

# 建築物設計階段碳揭露標示法之研究（1）

## 一 建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 102 年 12 月

（本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見）

# 建築物設計階段碳揭露標示法之研究（1）

## —建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究

受委託者：財團法人成大研究發展基金會

研究主持人：林憲德教授

協同主持人：葉茂榮教授

研究助理：張雅琴、黃儒覺、尤巧茵

### 內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 102 年 12 月

（本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見）

## 目次

目次.....	I
表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	VII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二章 研究方法及進度說明.....	3
第一節 碳足跡評估的國際規範.....	3
第二節 碳足跡評估工具與資料庫.....	5
第三章 資料之蒐集、文獻分析.....	11
第一節 建築生命週期標準.....	11
第二節 我國建築碳足跡評估的範疇與邊界.....	14
第四章 建築資材碳排統計.....	17
第一節 資材碳排統計法概說.....	17
第二節 台灣建築資料碳排庫.....	20
第五章 初步研究發現.....	31
第一節 資材生產運輸階段的碳排評估.....	31
第二節 營建施工階段碳排評估.....	40
第三節 建築使用階段碳排評估.....	41
第四節 修繕更新階段資材碳排評估.....	74
第五節 拆除廢棄階段碳排評估.....	75
第六節 自我舉證之低碳技術評估.....	76
第七節 建築碳足跡指標 CFI.....	77
第六章 碳足跡評估實例.....	79
第七章 結論與建議.....	81
第一節 結論.....	81

<b>第二節 建議</b> .....	<b>82</b>
<b>附錄一 期初審查意見及回應一覽表</b> .....	<b>83</b>
<b>附錄二 期中審查意見及回應表</b> .....	<b>87</b>
<b>附錄三 期末審查意見及回應表</b> .....	<b>95</b>
<b>參考書目</b> .....	<b>103</b>

## 表次

表 2-1 國內外碳足跡資料庫概要.....	6
表 2-2 研究進度及預期完成之工作項目.....	10
表 3-1 RC 類建築分項生命週期 LC 與生命週期更新次數 RT.....	13
表 3-2 IPCC 報告中建築相關溫室氣體之地球暖化係數 GWP .....	14
表 3-3 我國各類能源之碳排係數.....	15
表 3-4 建築碳足跡盤查之建議範圍.....	16
表 4-1 不同統計法之日本資材生產碳排量比較表 (單位: kg-CO <sub>2</sub> /kg) .....	19
表 4-2 臺灣資材碳排資料表 (2013 年版) .....	20
表 4-3 碳排計算所依據之化石能源碳排係數.....	22
表 4-4 電弧爐鋼胚運輸碳排計算表.....	27
表 4-5 卜特蘭水泥在原料取得階段碳排量統計.....	29
表 4-6 卜特蘭水泥原料運輸碳排計算.....	29
表 5-1 形狀係數 F 與形狀因子 fi.....	34
表 5-2 RC 外牆構造外裝工程之碳排標準 CF <sub>ow</sub> .....	36
表 5-3 外窗構造之碳排標準 CF <sub>w</sub> .....	36
表 5-4 內隔間牆之碳排標準 CF <sub>iw</sub> .....	36
表 5-5 地板內裝工程之碳排標準 CF <sub>f</sub> .....	37
表 5-6 屋頂外裝工程之碳排標準 CF <sub>r</sub> .....	37
表 5-7 空調系統碳排推估公式.....	39
表 5-8 各項水電工程碳排量推估回歸公式 (y 單位:kg, x 單位: m <sup>2</sup> ) ...	39
表 5-9 十戶住宅模型用電強度解析結果.....	43
表 5-10 住宅各空間標準基本家電耗電計算值.....	43
表 5-11 高耗能家電設備年耗電量 E <sub>hm</sub> .....	44
表 5-12 住宅照明耗能標準計算值.....	45
表 5-13 住宅空調耗能標準計算值.....	48
表 5-14 空調節能標章修正係數 S <sub>EL</sub> .....	49
表 5-15 住戶烹飪與熱水耗能量 .....	50
表 5-16 住宅公共空間耗能強度標準之計算依據.....	52
表 5-17 十一種營運分區與 37 類空間分類之室內標準條件總表 .....	53

表 5-18	營運分區之營運時間與設備使用時間表.....	55
表 5-19	各空間空調設備負載率標準表.....	59
表 5-20	空調節能技術簡易評估表.....	61
表 5-21	空調使用管理效率 Raci 表.....	63
表 5-22	各分類空間外周區與內部區的最大空調負荷密度推估值.....	64
表 5-23	空調系統主機最低性能係數標準 COPc.....	67
表 5-24	風機、水泵、冷卻水塔對主機之功率比.....	69
表 5-25	空間人員使用率與年用水量.....	72
表 5-26	人員 5 分鐘尖峰負荷率 Pp 一欄表.....	73
表 5-27	RC 類建築分項生命週期 LC 與生命週期更新次數 RT.....	75

## 圖次

圖 2-1 碳足跡評估流程圖與盤查邊界界定.....	16
圖 4-1 鋼鐵基本工業產業關聯圖.....	23
圖 4-2 高爐煉鋼與電弧爐煉鋼生產流程圖.....	24
圖 4-3 各主要進口美國廢鋼之國家百分比.....	26
圖 4-4 卜特蘭水泥流程圖計算邊界.....	28
圖 5-1 住宅建築耗能評估架構圖.....	41
圖 5-2 住宅外周區範圍（平面外牆中心線起算深度 5m 內範圍）.....	46
圖 5-3 住宅外周區範圍劃分實例(色塊為外周區範圍；圈選標示處為房間 深度不足，外周區僅算至隔間牆深度為止).....	47
圖 5-4 某建築樓層之外周區可通風面積示意圖.....	61
圖 5-5 本系統計算外殼負荷之標準建築模型.....	68
圖 6-1 某住宅大樓碳足跡實際評估結果.....	80
圖 6-2 某辦公大樓碳足跡實際評估結果.....	80



## 摘要

關鍵詞：PAS2050、生命週期評估、建築碳足跡、建築能源證書制度

### 一、研究緣起

1999 年內政部建築研究所發展綠建築評估系統 EEWB 以來雖有輝煌成果，不過 EEWB 九大指標系統對於碳足跡標示尚未有具體標準，我國的綠建築政策目前面臨國際碳足跡標示制度要求之壓力。本研究將因應全國能源會議對建築能源證書之要求，以及國際 PAS2050 與 ISO16064 對於碳足跡查驗之趨勢，進行建築設計階段碳足跡揭露與標示制度之研究。內政部建築研究所過去對於生命週期 CO<sub>2</sub> 排放量評估研究已有相當基礎，如今結合了建築能源護照制度與既有建築節能法規，建立綜合性之建築生命週期碳足跡評估法。

### 二、研究方法及過程

本計畫有有兩大重點，一是建立符合 PAS2050 或 ISO16064 標準的碳排資料庫、一是建立符合「建築能源證書評估系統」的碳足跡評估系統。本研究依據過去建立完成的建材生產碳排數據庫，追溯建材原材料的開採運輸之碳排，以國際認可之瑞士 Simapro 資料庫中原材料之採掘與該材料到台灣來的運輸耗能，建立完成我國最新的建材碳排數據。

本研究建議採用國際財務報告標準 IFRS 的理論以「分項會計 (component accounting)」方式掌握建築之生命週期，亦即建立了建築結構體、內裝、外裝、建築設備等分項構成的生命週期標準，並進行建築碳足跡評估的開發。本研究引用「動態耗能密度 EUI」以及設備部份負載率之理論建立簡易公式預測建築能源，同時結合既有建材資料庫與拆除廢棄之碳排計算法，並融合現有建築節能指標與綠建築指標所建立的建築能源標示法，是延續既有營建體系的「建築能源證書」制度，將成為建築碳足跡標示的最有利方法。

### 三、重要發現

本研究已經建立符合國際 PAS2050 標準的本土化建築碳排數據庫，同時以建立建築物生命週期五階段的碳足跡簡易評估法，若能將此方法落實為我國建築碳足跡之標示制度，則我國將成為全球第一具符合國際 PAS2050「建築碳足跡揭露與標示制度」的國家。

### 四、主要建議事項

本研究提出下列具體建議。以下分別從立即可行建議及中長期建議加以列舉。

#### 建議一

立即可行建議：研擬將碳足跡標示制度納入綠建築評估手冊之方法

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

本研究以上已研擬完成建築生命週期各階段之碳排簡易計算方法，今後應該由建築研究所於近期研究案中，研擬現行綠建築標章納入碳足跡標示的可行性提出探討。其具體方法為在綠建築評估手冊之「日常節能指標」與「二氧化碳減量指標」中納入碳足跡標示的指標與計算法，以結合我政府建築碳足跡揭露與綠建築政策之政策，使我國成為世界第一個擁有碳足跡標示之綠建築制度的國家。。

#### 建議二

中長期建議：推行建築物碳足跡標示制度

主辦單位：行政院環保署

協辦單位：內政部建築研究所，內政部營建署

本研究已完成建築物碳足跡的簡易計算方法，今後可依此推動建築物的碳足跡標示制度。鑑於行政院環保署推動產品碳標籤制度有輝煌成果，若能由環保署召集建築業界正式研擬統一建築物碳足跡盤查之產品類別規則 PCR，並確認建築碳足跡計算法之標準，同時

正式推動自願型建築物碳足跡之標示與分級認證，則可順理成章。在長期方面，內政部地政司方面可制訂不動產交易法，規定房屋交易也應有建築物碳足跡標示認證，如此更能落實建築碳足跡政策，並確實達到節能減碳之目的。



## ABSTRACT

Keywords: PAS2050, Life Cycle Assessment, Building Carbon Footprint, Building Energy Certificates System

Since 1999, the Taiwan Green Building Assessment System EEWH, which was developed by the Building Research Institute of the Ministry of the Interior, has achieved brilliant results. However, the nine indicators of EEWH don't have specific standards for carbon footprint labeling yet. Green building policy in Taiwan is currently facing the pressure from international carbon footprint labeling systems. This study will response to this demand on Building Energy Certificates from National Energy Conference, as well as the trend of carbon footprint examination in international standard PAS2050 and ISO16064, focusing on carbon footprint disclosure and labeling system in architectural design stage. Building Research Institute of the Ministry of the Interior already has accomplished fairly basic researches on assessment of life cycle CO<sub>2</sub> emissions in the past. Now it will set up an integrated method of carbon footprint assessment of building life cycle by combining the Building Energy Certificates and the existing building energy regulations.

There are two major focuses in this project: First is to establish a database of carbon emissions in line with the PAS2050 or ISO16064 standards. The second is the establishment of a carbon footprint assessment system which is able to comply with the evaluation system of Building Energy Certificates. This study will rely on the original building materials carbon emissions database completed in the past few years and also refer to the internationally recognized database SimaPro, using its information such as energy consumption of raw material mining and overseas transportation, to create a new carbon footprint database of building materials.

According to the theory of International Financial Reporting Standards (IFRS), this study used the method of "component accounting" to understand the LCA of a building, which could lead to different life cycle standards including structures, interior, exterior, equipments and so on. Meanwhile, this study has cited the "Building Energy Certificates Assessment System" which was completed by the National Science Council in the 2009 Energy National Science

and Technology Program to create a simple formula for prediction of building energy, combining both the existing building materials database and carbon emissions calculation method of waste demolition, and also integrate with present building energy efficiency indicators and building energy labeling system established by green building indicators, to create a building energy certificate system which is able to continue existing construction system and will become the most advantageous method of building carbon footprint labeling.

This study has established a localized carbon emissions database in line with the international standard PAS2050, and created simple carbon footprint assessment for five stages of building life cycle. This may lead Taiwan to be the first country in the world which owns the building carbon footprint disclosure and labeling system meeting both two standards if the standard could be implemented.

This project comes to the immediate and long-term strategies.

For immediate strategies:

Develop methods of including carbon footprint labeling system into green building evaluation manual.

This study has completed the simple calculation methods for each stage of building life cycle. It is hope that Building Research Institute would discuss about the possibilities of implementing carbon footprint labeling system into current green building rating from then. The specific methods for the suggestion above is to include carbon footprint labeling system into Energy Saving Indicator and CO<sub>2</sub> Reduction Indicator from current green building evaluation manual. This could lead to the combination of both building carbon footprint disclosure and green building policies, which could make Taiwan as the world-leading country to have its own carbon footprint labeling system of green building.

For long-term strategies:

Implementing building carbon footprint labeling system.

Since Environmental Protection Administration (EPA) has accomplished brilliant achievement in Taiwan Product Carbon Footprint labeling system, it is hope that the authority

could convene building industry to implement a systematic and unified Product Category Rules (PCR) for building assessment, confirm with the standards of its carbon footprint calculation, and implement carbon footprint label and rating authentication for voluntary building at the same time. In the long term, Department of Land Administration, Ministry of Interior may legislate real estate transactions by limiting them under carbon footprint label authentication to accomplish the world-leading green building policies; indeed, to reach the goal of energy saving and carbon reduction.



## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與背景

基於對地球環境的危機感，特別是對地球暖化的威脅，節能減碳的行動儼然已成為現代人類關心的焦點。如今全球企業已掀起一股減碳的熱潮，不僅產品要貼上碳標籤，全球 500 大企業更合組供應鏈領導聯盟，要求旗下供應商公布碳排放資料，減碳行動已成為全球企業主流趨勢，更是企業高競爭力的表現。

為了鼓勵企業界進行碳排揭露，協助企業評估氣候變遷所造成之風險與機會，並提供外部投資者參考依據，2003 年由國際主流法人投資機構，如美林證券(Merill Lynch)、高盛(Goldman Sachs)與匯豐銀行(HSBC)等，發起一個稱為「碳揭露專案(Carbon Disclosure Project, CDP)」的獨立非營利組織。2002 年 5 月開始由 5 個機構投資人連署聲明，為碳揭露企業因應氣候變化的行動提供一個有效率的機制，透過每年以問卷方式要求企業揭露有關氣候變遷之風險與機會、溫室氣體排放數據，以及碳管理制度等資訊，並整理回收的問卷、進行資料分析、撰寫報告並且公開發表調查結果。碳揭露專案發動自願碳揭露之初，許多國際大型企業對公司本身因應氣候變化之行動，或相關資訊揭露仍持有相當保守態度，但 2006 年起，碳揭露專案已擴大調查對象至金融時報 500 大以外的企業，2011 年碳揭露專案已集結全球 551 家法人投資機構(管理總資產高達 71 兆美元)，問卷發放對象達 4,585 家企業，其中全球 500 大企業問卷回覆比例為 81%。由高達八成的自願揭露比例，可窺見碳揭露議題不可忽視的影響力正蔓延至全球。

1992 年「地球高峰會」以至於 1997 年 12 月的「京都議定書」，溫室氣體排放減量儼然成為國際間重要課題，其主旨為了抑制人為溫室氣體的排放，以防制地球氣候惡化。以建築產業而言其 CO<sub>2</sub> 的排放以建築物的生命週期觀點而言，主要起因於建材的生產、運輸、營建過程、日常能源的使用、建築之更新修繕到拆除、建材再回收等幾個面向。

1999 年內政部建築研究所發展綠建築評估系統 EEWH 以來雖有輝煌成果，不過 EEWH 九大指標系統對於碳足跡標示尚未有具體標準，我國的綠建築政策目前面臨國際碳足跡標示制度要求之壓力。本研究將因應全國能源會議對建築能源證書之要求，以及國際 PAS2050 與 ISO16064 對於碳足跡查驗之趨勢，進行建築設計階段碳足跡揭露與標示制度之研究。內政部建築研究所過去對於生命週期 CO<sub>2</sub> 排放量評估研究已有相當基礎，如今將結合建築能源護照制度與既有建築節能法規，建立綜合性之建築生命週期碳足跡評估法。尤其我國綠建築評估指標中已有「日常節能指標」與「CO<sub>2</sub> 減量指標」，希望在將來能結合成碳足跡的評估方式，以期能與

國際碳足跡盤查趨勢接軌。

所謂碳足跡，就是個人、組織、活動或產品直接或者間接導致的溫室氣體排放總量（換算成二氧化碳當量 CO<sub>2</sub>e），用以衡量人類活動對環境的影響。碳足跡從原物料的開採、製造與使用，一直到產品廢棄回收處理，所謂「搖籃到墳墓」的生命週期中，所產生的 CO<sub>2</sub> 排放量都算是碳足跡的計算範圍。

確定碳足跡是減少碳排行為的第一步，並能為組織、活動或產品減排狀況設定基準線。2010年2月，我國環保署頒佈「產品與服務碳足跡計算指引」，以 CNS 14040 與 14044 之生命週期評估法為基礎，可供組織檢視現有產品與服務之溫室氣體排放情形，並加以改善；而消費者可對所選擇產品與服務之生命週期溫室氣體排放，有更多瞭解，進而選擇對環境有利之產品。隨著環境問題日益受到重視，產品的「生命週期評估」與「碳足跡」，未來勢必成為國際貿易不可忽視的一環。本研究把建築物當成一種產品，建構其碳排生命週期評估的理論與實務。

長久一來，建築產業一直很想執行建築物的碳足跡評估，但建築物由數千種建材組成，加上長達數十年建築生命週期的建築能源使用很難掌握而窒礙難行。日本是少數已經擁有建築物生命週期碳足跡評估理論與實務的國家（石福昭、伊香賀俊治，1993），但像 LEED、BREAM 之國際綠建築評估系統，至今亦尚無法執行生命週期評估。我國自 1997 年筆者研究室提出建築生命週期碳排之實際評估案例以來，不斷累積建築物的碳排分析研究，加上二十年來對建築節能、綠建築評估的研究與實務經驗，如今終能提出兼顧國際標準的建築物碳足跡評估。

## 第二章 研究方法及進度說明

### 第一節 碳足跡評估的國際規範

無論如何，任何碳足跡評估均必須符合國際規範，否則各說各話、莫衷一是而難以支援地球環保行動。有關碳足跡評估的國際規範約可歸納為下列三種：

#### (一) ISO14040 系列國際標準

ISO14040 就是產品生命週期評估的國際規範來源，也是台灣 CNS14040 國家標準的源頭。依據 ISO 14040 系列標準之規範，生命週期評估的實施程序可分為（一）目的與範疇界定：界定盤查作業範疇；（二）盤查分析（Inventory Analysis）：進行數據收集與清單計算，以量化系統的相關投入與產出；（三）衝擊評估（Impact Assessment）：應用生命週期盤查分析結果，評估生命週期之環境衝擊程度；（四）闡釋（Interpretation）：合併盤查分析與衝擊評估結果，並與界定的範疇整合，以結論與建議的型式提供給決策者，作為改進產品設計、物料選用或生產流程改善之參考。

#### (二) PAS 2050

PAS 2050 就是對於產品碳足跡盤查（Carbon Footprint Verification, CFV）的要求。此規範因應廣大社群與產業要求，對於產品與服務生命週期產生之碳足跡要求一致性的評估方法，由英國標準協會（BSI）發展而成。PAS 2050 認為組織有使用此方法之潛力，以便對產品供應鏈碳足跡有較佳瞭解，並提供使用 PAS 2050 後之成果比較與溝通之共同基礎。

碳足跡盤查是提供 PAS 2050 可信度的基本來源。有了這項盤查，管制機關、客戶、員工、股東、潛在投資人、環保團體、媒體，甚至競爭對手，都能確信該組織碳足跡計算的準確性、完整性及透明性。不論規模、所屬產業或所在地點為何，任何組織只要積極測量碳足跡，或制訂程序來達到碳排減量目標，都會因為碳足跡盤查過程所帶來的額外精確度和專業知識而受益。

PAS 2050 於 2008 年 10 月公告後即成為國際推動碳足跡計算之主要參考依據，亦成為國際標準組織(ISO)制定產品碳足跡標準(ISO 14067)之重要參考文件。PAS 2050 已經過多種產品類型之企業實際測試，包含英國與國際上的供應鏈業者所提供的產品與服務皆有試行經驗。企業執行碳足跡盤查與管理時，除了高階管理者之外，須共同參與的單位還包括負責企業社會責任的部門、市場銷售部、生產部、採購與供應鏈部門、物流部、能源部、財務與程序管理部、碳足

跡分析師等。

PAS 2050 要求碳足跡的盤查應先界定計算邊界。邊界設定方法可分為 B2C(Business-to-Consumer)及 B2B(Business-to-Business)兩種。B2C 包括從搖籃到墳墓各階段(Cradle-to-Grave)，即產品從原物料開採、擷取、運送、產品製造、配送、消費者使用，到最後廢棄階段的碳足跡均需納入計算項目，建築碳足跡評估屬於此類；B2B 則是計算從搖籃到大門(Cradle-to-Gate)的各項排放源，即從原物料開採囊括至該產品運送到下一個工廠或企業大門前的各階段，假如只對建材碳足跡評估則屬於此類。

界定計算邊界後，須檢視邊界內應量化之項目。對於碳足跡之計算要求，可依照下列五個步驟進行：

1. 建立流程圖：必須由管理者、供應商、運送商以及消費者共同合作定義建立產品生命週期流程圖。不過建築碳足跡的流程圖是公定為(1)建材生產運輸、(2) 營造施工、(3)建築使用、(4)維護更新、(5)拆除廢棄等五個階段，不必由業者另行定義。
2. 檢查邊界及優先順序：履行碳足跡盤查的首要任務是確定組織的邊界。可利用產品類別規則(Product Category Rule, PCR)確認邊界認定無誤，以避免彙總排放資料時發生重覆計算、遺漏或誤導，亦即針對一組或多組同等功能的產品，建立公平的生命週期評估範疇，其內容將針對同類型的產品功能單位、產品投入之原料、涉及的生命週期、分配原則及截斷準則等項目要求有明確的定義，期望以劃定相同的評估範疇來提升同類型產品生命週期評估結果的可比較性。單一排放源之排放量若低於總排放量 1% 可以排除，排除總量不得超過該產品生命週期溫室氣體排放量的 5%。在本研究的建築碳足跡的盤查範圍是被固定清楚的，並無須因案而一一重新界定其範圍。
3. 蒐集資訊：應蒐集活動數據與排放係數兩種資料，並依照 PAS 2050 的要求與建議開始蒐集細節資訊。所蒐集到的「一級數據（第一手實際資料）」或「二級數據（第二手實際資料）」應註明時間、地理區域、採用之技術、資料準確度、資料變異程度，並確認資料量化的完整性、分析方法的一致性，以及提供的資訊可供第三者重複驗算。在本研究對建築碳足跡的活動數據與排放係數均已經被規定清楚，不用讀者煩惱。
4. 計算碳足跡：產品碳足跡可利用監測儀器直接量測、質能平衡或排放係數等方法來計算，但在建築產業通常只採用排放係數法，亦即使用基本公式「某活動的碳足跡=活動數據(質量/容積/千瓦小時/公里)×排放係數(每單位二氧化碳當量)」來計算。
5. 評估報告：將生命週期碳足跡評估的結果做成報告，其碳足跡資訊被要求相當高程度的可靠性，此時可藉由組織內部之盤查資訊管理制度的建立，確認盤查品質及不確定性風險，檢查組織的碳足跡數據之品質。本研究關於建築碳足跡之碳足跡數據品質是被標準化的，最後評估報告也提供分級評估的基準，最後的診斷報告最好能提出低碳技術改善的建議。

6. 查證: 完成排放量之計算並非盤查管理之最終目標，更重要是如何有系統地建立碳足跡盤查機制，包括盤查系統建立與程序文件化等，並持續地改善碳足跡之數據品質，進而尋求公正盤查機構進行第三者查證。這是對無限多樣的產品之碳足跡之盤查管理，但建築物碳足跡計算之邊界與計算內容均已標準化，在未來建築碳足跡只要由訓練合格之專業者評估，再由相關認證機關查證即可。

### (三) ISO 14067

ISO 14067 簡稱國際碳足跡計算標準，是承襲 ISO14000 系列與 PAS2050 所發展的國際標準，現已二度提出草案版，即將於近年公告實施。該標準旨在為產品碳足跡的量化、通報和核查制定更確切的要求，提供清晰和具有一致性的敘述方式，它將很快成為有關碳足跡的評估、監測、報告和核查的國際通行標準。現今市場上碳足跡的計算準則各有差異，未來 ISO14067 標準公佈後，其他相關法規將即刻被替換失效。因應 ISO14067 的到來，各國國際大廠為都逐步將過去所執行的產品碳足跡標準從 PAS2050 轉為 ISO14067，一些國際採購商會很可能將 ISO 14067 納入全球供應鏈管理體系中，從商業角度為地球環保把關。

ISO14067 以 PAS2050 為基礎，將碳足跡的評估範圍擴大，特別是產品廢棄階段，例如要求將回收料件等處理與二次料加工都必須列入計算，如此才能完整考慮從搖籃到墳墓的碳足跡。ISO 14067 將分為兩部分：ISO 14067-1（第 1 部分：量化）、ISO 14067-2（第 2 部分：溝通）。

ISO 14067 規定必須有明確的產品類別規則(Product Category Rules, PCR)，即視盤查邊界為 B2B 或 B2C 來決定。ISO 14067 亦提供彈性空間來進行宣告的溝通；包括碳足跡的聲明、碳標籤標示、報告和減量績效追蹤。而為了避免各國以此標準造成貿易壁壘，標準中也以附加條款強調了 WTO 的規定。建築施工根據 ISO 21930:2007 永續開發之建築產品環境宣告進行制訂；其他產業具體類別規則是由國際電工委員會 (IEC) 為電子行業進行發展制訂。

## 第二節 碳足跡評估工具與資料庫

目前碳足跡生命週期評估之電腦資料庫軟體不下十種，如 Boustead(英)、R. F. Weston (美)、ChemSystems (美)、EMPA (瑞士)、PIRA International(英)、Charlimers Industriteknik(瑞典)、Environmental Conscious Design Support System(美)、SimaPro(荷蘭)等，都已經發展至商業化程度而廣為各國顧問公司所推廣。目前國際產品碳足跡資料庫，以日本及韓國發展較為完整，而其他國家則是以建立國家層級之生命週期資料庫為主(如表 2-1 所示)。目前國際間常用的生命週期評估軟體，如德國之 GaBi，資料庫包括 800 種不同的能源與材料流程與 400 種工業流程；由荷蘭 Leiden 大學開發之 SimaPro，其特色為採用 ecoinvent 資料庫，具有豐富的製造階段數據；荷蘭 VHK 於 2005 年開發之 Eco-report 為一簡易版的 LCA 軟體，可以評估產品環境衝擊並作為

產品環保性分析工具；英國研發的 Boustead Model 擁有龐大的能源、生產燃料及物流之資料庫，可應用於各種複雜的產品，但無法進行環境衝擊評估。在國內，則由工研院開發的本土化生命週期評估軟體「DoITPro」，其資料庫包含台灣的電、油、燃料、金屬、化學品、塑膠等等一級數據，較之全然使用國外資料庫數據軟體，更能使計算結果切合國內廠商之需求與符合實際現況。

為了理解觀國內外的原物料碳排資料庫之概況，在此由經濟部工業局的網站（<http://www.idbcfp.org.tw/>，2013.5.26）整理一些資訊如下：

目前國內外既有基礎原物料之碳足跡資料庫，其碳足跡範疇均為「原料取得、生產製造、廢棄物處理」等三階段，且不含包裝，即俗稱「搖籃到大門（Cradle-to-Gate）」之資料。計算者需依該原物料由生產處所運輸至工廠之實際運輸方式、運輸距離等，再行計入相關運輸或包裝所產生之碳排放量（可能需分配）。

表2-1國內外碳足跡資料庫概要

國家	資料庫	涵蓋範圍
台灣	ITRI Database (DoITPro)	台灣
日本	Japan National LCA Project	日本
	碳足跡資料庫	
韓國	Korean LCI Database Information Network	韓國
	碳足跡資料庫	
歐盟	European Platform on Life Cycle Assessment (ELCD)	歐洲
瑞典	SPINE@CPM	全球
丹麥	EDIP	丹麥
	LCA food	丹麥
荷蘭	IVAM LCA Data	荷蘭
	Dutch Input Output	荷蘭
	Franklin US LCI	美國
瑞士	ecoinvent	全球/歐洲/瑞士

國家	資料庫	涵蓋範圍
	BUWAL 250	瑞士
	LCAinfo	
	Swiss Agricultural Life Cycle Assessment Database (SALCA)	瑞士
德國	German Network on Life Cycle Inventory Data	德國
泰國	Thailand LCI Database Project	泰國
澳洲	Austrian Life Cycle Inventory Data Project	澳洲
加拿大	Canadian Raw Materials Database	加拿大
美國	US LCI Database Project	美國

(資料來源：經濟部工業局 <http://www.idbcfp.org.tw/>)

概觀國內外產品碳足跡資料庫之特性，特列舉國家的資料庫分析如下：

### 1. 美國

2001年美國能源局(DOE)指示國家再生能源實驗室(NREL)等單位，進行國家級公用資料庫開發，並於2003年完成初步公開設置。2008年NREL發表Camp Long宣言草案指出，為了滿足日益漸增生命週期評估(LCA)需求，需要建置一項提供全面性具品質可靠、透明度及符合國際法規的生命週期盤查(LCI)數據來源。其2008年版之生命週期盤查數據一共建置179筆資料，到2011年資料增為281筆，內容分為19類，資料主要集中於化學工業製品、初級金屬製品、及木材製品等類別，未來將發展水、公共建設、紙類與紙製品、紡織品、及玻璃等資料。

### 2. 歐盟

歐盟之資料庫稱為ELCD (European Reference Life Cycle Database)，其建置過程中，主要針對歐盟層級的商業活動數據所產生的資源消耗，以及其他關鍵材料、能源、運輸以及廢棄物處理等生命週期盤查資料庫。ELCD資料庫於2009年公布第二版，共建置331筆生命週期盤查數據，分為廢棄物處理、能源技術、物質製造、系統、及運輸等五大類。

### 3. 日本

自2008年開始，日本經產省委託社團法人環境管理協會 (Japan Environmental Management

Association for Industry, JEMAI) 建置碳足跡資料庫 (カーボンフットプリント制度試行事業用 CO<sub>2</sub> 換算量共通原単位データベース)。日本的國家 LCA 資料庫 (稱為 LIME) 在 2009 年公布第 1 版, 到 2012 年已更新至第 4.0 版, 其建置類別分為能源、服務、製造、運輸、及廢棄物處理等五大類, 內容有日本國內製造數據 (1,129 項)、國外製造數據 (114 項)、國外參考數據 (12 項) 等三大部分。其中的「國外製造數據」部分, 已包括有台灣、中國、韓國、..... 等鄰近國家的部分數據, 同時包括了 10 個國家的系統電力排放係數。

#### 4. 韓國

韓國從 2003 年正式開始建立國家層級生命週期盤查資料庫, 主要由環境部及貿易工業能源部共同推動, 並委託韓國環境工業技術研究院 (KEITI) 建置, 至今已建置超過 10 個以上生命週期盤查子資料庫。目前韓國共建置 341 筆碳足跡數據, 分為前端製造、成品與半成品製造、運輸、及廢棄物處理等四大類。

