

電動自行車輪胎生產之碳足跡研究
A study of carbon footprint for the production
of a tire of electric bicycle
黃國勳、邱維銘、錢玉樹*
Kuo-Shiun Huang, Wei-Ming Chiu, Yu-Shu Chien*

國立勤益科技大學化工與材料工程系
Department of Chemical and Materials Engineering,
National Chin-Yi University of Technology
E-mail : kobe77919@yhoo.com;cwm@ncut.edu.tw;yschien@ncut.edu.tw*

摘要

本研究以橡膠製作電動自行車輪胎的過程為例，使用 SimaPro7.3 軟體與 PAS2050 規範為分析工具進行盤查，分析橡膠製作輪胎的過程中各階段所排放的碳足跡，分析結果如下：在每一個重量為 1.2 kg 的電動自行車輪胎，在生命週期中的總排碳量為 4.53 Kg CO₂e，輪胎原料階段排放量 2.63 Kg CO₂e、製造加工階段排放量 1.295 Kg CO₂e 及運輸階段排放量 0.605 Kg CO₂e，上述數據與第三者國際公證機構所查驗的數據為 4.59 Kg CO₂e 相互比較，準確度達 98.7%，證明本研究方法正確。本文也以不同 GWP 20、GWP 100 與 GWP 500 標準對電動自行車輪胎製程在原料階段、製造階段與運輸階段之排碳量分析，由分析結果得知 GWP 標準值越少對環境衝擊的影響越大，並符合文獻所發表結果。另外，與本研究相關企業也可藉此分析結果對排碳量較多的原料或製程另尋替代方案，進而達到碳排放量有效降低之目的。

關鍵字詞：碳足跡、生命週期評估、SimaPro7.3軟體、PAS2050 規範

Abstract

This research, on the basis of PAS2050 and using SimaPro7.3 software, inquire and analyze the emission carbon footprint for the production steps of a tire of electric bicycle by using the rubber materials. Our analyzed results as following: based on 1.2 Kg tire of the electric bicycle product, total emission carbon footprint is 4.53 Kg CO₂e which is composed of the emission carbon footprint 2.63 Kg CO₂e by tie materials steps, the emission carbon footprint 1.295 Kg CO₂e by the tie manufacturing, and the emission carbon footprint 0.605 Kg CO₂e by the tie transportation. Our result, 4.53 Kg CO₂e, is according to the verified results as the total emission carbon footprint is 4.59 Kg CO₂e by the international notarize organization. The accuracy of our method attains 98.7% that demonstrates that our method can be work. Furthermore, we found a result as the more emission carbon footprint by the production a tire, the more strictly standard of GWP by comparing the three simulated results based on GWP 20, GWP 100 and GWP 500. Additionally, our results are helpful to improve the emission carbon footprint of the materials or manufacturing step for production the tire of the electric bicycle of the relative enterprise.

Keywords: Carbon footprint、Life Cycle Assessment、SimaPro7.3 software、PAS2050 standard

* 本文通訊作者(yschien@ncut.edu.tw)

1. 前言

聯合國政府間氣候變遷專家委員會(Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC)指出，全球平均表面溫度持續升高，隨之而來的氣候變遷跡象將日趨顯著。而全球氣候逐漸變暖的現象有 90%以上是因為人類活動導致溫室氣體濃度增加所致，其中二氧化碳是最主要的影響因素，而碳足跡可被定義為用以衡量經濟活動所產生或是產品的整個生命週期過程所累積直接與間接產生的溫室氣體總排放量，為落實溫室氣體排放管制工作，1997 年 12 月於日本京都舉行第三次締約國大會，通過具有約束力的京都議定書(Kyoto Protocol)，以規範工業國家未來對溫室氣體減量之責任，並於 2005 年 2 月 15 日正式生效[1]。

由於各國對此議題之關注亦越來越重視，而為達到溫室氣體管理及減量排放之目的，國際間目前已發展出數種減量機制和輔助之工具，其中產品碳足跡係利用生命週期之方法計算其溫室氣體排放量數據，藉此幫助各企業可以重新檢視產品於各生命週期階段之減量空間，亦可達到碳揭露及產品間排放量比較之目的，幫助消費者落實綠色消費[2]。

產品碳足跡是指單一產品在原料開採階段、製造階段、使用階段和廢棄階段，從「搖籃到墳墓」的過程稱 BTC(Business to Consumer)，或是產品從原料開採階段，製造階段、到成品完成運輸到下一個企業，從「搖籃到大門」的過程稱 BTB(Business to Business)，因能資源的使用或製程導致的溫室氣體排放量如圖 1 所示：

