

國立臺灣大學土木工程

碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

BIM 自動化輔助節能設計與 LEED EA Credit 1 之雛型

系統建立

Create a Prototype System for Application of BIM in
Assisting Automatically Energy Design and LEED EA
Credit 1

華祈峯

Chi-Feng Hua

指導教授：陳柏翰 博士

Advisor: Po-Han Chen, Ph.D.

中華民國 100 年 6 月

June, 2011

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書

BIM 自動化輔助節能設計與 LEED EA Credit 1 之雛型系統建
立

Create a Prototype System for Application of BIM in Assisting
Automatically Energy Design and LEED EA Credit 1

本論文係華祈峯君（R98521711）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 100 年 7 月 12
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)

陳柏翰

張 陸 滿

張陸滿

黃 榮 堯

黃榮堯

陳 鴻 銘

陳鴻銘

系主任

呂 良 正

呂良正

致謝

能踏進台大土木營管組這塊豐碩的學術殿堂，實屬榮幸，很感謝我的指導教授陳柏翰老師，這兩年來不斷的督促，使我能夠快速的學習以及成長，也很感謝張陸滿教授、黃榮堯教授、陳鴻銘教授，在口試時給予寶貴的意見；感謝國內幾家企業的專業人士願意接受訪談，並給予建議；感謝北科能源與冷凍空調學系陳湘綸博士以及台大BIM研究中心副執行長李敬賢，願意教導軟體上的應用；感謝博全學弟，常常幫忙處理研究計畫等事情；感謝R98的同學們，一起出去班遊、唱歌等，都是很美好的回憶。有各位的支持才能有這篇論文的產生，謝謝！



摘要

近年來，世界各國越來越重視綠建築，其中節能設計為一大項目，目前，設計單位多是參考或套用現有的節能設計案例，但對其節能效果卻不甚了解。若要檢驗節能的效果，須透過建築耗能模擬軟體(如：eQUEST、energyplus、Ecotect等)來做科學化地模擬，但使用上過於麻煩且耗時，且往往需要一比較基準判定其優劣，或者為了取得國際綠建築認證 LEED EA credit1 這個項目的分數，又得花上時間將設計模型轉成基準模型。

另一方面，BIM(Building Information Modeling)逐漸成熟發展，且國內外都有營建相關企業在使用，而本研究運用 BIM(使用 Autodesk Revit)去連結建築耗能模擬軟體(使用 eQUEST)，雖然市面上已有相關軟體提供 BIM 連接建築耗能模擬軟體之服務或軟體，如 Green Building Studio(GBS)以及 Ecotect，但因為認可的問題，這兩者目前來說不能得到 LEED EA credit 1 之分數。

本研究運用 BIM 並配合程式語言及資料庫，開發一套離型系統，該離型系統由本研究設計之資料處理流程，以及自動化地運作，可讓使用者在做設計時即時得知設計方案的節能效果、LEED EA credit1 可得到的分數，進而讓業主選擇適合方案。

本研究再透過專家訪談，展示及操作離型系統使專家藉以了解本研究的構想，並請專家評論若本系統開發完整是否實用，訪談結果認為若建築方案需要做節能設計或者取得 LEED 認證，此系統開發完整將可減少龐大的設計時間。

關鍵字：建築資訊模型、LEED、建築能源消耗、自動化

Abstract

In recent years, green buildings have gradually attract attention in the world. Energy-saving design is a important item in it. At present, lots of designers refer to or make use of some existing energy-saving designs without knowing the actual effects of the designs. The level of energy-saving of a building design can be scientifically evaluated and simulated using energy simulation software (e.g., eQUEST energyplus, Ecotect, etc.), but use energy simulation software is a troublesome and time-consuming work. However, there is demands for creating a baseline to determine between good and bad, or getting LEED EA Credit 1 points, but it also is a troublesome and time-consuming work.

The other hand, BIM(Building Information Modeling) gradually become maturity, and there is some construction-related companies use it whether in domestic or foreign. This research apply BIM(use Autodesk Revit) to connecting energy simulation software(use eQUEST), even though there is some software can apply BIM to connecting energy simulation software, like Green Building Studio(GBS) or Ecotect. Because some problems of agreement by the world, LEED EA credit 1 don't accept the two software.

This research apply BIM with programming language and database to develop a prototype system. This research design procedures for dealing all BIM's data, let user can immediately realize the level of energy-saving and LEED EA Credit 1 points, and then provide building's owner with choice of appropriate design.

This research display and operate the prototype system in expert interviews, so expert can easily understand this research 's idea, and then This research let expert comment "If the prototype system is completely developed, how about the practicability of the system?". The result is the system will reduce huge time of design while buildings need to determine between good and bad or get LEED certification.

Keywords : BIM (Building Information Modeling) 、 LEED 、 Energy consumption 、 Automation

目 錄

| | |
|---|----|
| 第一章 緒論..... | 1 |
| 1.1 研究背景..... | 1 |
| 1.2 研究動機與目的..... | 3 |
| 1.3 研究範圍與限制..... | 4 |
| 1.4 研究方法與步驟..... | 5 |
| 1.5 論文架構..... | 6 |
| 第二章 文獻回顧—BIM應用與建築節能..... | 8 |
| 2.1 BIM的相關應用情況..... | 8 |
| 2.2 建築耗能軟體的相關應用情況..... | 10 |
| 2.3 LEED認證的介紹與應用情況以及LEED EA Credit 1 的簡介..... | 11 |
| 第三章 BIM與建築耗能模擬軟體及其開發環境..... | 19 |
| 3.1 BIM軟體—Autodesk Revit..... | 19 |
| 3.1.1 RevitAPI介紹..... | 20 |
| 3.2 建築耗能模擬軟體—eQUEST..... | 22 |
| 3.2.1 eQUEST之inp檔..... | 23 |
| 3.3 整合式開發環境—Visual Studio 2008..... | 24 |
| 3.3.1 離型系統特別導入之函式庫..... | 25 |
| 第四章 自動化節能設計離型系統開發..... | 27 |
| 4.1 資料匯出並分類..... | 29 |
| 4.2 各物件座標處理以及參數讀取..... | 30 |
| 4.2.1 執行區間座標讀取與處理..... | 32 |
| 4.2.2 執行物件屬性讀取與處理..... | 37 |
| 4.3 eQUEST之inp檔格式製作..... | 39 |
| 4.4 節能效率與LEED EA Credit 1 分數計算..... | 45 |
| 第五章 系統展示與專家評論..... | 47 |
| 5.1 系統展示..... | 47 |
| 5.2 專家評論..... | 53 |
| 第六章 結論與建議..... | 55 |
| 6.1 結論..... | 55 |
| 6.2 建議..... | 57 |
| 參考文獻..... | 58 |

表目錄

| | |
|--------------------------------|----|
| 表 2.1 ZONE1 之對照表 | 13 |
| 表 2.2 ZONE2 之對照表 | 14 |
| 表 2.3 節能效率與得分數對照表 | 16 |
| 表 4.1 舉例區間座標讀取矩陣 | 34 |
| 表 6.1 判別優劣程度或取得認證之各作法比較表 | 56 |



圖目錄

| | |
|--|----|
| 圖 1.1 研究步驟..... | 6 |
| 圖 2.1 BIM的資訊分享..... | 8 |
| 圖 2.2 LEED EA Credit 1 | 12 |
| 圖 2.3 Ecotect分析之視覺效果..... | 18 |
| 圖 3.1 eQUEST之inp檔以記事本(txt)開啟 | 24 |
| 圖 4.1 資料處理流程圖 | 28 |
| 圖 4.2 資料匯出並分類..... | 29 |
| 圖 4.3 各物件座標處理以及參數讀取..... | 30 |
| 圖 4.4 離型系統一部分的關聯式資料..... | 31 |
| 圖 4.5 舉例區間..... | 33 |
| 圖 4.6 eQUEST之inp檔格式製作 | 39 |
| 圖 4.7 eQUEST之inp檔格式製作舉例..... | 40 |
| 圖 4.8 Proposed Building改成Baseline Building舉例之一 | 42 |
| 圖 4.9 Proposed Building改成Baseline Building舉例之二..... | 43 |
| 圖 4.10 Baseline Building轉角度示意圖 | 44 |
| 圖 4.11 inp檔修改角度 | 45 |
| 圖 4.12 節能效率與LEED EA Credit 1 分數計算 | 45 |
| 圖 4.13 結果排列..... | 46 |
| 圖 5.1 松山乙標國宅平面圖 | 48 |
| 圖 5.2(a) 以Revit建立BIM模型 | 48 |
| 圖 5.2(b) 執行結果展示 | 49 |
| 圖 5.3(a) 變更屋頂材料 | 50 |
| 圖 5.3(b) 改變材料後執行結果展示 | 50 |
| 圖 5.4(a) 放置遮陽板並調整高度與寬度 | 51 |
| 圖 5.4(b) 放置遮陽板後執行結果展示 | 51 |
| 圖 5.5(a) 改變建物樓層及隔間 | 52 |
| 圖 5.5(b) 改變建物樓層及隔間後之結果 | 52 |

第一章 緒論

1.1 研究背景

近年來，世界各國為了經濟的發展和科技的進步及滿足少部分人類的需求，對於已過度開發的環境更是破壞殆盡，因而滋生更多的環境問題，例如：工業快速發展所產生的溫室效應(Greenhouse Effect)，都市過度開發導致都市的密度過高及都市裡熱氣不易排放所產生的都市熱島效應(Urban Heat Island Effect)等，都是當今 21 世紀人類所要面對的問題（于健，張本義，2008）。

而綠建築之重要性不僅是要強調與地球環境共生共榮的建築設計，還要改善建築物耗電、費水及資源過度的使用等問題，而節約能源就是最有效利用資源的方式（于健，張本義，2008）。

大部分的設計單位多是參考其他建築設計案例和套用已經有的技術手法，但對其節能效果卻不得而知（ZENG Xu - dong, ZHAO Ang , 2006），也就是說為了提升節能效率而多花費成本，卻不知道花費的成本是否有其效益，甚至採用節能建材或節能設計的效果，卻比完全不採用節能建材或節能設計的效果還來得差（Yoon, Y. J., M. Moeck, et al. , 2008）。

目前國內外若要檢驗建築設計方案之節能效果，可透過建築耗能模擬軟體來做科學化之計算功能(如 eQUEST、energyplus、Ecotect)。以 eQUEST 為例(可參考重要文獻回顧)，其所需要的資訊包括 8760 個小時的日照強度、溫度，以及建築外形、內部空間、物件材料及屬性等資訊。目前台灣已有些建築物使用 eQUEST 來做建築耗能計算(如台積電每一座廠房都要求以 eQUEST 計算其每年建築耗能)，且台灣已製作好台北、台中、高雄、新竹等地的 8760 個小時的 TMY2 氣候資訊格式供 eQUEST 直接匯入(林憲德, 黃國倉 , 2004)，但用 eQUEST 建模麻煩且耗時，導致建築耗能模擬軟體無法被普遍的使用。

另一方面，由於營建專案日趨龐大及複雜，為了滿足專案管理團隊對資訊管

理的需求，3D、4D 以及 BIM (Building Information Modeling) 等資訊管理技術不斷興起，也因此 BIM 的發展為未來的趨勢。現今國內外已有不少營建業相關企業在應用，以國內而言也有幾間工程顧問公司(如世曦顧問、中興顧問等)在應用 Autodesk Revit(為 Autodesk 開發的 BIM 軟體)系列產品，甚至自行開發軟體系統(如台積電的新工處)，且國內外應用的範圍包括成本估價、空間衝突分析、排程、工作模擬、建築耗能模擬等(Hartmann, T., J. Gao, et al. , 2008)，其中該如何運用 BIM 進行建築耗能模擬本論文主要研究方向。

目前國內多以手動人工的方式將資料輸入建築耗能模擬軟體進行分析，而國外最具代表性為 Autodesk 旗下的產品 Ecotect 與 GBS(Green Building Studio)，其中 Autodesk Ecotect 可將 Autodesk Revit 以 BIM 的方式(可參考重要文獻回顧)建立的建築模型以及建築耗能模擬軟體所需要的資訊輸入進 Autodesk Ecotect 進行建築耗能模擬，但其計算結果的公信度並不受世界公認，甚至國際綠建築認證 LEED 在 EA credit1 這個項目並不採納其計算結果，因此本研究不使用 Autodesk Ecotect 進行建築耗能模擬。而 GBS 為 Autodesk 旗下的網頁式服務產品，其功能為將 Autodesk Revit 如上述以 BIM 方式所建立的建築資訊與模型，轉換成 eQUEST、energyplus 等世界公認之建築耗能模擬軟體。但用建築耗能模擬軟體進行分析後，往往需要一比較基準判定其優劣，或者為了取得國際綠建築認證 LEED EA credit1 的分數，需要從建築耗能模擬軟體建立該設計方案的基準模型，以 LEED 認證評估優劣的作法為把設計模型改成基準模型之後並計算基準耗能電量，並以此計算其節能效率([基準模型的每年耗能電量 - 設計模型的每年耗能電量] ÷ 基準模型的每年耗能電量 × 100%)，以此來判定設計方案的優劣程度，但建立基準模型也相當麻煩與耗時，而國內外都沒有一輔助工具能快速解決此問題，因此該如何讓建立基準模型變得更方便是個重要的課題。

再者，行政院最早於民國 78 年實施為期 10 年之「中華民國產業自動化計劃」，即將營建自動化(Automation in Construction)納入我國推行自動化之工作體系，

內政部近年擬訂國內營建自動化的發展方向包含下水道技術、檢監測技術、補強技術、拆除更新技術、營建自動化市場開發與技術推廣等五大工作重點，其於民國 94 年 3 月提出之「自動化科技發展中程綱要計畫書—營建業自動化中程計畫（計劃編號：95-0801-01）」中，擬由內政部營建署與建築研究所綜合延續營建及建築自動化計劃等規劃研擬，推動營建自動化工作。

1.2 研究動機與目的

基於上述研究背景，本論文研究動機分敘如下：

動機一，設計單位為了得知節能效果，需在建築耗能模擬軟體上建模輸入資訊以此得知結果，但用 eQUEST 建模麻煩且耗時，目前國內無法被普遍的使用，因此該如何更快或更有效率地使用建築耗能模擬軟體，此為本論文研究的動機之一。

動機二，以建築耗能模擬軟體得知節能效果後，為了比較優劣程度或是取得 LEED 認證之分數，往往還得以該建築耗能模擬軟體建立基準模型，目前國際上較常用為參照 LEED 所要求 ASHRAE Standard 90.1 規定的基準模型，但建立基準模型又是一件麻煩且耗時的工作，另一方面 BIM 的運用逐漸受到重視，而運用 BIM 以及程式語言自動化建立建築耗能模擬軟體的基準模型是一個實際且可行的方式，此為本論文研究的動機之二。

動機三，本論文所要研究的課題如資訊系統模型 BIM、自動化且科學化地評估節能效率、自動化地輔助國際綠建築認證等，契合國內營建自動化發展方向，此為本論文研究的動機之三。

基於研究背景與動機，該如何讓使用者運用 BIM 時，可更即時地反應設計方案的節能優劣程度是非常重要的，也就是可即時地算出該方案的基準值，並即時得知節能效率與 LEED EA credit1 的分數，故本論文研究的目的為建置一個自動化的離型系統，以在專家訪談展示給專家了解本研究論文之概念。使用者用 BIM(以 Autodesk Revit 為例)之軟體建好建築資訊模型後，可應用本研究系統，輸入該建物地區及相關資訊，配合國內已製作完成之 TMY2 的 8760 小時氣候資料(林憲德, 黃國倉, 2004)，即時回饋至 eQUEST 以計算每年建築耗能電量，以及製作 LEED 所規定的比較基準模型，進而比較該設計建物的節能效率，配合資料庫，可進一步計算對照出 LEED EA Credit 1 之分數。

