

逢甲大學學生報告 ePaper

漆彈氣瓶碳足跡

(Paintball Cylinder Guerrilla Air-Carbon Footprint)

作者：王競逸

系級：航太碩一

學號：M0603514

開課老師：賴奇厚、朱正永

課程名稱：碳足跡

開課系所：綠色能源科技碩士學位學程

開課學年：106 學年度 第一學期



中文摘要

地球暖化問題是人類現今面臨的首要議題，六大項溫室氣體中又以二氧化碳排放是最為日常化的項目，原因在於這是每一位人類每天或多或少會製造出的污染物，因此有責任去了解日常消費物品背後衍生的碳排放，從量化碳排放加深人類對二氧化碳的認知進而達成減低排放量之目標。本研究針對相較鮮少的育樂題材做深入的探討，以美商鋼瓶公司 Guerrilla Air 出品的 70(cu-in) 產品為主軸，搭配台灣代工生產線的製程，從原料、製程、配銷、使用、回收五大「產品生命週期」詳細計算碳排放量達到產品的「碳足跡」追溯。「碳纖維纏繞氣瓶」，原料包含鋁材內膽、碳纖維、玻璃纖維、與環氧樹脂；製程包含鋁錠裁切、引伸製程、熱旋壓製程、纏繞製程、與烘箱製程；配銷包含包裝材料、與運輸；使用包含灌氣能耗、與檢測；回收包含不可回收的複合材料、與可回收再製的鋁材內膽。經過每一步驟的原料能耗、設備功率、以及運輸工具的里程計算，最終得到漆彈鋼瓶的生命週期製造出的碳足跡是相當可觀，從本研究報告最後量化的碳排放希望引起育樂領域商品在碳足跡方面的重視，以及提出可供商品生命週期過程降低碳排放的主要方向與具體方式。



關鍵字：碳足跡、產品生命週期、碳纖維纏繞氣瓶

Abstract

The issue of global warming is now the top priority for mankind. Carbon dioxide is the most daily item in the six major greenhouse gases, so it is the responsibility of people to understand the carbon emissions derived from everyday consumer goods. In this study, we will discuss the relatively infrequent themes of recreation. Based on the production of 70(cu-in) "carbon fiber wrapped cylinder" from American cylinder company "Guerrilla Air". By quantifying carbon emissions, deepening impression of "carbon footprint" issue in order to achieve the goal of reducing emissions. To calculate the five major "product life cycle" of raw materials, manufacturing processes, distribution, using and recycling, we can trace the "carbon footprint" of products. At last, I will summarize the main directions and specific ways for reducing carbon emissions during the life cycle of goods.



Keyword: Carbon footprint、Product life cycle、Carbon fiber wrapped cylinder

目 次

1. 主題介紹	1
1.1 產品簡介.....	1
1.2 產品生命週期界定.....	2
2. 產品製造	2
2.1 原料.....	3
2.2 製程.....	5
2.3 配銷.....	8
2.4 使用.....	10
2.5 回收.....	11
3. 碳足跡計算	12
4. 碳排放與環保改善	15
5. 參考資料	錯誤! 尚未定義書籤。



1. 主題介紹

1.1 產品簡介

漆彈(Paintball),是一種經由儲存高壓氣體轉變成高速噴射能量原理所發展出來的遊戲,並填充帶有顏色的漆彈從槍管彈出,擊中目標後產生標記以供計分的運動。

碳纖維氣瓶(Carbon Fiber Cylinder),漆彈玩家講求輕量化、長效攻擊、精品化,等需求之中誕生的產品亦被用於淺水用的大型氧氣筒與醫療用小型氧氣瓶之中。早期常使用鋼材作為瓶子的材料具有強度高的優點,然而鋼材在重量上是關鍵性的缺點,並且鋼材容易生鏽被受限在許多的惡劣環境,如:海水、科技廠;因此,在移動式氣瓶的使用逐漸被淘汰,剩下瓦斯鋼瓶仍占有高比例的使用;移動式的氣瓶因為鋁材製程技術的提升逐漸替換為鋁瓶,結構上是經由「引伸」、「熱旋壓」所製造的無接縫氣瓶,具有輕量化、與不易被侵蝕的優勢;然而,在一些高壓力需求並且重視安全性的使用環境,如:漆彈氣瓶、氫能儲存罐、淺水氧氣瓶等,鋁瓶已經不合乎使用了;進而發展出減少鋁料並在外圍以碳纖維或者玻璃纖維纏繞強化的產品產生,也就是本報告的主題「碳纖維氣瓶」,如圖 1.1 所示。



圖 1.1 First Strike 公司系列氣瓶

圖片來源: <https://www.paintballruinedmylife.com>

1.2 產品生命週期界定

整體上分為五大類，依序為原料、製程、配銷、使用、回收。針對「碳纖維氣瓶」主題又可以延伸五大項再細分為以下，原料:鋁材、碳纖維束、玻璃纖維；製程:鋁材裁切、鋁材塑形、纖維纏繞、高溫固化；配銷:泡棉填材、外部紙箱、運送產品；使用:水壓測試、十年壽命；回收:複材焚化、鋁材再利用。

