

整合式多期規劃供應鏈模式

藍俊雄 邱誌偉 胡鴻慶

南華大學管理科學研究所

622 嘉義縣大林鎮中坑里中坑 32 號

摘要

二十一世紀的今天，有關供應鏈管理的議題已聚焦在整體實務面的操作與理論的運用上，反觀傳統中企業僅追求本身利潤極大化的目標實嫌不足。企業應就整體供應鏈中所有相關環節的獲利情形與資源、設備等限制同步地加以探討。藉由整體供應鏈全面性的考量以創造總體價值最大化之目標以取代傳統的目標，實是企業應深思的焦點議題。

本研究旨在全面性的探討整體供應鏈中有關採購、生產、存貨、配銷、以及缺貨等問題並提供一模式化的數量決策平台，使決策者易於使用並提供企業在多期總體供應鏈中各環節之規劃上做一全盤性的考量及即時性之分析。因此有關多期多樣式產品在有限產能與空間限制下之多工廠生產庫存規劃、多供應商之數量折扣下之物料採購規劃、多經銷商之轉運及庫存規劃、多零售商之需求配送規劃以及缺貨懲罰情況下建構一以追求利潤最大化為目標之非線性整數規劃 INLP (integer nonlinear programming) 模型。此外，本模式在求解方面則利用 Lingo 9.0 extended version 套裝軟體語法進行模式構建，並選擇內建之 Global Solver 進行全域最佳解之搜尋運算，同時舉一數值範例進行求解之說明。本研究因具有高度的重現性，因此可為供應鏈中各企業在追求整體最佳之採購、生產庫存以及配送規劃上扮演一重要之參考依據。

關鍵詞：供應鏈管理，Lingo 9.0，懲罰成本，整合式多期規劃

A Macro-Hybrid Supply Chain Model for Multi-Interval Planning

CHUN-HSIUNG LAN, CHIH-WEI CHIU and HUNG-CHING HU

Graduate Institute of Management Sciences, Nanhua University, Taiwan

No.32, Chung Keng Li, Dalin, Chia-Yi, 622, Taiwan, R.O.C.

ABSTRACT

At the beginning of the 21st century, the issue of supply chain management has focused on practical operations and their theoretical applications for comparison with the traditional business aim, which merely pursues the maximal benefit. A business should simultaneously consider the benefits, resources and facilities for all stages in the supply chain system; i.e., consider the creation of an overall value for the system instead of the traditional goal of pursuing maximal benefits in certain focused stages.

This study aims to provide a referenced decision-making platform for a decision-maker in the current complex environment and also function as a decision-making tool for focusing on the overall



and real-time analyses of multi-interval planning for a supply chain system. This system will investigate the purchase, production, inventory, distribution, and product shortage to deal with customers' demands for pursuing the maximal profit under a constrained production/inventory and finite distribution capacity. This research not only considers the multi-product order, multi-factory production, multi-material purchase, multi-distribution transportation, quantity discounts, diverse-customer demand, product inventory cost and limited inventory space but also provides the punishment cost of the demand shortage to construct an Integer Nonlinear Programming (INLP) mathematical model for achieving the maximum profit. Moreover, the proposed mathematical model is constructed by using the syntax of Lingo 9.0, extended version, wherein the built-in "global solver" is selected as the solution method. A numerical example then follows. This study creates a highly repetitive characteristic because of the application of the packaged software (Lingo 9.0); therefore, the proposed model and the solution method can be treated as valuable.

Key Words: supply chain management, Lingo 9.0, punishment cost, multi-interval planning

一、前言

「廠商理論」在傳統個體經濟學理論中均以假設生產者的基本動機乃為追求利潤，然而在現實的世界裡，廠商的目的不只在追求本身的最大利潤，對於市場結構的區分除廠商數目及產品差異性外，有關整體供應鏈系統利潤最大化應也是一重要的考量因素。國內外企業不論是傳統產業或資訊科技（information technology, IT）產業，其為增加產能或是擴大營運目標，除了掛牌上櫃、上市以募集資金外，更進一步依據企業營業目標的成長而設立子公司以接應不同面向與類型的商務行爲。此外，工廠與倉儲中心的設置亦是企業運作之主體之一，因此供應商、工廠、經銷商與顧客之管理成爲近年來一門重要的主題。

供應鏈是由一個非常複雜的網路形成，它包含了不同的物流設備及組織。依照美國資源管理協會（The Association for Operations Management, APICS）所給予供應鏈管理（supply chain management, SCM）的定義是：「針對供應鏈裡各種活動的設計、計劃、執行、控制，和監控，其目的在創造淨價值，建立競爭的基架構，發揮全球運籌的最大績效，使供應和需求得以同步化，並且全面性地評估績效。」

對這複雜的供應鏈問題許多學者有其不同的看法，並提出其方式來解決有關供應鏈中各類型不同的問題。學者 Newhart et al. 利用數學規劃法與啟發式演算法，建構一以產品存貨數量最小化爲目標之最佳化供應鏈體系 [9]。學者 Leachman et al. 對半導體產業中需兼具大量生產、多產品項以及多顧客的特性，建構一線性規劃（linear programming, LP）模式，再根據各產品項的不同需求，分配工作站機台