1.3 研究範圍與限制

由於台灣目前僅有幾個組織或企業使用 BIM 軟體或建築耗能軟體，因此為了學習方便，本研究論文所開發的離型系統，運用國內較多在使用的 BIM 軟體—Autodesk Revit(如世曦顧問、中興顧問)，以及較多在使用的建築耗能軟體—eQUEST(如台灣積體電路公司的新工處、成大西拉雅研究室)。

由於本研究所建置的離型系統僅為展示概念用，因此僅做簡單建物的處理，離型系統的限制條列如下：

1. 由於時間的關係，離型系統目前僅能處理正交(如 0 度、90 度、180 度、270 度)的區間，角形和圓形的區間暫時不能處理。
2. 在 HVAC 方面由於大型空調光是風管的設計也會影響建築耗能模擬之結果，若要以程式語言處理各個需求得花費龐大程式撰寫的時間，因此離型系統目前僅能處理窗型冷氣機。
3. 由於各個物件形式與材料，全世界種類數量非常龐大，因此本離型系統僅提供各物件形式與材料各兩種選擇，若有擴增物件形式與材料可再自行擴增。

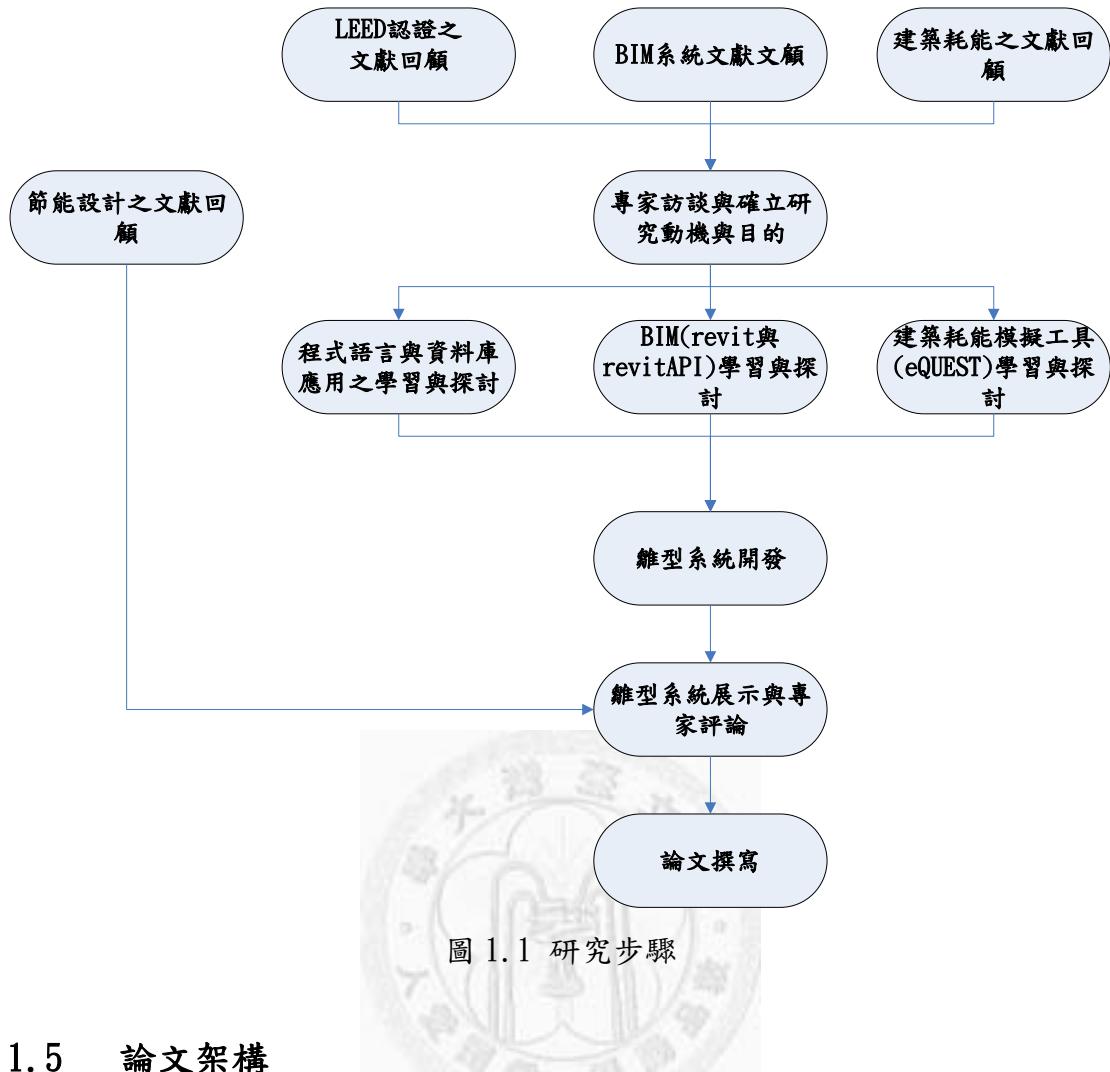
1.4 研究方法與步驟

本研究論文首先根據前文所述之目的與動機、文獻回顧與專家訪談，並進行現況的探討，確立本研究方向後，進行相關軟體的學習，如 BIM 軟體 Autodesk Revit 以及其提供的 API 的應用、建築耗能模擬軟體 eQUEST 以及探索 eQUEST 的 inp 檔的格式、整合式開發環境 Visual Studio 2008 以及其提供的函式庫(如控制 EXCEL 的函示庫)的應用，接著在整合式開發環境 Visual Studio 2008 以 C# 做為開發語言，將 BIM 軟體 Autodesk Revit、建築耗能模擬軟體 eQUEST、資料庫 EXCEL 整合為一體，以執行本研究論文之目的。

離型系統開發完成後，現場操作展示給有實務經驗的專家觀看，而後請專家評論本研究論文之構想的實用性，並給予後續開發之建議，並著手撰寫論文。

本研究主要研究步驟可分為文獻蒐集與訪談、軟體學習、系統開發、專家訪談、論文撰寫等主要步驟，如圖 1.1 所示：





1.5 論文架構

本論文架構主要是依循上一節的研究方法與步驟所構成，共分為六章，其內容簡述分別如下：

第一章「緒論」

分別對研究背景、研究動機與目的、研究範圍與限制、研究方法與步驟進行說明，期望透過此說明，可協助讀者快速了解本研究之概念與構想。

第二章「BIM 應用與建築節能」

本章希望透過文獻回顧目前國內外的研究情況與相關商業軟體，分別對 BIM 相關應用情況、建築耗能軟體的相關應用情況、LEED 認證的介紹與應用情況、

相關整合之商業軟體介紹，以此使讀者確切了解問題與需求所在。

第三章「研究用軟體之介紹」

本章將介紹開發離型系統所用的軟體以及本研究論文如何使用，如 Autodesk Revit 與其提供的 API、eQUEST 與 inp 檔格式、Visual Studio 2008 以及其提供的函式庫、以及介紹是透過何種方式將不同軟體整合起來，以達到如 1.2 節的研究目的。

第四章「離型系統開發」

本章將會介紹離型系統的開發方式與資料處理的過程，簡單來說從使用者以 BIM 建好模型後，本離型系統是如何取得 LEED 認證之分數將會在此做介紹。另外，本章將提供程式碼撰寫概念式的敘說，期望使讀者了解資料間邏輯的關係。

第五章「系統展示與專家評論」

本章將會擷取圖片做系統展示，並介紹國內唯一同時有 BIM 運用經驗與取得 LEED 認證經驗的專家，本研究論文將會現場做展示與操作給該專家觀賞，並請專家做實用性的評論以及後續開發的建議。

第六章「結論與建議」

主要分為結論及未來建議兩節。此章節總結本研究論文之成果，綜合成結論，文中並說明本研究論文之主要貢獻，另外，並建議與本研究相關、或未來需要開發完整系統的人員可供參考的方向以及需要注意事項。

第二章 文獻回顧—BIM 應用與建築節能

2.1 BIM 的相關應用情況

建築資訊模型(BIM, Building Information Modeling)是在整個建築物的生命週期中，由各專業領域的設計者提供該領域相關的建築資料與專業知識，並把這些資料整合儲存的一個建築資訊模型，各領域的人員可從建築資訊模型中獲取所需的資料與欲處理的建物資訊(如圖 2.1 所示)，達到資料共享與資訊再利用的目的。所以，建築資訊模型可以說是一個資料庫，將該建築物生命週期裡的所有資料與訊息存在其中，也可說是各個專業領域設計者知識與經驗的累積所匯集的知識庫。而建築 CAD 繪圖軟體從 2D 平面圖形的表示轉變為 3D 的模型呈現，這種建築資訊的模型化也是 BIM 的另一種意義。

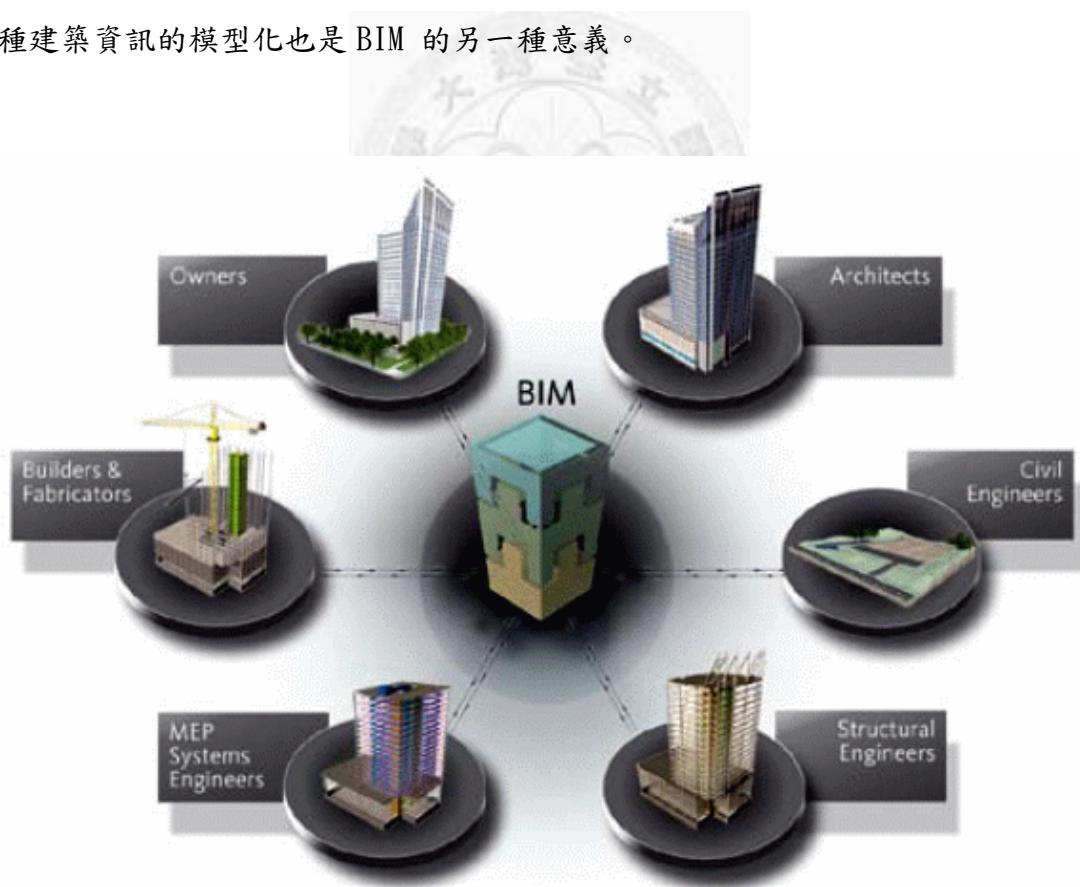


圖 2.1 BIM 的資訊分享
(資料來源：Autodesk 網頁)

◆ BIM 概念與傳統 CAD 繪圖軟體的比較

傳統建築 CAD 軟體繪圖用點、線、標注或註解來表示圖形之建築資訊。例如梁之配筋圖，從這些圖中無法直接取得有意義的資訊(例如梁或鋼筋斷面尺寸、長度等等)，必須經由人為的判讀或計算才能得到圖檔裡的資訊，然而 BIM 的世界裡，梁、柱、板、牆、門、窗等都是獨立物件，它們的屬性就是資訊，可以直接取得，這樣一個一個物件組合起來，改變各物件的屬性來達到想要繪製的結果，就是一個建築資訊模型。

◆ BIM 的優點

建築資訊模型(BIM)，藉由建立 3D 的幾何模型也同時建立資訊模型的成果，其所帶來的優點有：

1. 工程設計具體化：可將設計方案具體化、視覺化、3D 化，也就是可以以動畫或虛擬現實場景的方式呈現。
2. 避開工程風險：在實際進入施工階段之前可就構件衝突問題或有錯誤的地方事先偵測並作預防性的處理。
3. 物件數量計算：可直接從模型中抽取必要資料並加以統計，將其表格化的呈現，例如門窗數量的計算統計，可以輸出以 excel 表格的方式表示。
4. 變更設計時保持一致性與協調性：建築資訊模型能自動地使專案的所有資訊協調一致，建築模型的任何改動都會立刻反映到整個專案產生的檔案中。
5. 提昇設計品質，縮短設計週期，效率提高：設計者更能具體掌握其設計成果的視覺效果、造價成本等，而且由於在使用的同時動態生成專案的有關資訊錯誤

和資訊遺失會大幅度減少，因此提高了設計品質，減少了資料往返的次數。

6. 屬性資料的直接使用：有別於傳統 CAD 軟體，模型的資料與訊息直接以屬性的方式存於 BIM 中，所以可以很方便的取用，無須經過人為的判讀。

7. 工程資料再利用：可將設計資訊完整的保留在建築資訊模型之中，從早期方案階段的構思到詳圖設計階段的最終變化都得予以保存，方便其在整個工程生命週期中各個階段來使用。

(周承禹 , 2008)

目前國內外越來越多設計單位運用 BIM，如國內的世曦顧問、中興顧問有在使用 Autodesk 所開發的 Autodesk Revit，甚至是自行開發軟體，如台灣積體電路公司的新工處，且國內外應用的範圍包括成本估價、空間衝突分析、排程、工作模擬、建築耗能模擬等(Hartmann, T., J. Gao, et al. , 2008)，由此可見 BIM 逐漸受到重視的趨勢。

2.2 建築耗能軟體的相關應用情況

在利用計算機技術進行建築的節能設計，主要是分析和模擬建築耗能這一領域，國外的研究開始於 20 世紀 60 年代，特別是 20 世紀 70 年代世界石油危機後，在建築能源領域成為研究熱點。各個國家都在建築耗能分析與模擬做大量的研究，基於各自的節能標準開發了相當多的建築耗能模擬軟體。如美國的 DOE2、Energy plus，加拿大的 Hot 2000，英國的 ESPR，日本的 HASP，中國的 DEST 等等。

建築的設計與建築耗能分析間的矛盾主要表現在以下幾個方面：

(1). 建築耗能計算量大，算法複雜，設計單位需要借助輔助工具，否則會花費龐大設計時間且較難掌握。

(2). 設計單位在初始規劃階段難於對設計方案進行直觀快速的耗能分析，更難於優化節能設計。

(3). 初始規劃階段耗能分析的結果難於用來直接指導設計，以及幫助設計單位修改設計方案。

(ZENG Xu - dong , ZHAO Ang , 2006)

如前述，有幾個國家自行開發建築耗能模擬軟體，若該國家沒有自行開發軟體，通常會使用國際間通用的建築耗能軟體(如本研究用的 eQUEST)，目前國內的應用舉例如下，如綠建築解說與評估手冊 2009 版的表 3-4.3 是由成大西拉雅研究室以 DOE-2(eQUEST 的計算引擎)所模擬的數據；台灣積體電路公司(TSMC)要求每一座新建廠房都得以 eQUEST 去做建築耗能模擬，且做節能設計的優化，並以模擬出來的數據取得 LEED 認證黃金級或黃金級以上。