#### 5. 台灣

台灣經濟部工業局 DoITPro 資料庫包含電、油、燃料、金屬、化學品、塑膠等本土化數據, 以及國際上的電子料件等一級數據, 較之全然使用國外資料庫數據之 SimaPro 或 Gabi 等國外軟體, 更能使計算結果切合國內廠商之需求與符合實際現況。近年來因為產品碳足跡應用的需求, 工研院乃於 2010 年由 DoITPro 資料庫中, 篩選整理成簡要版之碳足跡數據資料庫, 目前共建置 168 筆碳足跡數據, 分為能源或資源 (17 筆)、塑膠 (28 筆)、金屬 (24 筆)、電子 (30 筆)、化學品/氣體等 (29 筆)、表面處理 (2 筆)、運輸 (10 筆)、廢棄物/廢氣等 (6 筆)、回收 (5 筆)、及其他 (17 筆) 等 10 大類。

縱觀上述, 世界各國目前的碳足跡資料庫均非建築專用資料庫, 它們大多為了能源科技、環保、製造業等大方位所建立的國家層級資料庫, 尚未能顧及民生部門的碳足跡內容, 因此建築產業若要著手碳足跡評估非由建築領域圖強奮鬥不行。基於下述原因, 筆者呼籲國人切勿引入作為台灣建築碳足跡的評估工具:

1. 該類資料庫軟體均為電子、化工、機械、食品等製造業方面以單一產品為主的評估軟體, 並不適用於龐大建材數量、複雜性能設備 (變頻、節能控制等)、多樣化低碳構造技術 (如耐久化、輕量化等) 的評估。顧問公司多半以簡化、忽略、替代、誤用的非建築專業方法來草率執行該類軟體評估, 根本毫無信賴度可言。
2. 該類軟體之資料庫均為國外資料, 建材、營建、廢棄處理之碳排資料, 均不適用於台灣, 尤其缺乏本土空調水電資材之碳排數據, 其數據品質不符國際規範對可靠性、完整性、地理相

關性、技術相關性之基本要求，例如台灣的鋼鐵原材料來自數千海里外的澳洲、印尼，應含有相當大的運輸耗能，但國外資料庫均付之闕如，如何能適用於台灣？

3. 該類軟體無法精確模擬台灣建築耗能，因為建築耗能分析至少必須以動態耗能程式（如 DOE、eQUEST 等）並引用台灣特有逐時氣象資料（平均氣象年）、特有節能法規與特有建築營運條件才能完成。要知建築使用耗能佔建築碳足跡總量 50~80% 之大，無法精確解析台灣建築耗能的國外軟體，如何能正確評估台灣的建築碳足跡？
4. 過去許多應用該類軟體的報告，均隱瞞數據來源、解析理論、計算程序，其評估內容既不透明化，也無法經由第三者查證，不符合國際規範對再現性的要求。

總之，目前通行之國外軟體大部份為產品類生命週期之評估軟體，並不適於巨大建築物碳足跡之評估，尤其數據品質與解析方法既不透明、也不本土化，經不起第三者查驗，若草率引為國內建築產業碳排診斷之用，根本無法正確評估、闡釋、引導低碳建築的方向。

**目前本研究的研究項目與進度如表 2-2 所示，一切均已如期完成。**

表2-2 研究進度及預期完成之工作項目

◻ 預期進度

▨ 完成進度

月次	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	備註
工作項目												
準備階段	▨	▨										
國內外建築碳足跡研究文獻回顧	▨	▨										
PAS2050 或 ISO16064 標準回顧	▨	▨										
國內產品碳足跡查驗的現況分析	▨	▨	▨									
建立符合 PAS2050 或 ISO16064 標準的碳排資料庫			▨	▨	▨							
既有碳排資料庫國際碳排資料庫的回顧分析			▨	▨	▨							
建築原材料挖掘運輸耗能在國際碳盤查工具SimaPro的構成分析				▨	▨							
我國最新碳排資料庫之建構			▨	▨	▨							
建立符合「建築能源證書評估系統」的碳足跡評估系統			▨	▨	▨							
國科會「建築能源證書評估系統」回顧分析				▨	▨							
研擬住宅用建築能源證書方式之碳足跡評估系統				▨	▨							
研擬公共建築用建築能源證書方式之碳足跡評估系統			▨	▨	▨							
研擬以施工估價資料計算建材碳排之評估法												
研擬建築更新維護階段之碳排評估法												
研擬建拆除廢棄處理階段的碳排評估法												
計算實例分析												
預定進度(累積數)	8%	16%	28%	44%	60%	74%	76%	84%	92%	98%	100%	
<p>說明：</p> <p>1. 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。</p> <p>2. 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每 1 小格粗組線為 1 分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。</p> <p>3. 科技計畫請註明查核點，作為每 1 季所預定完成工作項目之查核依據。</p>												

## 第三章 資料之蒐集、文獻分析

### 第一節 建築生命週期標準

建築碳足跡評估當然是以生命週期為視野的評估，因此制訂建築物生命週期之標準是首要的工作。根據過去的調查，台灣與日本建築物平均壽命可能介於 30~40 年，但此建築平均壽命統計並不能作為建築 LCA 的依據，因為隨著建築產業的進步，建築物的平均壽命正逐步上昇中，例如日本由 1941~45 年代到 1966~1970 年代的建築平均壽命由 34.2 年上昇至 56.9 年(石塚，1996，p14)。過去的建築壽命統計充斥許多建管制度不佳時期的低施工品質、違章建築、低耐震標準的建築物，其建築平均壽命顯然偏低，但最近在耐震規範、施工品質標準日漸強化的情況下，建築平均壽命當然逐步上昇。尤其本研究的碳足跡評估法為建築產業財務計畫與產業經營之評估工具，其評估對象建築物更是社會上較優質的建築群，其建築之生命週期似乎應採較高之標準才合理。

過去在日本在環境建築評估中常採 35 年之 LCA 評估間距，在財務 LCA 評估上也有採 50 年或 65 年評估的。在日本建築學會的建築物 LCA 指針中，則建議以 100 年為建築長壽化設計的比較對象。過去在台灣的綠建築評估常採取 40 年 LCA 的習慣，但這是過去立基於社會平均建築壽命的作法，在財務計畫與產業經營上並不合理，今後在建築長壽命化與新耐震規範之趨勢下，應採取較長之 LC 標準才能更契合務實的目的，本研究建議採用 IFRS 的理論以掌握建築之 LCA。

所謂 IFRS 就是國際財務報告標準 International Financial Reporting Standard 的簡稱，從 2005 年以來已適用於歐盟七千家企業各種連結財物表格，成為目前有一百個國家採用的會計標準。IFRS 的基本原則是時價主義，亦即盡量以公正價格來評價資產與負債。IFRS 對於固定資產之價值評估，建議採用「分項會計 (component accounting)」方式來進行，它對於建築投資的財務評估，也建議採用建築結構體、內裝、外裝、建築設備等分項構成來評估，每個分項各有其適當的 LC，因為它較符合實際營建發包與營運使用計畫的習慣。

本研究參照日本長壽命建築推進協會 BELCA 推薦的耐用年數表，制訂台灣 RC 類建築物工程分項的生命週期 LC 與生命週期更新次數 RT (Life Cycle Renovation Times) 之標準如表 3-1 所示。由於合乎現行耐震規範的優質建築之實際壽命，遠超越建築平均壽命 30~40 年或台灣稅

法上認定的 50 年，另外英國對於住宅只採取 60 年的 LCA 評估間距（經濟部能委會，2002），日本 BELCA 對於價值工程減價償還計畫多以 60 年來模擬（BELCA，2012），因此本研究建議建築結構體之 LC 也採用 60 年為標準。結構體以外之其他分項部位建議以 60 年整數分割之 2.5、5、10、15、20、30 年來調整其 LC，因為實務上的維修更新工程不會隨時敲敲打打，而通常會把耐用年數相近的工事合併於一個工事在某適當間格一起修繕更新，以免不勝其煩，例如燈具、管線與天花板工程通常會在同一耐用年數一併更新，不會因其不同物理耐用年數而分三次更新。依 BELCA 之建議（p202，BELCA，2012），建築的內外裝部位應依建築使用頻度、破壞強度、維護習慣而設定不同 LC，例如室內裝修與更換的頻率在商場遠比辦公建築頻繁，在觀光飯店遠比一般商務旅館快，因此本研究依「超高損耗」、「高損耗」、「中損耗」、「低損耗」等四水準之建築類別，提出對各分項工事訂立不同 LC 如表 3-1 所示。其中 LC 最短的為高級百貨商場、高級餐廳的室內裝修工程 2.5 年（此為筆者研究室過去實際的調查結果），另外像住家或自用辦公空間通常有較好的維護習慣而其裝潢 20 年才更新一次，其間的差異甚大。

以上是筆者依據 IFRS「分項會計」的建議，參照日本 BELCA 的經驗統計（p202~233，BELCA，2012）與工程專家意見所調整而出的 RC 類建築分項之 LC 標準，它同時適用於 RC、SRC、S 等較堅固構造的建築物，但這並不適用於 RC 類建築物以外的木構造、輕鋼構等建築物。

表3-1 RC類建築分項生命週期LC與生命週期更新次數RT

工程分項	工程小項	超高損耗建築 (百貨商場、量販店、高級餐廳、娛樂設施、交通旅運設施)		高損耗建築 (觀光旅館、一般商店、一般餐廳、運動設施)		中損耗建築 (出租辦公建築、一般旅館、一般公共設施、教育文化醫療設施)		低損耗建築 (自用辦公建築、工廠、倉庫、住宅、一般住宿類建築)		
		LC	RT	LC	RT	LC	RT	LC	RT	
結構體		60	1	60	1	60	1	60	1	
外裝工程	門窗工程	30	2	30	2	30	2	30	2	
	外牆外裝	30	2	30	2	30	2	30	2	
	屋頂外裝	20	3	20	3	20	3	20	3	
	外裝金屬工程	30	2	30	2	30	2	30	2	
內裝工程	樓版地面	10	6	15	4	20	3	30	2	
	柱樑外牆內裝	10	6	15	4	20	3	30	2	
	內隔間牆	10	6	15	4	20	3	30	2	
	天花工程	10	6	15	4	20	3	30	2	
	衛浴內裝	10	6	15	4	20	3	30	2	
室內裝修	裝潢工程	2.5	24	5	12	10	6	20	3	
	照明	2.5	24	5	12	10	6	20	3	
建築設備	空調	中央空調主機系統	20	3	20	3	20	3	20	3
		中央空調送水系統	10	6	10	6	10	6	10	6
		中央空調送風系統	10	6	10	6	10	6	10	6
		箱型空調	10	6	10	6	10	6	10	6
		窗型及分離式空調	5	12	5	12	5	12	5	12
	電氣	10	6	15	4	20	3	30	2	
	給排水衛生	15	4	15	4	20	3	20	3	
	弱電	5	12	5	12	10	6	10	6	
	消防	30	2	30	2	30	2	30	2	
	輸送	30	2	30	2	30	2	30	2	

註：本表之 LC 適用於 RC、SRC、S 等構造建築物，但輕鋼構建築物在結構體、內裝、外裝三分項之 LC 值以本表 LC 值之 0.8 倍計之（其 RT 不變）、木構造建築物在結構體、內裝、外裝三分項之 LC 值依本表 LC 值之 0.5 倍計之（其 RT 不變），其他室內裝修、設備、室外景觀等分項之 LC 值不因構造差異而變，必須統一採用本表之 LC 標準，但其 RT 以本表之 RT 值乘上 0.8（輕鋼構）或 0.5（木構造）計之。

(資料來源：本研究整理)

## 第二節 我國建築碳足跡評估的範疇與邊界

上述 ISO14040、PAS2050、ISO14067 的國際規範主要針對商品與組織的碳盤查規範，對於建築產業的碳足跡評估並不貼切、也難以適用，因為建築物並非標準化、大量生產之小產品，亦無跨國流通之商業規範，所用資材與設備錯綜複雜而難以盤查，建築碳足跡評估必須另有獨特的評估規範。

談論建築碳足跡評估，首先必須界定其目的與範疇，不合目的的解析、盤查、驗證並不宜小題大作地投入，否則只是徒勞無功。本研究首先定義建築碳足跡評估的目的為：「在維持相同工作環境與建築機能之前提下，以建築設計、營造施工所能控制的手法達到減碳的目的」。此定義之用意，在於排除非建築設計、非營造施工相關項目的評估，例如建築內產生的廚餘、生鮮垃圾會產生氧化亞氮、甲烷；室內烹飪會產生氧化亞氮 NO<sub>2</sub>；室內清潔劑會產生環境荷爾蒙、水污染；空調冷媒、發泡隔熱材會產生氟氯碳化物等溫室氣體或有害物質，但均非建築設計、營造施工所能控制之因子，因此不宜也不必在建築碳足跡評估中處理。

表3-2 IPCC報告中建築相關溫室氣體之地球暖化係數GWP

溫室氣體	殘留壽命 (年)	地球暖化係數 GWP			建築物相關排放源
		20 年間值	100 年間值	500 年間值	
CO <sub>2</sub>	50-200	1	1	1	建材生產運輸、燃燒
CH <sub>4</sub>	10	63	21	9	生鮮垃圾、廚餘、污水處理
N <sub>2</sub> O	150	270	290	190	燃燒
CFC-11	65	4500	3500	1500	離心冷凍機冷媒、發泡隔熱材
CFC-12	130	7100	7300	4500	冷藏庫冷媒、發泡隔熱材
HCFC-22	20	4100	1500	5100	箱型空調冷媒、螺旋冷凍機冷媒

(資料來源：IPCC, 2006)

聯合國氣候變化政府間專家委員會 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 界定影響地球氣候的人造溫室氣體有二氧化碳 CO<sub>2</sub>、氧化亞氮 NO<sub>2</sub>、甲烷 CH<sub>4</sub> 以及氟氯碳化物 CFCs 等四種氣體，各種溫室氣體對於地球暖化有不同地球暖化係數 GWP 如表 3.2 所示。雖然有些人認為碳足跡評估應涵蓋這四種氣體，但本書只評估 CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 三種氣體而忽略 CFCs，其原因如下：

1. 本研究採用能源局公告包括 CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 三種氣體的碳排係數本書所採用的碳排係

數為 2013 年能源局公告的數據如表 3-3 所示。事實上，所有能源之碳排均以 CO<sub>2</sub> 為主，CO<sub>2</sub> 之外再加入 NO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 兩種氣體的碳排係數幾乎毫無變動。

## 2. 本研究認定 CFCs 乃非建築政策管制範圍：

CFCs 在建築中主要來自空調、消防的冷媒與發泡劑，這類溫室氣體的管制另有工業局與環保署的管制，不用建築主管機關代勞。況且，CFCs 一部份來自建築外牆隔熱材，但亞熱帶台灣的建築物幾乎不用外牆隔熱材，只有極少的溫熱水管使用微量的保溫材 CFCs，其對整體溫室氣體幾乎可忽略。何況 CFCs 已在蒙特婁議定書中嚴格列管禁用，往後影響地球溫暖化的溫室氣體將以 CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 三種氣體為主，因此可將 CFCs 省略。

由於本書所談碳排內容包括 CO<sub>2</sub>、NO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 三種氣體，因此本書的碳排單位均以二氧化碳當量 CO<sub>2</sub>e 來表示之。另外，依據我國碳足跡計算指引 5.6 規範，一般與產品或服務供應鏈無直接關聯之過程得排除於系統邊界之外，包含：(1) 人力、(2) 行政管理與維護、(3) 行銷與銷售、(4) 員工私人運輸、(5) 銷售點到家之間的運輸、(6) 員工差旅的運輸，這些在本書之碳足跡評估中均被視為非實質影響項目而予以忽略。

**表 3-3 我國各類能源之碳排係數**

原燃物料名稱	預設排放係數				
	CO <sub>2</sub> 排放係數	CH <sub>4</sub> 排放係數	NO <sub>2</sub> 排放係數	TOTAL	單位
燃料煤	2.535	0.00003	0.00004	2.535	Kg/Kg
燃料油	3.111	0.00012	0.00002	3.111	Kg/L
天然氣(NG)	1.879	0.00003	0.000003	1.879	Kg/M <sup>3</sup>
液化天然氣(LNG)	2.840	0.00013	0.00003	2.840	Kg/M <sup>3</sup>
液化石油氣(LPG)	1.753	0.00003	0.000003	1.753	Kg/L
液化石油氣(LPG)	3.187	0.00005	0.00001	3.187	Kg/Kg
柴油	2.606	0.00011	0.00002	2.606	Kg/L
高爐氣	0.846	0.000003	0.0000003	0.846	Kg/M <sup>3</sup>
煉油氣	2.170	0.00004	0.000004	2.170	Kg/M <sup>3</sup>
石油焦	3.347	0.00010	0.00002	3.347	Kg/Kg

(資料來源：本研究整理)

一般產品的碳足跡盤查，事先要有該產品專用的產品類別規則 PCR (Product Category Rule)，亦即以一套規範、要求或指南，針對一組或多組同等功能的產品，建立公平的生命週期碳足跡評估範疇。然而，建築內的每一建材與設備都是複雜的產品，每一產品均由數十種原材

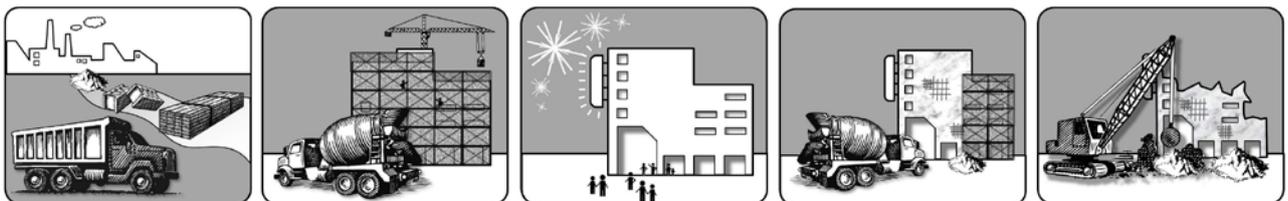
料所製成，一棟建築物再由千百種建材與設備所構成，其生命週期長達數十年、建築使用情景千變萬化而不可捉摸，既找不出一組堪稱同等機能的建築比較條件，也不知建築碳足跡必須追溯至如何細緻的範疇，因而目前全世界尚無建築共同遵守的PCR。

然而，PCR只是一種業界相約成俗的規範，作為建築專用的PCR，只要建築學業界有明確的共識，訂出共同遵守的範疇即可。同時在「有效操作原則」下，我們也必須割捨一些無關緊要、細微末節的項目，才能訂出有實用價值的建築碳足跡之PCR。在日本建築學會將建築物碳足跡評估流程圖與盤查邊界界定如圖3-1所示，分為建材生產運輸、(2) 營造施工、(3)建築使用、(4)維護更新、(5)拆除廢棄等五個階段，筆者認為只要依此五階段為框架，再根據台灣實際情況界定其計算範疇，即可成為台灣推行建築碳足跡的PCR。本書關於此五階段的碳足跡盤查範圍建議如表3-3所示，此為兼顧實務執行與減碳技術操作之範疇，可說是台灣建築碳足跡盤查的PCR。

**表3-4 建築碳足跡盤查之建議範圍**

生命週期五階段	碳足跡盤查範圍
建材生產運輸	原材料取得耗能
	原材料運輸耗能
	建材生產耗能
	成品運輸耗能
營造施工	施工機具耗能
建築使用	空調設備耗能
	照明設備耗能
	生活熱水設備耗能
	室內電器設備耗能
	給排水污水設備耗能
維護更新	升降設備耗能
	建材生產運輸耗能
拆除廢棄	施工機具耗能
	營建廢棄物運輸耗能

(資料來源：本研究整理)



**圖 2-1 碳足跡評估流程圖與盤查邊界界定**

(資料來源：本研究繪製)

## 第四章 建築資材碳排統計

### 第一節 資材碳排統計法概說

資材碳排並非意味資材本身會釋放 CO<sub>2</sub> 氣體，而是因為資材的加工過程消耗著電力或煤、石油、天然氣等化石燃料，因而釋放出大量的 CO<sub>2</sub>。基本上資材生產之碳排與當地的能源結構與工業能源效率有很密切的關係。例如，挪威 99% 的電力完全仰賴乾淨水力發電，其每噸單位油當量能源的碳排量（1.36t）只有台灣的 52.7%；在火力發電比例小且發電效率高的日本，每度電能的碳排約為台灣的 73%。又如，電線電纜中銅之冶煉能源效率，在中國冶煉每噸粗銅需要 1.28t 的標準煤，幾乎是國際水準（0.643t）的兩倍。因此資材碳排資料有很特殊的當地產業特性，絕不能援用他國數據來取代，這也是建築足跡評估必須立足於本土化研究的原因。

為進行資材的碳排量統計，讓我們先來瞭解一下日本 AIJ-LCA 對資材碳排量的統計法。日本的碳排量統計方法約有下列三種：

#### （1）產業關連表統計法：

「產業關連表」就是政府定期對各種產業間的產值、需求量、交易量、粗附加價值等，所進行的金額相關統計資料。所謂資材碳排的產業關連表統計法，就是利用產業關連表之關係，以建築產業的需求量與資材消耗量，求出對其他資材產業與能源產業的產值、產量之直接、間接波及效果，並因此求出碳排量之方法。由於此方法單純以金額來計量碳排量情形，因此很容易以建築物的施工金額來換算碳排量，是一種十分簡便的碳排量評估法（日本建築學會，1992，空氣調和衛生工學會，1995，或岡建雄，1993）。然而，由於這種方法所求出的數據通常為該產業資材的平均碳排量，但無法區別個別資材的碳排量，因而難以進行精密之碳足跡評估。例如，只有水泥的碳排資料無法區別白水泥、波特蘭水泥、高爐水泥之差異；鋼鐵的碳排資料無法區別鋼筋、型鋼、不銹鋼之差異；玻璃的碳排資料無法辨普通玻璃、反射玻璃、Low-E 玻璃之差別。另一方面，由於此方法以金額來換算，因此無法區別能源結構，亦無法顧及成品或半成品資材在國外加工能源之情形，而使碳排數據有很大誤差。同時，此方法還包括人事設備利潤等間接影響的產業關連統計，使其碳排數據隱藏太多與能源無關的因素，因而使其信賴度大為降低。

#### （2）限定間接需要算法：

有鑑於上述產業關連表包含太多間接波及影響，使其碳排量統計數據有嚴重偏大的趨勢，遂有去除其間接關連因素而統計的方法。此法的碳排量數據當然比上法更值得信賴，但是它依然只是該資材產業的平均碳排量，而無法區別個別資材種類的碳排量。

### (3) 生產線直接耗能統計法：

此方法直接由資材製造廠商的產量與耗能結構算出碳排量(酒井,1992)，亦即相當於資材生產線的直接耗能統計。雖然不同資材廠商的耗能效率不盡相同，但以目前產業競爭與節能效率提升下，最終產品耗能效率與碳排量之差異已日漸縮小，因此本方法可說是一種最直接可靠的碳排統計法。然而，由於各種資材廠商之配合意願不高、生產線耗能結構的統計不易、統計量龐大之因素，使本統計之難度增高。

如上所述，由於統計理論之差異甚大，因而不同方法對於相同資材的碳排量統計值之間常包含甚大的誤差(表 4-1)，且其差異參差不齊，有時差異甚至高達數倍(酒井,1993)。為求碳足跡評估之信賴度，碳排資料庫應盡量以相同統計法來產生較好。

表4-1 不同統計法之日本資材生產碳排量比較表 (單位: kg-CO<sub>2</sub>/kg)

研究代表者	產業關連法 <sup>*1</sup>		限定間接 需要算入 法	生產線直接耗能統計法		相關文獻調查
	外岡	吉岡ら	酒井ら <sup>*2</sup>	酒井ら <sup>*3</sup>	外岡 <sup>*4</sup>	
砂	砂礫採石	0.00642	0.00568	0.00103		0.00103
石	碎石	0.00781	0.00693	0.00117		0.00117
纖維 製品	棉			0.198		
	絲			0.334		
	毛			0.620		
	其他			0.341		
木材	製材	0.216	0.136	0.029		0.029
	合板	0.598	0.433	0.179		0.179
紙	紙板	1.507	1.331	0.675		
	和室紙	2.955	2.585	0.796		
塗料		1.932	1.481	0.656		0.653
合成樹脂品		2.101	1.690	0.645		2.787
玻璃	平板玻璃	1.980	1.782	1.519	1.291	2.435
	玻璃纖維	3.703	3.333	2.124	1.584	
	其他	0.183	0.169	2.817		
水泥		0.818		0.825	水泥 0.799 高爐水泥 0.506	0.785
陶 瓷 器	陶瓷器	0.781	0.689	0.418		陶瓷器 1.467
	耐火陶瓷	1.052	0.920	0.616		衛生陶瓷器 0.953
	其他		0.000	0.103		
鐵 (鋼胚)		1.287	1.111	1.888	型鋼 0.990, 棒鋼 0.693, 鋼板 1.599 大型型鋼 1.089 小型型鋼 0.634	鋼胚 1.232 電弧爐鋼 0.517 高爐鋼 1.907 型鋼 0.990 軟鋼 2.130 鋼筋 0.693 鋼板 1.599
銅		2.424	1.573	1.028		
鋁		4.726	3.711	2.259	6.472	6.446
其 他	鉛	3.227	2.673	1.925		
	鋅	2.757	2.380	1.841		3.117 (高爐)
	其他			6.131		
隔 熱 材	玻纖棉				3.659	
	發泡樹脂					3.579

資料來源：取自空氣調和衛生工學會，1995，p.56，經本文換算成碳排量

註：\*1：安岡，1993，p.109，\*2：酒井，1992，\*3：酒井，1993，\*4：外岡豐，1994，

\*5：日本建築研究所，1992

(資料來源：本研究整理)

## 第二節 台灣建築資料碳排庫

任何建築的碳排評估系統必須建立於本土的資材碳排資料庫之上。我國的資材碳排資料庫，乃由筆者研究室自 1994 年以來歷經十數年依據「生產線直接耗能統計法」換算而得。為了溯及原料開採耗能，2013 年筆者研究室擷取瑞士 Simapro 原料開採之碳排資料與既有碳排資料合成最新碳排資料庫，其局部內容如表 4-2 所示。

本資料庫中之生產階段碳排數據大部分為本研究室訪查國內各類資材生產商，實際統計其產量與能源結構而求得，但是其中也有少部份資料係參考經濟部能源委員會所做之「能源查核制度管理輔導計畫」(經濟部能委會，1997)所建立的資材生產耗能量換算而得。此表在將資材所消耗之化石能源換算為碳排時，依表 4-3 之碳排係數求出其最終數據。將電能換算為碳排時，由於其換算值會隨著國內發電結構的改變而有所變動，該表乃依據 2012 年臺灣發電結構換算每度最終消費電量之平均碳排 0.532kg/度來計算。

表4-2 臺灣資材碳排資料表 (2013年版)

材料名稱		單位	碳排(kgCO <sub>2</sub> )				
			原料開採	原料運輸	產品生產	成品運輸	總碳排量
鋼鐵類	鋼胚(高爐)	T	92.36	453.32	2050.00	55.16	2650.83
	鋼胚(電弧爐)	T	146.67	81.15	426.00	55.16	708.98
	鋼筋及鐵件	T	135.80	155.58	813.58	83.31	1188.28
	型鋼	T	135.80	155.58	830.75	64.10	1186.24
	不鏽鋼捲、不鏽鋼	T	1192.78	183.21	1206.21	46.87	2629.06
	冷軋輕型鋼	T	135.80	155.58	791.25	46.87	1129.51
	熱軋鋼捲	T	135.80	155.58	661.17	38.35	990.91
	冷軋鋼捲	T	135.80	155.58	676.04	46.87	1014.29
	不鏽鋼管	kg	1.193	0.183	1.24	0.13	2.75
	鍍鋅鋼管	kg	0.136	0.156	0.81	0.13	1.23
冷軋鋼管	kg	0.136	0.156	0.71	0.13	1.13	
砂石類	砂礫	m <sup>3</sup>	3.05	56.20			59.24
	採石(原石)	m <sup>3</sup>	3.83	111.20			115.03
	石材加工品(6分板)	m <sup>2</sup>	0.082	2.37	1.74	5.11	9.30
	岩棉板(1.5cm)	m <sup>2</sup>	0.015	0.93	0.828	0.182	1.96
土質	磁磚(1cm)	m <sup>2</sup>	7.70		7.16	1.14	15.99
	高壓混凝土地磚(6cm)	m <sup>2</sup>	37.43		5.65	0.40	43.48
	衛生陶瓷器	kg	0.05	0.03	0.80	0.06	0.93
	紅磚(20*9.5*5cm)	塊	0.01	0	0.41	0.16	0.58
	文化瓦	m <sup>2</sup>	0.114	0.00	6.46	2.56	9.13
水泥類	一般水泥(卜特蘭)	T	2.47	4.17	855.00	99.75	961.384

	白水泥	T	2.47	4.17	941.81	99.75	1048.20
	高爐水泥(爐石粉 30%)	T	1.73	17.92	617.56	99.75	736.96
	高爐水泥(爐石粉 45%)	T	1.36	14.20	498.84	99.75	614.15
	1:1 水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	0.100	0.27	19.02	0.51	19.90
	1:2 水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	0.095	0.29	12.37	0.51	13.27
	1:3 水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	0.089	0.29	8.57	0.51	9.46
	預拌混凝土(2000psi)	m <sup>3</sup>	5.13	19.24	214.84	22.85	262.04
	預拌混凝土(3000psi)	m <sup>3</sup>	4.89	17.95	300.34	22.85	346.01
	預拌混凝土(4000psi)	m <sup>3</sup>	4.80	21.62	343.09	22.85	392.35
	預拌混凝土(5000psi)	m <sup>3</sup>	4.83	21.48	407.21	22.85	456.36
	預拌混凝土(6000psi)	m <sup>3</sup>	4.71	21.65	471.34	22.85	520.54
	預拌高爐混凝土(3000psi)	m <sup>3</sup>	4.50	21.48	175.68	22.85	224.50
	預拌高爐混凝土(4000psi)	m <sup>3</sup>	4.35	21.46	200.62	22.85	249.28
	預拌高爐混凝土(5000psi)	m <sup>3</sup>	4.30	22.08	238.03	22.85	287.27
	預拌高爐混凝土(6000psi)	m <sup>3</sup>	4.10	22.11	275.45	22.85	324.50
	水泥板(9mm)	m <sup>2</sup>	0.04	0.16	2.70	2.13	5.04
	石膏	kg	0.002	0.027	0.18	0.10	0.32
	石膏磚(66.5*80*6cm)	塊	0.06	0.80	1.84	3.09	5.79
	石膏板(9mm)	m <sup>2</sup>	0.01	0.18	1.75	0.68	2.61
	石膏板(12mm)	m <sup>2</sup>	0.02	0.23	2.33	0.90	3.49
	石膏板(15mm)	m <sup>2</sup>	0.02	0.28	2.79	1.08	4.18
	矽酸鈣	kg	0.002	0.03	0.21	0.03	0.27
	矽酸鈣板(6mm)	m <sup>2</sup>	0.01	0.16	1.28	0.18	1.33
	矽酸鈣板(9mm)	m <sup>2</sup>	0.01	0.23	1.81	0.26	1.99
	矽酸鈣板(12mm)	m <sup>2</sup>	0.02	0.30	2.39	0.34	2.65
木材類	原木	m <sup>3</sup>	-916.67	39.59	102.67	10.97	-763.45
	合板	m <sup>3</sup>	-618.8	43.55	440	16.8	-118.40
	合板(6分板)	m <sup>2</sup>	-11.14	0.784	8.10	0.302	-1.96
	塑合板	m <sup>3</sup>	-624.0	51.46	733.33	19.85	180.65
	製材	m <sup>3</sup>	-916.67	39.59	112.43	10.97	-753.68
	木模板(1.5cm)	m <sup>2</sup>		2.83	0.27	0.78	3.89
	木地板(2cm)	m <sup>2</sup>	-79.2	3.42	23.94	2.46	-49.36
	壁紙	m <sup>2</sup>		0.006	0.26	0.003	0.27
玻璃類	普通玻璃	kg	0.112	0.024	0.70	0.04	0.87
	強化玻璃	kg	0.112	0.024	0.96	0.04	1.13
	反射玻璃	kg	0.222	0.024	0.89	0.04	1.17
	膠合安全玻璃	kg	0.112	0.024	0.84	0.04	1.02
	雙層玻璃	kg	0.224	0.024	0.72	0.04	1.01
	Low-E 玻璃	kg	0.222	0.024	1.08	0.04	1.36
	玻璃纖維	kg	0.112	0.024	2.41	0.04	2.59
化學、塑膠類	PVC 原料	kg					2.21
	塑鋼原料	kg					1.72
	聚酯纖維(PET)	kg					2.35
	環氧樹脂(Epoxy)	kg					3.02
	ABS 樹脂	kg					3.26
	PC 耐力板	Kg	3.27	0	2.29	0.07	5.62
	PVC 塑膠管、PVC 板	Kg		2.21	0.15	0.07	2.43
	PVC 管接頭、凡而(閥)	Kg		2.21	0.69	0.07	2.98
	水泥漆	Kg	3.13	1.23	0.75	0.05	5.16
	油漆	kg	5.55	0.05	1.27	0.18	7.05
瀝青	瀝青混凝土	T	35.90	13.37	30.04	23.78	103.09

