

水泥業的循環經濟

文/吳榮華 教授

循環經濟是政府五加二產業創新計畫之一，也是國際的發展趨勢。水泥業因其生產特性具備優良條件，可成為循環經濟的軸心，因此本文介紹循環經濟之發展沿革、水泥業循環經濟的相關產業，及日本水泥業案例以供參考。

循環經濟是什麼？

循環經濟(Circular Economy)是為了降低環境壓力與資源使用，透過提高資源的配置效率，使生產過程減少資源投入、增加廢棄物利用以創造環境與經濟共榮。其概念強調透過延長產品壽命、修復性活動來預防廢棄物產生，「從搖籃到搖籃」，以循環取代以往產品進入墳墓的終結。對於天然資源稀缺且環境負荷沉重的台灣而言，循環經濟也成為政策發展重點之一。

循環經濟的發展沿革

循環物質(Material Cycle)與循環經濟的概念可追溯自1966年美國經濟學家Boulding發表的「The Economics of the Coming Spaceship Earth」，其認為地球上的天然資源有限，然而傳統強調利用大量資源或勞力以創造經濟成長的線性經濟是不可能永續發展，他提出「飛船經濟」的概念，藉由珍惜飛船上的所有資源，同時讓飛船所創造的廢棄物都可回收處理與再利用，也就是通過封閉的物質流延長產品價值，彼此循環而且生生不息。



而「循環經濟」則是由英國經濟學家Pearce and Turner於1989年在「Economics of Natural Resources and the Environment」中首先提出，指出傳統的經濟發展建立在開放式或線性的經濟模式上，資源從開採、製造、使用到變成廢棄物，這樣的線性流動將環境視為廢棄物庫，使資源容易流失效用與價值。因此，循環經濟的概念在永續發展三要素(經濟、環境與社會)上建立資源管理規則，並嘗試建立物質流模型，創造經濟和環境共榮。

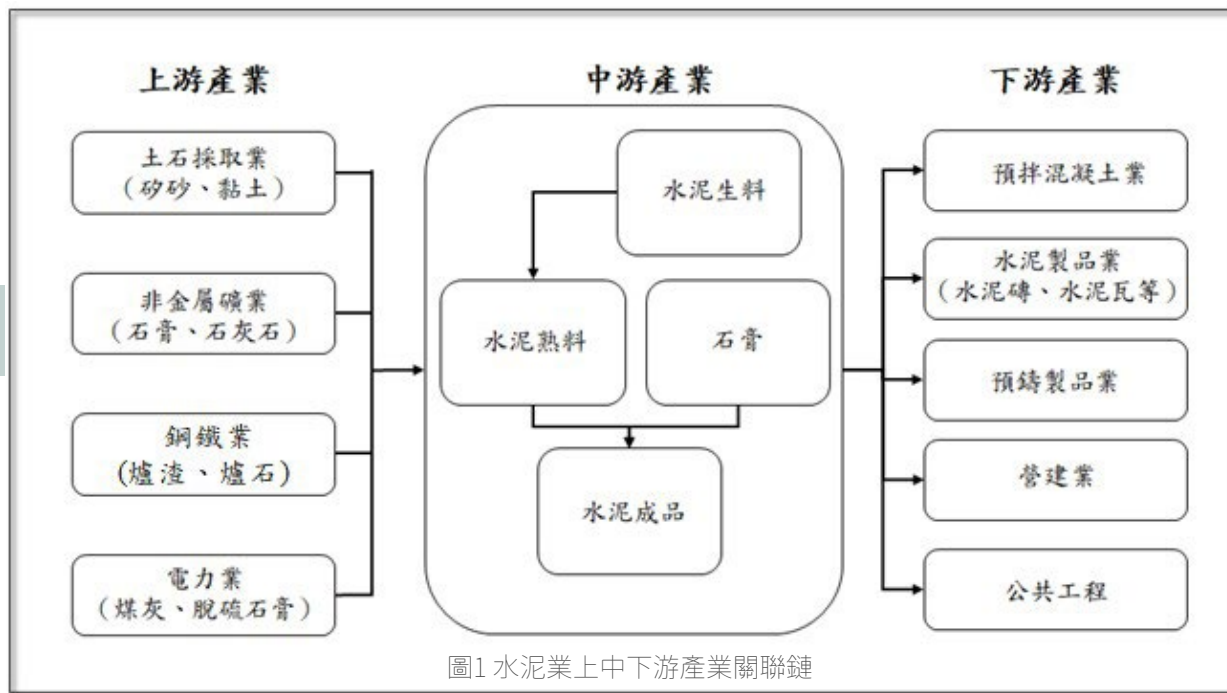
1992年到2010年是循環經濟快速發展的階段。1992年聯合國環境與發展大會簽訂了永續發展宣言，正式開啟循環經濟的時代。2010年，循環經濟發展主要的動力來自英國艾倫·麥克阿瑟基金會(Ellen Macarthur Foundation, EMF)，他們集合研究循環經濟的學者和推行循環經濟的企業家，並推動了兩方面的工作：一方面要把各種循環經濟思想、學派和模型整合成為系統的理論，提升循環經濟的理論成果和科學能量；另一方面鼓勵產、官、學提倡加速循環經濟之體現，促使循環經濟在企業層面落實。

