

產出因子模式應用於事業廢棄物管理之研究

章裕民¹、唐嘉吟²、蕭伊君³

¹ 國立台北科技大學環境工程與管理研究所 教授/ymchang@ntut.edu.tw

² 國立台北科技大學環境工程與管理研究所 碩士/cand7024@yahoo.com.tw

³ 國立台北科技大學環境工程與管理研究所碩士班 研究生/loo41lovehikki@yahoo.com.tw

摘要

查核管制為環境保護政策中十分重要的管制工作，如果欠缺有效能的稽查體系與管制作為，則環境污染就無法受到監督與控制，生態環境就無法得到保障。若能事先推算出事業廢棄物產出量，並透過現場查核管制的方式，將有效的迫使事業單位妥善地處理事業廢棄物，減少事業廢棄物產生量。

本研究利用整體質量平衡法 (Overall Mass Balance) 與統計學之迴歸分析 (Regression Analysis) 方法推求各製程行業別之廢棄物產出因子(Discharge Factor, 以下簡稱 DF)。並規劃應用於電子化系統架構，將 DF 實際應用於查核管制上，以作為預先查核業者廢棄物申報資料與現場查核之工具，因此，將能有效掌握廢棄物的質與量，實為查稽管制工作上提供甚大助益。

本研究採用 94 年度 7~12 月的申報資料針對所推估之 53 項 DF，計算實際廢棄物量與預估廢棄物量的平均絕對百分誤差值 (MAPE)，從驗證結果顯示 $MAPE \geq 30\%$ (預測能力不佳) 之 DF 有 7 項，此 7 項廢棄物 DF 重新推估後，尚有 1 項 DF 之 $MAPE \geq 30\%$ (DF 之預測能力不佳)，其原因可能與參數 (因子) 選用不當有關。在驗證的 53 項 DF， $MAPE < 30\%$ 者共有 52 項，顯示 DF 預測廢棄物產出量約有 98% 的可靠率。另於實場查核結果中，推估的 11 項廢棄物 DF，僅 1 項誤差值 $\geq 30\%$ ，顯示本研究所提的方法與所探討的製程廢棄物約有 91% 的實用性。

關鍵詞：查核管制、產出因子、平均絕對百分誤差、查核管制系統

一、前言

國內由於人口急速增加，科技與產業隨經濟成長，再加上國人的消費習慣與生活態度改變，不但廢棄物產量大幅增加，其性質亦日趨複雜，已造成廢棄物處理上的各種難題。而廢棄物任意棄置所延伸之問題，嚴重的影響了自然資源及生活環境品質，更是威脅著所有人的健康與安全。

然而事業廢棄物常因事業機構的行業性質、生產流程、使用原料、加工層次及生產設備等不同，造成廢棄物之類別與數量十分複雜，且相同行業間亦可能因工廠結構、經營管理及生產過程之差異，致使廢棄物之排出有所出入。

為有效管理國內事業廢棄物，必須先確認各行業製程之廢棄物產出量，方能擬定相關稽查管制措施。因此需對事業廢棄物之質與量有更精確之掌握，同時再輔以行政管制有效的進

行環境稽核、勾稽作業……等執行工作，防範廠商之僥倖心態，才能真正有效管理有害事業廢棄物問題。

因此，若能事先推算出事業廢棄物產出量，並透過現場查核管制的方式，將有效的迫使事業單位妥善地處理事業廢棄物，減少事業廢棄物產生量，以達到事業廢棄物管制之目的。

二、研究內容與分析方法

本研究將依各行業製程之原物料使用量、產品產出量及事業廢棄物排放量間的關聯性，利用整體質量平衡法（Overall Mass Balance）或稱物質流分析（Material Flow Analysis）與統計學之迴歸分析（Regression Analysis）方法推求各製程行業別之通用推估模式，即本土化之廢棄物產出因子，並將 DF 應用於查稽管制層面上，以作為預先查核業者廢棄物申報資料與現場查核之工具。故本研究主要可分為 DF 推估模式之建立與推估、DF 驗證方法及適用性評估、DF 在稽查管制之應用三階段，其建構流程說明如下：

