

臺灣西濱快速公路碳足跡盤查作業實務及展望  
夏明勝<sup>1</sup>、林彥宇<sup>2</sup>、周武雄<sup>2</sup>、許珮蓓<sup>2</sup>、曠永銓<sup>3</sup>

摘要

為能完整掌握溫室氣體排放狀況，國際間碳排放評估漸由過去針對組織營運範圍內的直接及間接能源使用之碳排放，轉而強調生命週期考量，納入其他間接碳排放的「碳管理」概念。而世界各國執行碳管理的應用對象除了過去一般組織或產品外，近年工程碳排放也越來越受到關注。

臺灣公路總局為能掌握工程施作對環境所造成之影響，故以工程碳管理之概念，推動「西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程」進行工程碳足跡盤查，期望由執行現場盤查蒐集高架道路工程碳排放量，並建立本土化排碳係數，以完備臺灣道路工程碳管理制度及碳排放參數資料。本文就工程碳足跡盤查、查證相關規範進行簡要介紹，並以西濱快速公路工程碳足跡盤查之作業內容與經驗，說明道路工程碳足跡盤查實務工作之成果與展望。

一、前言

全球暖化已成為目前全人類所面臨的環境挑戰之一，而掌握人為溫室氣體排放量更是面對此項挑戰所需踏出的第一步。人為溫室氣體排放可依照來源分為不同部門，其中營造建築部門，特別是公路/道路營建部門，由於具有高耗能、大量能資源及土地消耗、大量廢棄物產生、服務壽命長等特性，故此部門所造成的人為溫室氣體排放(碳排放)相當顯著[1,2]，近年來國際間對於工程碳排放議題的關注與發展也越發蓬勃[3,4,5,6]。

臺灣地區為推動永續公共工程節能減碳，各級政府機關陸續制定相關政策與原則[7,8]。交通部運輸研究所 2011 年所進行研究[9]表示，由於缺乏本土化參數資料，且設計與施工之間存在落差，建議進行現場實際盤查與查證，建立基本排碳資料，整合各工程類型與碳排放量之關係，以作為公共工程碳足跡評估之參考。

爰此，臺灣公路總局先後推動蘇花改工程 [10]及西濱快速公路八棟寮至九塊厝新建工程之碳管理與碳足跡盤查計畫[11]，希望藉由實際盤查的成果，回饋到規劃設計階段之排碳量評估模式，並持續累積擴充本土化工程碳排放資訊，使臺灣地區之道路及其他公共工程碳管理制度及碳排放參數資料更為完備，進而有效制定減碳策略、達成減碳目標。

本文首先彙總國內外碳管理規範發展現況，以發展臺灣公路總局道路工程碳盤查作業之準則、規劃以及流程，並以西濱碳管理計畫(以下稱本計畫)為例，簡要說明碳排放評估之結果。

<sup>1</sup> 中華民國交通部公路總局副局長

<sup>2</sup> 中興工程顧問股份有限公司環境工程一部工程師

<sup>3</sup> 中興工程顧問股份有限公司環境工程一部技術經理

## 二、碳足跡盤查規範與準則

### 2-1 碳足跡盤查規範

PAS 2050 為最早定義碳足跡的評估規範，為英國國家標準或國際標準制訂前的暫行性標準，並於 2011 年 10 月份參考碳足跡國際標準草案(ISO 14067 (DIS)，推出更新之 PAS 2050(2011)[12]，作為國際標準草案通過前的碳足跡評估參考標準。其他碳足跡之評估方法與準則包括：日本於 2009 年公布依據產品碳足跡評估與標示之一般原則所訂之技術規範(TS Q0010)[13]；台灣環保署則於 2010 年公告產品與服務碳足跡計算指引[14]。

因各界對於條文內容遲遲未能達成共識，國際標準組織(ISO)直至 2013 年 5 月始以技術規範的型式公告 ISO/TS 14067：產品碳足跡量化與溝通標準原則、要求與指引[15]，此為目前國際最新的碳足跡評估依循之標準規範，惟其至 2016 年仍需複審，決定效期是否延長三年，或轉為國際標準、亦或作廢。

