

考慮回收品具價格敏感特性之閉迴路整合存貨系統

Integrated manufacturer-retailer closed-loop inventory system considering the price sensitivity for returns

游兆鵬 葉妍伶

德明財經科技大學

流通管理系

jonasyu@takming.edu.tw

摘要

本研究考慮回收再製造之逆物流系統，考慮單一製造商與零售商，其相關成本有：製造商完成品之持有及設置成本，製造商回收材料之持有及回收成本，製造商新材料之持有、訂購成本及購買成本，零售商之持有、訂購及購買成本等。回收再製造之逆物流系統在日常生活中實為常見，譬如容器回收再填充、米酒瓶、瓦斯鋼瓶及氧氣瓶、航運貨櫃或電器用品回收再製造，皆屬回收再製造品。本研究主要目的在求系統的最佳化並假設需求及製造率為常數，回收定為非線性，變數有製造與再製造量、每生產週期的新材料及完成品交貨批次及回收品之定價。使用簡單有效率的最佳化求解法來求得最佳解，並經由數值範例、敏感度分析以驗證本研究提出之整合存貨模式。

關鍵詞：回收、再製造、逆物流系統、整合存貨模式。

Abstract

This study considers the recycling and refinancing logistics system, taking into account the costs of the single manufacturer and retailer, the cost of holding and setting up the finished product, the holding and recycling costs of the manufacturer's recycled materials, and the manufacturer's new material Holding costs, purchase costs, retailer holdings, ordering and purchase costs. Recycling and Remanufacturing Logistics systems are common in daily life, such as container recycling and refilling, rice bottles, gas cylinders and oxygen cylinders, shipping containers or electrical appliances for recycling and remanufacturing. The main purpose of this study is to optimize the system and assume that the demand and manufacturing rate are constant, the recovery is non-linear, the variable has the manufacturing and remanufacturing quantity, the new material of each production cycle and the finished product delivery batch and the recovered product The pricing. The optimal solution is obtained by using the simple and efficient optimization method, and the numerical model and sensitivity analysis are used to verify the integrated inventory model proposed by this study.

Keywords: recycling, remanufacturing, reverse logistics system, integrated inventory model.

* 本研究接受科技部編號：MOST 105-2410-H-147 -009 -MY2 研究計畫經費補助

1. 前言

1.1 研究背景、動機與目的

傳統的經濟生產數量 (Economic Production Quantity, EPQ) 其假設皆建立在完美品質的假設情境下，目前雖仍被廣泛應用，卻不適用於產業實務生產系統的真實情境，乃因製造商不論傳統的製程或現代較複雜先進的科技機器之應用，製程中的在製品或製程結束後的成品皆有可能發生產品品質瑕疵的問題，雖透過嚴格品管能降低瑕疵品的比率，但結果仍無法達到傳統 EPQ 的完美狀態。例如，在先進的紡織產業，製造商為增加產能及較佳品質的產出，引進由電腦操控的機器設備，當生產率增加至某特定水準時，機器當機或損壞的機率便開始增加，這些原因包括生產流程中機器本身的耗損、零件毀損、人員不良的操作等等，會導致產出不符品質規格的產品 (Chiu et al., 2004; Sana, 2010)。然而，因為昂貴原料的輸入，這些不符品質規格的瑕疵品仍具相當的價值。因此，基於成本考量，製造商允許這類瑕疵品進行重工變成良品以供使用。此外產品檢驗的流程是必要的，因為它是取得產品品質表現及生產設備之利用等資訊的重要方式。

2.

