

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：國際會議及考察)

參加第 19 屆廢乾電池回收再生國際 研討會及考察德國、比利時廢乾電池 處理技術

服務機關：行政院環境保護署
資源回收管理基金管理委員會

姓名職稱：謝泊諺特約助理環境技術師

派赴國家：德國、比利時

出國期間：103 年 9 月 20 日至 29 日

報告日期：103 年 12 月 25 日

摘要

本次考察主要參加第 19 屆「廢乾電池回收再生國際研討會」(International Congress for Battery Recycling, ICBR)，瞭解歐洲廢乾電池回收處理發展現況及重點議題，並至德國米爾海姆 ACCUREC 廢乾電池處理廠、德國萊比錫 GMR 廢乾電池處理廠及比利時布魯塞爾 Umicore 廢乾電池處理廠，針對廢乾電池處理技術進行瞭解，其目的說明如下。

- 一、參加第 19 屆廢乾電池回收再生國際研討會，瞭解國際廢乾電池回收處理趨勢，彙集各國最新廢乾電池回收法令及再生處理技術等資訊。
- 二、考察我國廢乾電池輸出至德國 ACCUREC、GMR、比利時 Umicore 等 3 家處理廠之處理情形，並蒐集廢乾電池處理之市場及技術資訊。
- 三、藉由考察德國、比利時廢乾電池處理業，瞭解德國、比利時之回收制度、回收清除處理管道、處理及再利用技術及再生產品市場等。

本次參加第 19 屆廢乾電池回收再生國際研討會，其會議主要內容包括「廢乾電池回收處理相關法令」、「廢乾電池回收效率」、「廢乾電池回收處理安全」、「廢乾電池回收處理技術」及「廢乾電池處理業稽查及永續發展」等議題。藉此可瞭解國外（特別是歐洲）廢乾電池回收處理之發展現況，得知目前在廢乾電池回收處理議題上國際關注的焦點。另可借鏡國外廢乾電池回收處理之法令、制度、技術及相關研究，評估我國廢乾電池未來發展趨勢及可行回收策略。

本次考察 ACCUREC、GMR 及 Umicore 等 3 家廢乾電池處理業者，其分別處理我國輸出之鎳氫及鎳鎘電池、鈕扣型含汞電池、二次鋰電池。其中除 ACCUREC 公司之主要業務為廢乾電池處理外，GMR 公司係以石化工業之汞污泥處理為主要業務，Umicore 公司則以觸媒轉換器之觸媒回收處理再製及電子廢棄物回收處理為主要業務，後 2 家業者之廢乾電池處理業務均非其主要收入來源。此外，ACCUREC 公司具含鎘電池（鎳鎘電池）之處理技術、GMR 公司有鈕扣型含汞電池之處理技術、Umicore 公司則有自二次鋰電池中萃取多種稀有金屬之技術。綜合上述，可發現我國若欲境內處理非屬錳鋅或筒形鹼錳電池，其設廠所需之處理技術為一大關鍵，而我國境內廢乾電池產生量，是否足以供應維持該廠基本營運（即收支平衡）所需之量，亦是另一應衡酌的問題。

目次

壹、前言	1
貳、考察目的	2
參、考察及參加研討會行程表	3
肆、考察過程	4
一、參加第 19 屆廢乾電池回收再生國際研討會	4
二、考察德國廢乾電池處理廠 ACCUREC 公司.....	17
三、考察德國廢乾電池處理廠 GMR 公司	19
四、考察比利時廢乾電池處理廠 Umicore 公司	20
伍、考察心得	24
陸、建議	27
柒、參考文獻	28

壹、前言

近年來我國隨著工業發達、都市建設、人口增加及經濟迅速成長，使得廢棄物產量與日遽增，環境污染不僅破壞環境生態，更甚已危害人體健康。檢視國內所產生一般廢棄物中，仍有許多可資源回收再利用物質，因此藉由廢棄物回收清除處理與資源再生利用政策的推動，可有效促使廢棄物減量，並達到資源回收之實質目的。而先進國家廢棄物清理政策，已由單純之廢棄物清理，調整為兼顧分類回收、減量及資源再利用之綜合性廢棄物管理。礦產資源並非無限，故如何運用有限資源循環再利用，應是每個國家基本環境政策。

環保署自 87 年 7 月起，公告水銀電池及鎳鎘電池為應回收項目，88 年 11 月起修正乾電池應回收項目，自此我國全面回收各項廢乾電池，其中包括錳鋅電池、鹼錳電池、鈕釦型鋰電池、一次鋰電池、氧化銀電池、氧化汞電池及鋅空氣電池，以及可重複使用之二次電池，如鎳鎘電池、鎳氫電池及二次鋰電池。由於廢乾電池內含有害之微量重金屬，於廢棄後實有必要回收其有害成分，且大部分材質可回收再利用為工業原料，回收廢乾電池有助資源循環再利用。國內廢乾電池回收成效於近 3 年來已有顯著提昇，100 年至 102 年廢乾電池平均回收率達 46% 以上，已達歐盟要求眾會員國於 2016 年達到之 45% 目標。

本次考察主要參加第 19 屆「廢乾電池回收再生國際研討會」，瞭解歐盟及其他國家廢乾電池回收處理發展現況及近期相關焦點議題。另至德國米爾海姆 ACCUREC 廢乾電池處理廠、德國萊比錫 GMR 廢乾電池處理廠及比利時布魯塞爾 Umicore 廢乾電池處理廠，瞭解各處理廠之廢乾電池處理技術，供我國未來提昇處理技術及修正管理制度時之參考。

貳、考察目的

近年來國際間對於含汞一般廢棄物之處理，均依循「逐年限汞、最終禁汞」之原則，各國無不全力以赴針對廢乾電池等含汞物質進行回收宣導及技術研發。歐盟已要求各會員國之廢乾電池回收率，於 2012 年達 25%、2016 年達成 45% 之目標。本次考察主要參加第 19 屆「廢乾電池回收再生國際研討會」，瞭解歐盟及其他各國廢乾電池回收處理發展現況及近期焦點議題，並考察德國米爾海姆 ACCUREC 廢乾電池再生處理廠、德國萊比錫 GMR 廢乾電池再生處理廠及比利時布魯塞爾 Umicore 廢乾電池再生處理廠，瞭解並整理各國最新之廢乾電池回收處理政策及再生技術，供國內未來提昇處理技術及管理制度時之參考。其目的說明如下：

- 一、參加第 19 屆廢乾電池回收再生國際研討會(ICBR)，瞭解國際廢乾電池回收處理之最新趨勢，彙集最新廢乾電池回收法令及再生處理技術等資訊，以拓展我國環保之國際視野。
- 二、考察我國廢乾電池輸出至德國 ACCUREC、GMR、比利時 Umicore 等 3 家處理廠之再生處理情形，並蒐集廢乾電池處理之市場及技術資訊，作為我國設置二次電池處理廠可行性之參酌，並建立資訊交流管道。
- 三、藉由考察德國、比利時廢乾電池處理業，瞭解德國、比利時之回收制度、回收清除處理管道、處理及再利用技術、再生產品市場等，並交流相關訊息，做為未來國內處理廠提昇處理技術與品質之政策參考。

參、考察及參加研討會行程表

日期	行程	考察重點摘要
103.09.20 (六)	臺北→德國法蘭克福	啟程，搭機至德國法蘭克福。
103.09.21 (日)	德國法蘭克福	抵達德國法蘭克福，整理考察資料。
103.09.22 (一)	德國法蘭克福→ 德國米爾海姆→ 德國法蘭克福	自德國法蘭克福搭乘高鐵至德國埃森後，轉往德國米爾海姆，考察德國廢乾電池處理廠 ACCUREC 公司，與該公司總經理 Dr. Reiner Weyhe 訪談，瞭解我國廢乾電池輸出至該公司處理情形，及該公司之廢乾電池處理技術。參訪結束後，返回德國法蘭克福。
103.09.23 (二)	德國法蘭克福→ 德國萊比錫→德 國漢堡	自德國法蘭克福搭乘高鐵至德國萊比錫，考察德國廢乾電池處理廠 GMR 公司，與該公司總經理 Mr. Uwe Andrae 及 Dr. Wolfgang Mothes 訪談，瞭解我國廢乾電池輸出至該公司處理情形，及該公司之廢乾電池處理技術。參訪結束後，搭乘高鐵抵達德國漢堡。
103.09.24 (三)	德國漢堡	參加第 19 屆廢乾電池回收再生國際研討會，會議主要內容包括「廢乾電池回收處理相關法令」、「廢乾電池回收效率」等議題。
103.09.25 (四)	德國漢堡	參加第 19 屆廢乾電池回收再生國際研討會，會議主要內容包括「廢乾電池回收處理安全」、「廢乾電池回收處理技術」及「廢乾電池處理業稽查及永續發展」等議題。
103.09.26 (五)	德國漢堡→比利 時布魯塞爾	自德國漢堡搭乘飛機至比利時布魯塞爾，上午考察比利時廢乾電池處理廠 Umicore 公司，與該公司總經理 Mr. Sybolt Brouwer 及經理 Mr. Ghislain Van Damme 訪談，瞭解我國廢乾電池輸出至該公司處理情形，及該公司之廢乾電池處理技術。下午由 Umicore 公司安排，與比利時法蘭德斯大區廢棄物管理署(Public Waste Agency of Flanders)代表 Mr. Christophe Mouton 座談，瞭解比利時廢乾電池回收政策相關資訊。
103.09.27 (六)	比利時布魯塞爾	勘查比利時布魯塞爾一般資源回收工作，了解回收作業執行情形。
103.09.28 (日)	比利時布魯塞爾 →德國法蘭克福 →臺北	返程，於比利時布魯塞爾國際機場搭機，經德國法蘭克福轉機返回臺北。
103.09.29 (一)	臺北	返抵臺北。