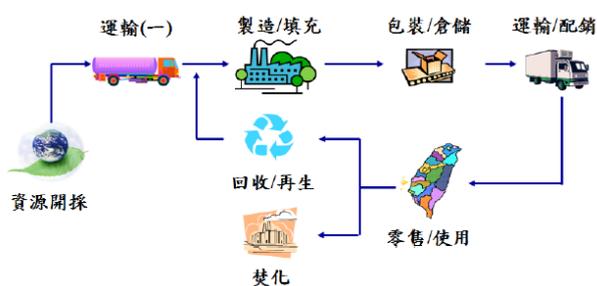


圖 1.產品碳足跡完整的生命週期過程(環保署 2009) [3]

對於產品製造過程所導致的環境衝擊，各界以關注歐盟實施方法的公告居多，針對本身之產品、工廠與供應商，全面進行環境資訊盤查，並透過生命週期工具或方法，評估產品對環境衝擊之影響，並針對產品與現有環保標章之規格進行符合性評估，以了解產品現狀，進而調整產品開發與設計方向，藉此可以向國外買家證明廠商在生態化設計的努力，也可以提升企業形象與品牌競爭力[4]。

台灣地區因為產業高度的工業化，經濟蓬勃發展，工業減廢及垃圾資源等課題均受注視，有鑑於溫室氣體造成全球暖化對環境之破壞之問題日趨嚴重，節能減碳已經變成一種趨勢，所以碳足跡的觀念也變的越來越重要。

在現今台灣普及的交通工具使用率中，輪胎的使用率與替換率也逐年增高，導致我國每年大約產生 10 萬公噸廢輪胎[5]，所以本文係以台灣一家輪胎工廠之實際生產流程為依據，參考文獻[6]設定系統邊界，目的是研究電動自行車輪胎的生命週期，並探討電動自行車輪胎對環境衝擊的影響，企業也可藉此研究的分析結果，對排碳量較多的原料或製程另尋替代方案，進而達到節能減碳的目的。本文也以不同 GWP 20，GWP 100 與 GWP 500 標準對電動自行車輪胎製程在原料階段、製造階段與運輸階段之排碳量分析，由分析結果得知 GWP 標準值越少對環境衝擊的影響越大，並符合文獻所發表結果[7] [8]。

2.研究方法

研究方法首先經廠商同意後到現場了解實際流程，並實地盤查工廠，蒐集所有輪胎工廠上下游的數據，經 SimaPro7.3 軟體碳足跡分析後，並與第三者國際公證機構所分析數據非常接近，也確認研究方法與結果是正確的。

2.1 研究流程

電動自行車輪胎的碳足跡分析探討是以製程原料階段、製造階段、運輸階段為主要分析對象，其中製造階段又可以細分成三個階段，分別為場內製造階段、混煉工程階段和蓋膠工程階

段，混煉工程跟蓋膠工程皆是屬於場外前置作業，因此分析結果也涵蓋。研究流程如圖 2 所示：

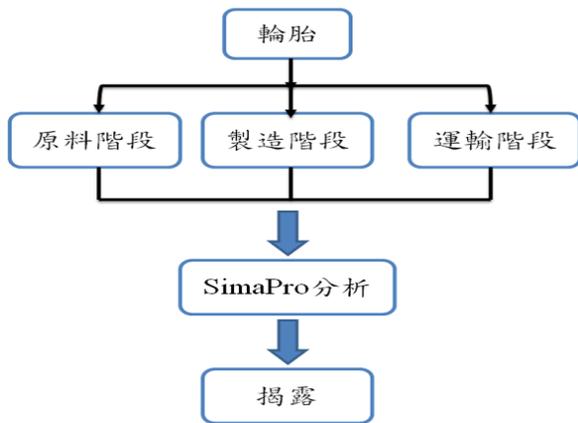


圖2.研究流程圖

2.2 系統邊界設定

本產品的碳足跡盤查範圍屬 B to B (Business to Business)，盤查活動計算範疇為搖籃到大門 (Cradle to Gate)。並依產品 BOM 表展開，自元件/零件之原料開採與製造、組件之製造組裝、產品組裝與包裝至運送至客戶端為止。

