專題報告

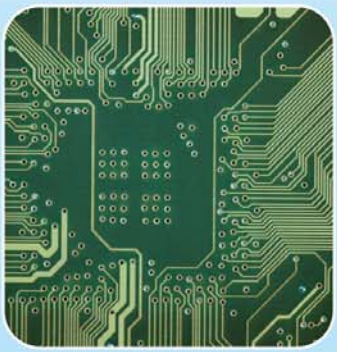
2012-05

財團法人 中技社

綠色技術及其之碳足跡評估

-以綠色材料、綠色能源及資源循環再生產品為例

CTCI FOUNDATION



中華民國 101 年 5 月

專題報告

2012-05

財團法人中技社(CTCI Foundation) 於 1959 年 10 月 12 日創設，以「引進科技新知，培育科技人才，協助國內外經濟建設及增進我國生產事業之生產能力爲宗旨」。初期著力於石化廠之設計與監建，1979 年轉投資成立中鼎工程，承續工程業務；本社則回歸公益法人機制，朝向裨益產業發展之觸媒研究、污染防治與清潔生產、節能、及環保技術服務與專業諮詢。2006 年本社因應社會環境變遷的需求，在環境與能源業務方面轉型爲智庫的型態，藉由專題研究、研討會、論壇與座談會等，以及發行相關推廣刊物與科技新知叢書，朝知識創新服務的里程碑邁進，建構資訊交流與政策研議的平台；協助公共政策之規劃研擬，間接促成產業之升級，達成環保節能與經濟繁榮兼籌並顧之目標。

本著創社初衷，爲求對我們所處的環境能有更深的貢獻以及協助產業發展，對國內前瞻性與急迫性的能源、環境及經濟議題邀集國內外專家進行研究探討，爲廣爲周知，提供讀者參考，特發行此專題報告。

此專題報告之主要作者爲胡憲倫博士，爲美國康乃狄克大學環境工程博士，現任國立台北科技大學環境工程與管理研究所專任教授兼所長。主要研究領域爲環境管理、企業永續、清潔生產、生命週期評估與管理等方面。蕭瓊茹、楊士瑩，與黃慶耀皆爲國立台北科技大學環境工程與管理研究所之研究生。

發 行 人：潘文炎

作　　者：胡憲倫、蕭瓊茹、楊士瑩、黃慶耀

總 編 輯：王釿鋊

執行編輯：許湘琴、蕭瓊茹

發 行 者：財團法人中技社

地址 / 106 台北市敦化南路二段 97 號 8 樓

電話 / 886-2-2704-9805

傳真 / 886-2-2705-5044

網址 / www.ctci.org.tw

ISBN: 978-986-88170-2-9

目錄

第一章　前言　1

1.1　碳足跡重要性　1

1.2　綠色技術重要性　4

第二章　碳足跡評估概念與方法　6

2.1　生命週期評估　6

2.2　PAS2050:2008　11

2.3　ISO14067　13

2.4　台灣產品與服務碳足跡計算指引　14

第三章　產品碳足跡　16

3.1　產品碳足跡之緣起與發展　16

3.2　產品碳足跡之計算準則與執行方法　21

3.3　產品碳足跡現況　24

第四章　綠色技術碳足跡評估　32

4.1　綠色材料　32

4.2　綠色能源　41

4.3　資源循環再生產品　45

第五章　結語　58

參考文獻　60

圖目錄

圖 1.1-1	毛納洛峰觀測站(Mauna Loa Observatory)大氣中 CO_2 數量	2
圖 2.1-1	LCA 研究之四個階段(Phase)	7
圖 2.3-1	ISO 14067 發展架構圖	14
圖 3.1-1	個人碳足跡組成比例圖	18
圖 3.1-2	產品碳足跡計算所包含完整的生命週期過程	19
圖 3.2-1	我國碳足跡計算準則之制定背景	21
圖 3.2-2	碳足跡計算作業程序	23
圖 3.3-1	台灣碳標籤圖示	24
圖 3.3-2	低碳標章	25
圖 3.3-3	英國 Walkers 洋芋片碳標籤與生命週期階段	28
圖 3.3-4	英國 Tesco 零售賣場的碳標籤與洗衣粉生命週期階段	29
圖 4.1-1	綠色大門施工完成正面照片	33
圖 4.1-2	綠色大門 B 樹型裝置物立面圖	33
圖 4.1-3	綠色大門樹 F 型裝置物立面圖	34
圖 4.1-4	綠色大門碳足跡系統邊界圖	34
圖 4.1-5	H 型鋼大門碳足跡評估之系統邊界	35
圖 4.1-6	GFRP 大門與兩種情境之碳足跡比較圖	37
圖 4.1-7	陽明山國家公園人行棧道圖	38

圖目錄

圖 4.1-8　人行棧道碳足跡系統邊界圖　39

圖 4.1-9　GFRP 人行棧道-生命週期軟體碳足跡計算結果　40

圖 4.1-10　人行棧道生命週期各階段之碳排放量軟體樹狀圖　41

圖 4.2-1　染料敏化太陽能電池　42

圖 4.2-2　DSSC 碳足跡系統邊界圖　43

圖 4.2-3　DSSC-生命週期軟體碳足跡計算結果　44

圖 4.2-4　DSSC 生命週期各階段之碳排放量樹狀圖　45

圖 4.3-1　AA 鹼性電池　46

圖 4.3-2　原生鹼性電池系統邊界　46

圖 4.3-3　再生鹼性電池系統邊界　48

圖 4.3-4　原生鹼性電池(焚化或掩埋)與再生鹼性電池之生命週期各階段碳排放量　51

圖 4.3-5　28W T5 燈管　52

圖 4.3-6　原生 T5 燈管系統邊界　53

圖 4.3-7　再生 T5 燈管系統邊界　54

圖 4.3-8　原生 T5 燈管(焚化或掩埋)與再生 T5 燈管之各生命週期階段碳排放量　57

表目錄

表 1.1-1	加拿大、歐盟、紐西蘭及英國在永續發展政策議題上之重點整理	3
表 1.2-1	綠色技術概念之文獻回顧	4
表 2.1-1	政府與企業單位應用 LCA 的情況	9
表 2.1-2	國內生命週期評估技術之文獻回顧彙整表	10
表 2.2-1	英國碳足跡計算準則(PAS 2050:2008)主要文件	11
表 2.4-1	台灣碳足跡計算準則之要點	15
表 3.1-1	碳足跡定義之文獻回顧	16
表 3.2-1	產品碳足跡相關之驗證標準內容	22
表 3.2-2	執行產品碳足跡作業的三個階段	23
表 3.3-1	各國碳標籤之推行情形	26
表 3.3-2	產品類別規則文件制定流程	30
表 3.3-3	B2C 碳足跡產品類別規則	31
表 3.3-4	B2B 碳足跡產品類別規則	31
表 4.1-1	GFRP 大門之碳足跡評估結果	36
表 4.1-2	情境 1 模擬結果	36
表 4.1-3	情境 2 模擬結果	37
表 4.1-4	GFRP 大門與兩種情境之碳足跡比較表	37
表 4.1-5	GFRP 人行棧道生命週期各階段碳足跡之分配比例	40

表目錄

表 4.2-1　DSSC 生命週期各階段碳足跡之分配比例　44

表 4.3-1　三種再生料之回收再利用率(99 年度)　49

表 4.3-2　再生鹼性電池剩餘需開採之原料用量　49

表 4.3-3　原生鹼性電池(焚化)與再生鹼性電池之生命週期各階段碳排放量比較　50

表 4.3-4　原生鹼性電池(掩埋)與再生鹼性電池之生命週期各階段碳排放量比較　50

表 4.3-5　三種 T5 燈管回收料之再利用率(99 年度)　54

表 4.3-6　再生 T5 燈管剩餘需開採之原料用量　55

表 4.3-7　原生 T5 燈管(焚化)與再生 T5 燈管之生命週期各階段碳排放量比較　56

第一章 前言

根據世界資源協會(World Resources Institute, WRI)公布 2008 年國家二氧化碳排放總量及人均排放量，台灣的總排放量在全世界排第 24 名，人均排放量排第 15 名(WRI, 2011)，雖然台灣並非京都議定書之締約國，但台灣政府亦將節能減碳納爲國家發展之主要政策，且隨著國際碳議題之熱門，碳足跡概念也應運而生，其定義爲一項服務或產品的整個生命週期過程所直接與間接產生的二氧化碳排放量。而產品碳足跡評估已廣泛成爲各國政府及企業界達成減緩全球暖化目標之工具，亦可幫助企業與消費者朝向綠色消費邁進。

另外，全球現今面臨著氣候變遷造成的全球環境議題，加上傳統化石能源逐漸衰竭所帶來的能源危機，而台灣地區由於資源缺乏，能源大都仰賴進口，因此發展既能解決能源危機又能爲環境帶來益處的技術至關重要。而綠色技術即是一種爲了降低環境影響又能解決能源危機的技術，其包含綠色材料與綠色能源。

1.1 碳足跡重要性

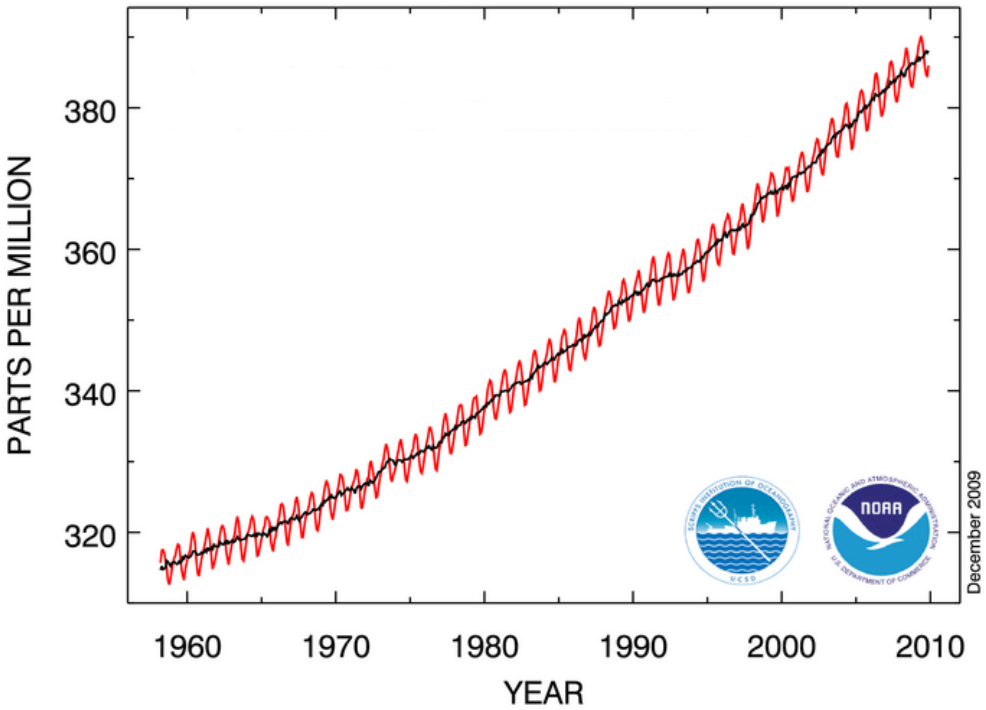
地球正面臨著全球暖化的現象，這種現象除了大自然的變化外，還有人類使用化石燃料，並大量排放二氧化碳等氣體所產生的增溫現象。氣候變化政府間專家小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)預測至 2100 年，全球平均地表氣溫將較 1990 年上升 2℃，此預測值之上下範圍爲 1℃-3.5℃；海水位將上升 50 公分，其預測範圍爲 14 公分至 95 公分；即使至 2100 年溫室氣體濃度已保持穩定，不再上升，但氣溫與海水位都將持續上升。

隨著全球暖化問題日益嚴重，氣候變遷異常現象包含：南北極冰層融化、海平面上升、低窪地區海水倒灌、產生威力強大的暴風雨、沙漠化現象的擴大以及傳染病散播等等問題產生，造成全球的總生產毛額(GDP)減少 1%到 5%，相當於 2.4 兆元台幣的損失。

爲了防止溫室效應持續惡化，聯合國於 1992 年里約熱內盧召開地球高峰會議(Earth Summit on Sustainable Development)中通過了《聯合國氣候變化綱要公約》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)，此公約爲人類共同合作處理全球暖化問題開啓了歷史新頁，亦爲國際社會對抗溫室效應定立了原則立場和與基調，希望能減緩全球暖化的現象。爾後，1997 年 12 月於日本京都舉行的第三次締約國大會(the third conference of the parties, COP3) 進一步簽署《京都議定書》(Kyoto Protocol)，延宕

多時的《京都議定書》於 2005 年 2 月 16 日正式開始生效，其中主要管制 38 個工業化國家及歐洲聯盟應於 2008 至 2012 年間將該國溫室氣體排放降至 1990 年排放水準，平均再減 5.2%。《京都議定書》之生效對世界各國具體落實溫室氣體減量構成相當大的政經壓力，如何研擬適當的因應對策,期能以最少的成本達成減量目標，儼然成為各國施政的重要課題之一(李叢禎等人，2007)。

美國海洋大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)設於夏威夷的毛納洛峰(Mauna Loa)觀測站指出，大氣中的二氧化碳濃度由 1958 年的 315ppm 至 1988 年已升至 350ppm，於 2009 年 6 月 10 日所發佈的數據，地球大氣層的二氧化碳濃度，在 2009 年 5 月的平均值，已經達到 390.18ppm，預測在 2050 年時，將達到 600ppm，如圖 1.1-1 所示。「碳」無疑是目前最熱門的話題，碳足跡(Carbon Footprint)的概念也應運而生。碳足跡用於描述特殊活動或實體所產生的溫室氣體排放量，並成為組織與個人評鑑其對氣侯變遷之貢獻(PAS2050)。將碳足跡的概念，納入企業活動相關的溫室氣體排放量考量時，便能研擬相關的低碳目標以及減量計畫，幫助企業有更明確的改善方向。



資料來源：Scripps Institution of Oceanography NOAA Earth System Research Laboratory，2011

圖 1.1-1　毛納洛峰觀測站(Mauna Loa Observatory)大氣中 CO_2 數量

本研究報告針對歐盟、加拿大、紐西蘭及英國整理其永續發展相關的政策與做法，將研究重點彙整三大重點，分別是生命週期評估與管理、氣候變遷與低碳社會及永續消費與生產(Sustainable Consumption and Production, SC&P)，此四個國家在這些議題上的重點綜合彙整成表 1.1-1。

表 1.1-1　加拿大、歐盟、紐西蘭及英國在永續發展政策議題上之重點整理

	加拿大	歐盟	紐西蘭	英國
生命週期評估與管理	• 爲 UNEP 生命週期管理計畫的原始加入國 • 鼓勵企業以生命週期思維來經營企業	• 鼓吹生命週期做法與管理是企業永續的重要策略 • 每年舉辦生命週期管理國際研討會	• 生命週期評估已經在業界相當普及，已經累積了非常多生命週期評估的個案資料，特別是在農產品上	• 生命週期評估與生命週期管理在業界非常普及，政府亦有計畫的在業界推動
氣候變遷與低碳社會	• 再生能源政策與工具進行比較分析 • 推動產業使用再生能源方案 • 推動氫氣早期採用計畫	• 同時達到抵抗氣候變遷、改進企業競爭力，並透過低碳產品，以進軍全球市場的三贏做法 • 透過 EUP 指令，擴大設計及生產低碳產品 • 健全能源市場，並強化歐盟排放交易制度	• 制定紐西蘭能源新政策，管制碳排放及提供安全與潔淨的能源 • 研擬碳排放交易制度	• 推動微型生產計畫，透過小型低碳能源提供給住戶、社會於小型企業 • 提供獎勵安裝低碳生產技術於公眾於慈善部門 • 提供獎勵於節能與潔淨技術 • 導入碳捕獲及封存技術
永續消費與生產 (SC&P)	• 早在 1997 年環境部即開始推動 SC&P，並以永續消費、產品環境管理與爲永續性設計等三個議題爲主 • 提升消費者對於永續消費概念	• 制定綠色設計指令，並擴大產品規範範疇 • 制定能源標章指令，做爲消費者綠色產品購買資訊 • 建立一致性之產品環境衝擊資料庫 • 政府提供獎勵推廣能源和綠色產品 • 結合零售商推廣永續消費	• 推動政府採購方案，包括購買具高效率能源及標章產品 • 推動生態認證 (Eco-verification) • 制定法規，推動產品管家制度 (Product stewardship)	• 成立跨組織小組，與產業分享永續實務 • 設立零售商之永續消費專家小組 • 跨部會成立永續消費與生產推動小組 • 推動產業提升企業社會責任意識

由表 1.1-1 可得出先進國家在針對永續消費與生產部分，已有制定了相關政策與措施。除了整個國家層級碳足跡的問題之外，微觀的企業及產品的碳足跡的問題也日益受到重視。企業除了以碳中和爲目標外，更應創造以碳爲主的競爭優勢(Carbon advantage)，積極地因應碳揭露專案(Carbon Disclosure Project, CDP)對碳足跡與碳風險管理的要求，並應留意 CDP 對整個供應鏈碳足跡要求的趨勢與做法。目前各國都已有開始制定相關措施，鼓勵環保標章使用、環保設計及引入環境管理系統等，這些做法都是爲了因應全球氣候變遷所帶來的變化。其中一點即爲改變人民消費的模式，透過購買對環境更友善及更環保之產品，以達到減少對地球的損害。然而，溫室氣體減量問題牽涉的層面複雜且多元,政策工具之選擇又須面對多重考量，對應的減量成本亦不甚相同(李叢禎等，2007)。

1.2 綠色技術重要性

隨著世界人口持續增加與經濟活動迅速發展，人類對於能源的需求量與日俱增，以往傳統的能源體系主要爲化石能源(石油、天然氣、煤氣等)，但於 1973 年中東戰爭所引發的石油危機，使得世界各國開始正視能源開發的重要性，而台灣地區天然資源稀少，使得能源取得不易，所需能源大多仰賴進口，因此面對氣候變遷以及能源問題，綠色技術便成爲台灣政府發展重點項目之一。

湯馬斯・弗德曼在「世界又熱又平又擠」一書中提到：綠色技術將是下一波全球產業的主力，那些可以發展、製造與販售更多此類型技術的國家，將擁有成長快速的產業，也能享有最乾淨的空氣。而綠色技術主要包含綠色能源與綠色材料兩大主軸，其有關綠色技術概念之文獻回顧如表 1.2-1 所示。

表 1.2-1　綠色技術概念之文獻回顧

作者	概念
Weatherall (1990)	認爲綠色技術的具體作爲與人類周遭環境有直接關係，如減少化石燃料的使用、訂定排放標準等。
Shrivastava(1995)	在生產設備、產品設計及產品交付中，其方法及程序可減少自然資源與能源的消耗，減少人類活動所致之環境負荷並保護自然環境。
Klassen and Whybark(1999)	綠色技術爲改變作業過程中會影響環境的因子，並集結其他專家學者文獻，歸納出三種技術的代表：污染預防技術、汙染控制技術與管理系統。
顧國維(1999)	對綠色技術的定義爲「綠色技術發展和應用在提高生產效率或優化產品效果的同時，能夠提高資源和能源利用率，減輕環境負荷，改善環境質量」。
蕭惠文(2001)	提出在生產過程中的技術，不僅要減少對環境的危害，更要積極地以永續的觀點來綠化環境，廣義地來說，綠色技術是一種對環境無害，且可使環境永續的技術。

表 1.2-1　綠色技術概念之文獻回顧(續)

作者	概念
巢志成(2009)	提出綠色技術主要特性爲可提升資源與能源的效率、減少污染物及溫室氣體的排放、增進潔淨與再生能源的使用、降低製程與產品中有毒物質的擴散，以及再生與回收材料的開發與使用。

本研究報告整理本研究團隊評估相關綠色技術之案例，包含綠色材料、綠色能源及資源循環再生產品，透過生命週期評估概念進行計算以上案例之碳足跡排放量，並探討其二氧化碳減量效益。其相關綠色技術之案例，如下所述：

- 綠色材料:選定以國立臺北科技大學使用玻璃纖維強化高分子複合材料(Glass Fiber Reinforced Plastics, GFRP)建構之綠色大門爲評估對象；以及內政部營建署與國立台北科技大學合作，於陽明山國家公園使用 GFRP 爲材料建構而成之人行棧道，並對此棧道進行碳足跡計算。
- 綠色能源:選定國立台北科技大學分子系自行設計製作之染料敏化太陽能電池(Dye-Sensitized Solar Cell, DSSC)進行探討。
- 資源循環再生產品：以鹼錳電池與 T5 燈管爲案例探討，並假設兩者可循環再生情境下，比較原生產品與再生產品碳足跡之排放量。

第二章　碳足跡評估概念與方法

本節將介紹碳足跡相關計算概念與準則：生命週期評估、英國 PAS 2050:2008、國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)發展中之碳足跡準則 ISO 14067(draft)及台灣行政院環保署產品與服務碳足跡計算指引，以下為此四項概念與準則之簡述。

