

國立臺灣大學工學院土木工程學系



碩士論文

Department of Civil Engineering  
College of Engineering  
National Taiwan University  
Master Thesis

結合 BIM 及時程資訊以偵測建築營建階段軟衝突  
之研究

Soft-Conflict Detection in Building Construction Stage  
Using BIM and Schedule Information

李炯興

Lee, Jeong-Shing

指導教授：陳柏翰 博士

Advisor: Chen, Po-Han, Ph.D.

中華民國 102 年 6 月

June 2013



# 國立臺灣大學碩士學位論文

## 口試委員會審定書

結合 BIM 及時程資訊以偵測建築營建階段軟衝突之研究

Soft-Conflict Detection in Building Construction Stage Using BIM and Schedule Information

本論文係李炯興君 (R00521706) 在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國 102 年 6 月 4 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明

口試委員：

陳 柏 翰

(指導教授)

郭 斯 傑

張 陸 滿

楊 亦 東

系主任

呂 良 正

陳柏翰

郭斯傑

張陸滿

楊亦東

呂良正

(簽名)



## 誌謝

兩年了，這本論文，努力的一切終於完成，感謝一路上指導我、鼓勵我、相互扶持的各位。感謝指導老師陳柏翰教授，感謝老師從大學以來的指導，每次的討論都一次腦力激盪與成長。感謝郭斯傑教授、張陸滿教授、楊亦東教授擔任口試委員，指正論文中的缺失與建議。

感謝博士班葛良駿學長、彭祖德學長、蔡英聖學長、蘇昭龍學長於研究過程中的討論與教導，讓論文的架構越來越具體，方向越來越清楚，感謝各位學長的協助。

感謝營管組碩二的各位夥伴，溫哥、雅婷、小緋、文傑、居居、阿干、憲曜、育群、育杰、曉群、柏宇、宗翰。兩年來，大家一起嘻笑玩鬧，生日砸派、喝酒吃飯、畢業旅行，每次的聚會、出遊都是值得一再回味的回憶，慶幸遇見你們，讓我的研究所生活充滿笑聲。

最後，感謝甜甜這幾年的陪伴，陪伴我鼓勵我，忍受我在論文完成過程中的情緒，陪我走過這段路，謝謝妳。



## 摘要

建築工程中主要區分為土木工程與機電工程兩大項，而土木工程與機電工程存在許多介面需要整合，諸如管線預留孔、設備進場動線等，簡單將機土介面衝突分為硬衝突與軟衝突，硬衝突為空間上確實存在衝突，如管線配置於同一空間；軟衝突為空間上無實際衝突，但無足夠的施作空間或施作時動線受到阻礙。倘若於施作期間的介面整合上有疏忽，不論是硬衝突或軟衝突的發生，都會導致土木工程成本與時間上的損失，甚至是日後工程糾紛的產生。

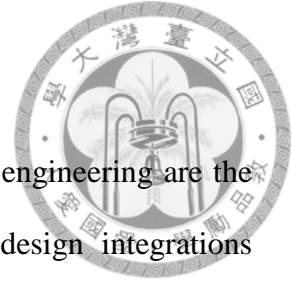
Build Information Modeling(BIM) 是近年來工程發展之趨勢，BIM 模型除了能達到工程設計具體化外，亦可輸出材料明細表進行材料使用量計算，或套入相關 BIM 軟體進行相關檢測分析，如日照模擬、4D 展示。

工程管理上多使用 Microsoft Project 或 Primavera P3/P6 進行施工時程規劃，目前既有套裝軟體在讀取 BIM 模型與時程資訊後，於 4D 展示上需有模型與時程資訊間的鍵結關係，因此需於 BIM 模型中輸入鍵結資訊。

本文基於 BIM 模型中與時程資訊之鍵結資訊，提出以 BIM 模型結合排程軟體所建立之時程資訊，進行工程營建階段軟衝突的自動化偵測，讓使用者於 BIM 模型建立及施工排程作業完畢後，可即時偵測模型中存在軟衝突之機電設備為何，於施作前就先進行修正，以減少日後介面衝突產生的損失與糾紛。

**關鍵字：**機土介面整合、軟衝突、自動化、Build Information Modeling(BIM)、4D

## ABSTRACT



Construction engineering and mechanical & electrical (M&E) engineering are the two major works in a construction project which needs many design integrations including the considerations of pipe pre-reserved hole and mechanical equipment's moving route to ensure no conflicts between the two could occur. The interface conflicts between construction engineering and M&E engineering can be separated into two types: hard conflict and soft conflict. Hard conflict is defined as spatial conflict between or among building objects, while soft conflict is defined as the conflict without having enough working space to be constructed or moved. Both of the two conflicts will cause increase in construction cost and project duration, in some cases, it even generates disputes between constructors and contractors.

Building Information Modeling (BIM) is now a developing trend in construction industry. BIM can make the virtual building design into visualization, and with the abundant building information in BIM, it can be integrated with other BIM-related software to conduct different analysis including energy and 4D simulation. In schedule planning, project managers usually use Microsoft Project or Primavera P3/P6 software. However, if project adopts 4D simulation software (Autodesk Navisworks or Bentley Schedule Simulation), the linkage information between BIM and schedule has to be created in the 4D software .

This study is based on the linkage information between BIM and schedule information. User can use this program to do soft conflict detection when he finished BIM model and schedule. It can help designer find problem in design step and to correct his design to reduce interface conflict, project cost, and dispute in the future.

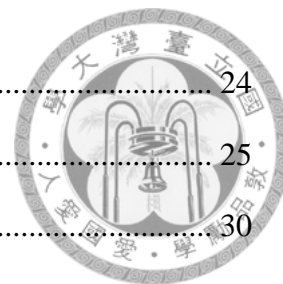
**Keyword :** Interface Integration, Soft Conflict, Automation, BIM, Schedule

# 目錄



口試委員會審定書 .....	I
誌謝 .....	II
摘要 .....	III
ABSTRACT .....	IV
目錄 .....	V
圖目錄 .....	VII
表目錄 .....	X
第一章 緒論 .....	1
1.1 背景 .....	1
1.2 動機與目的 .....	4
1.3 研究範圍 .....	6
1.4 研究流程 .....	7
第二章 文獻回顧 .....	9
2.1 機土介面 .....	9
2.2 建築資訊模型 BIM 介紹 .....	10
2.3 BIM 應用於 4D 規劃管理 .....	14
2.4 BIM 應用於工程介面管理 .....	18
第三章 研究用之軟體介紹 .....	19
3.1 Microsoft Visual Studio 2010 .....	19
3.2 .Net Framework 概觀 .....	20
3.3 Autodesk Revit 2013 .....	21

3.4 Revit API .....	24
3.5 Microsoft Project 2010 .....	25
第四章 概念性系統開發 .....	30
4.1 Autodesk Navisworks & Bentley Schedule Simulation .....	30
4.2 BIM 模型物件與時程資訊對應關係建立 .....	35
4.3 系統架構圖 .....	36
4.4 自動判讀空間內是否擁有機電設備 .....	38
4.5 自動判讀物件是否存在軟衝突 .....	41
4.6 附著於牆面上的窗與門讀取 .....	41
第五章 系統驗證與應用 .....	44
5.1 系統驗證 .....	44
5.2 系統應用 .....	50
章 結論與建議 .....	59
6.1 結論 .....	59
6.2 建議 .....	60
參考文獻 .....	62



# 圖目錄

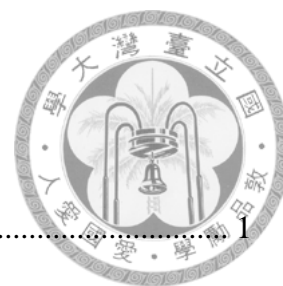
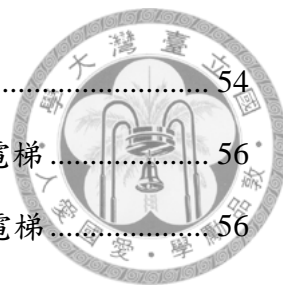


圖 1.1 管線預留孔示意圖 .....	1
圖 1.2 預留設備進場動線示意圖 .....	1
圖 1.3 運用吊具吊送機電設備 .....	2
圖 1.4 建築物預留牆面待機電設備進場 .....	2
圖 1.5 未預留管線預留孔，牆面需重新鑽孔 .....	3
圖 1.6 Autodesk Navisworks 硬衝突偵測結果 .....	4
圖 1.7 建築生命週期各階段設計變更與成本影響圖 .....	4
圖 1.8 研究流程論文架構 .....	7
圖 2.1 Revit 中材料數量統計 .....	11
圖 2.2 Revit 輸出之*.txt 檔材料明細表示意圖 .....	12
圖 2.3 物件修改連動示意圖 .....	12
圖 2.4 物件修改錯誤警訊示意圖 .....	13
圖 2.5 Autodesk Navisworks 操作介面示意圖 .....	14
圖 2.6 Bentley Schedule Simulation 操作介面示意圖 .....	15
圖 2.7 4D 場地配置規劃系統之 3D 模型 .....	15
圖 2.8 4D 場地配置規劃系統之鍵入工項使用者介面 .....	16
圖 2.9 as-built 3D model .....	16
圖 2.10 資源使用情況成果圖 .....	17
圖 3.1 Microsoft Project 行事曆示意圖 .....	25
圖 3.2 Microsoft Project 甘特圖示意圖 .....	26
圖 3.3 Microsoft Project 資源分派示意圖 .....	27
圖 3.4 Microsoft Project 資源撫平設定選項 .....	28
圖 3.5 Microsoft Project 資源撫平示意圖 .....	29



圖 3.6 Microsoft Project 資源過度分派示意圖 .....	29
圖 4.1 Microsoft Project 排程檔案圖例 .....	31
圖 4.2 Bentley Schedule Simulation Animation Producer .....	32
圖 4.3 Navisworks TimeLiner .....	32
圖 4.4 Navisworks TimeLiner .....	33
圖 4.5 Bentley Schedule Simulation Animation Producer .....	33
圖 4.6 BIM 模型中增加之物件資訊.....	35
圖 4.7 系統架構圖 .....	36
圖 4.8 程式執行步驟 .....	37
圖 4.9 選擇時程檔案 .....	37
圖 4.10 物件存在空間內判別示意圖 1 .....	38
圖 4.11 物件存在空間外判別示意圖 2 .....	38
圖 4.12 牆面端點編號示意圖 .....	40
圖 4.13 判斷式圖解說明 .....	40
圖 4.14 門窗讀取問題示意模型 .....	42
圖 4.15 門窗讀取問題修正方法示意模型 .....	43
圖 5.1 虛擬案例模型 .....	44
圖 5.2 虛擬案例之排程資訊 .....	46
圖 5.3 虛擬案例之軟衝突偵測結果 .....	47
圖 5.4 虛擬案例修正後之排程資訊 .....	48
圖 5.5 修正時程資訊後之虛擬案例之軟衝突偵測結果 .....	48
圖 5.6 系統驗證之案例 Revit 模型 .....	50
圖 5.7 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 1 平面圖 .....	51
圖 5.8 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 2 平面圖 .....	51
圖 5.9 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 3 平面圖 .....	52

圖 5.10 系統驗證之案例時程 .....	54
圖 5.11 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 1 平面圖 - 含施工電梯 .....	56
圖 5.12 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 2 平面圖 - 含施工電梯 .....	56
圖 5.13 系統驗證之案例修正 - 加入預留牆 .....	57
圖 5.14 系統驗證之案例時程 - 修正 .....	58



## 表目錄



表 4.1 Autodesk Navisworks 與 Bentley Schedule Simulation 比較表 .....	34
表 4.2 程式讀取物件資訊差異說明 .....	36
表 4.3 示意模型中之物件尺寸 .....	42
表 5.1 虛擬案例模型中之門窗尺寸 .....	45
表 5.2 虛擬案例模型中之機電設備尺寸 .....	45
表 5.3 虛擬案例模型中之軟衝突偵測結果 .....	49
表 5.4 虛擬案例模型中之門窗尺寸 .....	52
表 5.5 虛擬案例模型中之機電設備尺寸 .....	53
表 5.6 驗證案例執行成果 .....	55
表 5.7 驗證案例加入施工電梯執行成果 .....	56



## 第一章 緒論

### 1.1 背景

國內建築工程常分為建築土木、裝修、水電、空調、電梯等，其中主要區分為土木工程與機電工程兩大項，而土木工程與機電工程存在許多介面(機土介面)需要整合，諸如管線預留孔(圖 1.1)、設備進場動線(圖 1.2)等。



圖 1.1 管線預留孔示意圖

(資料來源：岳吉剛，建築工程之介面整合)



圖 1.2 預留設備進場動線示意圖

(資料來源：岳吉剛，建築工程之介面整合)



圖 1.3 運用吊具吊送機電設備



圖 1.4 建築物預留牆面待機電設備進場

一般來說，位於二樓以上的機電設備，或者部分大型機電設備，大多使用吊具吊送，如圖 1.3。而建築物則會先預留某些牆面待機電設備吊送完畢後才將牆面封好，如圖 1.4。

簡單將機土介面衝突分為硬衝突與軟衝突，硬衝突為空間上確實存在衝突，如管線配置於同一空間；軟衝突為空間上無實際衝突，但無足夠的施作空間或施作時動線受到阻礙。倘若於施作期間的介面整合上有疏忽，不論是硬衝突或軟衝突的發生，都會導致土木工程成本與時間上的損失，甚至是日後工程糾紛的產生。以圖 1.2 與圖 1.5 為例，圖 1.2 之軟衝突發生於此牆面預計封牆之時間，應該在裡面的機電設備卻尚未進場，導致此工項施作時間受到延誤。圖 1.5 之衝突為管線通過此牆面，但該牆面施作時卻未預留空間讓管線通過，導致硬衝突產生。



圖 1.5 未預留管線預留孔，牆面需重新鑽孔

(資料來源：岳吉剛，建築工程之介面整合)

不論軟衝突或硬衝突都是機土介面中相當重要的議題，人工判斷難免有所疏失。電腦輔助工程設計隨著科技發展，在工程專案中所占的比例越來越高，電腦化與自動化亦在營建專案日益複雜且龐大的環境中成為趨勢。由 2D 平面的 CAD 繪圖轉為 3D 立體視覺化展示之 BIM(Building Information Modeling) 模型更是近年來工程界的趨勢，國內外各大顧問公司紛紛投入鉅資於此。此外，台北市政府捷運工程局亦於捷運萬大線委託技術服務設計標中提出 BIM 模型建置規定，此案為政府機關首次明文要求設計標案需以 BIM 設計及交付成果。可見 BIM 不只是個趨勢，亦可能成為未來工程標案的必備品。

目前已有 BIM 相關套裝軟體(如 Autodesk Navisworks)可根據 BIM 模型進行管線與管線或管線與結構體間的硬衝突偵測(如圖 1.6)，亦可利用該軟體進行工程施作之 4D 動畫展示。然而，要進行 4D 動畫展示就需要將 BIM 模型中之物件與排程資訊相互連結。因此，於 BIM 建模過程中即可先行加入與該物件相對應之工項資訊，以便日後匯入套裝軟體後進行物件與時程資訊的連接，詳細說明請參照本文 4.1 Autodesk Navisworks & Bentley Schedule Simulation。

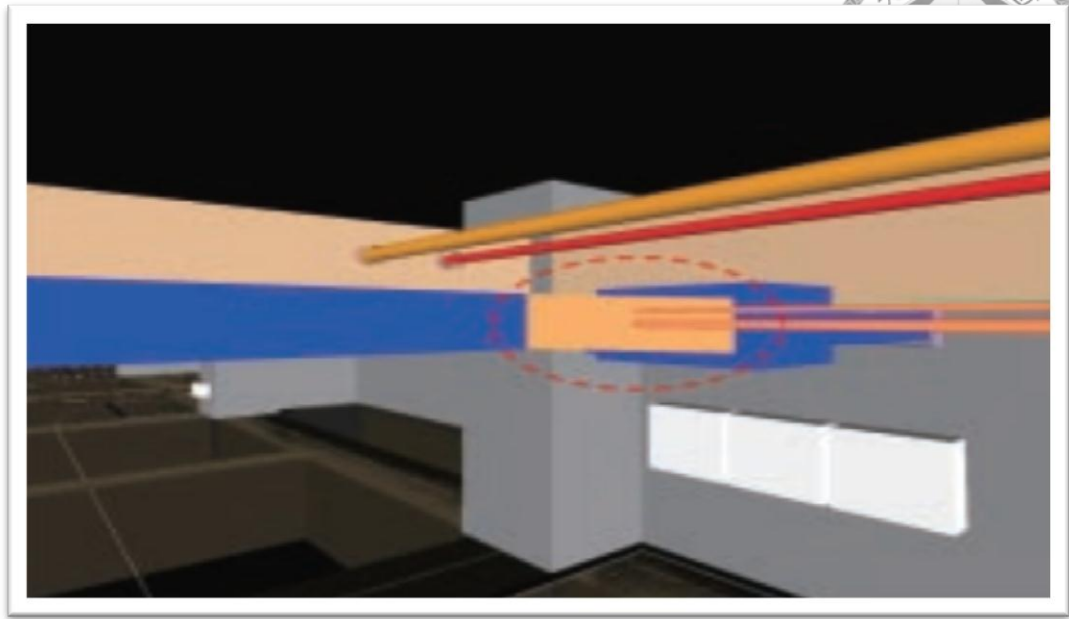
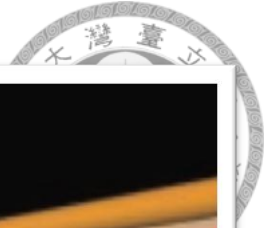


圖 1.6 Autodesk Navisworks 硬衝突偵測結果

(資料來源：陳珧華，BIM 於水電環控工程之運用)

## 1.2 動機與目的

除研究背景之描述，變更設計乃土木工程必然會發生之問題，由變更設計於營造各階段與成本影響圖可知於設計階段提出變更設計所耗費之成本小於施工階段，其影響程度大於施工階段。

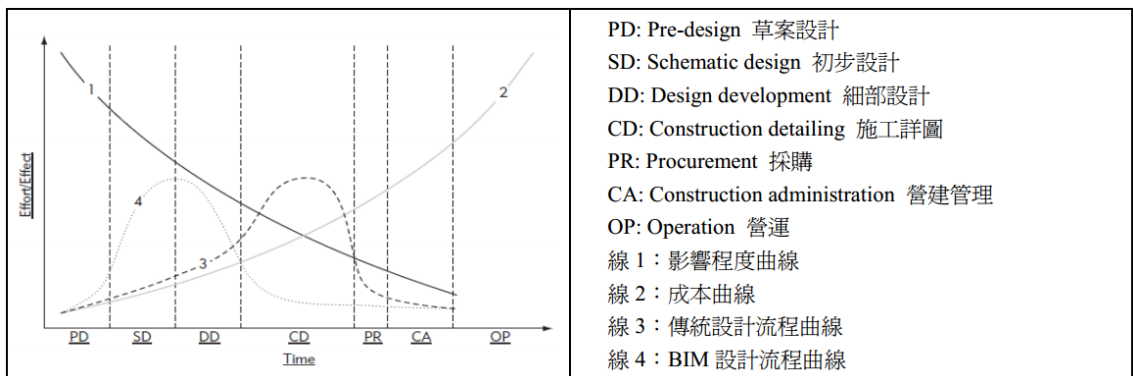


圖 1.7 建築生命週期各階段設計變更與成本影響圖

(資料來源：陳育萱，建築師事務所 BIM 技術導入與成效分析)



基於研究背景與動機之描述，本研究有以下兩點研究目的：

### 1. 結合 BIM 軟體與排程軟體進行軟衝突檢測

利用 BIM 中為了 4D 動畫展示所鍵入之物件與時程資訊對應關係，將 BIM 所擁有之物件資訊及連接排程軟體中之時程資訊，進行軟衝突的偵測。讓使用者可於設計階段盡早找出軟衝突之存在進行修正。

利用 Revit API 撰寫外掛程式，讓 BIM 軟體與排程軟體結合過程建立於 BIM 軟體 Autodesk Revit 中。當 BIM 模型與施工排程皆完成之後，使用者僅需執行本外掛程式，即可偵測軟衝突之存在，並產生一衝突清單，亦可輸出至 Excel 作為使用者修正時之參考。

### 2. BIM 與機土介面管理整合

目前 BIM 與機土介面管理整合多是利用套裝軟體進行硬衝突檢測，軟衝突的檢測並無相關研究探討。本研究利用 BIM 與排程軟體的結合，將 BIM 與機土介面管理導入軟衝突偵測，讓兩者間的結合增加另一面向的使用性。

此外，本研究對於 BIM 軟體與排程軟體之結合，所遭遇到之問題與相關解決方式亦可提供後續研究者做為參考。



### 1.3 研究範圍

一般建築物有的設備不外乎家具與大型家電，但不論家具或者家電設備都會設計為可拆解至能通過一般大小的門窗，因此軟衝突不大會發生於一般建築物。故本研究主要研究對象為含有大型機電設備的廠房與醫院。此外，一般建築物多為矩形，造型若有變化亦多屬凸多邊形，故本研究僅針對凸多邊形進行判斷分析。

