

多期多產品之平行機綠色生產排程規劃

藍俊雄 于健 蔡承叡 蔡佳奴

摘要

本研究主要探討以實務生產排程規劃所面臨的情況，針對多訂單、多交貨期、多產品類型之平行機生產排程規劃，並將工廠製造成本、機器設定成本、工廠存貨持有成本、工廠缺貨懲罰成本，以及環境控制汙染成本等因素加入生產排程中進行考量，以整體生產排程總成本最小化為其目標，建構出一整數非線性規劃 INLP (Integer Nonlinear Programming) 數學模型。

再者本研究運用 Lingo 9.0 extended version 語法進行模式構建，並發展出累進回溯式階段排程法 ABSSA (Accumulation & Backtrack staged scheduling approach)，對本研究所建構的模式進行求解，並採用 Lingo 9.0 軟體內建之 Global Solver 進行其全域最佳解之搜尋，並舉數值範例對求解過程進行分析與說明。綜言之，本研究所提的數學模式與 ABSSA 法，因採用套裝軟體進行構建與求解，所以具有高度的重現特性，因此在實務操作上，具有其重複應用之價值，並適合在目前多樣化的生產排程方式，進行即時的生產排程規劃。本研究對平行機生產排程規劃而言，著實提供有價值的決策工具。

關鍵詞：生產排程，平行機，控汙成本，累進回溯式階段排程法，Lingo 9.0

Green Production Scheduling/Planning with Parallel-Machine Layout for Multiple orders and Diversified Duedates

Abstract

This paper proposes an Integer Nonlinear Programming (INLP) mathematical model to investigate the practical situation of production scheduling planning with parallel-machine layout focusing on multiple orders, diversified delivery deadlines, multiple types of products as well as the considerations of the manufacturing cost, the machine setup cost, the holding cost of products, the shortage cost, and the antipollution cost to achieve its total cost optimization.

In addition, the mathematical model proposed in this work is constructed by the syntax of Lingo 9.0 extended version, and its associated solving procedure called Accumulation and Backtrack staged Scheduling Approach -ABSSA is developed, and the built-in Global Solver of Lingo 9.0 software is selected as its solving method to assure the attended solution is optimality. Then, a numerical example is followed to describe the solving process and exemplified analyses. In conclusion, this study creates a highly repeated characteristic because the proposed mathematical model and its solving procedure-ABSSA method is constructed by the packaged software solution. Therefore, this study exists in the value of practical applications, and it is suitable for the current diversified production scheduling as well as the real-time scheduling of production planning. Actually, this study can be regarded as a valuable decision support tool.

Key word : production scheduling , parallel machine , antipollution cost , ABSSA , Lingo 9.0

Green Production Scheduling/Planning with Parallel-Machine Layout for Multiple orders and Diversified Duedates

1.Chun-Hsiung Lan

Professor, Department of Business Administration, Nanhua University

2.Chien Yu

Assistant Professor, Graduate Institute of Environmental Management, Nanhua
University

3.Cheng-Jui Tsai

Graduate student, Graduate Institute of Environmental Management, Nanhua
University

4.Chia-Wen Tsai

Graduate student, Graduate Institute of Management Sciences, Nanhua
University

一、前言

近年來面對新興市場經濟發展迅速，企業面臨的將會是一全球化的競爭。因此全球化的競爭使得廠商不僅要配合顧客需求而進行少量多樣化的生產，同時更期許生產成本的最小化，以為企業永久經營取得優勢。當企業面臨同質性產品的競爭時，如何創造較佳的生產成本，一直是製造廠商不斷努力的方向。現今市場的競爭非常激烈，為了能迅速地反應市場的變化，並且要提高競爭優勢，必須要將貨品做到準時交貨，以滿足客戶所訂定之要求。而一個良好的生產排程可以使生產成本降低，提高企業之利潤。有鑑於此產品的生產排程在現今工廠的生產上實佔有舉足輕重的地位。事實上，當工廠在進行加工時，必定會使用到物料、人力、機器、能源等生產要素，而這些要素都會對排程的結果造成部分程度上的影響。

有關排程的問題，從上個世紀時就有許多學者開始研究，學者 Baker(1974)[3]提及排程問題實際上是包含資源限制與順序執行之最佳化問題。而學者 Pinedo (1995)[19]均指出排程乃是指在一段時間內，藉由分配有限的資源來處理一群工

作，以達到所訂定的目標最佳化。由上述學者的研究可知排程的相關學術研究已經相當廣泛了。所以實務上製造廠為了滿足客戶需求及其產能的限制，藉由一個良好的生產排程去完成客戶需求為其主要訴求，因此排程規劃在訂單生產問題上實佔有一重要地位。常見的生產型態有：單機生產 (Single Machine)、流線式生產 (Flow Shop)、平行機生產 (Parallel Machines)、零工式生產 (Job Shop)、開放式生產 (Open Shop)、批次生產 (Batch Processing) (Stevenson, 2002)[21]。

零工式工廠乃是一種功能性組織，零工式製造程序的特色是由一群具有相同功能的機器設備組成工作中心，在不同工作中心或不同部門間流動，且在各工作中心或部門內進行不同的加工程序。零工式生產排程問題考慮眾多的衡量目標，而現代消費者對客製化產品的需求甚高，因此零工式生產排程乃是現今最常被討論的一種排程問題，也是最符合實際的一種生產排程。

學者 Singer 和 Pinedo (1998)[20]亦運用分支界限法求解零工式生產排程問題，但該研究以總延誤時間最小化為其主

要目標。學者 Dobson 和 Karmarkar (1989)[8]曾討論到同時處理多種資源的排程，之後學者 Chen 和 Hsia (1994)[6]提到考慮多資源的零工式生產問題時，將資源做不同的編號，並且考慮交期不是一個時間點而是一段時間區間，進而建構多資源零工式生產的數學模型。

一般傳統的 Job shop scheduling 模式乃涵蓋多階段單機的生產方式，反觀平行機器的生產方式在目前則已經變成各廠商及製造業的主要運用方式。學者 Baker(1974)[3]曾定義平行機器為「生產的工件，僅需經過單一加工途程即能完成，而同時有多部機器可供利用，此即為平行機器的生產型態」。平行機器在各產業中運用的相當廣泛，因此平行機器的生產排程問題一直受到相當的重視。因此實務上，現行的零工式生產已開始利用平行機器的規劃去安排生產，因此利用平行機器的生產方式，不僅可以增加整體產能，減低工作站的負擔，最終能避免交貨延遲時間，以達到企業及客戶雙贏的局面。

