

水資源工程計畫碳管理制度研究(1/2)

A Study on Carbon Management System of Water Resource Engineering (1/2)

主管單位：經濟部水利署水利規劃試驗所

朱敬平¹

黃育德¹

黃琬淇²

Chu, Ching-Ping¹

Huang, Yu-De¹

Huang, Wan-Chi²

¹財團法人中興工程顧問社

²中興工程顧問股份有限公司

摘要

本研究針對國內水資源開發工程專案，以「全生命週期」之概念研擬碳排放管理制度。經濟部水利署近年來積極就氣候變遷對水環境的衝擊調適與減排進行相關策略研究，期望藉由擬定相關碳管理政策，減緩氣候變遷對水環境之衝擊。經濟部水利署水利規劃試驗所於民國 99 年起開始針對水庫系統，進行一系列的水體與非水體碳排放調查，以及水庫全生命週期碳排放評估計畫（以下簡稱「前期計畫」），本研究為延續前期研究之調查成果，建構水資源工程計畫碳管理制度。本研究同步蒐集國內外各種應用於水利設施之碳排放減量方法，評估水庫設施轉型為低碳設施方案可行性，並以案例水庫為對象，推估其潛勢減碳量。

關鍵詞：水資源工程、碳管理、基線、產品類別規則、碳排放減量

Abstract

This study has drafted the carbon emission management system for the water resource engineering, mainly the development of a water reservoir construction works based on the concept of the life cycle. Water Resource Agency (WRA) is devoted on the relevant strategies of climate change, including the adaptation on the possible impacts on the aquatic environment, as well as the carbon reduction, so that the impacts can be reduced as much as possible. Water Resource Planning Institute (WRPI) of WRA has studied the carbon emission of the current water reservoirs since 2010, on both the aquatic and non-aquatic parts. The carbon emission in the entire life cycle of carbon emission of the reservoir has also been estimated. Following the aforementioned results, the study attempted to establish the carbon management system for the water resource engineering, and kept reviewing the literature of the carbon reduction methodologies globally. We also evaluated the potential that the hydraulic facilities could be transformed as a low-carbon field. Several reservoirs

Keywords : Water resource engineering, carbon management, baseline, product category rules, and the reduction of carbon emission

一、前言

隨著全球氣候變遷造成環境影響及變異，致使溫室氣體的排放與管制，成為近來國際間共同探討的焦點，由於氣候變遷已是不可改變的事實，世界各國氣候變遷的解決之道主要採取減緩 (Mitigation) 策略與適應 (Adaptation) 策略。減緩策略是以節能減碳、節約能源、發展綠色能源等方法，達到減少能源消耗、降低碳排放之目標；適應策略則是面對氣候變遷的發展情勢，透過災害風險管理方式，調整自然與人工系統而增加對災害的適應能力。水資源相關設施為達到「與氣候變遷共存」之目標，首先需透過有效的碳管理模式，了解各設施範圍內的碳排放量情形，藉以擬定有效的減碳策略，並強化與調整水利建設的適應能力，同時於建設過程中掌握各階段的碳排放情形，思考利用更有效的低碳工法與原料，配合國家政策，發展低碳水利產業，以符合未來節能減碳的趨勢。

為延續並系統性整合水利署相關研究成果，本研究遂以型塑水資源工程計畫碳管理制度為主題，細部地探討工程相關碳管理規範與方法。考量目前國際間因應氣候變遷策略之兩大主軸：減緩與調適考量下，欲兼顧調適與減緩兩種面向、避免在兩者間顧此失彼，關鍵就在於能否形成一套具整體性、可協助權衡開發計畫（包括調適計畫）碳管理成效的制度。水利署自民國 98 年起積極規劃推動相關科研與調適計畫，至民國 102 年底已完成第二階段，對水資源管理、洪水防護、土砂管理、海岸防護、水文情境與知識管理等主題完成 54 項研究計畫；並於民國 103 年開始「氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究計畫」第三階段計畫，將本研究納入為子計畫之一。

