



中興工程顧問 數位轉型 輔助 淨零轉型 之現況與展望

黃琬淇* / 中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 副經理

廖翊含 / 中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 工程師

吳中期 / 中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 工程師

許睿叡 / 中興工程顧問股份有限公司研發及資訊部 工程師

嚴世傑 / 中興工程顧問股份有限公司 執行副總經理

繼我國於 2021 年呼應國際趨勢宣示 2050 淨零轉型目標並將之入法，從而推出一系列相應管制措施至今，百工百業無不面臨衝擊與挑戰，公共工程各界亦然。中興工程顧問早在 2009 年即投入公共工程節能減碳議題之研發與實作，並在數位轉型尚未成為潮流時，即推出平台支援相關經驗數據的蒐集與處理，進而得以與近年公司推動數位轉型而理出的知識管理三迴路框架及內部 Single 搜尋引擎相串聯，系統性整合專業工程減碳策略與盤查資料並開發碳排量化輔助系統，協助正確發展階段性減碳目標與策略，期透過知識工具的共享與產業鏈攜手，加速達成國家淨零目標及永續發展。

我國二氧化碳排放量約佔全世界的 1%，雖因政治因素無法直接參與聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC），但在經濟共榮發展與社會道義責任的綜合考量下，我國政府與民間團體仍積極主動參與各年度締約國大會（COP），並針對各項國際管制策略與減量目標等共識作為，對應進行國家策略與目標之研訂。伴隨 2021 年總統響應國際趨勢，宣誓臺灣 2050 淨零轉型目標後，國內各界現正再次開展一系列淨零轉型、落實永續發展的具體作為，包括法規公告：2023 年 2 月公告氣候變遷因應法、組織改制：2023 年 8 月環境部揭牌、成立專責單位「氣候變遷署」，以及中央與地方各機關紛紛響應臺灣 2050 淨零排放路徑及策略，發展的各式治理目標與策略。當前迫切且較大幅度的轉變與中長程的規劃與作為，將會是影響下一世代生活與發展模

式的重要關鍵與作為；也因此，公共工程相關管理機關與上下游產業供應鏈該如何面對與妥適銜接這一波淨零轉型，實為近期極為重要的課題。

以公共工程為主體推動節能減碳、落實環境保護，協助國內綠色產業發展的觀念，其實早在 2009 年就先有一波開展，只是用詞並非現在耳熟能詳的淨零碳排。先是 2009 年 3 月就有當時的行政院長在的「全國公共工程會議」中指示：編列「振興經濟擴大公共建設投資計畫－落實節能減碳執行方案」，要求公共工程預算必須含有至少一成的綠色內涵經費；同年 4 月更進一步指示在「振興經濟擴大公共建設投資計畫」中，各項公共建設應有適當比例之經費採用綠色工法或綠色能源相關產品。2010 年行政院接續公告「國家節能減碳總計畫十大標竿方案」其中的第八項：節能減碳公共工程暨標竿型計畫，即責成公共工程委員會（以下簡稱工程會）建構公共工程節能減碳規範，從而

* 通訊作者，wanchi5926@mail.sinotech.com.tw

有內政部、教育部、交通部、經濟部、農委會及體委會就所轄工程特性訂定節能減碳參考原則。當時這一系列對於公共工程綠色內涵、綠色工法或能源經費佔比的要求，確實有引起工程建設應兼顧環保與節能減碳的關注與探討，但在實務推動上因仍缺乏工程碳排量化相關標準與管制目標等共識，而未能讓工程碳排如同工程品質和成本一般被有效控管。

有鑑於此，工程會在 2013 年除了依據「政府公共工程計畫與經費審議作業要點」函請各機關於研擬及審查新興公共工程計畫時，要求填具與檢視「公共工程先期規劃構想節能減碳檢核表」外，亦同步開始推動公共工程碳排量估算試辦作業，於 2013～2017 間陸續納管交通部、內政部、經濟部（水利署）與農委會（水保局）和教育部等單位所提報之特定工程，進行工程碳足跡量化方法與結果追蹤，希望能在各工程管理單位不限方法各自發想、同步推動碳排量化與檢核相關作為後，整合回饋出一套能通用於我國工程碳排量化與管理的架構，惟列管後期因國際與國家碳排管制機制亦陷入膠著，工程碳排管制未有明確定位且相關數據蒐集與資訊分析工具為真成熟，成果仍未能發酵並有效延續。

