

2013中華民國營建工程學會第十一屆營建工程與 永續能源研討會

以BIM為基礎之建築能源效率分析個案探討

張育皓* (Yu-Hao Chang)

中華大學營建管學系碩士班研究生

余文德 (Wen-Der Yu)

中華大學營建管理學系研究所教授

國科會計畫編號：NSC NSC 101-2221-E-216 -031 -MY2

摘要

由於全球暖化與極端氣候的威脅，近年來世界各國越來越重視建築永續化之議題，並大力投入建築物環境能源效益評估之研究。各國也分別發展出綠建築評估模式與系統，例如美國的LEED系統、英國的BREEAM系統以及國內的EEWH綠建築評估系統等。雖然各國的綠建築評估系統提供了永續建築之量化分析基礎，然而實務上對於建築物的能源效率分析，大多仍然屬於設計完成後之成果檢核功能，而甚少在設計方案選擇之前提供設計者必須之設計改進資訊。此一現況在建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)技術快速發展與成熟後，得到關鍵性的突破。本研究以綠建築指標定義為基礎，結合BIM工具與環境能源分析軟體(包括Autodesk Project Vasari 和Autodesk Ecotect Analysis)，進行建築設計方案之能源效率模擬分析，以提供設計者在選擇設計方案時之參考。所提方法應用建築物之BIM模型進行資訊萃取，分析既有建築設計在變更物件參數、材質、材料、環境之影響變數下，評估改善前後之建築能源效率，以選擇永續性較佳之建築設計方案。經過實際案例驗證得知結合BIM及Autodesk Project Vasari 與Autodesk Ecotect Analysis等分析軟體，能更快且更有效率地進行建築物環境能源效率分析。

關鍵詞：建築資訊模型、永續建築、綠建築、建築節能、評估指標

BIM-Based Building Energy Efficiency Analysis—A Case Study

Abstract

There are more and more attentions drawn on building sustainability issues due to the global warming and extreme weather. In order to improve building energy efficiency, different green building assessment systems are proposed, including the LEED system of USA, the BREAM system of UK, and the EEWH system of Taiwan. Although those assessment systems provide a basis for building energy efficiency analysis, most designers prefer post-design checking of the energy efficiency indexes for the design alternative instead of analyzing the index values while the design alternative is developing. Such a practice has been improved significantly after the critical progress was made in the Building Information Modeling (BIM) technology. This paper presents a work based on the green building assessment system, integrating BIM authoring and energy efficiency analysis tools (e.g., Autodesk Project Vasari and Autodesk Ecotect Analysis) for energy efficiency analysis of different building design alternatives, which can provide required information for designers while they are developing design alternatives. The proposed method can extract material information (e.g., object parameters, material texture, and environmental variables) from the BIM model, so that the energy efficiency of different design alternatives can be compared. Moreover, the proposed method provides designers with direct and indirect results from the graphic and charts of BIM analysis tools, which can equip the designers with powerful tools for design alternative analysis in light of building energy efficiency. A real world building is selected for case study. It is concluded from case study result that the proposed method is useful for developing more sustainable buildings.

Keywords : BIM, sustainable building, green building, building energy efficiency, evaluation index.

一、前言

全球氣候日益嚴重的暖化與熱島效應所造成的威脅，衝擊各國對於建築永續化的發展政策。為了因應此一需求，世界各國分別發展出綠建築之評估模式，如美國的 LEED 系統、英國的 BREEAM 系統、加拿大的 GB Tool 系統、日本的 CASBEE 系統以及國內的 EEWH 綠建築評估系統等[1,2,3]。依據中技社對政府機關節能輔導案例統計顯示，若能落實電力、照明、空調及事務機等設備之節能改善，則每棟建築物平均約有 20%之節能潛力[4]。依據世界企業永續發展協會(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)於 2009 年 8 月份的研究報告指出，建

築物的能源使用佔全球能源 38% 的使用量[5]，可見能源效率在建築永續化課題之重要性，因此各國的綠建築評估系統中皆有建築能源分析之項目。然而由於傳統建築能源效率之分析仰賴人工以表格分析方法進行，一旦設計方案改變一切分析工作必須重來，不但曠日廢時且容易發生錯誤，因此在實務操作上，建築設計單位大多參考或套用現有的節能設計案例；而建築能源分析僅作為設計完成後之檢核功能，而無法提供改善設計的必要資訊。如何在建築設計方案發展過程中，提供設計者選擇設計方案必須之能源效率資訊，實為當前建築永續發展極重要之課題。

