

液體廢棄物處理及管理技術

劉思治*

摘要

台灣地區每年產生約 2,800 萬噸之一般家戶垃圾及事業廢棄物，其中液態廢棄物如廢有機溶劑、廢油、蝕刻廢液、廢酸、鹼及有機、無機廢液等之產生總量約有 113 萬噸，部份的液態廢棄物由事業單位自設之回收設備回收再利用，亦有部份廢溶劑、廢油及廢液經由小型固體廢棄物焚化爐或廢液焚化爐焚化處理，有些無害性之廢液則導入廢水處理廠處理，較難處理之廢液或廠內無處理設施之事業單位則委託代清理機構清除處理。國內合格之液體廢棄物代處理業者可處理之容量約為每年 30 萬公噸，處理方法為蒸餾法、熱裂解法、物化處理法、替代燃料法及焚化法等。廢液處理廠經營成功的關鍵在於廢液處理、管理的經驗及態度，若由於管理上的疏失造成火災、爆炸及人員傷亡等工安事故則處理廠可能因民眾抗爭而走上關廠一途。由於台灣人民環保意識的抬頭及國民所得的提高，加上科技之進步，廢液處理不再是件棘手的問題，只要政府及民間有共識，相信可以做好廢液的處置。

【關鍵字】

1. 液體廢棄物 (liquid waste)
2. 有機溶劑 (solvent)
3. 热裂解法 (thermal cracking)

*達和環保服務股份有限公司資深專案經理

一、前　　言

台灣地區每年產生約 2,800 萬噸之一般家戶垃圾及事業廢棄物，若將這些廢棄物分別打包成一公尺立方的積木（密度 0.6 ton/m³），這些積木可堆疊成高三十公尺、寬一公尺的圍牆並可圍繞台灣一周。可見台灣廢棄物產生數量之多，另一方面則意謂若無法妥善處理這些廢棄物則台灣終將被垃圾所淹沒。

大地原本具有再生及自然復育的功能，過去由於環保法令不夠嚴謹且未落實執行，許多不肖環保業者及事業單位為了節省成本而非法棄置廢棄物或將未處理之廢污水逕行排放，過量的廢棄物非法棄置、掩埋或不當處置，造成土壤毒化及河川死亡，原本可以由大地吸收之致癌因子(carcinogen)因為大地已負荷過度轉而反饋至人體，導致近年來台灣人民罹患癌症的比率劇增，根據衛生署最新統計數字顯示民國八十九年罹患癌症死亡之人口數佔死亡人口總數之 31%，為國內第一大死因。最近熱門的環保污染議題如鎘米、鉻木瓜事件只是冰山一角，有更多的蔬果種植在廢棄物回填的農地上或引用受污染的水灌溉農作物，人們再不謙虛地檢討自己破壞自然生態的作為，總有一天會被大地反噬。

由於台灣國民所得的提高，加上科技之進步，廢棄物處理不再是件棘手的問題，只要政府及民間有共識，相信可以做好廢棄物的處置。廢棄物可粗分為固體廢棄物、液體廢棄物及氣體廢棄物三種，處理方法可分為上層的回收、資源化處理或再利用，中間處理包括物理化學處理、固化安定化處理等，最終處置則如焚化、玻璃化及掩埋等。本文主要為介紹有機廢液之處理方法及管理技術。

二、國內廢液產生及處理現況

依據環保署管制中心及工業局提供之資料，推估國內目前廢溶劑之年產生量約為 15 萬噸，廢酸、廢鹼為 20 萬 6 千噸，廢油約 12 萬公噸，其它廢液約有 65 萬噸。上述液態廢棄物之總量約有 113 萬噸，其中有部份的液態廢棄物由事業單位自設之回收設備回收再利用，亦有部份廢溶劑／廢液經由小型固體廢棄物焚化爐或廢液焚化爐焚化處理，有些無害性之廢液則導入廢水處理廠處理。較難處理之廢液或廠內