二、研究方法與執行成果

2.1 基本資料蒐集與探討

基本資料蒐集主要分為國內外水利工程碳管理制度發展，以及碳權與碳交易發展兩部分。在國內外水利工程碳管理制度發展方面，本研究蒐集英國、法國、日本、韓國等水利工程排碳與減碳相關文獻，以及我國重大公共工程碳管理制度與案例。綜整觀之，碳管理制度的相關文獻或發展歷程可概分為個案評估結果、方法工具建置與標準作業原則建立三大類；而水規所至今的一系列相關研究其實已兼具三種成果。本計畫工作內容及依循此原則，以歷年成果為基礎，加強規範與作業程序的探討，具體形成水庫碳管理制度之重要基礎。

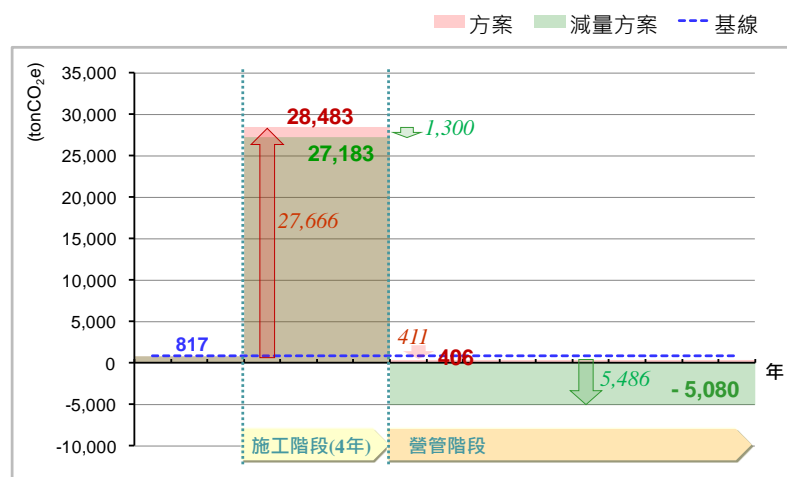
在國際碳權與碳交易制度發展方面，近年來許多工業國家已陸續採用或啟動規劃碳排放交易制度，作為溫室氣體減量工具，歐盟於西元 2005 年開始實施 ETS 交易制度，成為全球第一大的碳交易市場；然而因國際間碳排放減量趨勢未如預期，無法順利達到京都議定書之減排目標，碳交易市場價格也有逐漸下滑之趨勢，因此世界各國碳交易市場有逐步轉向「地方性」碳交易市場的趨勢，在碳市場機制可能會脫離聯合國架構的情況下，台灣或能透過與國際同步發展新市場機制的方式，爭取到雙邊或區域性合作的機會。而我國因應國際節能減碳趨勢，目前已提出溫室氣體減量法（草案），依據環保署規劃，國內碳權額度管理機制將透過國家溫室氣體登錄平台、交易平台與境外碳權三部分