軟衝突發生原因為無足夠的施作空間或施作時動線受到阻礙，因機電工程中管線部份涉及較多專業知識與影響因子，故本研究僅針對機電設備施作時所遭遇到之軟衝突進行探討。

而動線受到阻礙之軟衝突討論過程中，僅能就各物件於模型中之位置，就是完工時所在位置進行動線是否受到阻礙之檢測，尚無法討論各物件有暫放於某處再移動之軟衝突。

此外，物件的搬運方式本研究並未納入考量，因本研究乃定位於設計階段的偵測修正，物件的搬運方式於使用時無法得知，故本研究未將搬運方式納入考量，但將物件寬度左右各加上 20 公分的保留空間，高度亦加入 20 公分的保留空間。避免機電設備之尺寸與開口尺寸太相近導致物件通過時發生碰撞因此造成機電設備或建築結構體的損壞，產生不必要之損失。

再者，因 Autodesk Revit 物件模板建立限制，所讀取到之物件形狀資訊僅有三維資訊，若物件為門字型並無法讀取出其形狀為門字型，因此在部分物件或許能以旋轉之方式通過，本研究並無法偵測得知，僅能運用所讀取到之三維資訊，將物件皆假設為立方體作為程式判斷依據。



## 1.4 研究流程

本研究經文獻回顧後確立研究方法與目的，並進行相關軟體學習，包含 BIM 軟體 Autodesk Revit、Autodesk Navisworks、排程軟體 Microsoft Project、程式語言 C#。並利用 Microsoft Visual Studio 所提供之開發環境建立系統，將前述軟體與概念整合於程式中，系統開發完畢後，擬進行系統的驗證與初步應用，並套入實際案例進行偵測，再以人工判讀方式先行檢測軟衝突發生處，比對程式偵測結果進行驗證，最後進行論文撰寫。

故本研究主要可分為文獻回顧、軟體學習、系統建立(程式撰寫與模型建立)、系統驗證(程式測試與系統修正)、論文撰寫，如圖 1.8。

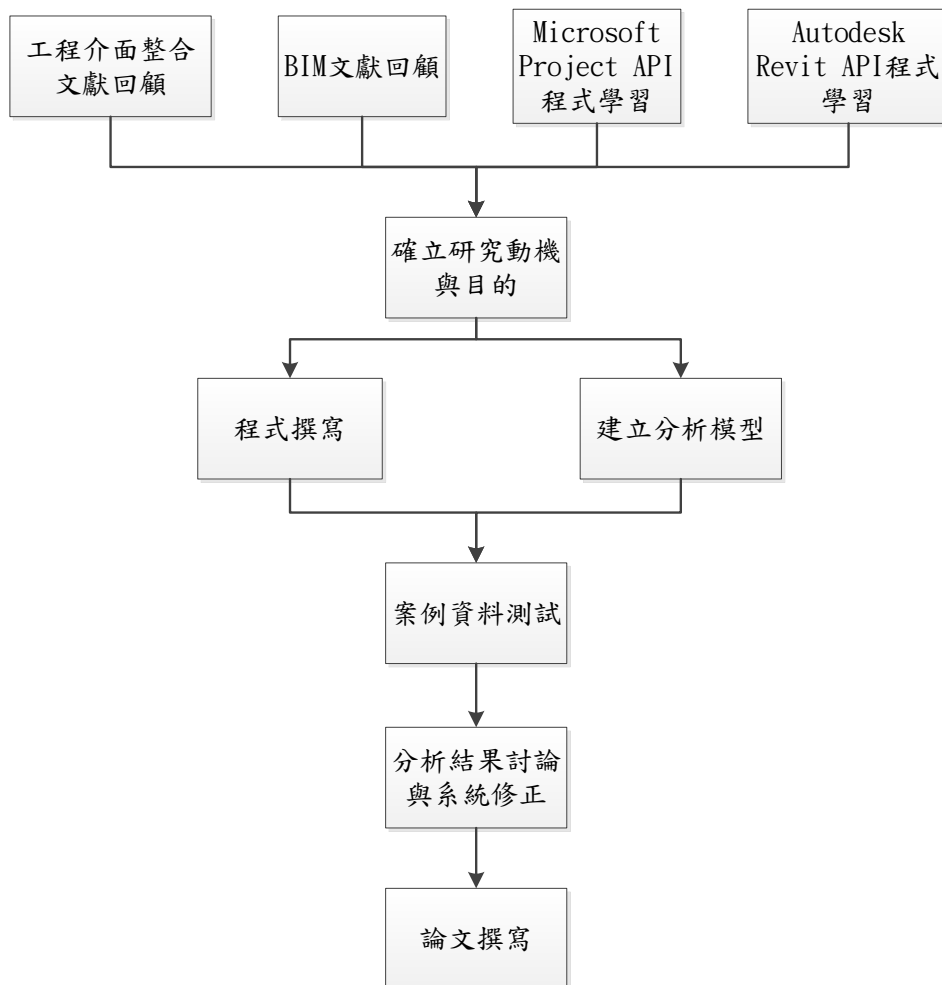


圖 1.8 研究流程

## 論文架構



本研究架構主要分為六章，各章內容簡述如下：

### 第一章 緒論

闡述本研究之研究背景、研究動機與目的、研究範圍與限制、研究流程，說明本研究之構想。

### 第二章 文獻回顧

說明目前國內對於機土介面之相關研究，以及國內外對於 BIM 於 4D 部分應用情形與相關研究，藉以確立研究基礎。

### 第三章 研究用之軟體介紹

介紹各軟體之選用原因並介紹 BIM 軟體 Autodesk Revit 及其 API 與開發環境 Microsoft Visual Studio。

### 第四章 概念性系統開發

說明本研究系統開發之流程與方式，並闡述開發過程所遭遇到之困難與本研究採行之解決方式。

### 第五章 系統驗證與應用

將案例套入本研究所開發之系統進行偵測，並比對確認本系統之可行性，最後套入實際案例進行測試驗證，藉以找出系統待修正處。

### 第六章 結論與建議

針對本研究內容歸納出結論，並針對後續研究給予建議。



## 第二章 文獻回顧

### 2.1 機土介面

介面的定義與管理者相關，不同管理者定義出的介面不盡相同，舉例來說，謝文通將介面定義為發生在建築與設備產業中施工階段重疊的部分 (謝文通,1996)，郭哲明將介面定義為工作流程中重疊的部分 (郭哲明,1999)，戴培達將介面定義為事物與事物之間所產生相互關聯之事 (戴培達,1999)，以及顧文祥將介面定義為兩個或兩個以上的不同廠商在合約、時間、空間等方面有接觸之點，需要相互配合之處 (顧文祥,2000)。

縱觀幾位學者對介面的定義，儘管各家有所差異，但介面即是不同廠商或施工項彼此有重疊之處。對於建築工程的機土介面管理而言，主要是希望從建築物在規劃、設計與施工的階段能順利完成。目前國內對於機土介面管理的相關研究非常多，內容大多著重於介面問題的陳述探討，大多使用定義介面檢查表或施工程序讓使用者參考，如郭哲明以介面查核表之方式探討各流程可能發生之介面衝突 (郭哲明,1999)、王瑞益以分工結構圖定義各作業間彼此施工界面的邏輯關係 (王瑞益,1999)、楊宗穎以定義施工階段的正確施工程序，藉以建立合理的施工界面 (楊宗穎, 2006)、戴期甦建立工項間的邏輯關係與程序，讓施作廠商在安裝協調的過程中，對各工區工種、進場時機與工期之計畫與安排提供更具體之依據 (戴期甦,2007)。



## 2.2 建築資訊模型 BIM 介紹

建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)乃是以程式自動管理指在建築物之設計、建造、營運使用、維護、拆除過程中等建築物生命週期各階段，所創造與使用之數位資訊，並讓資料保持一致性。以此概念所發展出之 BIM 商用軟體如 Autodesk Revit 與 Bentley Microstation 等，主要是利用其 3D 建模之視覺化的方式進行建築物模型的資訊管理。而 BIM 最重要之特色為「參數建模」，參數建築模型是將模型物件的幾何形狀和資訊整合。故可將整個建築模型視為一個大型資料庫，所有物件的內容都是參數化並且存在關聯性的。這種建築物件參數存在關聯性並可產出可做進階運算的建築資訊(如產出材料明細表進行材料使用量與成本估算)，乃為 BIM 最重要之特徵。國內外對於 BIM 之延伸研究與應用之範圍包括成本估價、空間衝突分析、4D 排程工作模擬、建築耗能模擬等相關應用(Hartmann, T., J. Gao, et al. ,2008)。

### 2.2.1 BIM軟體與傳統CAD軟體比較

傳統的 CAD 為點、線、面之二維展現，各線條與圖形並沒有關聯性存在，模型是以點與線構成，如數量等有座進階分析之資訊，需要靠人力再進行計算，無法直接從圖檔中讀取，故 CAD 軟體僅是實現電腦輔助繪圖之工具；

BIM 軟體中，各物件皆有其獨立的屬性，且彼此存在關聯性，因此程式可以快速地讀取如數量、體積等進階分析所需資訊，其資訊關聯性也維持資料的一致性。此外，在 BIM 3D 模型視覺展示下，提升設計者的設計可視度，增加與業主及施工廠商間的溝通效率。



## 2.2.2 BIM之優點

BIM 乃為近年工程界發展之趨勢，民間建商積極將 BIM 導入其建案中、公家機關中台北市捷運局新建之共構大樓與機廠也中採用 BIM 圖說進行管理，目前國內各大顧問公司皆投入大量經費導入 BIM 軟體，其新建之辦公大樓亦使用 BIM 軟體設計，而可見 BIM 之應用在民間、政府中逐漸受到重視。

1. 工程設計具體化：BIM是以3D建模，可將設計方案具體化，減少從2D轉換到3D的想像，增加設計可視度，並可使用套裝軟體搭配時程資訊進行4D施工動態模擬或以虛擬場景的方式呈現。
2. 降低工程風險：在設計者在設計完成之初，尚未實際進入施工階段之前，就可利用套裝軟體進行如空間衝突等檢測，如圖6，即早發現構件衝突發生點或有錯誤之處，進行設計修正或者預防性的處理，降低工程風險。
3. 物件數量計算：誠如前文BIM軟體介紹中所述，BIM模型可視為一大型資料庫，因此使用者可直接從模型中讀取所需之資訊，如門窗數量的計算統計，將其以類似Excel的表格化方式呈現，如圖2.1，並可產出材料明細表(Bill of Material, BOM) 以\*.txt檔的記事本格式供使用者進行進階分析使用，如圖2.2。

天花板明細表							
工項名稱	第六碼	第七碼	第九碼	第八碼	估價用單位	面積	類型
鋼材專業塗裝					M2	1008 m <sup>2</sup>	CA天花噴漆 (DECK板)
油漆	乳化塑膠漆	一底一度		平頂	M2	1248 m <sup>2</sup>	CA天花噴漆 (擦)
鋁板天花板	方形明架	鋁板厚0.		烤漆	M2	75 m <sup>2</sup>	CB輕鋼架鋁板烤漆天花
礦纖吸音天花板	明架	耐燃一級	9mm		M2	417 m <sup>2</sup>	CD輕鋼架礦纖板天花
鋁板條天花板	暗架(卡夾式)	鋁板厚0.		氟碳烤漆	M2	160 m <sup>2</sup>	CE 10CM寬防鹼型鋁企口天花

圖 2.1 Revit中材料數量統計

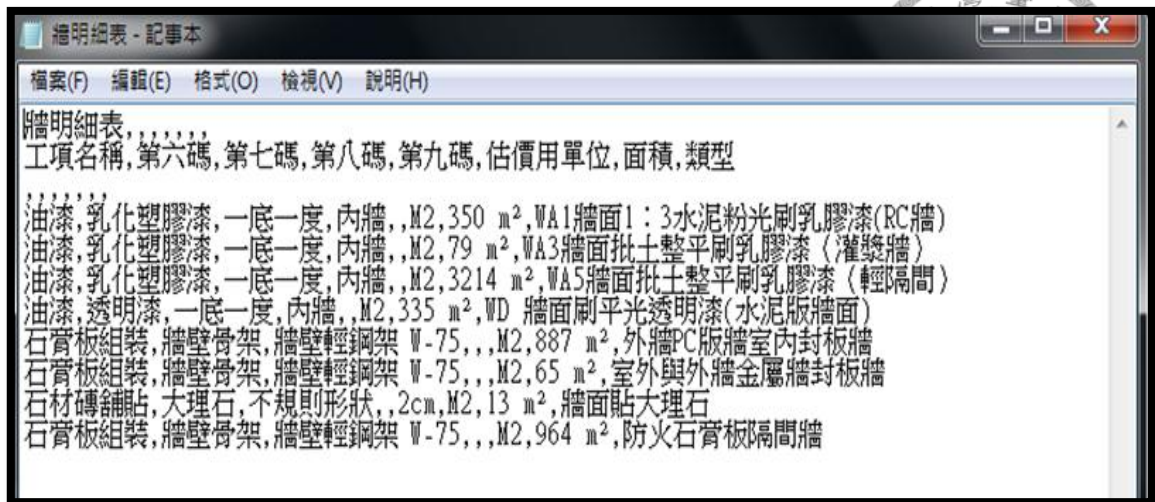


圖 2.2 Revit輸出之\*.txt檔材料明細表示意圖

4. 資料一致性：建築資訊模型是以參數建模，物件彼此間存在關聯性，能自動地使專案的所有資訊一致，模型中的任何物件的有所改動都會反饋到整個專案模型檔案中，相關物件會連動修正。如圖2.3，門是附著於牆面上，若牆移動位置，門的位置會跟著移動。若牆是包圍某房間的牆，若牆被刪除則房間非閉合空機，將會顯示警訊，告知使用者有錯誤發生，如圖2.4。

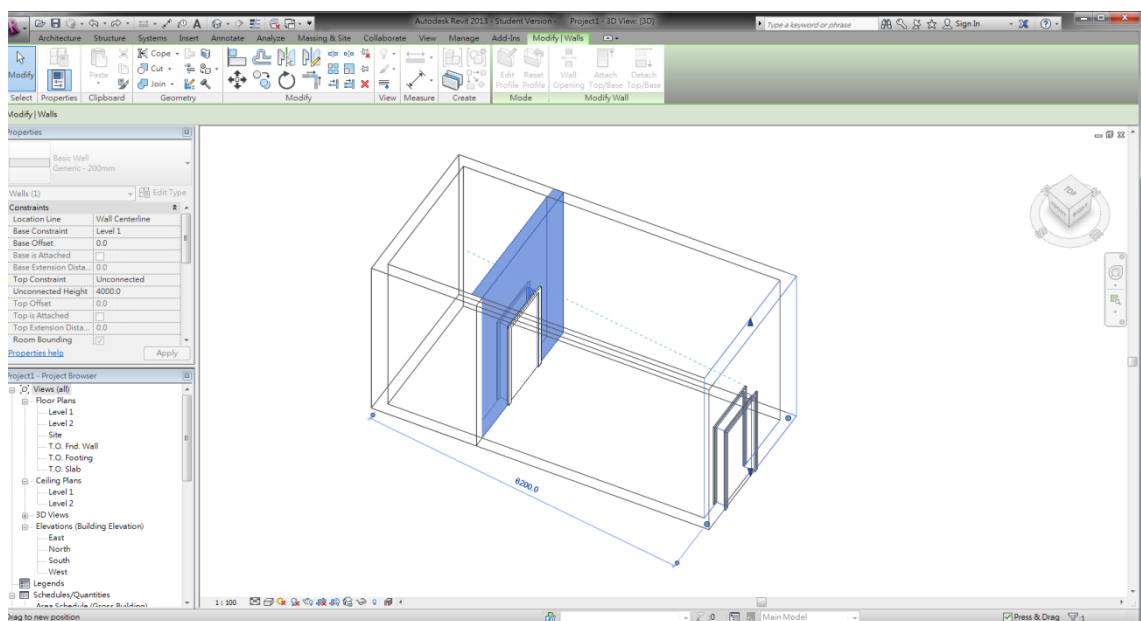


圖 2.3 物件修改連動示意圖

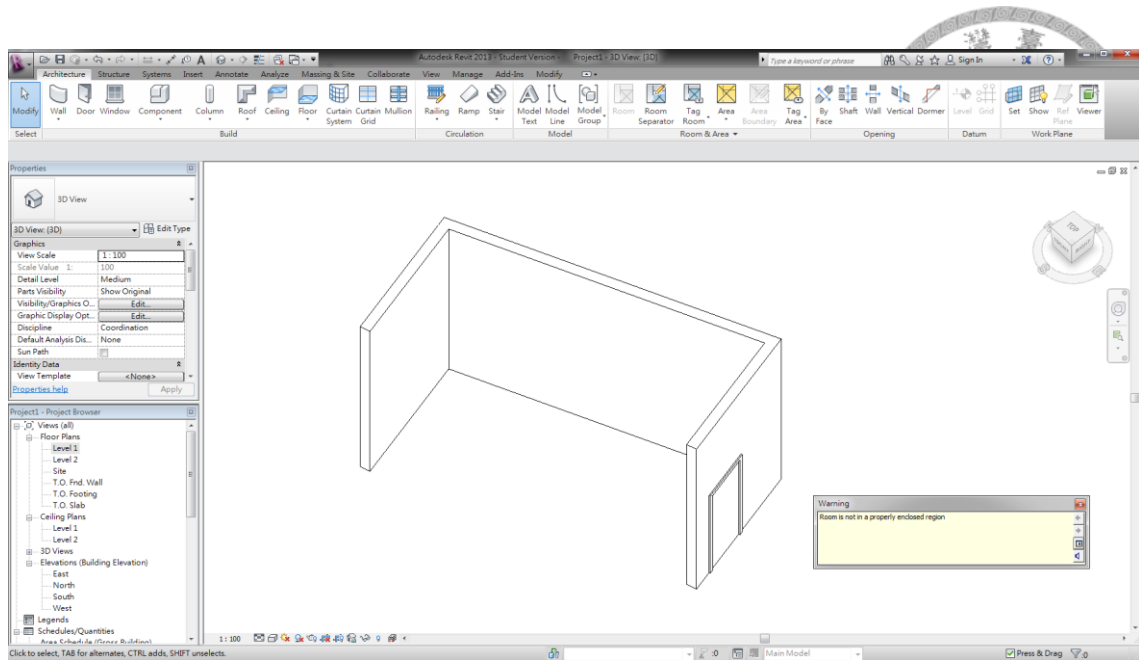


圖 2.4 物件修改錯誤警訊示意圖

5. 提昇設計效率與品質：基於工程設計具體化能讓設計者更能具體呈現其設計構想與概念以及預期完成之成果，與業主及施工單位的溝通更加清楚，減少彼此間資料往返的次數，縮短設計週期，施工單位對設計的誤解也會減少，因而提升設計效率與品質。基於物件數量計算的，使用者能產出材料明細表進行造價成本估算等進階設計分析。此外，基於資料一致性，在使用的同時會自動修正與修正之物件相關資訊，資訊的錯誤遺失發生機率會大幅度減少，提高了設計品質。
6. 參數建模：BIM軟體與傳統CAD軟體最大的差異即為參數建模，模型物件的資訊是以屬性的方式存於BIM資料庫中，故可讓使用者直接讀取其所需之資訊，無須經過人為的判讀，減少人為因素產生的錯誤。
7. 工程資料再利用：建築物資訊於施工階段與營運階段的資訊連接較缺乏，運用BIM模型為一大型資料庫的特性，將設計資訊完整的保留於建築模型中，從初期設計階段的構思到詳圖設計階段的變更都得以保存，除整個工程施工階段亦可將資訊讓生命週期中各個階段使用。



## 2.3 BIM 應用於 4D 規劃管理

4 Dimension (4D)是指 3D 模型配合如時間 (Duration)、成本 (Cost)等因子進行第四個維度的模擬或分析，第四個維度為何並無規定，但較常見的 4D 乃是 3D 模型配合時間進行動態模擬。若同時有多個維度則分析，如以 3D 模型同時進行時間與成本的分析，則稱為 5D 分析，以此類推，端看使用者進行幾個維度的分析，命名即往上加至 nD。

目前 BIM 軟體廠商皆有推出可進行 4D 模擬的軟體，如 Autodesk Navisworks、Bentley Schedule Simulation 等，圖 2.5 與圖 2.6 分別為此兩套軟體的操作介面。兩套軟體皆是讀取 BIM 模型與時程資訊進行 4D 模擬，詳細的兩套軟體比較差異請參照 4.1 Autodesk Navisworks & Bentley Schedule Simulation。

