

環境規劃與管理類

## 廢塑膠再製成再生塑膠粒之碳足跡研究

呂博裕\*、陳欽雨\*\*、張國一\*\*\*

### 摘 要

本研究係參考 ISO/TS 14067 標準與環保署所編指引，探討再生塑膠粒進行碳足跡評估之必要原則與方法，以獲致碳足跡評估結果，並進行情境分析。本研究以 1 家環保局核可之廢塑膠再利用公司為個案，並選擇個案公司生產量最多的再生塑膠粒為標的產品，亦即選擇聚丙烯再生塑膠粒進行碳足跡評估。進行碳足跡評估時，在系統邊界採用「搖籃到大門」模式，其碳足跡量化包含該產品生命週期之原料取得與製造等階段，功能單位為「1 袋聚丙烯再生塑膠粒(重量為 653 公斤)」。

本研究結果顯示，個案公司所生產的 PP 再生塑膠粒每功能單位之碳足跡為 264.737 公斤 CO<sub>2</sub>e，或每公斤之碳足跡為 0.407 公斤 CO<sub>2</sub>e；與新品相比，每公斤新品 PP 塑膠粒之碳足跡為 1.7 公斤 CO<sub>2</sub>e。本研究另探討 1 個減碳情境，即減少太空包之溫室氣體排放。研究結果顯示，減碳情境每功能單位之碳足跡為 257.663 公斤 CO<sub>2</sub>e，如與基本情境相比，減碳情境每功能單位之碳足跡可減少 2.7%。本研究結果不僅可做為再生塑膠粒業者進行產品生命週期減碳之參考，亦可提供關心環保議題之客戶在選購塑膠粒原料(再生塑膠粒或新品塑膠粒)之參考。

【關鍵字】生命週期評估、碳足跡、聚丙烯、再生塑膠粒

---

\*明新科技大學工業工程與管理系所 教授

\*\*世新大學企業管理學系 副教授

\*\*\*明新科技大學工業工程與管理系所 碩士

## 一、前言

近年氣候變遷逐漸明顯惡化，地球持續呈現暖化趨勢。2013 年 9 月聯合國政府間氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)在斯德哥爾摩發布新版的氣候變遷評估報告，提及「有 95%的信心度可斷言人類活動就是造成氣候暖化的元兇，而如果持續排碳下去，最糟的情境是在本世紀末升溫 4.8°C；比 2007 年評估的結論還要不樂觀」<sup>[1]</sup>。可見，氣候變遷已經成爲世界各國不得不積極面對的環境問題<sup>[2]</sup>。

爲落實溫室氣體排放減量管制，解決溫室氣體過度排放所引起的全球性氣候變遷問題，1997 年 12 月通過的「京都議定書」，對二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)、全氟化物(PFCs)、氫氟碳化物(HFCs)及六氟化硫(SF<sub>6</sub>)等 6 種溫室氣體進行管制；2005 年 2 月正式生效至今，公眾對氣候變遷的關注度已在各國政府和企業引起反應。凡舉對產業溫室氣體的減量規範，要求業者進行製程的排放減量而延伸至碳足跡、供應鏈碳揭露、及永續發展等議題<sup>[3]</sup>均是其例。

2013 年 5 月國際標準化組織(International Organization for Standardization, ISO)發行 ISO/TS 14067:2013 產品碳足跡—量化和溝通的要求和指引<sup>[4]</sup>，企業界應運用積極針對產品進行碳足跡評估，全球已有不少國際品牌企業或大型通路業者開始要求其供應商提供產品碳足跡資訊<sup>[5]</sup>。

環保署編撰的「產品與服務碳足跡計算指引」則爲國人計算碳足跡時的依循，此係奠基於 ISO/CNS 14040、ISO/CNS 14044 等生命週期評估標準，並詳細規範產品與服務生命週期溫室氣體排放評估而成，以提供社會各界在計算產品與服務生命週期溫室氣體排放時，有一致性之評估方法<sup>[6]</sup>。

石化工業是產生溫室氣體的主要產業之一，高分子聚合物爲其主要產品，即塑膠產品。塑膠原料主要爲石化工業所產生的乙烯與丙烯類產物，丙烯(propylene)主要用於生產聚丙烯(polypropylene, PP)。近年全球丙烯的需求量以年均約 3.5%的速

度成長，北美和西歐需求增速 1%左右，亞洲地區需求成長率預計超過 5%，其中中國成長率更高達 8%<sup>[7]</sup>。

塑膠產品主要分熱塑性塑膠與熱固性塑膠，熱固性塑膠經過加熱固化後硬化成塑膠材料，為不可逆反應，不可重複塑型再利用；熱塑性塑膠則可經過重新加熱或降溫，使其重新軟化或固化而不改變其化學特性。PP 就是熱塑性塑膠之一，它可以加熱至特定溫度使其軟化後重新造粒，並回到資源鏈再利用。

