

# 建築材料碳足跡資料系統 建置之研究

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 108 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)



108301070000G0026  
PG10802-0075

# 建築材料碳足跡資料系統 建置之研究

受委託者：國立成功大學  
研究主持人：林憲德教授  
協同主持人：蔡耀賢教授、楊詩弘教授  
研究員：尤巧茵  
研究助理：黃詠琦  
研究期程：中華民國108年1月至108年12月  
研究經費：新臺幣113萬5仟元整

## 內政部建築研究所委託研究報告

中華民國108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

表次 .....	III
圖次 .....	VII
摘要 .....	IX
第一章 研究背景 .....	1
第一節 研究背景、目的 .....	1
第二章 國外有關本案之研究情況 .....	7
第三章 研究內容 .....	11
第一節 本研究採用之方法 .....	11
第二節 研究採用方法之原因 .....	14
第三節 ABRI-LCC 碳足跡資料庫內容概說 .....	20
第四章 研究成果 .....	47
第一節 ABRI-LCC 四類碳足跡資料庫建置作業標準 .....	47
第二節 ABRI-LCC 構件資料庫發展計畫 .....	53
第三節 ABRI-LCC 維護管理之規劃建議 .....	54
第五章 結論與建議 .....	65
第一節 結論 .....	65
第二節 建議 .....	67
附錄一 歷屆工作會議記錄 .....	69

附錄二 期中報告回應.....	71
附錄三 期末報告回應.....	73
附錄四 中英文索引.....	77
參考書目.....	79

## 表次

表 3-1 建材碳足跡資料庫三種製作法 .....	12
表 3-2 通用型碳排資料庫(Moncaster A. M. & Song J-Y, 2012) .....	12
表 3-3 營建專用碳排資料庫 .....	13
表 3-4 澳洲三種不同方法 EC 數據之差異(取自 IEA, EBC Annex 57, ST3 report) .....	14
表 3-5 日本不同統計法之資材 EC 數據比較表(單位:kgCO <sub>2</sub> /kg) .....	15
表 3-6 2010 年各國電力碳排係數 (KgCO <sub>2</sub> /kWh).....	19
表 3-7 ABRI-LCC 四類資料庫與其計算範疇.....	21
表 3-8 本研究取自國內其他機構碳盤查資料一覽表.....	22
表 3-9 部分 P-LCC 碳足跡資料庫 .....	23
表 3-10 碳排計算所依據之化石能源碳排係數.....	27
表 3-11 臺灣資材汽車貨運平均運距與碳排推估值 (2011) .....	28
表 3-12 電弧爐鋼胚原料運輸碳排計算表 .....	32
表 3-13 不銹鋼鋼胚原料運輸碳排計算表 .....	32
表 3-14 卜特蘭水泥原料運輸碳排計算.....	34

表 3-15 木質材料加工製程碳排資料 (取自王松永 2016) ..	35
表 3-16 木竹製材碳排量分析實例 .....	36
表 3-17 木竹類材料碳排標準 .....	36
表 3-18 P-LCC 內室內裝修二次加工板材碳排標準 .....	39
表 3-19 水泥碳排之比較 (不含成品運輸碳排) .....	43
表 3-20 本研究水泥製品各階段碳排與 SimaPro 相關數據之比較 .....	44
表 3-21 本研究玻璃製品各階段碳排與 SimaPro 相關數據之比較 .....	45
表 3-22 本研究各建材與 SimaPro 建材排放係數之比較 .....	45
表 4-1 景觀工程常用機具施工碳排放標準 .....	50
表 4-2 某瀝青路面施工機具碳排量計算範例 (15cm 碎石級配路基、5cm 瀝青混凝土路面) .....	50
表 4-3 以專業工匠問卷所統計之室內裝修「施工碳排密度標準」 .....	51
表 4-4 某輕隔間構件在 I-LCC 資料庫內的碳排數據計算實例 .....	52
表 4-5 建築動態耗能模擬之基本設定條件 .....	58
表 4-6 屋頂隔熱工法 T1 之構造設定 .....	59



表 4-7 屋頂隔熱工法 T2 之構造設定.....	59
表 4-8 屋頂隔熱工法 T3 之構造設定.....	59
表 4-9 ABRI-LCC 為護管理策略.....	62



## 圖次

圖 1-1 各國人均建築營建資材碳排.....	1
圖 1-2 各國建築營建資材碳排佔比.....	2
圖 1-3 以產業假設個別基準，採由下而上研究方法預估 2030 年不同地區不同產業在各種碳交易價格下對於全球溫 室氣體減緩之經濟潛力。 .....	3
圖 2-1 近年來建築 LCA 相關學術論文快速成長情形.....	8
圖 2-2 建築碳排評估是近年新興研究趨勢.....	9
圖 2-3 近年在建築營建研究上提及 EE 與 EC 之數據庫、設計方 法、採購決策的論文數量上昇情況 .....	9
圖 2-4 1990 至 2013 年 250 篇有關 EE、EC 論文的發展趨勢..	9
圖 3-1 澳洲境內不同方法數據庫所計算之住宅蘊含能源 EE 密 度之差距 .....	17
圖 3-2 不同國家數據庫的鋁材 EC 數據差異.....	18
圖 3-3 不同論文所引用的結構材之 EC 係數差距甚大.....	18
圖 3-4 不同方法資料庫所計算的建築物蘊含耗能之差異.....	18
圖 3-5 日本因製造技術提升使辦公建築的 EE 由 1965~2000 年	

間降低了 50%.....	19
圖 3-6 EN15978 建議蘊含碳排 EC 之計算範疇.....	20
圖 3-7 鋼鐵基本工業產業關聯圖.....	30
圖 3-8 高爐煉鋼與電弧爐煉鋼生產流程圖.....	30
圖 3-9 2011 年各主要進口美國廢鋼之國家百分比.....	31
圖 3-10 卜特蘭水泥流程圖計算邊界.....	33
圖 3-11 卜特蘭水泥與高爐水泥各階段碳排之比較.....	43
圖 3-12 玻璃類各階段碳排之比較.....	44
圖 4-1 RICS(2012)建議構件碳排資料庫之建置法.....	48
圖 4-2 ABRI-LCC 構件資料庫的系統層級建議.....	53
圖 4-3 我國綠建材標章與各層級產業的關係圖.....	54
圖 4-4 我國綠建材標章與綠建築標章之連結.....	55
圖 4-5 我國綠建材標章四大分類與建材生命週期的關係.....	56
圖 4-6 本試算案例之街屋 3D 示意圖(左)與平面圖(右).....	57
圖 4-7 材料生產與施工階段之總碳排放量.....	60
圖 4-8 使用階段(60 年生命週期)之總碳排放量.....	60
圖 4-9 各項屋頂隔熱工法的生命週期碳排放.....	61

## 摘要

關鍵詞：蘊含碳排，生命週期評估，碳揭露，EN 15978

### 一、研究緣起

人類文明在面對地球暖化的環境危機中，高度污染的建築產業是被國際認定可透過減碳策略來拯救地球最重要的一環。根據 2011 年聯合國環境規劃署 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%，建築產業未來勢必被強力要求降低其碳排量。為了呼應此全球節能減碳的行動，本研究的目的是在於建立內政部建築研究所專用的建材碳足跡資料庫系統 ABRI-LCC (Life Cycle Inventory Carbon Database System of ABRI)，以作為建築產業碳足跡揭露與評估的國家標準。

### 二、研究方法

本研究團隊已初步建立建材碳足跡的初級資料庫，並廣為政府機關、研究機構、民間團體所採用。本計畫將透過國際建築產業之碳足跡盤查標準、碳盤查方法論、碳足跡資料系統的研究分析，進一步深化本資料庫成為正式國家層級的 ABRI-LCC 資料庫系統。

### 三、重要發現

本研究的目的是在於建立內政部建築研究所專用的「建築碳足跡資料庫系統」，可用於未來發展低碳建材碳足跡認證、建築節能減碳評估、建築產業碳足跡計算的國家標準。提出以下：

1. 建立 ABRI-LCC 四類碳足跡資料庫作業標準
2. 提出 ABRI-LCC 構件資料庫發展計畫
3. 提出 ABRI-LCC 維護管理之規劃建議

### 四、主要建議意見

#### 建議一

#### 建立建築產業碳足跡服務平台：立即可行性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

「建材碳足跡資料庫系統」提供各項建材本土化、科學量化之碳排數據，應繼續維護發展，定期更新維護，以成為國內土木、營建、建築、景觀工程的碳足跡計算標準，也可成為國內環境影響評估的碳足跡計算之查核標準，建議未來相

關資料以服務平台之方式呈現及對外服務，以提升國內建築產業碳足跡揭露資訊與政策之信賴性，並作為政府相關部門執行溫室氣體減量、低碳社區、環境影響評估或零能源建築等政策之重要參據。

**建議二：**

**綠建材標章相關講習可納入碳足跡概念及計算方式：立即可行性建議**

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

以本研究為基礎，綠建材標章制度未來可突破原本之窠臼，直接轉型升級，以低碳地球永續為目標，分為綠色材料、綠色構件及綠色設備等三大類之評估系統，建議在相關宣導講習活動納入相關議題，加強推廣、凝聚共識。

## ABSTRACT

Keywords: Embodied Carbon, LCA, Carbon Disclosure, EN 15978

### Research Background:

With the environmental crisis of global warming engulfing the human civilization, the highly polluted building industry is recognized as one of the most important aspect where carbon reduction strategies can be applied to save the earth. According to the UNEP' s report in 2011, it is estimated that the global building industry is responsible for exhausting 40% of earth resources, 20% of water resources, 30% of raw materials and contributed 38% of global solid waste, hence it is inevitable that the building industry will be strongly demanded to reduce its carbon emission in the future. In order to go in line with carbon reduction plans around the globe, the purpose of this research is to establish the Life Cycle Inventory Carbon Database System of ABRI so as to become a national standard for the carbon footprint disclosure and evaluation in the building industry.

### Research Methodology:

Our research team have initiated and established a primary carbon footprint database of building materials which is well applied across various government organizations, research institutions and private associations. This research plan aims to further enhance this primary database into ABRI-LCC database system through investigating and analyzing relevant international Carbon Footprint Inventory standards, Carbon Inventory methodologies and Carbon Database systems so as to formally become a national database standard.

### Major Outcomes:

This research aims to establish the Life Cycle Inventory Carbon Database System exclusively for ABRI as a national standard which can then be used to develop certifications of Low Carbon Material, Energy Saving and Low Carbon Evaluation and Building Industry Carbon Footprint Evaluation. In view of these outcomes, the research team recommend the followings:

1. Establish ABRI-LCC, 4 types of Carbon Footprint Database Operating Standard
2. Propose ABRI-LCC, Component Database Development Project

3. Propose ABRI-LCC, Maintenance and Management Team

**Main Recommendations:**

**Recommendation 1:**

**Establishment of Building Industry Carbon Footprint Service Platform**

**Feasibility: Highly Viable**

Main Organizer: Institute of Architecture, Ministry of the Interior

Co-Organizer: Taiwan Architecture & Building Center

「Building Material Carbon Footprint Database System」 provides localized and scientifically quantified Carbon Footprint Database for various building materials. The above platform should be regularly maintained and updated in order to become the Carbon Footprint calculation standard for domestic civil engineering, construction, building and landscape projects. It can also perform domestic environmental impact assessment and recommend carbon reduction solutions as well as generating present related information through the function of this online platform. The platform's existence could enhance the reliability of the domestic construction industry's carbon footprint disclosure information and policies, provide policy implementation guidelines for related government departments to greenhouse gas reduction, low-carbon communities, environmental impact reduction and creation of zero-energy buildings.

**Recommendation 2:**

**Incorporation of Green Building Material Labeling information into Carbon Footprint Concept and Calculation Method**

**Feasibility: Highly Viable**

Main Organizer: Institute of Architecture, Ministry of the Interior

Co-Organizer: Taiwan Architecture & Building Center

Building on the foundations of this research, the Green Building Material labeling system could upgrade, transform and evolve in the near future. With the goal of Low Carbon Earth and Sustainability, the Green Building Material labeling system can be categorized into three major aspects namely: Green Materials, Green Components and Green Equipment. It is also recommended that relevant propaganda, seminars and training activities could be incorporated into relevant areas to strengthen topic promotion and consensus among relevant parties.



## 第一章 研究背景

### 第一節 研究背景、目的

本研究的目的是在於建立內政部建築研究所專用的「建築碳足跡資料庫系統」，以下簡稱為 ABRI-LCC(Life Cycle Carbon database of Architecture & Building Research Institute)。此系統若能長期獲得維護並發展，可做為我國建築產業專用的碳足跡評估之國家標準資料庫，對本所而言，可用於未來發展低碳建材碳足跡認證、建築節能減碳評估、建築產業碳足跡計算的國家標準。

圖 1-1~圖 1-2 是 Tatsuo Oka(2013)以幾個國家的產業關聯表所統計的建築產業建材人均碳排量與其佔該國碳排總量之比例，雖然在各國有明顯差異，但在台灣也約有 10%(讀圖判斷)。此佔比再加上我國各部門 CO<sub>2</sub>排放量分析(含電力消費排放)，105 年與住商部門相關的服務業部門占 11.96%，住宅部門占 11.49%，三者合計占我國整體溫室氣體排放量比重約為 33.4%。由此可見建築產業碳排放比重甚高，由本建材碳足跡資料庫入門來執行國家減碳制度是為不可忽視的一環。

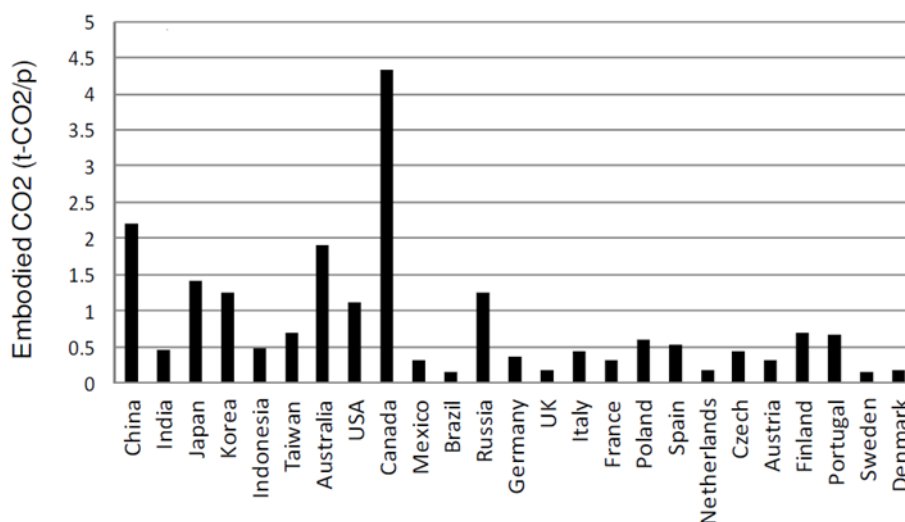


Fig. 4 Embodied CO<sub>2</sub> due to construction per capita, 2009

圖 1-1 各國人均建築營建資材碳排

(資料來源:IEA, 2016, Subtask 2: A Literature Review)

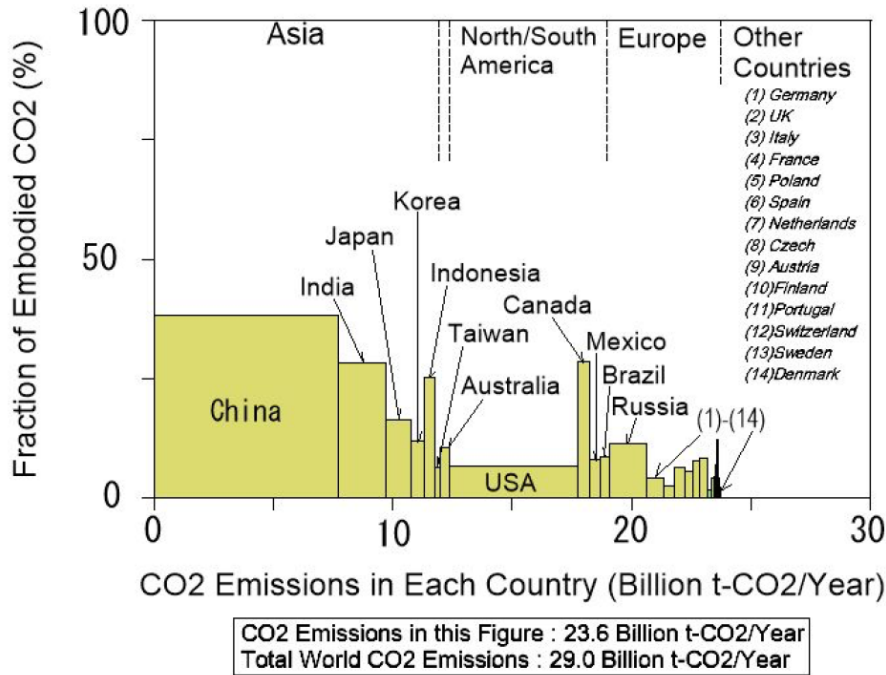


圖 1-2 各國建築營建資材碳排佔比

(資料來源:IEA, 2016, Subtask 2: A Literature Review)

IPCC (政府間氣候變化專門委員會) 在 2007 年關於氣候變遷的第四次評估報告中，預估 2030 年不同產業在各種碳交易價格下對於全球溫室氣體減緩之經濟潛力中，綠建築產業是位居減碳投資效益最高的行業如圖 1-3 所示。該報告認為 2011 年起只要每年投資 3000~10000 萬億美元，2050 年可以降低約三分之一的全世界建築物能耗，同時可將地球大氣 CO<sub>2</sub> 濃度控制在 450ppm 以內。綠建築產業在維持每噸二氧化碳當量減碳成本低於 100 美元之條件下，全球到 2030 年每年可減排 5.3~6.7 千兆噸。最重要的是其中 90% 的減排量可在小於每噸 20 美元的低成本情況下實現，其效益遠高出其他行業。

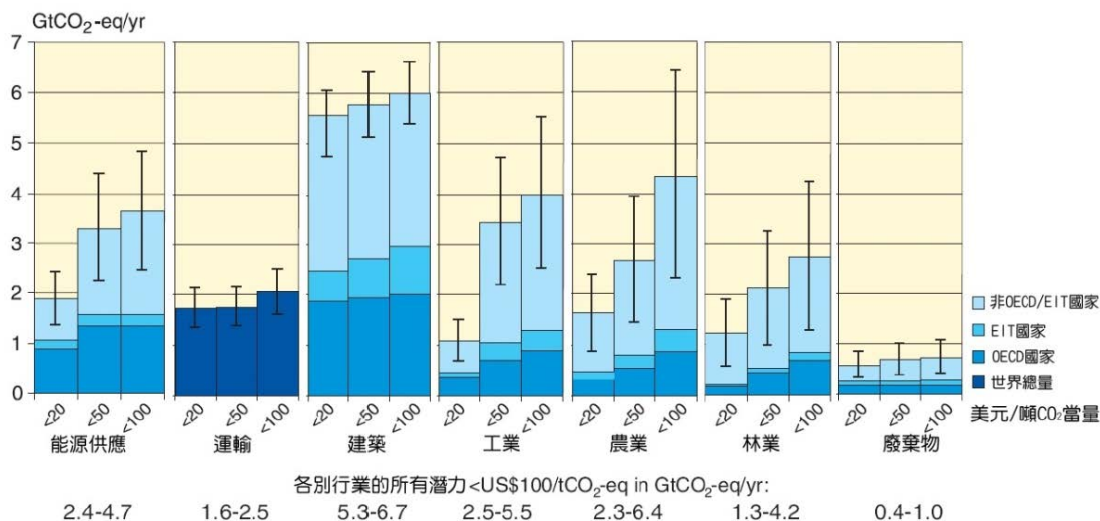


圖 1-3 以產業假設個別基準，採由下而上研究方法預估 2030 年不同地區不同產業在各種碳交易價格下對於全球溫室氣體減緩之經濟潛力。

(資料來源：IPCC, 2007)

談及建築碳足跡，必先認識「蘊含碳排 EC 與使用碳排 OC」兩個關鍵詞，此二關鍵詞是構成建築產業碳足跡的雙主軸，其定義如下：

蘊含碳排 EC-----英文為 Embodied Carbon，以下簡稱 EC，其意義為由消費者角度「隱藏看不到」而內含於建築物生命週期過程，包括由建材的原始資材挖掘、運輸、工廠生產、運至工地、現場施工、更新維護、拆除廢棄等過程，的碳排放量。這碳排放量當然是由「看不到」的蘊含能源 EE (Embodied Energy，以下簡稱為 EE)所轉化而成，因此這 EE 又被為隱藏能源 Hidden Energy、間接能源 Indirect Energy、灰色能源 Grey Energy。在本研究中，由於 EC 均與建材相關，因此稱之為「建材碳足跡」或「建材碳排」也無妨。

使用碳排 OC-----英文為 Operation Carbon，以下簡稱 OC，其意義為由消費者角度「看得見」的使用能源(Operation Energy，以下簡稱 OE)所排放的碳排放量，亦即是在能源帳單上看得到的空調、照明、電器、加熱、機械等設備之直接能源(Direct Energy)所轉化的碳排放量。

EC 與 OC 兩個對立用詞，源自於工業產品的溫室氣體盤查觀念，EC 是生產者角度的生產基礎會計帳(Production Based Accounting)，OC 則是消費者角度的消費基礎會計帳(Consumption Based Accounting)。例如，很多電器產品的 EC 發生於生產端的開發中國家，但因產品消費在先進國而只讓 OC 被計入先進國，事實上這生產端的大量 EC 是因為消費端的先進國而排放的，如果將其減碳責任課之於生產國顯然是很不公平現象。又如，當今汽車越來越省油而降低了 OC，但汽車時尚卻促使在汽車中新增 GPS、ABS、內裝電腦等很多豪華裝備而增加許多 EC，若不同時考量 EC 與 OC 的全貌，則很容易顧此失彼而模糊了汽車產業整體的減碳責任。

目前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。隨著全球暖化之威脅加劇,產品被要求碳標籤、企業被要求碳揭露之勢日漸高漲,企業已被賦予地球環保的重責大任,消費者也被教育成為監測環境的尖兵。儘管在建築產業方面的碳盤查行動尚未成形,但也處於蓄勢待發階段。目前,低碳城市、低碳交通、低碳社區之聲此起彼落,在中國已有 300 多城鎮打出低碳城市之口號,在台灣在 2014 年宣稱將推動 6 個低碳城市(包括 4 座低碳示範城市,及澎湖與金門 2 座低碳島),至 2020 年要打造北、中、南、東四個生活圈。然而,儘管「低碳」之口號響徹雲霄,但卻缺乏科學量化與客觀之減碳評估工具,較難有實質之成效。

建築產業是一種高度污染的產業,根據聯合國環境規劃署 2011 年 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。

2015 年 6 月 15 日台灣立法院會三讀通過《溫室氣體減量及管理法》,明文規範我國溫室氣體長期減量目標為 2050 年的溫室氣體排放量要降為 2005 年的 50% 以下,且未來環保署將可參考《聯合國氣候變化綱要公約》等相關國際公約實施溫室氣體總量管制及排放交易制度。其中對被公告為排放源的企業、機關將實施排放量盤查、查證、登錄機制,未來若廠商登載不實,將處以 20 萬元以上 200 萬元以下罰鍰,情節重大者,主管機關可要求廠商停止操作、停工、停業,並限制或停止碳交易,並明訂被要求改善之廠商,改善期限最長不得超過 90 天。

在一連串的國際減碳規範與我國《溫室氣體減量及管理法》之多重壓力下,建築產業的碳足跡標示制度勢必提前來到,台灣工程各界目前已對工程強制實施碳足跡揭露一事風聲鶴唳。2012 年,行政院公共工程委員會在「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(中華民國工程技術顧問商業同業公會)」專案研究計畫中提出:我國預計針對公共工程於 2013~2014 年推動「碳足跡推估前置作業」,於 2015~2019 年執行「碳足跡推估作業」,於 2020~2024 年執行「碳足跡推動作業」,於 2025 之後執行「碳中和推動作業」。至 2015 年為止,台灣環保署已陸續通過道路、橋樑、隧道、建築物等工程項目之碳足跡產品類別規則 CFP-PCR,另外在 2017 年又通過庭園景觀與室內裝修的 CFP-PCR,建築產業的碳揭露規範日漸完備。另一方面,2013 年由低碳建築聯盟 LCBA (Low Carbon Building Industry Alliance) 發起的建築碳足跡評估 BICF 法與認證辦法已經成立,有許多公家民間建築案件已經陸續接受此建築碳足跡標章之認證,同時有些地方

