

以實驗設計與系統模擬探討搬運批量對流程型砂紙工廠 生產時間之影響

Using Experimental Design and Simulation to Analyze Effects of Move Batch Size on the Production Time for a Sand Paper Flow Shop

李政鋼¹ 鄭榮郎² 李弘鈞³

摘要

本研究以生產砂紙之流程型工廠為案例，應用實驗設計法與系統模擬法探討工廠中各工作站間之搬運批量對生產時間之影響。研究首先將各工作站間之搬運批量考慮為控制因子以規劃一全因子實驗。其次應用系統模擬工具 Simul8 建構案例工廠之模擬模式，並透過此模擬模式分析每一筆實驗下系統之生產之平均流程時間與總完工時間。在取得全因子實驗之實驗數據後，再應用變異數分析及主效應分析探討搬運批量因子之顯著性。最後，應用迴歸分析法建立平均流程時間與總完工時間之迴歸方程式，以作為不同搬運批量下生產時間之預測模式。

關鍵字：搬運批量、系統模擬、實驗設計、迴歸分析、流程型砂紙工廠

ABSTRACT

Using experimental design and system simulation, this paper studies the effects of move batch size on the production time for a sand paper flow shop. First, a full factorial experiment is planned under regarding the move batch sizes between workstations as control factors. Then, the simulation tool Simul8 is used to create the simulation model for the shop. For each experiment, the simulation model is used to calculate average flow time and average makespan. Next, the analysis of variance and main effect analysis are applied to identify significant factors. Finally, average flow time regression model and average makespan regression model are created based on regression analysis. The regression models can be used to predict the average flow time and average makespan under various move batch sizes.

Keywords: Move batch size, Simulation, Experimental design, Regression analysis, Sand paper flow shop

¹ 作者為正修科技大學工業工程管理系副教授，chengkanglee@yahoo.com.tw

² 作者為正修科技大學工業工程管理系副教授，chengll@csu.edu.tw

³ 作者為正修科技大學工業工程管理系學生，gamezpika99@yahoo.com.tw

1. 前言

流程型工廠(Flow Shop)是指工廠在生產一批工作(Job)時，每個工作都需流經一系列的不同機器且每個工作的機器順序皆相同(楊建文, 1984)。Johnson (1954)研究流程型工廠排程，以最小化工作總完工時間(Makespan)為目標提出一多項式時間(Polynomial Time)之算法。徐政幼(2005)以基因演算法計算多機流程型工廠在有限暫存之最小完工時間。

Rajendran and Holthaus (1999)曾針對流程型工廠及零工型工廠生產型態提出合適的績效準則，而所提出的績效準則也為多數學者所採用，其準則包含最大流程時間(Maximum Flow Time)、流程時間變異數(Variance of Flow Time)、延遲工件比率(Proportion of Tardy Jobs)、最大延遲時間(Maximum Tardiness)、平均延遲時間(Mean Tardiness)、延遲時間變異數(Variance of Tardiness)及平均流程時間(Average flow time)。

在實際的生產系統中，平均流程時間與總完工時間是生產重要的績效指標，Hoop and Spearman (2001)認為批量的訂定是能有效縮短其指標的解決方法之一。批量的訂定問題可分為生產批量大小(Process Batch Size)與搬運批量大小(Move Batch Size)。生產批量為一次生產的數量，當生產達此數量後即需進行換模動作。搬運批量為每次搬運的批量數。搬運批量議題已被廣泛地研究，如 Chen et al. (2006)探討在一迴流環境下，批量訂定對系統績效的影響。Hwang et al. (1996)探討在一電子組裝生產系統下，決策自動物料搬運系統的最佳批量數。Moon and Hwang (1999)探討在多產品混線製造系統下，決策自動物料搬運系統的最佳批量數。由此可知，搬運批量是一個重要的議題。

根據豐田式生產(Toyota Production System, TPS)及時化(Just in Time, JIT)的概念，Nicholas

and Soni (2005)指出小批量可以加速在製品的移動，加工時間隨著批量數減少而縮短，如此，當新批量到達工作站時，等候加工時間也隨之縮短，使系統運作更有效率。Stevenson (2002)指出小批量兩項優點，第一，系統中若以小批量進行搬運及生產時，在製品存貨遠比大批量搬運時之存貨少，不但減少存貨成本，亦減少空間需求。第二，當品質發生問題時，檢驗和重置成本會降低，原因在於批量檢驗和重置數量較少。

陳志遠(2008)提到，離散模擬事件(Discrete Event Simulation)就是依據真實系統的流程及其限制加以建構模擬系統，用以呈現真實系統的行為。能夠依據時間的變化模擬系統運作，如加工、物料搬運、當機及人員調動等行為模式，並結合決策方法，透過仿真系統運作及特性產生系統績效值，如週期時間、存貨量、利用率及產出等。從實務角度而言，模擬是利用電腦模組化的邏輯設計來描述真實系統的運作，其目的是在建立一個實驗平台，讓決策者可以快速了解再給予一系列的狀況下系統對應的行為。

魯光輝、曾清桂等(2012)提到，因子設計實驗的目的在於可以藉由實驗者選擇特定的實驗範圍，以較為經濟的實驗次數得到所需要的實驗數據，進而利用各種統計的技術進行數據的解析，並可以同時針對因子與因子間對於反應變數的效果評估，從而擇其效果顯著者而組成系統之迴歸方程式。

