

# 應用限制理論於生產作業流程改善-以 T 公司為例

## Applying The Theory of Constraints to Improve Production Process -A Case Study of Company T

葉惠忠<sup>1</sup>

國立高雄科技大學 企業管理系 副教授

hcye@nkust.edu.tw

曾朝煒<sup>2</sup>

國立高雄科技大學 企業管理系碩士在職專班 研究生

J110257121@nkust.edu.tw

### 摘要

本次研究的個案公司屬於軟性銅箔電子製造業，相關研究議題較少被提及，加上公司主力為製造生產，僅使用 QCC 手法進行改善，無法全面性了解生產上的改善效果，故以限制理論的流程為主軸進行生產作業的改善活動，併精實生產理論的消除浪費觀念，收集個案公司數據，系統模擬進行分析，將理論導入個案的方法進行探討，最終分析內容進行實證。

本次實證在整體流程時間上縮短 38.88%，達到精實生產中消除浪費的觀念，有效減少作業時間也降低產品的單位成本；在內部作業時間縮短 35.49%的時間，可以直接增加公司生產的產量，達到限制理論的指標增加產出，未來可以遵循此模式進行改善活動，節省時間和人力之外，透過數據分析可說服管理階層，提高改善活動推動的可行性。

**關鍵詞：**限制理論、精實生產理論、系統模擬。

**Keywords :** Theory of Constraints(TOC),Lean Production, Simulation

### 1. 緒論

為了解小企業在面對競爭壓力下，透過限制理論和精實生產理論且實施快速換模(Single Minute Exchange of Die, SMED)方法後，對企業的生產效率上產生何種變化，並發展出改善公司生產流程並且縮短製程所需時間。

#### 1.1 研究背景與動機

近年來印刷電路板業，不斷追求高品質和高產量之下，在生產作業流程上也需要立即做調整，個案公司居於中游的工廠，在下游客戶的產品訂單要求下以及上游廠商技術創新和供貨不穩的情況下，如何在大量訂單時準時交貨，考驗著公司生產時間縮短，讓產量的提升，以達到客戶訂單的需求；在訂單下降時，仍需要針對作業流程進行檢討，在不降低品質的情況下，如何縮短作業時間並提高產量。

首先，目前探討研究主軸都在下游客戶的議題上，關於軟性銅箔電子製造業的研究議題較少被提及和研究；其次，個案公司目前僅使用簡單的QCC手法進行改善，無法如同理論一樣，完整的了解整體改善效果。本研究以限制理論和精實生產理論導入軟性銅箔電子製造以個案公司進行探討，透過限制理論找出生產作業中最弱的環節，以強化或改善方式使其達到縮短作業時間和生產效率提升，最後用個案實例驗證其成效。

#### 1.2 研究目的

利用限制理論找出生產作業流程上最弱的環節加以改善或強化，並使用精實生產理論消除生產作業流程上的浪費，以達到產量提升和縮短作業時間，讓企業提升競爭力。本研究以軟性銅箔電子製造業T公司為例，透過限制理論和精實生產理論搭配快速換模方法，並使用ARENA系統模擬進行生產作業流程改善。

本研究目的如下：

一、使用精實生產理論分析個案公司的生產作業流程中有哪些浪費並消除。

二、使用限制理論找出生產作業流程上最弱的環節，將其強化或是改善。

三、導入快速換模方法，並配合精實生產理論和限制理論，運用在個案公司生產作業流程上，加上使用系統模擬進行數據分析，透過分析資料進行個案實證。

### 1.3 研究流程

本研究區分五章說明，章節說明及研究流程如下：

第一章 緒論：說明本論文研究之產業相關背景、為什麼做研究的動機、想要達到什麼目的及研究的流程順序。

第二章 文獻探討：針對精實生產理論和限制理論的相關資料文獻予以說明。

第三章 研究方法：本研究所採用的研究方法及研究方法內容說明。

第四章 個案研究：收集個案公司的資料加以模擬分析，運用限制理論及精實生產理論找出最弱的環節加以強化，並縮短作業時間，以達到本研究的目的。

第五章 結論與未來研究方向。

## 2. 文獻探討

企業在遇到生產流程改善時，會使用適合公司生產流程改善的理論和工具以達到改善效果和數據呈現。本研究以限制理論的流程為主軸進行生產作業流程的改善活動，運用精實生產理論的消除浪費觀念，收集個案公司的數據，透過系統模擬進行分析，將理論導入軟性銅箔電子製造業，收集相關學者文獻、研究結果以及在產業中達到的效果進行說明。

### 2.1 個案產業介紹

軟性銅箔基板(Flexible Copper Clad Laminate; FCCL)為軟性印刷電路板(Flexible Print Circuit; FPC)的主要原料，是由聚醯亞胺薄膜(PI Film)、銅箔(Cu)及接著劑(膠)三種原材料組成，從結構上來區分，可分為兩大類，分別是有膠式三層軟性銅箔基板(3 Layer FCCL)與無膠式二層軟性銅箔基板(2 Layer FCCL)。

#### 2.1.1 軟性銅箔基板的應用

軟性銅箔基本具有具有輕、薄小、可以彎曲、低電壓、較低的消耗功率等特性，基本上應用於電腦及週邊設備、消費性電子產品、汽車等領域，目前市面上消費者常見的商品為手機、液晶螢幕、數位相機、筆記型電腦、車用電子產品等。

#### 2.1.2 軟性銅箔基板主要原料

- 一、銅箔：一般使用壓延銅箔(RA銅箔)及電解銅箔(ED銅箔)均有，但RA銅箔較ED銅箔耐折性來的高，所以大多使用RA銅箔來製作。
- 二、絕緣底膜：可以分成聚醯亞胺薄膜(PI Film)和聚酯樹脂膜(PET Film)兩種，最常使用的為PI膜。
- 三、接著劑：可以分成環氧樹脂(Epoxy)、聚酯樹脂(Polyester)、壓克力樹脂(Acrylic)等，其中最常使用的為環氧樹脂(Epoxy)。
- 四、離型膜(離型紙)：離型膜是塗佈一層離型劑在PET上，使其表面有分離性，可隔離黏性材料(膠)，並能達到對膠面的保護效果。一般離型膜均勻塗佈含矽的離型劑，但矽容易造成殘留污染，且易造成電子零件的接觸不良。然而不含矽的離型膜正是為了杜絕矽殘留污染問題而誕生的產品。

#### 2.1.4 貼合分條流程說明

貼合流程：根據呈現卷狀的原材(銅箔)和黏著膜材料(PET film)經過加壓黏合輪的作用後，將PET貼合到銅箔下層，以防止PI面經過滾輪或是流道時造成的刮傷，貼合完成後可以進入分條流程。

分條流程：將貼合後的材料(銅箔+PET)依照客戶要求的產品幅寬大小進行分條流程，並依照客戶希望長度進行產品收卷。

### 2.2 精實生產理論

Womack & Jones(1996)對精實的定義：提供一種更有效益的做事方式，能夠以較少的人力、較少的設備、較少的時間和較少的空間，同時越來越接近客戶真正需要的東西，並提供客戶想要的東西。

