

兩階層供應鏈中獎勵補貼費率制訂之研究

—以台灣廢玻璃容器資源回收為例

時序時¹，彭孟吟²

1. 淡江大學管理科學研究所，台北
2. 淡江大學管理科學研究所教授兼所長，台北

[摘要]本研究利用兩階層數學規劃模型，解析台灣地區廢玻璃容器回收費率制訂問題，其中高階為環保署基金管理委員會，而低階為回收處理業者。由於兩者的目標不一致，透過此模型可反映出其衝突本質，而獲得妥協情況之下最佳解。

由於地球資源有限，減量、重複利用及資源回收再利用成為解決環境問題的三個主要方法。因當前兩者無法徹底執行時，資源回收儼然成為當今環境保護最重要議題。環保署於民 87 年成立基金管理委員會制訂回收清除處理費率，推動各項廢棄物之資源回收工作，希望藉此提高回收率。但此費率制訂除了影響基管會之運作外，亦牽涉到被徵收費率之責任業者及受費率補貼之回收處理業者。本研究簡化此關係以兩階層規劃模型表達。高階基管會的目標為平衡基金預算以及回收率極大，低階廢玻璃回收處理業者則期望利潤極大。在雙方的目標不同但決策又彼此互相影響之下，適用於多階層數學規劃模型表達此一互動關係。本研究即利用此一互動關係建立兩階層之廢玻璃容器回收費率制定模型。

本模型為兩階層非線性規劃問題，為簡化求解過程，首先以 KKT 最佳化條件(KKT conditions) 轉換以及變數替換，將此模型轉換為一 0-1 非線性規劃問題 (0-1 non-linear programming problem)，再以 Lingo 軟體求解。分析結果發現，回收處理業者之回收意願受到二次料市場之資源化價值及回收處理成本之影響，而此兩者為回收補貼最重要之內涵，因此最適回收清除處理補貼費率亦因此有所變動。接著對回收清除處理費率進行參數分析，其結果顯示回收清除處理補貼費率及回收率與其朝同向變動。最後再將本研究所建立之兩階層規劃模型與現行之費率計算公式進行比較，發現本研究之模型係按兩階層之決策目標及限制建立，較符合實務上費率之互動情況，可供實務上進行費率制訂作業時之參考。

[關鍵詞]兩階層規劃，玻璃資源回收，補貼，回收清除處理費率，0-1 非線性規劃，KKT 條件。

[作者簡介]；彭孟吟，女，台灣人，淡江大學管理科學研究所研究生；時序時，男，台灣人，淡江大學管理科學研究所教授兼所長，美國堪薩斯州立大學工業工程博士，美國匹茲堡大學凱茲商學研究院訪問教授。

一、 研究動機及目的

現實中的組織，無論是營利機構或非營利機構，大多具有層級架構。爲了反應不同層級間的決策問題，多階層規劃（Multi-level Programming, MLP）於1970年代末期被發展出來，在處理層級組織架構下多決策者（Decision Makers, DMs）、分散式規劃（Decentralized Planning）最佳化決策問題。這種層級架構除了在每一個階層有其明確且唯一的目標及控制變數外，還有一組會影響到每一個層級的共同限制條件，此種行爲普遍存在人類社會中。

其次，由於人類過度地生產及消費造成自然資源環境嚴重的損耗，而廢棄物的處理方式也面臨嚴重的挑戰。因此近年來供應鏈管理（Supply Chain Management）中逆向物流（Reverse Logistics）的發展越來越受到重視，指的是物品從消費者流向市場的過程和管理，藉由供應鏈各環節中的報廢產品及零組件、剩餘料的回收，使原料或產品可以再次循環，除了可以減少對於自然資源的擷取，也可以有效緩和廢棄物的增生。

在回收的逆向物流中又以家庭廢棄物較沒有規範，所以行政院環境保護署（簡稱環保署）成立資源回收基金管理委員會（簡稱基管會）對應回收廢棄物之製造及輸入業者（以下簡稱責任業者）依核定之費率，收取回收清除處理費。基管會徵收費用後，將此金額扣除一部份行政費用，餘納入基金補貼回收業者，依各材質、容積、重量、對環境之影響、再利用價值、回收清除處理成本、回收清除處理率、基金財務狀況、回收獎勵金數額及其他相關因素對不同材質的廢棄物設定補貼費率，鼓勵業者進行回收。

因此基管會對責任業者徵收的回收清除處理費率以及給予回收處理業者的回收處理補貼業費率皆會影響到責任業者是否願意誠實申報營業量以及回收處理業者願意回收處理廢棄物的數量，可以說這兩費率對於資源回收的工作存在最直接的影響。在過去環保署曾委託多位專家學者探究此回收清理費率制定的問題，郭進安（2000）以經濟角度探討有無交易成本與市場結構不同時之費率訂定問題，中華經濟研究院多年承接環保署相關委託研究計畫工作，嘗試以一致性的定義與方法計算廢棄物各項材質之相關費（溫麗琪，1996）；而本研究嘗試討論基管會和回收處理業者兩個不相同的策略層級，利用衝突的目標建構廢玻璃容器回收費率兩階層數學規劃模型，找出彼此最適的反應策略，並依此求解出兩階可以接受的最佳費率問題。

二、 文獻回顧

隨著環境的日益惡化、資源減少，物品經由物流送達消費者端，消費者使用完畢之後，如何進行廢棄物的分類乃至於回收再利用成爲一個重要的議題，供應鏈體系中逆物流的探討因此油然而生。美國逆向物流協會（Reverse Logistics Executive Council, RLEC）將之定義爲：「逆向物流爲一種貨物移動的程式，即從最終目的地移動至其他地點，主要是爲了獲得在其

他方面無法得到的價值，或是爲了對產品做適當的處置」

其中，使廢棄物品成爲可以再次使用資源的過程即爲資源回收（Recycle）。在我國，長久以來，資源回收業者於資源回收過程中，先將許多高價的堪用零件拆解後出售，再將剩餘物交給資源化工廠，以增加收益；二手零件的交易市場也早已存在，尤以汽機車之二手零件之販售最爲活絡。二手零件再利用最合乎經濟與環境效益，應多加鼓勵，但也因其拆解銷售多轉爲地下化，環保署對於二手零件的流向並無法全然掌握，二次污染或其他環境考量也無法控管，造成此資源回收體系之未盡完備處（溫麗琪，1996）。