2. 研究方法

本研究探訪個案工廠生產模式狀況與收集相關文獻資料，彙整分析後進而定義本研究所探討之問題。將個案工廠繪製工廠佈置圖以利觀察生產流程、機器配置及動線等，並經由工廠師傅與專業人員的講解，利用 Simul8 模擬軟體搭配工廠佈置圖建構生產線模型，輸入各個工作站與時間參數與分配型態進行模擬，以期達到真實性。

之後，以實驗設計的方法，進行全因子實驗，透過 Excel 的 VBA 功能自動重複模擬，獲得不同組合的反應值(平均流程時間與總完工時間)，將實驗結果進行變異數分析，計算各因子貢獻率，決定因子影響大小順序。從變異數分析表觀察哪些因子對反應值最具有影響，再透過主效應圖檢視各因子對於實驗結果的影響趨勢為何。本研究分別建構平均流程時間與總完工時間之迴歸方程

式，根據 R-Sq 數值的高低判定所建構的迴歸方程式之可信度。之後，設定不同的水準再驗證迴歸方程式之可信度，依據模擬值與預測值的誤差進行驗證，判定前述所實驗的方法提高可信度與適切性。透過迴歸方程式，使用者能直接由各可控參數，以獲得最佳值，來縮短時程，提高製程效率。實驗設計與迴歸分析皆運用 Minitab 軟體執行運算。研究流程如圖 1 所示：

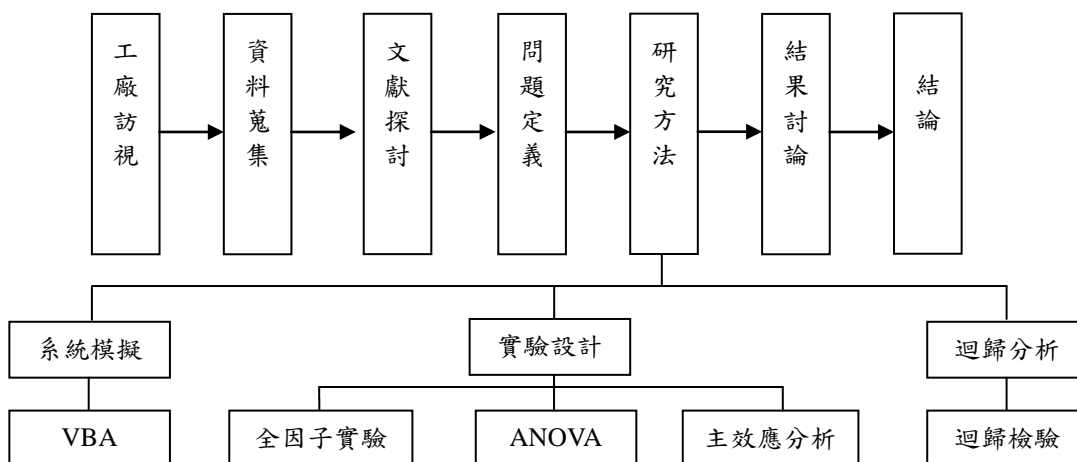


圖 1：研究流程圖

3.個案工廠

求尺寸跟各種用途需求，所有產品皆能客製化。

3.1 個案描述

A 研磨材料有限公司於 1965 年在台灣成立，專營歐、美、日進口砂紙、砂布等各種研磨材料。主要生產加工研磨類產品，擁有完善進口整套加工設備，例如裁砂機、裁切機、磨砂機、電熱式大型烘乾機等，皆可以供應及滿足每位客戶的需

3.2 生產流程

本研究僅探討案例工廠一條主要生產流程，生產流程以流程圖的方式表達，如圖 2 所示。圖 3 為廠房平面圖，其中顯示各生產機器之放置位置、原物料放置位置及完成品之放置位置。