據環保署 2011 年調查，塑膠製品佔國人生產廢棄物的第 3 名。大量的塑膠垃圾如不能妥善回收或掩埋處理，將對人類生存環境造成重大威脅<sup>[8]</sup>。因此將廢塑膠加熱至特定溫度使其軟化後重新造粒，並回到資源鏈再利用，則提供塑膠粒原料的另一種選擇，如果在碳排放上再生塑膠粒(recycled plastic particles)能夠低於新品塑膠粒，若 2 者品質水準相當，再生塑膠粒在塑膠粒原料所占比重將會逐漸提高。

本研究係參考 ISO/TS 14067 標準與環保署所編指引，探討再生塑膠粒進行碳足跡評估之必要原則與方法，以獲致碳足跡評估結果，並針對潛在之減碳方向進行情境分析。本研究以 1 家環保局核可之廢塑膠再利用公司為個案，並選擇個案公司生產量最多的再生塑膠粒(即 PP 再生塑膠粒)為標的產品，以進行碳足跡評估。進行評估時，在系統邊界上是屬於「搖籃到大門」模式，其碳足跡量化包含該產品生命週期之原料取得與製造等階段，功能單位為「1 袋 PP 再生塑膠粒(PP 再生塑膠粒與太空包合計 653 公斤)」。本研究結果可做為再生塑膠粒業者進行產品生命週期減碳之參考，亦可提供關心環保議題之客戶在選購塑膠粒原料(再生塑膠粒或新品塑膠粒)之參考。

## 二、研究架構與方法

### 2.1 研究架構

本研究架構如圖 1 所示，核心是「碳足跡評估」，其輸入包括：原則、目的與範疇、生命週期盤查分析、生命週期衝擊評估、產品碳足跡計算表、生命週期評估

## 134 廢塑膠再製成再生塑膠粒之碳足跡研究

(LCA)軟體及資料庫等，其輸出為碳足跡評估結果及生命週期詮釋，並進行情境分析。

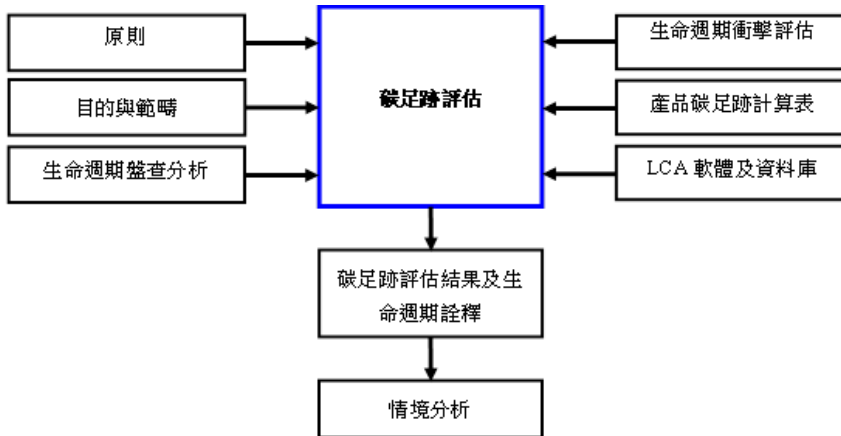


圖 1 研究架構圖

### 2.2 碳足跡評估基本原則

依 1.生命週期觀點(life cycle perspective)、2.模組化(modularity)、3.相對性方法與功能單位(relative approach and functional unit)、4.巡迴路徑法(iterative approach)、5.科學方法之優先順序(priority of the scientific approach)、6.相關性(relevance)、7.完整性(completeness)、8.一致性(consistency)、9.準確性(accuracy)、10.透明度(transparency)、11.重複計算(double-counting)為原則，施行碳足跡計算之要求事項，並做為施行之基礎<sup>[4, 6]</sup>。

### 2.3 碳足跡量化之目的與範疇

進行產品碳足跡評估之目的為量化產品所造成之溫室氣體排放，產品碳足跡評估之範疇應清楚地界定，且應與預期之應用一致。

功能單位應與評估目的與範疇一致。功能單位主要目的之一係提供一個參考，使投入與產品依數學知識予以正規化，因此，功能單位應清楚地界定，且為可量測的。產品碳足跡的評估結果應以每功能單位之二氧化碳排放當量(CO<sub>2</sub>e)報告之。

凡一產品的碳足跡評估為向消費者揭露，此產品碳足跡的量化應包含生命週期的所有階段。對於企業對企業之應用，部分碳足跡應至少代表「搖籃到大門」或「大門到大門」之排放，包含被要求揭露溫室氣體資訊的組織，其所擁有以及直到此組織之前的各階段、製程與資訊模組。