無處理設施之事業單位則委託代清理機構清除處理。國內合格之液體廢棄物代處理業者可處理之容量約為每年 30 萬公噸，營業項目包含易燃性廢溶劑、廢潤滑油、廢油泥、去光阻液、蝕刻廢液及其他有機及無機廢液等。

由於合格代處理業之處理能量有限，以致造成部份事業單位所產生的廢棄物無最終去處或因暫時儲存而衍生之問題層出不窮，代處理業者為了增加業績而超收許可量之廢棄物亦時有所聞，最嚴重的是部份廢棄物清理業者勾結地方惡勢力而從事非法棄置之行為；此舉已嚴重污染整個環境與生態，上述業者除了利用暗夜掩護偷排、偷倒廢棄物於河川、谷地外，有時更明目張膽地利用開挖之農地回填廢棄物。截至目前為止，台灣全省已發現超過 160 個不明廢棄物棄置場址，這些非法掩埋的場址開挖後發現有大量的液態有害事業廢棄物，這些桶裝有害廢液經過掩埋時的擠壓導致鐵桶銹蝕、破裂或扭曲變形，有些有害廢液已滲漏至地下水層，對附近居民的健康造成嚴重的威脅。

八十九年七月發生高雄縣旗山溪非法棄置廢溶劑事件，導致大高雄地區上百萬居民飲用水受到污染，民眾飽受水質不良及停水之苦已蘊釀向自來水公司求償。由於非法棄置事件之見諸報章，許多不法業者暫時收斂，導致事業單位之廢溶劑及廢液爆滿，環保署及工業局方正視處理量嚴重不足之問題，因此除了協助現有合格代處理業者擴增處理量外並於九十年四月二日公告「水泥窯或旋轉窯使用廢溶劑作為輔助燃料認定原則」，開放水泥業者使用符合認定原則之廢溶劑當作輔助燃料使用。然而廢溶劑及廢液處理的問題就此解決了嗎？廢溶劑處理不是將溶劑投入水泥窯即可，需考量廢棄物的相容性、熱質(heat value)、均質性、鹵素含量、金屬含量及毒性物質含量，以避免過量的有害成分影響操作人員的健康及破壞環境與水泥熟料(clinker)的品質。

三、液體廢棄物之處理方法簡介

液體廢棄物依特性可略分為有機溶劑類、廢油、廢油泥、廢酸、鹼、無機廢液及有機廢液等。使用資源再生或回收再利用的處理方式較符合環保及經濟效益，然

而回收品之品質及市場接受度為不可輕忽之關鍵，若回收品之品質無法為市場接受則將影響廢棄物處理的能量；中間處置尚需最終處理廠(場)之配合，否則處理能量同樣受限制；最終處置如焚化法雖然成本較其他處理方法高，但是其對廢棄物來源的限制較少及處理能量不受第三者限制為其優勢。茲將各類處理方法分述如下並請參閱表 1。

表 1 液體廢棄物之處理方法

處理方法	處理機制	適用廢棄物	優點	缺點	操作成本
蒸餾回收法	物質回收	廢有機溶劑 廢油	回收之產品 有高的市場 價值	殘餘物需 二次處理	低
物理化學法	物質回收	無機廢液 蝕刻廢液 廢酸、鹼	處理成本低 可回收貴金 屬	部份污泥需 二次處理	中
替代燃料法	熱能回收	廢有機溶劑 廢油 有機廢液	回收之產品 可當燃料使 用	燃料使用單 位須限制	低
焚化法	高溫燬滅	廢有機溶劑 廢油 有機廢液	可處理廢棄 物之範圍廣	操作成本高 戴奧辛產生 之疑慮	高
深井注射	永久儲存	廢油 廢酸、鹼 有機廢液 無機廢液	大量處理有 害廢液	需對地層結 構有相當了 解且地層必 需相對穩定	低

3.1 蒸餾回收處理(distillation)

