

國立成功大學
交通管理科學系碩士在職專班

碩士論文

石化產業物流配送氣體盤查-以 T 公司為例

**Emissions Inventory of Freight Transport for
Petrochemical Industry- A Case Study of T Corp.**

研究生：賴玲君

指導教授：林珮琚 博士

中華民國一百一十一年六月

國立成功大學

碩士在職專班論文

石化產業物流配送氣體盤查-以T公司為例

Emissions Inventory of Freight Transport for Petrochemical
Industry- A Case Study of T Corp.

研究生：賴玲君

本論文業經審查及口試合格特此證明

論文考試委員：

陳文豪
鄧思翕
林洞琇

指導教授：林洞琇

單位主管：邢永祥

(單位主管是否簽章授權由各院、系(所、學位學程)自訂)

中華民國 111 年 6 月 27 日

摘要

本研究主要目的針對 T Corp. 為因應成為 ESG 石化企業永續未來，企業營運時所需面對的大環境因素衝擊，而建置的歐洲比利時安特衛普物流倉儲中心，由 T Corp. 生產廠，高雄廠、中國廠及美國廠供貨，將石化成品海運物流配送至歐洲物流倉儲中心，分析盤查物流配送過程中所產生排放的氣體及汙染對整個自然環境生態中的環境影響、人類損害、及資源耗損，以因應克服降低對環境的損害衝擊。為 T Corp. 加速導入 ESG 營運策略，高值化石化企業永續，更有效運用策略聚焦於有限資源保護地球，開創環境友善及低碳解決方案，強化供應鏈韌性效益極大化，逐年強化企業營運防護措施，對全球生產廠及全球倉儲治理續航等環境友善供應鏈也會產生前所未有的深遠影響，進一步的思考全球化及其對氣候變化和自然環境的影響。經由資料收集彙整 T Corp. 2019 年至 2021 年三年期間，由高雄廠、中國廠及美國廠，海運配送石化成品至歐洲比利時安特衛普物流倉儲中心的配送數量，並透過 SimaPro 軟體進行生命週期評估盤查分析，發現高雄廠及中國廠所供貨至歐洲物流中心的「配送距離」及「配送數量」，對環境衝擊損害上具有顯著影響，因此本研究建議，T Corp. 企業轉型，提升成為 ESG 石化企業，除了透過建立完善的供應鏈組織、石化工場製程改善及加強企業營運策略，來強化公司內外部的營運績效外，在面對現全球政府呼應遵循「淨零碳排」的法規要求下，應先對於所經營的現今環境型態充分了解，將需要調整企業營運在地化服務策略，供應鏈決策與環境型態相符，以應對多變的外部環境，如此才能達到提升企業永續、環境友善的目的。本研究最終結果可提供 T Corp. 做為歐洲倉儲營運庫存配置上及採用相對環境友善的美國廠所生產之石化成品，做為歐洲比利時安特衛普物流倉儲中心，石化成品庫存建置上之參考。

關鍵詞：石化業、ESG、生命週期評估、環境影響

Emissions Inventory of Freight Transport for Petrochemical Industry- A Case Study of T Corp.

Master Student: Ling-Chun Lai

Adviser: Pei-Chun Lin

Department of Transportation and Communication Management Science, National Cheng
Kung University

SUMMARY

The goal of the thesis is to examine the effects of environmental concerns that T Corp. must deal with in order to transform into an ESG petrochemical company with a sustainable future. T Corp. limits the value of cooperation between its production facility in Kaohsiung, China, U.S., and its EU storage center, which is located in Antwerp, Belgium. Petrochemical items are shipped from the warehouse to local customers in the EU through EU outbounds. In order to deal with the impact of reducing environmental damage, it is necessary to analyze and confirm the environmental impact of human harm, the resources of the gases and pollution produced during the logistics and distribution process on the entire natural environment, and ecology wear and tear. Accelerate the adoption of ESG operation strategies for T Corp.; high-value fossilized enterprises are sustainable; more effective use of strategies to concentrate on finite resources to protect the environment; develop eco-friendly and low-carbon solutions; strengthen supply chain resilience to maximize benefits; and annually strengthen protective measures for enterprise operations. It will also advance thinking on globalization and its effects on climate change and the environment, as well as having a far-reaching and unprecedented impact on environmentally friendly supply chains, including worldwide production facilities and global warehousing management. Three-year span of T Corp.'s aggregate data collecting, from 2019 to 2021 Through the use of SimaPro software to conduct life cycle assessments and inventory analyses, it was discovered that the "distance" and "quantity" of the Kaohsiung factory, American factory, and the Chinese factory to the European logistics center, which have a significant impact on environmental impact damage. The number of petrochemical products delivered by sea from the Kaohsiung Plant, China Plant, and U.S. Plant to the Antwerp Logistics Warehouse Center in Europe, Belgium , In light of the current global government's compliance with the "net zero carbon emissions" regulatory requirements, this research suggests that in order to transform T

Corp. into an ESG petrochemical company, in addition to creating a sound supply chain organization, improving petrochemical plant processes, and strengthening corporate operation strategies, it is necessary to further strengthen the company's internal and external operating performance. The study's findings can be used to support T Corp.'s utilization of petrochemical products made in comparatively eco-friendly American factories in European warehousing operations and the creation of petrochemical product inventories in the European Belgium Antwerp Logistics Warehouse Center.

Keywords: environmental impact, life cycle analysis, petrochemical industry.



INTRODUCTION

The official text of the 26th United Nations Conference on Climate Change (COP26), which is connected to the 2015 Paris Climate Agreement, for the first time mentions "gradual reduction of fossil fuels." The most crucial initial evaluation. The "zero-carbon economy" is at the center of several agreements that governments and businesses have made worldwide. The globe is vying for "carbon neutrality," with more than 130 nations having declared that they will accomplish the target by 2050. With regards to current global business trends, further deglobalization and its effects on climate change and the environment, environmental effects, such as the financial and environmental burdens placed on future generations by debt and pollution, as well as potential positive and negative behavioral changes to the environment.

MATERIALS AND METHODS

The life cycle assessment model will be employed in this study, which also employs the ReCiPe 2008 endpoint, BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability), Ecoinvent 2.0, and IPCC 2013 research methodologies. The life cycle assessment software that was utilized is briefly described in the first section, which also compares its differences, benefits, and drawbacks. The goal of the research category, its definition, and the research hypothesis are covered in the second section.

RESULTS AND DISCUSSION

The outcomes of Scenario 1 and Scenario 2 pertain to separate ocean transportation studies. Scenario 1 shows that a single trip from the Kaohsiung factory to the European logistics and storage center is more harmful to the environment than Scenario 2, which shows that the supply from the Chinese factory to the European logistics and storage center is more harmful to the environment under the three-year total and total distance inventory. As a result, it is clear from these two fictitious situations that the volume, frequency, and distance of deliveries all have a significant impact on the severity of environmental harm. Therefore, in order to effectively minimize the pollution generated during the logistics and distribution process, we need to change from the three causes mentioned above. This will also encourage T Corp. to reduce the influence of external environmental issues in its own operations, accelerate create environmentally friendly and low-carbon solutions, boost supply chain resilience and maximize advantages, bolster operational protection measures year over year, and manage global production facilities and global warehousing more successfully by introducing ESG corporate sustainability. Additionally, the influence of green supply chains

will be unprecedented and extensive.

The life cycle assessment analysis suggests that T Corp.'s European warehouse center inventory allocation should give preference to petrochemical items made in American facilities based on a single full container shipment, total shipments, and total shipping distance. By taking this into account, it is possible to significantly lessen the environmental damage produced by goods during the shipping and distribution process as well as by the Kaohsiung factory and the Chinese factory. The distance between the U.S. factory and the European logistics center within the scope of this study is the shortest, and the quantity supplied and distributed to the European Belgian warehouse center is significantly less than that of the Kaohsiung factory and the Chinese factory. Therefore, it is recommended that the inventory level of the European warehouse logistics center be taken into consideration. To lessen the long-distance distribution of petrochemical products, it is advised that T Corp. change the inventory set up at the European logistics storage center. In order to lessen the environmental impact of petrochemical products during shipping logistics and distribution, connect with the green petrochemical industry, and further reduce pollution emissions, it is suggested that the third factory use the maximum container load of finished items.

CONCLUSION

T Corp., which may be thought of as a high-value petrochemical industry, is advised to apply life cycle evaluation of product logistics and distribution, the notion of external costs, environmental sustainability, and ecological advantages, as well as ESG aspects into corporate decision-making. Benchmark leaders speak for businesses, repeat COP26, 2025 net zero carbon emissions, and successfully implement the principles of sustainable management and earth-loving behavior in environmental protection.

致謝

時光飛逝、歲月如梭，轉眼間兩年的研究所生涯即將邁入尾聲，驀然回首總有釋懷的感覺，心中滿滿不捨，感謝讓我有所成長蛻變的一切。此篇論文的完成承蒙許多人的支持以及鼓勵，讓我永不放棄，勇往直前。首先感謝我的指導教授 林珮琚老師，在論文撰寫期間給予的教導與督促，並且從中學習到對於研究的執著與態度。在論文口試期間內，感謝陳文字老師與郭思瑜老師所給予的寶貴意見與指正，讓此篇碩士論文更臻於完善，在此表示深摯的謝忱。在求學期間內，與 111 級同學彼此的情誼是最值得回憶的歷程，尤其感謝徐爾成同學在研究上適時的指點協助，與照顧。很高興在我的在學旅途當中遇見的每一位，我會永遠珍惜這個緣分。

此外，感謝我的家人與朋友，永遠在我身邊做我最強而有力的啦啦隊，總是能帶給我無窮盡的鼓勵讓我在求學過程當中無後顧之憂，給予我心靈上的滋潤並且洗滌疲憊的身心。在此分享這份喜悅給所有認識我的人，因為有你們，我從成功大學交通管理科學系畢業了！

賴玲君 謹誌

中華民國一百一十一年七月

目錄

摘要	i
致謝	vi
圖目錄	viii
表目錄	x
第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	6
1.3 研究流程	7
第二章 文獻回顧	10
2.1 台灣石化產業背景	10
2.2 台灣石化產供應鏈特性	14
2.3 石化產業物流配送氣體排放	17
第三章 研究方法	21
3.1 生命週期評估軟體	21
3.1.1 生命週期評估模式	24
3.2 研究之範疇目的及範疇之界定	34
第四章 生命週期盤查分析	36
4.1 貨運盤查範圍	36
4.2 情境設計	43
第五章 結論與建議	60
5.1 結論	60
5.2 實務建議	62
5.3 後續研究建議	63
參考文獻	65
英文文獻	65
中文文獻	66

圖目錄

圖 1-1 石化供應鏈.....	2
圖 1-2 T Corp. 全球供應鏈	3
圖 1-3 石化產業供應鏈.....	4
圖 1-4 研究流程圖.....	9
圖 2-1 石化產業關連圖.....	12
圖 2-2 石化產業運輸圖.....	13
圖 2-3 2012 年石化工業產值.....	14
圖 2-4 高雄石化產業鏈.....	15
圖 2-5 台灣石化業十大溫室氣體排放源之排放量變化趨勢.....	15
圖 2-6 綠色物流.....	17
圖 2-7 二氧化碳轉化及石化基礎料源架構.....	19
圖 3-1 生命週期標準之原則性規範.....	22
圖 3-2 中點類別（環境機制）和端點類別之間的關係表（損害模型）。	26
圖 3-3 氣候變遷中點-端點假設示意	27
圖 3-4 生命年（DALY）	29
圖 3-5 BEES 4.0 研究方法結構.....	31
圖 4-1 T Corp. 生產廠配送歐洲物流倉儲中心途徑示意圖	37
圖 4-2 歐洲-比利時倉儲中心配送途徑	38
圖 4-3 T Corp. 成品外包裝型式	41
圖 4-4 T Corp. 成品裝貨櫃示意	42
圖 4-5 T Corp. 每小包裝成品示意	43
圖 4-6 單趟單櫃配送情境假設示意圖.....	44
圖 4-7 三年總量配送情境假設示意圖.....	45
圖 4-8 高雄港到安特衛普港.....	46
圖 4-9 上海港到安特衛普港.....	47
圖 4-10 查爾斯頓港到安特衛普港.....	47

圖 4-11 懸浮微粒污染盤查圖	48
圖 4-12 生態系統物種年盤查圖	49
圖 4-13 資源耗損盤查圖	50
圖 4-14 碳足跡盤查圖	51
圖 4-15 臭氧層破洞盤查圖	52
圖 4-16 海洋酸化盤查圖	53
圖 4-17 二氧化碳盤查圖	55
圖 4-18 空氣汙染物質盤查圖	56
圖 4-19 水汙染物質盤查圖	57
圖 4-20 土壤汙染物質盤查圖	58



表目錄

表 1-1 T Corp. 2019 年至 2021 年全球銷售數量	6
表 1-2 T Corp. 2019 年至 2021 年全球銷售數量以運輸方式分類	7
表 1-3 T Corp. 2019-2021 年全球銷售區域及運輸方式分類	7
表 3-1 高雄廠海運物流配送概括	34
表 3-2 中國廠海運物流配送概括	35
表 3-3 美國廠海運物流配送概括	35
表 4-1 歐洲比利時倉儲中心至終端客戶配送距離	38
表 4-2 歐洲-比利時倉儲中心至終端客戶供貨數量	39
表 4-3 T Corp. 配送歐洲數量統計表	41
表 4-4 T Corp. 各生產廠單趟配送距離	46
表 4-5 T Corp. 各生產廠，出貨重量	54

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

第 26 屆聯合國氣候變遷大會(COP26)要有文現氣候大會於 2021 年 11 月 12 日落幕，本屆大會首次將「逐步減少化石燃料」寫入官方文本中，是 2015 年《巴黎氣候協定》後最重要的首次評量。各地政府與企業更以「零碳經濟」為核心，達成多項承諾，全球陸續有超過 130 個國家宣示 2050 達到碳中和目標，全球競逐「碳中和」。以目前的世界商業趨勢，進一步去全球化及其對氣候變化和自然的影響，環境影響，包括對後代的債務和污染負擔；以及對環境可能產生的積極和消極的行為改變(Helm, 2020)。

為因應 COP26 所做的減碳協議，台灣製造業，如石化相關產業將如何提出減碳期程以達成目標將會是嚴峻課題。從 1960 年代石化業發展初期，由於台灣沒有豐富的天然資源，所有原物料皆需向外國採購進口，只能利用地理位置優越，位居亞太地區樞紐，可有效汲取全球生產資源與市場，配合國家經濟政策制定的發展策略「逆向垂直整合」的過程中，逐步完成石化產業供應鏈整體的架構(劉南雄, 2006)。百分之百仰賴進口原油及石化中間原料，生產製造石化上游及下游基本原料，一方面供應國內所需，另一方面出口開拓國外市場，奠下了台灣石化業高碳排的產業宿命(如圖 1-1)所示 T. Corp.在石化業供應鏈上的角色。



圖 1-1 石化供應鏈

據經部能源局 2018 年統計，石化業總能源消費量占台灣 37%，含電力消費的排碳量占 15%，在近期力推的「能耗雙控」議題下，普遍認為石化工業不但耗費能源且污染嚴重。如(圖 1-2)所示，T 公司從全球生產製程到全球銷售、及成品全球運輸配送的產品足跡，高耗能、高耗水、且高碳排，都需要實踐減碳。在面對碳中和趨勢將如何加速石化業升級成為永續高值化產業，並讓碳中和轉變成為企業的核心競爭力，也將迎來產業轉型的挑戰。



圖 1-2 T Corp. 全球供應鏈

近年來，國家對石化行業環保、安全問題高度重視，在業內人士看來，石化行業綠色發展是未來經濟發展的又一個新的制高點和增長點。而在此背景下，全球環保團體及淨零碳排聯盟等相關多個氣候公約組織倡議，應更加關注企業的 ESG 指標，ESG 是 Environmental（環境）、Social（社會）和 Governance（公司治理）的縮寫，是一種關注企業環境、社會、治理績效而非單純財務績效的投資理念和評價標準，亦可做為綠色石化企業的實踐載體，並且協調和制定標準及政策，促進產能上升、價格下降，落實更積極的減碳措施，終結高碳排、高污染的石化時代(郁紅, 2016)，力圖達成「2050 淨零碳排」所訂定指標，即於 2030 年前將減排目標提升至 50%，讓碳成本負擔與低碳技術投資的挑戰成為主要減碳策略。業內人士認為，石化行業作為國民經濟支柱產業，推行 ESG 也是符合自身發展的需求，石化行業作為對環境最為敏感的行業之一，其環境與社會風險管理事件往往受到關注，而綠色石化的新未來必須有科學的方法與工具，ESG 正是合適的載體，並作為社會責任投資的延伸成為綠色供應鏈的組成部分。因此，ESG 概念，自引入石化業以來就被賦予了更為豐富的內涵(韓麗紅 & 曾金芳, 2007)，也更進一步探討其中物流組織活動的碳排放對全球氣

候變遷的影響，並且積極推動訂定規範及管理策略，朝向減少耗能產業排碳之物流運輸型態轉型。

石化行業具有供應鏈長且支撐國家民生經濟複雜的特點(王振寰, 1995)，如(圖 1-3)所示，從石化原物料的生產、製造、支援民生工業各項產品等都廣泛依賴化工原料產業，石化產業不僅可以帶動其他產業發展，亦為配合其他產業發展不可缺少的基礎工業，是致力經濟發展所必須推動的關鍵性產業。在化工原料產業中，以原油及天然氣為原料所生產的石油化學品產業產值更高達整體化工原料產值的 90%以上，因此石化產業可稱得上是所有產業的火車頭。因而石化產品的運輸配送，在一定程度上加大了物流配送管理的難度，且貨運配送是 CO₂ 排放的重要貢獻者，減輕其對環境的影響，對於爭取可持續的未來至關緊要。在進行物流配送管理時，上、中、下游至終端客戶必須建立物流合作夥伴關係，2019 年底爆發的 COVID-19 新冠病毒衝擊及疫情變化的不確定性，針對物流配送運輸的衝擊導致物流運輸中斷受阻等原因，造成交期延遲或無預警的供應鏈斷鏈(史惠慈, 2021)，也直接造成長程空海運輸工具的高污染、高排放，成為運輸耗能溫室氣體排放的最大貢獻者。使得剛架構起步石化產業綠色供應鏈的訊息流動、傳遞、蒐集、彙整、管理與分析，受到莫大影響與衝擊。