2.3 LEED 認證的介紹與應用情況以及 LEED EA Credit 1 的簡介

LEED 由 U. S. Green Building Council(USGBC)制定，目前已成為全美國各州公認之綠建築評估準則，近年來更廣為全世界其他先進國家所採用，或當作該國制定綠建築評估之範本，可說是世界上最廣泛認可的綠建築認證體系。

我國也有不少建物取得了 LEED 認證，如台灣積體電路公司(TSMC)要求每座新建廠房取得 LEED 認證黃金級以上、友達中科后里基地的 8.5 代廠取得 LEED 白金級認證、花旗銀行台北分行取得 LEED 黃金級認證等，由此可見，雖然我國已存在綠建築認證體系，但為了國際聲譽、增加國際知名度並以”綠色企業”打響名聲，還是會有些大企業選擇取得 LEED 認證。

我國綠建築為最低標準合格制，而 LEED 認證或是其他先進國家都採用綜合評分以及分級制，如英國的 BREEAM、和日本的 CASBEE，如此一來我國綠建築體系無法判定各項的優劣程度。舉例來說，同樣在建築外殼對節能影響的評分，我國的綠建築體系僅以外牆材料或玻璃材料有無達到標準，但隔熱性質良好之外牆

材料或玻璃放在不同的地區或位置上，其效果大有不同，因此為了讓設計單位方便得知該設計方案的好壞程度，本研究論文所開發之雛型系統採用國際通用的綠建築評估體系—LEED 認證。

LEED 認證有很多的項目需要評估，如供水效率、材料與資源、能源與空氣、創新和設計過程等，LEED 認證對於新建建築物的最高總分為 110 分，然而 80 分就可拿到最高階級的白金認證，而本論文研究主要針對節能效率這塊領域，也就是能源與空氣(Energy & Atmosphere)的 Credit 1 這個項目(如圖 2.2 所示)，這個項目總分可以拿到 19 分，且完全由國際間認可之建築耗能模擬軟體(如 eQUEST、DOE-2、energyplus)去做計算，以取得分數，計算步驟簡述如下所示：

| Energy & Atmosphere | Description | Points |
|---------------------|---|----------|
| Prereq 1 | Fundamental Commissioning of Building Systems | Required |
| Prereq 2 | Minimum Energy Performance | Required |
| Credit 1 | Optimize Energy Performance | Up to 19 |
| Credit 2 | On-Site Renewable Energy | Up to 7 |
| Credit 2 | Enhanced Commissioning | Up to 5 |
| Credit 3 | Enhanced Commissioning | Up to 2 |

圖 2.2 LEED EA Credit 1

STEP 1. 以建築耗能模擬軟體建立 Proposed Building：

設計單位將欲設計建物之 3D 模型、所有物件(如牆、窗、門、樓板、屋頂等)的位置與材料資訊(如牆的 U 值、玻璃的遮蔽系數)、所有設備(如冷氣機)的相關參數(如冷氣機的 EER)與運作時程等資訊輸入進建築耗能軟體，計算其建築耗能量(電量、瓦斯用量)。

STEP 2. 以建築耗能模擬軟體建立 Baseline Building：

建立 Baseline Building 之抽象概念為將 Proposed Building 變更為完全不採用節能設計的情況；而實際做法則是依照 ASHRAE Standard 90.1 做修改，舉例來說，將上述建好的 Proposed Building 的每個物件材料之資訊根據表格修改，

以台灣為例，台北是根據 ZONE1 之表格(如表 2.1 所示)做修改，而台南則是根據 ZONE2 之表格(如表 2.2 所示)做修改，而後再將除了建築物本體之物件除去(如遮陽板)。修改完成後，再將完成的模型分別轉 90 度、180 度、270 度，並分別計算其建築耗能量(電量、瓦斯用量)，而後將四個模型的建築耗能量加總除與四，即為 Baseline。

表 2.1 ZONE1 之對照表

| Opaque Elements | Nonresidential | | Residential | | Semiheated | |
|---|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Assembly Maximum | Insulation Min. R-Value | Assembly Maximum | Insulation Min. R-Value | Assembly Maximum | Insulation Min. R-Value |
| <i>Roofs</i> | | | | | | |
| Insulation Entirely above Deck | U-0.360 | R-2.6 c.i. | U-0.273 | R-3.5 c.i. | U-1.240 | R-0.7 ci |
| Metal Building | U-0.369 | R-3.3 | U-0.369 | R-3.3 | U-7.268 | NR |
| Attic and Other | U-0.192 | R-5.3 | U-0.153 | R-6.7 | U-0.459 | R-2.3 |
| <i>Walls, Above-Grade</i> | | | | | | |
| Mass | U-3.293 | NR | U-0.857 ^a | R-1.0 c.i. ^a | U-3.293 | NR |
| Metal Building | U-0.642 | R-2.3 | U-0.642 | R-2.3 | U-6.700 | NR |
| Steel-Framed | U-0.705 | R-2.3 | U-0.705 | R-2.3 | U-1.998 | NR |
| Wood-Framed and Other | U-0.504 | R-2.3 | U-0.504 | R-2.3 | U-1.660 | NR |
| <i>Walls, Below-Grade</i> | | | | | | |
| Below-Grade Wall | C-6.473 | NR | C-6.473 | NR | C-6.473 | NR |
| <i>Floors</i> | | | | | | |
| Mass | U-1.825 | NR | U-1.825 | NR | U-1.825 | NR |
| Steel-Joist | U-1.986 | NR | U-1.986 | NR | U-1.986 | NR |
| Wood-Framed and Other | U-1.599 | NR | U-1.599 | NR | U-1.599 | NR |
| <i>Slab-On-Grade Floors</i> | | | | | | |
| Unheated | F-1.264 | NR | F-1.264 | NR | F-1.264 | NR |
| Heated | U-1.766 | R-1.3 for 300 mm | F-1.766 | R-1.3 for 300 mm | F-1.766 | R-1.3 for 300 mm |
| <i>Opaque Doors</i> | | | | | | |
| Swinging | U-3.975 | | U-3.975 | | U-3.975 | |
| Nonswinging | U-8.233 | | U-8.233 | | U-8.233 | |
| Fenestration | Assembly Max. U | Assembly Max. SHGC | Assembly Max. U | Assembly Max. SHGC | Assembly Max. U | Assembly Max. SHGC |
| <i>Vertical Glazing, 0%–40% of Wall</i> | | | | | | |
| Nonmetal framing (all) ^b | U-6.81 | | U-6.81 | | U-6.81 | |
| Metal framing (curtainwall/storefront) ^c | U-6.81 | SHGC-0.25 all | U-6.81 | SHGC-0.25 all | U-6.81 | SHGC-NR all |
| Metal framing (entrance door) ^c | U-6.81 | | U-6.81 | | U-6.81 | |
| Metal framing (all other) ^c | U-6.81 | | U-6.81 | | U-6.81 | |
| <i>Skylight with Curb, Glass, % of Roof</i> | | | | | | |
| 0%–2.0% | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -0.36 | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -NR |
| 2.1%–5.0% | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -0.16 | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -NR |
| <i>Skylight with Curb, Plastic, % of Roof</i> | | | | | | |
| 0%–2.0% | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -0.34 | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -0.27 | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -NR |
| 2.1%–5.0% | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -0.27 | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -0.27 | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -NR |
| <i>Skylight without Curb, All, % of Roof</i> | | | | | | |
| 0%–2.0% | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -0.36 | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -NR |
| 2.1%–5.0% | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -NR |

^aThe following definitions apply: c.i. = continuous insulation (see Section 3.2), NR = no (insulation) requirement.

^bException to Section A3.1.3.1 applies.

^cNonmetal framing includes framing materials other than metal with or without metal reinforcing or cladding.

^cMetal framing includes metal framing with or without thermal break. The “all other” subcategory includes operable windows, fixed windows, and non-entrance doors.

(資料來源：ASHRAE 90.1-2007)

表 2.2 ZONE2 之對照表

| Opaque Elements | Nonresidential | | Residential | | Semiheated | |
|---|-------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | Assembly Maximum | Insulation Min. R-Value | Assembly Maximum | Insulation Min. R-Value | Assembly Maximum | Insulation Min. R-Value |
| <i>Roofs</i> | | | | | | |
| Insulation Entirely above Deck | U-0.273 | R-3.5 c.i. | U-0.273 | R-3.5 c.i. | U-1.240 | R-0.7 c.i. |
| Metal Building | U-0.369 | R-3.3 | U-0.369 | R-3.3 | U-0.948 | R-1.1 |
| Attic and Other | U-0.153 | R-6.7 | U-0.153 | R-6.7 | U-0.459 | R-2.3 |
| <i>Walls, Above-Grade</i> | | | | | | |
| Mass | U-0.857 ^a | R-1.0 c.i. ^a | U-0.701 | R-1.3 c.i. | U-3.293 | NR |
| Metal Building | U-0.642 | R-2.3 | U-0.642 | R-2.3 | U-1.045 | R-1.1 |
| Steel-Framed | U-0.705 | R-2.3 | U-0.365 | R-2.3 + R-1.3 c.i. | U-0.705 | R-2.3 |
| Wood-Framed and Other | U-0.504 | R-2.3 | U-0.504 | R-2.3 | U-0.504 | R-2.3 |
| <i>Walls, Below-Grade</i> | | | | | | |
| Below-Grade Wall | C-6.473 | NR | C-6.473 | NR | C-6.473 | NR |
| <i>Floors</i> | | | | | | |
| Mass | U-0.606 | R-1.1 c.i. | U-0.496 | R-1.5 c.i. | U-1.825 | NR |
| Steel-Joist | U-0.296 | R-3.3 | U-0.296 | R-3.3 | U-0.390 | R-2.3 |
| Wood-Framed and Other | U-0.288 | R-3.3 | U-0.188 | R-5.3 | U-0.376 | R-2.3 |
| <i>Slab-On-Grade Floors</i> | | | | | | |
| Unheated | F-1.264 | NR | F-1.264 | NR | F-1.264 | NR |
| Heated | F-1.766 | R-1.3 for 300 mm | F-1.766 | R-1.3 for 300 mm | F-1.766 | R-1.3 for 300 mm |
| <i>Opaque Doors</i> | | | | | | |
| Swinging | U-3.975 | | U-3.975 | | U-3.975 | |
| Nonswinging | U-8.233 | | U-2.839 | | U-8.233 | |
| Fenestration | Assembly Max. U | Assembly Max. SHGC | Assembly Max. U | Assembly Max. SHGC | Assembly Max. U | Assembly Max. SHGC |
| <i>Vertical Glazing, 0%–40% of Wall</i> | | | | | | |
| Nonmetal framing (all) ^b | U-4.26 | | U-4.26 | | U-6.81 | |
| Metal framing (curtainwall/storefront) ^c | U-3.97 | SHGC-0.25 all | U-3.97 | SHGC-0.25 all | U-6.81 | SHGC-NR all |
| Metal framing (entrance door) ^c | U-6.25 | | U-6.25 | | U-6.81 | |
| Metal framing (all other) ^c | U-4.26 | | U-4.26 | | U-6.81 | |
| <i>Skylight with Curb, Glass, % of Roof</i> | | | | | | |
| 0%–2.0% | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -0.36 | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -NR |
| 2.1%–5.0% | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -11.24 | SHGC _{all} -NR |
| <i>Skylight with Curb, Plastic, % of Roof</i> | | | | | | |
| 0%–2.0% | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -0.39 | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -0.27 | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -NR |
| 2.1%–5.0% | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -0.34 | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -0.27 | U _{all} -10.79 | SHGC _{all} -NR |
| <i>Skylight without Curb, All, % of Roof</i> | | | | | | |
| 0%–2.0% | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -0.36 | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -NR |
| 2.1%–5.0% | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -0.19 | U _{all} -7.72 | SHGC _{all} -NR |

^aThe following definitions apply: c.i. = continuous insulation (see Section 3.2), NR = no (insulation) requirement.

^bException to Section A3.1.3.1 applies.

^cNonmetal framing includes framing materials other than metal with or without metal reinforcing or cladding.

^cMetal framing includes metal framing with or without thermal break. The “all other” subcategory includes operable windows, fixed windows, and non-entrance doors.

(資料來源：ASHRAE 90.1-2007)

STEP 3. 以建築耗能模擬軟體建立 Baseline Building：

將 Proposed Building 與 Baseline Building 所模擬出來得耗電量與瓦斯用量，作成本的計算，再依照下列公式 2.1 做計算，可得到節能效率比，再將其對照表 2.3 的分數對照表，可得到 LEED EA Credit 1 這個項目的分數，其中若節

能效率沒超過 10% 則無法取得 LEED 認證。

由於本研究所開發之離型系統並未將瓦斯用量考慮進去，且耗電成本僅以簡單的耗電量的倍數做計算，因此可簡化為公式 2.2 做計算。

$$\frac{\text{Baseline Building 總耗能成本} - \text{Proposed Building 總耗能成本}}{\text{Baseline Building 總耗能成本}}$$

公式 2.1

$$\frac{\text{Baseline Building 總耗電量} - \text{Proposed Building 總耗電量}}{\text{Baseline Building 總耗電量}}$$

公式 2.2



表 2.3 節能效率與得分數對照表

| New Buildings | Existing Building Renovations | Points |
|---------------|-------------------------------|--------|
| 12% | 8% | 1 |
| 14% | 10% | 2 |
| 16% | 12% | 3 |
| 18% | 14% | 4 |
| 20% | 16% | 5 |
| 22% | 18% | 6 |
| 24% | 20% | 7 |
| 26% | 22% | 8 |
| 28% | 24% | 9 |
| 30% | 26% | 10 |
| 32% | 28% | 11 |
| 34% | 30% | 12 |
| 36% | 32% | 13 |
| 38% | 34% | 14 |
| 40% | 36% | 15 |
| 42% | 38% | 16 |
| 44% | 40% | 17 |
| 46% | 42% | 18 |
| 48% | 44% | 19 |

2.4 BIM 與建築節能的結合

現今已有商業軟體 Autodesk Ecotect 和商業網頁式服務 Green Building Studio(簡稱 GBS)接近本研究之構想，也就是有做將 BIM 與建築節能做相關連結，以下將分別介紹。

◆ Autodesk Ecotect

此軟體為 Autodesk Revit 之協和軟體，可將 Autodesk Revit 以 BIM 的方式建立好的資訊模型，透過 GBXML 匯入 Autodesk Ecotect 再進行分析，其主要用途以下介紹：

1. 陰影與反射：直觀顯示模型所在地的太陽軌跡，並即時顯示陰影效果。
2. 遮陽設計：可以根據遮陽需求自動生成經過優化的遮陽系統。
3. 日照分析：將建築物表面和視窗所接受的太陽輻射精確視覺化。
4. 光伏板陣列尺寸與負荷匹配：用來決定太陽能光伏板的最佳安裝位置和尺寸。
5. 照明設計：計算模型內任意一點的日照採光係數和照度，並可計算節能潛力。
6. Right-to-Light：評估建築物對鄰近場地和建築的影響。
7. 聲學分析：從簡單的混響時間分析到複雜的粒子分析和線追蹤技術。
8. 熱工分析：計算任意區域的冷熱負荷，逐時分析全年各種熱力學指標。
9. 通風和氣流分析：將模型相關內容匯出到 CFD（流體動力學）工具中，完成分析和計算後導入回 Ecotect Analysis 並完成視覺化。