進行管理，持續整合國際間授權認證，建置本土化碳權管理機制，並同步推動國際認可。

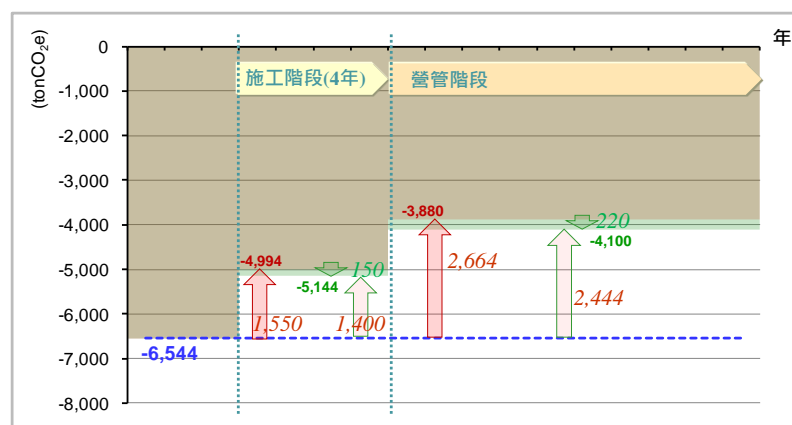
2.2 水資源開發計畫碳管理制度建立

2.2.1 基線與專案碳足跡及減量方案評估原則與程序

基線為碳管理或碳排放減量方案訂定時，首要建立的一項共同參照基準值，用以客觀評估碳排放增量與減量計畫之可能效果，為碳管理制度中發展減量計畫的第一步。依循文獻回顧結果與我國現行環境影響評估法規考量，本研究提出共三種基線設定方法，並列舉評估目的、時空範圍、功能、資料可取得性及評估程序難易度等項目進行評估後，並建議「以開發計畫環境影響評估範圍為空間範圍考量、工程開始前的排放狀況為基線」，作為研訂基線與減量方案碳足跡評估原則與標準作業程序之依據。此外，本研究就水庫開發條件與特性，建議以「人為活動」及「自然環境」兩面向作為基線、專案碳足跡及減碳措施量化的原則。本研究以天花湖水庫為例，完成基線、專案碳足跡及減碳措施量化之結果如圖 1，顯示營管階段人為活動部分的碳減量效益，將可有效平衡營管階段的碳匯損失而達到碳中和，惟計算過程中，活動量因參考設計值與前期研究調查數據結果，存有部份不確定性之假設。



(a) 人為活動碳排放變化



(b) 自然環境碳排放變化

圖 1、天花湖水庫工程基線、方案碳足跡及減量方案分析

2.2.2 水資源工程相關產品類別規則 (Product Category Rules, PCR)

產品類別規則為規範一個或多個產品申請第三類環境宣告 (EPD)，或進行生命週期環境衝擊評估過程中，應遵循的一組特定規則、要求與指引，為排碳量化之進階作業。本研究參考我國環保署民國 103 年 5 月公告之三項基礎建設碳足跡產品類別規則，提出以水庫 (含人工湖) 為標的之碳足跡產品類別規則草案初稿，並將水庫及人工湖工程項目，以生命週期分析如圖 2 所示。為利於水庫碳足跡產品類別規則探討結果的實務應用，本研究另回顧環保署推動制定產品類別規則的程序，並舉出後續推動過程最可能遭遇的問題在於內部共識形成與外部專家學者及利害相關者溝通協調，作為未來付諸實質審查、協商與公告之草案參考。

