

應用以模擬為基之價值流圖於生產系統改善之研究

劉正祥 黃子芸*

台灣，屏東縣，屏東科技大學，工業管理系

摘要

在現今的環境中，企業要求生存，就要提升其競爭力。無論從顧客或是企業的角度，成本優勢都是企業競爭力的基礎來源。目前精實生產是各大企業競相採用的生產管理技術，它主要是透過整合使用各式的管理工具，例如：價值流圖(value stream mapping, VSM)、超市、連續流、看板、拉式生產、快速換模等，消除生產過程中的浪費，進而降低成本。其中，價值流圖是最被廣泛使用的工具，主要是根據產品的生產路徑，先畫出一個現況圖來描繪出系統內的物流與資訊流。之後改善團隊再針對現況圖進行分析，找出浪費並擬定改善方案，最後再畫出一份未來圖做為未來改善之參考。然而，傳統的價值流圖是透過收集確定性的資料(deterministic data)來繪製現況圖，另外在分析過程中也未考量製程與顧客需求的變異性(customer demand variability)。因此，最後所繪製出的未來圖也許不夠完善。本計畫將發展一個以模擬為基之 VSM 精實改善流程，其中將結合模擬技術分析不同的製程與顧客需求變異情境下未來圖的績效表現，同時也透過逐步模擬(iterative simulation)方法解析每一項精實工具導入前後系統的績效差異。本研究擬以文獻中之案例作為分析基礎，進行方法驗證。經過實驗結果顯示，以模擬為基之 VSM 精實改善流程不僅能在考量系統變異下預測改善的效益，同時也能創建出不同的情境來評估各項改善的效益值。

關鍵字：價值流圖、模擬、精實生產、需求變異

投稿日期: 2025.06.09

修改日期: 2025.07.23

接受日期: 2025.07.30

刊登日期: 2025.08.07

* 通訊作者：黃子芸（學生） 地址：屏東縣內埔鄉學府路1號 E-mail: socie0123@gmail.com

An Application of Simulation-Based Value Stream Mapping for Improving Production Systems

Cheng-Hsiang Liu Tzu-Yun Huang *

Dept. of Industrial Management, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung County, Taiwan

Abstract

Value stream mapping (VSM) is one of the best tools for transformation of production environments into a lean operational state. As VSM involves in all of the process steps, it can help in eliminating non-value activities, reducing the work in process (WIP) and thereby reduce the costs of doing business. A VSM process starts with drawing a current state mapping (CSM), followed by flow assessment with respect to the concept of lean manufacturing that leads to the future state map (FSM) development. However, in line with drawing CSM, data are gathered as deterministic and the variabilities of the process and customer demand may not be fully accounted for. Consequently, a poor FSM may be developed. For this purpose, a simulation-based VSM method is developed, in which different alternative FSMs can be explored through scenario analysis and this method allows managers to examine more precisely the before-and-after impact of every Lean principle. For the sake of validity, the proposed method is applied to a case study. Finally, this research project has a managerial contribution because its results can guide managers in setting a suitable future state for adopting under different customer demand patterns and implementing specific Kaizen practices within their organization.

Keywords: value stream mapping, simulation, lean manufacturing, demand variability

一、緒論

(一) 研究背景

在全球化經濟的時代，製造業的成功關鍵在於其競爭力的強弱。自從《改變世界的機器》(The Machine That Changed the World)一書問世後，有越來越多的專家學者開始透過精實管理(Lean Management)來協助企業提升其競爭力。精實的理念主要是源自於豐田生產方式(Toyota Production System)，其核心目的在於徹底杜絕企業內部各種浪費，以提高生產效率。目前已有許多的工具與技術被應用於精實生產：及時化(Just-in-time, JIT)、單元製造(cellular manufacturing)、看板系統(kanban)、全面生產維護(total production maintenance)、快速換模(single-minute exchange of dies)以及生產平準化(production smoothing)、自働化(Autonomation)、防呆裝置(poka-yoke)、生產平準化(production leveling)、目視管理(visual management)、價值流圖(value stream mapping, VSM)等。其中由 Rother 與 Shook 於 1999 年所提出的價值流圖(VSM)是最廣為被使用的一項精實工具(Schmidtke et al. 2014)。VSM 針對的是一個工廠內從出口到入口的全程活動進行分析，整體活動中包含有附加價值與沒有附加增加價值的活動(Rother and Shook 1999)。VSM 的目的在於找出價值流中的浪費或是不會增加價值的活動，同時擬定改善方案消除它，進而逐步實現成為精實企業。

(二) 研究目的

本研究旨在提出一個「以模擬為基之 VSM 精實改善流程」架構，其特殊性有以下三點：

1. 透過模擬技術考量系統中的變異性，例如：顧客訂單抵達的間隔時間、顧客訂單的大小、機台當機的情形、作業時間的不確定性等，用以提高現況圖/未來圖的仿真程度。
2. 透過迭代模擬技術(iterative simulation)分析各項精實觀念/工具導入後的改善效益，透過此一階段能讓管理者更加了解精實工具的效用。
3. 透過模擬技術進行生產鏈的敏感性分析，透過分析結果建議管理者在不同情境下(i.e., 不同的顧客需求的間隔時間與數量)應採用之合適的未來圖。

(三) 研究架構

為達成本研究目的，本研究建構一個以模擬為基礎之 VSM 精實改善流程架構。整體流程分為六大步驟，包含產品族選定、系統現況蒐集與建模、繪製現況圖（CSM）、設計未來圖（FSM）、進行改善方案模擬分析，最後提出情境下的未來圖建議。此架構強調結合模擬技術與精實工具，以提供具實務價值的流程改善方案。

二、文獻探討

近年來，價值流圖（Value Stream Mapping, VSM）作為精實生產中重要的流程改善工具，廣泛應用於不同產業的製程優化。多數學者不僅單獨運用 VSM，也嘗試將其與模擬技術、決策分析、模糊理論等工具整合，進而提升分析的精確性與實施的靈活性。以下將依應用方向與研究內容進行歸類與探討，並彙整 VSM 實施步驟中未來圖（FSM）建構所涉及之七項關鍵技術和 VSM 的三大限制，綜合相關文獻與實務觀點加以探討。

(一) VSM 實施四大步驟

由 Rother & Shook (1999)所提出，價值流圖（Value Stream Mapping, VSM）的實施流程可分為以下四個步驟：

1. 挑選特定產品族/產品作為改進的標的物
2. 繪製現況圖(current state mapping, CSM)
3. 建構未來圖(future state mapping, FSM)
4. 擬定改善方案以實現未來圖

其中步驟3「建構未來圖(FSM)」需要透過回答以下七個問題來建構出未來圖：

Q1:節拍時間為何？

節拍時間(takt time)代表為了滿足顧客的需求，每一個生產班別的稼動時間內，每隔多少時間需要生產完成一個產品，計算方式如公式(1)所示。

$$\text{takt time} = \frac{\text{Available working time per shift}}{\text{Customer demand per shift}} \dots\dots\dots(1)$$

Q2:產品完成加工後是要直接出貨或是要建立一個成品庫存超市(finished goods supermarket)透過看板拉動出貨？

成品庫存超市是一個成品暫存的區域，此一超市可以作為對顧客需求變異的緩衝(buffer)，但超市越大，成品庫存數量就越多；相對地，若是產品加工完成後直接出

貨，成品數量可以有效降低，但對顧客需求變異的緩衝能力就會下降。

Q3:在哪些工程可以使用連續流動作業?

連續流作業與過去傳統批量生產/移轉方式的不同之處在於期望創造一個單件生產/移轉(one piece at a time)、無等待、順暢、有效率的生產流程。採取連續流的方式，可以消除浪費，縮短產品的生產流程時間。為了創造連續流動作業通常需要重新分配員工的作業內容，讓每一位作業員的工作負荷量剛好低於節拍時間，同時也需要進行機台設施的重新佈置(Lasa *et al.* 2009)。

Q4:應於生產鏈中的何處設置基準節拍工程(pacemaker process)? 何處需要使用在製品庫存超市(supermarket)加上拉式系統(pull system)來控制上游工程的生產?

導入精實生產的過程需要透過持續改善消除系統中的浪費，其中過量生產(overproduction)是浪費的主要來源(Rother and Shook 1999)。為了消除工廠內各個工作站內產生過量生產的浪費，必須改變過去由 MRP 系統下達生產指令至各個工作站的模式，只將生產計畫下達給從出口到入口價值流中的一個製程，這個製程稱為基準節拍工程。基準節拍工程設定之後，將會搭配使用在製品超市與拉動系統控制上游工程的生產節奏，同時在基準節拍工程的下游也會搭配先進先出(First In First Out)法則進行連續的流動(Marchwinski and Shook 2003)(Rother and Shook 1999)。如此一來，整個生產鏈將可逐步消除產生過量生產的浪費。

Q5:如何在基準節拍工程進行生產的平準化?

