



經濟部能源科技研究發展計畫

一一一年度第四季知識物件

吊扇碳足跡盤查案例分析

中華民國111年12月



目錄

一、前言	2
二、研究目的	2
三、結果與討論	3
3.1 吊扇產品碳足跡盤查與分析	3
3.2 盤查範疇	4
3.2.1 盤查產品簡介	4
3.1.2 宣告單位/標示單位[4]	5
3.1.3 系統界限[4]	5
3.1.4 遭遇數據缺口(Data Gap)時的處理原則[4]	6
3.1.5 排除項目與截斷準則[4]	6
3.1.6 假設[4]	6
3.1.7 數據品質要求設定	7
3.1.8 限制	8
3.2 生命週期盤查分析	8
3.2.1 前準備工作	8
3.2.2 數據蒐集與確認	8
3.2.3 排放係數選用	10
3.3 碳足跡結果與熱點分析	10
四、結論	13
五、參考文獻	13

一、前言

近年在氣候變遷影響下，減碳護地球成為各國共識，全球朝「2050淨零碳排」目標邁進，歐盟已規劃2023年開徵碳關稅，加速綠色經濟發展。越來越多跨國企業將供應鏈碳足跡及減碳績效列入採購重要指標，故碳足跡議題為目前產業界迫切關切之議題，且以出口為導向的台灣，若未及早因應，恐將在未來競爭中面臨訂單流失危機。有鑒於此，為協助國內產業超前部署開發前瞻低碳(減碳)科技、並鼓勵業界創新商業模式打入國際零碳生態鏈。本研究開發之風扇產品也需超前部署，研發前瞻低碳之創新吊扇，領先全球。

目前全球吊扇市場一年全球銷售約2億套，吊扇產值約90億美金。但屬於節能(或低碳足跡)之吊扇，目前只占8%市場，預估大約還有25%的成長潛力。回顧國內市場，台灣一年吊扇銷售約20~25萬台，但與國際趨勢相同，節能吊扇銷售僅8~10%，因此依照目前趨勢預估，至少還有25%以上之節能吊扇銷售成長空間[1]。

故伴隨著低碳商品的研發趨勢，節能吊扇未來將是市場之主流產品，但除節能外，更應領先市場研發完整低碳吊扇商品技術。故本研究於導入低碳產品設計之BLDC馬達(Brushless Direct Current)吊扇(簡稱DC吊扇)前，則以一款AC吊扇為基線，進行吊扇產品碳足跡(Carbon Footprint)盤查與分析，從原料、製造、運輸、使用到最後廢棄回收，盤查整個生命週期過程所產生的溫室氣體排放量。藉由吊扇產品基線分析，從中探討產品生命週期的每個階段之最大碳排放量，從而得知產品減碳之關鍵熱點，以作為後續開發DC吊扇低碳產品之設計基礎。

二、研究目的

本研究以一款AC吊扇為基線，進行吊扇產品碳足跡(Carbon Footprint)盤查與分析，主要研究目的除可清楚了解產品生命週期各階段的溫室氣體排放量，從而得知產品減碳之關鍵熱點外。並可藉由碳足跡盤查分析及報告建立，達成以下目的：

- ◆ 協助業者共同建立產品碳足跡盤查分析平台，以快速因應未來國際碳揭露要求，並提供公司產品推動碳足跡盤查與資料整理方式的示範。
- ◆ 協助客戶及廠內高階管理單位，掌握本盤查標的產品及相關產品之碳排放對環境的衝擊，以做為下一代低碳產品設計的參考。
- ◆ 企業針對製程中的碳排放熱點進行改善，以達到碳排放量減少、生產成本降低，及生產管理之目的。

- ◆ 全球減碳意識逐漸加強，為響應政府並帶動國內產業。
- ◆ 其最終目的可藉由碳標籤的認證，更可以吸引消費者選擇低碳排產品並擴大客戶群。

三、結果與討論

3.1 吊扇產品碳足跡盤查與分析

本研究為開發創新低碳節能吊扇商品，首先必須要進行吊扇產品基線之碳足跡盤查。何謂「碳足跡」顧名思義就是行走歷程中所遺留下的痕跡。就產品而言，在計算碳足跡時應包括：原料開採時期、產品製造時期、運輸時期、使用時期、及棄置後處置與回收時期的全程生命週期之碳總排放量，產品碳足跡之生命週期說明如圖 1 所示。