也開始援用依此評估法執行工程碳足跡管理。顯然，一股強制型的碳足跡管理制度在臺灣工程界已逐漸成形，且有成為未來主流之勢。

在工程上執行碳足跡之揭露、預測、操作、控制之工作，稱之為「工程碳管理」。雖然當今地球環境的議題很多，但沒有一樣比地球暖化的議題更迫切；儘管工程的環境管理項目很多，但沒有一項比執行「工程碳管理」更全面、更實用。以建築工程為例，過去所採用的節能指標、綠建築指標，遠不如採用碳足跡的「工程碳管理」更直接、更切中地球環保議題的核心。本來，「節能建築」是 1970 年代因石油危機所爆發的建築環境思潮，其次的「綠建築」則是搭在 1992 年里約地球高峰會議熱潮之上的建築環保運動，現在以碳足跡為指標的「工程碳管理」則是在 1997 年京都議定書之後，在碳權、碳交易之壓力下所形成的最新環保戰略。過去只因為缺乏工程碳足跡揭露的工具，才採用「節能建築」或「綠建築」來將就，如今更高信賴度的工程碳足跡評估法已誕生，應可早日取而代之，成為更有效的永續建築產業政策才對。



## 第二章 國外有關本案之研究情況

「蘊含碳排 EC 與使用碳排 OC」是建築 LCA 的雙主軸，也是京都議定書之後才發跡的新興學問，直至近幾年才漸漸成為成熟的研究體系，以下讓我們來一窺此二研究體系艱辛的發展史。

首先，先揭露 OC 研究的發展史。OC 來自於空調、照明、機電等設備的使用能源，這方面的研究相對於 EC 研究發展甚早。建築 OC 研究，就是以能源角度的建築效率模擬 BPS(Building Performance Simulation)研究，它的歷史有如電腦發展般淵源流長，1950~60 年代最早即在瑞典與美國由靜態熱流計算展開研究。1963 年瑞典皇家工程學院(Royal Institute of Technology)的 Brown, Gösta 在 Stockholm 最早以熱平衡公式(heat balance equations)發表全球第一個建築模擬軟體 BRIS。到了 1960 後期，一些能源評估與逐時熱負荷計算的 BPS 模型開始被發展，到了 1970 前期，才在美國發展出強力的動態建築能源模擬引擎 BLAST、DOE-2、ESP-r、HVACSIM、TRNSYS 等。1970 年代的兩次世界能源危機，尤其更加速了建築能源模擬技術的發展，且讓建築節能政策變成緊急重要的國家政策，美國國家標準 ASHRAE90-75 於焉成立。過去幾十年，BPS 已經緊密結合了學術、政府、工業、專業團體而茁壯，如今已深具信賴度並成為國際通用的解析工具。

相對於 OC 研究，EC 研究的歷史較淺，因為 EC 是在 1997 年 ISO 14040 生命週期理論之後才有的新興研究。儘管建築部門對 EC 之關心已久，但直到 20 年代在德國才出現以能源需求來選用建材的動向。當時曾出現以燃煤單位來比較採暖需求量與與建築產品耗能量的出版品(Friedrich et al.1922)，但遲至 1970~80 年代，才陸續有煤、褐煤、油當量對建材與結構的 EC 研究(IEA, EBC Annex 57, ST1 report)。關於產品生命週期的量化研究則起源於 60 年代至 70 年代初期，例如 1988 年 Tennenbaum 採用 Wassily Leontief 在 20 年代提出的產業關聯法 IO 模型來執行 EC 分析(Tennenbaum, 1988)，才開啟了 EC 的眼界。70 年代後期至 80 年代初期，因為能源危機已成先進國的重要公共議題，在建築產業上也逐漸關注最佳隔熱材厚度、產品能源效率、原物料號能等節能投資效益之課題。80 年代中期至 90 年代初，隨著工業、設計、零售界興起的 LCA 風潮，EC 隨之被納入 LCA 內涵之一部份。然而，最早整合 LCA 並發展評估架構的貢獻者則歸功於毒物化學環境協會 SETAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry)。SETAC 在 1993 年發表了生命週期評估指引(Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice)提出人體健康、生態系、資源所代表的環境性能 LCA 指標，這指標後來變成 1997 年之 ISO14040 標準。之後隨著氣候變遷與環境補償策略之議題發燒，關於建材在使用、製造、營建的環境衝擊研究才逐漸成長。然而，由於毒物化學界所框列的諸多 LCA 環境衝擊因子對於長壽命且單一設計的建築產業太過複雜、

困難，因此國際間另外發展出碳足跡(ISO14067)、灰色能源 grey energy(亦即蘊含能源之意，瑞士 SIA2032 標準)、通用建築碳排放計量方法(Common Carbon Metric,一種以使用碳排為指標的標準,見 ISO 16745) 等較簡單的單一碳排指標，於是以碳排為主的 EC 研究架構才正式成形。

直到近年，有關建築 LCA 的發表論文數才有迅速成長之勢，例如 Chirjiv 所調查的國際審查期刊論文發表數量變化如圖 2-1 所示(Chirjiv et al.2017)。該圖顯出：在 2015 年就有 250 篇建築 LCA 審查論文發表，其最多研究領域為建築使用能源之相關論文，且漸漸有擴及蘊含能源 EE 與其認證系統，終於在 2015 年才有 15 篇 EE 方面之論文。由此可見 OE、OC 相關研究之歷史甚早，但 EE、EC 相關研究則起步甚晚。

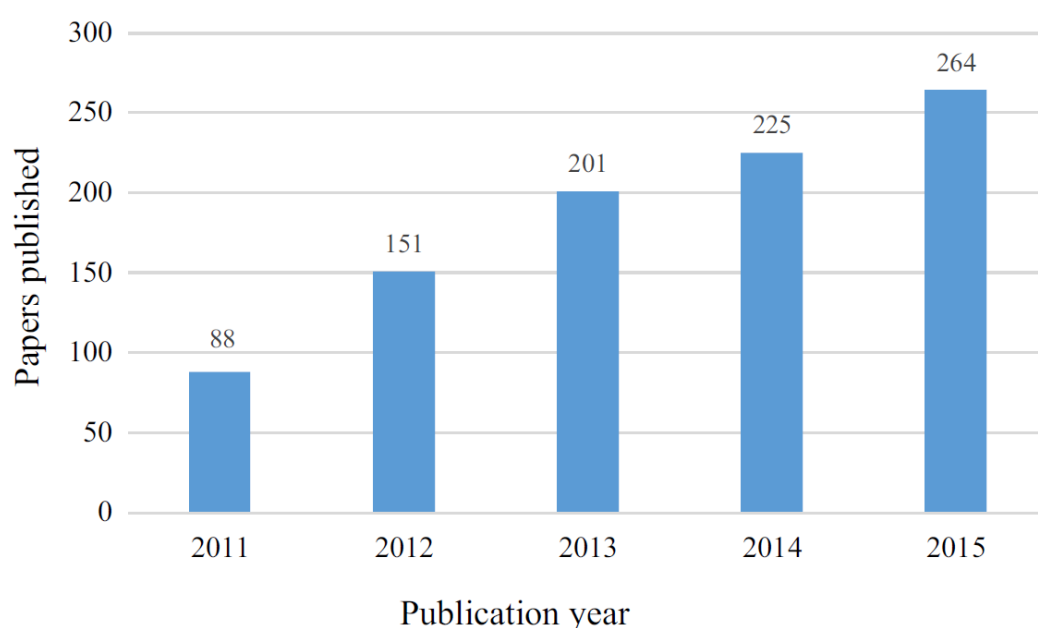


圖 2-1 近年來建築 LCA 相關學術論文快速成長情形

(資料來源:Chirjiv et al.2017)

根據 IEA 的報告(IEA, EBC Annex 57, ST1 report)，國際權威期刊曾經刊載 EC 相關研究的統計如圖 2-2~圖 2-3 所示，由此可知 EE、EC 研究在近年已日益茁壯。這些統計顯示：在 1990 年初只出現幾篇 EC 相關研究論文，其中有些試圖比較資源、服務價值與商品碳排與能源之關係，有些則嘗試探討能源與溫室氣體對建材與營建活動之關係，直到 2006 年之後才日漸出現建材碳排之研究。當時國際碳排研究雖仍偏重於建築能源研究主題上，但 2007 年之後建材 EE 與 EC 之研究則呈現爆發性增加之勢，在研究尺度上也出現多樣化現象。另外，由 Science Direct 網站以“Embodied energy”，“Embodied GHGs”，“CO<sub>2</sub>”關鍵字搜尋出 1990 至 2013 年之 3,822 件書籍、期刊、論文如圖 2-4 所示(IEA, EBC Annex 57, ST2 report)。由此發現：EE 與 EC 相關研究自 2006 年起才開始起色，到最近幾年每天平均有 1.5 篇相關論文發表，可見其研究已呈蓬勃發展之勢。



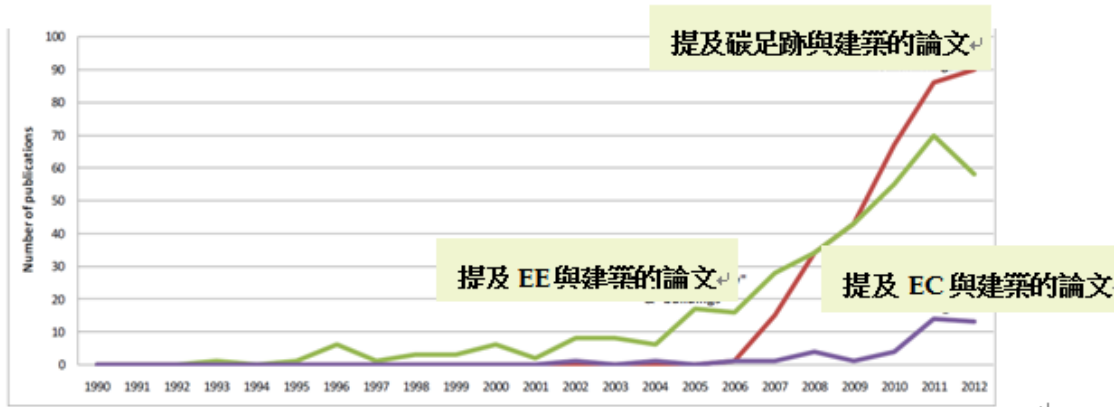


圖 2-2 建築碳排評估是近年新興研究趨勢

(資料來源:IEA, EBC Annex 57, ST1 report)

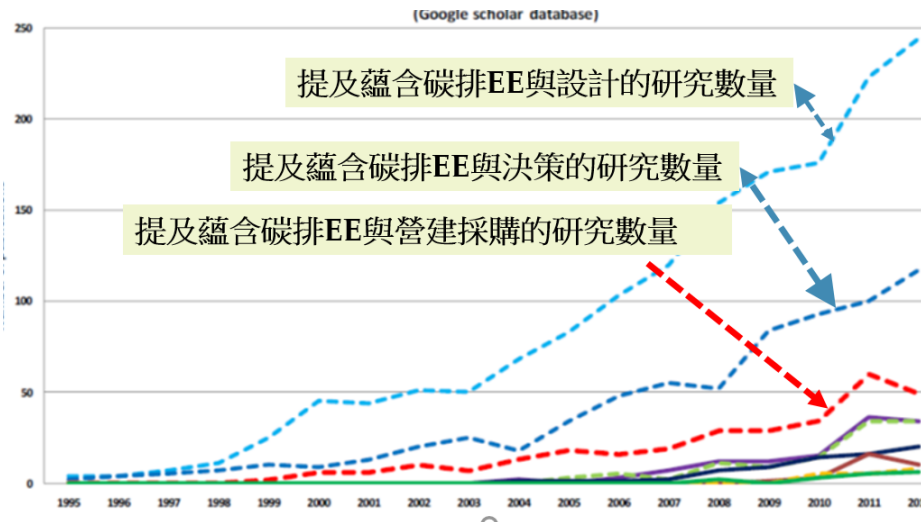


圖 2-3 近年在建築營建研究上提及 EE 與 EC 之數據庫、設計方法、採購決策的論文數量上昇情況

(資料來源:IEA, EBC Annex 57, ST1 report)

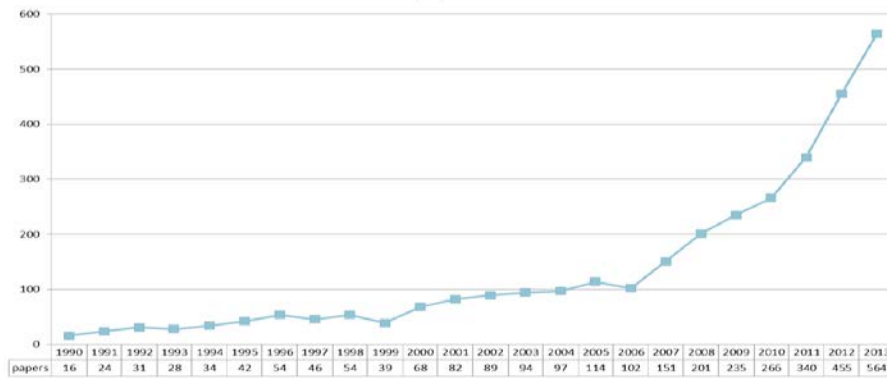


圖 2-4 1990 至 2013 年 250 篇有關 EE、EC 論文的發展趨勢

(資料來源:IEA, EBC Annex 57, ST2 report)

上述統計顯示：建築 EC 評估已日趨重要，甚至國際一些主要綠建築評估工具也紛紛導入 EC 評估制度。例如澳洲綠建築評估系統 GREEN STAR 自 2015 年起已開始採用建材 LCA 評分，評分比重為 100 分的 7~8 分(3 分評水泥減量，1 分評鋼材減量，4 分評其他建材減量)，有 3 分用於獎勵綠色建材，另有 6 分作為獎勵採用 EC 之 LCA 法(必須依照 ISO14040 評估、專業 LCA 分析、同儕審查且應有 6 項以上環境衝擊評估)。又如最新版之美國綠建築評估系統 LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) 已經在建材上新增 3 分作為 EC 評估之優惠計算，且要求 EC 評估工具與數據必須明確且應委由 LCA 專家執行。它同時要求設計模型與比較模型並須將地點、機能、生命週期、樓板面積、方位、耗能等條件設於相同水準才行，且其評估範圍至少必須包括主結構與外殼結構。最後也必須提出減碳建議，例如將柱樑結構改成承重牆結構、改變柱距、樓板厚度而達成減碳目標，並保證減碳 10% 以上。

另外，有一些跨國顧問公司已經發展獨自的 EC 評估工具，其中英國皇家章程鑑定組織 RICS (Royal Institute of Chartered Surveyors) 已制定並公告一個建築物 LCA 碳足跡計量標準(RICS 2017)。德國永續建築評估系統 DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)、法國高質量環境評估系統 HQE (Haute Qualité Environnementale) 均已導入 LCA 評估(Chirjiv et al. 2017)。又如 Moncaster et al. (2018) 指出英國、德國、澳洲、荷蘭、丹麥也正在發展非強制型的建築碳足跡認證系統，其中英國綠建築評估系統 BREEAM (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method) 已動用 LCA 工具來執行 EC 評估，並對使用碳揭露之環境宣告 EPD 產品額外加分。

國內有關建築產業碳足跡資料系統之既有研究，主要均由本主持人在成功大學建築研究所一脈相承發展至今。最早在 1994 即由建材溫室氣體排放之研究(劉漢卿，1994)開始，至今累計二十多年之累積研究成果。其間，本建築產業碳足跡資料系統已廣為政府機關與工程實務界所應用，甚至已經成為國內工程碳足跡盤查的資料庫依據。本資料庫歷經本所與國科會(科技部前身)的數次專案補助研究發展，並於 2013 年重新建置符合 EN15978 標準之建築碳足跡資料庫，於 2019 年再接受本所本專案研究而正被命名為 ABRI-LCC，並移交給本所全面接管，延續該資料庫之維護管理、研究發展。

## 第三章 研究內容

### 第一節 本研究採用之方法

為了建立本所專用的建材碳足跡資料庫系統 ABRI-LCC，必須符合本土化的標準。由於建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，每度電能的碳排約僅為台灣的 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，這也是本土化建築產業碳足跡評估必備的條件。目前國際間的建材碳足跡資料庫有下列三種盤查統計法：

#### (1) 製程盤查法，又稱 PB 法(Process Based Method)：

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，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。

#### (2) 產業關連表統計法，又稱 IO 法(Input-Output Method)：

「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。IO 法是里昂惕夫於 20 世紀 30 年代研究並創立的一種反映經濟系統各部分之間投入與產出數量依存關係的分析方法 Wassily Leontief's input-output model，近年來被用來計算蘊含能源和蘊含碳排放。

#### (3) 複合法(Hybrid Method)：

由於前述 PB 法隱含切斷誤差 truncation error 而數據有偏小問題，而 IO 法有組合誤差 aggregation error 而有數據有偏大問題，整合兩者的方法即有複合法之出現。複合法可去除 IO 法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。

表 3-1 建材碳足跡資料庫三種製作法

碳排統計法	方法	特徵	缺點	適用領域
製程盤查法 process-based method (PB 法)	盤查產品生命週期的能源、物質輸入與產品、污染的輸出，得出產品的環境負荷	微觀的過程分析，由下而上的盤查法，可視為產品的總環境衝擊量	因切斷誤差 truncation error 而偏小	適用於工程單體層面的 LCA
產業關連法 Input-Output method (IO 法)	根據產業的能源及物質的經濟輸入輸出清單，計算產品生命週期的物質及能源投入量和環境負荷	宏觀的全域分析，由上而下的盤查法，可視為不同部門的環境衝擊比例	因邊界過大、加成誤差 aggregation error 而偏大	適用於產業層面的 LCA
複合 IO 法 Hybrid IO method	以經濟輸入輸出資料補充製程盤查方法	居中	居中	
但歐洲技術委員會在 2011 的 CEN/TC350 標準卻只推薦 BP 法，因為此法是由下至上的算法，可理解建築物由每一與生命週期衝擊相關的產品與製程組合。				

(資料來源:本研究整理)

表 3-2 通用型碳排資料庫(Moncaster A. M. & Song J-Y, 2012)

database	開發單位	內容	範疇	
Athena	加拿大 Athena Institute	北美洲材料、產品	B2B	PB 法
BP LCC	澳洲 Building Product Innovation Council	澳洲營建材料、產品以及其維護更換壽命資料	B2B	PB 法
ICE	英國 Bath University	大部分為英國營建材料	B2B	PB 法
Alcorn	紐西蘭 Victoria University of Wellington	紐西蘭建材	B2B	混合 PB 法
AIJ-LCC	日本建築學會	日本建材	B2B	IO 法

(資料來源: Moncaster A. M. & Song J-Y, 2012)

表 3-3 營建專用碳排資料庫

database	開發單位	內容	範疇	
Athena	加拿大 Athena Institute	北美洲材 料、產品	B2B	PB 法
BP LCC	澳洲 Building Product Innovation Council	澳洲營建材 料、產品以及 其維護更換 壽命資料	B2B	PB 法
ICE	英國 Bath University	大部分為英 國營建材料	B2B	PB 法
Alcorn	紐西蘭 Victoria University of Wellington	紐西蘭建材	B2B	混合 PB 法
AIJ-LCC	日本建築學 會	日本建材	B2B	IO 法

(資料來源:Moncaster A. M. & Song J-Y, 2012, 日本資料為本研究加入)

以上三法各有其優勢，目前各先進國有的建材相關資料庫之概況如表 3-1~表 3-3 所示，其中表 3-2 為國家通用型碳排資料庫 general-purpose database，表 3-3 為營建專用碳排資料庫。日本建築學會採用 IO 法。Bath ICE 與 Athena database 為 PB 法數據，紐西蘭則採用複合法。所謂國家通用型碳排資料庫指由能源流盤查分析的國家級數據，如 ecoinvent, Gabi, USLCC, ELCD, Eco-Profile 等，它們可能包含碳排、酸雨、空污等廣大的環境衝擊數據，是為工業產品開發的通用型資料庫。所謂營建專用碳排資料庫則是專為營建產業開發的建材碳排資料庫，它們是以種種 LCA 法分析的數據，如 AusLCC, BP LCC, GEMIS, Nationale Milieudatabase, ÖKOBAUDAT 等，其中英國 Bath 大學的 ICE 數據只含碳排與耗能數據。本 ABRI-LCC 資料庫的研究法採 PB 法，其方法與內涵很類似於 Bath 大學的 ICE 資料庫。

## 第二節 研究採用方法之原因

如上述，既然碳足跡資料庫生成的方法論與軟體尚未標準化，甚至其地理性、工業技術、計算邊界也有很大差異，可能被質疑其信賴度。事實上，制定 EBC Annex 57 標準的 IEA 自己均明確指出：現行蘊含碳排計算法有(1)不同量化方法論、(2)不明確或不同系統邊界、(3)欠缺正確或高品質的數等三大問題(IEA, EBC Annex 57, 2016, Subtask3 Report)。

首先，讓我們來一窺碳足跡資料庫方法論所產生的誤差。有 IEA 之研究列舉在澳洲的 PB 法、IO 法、複合法三種方法所產出建材碳排資料即有表 3-4 所示之差異，另外在日本國內不同統計方法也出現如表 3-5 之差異。

表 3-4 澳洲三種不同方法 EC 數據之差異(取自 IEA, EBC Annex 57, ST3 report)

	PB 法	複合法	IO 法
1. 蒸壓加氣混凝土	3.5	4	6.8
2. 鋁	154.3	252	378
3. 家電設備	301.1	250	301
4. 磚	8.2	3.3	5.4
5. 地毯	74.4	288	212
6. 磁磚	9	22	32
7. 陶土屋瓦	6.5	20	17
8. 混凝土	1.1	1.8	2.4
9. 混凝土鋪面	2	32	32
10. 混凝土磚	2	4.8	4.5
11. 實心門	23	74	74
12. 空心門	23	48	48
13. 玻璃	13.5	168	83
14. 玻璃纖維隔熱材	28	172	107
15. 發泡隔熱材	154.3	370	303
16. 水泥砂漿	1.3	1.8	2.6
17. 油漆	80	284	194
18. 灰泥	1.8	27.2	8.9
19. 石膏板	2.7	7.4	27.2
20. 塑膠	87	64	163.4

(資料來源：IEA, EBC Annex 57, ST3 report)

表 3-5 日本不同統計法之資材 EC 數據比較表 (單位: kgCO<sub>2</sub>/kg)

		IO 法 <sup>*1</sup>		限定間接 需要算入 法	PB 法		相關文獻調查	
研究代表者		外岡	吉岡ら	酒井ら <sup>*2</sup>	酒井ら <sup>*3</sup>	外岡 <sup>*4</sup>	日本 建築研究所 <sup>*5</sup>	
砂 石	砂礫採石	0.00642	0.00568	0.00103			0.00103	
	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	0.803	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		3.117 (高爐)		
	鋅	2.757	2.380	1.841				
	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：日本建築學會，1992

(資料來源：取自空氣調和・衛生工学会，1995，p. 56，經本文換算成碳排量)



另外，Dixit 曾分析約 100 篇有關住宅 EE 研究的論文發現，即使排除了不同國家地理之差異，在相同澳洲境內因採用不同的資料庫統計法所得出的 EE 密度之差異如圖 3-1 所示，其結果顯示採用複合 PB 法與複合 IO 法之資料庫所計算的住宅 EE 密度約為採 PB 法與 IO 法之計算結果的兩倍，另外採複合 IO 法資料庫所計算的住宅 EE 密度略高於採複合 PB 法的計算結果(Dixit M. K., 2017)。這些調查研究均顯示採用不同方法所製作之數據差異參差不齊，有時差異甚至高達數倍。