傳統生產方式是將顧客需求的產品作大批量生產，以減少製程的換線時間。此一傳統方式會在生產鏈中的各道製程前囤積大量的在製品以應付未來的生產需求，產品的生產流程時間也因此隨之增加。平準化技術主要是將顧客需求的產品種類、數量以及生產順序作均勻化的分配，以使各製程能達到平穩順暢地生產，以減少在製品數量以及生產流程時間。

Q6:持續對基準節拍工程發出生產指示的間隔時間(pitch)為何?

間隔時間是針對基準節拍工程發出一個產品/產品族生產指示的時間單位，間隔時間

可經由公式(2)計算之(Abdulmalek and Rajgopal 2007)。透過間隔時間的設定，基準節拍工程將不會產生過量生產的浪費。

$$\text{pitch} = \text{takt time} \times \text{finished goods transfer quantity at the pacemaker} \dots\dots\dots(2)$$

Q7:為了讓未來圖實現必須做哪些工程改善？

為了讓公司的物流與情報流能達到未來圖的狀態，在製程上需要擬定一系列的行動計畫進行現場改善。一般來說，我們會在未來圖上使用閃光爆破點將需要改善之處標示出來。

(二) VSM 實務限制

雖然 VSM 是一項淺顯易懂的視覺化改善工具，但在實務操作中仍存在以下三項限制 (Schmidtke et al., 2014)：

1. 無法有效考量製程的變異性 (process variability)，像是作業環境中常見的變異 (如機台當機、作業時間不穩定、顧客需求量與時間波動) 均會影響整體系統績效，而傳統的 VSM 是基於靜態現場資料繪製現況圖，故難以掌握系統變動性。
2. 複雜製程 (complex process flow) 的分析較為不易。在許多產業中其生產製程是相當複雜，例如生產鏈中的製程步驟會有匯流 (merging)、分流 (diverging) 或是回收 (recycling) 等現象。因此，針對此類型製程進行現況分析時困難度會較高。
3. 傳統的VSM在建構未來圖時，未能考量到彼此互相衝突的成本(conflicting cost factors)。

多項研究已證實模擬工具可強化VSM應用的實用性與預測力：

1. Abdulmalek and Rajgopal (2007)：針對一個一貫作業煉鋼廠 (integrated steel mill)，利用VSM結合模擬工具分析導入精實生產的效益。
2. Braglia et al. (2009)：使用統計方法與模糊代數 (fuzzy algebra) 發展出 stochastic VSM 與 fuzzy VSM，用以處理製程變異性，並應用於安全帽製造工廠。
3. Yang and Lu (2011)：採用多屬性決策機制 (multiple attribute decision-making) 來求解VSM中基準節拍工程的挑選問題 (pacemaker location problem)。

4. Li et al. (2012)：發展改良版VSM工具，分析印刷電路板製程（PCB）的價值流與碳排放流（carbon emission stream）。
5. Jiménez et al. (2012)：以VSM改善葡萄酒工廠流程，將生產前置時間由440.11天縮短至162.5天。
6. Seyedhosseini et al. (2013)：應用模糊理論處理流程變異性，提出模糊VSM並應用於零件製造業。
7. Schmidtke et al. (2014)：針對廢氣淨化製程（exhaust gas purification）結合VSM與離散事件模擬（DES），前置時間由11.4天降至1.4天。
8. Yang et al. (2015)：於漁網製造公司導入VSM，顧客服務水準提升29.41%，在製品減少33.92%。
9. Dey et al. (2022)：針對離散製造業進行VSM改善案例，生產前置時間縮短59%、庫存水平降低61%、價值活動比例提升138%。
10. Boonsothonsatit et al. (2025)：針對泰國一家中型醫院藥局導入VSM與智慧配藥系統後，前置時間從569.42分鐘大幅下降至139.92分鐘（減少75.4%），每日處方處理量提升至1,750張。

(三) 模擬技術結合VSM之研究回顧

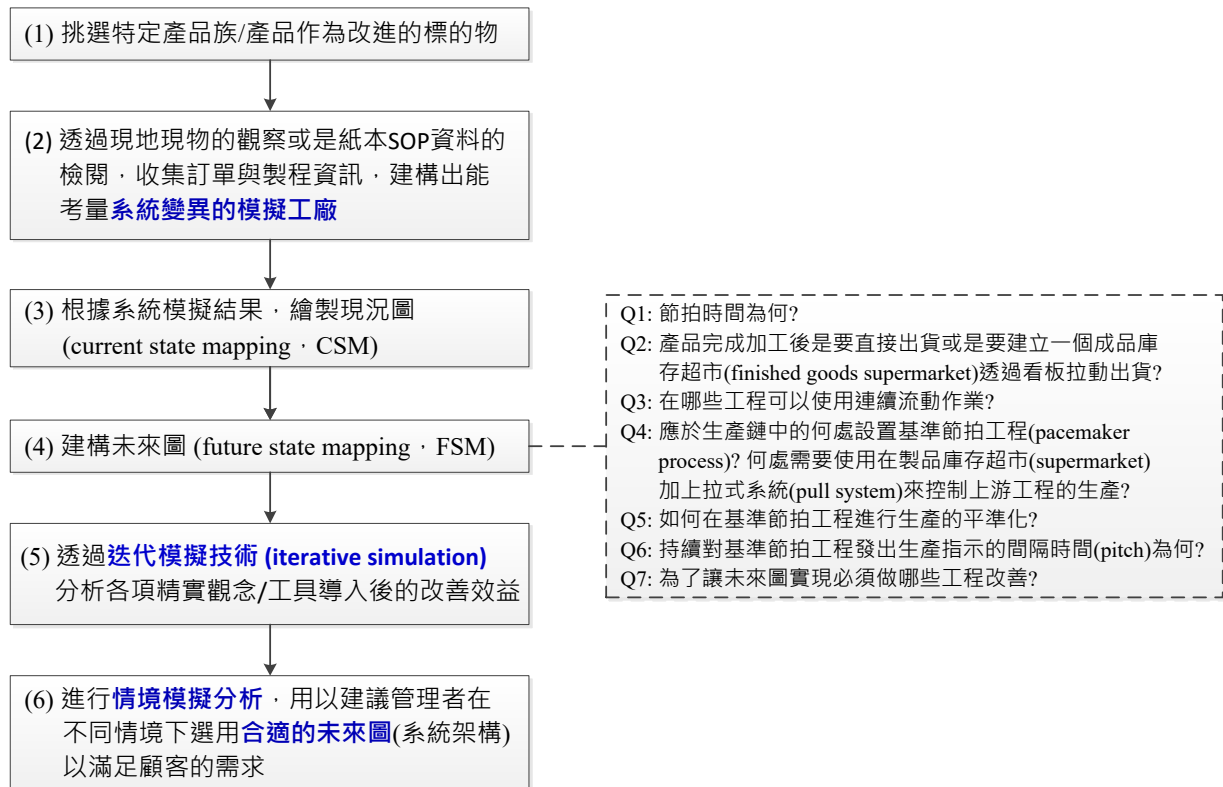
雖然過去已有學者將模擬技術結合VSM進行精實改善研究(Schmidtke et al. 2014;Yang & Lu 2011;Abdulmalek & Rajgopal 2007;Yang et al. 2015;Lu et al. 2011)，但除了Lu et al. (2011)的研究以外，其他研究都只針對單一顧客需求情境下進行模擬來確認未來圖的實施效益；Lu et al. (2011)主要是考量數個不同的需求變異情境下建構出一個理想的未來圖。然而，近年已有研究開始應用VSM於服務型與醫療產業，處理多樣化需求下的流程優化議題，例如Boonsothonsatit et al. (2025)針對藥局每日高達1750筆處方的動態需求，透過智慧系統導入與VSM分析，將前置時間減少75.4%。因此，本研究計畫認為當顧客的需求模式隨著時間改變時，系統的架構(合適的未來圖)也應隨之而改變，方能持續減少浪費與降低成本，進而滿足顧客的需求。因此，本研究計畫將提出一個以模擬為基之VSM精實改善流程架構，用以彌補VSM使用上的三項限制。

