

資源再生對溫室氣體減量效益評析

▶ 專案2部 劉蘭萍

一、前言

依據麥肯錫之研究報告指出，在各項溫室氣體減量措施中，資源再生被視為屬低成本且較具減量效益之方式。工業廢棄物資源化之方式主要可分為物料替代及燃料替代二大類，其對於溫室氣體減量的貢獻主要來自減少礦產開採、燃料使用、製程排放或能源消耗等方面。國際間關於資源再生對溫室氣體減量效益之研究大多著重在廢棄物回收再利用對溫室氣體減量具效益之定性研究，而較少針對廢棄物回收對溫減效益進行量化評估方法之建立。

為探討資源再生對溫室氣體減量之效益，以推動產業廢棄物再利用，經濟部工業局98年度「資源再生產業競爭力提升計畫」（以下簡稱該計畫），藉由蒐集彙整國際間廢棄物對溫室氣體減量資訊與評估模式及透過專家諮詢會議，建立資源再生對溫室氣體減量效益評估方法，並以國內近年來溫室氣體盤查減量相關計畫，所建立之工廠盤查基線資料，據以推估工業廢棄物資源化對溫室氣體減量之效益，作為未來鼓勵產業資源再生與推廣消費者使用再生產品之運用。

二、資源再生對溫室氣體減量評估方法

該計畫參採美國環保署「固體廢棄物

管理與溫室氣體」（2006年第三版研究成果）、芬蘭環境協會（Finnish Environment Institute）廢棄物回收與溫室氣體減量關係研究（2007年）、英國PAS（Publicly Available Specification）2050標準及歐盟生態標章碳足跡測量研究（2008年）等針對資源再生對溫室氣體減量評估方式，建立國內資源再生對溫室氣體減量效益評估方法，摘要說明如下：

1. 範疇界定

在廢棄物資源再生對溫室氣體減量之評估上，評估範疇邊界的設定相當重要，該計畫設定評估方法之範疇包括：相同功能性的再生產品與原生產品從原料到廢棄過程整個生命週期所產生的溫室氣體排放，即分別由採礦、萃取得到的原生料與從廢棄物處理得到的回收料至將其製成產品並經過消費者使用後，進入回收體系或最終處置，整個評估系統的範圍包含前述從原料到廢棄之間所有程序。採生命週期評估（Life Cycle Assessment）的概念，以產製相同功能性之再生產品與原生產品為比較基準，分析兩者溫室氣體排放量差異，以推估溫室氣體減量效益。資源再生對溫室氣體減量評估方法之範疇示意如圖1。

在排放量估算之前，再生產品與原生產品的生命週期將被分成數階段，（1）再生



產品部分：再生原料產製產品之製程、消費者使用、廢棄物管理、交通運輸；(2) 原生產品部分：原物料的產出過程、原料產製產品製程、消費者使用、廢棄物管理以及交通運輸等階段。其中，消費者使用階段也被視為是生命週期的一個階段，然因消費者使用情況不同難以預測其溫室氣體排放量，因此消費者在使用產品至廢棄階段所產生的溫室氣體排放量將不納入計算。

2. 評估方法

資源再生對溫室氣體的減量效益是將用原生物料產製產品之生命週期中所產生的溫室氣體排放量，減去用回收料產製產品之生命週期中所產生的溫室氣體排放量，再加上因回收廢棄物作為再生原料而減少掩埋或焚化過程所產生之溫室氣體排放，以及產品廢棄焚化過程回收能源所得到的溫室氣體排放減量效益，計算式如下：

$$\text{溫室氣體排放減量效益} = E_v - E_r + A_m + A_e$$

其中， E_r = 再生產品之生命週期中所產生的溫室氣體排放量；包括從廢棄物被收集並運送至工廠作為原料產製產品生產製程、能源供應及廢棄物處置(包括回收、掩埋、焚化)等過程中產生的排放量。

