

# 明新科技大學 校內專題研究計畫成果報告

採用產品環境足跡方法探討電力環境足跡  
**Investigation of Environmental Footprint of Electricity by Product  
Environmental Footprint Methodology**

計畫類別：任務型計畫 整合型計畫 個人計畫

計畫編號：MUST-107 工管-2

執行期間：107 年 1 月 1 日至 107 年 9 月 30 日

計畫主持人：呂博裕

共同主持人：

計畫參與人員：

處理方式：公開於校網頁

執行單位：工業工程與管理系

中 華 民 國 107 年 9 月 30 日

# 明新科技大學校內專題成果報告

## 公開授權書

(提供本校辦理紙本與電子全文授權管理用)

本授權書為明新科技大學校內專題研究計畫成果報告授權人：呂博裕

在明新科技大學 管理 學院 工業工程與管理 系所 107 年度校內專題研究計畫。

研究計畫編號：MUST-107 工管-2

研究計畫名稱：採用產品環境足跡方法探討電力環境足跡

計畫類型：個人型計畫

執行期限：107 年 1 月 1 日 至 107 年 9 月 30 日

茲同意將授權人擁有研究之上列成果報告：紙本授權全文公開陳列於本校圖書館，為學術研究之目的以各種方法重製，或為上述目的再授權他人以各種方法重製，不限地域與時間，惟每人以一份為限；成果報告之電子檔（含摘要），本校圖書館保留以供文獻典藏使用，但可依使用權限授權於網路公開，提供讀者非營利性質之免費線上檢索、閱覽、下載或列印。

成果報告之電子檔案使用權限授權，請勾選下列一項：

- 校內外立即公開全文(含摘要)
- 校內外立即公開摘要，校內立即公開全文，一年後校外公開全文
- 校內外僅於公開摘要，校內立即公開全文，校外永不公開全文

授權人：呂博裕

(請親筆正楷簽名)

E-Mail：byleu@must.edu.tw

中華民國 107 年 9 月 30 日

## 摘要

本研究係依據 ISO 14040/14044 生命週期評估標準與歐盟產品環境足跡指引，探討燃氣發電廠之電力進行環境足跡評估之必要原則與方法，以獲致環境足跡評估結果。本研究以一間位於桃園市觀音區之燃氣發電廠為個案，並以個案發電廠所生產之電力為標的產品。本研究在系統邊界上是屬於「搖籃到大門」模式，其環境足跡量化包含該產品生命週期之原料取得與製造等階段，分析單位（即功能單位）為「一度電力」。本研究結果顯示，正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別依序為氣候變遷 (CC)、光化學臭氧形成 (POF)、酸化 (Ac)。綜合而言，針對正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別（即 CC、POF、Ac），能源之環境足跡占比（都在 99.96% 以上）皆遠大於資源及廢棄物，而能源中又以天然氣的衝擊程度最大（都占能源的 99.96% 以上）。

關鍵詞：生命週期評估、產品環境足跡、燃氣發電廠、電力

# Abstract

In the study, the standards of the ISO 14040/14044 and Product Environmental Footprint Guide published by EC were applied to investigate the required principles and methods for assessing the environmental footprint (EF) of electricity generated by natural gas-fired power plant. The EF of electricity was obtained based on the relevant standards. Then the scenario analysis was conducted to seek the potentials of environmental performance improvement. A real gas-fired power plant located in Guanyin District, Taoyuan City was examined as a case study and the electricity generated by the natural gas-fired power plant was used as the target product to assess the EF of electricity. The system boundary was “cradle to gate,” denoting that EF quantification must include the life cycle of the products from raw material acquisition to production. The unit of analysis (i.e., functional unit) is “a degree of electricity.” The results of the study indicate that the impact categories that their normalised EF of electricity were ranked the top three were climate change (CC), photochemical ozone formation (POF), and acidification (Ac). Overall, for the three impact categories (i.e., CC, POF, and Ac), the ratios of the EF of electricity in the category of energy (all above of 99.96%) were bigger than those in the categories of resource and waste, and natural gas had the most impact in all categories (accounting for above of 99.96% of the category of energy).

Keywords: Life Cycle Assessment, Product Environmental Footprint, Natural Gas-Fired Power Plant, Electricity

# 目錄

摘要 .....	i
Abstract .....	ii
目錄 .....	iii
表目錄 .....	v
圖目錄 .....	vi
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究背景 .....	1
1.2 研究目的 .....	4
1.3 研究限制 .....	4
1.4 研究流程 .....	5
第二章 文獻探討 .....	7
2.1 生命週期評估與產品環境足跡簡介 .....	7
2.2 產品環境足跡相關研究 .....	9
第三章 研究架構與方法 .....	12
3.1 研究架構 .....	12
3.2 產品環境足跡研究之原則 .....	12
3.3 產品環境足跡研究之目的與範疇定義 .....	13
3.3.1 目的陳述 .....	13
3.3.2 分析單位 (即功能單位).....	13
3.3.3 產品系統 .....	14
3.3.4 系統邊界 .....	14
3.3.5 系統邊界排除項目 .....	15
3.4 資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄 (即生命週期盤查分析).....	15
3.4.1 環境衝擊來源 .....	15
3.4.2 數據種類 .....	16
3.4.3 評估數據的蒐集期間 .....	17
3.4.4 資料抽樣 .....	17
3.4.5 佐證資料 .....	17
3.4.6 分配 .....	17
3.4.7 計算方式 .....	18
3.5 產品環境足跡衝擊評估 .....	19
3.6 產品環境足跡結果之詮釋 .....	19
第四章 個案發電廠簡介 .....	20
第五章 電力環境足跡評估 .....	23

5.1 電力環境足跡研究之目的與範疇定義 .....	23
5.1.1 目的陳述 .....	23
5.1.2 標的產品之機能與特性 .....	23
5.1.3 產品組成 .....	24
5.1.4 分析單位 (即功能單位).....	24
5.1.5 系統邊界 .....	25
5.1.6 產品生命週期範圍 .....	25
5.1.7 挑選產品環境足跡衝擊類別 .....	26
5.2 資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄 (即生命週期盤查分析).....	28
5.2.1 原料取得與製造階段 .....	28
5.2.1.1 蒐集項目 .....	28
5.2.1.2 量化方式 .....	29
5.2.1.3 數據蒐集結果 .....	29
5.2.2 資源使用與排放係數 .....	32
5.2.3 盤查數據品質分析 .....	35
5.3 電力環境足跡衝擊評估與結果詮釋 .....	36
第六章 結論與建議 .....	41
參考文獻 .....	43

## 表目錄

表 5.1 衝擊類別及其英文縮寫與正規化因子 .....	27
表 5.2 有關資源所蒐集之數據 .....	30
表 5.3 有關資源運輸所蒐集之數據 .....	31
表 5.4 有關能源所蒐集之數據 .....	31
表 5.5 有關能源運輸所蒐集之數據 .....	32
表 5.6 有關廢棄物運輸所蒐集之數據 .....	32
表 5.7 有關廢棄物處理所蒐集之數據 .....	32
表 5.8 資源使用與排放係數彙整表 .....	33
表 5.8 資源使用與排放係數彙整表 (續).....	34
表 5.8 資源使用與排放係數彙整表 (續).....	35
表 5.9 數據品質等級對應到整體數據品質水準 .....	36
表 5.10 電力環境足跡評估結果彙整 .....	38
表 5.11 正規化電力環境足跡.....	39

## 圖目錄

圖 1.1 研究步驟 .....	6
圖 3.1 研究架構圖 .....	12
圖 4.1 個案發電廠空照圖 .....	20
圖 4.2 個案發電廠之複循環發電流程 .....	21
圖 5.1 電力之分析單位 .....	25
圖 5.2 電力生命週期流程圖 .....	26
圖 5.3 正規化電力環境足跡 .....	39
圖 5.4 以占比表示之電力環境足跡 .....	40



# 第一章 緒論

本章首先說明研究背景與研究目的，接著敘述研究範圍與限制，最後描述詳細的研究流程。

## 1.1 研究背景

為減緩全球暖化速度與降低能資源耗用，各種污染防治、降低化學物質危害、廢棄物減量、資源節約、及降低溫室氣體排放等「綠色產品」在國際間逐漸被開發出來，從而帶動廠商生產綠色產品之市場調節方式來促使產業自願性投入環境保護，創造環保與產業發展兼顧之局面。

根據 Nielsen 對全世界 60 個國家 30,000 名消費者所做的問卷調查結果顯示，55% 的消費者願意多付費從已承諾導向正面社會與環境衝擊的公司購買產品或服務，52% 的消費者在過去六個月至少向具社會責任聲譽的公司購買一次產品或服務。有趣的是，亞太地區、拉丁美洲、中東/非洲的消費者顯示較高的多付費意願 (64%、63%、63%)，而北美洲與歐洲的消費者顯示較低的多付費意願 (42%、40%) (Nielsen, 2014)。

綠色產品最簡單的定義是指比現有產品對環境更有利者，但是廣義的綠色產品則應該是指產品由原料開採歷經製造、配銷、使用到棄置的「全程生命週期」過程中，對環境無害或危害性極小。因此綠色消費理念所對應要求的綠色產品其條件、規範及標準極為複雜，需要由產品自「搖籃到墳墓」的生命週期資訊來進行評估，才能辨識出真正的綠色產品，以進行合理的綠色採購和消費 (楊致行，2014)。

但在各國推動綠色產品時，所遭遇到的問題是如何認定產品是否真正環保，綠色產品需具備什麼條件。由於各國對綠色產品之認定與評定方式不同，產品製

造商欲以綠色/環保為訴求來行銷其產品時，需要付出許多驗證與行銷成本。這些不同評估方式所產生之眾多環境資訊與驗證結果，亦使得多數消費者不知如何正確選擇綠色產品 (于寧等，2014)。

國際標準化組織 (international organization for standardization; ISO) 責無旁貸於 2006 年推出新版的 ISO 14040 與 14044 生命週期評估國際標準，期望建立國際標準以評估產品系統 (product system) 在整個生命週期對環境之衝擊程度，其中，ISO 14040 標準敘述生命週期評估之原則與架構，ISO 14044 標準敘述生命週期評估之要求事項與指導綱要 (ISO, 2006)。

但 ISO 14040 系列標準常遭人詬病的問題之一是並沒有指定環境衝擊類別 (impact category)，研究人員必須先深入瞭解眾多已知的環境衝擊類別之意義與內涵，然後從中挑選可能造成重大影響之衝擊類別以進行分析。因此，自 ISO 公布 ISO 14040 系列之國際標準以來，並未獲得各國政府相關部門及企業的重視與支持，更遑論廣泛應用於產品之環境衝擊評估、國家政策制定或環境標籤推動上 (盧怡靜、呂穎彬，2014)。

歐盟為解決以上問題，歐盟執委會 (European Commission; EC) 於 2013 年 4 月發布了新的環保政策通知：Building the Single Market for Green Products，其核心是：未來歐盟市場將採用統一的方法評估綠色產品，以實踐生命週期評估並展現環境衝擊的原則 (如：透明性、可靠性、完整性、可比較性)，從而建立統一的綠色產品市場。評估方法包含了產品環境足跡 (product environmental footprint; PEF) 指引與組織環境足跡 (organisation environmental footprint; OEF) 指引，並建議歐盟各會員國、企業、民間組織及金融業採用 (經濟部工業局，2017)。

電力是一種傳輸快速、使用過程乾淨的能源，電力可轉換成電磁、電波、熱能、機械能等運用在各式各樣設備上，其使用範圍與日劇增，用途不勝枚舉。電力發展初期以燈泡取代煤油來照明，利用燈泡發熱現象用來取暖，電力也用於冷凍設備、冷氣機、電動機、各式電動工具等。如今，電力用於光纖、電纜、通訊衛

星，只要很短時間訊息便可以傳遞全世界。電力用於電腦科技及數位傳輸，幫助人類處理、儲存、計算大量資訊、讓機械設備、辦公室自動化，使資料、知識傳輸更快速、讓人與人之生活更加緊密（維基媒體基金會，2017）。

由於各國擁有資源的情況不同、經濟發展程度不同，因此發電結構也不盡相同。美國、加拿大、英國、俄羅斯等能源蘊藏豐富的國家，其燃煤、燃油、燃氣火力發電使用占比非常高。水利資源豐富的北歐國家雖以水力發電為主，但仍少不了發電穩定的火力電廠。而日本、韓國、法國等能源不足的國家都是火力發電為主、核能發電為輔。中國大陸雖有豐富煤礦蘊藏量與產量以及具備水力、風力、太陽能等再生能源發電場域，但近年仍大力發展核能發電。受到 1986 年蘇聯車諾比核能事故影響，核能發電之發展受到阻礙而停滯，加上 2015 年巴黎協定通過後，凝聚了全球減少溫室氣體排放的共識，再生能源成了各國極力發展的中長期目標，不過，污染較低的天然氣發電仍是近年來發電主力，尤其是高效率的天然氣複循環發電機組更是近年各國電力開發的主要選項 (Dalrymple, 2012)。