產品的生命週期有兩項重要的時程定義:「搖籃到大門」、「搖籃到墓地」。前者，包含了原料與製程兩個時程，將所要生產的產品從原料給生產出來；後者，定義了產品從原料的出生，一直到產品的需求價值不存在，送至丟棄處理或者回收處理，產品生命週期的定義示意圖如圖 1.2 所示。



圖 1.2 產品生命週期_搖籃到大門、搖籃到墓地

2. 產品製造

產品製造過程將之解析為五大過程:原料、製程、配銷、使用、與回收，由於每一過程所能得到的實體參數不一致，因此需要個別以適合的方式分析，如:原料必須計算出重量再以重量單位的碳排放做計算、製程機台官方數據多以功率表示必須經過生產時間與發電效率做碳排放計算、配銷最為相關的為運送里程必須從單位里程做碳排放計算、使用方面類似製程以機台功率計算、最後回收分為焚化爐焚燒與回收利用兩項皆以單位噸數所消耗能量做計算。

2.1 原料

「碳纖維氣瓶」主要原料包含:鋁錠、碳纖維、玻璃纖維、與樹脂所構成的纖維包覆式氣瓶，本題目所分析的主題對象為 Guerrilla Air 公司所生產的 70 (CU in)容量氣瓶，經由規格與生產線的了解計算原料的重量比例，其瓶身規格如圖 2.1 所示。



➤ 規格

- 1) Volume: 70 CU IN
- 2) Weight: 2.3 lbs/1.0kg
- 3) Service Pressure: 4500 PSI
- 4) Length: 10.94 in/27.8cm
- 5) Diameter: 4.59in/11.2cm

圖 2.1 Guerrilla Air 70 (CU in)碳纖維氣瓶規格

圖片來源: <http://www.rockstartactical.com/discontinued-guerrilla-air-70-4500-digi-camo-m45-myth-4-5-tank>

氣瓶的纖維纏繞共需要兩種型態才能緊密對鋁材內膽作包覆，因此對氣瓶幾何形狀的了解與纏繞原理必須有一定的程度，氣瓶幾何形狀如圖 2.2 所示。

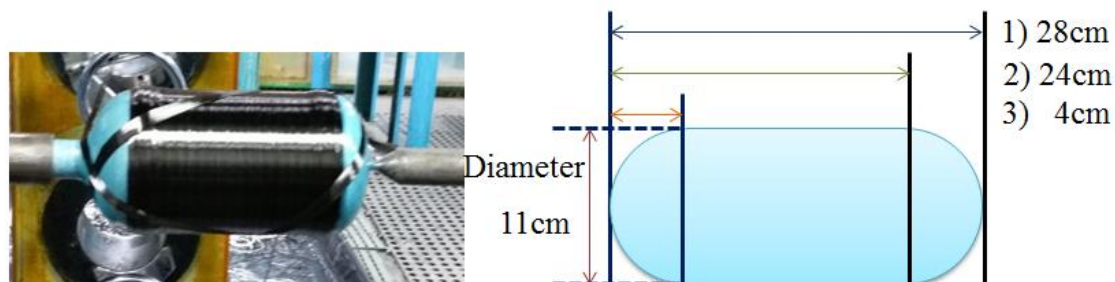


圖 2.2 氣瓶纏繞示意與幾何形狀對照

首先，「平行纏繞法」主要針對瓶身直徑均一性的部位做纏繞，並且經由反覆纏繞一趟稱為一層纏繞，「平行纏繞法」如圖 2.3 所示，計算單層公式如公式 2-1。

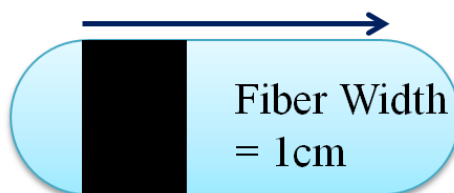


圖 2.3 「平行纏繞法」示意圖

$$\text{One-layer: Diameter} \times \pi \times \left(\frac{\text{Cylinder} \cdot \text{width}}{\text{Fiber} \cdot \text{width}} \right) \times 2 \quad (\text{公式 2-1})$$

第二，「極軸纏繞法」主要針對橢圓形幾何的最遠兩端作纏繞，彌補「平行纏繞法」無法達成的纏繞位置兩種方法互相配合達到對內膽最佳的束縛力，「極軸纏繞法」如圖 2.4-5 所示，計算單層公式如公式 2-2。

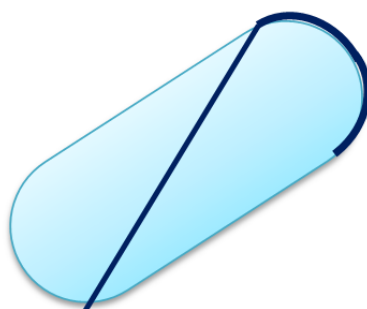


圖 2.4 「極軸纏繞法」示意圖

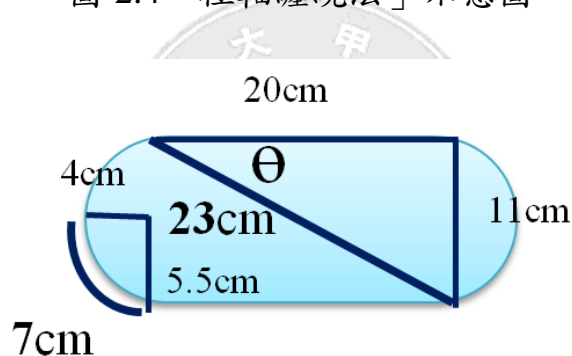


圖 2.5 「極軸纏繞法」示意圖

$$\text{One-layer: } (2 \times \text{Arc} + \text{Oblique}) \times 2 \times \left(\frac{\text{Diameter} \times \pi}{\text{csc}(\tan^{-1} \frac{11}{20})} \right) \quad (\text{公式 2-2})$$