### 2-2 碳足跡盤查準則-產品類別規則(Product Category Rule, PCR)

碳足跡評估規範係說明所有產品提供原則性評估方法，而不同類型產品證明確、詳細之盤查方法，則應訂定產品類別規則作為盤查依據。產品類別規則係提供產品系統邊界，使產品碳足跡量具有一致性之規則要求。依據 ISO/TS 14067 要求，碳足跡量化應採用既有之產品類別規則或碳足跡產品類別規則。

考量國內外碳足跡規範對於參考國際間共通產品類別規則的要求，及確保本計畫執行之程序、方法與成果能夠與國際接軌並滿足碳足跡規範要求，本計畫除持續追蹤與分析國際間道路工程相關 PCR 之研訂進展與結果[16,17,18]，亦應用相關文獻回顧結果及現階段執行經驗，完成臺灣道路、橋梁工程碳足跡產品類別規則之擬訂[19]，期能更有效地符合規範需求、取得最具公信力之碳足跡查證聲明。

## 三、臺灣西濱快速公路碳足跡盤查作業規劃

### 3-1 工程內容概述

西濱快速公路八道寮至九塊厝新建工程位於台灣西濱快速公路南區路段，全長約 8.45 公里，分為 WH77-A 標鹽埕交流道新建工程、WH77-B 標七股溪橋段新建工程以及 WH77-C 標九塊厝交流道新建工程三標，其中 WH77-A 標尚包含台 17 線與縣 173 線路口改善工程。主要工程內容包含主線高架道路(預力箱型梁)、上下交流道(加勁擋土牆型式)、及原有側車道鋪面工程。

### 3-2 盤查作業執行及流程

本計畫工程碳足跡盤查組織架構及運作機制規劃如圖 1 所示，由主管方(工程主管機關/業主)督導整體碳管理工作之執行，輔導/查證方包括協助工程承包商盤查輔導及進行碳足跡查證兩單位，工區方則為直接參與工程主體建造之工區監造單位及承包商(含其分包廠商，以下統稱承包商)。道路工程碳足跡盤查之盤查、輔導及查證程序分階段說明如後。

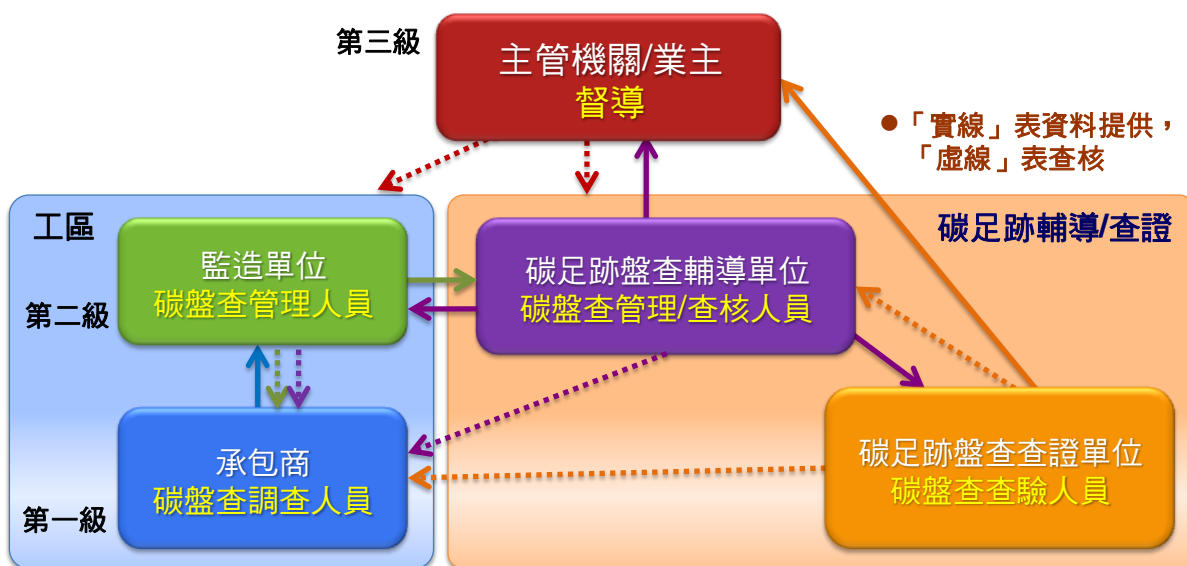
(一)準備作業：由輔導單位研擬盤查執行計畫書，並舉行教育訓練，開工前由承包商填報施工碳管理登錄清冊，監造單位進行初步核定及確認，輔導單位