1. DF 推估模式建立與推估

- (1) 首先為事業廢棄物相關基本資料收集與彙整，其中包括製造流程說明、原物料使用量、產品產量及廢棄物產出量等，以清楚了解各製程行業別對其廢棄物產出情形之影響因子。
- (2) 依製程篩選原則選定欲進行 DF 推估之行業製程。將欲研究之事業機構行業細分成製程，並引用「中華民國行業標準分類」編以代碼分類。
- (3) 本研究以主要製程為推估對象，並以整體質量平衡（OMB）理論為基礎基，檢視每筆數據資料之合理性。
- (4) 將廢棄物資料統合彙整後，藉由 SPSS 統計軟體進行線性迴歸分析功能，建立 DF 推估方程式。
- (5) 再依據 DF 篩選原則決定最佳之 DF。

2. DF 驗證方法與適用性評估

利用本研究推導之最佳 DF 推估式所計算出之廢棄物產量與實際申報資料中的廢棄物產出量相互驗證，採用平均絕對百分誤差（mean absolute percentage error；MAPE）做為準確度之驗證（誤差度越小其準確度越高），當 DF 推估所得之各行業製程廢棄物產出量與實際廢棄物產出量間之平均絕對百分誤差（MAPE） $\leq 30\%$ 者，表示接受該行業製程之 DF 推估式；反之，當平均絕對百分誤差（MAPE） $\geq 30\%$ 者為不接受該產出因子，則需將平均絕對百分誤差（MAPE） $\geq 30\%$ 之廢棄物資料納入原先推估 DF 之樣本資料中，使其樣本數增加，並重新推估該行業製程之廢棄物產出因子，以期更符合實際之應用性。

並將所驗證之 DF 依平均絕對百分誤差（MAPE）及迴歸 DF 之 R^2 值作為訂定使用等級依據如表 1 所示，俾供推估使用者採納時之參考。

表 1 DF 使用等級表

等級	分類標準	使用準則
A 級	MAPE < 10% 且 DF 之 R ² 值 > 0.95 者	可用在該製程主要廢棄物產出之管制。
B 級	MAPE < 20% 且 DF 之 R ² 值 > 0.90 者	適用於統計分析上，即有主要之因子就能概估該廢棄物產量，但仍有可能因其他因素(如溫度、時間)，而超出所推算之廢棄物量。
C 級	MAPE < 30% 且 DF 之 R ² 值 > 0.85 者	預測能力屬可接受之範圍，可用做一般性參考，但能須確實稽查，以確保其漏報或未報之事發生。
D 級	MAPE ≥ 30% 或 DF 之 R ² 值 ≤ 0.85 者	表示該製程之廢棄物申報量與 DF 推估量間差異頗大，因此有必要至現場進行稽查，以確認其中報資料之真實性。 由於準確度不高，因此需藉由資料庫筆數(N)的累積，反覆檢視修正產出因子推估式。

3. DF 在稽查管制之應用

藉由 DF 的廢棄物推估量與業者申報的廢棄物量進行比較，可作為異常申報資料的追蹤之用。也可提供廠家自行作為查核改進之用，當發現產品或廢棄物量產出異常時可由 DF 加以檢查何處出現異常，可迅速針對問題加以改善解決，也可幫助廠家了解生產製程是否有再增加效率空間或有其他更好的製程可以替代；DF 能了解各製程產出之廢棄物來源，若可用之廢棄物加以回收再利用，不但可減少廢棄物產生也可增加原料的利用。故本研究將實際引用所迴歸之 DF 推估式，應用到現場稽查管制上，以了解 DF 對本土化產業之可行性。其具體應用步驗如下：

