

稀有資源 以靜脈經濟之思 創新產業價值

作者／臺灣產業科技前瞻研究計畫團隊 高雅玲 (MIC)



從陸上，到海底

中國財政部、國家稅務總局宣布自 2011 年 4 月 1 日起，氟碳鈾、獨居石礦等輕稀土的資源稅，調整為每噸 60 元人民幣，磷鈹礦、離子型等中重稀土調為每噸 30 元人民幣，為原先每噸 0.5~3 元人民幣的數十倍，在中國關稅稅率及配額的管控之下，迫使世界各國尋求因應之道，於是美國重啟境內荒廢二十多年的稀土礦區，就連美國的阿富汗行動，據傳聞也肩負著不可言喻的稀土任務，而日本、韓國則是在各國的陸上與海底積極探礦。

為此日本文部科學省計劃於 2012 年投入 220 億日圓，將在四年內建造出搭載有高精度聲納探測器，以及可載多台無人潛深器的海底稀土探查船，提高海底資源儲量和分布的探測效率。根據東京大學加藤泰浩初步的調查，靠近沖繩的太平洋海底，稀土儲量是陸地的 1,000 倍以上。

姑且不論探查的結果是否正確，海底稀土開發的技術難度與海洋環境資源破壞的問題，仍有待解決。日本政府希望通過海底稀土資源的開發，力圖緩解日本稀土的供求壓力，除此之外善用回收資源，亦是資源供給的重要來源之一。

由地下資源，轉為地上資源

人們常用的礦產資源，如石油、煤、鐵、銅、石灰岩、雲母、天然氣等，多是蘊藏於地底下的資源。而這些礦產資源開發的前提，往往是某項資源以「濃縮的形式」存在於特定地點，且蘊藏量達一定的規模以上。若該礦產地理位置不佳（探採困難）、交通不便、當地缺乏水電等基礎設施，亦會導致投資成本增加，設若投資者評估開採後無法獲利，就不會選擇開採該礦區。

於是，在機會成本的考量下，高品位 (Grade)、高濃度、便於開採的礦區，在過往人類長久的文明裡，已被大量的開挖，以致現今新探明的礦區，在其開發的困難度上都相對較高，所挖掘出的礦產資源濃度也相對較低，未必能與過去相比，因此在分離與純化時，將需要耗費較過往更大的成本。

全球資源的需求與消耗，與人口總數與經濟發展有著密不可分的關係。在未來的十五年 (2011-2025 年) 間，新興發展中國家的 GDP 與人口均將快速成長，資源需求甚渴，在上述趨勢的牽引下，未來資源價格上漲可期。

同時，隨著人們對於氣候變遷問題的重視，環保永續概念的暢行，人們使用資源的方式，也開始有所轉變。世界各國逐步建立起不同物品的廢棄物回收體系，將其中可再製的部分重新分離再利用，使得資源可反覆

稀有資源，不僅具有經濟意義，也具有國家戰略意義，對於稀有資源出口的国家來說，稀有資源是賺取外匯的物資，但隨著資源國家主義的抬頭，此種地殼中的天然資源，開始受到保護，出口管制日趨嚴格。

地在地表生態系中循環，意即以「地下資源」（石油、煤、天然氣、礦產）轉為「地上資源」（水力、再生資源）與「天上資源」（太陽、風力）的使用方式。被稱為「稀有資源」的稀有金屬與稀土，具有優異的光、電、磁、超導、催化等物理特性，與其他材料組成後能提升材料性能的高度應用價值，已廣泛應用於油電混合車、電腦、手機、顯示器、風力發電機、節能燈泡與軍事導彈等處，是不可或缺的關鍵工業原料。

稀有資源，不僅具有經濟意義，也具有國家戰略意義，對於稀有資源出口的国家來說，稀有資源是賺取外匯的物資，但隨著資源國家主義的抬頭，此種地殼中的天然資源，開始受到保護，出口管制日趨嚴格，因此，對於缺乏此類稀有資源的国家而言，海外投資開發（地下資源）與資源回收（地上資源）再利用，便成了稀有資源穩定供給的另一種選擇。



