英國 Fire Safety Group所研發高層建築物避難的動態模擬程式，使用人員間的距離來決定步行的速度，該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。Simulex本身為二維空間之模擬程式，因此在模擬高樓層避難時，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，Simulex也蒐集了大量的資料模擬人員在上下樓層時速度的差別，以確實的模擬人員在高樓層避難時之行為與特性。

六、Unity軟體

Unity軟體是一個支援多平台、可簡易操作的遊戲開發工具，包含了強而有力的引擎，可充分整合專業應用技術，可開發執行於PC、Mac、iOS、Android的手機或平板電腦的遊戲。Unity也可用於開發PS3、XBox360、Wii等主機的遊戲。Unity提供人性化的操作介面，支援PhysX物理引擎、粒子系統，並且提供網路多人連線的功能，不需學習複雜的程式語言，大幅降低遊戲開發的門檻。使用Unity可以縮短遊戲的開發時間，降低遊戲的製作成本。

七、使用Unity建立火災模擬場景

本研究使用Unity軟體中之Navigation功能，來設定模擬空間內避難人員的相關屬性。該功能會自行運算移動物件到達目標的最短路徑，在圖2中，藍色區域為物件可以自行移動之區域，綠色為障礙物(圖中為牆壁)，在該障礙物周圍的白色區域，被設定為肩膀寬度的一半(25公分)的非行走區，以控制物件移動的範圍。

另軟體中的Inspector Panel，其主要功能為用來調整物件、資源和編輯偏好的設定，本Panel可將本研究中的靜態物件(static object，包含牆壁、桌子等)納入導航網格(Navigation Mesh)中去運算(如圖3所示)，可供用來設定移動物件(避難人員)的肩寬(Radius)、移動速度(Speed)、加速度(Acceleration)、角速度(Angular Speed)等，以模擬在火災發生時人員實際避難逃生的情形。本軟體設計之可移動物件，在執行移動模擬時，如果有兩個以上的目標物出現時，所有可物件會分別往該物

件距離最近的目標物移動，以反映實際火災發生時，人員往近距離逃生口避難的情景(如圖4所示)。

本軟體中之物件檢查器(Inspector)允許使用者直接設定物件之相關屬性，包含位置、旋轉角度、尺寸等，如圖5為某一桌子物件的大小、角度及位置的設定視窗，其單位為公尺。本研究設計了數個參數及執行模板，當執行疏散模擬時，可以在視窗中(如圖6所示)直接輸入老年、成人、兒童的人數，並自行放置人員位置，當按下「Start」鍵時，所有人員會繞過障礙物往最近的出口移動，等最後一位人員離開空間時，計時器即停止(10.70秒)，若按下「Again」按鈕時，系統將以同樣人數、位置，重新執行疏散模擬，相當方便。本軟體也可以輸出成行動平台模式，置入手機或平板中，方便於現場依傢俱擺設作設定，以模擬人員疏散情形。