因此我國環保署於民國 87 年成立基管會，推動各項公告應回收一般廢棄物之資源回收工作。依據廢棄物清理法之規定，公告應回收項目之責任業者應按當期營業量，繳納回收清除處理費，該筆基金用以補貼回收處理業者，藉以提高回收之誘因。然而該制度實施以來，有關費率之訂定，始終是外界爭議之焦點（溫麗琪，1995a）。因此本研究以廢玻璃容器爲例，利用多階層數學規劃的方法，重新定義基管會和回收處理業者的立場，期望找到最適合的回收清除處理費率。

多階層規劃（MLP）發展於1970年代末期，其決策過程係由高階者先行設定其目標及決策，並詢問其所屬各階層的個別最佳化；低階者則秉告其最佳值，並被高階者以整體組織的利益考量而修正之。此過程將持續進行，直至獲得組織的滿意解（Satisfactory Solution）爲止。Wen 和Shih (1991)認爲多階層規劃常用於分散式規劃最佳化決策問題，如階層式管理結構的規劃問題。其決策者與決策變數分散於各階層，各階層的決策者皆有其自己的目標式與決策空間，雖然決策過程會被其他階層影響但不受控制。兩階層規劃問題（Bi-level programming problem, BLPP）則是屬於多階層規劃的一種特殊狀況，於70年代後期被提出。即爲將上層的決策者視爲領導者（Upper-level Leader），優先選擇決策，而下層決策者則爲追隨者（Lower-level Follower），根據領導者的決策做出最適決策（Lee & Shih, 2001）。通常使用在較爲民主式的分權系統，實務上曾經應用於國防資源分配、路網設計、鐵路定價問題等。數學表達如下（Wen & Hsu, 1991）：

$$\text{Max/Min}_{x_1} f_1(x_1, x_2) = c_{11}^T x_1 + c_{12}^T x_2 \quad (\text{upper level}) \quad (2.1)$$

where x_2 solves :

$$\text{Max/Min}_{x_2} f_2(x_1, x_2) = c_{21}^T x_1 + c_{22}^T x_2 \quad (\text{lower level}) \quad (2.2)$$

subject to :

$$(x_1, x_2) \in X = \{(x_1, x_2) \mid A_1 x_1 + A_2 x_2 \leq (\geq) b, \text{ and } x_1, x_2 \geq 0\}, \quad (2.3)$$

其中， c_{11} 、 c_{12} 、 c_{21} 、 c_{22} 及 b 爲向量。 A_1 及 A_2 爲矩陣。 X 則爲限制域。

多階層規劃問題的解題程序與演算法，則是和問題所反應的現實有關。Shih et al. (2004) 曾探討過去有關解決多階層規劃問題的演算法，對於線性係數情況而言，主要可歸類爲極點搜尋法（Extreme Point Search Approach）及變換法（Transformation Approach）兩者。前

者搜尋相當無效率，而後者變換法係運用 KKT 最佳化條件 (Karush-Kuhn-Tucker Conditions) 於限制式中引入非線性項，將低階規劃問題轉換成高階的限制式，其缺點在於轉換後的限制式經常變成非線性，使得運算處理上增加了困難度與複雜性。

由於在回收清除處理費率的徵收上，政府需要面對不同目標的決策者，加上政府部門執行政策上的考量，因此本研究採用兩階層規劃的方法，分別找出不同階層的政策目標函數，並以 KKT 條件以及混合整數規劃轉換為一階條件後，求解此一具有限制式的最佳化問題，希望這樣的兩階層規劃問題經過 KKT 條件轉換後的形式能夠找到最適合的回收清除處理費率。

三、 資源回收費率模式之建構

本研究主要探討環保署基管會和責任業者(回收業者)之間徵收(補貼)價格的制訂(圖 1)，希望透過此兩費率的制訂，鼓勵業者進行回收，能夠達到資源回收極大化的理想。因此本研究將其當作一個兩階層規劃的數學問題，根據基管會以及玻璃回收處理業者不同的目標，以兩階層數學規劃分別制訂高階(基管會)以及低階(玻璃回收處理業者)的目標函數。

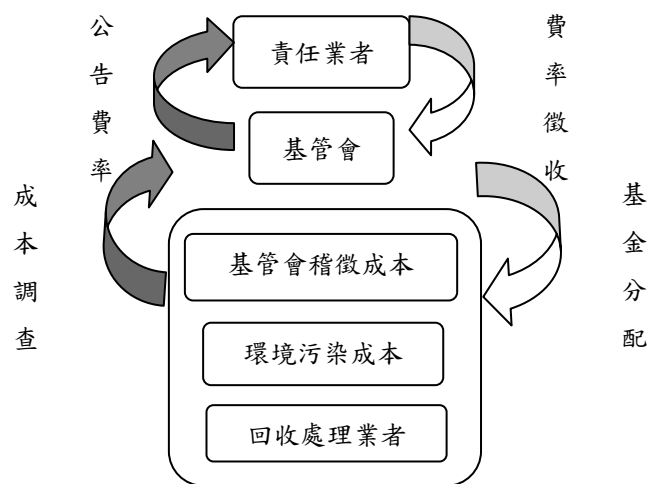


圖 1 基管會回收清除處理費計算流程 (本研究整理)

3.1 符號說明及條件假設

為便於廢玻璃回收費率模型之建立，本研究採用以下之符號及假設。

符號

α : 當年度資源回收率，(%)。

- γ : 非營業基金占資源回收管理基金之比率, (%)。
- τ : 資源回收再生率, (%)。
- ω : 當年度報廢量, (公斤/年)。
- $v(\alpha)$: 單位資源化價值, 為回收率之函數, (元)。
- C_E : 環境影響單位成本, (元/公斤)。
- C_a : 回收清除處理補貼費率, (元/公斤)。
- C_f : 回收清除處理費率, (元/公斤)。
- $C(\alpha)$: 當年度總回收處理成本, 為回收率之函數, (元/年)。
- L : 當年度稽徵成本, (元/年)。
- S : 當年度申報量, (公斤/年)。