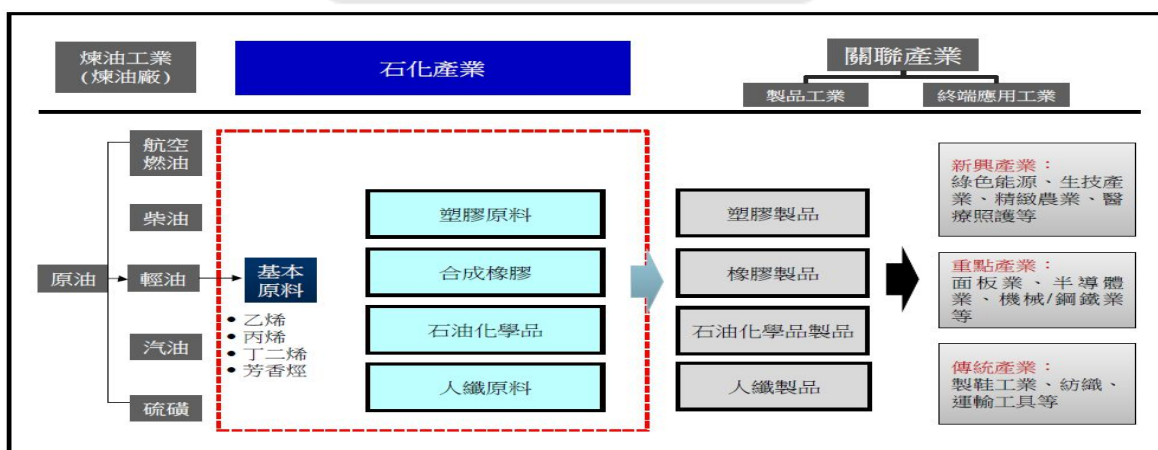


圖 1-3 石化產業供應鏈

資料來源：2020 石化暨特化產業年鑑

全球對於永續發展重視下，2021 年對製造業最重要的關鍵字分別是「循環經濟」、「碳排」與「綠色供應鏈」(林巍,2021)。英國首相強森宣布「綠色工業革命」十大改革計畫，要藉由此次機會展開，綠色經濟復甦、綠色能源、綠色運輸、綠色供應鏈等，其中針對綠色供應鏈正在逐步取代現有跨國共同生產行為，且綠色供應鏈中最常被討論的「物流運輸」在企業運營中至關重要，因為它確保貨物從一個點到另一個點的運輸。已具備綠色物流(Green logistics)的沙特基礎工業公司(SABIC)，是沙特阿拉伯最大的石化公司之一，在世界領先的石化產品生產商中排名第五，自 2013 年起實施綠色物流於物流系統中，在最大限度地減少物流運營對環境的影響(Alabdullatif, 2017)，根據沙特基礎工業公司(SABIC)於公開網站統計資料中指出，自 2013 年到 2018 年間，採用綠色物流初步成效，已減少全企業 4.1%碳排放量，因此，採用綠色物流，即能提高公司業績的競爭優勢同時節省成本，更進一步落實石化企業綠色物流的實踐與盈利能力。近年來環境保護等綠色經濟議題逐漸被大眾正視，而綠色運輸等物流過程中所產生的碳排，是企業面臨許多環境永續的經營模式其中之一，因企業除了考慮利益外更必須將環境發展策略納入考量以符合國際趨勢並獲得投資者的青睞，藉由綠色供應鏈管理對環境績效以及企業競爭力的研究顯示出的正向關係(郭怡君 & 盧宏昱,2021)。企業採用綠色物流對綠色供應鏈管理產生正向效果，而藉由綠色供應鏈管理之整合能夠改善環境績效以及提升企業競爭力。

本研究將以石化產業的 T 公司為例，探討自 2019 年至 2021 年，這 3 年間，全球銷售逐年成長之成品物流配送至客戶端的銷售數量如(表 1-1)所示，排除近年來年爆發航運版雷曼船公司倒閉的市場因素(2017 年)及中美貿易戰的政治因素影響(2018 年)。盤查物流運輸氣體排放量，為主要研究主題，探討新冠疫情前後，物流配送的氣體排放量對於環境污染是否產生顯著差異。希望能透過此研究探討企業不只創造經營績效、降低營運成本、提高客戶滿意度，更需要面對環境保護法規，尤其是交通運輸造成了大量的溫室氣體排放，這種情況有望在不久的將來透過綠色供應鏈的策略管理產生改變(Treidl & Jammerneegg,2011)。以目前的世界商業趨勢全球碳中和趨勢已是勢在必行，各

國企業重視環境友善，致力於減少碳排放量，打造低碳經濟產業，希望藉此號召石化業者於 2025 年前落實執行具體的溫室氣體減量，遵循全球化學標竿企業，更進一步要關注石化產業經濟標準，且還要關注運輸碳排放方面的碳成本環境績效，以做為將來提昇為 ESG 的石化企業，永續發展產業高值化的重點的參考。

表 1-1 T Corp. 2019 年至 2021 年全球銷售數量

T Corp.	2019 年 (萬噸)	2020 年 (萬噸)	2021 年 (萬噸)
銷售數量	410	791	918

1.2 研究目的

根據上述研究背景與動機，本研究主要目的以石化企業 T Corp. 為例，盤查分析成品物流配送供應鏈至客戶端所產生的氣體排放量。使用生命週期評估軟體 SimaPro 9.2.0.2，量化不同運輸方式的銷售數量如(表 1-2)所示，及不同銷售區域運用不同運輸方式的銷售數量如(表 1-3)所示，探討不同生命週期評估模式及情境之間差異及物流配送中所產生之氣體排放量。期盼能提供進一步資訊給廠商及相關單位做為新生代石化產業於應用生命週期評估及永續發展高值化，提昇做為 ESG 的石化企業升級，以提升全球營運安全環境與競爭力之參考。

具體研究目的可分述如下，共有三點：

1. 分析 2019 年至 2021 年間，T Corp. 從高雄廠、中國廠及美國廠，各廠到歐洲-比利時物流倉儲中心，海運物流成品配送過程中，所產生的氣體排放量。
2. 分析了解 2019 年至 2021 年間，T Corp. 高雄廠、中國廠及美國廠，各廠到歐洲-比利時物流倉儲中心，海運物流成品配送過程中，所產生的氣體排放量對環境汙染的影響。
3. 分析 2019 年至 2021 年間，T Corp. 從高雄廠、中國廠及美國廠，各廠到歐

洲-比利時物流倉儲中心，海運物流成品配送過程中，所產生的汙染對人類健康的影響。

表 1-2 T Corp. 2019 年至 2021 年全球銷售數量以運輸方式分類

運輸方式	2019 年 (萬噸)	2020 年 (萬噸)	2021 年 (萬噸)
海運	97	71	84
路運	313	720	835

表 1-3 T Corp. 2019-2021 年全球銷售區域及運輸方式分類

銷售區域	運輸方式	2019 年 (萬噸)	2020 年 (萬噸)	2021 年 (萬噸)
美洲	海運	11	10	13
	路運	247	653	768
亞洲	海運	19	18	20
	路運	29	34	34
歐洲	海運	67	43	51
	路運	36	33	33

1.3 研究流程

本研究流程如圖 1-4 所示，步驟內容茲說明如下：

1. 研究目的：本研究以 T Corp. 石化成品為研究對象，運用生命週期的評估方式分析該公司石化成品在不同的三個生產廠物流供貨配送到歐洲-比利時物流倉儲中心對於環境造成的影響。
2. 文獻回顧：透過石化產業物流配送氣體排放文獻回顧的蒐集整理，了解

後石化成品物流配送氣體排放現況。

3. 資料蒐集與分析：使用生命週期評估軟體 SimaPro 9.2.0.2，根據「CNS 14040 環境管理－生命週期評估－原則與架構」之描述，目標與範圍界定主旨在於明確定義評估作業之目的與範圍。盤查分析、資料蒐集及相關之計算程序量化為分析目標。
4. 情境假設與分析：假設情境 1 為海運盤查之範圍，以單一次出貨，1 個四十呎超高貨櫃一次配送滿櫃以及物流配送之公里數；假設情境 2 為，分別從三個各生產廠高雄廠、中國廠及美國廠至歐洲-比利時物流倉儲中心海運盤查之範圍，以 2019 年到 2021 年 3 年總出貨數量以及物流配送之公里數。
5. 研究結論：對高雄廠、中國廠及美國廠配送至歐洲-比利時物流倉儲中心的石化成品，對環境所產生汙染影響提出分析結論與後續實務建議。



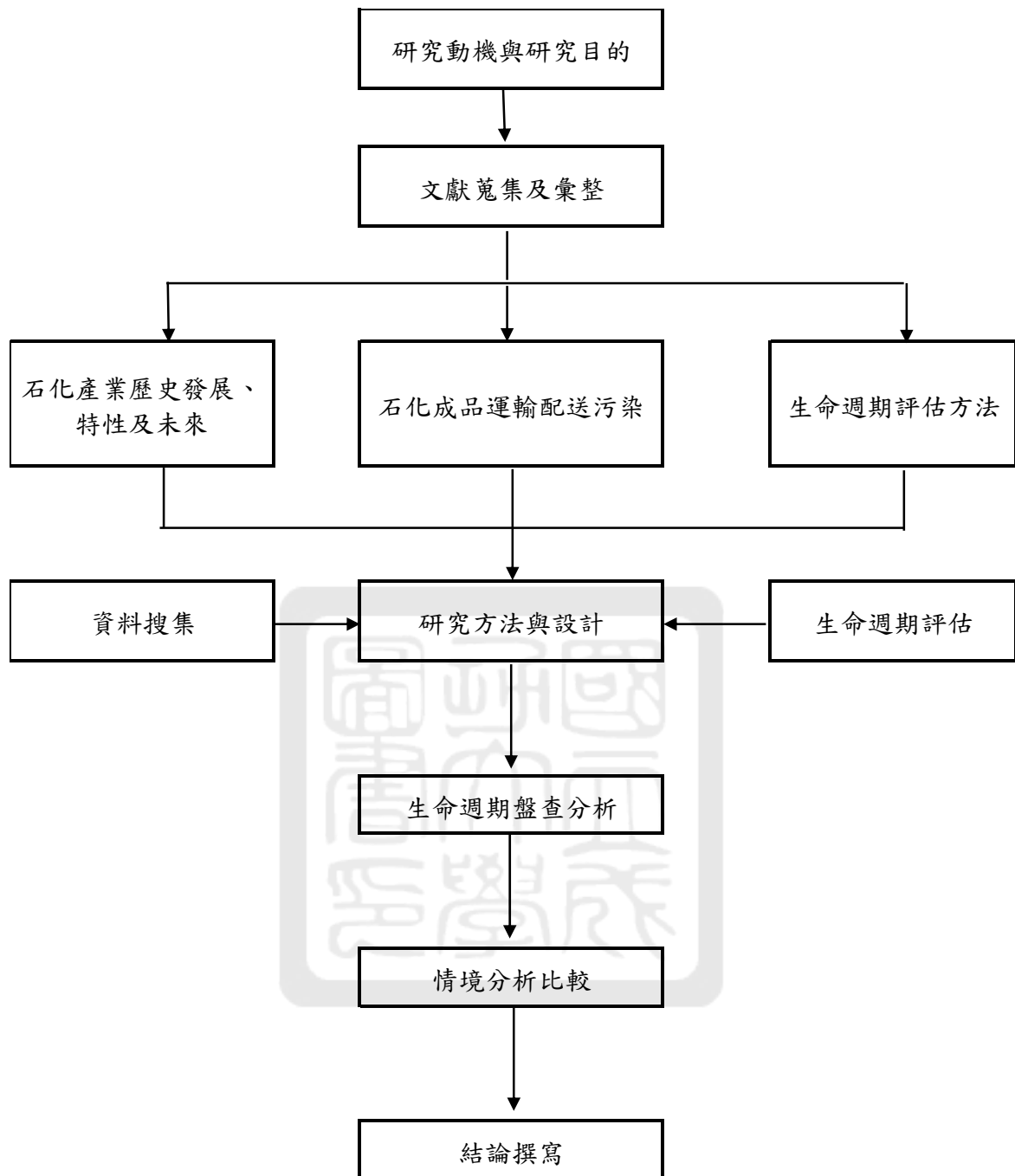


圖 1-4 研究流程圖

第二章 文獻回顧

本研究以 T 公司為例，探討盤查石化業成品物流氣體排放，提供做為 ESG 的石化企業升級與永續發展高值化之參考項目。因此，文獻回顧會就台灣石化產業的背景、台灣石化產業供應鏈的特性及石化產業物流配送氣體排放相關文獻進行回顧。

2.1 台灣石化產業背景

台灣石化產業歷經二次大戰結束後的戰後蓬勃發展，形成龐大產業鏈體系，產業彼此間相互關聯，具有縱橫一貫的整體性的經濟發展策略重點，石化產業確實是一個「產品眾多，製造方法複雜」的產業結構，分為上、中、下游相互依存關聯密切，關聯產業劃分為四類，能源產業、石化產業、加工製品業及關聯產業，如圖 2-1。因為石化基本原料如乙烯、丙烯、丁二烯、苯、甲苯等等均是易燃且危險的化學品，基於運輸上的難題，發展出相當重要且符合化學品運輸工作的安全標準，這需要機械、運具、人員與物料之間的完美同步配合運送安全、健康、環保的危險品運輸服務，當船運時，必須用裝設有低溫高壓特殊儲槽的化學船載運如圖 2-2，因此，產業上下游之間設廠時一定會納入物流配送距離及運輸的便利性納為關鍵考量。且台灣石化產業是以「逆向整合」的過程逐步完成整體架構之石化共同體，亟需自主的石化產業以支撐經濟發展，並做為對外貿易的後盾也就是先進口石化中間原料，利用國內充沛而優質的勞力發展下游加工業，一方面供應國內所需，另一方面開拓國外市場，賺取外匯(賴宗福 & 張之樺, 2010)。

由早期的進口原料加工出口，使得下游業蓬勃發展，再由國外進口上游基本原料，帶動中游石化產業的產生，一直到國內上游石化工廠的建立，完成了石化業一貫體系的完整性。除了政府主導的中油及其相關企業，也加入了許多大大小小的民間石化企業，包括了 1998 年台塑六輕計畫完成的第一座民營輕油裂解工場，提昇了我國石化業的產能，增加台灣在國際間的競爭力。2002 年

1 月 1 日，我國正式加入世界貿易組織（World Trade Organization, WTO），繼之油品市場的開放與自由化，也同時受到全球化的影響，需受到環保、國際公約、及政治因素等影響，也為石化產業帶來重大產業政策方向訂定及實施的衝擊與影響(瞿宛文, 2001)。





圖 2-1 石化產業關連圖

資料來源：經濟部工業局

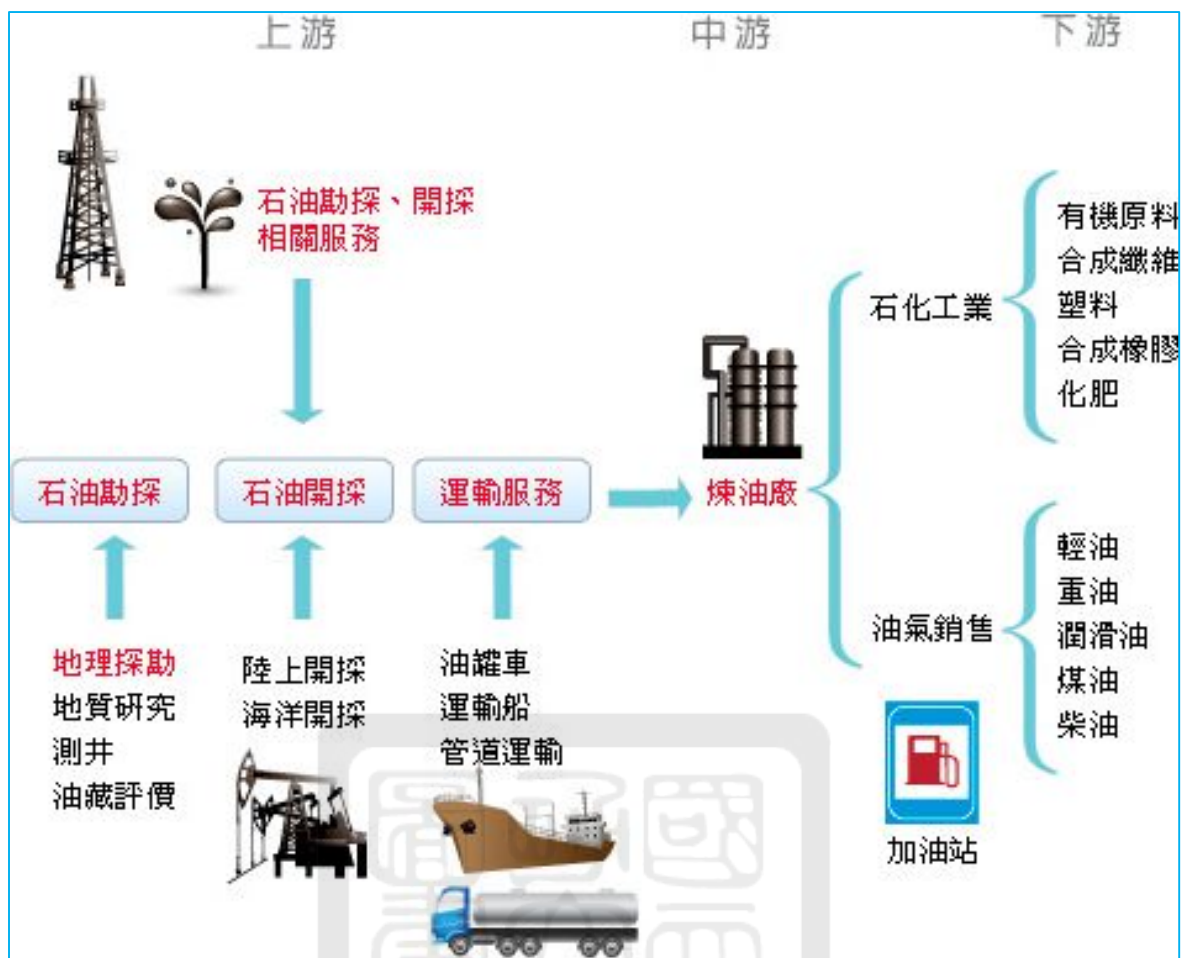


圖 2-2 石化產業運輸圖

接著，台灣石化產業在 2012 年達到產值的高峰如圖 2-3，高達新台幣 4.33 兆元，約 GDP 的 19.9%，相關就業人口高達四十萬以上，但從 2012 年底開始接連受到政策及環保團體壓力下，主管石化產業的經濟部工業局修正「產業政策白皮書」全力推動石化產業「高值化」為政策目標，「永續發展」對於石化工業，經濟成長與環境保護上，此刻顯得格外衝突卻又重要(鄔德恕, 2013)。做為發展基礎工業與重工業支柱的石化業自此展開了提升產品附加價值與產業升級轉型發展高值化石化產業的永續發展。

