

公共工程碳排放量試辦計畫

牛欄山上游野溪整治工程 碳排放量估算及盤查成果報告

行政院農業委員會水土保持局

中華民國 103 年 3 月

牛欄山上游野溪整治工程碳排放量評估及盤查報告

目錄

壹、碳排放量評估報告	1-1
前 言.....	1-1
第一章 碳排放估算原則與排碳係數之蒐集與建立	1-2
1.1 規劃、初步設計、細部設計階段碳排放量估算原則	1-2
(1)估算邊界與原則	1-2
(2)估算限制與假設	1-3
(3)估算流程	1-4
(4)碳排放係數選用原則	1-5
(5)PCCES 活動量分析與排除項目說明	1-8
1.2 碳排放係數使用說明.....	1-9
第二章 碳排放量估算	1-11
2.1 工程概述與構造特性分析.....	1-11
2.2 工程數量說明.....	1-11
2.3 估算結果.....	1-13
第三章 節能減碳效益	1-16
3.1 本工程採取之節能減碳措施.....	1-16
(1)設計理念	1-16
(2)設計方法	1-16
第四章 碳排放估算作業檢討與建議	1-18
4.1 碳排放量估算作業檢討與建議.....	1-18
4.2 本工程碳排放量盤查執行建議.....	1-18
(1)盤查範疇與原則	1-18
(2)執行規劃	1-19

貳、碳排放量盤查報告	2-1
前言	2-1
第一章 盤查計畫	2-2
1.1 實施範疇與原則	2-2
1.2 盤查限制與假設	2-2
第二章 碳排放量盤查總結說明	2-3
2.1 盤查工程數量及結果說明	2-3
2.2 盤查與估算結果比較分析	2-5
第三章 檢討與建議	2-6
3.1 碳排放盤查作業檢討	2-6
3.2 碳排放盤查與估算作業改進建議	2-6

圖目錄

圖 1-1 牛欄山上游野溪整治工程平面配置圖	1-11
圖 1-2 工程各治理單元排碳量分析	1-15
圖 1-3 工程盤查執行流程	1-19
圖 2-1 工程碳排放量盤查結果	2-5
圖 2-2 工程碳排放估算與盤查結果比較圖	2-5

表目錄

表 1-1 工程碳排放係數選用等級.....	1-7
表 1-2 目前蒐集之碳排放係數來源與分級.....	1-7
表 1-3 目前蒐集之碳排放係數.....	1-7
表 1-4 機具能耗參數.....	1-9
表 1-5 工程材料排放係數.....	1-10
表 1-6 工程工程計算詳細表.....	1-12
表 1-7 機具使用碳排放估算結果.....	1-13
表 1-8 工程材料使用碳排放估算結果.....	1-13
表 1-9 運輸碳排放估算結果.....	1-14
表 1-10 機具耗油量記錄表.....	1-20
表 1-11 人員運輸耗油量記錄表.....	1-20
表 2-1 機具使用碳排放盤查計算結果.....	2-3
表 2-2 工程材料使用碳排放盤查計算結果.....	2-3
表 2-3 運輸碳排放盤查計算結果.....	2-4

壹、碳排放量評估報告

前言

因應全球對於溫室氣體排放減量議題的關注，及我國推動公共工程落實節能減碳的政策方向，如何有效且合理評估工程溫室氣體排放量、將節能減碳成本效益彙整成為有用資訊，雖公共工程節能減碳已受到關注，但仍多聚焦於建築類工程之建造及營運的節能減碳效益(如綠建築標章)，然而非建築之工程如道路工程、水利工程、水保工程亦會在建造及營運階段導致耗能及排碳，公共工程之碳排放減量亦是為當前須關注的重要課題。

有鑒於此，行政院公共工程委員會(以下簡稱工程會)推動永續公共工程，以配合國家節能減碳政策。於民國 101 年 12 月 13 日召開之「公共工程計畫落實節能減碳考量及二氧化碳排放量估算模式座談會」，而後於民國 102 年 3 月 6 日召開「公共工程碳排量估算試辦作業研商會議」請就各主管機關或經常辦理之工程類別提出試辦工程，進行碳排放估算及碳盤查作業。本案例為行政院農業委員會水土保持局臺北分局委辦之牛欄山上游野溪整治工程，藉由本工程碳排放估算與盤查試辦工作之執行，以提供水土保持工程碳排放計算與工程減量相關經驗與資訊。

第一章 碳排放估算原則與排碳係數之蒐集與建立

1.1 規劃、初步設計、細部設計階段碳排放量估算原則

(1) 估算邊界與原則

水土保持工程設施之碳排放量估算，係以工區即工程設施運作的區域為範圍，考量包括工區範圍內或就近為因應此工區所需的工務所、預拌廠和材料供應商等，含括設施建造過程中的製程能源供應與使用及營運場所的排碳，且必須考量設施建造之工程材料製造過程排碳及各式物資運輸與儲存排碳。另外，依據水保工程特性，土方多為現地再利用或回填使用，再者，人員民生垃圾及材料剩料之流向與處理方式難以追蹤與計算，廢棄物運輸及處理暫不納入本次試辦計算中。