的產能，藉由這些不同產品組合之生產與銷售以達到利潤最大化之目標 [7]。學者 Robinson 和 Satterfield 以供應鏈的觀點建構一個混合整數線性規劃模式，目標式爲配銷網絡利潤極大化，模式使企業可以決定其最佳的設施佈置位置，並提出一個有效估計市場佔有率的方法，更進一步討論市場佔有率對設施位置所扮演決定的影響 [11]。學者 Petrovic et al. 應用模糊理論透過對持有成本及短缺成本的考量，以模糊集合說明顧客需求和外部供應商供給原物料可靠度的不確定因素，建構出模糊供應鏈存貨的成本模式，並利用啟發式演算法進行較佳解的搜尋 [10]。學者 Amit Gary 發展供應鏈模組與分析工具（supply chain management analysis tool, SCMAT）應用在大型的電子生產製造商的供應鏈管理設計生產上，該研究主要可提供管理者如何解決供應鏈管理中有關庫存、成本包裝設計等相關問題，且依據各節點產能限制減少生產前置時間，解決庫存成本問題 [4]。

再者，學者 Yung 和 Yang 提出以基因演算法的方式提供形成供應鏈的組合解，針對有關本研究所考慮的屬性，對於企業之上下游廠商進行演算工程，以得到較佳解，惟此研究僅適用於上下游廠商間之最佳化關係探索，仍無法解決有關多層次廠商合作之問題 [18]。學者 Min 和 Melachrinoudis 以生產和存貨控制爲評估準則，運用層級分析法（analytical hierarchy process, AHP）評估供應商、製造商、零售商與顧客之間多階層供應鏈網路連結的物流問題 [8]。學者 Timpe 和 Kallrath 以一個化學公司爲其研究對象，該公司擁有多個生產工廠與銷售點，以生產數量、工廠產能、物料流量、存貨及運送爲限制條件，提出一混合整數線性規劃模型，期望在最大利潤下，求得各個工廠之最適生產數量 [12]。學者



Zhou et al. 以最大產能數量及最小作業成本為目標，藉由石化業原料可獲性、技術能力、產能及成本為其限制條件，利用目標規劃 (goal programming, GP) 與層級分析法解出在社會、經濟、資源和環境相互衝突目標下之最適決策 [19]。學者 Jellouli 和 Chatelet 認為供應商面臨複雜且需求變化快速的環境，因此提出利用基因演算法求出供應鏈中最佳前置時間、存貨量以及週轉率，以達到供應鏈成本最佳化 [6]。

學者 Jayaraman 和 Pirkul 以供應商、工廠、倉儲中心以及顧客為研究範圍，整合生產廠區產能及大型零售商的產能限制下，在考量固定成本與變動成本的總成本最小情況之下，規劃多階段生產模式，以建立一生產與配送之混合整數線性規劃 (mixed-integer linear programming, MILP) 模式 [5]。學者 Gao 和 Tang 以最小成本、最低報廢率、最小運交為目標函數；採購預算、產能、倉儲空間與供應商位置為限制條件，建構一整合工廠採購原料模式，並以多目標線性規劃求解 [3]。學者 Wang 和 Liang 以最小生產成本、最小缺貨成本以及最小人力水準變動為目標函數；存貨、勞動人力與產能為限制條件，建構一多產品生產規劃模式，並以模糊多目標線性規劃模式求解 [14]。

實務界中，一般企業常會給予大量訂購者有關數量折扣 (quantity discount) 優惠，鼓勵買方訂購較大的數量。學者 Weng 考量供應商的數量折扣，藉以降低供應商之營運成本以及增加買方之需求 [16]。學者 Benton 和 Park 提出數量折扣包含全件折扣 (all-units discount) 及增量折扣 (incremental discount) 兩種方式，全件折扣是在大量採購時，每件都可獲得折扣之價格；而增量折扣則是超過某一數量之件數才可獲得折扣，在該數量內之件數仍維持原價 [1]。學者 Fazel et al. 提出數量折扣為訂購量與訂購單價成一遞減函數，此為第三種數量折扣方式 [2]。學者 Wee 在允許部分缺貨待補情形之下，考慮商品之損耗性，將需求訂為售價之線性遞減函數，建構一全件折扣 (all-units discount) 之存貨模式 [15]。學者 Viswanathan 和 Wang 提出在單一買方且單一零售商之配銷通路下，評估數量折扣以及大數量折扣之協調機制對價格敏感需求的效用 [13]。學者 Yang 整合買賣雙方之數量折扣策略，探討消耗性產品在價格隨需求變動而變動的情形下，使買賣雙方總利潤最大之最佳訂購及定價策略 [17]。