根據基本資料開始進行排放係數之蒐集及率定，查證單位依據工程特性擬定查證計畫。

(二)工程執行期間(每年進行)

1. 每日：承包商蒐集施工過程中所有碳排放活動強度資料，並進行資料建檔及表單填寫。承包商完成資料填寫後，由監造單位初步評估內容之完整性與施工現況之一致性，並協助輔導單位查核、催繳承包商應提報資料。
2. 每月：輔導單位定期以書面核對及現場輔導方式蒐集及確認資料，提供資料蒐集諮詢服務，並釐清承包商及監造單位對於盤查資料填報之疑惑。
3. 每年：除工區內活動資料外，另蒐集非工區管理單位活動資料；輔導單位彙整相關資料為年度碳排放清冊，供查證單位進行預審。
4. 不定期：輔導單位與查證單位根據蒐集之原物料、能資源資料，進行對應之碳排放係數蒐集、率定，以進行排碳量計算。目前本計畫主要係數來源為生命週期評估軟體資料庫、國家公告碳足跡係數、以及國內外文獻。

(三)查證/發證：查證單位除針對盤查總結報告書進行書面審核外，亦進行工區的現場確認；若此過程中仍發現有缺失則要求相關資料必須在發證前完成改善，使完成查證作業，並核發查證證明書。



3-3 擴大盤查

由於本計畫不同工程標中某些工項使用同一機具供應商之吊車/吊卡車，而該機具供應商無法針對各工程標提供對應之能耗紀錄，故本計畫依據盤查標準中擴大盤查邊界方法，蒐集該公司所有燃料單據及出工紀錄，計算機具之單位油耗率，並依據機具於各標工程之工作時數進行各標排碳量之分配。表 1 即為 A 標吊車/吊卡車之擴大盤查初步成果，雖然較文獻值低，但此為累積近一年之實際盤查結果，應較符合本計畫實際情形，且可供其他工程評估之參考。

表 1 WH77-A 標 吊車/吊卡車擴大盤查油耗調查結果

類別	吊車			吊卡車					
	編號	1	2	文獻 <sup>20</sup>	3	4	5	6	文獻 <sup>20</sup>
平均油耗率(L/hr)	4.36	6.93	39.5	7.57	12.38	12.26	13.8	30.0	

### 3-4 供應商盤查

根據本計畫目前執行成果(見下節內容)，考量工程完整生命週期，工程材料的排碳量相當顯著，而目前本計畫所採用之材料碳足跡係數大多來自生命週期評估軟體資料庫，因此本計畫協商大宗材料之供應商進行其產品之臺灣本土碳足跡盤查作業，以提升本計畫盤查結果之數據品質。目前預拌混凝土廠已穩定配合執行盤查作業，蒐集資料包括預拌廠內機具/設備之能源消耗、預拌車之運輸能源消耗、原物料投入量等。另已初步與鋼筋供應商取得共識，目前正蒐集資料中，未來亦將視水泥、瀝青混凝土供應商配合意願進行盤查。

## 四、碳足跡盤查結果分析

### 4-1 碳足跡盤查計算結果

本節以累積進度最多且進行及完成之工程內容最豐富之 A 標，進行其 2013 年度盤查結果之分析說明。

A 標 2013 年所進行之工程項目包括：基樁、基礎及橋墩、上構箱梁、匝道護坡、加勁擋土牆、水刀拆除等，可將所使用機具與材料列於表 2(僅主要施工機具及工程材料)。另由於部份機具於數個工項中皆有使用、或用於零星工程，因此將該類機具碳排放歸類於通用/其他類別。