實務上工廠在進行加工時，必定會使用到物料、人力、機器、能源等生產要素，而各種生產要素一定都會對排程結果造

成一定的影響。有鑒於此，如何有效地利用資源在排程問題的研究，是一個很重要的考慮因素，良好的生產排程能為產業界帶來幫助，能在各種資源的限制考量下，將產能做最大的運用。總體來說，好的生產排程能有效提高生產效率，降低存貨持有，訂單缺貨最小，並能及時反應市場需求增加企業的競爭優勢，在一片紅海中，打敗其他競爭者，取得絕佳優勢。在有限的資源下，同時要使用多少台機器生產才能達到所謂的最佳化生產排程，並將成本控制最低，期望準時交貨，已達成製造商跟客戶端的雙贏局面。

JIT 哲理主要且大量的應用範疇是在生產管理上，對廠商而言，存貨是一種資源浪費，會占據空間以致成本增加，若生產完成後能即時交貨，而不產生多餘的存貨時間，對製造廠而言，是一種成本優勢。JIT 哲理的最終目的乃是希望生產流程能順暢且平衡，進而減少生產資源不必要的浪費。學者 Monden(2002)[18]利用多種的 JIT 技術使生產成本降低，進而造成利潤持續的增加。藉由上述學者的研究若廠商能正確地運用 JIT 哲理，則必能使廠商獲得更大之利潤。此外，學者 Carnes *et*

al.(2003)[5] 提及若製造廠能採用JIT的存貨策略，此策略能在節省成本的同時將產品的品質同步改善。再者學者Carnes *et al.* (2003)[5]也指出JIT對廠商的影響，乃屬重要的一環，因此若將JIT哲理運用到生產排程上，排程問題將更趨實務化且廠商會更具競爭力。但排程問題終會有所謂的提早交貨及延後交貨的問題產生，對顧客而言都不希望這兩種狀況發生的。此外，若能在訂單交貨期一到就準時將貨送到顧客手上的生產排程設計，此種設計才是最完美的設計。學者Hassin 和 Shani(2005)[13]提到在JIT哲理中，針對排程問題中的延遲或提早交貨的懲罰是必要的。然而對於提早或延遲交貨將會妨礙生產排程的問題，學者Hassin 和 Shani(2005)[13]提出利用多項時間演算法來處理此類問題。接著談到有關所謂的生產品率問題，一種好的生產品率，將會提升整體系統，學者Kesen 和 Baykoc(2007)[14]利用JIT哲理發展出一套演算法來改善交通運輸效率，且學者Lan(2002)[16]提出藉由JIT哲理將機器生產力與運輸帶料件運輸的速度加以配合，以達成本最佳化的目標。由上述學者提出的觀點，要如何提升效率在生產過程

中是非常重要的。要如何去提升效率就有賴良好的生產規劃。而學者Wang 和 Sarker(2006)[22]運用JIT哲理提出一個混合式非線性整數規劃問題來處理多階段供應鏈系統。因此利用良好之規劃，能確實有效提升供應鏈系統。綜合以上學者針對JIT哲理的認知，準時交貨是重要的課題，有賴於一個好的生產排程去規劃管理。站在廠商的立場，當然是要儘量避免懲罰，這樣才能降低不必要的成本。當然，若能準時交貨才能得到客戶的信任，以爭取更多的合約。

而學者Balakrishman *et al.*(1996)[4]曾提到將JIT導入生產中發現JIT對顧客集中與成本結構改善上有很大影響。學者Droge 和 Germain(1998)[9]提到以JIT來進行探討存貨問題在不同環境與組織情況下會產生各種不同的影響。學者Fullerton 和 McWatters(2001)[11]也提出實施JIT將有助於企業提升生產品率，並產生更大的利益。有鑑於此，實施JIT哲理將能提升生產品率，減低存貨，有效降低企業整體成本，以獲取更大利潤。

為了獲取更大利潤，就必需降低成本來提升競爭力，而其中的存貨成本是較容

易調整的成本之一，只要能將存貨量控制在需要的時點出現需要的量，倉儲成本就能減少。製造業者若能安排機器於交貨時間點完成訂單生產，如期如量交貨，既能滿足購買者的交貨條件又能充分使用產能以避免長時間持有未交貨產品之存貨成本，達到降低生產成本的目的。而學者 Dastidar 和 Nagi(2005)[7]提出的研究在探討滿足製模工廠的生產排程問題，他提出三階段多目標之平行機器排程，在有限的資源下做設定成本跟設定時間的變動，這些目標將符合顧客需求並降低存貨持有成本及設定成本。學者 Freimer *et al.*(2006)[10]指出若減少設定成本的投入，將導致產生不良品，因此不良品的增加或減少將會因投入的設定成本多寡而有不同的良率。再者學者 Xu 和 Sarker (2003)[23]提出一個模型去整合所有被影響的成本，如生產成本、持有成本、設定成本、缺貨成本，這4種成本在典型的存貨系統中是很重要的關鍵成本。而上述學者認為生產成本、持有成本、設定成本、缺貨成本將會對生產過程造成關鍵性的影響，所以在建立數學模型時，就必須要把這些成本納入考量，更符合實務需求。

由於近十多年來全球的環保意識逐漸抬頭，但是過度的經濟消費與生產使的地球的環境與生態遭到嚴重的破壞，各界紛紛提出溫室效應及資源消耗等問題，國際上的各個國家及非政府組織已經無法忍受企業及產業界所造成的資源濫用及環境汙染，所以近年來歐盟開始訂定出許多相關環保法規。而歐盟從1994年至今，陸續公佈了產品包裝廢棄物管理指令（Packing and Packing waste Directive, 1994）、廢電子電機設備指令 WEEE（Directive on the Waste Electronics and Electrical Equipment, 2003）、電機電子產品限量使用有害物質指令 RoHS（Restriction of Hazardous Substances, 2003）、能源使用產品生態化設計指令 EUP（Eco Design Requirements for Energy-using Products, 2005）為了能因應這些環保法規，各廠商就必須要在生產過程中考量各階段對環境造成的衝擊，以提升資源的使用效率，並且要降低汙染，避免對環境的破壞，讓地球能夠永續發展。