蒸餾回收為廢有機溶劑及廢油(潤滑油)最常使用之處理方法，純度較高之廢溶劑及廢油送進焚化爐焚燒太可惜，經由簡單的蒸餾回收設備可回收大部分的有價物質，符合資源再利用的原則。蒸餾回收設備的投資費用少，設置及操作程序簡單，回收之溶劑及潤滑油有較高的市場價值均為其優點。蒸餾回收之主要設備包括：

- 1.各類儲槽(廢棄物及成品)
- 2.加熱裝置(產生蒸氣或加熱熱煤油)
- 3.蒸餾設備(常壓或真空操作)
- 4.冷凝器(冷卻塔或冰水機)
- 5.脫水/脫色設備
- 6.尾氣處理設施（燃燒或活性碳吸附）

蒸餾回收適用純度高、雜質少之有機溶劑及廢油處理，因蒸餾回收品再經過分餾及精餾處理之成本高，故單純蒸餾之成品僅適用於次級品或當混合溶劑使用。若廢棄物(原料)之水份含量高或雜質較多時，則不僅不具回收效益，其大量之蒸餘物(residue)需耗費更高之成本做最終處理，故蒸餾回收處理對廢液的品質要求較高。

3.2 熱裂解回收處理(thermal cracking)

熱裂解回收處理方式適用於油泥、廢動、植物油及廢機油等含油份較高廢棄物之處理，其主要處理設備類似蒸餾回收但操作技術層次較高；相對操作成本亦較高。一般熱裂解處理廢棄物時均會使用觸媒增加裂解速率，裂解氣經冷凝回收之成品為純度較高之輕質油(柴油)及重質油(煤油)，未能冷凝之尾氣可回收至加熱設備燃燒處理或使用二次燃燒室焚化處理。熱裂解之操作溫度約為 300~600°C，視廢棄物之種類而定，操作條件為微負壓及缺氧狀態，故裂解過程中產生戴奧辛(dioxins)之機率很低。

裂解回收對廢棄物的品質要求較低，回收品的市場價值頗高為其優點，目前國內業者引進國外之熱裂解設備多應用於廢輪胎之回收處理並不適用於液體廢棄物，有業者自行開發熱裂解回收設備處理液體廢棄物，然因技術成熟度不夠尚需修改。

3.3 物理化學處理法(physico-chemical)

物理化學處理法多應用無機廢液的處理，先分析廢液的成分及特性後再利用酸鹼中和的方式調整廢液之 pH 值，若經中和處理後之廢液通過排放標準則可導入聯合污水處理廠或經簡易過濾後逕行排放。大部分的廢液經酸鹼中和後仍須經過層析、沉澱、氧化或還原處理，處理後上層之廢水導入污水處理廠，而沉澱物經過壓濾機脫水處理成泥餅，該泥餅若無回收價值則經毒性溶出試驗(TCLP)後決定應該送掩埋場或固化處理廠，若有回收價值之重金屬泥餅則可委託第三者回收貴金屬。物理化學處理之主要設備包括：

- 1.廢液儲槽
- 2.酸鹼中和槽
- 3.二次反應槽
- 4.調勻層析槽
- 5.氧化還原處理槽
- 6.濕式洗滌塔
- 7.壓濾脫水機

3.4 替代燃料法(fuel blending)

具有熱值之液態事業廢棄物若純度不高或水分、雜質含量高不適用蒸餾回收處理時，可經由分析、分類、混練及攪拌處理後製成替代燃料供水泥廠、燃煤電廠、煉鋼廠及焚化廠當作輔助燃料使用，此法不僅可回收廢棄物的熱能，廢棄物衍生之替代燃料並可取代珍貴的石化燃料如柴油、重油及煤炭等。替代燃料法除了可解決廢棄物出路的問題並能減少使用單位的操作成本及減少天然資源的開採，實為一舉數得。