獻探討

高和喬等人(2002-2007)提出可重複使用物品的最佳新產品訂購和使用產品回收之方案。彭卓英(2009)價格敏感需求之封閉式供應鏈存貨系統最佳化文獻，以正逆物流角度從時間週期 $T1$ & $T2$ 及 $(1-r)$ 回收率導出回收物流之相關成本式導得出，再考慮價格敏感需求的情況下最小化的最佳化，屬於非線性問題模式，無限生產率下正逆物流存貨模式，其中提出回收率愈大，則經濟定量愈小，亦即回收料用愈多，新物料採購量愈小藉此導出製造，再製造封閉迴路存貨系統，之最佳利潤，即相關總成本最小化，利潤最大化亦即舊貨收購量增大造成擠壓新料訂量空間使其訂購量變小，由此達到綠色供應鏈目標。本研究從回收報廢率起，至回收率再推出新製造品與回收再製造品整合總量之分配式，正可提供從逆物流方向之另一觀點。

高亞等(2007)提出 CLSC 在系統視圖(再利用

回收品之一般訂購策略)，包括生產成本結構，回報率等方面的限制。楊伯中和張懿曜(2007)提出價格敏感需求的耗損品經濟批量模式，黃貞元(2007)提出考慮回收率之逆物流存貨模式之最佳訂購批量與最佳回收再製造批量。彭卓英(2009)提出價格敏感需求之封閉式供應鏈存貨系統最佳化(不同製造環境之製造與再製造策略)。Kabirian (2011)，學者提供之模型，同時由批量/售價之作業中，提高收入，使最大化，並以製造成本為製造批量與定價之模型論文提出經濟化製造與定價模式。文中列出售價和批量為決策變數且和持有成本，設置成本及變動製造成本之成本結構對應，並於研究中得出幾要點即：每一製作期都已包括設置和持有成本項，而變動製造成本則受當時需求量的影響而變動，又當同時作業量和價時，可將收入最大化。本研究將變數設於新料生產批量，回收料生產批量，回收料收購單價零售價，回收主要受商品之可循環性之影響。

表 1. 閉迴路供應鏈管理文獻整理

學者	時間	相關文獻
Clark, A. J., Scarf, H.	1960	Optimal policies for a multi-echelon inventory problem.
Banerjee, A.	1986	A joint economic lot size for purchaser and vendor.
Goyal, S. K.	1988	Extended Banerjee's model by relaxing the lot-for-lot production assumption.
Goyal, S. K.	1988	Goyal, S. K., 1988. A joint economic lot size model for purchaser and vendor: A comment.
Wee, H. M., Jong, J. F.	1998	An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating items.
Yang, P. C., Wee, H. M.	2002	A single-vendor and multiple-buyers production-inventory policy for a deteriorating item.
Koh, S. G., Hwang, H., Sohn, K. I., Ko, C. S.	2002	An optimal ordering and recovery policy for a reusable item.
Yang, P. C., Wee, H. M.	2003	An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating item.
Choi, D. W., Hwang, H., Koh, S. G.	2007	A generalized ordering and recovery policy for reusable items.
Rubio, S., Corominas, A.	2008	Optimal manufacturing-remanufacturing policies in a production environment.
Chung, S. L., Wee, H. M., Yang, P. C.	2008	Optimal policy for a closed-loop supply chain inventory system with remanufacturing.
Jaber, M. Y., and Saadany, A. M. A. E.	2009	The production, remanufacture and waste disposal model with lost sales.
Yang, P. C., Wee, H. M., Chung, S. L., Ho, P. C.	2010	Sequential and global optimization for a closed-loop deteriorating inventory supply chain.
Feng, Y., Viswanathan, S.	2011	A new lot-sizing heuristic for manufacturing systems with product recovery.
Shi, J., Zhang, G., Sha, J.	2011	Optimal production and pricing policy for a closed loop system.
楊伯中和張懿曜	2007	價格敏感需求的耗損品經濟批量模式
黃貞元	2007	考慮回收率之逆物流存貨模式之最佳訂購批量與最佳回收再製造批量
彭卓英	2009	價格敏感需求之封閉式供應鏈存貨系統最佳化