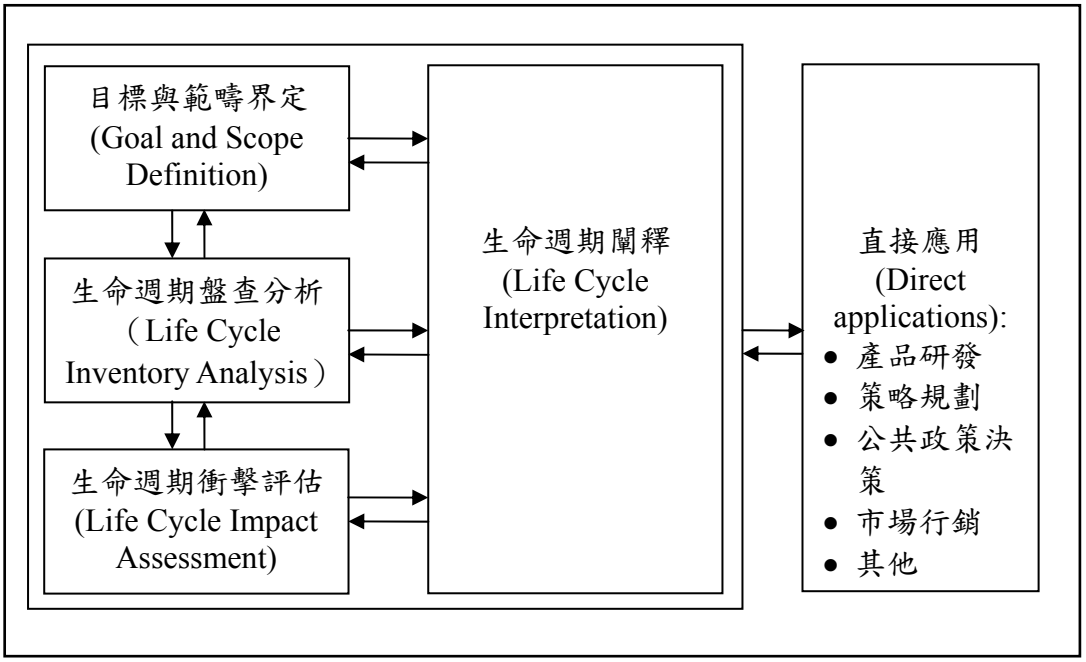
2.1　生命週期評估

生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)為衡量產品於原料取得、生產製造、使用與廢棄(亦即「從搖籃到墳墓」)的所有過程，可能產生環境衝擊之評估技術。生命週期評估的興起及應用，一般認為係起始於 1969 年時可口可樂公司委託美國 MRI 公司(Midwest Research Institute)進行比較各類飲料容器之資源耗用與環境污染排放之研究(李育明，2000)。初期 LCA 研究領域著重於廢棄物、能源及容器之評估，其中又以淨能源分析(Net Energy Analysis)為早期主要研究的領域之一，以考量產品製造過程所需能源情形。1990 年代以後，國際間愈來愈多有關生命週期評估的報告及研究被提出，為反應出當時環境對 LCA 運用資訊的需求，環境毒理與化學協會(Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC)的北美及歐洲分會於 1993 年於葡萄牙舉辦「Guidelines for Life-Cycle Assessment: A Code of Practice」(SETAC, 1993)。

SETAC 對 LCA 定義為：是一種衡量產品生產或人體活動所產生之環境負荷的工具，需了解與評估整個生產過程投入之原物料、能源以及產生之排放物所造成之影響，並找出後續改善與修正之方針(SETAC, 1991)。國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)於「ISO 14040 環境管理－ 生命週期評估－ 原則與架構」中對 LCA 定義為：「生命週期評估係研究產品從原料取得、生產、使用及棄置(亦即搖籃至墳墓)整個生命過程中的環境考量與潛在衝擊。所考量的環境衝擊有資源使用、人類健康及生態影響等類別。」(經濟部中央標準局，1997)。

國際標準組織成立第207技術委員會(Technical Committee, TC)認為LCA議題與技術研究發展迅速，有必要將LCA作業概念國際標準化，予此，透過TC 207/SC 5次委員會及其下屬五個工作小組，將SETAC之生命週期評估技術繼續發展，並將產品評估標準方法納入ISO系列法規中，制定與LCA相關國際標準，自1997年公佈「ISO 14040生命週期評估－原則與架構」，為國內外相關研究單位與法規訂定參考之標準(顧洋，2000)。LCA標準之建立後，因其以宏觀角度進行產品環境衝擊管理，逐漸受到國際間重視，且此評估標準可應用於公共政策決策與產品設計開發，至今，LCA已成為許多組織部門評比產品或服務環境之衝擊的主流應用工具之一。

根據生命週期評估架構的定義，可分爲目標定義與範疇界定 (Goal Definition and Scoping)、盤查分析 (Inventory Analysis)、衝擊評估 (Impact Assessment)、闡釋 (interpretation) 等四部分構成。圖 2.1-1 爲生命週期評估之架構。



資料來源：ISO, 2006

圖 2.1-1　LCA 研究之四個階段(Phase)

一、目標與範疇界定

生命週期評估的第一步驟爲確定「研究目標」及「界定研究範圍」，其目標及範圍之重要性在於決定如何進行產品 LCA 評估，及表示研究的系統及類型。不同之研究系統及範疇，可能導致截然不同的結果，因此執行生命週期評估工作首重範疇之界定及相關基本條件的掌握，通常需考量下列幾點：研究之系統、系統的功能、功能單位、系統界限、分配程序、進行衝擊評估時使用之型態及評估範圍、對原始數據品質的要求、假設條件、研究限制、研究結果的審查型態、評審形式、最終報告的類型及格式等。

二、盤查分析

盤查分析包含數據資料蒐集與清單計算二大類，量化產品系統相關投入與產出，這些投入與產出包括該產品生產系統之能源耗用、資源使用與物料使用以及對與系統相關的空氣、水體及土地之污染排放等。盤查過程即在所確定產品系統內，針對各過程，建立相應功能單位的系統輸入及輸出。盤查分析過程通常需反覆進行，隨著對數據蒐集與對系統的近一步了解，其相關要求與限制因應而生，因而需改變數據蒐集程序以符合作業之目的。

三、衝擊評估

依照美國 SETAC 對衝擊評估所作的定義，所謂的衝擊評估是指「對衝擊結果的合理預期」，也就是說，依照衝擊評估架構處理盤查資料的方式，重點並不是描述一項產品在其生命週期中實際發生的環境衝擊爲何，而是在於依照擬定之方法架構下所預期之環境衝擊是否合理。SETAC 所擬定之衝擊評估架構分爲三個步驟：分類(Classification)、特徵化(Characterization)、評價(Valuation)。「衝擊評估」的發展與應用由於牽涉的範圍較廣，因此不同的研究目的和研究對象，使用到不同的評估技術，此爲目前較具爭議，不同的商用軟體，也可能採用不同的衝擊評估方法。

四、闡釋

闡釋乃是合併盤查分析與衝擊評估的觀察結果；或將盤查分析的觀察結果，與目標與範疇整合一致之階段，以達成結論與建議，且必須採結論與建議的形式給予決策者。闡釋階段包括審查與改訂生命週期評估範疇之反覆性過程，而後續的決策與行動得納入由闡釋觀察結果中鑑別出之連帶環境事項，但已超出生命週期評估作業之範疇。

近年來，在 ISO 14000 環境管理認證的潮流及世界貿易組織(World Trade Organization, WTO)的技術性貿易障礙趨勢下，各國企業在環境保護工作上已經產生許多的改變，從執行管末處理的工作以符合法訂之排放標準，轉而實行工業減廢及污染預防，到現今之清潔發展技術以及永續發展等，這些改變使得 LCA 被越來越多的私人企業、政府、消費團體及環保組織重視，作爲決策支援的應用工具之一(Wenzel et al., 1997；Krozer et al., 1998；Field and Ehrenfed, 1999)。

過去美國國防部(US Department of Defense)就曾利用LCA來決定政府單位供應商的採購政策，確認供應商所提供之產品是否具備對環境友善的特性(Goidel and Mckiel, 1996)。

有學者曾研究私人企業及政府單位在 LCA 應用及採行策略，發現政府在針對社會中需要改善的環境及社會問題，是透過 LCA 評估程序的比較結果，再根據對環境衝擊的程度來擬定公共政策(Wenzel et al., 1997)。

由上述可明顯的看出，對私人企業而言，LCA 的結果可作爲以消費者爲取向之市場產品開發時的重要依據所在；而政府決策單位則可將其用於制訂產品使用之法規，甚而作爲重大事件或環保決策時之參考依據(張憶琳，1995)。

隨著國際環保意識高漲以及綠色消費觀念興起，國外有許多的政府單位及企業組織都積極投入於 LCA 技術應用和與其相關做法的研究領域當中，並透過整個生命週期階段的評估流程，以檢視政策的可行性及降低營運程序對環境的衝擊，將危機化成轉機，甚至是商機，如表 2.1-1 所示。

表 2.1-1　政府與企業單位應用 LCA 的情況

<table>
<tr><th>對象</th><th>應用層面</th><th>實例</th><th>組織名稱</th></tr>
<tr><td rowspan="4">政府</td><td>社區計畫</td><td>焚化對抗回收</td><td rowspan="8">➤UK Department of Trade & Industry
➤US Department of Energy
➤US Department of Agriculture
➤US Department of Defense
➤US Environmental Protection Agency</td></tr>
<tr><td rowspan="2">綠色採購</td><td>大眾運輸系統</td></tr>
<tr><td>汽車或政府機關供應商</td></tr>
<tr><td>消費資訊</td><td>環保標章與標準</td></tr>
<tr><td rowspan="12">企業</td><td rowspan="3">建立環保重點</td><td>確認改善的區域</td><td rowspan="12">➤AT&T
➤Procter & Gamble Corp.
➤Volvo
➤Credit Suisse
➤The Body Shop
➤BP Amoco
➤IBM
➤Motorola
➤Dow Chemical
➤Nestle
➤Coca-Cola
➤Tetra Pak
➤Scott Paper
➤Exxon Mobil
➤Shell
➤Monsanto</td></tr>
<tr><td>以產品爲導向的環境策略</td></tr>
<tr><td>環境管理</td></tr>
<tr><td rowspan="4">產品設計</td><td>概念選擇</td></tr>
<tr><td>零組件選擇</td></tr>
<tr><td>原料選擇</td></tr>
<tr><td>製程選擇</td></tr>
<tr><td>環境化文件</td><td>ISO14000 認證或環保標章</td></tr>
</table>

資料來源：許家偉，2003；張韋豪，2011

表 2.1-2 爲彙整國內外近年來電子產業應用生命週期評估之相關研究及其概況，由表中可以了解國內外關於生命週期評估之研究可謂十分豐碩，其研究內容大致可分爲產品之綠色設計及應用 LCA 軟體進行產品環境衝擊之評估。

表 2.1-2　國內生命週期評估技術之文獻回顧彙整表

國內外生命週期評估之研究	
年份與作者	利用生命週期執行之研究
徐福麟(1999)	以倫飛電腦公司生產之筆記型電腦殼件爲研究分析對象，從綠色產品生命週期評估模式中發展綠色產品之設計策略發展架構，將有助於綠色產品開發具有最大環保效益。
朱冠誌(2000)	應用生命週期評估應用軟體 SimaPro4.0 對印刷電路板(Printed Circuit Board, PCB)進行生命週期評估。
劉家豪(2004)	利用生命週期軟體 Simapro 5.1 與 GaBi4，量化 IC 產品在製造階段產生的環境衝擊。
李珮蓓(2009)	應用投入產出結合生命週期評估法，探討台灣半導體業於民國 90、93、95 三年生產製造對環境的衝擊。在碳足跡方面，首先利用投入產出 LCA 量化 IC 製造業於民國 90、93、95 三年之碳足跡，爾後，以製程 LCA 評估台灣半導體製造業三間個案廠商之製程碳排放，並運用蒙地卡羅法進行參數不確定性分析。最後，比較投入產出 LCA 與製程 LCA 評估結果之差異。
莊憲洲和胡石政(2010)	針對國內 12 吋 DRAM 廠進行能耗調查，建立單位產品耗能指標並且比較分析不同世代 DRAM 廠之能源耗用。再者由生命週期評估觀點出發，探討 DRAM 廠的能源消耗，對全球暖化的影響。
Anders et al. (2005)	提出新的生命週期通用模型，分析積體電路及印刷電路板可能產生的環境衝擊，該模行的範疇爲從「搖籃到大門」計算溫室氣體的排放。
Duan et al. (2009)	目的爲描述應用生命週期評估的程序，以全球化的觀點探討電子產品的環境績效，應用生命週期評估軟體 SimaPro 7.0 爲評估工具，以 Eco-indicator 99 爲影響評估方法，研究結果爲積體電路(IC)及液晶顯示器(LCD)造成的環境衝擊最顯著。
Liu et al. (2009)	利用生命週期評估方式，評估動態存取記憶體於生產時所產生的環境衝擊，並以 Eco-indicator 99 及 Impact2002+兩種方法學比較之間的差異。

資料來源：張韋豪，2011

2.2 PAS2050:2008

PAS 2050「產品與服務溫室氣體排放生命週期評估規範(Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services)」乃由英國標準協會(BSI)制定並集合碳信託(Carbon Trust)與英國環境、食品與農村事務部(Defra)致力發展而成，並於 2008 年 10 月 29 日正式公布，爲第一份針對產品與服務之生命週期溫室氣體排放而制定之規範，亦成爲國際標準組織 ISO 發展碳足跡準則之參考文件，茲簡述 PAS 2050:2008 之主要文件與內容。

一、PAS 2050 的主要文件

此標準的目的在於針對「產品與服務」的碳排放計算，提供具一致性及透明的驗證規範。此標準執行後，英國政府再研擬「碳標示」的標準與方式。其中 PAS 2050 標準與指引文件共可分爲下列三種，茲整理各文件主要內容與功能，如表 2.2-1 所示。

表 2.2-1 英國碳足跡計算準則(PAS 2050:2008)主要文件

名稱	內容概要	功能	制定組織
PAS 2050:2008 商品和服務生命週期溫室氣體排放評估規範(Publically Available Specification, PAS)	此文件明確規範產品與服務生命週期溫室氣體排放評估應遵循之事項。	計算準則文件，爲碳足跡計算第一遵循文件，以及英國碳足跡制度之主體文件。	英國標準協會(BSI)、碳信託(Carbon Trust)、英國環境、食品與農村事務部(Defra)
PAS 2050 指南 如何評估商品與服務之碳足跡(Guide to PAS 2050 How to assess the carbon footprint of goods and services)	此文件藉由提供明確且實際之說明，以及計算方法，協助組織使用 PAS 2050 進行產品與服務之生命週期溫室氣體排放評估。	PAS 2050 之補充文件，輔助產品與服務之碳足跡計算。	英國標準協會(BSI)、碳信託(Carbon Trust)、英國環境、食品與農村事務部(Defra)
溫室氣體排放與減量主張之守則(The Code of Good Practice on GHG emissions and reductions claims)	此守則指導使用 PAS 2050 之組織如何評估產品碳足跡之減量，以及如何向消費者有效溝通產品之碳足跡。	PAS 2050 之補充文件，輔助碳足跡之標示與減量評估。	碳信託(Carbon Trust)與節省能源信託(Energy Saving Trust)

資料來源：產基會，2009

二、PAS　2050:2008 之主要內容

1.適用的範圍

PAS 2050:2008 適用於所有的產品與服務。產品例如：食品、電子產品、服飾、汽車等；服務則如：汽車維修、運輸服務等。各種行業無論規模大小皆適用。

2.計算的對象

包含 IPCC 所列之六種氣體(CO_2、CH_4、N_2O、HFCs、PFCs、SF_6)。

3.計算的範疇

可採用企業對企業(B2B，亦即 “搖籃至大門”)或企業對消費者(B2C，亦即 “搖籃至墳墓”)兩種生命週期。

若爲企業對企業之生命週期，則包含原料、製造、配送與銷售至消費者使用，與最終棄置或回收之階段。若爲企業對企業之生命週期，則碳足跡之計算僅將成品配送至另一企業之階段。

4.引用標準

ISO 14040 與 ISO 14044 爲 PAS 2050 引用之標準，但計算目的從環境衝擊變爲溫室氣體排放。

5.計算方式

將產品生命週期中所有發生於原料、能源與廢棄階段之活動乘上其相對應之排放係數，並加總即爲碳足跡的計算方式。計算式如下：

活動之碳足跡 = 活動數據(質量/體積/kWh/km)x 排放係數(每單位 CO_2e)

由於 PAS 2050 考量產品碳儲存之效應，故加總後之排放總量扣除碳儲存之量，即爲產品的生命週期溫室氣體排放量。

此外，PAS 2050 並要求計算時應注意 “質量平衡(Mass balance)”，亦即總流入製程之質量應等於總流出之質量，若質量不平衡，則表示有一部分之製程流未被計算(通常爲廢棄物)，據此檢視是否完整計算一製程之碳排放。

6.關於數據之要求

對於碳足跡計算數據品質之要求，採用 ISO 14044 之數據品質要求事項一節，要求事項包含：

6.1　與時間相關之涵蓋範圍：對於有時間性的資料較佳，例如具有年份以及最低蒐集時間長度。

6.2　地理特性：具地理性資料較佳，例如：區、國別、地域等。

6.3　技術涵蓋範圍：資料是否與一特定技術或混合技術相關，與該評估中產品特定技術相關之資料較爲理想。

6.4　數據的正確性：以較精確的資料較佳。

6.5　精準性：針對每一項資料衡量資料值的變異性(例如：變異數)，較爲精準之資料(亦即：擁有較低統計變異數)較爲理想。

6.6 完整性：資料測量之百分比，以及資料代表母體之程度(樣本大小是否足夠，周期性測量是否足夠等等)。

6.7 一致性：質性評估，此分析中不同組成部分的資料選擇方式是否一致。

6.8 再現性：質性評估，方法與數據的訊息允許另一獨立從業者重製此份研究報告之結論的程度。

6.9 數據來源：關於此數據的主要或次級數據性質。

7.排放分配

當產品生命週期的某一製程產出一個以上之可使用產品(亦即有聯產品或副產品之情況)，則須進行排放分配。分配方法首推將製程區分成子製程，使得這些子製程各自造成一產出，並蒐集子製程相關之投入與產出數據。若無法區分成子製程，則將系統擴大以涵蓋聯產品的相關附加功能。若將系統擴大之方法亦不可行，則以聯產品的經濟價值(此即經濟分配)按比例分配溫室氣體排放。

8.溝通方法

PAS 2050 未明文規定如何溝通產品之碳足跡或減量之聲明，但規範三種符合聲明之特定格式，分為：

8.1 經獨立第三者驗證

8.2 經其他者查證

8.3 自行查證

產品生命週期溫室氣體排放計算結果若經獨立第三者驗證，其結果較能取信於消費者；而自行查證之聲明則較容易被消費者質疑且較不受信賴。

2.3 ISO14067

國際標準起始於 1906 年之國際電子科技委員會(International Electrotechnical Commission, IEC)，專責電子技術標準之研定。其他領域之標準，則由 1926 年設立之國際國家標準化協會聯盟(International Federation of the National Standardizing Associations, ISA)負責，隨後於 1947 年 2 月 23 日建立非政府組織(non-governmental organization)之國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)，透過 ISO 運作達成之國際協定即公布為國際標準。

ISO 14067 碳足跡國際標準的發展目的為提供產品溫室氣體於量化與溝通方面之要求事項， 此標準將包含兩部分：第一部分(Part 1)與第二部分(Part 2)。

- 第一部分(Part 1)規範碳足跡量化/計算(Quantification)要求事項
- 第二部分(Part 2)規範溝通/標示(Communication)碳足跡之要求事項

由於國際標準組織 ISO 本身已發展許多與產品碳足跡相關之標準，ISO 14067 將基於這些標準進行制定，制定架構如圖 2.3-1 所示。

- 標示(Labelling)部分：ISO 14020 環境標誌與宣告系列
- 溫室氣體盤查(GHG)部分：ISO 14064 溫室氣體管理與相關活動系列

- 生命週期評估(LCA)部分：ISO 14040 生命週期評估系列

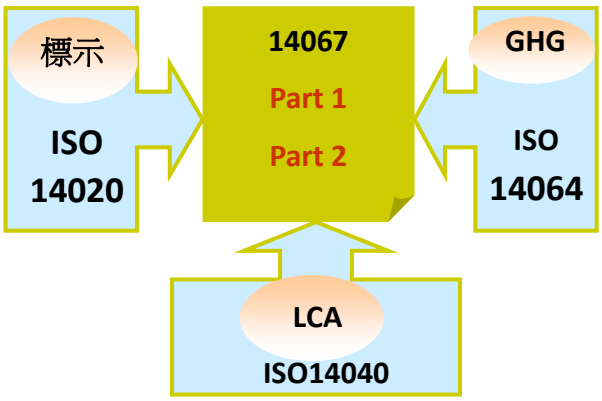


圖 2.3-1　ISO 14067 發展架構圖

2.4　台灣產品與服務碳足跡計算指引

我國產品與服務碳足跡計算指引乃奠基於 CNS 14040 與 CNS 14044 所建立之生命週期評估法，並詳細規範產品與服務生命週期二氧化碳排放評估而成，以提供企業各界在計算產品與服務生命週期二氧化碳排放時，有一致性之評估方法。

此指引帶來之效益可分成提供產品與服務之組織及使用產品與服務之消費者兩方向來看，在前者具有可供組織檢視內部現有產品與服務之生命週期二氧化碳排放現況、促進組織重新檢視其供應鏈之二氧化碳排放及提供產品與服務一致性與標準化之方法等三種效益；後者則可提供消費者在消費時能夠對所選擇之產品與服務之生命週期二氧化碳排放有更多之瞭解，並有機會選擇對環境有利之產品。

此指引規範應用 LCA，評估產品與服務在整個生命週期中的二氧化碳排放，適用於任何組織進行產品的「企業對消費者」、「企業對企業」以及其他應用(如其他企業對企業、內部企業使用、供應鏈最佳化等)之二氧化碳排放評估上。其內容主要係參採「PAS2050 評估產品/服務生命週期排放指引」之碳足跡評估步驟精神，規劃我國碳足跡計算準則，有關我國碳足跡計算準則之要點敘述如表 2.4-1 所示：