所幸，伴隨國際與國家淨零轉型目標與配套政策在 2021 年後越趨明確，工程會再在 2022 年 8 月公告「公共工程節能減碳檢核注意事項」，要求特定公共工程應依四階段作業原則辦理節能減碳檢核作業，包括：填具「公共工程節能減碳檢核表」、訂定符合機關工程特性之節能減碳檢核機制及設定減碳目標；並鑒於 2022 至

2023 年間經濟部水利署陸續出版「水利工程減碳作業參考指引」規劃設計篇^[1]、施工篇與營管篇^[2]，及於 2024 年 2 月成為全球首獲 PAS 2080^[3] 碳管理證書的國際水利工程暨國內政府部門，逐步展開工程輔助國家淨零目標的對應策略與具體作為^[4,5]。目前已知有：將以引導各相關部會機關訂定減碳指引、提供工程碳排計算工具及設置植樹專區的目標著手，配合修正相關規定的研議，預計於 2026 年中達成指引公布與工程碳估算系統上線等；茲總整我國公共工程碳管理歷史脈絡如圖 1。

相映於圖 1 總整摘要我國工程碳管理這過往逾十年的歷史脈絡^[6,7]，以伴隨國家重大公共工程建設發展為使命的中興工程顧問公司，一如既往在每個里程碑都從未缺席。早在 2010 年即承接經濟部水利署水利規劃試驗所專案，開始以工程全生命週期為考量，就水庫工程碳排量化與節能減碳策略進行評估研究^[8,9]，發展一系列水庫工程碳排放推估量測與調查方法^[10]，完成具工程生命週期考量的水資源開發專案碳管理指引草案^[11]。亦在 2011 年承接交通部運研所專案^[12]，為打造永續、低碳的交通運輸工程，研提一套適用於工程規劃設計階段的碳排放量評估方法與工具，而後相關成果經呈報交通部、行政院獲青睞的機緣下，於 2012 年為國內外以施工與營運階段碳排量（工程碳足跡）盤查效力，開啟迄今已十餘年的工程碳排量化數據蒐集的苦行僧之路。

要能形成團隊、影響機關與承包商、協理廠商投入工程碳盤查先行者之路，在具生命週期考量的碳排放國際標準未明（碳足跡規範僅為 PAS 2050^[13]，屬於英國



圖 1 我國公共工程碳管理歷程總整示意圖

暫行標準)的當時,其實也是一項挑戰不可能的艱難任務。但中興工程顧問團隊本於對淨零減碳目標的認同與期待,先是在研究案提出碳排量化方法與必要項目,再基於可行性規劃出當時國內外未見的工程碳足跡盤查作業流程與分工內容,最後參考國內公共工程三級品管架構,建構出工程碳足跡盤查工作與結果檢核機制,並以此發展出契約條文,讓參與工程計畫碳盤查工作的各級單位(工程計畫管理機關、監造單位、盤查輔導團隊、承包商、查證單位)都能於法有據、各司其職,逐階段達成工程施工階段碳排活動清查與排放量化的目標^[14-16]。從而輔助工程計畫所屬機關一路隨國際標準的從無到有,取得 PAS 2050、ISO/TS 14067^[17]乃至於 ISO 14067^[18]查證聲明,且所有盤查成果皆達合理保證等級,並切合當時環保署的相關管制與公告規範,茲總整計畫執行成果如圖 2。

然而,即便歷經重重考驗、從無到有乃至於順利完成工程碳盤查作業首例,讓工程施工、營運階段碳足跡量化方法得以驗證,執行流程與成果能夠透明公開為其他工程所借鏡,卻在現今時有營建領域先進的貶損言論。究其說法,主要是因為工程受多重環境因素影響,並非量產、重複性產製的產品,最終結果較偏向一次性數據而認為投報率過低所致。所幸,中興公司自承作第一個工程碳足跡盤查計畫時,即以數據系統化蒐集、作業平台化留存的構想,規劃出獨一無二的工程碳足跡盤查資料管理系統架構,並以盤查啟始會議必須搭配教育訓練的機制,讓盤查數據蒐集主要作業人員都能在工程初期,即逐漸熟悉系統操作與登錄作業事項、線上完成各自負責的工作,從而能隨工程推進持續掌握不同工程排碳項目的活動量,最終以系統輔助盤查過程資料及排