依據現階段所蒐集得工程設計資料內容項目可概分為機具、工料、人員及雜項等四大類。其中，施工預算書中主要為機具使用及工程材料，而人員及雜項部分本次試辦案例將予以排除不計。以下分別就本案例說明計算原則；

a. 機具設備能耗之碳排放量

分析工程預算書內容及各設計項目發現，施工機具與設備的數量計算以工作時數估計。故針對工程計算書中的機具設備，首先須參考施工機具設備每小時之油耗量，確認單位時間能耗係數，再以建議我國環保署產品碳足跡網站公告的燃料係數進行轉換，作為該機具設備操作時間之碳排放係數，進而推估計算該機具於工程施工過程中的碳排放量。部分現階段未有能耗係數的機具設備，則由設計人員以專業判斷，選擇相近功能、功率之機具能耗係數替代之。

b. 工程材料生產之碳排放量

工程用原物料的碳排放量計算方法為：工程材料或設備用量乘以其製造過程排碳係數，求得此工程所用各項物料的碳排放量。經案例資料彙整分析後發現，工程設計所提出屬於物料的資源項目，大多數並非原物料，在我國推動產品碳排放量年資上尚淺的情況下，絕大部分並無可直接對應之產品碳排放係數。

為此，由工程數量計算專業人員就各品項中可求出原物料含量之項目如：高鍍鋅箱型網籠、鋼筋、混凝土等，依 CNS 所列之單位長度或重量中原料含量，乘以現有的原料排碳係數進行轉換，求得各品項之單位長度或重量排碳量，再依設計結果所提之工程數量進行碳排放量計算。

此外，組合型材料設備多數亦無可直接對應之排碳係數可供引用計算，故同樣借重工程數量計算專業人員的判斷，在無法逐一針對以各組合型產品製程進行盤查的情況下，以其相近之原物料量為排碳係數轉換依據，逐一換算各式組合型材料設備之排碳係數，進而乘上工程數量求得該品項於本工程之碳排放量。例如：一般公共工程使用之鋼筋多為熱軋竹節鋼筋，採用鋼筋(不分類)之碳排放係數計算之。

c. 人員之碳排放量

根據碳排放評估相關規範，人員排放量不需計入。而人員往返工區之交通運輸排放，不確定性高且難以調查，在本試辦案例中暫不納入計算，建議未來若對於工區施工人力交通往返狀況有所了解時再予估算。

(2) 估算限制與假設

a. 假設一：估算資料來源設定

由於工程設計與施工之項目繁多，本工程將依據預算資源統計表、單價分析表、設計與施工圖說等內容進行估算，惟部分資訊不足以支持碳排放推估計算所需，其中運輸所需之能耗資料最為缺乏，而計算之用水、氣體量亦無法於數量書中得知，計算之項目內容包含工料使用、現場機具能資源使用、運輸(工料、機具、廢棄物)、碳匯變化及廢棄物處理等項目，在權衡實際所能取得之資訊與碳排放之關聯下，本工程將簡化為機具及材料 2 項。

b. 假設二：碳排放係數推估

由於目前全球產品碳排放量盤查尚在起步，我國目前已取得碳標籤的產品亦偏重於生活用品而無工程材料，預計工程材料排碳參數資料與設計資料中的工程材料項目將有相當程度的差距。針對此部分就無可對應係數之項目進行組成、材質或成份的假設，進而參考現有參數、就其配比轉換成各工項排碳係數，計算工程材料使用之碳排放量。

(3)估算流程

將採用排放係數法進行碳排放量估算，即「活動強度」乘以「排放係數」，並乘以「全球暖化潛勢(GWP 值)」以計算得二氧化碳當量(CO₂-e)。「活動強度」(Activity Intensity)是指一段時間內之生產量(或能源消耗量或服務量)大小，主要配合排放係數之單位項目代入推估。而「排放係數」(emission factors)係指將每單位原(物)料、燃料使用量、產品產量或其他操作量所排放造成之溫室氣體排放量。「全球暖化潛勢(GWP 值)」為依據 IPCC 評估報告將二氧化碳(CO₂)、甲烷(CH₄)、氧化亞氮(N₂O)等不同溫室氣體的影響程度轉換成相同當量的二氧化碳當量(CO₂e)之轉換係數。

針對工程設計資料之材料用量及機具操作時數耗能而產生的二氧化碳進行評估。在進行計算時，就所需資訊與參數進行分析與確認，計算流程大致分成四大部分，第一部分，確立計算內容，將針對工程預算書、數量計算書、工程圖說與建置需求等內容進行確認，以分析工程活動強度之資訊；第二部分，選用合適之排放係數，將針對活動強度與內容，分析其可使用之碳排放係數內容與替代方法；第三部分，活動內容計算與加總，針對工程二大計算項目計算碳排放量，最後將計算之結果進行彙整，以進行工程碳排主要因子與主要工項之探討與分析。

(4)碳排放係數選用原則

除蒐集案例文獻之相關參數數據並加以分門別類以外，因相同的物料在不同國家或相同國家不同研究中，也有不同的數值，引用數據進行碳足跡或碳排放推估使用時，將造成不同程度的差異。為此，本計畫參考溫室氣體盤查相關規範與文獻中的建議，將碳排放參數劃分其等級，以本土化數據優先、文章可信度與出版時間性三者為本計畫選用參數原則，作為篩選參數資料庫之依據，以應用於公共工程碳足跡估算的基準。茲分別就參數選用三項原則說明如下：

A.本土化

根據環保署最新公告之溫室氣體查驗指引(2010)所載，在量化碳排放量時，應採實務可行下最高準確等級之量化方法，以準確的估算排放量。又其所規定之量化參數、排放係數之優先選擇順序為：自廠發展係數>同業使用係數>設備提供之係數>區域公告係數>國家公告係數>國際公告係數。本研究案例與文獻蒐集得之排放係數無法取得相關的自廠係數，就係數本土化而言，