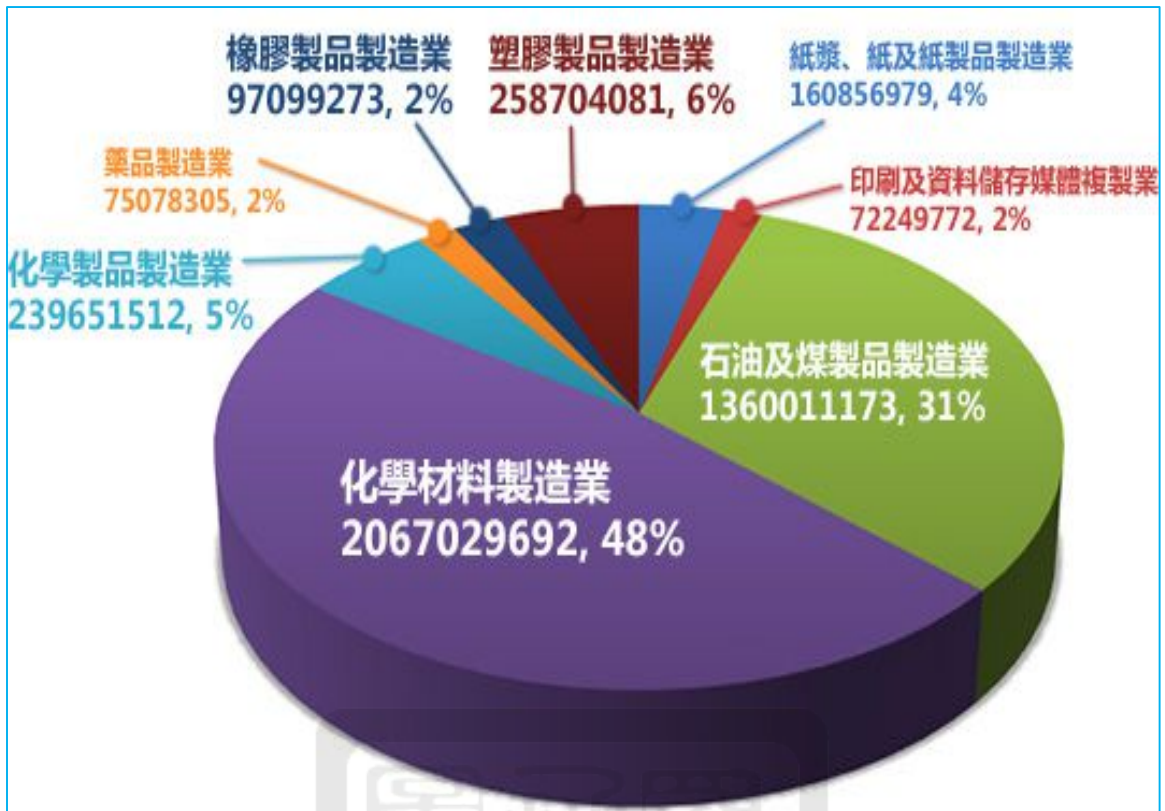


圖 2-3 2012 年石化工業產值

資料來源：行政院主計處

2.2 台灣石化產供應鏈特性

石化工業基本上具備「三多」工業的特質，亦即具備「資本密集」、「技術密集」與「勞力密集」等三多的產業。上游產業，設備投資金額大，所需技術多，風險也無限大，而愈往下游則投資金額愈小，所需技術相對較簡單，風險亦較小。石化產業的經營型態為高技術、大資本與大規模的經營資本與技術密集、市場進入障礙高，從其產業特性，投資金額大小又與產能規模、範疇、廠址、原料供應、下游工業銜接及工安環保要求的程度有關(賴宗福 & 張之樺, 2010)。台灣石化工業最早的發展重鎮「高雄」，配合國家發展政策如圖 2-4，經濟以重工業和石化產業為主，形塑出高雄擁有深厚的製造業基礎、成熟完整的產業聚落。



圖 2-4 高雄石化產業鏈

資料來源：今周刊

由於當初發展較早很多批評石化工業二氧化碳排放特別多，雖傳統石化工業固然有汙染甚至高汙染(陳建任, 2020)，但近年來的碳中和、零排放討論，進一步的促使石化產業做出減碳具體承諾，根據風險社會與政策研究中心的資料整理，指出產業低碳轉型的驅勢與產業減排貢獻潛力在減碳與能源轉型之責任重大。



圖 2-5 台灣石化業十大溫室氣體排放源之排放量變化趨勢

資料來源：風險社會與政策研究中心

現在科技可以做到無害程度，稱作可控制程度，且任何產業涉及生產即有污染問題，但有鑑於近年來的高雄氣爆事件及環保意識的抬頭，使人們對環境友善、永續產業、能效提升、低碳排放、物質循環要求更高，石化產業在此時空背景下得到前所未有高度的關注，產業永續發展轉型發展上，均使石化工業廠商在台灣供應鏈布局速度減緩(杜英儀, 2003)。

石化業所創造高附加價值的經濟效益與國民經濟命脈發展息息相關，石化工業在經濟上創造非常大產值和價值，產業自然形成獨占或寡占的現象。石化產業上、中、下游分工明確，越上游其產品「不易運輸性」越高，越下游產品「不易運輸性」愈低，故石化上游產業的投資考量較傾向於接近市場、區域供給，而石化下游的投資考量，則傾向於獲取當地競爭性資源（如廉價的勞工、豐富的原料資源等）。由於台灣地理環境優勢，許多石化原料或石化產品均可以迅速運送至台灣，形成逆向垂直整合、產業關聯性密切高。從自由化與國際化的角度來看石化產業，認為石化產業逐漸朝向國際專業分工模式發展，只是石化業受限於產品數量較為龐大重實，部分產品或中間原料之化學性較不穩定，國際化的趨勢發展仍然以地區性自給自足為主要目標。

台灣地理位置優良，又擁有雄厚資金與技術，有條件可以發展成為全球石化原料中、下游主要供應者。台灣石化業在政府支持下，策略規劃擬出石化產業高值化之發展方向、發展策略與國際布局，面對大宗石化產品面臨景氣循環問題和國際環保趨勢對於石化工業的壓力及內部環保意識高漲的社會環境，以及新興國家在後面追趕的威脅，逐漸提高在高附加價值領域產品之比重，拉大與新興國家之產品區隔，站穩全球產業供應鏈上的主導地位，同時面對二氧化碳排放限制標準，國際溫室氣體減量趨勢，能源政策改變，需貫徹循環經濟理念專注在本業相關的功能發展促進高耗能產業的未來永續產業規劃(陳正文, 2019)。

2.3 石化產業物流配送氣體排放

未來幾年，全球化工產品需求預估年均成長率約為 4%，石化產業(石油化工原料、合成樹脂及塑膠、合成橡膠)，對於上下游的帶動效果是所有產業最高的，依據行政院主計總處針對 52 部門之產業關聯程度表資料顯示，其向前關聯(感應度)及向後關聯效果(影響度)為所有產業第 1 名；顯示石化產業之向前及向後關聯效果頗高，為帶動上游及中下游產業成長的火車頭，而這，是否也意味著石化產業於物流配送運輸中，也即將增加 4% 的 CO₂ 氣體排放量。自 2017 年，政府在石化高值化政策方向下擬定「石化產業發展綱領」，配合國家經濟成長、能源效率提升、節能減碳、永續發展，維持國內石化產業合理之經濟成長(林茂文, 2019)。完整厚實的產業鏈基礎，借由結合最新的循環經濟發展趨勢，綠色供應鏈-「綠色物流」如圖 2-6，提昇石化產業轉型再成為永續高值化，經濟發展的重要支柱之一。石化企業以 ESG 做為載體，面對未來綠色供應鏈的發展，以降低對環境的污染、減少資源消耗為目標，利用先進物流技術規劃和實施運輸、儲存、包裝、裝卸、流通加工等物流活動。

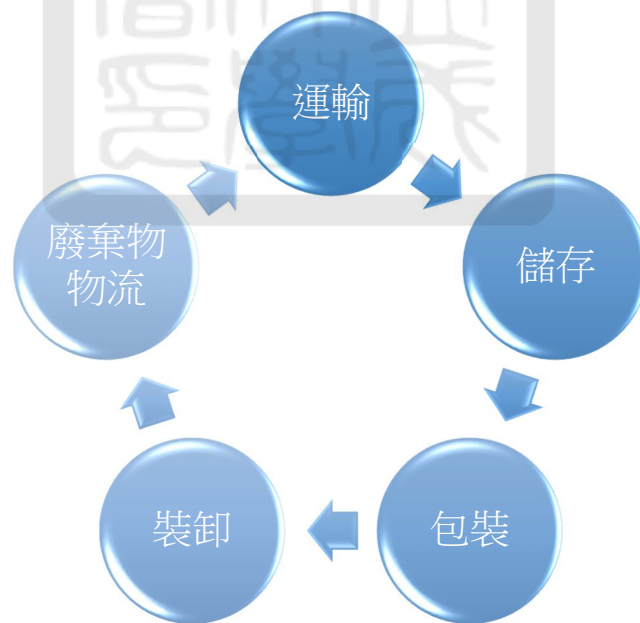


圖 2-6 綠色物流

於現今的領先企業，無論企業規模，都在尋找更加環保友善環境且安全的物流配送方式。因交通運輸工具的大量能源消耗，運輸過程中排放大量的有害氣體，產生噪音污染，且運輸易燃、易爆、化學品等危險石化原材料或產品可能引起的爆炸、泄露等事故，都會對環境造成很大的影響，因此構建石化物流配送從保護環境的角度制定其綠色物流配送計畫，提高運輸效率以降低氣體排放量，減少污染(蔡錫津, 2009)。

「綠色物流」一詞被定義為供應鏈管理實踐和戰略，針對印尼石化產業研究中，改善環境友善的其中一章，提到有關物流配送中指出，減少貨運配送的環境和能源足跡，整合環保運輸、危險品和適當包裝的使用、能源消耗和自然資源的使用，盡量減少物流對環境的影響，以及衡量運輸方式對環境的影響，通過 ISO 14001 認證、減少物流能源使用和減少活動材料使用(Farradia et al., 2019)。雖石化業被列為淨零排放大難轉型產業之一，其溫室氣體密集度（Greenhouse gas intensity）低（即每增加一單位 GDP 所對應的溫室氣體排放量較低），主要碳排來自用電，製程本身就需要直接燃燒化石燃料，這是其不可避免之物理特性(林華偉 et al., 2019)。但透過提高效率，並且將溫室氣體捕捉如圖 2-7 和再利用來達到「淨零排放」發展或供各類產業應用，產生新的循環經濟模式，重新審視從產品設計到產品最終處置系統整個價值鏈，確保生產商和用戶之間更好的協調，創造產品和運輸配送處理流程，實現高質量的回收利用技術門檻較高且需要更大的轉型誘因。

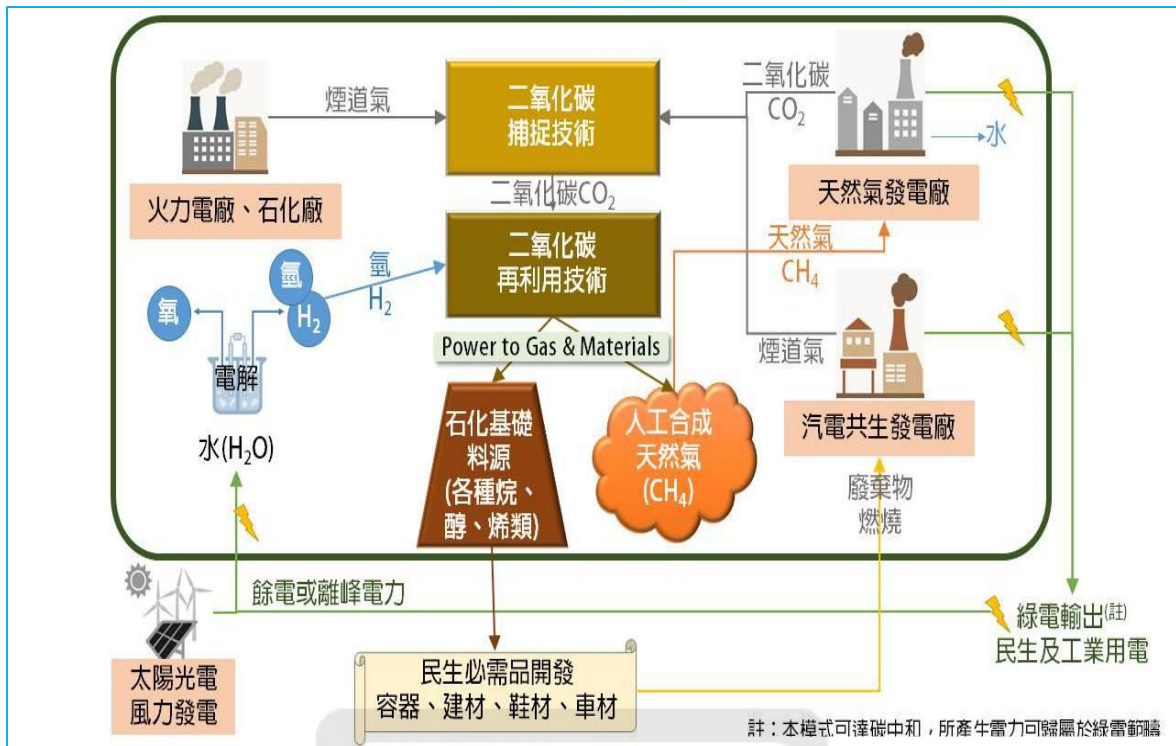


圖 2-7 二氧化碳轉化及石化基礎料源架構

資料來源：財團法人國家實驗研究院科技政策研究與資訊中心

石化企業為確保皆符合台灣與全球性規範與倡議，從經濟、環境、社會三大面向的永續績效表現落實在企業營運上的永續作為，環境永續發展，持續推動節能減碳，嚴格控管排放，垂直整合及經濟規模成品進出口及轉運，石化輸運效率提升，有效控制輸運成本，採用綠色協同運輸，降低斷料風險並減少庫存成本，以達到能源的充分利用。並不斷以止於至善、不斷改善之理念，積極推動各項環保改善作業尋求改善及預防措施(李健暉, 2010)。我們希望環境永續，就必須共同合作，找出具備永續利益綠色運輸配送方式、裝卸、管理降低「物品流通」、「貨物配送」中的氣體排放，思考如何減少物流配送次數或距離，及增加每次運送量，取代現行的頻繁且不定期的配送，以減少二氧化碳排放，減少對環境氣候變遷的衝擊，綠色物流是現代物流可持續發展的一環，物流運輸配送作為現代新興產業在全球經濟中扮演重要的一環，且綠色供應鏈管理的目標是最大限度地提高生產力，最大限度地減少能源消耗，減少排放和浪費，以改善供應鏈(Moharamnejad et al., 2014)。鑑於有爭議的環境問題和公眾意識的提高，石化企業日漸受到內外環境壓力競爭條件促使公司，先從日常物流運營中更落實綠色運輸計劃，而物流運營關鍵，除了準時交貨、多式聯運、共同配送和建立先進的資訊系統，進一步綜合考慮運輸的經濟成本和社會環境資源成本，科學地發展運輸方案並同時扮演好環境友善關鍵角色(Mina et al., 2021)。

第三章 研究方法

本研究設計欲使用生命週期評估模式，使用的研究方法為 ReCiPe 2008 endpoint、BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability)、Ecoinvent 2.0、IPCC 2013。第一節簡述所使用的生命週期評估軟體，比較其差異性及優缺點。第二節為研究之範疇目的及範疇之界定與本研究之研究假設。

3.1 生命週期評估軟體

主要以生命週期評估概念搭配生命週期評估軟體 SimaPro 9.2.0.2，探討 T 公司生命週期評估在物流配送氣體盤查之現況，以利於應用生命週期評估方法。生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)是考量產品原料、生產、運輸、使用及廢棄等生命週期各階段，盤查與推估各階段所消耗之能源、資源及污染物排放清單，進一步推估各種環境衝擊，以系統化將盤查清單予於量化，包括特徵化、標準化及權重，以作為環境改善或產品之間的比較參考(ISO 14040)。廠商經由推行生命週期評估，使產業界瞭解其內容並進而先行規劃與執行，使其理念能與既有之環境管理制度相結合；並進一步規劃評估之模式與方法，以提供產品綠色設計及污染防制的改善建議。

ISO14040 為生命週期標準之原則性規範，標準內容並不提及詳細技術執行規範，僅闡述此系列標準評估階段間相互的關聯架構及名詞定義。其規範內容與關連說明生命週期評估的架構必須包含四個部分，分別是目標與範疇界定、盤查分析、衝擊評估及結果闡釋(如圖 3-1)。其詳細內容分述如下：

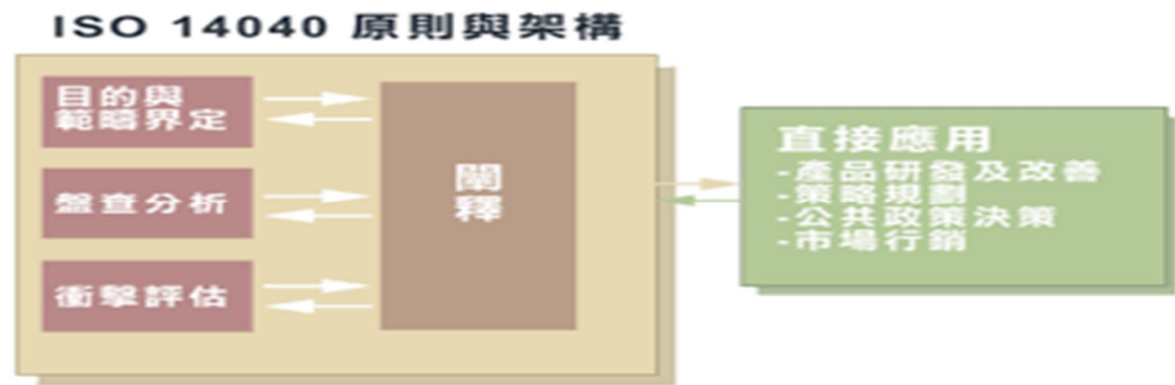


圖 3-1 生命週期標準之原則性規範

資料來源：經濟部工業局

1. 目標與範疇界定：

目標與範疇界定視為生命週期評估的一項整合的步驟，對於每一個研究個案一開始，必須依照研究系統的初始範圍，作業目的及相關利害者之需求，以作為目的與範疇界定之參考。而在界定目的以及範疇必須考慮下列因素包含產品系統的功能、功能單位、研究之系統及產品系統的界線、系統各部份之分配程序、所選擇之衝擊種類、衝擊評估方法及闡釋方式、假設及限制及原始數據的品質要求等七項因素。其中以功能單位的設定最為重要，由於計算環境衝擊時需要一個基礎單位來衡量，使系統中的各項衝擊如對環境的負荷及污染排放所造成的影響能有計算及加總的基礎。

2. 作業的目的：

ISO 14040 標準內容指出，作業之預期應用、目的及預定溝通對象必須明確說明；ISO 14041 指出運用於不同產品系統間之比較時，對於環境影響的考量，可能不僅僅是盤查清單的產生，也可能需要運用到生命週期衝擊評估來判定系統間之優劣。

3. 作業之範疇：

生命週期評估範疇仍須廣泛且深入地定義，以確保與訂定之目的相吻合。並且系統的界限、資料的分配合假設項目必須達到透明化要求。

4. 生命週期盤查分析：

盤查分析階段主要是蒐集資料，將研究對象各生命週期階段之原料及能源

需求和所生產之產品、副產品及各類污染物做詳細記錄，而蒐集之範圍及詳細程度，須依照目標與範疇界定之結果而定(Mohapatra et al, 2002)。生命週期盤查分析要件分別是產品系統、單元過程、資料分類及產品系統分析模式建立，分述如下：

A. 產品系統：

產品系統是多個中間產物流產生連結的過程，也是多個功能執行後之成果，也是多個功能執行後之成果。

B. 單元過程：

產品系統也是多個單元過程的組合體，每個單元過程可以包含不同的活動、單一製程或部分製程，為蒐集產品系統之最小單位。各單元過程由中間物流相連結，不同系統之間則由製程流相連結，藉基本流與環境或系統界限間連結。

C. 資料分類：

藉由收集、計算或推算所得的資料，被用來量測單元過程的輸入與輸出。所需分類項目包括：能源原物料和附屬物質輸入、產出物及廢棄物處理、對空氣、水體、土壤及其他汙染物質之排放。

D. 產品系統分析模式建立：

生命週期評估是藉由分析模式的建立，來描述產品系統或物理環境系統。它無法實際分析研究該系統中每一個單元過程的關連性，或系統與環境之關聯，所以必須依照目的與範疇之定義來選擇建立此產品系統或物理系統分析模式的構成要素。

5. 生命週期衝擊評估：

根據盤查分析結果，導入生命週期環境衝擊因子或應用生命週期評估軟體進行相關環境衝擊評估計算，依照盤查項目的環境影響因子，加總量化轉換成不同層次環境衝擊量化值或指數(SETAC, 1993)。衝擊評估技術上應用分析為一複雜的相互牽連關係，與指標性因子間的轉換，由於仍處發展階段，國際上尚未達共識，美國環境毒物及化學協會(Society of