我國過去五十年來電力發展均以能源供應穩定為主軸，由於自產能源不足又無外來電力可供應，因此核能、火力發電一直維持非常高比重。近年來因應溫室氣體排放減量趨勢，燃煤火力發電裝置容量已不再增加，燃氣火力發電機組裝置容量已逐年提高。以 2015 年為例，國內火力發電量所佔比重高達 76%，其中燃煤佔 36%、燃油佔 5%、天然氣佔 35%。自日本 311 福島核能事故後，國內反核情緒更形高漲，政府非核家園政策亦加速國內廢核的腳步，但水力、風力、太陽能等再生能源短時間內無法填補國內電力缺口。自巴黎協定通過後，我國若要達到 2030 年碳排將較 2005 年減少 20% 的國家自定貢獻目標，國內電力發展將面臨嚴重挑戰，在大力發展再生能源的同時，以天然氣為燃料的發電方式短期內還是會扮演重要角色 (王振勇等，2016)。

## 1.2 研究目的

電力在使用過程只產生少量的污染，但電力的生產過程仍會造成環境大量污染。以火力發電廠為例，電力的生產雖是單純的能源之轉換，但從發電所需之天氫氣、石油、煤碳等燃料之開採對周遭所造成環境衝擊、廢水污染與廢棄物排放，電力生產過程所排放之廢熱、廢氣，生產過程所使用之工作流體—水之處理、添加物及最終之廢水處理，電力生產過程所需原物料於製造等也會有程度不一之污染。

近年來，台電公司為瞭解電力對環境衝擊程度，在溫室氣體/碳足跡方面，已完成各發電廠的溫室氣體盤查，並計算出電力碳足跡。在水足跡方面，台電公司也完成若干發電廠（如：大潭發電廠、台中發電廠）的電力水足跡計算，並將逐年推行至其他發電廠。但是碳足跡或水足跡都只是單一標準的環境績效評估。產品環境足跡係以“多標準”來評量產品在整個生命週期過程中的環境績效，但國內電力業者並無涉獵，台電公司也無電力環境足跡相關研究。

本研究係依據ISO 14040/14044生命週期評估標準與歐盟產品環境足跡指引，探討燃氣發電廠之電力進行環境足跡 (environmental footprint) 評估之必要原則與方法，以獲致環境足跡評估結果。本研究以一間位於桃園市觀音區之燃氣發電廠為個案，並以個案發電廠所生產之電力為標的產品。本研究在系統邊界上是屬於「搖籃到大門」(cradle to gate) 模式，其環境足跡量化包含該產品生命週期之原料取得與製造等階段，分析單位 (即功能單位) 為「一度電力」。本研究納入歐盟產品環境足跡指引所預設之前14項環境足跡衝擊類別 (含氣候變遷、酸化、對淡水生態毒性等)，以瞭解電力對這些衝擊類別之環境衝擊程度。

## 1.3 研究限制

本研究所探討的電力環境足跡在系統邊界設定上是屬於「搖籃到大門」，亦即其環境足跡量化包含該產品生命週期之原料取得與製造等階段，至於電力離開發

電廠後所造成之環境衝擊並不計入。

此外，在環境足跡正規化方面，由於文獻上缺乏完整記載台灣在各衝擊類別所發生之年度總衝擊，因此採用歐盟在各衝擊類別所發生之年度總衝擊，作為本研究之正規化因子 (normalisation factor)。

## 1.4 研究流程

本研究流程承襲前述之研究背景與研究目的，並確定研究限制後，進行相關文獻探討，接著瞭解環境足跡評估原則與環境足跡評估方法，以進行產品環境足跡評估，並獲致環境足跡評估結果，之後是評估結果詮釋，最後是撰寫論文。詳細的研究步驟，如圖1.1所示。

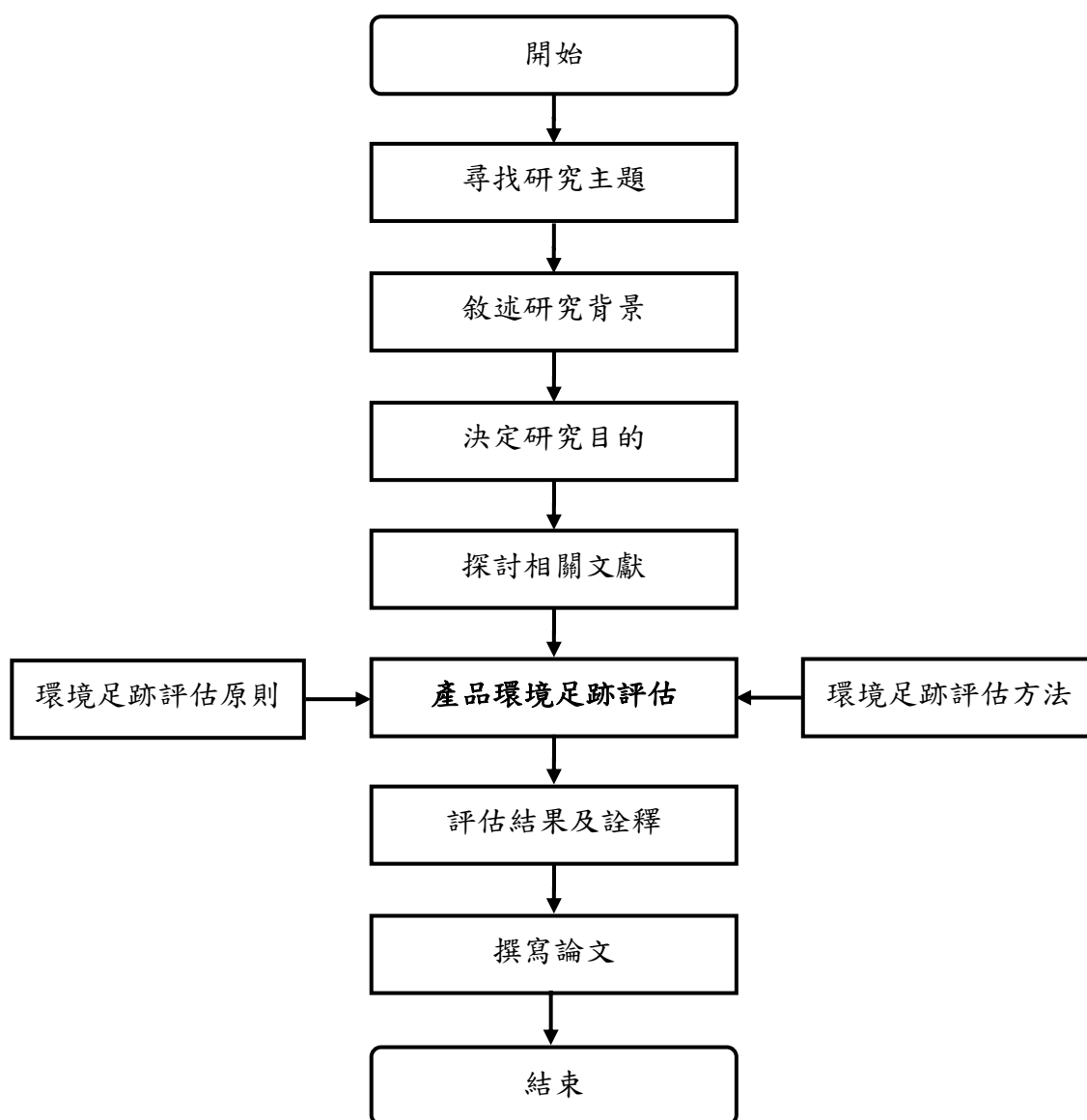


圖 1.1 研究步驟

## 第二章 文獻探討

本章首先介紹生命週期評估與產品環境足跡，然後探討產品環境足跡評估之相關研究。

### 2.1 生命週期評估與產品環境足跡簡介

生命週期評估 (life cycle assessment; LCA) 是一種系統分析方法，係說明產品或服務，從原物料取得至生產、使用、生命終結之處理、回收再利用及最終處置 (即搖籃至墳墓)，整個產品生命週期中的環境考量面與潛在環境衝擊，包括能源使用、資源耗用、污染排放等 (經濟部工業局，2017)。

生命週期評估的概念應用於環境管理上，可追溯至 1969 年，美國可口可樂公司委託中西部研究所 (Midwest research institute; MRI) 對其飲料容器材質之能源耗用量進行評估。1973 年起隨著美國省能及回收等環保意識的高漲，MRI、富蘭克林公司 (Franklin associates Ltd.) 及美國環保署，針對飲料容器、尿布、毛巾等日常用品，進行資源及環境的剖面分析 (profile analysis)。1980 年起，美國能源部則開始分析各產業製程的能源流與物質流 (energy and material flows)，此即生命週期評估之前身 (環保署，2017)。

1990 年，環境毒理化學協會 (society of environmental toxicology and chemistry; SETAC) 所提出的「操作標準」(code of practice)，提出 LCA 的定義與架構。而國際標準組織 (ISO) 則於 1996 年起，公布 ISO 14040 系列標準，制訂 LCA 應用至環境管理上的標準評估架構及步驟。而於 2000 年各國環境行政長官所發表的 Malmo 宣言中，強調建立生命週期經濟體 (life-cycle economy) 的重要，以及 2002 年，世界高峰會所提出的促進較永續的消費及生產模式的呼籲，聯合國環境規劃總署 (UNEP) 與 SETAC 共同合作，推行為期十年的生命週期計畫 (life cycle

initiative)，使 LCA 與生命週期思考 (life cycle thinking) 能實際應用至產業生產及政府決策之中 (環保署，2017)。

2006 年，ISO 修訂 ISO 14040 與 ISO 14044，制定了 LCA 標準評估架構與步驟。ISO 14040 系列是規範生命週期評估的原則與架構，ISO 14044 系列是規範生命週期評估的要求事項與指導綱要。根據 ISO 14040 系列的規範，生命週期評估分為：目的與範疇定義、盤查分析、衝擊評估、及詮釋等四個階段 (或層面) (盧怡靜、呂穎彬，2014)。

#### (1) 目的與範疇定義

生命週期評估的首重工作為目的與範疇定義，以藉此釐清生命週期評估的目的、預期結果與溝通對象。在確認目的與範疇定義過程中，需考量之重點包括：研究的系統、系統功能、功能單位、系統界限、分配程序、衝擊的種類與衝擊評估的方法、原始數據的品質要求、假設條件、研究限制、及報告的類型與格式等。

#### (2) 盤查分析

生命週期評估的第二階段是盤查分析，包括資料的蒐集與計算程序兩大步驟。資料的蒐集係依據前一階段所設定之目的與範疇進行各項投入與產出原物料數據的蒐集與彙整，包括原物料、能資源、空氣、水及固體廢棄物的污染物排放等。計算程序則可再細分為兩個部份，第一為依據功能單位，將各個單元的投入產出數值轉換成相同計量單位，第二為將前述所得的標準化數據予以加總。基本上，盤查分析的過程是需要反覆進行，以使盤查之資料可符合研究目的。

#### (3) 衝擊評估

生命週期評估的第三階段是衝擊評估，透過分類 (classification)、特徵化 (characterization) 與評價 (valuation) 等三個步驟，將生命週期盤查分析之結果與相對應之潛在環境衝擊相互配比，再量化成相對應之當量，最後再透過加總或權重化等方式，將複雜的計算結果彙整為決策者容易瞭解之資訊。

#### (4) 詮釋



生命週期評估的最終階段是詮釋，目的在於綜合盤查分析與衝擊評估的結果或是將盤查分析的結果與目標及範疇一致化，以達成結論與建議。

2012年7月，歐盟正式發布了基於生命週期的綠色產品評估方法指引，稱為產品環境足跡 (PEF) 指引。根據歐盟產品環境足跡指引，產品環境足跡可定義為以多標準 (multi-criteria) 評量產品或服務在整個生命週期過程中的環境績效 (environmental performance)。再者，根據歐盟產品環境足跡指引，產品環境足跡評估包括歐盟國際生命週期資料數據參考 (international reference life cycle data system; ILCD) 所建議的 15 項衝擊類別，每一項均指定使用之評估模型與呈現方式 (胡憲倫等，2014)。

