

轉爐石及焚化再生粒料公共工程應用之成本效益分析

劉哲良（中華經濟研究院綠色經濟研究中心副研究員）
朱敏嘉（中華經濟研究院綠色經濟研究中心輔佐研究員）
張耀民（晶淨科技股份有限公司協理）
潘姿宇（晶淨科技股份有限公司工程師）

文章資訊

接受日期：2019.10

關鍵詞：

- 轉爐石
- 焚化底渣
- 再生粒料
- 成本效益分析

內文摘要 (Abstract)

本研究針對轉爐石及焚化再生粒料應用於道路基底層、鋪面、管溝回填等港區工程，進行成本效益分析。結果顯示，轉爐石與焚化再生粒料雖皆具私部門使用的誘因，惟未來若面臨無法去化之情形，如：轉爐石場內堆置、焚化底渣掩埋空間不足等問題時，兩者的空間成本非常可觀，但若循序推廣並鼓勵其使用，則帶來的空間節省效益亦為可觀；站在政策推動者需注意的是，再生粒料在產製過程時所產生的環境成本，兩者產製之環境成本皆大於天然粒料開採之環境成本，爰此，政策推動者除建立相關工程產品規範以推廣使用之外，更要積極輔導再生粒料製造者對於空氣污染物以及能源使用之減量，亦能降低再生粒料產製之環境成本。而本研究所得之成本效益評估結果，可供未來再生粒料應用於不同之公共工程時，評估成本效益之基礎。

壹、前言：研究課題及分析架構之選擇

一、研究課題

臺灣在土地資源有限的情況下，生產活動及消費行為所產生的廢棄物及資源物的去化，是個亟需妥善面對的問題。依據行政院環境保護署（2018）的營運中公有垃圾掩埋場資料，統計至2018年底，各縣市營運中的公有掩埋場剩餘容量僅餘11.2%，約369萬立方公尺，空間有限。無論是廢棄物或是資源物，若無法有效去化，必將加速剩餘空間的消耗。也因此，推動廢棄物及資源物透過製成再生粒料（recycled aggregate）並應用於公共工程以達協助去化之效果，是目前臺灣主管機關的重要政策方向。

依據目前的推動規劃，主要以焚化爐所產生的底渣及鋼鐵業生產過程所產生的爐石（一貫作業煉鋼製程）、氧化及還原渣（電弧爐煉鋼製程）做為此一執行階段的去化重點（行政院，2018）。惟就應用成熟度來說，現階段主要是以轉爐石以及焚化再生粒料應用於道路基底層、鋪面、管溝回填等去化方式較具技術可行性。

然而，雖然從技術可行性角度而言，轉爐石及焚化再生粒料已可在實務上進行上述應用。但直到目前為止，仍然缺乏從經濟可行性（economic feasibility）的角度來探討此一推動方向對於整體社會所帶來的利弊影響。雖然直觀上廢棄物及資源物的再利用是一個好的政策方向，但在再生利用過程勢必涉及額外資源的投入、也同時增加了環境負荷，這些是再利用

所須付出的代價。與再利用可能帶來的好處相較，究竟最後是利是弊，則須進一步針對經濟可行性來進行分析。

為回答上述問題，可以針對主管機關（行政院環境保護署）所規劃推動的再生粒料使用政策方案，進行社會成本效益分析（cost-benefit analysis, CBA）。本質上，CBA是一種用來評量政策措施（policy measures）或開發計畫（development projects）等事務決策是否值得實行的分析工具，主要透過成本（cost）總和與效益（benefits）總和之間的比較分析結果，來判斷此一政策或開發計畫實施後對於整體社會所可能帶來的利弊及影響（行政院環境保護署，2012a）。CBA之優點在於，可將開發計畫或公共政策對於社會所有成員的影響納入評估考量，有別於一般的私人決策，只評估少數生產者或消費者受到的影響。CBA可以用具體的貨幣化指標，來衡量政策或開發計畫執行對社會福祉（social welfares）的影響。此外，CBA亦能同時計算有市場價值與無市場價值的成本與效益項目，也就是可以將環境、生態與健康等非市場型態的財貨與勞務（non-market goods）價值同時納入決策之考量，涵蓋範疇更為廣泛（Boardman等人，2011；Organization for Economic Co-operation Development, 2018）。

二、分析架構

為順利執行CBA，一個完整、符合學理的評估架構乃是必須的參考點。在做為本研究參考的評估架構上，目前臺灣已有五本與公部門CBA相關的指引或手冊，分別是：

- (1). 經濟部水利署（2007）：《水資源建設與管理環境成本評估手冊》；
- (2). 行政院交通部運輸研究所（2013）：《交通建設計畫經濟效益評估作業之研究》；
- (3). 行政院經濟建設委員會（2008）：《公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作手冊》；
- (4). 經濟部水利署規劃試驗所（2009）：《防洪工程經濟效益評估之檢討修正總報告》；
- (5). 行政院環境保護署（2012）：《環境政策與開發計畫成本效益分析作業手冊》。

在差異點上，雖然上述各評估手冊皆以公部門的CBA為題，但各手冊所著重的分析對象有所不同。《水資源建設與管理環境成本評估手冊》與《防洪工程經濟效益評估之檢討修正總報告》著重於「水利工程建設」方面的成本效益探討及評估；而《交通建設計畫經濟效益評估作業之研究》則是著重於「交通工程建設」。《公共建設計畫經濟效益評估及財務計畫作手冊》在設計上雖定位為「一般公共建設」皆可採用的通案手冊，但回顧其內容，在方法論上較著重於私部門常用的財務分析（finance analysis），而非定義上公部門的CBA（行政院環境保護署，2012a）。而行政院環境保護署（2012a）所修正公布之《環境政策與開發計畫成本效益分析作業手冊》，其與上述各手冊最主要的差異之處，在於此手冊除了開發計畫（主要與工程建設相關）之外，亦包含了對於「環境政策」類型的評估架構及方法。由於本研究之評估對象，並非特定的開發案，而是歸於屬環境政策類型的評估分析，相關的分析架構包含於《環境政策與開發計畫成本效益分析作業手冊》此一手冊之中，因此本研究將採用此手冊所提供的評估架構及流程，來進行再生粒料推動使用政策方案之CBA評估。

依據行政院環境保護署（2012a）《環境政策與開發計畫成本效益分析作業參考手冊》的相關說明，環境政策的CBA評估，主要是站在社會規劃者（social planer）的角度，探討特定環境政策或方案「有無實施」，對於整體社會福利的變動情況。當整體社會福利變動優於沒

有實施政策的情況，則此一環境政策之實施將為社會提升福利，值得實施；反之，則不建議實施之。與私部門常用的財務面向的成本效益不同的是，公部門的社會成本效益分析同時將生產者與消費者的福利變動納入考量，而非僅站在專案執行者角度來分析自己的利弊。也因此，其評估所包含的對象，相對廣泛許多。

三、研究目的

綜合上述對於背景及問題之描述，本研究之目的，主要在於針對焚化底渣及轉爐石再生粒料於公共工程應用推動方案進行CBA評估，以釐清政策之實施對於整體社會之利弊。同時，也依據成本、效益之分布情況給予政策建議，以提供主管機關做為後續推動策略擬定之參考。以下各段落的内容，主要是依循行政院環境保護署（2012a）《環境政策與開發計畫成本效益分析作業參考手冊》所建議的評估架構來進行安排，包括：「評估範疇界定」、「基準情境與政策情境之描述及比較」、「效益及成本項目」、「成本效益評估方法」、「計算結果與分析」、「研究限制說明及後續研究建議」。

貳、評估範疇界定

一、評估觀點及涵蓋區域

依據CBA的基本精神，評估觀點為站在社會規劃者的角度來進行分析。另一方面，由於再生粒料政策若推動，其影響所及的區域為臺灣區域內再生粒料之相關應用，因此評估範疇界定為社會整體。

二、評估所涉及的對象

評估對象涵蓋「與再生粒料推動政策相關市場的生產者與消費者」、「政策推動之行政主管機關」，以及「上述對象之外受到外部效果影響者」。其中，生產者及消費者的界定受到市場選擇的影響。在本研究中，與再生粒料推動使用政策相關的市場至少包含二個，分別是再生粒料市場、以及使用再生粒料進行公共工程相關應用的市場。進一步釐清，這二者事實上即為生產過程中的上下游關係，依據學理，僅需撰一將其定義為「主要市場」（primary market）進行分析，與此主要市場之間存在上下游生產關係、或替代互補關係的「次級市場」（secondary market）之福利變動，在市場機制並不過度扭曲的前提之下，將會傳遞反映在主要市場之上，而不需再特別針對次級市場進行分析，以避免重覆計算（行政院環境保護署，2012a；Boardman等人，2011）。

