

「2022 中華民國營建工程學會第二十屆營建產業永續發展研討會」

不同建材建物生命週期碳排與環境衝擊初步估算

吳政庭(Cheng-Ting Wu)

台北科技大學 土木工程系 學生

謝政廷(Zheng-Ting Xie)

台北科技大學 土木工程系 學生

陳怡君(Yi-Jun Chen)

台北科技大學 土木工程系 學生

陳起鳳(Qi-Feng Chen)

台北科技大學 土木工程系 副教授

摘要

因應全世界2050淨零排放目標，我國也著手研擬新法律以及相關政策，各部門都需在未來達到不只減碳甚至淨零排放目標。其中營建部門的排碳量占世界總排碳量1/3，相較於其他部門，營建產業要達到淨零目標更為困難。過去營建業的碳排多以使用階段為評估範圍，但逐漸納入生命週期概念，從原料取得直至廢棄或再利用都應納入評估。因此本研究利用生命週期評估軟體openLCA，初步評估不同建材結構物在其生命週期中的碳排放以及環境衝擊。本次所探討的建材為常見的鋼筋混凝土結構、鋼骨結構以及木構造，並以一層約30坪三房一廳的基本格局作為評估案例。分析結果三種建材中碳排放量由大到小為鋼骨結構>鋼筋混凝土>木構造。鋼骨結構的環境衝擊，包含非生物破壞、酸化、優養化、臭氧層破壞等也是最高。本研究初步成果僅作為不同建材的生命週期評估比較，後續再提出相關改善建議，提供不同建材減碳以及降低環境衝擊的作法。

關鍵詞：碳排放、RC構造、木構造、鋼結構、OpenLCA

Preliminary estimation of life cycle carbon emissions and environmental impacts of different building materials

Abstract

In recent years, global warming and climate change have forced all creatures on the earth to pay the price one by one. Therefore, the awareness of environmental protection is bound to rise, and all building materials are moving towards the goal of

zero emission, including civil and disaster prevention engineering, electronics and automobile industries. As a civil engineering and building complex, the most important thing is the choice of building materials for houses. Some of them emit a very large amount of carbon dioxide and toxic substances in manufacturing. After years of accumulation, the impact on the entire environmental pollution is very considerable. The core of this discussion is the carbon emission problem between steel structures, RC structures and wooden structures. There are also many construction methods on the market to reinforce and improve various materials. The team will conduct a detailed analysis on this issue. After comparing the materials, make the public realize the importance of environmental protection. In this study, OpenLCA will be used for auxiliary calculation, and the building materials to be used will be used to integrate environmental problems from manufacturing to construction through OpenLCA software, and analyze the impact performance of each building material.

一、前言

在極端氣候加劇趨勢下，減少溫室氣體排放一直都是重要的議題。但由於減碳強度仍然不足，國際能源組織(International Energy Agency, IEA)在2021年提出需在2050年達到淨零排放(Net Zero by 2050)目標，才有機會將全球溫度的上升限制在1.5⁰C內，使世紀末氣候與環境衝擊控制在可容受範圍內。因此各國開始承諾要實現淨零排放，我國現正研擬的新法「氣候變遷因應法」，就是從原有的「溫室氣體減量與管理法」，配合新的國際目標而產生更具有減碳強度的法律。聯合國環境署在最新2022年報告指出建築部門使用36%的能源，佔全球37%的能源使用碳排放量。又統計世界樓地板面積從2010年至2019年成長了21%，顯示建築部門要達到淨零排放更是艱鉅。因此建築部門需從建材原料取得、施工建造、使用維護，乃至於廢棄或再利用等整個生命週期中，須檢討可行減碳策略，以符合世界與我國政策目標。

營建產業減碳作法很多，本研究以生命週期的概念，初步評估比較幾種常見建材，如鋼筋混凝土、鋼骨結構、木造結構等不同建材的建築物，其碳排與環境衝擊比較，以量化數據為基礎，呈現不同建材的差異。並從其中檢討可改善之方向與建議，使碳排放量以及環境衝擊得以降低。但本研究僅單純以建材本身的差異來比較，不討論施工或其他差異。