3. 數學模型

本研究討論單一製造商及單一零售商模型，主要由製造(新材料, 回收材料及完成品)透過再製造整理流程，將持續使用回收再利用品，降低成本，提高獲利，如圖 1 所示。

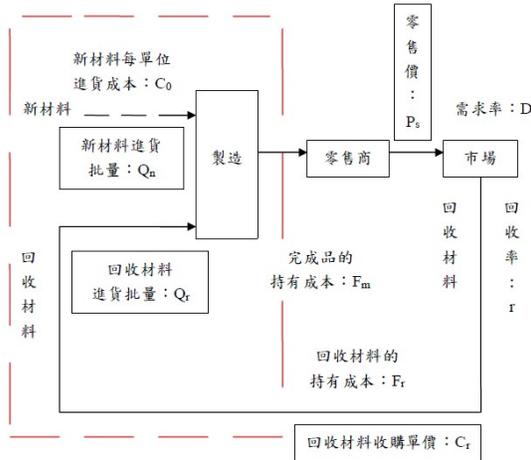


圖 1. 封閉迴路製造/再製造供應鏈系統圖。

3.1 參數符號說明

零售商		
D : (年)需求率。	Q_s : 零售商進貨批量。	F_s : 每件每年持有成本。
P_s : 零售價(決策變數)	P_m : 進貨價(對製造商而言是批發價)。	C_{os} : 每次訂購成本。
製造商(完成品)		
R : 製造率。	P_m : 進貨價(批發價)。	F_m : (完成品)每件每年持有成本。
C_{om} : 每次設置成本。	N_s : 每週期完成品出貨次數。(決策變數)(正整數)	
製造商(新材料)		
F_n : 每件每年持有成本。	N_n : 每生產週期進貨批量。(決策變數)(正整數)	
C_{on} : 每次訂購成本。	Q_n : 每生產週期進貨批量。(決策變數)	C_n : 新材料單位進貨成本
製造商(回收)		
r : 回收率。	Q_r : 每生產週期進貨批量。	F_r : 每件每年持有成本。
C_r : 單位回收成本。(決策變數)(包含報廢率)		$e^{(B, C_r)}$: 非線性曲線
其他符號		
TC_m : 製造商的總成本。	TC_s : 零售商的總成本。	TP_m : 製造商的總利潤。
TP_s : 零售商的總利潤。	TP : 系統的總利潤。	

3.2 基本假設

1. 單一製造商及零售商。

- 回收材料經整理後，視同為新材料。
- 多個完成品使用新材料的單位用量為 1。
- 各零售商的補貨區間相同。
- 製造率，需求率為已知常數(製造率 > 需求率)。
- 回收率為非線性。
- 不允許缺貨。
- 不考慮數量折扣。
- 考慮新材料與回收材料一起投入製程生產。
- 每次設置成本及每元每年的持有成本為已知常數。
- 考慮單一產品。
- 單位生產成本為常數。
- 將報廢率考慮到回收成本。

3.3 模式推導

如上述圖 1 所示新材料與回收材料在製造商/零售商之封閉迴路系統之生產流程而新材料由供應商提供，回收材料由市場提供，隨市場到回收之回收材料經過檢修流程後視同新品，再將兩種材料同時送進生產線，完成品、新材料及回收材料之存貨量，繪於圖 2 所示。