假設

- (1) 此廢玻璃容器回收費率問題將以為兩階層數學規劃模型建構。
- (2) 高階決策者為基管會；低階決策者為玻璃回收處理業者。
- (3) 高階目標為基金預算平衡以及環境影響極小 (式 3)；低階目標為利潤極大 (式 4)。
- (4) 二次料市場的資源化價值為一需求函數如下：

$$v(\alpha) = (d - \tau \omega \alpha) / e \quad (1)$$

由於原始調查值數據差異過大，造成驗算結果稽核認證回收量對資源化價值敏感度過高。因此為了能夠更真實表現模型互動，除了原始調查資料外，本研究分別以民 93 年資源化價值 2.01 元/公斤以及民 94 年資源化價值 3.25 元/公斤各推估五組數值，一共十一組。並求出其資源化價值函數之係數，部分列出如表 1 所示。

- (5) 回收處理業者之總回收處理成本為一二次函數如下：

$$C(\alpha) = a(\omega \alpha)^2 + b(\omega \alpha) + c \quad (2)$$

單位處理成本其定義為處理業者將廢棄物處理至可掩埋、焚化、販賣 (二次料)、委外處理或暫存等狀態所產生之相關單位成本 (溫麗琪, 1996)。因此可以說回收處理成本其實就是資源回收再次生產的生產成本，回收成本即為購入原料的價格，資源化價值也就是二次料物品的售出市場價格，因此本研究將回收處理成本視為經濟上的生產成本。但由於資料蒐集上之限制，因此將之簡化為二次函數。

表 1 資源化價值函數之係數推估值

資源化價格	d	e	備考
(2.01, 3.25)	168300197	6139508	調查值
(2.01, 2.1)	325983231	84588779	以 93 年資源化
(2.01, 2.2)	236497207	40068369	價值推估
(2.9, 3.25)	219038847	21751400	以 94 年資源
(3.2, 3.25)	643191153	152259802.2	化價值推估

資料來源：本研究整理

3.2 限制式說明

在本研究所建立之模型中，限制式分別說明如下。

- (1) 原基管會公式，處理補貼費率 C_a 是以當年度的回收處理量計算回收處理淨成本（回收處理成本-資源化價值）決定，因此設定回收清除處理補貼費率 C_a 應該大於淨回收處理成本（式 5）。
- (2) 因為目前回收處理業者設備使用率偏低，因此若能提高回收處理量則回收處理成本勢必降低，因此處理補貼費率 C_a 限制小於目前費率（式 6）。
- (3) 本研究的模型假設基金沒有任何餘絀，因此若基金的支出大於收入則無法支付，所以限制基金的收入大於支出（式 7）。
- (4) 由於回收清除處理費率 C_f 的徵收即為了支付必要之外部成本，因此回收清除處理費率 C_f 必須大於必要的支出（式 8）。
- (5) 由於目前廢玻璃容器類的稽核成本過高，因此本研究認為回收清除處理費率應該維持或是小於目前的費率（式 9）。
- (6) 當年度回收量理應小於當年度報廢量，因此回收率最高為 100%（式 10）。
- (7) 目前廢玻璃容器類部分的行政成本應為總基金收入的 30%（溫麗琪，民 95），根據政府失靈理論，以及現狀分析，我們認為行政基金的比例可以維持在 30%，或是小於 30%（式 11）。
- (8) 為維持基管會之運作，需要一定比例之行政成本。因此以歐洲各國平均行政成本 10% 為基管會行政成本之下限（式 12）。
- (9) 行政成本為稽核成本以及環境影響成本之和（式 13）。

3.3 廢玻璃容器回收費率模型

本研究高階主要的控制變數為回收清除處理費率 C_f 、處理補貼費率 C_a 以及行政成本佔總基金比例 γ 。低階主要的控制變數則為回收率 α_1 ，完整模型表達如下，係數如表 2 所示。

(RECY1)

$$\underset{C_f, C_a, \gamma}{\text{Minimize}} \quad C_f S - [C_a \omega \alpha + \gamma C_f S] + C_E (S - \omega \alpha) \quad (\text{upper level}) \quad (3)$$

where α_1 solves :

$$\underset{\alpha_1}{\text{Maximize}} \quad [\nu(\alpha_1) \tau \omega \alpha + C_a \omega \alpha] - [a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c] \quad (\text{lower level}) \quad (4)$$

subject to

$$C_a \geq [a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c - \nu(\alpha) \tau \omega \alpha] / (\omega \alpha) \quad (5)$$

$$C_a \leq C_a^* \quad (6)$$

$$C_f S \geq (C_a \omega \alpha + \gamma C_f \omega) \quad (7)$$

$$C_f \geq [a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c + \gamma C_f \omega - \nu(\alpha) \tau \omega \alpha] / S \quad (8)$$

$$C_f \leq 1.55, \alpha \leq 1, \gamma \leq 0.3, \gamma \geq 0.1 \quad (9) \quad (10) \quad (11) \quad (12)$$

$$\gamma C_f S = L + C_E (S - \omega \alpha) \quad (13)$$

$$\nu(\alpha) = (d - 0.99 \omega \times \alpha) / e \quad (14)$$

表 2 係數表

符號	參數值	參數說明
τ	99%	資源回收再生率 (%)
ω	245,719,248	當年度報廢量 (公斤/年)
a	-0.00000000087689	$C(\alpha_1)$ 二次項的係數
b	2.859379698	$C(\alpha_1)$ 一次項的係數
c	3575305.705	$C(\alpha_1)$ 之常數
d	參照表 3-1	$\nu(\alpha_1)$ 之係數
e	參照表 3-1	$\nu(\alpha_1)$ 之係數
$\nu(\alpha)$	$\nu(\alpha) = (d - 0.85 \omega \times \alpha) / e$	單位資源化價值函數 (元)
C_E	\$0.7229	環境影響單位成本 (元/公斤)
C_a^*	\$2.50	當年度回收清除處理補貼費率(元/公斤)
C_f^*	\$1.55	當年度回收清除處理費率(元/公斤)
$C(\alpha)$	$a (\omega \times \alpha)^2 + b (\omega \times \alpha) + c$	回收處理成本函數
L	$\gamma C_f S - C_E (S - \omega \alpha)$	稽徵成本 (元)

