

綠建築標章碳足跡標示制度規劃研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 103 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)

綠建築標章碳足跡標示制度規劃研究

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：林子平 教授

研究助理：黃光佑、陳怡蓉、劉安瑀、陳芄瑤

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 103 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.....	9
第一節 本研究碳足跡標示範圍.....	9
第二節 「CO ₂ 減量指標」碳足跡標示法	11
第三章 資料蒐集、文獻分析.....	19
第一節 「CO ₂ 減量指標」碳足跡標評估原則	19
第二節 碳足跡評估資料庫.....	23
第四章 研究發現.....	37
第一節 碳排評分標準解析.....	37
第二節 新「CO ₂ 減量指標」得分間距建議	42
第五章 結論與建議.....	45
第一節 結論.....	45
第二節 建議.....	47
附錄一 期初審查意見與回應.....	49
附錄二 期中審查意見與回應.....	55
附錄三 期末審查意見與回應.....	69
參考書目	77

表次

表 2-1 建築生命週期耐久化因子修正係數.....	15
表 2-2 研究進度及完成之工作項目.....	18
表 3-1 基準案之設定數據.....	21
表 3-2 評估一案例之基準案碳排量.....	22
表 3-3 本研究取自國內其他機構碳盤查資料一覽表.....	24
表 3-4 建築資材碳排資料表.....	26
表 3-5 單位功能的碳排數據.....	29
表 3-6 不透光外牆構造工程碳排標準 $C_{ow}(kgCO_2e/m^2)$	30
表 3-7 外牆外裝工程資材碳排標準 $C_{Fowj}(kgCO_2e/m^2)$	31
表 3-8 內隔間牆工程資材碳排標準 $C_{Fiwj}(kgCO_2e/m^2)$	31
表 3-9 室內樓板內裝工程資材碳排標準 $C_{Ffj}(kgCO_2e/m^2)$	34
表 3-10 屋頂外裝工程資材碳排標準 $C_{Frj}(kgCO_2e/m^2)$	35
表 3-11 窗玻璃與框架結構碳排標準.....	36
表 4-1 住宅、辦公及學校三種類型進行評估.....	37
表 4-2 住宅、辦公及學校三種類型進行評估.....	38
表 4-3 住宅、辦公及學校三種類型減碳分析.....	38
表 4-4 住宅類外牆外裝、隔間牆、室內地坪減碳分析.....	39
表 4-5 辦公類外牆外裝、隔間牆、室內地坪減碳分析.....	40
表 4-6 學校類外牆外裝、隔間牆、室內地坪減碳分析.....	40
表 4-7 住宅類及學校類主結構、外牆外裝減碳分析.....	41
表 4-8 辦公類主結構、外牆外裝、外窗減碳分析.....	41
表 4-9 住宅類及辦公類外窗減碳分析.....	41
表 4-10 辦公類及學校類屋頂外裝減碳分析.....	42
表 4-11 住宅類及辦公類綜合減碳分析.....	42

圖次

圖 1-1 生命週期的長短左右使用階段碳足跡之比重.....	3
圖 1-2 瑞典六種道路道路 40 年生命週期評估顯示道路營建資材之 碳排佔大部份（資料來源：陳一昌 2012）.....	4
圖 2-1 建築生命週期五階段示意圖.....	9
圖 2-2 四棟建築物生命週期五階段建築碳足跡組成圖	10

摘要

關鍵詞：綠建築、建築碳足跡、二氧化碳減量

一、研究緣起

在全球一片低碳城市、低碳交通、低碳社區之口號下，建築物之碳足跡揭露制度已經成為綠建築最新的方向。綠建築標章制度為 1990 年代興起之新風潮，但在 2005 京都議定書生效之後，全球已另外轉為一片碳標籤、碳揭露之方向，使得全球之綠建築標章制度也面臨轉向碳足跡標示之道路，我政府的綠建築 EEWH 系統也將被迫面對此新課題。本研究繼內政部建築研究所歷年有關建築碳排研究基礎，期待能在綠建築標章中納入部份建築物碳揭露之制度，以因應國際碳排評估認證制度之趨勢。

二、研究方法及過程

本研究為了維護公平客觀之比較評估，遵照「自我比較原則」、「有效控制原則」、「系統操作原則」等三原則來執行建築新建工程資材之碳排計算與評估。同時為了與建築產業實務接軌，採用了分項工程之碳排計算法來執行，亦即將建築軀體工程分為主結構、鷹架、外牆外裝、外窗、內隔間牆、地坪內裝以及屋頂外裝等七大項工程來累算資材的生產運輸碳排量。這碳排計算法尤其具有建築設計導向之特色，亦即以建築設計之功能單位作為輸入出介面，例如以樓層數、建築面積、工程構件等設計資訊作為套裝之輸出入資料，可快速計算建築軀體總碳排量，並可快速診斷出建築設計之減碳熱點，進而進行修改設計以改善減碳效益，是世界少見之建築專業碳足跡評估法。

三、重要發現

以上，本研究已完成綠建築標章「CO₂ 減量指標」之碳足跡標示方法。本指標系統雖不是完整的全生命週期碳足跡指標，而是單指建築軀體的「簡易版的碳足跡指標」，但這已經是全世界最先進的建築碳排揭露法，是許多國外綠建築系統想做而未能達成的目標。本研究能使 EEWH-BC 之「CO₂ 減量指標」由間接減碳因子的模擬，變成直接 CO₂ 排放量的標示。尤其此系統具有（1）採用建築設計

導向的構造系統輸入輸出法、(2) 可查表簡單計算等優點，是建築產業專用的碳揭露法，若能替換現有「CO₂減量指標」，可讓我國的綠建築標章制度成為全球建築碳揭露的先鋒。

四、主要建議事項

建議一

本研究建築軀體碳排量評估公式轉由「低碳建築聯盟計畫」接手，並納入建築碳足跡認證系統中：立即可行建議

主辦機關：財團法人成大研究發展基金會

協辦機關：國立成功大學建築系

本計畫所建立之 CFb 法，已能明確計算建築軀體新建工程資材之碳足跡，但因綠建築標章目前九大指標已被全國習慣採用，暫時無法改變軌道，但另外於 2013 年受雇「財團法人成大研究發展基金會」執行「低碳建築聯盟計畫」三年計畫，已開始著手建築碳足跡評估與認證作業。本報告建議將本 CFb 法以及過去在本所完成之建材碳排資料庫納入該低碳建築聯盟之建築碳足跡評估與認證作業之中，讓本研究有立竿見影之成效。

建議二

建立建築物碳排資料庫：中長期建議

主辦機關：財團法人成大研究發展基金會

協辦機關：國立成功大學建築系

本計畫目前彙整之工法多較傳統，而隨著科技發展，許多便利兼性能良好之材料陸續推出，如屋頂工法採用防水漆取代瀝青油毛氈、耐磨塑膠地板大量被使用或乾式工法的推廣等。另外，尚有許多工法及材料未蒐集為資料庫，例如油漆類材料、複合性化學材料、特殊建築工法之碳排數據，有待陸續被建立充實。內政部建築研究所可展開長期之建材與工法之碳排資料庫建置計畫，以便逐步落實低碳建築政策，並作為因應國際碳揭露壓力之準備。

Abstract

Keywords: Green building, Building carbon footprint, Carbon dioxide reduction

1. Study Origin

The slogans of low-carbon city, low-carbon transport and low-carbon communities is exploding around the world, Building carbon footprint evaluation system has become the latest trend of green building after the entry into force of the Kyoto Protocol in 2005. Taiwan's EEWH green building evaluation system will also be forced to face this new topic. This study follows the research of Building carbon emissions over the years by Architecture and Building Research Institute, Expect to include the Building carbon footprint evaluation in green building label to cope with the international trend of carbon emissions certification system.

2. Research methods and processes

The Building carbon footprint (BCF) system follows the three principles of “self-comparison”, "Effective Control" and "system to perform the calculation and assessment of carbon emission buildings of new construction material. Meanwhile, in order to integrate with the Building construction practice, it adopts subentry constructions method to calculate Carbon emission, that is, That project will be divided into the main body of the building structure, scaffolding, exterior facades, exterior windows, interior partition walls, floors and other interior and exterior roof of the seven subentry constructions to calculate carbon emissions of materials production and transportation. This calculation method is architectural design-oriented, the designer can input data such as number of floors, construction area, engineering components to quickly calculate the total carbon emissions and diagnose the building carbon reduction hotspot, followed by modify the design to reduce carbon emissions., The BCF system is one of the rare assessment tool designed for the Building carbon footprint evaluation.

3.Important discovery

This study has completed the carbon footprint labeling method for "CO₂ reduction indicators" of the green building label system. This labeling method, while not a complete life cycle assessment, but only refer to building structure's carbon footprint, but still is the world's most advanced Building carbon footprint evaluation. This study can transform the "CO₂ reduction indicators" from indirect factor analogue to direct CO₂ emissions calculation, with characteristics of (1) the building design-oriented construction input-output method, (2) a simple calculation table, if we replace this method with the existing "CO₂ reduction indicators", it will allow our green buildings label system become a pioneer in the global building carbon Disclosure.

4. Main Recommendations

Immediately feasible recommendations

This building structure's carbon footprint evaluate mothed established by this study should handed to the "Low Carbon Building Alliance", Minor Alliances between Academia and Industry program of the Ministry of Science from 2103, and incorporated into the building carbon footprint certification systems:

Authorities: NCKU Research & Development Foundation

Co-organization: Department of Architecture National Cheng Kung University

The CFb method can calculate the carbon footprint of new construction materials, but the green building label currently have been accustomed to most people, it will be best not to change its track. However, the study moderator will execute the "Low Carbon building Alliance" program of the Ministry of Science for three years and has begun building carbon footprint evaluation and certification system. The study recommends the building structure's carbon footprint evaluate mothed should handed to the "Low Carbon building Alliance", so that this study have an immediate effect.

Long-term recommendations

Enrich the building carbon emissions database.

Authorities: NCKU Research & Development Foundation

Co-organization: Department of Architecture National Cheng Kung University

The current building carbon emissions database is focus on aggregating traditional construction methods. With technological development, many convenience

and good performance building material have launched, there are still many construction methods and materials for database to collection, such as paint material, composite chemical materials and special building construction method, Architecture and Building Research Institute should expand a long-term building materials carbon emission database program for the gradual implementation of low-carbon buildings policy, and as a response to the pressure of the international Carbon Disclosure.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

1-1 前言

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，許多企業也大舉投入「碳揭露專案 CDP」。世界日用消費品的領頭羊寶潔公司（Procter & Gamble）、擁有多個世界知名食品、飲料、清潔劑和個人護理產品的聯合利華公司（Unilever）、世界最大的食品制造商雀巢公司（Nestle）等全球 500 大企業，從 2007 年開始聯合起來，合組「供應鏈領導聯盟」，要求旗下供應商公布碳排資料。以 2005 年為基準，這 500 大企業中入選碳揭露領先指標(CDLI)之企業，投資報酬率成長 83%，而未入圍企業僅成長 50%，顯然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。

如今，減碳行動已蔚為全球「社會責任投資(Social Responsible Investment，簡稱 SRI)」與「企業社會責任(Corporate Social Responsibility，簡稱 CSR)」之主流方向。建築產業是一種高度污染的產業，根據聯合國環境規劃署 UNEP 的估計，全球的建築產業消耗了地球能源的 40%、水資源的 20%、原材料的 30%、固體廢棄物的 38%。目前各國建築產業的碳排比例，在美國約為 38% (2004)；在加拿大約為 30%(2004)；在日本約為 36%(1990)；在台灣則為 28.8%(2003)，在中國約為 30.0%，未來勢必被強迫執行地球環保對策，其中被要求降低建築物碳排是無可避免的方向。在建築產業方面，碳足跡盤查行動雖尚未成形，但也處於蓄勢待發階段。

1-2 研究目的

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 九大指標系統對於二氧化碳排放量尚未有具體標示，難以顯現碳揭露的任務，使我國的綠建築政策面臨國際碳足跡標示制度要求之壓力。本研究因應新興碳足跡查驗之趨勢，在綠建築評估系統內執行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 CO₂ 排放量評估研究已有相當基礎，尤其 102 年度在「建築物設計階段碳揭露標示法之研究 (1)、(2)」中，已經建立最新符合 PAS2050 要求之建築物資材碳排資料庫，同時也建立了建築物碳足跡的評估法，已經對建築物碳足跡標示工作有紮實之基礎。為了因為未來政府執行建築碳足跡標示之任務，本研究將配合國科會小產學計畫「低碳建築聯盟」的「建築碳足跡評估法」，研擬現行綠建築標章納入碳足跡標示的可行性提出探討，並研擬在「日常節能指標」與「二氧化碳減量指標」結合碳足跡標示的可行性方案，以結合我政府建築碳足跡揭露與綠建築政策之目的。

有鑑於碳標籤、碳揭露之國際壓力，各國政府低碳城市、低碳交通、低碳社區之聲此起彼落，甚至零碳建築之口號也不絕於耳。近年來我國各級政府也爭相推動低碳社區與低碳城市之運動，各種營建工程之碳足跡評估示範也積極展開。例如：我內政部長已於前年公開宣示將由內政部進行碳足跡評估工作，新北市政府在環境影響評估中已開始要求執行減碳 50% 之要求，我公共工程委員會已經指定幾項道路、橋樑、建築物工程，開始試辦碳足跡之盤查工作，因此建築物碳足跡評估勢必成為未來政府重要之措施。

綠建築標章制度為 1990 年代興起之新風潮，但在 2005 京都議定書生效之後，全球已另外轉為一片碳標籤、碳揭露之方向，使得全球之綠建築標章制度也面臨轉向碳足跡標示之道路，我政府 1999 年以來行以為常的綠建築評估 EEW 系統也被迫面對此新課題。幸好，內政部建築研究所歷年已展開有關建築碳排之評估研究，尤其 102 年在「建築物設計階段碳揭露標示法之研究 (1)、(2)」中所建立的建築資材碳排資料庫與建築物碳足跡的評估法，已讓建築碳足跡標示工作有紮實之基礎，此時建立建築碳足跡評估法恰得其分。尤其本研究結合碳足跡於「日常節能指標」與「CO₂ 減量指標」，可順利建立碳足跡標示之新制度。

1-3 碳足跡說明

所謂碳足跡，就是個人、組織、活動或產品，以直接或者間接之方式所導致的溫室氣體排放總量（換算成二氧化碳當量 CO₂e），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、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 CO₂ 排放量都算是碳足跡的計算範圍。