三、研究方法

本研究方法依據上述研究架構，透過下列六個步驟進行實證操作與分析：

- (一) 產品族選定：根據生產資料與顧客需求，選出具有代表性的產品族作為分析對象。
- (二) 系統現況蒐集與流程建模：透過現地現物的觀察或是紙本 SOP 資料的檢閱，收集訂單與製程資訊，建構出能考量系統變異的模擬工廠。
- (三) 繪製現況圖 (Current State Mapping, CSM)：依據蒐集資料，繪製反映實際作業流程與瓶頸的現況圖。
- (四) 設計未來圖 (Future State Mapping, FSM)：提出七問題作為改善邏輯工具，藉此構想並設計對應之未來圖。
- (五) 模擬與評估改善方案 (Iterative Simulation)：透過迭代模擬技術(iterative simulation)分析各項精實觀念/工具導入後的改善效益。此步驟為本研究擴充傳統 VSM 的創新之處。
- (六) 提出不同情境下的未來圖建議：進行情境模擬分析，用以建議管理者在不同情境下選用合適的未來圖(系統架構)以滿足顧客的需求。

如圖一，此構想參考 Lu et al. (2011)、Yang & Lu (2011) 等學者之研究，結合模擬工具於 VSM 未來圖驗證之應用，並進一步發展為可針對不同精實工具組合進行多情境模擬分析的架構，強調在顧客需求變動與系統不確定性條件下，提供更具實務決策價值的未來圖建議，亦為本研究的主要創新之一。



圖一 以模擬為基之 VSM 精實改善流程

四、個案分析

本研究計畫將利用來自於 Braglia et al. (2009)研究內所使用的安全帽製造工廠案例來驗證圖一的架構。雖然使用相同的案例進行研究，但本研究計畫與 Braglia et al. (2009)研究內容的不同之處主要有以下三項：(1) Braglia et al. (2009)的案例中包含三種產品別，但研究內容中並未探討生產平準化的技術；(2) Braglia et al. (2009)研究內沒有探討到顧客需求的變異性；(3) Braglia et al. (2009)的研究中未使用迭代模擬方式來描述各項精益工具導入後之改善效益。本研究計畫將嘗試針對此一安全帽製造工廠導入平準化技術以提高系統的績效表現，同時也考量顧客需求的變異性來設計與推薦合適的未來圖供決策者參考，最後也透過迭代模擬技術分析各項精益觀念/工具導入後的改善效益，讓管理者更加了解精益工具的功用。

(一) 安全帽製造工廠分析

1. 挑選特定產品族/產品作為改進的標的物

針對三款機車安全帽產品進行改善研究，分別是一般型(integrated)、越野型(motocross)、噴氣型(jet)，平均每日總需求量為 200 個，完成品每天送貨一次。本

研究計畫假設訂單抵達的間隔時間平均為 2 小時，每張訂單大小平均為 50 個。

2. 透過現地現物的觀察或是紙本 SOP 資料的檢閱，收集訂單與製程資訊，建構出能考量系統變異的模擬工廠

(1) 安全帽製造工廠屬於一個流線型生產系統(flow shop)，製程中共計有 11 道製程步驟，分別為(1) shell molding、(2) shell cutting、(3) puttying、(4) blow cleansing、(5) painting、(6) drying、(7) decal application、(8) decal scraping、(9) polish painting、(10) quality check、(11) assembly and packaging，其中 shell molding 與 puttying 二道製程是外包給其他供應商施作，其餘九道製程都在工廠內完成。各項製程資訊如表一所示。

(2) 該公司每天工作時間為 8 小時，每日可視生產需求加班 1 小時。

(3) 原物料－外殼(shell)的採購採用定量訂購模式， $ROP=500$ 單位， $EOQ=200$ 單位。

(4) 外包廠商針對外殼進行 shell molding 製程後，採用每天送貨一次的方式供給到工廠內的 shell cutting 製程；工廠內的 shell cutting 製程針對外殼加工後，採用每天送貨一次的方式送到另一個外包廠商進行 puttying 製程；外包廠商針對外殼進行 puttying 製程後，採用每週送貨一次的方式供給到工廠內的 blow cleansing 製程，其中運輸時間為一天。

(5) 原公司採用 MRP 制訂各個工作站的為期四週的生產計劃，每週可進行調整。為了因應生產/需求端的變異，設定安全前置時間為一週。本研究計畫假設生產批量為 100 個。

表一 安全帽製造工廠內各項製程資訊

製程名稱	作業時間 (秒)	換線時間 (秒)	作業人員數	機台可動率	班數
shell molding	--	--	--	--	--
shell cutting	132	0	1	90%	1
puttying	--	--	--	--	--
blow cleansing	60	0	1	100%	1/2
painting	60	300	2 (與 polish painting 製程共用，1 人為輔助)	95%	1/2 (上午班)
drying	1,800	0	0	100%	1
decal application	440	0	4	100%	1
decal scraping	445	0	3	100%	1
polish painting	40	60	2 (與 painting 製程共用，1 人為輔助)	95%	1/2 (下午班)
quality check	120	0	1	100%	1
assembly and packaging	1,400	900	5+5 (2 lines, 5 in a line)	95%	1

3. 根據系統模擬結果，繪製現況圖(current state mapping, CSM)

根據上述所收集到的製程與訂單資訊，本研究計畫利用 Plant Simulation 9.0 軟體建構一座模擬工廠。模擬工廠建構完成後，隨機模擬 20 次，取得各項系統平均資訊後，繪製出現況圖，如圖二所示(假設訂單抵達間隔時間 2 小時，每張訂單大小為 50 個，生產批量=100)。根據圖二可以發現此一生產鏈中會增加價值的時間(TVAT)為 74.95 分鐘，產品的生產流程時間(TPLT)為 14.02 天，TVAT 佔用 TPLT 的比率相當低，表示系統中存在許多浪費，應該進行改善。因此，本研究計畫從中找到以下

八個可改善的問題點：

- (1) 由於製程的不連續導致工廠內各個製程前堆放了數量不一的在製品，造成產品的生產前置時間(TPLT)過長。
- (2) 目前系統的生產/移轉批量(100 個)過大，產生批量延遲(lot delay)，需要進行改善。
- (3) 透過小批量生產將可有效減少在製品數量，但目前系統中 painting 與 assembly and packaging 製程的換線時間過長，不利於推動小批量生產，需要進行改善。
- (4) shell cutting 製程可動率過低，容易造成生產不順暢，需要進行改善。
- (5) painting 與 polish painting 製程共用兩位員工，其中 painting 製程為上午班生產，polish painting 製程為下午班生產。此一規劃容易造成生產不順暢，需要進行改善。
- (6) blow cleansing 製程員工利用率過低，造成成本浪費，需要進行改善。
- (7) puttying 製程送貨頻率過低(每週一次)，容易造成生產不順暢，需要進行改善。
- (8) 鑑於目前系統中存在諸多浪費，致使產品總生產流程時間（TPLT）長達 14.02 天，遠超出市場對「今日接單、隔日出貨」的交期要求，導致當前訂單達交率為 0%。因此，管理者亟需推動改善作為，以縮短流程時間並提升達交績效。

4. 建構未來圖(future state mapping, FSM)

- (1) 經由現況圖分析發現安全帽製造工廠存在上述八個問題點，本研究計畫將建構未來圖來擬定改善計畫進行消除，後續將透過以下七個問題來建構出安全帽製造工廠的未來圖：

Q1:節拍時間為何？

安全帽製造工廠的節拍時間計算如下所示。

$$\text{takt time} = \frac{28,800}{200} = 144 \text{ (秒)}$$

Q2:產品完成加工後是要直接出貨或是要建立一個成品庫存超市(finished goods supermarket)透過看板拉動出貨？

由於安全帽產品只有三種型號，體積也不大也易於存放。因此，為了應付顧客需求的波動，建議該工廠剛開始時針對三項產品各建立 275 個單位的成品庫存超市。後續再經由持續改善，改變成生產後直接出貨。

Q3:在哪些工程可以使用連續流動作業?

透過分析廠內各項作業的週期時間後，本研究計畫重新分配工作內容，讓每個作業員的工作量剛好低於節拍時間，達到連續流動以縮短產品的生產流程時間。

- [1] 訓練一名專責人員 A 執行 polish painting 與 painting 的輔助作業。
- [2] 將 blow cleansing 與 painting 製程合併，並由一位作業員負責加工。當該員工在進行 painting 作業時，會由領班指派專責人員 A 執行輔助 (support) 作業。
- [3] 將 polish painting 與 quality check 製程合併，並由兩位作業員負責加工。當員工在進行 polish painting 作業時，會由領班指派專責人員 A 執行輔助作業。
- [4] 將 decals application 與 decals scrapping 製程合併，並由七位作業員負責加工。

透過上述製程合併作業，生產線上總作業人員數不變。

Q4:應於生產鏈中的何處設置基準節拍工程(pacemaker process)? 何處需要使用在製品庫存超市(supermarket)加上拉式系統(pull system)來控制上游工程的生產?