鋁金屬	進口鋁錠(全新)	T	-	330.23	12200.0	119.87	12650.10
	進口鋁錠(80%回收)	T	-	187.48	3746.4	119.87	4053.76
	鋁擠型加工	T			287.50		
	門窗型鋁加工	T			78.74		
	建築用鋁擠型料	kg	-	0.19	4.03	0.12	4.34
	門窗鋁料	kg	-	0.19	4.11	0.12	4.42
銅金屬	銅線(80%回收)	kg		0.789		0.05	0.84
	銅製品(80%回收)	kg	1.79	0.186	1.83	0.05	3.85
電纜線	PVC 電纜(14mm <sup>2</sup> )	M	0.579	0.035	0.084	0.009	0.707
	耐火電纜(50mm <sup>2</sup> )	M	1.950	0.124	0.283	0.029	2.385

(資料來源：本研究整理)

表4-3 碳排計算所依據之化石能源碳排係數

	燃料別	單位	碳排放係數	碳氧化率	我國熱值	單位轉換	CO <sub>2</sub> 排放係數
			(T-C/TJ)		(Kcal/單位)		(KgCO <sub>2</sub> /單位)
固體	自產煤	Kg	25.8	0.99	5890	1.53E-05	2.309
	進口煉焦煤(鋼鐵業)	Kg	25.8	0.99	7010	1.53E-05	2.748
	進口燃料煤(發電業)	Kg	25.8	0.99	5700	1.53E-05	2.235
	無煙煤	Kg	26.8	0.99	7100	1.53E-05	2.891
	亞煙煤	Kg	26.2	0.99	4900	1.53E-05	1.951
	褐煤	Kg	27.6	0.99	2844	1.53E-05	1.193
	泥煤	Kg	28.9	0.99	2333	1.53E-05	1.025
	焦炭	Kg	29.2	0.99	7000	1.53E-05	3.106
	煤球	Kg	26.6	0.99	3800	1.53E-05	1.536
	焦爐氣	M <sup>3</sup>	12.1	0.99	4200	1.53E-05	0.772
	高爐氣	M <sup>3</sup>	70.8	0.99	777	1.53E-05	0.836
轉爐氣	M <sup>3</sup>	49.6	0.99	1869	1.53E-05	1.409	
液體	原油	L	20	0.99	9000	1.53E-05	2.735
	添加劑/含氧化合物	L	20	0.99	9000	1.53E-05	2.735
	煉油氣	M <sup>3</sup>	15.7	0.99	9000	1.53E-05	2.147
	液化石油氣(LPG)	L	17.2	0.99	6635	1.53E-05	1.734
	天然汽油	L	17.2	0.99	6700	1.53E-05	1.751
	石油腦	L	20	0.99	7800	1.53E-05	2.370
	車用汽油	L	18.9	0.99	7800	1.53E-05	2.240
	航空汽油	L	19.1	0.99	7500	1.53E-05	2.177
	航空燃油	L	19.5	0.99	8000	1.53E-05	2.370
	煤油	L	19.6	0.99	8500	1.53E-05	2.532
	柴油	L	20.2	0.99	8400	1.53E-05	2.578
	蒸餘油(燃料油)	L	21.1	0.99	9600	1.53E-05	3.078
	白精油	L	20	0.99	9000	1.53E-05	2.735
	潤滑油	L	20	0.99	9600	1.53E-05	2.917
	柏油	L	22	0.99	10000	1.53E-05	3.343
	溶劑油	L	20	0.99	8300	1.53E-05	2.522
	石蠟	L	20	0.99	9000	1.53E-05	2.735
	石油焦	Kg	26.6	0.99	8200	1.53E-05	3.314
其他油品	L	20	0.99	9000	1.53E-05	2.735	
氣體	(自產)天然氣	M <sup>3</sup>	15.3	0.995	8000	1.53E-05	1.869

	(進口)液化天然氣	M <sup>3</sup>	15.3	0.99	9000	1.53E-05	2.092
廢棄物	一般廢棄物	Kg	25	0.99	2098	1.53E-05	0.797
*1 熱值轉換單位 1cal=4.186J；1TJ=10 <sup>12</sup> J							
*2 熱值參考經濟部能源局《台灣能源平衡表》2011 版本							
*3 碳排計算與相關參數係依照 IPCC(2006)準則							

### (資料來源：本研究整理)

表 4-2 有兩種運輸階段碳排統計值，一是由原料產地到台灣的「原料運輸碳排」，二是資材成品運至建築工地的「成品運輸碳排」。兩者大部份以臺灣「汽車貨運調查報告」(交通部統計處，2010)中所統計貨運各類商品之平均運輸距離加上本研究推估單位重量貨運運輸之燃油效率與所需車輛燃料產生的碳排放值來統計(如表 4-3 所示)。

為了明示本章碳排資料之盤查方法，以下列舉表 4-2 的重要資料來說明。鋼鐵為建築產業最重要的資材，鋼胚為所有鋼鐵製品的上游原料，其碳排數據舉足輕重，在此先來一窺鋼鐵碳排資料之究竟。鋼鐵的冶煉法主要可分為兩種，即高爐煉鋼與電弧爐煉鋼，此兩者之產業關聯圖與生產流程圖如圖 4-1~4-2 所示。高爐煉鋼以及電弧爐煉鋼兩者之間的差異在於高爐煉鋼主要原料由鐵礦冶煉，而電弧爐原料為廢鋼再熔煉，兩者在能源使用上有很大差異。目前行政院環保署針對鋼鐵業有公告高爐鋼胚以及電弧爐鋼胚在生產階段設定的碳排係數為 2.05kgCO<sub>2e</sub>/kg、0.426kgCO<sub>2e</sub>/kg(行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案,民 99)，此為政府公告之一級資料，本書當然以此為準。然而依據 PAS2050 之規範，此資料缺乏原物料開採、運輸階段之碳排資料，在此必須予以補足。以下針對高爐鋼胚與電弧爐鋼胚之碳排統計分別說明。

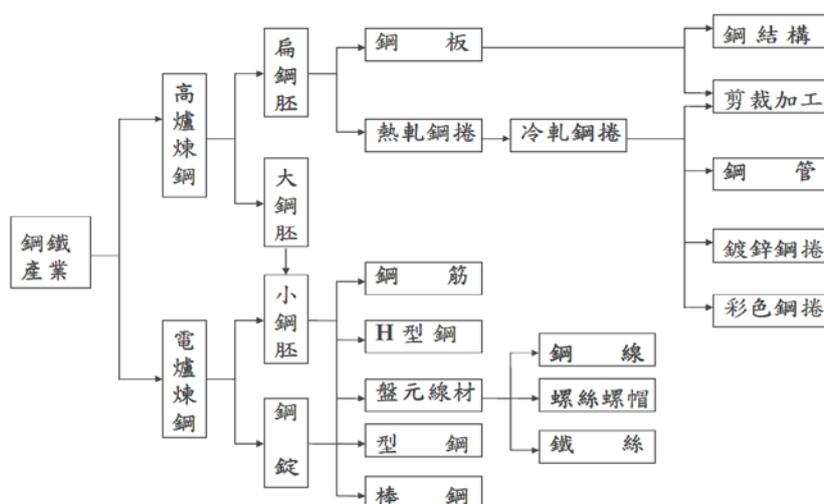
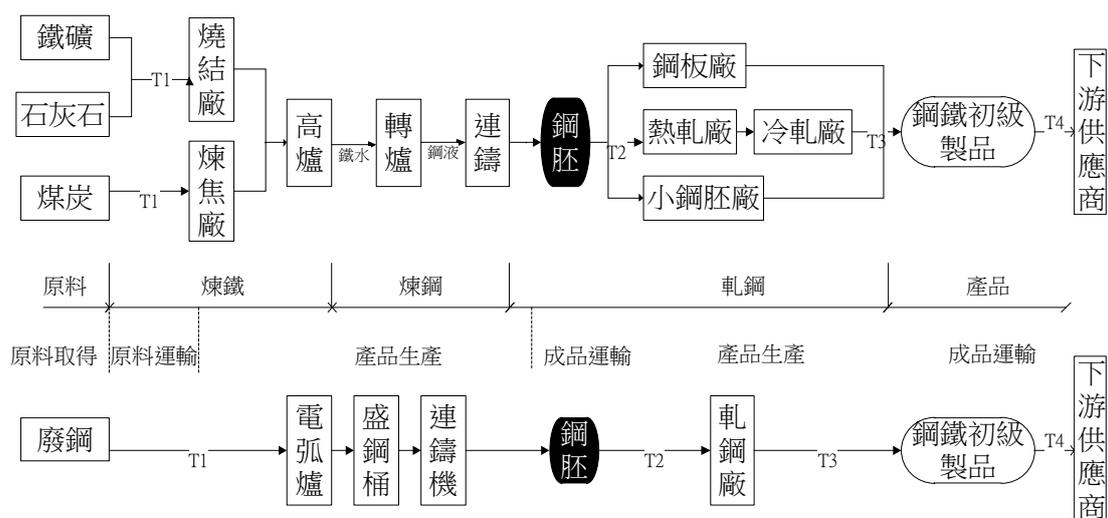


圖 4-1 鋼鐵基本工業產業關聯圖

(資料來源：財訊萬用手冊，2007)



**圖 4-2 高爐煉鋼與電弧爐煉鋼生產流程圖**

(資料來源：本研究繪製)

由於高爐鋼胚之原料全部來自國外，其碳排資料非藉助國外資料不可，在此藉助國際間最常用的 SimaPro 資料庫中查詢原物料開採的碳排資料。首先查得鋼胚“Steel, billets, at plant/US”排碳量為 2.04 kgCO<sub>2e</sub>/kg，SimaPro 資料庫說明此項數據包括提取石灰石、石灰生產、勘探之碳排，以及開採及加工鐵礦石和煤炭、運輸燒石灰，白雲石，鐵礦石和煤的船舶、鐵路和卡車運輸之碳排，其生產流程包含燒結廠、焦化廠的爐灶、鍋爐、高爐、轉爐和鑄造生產線之碳排，這些數據皆取自美國和加拿大。作為補足台灣鋼胚碳排資料，在此僅需取其原料開採的部分資料即可。參閱其細目得知每公斤鋼胚主要的原料用量為 0.6697kg 煤礦、1.23kg 生鐵及 0.191kg 石灰石，再依各原料查詢其開採的排碳係數，查得煤礦“Coal, at mine”碳排為 0.096 kgCO<sub>2e</sub>/kg，生鐵礦“Iron ore, at mine & at beneficiation”碳排為 0.028 kgCO<sub>2e</sub>/kg，石灰石“limestone, at mine”碳排為 0.00191 kgCO<sub>2e</sub>/kg。由各原料的使用量與各自的碳排放係數相乘後加總，便可求出高爐鋼胚在開採階段的總碳排放量為 0.092kgCO<sub>2e</sub>/kg (或 92.36 kgCO<sub>2e</sub>/T)。

高爐鋼胚原料自國外運至國內之運輸階段，則依據煤礦、生鐵、石灰石此三種主要原料找出其發源地，並計算由發源地（開採地區）運送至製造廠的距離。本研究將分段式計算某定點到某定點的距離，最後再一併加總。以生鐵礦原料為例，由於台灣的生鐵礦多數由國外進口，特別是澳洲與巴西，分別佔 68% 及 32%。第一步需先確認該國主要產礦的位置，澳洲的鐵礦主要坐落在 Paraburdoo mine，再應用 Google Map 找出距離該區最近的港口，係位於西澳的 Dampier Port，兩

者距離 544 公里（陸運），另需再加上由 Dampier Port 海運至台灣高雄港口的距離，從網站 <http://www.searates.com/reference/portdistance/> 得知為 2736.14 海哩（海運），最後再次應用 Google Map 計算由高雄港口陸運至高雄中國鋼鐵公司的運距為 2.8 公里。此三階段距離確認後，分別乘以 SimaPro 陸運的排放係數  $0.137 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{T}$ ，以及海運的排放係數  $0.00889 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{T}$ ，加總使得澳洲區原料運輸的碳排量為  $0.1 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ 。巴西的生鐵礦主要位於 Para, Carajás Mine，距離其最近的港口 Port Itaquí 為 3617 公里，另需再計由 Port Itaquí 至台灣高雄港口的海運距離 11160.14 海哩，最後再計算由高雄港口至高雄中國鋼鐵公司的運距為 2.8Km。巴西的距離資料皆確認後，運算方式比照澳洲的算式辦理，經加總使得巴西區原料運輸的碳排量為  $0.268 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ 。煤礦、石灰石之運輸階段的排碳量皆可比照生鐵礦的方式計算，最終得高爐鋼胚在原料運輸總排碳量為  $453.32 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{T}$ 。

中國鋼鐵公司生產完成的鋼胚，還需運至國內鋼鐵加工廠以製成建築用鋼材，這時還會產生國內運輸之碳排。此國內運輸階段之碳排數據係參考交通部統計處（2011）針對各商品別的總延噸公里除以總貨運量得出其平均運距，如鋼胚之總延噸公里為 288,576,158T-Km，總貨運量為 3,371,891T，兩者相除得知平均運距為 85.58Km/T。在此假設運輸貨車的燃油效率為 4Km/L 柴油（貨運車輛以柴油燃料為主），再換算為單位運重的柴油使用量約 21.4L/T，以使用每公斤柴油的碳排值  $2.578 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{L}$  計入，換算為最終值  $55.16 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{T}$ 。

綜合上述，最終高爐鋼胚自原料開採、原料運輸、生產階段、國內運輸之碳排資料如表 4-2 所示，此四階段之總排碳量為  $2650.83 \text{ kgCO}_2\text{e}/\text{T}$ 。

另一方面，電弧爐鋼胚之碳排算法則與上述迥然不同。電弧爐原料為 100% 的廢鐵。我國電弧爐煉鋼業者所需廢鋼，約有 70% 係內購，但其中包括拆船廢鋼，其餘 30% 直接進口，主要購自美國。美國是目前最大的廢鋼出口國，截至 2012 年為止已運輸超過 20 百萬公噸的廢鋼到九十個國家以上，台灣乃其中之一。由美國廢料工業協會（Institute of Scrap Recycling Industries, ISRI）2011 年的廢鋼出口比例資料顯示美國出口到台灣的廢鋼約佔整體的 25.6%。（如圖 4-3）

MAIN FLOWS OF US STEEL SCRAP EXPORT 2011 (MILLION TONNES)



**圖 4-3 各主要進口美國廢鋼之國家百分比**

(資料來源：ISRI 鋼鐵回收業，2011)

由於廢鋼國內外來源比重不穩定，其原料取得之碳排難以掌握，因此本研究決定採用 SimaPro 係數  $0.147 \text{ kgCO}_2\text{/kg}$  (引自 IPCC, 2006 公告數據) 作為原料取得的碳排係數。在廢鋼原物料進煉鋼廠之前的運輸碳排，七成重量來自國內運輸，其碳排量  $0.017 \text{ kgCO}_2\text{/kg}$  以交通部平均運距為  $178.75 \text{ km}$  來求得；另外三成經由 Washington 陸運  $73.20 \text{ km}$  至 Baltimore 港再運至高雄港 (海運碳排係數  $0.00889 \text{ kgCO}_2\text{/tkm}$ )，再以交通部平均運距為  $178.75 \text{ km}$  假設為運至高雄煉鋼廠之距離，總運輸碳排為  $0.081 \text{ kgCO}_2\text{/kg}$  如表 4-4 所示。綜合上述，最終電弧爐鋼胚自原料開採、原料運輸、生產階段、國內運輸之碳排資料如表 4-2 所示，此四階段之總排碳量為  $708.98 \text{ kgCO}_2\text{/T}$ 。

表4-4 電弧爐鋼胚運輸碳排計算表

原料	原料佔比	運距(km)	運輸係數 kgCO <sub>2</sub> e/tkm	碳排量	順序	FROM	TO				
	70%	×	178.75	×	0.137	=	0.017	1	交通部，2011：其他金屬		
回收廢 鋼	30%	×	73.20	×	0.137	=		1	ISRI, Washington	Baltimore terminal	
		×	20117.65	×	0.00889	=		0.064	2	Baltimore terminal	高雄 port
		×	178.75	×	0.137	=			3	高雄 port	高雄煉鋼廠
原料運輸總碳排 =				0.081	(kgCO <sub>2</sub> e/kg)						

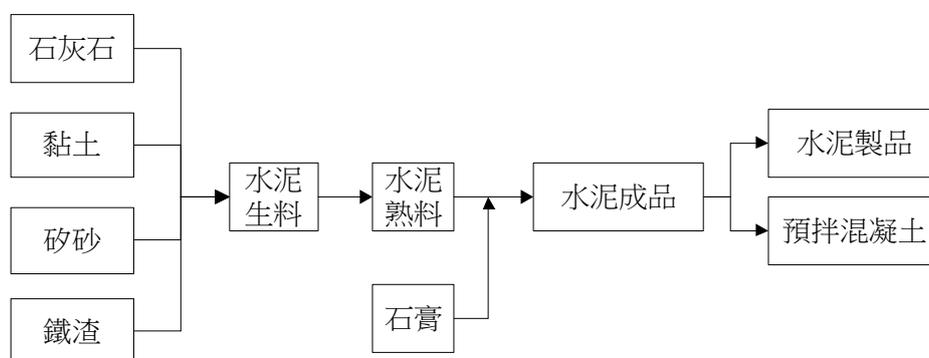
(資料來源：本研究整理)

由上可知，高爐鋼胚與電弧爐鋼胚之碳排數據相差高達 3.7 倍，但一般業界使用的鋼材根本無法分辨來自何種鋼胚，假如無法統一鋼胚碳排之標準值，會使建築碳足跡評估實務產生障礙。有鑑於此，本研究根據台灣市面鋼鐵回收率達八九成之經驗，設定所有鋼材均以兩成高爐鋼胚與八成電弧爐鋼胚為其鋼材加工之標準，其鋼材計入八成採回收廢鋼的減碳效益以作為碳足跡數據之標準。例如以高爐煉鋼的鋼筋生產階段碳排為 2112.78 kgCO<sub>2</sub>e/T，但表 4-2 所示的鋼筋生產階段之碳排標準，為扣除 80%之高爐鋼胚與電弧爐鋼胚生產階段碳排差異（0.8×（2050-426）），成為 813.58 kgCO<sub>2</sub>e/T。其他型鋼、不銹鋼、捲鋼等碳排資料均依此算出，如表 4-2 所示。

再以水泥之碳排盤查為例，根據卜特蘭水泥中華民國國家標準的定義可知水泥產品的分類，卜特蘭水泥主要係從石灰石開採，經窯燒製成熟料，再加入石膏研磨成水泥，共可製造成八種不同的種類。本研究僅針對討論一般使用的第一型，其佔台灣地區水泥銷售市場九成以上，為國內各水泥公司的主要產品。水泥製程步驟如下（見圖 4-4）：

1. 生料為將石灰、黏土砂砂、鐵渣等原料，以適當比例配料，在研磨機內加以粉碎，再經均勻拌合後存於生料庫中。
2. 熟料為生在懸浮預熱式窯或新懸浮預熱式窯，先經懸浮預熱塔，而後再經旋窯以 1450~1500°C 的高溫燒至半熔融，在倒入冷卻機中予以冷卻即成為熟料。
3. 水泥製品為在熟料內添加約 2% 的石膏後即為水泥製品。將熟料及石膏投入水泥磨，至標準細度，即可成為水泥製品。只要在研磨過程中，加入不同之添加劑，就可產出各類不同的水泥。

4. 水泥製成後送入水泥儲存庫儲存，然後以袋裝、散裝等供應市場。袋裝多以水泥包裝機將水泥注入有三層或五層之牛皮紙袋；散裝者則直接將水泥裝入卡車或鐵路平板車之圓倉內。



**圖 4-4 卜特蘭水泥流程圖計算邊界**

(資料來源：本研究繪製)

水泥產業是一種高耗能的產業，其所耗用的燃料主要是煤炭、電力和重油，依據經濟部能源局的調查報告，水泥業消耗各項能源的比率是燃煤 75%、電力 23% 及燃油 1.5 % 以上。由於水泥碳排變動的主要因子為熟料的生產（包括原料開采和制備）係，此製程屬原料取得階段，因此採用由行政院環保署公告的水泥業在波特蘭水泥生產階段之碳排係數為  $0.855\text{kgCO}_2/\text{kg}$ （行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案,民 99）。

至於水泥之原料開採與運輸碳排資料統計必須由其原料構成來分析。在此參考台灣最具代表性的 T 水泥企業集團的網站可得知各個水泥種類並確認最主要的原料成分包含石灰石、黏土、矽砂、鐵渣及石膏，並參考林秀貞之論文(2007)，確認各成分的佔比得知一般水泥係由 84.34% 石灰石、9.04% 黏土、3.31% 矽砂、1.20% 鐵渣以及 2.11% 石膏所組成。這些原材料開採的碳排係數可取自 SimaPro 資料庫，再由上述原料成分重量比乘上各自的碳排放係數後加總便可求出卜特蘭水泥在原料取得階段之總碳排放量為  $0.0025\text{kgCO}_2\text{e}/\text{kg}$ （如表 4-5）。

接著進入水泥原材料的運輸碳排分析。由於石灰石為水泥佔比最大的原料（占原料成本約 75~85%），於東部礦藏豐富目前已於西部禁採。各大型水泥製造廠皆會設廠於石灰石開採臨近處，如花蓮台泥廠。為避免計算多餘的運距，故一律假設石灰石到水泥廠距離為 0 公里。由於粘土、矽砂、石膏等礦物分佈在台灣各地，故引用交通部『窯業用土石』分類的平均運距 195.47 公里代表之。由於台灣有眾多水泥製造廠，無法定義鐵渣來源至特定的製造廠，亦引用交通部『其

他金屬』分類的平均運距 178.75 公里代表之。由上述數據可算出卜特蘭水泥原料運輸之碳排係數為 **0.0042 (kgCO<sub>2e</sub>/kg)**，如表 4-6 所示。

**表4-5 卜特蘭水泥在原料取得階段碳排量統計**

原料	原料佔比		SimaPro 係數	開採碳排量	SimaPro 名稱
石灰石	84.34%	×	0.00191	= 0.0016	IPCC, 2006 Vol.3
黏土	9.04%	×	0.00292	= 0.0003	Clay, at mine
矽砂	3.31%	×	0.002	= 0.0001	本研究『砂礫』
鐵渣	1.20%	×	0.0419	= 0.0005	Iron scrap, at plant/RER U
石膏	2.11%	×	0.00203	= 0.00004	gypsum, mineral, at mine
原料取得碳排				=	<b>0.0025 (kgCO<sub>2e</sub>/kg)</b>

(資料來源：本研究整理)

**表4-6 卜特蘭水泥原料運輸碳排計算**

原料	原料佔比		運輸係數		碳排量	順序	FROM	TO
			陸運(km)	kgCO <sub>2e</sub> /tkm				
石灰石	84.34%	×	0	×	0.137 = 0	1	交通部，2011：窯業用土石	
黏土	9.04%	×	195.47	×	0.137 = 0.002	1	交通部，2011：窯業用土石	
矽砂	3.31%	×	195.47	×	0.137 = 0.001	1	交通部，2011：窯業用土石	
鐵渣	1.20%	×	178.75	×	0.137 = 0.0003	1	交通部，2011：其他金屬	
石膏	2.11%	×	195.47	×	0.137 = 0.001	1	交通部，2011：窯業用土石	
原料運輸總碳排 = 0.0042(kgCO <sub>2e</sub> /kg)								

(資料來源：本研究整理)

水泥的運輸碳排還必須計入成品運至建築工地的成品運輸碳排。成品運輸階段之碳排數據係參考交通部統計處(2011)針對各商品別的總延噸公里除以總貨運量得出其平均運距，如一般水泥平均運距為 154.77Km/T，根據貨運車輛以柴油的燃油效率為 4Km/L，可換算為單位運重的柴油使用量約 38.69L/T，以柴油的碳排係數 2.578kgCO<sub>2e</sub>/L 計，可換算出最終值 99.75kgCO<sub>2e</sub>/T。

綜合上述，最終卜特蘭水泥自原料開採、原料運輸、生產階段、國內運輸之碳排資料如表 4-2 所示，此四階段之總排碳量為 961.38kgCO<sub>2e</sub>/T。



## 第五章 初步研究發現

本建築碳足跡評估法依據筆者研究室二十年來的累積研究發展而成，過去雖然已多次發表建築生命週期碳排評估系統，但本研究特別因應碳足跡國際規範水準，全面更新所有建築相關資材的碳排資料庫，同時配合建築能源證照制度之趨勢，建立動態 EUI 之建築耗能簡算評估法才能大功告成。本研究之評估架構包括(1)資材生產運輸、(2)營建施工、(3)建築使用、(4)修繕更新、(5)拆除廢棄等五個階段的碳排評估，其盤查評估之步驟與方法可概述如下：

### 第一節 資材生產運輸階段的碳排評估

所謂資材生產運輸階段的碳排就是建造整棟建築物（包括建築軀體與設備）所需之資材由原物料取得、運送至工廠、工廠生產，再運送至建築現場之過程間消耗總能源所產生之碳排，這些資材的碳排資料庫如第三章所述。這龐大的建築資材在生產運輸階段所產生之碳足跡，雖然可採用「精算法」由實際估算資料與碳排資料逐一累算而成，但本研究則提供以下的「簡算法」來預估其碳排。本研究的「簡算法」將資材生產運輸階段的碳排盤查項目分為(1)基礎與假設工程、(2)建築軀體工程、(3)建築設備工程、(4)室內裝修工程等四個項目來評估如下：

#### （一）基礎與假設工程碳排評估

建築之基礎工程，包括基地之開挖工程、基樁工程、檔土支撐工程、土回填工程等，其碳排之評估範圍，包含基樁、檔土支撐設備等資材之碳排以及基礎施工過程之挖土機、打樁機、吊車等各種機械能源消耗之碳排等。建築之假設工程，則包括了整地、安全圍籬、臨時房舍、放樣施工、施工鷹架等之資材使用，這些假設工程因為大部分都會重複利用多次，假設工程之碳排與實際之轉用次數以及建築之規模有關。依據張又升論文（2002），此兩項碳排與其建築軀體整體規模與營建施工之難易度有關，因此與建築軀體之碳排及新建工程施工之碳排有線性比例關係，其碳排量之推估公式如下：

$$CF_{fw} = 0.13 \times (\tau \times CF_b + CF_{c1}) \text{-----} (5-1)$$

$$\tau = 1.0103 + 0.00189 \cdot x_1 + 0.02037 \cdot x_2 \text{-----} (5-2)$$

其中

$\tau$ ：地下開挖樓層數之比例修正係數，無單位

$x_1$ ：建築物地面以上樓層數，無單位

$x_2$ ：建築物地面以下樓層數，無單位

0.13:比例係數，由張又升論文中基礎工程係數 0.09 與假設工程係數 0.04 之和

$CF_{fw}$ ：基礎與假設工程資材之總碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)

$CF_b$ ：建築軀體工程碳排量(kg-CO<sub>2e</sub>)

$CF_{c1}$ ：新建施工碳排量(kg-CO<sub>2e</sub>)

## (二) 建築軀體工程碳排評估

所謂建築軀體工程，包括地上以及地下之建築主結構體以及門窗與內外裝工程，但不含建築水電、設備、室內裝修與基地環境工程等方面。建築軀體工程之碳排量  $CF_b$ ，依據結構體、內外裝分項工程採用式 5-3~5-9 來推算。

$$CF_b = CF_s + CF_{ow} + CF_w + CF_{iw} + CF_f + CF_r \text{-----} (5-3)$$

$$CF_s = (C_s + C_b) \times W \text{-----} (5-4)$$

$CF_s$  為結構體的碳排，乃依上部結構  $C_s$  與下部結構  $C_b$  以下二式分別計算後再累加而成：

$$C_s = C_{s0} + s_1 \cdot x_1 + s_2 \cdot x_2 + s_3 \cdot x_3 + s_4 \cdot x_4 + \dots + s_i \cdot x_i \text{-----} (5-4.1)$$

$$C_b = C_{b0} + b_1 \cdot y_1 \text{-----} (5-4.2)$$

$$CF_{ow} = \text{外牆外裝工程單位碳排 } F_{ow}(x) \times \text{外牆面積} \text{-----} (5-5)$$

$$CF_w = \text{外窗單位碳排 } F_w(x) \times \text{外窗面積} \text{-----} (5-6)$$

$$CF_{iw} = \text{內牆構造單位碳排 } F_{iw}(x) \times \text{內牆面積 (長度} \times \text{樓高)} \text{-----} (5-7)$$

$$CF_f = \text{地板內裝工程單位碳排 } F_f(x) \times \text{室內樓版面積} \text{-----} (5-8)$$

$$CF_r = \text{屋頂外裝工程單位碳排 } F_r(x) \times \text{屋頂面積} \text{-----} (5-9)$$

其中

CF<sub>b</sub>：建築軀體工程之總碳排(kg-CO<sub>2</sub>)

CF<sub>s</sub>：柱樑樓版外牆屋頂結構工程之碳排(kg-CO<sub>2</sub>)

