



我國無機資源循環與發展

環境部資源循環署循環處理組組長 / 陳俊融

環境部資源循環署循環處理組無機資源循環科科長 / 李旻壕

環興科技股份有限公司協理 / 吳文龍

環興科技股份有限公司資深計畫主任 / 葉柏宏

關鍵字：無機資源循環、循環經濟、淨零減碳、陸域營建工程應用、水泥業循環、港區填築、SDGs (9. 永續工業與基礎建設)

摘要

廢棄物是被錯置的資源，資源是可以循環再利用，臺灣每年產生約 3,200 萬公噸廢棄物，其中無機資源占五成以上，約 1,700 萬公噸，促進循環相對重要。無機資源可經資源化處理作為原料、材料、級配料或加工製品等應用，替代天然粒料、同時也減少掩埋處置。

目前臺灣無機資源循環，主要用於陸域營建工程應用（112 年約 54%）、水泥業循環（112 年約 11.8%）及港區填築（112 年約 9.8%）等用途，並由公共工程帶頭使用、編修訂規範及手冊、鼓勵綠色標章及綠色採購、媒合替代作為水泥生熟料及燃料、推進水泥業研製低碳水泥產品、推進港區

填築需求及供給進度等方式，再提升無機資源循環率。

在後續推動上，期透過強制使用、施工規範及品質認證，與各主管部會攜手努力擴大公共工程使用無機資源；建置無機資源循環平台，做為無機資源循環推動及管理中樞；辦理科技研發，暢通無機資源循環及提升高值化。透過產業、政府及民眾共同為資源及環境永續而努力，讓無機資源循環推動工作，做到 3 心 3 用—關心、安心、有信心，會用、敢用、樂於用。

一、前言

臺灣每年約產生 3,200 萬公噸廢棄物，分別來自工業 1,850 萬公噸、營建 200 萬公



噸、農業 20 萬公噸及生活 1,100 萬公噸。圖 1 為臺灣廢棄物來源及數量。廢棄物是被錯置的資源，幾乎所有廢棄物都可以循環再利用，放對位置就可作為原料、材料或粒料。將廢棄物資源化及循環利用，可有效替代天然資源開採及使用，創造經濟與環保雙贏，達成資源循環及循環經濟，邁向循環永續的社會。

二、無機資源循環背景及現況

無機資源循環背景

廢棄物包含可燃物、有機物、無機物及化學品等類別，其中無機資源約占五成以上，因此促進無機資源循環亦相對重要。無機資源除產業直接回收利用外，也可經資源化處理製成無機再生粒料，可減少掩埋量、替代天然粒料，作為原料、材料、級配料或加工製品等應用。

無機資源循環發展，以垃圾焚化再生粒料循環為例，臺灣生活垃圾現優先以源頭減量、資源回收為主，並自 80 年代以焚化廠減積產能發電，而焚化後產生底渣，亦自 90 年代起參考歐洲荷德等先進國家 90% 已循環利用於營建工程作法，率先於亞洲推動焚化底渣循環利用，於民國 91 年起訂定垃圾焚化廠焚化底渣再利用管理方式，將焚化底渣經破碎分選等前處理技術製成焚化再生粒料（產品品質），符合環境溶出標準才能出廠（環境品質）；符合如控制性低強度回填材料（CLSM）、道路級配基底層及磚品等使用用途工程規範才能使用（工程品質）；並要求透過限制使用地點（排除敏感區位）、取得工程管制編號（許可管理）、清運機具應裝置即時追蹤系統（GPS 定位）、申報最終使用地點（地點管理）、檢附使用前中後照片（證據保全）等使用及流向申報，做到全程流向管理，兼顧技術、環境及管理面推動，迄今焚化再生粒料循環率已超過 90% 以上，與歐洲荷德等國同步。



圖 1 台灣廢棄物來源及數量



另外產業界也讓過去掩埋的無機廢棄物，轉變為無機資源全生命週期循環，建立不斷循環利用、可恢復且可再生的經濟商業模式或產業體系，也就是循環經濟（Circular Economy），如鋼鐵業（一貫作業鋼鐵廠及電爐煉鋼業）、水泥業等的循環經濟。一貫作業鋼鐵廠將鋼鐵業生產過程所產生副產物（高爐石、轉爐石、脫硫石、廢耐火材等）皆已適當處理資源化利用，將無機廢棄物轉化為各產業或工程的替代原料或材料，形成資源化鏈結循環利用，表 1 為一貫作業鋼鐵廠推動無機資源循環利用主要作法 [1]。另電爐煉鋼業將各界廢鐵回收熔煉成鋼鐵相關原料或產品，落實鐵金屬循環；而其煉鋼衍生集塵灰利用旋轉窯高溫冶煉技術去除戴奧辛製成粗氧化鋅產品（Zn 約 58%）供內外銷；煉鋼衍生爐渣（氧化渣及還原渣）及旋轉窯爐渣，也

