



技術報導(一)

電子廢棄物循環利用與經濟效益

張添晉 臺北科技大學環境工程與管理所教授

簡碩賢 臺北科技大學環境工程與管理所碩士生

摘要

隨著全球經濟發展及科技發展日新月異，造成電子電器及資訊產品替換率提高，導致產生可觀之電子廢棄物，若電子廢棄物品未經處理隨意丟棄，將造成環境之嚴重污染，因此電子廢棄物問題已成為全球現階段極為重視之環境議題。

我國推動廢電子電器物品回收處理工作，以「資源回收四合一」結合社區民眾、回收商、地方政府及回收基金有系統的推動。環保署於 1997 年 7 月 5 日公告廢棄之電視機、電冰箱、洗衣機及冷、暖氣機為應回收之廢棄物，同年 8 月 6 日公佈相關回收清除處理辦法，開創世界四機物品資源回收之先河。

世界各國對於電子電器產品的回收越來越重視，尤其是歐盟「廢電機電子設備指令 2002/95/EC」(Waste Electrical and Electronic Equipment Directive, WEEE)於 2005 年 8 月 13 日起正式生效以來，歐盟各相關之成員國亦已陸續完成其國內相關對應法令之轉換，並開始執行廢電機電子設備之回收處理工作。

國內電子廢棄物處理技術主要引進歐盟國家處理技術，主要處理程序皆為以人工拆解方式、螢光粉去除、廢電路板材料處理、貴金屬分選、鐵金屬分離等前處理步驟，當前置處理步驟完成時，再將相關金屬廢料進行化學及物理冶金，進而純化金屬獲得良好的金屬原料。

目前國內電子廢棄物循環利用包含「再利用」、「減量化」及「再循環」，電子廢棄物所創造之經濟效益，不僅在物質不斷循環利用的基礎上發展經濟，另亦須考量不僅可降低成本，同時提升產業使用資源效率之方式，促進資源有效之利用，並達到循環經濟之目標。

關鍵字：電子廢棄物、循環經濟、貴金屬、循環利用



一、前言

科技進步進而帶動全球經濟發展，跟進國際潮流之同時亦使電子廢棄物日漸增加，因此，電子廢棄物已成為全球皆須重視之環境議題。各種電子產品中所含成分極為複雜，其中不乏鎘、鉛等重金屬或 CFCs、含鹵素耐燃劑等有害物質若無妥善回收處理其廢棄物，不僅增加污染及危害潛勢，亦導致資源誤置。

近年來，我國製造業重大投資及生產與出口活動皆集中於電子零組件半導體及印刷電路板、光電產業的平面顯示器及太陽能電池等產業，且多數廢電子電器物品中之組成含有銅、鐵、鋁等有價金屬及玻璃、塑膠等資源物質可回收再利用，廢資訊物品更可進一步精煉電解出高附加價值之貴金屬(Precious Metals，黃金、鈀金、銀及鉑)頗具回收經濟效益。

本文彙整國內外有關電子廢棄物之資源循環再生處理技術，期能對於國內電子廢棄物之資源循環利用提供助益，使貴金屬資源有效循環利用，提高資源生產力達到循環經濟之目標。

二、電子廢棄物資源循環再生處理技術

我國現行廢棄電子廢棄物再生，主要處理流程為由事業機構及家戶所產生，遭汰換之廢棄電子產品先交由基管會認可之回收點及回收清除之合約商進行回收，回收商再交由基管會認證合格之處理廠商做進一步拆解及破碎，所衍生之物料再進行精煉或純化回收資源循環利用。

1. 國內電子廢棄物資源化前處理技術

針對廢電子電器設備產品主要包括了拆解、破碎、粉碎及分選等資源化處理步驟，國內廢電子電器物品與廢資訊物品之資源化前處理技術流程彙整如表 1 所示。

2. 國內電子廢棄物所含之金屬精煉技術

目前電子電器與資訊物品所含之貴金屬精煉之方式包括化學處理(如溶劑萃取、氧化還原等)、機械物理分離(如風選、磁選、渦電流等)、熱處理(如焚化、裂解法、冶煉法等)等技術。不同金屬精煉各有其優缺點，需要適當結合各種技術，彙整各類資源化精煉技術優缺點如表 2 所示。