CF<sub>ow</sub>：外牆構造外裝工程之碳排(kg-CO<sub>2</sub>)，查表 5-2

CF<sub>w</sub>：外窗構造之碳排(kg-CO<sub>2</sub>)，查表 5-3

CF<sub>iw</sub>：內隔間牆之碳排(kg-CO<sub>2</sub>)，查表 5-4

CF<sub>f</sub>：地板內裝工程之碳排(kg-CO<sub>2</sub>)，查表 5-5

CF<sub>r</sub>：屋頂外裝工程之碳排(kg-CO<sub>2</sub>)，查表 5-6

C<sub>s</sub>：上部結構體單位面積碳排放量(kg-CO<sub>2</sub>)

C<sub>b</sub>：地下結構體單位面積碳排放量(kg-CO<sub>2</sub>)

C<sub>s0</sub>：上部結構原型之基準單位面積碳排放量(kg-CO<sub>2</sub>)

x<sub>i</sub>：上部結構影響因子。包括地上樓層數、震區、混凝土材料強度、跨距變動、樓層靜載重、平面形狀...等。

s<sub>i</sub>：各影響因子之權重係數（容後補上）。

y：地下室開挖深度（m）。

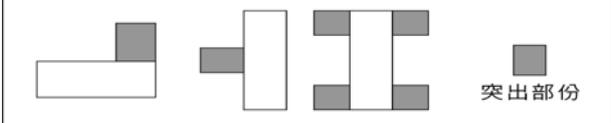
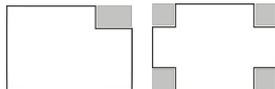
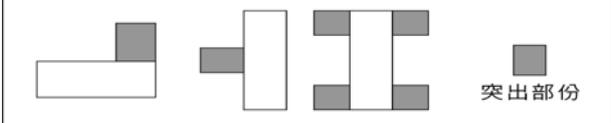
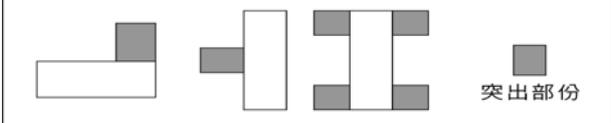
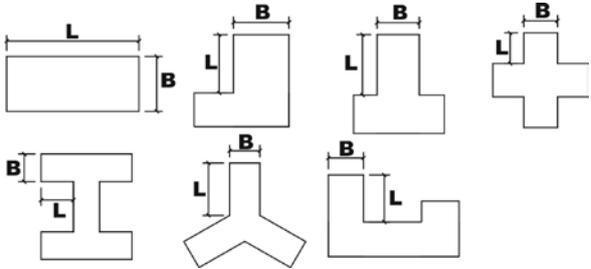
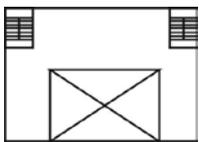
b<sub>i</sub>：地下室權重係數（容後補上）。

W：構造係數(木構造=0.7；鋼構造、輕金屬構造=0.8；RC 構造=1.0；SRC 構造=1.05；磚石構造=1.2)

CF<sub>s</sub> 為結構體的碳排，由上部結構 C<sub>s</sub> 與下部結構 C<sub>b</sub> 之碳排所構成，其中公式 5-4.1~2 的單位樓地板面積之碳排 F<sub>s</sub>，乃為今年度另案「建築物設計階段碳揭露標示法之研究（2）—建築物軀體、空調、水電工程碳排放量評估法之研究」之研究成果。眾所皆知，結構規範會要求不同地震區有不同鋼筋用量而有不同碳排量才對，但結構安全是不容打折扣的基本要求，碳排評估絕不能將地震區之差異而反應其碳排之差異，否則會導致為了低碳政策而懲罰強震區的建築結構安全，因此在此並不反應地震區之修正。由於 5-4 公式只是反應 RC 結構之碳排，另外對於鋼構、木構等結構方式之碳排評估在短期內不可能有新突破，因此本研究在公式 5-4 中暫時採用構造係數 W 對 CF<sub>s</sub> 修正計算。此係數並非來自既有研究成果，而是承襲綠建築減費指標之精神，以設定之係數來鼓勵鋼構、木構等低碳排建築設計之意也。

表 5-2~5-6 乃是內外牆、外窗、樓地板、屋頂構造之碳排資料，這些都由上述 4-2 數據與設計細部圖計算而來，設計者只要依圖選取數據計算即可。為了防止資料不實、難以查證之困擾，本研究不讓申請者採用估算材料一一累算其碳排，而以這種構造系統來簡化其碳排之評估，對低碳建築政策之推廣有莫大助益。

表5-1 形狀係數F與形狀因子fi

項目		fi		備註										
		中層建築 (6~14F)	高層建築 (≥15F)											
平面 形狀	1. 平面 規則性 a	a <sub>1</sub> : 平面規則	0.95	0.95	<table border="1"> <thead> <tr> <th>規則型</th> <th>大略規則型</th> <th>不規則型</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A. 大略呈飽滿型軸對稱 B. L、T、U、H型等平面，其突出部面積佔樓地板面積10% 以下</td> <td>A. 較不規則 B. L、T、U、H型等平面，其突出部面積佔樓地板面積30% 以下</td> <td>A. 更不規則 B. L、T、U、H型等平面，其突出部面積佔樓地板面積30% 以上</td> </tr> <tr> <td colspan="3">  </td> </tr> </tbody> </table> <p>或以平面內縮部位之面積計算，規則性判斷如同上述突出部面積之比例原則，選有利值認定之。</p> 	規則型	大略規則型	不規則型	A. 大略呈飽滿型軸對稱 B. L、T、U、H型等平面，其突出部面積佔樓地板面積10% 以下	A. 較不規則 B. L、T、U、H型等平面，其突出部面積佔樓地板面積30% 以下	A. 更不規則 B. L、T、U、H型等平面，其突出部面積佔樓地板面積30% 以上			
		規則型	大略規則型	不規則型										
		A. 大略呈飽滿型軸對稱 B. L、T、U、H型等平面，其突出部面積佔樓地板面積10% 以下	A. 較不規則 B. L、T、U、H型等平面，其突出部面積佔樓地板面積30% 以下	A. 更不規則 B. L、T、U、H型等平面，其突出部面積佔樓地板面積30% 以上										
														
	a <sub>2</sub> : 平面大略規則	1.0	1.0											
	a <sub>3</sub> : 平面不規則	1.05	1.1											
	2. 長寬 比 b	b ≤ 5	1.0	1.0	<p>b=長邊 (L) /短邊 (B)，在 L、T、十字、H、人字、U 型平面時，其長邊取 2L。</p> <p>長邊取突出部最長向計算之。</p> 									
		5 < b ≤ 8	1.03	1.05										
		8 < b	1.05	1.1										
3. 樓板 挑空率 e	e ≤ 0.1	1.0	1.0	 <p>挑空部</p> $e = \frac{\text{樓板挑空面積}}{\text{該樓層面積 (含挑空部)}}$ <p>但以 RC 牆圍起之樓梯間、電梯間不視為樓板挑空。又如體育館、集會堂、劇院等在機能上必須挑高設計之大空間，不必進行挑空評估，此時令 e=1.0 即可。</p>										
	0.1 ≤ e < 0.3	1.02	1.03											
	0.3 < e	1.04	1.08											

立面 形狀	4. 立面 退縮 g	g <sub>1</sub> : 立面無 退縮 樓層退縮 比 $\geq 0.9$	1.0	1.0	退縮建築（階梯形建築）依樓層退縮比判斷 其立面規則性，但地下室部分不納入退縮之 評估。  建築物退縮部分之長度A'或寬度B' $\text{樓層退縮比} = \frac{\text{建築物之長度A或寬度B}}{\text{建築物退縮部分之長度A'或寬度B'}}$
		g <sub>2</sub> : 立面部 分退縮 $0.9 >$ 樓層 退縮比 $\geq 0.75$	1.03	1.05	樓層退縮比 = $\frac{\text{建築物之長度A或寬度B}}{\text{建築物退縮部分之長度A'或寬度B'}}$ (A 或 B 取最不利者為其樓層退縮比)
		g <sub>3</sub> : 立面大 退縮 樓層退縮 比 $< 0.75$	1.05	1.1	
	5. 立面 出挑 h	h <sub>1</sub> : 立面小 出挑 $a \leq 1.5\text{m}$	1.0	1.0	1. 立面部分樓層出挑部 a 小於 1.5m 者視為立 面小出挑 2. 立面部分樓層出挑部 a 大於 1.5m 但小於 3m 者視為立面中出挑 3. 立面呈倒梯形建築或部分樓層出挑部 a 超 過 3m 者一律視為立面大出挑
		h <sub>2</sub> : 立面中 出挑 $1.5 <$ $a \leq 3\text{m}$	1.03	1.05	
		h <sub>3</sub> : 立面大 出挑 $a > 3\text{m}$	1.05	1.1	
	6. 層高 均等性 i	$0.7 \leq i$	1.0	1.0	$i = \frac{\text{最低樓層之樓高 } h}{\text{最較高樓層之樓高 } H}$
		$0.6 \leq i < 0.7$	1.03	1.05	
		$i < 0.6$	1.05	1.1	
	7. 高寬 比 j	$j \leq 4$	1.0	1.0	$j = \frac{\text{建築物之高度 (H)}}{\text{建築物之長度或寬度 (L or B)}}$
		$4 < j \leq 6$	1.03	1.05	L or B 取其較短者
		$6 < j$	1.05	1.1	

本表資料取自蔡益超教授之「結構耐震診斷表」及日本建設省住宅局「耐震斷補強方法」，經成大建研所選取與節約建材用量有關之項目修改而成

(資料來源：綠建築解說評估手冊，內政部建築研究所，2007)

**表5-2 RC外牆構造外裝工程之碳排標準CFow**

	材料	碳排標準	碳足跡評估標準
貼磁磚	1. 二丁掛磚 0.6~1cm 2. 純水泥漿加海菜粉 0.5cm 3. 1:3 水泥砂漿 1.5cm	1.磁磚=15.99 kg/m <sup>2</sup> 2.水泥漿=6.00 kg/m <sup>2</sup> 3.水泥砂漿=7.23 kg/m <sup>2</sup>	29.22 kg/m <sup>2</sup>
乾掛石才	1. 膨脹螺絲 2. 不鏽鋼角鐵 3. 固定螺絲 4. 插銷 5. 伸縮片 6. 填縫劑 7. 石材		
塗料	1. 油漆 2. 1:3 水泥砂漿 2cm	1.油漆=0.59 kg/m <sup>2</sup> 2.水泥砂漿=9.64 kg/m <sup>2</sup>	10.23 kg/m <sup>2</sup>

(資料來源：本研究整理)

**表5-3 外窗構造之碳排標準CFw**

	材料	碳排標準	碳足跡評估標準
鋁玻璃窗	1. 鋁擠型材 2. 玻璃 0.8cm	1.鋁擠型材=32.55 kg/m <sup>2</sup> 2.玻璃=17.4 kg/m <sup>2</sup>	49.95 kg/m <sup>2</sup>
不透光玻璃帷幕牆	1. 玻璃 0.8cm 2. 鋁板 0.16cm 3. 玻璃棉 3cm 4. 石膏板 1.2cm	1.玻璃=17.4 kg/m <sup>2</sup> 2.鋁板=18.75kg/m <sup>2</sup> 3.玻璃棉=3.92 kg/m <sup>2</sup> 4.石膏板=3.49 kg/m <sup>2</sup>	43.56kg/m <sup>2</sup>
不透光金屬帷幕牆	1. 鋁板 0.6cm 2. 瀝青防音塗料 0.3cm 3. 纖維矽酸鈣板 2.5cm	1.鋁板=70.31 kg/m <sup>2</sup> 2.瀝青防音塗料=0.73 kg/m <sup>2</sup> 3.矽酸鈣板 =5.3 kg/m <sup>2</sup>	76.34 kg/m <sup>2</sup>

(資料來源：本研究整理)

**表5-4 內隔間牆之碳排標準CFiw**

	構成	碳排標準(每 m <sup>2</sup> )	碳足跡評估標準
磚造隔間牆	1. 砌 1/2B 磚牆 12cm 2. 砌 1:3 水泥砂漿 3. 雙面粉光	1. 76 塊磚=44.08kg/m <sup>2</sup> 2. 砌磚=9.46kg/m <sup>2</sup> 3. 粉光=12.67kg/m <sup>2</sup>	66.21kg/m <sup>2</sup>
輕質混凝土隔間牆	1. 上下槽鐵 2. 纖維水泥板 0.6cm 3. C 型輕鋼柱 6.5x3.5x0.08@30(cm) 4. 輕質填充漿 6.7cm 5. 纖維水泥板 0.6cm 6. 雙面上漆	1.鐵件= 8.1 kg/m <sup>2</sup> 2.水泥板=6.72 kg/m <sup>2</sup> 3.填充漿=22.74 kg/m <sup>2</sup> 4.油漆=1.17 kg/m <sup>2</sup>	38.73kg/m <sup>2</sup>
輕隔間牆	1. 上下槽鐵 2. 石膏板 1.2cm 2 層 3. C 型輕鋼柱 6.35x3.5x0.08@60cm	1.鐵件= 6.89kg/m <sup>2</sup> 2. 石膏板= 5.22kg/m <sup>2</sup> 3. 玻璃棉=	18.17 kg/m <sup>2</sup>

	4. 隔音玻璃棉 4cm 5. 雙面上漆	4.9kg/m <sup>2</sup> 4.油漆=1.17 kg/m <sup>2</sup>	
RC 隔間牆	1. 垂直#3@10 水平 #3@15 單層筋 2. 混凝土 12cm 3. 雙面粉光	1.鋼筋=11.98kg/m <sup>2</sup> 2.混凝土=47.08 kg/m <sup>2</sup> 3.粉光=12.67kg/m <sup>2</sup>	71.73 kg/m <sup>2</sup>

(資料來源：本研究整理)

表5-5 地板內裝工程之碳排標準CFf

	構成	碳排標準	碳足跡評估標準
貼磁磚	1. 磁磚 1cm 2. 1:1/2 水泥砂漿 0.5cm 3. 1:3 水泥砂漿 2cm	1.磁磚=15.99 kg/m <sup>2</sup> 2.水泥砂漿=13.94 kg/m <sup>2</sup>	29.93 kg/m <sup>2</sup>
貼石材	1. 石板 2cm 2. 1:3 水泥砂漿 3.5cm	1.石板=9.3 kg/m <sup>2</sup> 2.水泥砂漿 =16.56kg/m <sup>2</sup>	25.86 kg/m <sup>2</sup>
貼塑膠地板	1. 塑膠地磚 0.2cm 2. 樹脂黏著劑 3. 1:3 水泥砂漿 2cm	1.塑膠地磚=5.16 kg/m <sup>2</sup> 2.樹脂=5.74 kg/m <sup>2</sup> 3.水泥砂漿 =9.46kg/m <sup>2</sup>	20.36 kg/m <sup>2</sup>
木地板	1. 木板 2cm 2. 耐水夾板 6分 3. 4.5x6 角材@60 雙向 4. 防潮 PE 布	1.木板=-48.37 kg/m <sup>2</sup> 2.耐水夾板=-14.27 kg/m <sup>2</sup> 3.角材=-6.19 kg/m <sup>2</sup> 4.PE 布=0.34 kg/m <sup>2</sup>	-68.49 kg/m <sup>2</sup>

(資料來源：本研究整理)

表5-6 屋頂外裝工程之碳排標準CFr

	構成	碳排標準	碳足跡評估標準
五腳磚防水工程	1.高壓五腳隔熱磚 2.輕質混凝土 5cm 3. 300x300x5/5 焊 接鋼線網 4.1:3 水泥砂漿 2cm	1.五腳磚=7.98 kg/m <sup>2</sup> 2.輕質混凝土=16.98 kg/m <sup>2</sup> 3.焊接鋼線網 =1.22kg/m <sup>2</sup> 4.水泥砂漿 =9.46kg/m <sup>2</sup>	35.64 kg/m <sup>2</sup>
七皮油毛氈防水 工程	1.合成瀝青 1kg/m <sup>2</sup> 2.抗拉油毛氈 3.合成瀝青 1kg/m <sup>2</sup> 4.抗拉油毛氈 5.合成瀝青 1kg/m <sup>2</sup> 6.油毛氈 7.瀝青底油 0.3kg/m <sup>2</sup>	1.瀝青=0.34kg/m <sup>2</sup> 2.油毛氈=5.84 kg/m <sup>2</sup>	6.18 kg/m <sup>2</sup>

(資料來源：本研究整理)

### (三) 建築設備工程碳排評估

建築設備工程包括空調與管線設備工程，其中管線設備工程可分為：電氣設備工程（強電與弱電工程）、給排水設備工程（給水、排水與透氣工程）、消防火警設備工程（火警感知、消防、泡沫與撒水、廣播工程）等三大類。建築設備工程之碳排由以上四類工程之碳排加總而成，其計算公式如下：

$$CFe = CFac + CFe1 + CFe2 + CFe3 + CFe4 \text{ ----- (5-10)}$$

$$CFac = AC(X) \text{ ----- (5-11)}$$

$$CFe1 = 11.914 \times AF - 33138 \text{ ----- (5-12)}$$

$$CFe2 = 0.5694 \times AF + 6831 \text{ ----- (5-13)}$$

$$CFe3 = 0.0005 AF^2 - 9.2494 AF + 82380 \text{ ----- (5-14)}$$

$$CFe4 = 5.6481 AF - 20169 \text{ ----- (5-15)}$$

其中

CFe：設備工程總碳排量 (kg)

CFac：空調工程碳排量 (kg)

CFe1：電氣設備工程碳排量 (kg)

CFe2：弱電設備工程碳排量 (kg)

CFe3：給排水設備工程碳排量 (kg)

CFe4：消防火警設備工程碳排量 (kg)

AC(X)：空調系統碳排推估公式，取自表 5-7

X：總空調冷凍容量 (RT)

AF：總樓地板面積 (m<sup>2</sup>)

其中對空調設備工程之碳排評估，乃取自今年度另案「建築物設計階段碳揭露標示法之研究 (2) — 建築物軀體、空調、水電工程碳排放量評估法之研究」之研究成果，其碳排係以總空調冷凍容量 (RT) 依表 5-7 之公式來推估。

另外建築之管線設備工程，必須分電氣、弱電、給排水、消防等四項分別推估其碳排量，其推估公式如表 5-8 所示，這些公式亦為今年度另案「建築物設計階段碳揭露標示法之研究 (2) — 建築物軀體、空調、水電工程碳排放量評估法之研究」之研究成果。

表5-7 空調系統碳排推估公式

	碳排推估公式 AC (X)	R <sup>2</sup>	統計樣本
箱形冷氣機組	Y= 42.22 X -179	0.989	9
室內送風機 (FCU) 系統	Y= 338.56 X -2136	0.8909	15
空調箱風管 (AHU) 系統	Y=307.11 X +16766	0.9951	12
空調箱與室內送風機混合 (AHU&FCU) 系統	Y = 346.77 X + 3753	0.837	15
採窗型、分離型空調暫以箱形冷氣機組替代之			

(資料來源：本研究整理)

表5-8 各項水電工程碳排量推估回歸公式 (y單位:kg, x單位: m<sup>2</sup>)

工程項目	碳排放量迴歸式	R <sup>2</sup>
電氣工程	y = 11.914x - 33138	0.9098
弱電工程	y = 0.5694x + 6831.1	0.7631
給排水工程	y = 0.0005x <sup>2</sup> - 9.2494x + 82380	0.9608
消防工程	y = 5.6481x - 20169	0.9545
總碳排量	y = 31.429x - 116076	0.9146

(資料來源：本研究整理)

#### (四) 室內裝修工程碳排評估

建築室內裝修工程可分為地板面、牆面、天花板三大部分之裝修，廣義而言，還包括了家具資材之碳排。由於室內裝修之程度隨著建築物之使用類型不同而異，根據筆者研究室統計對住宿類之室內裝修單位樓地板面積二氧化碳排放量平均約為 17.3(kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)，而相對於裝修量較多的商業空間則約為 21.1(kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)。此外，裝修風格偏向華麗重裝潢者其所使用的資材也較多，本文假設其裝潢比一般多出 20%的碳排來評估。其評估之方式如下式所示：

$$CF_{in} = Fin(x) \times Di \times TFA \quad \text{----- (5-16)}$$

其中

Fin(x)：室內裝修工程碳排密度(kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>) (住宿類=17.3；辦公、辦公建築=20.5；飯店、商業、

娛樂類=21.1)

Di：裝潢係數(儉樸裝潢=0.8；一般裝潢=1.0；華麗重裝潢=1.2)

TFA：室內總樓地板面積(m<sup>2</sup>)

CFin：室內裝修工程之總碳排(kg-CO<sub>2</sub>)

## 第二節 營建施工階段碳排評估

營建施工階段的碳排，應分新建建築工程與修繕更新工程兩部份的施工碳排。所謂新建建築工程的施工碳排 CFc1，就是營造基地現場起重機、吊車、電梯、揚水馬達、焊接設備、工地辦公室耗能等營建施工階段之碳排；所謂修繕更新工程的施工碳排 CFc2，就是生命週期中因局部老化劣化而斷斷續續執行的小改裝或大翻修的零星工程的施工碳排。前者可依張又升之研究(2002)，以簡化之營建施工碳排密度公式(式 5-14.1)來推估，後者則假設與新建施工碳排 CFc1(式 5-14.1)成正比關係，亦即以「修繕更新資材之碳排對於建築軀體資材之碳排增加比例(Frn/ CFb)來修正而得(式 5-14.2)。最後，兩者之和，即營建施工階段的總碳排 CFc 之計算如下式：

$$CFc = CFc1 + CFc2 \text{-----} (5-17)$$

$$CFc1 = Fc(x) \times AF \text{-----} (5-17.1)$$

$$CFc2 = CFc1 \times (Frn/ CFb) \text{-----} (5-17.2)$$

$$Fc(x) = x_1 + 1.6x_2 + 2.0 \text{-----} (5-17.3)$$

其中

CFc：營建施工工程之總碳排(kg-CO<sub>2</sub>)

CFb：建築軀體資材之碳排(kg)

CFrn：修繕更新階段資材總碳排(kg)

x<sub>1</sub>：為地上的總樓層數，無單位

x<sub>2</sub>：為地下的總樓層數，無單位

Fc(x)：營建施工工程碳排標準(kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>)

AF：總樓地板面積(m<sup>2</sup>)

### 第三節 建築使用階段碳排評估

#### 前言

建築使用階段之碳排是指生命週期期間所使用的空調、照明、機電、熱水、烹飪等設備所使用能源之碳排，此部份佔總碳足跡最大部份，也是最難解析的部份。由於住宅與公共建築之耗能模式迥異，耗能分析理論與計算複雜度也差異甚大，因此建築碳足跡評估系統如能對住宅與公共建築分開處理，在操作上有很大的好處。以下就此此兩類建築物進行耗能碳足跡評估法之介紹。

#### 5-3.1 住宿類建築建築使用階段碳排評估

住宅建築包含透天住宅與集合住宅兩種形式，其中透天住宅幾乎沒有公共空間，而集合住宅卻含有總面積 20~40% 的公共空間。基本上住戶單元與公共空間的耗能行為有很大差距，本研究為了精確掌握住宅建築之耗能特色，特別把「住戶」與「公共空間」兩部份之耗能分開來解析。其中「住戶耗能」部份分家電耗能(含揚水耗能)、照明耗能、空調耗能(含空調冷氣與電扇耗能)、加熱系統耗能(含烹飪及熱水耗能)等四部份，「公共空間耗能」部份則分照明、空調、電器等三部份來計算耗能。基本上，作為住宅碳足跡評估之「設計案」，其使用階段耗能總碳排 CF<sub>eu</sub> 之計算架構圖與公式如下所示：

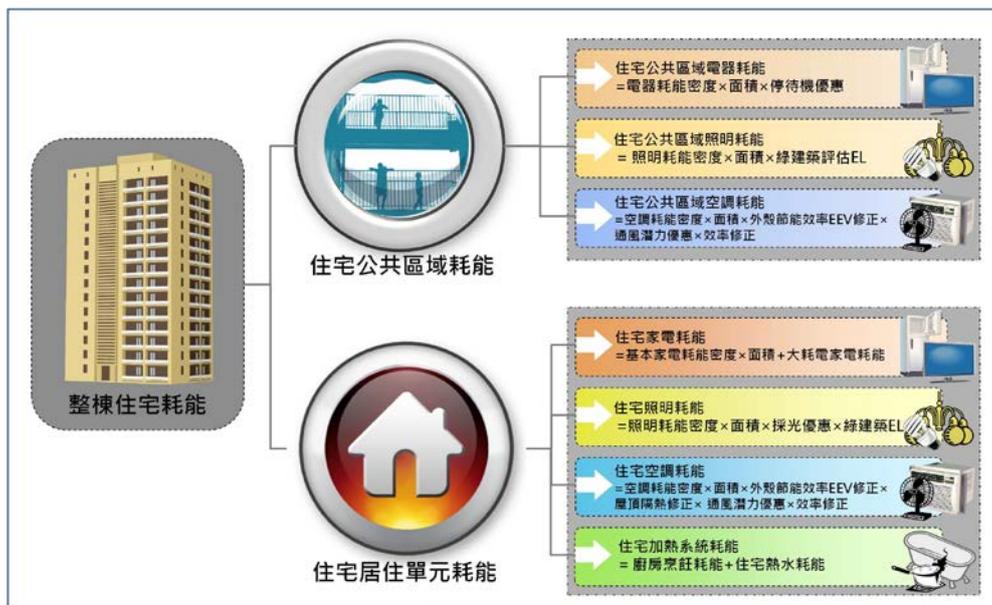


圖 5-1 住宅建築耗能評估架構圖

(資料來源：本研究繪製)

$$CF_{Eu} = \beta \times (E_U \times n + E_P) \times LC \text{ ----- (5-18)}$$

$$E_U = E_{UE} + E_{UL} + E_{UA} + E_{UH} \text{ ----- (5-19)}$$

$$E_P = E_{Pac} + E_{P1} + E_{Pe} \text{ ----- (5-20)}$$

其中

$CF_{Eu}$ ：「設計案」建築使用階段耗能總碳排(kg CO<sub>2</sub>)

$\beta$ ：電力的碳排係數 0.53 kg CO<sub>2</sub> / kWh

$LC$ ：RC 住宅生命週期標準 60 年

$E_U$ ：透天住宅或集合住宅住戶部份全年耗能量 (kWh/yr)

$n$ ：透天住宅或集合住宅總戶數(戶)，若為單戶則  $n=1.0$

$E_P$ ：集合住宅公共空間全年耗能(kWh/yr)，若為透天住宅則  $E_P=0.0$

$E_{UE}$ ：透天住宅或集合住戶家電耗能 (kWh/yr)。

$E_{UL}$ ：透天住宅或集合住戶照明耗能 (kWh/yr)。

$E_{UA}$ ：透天住宅或集合住戶空調耗能 (kWh/yr)。

$E_{UH}$ ：住戶加熱系統耗能 (kWh/yr)

$E_{Pac}$ ：集合住宅公共空間空調全年耗能(kWh/yr)，透天住宅時  $E_{Pac}=0.0$ 。

$E_{P1}$ ：集合住宅供公區域照明全年耗能(kWh/yr)，透天住宅時  $E_{P1}=0.0$ 。

$E_{Pe}$ ：集合住宅供公區域其他電器耗能(kWh/yr)，透天住宅時  $E_{Pe}=0.0$ 。

上述公式乃將住戶家電耗能分為空調、家電；照明、烹飪、熱水等五部份來解析。本研究對於家電耗能分為「基本家電」與「高耗能家電」來計算，其中「基本家電」如電視、冰箱、電鍋、電腦等設備，「高耗能家電」如按摩浴缸、廚房大型烤箱等設備，其計算如 5-21 式所示。此計算式對「基本家電」之耗電計算，不列舉設備的品項、功率，而採用「基本家電耗能強度  $D_E$ 」乘上「住戶面積  $F_a$ 」之簡算法。另外對「高耗能家電」之耗電計算則要求明列功率特大之電器設備(如表 5-11)，然後逐一累算其耗能量，此計算依下兩式為之：

$$E_{UE} = D_E \times F_a + \sum E_{hm} \text{ ----- (5-21)}$$

$$D_E = 33.56 - 0.11 \times F_a \quad (R^2=0.88) \text{ ----- (5-22)}$$

其中

$EU_E$ ：住戶家電耗能 (kWh/yr)。

$D_E$ ：住戶基本家電耗能強度 (kWh/(m<sup>2</sup>.yr))，若  $D_m$  計算值 < 10，則令  $D_E=10$ 。

$F_a$ ：住戶室內樓地板面積 (m<sup>2</sup>)，若為集合住宅則以全部住戶之平均室內樓地板面積計之。

$E_{hm}$ ：住戶高耗能家電耗能(kWh/yr)，查表 5-10。

5-22 式為住戶基本家電耗能強度  $D_E$  之回歸公式 (判定係數  $R^2=0.88$ )，此式為本研究單位以十戶規模不同的住戶模型之家電耗能強度統計而成 (表 5-9)，此家電耗能強度乃依表 5-10 之「標準基本家電」配備與「標準電器使用時間」之條件計算而成。此式顯示「基本家電耗能強度」依「住宅單元室內樓地板面積」之增加而略減，但  $D_E$  最小值必須其維持在 10 (kWh/(m<sup>2</sup>.yr)) 以上，以避免超大住宅有超少家電設備的不合理現象發生。

**表5-9 十戶住宅模型用電強度解析結果**

	房間數	廳數	衛浴數	總樓板面積 (m <sup>2</sup> )	家電耗能強度 kWh/(m <sup>2</sup> .yr)	照明耗能強度 kWh/(m <sup>2</sup> .yr)	空調耗能強度 kWh/(m <sup>2</sup> .yr)
Case1	3	2	2	72.9	31.1	15.4	15.1
Case2	3	2	2	89.5	25.4	15.8	15.4
Case3	5	2	3	94.9	24.4	14.1	14.3
Case4	5	2	3	115	20.1	14.6	14.6
Case5	5	2	3	116.6	19.9	13.5	13.9
Case6	5	2	3	137.3	16.9	13	13.5
Case7	7	2	5	175.5	14	12.3	13.1
Case8	7	2	5	182.3	13.4	11.6	12.6
Case9	7	2	5	193.5	12.7	11.9	12.8
Case10	7	2	5	259.5	9.4	11.6	12.8

(資料來源：本研究整理)

**表5-10 住宅各空間標準基本家電耗電計算值**

空間名稱	標準基本家電項目	基本家電標準使用時數 (hr/yr)	耗電功率瓦數(W)	家電標準耗電量計算 (kWh/yr)
1	客廳	電視機	240	1650×240÷1000=396

