

國立交通大學  
運輸與物流管理學系

碩士論文

貨櫃港口卡車預約模式之研究  
-以基隆港為例

A Study of the Truck Appointment System in  
Container Ports : Case by Keelung Port

研究生：鍾宜庭  
指導教授：黃明居

中華民國 一 百 零 九 年 七 月

貨櫃港口卡車預約模式之研究-以基隆港為例

A Study of the Truck Appointment System in Container Ports :  
Case by Keelung Port

研 究 生：鍾宜庭 Student：Yi-Ting Chung

指導教授：黃明居 Advisor：Ming-Jiu Hwang

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 2020

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇九年七月

# 貨櫃港口卡車預約模式之研究-以基隆港為例

研究生：鍾宜庭 指導教授：黃明居教授

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

## 摘要

隨著全球貿易的發展，貨櫃港口的裝卸量逐年成長，在港口裝卸機具有限的情況下，若為裝卸貨櫃業務尖峰時段，容易造成港口附近交通壅塞並產生卡車司機裝卸貨櫃之等候時間。近年來，國外部分港口已開始試用卡車預約系統解決壅塞情形，初步結果顯示能有效地縮減卡車在港口的周轉時間。本研究擬提出貨櫃港口卡車預約模式，同時考量貨櫃港口翻櫃作業量以及對於貨運業者營運影響，調整貨運業者偏好時間並建立卡車預約時間表。當貨運業者依照由卡車預約模型調整之時間抵達港口進行作業，可以藉此分散卡車抵達，進而減少卡車等候時間以及港口翻櫃作業時間。

本研究利用臺灣基隆貨櫃港口實際數據並設計模擬環境，透過模型求解有效降低貨運業者 51% 的系統總等候時間以及港口翻櫃 66% 的作業時間。除此之外，透過敏感度分析得知當貨運業者與港口權重值比例為 2:3 且成本比例為 2:1:4 時，可以求解出最小系統總等候時間；當開門服務率增加 30% 且貨櫃堆場增加為 50% 時，可以使總成本最小。透過敏感度分析，本研究的結果將可作為未來貨櫃港口發展管理卡車預約系統之參考。

**關鍵字：**卡車預約系統、貨櫃港口、等候理論

A Study of the Truck Appointment System in Container Ports :  
Case by Keelung Port

Student : Yi-Ting Chung    Advisor : Dr. Ming-Jiu Hwang,

Department of Transportation and Logistics Management  
National Chiao Tung University

## **Abstract**

With the development of the global trade, the loading and unloading volume of maritime container terminal grows increasingly. With limited yard cranes in the terminal, the peak time of loading and unloading container operations may easily have an impact on the traffic and cause waiting time for trucks. Recently, some ports have begun to use truck appointment system to solve the congestion in the container terminal, and the preliminary results show that it can efficiently diminish trucks' turnaround time in the terminal. We propose a new model of truck appointment system with container rehandling operations and the impact of truck companies to build the time schedule of all container operations. It can separate the truck arrival pattern and diminish the waiting time of the truckers through the truck appointment system if truckers arrive at the terminal according to the time schedule.

This study can efficiently diminish 51% of the total waiting time and 66% of the container rehandling operations time by simulating the real situation with data from Taiwan Keelung Port. In addition, it can solve the problem by the shortest total waiting time when the proportion of the weights and the costs are 2:3 and 2:1:4. The other results show that the model can solve the problem by the lowest cost when the gates become much 30% service rate and the yards become much 50% service rate. The results of this study can regard as the reference to develop the management of trucks in the container terminal in the future by using Sensitivity Analysis.

**Keywords : Truck appointment system 、 Maritime container terminal 、**

**Queuing theory**

## 致謝

時光飛逝，在交大就讀碩士的兩年生活突然要結束了，回想剛入學時的情境彷彿還在昨天。非常感謝在交大得到的一切，不論是在課業上的還是在與碩班同學的相處上，也感謝我的指導教授黃明居老師，在撰寫論文期間，給予細心的指導，使我受益良多，也在我緊張時不斷鼓勵我，使我能順利通過口試。

除此之外，謝謝黃明居老師帶我們去基隆港務局訪談，讓我有機會可以接觸到港口作業的實務面，了解他們作業上的困難點。也謝謝基隆港務局的曹至宏處長以及徐家雯學姊，不論是在提供論文的意見還是資料的蒐集都給予相當多的協助。同時也非常感謝高雄港務局的同仁們，讓我了解到過去實務上執行的內容以及瓶頸點並提供我相當多參考資料，使我能順利的確立論文的題目。

謝謝大學的好室友溥琳，讓我在研究所初期時不孤單。此外很感激能認識交大運輸系女籃的各位，在課業以及論文繁忙之餘，還能與一群可愛的學妹們一起打球，消除平時累積的壓力。更要謝謝我大學的學姐芷蓁，在我撰寫論文遇到困難時，協助我討論程式的邏輯，幫助我快速的解決問題。

最後要謝謝我的家人，在我選擇要念研究所時，義無反顧地支持我，並在我焦慮的時候不斷地鼓勵我，讓我回家的時候能短暫的釋放壓力，我能順利的完成論文以及口試，家人是我最重要的推手。

宜庭 謹記於  
新竹  
民國一零九年夏

# 目錄

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 目錄.....                      | iv |
| 圖目錄.....                     | v  |
| 表目錄.....                     | vi |
| 第一章 緒論.....                  | 1  |
| 1.1 研究背景及動機.....             | 1  |
| 1.2 研究目的.....                | 4  |
| 1.3 研究方法.....                | 5  |
| 1.4 研究範圍與限制.....             | 5  |
| 1.5 研究流程.....                | 6  |
| 第二章 文獻回顧.....                | 8  |
| 2.1 應用於貨櫃港口之卡車預約系統.....      | 8  |
| 2.2 整合考量貨運業者營運問題之卡車預約系統..... | 9  |
| 2.3 等候理論應用於卡車預約系統.....       | 13 |
| 2.4 小結.....                  | 15 |
| 第三章 貨櫃港口卡車預約模式.....          | 18 |
| 3.1 問題描述.....                | 18 |
| 3.2 貨櫃港口卡車預約指派模式.....        | 21 |
| 3.3 卡車預約模型求解.....            | 26 |
| 3.4 案例分析.....                | 29 |
| 第四章 實證研究-以基隆港為例.....         | 32 |
| 4.1 基隆港區貨櫃作業現況.....          | 32 |
| 4.2 實驗設計與環境假設.....           | 33 |
| 4.3 實證案例分析.....              | 37 |
| 4.4 敏感度分析.....               | 44 |
| 4.4.1 目標項敏感度分析.....          | 45 |
| 4.4.2 服務率敏感度分析.....          | 48 |
| 第五章 結論與建議.....               | 52 |
| 5.1 結論.....                  | 52 |
| 5.2 建議.....                  | 53 |
| 參考文獻.....                    | 54 |

## 圖目錄

|        |                                     |    |
|--------|-------------------------------------|----|
| 圖 1.1  | 卡車預約系統運作模式示意圖 .....                 | 2  |
| 圖 1.2  | 高雄港貨櫃碼頭卡車預報系統運作模式示意圖 .....          | 3  |
| 圖 1.3  | 研究流程圖 .....                         | 7  |
| 圖 2.1  | 逐點流體近似方法示意圖 .....                   | 15 |
| 圖 3.1  | 卡車預約模式運作架構圖 .....                   | 20 |
| 圖 3.2  | 貨櫃港口開門/貨櫃堆放場等候情況示意圖 .....           | 20 |
| 圖 3.3  | 貨櫃港口貨櫃儲位示意圖 .....                   | 21 |
| 圖 3.4  | 卡車預約指派數學模型之求解流程圖 .....              | 27 |
| 圖 3.5  | PYOMO MINDTPY 求解流程圖 .....           | 28 |
| 圖 3.6  | 案例分析調整預約時窗之儲位圖 .....                | 31 |
| 圖 4.1  | 基隆港西岸貨櫃碼頭貨櫃堆放場設置規劃圖 .....           | 35 |
| 圖 4.2  | 實證資料卡車抵達分布圖 .....                   | 36 |
| 圖 4.3  | 402 筆預約卡車預約模型與現況之每小時卡車抵達分布比較圖 ..... | 39 |
| 圖 4.4  | 402 筆預約卡車預約模型與現況之等候情形比較圖 .....      | 39 |
| 圖 4.5  | 402 筆求解過程之收斂趨勢圖 .....               | 40 |
| 圖 4.6  | 港口翻櫃時間比較圖 .....                     | 43 |
| 圖 4.7  | 貨運業者系統總等候時間比較圖 .....                | 43 |
| 圖 4.8  | 調整權重值之敏感度分析圖 .....                  | 46 |
| 圖 4.9  | 調整懲罰值之敏感度分析圖 .....                  | 46 |
| 圖 4.10 | 調整開門服務率之等候時間變化圖 .....               | 49 |
| 圖 4.11 | 調整開門服務率之貨櫃堆放場等候時間變化圖 .....          | 49 |
| 圖 4.12 | 調整貨櫃堆放場服務率之等候時間變化圖 .....            | 50 |

## 表目錄

|        |                               |    |
|--------|-------------------------------|----|
| 表 2.1  | 卡車預約系統相關文獻比較(1).....          | 17 |
| 表 2.2  | 卡車預約系統相關文獻比較(2).....          | 17 |
| 表 3.1  | 案例分析使用之參數 .....               | 30 |
| 表 3.2  | 案例分析求解結果 .....                | 31 |
| 表 4.1  | 模擬環境之參數設定值 .....              | 35 |
| 表 4.2  | 模擬卡車預約模式之參數設定值 .....          | 35 |
| 表 4.3  | 實證研究分析相關資料與參數 .....           | 36 |
| 表 4.4  | 貨櫃卡車預約需求架構表 .....             | 37 |
| 表 4.5  | 調整貨櫃卡車預約需求資料架構表 .....         | 37 |
| 表 4.6  | 新增貨櫃卡車預約需求相關資料架構表 .....       | 37 |
| 表 4.7  | 402 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表 ..... | 40 |
| 表 4.8  | 不同資料量之現況與求解結果 .....           | 40 |
| 表 4.9  | 95 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表 .....  | 41 |
| 表 4.10 | 114 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表 ..... | 41 |
| 表 4.11 | 154 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表 ..... | 41 |
| 表 4.12 | 202 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表 ..... | 42 |
| 表 4.13 | 255 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表 ..... | 42 |
| 表 4.14 | 305 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表 ..... | 42 |
| 表 4.15 | 不同資料量之港口翻櫃時間改善百分比 .....       | 43 |
| 表 4.16 | 不同資料量之貨運業者系統總等候時間改善百分比 .....  | 44 |
| 表 4.17 | 敏感度分析架構表 .....                | 45 |
| 表 4.18 | 權重值與懲罰成本值組合之敏感度分析結果 .....     | 48 |
| 表 4.19 | 調整開門與貨櫃堆放場服務率之敏感度分析結果 .....   | 51 |

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景及動機

為了提升貨櫃港口作業環境品質，貨櫃場站壅塞問題逐漸受到大家關注。Phan and Kim (2015) 認為造成貨櫃場站擁擠的主要原因為卡車在同一時段集中抵達形成尖峰時段，在機具與人力限制下，必定會遇到長時間的等待，進而增加卡車的周轉時間(包含在港口開門的排隊時間以及場站的作業時間)。Schulte et al. (2015) 認為壅塞問題會使得卡車有過多的閒置時間，而且比起行駛卡車會排放更多的廢氣，特別是以柴油為動力的卡車，運轉過程中產生對人體有害的物質，吸入過多會使人類得到哮喘、心臟病…等慢性疾病。Torkjazi et al. (2018) 則指出由於卡車的出發地與目的地分散，兩地之間具有一定的旅行時間，若在場站等待過長的時間，會影響到司機後續的作業，進而造成卡車的產能降低。

在過去文獻中有許多研究指出如何減緩卡車壅塞的問題(Chen et al. (2013a) ; Chen et al. (2014) ; Phan and Kim (2015,2016) ; Torkjazi et al. (2018) ; Zhang et al. (2019))，也有些港口開始實施卡車預約系統(TAS)或是車輛預約系統(VBS)來管理卡車抵達時間。Torkjazi et al. (2018) 認為卡車預約系統可以提供港口營運者三大優點，首先因為卡車預約系統需要知道卡車進入港區的作業項目是領櫃還是交櫃，港口營運者可以掌握需求兩端的流向；第二個優點可以有效地分散卡車抵達時間，縮減尖峰時刻壅塞的情況；最後是可以提前知道貨櫃以及卡車的資訊，在卡車抵達前進行前置的作業以及規劃，像是可以事先調整貨櫃儲位進而減少翻櫃時間，當卡車抵達後可以更快速的完成作業。

卡車預約系統運作概念如圖 1.1 所示，以 Phan and Kim (2015)提出之卡車預約模型為例。貨運業者向卡車預約系統提出作業時間申請，港口營運者基於

人力以及機具限制，提出每個時段港口能負荷的最大容量，並透過卡車預約系統整合港口營運者與貨運業者提供的資訊，估計每段時窗區間可能的等候時間並回覆給貨運業者，貨運業者可以依照得知之等候時間，調整派遣卡車的時。對於港口來說，可以透過卡車預約系統分散貨運業者抵達時間，以減少發生貨運業者同時間大量抵達港口之情況。

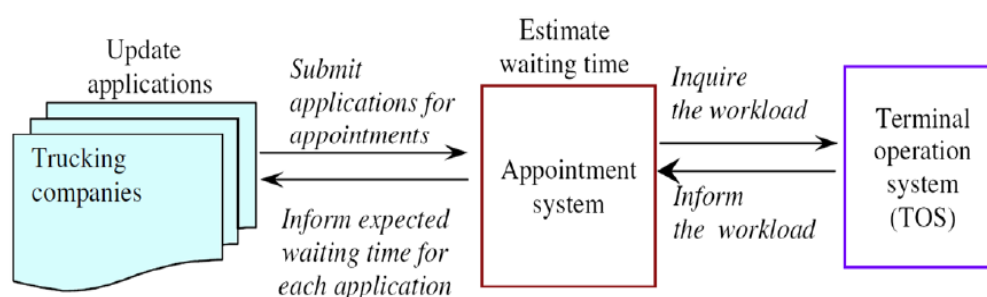


圖 1.1 卡車預約系統運作模式示意圖

資料來源：Yi et al. (2019)

透過卡車預約系統改善貨櫃港口服務品質為全球研究的趨勢，已有多個國家將預約系統加入貨櫃港口作業中，目前以德國漢堡港與美國洛杉磯-長灘港發展最為顯著。德國漢堡港建立一套預訂系統，讓貨運業者可以透過系統的 EDI 介面預訂想要的時間，系統會依據港口的作業容量評估，若未達到最大限額時，則預訂成功。除此之外，若卡車錯過預訂的時間，只要未超過最大限制，卡車得以較低的優先權進行作業（德國漢堡港官網，2017）。Mongelluzzo, B. (2018) 提到美國洛杉磯-長灘港已發展即時的卡車預約系統，港口營運者會預測卡車的流動，使卡車司機能即時了解場站內的任何情況並做出因應措施。若卡車臨時有狀況，可以隨時取消並更改預約時間。經過實際應用卡車預約系統，有效將卡車平均周轉時間從 87 分鐘降低到 72 分鐘。根據上述國外案例得知，卡車預約系統已逐漸被應用並且被證實可以有效地降低卡車的周轉時間。

過去臺灣高雄港曾在民國 101 年至 102 年間推行貨櫃卡車預報系統，運作模式如圖 1.2 所示，由貨運業者事先預報作業資料與時間，降低卡車在港區等候文件處理的時間，提升港口的作業效率。然而透過與高雄港務局的訪談中得知實行預報系統後的成效不佳，將主要原因統整為貨運業者與港口營運者兩個面向。對於貨運業者來說，未因為預報而提升作業效率，反而因配合進行預報而投入額外成本。除此之外，在實務運作上部分業務(例如:提交 CY 出口重櫃)在調派卡車前無法得知所有預報資訊，導致預報作業上的困難；而對於港口營運者來說，基於成本的考量，未將預報資料整合至貨櫃堆放場的程式平台並進一步調整貨櫃儲位以加速裝卸作業，或是提前進行貨櫃文件處理，使得預報系統的作業無法產生實質效益。雖然預報與預約模式使用不同方法降低卡車在港區的作業時間，但皆會受到貨櫃堆放場堆疊貨櫃方式的影響，若港口未事前進行翻櫃作業，卡車仍在場站內產生更多等候時間，然而對港口來說事先進行翻櫃也需要增加人力與成本。因此本研究希望加入貨櫃儲位因素考量以改良過去的卡車預約模型，期望降低港口營運作業的困難，增加港口未來使用卡車預約模型之可能性。