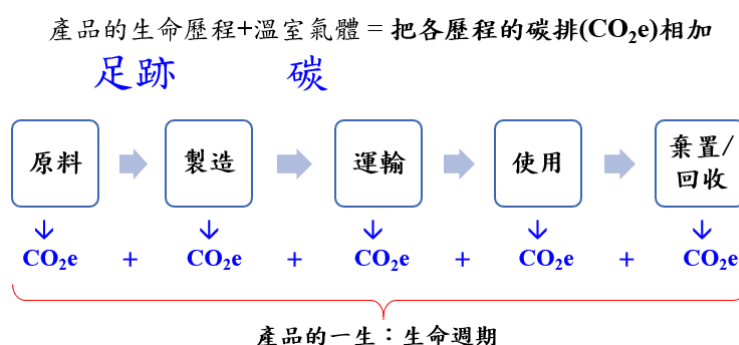


圖 1、產品碳足跡之生命週期[2]

計算產品碳足跡牽涉的範圍非常廣泛，許多企業初步計算碳排放量時多僅侷限於產品製程的碳排放量。但近幾年，推動碳排放量盤查已有多年經驗的國外企業也逐漸體認，減碳量責任不應僅侷限在自家範圍，況且產品生命周期的最大碳排放量，也不一定是製程階段，例如高耗電或耗油產品，往往是在被使用階段時的碳排放量最大。因此，計算碳足跡時應納入供應端與產品輸出端，一起推動減碳量[3]。

產品碳足跡計算方式為產品的生命週期，包含：原料、製造、運輸、使用至棄置/回收，五個階段所產生之活動數據(標的產品生產使用量)乘上碳排放係數(每一項目的碳排放係數，可先由產品碳足跡資訊網之碳足跡係數資料庫查詢)。產品碳足跡計算原則說明，如圖2及圖3所示。

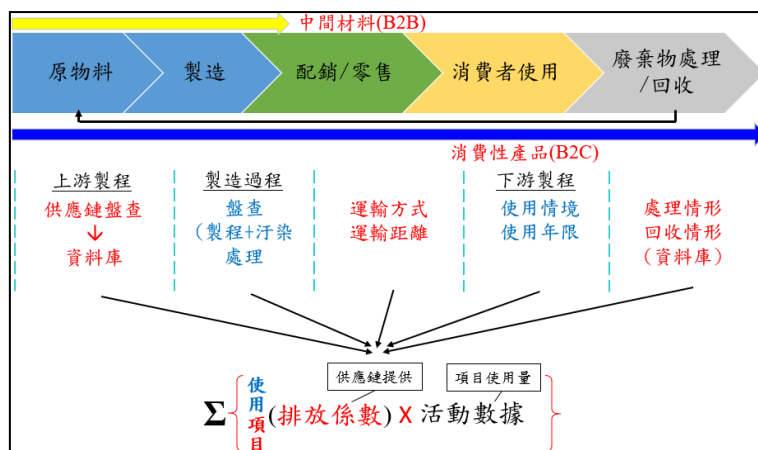


圖 2、產品碳足跡之計算原則(1)[2]

碳足跡(CFP)=

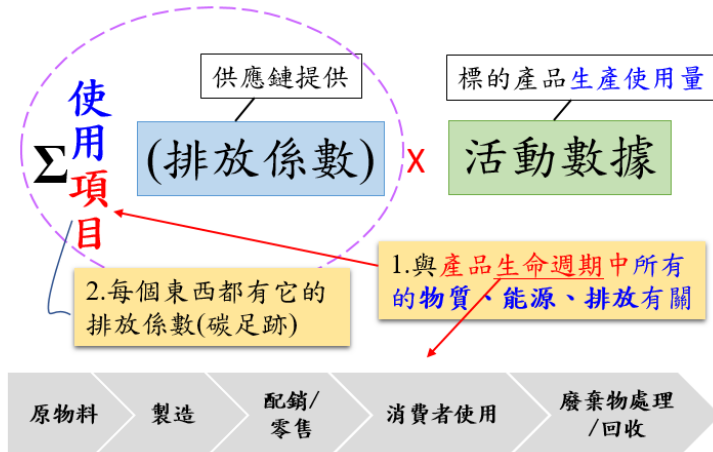


圖 3、產品碳足跡之計算原則(2)[2]