依此，本研究選擇採用「使用再生粒料生產公共工程相關產品」做為主要市場來進行分析，而相關產品在本研究中主要為「道路鋪面」、「道路及停車場底層填料」、「施工便道鋪設」、「管溝回填」等技術較成熟之應用。後續分析中所指稱之生產者及消費者，即歸屬此主要市場。依此，在本研究中的評估對象可歸納描述為：

- 生產者：公共工程應用產品生產者；
- 消費者：公共工程應用產品消費者；

- 政策主管機關：行政院環境保護署；
- 其他受外部效果影響者：評估範疇內受到外部效果影響之對象。

參、 基準情境與政策情境之描述及比較

CBA之分析要點，在於比較政策實施的情境與未實施政策下的基準情境（business as usual，簡稱BAU）、或零方案社會福利之變化情況，透過辨識及比較沒有推動再生粒料使用前的「基準情境」與推動後的「政策情境」之間的差異，以此做為進一步貨幣化各影響之基礎。在本研究中，基準情境與政策情境（推動底渣、轉爐石生產再生粒料來替代天然粒料之使用）可簡要呈現如圖1所示。

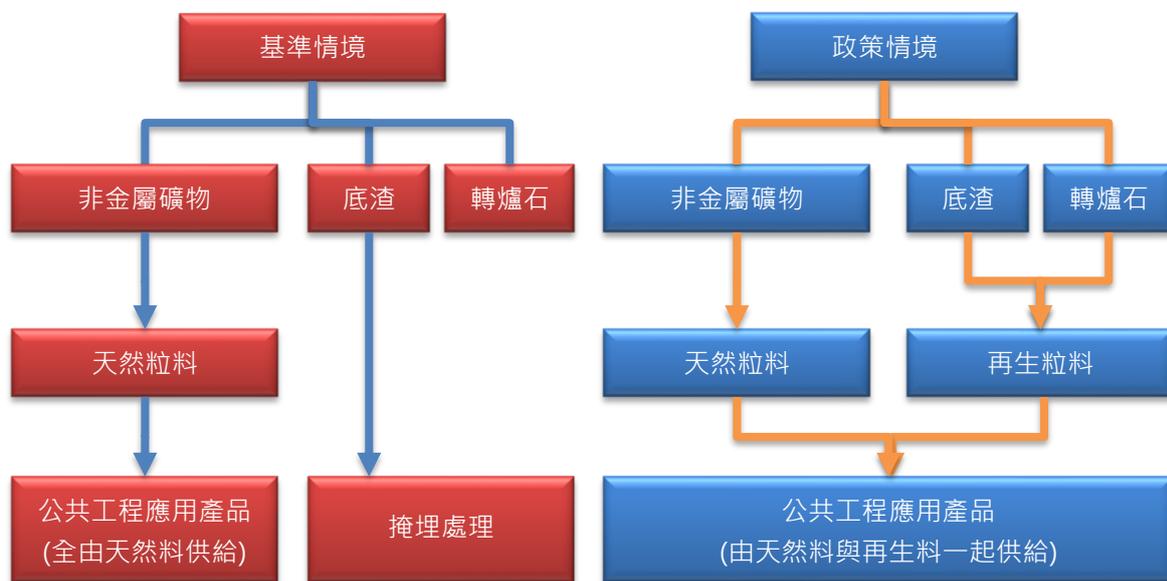


圖 1：基準情境與政策情境比較圖

配合圖1，在本研究中，BAU之情境為面對未來的公共工程需求，全部使用天然粒料來生產相關產品來提供之，焚化底渣則以掩埋處理。而政策情境則是面對未來的公共工程相關應用產品之生產需求，部分改以底渣、轉爐石所生產的再生粒料來取代天然粒料進行相關產品之生產。與此同時，原採掩埋處理的焚化底渣因再利用之故，不再需要直接進行掩埋。

比較基準情境與政策情境，在推動使用再生粒料使用後之差異為：

- 部分底渣不須進行掩埋，節省掩埋場使用空間；
- 部分粒料的需求轉向再生粒料，因此國內天然粒料生產減少、再生粒料生產增加；
- 再生粒料生產增加，因此產製過程中的環境負荷也隨之上升；天然粒料減少，因此產製過程的環境負荷減少、質損減少。
- 若再生粒料成本較天然粒料高，則工程相關應用的成本將上升；反之，則下降。

肆、 效益及成本項目之探討

效益及成本項目的定義，是透過比較評估所涉及對象在基準情境與政策情境下的變化情況來決定之。以下先由涵蓋的影響對象來進行福利變化的討論，再進而歸納出成本及效益項目。

1. 受政策影響的主要市場生產者與消費者

在本研究中，受到政策影響的主要市場為以再生粒料及天然粒料做為原料的公共工程相關產品之生產者及消費者。若再生粒料成本高於天然粒料，當環保署決定推動再生粒料之使用後，將增加公共工程相關產品生產者之生產成本。雖然生產者可以透過選擇是否轉嫁來將增加的成本轉由消費者負擔，但由整體的角度來說，只要使用再生粒料來取代天然粒料進行生產的成本上升，即對生產者或消費者帶來福利的減損，惟由那一方承擔福利的減損，則視最後成本轉嫁的情況而定。綜合而言，再生粒料之推動使用所造成的生產成本上升（或下降），將對主要市場上的生產者及消費者福利總合產生減損（或增加）之影響，此即為生產者及消費者所承擔的「法規遵從成本」（僅考量最後的淨變化，而不討論負擔分配的問題¹）。

2. 政策主管機關

一般來說，為推動特定政策，行政主管機關所必須承擔的成本主要為「一般性的行政成本」，此類是推動及執行政策過程中，主管機關所須投入的人力、經費，以及各項行政支援所付出的成本費用²³。

¹ 在公共工程應用產品總需求假設為固定的情況之下，今考慮二種情況來進行分析。首先，若使用再生粒料增加的生產成本無法透過增加產品價格來轉嫁或反映，此時廠商增加的生產成本降低了利潤，即是降低了生產者的福利（經濟學上定義為生產者剩餘）。另一方面，在此情況之下，由於市場價格沒有變動，則消費者的福利並沒有受到影響，因此福利沒有變化。因此，在此一情境之下，政策推動對於生產者及消費者來說，福利的損失主要由生產者承擔。第二種情況，假若公共工程相關產品的生產品可以透過產品價格來反映生產成本之調整時，則對於生產者來說，福利不至於受到影響。反之，對於消費者來說，價格調漲後消費者透過產品得到的福利（經濟學上定義為消費者剩餘）因價格上升而減損，其程度視生產者轉嫁程度而定。在此一情境之下，政策推動對於生產者及消費者來說，福利的損失主要由消費者承擔，而程度可採用生產者成本轉嫁的程度來進行計算。而在大前提—假定公共工程相關產品總需求不變之下，生產者可將生產成本全然轉嫁消費者。

² 然而，在某些情況下（通常是政策情境將提高受規範影響者的成本負擔之情況），主管機關為推動特定環境政策，應用相關誘因制度—例如給予受規範影響者補貼等—來提高政策執行之可行性。執行誘因制度所付出的成本是一種「移轉型支付」（transfer payment），對行政主管機關而言是種成本，但對收取這個補貼的對象來說則是種收入。由於成本效益分析是一種淨效果的討論，移轉型支付並不影響最後社會的淨福利，僅是在不同對象之間進行移轉，因此為簡化分析的複雜度，通常不將之納入成本項進行計算考量。就分析完整性的角度來說，仍可將此項成本納入行政主管機關的財務支出成本項目中，然與此同時，收取此補貼的項目也必須同時呈現於效益項目之中，不可僅呈現其中一方，而導致錯誤評估。由於此一數額同時出現於成本、效益項目之中，導致在計算淨福利變動時會相互抵消，對最後評估並不產生影響。在上述理由之下，分析者有二種選擇，第一種是忽略移轉型支付的計算，以簡化評估過程；第二種則是完整的列出其在成本、效益項目中的確實定位，以完整地呈現這筆數額在該案中流動的情況。然而無論是那一種處理方式，並不會對最後的CBA分析結果產生影響。