替代燃料法必須根據燃料使用單位之生產狀況、燃料使用情形、空氣污染處理設施而制定適用之燃料規範，再依此規範調配出品質穩定之替代燃料。不符規範之替代燃料可能會對使用單位之生產、熱回收設備及廢氣排放品質造成負面影響，所以實驗室的 QA/QC 非常重要，實驗室除了對進廠及處理中的廢棄物進行分析化驗外，對於替代燃料的品質亦須做到嚴格的把關。

3.5 焚化法(incineration)

焚化爐可處理固體、液體及氣體等可燃性廢棄物，具有熱值之廢液如有機溶劑、廢油、油污泥等可直接噴入焚化爐內燃燒處理，因為大部分的廢液屬有害事業廢棄物，故需使用旋窯式焚化爐、流體化床焚化爐或專用之廢液焚化爐較適當。由於焚化爐燃燒室之熱負荷及廢氣處理設備的設計有一定的限制，含氯過高或熱值太低、太高之廢液不宜直接噴入焚化爐內處理，必須經過前處理或限制特定物質的飼入量。為了降低處理成本及提高附加效益，有些焚化爐設有熱回收裝置以產生蒸氣供製程使用或發電，因為熱回收設備之操作溫度通常位於戴奧辛之重組溫度($250\sim400^{\circ}\text{C}$)，故此類之焚化爐需增設戴奧辛防治設備如活性碳吸附裝置。焚化爐之主要設備包括：如(圖 1)

1. 儲存系統
2. 進料系統
3. 一次及二次燃燒室
4. 冷卻塔或熱交換器
5. 脫酸處理設備
6. 活性碳吸附裝置
7. 袋式或靜電集塵器
8. 濕式洗滌塔
9. 煙囪



圖 1 旋窯式焚化爐

3.6 深井注射法(deep well injection)

深井注射為近年來歐美國家常採用的廢液處理方法，利用開採原油後的廢礦床將有機或無機廢液以高壓泵浦注入地下約 1,000 公尺深的礦床中，該地層為天然的儲存層(Geological trap layer)，注入的廢液將被永久儲存並可防止地層下陷。對廢棄物的種類要求不高且可大量處理廢液為其優點，惟深井注射必須對地層的結構有相當的了解，穩定的地層結構方適合將廢液注入，廢液注入儲存後仍須作長期的監控與記錄。國內有極少數事業單位曾違法將廢液注入地下水層，由於注入深度不夠且地下水極有可能會被抽取灌溉或飲用，因此此舉不僅違法也危害國人的健康。

四、廢棄物處理廠之管理

液體廢棄物包括有機溶劑、廢油、蝕刻廢液及廢酸、鹼等屬於易燃性、不相容性或具腐蝕性之物質，一旦處理廠因為管理疏忽而造成洩漏或起火燃燒甚至發生爆炸等事件，不僅容易造成環境污染、民眾抗爭，更有可能造成人員傷亡。

所以任何廢棄物送進處理廠之前都必先經送樣與分析化驗，以確定廢棄物之成分及考量這些成分是否會對操作人員、處理設備或環境造成不良影響。有些毒性化合物或含致癌物質之廢棄物應拒收，除非處理廠有處理能力且經主管機關認可。專業的廢棄物管理技術與經驗是經營處理廠成功與否的關鍵，此外，員工的教育訓練及妥善設計的處理設備同樣重要。

4.1 設備的設計及考量

液體廢棄物處理廠均會使用到各式儲槽，因此儲槽的設計除了依照 API 設計規範外，其它如材質、槽壁厚度、真空、壓力安全釋放閥、火焰捕捉器、接地、靜電防止裝置等均需考慮或安裝，此外，消防設施如溫度感知器、火災警示器、泡沫滅火或氮封裝置應依內容物及操作環境不同而考量，當然其它如活動式乾粉滅火器應放置在容易取得之處以備不時之需。

所有儲槽應有高液位警報或自動切離裝置以防止廢液溢出儲槽。儲槽區(tank farm)四周防溢堤的高度及體積應能滿足 110% 儲槽的容量以防止萬一廢液洩漏時能完全收集避免外溢。廠內的電氣設備如馬達、控制開關、堆高機、照明、通風設備等應採用高防爆等級，廠區的消防規劃應考慮最差狀況(worse case)方足以應付緊急事故。

