

國立交通大學
運輸與物流管理學系

碩士論文

代工製造商在長運輸前置時間下需求分析與最佳補
貨策略之研究

A Study on OEM demand analysis and optimal
replenishment policy under long lead time constraint

研究生：蔡仲柏

指導教授：姚銘忠 教授

中華民國 一〇七 年 七 月

代工製造商在長運輸前置時間下需求分析與最佳補貨策略之研究

A Study on OEM demand analysis and
optimal replenishment policy
under long lead time constraint

研究生：蔡仲柏

Student：Zhong-Bo Tsai

指導教授：姚銘忠

Advisor：Ming-Jong Yao



國立交通大學
運輸與物流管理學系
碩士論文

A Thesis
Submitted to Department of Transportation and Logistics Management
College of Management
National Chiao Tung University
in partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master
in

Logistics Management

July 2018

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇七年七月

代工製造商在長運輸前置時間下需求分析與最佳補貨策略之研究

學生：蔡仲柏

指導教授：姚銘忠 教授

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

摘要

跨國/跨洋運輸所需要的長前置時間，常使全球供應鏈中的供應商在需求預測與出貨決策時面臨困難。在長運輸前置時間的條件下，針對客戶端採取供應商管理存貨以最低存貨水準作為服務評估指標，本研究提出整合需求預測與出貨的決策支援機制。本研究針對此問題分為三個部分進行研究：1) 針對客戶端所使用的評估機制，協助供應商與客戶端客觀設置最低存貨水準的計算程序；2) 提出系統性方法，協助分析客戶端之需求；3) 在長運輸前置時間前提下，提出決策之啟發式演算法與配套機制，協助供應商在常態與尖峰需求下之補貨決策，以滿足最低存貨水準及提升客戶對供應能力之評分。本論文以 I 公司作為案例，其對於 J 客戶的補貨需 5 週的長運輸時間。運用本研究所提出的整合性需求預測與出貨決策機制及 4 種品項的歷史資料進行模擬分析。原先 4 種品項的成功補貨比例從未超過 16%。但本研究的結果顯示在運用本研究所提出的方法之後，4 種品項皆可達到超過 90% 的成功補貨比例。顯示本研究所提出之整合性方法，可作為 I 公司優質的決策輔助工具。

關鍵字：供應商管理存貨、最低存貨水準、需求分析、補貨、啟發式演算法

A Study on OEM demand analysis and optimal replenishment policy under long lead time constraint

Student: Zhong-Bo Tsai Advisor: Dr. Ming-Jong Yao

Department of Transportation and Logistics Management,
National Chiao Tung University

Abstract

A long lead time usually required in across boarder/ocean transportation often makes the suppliers' decision-makings in forecasting and replenishment more difficult. Under the condition of long transportation lead time, this study proposes a decision-support mechanism integrating demand forecasting and replenishment decisions to meet the minimum stock-level as the service-evaluation index designated by the customer. We divide the decision-support mechanism into three parts: 1) Propose a procedure that assists the supplier and the customer to objectively set the minimum stock-level following the customer's evaluation mechanism; 2) Suggest a systematic approach for the analysis of customer's demand; 3) Under the condition of long transportation lead time, propose heuristics and supporting mechanisms that help the supplier in the determination of replenishment policies facing regular and peak demand to meet the minimum stock-level and improve its evaluation of supply capability. This study employs Company I as our case study in which the replenishment of Customer J requires a long lead time of 5 weeks. Originally, the successful replenishment rates of those 4 items were no more than 16%. Following the results of our simulation analysis, the successful replenishment rates of those 4 items reach more than 90% after applying the proposed mechanism. Therefore, our integrated mechanism shall serve as valuable decision support tool for Company I.

Keywords: Vendor managed inventory, VMI, Minimum stock level, Demand analysis, replenishment, heuristic

誌謝

時光飛逝，轉眼間兩年多的研究生生涯即將邁入尾聲。在順利完成此篇論文、結束碩士生涯的同時，感謝所有協助完成此篇論文的人事物。首先感謝這兩年來的指導老師姚銘忠教授，謝謝老師對於學術論文上以及對於處理事務上的嚴謹要求，並於研究過程中時時以嚴謹的邏輯與精準的表達檢視研究中的每個細節，使學生能在邏輯與表達上更能看到自己的不足並往此更加精進。在論文口試期間，感謝陳文智老師及洪一薰老師給予寶貴意見與指正，更加完善此篇論文，在此對老師致上深摯的謝忱。

本研究在蒐集資料與熟悉案例時，感謝案例 I 公司業務部與資訊部的同仁，協助學生我了解現行公司決策機制與客戶端的評分機制以進行後續研究。

感謝運管所 05 的同學們與碩一學弟妹們，一同玩鬧的日子增添了許多美好回憶。感謝同實驗室學長姊侑進、孟嫻、庭妤以及學弟妹柏彥、國隆、妘如，在研究與事務上給予許多幫助。感謝同實驗室的同學美好、宗桓與慶慧，一起在實驗室互相支持，一同努力鼓勵向前，祝福各位未來鵬程萬里。

感謝這條路上遇到的許許多多的人，感謝家人的支持與朋友的陪伴，給予我心靈上的支持與前行的動力，由衷感謝你們。

目錄

| | |
|-------------------------------|-----|
| 中文摘要 | I |
| 英文摘要 | II |
| 誌謝 | III |
| 目錄 | IV |
| 表目錄 | VI |
| 圖目錄 | VII |
| 一、 緒論 | 1 |
| 1.1 研究背景與動機 | 1 |
| 1.2 研究目的與範圍 | 3 |
| 1.3 研究架構 | 3 |
| 二、 文獻探討 | 5 |
| 2.1 供應商供應能力評估機制 | 5 |
| 2.2 客戶需求分析方法 | 8 |
| 2.3 針對「前置時間」之補貨機制 | 11 |
| 2.4 小結 | 12 |
| 三、 研究分析方法 | 14 |
| 3.1 供應能力與評估機制分析與改善方案 | 14 |
| 3.1.1 過高的最低存貨水準 | 14 |
| 3.1.2 因應尖峰需求之成本難以進行責任歸屬 | 16 |
| 3.2 客戶需求分析 | 22 |
| 3.2.1 客戶需求分析流程 | 23 |
| 3.2.2 時間序列分析模組 | 25 |
| 3.2.3 需求機率分佈擬合模組 | 26 |
| 3.2.4 需求機率分佈調整模組 | 29 |
| 3.3 出貨量決策演算法 | 30 |
| 3.3.1 演算法參數與變數 | 32 |
| 3.3.2 出貨決策演算法流程 | 33 |

| | |
|------------------------------|-----------|
| 四、 實證資料分析與模擬 | 40 |
| 4.1 個案供應商 I 公司..... | 40 |
| 4.1.1 供應商 I 公司現行決策環境..... | 40 |
| 4.1.2 VMI 系統中 J 客戶的評估機制..... | 41 |
| 4.1.3 J 客戶評分機制造成的扭曲..... | 43 |
| 4.1.4 小結..... | 44 |
| 4.2 需求分析 | 46 |
| 4.2.1 時間序列分析..... | 46 |
| 4.2.2 J 客戶需求機率分佈建構..... | 52 |
| 4.2.3 需求機率分佈調整模組..... | 55 |
| 4.3 出貨決策演算法實例演練 | 55 |
| 4.3.1 參數設定..... | 55 |
| 4.3.2 演算法演練..... | 56 |
| 4.4 模擬分析..... | 59 |
| 4.4.1 模擬假設..... | 60 |
| 4.4.2 模擬結果..... | 60 |
| 4.4.3 小結..... | 64 |
| 五、 結論與建議 | 66 |
| 參考文獻 | 68 |
| 附錄 | 70 |

表目錄

| | |
|---|----|
| 表 3.1 緩衝時間相關之參數..... | 15 |
| 表 3.1 緩衝時間、服務水準與存貨量範例表..... | 16 |
| 表 3.2 K-S 檢定相關符號說明..... | 27 |
| 表 3.3 演算法參數與變數說明..... | 32 |
| 表 4.1 J 客戶評估機制之說明範例表..... | 42 |
| 表 4.2 時間服務水準之說明範例表..... | 44 |
| 表 4.3 各產品的 J 客戶需求線性回歸模型參數表..... | 51 |
| 表 4.4 以相鄰兩半年 J 客戶需求進行 K-S 雙樣本檢定 P 值表..... | 52 |
| 表 4.5 以相鄰兩半年 J 客戶三週需求進行 K-S 雙樣本檢定 P 值表..... | 53 |
| 表 4.7 擬合經典機率分佈之對數似然函數表..... | 54 |
| 表 4.8 擬合經典機率分佈之 AIC 表..... | 54 |
| 表 4.9 經典機率與 J 客戶需求之單樣本 K-S 檢定分佈之 P 值表..... | 54 |
| 表 4.10 動態最低存貨水準修訂表..... | 58 |
| 表 4.11 I 公司歷史決策與演算法之成功補貨比例..... | 61 |
| 表 4.12 I 公司歷史決策與演算法之時間服務水準..... | 61 |
| 表 4.13 D28 緩衝時間分析表..... | 62 |
| 表 4.14 緩衝時間分析結果表..... | 62 |
| 表 4.15 緩衝時間建議之最低存貨水準模擬之成功補貨比例..... | 63 |
| 表 4.16 緩衝時間建議之最低存貨水準模擬之時間服務水準..... | 63 |
| 表 4.17 動態調整與緩衝時間建議最低存貨水準之成功補貨比例..... | 64 |
| 表 4.18 動態調整與緩衝時間建議最低存貨水準之時間服務水準..... | 64 |
| 表 A.1 D05 緩衝時間分析表..... | 70 |

| | |
|------------------------|----|
| 表 A.2 D13 緩衝時間分析表..... | 70 |
| 表 A.3 D29 緩衝時間分析表..... | 70 |

圖目錄

| | |
|-----------------------------------|----|
| 圖 1.1 論文研究架構..... | 4 |
| 圖 3.1 分群數與平均側影係數圖..... | 19 |
| 圖 3.2 衝擊回復時間與動態最低存貨水準調整示意圖..... | 22 |
| 圖 3.3 客戶需求分析流程圖..... | 24 |
| 圖 3.4 出貨決策演算法流程圖..... | 34 |
| 圖 3.5 緊急運輸決策時間軸..... | 37 |
| 圖 3.6 庫存量時間貨量圖..... | 39 |
| 圖 4.1 I 公司對 J 客戶之海運供應鏈與決策模式圖..... | 41 |
| 圖 4.2 I 公司對 J 客戶之空運供應鏈與決策模式圖..... | 41 |
| 圖 4.3 I 公司對 J 客戶之供應鏈與簡化決策模式圖..... | 46 |
| 圖 4.3 D05 平均側影法結果圖..... | 47 |
| 圖 4.4 D13 平均側影法結果圖..... | 47 |
| 圖 4.6 D29 平均側影法結果圖..... | 48 |
| 圖 4.7 D05 需求量與極端值散佈圖..... | 49 |
| 圖 4.8 D13 需求量與極端值散佈圖..... | 49 |
| 圖 4.9 D28 需求量與極端值散佈圖..... | 50 |
| 圖 4.10 D29 需求量與極端值散佈圖..... | 50 |

一、緒論

1.1 研究背景與動機

在一般供應商與客戶端的供應鏈中，客戶端常需自行管理庫存並對上游供應商下立訂單來維持存貨水準。在傳統補貨系統中，客戶端與供應商間資訊不流通與運輸前置時間的影響，造成供應商與客戶端為維持良好的服務水準而囤積過多庫存，負擔相當大量的庫存成本。另外當客戶端在面對多項原料與多位供應商時，庫存管理就會因多項原料價格、庫存數量、需求數量、訂購前置時間而使複雜度迅速上升到客戶端難以負荷其管理成本的程度。(Disney and Towill, 2003)

客戶端開始採取「供應商管理庫存系統」(Vendor Managed Inventory, VMI)取代傳統存貨管理的方式。客戶端與供應商們進行協定，將指定設施內的存貨轉交給供應商進行管理，當客戶端有需求時再從該指定倉庫中提領庫存。在 VMI 的模式下，供應商因客戶端賦予其管理客戶設施內的庫存的權限，可以減少供應鏈中補貨所需經過的階層，提升客戶端需求的能見度，改善需求變動帶來的長鞭效應，能更精確地滿足客戶端的服務需求。另一方面，客戶端可以有效降低庫存管理時所需的一系列管理成本與庫存成本，能將省下的資金與人力集中在核心競爭力，提升整體供應鏈的競爭力。

在 VMI 系統中，若只單純將庫存轉為供應商管理，容易使供應商被迫背負大量成本，降低供應商參與意願，無法發揮出 VMI 系統的最大效益。VMI 系統需要客戶端與供應商配合，一同進行協同計劃、預測與補貨 (collaborative planning, forecast and replenishment, CPFR) 才能最大化資訊的透明度與 VMI 系統的效益。Disney(2007)提出了四種供應鏈中兩造協作管理或是 VMI 的類型；依照供應商管理事項來判斷此供應鏈協同程度，從協同程度較低的單純補貨，進階到協同程度較高的供應鏈模式，由供應商同時負責補貨決策、需求預測、客戶端庫存管理與運輸計劃。

Ibrahim et al.(2015)提到在亞洲許多公司所處在的供應鏈中，亞洲公司常扮演使用密集勞力與國外資源的代工製造商腳色來參與供應鏈，以獲得新技術與知識。亞洲供應商的勞力優勢也使得亞洲供應商自己與市場中其他供應商難有明顯的區隔，導致需求方的客戶端往往在此供應鏈中有較強勢的地位。對於供應商來說，如何滿足客戶端的服務需求並取得客戶端對其供應能力的優良評價是相當重要的事情。在業界中客戶端經常在指定倉庫設立一「最低存貨水準」作為評估供應能力之機制(Hammer and Bernasconi, 2016)，並要求供應商需維持指定倉庫存貨水準於該最低存貨水準之上，以此來判斷供應商的供應能力。當供應商的供應能力評價過低容易招致客戶端的不信任，進而調高安全庫存提升兩造成本；更進一步，客戶端將選擇不再繼續與該供應商合作，並轉向尋求其他更為穩定的供應商來降低缺貨的風險。當供應商用有優良評價時，才能與客戶建立信任關係，協同管理供應鏈並最大化 VMI 系統所帶來的效益。

全球供應鏈為台灣供應商帶來更多的業務，但在需要台灣提供良好服務水準以獲得客戶端的優良評價時，台灣供應商必須處理以下因地理距離所帶來的挑戰。

1. 長地理距離提升了供應商使用「海運」時的運輸成本與運輸時間
2. 供應商可使用「空運」作為緊急運輸手段以縮短運輸時間，卻需要花費高額的運輸成本。
3. 客戶端需求預測區間因運輸前置時間而延長，變異性的增加提升預測難度。
4. 資訊在供應鏈中不夠流通而形成的長鞭效應，因為長運輸前置時間而被放大，造成供應商須面對客戶端需求大幅度波動。
5. 客戶端需求預測困難使得供應商補貨量難以吻合需求。
6. 長前置時間使供應商出無法即時反應需求，導致供應商需要囤積大量存貨以維持服務水準。

綜上所述，本研究將從供應商的角度進行分析，分析客戶端對於供應商的評估機制，並在後續針對評估機制提供供應商在長運輸前置時間下的系統性分析方法與解決方案，期望能協助供應商獲得供應鏈中客戶端的優良供應評價。

1.2 研究目的與範圍

基於前述研究背景與動機，本研究期望能從供應商的角度，針對長運輸前置時間下的 VMI 系統之對供應商評估制度進行分析，並建立有效的補貨策略，協助供應商獲得客戶端對其優秀供應能力的評價。本研究將會分作三個部分進行：

1. 分析客戶端在 VMI 系統中對供應商服務水準的評估制度，協助供應商以有效的方式提高自身供應能力的評價，並同時檢視評估制度的公平性。
2. 分析客戶端需求以掌握客戶端的需求特性，提供補貨決策方法比較精確的決策參數。
3. 協助供應商建立有系統的補貨決策方法，使其在 VMI 系統中獲得客戶端對其的優良評價。

1.3 研究架構

本論文的研究架構請參考如圖 1.1，各章節的內容簡介如下：

- 1 研究動機與目的：敘述長運輸前置時間為 VMI 系統對系統中供應商帶來的問題與挑戰。
- 2 文獻回顧：以供應商的角度，回顧 VMI 系統中對供應商的評估機制、客戶端需求分析方法與在面對長前置時間和隨機需求時的補貨模式的相關文獻，比較相關文獻所使用之情境與方法，協助本研究建立後續研究方法。
- 3 研究方法：研究方法以三大主軸「對供應商評估機制分析」、「客戶需求分析」與「出貨決策演算法」，協助供應商有效的獲得客戶端的優良供應能力評價。

- 3.1 供應能力與評估機制的分析與改善方案：針對客戶端評估供應商供應能力之機制提出適合的分析方法，協助供應商判斷評估機制之公平性。
 - 3.2 客戶需求分析：提出系統化需求分析方法，協助供應商掌握客戶端需求。
 - 3.3 出貨決策演算法：提出系統化出貨決策之程序，協助供應商滿足客戶端之服務標準，獲得良好供應能力評價的目標。。
- 4 實證分析：
- 敘述個案代工製造商I公司在其主要客戶J客戶的VMI系統下的決策情境，並以前述研究方法與I公司提供之歷史資料進行模擬分析，驗證本研究方法的實際成效與限制。
- 5 結論與建議：
- 歸納研究結果，針對實務方面提出I公司的實務建議，並針對學術方面提出未來研究發展方向之建議。

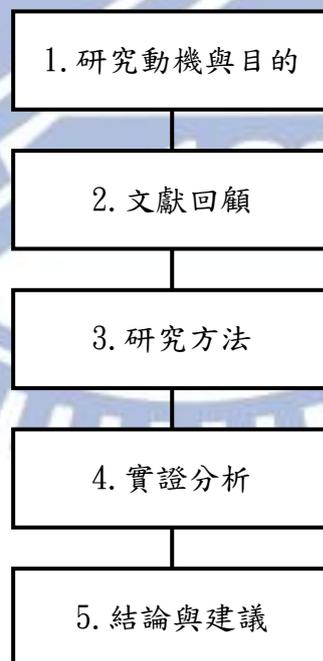


圖 1.1 論文研究架構

二、文獻探討

本研究目的為協助供應商在供應商管理庫存系統(VMI系統)中,滿足客戶端的要求,在倉儲維持庫存數量於目標服務水準之上,以獲得具備良好供應能力的評價。在第二章的文獻回顧中,本研究會分作四個小節。在 2.1 節會先回顧 VMI 系統下客戶端用於評估供應商供應能力的評估機制。在 2.2 節則會回顧其他文獻中對於隨機需求的分析方法。在 2.3 節中則是回顧其他文獻中在考量「前置時間」時補貨機制如何進行運作。在 2.4 節統整前三小節並彙整本研究之方向與重點。

2.1 供應商供應能力評估機制

客戶端與供應商在執行 VMI 系統前會先談判並建立服務水準協議(Service Level Agreement, SLA),協議中以複數項關鍵績效指標(Key Performance Indicators, KPIs)與預先訂立的服務門檻值來衡量服務水準;確保客戶端提供足夠的資訊幫助供應商進行決策,同時供應商也能依客戶端的資訊滿足客戶端的服務需求。(Zammoriet al., 2009)

本研究將在 2.1 本小節回顧各文獻中所使用衡量供應商之評估機制,作為後續分析評估機制與提出改善建議的參考方向。

Disney and Towill (2003) 在其研究中以具代表性的零售模式作為輸入資料進行模擬分析,比較長鞭效應在供應商管理庫存(VMI系統)與傳統連續型供應鏈系統的影響程度。研究中提到供應商與客戶端在制定服務水準協議時,經常會一同協訂最大存貨水準與最小存貨水準之限制,要求供應商將存貨水準維持在固定範圍內,以避免客戶端出現缺貨。

Choi et al. (2004)研究在製造商的供應商管理庫存系統中,製造商對於供應商要求的服務水準是否能保證製造商對下游顧客的服務水準。在此篇研究中作者假設情境為分散式管理的單一製造商與單一供應商,並提出三種製造商要求上游供應商的服務水準,

並以此分析製造商對顧客的服務水準是否會因為對供應商的服務水準而有所影響。其中三種服務水準分別為在評估時間內，依照下列方法計算而得。

1. 以期數作為基礎，服務水準為 $1 - \frac{\text{缺貨期數}}{\text{總期數}}$ 。
2. 以未滿足需求量作為基礎，服務水準為 $1 - \frac{\text{未滿足需求量}}{\text{總期望需求量}}$ 。
3. 考量當期未滿足需求量可在後期被滿足(backlogged)，服務水準為 $1 - \frac{\text{累計未滿足需求量}}{\text{總期望需求量}}$ 。