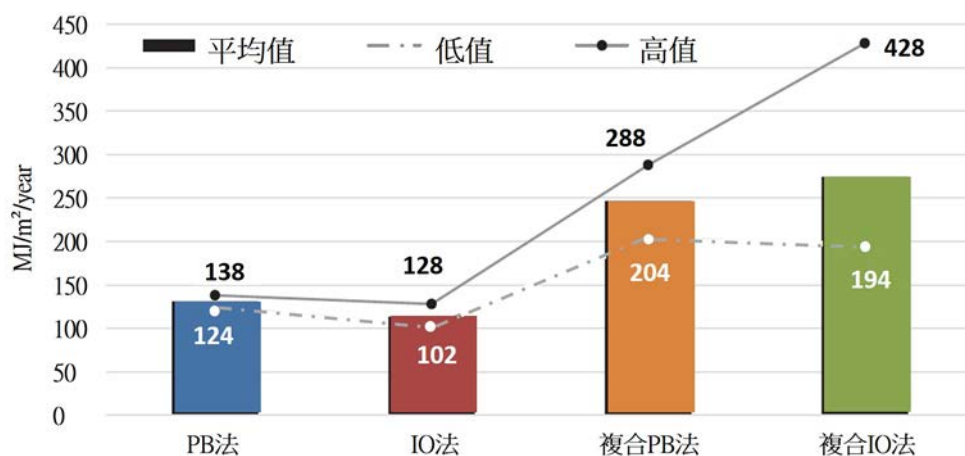


圖 3-1 澳洲境內不同方法資料庫所計算之住宅蘊含能源 EE 密度之差距  
(資料來源：改繪自 Manish K. Dixit, 2017)

由上可知碳足跡資料庫只要採用不同方法來製作，即使在同一國家中也可能內涵巨大差異，這更不用說是不同國家資料庫之差異了。例如，有一 IEA 的報告 (IEA, EBC Annex 57, ST3 report) 曾調查不同國家資料庫關於相同鋁材的 EC 數據如圖 3-2 所示，此圖以澳洲數據為準，各國資料庫誤差可達 59%~113%之多。

又例如 Pomponi 曾針對 2012~2017 五年期間有明確揭露碳排係數、計算邊界、數據來源的 EC 相關研究論文，以 EN15978 各階段定義檢討之後，發現這些論文所採用的結構材在 A1~A3 階段的碳排數據差異如圖 3-3 所示，其最大值與最低值之比值甚至高達 284%~1044%(Pomponi, F. et al. 2018)。

上述為原材料之 EC 數據差異，應用這些數據來執行建築產業 LCA 之結果當然隨之產生差異，甚至誤差更形擴大，例如在澳洲針對一棟商業建築與一住宅建築採用三種資料庫所產生的 EC 密度之差異如圖 3-4 所示，該誤差最高可達 2~3 倍之多。

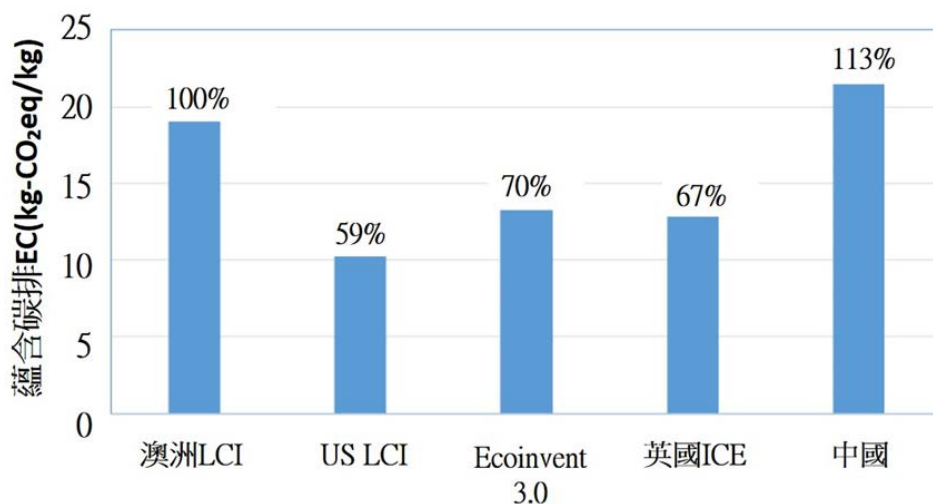


圖 3-2 不同國家數據庫的鋁材 EC 數據差異

(資料來源:IEA, EBC Annex 57, ST3 report)

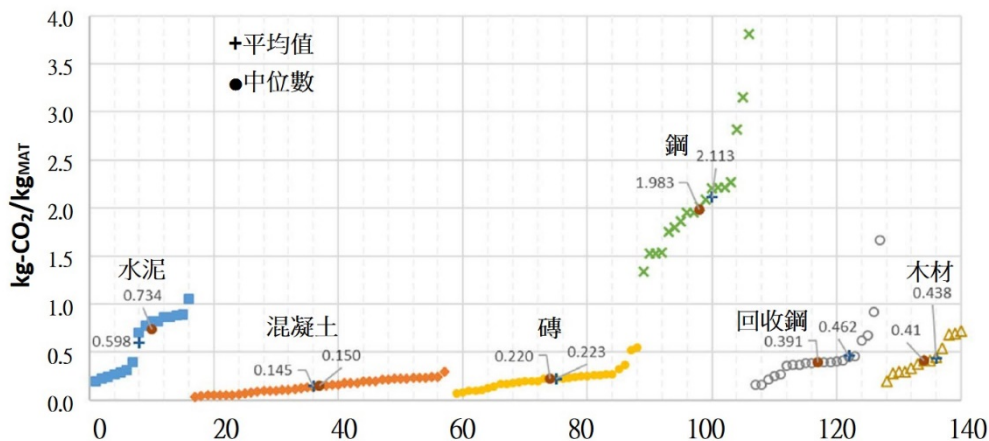


圖 3-3 不同論文所引用的結構材之 EC 係數差距甚大

(資料來源: 改繪自 Pomponi, Francesco and Moncaster, Alice, 2018.)

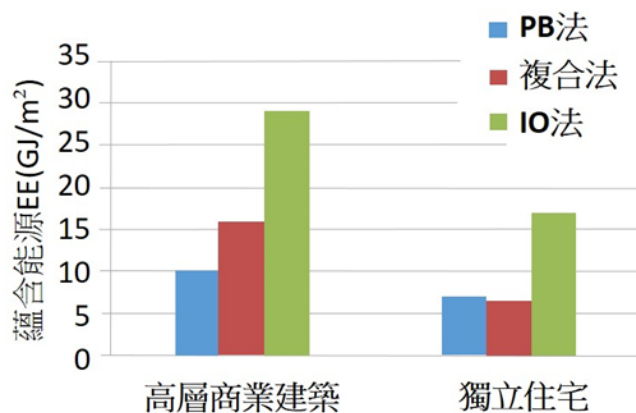


圖 3-4 不同方法資料庫所計算的建築物蘊含耗能之差異

(資料來源:oka, 2013)

由上碳足跡資料庫相關之差異分析可知：當前全世界關於 EC 的研究，由於不同方法論、不同國家、不同計算邊界之差異，其定量分析結果常隱藏非常驚人的誤差，因此不同研究之間的定量比較是不可靠且危險的(但定性研究與策略分析尚可)，此乃執行建築產業 LCA 研究者應引以為戒之處。有鑑於此，ISO14040 定義這些誤差為不確定因素，且強調 LCA 必須設法排除之。Dixit 認為 EC 的不確定因素起因於：系統邊界、地理性、數據新舊、數據完整性、內涵能源(如橡膠與塑膠產品內含的石油能源)、分析法、能源類別、數據來源、生產技術、數據時間性等因素(Dixit et al. 2010)。

然而，這些不確定因素不勝枚舉且防不勝防。例如數據的地理代表性，關係到營建材料、營建與預鑄工法、運輸方式與距離、燃料品質、能源碳排係數、經濟系統之差異而有極大差異。況且碳足跡資料庫均必須由能源碳排係數換算而成，但如表 3-6 所示，由於各國的能源碳排係數差異甚大，其差異有時高達數倍，因此不同國家的碳排數據根本難以對等比較。Menzies 等甚至指出錯用能源數據可招致三倍的差異，光是能源關稅差異即可招致 2.5% 的能源計算誤差(Menzies, et al. 2007)。另外生產技術也隱藏一些盲點，像中國、印度採用較高人力密集的生產技術，由於人力依 PAS2050 之規定不必被計入資料庫，但 Dixit 的研究指出像石材製造的人力耗能可能佔有 9%，因此不計入人力的碳排數據可能會失真。在生產技術代表性上，後進國家的資材製造碳排通常比先進國家大，因為建材生產技術可能改善能源效率而降低碳排，例如 Shunsuke 曾發現日本辦公建築的 EE 由 1965~2000 年間降低了 50%，如圖 3-5 所示(Dixit MK, 2017)。

表 3-6 2010 年各國電力碳排係數 (KgCO<sub>2</sub>/kWh)

國別	台灣	中國	新加坡	日本	加拿大	美國	德國	挪威
碳排係數	0.532	0.766	0.499	0.416	0.186	0.522	0.461	0.017

(資料來源:取自 International Energy Agency, "CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion" ,2012)

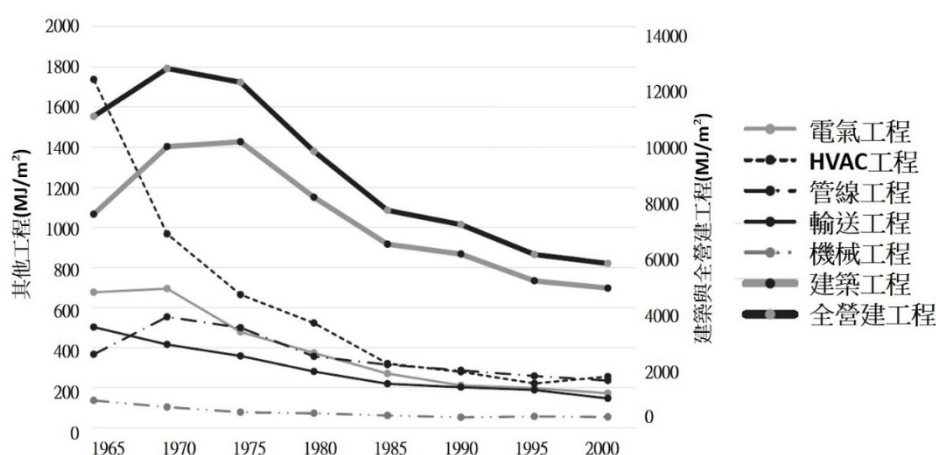


圖 3-5 日本因製造技術提升使辦公建築的 EE 由 1965~2000 年間降低了 50% (資料來源:Dixit, 2017)

### 第三節 ABRI-LCC 碳足跡資料庫內容概說

#### (一) ABRI-LCC 建置概要

以下簡介本研究成果之 ABRI-LCC(life cycle carbon database of ABRI)的建置方法與內容概要。ABRI-LCC 並非經過數據品質檢驗之國家級 LCI 資料庫，而是以 PB 法所建置的 LCIA 層級(即簡易版 LCI 層級)之建築產業專用碳足跡資料庫。

ABRI-LCC 資料庫應該依照 EN15978 規格建置而成，EN15978 對 EC 之計算範疇如圖 3-6 所示，亦即以產品、施工、使用維護、生命終結等四階段為其必要計算範疇，但也可額外加入建材回收再利用之評估形成五階段計算範疇(此第五階段為選擇性的額外優惠計算項目)。

前四階段必要評估的內容為：

- (1) 產品階段之 A1 材料開採、A2 材料運輸、A3 材料製造
- (2) 施工階段之 A4 成品運輸、A5 施工製程
- (3) 使用維護階段之 B1 建材設備使用碳排(如冷媒、發泡材在使用期間之溫室氣體排放)、B2 維護、B3 修理、B4 更新、B5 改造、B6 能源使用、B7 水资源使用
- (4) 生命終結階段之 C1 拆解、C2 運輸、C3 廢棄物回收、C4 廢棄物最終處理等總共 16 項目。
- (5) D 回收再利用，則屬第五階段之非必要額外優惠計算項目。

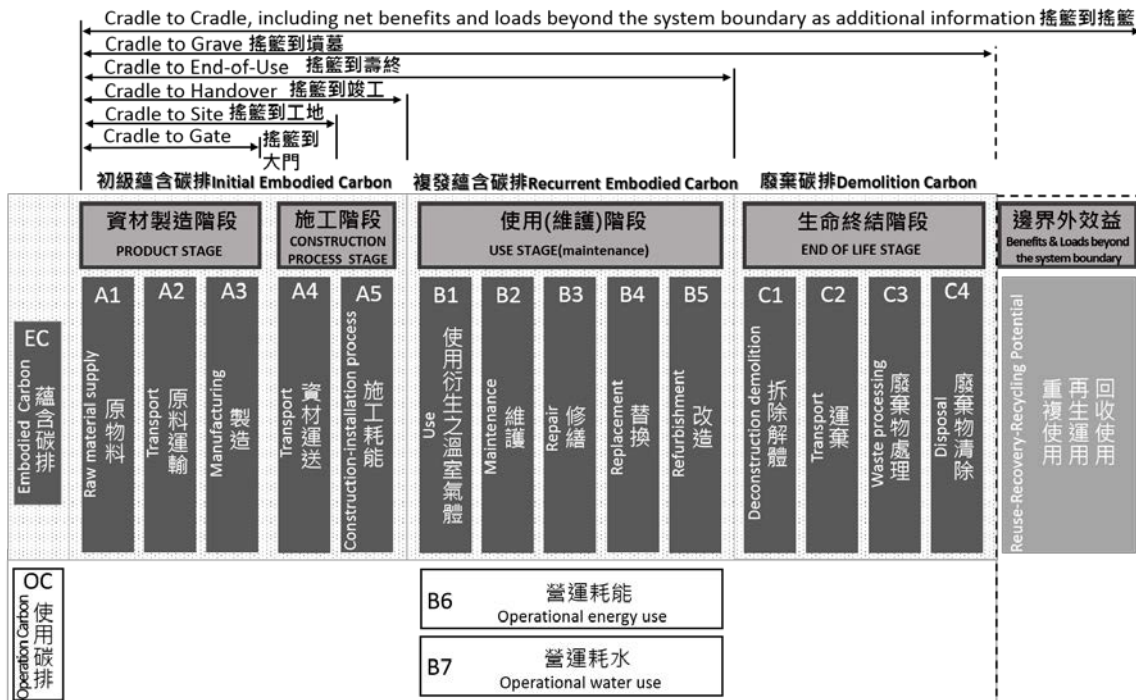


圖 3-6 EN15978 建議蘊含碳排 EC 之計算範疇

(資料來源：改繪自 BSI (2011) BS EN 15978:)

ABRI-LCC 資料庫做為國內建築產業碳足跡計算的共通標準，本研究建議發展建築、景觀、室內裝修工程等三大產業的碳足跡資料庫，因為這三大產業分別是室外環境、建築本體、室內環境的工程，為營建署主管範疇，理應為之建構碳足跡的評估平台。本研究建議 ABRI-LCC 資料庫先建構這三大產業共用的「初級資材碳足跡資料庫 P-LCC」，然後再建構「建築構件碳足跡資料庫 B-LCC」、「景觀構件碳足跡資料庫 L-LCC」、「室內裝修碳足跡資料庫 I-LCC」，預計共有四類碳足跡資料庫。如這四類資料庫因實務簡化計算上之需要，分別有「搖籃到工地」與「搖籃到竣工」兩種範疇，如表 3-7 所示。「搖籃到工地範疇」包含圖 3-6 所示 A1~A4 項目的碳排，「搖籃到竣工範疇」則包含圖 3-6 所示 A1~A5 項目的碳排。其差異只是對景觀、室內裝修工程等兩類資料庫，為了減少其複雜的施工碳排計算，事先將 A5 項的施工碳排併入資料庫內而已。景觀、室內裝修兩類工程的施工碳排是隨著工程構件項目一對一發生的，因此將其併入構件整體的碳排數據中就可免除使用者再一一盤查計算其施工碳排，將帶給日後的碳足跡 LCA 很大的方便性。然而，建築工程的施工碳排是吊車、工地電梯、地下室土方等整體工程發生的，無法分散入工程構件的碳排數據，因此只能以「搖籃到工地」為範疇，其施工碳排必須在 LCA 中另行解析。

表 3-7 ABRI-LCC 四類資料庫與其計算範疇

ABRI-LCC 資料庫內容		內容列舉	計算範疇
材料層級	初級資材碳足跡資料庫 P-LCC	鋼筋、水泥、紅磚	搖籃到工地 Cradle to Site
構件層級	建築構件碳足跡資料庫 B-LCC	隔間牆、門窗	搖籃到工地 Cradle to Site
	景觀構件碳足跡資料庫 L-LCC	道路、鋪面、棧道	搖籃到竣工 Cradle to Handover
	室內裝修碳足跡資料庫 I-LCC	天花板、和式地板	搖籃到竣工 Cradle to Handover

(資料來源:本研究整理)

## (二) P-LCC 建置概要

本年度所能完成的資料庫內容只限於初級資材碳足跡資料庫 P-LCC，其他三類資料庫尚未有完整的內容，有待成為日後發展的計畫。在此先就 P-LCC 之建置方法與內容說明如下：

1. P-LCC 所涵蓋的內容為 EN15978 所定義之「搖籃到工地」之範疇，亦即包含圖 3-6 所示 A1~A4 之碳排項目。
2. P-LCC 在初級原材料上，如水泥、木材等材料依照建材工業製程之 PB 法建置而成，部分如玻璃等材料依廠商提供之耗能與產量換算而得，如合板、隔間牆等二次組合材料或工程構件則由材料構造圖與施工圖計算而成。
3. 若有國內環保署或更高公信力機構之碳足跡盤查資料(通常包含 A1~A3 碳排資料)，則優先採納並加入 A4 碳排計算資料，做成搖籃到工地形式才能加入 P-LCC 內(如表 3-8 所示)。
4. 若有環保署公告之產品碳標籤之碳足跡資料(通常包含 A1~A3 碳排與廢棄

物處理碳排)，則扣除其中廢棄物處理階段碳排，再加入 A4 碳排計算資料，做成搖籃到工地形式而加入 P-LCC 內（如表 3-8 所示）。

5. 有一些環保署公告之碳足跡資料，例如鋼鐵與水泥等，僅有生產階段之碳排，為使其盤查範疇一致，本研究特別額外由 SimaPro 資料庫加入原材料開採之碳排數據，同時也加入由運輸距離所換算之運輸碳排，成為 P-LCC 資料庫。
6. 銅、鋁等原材料之碳足跡因無國內資料，以 SimaPro 資料庫補足之（如表 3-8 所示）。
7. 木材相關製材之加工碳足跡直接引用台大森林系王松永教授資料(如表 3-8 所示)。
8. 如鋼鐵、鋁所有大宗金屬加工產品統一以 20%之新金屬碳排與 80%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。

由於這些資料庫非常龐大，本報告只能公布其中一次資材之資料庫如表 3-9 所示，其他二次資材以上之碳足跡資料未來必須由 P-LCC 網站取得。

表 3-8 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 <sup>*1</sup>	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	鋼胚(高爐) <sup>*1</sup>	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	棒鋼(高爐) <sup>*1</sup>	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	線材盤元(高爐) <sup>*1</sup>	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	鋼板(高爐) <sup>*1</sup>	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	熱軋鋼捲(高爐) <sup>*1</sup>	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	冷軋鋼捲(高爐) <sup>*1</sup>	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) <sup>*1</sup>	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	扁鋼胚(電弧爐) <sup>*2</sup>	行政院環保署產品碳足跡計算服務平台
	不銹鋼鋼胚 <sup>*3</sup>	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) <sup>*3</sup>	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)

本資料庫之生產階段 EC 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以 PB 法求得，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換算而得。此表依 2012 年碳排係數將生產耗能換算為碳排數據，其中電能之碳排係數為 0.532 kgCO<sub>2</sub>/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 kgCO<sub>2</sub>e。

表 3-9 有兩種運輸階段碳排統計值，一是將原料產地運到製造工廠的 A2. 原料運輸碳排，二是將資材成品運至施工現場的 A4. 成品運輸碳排。其中 A2. 原料運輸碳排在進口大宗金屬材料（鐵、銅、鋁）採用 SimaPro 的運輸碳排資料，即陸運與海運各為 0.137 與 0.00889kgCO<sub>2</sub>/tkm，其他之 A2. 原料運輸碳排與 A4. 成品運輸碳排兩者都以臺灣「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，加上本研究假設以 5.0t 柴油貨車、燃油效率 4.0km/L、柴油碳排係數 2.578 kgCO<sub>2</sub>/L 所算出之國內陸運碳排係數 0.129 kgCO<sub>2</sub>/tkm 來統計（如表 3-11 所示）。

表 3-9 部分 P-LCC 碳足跡資料庫

材料名稱		單位	原料 開採	原料 運輸	產品 生產	成品 運輸	總碳 排量
鋼鐵	鋼胚(高爐)	kg	2.26			0.011	2.27
	鋼胚(電弧爐)	kg	0.147	0.081	0.4	0.011	0.64
	鋼筋及鐵件	kg	0.954		0.168	0.017	1.14
	型鋼	kg	0.954		0.185	0.013	1.15
	不鏽鋼捲、不鏽鋼	kg	1.13	0.183	0.88	0.009	2.2
	冷軋輕型鋼	kg	0.954		0.149	0.009	1.11
	熱軋鋼捲	kg	0.954		0.099	0.038	1.09
	冷軋鋼捲	kg	0.954		0.4	0.009	1.36

材料名稱		單位	原料 開採	原料 運輸	產品 生產	成品 運輸	總碳 排量
	不鏽鋼管	kg	1.13	0.183	0.915	0.026	2.25
	鍍鋅鋼管	kg	0.954		0.285	0.026	1.27
	冷軋鋼管	kg	0.954		0.435	0.026	1.42
金屬	金	kg	11.1				11.1
	鉑	kg	7.12				7.12
	鉛	kg	1.7				1.7
	銀(未鍛造)	kg	31.9				31.9
	鋅錠	kg	9.18				9.18
	再生鋅合金錠	kg	0.0403				0.04
	再生鋅錠	kg	0.04				0.04
	進口鋁錠(全新)	kg	12.2	0.33		0.024	12.55
	進口鋁錠(80%回收)	kg	3.75	0.187		0.024	3.96
	建築用鋁擠型料	kg	3.75	0.187	0.287	0.024	4.25
	門窗鋁料	kg	3.75	0.187	0.366	0.024	4.33
	銅線(新品)	kg	3.31	0.21	0.481	0.024	4.03
	銅製品(新品)	kg	3.31	0.21	1.83	0.01	5.36
	銅線(80%回收)	kg	0.789			0.01	0.8
銅製品(80%回收)	kg	1.79	0.186	1.83	0.01	3.82	
砂石類	基地內土方	m <sup>3</sup>	7.95				7.95
	基地外運出入土方	m <sup>3</sup>	85.29				85.29
	砂礫	m <sup>3</sup>	3.05	11.24			14.29
	採石(原石)	m <sup>3</sup>	3.83	22.24			26.07
	石材加工品(6分板18mm)	m <sup>2</sup>	0.082	0.47	1.74	1.02	3.31
	石材加工品(2.0cm)	m <sup>2</sup>					3.68
	石質地磚	kg	4.5				4.5
	岩棉板(1.5cm)	m <sup>2</sup>	0.015	0.19	0.828	0.364	1.4
土質	磁磚(1cm)	m <sup>2</sup>	7.7		7.16	0.228	14.86
	高壓凝土地磚(6cm)	m <sup>2</sup>	37.43		5.65	0.08	43.16
	衛生陶瓷器	kg	0.05	0.006	0.8	0.012	0.87
	紅磚(20*9.5*5cm)	塊	0.01	0	0.41	0.032	0.45
	文化瓦	m <sup>2</sup>	0.114	0	6.46	0.51	7.08
水泥類	一般水泥(卜特蘭)	t	2.47	4.17	855	19.95	881.59
	白水泥	t	2.47	4.17	941.81	19.95	968.4
	高爐水泥(爐石粉30%)	t	1.73	17.92	617.56	19.95	657.16
	高爐水泥(爐石粉45%)	t	1.36	14.2	498.84	19.95	534.35



