

供應鏈延遲策略成本模式之個案研究—以台灣銅片產業為例

A Case Study on the Taiwan Copper Manufacturing Industry from the Cost and Benefit Model of Postponement

蔡坤穆¹ Kune-Muh Tsai
國立高雄第一科技大學運籌管理系

陳榮宏² Jung-Hung Chen
國立高雄第一科技大學管理研究所

¹Department of Logistics, National Kaohsiung First University of Science and Technology and ²Graduate Institute of Management, National Kaohsiung First University of Science and Technology

(Received June 22, 2007; Final Version May 5, 2008)

摘要：因應市場對於低成本與快速回應的需求，企業需具備提供大量顧客化商品的能力，其中延遲策略即是企業供應鏈管理活動中，重要的一種運作模式。本研究以 Lee and Tang (1997) 提出的延遲策略成本模式為基礎，評估國內一家大型銅片製造商推動製造延遲與物流延遲的成本效益，並加入缺貨成本及半成品滯留成本兩項因子，使模式更能適用於本案例公司實務上的應用。在分析本案例公司整體生產與銷售環境後發現，該公司適合以標準化及共同化的方式，實施製造延遲，以降低存貨成本；同時，物流延遲的推動，使公司得以利用時間與空間的效用，快速回應顧客的需求。本研究根據該公司實際作業上的成本資料表、產品規格分析、流程結構分析，以及相關延遲理論，選擇適當的延遲差異點，以便能更有效益地實施延遲作業。研究發現，製造延遲與物流延遲不僅可使存貨持有成本下降，更可因反應時間縮短，而提高顧客服務水準並降低缺貨的成本。

關鍵詞：製造延遲、物流延遲、延遲理論、銅片製造業

Abstract: To respond to the variant market demand promptly with low cost, companies need to possess with mass customization capability, and postponement is regarded as one of the basic strategies for the purpose. The model for the costs and benefits of delayed product differentiation developed by Lee and Tang (1997) is used as the basic model for the case study to evaluate performances after applying postponement in a local large copper manufacturer. During the application stage, we find the model is not complete for the analysis, and the shortage costs and semi-finished product inventory costs are supplemented to the model to reflect the actual industry situation and the unavoidable necessity. After thorough investigation of the case company, we conclude that with standardization and commonality of their products, manufacturing postponement is suitable for the production line, and logistics postponement is beneficial as well to make use of the time and space utility. We scrupulously define the decoupling points for the postponement and obtain variable values of the model by studying the cost structure, product specialization and process characterization of the company. We conclude that both manufacturing and logistics postponement can help reduce inventory carrying costs and shorten customer order lead time to achieve high service level with lower shortage costs.

Keywords: Manufacturing Postponement, Logistics Postponement, Postponement Theory, Copper Manufacturing

1. 導論

消費需求的改變以及全球化的競爭，使得企業為維持競爭力，必須要能夠快速且低成本的提供大量顧客化 (mass customization) 的產品，以滿足顧客多樣性的需求 (Ernst and Kamrad, 2000; Su *et al.*, 2005)。對製造商而言，以模組化 (modularization) 與延遲 (postponement) 策略配合企業供應鏈的運作，即是因應此種市場需求的一種管理模式的改變 (Ernst and Kamrad, 2000; Su *et al.*, 2005; van Hoek *et al.*, 1998; Zinn and Bowersox, 1998)。Zinn and Bowersox (1988) 認為延遲策略的運用，即是要將顧客產品的差異點，儘可能的延後至收到顧客的訂單。透過延遲策略的適當應用，企業不僅能夠加快對市場的反應速度，也能減少生產出市場不需要的成品存貨 (Ernst and Kamrad, 2000; Su *et al.*, 2005; van Hoek *et al.*, 1998; Youssef *et al.*, 2004)。有相當多的企業運用模組化設計的概念，將儲存式生產 (make-to-stock, MTS) 與訂單式生產 (make-to-order, MTO) 兩種生產策略結合，並於製造系統中進行不同程度的製造延遲 (Hon *et al.*, 2000; Huang and Lo, 2003; Partanen and Haapasalo, 2004; Youssef *et al.*, 2004)。此種結合MTS與MTO的生產系

統，其上游的零組件依據預估的需求 (speculation)，以MTS策略生產並儲存於MTS與MTO分離點(decoupling point, DP)，而後根據市場需求的訂單進行MTO策略生產 (Youssef *et al.*, 2004)。由流程進行的角度來看，MTS屬於推式流程 (push process)，MTO則為拉式流程 (pull process)，因此，DP也可視為推式流程與拉式流程的分界點，也是適合設置延遲差異點的所在 (Hoekstra and Romme, 1992; van Donk, 2001)。圖1為此種結合MTS與MTO生產方式及DP位置的示意圖，在差異化製程中，可產出市場所需的不同商品，如Pa, Pb與Pc。實際上，在整個生產過程中，DP的位置會隨著市場需求、目標市場的服務水準，以及訂單前置時間等的不同，而往下游或上游移動 (Hoekstra and Romme, 1992; Ma *et al.*, 2002; van Donk, 2001)。

目前已有一些研究以個案的方式，來分析延遲策略推動的方式及獲得的成效 (如：Cooper, 1993; Feitzinger and Lee, 1997; Hon *et al.*, 2000; Huang and Lo, 2003; Lee *et al.*, 1993; van Hoek, 1997, van Hoek *et al.*, 1998)。然而，此等研究大多只著重報導採用延遲策略的產業及廠商，或僅以案例方式說明延遲策略實施的狀況，並未進一步分析實施延遲策略對於公司在數值上的效益。這樣的結果，只能協助廠商在策略層級方面的決策 (strategic level)，而無法在作業層級 (operational level) 上提供廠商更進一步分析的方式與效益的評估 (van Hoek, 2001)。因此，對有意實施延遲策略的廠商而言，其研究的結果在實務上的參考價值貢獻不大。

巫誠恩 (民 90) 在研究銅片產業的競爭策略時發現，台灣銅片產業的生產量並無法滿足客戶的需求，並且國際銅價漲跌的速度也會影響到買賣雙方在產銷合作上的信任度。因此業者需做好「銅片市場全方位供應鏈管理」，以增進彼此在供應鏈管理上的合作。透過延遲策略的應用，廠商可以延遲產品在生產過程中差異化的時間點，避免生產出市場所不需要的商品；而在接近顧客的地方設置存貨儲放點，更可因前置時間的縮短而降低需求不確定所產生的存貨風險 (Alderson, 1950; Bucklin, 1965; van Hoek, 2001)。前者為 Bowersox and Closs (1996) 所述的製造

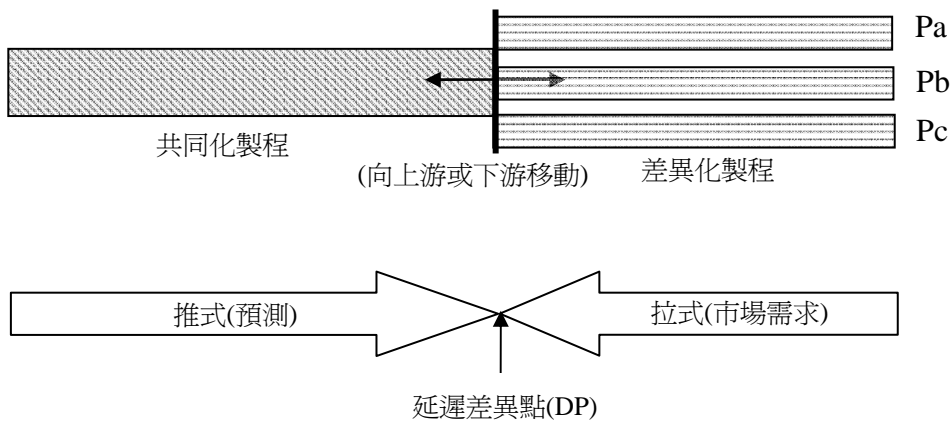


圖 1 推拉式延遲生產系統與延遲差異點

延遲 (manufacturing postponement) 的運用，而後者則為物流延遲 (logistics postponement) 的運用。透過適當延遲策略的實施，不僅可提昇供應鏈作業上的彈性，更可降低成本並改進顧客服務水準。

為解決過去研究結果與實務應用上的差距，本研究從供應鏈的角度，以國內一家年營業額排名前三名的銅片製造商 FC 公司為案例，透過 Lee and Tang (1997) 的延遲成本模式，進行實證研究，以分析該廠商執行延遲策略的作法，以及在成本與顧客服務上的效益，作為提供有意實施延遲策略的廠商在策略與作業層級上決策的參考。希望能由國內製造商實施延遲策略的過程，進一步發現實施延遲作業過程中所可能遭遇的困難，並了解 Lee and Tang (1997) 模式在實際應用上的貢獻與模式定義上的不足之處。

2. 文獻回顧

2.1 延遲策略的效益與分類

延遲策略最早是由 Alderson (1950) 所提出並應用於行銷領域，他認為延遲的原因是為了降低時間所造成的風險以及需求的不確定性。他主張透過延遲產品差異化的作業以延後產品結構的改變，並在最接近顧客的銷售點上設立存貨點，為提昇整體行銷體系效率最好的方法。Bucklin (1965) 進一步由配銷通路的觀點，認為產品在形式 (form)、地點 (place) 與時間 (time) 方面的差異，會造成製造與配送過程中的風險與不確定性；相對地，如果製造與配送過程中的一部份作業能被延遲至顧客訂單確認之後再執行，風險及不確定性將能降低。在大量客製化的需求下，Lee (1996) 發現客製化延遲可提高顧客需求的彈性並減少存貨的成本。Waller *et al.* (2000) 由經濟分析的角度發現，以顧客需求為導向的供應鏈系統，會造成訂單前置時間的延長與存貨成本的提高；但透過延遲策略，則可降低整體供應鏈的反應時間與成本，且允許企業彈性地發展多樣性的商品來滿足顧客需求的改變，並促進市場導向的供應鏈管理體系的建立。van Hoek (2001) 在回顧延遲策略的理論時發現，模組化產品設計使得製造延遲效能提高，不僅可因應大量顧客化的需求，也可降低成本並加快對顧客訂單的反應時間。