將以國內係數優於亞洲地區係數，其次為其他區域國家之排放係數為依據。

B.可信度

除了以國內係數為優先選用對象為基礎外，則必須對於係數的可信度進行篩選。依據環保署溫室氣體查驗指引(2010)，雖然自廠發展係數、同業使用係數等優於國家公告係數，但未來在溫室氣體減量法通過施行，這些係數均須取得環保署或相關政府主管機關同意，方能使用。就本模式所扮演的角色為對尚未進行的工程施工階段排碳量推估而言，並無法取得相關的自廠係數；而在國內組織碳盤查及碳足跡盤查尚在發展階段的情況下，亦難以要求供應商提供相關係數。為此，就本計畫文獻回顧及係數蒐集彙整結果分析，本計畫將就內容的可信度，以國家政府機關公告優於專案報告、專案報告又優於研究論文之順序，選擇本研究碳排放量推估模式引用之參數。

C.時間性

為使碳排放量推估結果更接近於現實狀況，除選用國內參數、以較具公信力的來源為優先外，本計畫考量係數公告或產出的時間，以較接近現況者，如：電力排放係數採我國能源局最新公告之民國 101 年數據，作為優先選用係數。

根據碳排放係數選用原則，本單位初步將係數來源依據區域、可信度與時間等進行等級分別，初步分成四大級別，如表 1-1 所示。而根據目前已收集可參考之碳排放係數資料庫進行級別判定，如表 1-2 所示。初步選用之材料碳排放係數如表 1-3 所示。

表 1-1 工程碳排放係數選用等級

級別	條件說明
A	國家政府機關公告數據
B	國內專案或研究報告級論文數據
C	國際公告數據
D	他國研究數據

表 1-2 目前蒐集之碳排放係數來源與分級

等級	國家	來源	項目
A	台灣	環保署	國家溫室氣體登錄平台
A	台灣	環保署	環保署產品碳足跡計算公用係數
A	台灣	環保署	鋼鐵業溫室氣體公告排放強度(Elr)
A	台灣	環保署	水泥業溫室氣體公告排放強度(Elr)
A	台灣	能源局	能源產業溫室氣體減量資訊網
B	台灣	環保署	國家通訊及溫室氣體排放清冊建置應用
B	台灣	張又升	建築物生命週期二氧化碳減量評估
D	英國	ICE	材料碳排放係數資料庫
D	英國	碳信託	英國碳信託
D	英國	UK Environmental Agency	Carbon calculator for construction activities
D	瑞典	瑞典工務部門	Project Report of Swedish National Road Administration

註：將持續蒐集可用資料係數，以供後續單位估算使用。

表 1-3 目前蒐集之碳排放係數(1/2)

主要材料	排放係數	來源	等級
鋼筋(不分類)	0.92/kg	張又升(2001)	B
鋼鐵類(鋼胚)	1.9/kg	環保署(2011)	A
鋼鐵類(高爐)	2.13/kg	張又升(2001)	B
鋼鐵類線材(高爐)	2.23/kg		
爐石粉	68.05/T		
卜特蘭水泥	0.41/kg		
骨材(砂礫)	3.11/m ³		
水泥熟料	0.821/kg	環保署(2011)	A
預拌混凝土，175kgf/cm ²	128.69/m ³	張又升(2001)	B

表 1-3 目前蒐集之碳排放係數(2/2)

主要材料	排放係數	來源	等級
預拌混凝土，210kgf/cm ²	148.95/m ³	張又升(2001)	B
預拌混凝土，245kgf/cm ²	159.13/m ³		
預拌混凝土，280kgf/cm ²	169.23/m ³		
預拌混凝土，350kgf/cm ²	199.82/m ³		
預拌混凝土，420kgf/cm ²	230.26/m ³		
瀝青混凝土	30.62/T		
柴油	2.650/L	能源局(2012)	A
電力	0.536/度	能源局(2012)	A

(5)PCCES 活動量分析與排除項目說明

工程排碳量之盤查與認證，係針對施工過程中實際使用之耗能機具設備的能耗量及含碳材料的使用量進行調查，而後對應適當的排碳係數，以排碳係數法進行碳排放量計算，計算公式為：

碳排放量 = Σ [碳排活動量(如油耗、用電量、材料量) × 碳排放係數]

本報告亦以碳排係數法為碳排放量評估方法，以細部設計階段所提出的詳細工程數量為活動量進行碳排放量估算。根據現階段工程設計的程序碳排活動數量資料的取得，必須先經過完整的單價分析，乃至於工程預算書編製完成後，才能透過資源統計彙整取得。

本工程可依設計資料彙整出各類人員之總工作時數，但在未有相關調查資料的情況下，仍無法轉換為工程人員往返工區之運輸油耗量。由於各工程的人力往返距離難以假設，故暫不將人員之碳排放量納入計算。

1.2 碳排放係數使用說明

根據公共工程委員會所提供之碳排放係數參考表中，選用合適本工程適用之排碳係數，根據現有標準規範解析物料設備組成與數量，並進行排碳係數轉換；其現場及機具使用部分，分別為挖土機、堆土機、壓路機、噸卸貨車等，工程材料分別為塑膠品、鋼鐵類、混擬土等，其詳細項目如表 1-4 及表 1-5 所示。另外，燃料係數則是採用環保署公告之柴油排碳係數 2.65 kgCO₂e/L。