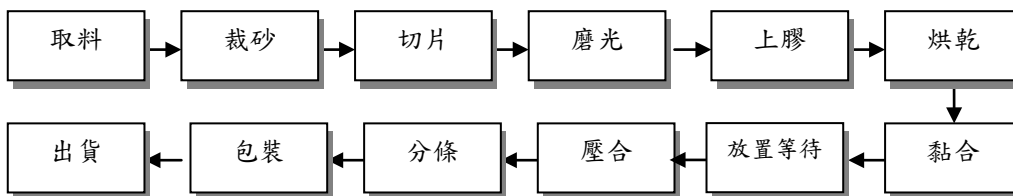


圖 2：生產流程圖

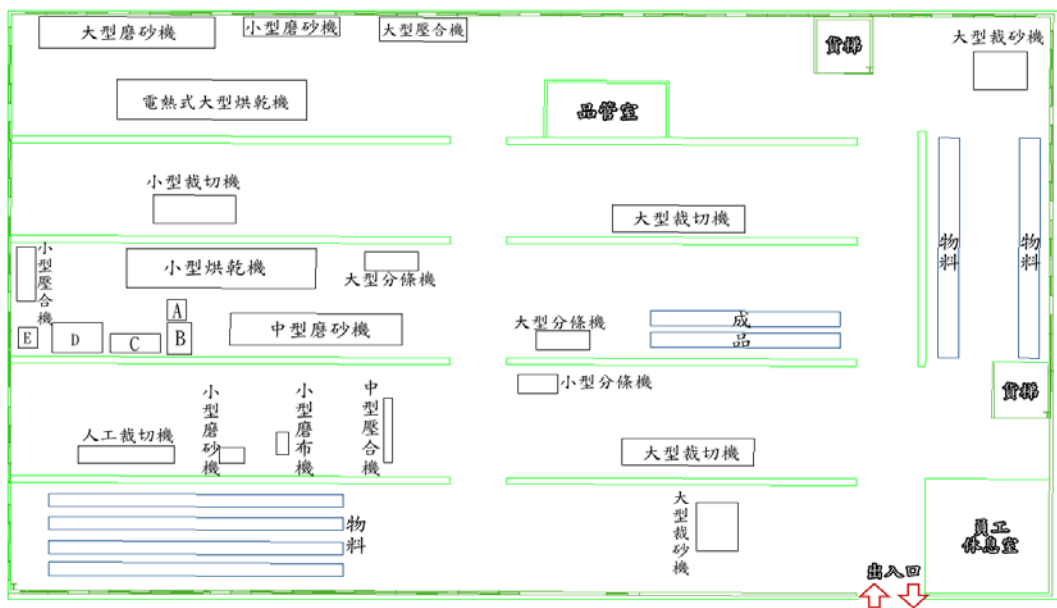


圖 3：廠房平面圖

3.3 問題定義

由 Hoop and Spearman (2001)得知，搬運批量是影響生產績效之顯著因子之一。以本研究之個案工廠為例，個案工廠之搬運車有 5 件、10 件、15 件等三種規格進行批量搬運，各工作站之間的搬運批量是可控因子，批量大小可以調整。根據 Johnson(1954)與謝丞杰(2007)之生產系統績效指標文獻所敘，本研究將問題定義為：(1)了解工作站之間的搬運批量對產品的平均流程時間與總完工時間之影響程度。(2)建構工作站之間的搬運批









量對產品的平均流程時間與總完工時間之因果關係數學模式。

4. 案例工廠之模擬模式建構

4.1 模擬工具

本研究以 Simul8 作為建立案例工廠模擬模式之工具，表 1 為本研究所使用之 Simul8 物件名稱、原始圖標、本研究自訂圖標及物件所代表之行為。

表 1：模擬物件設定表

Simul8 物件名稱	原始圖標	自訂圖標	代表之行為
Work Entry Point			取料
Storage Area			暫存區
Work Center			裁砂、裁切、磨砂、上膠、烘乾、黏合、壓合、分條、包裝
Work Center			搬運

Work Complete			產出
---------------	---	---	----

4.2 模擬假設

本研究對模擬模式設定之假設如下：(1)不考慮發生工作站故障情形、(2)工作站前暫存區無容量限制、(3)無期初在製品、(4)工作站前暫存區工件採取先進先出派工法則、(5)工作站後暫存區累積數量到達規定搬運批量數時可被立刻搬運、(6)工作站作業時間與搬運作業時間服從特定分配，分配如表 2 所示。

4.3 模擬參數

原物料投入生產的間隔時間、物料在各工作

站之作業時間、物料流經工作站之路線、工作站之位置、物料在工作站之間的搬運時間、物料在工作站之間的搬運批量為建立模擬模式之必要輸入資訊。本研究乃藉著現場觀察及與師傅訪談得到模擬必要之輸入資訊。表 2 為各工作站之作業時間及分配型態。除了烘乾與等待之作業時間為固定常數外，其餘工作站之作業時間皆設定為三角分配。表 3 為各工作站間之搬運作業的說明與所耗時間。執行模擬前，需要對模擬設定停止條件，本研究定義當產出數量到達 60 件時為模擬停止條件。

表 2：工作站作業時間與分配型態

工作站	取料	裁砂	裁切	磨砂	上膠	烘乾
作業時間(分)	0.5/1.5/2.5	5/6/7	4/5/6	9/10/11	3/5/7	10
	三角分配	三角分配	三角分配	三角分配	三角分配	固定
工作站	黏合	等待	壓合	分條	包裝	
作業時間(分)	5/6/7	960	9/10/11	5/6/7	2/5/8	
	三角分配	固定	三角分配	三角分配	三角分配	

表 3：工作站間之搬運作業時間

搬運	搬運 1	搬運 2	搬運 3	搬運 4	搬運 5	搬運 6	搬運 7
時間(分)	1.33	1.17	1.33	1.33	1.33	2	1
起站	取料	裁砂	裁切	磨砂	等待	磨砂	包裝
訖站	裁砂	裁切	磨砂	上膠	壓合	分條	出貨

4.4 績效指標

根據 Johnson(1954)與謝丞杰(2007)之生產系統績效指標文獻所敘，本研究以平均流程時間與總完工時間做為系統衡量指標。本研究績效指標定義分別如下：

(1)平均流程時間：工件從投料加工到出貨時，其在系統中所花費的時間之平均。

(2)總完工時間：全部工件皆完成加工所花費的時間。從第一個工件在第一台機器(裁砂作業)