項目	資源化前處理技術流程
電視機	先將廢電視機以人工拆解方式，拆解機體之電路板、電線、非鐵金屬、塑膠、偏向線圈等物料，並將映像管(CRT)進行切割處理步驟，切割處理步驟後，以真空設備操作進行面板玻璃內部之螢光粉吸取回收步驟。
洗衣機	1.前處理程序為人工拆解方式將玻璃、塑膠、電容器、壓縮機等廢物料取出，並用抽取機將冷媒與潤滑油取出。 2.密閉負壓破碎處理程序屬自動化機械處理技術，在封閉作業環境中，將廢冰箱主體進行粉碎程序，再利用風選及磁選等分選程序，此程序將鐵、銅、鋁、塑膠及聚氨酯發泡劑(PUR)等物料分離，此過程需在封閉式作業環境。 3.冷媒(CFC)液化回收系統處理程序為經低溫冷凝回收冷媒，以避免廢氣排放。
冷暖氣機	先以冷媒抽取機將機內冷媒及潤滑油取出，再以人工拆解方式處理，利用油壓縮專用機及特殊工具進行拆解作業，將電路板、電線、壓縮機、電容器、馬達、銅鋁管、鐵質外殼及塑膠面板等物料，其中銅鋁管、鐵質外殼及塑膠面板再進一步破碎/粉碎設備處理，處理後產出物包括鐵、銅、鋁及塑膠。
廢主機	先經由人工拆解方式將廢電腦主機拆解取出電路板等電子廢料、電線、電池、銅、鋁、鐵及塑膠等廢物料拆解，再將電路板等電子廢料進一步經由粉碎及分選設備，將廢物料分離出玻璃纖維樹脂粉、銅、鐵、錫、鉛等金屬。
廢監視器	先以人工拆解方式將廢監視器拆解分出塑膠、映像管、電容器、電線、鐵、非鐵金屬及電路板等電子廢料。經拆解程序所取出之映像管經由切割處理及螢光粉吸取設備處理後，分離出螢光粉、面板玻璃及錐管玻璃。電路板等電子廢料經由粉碎及分選設備後所產出物料分類為玻璃纖維、非鐵金屬及鐵金屬等廢物料。
筆記型電腦	以人工拆解方式處理，拆卸取出物料包括鐵金屬、非鐵金屬、塑膠、電線、電容器、電池、燈管及電路板等電子廢料，再將電路板進一步以粉碎及分選設備處理，並分離出鐵金屬、非鐵金屬及玻璃纖維等廢物料。
廢印表機	以人工拆解方式處理，其中拆卸取出之物料包括鐵金屬、非鐵金屬、塑膠、碳粉匣/墨水匣、電線、馬達、電容器、電路板等廢物料，後續則將電路板再進一步以粉碎及分選設備處理，並分離出鐵金屬、非鐵金屬及玻璃纖維等廢物料。

