

台灣地區垃圾處理政策之省思

垃圾衍生燃料 (RDF) 造粒技術

江舟峰

朝陽科技大學環境管理系副教授

前言

本文引用學理，對台灣目前垃圾處理之政策及執行成效作一省思，期望從學理、技術及社會面分析其問題所在，並以瑞典之垃圾衍生燃料 (RDF) 造粒技術之成功經驗為例，介紹一可供台灣借鏡之垃圾處理方法，並具體評估其技術及財務之可行性，希望能提供各級環保主管機關及地方相關單位之參考。

台灣垃圾處理政策與現況

台灣地區目前共有21縣市，人口2,100萬，若以每人每天垃圾產生量1.1公斤來估，台灣每日共產生23,100公噸，假設以清運率85%來估，則理論上每日應處理垃圾高達約2萬公噸（或約每年720萬公噸），對政府而言是個亟需克服的難題，過去幾年政府訂定的垃圾處理計畫及欲達成率如下：

表2-1 政府歷年垃圾處理計畫及妥善處理率

公佈日期	計畫名稱	執行期程	預期妥善處理率		
			掩埋處理	焚化處理	總計
73.09.20	都市垃圾處理方案	6年	59.1%	1.5%	60.6%
79.05.09	垃圾處理方案	6年	35%	50%	85%
85.03.01	鼓勵公民營機構興建營運垃圾焚化廠推動方案(簡稱BOT方案)	12年	10%	90%	100%

由上表可知政府鑑於掩埋用地不易取得，且二次污染不易克服情況下，希望逐年提高垃圾之焚化處理比例，並希望民國97年以前，將焚化處理率提高至90%。但值得深思的是，目前以大型混燒（Mass Burn）汽電共生之焚化處理為政策之考量，是否符合世界潮流、學理依據、投資報酬率及國情民意均值得進一步深思。

台灣當前垃圾處理困難與解決方法

政府自民國79年警覺到垃圾處理問題之嚴重，乃思全面推動垃圾焚化處理，全國垃圾抗爭正一波一波在各鄉鎮席捲，如稍早之高雄縣西青埔及最近之桃園縣中壢市及台中縣豐原市，剛開始只是單純的抗爭、回饋，最後演變為全面性的地方與中央對抗，民進黨與國民黨的政爭，垃圾問題已成為全國性的社會事件與政治事件。政府公權力全面接受挑戰，民眾普遍厭惡日益低落環境品質，推估其因，可就政策性、社會性及技術性歸納如表3-1。

表3-1 垃圾處理困難原因分析

困難性質	困難原因
政策性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 垃圾處理政策太過僵化，且好大喜功，想畢其功於一役，未多方考量可行性，且充滿金錢誘因。 2. 未能充分掌握世界新技術脈動及國內民情，並時時檢討調整政策。 3. 中央政府未能事先與地方政府充分溝通，故政策貫徹不易。
社會性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 民眾普遍有“不要將垃圾放在我家後院”(NIMBY)的心態，但這並不是台灣社會所獨有的問題。 2. 民眾普遍缺乏正確之環保素養，故易為別有用心之極端群體擅動，不易以理性溝通。 3. 垃圾分類與資源回收觀念不符人性及國情。
技術性	<ol style="list-style-type: none"> 1. 技術門檻過高，與國外合作時，技術轉移不易，開國內標又欠缺本土性之統包管理技術。 2. 工程採購發包與工程管理技術不健全，是故借牌風氣興盛，工程品質不佳。 3. 黑道介入工程圍標，使問題更行複雜。

整體而言，今天的垃圾問題，最根本的癥結是源於政府於民國79年訂定垃圾處理政策時，太好大喜功，強迫使用單一性之技術，即大型混燒汽電共生焚化技術，想畢其功於一役，缺乏彈性與多元化考量，亦未考慮是否在技術門檻值過高，不易本土化或落實時，民眾對政府的信賴度自然大減，而逐漸引發民眾對公權力的挑戰。垃圾處理技術與政策其實可以視情況有更多考量，如：

- 小型（模具式）焚化爐
- 共同堆肥(Co-Composting)
- 垃圾衍生性燃料(RDF)
- 粉碎後有機掩埋(Reactive Landfill)
- 垃圾填海造地
- 垃圾轉運系統規劃
- 小型實驗許可制度(Experimental Permit)