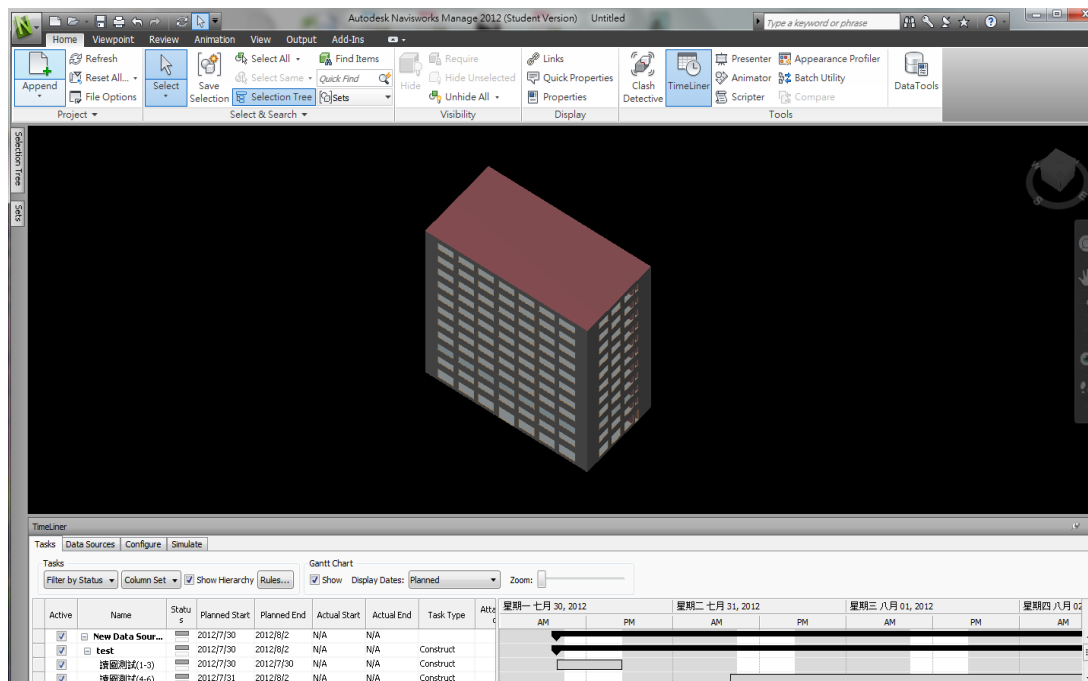


圖 2.5 Autodesk Navisworks 操作介面示意圖

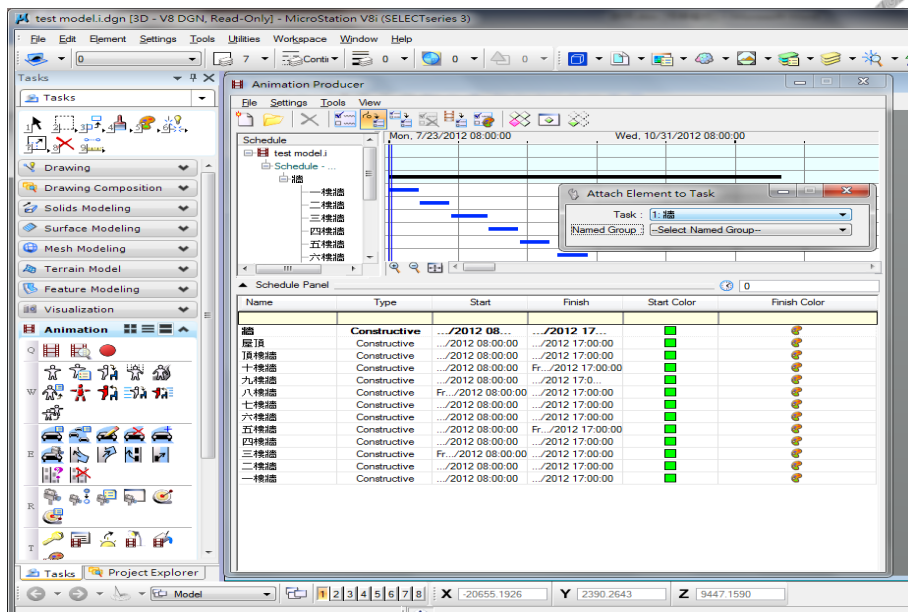


圖 2.6 Bentley Schedule Simulation 操作介面示意圖

除了 BIM 軟體廠商所推出之套裝軟體外，亦有研究對 BIM 於 4D 規劃管理進行探討。何凱勻提出工作空間配置不良會影響施工品質並造成成本增加及生產績效下降，其以 BIM 輔助施工空間配置設計，並以 VB.NET 搭配 Bentley Microstation 開發 4D 場地配置規劃系統。圖 2.7 為其利用 Bentley Microstation 所建立之 3D 模型，圖 2.8 為其輸入工項之使用者介面。(何凱勻,2012)

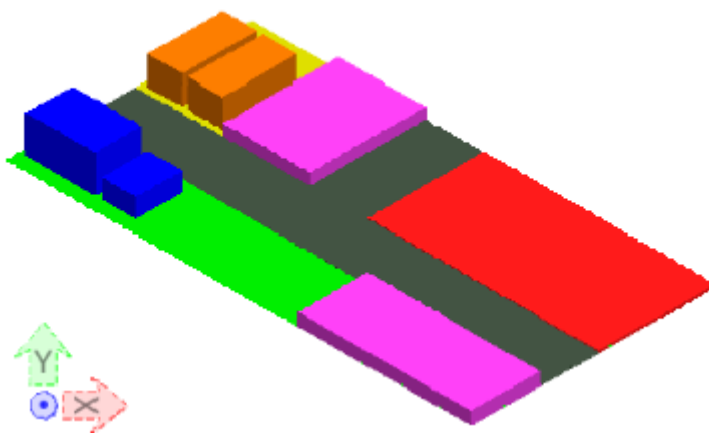


圖 2.7 4D 場地配置規劃系統之 3D 模型

(資料來源：何凱勻，應用 BIM 技術於工作空間最佳化配置之研究)

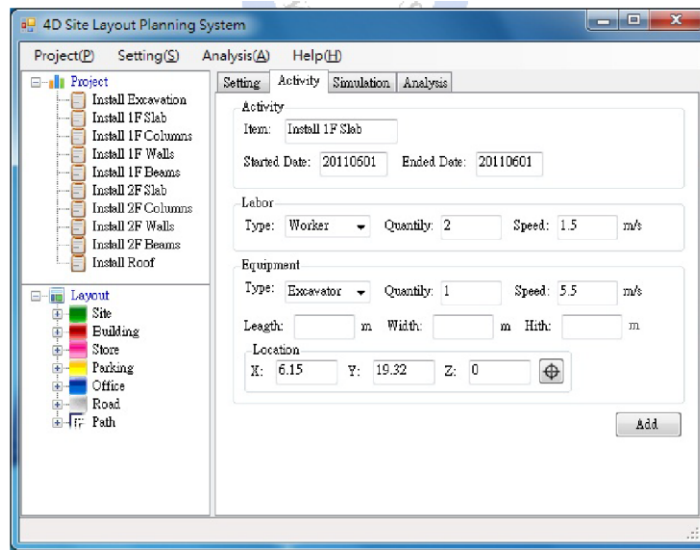


圖 2.8 4D 場地配置規劃系統之鍵入工項使用者介面

(資料來源：何凱勻，應用 BIM 技術於工作空間最佳化配置之研究)

James D. Goedert 將工程圖片結合 3D 模型，建立施作中 3D 模型 (as-built 3D model)，有別以往單純與時間做結合的 4D 展示，將模型與文件做結合，圖 2.9 為其施作中 3D 模型。(James D. Goedert and Pavan Meadati, 2008)

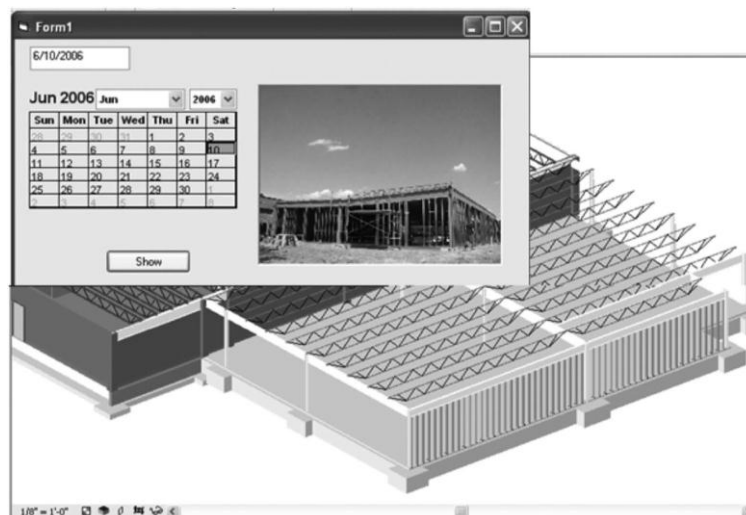


圖 2.9 as-built 3D model

(資料來源：James D. Goedert and Pavan Meadati, 2008)



M. König 認為最大的問題在於各工項間資源的相互依賴性，對於規劃的資源使用量與實際使用量的差異是值得研究的問題。M. König 利用 BIM 模型結合排程資訊進行動態模擬之外，並搭配各工項之資源使用量計算資源使用情況，圖 2.10 為其成果展示圖。(M. König et al., 2012)

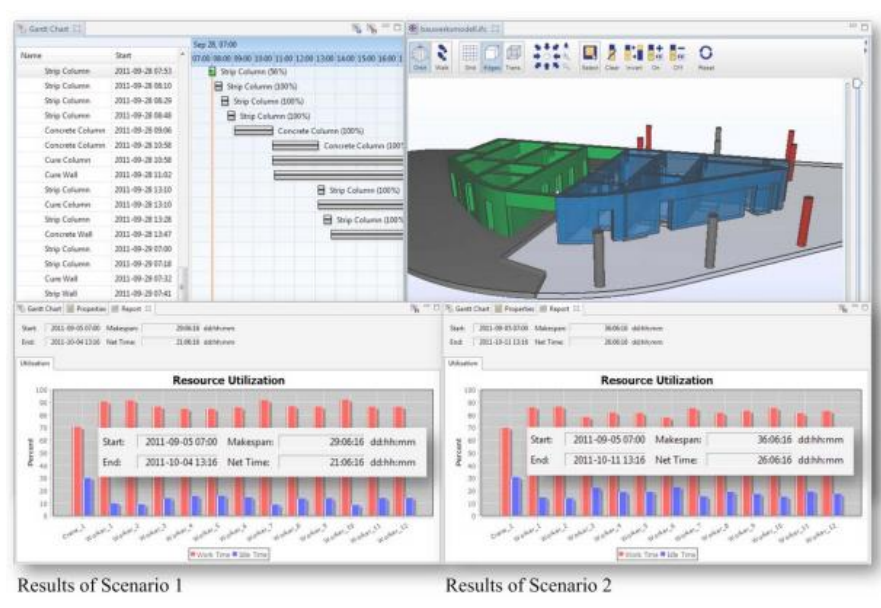


圖 2.10 資源使用情況成果圖

(資料來源：M. König et al., 2012)



## 2.4 BIM 應用於工程介面管理

因 BIM 為近年來才於業界快速發展，故 BIM 在工程介面管理方面尚未有廣泛的應用，既有的發展如同本文 1.2 動機與目的中所述，目前已有 BIM 相關套裝軟體(如 Autodesk Navisworks)可根據 BIM 模型進行管線與管線或管線與結構體間的硬衝突偵測，圖 1.6 為其硬衝突偵測示意圖。

朱亮光提出施工時所發生的衝突，不論是硬衝突或軟衝突皆會在發現問題的當下設法解決，但運轉時若發現維修維護的施作空間不足之類的問題，並無法進行即時且有效的修正，導致維護維修延誤或無法進行。若於設計階段就能進行完整規劃則可減少此情況發生。因此其利用 BIM 3D 視覺化增加設計可視度的特性，協助電氣室整體空間規畫，對於運轉階段的操作保養、設備搬運、人員動線等空間規劃進行討論。(朱亮光，2012)



### 第三章 研究用之軟體介紹

BIM 因相關軟體價格較昂貴、相關操作人員較缺乏，導致其進入門檻較高，目前業界使用情形僅部分大型顧問公司導入使用，其中又以 Autodesk Revit 市占率最高(另有 Bentley、Crystal 等廠商所開發之 BIM 軟體)。目前國內對於 BIM 軟體應用的相關研究中，亦以 Autodesk Revit API 為大宗，故本研究採用此軟體進行開發，版本為 Autodesk Revit 2013。

排程軟體採用 Microsoft Project，目前業界除較龐大之工程採用 Primavera P3/P6 外，大多使用該軟體進行排程，故本研究採用此軟體進行開發，版本為 Microsoft Project 2010。

程式開發所採用之編譯軟體為 Microsoft Visual Studio 2010，此軟體為本校免費授權提供，故採用該軟體進程式撰寫工作。

#### 3.1 Microsoft Visual Studio 2010

Visual Studio 是用來建置 ASP.NET Web 應用程式、XML Web Services、桌面應用程式及行動應用程式的一套完整開發工具。其中 Visual Basic、Visual C++、Visual C# 以及 Visual J# 皆使用相同的整合式開發環境(Integrated Development Environment, IDE)，讓不同的語言能共用工具及協助混合語言方案的建立。再者，這些程式語言皆可利用 .NET Framework，簡化 ASP Web 應用程式與 XML Web Services 開發的工作。

此外，Visual C# 於 2008 Service Pack 1 中加入了「即時語音錯誤」此項功能，會在撰寫程式碼時，以紅色波浪形底線指出錯誤的地方。可提供更完整的程式碼錯誤資訊集，協助使用者在程式撰寫時之錯誤偵測。這項功能會偵測運算式層級的錯誤，於先前的版本此項錯誤僅能在建置(Build) 後才會有錯誤回報。

(資料來源：<http://msdn.microsoft.com/2012.5>)



Microsoft Visual Studio 2008，是第一個具備 Windows Presentation Foundation (WPF) 之視覺化設計工具的應用程式，含有貼齊格線以及允許 RAD 風格之開發的事件索引標籤。它也支援以 2007 Microsoft Office System (含有 Outlook 與 Fluent 功能表的設計工具) 為目標的開發人員。對於涉略多領域的小組，Visual Studio Team System 提供改善的延展性，包括對於持續整合的支援。

它也提供 Web 開發人員 CSS 格式設定工具，能夠以 ASP.NET AJAX 撰寫程式碼，並具有對於 JavaScript 的 IntelliSense 支援。Language Integrated Query (LINQ) 的引進，允許使用 Visual Basic 與 C# 來操作和處理進階資料。為了改善應用程式效能，Visual Studio 2008 提供程式碼分析工具，包括可識別程式碼中無效率或有其他問題之部分的程式碼度量。整合的建置系統也具備對於建立和偵錯的多執行緒支援。

(資料來源：<http://www.microsoft.com/visualstudio/zh-tw/products/2008-editions2012.5>)

### 3.2 .Net Framework 概觀

.NET Framework 為不可或缺的 Windows 元件，其功能可支援建置和執行下一代的應用程式和 XML Web Service。 .NET Framework 是為了實現以下目標而建置的：

1. 提供一致的物件導向程式設計環境，不論目的碼(Object Code) 是在本機中儲存及執行、在本機執行但分散至網際網路或在遠端執行。
2. 提供可減少軟體部署和版本控制衝突的程式碼執行環境。
3. 提供加強程式碼安全執行的程式碼執行環境，包括未知或非完全信任之協力廠商所建立的程式碼。
4. 提供可消除編寫指令碼或解譯環境效能問題的程式碼執行環境。
5. 讓開發人員在使用各式各樣的應用程式時仍能體驗一致性，例如 Windows 架構的應用程式和 Web 架構的應用程式。

6. 根據業界標準建置所有通訊，確保以.NET Framework 為基礎的程式碼能夠與其他程式碼整合。

(資料來源：<http://msdn.microsoft.com/2012.5>)




### 3.3 Autodesk Revit 2013

Autodesk Revit 為一專門建築資訊模型軟體，可協助使用者擷取及分析最創新的設計概念，且可讓模型自始至終維持設計者之構想。軟體中之模型包含大量資訊，供使用者提取以進行設計及檢測工作，如衝突偵測、營造規畫與建造的決策等。同時因 BIM 軟體一大特色「3D 視覺化」，提升設計可視度，協助工程師、承包商及業主彼此間的溝通與協同作業。協同作業的過程中有任何變更設計都會隨設計與文件變化自動更新，讓文件版本一致，減少版本混淆導致的時間或人力上的浪費，提升協同作業的效率。

Autodesk Revit 設計功能，提供使用者一操作簡便建模平台與參數化設計工具，能讓使用者於初步設計階段即可進行設計分析，如可自動計算模型之面積、體積，或輸出材料明細表計算施工材料需求，亦可套入套裝軟體執行日光照明與能源分析，藉以深入瞭解專案是否可行與可改進之處。讓使用者能在專案設計初期做出更加適合的決策。使用者亦可運用概念設計與闡明複雜塑形的內建工具，建立建造與施工用模型。

此外，Autodesk Revit 可在設計時，自動在模型物件中建立參數化架構，提升創意控制的效果，亦可提高精確度與設計彈性。在直覺式設計環境中，讓設計者可輕易的將設計概念模型轉化為實際的 3D BIM 模型。

再者，Autodesk Revit 可從既有繪圖軟體以量體物件的方式導入期概念式量體，諸如 AutoCAD、Autodesk Maya、AutoDesSys form•Z、McNeel Rhinoceros、Google SketchUp 或其他 ACIS 或 NURBS 式應用程式，從而展開線路圖設計。



Autodesk 於 2013 前的版本都分為，Autodesk Revit Architecture、Autodesk Revit Structure、Autodesk Revit MEP 三套軟體，Autodesk Revit 2013 將三套軟體結合，改以 Building Design Suite 之方式，整合建築、結構、機電產品為單一介面，省去整合與管理之困擾，讓設計者在設計上更加方便，在與業主或承包商間的彼此溝通與檔案交流上更為一致。

Autodesk Revit 主要有以下特色：

#### 1. 雙向關聯性

在 Autodesk Revit 所有模型資訊都儲存於一個單一、整合的資料庫中。任何資訊修訂與變更，都會自動在模型內更新，可盡量減少錯誤與疏失。如移動牆面，則原先在牆面上之窗或門亦會跟著移動。

#### 2. 明細表

明細表是另一個 Autodesk Revit 模型的視圖。變更其中一個明細表視圖，其他視圖也會因其雙向關聯性自動更新。功能還包含關聯性分割明細表剖面，以及可由明細表視圖、公式以及篩選選取的設計元素。

#### 3. 拆圖

Autodesk Revit 提供的詳圖資源庫以及拆圖工具，可協助進行廣泛的預先分揀，並簡化與 CSI 格式的校正。還可配合組織標準來建立、共用及自訂詳圖資源庫。

#### 4. 參數化元件

參數化元件(另稱群組) 是所有在 Autodesk Revit 內建築設計元件的基礎。這些元件針對設計構想與形式建立，提供開放式的圖形系統，協助使用者傳達其設計理念。參數化元件用於雕飾型傢具與機電設備此類複雜組合，也可以用於牆與柱這類基本建築元件。



## 5. 材料需求

依材料需求來計算出材料數量。材料需求可用於計算永續設計的材料數量與成本估算，讓材料數量追蹤過程更順暢。Autodesk Revit 參數化變更引擎會隨專案進行更新材料需求。

## 6. 干涉檢查

運用干涉檢查掃描模型元素之間是否存在衝突。

## 7. 工作型使用者介面

Autodesk Revit Architecture 使用者介面提供大型圖面視窗，以及所需要的工具與指令。以一系列標籤與面板的方式分類，呈現出建立、註解或協同合作這類建築工作流程。

## 8. 視覺化設計

建立並擷取相片擬真的設計構想與關聯式環境。整合式的 mental ray 彩現軟體操作簡單，可製作高品質作品、加速彩現，並完成出色的設計簡報。

## 9. 協同合作

工作共用工具能套用檢視過濾器、標籤元素與控制工作集可見性。

## 10. 效能

在處理大型專案時更加順暢。多執行緒運算更多，專案開啟與載入速度更快。原生 64 位元支援有助於為彩現、列印、模型升級與檔案匯入及匯出等耗費記憶體的工作，強化其效能與穩定性。

## 11. 永續設計

概念能源分析工具\*可協助您打造更永續的設計。利用雲端式分析工具，直接從 Autodesk Revit Architecture 軟體迅速比較設計替代方案的耗能與生命周期成本。分析結果會以視覺化的圖形格式呈現，方便解譯。

(資料來源：<http://www.autodesk.com.tw>2012.5)



### 3.4 Revit API

應用程式介面(Application Programming Interface, API), 又稱為應用編程介面, 為各軟體系統不同組成部分銜接的約定。近年來隨著科技的發展, 軟體與應用程式的規模日益龐大, 常會需要將系統劃分為小的組成部分, 因此編程介面的設計就顯得十分重要。程序設計的實踐中, 編程介面的設計首先要使軟體系統的職責得到合理劃分。良好的介面設計可以降低系統各部分的相互依賴, 提高組成單元的內聚性, 降低組成單元間的耦合程度, 從而提高系統的維護性和擴展性。

應用程式介面可視為:「『電腦作業系統(Operating system)』或『程式函式庫』提供給應用程式呼叫使用的程式碼」。其主要目的是讓應用程式開發人員得以呼叫一組常式功能, 而無須考慮其底層的原始碼為何、或理解其內部工作機制的細節。API 本身是抽象的, 它僅定義了一個介面, 而不涉入應用程式如何實現的細節。

(資料來源: <http://zh.wikipedia.org/wiki/API2012.5>)

Autodesk Revit 提供 API 以使高級用戶和第三方開發者集成他們的應用程序到 Autodesk Revit 中, 藉以提升其使用性。

以下是 API 應用程式可以適應的一些區域:

1. 用外掛自動完成重複的工作
2. 自動檢測錯誤以強制產品設計規範
3. 獲取工程數據來分析或者生成報告
4. 導入外部數據來創建新元素或設置參數
5. 集成其他應用程式包括分析軟體到 Autodesk Revit 產品
6. 自動創建 Autodesk Revit 產品文件

(資料來源: <http://www.revitapp.com/wiki/RevitAPIOverview/zh-hant2012.5>)



### 3.5 Microsoft Project 2010

Microsoft Project 是微軟(Microsoft)所開發之專案管理軟體，在 1984 年，微軟的合作廠商發佈給 DOS 使用為 Microsoft Project 的前身，微軟公司於 1995 年於 Windows 95 所發布之版本為第一代之 Project，一直發展至今版本已是 Microsoft Project 2013，主要用於協助專案經理人規劃專案、資源分配、預算管理、追蹤任務達成情形等。此外，Project 針對不同用戶對專案和資料定義不同的訪問級別，如行事曆(工作時間的設定，如圖 3.1)、觀看方式、表格(自訂表格欄位)、篩選器等，方便使用者能針對其所需之功能進行操作。

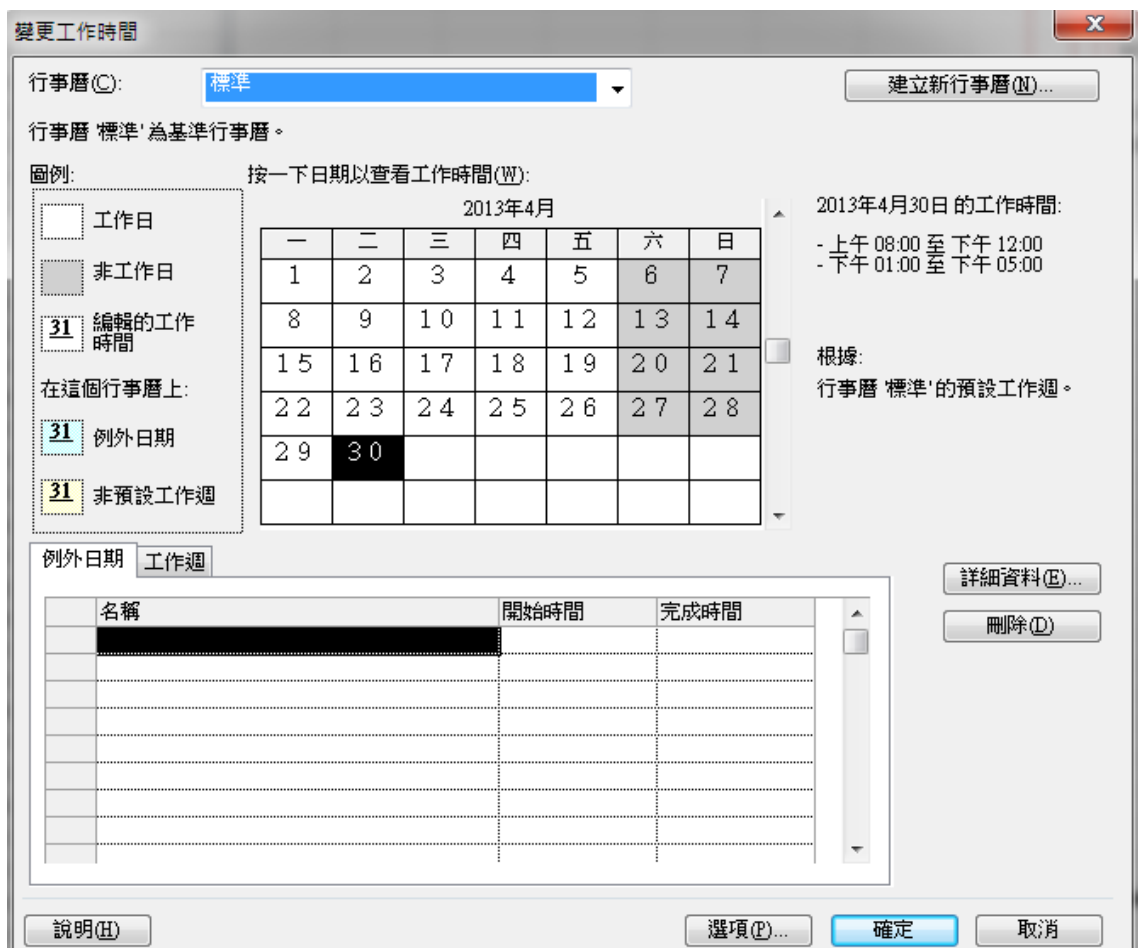


圖 3.1 Microsoft Project 行事曆示意圖



Microsoft Project 利用甘特圖(Gantt Diagram) 進行時程展示，如圖 3.2，於成本分析上根據各任務工項與資源開銷率產生預算。資源主要分為人力資源、設備、材料三類，其中材料於成本計算上是以單價乘上其使用量作計算，而人力資源、設備機具就需以工作量乘以開銷率（如人員工作小時乘上時薪）進行計算，其中資源開銷率是用以計算資源於各工項之單位成本，這些成本會累積並歸納於資源階段。當使用者對工項進行資源分配和所需工作量(工作小時)後，程式計算工項所需成本，並根據任務階層計算。

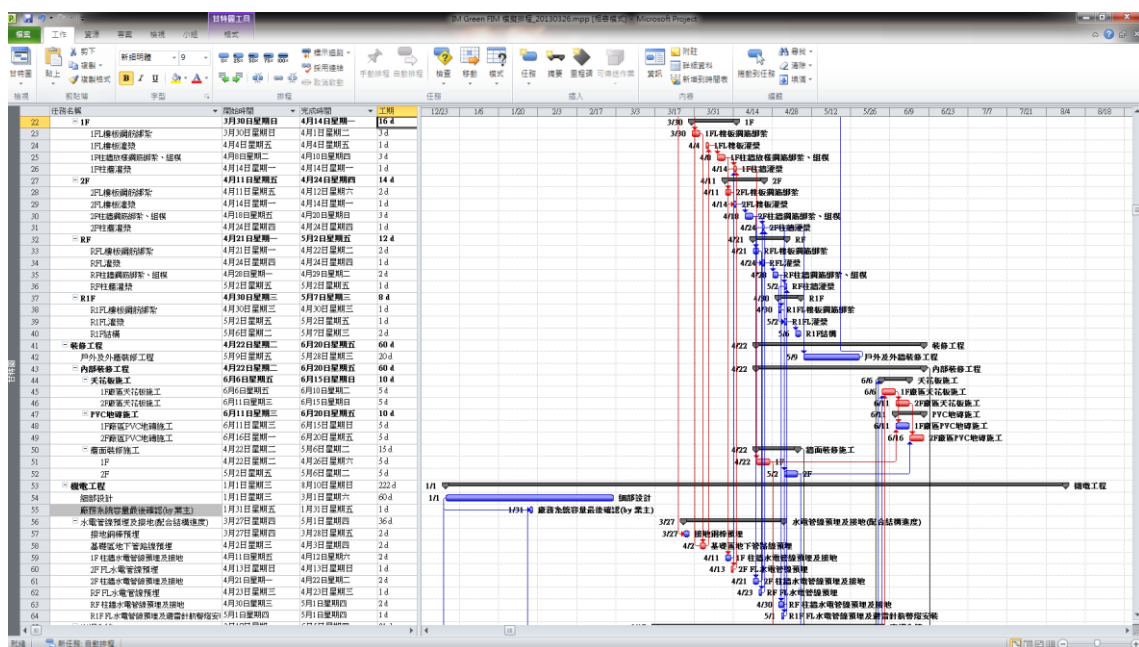


圖 3.2 Microsoft Project 甘特圖示意圖

Microsoft Project 資源可定義共享資源庫在專案間使用，不同資源擁有其獨自的工作行事曆，如定義哪天為工作天或哪些某資源是可利用的。而若同時規劃多個專案，在不同專案中各種資源皆可被分配到多項任務，同樣的各項任務可同時使用多種資源，並可定義不同資源與工項的工作時程表。圖 3.3 為工項之資源分派示意圖。

The screenshot shows the Microsoft Project interface with the 'Resource' tab selected. The main window displays a Gantt chart with tasks grouped by floor level (1F, 2F, RF, R1F). The tasks include concrete reinforcement and pouring for floors 1F, 2F, and RF, and finishing work for R1F. The summary table below the Gantt chart provides a detailed view of resource leveling for these tasks.

專案	識別碼	任務名稱	工時	資源無平的延遲	延遲	排程開始時間	排程完成時間
	24	1FL樓板澆漿	289 M3	0d	0d	4月4日星期五	4月4日星期五
	26	1F柱牆澆漿	289 M3	0d	0d	4月14日星期一	4月14日星期一
	29	2FL樓板澆漿	289 M3	0d	0d	4月14日星期一	4月14日星期一
	31	2F柱牆澆漿	289 M3	0d	0d	4月24日星期四	4月24日星期四
	34	RFL澆漿	289 M3	0d	0d	4月24日星期四	4月24日星期四
	36	RF柱牆澆漿	146 M3	0d	0d	5月2日星期五	5月2日星期五
	39	R1FL澆漿	146 M3	0d	0d	5月2日星期五	5月2日星期五

The bottom panel shows cost settings for the selected task '結構用混凝土.預拌.280kg/cm2.第1型水泥'. The standard labor rate is NT\$2,641.00, and the cost calculation method is '依比例' (Proportional). The resource leveling table below this panel shows the same data as the main summary table.

圖 3.3 Microsoft Project 資源分派示意圖

Microsoft Project 進行資源分配後，若因成本考量或資源取得受到限制等因素導致無法使用資源施作各工項，軟體中有資源撫平(Resource Leveling) 的功能可供

使用者選擇，圖 3.4 即為 Microsoft Project 資源撫平設定選項的使用者操作介面，使用者可設定資源使用上限，如最大工時，並針對不同的需求進行點選，讓軟體自動進行資源撫平。

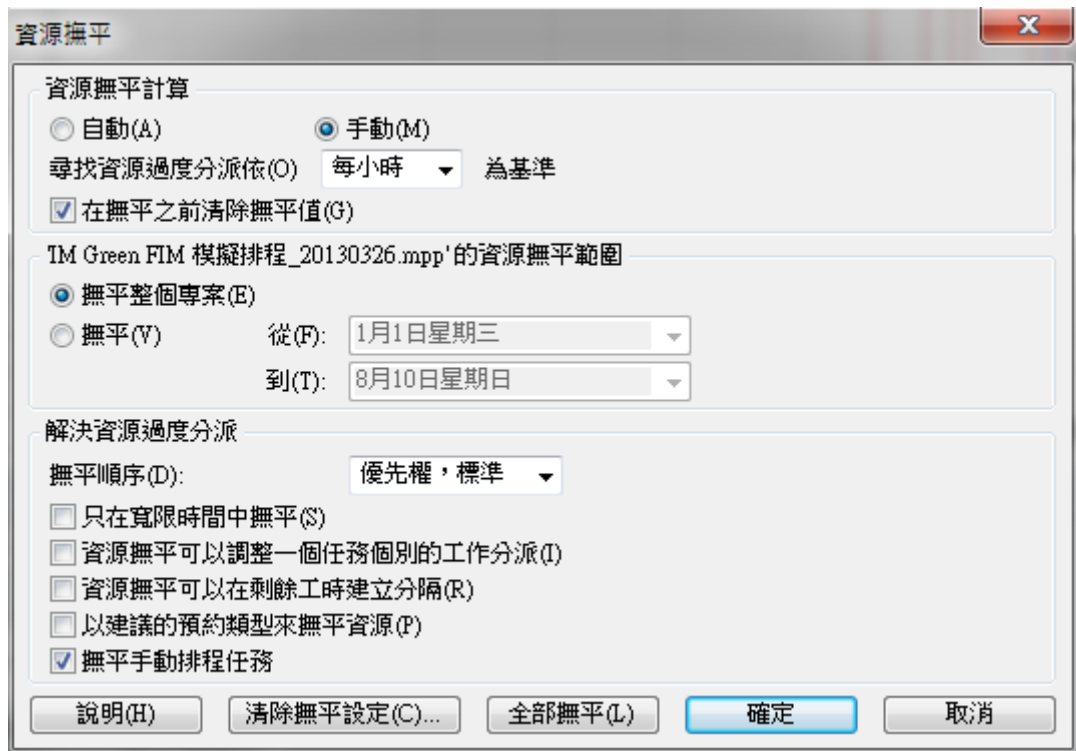


圖 3.4 Microsoft Project 資源撫平設定選項

圖 3.5 為 Microsoft Project 對於空調試車人員設定資源上限為 200% 並進行撫平之結果，由左邊的註解可得知若有過度分派，即使用超過資源最大可用量的部分將會以紅色長條警示。以圖 3.6 為例，若將空調試車人員設定資源上限修改為 100%，則依 200% 所進行的時程規劃，在資源使用上就會顯示為紅色長條呈現。

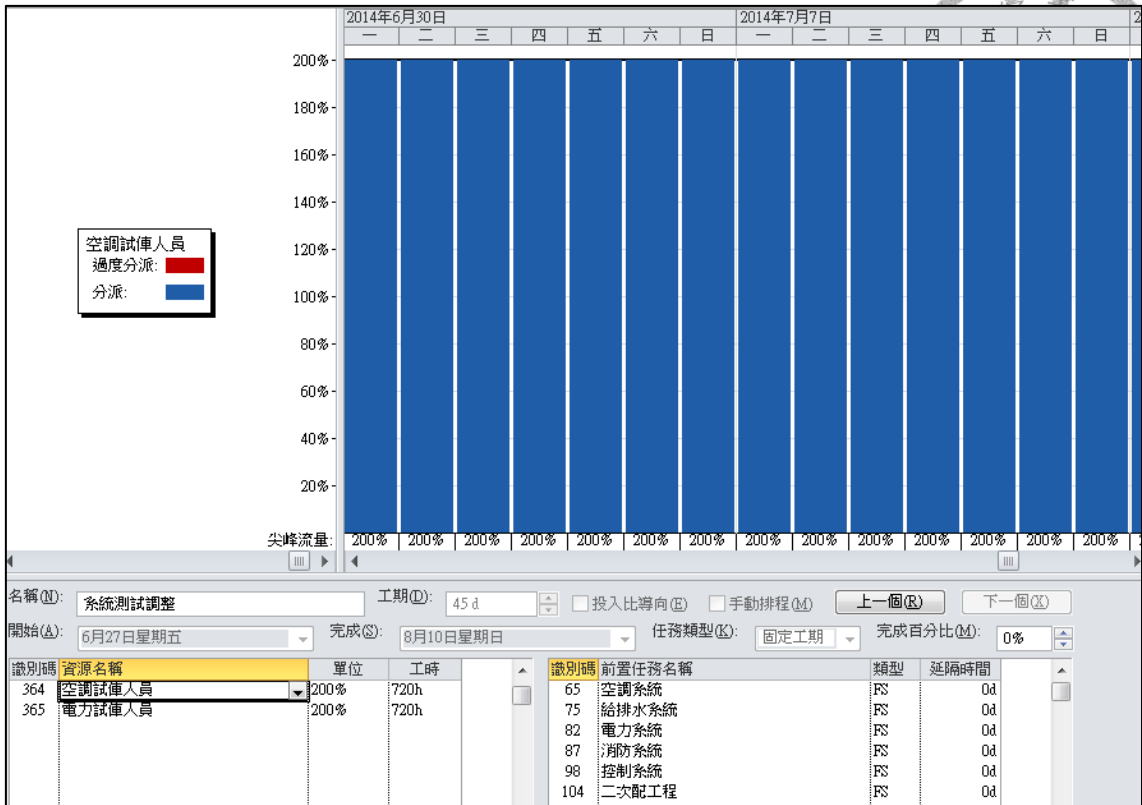


圖 3.5 Microsoft Project 資源撫平示意圖

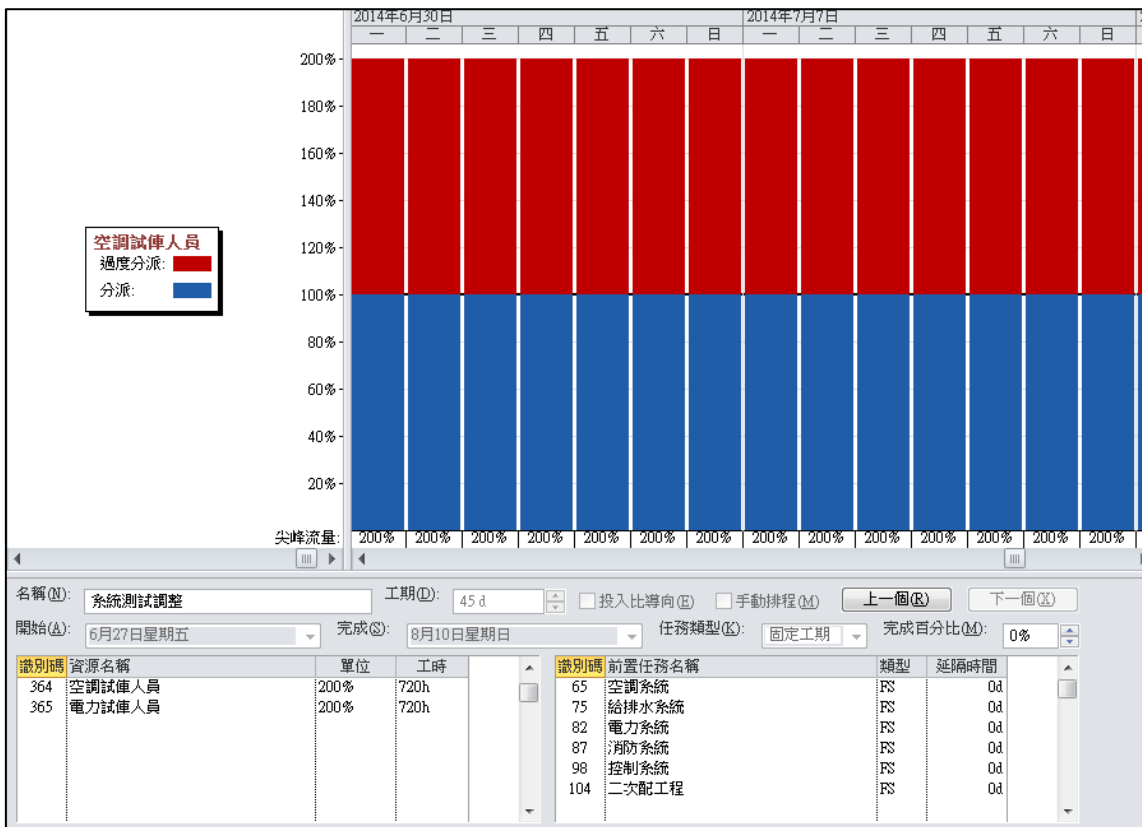


圖 3.6 Microsoft Project 資源過度分派示意圖



## 第四章 概念性系統開發

本章節著重於說明個參數的讀取與處理，以及如何讓程式以自動化的方式取代人工判讀。

### 4.1 Autodesk Navisworks & Bentley Schedule Simulation

在說明本研究採用方法前，先說明目前業界於 4D 展示上常選用的兩套軟體 Autodesk Navisworks & Bentley Schedule Simulation 與本研究相關之功能與限制。兩套軟體各有其優劣之處，單就其 4D 模擬使用上的比較簡單說明如下所示：

#### 1. 檔案匯入

##### 1.1 模型

模型部分，若要讀取的檔案為 Revit 的圖檔，Bentley Schedule Simulation 與 Autodesk Navisworks 都需要經由外掛程式轉檔。若是採用 Bentley 其他 BIM 軟體所繪製的 DGN 檔，Bentley Schedule Simulation 能夠直接讀取無須轉檔。

唯 Autodesk Navisworks 與 Autodesk Revit 同屬 Autodesk 的產品，在安裝 Navisworks 後會再 Revit 中的 Add-ins 自動出現轉檔按鍵。而 Bentley 軟體要另外安裝 Add-ins，但這僅是安裝流程上的差異，在 Revit 轉檔的過程並無任何差異。

##### 1.2 時程

Bentley Schedule Simulation 能夠讀取的檔案格式為 \*xml、\*mpx、\*txt，而 Autodesk Navisworks 除可讀取 \*csv、\*mpx，亦可 P3、P6 等既有排程軟體直接儲存之檔案。兩者的差異僅是 Autodesk Navisworks 在讀取一般排程軟體時無須有另存的步驟避免使用者發現問題修正後沒有另存的困擾。匯入後的差異在於 Bentley Schedule Simulation 會將 Early Start(ES)、Late Start(LS)等時程資訊一併匯入，而 Navisworks 則無。但在 Bentley Schedule Simulation 匯入 Microsoft Project 時程時無須選擇對應欄位，Autodesk Navisworks 需要，主要是兩套軟體在欄位名稱的設定



上有所不同，Bentley Schedule Simulation 欄位名稱是參考 Microsoft Project，而 Autodesk Navisworks 則是參考 P3/P6。