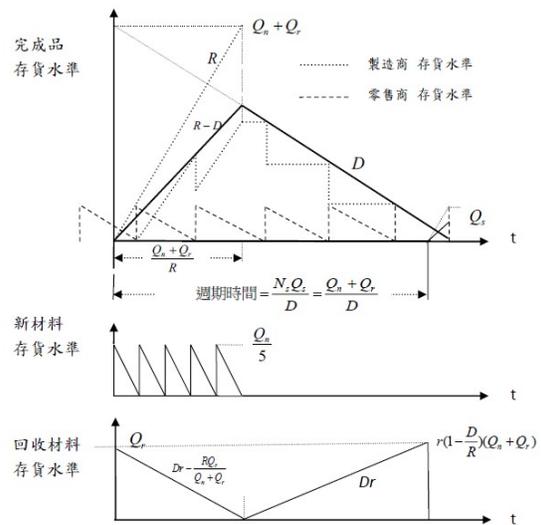


圖 2. 不允許缺貨的 EPQ 模式。

零售商總利潤為：

$$TP_s = P_s D - P_m D - \frac{Q_s}{2} F_s - \frac{D}{Q_s} C_{os} \quad (1)$$

由上述(4.1)所示右側之第一項為銷售收入，第二

項為購買成本，第三項為持有成本，第四項為訂購成本。

製造商新材料每年相關成本式為：

$$\frac{D}{Q_n} C_{on} N_n + \frac{Q_n D F_n}{2 N_n R} + C_n D \frac{Q_n}{Q_n + Q_r} \quad (2)$$

製造週期時間為 $\frac{Q_n + Q_r}{D}$ ，以及年度平均存貨水準

$$\frac{Q_n}{2 N_n} \frac{Q_n + Q_r}{R} / \left(\frac{Q_n + Q_r}{D} \right) = \frac{Q_n D}{2 N_n R}$$

第一、第二及第三項(2)分別為訂購、持有及購買成本。

製造商之回收材料相關成本式為：

$$\frac{1}{2} \left[r \left(1 - \frac{D}{R} \right) (Q_n + Q_r) \right] F_r + C_r D r \quad (3)$$

第一及第二項分別為持有及回收成本。

製造商之完成品相關成本式為：

$$\frac{Q_s}{2} \left[(N_s - 1) \left(1 - \frac{D}{R} \right) + \frac{D}{R} \right] F_m + \frac{D}{Q_n + Q_r} C_{om} \quad (4)$$

由 Yang 和 Wee (2007)，製造商之完成品平均存貨水平為 $\frac{Q_s}{2} \left[(N_s - 1) \left(1 - \frac{D}{R} \right) + \frac{D}{R} \right]$ ，(4)式中第一及第二項分別為持有及設置成本。

製造商之總利潤，為(2)，(3)，(4)之總和，亦即：

$$(5)$$

由上述(5)所示右側之第一項為銷售收入，減去(2)、(3)及(4)式相關成本，則導出(5)式。

將零售商和製造商分別以系統利潤求最佳化，如下式：

$$\begin{aligned} \text{Max } TP &= TP_m + TP_s \\ &= P_s D - \frac{Q_s}{2} F_s - \frac{D}{Q_s} C_{os} - \left\{ \frac{1}{2} \left[r \left(1 - \frac{D}{R} \right) (Q_n + Q_r) \right] F_r + C_r D r \right\} \\ &\quad - \left\{ \frac{Q_s}{2} \left[(N_s - 1) \left(1 - \frac{D}{R} \right) + \frac{D}{R} \right] F_m + \frac{D}{Q_n + Q_r} C_{om} \right\} \\ &\quad - \left[\frac{D}{Q_n} C_{on} N_n + \frac{Q_n D F_n}{2 N_n R} + C_n D \frac{Q_n}{Q_n + Q_r} \right] \end{aligned} \quad (6)$$

受限於 $C_r > 0$

$$r = 1 - \exp(-B_r C_r), \quad 0 \leq r \leq 1 \quad (7)$$

$$Q_r = N_s Q_s r \quad (8)$$

$$Q_n = N_s Q_s (1 - r) \quad (9)$$

$$N_n, N_s \text{ 是正整數} \quad (10)$$

回收率依照回收材料之回收價受(7)限制條件且

$B_r > 0$ 才可形成線性現象。限制條件(8)和(9)之狀態，分為以下為兩種關係：

1. 在一個生產週期時間內，新材料及回收材料進貨批量總合等於在一個生產週期，零售商向製造商進貨數量： $Q_s * N_s$ 。

2. 新材料及回收材料批量比式為 $r : (1 - r)$ ，亦即 $Q_r : Q_n = r : (1 - r)$ ，將(7)、(8)及(9)式代入(6)式，(6)式內含五個獨立決策變數。