³ 對於特定項目是否該納入計算考量的判斷，事實上可從「有無機會成本」的角度來得到較適切的推論。就學理而言，當沒有機會成本（即機會成本為零）時，則該項目在進行成本效益分析時，可予以忽略或不納入考

3. 其他受外部效果影響者

除了受政策影響的主要市場福利變動外，其他因外部效果對社會大眾所產生的影響，也是社會成本效益分析重要的評估項目。比較基準情境與政策情境可得知，再生粒料推動使用後可能帶來的外部影響，主要來自於以下幾點。

(1) 天然粒料減產所帶來的環境效益：

推動再生粒料之使用，將因替代效果而減少天然粒料的使用，因而衍生出相關的環境效益。首先，天然粒料以天然土石礦資源做為原料，減少天然粒料之生產，即能減少對土石資源的折耗（depletion）。折耗的減少，相當於土石資源價值的保留，為環境效益之一。其次，天然粒料生產過程將造成各種環境負荷，例如開採及製造粒料過程所造成的空污排放、能源使用所帶來的碳排放等。當天然粒料減少生產，則依據上述環境負擔所計算得到的環境成本也將較基準情境來得低，計之為環境效益（成本的降低計之為效益）。

(2) 再生粒料增產所帶來的環境成本：

在政策情境中，因使用再生粒料來取代天然粒料，因此再生粒料增產過程所帶來的環境負荷，即為增加的環境成本。一般來說，再生粒料生產過程可能將較天然粒料消耗更多的能量，因此在碳排及空氣污染影響上，可能較天然粒料來得多，視其應用的產品項目而定。

(3) 焚化底渣及轉爐石再利用而減少的環境成本：

當底渣及轉爐石再利用於粒料之生產後，將帶來二種環境效益。第一種源自於掩埋場空間之節省，類同於折耗減少的概念，掩埋場空間本身具有價值，當掩埋空間因焚化底渣及轉爐石再利用而減少消耗時，即產生空間節省之效益。第二種，則是減少掩埋所降低之環境成本。當廢棄物掩埋於場內空間時，將造成各種環境負荷，進而對社會帶來環境成本。而當底渣及轉爐石因再利用政策而減少掩埋後，這些環境成本也隨之減少，計之為環境效益。

綜合上述之討論，進一步將本研究相關的社會成本及效益項目歸納如下：

社會效益項目：

- 減少開採所帶來土石資源折耗之減少；
- 天然粒料減少生產所減少之環境成本；
- 掩埋場使用空間節省之效益；
- 掩埋場使用減少所降低的環境成本。

量；反之，亦然。例如，在註腳2所提到的「移轉性支出」，由於此一金流僅為不同主體之間的移轉，機會成本為零，因此可不納入分析考量。

社會成本項目：

- 公共工程應用產品市場生產者及消費者所帶來的福利變化；
- 政府法規推動之一般性行政成本；
- 再生粒料之增加產製所造成之環境成本。

伍、 成本項目及效益項目之評估方法

再生粒料推動使用將透過生產行為的替代及改變，進而影響此過程中所產生的環境負荷、及對應的環境成本或效益。在評估上述傳遞路徑所帶來的環境成本或減少污染所帶來的環境效益時，最常使用的評估架構即為衝擊路徑法（impact path approach, IPA）（行政院環境保護署，2012a；European Commission, 2005；蕭代基等人，2002）。

參照行政院環境保護署（2012a）《環境政策與開發計畫成本效益分析作業手冊》的說明，IPA是一種結合不同專業領域的評估架構，至少包含了三個不同階段的評估串接，分別是：（1）污染產生量及濃度的變化、（2）污染變化對受體的衝擊影響、以及（3）衝擊影響的貨幣化。基本上IPA是一個一般化的評估架構流程，但在實際應用上受到評估參數可取得性及評估類型之影響⁴，在技術上並不一定可以全然實現上述的三階段評估流程，因而產生了調整後的簡化架構。在此簡化架構下，階段式的評估流程及對應的評估重點可描繪如圖2。

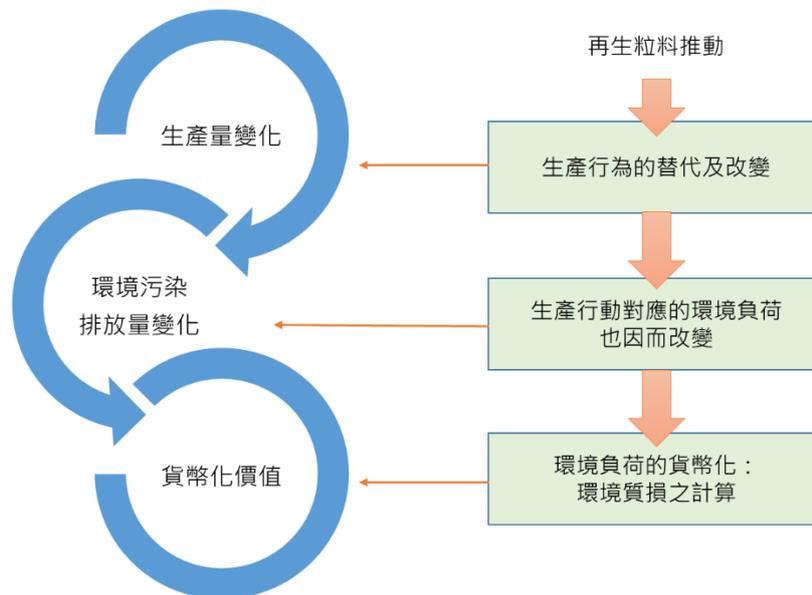


圖 2：本研究所採用的 IPA 評估架構流程

⁴ 依據行政院環境保護署（2012a）《環境政策與開發計畫成本效益分析作業手冊》中的說明，社會成本效益分析的對象一般區分為二種，第一種是「開發計畫」，第二種是「公共政策」。對於本研究所屬的「公共政策」類型而言，由於可能涉及數量眾多的排放源，因此難以如開發計畫類型，可以透過污染擴散模式來衡量特定排放源及其所造成的污染擴散現象，而需要採用其他方式來進行替代衡量。

在圖3所呈現的評估架構流程中，第一階段的評估重點在於估算再生粒料推動使用後，受影響的產品生產量值如何變化。到了第二階段，結合產業加總層級的盤查分析方法、串接不同生產量值資料及環境資料，得以進一步推算生產量值變化所帶來的環境負荷（本研究中聚焦於各種環境污染物的排放）改變。而最後一個階段，則是採用《綠色國民所得帳》中、以維護成本法（*maintenance cost approach*）所計算的各種污染物「環境質損」（*environmental degradation*）及淨資產法所計算的「環境折耗」（*environmental depletion*）進行效益移轉（*benefit transfer*）來計算第二階段環境負荷改變量估算結果所對應的環境成本或效益⁵。

其次，因目前國內對於未來公共工程規劃使用的再生粒料總量仍待評估，無法針對總量來進行成本效益分析。基於實證可行性的考量，本研究採用「單位產品成本效益」（*benefit / cost per unit*）做為衡量指標來進行計算。亦即，後續模擬計算出的成本效益，須解讀為每公噸工程產品使用再生粒料替代天然粒料進行生產之成本或效益。

為推估使用再生粒料於公共工程相關應用之效益成本，必須掌握生產公共工程相關產品時，再生粒料能夠取代的天然粒料量。以現況來說，天然粒料的來源可分為國外進口與國內自產。從CBA的角度，進口粒料對於生產者所產生的福利變化產生於境外，並不為本研究之評估範疇，惟有來自於國內自產的天然粒料使用量變化，才納入評估。故本研究將公共工程產品*i*之「每單位產品國內自產天然粒料使用替代量」計算公式定義如式（1），並以符號「*A_i*」表示（*i*為各項公共工程應用品項別）。後續在（1）式的前提之下，進行各項成本效益項目之計算。

$$A_i = Use_i \times Replace_i \times Drate \quad (1)$$

在（1）式之中，*Use_i*為「產品*i*單位產量之天然料使用量」；*Replace_i*為「產品*i*的再生粒料替代率」；*Drate*為「天然粒料國內自產率」。其中，針對「天然粒料國內自產率」此一參數，由於不同公共工程應用產品使用的國內天然粒料比例無法精確得知，因此在本研究中，乃是假設所有公共工程應用產品所使用的國內自產料比例，與特定年度天然粒料之國產比例相同來進行推論。