學者 Abou-Ellela *et al.*(2008)[1]曾提及汙染的控制和管理，需透過工廠在製造過程中的控汙措施去預防，以減少對環境破

壞與對環境的衝擊，而達成所謂的綠色生產。學者 Gallup 和 Marcotte (2004)[12] 提出在產業中運用控制汙染設備和新技術，能滿足環境管理系統 ISO14000 的需求，若能取得 ISO14000 的認證，將能提升企業形象，在同業中提高競爭力，在市場上增加佔有率。學者 Abou-Elela *et al.*(2007)[2] 也指出推行汙染預防的重要性，且投入控制汙染設備對整體大環境是又效益的。而學者 Krozer(2008)[15] 指出利用控汙成本去減少產品中的放射物，然後能提升整體利潤，所以必須在生產線中利用數學模型去納入控汙成本。再者學者 Krozer(2008)[15] 又提到控汙成本的重要，可從改變原料供應，改進工廠的製成及改變消費者的需求做起，進而達成綠色供應鏈之需求。因為有許多學者認同控制汙染成本的重要性，在加上現今的生產排程規劃中，都未提及到有關控汙成本的部分，因此本研究將控汙成本納入生產排程中去探討。

二、假設與符號說明

本研究建構模式所需之假設與符號說明列述如下。

(一)研究假設

1. 假設各訂單交貨期為已知，因此各訂單的生產計劃長度為已知。
2. 假設生產物料不虞匱乏。
3. 假設機器設定時間很短，因此可忽略不加以考慮。
4. 假設各訂單產品均須在訂單交貨期前完成生產，且工廠將持有該產品至該訂單交貨截止時間點才進行交貨。
5. 假設通貨膨脹率不變，因此各訂單產品售價，將不因時間變動而產生價格變動。
6. 訂單所下達的數量，將不會因任何因素而改變。
7. 退化性商品在本研究不予考慮。

(二)符號說明

1.一般參數

i : 訂單編號, $i=1,2,\dots,n$; 其中 n 代表訂單總數。

D_i : 編號 i 訂單的交貨時間。

T_i : 編號 i 訂單中每個產品生產所需的時間。

P_i : 編號 i 訂單中每個產品的售價。

S_i : 生產編號 i 訂單產品時，各機器每次設定所需的成本。

DM_i : 第 i 張訂單產品的需求量。

UL :工廠可使用的機器總數。

RA : $P_i \times RA$ 代表一單位 i 訂單產品的單位時間持有成本；其中 RA 為一固定比率。

2. 決策變數

Q_i : 編號 i 訂單產品的生產數量。

N_i : 編號 i 訂單產品的總生產時間。

B_i : 編號 i 訂單產品交貨時的缺貨數量。

x_i : 編號 i 訂單產品執行生產時所使用的生產機器數量。

Y_i : 編號 i 訂單產品生產完成後到訂單交貨時間的產品持有時間。

3. 輸入函數

$C_i \left(\frac{Q_i}{x_i} \right)$: 編號 i 訂單產品的單位時間單位產品的製造成本；其中此成本與單位機器負擔生產的數量 $\left(\frac{Q_i}{x_i} \right)$ 有

關。

$CB_i(B_i)$: 編號 i 訂單產品每單位產品的缺貨懲罰成本；其中此懲罰成本與該產品的缺貨數量 (B_i) 有關。

$G_i \left(\frac{Q_i}{N_i} \right)$: 編號 i 訂單產品的單位時間污染處理量。

$PUC_i(G_i)$: 在 G 的處理速率下，處理污染物之單位成本。

三、模式建構

本研究擬以全面性、整合性的觀點結合環境議題探討訂單生產的排程規劃問題。根據上節所介紹的參數、變數與函數，以下將以數學規劃方式，建構一個以成本極小化為目標之多機器、多訂單的最佳生產規劃排程模型。

$$\min_{Q_i, N_i, B_i, x_i, Y_i} \left\{ \sum_{i=1}^n C_i \left(\frac{Q_i}{x_i} \right) \times T_i Q_i + \sum_{i=1}^n S_i x_i + \sum_{i=1}^n \left[(RA \times P_i) \left(\frac{1}{2} Q_i N_i + Q_i Y_i \right) \right] + \sum_{i=1}^n CB_i(B_i) \times B_i + \sum_{i=1}^n G_i \left(\frac{Q_i}{N_i} \right) \times N_i \times PUC_i(G_i) \right\} \quad (1)$$

s.t.

$$Q_i + B_i = DM_i \quad \forall i \quad (2)$$

$$Q_i \leq \frac{N_i x_i}{T_i} \quad \forall i \quad (3)$$

$$N_i = \begin{cases} 0, & \text{if } x_i = 0 \\ \frac{Q_i T_i}{x_i} & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall i \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^j N_i x_i \leq UL \times D_j \quad \forall i \leq j \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^j N_i \leq D_j \quad \forall i \leq j \quad (6)$$

$$INT_j = \begin{cases} D_j & \text{if } j \in \{i | D_i = \min\{D_m, \forall m = 1, 2, \dots, n\}\} \\ D_i - D_{i-1} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$Y_i = \begin{cases} 0 & \text{if } i \in \{i | D_i = \max\{D_m, \forall m = 1, 2, \dots, n\}\} \\ Y_i = \begin{cases} 0 & \text{if } N_{i+1} + Y_{i+1} \leq INT_{i+1} \\ N_{i+1} + Y_{i+1} - INT_{i+1} & \text{otherwise} \end{cases} & \forall i \end{cases} \quad (8)$$

$$x_i, B_i, Q_i \geq 0 \text{ 且爲整數} \quad (9)$$

方程式(1)中 $C_i \left(\frac{Q_i}{x_i} \right) \times T_i Q_i$ 可表示編號第 i 張訂單生產 Q_i 產品數量所需的製造成本。而 $S_i x_i$ 則表示第 i 張訂單生產配置 x_i 台機器所需的機器設定成本。本研究對每張訂單生產期間所發生的持有成本皆分別以兩階段進行探討；第一階段中以 $(RA \times P_i) \left(\frac{1}{2} Q_i N_i \right)$ 表示第 i 張訂單所生產的 Q_i 產品數量，在生產階段時的平均產品持有成本，而第二階段中以 $(RA \times P_i) (Q_i Y_i)$ 表示第 i 張訂單所生產的 Q_i 數量產品在完成生產後至交貨截止期間內之全數 Q_i 個產品的持有成本；因此