E_v = 原生產品之生命週期中所產生的溫室氣體排放量；包括從原料產出運送至工廠、產品生產製程、能源供應及廢棄物處置(包括回收、掩埋、焚化)等過程中產

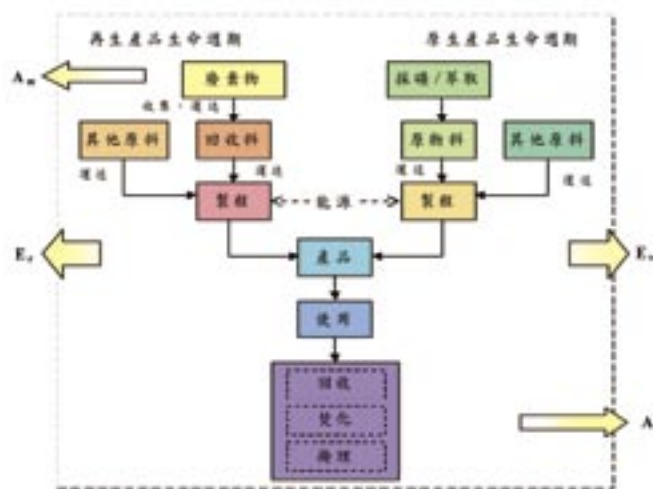


圖1 資源再生對溫室氣體減量評估方法範疇

生的排放量。

A_m = 回收廢棄物作為原料所得到的溫室氣體減量效益；此處的效益係指將廢棄物回收作為原料可避免廢棄物進入焚化或掩埋程序所產生的溫室氣體排放。

A_e = 產品廢棄經焚化過程，回收能源所得到的溫室氣體減量效益。

三、資源再生對溫室氣體減量效益評析

該計畫以所建立之評估方法，參採經濟部工業局97及98年「產業溫室氣體排放管理及輔導計畫」所建立已確證之工廠溫室氣體盤查資料，以及國外相關溫室氣體盤查資訊，建立廢棄物資源再生之溫室氣體排放減量因子，至目前已建立廢鐵、廢紙、煤灰(飛灰)、水淬高爐渣(石)、廢玻璃及電弧爐煉鋼爐渣(石)等6項，彙整如表1。

由於國內98年工業廢棄物再利用以爐渣

表1 資源再生對溫室氣體減排因子彙整表

再利用廢棄物種類	廢鐵	廢紙	煤灰(飛灰)	水淬高爐渣(石)	廢玻璃	電弧爐煉鋼爐渣(石)
溫室氣體減排因子(公噸CO ₂ e/公噸)	1.717	2.075~2.125	0.935	0.889	1.078	0.0127

類與灰渣類廢棄物為主(約占總再利用量之78%)，本文以煤灰(飛灰)與水淬高爐渣(石)資源再生為例，推估其對溫室氣體減量效益說明如下：

1. 煤灰(飛灰)

(1) 範疇界定

煤灰為燃料煤燃燒後所殘留之固體物，主要產生來源為燃煤發電廠及燃煤鍋爐，煤灰產生量與燃煤種類及燃燒方式之不同而異，一般煤灰產生量約在燃煤用量之15~25%之間。煤灰中約80%來自集塵設備收集之飛灰，飛灰因具波索蘭特性，常被用來作為替代水泥之添加物，一般在卜特蘭水泥中煤灰(飛灰)之取代量介於15~25%。對於以煤灰(飛灰)替代水泥所產生之溫室氣體排放減量估算，其界定範疇包括水泥廠之生料研磨、熟料燒成及水泥研磨等製程，估算範疇如圖2所示。

(2) 減量效益估算

97年台灣水泥廠生產單位水泥所產生的溫室氣體排放量平均為0.925(公噸CO₂e/公噸產品)(Ev)，煤灰(飛灰)為工業燃煤過程產生的副產物，故在其生命週期中並無製程及能耗排放，只有運輸

過程產生之溫室氣體排放量，由於此部分的排放量因各產生源運送距離而異，難以確切估算，故將其忽略不計。另由於目前台灣尚未建立廢棄物因掩埋所產生之溫室氣體排放量，該計畫以美國環保署固體廢棄物處理與溫室氣體之研究(USEPA, 2006)⁽¹⁾所建立之每公噸廢棄物在運送及掩埋過程將產生之溫室氣體排放量0.01公噸CO₂e，作為推估煤灰(飛灰)因進入回收體系所衍生的減量效益(Am)。

依據環保署統計98年煤灰再利用量約為360.9萬公噸，而其中飛灰占80%，其均作為水泥的替代原料，以前述方法推估之煤灰再利用對溫室氣體的減排因子0.935公噸CO₂e/公噸估算，約可減少269.96萬公噸CO₂e排放量。

2. 水淬高爐渣(石)

(1) 範疇界定

一貫作業煉鋼廠在高爐煉鐵過程中，必須加入助熔劑，使鐵礦石及焦炭中之雜質相結合而生成爐渣，爐渣自高爐排出後冷卻所得之固體物稱為高爐石，高爐石依冷卻方式不同，分為氣冷高爐石與水淬高爐石兩種，水淬高爐石(渣)以矽酸鈣或鋁矽酸鈣為主要成分，比重2.9，玻璃質率高達95%以上，化學成份則以CaO、SiO₂及Al₂O₃成份較多。

對於以水淬高爐渣(石)替代水泥所產生之溫室氣體排放減量估算，其界定範疇包括水泥廠之生料研磨、熟料燒成及水泥研磨等製程，而水淬高爐渣(石)則經研磨成為替代水泥之爐石粉，估算範疇如圖3所示。