### 2.2.1 精實生產五大原則

- 一、 定義價值 (Value)：在《精實生產推動手冊》裡，精實生產的起點在價值，為了避免浪費發生或者瞭解何謂浪費，任何的動作是否具有其意義，應該以最終顧客觀點確認價值，再考慮生產的產品，以符合顧客需求。(中國生產力中心，2013)
- 二、 確認價值流 (Value Stream)：價值流是帶給供應鏈或者內部作業顧客之特定產品或服務所需的附加價值型及無附加價值型活動。(中國生產力中心，2013)
- 三、 暢流 (Flow)：暢流是為了讓價值流中，有價值的步驟能順利進行，去除沒有價值的步驟，減少浪費，提升效率(中國生產力中心，2013)
- 四、 後拉 (Pull)：所有生產應該依顧客需求，建立價值，簡單來說就是顧客拉動生產節奏，公司配合需求從事生產。(中國生產力中心，2013)
- 五、 完善 (Perfection)：在完成改善後，精實生產的流程將在回到第一步驟重新開始，經過一次次的執行，反覆地利用價值流分析，找出更深處的浪費，進一步的改善(中國生產力中心，2013)

### 2.2.2 精實生產的七大浪費

精實生產系統目標就是減少浪費，只需生產所需的服務和商品，並持續增加營運的加值利益。(Krajewski原著，白滌清編譯，2017)，以下即是精實生產提到的七大浪費。

- 一、 製造過多的浪費：投入生產後依照顧客要求，比原先的排程數量更多或交期太早被製造出來。
- 二、 等待的浪費：作業人員的工作處於停滯。例如：設備異常，材料換批……等。
- 三、 搬運的浪費：搬運本身就是一種浪費，缺乏有效率的運輸方式。
- 四、 加工本身的浪費：不必要的加工流程。
- 五、 庫存的浪費：放置過多的材料和半成品，過多庫存，不利於資金週轉。
- 六、 動作的浪費：作業人員的動作上，沒有產生附加價值的動作。設備稼動上也可能發現。
- 七、 製造不良的浪費：未符合作業標準書上的規定，而進行的檢查、修正、廢棄的不良。

透過上述說明，已經了解精實生產的七大浪費，以下要說明如何將浪費排除的方式，因本研究以生產為主軸，故介紹快速換模法，說明如何使用快速換模法達到精實生產消除浪費的目標。

### 2.2.3 快速換模法

快速換模法(英文為single-minute exchange of die，簡稱SMED)，SMED是在50年代初期日本豐田汽車公司的一套少量多批，提高生產系統的技術。由日本的新鄉重夫提出一種快速和有效的切換方法，可減少生產工序轉換所需的時間。SMED方法的本質是將內部作業轉換儘可能變為外部作業轉換，並且簡化內外部作業轉換時間。

快速換模提出了八點想法，分別是區分出內部換模與外部換模、將內部換模轉化成外部換模、採用功能性的標準化、使用功能性夾具、使用中間工裝夾具、採用並行作業、消除調整和採用機械化，了解八點想法後，SMED系統感覺像是軟體的一種感覺和方法，與硬體的機構化不同，不過首要問題需要先了解內部換模和外部換模。

以上為精實生產的說明，接下來要說明精實生產在哪些領域進行使用並獲得改善：

洪士峰(2011)的論文中指出中南部的製造業在精實生產觀念中前置時間是必須消除的浪費。在客製化和小批量生產中，前置時間中換模暖機越快速，更能滿足生產多樣性。最終也提到即便是中小企業，在客製化表現上，也能不遜於大企業。

吳麗萍(2013)的研究提到橡膠製造業中，精實生產觀念普遍認知就是及時生產。另外也指出大量相同產品的型態在市場已不多見，目前因顧客需求而特別製造，已變成少量多樣的客製化生產，以傳統生產結合精實生產精神，發展出屬於公司自己的模式。

李忠益(2015)研究中寫到被動元件製造業中，精實生產針對小批量生產，故小批量生產時存貨管理和控制非常重要。在製造生產線上符合精實生產模式，縮短前置時間是重要的步驟。

陳勇嘉(2022)說明工具機製造業，經過精實生產改善方法應用在工具機生產製造流程，效益為縮短產品產出時間。導入精實生產過程中，老闆的決心和員工心態也是非常關鍵的因素。

陳億璋(2022)提到航空電子業導入精實生產後,透過改善生產過程中的浪費,降低整備時間以及尋找時間,提升製作速度,並找到最佳作業方式來降低作業時間。

本研究在精實生產和快速換模法中發現限制理論的存在,在限制理論中提到平衡流程而不是平衡產能的這種想法,以及在限制理論當中提到只專注在一個最弱的環節上進行解決,在實務上較容易進行改善活動的推行,以下便繼續說明限制理論的內容。

### 2.3 限制理論

限制理論是高德瑞特博士(Dr. Eli Goldratt)在1984年提出,限制理論發展出一套思維程序,認為任何系統至少存在一個限制,為此要提升系統的產出就需要打破限制,獲得較大的產出。

#### 2.3.1 應用限制理論五個專注步驟

步驟一、指出系統限制(Identify the System's Constraints): 第一步驟必須找出最弱的環節。

步驟二、決定如何充分利用系統限制(Decide How to Exploit the System's Constraints)。

第一種是最弱環節不需要投資可以被打破,就直接打破並回到第一步驟;另一種是不浪費系統限制,讓系統限制有效產出產能。(李榮貴&張盛鴻,2005)

步驟三、所有非限制充分支援步驟二所作決策(Subordinate Everything Else to the Above Decision)。

當決定充分利用最弱環節時,其他非最弱的環節也必須支持步驟二做的決策。(劉子琪,2013)

步驟四、打破系統限制(Elevate the System's Constraints)。

完成前面步驟後,最弱環節依然是最弱環節,如何加強最弱的環節呢?對做最弱環節做改善,例如購買設備,增加員工……等方式。(李榮貴&張盛鴻,2005)

步驟五、如果系統限制在步驟四被打破,回到步驟一(If in the Previous steps a Constraint Has Been Broken, Go Back to Step 1)。警告:不要讓惰性成為系統限制。

當最弱環節被強化後,它可能就不是最弱的環節,但系統上仍存在最弱的環節,必須在回到步驟一重新開始(劉子琪,2013)

#### 2.3.2 持續改善程序三個改變步驟

步驟一、要改變什麼?(What to Change)

主要是指出核心問題。(李榮貴&張盛鴻,2005)

步驟二、要改變成什麼?(To What to Change to)

找到核心問題後便需要建立完整的解決方案。(李榮貴&張盛鴻,2005)

步驟三、如何做改變?(How to Cause the Change)

建立完整的解決方案後就是執行計畫。(李榮貴&張盛鴻,2005)

#### 2.3.3 限制理論的七項原則

在Krajewski原著,白滌清編譯(2017)提到限制理論的概念在系統限制的排程上,在正常交期下,達到產出量的最大化,以下提供七個主要原則,分別是:

- 一、專注平衡流程,而不是平衡產能
- 二、單一產出與效能極大化,不一定使整體產出極大化
- 三、系統限制或限制資源的浪費
- 四、只在系統限制及裝配運送點才需要存貨
- 五、只有在系統限制有需求時,才導入作業
- 六、提升非系統限制資源與提升系統限制利用率不同
- 七、每項資本投資都必須從整體觀點考量,內容包括有效率使用和排程、改善流程及產出。

#### 2.3.4 生產管理方案(Drum-Buffer-Rope, 繩-緩衝-鼓)

李榮貴&張盛鴻(2005)在書中提到瓶頸決定工廠提供市場最大的產量,工廠想利用瓶頸就需要依照每張訂單的優先順序,並妥善安排生產排程。這裡提到的瓶頸生產排程就是「鼓」,簡單來說就是工廠生產的節奏。

了解瓶頸排程後，為了讓訂單能依照排程的節奏生產，且避免發生莫非問題，我們會提前生產，瓶頸緩衝指的便是提前把工作發出去的時間差，簡單來說就是預先發出工單的所有時間。