為了消除過量生產的浪費，必須改變過去由 MRP 系統下達生產指令至各個工作站的模式，只將生產計畫下達給基準節拍工程。本研究計畫擬定可在以下三個製程位置擇一設定基準節拍工程，後續將透過模擬建議合適的基準節拍工程：

- [1] 設定「blow cleansing/painting」此一合併製程為基準節拍工程，並在該

製程前面設置一個在製品庫存超市，該超市內最高可儲存 450 個加工後的外殼，如圖四所示。

[2] 設定「assembly and packaging」製程為基準節拍工程，並在該製程前面設置一個在製品庫存超市，該超市內每個產品最高各可儲存 50 個在製品；「blow cleansing/painting」此一合併製程前設置一個在製品庫存超市，該超市內最高可儲存 450 個加工後的外殼，如圖五所示。

[3] 設定「assembly and packaging」製程為基準節拍工程，並在該製程前面設置一個在製品庫存超市，該超市內每個產品最高各可儲存 50 個在製品；「decals application/decals scrapping」此一合併製程前設置一個在製品庫存超市，該超市內每個產品最高各可儲存 25 個在製品。「blow cleansing/painting」此一合併製程前設置一個在製品庫存超市，該超市內最高可儲存 450 個加工後的外殼，如圖六所示。

其餘製程皆採用 FIFO 法則排定生產順序。

Q5:如何在基準節拍工程進行生產的平準化?

為了讓各製程能達到平穩順暢的生產，以減少在製品數量與生產流程時間，本研究計畫將在基準節拍工程作平準化生產。首先，將工廠內各個產品的生產批量設定為 5 個，並且掛上一張看板進行管理。生管部門將每日訂單資訊交給物流人員，物流人員將需求的數量從成品庫存超市中取出，卸下附掛的看板後，進行出貨打包作業。之後，取下的看板必須按照一定的左右交錯順序，放在負荷平準箱中，隔日基準節拍工程的作業者將按照一定的間隔時間，每次從負荷平準箱中取出一張看板進行生產。

Q6:持續對基準節拍工程發出生產指示的間隔時間(pitch)為何?

本研究計畫所設定的間隔時間為 12 分鐘，計算內容如下所示。

$$\text{pitch} = 144 \times 5 = 720(\text{秒}) = 12(\text{分鐘})$$

每隔 12 分鐘，基準節拍工程的作業者將從負荷平準箱中取出一張看板進行

生產。

Q7:為了讓未來圖實現必須做哪些工程改善?

根據上述說明，本研究計畫根據改善內容的不同，共計建構出四張未來圖。

為了讓該工廠的物流與情報流能達到未來圖的狀態，需要擬定一系列的行動計畫進行現場改善。所有需要改善之處已在四張未來圖中使用閃光爆破點將標示出來，如圖三、四、五與六所示。

5. 透過迭代模擬技術(iterative simulation)分析各項精實觀念/工具導入後的改善效益

(1) 本研究計畫主要利用迭代模擬技術分析以下兩項精實觀念/工具導入後的改善效益：

[1] 探討連續流導入製程前後的績效差異(比較圖二與圖三之績效表現)以及改變生產批量大小對於系統的影響性

[2] 探討設定生產平準化+拉式生產對於系統的改善效益，同時分析不同基準節拍工程設置位置對於系統績效之影響性(比較圖四、圖五與圖六之績效表現)

6. 進行情境模擬分析，用以建議管理者在不同情境下選用合適的未來圖(系統架構)以滿足顧客的需求

(1) 本研究期望透過模擬分析結果建議管理者在不同情境下使用不同系統架構(未來圖)以滿足顧客的需求。因此，本研究計畫將利用模擬工廠進行情境分析，用以了解四張未來圖(圖三、四、五與六)在不同顧客需求變異情境下的績效表現。實驗計畫中主要有兩個情境因子，分別是顧客訂單抵達的間隔時間以及顧客訂單大小，如表二所示，共計有六種不同的情境。每一種情境將隨機模擬 20 次，模擬的時間設定為兩年，其中暖機時間設定為一年，模擬結束後收集以下八項資訊作為系統的績效指標：

[1] 生產流程時間-1：計算工件進入 shell molding 製程到完成出貨之間的時間。

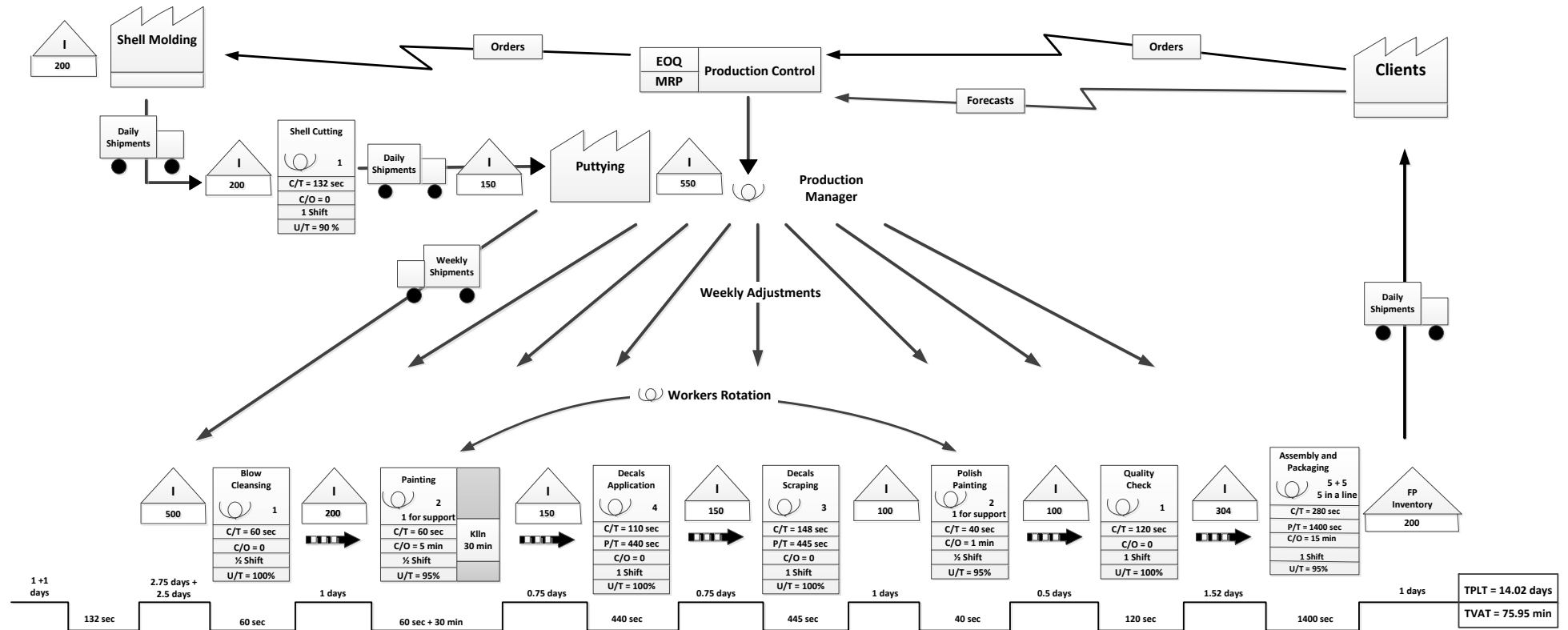
[2] 生產流程時間-2：計算工件進入 blow cleansing 製程到完成出貨之間的時間。

- [3] 顧客訂單停留時間：計算每一筆訂單從下單到完成出貨之間的時間。
- [4] 系統在製品數量-1：計算從 shell molding 製程到 assembly and packaging 製程之間的在製品數量。
- [5] 系統在製品數量-2：計算從 blow cleansing 製程到 assembly and packaging 製程之間的在製品數量。
- [6] 產出率：每天產出的產品數量。
- [7] 達交率：顧客訂單在製造商所保證之時間內完成生產佔總完成訂單數的比率。
- [8] 完成品庫存數量