3.2 盤查範疇

3.2.1 盤查產品簡介

本研究針對一款 AC 吊扇進行碳足跡盤查與分析，其產品規格如表1所示。本吊扇產品主要由主要元件、次要元件、包裝材所組成。此外，本產品僅達到使周圍空氣流通的功能，沒有附加功能。

表1、AC 吊扇(F-501W/RC)產品規格

產品照片	<p style="text-align: center;">吊扇</p> 
------	--

	<p>遙控器</p> 
吊扇尺寸	52吋
材 質	葉片：熱軋鋼板片 馬達外殼：熱軋鋼板片
重 量	6公斤
電 壓	110V/60Hz
功 率	65W
電 流	0.64A
轉 速	265rpm
變速方式	高頻遙控器

3.1.2 宣告單位/標示單位[4]

依一般 PCR(Product Category Rules，產品類別規則，簡稱 PCR)第4章制定，本產品的功能單位定義為一台電扇。

3.1.3 系統界限[4]

(1) 時間界線

依 PCR 第10章制定，產品數據蒐集期間係以一年/最近一年或具數據代表性之週期(一季)為基準。使用階段之情境假設，產品將在售出後6年廢棄。

(2) 地理位置界線

產品組裝地點位於：台中市大雅區。產品只在國內販售，因此預期沒有在國外被使用與廢棄的情況發生。

(3) 生命週期界線

此次盤查吊扇產品的生命週期界限係依 PCR 第6章制定要求，屬搖籃至墳墓類型。此產品生命週期涵蓋了原物料取得、製造、配銷運輸、使用與廢棄處置階段，本產品之生命週期流程圖，如圖4所示。

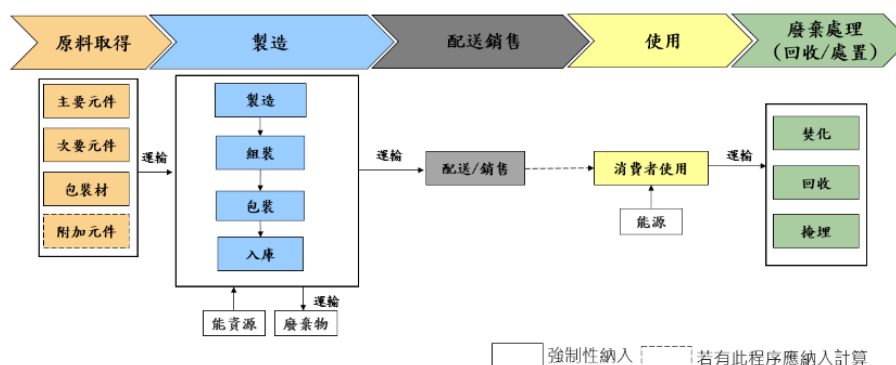


圖4、電扇生命週期流程圖[4]

3.1.4 遭遇數據缺口(Data Gap)時的處理原則[4]

儘可能以替代數據填補缺口，若無法填補則給予截斷。

3.1.5 排除項目與截斷準則[4]

依循 PCR 第6.1節的要求，進行截斷的項目包括：

- (1) 銷售作業相關流程。
- (2) 由銷售點到消費者中間各批發商或配送中心、倉儲及消費者往返銷售據點的相關運輸流程。
- (3) 在使用過程投入之主要元件、次要元件(耗材或非預期損壞替換)與產生之廢棄物。又在本次執行盤查計算過程中，部分項目因無法實際進行盤查又無公開資訊可供進行情境假設，只能先行排除在計算範圍外。說明如下：
 - A. 除矽鋼片及靜子繞線以外的供應商，皆無法配合盤查。因此只能獲得零組件的組成材質/成分及每一單位元件之重量，而製作過程使用的能源與排放、廢棄物幾乎都無法提供，因此只能予以排除。
 - B. 配合烤漆的代工廠均無法參與盤查，但透過詢問某一烤漆廠之經驗得知，每製作100個產品，需2.5加侖的烤漆。由烤漆之 SDS 得知密度約為0.87，經換算可得出一台產品烤漆可能用量為82.3g。因重量不到整台電扇重量之1%，所以烤漆給予排除。