已經有瓶頸排程的開始作業日，扣除瓶頸緩衝時間，得到材料發放的時間。繩的意思就是材料發放的時機。

前面提到莫非的存在問題，在生產規劃中需要知道如何面對莫非，限制理論中提到緩衝管理就是對付莫非最好的方法。將緩衝分為三個區域，分別是安全區、警告區與行動區，每區之間的間隔為緩衝時間的三分之一。

上述說明的繩-緩衝-鼓的技巧，屬於拉動式生產管理。透過規劃瓶頸生產排程，加上製造過程中的緩衝管理來確保作業的優先順序，以實現有效產出。

以上為限制理論的說明，接下來要說明限制理論在哪些領域進行使用並獲得改善：

楊憲慶(2012)研究薄膜太陽能板產業發現，限制理論生產排程管理模式，可以有效降低在製品庫存，採用DBR成，則可以控制各個製程站的流量，使其產能平衡，推行限制理論時有效產出是必要的。

邱顯哲(2014)提到限制理論應用在太陽光電產業，產出作為衡量績效的指標。如果某個環節強度加強，不代表整條鏈子強度都獲得改善，但為了增加強度，必須從最弱的一環開始。

王翊(2017)提到預鑄工廠使用限制理論中，製造業在製造流程中會關注瓶頸作業的順暢，因製造業知道瓶頸作業的損失無法彌補，會造成產出損失。

陳訂利(2017)寫到限制理論指出，半導體產業每一個環節有可能提前或延誤，當延誤發生時，該如何利用緩衝管理以及即時處置，以避免延誤造，對於提升客戶滿意度有較大的助益。

姚金興(2022)應用限制理論在發光二極體元件產業，將系統喻為許多環組成的鏈狀，系統強弱取決在最弱得環節上，任何改善該從最弱的環節處理，換言之，找到最弱一環並改善它，即可強化整條鏈子的強度。

本研究將利用繩-緩衝-鼓的觀念將生產流程重新規劃，把時間和空間緩衝的機制帶入個案公司生產流程中；另外透過導入限制理論中五個專注步驟，觀察生產作業，並找出作業流程中最弱的環節，以快速換模法實施改善，減少時間的浪費及提升生產效率。

最終本研究在實證前需要將進行模擬改善活動的可行性，後續會說明系統模擬，如何透過系統模擬進行分析，可以減少大量時間的浪費和以及測試造成的成本浪費。

## 2.4 系統模擬

在郭幸民(2021)書中提到系統模擬有各種形式的呈現方式，經常看到的有犯罪模擬、模擬類型的遊戲以及消防的模擬，透過不同形式讓參與者或是使用者得到相關經驗以及樂趣，雖然系統模擬與真實仍有差距，但在成本跟時間的耗費上較低。

其中Arena系統模擬，其軟體在流程模擬上的優勢，讓使用者專心在生產流程的建構，透過思考步驟的順序，開始分析流程，但是也可能造成模擬結果與現實不符，以下說明系統模擬的優缺點：

優點：

### 一、可分析複雜的生產流程系統

透過將生產流程的運作模式呈現出來後，透過已知的規則進行模擬，可以預知真實系統的行為。

### 二、可快速處理不確定性參數

系統模擬需要各種數值，當多種不確定性出現時，對於模擬來說只需要修改設定，便可以重新啟動測試和分析。

### 三、節省時間和費用

系統模擬只需要將參數設定好，只需要幾分鐘便可以將模擬完成，對比實際運作省下更多時間跟費用。

### 四、降低風險

系統模擬在電腦上進行，可以避免犯錯的風險造成巨大損失，可以降低風險和後遺症的發生。

缺點：

### 一、只是評估工具

系統模擬只是將流程建構出來進行模擬，並快速得到數據，後續仍然需要使用者進行分析，判斷改善的方向。

### 二、需要正確的數據參數

系統模擬設定的數據參數，皆需要透過收集來取得，數據取得的正確性和完整性就容易影響到系統模擬後續分析的資料。

### 三、模擬與現實的差距

系統模擬最被人詬病的便是與現實有差距，因為系統模擬無法將人的情緒、想法和疲勞等狀況進行模擬，所以使用者在分析時仍需要注意模擬與真實的差距。

下列說明系統模擬曾經運用在那些領域，最終透過使用系統模擬後獲得的成效：

吳昇峰(2019)透過使用ARENA系統模擬工廠生產情形，透過生產的負載率進行效率分析，可提供給現場主管和規劃產能的人一種參考。

蕭宇筑(2021)以鈹金加工業的生產排程問題，利用ARENA系統模擬進行不同派工排程，最終找出適合個案公司的混和式派工法則。

許銘輝(2021)以半導體測試製程的人力績效問題，運用模擬軟體進行產品流程找出最佳決策，以改善人力績效問題。

綜合上述，本次研究以生產製程的流程進行系統模擬，最後仍會進行實證分析，可以避免系統模擬的缺點，因本次研究的個案產業原材料較為昂貴，如若採用系統模擬，可以減少時間和成本的浪費，也能降低生產風險。

## 3. 研究方法

本研究是以銅箔基板產品，屬於軟性印刷電路板製造業，並以個案T公司當為研究對象，印刷電路板製造業在競爭激烈的環境，加上鄰近日本與韓國，在眾多廠商的環伺下，如何在成本、品質以及產量提升上滿足客戶，並在客戶需求下取得優勢，提升績效以及競爭力。

### 3.1 個案研究法

社會科學調查研究共有五種方法，有實驗法，調查研究法，檔案紀錄分析，歷史研究法和個案研究法。個案研究法處理獨特的事件，在這事件中有研究者興趣的要素，需要依賴不同來源的證據，另外個案研究法是以少數案例為對象，對象可以是人、組織、作業流程或是一個事件，針對案例在自然下深入分析，在快速變遷下探究主題，探究單一個案，依照其獨特性採用一組預先指定的步驟(Yin, 1984)。

本研究此次專注在單一個案上的改善活動，經評估相關方法後，採用學者Yin個案研究法的邏輯性導向的思考過程做為研究方式，透過個案公司的資料進行研究，將改善前和改善後的資料收集並進行分析，透過分析後的數據進行改善，以限制理論的概念，持續不斷的改善最弱的環節，找到問題的核心。

### 3.2 研究工具

ARENA軟體是Rockwell Automation Inc.所發展的電腦模擬軟體，透過電腦程式去進行模擬真實狀況，以虛擬的系統去驗證真實狀況，可減少真實操作時所需要負擔的成本以及提供可犯錯的空間，另外透過電腦系統模擬時，在短時間可以針對不同條件進行模擬驗證。

### 3.3 研究步驟

以問題解決型QC-Story為基礎發展出屬於個案公司的研究步驟，將其生產過程中的情形進行ARENA系統模擬分析，以精實生產理論和限制理論的運用加上快速換線方法，找出個案公司在生產作業上的癥結問題，透過改善後的分析確認改善效果，提出最後的結論建議和改進。

根據限制理論的概念，找出生產作業中最弱的環節，以ARENA系統模擬，輔以快速換線法，使其縮短作業時間和提升生產效率，本研究有兩個目的：一是縮短作業時間，透過先區分內外部作業，盡可能將內部作業轉換到外部作業，並加上縮短內外部作業時間以及消除浪費的方式，以達到目的；另一目的是找出作業中最弱環節，將其強化或改善，以達到生產效率提升，相關研究步驟如圖1。