上述問題在建築資訊模型(Building Information Modeling, BIM)技術快速發展與成熟後，得到突破性的進展。因為BIM能夠提供建築能源效率分析所需之參數資訊，且當設計變更後，相關參數亦同時自動更新。為解決傳統建築能源效率分析方法所遭遇之問題，本研結合BIM工具與環境能源分析軟體(包括Autodesk Project Vasari 和Autodesk Ecotect Analysis)，提出一建築設計方案之能源效率模擬分析模式，以提供設計者在選擇設計方案時之輔助工具。所提方法應用BIM技術建立建築物數位模型，利用BIM模型結合能源效率分析軟體，可以分析既有建築設計方案在變更物件參數、材質、材料、設備、環境等影響變數下之能源效率指標，方便設計人員選擇能源效率較佳之永續建築設計方案。

為驗證所提方法之可行性，本研究以實際個案進行實證分析。透過變更實際個案建築物之不同設備型式及其他設計參數，並應用Autodesk Project Vasari 與Autodesk Ecotect Analysis軟體，可迅速獲得能源效率參考數據及圖表等資訊，對於設計者評估不同建築方案之能源效率極具參考價值。

本文後續內容之架構如下：第二節回顧主要相關文獻以做為本研究之基礎；第三節介紹本研究所提以BIM為基礎之建築能源效率分析方法與分析流程；第四節用一個實際建築個案案例進行實證分析，以說明所提分析方法之執行步驟；最後依據實證之結果，提出結論與建議。

二、文獻回顧

2.1 永續工程與綠色建築課題研究

目前國內有關永續工程議題主要是建構在「環境保護、產業發展以及社會正義」三大基礎上[6]，以期在地球環境急速惡化下，有效利用有限的地球資源，持續改善既有生活品質，同時亦不犧牲後續世代對於環境之使用權利。因此，我國於1996年成立「行政院國家永續發展委員會」(National Council for Sustainable Development)(簡稱永續會)，主要完成永續發展文件包含：89年5月「二十一世紀議程-中華民國永續發展策略綱領」、91年12月「永續發展行動計畫」以及91年12月「台灣永續發展指標系統」等[7]，行政院經建會後積極推動綠建築的對策，著手通過「綠建築推動方案」，該方案以綠建築九大指標評估節能環保導向，推動綠色工程於目前產業之技術相關創新，有效實現永續發展之可行性[8]。再者，「建築」是最消耗資源且效率低落的產業，因此綠建築之重要性不僅是注重

與地球環境資源相依共存之建築設計，更需要改善建築物短期或長期造成環境負面衝擊至最低等問題，在建築生命週期，以最節約能源、最有效利用資源、最低環境負荷的方式，達到生態永續、促進建設與環境調和目標。

2.2 建築能源效率分析

我國推動綠建築的驅動力，主要因我國自然資源稀少，自產能源十分缺乏，能源依存度較高，依賴國外進口 99% 以上總體能源，極易受到國際市場景氣波動的影響。面對能源供給日益耗竭、國際能源危機、能源價格巨幅波動、全球氣候變遷及溫室效應的衝擊，我國行政院於 2008 年頒布「永續能源政策綱領」[9]。該政策要求政府各機關應有「效率」地使用有限資源，開發有效提升環境「潔淨」之能源與確保持續「穩定」的能源供應[10]。由於建築物耗費全球近 50% 的能源，因此，若能改善建築物之能源效率，將可有效提升國內之產業能源效率。

世界各國對於建築能源效率之評估，各有不同之規範，例如美國採用外殼標準負荷暨電腦精算(ENVSTD-DOE)基準系統；南亞國家採用外殼總傳熱值 OTTV(Overall Thermal Transmittance Value)基準；歐洲及加拿大採用建築外殼構造之熱傳透率(U 值)基準系統；日本採用外周區年間負荷係數 PAL(Perimeter Annual Load)及能源耗費係數 CEC(Coefficient of Energy Consumption)之基準系統、我國則以建築物節能法規建築外殼耗能係數指標(ENVLOAD)之規範[11]。為了方便建築能源效率分析，各國分別開發相關耗能模擬工具，例如美國能源部開發了建築能源分析(EnergyPlus)及動態能源模擬(eQUEST)等軟體；我國則發展零能源大樓和低能源大樓達到有效之系統監控與管理減少消耗能源，透過有效的建能管理系統及隨時診斷控制策略將耗能集中管理，最大效益在於明確瞭解建築物內部設備耗能情況，足以改善減少消耗能源、降低能源成本，達到最佳節能效益[12]。

2.3 BIM技術於建築能源效率之應用研究

目前坊間有關 BIM 技術應用於建築能源效率分析之軟體頗多，包括：Autodesk Project Vasari、Autodesk Ecotect Analysis、Autodesk Green Building Studio(GBS)；美國能源部的 EnergyPlus、eQUEST 以及 Radiance；英國；IES VE、DesignBuilder 等模擬耗能之輔助設計工具。上述軟體主要功能在提供設計者於設計階段進行建築物耗能量之模擬與實驗，下表為各軟體功能特點分析[13,14,15,16,17,18,19,20]。