經過公式的計算能夠得到「平行纏繞法」單層長度約為 1382(cm/layer)、「極軸纏繞法」單層長度約為 1278(cm/layer)。參照原料供應商的產品每單位重量長度的數據，碳纖維=1250(m/kg)、玻璃纖維=900(m/kg)、樹脂與纖維比例約為 1:12，得到以上參數計算得到重量依序為：碳纖維 170(g)、玻璃纖維 60(g)、樹脂 20(g)。

原料除了纖維與樹脂外包含內膽，內膽材料為鋁材，將成品規格中所標示的 1000(g)扣除複合材料重量，得到鋁材 750(g)。以上為原料各自的比重，在下一章節的碳足跡計算將會把此些資料代入原料製造的能源消耗，進一步計算碳的排放量。

2.2 製程

製程步驟包含六大項:鋁材運送、鋁錠切割、引伸製程、熱旋壓製程、纖維纏繞製程、高溫固化製程，步驟流程如圖 2.6 所示。



圖 2.6 碳纖維氣瓶製程流程圖

鋁材運送與裁切參考 VG3040 裁切設備得到切刀功率 37kW，加上輸送帶(conveyor)總功率約為 50kW，設備如圖 2.7 所示。給定單件生產速度約為 6(piece/minute)，得到單件能耗約 500(kJ/piece)。



圖 2.7 VG3040 設備參數示意圖

圖片來源: <http://www.everising.com/ch/vg3040.html>

引伸製程參考 Parrytech Hydraulics_Hydraulic Deep Drawing Press 設備，得到設備總功率為 16kW，設備圖如 2.8 所示。給定單件生產速度約為 6(piece/minute)，得到單件能耗約 160(kJ/piece)。

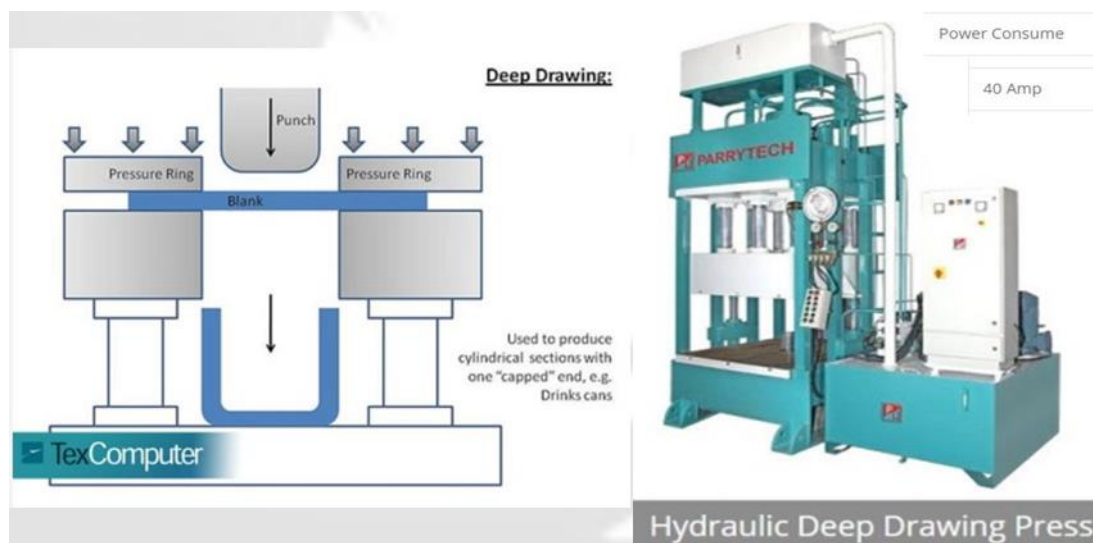
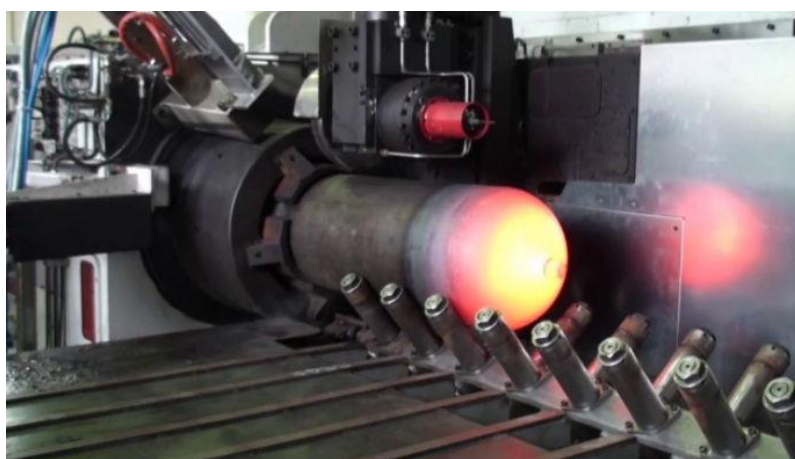