為滿足本報告以排放係數法進行工程碳排放量推估所需，本報告首先就以其他段工程細設結果為參考，分析出主要工程材料項目及耗能機具項目，進而就此蒐集其對應參數與能源排放係數等，分類彙整出可供計算時應用之各單位活動項目的碳排係數，作為計算本工程碳排放量的基準。

以下分別就能源碳排係數、主要物料碳排係數及機具碳排係數進行整理，

表 1-4 機具能耗參數

機具類別	能耗類別	每小時耗能量(L/hr)
挖土機 0.7M3	高級柴油	17.92
堆土機 D7G	高級柴油	30.1
壓路機 10-12T	高級柴油	7.56
噸卸貨車 15T	高級柴油	13.63
抽水機 D=75mm	高級柴油	3.50
混凝土攪拌運送車 5.0~5.9m3	高級柴油	27.47
混凝土振動器	高級柴油	1.00
打樁機落錘式，陸重 2.0~2.9T	高級柴油	12.00
灑水車 8M3	高級柴油	21.50

表 1-5 工程材料排放係數

工程材料	細項(型式)	排碳係數值
塑膠品	碎石排水袋	0.56 kgCO ₂ e/kg
塑膠品	3”PVC 洩水管	0.56 kgCO ₂ e/kg
塑膠品	客土植生袋	0.56 kgCO ₂ e/kg
鋼鐵類	鋼料(含接合版)	0.17 kgCO ₂ e/kg
鋼鐵類	高拉力螺栓 M22	2.13 kgCO ₂ e/kg
鋼鐵類	基礎錨栓 M20	2.13 kgCO ₂ e/kg
鋼鐵類	DECK 版 18cmTH	2.19 kgCO ₂ e/kg
鋼鐵類	金屬護欄版	2.19 kgCO ₂ e/kg
鋼鐵類	鋼筋 SD420	2.13 kgCO ₂ e/kg
鋼鐵類	鐵線	2.13 kgCO ₂ e/kg
鋼鐵類	鐵柱	2.13 kgCO ₂ e/kg
鋼鐵類	箱型石籠網	2.13 kgCO ₂ e/kg
混凝土	210 kgf/cm ² 混凝土	148.95 kgCO ₂ e/m ³

表 1-6 工程工程計算詳細表

工程項目	單位	數量
構造物開挖，軟岩，機械	M3	515.00
構造物開挖，硬岩，機械	M3	515.00
構造物開挖，挖普通土含 30% 以上砂礫，機械	M3	2,405.00
構造物回填，回填土，機械	M3	631.00
工區內土方整理，機械	M3	2,804.00
產品，預拌混凝土材料 210 kgf/cm ²	M3	1,060.00
混凝土澆置費	M3	1,060.00
場鑄結構混凝土用模板，造型模板	M2	420.00
場鑄結構混凝土用模板，普通模板，基礎	M2	898.00
鋼筋及加工組立	T	6.22
鋼料(含接合板)	T	38.36
高拉力螺栓 M22	支	120.00
基礎錨栓 M20	支	168.00
DECK 版 18cmTH(含剪力釘)	M2	137.80
ψ=3"PVC 管(CNS，T≥5.1mm)	M	133.00
碎石排水袋	組	110.00
乾砌塊石護坡(41cm ϕ ≤80cm)，現採	M2	135.00
石籠，1.0m×1.0m×1.0m,石籠網材另計	M2	303.9
單面金屬護欄施設	組	17.00
客土植生袋(含植生基材)	個	35.00
稻草蓆鋪設	M2	35.00
填碎石級配，厚 20cm	M2	200.00
臨時擋土設施，鋼軌樁打拔費(1 支 7m，鋼軌 43kg/m)	支	18.00
臨時擋土設施，鋼軌樁租用費(1 支 7m，鋼軌 43kg/m，堪用品)	支	18.00
零星工程(含接合鋼筋、雜草清除等零星工程)	式	1.00
既有道路復舊費	式	1.00
施工便道維護費	式	1.00
工程告示牌	面	1.00
施工放樣費	式	1.00
臨時防災設施	式	1.00
擋抽排水費	式	1.00
混凝土鑽心抗壓強度之檢驗	組	1.00
混凝土穿透試驗	孔	1.00

2.3 估算結果

將工程預算書之數量確定後，並搭配所選取各自合適之排碳係數，進行碳排放量之估算，其工程機具使用、工料使用及運輸之排碳詳細項目表如表 1-7、表 1-8 及表 1-9 所表示：

表 1-7 機具使用碳排放估算結果

機具類別	機具型式	工作時數 (A)	能耗類別	每小時耗能量 (B)	能耗單位	能/油耗量 (C=A*B)	排碳量(KgCO ₂ e) (D=C*能耗類別排碳係數植)
挖土機	0.7M3	1,490	柴油	17.92	L/Hr	26,700.80	70,757.12
堆土機	D7G	160	柴油	30.1	L/Hr	4,816.00	12,762.40
壓路機	10-12T	20	柴油	7.56	L/Hr	151.20	400.68
噸卸貨車	15T	200	柴油	13.63	L/Hr	2,726.00	7,223.90
抽水機	D=75mm	100	柴油	3.50	L/Hr	350.00	927.50
混擬土	水泥混擬土攪拌還送車 5.0-5.9M3	1,000	柴油	27.47	L/Hr	27,470.00	72,795.50
混擬土	混擬土振動機	300	柴油	1.00	L/Hr	300.00	795.00
打樁機	落槌式，錘重 2.0-2.9T	30	柴油	12.00	L/Hr	360.00	954.00
灑水車	8M3	360	柴油	21.50	L/Hr	7,740.00	20,511.00
小計						70,722	187,412