表2.1各建築能源效率軟體分析

軟體	提供者	功能特點
Project Vasari	Autodesk	綠色設計分析、可視化的能耗分析、模擬太陽輻射、日照軌跡能耗分析
Ecotect Analysis	Autodesk	熱環境、光環境、聲環境、日照、經濟性及環境影響、可視度分析
Green Building Studio(GBS)	Autodesk	整體建築能耗分析、水資源、碳排放分析、採光、水的使用與成本、自然通風潛力

EnergyPlus	美國能源部	EnergyPlus跟Sketch Up連結建模建築供暖供冷、採光(照明)、通風、耗能和資源狀況
eQUEST	美國能源部	計算建築物外殼、使用模式、空調設備運轉條件、逐時顯熱與潛熱負荷、通風換氣量、間隙風、內部發散熱等資料、能源使用成本
Design Builder	英國 DesignBuilder 軟件有限公司	EnergyPlus的可視化、建築能耗模擬、碳排放量、舒適性條件、暖通空調及採光(照明)系統
Radiance	美國能源部	光環境分析與採現
IES VE	英國ies企業	風環境、光環境和全年能耗能模擬

2.4 小結

經由文獻回顧發現，建築產業是目前消耗能源最大之部門，而建築能源效率分析是節能設計的關鍵方法。然而傳統建築能源效率分析方法大多依賴人工及表格分析之方法，不但曠日廢時，更容易因為人為錯誤而導致分析結果之誤導。在BIM技術快速發展之後，各種以BIM為基礎的建築能源效率分析方法已經逐漸被普遍採用，但國內業者對於相關技術仍不熟悉，導致相關技術尚未能廣泛使用於國內建築產業中。因此，有必要透過實證研究，以提供更多應用案例，來改善國內建築產業之能源效率。

三、以BIM為基礎之建築能源效率分析方法

3.1 建築能源效率分析項目說明

本研究主旨在提出一個結合 BIM 技術及建築能源效率分析之方法，以提供設計者在設計方案發展階段，分析與比較各設計方案之能源效率的有效工具。為了達到此一目的，本研究參考國內 EEWB 綠建築評估系統之能源效率分析項目，包括：綠化量、日常節能、二氧化碳減量與廢棄物減量、室內環境改善等。

依據上述能源效率分析項目，本文應用 BIM 技術，分析建築初步設計階段建築物變更材料設備及其他設計控制變數，以分析不同方案之耗能指標。所提方法之分析工作包括：(1) 建置 BIM 模型；(2) 應用能源效率分析工具；(3) 設計方案能源效率比較及方案改善建議。

3.2 BIM模型建置

本文所提出之「以 BIM 為基礎之能源分析方法」，首先蒐集目標個案設計圖說，依照二維建築圖、結構圖和機電圖說，分別建置該個案之建築、結構及機電 BIM 數位模型；確認模型正確性後，運用 BIM 系統將資訊以參數形式描述相關物件，例如一個樑的物件位置、幾何數量明細表等資訊作為建築能源分析依據參考。BIM 模型建立完成後，再搭配使用電腦輔助模擬建築能源分析軟體，提供一系列能源分析功能進行物件參數值模擬計算，進而就所得的數值結果及模擬模型資訊，提供設計者比較不同方案之能源績效。

3.3 能源效率分析工具

完成 BIM 模型建構後，本研究利用 Autodesk Project Vasari 與 Autodesk Ecotect Analysis 軟體進行能源效率分析。Vasari 採用了和 Autodesk Revit 2013 相同 Spoon 的虛擬化技術[13]，以建築設計概念整合雲端計算的分析工具，借助它提供設計者快速獲得分析數據，從而得最佳的擇選方案設計。另外 Vasari 亦提供可視化的能耗分析對照分析功能，可以模擬太陽輻射、日照、軌跡分析，已進行能耗分析。而 Autodesk Ecotect Analysis 則提供一系列的建築能源分析功能，考量前述之 Vasari 所分析之建築節能因子，結合 Ecotect 之分析功能可以獲取整個設計過程之能源分析，以確定能源之成本估計，協助設計人員規劃建築節能方案。繼而在此基礎上對於設計方案進行各種比較和改良，以供設計者作為參考，朝向節能最佳化目標發展。

3.4 以BIM為基礎之建築能源效率分析流程

本文所提出之「以 BIM 為基礎之建築能源效率分析」方法之分析流程共包括以下包個步驟(如圖 1 所示)：(1) 選定目標方案；(2) 建置目標專案之 BIM 模型；(3) 依據 BIM 模型定義設計方案之能源效率分析參數，例如開窗大小、日照軌跡等；(4) 建構能源效率分析軟體(Vasari 及 Ecotect)所需之分析模型；(5) 以能源效率分析軟體進行建築能源效率分析；(6) 產生量化及可視化之建築能源效率分析報告；(7) 判斷設計方案是否滿足能源效率目標，若是則往下至步驟(8)，否則回到步驟(3)重新定義設計方案之能源效率分析參數；(8) 建議建築設計方案。