2013年4月，歐盟執委會發布了新的環保政策通知 “Communication on Building the Single Market for Green Products”，其核心是：未來歐盟市場將採用統一的方法評估綠色產品，從而建立統一的綠色產品市場。並自2013年5月起，於歐盟各行業別中尋找廠商，開始為期三年的試行計畫，在此階段開始時，歐盟召集企業和行業組織，制訂各類產品的產品環境足跡類別規則 (PEFCR) (胡憲倫等，2014)。

## 2.2 產品環境足跡相關研究

在產品環境足跡研究上，主要可分成兩類：

- (1) 依據國際ISO組織制定之「ISO 14040/14044生命週期評估標準」(ISO, 2006)
- (2) 依據歐盟執委會制定之「產品環境足跡 (PEF) 指引」(EC, 2012)

ISO 14044生命週期評估標準並未建議該挑選哪些衝擊類別，但在其第4.4.2.2節中規範了挑選衝擊類別之原則，譬如：挑選衝擊類別必須根據該研究之目的與範疇來做判斷且具一致性、挑選衝擊類別必須反映被探討之產品系統的環境議題 (ISO, 2006)。

針對以上第 (1) 類，即依據ISO 14040、14044生命週期評估標準所完成的產品環境足跡研究有很多，例如：PE Americas, 2010; Edwards and Fry, 2011。以下針對這些研究稍作說明：

PE Americas (2010) 依據ISO 14040/14044生命週期評估標準探討北美鋁製飲料罐 (aluminum beverage cans) 之產品環境足跡，系統邊界是搖籃到墳墓，功能單位是一千罐鋁製飲料罐，一千罐之平均重量為13.34公斤，此研究納入五項衝擊類別：氣候變遷 (全球暖化)、酸化、光化學臭氧形成、優養化、臭氧耗竭。

Edwards and Fry (2011) 依據ISO 14040/14044生命週期評估標準比較英國超級市場常用的七種購物袋 (carrier bags) 之產品環境足跡，系統邊界是搖籃到墳墓，功能單位是到超級市場採購一個月份量 (483品項) 所需購物袋，此研究納入九項衝擊類別：氣候變遷 (全球暖化)、無生命資源耗竭、酸化、優養化、人類毒性、對淡水生態毒性、對海水生態毒性、對陸地生態毒性、光化學臭氧形成。

歐盟執委會於 2012 年制定之「產品環境足跡 (PEF) 指引」，提供 15 項預設之環境足跡衝擊類別，包括：氣候變遷、臭氧耗竭、對淡水生態毒性、人類毒性 - 癌症效應、人類毒性 - 非癌症效應等。產品環境足跡指引並指出，研究人員可根據產品系統與特定應用，從中挑選適當之環境足跡衝擊類別，以縮減納入評估之衝擊類別數量，但應說明未納入之衝擊類別的原因 (EC, 2012)。

歐盟執委會並針對產品環境足跡指引進行為期三年 (2013-2016年) 之試行計畫，邀請公司、工業組織與其他利益相關團體來領導或參加特定產品群與特定部門群的產品環境足跡類別規則 (product environmental footprint category rule; PEFCR) 之研擬發展。測試期間過後，歐盟將進行結果審查與評估，然後做出如何進一步應用產品環境足跡之政策性決定。試行階段之首要工作是徵求各相關團體提議研擬PEFCR之產品類別，第一波徵求期共計收取90件申請案，通過審核之產品類別包括：電池與蓄電池、裝飾用塗料、熱水與冷水供應管、家用洗潔劑、IT設備等；第二波徵求期係以食品與飲料等相關產品項目為主軸 (于寧等，2014)。

由於歐盟產品環境足跡指引試行計畫於2016年結束，通過審核之產品類別的PEFCR陸續公布，而與這些產品類別相關之產品環境足跡研究會逐漸推行。目前針對第(2)類，即依據歐盟執委會制定之產品環境足跡指引所完成的產品環境足跡研究並不多。以下針對PEFCR與產品環境足跡研究各舉一例（即AISE, 2016; Cristobal et al., 2016），並稍作說明：

AISE (2016) 依據歐盟產品環境足跡指引研擬出重垢液體洗滌劑 (heavy duty liquid laundry detergent; HDLLD) PEFCR，HDLLD係作為洗衣機之衣物洗滌劑，此PEFCR之系統邊界是搖籃到墳墓，分析單位（即功能單位）是洗衣機洗滌4.5公斤衣物（乾織物）所需之HDLLD，此研究納入產品環境足跡指引所預設之所有環境足跡衝擊類別。

Cristobal et al. (2016) 依據歐盟產品環境足跡指引探討三類生物經濟 (bioeconomy) 價值鏈之環境足跡，並分別以：糖（食物與飼料類）、生物燃料乙醇（生物為基礎之產品類）、聚羥基脂肪酸酯（生物能源類）為個案進行分析，三類生物經濟價值鏈之系統邊界分別是搖籃到大門、搖籃到墳墓、搖籃到大門，功能單位分別是一公斤糖、一輛小客車行駛一公里所消耗生物燃料乙醇、一公斤聚羥基脂肪酸酯，此研究納入產品環境足跡指引所預設之所有環境足跡衝擊類別。

## 第三章 研究架構與方法

本章首先說明本研究之整體架構，接著介紹環境足跡評估相關議題，包括：產品環境足跡研究之原則、產品環境足跡研究之目的與範疇定義、資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄（即生命週期盤查分析）、環境足跡衝擊評估、及產品環境足跡結果之詮釋。

### 3.1 研究架構

本研究之研究架構，如圖 3.1 所示。研究架構之核心是「產品環境足跡評估」，其輸入包括：原則、目的與範疇定義、資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄、環境足跡衝擊評估、產品環境足跡計算工具、生命週期評估軟體及資料庫等，其輸出為環境足跡評估結果及詮釋。

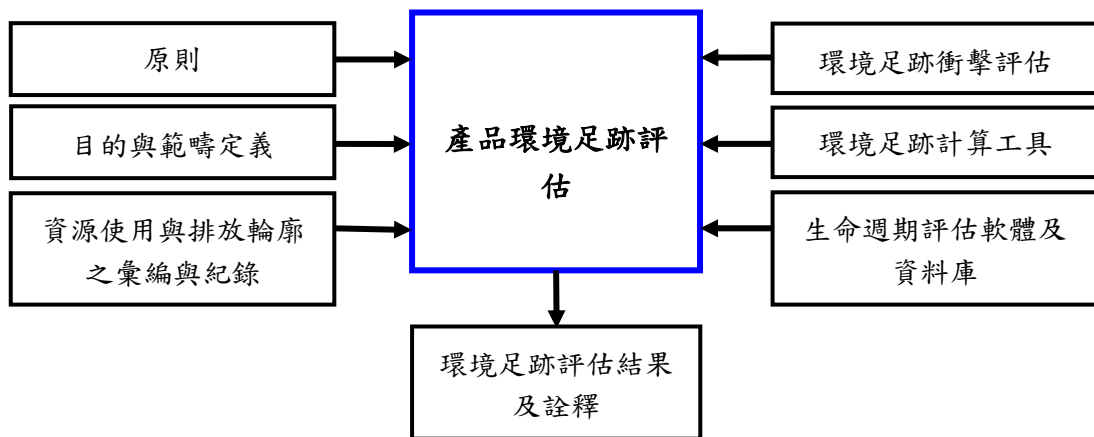


圖 3.1 研究架構圖

### 3.2 產品環境足跡研究之原則

產品環境足跡研究之原則如下所示 (EC, 2012)：

- (1) 相關性 (relevance)：依據目的與範疇選擇適合產品環境足跡評估的對象、數據、與方法等。
- (2) 完整性 (completeness)：資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄 (即生命週期盤查分析) 應包括所有提供顯著貢獻的數據。
- (3) 一致性 (consistency)：所有被應用於環境足跡評估的假設、方法、與數據應與所定義的目的與範疇一致。
- (4) 準確性 (accuracy)：儘可能依據實務減少偏差與不確定性。
- (5) 透明度 (transparency)：充分及最適資訊的揭露，使預期使用者做出合理可信之決策。

### 3.3 產品環境足跡研究之目的與範疇定義

#### 3.3.1 目的陳述

進行產品環境足跡評估之目的為量化產品所造成之環境衝擊，此目的包含個別評估、同一組織內之比較性評估、商業交易的型態、隨時間進行之減量評估，以及為一群預期使用者所準備。在界定產品環境足跡評估之目的時，應明確地陳述下列項目 (環保署，2010；EC, 2012)：

- (1) 實施此評估之理由。
- (2) 作業的目的為「搖籃到墳墓」、「搖籃到大門」、或「大門到大門」之生命週期評估或其他應用。
- (3) 預期之應用，並說明該結果是否欲向大眾溝通。

#### 3.3.2 分析單位 (即功能單位)

一產品環境足跡評估的範疇，應清楚地指明該產品系統之功能，分析單位應與評估的目的與範疇一致。分析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，分析單位應清楚地界定，且為可量測的。

### 3.3.3 產品系統

凡一產品的環境足跡評估為向消費者溝通，此產品環境足跡的量化應包含生命週期的所有階段。對於企業之應用，部分環境足跡應至少代表「搖籃到大門」或「大門到大門」，包含被要求揭露資訊的組織，其所擁有以及直到此組織之前的各階段、製程與資訊模組。

### 3.3.4 系統邊界

系統邊界決定產品環境足跡評估應包括哪些單元過程。凡存在與考慮中產品相關且依據ISO/CNS 14025所發展的產品類別規則，而該PCR的系統邊界與建立之系統邊界不互相衝突，該PCR所詳述之系統狀況應構成此產品的系統邊界。

凡依據ISO/CNS 14025所發展的PCR不存在，或與產品類似之PCR也不存在時，該產品的系統邊界應清楚定義。

- (1) 原物料：所有轉換原物料的製造過程導致之環境衝擊應納入評估，包含所有能源之消耗以及其他環境衝擊。
- (2) 能源：產品生命週期中供應與使用能源時，造成之環境衝擊。
- (3) 製造與服務供應：產品生命週期中，發生製造與服務供應所造成之環境衝擊，包括使用耗材，應包含該耗材生命週期環境衝擊評估。
- (4) 製造場所營運：因製造場所營運而造成之環境衝擊，包含工廠、倉庫、中央供應中心、辦公室、零售折扣店等，應納入產品生命週期環境衝擊評估。
- (5) 產品運輸：來自產品部分生命週期而使用陸運、空運、水運、鐵路運輸或其他運輸方式所造成之環境衝擊，應納入產品生命週期環境衝擊評估。
- (6) 產品儲存：因儲存造成之環境衝擊，應納入產品生命週期環境衝擊評估。
- (7) 使用階段：產品使用或提供服務時，造成之環境衝擊應納入產品生命週期環

境衝擊評估，且以不違反搖籃到大門或大門到大門評估之條款為限。

- (8) 最終處理的環境衝擊：因最終處理造成之環境衝擊，(例如：廢棄物藉由掩埋、焚化、廢水處理等方式處理) 應納入該產品生命週期環境衝擊評估，並以不違反搖籃到大門或大門到大門評估的條款為限。

若以「搖籃到大門」之模式提供或使用，其環境衝擊評估的系統邊界，應包含直到離開組織大門的環境衝擊，此包含所有上游衝擊。搖籃到大門評估的系統邊界，應排除下游環境衝擊評估。

若以「大門到大門」之模式提供或使用，其環境衝擊評估的系統邊界，應包含進入組織大門到離開組織大門的環境衝擊。大門到大門評估的系統邊界，應排除其上游與下游環境衝擊評估。

### 3.3.5 系統邊界排除項目

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：

- (1) 人力
- (2) 行政管理與維護
- (3) 行銷與銷售
- (4) 員工私人運輸
- (5) 銷售點到家之間的運輸
- (6) 員工差旅的運輸

## 3.4 資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄 (即生命週期盤查分析)

### 3.4.1 環境衝擊來源

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環境衝擊，包括

但不限於下列各項 (環保署, 2010; EC, 2012):

- (1) 能源使用 (包含能源本身在製造時所造成之環境衝擊, 例如電力)
- (2) 燃燒過程
- (3) 化學反應
- (4) 冷煤損失以及其他逸散氣體
- (5) 操作
- (6) 提供及遞送服務
- (7) 家畜及其他農業製程
- (8) 廢棄物

### 3.4.2 數據種類

數據種類可分成一級數據 (primary data) 與二級數據 (secondary data)。一級數據 (或稱初級數據) 應自施行產品環境足跡之組織所擁有、營運或控制之製程蒐集, 但一級數據要求不適用於下游衝擊來源。