求解過程如下：

步驟一：將(7)、(8)及(9)式代入(6)式，求出以下聯立方程式：

$$\left\{ \frac{\partial}{\partial N_n} TP = 0, \quad \frac{\partial}{\partial N_s} TP = 0, \quad \frac{\partial}{\partial C_r} TP = 0, \quad \frac{\partial}{\partial Q_s} TP = 0 \right.$$

步驟二：將聯立方程式設如下

$$\left\{ \frac{d}{dC_r} TP = 0, \quad \frac{d}{dQ_s} TP = 0 \right\}$$

則可得出求解目標範圍值，且令 $\{N_n, N_s\}$ 為正整數，則(4.6)式可求出整體總利潤。

步驟三：最佳值 $\{N_n, N_s\}$ ，必須滿足下列條件：

$$\begin{aligned} TP(N_n - 1, N_s, Q_s, C_r) \\ \leq TP(N_n, N_s, Q_s, C_r) \\ \geq TP(N_n + 1, N_s, Q_s, C_r) \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} TP(N_n, N_s - 1, Q_s, C_r) \\ \leq TP(N_n, N_s, Q_s, C_r) \\ \geq TP(N_n, N_s + 1, Q_s, C_r) \end{aligned} \quad (12)$$

3.4 數值範例

為了解推導之演算式，與市場實際運作情形，本研究擇取日常生活息息相關的回收商品(米酒瓶)為引進行探討。由於米酒瓶日常生活高度使用率，為了節省經營成本，減少垃圾量，資源充分再利用，將回收品處理後視同新材料之充填再銷售。以下為其相關計算之數據。其年度用量為需求率 1 萬，零售價 50 元，(零售商)每件每年持有成本 6 元，(零售商)進貨價 20 元，(零售商)每次訂購成

本 200 元，(製造商)製造率 3 萬件，(完成品)每件每年持有成本 4 元，(完成品)每次設置成本 2000 元，(新材料)每件每年持有成本 3 元，(新材料)單位購買成本 8 元，(新材料)每次訂購成本 8 元，(回收材料)每件每年持有成本 1.4 元，(回收率)之價格敏感係數 0.2。

N_n	N_s	Q_r	Q_s	Q_n	C_r	TP_s	TP_m	TP
4.676	3.871	1714	926	1871	3.25171	295062	131762	426824

表 1. 新材料/完成品進貨次數之計算結果(決策變數為實數)

根據求解過程得出如表 4.1 所示:將 N_n 、 N_s 假設附近之正整數並代入數據找出 TP 最大者為最佳解，如表 2。

N_n	N_s	Q_r	Q_s	Q_n	C_r	TP_s	TP_m	TP
5	3	1601	1116	1748	3.25193	294859	131859	426719
*5	*4	1731	906	1891	3.24964	295075	131747	426822
5	5	1839	770	2011	3.24761	295093	131629	426722
4	4	1724	901	1878	3.25567	295077	131739	426817
3	4	1714	894	1861	3.26380	295081	131701	426782

表 2. 新材料/完成品進貨次數之計算結果(決策變數為正整數)

3.5 敏感度分析

表 3. 需求尺度係數之敏感度分析

B_r	N_n	N_s	Q_r	Q_s	Q_n	C_r	TP_s	TP_m	TP
0.14	6	4	1395	915	2266	3.42716	295069	126641	421710
0.16	5	4	1515	909	2121	3.36922	295073	128447	423520
0.18	5	4	1628	907	2001	3.30850	295074	130147	425221
0.20	5	4	1731	906	1891	3.24964	295075	131747	426822
0.22	4	4	1817	899	1780	3.19871	295078	133252	428330
0.24	4	4	1903	898	1689	3.14352	295079	134679	429758
0.26	4	4	1981	897	1607	3.09005	295079	136028	431107