將整體排放量分為工程材料、機具、人員等等類別，可得占比分析結果如圖 2。本期間排碳量中工程材料占比超過 90%，其中鋼筋、混凝土為最主要之排放源(鋼筋 45.52%、混凝土 43.78%)，機具與運輸分別佔 3.87%、2.36%，人員逸散僅佔 0.03%。

另可將機具、工程材料之排碳量進行不同工程項目之佔比分析，可得各工項排碳占比，以及各工項中機具與材料排碳占比結果，如圖 3 所示。可知本段期間內 A 標排放量占比依序為箱梁最高，基礎及橋墩次之，基樁再次之，此排序呼應 A 標 2013 年以上構為主之施工進度；另外此排序與各工項 2013 年之鋼筋、混凝土用量排序相同，說明工程材料對於工程整體碳排放量有顯著的影響。

表 2 A 標 2013 年工項類別活動數據來源

工項類別	主要使用機具	主要使用工料
基樁	起重機組(含動力箱、搖管機)、挖土機、傾卸卡車、移動式起重機、鋼筋裁切機、彎紮機、電焊機、沉水泵浦、曳引車	結構用混凝土 210kgf/cm <sup>2</sup> (水中)、竹節鋼筋、基樁完整性測試管
基礎及橋墩	打樁機、發電機、電焊機、彎紮機、吊卡車、小貨車、泵送車	結構用混凝土 350、280、140kgf/cm <sup>2</sup> 、竹節鋼筋、剪力鋼箱
上構箱梁	發電機、電焊機、彎紮機、吊卡車、油壓千斤頂、泵送車	預力混凝土 420kgf/cm <sup>2</sup> 、無收縮水泥砂漿、竹節鋼筋、預力鋼鍵、預力材料、盤式支承
匝道護坡	挖土機、發電機、抽水機	結構用混凝土 210、140 kgf/cm <sup>2</sup> 、竹節鋼筋、紅磚、水泥、砂
匝道加勁擋土牆	挖土機、壓路機	PE 土包袋、PVC 加勁格網、HDPE 透水盲管、碎石
水刀拆除	高空作業車、大貨車、高壓沖洗車、水刀機	-
通用/其他	挖土機、傾卸卡車、移動式起重機、吊卡車、壓送車、大貨車、灑水車、發電機、抽水機、高空作業車、高壓沖洗車	結構用混凝土 350、280、210、140kgf/cm <sup>2</sup> 、氧氣、乙炔