表 2.4-1　台灣碳足跡計算準則之要點

計算準則	準則要點
適用範圍	任何組織進行產品的「企業對消費者」、「企業對企業」以及其他應用(如其他企業對企業、內部企業使用、供應鏈最佳化、輔助設計等)之溫室氣體排放評估。
引用標準	● CNS 14040 環境管理—生命週期評估—原則與架構 ● CNS 14044 環境管理—生命週期評估—要求事項與指導綱要 ● CNS 14064-1 溫室氣體—第 1 部：組織層級溫室氣體排放與移除之量化及報告，附指引之規範 ● PAS 2050 商品和服務生命週期溫室氣體排放評估規範
原則	包含生命週期觀點、模組性、相對性方法與功能單位、巡迴路徑法、科學方法之優先順序、相關性、完整性、一致性、準確性、透明度及重複計算。
一般要求	應包含生命週期評估的四個步驟，亦即目的與範疇界定、盤查分析、衝擊評估與結果之闡釋。
評估對象	生命週期溫室氣體排放評估應包含 IPCC 第四版(the Fourth Assessment Report)所列之所有溫室氣體。
數據之要求	同 ISO 14044，包含時間、地理特性、技術範圍、正確性、精準性、完整性、一致性、重現性、數據來源；並分為一級數據及二級數據。
分配與計算	● 區分成子製程、擴大產品系統以涵蓋與聯產品相關之其他功能 ● 系統之投入項與產出項在其不同之產品或功能做分配時，須以能反應產品與功能間之基本物理關係的方式為之 ● 如僅以物理關係無法建立或作為分配之基礎，在產品及功能間之投入分配，須能反應彼此間之關係
計算方式	1. 一級活動數據以及二級數據應以該活動的排放係數，乘上活動數據，轉換成溫室氣體排放。此部分應記錄為產品每功能單位之溫室氣體排放 2. 溫室氣體排放數據應將相對之全球暖化潛勢(GWP)，乘上個別溫室氣體排放數據，轉換成二氧化碳當量排放 3. 該產品碳儲存以及按照抵換計算出的影響，應以二氧化碳當量表示，並自上述步驟 2 所計算出之總量扣除 4. 加總結果，以獲得二氧化碳當量表示之每功能單位的溫室氣體排放 5. 如有排除不具實質貢獻之排放，應將評估後的排放除以預期生命週期溫室氣體排放的比例，以擴大溫室氣體排放至 100%
溝通方法	● 經獨立第三者驗證 ● 經其他者查證

資料來源：環保署，2010

第三章　產品碳足跡

產品碳足跡(carbon footprint)係指在產品上標明生產、運輸、零售過程中碳排放量，以供消費者參考。藉由此可促使企業界及消費者重視此一議題，進而減緩人為溫室氣體排放。以下將介紹國內外產品碳足跡之緣起與發展、產品碳足跡之計算準則與執行方法，以及產品碳足跡推行現況，其包含碳標籤與產品類別規則(Product Category Rule, PCR)。

3.1　產品碳足跡之緣起與發展

碳足跡一詞源於生態足跡 (Wackernagel, 1996)，可定義為與一項活動或產品生命週期過程當中直接與間接產生的二氧化碳排放量 (ISA, 2007)。主要分為兩部分，直接或主要的碳足跡即燃燒化石燃料排放之二氧化碳，包含國內能源消費和運輸；間接或次要碳足跡衡量活動、產品以及服務等整個生命週期的碳排放量，包含生產、使用和最終處置。碳足跡評估範疇，一般可分為從搖籃到大門(cradle to gate)及從搖籃到墳墓(cradle to grave)。許多研究與文獻指出，碳足跡亦可標示出一個人、一項產品、甚至一個國家的碳排放量，當能源與資源耗用量越多時，二氧化碳排放量也越多，其碳足跡就越大。其有關碳足跡定義的文獻回顧如表 3.1-1 所示。

表 3.1-1　碳足跡定義之文獻回顧

作者	定義
Paliamentary Office of Science and Technology (POST 2006)	「碳足跡」為整個製程或產品生命週期中 CO_2 和其他溫室氣體排放量之總和。以每千瓦小時所產生的每公克 CO_2 當量表示 (gCO_2eq/kWh)，以描述其他溫室氣體所造成不同的全球暖化效應。
Patel (2006)	計算碳足跡為測量公司車輛、商務旅行與廢棄物掩埋等過程中，所排放的二氧化碳當量。
BP (2007)	碳足跡是由於日常活動產生的二氧化碳排放量-包含從使用洗衣機清洗衣物到駕駛滿載孩子的車到學校。
Carbon Trust (2007)	估算產品溫室氣體排放量的一種方法，以二氧化碳當量為單位，包含從原料生產、製造到產品處置整個生命週期。(不包含使用階段的排放)。此技術用於確認及測量個體溫室氣體的排放量，其中包含供應鏈階段與產品生產相關的所有系統中的每項活動。
Energetics (2007)	商業活動中所有直接與間接造成的二氧化碳排放量。
ETAP (2007)	碳足跡用於衡量人類活動所產生的溫室氣體對環境的衝擊，以公噸二氧化碳為單位。

表 3.1-1　碳足跡定義之文獻回顧(續)

作者	定義
Grub and Ellis (2007)	「碳足跡」爲一個測量燃燒化石燃料所排放二氧化碳的量之單位。在一個商業組織內，碳足跡爲日常行爲中所有直接與間接產生的二氧化碳排放量。
Carbon N Zero (2008)	透過燃燒化石燃料，測量二氧化碳的排放量： ● 於組織或企業中，其二氧化碳排放量是由每天業務產生； ● 在個人或家庭中，其二氧化碳排放量是由日常活動產生； ● 於產品或服務，則是沿著供應鏈生命週期中二氧化碳的排放。
MCI (2008)	二氧化碳與其他溫室氣體的總量於產品或服務整個生命週期中的排放量。
TreeVestors (2008)	透過燃燒化石燃料，測量二氧化碳的排放量。碳足跡是以每公噸二氧化碳爲單位或碳排放，通常以年度爲基礎。
Bing et al. (2010)	碳足跡是將一個活動、產品或服務，在其完整生命週期中，直接及間接的二氧化碳及其他溫室氣體排放的加總。
Peters (2010)	碳足跡的功能性定義爲在特殊條件、時間與空間系統的限制下，所有與消費或生產活動有關碳排放來源對氣候之影響。
Ross et al. (2010)	衡量產品生命週期裡，一系列活動所有直接與間接所累積的二氧化碳排放量。
Galli et al. (2011)	碳足跡計算生命週期內所有溫室氣體排放，可以應用在個人、團體、政府、企業、組織、工業等，不管應用在哪種案例上，都必須考慮其直接及間接的排放。
Lee (2011)	碳足跡是一種測量活動產生直接及間接的二氧化碳之總量，計算須包含其產品的完整生命週期。
Li et al. (2011)	碳足跡測量人類活動對環境造成的衝擊(尤其是氣候變遷)，計算產品在生產過程，化石燃料使用、發電及運輸等過程產生之溫室氣體逸散，並以二氧化碳當量表示。
Liqin (2011)	碳足跡的計算需考慮到 IPCC 公布之全球暖化潛勢(Global Warming Potential, GWP)，而溫室氣體排放的考慮，包含直接-汽油及天然氣的使用以及間接-製程用電、販售等，兩個部份產生的溫室氣體排放。

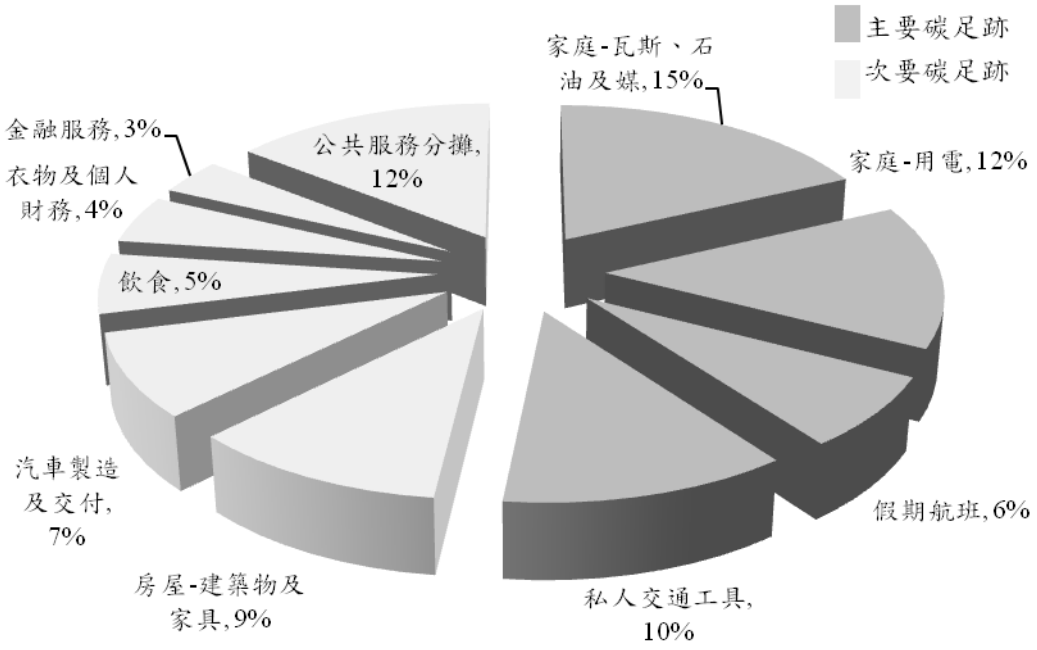
資料來源：整理自 ISA,2007；林容瑋，2011

目前碳足跡可分成『個人碳足跡』、『產品碳足跡』、『組織/企業碳足跡』及『國家/城市碳足跡』等四大層面，以下針對此四大層面進行說明。(林容瑋，2011)

一、 個人碳足跡

個人碳足跡是針對每個人日常生活中的食、衣、住、行所直接或間接產生的碳排放量加以估算的過程。目前國際上的估算方法有由上而下(Top-Down)與由下而上(Bottom-Up)兩種作法。由上而下是以家戶收支調查爲基礎，輔以經濟投入產出分析(Economic input-output life cycle assessment, EIO-LCA)，計算出一國中各家庭或是各收入階層的碳足跡平均概況。而由下而上(Bottom-Up)則是利用碳足跡計算器，依個人日常生活中實際消費、交通型態爲估算依據。圖3.1-1爲已開發國家個人碳足跡組成之比例圖，其中是由主要的碳足跡(深色區塊)及次要的碳足跡(淺色區塊)兩部分之總和。

主要的碳足跡是測量燃燒化石燃料所直接排放的二氧化碳，包括能源消耗和交通運輸等，如駕駛汽車和搭乘飛機，而這些排放是可以直接控制的。次要的碳足跡則是測量從產品的整個生命週期間接二氧化碳排放量，包含產品生產到最終損壞。簡單來說，購買得越多，造成的二氧化碳排放量也更多。而由已開發國家平均個人之碳足跡組成比例圖明顯可知，排名以家戶之能源使用產生之碳足跡所佔比例最高，其次爲休閒娛樂產生之碳足跡。



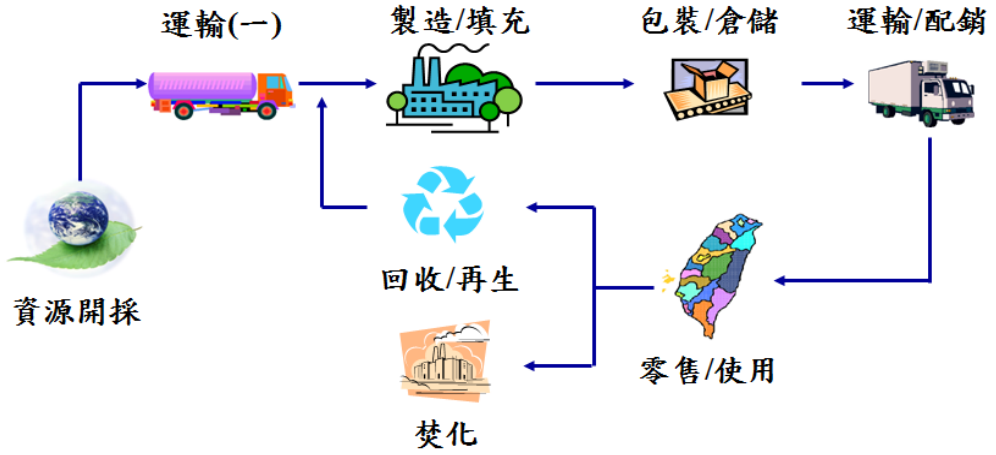
資料來源: Carbon Footprint- Home of Carbon Management, 2011

圖 3.1-1　個人碳足跡組成比例圖

二、 產品碳足跡

產品碳足跡是以單一產品製造、使用以及廢棄階段，整個『搖籃到墳墓』的過程中，因燃料使用以及製程導致的溫室氣體排放量(Process life cycle assessment, PLCA) (Kim and Neff, 2009)。一般產品碳足跡(Product Carbon Footprint)計算係以「完整生命週期」進行分析，包含上游的原料開採、產品製造、產品分銷與運輸、使用、最終廢棄處理以及回收/再生階段，皆需納入「碳足跡」的計算範圍，如圖 3.1-2 所示。而要達成上述各個階段皆納入碳足跡計算之目的，則需應用國際上發展已久的「生命週期評估」方法，才能夠提升碳足跡計算的可信度與便捷性。

LCA 屬於系統分析方法之一，其為「對產品系統自原物料的取得到最終處置的生命週期中，投入和產出及潛在環境衝擊之彙整與評估」(ISO 14040, 2006)。目前國際間多數產品碳足跡計算也係以生命週期評估的觀點來分析。



資料來源：環保署，2009

圖 3.1-2　產品碳足跡計算所包含完整的生命週期過程

產品的碳足跡由於是從瞭解產品及服務之生命週期溫室氣體排放著眼，因此透過碳標籤(Carbon Lable)制度的施行，可促使碳排放來源的透明化，也因此可以驅動企業加快減少衝擊的作為。另一方面，產品的碳足跡資訊，也可以讓消費者從需求端的角度，對抗氣候變遷。這是一種賦權(empower)的概念，在講求利害關係人(stakeholders)參與的現今社會，讓消費者透過溫室氣體排放量來選擇產品，並促成民眾消費行為的改變，將可產生更大的減碳效益。碳足跡和碳標籤已成為提供產品溫室氣體排放量資訊之潛在工具，以此方式提供資訊給消費者，便於消費者選擇減少溫室氣體排放之產品，標示標籤的目的並非引導消費者選擇不同類別的產品，而是幫助他們從同一類的產品中做出選擇(Flysjö et al, 2009)。

藉由產品碳足跡的揭露，可協助產業瞭解產品整個生命週期排放相關資訊，而產業可因瞭解這些資訊獲得以下機會：(1)減少溫室氣體排放；(2)找出節能及降低成本的機會；(3)將供應商、原料、產品設計及製程的排放衝擊整合至公司對溫室氣體的減量決策中；(4)展現企業環保及企業責任；(5)滿足客戶對產品碳足跡資訊的需求；及(6)滿足綠色消費者需求及建立市場區隔。

三、 組織/企業碳足跡

組織/企業碳足跡相較於產品碳足跡，還包括了非生產性的活動，例如相關投資的碳排放量，亦是組織/企業碳足跡所需揭露的範圍。根據國際標準組織頒佈之組織溫室氣體盤查與減量規範 ISO14064，組織/企業碳足跡可被分爲三個範疇(Scope)如下：

(1) 範疇一(Scope 1)：直接溫室氣體排放指由組織自有或控制的溫室氣體排放源所產生(如固定式燃燒、移動式燃燒及製程排放等)；

(2) 範疇二(Scope 2)：間接溫室氣體排放(外購電力、熱或蒸氣等)；

(3) 範疇三(Scope 3)：其他間接排放，由組織活動產生，但爲其他組織擁有或控制的溫室氣體排放源(例如員工通勤、乘坐飛機、鐵路與汽車的商務旅行，以及其他從產品使用及供應鏈的非直接排放)。

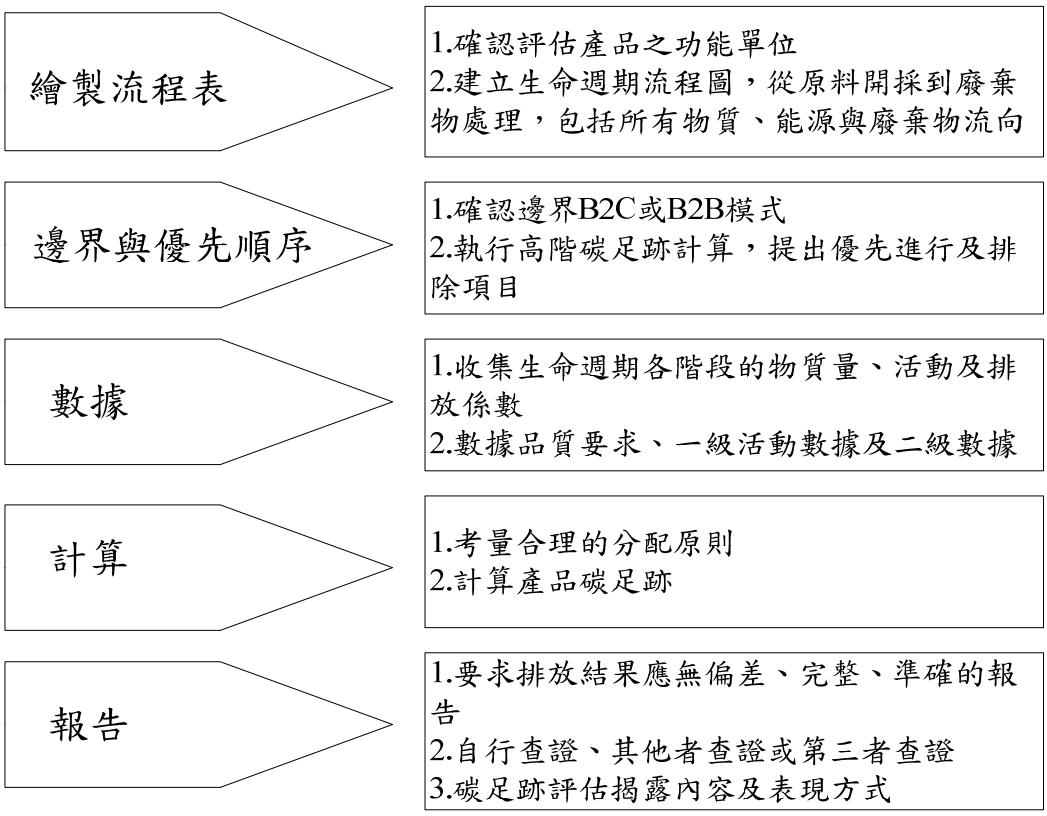
CDP由385個管理超過57兆美元資產之專業投資機構於2003年所發起成立，其主要任務在於鼓勵企業量測與揭露其溫室氣體的排放量，以及與氣候變遷有關之資訊。CDP會要求全球超過3000家的企業，針對氣候變遷相關議題做出回應，包括揭露溫室氣體排放量、氣候變遷風險與機會之評估，以及因應策略。2010年CDP邀請台灣38家企業加入碳揭露的行列，CDP之影響力逐年提升，企業碳管理揭露需求性也逐年增加。實施碳揭露，除了減少二氧化碳排放與能源消耗爲企業節省成本之外，更重要的是轉向低碳的經營模式，進而形成低碳經濟，亦可透過金融市場投資者的壓力逼迫企業改變唯利是圖的行爲提升企業的形象。

四、 國家/城市碳足跡

國家或城市的碳足跡，著眼於整個國家的總體物質與能源的耗用所產生的排放量，並著眼於「間接」與「直接」、「進口」與「出口」所造成排放量的差異之分析，以檢視此類碳揭露是否符合環境正義的原則。近年來諸多針對國家尺度的碳足跡探討，均佐證已開發的消費型大國，應以「永續消費」作爲減碳規劃之核心。如 Wiedmann et al.(2008)針對英國碳足跡評估指出，該國雖於 1992 年至 2004 年間，其境內的溫室氣體排放量下降了 5%，但實際上，若將因消費所導致的間接溫室氣體排放量納入時，則其碳足跡反而是上漲了 18% (Wiedmann and Minx, 2008)。挪威研究者 Hertwich et al.(2009)則就 2001 年時，進行全球 73 個國家以及 14 個區域之人均碳足跡估算，其研究結果以盧森堡、香港與美國爲碳足跡最高者。而就消費行爲分析時，食物消費佔比達 20%最高，家居部門佔比達 19%次之(Hertwich and Peters, 2009)。

3.2　產品碳足跡之計算準則與執行方法

我國之碳足跡計算標準主要是參採 PAS2050(2008)評估產品/服務生命週期排放指引之碳足跡評估步驟精神，規劃我國碳足跡計算準則，其制定背景如圖 3.2-1 所示。此外，目前國際標準組織(ISO)研擬中之產品碳足跡準則(亦指 ISO 14067)，待後續正式發布後環保署將根據其內容，進行修定。以下將彙整 PAS2050、ISO14067、及我國環保署訂定之碳足跡計算準則之內容於表 3.2-1。