放清冊內容的驗證。

由 10 餘年後的現在,回顧如此不同於當(2012)年:尚有許多廠商以紙本或試算表檔案提交施工日誌的做法,其實也就是一種改善作業流程的數位轉型方案。這也使得當初執行盤查作業的成果不只是一個某工程計畫的碳足跡排放量,而是能夠跨越時空的重要工程盤查過程資訊,恰能與近期中興公司近年所推動之數位轉型諸多技術細節與框架相銜接,成為中興公司內部知識管理實案例的一環。以下即先以中興公司推動數位轉型成果與知識管理框架作為簡要說明,再就以相同的框架輔助過往碳管理相關資料重整、支援淨零轉型的現階段成果做說明。

中興公司數位轉型成果與知識管理框架

基於對數位轉型的必要性的認同以及人力物資的具體投入,中興公司於 2019 年成立全新跨部門、由經管會直接督導的任務型組織:BIM 及創新委員會,推動提升各部門數位創新應用的能力與方法。透過將數位創新應用方法列入部門年度品質管理目標及將相關平台的使用納入獎勵等多管齊下、軟硬兼施的制度輔助,持續深化部門內的數位工具應用能力、部門間的專業技術數位整合能力,以及累積公司上下全體同仁的數位認同。從而將近期推動標準化、自動化、平台化、智慧化之重要工作成果彙整,在國內最具規模的數位轉型評選盛會、獲獎率不及 25% 的數位轉型鼎革獎連續兩年獲得六項入圍、五項獲獎的殊榮,得獎的主體含括領導人、企業整體、商業模式(設計作業、監造作業)及營運管理,為工程相關產業全方位推動



圖 2 中興工程顧問公司碳管理實績 (以工程生命週期為軸線綜整)

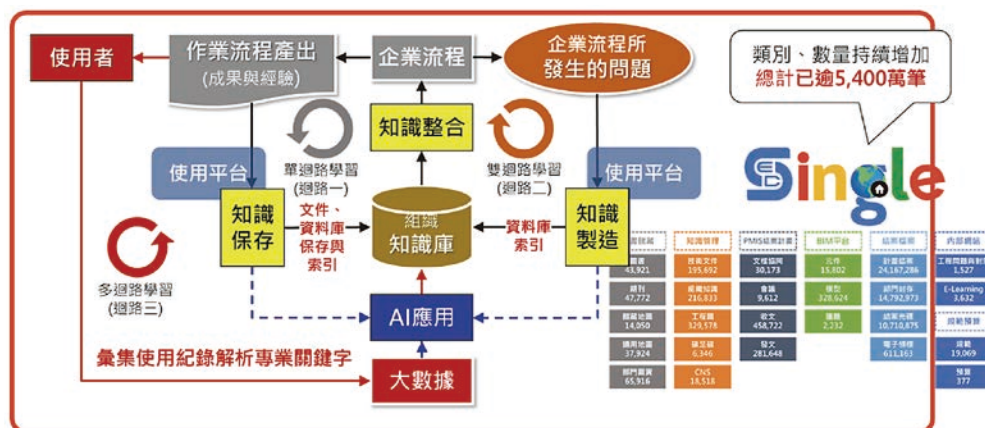


圖 3 中興工程顧問公司知識管理三迴路架構與 Single 搜尋引擎示意圖

(2024 數位轉型鼎革獎智慧管理轉型獎獲獎專案)

與落實數位轉型的實證。其中，中興獨有的知識管理三迴路框架（如圖 3）是為整合過往經驗與技術的關鍵架構，也是榮獲第四屆數位轉型鼎革獎智慧管理轉型獎項、本研究應用於開發淨零轉型輔助系統的依據。

中興過往 30 年執行各式工程專業技術服務的經驗與成果，都有因應時空背景條件，以當時可行的典藏技術進行最佳的保存與建檔，一路由複印紙本、掃描建檔乃至於現今各型式電子檔留存。然而，知識與資訊的價值不僅是有留存，而是要能夠被有效應用。為此，除了透過平台輔以流程改善，幫助無痕收存自產及外部回饋的資訊之外，中興嘗試建構出可蒐集使用者資訊應用軌跡的第三迴路輔助系統，自主設計與開發出內部搜尋引擎，並以 Single 為其名代表這是查知中興公司數位資源單一的（single）入口同時表達向搜尋引擎龍頭（Sin（otech + goo）le）致敬之意。