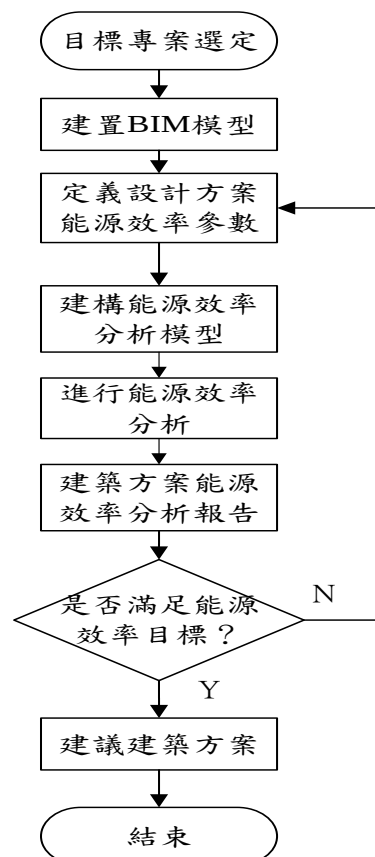


圖1 以BIM為基礎之建築能源效率分析流程

四、個案研究

4.1 個案背景

為了說明第三節中所提出之「以 BIM 為基礎之建築能源效率分析」方法，本節以一個模擬的建築物進行個案分析。假設個案建築物所在地位於台灣新竹縣竹北市東海一街，該建築為一棟兩層樓之建築，不同於一般辦公建築，該案例屬於災害受理以及具有派車勤務之公有建築，平時人員以及車輛需待命，因此另一部分設計特色包含挑高之桁架屋頂式之停車空間，以及具有住宿以及餐廳等空間等。整體建築基地約為 10,145.6m²，室內總樓地板面積約為 1,428.7m²。以該案例中建築之設計尺寸、材料與規格等數據做為能源效率分析資料，其建築物外觀如圖 2 及圖 3 所示：



圖2 個案建築物外觀示意圖



圖3個案建築物內部配置圖

4.2 建築能源效率分析

依據 3.4 節之分析步驟，首先建立建築物之 BIM 模型，再依據 BIM 模型定義能源效率分析所需之參數，包括建築物停車空間屋頂材料及設備空調等設計參數；完成參數設定後，以 Autodesk Project Vasari 與 Autodesk Ecotect Analysis 軟體建立所需之能源效率分析模型，如圖 4 所示；依據能源效率分析模型搭配軟體分析功能，可以產出「能源分析結果」與「熱環境、耗能分析比較」等分析圖表，將在下一小節中進行詳細說明。相

4.2.1 能源分析結果

以 Autodesk Project Vasari 軟體為例，分析個案建築物假設地位於台灣新竹縣竹北市東海一街之建築能源效率，室內溫度最大 36 度/最小 7 度，以當地區氣象為主，考量兩種不同之屋頂材料及空調設備方案：(1) 方案一——玻璃帷幕；(2) 方案二——鋁板帷幕。其分析過程及結果，如圖 4 至圖 12 所示。