另一個問題是清運成本上的考量，垃圾清運的單價成本佔整個清理單價成本的相當大比例（約30%），垃圾以集中方式處理，只為迎合汽電共生的經濟規模的需求，並不是正確的作法，原因是分散在各地的垃圾若要從大區域集中至一點，其結果就是運輸成本過高，財務上並非具有最好的投資報酬率。另外一點則更嚴重，即民眾普遍存在NIMBY心態，沒有鄉鎮願意處理別鄉鎮的垃圾，所以使用大型集中處理，並不符合民情。

隨著地方自治的趨勢，筆者以為中央政府只要訂定一個垃圾處理的準則(Guideline)，不要只訂定單一處理技術，同時組成一個結合中央與地方的評議小組（Review Panel），

由地方自行提出清除及處理計畫，只要符合中央的這個處理準則，便給予補助，這樣的好處是可以充分反應地方需求，同時讓各種不同的處理方式競爭，所謂“Diversity Creates Excellence”，自然可以看出績效。另一方面也避免中央忙於作決策，地方政府根本無參與感或責任感，地方政府也不致於對營運成敗不負責任。所以政府應訂定一個多元化及地方化之垃圾處理政策。

另一個問題是垃圾分類系統（Separation System）上的考量，在學理上，垃圾分類可分為：

- 不分類（No Separation，簡稱NS）
- 產源分類（Source Separation，簡稱SS）
- 有價定點分類回收（Value Separation and Recycling，簡稱VS）
- 現場機械分類（On-Site Mechanical Separation，簡稱MS）

使用何種分類系統會影響後續處理或營運方法之選定，如台中市垃圾焚化爐被評為功能不足，處理能力只為當初設計值之75%，可能原因是垃圾熱值比當初設計值高，故普遍認知的解決之道為加強分類。台中市垃圾焚化爐當初既然設計為混燒式，就是不必分類，而不是蓋好之後，再來歸罪分類沒做好。

筆者認為我們必須體認實施垃圾分類的確違反人性，要在其他國家或台灣社會實施是有困難的，故應朝向有價分類回收即可（VS），然後用混燒或RDF等不需分類的技術來作後端處理，但若考慮燃燒效率，因垃圾是非常

不均質的 (Hetrogeneous)，故可考慮採用RDF的技術將垃圾改變為較均質之燃料，這樣可大幅提高燃燒效率，同時空污 (如戴奧辛)

及底灰的問題也可獲得較妥善的解決，整個系統的投資報酬率 (IRR) 也會較高。故結論是筆者建議如圖3-1的清運處理體系：

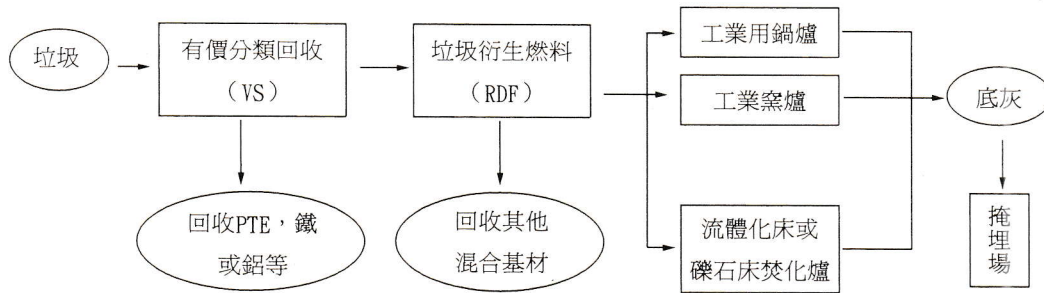


圖3-1 建議之最佳台灣垃圾清運處理體系

瑞典reCulture垃圾處理案例評估

瑞典reCulture垃圾處理技術並不是焚化技術，而是一種稱為“垃圾衍生燃料” (Refuse Derived Fuel, 簡稱RDF) 之垃圾分類及造粒 (Sorting and Pelleting) 技術，其處理流程如圖4-1所示。

本項技術是源於造紙工業中之打漿 (Pulping) 技術，能將含紙漿纖維 (Fibers) 之固形物在水中揉碎，在經烘乾後製造成含水率低之粒狀物 (Pellet)，可以長期保存並提供為工業上或商業上一種燃料，故本項技術是建立在至少有40年成熟技術之造紙工業上。唯一較不同的是垃圾成分遠較造紙工業所用之廢紙、舊報紙等複雜，含水分及有機