## 2.4 生命週期盤查分析

生命週期溫室氣體排放評估應包含 IPCC 第 4 版所列之所有溫室氣體，即二氧化碳(CO<sub>2</sub>)、甲烷(CH<sub>4</sub>)、氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)、全氟化物(PFCs)、氫氟碳化物(HFCs)及六氟化硫(SF<sub>6</sub>)<sup>[1, 4, 6]</sup>。

評估應包含產品生命週期中製造過程、投入與產出所造成之溫室氣體排放，包括但不限於下列各項：能源使用(包含能源本身在製造時所產生的溫室氣體，例如電力)、燃燒過程、化學反應、冷媒損失和其他逸散氣體、操作、提供和遞送服務、家畜和其他農業製程及廢棄物等。產品生命週期造成之溫室氣體排放衝擊評估，應為產品形成後 100 年期溫室氣體排放之二氧化碳當量衝擊。

## 2.5 生命週期衝擊評估

在碳足跡研究之生命週期衝擊評估層面，所評估的是產品對氣候變遷(climate change)之衝擊，意即評估產品所排放或移除溫室氣體總合，並以「公斤 CO<sub>2</sub>e」表示<sup>[4]</sup>。

## 2.6 生命週期詮釋

碳足跡研究之生命週期詮釋層面應該包括下列步驟<sup>[4]</sup>：

## 136 廢塑膠再製成再生塑膠粒之碳足跡研究

1. 在生命週期盤查分析及生命週期衝擊評估層面，根據碳足跡量化結果辨識出顯著的議題
2. 進行一考慮完整性、敏感度和一致性檢查之評量、結論、限制及建議

在生命週期盤查分析及生命週期衝擊評估層面之碳足跡量化結果，應該根據碳足跡研究之目的與範疇加以詮釋。詮釋應：

1. 包括定量或定性之不確定性評估
2. 辨識與記錄碳足跡研究報告所選擇之分配方法
3. 辨識碳足跡研究之限制

### 三、個案公司簡介

本研究以位於桃園市的 1 家環保局核可之廢塑膠再利用公司為個案(稱為個案公司)，個案公司成立於 2007 年，主要針對桃園市境內事業單位產生之廢塑膠進行再利用回收處理。

個案公司之合作廠商包括：

1. M 礦業與製造公司-楊梅廠
2. M 礦業與製造公司-大園廠
3. T 股份有限公司
4. E 股份有限公司
5. N 塑膠廠

個案公司於 2012 年引進新設備，將部分原本需先經過粉碎製程之廢料，改為直接進入塑膠壓出造粒成型程序，此舉可節省粉碎程序之工時，提升廢塑膠回收程序之效率，同時減少廢塑膠再生所需耗能，降低回收再製之溫室氣體排放。

個案公司生產之聚丙烯再生塑膠粒一般售予下游塑膠射出成型廠做為摻配料使用，但因原料為廢棄物回收取得，故僅可用於非食品器具原料，如 PP 材質容器，以及各類較大容積之盛裝容器，如水桶、垃圾桶、籬筐、籃子等。如已為混雜色之聚丙烯再生塑膠粒，則可做為聚丙烯材質之打包帶、汽車保險桿、塑膠棧板等。

## 四、再生塑膠粒碳足跡評估

### 4.1 碳足跡量化之目的與範疇

#### 4.1.1 目的

進行「再生塑膠粒(recycled plastic particles)」碳足跡評估之目的，在於瞭解其對氣候變遷或全球暖化之衝擊。在碳足跡溝通(communication)方面，本研究碳足跡量化(quantification)結果可做為碳足跡內部績效追蹤報告或碳足跡外部溝通報告之用。此外，針對再生塑膠粒，國內尚無適當之碳足跡產品類別規則(Carbon Footprint of a Product - Product Category Rules, CFP-PCR)可供遵循。

#### 4.1.2 產品系統邊界

再生塑膠粒碳足跡在系統邊界設定上是屬於「搖籃到大門」，碳足跡量化應包含該產品生命週期之原料取得與製造等階段。

#### 4.1.3 產品組成

再生塑膠粒的產品組成包括：廢塑膠(或稱廢塑料)

上述主要原料於單位產品中之重量百分比已達 90%以上，此外還有包裝材

料包括：太空包(聚丙烯材質之包裝袋)。

#### 4.1.4 產品機能與特性敘述

本研究選擇之標的產品為「聚丙烯(polypropylene, PP)再生塑膠粒」，簡稱爲「PP 再生塑膠粒」，它是個案公司所生產之再生塑膠粒中數量最多的。回收 PP 廢塑膠後，經由押出成型程序重新造粒，再生後的塑膠粒稱爲 PP 再生塑膠粒，在業界稱爲二次料。再生塑膠粒可製作成多種產品，本色或白色的再生塑膠粒因賣相較佳，因此應用的層面較廣泛；帶有顏色的再生塑膠粒因混雜顏色，使用範圍較受限。