雖然用 Ecotect 做模擬分析有具有良好的視覺效果(如圖 2.3 所示)，但目前以 Ecotect 用在建築耗能模擬的數據的可信度並不完全被全世界公認，甚至 LEED EA Credit 1 並不接受其數據，而本研究主要是針對節能設計的優劣程度的評分，也就是 LEED EA Credit 1 這個項目，因此 Ecotect 並不符合本研究之構想，但 LEED 的所有項目中，光環境的評估可以採用 Ecotect 的數據。

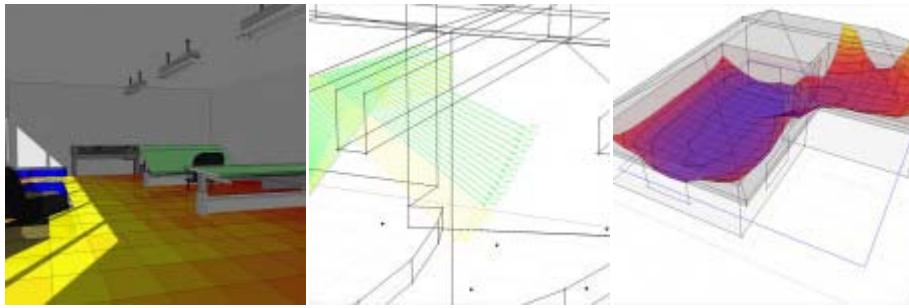


圖 2.3 Ecotect 分析之視覺效果

(資料來源：<http://www.chinabim.com/green/bim/2010-04-19/749.html>)

◆ Green Building Studio

GBS 採用網頁式服務，也就是雲端服務，使用者如同 Ecotect 將 Autodesk Revit 以 BIM 的方式建立好的資訊模型，透過 GBXML 從該網頁上傳，等待工作完成後，GBS 會提供一系列的分析報告，如碳排放量報告、建築整體能耗分析、自然採光評價等報告書，但如同 Ecotect，這些報告書目前 LEED EA Credit 1 並不採用其數據，也同樣 LEED 的光環境評分這個項目會採用其數據。

另外 GBS 回傳提供給用戶下載 eQUEST、energyplus、DOE-2 等多種檔案，但如同研究背景所描述，若有需要判定優劣程度或取得 LEED 認證的需求，以建築耗能模擬軟體建立 Baseline Building 會是一件麻煩且耗時的工作，因此 GBS 並不符合本研究論文快速、自動化的構想。

由於本研究之最終目的為讓使用者可即時得知 LEED EA Credit 1 之分數，而先前的動作為即時回饋至 eQUEST 以計算每年建築耗能電量，而上述之 GBS 可將 BIM 回饋至 eQUEST，但 GBS 為商業性之服務，實在不可能提供程式碼供本研究論文採用，因此本研究論文只好自行開發離型系統，功能為讓使用者將 BIM 回饋至 eQUEST，再來製作 Baseline Building 以計算 LEED EA Credit 1 之分數。

第三章 BIM 與建築耗能模擬軟體及其開發環境

3.1 BIM 軟體—Autodesk Revit

Revit 是 revise instantly(立即修改)的縮寫而來，Revit 軟體前身的研發開始於 1997 年末，是由當初將參數化 CAD 技術引進機械 CAD 市場的技術人員所創立。在不到十年的時間內，該軟體就將機械設計 CAD，從一個僅能處理 2D 圖形的產業，轉變成主要處理數位模型的產業。

Revit 是專門針對建築資訊化模型(BIM)設計的，是最先引入建築社群並提供建築設計和文件管理支援的軟體。但其基礎技術、建築資訊化模型以及參數化變更引擎在經過設計和最佳化後，可以支援整個建築企業的資訊建立和管理。建築資訊化模型是一種先進的資料庫基礎結構，可滿足建築設計和製作團隊的資訊需求。Autodesk Revit 將此資訊基礎結構的功能擴大到建築專案的結構配置、構造和敷地設計工作中(樊啟勇，2007)。

Autodesk Revit 與營建相關的軟體主要有三種 Revit Architecture 與 Revit Structure 以及 Revit MEP。Revit Architecture 主要功能著重於建築外觀與內部設計與家具或設備的規劃，它可以將家具或設備呈現於設計建立完成的建築物空間中，且可從各個角度觀看建築外觀與內部景觀。

Revit Structure 主要功能著重於結構設計，它可以依據設定將配筋、鋼骨等物件畫在建築 3D 模型上，最重要的是依據它們原本設定的理想，這些結構物件是可以回饋至結構分析軟體做分析，然後在它們的 數量統計程式中還可表列出結構材料的使用數量，然後再傳至 Excel 做預算，所以這應屬結構分析及數量計算使用，如結構技師或輔助營造廠對於欲施工建物的結構認知。

Revit MEP 為一套專為機電工程師(MEP Engineer)量身訂做的機電系統模擬平台，輔助機電工程師進行機電系統之設計與分析，如同其他 Revit 系列都採參數化設計，如此提高設計一致性，舉凡 MEP 系統皆可於 Revit MEP 所提供的操作

環境下模擬，另外提供管路路徑自動配置的功能，使用者只需選取管路與所欲連接之設備，系統會自動產生多種管路佈設方式供使用者選擇與修改，並在管路拐彎折角處，自動繪製適當之另件，大幅減少繪圖的時間(李冠文，2009)。

上述 Revit 系列產品可將 BIM 資訊互相傳遞，以此達到協同設計的目的，例如建築師將建築形狀或隔間等資訊設計完成後可從 Revit Architecture 傳送資訊至 Revit MEP，提供資訊給空調機電設計單位使用，如此實現了在數字環境中的協同工作。

本研究開發之離型系統僅能做簡單的設計使用，以此展示表達本研究概念，但礙於開發完整功能需耗費龐大的人力與時間，因此本研究在冷氣空調方面僅使用窗型冷氣機，如此一來不需要處理管線設計造成建築耗能模擬的差異，因此本研究僅需用 Revit Architecture 而不用 Revit MEP。

而本研究使用 Autodesk Revit 主要因為國內使用情況比較多，在台灣已有幾間工程顧問公司(如世曦、中興)使用 Autodesk Revit，且有一些案例(如舊鐵道_新都心、花蓮海洋度假園區開發案等)，因此在技術的學習上相較於其他 BIM 軟體方便。

3.1.1 RevitAPI 介紹

本研究目標為要將 BIM 與其它軟體進行連結，因此將會使用到 RevitAPI，在提及 RevitAPI 之前，在此先介紹什麼是 API(Application Programming Interface 簡稱)，又稱為應用程式介面，就是軟體系統不同組成部分銜接的約定。由於近年來軟體的規模日益龐大，常常會需要把複雜的系統劃分成小的組成部分，編程介面的設計十分重要。程式設計的實踐中，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充功能性。

應用程式介面為：「『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。

例如，圖形函式庫中的一組 API 定義了繪製指標的方式，可於圖形輸出裝置上顯示指標。當應用程式需要指標功能時，可在參照、編譯時連結到這組 API，而執行時就會呼叫此 API 的實現（函式庫）來顯示指標。

應用程式介面是一組數量上千、極其複雜的函數和副程式，可讓程式設計師做很多工作，譬如「讀取檔案」、「顯示選單」、「在視窗中顯示網頁」等等。作業系統的 API 可用來分配記憶體或讀取檔案。許多系統應用程式藉由 API 介面來實現，像是圖形系統、資料庫、網路 Web 服務，甚至是線上遊戲。

應用程式介面有諸多不同設計。用於快速執行的介面通常包括函式、常量、變數與資料結構。也有其它方式，如透過直譯器，或是提供抽象層以遮蔽 API 實作相關的資訊，確保使用 API 的代碼無需更改而適應實作變化。

常見的 API 又分為（windows、Linux、Unix 等系統的）系統級 API，及非作業系統級的自訂 API。作為一種有效的代碼封裝範式，微軟視窗（windows）的 API 開發範式，已經為許多商業應用開發的公司所借鑒，並開發出某些商業應用系統的 API 函式予以發布，方便第三方進行功能擴充功能。如 Google、蘋果電腦公司，以及諾基亞等手機開發的 API，等等。常見的有：

- 微軟 Win32 API
- 蘋果 Mac OS X 的 Carbon 與 Cocoa API
- UrMap API
- MSN 機器人 API
- Google 地圖的 API

(資料來源：維基百科 2011.5)

RevitAPI 即為 Autodesk Revit 提供的 API，如同其他軟體所提供的 API，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，應用程式開發人員可運用 RevitAPI 呼叫其龐大功能，進而擴增 Autodesk Revit 的應用。

本研究論文也將運用 RevitAPI 將 Autodesk Revit 與其他軟體進行整合，主要工作為讀取使用者在使用 Autodesk Revit 以 BIM 操作時，所放置物件的座標以及相關調整或輸入的參數。以及將整合的成果(節能效率和 LEED EA Credit1 之分數)表現在 Revit 操作界面上，以供使用者即時選擇適合方案。

3.2 建築耗能模擬軟體—eQUEST

本研究論文採用之建築耗能動態分析軟體 eQUEST，為美國能源部與電力研究院共同出資，由美國勞倫斯伯克利國家實驗室與其合作夥伴共同開發之程式，該軟體持續更新以保持其分析可靠度與公正性，且免費下載使用，在國際間具有公信力並且受到國內能源空調業的普遍採用。將建築之方位、尺寸、外觀、開窗位置、外牆材質與建物所採用之空調系統等設資料，配合當地的氣候資料，透過圖形化之介面輸入進棋運算核心 DOE-2 中，即可獲得詳盡的全年 8760 小時之耗能結果分析，經由 eQUEST 之計算，便可精確地了解建築物每小時之耗能負載變化。

在台灣的應用舉例，如台積電每座廠房都要求要以 eQUEST 模擬耗能，並取得 LEED 認證；台灣的綠建築解說與評估手冊的對照表，有些是由該軟體模擬出來，如該手冊的表 3-4.3(綠建築解說與評估手冊，2009)，也因此該軟體在台灣相對來說較好學習，這也是本研究論文用 eQUEST 而不用其他建築耗能軟體的主要原因之一。

再者，eQUEST 為 User Interface(簡稱 UI)，相對於 DOE-2.2 來說，可以很方便的知道匯入的模型或輸入的參數是否正確，這也是本研究論文採用的原因之

二。

本研究論文將運用 UI Automation 進行連結，此為 Visual Studio 所提供的
一組函式庫，專門控制 UI 介面的軟體，而 eQUEST 即為 UI 介面，本離型系統將
控制 eQUEST 執行模擬耗能的計算。

3.2.1 eQUEST 之 inp 檔

eQUEST 之 inp 檔裡的資料，即為 eQUEST 執行計算需要的所有資訊，變更 inp
檔的資料也等於變更 eQUEST 執行計算的資訊，因此本研究論文所開發之離型系
統運用此方式，將所需資料整理成 inp 檔的格式，匯入 inp 檔中，再執行 eQUEST
計算，以此得知 eQUEST 所計算之建築耗能模擬之數據。

eQUEST 之 inp 檔可當作記事本(txt)檔文件開啟，如圖 3.1 所示，也因此可
得知匯入資料對錯與否。





```
$ ****
$ **
$ **      Floors / Spaces / Walls / Windows / Doors      **
$ **      **
$ ****

"EL1 Ground Flr" = FLOOR
    AZIMUTH      = 360
    POLYGON      = "EL1 Floor Polygon"
    SHAPE        = POLYGON
    FLOOR-HEIGHT = 9
    SPACE-HEIGHT = 9
    C-DIAGRAM-DATA = *Bldg Envelope & Loads 1 Diag Data*
.

"EL1 Core Spc (G.C1)" = SPACE
    X      = 20.65
    Y      = 38.4
    SHAPE      = POLYGON
    ZONE-TYPE  = UNCONDITIONED
    LIGHTING-SCHEDUL = ( "Annual Schedule light" )
    EQUIP-SCHEDULE = ( "Annual Schedule misc" )
    INF-SCHEDULE   = "ZG9-S1 (SUM) C-Inf Sch"
    INF-METHOD    = RESIDENTIAL
    INF-FLOW/AREA  = 0.001
    PEOPLE-HG-LAT = 155
    PEOPLE-HG-SENS = 245
    EQUIP-LATENT  = ( 0 )
    EQUIP-SENSIBLE = ( 1 )
    LIGHTING-W/AREA = ( 0.65 )
    EQUIPMENT-W/AREA = ( 1 )
    AREA/PERSON   = 624
    POLYGON      = "EL1 Space Polygon 1"
    C-SUB-SRC-BTUH = ( 0, 0, 0 )
    C-SUB-SRC-KW  = ( 0, 0, 0 )
    C-ACTIVITY-DESC = *Residential (Multifamily)*
.

"EL1 Flr (G.C1.I1)" = EXTERIOR-WALL
```

圖 3.1 eQUEST 之 inp 檔以記事本(txt)開啟

3.3 整合式開發環境—Visual Studio 2008

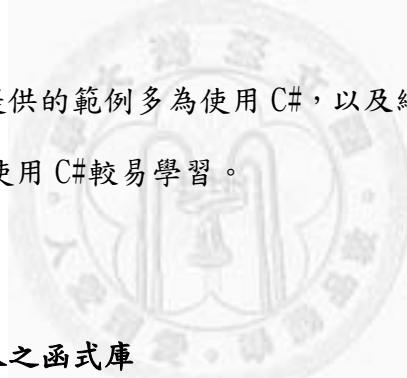
Visual Studio 是用來建置 ASP.NET Web 應用程式、XML Web Services、

桌面應用程式及行動應用程式的一套完整開發工具。Visual Basic、C# 和 C++ 等都使用相同的整合式開發環境（IDE），如此一來便可以共用工具，並且可以簡化混合語言方案的建立程序。此外，這些語言可使用 .NET Framework 強大的功能，簡化 ASP Web 應用程式與 XML Web Services 開發的工作。

C# 是微軟所設計的一種物件導向語言，其設計理念受到 C 與 Java 語言的影響，採用類似 C 語言的語法，並使用類似 Java 語言的虛擬機架構，具備物件導向的能力，是微軟在其主力平台 .NET 上最重要的開發語言。

RevitAPI 僅提供 C# 與 VB.NET 兩種語言進行開發，而本計劃選擇使用 C# 的原因為以下幾點：

1. 國內大多數運用 RevitAPI 進行開發人員多為使用 C#，因此當技術上有疑問時，較方便詢問。
2. 大多數 Autodesk 所提供的範例多為使用 C#，以及網路上 RevitAPI 的討論群組也多為使用 C#，因此使用 C# 較易學習。



3.3.1 離型系統特別導入之函式庫

本研究以 Visual Studio 開發離形系統，可使用其 .NET Framework 眾多的函式庫，因為本研究之離形系統的需求將特別導入一般以 Visual Studio 開發較少導入之函式庫，如 Microsoft.Office.Interop.Excel、UI Automation 以下將分別介紹：

Microsoft.Office.Interop.Excel

本研究以 Excel 作為資料庫來使用，但其實用其他資料庫如 MSSql 或是 MySQL 都可，本研究以做簡單的 Excel 當作資料庫，而在 Visual Studio 的環境中控制 Excel 為 Microsoft.Office.Interop.Excel，本研究離型系統將用以判定資料庫裡所建的物件是否有等同 Revit 所使用之物件，若沒有則使用者需要依照類別新建新的物件名稱及相關參數。

UI Automation

UI Automation 專門控制 User Interface(UI)的視窗元件(如 Button, Text Box etc.)，本計劃將運用於控制 eQUEST 執行設計模型和基準模型之 inp 檔，計算每年模擬的建築耗電量。



第四章 自動化節能設計離型系統開發

本研究開發之離型系統將如圖 4.1 所示，將 BIM 軟體(採用 Autodesk Revit)、建築耗能軟體(採用 eQUEST)、Database(採用 Excel)，以 Visual Studio 2008 將三樣軟體整合起來，執行節能效率、LEED EA Credit1 分數計算之功能，而本研究將採用 Visual Studio2008 為開發環境並以 C#來做開發程式語言，並使用 Autodesk Revit 提供的 RevitAPI 、 Visual Studio 提供的 Microsoft.Office.Interop.Excel 以及 UIA，以此將 Autodesk Revit 、 Excel 以及 eQUEST 整合起來。