上述研究文獻在進行經營規劃決策時，往往只考慮到供應鏈中的生產階段，僅把生產系統最佳化，而在數量折扣方面的探討也僅針對買賣雙方進行討論。事實上，這些研究只

討論到供應鏈之部分階段，而非全面性的探索。本研究以全面性、同時性的觀點探討供應鏈中各階層之整合性的關係，針對供應、採購、生產、存貨、配銷以及缺貨等因素進行討論。在供應商供給以及工廠採購方面，本研究除了考慮供應商產能上限以及工廠庫存容量之條件外，有關供應量數量折扣之問題亦加以探討；在生產階段，本研究考慮到多樣產品所需多樣原料分別依不同之比率組合之情形，以及有關供應商原料供應量之上限問題；在經銷商的部份，本研究除了考慮儲存容量外，其對顧客運送之產品數量折扣以及缺貨懲罰問題也是本研究所探討的一環。本研究在數量折扣之問題上採用全件折扣 (all-units discount) 方式，考慮多規劃期、多產品、多物料、多供應商採購、多工廠生產、多經銷商存貨與配送，建構出一以整體供應鏈利潤最大化為目標的非線性整數規劃 INLP (integer nonlinear programming) 數學模型，以求解出各工廠對各供應商中各原料之最佳採購數量、對各產品之生產數量、運送各產品至各經銷商之最佳數量、儲存各原料和各產品之最佳數量；並且同時求出各經銷商對各產品之最佳存貨數量、運送至顧客各產品最佳數量以及對顧客之各產品之最佳缺貨數量策略等，並利用 Lingo9.0 extended version 套裝軟體語法建構模式，並藉由其內建之 Global Solver 搜尋全域最佳解，希望本研究的主要貢獻乃提供一實務模型，將一企業的上、下游整體與企業本身完整結合，以為供應鏈管理提供一重要之決策工具。

二、假設及符號說明

所有有關本研究的假設及符號說明如下所述。

(一) 研究假設

茲將本研究之假設羅列如下：

1. 本研究以四階層供應鏈 (供應商→工廠→經銷商→顧客) 建構一以利潤極大化為目標之整合式多期供應鏈規劃 (integrated supply chain with multi-internal planning, ISCMP) 模型。
2. 假設本研究供應鏈中各成員為完全合作，且工廠與經銷商屬於同一企業集團，其顧客即為零售商。
3. 假設生產計畫期長度為已知。
4. 假設供應商及時交貨 (just in time delivery)。
5. 假設產品的需求量是依照歷史銷售資料加以預測的已知數值。
6. 假設通貨膨脹率不變，價格折扣的考慮下，原價格視為



固定，不因時間變動而產生價格變動。

(二) 符號說明

1. 模式之註標

- t : 期數代碼, $t=1,2,\dots,T$
 d : 供應商代碼, $d=1,2,\dots,D$
 f : 工廠代碼, $f=1,2,\dots,F$
 w : 經銷商代碼, $w=1,2,\dots,W$
 c : 顧客代碼, $c=1,2,\dots,C$
 g : 產品代碼, $g=1,2,\dots,G$
 r : 原料代碼, $r=1,2,\dots,R$

2. 輸入參數

- P_{cg} : 顧客 c 購買產品 g 的價格
 L_{tcg} : 第 t 期時, 顧客 c 對產品 g 的訂單需求數量
 IC_{tfr} : 第 t 期時, 工廠 f 儲存原料 r 的單位存貨成本
 TC_{tdr} : 第 t 期時, 供應商 d 運送原料 r 至工廠 f 的單位運輸成本
 PB_{tdr} : 第 t 期時, 供應商 d 對原料 r 的供應量上限
 RA_{gr} : 組成一單位產品 g 所需原料 r 的比率
 MT_{tfg} : 第 t 期時, 工廠 f 生產一單位產品 g 所需的時間
 IC_{tfg} : 第 t 期時, 工廠 f 儲存一單位產品 g 所需的存貨成本
 S_r : 一單位原料 r 所需的庫存空間
 S_g : 一單位產品 g 所需的庫存空間
 TC_{tfgw} : 第 t 期時, 一單位產品 g 由工廠 f 至經銷商 w 的運輸成本
 IC_{twg} : 第 t 期時, 經銷商 w 儲存一單位產品 g 所需的存貨成本
 TC_{twcg} : 第 t 期時, 經銷商 w 運送一單位產品 g 至顧客 c 的運輸成本
 UP_{tf} : 第 t 期時, 工廠 f 所能提供的工時上限
 US_{tf} : 第 t 期時, 工廠 f 所提供的庫存容量
 US_{tw} : 第 t 期時, 經銷商 w 所提供的庫存容量

3. 決策變數 (decision variables)

- RA_{tdr} : 第 t 期時, 向供應商 d 採購原料 r 的數量
 TA_{tdr} : 第 t 期時, 供應商 d 運送給工廠 f 原料 r 的數量
 IA_{tfr} : 第 t 期時, 工廠 f 儲存原料 r 的數量
 MA_{tfg} : 第 t 期時, 工廠 f 生產產品 g 的數量
 IA_{tfg} : 第 t 期時, 工廠 f 儲存產品 g 的數量
 TA_{tfgw} : 第 t 期時, 工廠 f 運送產品 g 至經銷商 w 的數量

GA_{tfgw} : 第 t 期時, 工廠 f 對經銷商 w 缺貨產品 g 的數量

IA_{twg} : 第 t 期時, 經銷商 w 儲存產品 g 的數量

GA_{twcg} : 第 t 期時, 經銷商 w 對顧客 c 缺貨產品 g 的數量

TA_{twcg} : 第 t 期時, 經銷商 w 運送產品 g 至顧客 c 所需的數量

TPC_{twg} : 第 t 期時, 經銷商 w 缺貨產品 g 的缺貨懲罰成本

4. 輸入函數

$F_p(MA_{tfg})$: 第 t 期時, 工廠 f 生產產品 g 的數量對應之 n 階單位生產成本之階梯函數, 其定義為

$$F_p(MA_{tfg}) = \sum_{\ell=1}^n \alpha_g^{\ell} f_g^{\ell}(MA_{tfg})$$

其中 $\alpha_g^{\ell} \in \mathfrak{R}$ 且 $\begin{cases} \text{if } MA_{tfg} \in [\alpha_g^{\ell}, \alpha_g^{\ell+1}), f_g^{\ell}(MA_{tfg}) = 1 \\ \text{otherwise } f_g^{\ell}(MA_{tfg}) = 0 \end{cases}$; α_g^{ℓ} 代表