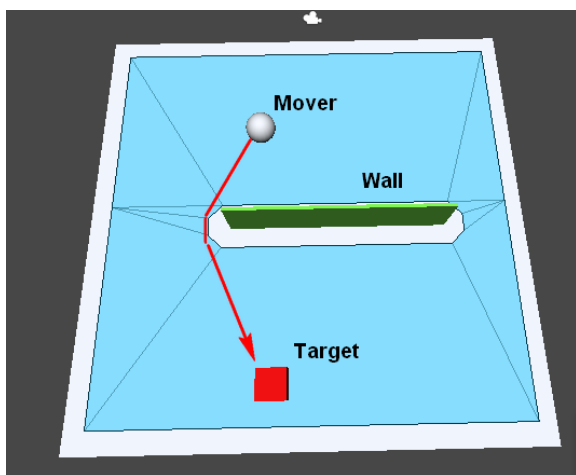


圖2、移動物件可移動範圍之設定

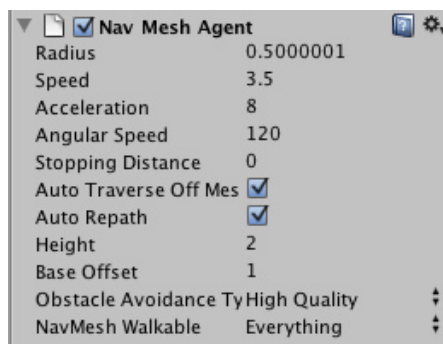


圖3、在Nav Mesh Agent中輸入參數以決定人員的移動情形

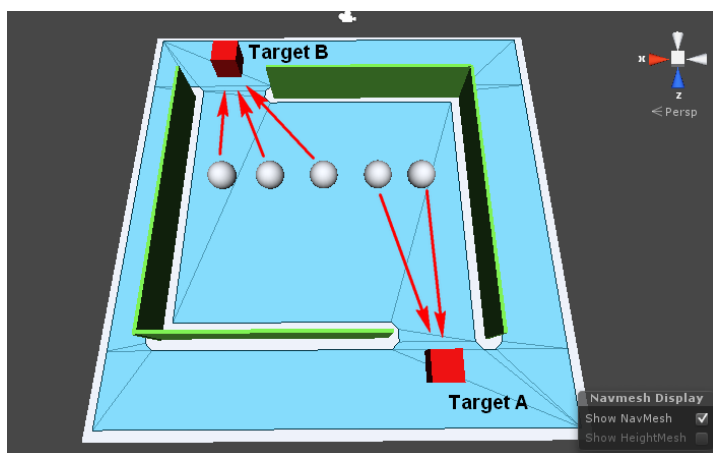


圖4、物件往較近之目標移動圖示

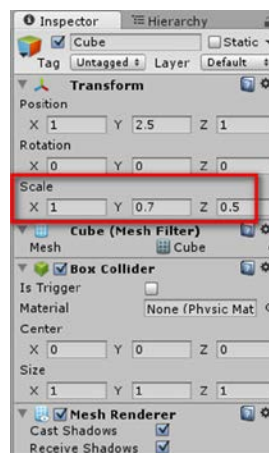


圖5、物件檢查器視窗

八、相關火災模擬結果

本研究以一般學校教室為場景，模擬學生遇到火災時之疏散情形。教室之門有雙扇(各寬度90cm)、單扇(寬度從100cm-180cm)，人數自20人到60人，人員有年輕人、小孩及年長者三種，在調整不同參數時，其餘環境條件之組合都維持不變，

以求得單一變數之調整對疏散時間的影響。

在使用Unity軟體進行建模時(如圖7所示)，本研究以一教室建築(尺寸為10.7M*7.7M，如圖8所示)為範例，建立本文使用之物件模型(如圖9所示)，本研究以公式(1)計算，並且試圖調整Unity中各參數之數值(如圖10所示)，以求得與公式(1)較接近之設定值。表1為經過調整後，以1M寬度、不同人數所模擬之疏散時間，與公式(1)之比較表，顯示模擬結果與計算結果相當程度的吻合。

表2為本研究針對教室人數自10人至70人，門寬自100公分至180公分之模擬結果(模擬過程如圖11所示)，結果呈現本研究使用Unity軟體能有效的模擬火災逃生時間，經驗證本研究之模擬時間與公式(1)之計算值非常接近，可用於火場人員疏散時間計算之用。在模擬過程中，本研究發現專案中時間的計算需使用固定性時間計算方式(如圖12所示)，不能使用浮動式計算，計算之時間才會準確。本軟體也可以輸出成行動平台模式，置入手機或平板中(如圖13 所示)，方便於現場依傢俱擺設作設定，以模擬人員疏散情形。

表 1 從公式計算之疏散時間及模擬結果之比較表

| | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 人數 (人) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| 計算值 (秒) | 25 | 33 | 41 | 49 | 57 | 65 | 73 |
| 模擬結果 (秒) | 14.20 | 28.57 | 38.35 | 49.32 | 54.56 | 65.38 | 72.45 |