## 2. 時程資訊欄

兩套軟體之時程資訊欄分別為圖 4.2 與圖 4.3，在使用上同樣都能夠進行新建或刪除工項的動作，除了能自行在裡面建立時程表外，同樣也能匯入現有排程軟體(如 Microsoft Project、P3、P6 等)之檔案。編輯上，若是匯入的檔案在顯示上都會有子項母項的關係(如圖 4.1 中 Sub Project1 與 test ac1)及前後關係(如圖 4.1 中 test ac1 與 test ac3)。但兩套軟體在匯入時程檔案後，時程資訊中各工項間彼此的前後關係會消失。在排程軟體一旦任一工項之施作時間有更動，後項的時間會跟著更動，但在排程軟體中所定義之與其有前後關係的工項時間並不會有任何更動，這點兩套軟體中皆存在此問題。Bentley 官方有對於排程問題能讓使用者針對個案提出需求，進行客製化的程式開發。

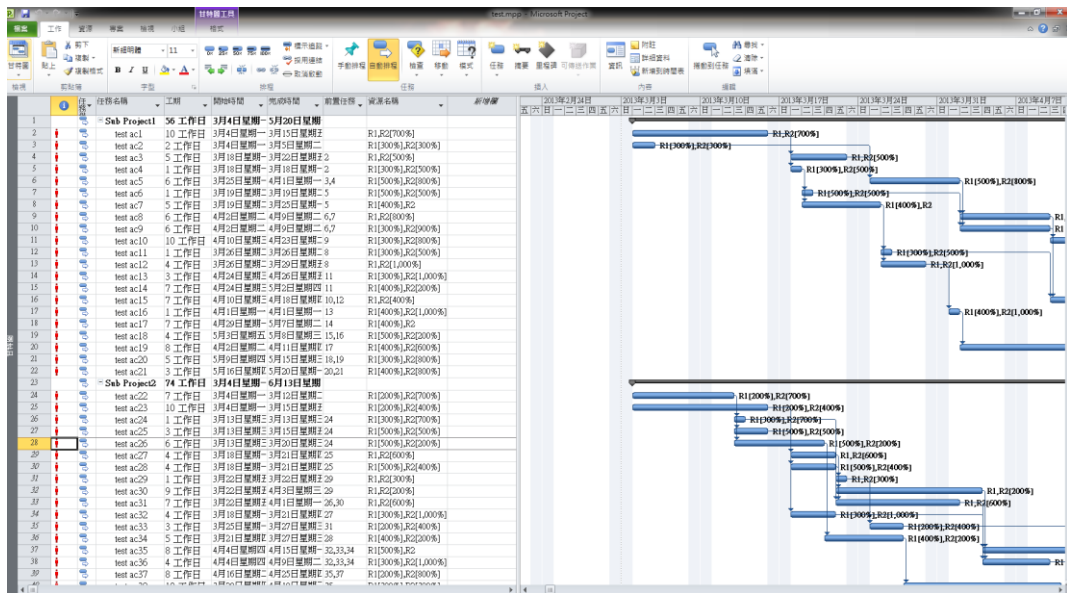


圖 4.1 Microsoft Project 排程檔案圖例

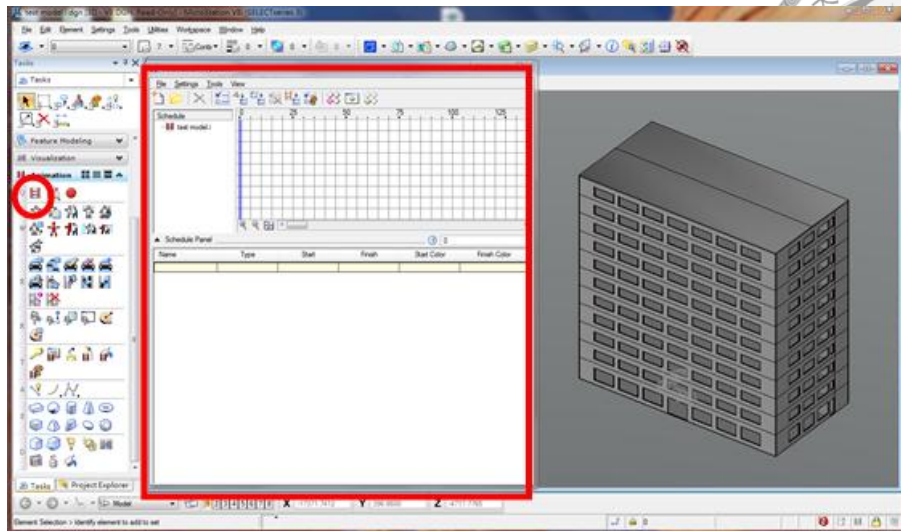


圖 4.2 Bentley Schedule Simulation Animation Producer

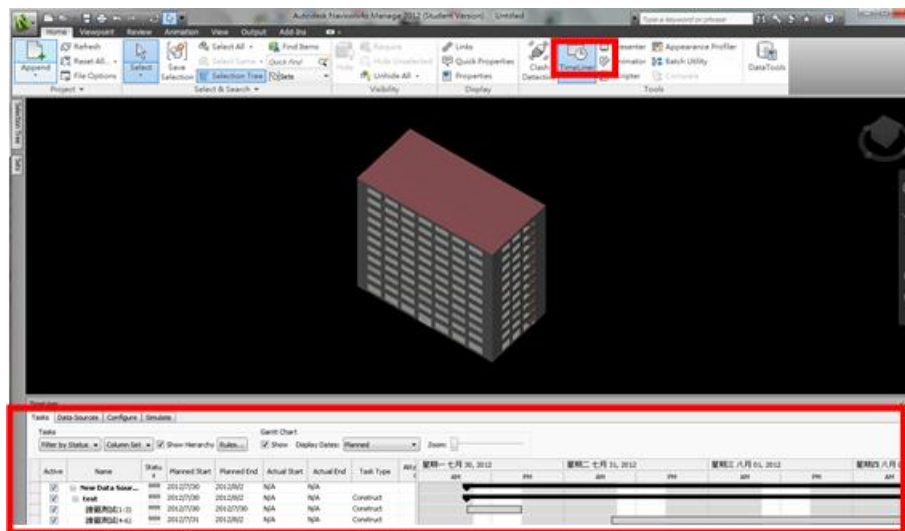


圖 4.3 Navisworks TimeLiner

### 3. 物件或選擇集與工項連結

若 BIM 模型物件存與時程資訊對應欄位，在 Autodesk Navisworks 中能夠自行定義配對規則(Mapping Rules)讓工項與物件或選擇集自動配對，但設定上限制是所配對的項目需與工項名稱相同。而 Bentley Schedule Simulation 僅能與選擇集相互配對，因其配對窗格為下拉式選單必須以手動選擇各工項所配對的選擇集。

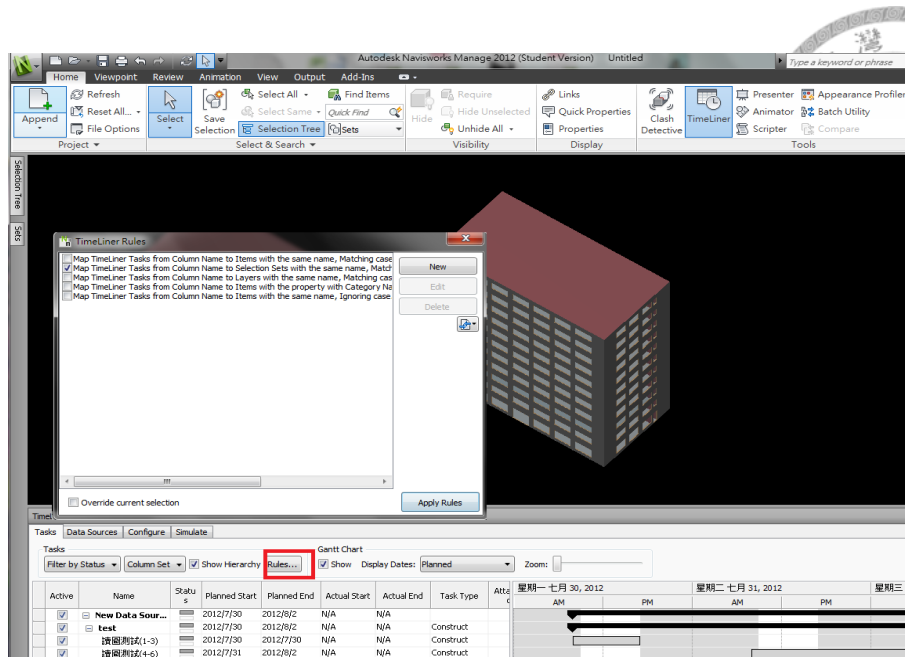


圖 4.4 Navisworks TimeLiner

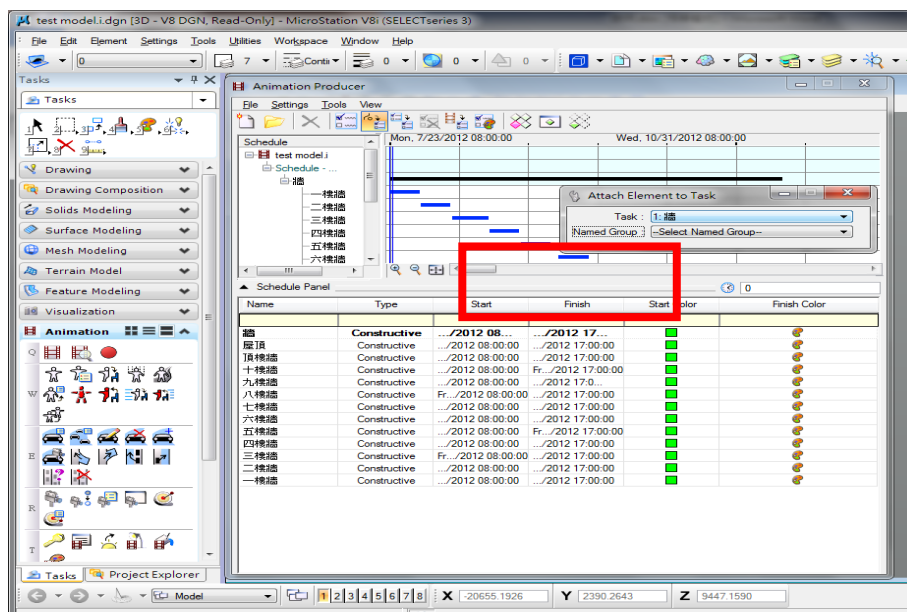


圖 4.5 Bentley Schedule Simulation Animation Producer

#### 4. 建立選擇集或群組

兩套軟體皆可直接建立新的選擇集後將物件附加進選擇集中，兩套軟體該功能的名稱有些許差異，Autodesk Navisworks 中為選擇集(Selection Sets)，Bentley Schedule Simulation 為群組(Groups)。



兩套軟體在建立選擇集的功能並無太大的差異，但兩者在物件的點選上有些許差異。當然，直接從圖面上點選物件這點在兩套軟體是沒有差異的，但 Autodesk Navisworks 利用選擇樹(Selection Tree)點選與 Bentley Schedule Simulation 利用 Level 點選的功能上兩者有些許差異。

因 Revit 的模型是以物件的方式建立，在 Autodesk Navisworks 的選擇樹是以 Revit 中所建立物件最為底層，往上依序是模板名稱、樓層、圖檔名稱。Bentley Schedule Simulation 則是以物件種類作為分類依據。

表 4.1 Autodesk Navisworks 與 Bentley Schedule Simulation 比較表

	Autodesk Navisworks	Bentley Schedule Simulation
1. 檔案匯入	Autodesk Navisworks 與 Bentley Schedule Simulation 皆可利用官方 API 進行 Revit 模型轉換為軟體使用之檔案格式。Bentley 於 Microstation 中所建立之*dgn 檔亦可轉換為*dxf 檔供 Autodesk Navisworks 讀取。主要為檔案轉換處理程序，匯入方式兩者並無顯著差異。	
2. 時程資訊欄	兩套軟體都能新建或刪除工項，匯入的檔案於顯示上都會有子項母項的關係，但卻都無工項的前後關係，修正工項開始或結束時間，其餘工項並不會跟著改變。	
3. 物件或選擇集與工項連結	能夠定義 Mapping Rules 讓工項與物件或選擇集自動配對	配對窗格為下拉式選單，且工項僅能與選擇集相互配對，必須以手動選擇各工項所配對的選擇集
4. 建立選擇集或群組	Navisworks 中為選擇集(Selection Sets) Bentley Schedule Simulation 為群組(Groups) 兩者在建立上並無太大差異，但選擇物件上 Autodesk Navisworks 是利用選擇樹點選而 Bentley Schedule Simulation 則是利用 Level 點選。	
	I.利用 Selection Tree 點選 II. Revit 的模型是以物件的方式建立， Selection Tree 以 Revit 中所建立物件最為底層，往上依序是模板名稱、樓層、圖檔名稱，都可直接點選。	I.利用 Level 點選 II.則是以物件種類作為分類依據。
5. 模擬展示	使用者皆可依據設定完成的時間作展示，亦可設定透明度等展示性質，展示的精美程度要取決初始模型。	



## 4.2 BIM 模型物件與時程資訊對應關係建立

依 Autodesk Navisworks 與 Bentley Schedule Simulation 比較說明所述，為方便日後 Autodesk Navisworks 將 BIM 模型與 Microsoft Project 匯入後兩者將得自動連結，於 BIM 模型中需先寫入對應關係資訊。本研究於物件的「Comments」中輸入該物件所對應之工項名稱，作為 BIM 模型與時程檔案的連接資訊，如圖 4.6。

而物件屬性中的「Description」加入機電設備拆解後最大部分的尺寸資訊，因判別可否通過僅需二維資訊，故在此僅記錄二維資訊與建築物之門窗尺寸比較。隨著 BIM 的發展，物件所包含的資訊會越來越多，本研究在此先以 Description 欄位儲存物件之尺寸，日後有專屬欄位僅需變更讀取的欄位名稱即可。在此做個提醒與說明，由圖 4.6 可知「Comments」與「Description」是儲存於不同位置，因此讀取時亦有些許差異，簡單的讀取差異說明於表 4.2。

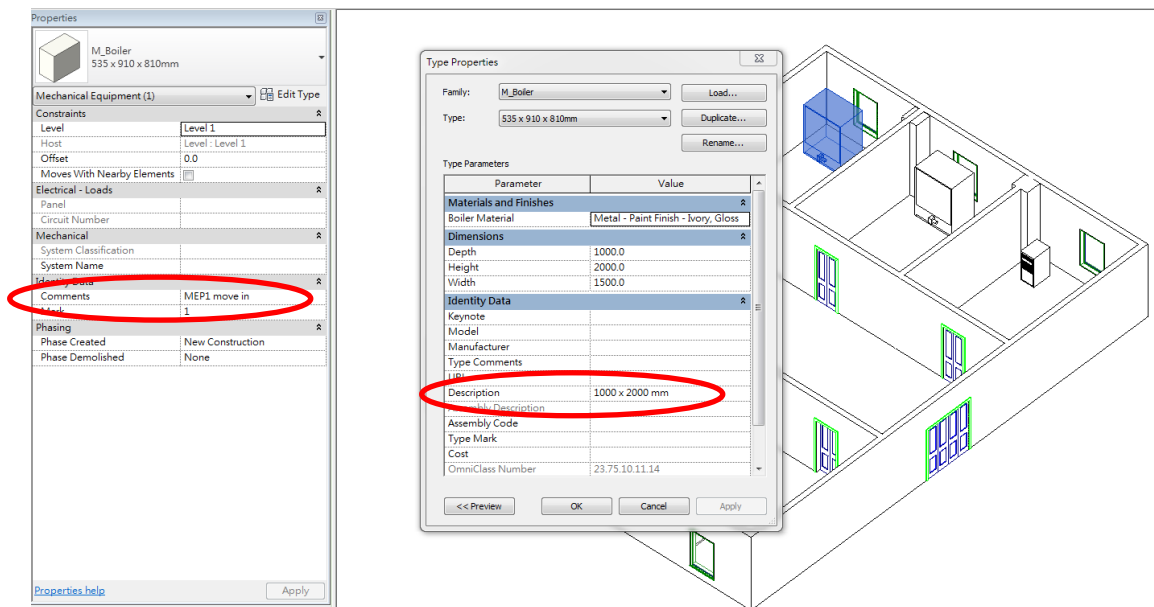
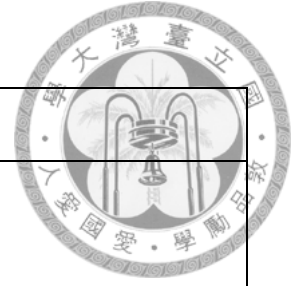


圖 4.6 BIM 模型中添加之物件資訊

表 4.2 程式讀取物件資訊差異說明

Comments	<code>element.get_Parameter("Comments")</code>
Description	<code>FamilyInstance familyins = element as FamilyInstance;</code> <code>familyins.Symbol.get_Parameter("Description")</code>



### 4.3 系統架構圖

本研究依據所建立之 BIM 模型與 Microsoft Project 所建立之時程檔案進行分析。主要的執行步驟如下：

1. 讀取時程資訊與 BIM 模型中所需物件資訊，包含門、窗、牆、房間、機電設備。
2. 判別房間內是否有機電設備。
3. 若有，則判別該房間是否存在預留牆面供機電設備進場。
4. 若該房間是否存在預留牆面供機電設備進場則無軟衝突，若無預留牆面則判別該房間是否有未使用過(註一)之門或窗可讓此機電設備通行。(註二)
5. 若有可通行之門或窗，則進入下一房間並回到步驟 3 進行判別。若無則判別是否有先前通過的房間可退回，並進入步驟 6。
6. 若有先前通過的房間可退回，則退回先前通過之房間並回到步驟 3 進行判別。若無，則存在軟衝突，將列出清單供使用者參考。
- 7.
8. 使用者可選擇是否輸出至 Microsoft Excel 以便日後修改參考。

註一：在該機電設備的判別過程中尚未通過之開口，歸類為未使用過。

註二：本研究是以反向的方法判斷，只要機電設備進場的工項開始的時間，有動線能從所在空間移出至建築物之外即代表其無軟衝突發生。

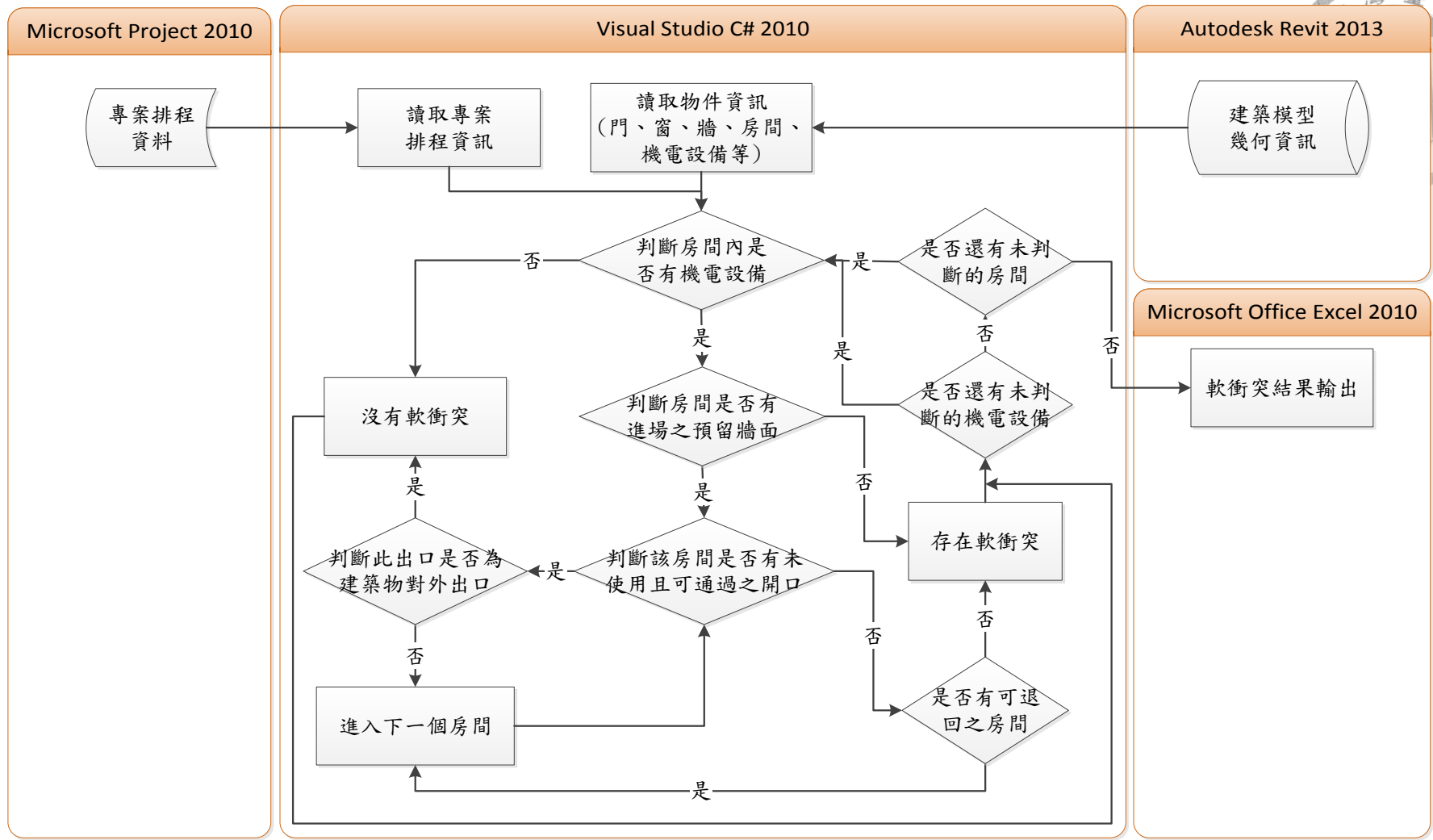


圖 4.7 系統架構圖

本研究乃是以 Autodesk Revit API 撰寫一掛載於 Revit 中的外掛程式，使用者僅需執行此程式，執行後會跳出類似檔案總管的介面(如圖 4.9)，供使用者選擇對應之排程檔案進行軟衝突檢測。