肆、考察過程

一、參加第 19 屆廢乾電池回收再生國際研討會

藉由參加廢乾電池回收再生國際研討會，瞭解國際廢乾電池回收處理之最新趨勢，彙集最新廢乾電池回收法令及再生處理技術等資訊，以拓展我國環保之國際視野。

本次參加廢乾電池回收再生國際研討會主要內容包括「廢乾電池回收處理相關法令」、「廢乾電池回收效率」、「廢乾電池回收處理安全」、「廢乾電池回收處理技術」及「廢乾電池處理業稽查及永續發展」等議題，有關 2014 廢乾電池回收再生國際研討會開幕典禮如圖 1 所示。以下精選研討會之課程內容摘要說明。

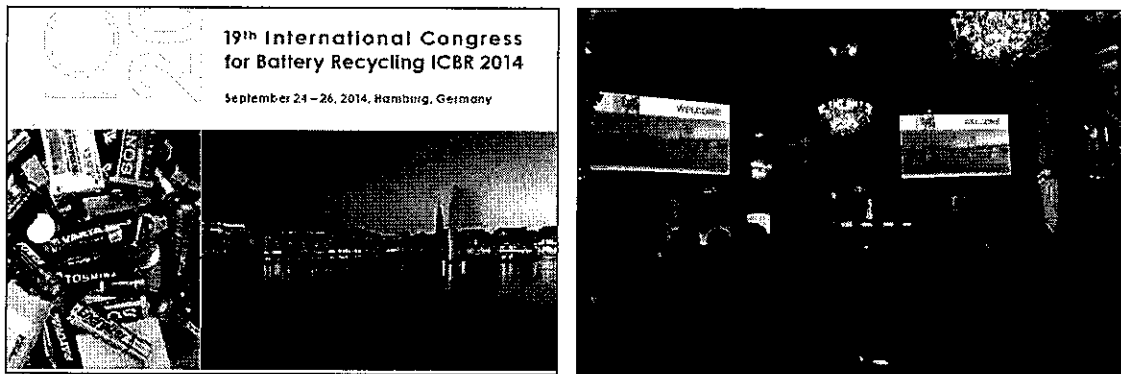


圖 1 2014 廢乾電池回收再生國際研討會地點及開幕典禮

(一)乾電池生命週期對回收率之影響(Coonen & Desmet, 2014)

1. 比利時 Bebat 回收組織

Bebat 組織為比利時境內依法規設置之可攜式電池(Portable Batteries)及工業電池(Industrial Batteries)回收再生組織，該組織於 1996 年成立，屬非營利組織，其下設有分類中心。Bebat 主要成員為乾電池製造業者，如 Duracell、Panasonic 及 Energizer 等，目前加入該組織之會員已達 1,600 家以上，境內回收點達 23,500 點。

根據該組織調查，比利時民眾認知回收架構及 Bebat 組織之比率分別為 94%及 84%，該組織於 2013 年比利時境內之廢乾電池回收量達 2,662 公噸（相當於 1 億顆乾電池），若以歐盟之乾電池回收率計算方式來看，比利時回收率為 53%，但以回收效率來看（以家庭廢棄物分析為基準），

則高達 87%。

根據歐盟電池指令規範，回收率定義及計算方式為當年度回收量除以前 3 年營業量平均（含當年度營業量），會員國必須在 2012 年達到 25% 回收率，2016 年達到 45% 回收率。比利時另於 2007 年及 2011 年針對家庭廢棄物進行廢乾電池回收效率之分析，該研究以 5,000 個家用垃圾袋為分析重量，其乘載垃圾總重量達 40,000 公斤，其研究結果為每 100 公斤家庭垃圾中約有 1 顆乾電池（約 30 克）。該研究分析比利時回收率 53% 與回收效率 87% 不同的原因，可能與部分乾電池隨含乾電池商品出口、或隨含乾電池商品回收有關，但主要原因為多數乾電池仍貯存於家中未排出。

2012 年調查顯示，比利時民眾家中平均每戶約有 115 顆乾電池，其中可廢棄者約有 14 顆、使用中或新品約 101 顆，因此計算回收率方式之是否符合實際狀況確實值得探討，如 3 年是否符合乾電池自生產至廢棄實際所需之時間？家用乾電池是否於壽終後仍留置家中一段時間，而非立即排出回收？乾電池製造後 3 年，到底有多少可供回收？

2. 乾電池生命週期對回收率之影響

Bebat 組織旗下 Mobius 公司針對乾電池生命週期對回收率之影響進行研究，2012 年 Bebat 組織就 30,000 顆乾電池（3,900 公斤）進行樣本分析，依據乾電池化學特性進行分類，並秤重、登記、照相存證，作為找尋每顆乾電池製造日期之依據，經淘汰後約 17,000 顆乾電池確認其製造日期。以分析結果來看，乾電池平均使用及貯存時間遠大於 3 年，其中以鎳鎘電池最長達 9 年以上，而二次鋰電池達 7 年以上，詳圖 2 所示。

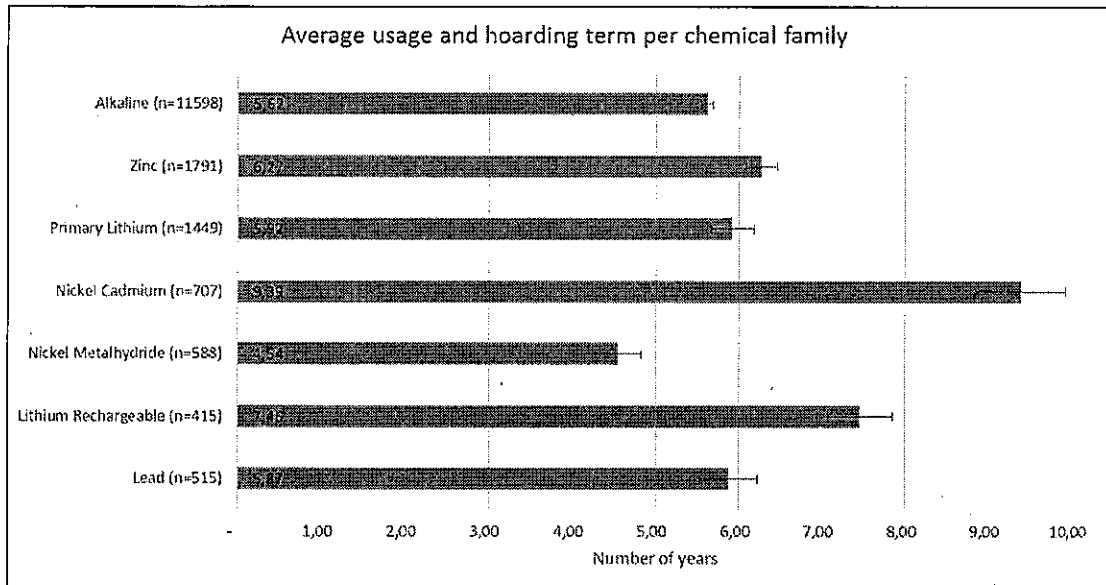


圖 2 各類乾電池平均使用及貯存時間

若以使用組裝（二次鋰）電池物品進行區分，電動工具電池平均使用及貯存時間最短約 3 年左右，電腦電池平均使用及貯存時間最長約 10 年左右，而數位相機及手機電池則為 6 年左右，詳圖 3 所示。

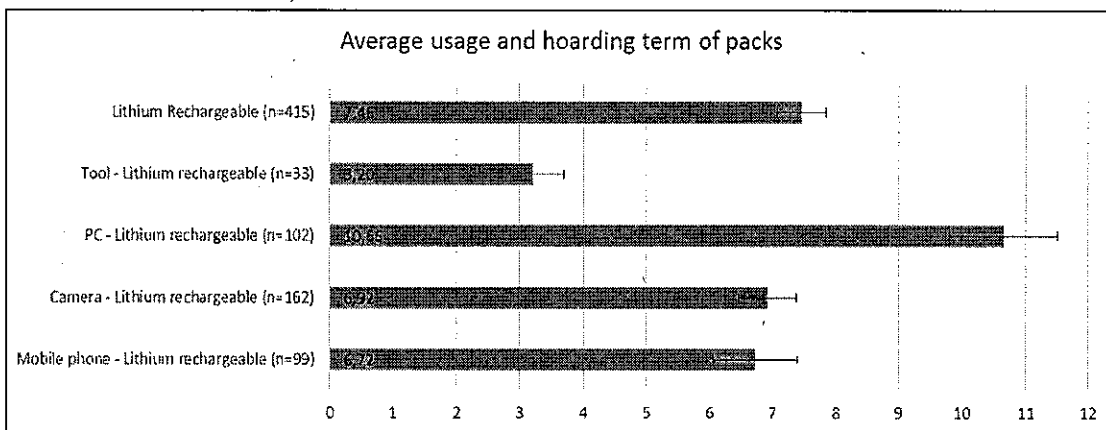


圖 3 組裝電池平均使用及貯存時間

另評估各類乾電池於生產後到回收時間，鹼性電池（筒形鹼錳電池）平均約 5 年，二次鋰電池平均約 7 年。而生產後 3 年所回收之各類乾電池相對於其生產量，鹼性電池（筒形鹼錳電池）約占 29%，二次鋰電池約占 19%，鎳氫電池則約有 47%，詳表 1 所示。至於各類乾電池廢棄量達 80% 之時間，鹼性電池（筒形鹼錳電池）約 8 年，二次鋰電池約 10 年，鎳鎘電池最長約 15 年，詳表 2 所示。