2012年，在EMF和McKinsey、Accenture等聯手推動下，世界經濟論壇(World Economic Forum, WEF)把循環經濟納入工業4.0的重要內容並進行推動，為此專門成立了循環經濟全球議程理事會。過去的綠色製造與綠色消費，偏重於透過升級技術面來實現循環經濟目標，但工業4.0提供了管理面的全新切入契機。此後，世界各國由政府與民間團體針對其國家發展情況，對不同循環經濟議題進行推動，如2011年OECD成立資源生產力及廢棄物工作小組定期召開專家會議，探討各國法規及施行計畫；2011年歐盟亦提出資源使用效率路徑圖(The Roadmap to a Resource Efficient Europe)，促使會員國逐步達成轉型計畫與時程目標。



水泥業生產體系

台灣水泥業上、中、下游體系完整，如圖1所示。上游產業可分為土石採取業、非金屬礦業、鋼鐵冶煉業與電力事業，其中石灰石(或大理石)使用量最高占77%-82%，其次為黏土、矽砂、爐渣…等；中游產業為水泥製造業，製程主要分為生料研磨，經過約1,500度的煅燒形成水泥熟料，最後研磨製成水泥產品；下游產業則依顧客需求包裝出貨，水泥包裝可分為袋裝、太空包袋及散裝，並提供預拌混凝土業、水泥製品業、建築及營造業等相關產業使用。