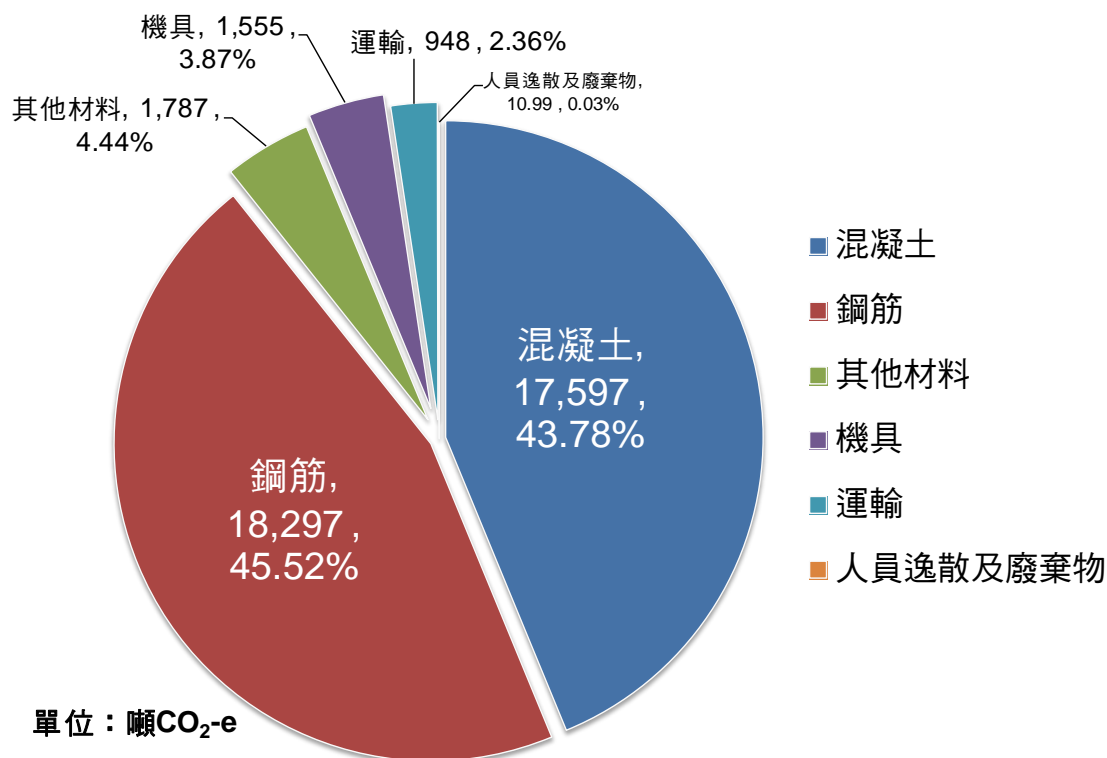


圖 2 碳排放源占比分析

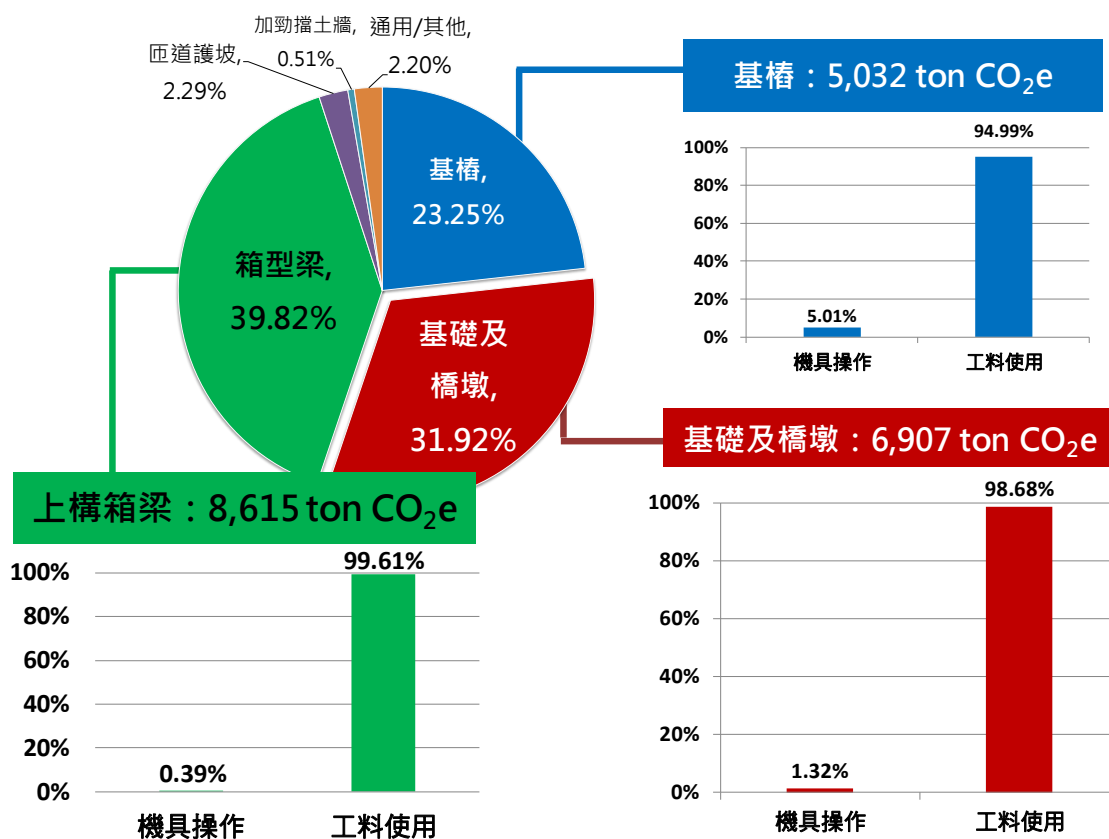


圖 3 各工項類別碳排放量分析

#### 4-2 減碳措施與效益

##### (一) 共用機具，減少運輸排碳

以本計畫 A、B 標之吊車/吊卡車為例，在主承包商協調之下，各施工協力廠商(除自有起重機外)皆使用固定廠商之吊車/吊卡車，此作業模式可減少機具往來工區之運輸排碳量，如表 1 中吊車 1 即屬於常駐工區型態，而吊車 2 視需求不定期至本工程進行操作，增加了往來工區之耗油量，故兩者之單位時間油耗率差異頗為顯著。

共用機具作業模式不僅可減少機具往來工區之運輸排碳量，亦有效減少工程管理介面、提升施工效能。此外，機具供應商盡可能派遣固定之機具至本工地，在執行碳盤查工作時，可有效提升資料蒐集效率及準確性，以順利蒐集本土化之機具能耗資料，作為未來其他案例機具油耗推估參考。

##### (二) 全套管基樁鋼筋場-用電減碳效益

施工機具中常見以移動式發電機替代固定式電源，然移動式發電機亦需添加燃油以產生電力，考量發電機油耗、燃油排碳係數、電力排碳係數，相同機具使用固定式電源與移動式發電機所造成之排碳結果應不盡相同。

本計畫中 B 標 2013 年主要進行之工項為全套管基樁施工，而其基樁鋼筋場內使用機具包含 50 噸吊車，以及彎紮機、裁切機，電焊機等使用電力之機具，而用電機具之電力來源為柴油發電機；一段期間後，即申請工區臨時電力供機具使用。由基