在上一章，本研究論文已經將離型系統所需之相關軟體做介紹，以及解釋採用之原因(如 Autodesk Revit 、 eQUEST 、 Visual Studio 、 Excel 等軟體)，而本章將會詳細介紹資料處理的過程，本研究論文在開發該離型系統所遇到每一個重要的過程或較為艱難的部分分成以下小節，並在每一小節解釋如何處理資料，並提供虛擬程式碼 (pseudo code) ，以口語化的方式敘述程式碼以此提供未來研究人員或相關軟體開發人員參考。

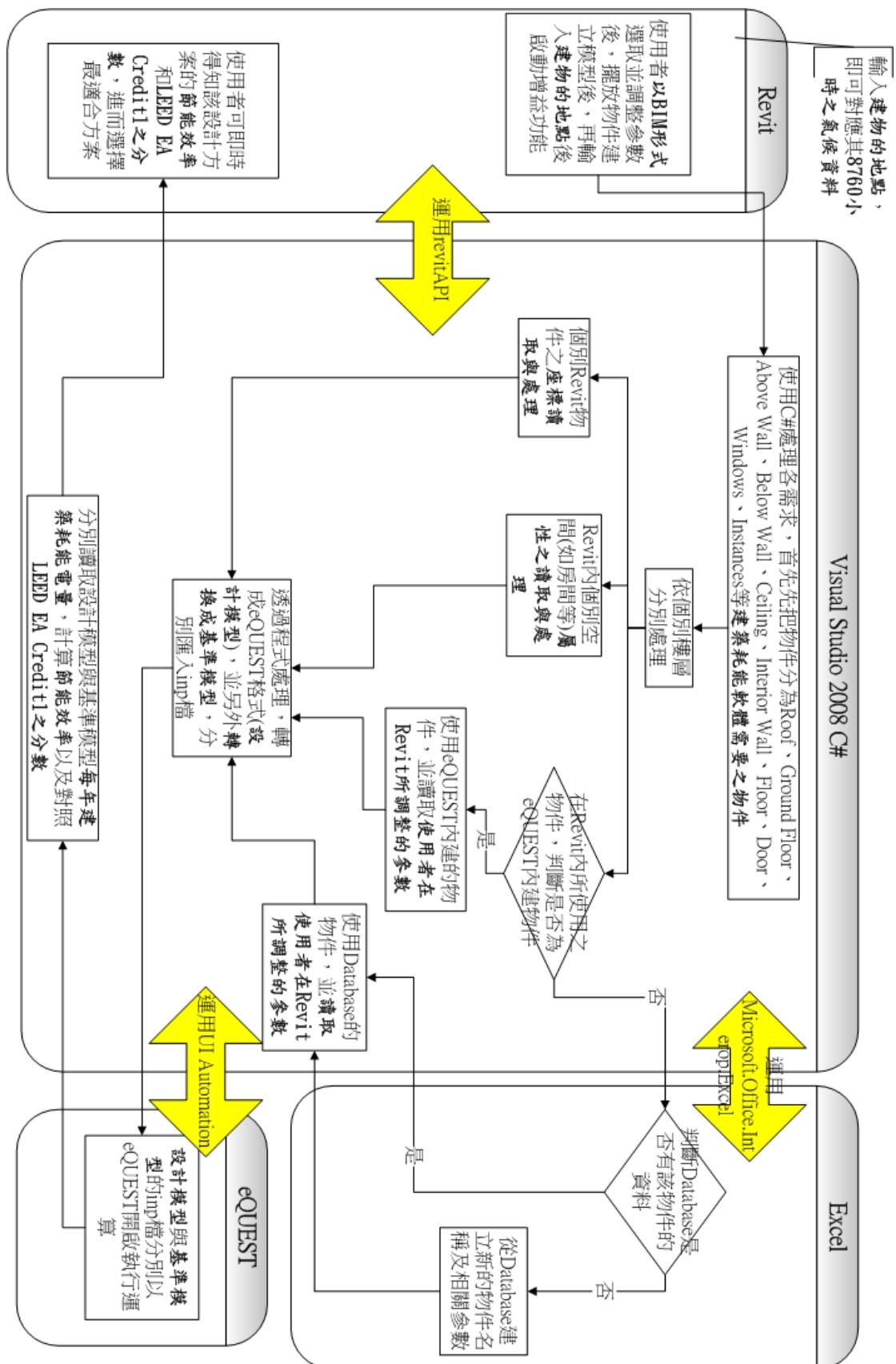


圖 4.1 資料處理流程圖

4.1 資料匯出並分類

為了讓讀者了解本節在整個資料處理流程圖的哪一段落，在每一節都會有示意圖，如本節則由圖 4.2 所示。

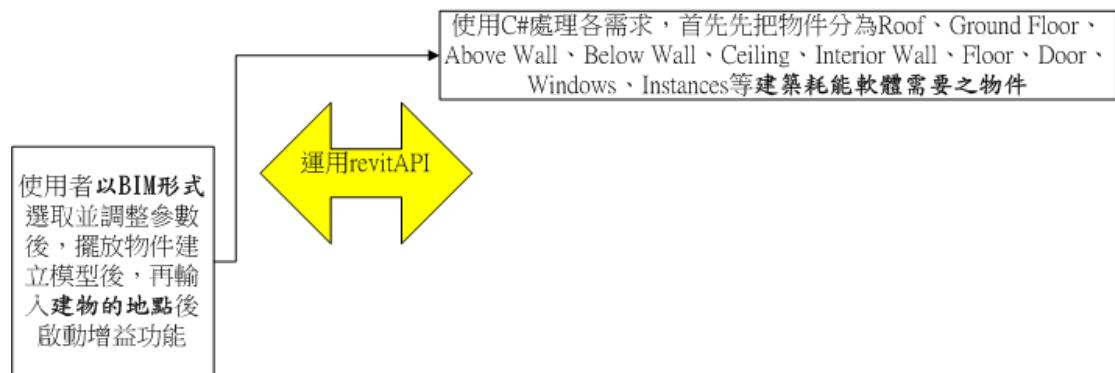


圖 4.2 資料匯出並分類

在上圖過程中，使用者以 BIM 形式建立模型，特別要注意的是，由於要配合建築耗能軟體 eQUEST 輸入資訊的方式，使用者得把每一面牆標示為外牆(建築外殼)、內牆(內部隔間)或視情況當作沒那座牆而不選擇，而後因為 eQUEST 的需要，再將每一個區域標示該區域之名稱。

使用者以 BIM 形式建立模型完成後(包括各物件之材料、大小樣式、位置、建物地點等資訊)，啟動本研究開發之離型系統，即透過如 3.3.1 節所敘述的 RevitAPI 將 BIM 的所有資訊匯入出來做處理。

將 BIM 的所有資訊匯入出來後，依照 eQUEST 資訊匯入的要求，將所有物件分為 Roof、Room、Above Wall、Below Wall、Ceiling、Interior Wall、Floor、Door、Windows 以及 Instances 等建築耗能軟體需要之物件，其中冷氣機、燈具、遮陽板等設備或特殊物件都歸為 Instances。

而以下為本節所描述之虛擬程式碼 (pseudo code)：

For(每一個 BIM 之物件)

{

 If(該物件為 Roof){將該物件歸類為 Roof}

 If(該物件為 Room) {將該物件歸類為 Room}

```

If(該物件為 Above Wall){將該物件歸類為 Above Wall }

.
.
.

//以此類推

}

```

4.2 各物件座標處理以及參數讀取

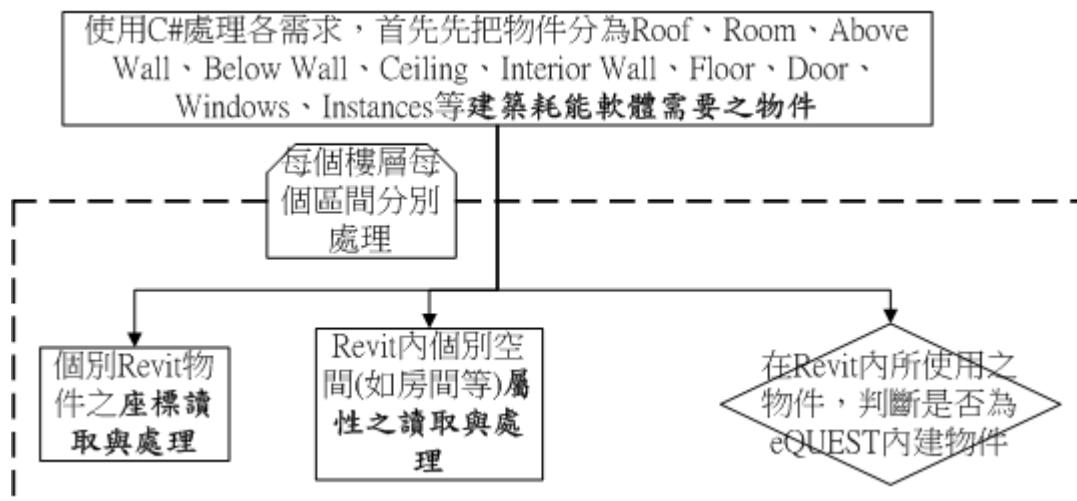


圖 4.3 各物件座標處理以及參數讀取

為了符合 eQUEST 的 inp 檔格式，需要一層一層把建物資訊輸入，且每一層的房間所有設備、物件都要輸入邏輯關係(ex. 哪個窗戶是在哪個牆上、哪個牆屬於哪個區間、哪個區間屬於哪個樓層)，因此在本節所描述離型系統執行的過程中，將會運用程式設計常用的手法—關聯式資料(relational data)，如圖 4.4 所示，由於資料相當龐大，因此下圖僅表示幾個資料的關聯。

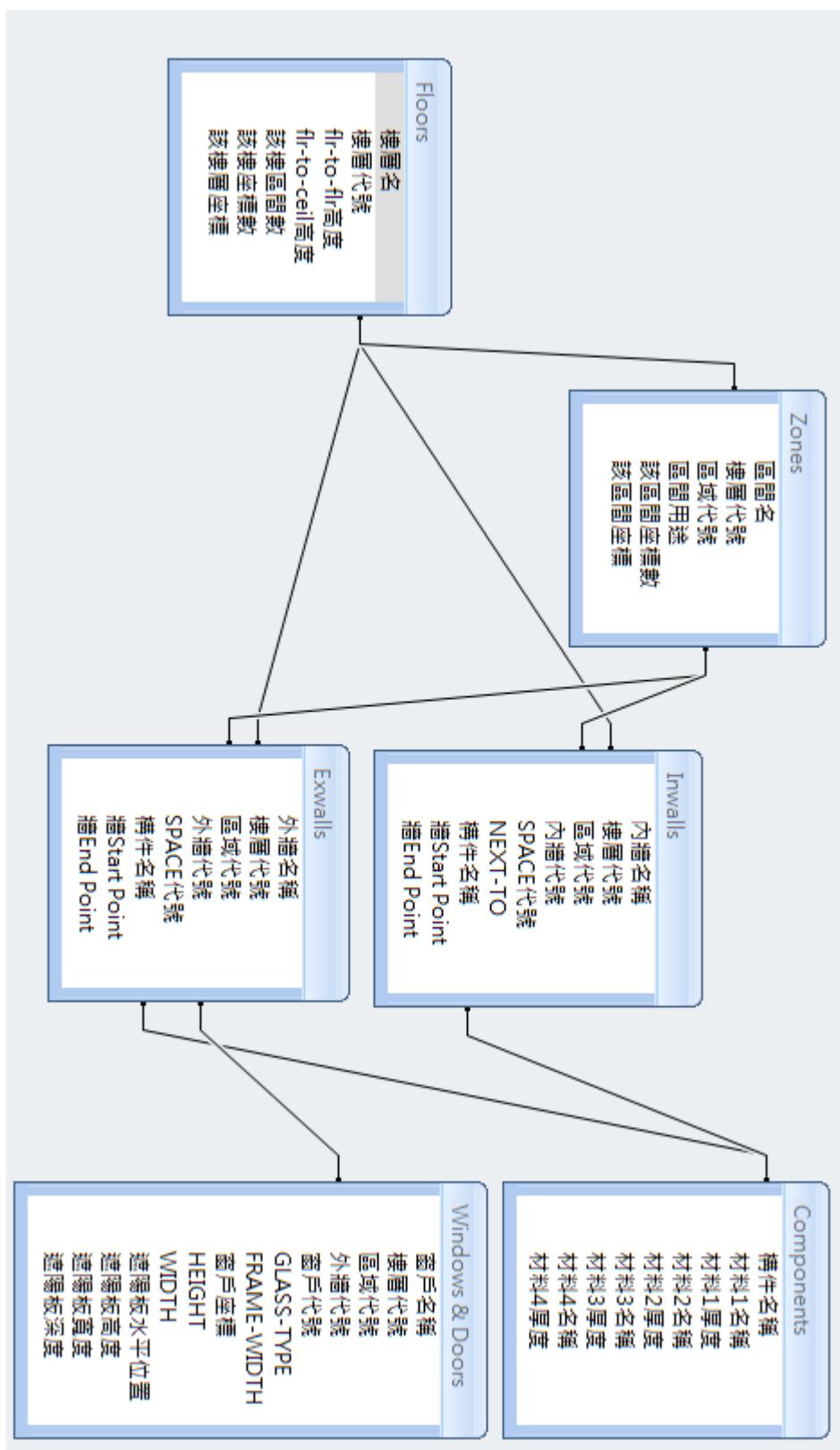


圖 4.4 離型系統一部分的關聯式資料

從上段敘述可知，pseudo code 的描述會由最外層的大迴圈執行每一層樓再來才是較小迴圈執行每一間區間的運算。在每一個區間裡，要執行物件座標讀取與處理、執行物件屬性讀取與處理，由於需要較多的介紹，故再細分小節做介紹。

以下為本節所描述之 pseudo code：

For(每一層樓)

{

For(每一間區間)

{

 執行區間座標讀取與處理 //由 4.2.1 小節做介紹

 執行物件屬性讀取與處理 //由 4.2.2 小節做介紹

}

}



4.2.1 執行區間座標讀取與處理

eQUEST 之 inp 檔在輸入每個區間的區域形狀時，是以逆時針順序的方式輸入座標，如圖 4.5 舉例：

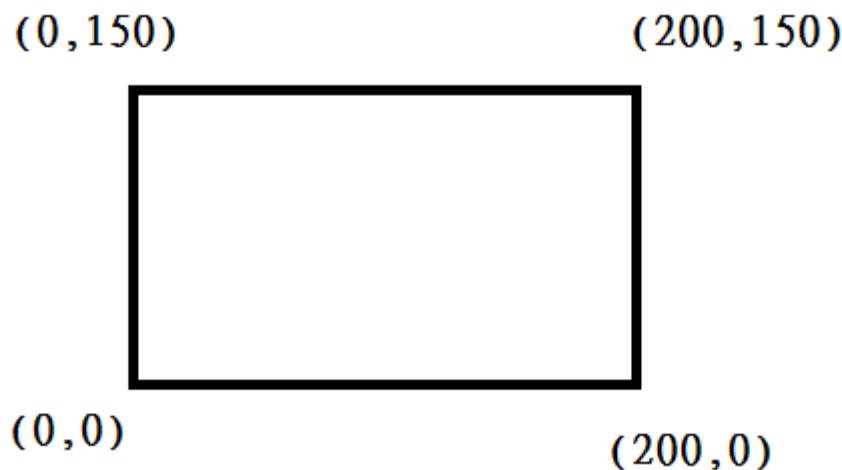
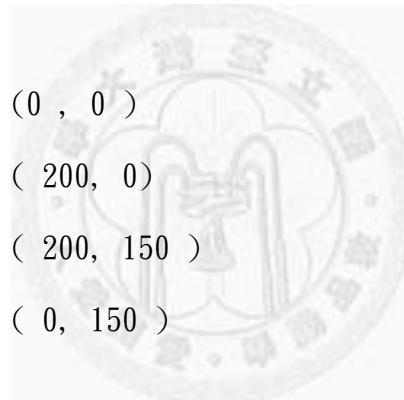