4.2 操作人員的教育訓練

主管人員均應參加廠外主辦的教育訓練如有機溶劑操作人員訓練、毒性化學物品處理訓練、消防緊急應變訓練等。每位員工應詳讀廠內專用工作安全準則並熟知自己的工作職掌及可能曝露之風險，廠內若有外籍勞工更應將安全準則翻譯成外文並宣導之，以避免員工因疏忽而造成健康或工安上的疑慮。

特殊工作要求如有害廢液之接收及處置，入槽作業、高壓電氣維修作業、堆高機作業、設備拆修作業及防災作業等，作業人員皆需受過相關訓練後方可執行。個人相關防護器具的使用如安全帽、防護衣、護目鏡、活性碳呼吸器、手套、安全靴等均應穿戴落實，不當的防護器具使用除了無法保護員工的作業安全，甚至可能衍生其它意外，故防護用具的使用均應制定相關教育訓練並確實執行。

4.3 實驗室的管理

廢棄物處理廠最關鍵的部門在於實驗室，廢棄物從送樣、進廠、出廠(資源回收成品或殘餘物需經二次處理)均需經過實驗室的分析化驗，實驗室分析的檢測數據可判定廢棄物是否達允收標準，需使用何種方式處理及是否含毒性化學物質等，檢驗結果並可提供業務部門作為報價之參考。

唯有得知廢棄物確實可靠的物理及化學特性方能妥善地處理該批廢棄物，判斷廢棄物的特性除了靠經驗豐富的實驗室人員外，透過設計良好的問卷及廢棄物三層分析能確保處理廠不致曝露於處理廢棄物時的潛在風險，三層分析檢測為：第一層，原料來源端的抽樣分析，由事業單位送樣或處理廠派員取樣分析，不合允收標準之廢棄物應拒絕處理。第二層的品質管制為核驗分析(finger-printed analysis)，事業單位送進處理廠的廢棄物必須經過核驗分析，以確保送樣與批次進廠的成份相符。第三層檢驗為處理中或最終成品的檢驗。所有的分析應有表單記錄，以追溯廢棄物的來源及處理情形，並可提供主管機關稽核之用。廢液處理廠之實驗室應包括下列設備，請參考(圖 2、圖 3 及表 2)。