- (1) 彙整過去所有已推估之各製程行業別及其 DF 推估式，包括本研究所推估之製程及 DF 結果。
- (2) 從中挑選出數個具有代表性之製程，並設計一份稽查資料表，其內容包含行業或製程的廢棄物種類、廢棄物代碼、公司行號、產出因子推估式、稽查日期及時間、稽查單位及人員、備註等。
- (3) 並派人員配合行業別稽查手冊，至現場或其他可行的查核方式，以實際驗證其合理性與誤差度。
- (4) 將各製程產出因子所推估之廢棄物量與實際廢棄物值，利用誤差值計算，以衡量各項製程廢棄物產出因子的誤差度。

並配合現行事業廢棄物全面電子化之管制趨勢，本研究嘗試規劃設計一套程式或軟體，

將事業廢棄物稽核所需資料建置成電腦資訊系統，應用在 PC、PDA 方面，提供環保人員現場稽查時之參考工具，以有效掌握廢棄物質與量。

而本系統架構主要可分為四個部份，分別為資料庫建置、檔案處理、編輯、計算核心，其主要功能為：

1. 資料庫之建置

本系統的資料庫部份，主要提供資料庫的連結，並蒐集建立各行業製程之事業單位基本資料及廢棄物申報資料，包括原物料、產品、廢棄物、廢水處理量、污泥量、員工人數等有關廢棄物產出情況，以及系統的計算核心使用。

2. 檔案處理

檔案處理的部份，需具有檔案的建立、檔案之儲存、舊有檔案開啟、查尋、匯出、列印、預覽等一般性的檔案處理功能。如：事業機構上網所申報之廢棄物相資料儲存。

3. 編輯

本系統的設計流程中，會有需要變動的部份，如各行業製程之廢棄物產出因子推估式之建立或修正等，唯有利用編輯的功能，才能完成必需的編輯工作。

4. 計算核心

計算核心主要依據上述所編輯之參數，從資料庫中彙入計算所需之數據，計算出所推估值並依此數據與資料庫中相關資料比對，最後判斷結果是否符合實際情況。

以本研究為例，計算核心主要是將事業單位廢棄物申報資料套入所建立之該行業製程廢棄物產出因子(DF)計算，預估該製程廢棄物產量，並與實際廢棄物量進行差異性分析，其結果判定以誤差值作為界定之依據。

三、結果與討論

本研究建立之事業廢棄物產出因子推估模式，所需之事業廢棄物基本資料來源為 94 年度事業機構申報資料，利用上述資料推估 40 個行業製程別，共計 84 項事業廢棄物產出因子(DF)推估式，以下茲將本研究結果討論如下：

1. DF 推估結果分析

本研究推估的 84 項廢棄物依公告的六大類廢棄物做為區分，其中屬有害特性認定事業廢棄物(C類)者有 8 項、一般事業廢棄物(D類)者有 48 項、混合五金廢料(E類)者有 2 項、可回收之廢棄物(R類)者有 26 項，並將推估的各項廢棄物產出因子之迴歸結果，以樣本數(N值)、判定係數(R^2 值)統計分析結果如表 2~3 所示：

表 2 各製程廢棄物 DF 之樣本數統計

樣本數 (N)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	19	33	合計
DF 數	11	8	17	5	12	10	5	2	5	4	2	3	84

表 3 各製程廢棄物 DF 之 R² 值統計表

R ²	≥0.9	0.8~0.9	0.7~0.8	<0.7	合計
DF 數	62	12	4	6	84

2. DF 驗證結果分析

廢棄物產出因子的建立，可作為事業機構上網申報量之評估，有效掌握事業申報廢棄物與實際產出現況之差異性，作為環保人員現場勾稽查核時之參考，故 DF 推估式的合理性及準確度是影響後續應用之可行性。因此本研究採用環保署 94 年 7~12 月份之事業機構申報資料作為驗證依據，並計算實際廢棄物量與推估之廢棄物量的誤差值，用以衡量 DF 之準確度。