Van Nyen et al. (2009)在探討 VMI 系統中，不同的合約條件中對供應商與其客戶端製造商兩造行為帶來的影響。Van 學者等人在研究中以業界中常用「目標達交率」(Target fill Rate)作為客戶端對供應商的評估機制。達交率為在需求只能被當期滿足的情況下，客戶端需求量能被立即滿足的期望比例；客戶端與供應商談判並在合約中設立目標達交率，要求供應商至少滿足一定比率的需求

Zammori et al.(2009)期望此篇研究能定義 VMI 系統中供應商與客戶端協議的基礎架構，從實務角度找到協議中兩造最需要談判的議題，以作為之後業界上的參考。研究中提出服務水準協議的概念，由兩造共同協定並以數個關鍵績效指標衡量兩造之服務表現，以確保供應商的服務能力與客戶端的提供資訊的精確度達到協議的標準，才能一同最大化 VMI 系統帶給雙方的效益。協議中對供應商服務能力的關鍵績效指標可能包含：超過最大存貨水準之次數、低於最小存貨水準之次數、最大存貨數量、達交率、最長連續缺貨時間與出貨通知(Advanced Ship Notice, ASN)的正確性。協議中另設立門檻值來規範供應商，當指標未遵從門檻值時，代表供應商的服務能力不足，客戶端可依協議對供應商要求改善或補償。

由「效率消費者回應社群」(Efficient Consumer Response Community, ECR community)中的 Hammer and Bernasconi(2016)兩位作者所撰寫的 VMI 系統實行建議書中，建議在合約中至少各放入一個書中所提及的存貨指標與可得性指標。存貨指標在書中提出業界常用之可銷售天數(Days of Sales)，計算方式為倉庫現有庫存量除上歷史資料的平均日銷

售量。可得性指標在書中提出倉庫可得性(Warehouse Availability)，計算方式為客戶端對倉庫的取貨需求被滿足的比率，相當於一般所使用的達交率(Fill Rate)。

Lee and Cho (2018)兩位學者以下游客戶端零售商的角度檢驗 VMI 系統中常見(z, Z)型合約。合約中的 z 與 Z 分別代表指定倉庫中的最小庫存水準與最大庫存水準，並在此類合約中訂立違反此二限制的成本。兩位學者於研究中為客戶端提供最佳(z, Z)型合約並為供應商提供對應的最佳補貨決策；並分析供應鏈中的兩造分享缺貨成本與存貨持有成本的(z, Z)型合約是否促進兩造間更緊密的合作。

Verma and Chatterjee(2017)以供應商的角度進行研究，在 VMI 合約中有最大存貨水準限制的情況下，單一供應商針對多位零售商的補貨最佳決策。研究中提出了衡量零售商異質性的指標，並且研究所提出的模型無論在異質性高或低的情況下，皆比現有針對零售商異質性的模型有更出色的表現。

在表 2.1 中整理以上文獻所提及用以衡量供應商服務能力之指標，並分為直接以存貨量、時間來衡量的指標與較為複雜的比例類指標，作為後續分析評估機制時的重要參考。

表 2.1 供應商服務能力指標表

| | 存貨量 | 時間 | 比例 |
|------------------------------|----------------------------------|--------------|-------------------------------------|
| Disney and Towill (2003) | 最高存貨水準 最低存貨水準 | | |
| Choi et al. (2004) | | | 缺貨期數比例 缺貨需求量比例(達交率) 累積缺貨需求量比例 |
| Van Nyen et al. (2009) | | | 達交率 |
| Zammori et al. (2009) | 最高存貨數量 超過最高存貨量次數 低於最高存貨量次數 | 最長連續缺貨 時間 | 達交率 出貨通知的正確率 |
| Hammer and Bernasconi (2016) | | 可銷售天數 | 倉庫可得性(達交率) |
| Verma and Chatterjee (2017) | 最高存貨水準 | | |
| Lee and Cho (2018) | 最高存貨水準 最低存貨水準 | | |

2.2 客戶需求分析方法

本節將會回顧相關文獻在探討補貨決策時用機率分布分析與描述隨機需求之方法，參考各文獻中考量影響需求之因素，並在後續研究中建立一考量各項因素的系統性方法，協助本研究掌握客戶端需求特性並建立需求機率分佈，提供後續補貨決策方法更精確的參數進行決策。

Fisher and Raman(1994)研究流行產業的存貨管理問題，因流行產業有高缺貨成本、需求集中、長前置時間與需求資訊稀少的特性，使得產業內公司必須建立快速回應系統(Quick Response System)，並在早期需求發生時立即因應做出決策。作者分析了此快速回應系統中所需進行的決策並在模型中針對其需求分佈提出估計方法，並在後

續實證分析中有顯著的成效。流行產業中產品生命週期短導致無法提供足夠的歷史資料，因此作者混合了同類型產品的歷史資料與專家建議來估計需求機率密度函數，並依據歷史資料之直方圖假設需求為常態分佈並透過後續方法修正常態分佈之參數。

Vargas (2009)考量在隨機且非定態需求下的動態批量問題，改良傳統已知需求下的動態規劃解法 Wagner-Whitin 演算法來解決問題，但因建構時假設需求為常態分佈，需確認需求服從常態分佈才適用此補貨決策演算法。

Tempelmeier and Herpers (2010)針對多樣品項有產能限制且有服務水準(達交率)限制的非定態隨機需求動態批量問題提出改良後的 ABC 啟發式解法來解決此類問題。啟發式解法中主要使用三項參數 A、B 與 C，分別在解法中決定品項需求的滿足順序、該品項的補貨數量與此次補貨決策的改善方向，最後以多種需求情境測試解法成果。

Tempelmeier and Herpers (2011)針對單一品項無產能限制但有服務水準(達交率)限制的非定態隨機需求動態批量問題進行研究。作者於此篇研究中將需求假設為非穩態隨機需求，其平均與標準差會依時間變動，並針對此類問題提出了最佳解的解法。作者另外改良常見針對動態批量問題的啟發式解法(Silver-Meal、Least-Unit-Cost、Least-total-cost、Part-period...)，使原本針對已知需求動態批量問題的啟發式解法能適用於隨機需求的情境中，並以多種需求情境測試解法成果。

Helber et al.(2013) 針對多樣品項但有產能限制的非定態隨機需求進行批貨決策，並且達到最小成本與滿足服務水準限制。需求隨機性導致研究中的數學模型並非線性，作者決定使用兩種方法將需求轉為線性；第一種方法為模擬複數種情境並透過抽樣平均，第二種為切斷分割法以線性逼近非線性函數，透過線性轉換方法將模型簡化為混合整數規劃模型，方便後續找出當下最適動態安全存貨以因應需求隨機性。

Govindan(2015)考量在 VMI 系統與非定態隨機需求的情況下最佳的補貨策略，以傳統動態批量問題的 S-M(Silver-Meal)啟發式演算法結合擴充數量補貨策略 (Augmentation quantity replenishment policy)作為調整後的 S-M 啟發式演算法，假設需

求為常態分佈並根據需求的變動幅度對演算法中的參數進行調整，再與安全庫存結合來克服需求的不確定性。

Yang and Kim (2018)兩位學者則針對多樣非定態需求(Non-Stationary demands)的產品提出修正聯合補貨策略，並假設需求為乘法季節性模型，影響需求之主要變數為季節性與趨勢性。將產品需求依需求的尖峰出現的季節分為夏季、春秋與冬季，依需求的長遠趨勢分為成長型、減少型與持平型，並依其季節性與趨勢性兩個維度生產出共9組的資料組；後續再以這九組資料組進行不同聯合補貨策略的模擬分析。

在表 2.2 中我們依據各文獻中針對需求的考量因素進行分類，觀察這些方法是否考慮到極端值對需求的影響？考慮到季節性因素與趨勢性因素對需求的影響？考慮需求是否為定態還是會隨時間變動？是否適用於其他分布或是假設為常態分佈。本研究針對以上文獻中的考量因素建立一系統性方法，以系統化程序分析客戶需求中的各項因素，協助供應商掌握需求特性。

表 2.2 隨機需求考慮因素表

| | 極端值 | 季節性與趨勢性 | 適用非定態分佈 | 適用多項分佈 |
|--------------------------------|-----|---------|---------|--------|
| Fisher and Raman (1994) | V | V | | V |
| Vargas (2009) | | | V | |
| Tempelmeier and Herpers (2010) | | | V | |
| Tempelmeier and Herpers (2011) | | | V | |
| Helber et al.(2013) | | | V | V |
| Govindan(2015) | | | V | |
| Yang and Kim (2018) | | V | V | |
| 本研究 | V | V | V | V |

2.3 針對「前置時間」之補貨機制

在本節中回顧本研究中的主要限制「前置時間」之相關文獻，參考文獻中針對前置時間之解決方案，以作為後續建立有系統性的補貨決策方法時之參考。

Chuang et al.(2004)研究公司與供應商的合作模型。供應商願意提供公司更短補貨前置時間的服務，但是需要公司負擔更高的費用。研究中假設公司採用再訂購點的存貨管理策略，並假設前置時間的需求具有隨機性，並發展演算法協助公司進行決策，決定出最適前置時間、再訂購點與訂購數量。

Chandra and Grabis(2008)則是考量到採購時選擇不同的供應商會有相對應不同的補貨前置時間，而補貨前置時間則決定了該公司庫存量應維持在多少存貨水準。公司可以選擇前置時間較低的供應商，但通常會需要負擔更高的採購費用或是運輸成本。作者於研究中建立了數學模型來找出最佳決策，決定出最適供應商與庫存量，協助公司將成本降至最低。

Babai et al.(2009)提出了一種新的動態管理存貨方式。在前置時間不確定的情況下依照研究中所提出的程序，以前一補貨循環中的服務水準做為參數調整連續存貨檢閱模式中的再訂購點。

Broekmeulen and Van Donselaar (2009) 針對變動需求與前置時間情況下對於易腐品的存貨管理，提出了新的演算法管理。傳統使用的存貨管理策略為 (R, s, n) ，代表在固定週期 R 時間進行庫存檢閱。如果檢閱時低於動態的再補貨點 s_t ，則將庫存量補到 s_t 之上，補貨量則為批量 Q 的倍數的補貨量 n_t 。考量到易腐品的特性，在前置時間中會有存貨因到期而必須丟棄，降低了倉庫庫存量。作者於研究中建立了數學模型來找出最佳決策，決定出最適供應商與庫存量，協助公司將成本降至最低。

Humair et al. (2012)提到許多研究都考慮到服務水準、需求變動、前置時間與前置時間的變動程度，但最後的前置時間變動程度卻少被考量進模型之中。研究中作者擴

增了傳統補貨模型，以安全存貨數量來確保在考量到隨機前置時間的限制下，仍會滿足服務水準的限制；並將研究中提出的方法與不考慮前置時間變動或是取最大前置時間傳統啟發式解法以實例進行比較，並且表現確實比傳統方法較優。

Sazvar et al. (2013)針對易腐品時效性導致的非線性存貨持有成本與隨機補貨前置時間進行研究，假設庫存管理系統為連續檢閱系統並建立數學模型後與進行敏感度分析，推導決策環境參數、再訂購點與補貨數量的關係。

本研究將參考表 2.3 中文獻針對前置時間的解決方案，並依本研究情境發展出貨決策演算法以對應長前置時間之限制。

表 2.3 前置時間之解決方案表

| | 研究問題 | 解決方案(決策建議) |
|--------------------------------------|----------------------|--------------------------------|
| Chuang et al. (2004) | 可變動前置時間與補貨決策 | 以研究中提出之演算法進行前置時間與補貨策略之整合性決策 |
| Chandra and Grabis (2008) | 挑選不同前置時間供應商與補貨決策 | 以模型求解找出最適供應商與補貨策略 |
| Babai et al. (2009) | 不確定的前置時間下動態再訂購點之存貨管理 | 以研究中提出的演算法程序決定動態再訂購點 |
| Broekmeulen and Van Donselaar (2009) | 前置時間下與變動需求之易腐品存貨管理 | 因應易腐品於前置時間的損失，修正週期存貨檢閱系統之補貨量公式 |
| Humair et al.(2012) | 隨機前置時間與服務水準限制之安全存貨管理 | 以模型決定最佳存貨因應隨機前置時間 |
| Sazvar et al. (2013) | 隨機前置時間下之易腐品連續存貨檢閱系統 | 以模型求解存貨系統中再訂購點與補貨數量 |

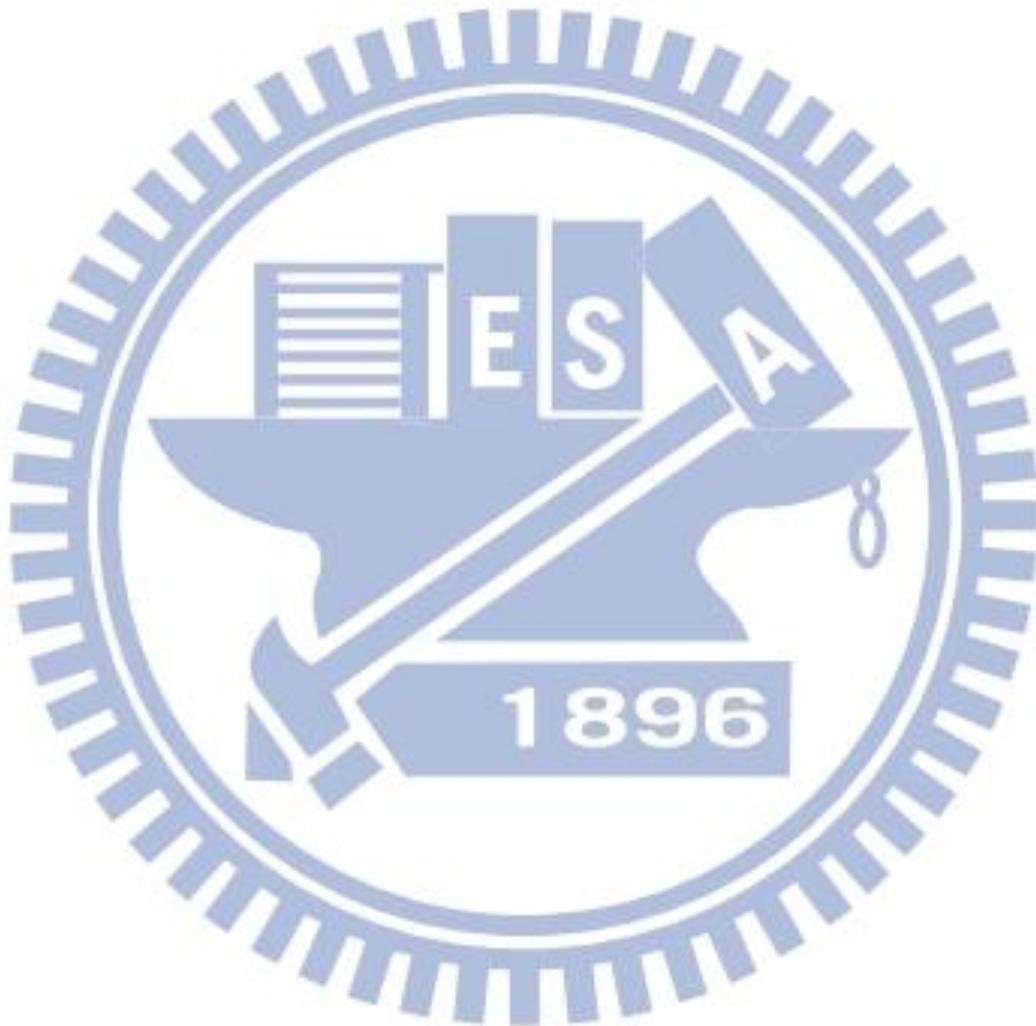
2.4 小結

本研究在 2.1 節參考了文獻中許多 VMI 系統中可用於評估供應商能力之指標，作為後續分析指標時的參考，期望改善評估機制且公平促進供應鏈中的兩造共同合作。

在 2.2 節中參考文獻進行補貨時所考量的影響需求因素，本研究提出系統性的需求分析方法更精確地分析需求特性，求得更精確的需求機率分佈函數，改善後續決策的

精確程度。在 2.3 節中許多文獻針對前置時間提出有效的補貨決策方法，將作為後續建立系統性補貨決策方法之參考。

本研究將參考了文獻中需求分析方法與補貨決策方法，以此作為基礎建立 VMI 系統下整合需求分析與補貨決策方法的「整合型解決方案」，擴大決策方法的應用範圍並協助供應商進行決策以獲得 VMI 系統客戶端的優良評價。



三、研究分析方法

本章講述本研究為協助 VMI 系統中之供應商提高自身供應能力評價之研究方法。在 3.1 節中針對 VMI 系統中客戶端所使用的供應商評估方法「最低存貨水準」進行分析。在 3.2 節中提出針對客戶端需求分析之系統性方法。在 3.3 節整合 3.2 節中的需求分析成果，提出供應商面對最低存貨水準的評估機制之出貨決策演算法。

3.1 供應能力與評估機制分析與改善方案

在 VMI 系統中，若客戶端以指定存放倉庫內的「最低存貨水準」來判斷供應商的服務能力，則有可能在以下兩種情境發生時產生對供應商不公正評價的情況。兩種情境分別為「過高的最低存貨水準」與「客戶端非常態尖峰需求的發生」。

本研究將在 3.1.1 小節與 3.1.2 小節對兩項情境進行分析，並提出建議改善方案提供供應商與客戶端參考，使供應鏈中的兩造能一同建立公平的評估機制。

3.1.1 過高的最低存貨水準

在 2.1 節的文獻回顧中，文獻裡客戶端常在服務水準協議中設立最低存貨水準，並以此作為實際評估供應商之服務水準之標準。若供應商未將指定倉庫內的存貨量維持在最低存貨水準之上，則客戶端便可依據服務水準協議調降供應商的評價或是要求供應商進行賠償或改善措施。

在實際情況中客戶端會依照供應商其服務表現調整最低存貨水準。當客戶端發現產品需求熱絡、指定倉庫內庫存量出現較大的變動或是長期維持在低存貨水準甚至接近缺貨時，客戶端會調高最低存貨水準，以此方式要求供應商在指定倉庫內存放更多庫存來避免缺貨。

客戶端因不穩定的存貨或是熱絡需求調高最低存貨水準後，卻通常未有理由調降最低存貨水準，使得最低存貨水準不停往上攀升，造成供應商必須負擔大量的存貨成本與運輸成本才能維持指定倉庫庫存位於高最低存貨水準之上。

本研究建議以本研究提出之「緩衝時間」的概念，協助供應商與客戶端重新議定出一合理的最低存貨水準。本研究所提出的「緩衝時間」為在供應商持續無法補貨的情況下，假設客戶端需求服從常態機率分佈的情況下，指定倉庫內的庫存量最多可滿足固定服務水準下客戶端需求多少時間。若供應商補貨至客戶端倉庫的補貨間隔時間遠少於計算而得「緩衝時間」，則證明最低存貨水準為一過度苛求之存貨標準，客戶端應調降最低存貨水準來公平評價供應商的供應能力。

表 3.1 緩衝時間相關之參數

| | |
|------------|--|
| α | 服務水準，由供應商與客戶端協定之，代表滿足需求之機率 |
| β | 緩衝時間，代表存貨量在服務水準 α 時，可持續滿足需求多少時間 |
| D | 客戶端需求，為一隨機變數，平均值為 \bar{D} ，標準差為 σ |
| Z_α | 標準差倍數，假設需求為常態分佈並依其服務水準 α 值而推得之標準差倍數 |
| s | 緩衝存貨量，於緩衝時間 b 持續以服務水準 α 滿足需求需準備之存貨量 |

緩衝存貨量計算公式可表示如下

$$s = \beta \cdot \bar{D} + \sqrt{\beta} \cdot \sigma \cdot Z_\alpha \quad (3.1.1)$$

在供應商與客戶端協定服務水準(α)後，供應商與客戶端便可依此式(3.1.1)分析最低存貨水準代表多少緩衝時間；特定緩衝時間下(β)，需準備多少存貨量(s)以應付該服務水準下的需求。將最低存貨水準轉換出緩衝時間後，便可與供應商補貨間隔時間進行比較。若緩衝時間低於補貨間隔時間，代表在補貨間隔中庫存量無法滿足需求，需調高最低存貨水準。若緩衝時間低於補貨間隔時間，代表在庫存量耗盡前供應商都持續補貨，應調低存貨水準。

以下表 3.1 為例，假設客戶端需求平均值為 20,000，標準差為 10,000，客戶端設定的最低存貨水準為 200,000，則依照式(3.1.1)推算求得表 3.1 中的緩衝存貨量、緩衝時間與對應服務水準。