Environment Toxicology and Chemistry, SETAC)提出以下四項描述環境衝擊之步驟，較獲得國際間共識。

- A. 特徵化(Characterization) 各物質含量多寡對環境衝擊項目所占百分比，影響較大以 100%為其影響值，再按比例權重次之。
- B. 常態化(Normalization) 各輸出物質之真實含量，依照某一時段內之平均累積，對環境衝擊項目所占比例，為各衝擊項目量的比較。
- C. 評價(Evaluation) 各輸出物質依其含量乘上對環境影響之比重係數之合。
- D. 標示指數(Indicator) 為各物質對環境衝擊項目影響總合，經由評價階段所求得各污染物對該衝擊項目之總分，再將其各衝擊項目家總成為整體貢獻之總和。

生命週期評估闡釋根據衝擊評估結果，分析環境衝擊的影響程度相關於研究目標之關係。對盤查分析與衝擊評估，做出不同的解釋，以作為目標改善的參考。

3.1.1 生命週期評估模式

本研究應用生命週期評估軟體 SimaPro 9.2.0.2 作為評估工具，使用的研究方法為 ReCiPe 2008 endpoint、BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability)、Ecoinvent 2.0、IPCC 2013，共四種生命週期評估模式，以下將對本研究選的 ReCiPe 2008 endpoint、BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability)、Ecoinvent 2.0、IPCC 2013 作介紹。

A. ReCiPe 2008 endpoint

ReCiPe 2008 endpoint 是 Eco-indicator 99 和 CML-IA 方法的繼承方法。此研究方法之初的目的是整合 CML-IA 的“以問題為導向的方法”和生態指標 99 的“以損害為導向的方法”。“以問題為導向的方法”在中間水平上定義了影

響類別。此時結果的不確定性相對較低。因而用於分析 T Corp. 位於全球三處生產廠，高雄廠、中國廠和美國廠，單趟滿櫃海運物流配送至歐洲物流中心，所產生對環境汙染之衝擊與影響，這研究方法的優點是它會導出許多不同的影響類別，使得根據所獲得的結果得出結論變得廣義且複雜。Eco-indicator 99 以損害為導向的方法僅產生三個影響類別，這使得結果的解釋更容易，但是，結果的不確定性更高。ReCiPe 研究方法包含了這兩種分析策略，並且具有中點（面向問題）和端點（面向損害）影響類別。

三個端點類別被歸一化、加權並聚合為一個分數。圖 3-2 描繪了生命週期清單 (LCI) 參數（左側）、18 個中點類別（中間）和 3 個端點類別（包括單一分數）（右側）之間的關係。



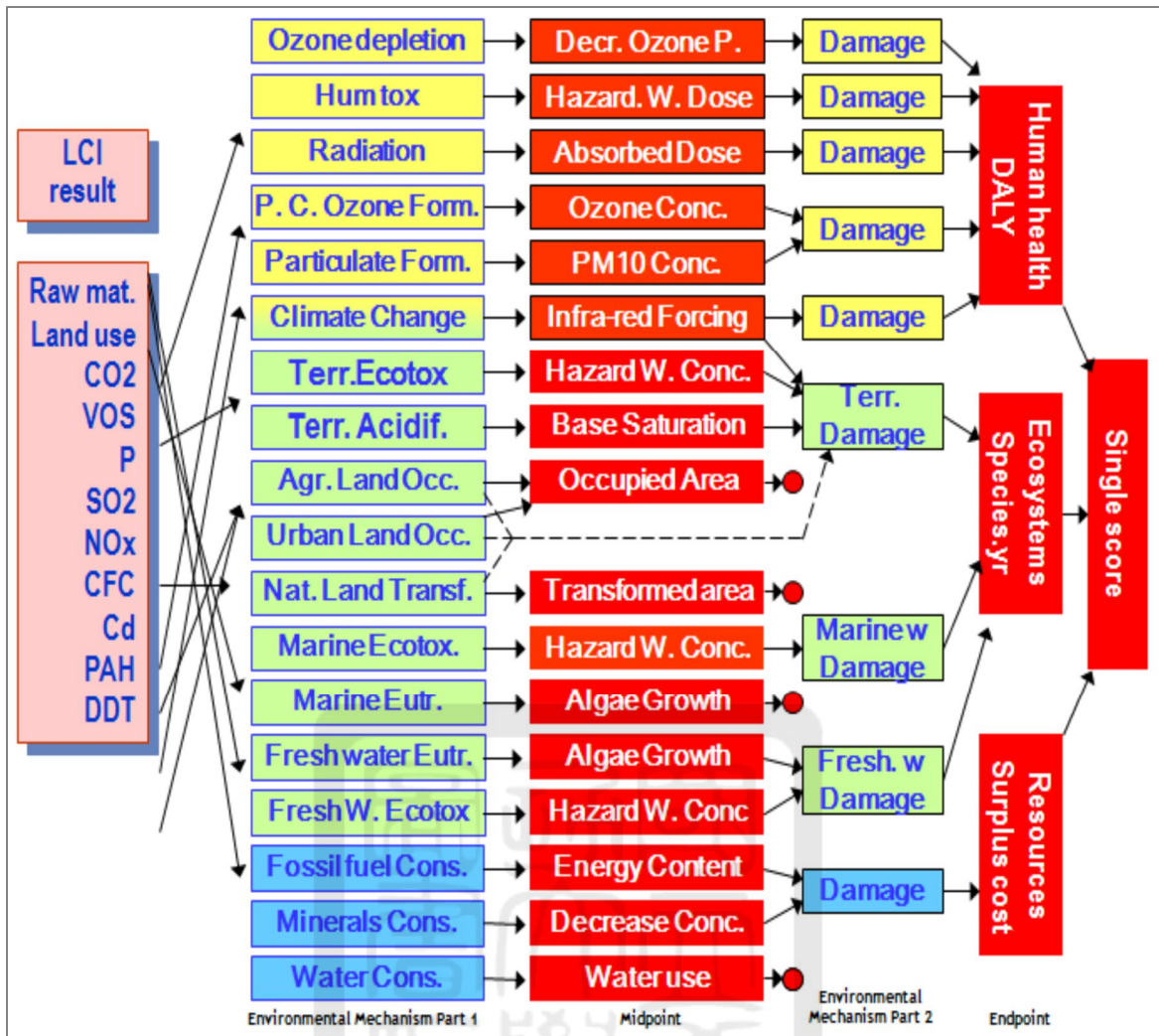


圖 3-2 中點類別（環境機制）和端點類別之間的關係表（損害模型）。
資料來源: ResearchGate GmbH.

從研究分析得知，環境機制和損害模型是不確定性的來源：建模的關係反映了環境機制的最新知識，具有一定程度的不完整性和不確定性。在 ReCiPe 研究方法中，就像在 Eco-indicator 99 中一樣，根據 Thompson 1990 的“文化理論”，決定將不同的不確定性來源和不同的（價值）選擇歸為有限數量的觀點或情景。分別出三種觀點：個人主義（I）、等級主義（H）和平等主義（E）。以上觀點並不聲稱代表人類行為的原型，但它們僅用於對相似類型的假設和選擇進行分組。例如：

1. 觀點 I 基於短期利益、無可爭議的影響類型、關於人類適應的技術樂觀主義。
2. H 觀點基於關於時間框架和其他問題的最常見的政策原則。
3. 觀點 E 是最具預防性的觀點，考慮到最長的時間範圍、尚未完全確定但有一些跡象的影響類型。

在眾多生命週期研究及評估方法中的發展，幾乎沒有一個單一的“黃金標準”方法適用於所有假設情境，生命週期研究方法論相當依賴於目標和範圍的清楚界定，然而，生命週期研究演算法，有時會導致計算結果差異，且不能僅用必然性來解釋的方法和歷史因素對這些方法起決定性作用的方法之間伴演重要角色。其中，ReCiPe 2008 endpoint 方法，是針對生命週期影響開發朝向端點級別，提供計算生命週期影響類別指標的方法（例如：對人類健康的損害和對生態系統質量的損害）。如圖 3-3 氣候變化協調中點-終點模型示例，與人類健康和生態系統破壞密切相關。

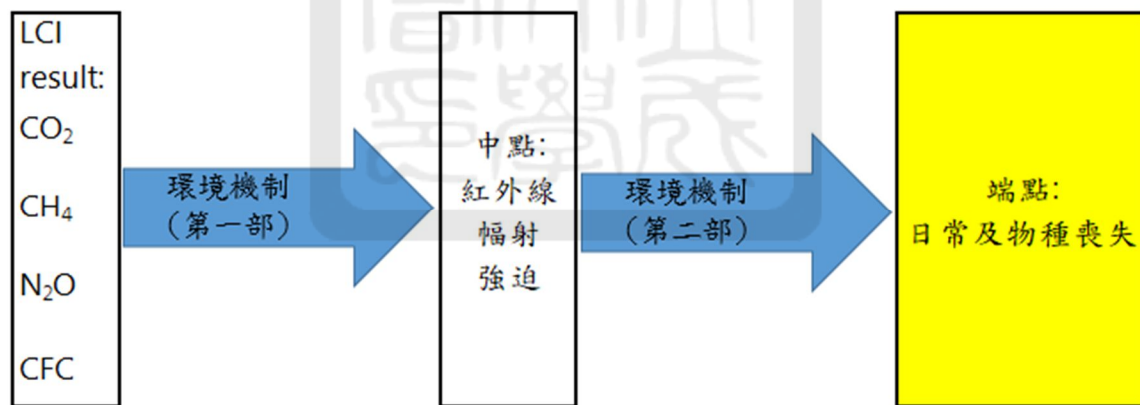


圖 3-3 氣候變遷中點-端點假設示意

根據 ISO14044 standard 分析碳足跡及其相關環境議題，評估產品 / 服務從原料取得、製造、配送銷售、使用到廢棄處理回收等生命週期過程中，各項投入與產出對資源使用、人體健康及生態等潛在之衝擊，本研究意於對“配送”，更進一步分析，從 T Corp. 全球石化生產廠（高雄，中國和美國）的出貨港口

至歐洲比利時物流中心所在的卸貨港口於配送過程中，所產生對污染之環境衝擊，如：氣候變遷、臭氧耗竭、海洋酸化及優養化、空氣毒害、PM2.5 和臭氧對人體健康的損害、土地耗竭、水耗竭、礦產資源枯竭及化石燃料枯竭。在端點級別，影響類別中的大多數被進一步轉換並彙總，如下三個端點類別：

- 1、 對人類健康的損害 (HH)
- 2、 對生態系統多樣性的破壞 (ED)
- 3、 資源可用性損害 (RA)

1. 分類

在完成盤查 T Corp. 全球石化生產廠（高雄，中國和美國）石化成品物流海運配送途徑過程中，所消耗的能源、物質、及產生污染的資料後，將盤查所得資料進行分類。分類進行確定研究中所關心的環境衝擊類別，確定類別後，在盤查清單中，把會造成衝擊之環境負擔或污染排放因素歸類到該環境衝擊類別下。並進一步區分了各種方法評估非生物（存量）資源。

2. 特徵化

特徵化主要是針對 T Corp. 三處位於不同地區之石化生產廠（高雄，中國和美國）之石化成品物流海運產品生命週期每一階段的盤查資料進行分類，用以計算在終點所產生的危害因子，對排放物的危害模式有強度分析及危害分析，特徵化方法可應用在單一衝擊類別，無法用在不同衝擊類別之間。

3. 損害評估

90 年代中期，Patrick Hofstetter 將 DALY 的概念引入生命週期評估中之一的研究方法-損害評估法，一個統一的指標來呈現對人類健康損害。DALY 是醫學界的一個專業術語，已被 ReCiPe 和 Impact2002+ 等許多著名的端點影響評估方法採用。它被用來量化環境污染造成的人類疾病負擔，並將其歸因於產品或服務的生命週期，用來衡量每個人都生活在完美健康的標準預期壽命的理想情況與實際情況之間的差距。該指標是因過早死亡而導致的生命

損失年數 (YLL) 和在患有疾病或其後果時因殘疾而損失的生命年數 (YLD) 的組合： $DALY = YLD + YLL$ ，如圖 3-4。

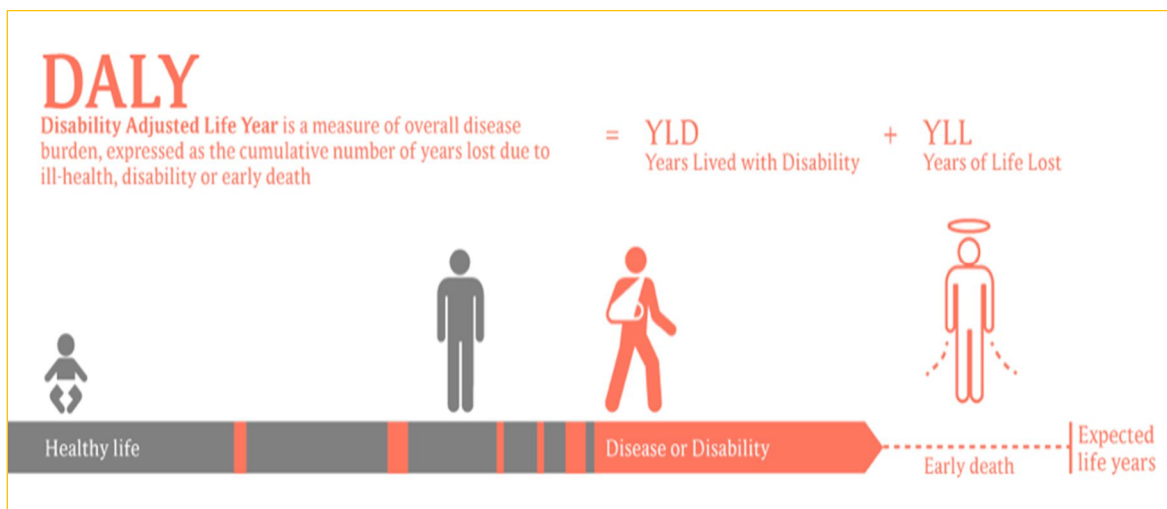


圖 3-4 生命年 (DALY)

資料來源: National Collaborating Centre for Infectious Diseases

4. 常態化

生命週期評估的環境影響分數通常以較難理解的單位表示，例如 kg CO_2 當量或 CTUh。為讓解釋這些分數更容易理解的其中一種方式是將它們標準化。如參考情況可以是一個人平均的在一年內世界上所有排放和資源使用中的份額。統一將複雜的單位，轉換為每個影響類別的 Joe 分數。氣候變化、人類毒性和許多其他影響類別的分數，都與 Joe 分數平均每年的影響進行比較，並以分數表示。

舉例子來說明，可樂碳足跡的標準化，一公升可樂的影響約為 $1 \text{ kg CO}_2\text{eq}$ 。經比較之下，2021 年全球溫室氣體排放量約為每人 4.39 噸二氧化碳量(劉德海, 2021)。因此，一公升可樂的影響為每公升 $1/4390 = 0.00022$ 人年。Joe 平均每年喝大約 50 公升可樂。因此，平均 Joe 的可樂消費量相當於 0.439 人/年的影響，即每人一年氣候變化影響的 0.439%。

5. 指標與評價加權

生命週期評的主要依據 ISO 14040 和 14044 規定，做為評價加權需要將每個可能影響類別的指標，統一後的結果與表示影響類別的，相對重要性的加權因子相乘。加權結果需都具有相同的單位，並且可以加起來為產品或場景的環境影響創建一個分數。簡而言之，加權意味著對生命週期評做結果進行價值判斷。之所以使用權重法有幾個原因，首先，它將生命週期評結果顯示為單個分數，這可以較容易比較不同產品或場景對環境的影響，有助於決策制定，因為產品的影響是高於、低於還是類似於替代品，可以立即清楚地呈現。一般來說，評價權重相對適合用於內部決策，加權結果可以專注於對公司重要的事情，或者如果只調查一種產品的影響，而不進行比較，加權也是一個不錯的選擇方法。

6. 單項得點

在特徵化步驟後，得到的是各單項環境衝擊類別之衝擊加總值，而不同環境衝擊類別之間並無特定的相關，亦缺乏一比較基準。因此，在評價此步驟中，針對各項環境衝擊類別給予一相對應之權重因子，藉由特徵化步驟所得的各單項環境衝擊之衝擊加總值再乘上其對應之權重因子，即可得到一整合之單項得點(single score)，進而可使不同之衝擊類別間可進行比較。單項得點分析呈現 11 個影響類別指標，或 3 個損壞指標。影響類別指標均在端點級別。通過加權歸一化指標結果找到單個分數，對於三個損壞類別（端點組）(Heijungs et al., 2003)。三種損壞分類，分別是：

1. 人類健康: 命運、暴露、影響、損害評估、常態化
2. 排放生態系統質量: 命運、暴露、影響、損害評估、常態化
3. 資源: 資源分析、損害評估、常態化

B. BEES+ (Building for Environmental and Economic Sustainability)

Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES) 是美國國家

標準與技術研究院 (NIST) 共同開發的一種工具，如圖 3-5，讓設計師、建築商、產品製造商和消費者基於共識標準選擇具有成本效益、環保的產品 而設計為實用、靈活和透明的工具。做為研究工具 BEES+ 使用 ISO 14040 系列標準中規定的生命週期評估方法來衡量產品的環境績效，並用來分析產品生命週期的所有階段：原材料採購、製造、運輸、安裝、使用和生命週期結束管理，並結合使用 ASTM 標準，生命週期成本法來衡量的，該方法涵蓋了初始投資、更換、操作、維護和維修以及處置的成本。本研究應用了 BEES+ 2008 軟體研究工具中的其中二項分析步驟，損害評估及常態化的應用。

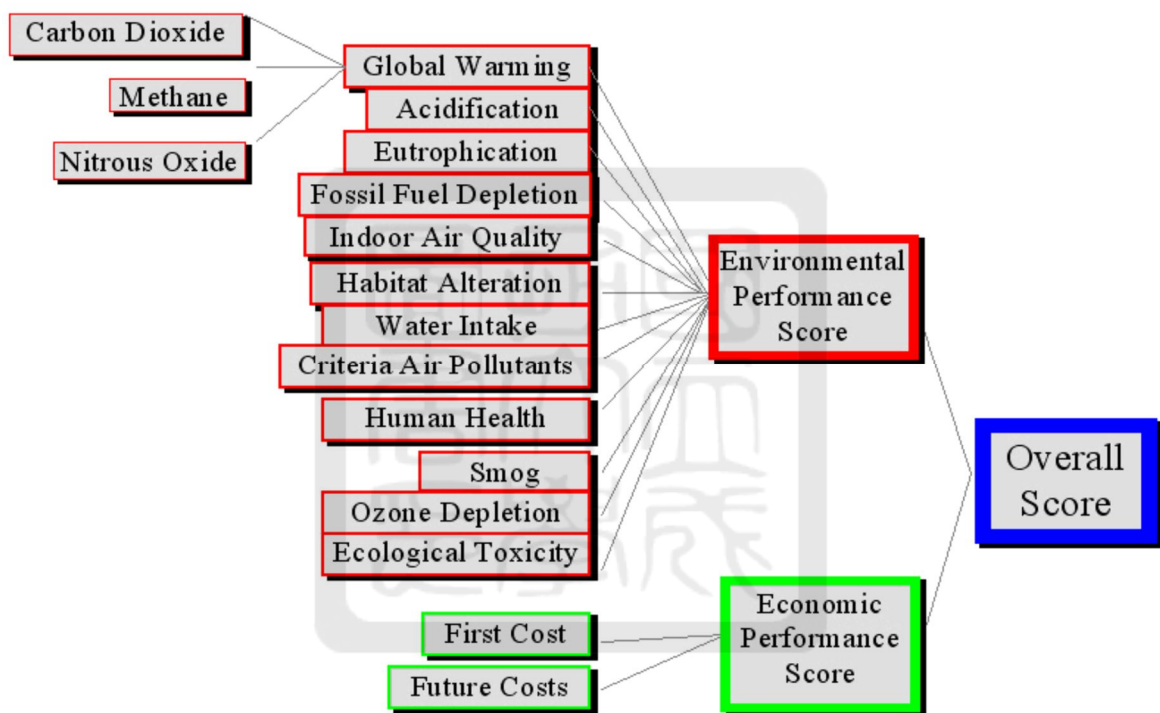


圖 3-5 BEES 4.0 研究方法結構

1. 特徵化

BEES+ 利用 SETAC (美國環境毒理及化學學會) 分類和表徵方法及使用以下六個生命週期評估影響類別：

- a. 全球暖化趨勢
- b. 酸化
- c. 優養化可能性

- d. 自然資源枯竭
- e. 固體廢物
- f. 室內空氣品質

Smog (霾害) 中的兩種煙霧特徵因子物質，聯苯和二苯基 (均屬於空氣污染) 已被平均並歸類為聯苯 (空氣污染的一類)。Smog 表徵因素丁烷 (C_4H_{10}) 和丁烷-n ($n-C_4H_{10}$) (均歸屬於空氣污染的因子物質) 已平均並歸類為丁烷 (空氣污染的一類)。