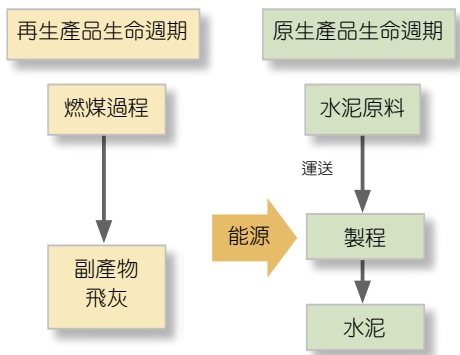


圖2 煤灰(飛灰)再利用對溫室氣體減量效益評估範疇

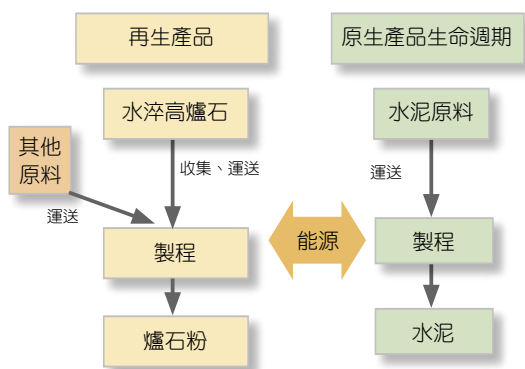


圖3 水淬高爐渣(石)再利用對溫室氣體減量效益評估範疇

(2)減量效益估算

水淬高爐渣(石)經研磨產製爐石粉，在忽略不計收集運輸過程產生之溫室氣體排放量下，生產每公噸之爐石粉將排放0.046公噸CO₂e(Er)。另因掩埋所產生之溫室氣體排放量，以美國環保署固體廢棄物處理與溫室氣體之研究(USEPA, 2006)所建立之每公噸廢棄物在運送及掩埋過程將產生之溫室氣體排放量0.01公噸CO₂e，作為推估水淬高爐渣(石)因進入回收體系所衍生的減量效益(Am)。

依據環保署統計98年水淬高爐渣(石)再利用量約為305.29萬公噸，其均作為水泥的替代原料，以前述方法推估之水淬高爐渣(石)再利用對溫室氣體的減排因子0.889公噸CO₂e/公噸估算，約可減少271.4萬公噸CO₂e排放量。

四、結語

近10年來政府積極致力於推動並輔導產業將廢棄資源物再生轉換成新資源，促使產業朝向綠色生產，以提高各產業綠色競爭力及減少自然資源的浪費。國內工業廢棄物再

利用率已由91年之56%大幅提升至98年達77.2%，再利用率達1,122.4萬公噸，依該計畫所建立之評估方法，優先以水淬高爐渣(石)及煤灰等廢棄物再利用，推估98年台灣工業廢棄物再生可減少之溫室氣體排放量達541.36萬公噸CO₂e/年。

鑒於目前國內在工業廢棄物處理或資源再生相關溫室氣體排放強度資料或盤查資料甚為缺乏，在推估工業廢棄物資源再生對溫室氣體減量效益，仍需引用國外相關研究資訊，使得各類廢棄物資源再生對溫室氣體減量效益，侷限於宣導推廣資源再生之用，無法作為各廠評估溫室氣體減量額度之運用，將減低產業主動積極推動廢棄物資源化之意願。資源再生已被視為屬低成本且較具溫室氣體減量效益之方式，期望政府能協助產業建立本土化之各類廢棄資源物再生對溫室氣體減排資料庫，除可提供產業作為溫室氣體排放抵換之運用外，亦可作為消費者或工廠選購原物料與評估不同廢棄物處理方案之參考。

參考文獻

1. United State Environmental Protection Agency, 2006, Solid Waste Management and Greenhouse Gases: A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3rd edition.
2. Marja-Riitta Korhonen & Helena Dahlbo, 2007, Reducing Greenhouse Gas Emissions by Recycling Plastics and Textiles into Products, Finnish Environment Institute.
3. British Standards Institution, 2008, PAS(Publicly Available Specification)2050:2008.
4. European Commission, Study for The EU Ecolabel carbon footprint measurement toolkit, 2008.
5. 經濟部工業局96及97年「產業溫室氣體排放管理及輔導計畫」。
6. 經濟部工業局98及99年「資源再生產業競爭力提升計畫」。
7. 劉蘭萍、林政江、林明傳，推動資源再生產業發展 邁向產業資源永續，工業污染防治季刊，第113期，99年4月。
8. 劉蘭萍、林明傳，資源再生對溫室氣體減量效益評估方法建立，2010清潔生產暨環保技術研討會，99年11月。