雖然再生粒料於公共工程有許多不同的應用品項，但考慮參數之完整性，因此本研究僅聚焦於目前已有成熟應用經驗之品項進行評估。目前可應用於港區工程之產品別評估項目主要為鋪面用途，而使用之再生粒料來源來自轉爐石以及焚化底渣，因未來應用之推估數量的不確定性過高，所以彙整各項產品別的天然粒料使用率、再生粒料使用率、以及轉爐石/底渣製成再生粒料之消耗率等參數，藉以推估生產每單位產品（定義每公噸產品）之成本與效益。這些替代率及消耗率的參數彙整如表1。

5 在前述段落中，本研究透過成本效益分析概念架構探討的方式，歸納出本研究潛在對應的社會成本及效益項目，惟在實證上，成本及效益之計算十分仰賴跨領域之研究結果及相關參數之完整性，並非所有成本及效益項目皆可進行實證估算。在本研究中，環境相關的成本或效益項目由於貨幣化階段主要採用《綠色國民所得帳》中的環境質損帳及折耗帳來進行移轉計算，因此僅能推估《綠色國民所得帳》中有涵蓋的項目。

表 1：本研究公共工程產品評估項目及粒料替代率參數

使用材料	港區工程產品別	天然料使用率	再生料替代率	轉爐石/底渣製成再生粒料之消耗率
		指生產1單位產品所需的天然粒料比例	指生產1單位產品再生粒料取代天然粒料之比例	指生產1單位再生粒料所需的轉爐石或底渣比例
轉爐石	<ul style="list-style-type: none"> 港區道路鋪面 停車場鋪面 	85%~94% ¹ 建議採90% 計算	20%~60% ¹ 建議採60% 計算	100%
	<ul style="list-style-type: none"> 施工便道 	100%	100%	100%
焚化再生粒料	<ul style="list-style-type: none"> 港區管溝回填 	70%~80% ² 建議採80% 計算	33% ²	90%~94% 採90% 計算
	<ul style="list-style-type: none"> 港區道路底層 停車場底層 廣場底層 	100%	25%	90%~94% 採90% 計算

註 1：中國鋼鐵股份有限公司與中龍鋼鐵股份有限公司（2017）。

註 2：行政院環境保護署（2015）。

其次，在計算天然粒料被再生粒料取代而產生的環境效益，需要切分每個品項中真正被取代、來自於國內自產的粒料。本研究採取一個簡化的假設，亦即認定每個應用產品中的天然粒料，其來自於國內及國外的比例與現況下國內、外粒料比例一致，依此做為後續評估計算之基礎。依據經濟部礦物局（2017）統計資料，2016年臺灣生產砂、碎石、級配等天然粒料50,465千公噸，國外進口12,565千公噸，國內開採率約80%，爰此，本研究將「單位產品天然料使用量」及「單位產品國內自產天然料使用量」，彙整如表2所示。

表 2：公共工程產品別之單位產品天然料使用量

使用材料	港區工程產品別	單位產品天然料使用量	單位產品國內自產天然料使用量
轉爐石	<ul style="list-style-type: none"> 港區道路鋪面 停車場鋪面 	0.90	0.72
	<ul style="list-style-type: none"> 施工便道 	1.00	0.80
焚化再生粒料	<ul style="list-style-type: none"> 港區管溝回填 	0.80	0.64
	<ul style="list-style-type: none"> 港區道路底層 停車場底層 廣場底層 	1.00	0.80

資料來源：本研究整理。

基於上述設定，各成本效益項目的評估方法細節，分項說明如下。

一、社會效益項目

(1) 天然粒料之減少生產：土石資源開採減少所降低之環境折耗

天然粒料減少產製後，土石資源將得到保留，環境折耗因此減少。在此項目貨幣化之評估方法上，本研究採用行政院主計總處（2017）《105年綠色國民所得帳編製報告》中之「土石資源折耗帳」來移轉進行貨幣化評估，此處將 $Benefit_1$ 定義為「產品i土石折耗減少之效益」，計算公式如式（2）。

$$Benefit_1 = A_i \times Value_1 \quad (2)$$

其中 $Value_1$ 為《綠色國民所得帳》中單位土石資源折耗值。

(2) 天然粒料之減少生產：空污排放減少之環境效益

在IPA的第一階段，先使用產業加總層級的盤查分析（inventory analysis）來衡量「土石採取業」因天然粒料減少開採後所降低的平均空污排放量。在方法上，此處主要整合行政院主計總處（2015）所發布的《100年產業關聯表（166部門）》與行政院環境保護署的《台灣空氣污染物排放清冊資料庫》（TEDs），在假設生產技術結構短期不變的情況下，推論各產業每一單位經濟產出（該產業的單位產值）所對應的平均空污排放量也固定不變。依此，當天然土石採取業因天然料粒之減產而令其經濟產出減少時，透過上述產業加總層級盤查資料之比對計算，可以推估出因此而減少的空污排放量。

透過上述方式推知土石採取業空污排放量之變化後，於第二階段使用效益移轉法、採用行政院主計總處（2017）《105年綠色國民所得帳編製報告》中空氣品質「質損帳」，以空氣污染物減量防治成本之減少做為此項環境效益之貨幣化衡量指標。 $Benefit_2$ 定義為「產品i的單位空污減少效益」計算公式如式（3）：

$$Benefit_2 = \sum_j A_i \times Air\beta_j \times Value_{2,j} \quad (3)$$

在（3）式中， $Air\beta_j$ 為「不同空氣污染物之空污排放係數」； $Value_{2,j}$ 則為《綠色國民所得帳》中「不同空氣污染物之單位質損值」。j是空氣污染物質，包含總懸浮微粒（TSP）、硫氧化物（SOx）、氮氧化物（NOx）、以及非甲烷碳氫化合物（NMHC）。

(3) 天然粒料之減少生產：能源使用減少減碳效益

此項目第一階段先利用產業加總層級的盤查來衡量「土石採取業」減少天然粒料開採所降低之能源使用量。做法是整合行政院主計總處（2015）所發布的《100年產業關聯表》與經濟部能源局所公布的《能源平衡表》（取2011年資料），來做為每一單位經濟產出所對應的能源消費量係數之推估依據。第二階段配合行政院環境保護署所公布之各種能源的碳排係數，將能源使用量轉換為碳排放量。第三階段使用效益移轉法、採用美國跨部會技術工作小組（Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, United States Government）（2016）所推薦使用的「碳的社會成本」（Social Cost of Carbon, 以下簡稱SCC）來量化減少碳排量帶來

的潛在社會效益⁶。此處將 $Benefit_3$ 定義為「產品i單位碳排減少之環境效益」，計算式如(4)：

$$Benefit_3 = \sum_j A_i \times Energy\beta_k \times EnergyCO_{2k} \times Value_3 \quad (4)$$

在上式中 $Energy\beta_k$ 為天然粒料產製過程所耗用的「能源使用係數」； $EnergyCO_{2k}$ 為各種能源對應的「碳排放係數」；k=《能源平衡表》中所羅列的各種能源種類； $Value_3 = SCC$ ，定義為單位減碳的效益衡量指標。

(4) 掩埋場減少使用：空間節省之效益

在政策情境下，原本需掩埋處理的焚化爐底渣因再生利用，而使現有的掩埋場得以保留既有空間應用。將掩埋場的空間視為土地資源來思考，政策情境所節省下來的掩埋空間，可採用此一土地資源的價值來加以量化，其因折耗減少所帶來的效益。由於掩埋場的空間主要用於掩埋之用，因此空間成本可採用單位掩埋成本（市場價值評估法）做為衡量指標。此處首先定義各公共工程產品i生產時所消耗的轉爐石及焚化底渣原料投入量 B_i ，如(5)式：

$$B_i = A_i \times Consumption_m \quad (5)$$

其中 $Consumption_l$ 為「製成單位再生粒料時轉爐石及底渣之消耗量」，m=轉爐石或底渣。接著定義 $Benefit_4$ 為「產品i單位掩埋空間節省效益」，並依下列公式進行效益之計算：

$$Benefit_4 = B_i \times Value_4 \quad (6)$$

上式中 $Value_4$ 為「單位掩埋成本」，為空間節省之貨幣化效益衡量指標。

(5) 掩埋場減少使用：空污減少之環境效益

掩埋場減少使用後，會因減少了掩埋場使用所帶來的環境負荷，進而帶來環境效益。依據行政院環境保護署（2012b）「垃圾處理政策評估說明書」的相關模擬說明，當掩埋場進行掩埋作業時，會產生部分空氣污染物質逸散及總懸浮微粒（TSP）的上升；反之，當掩埋場減少使用時，此部分減少之成本即為環境效益。在本研究中，規劃採用「垃圾處理政策評估說明書」中對於空污物質的排放模擬結果，計算出單位處理量所可能帶來的空污排放量。接著再配合可貨幣化的項目來進行效益之計算。本項計算公式如式(7)：

$$Benefit_5 = \sum_j B_i \times Air\gamma_j \times Value_{2,j} \quad (7)$$

6 在美國跨部會技術報告中主要採用目前世界上三大氣候整合模型（Integrated Assessment Model, IAM）—包含PAGE模型、DICE模型及FUND模型—計算「全球尺度」下，每多排放一公噸CO₂對於全球的損害。由於其計算尺度為全球、且CO₂效應具無法分割的性質，因此該報告中所計算出之損害值為全球一體適用（即，台灣排放一噸對於全球所造成的損害與美國排放一噸對於全球所造成的損害相同）。最新一版的報告更新時間為2016年，其中計算了三個折現率下（5%、3%、2.5%）的SCC，本研究選擇該報告中2017年各折現率下的SCC之平均值計來進行移轉計算。