2	餐廚空間		抽油煙機	180	350	$350 \times 180 \div 1000 = 63$		
			電熱爐或瓦斯爐*	-	-	-		
			電鍋	加熱	350	加熱	720	$(350 \times 720 + 180 \times 32) \div 1000 = 258$
				保溫	180	保溫	32	
			微波爐	60	1360	$60 \times 1360 \div 1000 = 82$		
			烘碗機	355	186	$355 \times 186 \div 1000 = 66$		
			冰箱	-	-	750		
			熱水瓶	加熱	63	加熱	720	$(63 \times 720 + 8697 \times 32) \div 1000 = 324$
保溫	8697	保溫		32				
3	臥室	一般型	音響	413	50	$413 \times 50 \div 1000 = 21$		
		兼書房	筆記型電腦	413	53	$413 \times 53 \div 1000 = 22$		
4	書房	含電腦	桌上型電腦	466	160	$466 \times 160 \div 1000 = 75$		
			螢幕	466	30	$466 \times 30 \div 1000 = 14$		
			音響	466	50	$466 \times 50 \div 1000 = 23$		
	不含電腦	音響	466	50	$466 \times 50 \div 1000 = 23$			
5	起居室	電視機	466	240	$466 \times 240 \div 1000 = 112$			
6	浴廁空間	熱水器*	-	-	-			
7	其他		洗衣機	-	-	47		
			吹風機	43	635	$635 \times 43 \div 1000 = 27.5$		
			揚水耗能	$0.16 \text{ kWh/m}^3$		$0.16 \times 4 \text{ 人} \times 0.2 \text{ m}^3 / \text{人} \cdot \text{天} \times 365 = 47$		
*註：電熱爐、瓦斯爐、熱水器耗能不列入住宅基本家電耗能之計算，另於 2-3.1.4 小節計算。								

(資料來源：本研究整理)

表5-11 高耗能家電設備年耗電量 $E_{hm}$

	廚房大烤箱	三溫暖	按摩浴缸	洗碗機	乾衣機
全年耗電量 (kWh/yr)	$E_{hm}=150$	$E_{hm}=312$	$E_{hm}=102$	$E_{hm}=170$	$E_{hm}=60$
計算條件	$3(\text{kW}) \times 1(\text{hr}/\text{次}) \times 52(\text{次}/\text{yr})$	$3(\text{kW}) \times 1(\text{hr}/\text{人次}) \times 2(\text{人次}/\text{週}) \times 52(\text{週}/\text{年})$	$0.5(\text{kW}) \times 1(\text{hr}/\text{人次}) \times 4(\text{人次}/\text{週}) \times 52(\text{週}/\text{年})$	$0.68(\text{kW}) \times 1(\text{hr}/\text{日}) \times 250(\text{日}/\text{年})$	$1.2(\text{kW}) \times 0.5(\text{hr}/\text{日}) \times 100(\text{日}/\text{年})$

(資料來源：本研究整理)

住宅照明耗能約佔該住戶總耗能之三成。本研究為了簡化起見，不針對住宅個別房間做照明耗能計算，而是以住戶整體之「照明耗能強度  $D_L$ 」乘上「住戶面積  $F_a$ 」整合計算，並納入「住宅採光係數  $U_L$ 」及綠建築評估系統中「照明系統與管理效率  $EL$ 」做為修正變數，以反映住宅採光設計與照明系統效率之良窳。詳細計算公式如下 5-23 式所示。

$$EU_L = D_L \times F_a \times U_L \times EL \text{-----} (5-23)$$

$$D_L = 16.84 - 0.02 \times F_a \quad (R^2=0.80) \text{-----} (5-24)$$

$$U_L = 1.2 - 0.5 \times \gamma \text{-----} (5-25)$$

$$\gamma = A_{fp} / F_a \text{-----} (5-26)$$

其中

$EU_L$ ：住戶照明耗能 (kWh/yr)。

$D_L$ ：住戶照明耗能強度 (kWh/(m<sup>2</sup>.yr))，若  $D_m$  計算值 < 8，則令  $D_E=8$

$F_a$ ：住戶室內樓地板面積 (m<sup>2</sup>)，若為集合住宅則以全部住戶平均室內樓地板面積計之

$U_L$ ：住宅採光係數，無單位。

$EL$ ：住戶照明系統與管理效率，無單位，「規劃階段」以 1 代入，「詳細設計階段」以綠建築標章  $EL$  計算值代入。

$\gamma$ ：住戶外周區面積比，無單位。

$A_{fp}$ ：住戶外周區樓地板面積(m<sup>2</sup>)

表5-12 住宅照明耗能標準計算值

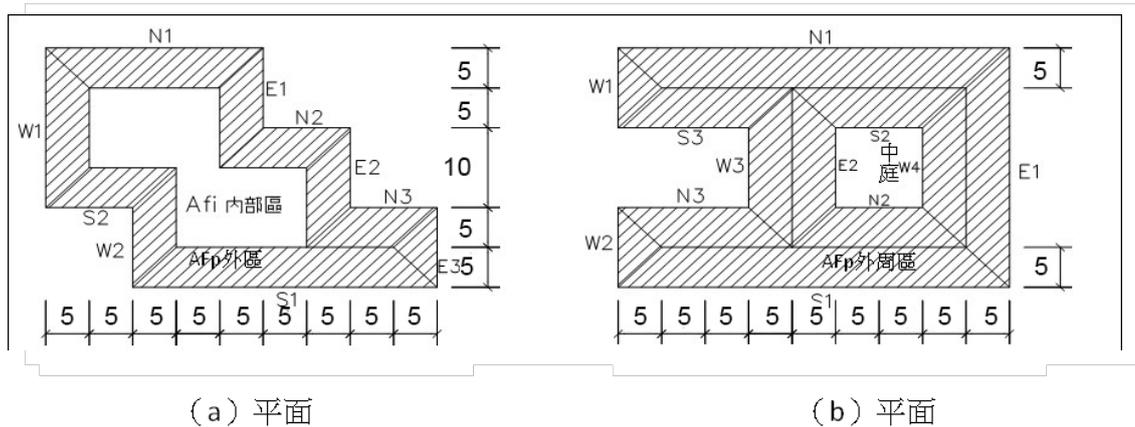
空間名稱		空間照明密度 (w/m <sup>2</sup> )	全年標準照明時數(hr)	各空間照明耗電量 (kWh/yr)
1	客廳	12	6(hr)×252(平日) + 8(hr)×107(假日)= 2370	26.1×客廳面積
2	餐廚空間	8	5(hr)×347(在家用餐日) + 2(hr)×12(外出用餐日)=1760	14.1×餐廚空間面積
3	臥室	9	2(hr)×252(平日) + 3(hr)×107(假日)= 950	9×臥室面積
	兼書房	10	3.5(hr)×252(平日) + 5(hr)×107(假日)=1420	14.2×臥室兼書房面積
4	書房	10	1(hr)×252(平日) + 4(hr)×107(假日)=680	6.8×書房面積
5	起居室	10	1(hr)×252(平日) +	5.7×起居室面積

			3(hr)×107(假日)=575	
6	浴廁空間	9	1.4(hr)×359(平日)=505	4.5 × 浴廁面積

(資料來源：本研究整理)

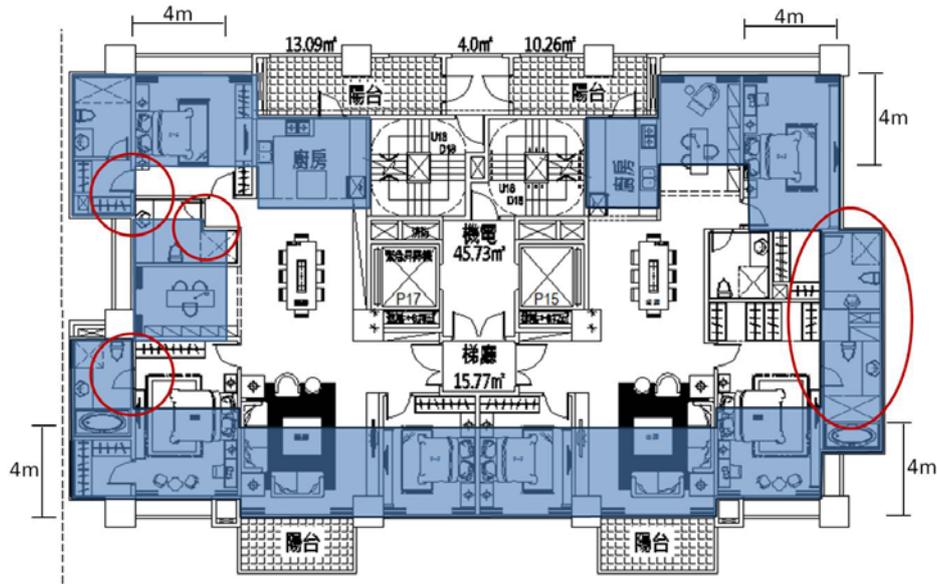
5-24 式為住戶照明耗能強度  $D_L$  之回歸公式 (判定係數  $R^2=0.80$ )，為本單位以 10 個規模不同的住宅單元模型的「照明耗能強度」(見表 5-9) 解析而成，而此「照明耗能強度」則由表 5-12 所示之「標準照明密度」與「全年標準照明時間」計算而來。此回歸式顯示住戶照明耗能強度隨著住戶規模有略減之傾向，但  $D_L$  最小值必須其維持在 8 (kWh/(m<sup>2</sup>.yr)) 以上，以避免超大住宅有超小照明密度之不合理現象。

式 5-25 住宅採光係數  $U_L$  之用意在於檢討住宅平面採光設計之良窳。一般住宅在正常開窗之條件下，住宅平面深度愈深，則室內深處愈無自然採光，而須仰賴人工照明；住宅深度愈淺，則愈在白天能長時間不開燈，採用自然採光而減少照明耗能。故本系統以住宅「外周區面積比  $\gamma$ 」檢討之住宅「可自然採光」的「外周區面積  $A_{fp}$ 」之比例，以此修正住宅照明耗能。



**圖 5-2 住宅外周區範圍 (平面外牆中心線起算深度 5m 內範圍)**

(資料來源：本研究繪製)



**圖 5-3 住宅外周區範圍劃分實例(色塊為外周區範圍；圈選標示處為房間深度不足，外周區僅算至隔間牆深度為止)**  
(資料來源：本研究繪製)

所謂住宅「外周區面積」，意即從住宅建築外殼牆心線起算到距外殼牆心線 5.0 米以內的空間範圍，特別注意的是，在劃分外周區時，若房間深度不足 5 米，則該處外周區深度僅算至隔間牆為止，如圖 5-2~5-3 所示。依式 5-8 計算，一般坊間常見之連棟住宅(僅正、背立面可開窗，側面臨接他戶，住宅外周區面積比約為 0.4)之採光係數為 1.0，恰不給予照明耗能之優惠；而若住宅外周區面積比達 0.8 者，其平面設計自然採光潛力佳，給予照明耗能乘以 0.8 之優惠。

本研究對於「住戶空調耗能」不採個別房間計算，主要利用「住戶空調耗能強度  $D_{AC}$ 」乘上「住戶樓地板面積  $F_a$ 」來計算之外，同時納入開口因子的「住宅耗能指標比  $Indi$ 」、屋頂隔熱因子的「屋頂戶修正係數  $TR$ 」、通風因子的「住宅通風潛力係數  $U_v$ 」、空調機效率因子的「空調節能標章修正係數  $S_{EL}$ 」來修正空調耗能計算，如式 5-27 所示：

$$EU_A = D_{AC} \times F_a \times Indi \times TR \times V_{pr} \times S_{EL} \text{-----}(5-27)$$

$$D_{AC} = 16.0 - 0.02 \times F_a \quad (R^2=0.77) \text{-----}(5-28)$$

$$Indi = e \times (Req / Req_c) \text{-----}(5-29)$$

$$TR = 1.0 + 0.2 \times (U_{ar}/U_{arc}) \times (F_{ra}/F_a) \text{-----}(5-30)$$

其中

$EU_A$ ：住戶空調耗能 (kWh/yr)。

$D_{AC}$ ：住戶空調耗能強度 (kWh/(m<sup>2</sup>.yr))。詳式(5-30)，若  $D_{AC}$  計算值 < 8，則令  $D_{AC}=8$

$F_a$ ：住戶室內樓地板面積 (m<sup>2</sup>)，若為集合住宅則以全部住戶平均室內樓地板面積計之

$Ind_i$ ：住宅外殼節能指標比，無單位。規劃階段以  $Ind_i=1$  代入。 $e$ ：連棟住宅為 1.87，其他住宅為 1.25。

$Req$ 、 $Req_c$ ：住宅等價開窗率與等價開窗率合格值，無單位。

$TR$ ：住宅屋頂戶修正係數，無單位。詳式(5-13)，規劃階段以  $TR = 1.2$  代入。

$U_{ar}$ 、 $U_{arc}$ ：住宅屋頂熱傳透率與屋頂熱傳透率合格值，無單位。

$F_{ra}$ ：住戶屋頂面積 (m<sup>2</sup>)

$V_{pr}$ ：住戶部份通風潛力係數，依附錄一計算之。

$S_{EL}$ ：空調節能標章修正係數，查表 5.6，規劃階段以  $S_{EL}=1.0$  代入，多台空調則以各台空調之  $S_{EL}$  值取供應面積之加權平均值。

式 5-28 為住戶空調耗能強度  $D_{AC}$  之回歸公式 (判定係數  $R^2=0.77$ )，為筆者以前述十戶規模不同的住宅單元模型之空調耗能強度解析而成，此空調耗能強度以表 5-12 中「每冷凍噸冷氣供應 7 坪空間面積」、「全年標準空調時數」、「冷氣效率值 COP3.0」之假設下計算而成。此式顯示住戶空調耗能強度隨著住戶規模有略減之傾向，但  $D_{AC}$  最小值必須其維持在 8 (kWh/(m<sup>2</sup>.yr)) 以上，以避免超大住宅有超小空調密度之不合理現象。

**表5-13 住宅空調耗能標準計算值**

空間名稱		全年標準空調時數(hr)	各空間全年空調耗電量(kWh/yr)
1	客廳	5(hr)×60(日) + 2.5(hr)×60(日) = 450	0.152(kW/m <sup>2</sup> )×客廳面積×450÷3
2	餐廚空間	2(hr)×60(日) + 1.5(hr)×60(日)=210	0.152(kW/m <sup>2</sup> )×餐廚空間面積×210÷3
3	臥室	4(hr)×60(日) + 1.5(hr)×60(日)= 330	0.152(kW/m <sup>2</sup> )×臥室面積×330÷3
	兼書房	5(hr)×60(日) + 1.5(hr)×60(日)=390	0.152(kW/m <sup>2</sup> )×臥室兼書房面積×330÷3
4	書房	1(hr)×252(平日) + 4(hr)×107(假日)=390	0.152(kW/m <sup>2</sup> )×書房面積×390÷3
5	起居室	1.5(hr)×60(日) + 1(hr)×60(日)=150	0.152(kW/m <sup>2</sup> )×起居室面積×150÷3
註 1：一般台灣家庭空調使用習慣簡約，故本系統假定一般家庭全年僅 4 個月開啟空調，其中最 7、8 月(約 60 天)冷氣使用較多；6、9 月(約 60 天)則少量使用，以此為設定依據。 註 2：0.152(kW/m <sup>2</sup> )即等同於一般住宅空調容量估計值「每 US 冷凍噸冷氣供應 7 坪面積」。			

(資料來源：本研究整理)

表5-14 空調節能標章修正係數 $S_{EL}$ 

空調能源標示效率等級	5 級	4 級	3 級	2 級	1 級
空調節能標章修正係數 $S_{EL}$	1.00	0.95	0.90	0.85	0.80

(資料來源：本研究整理)

式 5-29 住宅耗能指標比 Indi 之意義在對建築外殼節能設計之優惠計算，亦即以法規節能指標 Req 之優劣程度 (Req/Reqc 越小越佳) 給予減少或增家空調耗能之計算。式 5-30 屋頂戶修正係數 TR 之意義在於對屋頂隔熱水準的空調耗能修正，此公式中 0.2 之意義在於對法規最低屋頂隔熱水準的屋頂戶認定為空調耗能增加 20% 之意。當屋頂隔熱水準越佳時，其空調耗能的增加比例可越少，反之則越大。另外，住戶部份通風潛力係數  $V_{pr}$  之用意在於對通風潛力高的住宅給予空調耗能的折減計算， $V_{pr} \geq 1.0$ ，其評估以住戶部份之面積計算之 (公共空間部份除外)，其計算請參見附錄一。

由於住宅之加熱系統包括廚房烹飪設備與熱水設備兩種，因此本研究對於「住戶加熱系統耗能計算法」分「烹飪耗能  $E_C$ 」與「熱水耗能  $E_{HW}$ 」兩項來計算，其計算均以該設備之「電當量」乘上節能標章、熱水保溫、太陽能等「修正係數」為之，詳如下式 5-31 所示。

$$EU_H = E_C \times S_{EL} + E_{HW} \times S_{EL} \times In \times Sh \text{ ----- (5-31)}$$

其中

$E_G$ ：住戶加熱系統耗能(kWh/yr)

$E_C$ ：住戶烹飪耗能(kWh/yr)，查表 5-14

$E_{HW}$ ：住戶熱水耗能(kWh/yr)，查表 5-14

$S_{EL}$ ：節能標章修正係數，無單位。若全面使用節能標章之烹飪或熱水設備，則令  $S_{EL}=0.9$ ，否則  $S_{EL}=1$ 。

$In$ ：熱水系統保溫修正係數，無單位。有保溫層 2mm ( $4.1 < U$  值 ( $W/m^2K$ )  $< 4.7$ )、4mm ( $U$  值 ( $W/m^2K$ )  $< 4.1$ ) 時， $In=0.9$ 、 $0.8$ ，無保溫層時， $In=1.0$ 。

$Sh$ ：太陽能熱水器修正係數，

$Sh=1.0$  - 太陽熱水依賴率 (每人太陽熱水設置面積÷每戶設置面積基準)

表5-15 住戶烹飪與熱水耗能量

項目	能源分類	耗能電當量 (kWh/yr)	瓦斯用量 (m <sup>3</sup> /yr)
住宅廚房烹飪耗能 E <sub>c</sub>	廚房電熱爐	E <sub>c</sub> =1881.6	-
	廚房 IH 爐	E <sub>c</sub> =1045.3	-
	廚房瓦斯爐	E <sub>c</sub> =796.6	202.0
住宅居住單元熱水耗能 E <sub>HW</sub>	電熱水器	E <sub>HW</sub> =1378.6	-
	熱泵熱水器	E <sub>HW</sub> =459.5	-
	瓦斯熱水器	E <sub>HW</sub> =591.0	149.9

計算依據：

- 住宅熱水用量取每人每次 40L，沐浴水溫 39°C，熱水出水溫度 55°C，每人每次沐浴熱水耗能 0.96kWh 電當量 (李孟杰，2006)，並依此熱量換算瓦斯熱水器總耗瓦斯量為 149.9m<sup>3</sup>/yr。
- 廚房瓦斯取每戶 202.0(m<sup>3</sup>/yr)，即每人每年 87.97m<sup>3</sup>(陳益裕，2000)×4 人 -149.9m<sup>3</sup>=202.0 m<sup>3</sup>
- 瓦斯熱值取天然氣 8900 kcal/m<sup>3</sup> 為計，其 CO<sub>2</sub> 排放量為 2.09kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>。
- 電力熱值以 860 kcal/度 為計，其 CO<sub>2</sub> 排放量為 0.53 kg-CO<sub>2</sub>/度。
- 瓦斯爐加熱效率取 0.45；電熱爐取 0.5；IH 爐取 0.9。
- 瓦斯熱水器加熱效率取 0.8；電熱水器取 0.9；熱泵 COP 取 3。
- 以熱值換算使用量；以 CO<sub>2</sub> 排放量換算電當量

瓦斯使用電當量 = 瓦斯用量×單位瓦斯 CO<sub>2</sub> 排放量÷單位電力 CO<sub>2</sub> 排放量

(資料來源：本研究整理)

以上為住戶部份之耗能分析法，假如是透天住宅時到此即完成，亦即只要將上述「家電」、「照明」、「空調」、「加熱系統」4 大項耗能加總後即為該住宅的總耗能。假如是集合住宅時，則還有公共空間部份之耗能有待計算，該部份則分「空調」、「照明」、「電器」三部份來計算，其計算依下列諸式為之：

$$P_{ac} = APD \times A_p \times Indi \times V_{pp} \times S_{EL} \text{-----} (5-32)$$

$$V_{pp} = 1.2 - 0.5 \times R_{Afp} \text{-----} (5-33)$$

$$R_{Afp} = A_{fp} / A_p \text{-----} (5-34)$$

$$EP_i = UPD \times A_p \times EL \text{-----} (5-35)$$

$$EP_e = EPD \times A_p \times U_{ei} \text{-----} (5-36)$$

其中

EP<sub>ac</sub>：住宅公共空間空調耗能(kWh/yr)

EP<sub>i</sub>：住宅公共空間照明耗能(kWh/yr)

EP<sub>e</sub>：住宅公共空間其他電器設備耗能(kWh/yr)

APD：住宅公共空間標準空調耗能強度， $14\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{yr})$

UPD：住宅公共空間標準照明耗能強度， $26\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{yr})$

EPD：住宅公共空間標準其他電器耗能強度， $10\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{yr})$

$A_p$ ：住宅公共空間樓地板面積( $\text{m}^2$ )

Indi：住宅耗能指標比，無單位。 $\text{Indi} = e \times (\text{Req}/\text{Reqc})$ ，此處 Req 以整棟集合住宅之計算值代入。規劃階段則以  $\text{Indi}=1$  代入。 $e$ ：係數，連棟住宅為 1.87，其他住宅為 1.25。

$V_{pp}$ ：公共空間部份通風潛力係數，無單位。

$S_{EL}$ ：空調節能標章修正係數，查表 5-6，規劃階段以  $S_{EL}=1.0$  代入，多台空調則以各台空調之  $S_{EL}$  值取供應面積之加權平均值。

$R_{Afp}$ ：集合住宅公共空間外周區面積比。

$A_{fp}$ ：全棟集合住宅公共空間外周區面積( $\text{m}^2$ )。

EL：住宅公共空間照明系統與管理效率，無單位，「規劃階段」以 1 代入，「詳細設計階段」以綠建築標章 EL 計算值代入。

$U_{ei}$ ：電器設備使用管理效率，無單位，一般為 1.0，使用有效之夜間待機用電停機管理技術者 0.9（提證明）。

一般公寓住宅常見的室內公共空間包含管理大廳、交誼廳、梯廳走廊、停車場以及附屬休閒設施，其中所謂附屬休閒設施包括健身房、SPA、社區教室、桌球室、游泳池等五花八門的空間。通常愈高價的集合住宅，其公共設施越多、越豪華，但此差異並非碳跡評估所應管控的，因此只能以一般典型公寓住宅的設備條件來掌握其耗能情形。本研究將公共空間分為管理大廳、梯廳走廊、地下停車、附屬休閒設施等四部份，此四部份的標準設備使用模式如表 5-16 所示。依此表之標準條件計算可得出住宅公共空間標準空調耗能強度為  $14\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{yr})$ 、住宅公共空間標準照明耗能強度為  $26\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{yr})$ 、住宅公共空間標準其他電器耗能強度為  $10\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{yr})$ 。

式 5-33~36 對於公共空間空調、照明、電器之耗能計算法均採用「耗能強度」乘上「樓地板面積」為基本架構。由於集合住宅之 Req 指標無法區分住戶部份與公共空間部份，因此式 5-33 對於空調耗能只能採用全棟住宅案之「耗能指標比 Indi」來修正計算，這顯然有些誤差，但此乃簡化計算無可避免之事。式 5-34 對於公共空間照明耗能計算中，納入了我國綠建築評估系統日常節能指標之「照明系統效率 EL」，其意義乃結合綠建築標章制度來執行碳足跡評估之意，這也是簡化方式之一。

**表5-16 住宅公共空間耗能強度標準之計算依據**

項目	管理大廳	地下停車場	梯廳走廊	附屬休閒設施
面積	1 層樓	2 層樓	每層 20%，共 10 層	1 層樓
使用空調與否	有	無	無	有
立面開窗率	20%	-	-	20%
空調使用時間	1080 hr/yr	0	0	540hr/yr
照明密度	10 W/m <sup>2</sup>	4 W/m <sup>2</sup>	5 W/m <sup>2</sup>	8 W/m <sup>2</sup>
照明使用時間	5475 hr/yr	5475 hr/yr	3833 hr/yr	2519 hr/yr
其他電器密度	3 W/m <sup>2</sup>	3 W/m <sup>2</sup>	2 W/m <sup>2</sup>	3 W/m <sup>2</sup>
其他電器使用時間	6570 hr/yr	2190 hr/yr	5475 hr/yr	2519 hr/yr

(資料來源：本研究整理)

### 5-3.2 公共建築類建築使用階段碳排評估

#### (一) 公共建築析之空間分類

公共建築在使用階段之碳排分析乃依據建築物之空間組成來累算耗能量與碳排放量的，而空間耗能量深受營業時間長短之影響，因此掌握建築空間的「營運分區」是精確地計算耗能流向的第一步。所謂「營運分區」是把營業型態、空調運轉模式相近的空間整合在一起的經營管理實務，我們必先釐清「營運分區」，才能真實模擬主機、送風、送水設備之耗能特性。例如，一棟大型觀光旅館可能分成客房區與接待大廳區之 24 小時空調區，與餐飲、宴會、運動、商店區等之 12 小時空調區，與 10 小時行政辦公區，以及地下停車場之 24 小時通風換氣區。我們必須依循這四個「營運分區」分開掌握其耗能行為，才能累計成精確的總耗能量。儘管建築空間之營運形式千變萬化，但本系統為了簡化，規定採用以下十類「營運分區」與 37 種空間來執行，各分區的空調、照明、電器的標準使用時間如表 5-18 所示。這 38 種空間的標準照明密度、人員密度、電器設備密度如表 5-17 所示，這些標準化條件是忠實計算空調、照明、插座用電之耗能量的依據，是掌握建築耗能碳足跡最重要之關鍵。

表5-17 十一種營運分區與37類空間分類之室內標準條件總表

空間所屬分區	空間名稱		人員 密度 標準	照明 密度 標準	電器設備 密度標準	新鮮外 氣密度 標準
			人/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	W/m <sup>2</sup>	L/(s.人)
24 小時空調型住宿類空間	A1	24 小時輕設備醫療空間(一般病房+護理站)	0.10	10.0	15.0	10.0
	A2	全年空調住宿空間(飯店客房及辦理入住業務之大廳、櫃台)	0.05	10.0	6.0	7.0
24 小時間歇空調型住宿類空間	B1	間歇空調透天住宅、集合住宅(含住宅室內公共空間)	0.03	6	9.0	5.0
	B2	間歇空調不常住型住宿設施(學校、機關、企業宿舍及其附屬接待大廳、室內公共空間)	0.05	10.0	6.0	7.0
24 小時間歇空調常住型住宿類空間	C1	間歇空調常住型住宿設施(養老院、孤兒院、療養院及其附屬接待大廳、室內公共空間)	0.05	10.0	6.0	7.0
24 小時營業設備間歇使用類空間	D1	24 小時連鎖超商與速食餐廳	0.35	21.5	120.0	7.0
	D2	24 小時重設備醫療空間(加護病房、急診區)	0.10	10.0	65.0	7.0
	D3	醫院手術房(含其附屬空間)	0.10	14.0	60.0	13.0
	D4	24 小時冷凍冷藏空間(飯店、餐廳、量販店之大型專用冷凍冷藏空間)	0.03	7.0	60.0	20.0
24 小時營業設備穩定使用類空間	E5	電腦、電信機房(內含高密度電腦、電信設備之全空調機房)	0.03	7.0	80.0	7.0
24 小時無空調類空間	F1	24 小時機械換氣空間(室內停車空間、變電室、地下室倉庫、機房等雜空間)	0.03	5.5	2.0	25.0
	F2	無空調之大型專用倉庫(不含其他空間附屬之小儲藏室、倉庫)	0.03	7.0	3.0	0.0
18 小時交通運輸類空間	G1	車站、轉運站、航站之大廳(業務大廳區以外空間(如販賣部、商品店等)以 12 小時營業空間處理)	0.35	17.5	4.5	7.0
15 小時視聽娛樂類空間	H1	電影院(包括走廊、前廳)	0.80	9.5	20.5	7.0
12 小時營業類空間	I1	一般商店、超市(未設商店街、百貨、餐飲、美食街等)	0.25	29.5	15.0	7.5
	I2	高照明商場(百貨一樓美妝商場)	0.25	57.5	16.5	7.5
	I3	一般餐廳、飯店宴會場(中西餐廳, 特色餐廳, 美食街等, 含附屬廚房、備餐區、冷凍冷藏區)	0.35	20.0	24.5	8.5
	I4	有大量冷凍冷藏設備之生鮮商場、量販店	0.35	21.5	75.0	7.0
	I5	中央廚房、中央洗衣房	0.10	9.5	28.5	11.0

	I6	12 小時輕設備醫療空間(醫院之門診部、診所、大廳等)	0.30	12.5	20.0	7.0
	I7	12 小時重設備醫療空間(醫院之檢驗部、藥劑部、放射科、血液透析中心、復健部等)	0.30	13.5	80.0	7.0
	I9	體育館室內賽場區、運動場館空間(健身房、舞蹈室、室內球場、保齡球道、運動練習室、運動俱樂部、室內游泳池, 含附屬空間)	0.25	17.5	5.5	8.5
	I10	娛樂空間(電子遊樂場、KTV、網咖、撞球、酒吧、舞廳、卡拉 OK 等, 含附屬空間)	0.40	11.0	8.5	8.5
	I11	有大量加熱設備之專用休閒設施(營業專用 SPA & 三溫暖、溫泉澡堂, 不含附屬於其他空間之小休閒設施)	0.25	11.0	100.0	8.5
12 小時間歇使用類空間	J1	展覽空間(美術館、文物陳列室、商業展覽場等, 及其附屬接待大廳、室內公共空間)	0.25	21.5	12.5	8.5
	J2	專用演講廳、禮堂、會議中心、會議廳、演講活動兼用之宗教集會廳	0.80	13.5	8.5	7.0
	J3	演藝廳、表演廳、演藝活動兼用之體育館	0.80	21.5	5.5	7.0
	J4	體育館專用室內座位區	1.20	5.0	5.0	7.0
10 小時行政辦公類空間	K1	辦公類空間(辦公、會議、行政、視聽、研究、實驗相關空間及其附屬大廳與室內公共空間)	0.15	13.5	12.5	8.5
	K2	圖書館(含閱讀區、書庫區及其附屬大廳與室內公共空間)	0.15	15.0	10.0	7.0
	K3	學校教室與辦公行政(普通教室、專科教室、視聽教室、學校辦公行政區)	0.40	13.5	6	7.0
	K4	機關餐廳(學校、企業、工廠之大眾餐廳, 含附屬廚房、備餐區、冷凍冷藏區)	0.40	17.5	24.5	8.5
	K5	工廠實驗、研究室(研發空間及其附屬大廳與室內公共空間)	0.20	20.0	14.0	8.5
工廠廠房製程空間 (各空間各再分為「24 小時設備穩定使用類」及「10 小時行政辦公類」)	L1	無空調一般工廠作業區	0.10	13.5	75.0*	7.0
	L2	空調型一般工廠作業區	0.10	13.5	75.0*	7.0
	L3	空調型精密製造區	0.10	20.0	75.0*	7.0
	L4	空調型潔淨生產區	0.10	13.5	75.0*	13.0
註：						
1.本表之人員、照明、電器設備、外氣條件以主空間設定，其附屬空間之條件可能不同。						
2.工廠廠房製程空間之電器設備密度標準 75W/m <sup>2</sup> 係含 8 成製程設備功率(大型機台)、2 成一般辦公設備功率(電腦、印表機等)						