表 1 各類乾電池於生產後 3 年廢棄回收之比例

Chemical family	At most ...%*
alkaline	29,01%
zinc	24,21%
primary lithium**	45,41%
nickel cadmium	34,68%
nickel metalhydride batteries	47,37%
lead	12,92%
lithium rechargeable	19,16%

* Confidence level = 95%

** Due to a change in technology in recent years, the results for primary lithium should be interpreted with care

表 2 各類乾電池廢棄量達 80%之時間

Chemical family	At least ... years *
alkaline	8 years
zinc	9 years
primary lithium**	9 years
nickel cadmium	>15 years
nickel metalhydride batteries	7 years
lead	7 years
lithium rechargeable	10 years

* Confidence level = 95%

** Due to a change in technology in recent years, the results for primary lithium should be interpreted with care

根據上述生命週期對回收率影響之分析結果，顯示各類乾電池之廢棄排出量，累積達到歐盟目標回收率 45%之所需時間不一。以營業量穩定之鹼性電池（筒形鹼錳電池）而言，累積 45%廢棄回收量所需之時間，與歐盟計算回收率之時間區間（3 年）接近；但對於營業量逐年下降之電池種類，欲達 45%之回收量，所需之時間短於歐盟計算回收率之時間區間（3

年)。至於營業量逐年上昇且快速之乾電池種類如二次鋰電池，欲達 45% 之回收量，所需之時間長於歐盟計算回收率之時間區間（3 年）。

3. 結論

目前可攜式電池廢棄時間明顯高於 3 年，因此以 3 年為週期計算回收成效並不符合實際現況，3 年僅適用於營業量穩定市場如鹼性電池（筒形鹼錳電池），不適用於營業量明顯上昇且生命週期長之乾電池種類，如二次鋰電池。以二次鋰電池為例，2001 至 2012 年之銷售成長率達 1,200%，2012 年可攜式電池占市場比例達 20% 以上，3 年後僅 20% 電池釋出，其 80% 之電池廢棄排出約需 10 年以上，故回收率無法達到 45% 之目標。因此 Bebat 建議歐盟其他國家效法比利時，針對電池之生命週期進行研究，並研發實際可回收量之計算方法，將其納入歐盟相關指令（如電池指令、廢電子電機指令），作為評估回收成效之基準。

(二) 歐盟電池指令規範於安全議題的缺失

1. 電池立法：安全面問題尚未解決(Lueckefett, 2014)

歐盟電池指令(2006/66/EC)中並未針對廢乾電池回收及處理訂定安全方面規範，但目前回收系統、處理業必須面對鋰離子電池於回收、貯存及運送上之安全問題。而對電池使用者來說，高效能、長壽命、合理價錢、環保、低危險、低污染物含量及使用安全性為挑選乾電池時之主要考量；對於處理業而言，低危險、低污染物及處理安全性為回收處理廢乾電池時之主要考量。至於製造者與銷售者對乾電池的要求，則以市場需求與新科技為取向。

乾電池在銷售及使用過程，其可能發生之危險遠小於回收處理階段，然現今對於廢乾電池回收、處理並無安全性相關規範。各類乾電池中風險最高者為鋰電池，而鋰離子電池並無安全性標示，且在回收的手機中及平板電腦中無法自行卸除之鋰離子電池亦存在潛在性危機，鋰電池若直接丟入回收筒中亦可能造成短路引發火災。

根據市場趨勢顯示，因受電動車、電動自行車及太陽能貯電設施增

加之影響，未來大型鋰離子電池使用量（工業用或家用）將持續成長，而在處理過程中，短路所造成的反應、電池正極所含之活性物質或高溫均可能造成處理上之危險。

目前在歐盟電池指令(2006/66/EC)及電子電機指令 (2012/19/EU) 中，僅就環境友善度、減少危險及污染物質、環境化設計進行規範，安全問題並未納入延長生產者責任(Extended Producer Responsibility, EPR)中；而在運送危險物質規範中，僅著重於鋰離子電池的運送包裝，在一般廢棄物規範中，僅著重廢棄物處理。為避免立法程序冗長、各國意見分歧、電池新科技仍持續發展等因素衍生之問題，建議以「自願性計畫」執行電池回收之安全性要求，如德國 GRS 回收組織為此執行了綠、黃、紅 3 色回收系統，瑞士 Inobat 回收組織也發明鋰電池專用回收筒。

為解決目前鋰電池可能造成之安全性問題，建議生產者與處理業者共同合作，生產者應設計可自行更換、卸除電池之商品、提供消費者鋰離子電池安全的貯存及運送包裝，並告知消費者如何回收廢乾電池；在生產者所提出的廢乾電池回收計畫方面，應告知有關廢乾電池貯存方式及廢乾電池回收點等資訊；至於處理業則應持續以新科技處理廢鋰離子電池。

2. 乾電池回收、分類及運送注意事項(Pan, 2014)

在英國，G&P Batteries 為最大的廢乾電池回收業，該組織回收國內、外各類型電池。2014 年 1 月及 2 月曾分別發生 2 起與鋰電池有關之意外，1 件為數類廢乾電池混合貯存引發自燃，該案貯存之廢乾電池多為廢一次鋰電池及廢鋰離子電池，但除電池外無其他財產及人員傷亡；另 1 件意外則發生於廠房內已包裝好、準備運送之廢一次鋰電池，且此批廢乾電池分類完全、無外部短路問題，同時以聯合國規範之容器包裝貯存，且填充保利龍顆粒。

為避免類似意外再次發生，該組織提出廢乾電池回收前之風險分類標準，並針對回收點設計管控表，以確認回收之廢乾電池種類。對於運送廢乾電池之司機，則要求檢查回收點的廢乾電池是否能安全運送。處理廠

則確認入廠廢乾電池是否具危險性，並針對高風險之混合廢乾電池設計暫存屋，以降低可能引發之火災所造成的損失。該組織並表示回收、分類及處理業者在蒐集、包裝、運送及處理廢乾電池時應具其專業性，第一線回收者不應進行廢乾電池分類工作，且應盡可能降低廢乾電池處理時發生問題之機率。

德國 ACCUREC 廢乾電池處理廠建置於 1995 年，主要處理鎳鎘及鎳氫電池，目前正研發鋰電池再生處理技術，亦研究廢鋰電池安全運送之包裝材料。就目前運送廢鋰電池之包裝材料規定而言，防火、絕緣、隔熱等特性為基本要求，然實務上仍須以簡單處理、位置固定及成本為主要考量。

ACCUREC 公司之研究主要針對蛭石(Vermiculite)、砂粒(Sand)、礫石(Sorbix)、吸收劑(Absorbent)及保麗龍(Pyrobubbles)球等 5 項填充材質進行測試，實驗結果顯示砂粒之密度、熱傳導及單位體積熱容量最高，因此使用砂粒包裝運送廢鋰電池之安全性最佳，因為在同樣環境下，砂粒介質可延緩廢鋰電池自燃時間，即使廢鋰電池自燃後也可降低溫度，減少對周遭環境之影響。此外，砂粒在成本考量上，也最具經濟效益。有關不同包裝材質於鋰離子電池自燃時之表面溫度變化情形，如圖 4 所示。

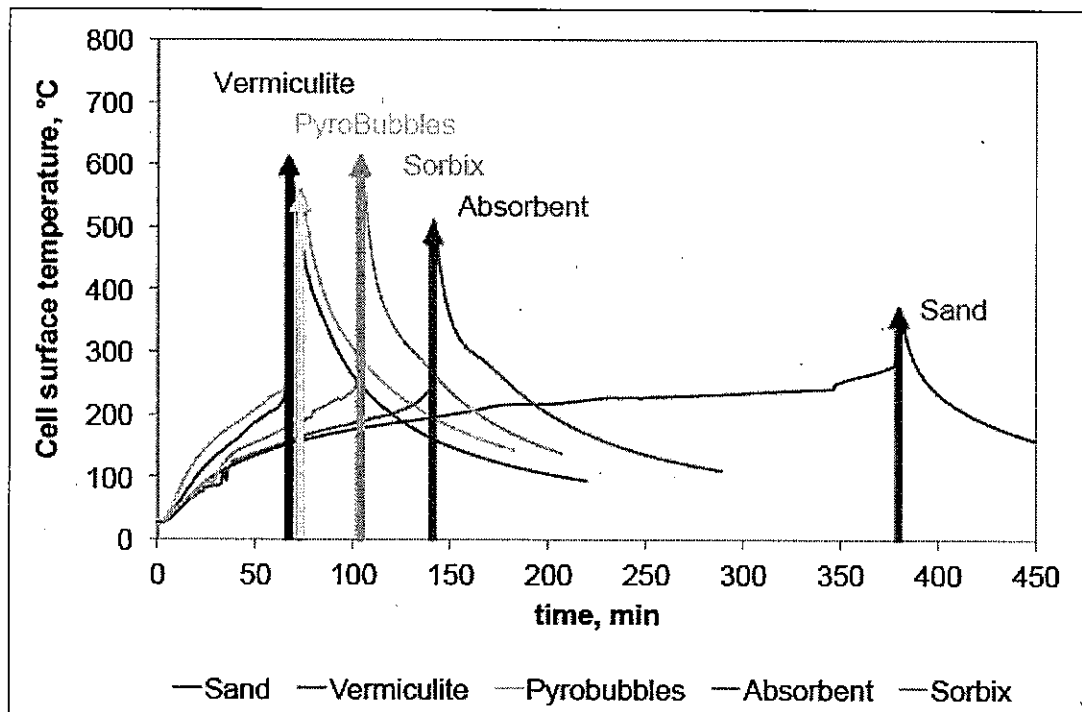


圖 4 鋰離子電池自燃時不同包裝材質於表面溫度變化之情形

3.消防員處理鋰電池火災時應注意事項(Vollmacher, 2014)