其中， $Airy_j$ 為「單位處理量對應的空污排放量」； j =總懸浮微粒（TSP）、硫氧化物（SO_x）、氮氧化物（NO_x）、以及非甲烷碳氫化合物（NMHC）。

二、社會成本項目

政策的推動，其成本主要發生於三個部分。第一是受影響業者為了遵從此一政策所須額外（相對於基準情境）付出的成本，以及相關生產者消費者因此而受到的福利變化影響，即為法規遵從成本。第二部分是政策主管單位推動此一政策所須支出的行政成本，主要為推動此一政策所須支付的人力、資源等一般性行政成本。第三部分，則是政策情境實施所造成的環境外部成本。

(1) 法規遵從成本

在政策方案推動後，在一般再生粒料成本並不同於天然粒料的情況下，公共工程相關產品之生產者及消費者的福利都將因此而受到影響，此一福利變動之總和，定義為本研究之法規遵從成本。依據前述段落分析，在公共工程相關產品需求不變的前提下，因政策方案推動所帶來的生產成本上升之福利減損可能由生產者或消費者承擔，視生產者是否得以將生產成本轉嫁而定。無論在那一種情境之下，由於總需求沒有變動，因此生產者及消費者的福利減損總和即為本研究所帶來的生產成本上升總量，定義為 $Cost_1$ 。在後續在計算此處之成本時，主要是採用天然粒料及再生粒料之成本價差，再乘上預期使用量，即可得到此項之成本總額。本項計算公式如式（8）：

$$Cost_1 = A_i \times (Price_r - Price_o) \quad (8)$$

上式中 $Price_r$ 為「再生粒料的成本單價」； $Price_o$ 為「天然粒料的成本單價」。

(2) 政府法規推動之行政成本

包含事前規劃、政策實施過程的行政成本。雖然概念上必須將此項成本納入考量，惟在本研究中，由於無法取得此項資料，因此尚無法納入計算。

(3) 再生粒料增加產製所造成的環境成本

本研究鎖定的評估標的為「焚化底渣」及「轉爐石」，欲計算這二項物質增加產製為再生粒料過程中所產生的環境外部成本，本研究透過實廠訪查，取得轉爐石及焚化再生粒料之生產廠商實廠排放資料，包含能資源投入、環境衝擊數據等相關技術參數，以推估「碳排放」、「水資源使用」、「廢棄物處理」、「空氣污染」等環境衝擊，進一步進行貨幣化工作。

首先針對再生粒料產製過程中所增加的溫室氣體排放進行成本量化評估，定義為 $Cost_2$ ，計算公式如式（9）：

$$Cost_2 = B_i \times CO_2\beta_m \times Value_3 \quad (9)$$

在（9）式中， $CO_2\beta_m$ 為「單位再生粒料產製過程的碳排放係數」， m =轉爐石或底渣。

再生粒料產製過程中所增加的「水資源使用」成本定義為 $Cost_3$ ，在此採用行政院主計總處（2017）《105年綠色國民所得帳編製報告》中的「水資源折耗帳」，來進行貨幣化，計算公式如式（10）：

$$Cost_3 = B_i \times Water\beta_m \times Value_5 \quad (10)$$

上式中 $Water\beta_m$ 定義為「單位再生粒料產品的用水量」， m =轉爐石或底渣， $Value_5$ 則為《綠色國民所得帳》中的水資源折耗之價值。

$Cost_4$ 則為產製過程所增加的「廢棄物處理」成本，計算公式如式（11），係以每單位再生粒料所產生之廢棄物量所耗之掩埋成本為衡量：

$$Cost_4 = B_i \times Waste\beta_m \times Value_4 \quad (11)$$

其中，式（11）中 $Waste\beta_m$ 定義為「單位再生粒料產品的廢棄物量」， m =轉爐石或底渣， $Value_4$ 則為單位廢棄物之掩埋成本。

最後，每單位再生粒料產品量可能帶來的空污排放成本則定義為 $Cost_5$ ，計算公式呈現如式（12）。各項環境成本計算參數說明如下：

$$Cost_5 = \sum_j B_i \times Air\Delta_j \times Value_{2,j} \quad (12)$$

在式（12）中 $Air\Delta_j$ 定義為「單位產品量對應的空污排放量」；而 j =總懸浮微粒（TSP）、硫氧化物（SO_x）、氮氧化物（NO_x）、以及非甲烷碳氫化合物（NMHC）。

綜整上述各式，計算過程所使用的參數及變數定義彙整如表3所示。

表 3：本研究計算參數及變數之說明

名稱	內涵說明	參照算式
1.技術參數		
Use_i	公共工程產品i單位產量之天然料使用量	(1) (9)
$Replace_i$	公共工程產品i的再生粒料替代率	(1) (9)
$Drate$	天然粒料國內自產率	(1)
$Air\beta_j$	不同空氣污染物j之空污排放係數	(3)
$Energy\beta_k$	天然粒料產製過程所耗用的能源k使用係數	(4)
$EnergyCO_{2k}$	為各種能源k對應的碳排放係數	(4)
$Consumption_m$	製成單位再生粒料用時轉爐石或底渣之消耗量	(5)
$Air\gamma_j$	單位處理量對應的空污j排放量	(7)
$Price_r$	再生粒料的成本單價	(8)
$Price_o$	天然粒料的成本單價	(8)
$CO_2\beta_m$	單位再生粒料產製過程的碳排係數	(9)
$Water\beta_m$	單位再生粒料產品的用水量	(10)
$Waste\beta_m$	單位再生粒料產品的廢棄物量	(11)
$Air\Delta_j$	單位再生粒料產品對應的空污j排放量	(12)
2.貨幣化價值參數		
$Value_1$	為《綠色國民所得帳》中的單位土石資源折耗值	(2)
$Value_{2,j}$	為《綠色國民所得帳》中不同空氣污染物之單位質損值	(3) (7) (12)
$Value_3$	單位減碳的效益衡量指標，其值等於SCC	(4) (9)
$Value_4$	單位掩埋成本	(6) (11)
$Value_5$	為《綠色國民所得帳》中的單位水資源折耗值	(10)

註：i=為各項公共工程應用品項別；j=各種《綠色國民所得帳》中質損帳所涵蓋的空氣污染物；k=《能源平衡表》中所涵蓋的能源品項別；m=轉爐石或底渣。
資料來源：本研究彙整。

陸、 成本項目及效益項目之計算結果

一、社會效益項目

(1) 天然粒料之減少生產：土石資源開採減少所降低之環境折耗

彙整行政院主計總處（2018）《民國106年綠色國民所得帳》編彙報告中土石資源之折耗帳，2017年我國天然粒料開採量為46,046千立方公尺，土石資源折耗值為1,499百萬元。由於天然粒料之比重為1.6，將單位容積換算成單位重量，則可得單位土石資源質損值為20.35元/公噸。本研究推估土石折耗減少之效益，彙整如表4。

表 4：單位土石折耗減少之效益

使用材料	港區工程產品別	單位產品國內自產天然料使用量	單位產品再生料替代率	單位產品再生料替代量 (Ai)	單位土石折耗減少之效益 (元/公噸)
轉爐石	• 港區道路鋪面 • 停車場鋪面	0.72	60%	0.43	8.79
	• 施工便道	0.80	100%	0.80	16.28
焚化再生粒料	• 港區管溝回填	0.64	33%	0.21	4.30
	• 港區道路底層 • 停車場底層 • 廣場底層	0.80	25%	0.20	4.07