依據本研究之驗證方法，以平均誤差百分比（以下簡稱 MAPE）計算實際廢棄物量與 DF 預估量兩者間之誤差程度，評估各項 DF 推估式之準確程度，其驗證結果如圖 1 所示，可知 MAPE 值小於 10% 者有 18 項 DF，另 MAPE 值介於 10%~20% 及 20%~30% 都分別有 19 及 9 項 DF，而 MAPE 值大（等）於 30% 者有 7 項 DF，表示此 7 項 DF 之其預測能力不佳，進行重新修正推估，其修正後之 DF 推估式及驗證結果如圖 2 所示。

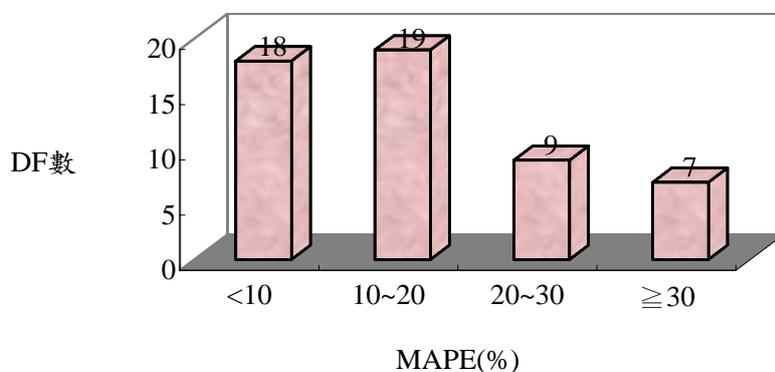


圖 1 DF 驗證結果統計圖

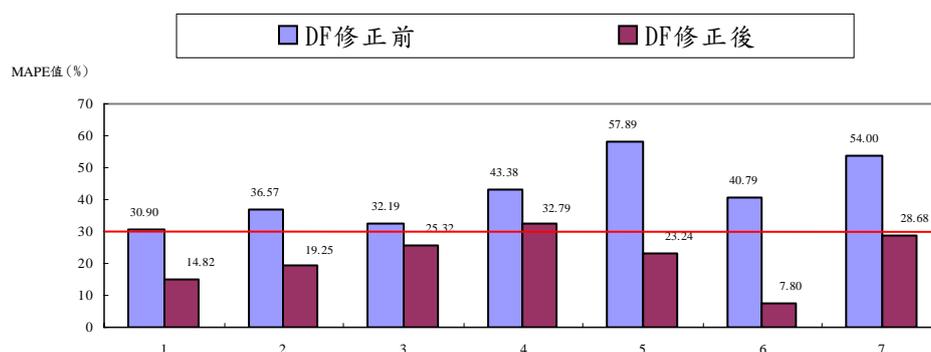


圖 2 各製程 DF 修正前、後示意圖

透過上述程序之修正後，本研究所進行驗證的 53 個 DF 中，僅有 1 個 DF 之 MAPE 值 $\geq 30\%$ ，其餘 52 個 DF 之 MAPE 值均小於 30%，表示本研究之 DF 推估式所預測之廢棄物產出量約有 98% 的可靠率，顯示 DF 重新推估後，皆能獲得相當的改善。

在本研究驗證的 53 項 DF 依使用等級區分如圖 3 所示，其中屬於 A 級（用於查稽管制）者有 8 項 DF、B 級（用於統計分析）者有 25 項 DF、C 級（用於一般性參考）者有 12 項 DF，其餘 8 項 DF 之使用等級則屬 D 級（使用性有限）。