材料名稱		單位	原料 開採	原料 運輸	產品 生產	成品 運輸	總碳 排量
	1:1 水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	0.1	0.27	19.02	0.1	19.49
	1:2 水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	0.095	0.29	12.37	0.1	12.86
	1:3 水泥砂漿粉刷	m <sup>2</sup>	0.089	0.29	8.57	0.1	9.05
	預拌混凝土(2000psi)	m <sup>3</sup>	5.13	19.24	214.84	4.57	243.78
	預拌混凝土(2500psi)	m <sup>3</sup>	285.77				285.77
	預拌混凝土(3000psi)	m <sup>3</sup>	4.89	17.95	300.34	4.57	327.75
	預拌混凝土(4000psi)	m <sup>3</sup>	4.8	17.42	343.09	4.57	369.88
	預拌混凝土(5000psi)	m <sup>3</sup>	4.74	16.93	407.21	4.57	433.45
	預拌混凝土(6000psi)	m <sup>3</sup>	4.71	16.53	471.34	4.57	497.15
	預拌高爐混凝土(2500psi)	m <sup>3</sup>	194.06				194.06
	預拌高爐混凝土(3000psi)	m <sup>3</sup>	4.5	21.62	175.68	4.57	206.37
	預拌高爐混凝土(4000psi)	m <sup>3</sup>	4.35	21.46	200.62	4.57	231
	預拌高爐混凝土(5000psi)	m <sup>3</sup>	4.3	22.08	238.03	4.57	268.98
	預拌高爐混凝土(6000psi)	m <sup>3</sup>	4.1	22.11	275.45	4.57	306.23
	水泥板(9mm)	m <sup>2</sup>	0.04	0.032	2.7	0.426	3.2
	石膏	kg	0.002	0.0054	0.18	0.02	0.21
	石膏磚(66.5*80*6cm)	塊	0.06	0.16	1.84	0.62	2.68
	石膏板	kg	0.51				0.51
	石膏板(9mm)	m <sup>2</sup>	0.01	0.036	1.75	0.136	1.93
	石膏板(12mm)	m <sup>2</sup>	0.02	0.046	2.33	0.18	2.58
石膏板(15mm)	m <sup>2</sup>	0.02	0.056	2.79	0.216	3.08	
矽酸鈣	kg	0.002	0.006	0.21	0.006	0.22	
矽酸鈣板(6mm)	m <sup>2</sup>	0.01	0.032	1.28	0.036	1.36	
矽酸鈣板(9mm)	m <sup>2</sup>	0.01	0.046	1.81	0.052	1.92	
矽酸鈣板(12mm)	m <sup>2</sup>	0.02	0.06	2.39	0.068	2.54	
木竹類	原木	m <sup>3</sup>	-1100	9.502	27.3	2.632	-1060.57
	製材	m <sup>3</sup>	-1145.84	9.898	455.07	2.741	-678.13
	竹籐編織(2.5mm)	m <sup>2</sup>	-2.292	0.02	1.138	0.008	-1.13
	纖維板(6分板)	m <sup>2</sup>	-24.75	0.214	24.25	0.082	-0.2
	木模板(1.5cm)	m <sup>2</sup>		0.566	0.275	0.157	1
	壁紙	m <sup>2</sup>		0.001	0.26	0.001	0.26
玻璃類	普通玻璃	kg	0.112	0.0048	0.7	0.008	0.82
	平板玻璃	kg	1.12				1.12
	強化玻璃	kg	0.112	0.0048	0.96	0.008	1.08
	反射玻璃	kg	0.222	0.0048	0.89	0.008	1.12

材料名稱		單位	原料 開採	原料 運輸	產品 生產	成品 運輸	總碳 排量
	膠合安全玻璃	kg	0.112	0.0048	0.84	0.008	0.96
	雙層玻璃	kg	0.224	0.0048	0.72	0.008	0.96
	5+5mm 雙層玻璃	m <sup>2</sup>	20.5				20.5
	6+6mm 雙層玻璃	m <sup>2</sup>	24.6				24.6
	8+8mm 雙層玻璃	m <sup>2</sup>	32.8				32.8
	Low-E 玻璃	kg	0.222	0.0048	1.08	0.008	1.31
	玻璃纖維	kg	0.112	0.0048	2.41	0.008	2.53
化學、塑膠類	PVC 原料	kg	2.21				2.21
	塑鋼原料	kg	1.72				1.72
	聚酯纖維(PET)	kg	2.35				2.35
	環氧樹脂 (Epoxy)	kg	3.02				3.02
	HDPE	kg	2.25				2.25
	ABS 樹脂	kg	3.26				3.26
	PC 耐力板	kg	3.27	0	2.29	0.014	5.57
	PVC 塑膠管、PVC 板	kg	2.21		0.15	0.014	2.37
	PVC 管接頭、凡而(閥)	kg	2.21		0.69	0.014	2.91
	水泥漆	kg	1.33				1.33
	油漆	kg	5.55	0.01	1.27	0.36	7.19
	二氧化鈦(非食品級)	kg	4.28				4.28
瀝青	瀝青混凝土	t	35.9	2.67	30.04	4.76	73.37
	瀝青鋪面用粒料，散裝	t	4.72				4.72
電線電纜	PVC 電線(5.5m m <sup>2</sup> , CNS679-C2012)	kg	0.216	0.0024	0.029	0.0008	0.25
	PVC 電線(22m m <sup>2</sup> , CNS679-C2012)	kg	0.829	0.0094	0.113	0.0028	0.95
	PVC 耐火電纜(8.0m m <sup>2</sup> , CNS11359)	kg	0.458	0.114	0.055	0.002	0.63
	PVC 耐火電纜(14m m <sup>2</sup> , CNS11359)	kg	0.751	0.2296	0.092	0.0028	1.08
植栽生產碳排	喬木(米徑 $\phi$ 小於 10cm)	株	---	---	2.22	2.08	4.3
	喬木(米徑 $\phi$ 10~15cm)	株	---	---	3.33	2.27	5.6
	喬木(米徑 $\phi$ 15~20cm)	株	---	---	4.44	3.56	8
	喬木(米徑 $\phi$ 20~25cm)	株	---	---	5.55	5.7	11.25
	灌木、草花袋苗(1" ~3" )	株	---	---	0.0028	0.01	0.01
	灌木、草花盆苗(4" ~7" )	株	---	---	0.0032	0.02	0.02
	草毯	m <sup>2</sup>	---	---	0.04	0.073	0.11
	小喬木、疏葉喬木	m <sup>2</sup> . yr	---	---	---	---	-0.84
	棕櫚類	m <sup>2</sup> . yr	---	---	---	---	-0.56
	灌木	m <sup>2</sup> . yr	---	---	---	---	-0.42

材料名稱		單位	原料 開採	原料 運輸	產品 生產	成品 運輸	總碳 排量
	多年生蔓藤	m <sup>2</sup> .yr	---	---	---	---	-0.42
	草花、草地、草坪	m <sup>2</sup> .yr	---	---	---	---	-0.28

(資料來源:本研究整理)

表 3-10 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>2e</sub> 排放係數
			(t-C/tJ)		(Kcal/單位)		(KgCO <sub>2</sub> /單位)
電力(台電 2012 年數據)		kWh					0.532
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 3-11 臺灣資材汽車貨運平均運距與碳排推估值 (2011)

商品別	總貨運量	總延噸公里	平均運距	單位運輸耗油量	碳排係數
	t	t-km	Km	L/t	kgCO <sub>2</sub> /t
林產	1682864	206736626	122.85	6.14	15.84
金屬礦	1824932	140444735	76.96	3.85	9.92
窯業用土石	3577638	699305039	195.47	5.77	25.20
建築用砂石	64728056	2821872736	43.60	2.18	5.62
其他非金屬礦	2429847	161242198	66.36	3.32	8.55
人造纖維紡織品	1744722	88487923	50.72	2.54	6.54
其他紡織品	1184011	61543444	51.98	2.60	6.70
木製材(各種木材、舊木材)	4785922	162874119	34.03	1.70	4.39
合板	5075312	240518884	47.39	2.37	6.11
木製品(家具除外)	460833	40739308	88.40	4.42	11.40
紙漿,紙	6056930	525269039	86.72	4.34	11.18
紙製品	8446444	405161035	47.97	2.40	6.18
合成纖維	460282	43239768	93.94	4.70	12.11
其他人造纖維	244496	21284341	87.05	4.35	11.22
塑膠	6877457	898517441	130.65	6.53	16.84
其他化學材料	450816	48878524	108.42	5.42	13.97
塗料	338411	26536547	78.42	3.92	10.11
瀝青	3154639	116402186	36.90	1.84	4.76
石油煉製品	9615934	360406544	37.48	1.95	4.83
塑膠製品	2159098	246850084	114.33	5.72	14.74
陶瓷製品	204035	17691175	86.71	4.34	11.18
玻璃及其製品	1213126	77037286	63.50	3.18	8.18

水泥	2598953	402231096	154.77	7.73	19.95
預拌混凝土	3875442	59728372	15.41	0.77	1.99
其他各種水泥製品	1728758	276559481	159.98	8.0	20.62
其他非金屬礦物製品(紅磚)	1165051	118497326	101.71	5.09	13.11
生鐵，鋼胚(含廢鋼)	3371891	288576158	85.58	4.28	10.43
熱軋鋼品	12233413	727886440	59.50	2.97	7.67
冷軋鋼品	8832619	642271940	72.72	3.64	9.37
棒鋼(條鋼)	9344237	1207912455	129.27	6.46	16.66
型鋼	6352853	631797946	99.45	4.97	12.82
鋼管	2427448	486646859	200.48	10.02	25.87
其他鋼鐵初級製品	9563958	571249070	59.73	2.99	7.7
鋁	566076	105285352	185.99	9.3	23.97
其他金屬	1468337	110537921	75.28	3.76	9.70
其他金屬製品	6671939	1192627050	178.75	8.94	23.04
電機及其他電器(電纜線)	5369245	280309373	52.21	2.61	6.73
*1 資料來源：平均運距依交通部統計處 2011「中華民國臺灣地區汽車貨運調查報告」					
*2 以 5T 柴油貨車、燃油效率 4 km/L、柴油碳排係數 0.578 kgCO <sub>2</sub> /L 計算運輸碳排係數					

(資料來源:本研究整理)

### (三) P-LCC 數據建置實例

#### 1. P-LCC 數據建置實例之一：鋼胚碳排資料

為了明示 P-LCC 之建置法，以下列舉其中最重要的資材來說明。首先以鋼鐵碳排資料為例，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 3-7、圖 3-8 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，而電弧爐原料則以廢鋼再熔煉，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 2.05、0.426kgCO<sub>2</sub>/kg (行政院環境保護署溫室氣體先期專案暨抵換專案，2010)，此為政府公告之一級資料，可由行政院環保署的產品碳足跡計算服務平台取得。此為包含 A1~A3 項目，即原料開採、原料運輸及生產製程耗能階段之 EC 數據，而部分所提供的電弧爐鋼鐵製品係數僅包含產品製程階段耗能。因此本研究引用該資料庫，再加入鋼鐵類平均運距之碳排放量，為 P-LCC 的鋼鐵類碳排係數。

本研究另外建構了數種鋼鐵品項之碳排資料，包含生鐵、熱浸鍍鋅鋼捲(高爐)、不銹鋼鋼胚、不銹鋼冷軋鋼捲(電弧爐)及碳鋼冷軋鋼捲(電弧爐)，也包括棒鋼、線材、鋼板、熱軋鋼捲、冷軋鋼捲、熱浸鍍鋅鋼捲等之碳排係數。根據中國鋼鐵公司盤查的資料，其鋼鐵的主要來源鋼胚，又分為高爐鋼胚與電弧爐鋼胚兩種，而高爐鋼胚又依不同用途分為扁鋼胚、大鋼胚與軋延小鋼胚三種，其碳

排係數個別為 2.09、2.27、2.42kgCO<sub>2</sub>/kg。為計算上的方便，本研究求出此三種類型的高爐鋼胚的平均碳排 2.26kgCO<sub>2</sub>/kg，作為後續一貫作業煉鋼其他產品的原料來源。由於鋼筋與型鋼並不在該平台內，因此本研究採用前述之鋼胚平均值 2.26kgCO<sub>2</sub>/kg 作為原料取得與原料運輸的碳排，生產製程階段則利用本研究室過去於現場調查的耗能資料換算求得，例如鋼筋的生產階段、成品運輸階段之碳排各為 0.168、0.083kgCO<sub>2</sub>/kg，因此鋼筋的總碳足跡為 2.51kgCO<sub>2</sub>/kg。

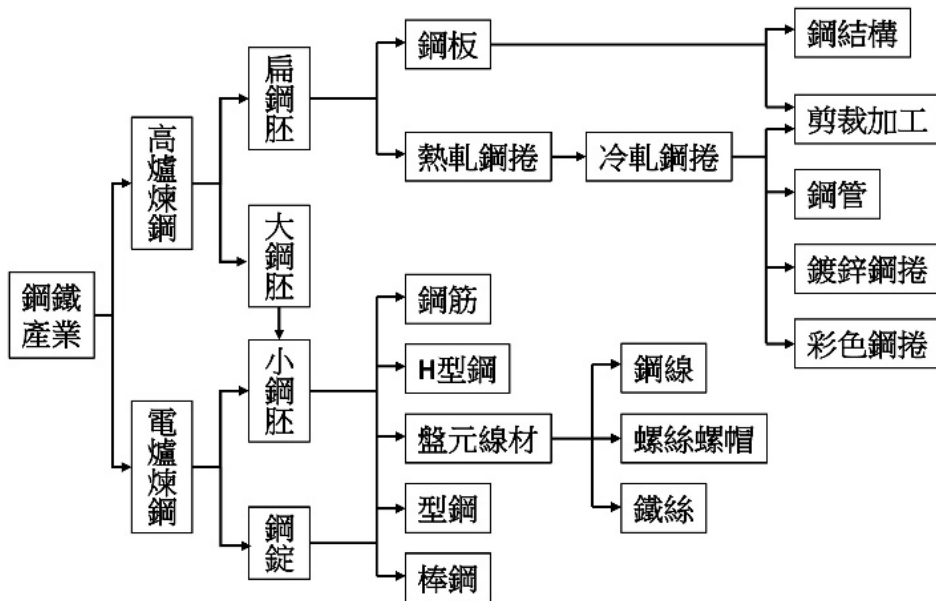


圖 3-7 鋼鐵基本工業產業關聯圖

(資料來源:本研究整理)

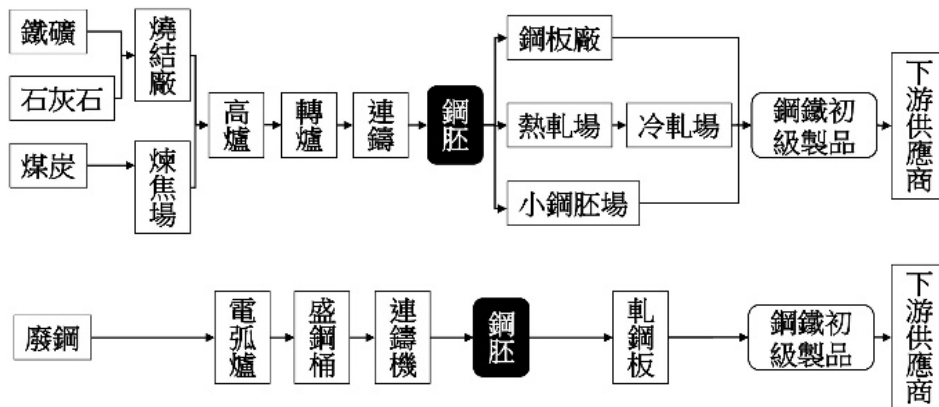


圖 3-8 高爐煉鋼與電弧爐煉鋼生產流程圖

(資料來源:本研究整理)

關於鋼胚成品運輸之碳排數據，係參考交通部統計處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，此數據乘上國內陸運碳排係數 0.129 kgCO<sub>2</sub>/tkm，換算為最終值 11.04kgCO<sub>2</sub>/t，即碳排係數 0.011kgCO<sub>2</sub>/kg。綜合上述，最終高爐鋼胚自原料開採、原料運輸、生產階段、國內運輸此四階段之總

排碳量為 2.27kgCO<sub>2</sub>/kg。

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，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 3-9)

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



圖 3-9 2011 年各主要進口美國廢鋼之國家百分比

(資料來源: 17. Bureau of international Recycling, 2018)

如同高爐鋼胚碳排的計算方式，前述產品碳足跡計算平台中電弧爐鋼鐵產品之係數並不包含廢鋼及矽鐵、錳鐵、石灰石等副料，與原料運輸階段的碳排，僅包含生產製程階段碳排 0.4 kgCO<sub>2</sub>/kg，它可充當鋼筋、型鋼、熱軋鋼捲、冷軋鋼板、鍍鋅鋼板、烤漆鋼板、鋼管等之原料取得階段之共通數據。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 0.147kgCO<sub>2</sub>/kg (引自 IPCC2006 公告數據) 作為電弧爐鋼胚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 0.016kgCO<sub>2</sub>/kg 以交通部平均運距為 178.75km 求得；另外三成經由 Washington 陸運 73.20km 至 Baltimore 港再運至高雄港 (海運碳排係數 0.00889kgCO<sub>2</sub>/tkm)，再以交通部平均運距為 178.75km 假設為運至高雄煉鋼廠之距離，總運輸碳排為 0.081kgCO<sub>2</sub>/kg (見表 3-7)。綜合上述，最終電弧爐鋼胚自原料開採、原料運輸、生產階段、國內運輸此四階段之總排碳量為 0.6kgCO<sub>2</sub>/kg。

以不銹鋼為例，其原料取得階段碳排已包含鋼胚製程碳排共 1.13 kgCO<sub>2</sub>/kg，係參考行政院環保署推行的產品碳足跡計算服務平台，而其原料運輸碳排按前述方式，分別找出主要原料的佔比，依序為鉻鐵 18%、鎳鐵 8% 及廢鐵 74%，再按表 3-13 所條列的各原料來源地運送至不銹鋼鋼鐵廠的運距，相乘後加總共 0.183kgCO<sub>2</sub>/kg (見表 3-8)，其成品運輸則參考交通部運輸統計平均運距碳排為

0.009kgCO<sub>2</sub>/kg，故不銹鋼碳排共 2.2kgCO<sub>2</sub>/kg。

表 3-12 電弧爐鋼胚原料運輸碳排計算表

原料	原料佔比	運距(km)	運輸係數 kgCO <sub>2</sub> /tkm	碳排量	順序	FROM	TO
回收 廢鋼	70%	× 178.75	× 0.137	= 0.017	1	交通部，2011：其他金屬	
	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> /kg)		

(資料來源:本研究整理)

表 3-13 不銹鋼鋼胚原料運輸碳排計算表

原料	原料佔比	陸運 (km)	運輸係數 kgCO <sub>2</sub> /tkm	碳排量	順序	FROM	TO	
鉻鐵	18%	× 680	×0.137	=	0.037	1	ASA METALS 公司礦區	南非 Port Richards Bay
		× 11783	×0.00889	=		2	南非 Port Richards Bay	高雄港口
		× 51	×0.137	=		3	高雄港口	燐聯鋼鐵
鎳鐵	8%	× 119	×0.137	=	0.007	1	新喀里多尼亞 Thio	Noumea Doniambo Nickel Smelter
		× 7322	×0.00889	=		2	noumea terminal	高雄港口
		× 19.9	×0.137	=		3	高雄港口	台灣鎳業公司
		× 43.5	×0.137	=		4	台灣鎳業公司	燐聯鋼鐵
廢鐵	74%	× 146	×0.137	=	0.139	1	ELG Haniel Metals Ltd, UK	Port Southampton, UK
		× 18109	×0.00889	=		2	Port Southampton, UK	高雄港口
		× 51.1	×0.137	=		3	高雄港口	燐聯鋼鐵
原料運輸總碳排放量				= 0.183	(kgCO <sub>2</sub> /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 3.55 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。例如以高爐鋼筋總碳排為 2.27kgCO<sub>2</sub>/kg，但表 3-9 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 (0.2×2.27+0.8×0.64)，成為 0.965kgCO<sub>2</sub>/kg。其他型鋼、不銹鋼、捲鋼等碳排資料均依此算出，如表 3-9 所示。



## 2. P-LCC 數據建置實例之二：水泥類碳排資料

再以卜特蘭水泥之碳排盤查為例，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 CNS 定義的八種不同種類的水泥，本研究僅針對佔台灣地區水泥銷售市場九成以上的第一型建立數據。該水泥之製程步驟如下（見圖 3-10）：

- (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 1,450~1,500°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。

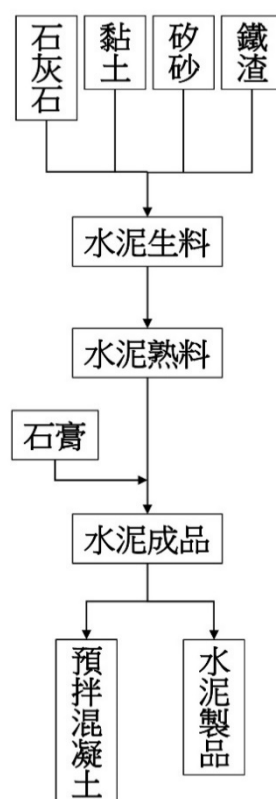


圖 3-10 卜特蘭水泥流程圖計算邊界

（資料來源：本研究繪製）

水泥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(包括原料開採和製程)，此製程屬原料取得階段，因此採用由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 0.855kgCO<sub>2</sub>/kg。

至於水泥之原料開採與運輸碳排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知，各個水泥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在原料取得階段之總碳排為 0.0025kgCO<sub>2</sub>/kg，如表 3-14 所示。

表 3-14 卜特蘭水泥原料運輸碳排計算

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	=	0.0025	(kgCO <sub>2</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，如一般水泥平均運距為 154.77Km/t，乘上國內陸運碳排係數 0.129 kgCO<sub>2</sub>/tkm，可換算出最終值 19.95kgCO<sub>2</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、國內運輸等四階段之總碳排為 881.59kgCO<sub>2</sub>/t，如表 3-9 所示。

### 3. P-LCC 數據建置實例之三：木竹材料碳排資料

P-LCC 數據中關於木竹材料碳排資料之統計，必須借重森林界的研究資料來建置。首先關於原木的開採運輸碳排，根據卓志隆(2013)在林務局計畫中針對原木在友善森林收作業方式進行伐木及集材時使用機械所消耗的汽油或柴油，而排放之 CO<sub>2</sub>量，伐木為 1.10 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>，集材為 13.1 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>，裝車作業為 13.1 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>，共計碳排量為 27.3 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>。接著，關於製材的加工碳排，依王松永教授關於木質材料的碳足跡評估研究(2016)，木質類製材加工會依其原木直徑、形質等不同，其製材率及機械加工設備會有所不同，如表 3-15 所示。

例如對於製材之加工碳排資料，製材生產過程包含了原木收作業之 27.3 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>。製材另外還需加上天然乾燥或人工乾燥之程序，雖然天然乾燥較不會消費電量，但將製材乾燥至含水率約在 15~17%之氣乾狀態非常耗時，因此市面上主

要還是多利用人工乾燥窯、控制窯內溫度、濕度，並利用風扇，使製材品之含水率減少至 14% 以下。其主要熱源透過燃燒工廠木廢料或邊板材提供鍋爐熱能產生，其部分熱源則是採用電力或燃料油，針葉、闊葉木由原木開採至人工乾燥的加工碳排為 66.09、258.37 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>。接著，有些針葉木為了防蛀，通常要加上防腐處理(通常硬木不需要防腐處理)，針葉木人工乾燥再加防腐處理之碳排量變成 80.84 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>。最後，各類木質材料由開採至成品的加工製程之參照表 3-15 之數據即可。依據上述加工數據，在此舉例一些木質材料加工之碳排計算表如表 3-16 所示，依此合成方法，得出木竹材料碳排標準如表 3-17 所示。

表 3-15 木質材料加工製程碳排資料 (取自王松永 2016)

木質材料種類(註)		密度 (kg/m <sup>3</sup> )	各種製程之 CO <sub>2</sub> 排出 量(kg/m <sup>3</sup> )
原木(伐木、集材、裝車作業)	(針)	400	27.30
	(闊)	800	27.30
製材	(針、天乾)	450	31.24
	(闊、天乾)	800	31.24
	(針、人乾)	450	66.09
	(闊、人乾)	800	258.37
防腐製材(筆者註：硬木通常無防腐，因此只有軟木數據)	(針、防腐天乾)	450	33.12
	(針、防腐人乾)	450	80.84
合板、LVL		550	71.93
天然木化粧合板(3 mm 厚)		550	108.86
集成材	(冷壓)	550	66.09
	(熱壓)	550	212.46
	(防腐冷壓)	550	80.84
	(防腐熱壓)	550	214.34
條狀地板	(針、天乾)	450	151.18
	(闊、天乾)	800	151.18
	(針、人乾)	450	164.05
	(闊、人乾)	800	378.31
方塊及鑲嵌地板	(針、天乾)	450	151.18
	(闊、天乾)	800	151.18
	(針、人乾)	450	164.05
	(闊、人乾)	800	378.31