在產品或投入尚未提供給另一組織或最終使用者之前, 如果組織未貢獻產品或投入的上游環境衝擊 10% 以上, 則一級數據的要求, 適用於第一個產品或投入確實貢獻 10% 以上的上游供應商, 其所擁有、營運或控制的製程。

一級數據應針對個別製程或製程發生所在之廠址進行蒐集, 並應具該製程之代表性。

當投入不要求一級數據時, 可使用二級數據 (或稱次級數據)。

- (1) 使用部分環境衝擊評估資訊做為二級數據: 凡數據可取得做為評估中產品生命週期的投入數據, 應優先使用此數據而後其他二級數據。
- (2) 其他二級數據: 凡符合以上 (1) 之二級數據無法取得時, 應依照數據品質要求之規定選擇最相關之二級數據來源, 二級數據來源之選擇應以來自經同儕審查之刊物, 以及來自其他同等資格來源之數據 (例如: 國家政府、聯合國正



式刊物，以及聯合國贊助組織之刊物)，優於其他二級數據來源。

歐盟執委會所制定之「產品環境足跡 (PEF) 指引」，則將數據種類分成特定數據 (specific data) 與一般數據 (generic data)。特定數據是指直接衡量或蒐集自特定設施之活動數據；一般數據是指非基於直接衡量或計算自系統中的特定流程之數據，一般數據可能屬於特定領域或多個領域 (EC, 2012)。

### 3.4.3 評估數據的蒐集期間

凡產品生命週期中，與特定單元過程相關之環境衝擊會隨時間改變，應蒐集一段足夠時間之數據，以建立與該產品生命週期相關之平均環境衝擊。凡一產品是持續性的提供，環境衝擊評估應涵蓋至少長達一年；凡一產品是以時間作為區隔 (例如季節性產品)，環境衝擊評估應涵蓋該產品生產的特定期間。

### 3.4.4 資料抽樣

凡一製程之投入由多個來源產生，數據蒐集來自產品環境衝擊評估所使用之代表性樣本，抽樣的使用應符合數據品質要求。

### 3.4.5 佐證資料

佐證生命週期環境衝擊評估之資料，可包含 (但不限於) 產品與程序範圍、材料、與係數，這些資料應整理歸檔並以適合進行分析以及查證之形式儲存成紀錄予以保存。

### 3.4.6 分配

作業應鑑別與其他產品系統共用的過程，並依據下列程序逐步加以處理。

- (1) 須盡可能藉由以下方法來避免分配

- (a) 將欲分配之單元過程分成兩個或多個次製程，並蒐集與這些次製程有關之投入與產出數據。
  - (b) 擴大產品系統以涵蓋與平行產品相關之其他功能。
- (2) 如分配無可避免，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；即是，它們須能使因系統所交付予產品或功能在量之改變，反應在投入項與產出項之改變。
- (3) 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。例如，投入與產出的數據可依平行產品相對於平行產品經濟價值之比例分配之。

某些產出可能是部份平行產品與部分廢棄物，在此情形下，由於該等投入與產出應只分配於平行產品的部分，故有必要鑑別平行產品與廢棄物間之比例。在所考量系統中，分配程序應一致地應用於類似之投入與產出。例如，當對離開系統之可用產品（如中間或拋棄產品）作分配，則該分配程序應與此產品進入系統時所使用之分配程序相同。盤查係基於投入與產出間之物質平衡，分配程序因此須儘可能的接近基本的投入-產出關係及特性。

凡若能證明上述方法皆不實用，該製程造成之環境衝擊應以各平行產品的經濟價值按比例分配於各平行產品（即經濟分配）。

### 3.4.7 計算方式

分析單位的環境衝擊應採用下列方式計算：

- (1) 一級數據及二級數據應以該活動的係數，乘上活動數據，轉換成環境衝擊。此部分應紀錄為產品每分析單位之環境衝擊。
- (2) 應加總結果，以獲得每分析單位之環境衝擊。當計算結果時，結果應為下列之一：
  - (a) 搖籃到墳墓：該產品造成的產品生命週期環境衝擊。

- (b) 搖籃到大門：直到離開組織大門的環境衝擊，此包含所有上游衝擊。
- (c) 大門到大門：進入組織大門到離開組織大門的環境衝擊。

### 3.5 產品環境足跡衝擊評估

完成資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄（即生命週期盤查分析）後，再就所挑選環境足跡衝擊類別進行評估，針對這些衝擊類別之詳細說明可參考ILCD Handbook (EC, 2011; EC, 2012)。

### 3.6 產品環境足跡結果之詮釋

詮釋之內容應包括以下各項：

- 結果
- 結論
- 有關結果詮釋的假設與限制及二者的方法學
- 數據品質評估
- 價值（顯著性）選擇、原理的闡述、及專業判斷的透明度
- 如果有相關的任何正面觀點的描述

## 第四章 個案發電廠簡介

本研究以台灣電力公司位於桃園市觀音區之燃氣發電廠為個案（稱為個案發電廠），個案發電廠成立於 2004 年，佔地約 116 公頃，建廠主要目的是要平衡北部地區系統供電需求、減輕供電系統南電北送之壓力，協助台電公司提供質優可靠電力及配合國家長期經濟發展、能源多元化之政策，電廠之設計著重於環保、綠化兼具的公園化新式電廠，圖 4.1 顯示個案發電廠空照圖。



圖 4.1 個案發電廠空照圖

個案發電廠裝設有以天然氣為主要燃料之 6 部複循環機組（第 1、2 機組屬可燃天然氣及輕柴油之雙燃料機組），裝置容量合計 438.42 萬瓩。圖 4.2 顯示個案發電廠之複循環發電流程（第 1、2 機組），上圖為複循環發電流程整體架構，下圖為發電流程細節。

## 第一階段發電

## 第二階段發電

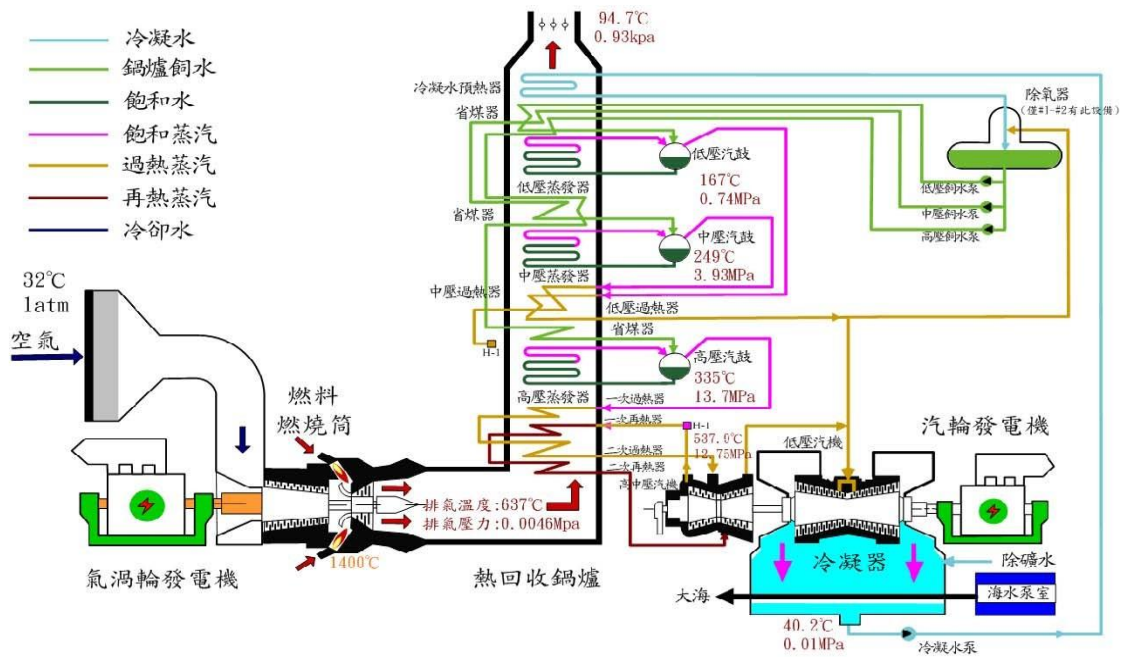
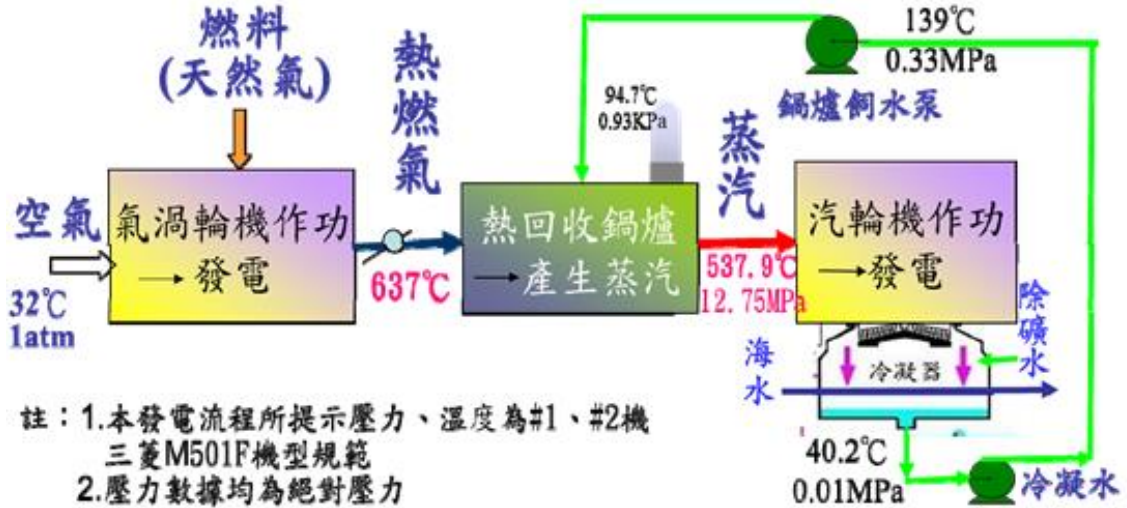


圖 4.2 個案發電廠之複循環發電流程

個案發電廠目前是台灣最大複循環發電廠，發電機組係結合燃氣渦輪機與蒸汽渦輪機二種發電方式，第一階之發電方式係利用天然氣燃燒後之高溫高壓燃

氣，來推動燃氣渦輪機轉化成機械能帶動發電機而產生電力，燃氣渦輪機做功後所排出高達 637°C 之高溫廢氣，直接排入熱回收鍋爐內，將鍋爐水加熱產生高溫高壓之蒸汽，來推動蒸汽渦輪機作第二次發電。此種複合式的發電方式其運轉效率高達 58.7% (LHV)，是目前台灣運轉效率最高的發電機組，並具備快速啟動能力、低空氣污染物排放量等優勢。

## 第五章 電力環境足跡評估

本章陳述電力進行環境足跡評估之相關議題，包括：電力環境足跡研究之目的與範疇定義、資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄（即生命週期盤查分析）、及電力環境足跡衝擊評估與結果詮釋。

### 5.1 電力環境足跡研究之目的與範疇定義

#### 5.1.1 目的陳述

進行「電力」(electricity) 環境足跡評估之目的，在於瞭解電力對各項衝擊類別 (impact category) 之環境衝擊程度。在環境足跡溝通 (communication) 方面，本研究環境足跡量化 (quantification) 結果可作為環境足跡內部績效追蹤報告或外部溝通報告之用。此外，針對電力，國內尚無適當之產品環境足跡類別規則 (product environmental footprint category rule; PEFCR) 可供遵循。

#### 5.1.2 標的產品之機能與特性

本研究所選擇之標的產品為「電力」，且是燃氣發電廠所生產之電力。電力的生產需利用各式發電設備才能將其能源有系統、穩定、持續的轉換成電力，而個案發電廠是使用天然氣為能源，利用複循環發電設備將天然氣轉換成穩定、源源不絕、低成本之電力。電力的使用非常便利，用於住家照明、電熱爐取暖、冷氣機的冷房等帶給人們舒適生活環境，用於冷凍設備可以延長物品、食物的保存期限，用於電腦、通訊科技使人們在很短時間內將訊息傳佈到世界各地、也可以處理大量資料、資訊解決人類許多困難問題。此外，應用電動機可將電能轉化成機

械能，來驅動各式各樣的機械，藉由電池的儲電功能或用電力的滑動接觸，讓電力可用於運輸，如現代火車、地下鐵、捷運及電動汽車等，電力已完全滲透至現代化生活，是生活中密不可分的一環。