資料來源：產基會，2009

圖 3.2-1　我國碳足跡計算準則之制定背景

表 3.2-1　產品碳足跡相關之驗證標準內容

計算指引	PAS2050:2008	ISO14067	環保署碳足跡計算準則
適用範圍	產品與服務	產品與服務	
引用標準	ISO14040, ISO14044	ISO14040, ISO14025	ISO14040, ISO14044 ISO14025, ISO14064
計算對象	IPCC 最新(2007)公告之溫室氣體及 GWP 值	IPCC 最新(2007)公告之溫室氣體及 GWP 值	IPCC 最新(2007)公告之溫室氣體及 GWP 值
計算範疇	搖籃至墳墓(B2C) 搖籃至大門(B2B)	搖籃至墳墓(B2C) 搖籃至大門(B2B) 其他	搖籃至墳墓(B2C) 搖籃至大門(B2B)
計算公式	活動碳足跡 = 活動數據(質量/體積/kWh/km)× 排放係數(每單位 CO_2e)	GHG 排放量×100 年 IPCC 最新 GWP 值(以 $kgCO_2e$ 表示)	活動碳足跡 = 活動數據(質量/體積/kWh/km)× 排放係數(每單位 CO_2e)
數據要求	有具體說明	有具體說明	有具體說明
分配原則	優先順序： (1) 將製程細分爲兩個或多個單一產出之子製程。 (2) 若無法，將系統擴大以涵蓋替代產品之衝擊 (3) 若皆無法避免，以聯產品的經濟價值(此即經濟分配)按比例分配溫室氣體排放量。	優先順序： (1) 避免分配 (2) 若分配無可避免，需以能反應產品與功能間之基本物理關係的方式。 (3) 若僅以物理關係無法建立或做爲分配之基礎，需能反應彼此之間關係。	優先順序： (1) 將製程細分爲兩個或多個單一產出之子製程。 (2) 若無法，將系統擴大以涵蓋替代產品之衝擊 (3) 若皆無法避免，以聯產品的經濟價值(此即經濟分配)按比例分配溫室氣體排放量。
查證	● 獨立第三者查證 ● 經其他查證 ● 自行查證	另訂於 ISO14067-2	● 獨立第三者查證 ● 經其他查證 ● 自行查證
溝通/報告	無具體要求	另訂於 ISO14067-2	無具體要求

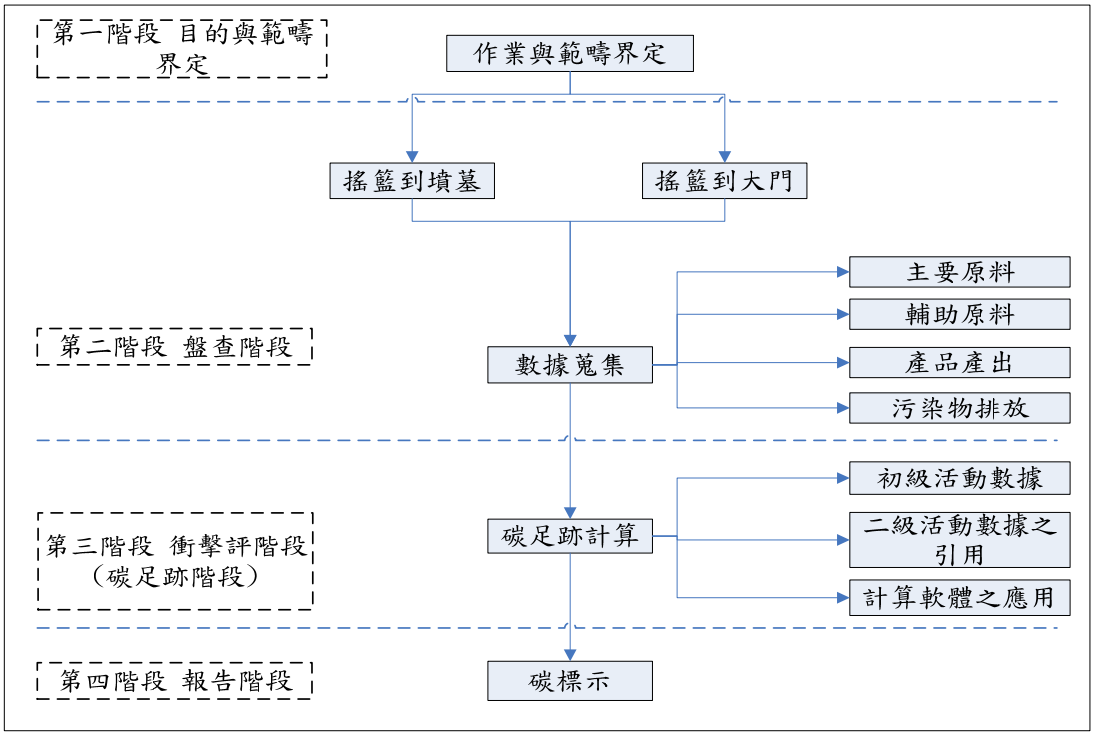
資料來源：林獻偉，2010；張韋豪，2011

產品碳足跡盤查、計算與後續驗證流程之專用標準，如依 PAS2050，其執行方式主要可分爲三個階段，分別爲啓始階段、計算階段以及後續作業階段，如表 3.2-2 所示。而過去一般碳足跡的實務計算程序，通常爲根據 ISO14040 系列生命週期評估之標準來實行，其標準大致可分爲以下幾個階段，如圖 3.2-2 所示。

表 3.2-2　執行產品碳足跡作業的三個階段

階段	作業內容
起始階段	1.目的與範疇界定 2.選擇商品 3.供應商導入
計算階段	1.建立製程地圖 2.檢查邊界與優先性 3.數據蒐集 4.計算碳足跡 5.檢查不確定性(選擇性)
後續作業階段	1.查證 2.宣告與溝通 3.減排

資料來源:BSI, 2008



資料來源：呂穎彬，2011

圖 3.2-2　碳足跡計算作業程序

3.3 產品碳足跡現況

產品碳足跡現況主要爲介紹國內外碳標籤推行制度，以及整理國內已制訂 PCR 之項目。

一、國內碳標籤

碳標籤也稱碳足跡標籤(Carbon Footprint Label)或碳排放標籤(Carbon Emission Label)，係指一個產品從原料取得、製造、運輸、消費者使用至最後棄置處理等生命週期各階段所產生之溫室氣體，經過換算成二氧化碳當量的總和，標示於產品包裝上，即爲此產品生命週期各階段之碳足跡總排放量。台灣行政院環保署於 98 年推行「台灣碳標籤」活動，其碳標籤主要由綠色心形及綠葉組成腳印，並以數字揭露產品「碳足跡」，如圖 3.3-1 所示。希望未來在相關商品上，企業可藉此分析產品碳足跡在原料、製造、運輸、使用到廢棄等生命週期各階段所製造的碳排放量和比例，進而從中找出二氧化碳減量的對策，並且也能鼓勵讓消費者透過碳標籤改變消費型態，落實綠色消費，亦能促進企業對自身產品的減量活動。

資料來源：環保署，2010

圖 3.3-1　台灣碳標籤圖示

未來台灣行政院環保署將持續推動台灣碳標籤制度，普及產品碳標籤，並發展低碳標章，如圖 3.3-2 所示，引導台灣邁向低碳社會之路。

資料來源：環保署，2010

圖 3.3-2　低碳標章

二、國外產品碳標籤

國外碳標籤目前以非營利組織推動爲多數，產品碳標籤標示並以民生用品爲大宗，如飲料、食品、洗髮精等。主要爲產品組成較爲簡單、供應鏈短、數據容易取得，但仍有產品其技術面執行困難需長時間克服等因素，如表 3.3-1 彙整出各國碳標籤之推行情形。

表 3.3-1　各國碳標籤之推行情形

國家	碳標籤名稱	負責機構	機構性質	產品類別	計算準則	碳標章圖示
英國	Carbon Trust Carbon Reduction Label	Carbon Trust/ Carbon Label Company	非營利	B2B B2C 所有產品或服務	PAS 2050	
美國	Carbon Label for California	Carbon Label California	非營利	--	EIO-LCA	--
美國	CarbonFree Label	Carbon Fund	非營利	B2C	LCA	
美國	Climate Conscious Carbon Label	The Climate Conservancy	非營利	B2C 所有產品或服務	Climate Concious Methodology (based on process-LCA)	
加拿大	CarbonCounted	CarbonCounted	非營利	B2C	PAS 2050	
瑞典	Climate Marking in Sweden	KRAV, IP SIGILL Kvalitetssystem AB	--	B2C 食品(水果、蔬菜、乳製品)	Set criteria (based on LCA)	--
瑞士	climatop	Okozentrum Langenbruck myclimate	非營利	B2C 所有產品或服務	LCA Ecoinvent database	

表 3.3-1　各國碳標籤之推行情形(續)

國家	碳標籤名稱	負責機構	機構性質	產品類別	計算準則	碳標章圖示
德國	Product Carbon Footprint	WWF Oko-Institut PIK THEMA1	非營利	B2C 所有產品或服務	ISO14040/44	
日本	Carbon footprint	經濟產業省(METI)	政府組織	所有產品或服務	TS Q 0010	
歐盟	Carbon Labels	WIP HGCA Senter Novem Q1 MRA	非營利	--	LCA	
韓國	CooL (CO_2 Low) Label	Korea Eco-Products Institute	非營利	B2C 所有產品和服務 (包含農漁牧產品)	LCA PAS 2050	
泰國	Carbon Label	--	政府組織	--	LCA PAS 2050	

以下列舉英國 Walkers 洋芋片與英國零售賣場 Tesco 之實際案例，整理出各國產品碳足跡之實際推行情形。

- 案例一、洋芋片－Walkers(英國)

Walkers 選擇該公司最受歡迎的洋芋片口味(奶酪香蔥)，委託英國 Carbon Trust 計算一包洋芋片之產品碳足跡，從(1)種植馬鈴薯與洋蔥、(2)生產洋芋片、(3)包裝、(4)配送、(5)最終處置，進行每一個階段能源消耗的統計，並轉換爲所產生的碳排放量。最後所統計出來每包洋芋片的碳足跡爲 80 克的二氧化碳當量排放。接下來，Walkers 開始進行溫室氣體減量計畫，Walkers 的做法，包含使用英國種植的食物原料來降低食物里程；訓練司機以較省油的方式駕駛並在貨車中添加 5%的生質柴油；使用高效率照明來減少天然氣和電力的使用。減少了約 7%的碳排放。因而 Walkers 於 2007 年 3 月，在其洋芋片包裝上標示了 75g 的碳標籤，如圖 3.3-3 所示。

資料來源:http：//www.walkerscarbonfootprint.co.uk/

圖 3.3-3　英國 Walkers 洋芋片碳標籤與生命週期階段

- 案例二、零售賣場－Tesco(英國)

Tesco(特易購)公司成立於 1932 年，是英國最大的零售公司，也是世界三大零售商之一，在英國本土擁有 691 家大型購物中心。2008 年 4 月，Tesco(特易購)開始在其 4 種自有產品(馬鈴薯、燈泡、柳橙汁及洗衣粉)標示碳足跡，並且盡可能的在銷售點與宣傳單上教育消費者。Tesco 希望藉此告知消費者：

- ✓ 產品的碳足跡爲何。
- ✓ 產品在生產、使用及處置階段會產生二氧化碳的量。
- ✓ 在相同的評估標準下(PAS 2050)，此產品和其它產品的碳排放有何不同。

建議消費者如何於使用階段進一步的減少碳足跡(例如，設定洗衣機在較低的溫度下洗衣服)，如圖 3.3-4 所示。

Tesco 並出版一本「如何減少我們的碳足跡」手冊，郵寄到超過 10 萬個家庭。意圖使消費者作出明智的綠色選擇，實現綠色消費。目前 4 個類別的產品碳足跡調查過程中，Tesco 發現一些結論：

煮熟食物的方式，影響碳足跡的多寡(馬鈴薯用烤箱加熱比用水煮或微波加熱多 3.5 倍的碳足跡)。

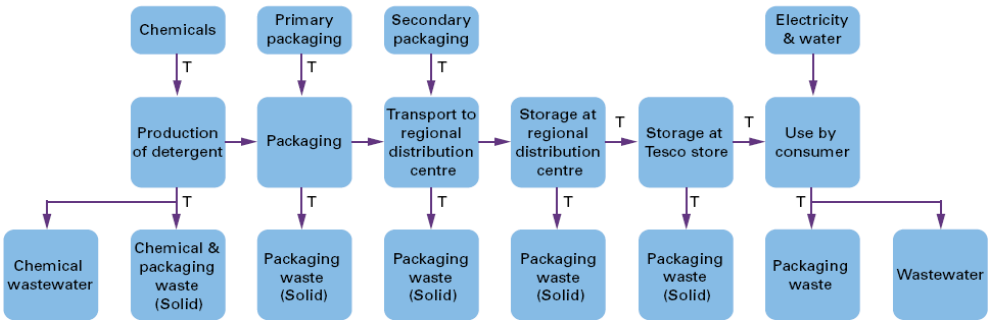
生產階段中，省電燈泡比傳統燈泡產生更多的二氧化碳，然而在消費者使用階段，省電燈泡的能源使用效率則遠遠抵消上述排放(燈泡在使用階段的碳排放，佔整個生命週期排放的 99%，因此提高燈泡的使用能源效率才是應該側重的面向)。

柳橙汁的二氧化碳排放主要驅動力來自於原料生產階段使用的無機化肥，從巴西裝運柑桔實際造成的排放量則遠低於預估。

濃縮柳橙汁比純柳橙汁具有較低的碳足跡，主因爲運輸量較低與較少的冷藏，減少能源消耗。

以上調查結果，同時有助於 PAS2050 定義出產品碳足跡的標準化計算程序，以及協助產品的供應商進行減量行動。舉例來說，Tesco 馬鈴薯供應商透過上述生命週期評估結論，能夠改善冷藏設備之效率，減少能源的消耗和溫室氣體的逸散；於種植活動中使用有機肥料，加以降低農民投入成本，及減少溫室氣體排放量；使用自然方法讓馬鈴薯休眠，從而減少冷藏的需要；運輸網絡的妥善規劃，提高貨運車輛的使用率。這些結果顯示，碳足跡計算對於整個供應鏈來說都帶來正面的效益。

Chart 1 *Process map washing detergent*



資料來源：http：//www.carbon-label.com/casestudies/Tesco.pdf；
http：//www.tesco.com/greenerliving/what_we_are_doing/carbon_labelling.page？#products

圖 3.3-4　英國 Tesco 零售賣場的碳標籤與洗衣粉生命週期階段

三、國內已制訂產品類別規則

台灣行政院環保署為了使相同類型及功能之商品或服務，在計算碳足跡排放量時能有相同的產品類別規則基準，並且確保其公平性與透明性，將訂定「產品類別規則指引」。

1.台灣行政院環保署產品類別規則(PCR)擬定之流程

參考台灣行政院環保署碳足跡資訊網站，說明其 PCR 為協助製造商或提供該類服務業者所組成之同業公(協、商)會透過標準化與程序化之制定程序，完成該項產品之產品類別規則，並作為界定系統邊界範疇和數據計算之依據。產品製造商或提供該類服務業者組成之同業公(協、商)會所擬定之產品類別規則文件制定流程，如表 3.3-2 所示。

表 3.3-2　產品類別規則文件制定流程

制訂階段	內容
初始階段	依照產品特性並援引相關規範，指派產品類別規則文件訂定計畫主持人，考量既有文件，成立工作小組，並界定利害相關團體及對象。
準備階段	於國內登錄平台宣告將訂定之產品類別規則文件，擬定產品類別規則文件草案，將草案提供給相同產品事業與供應鏈廠商。
磋商階段	應將產品類別規則文件草案公告於國內平台，邀集利害相關團體及對象召開研商會議，並參酌各方評論修改草案。
完成階段	召開產品類別規則文件內部審查會議，邀請至少一位具生命週期評估與溫室氣體查驗相關技術資歷或經驗之專家學者，與其他專家學者組成三人(含)以上小組進行審查，並由工作小組列席報告；經內部審查修正後，完成產品類別規則文件擬定。

資料來源：台灣行政院環保署產品服務資訊網，2011

2.台灣已制訂之產品類別規則

台灣以「產品類別規則指引」為基準，已將 PCR 制定成企業對消費者(Business to Consumer, B2C)和企業對企業(Business to Business, B2B)兩者，台灣行政院環保署公告 PCR 屬於 B2C 碳足跡產品類別規則文件清單截至 100 年 7 月 19 日統計，如表 3.3-3 所列；而其他單位(財團法人電機電子工業同業公會、財團法人環境與發展基金會與經濟部工業局)公告 PCR 則屬於 B2B 碳足跡產品類別規則(截至 100 年 7 月 19 日統計)，如表 3.3-4 所示。

表 3.3-3　B2C 碳足跡產品類別規則

序號	產品名稱	序號	產品名稱
1	瓶裝水	10	汽水(碳酸水)
2	洗髮精	11	果汁飲料
3	熱陰極螢光燈管	12	水針不織布
4	未塗佈文化用紙	13	護髮品
5	家庭用紙	14	整合式電腦
6	紙製印刷品	15	組合櫥櫃
7	針軋不織布	16	文具類標記(嘜克)筆
8	LED 燈泡(管)	17	包裝茶飲料
9	設施栽培植物(觀賞用)	18	速食麵(油炸麵體)

表 3.3-4　B2B 碳足跡產品類別規則

序號	產品名稱	序號	產品名稱	序號	產品名稱
1	電源供應器	16	洗衣機	31	網路電話
2	家庭用洗衣機	17	交流感應馬達	32	鍵盤
3	家庭用電冰箱	18	LCD TV	33	滑鼠
4	TFT LCD TV Set	19	記憶體(DDR)	34	USB 快閃隨身碟
5	AC Motor	20	可攜式導航裝置	35	數位投影機
6	車用 PND	21	乙太網路交換器	36	數位相機
7	家用網路設備 (HNID)	22	LED 元件	37	不斷電系統
8	家用閘道器 (VDSL)	23	空氣清淨機	38	碎紙機
9	Memory IC	24	整合式電腦	39	乾衣機
10	光電半導體	25	筆記型電腦	40	印刷電路板
11	空氣清淨處理器	26	讀卡機	41	鍍製鋼品
12	太陽能電池片	27	積體電路(IC)	42	碳鋼與碳鋼製品
13	ADSL	28	TFT-LCD 顯示器	43	瓦楞紙箱
14	Power Supply	29	電子閱讀器	44	組合櫥櫃
15	電冰箱	30	機器人吸塵器		

第四章　綠色技術碳足跡評估

全球現今面臨著氣候變遷造成的全球環境議題，加上傳統化石能源有限帶來的能源危機，而台灣地區由於資源缺乏，能源大都仰賴進口，因此發展既能解決能源危機又能爲環境帶來益處的技術至關重要。綠色技術是一種爲了降低環境影響又能解決能源危機的技術，其包含綠色材料、綠色能源及資源循環再生產品。本報告以下將介紹相關綠色技術之案例，透過生命週期評估與碳足跡評估，皆採用來生命週期評估軟體 Simapro 7.2.3 或 Simapro 7.3，方法學爲 IPCC:2007 100a 來評估此三者綠色技術碳足跡排放。

4.1　綠色材料

選定以國立臺北科技大學使用玻璃纖維強化高分子複合材料(Glass Fiber Reinforced Plastics, GFRP) 建構之綠色大門爲評估對象；以及內政部營建署與國立台北科技大學合作，於陽明山國家公園使用 GFRP 爲材料建構而成之人行棧道，並對此棧道進行碳足跡計算。

一、綠色材料-玻璃纖維強化塑膠之碳足跡評估

國立臺北科技大學所設計之綠色大門，即採用綠色材料玻璃纖維強化塑膠(Glass Fiber Reinforced Plastic, GFRP)作爲建造材料，其爲玻璃纖維表面覆蓋不飽和聚酯樹脂所構成之複合材料，其具有高強度、輕質、耐腐蝕、低熱膨脹、低鬆弛及不受電磁影響等特色，未來可能取代目前所使用的各式型鋼以大量降低鋼筋、砂石等傳統材料之使用需求，間接降低營建業對環境所造成之破壞。

進而針對使用綠色材料所建構之綠色大門進行碳足跡評估案例分析，並使用情境模擬方式，將所使用之綠色材料部分，改以目前常使用之建築材料進行模擬分析，藉以準確瞭解綠色材料之減碳效益。

綠色大門碳足跡盤查採用 LCA，從搖籃到大門方式，即指從原料投入、製造至使用階段，進行「綠色大門」之碳足跡計算，進而針對綠色大門之整體碳足跡盤查過程、步驟、說明與計算結果進行探討。

1.綠色大門標的產品及功能單位說明：

標的產品爲國立台北科技大學爲達到節能減碳與環境保護的目的所建造之綠色大門，位於忠孝新生路口，爲學校之綠色生態校園意象，將生態校園規劃蔓延至都市建築，以下分別說明功能單位、產品功能及系統邊界等。

(1)功能單位：標的之功能單位爲一座總重 126.51 噸之綠色大門及其基座，評估此綠色大門所產生之二氧化碳排放，如圖 4.1-1 所示。

圖 4.1-1　綠色大門施工完成正面照片

(2)產品功能：綠色大門主要目的爲展現台北科技大學之綠色生態學校意象，將生態校園規劃蔓延至都市建築。而基座主要功能乃是支撐綠色大門維持其穩固所用。

(3)產品元件：綠色大門主體由 GFRP 爲主要材料，背後基座則由鋼骨(H 型鋼)所支撐，下方以混凝土固定。

(4)產品技術敘述：以螺栓固定於鋼構架上之裝置物，分別有 B 樹型裝置物與 F 樹型裝置物，詳細如圖 4.1-2 及圖 4.1-3 所示。

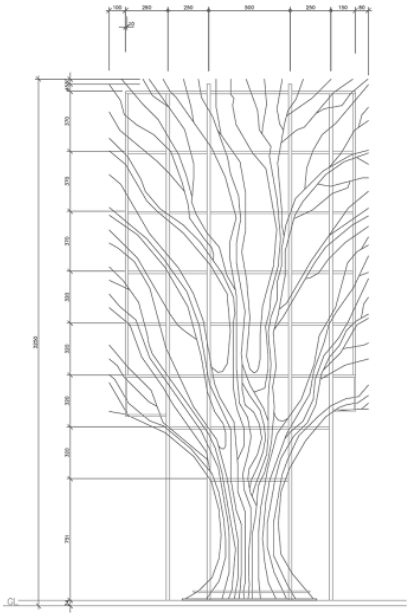


圖 4.1-2　綠色大門 B 樹型裝置物立面圖

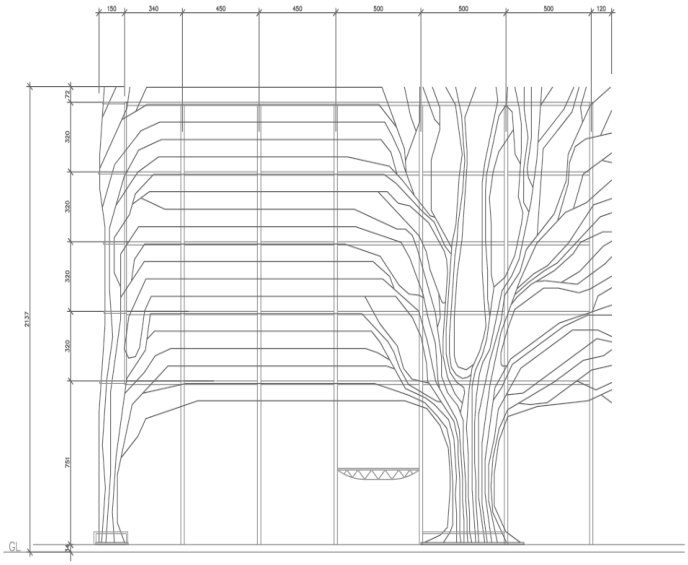


圖 4.1-3　綠色大門樹 F 型裝置物立面圖

(5)系統邊界：盤查的系統邊界包含 GFRP 生產製造、運輸、組裝、使用以及最終處置階段，而 GFRP 建材在廢棄後的處置，國內有廖建智(2006)針對漁船船體中 GFRP 回收，經破碎處理作成混凝土添加物，而國外則有 Correia et al.(2011)進行廢棄 GFRP 於混凝土添加物之研究，Seawolf 公司(2007)也提出該公司進行廢棄 GFRP 回收並再製之產品、副產品，但並未有研究指出廢棄 GFRP 建材能回收再製成 GFRP 建材，因此於 GFRP 建材的廢棄階段採用一般固體廢棄物處置，系統邊界圖如圖 4.1-4 所示。