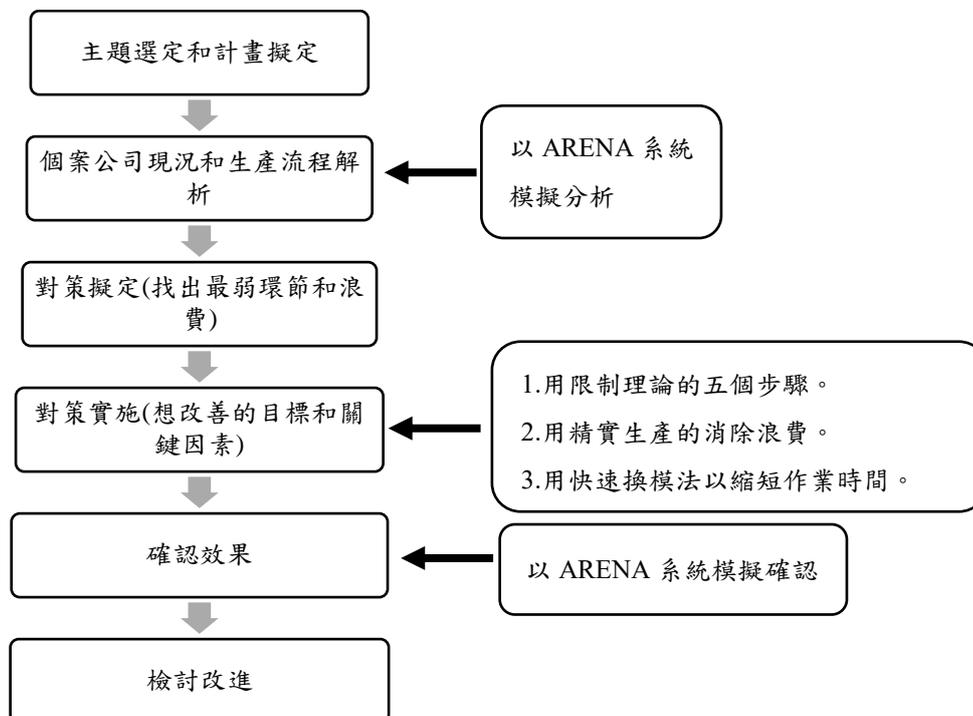


圖1 研究步驟

### 3.4 個案公司現況分析

首先將個案公司改善前每月平均的加工量數據整理，將改善前的加工數量資料進行整理，如圖2所示，將其平均並四捨五入得到每月每日平均加工量為7480m；其次將改善前各個流程分別收集50筆資料(資料收集不包含開始上班的一小時內和中午吃飯後的一小時內)，將作業時間進行平均，以利後續使用模擬系統，相關資料彙整如表1顯示。

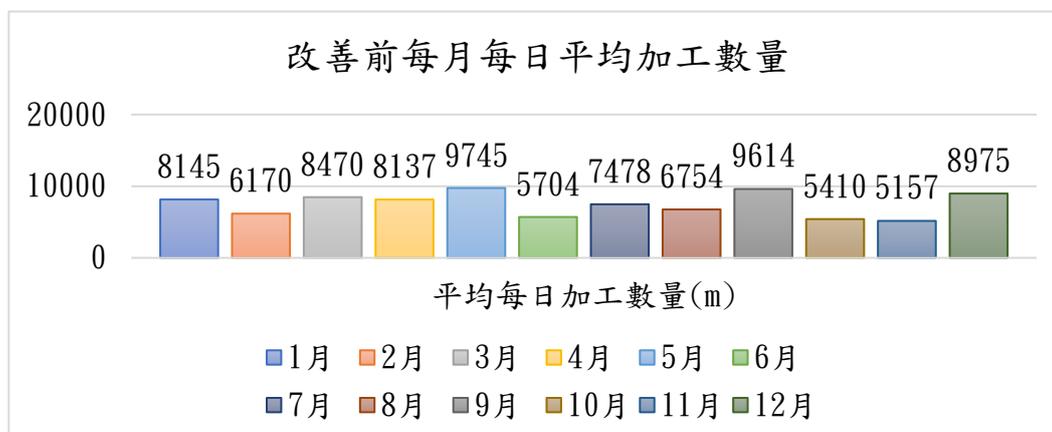


圖2 改善前個案公司每月加工數量

表1 改善前作業流程所需時間表

流程	作業人數	平均長度400m的作業時間(秒)	標準差	備註	作業次數
材料A	1	237.92	23.47	平均長度1000m	7.48
材料B	1	236.82	22.67	平均長度1000m	7.48
前置時間	2	600.44	25.00		1.00
生產	3	986.67	110.62	產品400m/一次	18.70
換材料時間	4	240.40	10.89		7.50
收料軸檢查	2	84.72	7.10	產品一次有3顆	18.70
切面檢查	2~3	225.42	11.58		18.70
裝袋	2~3	389.36	18.78		18.70
封口	1~2	151.10	14.72		18.70

各流程說明如下：

材料A：將A材料透過機具裝到加工機台上。

材料B：將B材料透過吊具放置到加工機台上。

前置時間：取產品樣本量測以確認是否符合客戶規格。

貼合分條(生產)：加工機台開始稼動(含開始檢查、中途檢查和最後檢查，另外還有加工中清潔異物)以45m/min

的速度進行加工。

換料時間：材料使用完畢時更換材料所需時間。

收料軸檢查：產品銅面檢查，以確認銅面無汙染或是異常。

切面檢查：取下產品後進行材料清潔和檢查，以符合客戶規定。

裝袋：將檢查完的製品裝上製品保護盒，依照客戶要求裝進袋子。

封口：將已經套好袋子的製品進行封口並放到製品車上。

表 2 更換材料的機率統計資料表

	加工材料數	更換材料次數
1月	117	279
2月	122	252
3月	107	224
4月	127	294
5月	155	296
6月	116	212
7月	172	339
8月	143	266
9月	118	208
10月	212	396
11月	137	281
12月	172	331
總和	1698	3378
更換材料的機率	50.27%	

透過表1的顯示發現各項作業流程和作業時間太長導致無法在預期時間內完成，但表1仍無法有效得知造成作業時間太長的原因，故將表1收集的相關數據輸入到ARENA模擬系統，更換材料的機率採用表2平均後取整數機率50%。