歷經近三年餘的努力，藉此活化累積的內部數位資產從一開始的近千萬筆，迄 2024 年中已來到五千多萬筆，可索引內容包含：圖書及期刊館藏、技術文件、工程圖冊、工程問題與對策、部門組織知識、PMIS 計畫文檔 / 會議管理 / 收發文、部門封存及結案封存、碳足跡資料庫等各類型資料，讓公司內部各不同年齡層、不同資歷與不同專業面向的工程師們，都能有效查找、靈活運用公司與部門知識，並藉此留存相關查找邏輯，作為未來訓練各專業技術工程師智慧助理的基礎。

中興公司切合淨零轉型目標的數位轉型作為

如同前章中興公司知識管理三迴路的資訊蒐集與供應邏輯，中興公司內部因自發響應國家 2050 淨零，於 2022

年即究未來工程計畫生命週期各階段可能為此面臨的挑戰啟動研發專案，開始致力與過往碳管理經驗資訊的整理與活化工程：第一步就是整合過往碳管理相關作業的數據資料。以支援施工階段的工程碳盤查系統及營運階段的組織型盤查系統為例，過往主要是因應個案工作執行流程與支援計畫成果交付所需而開發，故資料流與資料儲存處理架構都是以單一系統運作的最有效性為考量（如圖 4 右）。

為了能從這些各自運作專案碳盤查資訊系統中擷取最重要的資訊資源：係數資料，從而讓它們可再次被應用於其他工程階段的技術服務工作，中興公司研發及資訊部首先利用標準化的概念重整輔助查證的各式盤查係數，並解析國內外公告碳足跡係數資料的屬性欄位，取關鍵聯集建置一套中興的工程碳足跡係數詮釋資料（meta-data）欄位，讓來自不同來源的係數都能有套一致的描述方式，在 Single 中為工程師所查詢與了解。

除了活化原本分散於施工、營運碳盤查系統中的數據，中興公司也秉持碳排資訊應回饋於規劃設計階段，才能更有效做好工程排碳控制、提升碳管理效益的核心理念，設計開發碳排估算輔助系統。基於前段新開發完成、可有彈性整合內外部工程碳足跡係數的資料庫系統，配合目前在工程設計階段既有可取得的碳排活動數據估計值：預算書的各資源項目活動量，輔助有效估算工程計畫的生命週期碳排量，讓工程師能在有限的設計時程內可顧及專案整體的減碳成效、研提較佳的低碳可行方案（如圖 4 左）。

同樣基於知識管理第三循環：累積與活用使用者經驗的框架，中興在 Single 碳足跡係數查詢模組後，緊接開發碳排估算輔助模組，改善過往個案進行碳估算經驗僅為一次性成果交付的狀況，將經驗資訊儲存並轉而成為能供其



圖 4 中興公司數位轉型作法輔助淨零轉型的實作示意圖

他計畫參考之資訊。進而以能明顯越趨減輕未來執行工程碳排排估算的壓力，以及間接輔助工程淨零任務為誘因，促成公司內各專業預算工程師基於其對於各訂工程工項編碼的了解，藉由跨部會的相互溝通與協商，研訂中興工料分析手冊。

藉由可持續擴充的工程碳排係數資料庫、與精進版碳排量化輔助工具的開發完成（如圖 4 中），中興公司將透過資源項目與碳足跡係數間所形成連結的可追溯性，逐步達成可有效評估、未來可自動化，進而再向工程生命週期的前段、輔助可研及基設階段評估方案碳排量的目標，落實以數位轉型做法支援淨零轉型作為的發展途徑。

中興公司工程碳管理系統架構

比照面對數位轉型挑戰時採取的務實累積、穩健成長策略，對於一樣是需求與要求同時快速發生，必須立即面對且採取作為的淨零轉型挑戰，中興公司亦積極整合公司跨部門之力，於 BIM 及創新委員下設置淨零轉型策略小組，促成環工、路工、園區、軌道、建築、機械工程與資訊部門的協力，強化內部淨零共識；透過內部工程碳足跡係數查詢平台與碳排估算輔助平台的操作教學課程的辦理及外部 PAS 2080 企業專班的導入與選訓，在提供碳排量化與減碳策略作業支援工具的同時，於公司內形成數位認知與碳管理目標與策略的認同，讓轉型之路得以持續落實，以衝擊較小的漸進式帶動所有同仁、甚而影響產業鏈能一同進入可達成全球、國家、企業永續的發展模式與新世代。