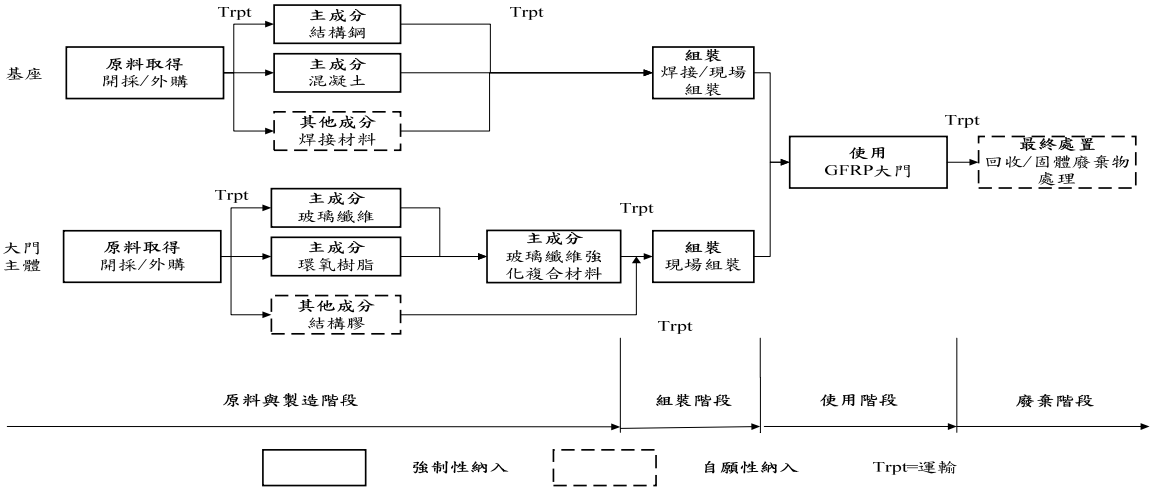


圖 4.1-4　綠色大門碳足跡系統邊界圖

以目前建築結構常用之材料 H 型鋼取代 GFRP 作爲模擬對象，並將模擬之方式、過程與材料，推估出各階段之盤查數據，以進行 H 型鋼建造之大門碳足跡計算，針對 GFRP 與 H 型鋼兩者之計算結果進行比較，評估綠色大門之減碳效益。

1.H 型鋼大門介紹及功能單位說明

(1)功能單位：評估標的功能單位爲一座使用 H 型鋼建造之大門及後方基座。

(2)產品功能：以 H 型鋼爲材料之大門主要目的，爲瞭解綠色大門之減碳效益並與 GFRP 大門比較。而基座功能與綠色大門相同，乃是用來支撐大門維持其穩固所用。

(3)產品元件：大門主體與基座主要材料爲 H 型鋼以及焊接所需之焊條，下方以混凝土固定。

(4)產品技術敘述：以螺栓固定於鋼構架上之裝置物，分別有 B 樹型裝置物與 F 樹型裝置物。

(5)系統邊界：盤查的系統邊界包含 H 型鋼生產製造、運輸、組裝、使用以及最終處置階段，系統邊界圖如圖 4.1-5。

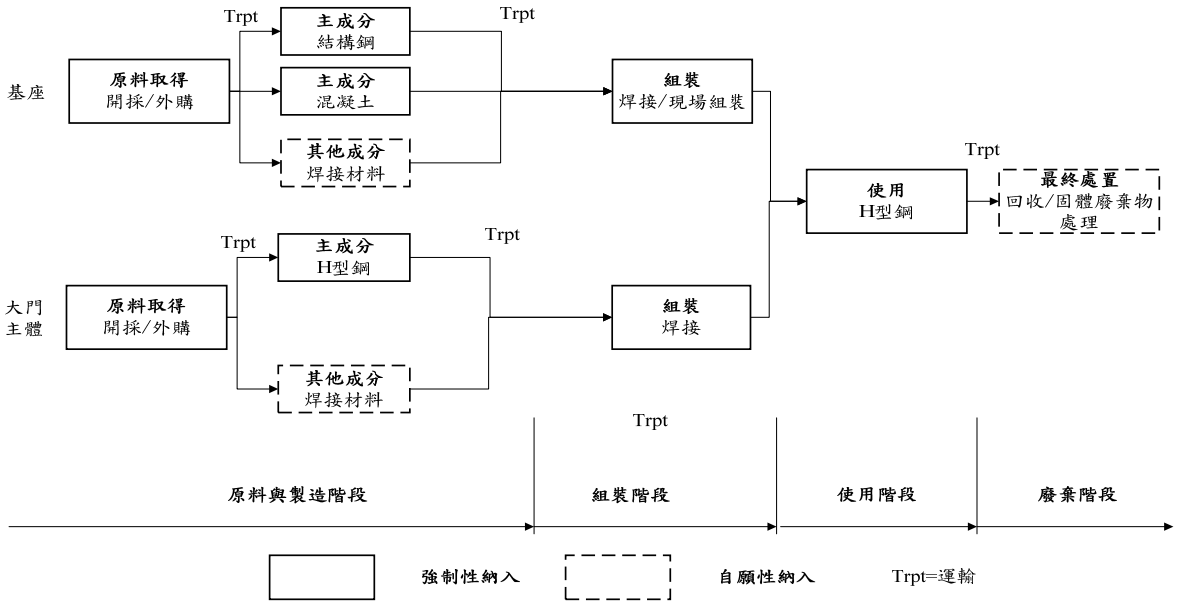


圖 4.1-5　H 型鋼大門碳足跡評估之系統邊界

H 型鋼根據 GFRP 尺寸選擇最接近之大小，爲 300mm×150mm，其截面積爲 46.78 cm^2，單重 36.7 kg/m (東和鋼鐵，2010)，由於模擬 H 型鋼大門功能單位與 GFRP 大門相同，因此模擬相同大小，而建造所用之 H 型鋼總重爲 734 噸。

3.綠大門結果闡釋與減碳效益

根據經濟部(1997)產業調查報告書，國內生產 H 型鋼之最大廠商爲東和鋼鐵，占當年產能之 96.4%，因此鋼鐵廠假設爲東和鋼鐵股份有限公司，並以該公司苗栗廠生產之 H 型鋼進行模擬情境分析。進而得知使用 GFRP 建造的綠色大門之減碳效益，模擬兩種情境進行比較，情境 1 是模擬使用原生 H 型鋼，冶煉 H 型鋼的材料來自開採；而情境 2 模擬使用再生 H 型鋼，冶煉的材料來自廢鋼鐵的回收再製。並模擬在不同的回收率(80%~100%)的情況下，比較 GFRP 大門、情境 1 及情境 2 的碳足跡。

經由軟體評估 GFRP 大門之碳足跡結果爲 67,510 到 86,446 CO_2eq，而主要的碳排放來自生命週期階段中的原料與製造階段，而造成碳足跡結果不同的主要原因在最終處置階段，基座中的鋼鐵材料回收後使得碳排放降低，其結果如表 4.1-1：

表 4.1-1　GFRP 大門之碳足跡評估結果

回收率	100%	90%	80%
原料及製造階段	148,670	148,670	148,670
組裝階段	584	584	584
運輸階段	6,664	6,664	6,664
使用階段	0	0	0
最終處置	-88,409	-78,941	-69,472
總和	67,510	76,978	86,446

單位：kgCO_2eq

透過情境分析，模擬 H 型鋼爲建材，以比較 GFRP 大門的減碳效益，在情境 1 模擬使用原生鋼材，在不同回收率(80%、90%、100%)的情況下，情境 1 模擬的結果爲 97,760 到 143,014 kgCO_2eq，主要的碳排放來自原料與製造階段，高達 292,867 kgCO_2eq，而在最終處置階段，大門本體與基座的鋼建材都可以回收再製，並在不同回收率，可以降低不同的碳排放，情境 1 的模擬結果如表 4.1-2。

表 4.1-2　情境 1 模擬結果

回收率	100%	90%	80%
原料及製造階段	292,867	292,867	292,867
組裝階段	1,617	1,617	1,617
運輸階段	14,068	14,068	14,068
使用階段	0	0	0
最終處置	-210,792	-188,166	-165,539
總和	97,760	120,387	143,014

單位：kgCO_2eq

情境 2 的模擬，考慮到 H 型鋼爲再生鋼建材，冶煉的材料來自廢鋼，經過再製形成 H 型鋼，模擬的結果爲 21,361 到 66,615 $kgCO_2eq$，與情境 1 的比較下，在原料與製造階段降低 76,398 $kgCO_2eq$ 的排放，而在最終處置階段，大門本體與基座使用的鋼建材都可以回收，情境 2 的模擬結果如表 4.1-3：

表 4.1-3　情境 2 模擬結果

回收率	100%	90%	80%
原料及製造階段	216,469	216,469	216,469
組裝階段	1,617	1,617	1,617
運輸階段	14,068	14,068	14,068
使用階段	0	0	0
最終處置	-210,792	-188,166	-165,539
總和	21,361	43,988	66,615

單位：$kgCO_2eq$

將 GFRP 大門碳足跡結果與情境 1、2 比較得知結果如表 4.1-4 及圖 4.1-6 所示，當回收率越高碳足跡則越低，雖然生產一公斤 GFRP 的碳足跡比生產一公斤 H 型鋼的碳足跡來得高，但在相同體積下，H 型鋼的使用量遠比 GFRP 來得多，使得情境 1 的模擬結果高於 GFRP 大門，但考慮廢鋼材的回收再製，情境 2 的模擬結果發現碳足跡比 GFRP 大門來得低。

表 4.1-4　GFRP 大門與兩種情境之碳足跡比較表

回收率	100%	90%	80%
GFRP 大門	67,510	79,978	86,446
情境 1	97,760	120,387	143,014
情境 2	21,361	43,988	66,615

單位：$kgCO_2eq$

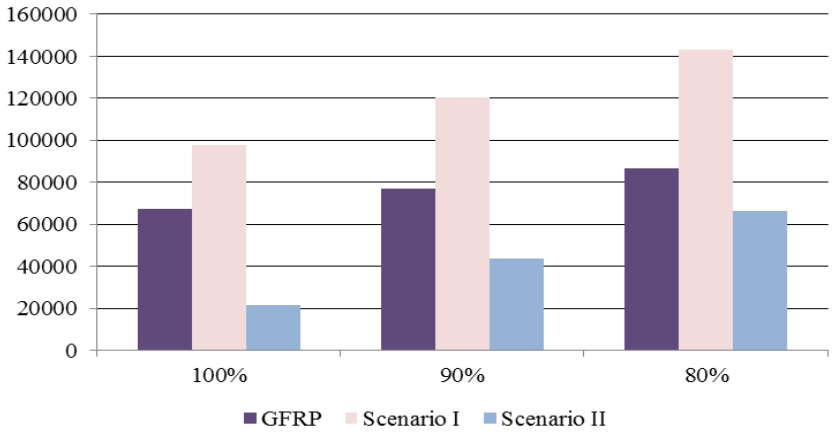


圖 4.1-6　GFRP 大門與兩種情境之碳足跡比較圖

由結果可知 GFPR 大門之碳足跡與模擬原生 H 型鋼(情境 1)的比較之下，GFRP 大門的碳足跡較低，但與再生 H 型鋼(情境 2)比較之下，GFRP 大門的碳足跡則較高。

根據 Reeve(2010)提出 GFRP 具有 50 年以上不會退化及腐化的特性，並提出以 GFRP 爲建材的使用年限可達 75~100 年，比起 H 型鋼的使用年限來得高；而 GFRP 大門也預期有植被生長，但目前尚未長成，若未來植被生長於 GFRP 大門上，則會捕捉大氣中的二氧化碳形成固碳作用；而在廢棄階段，未來若能進行 GFRP 回收製成其他產品或添加物的生命週期評估，或者進行回收再製成 GFRP 建材，減少 GFRP 之原料開採及運輸產生的碳足跡，則能使 GFRP 大門的整體碳足跡再降低。

二、國家公園人行棧道碳足跡盤查

1.標的產品及功能單位說明：

標的產品爲陽明山國家公園之人行棧道，在保護自然生態與環境景觀前提下，能提供日益增多之遊客所需之交通建設的安全性，並延長其使用壽命，進而能達到資源永續利用之目標，因應前述國家公園之背景，爲配合當地特殊自然與人文環境，於陽明山國家公園內施作人行棧道之設施並採用 FRP 材料興建，以下分別說明功能單位、產品功能、產品元件、產品技術敘述以及系統邊界等。

(1) 功能單位：評估標的之功能單位爲總重 1,381.265 公斤之人行棧道，包含其主要元件玻璃纖維強化複合材料(GFRP)以及其基座，評估此人行棧道製造過程所產生之二氧化碳排放，如圖 4.1-7。

圖 4.1-7　陽明山國家公園人行棧道圖

(2)產品功能：提供日益增多之遊客所需之交通建設的安全性，並設有扶手欄杆，供遊客駐足觀景、稍作休息之用。此外，FRP 人行棧道之建築設計與周邊設計將配合國家公園生態環境、景觀及人文特色，使人行棧道建築融入自然景觀中。

(3)產品元件：國家公園人行棧道主體由 GFRP 爲主要材料，而基座主要由混凝土及砂漿所組成。

(4)產品技術敘述：棧道本體結構設計整體設計爲全 FRP 材料，包含構件與接合，以符合 FRP 應用於國家公園耐久性之考量;而支撐棧道之下方基座則以混凝土及砂漿建構而成。

(5)系統邊界：考慮棧道之原料生產製造、運輸及組裝階段，盤查的系統邊界以原料、成品製造、運輸及組裝階段，GFRP 人行棧道碳足跡系統邊界，如圖 4.1-8 所示：

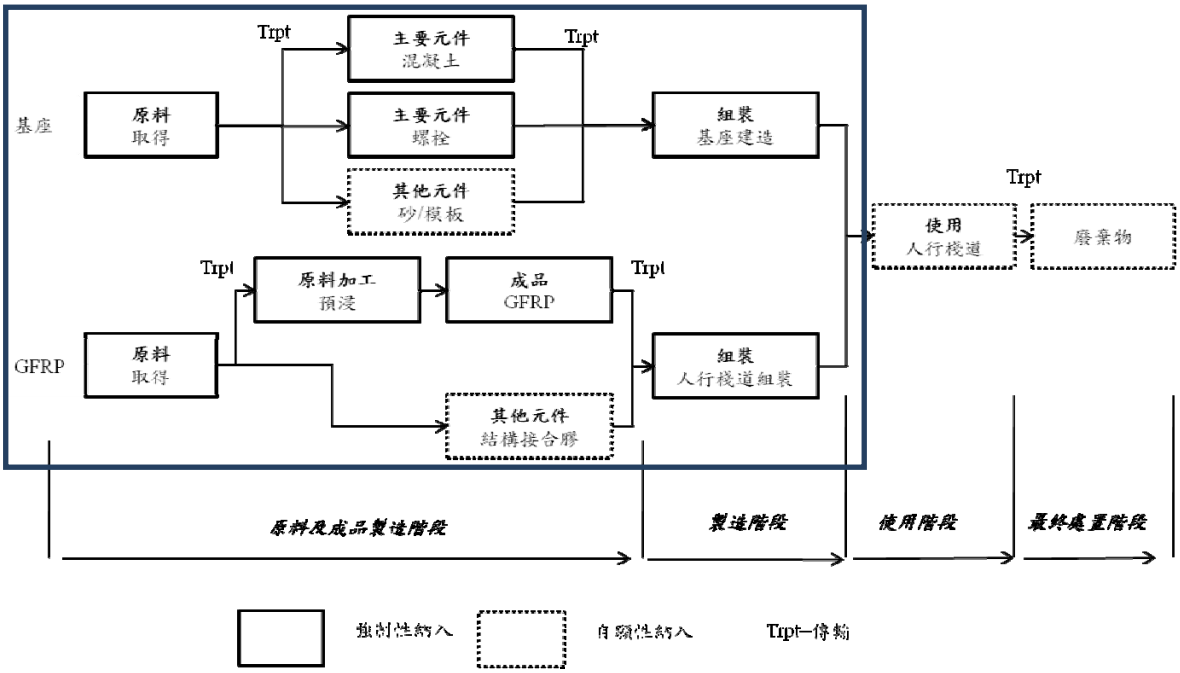


圖 4.1-8　人行棧道碳足跡系統邊界圖

2.人形棧道碳足跡盤查及計算方式：

國家公園人行棧道之碳足跡盤查範圍，包含上游原料輸入、各種原物料運輸以及施工過程中能源消耗。

(1)人行棧道碳足跡盤查方式：碳足跡盤查範圍，包含人行棧道主體 GFRP 和基座原物料及其運輸與組裝。

(2)數據取得情形描述：碳足跡數據取得以執行此人行棧道碳足跡之原料投入、產品製造以及成品運送爲主，分爲棧道主體 GFRP 與基座兩部分進行。

(3)特殊假定：本人行棧道之碳足跡計算有以下特殊假設：由於組裝過程之用電並未量測，因此採用機組功率乘上使用時間，並考慮其平常使用時之功率輸出，以得到用電量。

3.GFRP 人行棧道碳足跡評估結果分析：

(1)人行棧道之總碳足跡：人行棧道之碳足跡計算利用 Simapro7.3，生命週期方法學爲 IPCC 100 年溫室氣體排放評估方法，其二氧化碳排放當量，於各個階段包含原料階段、運輸與組裝階段加總後，所產生的碳排放量爲 2,285.737 公斤當量。

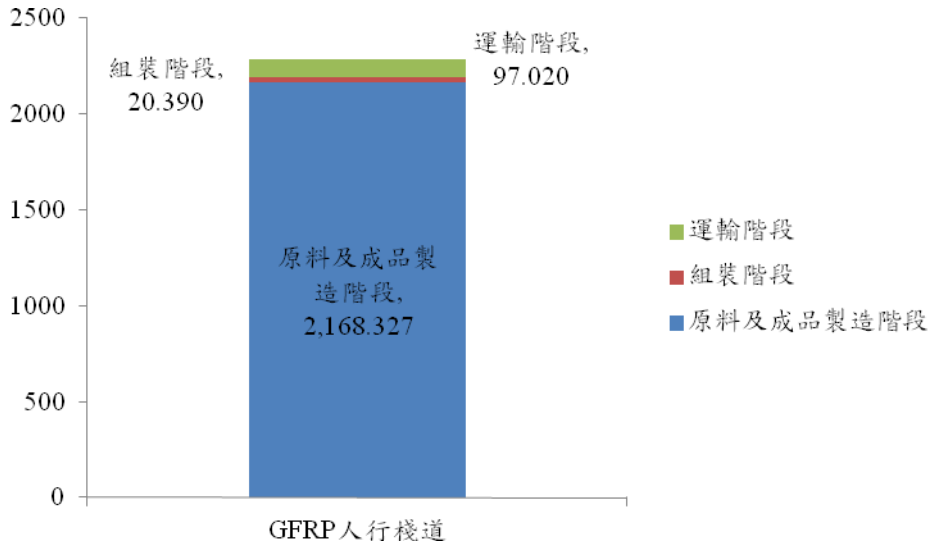


圖 4.1-9　GFRP 人行棧道-生命週期軟體碳足跡計算結果

(2)GFRP 人行棧道各階段碳足跡之分配比例，如表 4.1-5 所示：

- 原料階段之二氧化碳排放爲 2,168.327 公斤，占整體的 94.86%。
- 運輸階段之二氧化碳排放爲 97.02 公斤，占整體的 4.24%。
- 組裝階段之二氧化碳排放爲 20.39 公斤，占整體的 0.89%。

表 4.1-5　GFRP 人行棧道生命週期各階段碳足跡之分配比例

	碳排放量($kgCO_2eq$)	百分比
原料及製造階段	2,168.327	94.86 %
運輸階段	97.02	4.24 %
組裝階段	20.39	0.89 %
總碳排放量	2,285.737	100 %

(3) GFRP 人行棧道碳足跡結果闡釋：

由前段敘述得知，其結果顯示人行棧道之碳足跡為 2,285.737 公斤當量，原料投入階段的碳排放量比例為最高，佔整體生命週期 94.86%，運輸階段為 4.24%，而組裝階段僅佔 0.89%。原料投入階段排放量由棧道主體 GFRP 與基座共同貢獻。圖 4.1-10 為 SimaPro 軟體呈現之人行棧道生命週期各階段之碳排放量軟體樹狀圖。