圖 2.8 Parrytech Hydraulics_Hydraulic Deep Drawing Press 設備
 圖片來源: <http://www.hydraulicpressmachine.in/deep-draw-hydraulic-press.html#die-questing-deep-draw-press>

熱旋壓製程參考 Zhenhuan Machine 設備，得到設備馬達功率 15kW、加熱器功率 500kW，設備圖如 2.9 所示。給定單件生產速度約為 1 (piece/minute)，得到單件能耗約 30900(kJ/piece)。



Item	Data
Main spindle rotating speed	300~400rpm
Main motor power	15kW
Hydraulic station motor power	5.5kW, 1440rpm
Heating power	500kW

圖 2.9Zhenhuan Machine 設備
 圖片來源: http://www.zhenhuan-machine.com/pic/big/47_0.jpg

纖維纏繞製程參考 Mikrosam 纖維纏繞機設備，得到總功率 25kW，設備圖如 2.10 所示。給定單件生產速度約為 5 (piece)/40(minute)，得到單件能耗約 12000(kJ/piece)。



圖 2.10 Mikrosam 纖維纏繞機設備
圖片來源:益材科技股份有限公司

高溫固化製程參考宜欣工業機械設備，得到總功率 28kW，設備圖如 2.11 所示。給定單件生產速度約為 200 (piece)/40(minute)，得到單件能耗約 336(kJ/piece)。

型式Model	GHO-10
爐內尺寸 Interior W*D*H(CM)	200*120*160
爐外尺寸 Exterior W*D*H(CM)	240*140*230
電源Power Source	220V3Ø 28KVA



圖 2.11 宜欣工業機械設備
圖片來源: <http://www.i-shin.com.tw/gykx.htm>

2.3 配銷

Guerrilla Air 公司位在 Simi Valley, CA 93065，委託桃園市益材科技股份有限公司代工，配銷要求使用保麗龍做瓶子間隔的緩衝保護材料、外部以厚紙板作裝箱，最後運送至加州西米谷總部(Simi Valley, CA)。

保麗龍能耗經網路資料得到約 11.28(kWh/lbs)，如圖 2.12 所示。益材公司以平均一個瓶身使用 100(g)保麗龍做填充，最後計算得到保麗龍對應一支瓶身的能耗為 8934(kJ/piece)。

Manufacturing One Pound of the Material	Energy Used (kWh)	Water Used (gals)	Solid Waste (lbs)	CO ₂ Emissions (lbs)
Wheat-Straw	0.66	13.33	n/a	0.69
Sugarcane Bagasse	1.73	14.41	n/a	1.71
Corn PLA	5.37	8.29	0.042	1.30
Virgin Coated Paperboard (SBS)	5.2	12.38	2.33	3.2
100% Recycled Paperboard (SBS)	3.06	3.53	1.34	1.71
PET (Polyethylene)	10.28	7.45	0.087	2.81
PP (Polypropylene)	9.34	5.12	0.029	1.67
EPS (Polystyrene / Styrofoam)	11.28	20.54	0.113	2.51

圖 2.12 保麗龍能耗圖

圖片來源: <http://worldcentric.org/sustainability/energy-savings>

外部紙箱能耗經網路資料得到約 2500(kWh/ton)，如圖 2.13 所示。益材公司以平均一個瓶身使用 50(g)紙箱做包裝，最後計算得到紙箱對應一支瓶身的能耗為 450(kJ/piece)。

Paper Type	Energy Consumed
Packaging board	2 – 3 MWhr/t paper made
Newsprint	3 – 4 MWhr/t
Tissue	5 – 7 MWhr/t
Fine Papers	4 – 8 MWhr/t
Specialty papers	Up to 20 MWhr/t
UK Average	4 MWhr/t

圖 2.13 紙箱能耗圖

圖片來源: <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/S2014/SHWPCE/Papers/SW-Prevention-Integration>

運送路程需要使用到陸運、以及船運。路線包含:桃園-高雄港、高雄港-洛杉磯港、洛杉磯港-西米谷。一支 Guerrilla Air 70 (CU in) 碳纖維氣瓶成品重量加上包裝材重量，運送重量約為 1150(g)。台灣桃園至高雄港約為 320(km)、高雄港至洛杉磯港約為 15000(km)、洛杉磯港到西米谷約為 100(km)，如圖 2.14-16 所示。