2.3 輪胎製程流程圖

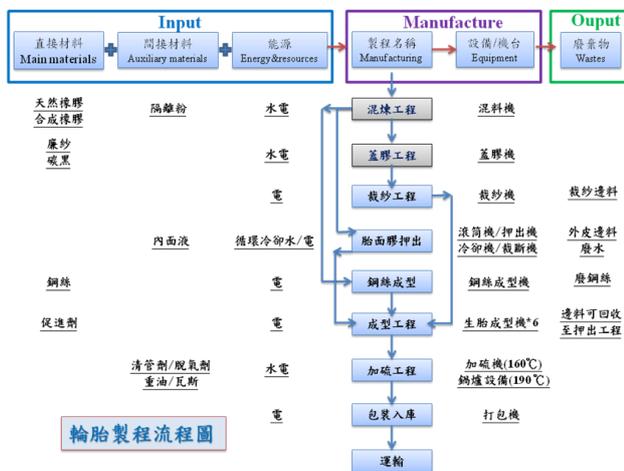


圖 3.輪胎製程流程圖

2.4 材料階段

由實際原料的組成成份表展開，在原料階段組成成分直接材料與間接材料，直接材料的組成成份有天然橡膠、合成橡膠、碳黑、促進劑、鋼絲和簾紗，且依其比例計算，將產品 BOM 表中的所有材料進行實際之溫室氣體排放盤查，並引用 SimaPro 資料庫之數據依 PAS2050[9]所規範的各項標準程序[10][11]進行盤查，所得結果如表 1 所示。間接材料的組成成份有內面液、脫氧劑、清管劑和重油，亦使用相同之方法與標準進行，所得結果如表 2 所示。原料階段各數據都是實地

盤查工廠所得來的，數據取十二個月並按照比例原則，推算出每 1.2 Kg 電動自行車輪胎的物質比例，並使用 Simapro 軟體運算其排碳量。

2.5 製造階段

以 LCA 盤查表方式彙整場內外相關資料，混煉工程跟蓋膠工程是屬於場外前置作業，因此製造階段會分成三個階段分析如：場內製造階段、混煉工程階段和蓋膠工程階段，在混煉工程階段使用的能資源有電力和隔離劑，在蓋膠工程階段使用的能資源只有電力，場內製造階段使用的能資源有電力、自來水和液化石油氣，各別分析結果後再加總成製造階段。所得結果如表 3 所示，製造階段的能資源數據，都是實地盤查由工廠提供，數據取十二個月並按照比例原則，推算出每 1.2 Kg 電動自行車輪胎的物質比例，並使用 simapro 軟體運算其排碳量。

2.6 運輸階段

計算運輸所產生之溫室氣體排放當量，需得知所運送的物品重量及運送距離。在重量部分，輪胎總重量每 pcs 為 1.2 Kg，運送路線、平均距離和車種，如表 4 示。運輸階段的數據，都是實地盤查由工廠提供，並使用 Simapro 軟體運算其排碳量。

3. 結果與討論

3.1 以 GWP 100 為基準之產品碳足跡分析

如圖 4 所示，是使用 Simapro 軟體運算出電動自行車輪胎的生命週期，可以很明顯看出在原料階段佔較多的排碳量，盤查單位可依據此圖所列數據進行第三者查證，或是在排碳量不理想的情況下，設法找尋其他物質來做為替代，以解決排碳量過多的問題。

從 SimaPro 生命週期評估系統所分析之最終結果顯示，各個製程對環境衝擊的程度如圖 5 所示，每 1.2 Kg 電動自行車輪胎的總排碳量 4.53 Kg CO₂e，原料階段排放量 2.63 Kg CO₂e，製造階段排放量 0.882 Kg CO₂e，混煉階段排碳量 0.387 Kg CO₂e，蓋膠階段排碳量 0.0255 Kg CO₂e，運輸階段排放量 0.605 CO₂e。

由於混煉工程跟蓋膠工程都是屬於前製程委外製造工程，其排碳量都是屬於製造階段，所以製造階段總排碳量是 1.295 Kg CO₂e。

如圖 6 所示，每一個重量為 1.2 kg 的電動自

行車輪胎，生命週期中的總排碳量為 4.53 Kg CO₂e，原料階段排放量 2.63 Kg CO₂e，佔 58.06%，製造階段排放量 1.295 Kg CO₂e，佔 28.59%，運輸階段排放量 0.605 CO₂e，佔 13.35%如表 5 所示。另一方面本文數據透過第三者國際公認查證的結果為 4.59 Kg CO₂e，與本文結果 4.53 Kg CO₂e 相比較，準確度達 98.7%，證明本研究方法正確。

3.2 比較 GWP 20、GWP 100 與 GWP 500 不同基準之產品碳足跡分析比較

本文以不同的 GWP 標準，如 GWP 20，GWP 100 與 GWP 500 對電動自行車輪胎製程在原料階段、製造階段與運輸階段之排碳量加以分析。

由圖 7 所示，電動自行車輪胎在不同 GWP 值的排碳量，GWP 20 占較高的排碳量，GWP 500 排碳量較少，詳細計算結果表 6 所示:以 GWP 20 標準為排放量 5.15 Kg CO₂e，以 GWP 100 標準為排放量 4.53 Kg CO₂e，以 GWP 500 標準為排放量 4.23 Kg CO₂e，由[7][8]得知 GWP 標準值越少對環境衝擊的影響越大，所以 GWP 20 排碳量才會較高。