CTIF 為 36 國消防員之國際性火災及救援服務協會，協助解決火災應變人員所面臨之困難，該組織針對廢乾電池引發之災害，提供相關重要資訊，如消防員必須瞭解火災現場為何種乾電池，以便於災害發生時採取最佳處理方式。而對於非消防員，如銷售員或回收處理人員來說，則必須瞭解如何防止火災發生，在火災發生時，應清楚如何安全移開、分隔小型火源，同時告知消防員應知之滅火相關資訊。

由於目前緊急災害服務所提供之訊息有限，意外現場第 1 線人員如消防員、警察必須在短時間內作出重要決定以減少傷亡，因此需要知道特定災害相關細節。若為車輛失火，則車輛資訊對第 1 線人員而言相形重要。目前 UN 3480 危險物質規範定義鋰離子電池為危險運送物品(Class 9 (Miscellaneous))，運送時則須標示國際通用標誌，以縮短災害處理時間。有鑑於此，CTIF 並針對救災前線人員研擬救援及訓練手冊，手冊中針對不同類型之車輛、巴士、卡車、飛機等災害處理，以及充電電池災害處理均有詳述。尤其在電動車部分，需要車輛製造商及該組織合作，以提供更多救災所需資訊，如車內電池種類、位置、化學組成、電池液洩漏處理方式、電池中和處理方式、電池起火處理方式、能否以水滅火、氣體洩漏處理方式及電池貯存運送方式等相關資訊、照片等，以縮短災害應變處理時間，將傷亡減至最低。

(三)回收點設置及回收行為模式

1.立法設置回收點對回收計畫成果之助益(Smith, 2014)

1994 年依據美國法令成立之 Call2Recycle 回收組織，為一非營利之公共服務團體，主要負責北美地區自願性回收計畫。該組織目前在美國及加拿大 61 個地方政府擁有 35,000 個回收點，其提供之回收計畫不需向消費者、零售商及參與者收取費用，成本完全由製造業者及處理後之再生金屬販賣業者負擔。

事實上，立法要求電池販售業者必須回收廢乾電池，未顯著改善回

收成果及養成消費者至回收點回收的習慣，相關要求反而會增加回收計畫之成本，同時降低販售業者推動回收工作及支持電池回收計畫之意願。以美國加州、紐約州及紐約市來看，3地均已有自願性回收計畫；然當2006年及2010年立法要求3地販售業者回收廢乾電池起，大批販售業者依法令設置回收點，但回收點增加並未提升回收量，約有82%至93%之回收量，仍來自立法前已加入回收點設置之商家，如圖5所示。

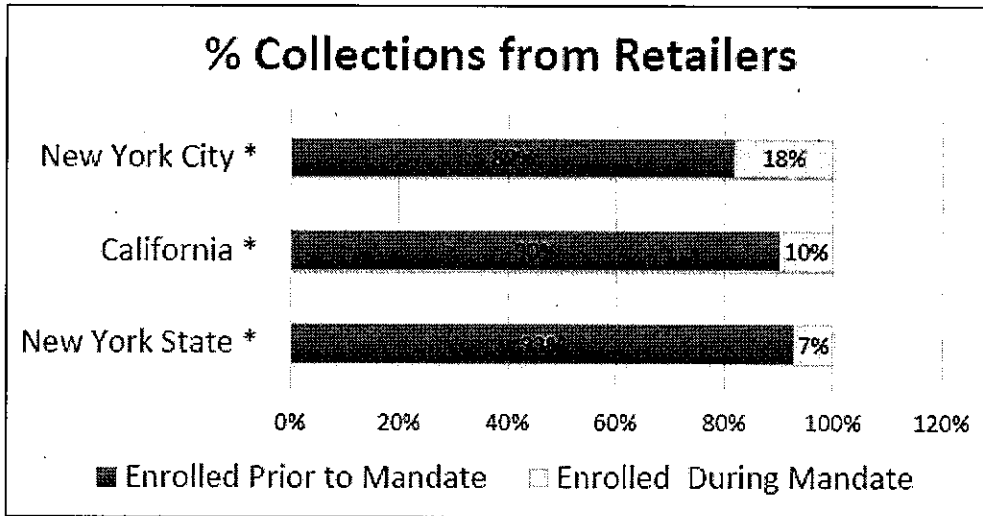


圖5 紐約市、加州、紐約州販售業者回收之廢乾電池所占比例

而在立法要求後始設置回收點之販售業者的部分，當中甚至有62%至78%的業者，至今仍未回收任何廢乾電池。而以回收便利性而言，Call2Recycle回收計畫原已要求讓95%居民在方圓10英里範圍內，均能找到1個公共廢乾電池回收點；而在立法要求販售業者設置回收點後，回收點數量雖明顯增加，但實際上未提高消費者之回收便利性。立法要求販售業者設置回收點，將額外增加回收計畫之成本。例如該計畫提供回收盒及運送服務給立法後加入之業者，導致該計畫每年額外支出約150,000美元，若再加上其他行政人力成本，全國立法實施後，估計約再額外花費1百萬美元。

在加拿大情況正好相反，2010年加拿大公告回收計畫規範，但並未強制要求販售業者回收廢乾電池，但計畫公告後申請成為回收點之販售業者，相較以往約增加4倍，加拿大3年內廢乾電池回收率提昇約23%。加

拿大販售業者設置回收點之動機如下：

- 增加來店率及銷售量，販售業者相信設置回收點可增加來店率。
- 屬企業永續計畫之內容，承諾綠色企業永續之遠景。
- 顧客觀念、需求所致，顧客不只「需要」販售業者設置回收點，甚至期望販售業者「能」設置回收點

販售業者參與設置回收點，可藉此教育消費者回收廢乾電池。但強制要求販售業者設置回收點，將減少販售業者透過回收點之設置，顯示自己與其他販售業者不同之機會，同時也減少販售業者推動及教育消費者回收廢乾電池之意願。此外，販售業者被回收計畫視為「合作伙伴」或「法令遵守者」，2 者含意十分不同。因此理想之回收計畫應由販售業者自願參與，而強制性要求販售業者設置回收點不但增加成本，且與原地方政府回收體系發生衝突。

2. 消費者行為模式對廢乾電池回收之影響 (Hédouin & Toussaint Dauvergne, 2014)

法國 Corepile 及 Screlec 回收組織現有超過 1,100 會員，境內約有 55,000 個回收點，2013 年廢乾電池回收量達 11,365 公噸，回收率約 35%，其中販售業者回收量最高，達 2013 年回收總量之 41.4%，其次為公務機關達 30%。Corepile 及 Screlec 回收組織針對消費者行為模式進行相關研究，如家中一次及二次電池之流向及貯存，以及個人、家中及公司之乾電池使用量。根據 2,105 個家庭的調查結果，顯示平均每個法國家庭中的乾電池數量約有 75 個，其中一次電池約 59 個、二次電池約 16 個，分布位置以客廳最多。約有 79% 的民眾會分類廢乾電池並送交回收點，21% 不回收，大約有 79% 廢乾電池回收量經由超級市場的乾電池回收盒回收。

然大部分電子電器產品內含之乾電池並未被回收，其主要原因為民眾缺乏此類乾電池的回收知識，統計約有 48% 的二次電池因此未被回收。在回收的廢乾電池中，大約 64% 的回收來源為超級市場，31% 為電子電器產品或照明光源之回收點。至於公共機構或私人公司方面，有 50% 不使用

電池，29%自行設置回收點。廢乾電池回收量來自公共機構約占 34%，私人公司僅占 26%。

為改善回收效率，Corepile 及 Screlec 回收組織計畫透過傳播管道增加民眾的回收知識，同時與其他物品合併回收宣導，如電子電器產品。民眾部分，持續加強傳播宣導，鎖定年輕人、都會居民、中產階級家庭等，鼓勵個人回收習慣，並改善貯存及運送工具。販售業者方面，持續加強店內宣傳及改善回收點之標示與店內回收工具。執行機關方面，於其資源回收場設計宣傳文宣及回收工具。至於私人公司部分，則於辦公室設置回收點，並鼓勵員工回收廢乾電池。而專業回收商部分，則建議與處理業簽訂合約，並與廢電子電器拆解廠合作，另可針對醫院、軍隊等單位加強回收工作。綜合上述，應可持續提昇法國境內廢乾電池回收率。