從動脈經濟，到靜脈經濟

從開源節流的角度來看，倘若沒有豐厚的天然礦產資源，來自回收再製的稀有金屬原料，也是一種不錯的選擇，使用地上資源—「都市礦山」資源的開採，近年來已成為資源戰略的一環。

所謂「都市礦山」(Urban Mining, 或稱城市礦山、都市採礦)，乃是對廢棄電子產品中所含有的金、銀、銅、錫、亞鉛、鋁、鎳、銻、鈷、銻、鋰、鉬、白金、稀土、鈮、鎢、鈳等金屬的一種比喻，由日本東北大學選礦研究所南條道夫教授於1988年所提出。舉凡行動電話、數位相機、電腦、電視、印表機、PDA，以及許多大大小小的家電與辦公室電器用品中，皆含有貴金屬、一般金屬和稀土元素等，都可以回收再利用，因此，隨著3C產品深入人們的生活各層面，都市礦山的蘊藏規模也日益增加。

日本是世界上稀有資源消耗大國，每年境內約有1,400萬隻廢棄手機，若能有效利用此類廢棄電子產品中的零件，重新分離純化出稀有金屬，將是一個可觀的來

源，因此，日本自2007年開始，將「回收利用」相關產品、強化資源外交、增加國家儲備，以及開發替代資源等，一起被列為保證稀有金屬穩定供應的四大支柱。

根據日本電子通信事業者協會估計，使用現代科技可從1公噸舊手機中提取到至少150公克的黃金，而每公噸金礦石則只能提取到5公克，相差達30倍之多。2009年底日立製作公司向日本經濟產業省申請補助金，進行高性能磁鐵馬達的稀土回收技術開發，該公司首先開發稀土磁鐵的分離與回收裝置，對廢磁鐵的回收技術進行研究，希望能在2013年之前開始進行回收業務。而其回收技術的研究，將以鈳為主要回收材料，預計將從個人電腦、硬碟等資訊設備、空調馬達中，回收稀有金屬資源。

在日本政府的長期支持之下，日本的產學合作在回收技術方面屢屢有所突破，也為其利用都市礦產，發展

循環經濟邁進。比方說日立公司的日立製作所從該公司所生產的硬碟及空調用壓縮機中，成功分離出鈳鐵硼(Nd-Fe-B)磁鐵，並從鈳鐵硼磁石中提取鈳(Nd)和鈳(Dy)的合金。而東京大學生產技術研究所的岡部徹教授研究團隊，也投入鈳鐵硼磁鐵的回收技術，開發出可從使用過的鈳鐵硼磁鐵中，進行選擇性分離、回收稀土族元素鈳及鈳的技術。並且在該技術的操作過程中，不會因此產生其他有害廢液。

日本的九州大學與三井金屬、日本鈳公司等單位，即宣布從廢棄螢光燈管中回收包括稀土在內的多種稀有資源技術，預計2012年以後每年可為九州回收57噸稀土，約相當於25億日圓(9.7億新臺幣)的經濟價值。從農業社會演進到工業社會，引發的生活型態轉變，琳瑯滿目的商品也意味著廢棄物的複雜組成—化學合成品、金屬等不可自然分解物質所占廢棄物比例漸增，若持續使用掩埋、焚燒等傳統處理方式，其中的有毒物質將進入土壤、水源或大氣中，這些污染對生活環境甚至人體健康都會造成危害。

雖然目前日本開發「都市礦山」，仍遭遇很多亟待解決的問題，也有一些分離抽取技術的瓶頸尚未突破，但日本堅信只要持續開發新的回收技術，乃至從產品的設計、製造開始考量回收時可能會遇到的問題，定能在產品的生產、製造、使用、回收等階段，開採出更多的都市礦物，讓地上資源可以獲得更有效的利用。

而另一方面，韓國知識經濟部則是從2008年7月起便開始著手準備都市礦山產業的相關發展政策，目前已規劃在江原—全南(全羅南道)—大慶、京仁(首爾仁川)—忠北(忠清北道)分別組成鎂、鎢有機生產與再利用的「廣域圈聯合稀有金屬回收區」，建立韓國境內的都市礦山循環經濟圈，回收包括電視、冰箱、洗衣機、冷氣、電腦、手機、傳真機、印表機、影印機等電子產品，以分離純化可再利用的金屬資源；並在國家科研經費中規劃都市礦山資源純化、精煉技術項目，制訂都市礦山的產業相關規定，預期將創造1兆韓圓的投資規模，以及1萬5千個以上的工作機會。