S	233,004,918	年度申報量（公斤）
---	-------------	-----------

資料來源：本研究整理

建立完整兩階層模型後，將以 KKT 最佳化條件以及混合整數法轉換後求解分析。

四、 模型求解之分析比較

本章節利用 KKT 最佳化條件（The Karush-Kuhn-Tucker Condition）及混合整數規劃法（Mixed-Integer Approach）對前章所發展之兩階規劃模型進行求解。首先利用 KKT 最佳化條件將低階問題化開，轉換成爲一階（高階）問題；此時式中將具乘積項之互補寬容條件（Complementary Slackness Condition, CSC）。其次再簡化 CSC 條件，成爲具 0-1 變數的兩組限制式（Fortuny-Amat & McCarl, 1981）。經此兩項轉換後，利用以梯度搜尋爲基礎之 Lingo 軟體對此問題進行求解，最後並對求解出來的結果進行參數分析。

4.1 KKT 最佳化條件轉換模型

本研究建立的廢玻璃容器回收費率模型爲兩階層線性數學規劃模型，一般求解巢狀多階層數學規劃模型時，通常使用 KKT 最佳化條件將其原始模型轉換爲一階的一般數學規劃模型（Wen & Hsu, 1991）。本研究之廢玻璃容器回收費率經 KKT 最佳化條件轉換後如下：

$$\text{Minimize } C_f S - C_a \omega \alpha - \gamma C_f S + E^* (S - \omega \alpha) \quad (\text{RECY2})(15)$$

subject to

$$a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c - v(\alpha) \tau \omega \alpha - C_a \omega \alpha \leq 0$$

$$C_a - 2.5 \leq 0$$

$$C_a \omega \alpha + (\gamma - 1) C_f S \leq 0$$

$$a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c + \gamma C_f S - v(q) \tau \omega \alpha - C_f S \leq 0$$

$$\alpha - 1 \leq 0$$

$$\gamma - 0.3 \leq 0$$

$$-\gamma + 0.1 \leq 0$$

$$-\alpha \leq 0$$

$$C_f \leq 1.55$$

$$\lambda_1 [a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c - v(\alpha) \tau \omega \alpha - C_a \omega \alpha] = 0$$

$$\lambda_2 (C_a - 2.5) = 0$$

$$\lambda_3 (C_a \omega \alpha + \gamma C_f S - C_f S) = 0$$

$$\lambda_4 [a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c + \gamma C_f S - v(\alpha) \omega \alpha - C_f S] = 0$$

$$\lambda_5 (\alpha - 1) = 0$$

$$\lambda_6 (\gamma - 0.3) = 0$$

$$\lambda_7 (-\gamma + 0.1) = 0$$

$$\lambda_8 (-\alpha) = 0$$

$$\lambda_9 (C_f - 1.55) = 0$$

$$[v'(\alpha) \tau \omega \alpha_1 + v(\alpha) \tau \omega + C_a \omega - 2 a \omega^2 \alpha_1 - b \omega] - \lambda_1 [2 a \omega^2 \alpha + b \omega - v'(\alpha) \tau \omega \alpha_1 - v(\alpha) \tau \omega - C_a \omega] - \lambda_3 [C_a \omega] - \lambda_4 [2 a \omega^2 \alpha + b \omega - v'(\alpha) \omega \alpha_1 - v(\alpha) \omega] - \lambda_5 + \lambda_8 = 0$$

$$\lambda_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 9$$

$$C_f, C_a, \gamma, \alpha \geq 0$$

$$\text{其中：} v(\alpha) = (d - 0.99 \omega \alpha_1) / e$$

4.2 混合整數規劃模型

利用 KKT 最佳化條件轉換為一階問題後，以 Fortuny-Amat 及 McCarl (1981) 發展出來的混合整數規劃將 KKT 最佳化條件轉換後具乘積項之互補寬容條件化簡為具有 0-1 變數的兩組限制式，本研究 KKT 最佳化條件經混合整數規劃轉換結果如下：

$$\text{Minimize } C_f S - C_a \omega \alpha - \gamma C_f S + E^* (S - \omega \alpha) \quad (\text{RECY3})(16)$$

subject to

$$a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c - v(\alpha) \tau \omega \alpha - C_a \omega \alpha \leq 0$$

$$C_a - 2.5 \leq 0$$

$$C_a \omega \alpha + (\gamma - 1) C_f S \leq 0$$

$$a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c + \gamma C_f S - v(\alpha) \tau \omega \alpha - C_f S \leq 0$$

$$\alpha_1 - 1 \leq 0$$

$$\gamma - 0.3 \leq 0$$

$$-\gamma + 0.1 \leq 0$$

$$-\alpha \leq 0$$

$$C_f \leq 1.55$$

$$\lambda_i \leq (1 - \eta_i) M,$$

$$a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c - v(\alpha) \tau \omega \alpha_1 - C_a \omega \alpha \leq M \eta_1$$

$$C_a - 2.5 \leq M \eta_2$$

$$C_a \omega \alpha + \gamma C_f S - C_f S \leq M \eta_3$$

$$a (\omega \alpha)^2 + b \omega \alpha + c + \gamma C_f S - v(\alpha) \tau \omega \alpha - C_f S \leq M \eta_4$$

$$\alpha - 1 \leq M \eta_5$$

$$\gamma - 0.3 \leq M \eta_6$$

$$-\gamma + 0.1 \leq M \eta_7$$

$$-\alpha \leq M \eta_8$$

$$C_f - 1.55 \leq M \eta_9$$

$$[v'(\alpha) \tau \omega \alpha + v(\alpha) \tau \omega + C_a \omega - 2 a \omega^2 \alpha - b \omega] - \lambda_1 [2 a \omega^2 \alpha + b \omega - v'(\alpha) \tau \omega \alpha - v(\alpha) \tau \omega - C_a \omega] - \lambda_3 [C_a \omega] - \lambda_4 [2 a \omega^2 \alpha + b \omega - v'(\alpha) \tau \omega \alpha - v(\alpha) \tau \omega] - \lambda_5 + \lambda_8 = 0$$

$$\lambda_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, 9$$

$$\eta_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, 2, \dots, 9$$

$$C_f, C_a, \gamma, \alpha \geq 0$$

$$\text{其中：} v(\alpha_1) = (d - 0.99 \omega \alpha) / e$$

M 爲一非常大的正數，一般設爲 1000。

4.3 模型求解

由於本研究所建立的廢玻璃容器回收費率模型在資源化價值函數 $v(\alpha_1)$ 的部分推估了 (2.01, 3.25) 等十一組係數，除了一組爲原始環保署調查值外，另外十組資源化價值分別以 93 年之 2.01 (元/公斤) 及 94 年之 3.25 (元/公斤) 爲基準各推估五組數值。本研究以 KKT 最佳化條件分別轉換 (2.01, 3.25) 等十一組資源化價值係數之模型後求解，由於限制式中引入非線性項，其輔助問題的複雜度將形升高；因此以 Lingo 軟體求解後，出現多組局部最佳解，或無可行解。由於此結果不甚穩定，續以混合整數規劃轉換後求解。