開始算起，到最後一個工件在最後一台機器(包裝作業)完成所經過的全部時間。

4.5 重複模擬次數

由於本模擬模式中工作站之作業時間為隨機變數，故系統之績效指標亦為隨機變數。每一次的模擬相當於對績效指標的一次抽樣。當重複多次的模擬時，即得到績效指標之一組樣本值。依據母體平均值區間估計理論，當樣本數目越大，區間的寬度就越窄，對母體平均值之估計就越準確。本研究設定重複模擬次數為 30 次，並將 30

次績效指標的平均值作為母體績效指標平均值之點估計值。

4.6 模擬模式

根據 4.1 至 4.5 之描述，將廠房佈置圖匯入 Simul8，設定系統所需物件模組之參數，即可建構出個案工廠之生產流程模擬模式，模型建構圖如圖 4 所示。

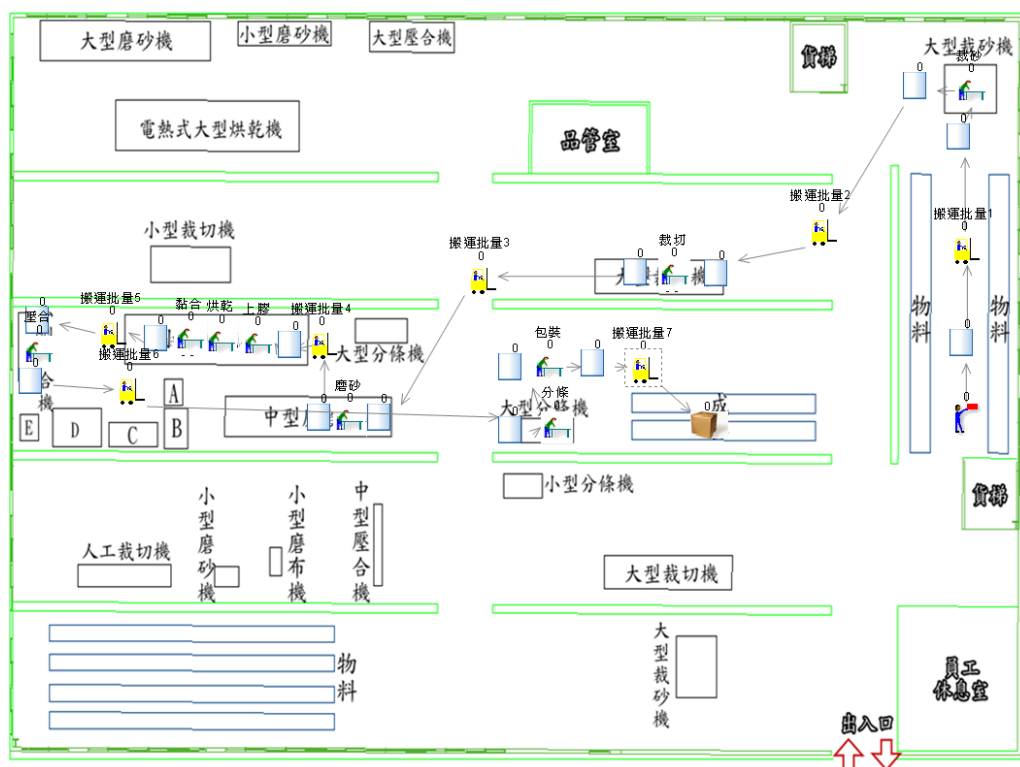


圖 4：模型建構圖

5. 實驗設計

5.1 控制因子

本研究之個案工廠共有 7 次的搬運作業，根據文獻 Chen et al. (2006) 可知，搬運批量是影響生產時間之顯著因子。因此，本研究將搬運批量設

定為系統之可控制因子，7 次搬運作業之搬運批量定義為控制因子 B1~B7。由於個案工廠之搬運車僅有 5 件、10 件、15 件等三種規格，故控制因子之水準以 5、10、15 設定，控制因子與水準如表 4 所示。

表 4：控制因子與水準表

水準	搬運批量(件)						
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
1	5	5	5	5	5	5	5

2	10	10	10	10	10	10	10
3	15	15	15	15	15	15	15

5.2 實驗結果

依據因子與水準的多寡，利用 Minitab 統計軟體進行全因子實驗，分別對 7 個搬運批量 (B1~B7) 進行 3 種不同的搬運批量組合 (5 件/次、10 件/次、15 件/次)，因此實驗次數為 $3^7=2187$ 次。本實驗目的就是要組合出在不同的批量之下平均流程時間與總完工時間的變化。

由於本研究實驗次數高達 2187 次，手動調整參數顯得相當耗時。為了讓系統能自動讀取實驗規劃之因子設定值，本研究先將 Simul8 建構的模型匯出成 xml 檔，之後透過 Excel 的 VBA (Visual Basic for Application) 功能，自動重複模擬實驗，進而得到績效指標之平均值，全因子實驗結果如表 5 所示。