圖 4.5 舉例區間

如上圖的區間舉例，若從最左下角的座標開始輸入，依照 eQUEST 之 inp 檔格式輸入如下：

| | |
|----|----------------|
| V1 | = (0 , 0) |
| V2 | = (200, 0) |
| V3 | = (200, 150) |
| V4 | = (0, 150) |



但從 RevitAPI 讀取使用者建好的 BIM 模型，並沒有辦法直接讀取每個區間的逆時針順序的座標，僅能讀取包覆該區間每一座牆(包含內牆和外牆)的 Start Point 和 End Point，因此本研究之離型系統需要設計一個方式，將區間的座標以 eQUEST 之 inp 檔格式排列，而本研究所設計的步驟如下所示：

STEP 1. 讀取包覆該區間的每一座牆(包含內牆和外牆，沒被認定為內牆和外牆則不讀取)的 Start Point 和 End Point，以圖 4.5 舉例，讀取出來的矩陣可能如下表所示：

表 4.1 舉例區間座標讀取矩陣

| Start Point_X | Start Point_Y | End Point_X | End Point_Y |
|---------------|---------------|-------------|-------------|
| 0 | 0 | 200 | 0 |
| 0 | 150 | 200 | 150 |
| 200 | 150 | 200 | 0 |
| 0 | 150 | 0 | 0 |

STEP 2. 找出最左方且最下方的兩個相同座標，因為有 Start Point 和 End Point，所以會有兩個一樣的，以表 4.1 的矩陣為例，可找出(0, 0)這個座標兩個，此座標即為逆時針順序座標之第一座標。

STEP 3. 上步驟找到最左方且最下方的兩個相同座標，若該座標是 Start Point，則把該座標的 End Point 找出來，若是 End Point 則把該座標的 Start Point 找出來，以表 4.1 的矩陣為例，第一行(0, 0)這個座標的對應座標為(200, 0)，第四行(0, 0)這個座標的對應座標為(0, 150)。

STEP 4. 如研究範圍 1.3 節所描述，本研究之離型系統限定在隔間都為正交的情況(如 90 度、180 度、270 度)，因此將兩個對應座標互相比較，找出較為右邊的座標，以上述兩個對應座標為例，較為右邊為第一行的(200, 0)，此座標為逆時針順序座標之第二座標。

STEP 5. 找出如上步驟相同的座標的位置，但不能同一位置，並找出該座標之對應座標，以上述舉例為第一行的(200, 0)，而有相同坐標為第三行的 End Point，其對應座標為(200, 150)。此時(200, 150)為該區間逆時針順序座標之第三個座標。

STEP 6. 重複上一步驟直到遇到 STEP 2 找到的座標，以表 4.1 的矩陣為例，STEP 2 找到的是(0, 0)，上一步驟重複動作直到找到對應座標為(0, 0)即代表逆時針繞了一圈回來，因此即可完成逆時針順序座標。

以下為本節所描述之 pseudo code：

For(屬於該區間的每一座牆)

{

If(判斷該牆是否為內牆或外牆)

{

 讀取牆的 Start Point 和 End Point 放入矩陣

}

}



For(矩陣中的每一行)

{

 For(Start Point & End Point)

{

 If(判斷座標是否比暫存座標還來得最左下角)

{

 取代暫存座標及其矩陣位置

 儲存該座標為逆時針順序座標之第二座標

}

}

}

For(最左方且最下方的兩個相同座標)

{

 If(判斷其矩陣位置是否為 Start Point)

{

 讀取 End Point 為對應座標

```

        }
    Else
    {
        讀取 Start Point 為對應座標
    }
}

If(判定其中一個對應座標的X軸是否比另一個對應座標來的大)
{
    儲存該對應座標為逆時針順序座標之第二座標
}
Else
{
    儲存另一個對應座標為逆時針順序座標之第二座標
}

For(矩陣中的每一行)
{
    For(Start Point & End Point)
    {
        If(判斷是否與逆時針順序座標之第二座標相同但不能同一個矩陣位
置)
        {
            讀取其矩陣位置以及其對應座標
            儲存此對應座標為逆時針順序座標之第三座標
        }
    }
}

While(所有逆時針順序座標讀取完畢)
{
    For(矩陣中的每一行)

```



```

{
    For(Start Point & End Point)
    {
        If(判斷是否與逆時針順序座標之最後得到的座標相同但不能同一
        個矩陣位置)
        {
            讀取其對應座標，並儲存為逆時針順序座標
        }
    }
}

```

4.2.2 執行物件屬性讀取與處理

如圖 4.4 所示，eQUEST 在輸入資訊時，物件之間需要有關聯性，因此在取得各物件的資料時，會有邏輯先後順序的問題，舉例來說，要取得遮陽板資訊得先知道該遮陽板屬於哪個門窗、要取得門窗資訊得先知道是在哪個牆上、要取得牆的資訊得先知道該牆是屬於哪個區間、要取得燈具和冷氣設備的資訊得先知道該燈具和冷氣設備是屬於哪個區間，因此讀取資料的順序為：

區間 → 牆、樓板、天花板、燈具和冷氣設備 → 門窗 → 遮陽板

以下為本節所描述之 pseudo code(為 4.2 節所描述之大迴圈裡)：

讀取區間的相關參數與屬性

For(BIM 的每個物件)

```

{
    If(判定該物件是否為目前執行樓層、區間)
    {
        If(該物件是否屬於牆)
        {
            讀取牆的相關參數與屬性
        }
    }
}

```

}

If(該物件是否屬於樓板)

{

 讀取樓板的相關參數與屬性

}

If(該物件是否屬於天花板)

{

 讀取天花板的相關參數與屬性

}

If(該物件是否屬於燈具)

{

 讀取燈具的相關參數與屬性

}



If(該物件是否屬於冷氣設備)

{

 讀取冷氣設備的相關參數與屬性

}

}

For(目前執行樓層、區間的每一座牆)

{

 For(BIM 的每個物件)

{

 If(判斷是否為目前執行的樓層、區間、牆)

{

 If(該物件是否屬於門窗)

{

 讀取冷氣設備的相關參數與屬性

```

        }
    }
}

For(BIM 的每個物件)
{
    If(判斷該物件是否屬於遮陽板)
    {
        For(目前執行樓層、區間、牆的每一座窗戶)
        {
            If(判斷遮陽板的是否在目前執行窗戶之上，且不得超過該樓層高度)
            {
                讀取遮陽板的相關參數與屬性
            }
        }
    }
}

```



4.3 eQUEST 之 inp 檔格式製作

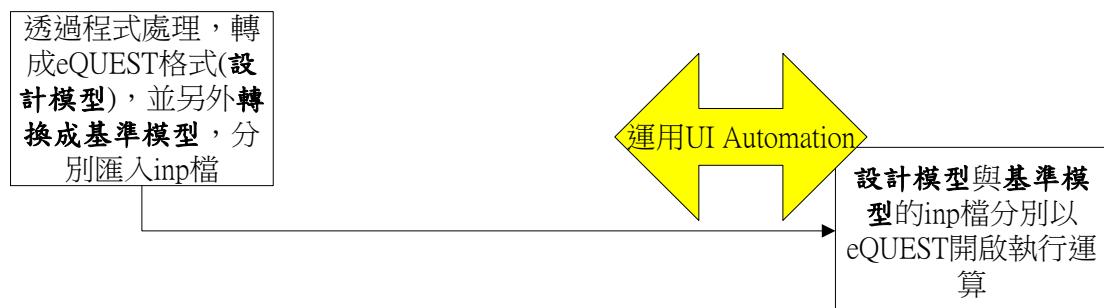


圖 4.6 eQUEST 之 inp 檔格式製作

在 4.2 節裡，本研究開發之離型系統將所有的資訊以關聯式資料的方式做處理，以此方便製作 eQUEST 的 inp 檔，如圖 4.7 所舉例，當輸入一樓的第二個區

間時，透過區間的代碼，可以很方便地從關聯資料得知哪些牆屬於這個區間，並輸入該牆之所有資訊；輸入牆的資訊之後，透過牆的代碼，可以很方便地得知哪些窗戶屬於該牆，並輸入窗戶所有資訊，以此配合 eQUEST 的 inp 檔格式的製作。

test_3zone_noHVACpart2.inp - 記事本

檔案(F) 編輯(E) 格式(O) 檢視(V) 說明(H)

```

CONSTRUCTION      = "EL1_UFCCons (G.1.U2)"
LOCATION          = BOTTOM

"EL1 Perim Spc (G.2)" = SPACE          樓層1 區間2
  X                = -49.303
  Y                = -43.272
  SHAPE           = POLYGON
  ZONE-TYPE       = UNCONDITIONED
  PEOPLE-SCHEDULE = "EL1 Bldg Occup Sch"
  LIGHTING-SCHEMUL = ( "EL2 Bldg InsLt Sch" )
  INF-SCHEDULE    = "ZG1-S1 (SUM) P-Inf Sch"
  INF-METHOD      = AIR-CHANGE
  INF-FLOW/AREA   = 0.008835
  PEOPLE-HG-LAT   = 140
  PEOPLE-HG-SENS  = 210
  EQUIP-LATENT    = ( 0 )
  EQUIP-SENSIBLE  = ( 1 )
  LIGHTING-W/AREA = ( 0.5 )
  EQUIPMENT-W/AREA = ( 0 )
  AREA/PERSON     = 624
  POLYGON          = "EL1 Space Polygon 2"
  C-SUB-SRC-BTUH  = ( 0, 0, 0 )
  C-SUB-SRC-KW    = ( 0, 0, 0 )
  C-ACTIVITY-DESC = *Residential (Bedroom)*

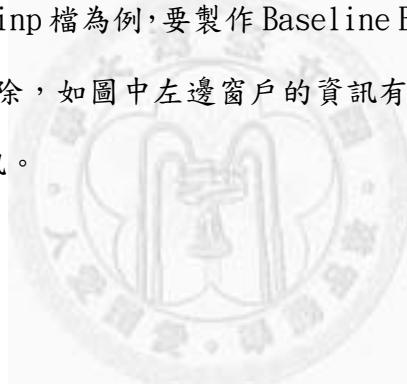
"EL1 Wall (G.2.E4)" = EXTERIOR-WALL    該區間之外牆
  CONSTRUCTION     = "EL1 EWall Construction"
  LOCATION         = SPACE-V12

"EL1 Win (G.2.E4.U2)" = WINDOW          該外牆之窗戶
  GLASS-TYPE       = "Glass Type 7"
  FRAME-WIDTH      = 0.108333
  X                = 24.596
  Y                = 1.00066
  HEIGHT           = 5.00333
  WIDTH            = 5
  OVERHANG-A       = -5
  OVERHANG-W       = 10
  OVERHANG-D       = 3

```

圖 4.7 eQUEST 之 inp 檔格式製作舉例

上述為將使用者在 BIM 設計的建築模型以及其資訊，製作成 eQUEST 之 inp 檔格式，也就是 Proposed Building 的 inp 檔，接下來為了製作 Baseline Building 的 inp 檔，得先把遮陽板給除去，再將 LEED 認證要求的物件依照 ASHRAE Standard 90.1 的表格進行修改(如表 2.1、表 2.2)，若該建物的位置是在台北，則對照表 2.1，再根據該表判別是否為住宅類型的建物以及判別物件之類型，以圖 4.8 之 inp 檔舉例來說，原先 Proposed Building 為住宅類型，且其某個外牆的材質是 RC 構件，如下圖左邊的資料所示，上面三段敘述是代表三個材料的資訊，第四段敘述為材料層級的資訊，第五段的敘述為該構件是由哪個層級組成，而對照表格，得知要把 U 值修改為 0.857，由於已經僅需輸入 U 值而無關材料以及層級等資訊，因此如下圖右邊資料所示，其它物件的參數也類似此方式進行修改資料；另外以圖 4.9 之 inp 檔為例，要製作 Baseline Building 需要把 Proposed Building 的遮陽板給去除，如圖中左邊窗戶的資訊有遮陽板，圖中右邊為同一個窗戶去除遮陽板的資訊。



```

"done_cement_mortar_0.01312" = MATERIAL
TYPE = PROPERTIES
THICKNESS = 0.01312
CONDUCTIVITY = 0.8673
DENSITY = 124.86
SPECIFIC-HEAT = 0.19136
.:
"done_RC_0.95144" = MATERIAL
TYPE = PROPERTIES
THICKNESS = 0.95144
CONDUCTIVITY = 0.80948
DENSITY = 137.346
SPECIFIC-HEAT = 0.2105
.:
"done_ceramic_tile_0.01969" = MATERIAL
TYPE = PROPERTIES
THICKNESS = 0.01969
CONDUCTIVITY = 0.75166
DENSITY = 149.832
SPECIFIC-HEAT = 0.20093
.:
"2_Layer" = LAYERS
MATERIAL = ("done_ceramic_tile_0.01969",
            "done_RC_0.95144",
            "done_cement_mortar_0.01312")
.:
"Generic - 300mm" = CONSTRUCTION
TYPE = LAYERS
LAYERS = "2_Layer"
.:

```

修改成

```

"EL1 EWall Construction" = CONSTRUCTION
TYPE = U-VALUE
ABSORPTANCE = 0.6
ROUGHNESS = 4
U-VALUE = 0.857
.:

```

圖 4.8 Proposed Building 改成 Baseline Building 舉例之一

```

"EL1 Win (G.3.E5.W3)" = WINDOW
GLASS-TYPE      = "Glass"
FRAME-WIDTH     = 0.108333
X               = 5.62901574803149
Y               = 1.00065616797901
HEIGHT          = 6.00393700787401
WIDTH           = 3.00196850393701
OVERHANG-A      = 0.4566900000000004
OVERHANG-B      = 1.19751
OVERHANG-W      = 4
OVERHANG-D      = 1.674
FRAME-CONDUCT   = 2.781

```

把窗戶修改成
 沒有遮陽板
 的情況

```

"EL1 Win (G.3.E5.W3)" = WINDOW
GLASS-TYPE      = "Glass"
FRAME-WIDTH     = 0.108333
X               = 5.62901574803149
Y               = 1.00065616797901
HEIGHT          = 6.00393700787401
WIDTH           = 3.00196850393701
FRAME-CONDUCT   = 2.781

```

圖 4.9 Proposed Building 改成 Baseline Building 舉例之二

在上述把原先 Proposed Building 的 inp 檔修改成 Baseline Building 之後，根據 ASHRAE Standard 90.1 的規範，得把修改完成的 inp 檔分別改成轉 90 度、180 度、270 度，如下圖 4.10 所示。