$(RA \times P_i) \left(\frac{1}{2} Q_i N_i + Q_i Y_i \right)$ 項表示針對第 i 張訂單所生產的 Q_i 數量產品由開始生產至交貨截止日這段期間的產品持有成本之總和。此外， $CB(B_i) \times B_i$ 項表示第 i 張訂單因缺貨所造成之缺貨懲罰成本，而 $G_i \left(\frac{Q_i}{N_i} \right) \times N_i PUC_i$ 項表示第 i 張訂單在單位時間污染處理量 $G_i \left(\frac{Q_i}{N_i} \right)$ 速率下的控制污染成本。式(1)本模之目標函數式，上述各項成本進行加總並追求最小化之總成本為主要目標(即工廠的製造成本、機器設定成本、工廠存貨持有成本、工廠缺貨懲

罰成本、控制汙染成本等之極小化考量。式(2)中 $Q_i + B_i = DM_i$ 表示第 i 張訂單產品生產量和缺貨量之和必須等於第 i 張訂單產品的需求量。式(3)中 $Q_i \leq \frac{N_i x_i}{T_i}$ 代表第 i 張訂單產品的產量限制，表示生產第 i 張訂單產品的產量將不會大於 $\frac{N_i x_i}{T_i}$ 。式(4)為第 i 張訂單的產品生產時間 N_i 限制式，其中當第 i 張訂單不進行生產時(即 x_i 等於零時)， $N_i=0$ ；否則 $N_i = \frac{Q_i T_i}{x_i}$ 。式(5)表示在編號 j 訂單截止時間前，所有訂單(含編號 j 訂單)生產所需之工時限制式，這些訂單生產所需之工時須小於等於編號 j 訂單的交貨截止時間與擁有機器數上限之乘積。式(6)表示編號 j 訂單交貨截止時間點前之所有訂單的累計生產時間必須小於第 j 張訂單的交貨截止時間點；亦即 $\sum_{i=1}^j N_i \leq D_j$ 表示編號 j 訂單交貨截止日前所有訂單之生產時間之總和(含編號 j 訂單)將不會大於 j 訂單的交貨截止時間。式(7)代表任一張訂單與前一張訂單的交貨截止時間之差，即為該張訂單生產區間之運算式。式(8)代表編號第 i 訂單交貨截止日正後一張訂單，使用到編號第 i 張訂單生產區間進行其生產所需之時間；而最後一

張訂單交貨截止日，因無正後一張訂單，故其 Y_i 值為零。換言之， Y_i 為編號 i 訂單完成生產後到出貨之持有時間。式(9)表 x_i, B_i, Q_i 非負且為整數之限制式。綜言之，由式上述各式可知，本模式為一整數非線性規劃(INLP)問題。

本研究採用累進回溯式階段排程法 (Accumulation & Backtrack staged scheduling approach, ABSSA)，針對製造廠多產品、多訂單之平行工具機的生產活動進行成本極小化之最佳訂單排程及生產機具設定規劃。透過所建構的數學模式，在各訂單的截止交貨時間內、可用的機器數量限制下，考量各訂單以及在其截止交貨日前之所有訂單之生產時間總和不得超過該訂單的截止交貨日，例如：第一張訂單的生產時間不得超過第一張訂單的生產截止時間(即第一張訂單的生產區間)；第一張訂單和第二張訂單的生產時間總和不得超過第二張訂單的生產截止時間(即第一張訂單與第二張訂單生產區間之總和)；第一張訂單累計至第三張訂單的生產時間總和不得超過第三張訂單的生產截止時間(即第一張訂單累計至第三張訂單生產區間之總和)，依此類推，第一

張訂單累計至最後一張訂單的生產時間總和不得超過最後一張訂單的生產截止時間。基於符合上述條件求得成本最小化下之編號 i 訂單的產品生產數量 Q_i ，生產時間 N_i ，缺貨數量 B_i ，生產使用機器數量 x_i ，並推算出 i 訂單與其前相鄰訂單間之訂單生產時間區間 INT_i ，此部份即所謂累進階段之計算。接著令最後截止交貨之訂單的產品生產完成到交貨持有時間 Y_i 為零，透過該張訂單的生產時間(N_i)、存貨持有時間(Y_i)之和與該張訂單之生產時間區間(INT_i)進行比較，若該張訂單的存貨持有時間(Y_i)與訂單生產時間(N_i)之和大於該張訂單的生產時間區(INT_i)，則表示前一張訂單的生產截止時間將會受到影響；反之，則前張訂單將會在其交貨截止時間完成。基於上述的觀點，倒數第二張截止交貨日期訂單的存貨持有時間將會被決定，而倒數第三張截止交貨日期訂單的存貨持有時間，則由倒數第二張交貨訂單的 N_i 、 Y_i 與倒數第二張交貨訂單的 INT_i 來決定。依此類推，直至求得第一張交貨截止訂單的存貨持有時間為止，此部份即所謂回溯階段之計算。利用此回溯方式，各訂單的存貨持有時間將會被決定。

透過這兩個階段的運算，各訂單的生產數量、生產時間、設定生產的平行機器數目、生產起始時間、生產截止時間與存貨持有時間均可獲得，此即所謂累進回溯式階段排程法，此方法將可感受到牽一髮而動全身之變化。在累進的階段因考量各訂單以及其截止交貨日前之所有訂單之生產時間總和不得超過該訂單的截止交貨日之限制，所以各訂單的生產時間、生產數量以及所設定的平行生產工具機數均可維持在實際的限制條件下，而不逾越各訂單的條件參數；再者回溯階段因考慮各訂單的存貨持有時間，將由正後一張訂單的 N_i 、 Y_i 與 INT_i 來決定，所以各訂單的存貨持有時間將被其會正後一張的決策變數所影響。此外由於各訂單的截止交貨時間均為已知參數而各訂單之生產時間為決策變數，因此在回溯階段各訂單的存貨持有時間均將隨決策變數進行動態改變而不會逾越實際的限制條件。接著本研究採用 Lingo 9.0 extended version 套裝軟體之語法進行數學模式的構建並藉由該軟體內建之 Global Solver 進行全域最佳解之搜尋，因本研究乃結合所提的 ABSSA 法並使用套裝軟體進行最佳解的搜尋，其中

ABSSA 法確保各訂單之決策變數不逾越各訂單的輸入參數而套裝軟體內建之 Global Solver 亦可確保模式求得的解為符合 ABSSA 法限制下之最佳解，綜上所述可確保本研究的解可確為符合限制條件參數下之全域最佳解。