表 5：全因子實驗設計反應值彙整表

實驗編號	搬運批量							績效指標	
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	Y1 平均流程時間 (分)	Y2 總完工時間 (分)
1	5	10	5	5	10	15	10	13340.1	7613.91
2	5	15	15	5	15	15	5	13469.8	7165.39
3	15	10	10	10	15	10	15	13449.8	8269.47
4	15	10	15	5	10	10	5	13385.1	7067.94
5	5	10	15	10	10	15	10	13449.8	7728.49
6	10	15	15	10	15	10	10	13497.3	7755.74
7	15	15	5	10	15	10	5	13454.7	7137.48
8	5	5	15	10	15	10	15	13439.7	8259.45
9	5	15	10	5	5	5	10	13285.7	7536.43
10	5	10	15	15	15	5	10	13489.8	7742.95
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2178	10	5	15	5	15	5	5	13367.8	7045.34
2179	5	10	15	15	5	5	5	13390.3	7067.81
2180	15	10	10	15	5	15	5	13429.9	7132.93
2181	10	15	5	10	5	10	5	13347.7	7025.48
2182	15	15	10	5	15	10	10	13429.9	7688.55
2183	10	5	10	15	10	15	15	13447.2	8266.90
2184	5	10	15	15	10	10	15	13469.7	8289.40
2185	10	15	15	15	10	10	15	13497.1	8316.85
2186	10	10	5	15	10	15	5	13447.2	7150.22
2187	10	10	5	10	5	15	15	13347.7	8167.37

5.3 變異數分析

本實驗進行變異數分析，探討 7 個因子 (搬運批量) 對反應值 (平均流程時間與總完工時間)，彼此之間是否有顯著性的影響關係變化，以決定改善優先順序。研究結果如下：

表 6 為平均流程時間之 ANOVA 表。從 7 個搬運批量 (B1~B7) 之 P 值得知，除了 B7 對平均流程時間不顯著 ($P>0.05$) 之外，其餘搬運批量 (B1~B6) 皆為顯著因子 ($P<0.05$)，尤其對平均流程時間之因子貢獻度最高的搬運批量以 B4 與 B5 最

為明顯。在此說明個案工廠之磨砂作業至上膠作業之間的搬運批量(B4)與等待作業至壓合作業的搬運批量(B5)影響平均流程時間最為明顯。

表 7 為總完工時間之 ANOVA 表。從 7 個搬運批量(B1~B7)之 P 值得知，各個搬運批量

(B1~B7)皆為顯著因子(P<0.05)。尤其對總完工時間之因子貢獻度最高的搬運批量以 B7 最為明顯。在此說明個案工廠之包裝作業至出貨的搬運批量影響總完工時間最為明顯。

表 6：平均流程時間之 ANOVA 表

	自由度	平方和 SS	均方 MS	F 值	P 值	貢獻度(%)
B1	2	81502	40751	8137.89	0*	0.74896393
B2	2	1100807	550404	109915	0*	10.1158835
B3	2	1169092	584546	116733	0*	10.7433896
B4	2	3611398	1805699	360595	0*	33.1869995
B5	2	3611994	1805997	360655	0*	33.1924764
B6	2	1296297	648148	129434	0*	11.9123419
B7	2	0	0	0	1	0
誤差	2172	10876	5			0.09994518
合計	2186	10881966				100

*P<0.05

表 7：總完工時間之 ANOVA 表

	自由度	平方和 SS	均方 MS	F 值	P 值	貢獻度(%)
B1	2	101719	50860	1159.26	0*	0.021111
B2	2	1158626	579313	13204.42	0*	0.24046
B3	2	1223377	611688	13942.37	0*	0.253898
B4	2	3710389	1855195	42285.91	0*	0.770049
B5	2	3739028	1869514	42612.3	0*	0.775993
B6	2	2121225	1060612	24174.8	0*	0.440236
B7	2	469688171	234844085	5352860	0*	97.47848
誤差	2172	95291	44			0.019777
合計	2186	481837827				100

*P<0.05

5.4 主效應分析

本節透過主效應分析探討各搬運批量(B1~B7)對平均流程時間與總完工時間之影響。圖 5 為平均流程時間之因子主效應圖。表 8 為平均流程時間之因子主效應表。對平均流程時間而言，影響最大的因子是搬運批量 B4 與 B5，之後則依

序是 B6、B3、B2、B1，而 B7 則對平均流程時間無任何影響。若要有效改善平均流程時間，可優先從縮小搬運批量 B4 與 B5 之值著手。以本研究之水準設定，當搬運批量 B1~B6 選擇第一水準時，平均流程時間為最小，由此可知，搬運批量取值越小，對縮短平均流程時間越有幫助。而搬

運批量 B7 不管取值為何對平均流程時間均無影響，因此 B7 可以取較大批量值，以減少搬運的次數。

圖 6 為總完工時間之因子主效應圖，表 9 為總完工時間之因子主效應表。對總完工時間而言，影響最大的因子是搬運批量 B7，之後則依序是

B5、B4、B6、B3、B2、B1。若要有效改善總完工時間，可以優先從縮小搬運批量 B7 之值著手。以本研究之水準設定，所有搬運批量(B1~B7)選擇第一水準時，總完工時間為最小，由此可知，搬運批量取值越小，對縮短總完工時間越有幫助。