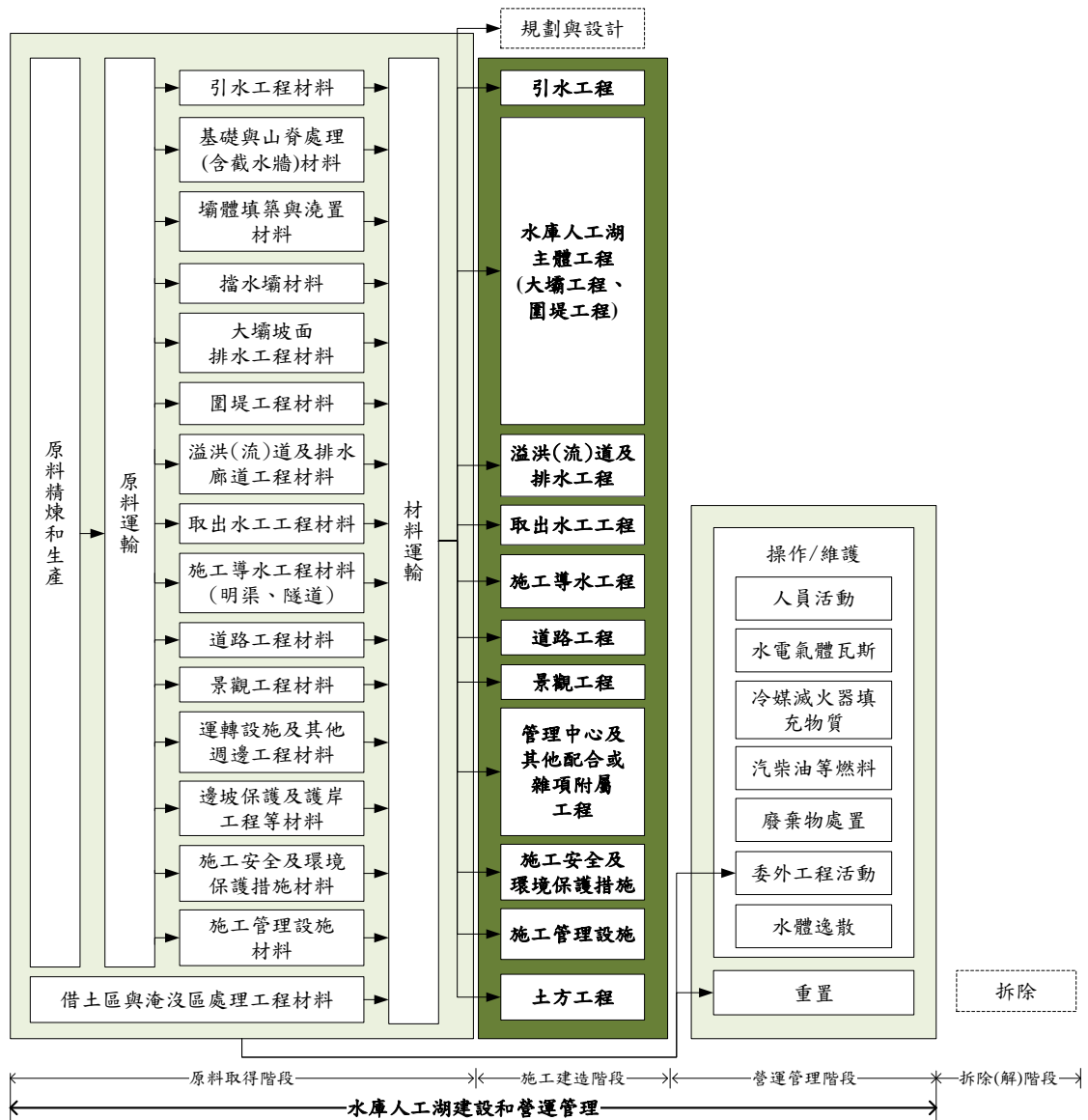


圖 2 水庫(含人工湖)之生命週期流程圖

2.2.3 施工及營運過程碳排放資料盤查與追蹤考核程序

本研究參考我國公共工程推動碳足跡盤查實務之經驗，提出新建工程推動盤查應分就工程招標前、施工前及施工中三階段，對應制定碳足跡盤查契約內容、建立碳足跡盤查計畫及實施碳足跡盤查日誌填報。另參考前期研究成果，針對營運中水庫進行碳足跡量化調查之經驗，營運中水庫管理單位除需就管轄範圍內相關操作維護與逸散等排放源活動量作清查外，亦需就委外維護工程碳足跡部分執行盤查。其中，操作維護等源於管理單位的排放活動項目因具有持續性，故建議參照環保署現行溫室氣體排放申報要求，以每季、年的方式彙整即可，但委外工程部分則應以同新建工程、以日誌方式紀錄彙整。

2.3 水利設施與相關用地轉型為低碳設施與其他相關減量方法學研究

綜整我國環保署認可之各項減量方法，水利設施與相關用地可採取聯合國氣候變化綱要公約 (UNFCCC) 提出之清潔發展機制 (CDM) 減量方法學中「使用再生能源」減碳行為，作為本研究減量方案，包含水力發電、太陽能發電、風力發電等三大類型；針對營運中的水利設施，除了前述利用再生能源取代傳統能源耗用外，本計畫建議可從辦公室營運管理、定期維護修繕工程以及遊客參觀與遊憩行為三方面，以節能角度進行相關碳排放管理，整體碳排放減量方法構想如圖 3 所示。本研究建議水利設施與相關用地轉型為低碳設施方案，若結合再生能源應用可分為兩方案：(1) 水庫等蓄水型水利設施，依範圍內建築物等設施條件，規劃增設太陽能或風力發電等再生能源設備為主；(2) 水庫上下游河川水體，可考慮於水頭落差較大處增設水力發電設備。