#### 4.1.5 產品功能單位

PP 再生塑膠粒之功能單位爲「1 袋 PP 再生塑膠粒」，包括 PP 再生塑膠粒 650 公斤及太空包(PP 材質包裝袋)3 公斤，1 袋 PP 再生塑膠粒合計 653 公斤，如圖 2 所示。





圖 2 PP 再生塑膠粒(上)及裝入太空包之 PP 再生塑膠粒(下)

#### 4.1.6 產品生命週期流程圖

本研究之碳足跡量化應包含該產品生命週期之原料取得與製造等階段，再生塑膠粒之產品生命週期流程圖如圖 3 所示。

140 廢塑膠再製成再生塑膠粒之碳足跡研究

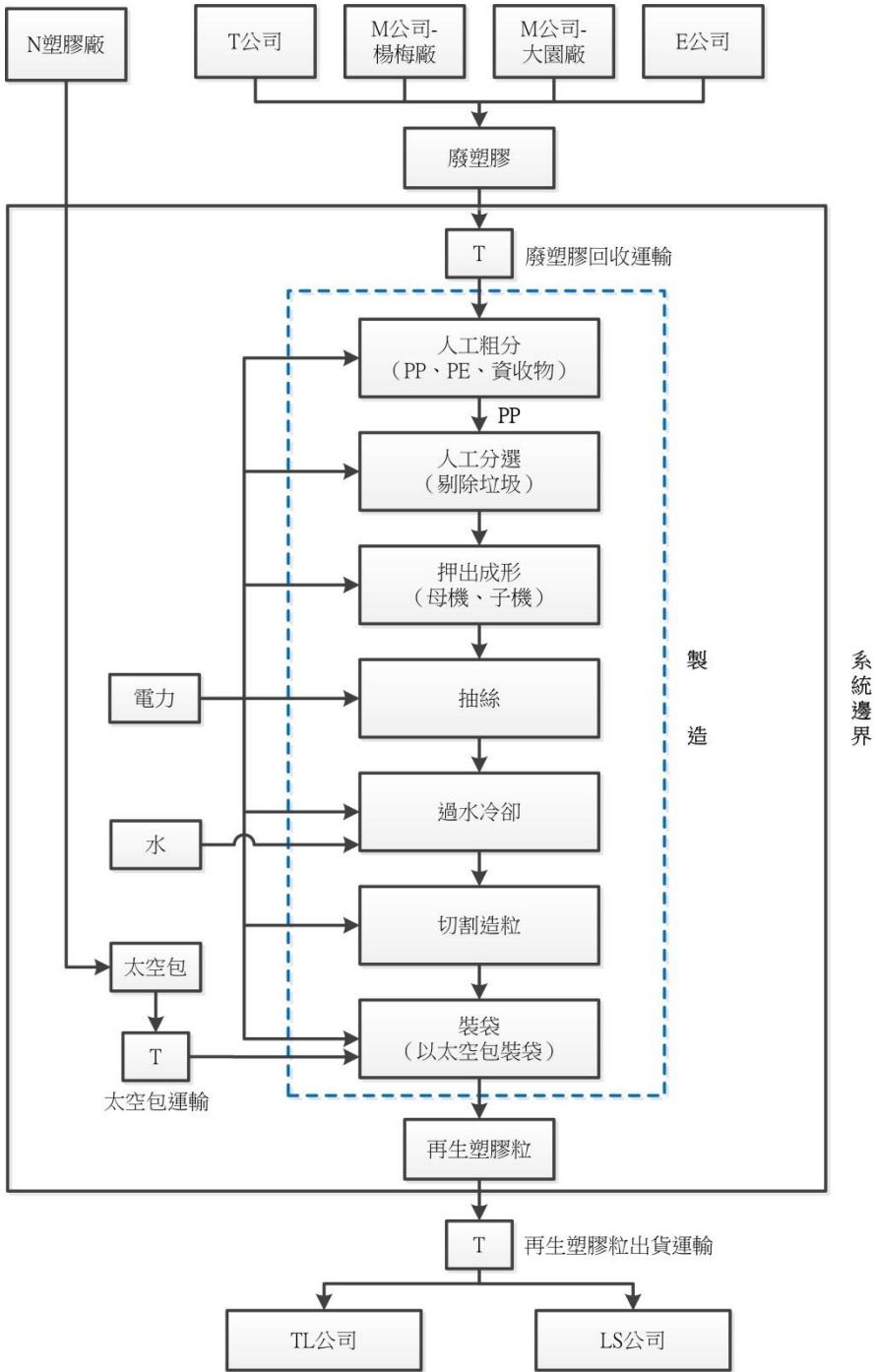


圖 3 產品生命週期流程圖

此外，一般與產品供應鏈無直接關聯之過程，得排除於系統邊界之外，包含：人力、行政管理與維護、行銷與銷售、員工私人運輸、銷售點到家之間的運輸及員工差旅的運輸等<sup>[6]</sup>。