產品生命週期的長短與使用耗能之差異，對碳足跡的構成有很大影響。如圖

1-1 所示，像飲料、食品類產品，因生命週期極短，其碳足跡大部份由原材料取得與生產製造的碳排所構成；但像生命週期較長的家電、電子產品，其碳足跡大部份卻由使用階段耗能的碳排所組成。另外，像不同營建工程在生命週期與使用耗能差異甚大，其碳足跡之構成也迥異，例如像道路工程在生命週期中並無耗能行為，其碳足跡九成以上均為營建材料碳排所構成（圖 1-2，陳一昌，2012），但相對地，建築物的生命週期長達五、六十年，甚至也有百年的老建築，其長期使用階段的空調、照明、設備之耗能碳排當然舉足輕重，甚至可能佔有全生命週期碳足跡的七至九成。此乃建築物與其他工業產品在碳足跡特性上的明顯差異，其碳足跡若無高信賴性的耗能評估法，顯然無法探其真相而執行減碳策略。

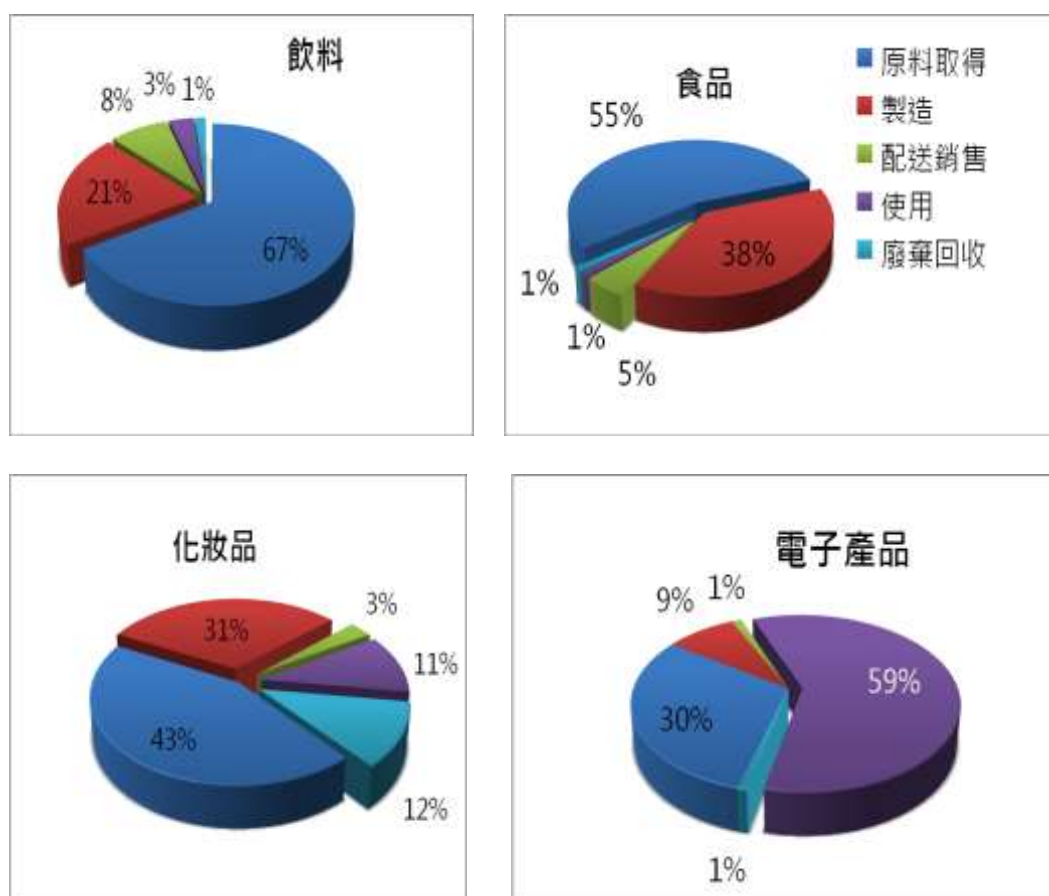


圖 1-1 生命週期的長短左右使用階段碳足跡之比重

（資料來源：改繪自環保署碳標籤網站四種產品碳足跡數據）

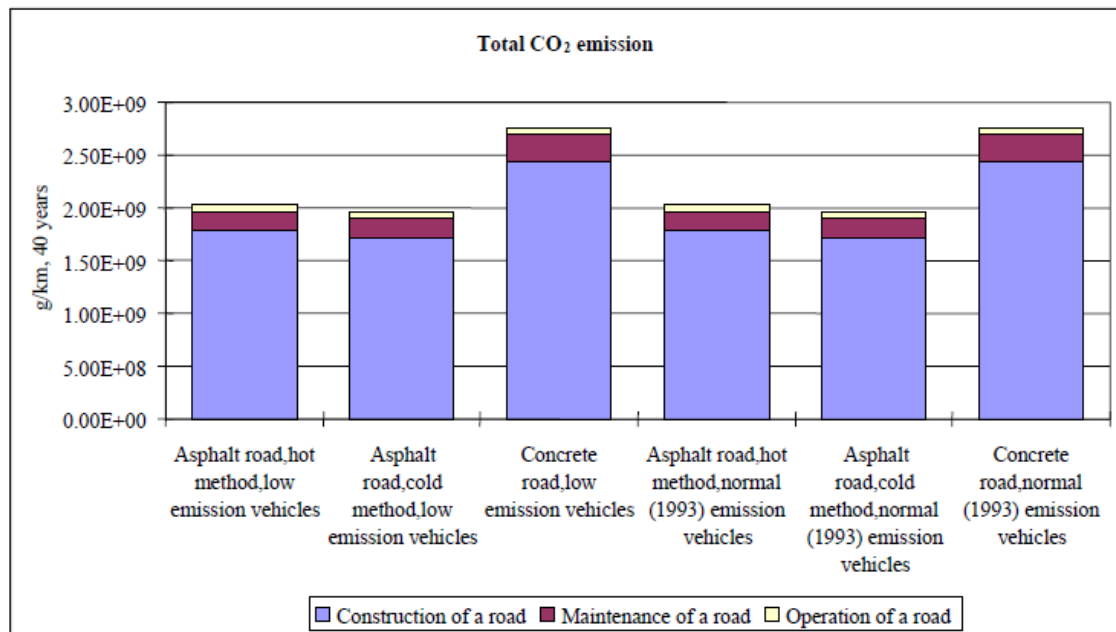


圖 1-2 瑞典六種道路道路 40 年生命週期評估顯示道路營建資材之碳排佔大部份
(資料來源：陳一昌 2012)

長久以來，建築產業一直想執行碳揭露與碳足跡標示，但建築物由數千種建材組成，加上長達六十年的建築耗能難以精確掌握而裹足不前。日本是極少數已經擁有建築物碳足跡評估實務的國家(石福昭、伊香賀俊治，1993)，但像 LEED、BREAM 之國際綠建築評估系統，至今尚無法執行生命週期評估。

1-4 碳足跡評估的國際規範

談論建築碳足跡評估之前，先讓我們一睹國際有關產品碳足跡之事宜。目前，產品碳足跡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，並與界定範疇整合，把結論與建議提供給決策者，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 由英國標準協會(BSI)發展而成，其內容為提供產品生命週期碳足跡的標準評估方法。碳足跡盤查是提供 PAS 2050 可信度的基本來源，同時可讓管制機關、客戶、股東、投資人、環保團體，甚至競爭對手，都能確信此碳足跡計算的準確性、完整性及透明性。任何組織只要積極測量碳足跡並制訂碳排減量目標，都會因為碳足跡盤查所帶來的精確度和專業知識而受益。PAS 2050 於 2008 年 10 月公告後，已成為國際推動碳足跡計算之主要依據，亦成為國際標準組織(ISO)制定產品碳足跡標準(ISO 14067)之重要文件。

PAS 2050 要求碳足跡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，本書的建築物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，即從原物料開採至該產品運送到下一個工廠或企業大門前的各階段碳排，本研究的建材碳排資料數據則屬於此類。

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。
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。
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，以便提供第三者重複驗算。
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。
5. 評估報告：碳足跡評估的結果做成報告，其碳足跡資訊應具備高可靠性，

此時可藉由組織內部盤查管理制度的建立，以確認盤查品質及不確定性風險，並檢查碳足跡數據之品質。

6. 查證：完成碳足跡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，包括建立盤查系統與程序文件化等，並持續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。

（三）ISO14067

ISO14067 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，它將成為有關碳足跡的評估、監測、報告和核查的國際通行標準。

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。ISO14067 將分為兩部分：ISO14067-1（第 1 部分：量化）、ISO14067-2（第 2 部分：溝通）。ISO14067 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。ISO14067 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。

1-5 國內外有關本案之研究情況

近年來，國際綠建築標章制度如 LEED 也想盡辦法要納入碳足跡標示方法，但因建築碳足跡評估方法尚未形成高信賴度之共識而未果。然而，目前台灣已出現一些國外顧問公司在台推銷建築碳足跡盤查之業務，甚至有許多引進國外軟體作為台灣建築碳足跡之研究。有些政府單位也在國內尚無建築碳足跡評估規範之際，要求一些公共工程與民間投資案執行碳足跡盤查，這可能嚴重扭曲了政府低碳政策之健康發展。

目前國際間有關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。然而，目前常用國外軟體大部份為產品碳排評估之軟體，並不適於巨大建築物碳足跡之評估，尤其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，恐怕有誤導低碳建築之危機。

目前，國際間屬於建築專用的碳足跡評估工具尚未成形。2010 年美國建築師協會所出版之"建築生命週期評估實務導論" (AIA, 2012)，列舉在美國、澳洲、加拿大、泰國等地被執行過的建築碳足跡評估的 8 個案例分析，其中可看出現階段各評估工具、能源解析軟體、碳排資料庫、計算邊界、虛擬情境尚處於各說各話之階段，尤其缺乏政府單位公認的比較基準，同時也缺乏建築設計導向的操作機制，因此不得不承認建築 LCA 工具目前所遭遇的困境。

目前，唯有日本建築學會的 AIJ-LCA 資料庫軟體是國外建築專用的碳足跡評估工具。然而，它雖有龐大的建材、設備、施工的碳排資料庫、精細的生命週期碳排解析理論、良好的減碳設計診斷與建議功能，但因為資材數據、氣候條件、建築節能指標、營建構造之差異，日本的 AIJ-LCA 也不適用於台灣，這也是本研究必須研發本土化建築碳足跡標示工具的原因。

第二章 研究方法及進度說明

第一節 本研究碳足跡標示範圍

首先，在此必須聲明本研究所處理的二氧化碳排放量，並非一般所謂的生命週期碳足跡，亦即並非包含(1) 新建軀體工程建材、(2) 營造施工、(3)建築使用、(4)修繕更新、(5)拆除廢棄等生命週期五個階段過程之活動中所排放的二氧化碳排放量，而是只是指「新建軀體工程建材」之生產與運輸的二氧化碳排放量而已。其主要原因是正常生命週期碳足跡之揭露複雜又困難，並非現行內政部綠建築標章所能處理，本研究只是希望做一個碳揭露的宣示功能，先建立一個「簡易版的碳足跡」，標示在現行綠建築標章中而已。由於只是「簡易版的碳足跡」，因此自不能與全生命週期碳足跡之意義相提並論。

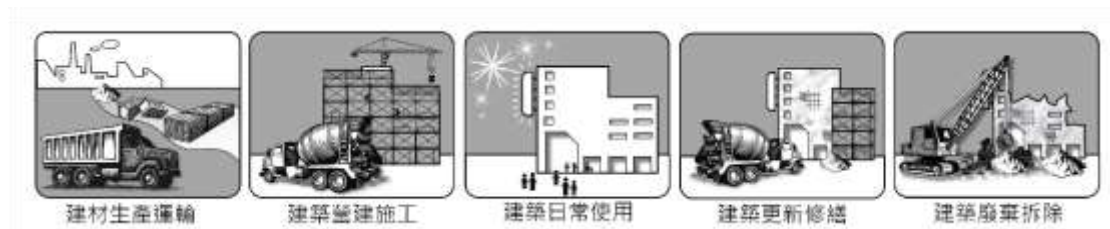


圖 2-1 建築生命週期五階段示意圖

(資料整理：本研究整理)

以一個完整建築物生命週期碳足跡來看，依據低碳建築聯盟列舉的四棟建築物的碳足跡解析如下圖 2-2 所示：

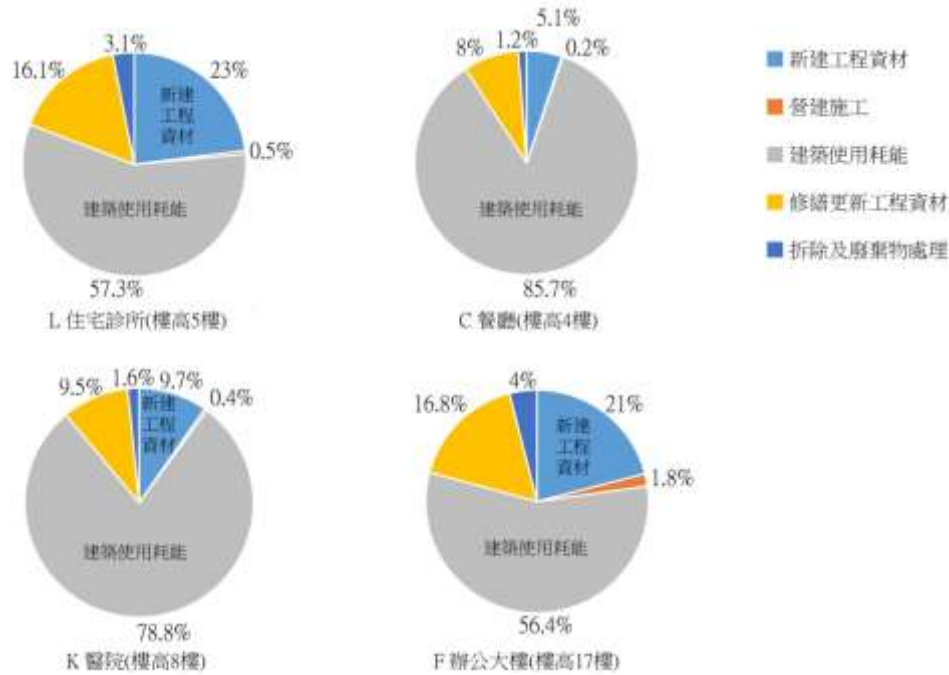


圖 2-2 四棟建築物生命週期五階段建築碳足跡組成圖

(資料整理：本研究整理)

如上所述，本「簡易版的碳足跡」只包括生命週期五階段中第一階段的「新建軀體工程建材」之碳排，其比重約為 10~20%，這相當於綠建築指標的「二氧化碳減量指標」部份。另外「日常使用耗能」部份之碳排約佔 56~86%，此部份相當於綠建築指標的「日常節能指標」部份。但無論如何，本研究只能把握 10~20% 之「簡易版的碳足跡」，而放棄碳排 56~86% 的「日常使用耗能」部份，其原因在於「日常節能指標」所承襲的節能指標 Req、ENVLOAD 以及在空調界受歡迎的 EAC 指標，若改以採碳排量標示，勢必徹底變更評估軌道，改成複雜之能量與碳排數據計算，難已被建築業界接受。因此本研究必須暫緩「日常節能指標」之碳排標示，而以執行現行綠建築標章「CO₂減量指標」之碳足跡標示為主。