表 1 國內廢電子電器物品與廢資訊物品之資源化前處理技術流程

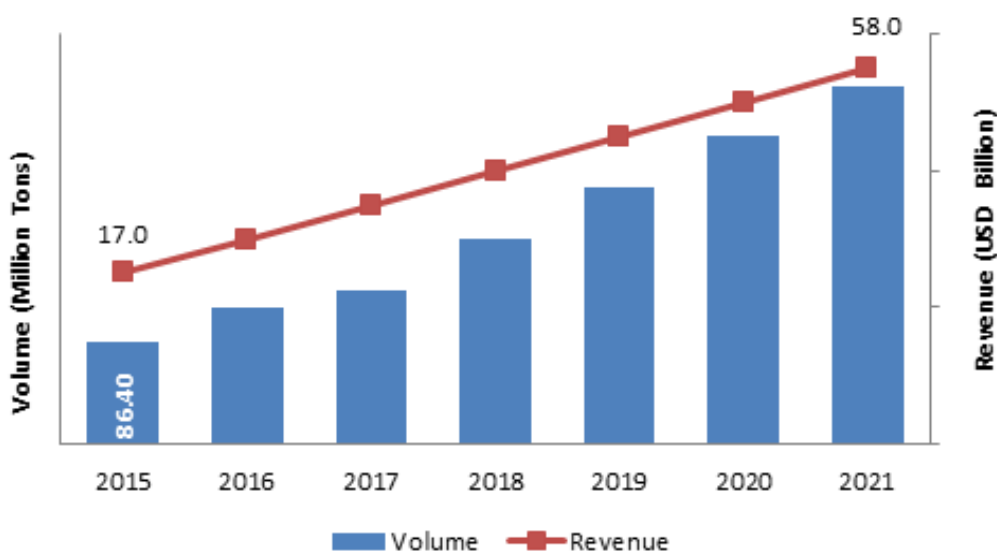
處理方法	處理方法名稱	優點	缺點
機械物理法	風選 磁選 渦電流	技術簡單，容易規模化，而且產生的二次污染相對較小，能耗較低，成本低廉，分離效率較高，符合環保和經濟的要求。	存在各種物理特性的重疊而無法實現金屬之間的完全解離，前期投資大。
火法處理	高溫裂解	適合批量回收各種廢棄物，而且對廢棄物物理成分的要求也不像化學處理那麼嚴格分類，金屬銅及金、銀、鈀等貴金屬的回收效率相當高。	易造成有毒氣體逸出、貴金屬易以氯化物的形式揮發、部分金屬的回收率相當低，如錫、鉛等、大量非金屬成分如塑膠也在焚燒過程中損失。
化學法	溶劑萃取 氧化還原	金屬回收率較高，綜合回收金屬能力強，一體化進程高，生產週期短，可以獲得最終金屬單質或其化合物。	存在產生二次污染的問題，需考慮設備的防腐蝕，技術流程複雜，試劑消耗量大的問題。
生物法	生物吸附	生物技術簡單，回收過程具有安全，高效，清潔的特點，二次污染小，成本低廉，環境友好。	可利用的菌種相當有限，菌種既難培養又不容易放大，生產週期過長，離工業應用尚有一段距離。

表 2 各類資源化精煉技術優缺點比較分析



三、電子廢棄物創造之經濟效益

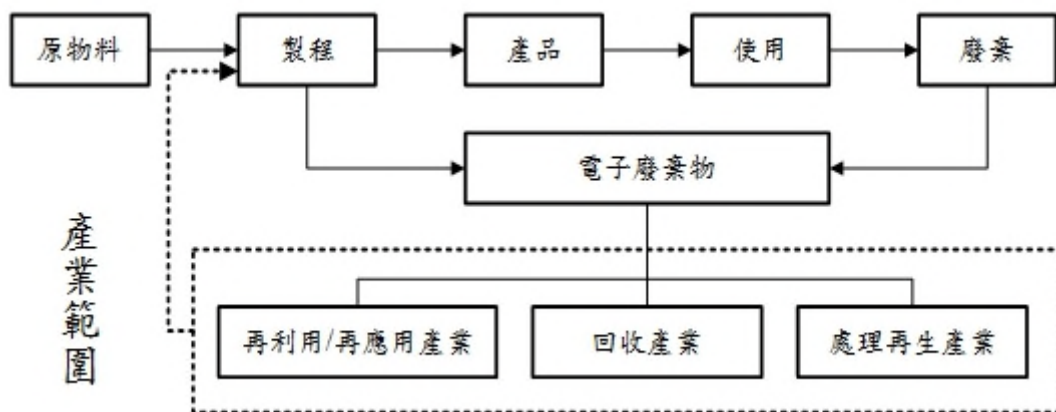
根據聯合國大學(United Nations University)「電子廢棄物問題解決計畫」(Solving the E-Waste Problem Initiative; StEP)所公布的研究結果，2014 年全球電子廢棄物就高達 4,180 萬公噸，且預計每年以 4%至 5%的速度成長，至 2017 年將達到 6,540 萬公噸，依據美國市場調查公司(Zion Market)評估報告指出 2015 年電子廢棄物管理的全球需求為 170 億美元，預計到 2021 年將達到 580 億美元，在 2016 年至 2021 年間以 22.7%的年複數成長率增加，顯示電子廢棄物處理及管理需求皆大幅升高，如圖一所示。大量的電子廢棄物除了需要有效控管之外，這些數以千萬公噸計的電子廢棄物，並不全都是無價值的垃圾，在 2014 年所產生的 4,180 萬公噸電子廢棄物中，蘊藏著高達 300 公噸的黃金，更遑論還有許多其他種類的「有價金屬」，包括鉑、銀、鈮等就藏在各式各樣的電子零件，如廣泛應用於資訊、通訊、民生、軍事、航太等領域的印刷電路板(PCB)更蘊藏著多種重金屬。