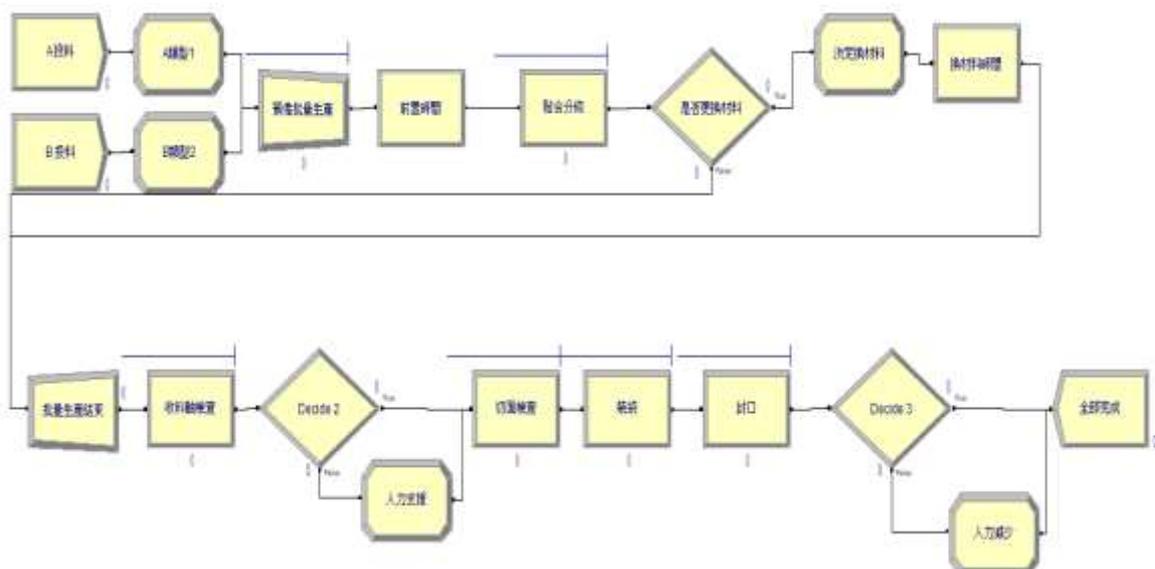


圖3 改善前個案公司生產流程

表 3 改善前各流程時間分析表

Time per Entity	Replications:100				Time Units:Seconds	
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
VA Time Per Entity						
切面檢查	225.16	1.58	206.35	245.29	193.64	252.28
收料軸檢查	85.16	1.05	70.11	98.26	62.49	107.50
貼合分條	995.49	21.93	752.20	1286.93	752.20	1286.93
NVA Time Per Entity						
封口	150.06	2.08	130.75	181.92	104.82	188.97
裝袋	388.54	2.66	352.71	427.81	338.14	444.44
Wait Time Per Entity						
切面檢查	70.39	1.51	52.80	86.32	0.00	172.63
收料軸檢查	42.71	0.75	31.25	49.83	0.00	99.67
封口	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
貼合分條	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
裝袋	81.78	1.94	54.31	107.78	0.00	215.57
Total Time Per Entity						
切面檢查	295.55	2.74	265.47	330.20	193.64	410.99
收料軸檢查	127.87	1.66	101.36	145.60	62.49	196.53
封口	150.06	2.08	130.75	181.92	104.82	188.97
貼合分條	995.49	21.93	752.20	1286.93	752.20	1286.93
裝袋	470.32	3.88	407.02	522.61	343.85	619.32

透過ARENA模擬系統進行模擬，模擬圖如圖3所示，經過系統模擬100次進行驗證，找出個案公司製程上需要改善的環節，分析資料如表3。

首先在圖3的繪製上，透過限制理論中的繩-緩衝-鼓的觀念進行繪製，把時間和空間緩衝的概念添加到生產流程當中，減少莫非發生時所造成的問題。透過主要的鼓點(貼合分條)規劃出空間的緩衝(A投料和B投料)和時間的緩衝(前置時間和換材料時間)，避免產品交期臨時變更時，可以進行生產更改的緩衝。

最後透過表3以及圖3的現況分析發現以下環節：

- 一、透過限制理論發現內部作業時間與外部作業時間不平衡，需要重新規畫調整。
- 二、製程出現等待時間的項目分別是收料軸檢查，切面檢查和裝袋，依照精實生產理論和限制理論得知，這三個項目的流程需要進行改善。
- 三、製程改善後，發現在貼合分條的流程作業時間太長，導致其他流程需要進行配合，依照限制理論的改善步驟，需要進行打破流程限制。

將上述三點以魚骨圖呈現，如圖4所示，接下來將針對這三點進行改善活動。

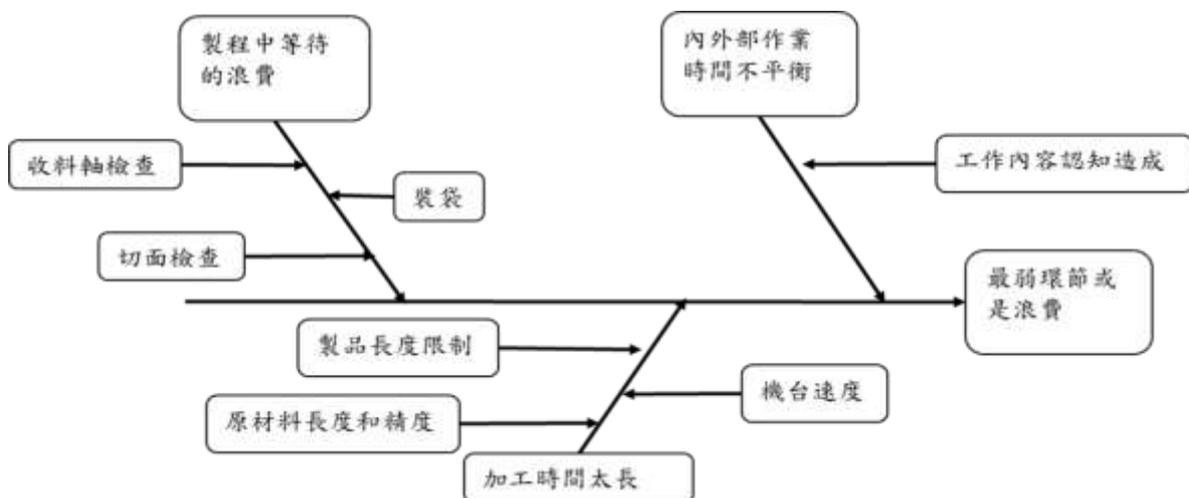


圖4 最弱環節或是浪費的魚骨圖

## 4. 研究結果

將個案公司分析完的資料以及找出個案公司的最弱的環節和浪費，將進行改善活動，透過ARENA模擬系統，進行資料分析，最終將改善活動進行實證。

### 4.1 實際改善成效

透過個案公司現況分析發現製程上可改善的環節，依照限制理論的步驟進行改善內容的說明。

#### 4.1.1 第一次問題點改善

步驟一必須找出最弱的環節：

首先在整理資料如表4發現限制理論提到的內外部作業時間不平衡，整體的作業時間上，內部作業時間太長，整體作業時間大約2039.29秒，內部作業時間佔1305.81秒，佔比64.03%；外部作業時間佔538.6秒，佔比26.41%，透過表4顯示內外部作業時間佔比不平均，在實務上會凸顯出外部作業的人員閒置或是等待時間較長，在精實生產中屬於等待的浪費。

表 4 改善前相關作業時間表

項目(秒)	重新規畫前	佔比
內部作業時間總和	1305.81	64.03%
外部作業時間總和	538.60	26.41%
等待時間總和	194.88	9.56%
流程花費時間總和	2039.29	100.00%

其次在表4中發現等待時間的問題，等待時間佔194.88秒，佔比9.56%，在精實生產理論中提到要消除等待，所以也必須進行改善，在表4-3中發現造成等待時間的流程分別是收料軸檢查，切面檢查和裝袋。

最後依照限制理論的改善步驟，找出最弱的環節，所以首先以佔比最多的內部作業時間的問題進行處理，等改善後再重新確認最弱的環節。

步驟二選擇打破最弱環節進行改善：

在步驟一提到的內外部作業時間不平衡問題，因為不需要跨部門溝通和花費大量成本進行改善，故直接進行改善，內外部作業時間不平衡問題，改善方式以及內容如下。

透過SMED方法將製程重新規劃，必須停機才可以執行的製程視為內部作業，不需要停機也可以執行的工作或是製程視為外部作業，重新將製程規劃如下表5。

表 5 第一次改善後相關作業時間表

項目(秒)	重新規劃後	佔比
內部作業時間總和	995.49	48.82%
外部作業時間總和	848.92	41.63%
等待時間總和	194.88	9.56%
流程花費時間總和	2039.29	100.00%

經過重新規劃後，內部作業時間995.49秒，佔比48.82%；外部作業時間848.92秒，佔比41.63%，等待時間不變194.88秒，佔比9.56%，重新規劃後內外部作業時間差異較小較為平衡，在實務上則是減少人員閒置或是等待的情況，也達到精實生產理論中減少等待的浪費。