(四)廢乾電池處理廠稽核之重要性

1.推動廢電池處理廠稽核之原因及相關執行計畫(Vassart, 2014)

歐盟電池指令之目的在避免有害物質進入環境、維護人體健康安全，並強化廢乾電池回收再生之資源效益。因此，所有處理廠必須滿足電池指令規範，並遵守再生效率(Recycling Efficiency, RE)（即我國資源回收再利用比例）計算及申報等規定，惟再生效率之計算方式並無稽核審查制度，且不能保證各地計算方式均能統一，故「稽核」成為相當重要之工具。

稽核計畫可提供所有再生處理業公平、透明及平等之規定，並確認針對處理業者的各項要求，均能符合電池指令目的及其一致性。歐盟電池回收協會(European Battery Recycling Association, EBRA)於 2013 年執行了處理廠之稽核指引計畫，另編定如何計算再生效率之指引手冊，另針對現行歐盟指令中各項目標與內容進行檢討。而法定之稽核計畫可創造公平之廢乾電池處理國際市場，除能使業者在創新環境中公平競爭，並確認電池指令目標是否達成，此外亦可確認電子電器產品中乾電池是否回收處理。

歐洲創新協會研擬 W2020 稽核計畫，目的在發展最終處理之稽核標

準、訓練稽核人員、執行稽核作業及發展適合商業執行之稽核系統。該計畫預估經費約 1 千萬歐元，其中 70% 由歐盟支助，執行期間為 2015 至 2018 年。此外，在最終處理之品質標準部分，將針對電子電器內附乾電池及各類型乾電池進行研究，就廢乾電池提出再生標準、稽核指令、手冊及執行法定規範計畫，同時針對 1 家一次電池及 1 家二次電池再生處理廠進行稽核。

2. 廢乾電池處理廠稽核—Redux 案例(Friedrich, 2014)

根據歐盟議會規範 No.493/2012，目前針對再生效率之計算方法並無統一標準，且因其複雜之處理程序鏈、各類不同處理廠區及獨立之處理技術，導致無可供彼此比較之處理程序。而處理程序中衍生之中間產物若屬於廢棄物者，亦無統一管理模式。因此如何依歐盟 No.493/2012 規定之執行仍為一大困擾，致使處理廠文件中所提供之再生效率無法公平比較，故現行再生效率仍由各處理廠自行申報。

為解決再生效率計算之爭議，並降低廢乾電池處理業之負擔及成本，MIMI 科技公司發展了一套系統化、具代表性、可靠且具經濟效益之再生效率稽核程序及計算方法，並預設為未來再生效率之稽核標準，同時據以驗證歐盟 No.493/2012 之規範。稽核程序如下：

- 決定稽核批次—稽核人員選定特定批次及處理廠區。
- 過磅、採樣、分析—稽核人員監督處理流程、過磅，並選取其認為必須分析之樣品，以評估處理程序。
- 評估產出物—稽核人員確認產出物（產物、廢棄物、處理後物料）。
- 計算再生效率—稽核人員根據歐盟電池指令 2006/66/EC 及歐盟議會規範 No.493/2012 原則計算再生效率。

根據歐盟議會規範 No.493/2012 規定，再生效率計算公式為：

$$R_E = \left[\frac{\sum M_{\text{output}}}{M_{\text{input}}} \right] * 100\% (\text{mass})$$

MIMI 科技公司依據上述原則，針對 Redux 公司之 2 間處理廠進行再

錳及鎳氫電池之各項再生料產出部分，深色代表後端 100%再利用，淺色部分如黑色物質(Black Mass)，則乘以後端實際再利用率(0.284)計算，即得到該處理廠再生效率。而整體之稽核成果顯示，Redux 公司 2 間處理廠之不同類型廢乾電池處理之再生效率，均超過現行歐盟規範之 50%標準，詳表 4 所示。

表 3 Redux 公司一次錳鋅電池、鹼錳電池及鎳氫電池之各項再生料產出及再生效率計算

m_{input}		m_{output}	
Fraction	Mass in kg	Fraction	Mass in kg
D-cells	1.715	MnO ₂	983
C-cells	1.288	Zn/ZnO	428
Alkaline/ZnC Rest	9.450	Fe-Concentrate	3243
ZnC	3.387	Black Mass	10.551
NiMH Packs	173	FeNi-Concentrate	775
NiMH Single Cells	677		
SUM	16.690		

Calculation of RE for the in-house recycling process:

$$RE_{Dietzenbach}^{In-house} = \frac{\sum m_{output}}{m_{input}} = \frac{(983 + 428 + 3.243 + 10.551 * 0.284 + 775)}{16.690} * 100\% = 50.5\%$$

根據上述 Redux 公司稽核案例，MIMI 科技公司指出計算廢乾電池處理業之再生效率，必須依賴產出之各類再生料物質於後端之實際再利用率，在後端實際再利用率尚未被驗證前，再生效率僅供參考。

表 4 Redux 公司再生效率稽核及計算執行成果

Battery Type	Recycling Efficiency
Alkaline/ZnC Dietzenbach	50.2 %
Alkaline/ZnC Bremerhaven	53.2 %
NiMH Dietzenbach	91.1 %
NiMH Bremerhaven	88.5 %

二、考察德國廢乾電池處理廠 ACCUREC 公司

(一)工廠簡介

ACCUREC 公司創立於 1995 年，1996 年建置鎳鎘電池處理實驗廠，並於 1998 年取得一年處理 500 公噸鎳鎘電池之許可，2000 年時處理量擴充至一年 2,500 公噸，2001 年開始研發鎳氫電池處理技術，2005 年更研發鋰離子電池之處理技術，並於 2012 年成立 EcoBatRec 鋰電池處理公司，預計於 2015 年完成建置位於 Krefeld 之鋰電池處理廠。

目前 ACCUREC 公司處理廠位於德國米爾海姆，主要業務為廢乾電池(鎳鎘電池及鎳氫電池)及太陽能電板之再生處理，其處理容量達 6,000 公噸/年。該廠員工約 35 人，其年營業額高達 800 萬至 1,000 萬歐元，處理廠區之建置費用約 500 萬歐元。有關 ACCUREC 廢乾電池再生處理廠參訪情形如圖 6 所示。

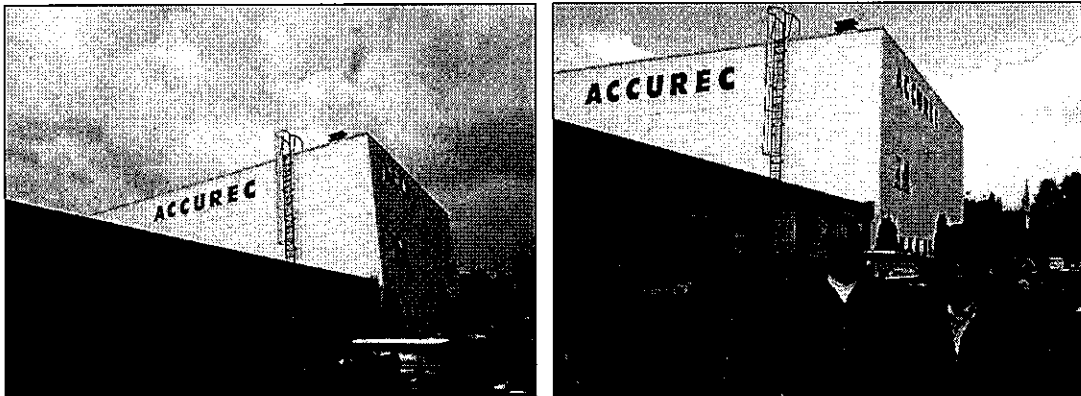


圖 6 ACCUREC 廢乾電池再生處理廠參訪情形

(二)處理技術

ACCUREC 廢乾電池處理廠之主要處理項目為鎳鎘電池及鎳氫電池，其處理方式採熱處理方法，利用不同金屬具不同熔點之特性，進行冷凝回收後鑄錠，所產之金屬鑄錠可供下游金屬熔煉業使用。然因電池產品之市場趨勢變化，鎳鎘電池及鎳氫電池原有之市占率逐漸被鋰電池取代，因此目前該廠致力於鋰電池之處理技術研發及廠房建置。

目前鋰電池之處理技術可分為熱處理及濕式處理 2 大類，而目前 ACCUREC 處理廠所研發之處理技術，則偏向熱處理方式。有關鋰電池熱處理及濕式處理之處理流程，如圖 7 所示。