許多學者從不同角度提出延遲的分類，例如 Zinn and Bowersox (1988) 將延遲分成型態延遲 (form postponement) 和時間延遲 (time postponement) 兩種形式，而型態延遲又可再細分為標籤 (labeling)、包裝 (packing)、組裝 (assembly)、製造 (manufacturing) 等四種延遲。Bowersox and Closs (1996) 將延遲策略分為：(1)製造延遲 (manufacturing postponement) – 製造過程中維持產品在一個半成品的狀態，並將顧客化製程的差異延遲到顧客訂單確定後才作業；(2)物流延遲 (logistics postponement) – 將預測性存貨 (speculative inventory) 放在少數幾個地點以快速反應顧客所需，強調時間及地理上的效用，故又稱為時間延遲或地理延遲。Lee and Tang (1997) 在研究

多家公司的案例後，提出三種企業實施延遲作業的方法：標準化 (standardization)、模組化 (modular design)、流程重建 (process restructuring)，而實施此三種方法的標準，則需根據產品的特性來決定。

2.2 延遲策略成本模式

在延遲策略的成本模式方面，Garg and Tang (1997) 曾針對可設定多個延遲差異點的產品，建立數量模式來評估延遲差異點的設置效益，並發現不同產品需求之間的相關性 (correlation) 會影響延遲差異點的選擇。Lee and Tang (1997) 則認為產品需求的變異量對存貨水準及服務品質有很大的影響，因此強調企業應審慎評估產品的組合，並重視延遲差異點的評估。他們提出三種延遲產品差異化的方法：(1) 標準化 (standardization)；(2) 模組化 (modular design)；(3) 流程重組 (process restructuring)，以協助生產線實施延遲策略；同時，為了分析延遲產品差異所導致的成本變化，更提出一個延遲作業的成本模式，其模式中所包含的相關成本包括：差異化所需額外付出的投資成本、處理成本、存貨持有成本、在製品持有成本及安全庫存成本。在模組化設計 (modular design) 和延遲策略的思維下，Ernst and Kamrad (2000) 提出一個延遲作業的數學模式，並分別探討不同的供應鏈架構 (supply chain structure) 下最適切的延遲作業模式。Ma *et al.* (2002) 根據共同零組件的利益及成本，在隨機需求的假設下，建構一個多階的供應鏈數學模式來探討延遲差異點的決策，並發現各程序的作業時間及半成品補貨時間的相關性，是影響共用化與延遲差異點選擇的關鍵因素。Su *et al.* (2005) 則認為時間延遲及型式延遲，是提高供應鏈效益最常見的策略。因此，他們以 M/M/1 等候線理論模式，來評估時間延遲 (time postponement) 及型式延遲 (form postponement) 的供應鏈架構在成本及等候時間上的差異，並發現當產品類別的數目增加時，時間延遲有較平穩的表現，而需求變異量較大時，型式延遲會有比較好的績效。

雖然國外的學者在延遲策略的理論上有相當多的探討，但並未以實際案例公司的資料來評估與分析實施延遲策略的成本效益。在上述延遲成本的模式中，Lee and Tang (1997) 模式所考慮的成本項目雖然較為完整，但若要將此模式直接應用在評估公司實施延遲作業的效益時，其完整性仍嫌不足。主要是因為該模式並未考慮到在實際生產或配送的過程中，因產品的滯留現象所產生的存貨滯留成本；同時，對很多產業而言，準時交貨為實施供應鏈管理最基本的要求，因此對於延誤交貨會有懲罰成本。而透過延遲策略的運用，不僅會改變產品生產過程中滯留的現象，也能夠改善延誤交貨的問題。而上述的兩種成本在很多情況下，會佔有 Lee and Tang (1997) 模式所考慮的成本很大的比率。因此，若在實際評估延遲效益的模式中未加以考慮這兩種成本項，將對評估的結果造成誤導。為改善上述的缺點，本研究以 Lee and Tang (1997) 所提出的延遲成本模式為基礎，並透過實際的公司案例，來探討其理論模式的可行性以及在實際推行延遲

作業系統時，可能會遭遇到的問題與瓶頸。以期能在理論與實務上，對有意實施延遲作業的業者或從事延遲策略研究的學者，能有更進一步的貢獻。

3. Lee and Tang 延遲成本模式

Lee and Tang (1997) 的延遲成本模式，假設在一個生產兩種最終產品的製造系統中，未實施延遲作業時，每一種最終產品的產出都經過 N 個作業程序 (operation)，且每一個作業程序之後都存在一個緩衝區 (buffer) 儲存半成品存貨，如圖 2 所示。模式中定義「作業程序 k 」為延遲差異點前，兩個產品最後的共同作業，則「作業程序 $k+1$ 」為第一個差異化流程，即為延遲差異點設置所在，如圖 3。該模式比較實施延遲作業前的成本 $Z(0)$ ，以及實施延遲作業後的成本 $Z(k)$ 之間的關係，當 $Z(k) - Z(0) \leq 0$ 時，表示實施延遲作業可降低成本。底下為該成本模式的說明。

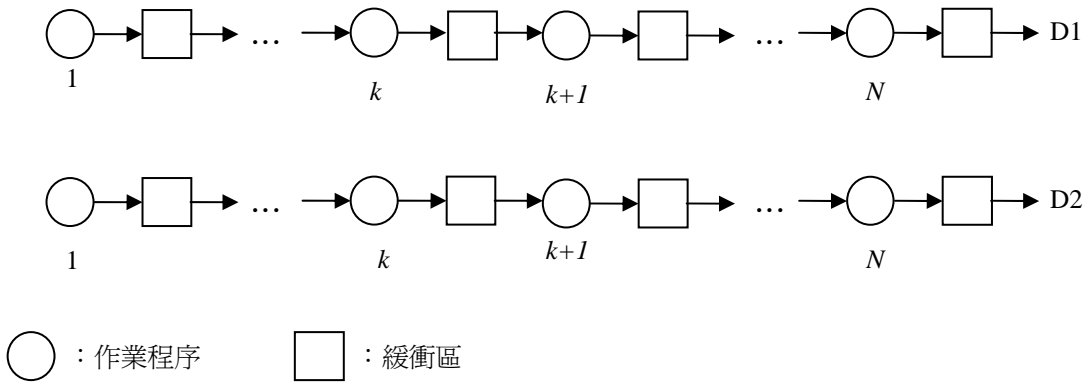


圖 2 實施延遲作業前流程與變數的定義 (Lee and Tang, 1997)

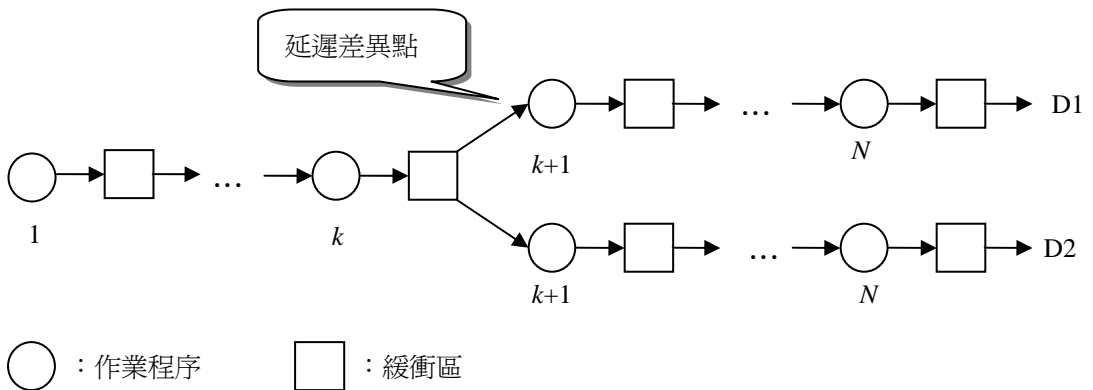


圖 3 實施延遲作業後流程與變數的定義 (Lee and Tang, 1997)

符號集合

N = 生產系統作業程序總數；

i = 生產系統作業程序指標 ($i = 1$ to N)；

j = 產品種類指標 ($j = 1, 2$)；

k = 延遲差異點前最後一個共同作業程序。

變數定義

I_i = 第 i ($\leq k$) 個作業程序共同化時所需投入的投資成本；

$D_j(t)$ = 第 j 種產品在時間 t 的需求量；

$n_i(k)$ = k 個共同作業時第 i 個作業程序的前置時間；

$p_i(k)$ = k 個共同作業時第 i 個作業程序每單位處理成本；

$h_i(k)$ = k 個共同作業時第 i 個作業程序每單位存貨持有成本；

z = 緩衝區對下游作業補貨的安全存貨因子。

對於模式中的兩種產品 ($j = 1, 2$)，假設其需求量 $D_j(t)$ 為常態 (normal) 且獨立一致性分配 (i.i.d.) 的隨機變數，則

$$E[D_j(t)] = \mu_j, \text{Var}[D_j(t)] = \sigma_j^2, \text{ 且}$$

$$\text{Cov}[D_1(t), D_2(t)] = \rho_{12}\sigma_1\sigma_2。$$

其中， μ_j 與 σ_j 各為產品 j 需求的平均值及標準差， ρ_{12} 為 $D_1(t)$ 及 $D_2(t)$ 的相關係數 (correlation)， $-1 \leq \rho_{12} \leq 1$ 。設 σ_{12} 為需求 $D_1(t) + D_2(t)$ 的標準差，則 $\sigma_{12} = \sqrt{\text{Var}[D_1(t) + D_2(t)]} = \sqrt{\sigma_1^2 + 2\rho_{12}\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2}$ ，且 $\sigma_{12} \leq \sigma_1 + \sigma_2$ ，同時，當 ρ_{12} 愈接近-1時， σ_{12} 的值也愈小。

企業在延後產品差異化的過程中，在作業程序 i 可能會有部分投資成本 I_i 的產生，例如為了配合延遲作業的實施而改變或重新設計流程的投資成本。作業程序 i 的生產前置時間 $n_i(k)$ 及作業程序的成本 $p_i(k)$ 也有可能因流程共同化而改變，而存貨持有成本 $h_i(k)$ 更可能因貨品價值的不同而提高或降低。為使上游作業程序有足夠的存貨來應付下游作業程序的物料需求，Lee and Tang (1997) 假設每一個作業程序後的緩衝區的存貨可在 z 的服務水準下，滿足下個作業程序的需求。由於緩衝區的存在，我們可將各個作業程序獨立分析，而不需考慮上下游作業程序之間的互動。該模式假設每一個作業程序依循存貨上限 (order-up-to level) 的原則，亦即 s - S 存貨策略，進行補貨。為了滿足下一個作業程序物料上的需求，根據 Peterson and Silver (1979)，對於產品 j 的生產，緩衝區 i 的平均存貨量 = 1/2 平均批量 + 安全存量，亦即為