本研究結合 102 年開始之國科會小產學計畫「低碳建築聯盟」的「建築碳足跡評估法」，以自我比較原則，研擬減碳率指標。其研究方法結合綠建築「日常節能指標」之現有 Req、ENVLOAD、EAC 等指標，以及「二氧化碳減量指標」之現有對耐久性、維護性與再生建材使用條件來產生結合碳足跡標示的新指標。其評估原則在尊重綠建築系統與現行節能指標規範條件下，同時以不妨害機能設計自由前提下，進行簡易公式計算來做減碳率之評分。本系統主要以建築物整體工程材料生產、運輸之碳排量為主，對於其他碳足跡則暫緩評估。

總之，本研究所處理的「簡易版的碳足跡」只是在綠建築系統中宣示部份碳揭露之功能，並非是完整的建築碳足跡標示，懇請理解與體諒。

第二節「CO₂減量指標」碳足跡標示法

目前「CO₂減量指標」採取 Check List 逐項計分之方法，但沒有直接計算碳排量，本研究利用本所 102 年在「建築物設計階段碳揭露標示法之研究(1)、(2)」之成果，以建築設計圖推估建築結構與內外裝工程之碳排量，同時與設定「基準案」以計算其減碳量，並進行計分評估。現行「CO₂減量指標」「CO₂減量指標」依據「結構合理化」、「建築輕量化」、「耐久化」與「再生建材使用」等四大範疇，以公式 2-5.1 所示之綠構造係數 CCO₂ 為指標建立簡易 CO₂ 減量評估法，其系統得分 RS5 與綠構造係數 CCO₂ 之計算如下：

$$\text{系統得分 RS5} = 19.40 \times (0.82 - \text{CCO}_2) / 0.82 + 1.5, \text{ 且 } 0.0 \leq \text{RS5} \leq 9.0 \text{----- (a)}$$

其中綠構造係數 CCO₂ 依「一般建築」與「舊建築再利用」分別計算如下：

$$\text{「一般建築」之 CCO}_2 = F \times W \times (1 - D) \times (1 - R) \text{----- (b)}$$

$$\text{「舊建築再利用」之 CCO}_2 = 0.82 - 0.5 \times \text{Sr} \text{----- (c)}$$

其中評估形狀係數 F 決定如下：

在 6F 以上中、高層建築物採用下式計算：

$$F = f_1 \times f_2 \times \text{-----} \times f_7, \text{ 且 } F \leq 1.2 \text{----- (d)}$$

在 5F 以下低層建築物採用下式計算：

$$F = 1.0 \text{----- (f)}$$

$$\text{輕量化係數 } W = \sum w_i \times r_i, \text{ 且 } W \geq 0.7 \text{----- (g)}$$

$$\text{耐久化係數 } D = \sum d_i, \text{ 且 } D \leq 0.2 \text{----- (h)}$$

$$\text{再生建材係數 } R = \sum X_i \times Z_i \times Y_i, \text{ 且 } R \leq 0.3 \text{----- (i)}$$

其中

RS5：CO₂減量指標系統得分（分）

CCO₂：綠構造係數，無單位。

Sr: 舊結構再利用率 Sr (舊結構體與新完成總結構體之樓地板面積比), 無單位

F: 形狀係數, 無單位

fi: 形狀因子

W: 輕量化係數, 無單位

wi: 輕量化因子, 無單位, w5~w7 為該設計所節省之混凝土量對總結構混凝土量之節約比例, 必須提出合理的計算書以供認定。

ri: 某結構載重項目使用率, 無單位。

D: 耐久化係數, 無單位

di: 耐久化因子, 無單位

R: 非金屬再生建材使用係數 (--)

Xi: 各種再生建材使用率 (--)

Zi: 各種再生建材CO₂排放量影響率 (--)

Yi: 各種再生建材優待倍數 (--)

然而, 此抽象式的評估法無法全盤了解各個減碳對策之實際減碳效益, 亦與國際上通用之生命週期碳足跡盤查、評估之趨勢相悖。本研究關於「CO₂減量指標」之碳足跡標示法, 採用以下新評估法 CFb 來處理。此法將建築物的軀體工程分為主結構、鷹架、外牆外裝、外窗、內隔間牆、地坪內裝以及屋頂外裝等七大項工程。個別工程的計算公式也更簡化, 僅需輸入樓層數、樓地板面積、立面面積、窗面積等建築圖面上之數據, 再乘上各自所採用的工法之碳排放量, 即可分別得出工程之碳排放量與加總之總碳排放量。

CFb 法可以快速計算, 而且僅需要初期之設計圖面即可推估總碳排放量, 了解碳排構成之後, 又可直接診斷出減碳熱點, 並針對此棟建築物進行減碳設計, 以達本評估法引導減碳手法之目的。

$$CFb = CFs + CFow + CFw + CFiw + CFf + CFr \text{ ----- (1)}$$

其中:

CFb：建築軀體工程資材總碳排放量(kgCO₂e)

CFs：主結構工程資材(柱、樑、樓板)之碳排放量(kgCO₂e)，見式 2

CFow：外牆外裝工程資材總碳排放量(kgCO₂e)，見式 4

CFw：外窗工程資材總碳排放量(kgCO₂e)，見式 5

CFiw：內隔間牆工程資材總碳排放量(kgCO₂e)，見式 6

CFf：地坪內裝工程資材總碳排放量(kgCO₂e)，見式 7

CFr：屋頂外裝工程資材總碳排放量(kgCO₂e)，見式 8

$$CFs = [(Cs \times W + Cb) \times Bc + Cw + Cm] \times LCr \text{ ----- (2)}$$

$$Cs = [255 + 4.4 \times (S - 10) + 614.5 \times (Z - 0.137)] \times AFu \text{ ----- (2.1)}$$

$$Cb = 330 \times AFb \times Sb + 45.5 \times (S + Sb) \times AFb \text{ ----- (2.2)}$$

$$Cw = Cow \times Aow \text{ ----- (2.3)}$$

$$Cm = mi \times Fm \times AF \times (1.0 - CI - C2 - C3) \text{ ----- (2.4)}$$

$$Bc = 1.0 - 0.49 X \text{ ----- (2.5)}$$

$$LCr = 1.0 - (A1 + A2 + A3 + B1 + B2 + B3 + C1 + C2) \text{ ----- (2.6)}$$

其中：

Cs：地上部分柱、樑、樓板等主結構體資材總碳排放量(kgCO₂e)，見式 2.1

Cb：地下部分結構體資材總碳排放量(kgCO₂e)，見式 2.2

Cw：外牆構造資材總碳排放量(kgCO₂e)，見式 2.3

Cm：模板工程資材總碳排放量(kgCO₂e)，見式 2.4

W：構造係數；以 RC 造=1.0 為基準，鋼構造、輕金屬構造時為 0.85，SRC 造為 1.05，磚石造為 1.2。若為混合構造之建築，則以各構造樓地板面積加權計算認定之。

Bc：高爐水泥減碳係數，式 2.5

LCr：生命週期減碳係數，式 2.6

S：地上樓層數

Z：設計地震力係數，數據詳見附錄表

AFu：地上層總樓地板面積，不含屋突層，要計入陽台及露台(m²)

AFb：地下部分單層開挖面積(m²)

Sb：地下樓層數

Cow：外牆構造單位碳排($\text{kgCO}_2\text{e} / \text{m}^2$)

Aow：不含外露柱樑、開窗面積之總外牆面積(m^2)

mi：模板面積係數，無單位；住宿、醫院、旅館類建築為 4.2；辦公、商業建築、文化設施、公共建築為 3.9；學校校舍為 3.7(圖書館、體育館等文化設施)；廠房、量販店、倉儲、市場類建築為 3.4；停車場為 2.3

Fm：模板單位碳排($\text{kgCO}_2\text{e}/\text{m}^2$)，取 $F_m=3.02$

AF：地上+地下層總樓地板面積(m^2)， $AF = AF_u + AF_b \times S_b$

C1：主構造模板減量係數，鋼造、輕金屬造、木造或磚造時為 0.6；RC、SRC 造為 0.0；若為混合構造，則以各構造樓地板面積加權計算認定之。

C2：外牆構造模板減量係數，帷幕、金屬外牆或預鑄外牆為 0.2，其他為 0.0。若為混合構造，則以各外牆面積加權計算認定之。

C3：內隔間牆構造模板減量係數，輕隔間或少量隔間構造時為 0.2，其他為 0.0。

X：爐石粉取代水泥用量之比例，無單位

LCr：生命週期減碳係數，無單位

A1~C2：耐久化因子修正係數，見表 1

主結構資材，包含地上、地下層之柱、樑、版、外牆結構和模板之建材用量。 W 為構造係數，由於本評估法 CFs 僅適用於 RC 造建築，另外於鋼構、木構等構造形式之碳排評估尚在進行解析中，因此暫用現行「 CO_2 減量指標」之 CCO_2 所設定之 W 係數，鼓勵鋼構等低碳排建築設計，考慮到地下層多用 RC 造，因此僅在地上層部分予以折減。由於一般卜特蘭水泥是碳排量相當高之建材，故鼓勵設計者採用高爐水泥，設定 B_c 為高爐水泥減碳係數，是為相較於採用一般水泥可得之減碳效益，計算如式 2.5 所示。

式 (2) 之碳足跡評估本是以整個生命週期做為評估框架，涵括了原料生產運輸、建築興建、日常使用至拆除廢棄，在此定義一般 RC 造建築物以 60 年為一個生命週期。此 60 年之建築壽命可藉由「長壽命化設計」之操作得以延長，等於是建築結構資材這項一生一次的工程項目碳排在較長的生命週期中被稀釋了，可看作是碳排之減量。透過「長壽命化設計」以提升建築物耐久性和生命週期，並降低環境衝擊，因而定義出生命週期減碳係數 LCr，計算如式 2.6。

表2-1 建築生命週期耐久化因子修正係數

大項	耐久化因子	設計內容說明	係數
環境	空氣污染 A1	位於工業區 0.5Km 以內地區	-0.1
		位於工業區 1.0Km 以內地區	-0.05
	鹽害 A2	位於海岸 1Km 以內地區	-0.2
		位於海岸 2Km 以內地區	-0.1
	震動 A3	位於鐵路、高速公路、快速道路沿線 15m 以內地區	-0.1
		位於鐵路、高速公路、快速道路沿線 30m 以內地區	-0.05
耐久設計	建築物耐震力 ^{*2} 設計 B1 (提出耐震力升級設計說明)	耐震力設計合於建築物耐震設計規範規定者	0.0
		耐震力以高於建築物耐震設計規範 20% 以上設計者	0.1
		耐震力以高於建築物耐震設計規範 40% 以上設計者	0.15
	柱樑部位耐久設計 B2 ^{*3} (提出柱樑配筋施工圖)	非 RC、SRC 構造或柱樑部位鋼筋保護層依規範標準設計者	0.0
		RC 構造柱樑部位鋼筋保護層大於規範標準 0.5cm 者	0.025
		RC 構造柱樑部位鋼筋保護層大於規範標準 1.0cm 者	0.05
		RC 構造柱樑部位鋼筋保護層大於規範標準 1.5cm 者	0.075
		RC 構造柱樑部位鋼筋保護層大於規範標準 2.0cm 者	0.10
	樓板部位耐久設計 B3 ^{*3} (提出樓板配筋施工圖)	非 RC、SRC 構造或樓板部位鋼筋保護層依規範標準設計者	0.0
		RC 構造樓板部位鋼筋保護層大於規範標準 0.5cm 者 (樓板厚度必須 $\geq 16\text{cm}$)	0.025
		RC 構造樓板部位鋼筋保護層大於規範標準 1.0cm 者 (樓板厚度必須 $\geq 17\text{cm}$)	0.05
		RC 構造樓板部位鋼筋保護層大於規範標準 1.5cm 者 (樓板厚度必須 $\geq 18\text{cm}$)	0.075
		RC 構造樓板部位鋼筋保護層大於規範標準 2.0cm 者 (樓板厚度必須 $\geq 19\text{cm}$)	0.10
耐久施工	水灰比 C1 (完工後提出施工管理證明)	非 RC、SRC 構造或 RC 構造水灰比 $\geq 65\%$	0.0
		$60\% < \text{RC 構造水灰比} \leq 65\%$	0.05
		$50\% < \text{RC 構造水灰比} \leq 60\%$	0.1
	施工品質 C2	一般	0.0
		優良施工品質 (如全主結構為施工良好之清水混凝土, 混凝土強度 4000psi 以上, 外牆構造 18cm 以上者)	0.1

*1：申請以上優惠係數，應該提出必要圖說與計算說明。*2：耐震力設計標準參照「建築物耐震設計規範 2.2 節」*3：所謂柱樑及樓板鋼筋保護層之規範標準參照「混凝土工程設計規範 13.6 節，土木水利工程學會」規定，申請者應提出比較說明。

(資料來源：本研究整理)

式(1)中除了 CFs 之外，其他分項工程碳排評估公式如下：

$$CFow = \sum Fowj \times (Aowj + Acbj) + \sum Fwcj \times acj \text{-----}(3)$$

$$CFw = \sum (Fwgj + Fwkj) \times Awj \text{-----}(4)$$

$$CFiw = \sum Fiwj \times Aij \text{-----}(5)$$

$$CFf = \sum Ffj \times AFIj \text{-----}(6)$$

$$CFr = \sum Frj \times Arj \text{-----}(7)$$

其中：

Fowj：j 類外牆外裝單位碳排(kgCO₂e/m²)，見第四節碳排資料庫

Fwcj：j 類帷幕外牆中不透光幕牆單位碳排(kgCO₂e/m²)，見第四節碳排資料庫

Fwgj：j 類外窗玻璃之單位碳排(kgCO₂e/m²)，見第四節碳排資料庫

Fwkj：j 類外窗窗框之單位碳排(kgCO₂e/m²)，見第四節碳排資料庫

Fiwj：j 類內隔間牆單位碳排(kgCO₂e/m²)，見第四節碳排資料庫

Ffj：j 類室內地板工程單位碳排(kgCO₂e/m²)，見第四節碳排資料庫

Frj：j 類屋頂外裝工程單位碳排(kgCO₂e/m²)，見第四節碳排資料庫

Ae：總立面面積(m²)，Ae = Aow + Aw + Acb

Aw：外窗總面積(m²)

Acb：鄰接外氣的柱樑面積(m²)

acj：j 類帷幕外牆不透光牆板總面積(m²)

Aij：j 類內隔間牆面積(m²)，以牆之平面圖上長度乘以樓高即可，非計算表面積。

AFIj：j 類室內樓地板面積(m²)。室內樓地板不包含陽台、露臺、樓電梯空間。

Arj：j 類屋頂面積(m²)