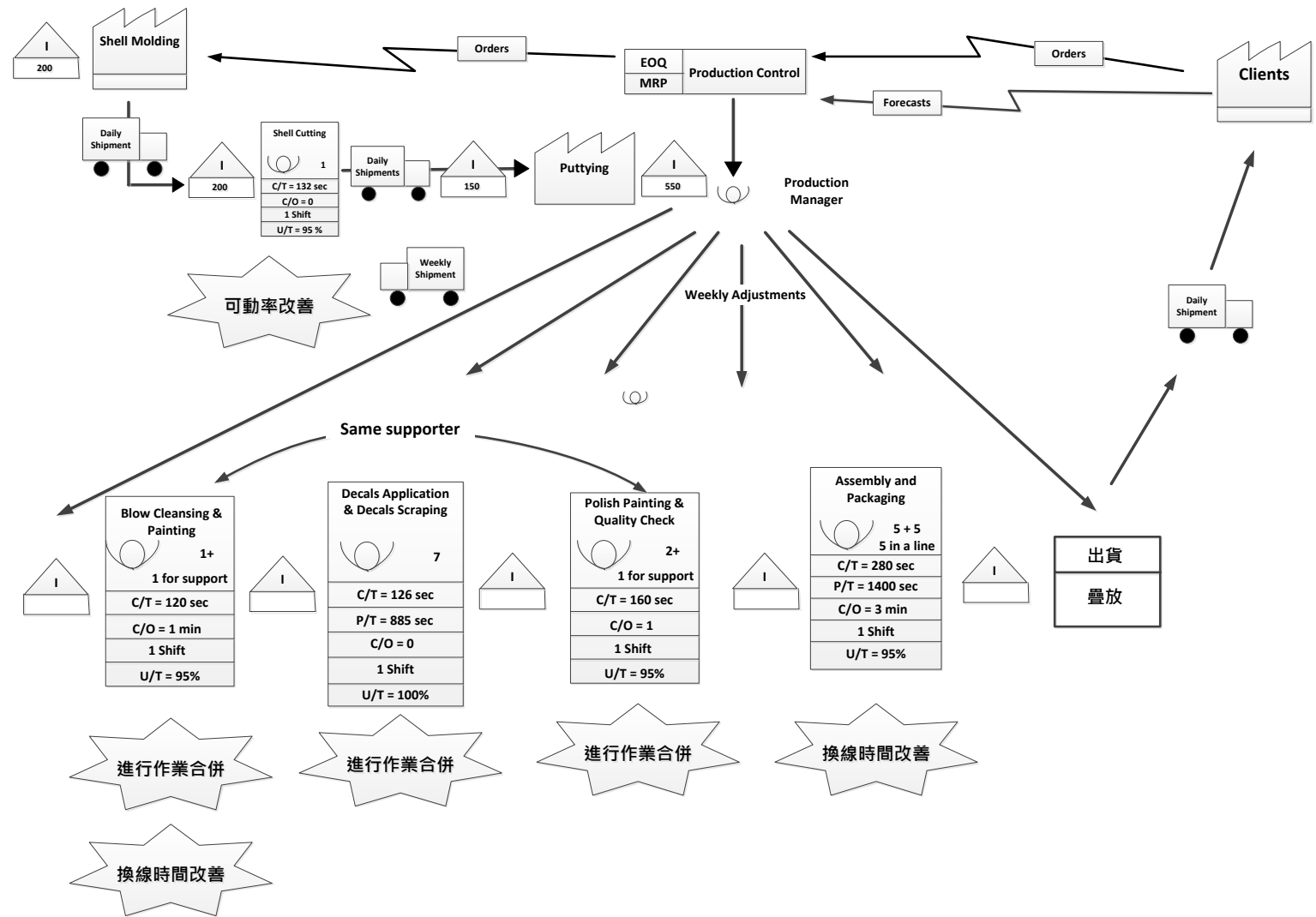
表二 安全帽製造工廠實驗因子表

情境因子	水準
顧客訂單抵達的間隔時間 (小時)	Constant (2 hours)、Negexp (2 hours)
顧客訂單大小 (個)	Constant (50)、Normal (50, 7.5)、Normal (50, 15)