複合木質地板	(濕式熱壓)	550	122.10
	(乾式熱壓)	650	368.49
粒片板		650	733.00
纖維板		750	1,320.00
註：天乾、人乾為天然、人工乾燥之縮寫			

(資料來源:本研究整理)

表 3-16 木竹製材碳排量分析實例

	材質	加工碳排	原料運輸碳排	成品運輸碳排	kgCO <sub>2</sub> / m <sup>3</sup>
		各階段加工耗能碳排	公里噸碳排×密度	公里噸碳排×密度	總碳排量
0.5(針葉樹 400kg/m <sup>3</sup> )原木=固碳量不列入計算	軟木	伐木+集材+裝車作業 (1.10+13.1+13.1)	+ (15.836×0.4)	+ (4.386×0.4)	= 35.39
0.5(闊葉樹 800kg/m <sup>3</sup> )原木=固碳量不列入計算	硬木	伐木+集材+裝車作業 (1.10+13.1+13.1)	+ (15.836×0.8)	+ (4.386×0.8)	= 43.48
0.5(原竹平均密度 500kg/m <sup>3</sup> )原竹 = 固碳量不列入計算	竹	伐木+集材+裝車作業 (1.10+13.1+13.1)	+ (15.836×0.5)	+ (4.386×0.5)	= 37.41

(資料來源:本研究整理)

表 3-17 木竹類材料碳排標準

材料名稱	材質	單位	碳排 (kgCO <sub>2</sub> e)				總碳排量
			原料開採	原料運輸	產品生產	成品運輸	
原木/ 原竹 (未乾燥防腐處理)	軟木	m <sup>3</sup>		6.334	27.30	1.754	35.39
	硬木	m <sup>3</sup>		12.67	27.30	3.51	43.48
	竹	m <sup>3</sup>		7.918	27.30	2.193	37.41
木竹類製材 (人工乾燥防腐處理)	軟木	m <sup>3</sup>		7.126	80.84	1.974	89.94
	硬木	m <sup>3</sup>		12.67	258.37	3.51	274.55
	竹	m <sup>3</sup>		7.918	164.11	2.193	174.22

竹籐編織	竹	m <sup>3</sup>		7.918	164.11	3.350	175.38
竹籐編織 (2.5mm)	竹	m <sup>2</sup>		0.020	1.07	0.008	1.10
實木地板	軟木	m <sup>3</sup>		7.126	186.03	1.974	195.13
	硬木	m <sup>3</sup>		12.67	378.31	3.51	394.49
	竹	m <sup>3</sup>		7.918	282.17	2.193	292.28
實木地板 (2cm)	軟木	m <sup>2</sup>		0.143	3.72	0.039	3.90
	硬木	m <sup>2</sup>		0.25	7.57	0.07	7.89
	竹	m <sup>2</sup>		0.158	5.64	0.044	5.85
實木皮化粧合板 (天然木化粧合板、合板)		m <sup>3</sup>		8.71	108.60	3.36	120.67
實木皮化粧合板(2 分板, 6mm)		m <sup>2</sup>		0.053	0.65	0.02	0.72
實木皮木芯板(天然 木化粧合板、複 合木質、海島型木 地板、木芯板)		m <sup>3</sup>		10.29	368.49	3.97	382.75
實木皮木芯板(天然 木化粧合板、複 合木質、海島型木 地板、木芯板)(6 分板, 18mm)		m <sup>2</sup>		0.19	6.63	0.07	6.89
合板		m <sup>3</sup>		8.710	173.36	3.359	185.43
合板(18mm)		m <sup>2</sup>		0.157	3.12	0.060	3.34
單板層積材(LVL)		m <sup>3</sup>		8.710	71.93	3.359	84.00
單板層積材(LVL) (6分板, 18mm)		m <sup>2</sup>		0.157	1.29	0.060	1.51
集成材(集層材、膠 合木)		m <sup>3</sup>		8.710	147.59	3.359	159.66
集成材(集層材、膠 合木)(6分板,		m <sup>2</sup>		0.157	2.66	0.060	2.87

18mm)						
高密度粒片板 ( 塑 合板, OSB 定向粒 片板, 密度 850kg/m <sup>3</sup> , 18mm)	m <sup>2</sup>	依王松永調查 650kg/m <sup>3</sup> 密度粒片板, 原料運輸、製 程、成品運輸之碳排 10.29、733.0、3.05kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> 以重量比例換算				17.6
中密度粒片板 ( 密 集板, 密度 700kg/m <sup>3</sup> , 18mm)	m <sup>2</sup>					14.48
低密度粒片板 ( 甘 蔗板, 密度 550kg/m <sup>3</sup> , 18mm)	m <sup>2</sup>					11.4
木模板(1.5cm)	m <sup>2</sup>		0.566	0.28	0.157	1.00
壁紙	m <sup>2</sup>		0.001	0.26	0.001	0.26

(資料來源:本研究整理)

#### 4. P-LCC 數據建置實例之四：二次加工板材碳排數據

前節所示為木竹類原材料碳排數據之建置方法，本節則進一步建置二次加工板材的碳排數據。這些板材尤其被大量使用於室內裝修工程中。由於板材的在市面上的名稱十分混淆，有依材料組成命名者，有為廣告宣傳而誇大命名者，筆者將相同物件但不同稱謂之材料統一並列，詳述其製程，整理如表 3-18 所示。在地板用板材上，有實木、海島型 ( 又名天然木化粧合板、實木皮合板、複合木質板)、海島型超耐磨、超耐磨等地板材；在櫥櫃用面板上，有化粧板 ( 貼木皮或印花 PVC 皮紙，又名美化板、高壓成形板)、美耐板 ( H. P. L., High Pressure Laminate、貼美耐皿板與照相印刷紙加工，又稱塑合板)、水晶板 ( 為壓克力與照相印刷紙、牛皮紙包覆板加工)、彩晶板 ( 又名結晶鋼板，為透心彩色壓克力包覆加工)、烤漆板、鋼琴烤漆板 ( high glossy lacquer)、陶瓷烤漆板、塑鋁板 ( 又名鋁複合板)、不銹鋼版等面板材。

這些碳排數據均以該表所列之標準情境計算而成，即使實際產品與本書所列厚度、材質、密度有些微差距，也建議就近選用即可。這些五花八門的板材有時很難辨別，例如水晶板與彩晶板均是壓克力包覆粒片板基板的製品，但一為透明壓克力包覆印刷紙產品，一為透心彩色壓克力包覆產品，使用者務必知其產品再由本書所揭露之名稱與材質組成以選用合適之數據。

表 3-18 P-LCC 內室內裝修二次加工板材碳排標準

	項 目	材料碳排	碳排標準 (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )
底 材	實木皮化粧合板 2 分	-	0.72
	實木皮木芯板(複合木質、海島型木地板) 6 分 18mm		6.89
	高密度 HDF 粒片板 18mm(塑 合板, 密度 850kg/m <sup>3</sup> )	依王松永調查 650kg/m <sup>3</sup> 密度粒片 板, 原料運輸、製程、成品運輸 之碳排 10.29、733.0、 3.05kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>3</sup> 以重量比例換算	17.62
	中密度 MDF 粒片板 18mm(密 集板, 密度 700kg/m <sup>3</sup> )		14.48
	低密度 LDF 粒片板 18mm(甘 蔗板, 密度 550kg/m <sup>3</sup> )		11.43
地 板 用 板 材	軟實木上漆地板 1.5cm	PU0.5mm-1.87 軟木 1.5cm-2.93	4.80
	硬實木上漆地板 1.5cm	PU0.5mm-1.87 硬木 1.5cm-5.92	7.79
	海島型地板(實木皮木芯 板、複合木質板, 1.2cm)		4.59
	海島型超耐磨地板 1.2cm (上述海島型地板+美耐 皿 0.5mm)	美耐皿 0.5mm-3.06 實木木芯板底材 4.59	7.65
	超耐磨地板(美耐版 1mm+ 中密度粒片板 1.2cm)	美耐皿 0.5mm-3.06 0.5mm 牛皮紙-0.39 中密度粒片 MDF 板 1.2cm-9.69	13.14
	牆 或 天 花 板 材 ( 註 2)	上漆軟實木板 1.0cm	PU0.5mm-1.87 軟木 1.0cm-1.95
上漆硬實木板 1.0cm		PU0.5mm-1.87 硬木 1.0cm-3.95	5.82
高密度 OSB 定向粒片板(註 1)6mm		高密度 HDF 粒片板 5.87	5.87
單面化粧合板 6mm(美化 板, 高壓成形板, PVC 板)		單面 0.5mm PVC(含封邊)-1.39 單面 0.5mm 牛皮紙(含封邊)-0.4	1.79
單面美耐合板 6mm		三聚氰胺樹脂 0.5mm(含封 邊)-3.19 0.5mm 牛皮紙(含封邊)-0.4	3.54
單面水晶板 6mm(壓克力與 牛皮紙包覆板)		(參見 ABRI-LCC 會員專屬網站)	
單面彩晶板 6mm(結晶鋼			

	項 目	材料碳排	碳排標準 (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )
	板，全彩色壓克力包覆)		
	單面烤漆板 6mm		
	單面鋼琴烤漆板 6mm		
	單面陶瓷烤漆板 6mm		
	塑鋁板(鋁複合板)黏合板 9mm		
	不銹鋼板 0.8mm (無基板)	0.8mm 不銹鋼-13.9	13.9
櫥櫃 用 面 板 ( 註 2)	上漆軟實木門板 2cm	PU0.5mm-1.87 軟木 2.0cm-3.90	5.77
	上漆硬實木門板 2cm	PU0.5mm-1.87 硬木 2.0cm-7.89	9.76
	高密度 OSB 定向粒片板(註 1) 18mm	高密度 HDF 粒片板 17.62	17.62
	雙面化粧合板 18mm (美化 板，高壓成形板，PVC 板， 木芯板基板)	雙面 0.5mm PVC(含封邊)-2.92 雙面 0.5mm 牛皮紙(含封邊)-0.84 6 分木芯板 6.89	10.65
	雙面化粧粒片板 18mm (美 化板，PVC 板，粒片板基板)	雙面 0.5mm PVC(含封邊)-2.92 雙面 0.5mm 牛皮紙(含封邊)-0.84 低密度粒片 LDF 板 18mm (密度 550kg/m <sup>3</sup> ) 11.43 中密度粒片 MDF 板 18mm(密集板， 密度 700kg/m <sup>3</sup> ) 14.48 高密度粒片 HDF 板 18mm(塑合板， 密度 850kg/m <sup>3</sup> ) 17.62	低密度粒片 基板 15.19 中密度粒片 基板 18.24 高密度粒片 基板 21.38
	雙面美耐合板 18mm (木芯 板基板)	三聚氰胺樹脂 0.5mm(含封 邊)-6.7 雙面 0.5mm 牛皮紙(含封邊)-0.84 6 分木芯板 6.89	14.43
雙面美耐粒片板 18mm (粒 片板基板)	三聚氰胺樹脂 0.5mm(含封 邊)-6.7 雙面 0.5mm 牛皮紙(含封邊)-0.84 低密度粒片 LDF 板 18mm (密度 550kg/m <sup>3</sup> ) 11.43 中密度粒片 MDF 板 18mm(密集板， 密度 700kg/m <sup>3</sup> ) 14.48 高密度粒片 HDF 板 18mm(塑合板，	低密度粒片 基板 18.97 中密度粒片 基板 22.02 高密度粒片 基板 23.16	



	項 目	材料碳排	碳排標準 (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )
		密度 850kg/m <sup>3</sup> ) 17.62	
	雙面水晶板 18mm (壓克力與牛皮紙包覆板, 中密度粒片板基板)	(參見 ABRI-LCC 會員專屬網站)	
	雙面彩晶板 18mm (結晶鋼板, 全彩色壓克力包覆、中密度粒片板基板)		
	雙面烤漆板 18mm (中密度粒片板基板)		
	雙面鋼琴烤漆板 18mm (中密度粒片板基板)		
	雙面陶瓷烤漆板 18mm (中密度粒片板基板)		
	塑鋁板 (鋁複合板) 面板 22mm		
	不銹鋼板 0.8mm(鋁蜂巢版基板)	雙面 0.8mm 不銹鋼(含封邊)-30.59 1.8cm 輕量化鋁蜂巢版-1.58	32.17
人造石或天然石版	石英石人造石 1.2cm	重量比 94%石英砂 0.46 重量比 6%PMMA 壓克力 6.24	6.7
	壓克力人造石 1.2cm	重量比 40% PMMA 壓克力 51.96 重量比 53% 鋁粉 6.9 重量比 5%色粉 0 顏料 2%0.05	58.91
	碳酸鈣人造石 1.2cm	重量比 40%UP 樹脂 68.82 重量比 53%碳酸鈣 1.45 重量比 5%色粉 0 顏料 2%0.05	69.67
	天然石 2.0cm	天然石 2.0cm	3.68
註 1：OSB 板 ( Oriented Strand Board ) 為粒片板之一種，它取自生長快速的白楊木、白松木等細直徑木製作而成，能減少原生林破壞面積，同時也能降低對成熟樹種的依賴，其製成主要是先將樹皮去除，再用大型機器將木材切成碎屑，再經過烘乾，壓製前會將碎屑做垂直、水平層層分鋪，而後再經過高溫連續壓製而成，固又稱「定向粒片板」。			

	項 目	材料碳排	碳排標準 (kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> )
註 2：櫥櫃用面板之雙面封邊包覆面材已加計 10%面積，牆或天花板單雙面封邊包覆面材已加計 5%面積			

(資料來源:本研究整理)

#### (四) P-LCC 數據信賴度的檢驗

作為本所發展國家級建築產業專用碳足跡資料庫之目的，數據庫的信賴度是最被重視的一環。然而由前節所述，全球大部分國家的 EC 資料庫與最先端的 EC 研究所內含的不確定因素不勝枚舉且防不勝防。例如數據的地理代表性，關係到營建材料、營建與預鑄工法、運輸方式與距離、燃料品質、能源碳排係數、經濟系統之差異而有極大差異。本研究認為這揮之不去的不確定因素，乃因建築產業案件為內含千百種複雜多樣之建材產品，且為客製化單品設計的工程之必然現象，此乃執行建築產業 LCA 研究者必須體認接受的宿命。原本 LCA 是起源於材料單純且大量生產的工業產品，因此主導產品 LCA 規範的 ISO14040 系列自始即很強調消除不確定因素的重要性，但是這在建築產業是有其先天的困難度。正因如此，Richardson 曾調查 1997-2002 年的 30 篇建築相關 LCA 論文，發現只有 14 篇論及不確定因素，且只有三篇做了不確定因素的評估，到了正式主導建築營建 LCA 規範之 EN15978 與 EN15804 標準時，甚至已不提不確定因素了(Richardson, 2017)，這顯示對不確定因素已司空見慣而不再強調其重要性了。

作為 P-LCC 不確定因素改善最大的努力，現階段本研究提出以下說明，提醒使用者作為使用 P-LCC 之心理建設：

- (1) P-LCC 與大量生產產品之國家碳足跡數據不同，因為建築產業案件為客製化單品設計的工程，且使用來自跨國複雜多樣產品，其碳足跡資料庫先天不可避免地隱含較多不確定因素。
- (2) P-LCC 因建築產業使用大量組合材料、二次加工產品、跨國貿易成品，其 LCA 所使用的碳足跡資料庫也必須由人工計算合成而隱含較多不確定因素。
- (3) 由諸多先天之不確定因素，造成不同計算範疇、不同資料庫、不同工程類型、不同 LCA 法之間的定量化研究數據很難相互比較，因此研究者必須避免進行跨國之間、不同工程型態之間的定量比較(但作為定性研究與策略分析之比較尚可)。
- (4) 為了降低不確定因素，執行建築產業 LCA 時至少必須堅持使用相同計算範疇且本土化的碳足跡資料庫才好。P-LCC 已深具此條件，值得被信賴使用。
- (5) P-LCC 具備相同計算範疇與本土化的碳足跡資料條件，以此作為做為我國建築產業 LCA 共同標準，可降低很大部分的不確定因素，得出較可信賴的量化分析結果，找出較正確的減碳熱點與碳管理策略。

以下提出 P-LCC 數據的一些檢驗說明，期望能更增期信賴度。闡釋 (Interpretation) 為 ISO14040 生命週期評估架構的最終階段，乃是整合盤查分析與衝擊評估的觀察結果。對上述 P-LCC 數據之闡釋，可提供建築碳足跡評估信賴度之檢討。以下採用建材自行分析排碳結構之比較，以及利用第三方資料來檢討、比較上述碳足跡數據的信賴度。分析比較的對象除了 SimaPro 軟體外，也包括不同官方單位所公告的盤查結果，如經濟部工業局製造業產品碳足跡、行政院環保署溫室氣體先期專案暨抵換專案推動原則等計劃所公告的數據。由於資料眾多，本文僅就重要的對象加以比較。

#### 1. 水泥碳排數據信賴度檢驗

水泥的碳排主要來自三個範疇，第一，原料煅燒為熟料的排放，第二，水泥窯用化石燃料，第三，非窯用燃料包含工廠和採礦場車輛、室內供暖、用於制備水泥粉磨用礦物成分的高溫處理設備（如干燥器）等。本研究將熟料生產（不包括原料開採）以及水泥廠、粉磨廠的窯燒製程為產品生產階段。而熟料窯的排放量為水泥主要的碳排之一，即石灰石的煅燒石灰石轉化成氧化鈣之過程。

表 3-19 水泥碳排之比較（不含成品運輸碳排）

材料名稱	單位	碳排(kgCO <sub>2</sub> e)		
		本研究	SimaPro	EPA 溫室氣體公告
卜特蘭水泥	kg	0.882	0.821	0.855

（資料來源：本研究整理）

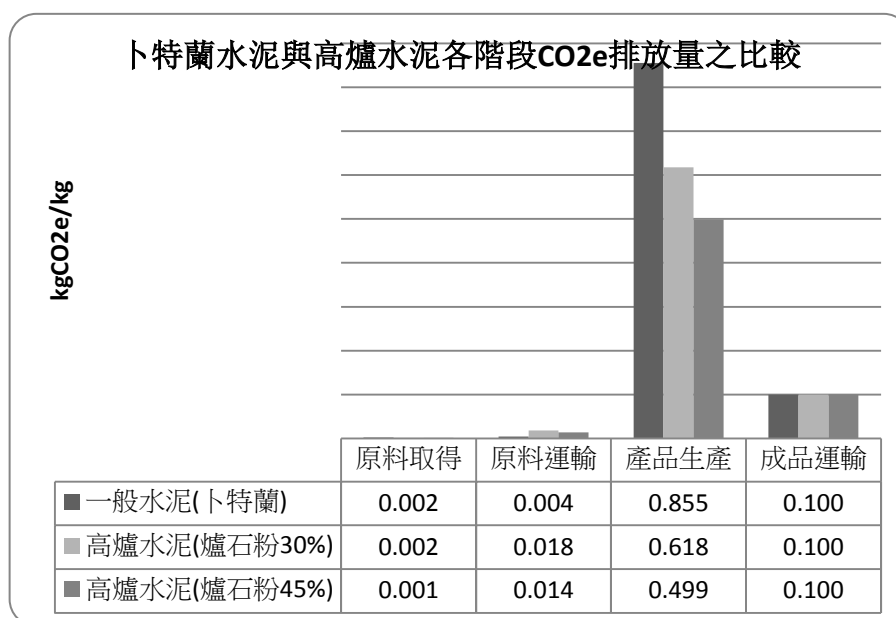


圖 3-11 卜特蘭水泥與高爐水泥各階段碳排之比較

（資料來源：本研究整理）

圖 3-11 為波特蘭水泥與兩種高爐水泥碳排數據之比較，由此可見這三者的碳排結構皆相同，其中產品生產階段係排放量最高的階段，原料取得階段與原料運

輸階段的碳排在整體上偏低，而添加爐石粉的比例越高者，其碳排則越低。表 3-19 為本研究與 SimaPro 以及環保署公告水泥業溫室氣體排放強度之比較，本研究數據內含成品運輸碳排，其數據稍大是可被接受的現象。表 3-20 為本研究水泥製品各階段碳排與 SimaPro 相關數據之比較，雖然各產品種類有許多種規格而難以站在同一個基準點上作比較，例如 Ecoinvent 盤查的波特蘭水泥，其熟料佔比為 90%，較本研究的 84.3%稍高，且因此項以瑞士當地的盤查為主，而該國的能源排放係數遠低於台灣（約 0.003kgCO<sub>2</sub>/kWh），故其數據低於本研究也是可理解之事。

本研究大部份數據均略高於 SimaPro 數據之原因，均因能源排放係數較高以及包含產品運輸碳排所致，其現象均完全可被理解。除 Ecoinvent 外的資料庫如 U.S.LCI 或 ELCD，並無法取得完整的盤查資料，因此僅能從其涵蓋的範圍檢討數據，但由於其對產品的說明並不詳盡，因此資料可信度有待討論，數據僅作參考用，可比性不高。

表 3-20 本研究水泥製品各階段碳排與 SimaPro 相關數據之比較

產品別	本研究數據 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	SimaPro						
		SimaPro 碳排數 據 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	原料 取得	原料 運輸	產品 生產	成品 運輸	廢棄 處理	資料庫
波特蘭水泥	0.961	1.37	有	有	有	有	無	U.S.LCI
	含成品運輸碳排	0.821	有	有	有	無	無	Ecoinvent
高爐水泥	0.614	0.445	有	有	有	無	無	Ecoinvent
預拌混凝土	304	261	有	有	有	無	無	Ecoinvent
矽酸鈣建材	0.27	0.147	有	有	有	無	無	ELCD 2.0

(資料來源:本研究整理)

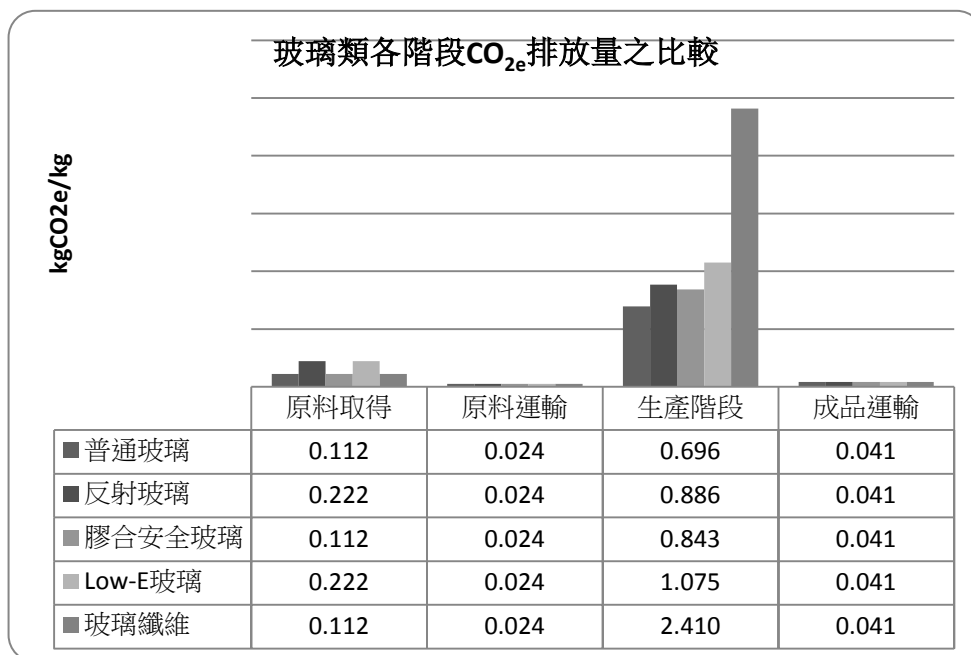


圖 3-12 玻璃類各階段碳排之比較

(資料來源:本研究整理)

## 2. 玻璃碳排數據信賴度檢驗

圖 3-12 為普通玻璃與其他玻璃製品碳排數據之比較，由此可見此類的碳排結構相似，其中碳排最高的為產品生產階段，其次為原料取得階段，而原料運輸與成品運輸階段的碳排在整體上偏低。表 3-21 為本研究玻璃製品各階段碳排與 SimaPro 相關係數之比較，此類別於 SimaPro 中主要分為無鍍膜、鍍膜玻璃兩種，因此本文取 Low-E 玻璃視同鍍膜玻璃作比較。數據結果顯示本研究之平板玻璃碳排數據稍低於 SimaPro 之數據，推測主要原因係該軟體的玻璃係數有包含基礎建設及部分廢水處理之過程，為本研究計算邊界以外的項目。但不論如何，本研究玻璃碳排數據尚稱合理。