產品 g 第 ℓ 階生產產品數量下限

$F_r(RA_{tdr})$: 第 t 期時, 原料 r 之採購量所對應之 n 階單位採購成本之階梯函數, 其定義為

$$F_r(RA_{tdr}) = \sum_{\ell=1}^n \alpha_r^{\ell} f_r^{\ell}(RA_{tdr})$$

其中

$\alpha_r^{\ell} \in \mathfrak{R}$ 且 $\begin{cases} \text{if } RA_{tdr} \in [\alpha_r^{\ell}, \alpha_r^{\ell+1}), f_r^{\ell}(RA_{tdr}) = 1 \\ \text{otherwise } f_r^{\ell}(RA_{tdr}) = 0 \end{cases}$; α_r^{ℓ} 代表物

料 r 第 ℓ 階價格所需的採購量下限

$F_g(GA_{twcg})$: 第 t 期時, 經銷商 w 缺貨產品 g 的數量對應之 n 階價格之階梯函數, 其定義為

$$F_g(GA_{twcg}) = \sum_{\ell=1}^n \alpha_g^{\ell} f_g^{\ell}(GA_{twcg})$$

其中

$\alpha_g^{\ell} \in \mathfrak{R}$ 且 $\begin{cases} \text{if } GA_{twcg} \in [\alpha_g^{\ell}, \alpha_g^{\ell+1}), f_g^{\ell}(GA_{twcg}) = 1 \\ \text{otherwise } f_g^{\ell}(GA_{twcg}) = 0 \end{cases}$; α_g^{ℓ} 代表產

品 g 第 ℓ 階價格缺貨產品數量下限。

三、模式構建

以下將建構一以利潤極大化為目標之整合式多期供應鏈規劃 (integrated supply chain with multi-interval planning, ISCMP) 模型。



$$\begin{aligned}
\max \quad & \sum_g \sum_c \left[P_{cg} \times \left(\sum_t L_{tcg} - \sum_t \sum_w GA_{twcg} \right) \right] \\
& - \left\{ \sum_t \sum_d \sum_r [F_r(RA_{idr}) \times RA_{idr}] \right. \\
& + \sum_t \sum_d \sum_f \sum_r (TC_{idfr} \times TA_{idfr}) \\
& + \sum_t \sum_f \sum_r (IC_{tfr} \times IA_{tfr}) \\
& + \sum_t \sum_f \sum_g \{ [F_p(MA_{tfg}) \times MA_{tfg}] + (IC_{tfg} \times IA_{tfg}) \} \\
& + \sum_t \sum_f \sum_w \sum_g (TC_{tfwg} \times TA_{tfwg}) \\
& + \sum_t \sum_w \sum_c \sum_g (TC_{twcg} \times TA_{twcg}) \\
& \left. + \sum_t \sum_w \sum_g [(IC_{twg} \times IA_{twg}) + TPC_{twg}] \right\} \quad (1)
\end{aligned}$$

s.t.

$$\sum_f \sum_g (MA_{tfg} \times RA_{gr}) \leq \sum_d RA_{idr} \leq \sum_d PB_{idr} \quad \forall t, r \quad (2)$$

$$\sum_g (MA_{tfg} \times MT_{tfg}) \leq UP_{tf} \quad \forall t, f \quad (3)$$

$$\sum_g IA_{tfg} \times S_g + \sum_r IA_{tfr} \times S_r \leq US_{tf} \quad \forall t, f \quad (4)$$

$$\sum_g IA_{twg} \times S_g \leq US_{tw} \quad \forall t, w \quad (5)$$

$$\sum_f TA_{idfr} = RA_{idr} \quad \forall t, d, r \quad (6)$$

$$IA_{(t-1)fr} + \sum_d TA_{idfr} - \sum_g (MA_{tfg} \times RA_{gr}) = IA_{tfr} \quad \forall t, f, r \quad (7)$$

$$IA_{(t-1)fg} + MA_{tfg} - \sum_w TA_{tfwg} = IA_{tfg} \quad \forall t, f, g \quad (8)$$

$$IA_{(t-1)wg} + \sum_f TA_{tfwg} - \sum_c TA_{twcg} = IA_{twg} \quad \forall t, w, g \quad (9)$$

$$\sum_c \left(L_{tcg} - \sum_w TA_{twcg} \right) = \sum_w \sum_c GA_{twcg} \quad \forall t, g \quad (10)$$

$$TPC_{twg} = \sum_c [F_g(GA_{twcg}) \times GA_{twcg}] \quad \forall t, w, g \quad (11)$$

$$RA_{idr}, TA_{idfr}, IA_{tfr}, MA_{tfg}, IA_{tfg}, TA_{tfwg}, GA_{twcg}, IA_{twg}, TPC_{twg}, \geq 0$$

且為整數 (12)

方程式 (1) 為本模型之目標式，為總收益減去所有支付的成本（包含原料採購成本、供應商、工廠及經銷商運輸成本、工廠原料及產品存貨成本、經銷商存貨成本、工廠製造成本以及經銷商缺貨懲罰成本）之利潤極大化目標。