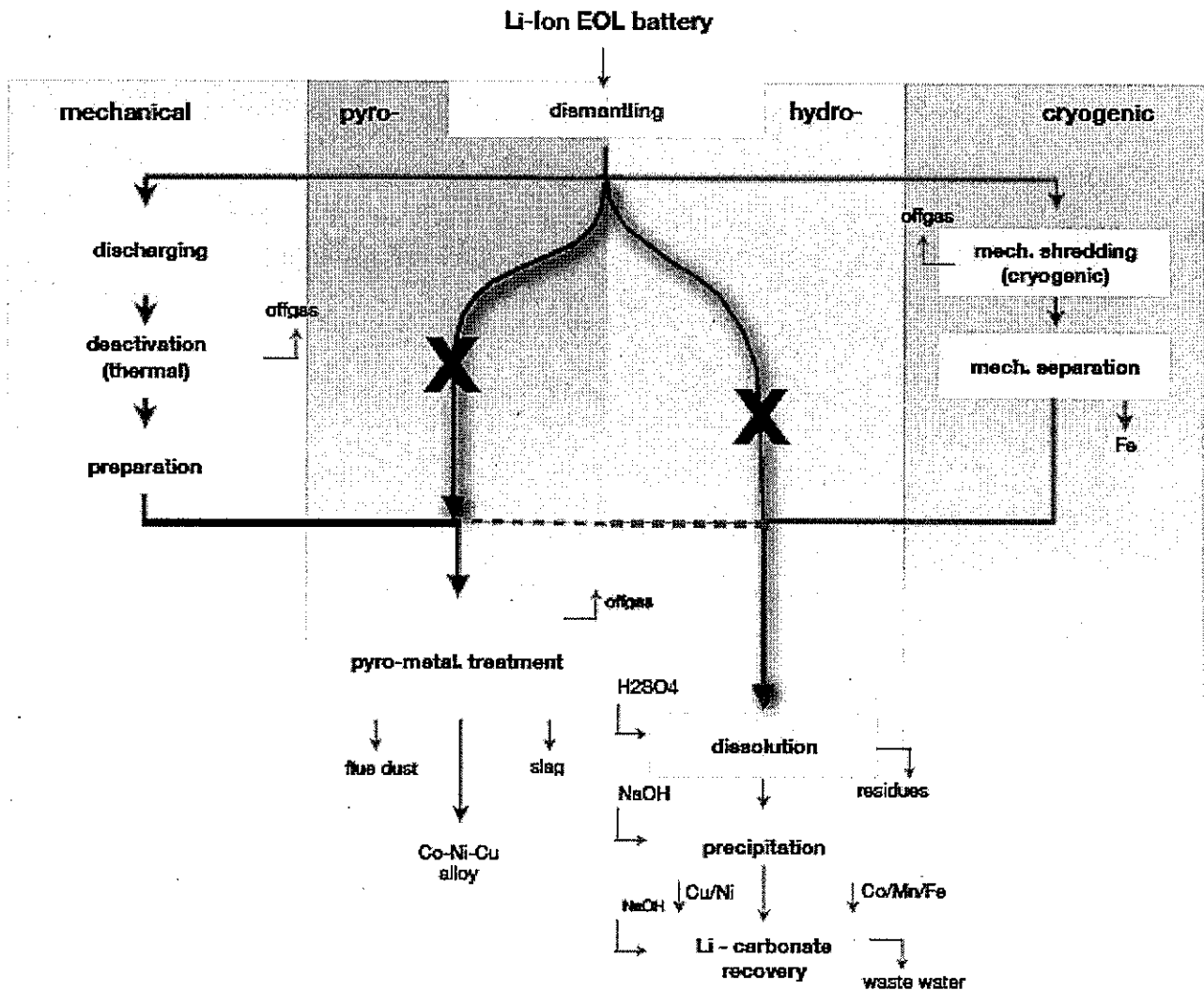


圖 7 鋰電池之熱處理及濕式處理技術

鋰電池若採熱處理方式，首先必須拆解（組裝電池）外殼，經放電後以熱處理方式降低電池活性，再進入熔爐以高溫處理，並收集煙道粉塵，最終冷凝後，可得鈷鎳銅合金，鋰金屬則以氣體收集之方式，再冷凝後還原。

三、考察德國廢乾電池處理廠 GMR 公司

(一)工廠簡介

德國 GMR 廢乾電池處理廠位於萊比錫，其主要處理項目除了鈕扣型含汞電池外，另包含石化產業製造石化氣體及油品所衍生之含汞爐渣。該廠廢鈕扣型含汞電池處理量約為一年 50 至 80 公噸，最大處理量可達一年 100 公噸，但若加計含汞爐渣之處理容量，則最大處理量則為一年 1,000 公噸。GMR 廢乾電池處理廠之建置成本約 100 至 200 萬歐元，若僅以廢鈕扣型含汞電池之處理設備計算，其成本約 15 萬歐元，然廢鈕扣型含汞電池之處理量僅占該廠 20%。有關 GMR 廢乾電池處理廠設備及參訪情形，如圖 8 所示。

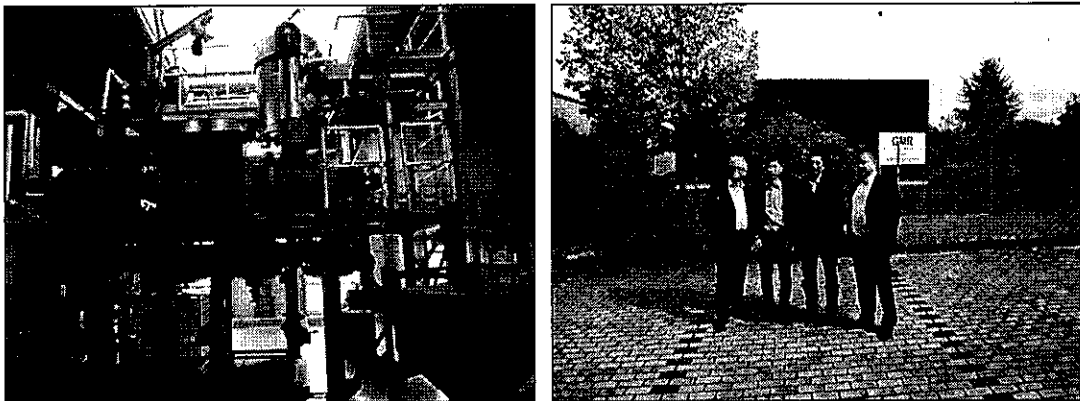


圖 8 GMR 廢乾電池處理廠設備及參訪情形

(二)處理技術

GMR 廢乾電池處理廠之處理技術屬高溫熱處理，該廠廢鈕扣型含汞電池之前端分選工作，仍以人工分類為主，目前正開發自動分類方式中。該廠熔爐操作溫度達 650°C ，負壓狀態之蒸餾達 48 至 96 小時後，其汞蒸汽採冷凝方式回收，後端排放設備則以活性碳進行吸附。該廠設備主要使用電力進行加熱，處理後之廢鈕扣型含汞電池含汞量達 10ppm 以下，所收集的汞經精煉後，可做成汞齊供牙醫使用，或成為照明光源製造業之原料。經蒸餾去汞後