成分也高，故如何將浸洗 (Leaching) 出來的水進一步處理回收使用，才是重要關鍵。

處理流程

如圖4-1所示，未經分類或經有價回收後之分類垃圾先送入強力壓碎機 (Compressor) 內將垃圾進行初步破碎，如大型傢俱、冰箱或磚塊亦可被擠壓破碎，再送入揉洗機 (Disintegrater) 內，進一步研磨成粒徑較小之漿料，可以想見的是垃圾中之水分將大部分被擠壓出來，這一點對含水分高達58%之台灣垃圾之減積效果會更好，原因是若不將這些水擠出而直接燃燒焚化，基本上只是建造一座蒸發水份的爐子，水的蒸發熱甚高 (539.7cal/g)，約為垃圾平均發熱量 (Heat value) 之一半，故若將水去除，垃圾之熱值約可提高一半，擠碎揉洗的結果也使垃圾更均質。揉洗的溫

度約控制在70°C，以便細菌進行可能生物分解。另含水率約控制在40%，俾能製造出最佳之垃圾漿料。

懸浮漿料再流入一個篩網上，形成一層

垃圾漿料，利用清水沖洗掉不要的溶解性雜物，再將水擠壓出，形成一層漿餅(Pulp Cake)，此時之含水率約為50%。最後再送到乾燥及造粒機內進行進一步脫水及造粒(Pelleting)。

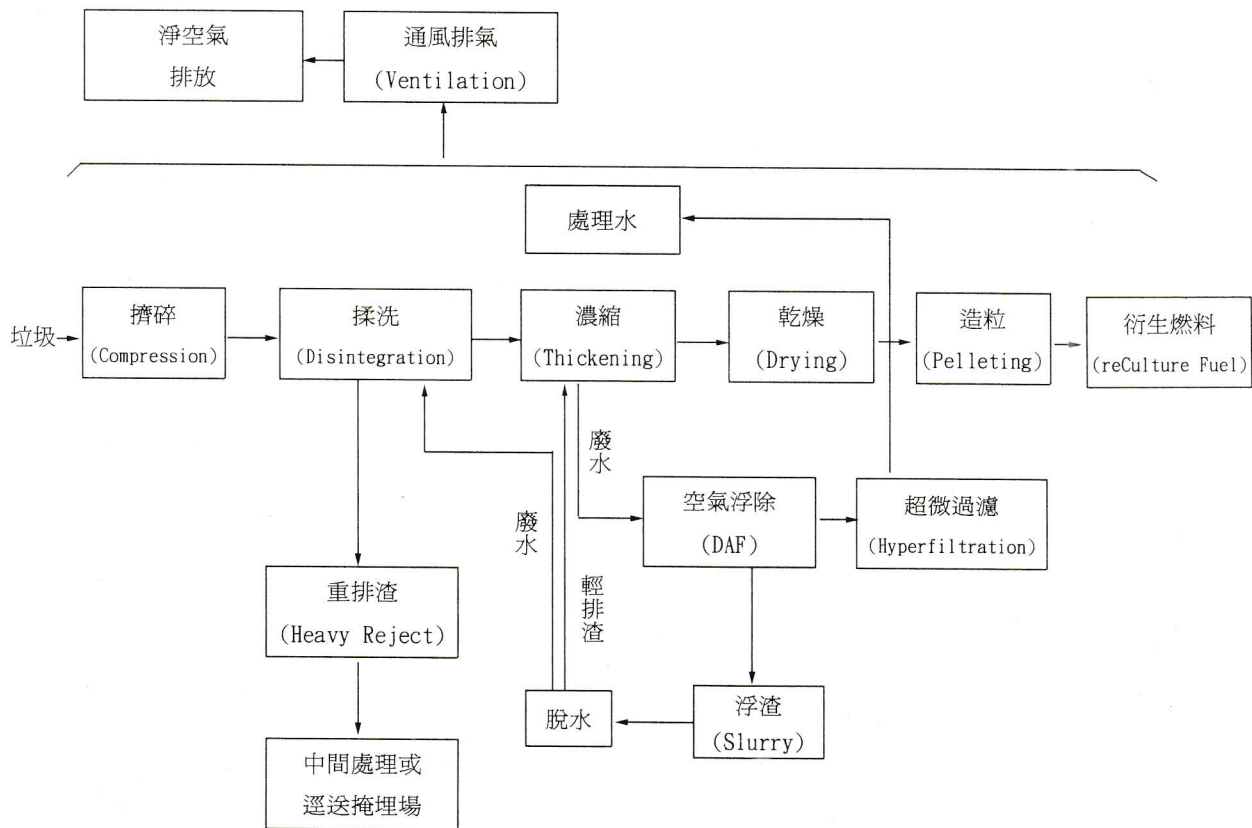


圖4-1 瑞典reCulture垃圾處理流程示意圖

揉洗後之重排渣 (Heavy Reject)，可直接用於路基填充材或逕送掩埋場，而揉洗廢水經空氣浮除 (DAF) 處理後之輕排渣 (Light Reject)，再送入濃縮機 (Thickener) 中進一步處理。濃縮後產生之擠壓廢水，因含有高濃度之懸浮物 (SS) 及有機質 (BOD)，故