表 1-8 工程材料使用碳排放估算結果(1/2)

工程材料		使用量	用量單位	工程總用量	排碳係數值	排碳係數單位	排碳量 (KgCO ₂ e)
類別	細項(型式)						
塑膠品	碎石排水袋	28	組	16.8	0.56	kgCO ₂ e/kg	9.41
塑膠品	3" PVC 洩水管 (t>2.5mm)	22.9	M	26.56	0.56	kgCO ₂ e/kg	14.87
塑膠品	客土植生袋	35	個	7	0.56	kgCO ₂ e/kg	3.92

表 1-8 工程材料使用碳排放估算結果(2/2)

工程材料		使用量	用量單位	工程總用量	排碳係數值	排碳係數單位	排碳量 (KgCO ₂ e)
類別	細項(型式)						
鋼鐵類	鋼料(含接合版)	38,360	Kg	38,360	0.17	kgCO ₂ e/kg	6,521.20
鋼鐵類	高拉力螺栓 M22	120	支	96	2.13	kgCO ₂ e/kg	204.48
鋼鐵類	基礎錨栓 M20	168	支	134.4	2.13	kgCO ₂ e/kg	286.27
鋼鐵類	DECK 版 18cmTH	137.8	M2	811.64	2.19	kgCO ₂ e/kg	1,777.49
鋼鐵類	金屬護欄版	34	M	100.13	2.19	kgCO ₂ e/kg	219.28
鋼鐵類	鋼筋 SD420	5,620	Kg	5,620	2.13	kgCO ₂ e/kg	11,970.60
鋼鐵類	鐵線	22.48	Kg	22.48	2.13	kgCO ₂ e/kg	47.88
鋼鐵類	鐵柱	432	Kg	432	2.13	kgCO ₂ e/kg	920.16
鋼鐵類	箱型石籠網	303.9	M2	717.2	2.13	kgCO ₂ e/kg	1,527.64
混凝土	210 kgf/cm ² 混凝土	503	M3	503	148.95	kgCO ₂ e/kg	74,921.85
總計							98,396.86

表 1-9 運輸碳排放估算結果

項目	耗能類別	能/油耗量	能耗單位	排碳係數值	排碳係數單位	排碳量 (KgCO ₂ e)
拖板車 (機具運輸)	柴油	387	L	2.65	kgCO ₂ e/L	1,025.55
噸卸卡車 (工料運輸)	柴油	2,974	L	2.65	kgCO ₂ e/L	7,881.10
總計						8,906.65

另依據工程數量計算表內容，分析各治理單元之工料使用碳排放量比例，如圖 1-2。結果顯示，橋樑工程排碳比例最高，主要原因係橋樑工程使用大量的鋼筋，其使用量為 38.36 公噸，使得排碳量很大。而排碳量次高的護岸工程則為混凝土型式，係因其結構之混凝土用量較高所致。

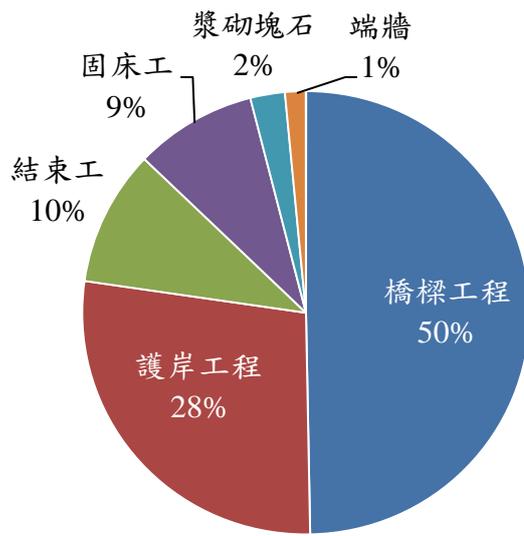


圖 1-2 工程各治理單元排碳量分析

第三章 節能減碳效益

3.1 本工程採取之節能減碳措施

水土保持程設之計採用符合環保、節能減碳概念之綠色工法、綠色材料、綠色環境之原則，並應融入節能減碳觀念及永續經營之理念。

(1)設計理念

本計畫將於規劃設計階段運用綠色工法及綠色材料，減少環境衝擊；並於施工中採取各種策略，期使對環境干擾降至最低：

- a. 減少材料使用((Material Relief)：減少結構量體，減少向大自然取用資源。
- b. 減少負荷(Load Relief)：採用安全性高的水泥，減少工程生命週期工程維護量二氧化碳之產出。
- c. 減少廢棄物(Waste Relief)：解構營建廢棄物，用於次要結構混凝土中，使廢棄物減量。
- d. 生態補償：透過迴避、減輕、補償，減少對自然生態干擾。

(2)設計方法

本計畫可透過工程構造特性與工程數量，於設計階段融入設計理念以達成節能減碳之目標，其設計方法如下：

- a. 混凝土採用安全性高的水泥，減少工程生命週期工程維護量二氧化碳之產出。
- b. 整地過程充份考量土方調運利用，使整地開挖、構造物開挖等之營建土石方能充份再利用；利用於堤岸填築、構造物回填。
- c. 使用可回收之鋼鐵材，充份利用廢棄物，減少天然礦砂之使用。