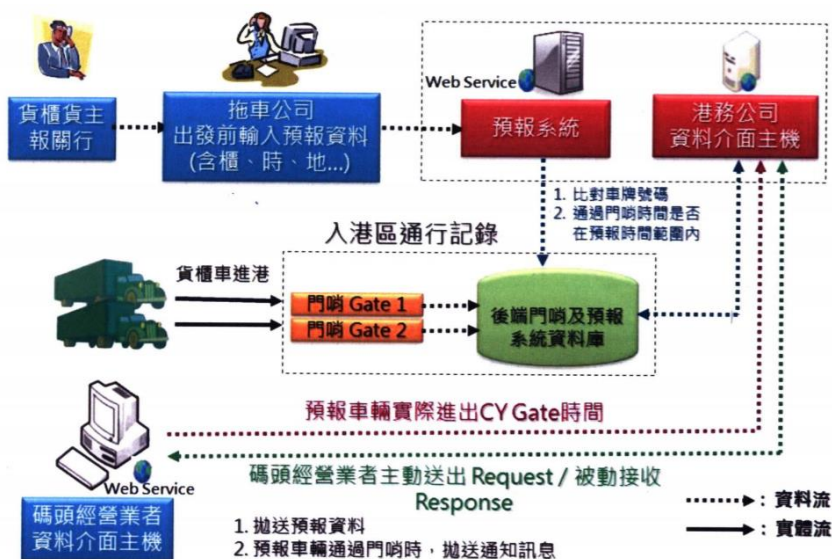


圖 1.2 高雄港貨櫃碼頭卡車預報系統運作模式示意圖

資料來源：高雄港務分公司

為了發展一套適用於臺灣貨櫃港口的卡車預約系統，本研究以臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司港區營運現況為主要研究對象。基隆港因有著地理上的優勢，同時經營貨輪與郵輪兩大大方向，然而近幾年主要以郵輪的發展為主，主要的資源都投入到郵輪營運中，但仍需維持貨輪區的業務量。除此之外，在近期軍港西遷的議題可能通過的情況下，將會縮減基隆港自營貨櫃碼頭的腹地大小，預期帶來貨櫃場站壅塞問題。雖然直接添購裝卸機具能最直接解決擁擠現象，但相對需要更多成本。因此本研究擬提出貨櫃港口卡車預約系統營運模式，透過改善過去的管理模式，考量對於貨櫃港口後續裝卸作業以及貨運業者營運影響，有效分散卡車抵達並減緩港口作業量，期望為基隆港帶來更多不同的營運面貌，提升服務品質，吸引更多的航商選擇至基隆港停泊。

## 1.2 研究目的

本研究將設計一套考量港口營運者與貨運業者之卡車預約模式，以模擬分析的方式，搭配基隆港務分公司實際的營運資料應用於本研究提出的數學模型以及管理模式，找出對基隆港務分公司最適合的管理模式，以供未來臺灣港務公司管理卡車流量時做參考，本研究之研究目的如下：

- (一) 探討卡車預約系統的主要運作模式，並整理國內外相關經驗，以供臺灣未來發展卡車預約系統參考。
- (二) 發展考量港口翻櫃作業量以及貨運業者營運之卡車預約指派數學模型，期望未來提升港口營運者與貨運業者使用卡車預約系統之意願。
- (三) 透過實際貨櫃港口的數據，以模擬分析的方式驗證模型之可行性，期望將問題更貼近實務。

(四) 採取敏感度分析，透過不同的參數設定，分析各參數對於模型的影響，以供未來臺灣制訂相關管理模式時參考。

本研究以最小化系統總成本為目標，分別為卡車在貨櫃堆放場與港口開門之等候數量成本、改變貨運業者原先預訂時間(後續將以偏好時間代稱)之懲罰成本以及翻櫃作業量成本，設計適合臺灣貨櫃港區之卡車預約系統的數學模型以及管理模式，以期未來能藉由卡車分流的方式，提升港口營運效率，進而提高臺灣港口的國際競爭力。

### 1.3 研究方法

本研究透過建構數學規劃模型以最小化卡車在貨櫃堆放場與港口開門之等候數量成本、改變貨運業者偏好時間之懲罰成本以及翻櫃作業量成本為目標，並利用逐點流體近似方法探討貨櫃卡車等候長度。依據港口提供之配額、貨櫃儲位資訊與貨運業者提供之預約時間，試發展出貨櫃港口場站卡車預約模式，建立一套適合臺灣運作模式的卡車預約系統。最後，搭配基隆港務分公司的實際資料進行模擬分析，評估本研究提出之數學模型可行性，並透過敏感度分析，發展出在臺灣發展卡車預約系統的最佳管理模式。

### 1.4 研究範圍與限制

本研究背景為臺灣貨櫃港，並以基隆港自營櫃場之營運環境為研究對象，後續研究將針對卡車預約系統需要之資訊以及管理模式做更深入的探討以及分析。目前臺灣雖沒有引進卡車預約系統，但已具備整合資訊的軟體設備，除此之外，卡車預約系統已是全球發展的重要課題之一，因此本研究將整理卡車預約系統之文獻，研究出符合臺灣貨櫃港口卡車預約系統之作業模式，以期提升研究之實務性。

以試驗卡車預約系統的管理成效為由，本研究假設貨運業者須事先與港口營運者提出到港作業之時間，本研究將其視為貨運業者作業的偏好時間，並以一日為單位進行預約指派規劃。由於臺灣目前尚未發展卡車預約系統所需之手機程式或是網頁平台以供貨運業者預約，因此本研究假設貨櫃卡車抵達港口開門之歷史資料為貨運業者預約之偏好時間，以進行資料分析進而評估模型的可行性。另外，由於預約模式中指派原則不相同，因此貨運業者也需告知進港作業的內容為領櫃或是交櫃。除此之外，本研究針對港區內的作業情況進行研究，不考量港區外交通情形對於卡車抵達港口之影響。依據卡車預約系統的作業流程，在所有貨櫃儲位已知的情況下，當系統取得港口營運者能提供之最大容量以及貨運業者的預約時間後，透過卡車預約系統之等候模型計算各時窗的等候長度，並同時以降低港口翻櫃作業量與貨運業者營運的影響為目標，調度出最佳的卡車預約時間表。

## 1.5 研究流程

本研究之研究流程如圖 1.3 所示，首先蒐集國內外發展卡車預約系統之相關文獻，了解目前的研究進展，進一步歸納問題並思考問題之可行性。在確定研究方向之後，著手整理相關文獻，同時實地訪問基隆港，除了了解貨櫃港口實務的作業模式外，也透過訪談得知目前基隆港運作上的困難。確定研究目的以及範圍後，蒐集基隆港貨櫃港口的實際資料。接著建置卡車預約系統之數學預約指派模型以及管理模式，透過環境設定並以模擬分析的方式進行問題求解。最後，透過敏感度分析找出最適合臺灣港務公司的管理模式，最後將針對研究的結果進行討論及建議。

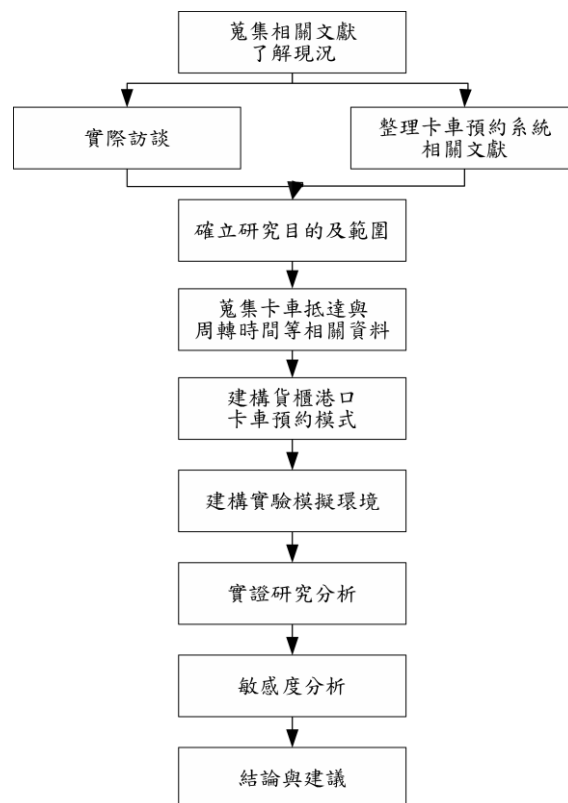


圖 1.3 研究流程圖

資料來源：本研究整理

本研究以考量港口與貨運業者營運下，卡車預約系統運作模式為探討方向，簡述本研究接續的章節內容。第二章為針對過去卡車預約系統以及等候理論相關文獻進行回顧，第三章將詳述本研究之貨櫃港口卡車預約指派問題、數學模型以及研究方法。第四章則以基隆貨櫃港口為模擬環境，透過實際卡車抵達資料進行模擬分析與敏感度分析。最後在第五章提出本研究的結論與建議。

## 第二章 文獻回顧

本章節將整理與本研究相關之文獻並做回顧，在 2.1 小節回顧卡車預約系統的相關文獻，了解目前應用於貨櫃港口之卡車預約系統的研究發展。在 2.2 小節中介紹考量貨運業者營運問題之卡車預約系統。2.3 小節中回顧過去應用於卡車預約系統上之等候理論相關文獻，最後在 2.4 小節針對第二章 2.1 至 2.3 小節之文獻回顧進行總結。

### 2.1 應用於貨櫃港口之卡車預約系統

在建置卡車預約系統時，可以分成供需兩端。需求方面貨運業者會依據貨主以及航商的要求提出到港作業的偏好時間，而供給方面則由港口提供貨櫃存放與裝卸的服務，並依據港口的資源衍伸出不同研究方向，例如探討港口配額的設定或是針對裝卸作業的考量，皆會在後續進行介紹。

在港口營運作業中，過去針對卡車預約系統探討在不違反人力與機具的限制下，設定港口配額以避免港口無法消化大量的卡車作業需求。Huynh and Walton (2008) 提出一個情境分析機率模型，在考量卡車作業的周轉時間以及裝卸機具的使用率下找出港口最大配額量，有效的分散卡車抵達時間。Zhang et al. (2019) 以港口的角度進行研究，假設各區的貨櫃堆放場大小相同且各區由一台機具提供裝卸服務，考量外部卡車與內部拖車在同一個貨櫃堆放場等候作業的情況下以最小化等候成本為目標，建立一個最佳化港口配額之數學模型，改善港口設定配額之準確度。該研究以天津港區實際數據測試模型可以有效的減少港口的營運成本並增加裝卸機具的使用率。

雖然利用卡車預約系統可以分散車流，但卡車在場站內的作業時間仍受到裝卸作業的影響，若能整合裝卸作業，將使得預約系統的效用擴大。Zehendner

and Feillet (2014) 作者認為事先分配機具的使用量，可以同時提升卡車、鐵路及駁船的裝卸效率，因此該研究將鐵路與駁船的運作與卡車預約系統結合，在港區人力與機具有限的情況下，假設貨櫃堆放場的大小相同、裝卸機具的種類與數量不同，並強制貨運業者提前向港口營運單位申請作業流程。該研究以最小化總延誤時間為目標，建立混合整數規劃模型，於前一日決定各時段不同運具之抵達時窗，最後以實際港區數據測試模型能有效地提升港口的營運效率。

除此之外，過去也針對貨櫃翻櫃問題進行研究。Zhao et al. (2013) 考量進口貨櫃翻櫃問題，透過模擬與等候理論評估預約系統設置因素對於貨櫃堆場作業效率之影響。該研究透過實際數據測試得知，卡車預約系統的資訊對於港口營運者管理堆場作業是相當重要的，可以有效的提升港口的營運作業效率。

Ramírez-Nafarrate et al. (2017) 分析卡車預約系統的組成因素並評估其對於貨櫃堆場營運的影響。針對出口貨櫃儲位進行研究，利用卡車預約系統資訊將對應相同船隻之貨櫃以演算法放置在相同區域，透過模擬證實在進行船邊作業時可以減少翻櫃次數進而降低卡車的等候時間。

由上述的文獻顯示，卡車預約系統能夠有效的分散卡車抵達，進而減緩卡車的等候情形，縮短卡車在貨櫃場站內的作業時間，也能透過卡車預約系統資訊規劃貨櫃堆疊方式以減少翻櫃次數。然而，改善裝卸作業需要調整貨櫃儲放管理作業程式之成本以及時間，會對於港口營運增加負擔。因此本研究期望在探討卡車預約指派問題時事先考量翻櫃作業量，以達成減少翻櫃作業量與卡車等候時間之目標。

## 2.2 整合考量貨運業者營運問題之卡車預約系統

過去研究顯示，卡車預約系統能有效地減緩貨櫃港區內的壅塞情形，但若有多間貨櫃業者預約相同時段，大多的研究會以先預約先服務(FCFS)原則進行

規劃，當該時段額滿時，只能調整部分貨運業者的預約。然而，調整過後的時段對於貨運業者來說難以滿足其顧客(航商或是貨主)所提出的作業時間，會增加其營運成本，進而降低其在港口作業的滿意度。為了減少這種情形發生，Shiri and Huynh (2016) 以貨運業者的角度提出考慮貨運業者營運問題之卡車預約系統。該研究結合多個時間窗限制之卡車 VRP 問題，以最小化貨運業者營運時間為目標建立一個混合整數規劃模型，並且結合禁忌搜尋演算法以及貪婪演算法進行求解，有效降低卡車預約系統對於貨運業者的營運影響。

Phan and Kim (2015)與 Phan and Kim (2016) 在有限的卡車數量下，建立數學模型以協調港口與貨運業者作業時間，以成本最小化為目標建立卡車預約系統。兩篇研究主要差異在於:在核心目標中，Phan and Kim (2015) 以改變貨運業者偏好時間成本以及等候成本為目標，而 Phan and Kim (2016) 則以最小化貨運業者派遣卡車成本、卡車總旅行與等候成本為目標；在研究貢獻上，Phan and Kim (2015) 提出一套數學模型顯示貨櫃港口與貨運業者協商卡車班表之過程，而 Phan and Kim (2016) 則建立一套港口與貨運業者能同時協商的環境。

Torkjazi et al. (2018) 以最小化對於貨運業者營運影響為目標建立卡車預約模型，考量改變貨運業者偏好時間、卡車前後兩筆預訂時間之差距以及卡車在港口開門的等候數量，並且針對貨運業者營運因素設定五種懲罰值以降低使用卡車預約系統對於貨運業者的影響。其研究背景之假設分別為四點:(1) 所有外部卡車皆要在作業前一日完成預約。(2) 經由系統確定之預約不能再更動，港口也不得因為場站人力與資源不足而取消或是改變貨運業者的作業時間。(3) 同時考量提領進口貨櫃以及提交出口貨櫃之外部卡車作業。Torkjazi et al. (2018) 提出之卡車預約指派數學模型如下所示:

符號說明:

$d$  : 為一指標，代表貨運業者。

$k$  : 為一指標，卡車號碼。

$\tau$  : 為一指標，作業時窗。

$t$  : 為一指標，作業時間區間。

$i$  : 為一指標，每台卡車作業總次數。

$a$  : 為一指標，每台卡車預約作業順序。

$c_\tau$  : 為一參數，港口在每段時窗提供之預約配額。

$\mu_t$  : 為一參數，港口開門在每段時窗最大服務率。

$e$  : 為一參數，開門服務效率之變異係數。

$c_{large}^{gap}$ 、 $c_{small}^{gap}$ 、 $c_{pos}$ 、 $c_{neg}$ 、 $c_{queue}$  : 為一參數，分別代表五種懲罰值

$\lambda_t$  : 為一變數，卡車在時間區間  $t$  抵達港口開門之數量。

$W_t$  : 為一變數，卡車在時間區間  $t$  等待於港口開門之數量。

$V_t$  : 為一變數，卡車在時間區間  $t$  離開港口開門之數量。

$N_{kia}$ 、 $Q_{kia}$  : 為一變數，實際時間差與偏好時間差的差值。

$S_{kia}$ 、 $Z_{kia}$  : 為一變數，實際預約時窗與貨運業者偏好時窗之差值。

$T_d$  : 為一變數，對於每間貨運業者  $d$  之成本。

$x_{kia\tau}$  : 卡車  $k$  共  $i$  次預約中第  $a$  次作業在  $\tau$  時窗成功預訂為 1，反之為 0。

$$\text{Min} \quad \sum_{d \in D} T_d + c_{queue} \sum_{t \in T_\tau} (W_t + \frac{\lambda_t - V_t}{2}) \quad (1)$$

s.t.

$$\begin{aligned} T_d = & c_{large}^{gap} \sum_{k \in K_d} \sum_{i \in I\{1\}} \sum_{a \in R_i} N_{kia} + c_{small}^{gap} \sum_{k \in K_d} \sum_{i \in I\{1\}} \sum_{a \in R_i} Q_{kia} + c_{pos} \sum_{k \in K_d} \sum_{i \in I} \sum_{a \in R_i} S_{kia} \\ & + c_{neg} \sum_{k \in K_d} \sum_{i \in I} \sum_{a \in R_i} Z_{kia} \quad \forall d \in D \end{aligned} \quad (2)$$

$$\sum_{\tau \in T} x_{kia\tau} = 1 \quad \forall d \in D, \forall k \in K_d, \forall i \in I, \forall a \in R_i \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K_d} \sum_{i \in I} \sum_{a \in R_i} x_{kia\tau} \leq c_\tau \quad \forall \tau \in T \quad (4)$$

$$\tau \cdot \sum_{\tau \in T} x_{kia\tau} \leq \tau \cdot \sum_{\tau \in T} x_{ki(a+1)\tau} \quad \forall d \in D, \forall k \in K_d, \forall i \in I\{1\}, \forall a \in R_i\{i\} \quad (5)$$

$$\lambda_t = \sum_{k \in K_d} \sum_{i \in I} \sum_{a \in R_i} x_{kia\tau} / \sigma \quad \forall t \in T_\tau, \forall \tau \in T \quad (6)$$

$$V_t \leq \mu_t \frac{W_t + 1 - \sqrt{W_t^2 + 2e^2 \cdot W_t + 1}}{1 - e^2} \quad \forall t \in T_r, \forall \tau \in T \quad (7)$$

$$V_t \leq W_t + \lambda_t \quad \forall t \in T_r, \forall \tau \in T \quad (8)$$

$$W_{t+1} = W_t + \lambda_t - V_t \quad \forall t \in T_r, \forall \tau \in T \quad (9)$$

$$x_{klat} = \{0 \text{ or } 1\} \quad \forall d \in D, \forall k \in K_d, \forall i \in I, \forall a \in R_i \setminus \{i\}, \forall \tau \in T \quad (10)$$