本評估法有關於樓地板面積、立面面積等皆以事務所慣用之牆心、柱心線計算方法即可，但包含之內容並不同於法規，沒有所謂的優惠或不計入面積等情況，

總樓地板面積仍須含有陽台、露臺部分；屋突部分則均不計算。

由於外牆係以一般水泥類外牆為基準，若要計算帷幕牆碳排，須將不透光牆板計入外牆結構體 C_w 內 F_{wc} 不透光帷幕牆部分，框架則計入外窗工程 C_{fw} 之 F_{wk} 外窗窗框中，提請注意。

表2-2 研究進度及完成之工作項目

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												
國內外建築碳足評估之回顧分析												
現行綠建築九大指標執行碳排標示之可行性分析												
建築結構之碳排計算標準												
建築分項工程碳排計算標準												
「CO ₂ 減量指標」之減碳率評分標準												
撰寫期中報告												
新「CO ₂ 減量指標」得分間距解析與建議												
撰寫期末報告												
預定進度 (累積數)	8%	16%	28%	44%	60%	74%	76%	84%	92%	98%	100%	

(資料來源：本研究整理)

第三章 資料蒐集、文獻分析

第一節 「CO₂減量指標」碳足跡標評估原則

本研究為了公平合理執行建築軀體工程之碳足跡評估，必須遵守以下三項原則：

(1) 自我比較原則

本 CFb 法為求公平合理而採相對基準比較法，亦即採取一個「設計案」與一個「相同功能建築物」的「基準案」相互比較評估的方法，稱之為「自我比較原則」。「自我比較原則」乃要求建築物在「相同功能」條件下相互比較的方法，是確保公平合理評估的最高原則。由於「自我比較原則」要求「設計案」與「基準案」必須為「相同功能空間組成」的建築物，使碳足跡評估可集中針對於構造系統設計之差異，如此才能凸顯建築軀體減碳設計的效益。

「自我比較原則」要求「設計案」與「基準案」必須是相同平面、相同面積的「相同功能空間組成」，才算是「相同功能建築物」。當然「相同功能建築物」必須同時滿足前述結構安全、健康舒適等兩大「相同功能」之要求。例如，「設計案」與「基準案」必須為相同地震係數、相同樓層高度。

「自我比較原則」主要的目的，在於將評估的火力集中於業主與設計者可實質控制的構件減碳設計上，因而採用盡量拉大「設計案」與「基準案」之減碳因子的策略。有鑑於此，CFb 法將「基準案」設於一個最基本、最常見、最低門檻的基準條件，例如建築構造被設為最一般的 RC 構造、外裝貼磁磚、鋁門窗之設計。如此一來，「設計案」的減碳設計才有明確而敏感的比較基準點。

(2) 有效控制原則

除了上述「自我比較原則」之外，CFb 法尚須遵守一個「有效控制原則」。所謂「有效控制原則」，是指建築碳足跡評估只能控制熱點診斷、減碳技術相關的有效因子，不能控制美學、品味、社會、經濟等與建築實質機能無關之無效因子，同時也不必評量超越「基本功能」水準以上的碳排因子。例如，水晶吊飾、景觀雕刻、楣樑石雕、屋凸飛簷造型等，應屬「基本功能」以上的美學品味要求，

應不必納入評估。又如，對於一般玻璃或雕花玻璃，一般石材或含古生物化石之石材、平價馬桶或免痔馬桶等差異，已經是超越「基本功能」以上的要求而不必納入評估。又如，一般住宅的冷水配管通常採用 PVC 管，但在豪宅常採用較高碳排的鍍鋅鋼管或不銹鋼管，但此乃超越「基本功能」的超標設計而不必納入評估，又如，大塊釉面磁磚比小馬賽克磁磚有更多耗損率，不銹鋼門比原木門使用更多金屬，但它們均非減碳技術相關的有效因子，即使有碳排差異，也應免予評估。

通常建築物之資材與產品已有種種建築規範（相當於基本功能）之要求，我們不必要再去區別品牌、產國、等級在資材上之微小碳排差異，因為即使硬要盤查品牌上之碳排差異，其差異所佔比例也微乎其微，其盤查只是圖勞辛苦而已，對最終診斷評估並無影響。總之，「基本功能」是所有建築師與工程師必須遵守之最基本要求，在建築碳足跡評估上只要依設計圖來執行即可，並不必要額外稽核此基本機能之真偽

(3) 系統操作原則

除了上述「自我比較原則」與「有效控制原則」之外，CFb 法尚有一個「系統操作原則」值得被遵守。所謂「系統操作原則」乃指 CFb 法不針對一塊材料、一根管線來累算碳排，而是以一組內隔間系統、一套帷幕外牆系統之方式來模擬碳排。以建築構造之碳排模擬為例，CFb 法並不依鋼筋、水泥、玻璃等原材料來計算，而是以預先設好碳排標準的隔間牆、外牆、屋頂、樓版等系統工法來模擬，如此可讓設計者事先選用低碳系統工法以達低碳設計之目的。

這「系統操作原則」除了簡化計算之目的之外，最大的功能在於消除非減碳因子之雜音，讓業主、設計者可直接注視建築系統之減碳設計效益，而引導碳熱點之診斷，進而達成低碳設計之目的。

基於以上三原則，CFb 法在針對某棟建築物之評估時，需利用同樣之建築圖面、樓層數、樓高、內外牆及窗戶面積等數據，進行兩次碳排量計算，一次為模擬設定某些數據條件之「基準案」，另一次則為採用實際設計之「設計案」，相比較以得出設計案之減碳比例，如下所示：

$$DCF = (CFb' - CFb) / CFb'$$

其中

DCF：減碳百分比，無單位

CFb'：建築軀體工程之基準案總碳排量

CFb：建築軀體工程之設計案總碳排量

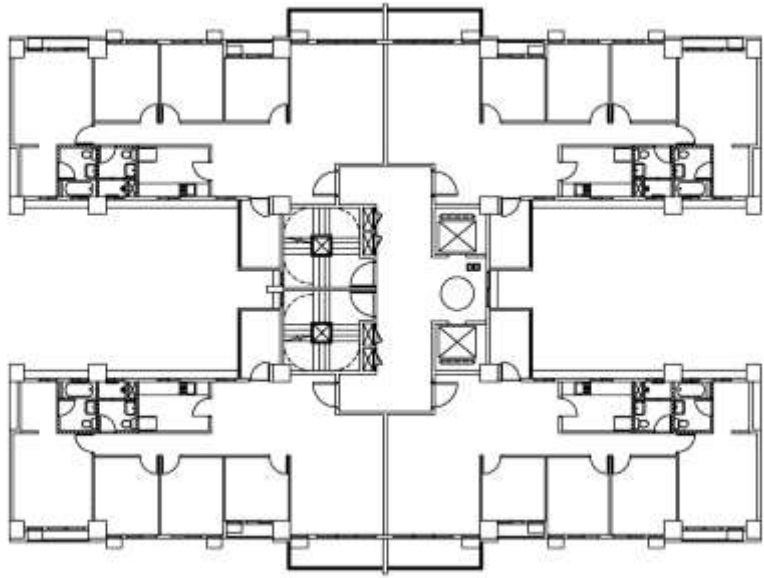
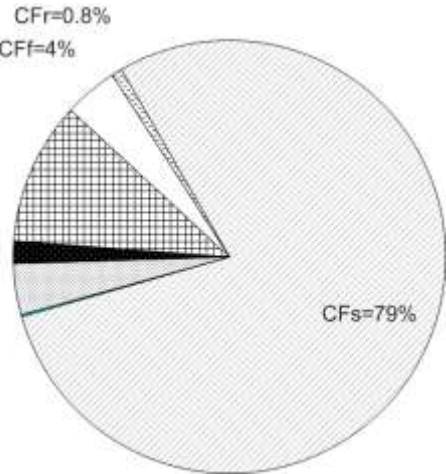
表3-1 基準案之設定數據

係數或工法	基準案之模擬數據設定
W 構造係數	1.0(RC 造)
Bc 高爐水泥減碳係數	1.0(一般水泥)
LCr 生命週期減碳係數	1.0(無長壽命化設計)
C1, C2, C3 模板係數相關	RC 造，依用途或無特殊設定
Cow 外牆構造單位碳排	77.75 (15cm RC 牆)
Fow 外牆外裝單位碳排	28.27 (貼磁磚)
Fwk 外窗框架單位碳排	25.54 (烤漆或氟碳鋁框)
Fiw 隔間牆單位碳排	66.86 (1/2B 磚牆)
Ff 室內地坪單位碳排	30.16 (鋪磁磚)
Fr 屋頂外裝單位碳排	44.78(五腳磚油毛氈)
Fwg 外窗玻璃單位碳排	依設計案計算

(資料來源：本研究整理)

此基準案之條件設定，是希望讓所有建築物在公平的標準下檢驗其減碳效果，因此所設定之數據或工法均是台灣最普遍之住宅建築的常見狀態，如 RC 造、磚牆、鋪磁磚地坪、貼磁磚外牆等。外窗玻璃則因為玻璃有其不能折減之結構、節能作用，所以無標準案設定，須依照設計案之材料選擇去計算。

表3-2 評估一案例之基準案碳排量

集合住宅案						
						
軀體工程 CFb (kgCO ₂ e/m ²)	總樓地板面積 AFu (m ²)	開挖面積 AFb (m ²)	地上樓層數 S	地下樓層數 Sb	總樓高 (cm)	開窗率
2857904.2	4502.6	1405.8	8	1	2720	0.19
主結構工程 CFs (kgCO ₂ e/m ²)	構造係數 W					
2254266.4	1.0					
外牆外裝工程 CFow(kgCO ₂ e/m ²)	高爐水泥減碳係數 Bc					
109129.8	1.0					
外窗工程 CFw(kgCO ₂ e/m ²)	地上層結構體 Cs					
47660.4	973247.8					
隔間牆工程 CFiw(kgCO ₂ e/m ²)	地下層結構體 Cb					
305746.9	1039552.1					
室內地坪工程 CFf(kgCO ₂ e/m ²)	外牆結構體 Cw					

114278.8	162057.9
屋頂外裝工程 C _{Fr} (kgCO ₂ e/m ²)	模板工程 C _m
22554.9	79408.6

(資料來源：本研究整理)

評估結果可得出此棟集合住宅於基準案條件下之碳排構成，再以此為基礎進行減碳對策操作。

第二節 碳足跡評估資料庫

1-1 建材碳排資料庫

建築碳足跡評估成立的關鍵，在於其基本的建築資材碳排資料庫，此資料庫的信賴度攸關該評估法的成敗。資材碳排並非意味資材本身會釋放 CO₂ 氣體，而是因為資材的加工過程所消耗的電力、煤、石油、天然氣等化石燃料所釋放出大量的 CO₂。由於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%；又如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%，因此資材碳排資料必須由當地能源結構算出，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。

本研究關於建材碳排的計算邊界乃遵照 PAS2050 中 B2B 的範疇規定，均未包含建材配送與銷售階段、回收及廢棄階段階段之環境負荷。B2B 是考慮產品到使用端大門，不包含消費端與廢棄處理的 B2C 範疇，因為建築資材有千百種，使用情景千萬種，更何況生命週期中陸續有投入與運出更新維修之資材，最後又是以資材混合方式做掩埋廢棄處理。一般產品通常有其產品類別規則 PCR，但一種建築資材常有許多種用途而找不出其 PCR，例如 PVC 材料可以被用來做成水管、管線、塑料板、地磚等二次材，但這些產品根本無法預測被用在建築之何種部位，也無法預測其使用壽命，此乃建材碳排資料只能考慮 B2B 之原因。

依據 PAS2050「有關某特定程序/活動之各項環境衝擊總和未超過該類別當量之 1%時，此程序/活動可於盤查時被忽略，但累計不得超過 5%」的切斷規則 (Cut-off rules)，本建材碳排盤查之範疇並不考慮添加劑、副原料等微小碳排

因子以及廠內的廢棄物排出所產生的碳排，同時依據 PAS2050 內文規定，場址之建築、基礎設施、製造設備之生產皆在不在本計算範圍內，特此聲明。

本研究的建築資材碳排資料庫，乃由筆者研究室自1994年以來歷經十數年之累積研究成果，並於2013年受內政部建築研究所委託採用2011年最新碳排係數重新建置符合PAS2050規範之建築資材碳排資料庫。此資料庫建置方法大約如下：

1. 所有生產碳排均以「生產線直接耗能統計法」，亦即由廠商提供之耗能與產量換算而得。
2. 若有國內環保署之碳足跡盤查公告資料，則優先採用之（見表3-1）。
3. 若有國內產品碳標籤之碳足跡盤查公告資料，則扣除其中廢棄物處理階段碳排，統一還原成B2B形式之碳排後採用之（見表3-1）。
4. 由於環保署公告之鋼鐵與水泥有部分碳足跡資料僅為生產階段之碳排，其原材料開採之碳排採用SimaPro資料庫，其運輸耗能由本研究依海陸運距離換算而補足之。
5. 銅、鋁等原材料之碳足跡因國內無資料，以SimaPro資料庫補足之（見表3-1）。
6. 木材關材料之碳足跡直接引用台大森林系王松永教授資料（2005，見表3-1）。
7. 所有金屬加工產品統一以二成之新金屬碳排與八成之回收金屬碳排來換算成其碳排資料，亦即這些金屬之碳排資料已經不必再考慮其回收碳排之因素。

表3-3 本研究取自國內其他機構碳盤查資料一覽表

建材分類	細項	來源
鋼鐵	生鐵 ^{*1}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	鋼胚(高爐) ^{*1}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	棒鋼(高爐) ^{*1}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	線材盤元(高爐) ^{*1}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	鋼板(高爐) ^{*1}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	熱軋鋼捲(高爐) ^{*1}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	冷軋鋼捲(高爐) ^{*1}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台

	熱浸鍍鋅鋼捲(高爐) ^{*1}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	扁鋼胚(電弧爐) ^{*2}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	不銹鋼鋼胚 ^{*3}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	不銹鋼冷軋鋼捲(電弧爐) ^{*3}	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	鋁鋅烤漆鋼捲	成功大學產業永續發展中心碳標籤盤查資料
水泥製品	飛灰爐石粉	中聯公司產品碳足跡盤查報告書
土質	衛生陶瓷器	張又升，2002
	石質地磚	環保署碳標籤
木材	粒片板	王松永，2005
	製材	王松永，2005
化學&塑膠	低密度聚乙烯LDPE	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	聚醯胺尼龍(Nylon 6)	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	環氧樹脂(Epoxy)	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	油漆	成功大學產業永續發展中心碳標籤盤查資料
	橡膠地磚	成功大學產業永續發展中心碳標籤盤查資料
銅金屬	銅線(全新、回收)	SimaPro生命週期軟體
	銅製品(全新、回收)	SimaPro生命週期軟體
鋁金屬	進口鋁錠(全新、回收)	SimaPro生命週期軟體
*1. 此係數不含成品運輸階段之碳排。 *2. 此係數僅含產品生產階段之碳排。 *3. 此係數僅含原料取得與產品生產階段之碳排。		