- e. 使用拉力強度 $f_y:2,800\text{kg/cm}^2$ 之鋼筋，減少鋼筋使用量。
- f. 邊坡、空地以稻草蓆覆蓋，以增加造氧減碳。

本工程「牛欄山上游野溪整治工程」由於河道內大量土石堆積，阻塞道路下方既有涵管，造成逕流溢流危急道路及兩岸邊坡，豪雨時恐因邊坡崩塌與道路損毀等災害，故本工程完工後可保護邊坡及道路安全，改善地區土石堆積阻塞河道之情形。故保持此地區住戶與道路的安全，故使用鋼筋混凝土及鋼橋之方式進行本地區之工程。

本工程採取節能減碳措施主要為縮短工程時間，使用較快速之工法以減少碳排放量之產生為主要方式，已達到安全與節能減碳共存之型態。

第四章 碳排放估算作業檢討與建議

4.1 碳排放量估算作業檢討與建議

於本工程進行碳排放量估算作業時，主要針對材料及機具使用部分做為估算的要點，但其運輸碳排放量也不容小覷，尤其此工區在山區中，屬路程遙遠交通不便之處，其間接碳排放量尤其可觀，故於其他工程於在做碳排放估算時，建議直接與間接都予以估算，使得碳排放量值可更精準，並加以檢討何工程材料可替換成更節能減碳之材料，在工程地區在安全無虞的狀態下其也可嘗試多種工法，多比較哪一種工法是較為佔優勢的方式，已達到真正的節能減碳的效果。

4.2 本工程碳排放量盤查執行建議

(1) 盤查範疇與原則

水土保持工程設施之碳盤查之範疇，亦將針對工區即工程設施運作的區域為範圍進行調查。本盤查計畫將依照設施全生命週期之活動進行碳排放項目調查，包含工區內機具排碳量、材料排碳量、人員車輛排碳量等，並根據碳排放推估之成果，針對重點排放項目進行蒐集與調查，作為後續分析之依據。而為確保碳排放盤查資料之內容，本單位將參考產品碳盤查之原則，針對活動相關性、完整性、一致性、準確性及透明度內容進行活動量蒐集。以下針對各原則初步說明如下：

- a. 相關性：將考量設施建造、使用過程之利害關係者影響，並調查與蒐集干擾工程施作與營運等相關活動量。
- b. 完整性：考量計算範疇內應須涵蓋之所有相關營運單位、製程、活動與設施之排放源，如材料、機具、能源、運輸等活動。

- c. 一致性：本單位所提出專案，將考量其類型後採行一致之量化方法，此包含活動數據的統計與排放係數的引用來源等。
- d. 準確性：將考量盤查過程之活動量蒐集方式(含活動數據與排放係數)，以最能反應實際排放狀況為前提，在有限人力與時間內盡可能蒐集真實數據。
- e. 透明度：盤查過程中，本單位將嘗試取得所有相關之佐證資訊，包含相關假設、計算方法、文件變更及活動數與排放係數等資訊的來源，以作為後續單位或工程使用之參考。

(2)執行規劃

針對實際活動之盤查，為確保資料之完整性，就所需資訊與參數等內容，盤查執行流程大致分成四大部分，第一部分，為確立盤查內容，將針對工程內容規畫其活動或製程地圖，並檢視推估之成果與邊界，確保資料蒐集之順序與重點；第二部分，則依據活動或製程地圖進行活動量蒐集，蒐集內容包含機具排碳量、材料排碳量、人員車輛排碳量等；第三部分，選用合適之碳排放係數，將針對活動強度與內容，分析其可使用之碳排放係數內容與替代方法，進行碳排放計算；最後，分析計算結果，進而辨識不確定因素與內容，確保盤查成果之一致性，並探討同類型之工程內容與盤查成果，進而分析各工程項目之差異。

本工程盤查執行流程，如圖 1-3 所示。機具耗油量記錄表、人員運輸耗油量記錄表形式如表 1-10、表 1-11。

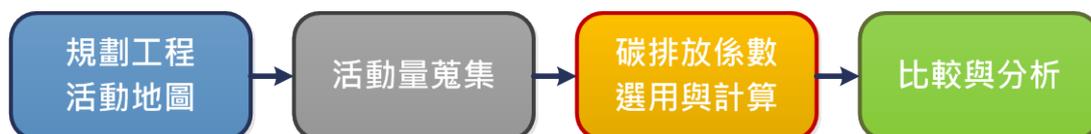


圖 1-3 工程盤查執行流程

表 1-10 機具耗油量記錄表

工程名稱：萬得野溪整治工程

第 1 頁 共 1 頁

工作日期	機具類型	工作開始時間	工作終止時間	工作內容概述	加油類別	加油量	使用者	備註

表 1-11 人員運輸耗油量記錄表

工程名稱：萬得野溪整治工程

第 1 頁 共 1 頁

出車日期	車輛類別	出車起始里程	出車終止里程	出車里程	加油類別	加油量	使用者	備註

貳、碳排放量盤查報告

前言

為因應全球氣候變遷，行政院公共工程委員會(以下簡稱工程會)推動永續公共工程，以配合國家節能減碳政策。於民國 101 年 12 月 13 日召開之「公共工程計畫落實節能減碳考量及二氧化碳排放量估算模式座談會」，而後於民國 102 年 3 月 6 日召開「公共工程碳排量估算試辦作業研商會議」請就各主管機關或經常辦理之工程類別提出試辦工程，進行碳排放估算及碳盤查作業。本案例為行政院農業委員會水土保持局臺北分局委辦之牛欄山上游野溪整治工程，藉由本工程碳排放估算與盤查試辦工作之執行，以提供水土保持工程碳排放計算與工程減量相關經驗與資訊。