(資料來源：本研究整理)

表5-18 營運分區之營運時間與設備使用時間表

空間所屬營運分區	營運時間 $T_i$	全年使用時間(hr/yr)		
		空調 $T_{ACi}$	照明 $T_{Li}$	其他電器 $T_{Ei}$
24 小時空調型住宿類空間	8760	8760	3650	2555
24 小時間歇空調型住宿類空間	8760	1132	2920	2555
24 小時間歇空調常住型住宿類空間	8760	2508	3285	2555
24 小時營類設備間歇使用類空間	8760	8760	8213	2920
24 小時營類設備穩定使用類空間	8760	8760	8213	7008
24 小時無空調類空間	8760	0	4380	2190
18 小時交通運輸類空間	6570	6570	5913	4709
15 小時視聽娛樂空間	5445	5445	3052	4794
12 小時營業類空間	3756	3756	4288	3850
12 小時間歇使用類空間	2288	2288	2716	1405
10 小時行政辦公類空間	2540	2540	2876	2292

本表各時程累算條件：

1. 24 小時空調型住宿類空間

使用時間：365 日，24hr/日

空調時間：365 日，24hr/日

照明時間：365 日，8hr/日

其他電器：365 日，7hr/日

2. 24 小時間歇空調型住宿類空間

使用時間：365 日，24hr/日

空調時間：4 月、5 月、9 月、10 月(共 122 日)4hr/日；

6 月、7 月、8 月(共 92 日)7hr/日

照明時間：365 日，8hr/日

其他電器：365 日，7hr/日

3. 24 小時間歇空調常住型住宿類空間

使用時間：365 日，24hr/日

空調時間：4 月、5 月、9 月、10 月(共 122 日)10hr/日；

6 月、7 月、8 月(共 92 日)14hr/日

照明時間：365 日，9hr/日

其他電器：365 日，7hr/日

4. 24 小時營類設備間歇使用類空間

使用時間：365 日，24hr/日

空調時間：365 日，24hr/日

照明時間：365 日，22.5hr/日

其他電器：365 日，8hr/日

5. 24 小時營類設備穩定使用類空間

使用時間：365 日，24hr/日

空調時間：365 日，24hr/日

照明時間：365 日，22.5hr/日

其他電器：365 日，19.2hr/日 (每日有 8hr 負荷率 1；16hr 負荷率 0.7)

6. 24 小時無空調類空間

使用時間：365 日，24hr/日

空調時間：365 日，0hr/日

照明時間：365 日，12hr/日

其他電器：365 日，6hr/日 (逐時負荷率 0.25)

7. 18 小時交通運輸類空間

使用時間：365 日，18hr/日

空調時間：365 日，18hr/日

照明時間：365 日，16.2hr/日 (每日有 18hr 負荷率 0.8；6hr 負荷率 0.3)

其他電器：365 日，12.9hr/日(每日有 18hr 負荷率 0.7；6hr 負荷率 0.05)

8. 15 小時視聽娛樂空間

使用時間：363 日，15hr/日

空調時間：363 日，15hr/日

照明時間：363 日，8.4hr/日 + 2 日，1.2hr/日

其他電器：363 日，12.9hr/day (每日 18hr 負荷率 0.7；6hr 負荷率 0.05)

### 9. 12 小時營業類空間

使用時間：假定每年 52 週，週休一日，313 日(365-52)，12hr/日

空調時間：313 日，12hr/日

照明時間：313 日，13.5hr/日 + 52 日，1.2hr/日

其他電器：313 日，12.1hr/日 + 52 日，1.2hr/日

### 10. 12 小時間歇使用類空間

使用時間：平日(52\*4=208 日)每週 4 日，5hr/日；

週六週日(52\*2=104 日)，每日 12hr

空調時間：平日 208 日，5hr/日 + 週末 104 日，12hr/日

照明時間：平日 208 日，6hr/日 + 週末 104 日，13.5hr/日 + 其他 53 日，1.2 hr/日

其他電器：平日 208 日，3.2hr/日 + 週末 104 日，6.5hr/日 + 其他 53 日，1.2 hr/日

### 11. 10 小時行政辦公類空間

使用時間：上班日 254 日，10hr/日

空調時間：上班日 254 日，10hr/日

照明時間：上班日 254 日，10.8hr/日 + 假日 111 日，1.2hr/日

其他電器：上班日 254 日，8.5hr/日 + 假日 111 日，1.2hr/日

## (資料來源：本研究整理)

計算建築使用能源碳足跡 CF<sub>Feu</sub> 時，必須先依表 5-17~5-18 進行建築空間分類，然後再依以下方法由空調、照明、電器設備、給排水污水、升降機械等五項設備系統來計算碳排放量，其計算如下式 5-37 所示：

$$CF_{Feu} = \alpha \times (E_{ac} + E_l + E_e + E_w + E_t) \text{-----} (5-37)$$

其中

CF<sub>Feu</sub>：建築使用階段每年耗能碳排(kg-CO<sub>2e</sub>/yr.)

α：電力的碳排係數 0.536kg/kWh

E<sub>ac</sub>：空調系統全年耗能量 (kWh/yr)

E<sub>l</sub>：照明系統全年耗能量 (kWh/yr)

E<sub>e</sub>：電器設備系統全年耗能量 (kWh/yr)

E<sub>w</sub>：給排水污水設備系統全年耗能量 (kWh/yr)

E<sub>t</sub>：升降設備系統全年耗能量 (kWh/yr)

TF<sub>a</sub>：總樓地板面積 (m<sup>2</sup>)

以下針對空調、照明、電器設備、給排水、升降設備等五項目，介紹其耗能量之標準計算法如下：

## (二) 空調設備系統耗能計算法

建築物的任一空調系統均由冰水主機、冷卻水塔、風機、水泵等四系統所組成，其空調耗能量必須依此四系統解析而成，再將各空調系統分區之空調耗能量

累計相加即成為全棟建築之空調耗能量  $E_{ac}$ ，其解析公式如下：

$$E_{ac} = \sum (E_{si} + E_{ti} + E_{fi} + E_{pi}) \times T_{ACi} \times V_{ri} \times R_{aci}, \text{ 營運分區累算 } 1 \sim i \text{ -----} (5-38)$$

$$E_{si} = L_s \times \Psi_i \times R_{si} \text{ -----} (5-39)$$

$$E_{ti} = L_t \times P_{ti} \times R_{ti} \text{ -----} (5-40)$$

$$E_{fi} = L_t \times P_{fi} \times R_{fi} \text{ -----} (5-41)$$

$$E_{pi} = L_t \times P_{pi} \times R_{pi} \text{ -----} (5-42)$$

$$V_{ri} = (1.3 - \gamma) \times (0.2 + EEV) \div \alpha \text{ -----} (5-43)$$

其中：

$E_{ac}$ ：空調系統耗能量(kWh/yr)

$E_{si}$ ：i 營運分區冰水主機全年耗能量(kWh/yr)

$E_{ti}$ ：i 營運分區冷卻水塔系統全年耗能量(kWh/yr)

$E_{fi}$ ：i 營運分區風機系統全年耗能量(kWh/yr)

$E_{pi}$ ：i 營運分區水泵系統全年耗能量(kWh/yr)

$T_{ACi}$ ：空調全年運轉時間，見表 5-18

$V_{ri}$ ：通風設計空調負載率， $V_{ri} \leq 1$ ，無單位，指具備細長平面、外殼節能、開窗通風等良好通風設計且採季節停機而導致之空調時間減少比例。

$\gamma$ ：外周區面積比，無單位，即  $\gamma = AF_p \div (AF_p + AF_i)$

$\alpha$ ：外周區可通風面積比，無單位。可開窗邊緣兩側 4.0m 內之外周區樓地板面積為可通風範圍，所有外周區之可通風樓版地面積與總外周區樓地板面積之比即為  $\alpha$ 。

EEV：綠建築標章日常節能指標中之建築外殼節能效率值

$L_s$ ：主機負載率，無單位，查表 5-19

$L_t$ ：冷卻水塔、風機、水泵等搬運機器負載率，無單位，查表 5-19

$H_d$ ：平均室內發熱密度 ( $W/m^2$ )

$H_{di}$ ：i 空間室內發熱密度 ( $W/m^2$ )。

$AF_{pi}$ 、 $AF_{ii}$ ：i 營運分區外周區、內周區樓地板面積 ( $m^2$ )

$R_{aci}$ ：i 營運分區空調管理效率，無單位，見表 5-21

$\Psi_i$ ：i 營運分區冰水主機容量 (kW)，初步設計階段可採標準推估值，詳細設計階段可以實際設計值計之。

$P_{ti}$ ：i 營運分區冷卻水塔系統容量，初步設計階段可採標準推估值，詳細設計階段可以實際設計值計之。

$P_{fi}$ :  $i$  營運分區風機系統容量，初步設計階段可採標準推估值，詳細設計階段可以實際設計值計之。

$P_{pi}$ :  $i$  營運分區水泵系統容量，初步設計階段可採標準推估值，詳細設計階段可以實際設計值計之。

$R_{si}$ :  $i$  營運分區主機系統效率，無單位，取自綠建築 EEWB-BC 日常節能指標  $R_s$  計算值，參見表 5-20

$R_{ti}$ :  $i$  營運分區冷卻水塔系統效率，無單位，取自綠建築 EEWB-BC 日常節能指標  $R_t$  計算值，參見表 5-20

$R_{fi}$ :  $i$  營運分區風機系統效率，無單位，取自綠建築 EEWB-BC 日常節能指標  $R_f$  計算值，參見表 5-20

$R_{pi}$ :  $i$  營運分區水泵系統效率，無單位，取自綠建築 EEWB-BC 日常節能指標  $R_p$  計算值，參見表 5-20

上述公式之  $i$  變數是指有不同「營運分區」之情形，如醫院可能分 12 小時與 24 小時兩個「營運分區」；觀光旅館可能有四個「營運分區」，因此公式 (5-38) 必須累計兩次或四次。然而，一般大部分建築物都只有一個相同空調時段，如辦公建築、圖書館、學校或大型空間建築物，此時  $i$  變數為 1，公式 (5-38) 只要一次計算即可。

公式(5-38)以公式(5-39)~(5-42)累算而成，即由主機、冷卻水塔、風機、水泵等設備之容量與效率來累算其耗能量，這些公式前面的常數  $L_s$ 、 $L_t$  乃是主機與其他搬運機械在全年運轉下之負載率。由於負載率常因氣象變動而變，通常室內熱大的建築物之空調負載較穩定，反之室內熱小的建築物之空調負載變動大，因此  $L_s$ 、 $L_t$  負載率以室內發熱量大小來修正之，主機負載率  $L_s$  變動於 0.5~0.8 之間，搬運機械變動於 0.7~0.9 之間。本系統為了提供事前改善設計之檢討，在「初步設計階段」即提供以下設備容量之標準推估值來進行評估，待「詳細設計階段」取得真實設備容量時，則以真實設備容量代入，可再次評估其真實的設計效率。

表5-19 各空間空調設備負載率標準表

空間所屬分區	空間名稱		冰水主機負載率 Ls			風機負、冷卻水塔載率 Lf	水泵負載率 Lp
			往復式主機、箱型冷氣	離心式、螺旋式主機	吸收式主機		
24 小時空調型住宿類空間	A1	24 小時輕設備醫療空間(一般病房+護理站)	0.56	0.35	0.34	0.65	0.69
	A2	全年空調住宿空間(飯店客房)	0.57	0.36	0.35	0.66	0.69
24 小時間歇空調型住宿類空間	B1	間歇空調透天住宅、集合住宅(含公共空間)	0.56	0.40	0.30	0.61	0.66
	B2	間歇空調不常住住宿設施(宿舍)	0.56	0.40	0.32	0.62	0.67
24 小時間歇空調常住型住宿類空間	C1	間歇空調常住住宿設施(養老院、孤兒院、療養院)	0.61	0.48	0.41	0.68	0.72
24 小時營業設備間歇使用類空間	D1	24 小時連鎖超商與速食餐廳	0.59	0.43	0.34	0.62	0.68
	D2	24 小時重設備醫療空間(加護病房、急診區)	0.56	0.39	0.28	0.55	0.63
	D3	醫院手術房(含附屬空間)	0.57	0.40	0.30	0.57	0.65
	D4	24 小時冷凍冷藏空間(飯店、餐廳、量販店之大型專用冷凍冷藏空間)	0.59	0.43	0.34	0.62	0.68
24 小時營業設備穩定使用類空間	E1	電腦、電信機房(內含高密度電腦、電信設備之全空調機房)	0.60	0.46	0.38	0.66	0.70
18 小時交通運輸類空間	G1	車站、轉運站、航站之大廳(業務大廳區以外空間以 12 小時營業空間處理)	0.56	0.39	0.26	0.53	0.62
15 小時視聽娛樂類空間	H1	電影院(包括走廊、前廳)	0.56	0.38	0.26	0.53	0.62
12 小時營業類空間	I1	一般商店、超市(未設商店街、百貨、餐飲、美食街等)	0.58	0.42	0.32	0.59	0.66
	I2	高照明商場(百貨一樓美妝商場)	0.61	0.46	0.38	0.65	0.70
	I3	專用餐廳、飯店宴會場(中西餐廳, 特色餐廳, 含附屬廚房、備餐區、冷凍冷藏區)	0.59	0.44	0.34	0.61	0.67
	I4	有大量冷凍冷藏設備之生鮮商場、量販店	0.61	0.46	0.38	0.65	0.70
	I5	中央廚房、中央洗衣房	0.59	0.43	0.33	0.59	0.66
	I6	12 小時輕設備醫療空間(醫院之門診部、診所、大廳)	0.57	0.40	0.28	0.55	0.63
	I7	12 小時重設備醫療空間(醫院之檢驗部、藥劑部、放射科、血液透析中心、復健部等)	0.59	0.43	0.33	0.60	0.67
	I9	運動場館空間(健身房、舞蹈室、室內球場、保齡球、運動練習室、運動俱樂部、室內游泳池, 含附屬空間)	0.59	0.44	0.34	0.61	0.67
	I10	娛樂空間(電子遊樂場、	0.57	0.40	0.29	0.56	0.64

		KTV、網咖、撞球、酒吧、舞廳、卡拉 OK 等，含附屬空間)					
	I11	有大量加熱設備之專用休閒設施 (營業專用 SPA & 三溫暖、溫泉澡堂，不含附屬於其他空間之小休閒設施)	0.61	0.46	0.38	0.65	0.70
12 小時間歇使用類空間	J1	展覽空間 (美術館、文物陳列室、商業展覽場等)	0.59	0.42	0.32	0.58	0.65
	J2	專用演講廳、禮堂、會議中心、宴會場	0.57	0.40	0.28	0.55	0.63
	J3	演藝廳、表演廳、演藝活動兼用之體育館	0.57	0.40	0.28	0.54	0.63
	J4	體育館專用室內座位區	0.57	0.40	0.28	0.54	0.63
10 小時行政辦公類空間	K1	辦公類空間 (辦公、會議、行政、視聽、研究、實驗相關空間)	0.59	0.42	0.32	0.58	0.65
	K2	圖書館 (含閱讀區、書庫區與附屬空間)	0.59	0.43	0.32	0.59	0.66
	K3	學校教室與辦公行政 (普通教室、專科教室、視聽教室、學校辦公行政區)	0.58	0.41	0.30	0.56	0.64
	K4	機關餐廳 (學校、企業、工廠之大眾餐廳)	0.60	0.45	0.36	0.62	0.68
	K5	工廠實驗、研究室 (研發空間)	0.59	0.43	0.33	0.59	0.66
工廠廠房製程空間「10 小時行政辦公類」	L1	無空調一般工廠作業區(10hr)	-	-	-	-	-
	L2	空調型一般工廠作業區(10hr)	0.64	0.51	0.45	0.71	0.74
	L3	空調型精密製造區(10hr)	0.64	0.52	0.47	0.73	0.75
	L4	空調型潔淨生產區(10hr)	0.62	0.49	0.41	0.67	0.72
工廠廠房製程空間「24 小時設備穩定使用類」	L1	無空調一般工廠作業區(24hr)	-	-	-	-	-
	L2	空調型一般工廠作業區(24hr)	0.60	0.46	0.38	0.66	0.70
	L3	空調型精密製造區(24hr)	0.61	0.47	0.40	0.68	0.72
	L4	空調型潔淨生產區(24hr)	0.59	0.43	0.34	0.62	0.68

(資料來源：本研究整理)

公式(1)後兩項以通風設計空調節能率  $V_{ri}$ 、能源管理效率  $R_{aci}$  修正而成，是考慮涼爽季節之停機、能源管理系統 BEMS 之節能效益。其中通風設計空調節能率  $V_{ri}$ ，是指採用細長平面、外殼節能、開窗通風等良好通風設計使涼爽季節可以減少空調運轉時間而節約空調耗能之比例。 $V_{ri}$  以公式(5-43) 計算之，其意義為外周區越大、可通風開窗越多、外殼節能設計越佳，則有越好的節能率。像深度七米之學校教室為全外周區(外周區面積比  $\gamma = 1.0$ )、全面可開窗設計(外周區可通風面積比  $\alpha = 1.0$ )，建築外殼節能設計合乎建築技術規則 ( $EEV = 0.8$ ) 時，其  $V_{ri}$  計算值為 0.3，亦即因通風設計使空調系統能由全年運轉變成僅運轉約 3.6 個月運轉而節能 64% 之意。其中所可通風面積是指由可開窗部位邊緣兩側 4.m 垂直窗面線分割之外周區樓地板範圍視為該開窗之可通風樓地板範圍，但兩

側劃設之範圍不能受高 1.5m 以上隔屏或隔牆所阻，有阻隔時通風樓地板範圍只能劃設至阻隔處為止。所有外周區之可通風樓地板面積與總外周區樓地板面積之比即為外周區可通風面積比  $\alpha$ 。外周區可通風面積比  $\alpha$  之計算法，必先逐一劃設可開窗之可通風樓地板範圍，可通風樓地板範圍重疊之處不可重複計算（見圖 5-4）。通常先把所有可通風樓地板範圍劃設完畢後，只剩下極少部份的「不可通風範圍」，算此「不可通風範圍」較為輕鬆，再反算回外周區可通風面積比  $\alpha$  是較方便的算法。

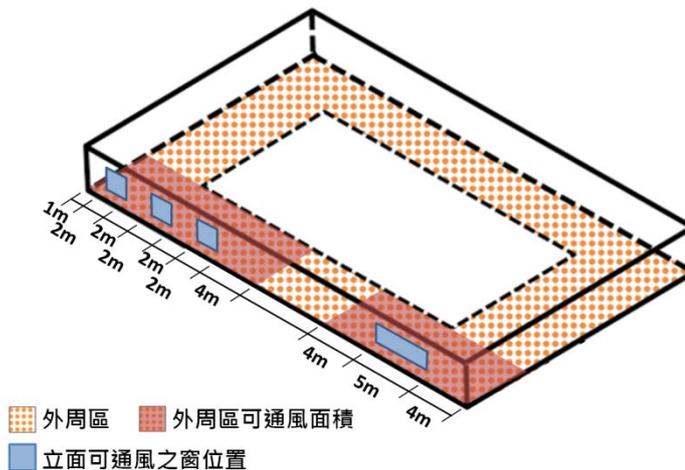


圖 5-4 某建築樓層之外周區可通風面積示意圖

(資料來源：本研究繪製)

$V_{ri}$  之修正法是忠實反應許多建築物在冬季採自然通風而停止空調運轉之節儉生活模式，這是我國能源證書制度最貼近氣候民情，也是值得鼓勵的綠色節能方向。但在此必先聲明，必先確認有足夠可開窗且採個別空調系統或有獨立外周區停機控制運轉之中央空調系統，才能採用此通風設計空調節能率  $V_{ri}$  之優惠計算，否則一律以  $V_{ri}=1.0$  處理之。

最後，能源管理效率  $R_{aci}$  是反應能源管理系統 BEMS 之節能效益，其效率  $R_{aci}$  如表 5-21 所示。

表 5-20 空調節能技術簡易評估表

節能對象	空調節能技術	效率	效率標準值	採用率(*1)
熱源系統 節能技術	冰水主機台數控制系統	$\alpha_1$	手動 ON-OFF 控制：0.05	$r_1 = 1.0$
			時程自動控制：0.10	

			邏輯策略自動控制：0.15	
儲冰空調系統	$\alpha_2$		時程自動控制：0.10	r2 (分量儲冰率) =
			邏輯策略自動控制：0.20	
吸收式或熱泵式 冷凍機	$\alpha_3$		瓦斯直燃式或熱泵式：0.15	r3 (熱源容量比) =
			熱回收式：0.30	
變頻主機或變冷 媒量熱源	$\alpha_4$		0.20	r4 =
CO <sub>2</sub> 濃度外氣量 控制系統	$\alpha_5$		0.15	r5 =
全熱交換器系統	$\alpha_6$		0.13	r6 =
外氣冷房系統	$\alpha_7$		0.06	r7 =
空調風扇並用系 統	$\alpha_8$		0.03	r8 =
其他熱源節能系 統	$\alpha_9$		(提出計算證明自填)	r9 =
熱源系統節能效率 $R_s = 1.0 - \sum (\alpha_j \times r_j) =$				
送風系統 節能技術	變風量系統(VAV)	$\alpha_{10}$	變頻無段變速：0.50	r10 =
			自動分段變速：0.40	
			手動分段變速：0.20	
			風車入口導流控制：0.30	
			出風口風門控制：0.20	
送風系統節能效率 $R_f = 1.0 - \sum (\alpha_j \times r_j) =$				
送水系統 節能技術	變流量系統 (VWV)	$\alpha_{11}$	一次冰水變頻系統 VPF： 0.75	r11 =
			變頻無段變速 SP：0.50	
			冰水泵台數控制：0.25	
送水系統節能效率 $R_p = 1.0 - \sum (\alpha_j \times r_j) =$				
冷卻水塔 節能技術	冷卻水塔節能優 惠	$\alpha_{12}$	出水溫度控制：0.2	r12 =
			濕球接近溫度控制：0.35	
			最佳策略控制：0.5	
冷卻水塔節能效率 $R_t = 1.0 - \sum (\alpha_j \times r_j) =$				

再生能	再生能源	$\beta_1$
源、節能	建築能源管理系	$\beta_2$
管理系統	統	
節能技術	其他總系統節能效率 $R_m = 1.0 - \sum \beta_k =$	

(資料來源：綠建築評估手冊 EEWH-BC 版)

表5-21 空調使用管理效率Raci表

能源監控	設置 BEMS 系統具監視、警報、運轉控制、計測等功能者	Raci=0.95
系統	設置 BEMS 系統具能源、效率、設施計測與控制管理功能者	Raci=0.90
BEMS	設置 BEMS 系統具電能管理、最佳化策略控制管理功能者	Raci=0.85
其他	其他足以節約空調能源之管理對策，由業主提出計算證明	Raci= 認定值

(資料來源：本研究整理)

所謂空調設備容量標準推估法，乃是在設計圖剛完成而尚無設備設計時之「初步設計階段」，提供一大致不差的設備容量標準值，以便在事前即能估算空調耗能情形，此推估法如下：

#### A. 主機容量推估

本系統關於主機容量之推估法，以表 5-14 所示之內外周區最大空調負荷值累計而成，其計算如公式 (7) ~ (8) 所示：

$$Psi = (\sum AF_{ij} \times L_{ij} \times h_{ij} + \sum AF'_{ij} \times L'_{ij} \times h'_{ij}) \div COP_i \div 1000, \text{空間累算 } 1 \sim j \text{ ----- (5-44)}$$

$$L_{ij} = 0.67PL_{ij} + 0.33IL_{ij} \text{ ----- (5-45.1)}$$

$$L'_{ij} = 0.67PL'_{ij} + 0.33IL'_{ij} \text{ ----- (5-45.2)}$$

$$PL_{ij} = (a_j + b_j \times EEV) \text{ ----- (5-45.3)}$$

$$PL'_{ij} = PL_{ij} \times (1.0 + 0.2 \times (U_{ar}/U_{arc})) \text{ ----- (5-45.4)}$$

$$IL'_{ij} = IL_{ij} \times (1.0 + 0.2 \times (U_{ar}/U_{arc})) \text{ ----- (5-45.5)}$$

其中：

EEV: i 營運分區之建築外殼節能效率，即  $Envload/Envload_c$ 、 $Req/Req_c$  或  $AWSG/AWSG_c$ ，其計算見內政部「建築技術規則建築物節能設計規範」。

Psi: i 營運分區之主機容量 (kW)

COPi：i 營運分區主機效率，在「初步設計階段」採表 5-15 之標準值，在「詳細設計階段」採實際設計值

AFij、AFij'：中間層、屋頂層 i 營運分區 j 之樓版面積 (m<sup>2</sup>)

Lij、Lij'：中間層、屋頂層 i 營運分區 j 空間之最大空調負荷密度 (w/m<sup>2</sup>)

PLij、PLij'：中間層、屋頂層 i 營運分區之外周區 j 空間的最大空調負荷密度 (w/m<sup>2</sup>)，見表 5-22。

ILij、ILij'：中間層、屋頂層 i 營運分區之內部區 j 空間的最大空調負荷密度 (w/m<sup>2</sup>)，見表 5-22。

Uar：該建築屋頂熱傳透率 (w/m<sup>2</sup>°C)

Uarc：建築技術規則建築屋頂熱傳透率基準值 (w/m<sup>2</sup>°C)

aj：j 外周區之最大空調負荷回歸係數 (w/m<sup>2</sup>)

bj：j 外周區之最大空調負荷回歸係數 (w/m<sup>2</sup>)

hij：i 營運分區 j 空間樓高修正係數，一般樓高建築為 1.0。hij 以一層 4m 為基本單位，以整數樓層就近修正即可 (四捨五入)，每增加一層多 0.3 倍，最多以 2.5 倍為限。亦即  $h_j = 1.0 + 0.3 \times (\text{樓高} - 4.0) / 4.0$ ， $h_j \leq 2.5$ 。挑空樓高不均勻時，以面積加權平均之樓高計之。

**表5-22 各分類空間外周區與內部區的最大空調負荷密度推估值**

空間所屬分區	編號	空間名稱	建築外殼節能指標效率 EEV	外周區最大空調負荷密度 PLj 之回歸係數		內部區最大空調負荷密度 ILj (w/m <sup>2</sup> )
				aj(w/m <sup>2</sup> )	bj(w/m <sup>2</sup> )	
24 小時住宿類空間	A1	24 小時輕設備醫療空間	Envload/Envloadc	143.76	29.00	76.65
	A2	全空調住宿空間	Envload/Envloadc	91.08	0.77	31.51
24 小時間歇型住宿類空間	B1	住宿空間	Req/Reqc	14.38	82.04	30.58
24 小時營業類空間	B1	24 小時餐廳商店	Envload/Envloadc	192.26	156.84	226.76
			AWSG/AWSGc	34.27	256.18	226.76
	B2	24 小時重設備醫療空間	Envload/Envloadc	143.76	28.20	75.94
	B3	24 小時生鮮冷	AWSG/AWSGc	34.27	123.27	93.85

		凍冷藏空間				
	B4	電腦、電信機房	Envload/Envloadc	84.48	107.48	138.14
			AWSG/AWSGc	34.27	186.75	138.14
24 小時無空調類空間	C1	24 小時機械換氣空間	-	-	-	-
	C2	無空調之大型專用倉庫	-	-	-	-
	C3	半戶外空間	-	-	-	-
18 小時交通運輸類空間	D1	車站、航站大廳	AWSG/AWSGc	38.56	227.75	194.65
15 小時視聽娛樂類空間	E1	電影院	AWSG/AWSGc	34.27	301.36	271.94
12 小時營業類空間	F1	一般餐廳商店	Envload/Envloadc	192.26	43.98	115.92
			AWSG/AWSGc	34.27	145.34	115.92
	F2	高照明商場	Envload/Envloadc	192.26	80.61	150.68
			AWSG/AWSGc	34.27	180.10	150.68
	F3	專用餐廳、宴會場	Envload/Envloadc	192.26	151.73	221.71
			AWSG/AWSGc	34.27	251.13	221.71
	F4	冷凍冷藏生鮮商場	Envload/Envloadc	192.26	135.57	204.62
			AWSG/AWSGc	34.27	234.04	204.62
	F5	中央廚房、中央洗衣房	Envload/Envloadc	192.26	29.93	99.94
			AWSG/AWSGc	34.27	129.36	99.94
F6	12 小時輕設備醫療空間	Envload/Envloadc	143.76	125.70	173.42	
F7	12 小時重設備	Envload/Envloadc	143.76	140.77	188.48	

		醫療空間	dc			
	F8	醫院手術房(室)	Envload/Envloadc	143.76	62.87	110.60
	F9	室內運動空間	AWSG/AWSGc	34.27	168.14	138.72
	F10	娛樂空間	Envload/Envloadc	107.41	156.86	199.95
			AWSG/AWSGc	34.27	229.37	199.95
	F11	有大量加熱設備之休閒設施	Envload/Envloadc	107.41	195.96	239.05
			AWSG/AWSGc	34.27	268.47	239.05
12 小時間歇 使用類空間	G1	展覽空間	AWSG/AWSGc	34.27	174.89	145.47
	G2	演講廳、禮堂	AWSG/AWSGc	38.56	301.71	268.61
	G3	演藝廳、表演廳、演藝活動兼用之體育館	AWSG/AWSGc	38.56	299.59	266.49
	G4	體育館專用室內座位區	AWSG/AWSGc	34.27	413.57	384.15
	G5	體育館專用室內賽場區	AWSG/AWSGc	34.27	252.98	223.56
10 小時行政 辦公類空間	H1	辦公類空間	Envload/Envloadc	84.48	76.15	106.81
	H2	圖書館	AWSG/AWSGc	34.27	109.39	79.97
	H3	學校	AWSG/AWSGc × AWR*	32.03	216.03	251.59
	H4	機關餐廳	Envload/Envloadc	84.48	214	244.66
			AWSG/AWSGc	34.27	274.08	244.66
H5	工廠實驗、研究室	AWSG/AWSGc	34.27	164.60	135.18	
其他類空間	I1	一般工廠作業	AWSG/AWSGc	34.27	185.84	156.42