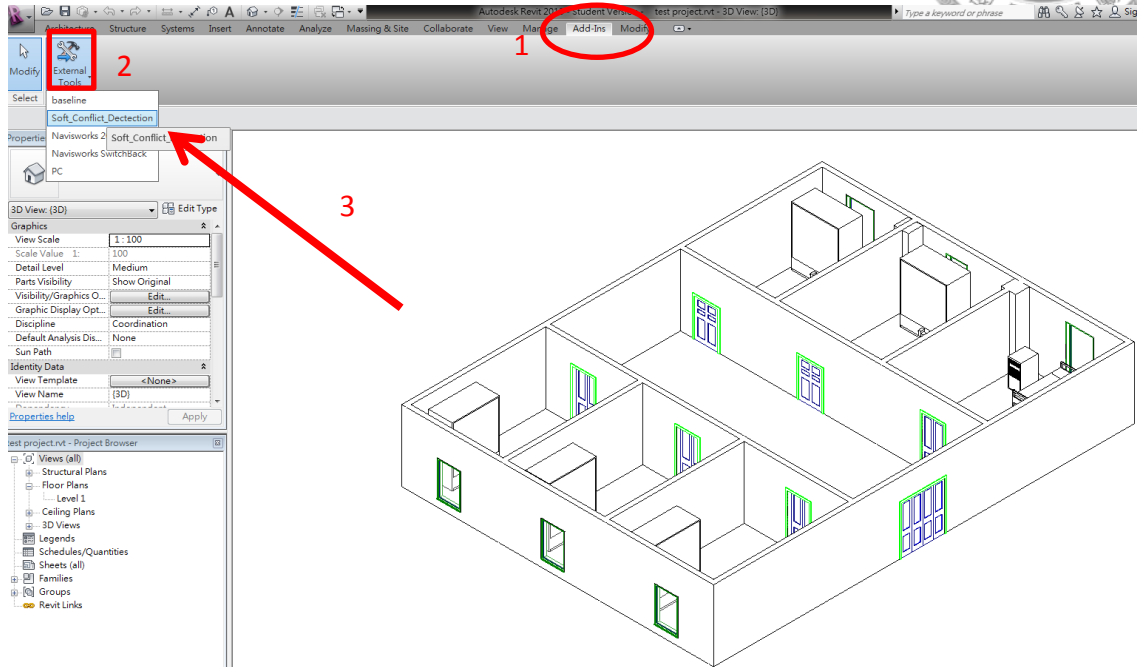


圖 4.8 程式執行步驟

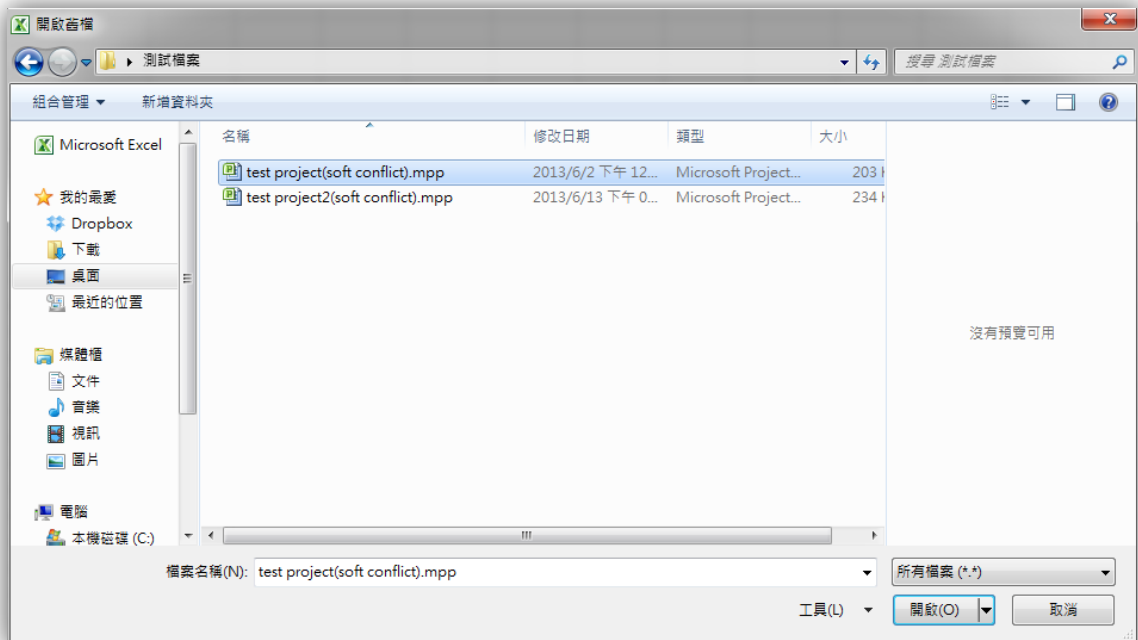


圖 4.9 選擇時程檔案



#### 4.4 自動判讀空間內是否擁有機電設備

在 3D 模型中要用人工判斷物件是否位在某空間之內是相當容易的，然而，由程式依據各物件座標判別，則需透過數學方法解決。本方法之步驟與步驟 3 判斷過程之虛擬程式碼如下：

1. 讀取包圍空間之座標。
2. 讀取物件之座標。
3. 由物件座標向右做一射線。
4. 與空間交點為奇數，則物件在空間內。反之，則物件在空間外。

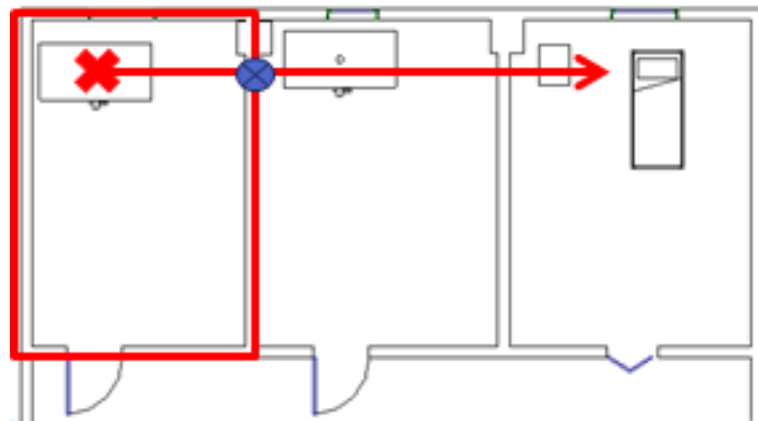


圖 4.10 物件存在空間內判別示意圖 1

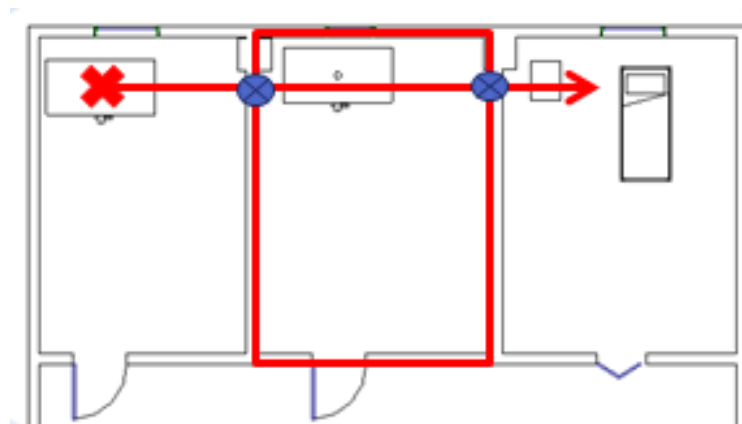


圖 4.11 物件存在空間外判別示意圖 2



$X_m$  = 機電某端點座標之 X 值

$Y_m$  = 機電某端點座標之 Y 值

For (房間之每一牆面)

```
{  
    //牆面端點座標 1 與端點座標 2 請參考圖 4.10  
    X1 = 牆面端點 1 座標之 X 值  
    Y1 = 牆面端點 1 座標之 Y 值  
    X2 = 牆面端點 2 座標之 X 值  
    Y2 = 牆面端點 2 座標之 Y 值  
    If(機電設備之 Y 座標介於牆面兩端間之間)  
    {  
         $X = X_1 - [(X_1 - X_2) * (Y_1 - Y_m)] / (Y_1 - Y_2)$   
    }  
    If(  $X > X_m$  )  
    {  
        與空間交點個數 + 1  
    }  
}
```

註：此方法僅能應用於凸多邊形的檢測，因一般建築物多為凸多邊形，故本研究以此方法檢測。

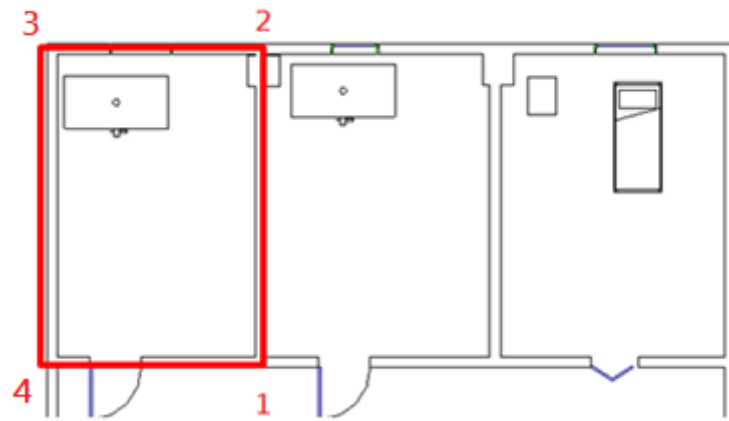


圖 4.12 牆面端點編號示意圖

在此對於針對幾點會遇到的問題做簡單的說明，為了下一步軟衝突的判讀，會先利用程式讀取並記錄牆面座標。而若紀錄之牆面座標僅記錄牆面之端點(如圖 4.12 之 1,2,3,4)，而非分開記錄各牆面座標，如記錄方式為 (1,2), (2,3)，則需注意程式在讀取物件時未必會以逆時針的方式讀取牆。因此在座標紀錄上未必會照順序讀取，如記錄方式為 1,3,2,4，則所構成空間外圍就非模型中之外牆，於判讀上就會發生錯誤。

而判斷方程式的部分，僅是利用比例的方式判斷牆面是否於物件之右側。若物件位於牆面左側，則  $X > X_m$ ，反之  $X < X_m$ 。判斷說明如圖 4.13。

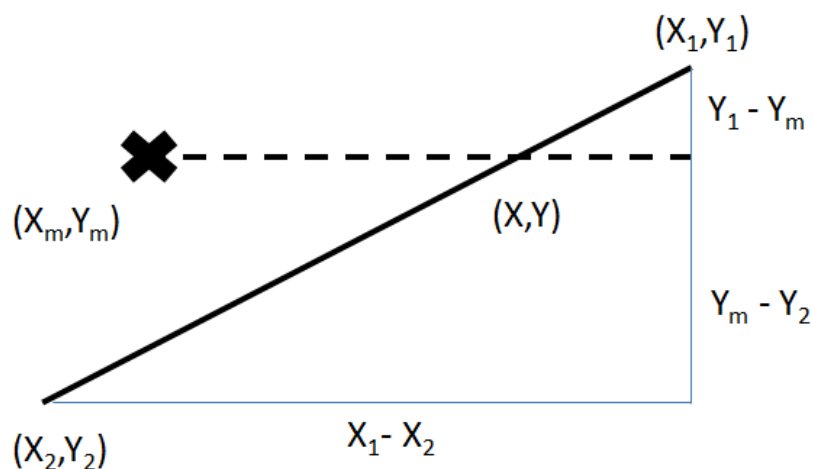


圖 4.13 判斷式圖解說明



#### 4.5 自動判讀物件是否存在軟衝突

如同系統架構圖所述，本研究乃是以倒推的方式判別軟衝突是否存在，只要機電設備進場的工項開始的時間，有動線能從所在空間移出至建築物之外即代表其無軟衝突發生。

判斷規則同系統架構圖所述，依據連接兩房間之開口進行移動，並繼續判斷該房間是否有開口能讓機電設備通過，如此重複至找到對外出口或判定該物件存在依目前規劃會發生軟衝突。若該房間並無可通過之開口，則退回前一房間判別是否有其餘可通行之開口，若無繼續退回前一房間，退回物間所在空間則判定為存在軟衝突。

而在判斷能否通過上，於物件寬度左右各加上 20 公分的保留空間，高度亦加入 20 公分的保留空間。避免機電設備之尺寸與開口尺寸太相近導致物件通過時發生碰撞因此造成機電設備或建築結構體的損壞，產生不必要之損失。

#### 4.6 附著於牆面上的窗與門讀取

本研究乃是以倒推的方式判別軟衝突是否存在，因此需先判別物件所在房間，而 Reivt API 在讀取包圍房間的牆面後再讀取附著於牆面之門窗時可能會發生錯誤。如圖 4.12 所示，不論從 Room 1 或 Room 2 讀取包圍牆面時，都會讀取到已選取的牆面(藍色牆面)，因此在讀取附著於牆面之門窗時 Room1 與 Room 2 的門皆會被判定為附著於此牆面，但程式無法判別哪個門屬於物件所在之房間的通行出口，就可能發生判定錯誤的問題。圖 4.14 中，機電設備與兩個門的尺寸如表 4.3，由圖可知機電設備位於 Room 1，而 Room 1 的門無法讓該機電設備通過，但 Room 2 的門能讓此機電設備通過，若發生此種狀況(同一牆面上的門有不同大小)時就會導致有軟衝突未被偵測到。

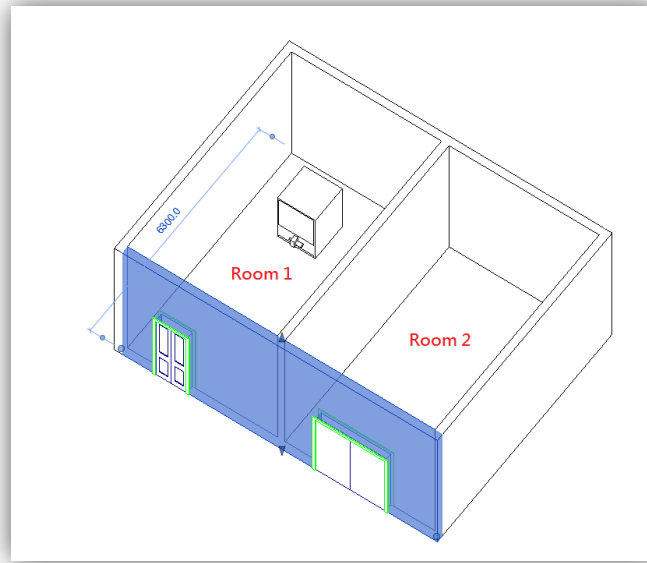


圖 4.14 門窗讀取問題示意模型

表 4.3 示意模型中之物件尺寸

物件名稱	物件尺寸
機電設備	1000 x 1500 mm
Room 1 門	813 x 2134 mm
Room 2 門	1830 x 1981 mm

要解決此問題方法就是在建模時將牆面分別建立，如圖 4.15。如此一來，在所有房間的包圍牆面都是獨立的，在判別附著於此牆面的門窗時就不會讀取到其他房間的門窗，就不會有錯誤的發生。

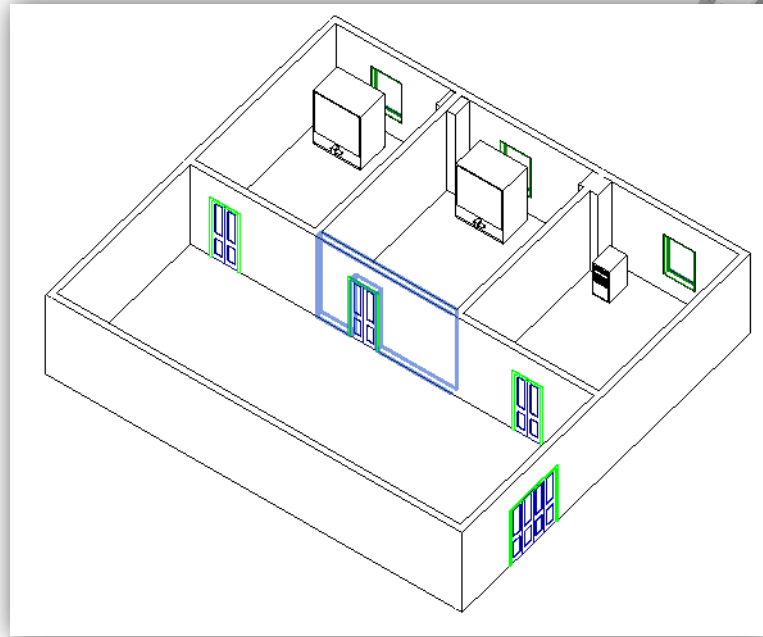


圖 4.15 門窗讀取問題修正方法示意模型



## 第五章 系統驗證與應用

### 5.1 系統驗證

本研究依第四章所提之方法進行虛擬模型與實際案例的軟衝突偵測模擬。圖 5.1 為本研究所建立之虛擬案例模型，圖為建築物 2 樓截圖，紅色箭頭為通往樓梯與電梯的方向。設計考量吊具僅能由 Room 1~Room 3 這一側進行機電設備的吊送。圖中所選擇的牆面，即 Room 2 中被選擇之藍色牆面，為此建築物供機電設備進場所保留的預留牆面。

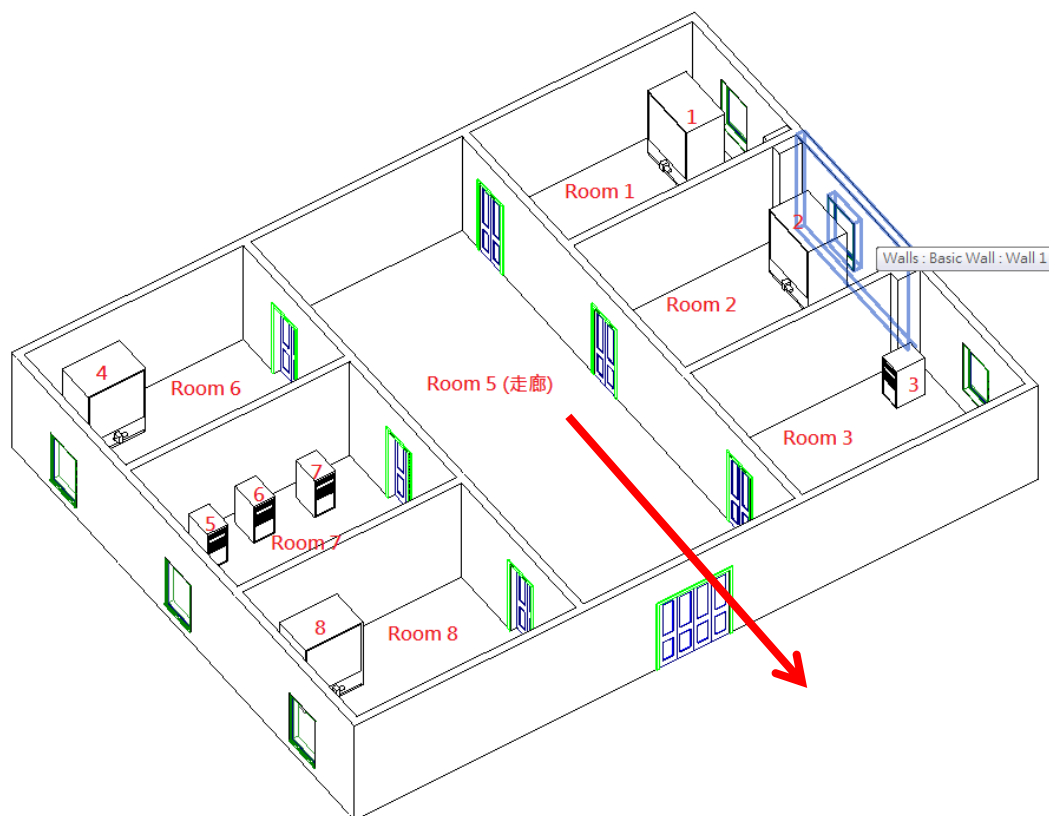


圖 5.1 虛擬案例模型

圖中各物件的尺寸資訊於表 5.1 與表 5.2，從表中可以發現 MEP1 所在的 Room 1、MEP2 所在的 Room 2、MEP4 所在的 Room 6、MEP8 所在的 Room 8 不論門或窗都沒有足夠大的開口讓這些機電設備進出。若這些房間沒有預留牆面，則這些機電設備必定有軟衝突存在，而這些房間當中只有 Room 2 有預留牆面(圖 5.1 藍色牆面)，其餘房間皆未設計預留牆面供機電設備進出，表示 MEP2、MEP4、MEP8 於施作時會發生軟衝突。