將廢棄物運往落後國家堆放、處理，便成為已開發國家的解決之道，這也使得開發中國家淪為已開發國家的高科技垃圾場。1992年生效的巴塞爾公約(Basel Convention)是國際禁止有害廢棄物越境轉移的濫觴。然而檯面下的交易卻未因此停歇，電子廢棄物尤其如此。



從 3R 出發循環經濟思惟

我國在電子廢棄物回收處理方面，若要積極推動與落實都市礦山的理念與做法，除了要讓我國國民具有更高度的回收環保意識外，最根本的問題還是在於「資源」或「廢棄物」的認定。廢棄物往往予人有毒、惡臭的刻板印象，廢棄物處理廠更是眾矢之的的鄰避（NIMBY, Not In My Back Yard）設施。因此將廢棄物運往落後國家堆放、處理，便成為已開發國家的解決之道，這也使得開發中國家淪為已開發國家的高科技垃圾場（參見表一）。這種剝削關係在 1992 年生效的巴塞爾公約（Basel Convention）首度獲得重視，並使該公約成為國際間禁止有害廢棄物越境轉移的濫觴。然而檯面下的交易卻未因此停歇，電子廢棄物尤其如此。

過去有許多業者，僅將回收的電子廢棄物分類，並進行廢棄物的買賣，將仍具資源價值的廢棄物，轉賣到日本或設於中國的環保回收廠，使得我國的稀有金屬資源又再度流失出去，未能與稀有金屬資源需求產業做連結，十分可惜。即便是已有能力回收處理的業者，其擁有的電子廢料回收再利用技術，也大多無法純化並直接提供產業使用，在回收貴金屬和稀有金屬技術上仍有許多尚待努力的空間。

我國自然資源缺乏，卻是 ICT 產品生產大國，對於製造產品所需的稀有資源材料也只能倚賴外購而得，在能資源價格持續飆漲的年代，正是應該回歸到循環經濟的角度，重視日本所提出城市礦山的概念，加強從產品回收再提煉出金屬，建立完善回收制度及技術。

同時，在現今愈來愈獲重視的企業社會責任 (Corporate Social Responsibility, CSR) 與強調環境保護 (Environmental Performance)、社會公平 (Social Equity) 與公司治理 (Corporate Governance) 等三大 ESG 主軸經營理念革新下。由 3R 的思惟－「源頭減量 (Reduce)、再使用 (Reuse)、回收再利用 (Recycle)」出發，重新檢視企業的商業活動、產品設計、材料使用、製成技術，乃至回收技術的開發等，為地球環境朝向永續發展的目標邁進，將可為產業帶來新興綠色商機。

表一 廢棄物出口國與進口國之利與弊

| | 出口國（日本等） | 進口國（其他亞洲國家） |
|----|---|---|
| 利益 | <ul style="list-style-type: none"> ●可減少廢棄物數量 ●可避免環境遭受污染的危險 | <ul style="list-style-type: none"> ●可解決原料不足問題 ●可增加工作機會 |
| 弊害 | <ul style="list-style-type: none"> ●難以在國內完成 3R 循環→造成垃圾減量、回收上的鬆懈 ●難以因應其他亞洲國家立法拒收廢棄物的變化 | <ul style="list-style-type: none"> ●難以在國內完成 3R 循環→造成未經處理的廢棄物無法即時處理 ●環境易遭受污染 |
| | <ul style="list-style-type: none"> ●廢棄物越境移動，將難以確實控管，以致難以避免不法出口 ●難以發現非法的回收再生，廢棄物可能遭到囤積 | |

資料來源：日本國立環境研究所循環型社會・廢棄物研究中心（2006），資策會 MIC 整理，2011 年 11 月

3R 思惟可為地球環境朝向永續發展的目標邁進，將可為產業帶來創造的新興綠色商機。