$\mu_j/2 + z\sigma_j\sqrt{n_i(k)+1}$ 。Lee and Tang (1997) 的延遲成本模式所考慮的成本項目相當廣泛，包括：實施共同作業的投資成本、每一作業程序的處理成本、每一作業程序中在製品的存貨成本、共同製程中緩衝區安全存貨成本、差異製程中緩衝區安全存貨成本等，其模式如下所示。

令 $Z(k) = k$ 為最後一個共同作業程序時，產品 1 與 2 每期的總相關成本：

$$\begin{aligned}
 Z(k) = & \sum_{i=1}^k I_i + \sum_{i=1}^N p_i(k)(\mu_1 + \mu_2) + \sum_{i=1}^N h_i(k)[n_i(k)(\mu_1 + \mu_2)] \\
 & + \sum_{i=1}^k h_i(k)[(\mu_1 + \mu_2)/2 + z\sigma_{12}\sqrt{n_i(k)+1}] \\
 & + \sum_{i=k+1}^N h_i(k)[(\mu_1 + \mu_2)/2 + z(\sigma_1 + \sigma_2)\sqrt{n_i(k)+1}] \quad (1)
 \end{aligned}$$

如圖 3 所示，模式(1)的第一項是為了使 k 為最後一個共同作業時，屬於共同作業程序部分 ($i \leq k$) 的投資成本總合；第二項為所有作業程序處理成本的總合，其中作業程序 $i (\leq N)$ 的處理成本 = 作業程序 i 的單位處理成本 · 產品 1 與 2 的生產批量，亦即 $p_i(k)[\mu_1 + \mu_2]$ 。由於存貨持有成本 = 單位存貨持有成本 · 存放時間 · 存貨量，而作業程序 i 的在製品 (WIP: work-in-process) 的存貨量為產品 1 與 2 的生產批量 $\mu_1 + \mu_2$ ，存放時間為生產前置時間 $n_i(k)$ ，因此，第三項為產品 1 與 2 在每一個作業程序的在製品存貨的成本的總合。根據 Peterson and Silver (1979) 緩衝區平均存貨量的公式，第四項為產品 1 與 2 在共同作業程序 $i (\leq k)$ 緩衝區的安全存貨成本的總合，其中生產批量為 $\mu_1 + \mu_2$ ，且因為是共同製程，需求變動的標準差為 $D_1(t) + D_2(t)$ 的標準差 σ_{12} ，故安全存量為 $z\sigma_{12}\sqrt{n_i(k)+1}$ ；第五項為差異製程 $i (> k)$ 的緩衝區安全存貨總成本，因為是產品 1 與 2 的各別製程，產品需求變動的標準差分別為 σ_1 及 σ_2 ，故安全存量為 $z(\sigma_1 + \sigma_2)\sqrt{n_i(k)+1}$ 。

由式(1)可知，最後一個共同作業程序 k 的選擇相當重要，以數學的角度而言，每一個作業程序皆有可能被選擇為 k ，但實際上的選擇則需考慮產品及流程的特性，以進行模組化設計或重組生產程序等 (Lee and Tang, 1997)。因此，本研究將由案例公司既有的生產與物流體系中，找出適合的共同製程以定義延遲差異點。

4. 案例公司延遲作業規劃與延遲成本模式

FC 公司黃銅片的製造流程從原料到成品共有 13 個步驟，如圖 4 所示，但大致上我們可將其製造流程由上游至下游概分為：熔鑄粗壓、燒焯中壓、燒焯精壓與分條包裝等四個階段的流程。銅片的生產是屬於連續性生產方式，亦即在上述四個階段的流程中，生產步驟是連續而不

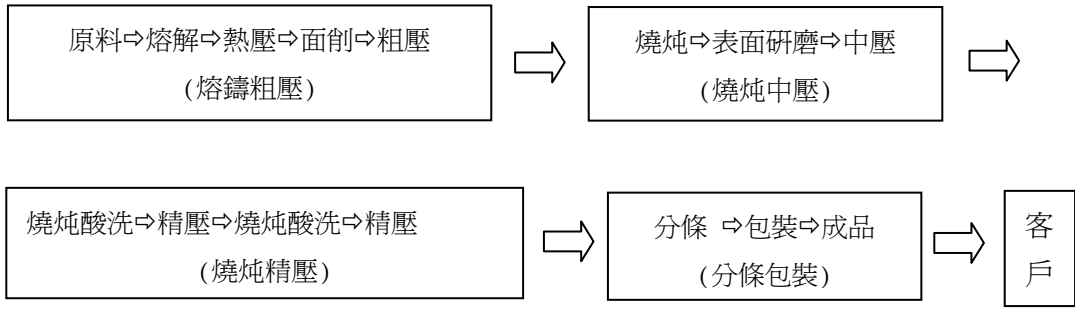


圖 4 FC 公司黃銅片製造步驟及流程分類

間斷且產品也不易分割，但在熔鑄粗壓、燒焯中壓或燒焯精壓後，產品可在流程間的中繼站等待下一個製程。未實施延遲作業之前，依顧客需求規格的不同（如 A、B 類產品），從熔鑄粗壓開始，即分開製造的作業程序，如圖 5 所示。

Bowersox and Closs (1996) 將延遲策略分為「製造延遲」與「物流延遲」兩類，而延遲差異點的設置，為實施延遲作業最基本的決策。由於黃銅片可在熔鑄粗壓、燒焯中壓及燒焯精壓後等待下一個程序，因此，這些等待點均為可能設置延遲差異點的地方。本研究由 FC 公司銅片製造流程的現況，以及客戶需求的特性發現，燒焯中壓之前產品的規格變動不大，但燒焯中壓之後產品的多樣性即會呈現出來，因此可將燒焯中壓之前的流程視為具有共同性 (commonality)。根據延遲理論及特性 (Lee and Tang, 1997; Ernst and Kamrad, 2000; Ma *et al.*, 2002)，在燒焯中壓完成後的地方設置「製造延遲差異點」，可降低半成品的存貨成本。另外，雖然 FC 公司為 MTO 生產模式，客戶的訂單在產品的種類（合金成份）、厚度與數量確定後才生產，但最後交貨前，客戶才會將分條與包裝的規格，包括寬度、長度與包裝等規格，通知 FC 公司。由於分條與包裝的作業時間短，且為客製化的程序，根據 Bowersox and Closs (1996) 的定義，適合在分條與包裝作業程序設置「物流延遲差異點」。綜合上述的討論，本研究將由「製造延遲」與「物流延遲」這兩種作業模式，探討該案例公司延遲策略的應用。

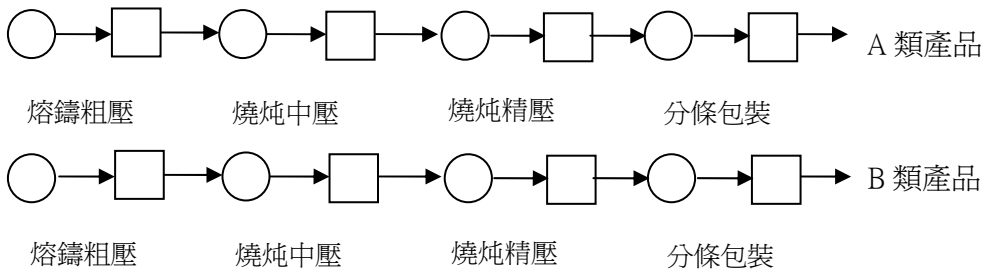


圖 5 FC 公司黃銅片製造流程示意圖

4.1 延遲差異點的設定

延遲策略為廠商整體產銷策略的一環，至於該採取何種延遲策略，應視企業的整体策略而定。在決定適當的延遲策略後，延遲差異點設置的選擇，會影響整體實施的效益 (Hoekstra and Romme, 1992; Ma *et al.*, 2002)，而其選擇則需根據共同化或模組化的流程點來決定 (Ernst and Kamrad, 2000; Zinn and Bowersox, 1998)。在供應鏈系統中，延遲差異點的選定會影響延遲策略的成效，因為它直接改變流程的結構 (Lee and Tang, 1997)，若該點的設置過於偏向於上游，共用化在存貨的效益將不明顯；反之，若該點的設置過於偏向於下游，差異化在產品多樣性的效益也將隨之減少 (Hoekstra and Romme, 1992; Zinn and Bowersox, 1998)。本研究並不在於找尋最佳的延遲差異點，而是透過延遲成本的模式來驗證延遲策略在銅片產業的效益。因此，底下有關製造延遲差異點及物流延遲差異點的選擇，是根據延遲作業的理論以及 FC 公司製造與配銷現場的特性來決定。對於不同產業或不同公司的應用，可參考本研究選擇的原則來設定適當的延遲差異點。

4.1.1 製造延遲差異點的選擇

黃銅片為 FC 公司主要銷售的產品 (佔銷售額的 60% 以上)，因此選定以黃銅片為本研究的對象。同時，黃銅片的產品具有帕雷托 (Pareto) 80/20 法則的特性，亦即 20% 的產品佔有銷售額的 80%，而此 20% 的產品即為本研究選定的產品。本研究從 FC 公司每一個產品皆有一份的「設計卡」規格的筆數，以及訂單規格的筆數等二項資料選擇代表此 20% 的產品，並找出此類產品可能的共同製程以設定適當的延遲差異點。在搜尋所有黃銅片的產品後發現，「K 材」的產品規格並不多但銷售金額高，因此選擇 K 材為研究的對象。同時，製造流程的設計卡資料也顯示，K 材因產品用途不同而有不同種類 (成份) 的規格 (如 KA、KE、KH...)。其中，相同種類規格的產品在熔鑄粗壓階段的製程是相同的，但在燒焯中壓階段，由於當時的設計者並沒有產品共同化的概念，因此設計出不同厚度尺寸 (如 4.3mm, 4.0mm, 3.5mm, ...) 的中壓半成品，如表 1。以工程的角度而言，後續燒焯精壓的作業程序尚有兩道精壓的步驟 (圖 4)，因此，燒焯中壓後半成品不同厚度的規格是可以整合成少數幾種，再由兩道精壓的步驟去調整產品的差異化。表 1 的結果顯示，燒焯中壓完成後的厚度規格中，3.5mm 厚度佔所有 K 材設計卡規格的 76%，2.4mm 的部分佔 14%。另外，由表 2 該公司近三個月訂單的燒焯中壓產品厚度規格可知，76% 與 11% 訂單的中壓厚度各為 3.5mm 與 2.4mm，與表 1 設計卡規格的比率相當。因此，我們將熔鑄粗壓和燒焯中壓的作業程序共同化，並設定燒焯精壓為第一個差異化製程，再以 Lee and Tang (1997) 所提出的三種實施延遲策略方法中的 (1) 標準化的方法，將 3.5mm 與 2.4mm 燒焯中壓後的尺寸標準化為 3.5mm，而成為熔鑄粗壓和燒焯中壓共同化製程後的厚度尺寸，如圖 6 所示。