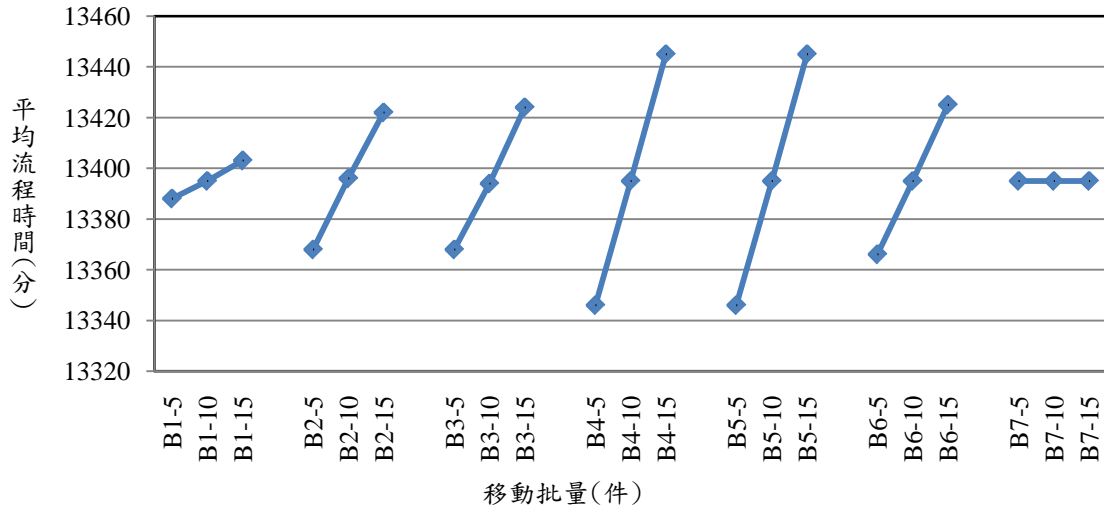


圖 5：平均流程時間之因子主效應圖

表 8：平均流程時間之因子主效應表

因子	水準			Delta	排序
	1	2	3		
B1	13388	13395	13403	15	6
B2	13368	13396	13342	55	5
B3	13368	13394	13424	57	4
B4	13346	13395	13445	100	1
B5	13346	13395	13445	100	1
B6	13366	13395	13425	60	3
B7	13395	13395	13395	0	7

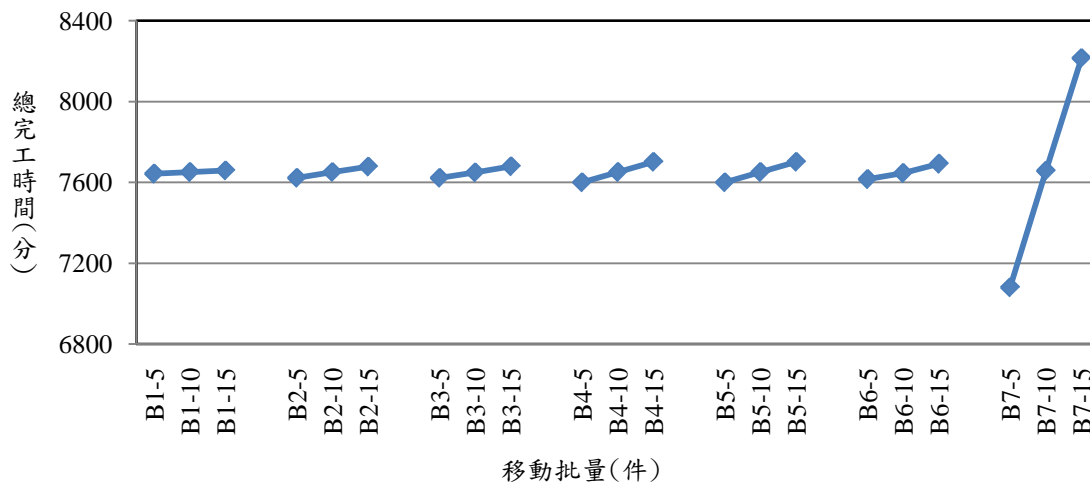


圖 6：總完工時間之因子主效應圖

表 9：總完工時間之因子主效應表

因子	水準			Delta	排序
	1	2	3		
B1	7642	7650	7659	17	7
B2	7622	7651	7678	56	6
B3	7622	7649	7679	58	5
B4	7600	7650	7701	101	2
B5	7600	7650	7701	101	2
B6	7615	7645	7691	76	4
B7	7080	7656	8215	1135	1

5.5 迴歸方程預測模型

本研究透過迴歸分析進一步探討搬運批量確實會影響案例工廠之平均流程時間與總完工時間，並計算其迴歸方程式。先利用逐步迴歸分析法逐步檢視各個因子貢獻大小，將所有可控的因子均納入考量，將任何未顯著的因子淘汰，直到保留在模型中的因子皆為顯著水準的因子。再經由最小平方方法所建構出的迴歸方程式，迴歸分析結果迴歸方程式：

如下：

針對平均流程時間(Y1)與各個顯著因子(B1、B2、B3、B4、B5、B6、B22、B32)之間的逐步迴歸方程式如式(1)。表 10 為平均流程時間迴歸係數顯著性檢定與迴歸方程適配度，結果得知調整後的 R-Sq = 99.90%，代表平均流程時間迴歸方程式對係數的適配程度佳。

$$Y1 = 13012.6 + 1.4953 \times B1 + 6.19721 \times B2 + 4.34758 \times B3 + 9.9538 \times B4 + 9.95462 \times B5 + 5.96352 \times B6 - 0.0351323 \times B2^2 + 0.0656316 \times B3^2 \quad (1)$$