經安定化處理供 CLSM 與非構造物用混凝土等使用，落實無機資源循環零廢棄，圖 2 為電爐煉鋼業循環經濟作法。

無機資源循環現況

無機資源如由產業製程產生之爐渣、飛灰、無機性污泥等，由營建工程產生之建築無機廢料等及由生活處理產生之焚化底渣等，共計 8 類 59 項，每年約產生 1,700 萬公噸，圖 3 為台灣無機資源循環現況。無機資源除部分可回收做為產業原料外，由於其特性與天然粒料相近，亦可作為再生材料或粒料，用於陸域營建工程（112 年約 54%）、水泥業循環（112 年約 11.8%）及港區填築（112 年約 9.8%）等用途，減少掩埋處置（112 年約 11.5%）之需求。

表 1 一貫作業鋼鐵廠推動無機資源循環利用主要作法 [1]

種類	製程來源	作法及應用方式
高爐石	高爐將原料熔煉成鐵水時產出副產物	利用高壓水柱急速將高爐石粒化產生水淬高爐石，加工後產生爐石粉，可作為高爐水泥原料。
轉爐石	鐵水經過轉爐精煉成鋼液時產出的副產物	經靜置冷卻後，回收殘鋼及部份作為燒結工場原料、高爐助熔劑及盛渣桶墊底料外，其餘作為整地、臨時道路、瀝青混凝土骨材、混凝土助劑、港區填築等。
脫硫石	鐵水經過脫硫處理後的副產物	回收殘鐵後用於整地、臨時道路、土壤改良材料、低強度混凝土及水泥製造原料。
集塵灰	製程除塵系統收集的粉塵（包括煤灰）	各製程產出集塵灰經收集分類後，除煤灰與礦泥混拌後作為水泥製造原料以及轉底爐產出的氧化鋅粉直接外售日本提煉鋅金屬之外，其餘全部用為廠內煉鐵原料。
礦泥	含有礦物粉塵的廢水經過處理、濃縮及脫水後的產物	各製程產出之集塵灰經收集分類後，電鍍鋅線產出的高鋅礦泥直接外售日本提煉鋅金屬，其餘優先在廠內回收做為煉鐵原料，無法回收者則外售水泥廠做為水泥製造原料。
廢耐火材	高溫設施汰換下來的殘餘耐火材料	經分類、破碎及篩選後，回收殘鋼及部份做為煉鋼助熔劑、渣桶保護材外，其餘供應商逆向回收做為耐火材料原料。
廢酸洗液	金屬表面處理製程以鹽酸溶蝕鋼材後產出之廢液	經廢酸純化、焙燒等流程，產出再生酸供廠內回收使用，另產出高品級氧化鐵粉外售作為磁性元件材料。