4. 結論

在使用 SimaPro7.3 生命週期評估系統，並依據 PAS2050 所規範的各項標準程序與方法下，本研究分析結果顯示，每一個重量為 1.2 Kg 的電動自行車輪胎，生命週期中的總排碳量為 4.53 Kg CO₂e，原料階段排放量 2.63Kg CO₂e，佔 58.06%，製造階段排放量 1.295 Kg CO₂e，佔 28.59%，運輸階段排放量 0.605 CO₂e，佔 13.35%。在原料階段佔較多排碳量中，以碳黑物質排碳量較高，佔總碳足跡的 23.90%，因此如要進一步改善電動自行車輪胎的排碳量，應該從碳黑物質去探討，可以找尋替代物質或是改變其製程。

另一方面本研究所得結果為 1.2 Kg 的電動自行車輪胎，其生命週期的總排碳量為 4.53 Kg CO₂e 與第三者國際公證機構所查驗的數據為 4.59 Kg CO₂e 相互比較，準確度達 98.7%，證明本研究方法正確。

又本文進一步比較在不同的 GWP 值比較中，由[7][8]得知 GWP 越少對環境衝擊的影響

越大，GWP 越高對環境衝擊的影響會變小。

5. 致謝

本研究由財團法人自行車暨健康科技工業研究發展中心碳足跡推動組輔導顧問師林澤宏，協助使本計畫得以順利進行，特此致上感謝之意。

6. 參考文獻

1. 林曉洪、洪國榮、陳姿蓉，『林產工業之生命週期評估 Life Cycle Assessment Discourse of Forest Products Industry』，林業研究季刊，第二卷，第三十期，第83~100頁，2008。
2. 王鐘賢，『國際產品碳足跡標準與案例實證研證』，國立台北科技大學環境工程與管理研究所碩士論文，2012。
3. 環保署綠色生活資訊網，2009。
4. 丁執宇，『ISO14040 生命週期評估架構之探討與應用』，國立中興大學資源管理研究所碩士論文，1997。
5. 交通部，『機動車輛登記數』統計資料，2010。
6. Ana Cláudia Dias, Luis Arroja, “Comparison of methodologies for estimating the carbon footprint-case study of office paper”, Journal of Cleaner Production, 24(2012)30-35.
7. Paul Blowers, Dena Marie Moline, Kyle Franklin Tetrault, R'nld Ruth Wheeler, Shane Lee Tuchawena, “Global Warming Potentials of Hydrofluoroethers”, Environ. Sci. Technol., 42(2008)1301-1307.
8. Akira Sekiya, Sayuri Okamoto, “Evaluation of carbon dioxide equivalent values for greenhouse gases:CEWN as a new indicator replacing GWP”, Journal of Fluorine Chemistry, 131 (2010) 364-368.
9. BSI PAS 2050 : 2011, “Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services”.
10. ISO 14040, “Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework”, second edition, 2006-07-01.
11. ISO 14044, “Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines”, first edition, 2006-07-01.