第一章 盤查計畫

1.1 實施範疇與原則

決定工區範圍及工程數量，並將材料之活動量乘以單位碳排放係數為碳足跡為基本原則，以碳足跡計算原則統計活動量進行計算，包含現場機具使用直接排放、工程材料及運輸排放等進行實際盤查。

本盤查將依照工程施工期間之活動進行碳排放項目調查，包含工區內機具排碳量、材料排碳量、人員車輛排碳量等，並根據碳排放估算之結果，針對重點排放項目進行蒐集與調查，作為後續分析之依據。而為確保碳排放盤查資料之內容，將參考產品碳盤查之原則，蒐集活動相關性、完整性、一致性、準確性內容進行活動量。以下針對各原則說明如下：

- (1) 相關性：將設施建造、使用過程進行調查與蒐集干擾工程施作與營運等相關活動量。
- (2) 完整性：計算範疇內涵蓋所有相關營運單位、製程、活動與設施之排放源，如材料、機具、能源、運輸等活動。
- (3) 一致性：本工程採行一致之量化方法，此包含活動數據的統計與碳排放係數的引用等。
- (4) 準確性：在有限人力與時間內蒐集所有數據。

1.2 盤查限制與假設

本工區位於尖石鄉，其路途遙遠，故於盤查時需將運輸燃料用量進行假設，其用油機具，以每小時之耗油量乘以每公升燃料油之碳排放係數計算該機具設備操作每小時之排碳量，並依據各工程材料及設備各原則單位長度之排碳量，再依工程數量匯算。

第二章 碳排放量盤查總結說明

2.1 盤查工程數量及結果說明

本工程盤查分為現場機具燃料、工料及工料座標等，以各盤查單位計算之工程碳排放量，如表 2-1、表 2-2 及表 2-3 所示：

表 2-1 機具使用碳排放盤查計算結果

機具類別	機具型式	工作時數 (A)	能耗類別	每小時耗能量 (B)	能耗單位	能/油耗量 (C=A*B)	碳排放量 (KgCO ₂ e) (D=C*能耗類別排碳係數植)
挖土機	0.7M3	592	柴油	17.92	L/Hr	10608.64	28,112.90
堆土機	D7G	120	柴油	30.1	L/Hr	3612.00	9,571.80
壓路機	10-12T	20	柴油	7.56	L/Hr	151.20	400.68
噸卸貨車	15T	200	柴油	13.63	L/Hr	2726.00	7,223.90
抽水機	D=75mm	100	柴油	3.50	L/Hr	350.00	927.50
混凝土	水泥混凝土攪拌運送車 5.0-5.9M3	355	柴油	27.47	L/Hr	9751.85	25,842.40
混凝土	混凝土振動機	250	柴油	1.00	L/Hr	250.00	662.50
打樁機	落槌式，錘重 2.0-2.9T	30	柴油	12.00	L/Hr	360.00	954.00
灑水車	8M3	360	柴油	21.50	L/Hr	7740.00	20,511.00
小計						35549.69	94,206.68

表 2-2 工程材料使用碳排放盤查計算結果(1/2)

工程材料		使用量	用量單位	工程總用量	排碳係數值	排碳係數單位	排碳量 (KgCO ₂ e)
類別	細項(型式)						
塑膠品	碎石排水袋	109	組	65.40	0.56	kgCO ₂ e/kg	36.62
塑膠品	3" PVC 洩水管 (t>2.5mm)	131	M	151.96	0.56	kgCO ₂ e/kg	85.10
塑膠品	客土植生袋	35	個	7	0.56	kgCO ₂ e/kg	3.92

表 2-2 工程材料使用碳排放盤查計算結果(2/2)

工程材料		使用量	用量 單位	工程 總用量	排碳 係數值	排碳係數 單位	排碳量 (KgCO ₂ e)
類別	細項(型式)						
鋼鐵類	鋼料(含接合版)	38360	Kg	38,360.00	0.17	kgCO ₂ e/kg	6,521.20
鋼鐵類	高拉力螺栓 M22	120	支	96.00	2.13	kgCO ₂ e/kg	204.48
鋼鐵類	基礎錨栓 M20	168	支	134.40	2.13	kgCO ₂ e/kg	286.27
鋼鐵類	DECK 版 18cmTH	137.8	M2	811.64	2.19	kgCO ₂ e/kg	1,777.49
鋼鐵類	金屬護欄版	34	M	100.13	2.19	kgCO ₂ e/kg	219.28
鋼鐵類	鋼筋 SD420	5920	Kg	5,920.00	2.13	kgCO ₂ e/kg	12,609.60
鋼鐵類	鐵線	63.7	Kg	63.70	2.13	kgCO ₂ e/kg	135.68
鋼鐵類	鐵柱	795	Kg	795.00	2.13	kgCO ₂ e/kg	1,693.35
混凝土	210 kgf/cm ² 混凝土	1050	M3	1050.00	148.95	kgCO ₂ e/kg	156,397.50
總計							179,970.50