二、研究方法

2.1 研究案例

本研究採用一般常見格局的建物，以一層30坪三房一廳的格局，利用鋼筋混凝土、鋼骨及木材三種不同的常見建材做對比，呈現各種建材之生命週期並進階探討其碳排放對整體環境之影響。案例圖示以及尺寸如下圖1、圖2與表1。本研究

不考慮基礎結構以及內部裝潢，僅以結構物本身進行比較，也不討論不同施工方法，僅單純表現不同建材的差異。另外，表2為此三種建材的初步比較表，包含材料、成本、壽命等。

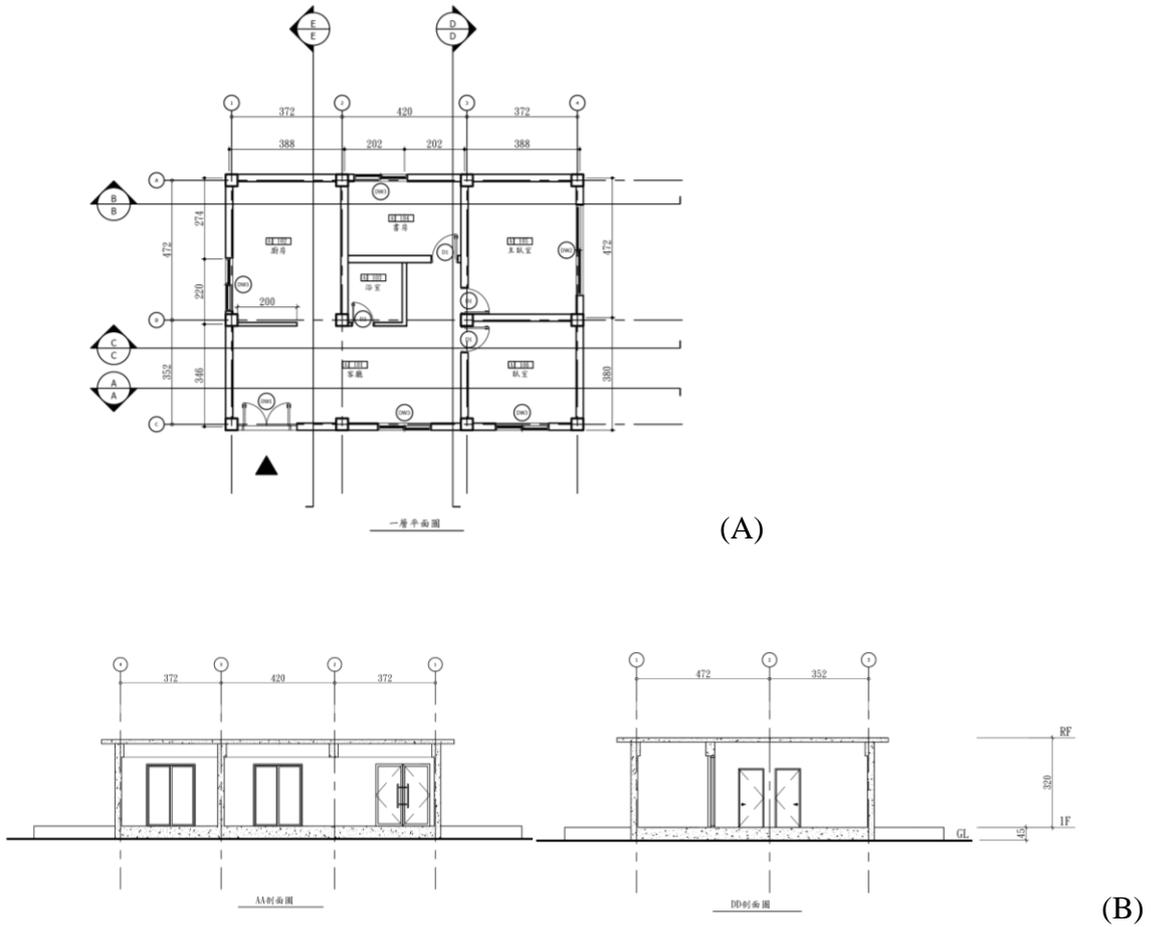


圖1 案例建物格局圖(A) 平面圖 (B) 立面圖



圖2 案例建物外觀示意圖

表1 案例建物尺寸

項目名稱	尺寸(cm)
台階	45
屋頂	15
樓高	365
牆	24
隔間牆	12
柱	40 * 40
梁	25 * 60
大門(DW1)	200 * 240
臥室門(D1)	90 * 210
浴室門(D2)	75 * 210
落地窗(DW2)	180 * 230
落地窗(DW3)	305 * 230