需進一步以空氣浮除 (DAF) 及超微過濾 (Hyper Filtration) 處理，再將乾淨之處理水返送回濃縮機內充當沖洗水。全部系統所產生之排氣均集中至中央空氣處理設備 (APCD) 至符合排放標準後才排放，但這些空污處理遠比焚化爐之空污處理較為簡單容易。

處理完後之垃圾衍生燃料（RDF），俗稱白煤礦（White Coal），含水率約10%，基本上可當一般生質燃料（Biofuel）來賣，用戶可包括工業窯爐、鍋爐、流體化床焚化爐及汽電共生爐等，且貯存期限可達1年而不腐敗。

操作數據

本節進一步提供瑞典建於1994年11月之Hofors廠之效能及操作數據，供有興趣之技術人員參考，表4-1為本廠規模佔地等一般數據，值得注意的是本廠建造僅花1年，且建廠前80%之燃料產品已與工業界簽訂合約賣出，能確保營收利潤。

表4-1 瑞典Hofors廠操作數據

操作參數	操作數據
1. 出資者	Hofors地方政府及Rejector AB公司各出資一半
2. 處理量（濕基） 含水率 處理量（乾基）	48,000 噸／年（130 噸／日） 30% 33,600 噸／年（290 噸／日）
3. 廠房佔地 其他佔地	2,600m ² （790日坪） 1,500m ² （450日坪）
4. 操作天數	350（8400小時）
5. 統包設備費 廠房修建費 總計	US\$7,875,000（NT\$2.1億） US\$1,250,000（NT\$0.3億） US\$9,125,000（NT\$2.4億）
6. 產能 reCulture燃料產量(乾基) 相當總熱值 金屬副產品 非金屬副產品	28,244 噸／年（81噸／日） 144 GWH 1,480 噸／年 3,557 噸／年

重金屬在處理過程的平衡表，一直是環保人士最關切的，他們相當關切重金屬流入排出廢水或廢渣中，造成二次污染，表4-2為

重金屬在各廢渣、燃料及廢水中之分配量。

表4-2重金屬之分配量

參 數	生垃圾(克/噸)	排渣(克/噸)	燃料(克/噸)	廢水(克/噸)
SS	-	-	-	10,000
TOC	-	-	-	10,000
Tot-N	-	-	-	600
Tot-P	-	-	-	40
Zn	1,200	840	96	60
Pb	160	133	7	20
Cu	-	-	-	6
Tot-Cr	40	28.2	11	0.8
Ni	15	13.8	0.4	0.8
Cd	2.0	1.0	0.2	0.8
Co	5.0	4.5	0.1	0.4
Hg *	3.0	2.9	0.06	0.004

* 排氣中約0.6克/噸

重金屬經廢水處理後將在污泥中被濃縮，其含量如表4-3所示。

表4-3 廢水污泥之重金屬含量

參 數	含量(mg/ kg DS)
Tot-N	20,000 ~ 40,000
Tot-P	2,000 ~ 4,000
Zn	3,000 ~ 6,000
Pb	1,000 ~ 2,000
Cu	300 ~ 600
Cr	40 ~ 80
Ni	20 ~ 40
Cd	40 ~ 80
Co	20 ~ 40
Hg	0.2 ~ 0.4

這些廢水之污泥可送到焚化爐燃燒進一步減積後，再經固化處理後（Solidification）送掩埋場。

表4-4提供reCulture燃料之能量平衡表，可瞭解處理系統耗用之能量僅佔(1.1/5.7)19%，故整個reCulture處理體系有約81%相當高之產出效率。

表4-4 能量平衡表

參 數	能 量 平 衡			產 能 (噸/年)
	%	Mwh/ DT	Gwh/ hr	
可燃能量	100	5.67	357	63,000
消耗能量				
1. 乾燥	- 11	- 0.68	- 43	- 6,930
2. 熱水	- 2	- 0.11	- 7	- 1,260
3. 電能	- 5	- 0.26	- 17	- 2,682
小 計	- 18	- 1.05	- 67	- 10,872
淨能量	81	4.62	290	52,128