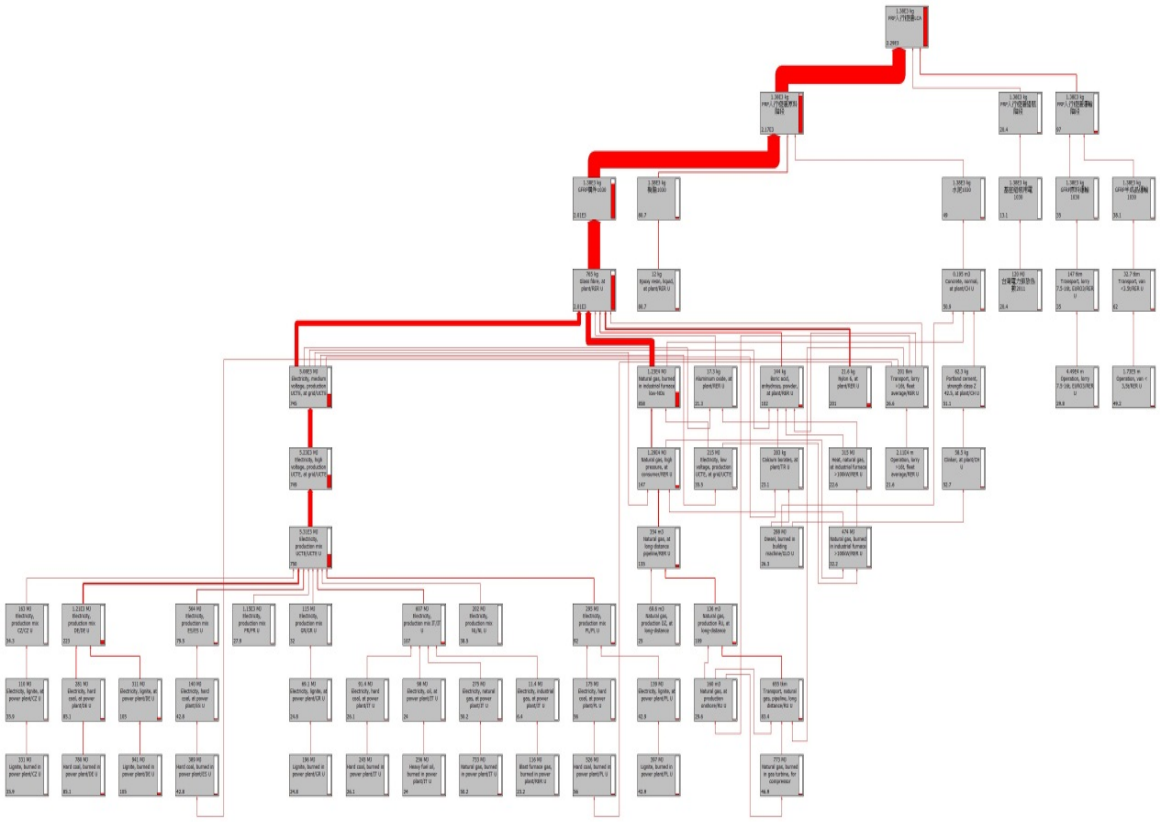


圖 4.1-10　人行棧道生命週期各階段之碳排放量軟體樹狀圖

4.2　綠色能源

討論環境、經濟及社會的永續發展時，能源為關鍵因素之一(Dincer, 1999)，以往傳統能源體系主要為化石能源(石油、天然氣、煤氣等)，屬於不可再生能源，而化石能源亦會造成人類健康和環境問題 (Barreto et al., 2003；Bockris et al., 2003；Dincer, 2000)，因此需要發展綠色能源，綠色能源的定義為對環境的影響是零或是很小，並可持續再生的，例如：太陽能、生質能、水力、風力及地熱等(Dincer et al, 2006)，將針對台北科技大學發展之染料敏化太陽能電池(DSSC)進行碳足跡評估。

為瞭解 DSSC 之碳足跡，針對 DSSC 之整體碳足跡盤查過程、步驟、說明與計算結果進行細部探討。

1. DSSC 標的產品及功能單位說明：

標的產品爲低碳綠能與生態社區聯合技術發展中心爲達到節能減碳與環境保護目的所開發之 DSSC 其利用太陽光與材料相互作用直接產生電力，太陽能電池使用過程並不會釋放包括二氧化碳在內之任何氣體，這可改善生態環境、解決地球溫室效應的問題，以下分別說明功能單位、產品功能、產品元件、產品技術敘述以及系統邊界等。

(1)功能單位：評估標的功能單位爲總重 3.86 克之 DSSC，包含陽極、陰極及電解液，評估生產此 DSSC 所產生之溫室氣體排放，如圖 4.2-1。

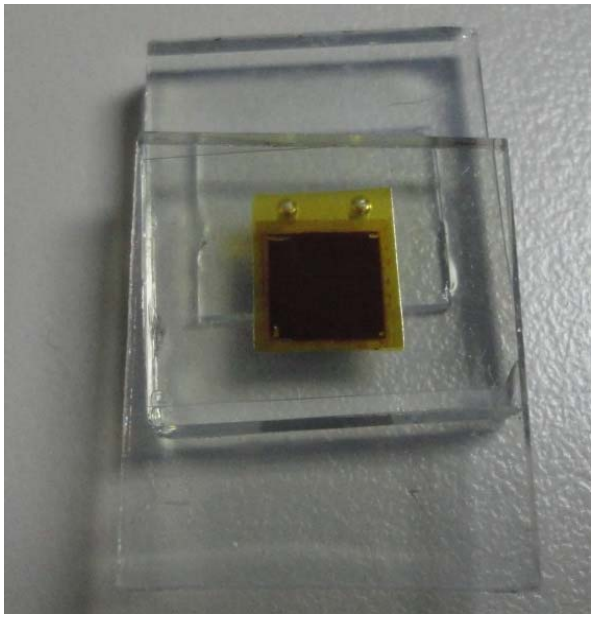


圖 4.2-1　染料敏化太陽能電池

(2)產品功能：DSSC 主要目的爲發展綠色能源，以解決能源有限問題，並達到節能減碳與環境保護的目的。

(3)產品元件：DSSC 的主體，包含兩片 0.5cmx0.5cm 之玻璃基板及電解液。

(4)產品技術敘述：以兩片玻璃基板爲陽極及陰極，加上電解液，組成一可發電之太陽能電池。

(5)系統邊界：盤查系統邊界爲生命週期之搖籃到大門，包含生產製造、運輸以及組裝階段，不考慮使用及廢棄階段，其系統邊界圖如下：

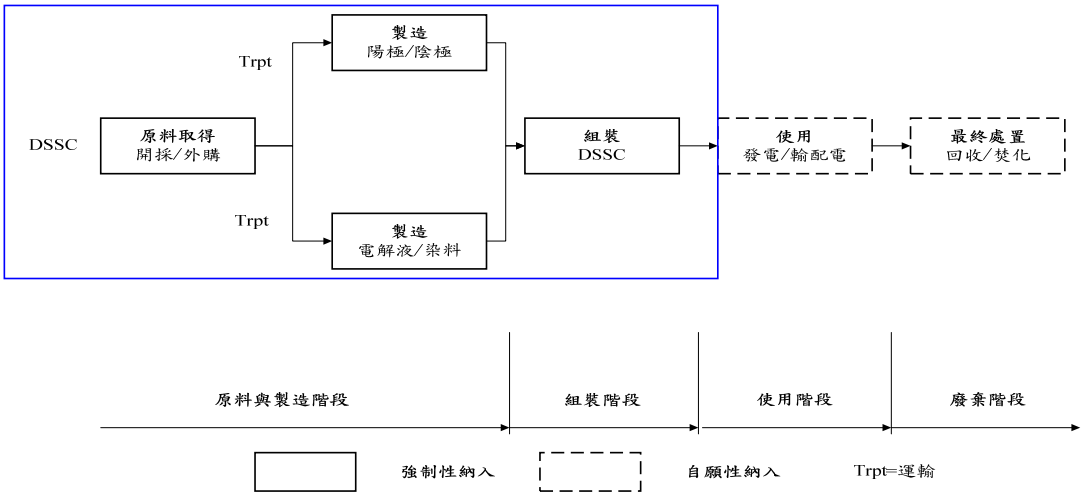


圖 4.2-2　DSSC 碳足跡系統邊界圖

2.染料敏化太陽能電池碳足跡盤查及計算方式：

DSSC 之碳足跡盤查範圍，包含上游原料輸入、各種原物料運輸以及組裝施工過程中能源消耗。

(1)DSSC 碳足跡盤查方式：本 DSSC 之碳足跡盤查範圍，包含 DSSC 主體和生產及組裝過程能源投入。

(2)數據取得情形描述：DSSC 碳足跡數據取得以執行此 DSSC 碳足跡之原料投入、能源消耗、組裝爲主。

(3)特殊假定：本 DSSC 之碳足跡計算有以下特殊假設：由於該 DSSC 僅開發至實驗階段，並未模組化，尚未建置一套完整的太陽能發電系統，因此僅計算至組裝階段。

3.DSSC 碳足跡評估結果分析：

(1)DSSC 之總碳足跡：本染料敏化太陽能電池之碳足跡利用 Simapro7.2.3，生命週期方法學爲 IPCC 100 年溫室氣體排放評估方法，其二氧化碳排放當量，於各個階段包含原料階段、運輸與使用階段加總後，所產生的碳排放量爲 0.214 公斤當量，其計算結果如下圖所示。

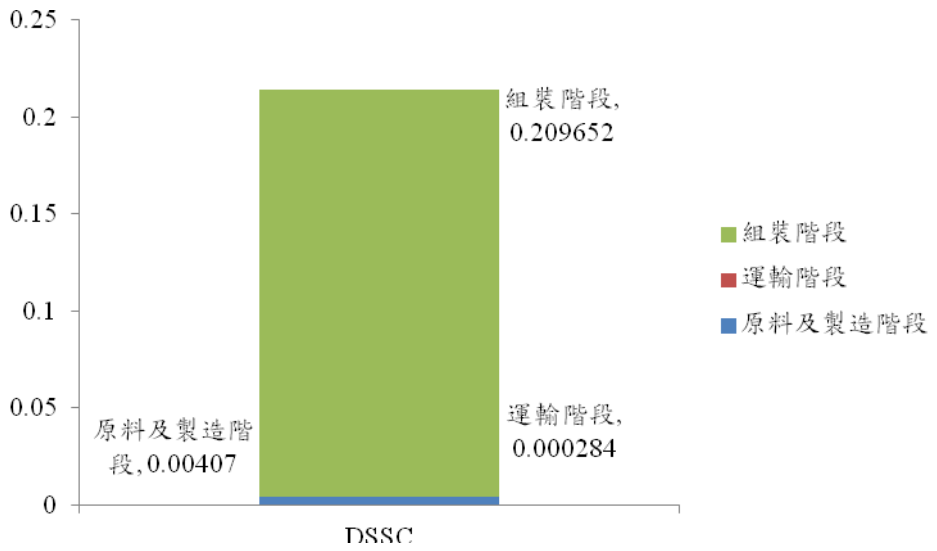


圖 4.2-3　DSSC-生命週期軟體碳足跡計算結果

(2) DSSC 各階段碳足跡之分配比例，如表 4.2-1 所示：

- 原料投入階段之二氧化碳排放爲 0.00407 公斤當量，佔總排放量的 1.90%。
- 運輸階段爲各項原料與成品運輸之情形，其二氧化碳排放爲 0.000284 公斤當量，佔總排放量的 0.13%。
- 材料組裝階段之二氧化碳排放爲 0.209652 公斤當量，佔總排放量的 97.97%。

表 4.2-1　DSSC 生命週期各階段碳足跡之分配比例

	碳排放量($kgCO_2eq$)	**百分比**
原料及製造階段	0.00407	1.90 %
運輸階段	0.000284	0.13 %
組裝階段	0.209652	97.97 %
總碳排放量	0.214	100 %

(3) DSSC 碳足跡結果闡釋：

由前面章節敘述得知，其結果顯示 DSSC 之碳足跡爲 0.214 公斤當量，組裝階段的碳排放量比例爲最高，佔整體生命週期的 97.97%，原料及製造階段爲 1.90%，而運輸階段僅佔 0.13%。由於本案例僅研發至實驗階段，尚未模組化形成一套完整的太陽能發電系統，因此組裝階段的碳排放佔了整體生命週期 97.97%，主因爲投入大量電力生產該產品，而運輸階段由於評估單位爲 tkm (噸公里)，該太陽能電池的重量很輕，使得在運輸階段造成的碳排放較低。圖 4.2-4

爲 SimaPro 軟體呈現之 DSSC 生命週期各階段之碳排放量軟體樹狀圖。

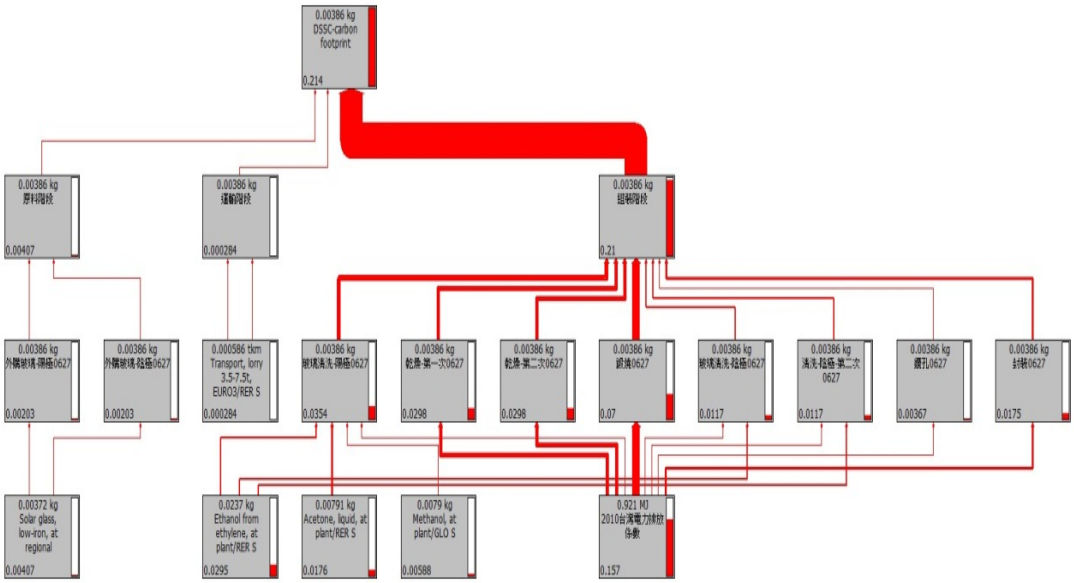


圖 4.2-4　DSSC 生命週期各階段之碳排放量樹狀圖

4.3　資源循環再生產品

隨著綠色消費時代來臨與全球對節能減碳之重視，將產品於原料投入與製造時納入環保性考量已成爲發展趨勢，以下資源循環再生產品將以鹼錳電池與 T5 燈管爲案例探討，並假設兩者可循環再生情境下，比較其原生產品與再生產品之碳足跡排放。

一、資源循環再生產品-原生鹼性電池之碳足跡評估

計算市面常見的原生鹼性電池碳足跡排放評估，其原生鹼性電池碳盤查資料引用自 Olivetti et al. (2011)之研究。另外，探討其資源循環再生技術之減碳效益，因此假設鹼性電池可再生(原生鹼性電池回收再製成再生鹼性電池僅只一次)，並納入國內乾電池回收廠處理之盤查資料，以此爲再生鹼性電池之碳足跡評估，進而比較原生鹼錳電池與再生鹼錳電池之碳足跡排放。

原生鹼性電池碳足跡盤查採用 LCA，從搖籃到墳墓方式，進行「原生鹼性電池」之碳足跡盤查與計算，進而針對原生鹼性電池之整體碳足跡盤查過程、步驟、說明與計算結果進行細部探討。

1.原生鹼性電池標的產品及功能單位說明：

(1)功能單位其功能單位爲一顆 23.84 公克重的 AA 鹼性電池，評估此原生鹼性電池所產生之二氧化碳，如圖 4.3-1 所示。

圖 4.3-1　AA 鹼性電池

(2)產品功能：鹼性電池係以糊狀電解液產生直流電的化學電池，爲一次性使用的乾電池，使用於日常生活中的電器產品。

(3)產品元件：鹼性電池是由正極二氧化錳與負極鋅製成，電解液則是以氫氧化鉀水溶液爲主，另含包裝鹼性電池之包裝材。

(4)系統邊界：考慮產品生產製造、運輸及棄置階段，盤查的系統邊界以原物料製造至棄置的階段，原生鹼性電池碳足跡系統邊界如圖 4.3-2 所示。

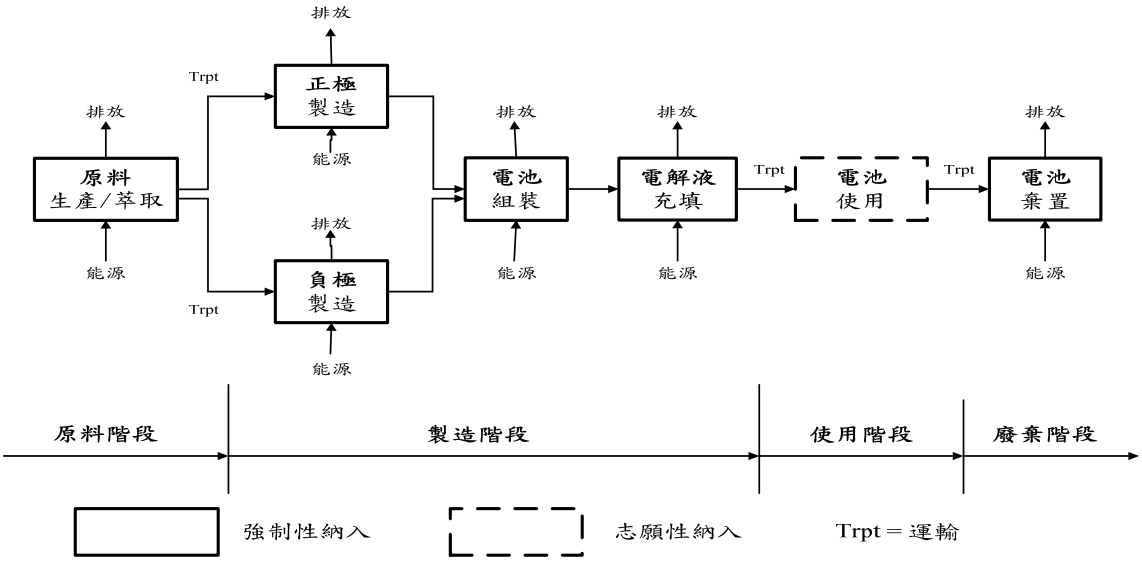


圖 4.3-2　原生鹼性電池系統邊界

2.原生鹼性電池碳足跡盤查及計算方式：

原生鹼性電池之碳足跡盤查範圍，包含上游原料輸入、各種原物料運輸、製程過程中能源消耗以及最終廢棄處理方式。

(1)原生鹼性電池碳足跡盤查方式：原生鹼性電池之碳足跡盤查範圍，包含鹼性電池原物料、製程、運輸以及回收後廢棄物焚化。

(2)數據取得情形描述:原生鹼性電池碳足跡數據取得，主要引用美國麻省理工學院替美國電器製造商協會進行鹼性電池生命週期評估文獻中原物料投入、產品製造

以及原物料運輸之資訊(Olivetti et al., 2011)，依此模擬於大陸製造並販賣至台灣運輸與棄置處理方式。

(3)假設：本原生鹼性電池之碳足跡計算有以下特殊假設。

- 鹼性電池製造廠內其使用之鐵、鋅、二氧化錳以及塑膠等原料均會全數使用完，故無此原料廢棄。
- 本鹼性電池模擬於大陸乾電池製造商生產，並經由台灣乾電池代理商販賣到台北科技大學使用，並於使用完棄置，送至焚化爐處理。另有，三種原物料由日本海運至廣州港。因此在運輸階段須納入原料運輸、大陸運輸到台灣乾電池代理商、台灣乾電池代理商到台北科技大學，以及使用完至焚化爐等運輸距離。
- 乾電池經棄置後，直接進入焚化爐焚化，故鹼性電池原物料與包裝材投入皆成爲廢棄物，並全數採用焚化處理或掩埋處理。

假若原生鹼性電池在理想狀態下，經乾電池回收廠處理之回收料可再次作爲鹼性電池原料(納入再利用率概念)，其再生鹼性電池碳足跡盤查採用 LCA，從搖籃到墳墓方式，即指從乾電池回收廠回收料投入、原料投入、製造、運輸至棄置階段，進行「再生鹼性電池」之碳足跡盤查與計算，進而比較原生與再生鹼錳電池。

1.再生鹼性電池標的產品及功能單位說明：

標的產品爲可再生使用之鹼性電池，以下分別說明功能單位、產品功能、產品元件、系統邊界及盤查範圍之界限等。

(1)功能單位：其功能單位爲一顆 23.84 公克重的 AA 鹼性電池，評估此再生鹼性電池所產生之二氧化碳。

(2)產品功能：再生鹼性電池係以糊狀電解液產生直流電的化學電池，爲一次性使用的乾電池，使用於日常生活中的電器產品。

(3)產品元件：鹼性電池是由正極二氧化錳與負極鋅製成，電解液則是以氫氧化鉀水溶液爲主，另含包裝鹼性電池之包裝材。

(4)系統邊界：考慮原料投入來源、產品生產製造、運輸及棄置階段，盤查的系統邊界以乾電池回收廠再生料投入、原物料製造至棄置階段，再生鹼性電池碳足跡系統邊界如圖 4.3-3 所示。