表 3-21 本研究玻璃製品各階段碳排與 SimaPro 相關數據之比較

產品別	本研究數據 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	SimaPro						
		SimaPro 數據 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	原料取得	原料運輸	產品生產	成品運輸	廢棄處理	資料庫
平板玻璃	0.82	0.979	有	有	有	無	有	Ecoinvent
鍍膜玻璃	1.31	1.09	有	有	有	無	有	Ecoinvent
玻璃纖維	2.53	2.63	無	無	有	無	無	Ecoinvent

(資料來源:本研究整理)

## 3. 其他資材碳排數據信賴度檢驗

由於建築產業資材種類眾多無法一一羅列其比較結果，本研究在表 3-22 僅列出一些 SimaPro 資料庫中與本資料庫相關之資材碳排數據來相比較，其中之差異尚為可接受程度。此表顯示大部分 SimaPro 產品並不包含廢棄處理階段碳排與成品運輸階段碳排，而本研究數據均包含成品運輸階段之碳排，但此二階段的排放係數佔整體碳足跡的比例不大，應非兩者數據差異的主因。其數據主要差異應來自於國內外能源結構、原料配比、產品規格、計算邊界、產品技術水平等差異所致。

由上述分析可知，對於不同來源的數據，本需考慮其計算方式、系統邊界、能源結構、原料回收利用課題、燃料排放係數及企業工藝技術、設備效率等各因素的影響方可客觀比較。但無可否認的是，實際進行盤查工作時，無論是建立盤查清單或進行碳足跡計算，均應在同一盤查體系下進行才好，此時唯有依賴本 P-LCC 體系所建立碳排標準才有共同比較基礎。

表 3-22 本研究各建材與 SimaPro 建材排放係數之比較

分類	產品別	本研究數據 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	SimaPro 數據 (kgCO <sub>2</sub> /kg)	SimaPro					
				原料取得	原料運輸	產品生產	成品運輸	廢棄處理	資料庫
石質	砂礫	0.03	0.00239	有	有	-	-	無	Ecoinvent
	採石	0.04	0.23	有	有	有	有	無	Ecoinvent

建築材料碳足跡資料系統建置之研究

土質	地磚	0.53	0.781	有	有	無	有	無	Ecoinvent
	陶瓷		0.372	無	無	有	無	無	ETH
	衛浴陶瓷	0.930.87	2.34	有	有	無	有	無	Ecoinvent
	紅磚	0.230.18	0.238	有	有	有	無	無	Ecoinvent
化學工業 產品	PVC	2.21	1.8	有	有	有	無	無	Ecoinvent
	PVC 管	2.9	3.23	有	有	有	有	無	USLCI
	PP	2.01	1.97	有	有	有	無	無	USLCI
	PS	2.92	3.5	有	有	有	無	無	Ecoinvent
	PC	5.62	7.78	有	有	有	無	無	Ecoinvent
	HDPE	1.72	1.31	有	有	有	無	無	USLCI
			1.93	有	有	有	無	無	Ecoinvent
	LDPE	1.90	1.34	有	有	有	無	無	USLCI
			2.1	有	有	有	無	無	Ecoinvent
	PET	2.35	2.47	有	有	有	無	無	Ecoinvent
	ABS 樹脂	3.26	4.39	有	有	有	無	無	Ecoinvent
	水泥漆	1.28	2.86	無	有	有	無	無	Ecoinvent
	環氧樹脂	3.02	6.72	有	有	有	無	無	Ecoinvent
瀝青	0.103	0.43	有	有	有	無	有	Ecoinvent	

(資料來源:本研究整理)

## 第四章 研究成果

### 第一節 ABRI-LCC 四類碳足跡資料庫建置作業標準

如前述，本所 ABRI-LCC 資料庫未來應包含「初級資材碳足跡資料庫 P-LCC」，「建築構件碳足跡資料庫 B-LCC」、「景觀構件碳足跡資料庫 L-LCC」、「室內裝修碳足跡資料庫 I-LCC」等四類碳足跡資料庫，現階段僅有 P-LCC 較有較完整內容，其他三類碳足跡資料庫為未來有待發展擴充的內容。本 P-LCC 資料庫承蒙過去本所與科技部的長期支持，已發展二十餘年而有高信賴度的成果，同時也為地方政府、國家相關研究機構、國家工程、顧問公司廣泛引用，預期的困難均已解決。茲為了日後維護更新永續發展之目的，在此提出建置 ABRI-LCC 四類碳足跡資料庫的作業標準如下：

#### (一) 初級資材碳足跡資料庫 P-LCC 建置作業標準

1. P-LCC 所涵蓋的內容為 EN15978 所定義之「搖籃到工地」之範疇，應包含圖 3-6 所示 A1~A4 之碳排項目。
2. P-LCC 採用 PB 法建置而成，亦即對於任何資材並需繪出其製程步驟，再依每一製程之耗能量與碳排係數計算之，若由廠商可取得資材生產線全製程之總耗能量，則直接依此計算亦可。
3. 若該產品已有國內環保署或更高公信力機構之碳足跡盤查資料(通常包含 A1~A3 碳排資料)，則可直接採納並加入運輸碳排 A4 即可。運輸碳排 A4 之計算，依該產品之商品歸類由臺灣「汽車貨運調查報告」(交通部統計處，2011)選取平均運輸距離，乘上國內陸運碳排係數 0.129 kgCO<sub>2</sub>/tkm 來統計即可。
4. 若有環保署公告之產品碳標籤之碳足跡資料(通常包含 A1~A3 碳排與廢棄物處理碳排)，則扣除其中廢棄物處理階段碳排，再加入 A4 碳排計算即可，A4 碳排之計算法與上相同。
5. A1 原物料開採之碳排數據若無國內資料，可以 SimaPro 資料庫補足之。
6. 若為金屬材料產品，為考慮其回收碳排因素，統一以 20%之新金屬碳排與 80%之回收金屬碳排來換算成其碳排資料。

#### (二) 建築構件碳足跡資料庫 B-LCC 建置作業標準

「建築構件碳足跡資料庫 B-LCC」為搖籃到工地範疇、不含現場施工碳排的數據。儘管建築構件在組合程序上可能內含一些加工碳排，如攪拌、搬運、固定等小機器的碳排，但國際上均認為這些碳排均非常小而可以被省略。依據





再以三輪壓路機(10-12t)壓路，6. 再以二輪壓路機(6-8t)壓路，7. 再以履帶式平路機(寬 3.8m)整平路面，8. 再澆置 5cm 瀝青混凝土，9. 最後以 500E 鋪築機(17.7t) 壓路完成。此 8 程序中 2&8 的碎石與瀝青混凝土被歸入材料碳排計算範疇，其他有七程序必須依下累算其施工機具碳排。

3. 確立機具之單位時間工作量分與碳排放密度標準

機具之單位時間工作量亦即其工作效率，單位為每小時的工作量  $m^3/hr$  或  $T/hr$ 。此工作效率本來與土質、工作環境、作業循環時間、坡度、運距等條件有相當大差異，但是本研究界定的景觀工程僅局限於城鄉環境平野地區，這些地理土質條件相對單純而可以採用標準化條件來處理即可。本研究所採用的機具單位時間工作量分析法，完全依據「工程預算書編製原則及工料分析手冊」(行政院農委會水土保持局，2015)、「工料分析手冊」(台北市政府工務局，2010)或「水利工程工資工率分析手冊」(經濟部水利署，2014)之標準來計算，所採用的標準化條件乃依據一般建築開發用地情況設定，例如以普通土、平地、30m~40m 工作距離、一般機械作業效率、柴油碳排係數  $2.58kgCO_2/L$  來標準化此工作量與碳排放密度之計算。各施工機具所計算的單位時間工作量分與碳排放密度標準同列於表 4-1 中。

4. 由標準施工圖計算施工量與標準施工碳排放量

依上述機具施工程序，由標準施工圖可算出每一機具之施工量，再乘上其碳排放密度標準並累算之後，即成為該工程設施之施工碳排放量。上述瀝青混凝土道路之施工機具碳排放量計算範例如表 4-2 所示。

5. 計算最終構件碳排數據

最後標準施工圖可算出每一層初級原材料用量，其 A1~A4 的碳排數據可輕易由 P-LCC 取得，再加上前項施工機具碳排放量(即 A5 碳排)，即成為 L-LCC 之數據。

表 4-1 景觀工程常用機具施工碳排放標準

項目	機具名稱	規格	馬力 (KW)	燃料類別	機具能源耗用率	單位時間工作量	單位碳排	單位	備註
1	推土機	履帶式, 60-69kW	60-69	高級柴油	12.22 L/hr	44 m <sup>3</sup> /hr	0.72	kgco2e/m <sup>3</sup>	推土方
2	推土機	履帶式, 120-129kW	120-129	高級柴油	23.5 L/hr	66 m <sup>3</sup> /hr	0.92	kgco2e/m <sup>3</sup>	推土方
3	推土機	履帶式, 160-169kW	160-169	高級柴油	31.02 L/hr	88 m <sup>3</sup> /hr	0.91	kgco2e/m <sup>3</sup>	推土方
4	傾卸貨車	傾卸貨車, 重 15t	140~149	高級柴油	13.63 L/hr	2.02 m <sup>3</sup> /hr	17.41	kgco2e/m <sup>3</sup>	運距 40km, 時速 40km/hr
5	傾卸貨車	傾卸貨車, 重 21t	200~209	高級柴油	19.27 L/hr	3.24 m <sup>3</sup> /hr	15.34	kgco2e/m <sup>3</sup>	運距 40km, 時速 40km/hr
6	傾卸貨車	傾卸貨車, 重 35t	270~279	高級柴油	25.38 L/hr	4.86 m <sup>3</sup> /hr	13.47	kgco2e/m <sup>3</sup>	運距 40km, 時速 40km/hr
7	挖土機 PC120	0.40-0.49m <sup>3</sup>	60~69	高級柴油	12.22 L/hr	37 m <sup>3</sup> /hr	0.85	kgco2e/m <sup>3</sup>	挖土方
8	挖土機 PC200	0.70-0.79m <sup>3</sup>	70~79	高級柴油	14.10 L/hr	57 m <sup>3</sup> /hr	0.64	kgco2e/m <sup>3</sup>	挖土方
9	山貓鏟裝機	BobCAT 馬力: 61HP		高級柴油	2.5 L/hr	45 m <sup>3</sup> /hr	0.14	kgco2e/m <sup>3</sup>	碎石級配, 砂 t=10-15cm 整平
10	山貓鏟裝機	BobCAT 馬力: 61HP		高級柴油	2.5 L/hr	62m <sup>3</sup> /h	0.10	kgco2e/m <sup>3</sup>	回填碎石級配、土方
11	挖土機 PC45		28.2	高級柴油	4.2 L/hr	1.08 T/hr	10.03	kgco2e/T	堆砌石、卵石, 直徑 40-60cm
12	挖土機 PC120		60~69	高級柴油	12.22 L/hr	2.7 T/hr	11.68	kgco2e/T	堆砌石、卵石, 直徑 50-80cm
13	搗固機	回填土搗固機, 0.5t	5~5.9	高級柴油	1.03 L/hr	30 m <sup>3</sup> /hr	0.09	kgco3e/m <sup>3</sup>	
14	水車	淨載重 8t, 總重 15t	140~149	高級柴油	13.63 L/hr	150 m <sup>3</sup> /hr	0.23	kgco2e/m <sup>3</sup>	
15	挖土機 PC120	挖斗換打樁器	60~69	高級柴油	12.22 L/hr	12 支/hr	2.63	kgco2e/支	打木樁 l=150-220cm
16	挖土機 PC400	挖斗換打樁器 (開挖深度 2.5 倍以上)	202~246	高級柴油	34.44 L/hr	8 m/hr	11.11	kgco2e/m	打鋼板樁 l=7m
17			202~246	高級柴油	34.44 L/hr	6 m/hr	14.81	kgco2e/m	打鋼板樁 l=9m
18			202~246	高級柴油	34.44 L/hr	4 m/hr	22.21	kgco2e/m	打鋼板樁 l=13m
19			202~246	高級柴油	34.44 L/hr	2.5 m/hr	35.54	kgco2e/m	打鋼板樁 l=19m
20	打樁機	落錘式, 錘重 2.0~2.9t		高級柴油	12.00 L/hr	8 支/hr	3.87	kgco2e/支	
21	打樁機	落錘式, 錘重 4.0~4.90t		高級柴油	19.00 L/hr	12 hr/支	4.09	kgco2e/支	
22	混凝土攪拌輸送車	混凝土攪拌輸送車, 6M3	270	高級柴油	32.40 L/hr	6 m <sup>3</sup> /hr	13.93	kgco2e/m <sup>3</sup>	重力式澆置
23		混凝土攪拌輸送車, 6M3	270	高級柴油	32.40 L/hr	25 m <sup>3</sup> /hr	3.34	kgco2e/m <sup>3</sup>	混凝土泵浦車澆置
24		混凝土泵浦車, 25M3/時	270	高級柴油	34.62 L/hr	25 m <sup>3</sup> /hr	3.57	kgco2e/m <sup>3</sup>	
25		混凝土振動器	1.0~0.39	電	1.00 度/hr	25 m <sup>3</sup> /hr	0.02	kgco2e/m <sup>3</sup>	
26	瀝青	液化瀝青撒佈機, 1500CaL	170	高級柴油	23.80 L/hr	150 m <sup>3</sup> /hr	0.41	kgco2e/m <sup>3</sup>	
27	夯實機	手推式夯機, 0.5MT	5	高級柴油	0.70 L/hr	30 m <sup>3</sup> /hr	0.06	kgco2e/m <sup>3</sup>	
28	吊卡車(15t)	吊卡車(15t)	140~149	高級柴油	10.90 L/hr		5.62	kgco2e/T	運距 45km/T
29	機具載運	貨車, 重 21t	200~209	高級柴油	19.27 L/hr		7.40	kgco2e/T	機具的標準來回運距 45km/T

(資料來源: 本研究整理)

表 4-2 某瀝青路面施工機具碳排量計算範例 (15cm 碎石級配路基、5cm 瀝青混凝土路面)

項目	機具名稱	規格	馬力 (KW)	能源耗用率	單位時間工作量	單位碳排	單位
1	鋪築機 500E	2.4~4.8m 寬, 17.7t		28.00 L/hr	42 m <sup>3</sup> /hr	0.09	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
2	平土機	履帶式, 寬 3.6m	100~109	19.74 L/hr	98 m <sup>3</sup> /hr	0.08	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
3	二輪壓路機	6~8t	40~49	7.56 L/hr	80 m <sup>3</sup> /hr	0.04	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
4	三輪壓路機	10~12t	60~69	10.92 L/hr	80 m <sup>3</sup> /hr	0.05	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
5	膠輪壓路機	8.5~20t	60~69	10.92 L/hr	70 m <sup>3</sup> /hr	0.06	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
6	山貓鏟裝機	3t		2.5 L/hr	60 m <sup>3</sup> /hr	0.14	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>
7	手推式夯機	0.5t	5	0.70 L/hr	30 m <sup>3</sup> /hr	0.06	kgCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup>

(資料來源: 本研究整理)

(四) 室內裝修碳足跡資料庫 I-LCC 建置作業標準

「室內裝修碳足跡資料庫 I-LCC」為搖籃到竣工範疇, 必須內含現場施工碳

排的數據。室內裝修初級原材料的碳排可輕易由 P-LCC 取得，但其施工碳排很小且難以盤查計算，因此 I-LCC 必須為其代勞，以「標準化施工理論」將施工碳排內含於資料庫內以免其繁雜之計算。

室內裝修的施工可分為泥作類與金屬木作類兩類工程。泥作類工程之現場施工只是偶而使用攪拌機之小工具外，大部分都仰賴人力完成，其施工碳排微乎其微，但根據 PAS2050 規定，人力不被計入碳足跡，因此 I-LCC 省略泥作類工程之施工碳足跡計算。然而，金屬木作類工程常使用工作鋸台、線鋸機、電鋸、電鑽、打磨機、研磨機、拋光機等較大功率之切割、接合、研磨機具，其施工碳排較難以忽略，因此 I-LCC 的施工碳足跡只針對金屬木作類工程來計算而已，特此聲明。

I-LCC 的施工碳排，先以專業工匠問卷方式，針對室內裝修之單位構件整理出得出「標準工時」，單位為「人天/m」或「人天/m<sup>2</sup>」，再乘上「施工碳排密度 3.48 kgCO<sub>2</sub>e/人天」，如表 4-3 所示。此「施工碳排密度」，就是一個工匠在一單位工作天的施工排碳密度，是由本研究團隊過去調查四個室內裝修案例所得的機具碳排數據(參見林憲德，2018，第八章)。更具體的 I-LCC 建置作業標準如下：

1. 任一室內裝修構件必先繪製標準化的施工圖。
2. 由施工圖可詳細計算每一層之原材料量，並由 P-LCC 取得其每一原材料之碳排數據，全部累加之後即為該構件 A1~A4 合計之碳排數據。
3. 由該室內裝修構件之屬性可由表 4-3 取得該構件應有的施工碳排密度(此為 A5 碳排數據)。
4. 前兩項合計之後即為該構件之 I-LCC 數據。
5. 例如某一由石膏板、C 型鋼、玻璃棉所組成的輕隔間牆在 I-LCC 資料庫內的碳排數據計算法如表 4-4 所示。

表 4-3 以專業工匠問卷所統計之室內裝修「施工碳排密度標準」

答卷者代號 (工作經驗年資)		A (30 )	B (20 )	C (28 )	D (36 )	E (15 )	F (18 )	標準 工時 (人 天)	施工碳排密度	
序 號	裝潢木作種類	單位 人天單位 (人天) 問卷結果								
1	高 60~100cm 矮深櫃 (60cm 深，有門)	10m	8	9	9	10	6	7	8.2	2.85 kgCO <sub>2</sub> e/ m
2	高 60~100cm 矮深櫃 (60cm 深，無門)	10m	5	6.5	5	6	4	4	5.1	1.77 kgCO <sub>2</sub> e/ m
3	高 60~100cm 矮淺櫃 (30cm 深，有門)	10m	6	8	8	8	6	5	6.8	2.37 kgCO <sub>2</sub> e/ m
4	高 60~100cm 矮淺櫃 (30cm 深，無門)	10m	3	5	4	5	4	3	4.0	1.39 kgCO <sub>2</sub> e/ m

5	高 180~210cm 高深櫃 (60cm 深, 有門)	10m	11	14	10	11	8	11	10.8	3.76 kgCO <sub>2</sub> e/ m
6	高 180~210cm 高深櫃 (60cm 深, 無門)	10m	8	11	6	8	6	8	7.8	2.71 kgCO <sub>2</sub> e/ m
7	高 180~210cm 高淺櫃 (30cm 深, 有門)	10m	8	12.5	8	10	8	8	9.1	3.17 kgCO <sub>2</sub> e/ m
8	高 180~210cm 高淺櫃 (30cm 深, 無門)	10m	5	9	5	5	6	5	5.8	2.02 kgCO <sub>2</sub> e/ m
9	實木地板	10 m <sup>2</sup>	1	2	2	1.5	2	1	1.6	0.557 kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>2</sup>
10	辦公高架地板	10 m <sup>2</sup>	3	2	3	4	2	2.5	2.8	0.974 kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>2</sup>
11	和室高架地板	10 m <sup>2</sup>	3	1.5	5	6	2	2.5	3.3	1.15 kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>2</sup>
12	架高平鋪牆面、地板	10 m <sup>2</sup>	1	1	1.5	1	2	1	1.3	0.452 kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>2</sup>
13	辦公系統天花 (輕鋼架天花)	10 m <sup>2</sup>	0.5	0.5	0.5	1.5	1	0.5	0.8	0.278 kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>2</sup>
14	夾板木作平面天花	10 m <sup>2</sup>	1	1	1.5	2	2	1	1.4	0.487 kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>2</sup>
15	層板燈照明平面天花	10 m <sup>2</sup>	1.5	2	5	4	3	1.5	2.8	0.974 kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>2</sup>
16	12cm 木骨架合板隔間牆	10 m <sup>2</sup>	1	2.25	2	2	2	1	1.7	0.591 kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>2</sup>
17	C 型鋼矽酸鈣板隔間牆	10 m <sup>2</sup>	1	1.5	1	1.5	1	1	1.2	0.417 kgCO <sub>2</sub> e/ m <sup>2</sup>

(資料來源:本研究整理)

表 4-4 某輕隔間構件在在I-LCC資料庫內的碳排數據計算實例

	細項	碳排量 (kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> )	合計 (kgCO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> )
材料碳排	1. 雙面石膏板 1.2cm	5.16	18.89
	2. 上下槽鐵 75*40mm	7.47	
	3. C 型立柱 70x40x0.8mm@30cm	3.31	
	4. 玻璃棉 5cm	2.53	
施工碳排	現場施工碳排密度(取自表 23)	0.42	

(資料來源:本研究整理)

## 第二節 ABRI-LCC 構件資料庫發展計畫

前述研究的ABRI-LCC大多為鋼筋、水泥、玻璃由原物料簡單組成的初級建材，如混凝土、合板、矽酸鈣板、石膏板等，但在建築產業所使用的大多為輕隔間牆、貼磁磚、高架地板等多種建材組合而成的構件。這些構件的碳足跡很難由設計者自由組合計算而成。為了建築碳足跡產業推廣，本所應該積極建置此構件碳排資料庫，本研究建議此構件碳排資料庫為今後第二階段的發展計畫。

構件碳排資料庫之建置法並不困難，最重要之關鍵在於建置標準化的建築構建圖面資料，然後依此圖面系統累算其一次建材之碳排數據即可。雖然理論上構件在組合程序上內含一些加工碳排，如攪拌、搬運、固定等小機器的碳排，但是國際上均認為這些碳排均非常小而可以被省略。例如，RICS(2012)建議構件碳排資料庫之建置法如圖 4-1 所示，此法即為 ABRI-LCC 構件碳足跡資料庫的建置法。本研究團隊過去在本所支援下層零星建置了一些構件碳足跡資料，但尚未周全且未形成系統化之資料庫，希望本所未來長期計畫中能建置此構件系統之碳足跡資料庫。本研究建議未來 ABRI-LCC 構件資料庫的系統層級如圖 4-2 所示。

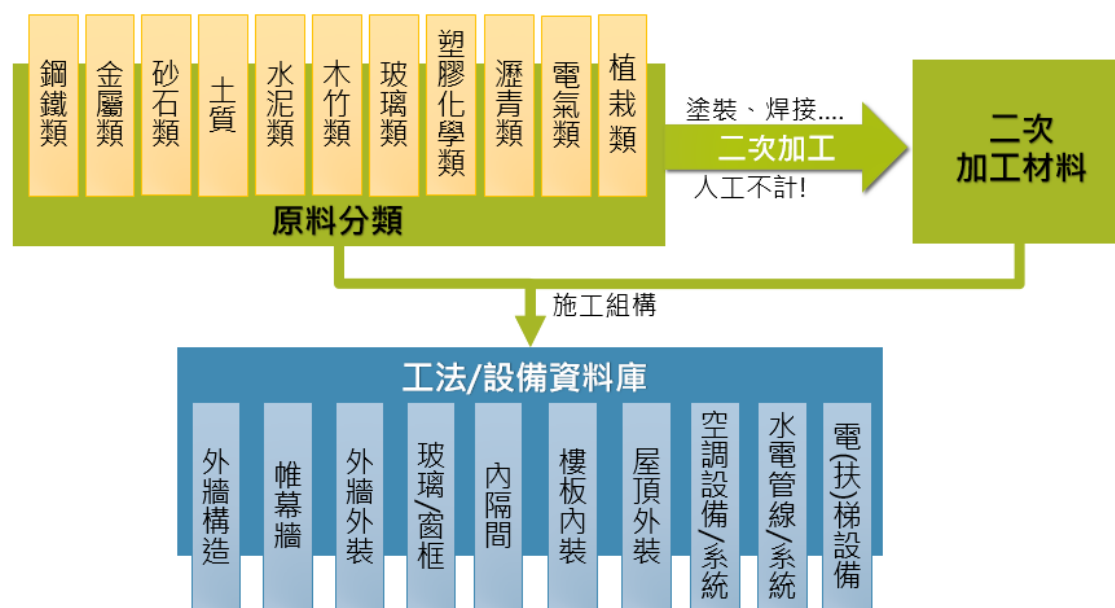


圖 4-2 ABRI-LCC 構件資料庫的系統層級建議

(資料來源:本研究整理)