#### 4.1.7 生命週期範圍

##### 4.1.7.1 原料取得階段

原料取得階段包括下列過程(過程包含廢棄物處理及運輸相關過程)：

1. 廢塑膠係回收再利用，因此其生命週期相關過程不納入計算，但個案公司回收廢塑膠之運輸過程須納入計算
2. 太空包生命週期相關過程

##### 4.1.7.2 製造階段

製造階段包括下列過程：

1. 再製過程，過程中能源、用水供應及廢棄物處理(包含運輸)
2. 包裝過程，過程中能源、用水供應及廢棄物處理(包含運輸)

#### 4.2 碳足跡之生命週期盤查分析

本研究所探討之產品屬於持續性的提供，數據蒐集期間為 2013 年 1 月 1 日至 2013 年 12 月 31 日止。碳足跡計算應包含所有單元過程中，可能造成該產品生命週期溫室氣體排放實質貢獻(material contribution)之排放。實質貢獻意謂產品任一排放源貢獻超過 1%的預期生命週期溫室氣體排放均須納入碳足跡計算中<sup>[4]</sup>。

##### 4.2.1 原料取得階段

#### 4.2.1.1 蒐集項目

原料取得階段須蒐集的項目包括(下述生命週期溫室氣體排放量包含廢棄物處理及運輸相關過程的溫室氣體排放，即必須納入廢塑膠與太空包運輸相關過程的溫室氣體排放)：

1. 與製造廢塑膠(或稱廢塑料)相關的生命週期溫室氣體排放量，由於本研究係回收廢塑膠再利用，因此並不考慮其生命週期溫室氣體排放量
2. 與製造太空包相關的生命週期溫室氣體排放量

#### 4.2.1.2 排放量量化方式

在本研究中，原料取得階段所選擇的排放量量化方式為排放係數法，排放係數法之排放量量化公式如下：

$$\text{CO}_2 \text{ 當量} = \text{活動數據} \times \text{排放係數}$$

在活動數據蒐集方面，必須清楚瞭解產品組成(含包裝材料)，並度量每一組成之重量或體積。在排放係數選用方面，應優先取自我國環保署碳足跡計算服務平台之碳係數資料庫<sup>[9]</sup>，環保署碳係數資料庫未列項目則取自生命週期評估軟體資料庫 GaBi 7.0<sup>[10]</sup>。至於原料取得階段之運輸距離則運用 Google Map 進行估算。

#### 4.2.1.3 原料取得階段之數據蒐集結果

原料取得階段所蒐集之數據如表 1 與表 2 所示，表 1 為原料取得階段所蒐集之數據，表 2 為原料取得階段有關運輸所蒐集之數據。至於相關排放係數參見表 4 之排放係數彙整表。

表 1 原料取得階段所蒐集之數據

原料名稱	活動數據 (每功能單位)	單位	原料主要成分	原料供應商
廢塑膠 (回收比例)	650	公斤	聚丙烯(PP)	M-楊梅廠(10.67%) M-大園廠(42.73%) E (44.61%) T (1.99%)
太空包	3	公斤	聚丙烯(PP)	N

表 2 原料取得階段有關運輸所蒐集之數據

原料名稱	運輸區間(起點/終點)	距離		資料來源	載具
廢塑膠	M-楊梅廠/個案公司	3.2	公里	Google Map	營業小貨車(柴油)
廢塑膠	M-楊梅廠/個案公司	3.2	公里	Google Map	營業大貨車(柴油)
廢塑膠	M-大園廠/個案公司	19.3	公里	Google Map	營業小貨車(柴油)
廢塑膠	M-大園廠/個案公司	19.3	公里	Google Map	營業大貨車(柴油)
廢塑膠	E/個案公司	37.8	公里	Google Map	營業大貨車(柴油)
廢塑膠	T/個案公司	55.6	公里	Google Map	營業小貨車(柴油)
太空包	N/個案公司	314	公里	Google Map	營業大貨車(柴油)

## 4.2.2 製造階段

### 4.2.2.1 蒐集項目

製造階段須蒐集的項目包括(下述生命週期溫室氣體排放量包含廢棄物處理及運輸相關過程的溫室氣體排放)：

1. 與再生塑膠粒再製相關的生命週期溫室氣體排放量

2. 與再生塑膠粒包裝相關的生命週期溫室氣體排放量

4.2.2.2 排放量量化方式

本研究中，製造階段所選擇的排放量量化方式為排放係數法。在活動數據蒐集方面，組織(即製造階段)所擁有、營運或控制之製程的溫室氣體排放量以實地盤查為原則，製造階段活動數據蒐集係根據 ISO 14064-1 與 ISO/TS 14067 等標準，赴個案公司進行實地盤查以蒐集活動數據。