表 3.1 緩衝時間、服務水準與存貨量範例表

| 緩衝時間 β (期) | Z 值 | 服務水準 | 該緩衝時間下，95%服務水準的存貨量 |
|------------------|------|---------|--------------------|
| 4 | 6.00 | 100.00% | 112,897 |
| 5 | 4.47 | 100.00% | 136,780 |
| 6 | 3.27 | 99.95% | 160,291 |
| 7 | 2.27 | 98.83% | 183,519 |
| 8 | 1.41 | 92.14% | 206,523 |
| 9 | 0.67 | 74.75% | 229,346 |
| 10 | 0.00 | 50.00% | 252,015 |

以表 3.1 為例，當供應商補貨最長間隔時間為 4 期時，在供應商與客戶端談判訂定服務水準 95% 下，換算最低存貨水準後可為客戶端滿足 7 期需求，顯示最低存貨水準囤積過多存貨且對於供應商過於嚴苛應需調降。當供應商補貨最長間隔時間為 9 期時，最低存貨水準換算出的服務水準只有 74.75%，低於供應商與客戶端談判訂定服務水準 95% 時，此時應調高最低存貨水準至「緩衝時期為 9 期且服務水準為 95% 的 229,346」以避免於補貨間隔期間服務水準低於兩造之協定。

供應商與客戶端便能以此為分析的基礎點進行分析，分析緩衝時間與供應商補貨間隔時間，並以此為依據進行談判，建立一雙方都可接受之合理服務水準、緩衝時間、供應商補貨間隔時間與指定倉庫內的最低存貨水準。

3.1.2 因應尖峰需求之成本難以進行責任歸屬

當客戶端出現尖峰需求時，因為同時採用最低存貨水準評價供應商，使得客戶端為供應商帶來以下三項問題。

1. 供應商的供應能力被錯誤評價

客戶端出現較平常需求高上許多的「非常態尖峰需求」，使得指定倉庫內的庫存量急遽下降，與平常需求出現過大的差距。供應商生產與運輸系統無法及時反應遽增的需求，造成補貨未達到最低存貨水準，能力因此被錯誤評價。

2. 客戶端的尖峰需求不必然造成缺貨，使得責任歸屬難以釐清

若客戶端尖峰需求發生後缺貨隨即發生，便能顯示由缺貨是由客戶端所引起的，客戶端不應要求供應商負擔此次的缺貨成本。另一方面，若指定倉庫內有足夠庫存可滿足客戶端尖峰需求避免掉缺貨危機，指定倉庫內的庫存量卻會因客戶端尖峰需求降低至低庫存水準，大幅提高往後缺貨機率。低庫存水準的高缺貨機率可能在之後導致缺貨，但因缺貨時間點與尖峰需求發生的時間點並不相鄰，使得供應商不具有強烈立場向客戶端表示此次缺貨原因在於先前發生的客戶端尖峰需求，造成兩造溝通經常出現問題。

3. 難以判斷尖峰需求是否為常態

若尖峰需求屬於常態，則供應商應負起全責將指定倉庫庫存量補至最低存貨水準之上。若尖峰需求屬於非常態，則供應商可要求客戶端一同負擔需求責任。當尖峰需求出現時，供應商使用業界常見判定尖峰需求的方式「與去年同期需求進行比較」，當尖峰需求比去年同期需求高出非常多倍時，則認定此需求尖峰為非常態，客戶端應負擔責任；另一方面，當供應商要求客戶端為非常態尖峰需求負擔責任時，客戶端可能會以需求成長或是季節性變動導致尖峰需求的出現，認定此尖峰需求仍屬於常態，客戶端無須負擔責任。這樣的情況使得兩方在判定非常態尖峰需求時出現分歧，經常需要花費大量的時間進行協商。

本研究期望協助供應商與客戶端設立一套機制，分辨客戶端的非常態尖峰需求，具體化尖峰需求對指定倉庫造成的影響與後續缺貨責任的歸屬。此機制主要分成兩個部分，第一部分為使用「分群辨識法」辨別客戶端的非常態尖峰需求，第二部分為確認為非常態尖峰需求後，使用「衝擊回復時間」等機制將非常態尖峰需求對於指定倉庫庫存量的影響具體化，釐清兩造間的責任歸屬。

- 分群辨識法與非常態尖峰需求之門檻值

本研究建議供應商使用本研究所提出的「分群辨識法」建立門檻值，並與客戶端協調使用門檻值來判定非常態尖峰需求，幫助供應商與客戶端共同判定尖峰需求值是否為非常態。此需求量門檻值為一界線，代表客戶端的需求若在此需求量門檻值內，供應商的供應能力都是可以負擔的，並不會對後續未來客戶端倉庫庫存量水準造成影響。當客戶端需求超過此門檻值時，代表客戶端需求相比平常需求已經多出過多需求量，供應商平常的供應能力已無法滿足；指定倉庫庫存量因此而驟降，需要供應商使用備用產能在大量時間之後才能將客戶端倉庫庫存量拉回至原本的水準。

本研究建議使用以下三個步驟協助建立門檻值辨別非常態尖峰需求：

1. 尋找聚類分析之最佳分群數

聚類分析(Clustering Analysis)的目的為將資料分為組內差異小、組間差異大的數群資料。進行聚類分析前需先決定出聚類分析中的分群數，本研究以平均側影法(Average silhouette Method)尋找分群數中效果較好的分群數。

平均側影法為考量到組內差異與組間差異的衡量方法，針對每個資料點 i 計算其側影係數(Silhouette Coefficient)，計算公式如下

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (3.1.2)$$

$a(i)$ 代表資料點 i 與所屬該群內其他資料點的平均距離。

$b(i)$ 代表資料點 i 與其他群集，最短資料點 i 與該群內資料點的平均距離。

$s(i)$ 代表側影係數，為此方法用來評估之指標。

當 $b(i)$ 越高，則該資料點與其他群的距離越遠，組間差異更大。當 $a(i)$ 越低，則該資料點與所屬群內的其他資料點距離越近，組內差異更小。當平均側影係數越高，代表資料越接近組間差異大，組內差異小的理想分群情況。(Rousseeuw, 1987)

以圖 3.1 為例，圖中橫軸為分群數，縱軸為平均側影係數。在圖 3.1 中分群數為 9 時達到最高平均側影係數，因此建議採用分群數為 9 進行聚類分析。

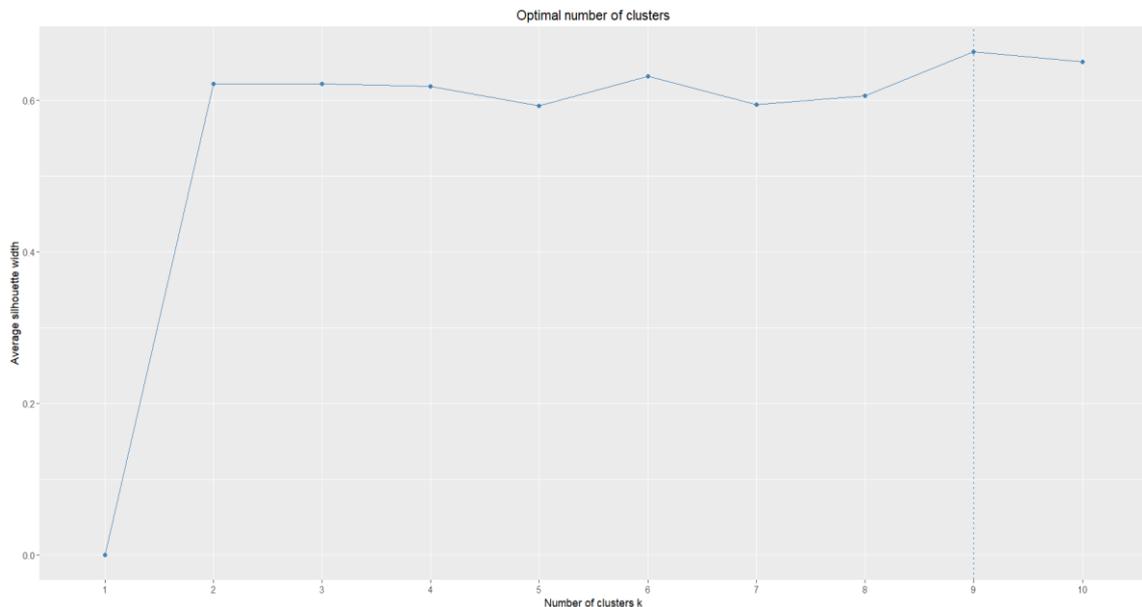


圖 3.1 分群數與平均側影係數圖

2. 使用聚類分析剔除歷史需求中的極端值

將客戶端歷史需求以聚類分析分成需求量相近的數群需求量。尋找客戶端歷史需求中平均需求值最高的一群，並假定此群為極端值，將其從歷史需求量中排除。

3. 供應商與客戶端商談訂定尖峰需求門檻值

排除掉極端值後的歷史需求為常態需求，其平均值與標準差不會因為極端值而出現不穩定或較大的偏差，因此建議使用常態需求的平均值與標準差兩參數作為建立門檻值之基礎，協定以平均值之上幾倍標準差作為門檻值，建立一較穩定且偏差較小之門檻值。

供應商與客戶端談判門檻值實際數值時，應同時衡量此門檻值界定出非常態尖峰需求所佔歷史需求的比例是否兩方皆能接受，與供應商實際現有補貨能力的界限。若供應商補貨能力相較現有需求較低，則應調降門檻值。若非常態尖峰需求比例過高，則應調升門檻值。此門檻值應由雙方一同進行協商得出，作為後續判定尖峰需求與釐清兩造責任歸屬之重要基礎。

- 衝擊回復時間之修正程序

本研究建議供應商與客戶端在辨別非常態尖峰需求後，可參考使用本研究所提出之「衝擊回復時間之修正程序」，來具體化非常態尖峰需求帶來的影響並調整動態最低存貨水準，以釐清兩造間的責任歸屬(以下各步驟的詳細計算方式參見第 3.3.2 節)。

1. 計算系統衝擊量

系統衝擊量為「非常態尖峰需求量」減去「分群辨識法的門檻值」加上「當下動態最低存貨水準與標準最低存貨水準的差距」，代表非常態尖峰需求量額外消耗了指定倉庫內多少庫存量，並且合併前次非常態尖峰需求造成的額外消耗量作為現有客戶端對庫存系統的衝擊量。

2. 計算庫存回升時間

庫存回升階段為「系統衝擊量」除上「供應商備用產能」後的時間單位，代表供應商在使用平日產能滿足客戶端平日需求外，供應商啟用額外的備用產能，需要花上多少時間才能將與系統衝擊量等量的存貨生產出來。

3. 計算緩衝回復時間

衝擊回復時間為「運輸前置時間」加上「庫存回升階段」，代表供應商以備用產能生產與「系統衝擊量」的等量存貨，仍需要經過運輸前置時間才能將存貨補貨至指定倉庫中，將指定倉庫內的庫存水準拉回至非常態需求發生前的庫存水準。

4. 修訂最低存貨水準

衝擊回復時間代表著客戶端產生非常態尖峰需求，對於指定倉庫造成影響的持續時間。當發生非常態尖峰需求，指定倉庫庫存量因為非常態尖峰需求量而驟降，供應商要補貨至最低存貨水準的難度也大幅上升。若此時客戶端持續以同樣的最低存貨水準評價供應能力對供應商是不公平的。本研究建議設立一變動標準，不同於客戶端設定之固定標準「最低存貨水準」，而是會因為系統衝擊量與回復時間而改變的「動態最低存貨水準」。

若客戶端發生非常態尖峰需求，依照前述步驟可求得系統衝擊量、運輸前置時間期、庫存回升階段與衝擊回復時間後，便可依照最低存貨水準屬於衝擊回復時間內的哪一期來調整，以「動態最低存貨水準」取代最低存貨水準作為更公平的評價指標。衝擊回復時間為運輸前置時間期與庫存回升階段相加而成。若在衝擊回復時間中前段的「運輸前置時間」內，動態最低存貨水準為「標準最低存貨水準減去系統衝擊量」，因為此時指定倉庫的庫存量因為系統衝擊量而驟降，同時供應商使用備用產能額外生產的存貨還在運輸途中，所以此階段供應商仍無法拉高客戶端倉庫庫存量。若在衝擊回復時間後段中的「庫存回升階段」，動態最低存貨水準即為「標準最低存貨水準減去系統衝擊量後再加回已回復之存貨量」，已回復之存貨量為庫存回升階段中已經歷的時間乘上供應商備用產能，代表此時供應商使用備用產能生產的存貨已經送達指定倉庫，使指定倉庫庫存量開始呈現階梯式的回升。指定倉庫此時已經開始從系統衝擊量的影響中慢慢回復過來，因此調升動態最低存貨水準，將評估標準逐漸回歸到非常態尖峰需求影響之前。

如圖 3.2 所示，當確認客戶此次需求為非常態尖峰需求後，便會啟動衝擊回復時間之修正程序修正最低存貨水準。虛線為該階段「動態最低存貨水準」，在運輸前置時間期因系統衝擊量降至低存貨水準並維持水平，並在庫存回升階段開始隨著存貨到達指定倉庫而開始回升。

當缺貨危機在衝擊回復時間內發生時，代表此次缺貨危機的發生在非常態尖峰需求的影響期內，客戶端的非常態尖峰需求確實影響了此次缺貨危機，應需負擔此次缺貨危機造成的成本。

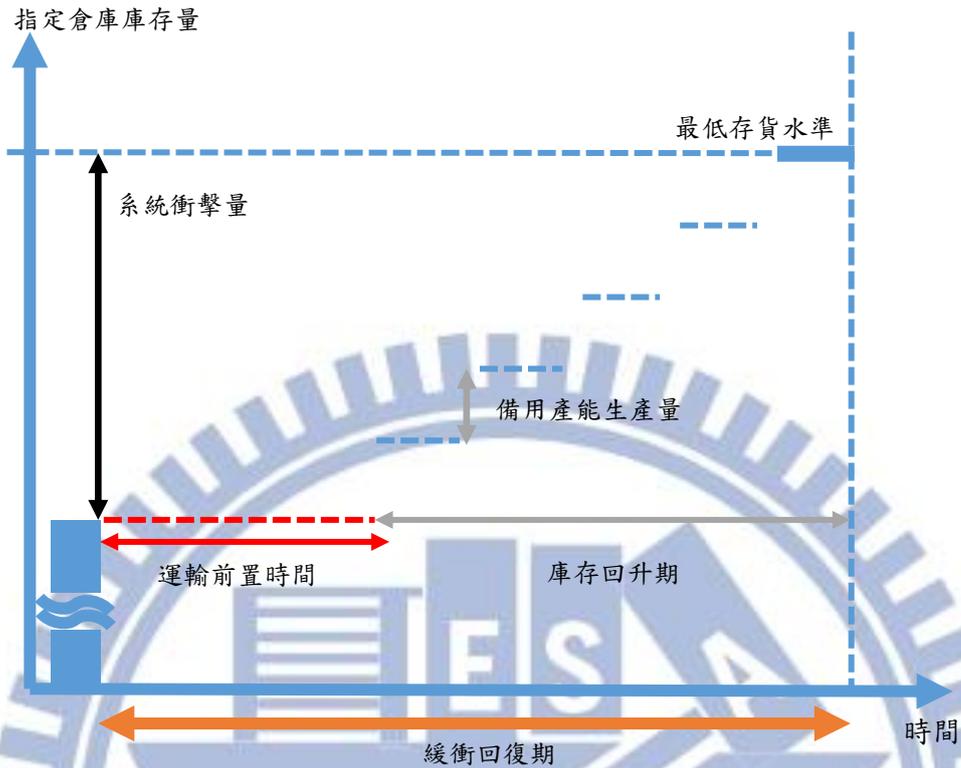


圖 3.2 衝擊回復時間與動態最低存貨水準調整示意圖

3.2 客戶需求分析

為滿足客戶端的評分制度，必須先掌握客戶端需求，才能在後續進行精準的決策以達成目標。本研究期望建立一客戶端的需求機率分佈以描述需求特性，使供應商能依據此需求機率分佈推估後續決策達到最低存貨水準或是缺貨的機率並做出修正。

本研究在 2.2 節回顧了供應鏈補貨的相關文獻，回顧文獻中針對隨機需求的考量，作為 3.2 節後續建立需求分析流程之必要考量因素，其考量因素分別有極端值、季節性與趨勢性、需求是否為定態分佈與需求是否為特定分佈。在 3.2.1 節提出系統化的客戶需求分析流程與簡介後；在後續的 3.2.2 節介紹時間序列分析方法，考量到極端值、季節性與趨勢性對需求的影響；在 3.2.3 節介紹機率分佈建構方法，考量需求是否為定態

分佈與需求是否符合特定分佈後，建立需求機率分佈；最後 3.2.4 節中介紹流程中對需求機率分佈最後調整。

3.2.1 客戶需求分析流程

圖 3.4 為本研究所提出針對客戶端需求的分析流程，目標為建立一可描述需求量變動情況之機率分佈。客戶需求分析流程可以依照虛線與進行順序區分為 3 個模組，首先開始進行的是左半邊的時間序列分析模組(3.2.2 節)，再來是右上部分的需求機率分佈擬合模組(3.2.3 節)，最後是右下部分的需求機率分佈調整模組(3.2.4 節)。在時間序列分析模組中以時間序列分析方法分離歷史需求中的季節性與趨勢性，以避免後續進行機率分佈擬合時而出現偏差；接著在需求機率分佈擬合模組中進行機率分佈擬合，建立描述需求的機率分佈；最後在以需求機率分佈調整模組進行調整，並將最後的需求機率分佈作為補貨量決策演算法所使用的參數。

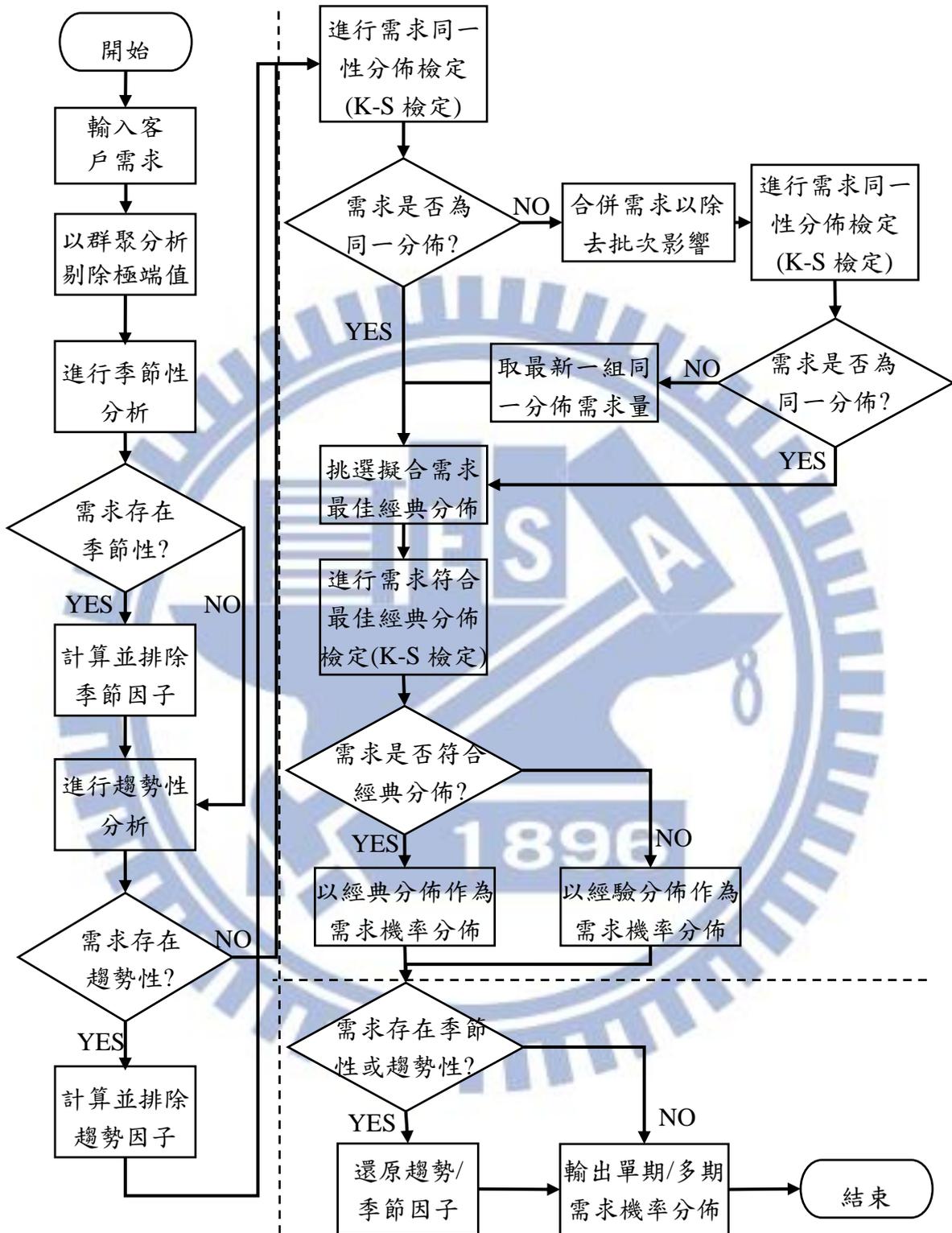


圖 3.3 客戶需求分析流程圖

3.2.2 時間序列分析模組

時間序列分析模組為圖 3.4 中左半部分，本研究將會先以分群辨識法排除離群值，再將歷史需求量進行時間序列分析，拆解出季節性與趨勢性，實際各步驟執行細節如下。

1. 輸入客戶需求

蒐集歷史需求量作為本需求分析流程之輸入資料。

2. 以聚類分析剔除極端值

剔除需求極端值來使後續分析更加穩定。前 3.1.2 節中分群辨識法中相同，使用平均側影法找到最佳分群數後，再以聚類分析找出平均值最高之一群，並視作極端值剔除。

3. 進行季節性分析

對歷史需求量進行單因子變異數分析(analysis of variance, ANOVA)。ANOVA 中的 F 檢定之虛無假設為每組平均相等。(Watkins, 2016) 將歷史需求中依季節性(週、月或季)進行分組並且進行 ANOVA 之 F 檢定。如果拒絕 ANOVA 檢定之虛無假設，則代表每組平均具顯著差異，即為不同季節的需求量會有明顯差異，因此便可認定為需求具有季節性。