所剩之金屬部分，則供煉鋼業做為原料使用。有關 GMR 處理廠之廢鈕扣型含汞電池之處理流程，如圖 9 所示。

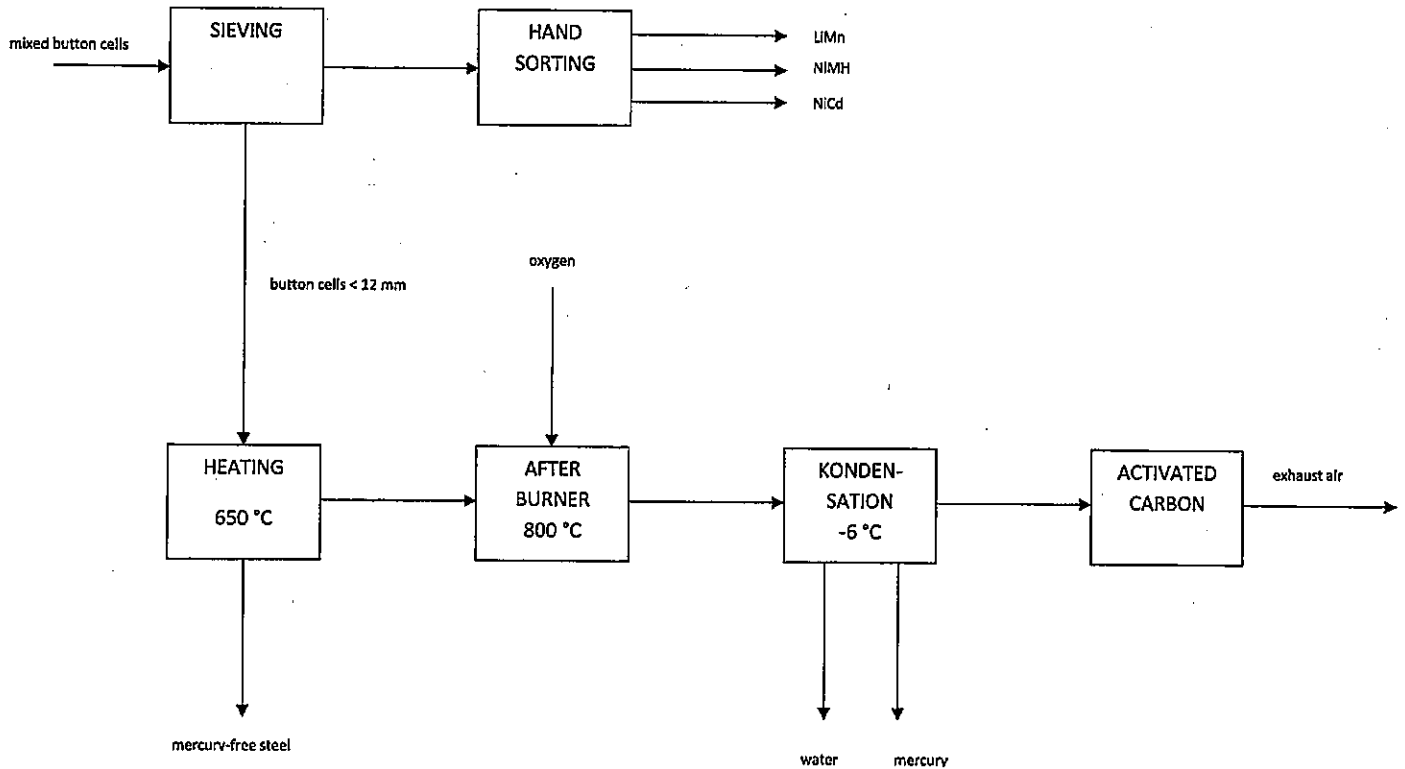


圖 9 GMR 處理廠之廢鈕扣型含汞電池之處理流程

四、考察比利時廢乾電池處理廠 Umicore 公司

(一)工廠簡介

比利時 Umicore 廢乾電池處理廠位於布魯塞爾市郊的 Hoboken，Umicore 公司於當地佔地約 140 公頃，電池處理廠僅為其廠區的一小部分。該公司原為具百年歷史之採礦煉製工業，但目前的營業項目則以提煉廢棄物中的各種貴重金屬為主，屬最終處理廠。其回收處理之主要物料為廢二次電池、廢汽車觸媒轉換器、廢太陽能電板及廢電子資訊物品。該公司之合作對象遍及全球各洲，員工總人數達 14,000 人以上，公司年營業額高達 98 億歐元。Umicore 廢乾電池處理廠之處理項目為各類二次電池，包含可充電再次使用之二次鋰與鎳氫電池，目前亦朝向電動車電池處理之方向發展。廠房設備之投資成本高達 2,500 萬歐元，其最大處理量為一年 7,000 公噸，處理方法屬熱處理技術。

有關 Umicore 廢乾電池處理廠之參訪情形如圖 10 所示。

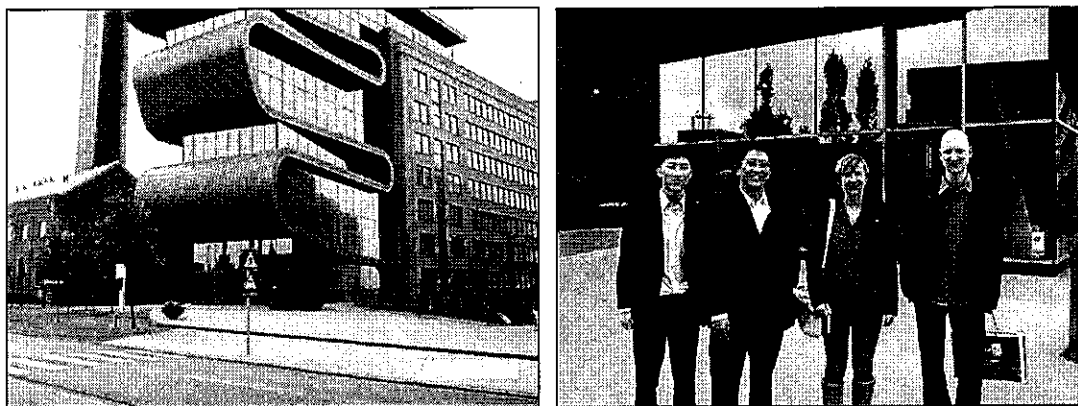


圖 10 Umicore 廢乾電池處理廠參訪情形

(二)處理技術

Umicore 廢乾電池處理廠之處理技術屬高溫熱處理，其熔爐操作溫度達 $1,500^{\circ}\text{C}$ 。該公司對於後端污染防制設備相當重視，2,500 萬之設廠成本中，即有 60%用於空氣污染防制設備。目前 Umicore 公司 1 年收益高達 23 億歐元，並將收益之 6%至 7%用於研發部門，而 Hoboken 的廢乾電池處理廠及處理技術即為近年該公司之研發成果。該廠亦應依其規模、處理技術與處理方式向比利時政府機關申請通過後始得設置。

該廠於處理前需以人工分選方式分類二次電池，並由品管人員進行確認。而處理二次鋰電池時，不須放電即可直接投料進入高溫熔爐。該廠質量平衡之投產比約為 60%至 70%，操作時間視處理量多寡而定。設備後端具空氣污染防制設施，熔爐使用之能源種類為電能，但僅用於起始處理程序，後續熱處理所需之能量則仰賴電池提供之自身能源。

Umicore 處理廠後端產生之合金，將運至氧化還原廠區另行處理，所得原料再提供電池製造商作為正負極、電解質原料使用，故該廠可稱為最終處理廠。比利時政府對於廢乾電池處理之各類金屬再生效率並無相關規範，多遵循歐盟 50%相關規定，再生料出廠後，直接送至下單批料之製造業，因此品質方面多由製造商自行管控。該廠再生料除供製造業原料外並無其他用途，其價格則隨市場波動而有所不同。有關 Umicore 處理廠廢乾電池熔煉處

理流程，如圖 11 所示。

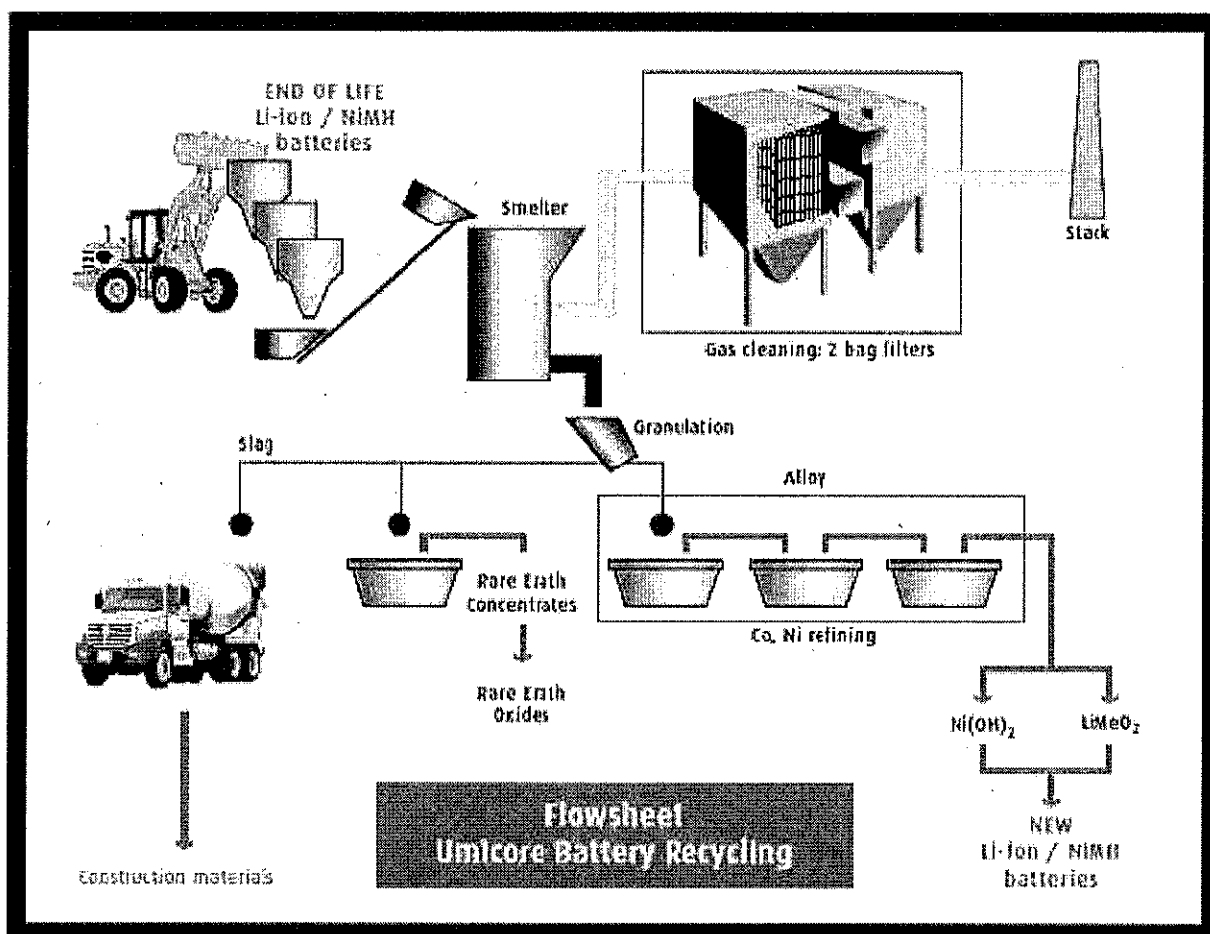


圖 11 Umicore 處理廠廢乾電池熔煉處理流程

(三) 比利時法蘭德斯大區回收制度

Umicore 處理廠另安排比利時法蘭德斯大區廢棄物管理署(Public Waste Agency of Flanders)代表 Mr. Christophe Mouton 會談，以瞭解比利時廢乾電池回收制度相關資訊。比利時廢乾電池回收制度主要遵循歐盟電池指令，汞含量標準為 5ppm，Umicore 廢乾電池處理廠除了處理比利時境內（比利時二次電池年廢棄量約為 60 公噸）及歐盟其他國家所產出之廢二次電池外，亦接受世界各地產出之廢乾電池運送至該公司比利時廠區進行處理。