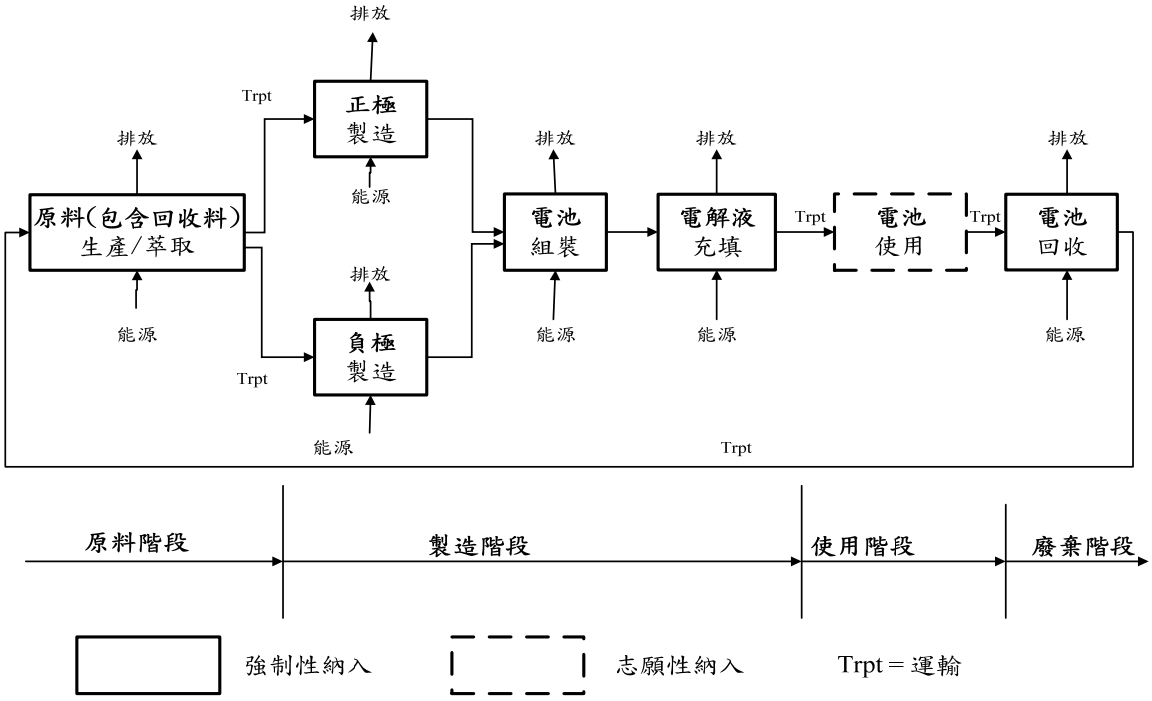


圖 4.3-3　再生鹼性電池系統邊界

2.再生鹼性電池碳足跡盤查及計算方式：

再生鹼性電池之碳足跡盤查範圍，包含上游原料輸入、各種原物料運輸、製程過程中能源消耗以及最終廢棄處理方式。

(1)再生鹼性電池碳足跡盤查方式:再生乾電池之碳足跡盤查範圍，包含乾電池回收廠回收料投入、鹼性電池原物料、製程、運輸以及回收後廢棄物焚化。

(2)數據取得情形描述：再生鹼性電池碳足跡數據取得，引用自美國麻省理工學院替美國電器製造商協會進行鹼性電池生命週期評估文獻中的原物料投入、產品製造以及原物料運輸(Olivetti et al., 2011)，模擬於大陸生產並推估販賣到台灣的運輸與棄置處理方式，以及經乾電池回收廠處理後可再次投入回收料。

其再生鹼性電池之原料投入不同於原生鹼性電池之原料投入，主要差異在於廢鹼性電池經乾電池回收廠處理後，其鐵、鋅和二氧化錳可回收再利用，並計算此三種再生料之回收再利用率(如表 4.3-1 所示)，即可忽略投入於原生鹼性電池原料階段之鐵、鋅和二氧化錳用量。

表 4.3-1　三種再生料之回收再利用率(99 年度)

再生料物質	再生料產生量(噸)	認證處理量(噸)	回收再利用率(%)	一顆鹼性電池再生料用量(g)
鐵	226.828	1,484.113	15	0.66
鋅	171.31		12	0.51
二氧化錳	823.991		56	5.31
備註: 回收再利用率=再生料產生量/認證處理量				

經表 4.3-1 計算出一顆鹼性電池再生料用量，原生鹼性電池之鐵、鋅與二氧化錳等原料用量，減掉再生料用量，則為再生鹼性電池需開採之原料用量，計算結果如表 4.3-2 所示。

表 4.3-2　再生鹼性電池剩餘需開採之原料用量

再生料物質	原生鹼性電池原料用量(g)	再生料用量(g)	再生鹼性電池原料用量(g)
鐵(鍍鎳鋼)	4.38	0.66	3.72
鋅	4.23	0.51	3.72
二氧化錳	9.48	5.31	4.17
備註：原生鹼性電池原料用量= 再生料用量 + 再生鹼性電池原料用量			

(3)假設：本再生鹼性電池之碳足跡計算有以下特殊假設。

- 廢棄原生鹼性電池經乾電池回收廠處理完後，將可再投入之再生料乘上回收再利用率，即作為此三種再生料可全數投入再生鹼性電池之原料階段。
- 鹼性電池製造廠內其使用之鐵、鋅、二氧化錳以及塑膠等原料均會全數使用完，故無此原料廢棄。
- 本鹼性電池於大陸生產製造，運輸至台灣乾電池代理商販賣到台北科技大學使用，並於使用完回收至回收廠做處理，因此運輸階段須納入大陸運輸到台灣乾電池代理商、台灣乾電池代理商到台北科技大學、台北科技大學到回收廠以及回收廠廢棄物最後到焚化爐等運輸距離。
- 由於乾電池製造廠位於大陸，乾電池回收廠位於台灣，若將回收廠回收料再次投入再生乾電池製造廠之運輸納入，不符合經濟成本考量，故此運輸不納入。

- 乾電池經回收廠處理後，其鐵、鋅、二氧化錳以及塑膠等廢料均可再生利用，故廢棄階段無此四種廢料廢棄，其餘原料與包裝材之物料皆為焚化處理。

3.原生鹼性電池與再生鹼性電池結果闡釋及減碳效益

由表 4.3-3 可知，再生鹼性電池之二氧化碳排放量為 0.06 公斤當量，而原生鹼性電池之二氧化碳排放量為 0.085 公斤當量，其製造再生鹼性電池之減碳效益為 29%。其最大減碳效益於棄置階段，再生鹼性電池棄置階段採用回收處理方式，其減碳效益為 91%；其次為原料階段，再生鹼性電池原料階段納入經乾電池回收廠處理後之再生料，減碳效益為 29%；而運輸階段，主要由於再生鹼性電池廢棄需運送至乾電池回收廠處理與不可回收之廢棄物送至焚化爐，而原生鹼性電池只需送至焚化爐處理，故再生鹼性電池運輸階段高於原生鹼性電池。

表 4.3-3　原生鹼性電池(焚化)與再生鹼性電池之生命週期各階段碳排放量比較

單位: kg CO_2 eq	原生鹼性電池(焚化)①	再生鹼性電池②	碳減量效益③
原料階段	0.055	0.039	29%
製造階段	0.017	0.017	0%
運輸階段	0.002	0.003	-50%
棄置階段	0.011	0.001	91%
總碳排放量	0.085	0.06	29%
備註：碳減量效益③=(①-②)/①			

上述原生鹼性電池之棄置處理方式為焚化處理，故於此比較原生鹼性電池棄置方式採用掩埋處理與再生鹼性電池之生命週期各階段碳排放量比較，如表 4.3-4 所示。

表 4.3-4　原生鹼性電池(掩埋)與再生鹼性電池之生命週期各階段碳排放量比較

單位: kg CO_2 eq	原生鹼性電池(掩埋)	再生鹼性電池	碳減量效益
原料階段	0.055	0.039	29%
製造階段	0.017	0.017	0%
運輸階段	0.002	0.003	-50%
棄置階段	0.012	0.001	92%
總碳排放量	0.086	0.06	30%

由表 4.3-4 可知，再生鹼性電池之二氧化碳排放量爲 0.06 公斤當量，而原生鹼性電池之二氧化碳排放量爲 0.086 公斤當量，其製造再生鹼性電池之減碳效益爲 30%。其最大減碳效益於棄置階段，再生鹼性電池棄置階段採用回收處理方式，而原生鹼性電池棄置階段採用掩埋處理方式，其減碳效益達 92%。

若將原生鹼性電池棄置階段採用焚化或掩埋處理方式，並與再生鹼性電池之生命週期各階段二氧化碳排放量相比，如圖 4.3-4 所示，可發現於原料階段，再生鹼性電池之二氧化碳排放量都低於原生鹼性電池，但運輸階段則高於原生鹼性電池。而廢棄階段會依處理方式不同，其二氧化碳排放量也不同；依序爲掩埋處理方式所排放二氧化碳爲 0.12 公斤當量，其次爲焚化處理方式所排放二氧化碳爲 0.011 公斤當量，而回收處理方式所排放二氧化碳爲 0.001 公斤當量。

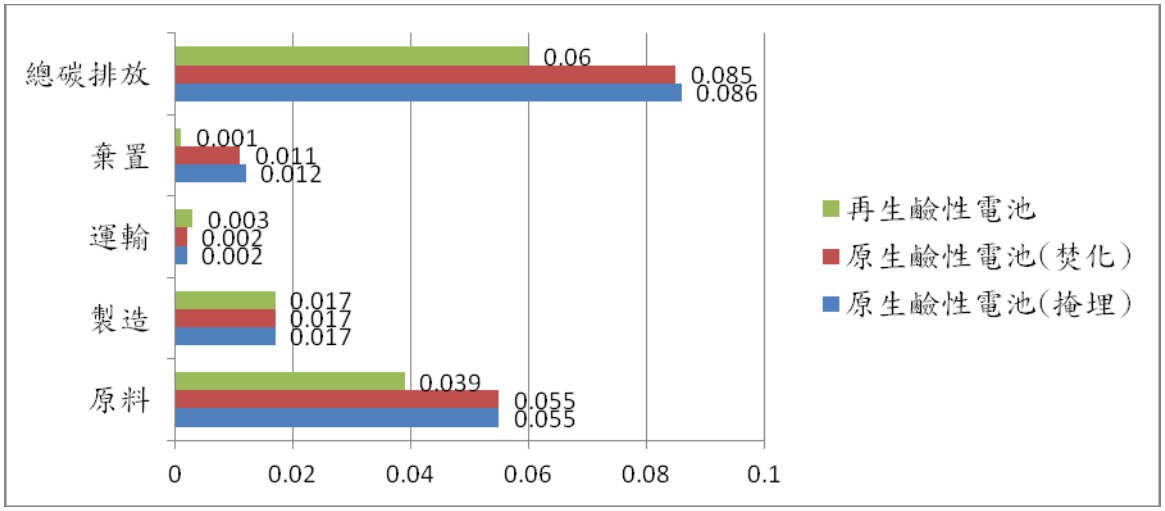


圖 4.3-4　原生鹼性電池(焚化或掩埋)與再生鹼性電池之生命週期各階段碳排放量

二、資源循環再生產品-原生 T5 燈管之碳足跡評估

本報告探討市面上照明 T5 燈管碳足跡評估，原生燈管碳盤查資料引用自謝景峰(2011)，並以此作爲原生 T5 燈管碳足跡評估之主要來源。另外，由於目前國內並無再生 T5 燈管之案例，因此假設 T5 燈管可像市面上環保再生燈管是有再生之可能性(原生 T5 燈管回收再利用製作成再生 T5 燈管僅此再利用一次)，並納入國內燈管回收廠處理之盤查資料，以此爲再生 T5 燈管之碳足跡評估，進而比較原生 T5 燈管與再生 T5 燈管之碳足跡排放。

原生 T5 燈管碳足跡盤查採用生命週期評估 LCA，從原料投入、製造、運輸、使用至棄置階段，進行「原生 T5 燈管」之碳足跡盤查與計算，進而針對原生 T5 燈管之整體碳足跡盤查過程、步驟、說明與計算結果進行細部探討。

1.原生 T5 燈管標的產品及功能單位說明：

標的產品爲建築物中提供照明之 T5 燈管，以下分別說明功能單位、產品功能、產品元件、系統邊界及盤查範圍之界限等。

(1)功能單位：其功能單位爲一支 28W T5 燈管(使用階段設定爲 1000hrs)，評估此原生 T52/ 燈管所產生之二氧化碳，如圖 4.3-5 所示。

圖 4.3-5　28W T5 燈管

(2)產品功能：原生 T5 燈管是一種提供照明之設備，常見於辦公大樓。

(3)產品元件：T5 燈管是由玻璃管、導絲、螢光粉等原料投入製造而成，另含包裝 T5 燈管之包裝材。

(4)系統邊界：考慮產品生產製造、運輸、使用及棄置階段，盤查的系統邊界以原物料製造至棄置的階段，原生 T5 燈管碳足跡系統邊界如圖 4.3-6 所示。

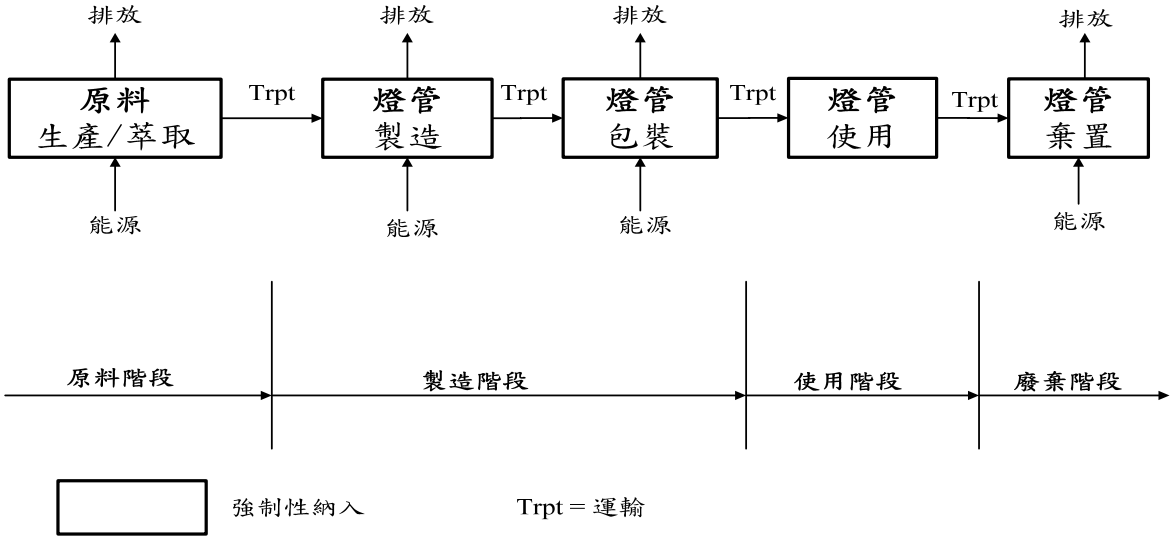


圖 4.3-6　原生 T5 燈管系統邊界

2.原生 T5 燈管碳足跡盤查及計算方式：

原生燈管之碳足跡盤查範圍，包含上游原料輸入、各種原物料運輸、製程過程中能源消耗、消費者使用以及最終廢棄處理方式。

(1)原生 T5 燈管碳足跡盤查方式：原生 T5 燈管之碳足跡盤查範圍，包含燈管原物料、製程、運輸、使用及棄置後採焚化處理。

(2)數據取得情形描述：原生 T5 燈管碳足跡數據取得，引用謝景峰(2011)論文中盤查之原物料投入、產品製造，以及原物料運輸，並推估消費者使用時間與棄置處理方式。

(3)假設：本原生 T5 燈管之碳足跡計算有以下特殊假設。

- T5 燈管製造廠內其使用之玻璃管、導絲以及螢光粉等原料均會全數使用完，故無此原料廢棄。
- 本 T5 燈管原料來自台灣各地運輸至新竹湖口進行製造，製造完成後成品由新竹湖口運送至新竹關西販賣，並從新竹關西販賣到台北科技大學使用，使用完後採焚化處理，因此運輸階段須納入原料運輸、成品運輸、台北科技大學使用完後至焚化爐等運輸距離。
- 參考熱陰極螢光燈管 PCR，假設 T5 燈管使用階段爲 1000 小時。
- 燈管經棄置後，直接進入焚化爐焚化，故燈管原物料與包裝材投入皆成爲廢棄物，並全數採用焚化處理或掩埋處理。

假若原生 T5 燈管在理想狀態下，經 T5 回收廠處理之回收料可再次作爲 T5 燈管原料(納入再利用率概念)，其再生 T5 燈管碳足跡盤查採用 LCA，從 T5 回收廠再生料投入、原料投入、製造、運輸、使用至棄置階段，進行「再生 T5 燈管」之碳足跡盤查與計算，進而比較原生與再生 T5 燈管。

1.再生 T5 燈管標的產品及功能單位說明：

標的產品爲可再生使用之 T5 燈管，以下分別說明功能單位、產品功能、產品元件、系統邊界及盤查範圍之界限等。

(1)功能單位：其功能單位爲一支 28W T5 燈管(使用階段設定爲 1000hrs)，評估此再生 T5 燈管所產生之二氧化碳。

(2)產品功能：再生 T5 燈管是一種提供照明之設備，常見於新辦公大樓。

(3)產品元件：T5 燈管是由玻璃管、導絲、螢光粉等原料投入製造而成，另含包裝 T5 燈管之包裝材。

(4)系統邊界：考慮產品生產製造、運輸、使用及棄置階段，盤查的系統邊界以燈管回收廠再生料投入、原物料製造至棄置階段，再生 T5 燈管碳足跡系統邊界，如圖 4.3-7 所示。

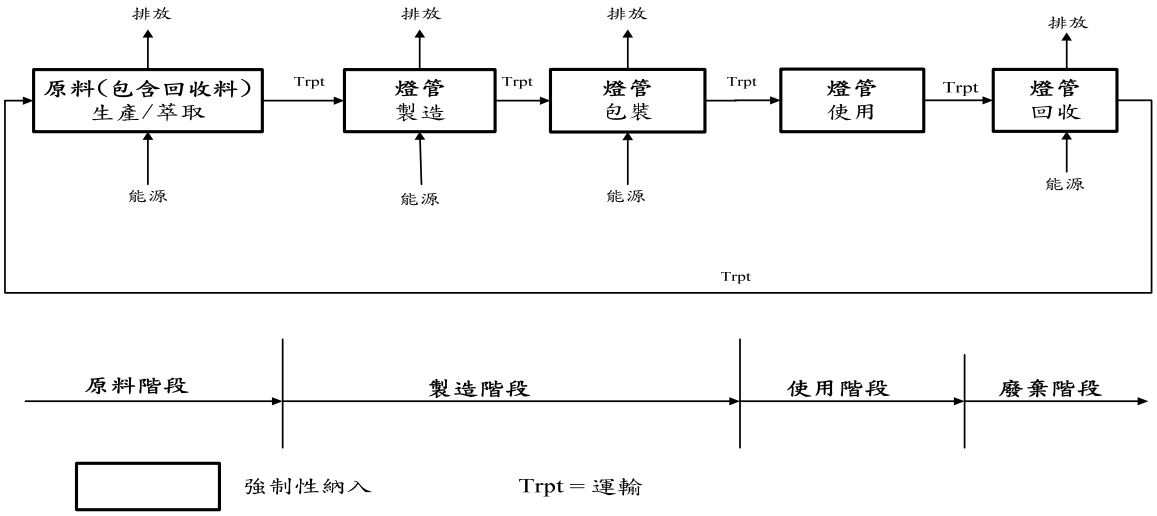


圖 4.3-7　再生 T5 燈管系統邊界

2.再生 T5 燈管碳足跡盤查及計算方式：

再生燈管之碳足跡盤查範圍，包含上游原料輸入、各種原物料運輸、製程過程中能源消耗、消費者使用以及最終廢棄處理方式。

(1)再生 T5 燈管碳足跡盤查方式：再生燈管之碳足跡盤查範圍，包含燈管原物料、製程、運輸使用以及回收後廢棄物焚化。

(2)數據取得情形描述：再生 T5 燈管碳足跡數據取得，引用謝景峰(2011)論文中盤查之原物料投入、產品製造以及原物料運輸，並推估消費者使用時間與棄置處理方式，以及經回收處理廠處理後可再次投入再生料。

其再生 T5 燈管之原料投入不同於原生 T5 燈管之原料投入，主要差異在於廢 T5 燈管經燈管回收廠處理後，其汞、螢光粉和玻璃可回收再利用，並依回收廠提供三種再生料之回收再利用率(如表 4.3-5 所示)，即可忽略投入於原生 T5 燈管原料階段之汞、螢光粉和玻璃用量。

表 4.3-5　三種 T5 燈管回收料之再利用率(99 年度)

回收料物質	再利用率(%)	一顆 T5 燈管再生料用量(g)
汞	100	6.18
螢光粉	60	5.44
玻璃	30	13.55

經表 4.3-5 計算出一根 T5 燈管再生料用量，其原生 T5 燈管之汞、螢光粉與玻璃等原料用量，減掉再生料用量，則為再生 T5 燈管需開採之原料用量，計算結果如表 4.3-6 所示。

表 4.3-6　再生 T5 燈管剩餘需開採之原料用量

再生料物質	原生 T5 燈管原料用量(g)	再生料用量(g)	再生 T5 燈管原料用量(g)
汞	6.18	6.18	0
螢光粉	9.07	5.44	3.63
玻璃	45.15	13.55	31.60
備註:原生 T5 燈管原料用量= 再生料用量 + 再生 T5 燈管原料用量			