資料來源：本研究整理。

(2) 天然粒料之減少生產：空污排放減少之環境效益

本研究整合行政院主計總處（2015）所發布的「產業關聯表」與行政院環境保護署的TEDs資料庫，配合行業別加總式盤查分析的概念，在假設技術結構短期不變的情況，計算出各產業每單位產值所對應的空污排放量，以此排放係數進行後續推論。當礦業及土石採取業因天然粒料之減產而令其經濟產出減少時，透過盤查資料庫之比對計算，則可以推估出因此而減少的空污排放量。

再依據行政院主計總處（2018）《民國106年綠色國民所得帳》編彙報告中總懸浮微粒（TSP）、硫氧化物（SO_x）、氮氧化物（NO_x）、非甲烷碳氫化合物（NMHC）的環境質損帳及單位減量成本（如表5），配合維護成本法的概念、將環境成本之減少視為效益來進行環境效益推論。依此，本研究推估出之單位空污減少的環境效益彙整如表6所示。

(3) 天然粒料之減少生產：能源使用減少減碳效益

此項目整合行政院主計總處所發布的「產業關聯表」、經濟部能源局「能源平衡表」以及行政院環境保護署「溫室氣體排放係數管理表」等資料庫，推算出2013年礦業及土石採取業產製過程中，因使用能能源所產生的溫室氣體排放量為362.14千公噸；同年產值為1,700,693百萬元，推算礦業及土石採取業單位產值之溫室氣體排放量為0.2129公噸/百萬元。

另外，根據美國碳社會成本跨部會技術小組2016年8月公布最新的修正估計結果，2017年在不同折現率（5%、3%、2.5%）之下的碳社會成本值約為每公噸11美元~59美元，折合台幣，約為每噸340元~1,821元，平均約為每噸1,080元。最後計算單位能源使用減少之減碳效益，彙整如表7所示。

表 5：綠色國民所得帳之空氣污染物質損帳及減量成本

空氣污染物	削減量 (公噸)	綠色國民所得質損 (百萬元)	單位空污減量成本 (元/公噸)
TSP	1,334	23	17,241
SOx	477	12	25,157
NOx	92,995	2,576	27,700
NMHC	127,605	10,936	85,702

資料來源：整理自行政院主計總處（2017）。

表 6：單位空污減少所致之環境效益

使用材料	港區工程 產品別	單位產品國內自產 天然料使用量	單位產品 再生料替代 率	單位產品再生 料替代量 (Ai)	單位空污減少所致之 環境效益 (元/公噸)
轉爐石	• 港區道路鋪面 • 停車場鋪面	0.72	60%	0.43	0.023
	• 施工便道	0.80	100%	0.80	0.042
焚化再生粒料	• 港區管溝回填	0.64	33%	0.21	0.011
	• 港區道路底層 • 停車場底層 • 廣場底層	0.80	25%	0.20	0.011

資料來源：本研究整理。

表 7：單位能源使用減少之減碳效益

使用材料	港區工程 產品別	單位產品國內自 產天然料使用量	單位產品 再生料替代率	單位產品再生 料替代量 (Ai)	單位能源使用減少 之減碳效益 (元/公噸)
轉爐石	• 港區道路鋪面 • 停車場鋪面	0.72	60%	0.43	0.032
	• 施工便道	0.80	100%	0.80	0.059
焚化再生粒料	• 港區管溝回填	0.64	33%	0.21	0.016

使用材料	港區工程產品別	單位產品國內自產天然料使用量	單位產品再生料替代率	單位產品再生料替代量 (Ai)	單位能源使用減少之減碳效益 (元/公噸)
	<ul style="list-style-type: none"> 港區道路底層 停車場底層 廣場底層 	0.80	25%	0.20	0.015

資料來源：本研究整理。

(4) 掩埋場減少使用：空間節省之效益

此項採用現況之下掩埋場處理的市場價格（市場價值評估法）做為效益衡量指標，將再生料節省下來的掩埋空間乘上單位掩埋成本，則可計算出掩埋場使用空間節省之效益，相關參數彙整如表8所示。其中，「單位轉爐石/底渣製成再生料之消耗量」即是指生產一單位再生料時，需要的多少單位的轉爐石或底渣，而「單位掩埋成本」係參考目前國內民營掩埋場之廢棄物收受價格，依行政院環境保護署（2016）調查成果，目前非固化物一般事業廢棄物收受價格介於6,000~15,000元/噸（不含運費），本研究取平均價格10,500元/公噸來計算。另外，轉爐石是煉鋼程序所衍生的副產品，不屬一般事業廢棄物，所以不會以掩埋處理之，故無此計算項目。

表 8：單位掩埋空間節省之效益

使用材料	港區工程產品別	單位產品再生料替代量 (Ai)	轉爐石/底渣製成再生料之消耗率	製成單位再生料時轉爐石及底渣之消耗量 (Bi)	單位掩埋成本 (元/公噸)	單位掩埋空間節省之效益 (元/公噸)
轉爐石	<ul style="list-style-type: none"> 港區道路鋪面 停車場鋪面 	0.43	100%	0.43	--	--
	<ul style="list-style-type: none"> 施工便道 	0.80	100%	0.80	--	--
焚化再生料	<ul style="list-style-type: none"> 港區管溝回填 	0.21	90%	0.19		1,995.84
	<ul style="list-style-type: none"> 港區道路底層 停車場底層 廣場底層 	0.20	90%	0.18	10,500	1,890.00

資料來源：本研究整理。

(5) 掩埋場減少使用：空污減少之環境效益

依據行政院環境保護署（2012b）《垃圾處理政策評估說明書》對於既有掩埋場進行生命週期的空污物質排放模擬，其中涵蓋了VOC（苯、甲苯、乙苯、二甲苯）、NMHCs與TSP。惟VOC污染物尚無減量成本之資料，無法將VOC所帶來的影響納入計算，僅能考量NMHCs與TSP的減量效益。最後依據公式計算因掩埋場減少使用而帶來空污減少之環境效益，如表9所示。

二、社會成本項目

(1) 法規遵從成本

生產者及消費者的福利減損總和，即為本研究所帶來的生產成本上升總量。在計算此處之成本時，主要是採用天然粒料及再生粒料之成本價差，再乘上預期使用量，即可得到此項之成本總額，計算結果彙整如表10所示。

表 9：因掩埋場減少使用致空污減少之環境效益

使用材料	港區工程 產品別	單位產品再生 料替代量 (Ai)	轉爐石/底渣製成 再生粒料之消耗 率	製成單位再生 粒料時轉爐石 及底渣之消耗 量 (Bi)	單位掩埋場減少使 用致空污減少之環 境效益 (元/公噸)
轉爐石	• 港區道路鋪面 • 停車場鋪面	0.43	100%	0.43	--
	• 施工便道	0.80	100%	0.80	--
焚化 再生 粒料	• 港區管溝回填	0.21	90%	0.19	2.55
	• 港區道路底層 • 停車場底層 • 廣場底層	0.20	90%	0.18	2.41

資料來源：本研究整理。

表 10：單位法規遵從成本

使用 材料	港區工程 產品別	單位產品再生 料替代量 (Ai)	單位天然粒料 生產成本 (元/ 公噸)	單位轉爐石/底渣 再生粒料之生產 成本 (元/公噸)	單位法規 遵從成本 (元/公噸)
轉爐石	• 港區道路鋪面 • 停車場鋪面	0.43	319.791	402	-120.87
	• 施工便道	0.80			-223.84
焚化再生 粒料	• 港區管溝回填	0.21	319.791	2503	-14.74
	• 港區道路底層 • 停車場底層 • 廣場底層	0.20			-13.96

註1：依公共工程委員會工程資料顯示，天然粒料（碎石級配及粗粒料）平均價格為511.67元/立方公尺，以天然粒料之比重為1.6換算，則可得單位天然粒料生產成本319.79元/公噸。

註2：引自行政院環保署（2018）。

註3：引自陳建勳（2014）。

(2) 再生粒料增加產製所造成的環境成本

本研究評估的標的為「底渣」及「轉爐石」，對於這兩者再生粒料製程所產生的環境成本，係透過實廠盤查取得能資源使用及污染排放資料（行政院環境保護署，2018），如表11