(資料來源：本研究整理)

依上述原則所建置之資材碳排資料庫如表3-2所示。本資料庫之生產階段碳排數據大都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得，但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」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2012年碳排係數求出其最終數據，其中電能之碳排係數為0.532 kgCO₂e/kWh。例如臺灣玻璃公司生產每公噸的平板玻璃，平均消耗82.8度電能、211.6公升燃料油與0.5公升液化石油氣，因而可換算出每kg之平板玻璃生產過程相當於排放0.70 kgCO₂e。

表3-2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，2011)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。

表3-4 建築資材碳排資料表

材料名稱		單位	碳排(kgCO ₂ e)				
			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)	Kg	2.26			0.055	2.32
	鋼胚(電弧爐)	Kg	0.147	0.081	0.4	0.055	0.683
	鋼筋及鐵件	Kg	0.954		0.168	0.083	1.21
	型鋼	Kg	0.954		0.185	0.064	1.20
	不鏽鋼捲、不鏽鋼	Kg	1.13	0.183	0.88	0.047	2.24
	冷軋輕型鋼	Kg	0.954		0.149	0.047	1.15
	熱軋鋼捲	Kg	0.954		0.099	0.038	1.09
	冷軋鋼捲	Kg	0.954		0.400	0.047	1.40
	不鏽鋼管	kg	1.13	0.183	0.915	0.129	2.36
	鍍鋅鋼管	kg	0.954		0.285	0.129	1.37
	冷軋鋼管	kg	0.954		0.435	0.129	1.52
砂石類	砂礫	m ³	3.05	56.20			59.24
	採石(原石)	m ³	3.83	111.20			115.03
	石材加工品(6分板)	m ²	0.082	2.37	1.74	5.11	9.30
	岩棉板(1.5cm)	m ²	0.015	0.93	0.828	0.182	1.96
土質	磁磚(1cm)	m ²	7.70		7.16	1.14	15.99
	高壓混凝土地磚(6cm)	m ²	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 ²	0.114	0	6.46	2.56	9.13
水泥類	一般水泥(卜特蘭)	T	2.47	4.17	855	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 ²	0.100	0.27	19.02	0.51	19.90
	1:2 水泥砂漿粉刷	m ²	0.095	0.29	12.37	0.51	13.27
	1:3 水泥砂漿粉刷	m ²	0.089	0.29	8.57	0.51	9.46
	預拌混凝土(2000psi)	m ³	5.13	19.24	214.84	22.85	262.04

	預拌混凝土(3000psi)	m ³	4.89	17.95	300.34	22.85	346.01
	預拌混凝土(4000psi)	m ³	4.80	21.62	343.09	22.85	392.35
	預拌混凝土(5000psi)	m ³	4.83	21.48	407.21	22.85	456.36
	預拌混凝土(6000psi)	m ³	4.71	21.65	471.34	22.85	520.54
	預拌高爐混凝土 (3000psi)	m ³	4.50	21.48	175.68	22.85	224.50
	預拌高爐混凝土 (4000psi)	m ³	4.35	21.46	200.62	22.85	249.28
	預拌高爐混凝土 (5000psi)	m ³	4.30	22.08	238.03	22.85	287.27
	預拌高爐混凝土 (6000psi)	m ³	4.10	22.11	275.45	22.85	324.50
	水泥板(9mm)	m ²	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 ²	0.01	0.18	1.75	0.68	2.61
	石膏板(12mm)	m ²	0.02	0.23	2.33	0.90	3.49
	石膏板(15mm)	m ²	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 ²	0.01	0.16	1.28	0.18	1.33
	矽酸鈣板(9mm)	m ²	0.01	0.23	1.81	0.26	1.99
	矽酸鈣板(12mm)	m ²	0.02	0.30	2.39	0.34	2.65
木竹類	原木	m ³	-916.67	39.59	102.67	10.97	-763.45
	製材	m ³	-916.67	39.59	112.43	10.97	-753.68
	木地板(2cm)	m ²	-79.2	3.42	23.94	2.46	-49.36
	木合板	m ³	-618.75	43.55	440.00	16.80	-118.40
	木合板(6分板)	m ³	-11.14	0.784	7.92	0.302	-2.13
	塑合板	m ³	-624.0	51.46	733.33	19.85	180.65
	木心板	m ³	-343.92	43.55	440.00	16.80	156.42
	木心板(6分板)	m ²	-6.19	0.784	7.92	0.302	2.82

	木模板(1.5cm)	m ²		2.83	0.275	0.783	3.89
	壁紙	m ²		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)	Kg	12.2	0.330		0.120	12.65
	進口鋁錠(80%回收)	Kg	3.75	0.187		0.120	4.05
	建築用鋁擠型料	kg	3.75	0.187	0.287	0.120	4.34
	門窗鋁料	kg	3.75	0.187	0.366	0.120	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
電線電纜	PVC 電 線 (5.5mm ² , CNS679-C2012)	kg	0.216	0.012	0.029	0.004	0.260
	PVC 電 線 (22mm ² , CNS679-C2012)	kg	0.829	0.047	0.113	0.014	1.003
	PVC 耐 火 電 纜 (8.0mm ² , CNS11359)	kg	0.458	0.569	0.055	0.010	1.092
	PVC 耐 火 電 纜	kg	0.751	1.148	0.092	0.014	2.005

	(14mm ² , CNS11359)					
--	--------------------------------	--	--	--	--	--

(資料來源：本研究整理)

1-2 建築構件碳排資料庫

表 3-2 之資料為建築原材料之碳排數據，但是上述 CFb 評估法為了方便於建築設計之操作，並不採用此原資材之碳排數據，而是使用建築分項構件的碳排數據。CFb 評估法將軀體工程分項為主結構、內外牆、內外裝、屋頂工程等項目，除了主結構外，皆係以面積乘上相應的工法單位碳排量去作計算，因此除了基準案所設定的工法，在此亦提供設計者多樣常用工法之碳排數據可選用。

這部分所提出之工法單位碳排量，是以本土化建材碳足跡資料庫數據與各構造系統細部設計圖計算而來，根據「系統化」之原則，將工法內所用的各項材料用量換算為碳排量後加總，算出 1m²之單位碳排量，舉一例如下：

表3-5 單位功能的碳排數據

工法 \ 材料	混凝土		鋼筋		室內面 水泥砂漿粉平		單位碳排量 kg/m ²
RC 外牆 15cm	3000psi 15cm		#3@20cm 雙層 #3@15cm 雙層		配比 1:3, 15mm		77.75
每 m ²	用量	單位	用量	單位	用量	單位	3000psi 混凝土=346.01kg/m ³ 鋼筋及鐵件=12.1kg/kg 1:3 水泥砂漿=9.46kg/m ² (25mm 厚)
#3 鋼筋單位重 =0.56kg/m	0.15	m ³	16.7	kg	15	mm	
	碳排量	單位	碳排量	單位	碳排量	單位	
	51.90	kg	20.17	kg	5.68	kg	

(資料來源：本研究整理)

如此僅需計算建築圖面上的外牆面積，乘上 15cmRC 外牆單位碳排量 77.75kgCO₂e/m²，便可得出外牆結構體總碳排量，相當簡易，也符合系統化之原則。而為了防止碳排數據不實且難以查證，建議設計者引用以下提供之工法標準數據即可，若有其他不同工法細部，亦可自行依照上表方式計算其碳排量。本研究針對 CFb 評估之內外牆、內外裝、屋頂等項目之構件所建立的碳排資料庫如表 3-4~11 所示。

表3-6 不透光外牆構造工程碳排標準 C_{ow} ($kgCO_2e/m^2$)

	構造	材料厚度/材料規格	單位碳排量
水泥類外牆	RC 外牆 15cm	鋼筋混凝土 3000psi 15cm 室內水泥砂漿粉光 1.5cm	77.75(基準值)
	RC 外牆 18cm	鋼筋混凝土 3000psi 18cm 室內水泥砂漿粉光 1.5cm	96.83
	清水混凝土外牆 20cm	鋼筋混凝土 5000psi 20cm	111.44
	預鑄混凝土外牆 15cm	PC 板 5000psi 15cm	97.74
	ALC 板外牆 15cm(縱壁構法)	ALC 板 15cm(含雙層鋼筋網) 固定鐵件	27.6
玻璃磚牆	玻璃磚牆 8cm	玻璃磚 19x19x8cm 不鏽鋼框/補強筋 水泥砂漿	83.14
	玻璃磚牆 10cm	玻璃磚 19x19x10cm 不鏽鋼框/補強筋 水泥砂漿	109.43
帷幕類外牆	玻璃帷幕牆	玻璃 0.8cm 鋁板 0.16cm 玻璃棉 3cm 石膏板 1.2cm	25.59(基準值)
	鋁金屬帷幕牆	鋁板 0.6cm 鋁板 0.16cm 玻璃棉 3cm 石膏板 1.2cm	19.97
	花崗岩帷幕牆	花崗岩 3cm 鋁板 0.16cm 玻璃棉 3cm 石膏板 1.2cm	17.55

	琺瑯鋼板帷幕牆	琺瑯鋼板 0.9cm 噴岩棉 2cm 矽酸鈣板 2.5cm	91.47
--	---------	-------------------------------------	-------

(資料來源：本研究整理)

表3-7 外牆外裝工程資材碳排標準CFowj(kgCO₂e/m²)

構造	材料厚度/材料規格-碳排量	單位碳排量
貼磁磚外牆	一般磁磚=15.99 益膠泥 5mm=6.6 1:3 水泥砂漿 15mm=5.68	28.27 (基準值)
油漆外牆	油漆=3.05 1:3 水泥砂漿 20mm=7.57	10.62
乾式石材外牆 (二次鐵件)	一般石板=9.35 不鏽鋼繫件=1.57 防水塗料=4.0	14.92
塗料系統 (防水抗裂)	防水塗料 2mm=4.0 抹面石膏漿 8mm=7.42 玻璃纖維網格布=0.59 1:3 水泥砂漿 10mm=3.86	15.87
洗(抵)石子外牆	砂礫 0.006m ³ =0.36 水泥 5kg=4.81 1:3 水泥砂漿 20mm=7.57	12.73

(資料來源：本研究整理)

表3-8 內隔間牆工程資材碳排標準CFiwj(kgCO₂e/m²)

構造	材料厚度/材料規格	單位碳排量
----	-----------	-------

RC 隔間牆 12cm	3000psi 混凝土 15cm=51.9 雙排鋼筋 #3@20cm(垂直向) #3@15cm(水平向)=20.17 水 泥砂漿打底粉光 2cm(雙面)=21.23	93.3
1/2B 磚牆	紅磚 76 塊=44.08 水泥 20kg=19.23 砂礫 $0.06\text{m}^3=3.55$	66.86(基準值)
RC 隔間牆 12cm	3000psi 混凝土 12cm=41.52 單排鋼筋 #3@10cm(垂直向) #3@15cm(水平向)=12.1 水 泥砂漿打底粉光 2cm(雙面)=21.23	74.85
輕質灌漿牆 9cm	纖維水泥板 6mm(雙面)=6.72 槽鐵 75x40mm(上下)=5.52 C 型立柱 70x40x1.6mm@300mm=5.01 輕質混凝土 75mm=18.45 批土(雙面)=0.92 油漆(雙面)=2.0	38.62
石膏板隔間牆 10cm	石膏板 12mm(雙面)-6.98 槽鐵 75x40mm(上下)-5.52 C 型立柱 70x40x1.6mm@600mm-4.55 玻璃棉 50mm-2.59 批土(雙面)-0.92 油漆(雙面)-2.0	22.56
矽酸鈣板隔間牆 9cm	矽酸鈣板 9mm(雙面)-4.62 槽鐵 65x40mm(上下)-5.34 C 型立柱 60x30x1.6mm@600mm-3.12 玻璃棉 50mm-2.59 批土(雙面)-0.92 油漆(雙面)-2.0	18.58

乾式雙層板隔間牆 12cm	石膏板 15mm(雙面)-8.36 石膏板 12mm(雙面)-6.98 槽鐵 75x40mm(上下)-5.52 C 型立柱 70x40x0.8mm@600mm-1.79 玻璃棉 70mm-3.63 批土(雙面)-0.92 油漆(雙面)-2.0	29.19
混凝土空心磚牆 10cm	空心磚 39x19x9cm-15.68 補強砂漿-2.27 砌磚用砂漿-4.16 垂直補強鋼筋#3@800mm-0.85 水平補強鋼網-1.8 批土(雙面)-0.92 油漆(雙面)-2.0	27.67
ALC 白磚牆 10cm	ALC 白磚 60x40x10cm-7.86 益膠泥-4.18 批土(雙面)-0.92 油漆(雙面)-2.0	14.95
木作隔間牆 10cm	企口木板 20mm-(-15.07)加強橫角料 36x60@1200mm-(-2.03) 立柱-36x60@450mm-(-3.62) 玻璃棉 16K 25mm-1.09 批土(雙面)-0.92 油漆(雙面)-2.0	(-16.72)
烤漆鋁框 5+5mm 強化玻璃	鋁框=25.54 5+5mm 強化膠合玻璃=27.23	52.77

塑鋼框 5+5mm 強化玻璃	塑鋼框=11.67 5+5mm 強化膠合玻璃=27.23	38.90
-------------------	---------------------------------	-------

(資料來源：本研究整理)

表3-9 室內樓板內裝工程資材碳排標準CFfj(kgCO₂e/m²)

構造	材料厚度/材料規格	單位碳排量
磁磚地坪(硬底)	一般磁磚=15.99 益膠泥 5mm=6.6 1:3 水泥砂漿 20mm=7.57	30.16 (基準值)
磁磚地坪(軟底)	一般磁磚=15.99 1:3 水泥砂漿 25mm=9.46	25.45
硬化膜地坪	環氧樹脂膜 2mm=7.25 1:3 水泥砂漿 50mm=18.92	26.17
鋪石板地坪	一般石板 3cm=9.3 1:3 水泥砂漿 35mm=13.24	22.54
拼花木板地坪	木地板=(-48.37) 樹脂黏著劑 1mm=1.32 1:3 水泥砂漿 20mm=7.57	(-39.48)
磨石子地坪	石子 0.01m ³ =0.59 水泥 7.5kg=7.21 1:3 水泥砂漿 20mm=7.57	15.37

塑膠地磚地坪	塑膠板 1.5mm=4.89 樹脂黏著劑 1mm=1.32 1:3 水泥砂漿 20mm=7.57	13.78
--------	--	-------

(資料來源：本研究整理)

表3-10 屋頂外裝工程資材碳排標準CFrj(kgCO₂e/m²)