在上述數學模型中，各公式的涵義分別為：(1)最小化對於貨運業者成本以及卡車在港口開門等候成本。(2)計算貨運業者成本。(3)確保每筆預約都成功預約。(4)確保每段時窗的預約總數不能超過一定配額。(5)確保每台卡車其所有需求的實際順序必須與偏好順序相同。(6)-(9)計算卡車等候數量相關限制式。(10)決策變數為 0、1 變數。

Torkjazi et al. (2018) 事先採用禁忌搜尋演算法求解卡車路線規劃問題取得貨運業者偏好時間，並分別透過上述卡車預約指派模型以及將其模型忽略對於貨運業者影響之懲罰值進行貨運業者營運成本的計算。從結果得出，使用該研究提出的預約模型對於貨運業者產生的營運成本比忽略懲罰值之模型平均減少貨運業者 10%的營運成本。

Yi et al. (2019) 針對多個貨櫃堆場進行研究，除了考量到內部拖車之船舶相關作業外，也考量因為外部卡車進、出口的作業流程不同，有不同的作業效率。利用 Frank-Wolfe 演算法計算貨運業者總成本，其中包含卡車在貨櫃場站內的作業時間成本以及卡車運送貨櫃費用，最後透過實際數據的測試使用該研究提出之系統可以有效的減少 15%的總成本。

由上述文獻顯示，在卡車預約系統中考量貨運業者營運成本，可以有效地減緩對於貨運業者的影響，建立更完善的卡車預約系統。本研究參考 Torkjazi et al. (2018) 對卡車預約系統之背景以及假設，提出卡車預約系統的營運模式，並增加考量港口翻櫃作業量，除了能有效分散卡車抵達外，可以減少港口翻櫃作

業量，進而降低貨運業者等候時間，期望未來臺灣貨櫃港口引進卡車預約系統時，能發揮其最大效用。

## 2.3 等候理論應用於卡車預約系統

在現有卡車預約系統的研究中，對於車輛等候長度的估計方法有多種模式，其中以平穩等候模型(Stationary queuing model)、非平穩等候模型(Non-Stationary queueing model)、逐點流體近似方法為主，以下將分別針對各模型之文獻進行回顧。

第一種為平穩等候模型(Stationary queuing model)，一種近似排隊現象的模型，能估計變化較穩定的問題，例如：物流產業以及工廠排程...等等。由於此種模型提出較多假設，忽略現實中的變化性較難模擬實際情況。Guan and Liu (2009) 以紐約和紐澤西港口為研究對象，忽略過長的等候現象並假設等候序列在短時間內恢復平穩狀態，因此該模型估計的等候長度可能過於高估。

第二種非平穩等候模型 (Non-Stationary queueing model)，由於現實生活中大多的等候問題會隨著時間變化而無法一直維持穩定狀態，因此為了模擬實際的等候現象，採取非平穩等候模型是相對有效的方法。Chen et al. (2011) 提出一個雙層的等候系統，分別在閘門以及貨櫃堆放場系統採用非平穩等候模型。Chen et al. (2013b) 採用埃爾朗分布的非平穩等候模型 (B-PSFFA) 分析貨櫃港口閘門系統之等候情況，並與 Guan and Liu (2009) 的平穩模型比較發現非平穩等候模型的準確度較高。

在計算港口等候時大多採用逐點流體近似方法(PSFFA)計算會隨時間變化之等候數量，其概念如圖 2.1 所示，水平橫軸代表每段時窗的時間序列，每個點代表在各區間之狀態。將顧客視為流體，對於每個點都有進出的路徑以便接收

顧客並提供路徑讓顧客離開。基於非平穩排隊現象來說，顧客抵達率為卜瓦松分佈，其離開率由最大服務效率以及容量使用比率決定。

逐點流體近似方法主要由三個函式組成，分別為流量守恆函式、離開流量函式與容量利用率函式。透過三個函式估計卡車等候長度，並且分別針對 M/M/1 與 M/G/1 的公式進行說明：

流量守恆函式：

$x_t$ ：每個點在時間區間  $t$  的系統狀態

$\lambda_t$ ：時間區間  $t$  的顧客抵達率

$V_t$ ：時間區間  $t$  的顧客流出(離開)率

$$X_{t+1} = X_t + \lambda_t - V_t \quad \forall t \quad (11)$$

離開流量函式：

$S_t$ ：時間區間  $t$  最大服務率

$\rho_t$ ：時間區間  $t$  容量利用率，其容量利用率如函式(13)所示

$$V_t - S_t \cdot \rho_t \leq 0 \quad \forall t \quad (12)$$

$$\rho_t = x_t / (x_t + 1) \quad \forall t \quad (13)$$

函式(14)適用於 M/M/1 等候系統，系統服務時間服從指數分配;若針對 M/G/1 等候系統且服務時間服從一般分配時，容量利用率則由 Pollaczek-Khintchine (P-K) 公式推導而得(Chen et al. (2011))，其函式如下所示，其中  $e$  為系統中前一個狀態之服務時間變異分配

$$\rho_t = S_t \cdot \frac{x_t + 1 - \sqrt{x_t^2 + 2e^2 \cdot x_t + 1}}{1 - e^2} \quad \forall t \quad (14)$$

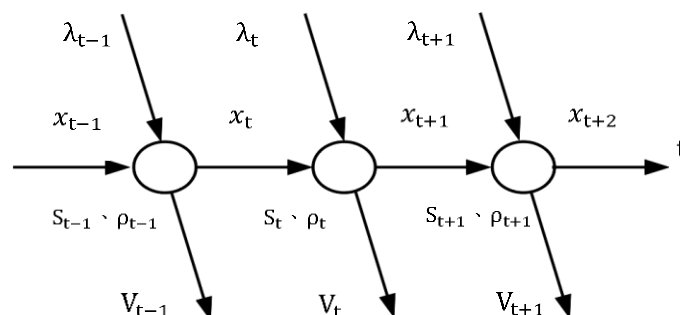


圖 2.1 逐點流體近似方法示意圖

資料來源：本研究整理

過去許多研究為了簡化問題，使用平穩等候模型進行評估，然而在實際狀況存在相當多變化，為了將研究更貼近生活化，針對非平穩等候理論之研究也逐漸增加。因此本研究也將以非平穩等候模型並參考 Chen et al.(2011) 提出的雙層等候系統以採用逐點流體近似方法(PSFFA)，同時考量港口開門以及貨櫃堆放場的等候現象，期望能貼近實務，設計出更完善的卡車預約系統。

## 2.4 小結

本研究在第一部份回顧過去以港口營運角度設置卡車預約系統相關文獻，了解到在有限的機具下，設定最佳化預約配額相當重要。除此之外，透過整合卡車預約系統與裝卸作業可以有效的減少貨櫃翻櫃次數，進而縮短卡車在貨櫃堆放場的等候時間，但是以預約資訊事先規劃貨櫃儲放位置，必須搭配後續程式的建置才得以完成，既費時又會增加港口營運成本。因此本研究在不增加港口營運成本下，依照已知的貨櫃儲位透過卡車預約系統進行預約時間調整，達到減少港口翻櫃作業量與卡車等候時間之目標。

在第二部分針對整合貨運業者營運規劃之卡車預約系統相關文獻進行回顧，得知卡車預約系統調整貨運業者偏好時間的預約方式對於貨運業者營運有

非常大的影響，因此本研究也將考量最小化改變貨運業者偏好時間可能產生之不便成本，並參考 Torkjazi et al.(2018) 對卡車預約系統建置之背景以及假設。

第三部分則回顧過去在卡車預約系統應用等候理論相關文獻，從 Chen et al.(2013b) 的研究可以發現，使用非平穩等候理論可以估算出更準確的等候長度。因此本研究也將參考 Chen et al. (2011)提出的雙層等候系統，同時探討港口開門或是貨櫃堆放場的壅塞情況，並利用逐點流體近似方法探討開門與貨櫃堆放場之等候程度。藉由更接近實務之假設，增加運用於現實生活的可能性，以達成本研究以國外的文獻借鏡臺灣，使臺灣港口未來能透過卡車預約系統的運作減緩卡車等候時間與降低翻櫃作業量的目標。

過去卡車預約系統之相關背景大多以假設代替實務資訊，各研究對於使用卡車預約系統之貨櫃港口的背景假設並不相同，其中共同點為：(1)為了提升港口管理效率，港口須具備網頁或是系統平台以便貨運業者提出預約時間。(2)貨運業者需提供相關作業資訊，如：卡車號碼、貨櫃號碼等。本研究也將以上述共同點為研究假設，並提出之貢獻為：(1)提出由已知之貨櫃儲位狀態作為調整貨運業者作業時間之依據，使得港口不需要事先調整貨櫃儲位即可縮減翻櫃作業量。(2)考量開門與貨櫃堆放場的等候情形，模擬貨櫃港口實務上作業情形。

本研究將卡車預約系統相關文獻進行比較，如表 2.1 與 2.2，表 2.1 為卡車預約系統(TAS)設計之考量因素與求解方法，而表 2.2 則是針對目標式考量因素進行比較。從表 2.1 可以得知，因研究範圍不同，考量的背景也有所差異，例如：在卡車預約系統設計方面，Schulte et al. (2015)、Phan and Kim (2015,2016)與 Torkjazi et al. (2018) 皆考量改變貨運業者偏好時間之影響。Schulte et al. (2015)除了考量卡車的裝卸作業外，加入其他聯外的運送工具進行比較，如：火車以及駁船。Phan and Kim (2015,2016) 在 2015 年主要考量貨運業者因改變偏好時間所產生的成本，隔年則進一步考量到貨運業者指派卡車的成本。Torkjazi et al.

(2018) 則考量貨運業者進行卡車路線規劃之成本。在求解方法的部分，大多以數學規劃以及模擬的方式。從表 2.2 可以得知 Phan and Kim (2015,2016)與 Torkjazi et al. (2018) 皆分別針對港口開門以及貨櫃儲放場的等候成本進行分析，然而不論是港口開門或是貨櫃儲放場的等候程度對於港口的作業情況都具有相當大的影響，因此本研究將同時考量開門以及貨櫃儲放場之等候情況，以建立更完善的卡車預約系統。

表 2.1 卡車預約系統相關文獻比較(1)

| 作者(年份)                       | TAS 設計         |                |                |           |            | 求解方法      |           |            |            |
|------------------------------|----------------|----------------|----------------|-----------|------------|-----------|-----------|------------|------------|
|                              | 考量<br>時窗<br>配額 | 考量<br>港口<br>資源 | 考量<br>貨運<br>業者 | 整合<br>TAS | 排隊理論       |           | 模擬        |            | 最佳化        |
|                              |                |                |                |           | 不隨時間<br>變化 | 隨時間<br>變化 | 代理人<br>模擬 | 離散事件<br>模擬 | 數學規劃<br>求解 |
| Huynh and Walton (2008)      | V              | V              |                |           | V          |           |           | V          | V          |
| Zehendner and Feillet (2014) | V              | V              |                |           |            | V         |           | V          | V          |
| Schulte et al. (2015)        | V              |                | V              | V         | V          |           |           | V          |            |
| Phan and Kim (2015)          | V              | V              | V              |           |            | V         |           |            | V          |
| Phan and Kim (2016)          | V              | V              | V              | V         |            | V         |           |            | V          |
| Torkjazi et al. (2018)       | V              | V              | V              |           |            | V         |           |            | V          |
| Zhang et al. (2019)          | V              | V              |                |           |            | V         |           |            | V          |

資料來源：本研究整理

表 2.2 卡車預約系統相關文獻比較(2)

| 作者(年份)                       | 目標式      |           |                |      |    |          |              |               |
|------------------------------|----------|-----------|----------------|------|----|----------|--------------|---------------|
|                              | 等候成本     |           | 作業<br>延遲<br>成本 | 閒置時間 |    | 卡車<br>配額 | 貨運業者         |               |
|                              | 港口<br>開門 | 貨櫃<br>儲放場 |                | 起重機  | 卡車 |          | 改變預期<br>時窗成本 | 卡車固定/<br>旅行成本 |
| Huynh and Walton (2008)      |          |           |                |      |    | V        |              |               |
| Zehendner and Feillet (2014) |          |           | V              |      |    |          |              |               |
| Schulte et al. (2015)        |          |           |                |      |    |          |              | V             |
| Phan and Kim (2015)          |          | V         |                |      |    |          | V            |               |
| Phan and Kim (2016)          |          | V         |                |      |    |          |              | V             |
| Torkjazi et al. (2018)       | V        |           |                |      |    |          | V            |               |
| Zhang et al. (2019)          | V        | V         |                | V    |    |          |              |               |

資料來源：本研究整理

### 第三章 貨櫃港口卡車預約模式

在裝卸機具資源有限的情況下，透過卡車預約系統提前得知卡車抵達分布，可以有效的分散卡車抵達時間，降低貨運業者在港口等候之時間。然而在使用卡車預約的情況下，需要港口事先依照預約資訊進行貨櫃儲位調整，才得以最大化卡車預約系統的效用。然而，對於港口來說，會因為增加人力與機具提高其營運成本。因此本研究希望在港口未事先調整儲位並且已知貨櫃儲位資訊的情況下，提出一套卡車預約模式以最小化港口開門與貨櫃儲放場的卡車等候數量成本、改變貨運業者偏好時間之懲罰成本以及以港口為角度之翻櫃作業量成本，並透過權重值的調整找出港口與貨運業者之間的平衡。本研究將於 3.1 小節解釋問題以及相關假設，3.2 小節為本研究提出的卡車預約指派模型，3.3 小節將描述本研究之模型求解方法，最後在 3.4 小節利用案例驗證本研究提出數學模型之可行性。

#### 3.1 問題描述

本研究之研究問題為貨櫃港口卡車預約模式之探討，如第二章文獻回顧得知，藉由文獻回顧整理卡車預約系統之特點，建立以下假設：

港口須具備網頁或是系統平台以便貨運業者在作業前一天提出需求，包含卡車號碼、作業項目(提領或提交貨櫃)、貨櫃號碼與預約時窗，貨運業者才得以至港口作業。假設一筆預約代表一台卡車對應一個 40 呎或是 20 呎貨櫃之作業。基於方便管理，貨運業者需依照卡車預約系統調整之預約時窗進行作業，無法允許各家貨運業者私下交換。除此之外，在完成預約後，港口也不得因為場站人力與資源不足而取消或是改變貨運業者之作業時窗。

本研究主要針對預約指派模型的建構進行研究，並且延伸 Torkjazi et al.

(2018) 其考量最小化貨運業者營運影響之預約指派模型。本研究與其主要差別在於：(1)過去未考量在使用卡車預約系統的情況下，對於港口來說事先調整貨櫃儲位會增加他們的作業量，而對於貨運業者來說翻櫃的時間會使其在場站停留更多的時間。因此本研究將貨櫃儲位因素加入卡車預約模式中，在貨運業者與港口之間取得最佳平衡以調整貨運業者作業時間，以最小化港口與貨運業者總成本求解最佳卡車預約時間表。(2)由於在港口開門以及貨櫃堆放場都有可能產生等候現象，當作業量需求大增時，會產生更嚴重的擁擠程度，因此將貨櫃堆放場的等候數量也加入計算，以模擬實務上的情境。

本研究提出之貨櫃港口卡車預約模式運作架構如圖 3.1 所示，卡車預約系統在運作前需接收貨運業者以及港口提供之資訊。為了預留卡車預約系統運作時間，貨運業者在作業前一天提出預約需求，而港口則依照人力與裝卸機具分配情況，提供每個時窗最大能容納卡車作業數量。除此之外，卡車預約系統能連接港口 TOS 系統得知貨櫃儲位資訊以計算翻櫃作業量。當卡車預約系統接收到所有資訊後，以最小化改變貨運業者偏好時窗之懲罰成本、翻櫃作業量成本以及卡車等候數量成本安排最佳預約時間表。最後將調整過的預約時間表回傳給貨運業者以及港口營運者，即完成一日的預約安排。而貨運業者則在該作業日依照排定時間抵達港口作業，然而，由於本研究主要針對卡車作業前的事前規劃，未考量即時的交通狀況與作業情形，因此當卡車依照排定時間抵達港口時，以先到先服務(FCFS)為作業順序，以避免違反公平原則。

實際的貨櫃作業流程以及等候現象，如圖 3.2 所示。卡車抵達港區外時，須在港口開門等待文件確認完成並放行，此時若開門不是閒置便會產生等候現象。完成開門作業後，卡車會前往貨櫃堆放場等候裝卸作業，若門式起重機不是閒置時也會產生等候情形。另外，由於貨櫃堆放場的作業需求受到開門作業效率的影響，因此本研究參考 Chen et al. (2011) 提出之雙層等候模型，考量在

雙層服務窗口下，計算卡車在港口作業的等候時間。

由於本研究提出之卡車預約模式與貨櫃堆放場的作業息息相關，因此針對貨櫃港口的 CY 櫃進行研究，並假設貨櫃進出港區須經過貨櫃堆放場的存放作業。除此之外，假設有多個大小相同的貨櫃堆放場情況下，每個貨櫃堆放場皆設置一台門式起重機，將每個貨櫃堆放場視為一個服務窗口，而卡車須停靠在堆放場兩旁車道等待門式起重機進行裝卸，並假設進出口的作業效率相同。此外，依照經驗法會將進出口分開並將對應相同船舶作業的貨櫃放置在同一區。