表 10：平均流程時間迴歸係數顯著性檢定與迴歸方程適配度

自變量	係數	標準差	T 統計量	P 值
常數	13012.6	0.559546	23255.7	0
B1	1.5	0.01171	127.7	0
B2	6.2	0.081969	75.6	0
B3	4.3	0.081969	53	0
B4	10	0.01171	850	0
B5	10	0.01171	850.1	0
B6	6	0.01171	509.3	0
B2*B2	0	0.004056	-8.7	0
B3*B3	0.1	0.004056	16.2	0
R-Sq(預測) = 99.90%		R-Sq (調整) = 99.90%		

針對總完工時間(Y2)與各個顯著因子(B7、B5、B4、B6、B2、B3、B1、B32、B72、B22)之間的逐步迴歸方程式如式(2)。表 11 為總完工迴歸方程式：

時間迴歸係數顯著性檢定與迴歸方程適配度，結果得知調整後的 R-Sq = 99.97%，代表總完工時間之迴歸方程式對係數的適配程度佳。

$$\begin{aligned}
 Y2 = & 6105.75 + 120.031 \times B7 + 10.128 \times B5 + 10.0893 \times B4 + 0.311657 \times B6^2 \\
 & + 1.67026 \times B1 + 6.47182 \times B2 + 4.7425 \times B3 - 0.325966 \times B7^2 + 1.34222 \times B6 \\
 & - 0.0417569 \times B2^2 + 0.0524444 \times B3^2
 \end{aligned} \quad (2)$$

表 11：總完工時間迴歸係數顯著性檢定與迴歸方程適配度

自變量	係數	標準差	T 統計量	P 值
常數	6105.75	2.20778	2765.57	0
B7	120.03	0.2778	432.08	0
B5	10.13	0.03969	255.21	0
B4	10.09	0.03969	254.23	0
B6	7.58	0.03969	190.88	0
B2	6.47	0.2778	23.3	0
B3	4.74	0.2778	17.07	0
B1	1.67	0.03969	42.09	0
B3*B3	0.05	0.01375	3.81	0
B7*B7	-0.33	0.01375	-23.71	0
B2*B2	-0.04	0.01375	-3.04	0.002
R-Sq(預測) = 99.97%		R-Sq (調整) = 99.97%		

5.6 迴歸方程可信度檢驗

在 5.5 節所建立的迴歸方程式是依據 5.2 節中的 2187 次實驗之結果所建立，雖然迴歸方程的判定係數高達 99.9% 以上，但也只能代表迴歸方程對於建模樣本的預測非常準確，對於建模樣本以外的輸入條件是否能夠正確預測，則需要進一步檢驗。

為了驗證當水準數變更時所建構的迴歸方程式是否真的具有良好的預測能力，本研究再依據 L27 直交表規劃另一組測試樣本，一樣是搬運批量 7 因子 3 水準的設定，水準更改為 6 件/次、9

件/次、12 件/次。這 27 個樣本所對應的平均流程時間與總完工時間皆由模擬模式進行模擬值計算，同時也用平均流程時間與總完工時間之迴歸方程進行預測，之後將模擬值與預測值進行比較與誤差計算，測試樣本規劃與分析結果如表 12 所示。

實驗結果顯示，迴歸方程對於測試樣本的預測能力，平均流程時間的最大預測誤差為 0.264034%，總完工時間的最大預測誤差為 1.864376%，誤差皆非常小，表示本研究所建立的迴歸方程式具有高度可信度，可以適用於非建模樣本之預測。

表 12：測試樣本規劃與分析

編號	批量(件)							Y1 平均流程時間(分)			Y2 總完工時間(分)		
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	模擬值	預測值	誤差(%)	模擬值	預測值	誤差(%)
1	6	6	6	6	6	6	6	13239.0	13259.02	0.15122	7021.81	7101.2	1.13062
2	6	6	6	6	9	9	9	13334.9	13330.63	0.032021	7808.52	7691.87	1.493881
3	6	6	6	6	12	12	12	13382.5	13402.24	0.14751	8202.14	8282.54	0.98023
4	6	9	9	9	6	6	6	13364.6	13353.25	0.084926	7147.35	7195.43	0.6727
5	6	9	9	9	9	9	9	13460.4	13424.86	0.264034	7934.02	7786.1	1.864376
6	6	9	9	9	12	12	12	13508.1	13496.47	0.086096	8327.71	8376.77	0.58912
7	6	12	12	12	6	6	6	13427.4	13447.48	0.14954	7210.29	7289.66	1.10079
8	6	12	12	12	9	9	9	13523.3	13519.09	0.031131	7997.03	7880.33	1.459292
9	6	12	12	12	12	12	12	13570.9	13590.7	0.1459	8390.58	8471	0.95846
10	9	6	9	12	6	9	12	13409.4	13408.6	0.005966	8229.08	8288.87	0.72657
11	9	6	9	12	9	12	6	13487.2	13480.21	0.051827	7270.11	7322.54	0.72117
12	9	6	9	12	12	6	9	13463.1	13471.09	0.05935	7936.83	7832.3	1.317025
13	9	9	12	6	6	9	12	13376.9	13371.43	0.040891	8196.46	8251.7	0.67395
14	9	9	12	6	9	12	6	13454.6	13443.04	0.085919	7237.49	7285.37	0.66156
15	9	9	12	6	12	6	9	13430.6	13433.92	0.02472	7904.24	7795.13	1.380398
16	9	12	6	9	6	9	12	13397.7	13386.46	0.083895	8217.19	8266.73	0.60288
17	9	12	6	9	9	12	6	13475.3	13458.07	0.127864	7258.15	7300.4	0.5821
18	9	12	6	9	12	6	9	13451.3	13448.95	0.01747	7924.98	7810.16	1.448836
19	12	6	12	9	6	12	9	13422.6	13426.78	0.03114	7896.42	7788.14	1.371254
20	12	6	12	9	9	6	12	13428.6	13417.66	0.081468	8248.05	8297.9	0.60439
21	12	6	12	9	12	9	6	13494.4	13489.27	0.038016	7277.17	7331.57	0.74754
22	12	9	6	12	6	12	9	13431.8	13441.81	0.07452	7905.75	7803.17	1.297537