四、數值範例與模擬分析

企業要永續經營，必須要擁有競爭力。如何才能使企業擁有競爭力？除了要有品牌形象、優良產品及行銷通路外，成本的控制更是企業成功的最大關鍵。因此企業在實施生產計劃時，能否做出最適規劃與決策也就顯得格外重要了。本研究針對生產工廠之--多訂單、多交貨期、多產品類型之平行機生產計劃，採接單式生產 (make-to-order)，依照顧客的需求予以客製化的設計，並考量顧客最後交貨期限交貨之要求下，規劃最佳的生產數量與生產時間，以避免產生不必要的存貨持有成本。為達此目標，本研究已深入探討，並透過 Lingo 9.0 extended version 套裝軟體之語法完成模型構建，並選用內建之 Global Solver 對生產數量、開始生產時間、產品生產完成到交貨的持有時間進行全域最

佳解之求解。

本節以一間工廠為例，該工廠擁有十部生產工具機，且機器經過不同設定之後，可生產多樣不同產品。本研究規劃期間為一期三個月，超過 2160 小時則列為下一規劃期之生產排程，工廠接到訂單時，傾向以完全生產如期交貨為原則，當超過其生產能力上限而無法全數生產時，就必須接受缺貨懲罰。此外在交貨前最佳的存貨持有時間，以及生產時間，機器設定的數量等情形，都在本研究中加以考量。

表 1. 為本規畫期中十張訂單的生產截止時間(D_i)，生產時由生產截止時間較短者開始生產；產品價格(P_i)是依照歷史銷價資料，加以預測的已知數值；每張訂單的產品之單位生產時間(T_i)，透過機器的設定可生產不同的產品，因此生產不同產品所需的生產時間將不一定相同；每張訂單的機器設定成本(S_i)，該工廠生產同類但不相同的產品，因此生產不同訂單的機器需重新設定，因重設步驟相同，故設定成本皆為 50 元；每張訂單的產品需求量(DM_i)，本範例產品需求量是依照歷史銷

售資料，加以預測的已知數值。

表 2.為其他參數資料，包括機器數
(UL)、單位時間存貨持有的成本率(RA)、
每單位生產量小於特定數量時之成本率
(CL)、每單位生產量大於特定數量時之成
本率(CU)、每單位缺貨最低懲罰率

(CBL)、每單位缺貨最高懲罰率(CBU)、
每單位控污最低成本率(PL)、每單位控污
最高成本率(PU)、單位時間最大的控污
處理數(PN)，而其中各比率之設定是依照
歷史資料，加以預測的數值。

表 1. 十張訂單參數資料

編號 i	D_i (小時)	T_i (小時)	P_i (元)	S_i (元)	DM_i (個)
1	690	5	425	50	180
2	1230	2	160	50	320
3	1150	4	350	50	580
4	210	3	270	50	380
5	540	3	175	50	400
6	360	2	285	50	100
7	890	4	50	50	550
8	30	2	200	50	200
9	960	3	260	50	110
10	300	6	460	50	230

表 2.其他參數資料

UL 機器總數	10
RA 單位時間存貨持有的成本率	0.0001
CL 每單位生產量小於特定數量時之成本率	2
CU 每單位生產量大於特定數量時之成本率	1.5
CBL 每單位缺貨最低懲罰率	1.5
CBU 每單位缺貨最高懲罰率	2.3
PL 每單位控污最低成本率	0.1
PU 每單位控污最高成本率	0.25
PN 單位時間最大的控污處理數	200

將上述的資訊輸入 Microsoft Excel 中，藉由 Microsoft Excel 作為參數輸入的介面，Excel 表中參數輸入已建置之 Lingo 9.0 extended version 套裝軟體生產規劃數學模型中，透過 Lingo 9.0 extended version 套裝軟體之語法，並選用內建之 Global Solver 以總成本最小化為目標的全域最佳解的搜尋。依據輸出的資料，本範例模型變數共有 90 個，其中整數變數有 20 個、非線性變數有 89 個；限制式共有 121 條，其中非線性限制式有 80

條，本數值範例之最佳成本為 49554.96 元。茲將決策變數之最佳解說明如下。本範例有 10 部機器可供生產，每多使用一部機器就必須增加設定成本，在成本考量及時間的壓縮下，每一張訂單使用最適機器數，使生產完成到交貨的持有時間最短，產品缺貨數最少，以達成本極小化之目標。本範例生產排程的數值結果列於表 3，執行時間為 1 分 23 秒，圖 1. 為生產排程圖。

表 3. 生產排程數值結果

訂單編號	訂單的生產數量 Q	訂單的產品生產時間 N	訂單的產品缺貨數量 B	訂單生產使用機器數量 X	生產完成到交貨的持有時間 Y	單位時間汙染處理量 G
1	180	112.5	0	8	25	1.6
2	320	80	0	8	0	4
3	580	232	0	10	0	2.5
4	380	114	0	10	48	3.333333
5	400	133.3333	0	9	0	3
6	100	50	0	4	0	2
7	550	220	0	10	5	2.5
8	150	30	50	10	0	5
9	110	33	0	10	42	3.333333
10	230	138	0	10	0	1.666667

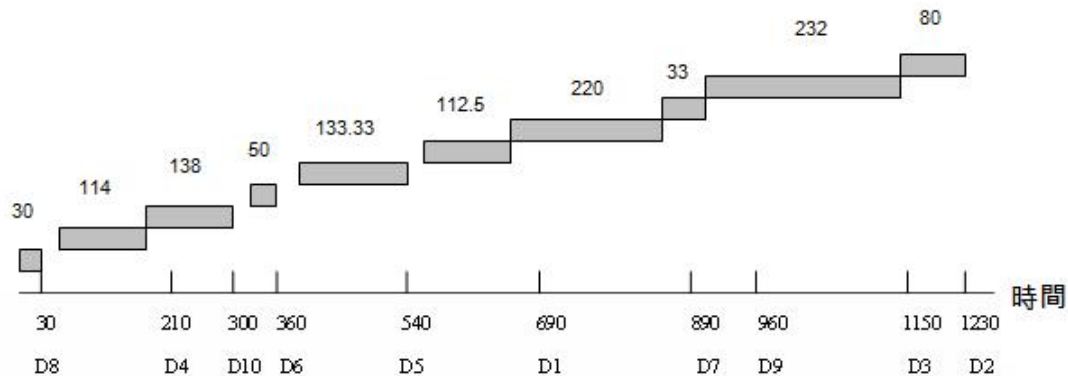


圖 1. 生產排程圖

學者Lee(2005)[17]在其研究中提到，設定成本的多寡會對最終的生產總成本造成關鍵性的影響，因此本研究針對機器設定成本的不同數值去模擬探討。

1. 如表 3，編號 3、編號 7、編號 9、編號 10 這些訂單生產開始時間會向前推擠到前一張訂單的生產區間內，因此這幾張訂單所使用到的機器數就會全數使用來進行生產。至於為何不選擇缺貨，乃因現行例子中缺貨懲罰成本偏高，故最佳解會傾向全數生產，以避免造成過大的成本壓力。產品會全數生產，去使用到前張訂單的生產區間。