本研究針對三座案例水庫，包含翡翠水庫、鯉魚潭水庫以及南化水庫，進行水利設施結合再生能源設備之益本比評估與減碳潛勢分析，如表 1 所列。益本比評估方面，普遍設施之益本比皆小於 1，較不具財務可行性，惟碳排放減量行為在國際上定義屬於無悔 (No Regret) 措施，不能單純僅以成本作為考量因素，還需考量整體可產生的減碳效益，才可評估其設施之適用性；減碳潛勢分析方面，若不含小水力發電則翡翠水庫年減碳總量約為 10.97 噸二氧化碳當量、鯉魚潭水庫年減碳總量約為 53.53 噸二氧化碳當量、南化水庫年減碳總量約為 15.71 噸二氧化碳當量；若包含小水力發電，則翡翠水庫年減碳總量約為 4,217.97 噸二氧化碳當量、鯉魚潭水庫年減碳總量約為 9,527.53 噸二氧化碳當量，南化水庫目前暫無相關小水力發電計畫，部份如聯通管路小水力發電之應用，則尚有待評估。

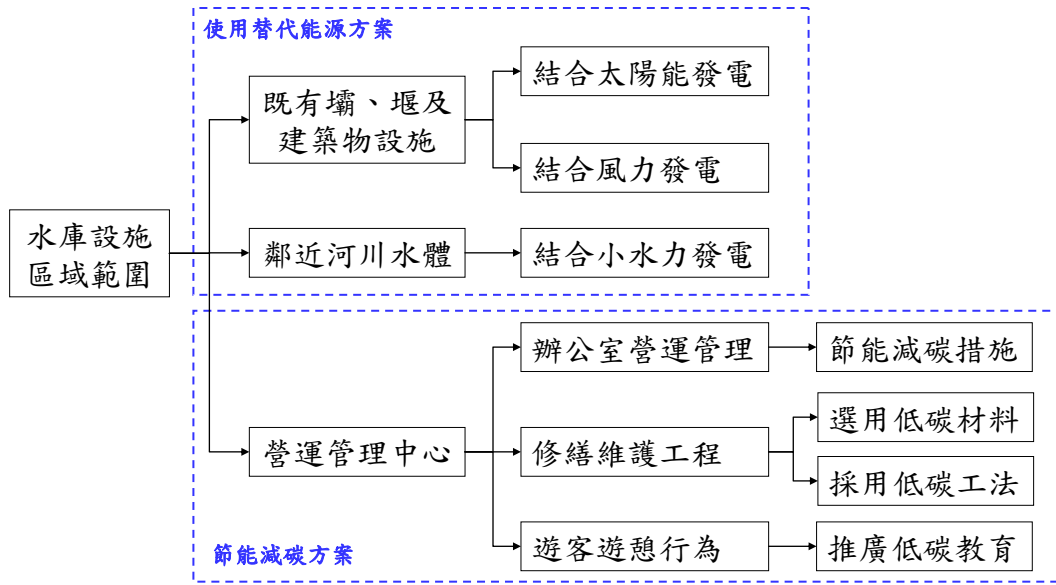


圖 3 碳排放減量方法構想

表 1 本研究案例水庫結合再生能源方案及發電效益評估與預期減碳潛勢

類型	項目	翡翠水庫	鯉魚潭水庫	南化水庫
太陽能發電	可設置場址	管理中心大樓	管理中心大樓、取水工建築物	管理中心大樓、混凝土橋
	裝置容量 (kW)	12	90.1	13.6
	年潛勢發電量 (萬度)	1.14	9.74	1.83
	減碳潛勢量 (tonCO ₂ e) ⁿ¹	5.97	50.81	9.54
	總工程費用 (萬元)	120	901	136
	年成本 (萬元)	10	75.1	11.3
	發電效益 (萬元) ⁿ²	7.33	62.5	13.1
	發電成本 (元/度)	8.75	7.72	6.21
益本比	0.73	0.83	1.15	
風力發電	可設置場址	翡翠大壩壩頂兩側	鯉魚潭大壩壩頂	南化大壩壩頂
	裝置容量 (kW)	60	33	75
	年潛勢發電量 (萬 kWh)	0.9587	0.5203	1.18
	減碳潛勢量 (tonCO ₂ e)	5	2.72	6.17
	總工程費用 (萬元)	960	528	1,200
	年成本 (萬元)	81.9	45.1	102.4
	發電效益 (萬元)	2.53	1.37	3.11
	發電成本 (元/度)	85.48	86.63	86.63
益本比	0.03	0.03	0.03	

表 1 本研究案例水庫結合再生能源方案及發電效益評估與預期減碳潛勢 (續)

類型	項目	翡翠水庫	鯉魚潭水庫	南化水庫
水力 ^{註3} 發電	參考方案	翡翠發電廠尾水再利用	水庫生態放流量再利用	—
	裝置容量 (kW)	2,790	4,200	—
	年潛勢發電量 (萬 kWh)	805.9	1,815	—
	減碳潛勢量 (tonCO ₂ e)	4,207	9,474	—