在數據蒐集期間，製造階段所使用的電力是依再生塑膠粒產品別的生產量進行分配，由於個案公司只生產 PP 再生塑膠粒與 PE 再生塑膠粒，且 2013 年的 PP 再生塑膠粒與 PE 再生塑膠粒生產量占比為 77%：23%，因此電力係依此比例進行分配。排放係數則選用環保署碳係數資料庫<sup>[9]</sup>或生命週期評估軟體資料庫 GaBi 7.0<sup>[10]</sup>。

4.2.2.3 製造階段之數據蒐集結果

製造階段所蒐集之數據如表 3 所示，至於相關排放係數另見表 4。

表 3 製造階段所蒐集之數據

製程名稱	排放源		活動數據(每功能單位)	
	屬性	名稱	使用量	單位
再製、包裝	能源	外購電力	364.5645	度
再製	資源	自來水	8.3815	度

表 4 排放係數彙整表

名稱/項目	排放係數		資料來源
太空包	2.33	公斤 CO <sub>2</sub> e/公斤	GaBi 7.0 資料庫
營業小貨車(柴油)	0.65	公斤 CO <sub>2</sub> e/公噸-公里	環保署碳係數資料庫
營業大貨車(柴油)	0.24	公斤 CO <sub>2</sub> e/公噸-公里	環保署碳係數資料庫
外購電力	0.69	公斤 CO <sub>2</sub> e/度	環保署碳係數資料庫
自來水	0.17	公斤 CO <sub>2</sub> e/度	環保署碳係數資料庫

#### 4.3 生命週期衝擊評估與詮釋

在碳足跡研究之生命週期衝擊評估層面，由於每種溫室氣體排放所造成潛在的氣候變遷(climate change)之衝擊係藉由溫室氣體排放量乘以 100 年之全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)計算結果後，再加總該產品所有溫室氣體排放所造成之衝擊，並以「公斤二氧化碳當量(Kg CO<sub>2</sub>e)」表示。

計算與彙整上節碳足跡之生命週期盤查分析結果顯示，個案公司所生產的 PP 再生塑膠粒每功能單位(即 1 袋 PP 再生塑膠粒)之碳足跡為 264.737 公斤 CO<sub>2</sub>e，亦即每功能單位之生命週期溫室氣體總排放量為 264.737 公斤 CO<sub>2</sub>e。其中，原料取得階段之溫室氣體排放量為 6.99 公斤 CO<sub>2</sub>e，占總排放量之 2.64%；原料取得階段(運輸)之溫室氣體排放量為 4.773 公斤 CO<sub>2</sub>e，占總排放量之 1.8%；製造階段之溫室氣體排放量為 252.974 公斤 CO<sub>2</sub>e，占總排放量之 95.56%。PP 再生塑膠粒各階段溫室氣體排放量如圖 4 所示。

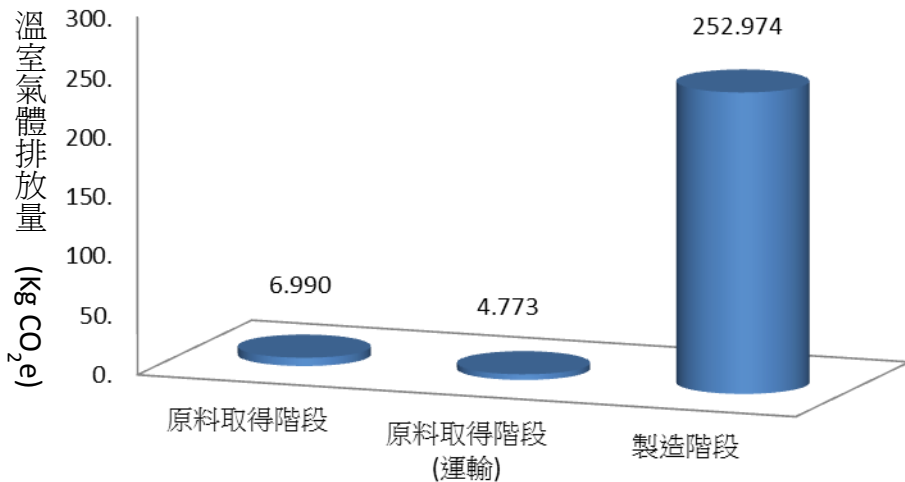


圖 4 各階段溫室氣體排放量

根據研究結果，PP 再生塑膠粒之碳足跡為 264.737 公斤 CO<sub>2</sub>e/功能單位，由於每功能單位包括 650 公斤之再生塑膠粒，因此如以每公斤 PP 再生塑膠粒為單位，則其碳足跡為 0.407 公斤 CO<sub>2</sub>e/公斤。與新品 PP 塑膠粒之碳足跡 1.7 公斤 CO<sub>2</sub>e/公斤<sup>[10]</sup>相較，PP 再生塑膠粒之碳足跡僅為新品 PP 塑膠粒 24%。