方程式 (2) 為供應商的最大供應量限制，表示所有工廠使用原料 r 的數量不得大於所有供應商供應原料 r 的總數量；且所有供應商供應原料 r 的數量不得大於所有供應商的最大供應量限制。

方程式 (3) 為第 t 期時工廠的最大產能限制，表示工廠 f 在第 t 期時生產所有產品所花費的時間不會大於工廠 f 的工時上限。

方程式 (4) 為第 t 期時工廠最大庫存空間限制，第 t 期時工廠 f 儲存所有產品的存貨空間加上工廠 f 儲存所有原料 r 的存貨空間不得大於工廠 f 的庫存空間上限。

方程式 (5) 為第 t 期時經銷商最大庫存空間限制，第 t 期時經銷商 w 對所有產品的存貨空間不得大於經銷商 w 的庫存空間上限。

方程式 (6) 為第 t 期時供應商 d 運送給所有工廠原料 r 的數量，必須等於第 t 期時工廠向供應商 d 採購原料 r 的數量。

方程式 (7) 為第 t 期期初工廠 f 對原料 r 的存貨量，加上第 t 期時所有供應商運送給工廠 f 原料 r 數量，減去第 t 期工廠 f 製造所有產品使用原料 r 的數量，會等於第 t 期期末工廠 f 對原料 r 的存貨量。

方程式 (8) 為第 t 期期初工廠 f 對產品 g 的存貨量，加上第 t 期時工廠 f 生產產品 g 的數量，減去第 t 期工廠 f 送往所有經銷商產品 g 的數量，會等於第 t 期期末工廠 f 對產品 g 的存貨量。

方程式 (9) 為第 t 期期初經銷商 w 對產品 g 的存貨量，加上第 t 期時所有工廠運送給經銷商 w 產品 g 的數量，減去第 t 期倉儲中心 w 送往所有顧客產品數量，會等於第 t 期期末經銷商 w 對產品 g 的存貨量。

方程式 (10) 為第 t 期時，顧客 c 對產品 g 的需求量，減去所有經銷商運送給顧客 c 所需產品 g 的數量，會等於所



有經銷商 w 對顧客 c 所缺貨產品 g 的數量。

方程式 (11) 為第 t 期時，經銷商 w 缺貨產品 g 的缺貨懲罰成本。

方程式 (12) 表示所有決策變數為非負且為整數的限制式。

綜言之，由式 (1) ~ (12) 可知，本模式為一非線性整數規劃 (INLP) 問題。

四、數值範例與分析探討

對整體供應鏈而言，各項與採購、生產、存貨、配銷、以及缺貨等有關之成本，都有可能成為影響整體供應鏈規劃決策的關鍵因素。有鑑於此，在施行整體供應鏈相關規劃時各種實際上所面臨的狀況均須加以考量，以做出最適的規劃。

在前節中，本研究已建構一以利潤極大化為目標之整合式多期規劃供應鏈模式，並對此模式做完整的描述與介紹。接著本節將藉由一擁有多供應商、多製造廠、多經銷商以及多零售商之範例，探討在有限產能與存貨空間限制下之多期多工廠生產與庫存規劃、數量折扣考量下之多供應商之物料採購規劃、配送能力考量下之多經銷商之轉運及庫存規劃、以及多零售商之需求配送規劃與缺貨懲罰情況。

本範例以一擁有三個供應商、兩間製造工廠與兩家經銷商之企業集團以及三個零售商需求之供應系統為例，其中各供應商皆可供應三種原物料給兩間工廠，而工廠可由此三種不同的物料依其不同的比例組合製成兩種產品。本研究的規劃總期間為三期，每期一個月，顧客購買產品 1 未折扣時的價格為 600 元，購買產品 2 未折扣時的價格為 800 元，附錄表 A.1 顯示第 t 期時，顧客 c 對產品 g 的訂單需求數量，而隨著規劃期間的增加，顧客的需求數量也相對地增加；附錄表 A.2 顯示第 t 期時，工廠 f 儲存原料 r 的單位存貨成本；附錄表 A.3 顯示第 t 期時，供應商 d 運送原料 r 至工廠 f 的單位運輸成本，由於每個供應商與工廠之間的距離不同，故其運輸成本也會隨著距離遠近而有所改變；附錄表 A.4 顯示第 t 期時，供應商 d 對原料 r 的供應量上限。

附錄表 A.5 表示組成一單位產品 g 所需原料 r 的比率，意即 BOM (bill of materials) 表；附錄表 A.6 顯示第 t 期時，工廠 f 生產一單位產品 g 所需的時間；附錄表 A.7 顯示第 t 期時，工廠 f 儲存一單位產品 g 所需的存貨成本；此外，本範例中三種原料每單位所需的庫存空間皆為 1 立方單位；原

料製成第一種產品所需之庫存空間為 9 立方單位；製成第二種產品所需之庫存空間為 6 立方單位。附錄表 A.8 顯示第 t 期時，一單位產品 g 由工廠 f 送至經銷商 w 的運輸成本；附錄表 A.9 顯示第 t 期時，經銷商 w 儲存一單位產品 g 所需的存貨成本；附錄表 A.10 顯示第 t 期時，經銷商 w 運送一單位產品 g 至顧客 c 的運輸成本；在本範例中，每期各工廠所能提供的工時上限皆為 7,000 小時，且其所提供的庫存容量均為 7,000 立方單位，而各經銷商的庫存容量均為 4,500 立方單位。