改變 B_r 參數加減 10%、20%及 30%，列出敏感度分析之結果如表 3 所示。

表 4. 新材料單位購買成本之敏感度分析

C_n	N_n	N_s	Q_r	Q_s	Q_n	C_r	TP_s	TP_m	TP
5	6	4	1281	917	2389	2.14691	295068	149231	444298
6	6	4	1453	914	2205	2.53017	295070	142965	438034
7	5	4	1598	908	2033	2.90055	295074	137154	432228
8	5	4	1731	906	1891	3.24964	295075	131747	426822
9	4	4	1842	899	1754	3.58938	295078	126695	421774
10	4	4	1947	897	1643	3.90861	295079	121970	417050
11	4	4	2042	896	1543	4.21431	295080	117532	412611

回收價格敏感係數越大，回收率越大，回收收購之良品<不良品，回收價 C_r 下降，此時製造商使用回收材料較多，新材料較少，隨新材料進貨批次及回收價變少，減少訂購及購買成本之負擔，故以廉價出貨給零售商，造成製造商及零售商雙方獲利，對整體利潤呈提升趨勢。

改變 C_n 參數加減 12.5%、25%及 37.5%，列出敏感度分析之結果如表 4 所示。新材料單位購買成本越高，回收率越大，製造商使用回收材料較多，新材料較少，隨新材料單位購買、回收進貨批量及回收價變多，增加購買成本及存貨之負擔，故以廉價出貨給零售商，造成零售商獲利，製造商虧損，對整體利潤呈下降趨勢。

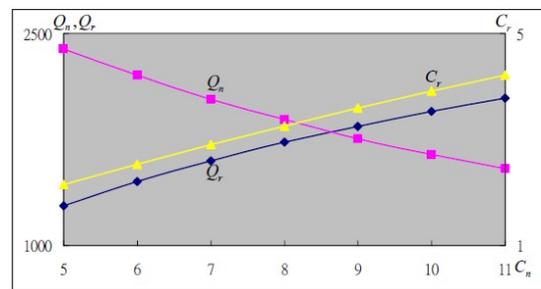


圖 3. 新材料單位購買成本與進貨批量之敏感度分析

根據表 4 新材料單位進貨成本越大，回收價越大，需求越小，回收量增加，故當新材料單位進貨成本超過 9 元時，(新材料)進貨批量呈縮減現象。

表 5. 回收價之敏感度分析

C_r	N_n	N_s	Q_r	Q_s	Q_n	TP_s	TP_m	TP
0.6	8	4	426	942	3340	295051	118064	413116
1.2	7	4	794	931	2928	295059	124023	419082
1.8	6	4	1113	921	2569	295066	128096	423162
2.4	6	4	1396	915	2266	295069	130562	425631
3.0	5	4	1637	907	1991	295074	131650	426724
3.24963	5	4	1731.336	905.670761	1891.346	295074.6797021	131746.94392	426821.6236270
3.24964	5	4	1731.340	905.670697	1891.341	295074.6797381	131746.94388	426821.6236272
3.24965	5	4	1731.344	905.670651	1891.338	295074.6797639	131746.94386	426821.6236271
3.6	4	4	1845	899	1750	295078	131563	426641
4.2	4	4	2038	896	1548	295080	130483	425562
4.8	3	4	2192	888	1360	295084	128547	423630