(3)假設：本再生 T5 燈管之碳足跡計算有以下特殊假設。

- 廢棄原生 T5 燈管經回收廠處理完後，將可再投入之再生料乘上回收再利用率，即作為此三種再生料可全數投入再生 T5 燈管之原料階段。
- 燈管製造廠內其使用之玻璃管、導絲以及螢光粉等原料均會全數使用完，故無此原料廢棄。
- 本 T5 燈管原料來自台灣各地運輸至新竹湖口進行製造，製造完成後成品由新竹湖口運送至新竹關西販賣，並從新竹關西販賣到台北科技大學使用，使用完回收至回收廠做處理，因此運輸階段須納入原料運輸、成品運輸、台北科技大學使用完後至回收廠、回收廠廢棄物最後至焚化爐，以及回收廠再生料運輸至燈管製造廠等運輸距離。
- 燈管經回收廠處理後，其銅鋁料、鐵料、汞、螢光粉、玻璃與塑膠等廢料均可再生利用，故廢棄階段無此六種廢料廢棄，其餘原料與包裝材之物料皆為焚化處理。

3.原生 T5 燈管與再生 T5 燈管結果闡釋及減碳效益

由表 4.3-7 可知，再生 T5 燈管之二氧化碳排放量為 18.138 公斤當量，而原生 T5 燈管之二氧化碳排放量為 18.353 公斤當量，其總體減碳效益為 1.2%。其最大減碳效益於棄置階段，若再生 T5 燈管棄置階段採用回收處理方式，其減碳效益高達 116%；其次為原料階段，再生 T5 燈管原料階段納入經燈管回收廠處理後之再生料，減碳效益為 4.2%；而運輸階段，主要由於再生 T5 燈管需運送再生料至燈管製造廠，以及燈管回收廠處理後不可回收之廢棄物送至焚化爐，而原生 T5 燈管只需送至焚化爐處理，故再生 T5 燈管運輸階段高於原生 T5 燈管。

表 4.3-7　原生 T5 燈管(焚化)與再生 T5 燈管之生命週期各階段碳排放量比較

單位:kg CO_2 eq	原生 T5 燈管①	再生 T5 燈管②	碳減量效益③
原料階段	0.379	0.22	42%
製造階段	0.781	0.781	0%
運輸階段	0.007	0.009	-29%
使用階段	17.136	17.136	0%
棄置階段	0.05	-0.008	116%
總碳排放量	18.353	18.138	1.2%
不含使用階段總碳排放量	1.217	1.002	17.7%
備註：碳減量效益③=(①-②)/①			

若將原生 T5 燈管棄置階段採用焚化或掩埋處理方式，並與再生 T5 燈管之生命週期各階段二氧化碳排放量相比，如圖 4.3-8 所示，可發現於棄置階段，再生 T5 燈管之二氧化碳排放量均低於原生 T5 燈管，但運輸階段則高於原生 T5 燈管，且廢棄階段會依處理方式不同，其二氧化碳排放量亦不同，以掩埋處理方式所排放二氧化碳爲 0.081 公斤當量爲最高，其次爲焚化處理方式所排放二氧化碳爲 0.05 公斤當量，而回收處理方式所排放二氧化碳爲-0.008 公斤當量爲最低。另外，若原生 T5 燈管(焚化)與再生 T5 燈管不納入使用階段，可看出再生 T5 燈管之減碳效益爲 17.7%；原生 T5 燈管(掩埋)與再生 T5 燈管不納入使用階段，則再生 T5 燈管之減碳效益爲 19.7%。

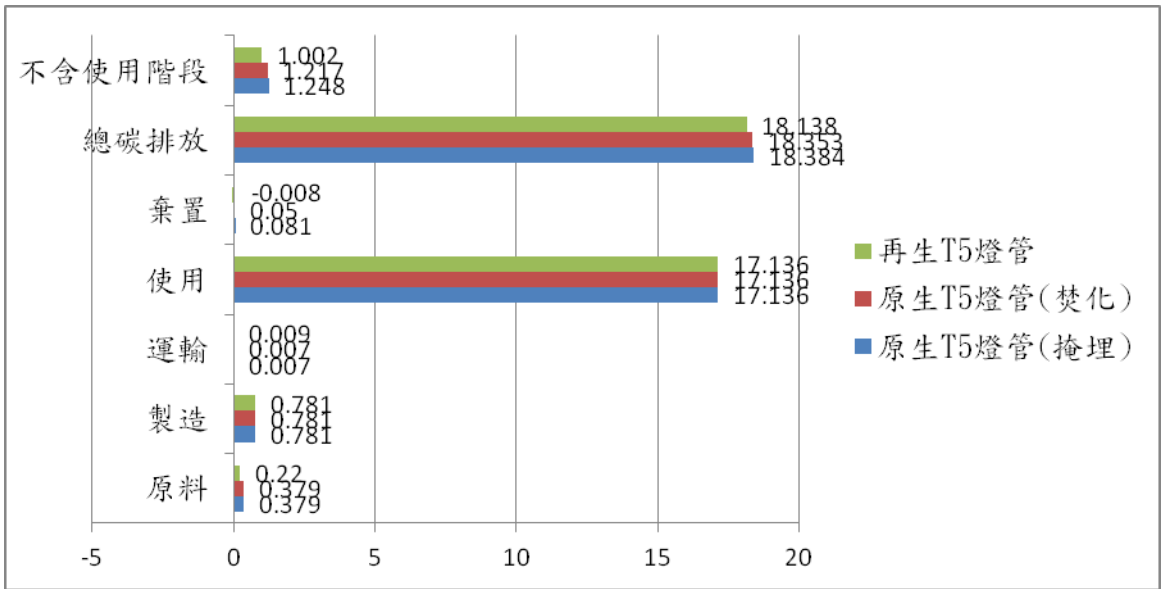


圖 4.3-8　原生 T5 燈管(焚化或掩埋)與再生 T5 燈管之各生命週期階段碳排放量

第五章 結語

綠色技術是一種能減少環境汙染、降低能源消耗或者是對生態有益之技術，包含綠色材料、綠色能源及資源循環再生產品。本報告主要介紹兩項綠色材料案例(GFRP 綠大門和人行棧道)、一項綠色能源案例(DSSC)與兩項資源循環再生產品案例(鹼錳電池與 T5 燈管)，而此三者綠色技術共五項案例評估結果如下所述:

- 綠色材料-使用 GFRP 建造綠大門時，與使用傳統 H 型鋼建造相比下，其使用 GFRP 建造綠大門的碳足跡較低；但若使用再生 H 型鋼建造綠大門時，其使用 GFRP 建造綠大門的碳足跡則較高。另外，使用 GFRP 建造人行棧道時，其總體碳排放量爲 2,285.737 公斤當量，以原料投入階段的碳排放量比例爲最高，佔整體生命週期的 94.86%。
- 綠色能源-DSSC 之碳足跡評估結果爲 0.214 公斤二氧化碳當量，主要碳排放貢獻產生於組裝階段，佔整體碳排放的 97.97%，主要爲該 DSSC 在組裝階段之流程需要相當多的電力。但此碳排放結果主要爲實驗室之案例，由於目前 DSSC 尚未開發成一完整太陽能發電模組，因此無法針對其使用階段及廢棄階段進行碳足跡評估，若未來 DSSC 能發展成一套完整太陽能發電系統，則能針對 DSSC 各生命週期階段進行完整之碳足跡評估。
- 資源循環再生產品-以乾電池(鹼性電池)與照明光源(T5 燈管)爲案例探討，假設在兩者可循環再生情境下，分別比較其原生產品與再生產品之碳足跡排放。在鹼性電池部分，不論原生與再生其碳足跡排放量皆以原料階段碳排放量佔比最高，並進一步比較其原生鹼性電池(最終棄置採用焚化處理)與再生鹼性電池之減碳效益爲 20%，若是原生鹼性電池(最終棄置採用掩埋處理)與再生鹼性電池相比之減碳效益爲 30%。在 T5 燈管方面，不論原生與再生其碳足跡排放量皆以使用階段碳排放量占比最高，並進一步比較原生 T5 燈管(最終棄置採用焚化處理)與再生 T5 燈管之減碳效益爲 1.2%，若不納入使用階段之減碳效益爲 17.7%；而原生 T5 燈管(最終棄置採用掩埋處理)與再生 T5 燈管相比之減碳效益爲 1.3%，若不納入使用階段之減碳效益爲 19.7%。

以上五項綠色技術案例之評估，均以計算產品碳足跡排放爲主，由結果得知使用階段(例如燈管)爲碳排放量最高時，似乎不是那麼適切，建議應廣泛評估此產品生命週期各階段之環境效益。隨著國際間對環保訴求的日益重視，身爲地球村一員及世界供應鏈中重要環節的台灣企業，應以「生命週期」的思考，來開發產品及提供服務，不僅著重於原料與製造階段之環境衝擊，更應納入產品使用與最終棄置階段對環境的衝擊；而這也將是綠色技術創新發展是不可缺少的工作之一。未來企業在產品研發與服務提供之時，應以達到「去碳化」、「去物質化」及「去毒化」爲目標，進而降低產品生命週期中各階段對經濟、環境及社會面所產生的衝擊，朝向世界的永續發展。

自 2005 年京都議定書開始生效之後，國際環保意識高漲與綠色消費觀念興起，使得社會大眾對於企業的環境績效的要求也逐漸提高，企業在透過貿易獲取利潤之際，也面臨國內環保團體的抗爭、國際貿易制裁及環保規範的要求，這些皆為企業經營及競爭壓力的來源。有鑑於此，各國對於國內之碳排放都將與以控制，企業對自身產品碳的盤查也相應而生，全球零售業巨人沃爾瑪近年積極扮演其領導者角色，並要求其 10 萬個供應商到 2015 年減少 20 萬噸二氧化碳當量。在全球化的時代，面對全球暖化的問題，若僅著眼於自己國家的碳排放的削減，將不足以因應當前的嚴峻狀況。而碳足跡評估可以包括國家企業產品等不同層級，可分成個人碳足跡、產品碳足跡、組織/企業碳足跡，以及國家/城市碳足跡。若從企業組織的角度來看，相較於產品碳足跡，企業碳足跡包括非生產性的活動，例如相關投資的碳排放量(碳交易或碳中和)，亦是組織/企業碳足跡所需揭露的範圍。

產品碳足跡評估概念與方法，它是以 ISO 14040 生命週期評估為基礎，相關的標準包含 PAS2050、ISO14067 及我國產品與服務碳足跡計算指引。本報告也分別介紹以上的標準，讓社會大眾對碳足跡有基本之認識。而環保署自 2010 年推動實施之產品碳標籤制度，截至 100 年 11 月 10 日統計，目前在環保署申請核准登錄之碳標籤產品已達 94 項(網址 http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLabelProduct/FLProductInfo.aspx)。而作為產品碳足跡計算指引之 PCR 之訂定，截至 100 年 7 月 19 日統計已有 18 項的 B2C PCR 與 44 項 的 B2B PCR。

綜合言之，企業透過了解產品碳足跡之盤查、計算及揭露，將可達到下列之目的：

- 分析產品生命週期階段的碳排放熱點，發掘減碳機會，減少溫室氣體排放，並可作為推動低碳產品綠色設計之參考；
- 將供應商、原料、產品設計及製程的排放衝擊，整合至公司對溫室氣體的減量決策中；
- 滿足消費者對產品碳足跡資訊的需求及建立市場區隔；
- 使企業具備碳盤查之經驗與能力，方便後續執行碳相關計畫(如碳中和碳交易等)；
- 展現企業環保、企業責任，以及提升企業形象。

參考文獻

[1] Andræ, R. Andersson and J. Liu, "Significance of intermediate production processes in life cycle assessment of electronic products assessed using a generic compact model," Journal of Cleaner Production, vol. 13, no. 13-14, pp. 1269--1279, 2005.

[2] Bin, S. and Dowlatabadi, H., "Consumer lifestyle approach to US energy use and the related CO2 emissions," Energy Policy, Vol. 33, No. 2, pp. 197-208, 2005.

[3] BSI, PAS 2050, "specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services," London: British Standards Institute, 2008.

[4] Carbon Footprint- Home of Carbon Management1. Retrieved from http://www.carbonfootprint.com/, 2011.

[5] Carbon N Zero, Glossary of commonly used terms, Landcare Research, 2008. Retrieved from http://www.carbonzero.co.nz/glossary.asp

[6] Carbon Trust, Carbon Trust, Product carbon 1.footprinting: the new business opportunity. Experience from leading companies, 2008.

[7] Carbon Trust Official Website，http://www.carbon-label.com/

[8] Correia, J. R., Almeida, N. M. and Figueira, J. R. "Recycling of FRP composites: reusing fine GFRP waste in concrete mixtures, " Journal of Cleaner Production, Vol. 19, No. 15, pp. 1745-1753, 2011.

[9] Duan, H., Eugster, M., Hischier, R., Streicher-Porte, M. and Li, J., "Life cycle assessment study of a Chinese desktop personal computer," Science of The Total Environment, Vol. 407, No. 5, pp. 1755-1764, 2009.

[10] Energetics, "The Reality of Carbon Neutrality," London, 2007. www.energetics.com.au/file?node_id=21228.

[11] Environmental Technologies Action Plan (ETAP), "The Carbon Trust Helps UK Businesses Reduce their Environmental Impact," Press Release, 2007. http://ec.europa.eu/environment/etap/pdfs/jan07_carbon_trust_initiative.pdf.

[12] Field, F.R. and J.R. Ehrenfed , "Life-Cycle Analysis: The Role of Evaluation and Strategy," In: Schulze, P. C., ed. Measures of Environment Performance and Ecosystem Condition. National Academy Press, Washington, D. C., 1999.

[13] Flysjö, A., Cederberg, C., Johannesen, J. D., "Carbon Footprint and Labelling of Dairy Products – Challenges and opportunities," Joint Actions on Climate Change, Aalborg/ Denmark, 2009.

[14] Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., and Giljum, S., Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a “Footprint Family” of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet, Ecological Indicators, In Press, Pages 13, 2011.

[15] Goidel, E.S. and McKiel, M., "Public Policy Applications of Life-Cycle Assessment," In: Curran, M. A., ed. Environment Life-Cycle Assessment. John Wily&Sons, New

York, 1996.

[16] Hertwich, E., and Peters, G., "Carbon Footprint of Nations: A Global, Trade-Linked Analysis," Environmental Science and Technology in press, 2009.

[17] IPCC, 2007, IPCC Fourth Assessment Report.

[18] IPCC, 2007, Mitigation of Climate Change Report.

[19] ISO 14040, "Environmental management- Life cycle assessment principles and framework", 2006.

[20] Kim B., and Neff R., "Measurement and communication of greenhouse gas emissions from U.S. food consumption via carbon calculators," Ecological Economics, Vol. 69, No. 1, pp. 186-196, 2009.

[21] Klassen, R. D. and Whybark, D. C.. "Environmental management in operations: The selection of environmental technologies," Decision Sciences, Vol. 30, No. 3, pp. 601-631, 1999.

[22] Krozer, J. and Vis, J.C., "How to Get LCA in the Right Direction?" Journal of Cleaner Production, Vol. 6, pp. 53-61, 1998.

[23] Lee, K. H., "Integrating carbon footprint into supply chain management: the case of Hyundai Motor Company (HMC) in the automobile industry. Journal of Cleaner Production," Vol. 19, No. 11, pp. 1216-1223, 2011.

[24] Li, Y., Muthu, S. S., Hu, J. Y. and Mok, P. Y., "Carbon footprint of shopping (grocery) bags in China, Hong Kong and India. Atmospheric Environment," Vol. 45, No. 2, pp. 469-475, 2011.

[25] Liqin, Y., "The Analysis on Carbon Footprint of Catering Products in High-star Hotels during Operation: Based on Investigation Conducted in parts of High-star Hotels in Ji'nan," Energy Procedia, Vol. 5, pp. 890-894, 2011.

[26] Liu, C. H., Lin, S. J. and Lewis, C., "Life cycle assessment of DRAM in Taiwan's semiconductor industry," Journal of Cleaner Production, Vol. 18, No. 5, pp. 419-425, 2010.

[27] MCI, MCi's go green glossary, 2008. Retrieved from http://www.mcicoach.com/gogreen/greenGlossary.htm

[28] Olivetti, E., Gregory, J. & Kirchain, R. ,"Life Cycle Impacts of Alkaline Batteries With A Focus On End-of-Life," National Electrical Manufacturers Association, 2011.

[29] Patel, J., "Green sky thinking," Environment Business, Vol. 122, pp. 32, 2006.

[30] Parliamentary Office of Science and Technology (POST), "Carbon footprint of electricity generation," POSTnote 268, Parliamentary Office of Science and Technology, London, UK, 2006. http://www.parliament.uk/documents/upload/postpn268.pdf.

[31] Peters, G. P., "Carbon footprints and embodied carbon at multiple scales," Current Opinion in Environmental Sustainability, Vol. 2, pp. 245-250, 2010.

[32] Reeve, S. "FRP bridges – 14 years and counting, " Reinforced Plastics, Vol. 54, No. 1, pp. 40-44, 2010.

[33] Scripps Institution of Oceanography NOAA Earth System Research Laboratory, CO2 Concentration at Mauna Loa Observatory, Hawaii. Retrieved March 21, 2011. http://www.grida.no/publications/vg/climate/

[34] Seawolf Research & Development, Inc. "Products and Services," 2007. http://seawolfindustries.com/.

[35] Shrivastava, P., "Environmental technologies and competitive advantage, Strategic Management Journal," Vol. 16, Is. S1, pp. 183-200, 1995.

[36] Wackernagel, M., and Rees, W.E., "Our Ecological Footprint - Reducing Human Impact on the Earth," New Society Publishers Gabriola Island, B.C., Canada, 1996.

[37] Weatherall, D., New Technology. Management Services, Jan., pp. 36-39, 1990.

[38] Wenzel, H., Hauschild, M. and Alting, L., "Environmental Assessment of Products. Vol. 1: Methodology," Tool and Case Studies in Product Development. Chapman & Hall, London, 1997.

[39] Wiedmann, T., and Minx, J., Ecological Economics Research Trends, New York: Hauppauge, pp. 1-11, 2008.

[40] World Resources Institute, WRI, 2011. http://cait.wri.org/

[41] 台灣產業服務基金會，我國碳足跡計算準則與低碳會議推動策略計畫，期中報告，2009。

[42] 台灣產業服務基金會，我國碳足跡計算準則與低碳會議推動策略計畫，期末報告，2010。

[43] 台灣行政院環保署產品碳足跡資訊網，http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/News/LastPublsihBoard.aspx

[44] 台灣行政院環保署，台灣碳標籤制度實施現況，2010。

[45] 台灣行政院環保署，產品與服務碳足跡計算指引，臺北，2010。

[46] 李叢禎、蕭之情、李堅明、曾瓊瑤，溫室氣體減量之遵循成本與健康附屬效益，臺灣經濟預測與政策，第 370 卷，第三期，第 1-30 頁，2007。

[47] 李珮蓓，結合 IO-LCA 與碳足跡評估分析研究：以 IC 業為例，碩士論文，國立國立成功大學，台南，2009。

[48] 朱冠誌，評估印刷電路板製造所產生的環境衝擊影響之研究，碩士論文，國立成功大學，2000。

[49] 呂穎彬，生命週期概念與產品碳足跡計算，永續產業發展季刊，第54期，2011，53頁。

[50] 林容瑋，產品服務系統之減碳評估-以洗衣機為例，國立台北科技大學環境工程與管理所，碩士論文，2011。

[51] 林献偉，產品碳足跡計算與環境績效分析研究─以網通產品為例，碩士論文，台北大學自然資源與環境管理研究所，台北，2010。

[52] 胡憲倫、蘇昭瑾、楊士瑩，綠色技術之碳足跡評估，2011 海峽兩岸氣候變遷與能源永續發展論壇，2011。

[53] 莊憲洲，12 吋DRAM 廠耗能分析及能源消耗對全球暖化影響之研究，碩士論文，國立台北科技大學，台北，2010。

[54] 徐福麟，綠色設計策略中產品生命週期評估模式之研究，碩士論文，大葉大學，彰化，1999。

[55] 許家偉，產品環境化設計策略與決策支援系統之研究，碩士論文，南華大學，嘉義，2003。

[56] 張韋豪，台灣半導體產業環境管理與碳足跡現況及生命週期評估軟體需求調查，國立台北科技大學環境工程與管理所，碩士論文，2011。

[57] 張憶琳，世界各國環境標誌(Ecolabel)現況之一，歐體組織，環保署網站，1995，http://epa.gov.tw/greenmark/mag/01/3.html

[58] 巢志成，我國綠色環保材料的開發與應用，2009。

[59] 廖建智，汰舊 FRP 漁船資源有效處理程序之研究，碩士論文，國立成功大學系統與船舶機電工程研究所，2006。

[60] 台灣經濟研究院，產業調查報告書-型鋼系列產品，1997。

[61] 蕭惠文，綠色技術研發與移轉及其影響因素之研究，碩士論文，國立成功大學資源工程研究所，2001。

[62] 劉家豪，IC 製造業產品生命週期分析，碩士論文，國立成功大學，台南，2004。

[63] 顧國維，綠色技術及其應用，同濟大學出版社，1999。

[64] 顧洋，生命週期評估之推動現況與未來展望，2000 年生命週期評估與環境環保化設計研討會，2000。

[65] 謝景峰，螢光燈具生命週期評估之研究-以室內 T5 燈具爲例，碩士論文，國立臺北科技大學，台北，2011。

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

綠色技術及其之碳足跡評估：以綠色材料、綠色能源及資源循環再生產品為例 / 胡憲倫等作. -- 初版. –

臺北市：中技社, 民 101.05

70 面 ; 21× 29.7　公分

ISBN 978-986-88170-2-9(平裝)

1.環境工程 2.工業技術 3.綠色革命

445.9　　101009149

財團法人 中技社
CTCI FOUNDATION
106 台北市敦化南路2段97號8樓
Tel：02-2704-9805~7　Fax：02-2705-5044
http://www.ctci.org.tw