3.1.6 假設[4]

- (1) 關於運輸工具與運輸里程數，考量其實際盤查之困難性，故運輸工具之類型簡化為陸運、海運兩種模式；而運輸里程數則係採用線上地圖如：Google 地圖、Searates (<https://www.searates.com/services/distances-time/>)等工具所建議之行走路徑進行推算。

- (2) 關於原料運輸階段供應商出貨之運輸，得考量有關運輸距離、運輸方式、裝載率及載重噸公里、運費、平均耗油量/油價(費)等方式來訂定運輸情境。
- (3) 有關製造工廠間之運輸、中間運輸，以及廢棄物運輸所產生之溫室氣體排放量，得考量有關運輸距離、運輸方式、裝載率及載重噸公里、運費、平均耗油量/油價(費)等方式進行推算。
- (4) 因消費者購買產品後的行為無法實際盤查，故以使用者之使用時間為每天運轉吊扇8小時、一年使用210天，使用年限定義為6年進行推算(此參考相關研究報告，作為使用情境之計算基礎[5、6、7])。
- (5) 關於本產品於廢棄處理階段之情境假設，應符合下列要求或考量：1. 將廢棄物運送至處理地點之距離，係考量現有資源回收處理體系；2. 可回收廢棄物需考量現有回收率進行廢棄量之估算。

3.1.7 數據品質要求設定

本研究盡可能採用進行實際盤查的方式蒐集所需的資訊，其次為資料庫係數資料，最後為替代性資料。本次在盤查過程所使用的數據分級與管理方式為：

- (1) 一級數據：單元過程的量化值，或透過直接測量來獲得某項活動或基於其原始來源直接測量的計算值。廠區內生產的使用量或排放量、供應商實際盤查的數據都屬於此類數據。管理方式包含：
 - A. 除矽鋼片及靜子繞線以外的供應商，皆無法配合盤查。因此只能獲得零組件的組成材質/成分及每一單位元件之重量，而製作過程使用的能源與排放、廢棄物幾乎都無法提供，因此只能予以排除。
 - B. 實際取得單據與報表的數據。
 - C. 廠區內活動數據蒐集彙整完畢後，透過現場人員協助比對資料與討論分配方式，減少誤差。
 - D. 供應商提供數據將透過質量平衡檢查，並與提供者討論填寫內容，減少誤解的發生。
- (2) 二級數據：不符合一級數據要求事項的數據。管理方式包含：
 - A. 優先選用接近實際盤查時間、發生地理位置之資料。
 - B. 因應申請碳標籤之要求，引用係數來源優先使用環保署產品碳足跡資訊網之碳足跡係數資料庫查詢。

3.1.8 限制

- (1) 產品碳足跡只是諸多環境衝擊之一，尚不足以代表產品的環保程度。
- (2) 本產品除規劃進行減碳比較之產品外，不能與其他產品進行比較或比較性主張。

3.2 生命週期盤查分析

3.2.1 前準備工作

盤查開始之前除了需要先行界定作業範疇外，為使得盤查工作能夠順利推動，還需取得公司高層支持、提供廠區內各部門以及供應商生命週期評估相關知識、溝通盤查資料蒐集的內容與手法，以使其在盤查過程不致發生阻礙。準備工作完成後，藉由起始會議的召開，傳達公司高層對於專案推動的決心，並給予盤查推動人員教育訓練，以能順利推展盤查工作。本產品有獲得產品碳標籤的考量，然電扇類產品環保署並未有現成的產品類別規則(PCR)，因此本產品以盤查範疇的設定為基礎，發展出電扇碳足跡產品類別規則。