資料來源：(1)台灣證券交易所，<http://ic.tpex.org.tw/index.php>。(2)本研究整理

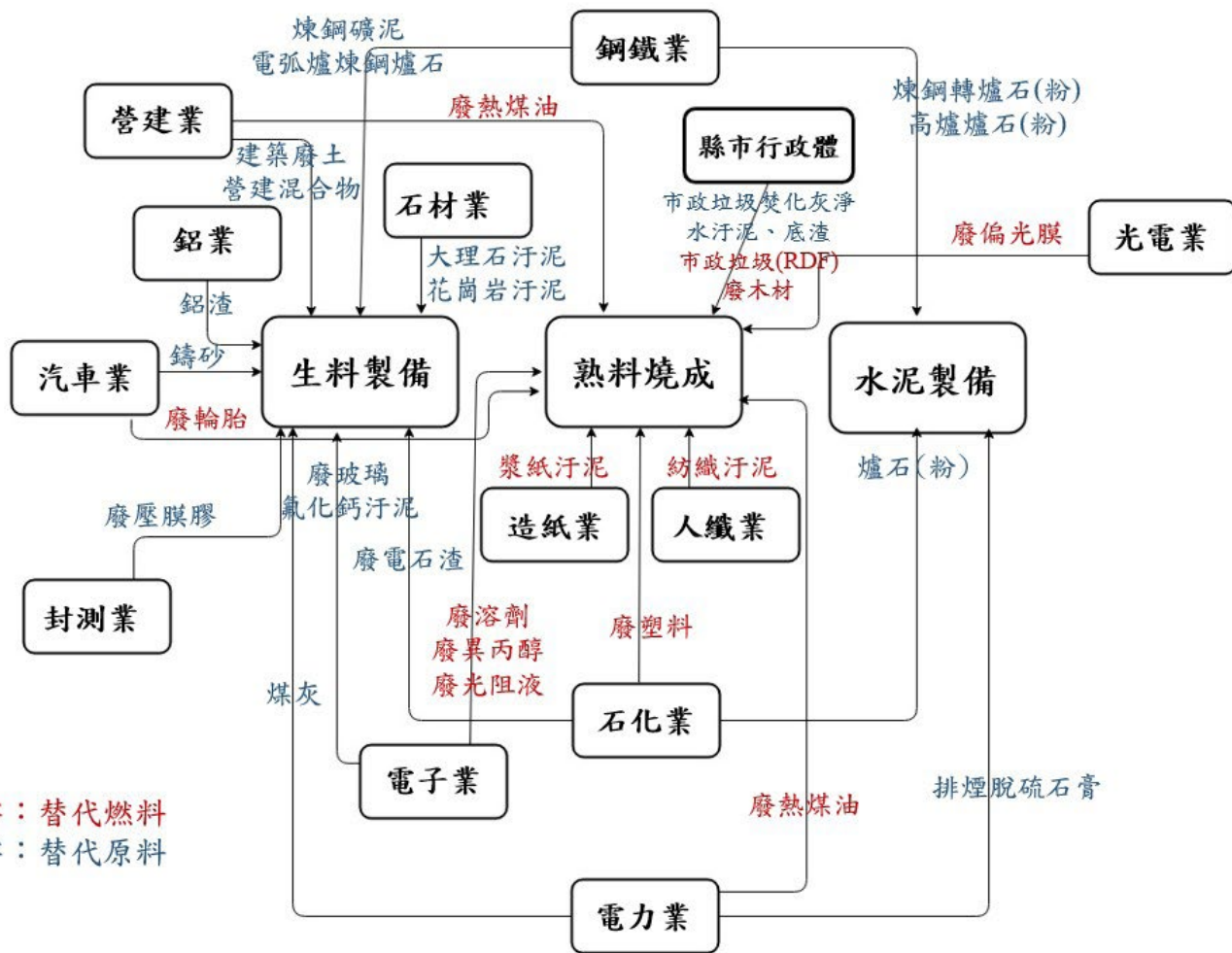
我國水泥業循環經濟

水泥業製程中應用水泥旋窯製程高溫、滯留時間長、擾流大、可中和汙染物及零殘渣等特性，被國際公認為處理事業廢棄物的有效利器，水泥業可被視為靜脈產業的心臟。

國內水泥廠過去已經有處理過多種廢棄物的經驗，以我國2015年事業廢棄物之再利用量而言，前五大事業廢棄物依序為煤灰(28.07%)、水淬高爐石(15.76%)、營建混合物(7.98%)、電弧爐煉鋼爐渣(5.65%)及無機性汙泥(4.97%)，合計達1,201萬公噸，占全國事業廢棄物總量之62.43%。其中，煤灰、水淬高爐石及電弧爐煉鋼爐渣目前主要作為水泥、混凝土等產品之替代原料使用。根據2016年台灣區水泥工業同業公會報告指出，2014年國內六家主要水泥公司約生產1,407萬公噸水泥，使用約147萬公噸事業廢棄物作為替代燃料與替代原料，即每公噸水泥約使用105公斤事業廢棄物。環保署水泥環保標章在2018年8月底上路，規定「金級環保水泥標章」水泥摻配回收料比率需高於15%、銀級10%。而2017年台泥使用替代原料為每噸水泥186公斤，顯示水泥業對於我國廢棄物資源化有顯著貢獻，但相較歐盟及日本而言仍有成長空間。