構造	材料厚度/材料規格	單位碳排量
五腳磚油毛氈屋頂	五腳磚 20mm=14.49 保麗龍 30mm=1.31 輕質混凝土 70mm=18.67 油毛氈 2mm=1.19 點焊鋼絲網=1.25 1:3 水泥砂漿粉平 20mm=7.57	44.78 (基準值)
泡沫混凝土屋頂	泡沫混凝土 150mm=37.89 補強筋=1.25 油毛氈 2mm=1.19 1:3 水泥砂漿粉平 20mm=7.57	47.89
泡沫混凝土+PU 屋頂	PU 膜 2mm=7.25 泡沫混凝土 100mm=25.26 補強筋=1.25 油毛氈 2mm=1.19 1:3 水泥砂漿粉平 20mm=7.57	42.51
隔熱拍漿粉光屋頂	2500psi 混凝土 50mm=15.2 補強筋=1.25 PU 板 25mm=1.13 PU 膜 5mm=9.06 1:3 水泥砂漿粉平 20mm=7.57	32.92

隔熱磚軟底施工	磨石子隔熱磚 30mm=21.74 保麗龍 20mm=0.88 1:3 水泥砂漿 25mm=9.46 防水益膠泥=2.75	34.83
---------	---	-------

(資料來源：本研究整理)

表3-11 窗玻璃與框架結構碳排標準

	構造種類	碳排標準 kgCO ₂ e/m ²
玻璃碳排 Fwgj	1. 8 mm 普通或吸熱玻璃	17.47
	2. 10 mm 普通或吸熱玻璃	21.84
	3. 12 mm 普通或吸熱玻璃	26.21
	4. 8 mm 反射玻璃	23.46
	5. 10 mm 反射玻璃	29.33
	6. 12 mm 反射玻璃	35.19
	7. 6 mm 強化玻璃	17.00
	8. 8 mm 強化玻璃	22.67
	9. 10 mm 強化玻璃	28.33
	10. 12 mm 強化玻璃	34.00
	11. 5+5 mm 雙強化膠合玻璃	27.23
	12. 6+6mm 雙強化膠合玻璃	32.33
	13. 8+8mm 雙強化膠合玻璃	44.26
	14. 6+6mm Low-E 玻璃	33.54
	15. 8+8mm Low-E 玻璃	44.73
一般窗框構造碳排 Fwfj	1. 鋁框架構造(陽極或氟碳烤漆)	19.84 (基準值)
	2. 不鏽鋼框架構造	19.94
	3. 塑鋼構造(含補強鐵件)	11.67
玻璃帷幕窗框構造碳排 Fwfj	1. 鋁框架構造(陽極或氟碳烤漆)	30.23 (基準值)
	2. 不鏽鋼框架構造	39.07
	3. 塑鋼構造(含補強鐵件)	23.07
註 1：玻璃應依實際設計條件選用碳排標準計算，但因結構安全至上考慮，設計案與基準案一律採相同玻璃碳排數值。基準案之窗框碳排以鋁框架構造為準。 註 2：上述窗框碳排標準為國內知名廠牌、不同尺寸窗框模擬計算平均值，其中一般窗框以密閉窗五成、玻璃帷幕窗框以密閉窗九成之條件解析而成。 註 3：若為抓釘式或玻璃袖版支撐的無窗框構造以本表不鏽鋼框架構造之數據處理之。		

(資料來源：本研究整理)

第四章 研究發現

第一節 碳排評分標準解析

本 CFd 評估法，根據上述說明，係採取「基準案」及「設計案」之兩組評估數據進行減碳成效檢驗，其可操作之對策有高爐水泥減碳、構造減碳、耐久化減碳或採用各種低碳工法，而為了瞭解各項對策之減碳效果，特針對七個不同建築類型及規模之案例進行評估，再依結果決定 CO₂ 減量指標之得分間距。茲舉一案例簡要說明如下：

由於各類建築物之空間組成、常用工法相異，應可診斷出不同減碳熱點，因而在此選擇最普遍的住宅、辦公及學校三種類型進行評估，皆為建築師事務所提供已完成之實際案例。而各類型又有不同的建築規模，以反映減碳敏感度。

表4-1 住宅、辦公及學校三種類型進行評估

案例編號	所在縣市	地上樓層數	地下樓層數	標準層樓地板面積(m ²)	開挖面積(m ²)
住宅 A	高雄市	3	0	107.37	107.37
住宅 B	台北市	8	1	562.82	1405.75
住宅 C	台北市	15	3	538.26	1252.42
住宅 D	新竹縣	23+1*	3	534.37	2293.93
辦公 A	台中市	5	0	933.98	933.98
辦公 B	台北市	13+1*	4	1163.3	1764.57
辦公 C	新北市	18	4	375.75	904.74
學校 A	高雄市	5	0	747.62	812.05
學校 B	高雄市	5	1	1690.6	1896.8

*1：夾層

（資料來源：本研究整理）

二、減碳成效解析

1. 高爐水泥減碳係數模擬計算

$$CF_s = [(C_s \times W + C_b) \times B_c + C_w + C_m] \times LCr$$

假設為所有混凝土皆使用高爐水泥，則除了 B_c 係數改變，外牆結構體資材碳排放量 C_w 也要選用 15cm 高爐鋼筋混凝土牆之單位碳排放數據。

(1) 爐石粉取代 30% 水泥用量

$$B_c = 1.0 - 0.49X, X = 0.3, B_c = 0.85$$

$$15\text{cm } 30\% \text{ 高爐混凝土 } C_w = 66.09 (\text{kgCO}_2\text{e/m}^2)$$

(2) 爐石粉取代 45% 水泥用量

$$B_c = 1.0 - 0.49X, X = 0.45, B_c = 0.78$$

$$15\text{cm } 45\% \text{ 高爐混凝土 } C_w = 60.65 (\text{kgCO}_2\text{e/m}^2)$$

表4-2 住宅、辦公及學校三種類型進行評估

案例	住宅 A	住宅 B	住宅 C	住宅 D	辦公 A	辦公 B	辦公 C	學校 A	學校 B
(1) 減碳比例	12.6%	11.2%	12%	12%	11.5%	12.6%	15%	11%	11.6%
(2) 減碳比例	19%	16.8%	18%	18%	17%	19%	19%	16%	17%

(資料來源：本研究整理)

2. 生命週期減碳係數模擬計算

$$CF_s = [(C_s \times W + C_b) \times B_c + C_w + C_m] \times LCr$$

生命週期減碳係數依據表 2 計算，採選單式累計，若各個項目都達成可能會造成係數過低或過高，因此設定上下限值， $LCr = 0.6 \sim 1.3$ 。由於本研究著重於探討減碳成效，故不考慮 $LCr > 1$ 的情境，設定以下三種條件進行模擬：

$$(1) LCr = 0.9$$

$$(2) LCr = 0.7$$

$$(3) LCr = 0.6$$

表4-3 住宅、辦公及學校三種類型減碳分析

案例	住宅 A	住宅 B	住宅 C	住宅 D	辦公 A	辦公 B	辦公 C	學校 A	學校 B
(1) 減碳比例	9%	7.9%	8%	9%	8%	9%	8.8%	7.6%	8%

(2) 減碳比例	26%	23.7%	25%	26%	24%	26%	26%	23%	24%
(3) 減碳比例	35%	31.6%	32.8%	34%	32%	35%	35%	31%	33%

(資料來源：本研究整理)

3. 住宅類建築工法減碳模擬計算

依標準案計算結果，診斷住宅類的減碳熱點為外牆外裝工程、隔間牆工程及室內地坪工程三項，模擬設定如下(括號內為各工法單位碳排量)：

(1)外牆外裝工程：由貼磁磚外牆($28.27\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)改為防水抗裂塗料外牆($15.87\text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$)。

(2)隔間牆工程：由 1/2B 磚牆($66.86\text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$)改為 11cm 雙面雙層矽酸鈣板隔間牆($25.88\text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$)。

(3)室內地坪工程：臥房部分由鋪磁磚地坪($30.16\text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$)改為耐磨木質地板($12.66\text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$)。

(4)

表4-4 住宅類外牆外裝、隔間牆、室內地坪減碳分析

工程項目		住宅 A	住宅 B	住宅 C	住宅 D
外牆外裝	減碳比例	1.6%	2.2%	2.3%	2%
隔間牆	減碳比例	2.9%	6.6%	5.2%	3.4%
室內地坪	減碳比例	0.6%	0.9%	0.4%	0.3%
總減碳		5.1%	9.7%	7.9%	5.7%

(資料來源：本研究整理)

4. 辦公類建築工法減碳模擬計算

依標準案計算結果，診斷辦公類的減碳熱點為外牆外裝工程、隔間牆工程及室內地坪工程三項，模擬設定如下：

(1)外牆外裝工程：由貼磁磚外牆($28.27\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)改為乾式石材外牆($14.92\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)。

(2)隔間牆工程：由 1/2B 磚牆($66.86\text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$)改為 11cm 雙面雙層矽酸鈣板隔間牆($25.88\text{ kgCO}_2\text{e/m}^2$)。

- (3) 室內地坪工程：由鋪磁磚地坪($30.16\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)改為塑膠地板地坪($13.78\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)。

表4-5 辦公類外牆外裝、隔間牆、室內地坪減碳分析

工程項目		辦公 A	辦公 B	辦公 C
外牆外裝	減碳比例	1.8%	0.9%	1.2%
隔間牆	減碳比例	2.6%	2.6%	2.5%
室內地坪	減碳比例	3.7%	2.4%	1.9%
總減碳		8.1%	5.9%	5.6%

(資料來源：本研究整理)

5. 學校類工法減碳計算

依標準案計算結果，診斷學校類的減碳熱點為外牆外裝工程、隔間牆工程及室內地坪工程三項，模擬設定如下：

- (1) 外牆外裝工程：由貼磁磚外牆($28.27\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)改為一半抵石子($10.84\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)、一半防水抗裂塗料外牆($15.87\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)。
- (2) 隔間牆工程：由 1/2B 磚牆($66.86\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)改為 8cm CFC 陶粒版隔間($48.87\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)。
- (3) 室內地坪工程：由鋪磁磚地坪($30.16\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)改為磨石子地坪($15.37\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)。

表4-6 學校類外牆外裝、隔間牆、室內地坪減碳分析

工程項目		學校 A	學校 B
外牆外裝	減碳比例	4.4%	3%
隔間牆	減碳比例	0.9%	0.5%
室內地坪	減碳比例	2.5%	2.7%
總減碳		7.8%	6.2%

(資料來源：本研究整理)

6. 外牆結構改為清水混凝土模擬計算-住宅 A/學校 A

20cm 清水混凝土外牆($111.44\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)的單位碳排量雖然較 15cmRC 外牆($77.57\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)高，但可省略外牆外裝，也因為配比及施工品質優良，可將 LCr

設定為 0.9。但由於牆體自重大、成本又太高，一般較少運用於高樓層，故選擇三層之住宅 A 案及五層之學校 A 案進行模擬。

表4-7 住宅類及學校類主結構、外牆外裝減碳分析

工程項目		住宅 A	學校 A
主結構	減碳比例	6.3%	1.2%
外牆外裝	減碳比例	2.9%	7.3%
總減碳		9.2%	8.5%

（資料來源：本研究整理）

7. 外牆結構改為金屬帷幕牆模擬計算-辦公 C

帷幕外牆多用於辦公、商業大樓，故選擇辦公類 C 案進行模擬。本研究的評估法是以 RC 造為基礎，分為外牆結構及外牆外裝，帷幕牆系統則是將板材部份算進外牆結構，框架計入外窗外裝，因此無外牆外裝。

表4-8 辦公類主結構、外牆外裝、外窗減碳分析

工程項目		辦公 C
主結構	減碳比例	4.9%
外牆外裝	減碳比例	2.6%
外窗	減碳比例	-2.9%
總減碳		4.6%

（資料來源：本研究整理）

8. 外窗工程減碳模擬計算-住宅 D/辦公 A

根據以大部分案例之外窗工程資材碳排放量占比僅有 1%左右，減碳潛力小，故僅選擇 CFw 占比大於 2%的住宅 D 案及辦公 A 案進行模擬，將窗框材由鋁料 ($25.54\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$) 改為塑鋼 ($11.67\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)。玻璃部分由於有結構、節能或其他考量，故採用跟設計案相同規格。

表4-9 住宅類及辦公類外窗減碳分析

工程項目		住宅 D	辦公 A
外窗	減碳比例	0.7%	0.8%

（資料來源：本研究整理）

9. 屋頂防水隔熱工程減碳模擬計算

大部分案例之屋頂防水隔熱工程資材碳排放量占比不到 1%，減碳潛力甚小，故僅選擇 CFr 占比 1.8% 的辦公 A 案及學校 A 案進行模擬，將五腳磚油毛氈工法 ($44.48\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$) 改為鋪橡膠隔熱磚工法 ($26.68\text{kgCO}_2\text{e/m}^2$)。

表4-10 辦公類及學校類屋頂外裝減碳分析

工程項目		辦公 A	學校 A
屋頂外裝	減碳比例	0.6%	0.6%

(資料來源：本研究整理)

10. 整體構造改為鋼構-住宅 A/辦公 C

取低樓層與高樓層各一案分別進行模擬，假設其構造為鋼構，則其餘工法也應配合調整：隔間牆為雙層雙面矽酸鈣板隔間、屋頂採鋼承板用之防水隔熱工法，而於外牆部分，住宅 A 案採用 ALC 板外牆上防水抗裂塗料，辦公 C 案則使用鋁金屬帷幕牆。

表4-11 住宅類及辦公類綜合減碳分析

工程項目		住宅 A	辦公 C
綜合減碳	減碳比例	21.4%	11.6%

(資料來源：本研究整理)

第二節 新「CO₂減量指標」得分間距建議

現有「CO₂減量指標」之系統最高得分為 9.0 分，改用 CFd 評估法後的最高得分依然必須是 9.0 分，但其指標得分必須拉大其間距以便具備良好的敏感度與鑑別度。由以上 10 項模擬之對策操作結果顯示，採用本 CFd 評估法約可達 3~35% 減碳成效。但欲達超過減碳 30% 之成果，幾乎僅能藉由耐久化係數 LCr 進行調整，相當難以達成，故在得分區間略予以優惠，建議如下表所示。

此作法亦即將CFd評估法轉換為原「CO₂減量指標」得分框架內，如此即可在綠建築標章上明確標示建材CO₂碳排數據與其減碳比例，如此可宣示綠建築標章邁入碳揭露的功能。

得分	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DCF(%)	$3 \leq \text{DCF} < 6$	$6 \leq \text{DCF} < 9$	$9 \leq \text{DCF} < 12$	$12 \leq \text{DCF} < 15$	$15 \leq \text{DCF} < 18$	$18 \leq \text{DCF} < 21$	$21 \leq \text{DCF} < 24$	$24 \leq \text{DCF} < 27$	$27 \leq \text{DCF}$