也因此，如同以中興公司數位轉型的重要資訊蒐集觸手：計畫管理資訊系統（Project Management

Information System, PMIS）推出公益版，中興公司在 2024 年 10 月下旬辦理的中興集團年度研討會「公共工程系統性減碳作為研討會」上亦推出工程碳排計算器推廣版^[19]：將如何以 PCCES 預算書自動連結碳足跡係數、完成設計階段工程碳足跡估算工作，以及現階段有初步成果的軌道工程、園區及城市開發與高速公路工程等工程碳排概算工具，直接以系統化的方式線上提供給對此議題有興趣的各界人士了解測試，期盼能藉此拋磚引玉，吸引並帶動更多投入工程輔助淨零減碳議題的關心、意願與資源。

憑藉著對工程碳管理發展流程及工程全生命週期各階段可取得、分析資料的掌握與瞭解，中興公司現正規劃以更多跨階段、跨專業、跨資訊系統的資料串連與整合模式，匯集出兼具工程預算管理與碳排控制考量的系統架構如圖 5 所示，作為輔助形成工程碳管理決策如：碳管理基線確認、碳管理目標設定、碳管理策略制定與追蹤管考等的科學性基礎。

結論與展望

回顧近年全球所面臨的各式極快速且猛烈的變革衝擊，從新冠疫情帶來不得不的生活模式轉變，並牽動市場結構、商業行為的轉變，使企業必須正視數位轉型的必要，正值適應之際就又有生成式 AI 技術橫空出世且超高速進化中，如何妥適導入、應用與落地內化，再再都考驗著企業組織如何順應改變、維持韌性，找出適當定位進而尋求新的穩定發展模式。由過往至今可以看到的趨勢是轉型議題將沒有終點且持續延伸：從數位轉型到加入淨零轉型的雙軸轉型，再到

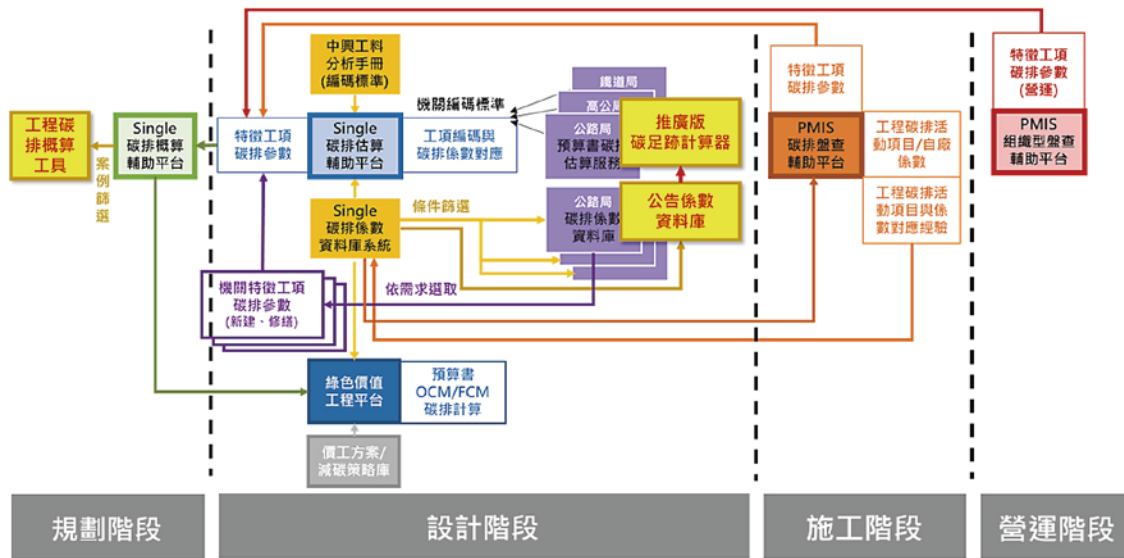


圖 5 中興工程碳管理輔助資訊系統架構規劃

又再加入更多自然、人文考量如自然解方、資訊安全與數位信任等所提出的永續轉型理念。為此，更多系統化的數據蒐集處理、資訊整合應用，與因時因時制宜的程式設計與開發等，將會是管控未知風險所必須做足的準備；正如同中興公司自主進行的工程碳管理系統研發工作，恰能適時接軌國家政策、自 2023 年起積極推動的我國工程碳管理進程一般。