表4-5比較生垃圾、一般RDF之reCulture三種燃料之各項參數，可以看出以reCulture為燃料之優越性，包括具有較高之熱值，較均質

(Homogeneous)，及大量減低戴奧辛 (Dioxin) 等空氣污染之可能。

表4-5 生垃圾、RDF之reCulture之性質比較

參 數	reCulture	MSW	RDF
含水率 (%)	10~60	40~60	20
熱含量(MJ/kg)	20	10	15
底灰 (%)	3~4	25~30	10~20
氮含量 (%)	0.1	0.7	0.3
硫含量 (%)	0.04	0.4	0.2
均質性	非常均質	非常不均質	均質
Pb (mg/kg)	4.0	160	21.7
Cd (mg/kg)	0.2	2	0.3
Hg (mg/kg)	0.1	3	0.3
Cu (mg/kg)	2.4	300	40.4
Cr (mg/kg)	1.4	30	5.9
Zn (mg/kg)	23.3	1,200	104
Co (mg/kg)	0.1	-	-
Ni (mg/kg)	0.2	-	-

表4-6 單位成本評估比較

單位成本分析

本節比較以生垃圾混燒式及reCulture兩種不同技術之單價成本（NT\$/Kg），混燒式乃引用環保署BOT計畫之公告數據，以日處理量900噸為估算基礎，而reCulture乃引用瑞典Hofors廠之報告，以日處理量130噸為估算基礎。

日 處 理 量	混燒式	RDF
	900噸	130噸
清運掩埋費（NT\$/噸）	1,200	1,800
建 造 費（NT\$/噸）	1,680	600
操作處理費（NT\$/噸）	900	400
總 成 本（NT\$/噸）	3,780	2,800
售 電（NT\$/噸）	-430	-800
淨清運及處理成本(NT\$/噸)	3,350	2,000

故可節省約 $1,350/3,350 = 40\%$ 之淨清運及處理成本。

優缺點評估

綜合以上之討論，混燒式及reCulture之優缺點評估如下：

表4-7 優缺點評估

參 數	汽電共生混燒式	reCulture
分類要求	產源分類或機械分類	有價分類即可
運輸	一次運輸	需二次運輸
貯存	一週內即發臭	可保存至少一年
最小處理經濟規模	300-900噸/日	200噸/日
均質性	非常不均質	非常均質
燃燒效率	不佳	甚好
二次污染（Dioxin）	嚴重	輕微
清理單價成本(NT\$/ Kg)	3.4	2.0
後處理方式	單一性	多元性

結論與建議

綜合以上討論，本文作者對現階段台灣地區垃圾處理政策做了一些剖析與省思，並根據國情學理及成本等提出一套解決問題的最佳方案，同時評估瑞典reCulture垃圾衍生燃料（RDF）造粒技術之案例，期能拋磚引玉，為當前台灣地區垃圾處理找出一條可行的道路。具體之結論建議如下：

1. 目前以行政院79年5月公佈之「垃圾處理方案」為架構之垃圾政策，使用大型汽電共生混燒式（Mass-Burn）為主之焚化技術，太過僵化，技術門檻太高，亦可能不具最佳投資報酬率，垃圾處理政策有必要重新檢驗，務必使垃圾政策多元化及地方化，中央政府似只要訂出一套合宜的處理準則，讓地方政府有較多的參與感與決策權。
2. 為避免地方政府不能配合或NIMBY心態，垃圾處理應朝小規模之地方化，最好是一鄉鎮一座，多讓民眾參與決策，亦可減少運輸成本。
3. 垃圾分類上最好是只採用有價定點分類回收（VS）方式，沒有必要強迫實施產源分類，這可能是較不符合人性與民情的唯學派作法（請參考圖3-1）。
4. 參考瑞典reCulture之RDF案例，更可充分瞭解台灣垃圾是非常不均質且含水率高的物質，不易提高燃燒效率，且二次污染處理成本甚高，故宜先製造成RDF，再行燃燒，除可提高燃燒效率外，對後續的處理能朝多元化的能源政策發展。
5. 單位處理成本初步分析顯示，每公斤單價可由混燒式之NT\$3.4/kg，降低至NT\$2.0/kg，約可節省41%，實有相當大的誘因，建議進一步估算此項成本或至該國考察，以為決策依據。