表 5.1 虛擬案例模型中之門窗尺寸

物件名稱	物件尺寸
Room1 門	815 x 2134 mm
Room2 門	815 x 2134 mm
Room3 門	815 x 2134 mm
Room6 門	815 x 2134 mm
Room7 門	815 x 2134 mm
Room8 門	815 x 2134 mm
走廊門	1830 x 2032 mm
窗	1000 x 1500 mm

表 5.2 虛擬案例模型中之機電設備尺寸

物件名稱	物件尺寸	所在房間
MEP1	1000 x 1500 mm	Room 1
MEP2	1000 x 1500 mm	Room 2
MEP3	725 x 540 mm	Room 3
MEP4	1000 x 1500 mm	Room 6
MEP5	725 x 540 mm	Room 7
MEP6	725 x 540 mm	Room 7
MEP7	725 x 540 mm	Room 7
MEP8	1000 x 1500 mm	Room 8



而其餘四個機電設備 Room 3 中的 MEP3 以及 Room 7 中的 MEP5、MEP6、MEP7，從尺寸大小可發現，這些機電設備皆能通過所在房間的門或窗，但是僅有 Room 3 中的 MEP3 能夠從窗戶吊送進入房間，Room 7 中的 MEP5、MEP6、MEP7 由於 Room 6~Room 8 這一側無法使用吊具之因素，無法直接從窗戶吊送進入房間。因本研究假設機電設備僅能使用吊具吊送，無法透過樓梯搬運，故 MEP5、MEP6、MEP7 需經由 Room 2 的預留牆面或者 Room 1、Room 3 的窗戶進入，軟衝突是否存在必須配合排程資訊進行軟衝突檢測，圖 5.2 為本虛擬案例之 2 樓排程資訊。除預留牆面之外的建築物牆體先行完成，接著機電設備進場，最後進行預留牆面的施作。

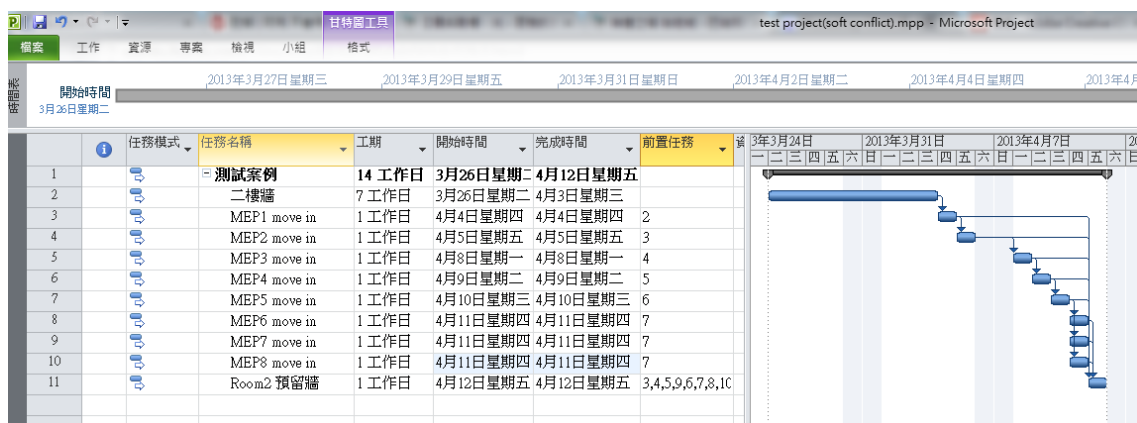


圖 5.2 虛擬案例之排程資訊

由模型物件尺寸與排程資訊可知測試案例存在之軟衝突之機電設備為 Room 1 的 MEP1、Room 6 的 MEP4、Room 8 的 MEP8 因機電設備的大小無法順利進出房間，並無足夠空間讓機電設備進入。

圖 5.3 為 Revit API 程式執行後的偵測結果，前文所說的 Room 1 的 MEP1(535 x 910 x 810 mm)、Room 6 (535 x 910 x 810 mm)的 MEP4、Room 8 的 MEP8(535 x 910 x 810 mm)因機電設備的大小無法順利進出房間，並無足夠空間讓機電設備進入

(Clash 1)，皆有被偵測到。此外，Room 7 中的 MEP5 (540 x 725 x 1170 mm)、MEP6 (540 x 725 x 1170 mm)、MEP7 (540 x 725 x 1170 mm)須經由其他空間通行，若經過的空間有其他的機電設備已經提前進場，則有可能阻礙此項機電設備通行，導致該機電設備通行空間不足(Clash 2)，故在此也有提出警示，讓使用者對於此項機電設備的動線再進一步地確認。



圖 5.3 虛擬案例之軟衝突偵測結果

由 Revit API 程式所偵測出之軟衝突結果，使用者可參考偵測結果，直接修正 Revit BIM Model 或者 Microsoft Project 中與存在軟衝突之相關資訊，如物件進場時間、門窗大小等導致軟衝突發生的因子。舉例來說，因 Room 2 有預留牆，MEP2 過早進場容易導致其餘機電設備的進場受到阻礙，若我們將 MEP2 的進場時間修正，讓其餘機電設備都進場後，再讓 MEP2 進場，或許就能解決 Clash 2(經過的空間有其他的機電設備已經提前進場，有可能阻礙此項機電設備通行，導致該機電設備通行空間不足)。圖 5.4 為修改後之虛擬案例之排程資訊，而圖 5.5 為修正時程資訊後之 Revit API 軟衝突偵測結果，可發現 Clash 2 的警示已消失。

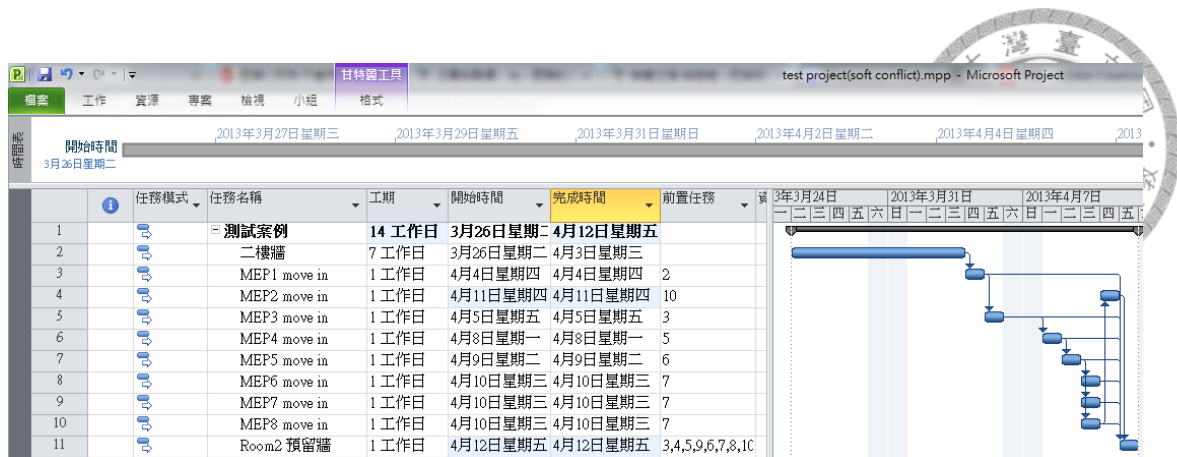


圖 5.4 虛擬案例修正後之排程資訊



圖 5.5 修正時程資訊後之虛擬案例之軟衝突偵測結果

除了利用視窗展示的結果直接修正模型與時程資訊外，若使用者無法於程式執行軟衝突偵測的當下無法馬上進行修正，使用者亦可將結果輸出至 Microsoft Office Excel 中，供日後修正討論時的參考，表 5.3 為圖 5.1 虛擬案例之軟衝突偵測結果輸出至 Excel 之結果，各機電設備的資料分別依據樓層、所在空間、物件名稱、軟衝突原因做輸出。在此 Clash 1、Clash 2 等代號以文字取代，讓使用者在修正討論的參考時無須再進行查詢代號對應的軟衝突原因。

表 5.3 虛擬案例模型中之軟衝突偵測結果

樓層	所在空間	物件名稱	軟衝突原因
Level 1	Room 1	MEP 1	並無足夠空間讓該物件進入
Level 1	Room 6	MEP 4	並無足夠空間讓該物件進入
Level 1	Room 7	MEP 5	物件預計進場之空間內有物件較早進場， 可能導致該物件通過空間不足
Level 1	Room 7	MEP 6	物件預計進場之空間內有物件較早進場， 可能導致該物件通過空間不足
Level 1	Room 7	MEP 7	物件預計進場之空間內有物件較早進場， 可能導致該物件通過空間不足
Level 1	Room 8	MEP 8	並無足夠空間讓該物件進入



## 5.2 系統應用

本研究以某企業之新建廠房作為系統應用之驗證，考量其機電設備配置之機密性，本研究選用 Revit 內建機電設備模板並對機電設備的配置部分做些許調整，機電設備名稱皆以 MEP n 取代。圖 5.6 為本研究依據該廠房設計圖所建立之 Revit 模型，為方便觀看格局，圖 5.6 之屋頂已被移除。

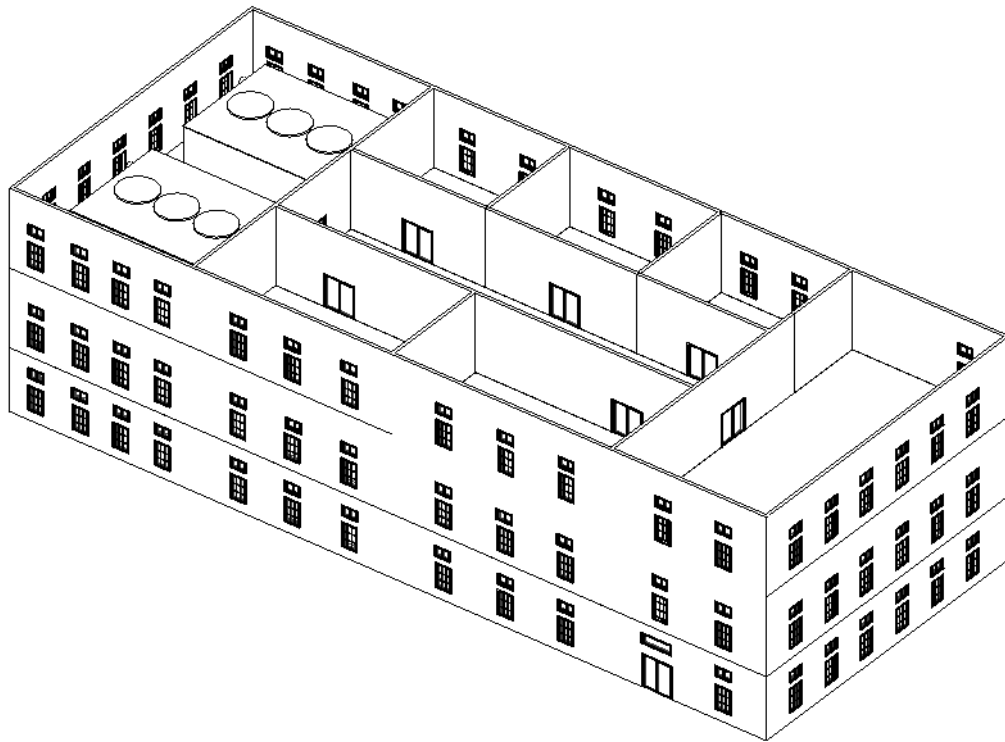


圖 5.6 系統驗證之案例 Revit 模型

以本案例之 Level 1 平面圖 (圖 5.7) 說明此案例之配置，本案例模型中，出入口為右下角之大門，其中 Room 1 內之兩個機電設備為特殊機電設備，尺寸相當大，貫穿本案例之 3 個樓層，而 Room 2、Room 3、Room 4、Room 6、Room 7 為較小的機電設備配置處。



圖 5.7 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 1 平面圖

圖 5.8 與圖 5.9 分別為本案例之 Level 2 及 Level 3 平面圖，Level 3 的機電設備配置本研究並未能取得，故於系統應用上僅針對 Level 1 與 Level 2 的軟衝突進行偵測。樓層與樓層間是以樓梯連接，樓梯位於大門進入後之空間，本研究並未將樓梯繪入所建立之模型中。



圖 5.8 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 2 平面圖

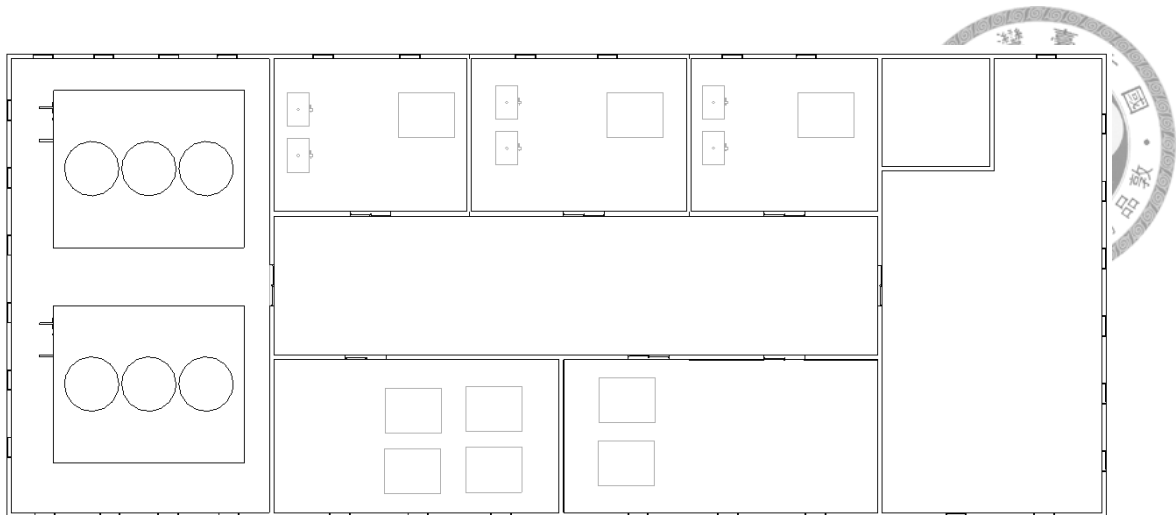


圖 5.9 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 3 平面圖

表 5.4 與表 5.5 分別為本案例之門窗尺寸與機電設備尺寸。

表 5.4 虛擬案例模型中之門窗尺寸

物件名稱	物件尺寸
大門	1830 x 2032 mm
走道門	1830 x 2032 mm
Room 2 門	1830 x 2032 mm
Room 3 門	1830 x 2032 mm
Room 4 門	1830 x 2032 mm
Room 6 門	1830 x 2032 mm
Room 7 門	1830 x 2032 mm
Room 9 門	1830 x 2032 mm
Room 10 門	1830 x 2032 mm
Room 11 門	1830 x 2032 mm
Room 13 門	1830 x 2032 mm
Room 14 門	1830 x 2032 mm
Room 16 門	1830 x 2032 mm
Room 17 門	1830 x 2032 mm
Room 18 門	1830 x 2032 mm
Room 20 門	1830 x 2032 mm
Room 21 門	1830 x 2032 mm
窗	1525 x 915 mm



表 5.5 虛擬案例模型中之機電設備尺寸

物件名稱	物件尺寸	所在房間
MEP1	7000 x 8500 mm	Room 1
MEP2	7000 x 8500 mm	Room 1
MEP3	1000 x 1500 mm	Room 2
MEP4	1000 x 1500 mm	Room 2
MEP5	1000 x 1500 mm	Room 3
MEP6	1000 x 1500 mm	Room 3
MEP7	1000 x 1500 mm	Room 4
MEP8	1000 x 1500 mm	Room 4
MEP9	2000 x 2500 mm	Room 6
MEP10	2000 x 2500 mm	Room 6
MEP11	2000 x 1500 mm	Room 6
MEP12	2000 x 1500 mm	Room 6
MEP13	2000 x 1500 mm	Room 7
MEP14	2000 x 1500 mm	Room 7
MEP15	2000 x 1500 mm	Room 7
MEP16	2000 x 1500 mm	Room 7
MEP17	1000 x 1500 mm	Room 9
MEP18	1000 x 1500 mm	Room 9
MEP19	2000 x 1500 mm	Room 9
MEP20	1000 x 1500 mm	Room 10
MEP21	1000 x 1500 mm	Room 10
MEP22	2000 x 1500 mm	Room 10
MEP23	1000 x 1500 mm	Room 11
MEP24	1000 x 1500 mm	Room 11
MEP25	2000 x 1500 mm	Room 11
MEP26	2000 x 1500 mm	Room 13
MEP27	2000 x 1500 mm	Room 13
MEP28	2000 x 1500 mm	Room 13
MEP29	2000 x 1500 mm	Room 13
MEP30	2000 x 1500 mm	Room 14
MEP31	2000 x 1500 mm	Room 14



因業主於採購時已與設備廠商協調過，除了 MEP 1、MEP 2 兩項設備較特殊無法拆解外，其餘設備皆能拆解為可通過廠房內門之大小的物件。因此本研究所定義之 Clash #1 並無足夠空間讓該物件進入，於驗證案例中有此軟衝突的機電設備較少。

圖 5.10 為本案例之機電設備進場時程規劃，該時程規劃為簡化過後之規畫。

	i	任務模式	任務名稱	工期	開始時間	完成時間	前置任務
1		⇒	案例驗證	52 工作日	3月26日星期二	6月5日星期三	
2		⇒	一樓牆	7 工作日	3月26日星期二	4月3日星期三	
3		⇒	二樓牆	7 工作日	4月4日星期四	4月12日星期五	2
4		⇒	三樓牆	7 工作日	4月15日星期一	4月23日星期二	3
5		⇒	MEP1 move in	1 工作日	4月24日星期三	4月24日星期三	4
6		⇒	MEP2 move in	1 工作日	4月25日星期四	4月25日星期四	5
7		⇒	MEP3 move in	1 工作日	4月26日星期五	4月26日星期五	6
8		⇒	MEP4 move in	1 工作日	4月29日星期一	4月29日星期一	7
9		⇒	MEP5 move in	1 工作日	4月30日星期二	4月30日星期二	8
10		⇒	MEP6 move in	1 工作日	5月1日星期三	5月1日星期三	9
11		⇒	MEP7 move in	1 工作日	5月2日星期四	5月2日星期四	10
12		⇒	MEP8 move in	1 工作日	5月3日星期五	5月3日星期五	11
13	☰	⇒	MEP9 move in	1 工作日	5月6日星期一	5月6日星期一	12
14	☰	⇒	MEP10 move in	1 工作日	5月7日星期二	5月7日星期二	13
15	☰	⇒	MEP11 move in	1 工作日	5月8日星期三	5月8日星期三	14
16	☰	⇒	MEP12 move in	1 工作日	5月9日星期四	5月9日星期四	15
17	☰	⇒	MEP13 move in	1 工作日	5月10日星期五	5月10日星期五	16
18	☰	⇒	MEP14 move in	1 工作日	5月13日星期一	5月13日星期一	17
19	☰	⇒	MEP15 move in	1 工作日	5月14日星期二	5月14日星期二	18
20	☰	⇒	MEP16 move in	1 工作日	5月15日星期三	5月15日星期三	19
21	☰	⇒	MEP17 move in	1 工作日	5月16日星期四	5月16日星期四	20
22	☰	⇒	MEP18 move in	1 工作日	5月17日星期五	5月17日星期五	21
23	☰	⇒	MEP19 move in	1 工作日	5月24日星期五	5月24日星期五	28
24	☰	⇒	MEP20 move in	1 工作日	5月20日星期一	5月20日星期一	22
25	☰	⇒	MEP21 move in	1 工作日	5月21日星期二	5月21日星期二	24
26	☰	⇒	MEP22 move in	1 工作日	5月27日星期一	5月27日星期一	23
27	☰	⇒	MEP23 move in	1 工作日	5月22日星期三	5月22日星期三	25
28	☰	⇒	MEP24 move in	1 工作日	5月23日星期四	5月23日星期四	27
29	☰	⇒	MEP25 move in	1 工作日	5月28日星期二	5月28日星期二	26
30	☰	⇒	MEP26 move in	1 工作日	5月29日星期三	5月29日星期三	29
31	☰	⇒	MEP27 move in	1 工作日	5月30日星期四	5月30日星期四	30
32	☰	⇒	MEP28 move in	1 工作日	5月31日星期五	5月31日星期五	31
33	☰	⇒	MEP29 move in	1 工作日	6月3日星期一	6月3日星期一	32
34	☰	⇒	MEP30 move in	1 工作日	6月4日星期二	6月4日星期二	33
35	☰	⇒	MEP31 move in	1 工作日	6月5日星期三	6月5日星期三	34