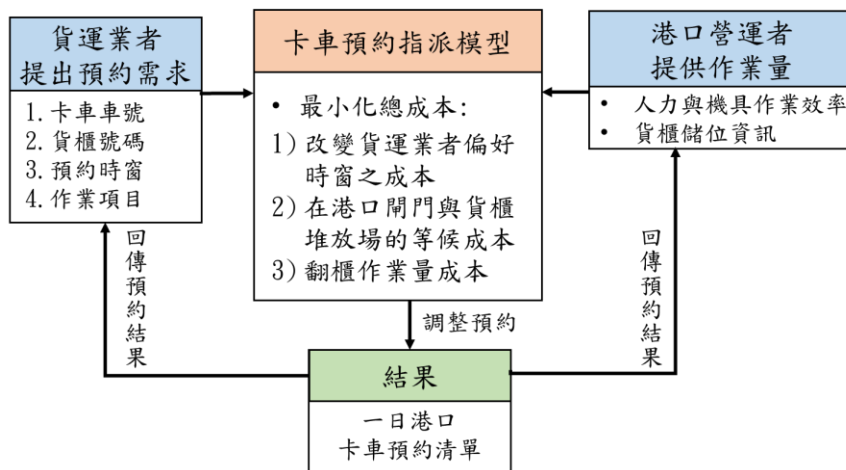


圖 3.1 卡車預約模式運作架構圖

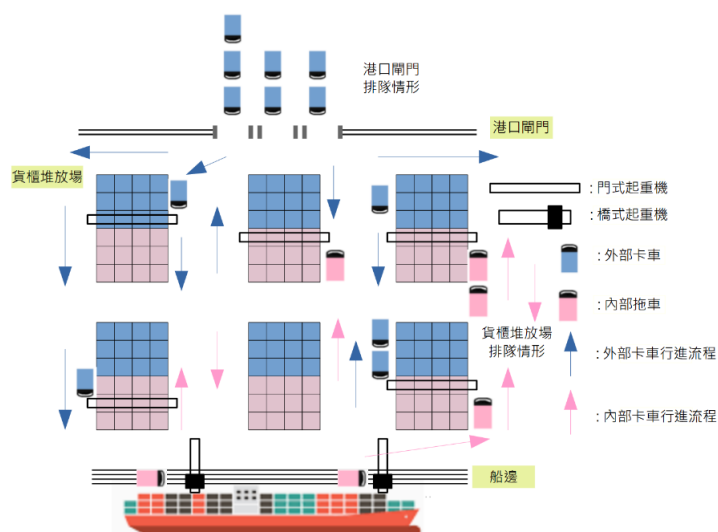


圖 3.2 貨櫃港口開門/貨櫃堆放場等候情況示意圖

資料來源：本研究整理

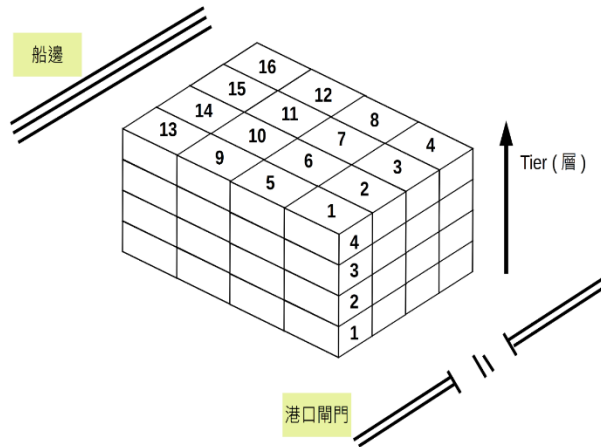


圖 3.3 貨櫃港口貨櫃儲位示意圖

資料來源：本研究整理

本研究假設貨櫃儲位資訊可以透過港口的貨櫃堆放場系統取得，並且假設港口會事先依照船邊作業需求利用 TOS 系統進行貨櫃儲位規劃。貨櫃的預約會參考貨櫃儲位順序進行安排，以減少港口翻櫃作業量。而本研究之貨櫃儲位表示方法如圖 3.3 所示，一個長方體代表一個貨櫃，從靠近港口開門的貨櫃開始標記，再由左至右分別以數字代表不同欄位。而貨櫃堆放高度以層(tier)代表，數字愈高代表堆疊的高度愈高。本研究以兩個貨櫃之間的相對位置來進行判斷依據，假設若為進口貨櫃時層數愈高的貨櫃安排在愈早時窗進行作業，得以減少翻櫃次數；而在出口貨櫃則是須放置在貨櫃堆放場最上方時貨櫃盡量給定較晚的時間，可以減少翻櫃次數。若是違反此因素則會產生翻櫃成本。除此之外，由於本研究著重於貨櫃卡車預約安排之事先規劃，因此假設在取得目標貨櫃後再將翻櫃之貨櫃放回原欄位，使得每個欄位之翻櫃情形不會互相影響。

### 3.2 貨櫃港口卡車預約指派模式

本研究之背景為具備資訊整合平台之貨櫃碼頭，由貨運業者提出卡車預約需求，而卡車預約系統會依據港口提供之最大配額與貨櫃儲位資訊規劃每日卡

車作業預約時窗，而本研究的環境假設如 3.1 小節，發展之卡車預約指派數學模型以及其使用之符號說明如下：

指標：

$\tau$ ：為貨運業者作業時窗。

$t$ ：為時間區間。

$k$ ：為所有預約卡車號碼。

$a$ ：為預約數量。

$g$ ：為港口開門。

$y$ ：為港口貨櫃堆放場。

$i, j$ ：為貨櫃代號。

集合：

$T$ ：時間窗集合， $T=\{1, 2, \dots, 14\}$ ， $T=1$  代表時間窗為早上七點至早上八點。

$T_t$ ：時間區間集合， $T_1 = \{1, 2, \dots, 10\}$ ,  $T_2 = \{1, 2, \dots, 10\}$ ， $T_1 = 1$  為早上 7:00 到早上 7:06 之間。

$K$ ：卡車號碼集合。

$I$ ：貨櫃號碼集合。

$R_k$ ：卡車  $k$  一日預約作業量集合。

$J$ ：港口開門數集合。

$L$ ：港口堆放場數集合。

參數：

$Q_\tau$ ：港口在每個時窗  $\tau$  提供之預約配額。

$P_{ka}$ ：卡車  $k$  第  $a$  個作業之預約偏好時窗。

$Max_{y\tau}$ ：港口第  $y$  個貨櫃堆放場在每個時窗  $\tau$  能服務之最大貨櫃數量。

$Ti_{ka}$ ：卡車  $k$  第  $a$  個作業之貨櫃儲位層數。

$Col_{ka}$  : 卡車 k 第 a 個作業之貨櫃儲位欄位。

$Yard_{ka}$  : 卡車 k 第 a 個作業之貨櫃堆放場位置。

$tp1$  : 進口貨櫃作業代號。

$tp2$  : 出口貨櫃作業代號。

$S_{gt}$  : 第 g 個閘門在每個時間區間 t 之最大服務率。

$S_{yt}$  : 第 y 個貨櫃堆場在每個時間區間 t 之最大服務率。

$\sigma$  : 預約時窗數中時間區間數量。

$e_y$  : 港口第 y 個貨櫃堆場之作業效率變異數。

$\delta_y$  : 從閘門到不同堆場 y 的卡車流比例。

$w^a$  : 以貨運業者為角度之權重值。

$w^b$  : 以港口為角度之權重值。

$C_{wait}$  : 等候數量成本(元/車次)。

$C_{change}$  : 改變貨運業者偏好時窗成本(元/時窗數量)。

$C_{container}$  : 翻櫃作業量成本(元/翻櫃次數)。

變數 :

$\lambda_{gt}$  : 第 g 個閘門在時間區間 t 卡車平均抵達數量。

$W_{gt}$  : 第 g 個閘門在時間區間 t 卡車平均等候數量。

$V_{gt}$  : 第 g 個閘門在時間區間 t 卡車平均離開數量。

$\lambda_{yt}$  : 第 y 個貨櫃堆場在時間區間 t 卡車平均抵達數量。

$W_{yt}$  : 第 y 個貨櫃堆場在時間區間 t 卡車平均等候數量。

$V_{yt}$  : 第 y 個貨櫃堆場在時間區間 t 卡車平均離開數量。

$WT_{gt}$  : 第 g 個閘門在時間區間 t 卡車平均等候時間。

$WT_{yt}$  : 第 y 個貨櫃堆放場在時間區間 t 卡車平均等候時間。

$Z_{ka}$  : 卡車 k 第 a 個作業之貨運業者偏好時窗與實際預約時窗之時窗差距。

$S_{ka}$  : 卡車 k 第 a 個作業之實際預約時窗與貨運業者偏好時窗之時窗差距。

$I_{ka}$  : 卡車k第a個作業為提領進口貨櫃時，產生之翻櫃次數。

$E_{ka}$  : 卡車k第a個作業為提交出口貨櫃時，產生之翻櫃次數。

決策變數：

$x_{ka\tau y}$  : 為 0、1 變數，若卡車k第a個作業在時窗 $\tau$ 至貨櫃堆放場 $y$ 進行作業為 1，反之為 0。

$$\begin{aligned} \text{Min } w^a(C_{wait}(\sum_{g \in G} \sum_{t \in T_\tau} W_{gt} + \sum_{y \in Y} \sum_{t \in T_\tau} W_{yt}) + C_{change} \sum_{k \in K} \sum_{a \in R_k} (Z_{ka} + S_{ka})) \\ + w^b(C_{container} \sum_{k \in K} \sum_{a \in R_k} (I_{ka} + E_{ka})) \end{aligned} \quad (15)$$

**s.t.**

$$\sum_{\tau=1}^T x_{ka\tau y} = 1 \quad \forall k \in K, \forall a \in R_k, \forall y \in L \quad (16)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^{R_k} x_{ka\tau y} \leq Q_\tau \quad \forall \tau \in T, \forall y \in L \quad (17)$$

$$Z_{ka} \geq P_{ka} - \sum_{\tau=1}^T (\tau \cdot x_{ka\tau y}) \quad \forall k \in K, \forall a \in R_k, \forall y \in L \quad (18)$$

$$Z_{ka} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall a \in R_k \quad (19)$$

$$S_{ka} \geq \sum_{\tau=1}^T (\tau \cdot x_{ka\tau y}) - P_{ka} \quad \forall k \in K, \forall a \in R_k, \forall y \in L \quad (20)$$

$$S_{ka} \geq 0 \quad \forall k \in K, \forall a \in R_k \quad (21)$$

$$\tau \cdot \sum_{\tau=1}^T x_{ka\tau y} \leq \tau \cdot \sum_{\tau=1}^T x_{k(a+1)\tau y} \quad \forall k \in K, \forall a \in R_k, \forall y \in L \quad (22)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^{R_k} x_{ka\tau y} \leq Max_{y\tau} \quad \forall y \in L, \forall \tau \in T \quad (23)$$

$$\begin{aligned} I_{ka} = \sum_{k'=1}^K \sum_{a'=1}^{R_k} \sum_{\tau=1}^T \sum_{\tau'=1}^T x_{ka\tau y} \cdot x_{k'a'\tau'} (Ti_{k'a'} - Ti_{ka}) \quad \forall k \in K, \forall a \in R_k, \forall \tau < \tau', \forall Ti_{k'a'} \\ > Ti_{ka}, \forall Work_{ka} = Work_{k'a'} = tp1, \forall Col_{ka} = Col_{k'a'}, \forall y \in L \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} E_{ka} = \sum_{k'=1}^K \sum_{a'=1}^{R_k} \sum_{\tau=1}^T \sum_{\tau'=1}^T x_{ka\tau y} \cdot x_{k'a'\tau'} (Ti_{ka} - Ti_{k'a'}) \quad \forall k \in K, \forall a \in R_k, \forall \tau < \tau', \forall Ti_{k'a'} \\ < Ti_{ka}, \forall Work_{ka} = Work_{k'a'} = tp2, \forall Col_{ka} = Col_{k'a'}, \forall y \in L \end{aligned} \quad (25)$$

$$x_{ka\tau y} \in \{0 \text{ or } 1\} \quad \forall k \in K, \forall a \in R_k, \forall \tau \in T, \forall y \in L \quad (26)$$

在上述數學模型中，公式(15)至(26)的涵義，如下所示：

- (15) 由於本研究為同時考量貨運業者與港口之多目標問題，因此設立兩種權重值以建立單一目標，並以最小化成本為目標，包含卡車在開門與貨櫃堆場的等候數量成本、改變貨運業者偏好時間成本以及翻櫃作業量成本。
- (16) 確保每筆預約都成功指派預約。
- (17) 確保每段時窗的預約總數不能超過港口提供之容量限制配額。
- (18)-(21)計算每筆預約其偏好時窗與實際指派時窗差距。
- (22) 確保每台卡車其所有需求的實際順序必須與偏好順序相同。
- (23) 確保每個時窗的作業量不得超過每台起重機的最大作業量。
- (24)-(25) 計算兩個貨櫃儲位在相同欄位的情況下翻櫃的次數。
- (26)  $x_{katy}$  為 0、1 變數。

本研究根據過去研究指出，在實務上港口開門的作業型態符合 M/M/1 等候模型，而貨櫃堆放場服從 M/G/1 等候模型，因此本研究利用在 2.3 小節提到之函式(11)至函式(14)計算港口開門與貨櫃堆放場每個時間區間  $t$  中系統的狀態，並依照逐點流體近似方法延伸出以下限制式。

限制式(27) - (29)針對港口開門計算等候數量，而(30)-(32)則是探討貨櫃堆放場的等候數量。限制式(27)與(30)分別計算卡車抵達開門與貨櫃堆放場的數量，限制式(30)由於卡車須經過開門作業才得以進入港區，因此會受限制式(29)的影響。限制式(28)與(31)分別計算開門與貨櫃堆放場的等候數量。限制式(29)與(32)分別探討卡車離開開門與貨櫃堆放場的數量。限制式(33)與(34)則是計算卡車的等候時間。

$$\lambda_{gt} = \sum_{k=1}^K \sum_{a=1}^{R_k} \sum_{g=1}^J x_{kat} / \sigma \cdot g \quad \forall t \in T_r, \forall \tau \in T, \forall g \in J \quad (27)$$

$$W_{gt+1} = W_{gt} + \lambda_{gt} - V_{gt} \quad \forall t \in T_r, \forall \tau \in T, \forall g \in J \quad (28)$$

$$V_{gt} \leq S_{gt} \cdot W_{gt} / W_{gt} + 1 \quad \forall t \in T_\tau, \forall \tau \in T, \forall g \in J \quad (29)$$

$$\lambda_{yt} = \sum_{g=1}^J (V_{gt} \cdot \delta_y) \quad \forall t \in T_\tau, \forall \tau \in T, \forall y \in L \quad (30)$$

$$W_{yt+1} = W_{yt} + \lambda_{yt} - V_{yt} \quad \forall t \in T_\tau, \forall \tau \in T, \forall y \in L \quad (31)$$

$$V_{yt} \leq S_{yt} \cdot \frac{W_{yt} + 1 - \sqrt{W_{yt}^2 + 2e_y^2 \cdot W_{yt} + 1}}{1 - e_y^2} \quad \forall t \in T_\tau, \forall \tau \in T, \forall y \in L \quad (32)$$

$$WT_{gt} = W_{gt} / S_{gt} \quad \forall t \in T_\tau, \forall \tau \in T, \forall g \in J \quad (33)$$

$$WT_{yt} = W_{yt} / S_{yt} \quad \forall t \in T_\tau, \forall \tau \in T, \forall y \in L \quad (34)$$

本研究提出適用於具備整合資訊平台之貨櫃港口卡車預約系統，透過事先蒐集資訊進行卡車預約規劃，藉由改變卡車抵達分佈以分散車流，達到減少尖峰時段的目的。而本研究提出之模型為混合整數非線性模型，在 3.4 小節利用 Python 3.7 內建 Pyomo 套件進行簡例求解，以驗證提出之模型在有限的資源下，能有效降低卡車等候時間並且減少翻櫃次數進而降低港口作業量。

### 3.3 卡車預約模型求解

本研究提出之卡車預約指派數學模型求解流程如圖 3.4 所示，由於本研究假設卡車預約需求與港口資源供給已知，因此在系統運作前須取得所有資訊，並透過 3.2 小節提出的數學模型以最小化成本找出最適卡車預約時間表，再將其回傳給貨運業者與港口營運者一日卡車預約時間表以供作業資訊，即結束卡車預約系統一天的運作流程。

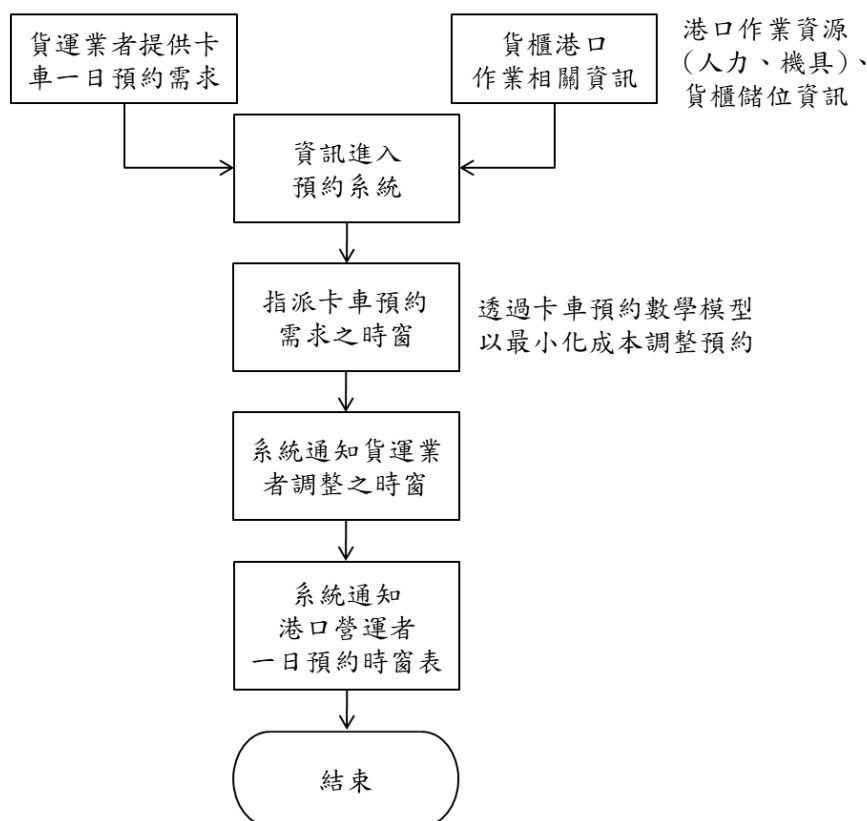


圖 3.4 卡車預約指派數學模型之求解流程圖

本研究使用Python 3.7內建的Pyomo Mindtpy求解器進行模型求解，其為一個分解演算法，將混合整數線性問題以主問題(master problem)，而將非線性問題以子問題(sub problem)進行求解，經過多次的迭代當問題收斂後即得到最佳解。求解流程如圖3.5所示，而其求解步驟如下所示：