資料來源:Zion Market Research

圖一、2015-2021 年全球電子廢棄物處理之成長量

印刷電路板是由有機強化樹脂、玻璃纖維、銅箔及電子元件所組成，其中含銅、鐵、鋁、錫、鉛等有價金屬，以及金、銀、鈀等貴金屬，且含量比例遠高於礦石的蘊藏量，因資源回收價值極高，將電子廢棄物有價資源轉換成製造產業所需之原料，帶動資源循環產業發展如圖二所示，未來可加速進行電子廢棄物再生循環經濟效益評析、國內可執行之措施及未來發展潛勢等持續研究，使國內電子廢棄物轉化為城市礦山，進而供應國內電子相關產業物料需求，有助減少對外來資源的依賴及活絡去化管道，使金屬資源有效循環利用，提高資源循環生產力達到循環經濟之目標。



圖二、電子廢棄物資源循環產業範圍

四、結語

有效利用電子廢棄物之有價物質，藉由重新設計材料、產品，以消除電子廢棄物並使得有價資源能夠更有效率地被利用，且電子廢棄物所創造之資源回收價值極高，建議未來政府可協助國內提升資源再生產業生產力，並提倡搖籃到搖籃之循環理念，提升再生料及衍生廢棄物之去化管道策略，從傳統的「廢棄物管理」逐漸轉向「資源再生與循環經濟」，後續執行策略需提供動力，使上游型產業之整合及加強，再製造之分工，下游宜訂定再生產品品質之規範將歐盟體系中的生產者責任制管理制度納入電子廢器物循環利用之管理策略中，將動靜脈產業鏈結強化，達到產業共生及循環經濟之理念。



參考文獻

1. Baldé, C.P., Wang, F., Kuehr, R., Huisman, J., The Global E-waste Monitor 2014: Quantities, flows and resources, United Nations University, 2015
2. Baldé C.P., Kuehr R., Blumenthal K., Fondeur Gill S., Kern M., Micheli Magpantay E., Huisman J., E-waste Statistics: Guidelines on classification reporting and indicators, United Nations University, 2015
3. United States Environmental Protection Agency, Municipal Solid Waste Generation Recycling, and Disposal in the United States, 2012
4. 余騰耀、馬鴻文、張祖恩、鄒倫、陳必晟、江謝令涵、盧幸成、楊智凱、陳潔儀、徐婉婷、陳毅玲，循環經濟的發展趨勢與關鍵議題，財團法人中技社，2015。
5. 張添晉，電子廢棄物管理制度與處理技術輸出先期評估計畫，2015，行政院環境保護署。
6. 張添晉，台灣資源循環經濟之策略發展，綠色生產力基金會專題報告，2015
7. 張添晉，我國電子廢棄物利用策略分析白皮書計畫，2015，行政院環境保護署。
8. 余騰耀、鄒倫、楊智凱、陳潔儀、潘慧萍、鍾侑靜，資源循環經濟與產業發展，財團法人中技社，2014
9. 行政院環境保護署，廢電子電器暨資訊物品環境化回收循環可行性分析暨成效提升，財團法人環境資源研究發展基金會，2012。
10. 行政院環境保護署，「廢電子電器與廢資訊物品處理體系輔導評鑑暨效能改造試辦專案工作計畫」臺北，2010。