圖 2.14 桃園至高雄港



圖 2.15 高雄港至洛杉磯港

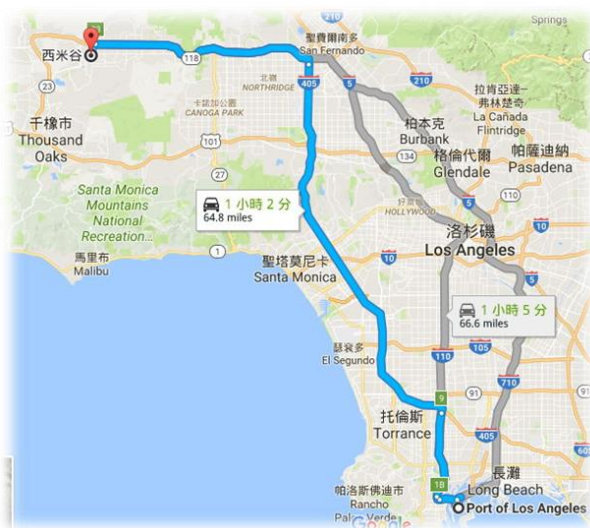


圖 2.16 洛杉磯港至西米谷

2.4 使用

碳纖維氣瓶廣泛使用在漆彈業，可分為業者承租提供與玩家各自收藏，由於使用頻率將會有落差，因此本報告給予一天灌氣一次的使用頻率。

灌氣能耗參考 Amron 壓力幫浦公司，得到總功率 7.5kW，設備如圖 2.17 所示。給定單件填充速度約為 3(minute/piece)，並假設使用年限為 10 年，得到單件能耗約 4927500(kJ/piece)。



圖 2.17 Amron 壓力幫浦示意與參數圖

圖片來源:<https://www.amronintl.com>

水壓測試是鑑定氣瓶是否合格得以繼續使用的方法，如美國有 DOT 標準、中華民國有 CNS 規範，但是測試手法都為相同，參照 Alibaba 公司所提供的參數，設備總功率約為 2.6kW 如圖 2.18 所示。一支氣瓶的測試時間約為 30(minute/piece)，得到單件能耗約 4680(kJ/piece)。

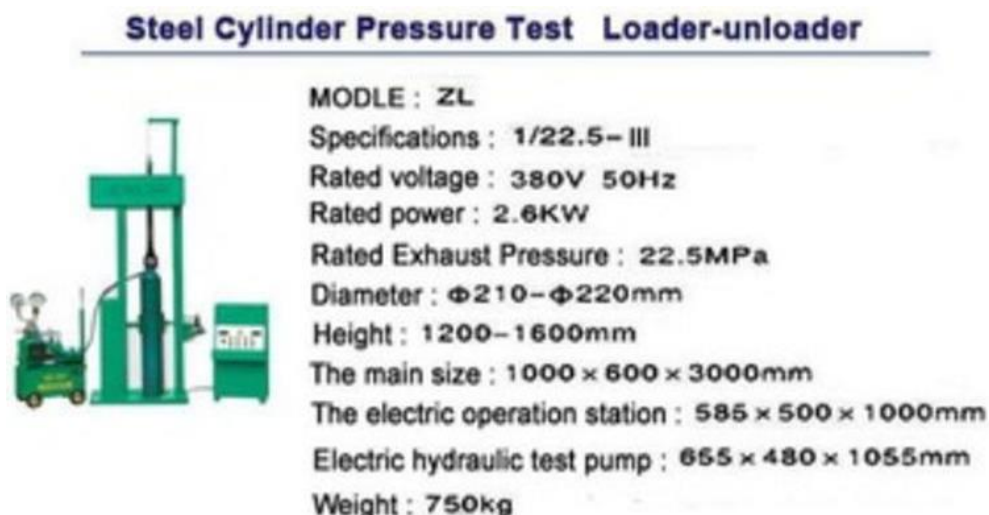


圖 2.18 水壓測試設備示意與參數圖

圖片來源:https://www.alibaba.com/product-detail/hydrogen-gas-Cylinder-hydraulic-pressure-testing_322003436.html

2.5 回收

碳纖維氣瓶是由鋁材內膽與外部複合材料所構成，在產品報廢之時必須分為焚燒與再製兩個方向。

焚燒是針對不可回收的複合材料部分作討論，從台中市垃圾焚化廠取的焚化爐能耗約為 50000(kWh/ton)，台中市垃圾焚化廠如圖 2.19 所示。複合材料重量 250(g)，經過計算可以得到 45000(kJ/piece)。



圖 2.19 台中市垃圾焚化廠

圖片來源: <http://news.ltn.com.tw/news/local/paper/1101650>

回收再製是針對鋁材的部分，國際上產鋁大國的能耗因為技術上而有所不同，本次報告採用中華民國鋁料大宗進口國澳洲(Australia)的數據如圖 2.20 所示，並且假設回收與生產的能耗相同作為計算，回收鋁材重量 750(g)，經過計算得到 40500(kJ/piece)。

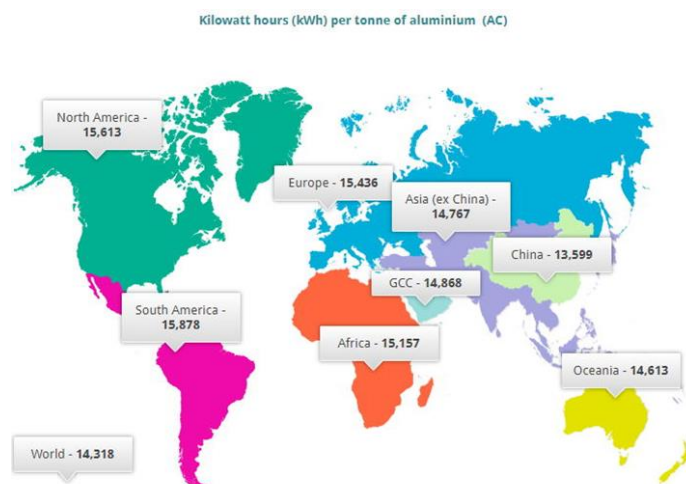


圖 2.20 國際產鋁大國產鋁能耗數據

圖片來源: <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-energy-intensity/>

3. 碳足跡計算

在此章節要歸納第二章所提供的數據基礎，加入單位重量能耗、單位度電碳排放、以及單位里程碳排放等數據，計算出原料、製程、配銷、使用、與回收的碳足跡。

原料碳足跡計算，取得上一章節提供原料重量利用此章節得到的單位重量能耗，經過發電廠碳排放效率可以得到碳足跡如公式 3-1。

CO₂·Emission:

$$\text{Weight}(g) \times \text{Energy}\left(\frac{kJ}{g}\right) \div 3600\left(\frac{s}{h}\right) \div 0.529\left(\frac{kgCO_2}{kWhTaipower}\right) \quad (\text{公式 3-1})$$

帶入原料的重量後，計算的總 CO₂ 排放量約為 13.65(kgCO₂)。

製程碳足跡計算，取得上一章節提供的設備能耗利用此章節得到的發電效率可以得到碳足跡如公式 3-2。

CO₂·Emission:

$$\text{Energy}\left(\frac{kJ}{\text{piece}}\right) \div 3600\left(\frac{s}{h}\right) \div 0.529\left(\frac{kgCO_2}{kWhTaipower}\right) \quad (\text{公式 3-2})$$

帶入製程的能耗後，設備的總 CO₂ 排放量約為 6.45(kgCO₂)。

配銷碳足跡計算，取得上一章節提供的設備能耗與運送里程利用此章節得到的發電效率與里程碳排放效率如圖 3.1 所示可以得到碳足跡個別如公式 3-2、3-3。

CO₂·Emission:

$$\text{Distance}(km) \times \text{Weight}(g) \times \text{Emission} \cdot \text{ratio}\left(\frac{kgCO_2}{g - km}\right) \quad (\text{公式 3-3})$$

帶入配銷的能耗後，計算的總 CO₂ 排放量約為 1.58(kgCO₂)。

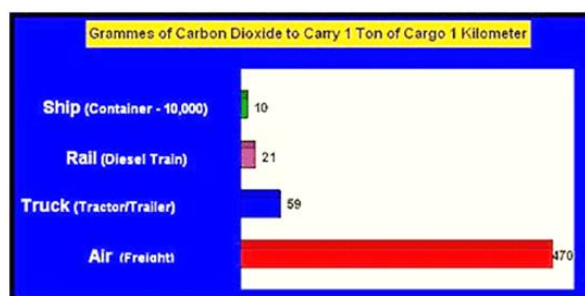


圖 3.1 運輸公會對大宗運輸工具的碳排放計算圖

圖片來源: <http://www.worldshipping.org/industry-issues/environment/air-emissions/carbon-emissions>