- (1) 步驟一：首先選擇取得初始解之策略。在MindtPy的求解器中提供三種方式，而本研究採取解決連續放鬆非線性問題(rNLP)的方式，若無解代表此混合整數非線性問題無解。若有解則進入第二步驟。
- (2) 步驟二：將步驟一求解之結果更新為上界值(upper bound)。
- (3) 步驟三：利用外逼近方法(Outer Approximation，OA)產生切割平面。
- (4) 步驟四：求解混合整數線性問題，並將其求解結果更新為下界值(lower

bound)。

(5) 步驟五：確認求解結果是否收斂或達到設定之停止條件。而本研究將迭代次數條件設為五十次，而時間條件設定為7,200秒。若未收斂或未達到停止條件，執行步驟六；若收斂或是達到停止條件，則跳到步驟七。

(6) 步驟六：利用整數解求解非線性問題，並返回步驟一確認是否有解。

(7) 步驟七：結束運算，並取得最佳解。

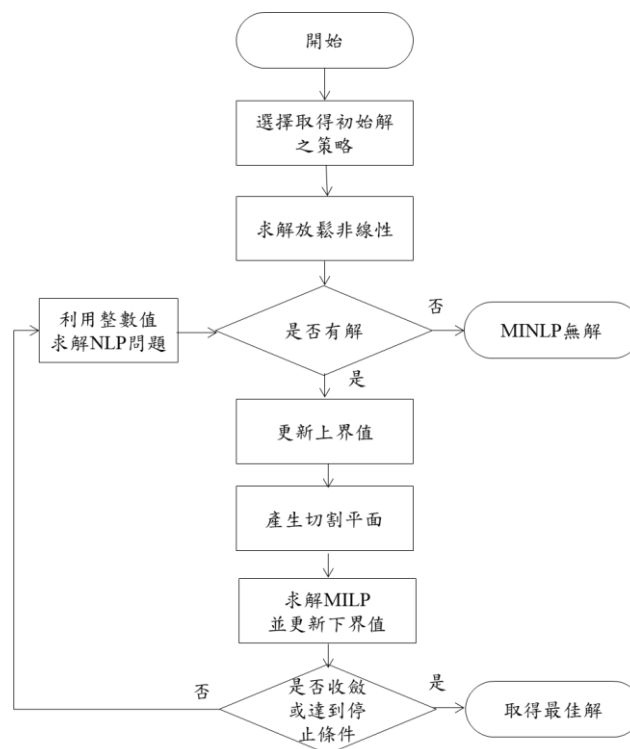


圖 3.5 Pyomo MindtPy 求解流程圖

資料來源: Bernal et al. (2018)

本研究提出之卡車預約模式將以臺灣基隆貨櫃港口實際資料進行分析，利用 Python 3.7 進行模型求解。在 3.4 小節利用簡例進行模型測試，接著在第四章透過模擬分析的方式以實際資料驗證卡車預約模型之可行性。最後進行敏感度分析，透過不同的參數設定探討卡車預約模型求解結果，以供未來貨櫃港口建置卡車預約系統時之參考依據。

### 3.4 案例分析

本研究在 3.4 小節中，以案例驗證本研究在 3.2 小節提出之模型並與 Torkjazi et al. (2018)進行比較。在表 3.1 中，列出案例分析所使用之參數，每一項參數說明如下所示：

- (1) 港口允許卡車進入之最大數量。假設港口提供十個時窗，以矩陣代表一天中各時窗能容納之數量，以表 3.1 為例港口在第一個時窗最大容納 3 台卡車，而第二個時窗為 1 台，後續的時窗以此類推。
- (2) 為預約之卡車數量，亦即一天作業當中，進入港區的卡車數量，而每台卡車依據其當天作業量可能會重複進出港口。
- (3)(4)(5) 代表港口一天的貨櫃作業量。
- (6) 每台卡車一天所有的預約時窗。以矩陣[2,2,9]為例，代表卡車 1 在一天中的預約時間按照貨櫃作業順序分別為第二、第二以及第九時窗進入。
- (7) 每個貨櫃在堆放場的規劃儲放位置。以卡車 1 為例，即第一櫃放置在第一欄位的第二層，第二櫃在第一欄位的第一層，而第三櫃則是在第二欄位的第三層。
- (8) 各成本項之懲罰值。依序分別為等候數量成本 2(元/車次)、改變貨運業者預約時窗之懲罰成本 1(元/時窗數量)，與翻櫃作業量成本 3(元/翻櫃次數)。
- (9)(10) 假設由一個閘門提供作業，而其作業效率為 0.1(車次/時窗區間)。
- (11)(12) 港口將營業時間分為十個時窗，並將每個時窗劃分為十個時窗區間。

表 3.1 案例分析使用之參數

| 參數                     | 參數設定值                          | 參數                   | 參數設定值                                    |
|------------------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------------------|
| (1) 港口每時窗允許卡車進入最大數量(台) | [3,1,1,1,1,1,1,1,2]            | (7) 港口規劃之貨櫃儲位(欄位-層數) | 卡車 1:[1-2,1-1,2-3]<br>卡車 2:[1-3,2-1,2-2] |
| (2) 貨櫃卡車數量(台)          | 2                              | (8) 單位成本矩陣           | [2 1 3]                                  |
| (3) 預約總比數(櫃)           | 6                              | (9) 開門數量(個)          | 1                                        |
| (4) 進口作業量(櫃)           | 0                              | (10) 港口作業效率(櫃)       | 0.1                                      |
| (5) 出口作業量(櫃)           | 6                              | (11) 時窗數(個)          | 10                                       |
| (6) 每台卡車每筆作業欲預約之時窗     | 卡車 1:[2,2,9]<br>卡車 2:[1,10,10] | (12) 時窗區間(個)         | 10                                       |

本研究提出之數學模型求解結果如表 3.2 所示，卡車 1 的作業時間從時窗 2 與時窗 9 調整至時窗 1 與時窗 10，而卡車 2 的時間從時窗 1 與時窗 10 調整為時窗 1、時窗 9 與時窗 10。而卡車在開門與貨櫃堆放場的總等候時間為 7.1 分鐘，並且得到系統總成本為 28.4 元。最終，兩台卡車其六筆預約皆能至港口服務，並且能達到系統總成本最小化之目標。

本研究除了利用上述案例進行模型驗證外，也將兩種模型進行比較，模型一為 Torkjazi et al. (2018) 提出之模型，如 2.2 小節之限制式(1)-(10)所示。模型二為本研究提出之模型，如 3.2 小節之限制式(15)-(34)所示。兩種模型的翻櫃比較結果如圖 3.6 所示，每一方格代表一個貨櫃，由下至上代表最底層至最上層貨櫃，並以編號(1)、(2)、(3)代表不同結果之貨櫃堆疊順序，後續將會分別進行介紹。

(1) 由港口依裝船順序規劃之貨櫃堆疊方式以圖 3.6 編號(1)所示，其裝船順序在第一欄位為貨櫃 A 至 B 再至 C，而第二欄位為貨櫃 D 至 E 再至 F。

(2) 從表 3.3 可以看到透過模型一調整後每個貨櫃的作業時窗。由圖 3.6 編號(2)顯示卡車依照調整後時窗進入的貨櫃堆疊結果。由於需要先進行貨櫃 A 與貨櫃 B 的裝船作業，因此皆須移動貨櫃 C 才得以進行，這樣會產生

兩次翻櫃作業；而第二個欄位須先進行貨櫃 D 的裝船作業，此時也須將貨櫃 E 與貨櫃 F 進行兩次翻櫃。對於裝船作業來說，模型一的結果會產生四次翻櫃作業。

- (3) 從表 3.3 可以看到模型二的卡車作業時窗調整結果。而在圖 3.6 編號(3)表示模型二的貨櫃堆疊結果，發現其結果與編號(1)之理想貨櫃堆疊方式相同，不須翻櫃即可完成裝船作業，比起模型一減少四次的翻櫃作業量。由此可見，在考量港口已知貨櫃規劃儲位時，使用本研究之模型可以有效減少翻櫃的次數。

表 3.2 案例分析求解結果

| 目標值     | 卡車作業指派                         | 改變貨運業者時窗數 | 翻櫃次數 | 開門卡車等候數量 | 堆場卡車等候數量 | 卡車總等候時間 |
|---------|--------------------------------|-----------|------|----------|----------|---------|
| 28.4(元) | 卡車 1:[1,1,10]<br>卡車 2:[1,9,10] | 4(小時)     | 0(櫃) | 23.4(車次) | 2.9(車次)  | 7.1(分)  |

表 3.3 模型一與模型二結果比較

| 模型  | 結果項目       | 結果                            |
|-----|------------|-------------------------------|
| 模型一 | 每櫃調整後之作業時窗 | 卡車 1:[1,2,9] / 卡車 2:[1,10,10] |
|     | 裝船翻櫃次數(櫃)  | 4                             |
| 模型二 | 每櫃調整後之作業時窗 | 卡車 1:[1,1,10] / 卡車 2:[1,9,10] |
|     | 裝船翻櫃次數(櫃)  | 0                             |

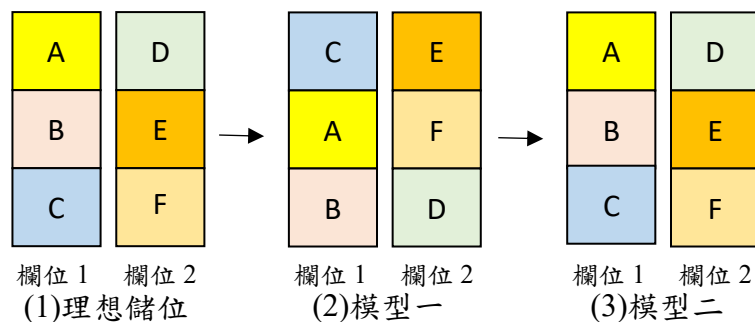


圖 3.6 案例分析調整預約時窗之儲位圖

## 第四章 實證研究-以基隆港為例

### 4.1 基隆港區貨櫃作業現況

在臺灣港務股份有限公司基隆港務分公司的貨櫃港區實務作業上，貨櫃堆放場的管理會由專業的堆場管理人員以經驗法則將相同貨主或是船期的貨櫃規劃在同一區域，並採取堆疊的方式進行管理，由於貨櫃載重限制，大多以堆疊四至五櫃為限制。而貨運業者會接受貨主提領進口櫃或是提交出口櫃之需求，依照指定時間至港區作業。當貨運業者抵達港口後須通過開門檢驗後，方可至貨櫃堆放場繳交單據並由堆場管理人員告知其貨櫃放置位置，當貨運業者抵達指定位置後，等待門式起重機進行貨櫃的裝卸作業。在機具使用上，進口櫃有高堆疊的需求因此以門式起重機進行作業，而出口櫃則是需要機動性高的作業方式，以跨載機的使用較多。然而，由於預期未來軍港西遷的政策會縮小自營櫃場的腹地大小，未來多會使用門式起重機以最大化場地的使用，因此本研究針對未來政策推行時所延伸出的卡車預約模型，以進出口皆透過門式起重機作業為主要的模擬環境。

在港區的貨櫃分為需等待結關放行之 CY 貨櫃與直接在船邊作業之 MY 貨櫃，因為在港區內 MY 貨櫃的作業不經由貨櫃堆放場的管理，因此將兩種形式的貨櫃分開管理。由於本研究的研究範圍主要針對貨櫃堆放場的貨櫃儲放管理，因此在本研究的卡車預約模式中不考慮 MY 貨櫃之作業。本研究將於後續實證研究中參考基隆貨櫃港區之實際營運資訊，如下所示：

- (一) 港區場地配置:包含機具、貨櫃堆放場配置。
- (二) 貨櫃種類:以 20 呎或是 40 呎一般貨櫃為主。
- (三) 港口開門作業效率:一台卡車平均作業時間為 2.5 分鐘。

(四) 貨櫃堆放場門式起重機作業效率:一小時平均處理 20 到 25 個貨櫃。

雖然基隆貨櫃港區的貨櫃量相對於其他國際大港來說較少，但有七成以上的貨櫃須經由貨櫃堆放場，造成堆場的作業量龐大。除此之外，因為港區腹地較小，而且主要以傳統人力的作業方式使得作業效率較低，在裝卸作業量較大的尖峰時段，更需要透過卡車預約系統有效的分散車流。因此，本研究以基隆貨櫃港區之實際數據模擬提出之卡車預約模式，驗證同時考量貨運業者影響以及港口翻櫃作業量目標之成效。

## 4.2 實驗設計與環境假設

本研究採用基隆港貨櫃港口卡車抵達資料並透過環境假設，驗證第三章提出之卡車預約指派數學模型，試分析以本研究提出之研究方法對於應用在貨櫃港口之卡車預約指派前後差異性。最後，透過敏感度分析了解各參數對於模型求解之重要性，以期未來將本研究提出之求解方法應用於實務作業上，提高未來臺灣貨櫃港口應用卡車預約系統之可能性，本研究建置之作業環境如下所示：

(一) 港區環境設施配置以基隆貨櫃港北櫃場作業環境作為參考，如圖 4.1

所示，如閘門與貨櫃堆放場區域等相關環境配置。

(二) 假設北櫃場閘門僅提供至基隆港自營櫃場作業之卡車進出，並設有半自動化門哨記錄通行情況。假設其服務時間服從指數分配，依照 4.1 小節提及之實際的作業效率假設平均每小時最大作業量為 40 個車次，如表 4.1 所示。

(三) 假設將貨櫃堆放場分為四個區塊，每區塊由一台門式起重機作業，如圖 4.1 所示。每區塊可以容納四百個貨櫃，最多可以堆疊五層。以每

小時裝卸 25 個貨櫃為其最大服務效率，並假設貨櫃堆放場的服務時間分布服從一般分配，而其變異係數為 0.08，如表 4.1 所示。

(四) 表 4.2 中列出求解卡車預約指派數學模型所需參數。各成本懲罰值分別為卡車在開門與貨櫃堆放場等候數量成本 $C_{wait}2$ (元/車次)、改變貨運業者偏好時間成本 $C_{change}1$ (元/時窗數)與翻櫃作業量成本 $C_{container}3$ (元/翻櫃次數)。貨運業者權重值 $W^a$ 與港口權重值 $W^b$ 皆預設為 0.5。

(五) 在歷史資料中，晚上八點後的作業需求量大幅減少，因此本研究假設貨櫃港口的營運時間為早上七點到晚上八點，共十四個小時，並將一個小時設定為一個預約時窗，其中又分為十個時間區間。

(六) 本研究參考 Torkjazi et al. (2018) 設定港口能容納最大作業數量的方式，以兩倍的預約總數量除以時窗數量計算平均，視為每個時窗容納數量，並考量到船邊作業可能會影響外部卡車到港區內之作業，因此採用非均勻分配之配額。本研究假定在第六至第九個時窗(12 點至 15 點)所能容納的卡車數量會相對減少，僅有 0.9 倍之平均配額，而其餘時段則為 1.1 倍之平均配額。依據不同天數的預約數量，各預約筆數之港口配額參數如表 4.3 所示。

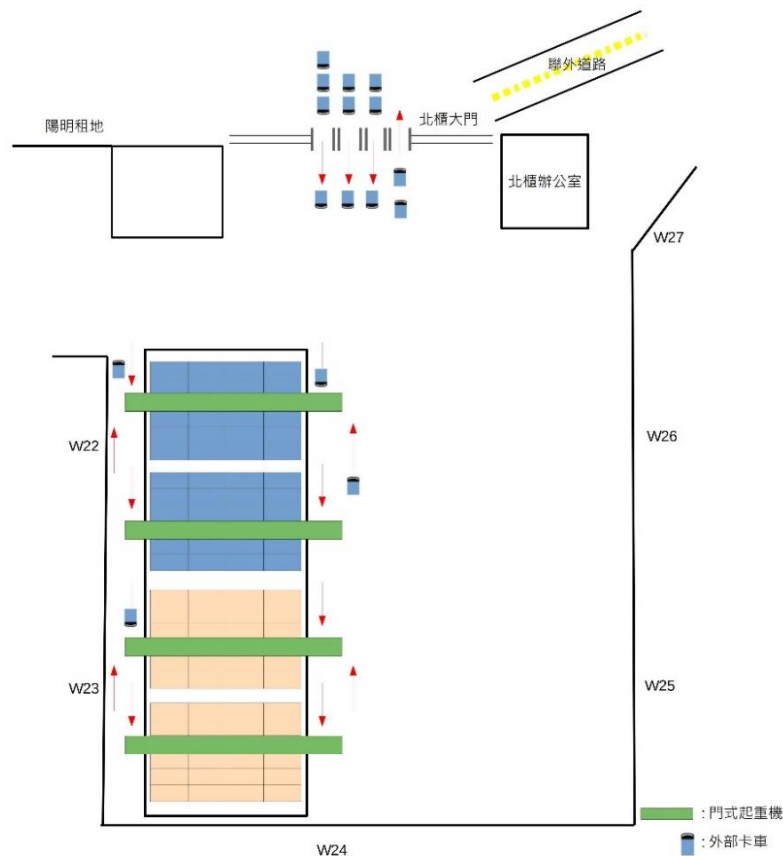


圖 4.1 基隆港西岸貨櫃碼頭貨櫃堆放場設置規劃圖

資料來源：本研究整理

表 4.1 模擬環境之參數設定值

| 場域           | 基隆港北櫃場(W22-W26) |
|--------------|-----------------|
| 港口開門數量       | 3               |
| 港口開門最大作業效率   | 40 (車次/小時)      |
| 貨櫃堆放場數量      | 4               |
| 貨櫃堆放場最大作業效率  | 25 (貨櫃數/小時)     |
| 門式起重機可用數量    | 4 台             |
| 貨櫃堆放場作業效率變異數 | 0.08 (貨櫃數/小時)   |
| 每個貨櫃場儲位數     | 80 個欄位各 5 層     |