而物料採購和產品生產時有關數量折扣的情況，以及供應商和經銷商的缺貨懲罰之情況，本研究亦加以考量。附錄表 A.11 表示供應商供應各物料單價數量折扣之資訊，以訂購量 6,000 單位為基準給予折扣；附錄表 A.12 表示工廠生產產品之單位製造成本，製造 2,501 單位以上便達規模經濟，故單位製造成本下降；附錄表 A.13 表示經銷商短缺一單位產品給顧客的缺貨懲罰成本，若缺貨量超過 200 單位，則缺貨懲罰單位成本也隨之增加。

本範例模型中共有 318 個變數，其中非線性變數為 150 個、整數變數 243 個；限制式共有 223 條，其中非線性限制式有 88 條，此模式歸類為一非線性整數規劃模式；本範例求出的全域最佳解，最佳利潤為 6,805,130 元。茲將本範例之最佳規劃結果列於表 1 至表 7。

表 1 顯示在第 t 期時，企業分別向供應商採購原料的數量，附錄表 A.11 顯示，供應商在供應 6,000 單位以下時其單位成本較高，為等級一；供應 6,001 單位以上時其單位成本較低，為等級二，為追求較大獲利，在訂購量不變下，試圖將成本下降是一種不錯的選擇，表 2 顯示第 t 期時，供應商 d 運送給工廠 f 原料 r 的數量，由表 1 及表 2 可看出第一個供應商在第一期及第二期供應原料 1 時，皆供應 6,001 單位之原料，企業在第一期及第二期對第一個供應商訂購原料分別配送給工廠 1 及工廠 2，代表企業在這兩個期間均採策略性訂購，以整合的訂購數來降低採購原料之單位成本。

表 3 顯示工廠 f 儲存原料 r 及產品 g 的數量；表 4 顯示工廠 f 生產產品 g 的數量，工廠在生產 2,500 單位以下其單位製造成本較高，為等級一；供應 2,501 單位以上其單位製造成本較低，為等級二。而在表中我們可看出工廠盡其所能達到規模經濟，故採策略性生產，以降低工廠生產產品之單位製造成本。



表 1. 向供應商採購原料的數量 (RA_{idr})

t	dr								
	11	12	13	21	22	23	31	32	33
1	6,001	7,000	9,992	2,000	6,000	6,052	0	7,981	0
2	6,001	7,000	9,948	2,479	6,000	6,970	0	8,000	0
3	6,023	7,000	10,000	2,690	6,000	7,339	0	8,000	24

表 2. 供應商運送給工廠原料的數量 (TA_{idfr})

td	fr						
	11	12	13	21	22	23	
11	4,975	7,000	9,992	1,026	0	0	
12	0	0	0	2,000	6,000	6,052	
13	0	4,926	0	0	3,055	0	
21	5,450	7,000	9,948	551	0	0	
22	0	0	910	2,479	6,000	6,060	
23	0	4,872	0	0	3,128	0	
31	6,023	7,000	10,000	0	0	0	
32	0	0	1,983	2,690	6,000	5,356	
33	0	5,981	0	0	2,019	24	

表 3. 工廠儲存原料及產品的數量 (IA_{ifr} 及 TA_{ifg})

t	fr/fg						
	11	12	13	21	22	23	
1	0/0	0/376	42/NA	0/0	1/902	0/NA	
2	0/0	0/0	0/NA	0/0	51/999	0/NA	
3	38/0	0/0	13/NA	0/0	0/0	0/NA	

表 4. 工廠生產產品的數量 (MA_{ifg})

t	fg			
	11	12	21	22
1	2,999	1,976	24	3,002
2	4,478	972	12	3,018
3	4,974	1,011	0	2,690

表 5. 工廠運送產品至經銷商的數量 (TA_{ifwg})

t	fwg							
	111	112	121	122	211	212	221	222
1	2,000	1,600	999	0	0	0	24	2,100
2	2,813	1,348	1,665	0	0	1,621	12	1,300
3	3,687	1,011	1,287	0	0	2,289	0	1,400

表 5 顯示第 t 期時，工廠 f 運送產品 g 至經銷商 w 的數量；表 6 顯示經銷商運送產品至顧客的數量；表 7 顯示第 t 期時，經銷商 w 對顧客 c 缺貨產品 g 的數量。表中顯示，在第一期時，完全沒有缺貨的情形發生，表示各經銷商可以提供給各零售商百分之百的服務水準；從第二期開始有缺貨情形產生，由表 1 中可知在第二期及第三期時，每個供應商

供應原料 2 的數量皆已達供應上限，由此可推斷第二期及第三期的缺貨情形是由於供應商供應原料 2 不足所產生；在第三期時，經銷商對零售商產品 2 之總缺貨量為 400 單位，由於此二供應商皆為同一企業集團之公司，故企業會採行策略性缺貨政策，讓兩個經銷商分攤總缺貨數目，使兩經銷商分別對產品 2 缺貨 200 單位，使其缺貨量控制在 200 以下的缺



表 6. 經銷商運送產品至零售商的數量 (TA_{twcg})

tw	cg					
	11	12	21	22	31	32
11	800	0	1,200	1,600	0	0
21	1,200	1,169	1,600	1,800	0	0
31	1,600	1,400	2,100	1,900	0	0
12	0	1,000	0	0	900	1,100
22	0	0	0	0	1,300	1,300
32	0	0	0	0	1,787	1,400