2. 常態化與評價加權

常態化按照報告 (Lippiatt, 2007) 中的描述實施，加權按照 Gloria 等人的描述實施 (2007 年)。

C. Ecological footprint V1.01

生態足跡被定義為人口具有生物生產力的土地和水需要生產其消耗的資源並吸收由其產生的部分廢物化石燃料和核燃料的消耗。

1. 特徵化

利用生命週期評估的系統分析方法之一，T Corp. 永續循環減碳企業作為，以 2021 年為減碳基準年，盤查三廠成品物流配送至歐洲比利時倉儲中心為運輸減碳項目，對石化產業在環境、社會、治理 (ESG) 等面向的重要原則，依循生態碳足跡所定義為時間的總和綜合直接和間接資源土地佔用之研究方法，盤查氣體和二氧化碳有關化石能源使用產生的排放：

$$EF = EF_{direct} + EF_{CO_2} + EF_{nuclear}$$

2. 常態化與評價加權

常態化為該研究方法中的一部分。且為了獲得 T Corp. 三處生產廠所供貨石化成品之海運物流配送至歐洲倉儲中心的生態足跡，每個影響類別

都被均予評價權重因子。

C. IPCC 2013

IPCC 2013 是國際氣候變化專門委員會針對生命週期評估方法中的 IPCC 2007 分析方法的革新。主要更新為，將暴露納入主要非全球影響類別的特徵化的建模中，該方法列出了 IPCC 的氣候變化因素，並訂義時間跨度為 20 年和 100 年，且不考慮空間變化及場域不同的通用效應下的特徵化因素。

1. 特徵化

IPCC 特徵化因素有，與全球暖化有所直接關聯的空氣汙染排放因素（除 CH₄ 外），如列有：

- a. 不包括由氮排放，間接所形成的一氧化二氮。
- b. 不考慮由於在平流層下部及對流層上部排放 NO_x、水、硫酸鹽等引起的輻射強迫。
- c. 不考慮 IPCC 訂義下的間接影響範圍。
- d. 不包括 CO 排放形成的 CO₂。

2. 常態化與評價加權

常態化與評價加權不在此方法的一部分，但不影響本研究情境假設，所要探討得知的物流氣體盤查分析結果。

3.2 研究之範疇目的及範疇之界定

根據工研院資料顯示，2019 年台灣石化業整體產值為 1.54 兆元，2020 年台灣石化業整體產值為 1.27 兆元，2021 年臺灣石化業產值全年上看 1.8 兆元新台幣，且 2021 年台灣石化產業的產值超過台灣 GDP 的 10%。身為台灣經濟重中之重的石化產業供應鏈，本研究將參考 T 公司 2019 年到 2021 年的成品銷售數量的資料背景，盤查相對於銷售數量、銷售區域、運具、運輸方式之物流配送氣體盤查，分析其物流運輸配送所產生之排放氣體環境污染。

以 T Corp. 石化成品生產工廠，各為高雄、中國及美國為分析依據點，以各生產廠所處城市港口為出貨港口，供貨配送至歐洲比利時物流倉儲物流中心之目的地港口-安特衛普，成品物流運輸配送方式以海運船舶為主。以海運船舶 120000 載重噸為運具基準，以單趟單櫃四十呎乾貨貨櫃，為裝櫃貨數量 14.56mt 為一出貨一運次；以海運船舶 120000 載重噸為運具基準，2019 年至 2021 年間，四十呎乾貨貨櫃之三廠總配送數量、運次距離(公里)，進行分析盤查 T Corp. 石化成品物流海運配送的銷售數量、運次距離(公里)所產生之各途徑氣體排放；高雄廠、中國廠、美國廠，2019 年至 2021 年總配送數量及總海運配送距離(公里)，資料彙整如列。

1. 彙整 T Corp., 2019 年至 2021 年三年間，由高雄生產工廠，所位處的高雄港為出貨港口為據點，配送至歐洲比利時倉儲中心所在卸貨港口-安特衛普港，石化成品海運物流配送之總配送數量及總海運配送距離(公里)，如表 3-1。

表 3-1 高雄廠海運物流配送概括

T Corp. 生產廠	年度	距離 (公里)	銷售數量 (MT)
高雄廠	2019	848,277	7,049
高雄廠	2020	844,532	8,454

高雄廠	2021	3,206,852	7,215
總計		4,899,661	22,717

2. 彙整 T Corp., 2019 年至 2021 年三年間，由中國生產工廠，所位處的上海港為出貨港口為據點，配送至歐洲比利時倉儲中心所在卸貨港口-安特衛普港，石化成品海運物流配送之總配送數量及總海運配送距離(公里)，如表 3-2。

表 3-2 中國廠海運物流配送概括

T Corp. 生產廠	年度	距離 (公里)	銷售數量 (MT)
中國廠	2019	31,157,713	49,697
中國廠	2020	27,689,587	25,781
中國廠	2021	31,266,451	35,430
總計		90,113,751	110,907

3. 彙整 T Corp., 2019 年至 2021 年三年間，由美國生產工廠，所位處的查爾斯頓港為出貨港口為據點，配送至歐洲比利時倉儲中心所在卸貨港口-安特衛普港，石化成品海運物流配送之總配送數量及總海運配送距離(公里)，如表 3-3。

表 3-3 美國廠海運物流配送概括

T Corp. 生產廠	年度	距離 (公里)	銷售數量 (MT)
美國廠	2019	11,939,898	10,307
美國廠	2020	10,591,845	8,385
美國廠	2021	9,662,442	7,472
總計		32,194,185	26,164

第四章 生命週期盤查分析

4.1 貨運盤查範圍

本研究主要研究範圍在 T Corp. 為推動擴展提升全球供應鏈韌性-強化營運歐洲市場銷售服務歐洲在地客戶，於 2019 年至 2021 年間，經由全球共三處生產廠所製造生產石化成品，分別為高雄廠、中國廠及美國廠，經由海運物流配送至歐洲物流倉儲中心所在安特衛普港之總供貨數量與總海運配送距離，所產生對溫室氣體排放及環境所帶來的衝擊影響及損害盤查。透過應用研究方法主要為生命週期評估法，評估軟體 SimaPro 9.2.0.2 作為評估工具，自國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO) ISO14040 及 ISO14044 (2006)，以作為產品環境改善之評估工具，主要項目有：(1)生命週期原理及架構(principles and framework)，(2)生命週期目的訂定 (goal and scope)、系統範疇界定(boundary definition)及生命週期盤查分析(lifecycle inventory)，(3)生命週期評估：包括資料歸類(classification)、特徵化(characterization)、標準化(normalization)及權重(weighting)等不同階段環境衝擊分析及(4)生命週期評估闡釋 (life cycle interpretation)。盤查 T Corp. 位於，台灣-高雄、中國-南通及美國-路易斯安那，共三處生產廠之石化成品，自 2019 年至 2021 年，三處生產廠物流配送至位於歐洲-比利時-安特衛普港所處物流倉儲中心，如圖 4-1，為主要研究範圍，針對 T Corp. 不同生產廠成品物流配送距離之生命週期評估討論其對環境衝擊的影響。

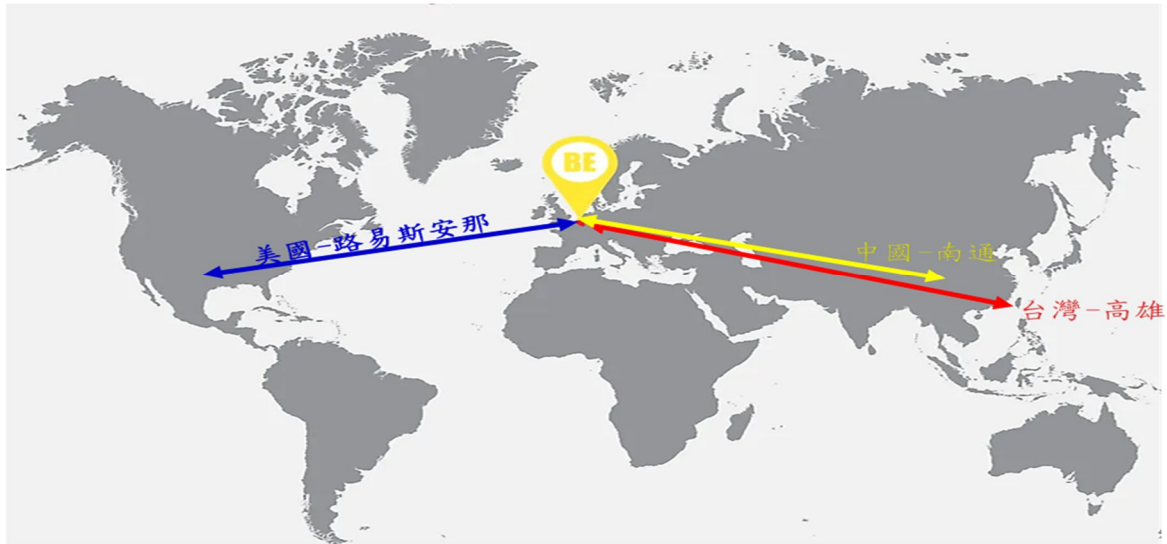


圖 4-1 T Corp. 生產廠配送歐洲物流倉儲中心途徑示意圖

T Corp. 對歐洲及非洲地區的銷售，主要由高雄廠、中國廠及美國廠，所生產製造的石化成品，將成品運送到歐洲-比利時-安特衛普港，所位處的物流倉儲中心，成品集中儲存及歐洲當地銷售管理，從歐洲物流倉儲中心路運運輸配送，透過貨車路運、鐵路貨運及海運貨櫃船銷售配送至歐洲及非洲的終端使用客戶，以滿足達成在地化的特定企業經營銷售目標市場，及對產品做因地制宜彈性調整的供應鏈流程，以因應市場變化及永續發展與商業經營策略全球在地化石化成品的服務應用需求，如圖 4-2 歐洲-比利時倉儲中心配送途徑，如表 4-1 歐洲-比利時倉儲中心，經由海運及路運於 2019 年至 2021 年間，物流配送至終端客戶的配送距離(公里)及表 4-2 歐洲-比利時倉儲中心，經由海運及路運於 2019 年至 2021 年間，銷售至終端客戶供貨數量。



圖 4-2 歐洲-比利時倉儲中心配送途徑

表 4-1 歐洲比利時倉儲中心至終端客戶配送距離

運輸方式	目的地國家	2019 年 成品物流 配送距離 (單位:公 里)	2020 年 成品物流 配送距離 (單位:公 里)	2021 年 成品物流 配送距離 (單位:公 里)	總計 成品物流 配送距離 (單位:公 里)
海運	土耳其	0	0	13,368	13,368
	西班牙	23,438			23,438
	沙烏地阿拉伯	93,950	120,793	107,372	322,115
	芬蘭	22,002	27,502	38,503	88,007

	埃及		81,451	74,663	156,114
海運 小計		139,390	229,746	233,906	603,042
路運	比利時	8,467	11,463	10,140	30,952
	匈牙利	25,534	54,574	99,932	180,040
	西班牙	17,408	13,926		31,334
	法國	551,588	476,250	375,568	1,421,694
	波蘭	1,020	8,161	18,033	27,214
	俄羅斯		4,839		4,839
	英國	53,542	69,182	93,617	219,158
	荷蘭	15,448	12,929	16,760	45,827
	奧地利	0		1,833	1,833
	瑞典	161,009	61,643	66,163	288,815
	義大利	568,601	477,610	624,942	1,687,130
	葡萄牙	38,961	40,909	27,273	107,142
	德國	710,895	711,709	720,387	2,162,324
路運 小計		2,152,473	1,943,195	2,054,649	6,208,304

表 4-2 歐洲-比利時倉儲中心至終端客戶供貨數量

運輸方式	目的地國家	2019 年 成品供貨數量 (單位:公噸)	2020 年 成品供貨數量 (單位:公噸)	2021 年 成品供貨數量 (單位:公噸)	總計 成品供貨量 (單位:公噸)
海運	土耳其		61	1	94
	西班牙	65			65

	沙烏地阿拉伯	34	34	35	102
	芬蘭	25	36	54	115
	埃及		158	31	189
海運 小計		155	289	120	564
路運	比利時	66	58	61	185
	匈牙利	259	279	289	827
	西班牙	330	264		594
	法國	4,442	3,728	3,287	11,456
	波蘭	1,711	1,458	1,641	4,810
	俄羅斯		15		15
	英國	1,432	1,497	2,019	4,949
	荷蘭	1,396	843	929	3,168
	奧地利	22		22	44
	瑞典	2,355	2,254	2,542	7,152
	義大利	3,664	2,586	3,317	9,567
	葡萄牙	32	39	39	110
	德國	12,463	11,710	10,972	35,145
路運 小計		28,174	24,730	25,116	78,020

統計 2019 年至 2021 年間，T Corp. 海運物流配送各生產廠之高雄、中國及美國，共三處生產廠石化成品銷售資料顯示，透過海運配送至歐洲-比利時-安特衛普物流倉儲中心之銷售噸數差異，經本研究整理如表 4-3。

表 4-3 T Corp. 配送歐洲數量統計表

T Corp. 生產廠	2019 年 配送數量 (MT)	2020 年 配送數量 (MT)	2021 年 配送數量 (MT)
高雄	7,049	8,454	5,548
中國	49,697	25,781	37,097
美國	10,307	8,385	7,472

在海運貨運盤查階段，T Corp. 石化成品包裝型式為，每小包包裝淨重為 13kg，每紙箱裝 35 包，淨重為每箱 455kg，為一棧板石化成品包裝，如圖 4-3 所示，每櫃裝 32 板入海運四十呎超高鋼製乾貨貨櫃裝載之淨重量為 14,560kg，櫃內除了石化成品貨物本身的淨重外，也包含出貨時成品包裝貨物的包材和棧板的包裝處理成品毛重，因而每櫃毛重達到 16,240kg。



圖 4-3 T Corp. 成品外包裝型式

出貨基礎單位以整紙箱棧板量為基本單位，並利用堆高機或拖板車等機械設備裝卸搬運成品，每一個熱處理檢疫處理的木質包裝材棧板重量約 43 公斤，每個瓦楞紙箱含上蓋重量約 5 公斤。依本研究，海運四十呎超高鋼製乾貨貨櫃

裝載之成品貨物淨重噸數為 14,560kg，每四十呎超高鋼製乾貨貨櫃可裝載 32 個棧板，如圖 4-4。



圖 4-4 T Corp. 成品裝貨櫃示意

每個瓦楞紙箱含棧板的成品包裝可裝載 35 包的每小包 13 公斤成品，如圖 4-5。因未妥善包裝的成品貨件裝櫃作業方式可能容易損壞、導致其他貨件或設備損壞，或使工作人員受傷。為確保貨件準時完好送達目的地，T Corp. 選用棧板運輸為主的瓦楞紙箱及棧板包裝型式，運輸棧板化、搬運機械化減少人力搬運裝卸成品物流配送，能夠防止貨品在運輸或移動期間滑動而傾倒，有效的節省裝卸搬運成品的時間和降低運銷成本，也能保護成品在物流配送過程中減輕棧板在海運期間因搖晃位移，造成貨品損壞，如要確保貨物安全裝卸過程不會受損、受潮、節能、省力、減少損失、加快成品流通速度的物流配送活動，才能滿足從生產端至客戶端的快速到貨需求。



圖 4-5 T Corp. 每小包裝成品示意

4.2 情境設計

本研究透過 T Corp. 三個不同生產廠，分別為高雄廠、中國廠及美國廠的海運運輸石化成品供貨情境假設探討，分析三廠成品物流配送至歐洲對於環境的影響，海運為國際間現代貨運運輸的主流運具，和公路運輸及空運相比，公路運輸的貨、卡車載貨量小，適合於內陸貨物的分散或集中，但無法跨越海洋，飛機可以跨國，貨運速度快，但是運費高，使得空運局限於需要快速運達的高經濟貨物，所以本研究以海運船舶出貨運輸情境為運具假設，船運的效率最高單趟運輸量極大、運費低廉、以及天然航道等優勢，但因為運貨量大，溫室氣體排放量高，累積的空氣汙染和海洋噪音，也正衝擊著海洋環境，累積中的海洋噪音、空氣汙染、外來種、油汙染等，對環境衝擊的代價而言依舊相當可觀；本研究比較不同生產廠以及海運貨櫃船運具使用比例之差別對環境影響是否皆為一致，使整體物流配送溫室氣體的排放盤查研究更加完整。

本研究假設情境為，情境假設 1，由高雄廠、中國廠及美國廠(如圖 4-6)，單趟單櫃各一次海運出貨四十呎超高鋼製乾貨貨櫃裝載之石化成品貨物淨重噸數 14.56 噸，送到歐洲-比利時-安特衛普物流倉儲中心，以一次出貨物流配

送為例探討，各生產廠的物流配送排放之差異；而為更進步瞭解，當物流海運運送頻次增加時對環境影響是否有差異衝擊不同之處，進而假設情境 2 如圖 4-7，探討 T Corp. 各石化生產廠之間針對歐洲物流倉儲中心之跨供應鏈的整合供貨不同數量多寡，對企業在未來價值創造發展高附加價值的綠色永續發展趨勢對環境影響、廢棄物管理、生態系統衝擊是否有差異區別，盤查時間序範圍為 2019 年間至 2021 年間共三年間，T Corp. 各生產廠不同供貨數量及物流配送頻次距離，假設觀察探討不同生產廠間的對環境衝擊影響。