### 5.1.3 產品組成

電力也是一種能源，廣義來說，電力製造需要利用其他資源協助來將其他能源轉換成電力，主要資源包括：

- (1) 自來水
- (2) 液鹼
- (3) 高分子助凝劑
- (4) 鹽酸
- (5) 聯胺
- (6) 氨水
- (7) 磷酸鹽
- (8) 潤滑油
- (9) 氫氣
- (10) 六氟化硫 (SF<sub>6</sub>)

### 5.1.4 分析單位 (即功能單位)

電力常用單位為“度”，因此本研究之分析單位為「一度電」，一度電代表一千瓦小時 (kWh)，如圖5.1所示。





圖 5.1 電力之分析單位

### 5.1.5 系統邊界

電力環境足跡評估在系統邊界設定上是屬於「搖籃到大門」(cradle to gate)，環境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。

### 5.1.6 產品生命週期範圍

電力之產品生命週期流程圖如圖5.2所示。

原料取得階段包括下列過程：

- (1) 電力製造所需各原料生命週期相關過程。
- (2) 上述過程中之運輸。

製造階段包括下列過程：

- (1) 電力製造過程。
- (2) 上述過程中之能資源供應。
- (3) 上述過程中之廢棄物運輸與處理。

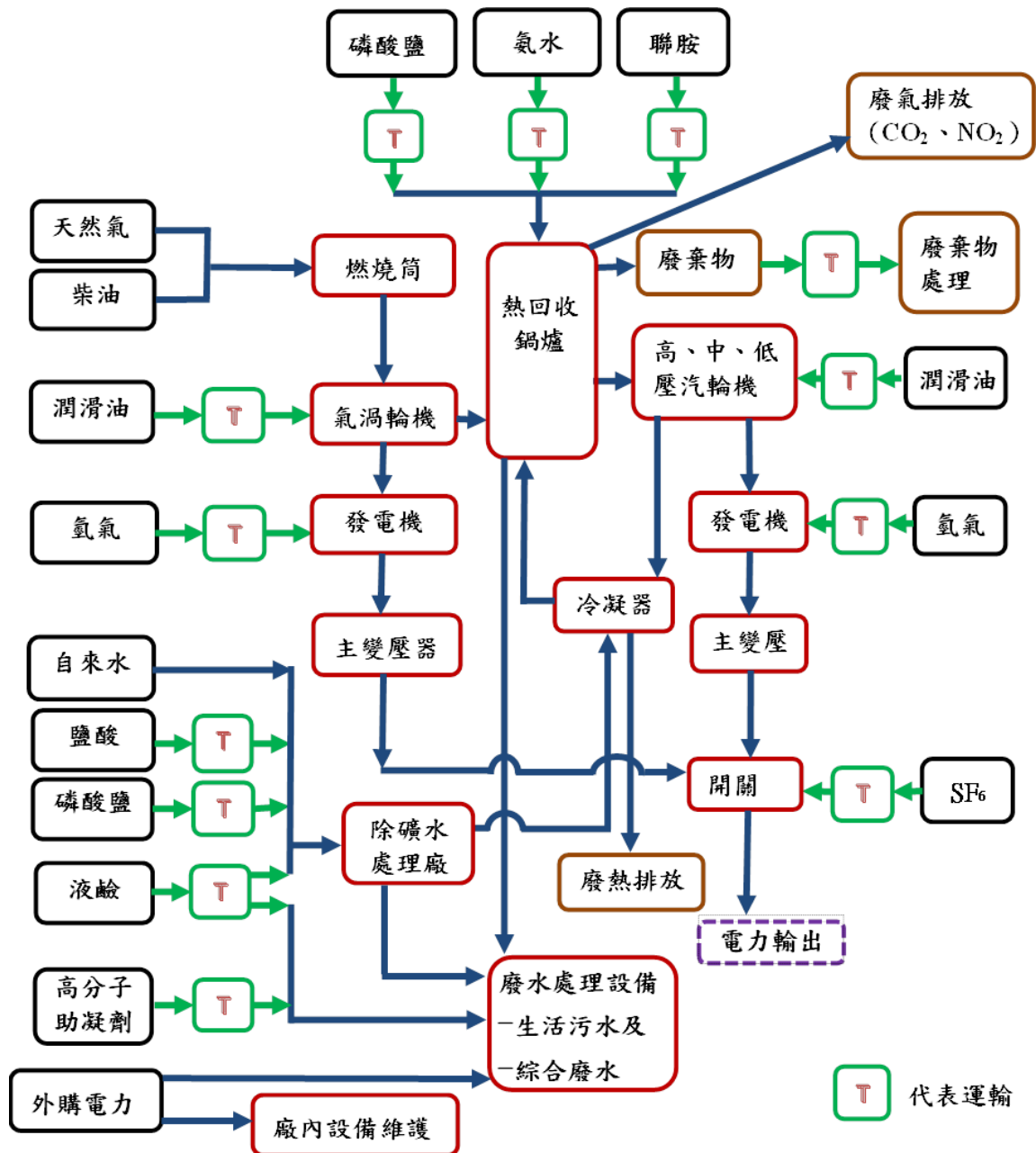


圖 5.2 電力生命週期流程圖

### 5.1.7 挑選產品環境足跡衝擊類別

歐盟執委會所制定之「產品環境足跡 (PEF) 指引」(EC, 2012)，其所預設之環境足跡衝擊類別 (impact category) 共有15項 (或14個類別，亦即有二項屬於同一類別)，如表5.1所示，表中之正規化因子 (normalisation factor) 代表2010年歐盟在各衝擊類別所發生之總衝擊 (Benini et al., 2014)。

表 5.1 衝擊類別及其英文縮寫與正規化因子

衝擊類別		單位	英文縮寫	正規化因子
氣候變遷 (Climate Change)		kg CO <sub>2</sub> eq.	CC	4.60E+12
酸化 (Acidification)		mole H <sup>+</sup> eq.	Ac	2.36E+10
對淡水生態毒性 (Ecotoxicity for aquatic fresh water)		CTUe	EcAFW	4.36E+12
優養化 - 水體 (Eutrophication - aquatic)	優養化 - 淡水 (Eutrophication - fresh water)	kg P eq.	EuFW	7.41E+8
	優養化 - 海水 (Eutrophication - marine)	kg N eq.	EuM	8.44E+9
優養化 - 陸地 (Eutrophication - terrestrial)		mole N eq.	EuT	8.76E+10
人類毒性 - 癌症效應 (Human Toxicity - cancer effects)		CTUh	HTCE	1.84E+4
人類毒性 - 非癌症效應 (Human Toxicity - non-cancer effects)		CTUh	HTNCE	2.66E+5
游離性輻射 - 人類健康效應 (Ionising Radiations - human health effects)		kBq U <sup>235</sup> eq.	IRHHE	5.64E+11
臭氧耗竭 (Ozone Depletion)		kg CFC-11 eq.	OD	1.08E+7
顆粒物質/呼吸性非有機物質 (Particulate Matter/Respiratory Inorganics)		kg PM <sub>2.5</sub> eq.	PMRI	1.90E+9
光化學臭氧形成 (Photochemical Ozone Formation)		kg NMVOC eq.	POF	1.58E+10
資源耗竭 - 水 (Resource Depletion - water)		m <sup>3</sup> water eq.	RDW	4.06E+10
資源耗竭 - 礦物/化石燃料 (Resource Depletion - mineral, fossil)		kg Sb eq.	RDMF	5.03E+7
土地轉變 (Land Transformation)		kg C (deficit)	LT	3.74E+13

針對這些衝擊類別之詳細說明可參考ILCD Handbook - Recommendations for LCIA in the European context (EC, 2011)。

根據產品環境足跡指引，研究人員可根據產品系統與特定應用，從預設之環境足跡衝擊類別中挑選適當之衝擊類別，以縮減納入評估之衝擊類別數量，但應說明未納入之衝擊類別的原因 (EC, 2012)。本研究納入產品環境足跡指引所預設

之前14項環境足跡衝擊類別，以瞭解標的產品對這些衝擊類別之環境衝擊程度，唯一沒納入的衝擊類別是「土地轉變」，這是因為土地轉變之品質 (quality) 等級為3 (即推薦、但要謹慎使用)，且商用資料庫常缺乏土地轉變之數據。

## 5.2 資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄 (即生命週期盤查分析)

凡一產品是持續性的提供，環境衝擊評估應涵蓋至少長達一年；凡一產品是以時間作為區隔 (如季節性產品)，環境衝擊評估應涵蓋該產品生產的特定期間 (環保署，2010)。本研究所探討之產品是屬於持續性的提供，數據蒐集期間為2015年1月1日至2015年12月31日止。

此外，產品環境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環境衝擊實質貢獻 (material contribution) 之衝擊。實質貢獻指的是產品任一衝擊來源貢獻超過1%的預期生命週期環境衝擊均須納入環境足跡計算。建立1%的截斷原則以確保任何微小來源之生命週期環境衝擊不用比照重大衝擊來源的處理方式進行評估 (環保署，2010)。

### 5.2.1 原料取得與製造階段

一般產品是由原料所組成，因此可區分原料取得階段與製造階段。但是電力之產品組成 (即其原料) 並不明確，不易區分原料取得階段與製造階段，因此將原料取得階段與製造階段合併討論，並簡稱為原料取得與製造階段。

#### 5.2.1.1 蒐集項目

原料取得與製造階段需蒐集的項目包括：

- (1) 與製造電力各原料相關之生命週期環境衝擊 (含運輸之環境衝擊)。

(2) 與電力製造相關之生命週期環境衝擊 (含能資源供應、廢棄物運輸與處理過程之環境衝擊)。

### 5.2.1.2 量化方式

本研究中，各衝擊類別之衝擊程度可利用活動數據乘上各衝擊類別之「資源使用與排放係數」，量化公式如下：

$$\text{各衝擊類別之衝擊程度} = \text{活動數據} \times \text{各衝擊類別之「資源使用與排放係數」}$$

在活動數據蒐集方面，必須清楚瞭解產品組成 (含包裝材料)，並度量每一產品組成之重量或體積。對於組織所擁有、營運或控制之製程的環境衝擊以實地盤查為原則，活動數據蒐集係根據 ISO 14064-1 標準及歐盟產品環境足跡指引等，赴個案發電廠進行實地盤查以蒐集活動數據 (ISO, 2006; EC, 2012)，不過僅將具實質性貢獻衝擊來源納入計算 (即衝擊來源貢獻超過 1% 者)。至於製造階段之運輸距離是運用 Google Map 進行估算。

活動數據進行分配時可依質量、進料量、重量、工時等物理性質作為分配基礎，若引用其他參數得說明採用之依據。本研究之活動數據 (即能資源、廢棄物等) 皆先蒐集全年度之數據，再依年度淨發電量進行分配。

### 5.2.1.3 數據蒐集結果

原料取得與製造階段所蒐集之數據如表 5.2~表 5.7 所示，其中，表 5.2 為有關資源所蒐集之數據，表 5.3 為有關資源運輸所蒐集之數據，表 5.4 為有關能源所蒐集之數據，表 5.5 為有關能源運輸所蒐集之數據，表 5.6 為有關廢棄物運輸所蒐集之數據，表 5.7 為有關廢棄物處理所蒐集之數據。此外，2015 年期間，個案發電廠全年度淨發電量為 24,870,211,640 度 (約 248.7 億度)。

表 5.2 有關資源所蒐集之數據

資源名稱	活動數據 (ton)(全年度)	活動數據 (kg)(每分析單位)	主要成份 (占比)
自來水*	392,671	1.578881E-2	水 (100%)
液鹼 (sodium hydrate)	52.758	2.121333E-6	氫氧化鈉 (45%)、水 (55%)
高分子助凝劑 (flocculant)	0.036	1.447515E-9	丙烯醯胺 (100%)
鹽酸 (hydrochloric acid)	74.902	3.011715E-6	鹽酸 (50%)、水 (50%)
聯胺 (hydrazine)	2.025	8.142271E-8	聯胺 (50%)、水 (50%)
氨水 (ammonia solution)	1.62	6.513817E-8	氨 (25%)、水 (75%)
磷酸鹽 (phosphate)	1.95	7.840705E-8	磷酸二鈉 (100%)
潤滑油 (lubricant)	215.83248 (即 250.968 公秉、密度為 860 kg/公秉)	8.678353E-6	潤滑油 (100%)
氫氣 (hydrogen)	2.65385 (即 29.52 千公秉、密度為 0.0899 kg/公秉)	1.067080E-7	氫氣 (100%)
六氟化硫 (SF <sub>6</sub> ) (sulfur hexafluoride)	0.13674	5.498144E-9	SF <sub>6</sub> (100%)