表 4.2 模擬卡車預約模式之參數設定值

|             |           |
|-------------|-----------|
| 三個成本項之懲罰值矩陣 | [2 1 3]   |
| 兩個目標權重值     | 0.5 0.5   |
| 時窗數         | 14 (個/日)  |
| 時窗區間        | 10 (個/時窗) |

表 4.3 實證研究分析相關資料與參數

| 預約筆數 | 卡車數 | 日期         | 港口配額                                        | 貨櫃比例<br>(進口:出口) |
|------|-----|------------|---------------------------------------------|-----------------|
| 95   | 86  | 2019/02/23 | (15,15,15,15,15,13,13,13,13,15,15,15,15,15) | 1.4             |
| 114  | 104 | 2019/02/19 | (18,18,18,18,18,15,15,15,15,18,18,18,18,18) | 0.6             |
| 154  | 144 | 2019/03/21 | (24,24,24,24,24,20,20,20,20,24,24,24,24,24) | 1.85            |
| 202  | 179 | 2019/05/16 | (32,32,32,32,32,26,26,26,26,32,32,32,32,32) | 2               |
| 255  | 227 | 2018/02/08 | (40,40,40,40,40,33,33,33,33,40,40,40,40,40) | 3.11            |
| 305  | 261 | 2019/11/28 | (48,48,48,48,48,39,39,39,39,48,48,48,48,48) | 1.5             |
| 402  | 355 | 2018/03/20 | (63,63,63,63,63,52,52,52,52,63,63,63,63,63) | 3.5             |

本研究使用基隆港務公司實際卡車抵達資料，時間範圍為 2018 年 1 月 2 日到 2019 年 12 月 31 日，並以一小時為單位記錄抵達基隆港貨櫃碼頭之數量。由於本研究的卡車預約指派模型是以一日為單位進行求解，因此分別利用七天的資料進行分析。從表 4.3 可以看到 95 筆到 402 筆的資料為進入港區卡車數量、資料日期、進出口作業比例以及由本研究設定之港口配額。卡車抵達分布如圖 4.2 所示，七天的資料中皆以早上八點至九點以及下午三點至四點有較多卡車抵達，為尖峰時段，相較於其他時段較容易產生等候情形。由於每筆資料的分布與預約數量不太相同，得以藉此驗證模型求解不同資料量的可行性。

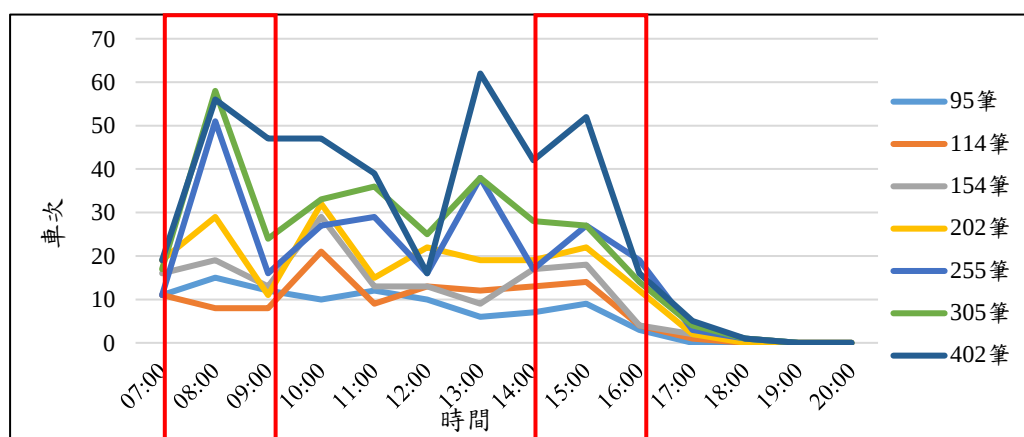


圖 4.2 實證資料卡車抵達分布圖

資料來源：基隆港務局

實際取得之資料欄位分別為卡車車號、貨櫃號碼、作業項目、日期，以及進港區時間。為了方便求解，會將實際的數據做整理與調整，以表 4.4 所示。

由於本研究是以一個時窗為單位提供貨運業者進行預約，因此會將進港區時間轉換成進港區時窗，以表 4.5 為例，假設將港區營運時間分成十個時窗，下午四點三十九分代表卡車在第九個時窗進入港區。另外，在貨櫃儲位資訊的部分，因為是過往的即時資料，未有留存當時的貨櫃儲位資訊，因此本研究按照進出口貨櫃與其對應之船掛號碼，將相同類別的貨櫃規劃在貨櫃堆放場的同一區塊，再隨機給定每個貨櫃對應之儲位以進行本研究之問題求解，以表 4.6 中貨櫃儲放欄位與層數所示。

表 4.4 貨櫃卡車預約需求架構表

| 卡車車號  | 貨櫃號碼        | 作業項目      | 日期       | 進港區時間       |
|-------|-------------|-----------|----------|-------------|
| 002KU | TEMU8427252 | 出口 CY 櫃進站 | 2018/7/9 | 下午 04:39:00 |

資料來源：本研究整理

表 4.5 調整貨櫃卡車預約需求資料架構表

| 卡車車號 | 貨櫃號碼 | 作業項目 | 日期       | <u>進港區時間</u> |
|------|------|------|----------|--------------|
| 1    | 1    | 2    | 2018/7/9 | <b>9</b>     |

資料來源：本研究整理

表 4.6 新增貨櫃卡車預約需求相關資料架構表

| 卡車車號 | 貨櫃號碼 | 作業項目 | 日期       | 進港區時間 | <u>貨櫃儲放欄位</u> | <u>貨櫃儲放層數</u> |
|------|------|------|----------|-------|---------------|---------------|
| 1    | 1    | 2    | 2018/7/9 | 9     | 73            | 4             |

資料來源：本研究整理

### 4.3 實證案例分析

本研究以 4.2 小節的環境假設與基隆港的實際卡車抵達資料進行模型驗證，利用系統總等候時間將本研究求解之結果與現況進行比較，以分析使用本研究提出之數學模型後改善程度。如公式(35)所示，由於等候理論是以抵達量

與等候量計算等候時間，未考量到貨運業者提領進口櫃時等待翻櫃的時間，因此本研究將等候時間加上進口翻櫃作業時間，而翻櫃作業時間則是利用翻櫃次數除以每分鐘翻櫃作業效率(本研究假設翻櫃作業效率為裝卸一個貨櫃之作業效率)，以計算翻櫃所需要作業時間。最後透過改善百分比探討本研究提出之模型在系統總等候時間相較於現況改善的程度，如公式(36)所示，若改善百分比愈大，表示本研究提出之模型對於港口來說降低卡車總等候時間之效用越好。

系統總等候時間=開門等候時間+堆場等候時間+(翻櫃次數/翻櫃作業效率) (35)

$$\text{改善百分比} = (\text{現況} - \text{預約指派數學模型}) / \text{現況} \quad (36)$$

本研究以 2018 年 3 月 20 日 402 筆資料的求解結果進行說明。從圖 4.3 可以看到，原先為尖峰時段的八點、十三點與十五點，透過卡車預約模型得以將尖峰時段的車流分散至離峰時段。並從圖 4.4 發現，在上述的尖峰時段利用卡車預約模型可以大幅的減少現況的等候數量與時間。除此之外，本研究將 402 筆的求解結果分為港口與貨運業者面向進行探討，針對系統總等候時間與翻櫃時間與現況進行比較，如表 4.7 所示。以港口面向來說，針對進口貨櫃的提領作業以及出口貨櫃的裝船作業分別改善 75%與 57%的翻櫃時間;以貨運業者角度來說，可以改善 58.1%的系統總等候時間。由此可見，本研究提出的模型可以同時減少卡車等候時間與港口的翻櫃時間。求解過程如圖 4.5 所示，當迭代次數達到 22 次時，上下界值呈平穩狀態，即可取得最佳近似解，而當其迭代次數達 50 次時，求解時間為 42 分鐘。

表 4.8 列出不同資料量透過卡車預約模型求解結果與現況數據，分別為卡車等候數量、改變貨運業者時窗數量與翻櫃作業量。當貨運業者抵達港口的時間透過卡車預約模型改變後，得以減少卡車等候數量與翻櫃作業量。此外，由於現況是依照貨運業者的需求進行作業，因此在改變時窗的項目中皆為零。

本研究將卡車預約模型求解結果與現況轉為時間並以改善百分比進行比較，如表 4.9 至 4.14 所示，分別代表 95 筆至 305 筆資料量比較結果，可以看到系統總等候時間最少改善 20.9%，而翻櫃時間最少可以改善 53%。本研究將港口面向之比較結果以圖 4.6 與表 4.15 表示，從圖 4.6 可以看到在港口翻櫃時間至少改善 44% 以上，並從表 4.15 可以看到平均改善 66%；以貨運業者角度則是如圖 4.7 與表 4.16 所示，在圖 4.7 可以看到有效改善 20.9% 以上的系統總等候時間，表 4.16 則表示平均改善 51% 的系統總等候時間。

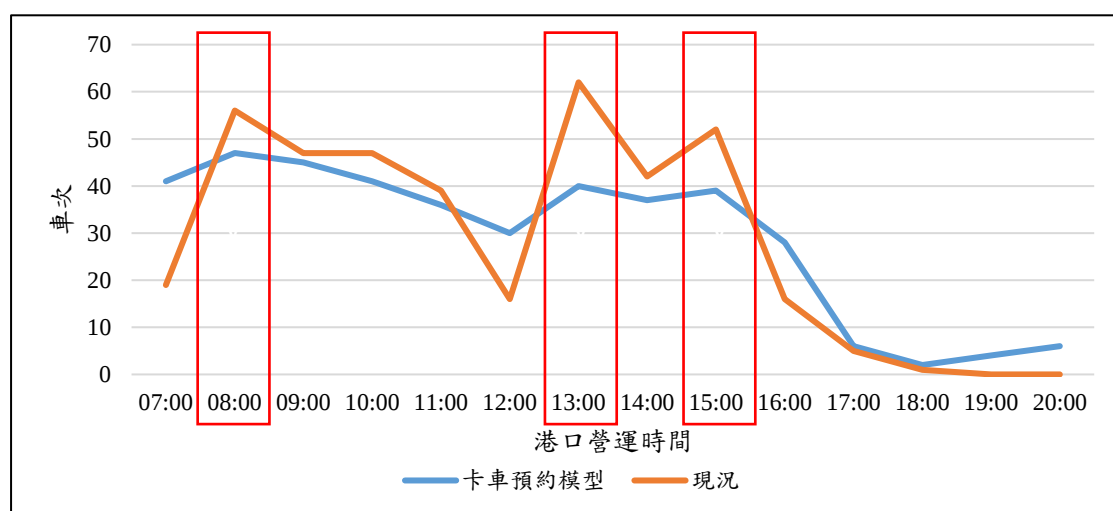


圖 4.3 402 筆預約卡車預約模型與現況之每小時卡車抵達分布比較圖

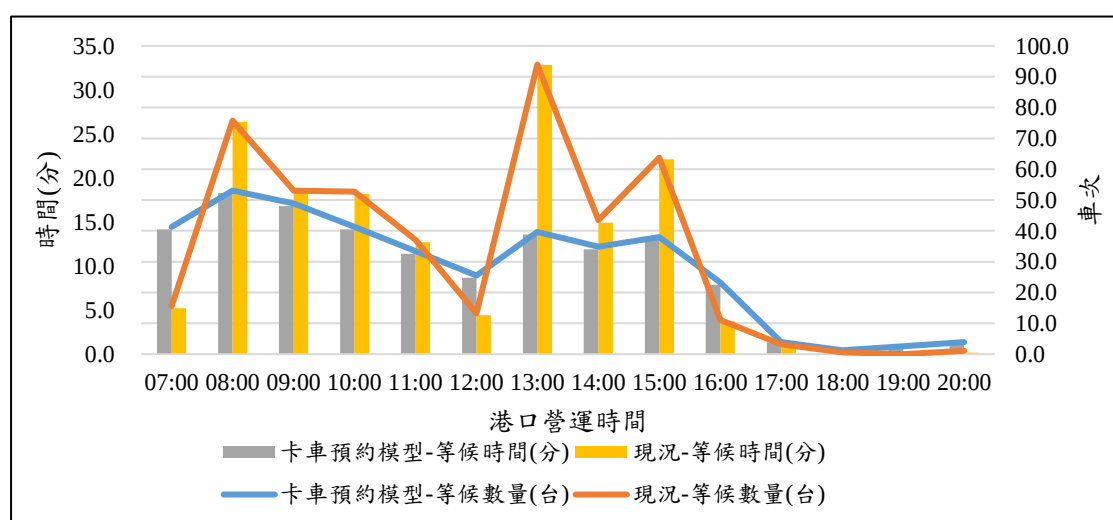


圖 4.4 402 筆預約卡車預約模型與現況之等候情形比較圖

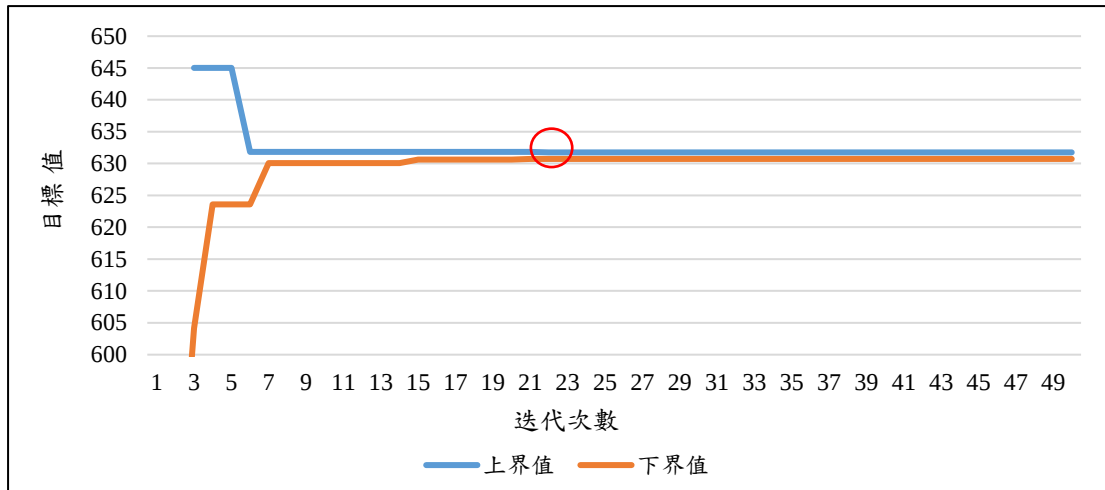


圖 4.5 402 筆求解過程之收斂趨勢圖

表 4.7 402 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表

| 402 筆          |                            |        |        |              |
|----------------|----------------------------|--------|--------|--------------|
|                |                            | 卡車預約模型 | 現況     | 改善百分比        |
| 港口<br>面向       | 提領進口貨櫃翻櫃時間(分)              | 100    | 397.62 | <u>75%</u>   |
|                | 出口貨櫃裝船翻櫃時間(分)              | 21.43  | 50     | <u>57%</u>   |
| 貨運<br>業者<br>面向 | 等候數量(開門+堆場)(台)             | 390.75 | 464.68 | 15.9%        |
|                | 等候時間(開門+堆場)(分)             | 133.77 | 160.26 | 16.5%        |
|                | 系統總等候時間(開門+堆場<br>+翻櫃時間)(分) | 233.77 | 557.89 | <u>58.1%</u> |

表 4.8 不同資料量之現況與求解結果

|                  |                  | 卡車預約模型     |            |          |                           |             |        | 現況         |            |          |                           |             |        |
|------------------|------------------|------------|------------|----------|---------------------------|-------------|--------|------------|------------|----------|---------------------------|-------------|--------|
| 預約<br>筆數<br>(櫃數) | 卡車<br>數量<br>(車次) | 目標值<br>(元) | 等候數量(車次/日) |          | 改變<br>貨運<br>業者<br>時窗<br>數 | 翻櫃次<br>數(櫃) |        | 目標值<br>(元) | 等候數量(車次/日) |          | 改變<br>貨運<br>業者<br>時窗<br>數 | 翻櫃次<br>數(櫃) |        |
|                  |                  |            | 開門<br>等候   | 堆場<br>等候 |                           | 進<br>口      | 出<br>口 |            | 開門<br>等候   | 堆場<br>等候 |                           | 進<br>口      | 出<br>口 |
| 95               | 86               | 97.1       | 28.41      | 36.18    | 44                        | 3           | 4      | 124.75     | 28.51      | 36.24    | 0                         | 25          | 15     |
| 114              | 104              | 125.71     | 34.19      | 43.52    | 63                        | 1           | 10     | 134.28     | 34.67      | 44.11    | 0                         | 4           | 33     |
| 154              | 144              | 201.47     | 47.97      | 62       | 111                       | 14          | 10     | 176.19     | 48.55      | 63.14    | 0                         | 33          | 10     |
| 202              | 179              | 324.1      | 65.57      | 86.02    | 225                       | 28          | 12     | 348.93     | 65.98      | 86.45    | 0                         | 95          | 36     |
| 255              | 227              | 369.25     | 85.3       | 122.46   | 209                       | 27          | 12     | 377.29     | 89.86      | 134.43   | 0                         | 67          | 35     |
| 305              | 262              | 425.34     | 105.89     | 160.45   | 174                       | 34          | 14     | 470.55     | 112.3      | 178.25   | 0                         | 72          | 48     |
| 402              | 355              | 631.75     | 150.23     | 240.52   | 329                       | 42          | 9      | 746.68     | 169.61     | 295.07   | 0                         | 167         | 21     |