表2 本研究已經建構之模擬結果

| 門寬(公分) 人數(人) | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180 |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 14.2 | 13.42 | 12.52 | 12.28 | 12.34 | 13.56 | 13.46 | 12.1 | 13.16 |
| 20 | 28.57 | 23.21 | 22.21 | 21.19 | 19.14 | 19.53 | 19.38 | 18.32 | 16.35 |
| 30 | 38.35 | 26.08 | 25.36 | 25.02 | 25.11 | 25.29 | 24.59 | 24.14 | 23.38 |
| 40 | 49.32 | 44.13 | 41.47 | 39.28 | 36.25 | 37.17 | 35.45 | 33.51 | 32.18 |
| 50 | 54.56 | 53.13 | 51.39 | 50.12 | 51.02 | 48.16 | 47.19 | 47.1 | 39.58 |
| 60 | 65.38 | 61.57 | 59.21 | 57.48 | 57.23 | 55.53 | 55.26 | 54.49 | 52.04 |
| 70 | 72.45 | 70.21 | 69.29 | 67.21 | 67.18 | 66.15 | 62.33 | 59.49 | 59.5 |

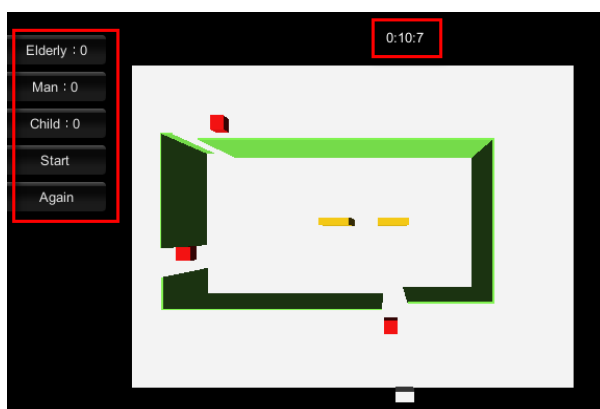


圖6、火災疏散模擬執行畫面

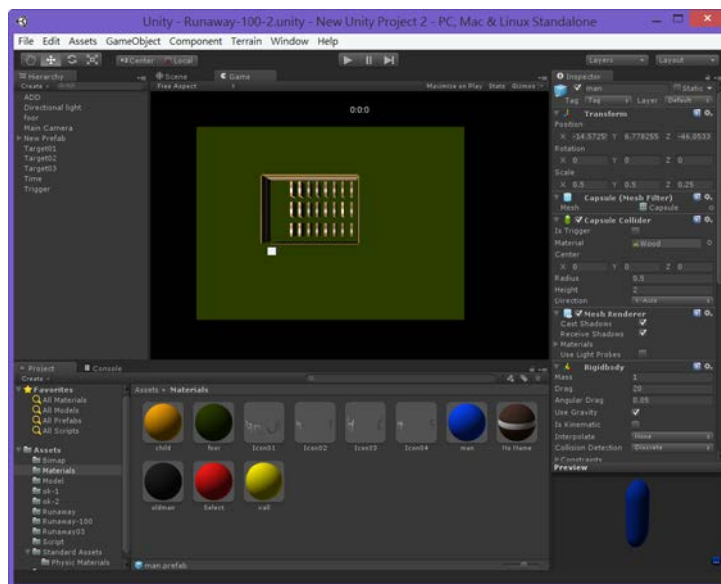