水泥業循環經濟的相關產業，如圖2所示：





紅色文字：替代燃料
藍色文字：替代原料

圖2 水泥業循環經濟的相關產業

日本水泥業循環經濟案例研究

日本由於每年產生大量的廢棄物，最終處置場以及掩埋場已經逐漸不敷使用，而建造新設施又不容易，其中最大的難關就是民眾不喜歡這些最終處置設施建在自己居住的環境旁邊(Not in my backyard)，這種狀況與台灣非常相似。

太平洋水泥公司(Taiheiyo Cement Corporation)為日本最大之水泥公司，在日本共有6座水泥廠，其可以處理並再利用之廢棄物來自許多不同的工業及家戶垃圾或焚化爐灰等，每公噸水泥可以處理407.4公斤廢棄物——實務操作上係根據水泥製程中的不同階段之需要，添加不同的廢棄物作為替代原料及燃料(如圖3)。

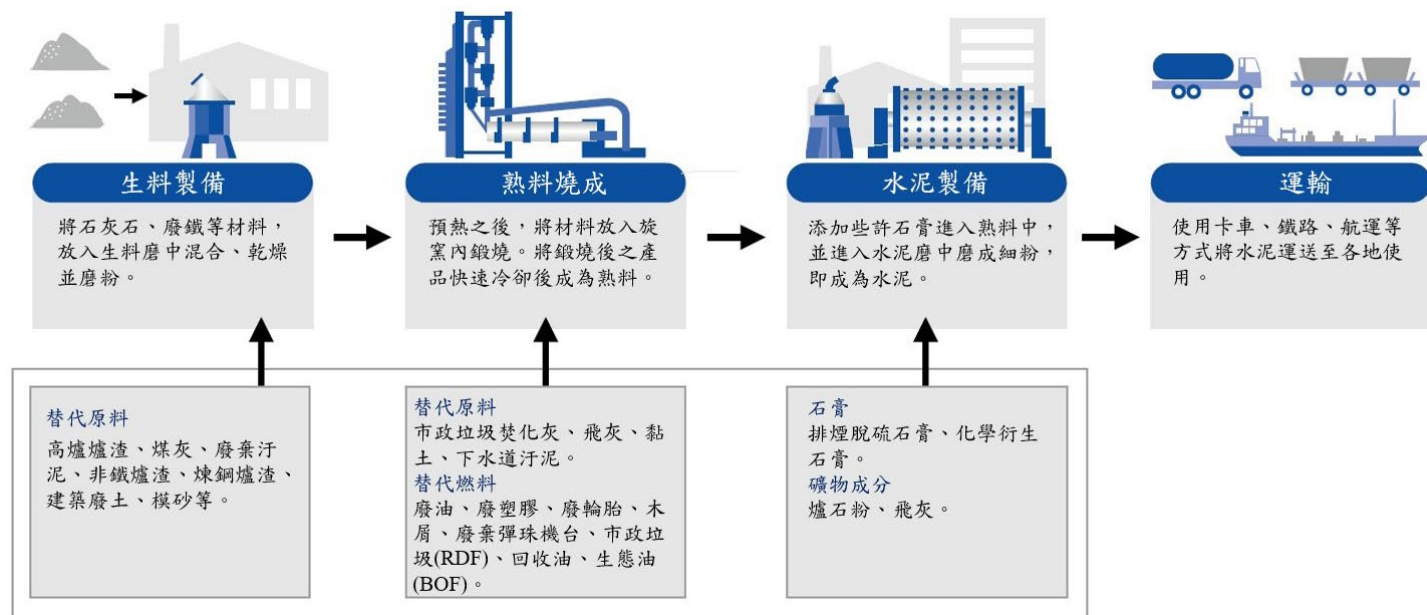


圖3 日本太平洋水泥公司之循環經濟

資料來源：Taiheiyo Cement Corporation (2017)