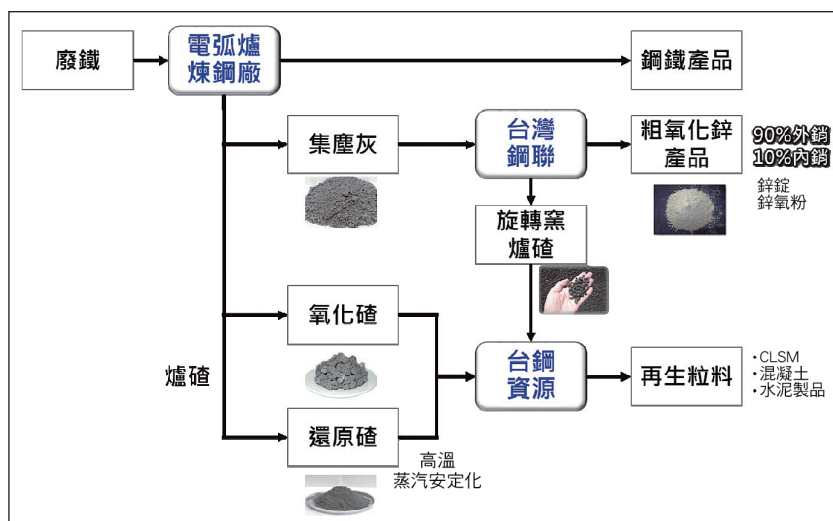


圖 2 電爐煉鋼業循環經濟作法

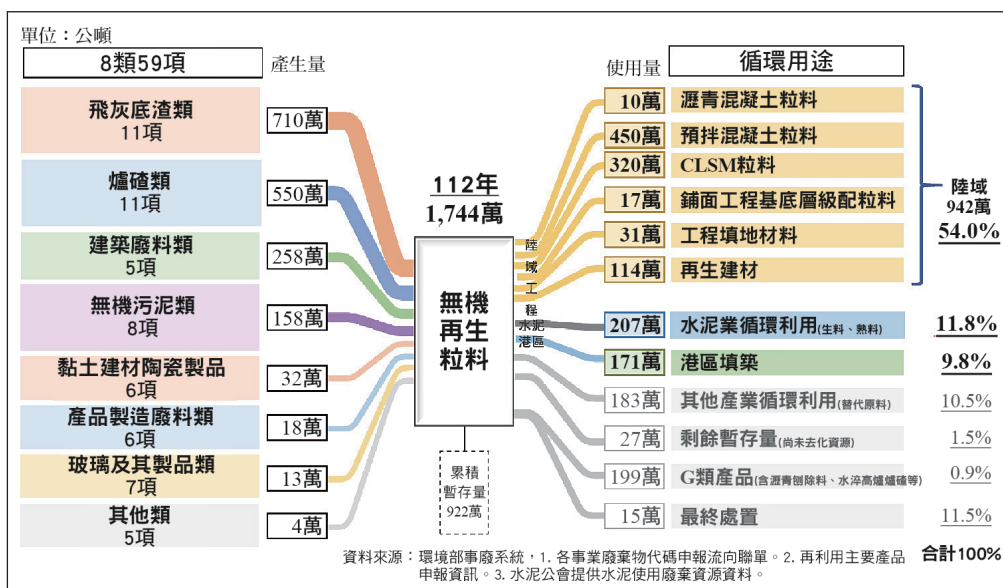


圖 3 台灣無機資源循環現況

三、無機資源循環應用推動策略

無機資源循環應用推動，目前主要在陸

域營建工程應用、水泥業循環及港區填築等領域，就環境面、技術面或法制面等進行，相關推動重點如下 [2][3][4][5][6][7][8]：



陸域營建工程應用

陸域營建工程應用，常見如作為預拌混凝土粒料、CLSM 粒料、瀝青混凝土粒料、鋪面工程基底層級配料、工程填地材料及磚品、水泥製品等建材產品，應用範圍相當廣，由於無機資源物化特性與天然粒料相近。

無機資源應用於陸域營建工程推動重點為：

1. 由公共工程帶頭使用

國內陸域營建工程主要以政府公共工程為主，公共工程舉凡道路運輸工程、軌道運輸工程、機場港灣工程、水庫及蓄水工程、電業工程、海岸、河川整治及水利工程、自來水工程、共同管道工程、下水道工程等[9]，依據公共工程委員會發布 112 年政府採購執行情形顯示國內工程相關決標金額達 8,778 億元 [10]，由公部門公共營建工程帶頭使用無機再生粒料，兼具領頭循環利用及創造綠色商機之效果。

由公共工程帶頭使用無機資源，透過行政院公共工程委員會（以下簡稱 工程會）的跨部會推動小組，要求相關發包公共工程須使用無機再生粒料；另縣市可透過訂定相關自治條例或結合地方道路挖掘許可制度，要求轄區公共工程中使用無機再生粒料，均可達到促進資源循環及淨零減碳之效果。

2. 編修訂規範及手冊

為維持營建工程設計及施工品質，工程會訂定有共通性施工規範、另各機關團體視需要也分別訂定施工規範及應用手冊，供工

程單位依循。因此為提升無機資源循環，針對不同無機再生粒料之對應合適用途，由相關實績或進行相關工程性及環境性檢試驗確認可行後，同時據以編修訂相關施工綱要規範及應用手冊，提供施工單位依循。

表 2 為常見無機再生粒料編修訂相關施工綱要規範及應用手冊彙整 [11][12]。其中環境部自民國 102 年起已陸續就焚化再生粒料許可用途，如基地填築、路堤填築、港區填築、道路級配粒料底層及基層、控制性低強度回填材料、低密度再生透水混凝土、瀝青混凝土、磚品、用於紐澤西護欄及緣石之水泥製品等，已分別完成編修訂對應施工綱要規範及應用手冊。