4.3.1 混合整數規劃求解結果

利用混合整數規劃轉換出來的結果，較 KKT 條件較爲穩定，十一組資料皆有可供參考的最佳解，部分結果如表 3 所示。以下分別對五個變數以及基金使用比例做結果分析。

表 3 混合整數法規劃解結果（ C_f 有上限）

資源化價值	(1) C_f	(2) C_a	(3) α	γ	(4) $v(\alpha)$	(5) 單位回收 處理成本	備考
—	1.55	2.5	71%	0.35	4.68	—	95 年資料
(2.01, 3.25)	1.55	1.97	67.23%	0.10	0.776	2.74	調查值
(2.01, 2.1)	1.55	1.45	90.97%	0.10	1.238	2.68	以 93 年為主推估值
(2.8, 3.25)	1.55	1.73	76.65%	0.10	0.997	2.71	以 94 年為主推估值

資料來源：本研究整理

以下根據表 4-2 針對五項變數（1）～（5）分做說明：

（1）回收清除處理費率 C_f （元/公斤）：求解結果幾乎皆為 1.55 元/公斤，即為本研究給予回收清除處理費率的上限。由於基金來源為回收清除處理費率 C_f ，因此徵收費率上的限制，可能使得求解結果非營業基金 γ 的比率皆降低為 10%。為了驗證這部分的可能性，本研究嘗試以回收清除處理費率 C_f 無任何上限重新求解此模型，部分結果如表 4 所示。11 組結果的回收清除處理費率 C_f 、回收清除處理補貼費率 C_a 以及非營業基金 γ 的比率皆呈現增加的情形。由於本研究並沒有將責任業者期望回收清除處理費率極小的部分列入考慮，因此 C_f 之上限可作為平衡之用。一旦失去此一限制，代表可以無限收取回收清除處理費率，非營業基金比例與回收處理業者之補貼費率隨之增加。雖然此舉會造成回收意願的上升，但上升的幅度極為有限，而回收清除處理費率卻因非營業基金比例的增加卻呈現了大幅度的增長。而非營業基金的部分曾在第三章說明，歐洲各國大多維持在 10%左右的水準，若能增進行政效率，實則沒有必要提升非營業基金之比例。因此本研究在此模型沒有考慮責任業者目標之下，認為應該對於回收清除處理費率 C_f 給予適當之限制。

表 4 混合整數法求解結果（ C_f 無上限）

資源化價值	C_f	C_a	α	γ	$v(\alpha)$	單位回收 處理成本	備考
(2.01, 3.25)	2.01	2.50	68.58%	0.10	0.24	2.74	調查值
(2.01, 2.1)	2.54	1.68	100.00%	0.30	0.98	2.65	以 93 年為主推估值
(2.8, 3.25)	3.09	2.50	82.16%	0.30	0.20	2.70	以 94 年為主推估值

資料來源：本研究整理

- (2) 回收清除處理補貼費率 C_a (元/公斤): 主要考慮回收處理成本及資源化價值給予回收處理業者適當的補貼, 因此十一組求解結果的回收清除處理補貼費率 C_a 皆隨著平均資源化價值的上升而下降, 兩者關係如圖 2 所示。說明一旦廢玻璃容器回收再利用的價值增加, 給予回收處理業者的補貼費率則可以適度的減少。而相較於現行的回收清除處理補貼費率, 11 組資料皆小於現行值 2.5 元/公斤, 也說明在考慮兩階層決策目標以及市場上資源化價值、回收處理成本後, 回收清除處理補貼費率應有減少的空間。

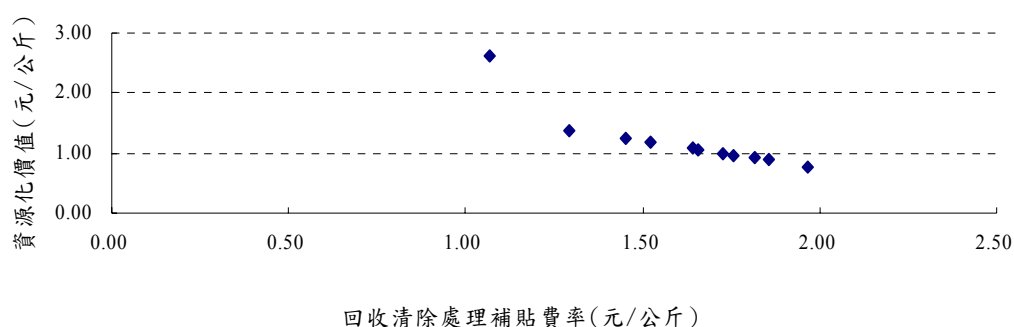


圖 2 回收清除處理補貼費率與資源化價值關係

- (3) 回收率 α (%): 資源化價值的高低是影響回收處理業者願意回收率 α 之重要因素, 將十一組資源化價值函數 $v(\alpha)$ 的斜率, 即二次料市場價格對數量的敏感度整理如表 5 所示。此價格敏感度與回收率的關係列舉部分繪製如圖 3 所示。即隨著市場價格越不敏感, 數量上升時價格下跌越不明顯, 使得回收處理業者回收意願隨之增加。在實際調查值的部分, 由於兩年間回收數量變動僅 5.13%, 資源化價格變動卻高達 61.69% (2.01 元/公斤, 3.25 元/公斤), 顯示價格對於數量十分敏感, 因此調查值最佳解的回收率落到了全部最低的 67.23%。

表 5 資源化價值斜率表

資源化價值	資源化價值斜率
(2.01, 3.25)	-1.63×10^{-7}
(2.01, 2.1)	-1.18×10^{-8}
(2.8, 3.25)	-5.91×10^{-8}