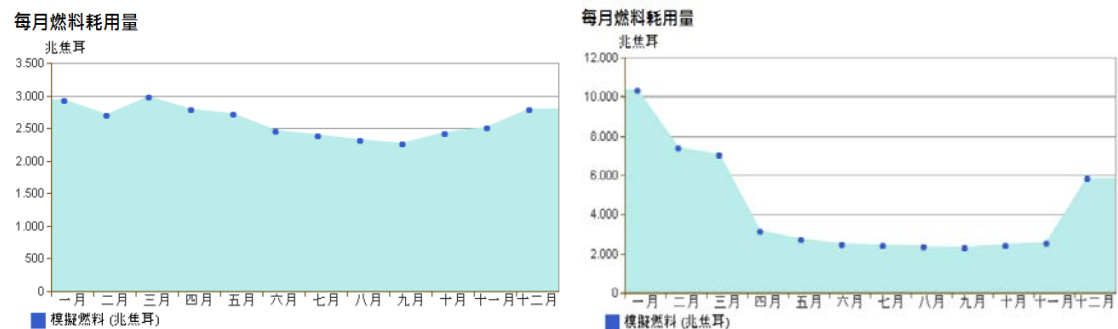


圖4 方案一vs.方案二每月燃料耗用量模擬分析

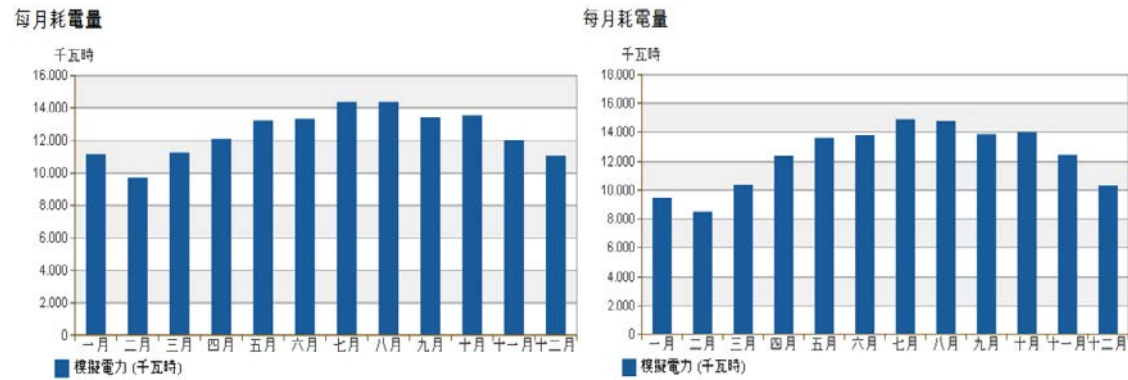


圖5 方案一vs.方案二每月燃料耗電量模擬分析

能源使用強度		能源使用強度	
電力 EUI:	125 千瓦時 / 平方公尺/年	電力 EUI:	124 千瓦時 / 平方公尺/年
燃料 EUI:	26 兆焦耳/平方公尺/年	燃料 EUI:	43 兆焦耳/平方公尺/年
總 EUI:	478 兆焦耳/平方公尺/年	總 EUI:	490 兆焦耳/平方公尺/年
生命週期能源使用/成本		生命週期能源使用/成本	
生命週期電力使用:	4,476,768 千瓦時	生命週期電力使用:	4,439,442 千瓦時
生命週期燃料使用:	935,417 兆焦耳	生命週期燃料使用:	1,519,056 兆焦耳
生命週期能源成本:	\$124,738	生命週期能源成本:	\$126,748
*30 年壽命和 6.1% 的成本折扣率		*30 年壽命和 6.1% 的成本折扣率	
再生能源潛能		再生能源潛能	
屋頂裝配 PV 系統 (低效率):	62,971 千瓦時/年	屋頂裝配 PV 系統 (低效率):	63,008 千瓦時/年
屋頂裝配 PV 系統 (中等效率):	125,942 千瓦時/年	屋頂裝配 PV 系統 (中等效率):	126,016 千瓦時/年
屋頂裝配 PV 系統 (高效率):	188,914 千瓦時/年	屋頂裝配 PV 系統 (高效率):	189,024 千瓦時/年
單台 15' 風力發電機潛勢:	3,893 千瓦時/年	單台 15' 風力發電機潛勢:	3,893 千瓦時/年
*PV 效率假定以 5%、10% 和 15% 分別代表低、中和高效率系統		*PV 效率假定以 5%、10% 和 15% 分別代表低、中和高效率系統	