第五章 結論與建議

第一節 結論

以上，本研究已完成綠建築標章「CO₂減量指標」之碳足跡標示方法。本指標系統雖不是完整的全生命週期碳足跡指標，而是單指建築軀體的「簡易版的碳足跡指標」，但這已經是世界最先進的建築碳排揭露法，是許多國外綠建築系統想做而未能達成的目標。本研究能使 EEWH-BC 之「CO₂減量指標」由間接減碳因子的模擬，變成直接 CO₂排放量的標示。尤其此系統具有（1）採用建築設計導向的構造系統輸入輸出法、（2）可查表簡單計算等優點，是建築產業專用的碳揭露法，若能替換現有「CO₂減量指標」，可讓我國的綠建築標章制度成為全球建築碳揭露的先鋒。

由於此建築碳足跡標示法結合了各種建築構造系統之碳排標準，可引導建築設計於規劃階段即朝低碳構造方法之方向邁進，對落實低碳建築政策有莫大功效，其減碳效益說明如下：

1. 主結構工程資材部分，若採用爐石粉取代部分水泥之高爐水泥，取代 30%及 45%水泥用量，可分別達到 12%及 18%的減碳效果；若採用長壽命化設計
2. ，可達 8 至 35%減碳效果。
3. 其他工程資材部分，根據不同案例的減碳熱點，採用低碳的工法可達約 5 至 15%的減碳效果。
4. 採用 20cm 清水混凝土牆相較於一般 15cmRC 外牆加上外裝，可減碳 8 至 9%。
5. 採用金屬帷幕外牆約可減碳 2.8%。

6. 若整體構造採用鋼構、輕量化設計，相較於 RC 造，低樓層住宅約可減碳 20%，高樓層辦公大樓約可減碳 12%。

綜上所述，利用 CFb 法進行評估，所能操作的減碳效果約為 5 至 35%。雖然不同類型、規模之建築物碳排放構成有些許差異，造成減碳熱點不同，但本研究之評估模式是採自我比較原則，僅需以建築本身的熱點下手即可。而根據各項減碳對策模擬及計算，可得知在軀體工程中，佔最大比例的主結構工程資材能最有效的進行減碳，僅是採用 30% 爐石粉的高爐水泥，即可達成 12% 的整體減碳效益，與在其他工程皆採用低碳工法之成果相近，也證明了大量使用水泥、混凝土的確是台灣建築產業排碳量大的主要原因。

採用長壽命化對策，則是將建築物軀體工程碳足跡評估放入整個生命週期的架構去思考，原先設定建築物之耐用年限為 60 年，若能將其壽命提升到 100 年 (LCr=0.6)，以生命週期視野來看也是減少了碳足跡。

雖然主結構之外工程於整體的減碳效益較低，CFb 法仍希望能引導設計者選擇低碳工法。如乾式隔間工法，相較於傳統磚牆、RC 牆，對於環境的效益除了減少碳排放，採用金屬或木材骨架可再生利用，亦能減少施工汙染和縮短工期。但以台灣集合住宅普遍設計狀況而言，大部分業主或買家仍不太習慣採用乾式隔間，認為有隔音不良、不宜吊掛等疑慮，其實乾式隔間不論產品或施工品質都一直在改良、進步，僅因印象問題尚難以被大眾接受，頗為可惜。又如清水混凝土或預鑄混凝土板外牆，由於強度大、施工品質優良，可增加建築物耐久性，預鑄板於工廠統一製造還可以減少施工廢棄物及汙染，在整個生命週期視野中，減少的環境負荷可能遠大於其建材的高單位碳排放量，有值得推廣的潛力，只是礙於高成本。

更進一步關乎建築構造的選擇，RC 造在台灣相當普遍，不外乎是成本便宜、施工上也較不需斤斤計較尺寸及接頭等，但若考量到建築的永續發展，除了進行鋼筋混凝土性質改良、減廢再利用等研究，設計者也可多加嘗試設計木構或鋼構等乾式構造建築，以本研究模擬評估的成果，一般 5 層左右的透天住宅，採用鋼構造可減低 20% RC 造之碳排放量，此份量不容忽視。

第二節 建議

建議一

本研究建築軀體碳排量評估公式轉由「低碳建築聯盟計畫」接手，並納入建築碳足跡認證系統中：立即可行建議

主辦機關：財團法人成大研究發展基金會

協辦機關：國立成功大學建築系

本計畫所建立之 CFb 法，已能明確計算建築軀體新建工程資材之碳足跡，但因綠建築標章目前九大指標已被全國習慣採用，暫時無法改變軌道，但另外於 2013 年受雇「財團法人成大研究發展基金會」執行「低碳建築聯盟計畫」三年計畫，已開始著手建築碳足跡評估與認證作業。本報告建議將本 CFb 法以及過去在本所完成之建材碳排資料庫納入該低碳建築聯盟之建築碳足跡評估與認證作業之中，讓本研究有立竿見影之成效。

建議二

建立建築物碳排資料庫：中長期建議

主辦機關：財團法人成大研究發展基金會

協辦機關：國立成功大學建築系

本計畫目前彙整之工法多較傳統，而隨著科技發展，許多便利兼性能良好之材料陸續推出，如屋頂工法採用防水漆取代瀝青油毛氈、耐磨塑膠地板大量被使用或乾式工法的推廣等，尚有許多工法及材料未蒐集計算，整理如下：

1. 油漆、防水漆、耐磨漆及材質漆等，因便利且性能佳，現今已廣泛使用，但資料庫中極缺少此部分，本研究僅能使用功能類似之材料替代，肇因於其原料複雜不易進行碳足跡盤查。
2. 化學類複合性材料，諸如 PU 板、PS 發泡材、PVC 地磚等，因本研究目前僅單純以純料之體積、密度進行換算，其他添加物由於時間因素無法詳細盤查。

欲將工法資料庫建立完善，需要研究人員與設計者、業者互相配合，鼓勵業者自主盤查其產品之碳足跡，設計者也可多方試驗新工法，依循本研究之方法自行計算單位碳排以推廣低碳工法。

附錄一 期初審查意見與回應

內政部建築研究所 103 年度

「綠建築標章碳足跡標示制度規劃研究」委託研究計畫案

期初報告問題答覆：

項次	審查委員意見	廠商回應
1	依計畫初擬研究架構，未來如何達成建材減碳之目的，請補充說明。	本研究以構造系統達成建材減碳設計之目的，低碳建材可結合於構造系統中（如塑鋼窗、回收建材）作為減碳操作的工具，以能達成鼓勵低碳建材之目的。
2	減碳之比較基準為何，是否應以單位面積之碳排放量為基準較為客觀。	未來減碳比較標準係以單位面積碳排放量作為單位。
3	本研究是否將耐震、制震及隔震等因子納入考量。	由於目前在台灣制震設計對降低結構材料效益未明，因此本研究暫時不考慮其影響。
4	本研究是否將逆打、順打及雙順打等工法因子納入考量。	由於工法屬於營建施工之碳排，本研究專注於建材生產運輸碳排，故暫不考慮。
5	計畫書中所提之結構體碳排計算公式，除 RC 結構外是否適用於鋼構及 SRC 等結構。	102 年結構體碳排計算公式原則上只是用於 RC 結構，對於 S 結構、木結構則以過去的研究成果，以修正係數處理之（如鋼結構以七折計算）。由於本評估法是以原設計與相同平面空間之標準設計相比較，因此結構碳排計算值並不會影響其評分。

6	有關空調之高低溫系統規劃是否納入計畫辦理。	目前暫時以建築土木構造系統為主建立其資料庫，對於建築空調設備或電氣控制系統則暫時不予評估。
7	混凝土之強度越高，會造成現場品管不易，此外保溫層厚度越厚，其裂縫會越大，建議宜納入計畫考量。	為防止龜裂，故不應無限增加鋼筋保護層之厚度，此為結構設計常識，故本研究不將其納入計畫考量。
8	有關建築結構、外牆外裝、內牆工程及屋頂外裝工程之碳排標準計算方式，將可提供建築師作為設計時之自我檢算參考。	碳排標準計算方式，係結合建築師建築圖與設計習慣，將有利於建築師設計時之自我檢算。
9	本制度規劃與國際接軌之可能性為何，其評估方式是否簡易可行，未來制度改變是否易於推廣，均請納入計畫考量。	本研究為國際先例，且國際尚無碳排規範，將難以納入國際接軌研究。
10	碳足跡標示與減碳成效，2者應有所區隔。此外未來公部門如何配合辦理，請納入計畫研議。	本研究將提出綠建築標章碳足跡標示之可行方式供公部門參考，但未來公部門依其對國際碳揭露之政治策略考量，決定其執行時程與方式，將不在本計畫研究範疇之內。
11	建築構法、建材種類及管線設備繁多，且建築技術日新月異，目前之資料庫是否能滿足本土化建築碳足跡標示之需求。	目前依據建築土木構造系統為主建立其資料庫，已是本土化建築碳足跡標示，且足以滿足現階段需求。對於設備或電氣控制系統則本計畫內暫時不予評估。
12	本研究計畫是否辦理相關建材之碳排資料庫增補，及是否有其他創意或自由回饋項目，請補充說明。	本研究可以增加「構造系統碳排資料庫」，作為自由回饋之項目。
13	由於本案係以建築物生命週期來衡	本評估對於結構體與分項工程有

	量其碳排放量，因此對於所使用之材料之耐久性是否應納入考量。	標準生命週期之認定，結構耐久性設計（如水泥水灰比）可以修正生命週期以減少結構碳排，但對於內外牆等分項構造則暫時無法細分其生命週期。
--	--------------------------------------	--

附錄二 期中審查意見與回應

內政部建築研究所 103 年度

「綠建築標章碳足跡標示制度規劃研究」委託研究計畫案

期中報告問題答覆：

評審	主要意見	回應情形
林教授 志棟	1. 工程分項評估公式以 7 項分項工程為主，建議參考公共工程委員會 PCCES 之分項，以便公共工程碳足跡標示。	感謝委員指導！將遵照辦理。
	2. 本案建議參考環保署 103 年 5 月 8 日公告的道路、橋樑、隧道之 PCR 公告方式，作為建立綠建築標章 CO ₂ 減量指標碳足跡標示之參考	感謝委員建議！建築物 PCR 已經另案向環保署申請中，期中建築軀體碳排計算與本案相符合。
	3. 綠建築標章之其他相關指標亦具有 CO ₂ 減量之功能，是否可併入作為 CO ₂ 減量指標計算	感謝委員建議！但此為簡化指標，其他向之碳排暫時不納入計算。
	4. 引用日本建築學會的 AIJ-LCA 資料庫軟體之碳排標準，是否和台灣地區之 PCR 一致，請釐清。	感謝委員建議！但日本並無建築 PCR
林簡任 技正之瑛	1. 本案研提綠建築減碳對策，原則可予支持。	感謝委員支持！
	2. 本案擬將內政部主管「綠建築標章」制度與環保署主管「碳足跡標示」制度接軌 1 節，似尚有落差。	感謝委員建議！本案為「簡易版的建築碳足跡」，上不能與環保署主管「碳足跡標示」制度接軌。

	3. 鑑於碳足跡係指產品生命週期產生溫室氣體排放量，與綠建築標章辦理 9 大指標基準值與設計值之判斷得分、定義、內容與衡量標準均不相同。因此，本案建請補充用語定義、關鍵指標以及具體內容，俾利後續接軌業務之執行。	感謝委員建議！已經逾期末報告中釐清
陳總經理 文卿	1. 本案提出建築物的碳足跡標示，並以營建施工之 CO ₂ 減量指標為主，其他部分暫未考慮，可是如果據此宣告某建築物的碳足跡，一般大眾並不清楚考量僅是其中一部份，恐產生以偏蓋全的誤導效應。	感謝委員指導！已經於期末報告中釐清碳排標示之範圍。
	2. 碳足跡計算是將各建材的碳排量加總起來，因此該等建材的碳排基準是否正確，並經得起考驗十分重要，例如磁磚碳排量 13.95 kg/m ² 涵蓋各種磁磚甚至再生磚也以此值，恐不見得真確。	感謝委員建議！本碳足跡計算必須遵守有效控制原則，凡是滿足基本功能以上之差異並不納入評估，磁磚之廠牌、尺寸、個別差並不納入評估，唯再生磚之類的再生材料是否有優惠，可納入未來考量。
	3. 結構體對再生材料僅以高爐水泥為限似不足，建議應將其他再生材料納入。	感謝委員建議！其他再生材可納入未來考量。
張建築師 矩墉	1. 在我國的 EEWB 系統中，本研究選擇日常節能指標與 CO ₂ 減量指標轉換為碳排之原因為何，請補充說明。	感謝委員建議！已於期末報告說明清楚。
	2. 目前國外有許多碳排評估系統軟體，是否有一定之規範要求？	感謝委員建議！國外軟體因資料庫未本土化，無法適用台灣，這

	我國自行發展的碳排放系統如何與國際接軌，是否能獲得國際上認可。	是台灣首創在綠建築中標示碳排，無法也不必國際接軌。
	3. 本研究在 CFb 評估法下分為 7 大項，請問「門」屬於那 1 項，「管路設備」又屬那 1 項。	感謝委員！但本研究與納入土木結構類，「管路設備」不再計算範圍，門、五金之類的小項」屬於非碳排操作因子，不納入評估。
	4. 報告 P.8 新增之耐久施工，請說明只評估「水灰比」及「施工品質」之緣由，及何謂「施工良好」之清水混凝土，是否 3 條件均需同時符合。	感謝委員建議！至有關耐久施工之「水灰比」及「施工品質」項目，將納入後續研究評估其妥適性。
	5. 建築工程實際上屬於訂製工程（Order Made）與一般產品生產固定規格（Ready Made）有別，當然有些是有相同作法標準，但也絕對有一些特殊情形，例如模版工程，在一般集合住宅則大同小異，但如臺中歌劇院之曲面造型，將不可同日而語，這部分在碳排資料庫將如何因應。	感謝委員建議！主結構只以柱樑構造公式模擬計算之，特殊結構並非碳排操控因子，但姑且以本主結構公式估算亦無妨，因為主結構被列為基本功能，是不能成為減碳對象的。
鄭教授 政利	1. 本計畫標題為「綠建築標章碳足跡標示制度規劃研究」，建議下階段能補充文獻及相關資訊的論述，以呈現本研究在整體碳足跡及中央減碳政策下之重要性及定位。	感謝委員建議！本建築軀體碳足跡標示是全球首創之舉，只是在不妨害原綠建築標章體系下，維持相同得分間距與比重，導入碳揭露而已，我政府願不願意創先執行，則有賴其自行判斷後取捨之。
	2. 本研究建議之碳排標示法及相關計算，能否與中央碳揭露或國際碳交易、碳權機制接軌或承	感謝委員建議！本建築軀體碳足跡標示是「簡易版碳足跡」標示，也無法測量印證，應無法作為國