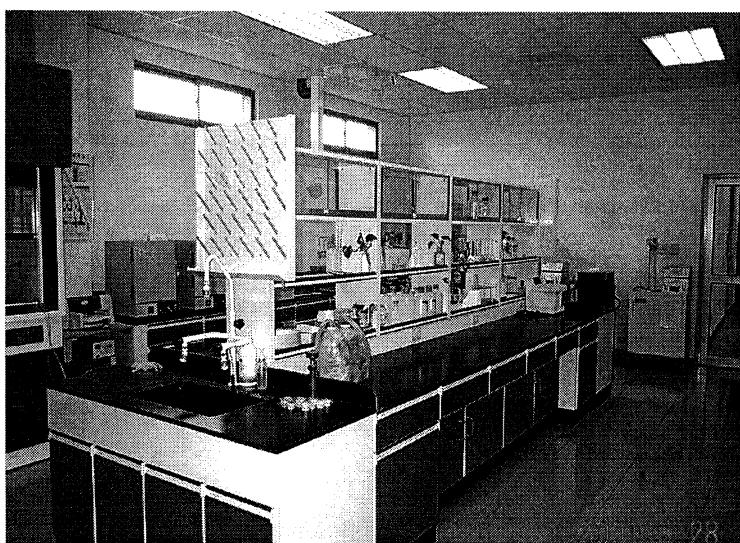


圖 2 物理化學實驗室

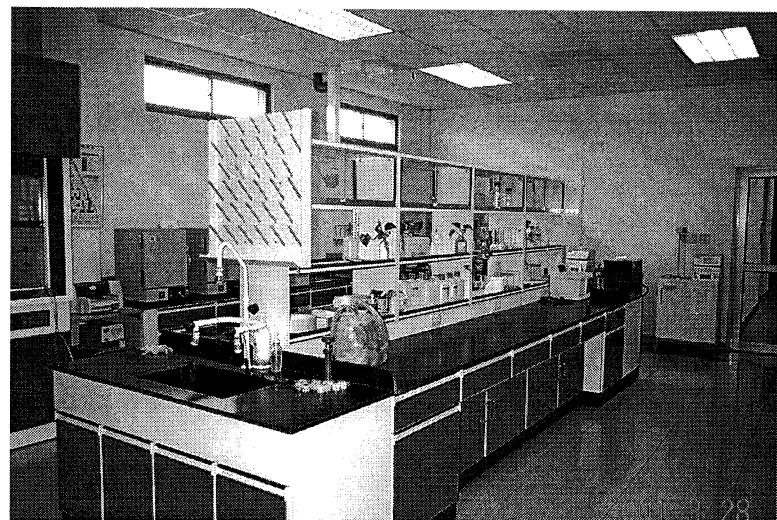


圖 2 物理化學實驗室

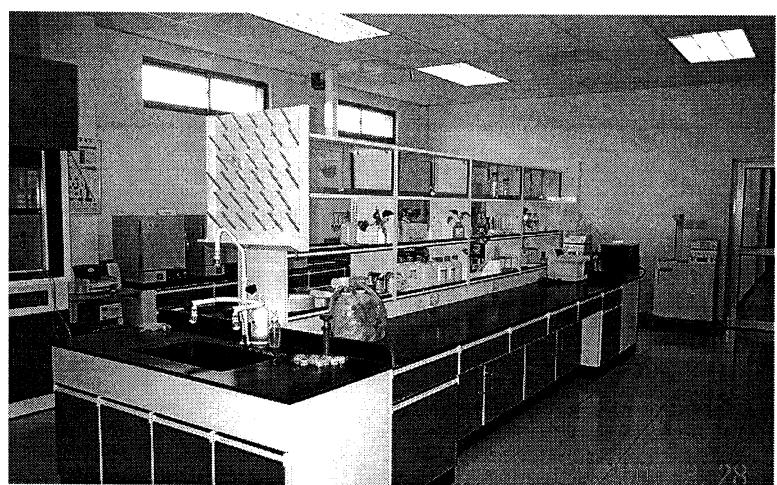


圖 3 精密儀器實驗室

表 2 實驗設備及檢測方法

實驗設備	檢測項目	檢測方法
GC	有機成分	ASTM D3721
熱卡計	熱值	ASTM D5468
水分分析儀	含水量	ASTM D5530
GC/ECD	多氯聯苯	ASTM D4059
比重測定計	密度	NDA
pH 計	酸鹼值	ASTM D4980
TOX	鹵素	ASTM D4327/ D808
硫氯分析儀	硫／氯含量	ASTM D4327/ D4978
X 光螢光分析儀	金屬	ASTM D6052
原子光譜吸收儀	金屬	ASTM E885-88
黏度計	黏度	ASTM D2196
相容性測試	廢液間之相容性	ASTM D5058

4.4 承包商的管理

廢液處理廠尤其處理有機溶劑之回收廠對工安的要求應高於一般化工廠。廠內操作員可能已熟知安全作業準則，然而外包商進入廠內工作時極可能因為一時的疏忽而釀成重大工安事故，因此處理廠必須有一套管理機制以避免因管理疏忽而發生意外。

(1)動火申請

凡是會產生高溫或明火的工作皆需申請動火單，權責主管開出動火單之前必須確認施工地點之易燃性氣體偵測值、易燃物品之移除、消防設備之備置、警告標示之設立及監督人員之到位等，監督人員應盡到督導之責。