	總工程費用 (萬元)	69,580.8	21,415.4	—
	年成本 (萬元)	4,242.1	1,981.7	—
	發電效益 (萬元)	2,476.2	2,626.2	—
	發電成本 (元/度)	5.26	1.09	—
	益本比	0.58	1.33	—
	前期計畫水庫設施排碳量試算結果 (tonCO ₂ e/year) ^{註4}	450	183	204
	本計畫減碳潛勢總量估算結果-不含水力發電 (tonCO ₂ e/year)	10.97	53.53	15.71
	本計畫減碳潛勢總量估算結果-含水力發電 (tonCO ₂ e/year)	4,217.97	9,527.53	15.71

註 1：參考經濟部能源局公佈之「102 年度電力排放係數」為每度電產生 0.522 公斤二氧化碳當量。

註 2：發電效益參考經濟部能源局民國 102 年公告之「中華民國 103 年度再生能源電能躉購費率」。

註 3：水力發電方案，翡翠水庫參考台北翡翠水庫管理局(民國 102 年)「翡翠水庫再生能源發展可行性研究」總結報告，鯉魚潭水庫參考中水局(民國 95 年)「鯉魚潭電廠檢討規劃報告」。

註 4：水規所(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(2/2)」計畫試算之水庫設施範疇二碳排放量。

三、結論與建議

本研究依據水庫開發計畫的基線與方案評估屬於開發行為排放增減量評估，以及水庫開發計畫特有之碳排放增減量的來源特性，提出應就人為活動與自然環境兩部分設定我國水庫開發計畫基線之方法，並根據前述基線設定方法，與前期研究成果接軌，就規劃階段(同基線情境)、施工階段及營運管理階段，分別提出碳足跡增減量計算原則。此外，本研究蒐集天花湖水庫工程計畫現有相關調查資料，並據以完基線、方案與減量方案碳足跡試算與分析說明，結果顯示，天花湖水庫營管階段人為活動部分排碳量，將可因設置再生能源設施而持續產生減碳效益，具備平衡營管階段碳匯損失、達成營運期間碳中和的能力。

本研究已完成水庫開發計畫基線、專案碳足跡及減碳量化方法及計算原則初探，對於水庫(含人工湖)碳足跡產品類別規則、基線訂定方法的適用性、未來的中長程目標、減量計畫執行與追蹤方式，以及如何將碳中和理念務實地納入現行水資源開發與管理的決策過程等，建議透過協商會議或專家諮商會議，邀請水利署、環保署、工程會等相關權責單位，並參採環保署公告之碳足跡產品類別規則專家學者資料庫名單，邀集能夠協助水規所確認產品類別規則名稱及適用範圍等內容之學者專家，凝聚內部共識與外部專家意見，確保排放量化規則與減量目標的代表性與可行性，並落實碳管理策略的有效性，進而推動我國首次以水資源工程為對象之水庫(含人工湖)碳足跡產品類別規則。