23	12	9	6	12	9	6	12	13437.8	13432.69	0.038027	8257.42	8312.93	0.67224
24	12	9	6	12	12	9	6	13503.6	13504.3	0.00518	7286.42	7346.6	0.82592
25	12	12	9	6	6	12	9	13390.2	13404.64	0.10784	7864.04	7766	1.246687
26	12	12	9	6	9	6	12	13396.2	13395.52	0.005076	8215.75	8275.76	0.73043
27	12	12	9	6	12	9	6	13462.1	13467.13	0.03736	7244.80	7309.43	0.89209

6. 結論

本研究以生產砂紙之流程型工廠為案例，應用實驗設計法與系統模擬法探討工廠中各工作站間之搬運批量對平均流程時間與總完工時間之影響，結論歸納如下：

在平均流程時間之結果得知，個案工廠之磨砂作業至上膠作業之間的搬運批量(B4)與等待作業至壓合作業的搬運批量(B5)影響平均流程時間最為明顯，若要有效改善平均流程時間，可優先從縮小搬運批量 B4 與 B5，之後則依序是 B6、B3、B2、B1，搬運批量取值越小，對縮短平均流程時間越有幫助。而 B7 則對平均流程時間無任何影響，不管取值為何對平均流程時間均無影響，因此 B7 可以取較大批量值，以減少搬運的次數。

在總完工時間之結果得知，個案工廠之包裝作業至出貨的搬運批量(B7)影響總完工時間最為明顯，若要有效改善總完工時間，可以優先從縮小搬運批量 B7 之值著手，之後則依序是 B5、B4、B6、B3、B2、B1，搬運批量取值越小，對縮短總完工時間越有幫助。

本研究亦建立平均流程時間與總完工時間之預測迴歸方程式。個案工廠若需要知道不同搬運批量情境下的平均流程時間與總完工時間，則只需將搬運批量代入預測迴歸方程式中即可迅速得知，並不需要重新修改模擬參數與執行模擬，如此將可有效提昇工廠管理之效率。

參考文獻

- 徐政幼，(2005)，以基因演算法計算多機流程型工廠在有限暫存之最小完工時間，中原大學，工業工程學系，碩士論文。
- 陳志遠，(2008)，以離散式建模擬及類神經方法求解 TFT-LCD 廠動態搬運批量問題，國立成功大學，製造工程研究所，碩士論文。
- 楊承亮、謝丞杰，(2007)，應用系統模擬於流程型生產工廠派工法則之探討，第 15 屆國防管理學術暨實務研討會，186-199。
- 楊建文，(1984)，流程型工廠排程法則之研究，國立台灣科技大學，管理技術研究所，碩士論文。
- 魯光輝、曾清桂、陳俊豪、歐陽文忠，(2012)，因子實驗設計於氯氣純化製程之應用，國立高雄應用科技大學化學工程與材料工程系，高雄應用科技大學學報，第四十一期，1-18。
- Chen, Q., Xi, L. and Wang, Y. (2006). The impact of release times, lot size, and scheduling policy in an A&T facility, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 29, 577-583.
- Holthaus, O. (1997). Design of efficient job shop scheduling rules, *Computers and Industrial Engineering*, 33(1/2), 249-252.
- Hopp, W.J. and Spearman, M.L. (2001). *Factory Physics*, McGraw-Hill, New York.
- Hwang, H., Kim, S.Y., and Moon, S.W. (1996). Determination of optimum unit load size of the AGV in an electronics assembly production system, *International Journal of Production Research*, 34, 1293-1306.
- Johnson, S.M. (1954). Optimal two- and three-stage production schedules with set up times included, *Naval Research Logistics Quarterly*, 1, 61-68.
- Moon, S.W. and Hwang, H. (1999). Determination of unit load sizes of AGV in multi-product multi-line assembly production systems, *International Journal of Production Research*, 37, 3565-3581.
- Nicholas, J. and Soni, A. (2005). *The Portal to Lean Production: Principles and Practices for Doing More with Less*, Auerbach Publications, New York.
- Rajendran, C. and Holthaus, O. (1999). A comparative study of dispatching rules in dynamic flow shops and job shops, *European Journal of Operational Research*, 116, 156-170.
- Stevenson, W.J. (2002). *Operations Management*, 7th edition, McGraw-Hill/Irwin, Boston.