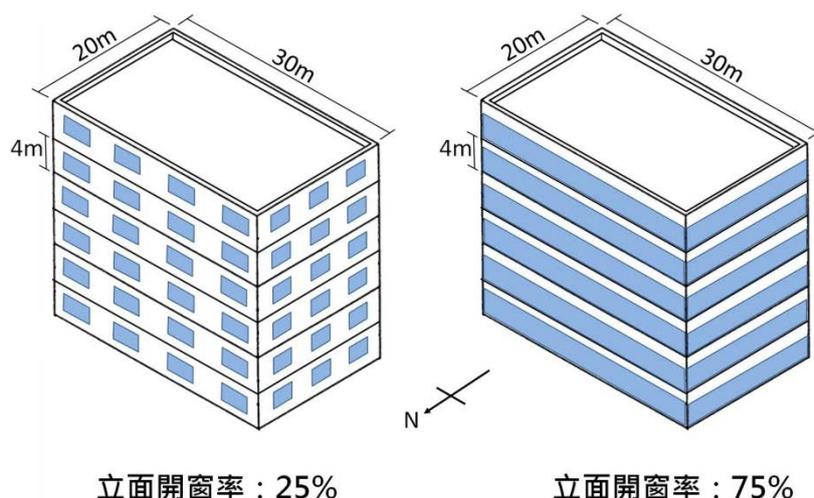
(依其建築類型而定 10、12、18、24 小時使用時間)	I2	精密製造區	AWSG/AWSGc	34.27	145.83	116.41
	I3	潔淨生產區	AWSG/AWSGc	34.27	161.09	131.67
	I4	高照明接待大廳	AWSG/AWSGc	34.27	140.42	111.00
	I5	低照明接待大廳	AWSG/AWSGc	34.27	102.02	72.60
註*：學校類須以「外殼節能指標比 AWSG/AWSGc 乘上平均立面開窗率 AWR」做為預測空調負荷之變數						

(資料來源：本研究整理)

表5-23 空調系統主機最低性能係數標準 COPc

型式	冷卻能力等級	性能係數標準 COPc
水冷式主機	<150RT	4.45
	≤500RT，≥150RT	4.90
	>500RT	5.50
氣冷式主機		2.79
吸收式冷凍機		單效 0.75，雙效 1.00 (綠建築解說與評估手冊標準)
箱型氣冷式		2.84
箱型水冷式		3.69
窗形或分離式冷氣機		2.73

(資料來源：經濟部能源局)



**圖 5-5 本系統計算外殼負荷之標準建築模型**

(資料來源：本研究繪製)

公式 (5-44) ~ (5-45) 之意義在於以建築外殼耗能指標效率  $EEV$  (即  $Envload/Envloadc$ 、 $Req/Reqc$  或  $AWSG/AWSGc$ ) 來推算主機設備量的作法，其意義在於以建築外殼節能設計水準來反應空調耗能水準，是能源證照用來控制外殼節能之關鍵。表 5-14 外周區、內部區之最大空調負荷密度  $PL_{ij}$ 、 $IL_{ij}$  乃是以台北最大熱負荷計算氣象資料求得。其中外周區之回歸係數  $a_j$ 、 $b_j$  以圖 5-5 標準外周空間平面，由開窗率 75% 與 25% 之最佳與最差兩條件分別計算最大空調負荷密度以及建築節能指標 ( $Envload/Envloadc$ 、 $Req/Reqc$  或  $AWSG/AWSGc$ ) 以兩點直線回歸式求得。其公式 (5-45) 以全棟節能指標來推算局部空間最大空調負荷之意義，是假設局部外殼與全棟有類似之外殼節能水準之意。在此完全將方位變數忽略不計，因為方位之權重已經包含於  $Envload$ 、 $Req$ 、 $AWSG$  之內，方位權重之影響自然已融入其推算之空調設備量之內。

公式 (5-44) 顯示主機容量因主機效率  $COP$  而變化，效率較佳之機器可得較小之容量，效率較差之機器則得較大之容量，此乃彰顯節能設計之重點。然而，在「初步設計階段」我們根本不知主機容量與  $COP$ ，必須以標準值來模擬才行。本系統建議以總空調面積  $\times 0.05 USRT/m^2$  先初估其主機容量，再依表 5-23 選定其主機性能係數  $COP_c$  作為解析之標準依據，以作為初步設計之檢討。待「初步設計階段」完成空調設計後，才以真正的主機容量與  $COP$  代入，重新檢討之。

## B. 風機、水泵容量推估

上述主機容量之推估是最困難的部分，其他風機、水泵、冷卻水塔之容量

Pfi、Ppi、Pti 主要由主機容量以「一定比例」來推估即可，其方法相對簡單。所謂「一定比例」是指實務界所設計的運送機器容量與主機容量通常有一定之比例關係（見表 5-24），只要知道主機容量，依此關係換算即可知到其他設備之容量。其換算公式如下：

$$Pfi = Psi \times r1 \quad \text{-----} \quad (5-46)$$

$$Ppi = Psi \times r2 \quad \text{-----} \quad (5-47)$$

$$Pti = Psi \times r3 \quad \text{-----} \quad (5-48)$$

表5-24 風機、水泵、冷卻水塔對主機之功率比

	AHU 系統	FCU 系統	箱型機		變冷媒		窗形、分離機系統
			水冷式	氣冷式	水冷式	氣冷式	
風機/主機功率比 r1	0.135	0.100	0.000	0.000	0.075	0.075	0.000
水泵/主機功率比 r2	0.090	0.125	0.129	0.000	0.138	0.000	0.000
冷卻水泵/主機功率比 r3	0.025	0.025	0.047	0.000	0.038	0.000	0.000

(資料來源：本研究整理)

### (三) 照明耗能標準計算法

照明耗能的解析還是依據「營運分區」來計算的，如醫院可能分 12 小時與 24 小時兩個「營運分區」，觀光旅館可能有四個「營運分區」，分兩次或四次來計算照明耗能是有其方便的。然而，一般大部分建築物都只有一個「營運分區」，只要進行一次計算即可。對於每一「營運分區」，照明耗能的標準計算法如下：

$$EI = \sum(Pli \times T_{Li}) \times EL, \text{營運分區累算 } 1 \sim I \quad \text{-----} \quad (5-49)$$

$$Pli = \sum(UPDij \times Aij), \text{空間累算 } 1 \sim j \quad \text{-----} \quad (5-50)$$

其中

El：照明耗能量 (kWh/yr.)

$P_{li}$  : i 營運分區的照明功率 (kW)。

$A_{ij}$  : i 營運分區 j 空間之樓地板面積 ( $m^2$ )

EL : 全案照明系統與管理效率，無單位，「初步設計階段」以 1 代入，

「詳細設計階段」以綠建築標章 EL 計算值代入

$T_{Li}$  : i 營運分區空間照明全負荷相當使用時間

$UPD_i$  : i 營運分區 j 空間的空間照明功率密度 ( $W/m^2$ )。

公式 (5-49) 並不像公式 (5-39) ~ (5-42) 一般採用設備系統效率  $R_i$  與使用管理效率  $U_i$  之兩次修正計算，而只以單一照明系統與管理效率 EL 來修正其照明耗能量計算，此乃因為在綠建築標章中 EL 值已經融入照明設備效率與控制管理效率之故，在此特別提請注意。

#### (四) 電器設備耗能計算法

電器設備用電是指空調照明以外之電腦、影印機、檯燈、事務機器、醫療儀器、實驗器材、作業工具等用於插座之設備耗電，每一空間因其特性而有一定的電器設備耗電。電器設備耗能的解析也是依據「營運分區」來計算的，如醫院可能分 12 小時與 24 小時兩個「營運分區」，觀光旅館可能有四個「營運分區」，應分兩次或四次來計算。然而，一般大部分建築物都只有一個「營運分區」，只要進行一次計算即可。對於每一「營運分區」，電器設備耗能的標準計算法如下：

$$E_e = \sum P_{ei} \times T_{Ei} \times U_{ei}, \text{營運分區累算 } 1 \sim i \text{ -----(5-51)}$$

$$P_{ei} = (\sum P_{edj} \times A_{ij}), \text{空間累算 } 1 \sim j \text{ -----(5-52)}$$

其中：

$E_e$  : 電器設備耗電量 (kWh/yr.)

$T_{Ei}$  : i 營運分區空間其他電器全負荷相當使用時間 (h/yr)。

$U_{ei}$  : 電器設備使用管理效率，無單位，一般為 1.0，使用有效之夜間待機用電停機管理技術者 0.9 (提證明)

$P_{edj}$  : i 營運分區 j 空間電器設備密度 ( $kW/m^2$ )。

$A_{ij}$  : i 營運分區 j 空間的樓地板面積 ( $m^2$ )

## (五) 給排水設備耗能計算法

給排水設備之耗電量依公式 (5-53) ~ (5-56) 解析之。此解析法是先以空間的使用人數來計算用水量，再以用水量來計算耗電量之理論。其中  $E_{wt}$  是指淨水污水處理的耗能密度 ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ )，標準值為 0.81， $E_{wp}$  則是揚水的耗能量。

$$E_w = (Q_w \times E_{wp} + (Q_w - Q_{rw}) \times E_{wt}) \times R_w \text{-----} (5-53)$$

$$Q_w = \sum R_p \times P_{dij} \times W_{ui} \times A_{ij} \text{-----} (5-54)$$

$$E_{wp} = 0.02 \times (h_f + 2) \text{-----} (5-55)$$

$$R_w = 1.0 - 0.3 \times r_1 + 0.05 \times r_2 \text{-----} (5-56)$$

其中

$E_w$ ：給排水污水耗電量 ( $\text{kWh}/\text{yr}$ )

$Q_w$ ：正常供水量 ( $\text{m}^3/\text{yr}$ )

$R_p$ ：空間人員使用率，無單位，見 5-25。

$P_{dij}$ ：i 營運分區 j 空間之人員密度 ( $\text{人}/\text{m}^2$ )，見表 5-25

$A_{ij}$ ：i 營運分區 j 空間之樓地板面積 ( $\text{m}^2$ )

$W_{ui}$ ：i 營運分區每人年用水量 ( $\text{m}^3/\text{人}$ )，見表 5-25

$Q_{rw}$ ：再生水供水量 ( $\text{m}^3/\text{yr}$ )，由雨中水系統的設計值決定，無則為 0。

$E_{wt}$ ：淨水污水處理耗能密度 ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ )，標準值為 0.81。

$E_{wp}$ ：揚水耗能密度 ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ )

$R_w$ ：省水效率，無單位。

$r_1$ ：省水馬桶使用比例，無單位。

$r_2$ ：省水水栓使用比例，無單位。

$h_f$ ：建築樓層數，無單位。

表5-25 空間人員使用率與年用水量

空間所屬分區	人員使用率	每人年用水量 (m <sup>3</sup> /人)
24 小時住宿類空間	0.7	109.5
24 小時營業類空間	0.5	11.0
24 小時無空調類空間	0.4	1.1
18 小時交通運輸類空間	0.4	11.0
15 小時視聽娛樂類空間	0.5	3.6
12 小時營業類空間	0.5	4.6 (註：大量加熱設備休閒設施取 61.6)
12 小時間歇使用類空間	0.5	9.1
10 小時行政辦公類空間	0.7	25.4
其類空間	0.7	25.4

(資料來源：本研究整理)

#### (六) 升降設備耗能計算法

電梯耗能計算上，本系統採下式(5-58)為之，一般建築物在電梯設計完成後，可依實際電梯速度及規格輸入加以計算。而若建築尚在規劃階段，電梯數量及規格尚不確定時，亦可利用式(5-59)概估電梯數量，在以式(5-59)計算之電梯數量、並以電梯最大荷重 1000kg、電梯額定速度 120m/min 代入式(5-58)計算即可。

$$E_t = E_{\text{elve}} + E_{\text{esc}} \text{-----} (5-57)$$

$$E_{\text{elev}} = n \times L \times V \times T_e \times L_{er} \div 860 \text{-----} (5-58)$$

$$n = \Sigma(O_{di} \times A_i) \times P_p \div C_{5m} \quad (\text{取無條件進位整數值}) \text{-----} (5-59)$$

$$C_{5ma} = 35.58 - 0.63 \times f \text{-----} (5-60)$$

$$C_{5mb} = 30.41 - 0.49 \times f \text{-----} (5-61)$$

其中

$E_t$  = 建築物升降系統耗能(kWh/yr)

$E_{elve}$  : 電梯全年耗電量(kWh/yr)

$E_{esc}$  : 電扶梯全年耗電量(kWh/yr)

$n$  : 電梯台數(台), 規劃階段以式(5-59)計算取「無條件進位整數值」, 設計階段則依實際設計台數代入。

$L$  : 單台電梯最大荷重(kg), 初步設計階段令  $L=1000\text{kg}$ , 詳細設計階段則依實際設計電梯規格代入。

$V$  : 電梯額定速度(m/min), 初步設計階段令  $V=120\text{m/min}$ , 詳細設計階段則依實際設計電梯規格代入。

$T_e$  : 電梯全年使用時間(hr/yr), 取每台 2000 小時/年。

$L_{er}$  : 電梯效率, 一般系統令  $L_{er}=0.033$ , 變頻變壓系統令  $L_{er}=0.022$ 。

$O_{di}$  : 空間人員密度(人/ $\text{m}^2$ )。

$F_a$  : 空間地板面積( $\text{m}^2$ )

$P_p$  : 人員 5 分鐘尖峰負荷率, 查表 5-26。

$C_{5ma}$ 、 $C_{5mb}$  : 單台電梯 5 分鐘送人能力(人/5min), 詳式(24)、(25),  $C_{5ma}$  乃針對辦公建築、 $C_{5mb}$  則用於其他類建築。

$f$  : 建築總樓層數(層)。

**表5-26 人員5分鐘尖峰負荷率 $P_p$ 一欄表**

建築類型	辦公	旅館	醫院	教室、 學校	商場	混合/ 其他
人員 5 分鐘 尖峰負荷率	15%	12%	12%	20%	10%	10%
註：單棟建築中，混合空間電梯間峰負荷率之認定皆採最右欄「混合/其他」類 10% 為計；若混合空間之間有明確區劃，不同區劃之電梯各自服務個別分區者，則依各區劃各自認定計算。						

**(資料來源：本研究整理)**

電扶梯耗能計算上，採下式(5-62)為之，其中，由於電扶梯並非多數商業建築最主要之升降運輸工具(最主要必要者還是電梯)，故其數量應以設計圖面上之數量為準；而若初步設計階段尚未決定電扶梯之功率時，則依建築樓高決定規劃階段電扶梯功率。

$$E_{esc} = \sum n \times P_{esc} \times T_i \times U_{rj} \times L_{rj} \text{-----} (5-62)$$

其中

$E_{esc}$ ：電扶梯年總耗電量(kWh/yr)

$n$ ：電扶梯數量(座)

$P_{esc}$ ：電扶梯功率(kW)，「初步設計階段」若建築樓高<4.5m，則令  $P_{esc}=7\text{kW}/\text{座}$ ；若建築樓高 $\geq 4.5\text{m}$ ，則令  $P_{esc}=10\text{kW}/\text{座}$ 。「詳細設計階段」則依實際電扶梯功率代入。

$T_i$ ：使用時間。

$U_{rj}$ ：使用率，設計階段取  $U_{rj}=1$ ，設計階段依設備是否間歇啟停輸入修正之。

$L_{rj}$ ：系統效率，規劃階段取  $L_{rj}=1$ ，設計階段依設備效率輸入。

#### 第四節 修繕更新階段資材碳排評估

建築物之修繕更新為該建築物生命週期間，對內外裝、室內裝修、建築設備所實施的分項工程。此碳排可分資材部份在生產運輸階段之碳排，以及生命週期間中零星工程的施工碳排兩部份。第一部份之碳排評估乃將該工程建材與設備的碳排計算量(如上述推算)乘表 5-19 所示建築分項工程在生命週期更新次數( $RT_i - 1$ )即可。例如裝修工程在觀光旅館中為 5 年生命週期，60 年命週期之更新次數  $RT_{in}$  為 12 次，但 12 次中包含第一次新建工程，因此其室內裝修工程建材之碳排量必須以  $RT_{in} - 1 = 11$  倍計算之。第二部份之施工碳排則已經包含在施工營建總碳排  $CF_c$  之計算中，在此不再重複計算。因此，修繕更新資材部份之碳排  $CF_{rn}$  可由下式計算而得：

$$\begin{aligned} CF_{rn} = & CF_{ow} \times (RT_{ow} - 1) + CF_w \times (RT_w - 1) + CF_{iw} \times (RT_{iw} - 1) + CF_f \times (RT_f - 1) \\ & + CF_r \times (RT_r - 1) + CF_{in} \times (RT_{in} - 1) + CF_{ac1} \times (RT_{ac1} - 1) + CF_{ac2} \times (RT_{ac2} - 1) \\ & + CF_{ac3} \times (RT_{ac3} - 1) + CF_{e1} \times (RT_{e1} - 1) + CF_{e2} \times (RT_{e2} - 1) + CF_{e3} \times (RT_{e3} - 1) \end{aligned} \text{-----} (5-63)$$

$CF_{rn}$ ：修繕更新階段資材總碳排 (kg)

$x_1$ ：為地上的總樓層數，無單位

$x_2$ ：為地下的總樓層數，無單位

$F_c(x)$ ：營建施工工程碳排密度標準( $\text{kg-CO}_2/\text{m}^2$ )

TFA：總樓地板面積(m<sup>2</sup>)

CFs：柱樑樓版外牆屋頂結構工程之碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)

CFow：外牆構造外裝工程之碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)，查表 5-19

CFw：外窗構造之碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)，查表 5-19

CFiw：內隔間牆之碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)，查表 5-19

CFf：地板內裝工程之碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)，查表 5-19

CFr：屋頂外裝工程之碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)，查表 5-19

**表5-27 RC類建築分項生命週期LC與生命週期更新次數RT**

工程分項	工程分項碳排	超高損耗建築 (百貨商場、量販店、高級餐廳、娛樂設施、交通旅運設施)		高損耗建築 (觀光旅館、一般商店、一般餐廳、運動設施)		中損耗建築 (出租辦公建築、一般旅館、一般公共設施、教育文化醫療設施)		低損耗建築 (自用辦公建築、工廠、倉庫、住宅、一般住宿類建築)	
		LCi	RTi	LCi	RTi	LCi	RTi	LCi	RTi
結構體	樑柱外牆樓版屋頂結構 CFs	60	1	60	1	60	1	60	1
外裝工程	門窗工程 CFw	30	2	30	2	30	2	30	2
	外牆外裝 CFow	30	2	30	2	30	2	30	2
	屋頂外裝 CFr	20	3	20	3	20	3	20	3
內裝工程	樓版地面 CFf	10	6	15	4	20	3	30	2
	內隔間牆 CFiw	10	6	15	4	20	3	30	2
室內裝修	裝潢工程 CFin	2.5	24	5	12	10	6	20	3
建築設備	空調   中央空調主機系統	20	3	20	3	20	3	20	3
	電氣 CFe1	10	6	15	4	20	3	30	2
	電氣 CFe2	10	6	15	4	20	3	30	2
	給排水衛生 CFe3	15	4	15	4	20	3	20	3
	消防 CFe4	30	2	30	2	30	2	30	2

(資料來源：本研究整理)

### 第五節 拆除廢棄階段碳排評估

建築歷經長年使用後，變成老化而不符合使用機能或經濟效益時，或因建築結構體劣化而導致安全疑慮，終於必須面臨拆除之命運。整個建築的拆除過程以耗能的觀點來看，可分為拆除過程所使用的能源消耗，以及拆除後的營建廢棄物處理所消耗之能源。建築拆解之過程所使用的怪手、破碎機等機械設備之耗能絕大部分為燃料油、柴油等液態能源，而拆除的能源消耗理論上在建築規模越大、層數較高的建築物，所使用的單位面積建材數量也愈高。

建築物經拆除後之廢棄物必須妥善處理，此階段包括搬運交通以及處理廢棄

物的的能源消耗，其過程所耗用之能源則在此處評估。處理營建廢棄物的碳排是難以評估的，因為金屬廢棄物與家具大部分是有價回收物，而雜項廢棄物則多以公路交通運輸至焚化爐或掩埋處回填，其碳排不得而知，在此假設回收與處理之利弊相抵而不予評估。

筆者對於營建廢棄物處理建議以單純的廢棄物搬運碳排來計算，統一以平均運距 30Km 的耗油量來統計其碳排即可。依此建議，過去張又升 (2002) 曾建立拆除工程與廢棄物量搬運處理的碳排推工方程式如式 5-64~68 所示，但其中忽略了修繕更新過程中零零星小工程的拆除與廢棄處理的碳排計算，本研究採用修繕更新資材與建築軀體資材之比例來修正這些公式，並整合如公式 5-64 所示：

$$CF_{dw} = (CF_d + CF_{fd}) \times (1.0 + CF_{rn}/CF_b) \text{-----} (5-64)$$

$$CF_d = Y \times TFA \quad \square \text{-----} (5-65)$$

$$CF_w = Y \times TFA \text{-----} (5-66)$$

$$Y_1 = 0.06x_1 + 0.096x_2 + 2.0 \text{-----} (5-67)$$

$$Y_2 = 0.54x_1 + 0.864x_2 + 39.9 \text{-----} (5-68)$$

其中

$CF_d$ ：拆除與廢棄物處理總碳排(kg- CO<sub>2e</sub>)

$CF_{fd}$ ：拆除工程總碳排(kg- CO<sub>2e</sub>)

$CF_w$ ：廢棄物處理之總碳排(kg- CO<sub>2e</sub>)

$CF_b$ ：建築軀體工程資材之總碳排(kg- CO<sub>2e</sub>)

$CF_{rn}$ ：修繕更新工程資材之總碳排(kg- CO<sub>2e</sub>)

$Y_1$ ：單位樓地板面積之拆除碳排(kg- CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>)

$Y_2$ ：單位面積廢棄物運輸之碳排(kg- CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>)

$x_1$ ：建築物地面以上樓層數，無單位

$x_2$ ：建築物地面以下樓層數，無單位

$TFA$ ：建築總樓地板面積(m<sup>2</sup>)

## 第六節 自我舉證之低碳技術評估

以上諸評估公式所牽涉之減碳技術，是本法正式納入評估的建築低碳設計相

關變數，為了擔心有遺珠之憾，在此特別引入「自我舉證之低碳技術評估」。所謂「自我舉證之低碳技術」乃是上述評估公式未能納入減碳計算之技術，通常有低碳建材、低碳設備、低碳工法、再生能源等技術。建築碳足跡認證之申請者、設計者、評估者均可對這些低碳技術提出合理的減碳量計算書以自我舉證，並經相關認證機關委員會認可後即可承認其減碳效益。為此，建議政府成立低碳建材、低碳設備、低碳工法之認證機構，以讓設計者可輕易引入低碳建築之設計。另外，如太陽能、風力等再生能源技術已經相當成熟，申請者可依其效率計算其節電與減排量，當然可納入本評估中。

除此之外，未經政府認證的低碳技術也可自我舉證提出申請，只要其減碳效益明確，經評審機關同意後也可獲得減碳計算之認可。本法對於「自我舉證之低碳技術」之評估，可依其所提出的實質減碳計算量  $CF_o$ ，並自總碳排量中扣除計算以達到優惠計算之目的。然而，自我舉證之低碳技術不可與上述推估公式內含的減碳技術重複評估，例如 Low-E 玻璃或變頻冷氣機在建築節能計算中已經獲得優惠計算，不得再納入「自我舉證之低碳技術」之評估中，但再生建材之類的設計通常可允許其額外之減碳評估，這類之減碳優惠評估宜謹慎執行之。

### 第七節 建築碳足跡指標 CFI

以上針對住宿類建築與公共類建築，描述了建築物從建材生產設到拆除廢棄各階段之碳排計算公式，將之逐一加總，就可算出整個建築物生命週期之總碳足跡 TCF (Total Carbon Footprint)，以及以每年樓地板面積為單位的建築碳足跡指標 CFI (Carbon Footprint Index) 如所示：

$$TCF = CF_{fw} + CF_b + CF_e + CF_{in} + CF_c + CF_{eu} + CF_{rn} + CF_{dw} - CF_o \text{ ----- (5-69)}$$

$$CFI = TCF \div TFA \text{ ----- (5-70)}$$

其中

TCF：建築生命週期總碳足跡(kg-CO<sub>2e</sub>)

CFI：建築碳足跡指標(kg-CO<sub>2e</sub> / (m<sup>2</sup>.yr))

CF<sub>fw</sub>：基礎與假設工程之總碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)

建築物設計階段碳揭露標示法之研究 (1) — 建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究

CFb：建築軀體工程之總碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)

CFe：設備工程之總碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)

CFc：營建施工工程之總碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)

CFin：建築室內裝修之總碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)

CFeu：建築使用階段每年耗能碳排(kg-CO<sub>2e</sub>/yr)

CFrn：修繕更新工程生命週期之總碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)

CFdw：拆除及廢棄物處理之總碳排(kg-CO<sub>2e</sub>)

CFo：其他自我舉證並經相關認證機關認可之低碳建材、低碳設備、低碳工法、再生能源之減碳量(kg-CO<sub>2e</sub>)

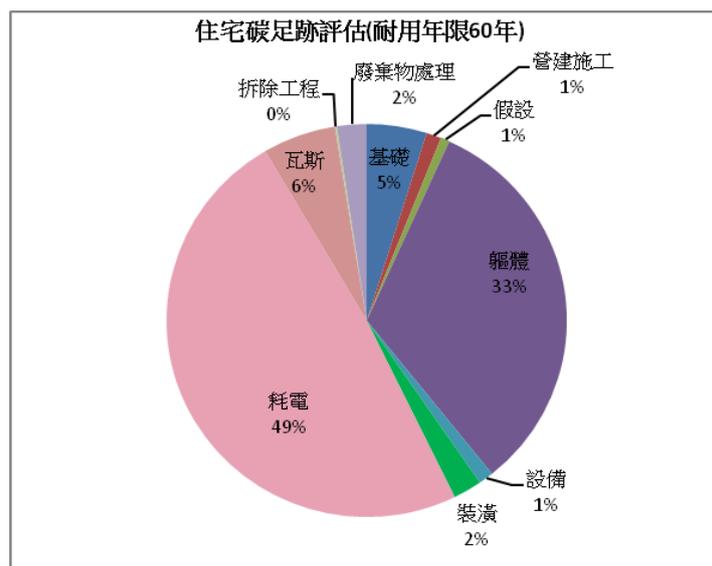
TFA：總樓地板面積(m<sup>2</sup>)

## 第六章 碳足跡評估實例

本研究依據上述之碳足跡計算法，以某地上 20 樓地下 3 樓 40 年的 RC 造住宅大樓，解析其在 60 年建築物生命週期中的碳足跡如圖 9-12 所示。此案例以台灣一般住宅耗能水準來評估，亦即以每年消耗電量  $34.0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$  與天然瓦斯每人每年  $87.97 \text{ m}^3$ （每戶四人，天然瓦斯  $\text{CO}_2$  排放量為  $2.09 \text{ kg-CO}_2/\text{m}^3$ ）來評估，由此發現此 RC 住宅在 60 年的耗電與瓦斯之碳排約佔其生命週期碳排總量的 56%，而其建築軀體構造、假設工程、水電管路設備、室內裝潢等資材之生產及運輸階段之碳排佔生命週期碳排總量約 31%，而營建施工、拆除工程、廢棄物處理階段之碳排才佔 3.0% 而已。

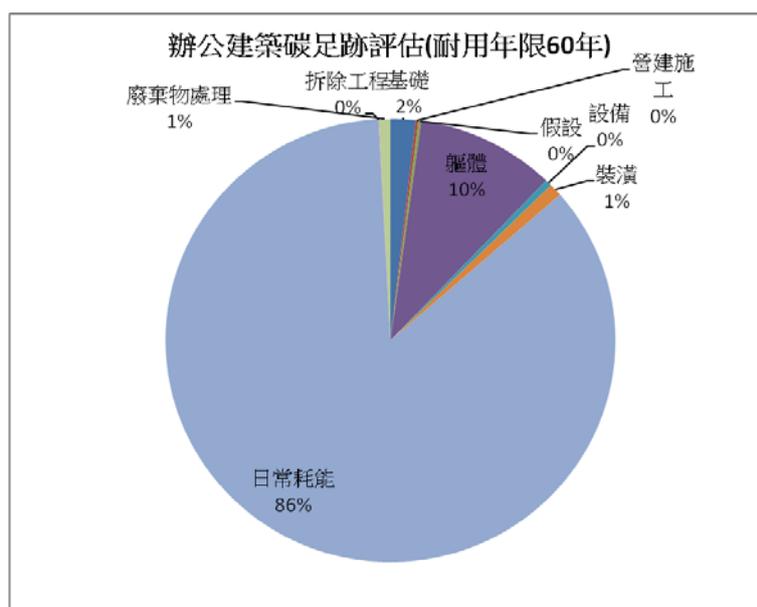
本研究另外針對一棟七層樓高之辦公建築，解析其在 60 年建築物生命週期中的碳足跡如圖 9-13 所示。此案例以台灣高設備化辦公建築耗能水準來評估，亦即以每年消耗電量  $148 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$  來評估，由此發現此辦公建築在 60 年的耗電與瓦斯之碳排約佔其生命週期碳排總量的 86%，而其建築軀體構造、假設工程、水電管路設備、室內裝潢等資材之生產及運輸階段之碳排佔生命週期碳排總量約 13%，而營建施工、拆除工程、廢棄物處理階段之碳排才佔 1.0% 而已。

透過上述碳足跡評估案例可知，建築使用能源之碳排在耗能密度較小的住宅約佔總碳足跡六成，在耗能較高的辦公建築則上昇為 86%，可見六十年間的使用能源乃佔有舉足輕重的份量。另外一方面，而建築軀體（建材、裝潢與設備）之碳排佔碳足跡 13~31% 之比例，也是不容忽視之一環，由此可見「建築使用能源」與「建築軀體」兩大方面的碳足跡減量對策是減少建築產業碳足跡的兩大法門。



**圖 6-1 某住宅大樓碳足跡實際評估結果**

(資料來源：本研究繪製)



**圖 6-2 某辦公大樓碳足跡實際評估結果**

(資料來源：本研究繪製)

## 第七章 結論與建議

### 第一節 結論

由上可知，本研究已經建立了我國建築產業專用的資材碳排資料庫以及建築碳足跡的評估法，從建材生產設到拆除廢棄各階段之簡算出整個建築物生命週期之總碳足跡 TCF (Total Carbon Footprint)，以及以每年樓地板面積為單位的建築碳足跡指標 CFI (Carbon Footprint Index)，可以透過建築物碳足跡的揭露而促進我國低碳建築產業的發展。此建築物碳足跡的揭露制度包含了建築能源證書制度的功能，可以呼應行政院在全國能源會議對內政部要求建立建築能源證書制度的任務，同時在國際 PAS2050 與 ISO16064 之規範趨勢，建立建築碳足跡揭露與標示制度之方向。本研究完成後預計對於相關相關施政之助益如下：

1. 由於上述建材碳足跡資料庫是符合國際 PAS2050 與 ISO16064 標準的本土化數據，若能付之實施建築物碳足跡標示制度，我國將成為全球第一具符合國際 PAS2050 與 ISO16064 「建築碳足跡揭露與標示制度」的國家。
2. 由於本系統是結合 Req、ENVLOAD、AWSG 與綠建築之日常節能指標與 CO<sub>2</sub> 減量指標，成為新的建築碳足跡評估法，如此能結合我國的建築節能法規、綠建築政策成為更先進的碳足跡評估法。
3. 由於本研究乃結合國科會近三年所建立之「建築能源證書評估系統」，本案可完成行政院對內政部在全國能源會議結論中建立建築能源證書制度是的要求。