資料來源：本研究整理

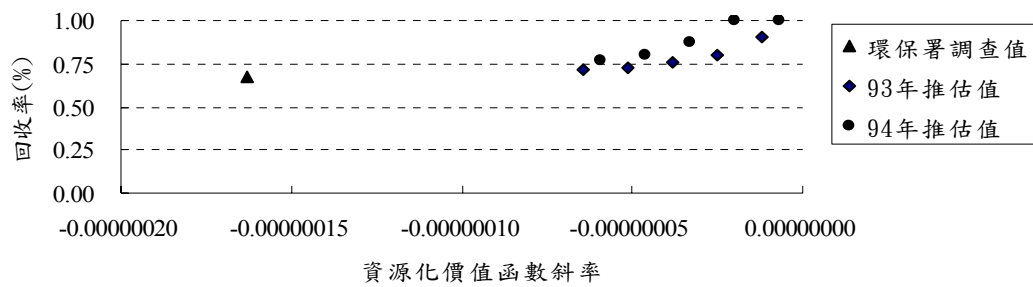


圖 3 資源化價值函數斜率與回收率之關係

- (4) 資源化價值 $v(\alpha)$ ：價格敏感度影響回收處理業者願意回收的比例，同時回收處理量也決定了市場上的資源化價值。如同回收率的最低點落到實際調查值之最佳解結果，整體最佳解之資源化價值最低點也同樣落到了實際調查值之最佳解結果，如圖 4 所示。顯示最佳解中資源化價值的結果也反應了兩組推估值皆隨著斜率越接近 0，即為越不敏感，資源化價值越高。由於玻璃可以完全再生的特性，因此廢玻璃容器再製造的方式為混入新料中生產新品，較難以估計資源化價值。實務上資源化的價值 $v(\alpha_1)$ 沿用 94 年的 4.68 元/公斤，第三章說明本研究使用加權平均法推估後之 94 年資源化價值為 3.25 元/公斤。但經過推估後的函數之最佳解資源化價值皆小於此兩數值，回收清除處理補貼費率 C_a 卻沒有因此而增加。顯示目前之回收清除處理補貼費率實有改善之空間。

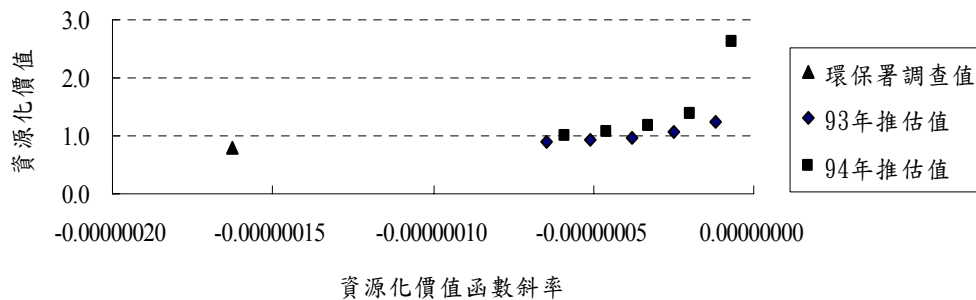


圖 4 資源化價值函數斜率與資源化價值之關係

- (5) 總回收處理成本 $C(\alpha)$ ：在本研究的模型中，回收處理總成本為 α 之函數 $C(\alpha)$ ，平均分攤到回收處理量得到單位回收處理成本與回收率 α 之關係如圖 5 所示。顯示在回收處理廠設備使用率不到百分之百的情況下，隨著回收率的上升，也就是處理量的增加，會使得單位回收處理成本逐漸下降。而單位回收處理成本是影響回收清除處理補貼費率 C_a 的另一個重要因子，因此在設備使用率無完全滿載的情形下，回收量的上升有助於回收處理業者之單位回收處理成本有效降低；除了可提升回收處理業者之利潤外，

相對可以減少對於回收處理業者之補貼。

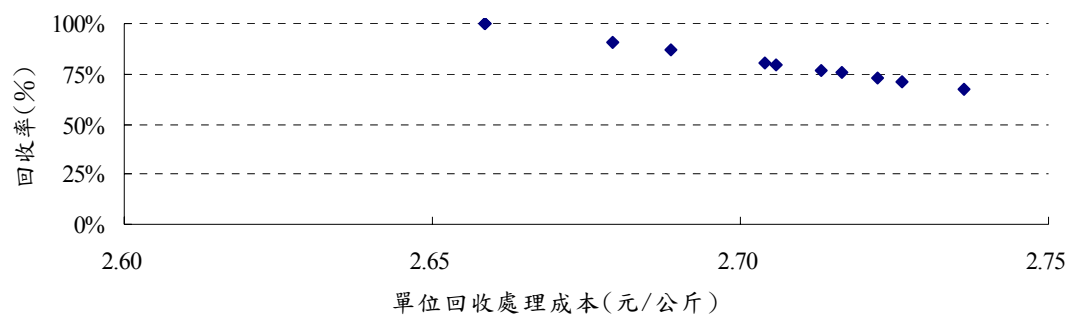


圖 5 單位回收成本與回收率之關係

4.3.2 最佳解結果與現行基金使用比較

由表 6 求解結果及基金使用比例可看出，環保署民 95 廢玻璃容器基金呈現支出大於收入的情形；除了營業基金高達 98%外，非營業基金比例為 68%，亦為基金超過預算之主要原因。雖然此部分可能由於環保署之基金編列預算的方式是以總額的方式呈現，也就是各材質的行政成本並無法於預算中一一獨立出來，因此以重量分攤至各類別之非營業基金時，單位體積較重之廢玻璃容器分擔了較多之行政成本。但本研究之廢玻璃容器回收費率模型最佳解之結果，回收清除處理補貼費率 C_a 皆小於現行費率；非營業基金比例則介於 10%至 12%間，顯示回收清除處理補貼費率與行政成本實則還有減少的空間。

表 6 求解結果及基金使用比例

資源化價值	C_f	C_a	α	基金總 收入 (千元)	營業基金 支出 (千元)	非營業基 金支出 (千元)	營業基 金支出 比例	非營業 基金比 例	備考
—	1.55	2.50	71%	380,865	374,613	258,659	98%	68%	95 年資料
(2.01, 3.25)	1.55	1.97	67%	380,865	325,042	38,086	85%	10%	調查 值
(2.01, 2.1)	1.55	1.45	91%	380,865	325,042	38,086	85%	10%	以 93 年 為主推 估值
(2.8, 3.25)	1.55	1.73	77%	380,865	325,042	38,086	85%	10%	以 94 年為主 推估值