3.2.2 數據蒐集與確認

(1) 數據蒐集程序

數據蒐集是依循 PCR 第10章的制定。收集工作由公司的內部人員與供應商分別進行。表 2說明各階段的活動，是如何被蒐集的。

表 2、活動數據蒐集方式

生命週期階段	活動數據如何被蒐集。
原料取得	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用重量，為廠區實際秤重而來。 2. 材質資訊來自各物料供應商提供。
製造	<ol style="list-style-type: none"> 1. 主要元件、次要元件與包裝材送到製造地點的距離，使用里程估計網頁進行推估。 2. 生產設備使用的電力是先以電流鉤表得知各設備使用時之電流，並記錄活動數據蒐集期間的總使用時間後進行推估。 3. 可以量測的公共設備電力是先以電流鉤表得知公共設備使用時之電流，並記錄活動數據蒐集期間的總使用時間後進行推估。 4. 無法量測的公共設備電力是電費帳單扣掉生產設備及公共設備使用之電力後推估而得。 5. 自來水使用量使用水費帳單進行推估。 6. 廠區廢棄物主要為生活垃圾，清運量原始資料為主計處人均廢棄物統計值[9]；廢棄物的清運距離，依循 PCR 引用交通部公路貨運調查報告廢棄物清運距離[10]。
配送銷售	<ol style="list-style-type: none"> 1. 使用銷貨單上記載各客戶的供應數量與供貨位置，配合里程估計網頁進行推估。 2. 未能實際調查的客戶供應數量與供貨位置，依循 PCR 引用交通部公路貨運調查報告家電運送距離[10]。
使用	<p>產品的電功率，計算公式為 $E = (P \times T \times 210) \times 6$ 年。</p> <p>E = 產品使用期間之總耗電量，單位為 kWh。</p> <p>P = 額定消耗功率，單位為 kW。</p> <p>T = 使用時間，單位為小時/日。</p> <p>使用者之使用時間 T 為 8Hrs/日 (係以每天運轉 8 小時計算)、一年使用 210 天，使用年限定義為 6 年。</p> <p>依循 PCR 的情境假設，計算本階段用電度數[4]。</p>
廢棄處理	<ol style="list-style-type: none"> 1. 廢棄後零組件、包材的可能壽命由材質推測。 2. 該類材質廢棄物的回收率資訊，為資源回收基管會公告應回收廢棄物 111 年的回收率[9]。 3. 廢棄物清運到處理或回收設施的里程，依循 PCR 引用交通部公路貨運調查報告清運廢棄物或資源回收物的里程[10]。

(2) 分配方法

- A. 空壓機用電啟動僅需要5分鐘，約1小時啟動一次；因無法量測單台製作過程中空壓機的運轉時間，因此均攤分配。
- B. 公共設施用電是以電費單內容扣除有記錄之用電量後均攤分配。
- C. 原料取得、配送、使用以及廢棄處理階段只有針對標的產品蒐集活動數據，不需要使用分配。

(3) 數據確認方法

數據係透過公司內部報表蒐集，減少抄錄過程錯漏。並透過輔助資訊(如：水、電費單...等)的相互對照和到生產線逐站檢視，避免盤查發生缺漏。

(4) 數據缺口

除在前文提到切斷原則描述無法獲得的生產資料外，系統界限內所有活動與排放皆納入盤查與計算，未產生數據缺口。

3.2.3 排放係數選用

為了滿足碳標籤的計算要求，未能透過盤查獲得的係數，依序選擇以下的作法：

- (1) 使用環保署產品碳足跡資訊網之碳足跡係數資料庫內的係數。
- (2) 使用付費資料庫(如：DoITPro 資料庫)。
- (3) 依照組成的成分與組成之比例，組合多個係數。

3.3 碳足跡結果與熱點分析

經由本研究盤查結果進行碳足跡計算，此款 AC 吊扇之碳足跡總和約為428.07 kgCO₂e/台，各生命週期階段碳排放量統計圖表，如圖5及圖6所示。由碳足跡分析結果可得知此款 AC 吊扇碳排放量占比為使用>原料>配銷，然而碳排放量最大為使用階段，占比達92%。因吊扇屬於電器產品，使用期間長達6年，且耗電量大而導致。有鑑於此，本研究後續將朝高氣動效率扇葉設計，並搭配馬達於最佳效率點運轉，使吊扇系統達最佳效率，進而降低其使用階段之碳排放量。