參考文獻

1. 經濟部水利署，民國 99 年，「水利建設因應全球氣候變遷白皮書」。
2. 經濟部水利署，民國 99 年，「水再生利用碳盤查評估及減碳操作效能研究」。
3. 經濟部水利署，民國 100 年，「自來水事業碳足跡評估與減碳策略之先期研究」。
4. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 99 年，「天花湖水庫推動計畫(3)-水庫全生命週期於節能減碳之評估研究」。
5. 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利用之評估」。
6. 經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 101 年，「水庫系統碳足跡與水資源工程溫室氣體排放量評估(1/2)」。
7. 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(2/2)」。
8. 台灣電力股份有限公司，民國 100 年，「台電公司自願減碳專案及碳權交易推動計畫」。
9. 行政院環保署，民國 99 年，「溫室氣體盤查及登錄管理原則」。
10. 行政院環保署，民國 99 年，「產品與服務碳足跡計算指引」。
11. 行政院環保署，民國 100 年，「兩岸因應氣候變遷交流暨碳權交易合作評估」。
12. 行政院環保署，民國 101 年，「溫室氣體排放量申報管理辦法」。
13. 行政院環保署，民國 103 年，「溫室氣體法規動態新聞電子報導月報」第七期。
14. 行政院經濟部，民國 103 年，經濟部加工出口區節能減碳系列課程「碳勢場趨勢-CDM 及碳交易」。
15. 經濟部溫室氣體減量資訊網：< <http://www.go-moea.tw/index.asp> >。(瀏覽日期：2014/06)
16. 農業委員會水土保持局，民國 103 年，「因應氣候變遷防砂工法研發及整備技術探討」，出國報告。
17. 王瑞閔，民國 96 年，「臺灣國有林地森林碳吸存估算方法之探討」，國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系碩士論文。
18. 王義仲、許立達、林敏宜、林俊成、楊之遠、王培蓉、林志欽，民國 100 年，「空品區之多重環境效益評估」，99 年度環保署/國科會空污防制科研合作計畫期末報告(NSC99-EPA-M-009-001)。
19. 林俊成、鄭美如、劉淑芬、李國忠，民國 91 年，「全民造林運動二氧化碳吸存潛力之經濟效益評估」，台灣林業科學，第 17 期第 3 卷，第 311-321 頁。
20. 行政院環保署，民國 99 年，「碳足跡產品類別規則訂定指引」，線上文件：<<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/>>

PlatformInfo/FLFootProduct/PCRGuide.aspx>(瀏覽日期：2014/07)

21. 行政院環保署，民國 99 年，「開發行為溫室氣體排放增量評估及抵換規劃計算指引」。
22. 吳文騰，民國 100 年，「台灣的能源概況」，科學發展，第 457 期，第 123-126 頁。
23. 黃星滿，民國 100 年，日本「國內碳排放交易整合市場」的研究，經濟研究，vol.11，p.259-290。
24. 綠色生產力基金會，民國 103 年，「中國大陸碳市場發展現況介紹」，綠基會通訊。
25. 蔡宗憲，民國 97 年，「國際碳交易市場及各國溫室氣體管理現況綜覽與分析」，台灣綜合研究院。
26. 台北翡翠水庫管理局，民國 102 年，「翡翠水庫再生能源發展可行性研究總結報告」。
27. 台灣電力公司台灣地區水力普查工作小組，民國 84 年，「台灣地區水力普查總報告」。
28. 台灣電力股份有限公司，民國 89 年，「台灣地區小水力開發計畫（第一期工程規劃研究）」。
29. 經濟部水利署，民國 97 年，「河川及供排水渠道發展小水力發電潛能評估及可行性先期研究」。
30. 經濟部水利署，民國 98 年，「微型水力發電潛能調查分析及開發策略與相關配套措施之研究」。
31. 經濟部水利署中區水資源局，民國 95 年，「鯉魚潭電廠檢討規劃報告」。