2. 至於編號 8 訂單，因機器數已全開，但該訂單為本規劃期之最早需交貨之訂單，因此無法借用其他訂單的時間使用，在無法選擇的情況下，只好缺貨懲罰。

3. 如表 4，當機器的設定成本從 50 上升到 100 後，像編號 1，編號 4，編號 5 這些訂單為減少設定機器所使用的成本就會減少機器數去生產，因而產品的生產時間也會相對地增加。其中編號 5 這張定單出現了持有時間，是因為編號 5 訂單正後一張編號 1 訂單使用的機器數量減少，導致編號 1 訂單生產時間增加，進而影響到編號

- 5 的生產排程，因使編號 5 訂單完成生產後需持有一段時間再進行交貨。此外，因懲罰成本相對來說仍屬過高，因此除了編號 8 訂單無從選擇下，其餘訂單仍傾向不虞缺貨。
4. 如表 5，當機器的設定成本從 100 上升到 150 後，像編號 9 這張訂單為減少定機器所使用的成本，就會減少 1 台機器數去生產，因而產品的生產時間也會相對地增加。因為編號 9 這張定單的生產時間增加，進而影響到編號 7 的生產排程，因使編號 7 訂單完成生產後需持有一段時間再進行交貨。而編號 7 這張定單的生產排程，會影響到編號 1 的生產排程，因使編號 1 訂單完成生產後需再增加一段持有時間再進行交貨；而編號 1 這張定單的生產排程，會影響到編號 5 的生產排程，因使編號 5 訂單完成生產後需再增加一段持有時間再進行交貨，彼此環環相扣，因而使編號 7、編號 1、編號 5 這些訂單的持有時間增加。此外，因懲罰成本相對來說仍屬過高，因此除了編號 8 訂單無從選擇下，其餘訂單仍傾向不虞缺貨。
5. 如表 6，當機器的設定成本從 150 上升到 450 後，像編號 9 這張訂單為減少設定機器所使用的成本就會減少 2 台機器數去生產，因而產品的生產時間也會相對地增加。因為編號 9 這張定單的生產時間增加，進而影響到編號 7 的生產排程，因使編號 7 訂單完成生產後需持有一段時間再進行交貨。而編號 7 這張定單的生產排程，會影響到編號 1 的生產排程，因使編號 1 訂單完成生產後需再增加一段持有時間再進行交貨；而編號 1 這張定單的生產排程，會影響到編號 5 的生產排程，因使編號 5 訂單完成生產後需再增加一段持有時間再進行交貨；而編號 5 這張定單的生產排程，會影響到編號 6 的生產排程，因使編號 6 訂單完成生產後開始有一段持有時間的產生再進行交貨，彼此環環相扣，因而使編號 7、編號 1、編號 5、編號 6 這些訂單的持有時間增加。此外，因懲罰成本相對來說仍屬過高，因此除了編號 8 訂單無從選擇下，其餘訂單仍傾向不虞缺貨。

表 4.生產排程數值結果(機器設定成本為 100)

訂單編號	訂單的生產數量 Q	訂單的產品生產時間 N	訂單的產品缺貨數量 B	訂單生產使用機器數量 X	生產完成到交貨的持有時間 Y	單位時間污染處理量 G
1	180	128.5714	0	7	25	1.4
2	320	80	0	8	0	4
3	580	232	0	10	0	2
4	380	126.6667	0	9	48	3
5	400	171.4286	0	7	3.571429	2.333333
6	100	50	0	4	0	2
7	550	220	0	10	5	2.5
8	150	30	50	10	0	5
9	110	33	0	10	42	3.333333
10	230	138	0	10	0	1.666667

表 5.生產排程數值結果(機器設定成本為 150)

訂單編號	訂單的生產數量 Q	訂單的產品生產時間 N	訂單的產品缺貨數量 B	訂單生產使用機器數量 X	生產完成到交貨的持有時間 Y	單位時間污染處理量 G
1	180	128.5714	0	7	28.66667	1.4
2	320	80	0	8	0	4
3	580	232	0	10	0	2.5
4	380	126.6667	0	9	48	2.887067
5	400	171.4286	0	7	7.238095	2.333333
6	100	50	0	4	0	2
7	550	220	0	10	8.666667	2.5
8	150	30	50	10	0	5
9	110	36.66667	0	9	42	3
10	230	138	0	10	0	1.662431

表 6.生產排程數值結果(機器設定成本為 450)

訂單編號	訂單的生產數量 Q	訂單的產品生產時間 N	訂單的產品缺貨數量 B	訂單生產使用機器數量 X	生產完成到交貨的持有時間 Y	單位時間汙染處理量 G
1	180	128.5714	0	7	39.14286	1.4
2	320	80	0	8	0	4
3	580	232	0	10	0	2.5
4	380	126.6667	0	9	48	2.887067
5	400	171.4286	0	7	17.71429	2.333333
6	100	50	0	4	9.142857	2
7	550	220	0	10	19.14286	2.5
8	150	30	50	10	0	5
9	110	47.14286	0	7	42	3
10	230	138	0	10	0	1.662431

再來是針對持有成本的不同去進行敏感性分析

1. 如表 7，當持有成本率從原本 0.0001 提高為 0.0002 時，各訂單生產完成到交貨之持有時間不變，但編號 1、編號 5 訂單增加機器數生產(使用全部的機器)而減少產品的總生產時間，以降低編號 1、編號 5 訂單產品生產期間的持有成本。最小總生產成本為 58024.46 元。
2. 如表 8，當持有成本率提高為 0.0003 時，各訂單生產完成到交貨

之持有時間不變，但編號 1、編號 2 及編號 5 訂單增加機器數生產(使用全部的機器)而減少產品的總生產時間，以降低編號 1、編號 2 及編號 5 訂單產品生產期間的持有成本。最小總生產成本為 66543.81 元。