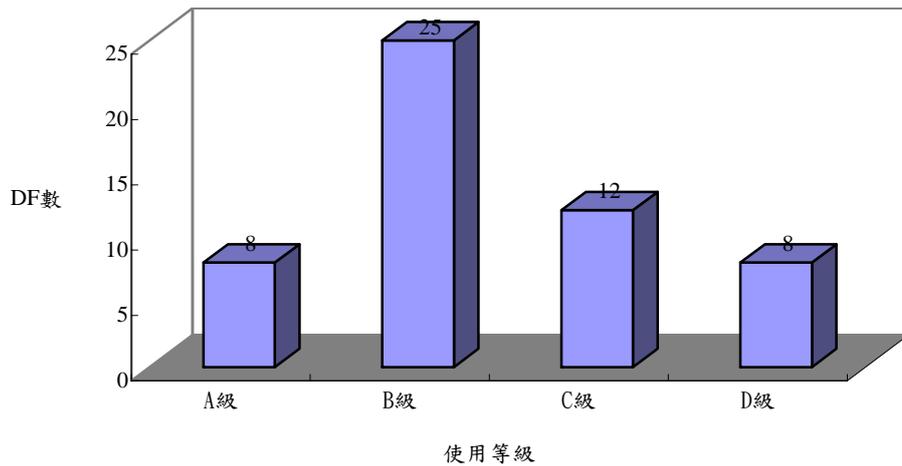


圖 3 DF 使用等級統計圖

3. DF 實場查核之應用結果分析

本研究所推估之 40 個製程行業別中，篩選出 6 個製程共選出 8 家工廠(共 11 項 DF)實際進行實場 DF 查核驗證作業，其應用結果分析如表 4 及圖 4。DF 預估量與實際廢棄物量的誤差值比例以誤差值介於 10% 至 20% 者的 4 項 DF 為最大約佔總查核 DF 的 37%，其次為佔 27% 的 3 項 DF 其誤差值介於 5% 至 10% 之間，而誤差值大(等)於 30% 的僅有 1 項 DF 佔 9%。另由圖 5 顯示，將結果依使用等級區分，則屬 A 級者有 4 項；B 級者有 4 項；C 級者有 2 項；D 級者有 1 項。故由上述分析結果可知，本研究所推估之 DF，其實用性甚高。