資料來源：本研究整理

4.4 廢玻璃容器回收費率模型參數分析

由於責任業者之決策目標未列入考慮，僅以回收清除處理費率 C_f 之限制取代。在上節經由 0-1 非線性規劃規則轉換後，回收清除處理費率 C_f 之最佳解結果幾乎皆為本研究給予回收清除處理費率的上限，因此除了在 4.3.2 節就回收清除處理費率 C_f 無上限做討論外，分別以回收清除處理費率 C_f 最佳解值範圍上下各推估五組數值求解，以瞭解其他參數之變動情況。第一組(2.01, 3.25)解結果整理如表 7 所示。由圖 6、7 可看出，第一組之參數分析結果，隨著回收清除處理費率之增加，回收清除處理補貼費率亦隨之增加；回收清除處理補貼費率增加後，回收處理業者回收意願提高；回收率提高後，市場資源化價值下降。

表 7 第一組 (2.01, 3.25) 參數分析

C_f	C_a	α	γ	$\nu(\alpha)$	單位回收處理成本 (公斤/元)
1.15	1.49	65.99%	10%	1.26	2.7392
1.25	1.61	66.31%	10%	1.14	2.7385
1.35	1.73	66.61%	10%	1.02	2.7377
1.45	1.85	66.92%	10%	0.90	2.7369
1.55	1.97	67.23%	10%	0.78	2.7362
1.65	2.09	67.53%	10%	0.66	2.7354
1.75	2.20	67.83%	10%	0.54	2.7347
1.85	2.32	68.12%	10%	0.42	2.7340
1.95	2.43	68.42%	10%	0.30	2.7332
2.05	2.50	68.59%	12%	0.24	2.7328

資料來源：本研究整理

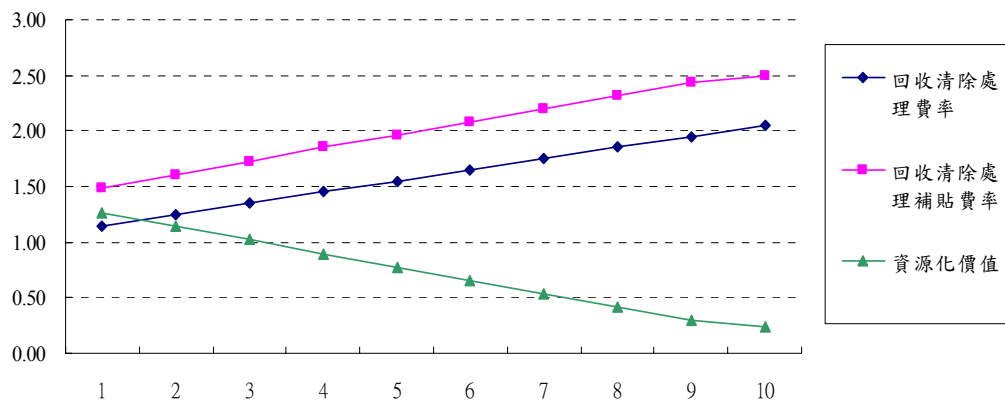


圖 6 費率與資源化價值之關係

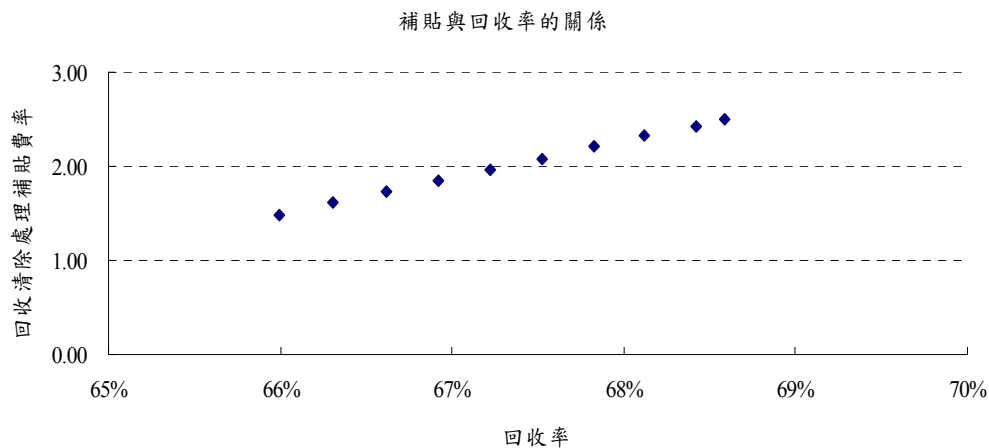


圖 7 費率與回收率之關係

4.5 與現行環保署費率公式之比較

環保署現行之費率公式主要以信託基金運作收支平衡為宗旨，以單一公式計算而得回收清除處理費率 C_f 。本研究則是以兩階層數學規劃分別建立高低階之目標，並具費率互動之特性。所建立之廢玻璃容器回收費率模型在高階（基管會）之目標則除了考慮信託基金運作收支平之外，另外加入環境影響因子，即為未回收未清理成本；且由於回收處理業者之決策為影響回收率之主要因素之一，因此將其列為低階決策者，期能藉由各自之目標決策反應回收市場之真實互動。

基金運作主要是為了補貼廢棄物之資源回收費用，因此回收清除處理總成本為費率公式中最重要之內涵。廢玻璃容器的部分因考量垃圾費部份費用已隨垃圾袋、水費徵收，為避免重複計算收費，垃圾成本以零代之。因此基管會之費率公式及本研究建立之廢玻璃容器回收費率模型皆僅考慮「已回收已清理總成本」及「未回收待清理總成本」兩者。

在「未回收待清理總成本」部分，基管會之費率公式以基管會每年度非營業基金中補助地方政府或相關單位進行環境資源回收之預算為該部份成本數據進行推估，本研究則將此成本分攤至單位未回收待清理量做為環境影響因子。

「已回收已清理總成本」為針對環保署公告之各種廢棄物經相關稽核認證過程後，確實進入環保署資源回收系統加以回收並處理時所需成本。基管會之費率公式內之各項因子如回收成本、處理成本及資源化收益為根據最新調查資料代入而得。本研究則沿用部分調查資料，將回收及處理成本合併為回收處理成本，以經濟學上之生產成本原理建立二次函數，期望看出不同處理量對於回收處理成本之影響；資源化收益的部分，以目前調查資料綜合本研究推估值，建立二次料市場需求函數，希望藉由二次料市場之價格變動，也就是資源化價值的不同，反應回收處理業者之回收意願。