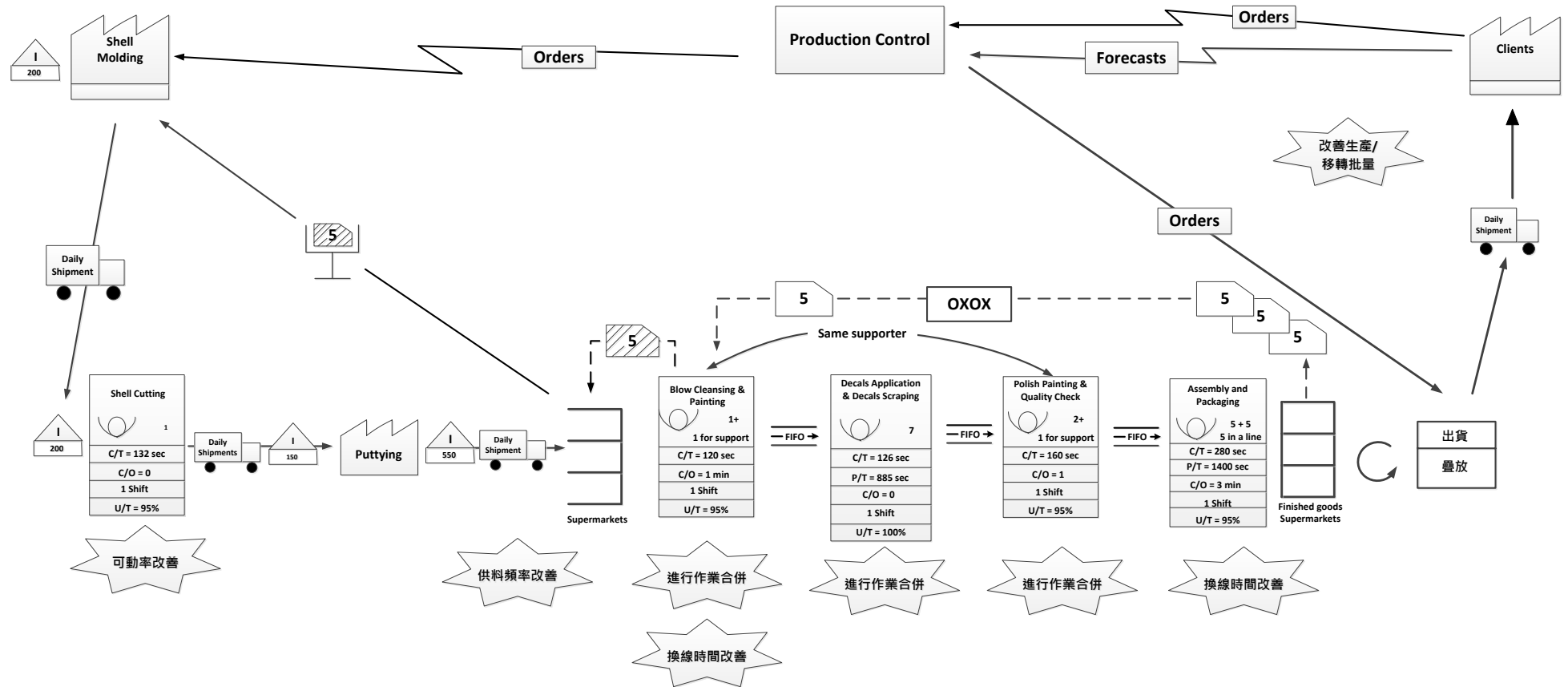
Constant：常數；Normal：常態分配；Negexp：負指數分配



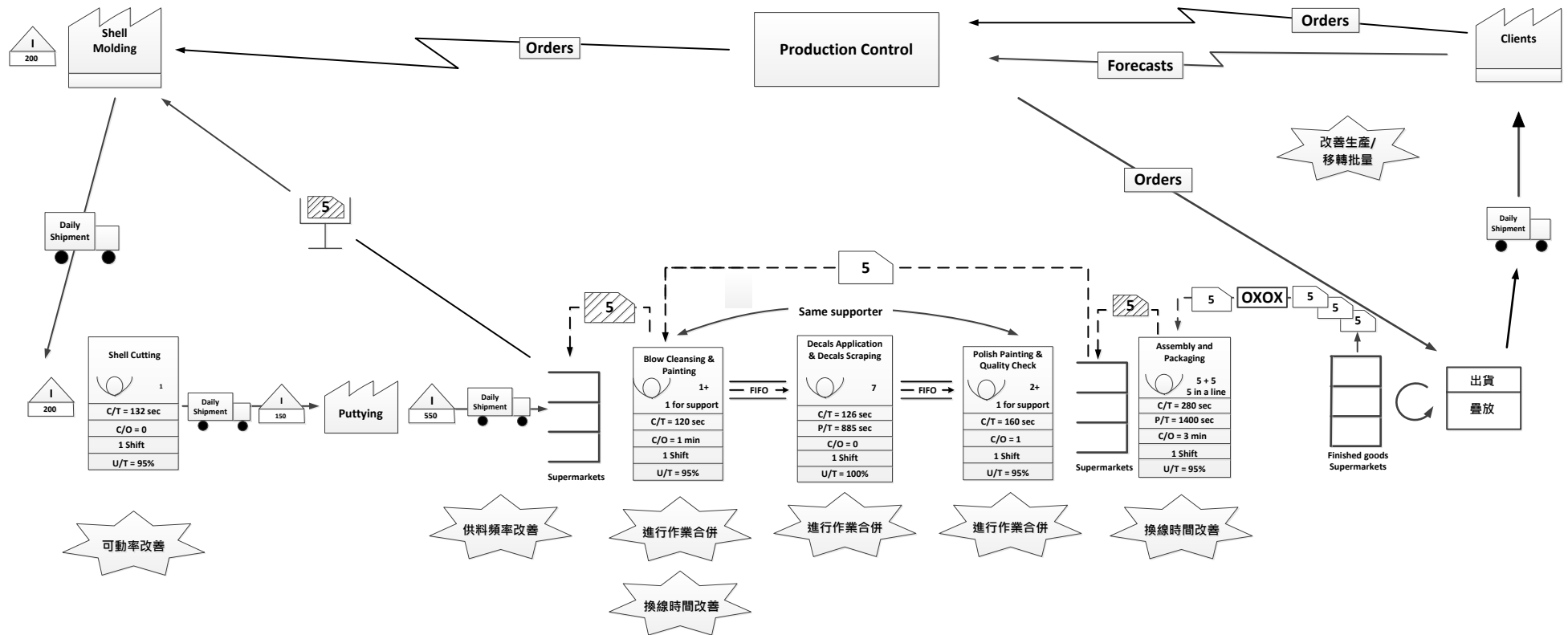
圖二 安全帽製造工廠之現況圖



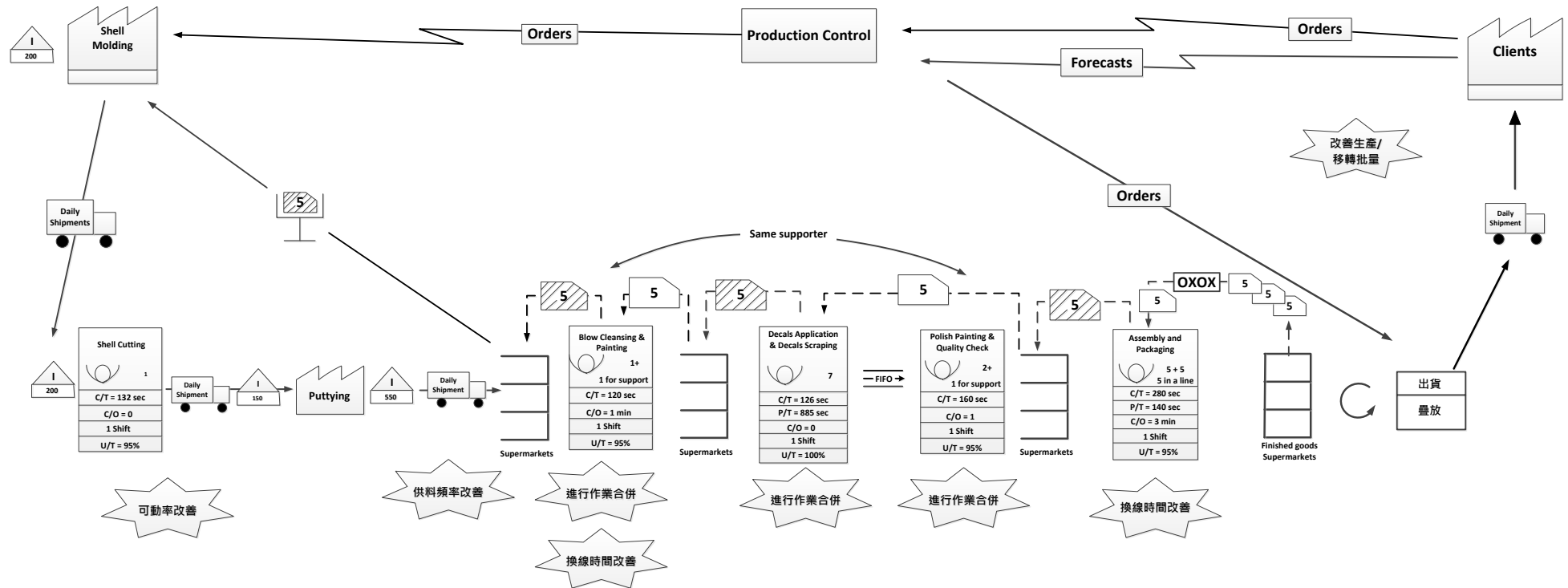
圖三 建構連續流後之安全帽製造工廠未來圖



圖四 基準節拍工程設置於「blow cleansing/painting」合併製程之未來圖



圖五 基準節拍工程設置於「assembly and packaging」製程之未來圖



圖六 基準節拍工程設置於「assembly and packaging」製程並於「decals application/decals scrapping」合併製程前設置超市之未來圖

五、實驗結果

(一) 安全帽製造工廠實驗結果

表五為安全帽製造工廠的現況圖在六種不同情境(2 種顧客訂單抵達的間隔時間* 3 種顧客訂單大小)的績效表現。從表五可觀察到以下結果:

1. 顧客訂單抵達的間隔時間的變異對於系統績效(生產流程時間-1、生產流程時間-2、顧客訂單停留時間、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2)的影響性高於顧客訂單大小的變異。
2. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 13.65 天~13.71 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)平均花費 6.9 天~7.01 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 14.31 天~14.37 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging) 平均要花費 7.42 天~7.48 天。
3. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 10.62 天~10.74 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 11.95 天~12.08 天。
4. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 2,729 個~2,741 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 1,379 個~1,401 個；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 2,861 個~2,871 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging) 中間的平均在製品個數為 1,483 個~1,494 個。

5. 六個情境下平均每日產出數量均約為 200 個、達交率均為 0%、平均完成品庫存數量約為 0 個。

表五 安全帽製造工廠之現況圖在不同情境的績效表現

生產 批量	顧客訂單抵 達的間隔時 間	顧客訂單大小	生產流程 時間-1	生產流程 時間-2	顧客訂單 停留時間	系統在製 品數量-1	系統在 製品數 量-2	產出率	達交率	完成品庫 存數量
100	Constant_(2h)	Constant_(50)	13.65	6.90	10.62	2729.81	1379.87	200.06	0.00	0.00
100	Constant_(2h)	Normal_(50, 7.5)	13.61	6.93	10.64	2720.87	1386.13	199.99	0.00	0.00
100	Constant_(2h)	Normal_(50, 15)	13.71	7.01	10.74	2741.19	1401.21	199.88	0.00	0.00
100	Negexp_(2h)	Constant_(50)	14.31	7.42	11.95	2861.96	1483.81	199.85	0.00	0.00
100	Negexp_(2h)	Normal_(50, 7.5)	14.33	7.43	12.00	2863.85	1486.71	199.78	0.00	0.00
100	Negexp_(2h)	Normal_(50, 15)	14.37	7.48	12.08	2871.16	1494.56	199.66	0.00	0.00

※ 系統架構可對應至圖二

表六為安全帽製造工廠在進行作業合併(導入連續流)後，系統在不同的情境與生產批量設定下的績效表現。從表六可觀察到以下結果：

- 顧客訂單抵達的間隔時間的變異對於系統績效(生產流程時間-1、生產流程時間-2、顧客訂單停留時間、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2)的影響性高於顧客訂單大小的變異。
- 生產批量的降低將有助於改善系統績效(生產流程時間-1、生產流程時間-2、顧客訂單停留時間、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2)。因此，後續的數據分析將以「生產批量=5 個」的案例進行說明。
- 進行作業合併導入連續流後，當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 4.98 天~5.41 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)平均花費 0.48 天~0.55 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 6.27 天~6.46 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直

到完成最後一道製程(Assembly & Packaging) 平均要花費 1.62 天~1.71 天。

4. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 2.64 天~2.78 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 3.94 天~4.10 天。
5. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 995 個~1,082 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 95 個~110 個；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 1,256 個~1,294 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging) 中間的平均在製品個數為 326 個~344 個。
6. 六個情境下平均每日產出數量均約為 200 個、達交率均為 0%、平均完成品庫存數量約為 0 個。
7. 根據表五與表六(生產批量=5)的案例結果比較，導入連續流並降低生產批量大小可有效改善生產流程時間-1、生產流程時間-2、顧客訂單停留時間、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2。