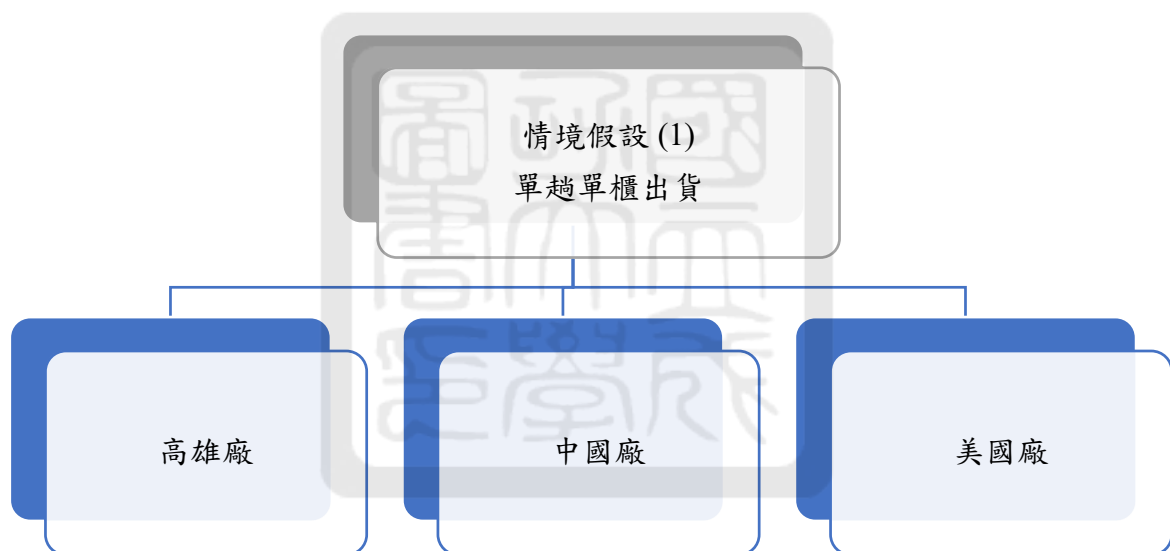


圖 4-6 單趟單櫃配送情境假設示意圖



圖 4-7 三年總量配送情境假設示意圖

A. 假設情境 1

以單次出貨，1 個四十呎超高貨櫃單趟配送滿櫃石化成品角度，分析探討當貨櫃滿載 T Corp. 石化成品時，從三個生產廠高雄廠、中國廠及美國廠的裝貨港，經由海運貨物配送到歐洲物流倉儲中心所在的卸貨港對環境污染大氣、土壤和水體成本。根據 T Corp. (2019-2021) 配送資料整理顯示，海運配送時以 32 個棧板裝櫃為 1 個四十呎超高貨櫃為一單趟配送單位，且三個生產廠 1 個四十呎超高貨櫃，滿櫃數量都為 32 個棧板，滿櫃毛重皆為 14.56 噸。高雄廠所在的裝貨港-高雄港海運物流配送到歐洲物流倉儲中心所在的卸貨港-比利時安特衛普港，如圖 4-8，出貨單趟距離為 11,344 海里(約為 21,009 公里); 中國廠所在的裝貨港-上海港海運物流配送至歐洲物流倉儲中心所在的卸貨港-比利時安特衛普港，如圖 4-9，出貨單趟距離為 11,908 海浬(約為 22,054 公里); 美國

廠所在的裝貨港-查爾斯頓港海運物流配送到歐洲物流倉儲中心所在的卸貨港-比利時安特衛普港，如圖 4-10，出貨配送單趟距離為 4,521 海里(約為 8,373 公里)，如表 4-4 為本研究根據 T Corp.銷售數據資料彙集整理。

表 4-4 T Corp. 各生產廠單趟配送距離

T Corp. 生產廠 / 裝貨港	歐洲-比利時物流倉儲中心/ 卸貨港	單趟物流配送距離 (公里)
高雄廠-高雄港	安特衛普港	21,009
中國廠-上海港	安特衛普港	22,054
美國廠-查爾斯頓港	安特衛普港	8,373

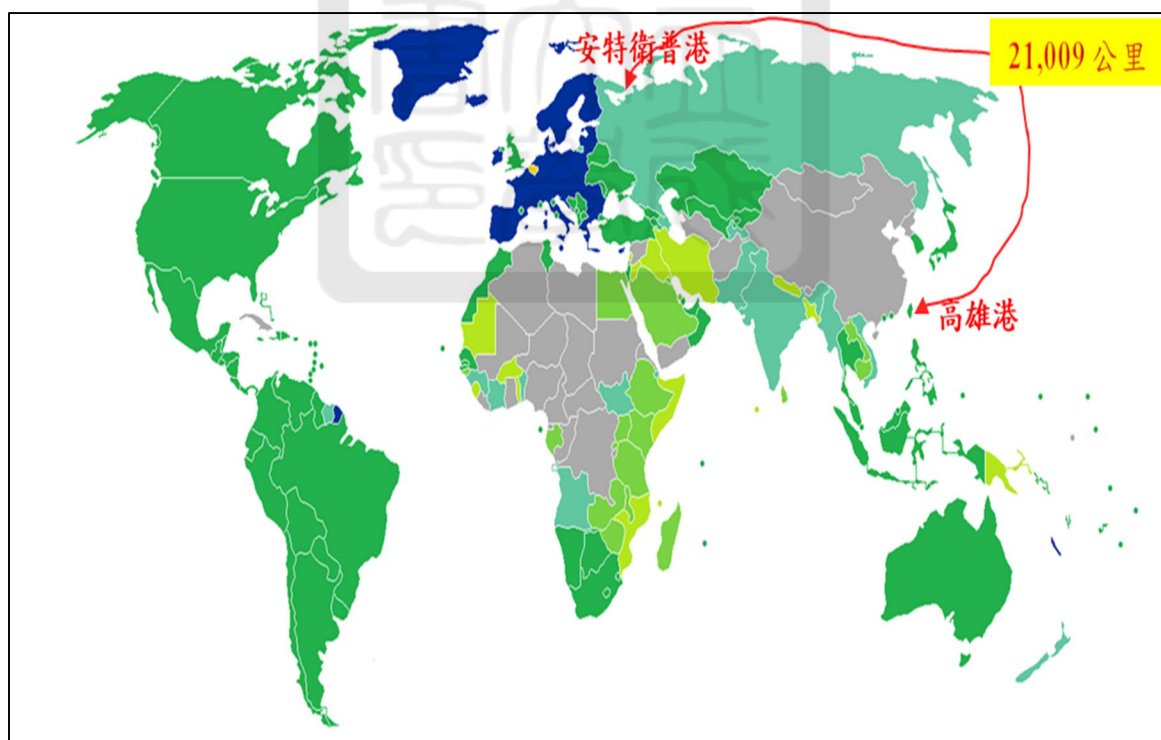


圖 4-8 高雄港到安特衛普港



圖 4-9 上海港到安特衛普港



圖 4-10 查爾斯頓港到安特衛普港

A. ReCiPe 2008 endpoint method

圖 4-11 為 2019 年至 2021 年，單趟滿櫃 14.56 噸滿載 T Corp. 石化成品，各年度海運物流配送使用 ReCiPe 2008 endpoint method 損害評估特徵化結果之懸浮微粒污染，在單趟石化成品物流海運配送階段，目的地為歐洲-比利時物流倉儲中心-安特衛普港，分別由高雄廠、中國廠及美國廠配送到達倉儲，資料彙整結果石化成品供貨在單趟物流-懸浮微粒污染，由高雄廠以 2019 年 6.36572DALY 損失高於美國廠的 1.29035DALY 損失，由中國廠以 2020 年 5.41099DALY 損失高於美國廠的 1.70366DALY 損失，由高雄廠以 2021 年 9.46256 DALY 損失高於美國廠的 1.29035DALY 損失。

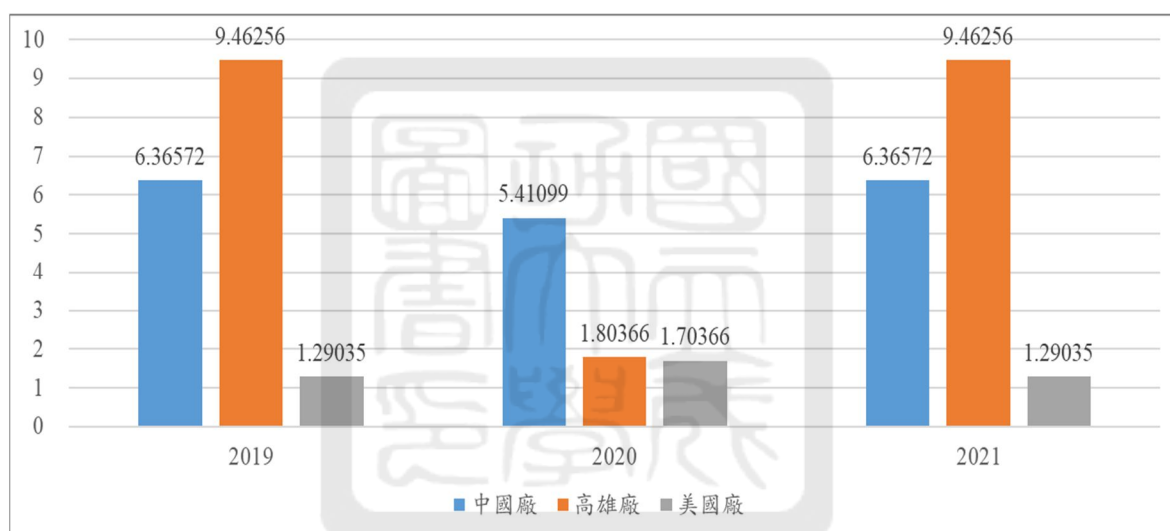


圖 4-11 懸浮微粒污染盤查圖

圖 4-12 為 2019 年至 2021 年，單趟滿櫃 14.56 噸滿載 T Corp. 石化成品，各年度海運物流配送使用 ReCiPe 2008 endpoint method 衝擊評估結果之生態系統，在單趟石化成品物流海運配送階段，目的地為歐洲-比利時物流倉儲中心-安特衛普港，分別由高雄廠、中國廠及美國廠配送到達倉儲，資料彙整結果石化成品供貨在單趟物流-生態系統物種年損失，由高雄廠以 2019 年 9.38707 species.yr 損失高於美國廠的 1.28006 species.yr 損失，由中國廠以 2020 年 5.40778 species.yr 損失高於美國廠的 1.60259 species.yr 損失，由高雄廠以 2021

年 9.38707 species.yr 損失高於美國廠的 1.28006 species.yr 損失。

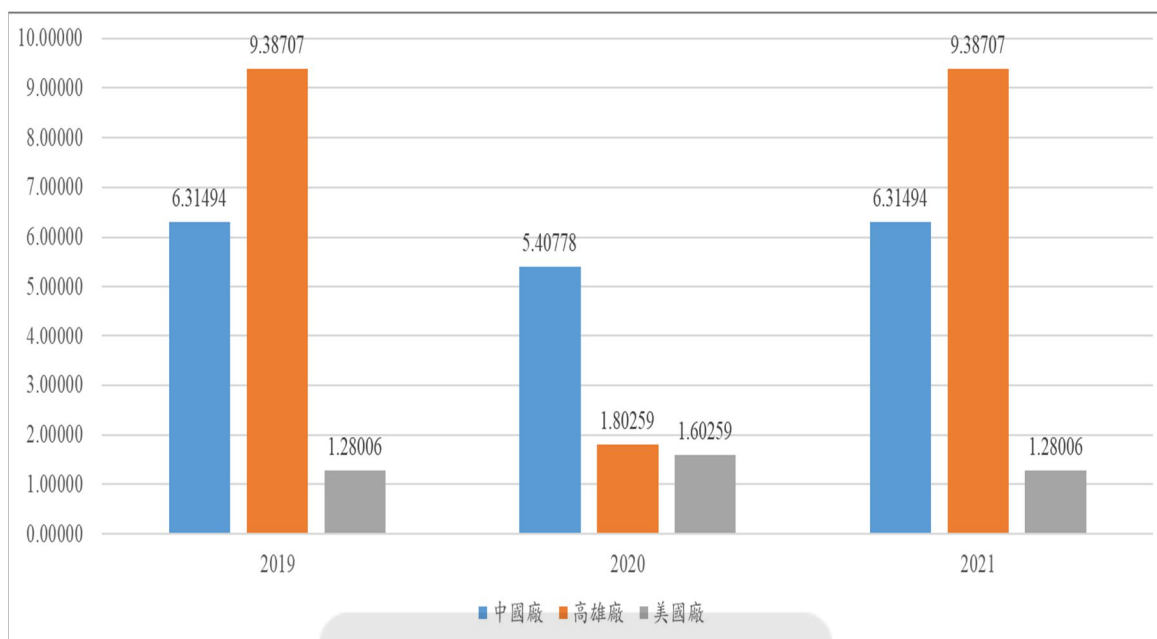


圖 4-12 生態系統物種年盤查圖

圖 4-13 為 2019 年至 2021 年，單趟滿櫃 14.56 噸滿載 T Corp. 石化成品，各年度海運物流配送使用 ReCiPe 2008 endpoint method 衝擊評估結果之資源耗損，在單趟石化成品物流海運配送階段，目的地為歐洲-比利時物流倉儲中心-安特衛普港，分別由高雄廠、中國廠及美國廠配送到達倉儲，資料彙整結果石化成品供貨在單趟物流-資源耗損，由中國廠以 2019 年 0.0157001045% 高於高雄廠的 0.0023337993%，由中國廠以 2020 年 0.0134205796% 高於高雄廠與美國廠的 0.0044735265%，由中國廠以 2021 年 0.0157001045% 高於高雄廠的 0.0023337993%。

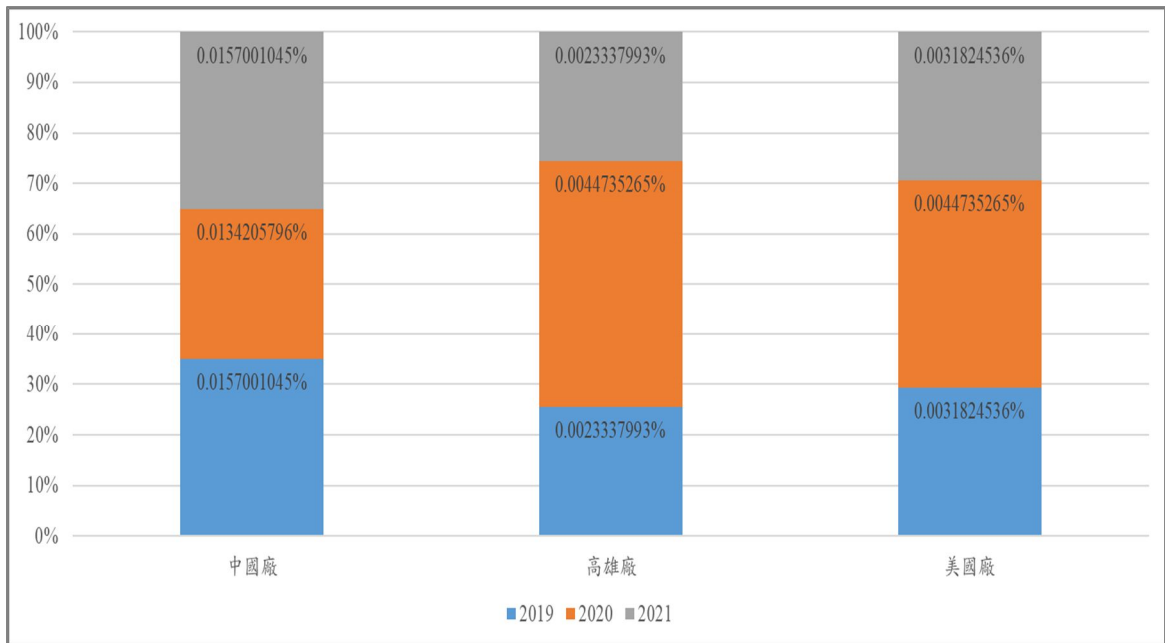


圖 4-13 資源耗損盤查圖

B. BEES +

使用 BEES + 分析法內的損害評估特徵化，將損害評估項目內全球暖化、海洋酸化、和臭氧層破洞加以分析對氣候危機。單趟滿櫃 14.56 噸滿載 T Corp. 石化成品，各年度海運物流配送，統計 2019 年至 2021 年共三年為單位，探討不同工廠之單次配送，對全球暖化所造成的氣候變遷影響，如圖 4-14，分析資料結果由中國廠供貨在一次物流 17,121,603 二氧化碳當量，高於美國廠的 6,370,829 二氧化碳當量。

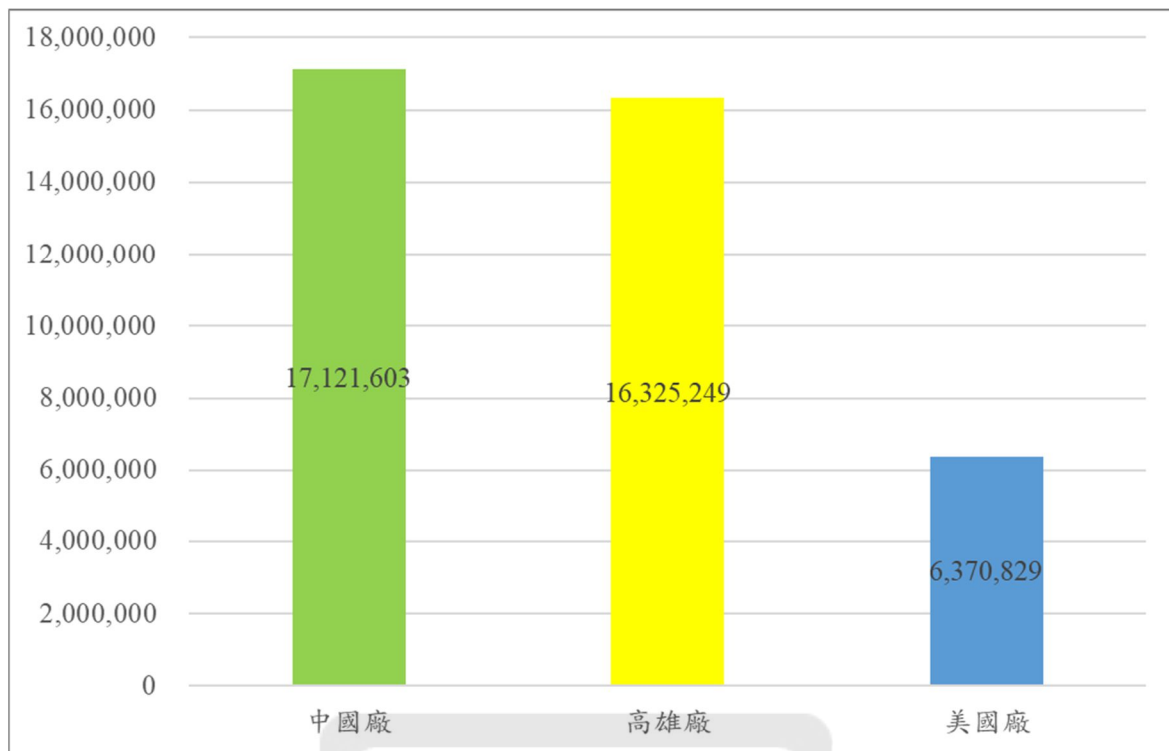


圖 4-14 碳足跡盤查圖

使用 BEES + 分析法內的損害評估特徵化，盤查對臭氧層破洞破壞潛勢，分析破壞臭氧層的元兇氟氯碳化物對臭氧層的危機。單趟滿櫃 14.56 噸滿載 T Corp. 石化成品，統計 2019 年至 2021 年共三年為單位海運物流配送，探討不同工廠之單趟配送，對全球暖化所造成的臭氧層破洞影響，如圖 4-15 分析資料結果由中國廠供貨在一次物流 0.01143 氟氯碳化物破壞係數高於美國廠的 0.00425 氟氯碳化物破壞係數。