表 4 DF 查核應用結果統計表

誤差值	<5%	5%~10%	10%~20%	20%~30%	$\geq 30\%$	合計
DF 數	1	3	4	2	1	11

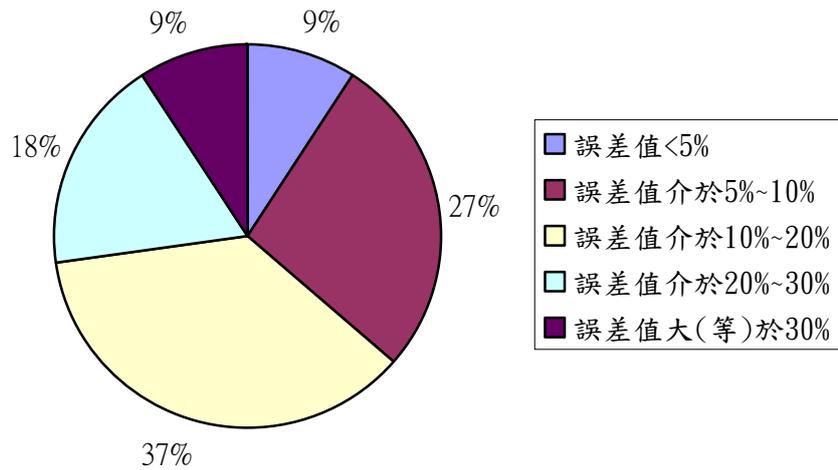


圖 4 DF 查核應用結果分析圖

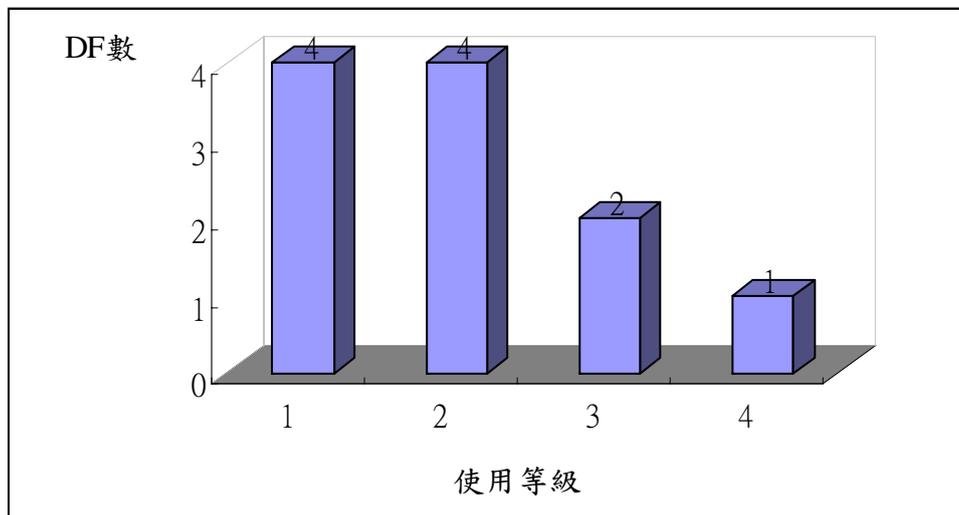


圖 5 查核結果等級分析

4. 查核管制系統之架構

由於現場稽核輔導，經常容易發生被稽查的業者無法提具有力證據證明其申報資料並無不實之情形，或稽查人員研判申報不實的輔助資料及工具不足等狀況發生，須大費周章的進行多方查核與比對，但往往也不見得有十足的把握確定業者申報資料無誤，而業者若無法提出相關的證明資料，則亦難逃罰則。

故本系統的設計與建置目的在於幫助廢棄物產生者於平時建立與廢棄物產生相關的資料，以便於當申報行為發生疑問時，作為管理者參考之依據；對於稽查人員則有助於事先了解該工廠之申報資料是否屬實，且做為現場稽查之輔助工具，大符減少進行查核的時間。

(1) 資料庫設計

為配合電子化之趨勢，以方便稽查人員攜帶使用之工具如 PDA，可針對已進行迴歸分析

之各行業製程別建立各別資料庫，如：硝酸製造程序（1711-009）、丙烯酸及其酯類製造程序（1712-054）等檔案，如圖 6 以表面活性劑製造程序（1830-005）為例，內容包含管制編號、事業機構名稱、機構地址、機構電話、日期、類別（如廢棄物/產品/原物料）、代碼（產品/原物料/廢棄物）、中文名稱、產出/使用量及用水量、用電量、員工人數等欄位，可由系統輸入介面將上述各項資料建立並存入該製程資料庫中。

The figure consists of two screenshots of a Microsoft Access database window titled 'Microsoft Access - [表面活性劑製造程序(1830-005) : 資料表]'. The top screenshot shows a table with the following columns: 管制編號, 機構名稱, 員工人數, 機構地址, 機構電話, and 年. The data rows show multiple entries for '先耀股份有限公司' with various addresses and phone numbers, all dated '93'. The bottom screenshot shows a table with the following columns: 年 月, 類別, 產品/原物料/廢棄物 代碼, 中文名稱, 產出申報量, 用電量, 用水量, and 廢水處理量. The data rows show entries for '原物料' and '產品' with a code of '80706' and a name of '鋁', with values for '產出申報量' (1.8 or 1.6) and '用電量' (1.8 or 1.6).

圖 6 資料表內容

(2) 設計參數與計算流程

本系統的計算核心是經由迴歸分析之 DF 及修正過之 DF 為依據；另一計算核心為誤差值計算，所採用的計算公式為 MAPE，即比較實際廢棄物產出量與預測值的誤差程度。

上述二項計算模組之 DF 查核管制系統設計，其缺點須隨時更新 DF 推估式及新增已完成

迴歸之製程別資料庫。若採用「事業廢棄物管制資訊系統」的資料庫，因其各製程之資料筆數（N）會隨著每次申報而增加，則可於計算核心中加入一質量平衡公式，即：

$$\sum \text{廢棄物產出量} = \sum \text{原物料進料量} - \sum \text{產品產量}$$

以確認申報資料之合理性，並加入迴歸分析計算，使合理資料納入本研究建立之資料庫中進行自我迴歸與修正功能，而重新修正 DF，提高預測之準確度。

(3) 檔案處理與結果輸出

完成本系統各項的主要流程後，本系統提供儲存功能將計算結果保存下來，亦提供文件的列印選項，方便使用者預覽及列印這些內容。然後輸入的內容會影響計算結果的呈現，於下列將針對特殊原因說明：