表 7. 經銷商對零售商缺貨產品的數量 (GA_{twcg})

tw	cg					
	11	12	21	22	31	32
11	0	0	0	0	0	0
21	0	31	0	0	0	0
31	0	200	0	200	12	200
12	0	0	0	0	0	0
22	0	200	0	0	0	0
32	0	200	0	200	1	200

貨等級，以降低其缺貨懲罰成本，增加整體供應鏈之利潤。

五、結論

在現今資訊快速發展的全球化社會中，供應鏈管理將整個供應鏈體系內所有的企業均視為一體，以資訊共享及利潤共享為原則，追求全面性之成本最佳化，進而達成利潤最大化之目標。在實際供應鏈體系規劃中所面臨的情況（如工廠不同的採購量有不同之單位採購成本、顧客對經銷商之懲罰成本亦會隨短缺的數量不同而改變、產品與物料之儲存及配送等問題），茲將其全盤考量後，將會使整體供應鏈管理體系趨向一個更複雜之整數非線性規劃（INLP）模式。再者，本研究更進一步將多規劃期的時間因子加以討論，配合整體供應鏈結構同時進行橫斷面與縱斷面之統合討論。

本研究的主要貢獻列述如下：首先，本研究針對上述供應鏈系統中各種實務規劃所面臨的情境加以考量，並結合時間因素對多規劃期之供應鏈系統做一探討，以建構出利潤極大化為目標之整合式多期規劃供應鏈模式，而 ISCMP 模式乃屬一複雜之整數非線性規劃（INLP）模式，本研究除了運用 Lingo9.0 extended version 語法進行模式建構以落實此數學模式外，並成功地選用該軟體內建之 Global Solver 進行其全域最佳解（global optimum solution）之求解。

本研究範例中，若外在條件不變的情況下，研究顯示出

企業極力透過策略的運用（例如企業策略性訂購、製造工廠策略性生產以及經銷商策略性缺貨等），以使整體成本下降，以趨近最佳解。此外，本研究提供一電腦化決策平台，使企業針對有關多期多樣式產品在有限產能與空間限制下進行多工廠生產、庫存與配送之數量折扣資訊下之物料採購規劃、多經銷商之轉運及庫存規劃、以及多零售商之需求配送規劃與缺貨懲罰情況考量下之問題，進行實務上之規劃及決策，所得之資訊可做為企業在進行整體供應鏈規劃時之參考依據。再者，本研究乃運用套裝軟體加以求解，因此本研究具有高度的重現特性（repeated characteristic），亦即當擁有供應鏈體系中產品價格、訂單需求數量、各企業之供應量及產能上限、運輸成本、存貨成本及存貨空間限制等參數，將其輸入本研究語法中，即可進行規劃求解，因此本研究在實務中實具有其應用之價值。

未來研究方向可針對全球供應鏈進行探討，考慮其運輸工具之成本及效率，以及各國進出口稅率加以探討。在工廠內部可針對多機器多生產線之製造流程進行規劃設計，而人員的排程亦可列入其研究範圍中，以探討在不影響作業程序下，如何使人工成本最小以使供應鏈中成本下降。另外，當企業的資料量較為龐大時（期數、供應商個數、工廠個數、經銷商個數、零售商個數、物料種類及產品種類等），將會導致本研究所建立之數學模式運算時間快速增加，進而影響



企業之決策與規劃之效率，因此，未來研究者可嘗試將計算智慧 CI (computational intelligence) 導入或發展啟發式解法 (heuristic method) 以縮短求解所需之時間與減少搜尋全域最佳解的複雜度。

參考文獻

1. Benton, W. C. and S. Park (1996) A classification of literature on determining the lot size under quantity discounts. *European Journal of Operational Research*, 192, 219-238.
2. Fazel, F., K. P. Fischer and E. W. Gilbert (1998) JIT purchasing vs. EOQ with a price discount: An analytical comparison of inventory costs. *International Journal of Production Economics*, 54, 101-109.
3. Gao, Z. and L. Tang (2003), A multi-objective model for purchasing of bulk raw materials of a large-scale integrated steel plant. *International Journal of Production Economics*, 83, 325-334.
4. Gary, A. (1999), An application of designing products and processes for supply chain management. *IIE Transactions*, 31, 417-429.
5. Jayaraman, V. and H. Pirkul (2001) Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities. *European Journal of Operational Research*, 133, 394-408.
6. Jellouli, O. and Chatelet, E. (2001) Monte carlo simulation and genetic algorithm for optimising supply chain management in a stochastic environment. *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 3, 1835-1839.
7. Leachman, R. C., R. F. Benson, C. Liu and D. J. Raar (1996), IMPReSS: An automated production-planning and delivery-quotation system at harris corporation – semiconductor sector. *INTERFACES*, 26(January-February), 6-37.
8. Min, H. and E. Melachrinoudis (1999) The relocation of a hybrid manufacturing/distribution facility from supply chain perspectives: A case study. *Omega*, 27, 75-85.
9. Newhart, D. D., K. L. Stott and F. J. Vasko (1993) Consolidating product sizes to minimize inventory levels for a multi-stage production and distribution systems. *Journal of Operational Research Society*, 44(7), 637-644.
10. Petrovic, D., R. Roy and R. Petrovic (1998) Modelling and simulation of a supply chain in an uncertain environment. *European Journal of Operational Research*, 109, 299-309.
11. Robinson, E. P. and R. K. Satterfield (1998) Designing distribution systems to support vendor strategies in supply chain management. *Decision Sciences*, 29(3), 685-706.
12. Timpe, C. H. and J. Kallrath (2000) Optimal planning in large multi-site production networks. *European Journal of Operational Research*, 126, 422-435.
13. Viswanathan, S. and Q. Wang (2003) Discount pricing decisions in distribution channels with price-sensitive demand. *European Journal of Operational Research*, 149, 571-587.
14. Wang, R. C. and T. F. Liang (2004) Application of fuzzy multi-objective linear programming to aggregate production planning. *Computers & Industrial Engineering*, 46, 17-41.
15. Wee, H. M. (1999) Deteriorating inventory model with quantity discount, pricing and partial backordering. *International Journal of Production Economics*, 59, 511-518.
16. Weng, Z. K. (1995) Modeling quantity discount under general price-sensitive demand functions: Optimal policies and relations. *European Journal of Operational Research*, 86, 300-314.
17. Yang, P. C. (2004) Pricing strategy for deteriorating items using quantity discount when demand is price sensitive. *European Journal of Operational Research*, 157, 389-397.
18. Yung, S. K. and C. C. Yang (1999) Intelligent multi-agents for supply chain management. *IEEE SMC'99 Conference Proceedings*, 528-533.
19. Zhou, Z., S. Cheng and B. Hua (2000) Supply chain optimization of continuous process industries with sustainability considerations. *Computers and Chemical Engineering*, 24, 1151-1158.