圖6 方案一能源分析結果一覽表

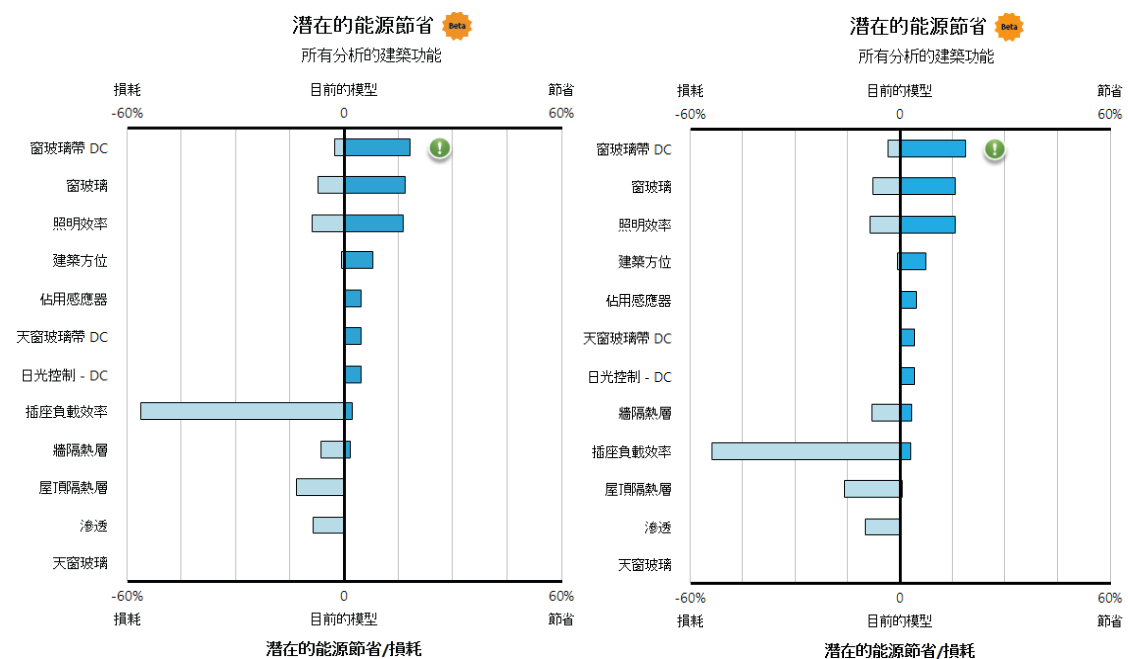


圖7 方案一vs.方案二節能潛力分析

4.2.2 熱環境、耗能分析比較

以 Autodesk Ecotect Analysis 輔助 Autodesk Project Vasari 進行耗能細部分析，方案二分別在以自然通風與全空調系統分析結果，如圖 13 至圖。

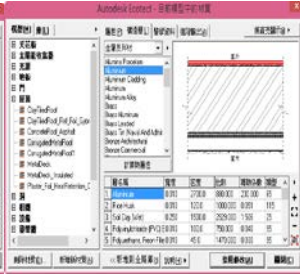
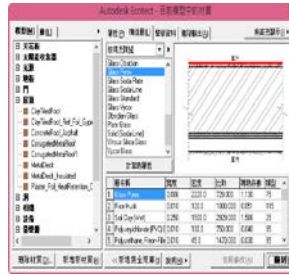
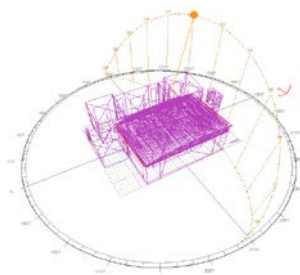
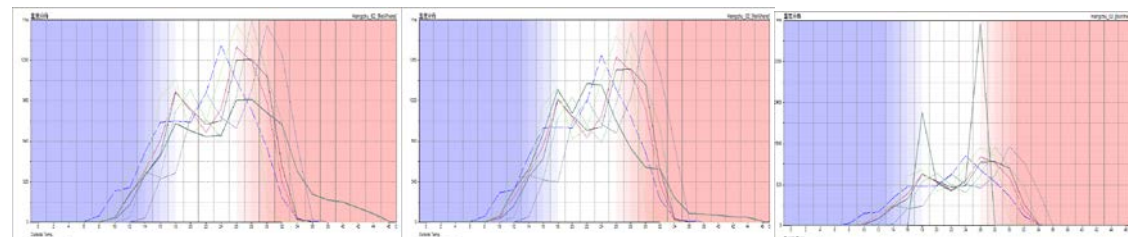