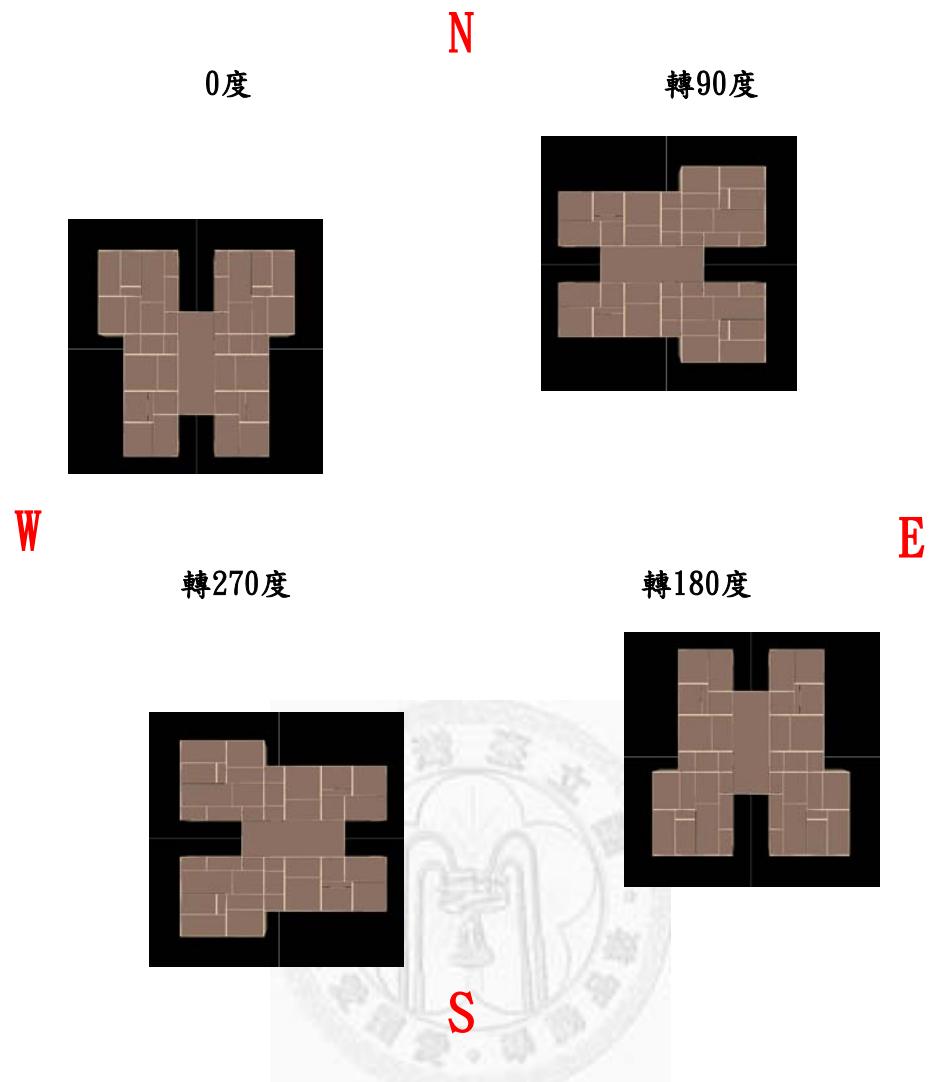


圖 4.10 Baseline Building 轉角度示意圖

而修改的方式如圖 4.11 所示，將此資訊由原先的 0 改成 90 再改成 180 和 270 即可完成，完成後運用 Visual Studio 的 UI Automation 分別執行計算，將四個模擬值加總起來在除與 4 即可得到 Baseline。

```

$ -----
$           Compliance Data
$ -----
$ -----
$           Site and Building Data
$ -----
"Site Data" = SITE-PARAMETERS
    ALTITUDE      = 97
.
"Building Data" = BUILD-PARAMETERS
    AZIMUTH       = 0
    .
    .
$ -----
$           Materials / Layers / Constructions
$ -----

```

此處將0度分別改成
90度、180度、270
度

圖 4.11 inp 檔修改角度

4.4 節能效率與 LEED EA Credit 1 分數計算



圖 4.12 節能效率與 LEED EA Credit 1 分數計算

在上節中把 Proposed Building 的 inp 檔、Baseline Building 四個角度的 inp 檔製作完成，並把五個 inp 檔運用 Visual Studio 的 UI Automation 分別執行計算，在本節的流程中，將把計算結果組合並排列結果，以此讓使用者可即時得知設計方案的優劣程度，而以下是本節流程的詳細步驟：

STEP 1. 將 Baseline Building 四個角度的計算結果，以公式 4.1 計算 Baseline。

$$\text{Baseline} = (\text{Baseline Building 轉 0 度結果} + \text{轉 90 度結果} + \text{轉 180 度結果} + \text{轉 270 度結果})/4 \quad \text{公式 4.1}$$

STEP 2. 將 Baseline 與 Proposed Building 的結果帶入公式 2.2，即可得到節能效率。

STEP 3. 將節能效率對照表 2.3 即可得到 LEED EA Credit 的分數。

STEP 4. 將結果排列如下圖所示：

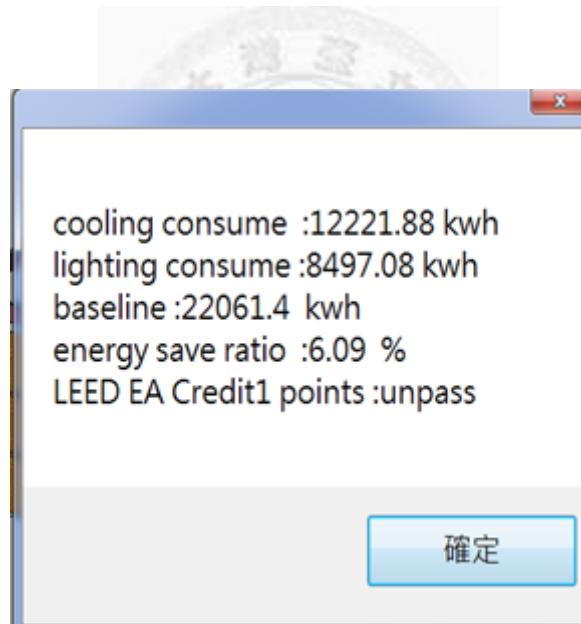


圖 4.13 結果排列

其中，cooling consume 為冷氣的耗電量，lighting consume 為燈具的耗電量，baseline 為公式 4.1 的結果，energy save ratio 為公式 2.2 的結果，LEED EA Credit1 Points 為對照表 2.3 得到的結果(unpass 為不及格)。

第五章 系統展示與專家評論

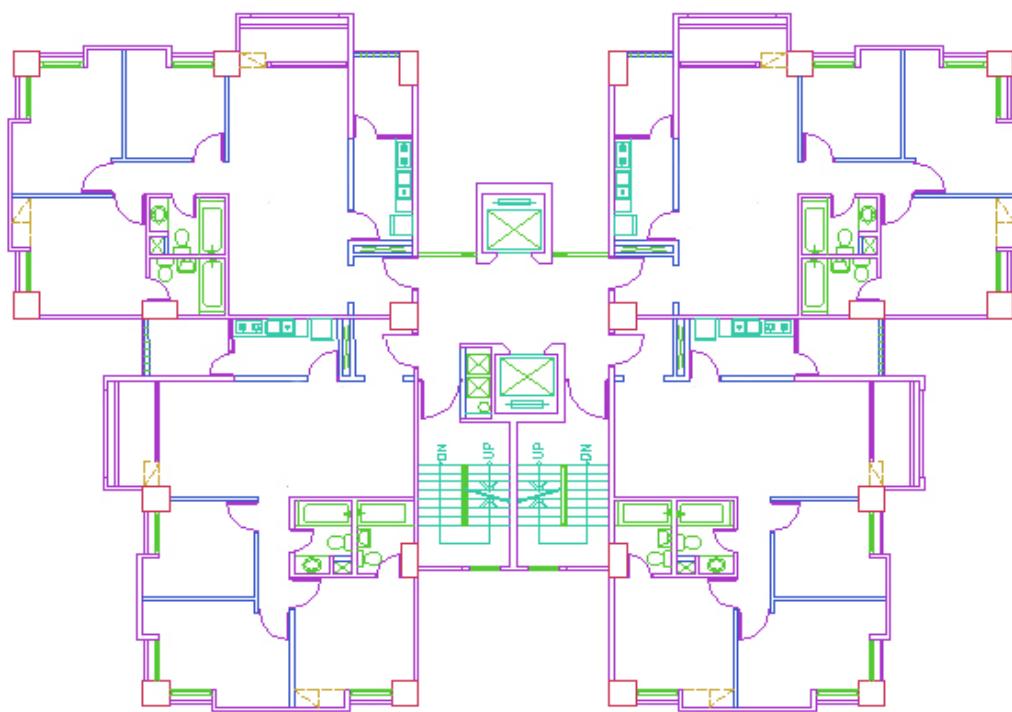
本研究論文所開發的系統為雛型系統，其僅用來表達本研究的概念及構想，訪談對象有三位，第一位為國內一家電子大廠的新工處的某位經理，該新工處有BIM運用的相關經驗也有取得LEED認證的經驗；第二位為國內一家建築師事務所的某位協理，該建築師事務所為上述第一位電子大廠之協力廠商；第三位為國內一家大型工程顧問公司的某位副理，該顧問公司已用運用BIM，且已經有些實際運用案例。

訪談內容為先展示及操作本雛型系統(下節所描述為一部分的展示)，使其了解本研究的概念及構想，再請該專家評定”若本雛型系統開發成完整的系統，是否能幫助設計規劃，以減少龐大的人力與時間”，再請專家給予後續建議，提供未來研究人員參考。



5.1 系統展示

本研究論文參考松山乙標國宅(如圖 5.1)的隔間，以Revit建立BIM模型(如圖 5.2(a))，本研究論文雛型系統先預設各空間的照明使用情形為每天早上6:00~8:00，冷氣使用時間為每天 21:00 至隔日 8:00，以Revit建模只把冷氣以及照明燈具放置臥室，當然若設計者要把其他空間也裝置照明及冷氣設備也可。



松山乙標國宅第七區C 梯標準層平面圖



圖 5.1 松山乙標國宅平面圖



圖 5.2(a) 以 Revit 建立 BIM 模型

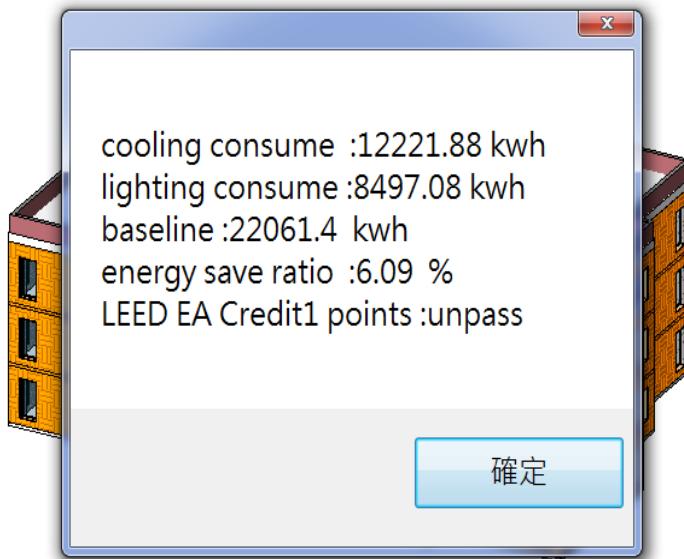


圖 5.2(b) 執行結果展示

建立好模型後，即可應用離型系統執行計算，其結果如圖 5.2(b)所示，由結果得知根據 LEED 的規範計算得知節能效率為 6.09%，LEED 規定未超過 10%為不及格，為此，設計單位可在做節能的設計，如將屋頂材料的玻璃棉保溫板增加厚度如圖 5.3(a)所示，再一次執行運算，其結果如圖 5.3(b)所示，可看出其每年冷氣耗電量增加，並且 LEED 認證，超過 10%每增加 2%可得 1 分；若業主要求得到更多 LEED 認證的分數，設計單位得增強節能設計，如將每個窗戶設置遮陽板如圖 5.(a)所示，此時再次執行運算得知結果如圖 5.(b)所示。

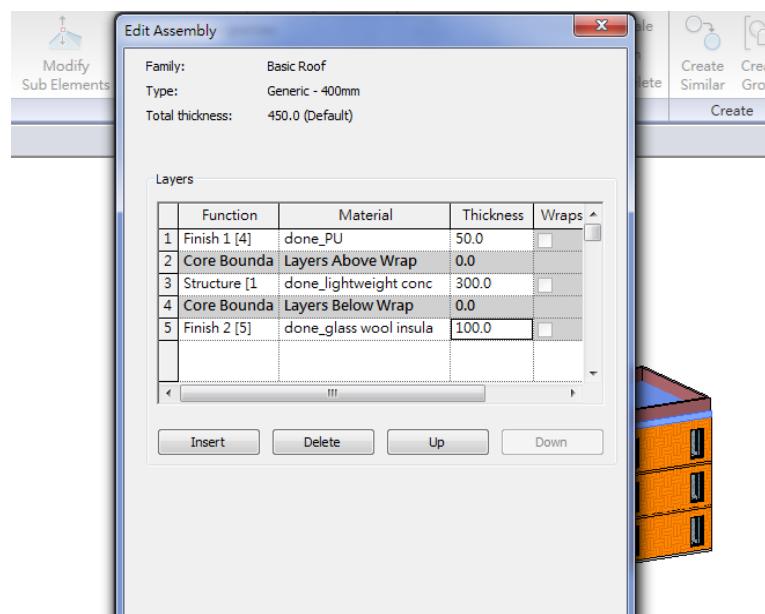


圖 5.3(a) 變更屋頂材料

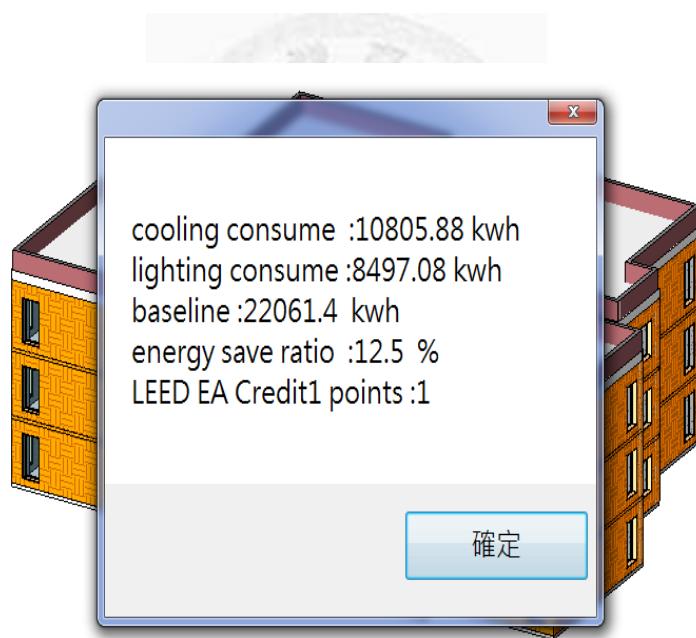


圖 5.3(b) 改變材料後執行結果展示

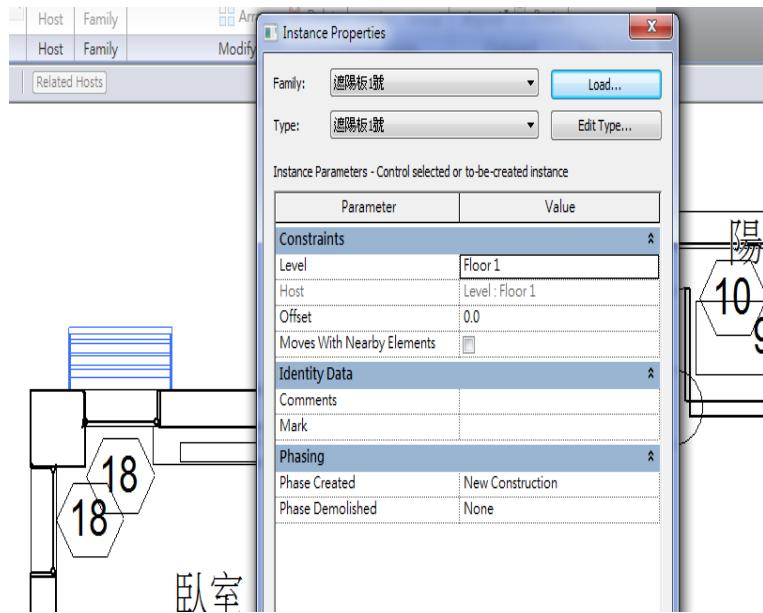


圖 5.4(a) 放置遮陽板並調整高度與寬度

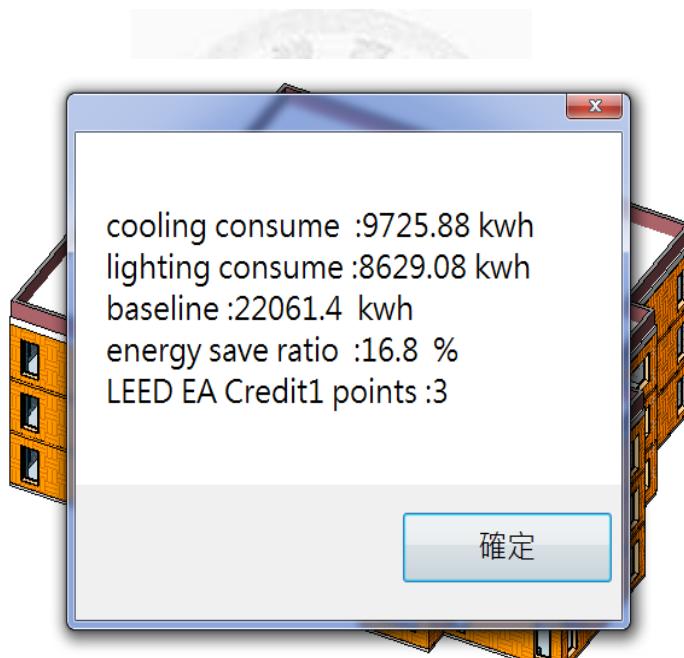


圖 5.4(b) 放置遮陽板後執行結果展示

本研究的離型系統，改變各物件的材料、放置遮陽板等，都會改變每年總耗能電量，進而改變其他項目，若改變建築隔間、位置、窗戶大小、燈具種類、冷氣數量等，甚至會改變 baseline 的大小，例如，將建物改為僅有一層樓且僅有一戶，如圖 5.5(a)所示，則其結果如 5.5(b)所示，其不只每年總耗能量改變，