3. 如表 9，當持有成本率增加至原來的十倍為 0.001 時，各訂單生產完成到交貨之持有時間不變，但編號 1、編號 2 及編號 5 訂單增加機器數生產(使用全部的機器)，編號 6 訂單生產機器數也由 4 台增加至 8 台，以減少訂單產品的總生產時

間，進而降低編號 1、編號 2、編號 5 及 編號 6 訂單產品生產期間的持有成本。最小總生產成本為 125176.5 元。

4. 如表 10，當持有成本率增加至原來的二十倍為 0.002 時，各訂單生產完成到交貨之持有時間不變，但編號 1、編號 2、編號 5 及 編號 6 訂單增加機器數生產(使用全部的機器)，此時所有訂單生產機器數達最高使用數量 10 台，以減少訂單產品的總生產時間，進而降低編號 1、編號 2、編號 5 及 編號 6 訂單產品生產期間的持有成本。最小總生產成本為 208890.4 元。

5. 如表 11，當持有成本率降為 0.00008 時，各訂單生產完成到交貨之持有時間不變，編號 5 訂單減少生產機器由 9 台降為 8 台，在總生產最小化的條件下，減少機器設定成本增加產品的總生產時間。最小總生產成本為 47834.63 元。

由上可知持有成本的增加對生產排程是有影響的，當持有成本越高，相對地會增加機器數量去生產，而生產時間相對地也會減少；反之，當持有成本降低，相對地會減少機器數量去生產，而生產時間相對地也會增加。

表 7 生產排程數值結果(持有成本為 0.0002)

訂單編號	訂單的生產數量 Q	訂單的產品生產時間 N	訂單的產品缺貨數量 B	訂單生產使用機器數量 X	生產完成到交貨的持有時間 Y	單位時間汗染處理量 G
1	180	90	0	10	25	2
2	320	80	0	8	0	4
3	580	232	0	10	0	2.5
4	380	114	0	10	48	3.333333
5	400	120	0	10	0	3.333333
6	100	50	0	4	0	2
7	550	220	0	10	5	2.5
8	150	30	50	10	0	5
9	110	33	0	10	42	3.333333
10	230	138	0	10	0	1.666667

表 8 生產排程數值結果(持有成本為 0.0003)

訂單編號	訂單的生 產數量 Q	訂單的產品 生產時間 N	訂單的產品 缺貨數量 B	訂單生產使 用機器數量 X	生產完成到交 貨的持有時間 Y	單位時間汙 染處理量 G
1	180	90	0	10	25	2
2	320	64	0	10	0	5
3	580	232	0	10	0	2.5
4	380	114	0	10	48	3.333333
5	400	120	0	10	0	3.333333
6	100	50	0	4	0	2
7	550	220	0	10	5	2.5
8	150	30	50	10	0	5
9	110	33	0	10	42	3.333333
10	230	138	0	10	0	1.666667

表 9 生產排程數值結果(持有成本為 0.001)

訂單編號	訂單的生 產數量 Q	訂單的產品 生產時間 N	訂單的產品 缺貨數量 B	訂單生產使 用機器數量 X	生產完成到交 貨的持有時間 Y	單位時間汙 染處理量 G
1	180	90	0	10	25	2
2	320	64	0	10	0	5
3	580	232	0	10	0	2.5
4	380	114	0	10	48	3.333333
5	400	120	0	10	0	3.333333
6	100	25	0	8	0	4
7	550	220	0	10	5	2.5
8	150	30	50	10	0	5
9	110	33	0	10	42	3.333333
10	230	138	0	10	0	1.666667

表 10 生產排程數值結果(持有成本為 0.002)

訂單編號	訂單的生 產數量 Q	訂單的產品 生產時間 N	訂單的產品 缺貨數量 B	訂單生產使 用機器數量 X	生產完成到交 貨的持有時間 Y	單位時間汗 染處理量 G
1	180	90	0	10	25	2
2	320	64	0	10	0	5
3	580	232	0	10	0	2.5
4	380	114	0	10	48	3.333333
5	400	120	0	10	0	3.333333
6	100	20	0	10	0	5
7	550	220	0	10	5	2.5
8	150	30	50	10	0	5
9	110	33	0	10	42	3.333333
10	230	138	0	10	0	1.666667

表 11 生產排程數值結果(持有成本為 0.00008)

訂單編號	訂單的生 產數量 Q	訂單的產品 生產時間 N	訂單的產品 缺貨數量 B	訂單生產使 用機器數量 X	生產完成到交 貨的持有時間 Y	單位時間汗 染處理量 G
1	180	112	0	8	25	1.6
2	320	80	0	8	0	4
3	580	232	0	10	0	2.5
4	380	114	0	10	48	3.333333
5	400	150	0	8	0	2.666666
6	100	50	0	4	0	1.999998
7	550	220	0	10	5	2.5
8	150	30	50	10	0	5
9	110	33	0	10	42	3.333329
10	230	138	0	10	0	1.666667

再來是針對製造成本的不同去進行 敏感性分析，當製造成本不斷地上升時，

因為本研究是求成本最小化，所以只有造成總成本會隨著製造成本的上升而上升，對於機器數量、生產時間、生產完成到交貨的持有時間則無任何之影響，因此製造成本敏感性並不顯著。

五、結論

在傳統與創新的衝擊下，加上現今的資訊正快速發展，生產排程系統不斷地隨著客戶需求，不斷的改進與優質化，以符合市場的需求，才能一直保持競爭優勢，不會被取代。雖然過去學者們提出許多有關生產排程、JIT 等相關研究，但是在實務面上仍有許多的問題存在，值得再深入分析及探討的空間。

本研究考量實際生產排程規劃上所面臨的實際情況，建構出一套有效之多訂單、多交貨期、多產品類型之平行機生產排程計劃，以整體生產排程總成本最小化為目標的非線性整數規劃 INLP (Integer Nonlinear Programming) 數學模型。

本研究主要貢獻如下：

(一)本研究採接單式生產之平行機生產排程規劃，針對工廠製造成本、機器設定成本、工廠存貨持有成本、工廠缺

貨懲罰成本，因近年來環境不斷遭受破壞，整體大環境不斷惡化，因此將控制汙染成本因素納入生產排程中進行討論是刻不容緩的議題，因此本研究嘗試將控汙成本納入討論並建構出整體生產排程總成本最小化為目標的非線性整數規劃 INLP (Integer Nonlinear Programming) 數學模型。以符合實務上之應用。