4. 計算季節因子排除需求季節性

將歷史需求依季節性(週、月或季)分組，將組平均數除以歷史需求的總平均數即可得出該週的季節因子。季節因子代表相對於整體趨勢季節性帶給該組需求的影響，因本研究假設各項因子皆以相乘的方式互相影響，因此將需求量除上對應的季節因子即可移除季節性。

5. 進行趨勢性分析

建立需求量的線性回歸模型，計算模型中斜率除上截距項的比率。線性回歸模型中的斜率可代表需求量的成長幅度或衰退幅度，截距項可代表需求的數量的大小程度。

如果比率的絕對值過低，代表相對於目前的需求量，需求量成長或衰退的幅度過於微小而不需納入考量，視為需求量不具有趨勢性。

6. 計算趨勢因子移除趨勢性

以線性回歸模型中的斜率作為趨勢因子，因本研究假設各項因子皆以相乘的方式互相影響，可藉由將歷史需求量統一除以斜率來移除趨勢因子。

接著便進入下一模組「需求機率分佈擬合模組」中的需求同一性分佈檢定。

3.2.3 需求機率分佈擬合模組

需求機率分佈擬合模組為圖 3.4 中右上部分，本研究會先使用雙樣本 K-S 檢定 (Kolmogorov-Smirnov test, K-S test) 驗證需求是否為同一分佈，再以赤池信息法則 (Akaike Information Criterion, AIC) 或對數似然函數 (Log Likelihood) 選取與歷史需求擬合最佳的經典機率分佈，再以 K-S 檢定需求機率分佈是否符合經典機率分佈。如果不符合，則需建構經驗機率分佈。K-S 檢定在此模組內被廣泛使用，因此將會先介紹 K-S 檢定，再詳細說明各步驟。

- K-S 檢定 (Kolmogorov-Smirnov test)

K-S 檢定為柯洛莫高夫 (Kolmogorov) 於 1933 年提出的一種無母數統計方法，常被用來測試某一分佈數據組是否出自於特定的分佈函數，稱之為單一樣本測試；也常用來測試某兩分佈數據是否出自同一分佈函數，稱之為雙樣本測試。K-S 檢定的虛無假設為某一分佈數據組出自特定分佈函數或是兩分佈數據組出自同一分佈函數。

表 3.2 K-S 檢定相關符號說明

| | |
|-----------|--|
| $D_{m,n}$ | K-S 檢定所使用之統計量 |
| $F(x)$ | 樣本組的經驗分佈函數，輸入一數值 x ，函數將回傳小於等於該數值之樣本佔全體樣本之百分比 |
| \sup_x | 為最小上界函數，為上界限集合中的最小者 |
| α | 統計顯著水準，本研究採用 95% 作為顯著水準 |
| n | 第一組樣本組的樣本數目 |
| m | 第二組樣本組的樣本數目 |

雙樣本 K-S 檢定統計量之計算公式為

$$D_{m,n} = \sup |F_{1,n}(x) - F_{2,m}(x)| \quad (3.2.1)$$

統計量 $D_{m,n}$ 代表將轉為第 1 組具有 n 個樣本的分佈型數據組與第 2 組具有 m 個樣本的分佈型數據組轉換成經驗機率分佈後，兩組經驗機率中相減後的最大絕對值累積經驗機率差距。

雙樣本 K-S 檢定臨界值之計算公式為

$$\sqrt{-\frac{1}{2} \ln\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \cdot \sqrt{\frac{n+m}{n \cdot m}} \quad (3.2.2)$$

若統計量 $D_{m,n}$ 大於臨界值，則在顯著水準 α 下，拒絕兩組分佈型數據組同屬於同一分佈函數的虛無假設，認定兩組分佈型數據組並非同一分佈。反之若統計量 $D_{m,n}$ 未大於臨界值，則無法拒絕虛無假設，認定兩組分佈型數據組屬同一分佈。

單樣本 K-S 檢定為檢定一分佈型數據組是否屬於特定分佈，其過程與雙樣本 K-S 檢定過程類似。將分佈型數據組中的樣本依特定分佈轉為累積機率值便可得到 $F_2(x)$ ，再依上述式(3.2.1)計算統計量 D_m 即可；而單樣本 K-S 檢定的臨界值則依照樣本數 m 與統計值 α 對照 K-S 臨界值表查詢即可得出。若統計量 D_m 大於臨界值，則判定在顯著水準 α 下，拒絕該分佈型數據組屬於特定分佈函數的虛無假設，認定該分佈型數據組不屬於該特定分佈。(Carvalho, 2015)

1. 進行需求分布一致性分佈檢定

擬合需求機率分佈前，需先確保擬合機率分佈所使用的需求量皆為同一分佈，才可擬合其他機率分佈。本研究將客戶歷史需求依時間順序依序分為數個區間，並以相鄰的區間進行 K-S 雙樣本檢定(Two-Sample Kolmogorov-Smirnov test, two sample k-s test)來檢驗相鄰 2 個區間是否屬於同樣的機率分佈。若全部雙樣本 K-S 檢定都無法拒絕虛無假設，即統計量 $D_{m,n}$ 小於臨界值，證明每個區間都與相鄰的區間屬於同一分佈函數，則認定擬合機率分佈所使用的歷史需求為同一分佈，可以進行擬合經典機率分佈。

如果部分雙樣本 K-S 檢定並拒絕虛無假設，則可能是因為產品需求較新而不穩定，因此嘗試以較大時間區間來穩定需求並再次進行雙樣本 K-S 檢定確認需求是否屬於同一分佈。如果全部檢定之虛無假設皆無法拒絕，代表需求為同一機率分佈，可以進行擬合經典機率分佈。若部分檢定仍拒絕 K-S 檢定，則只取時間上最新且屬於同一分佈的數個區間作為新歷史需求，並擬合經典機率分佈。

2. 擬合經典機率分佈

從上一步驟確認客戶需求量皆為同一分佈後，嘗試進行使用最大概率估計法與動差估計法來擬合客戶需求量與常見經典機率分佈，如常態分佈、指數分佈、伽馬分佈與韋伯分佈等等。擬合各分佈後，以對數似然函數(Log-Likelihood)與赤池信息量準則(AIC)作為挑選最適經典機率分佈擬合模型的資訊準則。

挑選出的最適經典分佈為所有經典分佈中與客戶需求量最為相近的機率分佈，但無法保證可以使用經典分佈來替代客戶需求量，因此需執行以客戶需求量與最適經典分佈的 K-S 檢定，檢驗客戶需求量與最適經典分佈是否屬於同一分佈。若無法拒絕 K-S 檢定，代表可將客戶需求視為最適經典分佈，並以最適經典分佈作為客戶需求量的機率進入到下一模組；但若拒絕 K-S 檢定，客戶需求量與最適經典分佈相差過

大，無法以最適經典分佈作為客戶需求的機率分佈，需改為建立客戶需求量的經驗機率分配以作為後續公司進行後續規劃時所使用的需求機率分配。

3. 建構經驗機率分佈

經驗機率分佈(Empirical Distribution)函數為一累積分佈函數，樣本組中所有 n 個樣本都提升 $1/n$ 機率的階梯函數(Step Function)。給定一數值，則經驗機率分佈函數值為樣本組中所有小於或等於該數值的樣本占樣本組中所有樣本的比例。透過以上經驗機率的定義便可將客戶需求量轉為對應的需求量經驗累積機率分佈函數。

3.2.4 需求機率分佈調整模組

需求機率分佈調整模組為圖 3.4 的右下部分。從需求機率分佈擬合模組中獲得需求機率分佈後，需還原其為了分析而移除的趨勢性與季節性，最後輸出需求機率分佈給出貨決策演算法作為參數之一。

1. 還原趨勢/季節因子給需求機率分佈

若在時間序列分析模組中判定需求有趨勢性，則將需求機率分佈中的需求量乘上趨勢因子；若在時間序列分析模組中判定需求有季節性，則將該期需求機率分佈中的需求量乘上對應季節因子。透過此步驟來還原一開始為了分析而先移除的趨勢性與季節性，再將需求機率分佈作為參數輸出給後續出貨量決策演算法，協助進行決策。

2. 輸出單期/多期需求機率分佈

調整完後的機率分佈為單期需求機率分佈，但後續需要多期需求機率分佈時，不可直接以期數乘上單期需求機率分佈來作為多期需求機率分佈，因為多期需求中每期需求不盡然相同，使用前述方法會產生偏差的多期需求機率分佈。

本研究建議依照以下步驟，抽樣簡化分佈後再以樣本互相抽取組合出多期需求累積機率分佈。

- a) 將欲合併的 2 個單期需求機率分佈分別以 0.5% 機率距離在需求機率分佈中等距抽樣(0%, 0.5%, 1%, ..., 99.5%, 100%)，便可得到 2 組單期需求機率分佈函數的 201 筆樣本的樣本組。
- b) 從 2 組單期需求量的樣本組中分別各選取 1 筆樣本相加便可得到一筆 2 期需求量的新樣本，窮盡 2 組樣本組中所有樣本組合後可得 $201 \times 201 = 40401$ 筆 2 期需求量的樣本組
- c) 將 2 期需求量的樣本組轉為 2 期需求累積經驗機率分佈函數。
- 將單期需求分佈函數與 2 期需求分佈函數依以上流程便可得 3 期需求分佈函數，重複以上動作便可求得任意多期需求機率分佈函數，作為後續決策演算法的重要參數。

3.3 出貨量決策演算法

長前置時間增添了補貨的不確定性，使得補貨決策變得更加困難。本研究在 2.3 節中進行針對前置時間的存貨管理文獻進行回顧，回顧文獻中針對前置時間進行的決策修正，作為後續建立演算法之參考。在以上述 3.2 節流程進行客戶需求分析得到客戶需求機率分佈後，供應商可參考本研究提出之出貨量決策演算法進行補貨數量與補貨時間的相關決策。本節將會依序介紹演算法之對於事件順序之假設，演算法中所使用的各項參數與變數(3.3.1 節)與演算法流程與其中的各個步驟(3.3.2 節)。

- 演算法事件發生順序假設

客戶端經常於指定倉庫密集取貨，難以追蹤客戶端實際需求。供應商補貨因為運輸意外情況，可能無法確切掌握補貨時間。本研究假設兩造間的供應鏈事件依以下順序發生，簡化實際複雜現況以利後續演算法的建立。

1. 本期開始
2. 檢閱客戶端指定倉庫庫存量 (本期期初存貨)
3. 供應商本期補貨量到達客戶端指定倉庫

4. 檢閱客戶端倉庫庫存量 (本期期中存貨 = 本期期初存貨+本期補貨量)
5. 供應商進行出貨量決策
6. 客戶端產生需求
7. 檢閱本期客戶端指定倉庫庫存量
(本期期末存貨 = 本期期初存貨+本期補貨量-本期客戶端需求)
8. 本期結束



3.3.1 演算法參數與變數

在本小節將介紹演算法所使用的 2 項集合、15 項參數與、1 項變數與 2 項決策變數。

表 3.3 演算法參數與變數說明

| 集合 | | |
|---------------|--|----------------|
| T | 時間集合 $\{1, 2, \dots, t\}$ | |
| T_r | 例行運輸出貨時程，為時間集合 T 的子集合 | |
| 參數 | | 參數來源 |
| d_t | 客戶端於第 t 期之需求量 ($t \in T$) | 客戶端歷史資料 |
| o_t | 第 t 期之在途量 ($t \in T$) | 供應商歷史資料 |
| i_t | 指定倉庫於第 t 期庫存量 ($t \in T$) | 客戶端歷史資料 |
| l_r | 例行運輸前置時間 | 供應商設定參數 |
| l_e | 緊急運輸前置時間 | 供應商設定參數 |
| s_r | 例行運輸服務水準 | 供應商設定參數 |
| s_e | 緊急運輸服務水準 | 供應商設定參數 |
| h_p | 非常態尖峰需求量門檻值 | 兩造經「分群辨識法」協商設定 |
| h_s | 缺貨機率門檻值 | 供應商設定參數 |
| z | 標準最低存貨水準 | 客戶端設定參數 |
| b | 產品單箱數量 | 供應商設定參數 |
| c | 供應商備用產能 | 兩造經協商設定 |
| a | 最近一次例行運輸在途量到達指定倉庫之時間 ($a \in T$) | 供應商歷史資料 |
| $F_n(x)$ | 客戶端需求機率分佈函數(給定 n 週需求量 x，回傳累積機率 p) | 客戶端歷史資料 |
| $F_n^{-1}(p)$ | 客戶端需求機率分佈反函數(給定 n 週需求量之累積機率 p，回傳需求量 x) | 客戶端歷史資料 |
| 變數 | | |
| z'_t | 在第 t 期之動態最低存貨水準 ($t \in T$) | |
| 決策變數 | | |
| r_{rt} | 在第 t 期之例行運輸應出貨量 ($t \in T$) | |
| r_{et} | 在第 t 期之緊急運輸應出貨量 ($t \in T$) | |

3.3.2 出貨決策演算法流程

出貨決策演算法為供應商每期所需進行之整合決策流程，而演算法流程如圖 3.8 所示，依照流程進行順序可分為主要三個部分：衝擊回復時間模組、緊急運輸模組與例行運輸模組。

衝擊回復時間模組包含判斷是否有非常態尖峰需求的發生，建立衝擊回復時間與修正衝擊回復時間內的動態最低存貨水準以達到公平地評價供應商。緊急運輸模組包含判斷客戶端指定倉庫庫存現況是否需要緊急運輸與緊急運輸出貨量的決策子流程。例行運輸模組包含決定供應商例行運輸出貨量的決策子流程。

以下將以本期為第 t 期之例說明以下出貨決策演算法的運作流程。



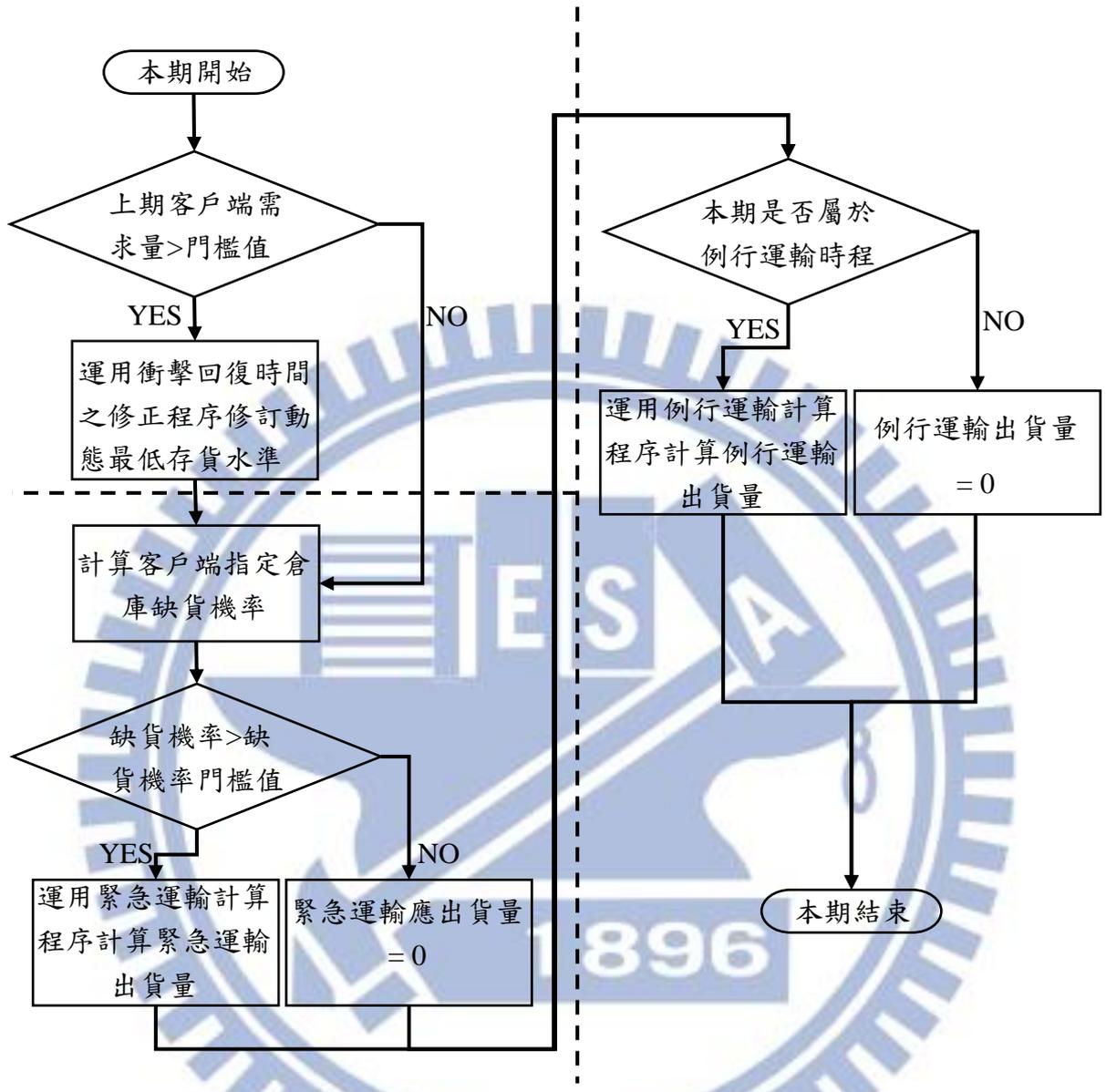


圖 3.4 出貨決策演算法流程圖

- 衝擊回復時間模組

1. 上期客戶端需求量 > 非常態尖峰需求門檻值

以前述 3.1.2 節中提及的「分群辨識法」所建立之非常態尖峰需求門檻值。若上期客戶端需求超過門檻值，則判定為非常態尖峰需求並啟動「衝擊回復時間之修正程序」。

if $d_{t-1} > h_p$, then 執行第二步驟「衝擊回復時間之修正程序」

Otherwise 執行「緊急運輸模組」 (3.3.1)

2. 衝擊回復時間之修正程序

如果客戶端需求超過門檻值，則視作非常態尖峰需求。客戶端與供應商應共同啟動 3.1.2 節中所提及的「衝擊回復時間之修正程序」，降低動態最低存貨水準以公平地評價供應商的供應能力。

- a) 計算系統衝擊量

$$\text{系統衝擊量} = d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1} \quad (3.3.2)$$

(=前期客戶端需求 d_{t-1} - 非常態尖峰需求門檻值 h_p + 標準最低存貨水準 z - 當下動態最低存貨水準 z'_{t-1})

- b) 計算庫存回升階段

$$\text{庫存回升階段} = \frac{d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}}{c}$$

(3.3.3)

(= 系統衝擊量/供應商備用產能 c)

- c) 計算衝擊回復時間

$$\text{衝擊回復時間} = \left[l_r + \frac{d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}}{c} \right] \quad (3.3.4)$$

(= 運輸前置時間 l_r +庫存回升階段)

d) 修訂最低存貨水準

在第 $t-1$ 期發生非常態尖峰需求，則調整後續第 u 期的動態最低存貨水準。根據第 u 期屬於衝擊回復時間中的不同階段而有不同的計算公式。如圖 3.2 所示，系統衝擊量產生後時間可分為三段，衝擊回復時間內的運輸前置時間，衝擊回復時間內的庫存回升階段與衝擊回復時間之後，並分別使用式(3.3.5)、式(3.3.6)與式(3.3.7)計算該期間調整後的動態最低存貨水準。

$$\text{case } 0 < u - (t-1) \leq l_r: \quad z'_u = z - (d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}) \quad (3.3.5)$$

$$\text{case } l_r < u - (t-1) \leq \left[l_r + \frac{d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}}{c} \right]:$$

$$z'_u = z - (d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}) + c \cdot (u - (t-1) - l_r) \quad (3.3.6)$$

$$\text{case } \left[l_r + \frac{d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}}{c} \right] \leq u - (t-1): z'_u = z \quad (3.3.7)$$