圖7、使用Unity來設定及執行疏散模擬之畫面

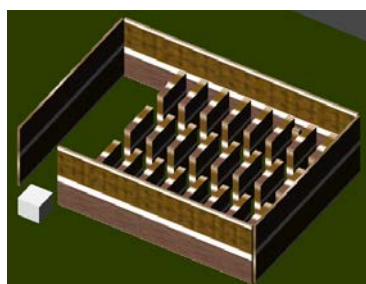


圖8、本研究用來執行疏散模擬用之教室

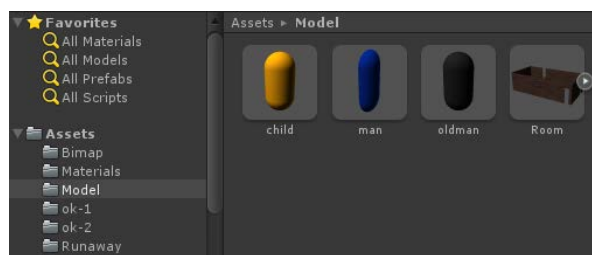


圖9、本研究所建構疏散模擬使用之物件

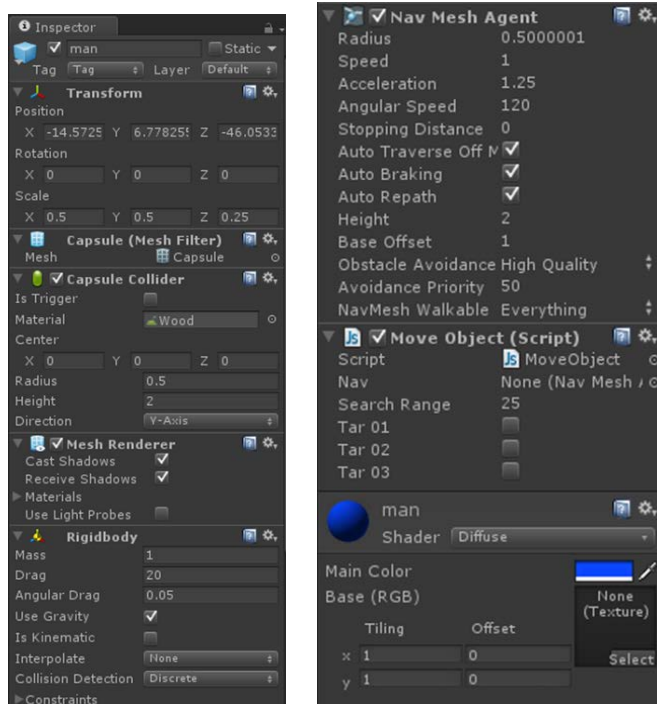


圖10、Unity用來設定物件屬性之Inspector視窗

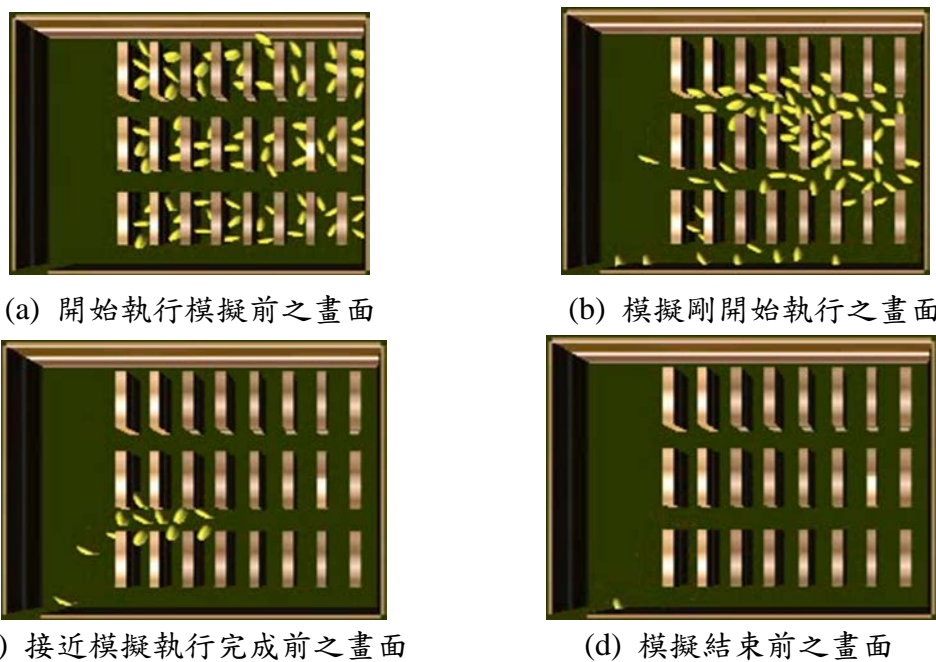


圖11、火災疏散模擬步驟之畫面

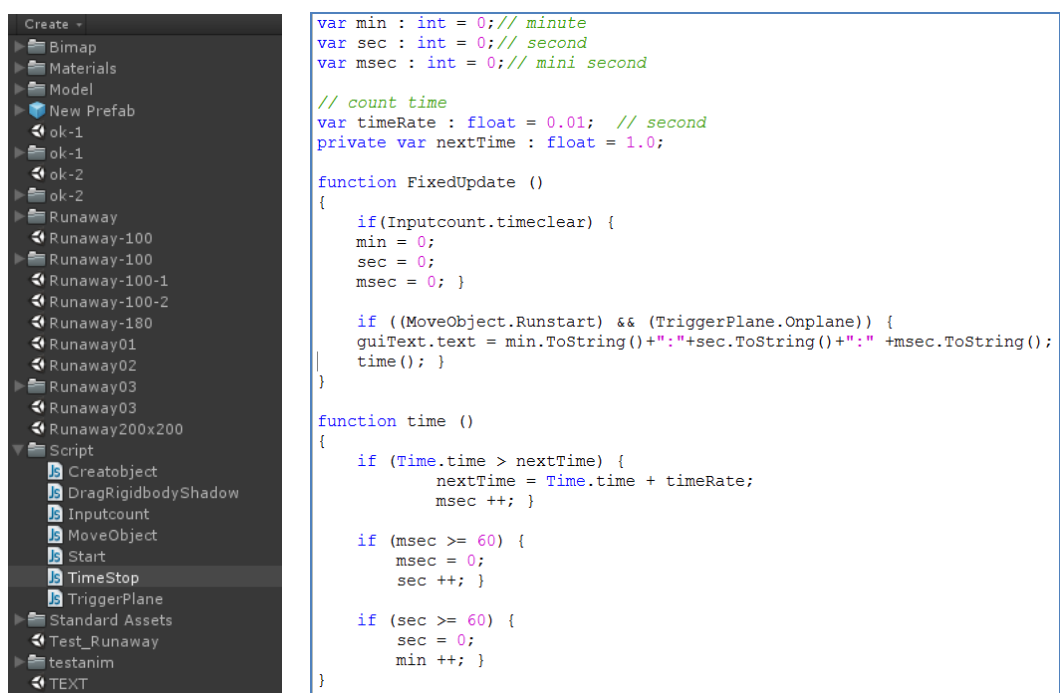


圖12、TimeStop 子程序設定之畫面

九、結論

本研究以Unity軟體為工具，透過物件Navigation之功能，來模擬火災發生時，火場人員的疏散情形，獲致結果如下：

1. 門寬對於人員疏散時間的影響中，結果顯示當寬度越小時，對於人員疏散時間有很大的變化，但當寬度增加至一定程度時，其時間卻漸漸處於一個定值沒有太大的變化。

2. 逃生人數對逃生時間有影響，即人數越多所需時間越長，但是當人數降到某數值以下時，其影響則甚小。

在被設定的三種人物中，以成人之逃生速度最快、小孩次之、老年人所需時間最長，顯示年長者使用之建築，其防火安全性需求更高。



圖13、將模擬執行軟體發佈到平板電腦及智慧型手機上

十、參考文獻

1. 內政部營建署,「建築技術規則」,2014
2. 內政部消防署,「各類場所消防安全設備設置標準」,2014
3. 內政部消防署,「消防法」,2014
4. 內政部消防署,「消防法實施細則」,2014
5. 陳博文,「防災、消防設備技術」千華數位文化,2005
6. Spearpoint M. The effect of pre-evacuation distributions on evacuation times in simulex model. *Journal of Fire Protection Engineering*. 2004, (14): 12-14.
7. 周愛桃、景國勛、魏平儒、段振傳, L型房間單元人員疏散探討, *中國安全科學學報*, 2006 PP.28-31
8. Chou I. T., Ging G. S., Wei P. R. and Duan J. C., Study on evacuation in a L-shape room, *Journal of China Security Science*, 28-31 (2006)
9. Togawa K. Study of Fire Escapes Basing on the Observations of Multiple Currents. Tokyo: Report No.14, Building Research Institute, Ministry of Construction, Japan, 1995
10. Glenn P. Forney, Kevin B. and McGrattan, “User’s Guide for Smokeview (Version 4)- A Tool for Visualizing Fire Dynamics Simulation Data”, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6980, 2004