展望未來，中興公司將持續以自身整合跨部門專業工程技術能力的成功案例為樣板促進經驗交流，期能與工程產、官、學各界夥伴攜手正面且務實地面對轉型壓力，進而克服轉型焦慮，在人力、經濟與環境條件都將更加嚴峻的未來，藉由工程的數位化與智慧化走出能實質有助於達成全球氣候目標、輔助國家淨零永續之路。

參考文獻

1. 經濟部水利署，民國 111 年，「水利工程減碳作業參考指引—規劃設計篇」、「水利工程減碳作業參考指引—施工篇」，出版品。
2. 經濟部水利署，民國 112 年，「水利工程減碳作業參考指引—營管篇」，出版品。
3. PAS 2080 (2023). Carbon Management in Buildings and Infrastructure. (建築與基礎建設碳管理國際標準)
4. 行政院公共工程委員會，民國 113 年，「公共工程減碳策略規劃」，公共工程系統性減碳作為研討會 Keynote 簡報資料。
5. 英國標準協會台灣分公司，民國 113 年，「PAS 2080 建築與基礎建設碳管理國際標準推動進程與實例」，公共工程系統性減碳作為研討會 Keynote 簡報資料。
6. 行政院公共工程委員會，民國 97 年，「永續公共工程—節能減碳政策白皮書（核定本）」。
7. 行政院公共工程委員會，民國 99 年，「公共工程納入節能減碳與綠色能源之策略及作法」，簡報資料。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 100 年，「碳排放資訊於水資源有效用之評估」，計畫期末報告（中興工程顧問公司執行）。
9. Wang, Y.H., C.Y. Su, W.C. Huang, Y.C. Kuang, Y.D. Huang, W.L. Wu, C.P. Chu and Y.J. Chung, (2014). A Preliminary Estimation on Carbon Footprint of Raw Water from the Reservoirs for Domestic Use in Taiwan, British Journal of Environment and Climate Change, Vol. 4, No. 1, pp. 45-65.
10. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 102 年，「水庫系統碳足跡與水資源工程溫室氣體排放量評估（總報告）」，計畫期末報告（中興工程顧問公司執行）。
11. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 104 年，「水資源工程計畫碳管理制度研究（總報告）」，計畫期末報告（中興工程顧問公司執行）。
12. 交通部運輸研究所，民國 100 年，「交通運輸工程碳排放量推估模式建立與效益分析之研究」，計畫期末報告（中興工程顧問公司執行）。
13. PAS 2050 (2008). Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. (英國商品和服務生命週期溫室氣體排放評估暫行標準)
14. 邵厚潔、李民政、李怡德、黃琬淇，民國 101 年，「碳管理構想與碳足跡盤查—以 9 線蘇花公路山區路段改善工程作業執行現況」，土木水利，第三十九卷第六期，第 35-41 頁。
15. 黃琬淇、夏明勝、許珮蒨、周武雄、曠永銓，民國 102 年，「蘇花改計畫工程碳管理制度之發展與應用」，工程，第八十六卷第六期，第 44-50 頁。
16. 黃琬淇、林彥宇、周武雄、許珮蒨、楊伊萍，民國 103 年，「道路工程碳足跡盤查規範制度」，中興工程季刊，第 125 期，第 86-94 頁。
17. ISO/TS 14067 (2013). Greenhouse gases—Carbon footprint of products—Requirements and guidelines for quantification and communication. (溫室氣體—產品碳足跡—量化與溝通要求與指引國際標準技術文件)
18. ISO 14067 (2018). Greenhouse gases—Carbon footprint of products—Requirements and guidelines for quantification. (溫室氣體—產品碳足跡—量化要求與指引國際標準)
19. 中興工程顧問股份有限公司，民國 113 年，「SINOTECH 工程碳排放估算器」，線上系統，<https://carboncalc.sinotech.com.tw/>。