3. 鼓勵綠色標章及綠色採購

國內現行再生建材標章（或概稱綠色標章），主要有環保標章（主管機關—環境部）、綠建材標章（主管機關—內政部）、資源再生綠色產品（主管機關—經濟部），係依據其不同目的設置（如可回收、低污染、省能、生態、健康、再生、高性能、省水等），均希望藉由標章認證之產品，可以確保其品質同時提升環境循環永續，表 3 為彙整合適無機再生粒料申請項目及無機再生粒料取得狀況。

為確保無機再生粒料或再利用產品品質，提升使用者或工程單位對於無機資源循環信心，鼓勵無機資源及再生粒料產業者申請及取得綠色標章認證，如輔導申請綠色標章並結合綠色採購，提升無機再生粒料使用量；另建立履歷及驗證制度，提升工程單位使用信心。



表 2 常見無機再生粒料相關施工綱要規範及應用手冊

應用用途	規格	規格名稱	常見無機再生粒料			
			轉爐石	氧化碴	還原碴	焚化再生粒料
控制性低強度回填材料 CLSM	施工規範	第 03377 章控制性低強度控制回填材料		●	●	●
	使用手冊	焚化再生粒料應用於控制性低強度回填材料使用手冊				●
		電弧爐煉鋼氧化碴（石）應用於控制性低強度回填材料（CLSM）使用手冊		●		
		轉爐石 CLSM 使用手冊	●			
再生建材（水泥製品等）	施工規範	第 02786 章高壓混凝土地磚				●
		第 02795 章透水性混凝土地磚		●		●
		第 03341 章低密度再生透水混凝土				●
		第 03410 章工廠預鑄混凝土構件				●
	使用手冊	焚化再生粒料用於紐澤西護欄及緣石之水泥製品使用手冊				●
		焚化再生粒料應用於混凝土地磚使用手冊				●
		滾筒轉爐石及改質轉爐石鋪面磚使用手冊	●			
		含電弧爐還原碴非構造物用混凝土使用手冊（草案）			●	
鋪面基底層級配	施工規範	第 02319 章選擇性回填材料				●
		第 02331 章基地及路堤填築				●
		第 02722 章級配粒料基層		●		●
		第 02726 章級配粒料底層		●		●
	使用手冊	焚化再生粒料應用於基地填築及路堤填築使用手冊				●
		焚化再生粒料應用於道路級配粒料底層及基層使用手冊				●
		電弧爐煉鋼氧化碴（石）應用於道路級配粒料基底層試行使用手冊		●		
		轉爐石道路基底層使用手冊	●			
瀝青混凝土	施工規範	第 02701 章轉爐石瀝青混凝土鋪面	●			
		第 02702 章氧化碴瀝青混凝土鋪面	●			
		第 02741 章瀝青混凝土之一般要求	●			●
		第 02742 章瀝青混凝土鋪面				
	使用手冊	焚化再生粒料應用於瀝青混凝土使用手冊		●		
		電弧爐煉鋼氧化碴瀝青混凝土鋪面使用手冊	●			
港區填築	施工規範	第 02703 章轉爐石填海造地	●			
	使用手冊	焚化再生粒料用於港區填築使用手冊（草案）				●
		電弧爐煉鋼爐碴（石）於海事工程應用手冊			●	
		電弧爐還原碴安定化技術手冊			●	
		焚化再生粒料用於無筋消波塊使用手冊（草案）				●
		電弧爐煉鋼爐碴（石）於海事工程應用手冊		●		
		轉爐石海事工程使用手冊	●			