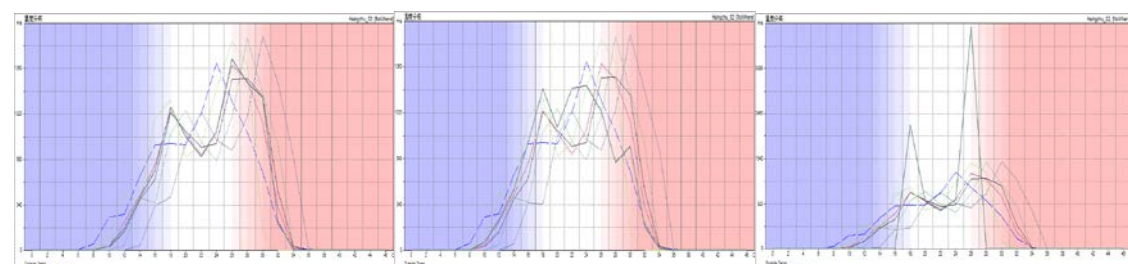
圖8 Revit模型匯入

圖9 區塊分析

圖10 屋頂材料設定

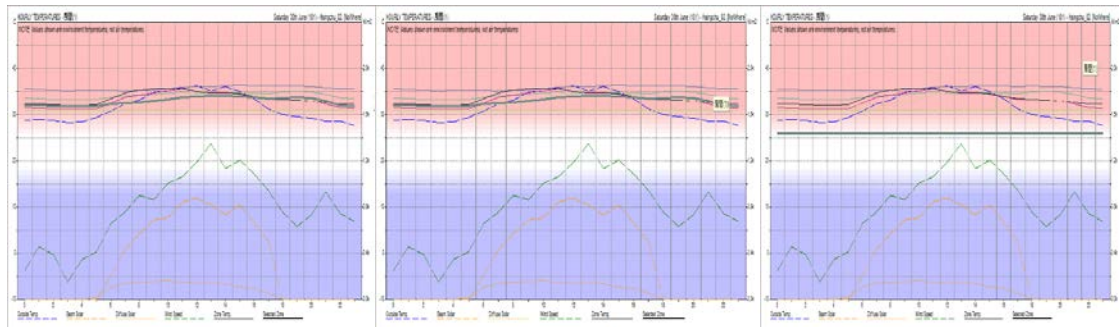


方案一(玻璃帷幕)		
溫度分佈		
無	自然通風	全空調系統
Comfort Band (舒適頻段): 18.0 - 26.0 C	Comfort Band (舒適頻段): 18.0 - 26.0 C	Comfort Band (舒適頻段): 18.0 - 26.0 C
In Comfort(在舒適度): 3836 Hrs (43.8%)	In Comfort(在舒適度): 5193 Hrs (59.3%)	In Comfort(在舒適度): 8760Hrs(100%)



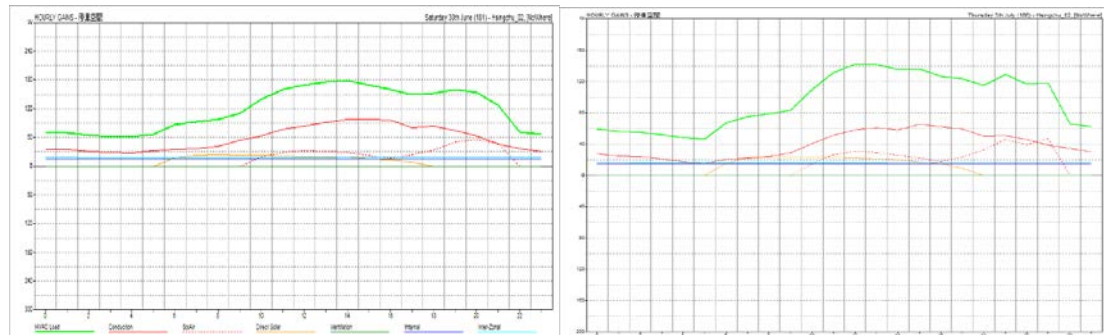
方案二(鋁板帷幕)		
溫度分佈		
無	自然通風	全空調系統
Comfort Band (舒適頻段): 18.0 - 26.0 C	Comfort Band (舒適頻段): 18.0 - 26.0 C	Comfort Band (舒適頻段): 18.0 - 26.0 C
In Comfort(在舒適度): 4941Hrs(56.4%)	In Comfort(在舒適度): 5576Hrs(63.7%)	In Comfort(在舒適度): 8760Hrs(100%)

圖 11 方案一和方案二空調系統設計方案溫度分佈比較



逐時溫度曲線						
方案	玻璃帷幕			鋁板帷幕		
停車空間	無	自然通風	全空調系統	無	自然通風	全空調系統
INSIDE (C)內部溫度	38.8	38.8	26.0	33.0	33.0	26.0
OUTSIDE (C)外部溫度	31.5	31.5	31.5	31.6	31.6	31.5
TEMP.DIF(C)	7.3	7.3	-5.5	1.4	1.4	-5.5

圖 12 玻璃帷幕和鋁板帷幕空調系統設計方案逐時溫度曲線比較



方案一(玻璃帷幕) vs. 方案二(鋁板帷幕)						
逐時得熱/熱損失						
	HVAC	FABRIC	SOLAR	VENT.	INTERN	ZONAL
	(Wh)	(Wh)	(Wh)	(Wh)	(Wh)	(Wh)
全空調系統 TOTAL	2811	1767	227	0	359	458
全空調系統 TOTAL	2274	1292	235	0	359	389

圖 13 玻璃帷幕和鋁板帷幕空調系統設計方案逐時得熱/熱損失比較

4.3 個案研究小結

依據 Vasari 與 Ecotect 分析結果，比較方案一及方案二之能源效率，得知方案一(屋頂鋁板帷幕)之能於效益高於方案二(玻璃帷幕屋頂)。此一分析結果，可以提供設計人員在初步設計方案發展過程進行較佳方案之選擇，以發展後續之設計內容。此外，應用 BIM 工具進行物件、節能影響因子等設計參數之變更，可以立刻反應在設計模型中，並且結合能源效率分析軟體獲得相關效率指標。如此，可不但可以提升設計方案之分析速度，而且減少人工輸入之錯誤，提高分析結果之品質，對於設計者選擇較佳之建築物能源效率設計方案提供了很大的幫助。

五、結論

5.1 結論

本研究提出一種結合 BIM 技術及建築能源效率分析之方法，以輔助建築設計者在初步設計方案發展過程，即可進行建築物之能源效率分析。如此，設計人員可以改變過去設計方案完成後才進行能於效率分析之傳統方式，在方案發展過程便可以提出能源效率更加之方案；此外，結合 BIM 工具以建置不同設計方案之控制參數，則可以達到設計自動化之目標。