使用碳足跡計算，取得上一章節提供的設備能耗利用此章節得到的發電效率可以得到碳足跡，與製程碳足跡計算方式相同如公式 3-2。

帶入使用的能耗後，設備的總 CO₂ 排放量約為 724.76(kgCO₂)。

回收碳足跡計算，取得上一章節提供的焚燒與再製能耗利用此章節得到的發電效率可以得到碳足跡，與製程碳足跡計算方式相同如公式 3-2。

帶入回收的能耗，過程中的總 CO₂ 排放量約為 12.56(kgCO₂)。

產品的五大階段:原料、製程、配銷、使用、回收，依序計算出各自的碳排放，其歸納示意圖如圖 3.2 所示。之中，使用步驟產生的碳排放是最為可觀。

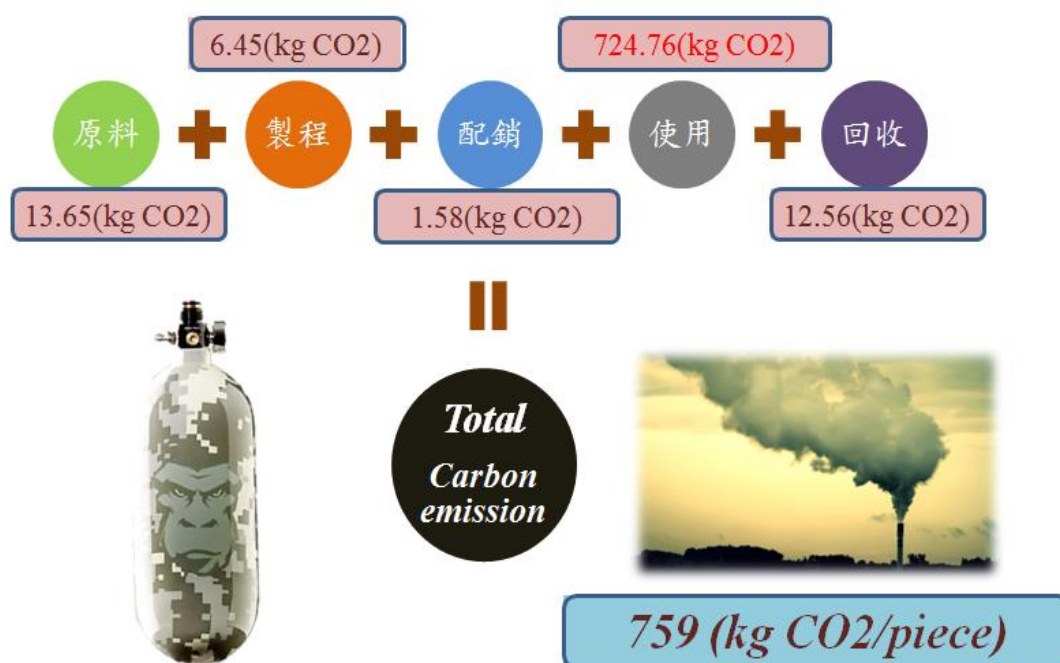


圖 3.2 五大產品階段碳排放歸納圖

對照網路公開使用的軟體「LCA TO GO」，計算出的碳排放約為 1448(kgCO₂)，判斷誤差來自原料生產參數、製造國別電力效率、以及運輸參數的差異，導致計算節國的誤差，但是佔最大的碳排放階段為使用階段是符合的，「LCA TO GO」計算結果與比例圖如圖 3.3-3.4 所示，並且將自己計算的碳足跡圓餅圖對照「LCA TO GO」圓餅圖如圖 3.5 所示，能清楚看出兩種計算資料的碳排放比重。

	Eco-costs in € for the whole product life cycle	Eco-costs in € per year of use
Life Cycle Stages	1448.00	144.80
▼ <input checked="" type="checkbox"/> MATERIALS	2.18	0.22
<input checked="" type="checkbox"/> Materials	2.18	0.22
▼ <input checked="" type="checkbox"/> MANUFACTURING	0.93	0.09
<input checked="" type="checkbox"/> Energy	0.93	0.09
<input checked="" type="checkbox"/> Processes	-	-
▶ <input checked="" type="checkbox"/> DISTRIBUTION	0.42	0.04
<input checked="" type="checkbox"/> Packaging	0.10	0.01
<input checked="" type="checkbox"/> Transport	0.32	0.03
▼ <input checked="" type="checkbox"/> USE	1444.04	144.40
<input checked="" type="checkbox"/> Energy consumption	1444.04	144.40
<input checked="" type="checkbox"/> Consumables	-	-
▼ <input checked="" type="checkbox"/> END-OF-LIFE	0.42	0.04
<input checked="" type="checkbox"/> Incineration	0.42	0.04

圖 3.3 「LCA TO GO」計算結果

	Eco-costs in € for the whole product life cycle	Eco-costs in € per year of use
Life Cycle Stages	100.0%	100.0%
▼ <input checked="" type="checkbox"/> MATERIALS	0.1%	0.1%
<input checked="" type="checkbox"/> Materials	0.1%	0.1%
▼ <input checked="" type="checkbox"/> MANUFACTURING	0.1%	0.1%
<input checked="" type="checkbox"/> Energy	0.1%	0.1%
<input checked="" type="checkbox"/> Processes	0.0%	0.0%
▶ <input checked="" type="checkbox"/> DISTRIBUTION	0.0%	0.0%
<input checked="" type="checkbox"/> Packaging	0.0%	0.0%
<input checked="" type="checkbox"/> Transport	0.0%	0.0%
▼ <input checked="" type="checkbox"/> USE	99.7%	99.7%
<input checked="" type="checkbox"/> Energy consumption	99.7%	99.7%
<input checked="" type="checkbox"/> Consumables	0.0%	0.0%
▼ <input checked="" type="checkbox"/> END-OF-LIFE	0.0%	0.0%
<input checked="" type="checkbox"/> Incineration	0.0%	0.0%