圖 5.10 系統驗證之案例時程



表 5.6 驗證案例執行成果

樓層	所在空間	物件名稱	軟衝突原因	衝突點
Level 1	Room 1	MEP 1	並無足夠空間讓該物件進入	Room 1
Level 1	Room 1	MEP 2	並無足夠空間讓該物件進入	Room 1
Level 2	Room 9	MEP 17	並無足夠空間讓該物件進入	Room 9
Level 2	Room 9	MEP 18	並無足夠空間讓該物件進入	Room 9
Level 2	Room 9	MEP 19	並無足夠空間讓該物件進入	Room 9
Level 2	Room 10	MEP 20	並無足夠空間讓該物件進入	Room 10
Level 2	Room 10	MEP 21	並無足夠空間讓該物件進入	Room 10
Level 2	Room 10	MEP 22	並無足夠空間讓該物件進入	Room 10
Level 2	Room 11	MEP 23	並無足夠空間讓該物件進入	Room 11
Level 2	Room 11	MEP 24	並無足夠空間讓該物件進入	Room 11
Level 2	Room 11	MEP 25	並無足夠空間讓該物件進入	Room 11
Level 2	Room 13	MEP 26	並無足夠空間讓該物件進入	Room 13
Level 2	Room 13	MEP 27	並無足夠空間讓該物件進入	Room 13
Level 2	Room 13	MEP 28	並無足夠空間讓該物件進入	Room 13
Level 2	Room 13	MEP 29	並無足夠空間讓該物件進入	Room 13
Level 2	Room 14	MEP 30	並無足夠空間讓該物件進入	Room 14
Level 2	Room 14	MEP 31	並無足夠空間讓該物件進入	Room 14

因本案例於施工時擬設置施工電梯，施工電梯的位置如圖 5.11 與圖 5.12 所示，故本研究加入使用電梯搬運機電設備進行分析，但本研究於本案例分析並未考量機電設備的重量是否小於施工電梯的載重量。

因本研究的分析是以倒推的方式，施工電梯同樣設為空間，故若機電設備能進入施工電梯，則將空間轉換至 1 樓的電梯空間，再繼續進行物件動線的分析。以本案例而言，即是從 1 樓電梯進入 Room 8 在判別能否通過大門到達戶外。當然也可能進入 1 樓各房間進行判別，端看程式先讀取到的門為何者。以施工電梯運送的執行結果如表 5.7。除了 Room 1 的兩項大型機電設備外，其餘機電設備皆無軟衝突發生。

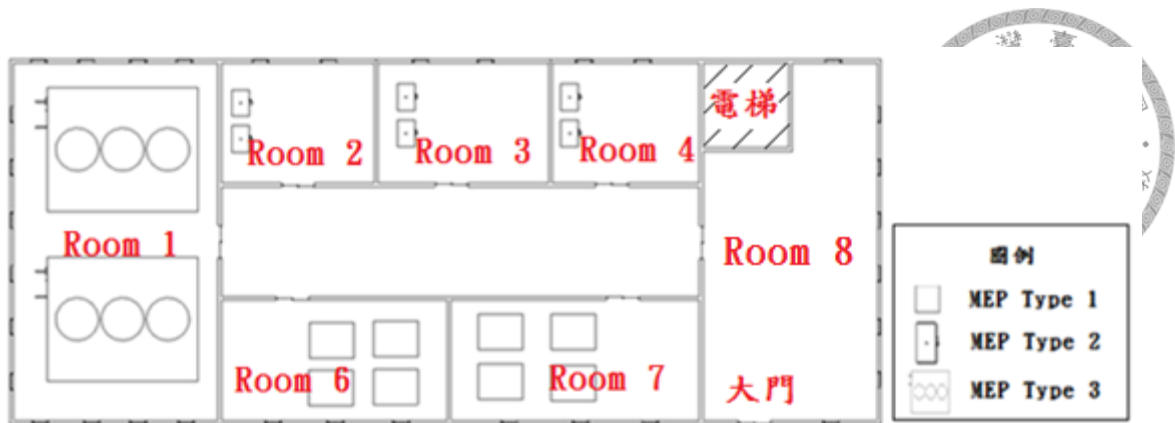


圖 5.11 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 1 平面圖 - 含施工電梯

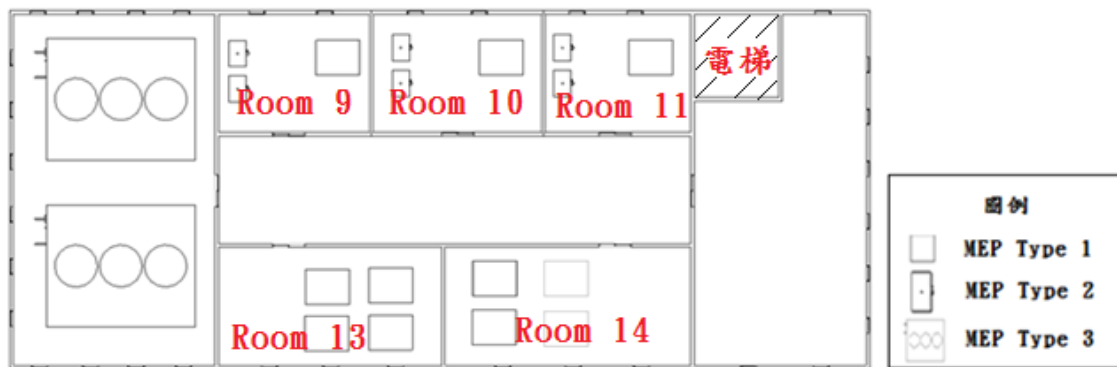


圖 5.12 系統驗證之案例 Revit 模型- Level 2 平面圖 - 含施工電梯

表 5.7 驗證案例加入施工電梯執行成果

樓層	所在空間	物件名稱	軟衝突原因
Level 1	Room 1	MEP 1	並無足夠空間讓該物件進入
Level 1	Room 1	MEP 2	並無足夠空間讓該物件進入

若機電設備無法使用施工電梯運送，本研究根據執行成果，配合廠商因吊具架設位置因素，吊具僅能於 Room 6、Room 7 此側能夠進行機電設備的吊送的考量。將 Room 14 對外的牆面更改為預留牆面，延後其施工時間，供 2 樓機電設備進場使用。圖 5.13 中藍色牆面即為預留牆面，紅色為 Room 9 中之 MEP 17 的程式判定示意動線。

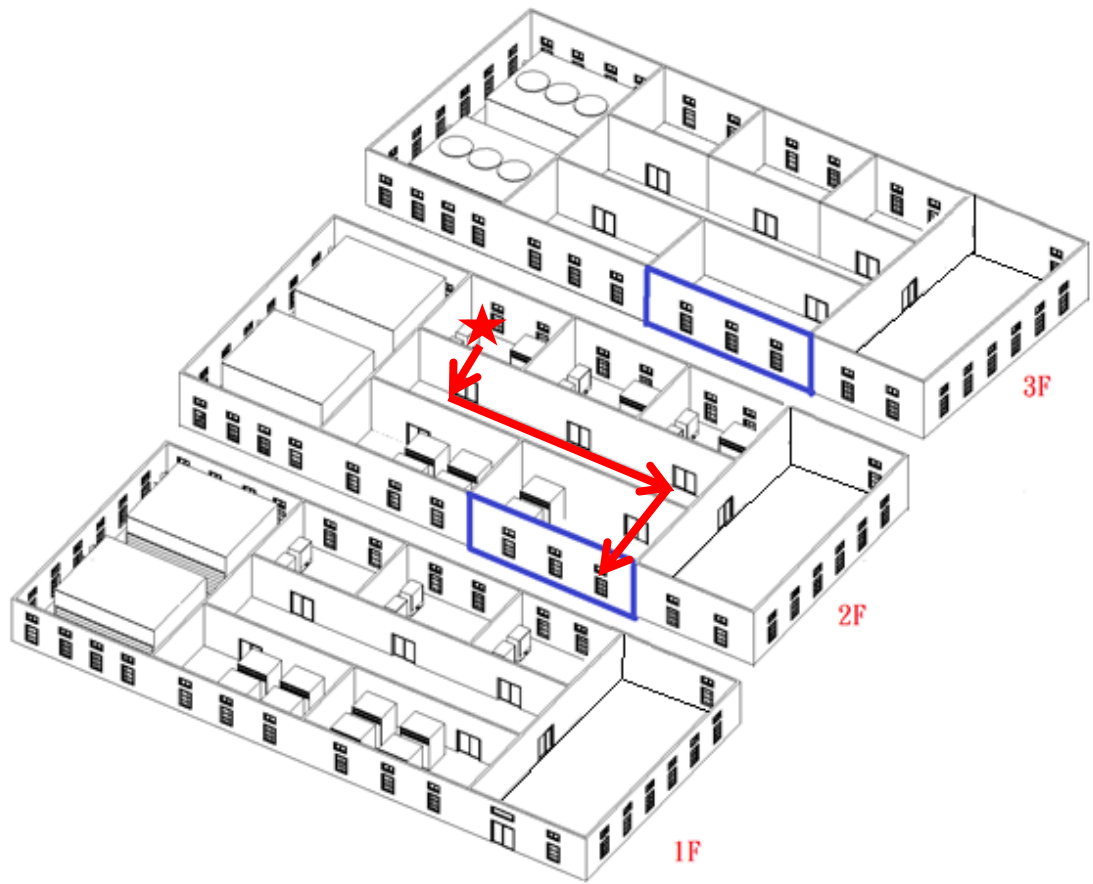


圖 5.13 系統驗證之案例修正 - 加入預留牆

圖 5.14 為本案例修正後之時程規劃，因從非預留牆面側的機電設備先進場，因此機電設備無任何 Clash #2 軟衝突存在。僅 Room 1 中兩項大型機電設備存在 Clash #1 軟衝突。加入預留牆後程式執行成果與表 5.7 相同。

	i	任務模式	任務名稱	工期	開始時間	完成時間	前置任務
1			案例驗證	54 工作日	3月26日星期二	6月7日星期五	
2			一樓牆	7 工作日	3月26日星期二	4月3日星期三	
3			二樓牆	7 工作日	4月4日星期四	4月12日星期五	2
4			三樓牆	7 工作日	4月15日星期一	4月23日星期二	3
5			MEP1 move in	1 工作日	4月24日星期三	4月24日星期三	4
6			MEP2 move in	1 工作日	4月25日星期四	4月25日星期四	5
7			MEP3 move in	1 工作日	4月26日星期五	4月26日星期五	6
8			MEP4 move in	1 工作日	4月29日星期一	4月29日星期一	7
9			MEP5 move in	1 工作日	4月30日星期二	4月30日星期二	8
10			MEP6 move in	1 工作日	5月1日星期三	5月1日星期三	9
11			MEP7 move in	1 工作日	5月2日星期四	5月2日星期四	10
12			MEP8 move in	1 工作日	5月3日星期五	5月3日星期五	11
13			MEP9 move in	1 工作日	5月6日星期一	5月6日星期一	12
14			MEP10 move in	1 工作日	5月7日星期二	5月7日星期二	13
15			MEP11 move in	1 工作日	5月8日星期三	5月8日星期三	14
16			MEP12 move in	1 工作日	5月9日星期四	5月9日星期四	15
17			MEP13 move in	1 工作日	5月10日星期五	5月10日星期五	16
18			MEP14 move in	1 工作日	5月13日星期一	5月13日星期一	17
19			MEP15 move in	1 工作日	5月14日星期二	5月14日星期二	18
20			MEP16 move in	1 工作日	5月15日星期三	5月15日星期三	19
21			MEP17 move in	1 工作日	5月16日星期四	5月16日星期四	20
22			MEP18 move in	1 工作日	5月17日星期五	5月17日星期五	21
23			MEP19 move in	1 工作日	5月24日星期五	5月24日星期五	28
24			MEP20 move in	1 工作日	5月20日星期一	5月20日星期一	22
25			MEP21 move in	1 工作日	5月21日星期二	5月21日星期二	24
26			MEP22 move in	1 工作日	5月27日星期一	5月27日星期一	23
27			MEP23 move in	1 工作日	5月22日星期三	5月22日星期三	25
28			MEP24 move in	1 工作日	5月23日星期四	5月23日星期四	27
29			MEP25 move in	1 工作日	5月28日星期二	5月28日星期二	26
30			MEP26 move in	1 工作日	5月29日星期三	5月29日星期三	29
31			MEP27 move in	1 工作日	5月30日星期四	5月30日星期四	30
32			MEP28 move in	1 工作日	5月31日星期五	5月31日星期五	31
33			MEP29 move in	1 工作日	6月3日星期一	6月3日星期一	32
34			MEP30 move in	1 工作日	6月4日星期二	6月4日星期二	33
35			MEP31 move in	1 工作日	6月5日星期三	6月5日星期三	34
36			二樓預留牆	1 工作日	6月6日星期四	6月6日星期四	35
37			三樓預留牆	1 工作日	6月7日星期五	6月7日星期五	36

圖 5.14 系統驗證之案例時程 - 修正



## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

本研究利用 BIM 為一大型資料庫的特性，以程式將 BIM 中的資料整理並轉換為所需的資訊。以程式自動判斷取代人工判讀，減少人為疏失發生的可能性，將轉換之 BIM 模型資訊配合排程資訊，進行建築營建階段的軟衝突偵測，並經過實際案例的驗證，展現了 BIM 軟體與排程軟體結合應用於機土介面衝突的可行性，總結前文所述，本研究有以下貢獻與結論。

#### 1. BIM 應用的可行性

本研究展示了 BIM 的應用層面，讓 BIM 中所含有的大量建築模型資訊能被有效利用，讓 BIM 為一大型資料庫的特性，能夠充分地被使用。提高 BIM 模型的附加價值與效益，讓業主不會因為投入成本過高而怯步，增加業界對於 BIM 的導入與相關應用之意願。

#### 2. BIM 與排程軟體的直接結合

目前 BIM 與排程軟體結合多使用 4D 排程模擬軟體進行 4D 動態模擬。而直接將 BIM 軟體與排程軟體結合的研究並不多見。本研究利用 Revit API 將 BIM 模型與排程軟體進行跨軟體的結合，除了讓使用者省去了不同軟體間的檔案轉換與讀取問題外，亦可解決 4D 排程模擬軟體在模型與排程修正部分的限制，使用者依據偵測結果進行任何設計修正，都可即時獲得偵測結果改變的回饋，效率遠大於傳統的人工判讀方式，讓設計者能將心力與時間花在構思更佳的设计。



### 3. BIM 與機土介面管理整合

目前 BIM 與機土介面管理整合多是利用套裝軟體進行硬衝突檢測，軟衝突的檢測並無相關研究探討。本研究利用 BIM 與排程軟體的結合，將 BIM 與機土介面管理導入軟衝突偵測，讓兩者間的結合增加另一面向的使用性。期許減少機土介面的衝突發生，藉以減少成本與時間上的損失，甚至是日後工程糾紛的產生。

### 4. 提供使用者開發設計經驗

本研究於 Revit API 程式撰寫過程中所遭遇到之困難與解決方式，如各房間之牆面是否獨立建立、空間判讀等問題皆已記錄並於第四章 概念性系統開發中說明。將開發經驗提供後續研究者參考，減少後續研究者之程式撰寫思考方向錯誤之可能，提升後續開發之效率。

## 6.2 建議

本研究因時間因素限制，尚有許多部份未能進行深入探討，系統功能亦存有待改進與增加之處，在此提出一些建議供後續研究參考。

#### 1. 管線軟衝突分析

本研究僅涉及機電設備的軟衝突分析，管線部分並未探討。而管線衝突亦是機土介面管理中相當重要的議題，既有套裝軟體已可進行硬衝突分析，管線軟衝突部分，如施作過程中施作空間不足的問題亦是能夠探討的議題。

#### 2. 4D 動線模擬與物件搬運方式

本研究乃是結合 BIM 模型與排程資訊進行軟衝突偵測，物件移動的動線中發生衝突亦是可能發生的問題，而物件搬運方式亦會影響到預留空間大小以及衝突判斷，將 4D 動線模擬將人員、機具設備、材料、搬運方式等因子皆納入考量，能夠完成更完整的軟衝突偵測分析。



### 3. 軟衝突發生原因的討論


本研究僅針對機電設備並無足夠空間讓該物件進入，以及機電設備預計進場之空間內有物件較早進場，可能導致該物件通過空間不足兩項因素進行討論。而軟衝突發生原因並非只有這兩項，可針對軟衝突發生原因在做進一步討論，讓使用者在修正上更加清楚待修正處。

## 參考文獻

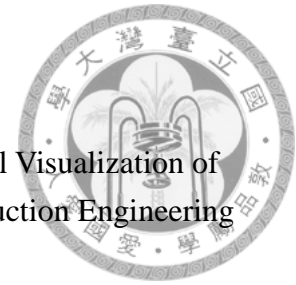
### 中文文獻



1. 謝文通 (1996) “高層集合住宅建築與設備介面之整合-介面整合編碼系統與資料庫模型之研究”，國立成功大學土木工程學系
2. 郭哲明 (1999) “建築工程施工介面整合之研究”，內政部建築研究所
3. 戴培達 (1999) “施工階段介面繪製整合”，台灣營建研究院工程設計品保與介面圖說整合研討會 281-289
4. 王瑞益 (1999) “中間監控與水電及其他設備工程施工介面說明”，電機月刊 第5期, 281-289
5. 顧文翔 (2000) “營造廠建立經驗學習資料庫之研究—以捷運車站工程介面管理為例”，國立臺灣大學土木工程學系
6. 戴盈正 (2005) “高雄捷運細設階段機土介面管理模式之研究”，國立成功大學土木工程學系
7. 楊宗穎 (2006) “建築與水電工程施工階段介面管理之探討”，中華大學營建管理研究所
8. 黃俊儒 (2006) “應用專案多維度模型建構以合約項目為基礎之自動排程模式”，國立成功大學土木工程學系
9. 戴期甦, 陳曉晴, 郭斯傑 (2007) “建築工程機電系統施工界面整合之探討”，中華民國建築學會「建築學報」第61期, 43-62
10. 吳翌禎、謝尚賢 (2008) “4D 營建管理系統之現況分析與發展趨勢”，營建管理季刊 第74期
11. 陳鴻雄 (2011) “建築物機水電工程施工-常見缺失探討”，中工高雄會刊 第19期, 61-76
12. 郭宇芬 (2011) “以 BIM 模型資訊在設計階段估算建築工程成本之實證研究”，中華大學營建管理學系
13. 蔡承諺 (2011) “應用 BIM 技術於模板數量計算之研究”，國立臺灣大學土木工程學系
14. 孫瑩琬 (2011) “以 BIM 為基礎建構符合施工度的排程評估模式”，國立成功大學土木工程學系
15. 吳政樺 (2011) “建築資訊模型於成本進度整合之應用研究”，淡江大學土木工程學系
16. 岳吉剛 (2012) “建築工程之介面整合”，行政院公共工程委員會
17. 陳夢龍 (2012) “軌道系統工程設計界面整合之研究”，國立中央大學營建管理研究所

- 
18. 洪佳豪 (2012) “BIM 建築資訊模型應用於工程專案作業協調之研究”，康寧大學資產管理與城市規劃研究所
  19. 朱亮光 (2012) “建築資訊模型於設施營運與維護管理之應用- 以配電盤運轉空間規劃為例”，國立成功大學工學院工程管理碩士在職專班
  20. 何凱勻(2012) “應用 BIM 技術於工作空間最佳化配置之研究”，國立高雄應用科技大學土木工程與防災科技研究所
  21. 李孟星(2012) “BIM 應用於營建工程施工性分析之研究”，國立臺北科技大學土木與防災研究所
  22. 陳育萱, 賴明慧, 李怡葳, 吳翌禎 (2012) “建築師事務所 BIM 技術導入與成效分析”，土木與生態工程研討會

## 英文文獻



1. K.W. Chau, M. Anson, and J.P. Zhang (2004) "Four-Dimensional Visualization of Construction Scheduling and Site Utilization" *Journal of Construction Engineering and Management*, 130(4): 598-606.
2. K.W. Chau, M. Anson, and J.P. Zhang (2005) "4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development" *Automation in Construction*, 14(4): 512-524.
3. V.K. Bansal and M. Pal (2008) "Generating, Evaluating, and Visualizing Construction Schedule with Geographic Information Systems" *Journal of Computing in Civil Engineering*, 22(4): 233-242.
4. T. Hartmann, J. Gao, and M. Fischer (2008) "Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects." *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(10): 776-785.
5. J. Tulke, M. Nour, and K. Beucke (2008) "Decomposition of BIM objects for scheduling and 4D simulation" *Open Information Environment for Knowledge-Based Collaborative Processes throughout the Lifecycle of a Building*, 1-8.
6. James D. Goedert and Pavan Meadati (2008) "Integration of construction process documentation into Building Information Modeling." *Journal of Construction Engineering and Management*, 134(7): 509-516.
7. J.P. Zhang, and Z.Z. Hu (2010) "BIM- and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies." *Automation in Construction*, 20 (2): 155-166.
8. M. F. Hergunsel (2011) "Benefits of Building Information Modeling for Construction Managers and BIM Based Scheduling" *Worcester Polytechnic Institute Civil Engineering*.
9. S. AbouRizk, D. Halpin, Y. Mohamed, and U. Hermann (2011) "Research in Modeling and Simulation for Improving Construction Engineering Operations" *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(10): 843-852.
10. R. Scherer and S.-E. Schapke (2011) "A distributed multi-model-based management information system for simulation and decision making on construction projects" *Advanced Engineering Informatics*, 25 (4): 582-599.
11. M. König, C. Koch, I. Habenicht, and S. Spieckermann (2012) "Intelligent BIM-Based Construction Scheduling Using Discrete Event Simulation." *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*, 59-70.