收件：96.01.19 修正：96.04.27 接受：96.06.26



附錄

表 A.1. 顧客對產品之訂單需求數量 (L_{tcg})

t	cg					
	11	12	21	22	31	32
1	800	1,000	1,200	1,600	900	1,100
2	1,200	1,400	1,600	1,800	1,300	1,300
3	1,600	1,800	2,100	2,300	1,800	1,800

表 A.2. 工廠儲存原料的單位存貨成本 (IC_{gr} , 單位: 元)

t	fr					
	11	12	13	21	22	23
1	2	3	4	1	2	3
2	2	3	4	1	2	3
3	2	3	4	1	2	3

表 A.3. 供應商運送原料至工廠的單位運輸成本 (TC_{tdr} , 單位: 元)

td	fr					
	11	12	13	21	22	23
11	30	60	20	40	70	60
12	40	70	30	30	60	50
13	45	65	35	35	65	55
21	30	60	20	40	70	60
22	40	70	30	30	60	50
23	45	65	35	35	65	55
31	30	60	20	40	70	60
32	40	70	30	30	60	50
33	45	65	35	35	65	55

表 A.4. 供應商對原料的供應量上限 (PB_{tdr})

t	dr								
	11	12	13	21	22	23	31	32	33
1	8,000	7,000	10,000	7,000	6,000	9,000	6,000	8,000	9,000
2	8,000	7,000	10,000	7,000	6,000	9,000	6,000	8,000	9,000
3	8,000	7,000	10,000	7,000	6,000	9,000	6,000	8,000	9,000

表 A.5. 一單位產品所需要原料的數量比率 (RA_{gr})

r	g	
	1	2
1	1	1
2	2	3
3	2	2



表 A.6. 工廠生產一單位產品所需的時間 (MT_{fg} , 單位: 小時)

t	fg			
	11	12	21	22
1	1	2	1	2
2	1	2	1	2
3	1	2	1	2

表 A.7. 工廠儲存一單位產品所需的存貨成本 (IC_{fg} , 單位: 元)

t	fg			
	11	12	21	22
1	30	40	30	40
2	30	40	30	40
3	30	40	30	40

表 A.8. 一單位產品由工廠至經銷商的運輸成本 (TC_{fwg} , 單位: 元)

fw	wg			
	11	12	21	22
11	20	30	25	40
21	20	30	25	40
31	20	30	25	40
12	25	30	20	25
22	25	30	20	25
32	25	30	20	25

表 A.9. 經銷商儲存一單位產品所需的存貨成本 (IC_{twg} , 單位: 元)

t	wg			
	11	12	21	22
1	20	50	20	50
2	20	50	20	50
3	20	50	20	50

表 A.10. 經銷商運送一單位產品至顧客的運輸成本 (TC_{twc} , 單位: 元)

tw	cg					
	11	12	21	22	31	32
11	15	20	10	15	30	35
21	15	20	10	15	30	35
31	15	20	10	15	30	35
12	20	25	25	30	15	20
22	20	25	25	30	15	20
32	20	25	25	30	15	20



表 A.11. 供應商供應原料的單位成本等級

r	等級	訂購量	單位購入成本(元)
1	1	6,000 以下	11
	2	6,001 以上	9
2	1	6,000 以下	14
	2	6,001 以上	12
3	1	6,000 以下	17
	2	6,001 以上	15

表 A.12. 工廠生產產品之單位製造成本等級

f	等級	缺貨量	單位製造成本(元)
1	1	2,500 以下	50
	2	2,501 以上	40
2	1	2,500 以下	50
	2	2,501 以上	40

表 A.13. 經銷商短缺一單位產品給顧客的缺貨懲罰成本等級

g	等級	缺貨量	單位懲罰成本(元)
1	1	200 以下	300
	2	201 以上	600
2	1	200 以下	400
	2	201 以上	800