表 6 第一次改善前後的內外部作業時間總和差異比

項目(秒)	重新規畫前	重新規劃後	差異比例
內部作業時間總和	1305.81	995.49	-23.76%
外部作業時間總和	538.60	848.92	57.62%

將表4和表5中差異的部分整理如表6所示，可以清楚發現重新規劃前後的差異性，重新規劃前內外部時間差距為767.21秒；但是經過SMED方法重新規劃後，內外部作業時間差距縮短到146.57秒，兩相比較後發現重新規劃前後內部作業縮短23.76%，外部作業時間增加57.62%，這裡需要說明外部作業時間因為重新規劃前的時間較短，所以時間增加幅度較為明顯，且外部作業時間仍小於內部作業時間並不會產生額外人事成本或是耽誤到內部作業時間。

可見透過重新規劃內外部作業後，在固定的作業時間內，個案公司除了平衡內外部作業時間之外，公司的產量和利潤都獲得提升。

#### 4.1.2 第二次問題點改善

步驟一必須找出最弱的環節：

經過第一次問題點改善完成後，在表4和表5中存在著等待時間的問題，在精實生產理論中提到消除等待，故先找到造成等待時間的製程是收料軸檢查，切面檢查和裝袋。

步驟二選擇打破最弱環節進行改善：

透過SMED方法重新規劃後，發現三個步驟(收料軸檢查，切面檢查和裝袋。)都是屬於人員操作的部分，所以思考到使用輔助工具加快流程與流程之間作業，以減少作業時間，便可以有效減少等待時間的產生，相關改善方法如下：

首先說明收料軸檢查流程改善，安裝一組下料軸，下料軸使用不鏽鋼材質，轉動製品檢查銅面時，光滑的下料軸較容易轉動製品，能減少轉動製品時的阻力之外，也能縮短檢查的時間，透過下料軸安裝後，將原本在收料軸上檢查製品的流程轉移到下料軸上做檢查。

其次是切面檢查流程改善，原先產品檢查皆使用肉眼配合天花板的日光燈進行切面檢查，主要是檢查產品切面有無切割後的異物附着，檢查時需要配合天花板日光燈光源進行檢查且因為異物含銅經過白光照射後並不明顯，檢查和清潔上浪費過多時間。經詢問過客戶和供應商，加上經過比較白光、綠光和紫光三種不同的手電筒後，發現綠光手電筒在產品切面異物檢查上相當清楚，且可以依照檢查員需要的角度自行調整，有效縮短切面檢查所需要的時間。

最後是裝袋流程改善，裝袋是避免製品以及製品盒經過運送沾附到灰塵，故在最外面套上一層袋子並密封，降低灰塵造成的不良。

一開始是將製品放進袋子裡面後，再將袋子拉起來封口，但是經常發現需要兩個人合作(一人搬製品另一個人拉袋子)而且容易讓袋子破掉，統計平均一天的失敗率達50%，且無法一次性將工作完成。為了解決此項問題，以垃圾桶套垃圾袋為原型進行設計，透過這樣的發想進行設計輔助工具，經過測試後裝袋失敗率也減少到5%以下。

此項改善除了有效縮短作業時間以及減少裝袋的失敗率，且經過測試後一個人可以完成，故以現有人力可以達到裝袋和封口兩個流程可以同步進行，達到縮短流程，後續在改善後的流程圖上將會合併。

表 7 第二次改善前後作業流程差異表

流程	作業人數	平均長度400m的作業時間(秒)	流程	作業人數	平均作業時間(秒)	時間差異比例
收料軸檢查	2	84.72	下料軸檢查	2	84.34	-0.45%
切面檢查	2-3	225.42	切面檢查	3	151.38	-32.85%
裝袋	2-3	389.36	封口+裝袋	3	91.76	-83.02%
封口	1-2	151.10				
流程總時間		850.60	流程總時間		327.48	-61.50%

透過表7所示，首先在改善前的收料軸檢查和改善後的下料軸檢查差異不大，僅只有縮短0.45%的作業時間，可能是資料取樣關係影響，改善效果不大。

其次切面檢查使用綠光手電筒之後，另外加上新聘請一位員工協助，使得檢查人數可以固定3名，在一人檢查一顆製品的狀況下，也得以讓作業流程順暢和達到時間縮短的效果，從原本的225.42秒縮短成151.38秒，有效縮短作業時間32.85%。

第三是裝袋和封口的流程，因為使用裝袋箱子關係，將裝袋的失敗率降低到5%左右，也降低作業所需時間。另外加上新進人力，裝袋和封口的流程得以採用並行作業，同時間進行封口和裝袋，從改善前的540.46秒縮短到只要91.76秒，大幅縮短作業時間83.02%，節省作業流程也降低作業時間。

### 4.1.3 第三次問題點改善

第一步驟必須找出最弱的環節：

經過前兩次問題點改善後，將作業流程重新分類內外部作業和利用工具進行輔助等改善後，發現內部作業時間太長，且原因來自於機台稼動，所以如果要實際縮短內部作業時間，需進行打破流程(貼合分條)限制，否則將會造成人員等待的問題產生和內外部作業失衡。

步驟二決定如何充分利用系統限制：

因為機台速度、製品的長度限制和原材料的精度關係，無法立即性進行改善，且需要與供應商和設備商進行長期討論。所以在這期間維持現狀進行加工作業，維持原先產能。

步驟三所有非限制充分支援步驟二所作決策：

實務上已經改善完成的作業流程並不會刻意減緩作業時間進行配合，反而會透過增加非加工流程的作業，例如5S或是文書類工作，減少人員等待的時間，另外也將預備工作納入，加強作業節奏的順暢。

步驟四打破系統限制：

加工時間太長的原因來自機台速度、製品長度限制和原材料長度與精度，以下說明處理方式。

首先是機台速度，目前機台加工平均速度45m/min，透過調查機台使用年限已經15年左右，詢問機台設備商的建議，因為機台使用年限太長且零件有的已經沒有生產關係，機台設備商建議更換新的機台，但是從下訂到交貨大約要3年的時間。

在2019年開始與公司社長討論後同意更換新機台，目前在2022年12月底搬入，目前在測試階段，測試機台以及確認機台參數設定。第一階段目標是將新的機台從45m/min提升速度到55m/min，在依照加工狀況評估下一階段的目標。

其次是製品長度限制，與客戶的規格書中製品長度上限為450m，如果要縮短加工時間，除了提高加工速度外，必須減少換批的次數，換言之就是增加機台稼動時間，公司內部討論後認為製品長度放寬可以進行推動，所以進行製品長度放寬評估。

以降低成本為原則，受影響最大的器具為製品保護盒，所以製品長度需依照製品保護盒承載最大上限，經過計算製品直徑以及實際測試確認後，以製品長度550m為長度上限目標進行推動。

經過與客戶長時間討論測試後(製品運送問題、客戶端製品上料問題、製品包裝問題……等等)，最後成功推動製品長度上限放寬到550m。

但在討論的時候也發現，因為客戶要求的製品平均長度與原材料長度有關係，舉例：900m的原材，一開始製品分段為450m+450m；如果是放寬的話是550m+350m，但對於客戶來說製品平均長度是一樣的450m，在客戶端並無改善的狀況，所以兩個問題必須同時解決客戶才同意放寬製品長度上限550m，此項問題在後面會一同討論。