由於回收處理成本以及資源化收益為決定回收清除處理補貼費率 C_a 之主要因素，回收清除處理補貼費率 C_a 更是回收清除處理費率 C_f 徵收後之主要的支出，因此可說回收處理成本及資源化收益間接決定了回收清除處理費率 C_f 。原有的基管會費率公式雖根據最新調查資料代入，但不論是調查或分析過程皆曠日耗時，每年更新調查實屬不易；若在數值上沿用前一年之資料，則未必能符合當年度之資源回收情形，無法正確預估政策推動執行之成效。

因而本研究嘗試以函數的方式表達市場上實際之情形，希望以正確調查之資料找出回收處理成本或是資源化收益的規則性，並依此規則建立正確的函數，藉以模擬市場的真實交易情形。期望依幾年來之資料歸納整理，可向後推估二至三年的市場現象，也可隨時根據最新數據做出合理的修正。

另外，由於此廢玻璃容器回收費率模型將同時決定多個變數，因此責任業者及回收處理業者可藉由變數變化分析不同決策下的結果，以此為目標訂出最佳決策後，可協助落實相關政策執行。因此可知，本廢玻璃容器回收費率模型係按不同階層之決策目標建立，較符合實務上費率之互動情況，有多項優點，可供實務上進行費率制訂時之參考。

五、 結論與建議

本研究則依據資源回收供應鏈中不同決策者之目標與限制制訂兩階層之廢玻璃容器回收費率模型，期能反應真實費率之互動情形並獲致最佳解。綜合本研究最佳解結果之分析，可得到以下之結論與建議。

5.1 結論

本研究分析內容，可得到以下五項結論：

1. 回收清除處理補貼費率 C_a 與資源化價值呈現反向之關係，但皆低於目前回收清除處理補貼費率。

2. 資源化價格敏感度為影響回收處理業者願意回收率 α 之重要因素，同時回收處理量決定了市場上的資源化價值。
3. 在回收處理廠設備使用率不到百分之百的情況下，隨著回收率的上升，也就是處理量的增加，會使得單位回收處理成本逐漸下降。
4. 為瞭解回收清除處理費率 C_f 之變動對於其他參數的影響，進行參數分析，結果說明隨著回收清除處理費率 C_f 之增加，回收清除處理補貼費率 C_a 及回收率 α 也隨之增加。
5. 綜合以上結論，可以說明加入了回收業者之目標為決策變數後，資源化價值和回收處理成本為影響回收清除處理補貼費率 C_a 最重要之因子；而回收清除處理補貼費率 C_a 為徵收回收清除處理費率 C_f 後最主要之支出。因此可說資源化價值以及回收處理成本為決定回收清除處理費率 C_f 之主要內涵。因而本研究建構之模型分析可讓回收處理業者瞭解回收率的提升有助於分攤設備之固定成本，亦可以增加資源化價值營收，進而增加回收意願。

5.2 建議

鑑於本研究分析過程中之假設會影響分析結果，建議可朝以下三個方向繼續研究：

1. 由於資料收集以及研究方法之限制，本研究僅只探討高階（基管會）以及低階（回收處理業者）之兩階層模型，未來可加入責任業者決策目標以三階問題進行研究更能展現此供應鏈中資源回收問題之全貌。
2. 本研究之資源化價值沿用環保署委託調查之資料，僅有兩年數據，且落差甚大，因而本研究自行推估部分數據，且假設資源化價值函數為一次需求函數未必能反映真實市場情形，建議未來研究可針對廢玻璃容器之二次料市場資源化價值加以詳細調查，以期表現市場價格對於回收量變動之真實互動。
3. 本研究以經濟學上之生產成本函數表現回收處理總成本之內涵，但由於資料上之限制，僅假設其為生產成本函數前半段之二次函數；未來可以嘗試其他推估方式以期更加符合回收處理業者之成本隨處理量不同而產生之變動情形。

參考文獻

--(期刊論文)

- Shih, H. S. (2002). An interactive approach for integrated multi-level systems in a fuzzy environment, *Mathl. Comput. Modelling* 36 (4/5), 569-585.
- Shih, H. S., Lai, Y., & Lee, E. S. (1996). Fuzzy Approach for Multi-Level Programming Problems. *Computer Operations Research*, Vol. 23, No. 1, 73-91.
- Shih, H. S., Wen, U.P., Lee, E. S., Lan, K.M., & Hsiao, H.C. (2004). A Neural Network Approach to Multiobjective and Multilevel Programming Problems. *Computers and Mathematics with Applications* 48, 95-108

Wen, U.P., & Hsu, S. T. (1991). Linear Bi-level Programming Problems. *Operational Research Society*, Vol.42, No.2, 125-133.

Wen, U.P., & Wend, W.T. (2000). A primal-dual interior point algorithm for solving bilevel programming problems. *Asia-Pacific J. of Operational Research* 17 (2), 213-231.

--(學位論文)

郭進安 (2000)，**廢一般容器回收清除處理費之收費對象與費率訂定之研究**。

碩士論文，國立清華大學經濟系，新竹。

--(機關出版)

溫麗琪 (1995a)。**應回收廢棄物回收制度與費率架構檢討評估**。行政院環境

保護署 93 年度委託研究計畫，未出版。

溫麗琪 (1995 b)。**廢棄物回收處理費之回收處理市場及誘因效果**。人文及社

會科學集刊，第十七卷第三期 (94/9)，491-520。

溫麗琪 (1996)，**應回收廢棄物責任業者範圍界定與費率因子檢討評估**。行政

院環境保護署 94 年度委託研究計畫，未出版。

溫麗琪 (1997)，**應回收廢棄物回收清除處理成本調查分析及費率訂定計劃**。

行政院環境保護署 95 年度委託研究計畫，未出版。

溫麗琪 (1998)，**資源回收費率審議委員會議運作及回收清除處理費率架構檢**

討計畫。行政院環境保護署 96 年度委託研究計畫，未出版。

--(一般書籍)

Lee, E.S. & Shih, H. S. (2001). *Fuzzy and Multi-Level Decision Making: An Interactive Computational Approach*. London: Spring-Verlag.

--(網路資源)

Reverse Logistics Executive Council. (n.d.). *What is Reverse Logistics?* Retrieved

February 15, 2008 from

<http://www.rlec.org/glossary.html>