另外，日本東京多摩廣域資源循環組合(日文：東京たま広域資源循環組合)自2006年開始環保水泥的生產，其生產過程如圖4所示：首先接受垃圾焚化後產生的底渣後，經過乾燥、破碎、粉碎等前處理將底渣中的鐵以及鋁等元素回收；接著經過水泥窯之高溫將熟料燒成，使其中的戴奧辛成份分解，冷卻之後再加入石膏將之磨粉即成為環保水泥；最後將過程中的廢氣及重金屬成份進行處理及回收，確保生產過程中不會產生其他的汙染。

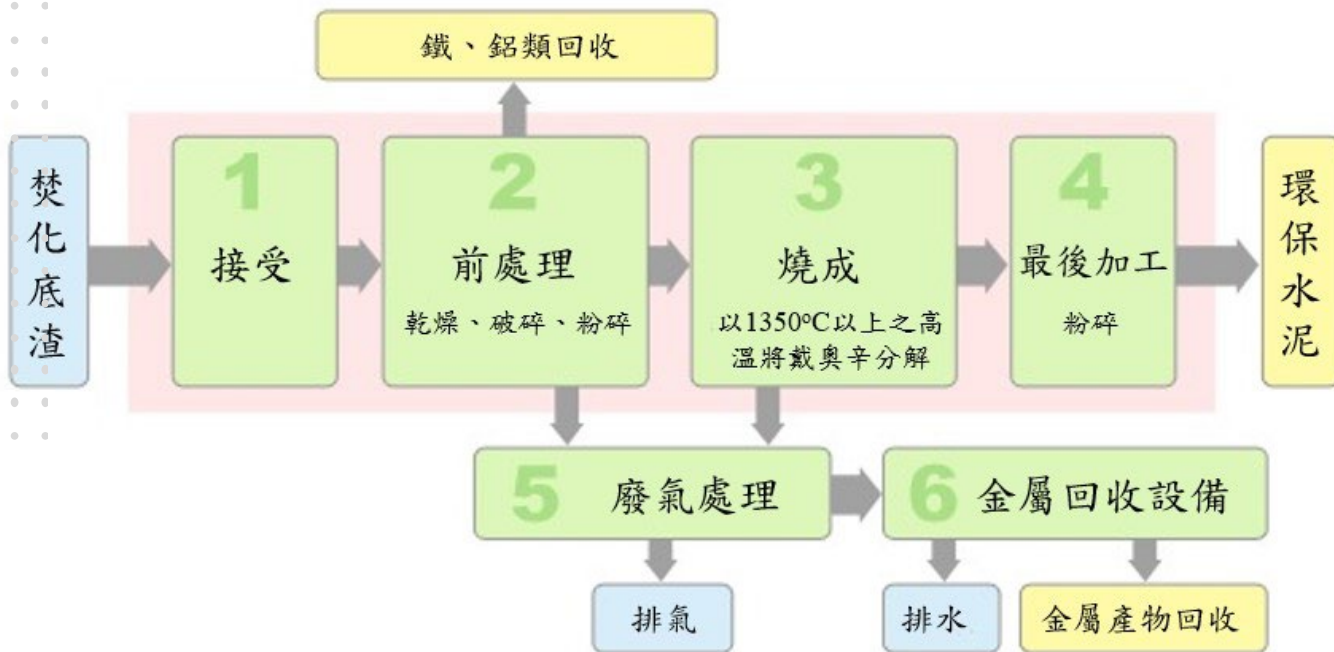
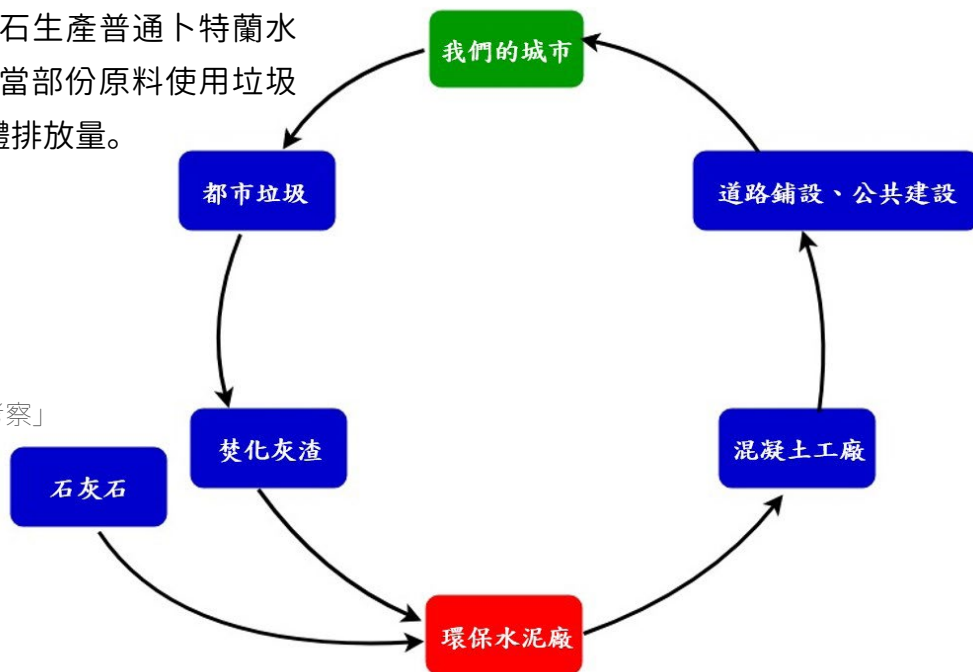