表 4.9 95 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表

| 95 筆           |                        |        |       |                     |
|----------------|------------------------|--------|-------|---------------------|
|                |                        | 卡車預約模型 | 現況    | 改善百分比               |
| 港口<br>面向       | 提領進口貨櫃翻櫃時間 (分)         | 7.14   | 59.52 | <b><u>88%</u></b>   |
|                | 出口貨櫃裝船翻櫃時間 (分)         | 9.52   | 35.71 | <b><u>73%</u></b>   |
| 貨運<br>業者<br>面向 | 等候數量(開門+堆場)(台)         | 64.59  | 64.76 | 0.2%                |
|                | 等候時間(開門+堆場)(分)         | 21.55  | 21.57 | 0.1%                |
|                | 系統總等候時間(開門+堆場+翻櫃時間)(分) | 28.69  | 81.09 | <b><u>64.6%</u></b> |

表 4.10 114 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表

| 114 筆          |                        |        |       |                     |
|----------------|------------------------|--------|-------|---------------------|
|                |                        | 卡車預約模型 | 現況    | 改善百分比               |
| 港口<br>面向       | 提領進口貨櫃翻櫃時間(分)          | 2.38   | 9.52  | <b><u>75%</u></b>   |
|                | 出口貨櫃裝船翻櫃時間(分)          | 23.8   | 78.57 | <b><u>73%</u></b>   |
| 貨運<br>業者<br>面向 | 等候數量(開門+堆場)(台)         | 77.71  | 78.78 | 1.4%                |
|                | 等候時間(開門+堆場)(分)         | 25.92  | 26.25 | 1.3%                |
|                | 系統總等候時間(開門+堆場+翻櫃時間)(分) | 28.3   | 35.77 | <b><u>20.9%</u></b> |

表 4.11 154 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表

| 154 筆          |                        |        |        |                     |
|----------------|------------------------|--------|--------|---------------------|
|                |                        | 卡車預約模型 | 現況     | 改善百分比               |
| 港口<br>面向       | 提領進口貨櫃翻櫃時間(分)          | 33.33  | 78.57  | <b><u>58%</u></b>   |
|                | 出口貨櫃裝船翻櫃時間(分)          | 23.81  | 23.81  | 0%                  |
| 貨運<br>業者<br>面向 | 等候數量(開門+堆場)(台)         | 109.97 | 111.69 | 1.5%                |
|                | 等候時間(開門+堆場)(分)         | 36.64  | 37.28  | 1.7%                |
|                | 系統總等候時間(開門+堆場+翻櫃時間)(分) | 69.97  | 115.85 | <b><u>39.6%</u></b> |

表 4.12 202 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表

| 202 筆          |                        |        |        |              |
|----------------|------------------------|--------|--------|--------------|
|                |                        | 卡車預約模型 | 現況     | 改善百分比        |
| 港口<br>面向       | 提領進口貨櫃翻櫃時間(分)          | 59.52  | 226.19 | <u>74%</u>   |
|                | 出口貨櫃裝船翻櫃時間(分)          | 28.57  | 85.71  | <u>67%</u>   |
| 貨運<br>業者<br>面向 | 等候數量(開門+堆場)(台)         | 151.59 | 152.43 | 0.6%         |
|                | 等候時間(開門+堆場)(分)         | 50.62  | 50.74  | 0.2%         |
|                | 系統總等候時間(開門+堆場+翻櫃時間)(分) | 110.14 | 276.93 | <u>60.2%</u> |

表 4.13 255 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表

| 255 筆          |                        |        |        |            |
|----------------|------------------------|--------|--------|------------|
|                |                        | 卡車預約模型 | 現況     | 改善百分比      |
| 港口<br>面向       | 提領進口貨櫃翻櫃時間(分)          | 64.29  | 159.52 | <u>60%</u> |
|                | 出口貨櫃裝船翻櫃時間(分)          | 28.57  | 83.33  | <u>66%</u> |
| 貨運<br>業者<br>面向 | 等候數量(開門+堆場)(台)         | 207.75 | 219.73 | 5.5%       |
|                | 等候時間(開門+堆場)(分)         | 70.1   | 76.16  | 8%         |
|                | 系統總等候時間(開門+堆場+翻櫃時間)(分) | 134.39 | 235.69 | <u>43%</u> |

表 4.14 305 筆求解結果與現況之等候與翻櫃時間比較表

| 305 筆          |                        |        |        |              |
|----------------|------------------------|--------|--------|--------------|
|                |                        | 卡車預約模型 | 現況     | 改善百分比        |
| 港口<br>面向       | 提領進口貨櫃翻櫃時間(分)          | 80.1   | 171.43 | <u>53%</u>   |
|                | 出口貨櫃裝船翻櫃時間(分)          | 33.33  | 114.29 | <u>71%</u>   |
| 貨運<br>業者<br>面向 | 等候數量(開門+堆場)(台)         | 266.34 | 290.56 | 8.3%         |
|                | 等候時間(開門+堆場)(分)         | 90.22  | 99.23  | 9.1%         |
|                | 系統總等候時間(開門+堆場+翻櫃時間)(分) | 171.17 | 270.66 | <u>36.8%</u> |

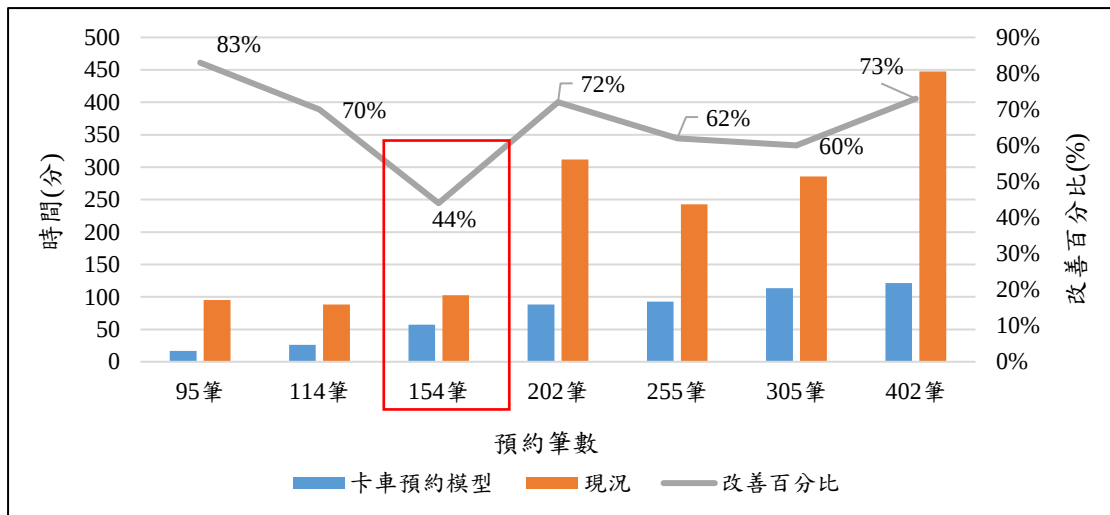


圖 4.6 港口翻櫃時間比較圖

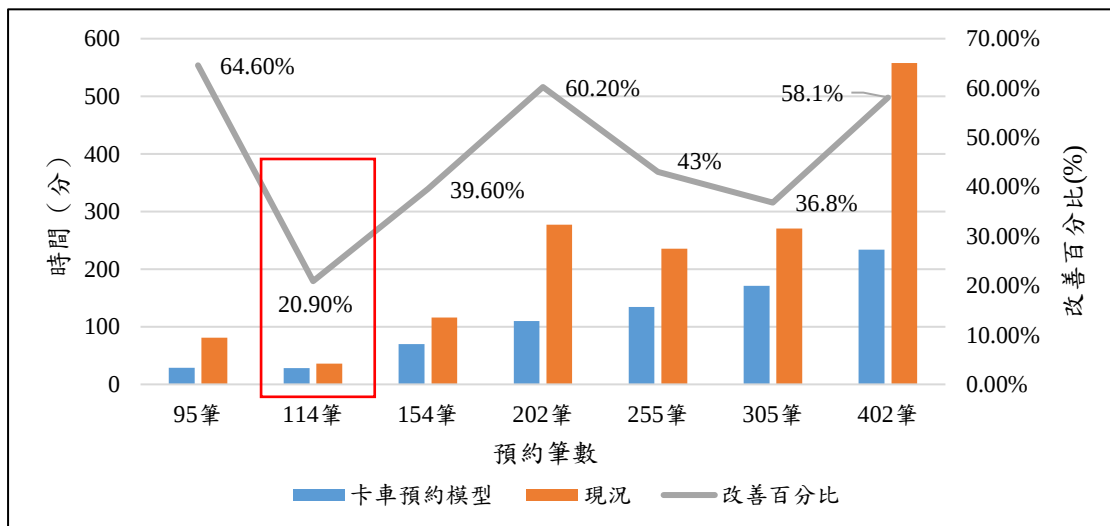


圖 4.7 貨運業者系統總等候時間比較圖

表 4.15 不同資料量之港口翻櫃時間改善百分比

|       | 卡車預約模型(分) | 現況(分) | 改善百分比      |
|-------|-----------|-------|------------|
| 95 筆  | 16.7      | 95.2  | 83%        |
| 114 筆 | 26.2      | 88.1  | 70%        |
| 154 筆 | 57.1      | 102.4 | 44%        |
| 202 筆 | 88.1      | 312   | 72%        |
| 255 筆 | 92.9      | 242.9 | 62%        |
| 305 筆 | 113.4     | 285.7 | 60%        |
| 402 筆 | 121.43    | 447.6 | 73%        |
| 平均    | 73.7      | 224.8 | <u>66%</u> |

表 4.16 不同資料量之貨運業者系統總等候時間改善百分比

|       | 卡車預約模型(分) | 現況(分) | 改善百分比             |
|-------|-----------|-------|-------------------|
| 95 筆  | 28.7      | 81.1  | 64.60%            |
| 114 筆 | 28.3      | 35.8  | 20.90%            |
| 154 筆 | 70        | 115.9 | 39.60%            |
| 202 筆 | 110.1     | 277   | 60.20%            |
| 255 筆 | 134.4     | 235.7 | 43%               |
| 305 筆 | 171.2     | 270.7 | 36.80%            |
| 402 筆 | 233.77    | 557.9 | 58.1%             |
| 平均    | 110.92    | 224.9 | <b><u>51%</u></b> |

## 4.4 敏感度分析

本研究將使用 4.3 小節實證研究之資料進行敏感度分析，依照 4.2 小節設定之相關參數，針對目標項之權重值、懲罰成本值以及港口服務率分別進行參數調整與分析，如表 4.17 所示。目標項針對權重值、懲罰值與權重值與懲罰值之組合；而服務率則是針對開門服務率、貨櫃堆放場服務率以及開門與堆場服務率之組合進行分析。本研究將在 4.4.1 小節針對目標項之相關參數進行敏感度分析，而開門與貨櫃堆放場的服務率則是在 4.4.2 小節進行分析。

表 4.17 敏感度分析架構表

| 變數  | 變數項目                                                                   | 變數設置                                                                                   |
|-----|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 目標項 | <b>權重值:</b><br>貨運業者面向、港口面向                                             | 貨運業者: 0.1 0.25 0.5 0.75 0.9<br>港口: 0.9 0.75 0.5 0.25 0.1                               |
|     | <b>懲罰成本值:</b><br>等候數量、改變貨運業者偏好時窗數、港口翻櫃次數                               | 懲罰成本值組合: 1:1:3、3:1:3、<br>2:1:2、2:1:4、2:2:3                                             |
|     | <b>權重值:</b><br>貨運業者面向、港口面向<br><b>懲罰成本值:</b><br>等候數量、改變貨運業者偏好時窗數、港口翻櫃次數 | 貨運業者: 0.25 0.5 0.75<br>港口: 0.75 0.5 0.25<br>懲罰成本值比例: 1:1:3、3:1:3、<br>2:1:2、2:1:4、2:2:3 |
| 服務率 | 閘門服務率                                                                  | 服務率變化量: -30%、-10%、<br>0%、+10%、+30%、+50%                                                |
|     | 貨櫃堆場服務率                                                                |                                                                                        |
|     | 閘門服務率、貨櫃堆場服務率                                                          | 閘門服務率變化量: +30%、+50%<br>貨櫃堆場服務率變化量:<br>+10%、+30%、+50%                                   |

#### 4.4.1 目標項敏感度分析

##### (1) 調整權重值敏感度分析

本研究調整貨運業者與港口的權重值，以表 4.17 列出的五種權重值組合針對系統總等候時間、等候時間、改善貨運業者時窗數與港口翻櫃作業時間進行探討。將 4.3 小節實證資料分析中不同天數的結果取其平均，以平均改善百分比進行比較，如圖 4.8 所示。當貨運業者權重值提高時，改變貨運業者時窗的改善程度也隨之升高，呈正向關係；當港口權重值上升時，港口翻櫃作業時間改善程度提高，也呈正向關係。除此之外，可以看到權重值變化對於港口翻櫃作業時間相較於其他項目的敏感度最高，而對於等候時間來說影響最小。

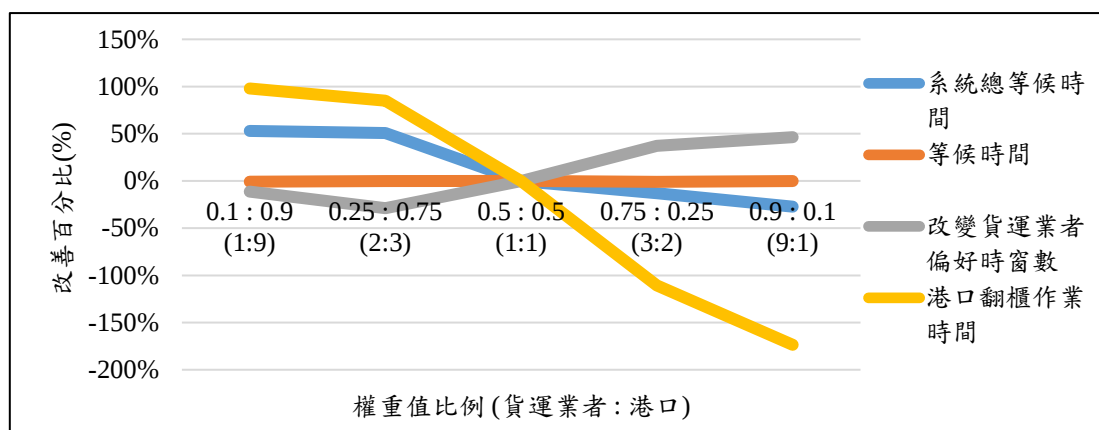


圖 4.8 調整權重值之敏感度分析圖

## (2) 調整懲罰值敏感度分析

本研究使用四種懲罰成本值進行計算，如表 4.17 所示，同樣探討系統總等候時間、等候時間、改善貨運業者時窗數與港口翻櫃作業時間，與 4.3 小節成本比例為 2:1:3 之結果比較。結果如圖 4.9 所示，當成本比例為 2:1:4 時，改善港口翻櫃作業時間與系統總等候時間的表現最好；對於改變貨運業者時窗數則是在成本比例為 2:1:2 時最好。對於所有成本變化來說，改變貨運業者時窗數與港口翻櫃作業時間的影響大多呈反向關係，唯當成本比例為 3:1:3 時，對於所有比較項的改善皆為正向。由此可見，在貨運業者與港口的權重值皆為 0.5 且成本比例為 3:1:3 時，對於卡車預約模型來說具有最好的表現。除此之外，成本比例變化對於港口翻櫃作業時間有較大的敏感度，對於等候時間則相對較低。