\* 自來水之活動數據已扣除排放量。

表 5.3 有關資源運輸所蒐集之數據

能資源名稱	運輸區間 (起點/終點)	距離 (km)	載重 (ton) (每分析單位)	載具
液鹼	ZS 公司 / 個案發電廠	20.1	2.121333E-9	輕型卡車 / 營業小貨車 (柴油)
高分子助凝劑	HI 公司 / 個案發電廠	50	1.447515E-12	輕型卡車 / 營業小貨車 (柴油)
鹽酸	KS 公司 / 個案發電廠	12.1	3.011715E-9	輕型卡車 / 營業小貨車 (柴油)
聯胺	ARKO 公司 / 個案發電廠	136	8.142271E-11	輕型卡車 / 營業小貨車 (柴油)
氨水	CC 公司 / 個案發電廠	151	6.513817E-11	輕型卡車 / 營業小貨車 (柴油)
磷酸鹽	ST 藥品儀器行 / 個案發電廠	64	7.840705E-11	輕型卡車 / 營業小貨車 (柴油)
潤滑油	KH 公司 / 個案發電廠	129	8.678353E-9	重型卡車 / 營業大貨車 (柴油)
氫氣	CC 公司 / 個案發電廠	151	1.067080E-10	重型卡車 / 營業大貨車 (柴油)
六氟化硫 (SF <sub>6</sub> )	FM 公司 / 個案發電廠	62.7	5.498144E-12	輕型卡車 / 營業小貨車 (柴油)

表 5.4 有關能源所蒐集之數據

能源名稱	活動數據 (全年度)	活動數據 (每分析單位)
柴油	14.9352 ton (即 17.78 公秉、密度為 840 kg/公秉)	6.005256E-7 kg
天然氣	3,374,172. ton (即 4,663,100 千公秉、密度為 0.72359 kg/公秉)	1.356712E-1 kg
生產用電力	497,936 度	2.002138E-5 度
廢水處理設備用電力	194,249 度	7.810509E-6 度

[註] 1 公秉 = 1 立方公尺 = 1000 公升。

表 5.5 有關能源運輸所蒐集之數據

能資源名稱	運輸區間 (起點/終點)	距離 (km)	載重 (ton) (每分析單位)	載具
柴油	CPC 桃園煉油廠 / 個案發電廠	38.6	6.005256E-10	管道輸送
天然氣	CPC 台中港廠 / 個案發電廠	126	1.356712E-4	管道輸送

表 5.6 有關廢棄物運輸所蒐集之數據

廢棄物名稱	運輸區間 (起點/終點)	距離 (km)	載重 (ton) (全年度)	載重 (ton) (每分析單位)	載具
溫排水*	直接排放	-	3,210,177,000	-	-
廢水*	直接排放	-	67,445	-	-
廢保溫材料	個案發電廠 / DC 公司	310	17.62	7.084781E-10	重型卡車 / 營業大貨車 (柴油)
廢纖維或其他棉、布混合物	個案發電廠 / KL 垃圾資源回收廠	87	117.19	4.712063E-9	重型卡車 / 營業大貨車 (柴油)

\* 不納入環境足跡計算。

表 5.7 有關廢棄物處理所蒐集之數據

廢棄物名稱	數據 (kg) (每分析單位)	處理方法
溫排水*	-	直接排放
廢水**	-	經廢水處理設備處理後直接排放
廢保溫材料	7.084781E-7	掩埋
廢纖維或其他棉、布混合物	4.712063E-6	焚化

\* 不納入環境足跡計算。

\*\* 廢水處理所需能資源 (如: 電力、液鹼、高分子助凝劑等) 已併入表 5.2 與表 5.4 之數據中。

## 5.2.2 資源使用與排放係數

於原料取得與製造階段，在資源使用與排放係數選用方面，衝擊類別「氣候變遷」是優先取自我國環保署產品碳足跡計算服務平台之碳足跡資料庫（環保署，



2017)，其次是取自生命週期評估軟體/資料庫 GaBi 7.3 中之 Impacts ILCD/PEF recommendation；其他 13 項衝擊類別則皆取自生命週期評估軟體/資料庫 GaBi 7.3 中之 Impacts ILCD/PEF recommendation (thinkstep, 2017)。

於原料取得與製造階段，針對各環境足跡衝擊類別，各名稱所使用之「資源使用與排放係數」參見表 5.8 之資源使用與排放係數彙整表 (環保署，2017；thinkstep, 2017)。

表 5.8 資源使用與排放係數彙整表

名稱 \ 衝擊類別 [單位]	氣候變遷 (CC) [kg CO <sub>2</sub> eq.]	酸化 (Ac) [mole H <sup>+</sup> eq.]	對淡水生態毒 性 (EcAFW) [CTUe]	優養化 - 淡 水 (EuFW) [kg P eq.]	優養化 - 海 水 (EuM) [kg N eq.]
自來水 (/kg)	1.67E-4	1.163615E-6	9.538077E-5	2.664521E-8	1.307135E-7
液鹼 (/kg)	1.54	1.647359E-3	2.959683E-2	2.533043E-6	5.856278E-5
高分子助凝劑 (/kg)	2.32	4.623745E-3	2.763232E-1	2.007371E-6	1.023377E-4
鹽酸 (/kg)	1.69	1.152827E-3	2.951646E-2	1.689273E-6	3.799098E-5
聯胺 (/kg)	1.84	1.334192E-4	4.418209E-3	4.629961E-8	1.587357E-6
氨水 (/kg)	2.763	1.401679E-3	2.392543E-2	2.416340E-6	1.321060E-3
磷酸鹽 (/kg)	4.65	8.504468E-3	1.515271E-1	4.278953E-5	9.866324E-5
潤滑油 (/kg)	1.053	6.605007E-3	4.623941E-1	2.649735E-6	5.710407E-5
氫氣 (/kg)	6.97	1.378207E-2	1.225820	4.814305E-6	1.329763E-4
六氟化硫 (/kg)	1.23E+2	1.410000E-1	78.900000	8.340000E-3	1.770000E-3
柴油 (/kg)	4.107	4.237269E-3	8.477398E-1	2.387965E-5	7.150794E-4
天然氣 (/kg)	3.233	1.617980E-3	2.374484E-2	1.458238E-7	4.847293E-6
電力 (/度 or /(3.6MJ))	6.5E-1	2.680834E-3	1.680292E-2	5.933358E-7	2.075022E-5
重型卡車 (/ton-km)	2.35E-1	5.544173E-4	1.443394E-2	4.065834E-7	2.659449E-4
輕型卡車 (/ton-km)	6.47E-1	1.217998E-3	3.497181E-2	9.851061E-7	5.767927E-4
管道輸送 (柴油) (/ton-km)	6.11E-2	1.680000E-4	3.030000E-2	2.750000E-7	6.430000E-8
管道輸送 (天然氣) (/ton-km)	6.11E-2	1.680000E-4	3.030000E-2	2.750000E-7	6.430000E-8
掩埋 (/kg)	7.07E-3	3.268755E-4	1.241872E-2	1.147820E-4	1.727831E-4
焚化 (/kg)	7.37E-1	1.298792E-3	6.978330E-4	9.067677E-8	1.003353E-5

表 5.8 資源使用與排放係數彙整表 (續)

名稱 \ 衝擊類別 [單位]	優養化 - 陸地 (EuT) [mole N eq.]	人類毒性 - 癌症效應 (HTCE) [CTUh]	人類毒性 - 非癌症效應 (HTNCE) [CTUh]	游離性輻射 - 人類健康效應 (IRHHE) [kBq U <sup>235</sup> eq.]	臭氧耗竭 (OD) [kg CFC-11 eq.]
自來水 (/kg)	3.016503E-6	3.169085E-12	3.982803E-11	1.279389E-5	2.754646E-14
液鹼 (/kg)	5.408221E-3	7.277363E-10	2.156512E-8	5.267777E-2	4.937902E-11
高分子助凝劑 (/kg)	1.510970E-2	1.253565E-8	5.535269E-8	4.862782E-2	4.324526E-11
鹽酸 (/kg)	3.647192E-3	9.770214E-10	1.567921E-8	3.351484E-2	3.237283E-11
聯胺 (/kg)	4.371003E-4	1.855112E-10	1.242152E-9	2.058904E-3	1.832630E-12
氨水 (/kg)	3.925269E-3	5.184089E-10	5.953928E-9	3.666784 E-2	1.404981E-10
磷酸鹽 (/kg)	1.117458E-2	6.721830E-9	6.049793E-8	2.753359E-2	3.148293E-11
潤滑油 (/kg)	8.190333E-3	2.252227E-8	8.851742E-8	1.973234E-2	6.890477E-11
氫氣 (/kg)	2.960742E-2	5.836012E-8	2.127021E-7	4.768592E-2	1.539833E-10
六氟化硫 (/kg)	8.21E-2	7.940000E-7	3.20000E-6	6.330000	5.10000E-7
柴油 (/kg)	1.075948E-2	2.346278E-8	3.579609E-7	5.068978E-3	1.438458E-11
天然氣 (/kg)	2.529783E-3	5.297132E-10	3.935121E-9	1.617659E-2	5.795211E-11
電力 (/度 or /(3.6MJ))	3.449849E-3	4.065494E-10	1.145064E-8	9.779891E-2	3.512759E-10
重型卡車 (/ton-km)	2.966504E-3	3.995725E-10	6.094793E-9	8.630624E-5	2.449170E-13
輕型卡車 (/ton-km)	6.459573E-3	9.680762E-10	1.476699E-8	2.091104E-4	5.934064E-13
管道輸送 (柴油) (/ton-km)	7.89E-4	1.990000E-9	1.550000E-9	2.090000E-2	1.450000E-7
管道輸送 (天然氣) (/ton-km)	7.89E-4	1.990000E-9	1.550000E-9	2.090000E-2	1.450000E-7
掩埋 (/kg)	1.172027E-3	6.646809E-10	1.915966E-8	1.061840E-3	2.326581E-12
焚化 (/kg)	6.538004E-3	2.334887E-10	2.440551E-8	5.583703E-4	2.900706E-9

表 5.8 資源使用與排放係數彙整表 (續)

名稱 / 衝擊類別 [單位]	顆粒物質/呼吸性非有機物質 (PMRI) [kg PM <sub>2.5</sub> eq.]	光化學臭氧形成 (POF) [kg NMVOC eq.]	資源耗竭 - 水 (RDW) [m <sup>3</sup> water eq.]	資源耗竭 - 礦物/化石燃料 (RDMF) [kg Sb eq.]
自來水 (/kg)	7.757203E-8	7.766424E-7	1.667095E-4	4.442822E-10
液鹼 (/kg)	9.201110E-5	1.278864E-3	5.491939E-3	1.051556E-6
高分子助凝劑 (/kg)	1.444421E-4	3.501704E-3	5.935820E-3	1.546115E-6
鹽酸 (/kg)	6.233288E-5	9.000911E-4	3.573482E-3	6.872079E-7
聯胺 (/kg)	4.875725E-6	1.176657E-4	2.401114E-4	5.751769E-8
氨水 (/kg)	5.385638E-5	1.281302E-3	2.283175E-3	9.404238E-7
磷酸鹽 (/kg)	7.466304E-4	3.155117E-3	5.519725E-3	2.388458E-5
潤滑油 (/kg)	2.681859E-4	3.574399E-3	1.367719E-3	9.744002E-7
氯氣 (/kg)	5.353749E-4	1.119997E-2	6.515263E-3	3.012849E-6
六氟化硫 (/kg)	8.370000E-3	2.880000E-2	1.050000E-2	5.120000E-3
柴油 (/kg)	1.503225E-4	2.044954E-3	1.250148E-3	9.679448E-7
天然氣 (/kg)	7.269819E-5	1.295175E-3	9.106300E-4	9.302906E-7
電力 (/度 or /(3.6MJ))	1.616746E-4	9.832034E-4	5.302497E-3	1.419267E-6
重型卡車 (/ton-km)	1.647066E-5	8.674625E-5	2.128547E-5	1.648058E-8
輕型卡車 (/ton-km)	3.364719E-5	1.907032E-4	5.157230E-5	3.993059E-8
管道輸送 (柴油) (/ton-km)	3.820000E-6	2.140000E-4	1.320000E-6	1.300000E-7
管道輸送 (天然氣) (/ton-km)	3.820000E-6	2.140000E-4	1.320000E-6	1.300000E-7
掩埋 (/kg)	1.498855E-5	6.614838E-4	1.820871E-4	3.054523E-8
焚化 (/kg)	8.968183E-6	1.472990E-3	4.127422E-4	-1.531768E-6