改變 C_r 參數加減 0.6 元、1.2 元及 1.8 元..等，列出敏感度分析之結果如表 5 所示。若回收價越低，對製造商而言，有利於製造，不利於回收，故新材料變多，回收材料變少，由於新材料進貨批次變高，而付出訂購成本變多，造成製造商虧本，總獲利下降，若回收價越高，對製造商而言，有利於回收，不利於製造，故新材料變少，回收材料變多，由於新材料進貨批次變低，而付出訂購成本變少，故大批進貨反而產生大量存貨，造成製造商獲利微增，由上述得知，當回收價太多及太少，將容易造成虧本及獲利不佳..等情況，為了達成獲利最高及無虧本，根據表 5 結果，說明如下:當回收價在 3.24964 元，新材料進貨批次以每 5 批出貨，完成品進貨批次以每 4 批進貨，新材料進貨批量為 1891 個，回收材料進貨批量為 1731 個時，整體最利潤為最好。

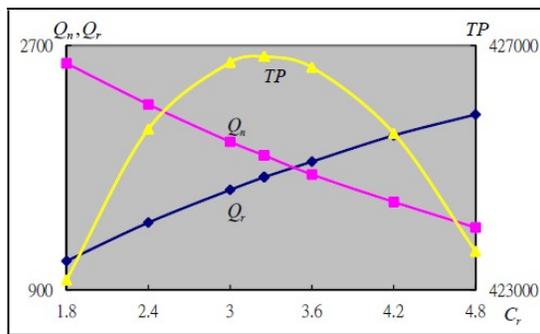


圖 4. 回收價與進貨批量之敏感度分析

根據表 5. 回收價越小，市場收購困難，回收價越大，回收材料供應量過盛，當回收價在 3.24964 塊，(回收材料)進貨批量在 1731 個及(新材料)進貨批量在 1891 個時，利潤最多。

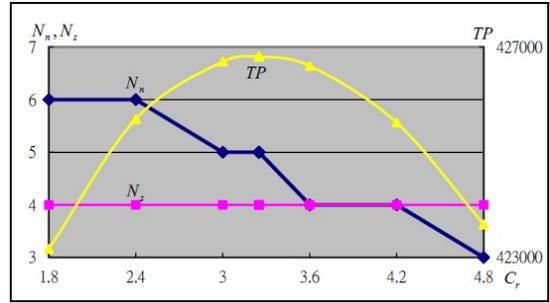


圖 5. 回收價與進出貨批次之敏感度分析

根據表 5. 回收價越小，市場收購困難，回收價越大，回收材料供應量過盛，當回收價在 3.24964 塊，(新材料)進貨批次在每批 5 次，(完成品)進貨批次在每批 4 次時，利潤最多。

	有整合有回收	有整合無回收	無整合有回收	無整合無回收
N_n	5	10	4	10
N_s	4	4	4	5
Q_r	1731	-----	1564	-----
Q_s	906	957	816	816
Q_n	1891	3827	1702	4082
C_r	3.24964	-----	3.25844	0
TP_s	295075	295039	295101	295101
TP_m	131747	109909	131640	109802
TP	426822	404948	426741	404903
TP ratio	105.41%	100.01%	105.39%	100%

表 6. 有無考慮整合及回收之比較表

4. 結論

本研究考慮彭卓英(2009)價格敏感需求之封閉式供應鏈存貨系統最佳化及 Alireza Kabirian 以製造成本為製造批量與定價之模型延伸為回收再造之模型中，從探討最佳化，合理的假設與條件範圍限制，找出最佳數據，達到成本最小，利潤最大化。整合上兩篇論文中與在製造相關要點在作業價和量時把收入最大化，作業回收價使回收量變大進而造成新料訂量減少。最後得到以下結論：

1. 考慮回收時其總利潤為\$426,822 元，比無考慮回收時其總利潤為\$404,948 元選佳。
2. 回收價從 0 到 4.8，有考慮回收的總利潤比沒

考慮回收總利潤大。(回收價超過 4.86 為不可行範圍)