表2 不同建材比較

建材	鋼筋混凝土	鋼結構	木構造
主要材料	鋼筋、混凝土	鋼骨	木材
一般成本	6~7 萬(坪)	8~10 萬(坪)	1~2 萬(坪)
碳排放	普通	多	少
舒適度	冬冷夏熱	冬冷夏熱	冬暖夏涼
壽命	25~50 年	10~15 年	75 年以上
附加效益	無	無	天然木材芬多精
長期影響	1.混凝土年久易風化造成鋼筋剝離 2.恐逐漸被取代	1.鋼受潮易生鏽 2.恐逐漸被取代	1.木材受潮易腐蝕 2.白蟻問題

2.2 研究方法

本研究欲探討建築物建材的生命週期。雖建築物的生命週期需考量從原料至廢棄階段，但包含運輸、施工等有過多因素，本研究僅單純以建材比較，將建材視為產品，即討論此產品生命週期的影響。

生命週期評估範圍極廣，然市面上已有不少生命週期評估軟體，內建龐大資料庫，可透過軟體之資料庫取得各式材料(或產品)的生命週期影響。本研究使用的生命週期評估軟體為OpenLCA。OpenLCA 為公開免費的軟體由Jutta Hildenbrand, Michael Srocka, Andreas Citroth在2006年設計而成，可依自身需求下載資料庫進行計算，資料庫有免費以及付費者，免費資料庫亦有相當程度的數據可供使用。另外該軟體也具有GIS整合系統的功能，可以選擇產品是在哪一個地區製作，計算出來的LCA也會不相同。目前這個軟體已經多國使用且有相當多的案例，但國內似乎尚無此軟體使用經驗。本研究透過這個軟體計算出一棟房子對於環境的汙染有多少，進而討論如何改善。另外，也使用國內碳排放係數進行計算，比對兩者之間的差異。

三、結果與討論

3.1 碳排放結果

根據本案例建物尺寸，首先計算所需建材數量：

1. 鋼筋(RC)： $0.46\text{t}/\text{坪} \times 30\text{坪} = 13.8\text{t}$

混凝土：柱：12根 \times 柱尺寸 \times 牆高 = 5.86m^3 、梁：梁總長 \times 梁尺寸 \times 牆高 = 10.48m^3 、牆：牆總長 \times 牆深 \times 牆高 = 29.76m^3 、隔間：隔間總長 \times 隔間牆深 \times 牆高 = 2.08m^3

總計： 48.18m^3

資料來源：工業局之鋼筋使用單位係數

2. 鋼骨(SC)： $0.157\text{t}/\text{m}^2 \times 30\text{坪} \times 3.3058\text{m}^2 = 15.56\text{t}$

混凝土：柱：12根 \times 柱尺寸 \times 牆高 = 5.86m^3 、梁：梁總長 \times 梁尺寸 \times 牆高 = 10.48m^3 、牆：牆總長 \times 牆深 \times 牆高 = 29.76m^3 、隔間：隔間總長 \times 隔間牆深 \times 牆高 = 2.08m^3

總計： 48.18m^3

假設鋼骨及鋼筋使用之混凝土總數相同。

資料來源：浚利鋼鐵材料股份有限公司之鋼骨使用單位係數。

3. 木造(Timber)：11.82t

資料來源：TIMBERPOLIS之估算資料庫。

將此所需建材鍵入OpenLCA，對應材料為：鋼筋混凝土 (RC)、鋼骨結構 (SC)、木造(Timber)。資料庫選擇agribalyse_v301資料庫查找所需材料，下列為所需入的材料名稱：

1. 鋼筋混凝土 (RC)：Reinforcing steel {RER}| production |、Concrete, normal {CH}| unreinforced concrete production, with cement CEM II/A |。
2. 鋼骨結構 (SC)：Building, hall, steel construction {CH}| building construction, hall, steel construction |、Concrete, normal {CH}| unreinforced concrete production, with cement CEM II/A |。
3. 木造(Timber)：Cleft timber, measured as dry mass {RoW}| hardwood forestry, oak, sustainable forest management |。