(二)本研究提出一累進回溯式階段排程法 (Accumulation & Backtrack staged scheduling approach, ABSSA)，針對製造廠多產品、多訂單平行工具機的生產活動進行成本最小化之最佳訂單排程及生產機具設定規劃。由於 ABSSA 的提出，使本研究如此繁複的實務問題得以落實與求解。

(三)本研究將實務面上複雜且困難的問題，以數學模式去建構，將此實務上面臨的種種因素，透過數學模式，將實務跟學術做結合，達到產學合一，在產業上跟學術上作出貢獻。

(四)本研究運用 Lingo 9.0 extended version 語法進行模式建構，發展出累進回溯式階段排程法 (Accumulation &

Backtrack staged scheduling approach, ABSSA) 乃屬一複雜之整數非線性規劃(INLP)模式，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。

(五)本研究乃運用 Lingo 9.0 套裝軟體加以求解，因此本研究具有高度的重現特性(repeated characteristic)，亦即當擁有生產排程中訂單的交貨時間、產品生產所需的時間、產品的售價以及機器總數跟各機器每次設定所需的成本，只要將其參數輸入輕易地套用，即可進行規劃求解，換言之，本研究具有高度的重要性，在實務中實具有其應用之價值。

有關有關未來研究方向可針對即時插單式之動態排程進行探討，並考慮其生產良率，綠色原物料採購，以及非等效之平行機器生產，此外再加入所謂生產線平衡(Production Line Balancing)之觀念等來規劃整合，亦是未來一重要之發展方向。此外，當廠商的資料量較為龐大時，將會導致本研究所建立之數學模式的運算時間急遽增加，進而影響廠商之規劃效率。

因此，未來研究者可嘗試將本模型利用計算智慧CI (Computational Intelligence)如基因演算法、螞蟻演算法、模擬退火演算法(Simulated Annealing)等方法進行求解，以縮短求解所耗費之時間並減少搜尋全域最佳解的複雜度。換言之，本研究實為多訂單，多交貨期，多產品類型之平行機生產排程規劃，為產業界提供一有效之決策工具。

參考文獻

1. Abou-Elela, Sohair I., Fayza A. Nasr , Hanan S. Ibrahim, Nagwa M. Badr and Abdul Raziq M. Askalany (2008) Pollution prevention pays off in a board paper mill. *Journal of Cleaner Production*, 16, pp.330-334.
2. Abou-Elela, Sohair I., Hesham Abdel Haleem, Enas Abou-Taleb and Hanan S. Ibrahim (2007) Application of cleaner production technology in chemical industry: a near zero emission. *Journal of Cleaner Production*, 15, pp.1852-1858.
3. Baker, K. R. (1974) *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Wiley & Sons, New York, NY.
4. Balakrishman, R., Linsmeier, T.J., and Venkatanchalam, M. (1996) Financial benefits from JIT adoption : effects of customer concentration and cost structure. *The Accounting Review*, 71(2), pp.183-205.
5. Carnes, Thomas A., Jefferson P. Jones, Timothy B. Biggart and Katherine J. Barker (2003) Just-in-time inventory systems innovation and the predictability of learnings. *International Journal of Forecasting*, 19, pp.743-749.
6. Chen, T.-R. and Hisa, T.C. (1994) Job Shop Scheduling with Multiple Resources and an Application to a Semiconductor Testing Facility, *Proceedings of the 33rd IEEE Conference on Decision and Control*, LakeBuenaVista, FL , U.S.A., pp.1564-1570.
7. Dastidar, Satyaki Ghosh and Rakesh Nagi (2005) Scheduling injection molding operations with multiple resource constraints and sequence dependent setup times and costs. *Computers & Operations Research*, 32, pp.2987-3005.
8. Dobson, G. and Karmarker, U. S. (1989) Simultaneous Resource Scheduling to Minimize Weighted Flow Times. *Operations research*, 37(4), pp.592-560.
9. Droge, Cij and Germain, R (1998) The

- just-in-time inventory effect: does it hold under different contextual, environmental and organization condition. *Journal of Business Logistics*, 19(2), pp.53-71.
10. Freimer, Michael, Douglas Thomas and John Tyworth (2006) The value of setup cost reduction and process improvement for the economic production quantity model with defects. *European Journal of Operational Research*, 173, pp.241-251.
11. Fullerton, R.R. and C.S. McWatters (2001) The production performance benefits from JIT implementation. *Journal of Operations Management*, 19, pp.81-96.
12. Gallup, James and Betsy Marcotte (2004) An assessment of the design and effectiveness of the Environmental Pollution Prevention Project (EP3). *Journal of Cleaner Production*, 12, pp.215-225.
13. Hassin, Refael and Mati Shani (2005) Machine scheduling with earliness, tardiness and non-execution penalties. *Computers & Operations Research*, 32, pp.683-705.
14. Kesen, Saadettin Erhan and Omer Faruk Baykoc (2007) Simulation of automated guided vehicle (AGV) systems based on just-in-time (JIT) philosophy in a job-shop environment. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 15, pp.272-284.
15. Krozer, Yoram (2008) Life cycle costing for innovations in product chains. *Journal of Cleaner Production*, 16, pp.310-321.
16. Lan, C.H. (2003) The Design of a Multi-Conveyor System for Profit Maximization. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(7-8), pp.510-521.
17. Lee, Wenyih (2005) A joint economic lot size model for raw material ordering, manufacturing setup, and finished goods delivering. *Omega*, 33, pp.163-174.
18. Monden, Yasuhiro (2002) The

- relationship between mini profit-center and JIT system. *Int. J. Production Economics*, 80, pp.145-154.
19. Pinedo, M. (1995) *Scheduling Theory, Algorithms, and Systems*, Prentice Hall, New Jersey.
20. Singer, M. and Pinedo, M. (1998) A computational study of branch and bound techniques for minimizing the total tardiness in job shops. *IIE Scheduling Logistics*, 29, pp.109-119.
21. Stevenson, William J. (2002) *Operations management*, McGraw-Hill Education, Seventh Edition.
22. Wang, Shaojun and Bhaba R. Sarker (2006) Production, Manufacturing and Logistics Optimal models for a multi-stage supply chain system controlled by kanban under just-in-time philosophy. *European Journal of Operational Research*, 172, pp.179-200.
23. Xu, Yi and Bhaba R. Sarker (2003) Models for a family of products with shelf life, and production and shortage costs in emerging markets. *Computers & Operations Research*, 30, pp.925–938.