### 第三節 ABRI-LCC 維護管理之規劃建議

#### 4-3-1. 綠建材標章制度結合 ABRI-LCC 之產業發展計畫

我國綠建材標章以「建材產品」為主體，是針對我國建材產業所設計的產業至產業（B2B）的認證制度。綠建材標章與我國許多以產業至消費者（B2C）為主的產品認證制度差異較大，也因此相對於其他相關建材標章（如環保署的環保標章），廠商申請的數量相對較高、市場的接受度亦較高。

圖 4-3 為綠建材與各層級產業的關係圖，本研究將產業與法規之體系由下而上，分成材料與構件層級、建築層級、規劃開發層級，以及指導政策層級。建材產業連結至建築設計產業，而建築設計產業則須都市規劃與開發商來帶動，最上層則是國家減碳相關政策所提供的驅動力。可以看出目前綠建材與建築技術規則、綠建築標章有所連結，提供了支撐綠建材產業良好的動力。然而，未來若能擴充至綠建築構件(工法)及綠建築設備，則可與綠建築標章，以及智慧建築標章有更好的連結，提供更多「建材系統」及「建材設備」產業申請標章的動力。

圖 4-4 為綠建材與綠建築標章的連結。在綠建材標章制度中，目前多以建材層級的產品為認證對象，由複數建材所組成的構法或系統較少，而綠建築標章中有大量的構造認定，常需要審查委員具備相當專業的審查。未來，綠建材標章若能依據目前於綠建築標章手冊中「綠建築新型技術認定」的精神，將建築構造(工法)與建築設備納入評定，除了可增加受理的範圍之外，更可減少綠建築標章評定時的專業審查需求，並縮短綠建築標章的評定時間。

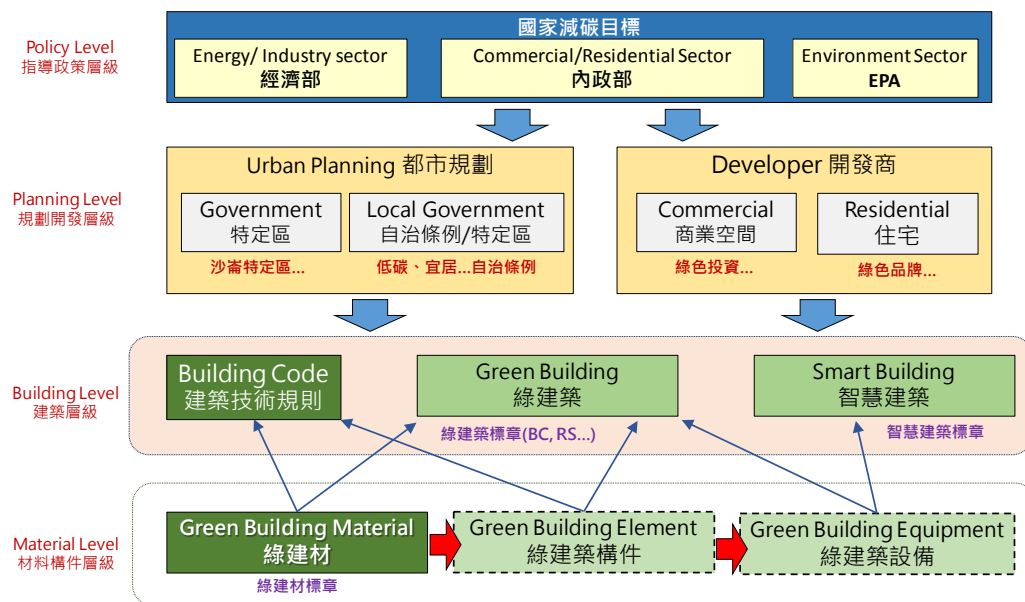


圖 4-3 我國綠建材標章與各層級產業的關係圖

(資料來源:本研究整理)

綠建材產品分類	評定項目	對應綠建築指標	得分項目
生態	■ 自然材料	室內環境 廢棄物減量 CO <sub>2</sub> 減量	■ (自然材料)其他生態建材 X5 ■ (木構造)減量係數 $\alpha_2$ ■ (木構造)輕量化因子wi
高性能 透水鋪面	■ 透水鋪面 ■ 滲透排水管 ■ 滲透陰井 ■ 滲透側溝	基地保水	■ 透水鋪面保水量 Q2 ■ 滲透排水管保水量 Q6 ■ 滲透陰井保水量 Q7 ■ 滲透側溝保水量 Q8
再生	■ 木質 ■ 石質 ■ 其他	廢棄物減量	■ 非金屬再生建材使用率 $\gamma$
		CO <sub>2</sub> 減量	■ 再生建材係數 R
健康	■ 低逸散	室內環境	■ 室內建材裝修 X4 ■ 其他生態建材 X5
高性能 防音	■ 隔音材 ■ 吸音材	室內環境	■ 音環境 X1
高性能 節能玻璃	■ 遮蔽係數 ■ 可見光反射率 ■ 可見光穿透率	日常節能	■ 窗平均遮陽係數 SF ■ 窗面平均日射取得量 AWSG

圖 4-4 我國綠建材標章與綠建築標章之連結

(資料來源:本研究整理)

#### 4-3-2. 低碳建築工法應用於綠建材全生命週期碳排評估

我國綠建材標章因應國內外對於綠色產品的評估趨勢，已將生命週期評估納入考量。然而，但目前的生態、健康、再生與高性能四分類，分別考量生命週期不同階段(圖 4-5)，亦被稱為「分段式生命週期評估」。綠建材標章解說與評估手冊(2015年版)即指出綠建材標章的內涵如下：

「綠建材標章」的內涵是依據建材生命週期「資源採取、製造、使用及修繕、廢棄或再生」的四個階段(圖 4-5)，歸納出四大分類與生命週期的對應關係如下：

- (一)資源採取與製造階段：秉持「取之於自然，用之於自然」原則，考量建材之天然性與低人工處理過程，以無匱乏之虞的天然材料經低人工處理過程製造及清潔生產，以求對環境無害、對人體無毒之天然建材，是為「生態綠建材」之範疇。
- (二)建材裝修使用階段：針對室內裝修材料的成分，以及塗裝、膠合等製造過程中，常使用含有或添加過多的甲醛或揮發性有機化合物。在台灣高溫高濕氣候條件下，這些有害化學物質之逸散量可能較溫帶國家來得高，直接影響人體健康與室內環境品質。管控此類建材對健康風險的危害程度，即為「健康綠建材」之範疇。
- (三)使用性能及效率提升階段：因應國內建築常見之問題如建築環境噪音、基地保水性不佳、玻璃帷幕外殼耗能、光害等問題，可藉由科學技術提升，改善問題，並提高建材性能效率，提升建築品質與生活環境之水準、降低整體能、資源的耗用，是為「高性能綠建材」之範疇。
- (四)廢棄再生階段：為達成營建廢棄物減量、建材再利用、再循環目標，在確保基本安全與功能性前提下，大量去化工農業廢棄物，提高廢棄材料

再利用率，資源永續，循環經濟，以達成永續循環社會，此為「再生綠建材」之範疇。

在這個分段式生命週期評估系統之下，許多綠建材可以不考慮其他生命週期階段對環境的影響，可說是較為狹義的評估系統。未來，若能在全生命週期評估的概念之下，藉由「低碳工法」將綠建材產品進行全生命週期的碳排彙整後評估，將可提供綠建材產品更多發展的契機。



圖 4-5 我國綠建材標章四大分類與建材生命週期的關係

(資料來源:本研究整理)

#### 4-3-3. 低碳建築工法之試算案例

低碳工法之定義：所謂「低碳工法」乃採用一些特殊技術將一些特殊建材組合成一種工程構件，與其他相同功能之一般基準工法在相同生命週期與同一「標準情境」下，足以減少相關活動之溫室氣體排放達某一「顯著基準」之一種工程構件。

本研究以連棟街屋作為試算案例對象（圖 4-6），依據本所 ABRI-LCC 資料庫進行建材生產與施工階段的碳排放量(EC)估算，而使用期間的 OC 計算，則採用建築動態耗能模擬軟體 EnergyPlus 進行。氣候區台南市、各項構造的基本條件設定如表 4-5 所示。耗能計算的部分，僅包含冷氣(設定為 27°C 以上開冷氣)，未設定任何內部負荷。

本研究採用 3 種屋頂隔熱工法進行試算，分別為 T1：面磚平屋頂；T2：鋼承板屋頂；T3：泡沫混凝土屋頂，各項設定條件以及依據本所 ABRI-LCC 資料庫進行建材生產與施工階段的碳排放量估算結果，如表 4-6~8 所示。

圖 4-7 為材料生產與施工階段之總碳排放量比較圖，可看出相較於 T1，T2



約可減碳 28.4%，T3 約可減碳 19.2%。然而，若以圖 4-8 所示的使用階段(60 年) 碳排放量而言，耗能量的差距在 0.3% 以下。

圖 4-9 為各項屋頂隔熱工法的全生命週期碳排放量統計。圖中可以發現使用期間的碳排放量佔了最大的比例，因此僅針對材料生產與施工階段來進行評估時，可能難以判斷建材對於建築物全生命週期的影響。

反觀我國綠建材標章制度，在未來新增的高性能隔熱綠建材當中，僅對「熱傳導係數」進行規範。然而，光以熱傳導係數實在難以判斷建材的碳排放量，若能以低碳工法的方式進行評估，除了可評估建材生產與施工階段的碳排放量，更可針對建材對建築全生命週期的影響。



圖 4-6 本試算案例之街屋 3D 示意圖(左)與平面圖(右)

(資料來源:本研究整理)

表 4-5 建築動態耗能模擬之基本設定條件

項目	材料	厚度 (m)	熱傳導係數 K(W/m·k)	密度 (kg/m <sup>3</sup> )	比熱 (J/kg·K)	熱傳透率 (W/m <sup>2</sup> K)
屋頂	面磚	0.01	1.3	2400	840	0.998
	黏貼材	0.005	1.5	1650	840	
	泡沫混凝土	0.10	0.17	600	1100	
	瀝青油毛氈	0.01	0.11	1020	900	
	水泥砂漿	0.015	1.5	2000	800	
	普通混凝土	0.15	1.4	2200	880	
	水泥砂漿	0.015	1.5	2000	800	
外牆	磁磚	0.01	1.3	2400	840	3.18
	水泥砂漿	0.015	1.5	2000	800	
	普通混凝土	0.15	1.4	2200	880	
	水泥砂漿	0.01	1.5	2000	800	
室內地板	水性油漆	0.003	1.5	1120	1020	1.438
	水泥砂漿	0.05	1.5	2000	800	
	普通混凝土	0.15	1.4	2200	880	
	橡膠隔音墊	0.005	0.33	1020	920	
	水泥砂漿	0.05	1.5	2000	800	
	地磚	0.0191	0.06	368	590	
天花板	地磚	0.0191	0.06	368	590	1.438
	水泥砂漿	0.05	1.5	2000	800	
	橡膠隔音墊	0.005	0.33	1020	920	
	普通混凝土	0.15	1.4	2200	880	
	水泥砂漿	0.015	1.5	2000	800	
	水性油漆	0.003	1.5	1120	1020	
室內隔間牆	石膏板	0.012	0.17	710	1130	0.683
	玻璃棉	0.05	0.044	200	840	
	石膏板	0.012	0.17	710	1130	
室內門	木頭	0.0254	0.15	608	1630	2.20
戶外窗	材料	厚度 (m)	熱傳透率 (W/m <sup>2</sup> K)	太陽日射取得率		可見光透過率
	清玻璃	0.003	5.9	0.87		0.9

(資料來源:本研究整理)

表 4-6 屋頂隔熱工法 T1 之構造設定

T1 面磚平屋頂 (R017)				
材料名稱	厚度m	細項碳排 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	總碳排 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	熱傳透率U
外氣膜			98.09	0.998
面磚	0.01	15.09		
黏貼材	0.005	2.64		
泡沫混凝土	0.1	20.34		
瀝青油毛氈	0.01	1.31		
水泥砂漿	0.02	9.05		
鋼筋混凝土	0.15	42.87		
水泥砂漿	0.015	6.79		
內氣膜				

(資料來源:本研究整理)

表 4-7 屋頂隔熱工法 T2 之構造設定

T2 鋼承板屋頂 (R004)				
材料名稱	厚度m	細項碳排 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	總碳排 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	熱傳透率U
外氣膜			70.20	0.379
橡膠防水氈	0.0015	0.045		
發泡聚乙烯	0.05	12.68		
鋼筋混凝土	0.1	28.58		
鋼承板	0.0015	26.07		
岩棉防火材	0.003	0.28		
空氣層	0.2	0		
礦纖版	0.012	2.54		
內氣膜				

(資料來源:本研究整理)

表 4-8 屋頂隔熱工法 T3 之構造設定

T3 泡沫混凝土屋頂 (R005)				
材料名稱	厚度m	細項碳排 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	總碳排 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	熱傳透率U
外氣膜			79.22	0.785
泡沫混凝土	0.15	30.51		
油毛氈	0.01	1.31		
鋼筋混凝土	0.15	42.87		
水泥砂漿	0.01	4.53		
內氣膜				

(資料來源:本研究整理)

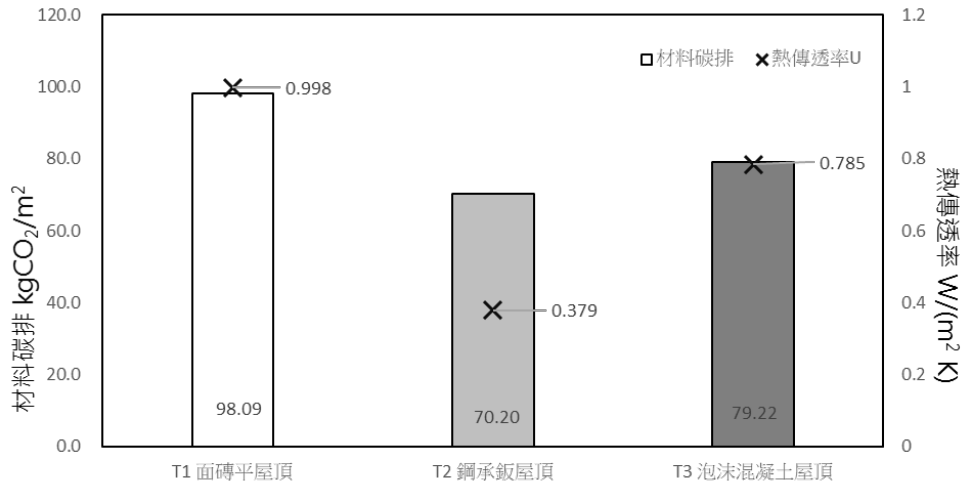


圖 4-7 材料生產與施工階段之總碳排放量

(資料來源:本研究整理)

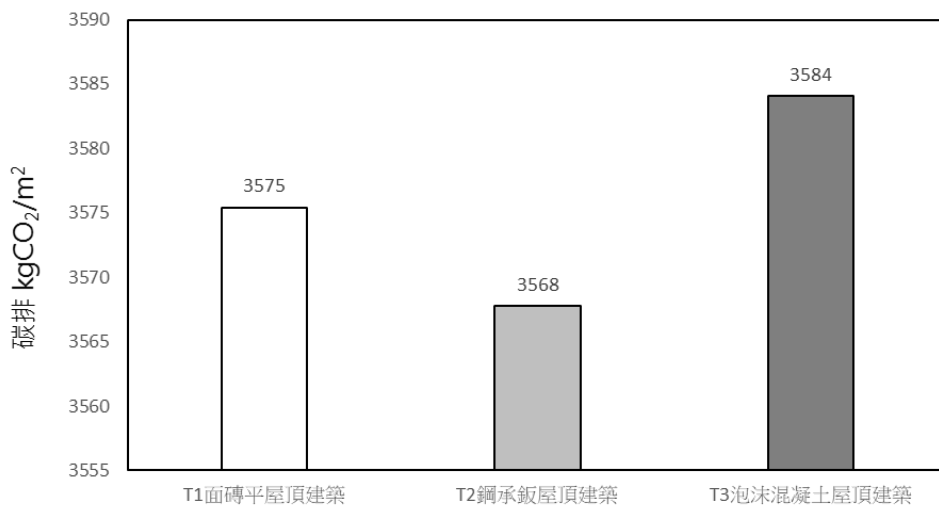


圖 4-8 使用階段(60年生命週期)之總碳排放量

(資料來源:本研究整理)

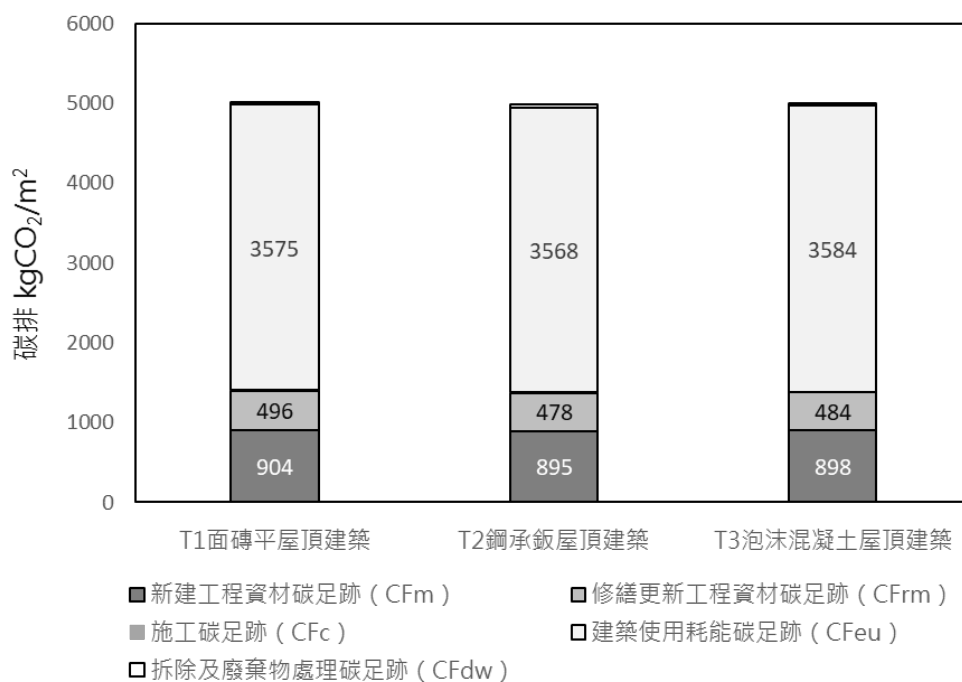


圖 4-9 各項屋頂隔熱工法的生命週期碳排放

(資料來源:本研究整理)

#### 4-3-4. ABRI-LCC 未來維護管理計畫

本研究於本年度所建置的 ABRI-LCC 資料庫系統，乃是依照 EN15978 所建議之蘊含碳排計算範疇而組構，其內部數據以製程盤查法(PB 法)計算而成。EN15978 所設定的生命週期項目如圖 3-6 所示，分為資材製造階段(包含 A1 材料開採、A2 材料運輸、A3 材料製造)、施工階段(包含 A4 成品運輸、A5 施工製程)、使用與維護階段(包含 B1 建材設備使用碳排、B2 維護、B3 修理、B4 更新、B5 改造、B6 能源使用、B7 水資源使用)、生命終結階段(包含 C1 拆解、C2 運輸、C3 廢棄物回收、C4 廢棄物最終處理)，四個階段共計 16 個項目。其中，本研究之建構的 ABRI-LCC 資料庫，主要是著眼於前述之資材製造與施工階段，意即為「搖籃到工地」與「搖籃到竣工」的兩種邊界條件。而為了讓 ABRI-LCC 資料庫於未來可作為我國建築相關產業碳足跡計算的共通標準，因此本研究依據泛建築生產專業範疇常見的施工項目，將其分為建築主體工程、室內裝修工程、戶外景觀工程等三個領域，作為資料庫建置之範圍，加上本研究室累積成果而建置的「初級資材碳足跡資料庫 P-LCC」，日後再建構「建築構件碳足跡資料庫 B-LCC」、「景觀構件碳足跡資料庫 L-LCC」、「室內裝修碳足跡資料庫 I-LCC」，預計今後共有四類碳足跡資料庫，而相關數據的維護良窳，則攸關評估工具的實用性與建築生命週期碳足跡的真實性。

綜合以上說明，為了精進碳足跡評估系統的準確性與現時性，未來在本所 ABRI-LCC 資料庫的維護方面，建議可採以下模式營運與相關資訊之更新：

- (一)在「初級資材碳足跡資料庫 P-LCC」的維護管理方面，建議可透過未來所內的後續相關研究、產業調查、營建業者的產學合作、跨域之工作坊等方式，充實與更新相關資材的一級數據。此外，對於部分原物料開採

之碳排數據引用國外資料者(例如引用 SimaPro 資料庫)雖屬暫時之權宜之計,但建議未來所方可與環保署「環境資源資料庫」、經濟部工業局之「產品環境足跡」等資料庫接軌,應隨時注意相關新資材數據建置之動向。另,在 A1-A4 之引用方面,應注意相關機關之碳足跡資料更新(例如公路貨運服務碳足跡公用係數為每兩年的更新)。

- (二)有關日後整備之「建築構件碳足跡資料庫 B-LCC」,其數據的境界條件以「搖籃到工地」為範疇,而不計算現場施工的碳足跡。因此在計算方面,理論上,可根據施工圖說計算各材料的數量,並由 P-LCC 找到材料的碳係數而後累算其碳足跡即可完成。但在現實上,建築工程無論是主體結構、外部裝修、設備系統等施作項目,大多使用二次加工以上之複合構件。因此,未來在資料庫的進一步整備上,藉由更充實的建材構件圖說以計算碳足跡實屬必要。是故,今後有賴廣泛收集所內有關工程圖說之研究報告(如工程組、安災組)、各代表性建築師事務所與廠商之局部詳圖、建築師公會團體所出版之標準圖說、公共工程會規範等藉以累算之。
- (三)「景觀構件碳足跡資料庫 L-LCC」、「室內裝修碳足跡資料庫 I-LCC」方面,亦如同前項 2 所述,關鍵在於累積建置標準化的室內/景觀之圖說資料。另,不同於「建築構件碳足跡資料庫 B-LCC」,室內與景觀的計算境界條件乃是從「搖籃到工地」為範疇,因此有必要針對其施工程序進行標準化的設定以利於計算碳足跡。本研究雖於本年度提出景觀工程常用機具施工碳排放標準(如表 4-1)、以及室內裝修施工碳排放密度標準,惟其需要持續累積相關資訊使之完整,故建議未來深化相關內容。

綜上所述,未來有關 ABRI-LCC 為護管理策略如下表 4-9 所示:

表 4-9 ABRI-LCC 為護管理策略

資料庫別	ABRI-LCC 資料庫維護策略	對應階段項目				
		A1	A2	A3	A4	A5
P-LCC	充實本土之資材一級數據	●	●	●	●	
	定時更新環保署或更高公信力機構碳足跡資料	●	●	●		
	取代現有資料庫內國外之原材料開採的碳排數據	●				
	定時更新交通運具之碳排數據				●	
B-LCC	收集建材/設備之標準圖說以計算碳足跡	●	●	●	●	
I-LCC	收集室內/景觀之標準圖說以計算碳足跡	●	●	●	●	
L-LCC	建構景觀常用機具與室內裝修施工碳排放密度標準					●

(資料來源:本研究整理)

## 4-3-5. 建築產業碳足跡服務平台計畫

本團隊建基於長年的碳足跡相關研究之累積，於本年度已完成第一階段適於內政部建研所專屬之建材碳足跡資料庫系統 ABRI-LCC。而我國在 2015 年 6 月 15 日經立法院會三讀通過《溫室氣體減量及管理法》後，明文規範台灣溫室氣體長期減量目標為 2050 年的溫室氣體排放量要降為 2005 年的 50% 以下，且未來環保署將可參考《聯合國氣候變化綱要公約》等相關國際公約實施溫室氣體總量管制及排放交易制度等，在相關政策規劃與執行方興未艾之際，內政部建研所所提出之 ABRI-LCC，相信對今後國家之低碳行動世界接軌有深遠之幫助。而資料庫之建構，一方面可更透明而準確地評估台灣各種建築之生命週期碳足跡之餘，藉由碳資料之公開，亦對地方政府之環保政策與相關產業之綠色競爭力有所提升。