表 1 設計卡燒鈍中壓階段種類與厚度規格資料彙總表 (單位：筆)

| 種類規格 | 4.3 mm | 4.0 mm | 3.8 mm | 3.5 mm | 3.2 mm | 2.9 mm | 2.7 mm | 2.5 mm | 2.4 mm | 合計 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|
| KA | 1 | 0 | 0 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 28 |
| KE | 0 | 0 | 0 | 47 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11 | 58 |
| KH | 9 | 1 | 8 | 105 | 1 | 1 | 1 | 0 | 13 | 139 |
| KO | 0 | 0 | 19 | 144 | 0 | 1 | 0 | 0 | 5 | 169 |
| KQ | 0 | 0 | 4 | 44 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | 63 |
| KS | 0 | 0 | 0 | 36 | 0 | 0 | 0 | 0 | 24 | 60 |
| KT | 18 | 1 | 0 | 160 | 3 | 3 | 1 | 1 | 34 | 221 |
| 合計 | 28 | 2 | 31 | 560 | 4 | 5 | 2 | 1 | 105 | 738 |
| 比例% | 4 | 0.3 | 4 | 76 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 0.1 | 14 | 100 |

表 2 訂單筆數規格彙總表 (單位：筆)

| 月份 | 4.3 mm | 3.8 mm | 3.5 mm | 2.4 mm | 小計 |
|-----|--------|--------|--------|--------|-----|
| 9 | 39 | 2 | 158 | 25 | 224 |
| 10 | 38 | 5 | 224 | 35 | 302 |
| 11 | 22 | 3 | 230 | 30 | 285 |
| 合計 | 99 | 10 | 612 | 90 | 811 |
| 比例% | 12 | 1.2 | 76 | 11 | 100 |

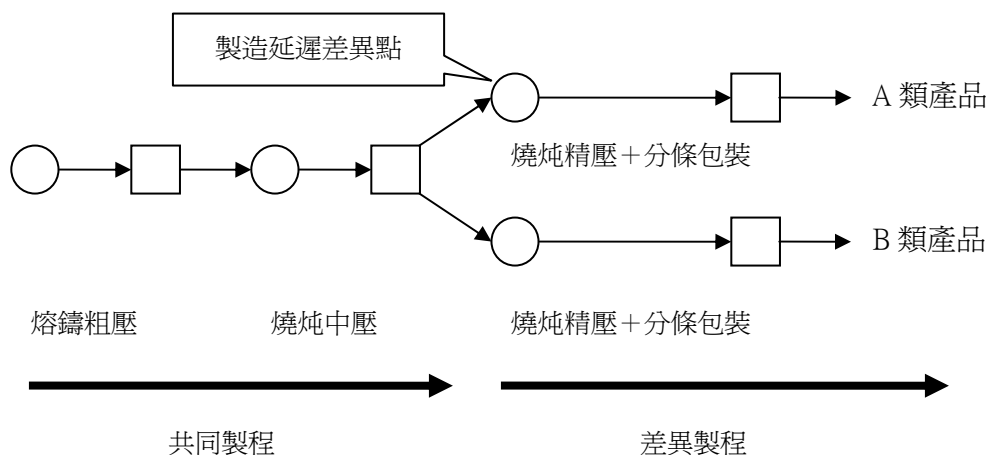


圖 6 黃銅片製造延遲流程與延遲差異點之設定

4.1.2 物流延遲差異點的選擇

因「分條包裝」作業可以不在生產工廠內進行，同時其作業時間短且與市場通路直接接觸，由共同化的特性分析，該分條包裝作業程序適合設定為物流延遲的差異點 (Bowersox and Closs, 1996; Zinn and Bowersox, 1998)。本研究在分析過去六個月中每日分條完成的狀況與實際配送日期後，得到造成客戶不滿意的重要原因之一為分條包裝時間上的耽擱。因此，若能於分條與包裝作業程序設置物流延遲差異點，將可根據 Zinn and Bowersox (1998) 所提出的利用地理上的特性，創造時間上的效用並減少對客戶交貨的延誤。本研究者協助該公司規劃一個專門從事分條與包裝作業程序的物流中心，將銅捲半成品最後差異化製程—分條包裝，延遲至最接近客戶的位置，待客戶確認其訂單所需分條的寬度與長度之後，再依客戶即時需求進行分條、包裝與配送的作業，以達到降低庫存成本與提高顧客滿意度的目標。由於熔鑄粗壓、燒焯中壓、燒焯精壓，以及運輸至物流中心等四項作業程序，在本研究的物流延遲作業中為共同製程，為簡化模式的表達，我們以「製造運輸」這項作業來代表上述四項作業。此外，由於分條與包裝作業在外包的物流中心為分開的兩個作業，因此將之分成兩個獨立的作業程序。物流延遲的示意圖如圖 7 所示。

4.2 Lee and Tang 延遲成本模式的修改

本研究經實地觀察 FC 公司的現況後發現，其原有的生產模式不僅無法滿足顧客的需求，也常因交貨期的延遲導致顧客本身的生產發生延誤，造成 FC 公司需負擔相當多因延遲交貨所產生的懲罰成本 (penalty costs)。此外，實施延遲策略時，當上游推式流程與下游拉式流程間的排程

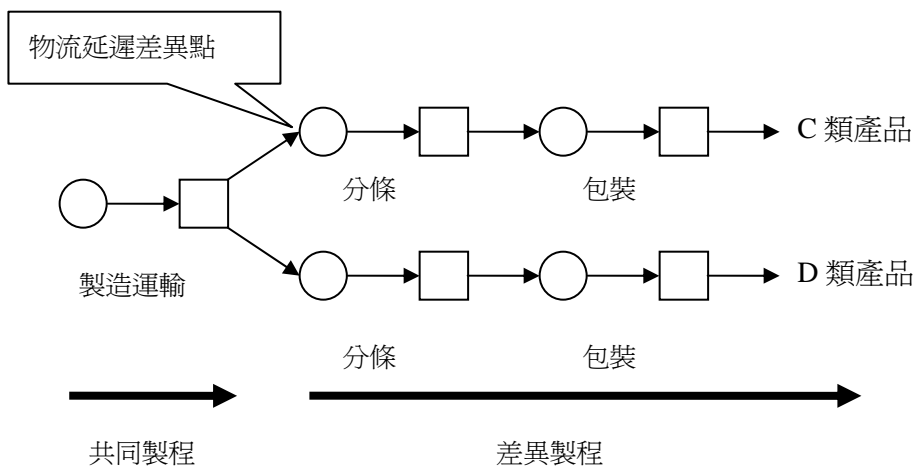


圖 7 黃銅片物流延遲流程與延遲差異點之設定

不協調，半成品將滯留在延遲差異點等待成品訂單，造成延遲差異點額外的存貨成本。FC 公司因各作業程序的速率與產能不同，無可避免的會在延遲差異點有半成品存貨滯留的現象。Ma *et al.* (2002) 在建構多階層組裝系統的延遲成本模式時，即有考慮上下游製程速率不同情況下的半成品存貨，而 Rau and Liu (2006) 的供應鏈延遲作業最佳模式中，也包含延遲差異點的半成品存貨成本。然而，Lee and Tang (1997) 的延遲成本模式，並未包含延遲差異點半成品滯留所增加的存貨成本，也未考慮延誤交貨的成本。為使延遲成本模式能更符合實際公司的現況，本研究在 Lee and Tang (1997) 原有的延遲成本模式中，加入在緩衝區滯留的半成品的存貨成本，以及延遲交貨的成本等兩項成本因素。除第 3 節原模式的定義外，其他變數的定義如下：

變數定義 - II

$S(k)$ = k 個共同作業程序時缺貨的成本；

$\phi_j(k)$ = k 個共同作業程序時訂單 j 在交期 (due date) 內的達交率；

$\phi(k)$ = k 個共同作業程序時所有訂單在交期 (due date) 內的平均達交率；

$q_j(k)$ = k 個共同作業程序時訂單 j 在交期 (due date) 內延遲交貨的數量；

$d_j(k)$ = k 個共同作業程序時訂單 j 延遲交貨的天數；

pc_j = 超過交期後訂單 j 每天單位數量的罰款；

pf_j = 訂單 j 每天單位數量的機會成本；

α_i = 延遲策略實施後第 i 個作業程序單位處理成本的改變量；

β_i = 延遲策略實施後第 i 個作業程序單位存貨持有成本的改變量；

γ_i = 延遲策略實施後第 i 個作業程序前置處理時間的改變量；

$\delta_i(k)$ = k 個共同作業程序時第 i 個作業程序半成品滯留的天數。

由於 $q_j(k)/\mu_j$ 代表訂單 j 在交期內未完成交貨的比率，根據達交率的定義， $[q_j(k)/\mu_j] = 1 - \phi_j(k)$ 。將上式整理一下，我們可得到訂單 j 延遲交貨的數量 $q_j(k)$ 與訂單 j 達交率 $\phi_j(k)$ 之間的關係，亦即 $q_j(k) = [1 - \phi_j(k)] \cdot \mu_j$ 。而平均達交率 $\phi(k)$ 為所有訂單 j 的達交率 $\phi_j(k)$ 乘上該筆訂單所佔比率 $\mu_j / \sum_{j=1,2} \mu_j$ 的總合，以數學式表達 $\phi(k) = \sum_{j=1,2} [\phi_j(k) \cdot \mu_j] / \sum_{j=1,2} \mu_j = [\phi_1(k) \cdot \mu_1 + \phi_2(k) \cdot \mu_2] / (\mu_1 + \mu_2)$ 。

延遲交貨對企業的影響相當大，所造成的可能成本包括：商譽的損失、銷售機會的損失，以及所需支付給客戶的懲罰成本。以 FC 公司目前的產業現況而言，在交期的一個月內，客戶雖然會等待遲交的商品，但仍會有懲罰性罰款以及延遲銷售在財務上的損失。在此，我們只考慮實際發生的成本，即支付給客戶的懲罰成本，以及延遲交貨所帶來機會成本的損失，並未考慮不易量測的成本，如對商譽及未來銷售變化的影響等。