圖4 日本環保水泥製程

資料來源：東京たま広域資源循環組合(2006)

東京多摩廣域資源循環組合生產環保水泥的最終目的即為透過再利用廢棄物的方式，讓生活垃圾以及水泥在整個城市中循環不息，打造零廢棄的循環型社會(如圖5)，而生產環保水泥的主要貢獻有以下三點：

1. 延長掩埋場的壽命：原本多摩地區之垃圾掩埋場的使用期限只有16年，然而透過環保水泥的推動可以減少垃圾掩埋量，使垃圾掩埋場的壽命可以延長至30年。
2. 資源循環之貢獻：使用垃圾焚化灰渣當作環保水泥之原料可以降低石灰石的使用量，並且將原本的廢棄物生產成為品質優良之產品，為一資源循環的積極作為。
3. 降低溫室氣體排放：使用石灰石生產普通卜特蘭水泥時，將排放大量溫室氣體，而當部份原料使用垃圾焚化灰渣替代後即可降低溫室氣體排放量。



結語

水泥業雖可在循環經濟中扮演重要地位，但也必須克服逆向物流的特徵，其物資來源分散且不確定，其產生的時間、地點、品質與數量存在著供給風險，且具高成本的特性。目前水泥業實際欲擴大循環經濟作為尚有諸多瓶頸待克服，如廢棄物料源穩定性不足、相關處理費用浮動、法規制度尚未健全、民眾支持意願低…等，都使推動水泥業循環經濟體系充滿不確定性，不僅需整體面的評估與制定相關政策，亦需推動政策倡導，提升民眾對循環經濟的認知與參與。

未來水泥業可在現有基礎上擴大資源循環的能量，可參考先進國家之作法如：建置完整的廢棄物物質流資料庫，詳細定義其範圍、類別、條件…等，充份掌控廢棄物之流向與流量；在技術及環境層面上，除了在傳統生產及能源效率的持續改善外，水泥業可強化產品再設計與再製造之技術研究，擴大廢棄物回收處理、再生之應用；積極推動產業共生，明確其責任與規範並建立穩定的合作關係。如此一來，水泥業不僅可協助降低我國事業廢棄物處理的壓力，亦可減少燃料與原料成本，提升產業競爭力，亦有助於形塑企業新形象，創造水泥業的新價值。