以光碟片製造程序（2640-004）為例：

$$\text{含電鍍金屬之廢塑膠(E-0213)(噸)} = 0.00983 \times \text{光碟片產量(噸)}$$

$$\text{廢液閃火點小於} 60^{\circ}\text{C(C-0301)(噸)} = 0.485 \times \text{溶劑進料量(噸)}$$

$$\text{廢塑膠(R-0201)(噸)} = 0.488 \times \text{塑膠製品及聚酯類進料量(噸)}$$

$$- 0.481 \times \text{光碟片產量(噸)}$$

1. 當參數值為「未填」，該項廢棄物預估量應顯示「無法計算」，且誤差值亦會顯示「無法計算」。如溶劑（含醇類及醇類化合物、其他醚類及其化合物等）進料量無填入數值（空白）時，利用該參數所計算之廢液閃火點小於 60°C （不包含乙醇體積濃度小於 24% 之酒類廢棄物）（C-0301）之預估值及與實際產出之廢液閃火點小於 60°C 的誤差值比較均為無法計算。
2. 當參數值為「0」，該廢棄物預估量顯示為「輸入值為 0」，方便查核人員直接了解是何項參數有問題。如塑膠製品及聚酯類進料量為 0，則廢塑膠（R-0201）預估量顯示為輸入值為 0，則該項廢棄物之誤差值即為「空白」。
3. 當廢棄物值為「未填」，則該項廢棄物之誤差值會顯示為「未填廢棄物量」。表示當含電鍍金屬之廢塑膠（E-0213）為空白時，該項誤差值即為「未填廢棄物量」。
4. 當廢棄物值為「0」，該項廢棄物之誤差值會顯示為「廢棄物值為 0」。當廢塑膠（R-0201）為 0 時，其廢塑膠誤差值會出現「廢棄物值為 0」的情況。
5. 除了上述 4 項，其餘結果均會出現數值，再依結果比對 MAPE 使用準則，進行後續查稽之依據。

四、結論與建議

本研究提出結果以下結論與建議，俾供未來相關研究者參考。

1. 本研究乃針對行業製程別推估該廢棄物產出因子(DF)，共 40 個製程 84 項 DF。其中判定係數 (R^2) ≥ 0.9 之 DF 數有 62 項，佔了總 DF 數的 74%，且判定係數 (R^2) 介於 0.8~0.9 者有 12 項 DF，亦佔了總 DF 數的 14%，顯示利用物流分析原理所獲得的廢棄物產出量與選擇因子間之相關強度甚高，且各項廢棄物與選擇進行推估之參數間均具有顯著性關係（即 p 值 < 0.05 者）。
2. 本研究採用 94 年度 7~12 月的申報資料針對所推估之 53 項 DF，計算實際廢棄物量與預估廢棄物量的平均絕對百分誤差值 (MAPE)，可做為評估 DF 之準確度。經研究驗證結果顯示，MAPE $\geq 30\%$ （預測能力不佳）的 DF 計有 7 項，經過重新修正後，僅 1 項 DF 之 MAPE 值 $\geq 30\%$ （預測能力不佳），其餘 52 項 DF 之 MAPE 值均小於 30%，此足以證明本研所提出的 DF 推估模式所預測之廢棄物產出量有 98% 的可靠率。
3. 將 53 項驗證之 DF 依使用原則區分等級後，顯示 DF 可應用在查稽管制（屬 A 級）者有 8 項、用於統計分析（屬 B 級）者有 25 項、用於一般性參考（屬 C 級）有 12 項，其餘 8 項則使用性有限（屬 D 級），足見本研究所提之推估方法具有參考價值。
4. 實場查核結果顯示，11 項廢棄物 DF 推估中，僅 1 項誤差值 $\geq 30\%$ ，顯示本研究所提的方法與所探討的製程廢棄物約有 91% 的實用性，對於事業廢棄物之管理有實質的意義。
5. 配合現行事業廢棄物全面電子化之管制趨勢，本研究設計一套 DF 查核管制系統，此系統之使用將能確實有效掌握廢棄物的質與量，作為稽查管制之依據，以達到事業廢棄物管理之目的。