最後是原材料長度和精度，經過與客戶討論過製品長度放寬問題後，客戶希望將製品平均長度達到470m，研究的個案公司希望原材商能以500m的倍數進行原材長度放寬，透過三方會議(客戶、自社、原材商)，經過原材商測試確認後，可以達到原材長度500m的倍數，長度最長可以到1500m，原材商表示因為生產製程中會發生損失，且誤差值將近10%，思考過認為如果要減少換批次數和增加加工時間，必須接受原材商的條件，先推動後再慢慢要求改善。

此項問題經過一段時間努力後，兩項改善目前狀況為製品平均長度已經達到客戶要求的470m，製品的長度上限放寬到550m，且材料商的誤差值持續縮小，故將有關生產的作業時間重新取樣計算，整理如表8。

表 8 第三次改善後的流程所需時間表

流程	作業人數	平均長度400m的作業時間(秒)	標準差	備註	作業次數
材料A	1	224.28	23.50	平均長度1500m	4.99
材料B	1	222.94	22.90	平均長度1500m	4.99
前置時間	2	300.70	13.15		1.00
生產	3	834.30	101.95	產品放寬到470m/一次	15.91
換材料時間	4	236.64	10.34		5.00
下料軸檢查	2	84.34	8.13	產品一次有3顆	15.91
切面檢查	3	151.38	7.90		15.91
封口+裝袋	3	91.76	9.83		15.91

透過表8確認到因為材料長度放寬和製品長度放寬後作業次數下降，作業次數下降之後直接會減少一天的流程加工時間。經過放寬材料和製品長度後，有效減少精實生產理論中等待的浪費和動作的浪費，換言之，產品的作業成本也減少。此次長度放寬的改善上，未產生額外的成本費用，僅只有花費較長時間與客戶和供應商溝通，最終有達到精實生產理論的消除等待的浪費和限制理論的減少作業成本和增加產出，在實務上縮短作業時間，進而增加生產量，最終使公司獲得更高的利潤，以長期來看適合投資進行。

#### 4.2 最終成效

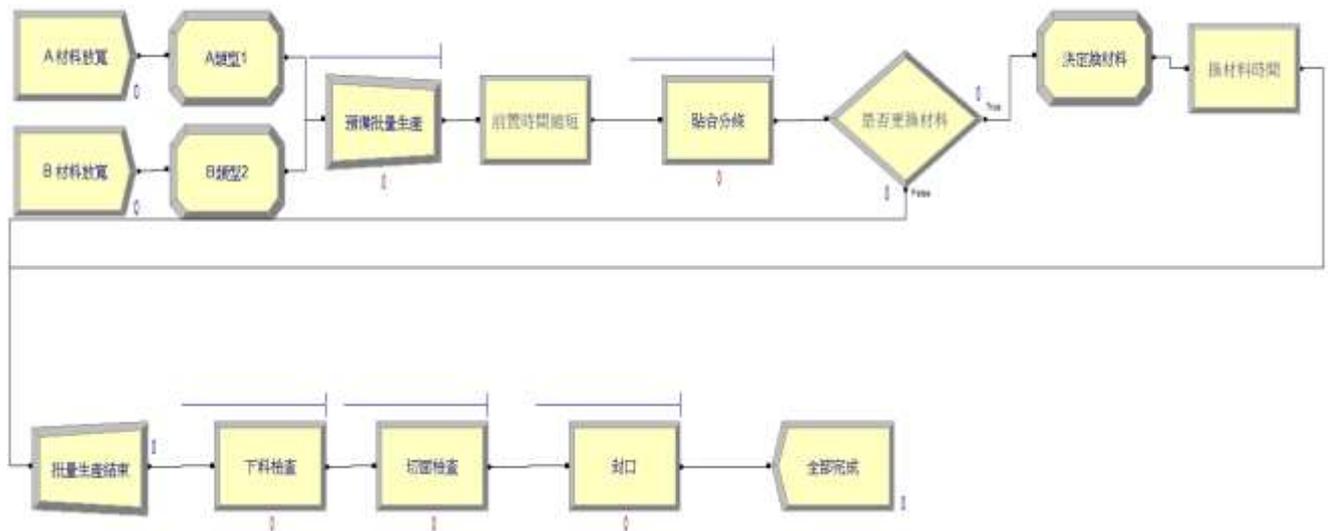


圖5 最終個案公司生產流程

表9 最終的流程分析時間表

Time per Entity	Replications:100				Time Units:Seconds	
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
VA Time Per Entity						
貼合分條	842.43	20.22	618.21	1111.03	618.21	1111.03
NVA Time Per Entity						
下料檢查	84.83	1.36	65.28	99.12	58.89	103.20
切面檢查	151.44	1.07	138.49	166.77	131.94	170.51
封口+封袋	91.58	1.47	74.23	111.92	67.93	123.3
Wait Time Per Entity						
下料檢查	42.58	0.86	29.44	50.73	0	101.46
切面檢查	33.64	1.24	18.95	46.67	0	93.34
封口+封袋	0	0	0	0	0	0
貼合分條	0	0	0	0	0	0
Total Time Per Entity						
下料檢查	127.41	2.11	95.85	149.85	58.89	198.25
切面檢查	185.08	1.99	162.5	210.69	131.94	252.26
封口+封袋	91.58	1.47	74.23	111.92	67.93	123.3
貼合分條	842.43	20.22	618.21	1111.03	618.21	1111.03

本次研究最後生產流程重新繪製如圖5，並將表8的資料輸入模擬系統，透過模擬系統分析後如表9，將分析資料整理，如表10顯示。

第一、經過使用SMED方法，重新將內外部作業流程進行規劃以及材料和製品長度放寬後，減少換批次數進而減少停機造成的等待的浪費，與最初的作業時間縮短了463.38秒，差異35.49%，此項改善因為縮短的機台作業時間，可以直接增加公司生產的產量，達到限制理論的指標增加產出。

第二、外部作業時間縮短了210.75秒，差異比39.13%，此項問題同樣使用SMED方法，將複雜的工作透過輔助器具協助縮短人員的作業時間和合併作業流程的效果，達到精實生產中消除動作的浪費和消除加工流程的浪費，雖然外部作業時間無法直接增加產量，但仍縮短了產品的總需要的生產時間，換言之產品的單位成本降低，在限制理論中的指標中達到降低作業成本的效果。

第三、縮短等待時間，縮短了118.66秒，差異比60.89%，此項問題改善來自於外部作業時間的縮短，因為外部作業時間縮短，間接影響到流程和流程之間的時間縮短，達到精實生產理論的消除等待的浪費。

表 10 最初和最終改善的相關作業時間總和差異比

項目(秒)	最初	最終改善	時間差	差異比例	佔比
內部作業時間總和	1305.81	842.43	-463.38	-35.49%	67.58%
外部作業時間總和	538.60	327.85	-210.75	-39.13%	26.30%
等待時間總和	194.88	76.22	-118.66	-60.89%	6.11%
流程花費時間總和	2039.29	1246.5	-792.79	-38.88%	100.00%

綜上所述，各項改善活動皆建立在限制理論的五個步驟(找出最弱的環節，決定如何充分利用系統限制，所有非限制充分支援步驟二所作決策，打破系統限制，如果系統限制在步驟四被打破回到步驟一)，透過持續不斷的找出最弱的環節進行改善活動，最終將往問題的核心處進行，加上使用ARENA系統模擬分析，讓改善活動的效果得以數據化，並且讓最弱的環節更明顯，在實務上可以透過系統模擬的數據找到下一次改善的方向，並將最終改善的效果以時間加以解釋，在實務上較容易說服主管，獲得改善活動推行的可能性。