圖 3.4 「LCA TO GO」計算比例圖

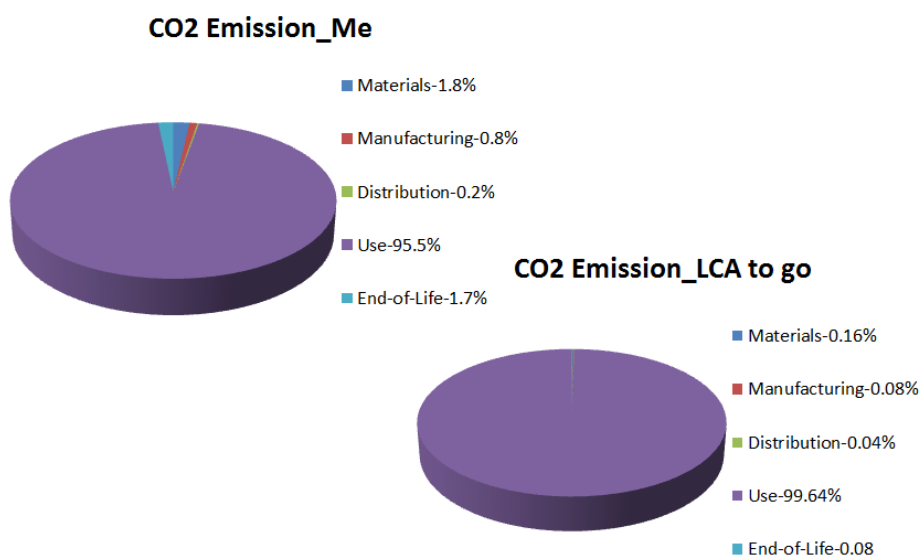


圖 3.5 依步驟所算的碳足跡與「LCA TO GO」圓餅圖比較

4. 碳排放與環保改善

「民以食為天」，在生活需求的程度上依序分類為：食、衣、住、行、育樂。育樂的需求程度是最小的，然而卻是單位體積碳排放最大的產品如圖 4.1 所示。

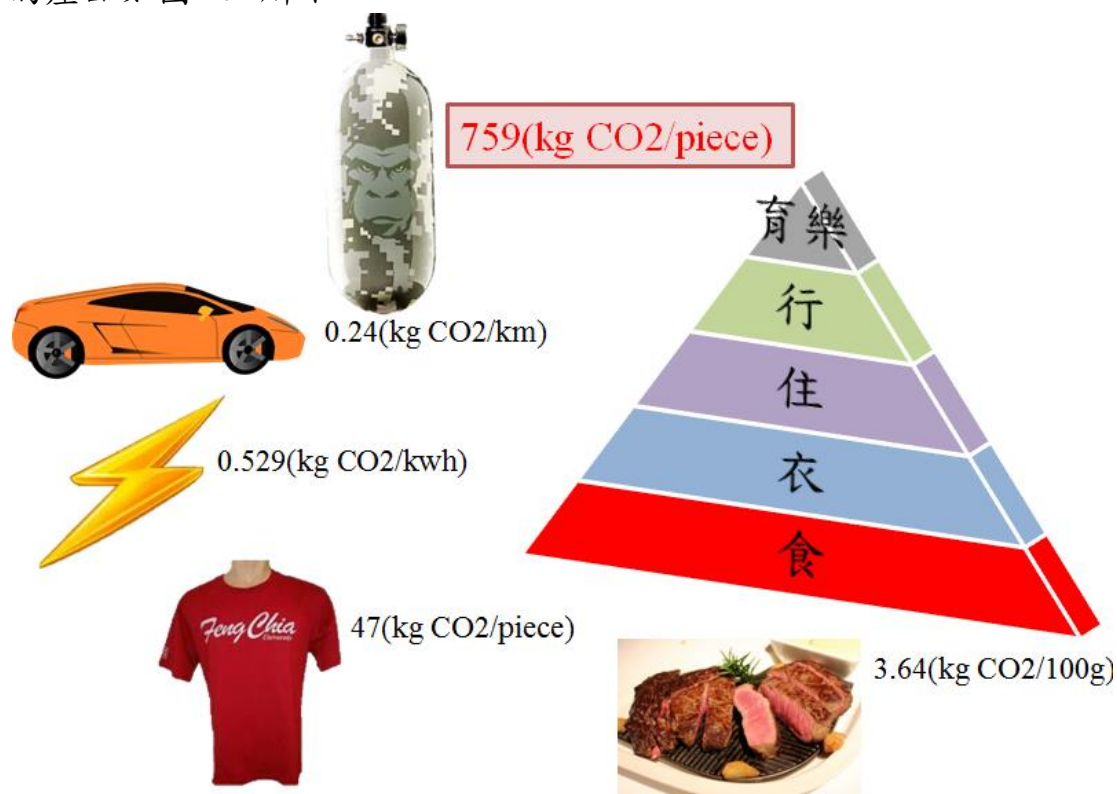


圖 4.1 生活需求與碳排放對照圖

經過此報告的計算，認知了育樂領域的碳排放量是相當可觀的，因此也浮現了一些省思與能夠改善的項目，希望藉由以下的改善，讓同一件東西的生命週期帶來的碳足跡降低，藉此讓地球更為健康與生生不息的永遠興盛。

1. 使用端的設備用電效率優化，減少使用階段的碳排放
2. 貨輪動力機組增加廢熱循環發電
3. 氣瓶製程設備，自動化整合降低待機時間與提高生產效率
4. 原料製程之改善，如碳纖維石墨化改良
5. 電力來源增加再生能源使用比例，取代化石燃料
6. 育樂在生活中的重要性最低，製造出的碳排放量卻最為可觀，因此減低育樂需求或適當選擇對碳排放會有明顯降低

參考文獻

1. <https://www.walmart.com/ip/Ninja-Paintball-SL-Carbon-Fiber-77ci-4500psi-Air-Tank-Black/37526732>
2. <http://www.rockstartactical.com/discontinued-guerrilla-air-70-4500-digi-camo-m45-myth-4-5-tank/>
3. <https://scitechvista.nat.gov.tw/c/s2bj.htm>
4. <http://www.everising.com/ch/vg3040.html>
5. <https://www.texcomputer.com/it/content/deep-drawing>
6. <http://www.hydraulicpressmachine.in/deep-draw-hydraulic-press.html#die-questing-deep-draw-press>
7. http://www.zhenhuan-machine.com/pic/big/47_0.jpg
8. <http://www.g-hon.com/product.php?cat=2&pid=5>
9. https://www.alibaba.com/product-detail/hydrogen-gas-Cylinder-hydraulic-pressure-testing_322003436.html
10. <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=55979>
11. <http://www.world-aluminium.org/statistics/primary-aluminium-smelting-energy-intensity/>
12. <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ernesto/S2014/SHWPCE/Papers/SW-Prevention-Integration/Austin-Reducing-Energy-Consumption-in-Paper-Making-using-APC-and-Optimisation.pdf>
13. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15440470903345784>