表 3 合適無機再生粒料之各標章申請項目及取得現況

	環保標章	綠建材標章	資源再生綠色產品
再生建材標章			
核發機關	環境部	內政部	經濟部
項目總數	14 類 (A-N 類)	27 項	27 項
概述	81 年起核發環保標章證書 - 符合再生材質、可回收、低污染或省能源條件。	94 年全面受理申請 - 分生態、健康、再生、高性能四類別分別評定。再生綠建材以使用一定比例之回收材料為主。	100 年受理廠商申請綠色產品認定 - 使用一定比例廢棄物作為原料、生產階段符合節能、省水、少污染。
盤點合適無機再生粒料申請項目	H 建材類 (13 項) (其中 5 項合適) - 水硬性混合水泥 - 建築用隔熱材料 - 窯燒類資源化建材 - 非窯燒類資源化建材 - 卜特蘭水泥	12 項再生綠建材合適 - 水泥瓦 - 水硬性混合水泥 - 石膏板 - 混凝土粒料 - 綠混凝土 - 混凝土空心磚 - 高壓混凝土地磚 - 陶瓷面磚 - 普通磚 - 植草磚 - 磨石子地磚 - 瀝青鋪面用粒料	5 項合適 - 玻璃製品 - 窯燒磚類建材 - 非窯燒磚類建材 - 水泥類板材 - 鋁錠 - 電弧爐鍊鋼鋼胚 - 級配粒料 - 再生粒料 - 人造螢石
無機再生粒料取得狀況 (至 113 年底)	259 件	83 件 (單一種類 21 件， 複合種類 62 件)	9 件

水泥廠循環

水泥業製程中應用水泥旋窯製程高溫、高滯留時間、高擾流大 3T 特性，可分解戴奧辛及零殘渣等特性，可依廢棄物、副產品及資源物特性替代作為水泥生料、熟料或燃料，被國際公認為廢棄物資源化的有效利器及靜脈產業的心臟，亦符合近年循環經濟及淨零減碳的需求。

表 4 為臺灣水泥廠歷年生產量及使用廢棄資源情形，臺灣運轉中 5 家 6 廠水泥窯總產能約 1,569 萬公噸／年，實際年生產量約 1,100 萬公噸，隨著水泥廠為落實循環經濟及淨零減碳，近 5 年使用廢棄物、副產品及資源物量逐年有明顯提升之趨勢，至民國 112 年每公噸水泥使用廢棄資源量已達 215 公斤，圖 4 為台灣生產每公噸水泥使用廢棄物量。



表 4 臺灣水泥廠歷年生產量及使用廢棄資源情形

年	108	109	110	111	112
全國水泥實際生產量 (A)	1,127	1,179	1,196	1,122	1,025
使用廢棄資源量 (B)	52	170	219	220	221
水泥產生量使用廢棄資源比例 (%) (B)/(A) × 100%	5%	14%	18%	19%	22%
每公噸水泥使用廢棄資源量 (公斤) (B)/(A) × 1,000	46	144	183	196	215

說明：1. 單位：萬公噸。2. 廢棄資源包含廢棄物、副產品及資源物等。



圖 4 台灣生產每公噸水泥使用廢棄物量

無機資源應用於水泥廠循環推動重點為：

1. 媒合替代作為水泥生熟料及燃料

持續協助媒合具含鈣矽鋁鐵特性之無機再生粒料，如還原碴、氟化鈣污泥、無機性污泥等，可作為水泥業替代生熟料；同時針對目前循環不易或處理困難廢棄資源，亦協助媒合水泥廠協同處理利用之可能性。

2. 與水泥業共同推動合適水泥窯前處理機制

針對部分廢棄資源可能因材質複合多元、雜質偏高或體積龐大不易運輸，如廢風機葉片、營建混合物等，可能需進行前處理才能交付水泥窯者，與水泥業共同推動合適水泥窯前處理機制。

3. 鼓勵水泥業研發製造低碳水泥產品

隨著產業 ESG 及淨零減碳時代來臨，水泥業積極布局低碳水泥市場，鼓勵水泥業研發製造低碳水泥產品，協助提高再生資源收受比例，提供多元低碳水泥產品推廣，共同創造低碳營建。

港區填築

港區發展為國家競爭力重要的一環，其中港區填築工程皆需大量使用天然砂石，日本等先進國家除使用疏濬物、營建剩餘物（土石方）外，也使用無機再生粒料來回填，以減少天然資源開採、降低建設成本及環境衝擊，表 5 為日本港區填築使用無機再生粒料案例。



表 5 日本港區填築使用無機再生粒料案例

	案例	造地工程類型	使用再生粒料種類及數量
1	日本東京羽田機場 D 跑道	- 造地回填 - 地盤改良	- 轉爐石、氧化碴、還原碴及高爐石加工製品 - 共約 40 萬 m³ (111 萬噸)
2	日本苫小牧港東港區碼頭	造地回填	- 燃煤飛灰 - 約 4 萬 m³ (6 萬噸)
3	日本宮城縣石卷港區	造地回填	- 經前處理後之焚化再生粒料及不燃物、洗淨礫石、海嘯沉積物 - 共約 9 萬 m³ (18 萬噸)