分析結果如下圖3。依照此圖可得知，三種建材中碳排放量由大到小排序為鋼骨結構、鋼筋混凝土、木構造。根據OpenLCA軟體計算之結果為鋼筋混凝土35,206 kgCO₂、鋼骨結構44,434 kgCO₂、木造360 kgCO₂。

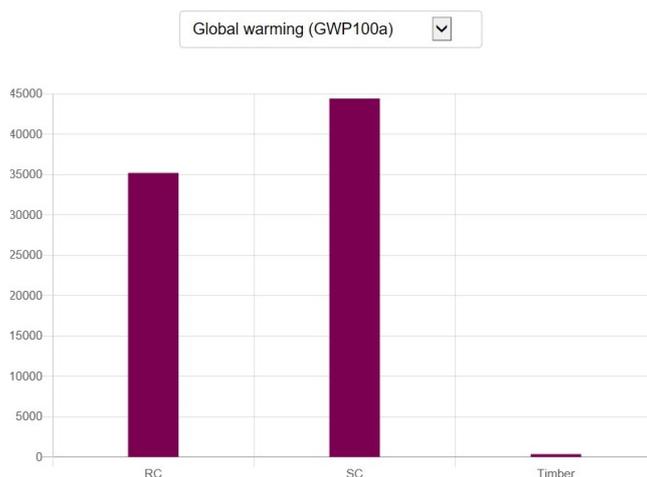


圖3 不同建材全球暖化潛勢(碳排放量)

另外若根據國內建材的碳排係數，所計算之結果為鋼筋混凝土 18,768 kgCO₂、鋼骨結構 46,176 kgCO₂、木造 0。與國內碳排放係數計算出的結果中，鋼骨結構差異小，鋼筋混凝土差異較大，而木造結構來自於大自然，國內並無相關的碳排放係數可參考，且多是討論森林的碳吸存能力，因此將木造碳放係數視為 0。而 openLCA 的結果也僅為 360kgCO₂。

表3 採用國內碳排放係數計算結果

	碳排放係數	材料使用量	碳排放量	資料來源
鋼筋	0.84 (kgCO ₂ /tf)	13.8 (tf)	11592 (kgCO ₂)	行政院公共工程委員會
混凝土	148.95 (kgCO ₂ /m ³)	48.18 (m ³)	7176 (kgCO ₂)	行政院公共工程委員會
鋼骨	2.5 (kgCO ₂ /tf)	15.6 (tf)	39000 (kgCO ₂)	經濟部工業局
木材	0	11.8 (tf)	0	TIMBERPOLIS

3.2 環境衝擊結果

除了全球暖化潛勢外，此三種建材的環境衝擊結果如下圖4。整體來說，RC與SC對環境衝擊影響相似，但以SC衝擊較高，木造結構衝擊最小。RC與SC的環境衝擊在不同面向。如RC結構對於Fresh water aquatic ecotox、Human toxicity、Photochemical oxidation、Terrestrial ecotoxicity的影響最大，影響最小的則是Abiotic depletion。而SC結構造成的主要環境衝擊Abiotic depletion, Abiotic depletion (fossil fuels)、Acidification、Eutrophication, Global warming, Marine aquatic ecotoxicity, 以及Ozone layer depletion。木造基本上環境影響低，僅在Photochemical oxidation有稍微較明顯影響。