- 緊急運輸模組

1. 判定客戶端指定倉庫缺貨機率是否大於等於缺貨機率門檻值

當指定倉庫庫存過低，有可能出現供應商使用緊急運輸，指定倉庫仍在緊急運輸到達前就發生缺貨；因此當指定倉庫的庫存量無法確保滿足緊急運輸前置時間內需求時，應立即發動緊急運輸。

綜上所述，建立期數為緊急運輸前置時間的多期需求機率分佈($F_{l_e}(x)$)，查詢緊急運輸前置時間內需求總和低於現有指定倉庫存貨量的累積機率($F_{l_e}(i_t)$)，其累積機率值即可視為滿足緊急運輸前置時間內需求之機率值。以 100% 減去該累積機率值即可得到指定倉庫存貨量未滿足運輸前置時間內需求之機率值，即為缺貨機率

$$1 - F_{l_e}(i_t)。$$

當缺貨機率到達甚至超過門檻值(h_s)時，代表供應商認定缺貨風險相當高，應執行

步驟 2 啟動緊急運輸以避免缺貨發生；即

if $1 - F_l(i_t) \geq h_s$, then 執行步驟 2(緊急運輸應出貨量計算程序)

otherwise 執行「例行運輸模組」 (3.3.8)

2. 緊急運輸應出貨量計算程序

緊急運輸伴隨著高昂的成本，因此運送量越接近避免指定倉庫缺貨的底限越佳。此緊急運輸量的底限確保運輸量能維持指定倉庫持續不缺貨直到下次例行運輸補貨至指定倉庫；因此如圖 3.5 所示，需先計算「緊急運輸需求時間」($a - l_e$)，即為本次緊急運輸到達指定倉庫的時間點與最近一次例行運輸到達指定倉庫的時間點相距多少時間。

計算出緊急運輸需求時間後，建立期數為緊急運輸需求時間的多期需求機率分佈，輸入供應商期望提供客戶端在緊急運輸的需求時間內不缺貨的機率「緊急運輸服務水準(s_e)」與緊急運輸的需求時間($a - l_e$)便可求得滿足條件之「緊急運輸應出貨量」。最後調整緊急運輸應出貨量，以產品單箱數量(b)將緊急運輸應出貨量無條件進位至該產品的產品單箱數量的最小倍數，方便後續運輸存放作業。

$$r_{et} = \left\lceil \frac{F_{a-l_e}^{-1}(S_e)}{b} \right\rceil \cdot b \quad (3.3.9)$$

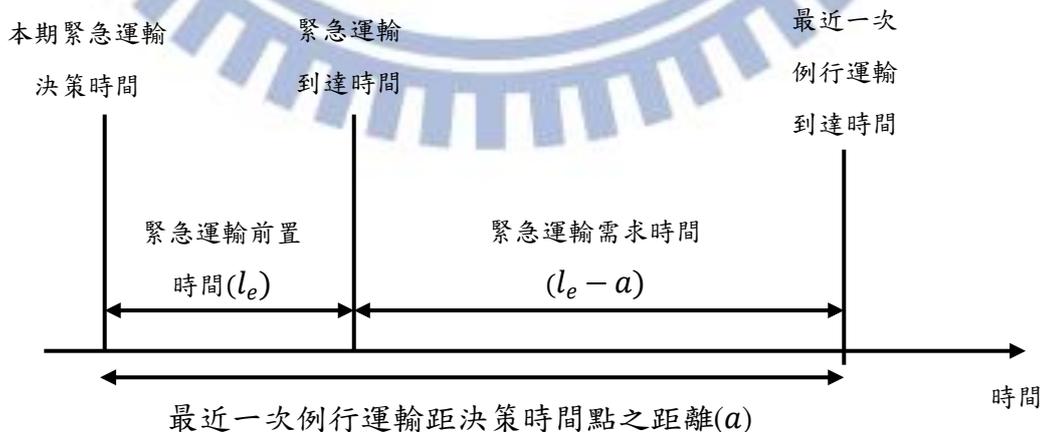


圖 3.5 緊急運輸決策時間軸

- 例行運輸模組

例行運輸應出貨量計算程序

如圖 3.6 所示，影響本次例行運輸抵達指定倉庫時的庫存水準因素有在途量與需求量，因此例行運輸應出貨量之計算公式為「補貨抵達指定倉庫時的動態最低存貨水準(z'_{t+l_r}) - 指定倉庫現有存貨量(i_t) - 現有海運在途量(o_t) + 例行運輸前置時間內的預估需求量 ($F_{l_r}^{-1}(s_r)$)」。

前三項總合代表在未考慮隨機的客戶需求時，現有與最低存貨水準的差距，而隨機的客戶需求則由期數為例行運輸前置時間的多期需求機率分佈($F_{l_r}^{-1}(x)$)依例行運輸服務水準(s_r)反向求得預估需求量($F_{l_r}^{-1}(s_r)$)。經由公式便可得到例行運輸出貨量，再以產品單箱數量(b)將例行運輸應出貨量無條件進位至該產品的產品單箱數量的最小倍數，方便後續運輸存放作業。

預估需求量中的例行運輸服務水準代表例行運輸前置時間內的客戶端需求低於預估需求量的機率，而公式中另外三項參數皆為定值，因此例行運輸服務水準也可視為成功補貨到動態最低存貨水準之機率。

$$\begin{aligned} \text{if } t \in T_r, \text{ then } r_t &= \left\lceil \frac{z'_{t+l_r} - i_t - o_t + F_{l_r}^{-1}(s_r)}{b} \right\rceil \cdot b \\ \text{otherwise } r_t &= 0 \end{aligned} \quad (3.3.10)$$

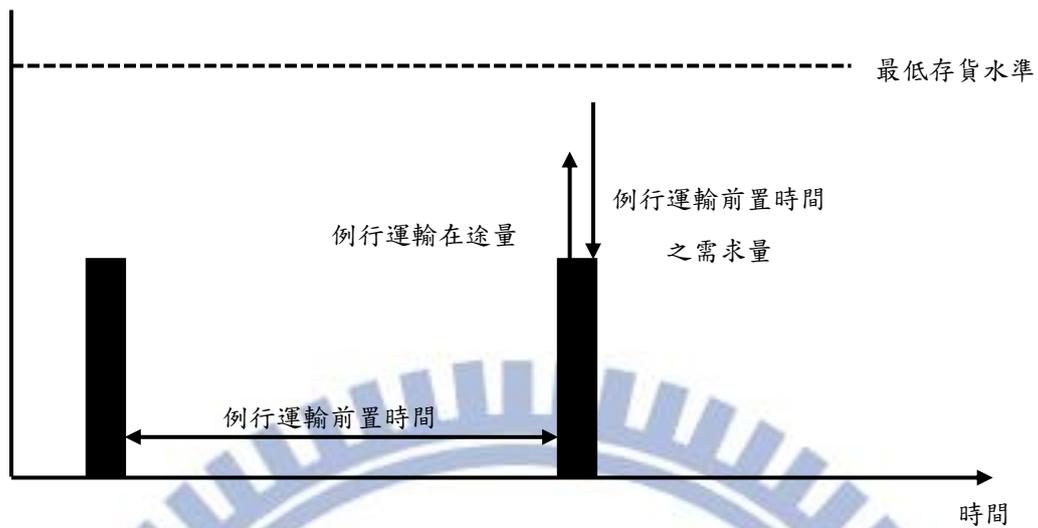


圖 3.6 庫存量時間貨量圖

透過以上出貨量決策演算法，供應商便能了解出貨量與達到最低存貨水準的機率關係，方便供應商評估成本與進行決策。當供應商覺得評分不盡理想時，供應商便可調高服務水準，透過出貨量決策演算法提升出貨量，增加供應商自身的評價。

四、實證資料分析與模擬

本章將會以實際供應商 I 公司進行實證分析，在 4.1 節中介紹個案供應商 I 公司，在 4.2 節進行 I 公司之客戶端 J 客戶需求分析；在 4.3 節以實際 J 客戶歷史需求為例演練如何執行出貨量決策演算法；在 4.4 節進行模擬實驗，以歷史 J 客戶需求為模擬情境，比較本研究提出的演算法與 I 公司的經驗法則，來了解演算法是否能有效改善客戶端 J 客戶對供應商 I 公司的評價。

4.1 個案供應商 I 公司

在本節中會於 4.1.1 節介紹個案供應商 I 公司的決策情境，並在後續 4.1.2 節中介紹供應商 I 公司的主要 J 客戶主導 VMI 系統的評分機制，在後續 4.1.3 節中針對 J 客戶提出的評估機制進行分析，並提出建議改善方案

4.1.1 供應商 I 公司現行決策環境

I 公司為在台灣之供應商，目標為滿足客戶端 J 客戶的於 VMI 系統中的評估機制，提升 J 客戶對於 I 公司供應能力的評價。如圖 4.1 所示，在假設後端生產產能充足，貨物都已經都合乎預期時程被製造出來的情況下，供應商 I 公司需要 1 週的時間來準備本次海運貨物包裝、上棧板、裝櫃等海運前置作業。在貨物上船之後，會經過將近 4 週的海運時間到達供應商 I 公司美國加州倉庫。最後再經過通關與理貨時間，並由貨車將 I 公司加州倉庫的貨物送至指定倉庫，J 客戶的墨西哥倉庫。

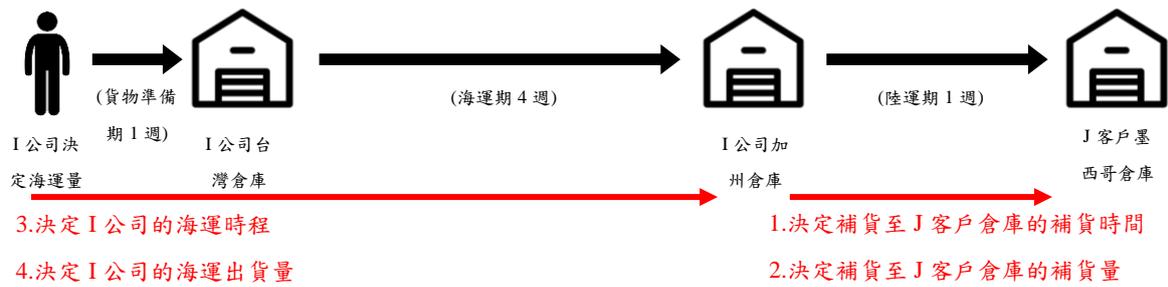


圖 4.1 I 公司對 J 客戶之海運供應鏈與決策模式圖

當 J 客戶倉庫內的存貨量接近缺貨時，因為與 J 客戶合約限制的緣故，I 公司不能使 J 客戶倉庫內出現缺貨的情形。I 公司為避免缺貨發生，必須緊急使用只需花費 1 個禮拜運輸時間的空運將貨物直接送至 J 客戶倉庫(如圖 4.2 所示)來避免 J 客戶倉庫出現缺貨的危機。



圖 4.2 I 公司對 J 客戶之空運供應鏈與決策模式圖

4.1.2 VMI 系統中 J 客戶的評估機制

J 客戶在倉庫中訂立最低存貨水準，並以單月做為一次評估的區間，計算該月供應商 I 公司在 J 客戶倉庫低於最低存貨水準時，成功補貨至 J 客戶的墨西哥倉庫最低存貨水準之上的次數佔該月總有效補貨次數的比率。當此比率高於 0.7 時，客戶端 J 客戶才會評價供應商 I 公司合格，給與 I 公司分數。

以表 4.1 為例，該表為單月內供應商 I 公司的補貨情形。J 客戶設定之最低存貨水準為 20000，假設在第 t 期補至 J 客戶倉庫，並依照補貨前的存貨水準與補貨後的存貨水準將補貨分為 3 種情況：

1. 補貨前庫存高於最低存貨水準，補貨後庫存高於最低存貨水準($i_{t-1} > z, i_t \geq z$)
J 客戶只在補貨前庫存水準低於最低存貨水準時才進行有效判定，即使此次補貨使庫存水準高於最低存貨水準，仍不會被計入評分中。(第 2 次補貨)
2. 補貨前庫存低於最低存貨水準，補貨後庫存低於最低存貨水準($i_{t-1} < z, i_t < z$)
此情況 J 客戶認定為有效判定，但因未補至最低存貨水準之上，因此計為補貨失敗(第 5 次補貨)
3. 補貨前庫存低於最低存貨水準，補貨後水準高於最低存貨水準($i_{t-1} < z, i_t \geq z$)
此情況 J 客戶認定為有效判定，且因成功補至最低存貨水準之上，因此計為補貨成功(第 1、3、4 與 6 次補貨)

最後判定完畢後便可計算 J 客戶使用的評估比例，即為成功補貨次數佔全部有效補貨次數的比例。成功補貨次數為 4 次，失敗補貨次數為 1 次，扣除掉無效補貨次數 1 次後有效次數為 5 次，便可得到此次評分比例 $4/5 = 80\%$ 。80% 高於 J 客戶所訂定的合格線 70%，因此供應商 I 公司在本月才會被授予分數，提高在客戶端 J 客戶的供應評價。

表 4.1 J 客戶評估機制之說明範例表

| | J 客戶倉庫存貨量 | 實際補貨量 | 補貨後存貨量 | 補貨結果 |
|---|-----------|-------|--------|------|
| 1 | 18480 | 2000 | 20480 | 成功 |
| 2 | 20480 | 2000 | 22480 | 無 |
| 3 | 15320 | 5000 | 20320 | 成功 |
| 4 | 10358 | 10000 | 20358 | 成功 |
| 5 | 8754 | 9000 | 17754 | 失敗 |
| 6 | 14280 | 7000 | 21280 | 成功 |

4.1.3 J 客戶評分機制造成的扭曲

為了最大化 J 客戶的評分及減緩緊繃的管理人力，供應商 I 公司現行在加州倉庫採取「零庫存策略」，明確訂立加州倉庫補貨至 J 客戶倉庫的補貨條件。

1. 當 J 客戶倉庫高於最低存貨水準時，因為此時補貨不會被記入有效補貨次數。I 公司此時選擇於加州倉庫囤積存貨而不進行補貨，等到後續 J 客戶倉庫低於最低存貨水準時再進行補貨。
2. 當 J 客戶倉庫低於最低存貨水準且加州倉庫未有足量庫存時，為避免後續缺貨與減少加州倉庫庫存，I 公司將全部加州倉庫現有庫存補至 J 客戶倉庫中。
3. 當 J 客戶倉庫低於最低存貨水準且加州倉庫具有足量庫存時，為避免後續補貨因 J 客戶倉庫高於最低存貨水準而浪費與最大化 J 客戶評分，I 公司會將 J 客戶倉庫之庫存量補至最低存貨水準。

J 客戶期望供應商 I 公司能藉由將 J 客戶倉庫庫存量補至最低存貨水準來降低缺貨風險，但是以有效成功補貨比例的評分機制卻扭曲 I 公司的補貨行動，間接鼓勵 I 公司採取集中出貨的批次出貨方式，造成指定倉庫內的庫存波動幅度擴大並提高缺貨風險；因此本研究提議 I 公司與 J 客戶商談採取本研究之建議標準：時間服務水準。

- 時間服務水準

服務水準為滿足服務的機率，通常用於存貨量與缺貨機率的關係。J 客戶倉庫所準備的存貨量能滿足 J 客戶需求的機率，即為服務水準。本研究所提出的「時間服務水準」為與服務水準相似的概念但以時間來代替機率衡量 I 公司的供應能力。時間服務水準的計算方式為單月中 J 客戶倉庫庫存量位於最低存貨水準於之上的時間佔本月總體時間的比例。

以表 4.2 為例，該表為單個評分週期內客戶端 J 客戶倉庫的庫存管理情形。J 客戶設定之最低存貨水準為 20000，並每期進行檢查庫存量是否高於最低存貨水準。庫存量高於最低存貨水準的期數在全部期數中佔了 $9/12=75\%$ ，因此計算得到時間服務水準為 75%，代表庫存量有 75% 的時間處於最低存貨水準之上，代表更為穩定的存貨管理。

對於客戶端 J 客戶而言，時間服務水準越高代表庫存量位於最低存貨水準之上的時間越多，J 客戶倉庫缺貨機率也越低，更確切地反映出 J 客戶期望的目標。對於供應商 I 公司而言，時間服務水準為一更公平且直觀的評分標準，幫助 I 公司進行補貨決策時更加簡單直覺；因為時間服務水準以時間比例而非次數比例來衡量 I 公司的供應能力，I 公司不再需要特意於加州倉庫囤貨來獲得有效成功補貨次數，可直接補貨至 J 客戶倉庫提升庫存量，並以藉此來提升時間服務水準。

表 4.2 時間服務水準之說明範例表

| | J 客戶倉庫存貨量 | 庫存>20000 | | J 客戶倉庫存貨量 | 庫存>20000 |
|---|-----------|----------|----|-----------|----------|
| 1 | 18480 | 否 | 7 | 20480 | 是 |
| 2 | 20480 | 是 | 8 | 22480 | 是 |
| 3 | 15320 | 否 | 9 | 20320 | 是 |
| 4 | 10358 | 是 | 10 | 20358 | 是 |
| 5 | 8754 | 否 | 11 | 17754 | 是 |
| 6 | 24280 | 是 | 12 | 21280 | 是 |

4.1.4 小結

總結上述可瞭解供應商 I 公司在客戶端 J 客戶的 VMI 系統下，必須做出以下 6 項重要決策以獲得客戶端 J 客戶對 I 公司良好供應能力的評價：

1. 決定從 I 公司的加州倉庫送到 J 客戶的墨西哥倉庫的補貨數量
2. 決定從 I 公司的加州倉庫送到 J 客戶的墨西哥倉庫的貨車出發時間
3. 決定從 I 公司的台灣倉庫送到 I 公司的加州倉庫的海運運送數量
4. 決定從 I 公司的台灣倉庫送到 I 公司的加州倉庫的海運出發時間

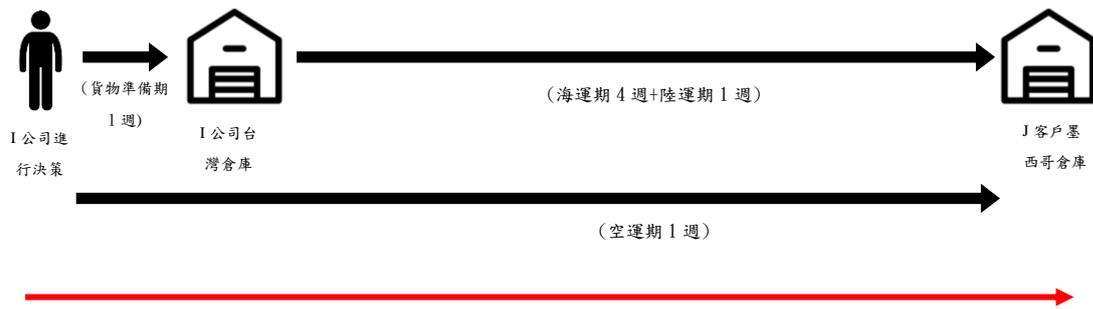
5. 決定從 I 公司的台灣倉庫送到 J 客戶的墨西哥倉庫的空運運送數量
6. 決定從 I 公司的台灣倉庫送到 J 客戶的墨西哥倉庫的空運時間

供應商 I 公司於加州的補貨決策已有明確條件，因此可將 I 公司 6 項決策修正簡化為以下 4 項決策：

1. 決定從 I 公司的台灣倉庫送到 J 客戶的墨西哥倉庫的海運運送數量
2. 決定從 I 公司的台灣倉庫送到 J 客戶的墨西哥倉庫的海運出發時間
3. 決定從 I 公司的台灣倉庫送到 J 客戶的墨西哥倉庫的空運運送數量
4. 決定從 I 公司的台灣倉庫送到 J 客戶的墨西哥倉庫的空運時間

J 客戶的評分方式與加州倉庫的「零庫存政策」的條件本研究中難以判定成果，因此假設補貨至加州倉庫的次數與補貨至 J 客戶倉庫的次數相等，並分別針對以下原先 3 種評分情況進行修正：