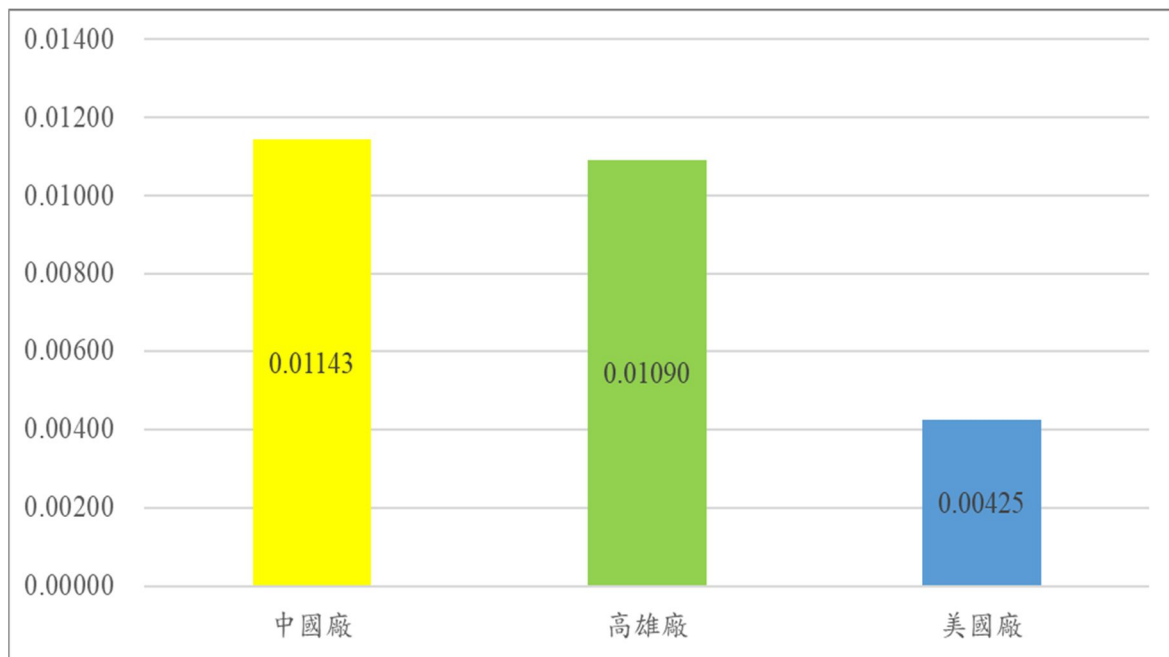


圖 4-15 臭氧層破洞盤查圖

使用 BEES +分析法內的損害評估特徵化，盤查海洋酸化 pH 值逐漸降低的趨勢，分析海洋酸化對海洋生態系統產生影響的危機。單趟滿櫃 14.56 噸滿載 T Corp. 石化成品，統計 2019 年至 2021 年共三年為單位海運物流配送，探討不同工廠之單趟配送，海洋酸化速度對氣候變化的影響，如圖 4-16 分析資料結果由中國廠供貨在一次物流 6,709,760 酸化速率，高於美國廠的 2,496,655 酸化速率。

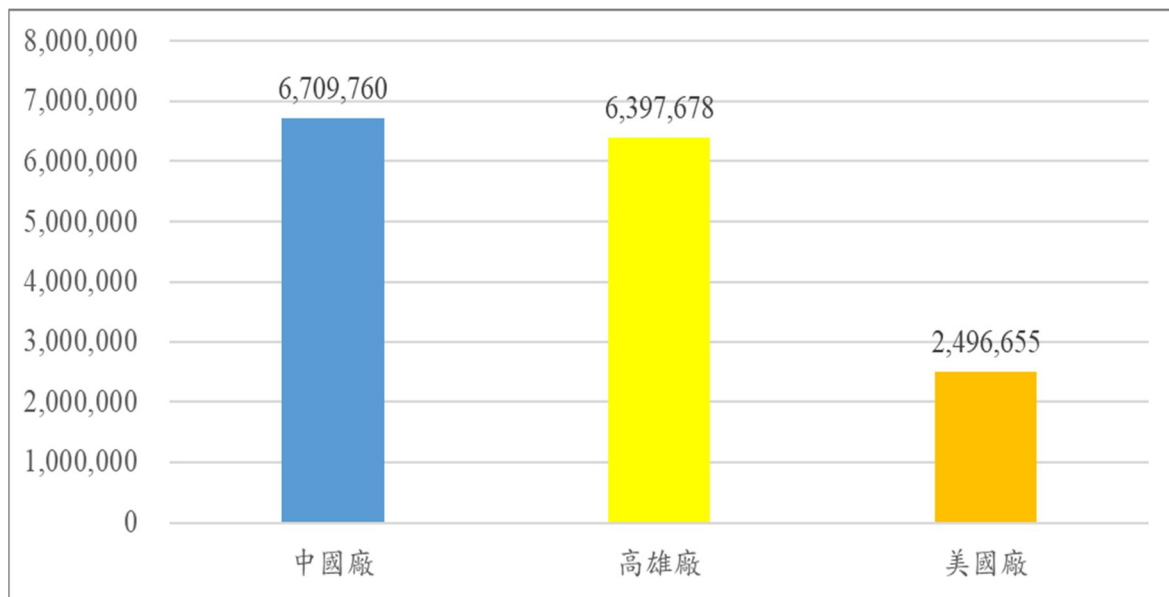


圖 4-16 海洋酸化盤查圖

C. 假設情境 I 小結

上述 4.2.1.1 與 4.2.1.2 分別探討在 2019 年至 2021 年間，單趟 1 滿櫃假設情境下在海運物流配送盤查階段，由中國廠、高雄廠、美國廠供貨到歐洲-比利時物流倉儲中心，使用海運運輸盤查，本節將上述結果盤查之結果做比較，企圖為 T Corp. 建議選擇對人類生態環境較友善之石化供應生產廠。

圖 4-11、圖 4-12、圖 4-13、圖 4-14、圖 4-15 及圖 4-16，分別為各廠，單趟 1 滿櫃，3 年間，整體 ReCiPe 2008 endpoint method 和 BEES + 的結果。ReCiPe 2008 endpoint method 損害評估結果顯示，高雄廠供貨在一次物流，懸浮微粒污染以 2019 年及 2021 年高於其它二廠，對人類公共衛生和健康影響評估有著重大的影響; BEES + 研究結果亦指出物流配送運輸過程中，對環境所造成的汙染，中國廠供貨在一次物流，全球暖化二氧化碳當量對空氣污染-霧霾等化質，如氮氧化物的污染源自高熱的引擎周圍促使空氣中的氮氧相互作用，最後生成一氧化氮或是二氧化氮，也就是俗稱的氮氧化物 (NOx) 造成及海洋酸化對海洋生態所帶來的衝擊珊瑚體鈣化速率提高，依結果之結論。故建議 T Corp. 不考慮由高雄廠及中國廠供貨至歐洲-比利時物流倉儲中心。

2. 假設情境 2

以 2019 年到 2021 年間總出貨數量，探討 T Corp. 石化成品，3 年間總出貨數量，分別從三個各生產廠高雄廠、中國廠及美國廠的裝貨港，經由海運貨物配送到歐洲-比利時物流倉儲中心所在的安特衛普卸貨港，盤查物流配送排放產生對環境之影響。

根據 T Corp. (2019-2021) 資料彙整顯示，海運配送時以 32 個棧板為 1 個四十呎超高貨櫃為一單位，且三個生產廠 1 個四十呎超高貨櫃，滿櫃數量都為 32 個棧板，滿櫃毛重皆為 14.56 噸。高雄廠所在的裝貨港-高雄港到歐洲物流倉儲中心所在的卸貨港-比利時安特衛普港，3 年間總出貨毛重為 21,050 噸；中國廠所在的裝貨港-上海港到歐洲-比利時物流倉儲中心所在的卸貨港-比利時安特衛普港，3 年間總出貨毛重為 112,575 噸；美國廠所在的裝貨港-查爾斯頓港到歐洲-比利時物流倉儲中心所在的卸貨港-比利時安特衛普港，3 年間總出貨毛重為 26,164 噸；如表 4-5 為本研究根據 T Corp. 銷售數據資料搜集整理。

表 4-5 T Corp. 各生產廠，出貨重量

T Corp. 生產廠	2019 年 出貨毛重 (噸)	2020 年 出貨毛重 (噸)	2021 年 出貨毛重 (噸)	總計毛重 (噸)
高雄廠	7,049	8,454	5,548	21,050
中國廠	49,697	25,781	37,097	112,575
美國廠	10,307	8,385	7,472	26,164

A. Ecological footprint

Ecological footprint 研究方法主要透過特徵化來分析石化物流成品配送總量所產生之二氧化碳排放汙染來了解運輸過程中對空氣汙染及大氣層所形成的破壞，主要分析如下圖 4-17 所示，資料整理結果對環境影響較大的是中國廠在 2019 年至 2021 年的三年總配送數量至歐洲-比利時物流倉儲中心-安特衛普港，所產生的二氧化碳 40,362 m2a 高於美國廠的 15,018 m2a。

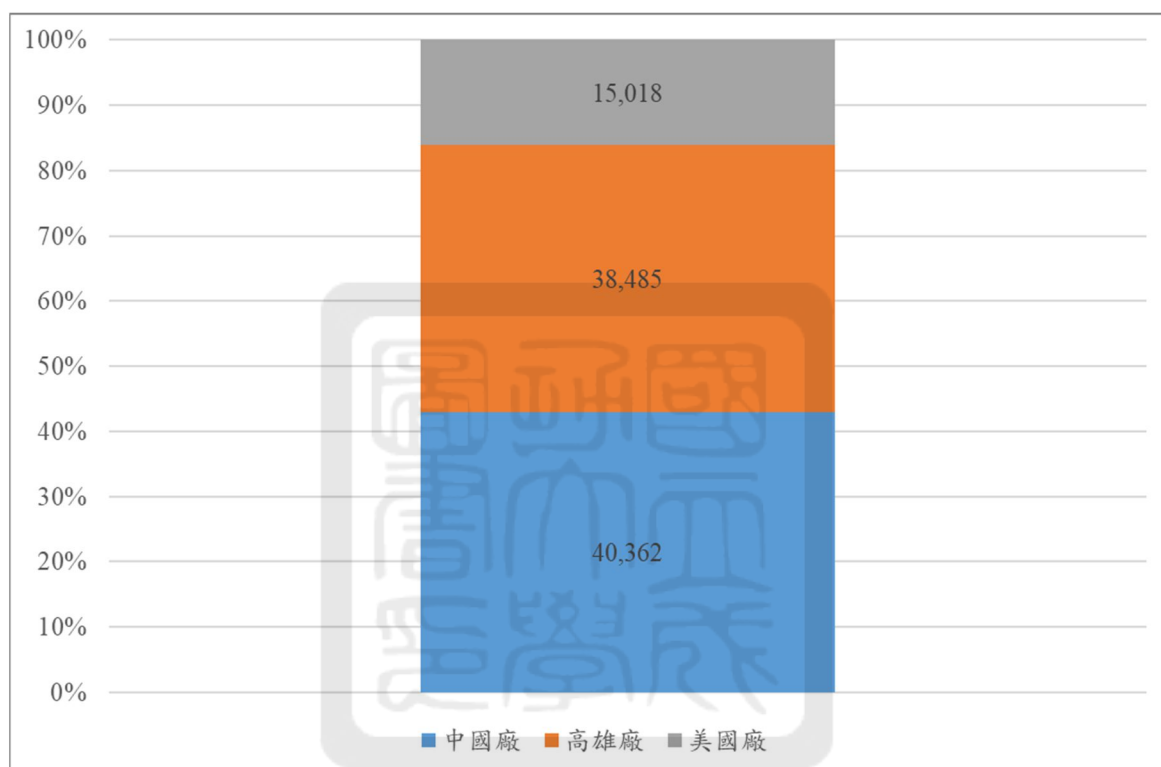


圖 4-17 二氧化碳盤查圖

B. IPCC 2013 GWP 100a V1.03

使用研究方法 IPCC 2013 GWP 100a V1.03 探討主要透過單項得點結果來分析 T Corp. 石化物流成品配送總量從高雄廠、中國廠及美國廠至歐洲-比利時物流倉儲中心-安特衛普港，配送過程中所產生空氣排放汙染內的有害物質，盤查海洋運輸過程中對人體健康及生態周邊環境物質所形成的破壞，這些物質可能是氣體、固體或液體懸浮物等，如圖 4-18，氬-85 的排放，於 3 廠間遠高於

其它物質，且中國廠在氦-85 排放 272,710,844Bq 高於高雄廠氦-85 排放 260,026,619 Bq 及美國廠氦-85 排放 101,473,802Bq。

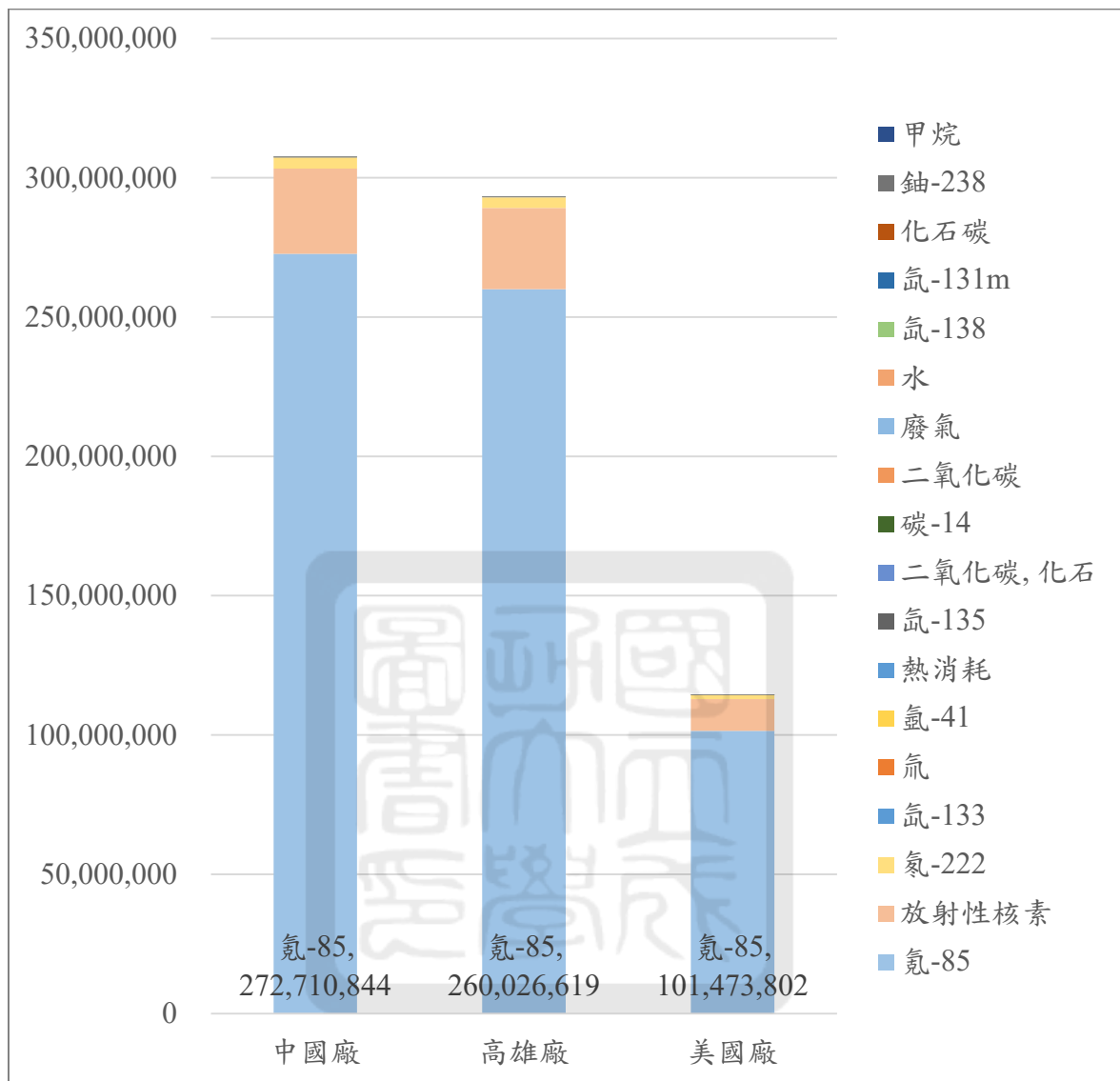


圖 4-18 空氣汙染物質盤查圖

圖 4-19 使用研究方法 IPCC 2013 GWP 100a V1.03 探討主要透過單項得點結果來分析 T Corp. 石化物流成品配送總量從高雄廠、中國廠及美國廠至歐洲-比利時物流倉儲中心-安特衛普港，配送過程中所產生水汙染的有害物質，盤查海洋運輸過程中有毒的重金屬或難分解的化學物質所形成水汙染物質的破壞，。從以了解各廠於 3 年間在環境 (水) 影響，其中氫的排放，於 3 廠間較

高於其它物質，且中國廠在氙排放 10,781,308 Bq 高於高雄廠氙排放 10,279,851 Bq 及美國廠氙排放 4,011,649 Bq。

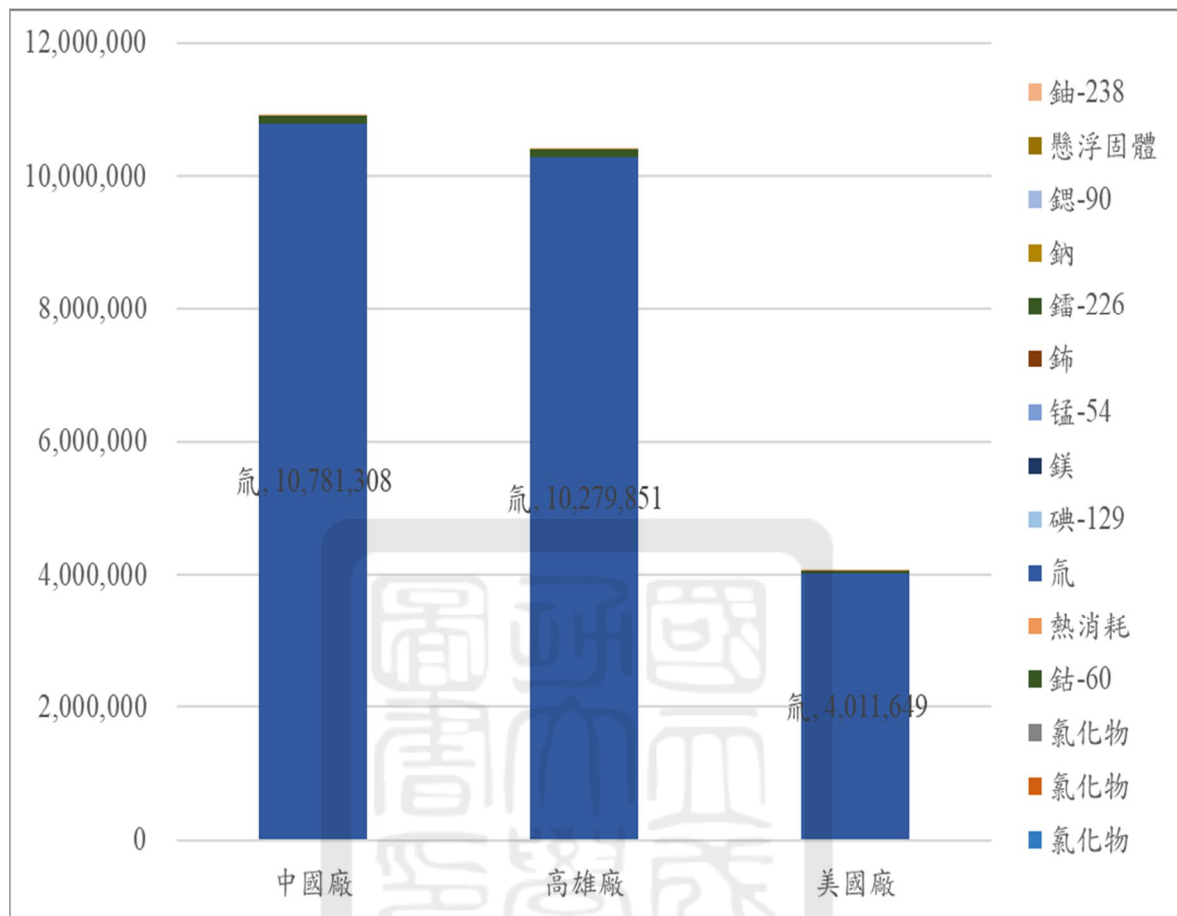


圖 4-19 水汙染物質盤查圖

如圖 4-20 使用研究方法 IPCC 2013 GWP 100a V1.03 分析各廠之單項得點結果，盤查 T Corp. 石化物流成品配送總量從高雄廠、中國廠及美國廠至歐洲-比利時物流倉儲中心-安特衛普港，配送過程中所產生土壤汙染的有害物質，盤查海洋運輸過程中有毒的重金屬或難分解的化學物質所形成土壤汙染的來源。從以了解各廠於 3 年間總土壤破壞的影響，其中氮的排放，於 3 廠間較高於其它物質，且中國廠在氮排放 0.66kg 高於高雄廠氮排放 0.63kg 及美國廠氮排放 0.24kg。