3. 當 C_r 開始增加時，總利潤隨之增加，當 C_r 到達 \$1.88024 元其總利潤為 \$5,106,960 元此時總利潤最大，若 P_s 超過 \$1.88024 元，其總利潤逐漸下降。
4. 當需求價格敏感係數 B_s 變大時，需求變小，新材料進貨批次 N_n 和完成品出貨批次 N_s
5. 零售商進貨批量 Q_n 變小，總利潤變小。
6. 當回收價格敏感係數 B_r 變大時，回收率 r 變大，回收量變多，新材料進貨批次 N_n 變小，總利潤變大。

文獻參考

中文文獻

1. 楊伯中，張懿曜，2007，價格敏感需求的耗損品經濟批量模式，聖約翰科技大學，自動化及機電整合研究所碩士學位論文。
 2. 黃貞元，2007，考慮回收率之逆物流存貨模式之最佳訂購批量與最佳回收再製造批量，國立雲林科技大學，全球運籌管理研究所碩士學位論文。
 3. 彭卓英，2009，價格敏感需求之封閉式供應鏈存貨系統最佳化，聖約翰科技大學，工業工程與管理系碩士學位論文。
 4. 張君龍，1998，中衛簡訊 138 期。
- Banerjee, A., 1986. A joint economic lot size for purchaser and vendor. *Decision Science* 17 (3), 292-311.
- Chung, S. L., Wee, H. M., Yang, P. C., 2008. Optimal policy for a closed-loop supply chain inventory system with remanufacturing. *Mathematical and Computer Modeling*. 48, 867-881.
- Choi, D. W., Hwang, H., Koh, S. G., 2007. A generalized ordering and recovery policy for reusable items. *European Journal of Operational Research* 182 (2), 764-74.
- Clark, A. J., Scarf, H., 1960. Optimal policies for a

multi-echelon inventory problem. *Management Science* 6 (4), 475-490.

- Feng, Y., Viswanathan, S., 2011. A new lot-sizing heuristic for manufacturing systems with product recovery. *International Journal of Production Economics* 133, 432-438.
- Goyal, S. K., 1988. A joint economic lot size model for purchaser and vendor: A comment. *Decision Sciences* 19 (1), 236-241.
- Jaber, M. Y., and Saadany, A. M. A. E., 2009. The production, remanufacture and waste disposal model with lost sales. *International Journal of Production Economics* 120, 115-124.
- Koh, S. G., Hwang, H., Sohn, K. I., Ko, C. S., 2002. An optimal ordering and recovery policy for a reusable items. *Computers & Industrial Engineering* 43, 59-73.
- Rubio, S., Corominas, A., 2008. Optimal manufacturing-remanufacturing policies in a lean production environment. *Computers & Industrial Engineering* 55 (1), 234-42.
- Shi, J., Zhang, G., Sha, J., 2011. Optimal production and pricing policy for a closed loop system. *Resource, Conservation and Recycling* 55, 639-647.
- Wee, H. M., Jong, J. F., 1998. An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating items. *Management and Systems* 5, 97-114.
- Yang, P. C., Wee, H. M., 2002. A single-vendor and multiple-buyers production-inventory policy for a deteriorating items. *European Journal of Operational Research*. 143 (3), 570-581.
- Yang, P. C., Wee, H. M. 2007. Global optimal policy for vendor-buyer integrated inventory system within just in time environment. *Journal of Global Optimization*, 37 (4), 505-511.
- Yang, P. C., Wee, H. M., 2003. An integrated

- multi-lot-size production inventory model for deteriorating item. *Computer & Operations Research*. 30, 671-682.
- Yang, P. C., Wee, H. M., Chung, S. L., Ho, P. C., 2010. Sequential and global optimization for a closed-loop deteriorating inventory supply chain. *Mathematical and Computer Modelling* 52 (1-2), 161-176.
- Yang, P. C., Chung, S. L., Wee, H. M., Zahara, E., Peng, C. Y. 2013. Collaboration for a closed-loop deteriorating inventory supply chain with multi-retailer and price-sensitive demand. *International Journal of Production Economics* 143, 557-566.