1. 補貨前庫存水準高於最低存貨水準，補貨後庫存水準高於最低存貨水準
在原 J 客戶評分機制會記為無效補貨而不納入評分，但因加州倉庫的協調使得本次補貨會先暫存於加州倉庫，延遲到 J 客戶倉庫庫存水準低於最低存貨水準時才補貨至 J 客戶倉庫，因此修正為「有效成功補貨」。
2. 補貨前庫存水準低於最低存貨水準，補貨後庫存水準低於最低存貨水準
在原 J 客戶評分機制會記為有效失敗補貨而降低評分比例，但為避免後續 J 客戶倉庫發生缺貨，加州倉庫無法進行協調，仍需直接補貨至 J 客戶倉庫，因此維持為「有效失敗補貨」。
3. 補貨前庫存水準低於最低存貨水準，補貨後庫存水準高於最低存貨水準
在原 J 客戶評分機制會記為有效成功補貨而提升評分比例，加州倉庫無需進行協調，因此維持為「有效成功補貨」。



1. 決定 I 公司補貨至 J 客戶倉庫海運出貨時間
2. 決定 I 公司補貨至 J 客戶倉庫海運出貨量
3. 決定 I 公司的空運時間
4. 決定 I 公司的空運出貨量

圖 4.3 I 公司對 J 客戶之供應鏈與簡化決策模式圖

綜上所述，I 公司需進行的四項決策如圖 4.3 所示，可分為海運決策與空運決策。海運決策為 I 公司的例行運輸，運輸時間需共 6 週，目標使指定倉庫 J 客戶倉庫庫存量高於最低存貨水準。空運決策為 I 公司的緊急運輸，運輸時間只需 1 週，目標為避免指定倉庫 J 客戶倉庫出現缺貨。J 客戶的評分制度則為「J 客戶倉庫補貨後庫存量高於最低存貨水準」的成功補貨次數百分比。

4.2 需求分析

供應商 I 公司提供了自行收集客戶端 J 客戶於指定倉庫中的四樣產品四年分的每週耗用量，以下將簡稱四項產品名為 D05、D13、D28 與 D29，並視每週耗用量為每週需求進行分析。

4.2.1 時間序列分析

本節將會如 3.2.2 節中的分析流程所述，以分群辨識法剔除極端值，再分析 J 客戶需求是否有顯著季節性與趨勢性。

- 極端值剔除

1. 以平均側影法找尋最佳分群數

圖 4.3 到圖 4.6 為針對 J 客戶四項品項進行平均側影法的結果圖。橫軸為分群數，縱軸為平均側影係數，若係數越高則代表越接近群內差異小、群間差異大的理想分群情況。而依圖 4.3 到圖 4.6 可以得到四項品項的最佳分群數分別為 9、10、8 與 9，並以此分群數進行下列聚類分析。

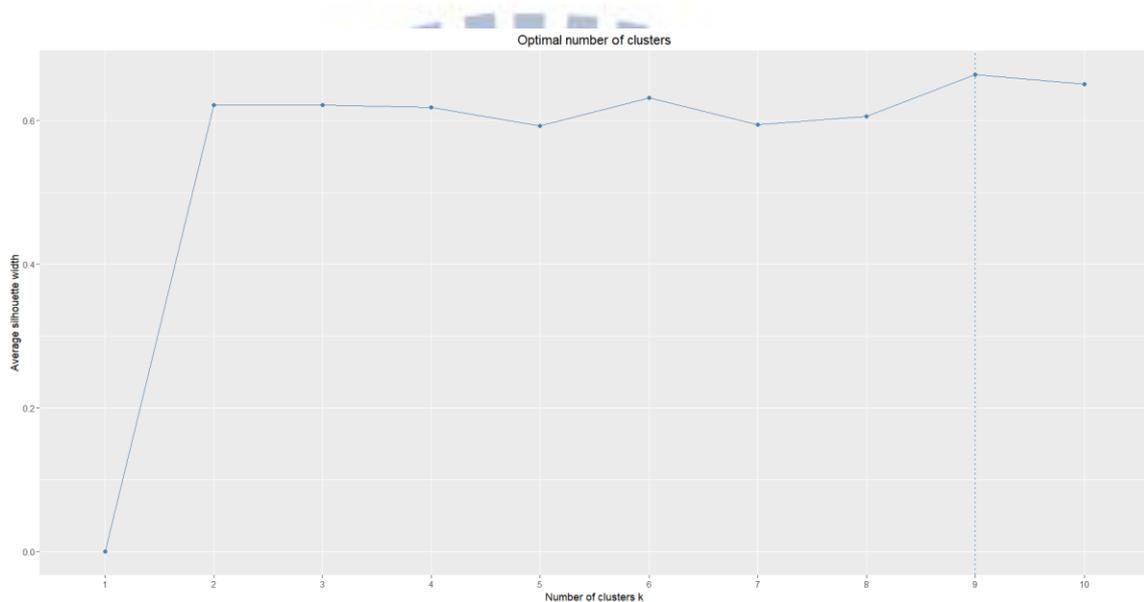


圖 4.3 D05 平均側影法結果圖

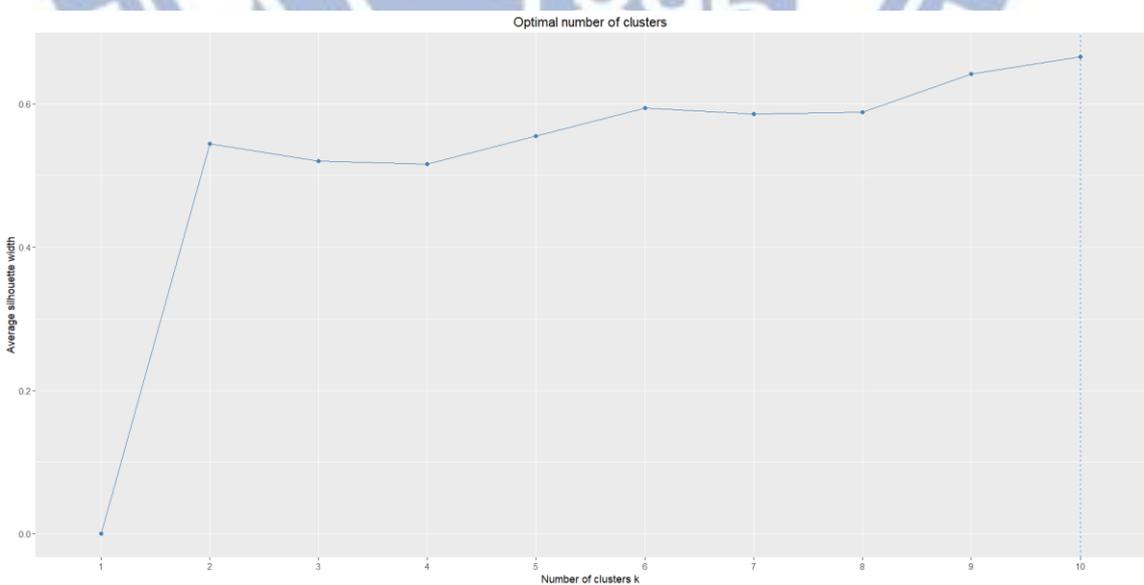


圖 4.4 D13 平均側影法結果圖

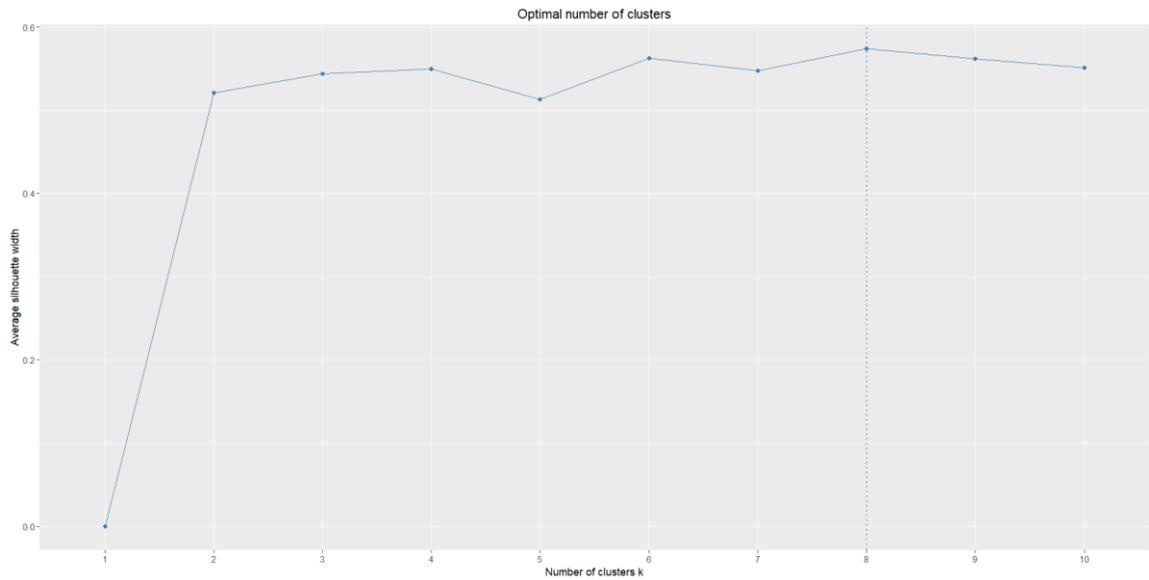


圖 4.5 D28 平均側影法結果圖

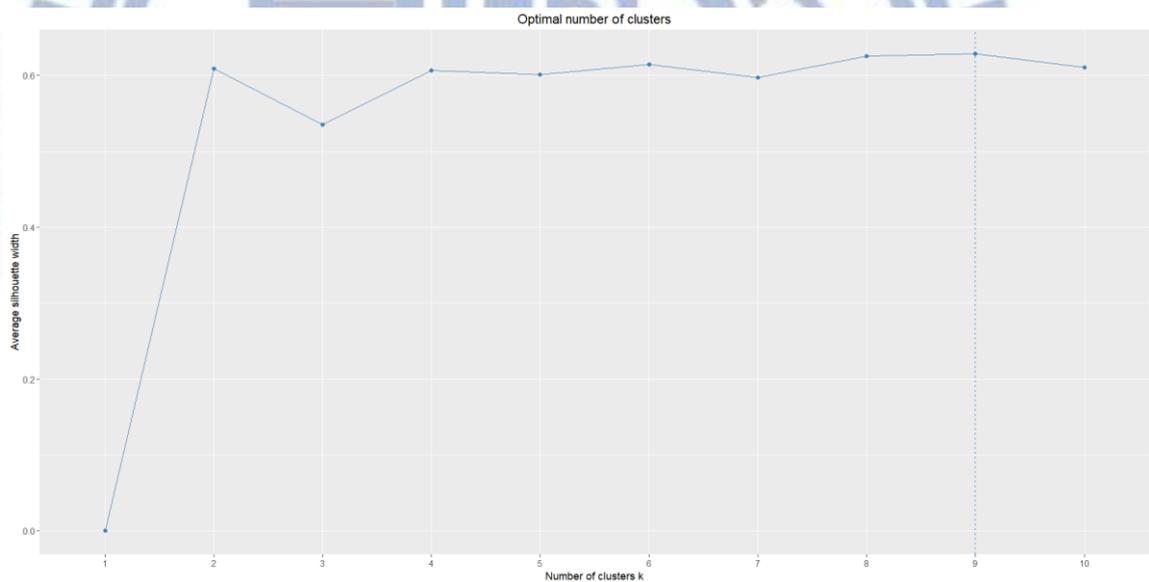


圖 4.6 D29 平均側影法結果圖

2. 使用聚類分析剔除需求中的極端值

以聚類分析求得各品項平均值最高一群，假設其為極端值並從需求剔除。

圖 4.7 到圖 4.10 為四項品項的散布圖，橫軸為時間，縱軸為需求量。每一原點代表一筆需求量資料，而其中三角形記號為聚類分析後平均需求中最高的一群的資料點，在後續分析將會被視為極端值剔除。

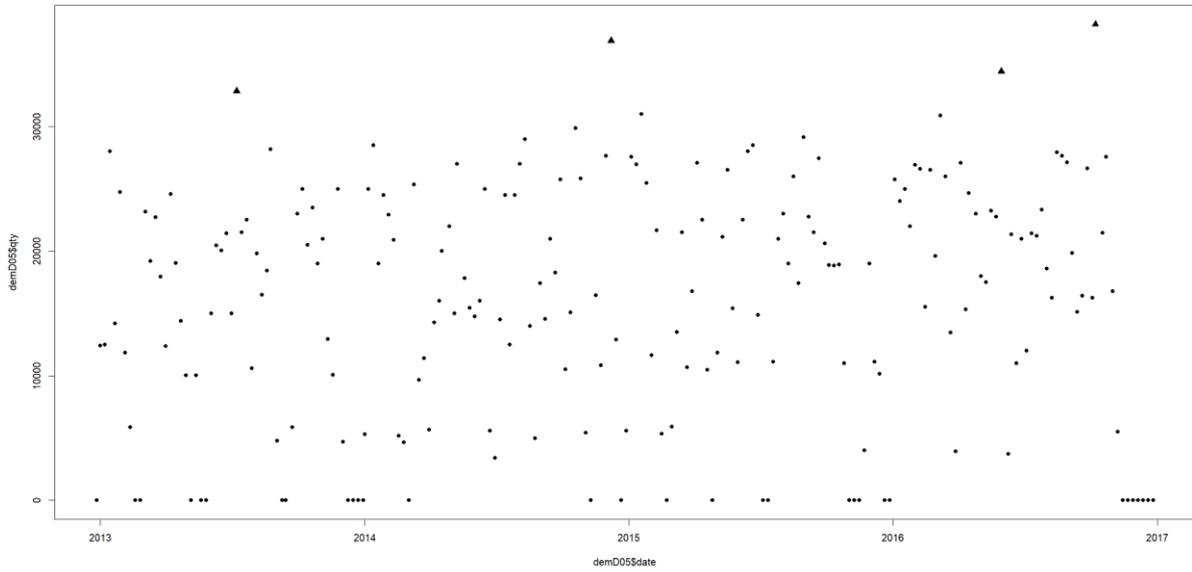


圖 4.7 D05 需求量與極端值散佈圖

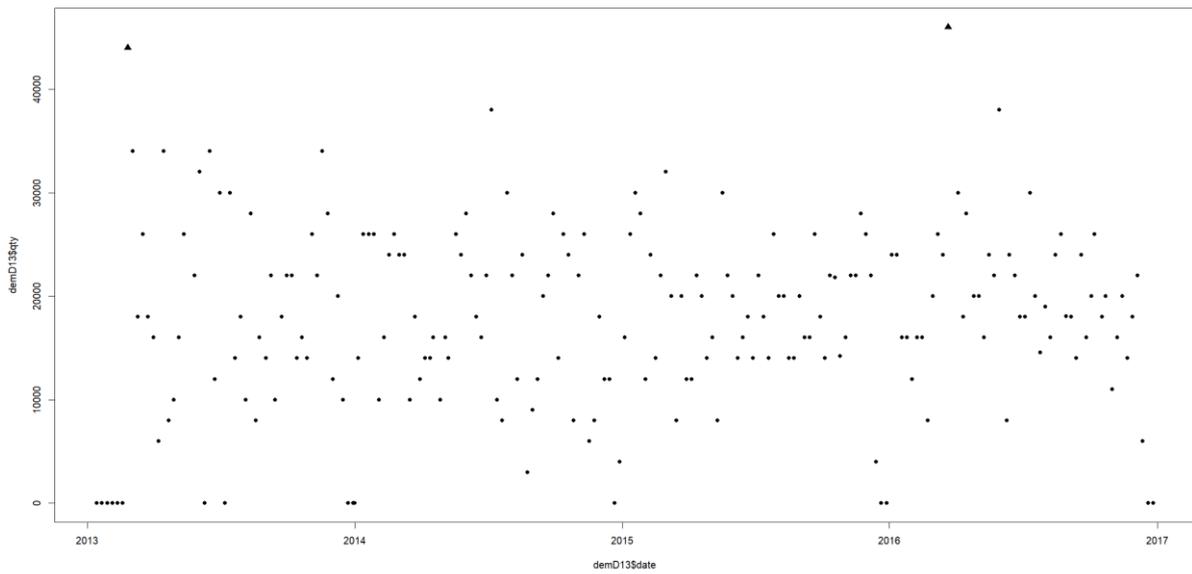


圖 4.8 D13 需求量與極端值散佈圖

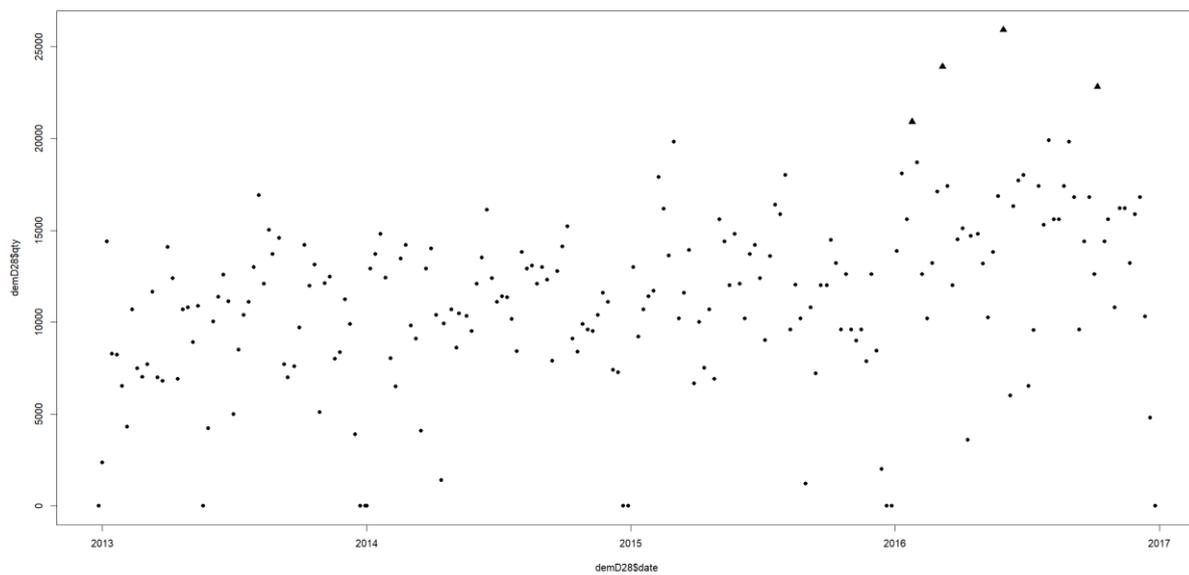


圖 4.9 D28 需求量與極端值散佈圖

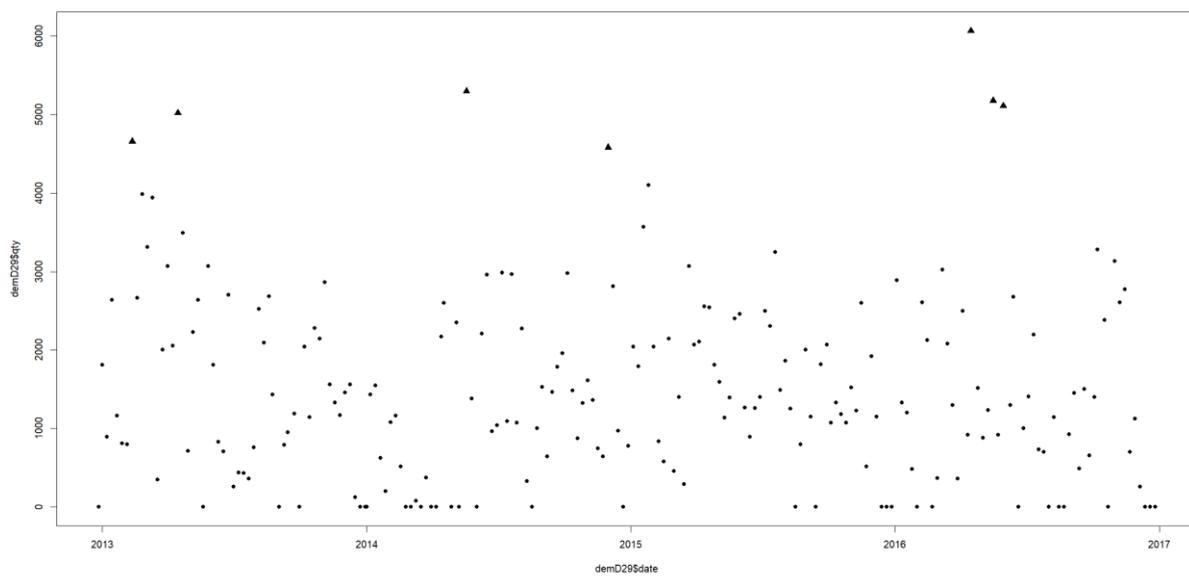


圖 4.10 D29 需求量與極端值散佈圖

- 季節性分析

將同週不同年的產品需求分為一組，進行 ANOVA 檢定，得到結果如表 4.1。從表 4.1 可以發現 D05、D13 與 D28 三項品項的 F 統計量皆超過臨界值，拒絕 ANOVA 的虛無假設，判定此三項品項每週平均有顯著不同，具有明顯的季節性需移除季節因子。