延遲交貨對 FC 公司的懲罰成本是根據延遲交貨的數量與時間來計算，亦即訂單 j 延遲交貨的懲罰成本 = 訂單 j 每天單位數量的罰款 · 訂單 j 延遲交貨的數量 · 訂單 j 延遲的天數，由於 pc_j 為訂單 j 每天單位數量的罰款， $d_j(k)$ 為訂單 j 延遲的天數， $q_j(k)$ 為訂單 j 延遲的數量，因此訂單 j 延遲交貨的懲罰成本 = $pc_j \cdot q_j(k) \cdot d_j(k)$ 。而延遲交貨的機會成本所代表的是因延遲交貨所導致客戶帳款延後支付的機會成本損失，以最保守的估計，訂單 j 延遲交貨的機會成本 = 訂單 j 每天單位數量的機會成本 · 訂單 j 延遲交貨的數量 · 訂單 j 延遲的天數，即為 $pf_j \cdot q_j(k) \cdot d_j(k)$ ，其中 pf_j 為訂單 j 每天單位數量的機會成本，以年利率 7% 估計， $pf_j =$ 訂單 j 單位產品利潤 · (7% / 365)。由於缺貨成本 $S(k)$ 包括延遲交貨的機會成本及懲罰成本，因此：

$$S(k) = \sum_{j=1,2} [pf_j \cdot q_j(k) \cdot d_j(k) + pc_j \cdot q_j(k) \cdot d_j(k)] \quad (2)$$

其中，第一項為延遲交貨機會成本的損失，第二項為延遲交貨的懲罰成本，並對所有訂單 ($j = 1, 2$) 作加總。

所謂半成品滯留的時間為生產過程中，半成品因上下游作業程序在速度或排程上的不同，而滯留在作業程序的緩衝區中的時間。實務上，生產線會因上下游作業程序的不同步，而產生滯留的存貨，而此半成品滯留的現象，在實施延遲作業後，會有相當大的變化。根據上面的說明，在作業程序 i 的半成品滯留的存貨成本 = 作業程序 i 單位存貨持有成本 · 在作業程序 i 緩衝區滯留的天數 · 滯留的數量，亦即 $h_i(k) \delta_i(k) (\mu_1 + \mu_2)$ ，以本案例公司的生產現況而言，滯留的數量為產品 1 與 2 的生產批量 $\mu_1 + \mu_2$ 。將所有作業程序的半成品滯留存貨成本相加總，即可得滯留總成本為：

$$\sum_{i=1}^N h_i(k) \delta_i(k) (\mu_1 + \mu_2) \quad (3)$$

該半成品滯留的存貨成本與式(1)中第三項的在製品存貨成本，數學式的結構相同，但所代表的意義卻不同。前者為生產過程的半成品，滯留在作業程序的緩衝區中所導致的成本，會因管理的手法或流程的不同等而有所改變；而後者為作業程序的生產前置時間所造成的在製品存貨成本，並不會因為生產程序或管理上的改變而有所變化，只會因設備或人力增加導致生產速度加快而有所改變，如圖 8 所示。由於兩者存貨造成的原因並不相同，我們在式(4)中將之分開表示。

Lee and Tang (1997) 的延遲成本模式將由式(1)改變成下列的延遲成本模式(4)，而式(4)將用來作為本研究案例的評估模式：

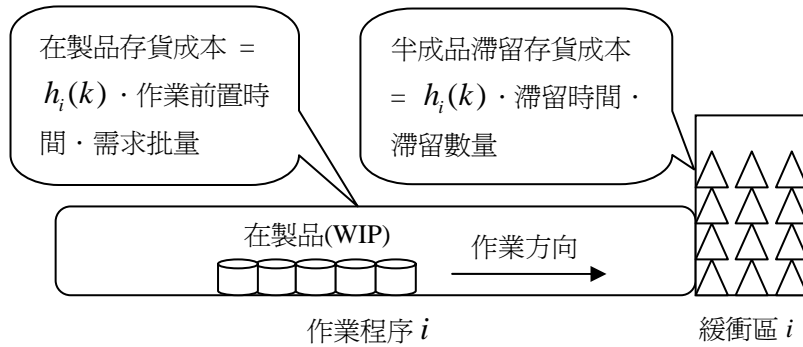


圖 8 在製品存貨與緩衝區滯留品存貨示意圖

$$\begin{aligned}
 Z(k) = & \sum_{i=1}^k I_i + \sum_{i=1}^N p_i(k)(\mu_1 + \mu_2) + \sum_{i=1}^N h_i(k)[n_i(k)(\mu_1 + \mu_2)] \\
 & + \sum_{i=1}^k h_i(k)[(\mu_1 + \mu_2) / 2 + z\sigma_{12}\sqrt{n_i(k) + 1}] \\
 & + \sum_{i=k+1}^N h_i(k)[(\mu_1 + \mu_2) / 2 + z(\sigma_1 + \sigma_2)\sqrt{n_i(k) + 1}] \\
 & + \sum_{i=1}^N h_i(k)\delta_i(k)(\mu_1 + \mu_2) + S(k)
 \end{aligned} \tag{4}$$

除了 $\sum_{i=1}^N h_i(k)\delta_i(k)(\mu_1 + \mu_2) + S(k)$ 項以外，式(4)與 Lee and Tang (1997) 的延遲作業成本模式(1)相同。其中， $\sum_{i=1}^N h_i(k)\delta_i(k)(\mu_1 + \mu_2) + S(k)$ 的數值在滯留與延遲的量及天數愈多時，其所佔 $Z(k)$ 的比率將愈不能夠被忽略。Lee and Tang (1997) 原來的模式很容易造成評估結果的誤導，包括實施延遲策略所獲得效益的大小，以及最後是否該採用延遲策略的決策等。而修改該模式以適切反應出實際的現況，為本研究最主要的貢獻。底下將以 FC 公司實際推行延遲作業時的數值，來驗證加入本研究所提出的兩項成本項目後，在評估延遲作業實施效益上的影響。並藉此提供使用本研究模式來評估公司延遲作業時，所需要的資料、過程、以及運算上的參考。

由於本案例未實施延遲作業時 $k=0$ ，實施延遲作業後 $k=K$ ，為符號上的簡化，令 $p_i(0) = p_i$ 、 $h_i(0) = h_i$ 、 $n_i(0) = n_i$ ，則

$$\begin{aligned}
 p_i(K) &= p_i \pm \alpha_i \\
 h_i(K) &= h_i \pm \beta_i \\
 n_i(K) &= n_i \pm r_i
 \end{aligned} \tag{5}$$

以表示 p_i 、 h_i 與 n_i 因延遲作業的實施而產生數值上的改變。

5. 案例公司延遲作業的實施與效益分析

FC 公司的資本額約 35 億元，所有設備均採用德、日進口之精密機器設備，但因部份瓶頸作業及產品多樣性的影響，實際的產量無法完全應付客戶的需求。本研究即是在個案公司推動作業程序改善的需求下，協助該公司進行製造延遲與物流延遲的規劃與評估。本研究挑選兩個月份中連續出現相同規格與重量的訂單，以比較實施延遲策略前後之效益。第一個月為觀察期不實施延遲策略，第二個月為實驗期依研究假設實施延遲策略。案例公司每月生產量約為 4,000 噸，本研究只挑選符合 4.1 節延遲差異點設定原則中，具有共同化效益的訂單為實驗的對象。

製造延遲部份，本研究挑選 G 公司 130 噸 A 類產品 (3.5mm) 與 S 公司 20 噸 B 類產品 (4.3mm) 的訂單作為研究對象。研究的方式是在實驗期前一個月的 20 日，先將該兩筆訂單於實驗期當月交貨的「生產通知」發放給生產單位，詳細的規格與數量在實驗期當月的第一週再行發放。如此，生產單位即能先將銅片生產至燒焯中壓後儲放，當生產單位接獲業務單位詳細「生產通知」後，再進行後續的製程。

物流延遲方面，由於銅片市場的通路需依賴經銷商與零售商的協助，因此，FC 公司與其經銷商 LS 公司共同設立「銅料素材分條物流中心」，以便將產品最後差異化的製程 – 分條與包裝作業，延遲至接近客戶的位置。不僅可使該作業程序更為專精，也可減少 FC 公司工作的負荷，並達到快速回應顧客需求的目的。本研究以兩個月作為實施物流延遲前後對照的時間，以 G 公司(C 類產品)與 S 公司 (D 類產品) 各 30 噸的訂單為實驗之對象 (與製造延遲的訂單不同)，將該等訂單的銅捲送交給 LS 公司的物流中心代為處理分條與包裝的加工，加工完成後之商品直接由 LS 公司代為配送至客戶指定的交貨處。由代工廠進行代工作業後，所增加的額外費用包括半成品銅捲由 FC 公司送至 LS 公司的運送費，以及 LS 公司的成品檢測費用。由於在外包廠進行分條的效率較 FC 廠內高，完工時間將減少，有利於缺貨成本與前置時間的下降。

5.1 製造延遲應用

未實施製造延遲之前，每一項最終產品從投料開始都各自擁有獨立且不相關的生產製程，如圖 5 所示，其中 $N=3$ 且 $k=0$ 。實施製造延遲策略後， $k=2$ ，且燒焯中壓後產品的厚度皆為 3.5mm，如圖 6 所示。

原始生產環境 ($k=0$) 在熔鑄粗壓、燒焯中壓、燒焯精壓 + 分條包裝作業程序的相關成本，包括：單位處理成本為 p_1 、 p_2 與 p_3 ，單位存貨持有成本為 h_1 、 h_2 與 h_3 ，前置時間為 n_1 、 n_2 與 n_3 ，缺貨成本為 $S(0)$ 。實施製造延遲後($k=2$)，因製造現場的作業程序與設備並不需要有任何的改變，投資成本為 0；單位處理成本、前置時間，及單位存貨持有成本皆沒有改變，故 α_i 、 β_i 、 γ_i 皆為 0。然而，延遲差異點的半成品，卻因共同製程與差異製程間排程的不一致，而有 10 天的滯留， $\delta_3(2) = 10$ ，另缺貨成本變為 $S(2)$ 。將相關成本代入式(4)可得下述成本模式，