樁鋼筋產量、柴油用量及耗電量之盤查結果，可知兩種情境下每噸鋼筋排碳量差異可達 13.31 kg CO<sub>2</sub>e(如表 5 所示)，此期間 B 標因「基樁鋼筋場改使用臨時電」共造成 38.6 噸 CO<sub>2</sub>e 之減碳量，達 B 標本期間施工機具排碳量之 5.16%；另該標工程尚有 7,207 噸之基樁鋼筋尚未完成，未來可預期之減碳效益將可達到 96 噸 CO<sub>2</sub>e。

表 5 B 標基樁鋼筋場使用場電排碳量差異比較

機具能源 使用情境	鋼筋量 (T)	柴油用量 (L)	柴油係數 (kg CO <sub>2</sub> e/L)	用電 (度)	電力係數 (kg CO <sub>2</sub> e/度)	排碳量 (ton CO <sub>2</sub> e)	單位排碳量 (kg CO <sub>2</sub> e/T 鋼筋)
吊車：柴油 機具：柴油發電機	584.35	3,562.39	3.3386	-	-	11.89	20.35
吊車：柴油 機具：臨時電	2,910.73	2,265.00	3.3386	18,520	0.698	20.49	7.04
差異值							13.31

### (三)水泥替代材料-材料減碳

由 4-1 分析結果可知，道路工程之碳排放主要來自於工程材料，因此擬定減排策略時應以工程材料為優先標的。而目前針對工程材料的減碳措施包括：採用回收/再利用材料、減少材料浪費或選擇替代材料等。本工程採低碳替代材料之策略，即在使用之混凝土中使用飛灰取代部分水泥，輔以飛灰與水泥碳足跡係數之差異，即可得水泥替代材料之可能減碳效益。

以 A 標 103 年之混凝土使用為例，採用 GaBi 資料庫中二型水泥與飛灰之碳足跡係數(分別為 0.631 及 0.004 kg CO<sub>2</sub>e/kg)、各型混凝土使用量及飛灰用量，即可得替代材料之減碳效益，如表 6 所示。