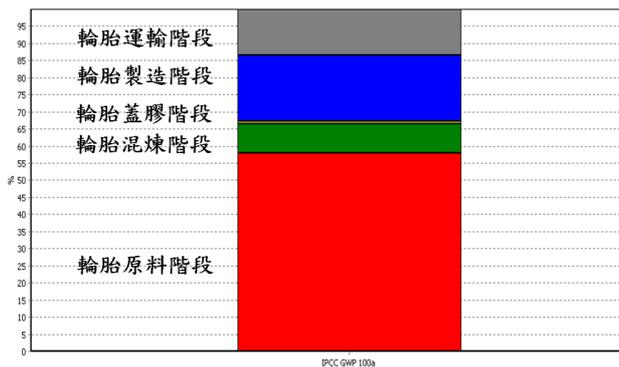


圖 4. 輪胎碳排放佔比圖

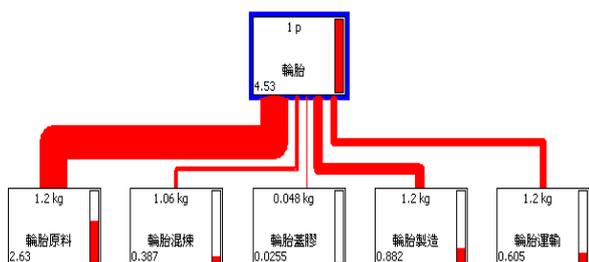


圖 5. 輪胎碳排放圖

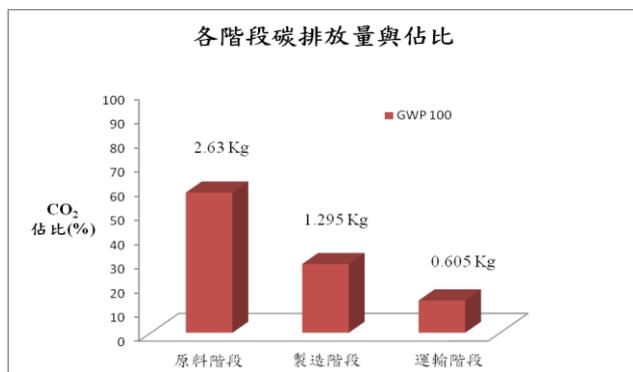


圖 6. 輪胎不同階段的碳排圖

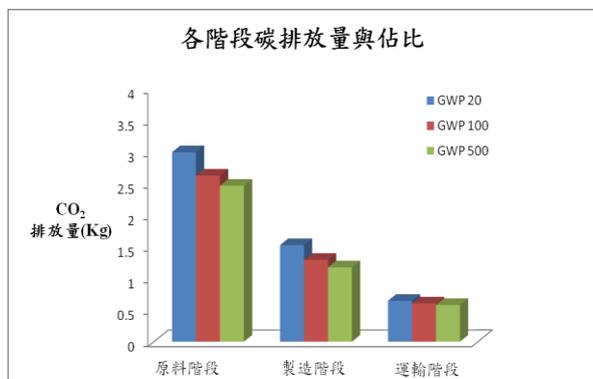


圖 7. 輪胎不同階段的碳排圖

表 1. 直接材料

物質分析	活動數據 (單位用量)	活動數據來源
天然橡膠	276 g	供應商盤查+simapro 軟體運算
合成橡膠	252 g	供應商盤查+simapro 軟體運算
碳黑	456 g	供應商盤查+simapro 軟體運算
促進劑	72 g	供應商盤查+simapro 軟體運算
鋼絲 (耗損 1%)	96.96 g	BOM 表比例計算+ simapro 軟體運算
簾紗 (耗損 1%)	48.48 g	BOM 表比例計算+ simapro 軟體運算

表 2. 間接材料

物質分析	活動數據 (單位用量)	活動數據來源
內面液	0.001 Kg	直接量測+ simapro 軟體運算
脫氧劑	0.000439 Kg	直接量測+ simapro 軟體運算
清管劑	0.000508 Kg	直接量測+ simapro 軟體運算
重油(比重 0.91)	0.2989 Kg	直接量測+ simapro 軟體運算

表 3.製程階段

製造階段	物質分析	活動數據 (單位用量)	活動數據來源
能資源	電力	1.1 KWH	電費單+排放係數 0.78 kg CO ₂ e/KWH
能資源	自來水	0.008332 m ³	水費單+排放係數 0.193 kg CO ₂ e/m ³
能資源	液化石油氣 (LPG)	0.000013 L	採購單+排放係數 1.755 kg CO ₂ e/L
空污 (申報表)	硫氧化物	0.0077 Kg	年度檢測報告
空污	氮氧化物	0.0053 Kg	年度檢測報告
混煉工程	電力	46.64 KWH	電費單+排放係數 0.78 kg CO ₂ e/KWH
混煉工程	隔離劑	150 g	供應商盤查+simapro 軟體運算
蓋膠工程	電力	68 KWH	電費單+排放係數 0.78 kg CO ₂ e/KWH

表 4 運輸階段

運輸起點	運輸終點	車種	活動數據 (單位用量)	活動數據來源
混煉廠	輪胎廠	Truck 16t	0.678 tKm	廠商地址+GPS 里程計算
蓋膠廠	輪胎廠	Truck 16t	0.642 tKm	廠商地址+GPS 里程計算
原料倉庫	混煉廠	Truck 40t	0.78 tKm	廠商地址+GPS 里程計算

表 5. 輪胎各階段分析表

	碳排放量	佔比
原料階段	2.63 Kg	58.06%
製造階段	1.295 Kg	28.59%
運輸階段	0.605 Kg	13.35%

表 6. 輪胎排碳量分析表

評估方法	總量	原料	製造	運輸
GWP20	5.15	3.00	1.505	0.647
GWP100	4.53	2.63	1.295	0.605
GWP500	4.23	2.47	1.177	0.581