所示。此部分可計算之項目，包含「碳排放」、「水資源使用」、「廢棄物」、「空氣污染」等。

表 11：單位再生粒料產品之污染量

資源耗用及污染排放項目	污染量
產製過程的碳排放量	轉爐石：0.01 公噸 CO _{2e} /公噸產品 焚化再生粒料：4.68 公噸 CO _{2e} /公噸產品
用水量	轉爐石：0.01 公噸/公噸產品 焚化再生粒料：1.49 公噸/公噸產品
廢棄物量	焚化再生粒料：0.00405 公噸/公噸產品
單位再生粒料產品對應的空污排放量	轉爐石：0.004公噸TSP/公噸產品

資料來源：行政院環保署（2018）

本項再生粒料增加產製所造成的環境成本，計算彙整如表12所示。

表 12：再生粒料增加產製所造成的環境成本

使用材料	港區工程產品別	製成單位再生粒料時轉爐石及底渣之消耗量 (Bi)	單位再生料增加產製所造成之環境成本 (元/公噸)			
			碳排放成本	水資源使用成本	廢棄物成本	空污成本
轉爐石	• 港區道路鋪面 • 停車場鋪面	0.43	2.44	0.01	0	28.96
	• 施工便道	0.80	4.52	0.02	0	53.63
焚化再生粒料	• 港區管溝回填	0.19	961.91	0.50	8.09	--
	• 港區道路底層 • 停車場底層 • 廣場底層	0.18	910.90	0.47	7.66	--

資料來源：本研究整理。

柒、單位效益及單位成本評估結果分析

本研究所推估的單位效益及單位成本之意涵為：以轉爐石或焚化底渣做為再生粒料，生產每單位的港區工程特定產品時，所帶來的效益及成本。綜整前述推估結果，單位港區工程產品別之單位成本及單位效益如表13、表14所示。評估結果重點分別說明如下。

一、轉爐石再生粒料應用評估結果分析

(1) 政策方案的成本效益檢驗

成本效益之檢驗，意指透過單位效益與成本之淨值比較，來判斷政策方案是否值得執行。在本案中，若單位效益高於成本，表示該政策方案之執行，將對整體社會而言帶來淨效益，值得推動。反之，則不建議執行。在表13中包含了轉爐石應用於「鋪面」與「施工便道

舖設」等二種應用方式的單位成本及單位效益之計算結果，以下以上述原則進行檢視。首先，針對「舖面」應用而言，單位成本效益之淨值為98.3元/公噸，表示此政策應用方案之推動，每公噸能夠帶來98.3元的淨效益，值得推動。另一方面，「施工便道舖設」的單位成本效益淨值為182.05元/公噸，表示該政策方案之實施，每公噸可為社會帶來182.05元的淨效益，亦值得推動。

(2) 公部門環境效益觀點：再生利用環境成本高於天然粒料

依據推估結果，轉爐石應用於本研究中「舖面」及「施工便道舖設」時，在再生粒料的產製中所造成的環境成本，以空污排放成本為主，且遠高於為了使用天然粒料而進行的開採及產製過程所產生的環境成本。此一結果亦表示，轉爐石的再利用對於環境有負面影響效果。惟特別注意的一點是，轉爐石是煉鋼的副產品，其價格已包含所有生產（如原料、設備）成本，以及放置轉爐石之場地成本等，所以不會有因堆置空間節省之效益產生。但倘若轉爐石去化管道受阻，則場內堆置成本可能因為土地稀缺而升高時，則再生粒料的生產成本及售價預期將因此而上升，此時效益計算結果將隨之改變。惟在此階段的推估中，尚無法合理預估此一變因的影響，因此暫無納入考量。

(3) 私部門財務誘因觀點：已存在私部門使用的誘因

對於粒料使用者而言，此粒料是否能夠帶來具有財務上的使用誘因（是不是可以降低成本、提高獲利）才是私部門考量的重點。從這個角度進行檢視，轉爐石應用於舖面施工便道時，在目前市場上的粒料價格水準下，其使用成本已顯著低於天然粒料；由於生產成本相對較低，廠商已有誘因使用轉爐石所產生的再生粒料於舖面及施工便道之應用。而目前使用情況不如預期普及的理由之一，主要是主管機關尚未提出明確的施工規範；廠商在考量使用風險的情況之下，仍多持觀望態度。

表 13: 單位港區工程產品別之成本及效益分析—轉爐石

港區工程產品別	土石折耗減少之 效益	空污減少之環 境效益	能源使用減少之 減碳效益	單位效益	單位法規 遵從成本	再生粒料增加產製所造成的環境成本				單位成本
						碳排放 成本	水資源 使用成本	廢棄物 處理成本	空污排放 成本	
鋪面 (道路/停車場)	8.79	0.023	0.032	8.84	-120.87	2.44	0.01	0	28.96	-89.46
施工便道	16.28	0.042	0.059	16.38	-223.84	4.52	0.02	0	53.63	-165.671

說明：單位為 元/公噸。

表 14: 單位港區工程產品別之成本及效益分析—焚化再生粒料

港區工程產品別	土石折耗 減少之效 益	空污減少 之環 境效 益	能源使用 減少之 減 碳效 益	掩埋空 間 節省之 效 益	掩埋場減少 使用致空污 減少之環 境 效 益	單位效益	單位法規 遵從成本	再生粒料增加產製所造成的環境成本				單位成本
								碳排放 成本	水資源 使用成本	廢棄物 處理成本	空污排放 成本	
管溝回填	4.30	0.011	0.016	1,995.84	2.55	2,002.71	-14.74	961.91	0.50	8.09	--	955.76
底層 (道路/停車場/廣場)	4.07	0.011	0.015	1,890.00	2.41	1,896.51	-13.96	910.90	0.47	7.66	--	905.08

說明：單位為 元/公噸；（--）表示缺乏數據可推估。

二、焚化再生粒料應用評估結果分析

(1) 政策方案的成本效益檢驗

依據表14的計算結果進行各應用方案的成本效益檢驗。就「管溝回填」的應用來說，單位成本效益淨值計算結果為1,046.95元/公噸，表示此政策方案之推動，每公噸可為社會帶來1,046.95元的淨效益，值得推動。另針對「底層」應用而言，單位成本效益淨值計算結果為991.43元/公噸，說明此一應用方向每公噸可為社會帶來991.43元淨效益，亦值得推動。

(2) 公部門環境效益觀點：環境效益為掩埋場地的節省及碳排放成本之抗衡

依據評估結果，焚化爐底渣為進行再生利用而的產製過程，其帶來的環境成本相對使用天然粒料來得高，尤其是在碳排放環境成本（源自於能源使用）方面特別顯著。亦即，為了活化底渣來進行再生利用，我們必須承擔較高的環境負荷及環境成本。然而，真正讓焚化底渣具備顯著環境效益的重點，在於去化這些底渣而節省的掩埋空間。依據目前市場上掩埋空間之使用成本來評估，每一噸底渣若能用於再生利用而不進行掩埋，則可帶來顯著的空間節省效益。就目前台灣所面臨的情況來看，掩埋空間預期在近年即會超過其承載能力。在此趨勢之下，除了空間使用成本預期將會逐漸升高（表示去化底渣所帶來的空間節省效益亦會提升）之外，在技術層面如何找到合適底渣去化方法，將是台灣未來必須面臨的重要問題。

(3) 私部門財務誘因觀點：已存在私部門使用的誘因

從市場價格進行檢視，由焚化底渣所製成的再生粒料，其價格平均而言低於天然粒料。亦即若在耐用強度差異不大、使用再生粒料無須更動技術設備的情況之下，生產者或消費者已具備使用再生粒料的誘因。

三、綜合考量

在轉爐石的部分，因為轉爐石的法規遵從成本較天然粒料來得低廉，因此在私部門生產者或使用者角度來說，存在使用的誘因。在目前的條件之下，轉爐石應用於鋪面或是施工便道，在環境面向方面，與天然粒料的開採及產製相比，皆帶來較大的環境衝擊，尤其是空污排放成本，爰此，在誘因設計之考量，應鼓勵使用者利用轉爐石取代天然粒料，並且輔導轉爐石製造者積極改善空污排放，降低轉爐石產製時所產生的環境成本。