各生命週期階段排放量統計圖表

點選長條圖可檢視熱點排名中各階段的**100%**
碳足跡占比圓餅圖

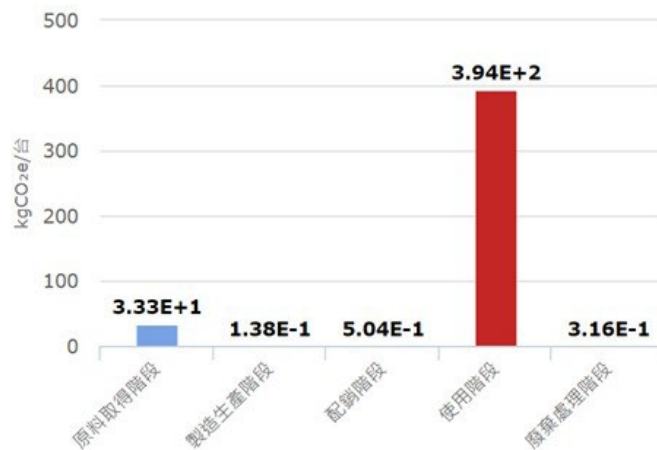


圖5、各生命週期階段排放量統計圖表(1)

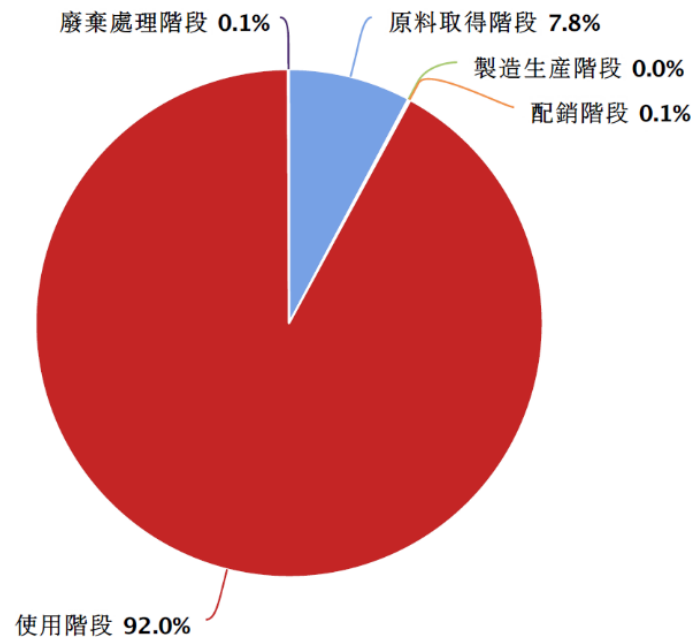


圖6、各生命週期階段排放量統計圖表(2)

然而僅次於使用階段的碳排放量，為原料階段；於圖7原料取得階段之碳排放量統計圖表可得知，於原料供應端之靜子入線加工、遙控器及葉片為原料取得階段之主要碳排放量較多者，故後續本研究將會朝這幾項重量較重及碳排放係數較高之元件進行改善及優化，目標將朝向低碳、原材、環保，及輕薄短小之元件設計為原料建置之基礎。

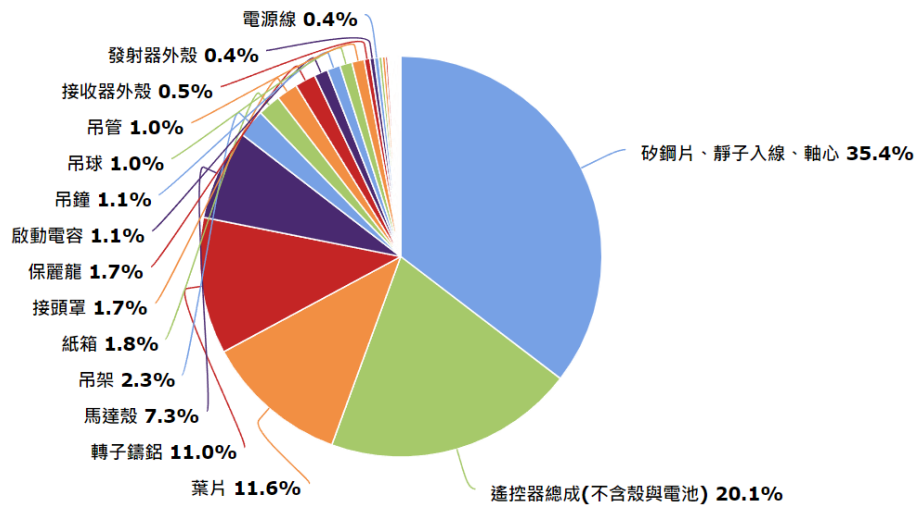


圖7、原料取得階段之碳排放量統計圖表

其次碳排放量較高者為配銷階段，於圖8配銷階段之碳排放量統計圖表可得知，於此階段主要之碳排放量大宗落於物流配送，故本研究後續將規劃在地化配銷路徑規劃，及搭配線上銷售共享集運優勢之方式，以減少運輸距離及降低碳排放量。