表 2-3 運輸碳排放盤查計算結果

項目	耗能類別	能/油耗量	能耗 單位	排碳 係數值	排碳係數 單位	排碳量 (KgCO ₂ e)
拖板車 (機具運輸)	柴油	322	L	2.65	kgCO ₂ e/L	853.30
噸卸卡車 (工料運輸)	柴油	4,429	L	2.65	kgCO ₂ e/L	11,736.85
總計						12,590.15

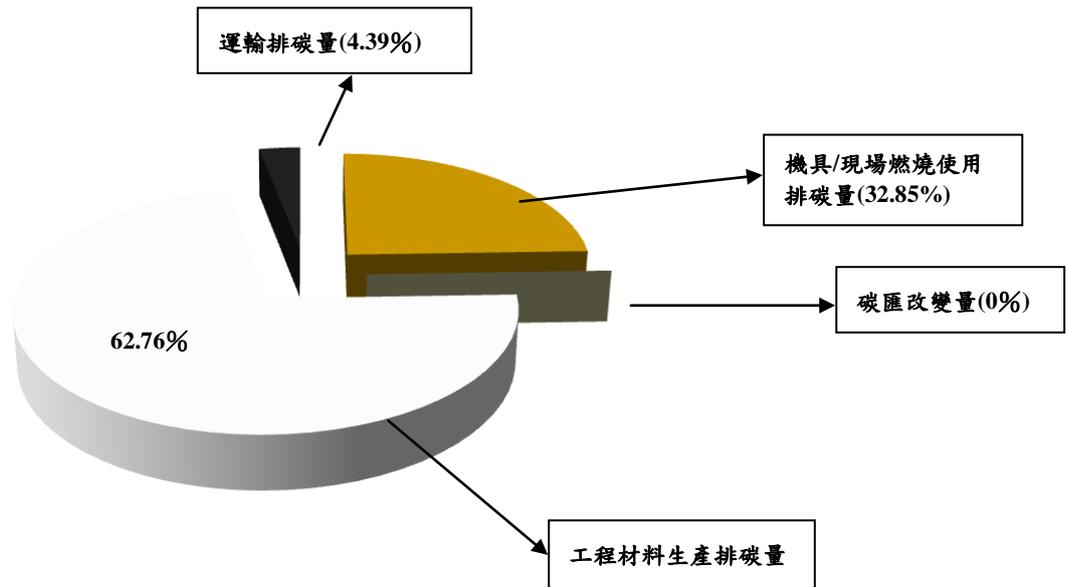


圖 2-1 工程碳排放量盤查結果

2.2 盤查與估算結果比較分析

本工程估算排碳量為 294,430 kgCO₂e，而盤查後排碳量為 286,645 kgCO₂e，共減少 7,785 kgCO₂e，其分析為於現場施工時程減短，減少現場排碳量，但由於現場材料採用鋼構及混凝土材料，故排碳量較估算值高，盤查與估算結果比較圖如圖 2-2。

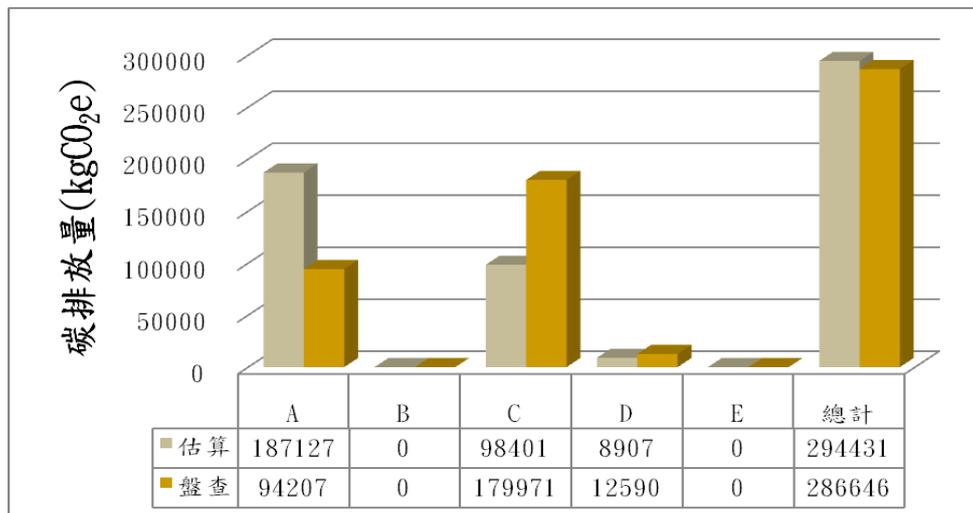


圖 2-2 工程碳排放估算與盤查結果比較圖

第三章 檢討與建議

3.1 碳排放盤查作業檢討

本案於碳盤查作業流程應於加強機具燃料排碳量之流程，以結果來看，盤查時較估算時大，其才能減少碳排放量之產生。

3.2 碳排放盤查與估算作業改進建議

本案採用鋼構材料配合高強度混凝土施作，經盤查後碳排放量為 286,646 (kgCO₂e)，與預估量 294,430 (kgCO₂e)，差異較不顯著。若本案全採用高強度混凝土材料施作後，施作工期預估增加約 30 天，經估算後碳排放量約為 452,058 (kgCO₂e)，與本案盤查後之量體相距 165,412 (kgCO₂e)，故採鋼性材料施作時程較短，施工效益較佳，可以降低總體碳排放量。