而焚化再生粒料應用於鋪面或是管溝回填時，再生粒料產製所產生的環境成本，以碳排放成本最為可觀，亦遠高於取代天然粒料所帶來的效益。然而，在效益方面，因掩埋空間的節省此項效益亦顯著高於其他效益項目，且隨著國內掩埋空間日漸降低，若屆時掩埋場空間飽和，焚化底渣將無法妥善去化，亦衍生更嚴重的環境問題。另一方面，由使用成本的角度來說，焚化再生粒料與轉爐石的市場價格皆一致較天然粒料來得低，因此從生產者或使用者角度來說，已存在使用的誘因。但若比較焚化底渣若與轉爐石，底渣成本節省的程度不及轉爐石，因此若相同的工程應用同時可選擇使用轉爐石或底渣再生粒料時，則轉爐石因市場價格較低，對於私部門使用的誘因較高。

綜上所述，轉爐石與焚化再生粒料皆具有私部門使用的誘因，若未來面臨無法去化之情形，如：轉爐石場內堆置、焚化底渣掩埋空間不足等問題時，兩者的空間成本皆很可觀。在

此前提之下，若能再生使用並循序推廣，則帶來的空間節省效益亦相當可觀。站在政策推動者需注意的是，在再生粒料產製過程時所產生的環境成本，兩者產製之環境成本皆大於天然粒料開採之環境成本，因此政策推動者除了建立相關工程產品規範以推廣使用之外，更要積極輔導再生粒料製造者對於空氣污染物以及能源使用之減量，亦能降低再生粒料之環境成本。

捌、 結論

一、研究限制

本研究相關的模擬估算，主要受到現有工程應用方案以及相關量化參數之影響，因此亦存在以下研究限制。

(1) 範疇之解讀問題

本研究評析的焦點是轉爐石及底渣於公共工程相關應用的CBA分析。然而，目前本研究評析的應用方案僅限於道路鋪面及管道回填等應用項目，並無納入必須涉水的相關工程應用項目。換言之，本研究目前所涵蓋的研究範疇並無法包含所有再生粒料於公共工程之應用項目，因此對於模擬結果，在解讀上不可推論至所有公共工程之應用。

(2) 轉爐石之處目前僅考量物理程序為主的利用方式

本研究所評估的轉爐石粒料主要是經破碎、篩分及磁選等物理步驟處理之，所以在單位再生料生產成本、再生粒料增加產製所造成的環境成本較低，若未來要拓展轉爐石再生粒料之，則實務上轉爐石須經過化學程序進行改質，預期環境成本也將上升。

(3) 指標內容之詮釋問題

由於目前台灣再生粒料之應用尚未有整體的規劃方案，因此本研究目前主要是以單位成本效益做為評估指標進行推論。然而，完整的CBA評估，仍須配合後續較完整的政策規劃方案，方能進行全面的分析。舉例而言，在目前的評估結果中，並沒有涉及效益及成本項目折現計算的探討，這主要亦是因為目前尚無明確的政策推動時程，以及每一階段推動時所能帶來的消化量，因此無法配合時間軸度來進行折現之計算。其次，也由於目前之評估非以完整政策方案做為推論基礎，因此尚未將未來政策推動時所須耗用的行政會計成本納入計算考量。未來若有更加明確的政策方案規劃，上述項目必須納入成本面向之計算，方能完整呈現此一政策推動所帶來的社會成本。

二、後續工作建議

在上述的研究限制之下，本研究的成本效益分析仍有精進的空間，以得到更精確的政策意涵。以下將之提列為後續工作建議，簡要條列如下。

(1) 工程應用項目的擴展分析

本研究僅針對轉爐石、焚化底渣二種物質，分別就「舖面」、「管溝回填」、「施工便道」等工程應用所可能帶來的成本及效益進行評估分析。然而就去化的角度來說，這些管道可去化的量可能仍及不上轉爐石及底渣每年的產生量，因此後續可擴展工程應用項目、輔以本研究所建構的成本效益項目及架構來進行分析。

(2) 政策方案內容的確立

要進行完整的CBA評估，則必須有完整的政策情境內容，方能依此進行評估。在本研究中，由於對於未來可能的政策方案並無法刻劃的十分清晰，因此僅能由「單位成本、單位效益」的角度來進行計算，卻缺乏數個完整成本效益分析所必須納入考量的元素—如時間成本的折現考量，以致無法得到完整的成本效益分析結果。因此亦建議，後續先針對可能的政策方案進行規劃及討論，再輔以本研究所建立的評估架構，進行完整的CBA分析。

(3) 不確定性的考量

在標準的CBA分析架構中，不確定性的考量，亦是值得強調的重點。對於評估流程中需要使用許多技術參數者，此一分析更顯重要。惟在本研究中並未將不確定性納入分析，以致評估結果無法有效地反應各種潛在可能發生的不確定性，此為本研究的限制之一。因此，將不確定性分析納入評估架構之中，亦是本議題後續在方法論應用上可精進的方向。

致謝及說明

本文為行政院環境保護署（2017）『廢棄物資源化產物用途評估、推動及管理專案工作計畫』與行政院環境保護署（2018）『再生粒料用途推廣、施工規範及管理專案工作計畫』部分內容擴充改寫而成。同時特別感謝工作執行過程中，包含中央研究院經濟研究所 蕭代基研究員、台灣經濟研究院 周嫦娥顧問、臺北大學 魏國棟教授、錢玉蘭教授的諮詢意見及指導，讓與本文相關之工作得以順利完成。

參考文獻

中文文獻：

1. 中國鋼鐵股份有限公司與中龍鋼鐵股份有限公司，2017。『轉爐石瀝青混凝土使用手冊（2017年版）』，取自：http://www.chc.com.tw/pdf/nsn_126_1_2017.pdf。
2. 行政院，2018。『再生粒料運用於公共工程推動情形』，取自：<https://www.ey.gov.tw/File/793F5701E5DB7317?A=C>
3. 行政院主計總處，2015。『100年產業關聯表編製報告』。取自：<https://www.dgbas.gov.tw/ct.asp?xItem=37004&ctNode=3106&mp=1>。
4. 行政院主計總處，2018。『民國106年綠色國民所得帳編製報告』。取自：<https://www.stat.gov.tw/public/data/dgbas03/bs7/greengnp/all.pdf>。
5. 行政院環境保護署，2012a。『環境政策與開發計畫成本效益分析作業手冊』。台北：行政院環境保護署。
6. 行政院環境保護署，2012b。『垃圾處理政策評估說明書』，取自：<https://www.epa.gov.tw/public/Data/46915373171.PDF>
7. 行政院環境保護署，2015。『焚化底渣再生粒料應用於控制性低強度回填材料(CLSM)使用手冊』。台北市：行政院環境保護署。
8. 行政院環境保護署，2016。『廢棄物清除處理機構及專業技術人員管理專案計畫』。計畫編號：EPA-105-H103-02-A123，執行單位：環興科技股份有限公司。
9. 行政院環境保護署，2018。『再生粒料用途推廣、施工規範及管理專案工作計畫』。計畫編號：EPA-107-H103-02-A058，執行單位：晶淨科技股份有限公司。
10. 行政院環境保護署，2018。『環境資源資料庫』，取自：<https://erdb.epa.gov.tw/DataRepository/Facilities/PublicWasteOrgData.aspx>。
11. 陳建勳，2014。『焚化底渣取代混凝土粒料之可行性研究（碩士論文）』，取自：<https://ndltd.ncl.edu.tw/cgi-bin/gs32/gsweb.cgi/login?o=dnclcdr&s=id=%22102TIT05514012%22.&searchmode=basic>。
12. 經濟部礦物局，2017。『全國土石生產量值表』，取自：https://www.mine.gov.tw/PInfo/ListPInfo.asp?c_type=4&c_type2=4&
13. 蕭代基、鄭蕙燕、吳珮瑛、錢玉蘭、溫麗琪，2002。『環境保護之成本效益分析：理論、方法與應用』，台北：俊傑書局股份有限公司。

英文文獻：

1. Boardman, A.E., D.H. Greenberg, A.R. Vining, and D.L. Weimer, 2011. COST-BENEFIT ANALYSIS: Concepts and Practice. New York: Prentice Hall.
2. European Commission, 2005. ExternE, Externalities of Energy: Methodology 2005 update. Available from: http://www.externe.info/externe_d7/sites/default/files/methup05a.pdf.
3. Interagency Working Group on Social Cost of Carbon, 2016. Technical Support Document: Social Cost of Carbon for Regulatory Impact Analysis under Executive Order 12866. Available from: www.epa.gov/sites/production/files/2016-12/documents/sc_co2_tsd_august_2016.pdf.

4. Organization for Economic Co-operation and Development, 2018. Cost-Benefit Analysis and the Environment: Further Developments and Policy Use. OECD Publishing.