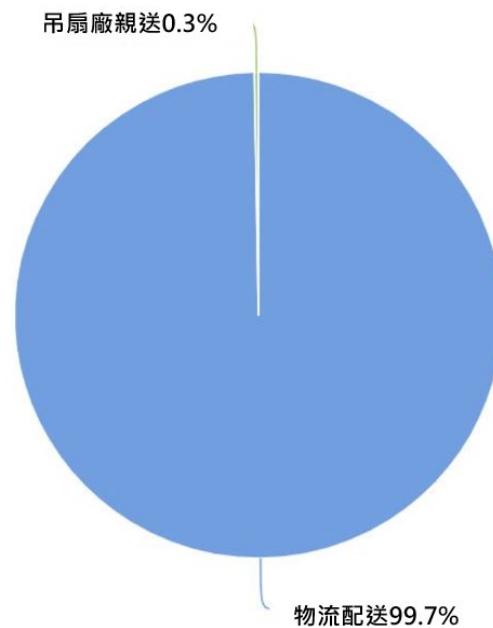


圖8、配銷階段之碳排放量統計圖表

四、結論

本研究針對 AC 吊扇進行碳足跡盤查分析，由碳足跡分析結果可得知碳排放量占比為使用>原料>配銷。其中於使用階段之碳排放量最大，占比達92%，因吊扇屬於電器產品，使用期間長達6年。因此本研究後續將朝創新超高氣動效率扇葉進行設計，採翼型扇系列搭配 CFD 分析進行設計優化，以大幅提升吊扇能源效率，進而降低其使用階段之碳排放量。

然而於原料取得階段為碳足跡第二大貢獻熱點，主要於靜子入線加工、遙控器及葉片為原料取得階段貢獻碳排放量較多者，故後續本研究將會以研究低碳原料做為吊扇設計之基礎。其次碳排放量較高者為配銷階段，本研究後續將規劃在地化配銷路徑規劃，及搭配線上銷售共享集運優勢之方式，以減少運輸距離及降低碳排放量。

製造階段雖非本產品之碳排放量熱點，但由用電分析可大致得知廠區主要的電力消耗發生於何種設備，可藉由長期定時監控方式，及早得知設備異常狀況，進而做出相關防護及管制。此外，後續本研究也將會研發低碳之吊扇組裝製程技術，以建立全新低碳思維的產品與製程之創新設計。並加強落實廠內節能省電之環保意識。

五、參考文獻

1. Global Ceiling Fan Market Size By Product, Materials, Application, Demand, Regional Analysis, Trends and Forecast, 2017-2025.
2. 產品碳足跡資訊網 (cfp-calculate.tw)
3. 製造業產品環境足跡與資源永續資訊專區-產品碳足跡-簡介 (id-bcfp.org.tw)
4. 電扇-碳足跡產品類別規則(CFP-PCR)，第 1.0 版，2022.09.26
5. <https://www.electronics-cooling.com/1996/05/how-to-evaluate-fan-life/>
6. <https://coldgeeks.com/how-long-do-fans-last/>
7. Xiaohang Jinl, Eden W. M. Mal, Tommy W. S. Chowl, Michael Pechtl, “An Investigation into Fan Reliability” Centre for Prognostics and System Health Management, City University of Hong Kong, Hong Kong Department of Electronic Engineering, City University of Hong Kong, Hong Kong Center for Advanced Life Cycle Engineering, University of Maryland, College Park, USA. pecht@calce.umd.edu ,2012.
8. 行政院環境保護署推動產品碳足跡管理要點，2020 年公告。
9. 行政院環境保護署，資源回收網，統計資料 (<https://recycle.epa.gov.tw/ConvenienceServices/Downloads>)
10. 交通部統計處，汽車貨運調查報告，2022 年公(motc.gov.tw)
11. ISO 14040, ” Environmental management — Life cycle assessment —



Principles and framework” , second edition , 2006-07-01.

12. ISO 14044 , ” Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines” , first edition , 2006-07-01.
13. ISO 14067 , ” Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification” , 2018-08-01.