其中式(6)為未實施製造延遲的總成本模式，式(7)為實施製造延遲後的總成本模式，式(8)則為實施製造延遲的效益：

$$\begin{aligned}
 Z(0) &= (p_1 + p_2 + p_3)(u_1 + u_2) \\
 &\quad + (h_1 n_1 + h_2 n_2 + h_3 n_3)(\mu_1 + \mu_2) + (h_1 + h_2 + h_3)(\mu_1 + \mu_2) / 2 \\
 &\quad + z(\sigma_1 + \sigma_2)(h_1 \sqrt{n_1 + 1} + h_2 \sqrt{n_3 + 1} + h_3 \sqrt{n_3 + 1}) \\
 &\quad + S(0)
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned}
 Z(2) &= (p_1 + p_2 + p_3)(u_1 + u_2) \\
 &\quad + (h_1 n_1 + h_2 n_2 + h_3 n_3)(\mu_1 + \mu_2) + (h_1 + h_2 + h_3)(\mu_1 + \mu_2) / 2 \\
 &\quad + z\sigma_{12}(h_1 \sqrt{n_1 + 1} + h_2 \sqrt{n_2 + 1}) + z(\sigma_1 + \sigma_2)(h_3 \sqrt{n_3 + 1}) \\
 &\quad + h_3 \delta_3(2)(\mu_1 + \mu_1) + S(2)
 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
 \text{則 } Z(2) - Z(0) &= z\sigma_{12}(h_1 \sqrt{n_1 + 1} + h_2 \sqrt{n_2 + 1}) - z(\sigma_1 + \sigma_2)(h_1 \sqrt{n_1 + 1} + h_2 \sqrt{n_2 + 1}) \\
 &\quad + h_3 \delta_3(2)(\mu_1 + \mu_1) + [S(2) - S(0)]
 \end{aligned} \tag{8}$$

若採用 Lee and Tang (1997) 原來的模式，製造延遲的效益 $Z'(2) - Z'(0)$ 為去除式(8)中的滯留成本與缺貨成本，即

$$Z'(2) - Z'(0) = z\sigma_{12}(h_1 \sqrt{n_1 + 1} + h_2 \sqrt{n_2 + 1}) - z(\sigma_1 + \sigma_2)(h_1 \sqrt{n_1 + 1} + h_2 \sqrt{n_2 + 1}) \tag{9}$$

在未實施製造延遲策略的觀察期，經統計該 150 噸的 A 類與 B 類產品共有 29,623kg 因生產延誤而延遲交貨 10 天， $q_1(0) + q_2(0) = 29,623$ ， $d_1(0) = d_2(0) = 10$ ，平均達交率 $\phi(0) = 80.3\%$ 。實施製造延遲策略後，當月僅有 2,768kg 延遲交貨 1 天， $q_1(2) + q_2(2) = 2,768$ ， $d_1(2) = d_2(2) = 1$ ，平均達交率 $\phi(2) = 98.2\%$ 。從 FC 公司「產品別毛利分析表」分析，A 類與 B 類產品的成品利潤均為 7.5(元/kg)，售價為 81.5(元/kg)，同時客戶對 FC 公司每天延遲交貨的罰款金額為售價的 0.3%，故每天懲罰成本 $pc_1 = pc_2 = 81.5 \cdot 0.3\%$ ，以年利率 7% 計算，每天機會成本 $pf_1 = pf_2 = 7.5 \cdot 7\% / 365$ 。由式(2)可求得缺貨成本：

$$S(0) = 7.5 \cdot 7\% / 365 \cdot 29,623 \cdot 10 + 81.5 \cdot 0.3\% \cdot 29,623 \cdot 10 = 426 + 72,428 = 72,854(\text{元})$$

$$S(2) = 7.5 \cdot 7\% / 365 \cdot 2,768 + 81.5 \cdot 0.3\% \cdot 2,768 = 4 + 677 = 681(\text{元})。$$

為計算產品需求的標準差及共變數，本研究整理該兩種產品實驗前十個月的需求表，如表 3 所示，可算出 $\sigma_1=10$ 、 $\sigma_2=3$ 、 $\rho_{12}=-0.976$ ，因此 $\sigma_{12}=7.13$ 。單位處理成本： p_1 、 p_2 、 p_3 ，是由 FC 公司「成品月產量 3300 噸基準加工費計算表」分析得來，單位存貨持有成本： h_1 、 h_2 、 h_3 ，則是由 FC 公司「庫存明細表」的資料分析而得；生產前置時間： n_1 、 n_2 、 n_3 ，是該商品不同作業程序的處理時間；並定義存貨安全因子： $z=0.9$ ，延遲成本相關變數的數據整理如表 4 所示。

將表 4 數值帶入式(8)得

$$\begin{aligned}
 Z(2) - Z(0) &= 0.9 \cdot 7.130 \cdot (0.021\sqrt{15} + 0.028\sqrt{4}) - 0.9(10,000 + 3,000)(0.021\sqrt{15} + 0.028\sqrt{4}) \\
 &\quad + 0.016 \cdot 10 \cdot 150,000 + (681 - 72,854) \\
 &= (881 - 1,607) + (24,000 - 72,173) \\
 &= -726 - 48,173 \\
 &= -48,899(\text{元})
 \end{aligned} \tag{10}$$

表 3 前十個月 G 公司與 S 公司該兩種產品規格需求數據表

| (月) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| G 公司/A 類(噸) | 117 | 118 | 120 | 121 | 143 | 142 | 139 | 140 | 133 | 127 |
| S 公司/B 類(噸) | 24 | 24 | 23 | 22 | 16 | 16 | 18 | 17 | 20 | 20 |

表 4 製造延遲相關數據表 (k=1000)

| Z(0)：實施延遲作業前之數據 | | | | | | | | | |
|-----------------|---------|---------|-------|------------|------------|-------------|---------------|-------|---------------|
| 項目 | μ_1 | μ_2 | p_1 | p_2 | p_3 | h_1 | h_2 | h_3 | S(0) |
| 數值 | 130k | 20k | 5.969 | 2.014 | 2.753 | 0.021 | 0.028 | 0.016 | 72,854 |
| 項目 | n_1 | n_2 | n_3 | σ_1 | σ_2 | z | | | |
| 數值 | 14 | 3 | 2 | 10k | 3k | 0.9 | | | |
| Z(2)：實施延遲作業後之數據 | | | | | | | | | |
| 項目 | μ_1 | μ_2 | p_1 | p_2 | p_3 | h_1 | h_2 | h_3 | S(2) |
| 數值 | 130k | 20k | 5.969 | 2.014 | 2.753 | 0.021 | 0.028 | 0.016 | 681 |
| 項目 | n_1 | n_2 | n_3 | σ_1 | σ_2 | ρ_{12} | σ_{12} | z | $\delta_3(2)$ |
| 數值 | 14 | 3 | 2 | 10k | 3k | -0.976 | 7.13k | 0.9 | 10 |

由上式(10)，執行製造延遲的效益為 48,899(元)，以該 150 噸銅片的毛利為 $7.5 \cdot 150,000 = 1,125,000$ (元)計算，可提高毛利率約 4.35%。在安全存貨整合效益方面，本案例 A、B 產品的需求相關係數 $\rho_{12} = -0.976$ ，表示彼此的需求呈負相關，亦即需求間具有互補性，因此相當適合共同化彼此的製程，經計算，存貨整合的效益可減少 726(元)的成本。雖然半成品滯留存貨成本增加了 24,000(元)，但也因提高了達交率，使得缺貨成本減少 72,173(元)。

若採用 Lee and Tang (1997) 原來的模式，製造延遲的效益由式(9)可得：

$$Z'(2) - Z'(0) = (881 - 1,607) = -726 \quad (11)$$

亦即只有安全存貨整合的效益。

由式(10)與式(11)的結果比較可知，本案例製造延遲最主要效益的來源為缺貨成本的下降，雖然其代價為延遲差異點半成品滯留存貨成本的上升，然而，Lee and Tang (1997) 原來的模式並未考慮此二項因素。由本研究分析可知，唯有透過實際案例的驗證，才能真正了解理論模式應用上的限制。

5.2 物流延遲應用

如圖 7 所示，本研究將生產至銅捲及運輸至外包物流中心的作業視為一個共同作業「製造運輸」，並將原本的「分條與包裝」作業分為「分條」與「包裝」兩項作業以配合外包廠商的作業現況。在「分條」作業設置物流延遲差異點，原始生產環境中的 $N=3$ 且 $k=0$ ，實施物流延遲後， $k=1$ 。

實施物流延遲之前($k=0$)成本的相關變數包括：單位處理成本 p_1 、 p_2 與 p_3 ，單位存貨持有成本 h_1 、 h_2 與 h_3 ，前置時間 n_1 、 n_2 與 n_3 ，缺貨成本 $S(0)$ 。且因供需不協調，平均生產完成的銅捲會在廠房滯留約 18 天等待分條，3 天等待包裝，即 $\delta_2(0)=18$ ， $\delta_3(0)=3$ 。實施物流延遲後($k=1$)，因需將銅捲運送至分條與包裝的外包商處，其運費可視為投資成本 I_1 。單位處理成本在生產部份因分條與包裝委外而減少 α_1 ，但增加分條外包費用 α_2 ，前置時間分條減少 γ_2 、包裝減少 γ_3 ，缺貨成本變為 $S(1)$ ，但銅捲完成品會在外包商停留 10 天，即 $\delta_2(1)=10$ 。因銅捲在運送至外包商之後，存貨持有成本中的存貨處理費用將完全由外包商所負擔，因此 h_2 與 h_3 會各別減少 β_2 與 β_3 的處理費用。式(12)為未實施物流延遲的總成本模式，式(13)為實施物流延遲的總成本模式，式(14)為實施物流延遲後的效益。

$$Z(0) = (p_1 + p_2 + p_3)(\mu_1 + \mu_2) + (h_1 n_1 + h_2 n_2 + h_3 n_3)(\mu_1 + \mu_2) + (h_1 + h_2 + h_3)(\mu_1 + \mu_2) / 2 \\ + z(\sigma_1 + \sigma_2)(h_1 \sqrt{n_1 + 1} + h_2 \sqrt{n_2 + 1} + h_3 \sqrt{n_3 + 1})$$

$$+h_2\delta_2(0)(\mu_1 + \mu_2) + h_3\delta_3(0)(\mu_1 + \mu_2) + S(0) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} Z(1) = & I_1 + [(p_1 - \alpha_1) + (p_2 + \alpha_2) + p_3](\mu_1 + \mu_2) \\ & + [h_1n_1 + (h_2 - \beta_2)(n_2 - \gamma_2) + (h_3 - \beta_3)(n_3 - \gamma_3)](\mu_1 + \mu_2) \\ & + (h_1 + h_2 - \beta_2 + h_3 - \beta_3)(\mu_1 + \mu_2) / 2 \\ & + z\sigma_{12}(h_1\sqrt{n_1 + 1}) + z(\sigma_1 + \sigma_2)[(h_2 - \beta_2)\sqrt{n_2 - \gamma_2 + 1} + (h_3 - \beta_3)\sqrt{n_3 - \gamma_3 + 1}] \\ & + (h_2 - \beta_2)\delta_2(1)(\mu_1 + \mu_2) + S(1) \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} Z(1) - Z(0) = & I_1 - \alpha_1(\mu_1 + \mu_2) + \alpha_2(\mu_1 + \mu_2) \\ & + [(h_2 - \beta_2)(n_2 - \gamma_2) + (h_3 - \beta_3)(n_3 - \gamma_3) - h_2n_2 - h_3n_3](\mu_1 + \mu_2) \\ & - (\beta_2 + \beta_3)(\mu_1 + \mu_2) / 2 + z(\sigma_{12} - \sigma_1 - \sigma_2)(h_1\sqrt{n_1 + 1}) \\ & + z(\sigma_1 + \sigma_2)[(h_2 - \beta_2)\sqrt{n_2 - \gamma_2 + 1} - h_2\sqrt{n_2 + 1}] \\ & + z(\sigma_1 + \sigma_2)[(h_3 - \beta_3)\sqrt{n_3 - \gamma_3 + 1} - h_3\sqrt{n_3 + 1}] \\ & + (h_2 - \beta_2)\delta_2(1)(\mu_1 + \mu_2) - h_2\delta_2(0)(\mu_1 + \mu_2) - h_3\delta_3(0)(\mu_1 + \mu_2) \\ & + [S(1) - S(0)] \end{aligned} \quad (14)$$