圖 4 中以製造階段之溫室氣體排放量排名第 1(占 95.56%)，其次是原料取得階段(含運輸)之溫室氣體排放量(占 4.44%)。製造階段之排放源包括外購電力與自來水，故本階段降低溫室氣體排放量的可能方法計有：節省電力消耗、節省自來水使用量等。在原料取得階段(含運輸)，排放源是太空包，故本階段降低溫室氣體排放量的可能方法是回收太空包再利用。上述資訊均可做為個案公司降低 PP 再生塑膠粒碳足跡之參考。

## 五、情境分析

### 5.1 減碳情境



### 5.1.1 情境內容

針對再生塑膠粒碳足跡評估(稱為基本情境)結果，本章研擬 1 模擬情境(稱為減碳情境)，內容包括以下假設：在原料取得階段，PP 再生塑膠粒所使用之「太空包」(聚丙烯材質之包裝袋)係從客戶處回收再利用，因此其生命週期相關過程不納入計算，但個案公司回收太空包之運輸過程須納入計算，回收太空包係使用營業大貨車，運輸距離為 197 公里。

### 5.1.2 減碳情境之碳足跡評估結果

碳足跡評估結果顯示，減碳情境 PP 再生塑膠粒每功能單位之碳足跡為 257.663 公斤 CO<sub>2</sub>e，亦即每功能單位之生命週期溫室氣體總排放量為 257.663 公斤 CO<sub>2</sub>e。

減碳情境各階段溫室氣體排放量如圖 5 所示，於製造階段之溫室氣體排放量為 252.974 公斤 CO<sub>2</sub>e(占 98.18%)，排名第 1，因此製造階段為減碳情境接續進行溫室氣體減量之優先考慮方向。

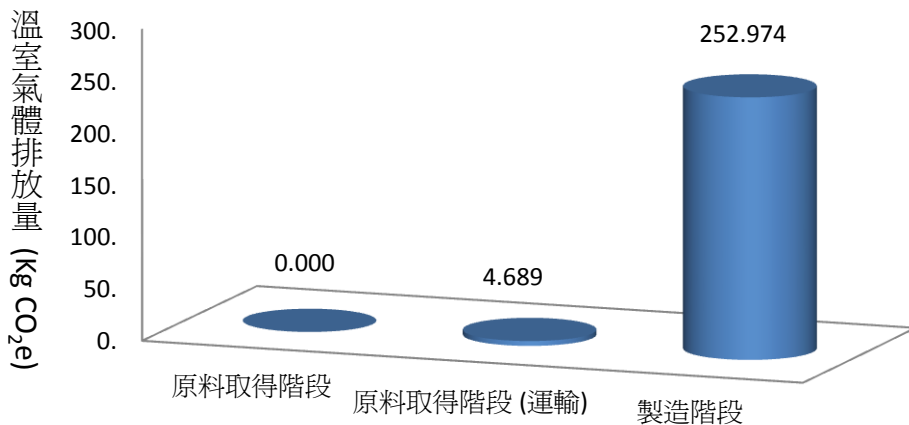


圖 5 減碳情境各階段溫室氣體排放量

## 5.2 比較分析

比較 PP 再生塑膠粒的基本情境與減碳情境之碳足跡如圖 6，由於減碳情境少了太空包之溫室氣體排放，因此碳足跡(257.663 公斤 CO<sub>2</sub>e/功能單位)低於基本情境之碳足跡(264.737 公斤 CO<sub>2</sub>e/功能單位)。如與基本情境相比，減碳情境每功能單位之碳足跡減少了 7.074 公斤 CO<sub>2</sub>e，即減少了 2.7%。

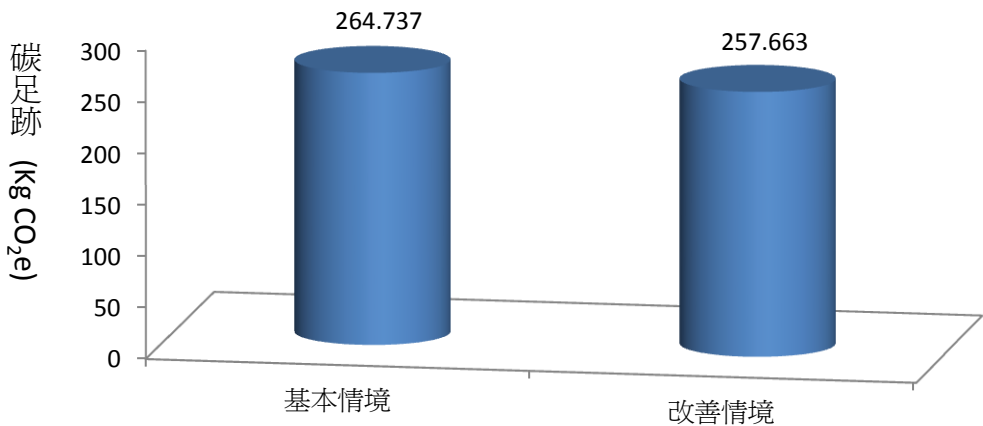


圖 6 基本情境與減碳情境之碳足跡比較

## 六、結果與討論

本研究結果(指基本情境)顯示，個案公司所生產的 PP 再生塑膠粒每功能單位之碳足跡為 264.737 公斤 CO<sub>2</sub>e，亦即每功能單位之生命週期溫室氣體總排放量為 264.737 公斤 CO<sub>2</sub>e。