表 4.2 各產品的 J 客戶週需求 ANOVA 檢定表

| | D05 | D13 | D28 | D29 |
|---------|--------|--------|--------|---------|
| F 統計量 | 2.608 | 2.601 | 2.955 | 1.090 |
| 95% 臨界值 | 1.428 | 1.429 | 1.428 | 1.429 |
| 檢定結果 | 拒絕虛無假設 | 拒絕虛無假設 | 拒絕虛無假設 | 未拒絕虛無假設 |

- 趨勢性分析

以線性回歸模型擬合 J 客戶需求，得到表 4.2 線性模型參數。斜率代表 J 客戶需求單週的增長或衰退幅度，截距項代表 J 客戶單週需求數量的大小程度，斜率與截距項比值代表 J 客戶「單週的需求增長或衰退幅度」對於「J 客戶需求」的影響程度。

從表 4.3 可以看到四項產品迴歸分析得到的斜率與截距項的比值，乘上海運前置時間 6 週，可以得到四項產品的比值大約仍在 1% 左右；代表趨勢性在海運前置時間內並無造成需求出現特別大幅度的變動，不會導致以海運前需求預測為基礎進行的決策，無法對應到海運抵達後實際需求的情況；因此可視為趨勢性不明顯，不需在後續分析中進行考慮。

表 4.3 各產品的 J 客戶需求線性回歸模型參數表

| | D05 | D13 | D28 | D29 |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 斜率 | 13.354 | 20.394 | 25.147 | -1.642 |
| 截距項 | 13928 | 14950 | 8220 | 1540 |
| 比值(斜率/截距) | 9.59×10^{-4} | 1.36×10^{-3} | 3.06×10^{-3} | 1.07×10^{-3} |

4.2.2 J 客戶需求機率分佈建構

依前述 3.4.4 節的需求機率分佈擬合模組進行 4 項產品需求之機率分佈擬合。

- 需求一致性分析

本研究將 I 公司所提供 4 年的 J 客戶需求分為 8 個半年，並以相鄰的半年做 K-S 雙樣本檢定(Two-Sample Kolmogorov–Smirnov test, two sample K-S test)來檢驗相鄰 2 個半年是否屬於同樣的機率分佈。K-S 雙樣本檢定之虛無假設為兩分佈數據組出自同一分佈函數，若其檢定的 P 值小於統計顯著水準，則拒絕虛無假設並判定兩分佈型數據組並非出自同一分佈函數。若最後所有相鄰兩個半年的 K-S 雙樣本檢定 P 值都未達顯著水準，則可以判定所有相鄰兩個半年皆屬於同一分佈函數，即為該產品 4 年間 J 客戶需求為同一機率分佈。

在表 4.4 可以看到 D28 與 D29 兩項產品中出現了 P 值低於顯著水準 0.05，拒絕 K-S 雙樣本檢定之虛無假設，判定 D28 產品與 D29 有需求分佈不一致的情況。

表 4.4 以相鄰兩半年 J 客戶需求進行 K-S 雙樣本檢定 P 值表

| | D05 | D13 | D28 | D29 |
|---------------|-------|-------|--------|--------|
| 2013 上/2013 下 | 0.722 | 0.483 | 0.841 | 0.067 |
| 2013 下/2014 上 | 0.449 | 0.744 | 0.324 | 0.442 |
| 2014 上/2014 下 | 0.115 | 0.685 | 0.355 | 0.023* |
| 2014 下/2015 上 | 0.407 | 0.493 | 0.043* | 0.206 |
| 2015 上/2015 下 | 0.493 | 0.918 | 0.019* | 0.171 |
| 2015 下/2016 上 | 0.105 | 0.112 | 0.000* | 0.892 |
| 2016 上/2016 下 | 0.078 | 0.085 | 0.654 | 0.488 |

(*為低於顯著水準 0.05)

本研究假設 D28 與 D29 的產品可能是 J 客戶較新的產品所使用之原料，新產品的生產需求量較少也較不穩定，因此 J 客戶會選擇將在排定生產計畫時會將生產需求集中生產以減少成本；這樣的傾向使得 J 客戶需求因為人為的集中生產而無法準確反映出實際需求，進行的 K-S 雙樣本檢定也很有可能因此被扭曲。本研究合併 3 週的 J 客戶需求

後再進行雙樣本 K-S 檢定，其檢定結果如表 4.5 所示並無 P 值低於顯著水準 0.05。合併需求消除了批次取貨扭曲 K-S 檢定的影響，因此判定 D05、D13、D28 與 D29 的需求具有一致性。

表 4.5 以相鄰兩半年 J 客戶三週需求進行 K-S 雙樣本檢定 P 值表

| | D05 | D13 | D28 | D29 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|
| 2013 上/2013 下 | 0.700 | 0.905 | 0.407 | 0.109 |
| 2013 下/2014 上 | 0.730 | 0.730 | 0.989 | 0.576 |
| 2014 上/2014 下 | 0.296 | 0.989 | 0.730 | 0.352 |
| 2014 下/2015 上 | 0.296 | 0.817 | 0.126 | 0.196 |
| 2015 上/2015 下 | 0.989 | 0.503 | 0.142 | 0.109 |
| 2015 下/2016 上 | 0.352 | 0.700 | 0.283 | 0.964 |
| 2016 上/2016 下 | 0.980 | 0.894 | 0.460 | 0.980 |

(*為低於顯著水準 0.05)

- 擬合經典機率分佈

在上一小節確立 J 客戶需求為同一分佈後，接著先以最大概似估計法與動差估計法來擬合 J 客戶需求與常見經典機率分佈，如常態分佈、指數分佈、伽馬分佈與韋伯分佈等等。擬合各分佈後，以對數似然函數(Log-Likelihood)與赤池信息量準則(AIC)作為挑選最適經典機率分佈擬合模型的資訊準則。

本研究以對數似然函數與 AIC 作為挑選經典機率分佈的指標，當對數似然函數越大或 AIC 越小時，代表該分佈型數據組擬合經典機率分佈時有較佳的表現。從表 4.7 與表 4.8 可以看到以 D05 與 D29 擬合韋伯分佈與以 D13 與 D28 擬合羅吉斯分佈時有較佳的表現，挑選該經典機率分佈作為該產品的「最佳經典機率分佈」。

表 4.7 擬合經典機率分佈之對數似然函數表

| 對數似然函數 (Log-Likelihood) | 常態分佈 | 羅吉斯分佈 | 對數-常態 分佈 | 指數分佈 | 伽馬分佈 | 韋伯分佈 |
|----------------------------|----------|-----------|-------------|----------|----------|-----------|
| D05 | -2189.00 | -2181.08 | -5663.96 | -2191.36 | -2474.75 | -2166.35* |
| D13 | -2116.63 | -2110.54* | -5885.91 | -2191.93 | -2598.76 | -2190.46 |
| D28 | -2025.60 | -2003.47* | -4300.94 | -2119.90 | -2336.99 | -2091.05 |
| D29 | -1691.60 | -1697.92 | -3196.42 | -1668.73 | -1792.50 | -1655.29* |

(*為該品項最高對數似然函數)

表 4.8 擬合經典機率分佈之 AIC 表

| 赤池信息準則 (AIC) | 常態分佈 | 羅吉斯分佈 | 對數-常態 分佈 | 指數分佈 | 伽馬分佈 | 韋伯分佈 |
|-----------------|---------|----------|-------------|---------|---------|----------|
| D05 | 4382.00 | 4366.16 | 11331.92 | 4384.72 | 4953.50 | 4336.70* |
| D13 | 4237.26 | 4225.08* | 11775.81 | 4385.86 | 5201.53 | 4384.92 |
| D28 | 4055.20 | 4010.93* | 8605.88 | 4241.80 | 4677.97 | 4186.10 |
| D29 | 3387.20 | 3399.83 | 6396.84 | 3339.47 | 3589.00 | 3314.57* |

(*為該品項最低 AIC)

以最佳經典機率分佈與 J 客戶需求進行單樣本 K-S 檢定，檢定是否符合該分佈。從表 4.9 可發現 D13 與 D28 的 P 值都高於顯著水準 0.05，無法拒絕 K-S 檢定的虛無假設，可判定兩者皆為羅吉斯機率分佈。D05 與 D29 P 值則皆小於顯著水準 0.05，拒絕單樣本 K-S 檢定的虛無假設，判定兩者為不同分佈，改以採取 3.2.4 節中的方法建立該產品的經驗機率分佈作為需求機率分佈。

表 4.9 經典機率與 J 客戶需求之單樣本 K-S 檢定分佈之 P 值表

| | D05 | D13 | D28 | D29 |
|------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 機率分佈 | 韋伯分佈 | 羅吉斯分佈 | 羅吉斯分佈 | 韋伯分佈 |
| P 值 | $2.200 * 10^{-16}$ | $2.713 * 10^{-1}$ | $1.704 * 10^{-1}$ | $2.034 * 10^{-8}$ |
| 檢定結果 | 拒絕虛無假設 | 未拒絕虛無假設 | 未拒絕虛無假設 | 拒絕虛無假設 |

4.2.3 需求機率分佈調整模組

D05、D13 及 D28 三項產品皆具有顯著季節性，因此以該期的需求機率分佈乘上對應的季節因子還原季節性。另外四項產品都皆無顯著趨勢性，因此便無趨勢性的調整。最後依據決策演算法考量的時間範圍，以 3.2.4 節中的方法合併數期需求機率分佈以產生多期需求機率分佈。

4.3 出貨決策演算法實例演練

I 公司以海運作為例行運輸方法，目標為滿足 VMI 系統中 J 客戶制定的最低存貨水準；在即將缺貨時，I 公司以空運作為緊急運輸方法，將貨物補至倉庫中避免缺貨。本章將以此研究情境為基礎進行出貨演算法演練，以實例說明演算法之運作流程與細節，因此在 4.2.1 將先進行演算法之參數設定，並在 4.2.2 節依照各步驟進行出貨演算法演練。本次以產品 D05 為例進行單週出貨量決策演算法之演練。

4.3.1 參數設定

假設本期為第 t 期，則參數如下所示

1. J 客戶上週需求量假設為 $d_{t-1} = 38203$ 。
2. 本週海運在途量總合為 $o_t = 20000$ 。
3. J 客戶倉庫現有存貨量假設為 $i_t = 28000$ 。
4. 例行運輸前置時間為海運前置時間 $l_r = 6$ 週。
5. 緊急運輸前置時間為空運前置時間 $l_e = 1$ 週。
6. 例行運輸服務水準為海運服務水準 $s_r = 95\%$ 。
7. 緊急運輸服務水準為空運服務水準 $s_e = 95\%$ 。

8. 非常態尖峰需求量門檻值為 $h_p = 34075$ 。

此數值需供應商與客戶端進行協調，因此本研究進行以下假設。

使用分群辨識法去除極端值後之 D05 需求平均為 15635、標準差為 9220，需求平均上 2 倍標準差為 34076。若以 34075 為尖峰需求門檻值，則判定的歷史尖峰需求佔全部歷史需求的比例為 1.42%，對於 J 客戶也是一可接受的比例。

9. 缺貨機率門檻值假設為 $h_s = 1\%$ 。

10. 最低存貨水準為 J 客戶設定之 $z = 292900$ 。

11. 上期動態最低存貨水準為 $z'_{t-1} = 292900$

12. D05 產品單箱數量為 $b = 1000$ 。

13. I 公司備用週產能為 $c = 3600$

假設備用週產能為 I 公司週產能之 20%，I 公司週產能為 18000
因此 I 公司備用週產能為 $18000 \cdot 20\% = 3600$ 。

14. 最近一次例行運輸在途量到達 J 客戶倉庫之時間假設為 $a = 3$ 週。

15. D05 單週/多週需求機率分佈 $F_n(x)$ 與 $F_n^{-1}(p)$

以過去 D05 歷史需求依照 3.2 節流程計算而得。

16. I 公司海運出貨時程中假設下週進行海運出貨，因此本週需進行海運出貨決策。

4.3.2 演算法演練

- 衝擊回復時間模組

1. 上週 J 客戶需求量是否大於非常態尖峰需求量門檻值？

上週 J 客戶需求 (d_{t-1}) 38203 超過非常態尖峰需求門檻值 (h_p) 34075，因此需要啟動
「衝擊回復時間修正程序」修正最低存貨水準 (z'_u)。依照式 (3.3.1)

$d_{t-1} = 38203 > h_p = 34075$ ，執行「衝擊回復時間修正程序」

2. 衝擊回復時間之修正程序

- a) 計算系統衝擊量，參照式(3.3.2)

$$\text{系統衝擊量} = d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1} = 38203 - 34075 + 292900 - 292900 = 4128$$

- b) 計算庫存回升階段，參照式(3.3.3)

$$\text{庫存回升階段} = \frac{d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}}{c} = \frac{4128}{3600} = 1.146$$

- c) 計算衝擊回復時間，參照式(3.3.4)

$$\text{衝擊回復時間} = \left\lceil l_r + \frac{d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}}{c} \right\rceil = \lceil 6 + 1.146 \rceil = \lceil 7.146 \rceil = 8$$

- d) 修訂最低存貨水準

在第 $t-1$ 期發生非常態尖峰需求，則參照式(3.3.5)、式(3.3.6)與式(3.3.7)調整後續第 u 期的動態最低存貨水準，並於表 4.10 統整修定後之結果。

$$l_r = 6, \left\lceil l_r + \frac{d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}}{c} \right\rceil = 8$$

case $0 < u - (t - 1) \leq 6$:

$$z'_u = z - (d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}) = 292900 - 4128 = 288772$$

case $6 < u - (t - 1) \leq 8$:

$$\begin{aligned} z'_u &= z - (d_{t-1} - h_p + z - z'_{t-1}) + c \cdot (u - (t - 1) - l_r) \\ &= 288772 + 3600 \cdot (u - (t - 1) - l_r) \end{aligned}$$

case $8 \leq u - (t - 1)$:

$$z'_u = z = 292900$$

表 4.10 動態最低存貨水準修訂表

| | | | | | | | |
|---------------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 期數 u | $t-1$ | t | $t+1$ | $t+2$ | $t+3$ | $t+4$ | $t+5$ |
| 動態最低存貨水準 (z'_u) | 292900 | 288772 | 288772 | 288772 | 288772 | 288772 | 288772 |
| 狀態 | 尖峰需求 | 衝擊回復時間-海運前置時間 | | | | | |
| 期數 u | $t+6$ | $t+7$ | $t+8$ | $t+9$ | $t+10$ | $t+11$ | $t+12$ |
| 動態最低存貨水準 (z'_u) | 292372 | 292900 | 292900 | 292900 | 292900 | 292900 | 292900 |
| 狀態 | 衝擊回復時間-庫存回升階段 | | | | | | |

- 緊急運輸模組

1. 計算 J 客戶倉庫缺貨機率

參照式(3.3.8)，J 客戶倉庫現有庫存量(i_t)為 28000，緊急運輸前置時間(l_e)為 1 週，以 D05 產品 J 客戶需求機率分佈轉換可得到 J 客戶需求低於 28000 的機率($F_{l_e}(i_t)$)為 81%，則缺貨機率為 $100\% - 81\% = 19\%$ ，超過缺貨機率門檻值 1%，因此執行第 2 步驟緊急運輸出貨量計算程序。

$$1 - F_{l_e}(i_t) = 1 - F_1(28000) = 100\% - 81\% = 19\% \geq h_s = 1\%$$

then 執行第二步驟「緊急運輸出貨量計算程序」

2. 緊急運輸出貨量計算程序

依照海運出貨時程可得到下次海運補貨到 J 客戶倉庫為 3 週後。空運需求時間($a - l_e$)為「本次空運到達 J 客戶倉庫的時間」與「下次海運補貨至 J 客戶倉庫的時間」的時間差距，下 1 週到下 3 週間距離 2 週，因此空運需求時間為 2 週。

參照式(3.3.9)，計算空運量為以空運服務水準對照空運需求時間的需求機率分佈，緊急運輸服務水準(s_e)95%對照 2 週需求機率分佈得到的需求量($F_{a-l_e}^{-1}(s_e)$)為 61811。

將計算空運量無條件進位至產品單箱數量的最小倍數即為空運應出貨量(r_{et})62000。

$$r_{et} = \left\lceil \frac{F_{a-l_e}^{-1}(s_e)}{b} \right\rceil \cdot b = \left\lceil \frac{F_2^{-1}(95\%)}{1000} \right\rceil \cdot 1000 = \left\lceil \frac{61811}{1000} \right\rceil \cdot 1000 = 62000$$

- 例行運輸模組

海運應出貨量計算程序

本次海運出貨量到達 J 客戶倉庫時需滿足的目標最低存貨水準為本週第 t 週經過海運前置時間(l_r)6 週後的最低存貨水準(z'_{t+l_r})，即表 4.10 中第 $t+6$ 週的動態最低存貨水準 292372。

參照式(3.3.10)，預估需求量為海運服務水準對照海運前置時間的 J 客戶多週需求機率分佈，依照例行運輸服務水準(s_r)95%對照 6 週的 J 客戶需求機率分佈，得到預估需求量为 185434。依照海運應出貨量的公式可得到計算海運量为 $(272372-28000-200000)+185434=229806$ ，再將其無條件進位產品單箱數量 1000 的最小倍數，即可得到海運應出貨量 230000。

if $t \in T_r$, then

$$r_{rt} = \left\lceil \frac{z'_{t+l_r} - i_t - o_t + F_{l_r}^{-1}(s_r)}{b} \right\rceil \cdot b = \left\lceil \frac{292372 - 28000 - 200000 + F_6^{-1}(95\%)}{1000} \right\rceil \cdot 1000$$

$$= \left\lceil \frac{229806}{1000} \right\rceil \cdot 1000 = 230000$$

4.4 模擬分析

本節將以 J 客戶歷史需求作為模擬情境模擬本研究提出之演算法，並與 I 公司現行的決策模式進行比較，分析兩種出貨模式個別的效益與限制。在 4.3.1 節建立模擬情境之必要假設，在 4.3.2 節則針對模擬結果進行分析比較。

4.4.1 模擬假設

依據各項品項與所選擇的需求情境不同，而調整各項環境參數，如以下參數：指定倉庫的 J 客戶倉庫啟始存貨量、每週需求與每週產能；但以下其他參數則統一假設供應商設定相同的數值：缺貨機率門檻值為 1%，空運服務水準為 95%，海運服務水準為 95%，備用產能為最大產能的 20%。在後續 4.3.2 節使用此參數設置進行 20 期模擬，比較本研究之出貨決策演算法與實際供應商 I 公司的經驗法則。

4.4.2 模擬結果

本研究模擬分析主要目標為比較本研究之出貨決策演算法與供應商 I 公司現行所使用的決策方法，在 J 客戶評估機制與本研究提出之「時間服務水準」的表現。依照 3.3 節中供應鏈事件發生順序之假設，以時間服務水準評估期初庫存量，並以 J 客戶評估機制評估補貨後的期中庫存量。以下將依各品項之模擬結果進行說明並總結分析結果。

參照 3.3 節中演算法事件發生順序之假設，則時間服務水準為在每期期初時定期檢閱庫存，計算期初庫存水準高於最低庫存水準的時間比例。J 客戶視補貨後庫存水準(期中庫存水準)高於等於最低庫存水準時為成功補貨，並計算成功補貨次數佔全部補貨次數的次數比例。

模擬結果如表 4.11 與表 4.12 所示，其中大部分品項成功補貨百分比並未達到 J 客戶設立之 70% 標準，因此將使用 3.1.1 節的緩衝時間進行進一步分析，提出建議最低存貨水準，並以緩衝時間分析所得之建議最低存貨水準為基礎進行模擬。若模擬期間出現之非常態尖峰需求，則使用 3.1.2 節之衝擊回復時間修正程序調整動態最低存貨水準。

表 4.11 I 公司歷史決策與演算法之成功補貨比例

| | I 公司現行補貨決策模式 | | | | 本研究之出貨決策演算法 | | | |
|--------|--------------|-----|-----|-------|-------------|-----|-----|-------|
| | D05 | D13 | D28 | D29 | D05 | D13 | D28 | D29 |
| 成功補貨次數 | 0 | 0 | 0 | 2 | 18 | 7 | 0 | 11 |
| 失敗補貨次數 | 7 | 12 | 14 | 11 | 1 | 13 | 20 | 8 |
| 例行運輸次數 | 7 | 12 | 14 | 13 | 19 | 20 | 20 | 19 |
| 成功補貨比例 | 0% | 0% | 0% | 15.4% | 94.7% | 35% | 0% | 57.9% |

表 4.12 I 公司歷史決策與演算法之時間服務水準

| | I 公司現行補貨決策模式 | | | | 本研究之出貨決策演算法 | | | |
|--------------|--------------|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|
| | D05 | D13 | D28 | D29 | D05 | D13 | D28 | D29 |
| 庫存高於最低存貨水準週數 | 0 | 0 | 0 | 1 | 14 | 4 | 0 | 9 |
| 庫存低於最低存貨水準週數 | 20 | 20 | 20 | 19 | 6 | 16 | 20 | 11 |
| 評估期間週數 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 時間服務水準 | 0% | 0% | 0% | 5% | 70% | 20% | 0% | 45% |