本研究建議本所仿效環保署，正式成立「建築產業碳足跡服務平台」專案，並委託相關專業負責該平台之維護、擴充、研發，該平台的特色與功能如下：

- (一) 該平台未來應與公共工程委員會在公共工程低碳評估作業的接軌與交流，可望成為國內土木、營建、建築、景觀工程的碳足跡計算標準，也可成為國內環境影響評估的碳足跡計算標準，避免過去因資料來源不明、資料過時而各單位的碳足跡揭露資訊不可比較、缺乏信賴之困擾。
- (二) 該平台提供業界最新可靠之碳足跡資料庫，並可以低廉收費方式出具最新合格 ABRI-LCC 碳足跡資料證明書，以消除國內各單位使用來源不明、缺乏時效的碳足跡資料，可提升國內碳足跡評估報告的信賴度與可比較性。
- (三) 該平台可鼓勵並輔導我國資材廠商自行調查生產量與耗能結構，推算出精確的碳排量，進而發展低碳工法與低碳建材，促進產業的永續發展競爭力。
- (四) 該平台可提供低碳建材與與低碳建築的評估認證服務，輔導建築開發者找出低碳潛力，降低建築整體之生命週期負荷。
- (五) 本所目前因應世界先進潮流，正拓展「建築能源標示制度」、「近零碳建築認證」，同時目前 LEED、BREEAM、Green Star 等國外知名綠建築評估系統，已經把建材部分的減碳評估採用優惠評估制度，我國應可利用本優異 ABRI-LCC 資料庫，於綠建築制度中納入碳足跡的優惠評估法，同時也可考量以生命週期法與「建築能源標示制度」結合引入「低碳建築認證制度」，使台灣成為世界第一個擁有碳足跡標示之綠建築制度的國家。
- (六) 依據「碳揭露」的精神，未來藉由碳足跡服務平台，協助內政部地政司方面制訂不動產交易法，鼓勵房屋交易機制中含括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。





## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究的目的是在於建立內政部建築研究所專用的「建築碳足跡資料庫系統」，可用於未來發展低碳建材碳足跡認證、建築節能減碳評估、建築產業碳足跡計算的國家標準。

本研究已完成本計畫所有包含

#### (一)建立 ABRI-LCC 四類碳足跡資料庫作業標準

ABRI-LCC 資料庫包含「初級資材碳足跡資料庫 P-LCC」、「建築構件碳足跡資料庫 B-LCC」、「景觀構件碳足跡資料庫 L-LCC」、「室內裝修碳足跡資料庫 I-LCC」等四類，在此提出建置 ABRI-LCC 四類碳足跡資料庫的作業標準。

#### (二)ABRI-LCC 構件資料庫發展計畫

為了建築碳足跡產業推廣，本所應該積極建置此構件碳排資料庫，本研究建議此構件碳排資料庫為今後第二階段的發展計畫。

#### (三)ABRI-LCC 維護管理之規劃建議

##### 1. 綠建材標章制度結合 ABRI-LCC 之產業發展計畫

未來若能擴充至綠建築構件(工法)及綠建築設備，則可與綠建築標章，以及智慧建築標章有更好的連結，提供更多「建材系統」及「建材設備」產業申請標章的動力。

##### 2. 低碳建築工法應用於綠建材全生命週期碳排評估

未來若能在全生命週期評估的概念之下，藉由「低碳工法」將綠建材產品進行全生命週期的碳排彙整後評估，將可提供綠建材產品更多發展的契機。

##### 3. 提出 ABRI-LCC 維護管理策略

依各類別提出相關資訊更新對應階段項目方向。

資料 庫別	ABRI-LCC 資料庫維護策略	對應階段項目				
		A1	A2	A3	A4	A5
P-LCC	充實本土之資材一級數據	●	●	●	●	
	定時更新環保署或更高公信力機構碳足跡資料	●	●	●		
	取代現有資料庫內國外之原材料開採的碳排數據	●				
	定時更新交通運具之碳排數據				●	
B-LCC	收集建材/設備之標準圖說以計算碳足跡	●	●	●	●	
I-LCC	收集室內/景觀之標準圖說以計算碳足跡	●	●	●	●	
L-LCC	建構景觀常用機具與室內裝修施工碳排密度標準					●

(資料來源:本研究整理)

#### (四)建築產業碳足跡服務平台計畫

建議本所仿效環保署，正式成立「建築產業碳足跡服務平台」專案，委託相關專業負責該平台之維護、擴充、研發，該平台的特色與功能如下：

1. 接軌公共工程委員會於公共工程之低碳評估作業，可望成為國內土木、營建、建築、景觀工程的碳足跡計算標準。
2. 提供業界最新可靠之碳足跡資料庫，並可出具最新合格 ABRI-LCC 碳足跡資料證明書，提升國內碳足跡評估報告的信賴度與可比較性。
3. 鼓勵並輔導我國資材廠商自行調查生產量與耗能結構，推算出精確的碳排量，進而發展低碳工法與低碳建材，促進產業的永續發展競爭力。
4. 提供低碳建材與與低碳建築的評估認證服務，輔導建築開發者找出低碳潛力，降低建築整體之生命週期負荷。
5. 可利用本優異 ABRI-LCC 資料庫，於綠建築制度中納入碳足跡的優惠評估法，同時也可考量以生命週期法與「建築能源標示制度」結合引入「低碳建築認證制度」，使台灣成為世界第一個擁有碳足跡標示之綠建築制度的國家。
6. 藉由碳足跡服務平台，協助內政部地政司方面制訂不動產交易法，鼓勵房屋交易機制中含括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。

## 第二節 建議

以上本研究已建成第一階段屬於本所專用的建材碳足跡資料庫系統 ABRI-LCC，未來將建置「建築產業碳足跡服務平台」，建議本所依此建立 ABRI-LCC 維護發展之體系與策略，對施政之助益可預期如下：

### 建議一

#### 建立建築產業碳足跡服務平台：立即可行性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

「建材碳足跡資料庫系統」提供各項建材本土化、科學量化之碳排數據，應繼續維護發展，定期更新維護，以成為國內土木、營建、建築、景觀工程的碳足跡計算標準，也可成為國內環境影響評估的碳足跡計算之查核標準，建議未來相關資料以服務平台之方式呈現及對外服務，以提升國內建築產業碳足跡揭露資訊與政策之信賴性，並作為政府相關部門執行溫室氣體減量、低碳社區、環境影響評估或零能源建築等政策之重要參據。

### 建議二：

#### 綠建材標章相關講習可納入碳足跡概念及計算方式：立即可行性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

以本研究為基礎，綠建材標章制度未來可突破原本之窠臼，直接轉型升級，以低碳地球永續為目標，分為綠色材料、綠色構件及綠色設備等三大類之評估系統，建議在相關宣導講習活動納入相關議題，加強推廣、凝聚共識。



## 附錄一 歷屆工作會議記錄

國立成功大學「建築材料碳足跡資料系統建置之研究」專家座談會

壹、時間：2019年5月17日下午1時30分

地點：內政部建築研究所討論室(一)

主席：林憲德教授

記錄：黃詠琦

出席人員：詳簽到表

貳、議程：

### 一、主席報告

為因應溫室氣體減量及管理法與綠建築二氧化碳評估指標，建置建材與建築構件之碳排資料庫將為未來重點。

### 二、專家意見

1. 建議建立優異減碳產品登錄制度並建置其碳排資料庫。
2. 碳排數據資料庫未來是否能與BIM結合。
3. 請說明碳足跡施行後的實質效益。
4. 若為高性能建材亦是高碳排建材，此種建材如何認定。
5. 本計畫之碳排資料來源為何
6. 由碳足跡資料庫求得之評估結果是否能與國際接軌。

### 三、主席結論

1. 配合低碳工法認證制度建立低碳建材資料庫。
2. 未來會有能源標示制度能將減碳效益量化。
3. 低碳建才之認定方式為：相同種類的材料、工法相比之下所得出之減碳比。
4. 本案建材碳排盤查邊界為搖籃到工地，無法預期購買者會如何使用故不採用搖籃到墳墓之盤查方式。

### 四、散會

國立成功大學「建築材料碳足跡資料系統建置之研究」專家座談會  
簽到單

一、時間：108年5月17日（星期五）下午1時30分

二、地點：內政部建築研究所討論室（一）

（新北市新店區北新路3段200號13樓）

三、主持人：林憲德教授 林憲德 記錄：黃詠琦

四、出席人員：

- |            |            |
|------------|------------|
| • 台北市建築師公會 | <u>蔡仁毅</u> |
| • 李魁鵬教授    | <u>李魁鵬</u> |
| • 張矩墉建築師   | <u>張矩墉</u> |
| • 黃秀莊理事長   | <u>黃國倉</u> |
| • 楊欽富董事長   | <u>鄭宜平</u> |
| • 饒允政理事長   | <u>饒允政</u> |
| • 高文婷組長    | <u>高文婷</u> |
| • 陳清茂科長    | <u>陳清茂</u> |
| • 黃國倉教授    | <u>黃國倉</u> |
| • 鄭宜平理事長   | <u>鄭宜平</u> |

五、列席人員：

- |            |            |                    |
|------------|------------|--------------------|
| • 內政部建築研究所 | <u>鄧明其</u> | <u>姚志廷</u>         |
| • 蔡耀賢教授    | <u>蔡耀賢</u> | • 楊詩弘教授 <u>楊詩弘</u> |

## 附錄二 期中報告回應

一、時間：108年7月10日(星期三)下午2時30分

二、地點：本所簡報室

建議	回覆
<p>楊董事長欽富：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 同意建立搖籃到基地之國際建材碳足跡資料規範。碳足跡盤查會隨生產技術的提升有所改變。</li> <li>2. ABRI-LCC 在材料分類上，可再分結構材、裝飾材、景觀材等類別。可否有植栽類之碳足跡，如何算？有機會加進來嗎？</li> <li>3. 建議培育人才最重要，另外必須要有專業機構來維護管理。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝肯定</li> <li>2. ABRI-LCC 材料分類碳排，納入未來計畫中。植栽類 ABRI-LCC 碳足跡算法在本人出版”建築產業碳足跡”中有詳細交代，因為碳排數據眾多，在報告書中無法一一詳述。</li> <li>3. 培育人才可納入未來發展計畫中。</li> </ol>
<p>張建築師矩墉：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 建材的碳足跡資料在全球氣候變遷永續議題的氛圍下，相當重要。對於本研究應予大力支持與肯定。</li> <li>2. 本案如果系統建立之後應持續更新維護，使其能維持正確與信賴，並持續宣導周知讓各界應用。</li> <li>3. P.12 表 3-1，下方說明 PB 法有誤，打成"BP"法。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝肯定</li> <li>2. 遵照辦理</li> <li>3. 謝謝指正，將修改。</li> </ol>
<p>黃理事長秀莊</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 目前在探討建築材料碳足跡的參考書，國內參考書很少，都是外國書籍，所以建立碳排產品登錄制度並建置其碳排資料庫是應該加速建立，俾供建築設計及使用者的參考。對應品之不清楚，大眾如何能減碳？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 感謝肯定</li> </ol>

<p>陳委員瑞鈴</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. 本案從擇定最適本土之碳排盤查統計法到蒐集整理各項材料、設備、構件等全生命週期之碳排資料，以建立完成台灣營建材料碳足跡資料庫，工作龐雜艱辛，誠屬不易。且將是內政部建研所不容忽視之重要成果之一。</li><li>2. 簡報pp檔提及建築產業碳排佔比約33.4%。係將住商部門碳排全部納入建築產業計算，惟其中電器設施設備能耗(碳排)佔比相當高，是否合理？</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 感謝肯定</li><li>2. 建築產業碳排佔比約33.4%為住商部門碳排22.4%，加上建材10%之計算，若是建築之電器設備碳排應已包含在住商之內。</li></ol>
--	--



### 附錄三 期末報告回應

一、時間：108 年 10 月 23 日(星期三)上午 9 時 30 分 整

二、地點：本所簡報室

建議	回覆
<p>黃理事長秀莊：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究案將來應做出能源標示制度能將減碳效益量化，提供業界參考。</li> <li>2. P. 59 表 4-5 建築動態耗能模擬之基本設定條件：表內天花板之材料磁磚部分應換成別的材料。室內牆面材料目前應有別的材料。室內地板也應列入隔音材料，雖然是案例分析，也做些比較。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 遵照辦理(詳報告 P67)</li> <li>2. 遵照辦理(詳報告 P58)</li> </ol>
<p>張建築師矩墉：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在溫減法的架構下，本案的研究其重要性自不可待言，而 LCC 系統資料庫能迅速建立起來，成效卓著。</li> <li>2. 本研究內容中英文縮寫頗多，如 LCI、LCC、LCA.....，建議是否加一個縮寫的索引方便閱讀。</li> <li>3. P. 22 表 3-9 目前一般的鋼構所使用鋼板組合的斷面非 RH，是否都包括於型鋼項目中？</li> <li>4. 日後資料庫的更新維護將如何執行，是由服務平台單位操作嗎？更新頻率如何？透過何種程序公布？可否加以說明。</li> <li>5. 簡報 P. 17 用搖籃到基地、搖籃到驗收 P. 27 用搖籃到工地、用搖籃到竣工，建議各詞統一。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝肯定</li> <li>2. 遵照辦理(詳報告 P77)</li> <li>3. 基於類似原則，應可適用無誤。</li> <li>4. 此更新維護計畫將於未來碳足跡服務平台計畫案中明確化(詳報告 P67)</li> <li>5. 將統一為搖籃到工地與搖籃到竣工(詳報告 P34)</li> </ol>
<p>台灣省建築材料商業同業公會聯合會王總幹事榮吉：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 符合預期成果。</li> <li>2. 建築產業建材碳排放量約佔全國碳排 1%，能依細目、項目、產品種類，</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝肯定</li> <li>2. 此為引用外國資料，該資料無細部分類，請原諒。</li> <li>3. 該部分請建研所於未來計畫中釐</li> </ol>

<p>能詳列供作參閱、參考之用。</p> <p>3. 低碳建材是否能納入綠建材之一？</p>	<p>清。(詳報告 P67)</p>
<p>孫教授振義：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究成果符合預期成果需求。</li> <li>2. 可酌予補充「建築材料碳足跡資料庫」更新維護週期之建議。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝。</li> <li>2. 此更新維護計畫將於未來碳足跡服務平台計畫案中明確化。(詳報告 P67)</li> </ol>
<p>陳科長清茂：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 溫減法等二階段減碳目標要達成相當具挑戰性。本案可以貼近建築實際碳排情況，有助於住商部門的減碳效果。</li> <li>2. 因使用環保署公告碳足跡資料，其差異及作業標準，未來如有供大眾查詢，宜先考量完整性。</li> <li>3. 國外建材碳排資料如何轉換成計算？</li> <li>4. 再生之循環經濟未來是否予以考量。</li> <li>5. 綠建材標章結合連結與展現構想再予規劃。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 謝謝</li> <li>2. 遵照辦理</li> <li>3. 進口資料目前無法計入外國運至台灣碳排，這與日本排除計算書任碳排一樣，現皆對應套用國內標準處理之。</li> <li>4. 再生之循環經濟為舊建材或再生建材之使用，未來可以使用比例採用扣除製造階段而只計入參數碳排來模擬，將可給予優惠計算。</li> <li>5. 此項應納入建研所計畫中處理。(詳報告 P67)</li> </ol>
<p>陳委員瑞鈴：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究建構完成之「建材碳足跡資料庫系統」提供各項建材本土化、科學量化之碳排數據，可作為政府相關部門執行溫室氣體減量、低碳社區、環境影響評估或零能源建築等政策之重要參據。惟為維護確保資訊揭露之公信力，應即建立該系統之維護更新機制落實管理。</li> <li>2. 以本研究為基礎，綠建材標章制度可突破原本之窠臼，直接轉型升級，以低碳地球永續為目標，分為綠色材料、綠色構件及綠色設備等三大類之評估系統。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 此更新維護計畫將於未來碳足跡服務平台計畫案中明確化。(詳報告 P67)</li> <li>2. 此項應納入建研所未來計畫中處理。(詳報告 P67)</li> </ol>
<p>江建築師星仁：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 碳足跡揭露對於設計單位恐造成不小負擔，未來請先評估財務成本的</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 因為是比照綠建材獎勵制度，在低碳建材認證上應可推行無誤，但在低碳建築揭露上應可考慮簡化評估而以</li> </ol>

<p>可行性，再繼續推動碳足跡計算。</p> <p>2. 成果報告引用 IPCC 2007 年 AR4 文獻，建議也參考 2013 年 AR5 文獻。</p>	<p>不造成負擔為原則。</p> <p>2. 遵照辦理。(詳報告 P81)</p>
<p>鄭主任秘書元良：</p> <p>1. 碳足跡資料庫未來若規劃移交本所，請針對數據更新、維護管理方式等提出具體建議。</p>	<p>1. 此更新維護計畫應視本所人力、第三機關與推廣制度而異，建議於未來另立碳足跡服務平台計畫案中明確化。(詳報告 P67)</p>



## 附錄四 中英文索引

	英文	中文
1	ABRI-LCC	建築碳足跡資料庫系統
2	aggregation error	組合誤差
3	B-LCC	建築構件碳足跡資料庫
4	BPS(Building Performance Simulation)	建築效率模擬
5	BREEAM	英國綠建築評估系統
6	BREEAM (Building Research. Establishment's Environmental Assessment Method)	英國綠建築評估系統
7	CFP-PCR	建築物碳足跡產品類別規則
8	Common Carbon Metric	通用建築碳排放計量方法
9	Consumption Based Accounting	消費基礎會計帳
10	CSR(Corporate Social Responsibility)	企業社會責任
11	DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen)	德國永續建築評估系統
12	Direct Energy	直接能源
13	EC(Embodied Carbon)	蘊含碳排
14	EE(Embodied Energy)	蘊含能源
15	general-purpose database	通用型碳排資料庫
16	Green Star	澳洲綠建築評估系統
17	Grey Energy	灰色能源
18	Guidelines for Life Cycle Assessment: A Code of Practice	生命週期評估指引
19	H. P. L(High Pressure Laminate)	美耐板
20	Haute Qualité Environnementale	法國高質量環境評估系統
21	heat balance equations	熱平衡公式
22	Hidden Energy	隱藏能源
23	high glossy lacquer	鋼琴烤漆板
24	Hybrid Method	複合法
25	IEA(International Energy Agency)	國際能源署
26	I-LCC	室內裝修碳足跡資料庫
27	Indirect Energy	間接能源
28	IO(Input-Output Method)	產業關連表統計法

29	IPCC	政府間氣候變化專門委員會
30	ISRI(Institute of Scrap Recycling Industries)	美國廢料工業協會
31	LCBA (Low Carbon Building Industry Alliance)	低碳建築聯盟
32	LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)	美國綠建築評估系統
33	L-LCC	景觀構件碳足跡資料庫
34	Low-E 玻璃 (Low Emissivity Glass)	低輻射率玻璃
35	OC(Operation Carbon)	使用碳排
36	OE(Operation Energy)	使用能源
37	PB(Process Based Method)	製程盤查法
38	P-LCC	初級資材碳足跡資料
39	Production Based Accounting	生產基礎會計帳
40	RICS (Loyal Institute of Chartered Surveyors)	英國皇家章程鑑定組織
41	Royal Institute of Technology	瑞典皇家工程學院
42	SETAC(Society of Environmental Toxicology and Chemistry)	毒物化學環境協會
43	SRI(Social Responsible Investment)	社會責任投資
44	truncation error	切斷誤差
45	UNEP(United Nations Environment Programme)	聯合國環境規劃署

## 參考書目

### 中文文獻：

1. 王松永，1996，《木材利用與環境保護》，木質構造建築之結構與室內居住性研討會論文集
2. 王松永，羅盛峰，2016，木質材料生命週期之二氧化碳排出量及碳足跡評，林產工業35(2)，p67~80
3. 台北市政府工務局，2010，工料分析手冊
4. 交通部統計處，2011，《中華民國台灣地區汽車貨運調查報告》
5. 卓志隆，2013，對環境友善之森林效益收穫作業與技術開發(1/3)成果報告。行政院農委會林務局委託計畫。
6. 張又升，2002.06，「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
7. 塗三賢，2007，《台灣地區木構造住宅對碳貯存與二氧化碳減量之貢獻》，台灣大學森林環境暨資源學研究所
8. 劉漢卿，1994，《建築生命週期能源消費與溫室氣體排放量分析》，成功大學建築研究所碩士論文。
9. 林憲德，2018，「建築產業碳足跡」，詹氏書局

### 日文文獻：

1. 日本建築士連合會，1994，《建築のライフサイクル設計》，日本建築士連合會
2. 日本建築學會，1992，《建築が地球環境に與える影響》日本建築學會建築と地球環境特別研究委員會
3. 日本建築學會，2013，《建物のLCA指針》，日本建築學會
4. 酒井寬二，1992，《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
5. 酒井寬二，1993，《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

### 英文文獻：

1. BSI (2011) BS EN 15978: Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings calculation method, London: British Standards Institution.
2. Bureau of international Recycling, 2018, WORLD STEEL RECYCLING IN FIGURES 2013 - 2017
3. IEA, 2016, Evaluation of Embodied Energy and CO<sub>2</sub>eq for Building

- Construction (Annex 57) , Subtask 1: Basics, Actors and Concepts , Programme of Research and Development on Energy in Buildings and Communities, Institute for Building Environment and Energy Conservation
4. IEA, 2016, Evaluation of Embodied Energy and CO<sub>2</sub>eq for Building Construction (Annex 57) , Subtask 2: A Literature Review , Programme of Research and Development on Energy in Buildings and Communities, Institute for Building Environment and Energy Conservation
  5. IEA, 2016, Evaluation of Embodied Energy and CO<sub>2</sub>eq for Building Construction (Annex 57) , Subtask 3: Evaluation Methods of Embodied Energy and Embodied GHG Emissions in Building and Construction , Programme of Research and Development on Energy in Buildings and Communities, Institute for Building Environment and Energy Conservation
  6. IPCC, 2007, the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change
  7. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change
  8. Hammond, G. P. et al. 2002, (2008) Embodied energy and carbon in construction materials. Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Energy, 161 (2). pp. 87–98. ISSN 1751–4223
  9. Manish K. Dixit, 2017, Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters , Renewable and Sustainable Energy Reviews , Volume 79
  10. Moncaster A. M. & Song J-Y. (2012): A comparative review of existing data and methodologies for calculating embodied energy and carbon of buildings, International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development, 3:1, 26–36
  11. Moncaster A. M. etc., Embodied Carbon Measurement, Mitigation and Management Within Europe, Drawing on a Cross-Case Analysis of 60 Building Case Studies , Embodied Carbon in Buildings , 20 Chapter , Embodied Carbon in Buildings, Springer
  12. Pomponi, Francesco and Moncaster, Alice (2018). Scrutinising embodied carbon in buildings: The next performance gap made manifest. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 81(2) pp. 2431 – 2442
  13. RICS, 2012, Methodology to calculate embodied carbon of materials, information paper , UK
  14. RICS, 2017, professional standards and guidance, Whole life carbon assessment for the built environment 1st edition, November, UK
  15. Tatsuo Oka, 2013, Evaluation of Embodied Energy and Carbon Dioxide Emissions for Building Construction, IEA-ECBCS, Technical Seminar, ROME
  16. Victoria M., et al. 2017, Carbon and cost critical elements of buildings : a comparative analysis of two office buildings, University of Salford, Manchester, UK
  17. Victoria M., et al. 2018, Carbon and cost hotspots, an embodied carbon management approach during early stages of design, 11 Chapter, Embodied Carbon in Buildings, Springer.



18. Wolf C. De, Simonen K. and Ochsendorf J., 2018, Initiative to Report and Reduce Embodied Carbon in North American Buildings , 21 Chapter , Embodied Carbon in Buildings, Springer,
19. Zizzo Strategy, 2017, Embodied Carbon in Construction, Policy Primer for Ontario, The Atmospheric Fund (TAF)





**建築材料碳足跡資料系統建置之研究**

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、蔡耀賢、楊詩弘、尤巧茵、黃詠琦

出版年月：108年12月

版次：第1版

I S B N：978-986-5448-16-5 (平裝)