茲就上述本文結論，提出以下幾點建議：

1. 由於本研究採用事業機構申報資料做為推估、驗證之依據，會有每月申報量與清理計劃書申報量相等、申報資料漏報、製程符合度不高等情形，造成推估困難，建議後續研究者可採用現場查核資料，以提高 DF 迴歸分析之準確度。
2. 本研究推估之 DF 實用性仍未臻至完整，此乃因製程的界定不清楚，故建議後續研究者依製程均一性去區分製程的相似程度，以期提高 DF 實場應用之可行性。
3. 由於本研究主題是 DF 查核管制系統，但截至目前並未將其應用在電腦模組化上，故建議後續研究者可以將其實際進行使用，以了解該系統之缺失進而改善，相信對於查核管制上有實值效益。
4. 建議後續研究者可採用關鍵元素之物質流分析法研究 DF 推估模式，相信對於事業廢棄物之質與量的掌握，將會更加完整，有效提高事業廢棄物的管理。

五、參考文獻

1. 行政院環保署，“事業廢棄物查核輔導及管理技術整合提昇第一年專案工作計畫”，EPA-94-H102-02-121，臺北（2005）。
2. 呂如娥，“事業廢棄物產出因子推估與其應用在管理上之研究”，碩士論文，國立台北科技大學環境規劃與管理研究所，臺北（2003）。
3. 張翊峰，“台灣地區垃圾低位發熱量推估經驗公式之研究”，第十七屆廢棄物處理技術研討會論文集，中華民國環境工程學會（2002）。
4. J. Susan, “Mass Balance Techniques in Industrial Waste Management,” Solid and Hazardous Waste Management Spring（2003）。
5. C.A. Martin and S. F. Witt, “Accuracy of econometric forecasts of tourism,” Annals of Tourism Research, Vol. 16, pp. 407-428（1989）。
6. V. T. Larry and M. Chris, “Ag- Econ 302-Agricultural Economics II,” College of Agricultural and Life Sciences, University of Idaho（2004）。
7. B. Elisabeth, “Waste factors - an initial study,” Statistics Sweden, working paper No.10 of conference of European statisticians, September（1998）。
8. European Environment Agency, “Assessment of information related to waste and material flows-A catalogue of methods and tools,” Technical report, No. 96（2003）。

Application of Discharge Factor on Surveillance and Management for Industrial Waste

Chang, Yu-Ming¹, Tang, Chia-Yin², and Hsiao Yi-Chun³

¹ Institute of Environmental Engineering and Management National Taipei University of
Technology, Taipei-city, 106, Taiwan

² Institute of Environmental Engineering and Management National Taipei University of
Technology, Taipei-city, 106, Taiwan

³ Institute of Environmental Engineering and Management National Taipei University of
Technology, Taipei-city, 106 Taiwan

Abstract

The surveillance and management program is very important to promote the environmental policy and quality. Estimation of industry wastes generation with the way of surveillance and management onsite in advance can reuse the wastes effectively and reduce the production of industry wastes.

The paper studies on the application of Discharge Factor (DF) on surveillance and management for industrial wastes utilizing overall mass balance/ material flow analysis with mathematical regression. Computerization Planning on surveillance and management system was also conducted with the registered data. It provides a tool to estimate the quantities of industry wastes onsite in advance.

The results shows that the reliability of DF predicting production would be 98%, and the practicability would be 91%. Planning DF of surveillance and management system and designing can survey the generation data of industry wastes. In fact, effective management of the waste is very great benefit of surveillance and management in practical situation.

Keywords : Surveillance and Management, Discharge Factor, MAPE, Surveillance and Management System