表六 安全帽製造工廠建構連續流後在不同情境與生產批量的績效表現

生產 批量	顧客訂單抵 達的間隔時 間	顧客訂單大 小	生產流程 時間-1	生產流程 時間-2	顧客訂單 停留時間	系統在製品 數量-1	系統在製品 數量-2	產出率	達交率	完成品 庫存數 量
100	Constant_(2h)	Constant_(50)	9.51	4.80	6.48	1901.89	960.66	199.99	0.00	0.00
100	Constant_(2h)	Normal_(50, 7.5)	9.44	4.81	6.46	1887.58	962.38	199.97	0.00	0.68
100	Constant_(2h)	Normal_(50, 15)	9.49	4.87	6.51	1897.54	972.88	199.86	0.00	0.63
100	Negexp_(2h)	Constant_(50)	10.08	5.62	7.44	2017.11	1126.18	200.10	0.00	0.02
100	Negexp_(2h)	Normal_(50, 7.5)	10.09	5.64	7.47	2018.08	1129.84	199.91	0.00	1.33
100	Negexp_(2h)	Normal_(50, 15)	10.12	5.68	7.52	2025.24	1136.83	199.96	0.00	1.76
75	Constant_(2h)	Constant_(50)	8.50	3.62	5.45	1700.29	724.65	200.00	0.00	0.06
75	Constant_(2h)	Normal_(50, 7.5)	8.52	3.64	5.46	1702.66	727.95	199.92	0.00	1.32
75	Constant_(2h)	Normal_(50, 15)	8.57	3.70	5.51	1713.59	738.75	199.92	0.00	0.95
75	Negexp_(2h)	Constant_(50)	9.35	4.57	6.49	1872.52	916.06	200.20	0.00	0.24
75	Negexp_(2h)	Normal_(50, 7.5)	9.36	4.60	6.54	1873.97	921.68	200.06	0.00	2.09
75	Negexp_(2h)	Normal_(50, 15)	9.41	4.65	6.60	1882.27	930.80	199.97	0.00	2.51
50	Constant_(2h)	Constant_(50)	6.93	2.43	4.49	1386.39	486.34	200.01	0.00	0.00
50	Constant_(2h)	Normal_(50, 7.5)	7.23	2.49	4.51	1445.52	497.77	199.94	0.00	1.42
50	Constant_(2h)	Normal_(50, 15)	7.30	2.55	4.54	1458.39	509.29	199.86	0.00	1.70
50	Negexp_(2h)	Constant_(50)	8.05	3.40	5.61	1613.08	682.26	200.26	0.00	0.00
50	Negexp_(2h)	Normal_(50, 7.5)	8.08	3.45	5.63	1618.97	691.07	200.12	0.00	2.18
50	Negexp_(2h)	Normal_(50, 15)	8.15	3.51	5.68	1631.17	703.68	200.04	0.00	2.59
25	Constant_(2h)	Constant_(50)	5.86	1.36	3.50	1171.92	271.88	200.01	0.00	0.00
25	Constant_(2h)	Normal_(50, 7.5)	6.19	1.39	3.50	1238.25	276.99	199.99	0.00	1.78
25	Constant_(2h)	Normal_(50, 15)	6.26	1.45	3.57	1251.28	289.48	199.92	0.00	1.65
25	Negexp_(2h)	Constant_(50)	7.13	2.49	4.76	1430.22	499.74	200.26	0.00	0.00
25	Negexp_(2h)	Normal_(50, 7.5)	7.21	2.50	4.77	1445.03	503.07	200.14	0.00	2.37
25	Negexp_(2h)	Normal_(50, 15)	7.25	2.54	4.83	1451.28	510.98	200.04	0.00	2.30
5	Constant_(2h)	Constant_(50)	4.98	0.48	2.64	995.36	95.38	200.00	0.00	0.00
5	Constant_(2h)	Normal_(50, 7.5)	5.35	0.49	2.66	1070.40	98.42	199.96	0.00	0.87
5	Constant_(2h)	Normal_(50, 15)	5.41	0.55	2.78	1082.18	110.33	199.92	0.00	0.68
5	Negexp_(2h)	Constant_(50)	6.27	1.62	3.94	1256.33	326.12	200.26	0.00	0.00
5	Negexp_(2h)	Normal_(50, 7.5)	6.42	1.65	3.96	1286.76	333.17	200.14	0.00	0.84
5	Negexp_(2h)	Normal_(50, 15)	6.46	1.71	4.10	1294.44	344.52	200.04	0.00	0.64

※系統架構可對應至圖三

表七為安全帽製造工廠在進行作業合併(導入連續流)後，並將基準節拍工程設置於「blow cleansing/painting」合併製程後，系統在不同的情境下的績效表現。從表七可觀察到以下結果：

1. 顧客訂單抵達的間隔時間的變異對於系統績效(生產流程時間-1、生產流程時間-2、顧客訂單停留時間、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2、完成品庫存)的影響性高於顧客訂單大小的變異。
2. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 5.62 天~5.77 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)平均花費 0.77 天~0.87 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 6.46 天~6.50 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)平均花費 1.68 天。
3. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 0.25 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 1.15 天~1.21 天。
4. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 1,123 個~1,154 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 154 個~173 個；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 1,293 個~1,299 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數約為 337 個。
5. 六個情境下平均每日產出數量均約為 200 個。
6. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時達交率均為 100%；當顧客訂單抵達的

間隔時間為 Negexp_(2h)時達交率約為 79%。

7. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時平均完成品庫存數量為 570 個~595 個；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h) 時平均完成品庫存數量為 293 個~297 個。
8. 根據表六(生產批量=5)與表七結果比較後，安全帽製造工廠將基準節拍工程設置於「blow cleansing/painting」合併製程，並且設定在製品超市後，會導致製造現場內的完成品庫存數量明顯增加、四項績效指標(生產流程時間-1、生產流程時間-2、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2)也有些微增加，但是卻可以明顯改善顧客訂單停留時間以及達交率。

表七 基準節拍工程設置於「檢視前殼去毛邊/組裝前殼(一)/組裝前殼(二)/檢查前殼/安裝橡膠腳墊/組合前殼與下蓋」合併製程之績效表現

生產 批量	顧客訂單抵達 的間隔時間	顧客訂單大小	生產流程 時間-1	生產流程 時間-2	顧客訂單 停留時間	系統在製 品數量-1	系統在製 品數量-2	產出率	達交率	完成品庫 存數量
5	Constant_(2h)	Constant_(50)	5.77	0.77	0.25	1154.05	154.16	200.00	1.00	595.84
5	Constant_(2h)	Normal_(50, 7.5)	5.62	0.80	0.25	1123.37	159.84	199.97	1.00	589.89
5	Constant_(2h)	Normal_(50, 15)	5.69	0.87	0.25	1137.34	173.95	199.92	1.00	570.39
5	Negexp_(2h)	Constant_(50)	6.46	1.68	1.15	1293.27	337.18	199.91	0.79	297.10
5	Negexp_(2h)	Normal_(50, 7.5)	6.50	1.68	1.15	1299.46	336.60	199.87	0.79	295.32
5	Negexp_(2h)	Normal_(50, 15)	6.50	1.68	1.21	1298.41	336.35	199.76	0.78	293.79

※ 系統架構可對應至圖四

表八為安全帽製造工廠在進行作業合併(導入連續流)後，並將基準節拍工程設置於「assembly and packaging」合併製程後，系統在不同的情境下的績效表現。從表八可觀察到以下結果：

1. 顧客訂單抵達的間隔時間的變異對於系統績效(生產流程時間-1、生產流程時間-2、顧客訂單停留時間、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2、完成品庫存量)的影響性高於顧客訂單大小的變異。

2. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 6.09 天~6.24 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)平均花費 1.24 天~1.34 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 6.96 天~7.00 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)平均花費 2.17 天。
3. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 0.25 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 1.03 天~1.11 天。
4. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 1,216 個~1,247 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 248 個~267 個；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 1,393 個~1,399 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數約為 434 個~437 個。
5. 六個情境下平均每日產出數量均約為 200 個。
6. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時達交率均為 100%；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時達交率約為 82%。
7. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時平均完成品庫存數量為 620 個~650 個；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h) 時平均完成品庫存數量為 326 個~333 個。
8. 根據表七與表八結果比較後，安全帽製造工廠將基準節拍工程設置於「assembly and packaging」合併製程，並且設定在製品超市後，會使得五項績效指標(生產流程時間-1、生產流程時間-2、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2、完成品庫存)有些微增加，

但是卻可以在顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，明顯地改善其顧客訂單停留時間以及達交率。由此可知，顧客需求變異增加時將基準節拍工程設置於製程末端有助於提高顧客服務水準。