baseline 的大小也跟著改變。

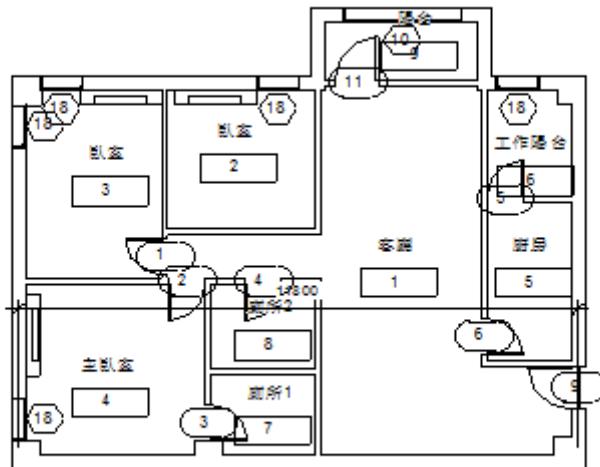


圖 5.5(a) 改變建物樓層及隔間

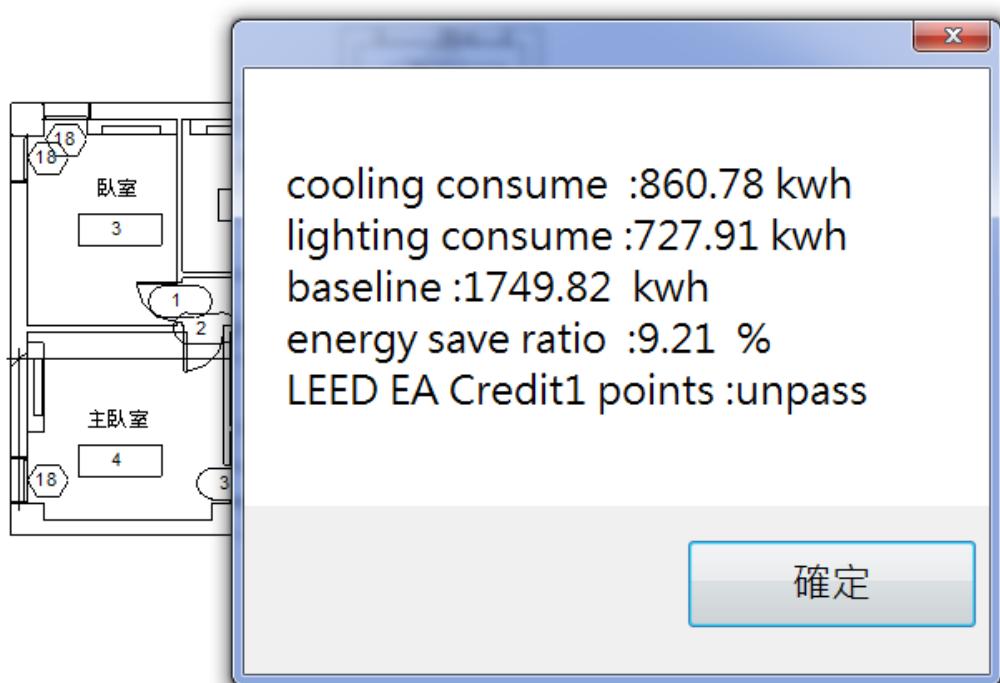


圖 5.5(b) 改變建物樓層及隔間後之結果

由於變更設計的方式有很多，在此不一一做展示。設計單位可依此做節能設計，並可配合業主需求，例如業主需要取得 LEED 認證，則設計單位則可稍微不計較成本的去做節能設計。

5.2 專家評論

本研究訪談的內容如 3.2. 小節所描述，該專家的評論整理如下：

某電子大廠新工處的經理：

本公司與某建築師事務所及國內專門協助處理 LEED 認證的某學術機構合作，當建築師事務所完成設計後，本公司與建築師事務所會將 LEED 認證所需資料傳送給該學術機構做 eQUEST 建模及處理文件，但是用 eQUEST 建模會非常耗時，通常至少為一個禮拜甚至到一個月，因此若此離型系統開發完成會非常的實用，但如果要開發很完整的系統，eQUEST 還要輸入 Schedule，如冷氣空調、機具、照明的時程與使用情形、以及各區域的使用人數及人員的時程，此離型系統在 Schedule 方面都為預設，但做粗略的節能設計也足夠，事實上 LEED 認證也不太注意 Schedule 輸入的正確性。

某建築師事務所的協理：

本公司在做建築設計時，先以概略式的初步設計，再進一步的配合業主需求做詳細設計，如此反覆的設計以達到業主需求，因此在節能設計這塊也是一樣，配合業主的需求提供材料、建築模型等耗能模擬軟體所需資訊，而後業主若需要更好的節能效率，再做更好的節能設計而後再提供資訊以供軟體模擬。

由於公司未有使用 BIM 的經驗，因此研究之離型系統，個人無法確定其實用性及可行性，但若此離型系統執行的結果與人工手動的結果差異不大的話，可用在概略式的初步設計，以致初步設計可更快達到業主需求。

某工程顧問公司的副理：

本公司在進行節能設計是運用 Ecotect 去執行建築耗能模擬的運算，且是以 trial & error 的方式進行，以模擬數種設計方案的結果去取得節能效果最好的設計方案，但運用 Revit 匯入至 Ecotect 會有許多不合處，需要很大量的修改。

而此離型系統所展現的方式可以應用，特別是在材質的變更上會有較強烈的幫助，因為很多情形建築物的位置已經決定好了很多條件，比如說街屋(左右兩邊都是建物)，窗戶僅能開在前與後，因此這時若以改變材質的方式進行節能設計會很有幫助。

建議未來的研究可以朝自動化地尋找最佳節能設計的方式，讓使用者不用以 trial & error 的方式尋找方案，以此可更減少設計時間。



第六章 結論與建議

6.1 結論

本研究的概念及構想，經過專家訪談的看法，可得知若完整系統開發完成，可有效且快速的進行科學化的節能設計，並且更進一步的取得 LEED EA Credit 1 的分數，如此在為了減少建築耗能或取得 LEED 認證所做的建築設計可大幅減少設計時間，甚至設計的變更也不至如此麻煩，更由於是無縫地資訊處理，相較於人為的資訊處理可大幅減少資訊匯入的錯誤。

台灣目前有些單位(如財團法人台灣建築中心)正在推廣使用建築耗能模擬軟體，甚至開班授課，但 eQUEST 建模需要花費龐大的時間，設計單位除了製作工程平面圖、立面圖、3D 圖以外，若還要再另外用 eQUEST 建模來模擬建築耗能，會額外多出龐大的設計時間，也因此 eQUEST 推廣極為不易。而本研究使用 Revit 以物件擺放的方式建立模型，可同時將工程平面圖、立面圖、3D 圖製作出來，並透過本離型系統可將其資訊轉換成 eQUEST，因此若離型系統開發完整後，將可推廣 BIM(如 Revit)以及建築耗能模擬軟體(如 eQUEST)。

雖然本研究論文所開發的系統為離型系統，僅能處理較為簡單的建物，但本研究論文提供相關開發經驗，並提供虛擬程式碼 (pseudo code)，以口語化的方式敘述程式碼以此提供未來研究人員或相關軟體開發人員參考，以此進一步的研究與開發。

專家訪談與文獻回顧，本研究所開發之離型系統根據與傳統做法和目前商業性軟體做比較如下表 6.1 所示。

表 6.1 判別優劣程度或取得認證之各作法比較表

| | 傳統作法 | Ecotect | Green Building Studio(GBS) | 本研究開發之離型系統 |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|---|---|
| 使否運用 BIM | 否 | 是 | 是 | 是 |
| 耗能模擬分析 | 人工手動操作 | 以 BIM 匯入後，執行分析 | 以 BIM 上傳至網頁，回傳得到認可之耗能模擬軟體格式檔案，以執行計算。 | 自動化執行 |
| Baseline 製作與 LEED EA Credit 1 分數取得 | 人工手動操作 | 因其耗能模擬結果目前尚未認可，因此無法取得認證分數 | 得到耗能模擬軟體格式檔案後，需要手動製作 Baseline，以取得 LEED EA Credit 1 分數 | 自動化執行 |
| 所需耗費時間 | 依專案大小一個禮拜至一個月不等 | 同上，無法取得 LEED EA Credit 1 分數 | 因少了人工手動在軟體上建立 Proposed Design 模型，因此比傳統作法還快，但還是需要手動建立 Baseline | 少了 Proposed Design 和 Baseline Design 的手動建模，因此比 GBS 較快 |
| 所需耗費成本 | 需外包給專門處理 LEED 認證的廠商。 | 同上，無法取得 LEED EA Credit 1 分數 | GBS 為商業性服務，需額外支付費用，但還是需要手動建立 Baseline | 為學術用途，免費 |

6.2 建議

由於建築耗能模擬軟體可計算每年建築耗能，以計算每年的運作費用，建議未來研究可加入成本甚至生命週期成本 NPV 值的概念，如此可幫助業主同時參考成本、節能效果、LEED EA Credit 1 的分數，進而選擇適合之建築設計方案。但目前 BIM 應用在初期建造成本的估價上還有些問題，比如說物件的種類和數量並不會符合工程單價的項目，甚至會有鷹架、模板等隱含物件，因此光靠 BIM 的物件無法準確的預估建築的建造成本，還得調查該區所有物件與工程單價項目數量的邏輯關係才得以準確的預估建築成本。

再者，一棟建築物要達成業主所要求之節能設計有很多種方式，需要一個可以快速尋找最佳化的節能設計的方式，因此建議未來研究人員可以設計一套方式，快速尋找最佳化的設計。

本研究如同專家評論，Schedule 並沒有一個方式讓使用者輸入，未來研究人員可參照蘇梓靖所做的論文"住宅耗能標示制度之研究."(蘇梓靖，2009)，該研究製定住宅一般使用的 Schedule，建議可增加其他非住宅(如科技廠房)的 Schedule，如此可讓使用者選擇合適的 Schedule。

由於時間的關係，本研究尚未將所有物件做完整的資料連結，如目前區間僅能處理正交的情況，或是目前僅能處理窗型冷氣機而不能處理大型空調，建議未來研究人員可把其他角度甚至圓形做資料的處理，以讓該系統更加完整。

參考文獻

中文文獻

1. 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.
2. 宋思賢 (2009). 應用圖型物件於施工管理之探討-以高科技廠房預鑄工法為例 國立台灣大學土木工程學系.
3. 李冠文 (2009). "建構符合機電包商施工需求之 3D 繪圖元件模型之研究." 國立成功大學土木工程學系.
4. 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.
5. 樊啟勇 (2007). "IFC 資料標準之結構物資訊擷取與建立." 國立交通大學土木工程學系.
6. 于健, 張. (2008). "台灣綠建築之發展現況分析." 遠東學報第二十五卷第三期.
7. 林憲德、黃國倉 (2004). "台灣 TMY2 標準氣象年之研究與應用." 建築物能源管理技術研討會, 經濟部能源委員會.
8. 蔡尤溪、李魁鵬、李文興 (2003). "建築空調與照明節能技術規範之研究."
9. 蘇梓靖 (2009). "住宅耗能標示制度之研究." 國立成功大學建築研究所碩士論文.

英文文献

1. Bansal, V. K. and M. Pal (2008). "Generating, Evaluating, and Visualizing Construction Schedule with Geographic Information Systems." *Journal of Computing in Civil Engineering* 22(4): 233-242.
2. Chau, K. W., M. Anson, et al. (2005). "4D dynamic construction management and visualization software: 2. Site trial." *Automation in Construction* 14(4): 525-536.
3. Chau, K. W., M. Anson, et al. (2004). "Four-Dimensional Visualization of Construction Scheduling and Site Utilization." *Journal of Construction Engineering and Management* 130(4): 598-606.
4. Chau, K. W., M. Anson, et al. (2005). "4D dynamic construction management and visualization software: 1. Development." *Automation in Construction* 14(4): 512-524.
5. Fu, C., G. Aouad, et al. (2006). "IFC model viewer to support nD model application." *Automation in Construction* 15(2): 178-185.
6. Hartmann, T., J. Gao, et al. (2008). "Areas of Application for 3D and 4D Models on Construction Projects." *Journal of Construction Engineering and Management* 134(10): 776-785.
7. Jongeling, R. and T. Olofsson (2007). "A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD." *Automation in Construction* 16(2): 189-198.
8. Koo, B. and M. Fischer (2000). "Feasibility Study of 4D CAD in Commercial Construction." *Journal of Construction Engineering and Management* 126(4): 251-260.
9. ZENG Xu - dong , Z. A. (2006). "Study on the Application of Energy Efficiency Building Design Based on BIM Technology." *College of Architecture and Urban*

- Planning, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China.
10. Murmann, J. P. (2010). "Constructing Relational Databases to Study Life Histories on Your PC or Mac." *Historical Methods* 43(3): 109-123.
 11. Crawley, D. B., J. W. Hand, et al. (2008). "Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs." *Building and Environment* 43(4): 661-673.
 12. Moeck, M. and Y. J. Yoon (2004). "Green Buildings and Potential Electric Light Energy Savings." *Journal of Architectural Engineering* 10(4): 143-159.
 13. Reinhart, C. F. and O. Walkenhorst (2001). "Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds." *Energy and Buildings* 33(7): 683-697.
 14. Yoon, Y. J., M. Moeck, et al. (2008). "How Much Energy Do Different Toplighting Strategies Save?" *Journal of Architectural Engineering* 14(4): 101-110.
 15. ASHREA (2007) ASHREA Standard 90.1
 16. Autodesk <http://usa.autodesk.com/>
 17. DOE-2 <http://www.doe2.com/>