比利時有關廢乾電池回收、清運、處理之規定，主要由歐盟電池指令轉化為國內相關規範，管理方面則由 BEBAT 非營利回收組織負責，該組織成員包括製造業、進口業、回收處理業，電池售價中提撥固定比率做為廢乾電池回收清除處理之經費，亦是該回收組織行政支出之經費來源。回收清運工

作除回收商負責外，處理業亦會協助，廢乾電池回收點或貯存筒之設置，均由 Bebat 回收組織規劃管理。此外，該組織積極參與學校廢乾電池回收宣導之相關活動，期以基礎教育之宣導方式，從小灌輸民眾廢乾電池回收之觀念。

伍、考察心得

本次參加「廢乾電池回收再生國際研討會」及考察廢乾電池處理廠處理技術，瞭解最新廢乾電池資源回收之發展趨勢，以提升我國回收處理之成效，考察心得如下：

一、研討會課程

- (一) 現行歐盟各國中，廢乾電池回收率最高之國家為比利時，達 53%。比利時並依據其垃圾中廢乾電池比例，計算出回收效率為 87%，並提出乾電池生命週期相關研究成果，以探討目前歐盟回收率計算方式之合理性。研究指出，各類電池之排出生命週期均大於 3 年以上，鎳鎘電池及二次鋰電池平均排出時間更達 7 年以上，因此推論歐盟回收率計算之分母：前 3 年平均營業量，僅適用於市場發展穩定之乾電池（如筒型一次電池），但對於快速發展且生命週期長之乾電池（如二次鋰電池）並不適用。
- (二) 近年來歐盟發生多起因運送貯存廢二次鋰電池產生之自燃火災意外，因此 ACCUREC 廢乾電池處理廠針對廢二次鋰電池運送貯存之包裝材質進行相關研究，以減少相關意外發生之機率。此研究主要針對蛭石、砂粒、礫石、吸收劑及保麗龍球等 5 項材質進行相關測試。除法規要求之不可燃、絕緣、隔熱等特性外，另應符合可固定電池、使用方便及低成本等要求。根據研究成果，推論砂粒為最佳包裝運送及貯存之最佳材質，因其具高導熱及高熱容量之特性，可有效降低貯存中二次鋰電池之表面溫度，避免連鎖反應及自燃現象發生，同時具有低成本之經濟效益。
- (三) 為確認廢乾電池處理廠之再生效率（即我國資源回收再利用比例）符合歐盟規範 No.493/2012 要求，德國 MIMI 科技公司利用物質流原理，針對 Redux 廢乾電池處理廠進行批次稽查及計算，以確切掌握再生處理流程及後端產出再生料之實際運用情形，做為再生效率計算之基準，並建議歐盟委員會可將此稽查方式納入規範要求。

二、廢乾電池處理業參訪

- (一) 本次考察 ACCUREC 公司、GMR 公司及 Umicore 公司等 3 家廢乾電池處理業者，其分別處理我國輸出之鎳氫及鎳鎘電池、鈕扣型含汞電池、二次鋰電池。其中除 ACCUREC 公司之主要業務為廢乾電池處理外，GMR 公司係以石化工業之汞污泥處理為主要業務，Umicore 公司則以觸媒轉換器之觸媒回收處理再製及電子廢棄物回收處理為主要業務，2 家業者之廢乾電池處理均非其主要之收入來源。此外，3 家業者均有其自有之處理技術，如 ACCUREC 公司有含鎘電池（鎳鎘電池）之處理技術、GMR 公司則是鈕扣型含汞電池之處理技術、Umicore 公司則有自二次鋰電池中萃取多種稀有金屬之技術。
- (二) ACCUREC 公司具廢鎳鎘電池之處理技術，可分離鎳鎘電池之鎘金屬，經純化可提供鎳鎘電池製造業者所需之鎘來源，鎘金屬可於電池製造業者及處理業者間循環使用。惟近年歐盟對於電池鎘含量之標準日趨升高，鎳鎘電池之製造量及市占率逐年下滑，電池製造業者對於鎘之需求亦不如以往，故 ACCUREC 公司同時面臨廢鎳鎘電池回收處理量下降及處理純化後之鎘金屬去化管道受阻等瓶頸。近期 ACCUREC 公司亦積極研發新處理技術及拓展新的資源回收業務，如研究開發電動車用鋰電池之回收技術、拓展回收處理太陽能電板模組 (Photovoltaic Modules) 等新業務等。
- (三) 歐盟原未限制鈕扣型電池之含汞量，然自 2015 年起，歐盟境內之鈕扣型電池亦須符合汞含量低於 5ppm 之標準。GMR 公司為廢鈕扣型含汞電池處理廠，未來在歐盟限制鈕扣型電池汞含量後，含汞及無汞鈕扣型電池之市佔率及產量可能因此產生變化，料將影響該公司廢鈕扣型含汞電池之回收處理量。另因歐盟禁止汞輸出，造成 GMR 公司自石化工業汞污泥及鈕扣型含汞電池中回收純化的汞，其去化管道減少，亦影響該廠之營運。
- (四) 比利時國情特殊，其環境保護政策係由布魯塞爾、法蘭德斯及瓦隆 3 大區之地區政府，分別依歐盟統一之規範訂定該區之執行方式。然廢

乾電池之回收處理工作，比利時 3 區均由同一回收組織 BEBAT 依各區規定執行。其回收相關統計，亦由 BEBAT 統計回報各區政府後，再由中央政府彙整為全國統計數據上報歐盟。

- (五) 歐盟各國之廢乾電池回收處理政策，係以延長生產者責任(Extended Producer Responsibility)之思維為出發點，與我國相同，均要求生產者負起廢棄物回收清除處理責任，然二者之執行方式卻有極大差異。我國要求乾電池生產者於製造、輸入時繳交回收清除處理費，並成立基金管理業者繳交之費用，再依稽核認證後之處理量補貼廢乾電池處理業者。歐盟各國係由應負回收處理責任之乾電池生產業者，組織廢乾電池回收團體，並由法令授權該團體回收處理廢乾電池。

陸、建議

- (一) 我國現行回收率計算方式及相關規範限值，多遵循歐盟指令規範，鑑於歐盟已開始探討生命週期對回收率之影響，建議可針對我國乾電池生命週期規劃相關研究，據以研擬「實際排出量（可回收量）」計算方式，作為現行回收率計算方式修正之參考。
- (二) 鑑於我國現行針對廢二次鋰電池之運送貯存包裝材質並無相關規範，因此回收廢二次鋰電池發生之意外危險性相對提高。為避免災害造成之物質損失及人員傷亡，建議參考歐盟規範及相關研究成果，針對具危險性之應回收廢棄物如廢二次鋰電池，規範國內運送貯存適用之包裝材質，以加強回收之安全性。
- (三) 目前我國廢乾電池處理廠之資源回收再利用比例，均由各廠自行申報相關資料，並無相關查核機制，建議於現行稽核認證體系中，增加資源回收再利用比例之批次查核。除投料、再生處理及產出流程外，尤其應針對產出再生料之實際再利用比例進行追蹤，以確認現行各處理廠均能符合設施標準規範中資源回收再利用比例要求。
- (四) 綜合本次考察 ACCUREC 公司、GMR 公司及 Umicore 公司等 3 家廢乾電池處理業資訊，可發現我國若欲境內處理非屬一次筒形錳鋅/鹼錳電池，其設廠所需之處理技術及成本恐為困難點。而境內廢乾電池產生量，是否足以供應維持該廠基本營運（即收支平衡）所需之量，亦是另一應審慎衡酌的問題。
- (五) 在歐盟不斷提高乾電池汞、鎘含量標準之情形下，乾電池製造業者對於汞、鎘金屬之需求亦將日趨下滑；而處理業者自廢乾電池萃取之汞、鎘金屬，提供製造業者成為乾電池製造原料之去化管道日益狹窄。以上趨勢是否影響我國廢乾電池境外處理業者之營運，進而造成我國廢乾電池之境外處理管道受阻，應持續追蹤觀察。

柒、參考文獻

- Coonen, P. & Desmet, B. (2014, September). *How the battery life cycle influences the collection rate of battery collection schemes*. International Congress for Battery Recycling. Hamburg, Germany.
- Lueckefett, H. (2014, September). *Battery Legislation: "Burning" issues have not been removed*. International Congress for Battery Recycling. Hamburg, Germany.
- Pan, Q. (2014, September). *Investigation on packaging materials for safe transport of spent li-ion batteries*. International Congress for Battery Recycling. Hamburg, Germany.
- Vollmacher, K. (2014, September). *What firefighters need to know when approaching a lithium battery fire*. International Congress for Battery Recycling. Hamburg, Germany.
- Smith, C.E. (2014, September). *Does mandatory collection affect compliance scheme performance?* International Congress for Battery Recycling. Hamburg, Germany.
- Hédouin, F. & Toussaint Dauvergne, E. (2014, September). *Understanding consumer and professional practices for battery recycling to leverage actions in France*. International Congress for Battery Recycling. Hamburg, Germany.
- Vassart, A. (2014, September). *The why and how of the certification initiative for battery recycling plants*. International Congress for Battery Recycling. Hamburg, Germany.
- Friedrich, B. (2014, September). *Battery recycling audit of supporting non-end-of-waste operations – the Redux case*. International Congress for Battery Recycling. Hamburg, Germany.