若採用 Lee and Tang (1997) 原來的模式，物流延遲的效益 $Z'(1) - Z'(0)$ 為去除式(14)中的滯留成本與缺貨成本，即

$$\begin{aligned} Z'(1) - Z'(0) = & I_1 - \alpha_1(\mu_1 + \mu_2) + \alpha_2(\mu_1 + \mu_2) \\ & + [(h_2 - \beta_2)(n_2 - \gamma_2) + (h_3 - \beta_3)(n_3 - \gamma_3) - h_2n_2 - h_3n_3](\mu_1 + \mu_2) \\ & - (\beta_2 + \beta_3)(\mu_1 + \mu_2) / 2 \\ & + z(\sigma_{12} - \sigma_1 - \sigma_2)(h_1\sqrt{n_1 + 1}) \\ & + z(\sigma_1 + \sigma_2)[(h_2 - \beta_2)\sqrt{n_2 - \gamma_2 + 1} - h_2\sqrt{n_2 + 1}] \\ & + z(\sigma_1 + \sigma_2)[(h_3 - \beta_3)\sqrt{n_3 - \gamma_3 + 1} - h_3\sqrt{n_3 + 1}] \end{aligned} \quad (15)$$

其中， $p_1 = 5.969 + 2.014 + 2.753 = 10.736$ (元/kg)，為熔鑄粗壓+燒焯中壓+燒焯精壓的作業費用(參考表4資料)，而 p_2 及 p_3 在工廠內的費用屬於燒焯精壓的一部份，故二者皆為零。在物流延遲實施後，委外分條作業使 p_2 增加 $\alpha_2 = 2.20$ (元/kg)的加工費用，但工廠生產成本 p_1 也下降 $\alpha_1 = 1.8$ (元/kg)。存貨持有成本方面，由「庫存明細表」的資料分析可得 $h_1 = h_2 = h_3 = 0.022$ ，實施委外分條作業後， h_2 與 h_3 各別減少存貨處理的成本 $\beta_2 = \beta_3 = 0.013$ 。需求標準差及共變數方面，本研究整理 C 類與 D 類兩種產品實驗前 10 個月的需求量表，算出 $\sigma_1 = 3$ 、 $\sigma_2 = 2$ 、 $\rho_{12} = -0.988$ ，因此 $\sigma_{12} = 1.06$ 。

在未實施物流延遲前一個月，該兩家客戶的訂單，因分條作業處理的問題，各有 C 類產品 14.355 噸及 D 類產品 6.438 噸，延遲 5 天出貨， $q_1(0) = 14,355$ ， $q_2(0) = 6,438$ ，且 $d_1(0) = d_2(0) = 5$ ，

平均達交率 $\phi(0) = 65.3\%$ 。其中，C 類產品的售價為 81.5 元/kg 且延遲交貨每日罰款為售價 0.3%， $pc_1 = 81.5 \cdot 0.3\%$ ；D 類產品的售價為 91 元/kg 且延遲交貨每日罰款為售價 0.25%， $pc_2 = 91 \cdot 0.25\%$ 。此外，C、D 兩類產品的利潤皆為 7.5 元/kg，故 $pf_1 = pf_2 = 7.5 \cdot 7\%/365$ 。實施物流延遲策略後，由 LS 公司物流中心裁剪配送的訂單，均能在訂單設定的時間內送達， $d_1(1) = d_2(1) = 0$ ，平均達交率 $\phi(1) = 100\%$ 。由式(2)：

$$\begin{aligned} S(0) &= 7.5 \cdot 7\%/365 \cdot (14.355+6,438) \cdot 5 \\ &\quad + 81.5 \cdot 0.3\% \cdot 14.355 \cdot 5 + 91 \cdot 0.25\% \cdot 6,438 \cdot 5 \\ &= 150 + 17,549 + 7,323 = 25,022(\text{元}) \end{aligned}$$

$$S(1) = 0(\text{元})。$$

各作業程序前置時間方面，根據 FC 公司的基本生產資料可得： $n_1 = 16$ 天、 $n_2 = 3$ 天、 $n_3 = 2$ 天。實施分條作業外包的物流延遲策略後，減少分條作業時間 $\gamma_2 = 2$ 天，減少包裝作業時間 $\gamma_3 = 1$ 天。因本案例的物流延遲會造成運輸上的額外費用，其成本為： $60,000 \times 0.102 = 6,120(\text{元})$ ，其中 0.102(元/kg)為本公司廠房至 LS 公司物流中心單位重量的運費。實施物流延遲前與後之數值如表 5 所示。

將表 5 數值帶入式(14)得：

$$\begin{aligned} Z(1) - Z(0) &= 6,120 - 1.8 \cdot 60,000 + 2.2 \cdot 60,000 \\ &\quad + (0.009 + 0.009 - 0.022 \cdot 3 - 0.022 \cdot 2) \cdot 60,000 \\ &\quad + (-0.013 - 0.013) \cdot 60,000/2 \\ &\quad + 0.9 \cdot (1,060 - 5,000) \cdot 0.022\sqrt{17} \\ &\quad + 0.9 \cdot 5,000 \cdot [0.009(\sqrt{2} + \sqrt{2}) - 0.022(\sqrt{4} + \sqrt{3})] \\ &\quad + 0.009 \cdot 10 \cdot 60,000 - 0.022 \cdot 18 \cdot 60,000 - 0.022 \cdot 3 \cdot 60,000 \\ &\quad + (0 - 25,022) \\ &= 6,120 + 24,000 - 5,520 - 780 - (322 + 255) - 22,320 - 25,022 \\ &= -24,099(\text{元}) \end{aligned} \tag{16}$$

由上式(16)，執行物流延遲的效益為 24,099(元)，依該 60 噸銅片的淨利為 $7.5 \cdot 60,000 = 450,000(\text{元})$ ，可提高淨利約 5.36%。雖然推動物流延遲策略會增加運輸費用 6,120(元)及增加分條與包裝的加工費用(外包費用-內製的費用)24,000(元)，但其效益可由在製品存貨成本降低 5,520(元)、循環存貨成本降低 780(元)、安全存貨成本降低 577(元)，半成品滯留存貨成本降低 22,320(元)，以及減少的罰款金額 25,022(元)反應出來。

然而，若採用 Lee and Tang(1997)原來的模式，物流延遲的效益由式(15)可得：

$$Z'(1) - Z'(0) = 6,120 + 24,000 - 5,520 - 780 - (322 + 255) = 23,243(\text{元}) \tag{17}$$

表 5 物流延遲相關數據表 (k=1000)

| Z(0)：實施延遲作業前之數據 | | | | | | | | | |
|-----------------|------------|------------|-----------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|--------|
| 項目 | μ_1 | μ_2 | p_1 | p_2 | p_3 | h_1 | h_2 | h_3 | $S(0)$ |
| 數值 | 30k | 30k | 10.736 | 0 | 0 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 25,022 |
| 項目 | n_1 | n_2 | n_3 | σ_1 | σ_2 | z | $\delta_2(0)$ | $\delta_3(0)$ | |
| 數值 | 16 | 3 | 2 | 3k | 2k | 0.9 | 18 | 3 | |
| Z(1)：實施延遲作業後之數據 | | | | | | | | | |
| 項目 | μ_1 | μ_2 | p_1 | p_2 | p_3 | h_1 | h_2 | h_3 | $S(1)$ |
| 數值 | 30k | 30k | 10.736 | 0 | 0 | 0.022 | 0.022 | 0.022 | 0 |
| 項目 | n_1 | n_2 | n_3 | σ_1 | σ_2 | σ_{12} | ρ_{12} | z | I_1 |
| 數值 | 16 | 3 | 2 | 3k | 2k | 1.06k | -0.988 | 0.9 | 6,120 |
| 項目 | α_1 | α_2 | β_2 | β_3 | γ_2 | γ_3 | $\delta_2(1)$ | | |
| 數值 | 1.8 | 2.2 | 0.013 | 0.013 | 2 | 1 | 10 | | |

亦即推動延遲作業成本反而提高了 23,243(元)，表示並不適合實施物流延遲。

與上述製造延遲策略分析的結果相類似，半成品滯留成本與缺貨成本兩項因素，並未包含在 Lee and Tang (1997) 原來的模式中，但在本研究案例中卻是影響重大的因素。由上述製造延遲與物流延遲實際案例的研究可發現，本研究最大的貢獻即是將實務上延遲交貨懲罰成本的現況，以及延遲過程中半成品滯留的現象所產生的成本，加入原有的模式中，以修正成爲更符合產業需求的延遲成本模式。相反地，若以 Lee and Tang (1997) 原來的模式分析延遲作業效益，將會誤導公司對於延遲作業實施效益的評估。

6. 結論與建議

本研究以 Lee and Tang (1997) 所提出的延遲成本模式爲分析效益的基礎，但由於該模式並未考慮實務運作上懲罰成本的現況及半成品滯留的現象，因此，對於企業在評估實施延遲作業的效益時，會有所偏差。爲改善 Lee and Tang(1997)模式的限制，本研究將此二項成本因素加入原有的模式中，並以案例公司現場的資料，分析傳統銅片製造商在實施「製造延遲」與「物流延遲」時所可獲得的效益，以使研究的結果更能符合公司實際上實施延遲作業的成本現況。底下將由案例公司推動延遲作業的過程與結果，針對本研究實務推動上的價值、延遲成本模式的新發現，以及本研究的限制，作更深入的探討。