無機資源應用於港區填築推動重點為：

1. 推進港區填築需求及進度

依據行政院 111 年 9 月 26 日核定推動再生粒料應用於港區填築綱要計畫，落實各港區（國際商港及離島工業區）填築需求及進度，協助提供進度推進、預警及協調合作等相關事宜。其中至民國 112 年底，轉爐石作為臺北港物流倉儲區防風林區之填築料源，已填築達 171 萬公噸。

2. 再生粒料填築前三階段評估

依據行政院 110 年 6 月 11 日核定再生粒料應用於港區造地填築作業程序，掌握各再生粒料辦理填築前三階段評估（1. 實驗室試驗。2. 現地回填試驗。3. 作為港區填築料源之環評作業），確保其工程及環境安全性。

四、後續推動方式

有關無機資源循環推動，依前述推動作法及歷程，在無機資源的品質與數量上均已達一定成果，有效降低既有暫存量及掩埋處置量。在無機資源循環持續精進上，邁向適材適所分流應用，針對影響循環主要問題及關鍵，也初步後研提續推動方式：

透過強制使用、施工規範及品質認證，與各主管部會攜手努力擴大公共工程使用無機資源

為擴大公共工程進一步擴大使用無機再生粒料，主要希望續由三層面著手：1. 強制使用：透過協議或法規調和納入公共工程招標案件應使用一定比例無機再生粒料。2. 施工規範：各類別用途或工程之主管部會，應新訂或編修設計納入無機再生粒料之施工技術作業規範。3. 品質認證：訂定再生粒料認證機制，提升無機再生粒料品質。

建置無機資源循環平台，做為無機資源循環推動及管理中樞

在資訊密集及數位化時代，建置無機資源循環平台，做為無機資源循環推動及管理中樞。規劃滿足民眾、產業及政府等分眾需求，具無機資源循環之宣導溝通、媒合利用、技術支援、效益評估等功能，同時與各部會機構協力合作，也期提升民眾的接受度及使用信心。

辦理科技研發，暢通無機資源循環及提升高值化

結合產業、政府及學術界共同合作，進一步辦理減量、循環、高值化及減碳等領域



技術科技研發，暢通無機資源循環及提升高值化。主要希望續由四層面著手：1. 減量技術研發：如源頭減量技術、綠色設計技術、製程調整技術、污防調整技術。2. 循環技術研發：如穩定／無害化技術、回收／再生技術、分類循環技術、集運優化技術。3. 高值化技術研發：如改質技術、材料驗證技術、用途評估技術、協同處理技術。4. 減碳技術研發：如與無機資源循環利用相關之碳利用技術、碳固定技術、碳捕集技術。

五、結論

台灣無機資源循環與發展，非僅單純解決廢棄物去化問題，而是確保循環過程中兼顧技術面、環境面及管理面，皆可適材適所、分流應用，達零廢棄最終目標，減少天然資源的開採，透過產業、政府及民眾共同為資源及環境永續而努力，讓無機資源循環推動工作，做到3心3用—關心、安心、有信心，會用、敢用、樂於用。

參考文獻

1. 中鋼推動循環經濟之具體做法與成果，106.07.06，蕭輝煌，城市發展半年刊 第二十二期。
2. 再生粒料用途推廣、施工規範及管理專案工作計畫，107年，行政院環境保護署。
3. 精進焚化再生粒料產品品質標準及管理策略專案計畫，107年，行政院環境保護署。
4. 無機廢棄物資源化產品之用途評估及去化規劃專案工作計畫，108年，行政院環境保護署。
5. 無機再生粒料管理專案工作計畫，108年，行政院環境保護署。
6. 無機循環材料環境應用與整合專案計畫，109年，行政院環境保護署。
7. 無機廢棄物資源化管理及環境用途規劃專案計畫，109年，行政院環境保護署。
8. 無機再生粒料環境用途標準驗證及配套管理專案計畫，109年，行政院環境保護署。
9. 公共工程專業技師簽證規則，112.10.04，【發布機關】行政院公共工程委員會、內政部、經濟部、交通部、環境部、勞動部、衛生福利部、農業部。
10. 行政院公共工程委員會：112年政府採購執行情形 113年5月。
11. 電弧爐煉鋼氧化渣（石）應用於道路級配粒料基底層試行使用手冊，108年，台灣鋼鐵工業同業公會。
12. 電弧爐還原渣安定化技術手冊，105年，經濟部工業局。