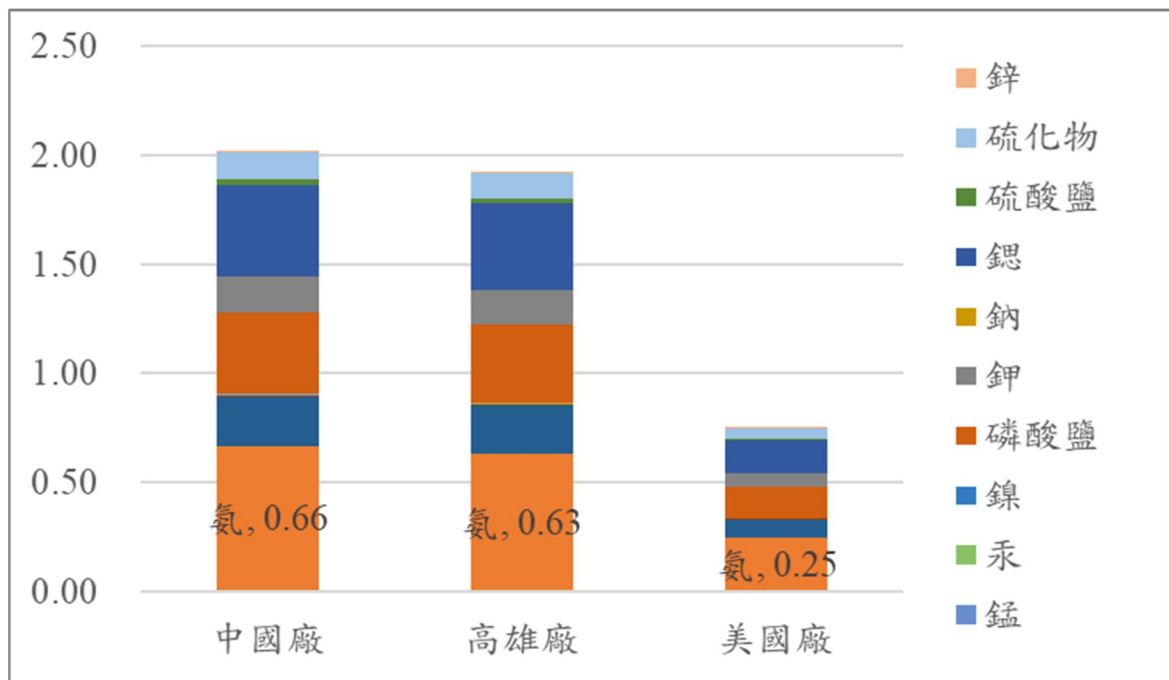


圖 4-20 土壤汙染物質盤查圖

C. 假設情境 II 小結

上述 4.2.2.1 與 4.2.2.2 分別探討在 2019 年至 2021 年間，3 年各廠總出貨量都是滿櫃狀況下，假設情境 II 下之海運物流配送盤查，由中國廠、高雄廠、美國廠供貨到歐洲-比利時物流倉儲中心，使用海運運輸盤查，本節將上述結果盤查之結果做比較，做為提供 T Corp. 選擇對環境較友善之供應生產廠，總體來看 Ecological footprint 和 IPCC 2013 GWP 100a V1.03 的結果。Ecological footprint 盤查結果顯示，中國廠 3 年石化成品物流配送總量，總排放的二氧化碳排放汙染高於高雄廠和美國廠； IPCC 2013 GWP 100a V1.03 研究結果，亦指出 T Corp. 石化成品物流配送，海運運輸過程中，中國廠 3 年間出貨總量配送至歐洲-比利時物流倉儲中心，所造成對空氣、水及土壤所造成的影響，如圖 4-18，氬-85 的 272,710,844Bq 惰性氣體排放為人體所不能吸收，間接造成人體健康風險，如圖 4-19 氬排放 10,781,308 Bq 汙染水中狀態，對自然環境構成危害，海洋也會因此遭受汙染，造成海洋酸化，進而可能會對整個海洋生態及人類社會都造成嚴重的衝擊重創漁業及海洋生態，如圖 4-20，氮排放 0.66kg 於環境中的空氣、食物。水和土壤，如遇酸雨可導致土壤加速酸化，改變土壤結

構，導致土壤貧瘠化，這些氮氧化物在接觸到水分子後會生成硝酸或是硝酸鹽，對土壤的酸化、臭氧的破壞、以及水質的優養化有極大的破壞。故建議 T Corp. 不考慮由中國廠供貨至歐洲-比利時物流倉儲中心。



第五章 結論與建議

本研究以 T Corp. 以單一次出貨，1 個四十呎超高貨櫃一次配送滿櫃角度及 2019 年間至 2021 年間共三年間，各生產廠皆為不同供貨數量，探討當貨櫃滿載 T Corp. 石化成品時，從三個生產廠高雄廠、中國廠及美國廠的裝貨港，經由海運貨物配送到歐洲物流倉儲中心所在的卸貨港對環境之影響，並探討 T Corp. 對環境衝擊最大之生產廠的物流配送之氣體盤查。試圖從因應全球氣候變遷及為掌握石化產業高值化低碳時代轉型來量化潛在環境衝擊，並分析比較三廠間物流配送至歐洲-比利時物流倉儲中心，對環境所造成衝擊的差異。

5.1 結論

本研究假設 2 種情境，包含各生產廠單次單趟 1 滿櫃出貨及各廠 3 年總出貨量，2 種情境分析不同生產廠對環境之影響。主要分析方法 ReCiPe 2008 endpoint、BEES (Building for Environmental and Economic Sustainability)、Ecoinvent 2.0、IPCC 2013，把衝擊歸納為資源可用性損害 (RA)、對人類健康的損害 (HH)、對生態系統多樣性的破壞 (ED) 三大範疇。

情境 1 以各生產廠單次單趟 1 滿櫃出貨到歐洲-比利時物流倉儲中心為例，中國廠、高雄廠及美國廠，各廠單次單趟滿櫃數量皆為 14.56 噸，且物流配送距離皆不同，高雄廠物流配送到歐洲物流倉儲中心所在的卸貨港-比利時安特衛普港，單次物流配送距離為 11,344 海里(約為 21,009 公里)，中國廠物流配送到歐洲物流倉儲中心所在的卸貨港-比利時安特衛普港，單次物流配送距離為 11,908 海里(約為 22,054 公里)，美國廠物流配送到歐洲物流倉儲中心所在的卸貨港-比利時安特衛普港，單次物流配送距離為 4,521 海里(約為 8,373 公里)。在一次物流階段，主要以高雄廠石化成品物流配送至歐洲物流倉儲中心-比利時安特衛普港對環境影響較中國廠和美國廠大，主要原因在於海運運送途徑之影響，而欲降低汙染對環境的災害，必須從整體現行三廠供貨庫存配置至歐洲

物流倉儲中心-比利時安特衛普的庫存配置著眼，降低高雄廠所生產的石化成品配送至歐洲物流倉儲中心-比利時安特衛普之庫存比率。

情境 2 中，以 2019 年到 2021 年間總出貨數量，3 年總出貨數量與總配送距離，分別從三個各生產廠高雄廠、中國廠及美國廠物流配送，經由海運配送至歐洲物流倉儲中心-比利時安特衛普卸貨港對環境之影響。由於各生產廠總出貨數量較單次單趟滿櫃多和總累積海運配送距離較單次單趟長，使得 3 年總配送對環境的污染較單次單趟顯著。結果顯示 3 年總配送對環境影響差異大，主要原因是物流配送之次數多及距離長。整體來看 3 年總配送在海運盤查階段，各生廠間相較下，中國廠所配送至歐洲物流倉儲中心-比利時安特衛普之石化成品造成對環境之影響較為劇烈，欲降低汙染對環境的災害，必須從降低由中國廠供應之物流配送數量著手。在企業呼應格拉斯哥氣候峰會 COP26 淨零碳排放目標，石化產業因應全球氣候變遷及為掌握低碳時代轉型的大經環境下，中國廠供貨至歐洲，所產生排放之空氣污染物的其中部份來物流配送中，所產生的廢氣，污染物依性質分成空氣狀污、水汙染及土壤汙染，空氣污染物前三大物質包括氫-85、氫-222、氫-133，水污染物前三大物質包括氫、鐳-226、銻-137，土壤污染物前三大物質包括氮、鋁、磷酸鹽及其他物質和能量或作用的總和等。故中國廠所生產的石化成品配送至歐洲物流倉儲中心-比利時安特衛普之成品物流配送比率，為盤查階段對環境污染的關鍵因素。

情境 1 和情境 2 在海運貨運盤查階段結果有所差異，情境 1 在單次單趟物流數量與距離盤查，顯示單次單趟物流由高雄廠供貨至歐洲物流倉儲中心對環境較劇烈；情境 2 顯示在三年總量及總距離盤查下，顯示由中國廠供貨至歐洲物流倉儲中心對環境較劇烈。故整體來說，由此二種假設情境可以分別了解配送數量、配送次數以及配送之距離與環境受到破壞衝擊之影響程度有高度相關。所以如果要減少目前之配送模式對環境造成之汙染，需從上述三者來改變，才能有效降低物流配送過程中所產生之汙染，並促使 T Corp. 降低本身營運的外在環境因素衝擊，加快導入 ESG 企業永續，更有效運用策略聚焦於有限資源保護地球，開創環境友善及低碳解決方案，強化供應鏈韌性效益極大化，逐

年強化營運防護措施，對全球生產廠及全球倉儲治理續航等綠色供應鏈也會產生前所未有的深遠影響。

過去多有研究特定產業相關之原物料階段、生產階段、物流運輸配送階段、配送運用、終端使用者使用階段及廢棄物處理階段，整理討論生命週期產品評估，本研究之獨特性在探討臺灣石化企業 T Corp. 於全球生產廠，經由不同途徑配送距離及次數海運配送石化成品，來進步瞭解對環境影響於不同生產廠之間的差異。此外過去研究探討運輸過程中所產生的污染主要以數學模型或是特定物質因素討論，本研究以 Simapro 圖表方式呈現研究結果，使企業經營管理階層者更容易一目了然。

透過單趟滿櫃以、總出貨數量及總海運配送距離，利用在生命週期評估分析之模式與情境假設的結合，建議 T Corp. 歐洲倉儲中心庫存配置以美國廠所生產之石化成品為優先考量，能有效降低貨品在海運配送過程中對環境之衝擊，也能降低高雄廠及中國廠因海運配送過程中對環境之損害。本研究認為以三年出貨總量及配送總距離為例，在本研究設定範圍之美國廠至歐洲物流中心距離最短，所供貨配送數量至歐洲比利時倉儲中心却遠不及高雄廠及中國廠，歐洲倉儲物流中心庫存水位應納入物流配送距離於配置三廠所生產之石化成品，建議 T Corp. 應調整歐洲物流倉儲中心所配置庫存，才能減少石化成品長距離配送。並且提出三廠在配送貨物時應該以貨櫃最大裝載成品貨量降低石化成品在海運物流配送過程中產生的環境污染達到綠色石化業，進一步降低污染排放量。

5.2 實務建議

本研究根據上述研究結果之結論，本研究提出以下建議：

1. 建議 T Corp. 將環境、社會和企業治理 (ESG) 因素融入於企業決策之中，外部成本與環境永續生態效益的理念，執行產品物流配送的生命週期評估

，將可以做為石化業高值化標竿領頭代表企業，及呼應 COP 26，2025 年淨零碳排的 COP 26，2025 年淨零碳排，真正做到永續經營愛地球的環保理念。

2. 根據 2019 年至 2021 年期間盤查，各廠配貨至歐洲倉儲中心數量，是以高雄廠及中國廠為主，建議 T Corp. 能提高美國廠配貨率，及降低高雄廠及中國供貨數量，進而降低長距離配送公里數，必能降低石化成品配送所對環境帶來的汙染。
3. 由於美國廠之配送距離，依 Ports.com 所測距離公里數，從美國廠-查爾斯頓港至歐洲物流倉儲中心-安特衛普港，裝貨港口至卸貨港口的距離為三廠內最短，距離 8,373 公里，具有運送距離上的便捷性，故鼓勵 T Corp. 考慮歐洲物流中心庫存配置時，當以美國廠所具的最短運送距離，為 ESG 石化企業永續發展，氣候及環境保護低汙染，企業負責任的配送生產產品，不影響到環境生態為首要考量達成企業全球永續經營。

5.3 後續研究建議

本論文之後續研究可朝下列幾個方向思考：

1. 本研究之結果未考慮單趟不滿櫃海運配送至歐洲物流倉儲中心情境，低估對環境之影響，建議後續研究可考慮不滿櫃海運配送情境，使研究更貼近業務銷售實況。
2. 本研究之資料蒐集主要來自於上市櫃公司公開財報資料，部份資訊因涉及公司機密或保密協定，不得揭露導致建立實務資料庫難度。在盤查生命週期評估往往受到資料侷限性之狀況下必須假設情境資料，卻使得資料來源不一致或是影響資料真實度背離。因此未來可以進一步與相關產業進行資料庫建立，更進一步到季度、年度相關產業資料庫，方能確認生命週期評估的不確定性。

3. 目前生命週期評估法，大多針對產品或產品製程進行研析，在石化業成品運輸配送的情境分析卻鮮少有，因此未來可往此產業面進行情境分析的案例研究，促使石化業之生命週期評估法更為完整完善。
4. 本研究使用 SimaPro 軟體資料庫依為研究評估依據，不同的評估軟體可能導出不同結論與建議，未來可朝研所其它有關生命週期評估軟體或衝擊評估模式比較，以利於更進一步進行生命週期評估之研究與實驗。



參考文獻

英文文獻

1. Alabdullatif, T. (2017). SABIC Green Logistics Systems & Profitability: To explore chemical industries green logistics and contribution to profitability with a particular case of SABIC. In.
2. Farradia, Y., Bon, A. T. B., & Rully, T. (2019). Environment Sustainability in Petrochemical Industry in Indonesia.
3. Heijungs, R., Goedkoop, M., Struijs, J., Effting, S., Sevenster, M., & Huppes, G. (2003). Towards a life cycle impact assessment method which comprises category indicators at the midpoint and the endpoint level. *Report of the first project phase: Design of the new method VROM report*, online: http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/publications/recipe_phase1.pdf.
4. Helm, D. (2020). The environmental impacts of the coronavirus. *Environmental and Resource Economics*, 76(1), 21-38.
5. Mina, H., Kannan, D., Gholami-Zanjani, S. M., & Biuki, M. (2021). Transition towards circular supplier selection in petrochemical industry: A hybrid approach to achieve sustainable development goals. *Journal of Cleaner Production*, 286, 125273.
6. Moharamnejad, N., Aghajani, M., Atabi, F., & Azarkamand, S. (2014). Evaluation of green supply chain management in petrochemical industry case study: Shazand petrochemical complex [Article]. *Advances in Environmental Biology*, 7(13), 4159-4164. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84891863543&partnerID=40&md5=8944043656d2acbd678ddbc8d79d2161>
7. Treitl, S., & Jammerneegg, W. (2011). The economic and environmental performance of distribution networks: A case study from the petrochemical industry.

中文文獻

1. 王振寰.(1995). 國家機器與臺灣石化業的發展.
2. 史惠慈.(2021). 跨國供應鏈調整下, 臺灣的影響與反思. 經濟前瞻(193), 23-29.
3. 李健暉.(2010). 台灣石化業之物質流分析. 中原大學國際貿易研究所學位論文, 1-115.
4. 杜英儀.(2003). 台灣石化業的挑戰與方向. 經濟前瞻(85), 37-40.
5. 林茂文.(2019). 邁向高值化與循環經濟的石化產業. 石油季刊, 55(2), 1-30.
6. 林華偉, 詹益亮, & 周正晃.(2019). 石化業的節能作法與成效. 燃燒季刊(107), 17-26.
7. 林巍.(2021). 氣候變遷發展推動綠色經濟. 臺灣經濟研究月刊, 44(1), 35-41.
8. 郁紅.(2016). 石化行业绿色发展行动计划公布在即 [Article]. 化工管理 / Chemical Enterprise Management(22), 15.
<http://er.lib.ncku.edu.tw:2048/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edscqv&AN=edscqv.669615361&lang=zh-tw&site=eds-live>
9. 郭怡君, & 盧宏昱.(2021). 精實物流對綠色供應鏈管理, 環境績效及企業競爭力的影響. 中原企管評論, 19(2), 40-57.
10. 陳正文.(2019). 石化產業轉型高值化之探討. 石油季刊, 55(3), 55-60.
11. 陳建任.(2020). <產業技術評析 - 創新與展示 - 經濟部技術處.pdf>.
12. 韓麗紅, & 曾金芳.(2007). 石油行业绿色供应链管理初探
13. 鄔德恕.(2013). [高值化] 是否為台灣石化產業未來唯一解決之道? 臺灣大學國際企業管理組學位論文, 1-77.
14. 劉南雄.(2006). 石化業原料轉運及風險共擔之效益分析 國立高雄第一科技大學-運籌管理研究所].
15. 劉德海.(2021). 氣候變遷、破壞性創新與日本—中東政經關係 [Climate

Change, Disruptive Innovation and Japan- Middle East Economic Relations].
Taiwanese Journal of WTO Studies(34), 41-77.

16. 蔡錫津. (2009). 溫室氣體排放管制趨勢下-台灣石化產業之發展策略. 政治大學經營管理碩士學程 (EMBA) 學位論文, 1-103.
17. 賴宗福, & 張之樺. (2010). 環保與經濟雙贏. 科學發展月刊, 455, 28-35.
18. 瞿宛文. (2001). 全球化與自由化之後的台灣石化業. 台灣社會研究季刊 (44), 13-47.