表八 基準節拍工程設置於「assembly and packaging」合併製程之績效表現

生產 批量	顧客訂單抵達 的間隔時間	顧客訂單大 小	生產流程 時間-1	生產流程 時間-2	顧客訂單 停留時間	系統在製 品數量-1	系統在製 品數量-2	產出率	達交率	完成品 庫存數 量
5	Constant_(2h)	Constant_(50)	6.24	1.24	0.25	1247.07	248.17	199.98	1.00	650.48
5	Constant_(2h)	Normal_(50, 7.5)	6.09	1.27	0.25	1216.61	253.94	199.94	1.00	642.81
5	Constant_(2h)	Normal_(50, 15)	6.16	1.34	0.25	1230.24	267.44	199.87	1.00	620.22
5	Negexp_(2h)	Constant_(50)	6.96	2.17	1.03	1393.05	435.59	199.94	0.82	333.05
5	Negexp_(2h)	Normal_(50, 7.5)	6.98	2.17	1.03	1396.94	434.96	199.88	0.82	330.70
5	Negexp_(2h)	Normal_(50, 15)	7.00	2.18	1.11	1399.09	437.19	199.77	0.80	326.41

※ 系統架構可對應至圖五

表九為安全帽製造工廠在進行作業合併(導入連續流)後，將基準節拍工程設置於「assembly and packaging」製程並同時於「decals application/decals scrapping」合併製程前設置在製品超市後，系統在不同的情境下的績效表現。從表九可觀察到以下結果：

- 顧客訂單抵達的間隔時間的變異對於系統績效(生產流程時間-1、生產流程時間-2、顧客訂單停留時間、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2、完成品庫存量)的影響性高於顧客訂單大小的變異。
- 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 6.45 天~6.60 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)平均花費 1.60 天~1.71 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，工件從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)平均要花費 7.35 天~7.39 天、離開第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)平均花費 2.56 天。

3. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 0.25 天；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，每位顧客下單後到取得成品平均需等待 1.02 天~1.10 天。
4. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 1,290 個~1,320 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 320 個~342 個；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時，從第一道製程(Shell Molding)到最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數為 1,470 個~1,478 個、從第二道外包製程(Puttying)後進入廠內直到完成最後一道製程(Assembly & Packaging)中間的平均在製品個數約為 513 個。
5. 六個情境下平均每日產出數量均約為 200 個。
6. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時達交率均為 100%；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h)時達交率約為 82%。
7. 當顧客訂單抵達的間隔時間為 Constant_(2h)時平均完成品庫存數量為 626 個~654 個；當顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h) 時平均完成品庫存數量為 328 個~335 個。
8. 根據表八與表九結果比較後，安全帽製造工廠將基準節拍工程設置於「assembly and packaging」製程，並同時於「decals application/decals scrapping」合併製程前設置超市後，造成四項績效指標(生產流程時間-1、生產流程時間-2、系統在製品數量-1、系統在製品數量-2)有些微惡化，其他績效指標無明顯變化。由此可知，額外在「decals application/decals scrapping」合併製程前設置超市並無助系統績效之改善，反而造成庫存的增加以及生產週期時間的延長。

表九 基準節拍工程設置於「assembly and packaging」製程，並同時於「decals application/decals scrapping」合併製程前設置超市之績效表現

生產 批量	顧客訂單抵達 的間隔時間	顧客訂單大 小	生產流程 時間-1	生產流程 時間-2	顧客訂單 停留時間	系統在製 品數量-1	系統在製 品數量-2	產出率	達交率	完成品庫 存數量
5	Constant_(2h)	Constant_(50)	6.60	1.60	0.25	1320.14	320.35	199.99	1.00	654.53
5	Constant_(2h)	Normal_(50, 7.5)	6.45	1.64	0.25	1290.31	326.95	199.94	1.00	647.66
5	Constant_(2h)	Normal_(50, 15)	6.53	1.71	0.25	1305.75	342.40	199.88	1.00	626.63
5	Negexp_(2h)	Constant_(50)	7.35	2.56	1.02	1470.56	514.43	199.93	0.82	335.00
5	Negexp_(2h)	Normal_(50, 7.5)	7.38	2.56	1.02	1476.27	513.67	199.88	0.82	332.96
5	Negexp_(2h)	Normal_(50, 15)	7.39	2.58	1.10	1478.04	515.97	199.77	0.81	328.83

※ 系統架構可對應至圖六

六、結論與建議

本研究計畫主要提出一個以模擬為基之 VSM 精實改善流程，用以彌補傳統 VSM 使用上的三項限制；此外，也利用模擬技術探討未來圖在不同需求變異情境下的表現，進而能挑選出一個更為理想的未來圖。研究計畫內主要利用以模擬為基之 VSM 精實改善流程針對個案安全帽製造工廠進行改善，同時也搭配迭代模擬技術來了解各項精實觀念/工具導入後的改善效益。接下來，會說明此案例的改善結論。

在安全帽製造工廠內主要探討的議題有以下兩點：(1) 探討連續流導入製程前後的績效差異以及改變生產(運搬)批量大小對於系統績效的影響性；(2) 探討設定生產平準化+拉式生產對於系統的改善效益，同時也分析不同基準節拍工程設置位置對於系統績效之影響性。根據表五與表六結果顯示，進行製程合併(建構連續流)後，系統的各项績效均有大幅地改善，特別是將生產批量縮小至 5 個後，改善成效越加明顯；另外，根據表六(生產批量=5)、表七、表八與表九的比較結果顯示，透過導入生產平準化+拉式生產可以再改善其顧客訂單停留時間與達交率，其中當顧客需求變異增加時(顧客訂單抵達的間隔時間為 Negexp_(2h))，將基準節拍工程設置於製程末端(assembly and packaging 合併製程)有助於改善顧客訂單停留時間以及達交率，但是額外在「decals application/decals scrapping」合併製程前設置在製品超市並無助系統績效之改善，反而會造成庫存的增加以及拉長生產週期時間。

綜合上述，研究計畫利用安全帽製造工廠案例驗證所發展的以模擬為基之 VSM 精實改善流程的改善效益。經過實驗結果顯示，以模擬為基之 VSM 精實改善流程不僅能在考量系統

變異下預測改善的效益，同時也能創建出不同的情境來評估各項改善的效益值。

參考文獻

- [1] Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J . (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223-236.
- [2] Braglia, M., Frosolini, M., & Zammori , F. (2009). Uncertainty in value stream mapping analysis. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 12(6), 435-453.
- [3] Jiménez, E., Tejada, A., Pérez, M., Blanco, J., & Martínez, E.(2012). Applicability of lean production with VSM to the Rioja wine sector. *International Journal of Production Research*, 50(7), 1890-1904.
- [4] Boonsothonsatit, G., Silapunt, R., Vongbunyong, S., Kaemarungsi, K., Chanpuypetch, W., & Chonsawat, N. (2025). Value stream mapping for smart pharmaceutical management in a Thai hospital. *Procedia Computer Science*, 253, 495–504.
- [5] Lasa, I. S., Castro, R. D., & Laburu, C. O.(2009). Extent of the use of lean concepts proposed for a value stream mapping application. *Production Planning & Control*, 20 (1), 82-98.
- [6] Li, H., Cao, H., & Pan, X. (2012). A carbon emission analysis model for electronics manufacturing process based on value-stream mapping and sensitivity analysis. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* ,25(12), 1102-1110.
- [7] Lu, J. C., Yang, T., & Wang, C.Y. (2011). A lean pull system design analysed by value stream mapping and multiple criteria decision-making method under demand uncertainty. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 24(3), 211-228.
- [8] Marchwinski, C., & Shook, J. (2003). *Lean lexicon: a graphical glossary for Lean thinkers* (2nd ed.). Cambridge, MA: Lean Enterprise Institute.
- [9] Dey, P. K., Laskar, A. H., & Saha, S. (2022). Value stream mapping in a discrete manufacturing: A case study. *Procedia Computer Science*, 199, 936–943.

- [10] Rother, M., & Shook, J. (1999). *Learning to see: value stream mapping to add value and eliminate muda*. Brookline, MA: The Lean Enterprise Institute, Inc.
- [11] Schmidtke, D., Heiser, U., & Hinrichsen, O. (2014). A simulation-enhanced value stream mapping approach for optimisation of complex production environments. *International Journal of Production Research*, 52(20), 6146-6160.
- [12] Seyedhosseini, S. M., Taleghani, A. E., Makui, A., & Ghoreyshi, S.M. (2013). Fuzzy value stream mapping in multiple production streams: A case study in a parts manufacturing company. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 8(1), 56-66.
- [13] Yang, T., & Lu, J.C. (2011). The use of a multiple attribute decision-making method and value stream mapping in solving the pacemaker location problem. *International Journal of Production Research*, 49(10), 2793-2817.
- [14] Yang, T., Kuo, Y., Su, C. T., & Hou, C. L. (2015). Lean production system design for fishing net manufacturing using lean principles and simulation optimization. *Journal of Manufacturing Systems*, 34(1), 66-73.