- 緩衝時間分析

以成功補貨百分比與時間服務水準在 I 公司與演算法表現皆為 0% 的 D28 為例進行緩衝時間分析。D28 最低存貨水準(z)為 177264，需求平均值為 11233，需求標準差為 4677，並參照式(3.1.1)計算後可得表 4.14。將最低存貨水準視為緩衝存貨量，其在緩衝時間為 13 期時計算公式為 $177264 = 13 \cdot 11233 + 4677 \cdot \sqrt{13} \cdot Z_{\alpha}$ ，計算可得 Z_{α} 值為 1.85，再依標準常態分佈表便可對照出 1.85 倍的標準差涵蓋 97% 的常態分佈累積機率，滿足兩造協定之 95% 服務水準限制。在緩衝時間 14 期時同樣依公式計算則可得 Z_{α} 值為 1.14，對照出的常態分佈累積機率為 87%，未滿足兩造協定之 95% 服務水準限制。綜上所述便可判斷最低存貨水準 177264 可轉換為緩衝時間 13 期。

建議緩衝時間以 I 公司無法補貨的補貨間隔時間作為參考，I 公司於歷史資料中補貨間隔並未超過 4 期，因此以 4 期作為建議緩衝時間。透過標準常態分佈表可對照出

95%服務水準限制需要 1.65 倍的標準差(Z_{α})，則參照式(3.1.1)計算在緩衝時間為 4 期時的緩衝存貨量，其計算式為 $4 \cdot 11233 + 4677 \cdot \sqrt{4} \cdot 1.65 = 60321$ ，則可得到如表 4.13 所示的在緩衝時間為 4 期的 95%服務水準時的緩衝存貨量 60321，即為建議最低存貨水準。

4 項產品之緩衝時間分析結果如圖 4.14 所示，而除 D13 外其餘產品的詳細緩衝時間分析則可參照附錄 A.1。

表 4.13 D28 緩衝時間分析表

| 緩衝時間 β (期) | Z_{α} 值 | 服務水準 | 該緩衝時間下，95%服務水準的存貨量 |
|------------------|----------------|------|--------------------|
| 3 | 17.72 | 100% | 47,026 |
| 4 | 14.15 | 100% | 60,321 |
| 5 | 11.58 | 100% | 73,371 |
| 6 | 9.59 | 100% | 86,246 |
| 12 | 2.62 | 100% | 161,453 |
| 13 | 1.85 | 97% | 173,774 |
| 14 | 1.14 | 87% | 186,055 |

綜合以上緩衝時間分析的結果可得到表 4.14，可發現 D05、D13 與 D28 三項品項的原先緩衝時間與建議緩衝時間相差甚多，應以建議最低存貨水準進行作為新的緩衝存貨水準。D29 品項緩衝時間相差不多，顯示過高的最低存貨水準並非造成成功補貨比例低落的主要原因，其原因可能為模擬期間發生非常態尖峰需求所導致，應於緩衝時間分析後進行衝擊回復修正程序建立動態最低存貨水準。

表 4.14 緩衝時間分析結果表

| | D05 | D13 | D28 | D29 |
|-------------------|--------|--------|--------|-------|
| 原先緩衝時間(β) | 14 | 10 | 13 | 6 |
| 原先最低存貨水準 | 292900 | 240378 | 177264 | 13957 |
| 建議緩衝時間(β) | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 建議最低存貨水準 | 95265 | 100076 | 60321 | 9906 |

以緩衝時間分析後的建議最低存貨水準取代原先最低存貨水準進行模擬，其模擬分析結果如表 4.15 與表 4.16 所示。與尚未修改最低存貨水準之模擬結果表 4.11 與表 4.12 進行比較，可發現 D13 與 D28 的演算法表現有明顯改善。

表 4.15 緩衝時間建議之最低存貨水準模擬之成功補貨比例

| | I 公司現行補貨決策模式 | | | | 本研究之出貨決策演算法 | | | |
|--------|--------------|-----|-----|-------|-------------|-----|-----|-------|
| | D05 | D13 | D28 | D29 | D05 | D13 | D28 | D29 |
| 成功補貨次數 | 6 | 0 | 6 | 8 | 15 | 18 | 19 | 14 |
| 失敗補貨次數 | 1 | 12 | 8 | 5 | 0 | 2 | 1 | 5 |
| 例行運輸次數 | 7 | 12 | 14 | 13 | 15 | 20 | 20 | 19 |
| 成功補貨比例 | 85.2% | 0% | 43% | 61.5% | 100% | 90% | 95% | 73.7% |

表 4.16 緩衝時間建議之最低存貨水準模擬之時間服務水準

| | I 公司現行補貨決策模式 | | | | 本研究之出貨決策演算法 | | | |
|--------------|--------------|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|
| | D05 | D13 | D28 | D29 | D05 | D13 | D28 | D29 |
| 庫存高於最低存貨水準週數 | 11 | 0 | 0 | 9 | 19 | 16 | 4 | 10 |
| 庫存低於最低存貨水準週數 | 9 | 20 | 20 | 11 | 1 | 4 | 16 | 10 |
| 評估期間週數 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 時間服務水準 | 55% | 0% | 0% | 45% | 95% | 80% | 20% | 50% |

- 衝擊回復時間修正程序

D28 與 D29 模擬期間出現非常態尖峰需求，則因應尖峰需求修訂動態最低存貨水準 (z_t^l) 後，則可得到依動態最低存貨水準模擬結果表 4.17 與表 4.18。模擬結果顯示改善 D29 的成功補貨比例，並使四項品項成功補貨百分比皆達到 90% 以上。

表 4.17 動態調整與緩衝時間建議最低存貨水準之成功補貨比例

| | I 公司現行補貨決策模式 | | | | 本研究之出貨決策演算法 | | | |
|--------|--------------|-----|-----|------|-------------|-----|-----|------|
| | D05 | D13 | D28 | D29 | D05 | D13 | D28 | D29 |
| 成功補貨次數 | 6 | 0 | 9 | 13 | 18 | 18 | 19 | 20 |
| 失敗補貨次數 | 1 | 12 | 5 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| 例行運輸次數 | 7 | 12 | 14 | 13 | 19 | 20 | 20 | 20 |
| 成功補貨比例 | 86% | 0% | 64% | 100% | 94.7% | 90% | 95% | 100% |

表 4.18 動態調整與緩衝時間建議最低存貨水準之時間服務水準

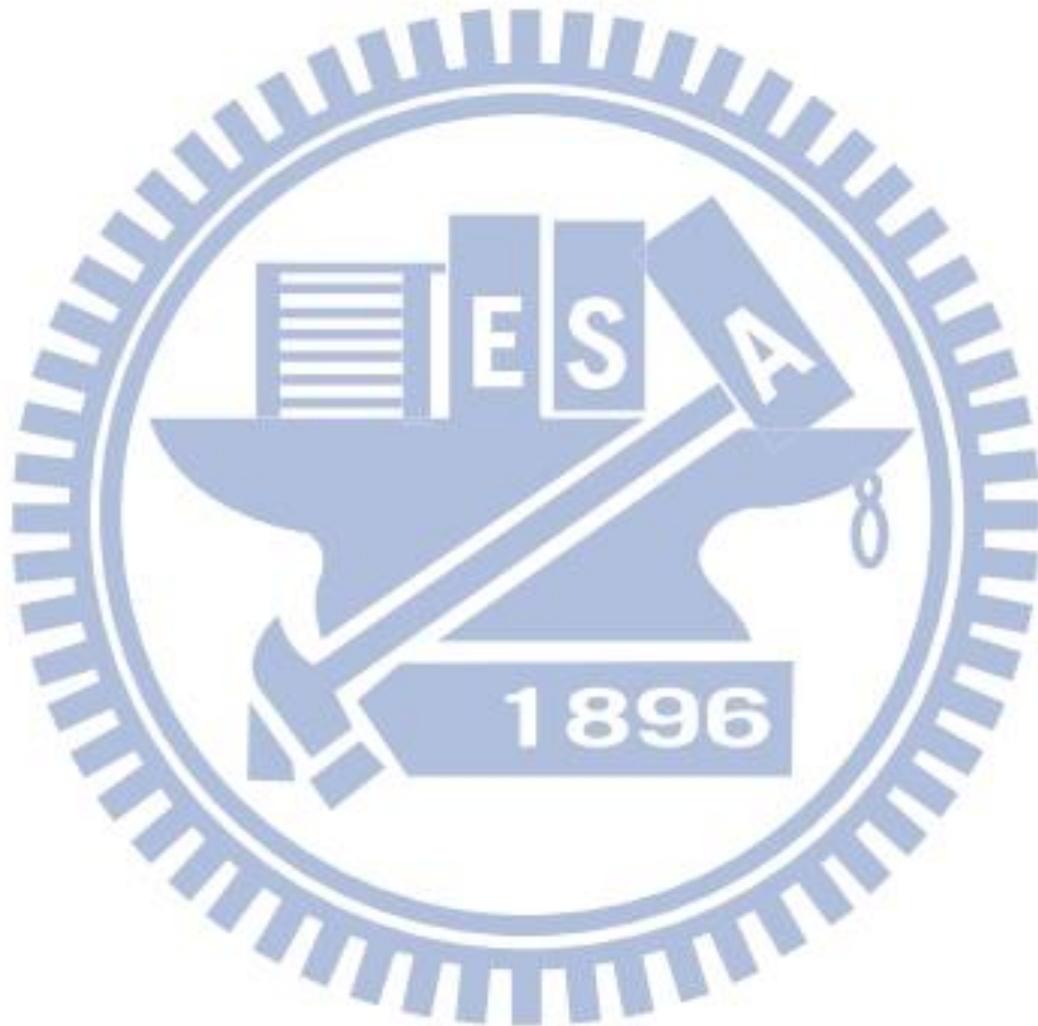
| | I 公司現行補貨決策模式 | | | | 本研究之出貨決策演算法 | | | |
|--------------|--------------|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|
| | D05 | D13 | D28 | D29 | D05 | D13 | D28 | D29 |
| 庫存高於最低存貨水準週數 | 11 | 0 | 1 | 14 | 19 | 16 | 6 | 17 |
| 庫存低於最低存貨水準週數 | 9 | 20 | 19 | 6 | 1 | 4 | 14 | 3 |
| 評估期間週數 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 時間服務水準 | 55% | 0% | 5% | 70% | 95% | 80% | 30% | 85% |

4.4.3 小結

D13 與 D28 的出貨決策因過高的最低存貨水準而表現不佳，使用緩衝時間分析最低存貨水準並與 J 客戶商談例行運輸補貨間隔與最低存貨水準的設置，以達到合理最低存貨水準。D28 與 D29 於模擬期間出現多次非常態尖峰需求，使用衝擊回復時間修正程序修訂動態最低存貨水準，以公平地評估供應商 I 公司的供應能力。

時間服務水準相較成功補貨百分比於模擬中並未有出色的表現，因為 I 公司與演算法設計並未以時間服務水準作為目標函數。若兩造改採用時間服務水準作為評估機制，能幫助 J 客戶降低缺貨機率，同時避免評分機制造成 I 公司的扭曲補貨行為。

本研究演算法出貨決策相較 I 公司歷史決策有較佳的表現且四樣品項皆達到 J 客戶要求之 70% 門檻值，但需要較高出貨頻率，建議供應商可使用散裝運輸取代貨櫃運輸以降低維持高出貨頻率之運輸成本。



五、結論與建議

本研究針對擁有長運輸前置時間客戶的供應商，提供一整合性方案，協助供應商分析客戶端需求與建立補貨決策模式，使供應商能夠在以指定倉庫最低庫存水準為評估標準的 VMI 系統下，提升客戶端對其供應商的供應能力評價。本研究分析案例供應商 I 公司後，針對 I 公司與 J 客戶的互動關係與 I 公司內部出貨決策兩個方向提出結論與建議。

- 供應商 I 公司與客戶端 J 客戶的互動關係

1. 以非常態尖峰需求門檻值與衝擊回復期的機制，具體化雙方責任

客戶端的非常態尖峰需求提升了供應商滿足最低存貨水準的難度，使供應商的供應評價被錯誤評估。本研究提出一具體化機制，具體化非常態尖峰需求影響庫存的幅度與時間。具體化尖峰需求的影響幅度，並以此為基礎修正最低存貨水準，以公平評價供應商的供應能力；具體化尖峰需求的影響時間，當庫存在此時間裡出現缺貨危機，則客戶端也需負擔缺貨責任與成本。

2. I 公司與 J 客戶商談一同建立適合兩造供應鏈的供應能力評估機制

J 客戶的評估機制唯有在補貨前庫存量低於最低存貨水準時才視為有效補貨，而這樣的特性迫使長運輸前置時間的供應商 I 公司必須於 J 客戶倉庫附近建立倉庫堆積庫存，才能最大化 J 客戶對 I 公司的評價。本研究建議 I 公司可與 J 客戶商談，以緩衝時間分析最低存貨水準是否過高，並同時考慮以時間服務水準作為評估標準，商談出更適合兩造的評估機制來一同降低供應鏈成本。

- 供應商 I 公司的出貨決策

1. I 公司內部須建立對應資訊系統與決策模組

為了讓整合性機制落實，I 公司須建立對應的資訊系統分析客戶端 J 客戶需求以更具體地掌握客戶需求特性；另外建立決策模組產生出貨決策建議輔助出貨決策，以獲取良好的供應評價並降低客戶端缺貨風險，同時減緩決策與管理成本。

2. 以每週散貨運輸取代間歇貨櫃運輸

供應商可使用較高頻率的每週運輸來減少因長運輸前置時間帶來的誤差，並縮短反應客戶端需求所需的反應時間以提升評價。頻繁補貨使平均運輸量降低，供應商可進一步考慮散貨運輸，減緩因頻繁補貨上升的運輸成本。

若 J 客戶願意採用時間服務水準的概念取代現有評分機制，能夠更加降低 J 客戶面臨缺貨的可能性。本研究尚未針對時間服務水準的概念建立演算法，在未來研究中則可針對時間服務水準提出最佳補貨的演算法，協助供應商進行出貨決策。



參考文獻

1. Babai, M. Z., Syntetos, A. A., Dallery, Y., & Nikolopoulos, K. (2009). Dynamic re-order point inventory control with lead-time uncertainty: analysis and empirical investigation. *International Journal of Production Research*, 47(9), 2461-2483.
2. Broekmeulen, R. A., & Van Donselaar, K. H. (2009). A heuristic to manage perishable inventory with batch ordering, positive lead-times, and time-varying demand. *Computers & Operations Research*, 36(11), 3013-3018.
3. Carvalho, L. (2015). An improved evaluation of Kolmogorov's distribution. *Journal of Statistical Software*, 65(3), 1-7.
4. Chandra, C., & Grabis, J. (2008). Inventory management with variable lead-time dependent procurement cost. *Omega*, 36(5), 877-887.
5. Choi, K. S., Dai, J. G., & Song, J. S. (2004). On measuring supplier performance under vendor-managed-inventory programs in capacitated supply chains. *Manufacturing & Service Operations Management*, 6(1), 53-72.
6. Chuang, B. R., Ouyang, L. Y., & Chuang, K. W. (2004). A note on periodic review inventory model with controllable setup cost and lead time. *Computers & Operations Research*, 31(4), 549-561.
7. Disney, S. M., & Towill, D. R. (2003). The effect of vendor managed inventory (VMI) dynamics on the Bullwhip Effect in supply chains. *International Journal of Production Economics*, 85(2), 199-215.
8. Disney, S. M., Farasyn, I., Lambrecht, M. R., Towill, D. R., & Van De Velde, W. (2007). Controlling bullwhip and inventory variability with the golden smoothing rule. *European Journal of Industrial Engineering*, 1(3), 241-265.
9. Fisher, M., & Raman, A. (1996). Reducing the cost of demand uncertainty through accurate response to early sales. *Operations Research*, 44(1), 87-99.
10. Govindan, K. (2015). The optimal replenishment policy for time-varying stochastic demand under vendor managed inventory. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 402-423.
11. Hammer, H., Bernasconi, C. (2016) *Best Practice in Implementing VMI*. Retrieved from: <https://www.gs1.ch/docs/default-source/prozesse-dokus/ecr-community---best-practice-in-implementing-vmi.pdf?sfvrsn=2>
12. Helber, S., Sahling, F., & Schimmelpfeng, K. (2013). Dynamic capacitated lot sizing with random demand and dynamic safety stocks. *OR Spectrum*, 35(1), 75-105.

13. Humair, S., Ruark, J. D., Tomlin, B., & Willems, S. P. (2013). Incorporating stochastic lead times into the guaranteed service model of safety stock optimization. *Interfaces*, 43(5), 421-434.
14. Ibrahim, H. W., Zailani, S., & Tan, K. C. (2015). A content analysis of global supply chain research. *Benchmarking: An International Journal*, 22(7), 1429-1462.
15. Lee, J. Y., & Cho, R. K. (2018). Optimal (z, Z)-type contracts for vendor-managed inventory. *International Journal of Production Economics*, 202, 32-44.
16. Sazvar, Z., Baboli, A., & Jokar, M. R. A. (2013). A replenishment policy for perishable products with non-linear holding cost under stochastic supply lead time. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 64(5-8), 1087-1098.
17. Tempelmeier, H., & Herpers, S. (2010). ABC β -a heuristic for dynamic capacitated lot sizing with random demand under a fill rate constraint. *International Journal of Production Research*, 48(17), 5181-5193.
18. Tempelmeier, H., & Herpers, S. (2011). Dynamic uncapacitated lot sizing with random demand under a fill-rate constraint. *European Journal of Operational Research*, 212(3), 497-507.
19. Van Nyen, P. L. M., Bertrand, J. W. M., Van Ooijen, H. P. G., & Vandaele, N. J. (2009). Supplier managed inventory in the OEM supply chain: the impact of relationship types on total costs and cost distribution. *OR Spectrum*, 31(1), 167-194.
20. Vargas, V. (2009). An optimal solution for the stochastic version of the Wagner–Whitin dynamic lot-size model. *European Journal of Operational Research*, 198(2), 447-451.
21. Verma, N. K., & Chatterjee, A. K. (2017). A multiple-retailer replenishment model under VMI: accounting for the retailer heterogeneity. *Computers & Industrial Engineering*, 104, 175-187.
22. Watkins, J. C. (2016). *An Introduction to the Science of Statistics: From Theory to Implementation*. Retrieved from <http://www.freetechbooks.com/an-introduction-to-the-science-of-statistics-from-theory-to-implementation-preliminary-edition-t1277.html>
23. Yang, Y. H., & Kim, J. S. (2018). An adaptive joint replenishment policy for items with non-stationary demands. *Operational Research*, 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12351-018-0399-9>
24. Zammori, F., Braglia, M., & Frosolini, M. (2009). A standard agreement for vendor managed inventory. *Strategic Outsourcing: An International Journal*, 2(2), 165-186.

附錄

表 A.1 D05 緩衝時間分析表

| 緩衝時間 β (期) | Z_{α} 值 | 服務水準 | 該緩衝時間下，95%服務水準的存貨量 |
|------------------|----------------|--------|--------------------|
| 3 | 14.77 | 100.0% | 75,104 |
| 4 | 11.96 | 100.0% | 95,265 |
| 5 | 9.96 | 100.0% | 114,923 |
| 12 | 3.06 | 99.9% | 245,844 |
| 13 | 2.48 | 99.3% | 264,011 |
| 14 | 1.95 | 97.4% | 282,095 |
| 15 | 1.45 | 92.7% | 300,103 |

表 A.2 D13 緩衝時間分析表

| 緩衝時間 β (期) | Z_{α} 值 | 服務水準 | 該緩衝時間下，95%服務水準的存貨量 |
|------------------|----------------|--------|--------------------|
| 3 | 12.24 | 100.0% | 78,425 |
| 4 | 9.59 | 100.0% | 100,076 |
| 7 | 4.97 | 100.0% | 162,731 |
| 8 | 3.94 | 100.0% | 183,143 |
| 9 | 3.04 | 99.9% | 203,394 |
| 10 | 2.25 | 98.8% | 223,510 |
| 11 | 1.54 | 93.8% | 243,511 |

表 A.3 D29 緩衝時間分析表

| 緩衝時間 β (期) | Z_{α} 值 | 服務水準 | 該緩衝時間下，95%服務水準的存貨量 |
|------------------|----------------|--------|--------------------|
| 3 | 4.55 | 100.0% | 7,890 |
| 4 | 3.33 | 100.0% | 9,906 |
| 5 | 2.42 | 99.2% | 11,859 |
| 6 | 1.71 | 95.6% | 13,768 |
| 7 | 1.12 | 86.8% | 15,642 |