由於每功能單位包括 650 公斤之再生塑膠粒，如以每公斤 PP 再生塑膠粒為單位，則其碳足跡為 0.407 公斤 CO<sub>2</sub>e/公斤。若與新品 PP 塑膠粒碳足跡之 1.7 公斤 CO<sub>2</sub>e/公斤相較，PP 再生塑膠粒碳足跡僅為新品 PP 塑膠粒碳足跡的 24%。此外就價格而言，PP 再生塑膠粒售價僅為新品 PP 塑膠粒三分之二左右，前述差異可提供關心環保議題之客戶在選購塑膠粒原料(再生塑膠粒或新品塑膠粒)之參考。

評估 PP 再生塑膠粒碳足跡之後，本研究研擬 1 減碳情境，以探討 PP 再生塑膠粒進行產品生命週期減碳之可能方向。此減碳情境假設 PP 再生塑膠粒所使用之「太空包」(聚丙烯材質之包裝袋)係從客戶處回收再利用。

據減碳情境之碳足跡評估結果顯示，PP 再生塑膠粒每功能單位之碳足跡為 257.663 公斤 CO<sub>2</sub>e，亦即每功能單位之生命週期溫室氣體總排放量為 257.663 公斤 CO<sub>2</sub>e。

比較 PP 再生塑膠粒的基本情境與減碳情境之碳足跡，由於減碳情境減少了太空包之溫室氣體排放，因此減碳情境之碳足跡(257.663 公斤 CO<sub>2</sub>e/功能單位)低於基本情境之碳足跡(264.737 公斤 CO<sub>2</sub>e/功能單位)。如與基本情境相比，減碳情境每功能單位之碳足跡則可減少 7.074 公斤 CO<sub>2</sub>e，即減少 2.7%。此研究結果可做為再生塑膠粒業者進行產品生命週期減碳之參考。

本研究研擬 1 減碳情境，並探討此情境之溫室氣體排放量減降成效，後續可針對更多減碳情境進行探討。譬如製造階段中，壓出成形機的暖機時間須耗費 1~1.5 小時，機器每日上午 8 時至下午 10 時運作，如果製造設備能改採 24 小時不停歇的運轉方式，即可節省冗長的暖機時間，減少製造階段電力消耗，有助於降低再生塑膠粒之碳足跡。

## 七、參考文獻

1. IPCC, IPCC Fourth Assessment: A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007.
2. 王義基，「製造業產品碳足跡輔導歷程與成果」，永續產業發展季刊，第 66 期，pp. 3-9，2014。
3. 李堅明，近 10 年來溫室氣體減量經驗及相關政策成效之檢討，經建會專案研究計畫，計畫編號(95)041.216，國立台北大學，2006。

## 150 廢塑膠再製成再生塑膠粒之碳足跡研究

- 4.ISO, ISO/TS 14067:2013, Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication, 2013.
- 5.經濟部，產業技術白皮書，2011。
- 6.環保署，產品與服務碳足跡計算指引，2010。
- 7.范振誠，「丙烯市場展望」，IBP 塑網，[http://www.ibuyplastic.com/tech\\_center/tech\\_paper/tech\\_detailcontent.phtml?id=719&IBP\\_SID=becd303cc53d7f96fc7135b4d586851a](http://www.ibuyplastic.com/tech_center/tech_paper/tech_detailcontent.phtml?id=719&IBP_SID=becd303cc53d7f96fc7135b4d586851a)，2012。
- 8.彭琬馨，「塑膠再生開創產品的第二春」，節能減碳故事賞，<http://savearth.nctu.edu.tw/index.php/environment/216-2012-11-22-16-34-07.html>，2015。
- 9.環保署，碳係數資料庫，[http://cfc.epa.gov.tw/CIT\\_Beta/CIT\\_UI/Bmodule/Inventory/Metadata2.aspx](http://cfc.epa.gov.tw/CIT_Beta/CIT_UI/Bmodule/Inventory/Metadata2.aspx)，碳足跡計算服務平台，2015。
- 10.thinkstep, GaBi 7.0, <http://www.thinkstep.com>, 2015.
- 11.ISO, ISO 14064-1:2006, Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals, 2006.