### 5.2.3 盤查數據品質分析

本研究採用歐盟執委會所制定之「產品環境足跡 (PEF) 指引」內的「數據品質等級」 (data quality rating; DQR)，以衡量產品環境足跡研究之整體盤查數據品質，數據品質等級 (DQR) 是使用六項數據品質標準 (data quality criteria) 之平均，其計算公式如下 (EC, 2012)：

$$DQR = (TeR + GR + TiR + C + P + M) / 6 \quad (1)$$

此處，

TeR: 技術代表性 (technological representativeness)

GR: 地理代表性 (geographical representativeness)

TiR: 時間代表性 (time representativeness)

C: 完整性 (completeness)

P: 精確度/不確定性 (precision/uncertainty)

M: 方法適當性與一致性 (methodological appropriateness and consistency)

至於這六項數據品質標準 (TeR、GR、TiR、C、P、M) 之品質等級 (水準) 可區分成：1 (非常好)、2 (好)、3 (尚可)、4 (不良)、5 (非常不良)。針對本研究之盤查數據，TeR、GR、TiR、C、P、M 之品質等級分別為：1 (採用最新技術)、1 (限定台灣地區)、1 (採用最近兩年數據)、1 (非常完整)、3 (精確度尚可)、3 (有處理多功能問題且系統邊界定義清楚)，因此  $DQR = (1+1+1+1+3+3) / 6 = 1.67$ 。參照產品環境足跡 (PEF) 指引所提供之數據品質等級 (DQR) 對應到整體數據品質水準，如表 5.9 所示 (EC, 2012)，顯示本研究之整體盤查數據品質水準為「非常好的品質」(very good quality)。

表 5.9 數據品質等級對應到整體數據品質水準

數據品質等級 (DQR)	整體數據品質水準
≤ 1.6	傑出的品質 (excellent quality)
1.6 ~ 2.0	非常好的品質 (very good quality)
2.0 ~ 3.0	好的品質 (good quality)
3.0 ~ 4.0	尚可的品質 (fair quality)
> 4.0	不良的品質 (poor quality)

### 5.3 電力環境足跡衝擊評估與結果詮釋

本研究納入歐盟產品環境足跡指引所預設之前 14 項環境足跡衝擊類別，以瞭

解電力對這些衝擊類別之環境衝擊程度，唯一沒納入的衝擊類別是「土地轉變」。

將上一節資源使用與排放輪廓之彙編與紀錄（即生命週期盤查分析）結果加以計算與彙整，可得到電力環境足跡，如表5.10所示。再將表5.10之電力環境足跡除以表5.1中對應之正規化因子，可得到正規化電力環境足跡，如表5.11所示，進一步將表5.11繪製成圖形，如圖5.3所示。表5.10與表5.11皆涵蓋14項衝擊類別，且皆依資源、能源、廢棄物加以分類，而表中數據則代表每分析單位（即一度電力）之環境足跡。

表5.11與圖5.3中，正規化數值越大之衝擊類別代表其對環境衝擊程度越大，由表5.11與圖5.3可看出，正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別依序為氣候變遷 (CC)、光化學臭氧形成 (POF)、酸化 (Ac)。

接著，將表5.10或表5.11之環境足跡依資源、能源、廢棄物分別計算其環境足跡占比，結果如圖5.4所示。圖5.4中，針對正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別（即CC、POF、Ac），可發現「能源」之環境足跡占比最大，其環境足跡占比都在99.96%以上；其次是資源，其環境足跡占比介於0.01~0.04%之間；最小是廢棄物，其環境足跡占比都在0.01%以下。

進一步分析「能源」之環境足跡占比，氣候變遷 (CC) 之各式能源中最大環境足跡占比為天然氣（占CC之能源的99.99%），光化學臭氧形成 (POF) 之各式能源中最大環境足跡占比為天然氣（占POF之能源的99.98%），酸化 (Ac) 之各式能源中最大環境足跡占比為天然氣（占Ac之能源的99.96%）。綜合而言，針對正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別（即CC、POF、Ac），「能源」之環境足跡占比（都在99.96%以上）皆遠大於資源及廢棄物，而能源中又以「天然氣」的衝擊程度最大（占各衝擊類別之能源的99.96%以上）。

值得注意的是，正規化電力環境足跡排名第一之衝擊類別為「氣候變遷」(CC)，其每分析單位之溫室氣體排放量是0.4397 kg CO<sub>2</sub>e，詳見表5.10，亦即個案發電廠2015年之燃氣電力碳足跡為每度電0.4397 kg CO<sub>2</sub>e，低於環保署公布之電

力碳足跡 (2014年) 為每度電0.65 kg CO<sub>2</sub>e (環保署, 2017)。環保署公布之電力碳足跡係計算綜合電業的淨發電量、汽電共生廠售台電電量、民營電廠售台電電量之平均值 (環保署, 2017)。

針對正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別 (即 CC、POF、Ac), 由於其能源中之天然氣是造成環境衝擊的最主要項目, 天然氣乃試圖改善電力生命週期環境績效之優先考慮方向。然而個案發電廠是建廠營運才十年之電廠, 屬於運轉效率非常高之複循環發電廠, 因此目前考慮降低天然氣使用量之相關措施所需之成本太高、效益不大且可行性也不高。

表 5.10 電力環境足跡評估結果彙整

衝擊類別 (英文縮寫)[單位]	分類	資源 (每分析單位)	能源 (每分析單位)	廢棄物 (每分析單位)	合計 (每分析單位)
氣候變遷 (CC) [kg CO <sub>2</sub> eq.]		2.258E-5	4.397E-1	3.626E-6	4.397E-1
酸化 (Ac) [mole H <sup>+</sup> eq.]		8.643E-8	2.225E-4	6.701E-9	2.226E-4
對淡水生態毒性 (EcAFW) [CTUe]		6.269E-6	3.740E-3	2.117E-8	3.747E-3
優養化 - 淡水 (EuFW) [kg P eq.]		5.046E-10	2.452E-8	8.200E-11	2.510E-8
優養化 - 海水 (EuM) [kg N eq.]		3.279E-9	6.597E-7	3.371E-10	6.634E-7
優養化 - 陸地 (EuT) [mole N eq.]		1.500E-7	3.568E-4	3.351E-8	3.570E-4
人類毒性 - 癌症效應 (HTCE) [CTUh]		2.617E-13	1.059E-10	1.823E-15	1.062E-10
人類毒性 - 非癌症效應 (HTNCE) [CTUh]		1.544E-12	5.609E-10	1.324E-13	5.626E-10
游離性輻射 - 人類健康效應 (IRHHE) [kBq U <sup>235</sup> eq.]		6.307E-7	2.555E-3	3.438E-9	2.555E-3
臭氧耗竭 (OD) [kg CFC-11 eq.]		4.068E-15	2.487E-9	1.367E-14	2.487E-9
顆粒物質/呼吸性非有機物質 (PMRI) [kg PM <sub>2.5</sub> eq.]		4.123E-9	9.933E-6	6.325E-11	9.937E-6
光化學臭氧形成 (POF) [kg NMVOC eq.]		5.052E-8	1.794E-4	7.464E-9	1.795E-4
資源耗竭 - 水 (RDW) [m <sup>3</sup> water eq.]		2.668E-6	1.237E-4	2.087E-9	1.264E-4
資源耗竭 - 礦物/化石燃料 (RDMF) [kg Sb eq.]		5.021E-11	1.285E-7	-7.186E-12	1.285E-7

表 5.11 正規化電力環境足跡

衝擊類別 (英文縮寫)	分類	資源 (每分析單位)	能源 (每分析單位)	廢棄物 (每分析單位)	合計 (每分析單位)
氣候變遷 (CC)		4.910E-18	9.558E-14	7.882E-19	9.559E-14
酸化 (Ac)		3.662E-18	9.426E-15	2.839E-19	9.430E-15
對淡水生態毒性 (EcAFW)		1.438E-18	8.579E-16	4.856E-21	8.593E-16
優養化 - 淡水 (EuFW)		6.810E-19	3.308E-17	1.107E-19	3.388E-17
優養化 - 海水 (EuM)		3.885E-19	7.817E-17	3.994E-20	7.860E-17
優養化 - 陸地 (EuT)		1.712E-18	4.073E-15	3.825E-19	4.075E-15
人類毒性 - 癌症效應 (HTCE)		1.422E-17	5.756E-15	9.906E-20	5.770E-15
人類毒性 - 非癌症效應 (HTNCE)		5.805E-18	2.109E-15	4.978E-19	2.115E-15
游離性輻射 - 人類健康效應 (IRHHE)		1.118E-18	4.530E-15	6.095E-21	4.531E-15
臭氧耗竭 (OD)		3.766E-22	2.302E-16	1.266E-21	2.302E-16
顆粒物質/呼吸性非有機物質 (PMRI)		2.170E-18	5.228E-15	3.329E-20	5.230E-15
光化學臭氧形成 (POF)		3.198E-18	1.135E-14	4.724E-19	1.136E-14
資源耗竭 - 水 (RDW)		6.571E-17	3.047E-15	5.141E-20	3.113E-15
資源耗竭 - 礦物/化石燃料 (RDMF)		9.982E-19	2.554E-15	-1.429E-19	2.555E-15

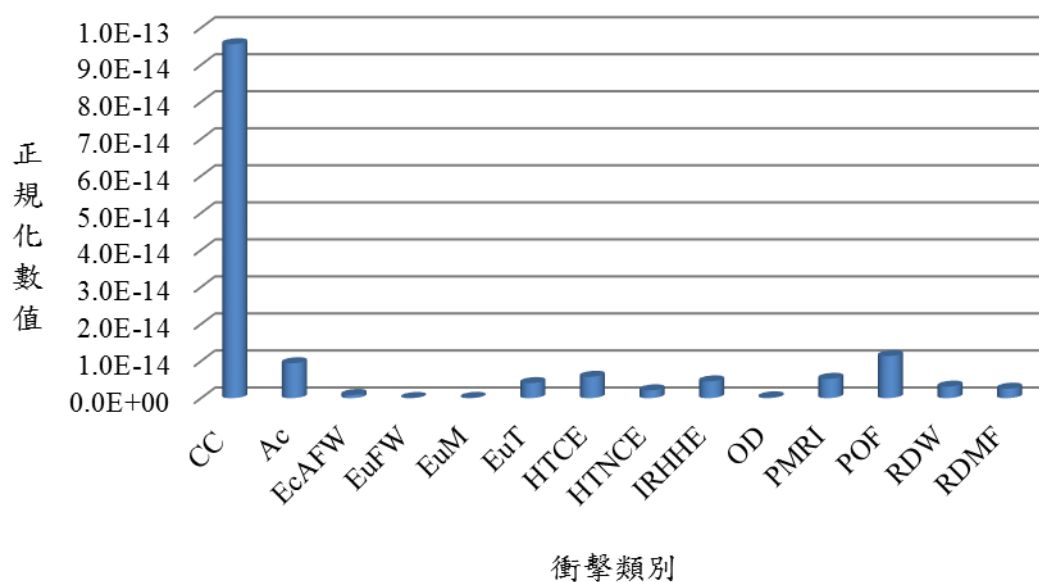


圖 5.3 正規化電力環境足跡

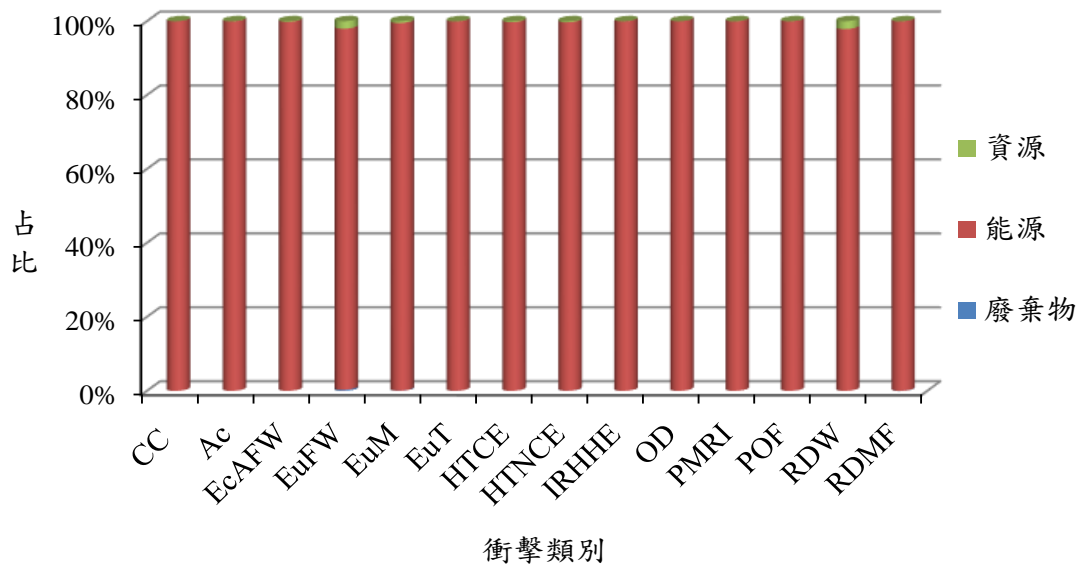


圖 5.4 以占比表示之電力環境足跡



## 第六章 結論與建議

本研究係依據ISO 14040/14044生命週期評估標準與歐盟產品環境足跡指引，探討燃氣發電廠之電力進行環境足跡評估之必要原則與方法，以獲致環境足跡評估結果。本研究以一間位於桃園市觀音區之燃氣發電廠為個案，並以個案發電廠所生產之電力為標的產品。本研究在系統邊界上是屬於「搖籃到大門」模式，其環境足跡量化包含該產品生命週期之原料取得與製造等階段，分析單位（即功能單位）為「一度電力」。