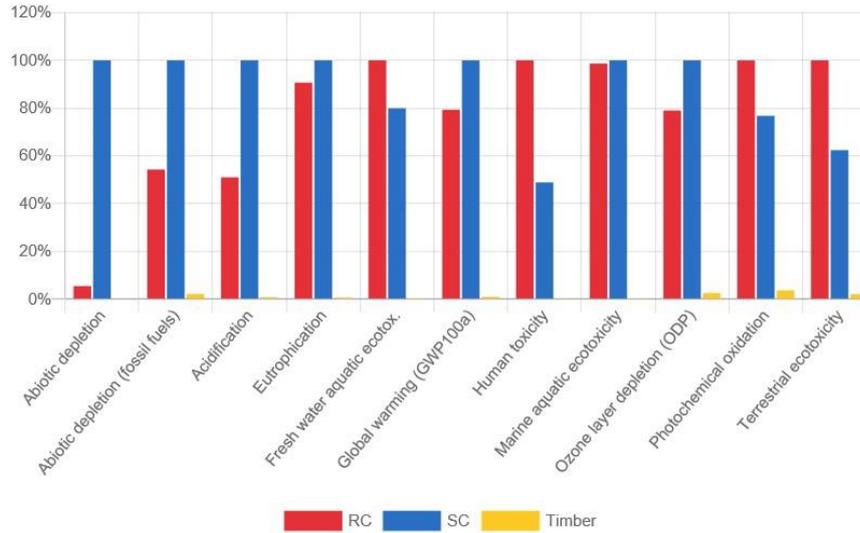


圖4 不同建材環境衝擊比較

3.3 建材減碳建議

混凝土碳排放量最大的影響因素為水泥的使用，故在同一設計強度下且不影響工作性質的情況下，若能提高水泥材料的取代性則有最高的減碳效果。例如使用自充填混凝土SCC來減少水泥使用，該方法是採用大量卜作嵐材料（水淬高爐石粉、飛灰）取代水泥（約至 45%）拌合而成，能有效地減少碳排放量。另外，大理石基無機聚合綠色混凝土，使用大理石、礦山廢料和多種無害的工業廢棄物或副產品(燃煤飛灰、水淬高爐石粉等)拌合而成，與傳統卜特蘭水泥比較每一立方公尺最多可減少50.3%之二氧化碳排放量，且有助於減緩鋼筋腐蝕情況，若能普及使用就能減少碳排放量及混凝土對於環境的衝擊。

鋼骨質量對於鋼筋相對輕很多，且它的用途廣、使用壽命長又可多次回收再利用，這樣能永續使用的建築材料對環境的災害也相較於輕。如若想再減少鋼骨所造成的碳排放，可以從原物料的生產、運輸、施工方法上進行減碳行動。

木材雖能固碳，但在早期台灣過度仰賴木材進口，在運輸上其實排放了更多的二氧化碳，因此使用進口木材，反而在生命週期考量下有排放碳之虞。因此木造結構的排碳問題不在木材本身，而是運送過程的排碳量。目前許多國家正朝向自產自銷的目標邁進，目的是減少產品的碳足跡、增加了國內所得，更縮短了運輸的距離。在未來不但要健全森林的生態系統、提高木材的自給率、改善國內經濟，也必須善盡對環境友善之責任。若考量到節能減碳，則可以多利用木材取代鋼骨、混凝土等高耗能材料，並提升木材的利用率以減少廢料。

四、結論

透過OpenLCA和國內碳排放係數之比較，可知木材的碳排放為最少，鋼筋混凝土及鋼骨結構為多，然後現實中卻無法只建木構造。在建材的取得到製造的各

階段都有排放碳的過程，除了建材的選擇外，將效益放大化才是永續作法。目前有許多建築材料朝向環保發展，而同時又能兼具材料本該有的性質，像是強度、耐久性及防火時效等等，結合材料的特性，創造出更多專一導向的材料。各個結構材料都已有更加環保經濟的替代建材，像是碳纖維混凝土、輕鋼構或是橡膠木，不但結構強度不輸傳統建材，也是一種更加環保經濟的替代建材。未來亦可嘗試評估不同改良材料的碳排放與環境衝擊，有助於營建產業邁向淨零排放目標。

五、參考文獻

1. OpenLCA官方網站。
2. 賽斯·高汀，2022，圖解全球碳年鑑：一本揭露所有關於碳的真相，並即時改變之書。
3. 鄭大偉，國立臺北科技大學資源工程研究所，低碳排放之無機聚合綠色水泥及混凝土製備研究。
4. 蕭棠文、陳盈如、許富蘭，林業試驗所森林化學組，木質廢棄物再資源化對減碳的貢獻。
4. 吳致呈、陳俊達，中鋼公司新材料研發處，綠色鋼材在生命週期之減碳效益。
5. International Energy Agency, Net Zero by 2050. A Roadmap for the Global Energy Sector.
6. UNEPA 2022, 2021 Global Status Report For Buildings and Construction. Towards a zero-emission, efficient and resilient buildings and construction sector.