此外，透過建築能源分析軟體之輔助，設計人員更容易找尋影響建築能源效能的關鍵設計因子；其次，透過一些輔助創新方法(如 TRIZ 及綠色創新技術等)來改進建築物之能源效率，則更可以達到節能減碳建築永續化之目標。

5.2 建議

本研究中使用 Vasari 與 Ecotect 能源效率分析軟體進行不同建築設計方案之模擬分析，目前這類軟體大多都需要透過雲端資料庫，輸入室外逐時或氣象年之資料庫，然而本研究因未能獲得授權無法取得相關精確數據，僅能透過量化數據及圖表等資訊進行參數估計，導致分析結果誤差；建議未來研究者依據相關資料庫之資料進行分析，以提升分析精度。

此外，受限於研究時間，本文之建築能源效率評估僅包含設計階段，而未包含建築物其它階段；建議後續研究可納入建築物完工後營運維護階段，以達建築物生命週期能源效率最佳化之目標。

六、致謝

本研究承蒙國科會專題研究計畫補助（計畫編號：NSC101-2221-E216-031-MY2），特此申謝。

七、參考文獻

1. 美國綠建築協會，LEED, website: <http://www.usgbc.org/>, accessed 2013/10, 2013.
2. 台灣綠建築發展協會，EEWH, website: <http://www.abri.gov.tw/>, accessed 2013/10, 2013.
3. 張珩、林憲德，「國外綠建築技術之比較研究—各國綠建築評估系統探討」，內政部建研所研究計畫成果報告，2000 年。
4. 黃建誠、李文興、王文伯、陳信男，「政府部門建築耗能統計與分析」，能源資訊網/節能專家園地，中技社通訊，第 55 期 pp.10-13，2004 年。
5. 社團法人中華民國企業永續發展協會，「永續及社會責任投資 全球特別報導 (二)— Transforming the Market: Energy Efficiency in Buildings」，網頁文章：<http://www.wbcsd.org/Plugins/DocSearch/details.asp?DocTypeId=25&ObjectId=MzQyMDQj>，2013/10 查詢，2013。

6. 李麗君，台灣大學全球變遷研究中心，網址：
<http://www.gcc.ntu.edu.tw/Chinese/Education/30subjects/index.htm>，2013/10 查詢。
7. 于健、張本義，「台灣綠建築之發展現況分析」，南華大學環境管理研究所，遠東學報第二十五卷第三期 pp.443~452，2008。
8. 行政院國家永續發展委員會，台灣永續發展指標年度報告，網址：
<http://nsdn.epa.gov.tw/>，2013/10 查詢，2011。
9. 經濟部能源局，「2012 年能源發展綱領」，經濟部能源局全球資訊網，
http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/news/News.aspx?kind=2&menu_id=56&news_id=2565，2013/10 查詢，2012。
10. 經濟部能源局，「2012 能源產業技術白皮書」，經濟部能源局全球資訊網，
http://web3.moeaboe.gov.tw/ECW/populace/content/SubMenu.aspx?menu_id=62，2013/10 查詢，2012。
11. 李靖男，「建築節約能源設計分析與全尺度實驗印證」，中山大學機械與機電工程學系博士論文，2002。
12. 彭立德，「建築能源管理系統 BMES 分級架構之建立與省能案例分析」，國立中山大學機械與機電工程學系碩士論文，2007。
13. 台灣歐特克有限公司，website: <http://autodeskvasari.com/>, accessed 2013/10, 2013.
14. 台灣歐特克有限公司，
website: <http://www.autodesk.com.tw/adsk/servlet/pc/index?siteID=1170616&id=15191356>，accessed 2013/10, 2013.
15. 台灣歐特克有限公司，
website: <http://www.autodesk.com/products/green-building-studio/overview>，accessed 2013/10, 2013.
16. 美國能源部，
website: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm?CFID=1143783&CFTOKEN=cec7fb8135cddb0c-4C56B945-998A-6EB9-D8D741AE8B4D42C7&jsessionid=4CD4E6DC080E09FB1FD3AB47C6B19B42.eere，accessed 2013/10, 2013.
17. 美國能源部，
website: <https://www.equest.com/resources/equest-in-action/?lang=zh-hans>，accessed 2013/10, 2013.
18. 英國 DesignBuilder 軟件有限公司，website: <http://www.designbuilder.co.uk/>，accessed 2013/10, 2013.
19. 美國能源部，website: <http://radsite.lbl.gov/radiance/framew.html>，accessed 2013/10, 2013.
20. 英國 ies 企業，website: <http://www.iesve.com/>，accessed 2013/10, 2013.