(2)入槽作業

有些有機氣體之比重比空氣重，所以有人員要進入地下室或密閉儲槽作業時一定要注意通風，人員未進入前應先以有害氣體偵測器偵測氣體濃度(H_2S 、CO)及含氧量(18%以上)，確定對人體無危害時方容許操作人員進入，進出之通道或人孔應保持暢通，以防萬一意外發生時人員能迅速撤離現場。

(3)電氣設備維護

即使是非致命性的觸電也可能造成嚴重的傷害，如粗心或設備漏電所引起之人員墜落或其他傷害，不當安裝儀電設備可能造成引發火災等皆需特別注意。電氣設備維修時應落實上鎖／掛牌(lock out／tag out)作業，轉動設備進行維修時應進行電氣隔離，維修完畢應詳細檢查確認無問題後再送電。

4.5 公共關係管理

廢棄物處理廠除了接受環保局、環保署稽查大隊及委託處理之事業單位的稽核管理之外，更經常受到社區居民及媒體的青睞，因為沒有一家廢棄物處理廠受到地方人士的歡迎，所以處理廠除了做好本身的管理之外與社區間的互動亦非常重要。

要做好與社區間的公共關係，首先必須教育員工並滿足員工的需求，因為處理廠員工大多來自地方，必須讓員工了解處理廠的管理除了符合環保要求並已做好工安的防範，員工對操作安全上的需求應予以滿足並經常傾聽員工的聲音以做好改善，若能排除員工的疑慮則他們將是最好的宣傳者。其次要設立對外發言人，發言人是媒體、社區人士取得資訊的窗口，發言人必須對處理廠的情況熟悉並有足夠的知識及技巧回答媒體及地方人士的問題，發言人平日應與相關人士保持良好的溝通。第三可委託專業的公關顧問公司或權威的研究機構負責公關工作及監督工作，以便在危機發生時能由專業公司給予建議並能迅速排除抗爭事件。

五、結論

由於環保署前瞻性的規劃，預計於公元 2003 年所有的公有民營及 BOO/BOT 都市垃圾焚化爐興建完畢後，家戶垃圾的問題可 100% 解決，然而事業廢棄物處理能量不足的問題仍然讓環保署及工業局傷透腦筋。雖然行政院於九時年六月二十六日業已核定北中南三處特殊事業廢棄物處理中心廠址及補助設置辦法，然而缺少保證量及目前台灣的經濟狀況，恐怕也會讓投資者卻步而無法達到預期的目標。廢棄物處理並非暴利的行業，尤其合法及妥適處理廢棄物需要花費大量的成本，處理液體廢棄物特別是有害廢棄物，管理的技術及經驗非常重要，只要發生一次工安事故，極有可能造成人員傷亡及民眾抗爭事件，甚至走上關廠一途。因此，政府及民眾應鼓勵設置大型廢棄物處理中心並引進國外廢棄物處理技術及管理經驗，如此不僅可降低廢棄物處理成本並可將原本分散的處理設備集中管理，唯有透過專業的管理與經營，方能將廢棄物處理的風險降至最低並確保處理廠營運成功。

六、參考文獻

1. 陳文欽, 賴重光, 廢有機溶劑處理及回收技術探討, 2001 年八月號環保月刊第一卷第二期, pp136-143.
2. David Gossman, Management of Waste, Indiana Waste Exchange, March/April Vol. III, Issue No.5
3. Jacob Tan, Yue Fang, Effluent Treatment-Oxidation and Reduction, Purechem Onyx Pte Ltd, April 2001.
4. Jerry Forgey, Reusing Waste Materials, World Cement Journal, May 2000, pp122-127.
5. Julie Wagner, New and Innovative Technologies for Mixed Waste Treatment, August 1997, University of Michigan for USEPA.
6. Robert Kohnen, Jerry Forgey et al, Waste Derived Fuels Program, Technology transfer document, ERAtech Environmental Limited., 1998.

7. W. H. Siemering, L. J. Parsons, P. Lochbrunner Jr., Experiences with Burning Waste, Rock Products, April 1991.