## 5. 結論與建議

在軟性銅箔基板產業中，經常都是接單後進行生產，在不降低品質的狀況下，如何滿足客戶的訂單量，必須依靠公司生產量，如何滿足客戶需求的生產量，需要透過縮短作業時間及提升生產量，這便成了課題之一。透過限制理論的重複執行，可以有效達到生產上的浪費消除和縮短內外部作業時間，以求達到目標。另外為了讓限制理論的效果有效的呈現，透過系統模擬進行分析，將其數據化，在實務改善上更具說服力。

### 5.1 研究結論

本研究目的使用限制理論不斷的找出生產作業流程上最弱的環節加以改善或強化，並使用精實生產理論消除生產作業流程上的浪費，輔以ARENA系統模擬，進行作業流程改善時先以系統模擬進行確認效果，並在實務上執行，以達到產量提升和縮短作業時間。

在內部作業時間來看，透過內外部作業時間規劃以及製品長度放寬和原材長度放寬後，縮短內部作業時間35.49%，相對來說可以讓產量提升35.49%；以整體流程花費時間來看部分，經過內外部作業時間規劃、使用輔助器具以及製品長度放寬和原材長度放寬後，整體流程的作業時間縮短38.88%，有效降低產品的作業成本，本研究透過數據分析後發現以下現象。

第一、清楚定義內外部作業時間，剛開始在個案公司是依照部門分類，會有內部作業等於生產部門的一種觀念，所以需要將正確的知識說明並重新教育，透過定時檢視工作內容，區分內外部作業，可以達到作業時間縮短的效果。

第二、數據分析的重要性，將作業流程透過ARENA系統模擬後，可以透過系統進行數據分析，可以從中知道改善的成效，另外也能顯示出下一次需要改善的問題點，或許不是限制理論中提到最弱的一環，但卻是一個改善的方向，與實務結合可節省時間成本和人力的浪費。

第三、改善會衍生新的問題，本次研究內容發現的狀況，學術上的理論和數據分析，在實務上進行時，必定會

遇到客戶或是供應商回饋而來的問題，問題是在執行上的困難點，如果要進行改善，新的問題便產生，這是其中一種；另一種是改善完成後，進行數據分析便會發現下一個問題點，可能是新的問題，可能是之前改善過的問題，如同限制理論提到，改善最弱的環節後，系統必定存在另一個最弱的環節。本次研究發現改善是無限的循環，但持續改善會越深入問題的核心。

## 5.2 研究限制

本次研究上發現一些做研究時產生的限制性問題，以下一一進行說明。

第一、研究時間太短，本次研究的個例子，改善活動大多侷限在部門內或是公司內的改善活動，跨公司的大型改善活動或是深入問題核心的改善活動很少，加上時間關係，機台速度提升的效果尚未加入，無法看到一個大躍進的改善活動。

第二、時間計算有誤差，本次研究的個案公司是少於20人的小公司，作業時間是透過監視器進行計算取得，但是新進員工與資深員工的工作效率是不同的，所以時間計算上容易受到影響。

第三、模擬系統與實務上執行會有差距，本研究收集50筆資料求平均值和標準差，透過模擬系統進行模擬，將數據帶入進行分析，數據無法精準衡量每個員工的工作效率以及疲累程度所造成的影響，所以在實務上必定會有落差的產生。

## 5.3 研究建議

在生產層面來說：

首先本研究主要探討生產方面的實證內容，講求以縮短作業時間和提高生產效率為主，透過限制理論和系統模擬的結合，加上實務上確認確實可以達到目標。建議未來可將研究範圍往前面流程可以加入加工排程系統管理，往後可以涵蓋倉庫包裝和出貨流程，不侷限在產品生產的框架中，而是擴展從材料最初的加工排程系統管理流程到最後的產品出貨流程，可以讓研究更為豐富和完整。

最後是限制理論或是精實生產理論在實證上都需要長時間進行記錄，本次研究的個案公司剛邁入第11年，所以在改善活動上難有大躍進的改善紀錄，建議未來可以將研究時間拉長來看，改善的紀錄會更具參考價值。

在整體生產體系層面來說：

導入限制理論和系統模擬，需要考量員工、客戶、品質等因素，不能一味追求系統模擬的數據，不考量員工執行上的困難和客戶的要求，以上皆會影響到產品品質的問題。理論和系統模擬只是輔助，提供改善活動執行時的方向或是方法，在實務上公司在訂定長期策略的規劃上需要多方面的進行評估，選擇合適的方法，降低未來可能發生風險的因素。

# 6. 參考文獻

## 6.1 中文文獻

1. Lee J. Krajewski、Manoj K. Malhotra、Larry P. Ritzman (2017)。作業管理 (第11版) (白滌清譯)。新北市：台灣培生教育出版股份有限公司。(原著出版年：1987年)
2. Robert K. Yin (2001)。個案研究法 (尚榮安譯)。台北：弘智文化。(原著出版年：1984年)
3. Womack, James P.& Jones, Daniel T.(2015)。精實革命：消除浪費、創造獲利的有效方法(鍾漢清譯)。台灣：經濟新潮社。(原著出版年：1996年)
4. 中國生產力中心編著 (2013)。精實生產推動手冊：創造彈性、速度與創新的生產系統。新北市：中國生產力。
5. 王翊 (2017)。運用限制理論改善預鑄工廠構件生產效能之研究。國立中央大學營建管理研究所碩士論文。
6. 李榮貴、張盛鴻 (2005)。TOC限制理論Theory of Constraints。新北市汐止區：中國生產力中心。
7. 李忠益 (2015)。精實生產實證研究-以被動元件Y公司為例。國立高雄應用科技大學企業管理系碩士在職專班碩士論文。
8. 吳麗萍 (2013)。精實生產之生產計劃-以橡膠製造業N公司為例。國立高雄應用科技大學企業管理系碩士在職專班碩士論文。

9. 吳昇峰(2019)。結合ARENA軟體與資料包絡分析法評估生產流程中AGV數量。國立高雄科技大學工業工程與管理系碩士班碩士論文。
10. 邱顯哲(2014)。應用限制理論方法評估產能設備擴充問題——以S公司太陽能廠為例。國立交通大學管理學院(工業工程與管理學程)碩士班碩士論文。
11. 洪士峰(2011)。精實生產對製造業營運績效影響之研究。國立中山大學企業管理學系碩士論文。
12. 姚金興(2022)。應用限制理論在產效管理改善—以發光二極體封裝A公司為例。國立清華大學工業工程與工程管理研究所碩士論文。
13. 許銘輝(2021)。半導體測試製程人力績效改善之研究。國立高雄科技大學工業工程與管理系碩士班碩士論文。
14. 郭幸民(2021)。系統模擬與Arena應用。新北市：滄海圖書資訊股份有限公司。
15. 陳訂利(2017)。應用限制理論在積體電路生產最終測試前機台之配置。國立高雄應用科技大學工業工程與管理系碩士班碩士論文。
16. 陳勇嘉(2022)。以精實生產改善製造流程之研究-以M工具機公司為例。逢甲大學智能製造與工程管理碩士在職學位學程碩士論文。
17. 陳億璋(2022)。運用精實管理於生產作業流程改善-以C公司為例。國立高雄科技大學企業管理系碩士在職專班碩士論文。
18. 楊憲慶(2012)。應用TOC限制理論於薄膜太陽能板製造業之研究—以AT公司為例。國立高雄應用科技大學工業工程與管理系碩士班碩士論文。
19. 劉子琪(2013)。以限制理論於企業生產流程系統改善從銷售預測、生產至庫存。東海大學工業工程與經營資訊學系碩士論文。
20. 蕭宇筑(2021)。以系統模擬探討鈹金加工製造之派工法則—個案分析。國立清華大學全球營運管理碩士雙聯學位學程碩士論文。