表 6 A 標 2013 年混凝土使用量、水泥替代材料減碳量

混凝土強度	使用量 (m <sup>3</sup> )	飛灰(kg)	原水泥排碳量 (kgCO <sub>2</sub> e)	飛灰排碳量 (kgCO <sub>2</sub> e)	減碳量 (噸 CO <sub>2</sub> e)	減碳比例 (%)
420 II	12,896	1,392,768	878,834	5,571	873	19.84%
350 II	4,822	467,782	295,171	1,871	293	19.96%
280II	10,260	800,319	505,001	3,201	502	19.82%
245 II	122	9,028	5,697	36	6	19.93%
140 II	1,502	81,108	51,180	324	51	20.02%
210 II 水中	14,250	1,140,000	719,340	4,560	715	19.87%
210 II	1,237	85,353	53,858	341	54	19.99%
小計	<b>45,090</b>	<b>3,976,358</b>	<b>2,509,083</b>	<b>15,905</b>	<b>2,494</b>	-

## 五、結語

工程碳盤查作業需要主管方、輔導/查證方、工區方等各單位人員緊密配合，在各單位積極協商與溝通下，本計畫目前運作已步上軌道；於盤查成果部分，可初步分析得機具、材料、人員之排碳量比例，以及比較不同工程項目之排碳量比例，並持續蒐集累積施工機具之油耗率參數，亦提出共用機具、機具用電、及使用替代材料等減碳策略，並計算減碳效益。

本計畫將持續透過實際盤查過程，釐清界定道路工程碳排放評估模式所應包含系統邊界，另將積極推動機具擴大盤查與材料供應商盤查，以提升盤查結果數據品質，同時建立臺灣本土化之工程碳盤查各項參數及係數，使道路相關公共工程之碳足跡量化更加詳實與完備，以作為工程碳管理延續作為中之「控制、減量」目標之堅實基礎。

## 參考文獻

- [1] Steger, S., Bleischwitz, R., (2011), Drivers For The Use of Materials Across Countries, Journal of Cleaner Production.
- [2] Cass, D., Mukhreejee, A., (2011), Calculation of greenhouse gas emissions for highway construction operations using a hybrid life cycle assessment approach : a case study for pavement operations. Journal of Construction Engineering and Management.
- [3] UK Highways Agency, (2008). Carbon Accounting Framework: HA Carbon Accounting Tool - Explanatory Report V1 Working Draft.
- [4] McGourty, K., Beimborn, E., Dunlap, K., (2009). Columbia River Crossing Greenhouse Gas Emission Analysis Expert Review Panel Report.
- [5] International EPD® System. <http://www.environdec.com/>
- [6] VicRoads (State Government of Victoria, Australia), (2009). Calculating the Carbon Footprint of Road Construction. 2009 National Local Government Asset Mgt & Public Works Engineering Conference
- [7] 行政院公共工程委員會，(2008)，永續公共工程-節能減碳政策白皮書(核定本)
- [8] 行政院交通部，(2010)，節能減碳規劃設計參考原則。
- [9] 交通部運輸研究所，(2012)，交通運輸工程碳排放量評估模式建立與效益分析之研究。
- [10] 習良孝、曠永銓、黃琬淇、許珮蒨、周武雄，(2012)，台灣地區交通運輸工程碳管理現況與展望，第一屆兩岸四地公路發展論壇
- [11] 林彥宇、許珮蒨、周武雄，(2013)，鋪面工程溫室氣體排放量評估與減量策略研析，第二屆兩岸四地公路發展論壇
- [12] PAS 2050:2011, (2011). Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services.
- [13] TS Q0010 (2009)。General principles for the assessment and labeling of Carbon Footprint of Products.
- [14] 行政院環境保護署，(2010)，產品與服務碳足跡計算指引
- [15] ISO/TS 14067, (2013). Specifies principles, requirements and guidelines for the quantification and communication of the carbon footprint of a product (CFP).
- [16] International EPD® System (2013). PCR Basic Module for UN CPC 53 Constructions, Version 2.0.
- [17] International EPD® System (2013) PCR for CPC 53211: Highways (except elevated highways), Streets and Roads.



[18] International EPD® System (2013) PCR for CPC 53221: Bridges and Elevated Highways.

[19] 行政院環保署，(2014)，臺灣產品碳足跡資訊網

<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLPCR/FLPCRDoneList.aspx>

[20] 交通部公路總局施工機具費率表