實務推動上的價值

本研究經實證發現，實施製造延遲與物流延遲作業，可分別為案例公司節省成本 48,899 元與 24,099 元。如以實施製造延遲節省成本為 48,899 元/150 噸估算，並將每月平均銷售相類似規格產品約 2,000 噸黃銅片皆實施製造延遲策略，可節省成本 651,987 元。以 FC 公司當年財務報告顯示平均每月淨利新台幣 990 萬元，此實施成效可增加淨利約 6.6%。如以實施物流延遲節省成本為 24,099 元/60 噸估算，且將當年度每月平均銷售相似規格產品約 2,000 噸黃銅片皆實施物流延遲策略，可節省成本為 803,300 元，即增加淨利約 8.1%。若只採用 Lee and Tang (1997) 原有的模式，而不考慮缺貨成本及延遲差異點的半成品滯留成本，則本案例製造延遲的效益只有 726(元)，如式(11)所示。而物流延遲的效益因額外增加相當多外包及運輸的費用而為負值，式(17)，亦即成本反而上升 23,243(元)，主要乃因運輸與外包的加工費用共增加 30,120(元)，但存貨成本只降低 6,877(元)。

實施製造延遲所節省的成本，有一部份是來自於 A 與 B 兩類產品需求高度負相關所產生存貨整合的效益。雖然半成品滯留成本因中壓半成品提前完工而增加，但減少的懲罰性罰款所帶來的效益卻更大；而顧客達交率的提升，對 FC 公司未來市場的競爭力更有無形的助益。實施物流延遲所節省成本大多來自於客製化需求的「前置時間減少」所產生的效益，包括在製品存貨量成本、半成品滯留成本，以及缺貨成本的下降。我們依此結果認為設置接近客戶端的「物流中心」進行物流延遲，不僅符合專業分工 (specialization) 與勞務外包的產業趨勢 (Chen and Grimm, 2006; Rosenbloom, 2004)，也印證了愈將延遲差異點設置於接近客戶的需求點，所獲得時間與空間上的效用將更大 (Bowersox and Closs, 1996; Zinn and Bowersox, 1998)。

延遲成本模式的新發現

Lee and Tang (1997) 的模式並未考慮供需不平衡對顧客滿意度的影響。對銅片產業或 FC 公司而言，訂單的達交率以及前置時間，會影響公司的利潤及未來產業的競爭力。實務上評估顧客滿意度的成本相當困難，因為缺貨造成的商譽損失、訂單取消、原料漲跌價差或是客戶延誤求償，在目前商業交易中，雖有脈絡可循但卻不容易客觀地計算實質的損失。另外，由於延遲差異點的上下游產能並不一定相同，其間的排程也不容易能夠完全協調，因此，延遲差異點容易有半成品的滯留，造成存貨成本的提高。然而，從供應鏈的角度視之，延遲差異點半成品滯留的現象，即是為了快速反應顧客需求，而將成品存貨轉換成半成品存貨，整體而言可減少成品滯銷所造成更大成本的損失 (Johnson and Anderson, 2000)。本研究延伸考慮其中較可能衡量或實質發生的缺貨成本 $S(k)$ ，包括機會成本的損失以及懲罰性罰款，並將半成品滯留成本的因素也納入模式中，使 Lee and Tang (1997) 的成本模式更能符合目前產業所必須面臨的問題及挑戰，以及延遲作業所不易避免的半成品滯留的成本。比較式(10)與式(11)，以及式(16)與式(17)的結果可發現，缺貨成本及半成品滯留成本在本案例公司延遲策略實施效益的分析上，佔有相當重要的地位，相信也會對其他相類似公司或產業，具有相同重要的影響。

研究限制

雖然本研究中的製造延遲與物流延遲，並不是在該公司完全改變所有的作業後比較其效益，而是以對該公司影響最小的方式實施延遲作業，以及進行資料搜集。要全面且更客觀地推動延遲作業並評估其效益，需要公司大幅改變現有的產品設計、生產模式、管理流程等作業後才有可能。因此大多數公司在實務上皆是先小幅度改變與試行，再評估其效益。雖然本研究有關延遲產品的選擇、延遲差異點設定的相關原則，以及最後應用成本模式評估效益的過程等，皆可協助公司延遲作業試行階段的參考。然而，只以兩個月中的兩種產品為評估對象，其所獲得效益分析的結果，只能當作公司推動延遲模式的參考，此即本研究最主要的研究限制。

此外，由於本研究主要是建構在 Lee and Tang (1997) 的延遲成本模式上，因此本研究的重點只針對延遲策略的施行在成本的效益上進行分析，並未考慮其他可能的效益，如前置時間縮短對提昇顧客服務品質及降低顧客本身安全存貨量，對公司經營上的效益等。當然，若能考量延遲策略的其他效益，將可使延遲效益的分析更為完整，這也是未來研究可行的方向。最後，本研究所提出的修正後的延遲成本模式的應用，對於產品延誤交期而沒有懲罰性成本的公司或產業，或生產過程中各作業程序能以接近同步行進的方式生產而只有相當少的半成品滯留的生產線而言，與 Lee and Tang(1997)原成本模式在成本效益評估結果的比較上，則並不會有太大的差異。

參考文獻

- 巫誠恩，「台灣銅片產業之競爭策略分析」，國立中山大學高階經營研究所未出版碩士論文，民國 90 年。
- Alderson, W., "Marketing Efficiency and the Principle of Postponement," *Cost and Profit Outlook*, Vol. 3, No. 3, 1950, pp. 15-18.
- Bowersox, D. J. and Closs, D. J., *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*, Singapore: McGraw-Hill, 1996.
- Bucklin, L. P., "Postponement, Speculation and the Structure of Distribution Channels," *Journal of Marketing Research*, Vol. 2, No. 1, 1965, pp. 26-31.
- Chen, L.-C., and Grimm, C. M., "The Application of Empirical Strategic Management Research to Supply Chain Management," *Journal of Business Logistics*, Vol. 27, No. 1, 2006, pp. 1-56.
- Cooper, J. C., "Logistics Strategies for Global Businesses," *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 23, No. 24, 1993, pp. 12-23.

- Ernst, R. and Kamrad, B., "Evaluation of Supply Chain Structures through Modularization and Postponement," *European Journal of Operational Research*, Vol. 124, Iss. 3, 2000, pp. 495-510.
- Feitzinger, E. and Lee, H. L., "Mass Customization at Hewlett-Packard: The Power of Postponement," *Harvard Business Review*, Vol. 75, Jan-Feb., 1997, pp. 116-121.
- Garg, A. and Tang, C. S., "On Postponement Strategies for Product Families with Multiple Points of Differentiation," *IIE Transactions*, Vol. 29, No. 8, 1997, pp. 641-650.
- Hoekstra, S., and Romme, J., *Integral Logistics Structures: Developing Customer-Oriented Goods Flow*, London: McGraw Hill, 1992.
- Hon, J.-S., Tarng, M.-Y., and Chu, P.-Y., "A Case Study Exploring Acer's Global Logistics and Innovation," *Management International*, Vol. 5, No. 1, 2000, pp. 21-30.
- Huang, C. W. and Lo, C. P., "Using Postponed Manufacturing to Reconfigure the Supply Chain in the Desktop Personal Company Industry: The Case of Taiwan," *International Journal of Management*, Vol. 20, No. 2, 2003, pp. 241-256.
- Johnson, M. E. and Anderson, E., "Postponement Strategies for Channel Derivatives," *International Journal of Logistics Management*, Vol. 11, No. 1, 2000, pp. 19-33.
- Lee, H. L., "Effective Management of Inventory and Service through Product and Process Redesign," *Operations Research*, Vol. 44, No. 1, 1996, pp. 151-159.
- Lee, H. L., Billington, C., and Carter, B., "Hewlett-Packard Gains Control of Inventory and Service through Design for Localization," *Interfaces*, Vol. 23, No. 4, 1993, pp. 1-11.
- Lee, H. L. and Tang, C. S., "Modeling the Costs and Benefits of Delay Product Differentiation," *Management Science*, Vol.43, No. 1, 1997, pp. 40-53.
- Ma, S., Wang, W., and Liu, L., "Commonality and Postponement in Multistage Assembly Systems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 142, Iss. 3, 2002, pp. 523-538.
- Partanen, J. and Haapasalo, H., "Fast Production for Order Fulfillment: Implementing Mass Customization in Electronics Industry," *International Journal of Production Economics*, Vol. 90, No. 2, 2004, 213-222.
- Peterson, R. and Silver E., *Decision Systems for Inventory Management and Production Planning*, New York: John Wiley, 1979.
- Rau, H. and Liu, C.-K., "The Optimal Combination of Postponement Operations in a Supply Chain," *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, Vol. 23, No. 3, 2006, pp. 253-261.
- Rosenbloom, B., *Marketing Channels: A Management View*, 7th ed., Canada: South-Western, 2004.

- Su, J. C. P., Chang, Y. L., and Ferguson, M., "Evaluation of Postponement Structures to Accommodate Mass Customization," *Journal of Operations Management*, Vol. 23, Iss. 3-4, 2005, pp. 305-318.
- van Donk, D. P., "Make to Stock or Make to Order: The Decoupling Point in the Food Processing Industries," *International Journal of Production Economics*, Vol. 69, No. 3, 2001, pp. 297-306.
- van Hoek, R. I., "Postponed Manufacturing in the Food Industry," *Supply Chain Management: An International Journal*, Vol. 2, No. 2, 1997, pp. 63-75.
- van Hoek, R. I., "The Rediscovery of Postponement a Literature Review and Directions for Research," *Journal of Operations Management*, Vol. 19, No. 2, 2001, pp. 161-184.
- van Hoek, R. I., Commandeur, H. R., and Vos B., 1998, "Reconfiguring Logistics Systems through Postponement Strategies," *Journal of Business Logistics*, Vol. 19, No. 1, 1998, pp. 33-53.
- Waller, M. A., Dabholkar, P. A., and Gentry, J. J., 2000, "Postponement, Product Customization, and Market-Oriented Supply Chain Management," *Journal of Business Logistics*, Vol. 21, No. 2, 2000, pp. 133-159.
- Youssef, K. H., Van Delft, C., and Dallery, Y., 2004, "Efficient Scheduling Rules in a Combined Make-to-Stock and Make-to-Order Manufacturing System," *Annals of Operations Research*, Vol. 126, 2004, pp. 103-134.
- Zinn, W. and Bowersox, D. J., "Planning Physical Distribution with the Principle of Postponement," *Journal of Business Logistics*, Vol. 9, No. 2, 1988, pp. 117-136.