本研究結果顯示，正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別依序為氣候變遷 (CC)、光化學臭氧形成 (POF)、酸化 (Ac)。

針對正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別（即CC、POF、Ac），可發現能源之環境足跡占比最大，其環境足跡占比都在99.96%以上；其次是資源，其環境足跡占比介於0.01~0.04%之間；最小是廢棄物，其環境足跡占比都在0.01%以下。

進一步分析「能源」之環境足跡占比，氣候變遷 (CC) 之各式能源中最大環境足跡占比為天然氣（占CC之能源的99.99%），光化學臭氧形成 (POF) 之各式能源中最大環境足跡占比為天然氣（占POF之能源的99.98%），酸化 (Ac) 之各式能源中最大環境足跡占比為天然氣（占Ac之能源的99.96%）。綜合而言，針對正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別（即CC、POF、Ac），能源之環境足跡占比（都在99.96%以上）皆遠大於資源及廢棄物，而能源中又以天然氣的衝擊程度最大（占各衝擊類別之能源的99.96%以上）。

值得注意的是，正規化電力環境足跡排名第一之衝擊類別為「氣候變遷」(CC)，其每分析單位之溫室氣體排放量是0.4397 kg CO<sub>2</sub>e，詳見表5.10，亦即個案發電廠2015年之燃氣電力碳足跡為每度電0.4397 kg CO<sub>2</sub>e，低於環保署公布之電力碳足跡（2014年）為每度電0.65 kg CO<sub>2</sub>e。

針對正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別（即 CC、POF、Ac），由於其能源中之天然氣是造成環境衝擊的最主要項目，天然氣乃試圖改善電力生命週期環境績效之優先考慮方向。然而個案發電廠是建廠營運才十年之電廠，屬於運轉效率非常高之複循環發電廠，因此目前考慮降低天然氣使用量之相關措施所需之成本太高、效益不大且可行性也不高。

本研究結果可作為燃氣發電廠進行產品生命週期環境績效改善之依據，亦可讓電力發展決策者更瞭解燃氣發電廠所生產電力的環境足跡，以作為未來燃氣發電占比調整之參考。

本研究以燃氣發電廠所生產電力為研究對象，後續研究可針對其他類型之發電廠所生產電力進行環境足跡評估，例如：燃煤發電廠、太陽能發電廠、風力發電廠，以瞭解各類型之發電廠所生產電力對各項衝擊類別之環境衝擊程度。

## 參考文獻

1. 于寧、賴明伸、陳靖原，「由我國綠色產品評估觀點看歐盟環境足跡法案」，*永續產業發展季刊*，No. 66，pp. 36-44，2014。
2. 王振勇、鍾輝乾、鄭慶鴻、范淑雄、劉秀容，「低碳趨勢下之電源開發挑戰」，*台電工程月刊*，No. 813，pp. 1-19，2016。
3. 胡憲倫、朱志弘、黃文輝、黃泓維、黃慶耀，「歐盟環境足跡 (Environmental Footprints) 制度的發展及因應」，*永續產業發展季刊*，No. 69，pp. 48-61，2014。
4. 楊致行，「綠色產品的整合規範和趨勢分析」，*永續產業發展季刊*，No. 66，pp. 11-19，2014。
5. 經濟部工業局，「環境足跡/碳足跡基礎概念簡介」，製造業產品環境足跡與資源永續資訊專區，<http://www.idbcfp.org.tw/ViewData.aspx?nnid=139>，2017。
6. 維基媒體基金會，「電」，維基百科，<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E9%9B%BB>，2017。
7. 盧怡靜、呂穎彬，「ISO 14040 生命週期評估的下一步」，*永續產業發展季刊*，No. 66，pp. 29-35，2014。
8. 環保署，「何謂生命週期」，台灣產品碳足跡資訊網，<https://cfp.epa.gov.tw/CARBON/EZCFM/FUNCTION/PLATFORMINFO/FLCONCEPT/FLFOOTLIFECYCLE.ASPX>，2017。
9. 環保署，*產品與服務碳足跡計算指引*，2010。
10. 環保署，產品碳足跡計算服務平台，<https://cfp-calculate.tw/cfpc/WebPage/LoginPage.aspx>，2017。
11. AISE, *Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) - Heavy Duty Liquid Laundry Detergents (HDLLD) for Machine Wash*, 2016.

12. Benini, L., L. Mancini, S. Sala, S. Manfredi, E. M. Schau, and R. Pant, *Normalisation Method and Data for Environmental Footprints*, European Commission, Joint Research Center, Institute for Environment and Sustainability, 2014.
13. Cristobal, J., C. T. Matos, J.-P. Aurambout, S. Manfredi, and B. Kavalov, “Environmental sustainability assessment of bioeconomy value chains”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 89, pp. 159-171, 2016.
14. Dalrymple, W. (editor), *World Nuclear Industry Handbook 2012*, Global Trade Media, London, UK, 2012.
15. EC, *ILCD handbook - Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European context*, 2011.
16. EC, *Product Environmental Footprint (PEF) Guide*, 2012.
17. Edwards, C. and J. M. Fry, *Life Cycle Assessment of Supermarket Carrier Bags: A Review of the Bags Available in 2006*, Environment Agency, 2011.
18. ISO, *ISO 14040 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework*, 2006.
19. ISO, *ISO 14044 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines*, 2006.
20. ISO, *ISO 14046 - Environmental management - Water footprint - Principles, requirements and guidelines*, 2014.
21. ISO, *ISO 14064 - Greenhouse gases - Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and removals*, 2006.
22. ISO, *ISO/TS 14067 - Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification and communication*, 2013.

23. Nielsen, *The Nielsen Global Survey of Corporate Social Responsibility*, 2014.
24. PE Americas, *Life Cycle Impact Assessment of Aluminum Beverage Cans*, 2010.
25. thinkstep, GaBi 7.3, <http://www.thinkstep.com>, 2017.

# 明新科技大學 107 年度 研究計畫執行成果自評表

計畫類別： <input type="checkbox"/> 任務導向計畫 <input type="checkbox"/> 整合型計畫 <input checked="" type="checkbox"/> 個人計畫 所屬院(部)： <input type="checkbox"/> 工學院 <input checked="" type="checkbox"/> 管理學院 <input type="checkbox"/> 服務學院 <input type="checkbox"/> 人文社會科學院 執行系別：工業工程與管理系 計畫主持人：呂博裕 職稱：教授 計畫名稱：採用產品環境足跡方法探討電力環境足跡 計畫編號：MUST-107 工管-2 計畫執行時間：107年1月1日至107年9月30日					
計畫執行成效	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">教學方面</td> <td style="padding: 5px;">           1. 對於改進教學成果方面之具體成效：  <u>本研究係計算電力環境足跡，採用的方法是生命週期評估，本研究成果可以作為研究所課程：「生命週期評估」之一個實際案例。</u>            2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效：  <u>可以此方向來規劃學生之碩士論文或大學部專題之題目。</u>            3. 其他方面之具體成效：_____         </td> </tr> <tr> <td style="width: 10%; text-align: center; vertical-align: middle;">學術研究方面</td> <td style="padding: 5px;">           1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/>是 <input checked="" type="checkbox"/>否            計畫名稱：_____           2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/>已發表 <input checked="" type="checkbox"/>預定投稿/審查中 <input type="checkbox"/>否            發表期刊(研討會)名稱：<u>現代管理與創新國際學術研討會</u>            發表期刊(研討會)日期：<u>108</u>年<u>4</u>月<u>26</u>日            3. 該計畫是否有要衍生學合作案、專利、技術移轉 <input type="checkbox"/>是 <input checked="" type="checkbox"/>否            請說明衍生項目：_____         </td> </tr> </table>	教學方面	1. 對於改進教學成果方面之具體成效： <u>本研究係計算電力環境足跡，採用的方法是生命週期評估，本研究成果可以作為研究所課程：「生命週期評估」之一個實際案例。</u> 2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效： <u>可以此方向來規劃學生之碩士論文或大學部專題之題目。</u> 3. 其他方面之具體成效：_____	學術研究方面	1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 計畫名稱：_____           2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/> 已發表 <input checked="" type="checkbox"/> 預定投稿/審查中 <input type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱： <u>現代管理與創新國際學術研討會</u> 發表期刊(研討會)日期： <u>108</u> 年 <u>4</u> 月 <u>26</u> 日 3. 該計畫是否有要衍生學合作案、專利、技術移轉 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 請說明衍生項目：_____
教學方面	1. 對於改進教學成果方面之具體成效： <u>本研究係計算電力環境足跡，採用的方法是生命週期評估，本研究成果可以作為研究所課程：「生命週期評估」之一個實際案例。</u> 2. 對於提昇學生論文/專題研究能力之具體成效： <u>可以此方向來規劃學生之碩士論文或大學部專題之題目。</u> 3. 其他方面之具體成效：_____				
學術研究方面	1. 該計畫是否有衍生出其他計畫案 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 計畫名稱：_____           2. 該計畫是否有產生論文並發表 <input type="checkbox"/> 已發表 <input checked="" type="checkbox"/> 預定投稿/審查中 <input type="checkbox"/> 否 發表期刊(研討會)名稱： <u>現代管理與創新國際學術研討會</u> 發表期刊(研討會)日期： <u>108</u> 年 <u>4</u> 月 <u>26</u> 日 3. 該計畫是否有要衍生學合作案、專利、技術移轉 <input type="checkbox"/> 是 <input checked="" type="checkbox"/> 否 請說明衍生項目：_____				
成果自評	<p>計畫預期目標：提出一個研究架構，首先依據歐盟產品環境足跡指引，針對電力進行環境足跡評估，然後就評估結果進行分析，以辨識出電力生命週期中可能的環境績效改善潛力。</p> <p>計畫執行結果：          研究結果顯示，正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別依序為氣候變遷 (CC)、光化學臭氧形成 (POF)、酸化 (Ac)。綜合而言，針對正規化電力環境足跡排名前三大之衝擊類別 (即 CC、POF、Ac)，能源之環境足跡占比 (都在 99.96%以上) 皆遠大於資源及廢棄物，而能源中又以天然氣的衝擊程度最大 (都占能源的 99.96%以上)。</p> <p style="text-align: right;">預期目標達成率：100 %</p>				
	其它具體成效：				

明新科技大學 107 年度校內專題研究計畫 運用於教學成果記錄表

計畫類型	<input checked="" type="checkbox"/> 個人型 <input type="checkbox"/> 整合型 <input type="checkbox"/> 任務導向型		計畫編號	MUST-107 工管-2	
計畫名稱	採用產品環境足跡方法探討電力環境足跡				
計畫主持人 資料	姓名	呂博裕		職稱	教授
	學院	管理		系所	工業工程與管理系
聘用助理	系科班級	學號	姓名	聘僱起訖時間	工作內容
融入課程	開課班級	課程名稱		修課 人數	課程內容概述
	工管所一甲	生命週期評估		12	介紹生命週期評估的意義，並闡述產品環境足跡計算流程，且以計算結果作為基準以改善產品環境績效。
指導專題或 碩士論文	指導班級	專題(論文)名稱		分組 人數	專題(論文)內容概述
	碩專工一甲	碩士論文題目「不鏽鋼高壓軟管之環境足跡評估」		1 (曾琬婷)	本研究係依據歐盟產品環境足跡指引，探討不鏽鋼高壓軟管環境足跡。
指導學生參與活動或競賽	活動或競賽名稱			參與 人數	活動或競賽成果概述
製作教材與 教具	教材與教具名稱			教材與教具概述	
	生命週期評估課程練習案例			本案例可使用於「生命週期評估」等課程，讓學生有練習之機會。	
其他促進教學之成果說明					