亦即本研究案一舉能完成建築節能法規、綠建築 EEWB 評估系統與「建築能源證書評估制度」之功能，成為我國獨步全球具備建築碳揭露標示方法的綠建築政策。

## 第二節 建議

### 建議一

研擬將碳足跡標示制度納入綠建築評估手冊之方法：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

本研究以上已研擬完成建築生命週期各階段之碳排簡易計算方法，今後應該由建築研究所於近期研究案中，研擬現行綠建築標章納入碳足跡標示的可行性提出探討。其具體方法為在綠建築評估手冊之「日常節能指標」與「二氧化碳減量指標」中納入碳足跡標示的指標與計算法，以結合我政府建築碳足跡揭露與綠建築政策之政策，使我國成為世界第一個擁有碳足跡標示之綠建築制度的國家。

### 建議二

推行建築物碳足跡標示制度：中長期建議

主辦單位：行政院環保署

協辦單位：內政部建築研究所，內政部營建署

本研究已完成建築物碳足跡的簡易計算方法，今後可依此推動建築物的碳足跡標示制度。鑑於行政院環保署推動產品碳標籤制度有輝煌成果，若能由環保署召集建築業界正式研擬統一建築物碳足跡盤查之產品類別規則 PCR，並確認建築碳足跡計算法之標準，同時正式推動自願型建築物碳足跡之標示與分級認證，則可順理成章。在長期方面，內政部地政司方面可制訂不動產交易法，規定房屋交易也應有建築物碳足跡標示認證，如此更能落實建築碳足跡政策，並確實達到節能減碳之目的。

## 附錄一 期初審查意見及回應一覽表

內政部建築研究所 102 年度「建築物設計階段碳揭露標示法之研究（1）－建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究」委託研究計畫案  
評審意見及廠商回應一覽表

委員	審查委員意見	廠商綜合回應
鍾委員松晉	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫之產出係為建築材料之碳排放計算方法建立，還是完成建築材料之碳排放資料庫建置，請補充說明。</li> <li>2. 如何印證計畫輸入或引用資料數據之正確性。</li> <li>3. 本案建置完成的建築材料碳排放資料庫，未來將如何與國內現有之資料庫連結，建請納入計畫書中補充。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Simapro 不一定適用台灣，本計畫建置完成之建築材料碳排放資料庫，其界面形式為自行創建，其內容主要揭露所有計算依據，並可供更新計算。</li> <li>2. 本計畫將提供計算規範，以利專業人士操作計算，如需推廣，本研究團隊將協助辦理。</li> <li>3. 建築規模、建築方位及地理環境等環境因子均已納入考量，因為只要有詳細估算資料與建築節能指標計算，這些即可反映到建材估算與能源計算之資料上。</li> </ol>
蔡委員岡廷	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫建置完成之建築材料碳排放資料庫，其採用的計算界面形式為何？係採國外通用的 Simapro，還是自行創建。</li> <li>2. 本案建置之資料庫未來是否開放供一般民眾查詢。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. 本計畫之產出包含建築材料碳排放計算方法及資料庫建置。</li> </ol>
陳委員若華	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究案深具潛力，且對國內建築產業碳揭露有深入探討，值得作完整長期性之研究。</li> <li>2. 預算編列有「建案建材數量</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. 依據 PAS2050 規定，只要求每階段計算之飲用之資料庫描述有所根據即屬正確，因此每案都是獨立案</li> </ol>

	統計處理費」，其是否有與一般建案估價之數量計算有不同的計算方式。	件，不必再行印證。
趙委員家琪	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由於建築物涉及甚廣，從設計選用材料、建造過程、使用過程、維護管理到最後拆除回收，本計畫研究成果未來將如何提供應用，請補充說明。</li> <li>2. 本計畫執行是否將建築規模、建築方位及地理環境等環境因子納入考量。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>6. 本案為首創研究，建案建材數量統計處理費目前並無計算方式，故本案係委託估算公司將龐大估算資料依本研究訂定之CO<sub>2</sub>資料庫分類，分項統計，頗費周章，至費用乃事先請其報價，而本研究統計數量將超出計畫書承諾數量。</li> <li>7. 建築物拆除廢棄物處理階段的碳排評估法，將依中央大學營建系之研究成果計算，並列入本案研究成果。</li> </ol>
陳委員伯勳	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 依本案預期成果3「為建立我國建築廢棄物處理之碳排放資料庫」，惟服務建議書列有「我國最新碳排資料庫之建構及研擬建築物拆除廢棄物處理階段的碳排評估法」，其是否涵蓋該預期成果內容，請補充說明。</li> <li>2. 依本案預期成果4「建立辦公建築與住宿類建築生命週期之碳足跡評估方法」，惟服務建議書列有「研擬公共建築用建築能源證書方式之碳足跡評估系統」，其兩者是否相符，請補充說明。</li> <li>3. 依本案預期成果5需「提出建築物碳足跡標示方法」，這部分是否以納入計畫執行，請補充說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>8. 因時程所限，本案將以辦公建築與住宿類建築為主，由於辦公建築乃為公共建築之一部份，故本案只是採用公共建築用建築能源證書之方法進行處理。</li> <li>9. 本案將提出建築物碳足跡標示方法，即生命週期碳排比例構成，同時將提出分級標示之建議。</li> <li>10. 建築材料之碳排放資料庫建置部分，是採取Simapro 模擬修正方式辦理。</li> </ol>
廖召集人慧燕	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本計畫未來執行成果，是否涵蓋建築材料之碳排放資料庫，及建築材料碳足跡標</li> </ol>	

	<p>示法兩者之建置。</p> <p>2. 在建築材料之碳排放資料庫建置部分，其係採用 PCR 實作方式建置，還是採取 Simapro 模擬修正方式辦理。</p>	
--	---	--

內政部建築研究所

本所 102 年度「建築物設計階段碳揭露標示法之研究(1)－建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究」委託研究計畫採購評選會議  
簽到簿

時 間：102 年 1 月 18 日(星期五) 下午 2 時 30 分			
地 點：本所簡報室(新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)			
主 席：評選委員會召集人		記 錄：徐虎嘯	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
評選委員			
	高慧茹		
	趙家崧		
	蔣同廷		
	陳伯軒		
	陳松子		
	陳若華		
受評廠商	林意傑		
	葉茂榮		
張專門委員秋藤			
徐研究員虎嘯			
相關人員			

徐虎嘯

[開 DX1020000657S]

## 附錄二 期中審查意見及回應表

內政部建築研究所 102 年度「建築物設計階段碳揭露標示法之研究 (1) — 建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究」委託研究計畫案  
期中審查意見回應表

項次	審查委員意見	執行單位回應
1	<p><b>行政院環境保護署 (鄭技正 惠文):</b> 本署已自 101 年完成產品碳足跡計算服務平台與碳足跡排放係數資料庫開發, 並預定於 5 年內完成約 600 項碳足跡排放係數之建置。近年來國內各機關及公民營事業單位均已投入相當資源, 進行基礎原物料碳足跡排放係數建置, 為使公家資源發揮最大效益, 建議本計畫研究建置之建築物碳足跡排放係數資料庫, 同意納入本署資料庫, 以擴大政府政策落實。</p>	<p>本研究完成之建築碳排資料有部份引自環保署與工業局公告之盤查資料, 有部份為廠商生產資料換算而得, 但盤查資料與產品碳標籤之方式有異, 若能環保署能審查認可後當然歡迎提供公告。</p>
2	<p><b>台灣省建築材料商業同業公會聯合會 (王總幹事榮吉):</b> 1. 本研究案需經由建築主管單位、建築設計及建材相關產業, 作面對面的溝通、討論, 以凝聚共識。</p> <p>2. 有關建築物之碳足跡標示, 建議公有建築物應可優先納入, 並列為節能減碳之項目。</p>	<p>本團對願意擴大溝通討論, 但未來執行方式有賴政府執行單位定奪。</p>

<p>3</p>	<p><b>台灣綠建材產業發展協會 (陳理事長東慶):</b></p> <p>1. 低碳為世界主流，碳足跡的推行必需有完整的資料庫建置方能落實，因此除建築材料之取得及製造運輸等因子需納入考量外，建議也應將成本效益納入後續研究辦理。</p> <p>2. 有關碳足跡之分析，建議應可優先選擇碳足跡高且具代表性之材料，如水泥、陶磁磚、鋼鐵、玻璃及塗料等產品先行辦理。</p>	<p>遵照主辦單位指示辦理。</p>
<p>4</p>	<p><b>李教授魁鵬:</b></p> <p>1. 本研究對於我國建築物之碳足跡標示，助益甚大。</p> <p>2. 建議有關 5 大系統耗能簡算法，未來可進一步將冷凍系統及熱水系統之耗能納入，以因應各類建築之能源系統。若冷凍系統非屬建築部門可操作之部分，建議可採定值方式處理。</p>	<p>貴意見納入未來課題研究。</p>
<p>5</p>	<p><b>段教授葉芳:</b></p> <p>1. 碳盤查需先確立碳足跡之因子及涵蓋內容。</p> <p>2. 何謂「零碳」，其定義應先予以界定。此外為落實推廣，建議應建置電腦模擬平台。</p>	<p>碳盤查之碳足跡之因子及涵蓋內容，即 PCR，已在本研究中確立計算，但此 PCR 尚未經業界認知認可，未來希望能由主管單位召集討論之。另外本研究只涉及碳排計算，並未涉及「零碳」相關政策。</p>

6	<p><b>陳總經理文卿：</b></p> <p>1.評估建築物的碳排放最基本的是建立資料庫，目前國內極大部分都缺乏，而且會有變動性，因此建立「方法」比「結果」更為重要。</p> <p>2.資料庫建立後應屬公共財，而非把持在特定團體手中，讓大家都可進行評估使用，本研究之目的值得肯定。</p> <p>3.本研究建置之資料庫，與工業局及環保署的異同，建議應於報告中補充說明。</p> <p>4.有關完整建築物碳揭露之工作規劃，請研究團隊於報告中提出，俾利後續推行。另報告書 P.29 及 P.41 中之表格數據請註明出處。</p>	<p>本資料庫是以工業局及環保署之公告資料為最優先，其他建築界資料才由本單位補上，本研究方法是公開、可查驗、可重現的方法，在本資料庫中可被查詢。表格數據將遵照指示補齊。</p>
7	<p><b>梁教授漢溪：</b></p> <p>1.預期成果之 5 點內容，後續應多朝此方向擬定。</p> <p>2.精算後之概算評估，應是未來趨勢，建議精算過程本土化之特性宜強調。</p> <p>3.不同建築之用途與規模均會影響碳足跡，建議應導入正規化之概念，訂出合理之碳足跡，以供設計者參考。</p>	<p>遵照辦理，但本研究只提供碳足跡計算法，尚未提供其基準。</p>
8	<p><b>鄭教授政利：</b></p> <p>1.本案針對建築設計階段之碳揭露方法研究，符合國際趨勢與重要政策要求，值得</p>	<p>遵照意見，納入未來努力目標。</p>

	<p>肯定支持。</p> <p>2.國內之 CO2 減排法案雖尚未通過，相關碳盤查、揭露、交易制度已大致建置，並公開於政府網站，建議本研究應就宜納入國內相關資訊收集，以利完整突顯本議題的重要性。</p> <p>3.京都議定書之後，國際上先進國家之碳交易制度發展，甚至歐盟、日本的零碳政策目標等，均與本案有密切關連，建議納入收集評估為宜。</p>	
9	<p><b>本所一 主席：</b></p> <p>1.制度建立必需先將標準及目的訂出，同時明確界定使用條件，並以具體量化方式呈現效益，否則碳足跡計算將只是一堆數據之展現。</p> <p>2.何謂「零排放」，其計算的方法應先界定釐清。</p> <p>3.有關碳足跡之計算方式與邊界界定，環保署是否已建置標準計算流程，原料之開採是否需納入考量，請研究團隊先予釐清。</p>	<p>建築分類與室內人員、空調使用標準均已詳列條件，碳足跡制度乃在標準條件下所計算之碳足跡，其效益評估有待未來呈現。有關建築碳足跡之計算方式與邊界界定，即所謂 PCR，乃是業界互相認可的範疇，由於國際建築界碳足跡研究之遲緩，在先進國家未有先例，在環保署也尚未成立 PCR，有賴相關單位召集業界討論整合。本研究率先以日本之範疇以及國內能盤查的極限提出，有賴未來取得共識。</p>
10	<p><b>廖組長慧燕：</b></p> <p>1.本案初步結論提及，建材碳足跡及碳排資料庫之研究成果，可提供作為政府推行「能源證書」政策落實之具體作</p>	<p>由於「能源證書」政策方向未明，本研究將不提其與碳足跡之關係。只是碳足跡標示之範圍已含括能源證書之範圍，若有碳足跡標示，則未來不必再</p>

	為，請研究團隊於報告書中敘明，俾利後續推行。	執行能源證書而已。
11	<p><b>執行單位回應（林教授憲德）：</b></p> <p>1.本研究目的並非僅是提供相關建材之碳排放數據，而是希望藉由這些數據建置之資料庫，提供設計者作為設計之參考，因此設計之可操作性技術建立為本研究之重點。</p> <p>2.碳排放資料庫之公開透明為本研究之目標，重點需為本土性資料，如此方可視需要予以更新。</p> <p>3.所謂的「零碳」，其目標應是朝採「自我比較」方式，即改善前後之碳排放差異，因此無所謂的合理碳排放量定義。</p> <p>4.為有效達成建築節能政策，在尚未建置完成建材碳足跡資料庫時，國際上多採「能源證書」制度方式辦理，本研究完成後將可提供作為節能設計參考，有效落實政策目標。</p> <p>5.有關熱水系統將納入本研究評估範疇，至冷凍空調部分，因非屬建築主管機關權責，將暫不納入。</p> <p>6.本研究成果將併入綠建築評估手冊，以擴大綠建築之</p>	

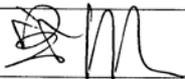
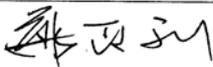
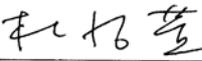
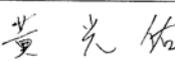
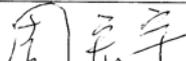
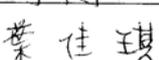
節能減碳成效。	
---------	--

### 內政部建築研究所

本所 102 年度委託研究「建築物設計階段碳揭露標示法之研究(1)－建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究」、「建築物設計階段碳揭露標示法之研究(2)－建築物軀體、空調、水電工程碳排放量評估法之研究」及協同研究「再生綠建材減碳效益評估之研究」等 3 案期中審查會議簽到簿

時 間：102 年 7 月 9 日(星期二) 上午 9 時 30 分			
地 點：本所簡報室(新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)			
主 席：何所長明錦		記 錄：何明錦	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
行政院環境保護署	鄭惠文		
經濟部能源局			
內政部營建署			
中華民國全國建築師公會			
中華民國室內設計裝修商業同業公會全國聯合會			
台灣省建築材料商業同業公會聯合會	王榮吉		
台灣綠建材產業發展協會	傅學慶		
李教授魁鵬	李魁鵬		
段教授葉芳	段葉芳		
陳總經理文卿	陳文卿		
張教授祖恩	請假		

[開 DX1020005189S]

梁教授漢溪			
楊教授冠雄	請假		
詹教授添全	請假		
鄭教授政利			
財團法人成大研究發展基金會			
林教授憲德			
杜教授怡萱			
黃教授榮堯			
陳副所長瑞鈴			
廖組長慧燕			
林研發替代役義賓			
徐研究員虎嘯			
相關人員			
			
			
			

[開 DX1020005189S]



### 附錄三 期末審查意見及回應表

內政部建築研究所 102 年度「建築物設計階段碳揭露標示法之研究 (1) — 建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究」委託研究計畫案  
 期末審查意見回應表

項次	審查委員意見	執行單位回應
1	<p>行政院環境保護署 (鄭技正 惠文)</p> <p>1. 依據報告書 P.11 之工作項目：「建立符合 PAS2050 或 ISO16064 標準的碳排資料庫」，但報告書第四章第二節「台灣建築資料碳排庫」未見資料庫數據品質評核之內容，建請補充說明。另為使政府資源發揮最大效益，建議本案所得之碳排放係數能透過本署數據品質評核系統，進行數據品質評核，倘能達「基本品質」以上等級，建請同意納入本署本土資料庫中供各界參酌使用。</p>	<p>所謂「建立符合 PAS2050 或 ISO16064 標準的碳排資料庫」是符合由原材料、生產、運輸等 B2B 之要項規定，至於數據品質評核有待與環保署方面現況接軌與學習，但建築方面碳排資料因產品類別規則未確立，可能與產品碳盤查資料之數據品質評核有異。本資料庫基本上以環保署、經濟部正式盤查公告之數據為優先，且隨時更新，數據品質也將持續精進。</p>
	<p>2. 建築物碳足跡計算，建議比照公共工程，依工程大類如：隧道、橋樑等，分別研訂產品類別規則文件 (PCR)，界定評估範疇與邊界，以符國內外發展趨勢。另交通部刻正研訂隧道工程、橋樑工程之 PCR 草案，建議研究團隊可上本署「臺灣產品碳足跡資訊網」參閱。</p>	<p>建築界也應訂立建築物 PCR 草案，希望有關有主管單位主動召集處理，本執行單位願意全力支持，目前本研究暫時自創草擬 PCR 範圍正執行中，期待未來能由主管機關擴大參與取得共識後成為通用版本。</p>

2	<p><b>中華民國全國建築師公會 (張建築師矩墉)</b></p> <p>1. 本研究建立建築物設計階段之相關碳排放標示方法，但其計算時機為何？未來由誰負責計算。</p>	<p>本研究只是提出建築物設計階段之相關碳排放標示方法，其落實必須有主管機關或民間機關出面來執行。但負責計算者可能是經過訓練後的建築師或技師，其制度必須也應與現行建築師或技師之簽證與業務分離才好。</p>
	<p>2. 本研究既然是設計階段之碳揭露，研究架構除了內容所述 5 個階段外，是否應再加上建築設計階段。</p>	<p>建築設計階段多半是人力與辦公設施，在碳足跡評估中是被排除在外的。</p>
	<p>3. 建議建築設備工程之碳排評估，除空調、電氣、給排水及消防 4 類外，應再加上昇降設備。</p>	<p>目前昇降設備資料不足，但在未來應設法納入評估。</p>
	<p>4. 營建施工階段的碳排，建議加入電動工具、乙炔、瓦斯及施工廢棄物等。</p>	<p>目前電動工具是被納入簡算式之評估的，但乙炔、瓦斯及施工廢棄物等因量小且難以調查，尚未納入評估。</p>
	<p>5. 採光之外周區面積，在報告書中 P.52 文字說明為 5m，但 P.53 圖 5.1 卻標註為 4m，請修正。</p>	<p>將統一改為 5m</p>
3	<p><b>中華民國室內設計裝修商業同業公會全國聯合會 (洪代表晉鈺)</b></p> <p>1. 請於報告書中放入前期相關審查意見，俾利參考。</p>	<p>遵照辦理</p>
	<p>2. 報告書中表 5-26 所提內裝工程包括樓版地面及內隔間牆，而室內裝修包括裝潢工程，此 2 名詞之定義不清，</p>	<p>以後統一使用「室內裝修」。</p>

	建議參照「室內裝修管理辦法」之定義，以避免混淆。	
	3. 有關表 3-1 相關工程在生命週期內之更新次數訂立依據為何，依營建署的調查資料顯示，住宅類建築約 7 年進行一次更新，與該表建議之 9 次不同，建議應進一步釐清。	表 3-1 相關工程在生命週期是修改自日本建築長壽命推進協會之內容，其數字盡量以 60 年週期之整數分割為佳，假如統計數據有明確根據的話，本研究將隨之修改。但住宅類建築約 7 年裝修一次恐怕太短，與本團隊之研究相去太遠，將繼續查證後再處理。
4	<p><b>台灣省建築材料商業同業公會聯合會（王總幹事榮吉）</b></p> <p>1. 本研究符合預期之研究目的與成果。</p> <p>2. 建材種類應從基礎材料如：水泥及鋼筋，列為首要碳揭露標示之對象，並分別針對國產與進口 2 類別列舉揭示。</p> <p>3. 建材碳足跡應加強相關產業之交流與溝通，以凝聚碳足跡排放標示之共識。</p>	謝謝指正，水泥及鋼筋已揭露完成，進口品將再加上進口國之運輸碳排計算之。
5	<p><b>台灣綠建材產業發展協會（楊理事明俊）</b></p> <p>1. 低碳為世界主流，碳足跡的推行有其必要性，惟需考量計算簡便並與國際接軌，後續推行應與業界溝通，以取得共識。</p>	謝謝指正。
6	<p><b>段教授葉芳</b></p> <p>1. 建議找尋各類能源使用所</p>	本資料庫之以各類能源之使用量與碳排係數換算而成，建

	<p>需之碳排，並以基本單元作為後續碳揭露之基準。</p> <p>2.各類材料使用端因其流程不同，故其碳足跡亦有所差異，另有關廢棄物處理所需之碳足跡，建議亦應納入評估。</p>	<p>築物拆除後之廢棄物處理之碳足跡在最後階段以其重量與運至處理廠之運輸距理算出其運輸碳排作為廢棄物處理之碳排，至於廢棄物大部份掩埋、少部份焚化、少部份回收再利用因有正負抵銷、且碳排比例小之又小，同時也難以盤查，目前訪日本之作法予以忽略之。</p>
7	<p><b>陳總經理文卿</b></p> <p>1.報告書表 4-2 中稱 simapro 數據僅具原料開採部分，資料庫部分資料來自國際其他資料，請說明清楚，以免誤解。</p> <p>2.資料庫提出空調、機電等之碳排基準值，貢獻很大，惟此基準是否具客觀及正確性，建議應廣徵各界專業意見。</p> <p>3.本研究建置之資料庫，是否符合 PAS2050 及 ISO16064 標準，建議應由第三公正單位確認。</p> <p>4.有關報告書 P.93 圖 9-12 應為圖 6-1；圖 9-13 應為圖 6-2，請修正。</p>	<p>謝謝指正，勘誤遵照辦理。所謂「建立符合 PAS2050 或 ISO16064 標準的碳排資料庫」是符合由原材料、生產、運輸等 B2B 之要項規定，本資料內容透明而有再現性，可隨時接受各方查驗，但資料庫的目的是信賴度、本土性與可操作性，目前國內各方已經在執行建築碳足跡評估，與其使用國外資料，本資料更具具信賴性也。</p>
8	<p><b>梁教授漢溪</b></p> <p>1.碳排資料庫之建立是否已完整納入各式建材，建議應詳加檢視，尤其針對一些新</p>	<p>有些新材料新工法尚未納入碳排資料庫，未來將陸續加入。各類建築物之碳排評估並非以絕對碳排基準來評估，而</p>

	<p>材料新工法之資訊，應隨時配合更新。</p> <p>2.碳揭露不論採精算法或簡算法計算均可獲得，但仍應將各類型建築之合理值納入考量。</p> <p>3.在綠建築標章之二氧化碳減量指標評估中，其材料之耐久性似乎會造成碳排放量增加，其相關衝突差異建議應予以檢視。</p>	<p>是以該空間構成與機主設備效率來計算基準碳排標準的。未來碳排指標是以生命週期平均碳排來評估的，因此耐久性不但不會增加碳排，反而因延長生命週期而減少碳排。</p>
9	<p><b>楊教授冠雄</b></p> <p>1.本計畫對於我國邁向低碳家園極為重要，且以PAS2050標準為規範，可與國際接軌，成果極為豐碩，建議持續加以推動。</p>	<p>謝謝指正。</p>
10	<p><b>鄭教授政利</b></p> <p>1.目前國內減碳政策主要由環保署推動，本案研究成果之碳揭露標示方法與資料庫，建議應與中央政策之碳盤查機制接軌，並採互相承認之機制為宜。</p> <p>2.本案建立符合國際碳排資料庫之標準，方向正確，值得肯定。惟建議將來認證接軌之具體方式，應預先確認為宜。</p> <p>3.在給排水之淨水污水碳排係數與計算公式大致正確，惟熱水能耗偏高，建議納入計算為宜。</p>	<p>中央政策之碳盤查均以量生產之產品為主，並無針對單一產品的大型工程為對象，國際間亦尚無工程碳排之機制，期待未來能有認證接軌之機制。耗電量之碳排將以各地氣象資料為基礎的耗能計算而得，應足以反應時地之因素。其他謝謝指正。</p>

	<p>4.碳排計算涉及耗電量之換算，其會因時因地而有所變動，是否需納入資料庫計算，建請進一步研議。</p>	
11	<p><b>本所一</b> 主席</p> <p>1.有關建築物設計階段之碳排方法論已初步完成，其應適用於整體產業，並非針對特定建築類型。</p> <p>2.能源護照制度基本上是寒帶以暖房政策為主國家，為管制其建築耗能大宗之暖氣使用所制訂，其未必適用於臺灣，我國目前係採建築空調、照明等分別訂定耗能基準規範方式予以管制。</p> <p>3.針對相同建築類型、規模，但是否已取得綠建築標章之建築物，其碳排放量是否有所差異，應可納入後續研究辦理。</p>	<p>本碳排計算法非限於特定建築類型，而適用於大部份建築對象。未來將諄照指示，探討綠建築標章建築物之碳排差異分析。</p>
12	<p><b>陳簡任研究員伯勳</b></p> <p>1.本案已針對辦公類建築提出相關碳排評估方法，其住宿類建築之評估方式是否相同，請於報告書中敘明。</p>	<p>本研究內容已包含住宅類建築以及包括辦公建築之公共建築之碳排評估法，其內容已超越合約之要求。</p>

內政部建築研究所

本所 102 年度委託研究「建築物設計階段碳揭露標示法之研究 (1) - 建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究」、「建築物設計階段碳揭露標示法之研究 (2) - 建築物軀體、空調、水電工程碳排放量評估法之研究」及協同研究「再生綠建材減碳效益評估之研究」等 3 案期末審查會議簽到簿

時 間：102 年 11 月 6 日(星期三) 下午 2 時 30 分

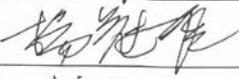
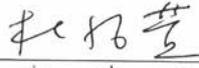
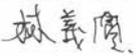
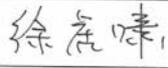
地 點：本所簡報室 (新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓)

主 席：何所長明錦 何明錦 記 錄：徐嘉味

出席人員	簽到處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
✓ 行政院環境保護署	鄭德文		
經濟部能源局			
✓ 內政部營建署	張譯云		
✓ 中華民國全國建築師公會	張經坤		
✓ 中華民國室內設計裝修商業同業公會全國聯合會	張經坤		
✓ 台灣省建築材料商業同業公會聯合會	王榮吉		
✓ 台灣綠建材產業發展協會	楊明浚		
李教授魁鵬	請假		
✓ 段教授葉芳	葉葉芳		
✓ 陳總經理文卿	陳文卿		
張教授祖恩			



[開 DX1020008517S]

✓ 梁教授漢溪			
✓ 楊教授冠雄			
詹教授添全	請假		
✓ 鄭教授政利			
財團法人成大研究發展基金會			
林教授憲德			
杜教授怡萱			
黃教授榮堯			
陳副所長瑞鈴			
廖組長慧燕	請假		
林研發替代役義僑			
徐研究員虎嘯			
相關人員			

續

[開 DX1020008517S]

## 參考書目

1. 林憲德, 1997, 「建築風土與節能設計—亞熱帶氣候的建築節能計畫 (生活環境科學之三)」, 詹氏書局
2. 鄭政利、劉安平, 1999, 《住宅建築給排水設備用水耗能之研究》, 建築學報第31期, pp.107-117
3. 石福昭、伊香賀俊治, 1993, 「ライフサイクルCO<sub>2</sub>による建物の評價」, 「建築設備士1993 3 地球環境特集」, 建築設備技術者協會
4. 石塚義高, 1996, 建築のライフサイクルマネジメント, 井上書院
5. BELCA, 2012, 建物の耐用年數ハンドブック, 中央經濟社
6. 林秀貞, 2007, 《國際油價波動對重要營資材料成本影響之研究-以鋼筋、水泥、砂石、瀝青為例》, 國立中央大學土木工程碩士論文
7. 交通部統計處, 2011, 《中華民國台灣地區汽車貨運調查報告》
8. 空氣調和衛生工學會, 1995, 「地球環境時代における建築設備の課題」, 空氣調和衛生工學會
9. 日本建築學會, 1999, 「建物のLCA指針」, 日本建築學會
10. 岡建雄, 2000a, 「LCCO<sub>2</sub>の試算方法」, 日本「建築技術」雜誌
11. 岡建雄, 2000b, 「グリーンオフィスの設計」, オーム社
12. 酒井寛二, 1992, 「建設業の資材消費量解析と環境負荷の推定」, 環境情報科學21卷2號
13. 酒井寛二, 1993.09, 「建築資材製造製造時碳素排出原單位の調査」, 日本建築學大會梗概集
14. 安岡正人, 1993: 「地球環境と都市・建築に関する総合的研究」, 平成5年度科學研究補助金研究成果報告書 p.109
15. 外岡豊, 1994, 「日本における温室効果ガス排出削減の可能性」, 第10回 エネルギーシステム・經濟コンファレンス講演論文集p.226~227
16. 空氣調和・衛生工学会, 1977, 《給排水・衛生設備の実務の知識 (改訂2版)》, オーム社出版
17. 建築環境・省エネルギー機構, 2006, 《日本の省エネルギー基準と計算の手引-新築・増改築の性能基準 (PAL/CEC)》
18. Energy Star " Portfolio Manager Overview," online available at
19. [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=evaluate\\_performance.bus\\_portfoliomanager](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=evaluate_performance.bus_portfoliomanager)
20. "Energy consumption in the UK," online available at

21. <https://www.gov.uk/government/publications/energy-consumption-in-the-uk>
22. Harry Bruhns etc., "CIBSE REVIEW OF ENERGY BENCHMARKS FOR DISPLAY ENERGY CERTIFICATES- Analysis of DEC results to date," CIBSE Benchmarks Steering Committee, 2011, pp.14-15.
23. Hans-Dieter Hegne, "Energieausweise für die Praxis (Broschiert)," frauhofer Irb Verlag, 2008, pp.256-262
24. Department of Building National University of Singapore a, "Technical Guide Towards Energy Smart Office," National University of Singapore, 2008.
25. Department of Building National University of Singapore b, "Technical Guide Towards Energy Smart Hotel," National University of Singapore, 2008.
26. Department of Building National University of Singapore c, "Technical Guide Towards Energy Smart Retail Mall," National University of Singapore, 2008.
27. Lee Siew Eanga, Rajagopalan Priyadarsinib, "Building energy efficiency labeling programme in Singapore," Energy Policy, Vol. 36, 2008, PP.3982-3992.
28. Energy Star "Guidance for Benchmarking Mixed-Use Properties in Portfolio Manager," online available at
29. [http://www.energystar.gov/index.cfm?c=eligibility.bus\\_portfoliomanager\\_eligibility\\_mixed](http://www.energystar.gov/index.cfm?c=eligibility.bus_portfoliomanager_eligibility_mixed)
30. Bureau of Energy of Taiwan, "Energy Audit Annual Report For Non-Productive Industries 2006," Taiwan Green Productivity Foundation, 2006, PP.15-16.



**建築物設計階段碳揭露標示法之研究. 1:  
建築物碳揭露方法及碳排放資料庫之研究**

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：林憲德、葉茂榮、張雅琴、黃儒鬻、尤巧茵

出版年月：102年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-03-9447-4 (平裝)