	認，建請評估檢討為宜。	際碳交易、碳權機制接軌之用。
張建築師 國章 (書面意見)	1. 研究碳足跡揭露制度是更符合實務，確實值得鼓勵。其合理性和實用性，有賴「建築資材碳排資料庫」內容的完整正確，建議應針對台灣常用的各項材料及工法確切廣泛收集。	感謝委員建議！繼續充實資料庫
	2. 據瞭解，坊間已有碳足跡標示和 BIM 系統軟體的整合應用，希望未來更進一步開發出台灣版的整合系統，提升評估效益且有效節省評估人力成本。	感謝委員指導！本資料庫為全國首創，因此不可能有國內碳足跡標示和 BIM 系統軟體整合之事，若有國外版也不適用台灣，若 BIM 業者想開發碳排評估，歡迎接洽合作。
行政院環境保護署 - 鄭技正 惠文	1. 期中報告內容未見 P.27 所提「PAS2050 或 ISO16064 標準回顧」、「國內產品碳足跡查驗的現況分析」、「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 SimPro 的構成分析」…等工作項目之辦理情形，請補充之。	感謝委員建議！已於期末報告交代
	2. 報告書 P.12 第三節所建構之碳足跡評估資料庫，是否符合「建立符合 PAS2050 或 ISO16064 標準的碳排資料庫」工作項目，請補充說明。	感謝委員！第三節所建構之碳足跡評估資料庫已於去年研究案中完成，它符合「建立符合 PAS2050 或 ISO16064 標準的碳排資料庫」工作項目。
	3. 國立成功大學產業永續發展中心刻正研擬建築物碳足跡產品類別規則草案，建議綠建築碳足跡盤查先透過碳足跡產品類別規則界定系統界限範疇，讓綠建築碳	感謝委員建議！本團隊亦參與國立成功大學產業永續發展中心刻正辦理之建築物碳足跡產品類別規則 (PCR) 建置工作，且本研究在建築相關材料所引用之碳排數

	足跡計算有較一致之標準，如此才能揭露正確之碳足跡資訊。	據標準亦與該中心引用之數據相同。
中華民國 全國建築 師公會－ 江建築師 星仁	1. 目前將建築之碳足跡評估分成 7 大項，其中鷹架工程亦列為 1 項，建議應予以刪除。	感謝委員建議！至建築碳足跡評估分項，因比重很低且無操作改善空間，因此可刪除。
	2. 未來建築碳足跡標示若為政府施政主軸，不論由誰負責執行，建議應配套編列合理作業費用。	感謝委員建議！建築碳足跡目前規劃架構於現行綠建築標章 CO ₂ 減量指標下，以利建築師後續操作執行。
	3. 另評估公式中於耐久性部分提到可採增加斷面尺寸方式辦理，惟因斷面加大勢必增加材料用量，如此應會增加碳排量，是否合理，請考量。	感謝委員指導！有關耐久性評估中採增加斷面尺寸方式辦理，因依據相關研究顯示，斷面加大其壽命與耐久性會提升，其材料雖會增加但由生命週期來看，整體碳足跡反而下降。
主席廖組 長慧燕	1. 建築碳足跡應包含整個生命週期，但本計畫目前僅界定在營建施工階段，建議研究團隊應於報告書中敘明，俾利後續推行。	感謝委員建議！本研究應為辦理綠建築標章在營建工程階段的碳盤查，並不是全生命週期的碳足跡，將於後續報告中說明，以免造成誤解。

內政部建築研究所

本所 103 年度委託研究「綠建築標章碳足跡標示制度規劃研究」、
協同研究「建築基地保水指標檢討及透水鋪面現況評估與規劃設
計」及補助案「綠建築標章審查作業精進計畫」等 3 案期中審查會
議簽到簿

時 間：103 年 7 月 15 日(星期二) 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：廖組長慧燕 廖慧燕		記 錄：林宏霖	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
李教授魁鵬			
林教授志棟	林志棟		
林簡任技正之瑛	林之瑛		
陳總經理文卿	陳文卿		
張教授祖恩			
張建築師國章	書面意見		
張建築師矩塘	張矩塘		
鄭教授政利	鄭政利		
行政院環境保護署	鄭惠文		
國家發展委員會	林之瑛		
內政部營建署			
中華民國全國建築師公會	江新		

[宏霖開 1030005337S]

林教授憲德	林憲德		鄭巧欣
廖教授朝軒	廖朝軒		廖朝軒
陳簡任研究員伯勳			
徐研究員虎嘯	徐虎嘯		
林研發替代役宏霖	林宏霖		
相關人員			

附錄三 期末審查意見與回應

內政部建築研究所 103 年度

「綠建築標章碳足跡標示制度規劃研究」委託研究計畫案

期末報告問題答覆：

一、時間：103 年 11 月 4 日(星期二)下午 2 時 30 分整

二、地點：本所簡報室

三、主席：廖組長慧燕

記錄：林宏霖、徐虎嘯等

評審	主要意見	回應情形
林簡任 技正之 瑛	1. 本案為評估計算碳排，以 CO ₂ 減量指標為對象，完成減碳率評分標準，並據以研提碳排標示法建議，原則可予支持。	感謝委員指導！將遵照辦理。
	2. 由於「綠建築標章」非屬產品，應無法通用現行產品之「碳足跡標示制度」，致使本研究預期成果之內容與定義，似與計畫名稱不一致。	感謝委員指導！因目前計畫案名稱無法更改，已於成果報告中做說明。
	3. 由於環保署已依「環境基本法」授權，訂頒「推動產品碳足跡標示作業要點」，並據以執行碳足跡（減量）標籤在案。為符合法制體制，建請俟成功大學完成「建築物碳足跡產品類別規則（PCR）」後，再據以續辦。	感謝委員指導！目前已協助辦理「建築物碳足跡產品類別規則（PCR）」之建置，並引用其數據做為軀體工程之依據，但環保署之 PCR 為申請環保署碳標籤之用，本建築軀體碳排評估為內政部綠建築標章之用，兩者功能不同。

	4. 本案預期成果有關完成空調、照明及熱水耗能碳排計算標準，及完成 CO ₂ 減量指標之減碳率評分標準等，均尚未納入報告，另報告書尚無英文摘要，建請一併補正。	有關完成空調、照明及熱水耗能碳排計算標準與減碳率評分標準因業者已習慣使用綠建築標章節能指標 EAC 而決定不納入碳排評估，已於報告中說明之，英文摘要將遵照辦理。
陳總經理文卿	1. 「綠建築標章」在節能減碳的貢獻是未來極重要的課題，故如何將現行「綠建材標章」的減碳效益融入，建議應納入未來研究課題探討，以使二者能相輔相成。	綠建材之減碳效益應另行評估且認證之，有些回收建材並不一定有減碳效益，若要在政策上優惠，也可以政策裁量特別優惠之，但若所方有明確指示，也可遵照辦理。
	2. 有關研究提及臺灣的碳足跡標示比 SimPro 優越，不應只看結果建議應進一步將其原因敘明。	本報告的碳足跡評估法以建築構件輸入計算，當然遠比 SimPro 對建築設計者友善好用，但比 SimPro 優越只是本人口頭報告，在報告中未提及，不會引人爭議。
	3. 本案研究名稱應修正為「建築物碳排放揭露研究」似較貼切。	感謝委員指導！因目前計畫案名稱無法更改，將於成果報告中做說明。
張建築師國章	1. 研究成果如與實務能有交集，其推行的可行性則愈高，使用者也更願意運用，本案研究方向及成果值得讚賞。	感謝委員支持！
	2. 本案以 RC 構造建築為基準值，但與「建築碳足跡（上）」1 書評估理論篇以樓層數 19 樓為界，並依構造分成 RC 和 SC，做為基準值的設定方式不	本報告目前只以 RC 構造建築為對象，其他構造暫時不能處理。感謝委員指導！

	同，是否需一致，請併予考量。	
	3.未來綠建築與碳足跡評估的長期發展計畫為何，其間的競合關係應予以整合，以避免重複作業。	這有賴國內外碳揭露的壓力以及行政院與內政部部的政策方向而定，將隨時觀察待命之。
	4.另有關建材碳排資料庫部分意見如下： （1）由於外牆採 Double Layer 方式設計盛行，因此應將遮陽板及金屬格柵等納入擴充。 （2）資料庫中內牆 12cm RC 的單位碳排大於外牆 15cm RC 的單位碳排，請檢視是否有誤。另內牆隔戶牆目前多採 15cm 設計，建議應予以補充。 （3）室內樓板鋪設石板一般是在 2cm 以下，應不是資料庫所設定的 3cm，請修正。另辦公室設計目前大多採用方塊地毯，建議也應納入資料庫。	感謝委員指導！將遵照辦理。
張建築師矩墉	1.在現有的 EEWB「綠建築標章」要轉換成碳排或碳揭露，確實是一項艱鉅的歷程。本研究提出簡易的評估方式，在現階段不失為一可信賴且可行的方式。但這樣的改變確實也讓行之多年的 CO ₂ 減量指標計算變得複雜許多，如何讓使用者能夠較快速進入狀況，並正確運用，也將成為未來必需	感謝委員支持與指導！將遵照辦理。

	面對的重要課題。建議在這新的碳排評估法正式上路前，應舉辦一系列的研討會與說明會，拉長正式運作的時機，較能水到渠成。	
	2.目前研究中以「水灰比」作為耐久施工的因子，似乎有些難以操作，因為一般「水灰比」並不是設計規範的必要條件，而是施工單位依其施工狀況於合理範圍內調整，所以在候選綠建築證書階段通常難以判定。另研究中在「施工品質」部分，何謂「施工良好」，是否3條件均需同時符合。	感謝委員指導！因水灰比在工程施作時變動較大難以控制，是否納入耐久性將後續評估其適用性。
	3.報告書 P.27 碳排標準的帷幕類外牆，其鋁金屬帷幕牆的規格中有一項為鋁板厚度 0.6cm，一般設計甚少用到這樣的規格，是否為誤植，請確認。	感謝委員指導！將遵照予以修正。
	4.鋼構造（SC）原本採用噴砂石或防火板作為防火被覆，以達到輕量化及減碳功效。但近年來有許多鋼構造（SC）案例，仍於樑柱採用 RC 作為防火被覆，並為加強勁度，於柱內進行灌漿，完全失去減量的作用，這部分的結構是否需納入評估，請研究團隊考量。	感謝委員指導！關於近年來樑柱採用 RC 作為防火被覆鋼構造（SC）建築對於減碳效益之影響列入後續研究項目之一。

行政院 環境保 護署（鄭 技正惠 文）	1.本研究若「非由搖籃到墳墓的全生命週期碳足跡評估」，而只是著眼於「新建軀體工程建材的 CO ₂ 排放評估」，未來應用在綠建築標章時，需注意「碳揭露」的問題。	感謝委員指導！因目前計畫案名稱無法更改，將於成果報告中做說明。
	2.報告書中多處出現「CO ₂ 」的繕打錯誤，請修正為「CO ₂ 」的正確寫法。	感謝委員指導！將遵照予以修正。
主席廖 組長慧 燕	1.建築碳足跡應包含整個生命週期，但本計畫目前僅界定在營建施工階段，由於研究名稱已無法更改，建議研究團隊應於報告書中敘明，俾利後續推行。	感謝委員指導！將遵照於報告書中敘明。
	2.本研究的碳足跡目前僅將營建施工階段納入評估，但材料本身的耐用年限不同，而建築物的生命週期又遠超過材料的耐用年限，這部分未來將如何因應，請納入研究中考量。	感謝委員指導！本研究已界定研究範疇在新建工程之軀體建材，故材料的耐用年限不列入評估。

內政部建築研究所

本所 103 年度委託研究「綠建築標章碳足跡標示制度規劃研究」、
協同研究「建築基地保水指標檢討及透水鋪面現況評估與規劃設
計」及補助案「綠建築標章審查作業精進計畫」等 3 案期末審查會
議簽到簿

時 間：103 年 11 月 4 日(星期二) 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：廖組長慧燕 廖慧燕		記 錄：徐嘉緯	
出席人員	簽 到 處	代 理 人	
		職 稱	簽 到 處
李教授魁麟	請假		
林教授志棟	請假		
林簡任技正之瑛	林之瑛		
陳總經理文卿	陳文卿		
張教授祖恩	請假		
張建築師國章	張國章		
張建築師矩塘	張矩塘		
鄭教授政利	請假		
行政院環境保護署	鄭惠文		
國家發展委員會	林之瑛		
內政部營建署			
中華民國全國建築師公會	張矩塘		

[宏森開 10300084615]

參考書目

1. 中華民國工程技術顧問商業同業公會，研訂公共工程計畫相關審議基準及綠色減碳指標計算規則，行政院公共工程委員會專案研究計畫，2012
2. 交通部統計處，中華民國台灣地區汽車貨運調查報告，2011
3. 杜怡萱，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，內政部建築研究所委託研究，2013
4. 林憲德，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，內政部建築研究所委託研究，2013
5. 陳一昌等，交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究，交通部運輸研究所，2012
6. 陳俊傑，建築開窗工程碳排係數之研究，成功大學建築研究所碩士論文，2014
7. 張又升，建築物生命週期二氧化碳減量評估，成功大學建築系博士論文，2002
8. 劉安瑀，建築軀體工程碳足跡評估之研究，成功大學建築研究所碩士論文，2014
9. 岡建雄，LCCO2 の試算方法，日本「建築技術」雜誌，2000a
10. 岡建雄，グリーンオフィスの設計，オーム社，2000b
11. 酒井寛二，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，1992
12. 酒井寛二，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，1993
13. 外岡豊，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. 226~227，1994
14. 經濟部能源局，2012 非生產性質行業能源查核年報，財團法人綠色

生產基金會，2012

15. 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）》
16. 1. AIA, AIA Guide to Building Life Cycle Assessment in Practice, 2012
17. Department of Building National University of Singapore, Technical Guide Towards Energy Smart Office, National University of Singapore ,2008.
18. Department of Building National University of Singapore, Technical Guide Towards Energy Smart Hotel, National University of Singapore ,2008.
19. William Chung, Review of building energy-use performance benchmarking methodologies, Applied Energy, Vol. 88, Issue 5, PP.1470 - 1479 ,2011.
20. Energy Star, Guidance for Benchmarking Mixed-Use Properties in Portfolio Manager, online available at http://www.energystar.gov/index.cfm?c=eligibility.bus_portfoliomanager_eligibility_mixed.
21. Bureau of Energy of Taiwan, Energy Audit Annual Report For Non-Productive Industries 2006, Taiwan Green Productivity Foundation, PP.15-16 ,2006.

綠建築標章碳足跡標示制度規劃研究

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：黃光佑

出版年月：103 年 12 月

版次：第 1 版

ISBN：978-986-04-3215-2