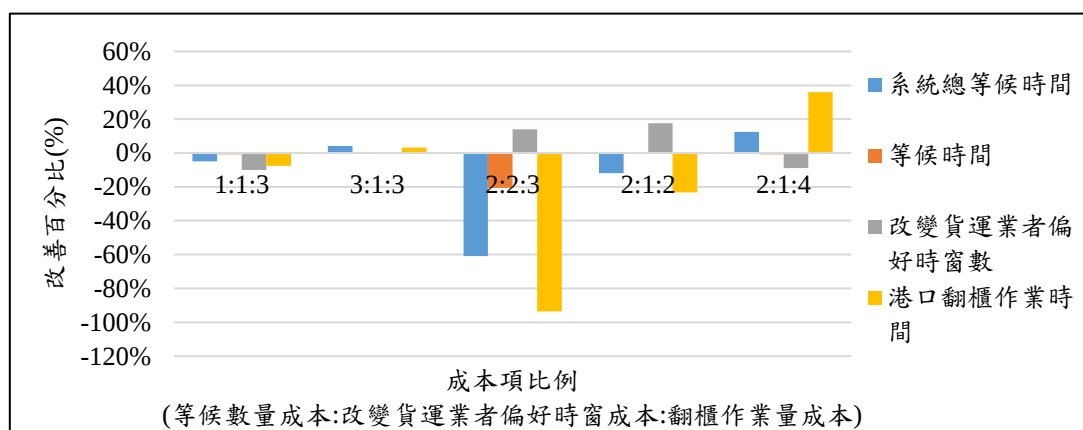


圖 4.9 調整懲罰值之敏感度分析圖

### (3) 調整權重值與懲罰成本值組合敏感度分析

本研究以 305 筆的資料針對權重值與懲罰成本值組合進行敏感度分析，如表 4.17 所示，共 18 種組合進行比較。結果如表 4.18 所示，當貨運業者與港口權重值分別為 0.25 與 0.75 且成本比例為 3:1:3 時，可以有最小的等候時間。然而，當貨運業者與港口權重值分別為 0.25 與 0.75 且成本比例為 2:1:4 時可以有最小的系統總等候時間，並且對於港口來說需要之翻櫃作業時間最短。除此之外，在不同權重值與懲罰成本值組合下，對於不同比較項有不同程度的影響，因此在未來推廣卡車預約系統時，可以調整參數設定因應不同階段的管理模式。例如剛開始推行時，需要提升貨運業者的使用意願，可以採取對於貨運業者影響最小之參數設定，像是當貨運業者與港口權重值分別為 0.75 與 0.25 且成本比例為 2:1:2 之設定。當貨運業者使用意願提高，並了解使用卡車預約系統可以降低等候時間之益處時，再依據需求將參數進行調整，以建置最佳的卡車預約系統。

表 4.18 權重值與懲罰成本值組合之敏感度分析結果

| 貨運業者權重值     | 港口權重值       | 等候數量懲罰值  | 改變貨運業者偏好時窗數懲罰值 | 港口翻櫃次數懲罰值 | 系統總等候時間(分)  | 開門+堆場等候時間(分) | 改變貨運業者時窗數(時窗數) | 港口翻櫃作業時間(分) |
|-------------|-------------|----------|----------------|-----------|-------------|--------------|----------------|-------------|
| <u>0.25</u> | <u>0.75</u> | <u>2</u> | <u>1</u>       | <u>4</u>  | <u>74.1</u> | 71.7         | 201            | <u>2.4</u>  |
| 0.25        | 0.75        | 2        | 1              | 3         | 99.1        | 89.6         | 303            | 9.5         |
| 0.25        | 0.75        | 2        | 1              | 2         | 80.6        | 71.1         | 220.0          | 16.7        |
| 0.25        | 0.75        | 1        | 1              | 3         | 81.0        | 73.8         | 184.0          | 16.7        |
| <u>0.25</u> | <u>0.75</u> | <u>3</u> | <u>1</u>       | <u>3</u>  | 75.6        | <u>70.9</u>  | 182.0          | 9.5         |
| 0.25        | 0.75        | 2        | 2              | 3         | 111.0       | 72.9         | 170.0          | 57.1        |
| 0.5         | 0.5         | 2        | 1              | 4         | 126.9       | 72.1         | 162            | 78.6        |
| 0.5         | 0.5         | 2        | 1              | 3         | 171.2       | 90.2         | 174            | 114.3       |
| 0.5         | 0.5         | 2        | 1              | 2         | 172.9       | 91.9         | 129.0          | 140.5       |
| 0.5         | 0.5         | 1        | 1              | 3         | 173.0       | 92.1         | 187.0          | 114.3       |
| 0.5         | 0.5         | 3        | 1              | 3         | 168.0       | 89.5         | 156.0          | 116.7       |
| 0.5         | 0.5         | 2        | 2              | 3         | 194.8       | 92.4         | 162.0          | 169.0       |
| 0.75        | 0.25        | 2        | 1              | 4         | 205.5       | 91.2         | 113            | 171.4       |
| 0.75        | 0.25        | 2        | 1              | 3         | 216.3       | 92.5         | 96             | 188.1       |
| <u>0.75</u> | <u>0.25</u> | <u>2</u> | <u>1</u>       | <u>2</u>  | 169.3       | 71.7         | <u>64.0</u>    | 166.7       |
| 0.75        | 0.25        | 1        | 1              | 3         | 174.1       | 71.7         | 105.0          | 188.1       |
| 0.75        | 0.25        | 3        | 1              | 3         | 161.8       | 71.3         | 71.0           | 152.4       |
| 0.75        | 0.25        | 2        | 2              | 3         | 179.0       | 71.9         | 68.0           | 183.3       |

#### 4.4.2 服務率敏感度分析

##### (1) 調整開門作業服務率

本研究針對六種開門服務率變化進行探討，如表 4.17 所示。結果如圖 4.10 顯示，隨著開門作業服務率增加，場站整體的等候時間下降。但可以看到在 402 筆的資料量下，當開門的作業服務率增加超過 10% 時，反而增加更多等候時間。本研究認為造成此現象的原因如圖 4.11 所示，主要是因為在開門的作業服務率提高，且貨櫃堆放場的作業服務率相同的情況下，當卡車不斷的通過開

門時，使得抵達貨櫃堆放場的卡車數量大於其服務率，造成卡車只能在貨櫃堆放場進行等候。因此當開門作業服務率提高到超過 10% 以上時，反而會提高卡車在場站內整體的等候時間。

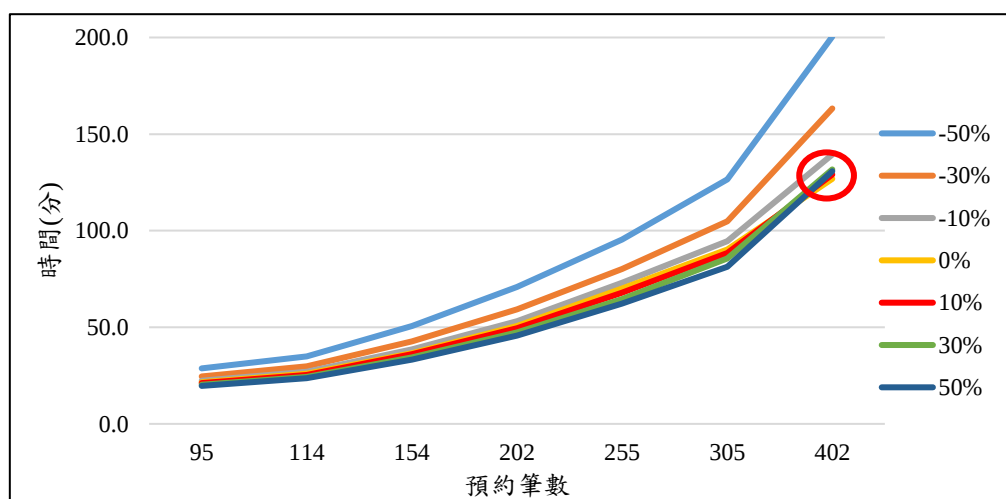


圖 4.10 調整開門服務率之等候時間變化圖

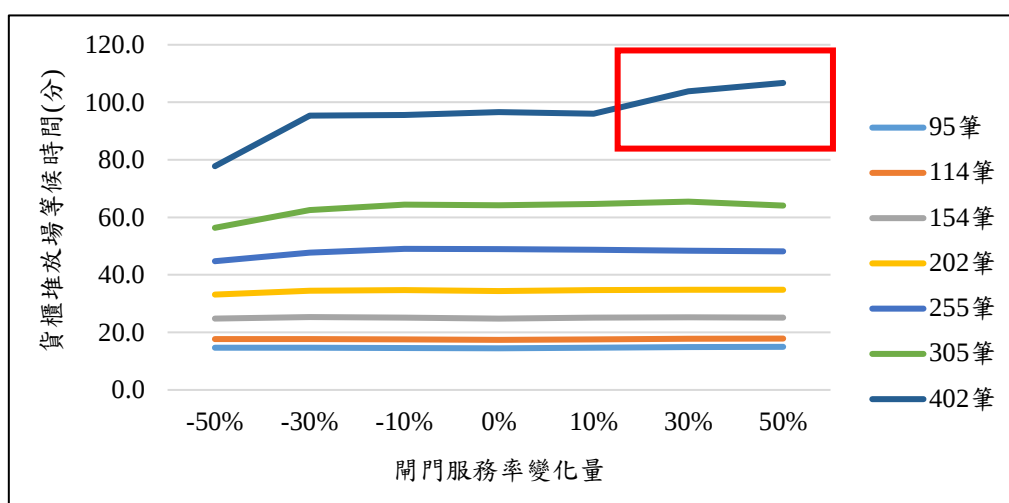


圖 4.11 調整開門服務率之貨櫃堆放場等候時間變化圖

## (2) 調整貨櫃堆放場服務率

本研究針對六種貨櫃堆放場服務率變化進行探討，如表 4.17 所示。隨著預約筆數的增加，在相同的貨櫃堆放場服務率變化下，整體的等候時間會隨之增加，呈反比關係。如圖 4.12 所示。其中當堆場服務率由 30% 增加到 50% 時，由於卡

車抵達的數量未超過作業效率，未產生額外的等候時間，因此在增加 30%與 50%的服務率得到相同的等候時間。另外，以相同的預約筆數來看，當堆場服務率增加 30%與 50%時可以得到最小等候時間，堆場服務率與等候時間呈反比關係。

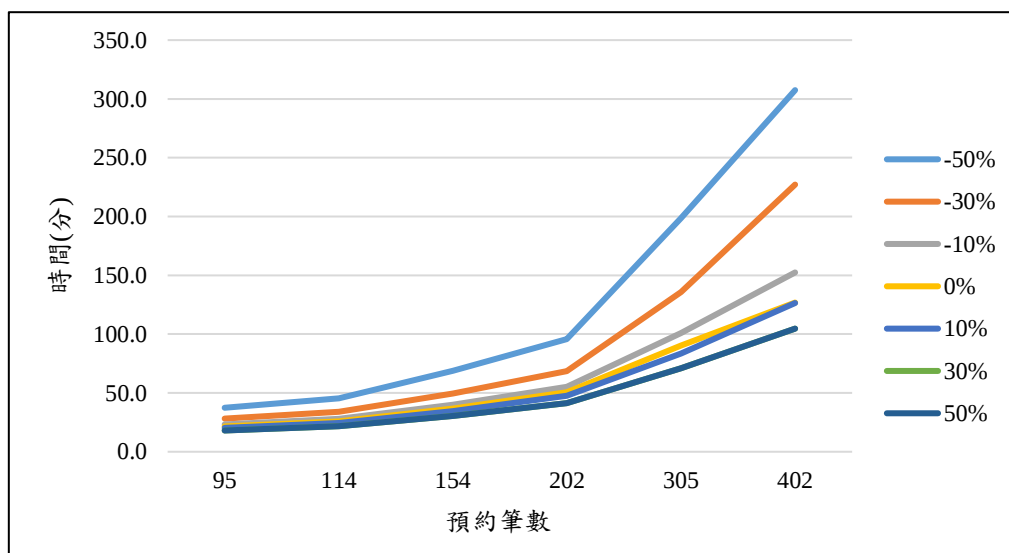


圖 4.12 調整貨櫃堆放場服務率之等候時間變化圖

### (3) 開門與貨櫃堆放場服務率敏感度分析

在針對開門服務率的敏感度分析中，當服務率提升到 30%時，反而使得貨運業者整體的等候時間增加，因此本研究以 402 筆的資料量，驗證當開門服務率提升到 30%與 50%時，貨櫃堆放場需要提升到多少服務率才得以負擔離開港口開門的卡車作業量，並且使得整體成本最小化。

從表 4.19 可以看到，當開門服務率與堆場服務率皆增加 50%時，可以使得等候時間甚至是系統總等候時間最小，有效降低卡車在場站的等候情形。另外，以目標值來看的話，當開門服務率增加 30%，而貨櫃堆放場服務率增加 50%時，可以使得成本最小化，相較於當開門與貨櫃堆放場皆增加 50%服務率時，改變貨運業者偏好時窗數量較低，同時對於改變貨運業者偏好時窗數與港口翻櫃次數有較好的改善。

表 4.19 調整閘門與貨櫃堆放場服務率之敏感度分析結果

| 閘門服務率       | 堆場服務率       | 目標值          | 系統總等候時間      | 等候時間        | 改變貨運業者     | 港口翻櫃次數 |
|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|------------|--------|
| +30%        | +0%         | 617.6        | 241.2        | 131.7       | 343        | 50     |
| +30%        | +10%        | 559.8        | 190.5        | 114.3       | 310        | 39     |
| +30%        | +30%        | 545.4        | 180.4        | 92.3        | 369        | 45     |
| <u>+30%</u> | <u>+50%</u> | <u>470.5</u> | 168.9        | 80.8        | <u>292</u> | 41     |
| +50%        | +0%         | 581.5        | 245.1        | 130.8       | 284        | 51     |
| +50%        | +10%        | 551.0        | 203.0        | 107.8       | 309        | 46     |
| +50%        | +30%        | 527.3        | 184.2        | 89.0        | 353        | 47     |
| <u>+50%</u> | <u>+50%</u> | 473.8        | <u>154.1</u> | <u>75.5</u> | 342        | 40     |

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本研究針對貨櫃港口之卡車預約模式進行研究，並且以現有模型加入考量貨櫃翻櫃問題。本研究利用逐點流體近似方法建構開門與貨櫃堆放場系統雙層等候模型，以最小化總成本為目標建立數學模型，其中包含卡車等候數量成本、改變貨運業者偏好時間成本以及翻櫃作業量成本，並且利用權重值將分別針對貨運業者以及港口面向之雙目標模型轉換成單一目標值。本研究以 Python 3.7 的環境使用 Pyomo 套件的 MindtPy 求解器求解卡車預約模式之問題，並針對參數調整，透過敏感度分析歸納出最佳的參數設定，而研究的結果如下：

- (1) 本研究藉由第二章文獻回顧蒐集大量國外卡車預約系統相關文獻，得知卡車預約系統運作模式主要是透過網頁或是系統平台事先取得貨運業者的抵達分布，並且透過等候理論估計壅塞程度，再經由卡車預約系統調整貨運業者的預約時間。假設貨運業者會依據卡車預約系統調整後的預約時間表進入港區作業，以分散卡車抵達，減少尖峰時段的等候時間。
- (2) 透過與高雄港務局的訪談中延伸得知，貨櫃儲位堆疊的方式對於卡車預約系統的作業具有相當大的影響，若僅使用卡車預約系統，而未考量到翻櫃作業量，會使得卡車預約系統無法發揮最大效用。因此，本研究改善過去以最小化對於貨運業者營運影響之模型，並假設貨櫃儲位已知的情況下，調整貨運業者預約時窗，以建立同時考量貨運業者與港口面向的卡車預約模式。除此之外，透過權重值的改變，在推廣卡車預約系統時得以因應不同階段的管理模式。
- (3) 本研究以基隆港貨櫃碼頭卡車抵達資料並透過環境假設，發現本研究提出之模型結果可以比現況一天減少平均 51% 的系統總等候時間。另外，

針對港口來說，比現況減少平均 66%的翻櫃時間。透過減少翻櫃次數，降低港口的翻櫃作業量，進而提升港口的作業效率。

- (4) 透過敏感度分析針對權重值、懲罰成本值以及港口服務率之參數進行調整與分析。當貨運業者與港口權重值比例為 2:3 且成本比例為 2:1:4 時，可以產生最小的系統總等候時間。另外，當閘門服務率提升至 10% 以上時，在抵達數量較大的情況下，若堆場沒有提升其服務率，反而會提高整體的等候時間。最後延伸考量閘門與貨櫃堆放場同時改變服務率之狀況，當閘門與堆場的服務率皆增加 50%時，可以有最小等候時間；而當閘門服務率增加 30%且堆場服務率增加 50%時，在相同預約筆數下，可以使得整體成本最小，對於改變貨運業者偏好時窗的影響最小。

## 5.2 建議

由於卡車預約系統仍為各港口推行之目標，建構完善的卡車預約模式會是未來相關研究之趨勢，因此本研究提出後續相關研究之建議如下：

- (1) 本研究認為未來可以針對動態的翻櫃問題進行探討，由於該問題為 NP-hard 問題，可以再結合演算法求解更大規模的預約指派問題。
- (2) 本研究建議發展卡車預約 APP，結合實際港口即時資訊，卡車司機可以即時接收到預約之時間，並得知港口內即時的等候狀況。
- (3) 本研究建議未來將卡車預約系統結合港口的即時資訊系統，即時記錄貨運業者實際遵照預約時間表作業之情形。若具有優良表現時，使其在未來的預約作業可以具有較高的優先權，減少改變其預約時間的情況發生，以鼓勵貨運業者遵守卡車預約系統之管理。

## 參考文獻

- Bernal, D. E.; Chen, Q.; Gong, F.; Grossmann, I. E. Mixed-integer nonlinear decomposition toolbox for Pyomo (MindtPy). *Computer Aided Chemical Engineering*, 2018(44), 895–900. doi:10.1016/B978-0-444-64241-7.50144-0
- Chen, G., Govindan, K., & Yang, Z. Z. (2013a). Managing truck arrivals with time windows to alleviate gate congestion at container terminals. *International Journal of Production Economics*, 141(1), 179-188.  
doi:10.1016/j.ijpe.2012.03.033
- Chen, G., Govindan K., Yang, Z.-Z., Choi, T.-M., & Jiang, L. (2013b). Terminal appointment system design by non-stationary  $M(t)/E_k/c(t)$  queueing model and genetic algorithm. *International Journal of Production Economics*, 146(2), 694–703. doi:10.1016/j.ijpe.2013.09.001
- Chen, G., & Yang, Z.-Z. (2014). Methods for estimating vehicle queues at a marine terminal: A computational comparison. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 24(3), 611–619. doi:10.2478/amcs-2014-0044
- Chen, X. M., Zhou, X. S., & List, G. F. (2011). Using time-varying tolls to optimize truck arrivals at ports. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 47(6), 965-982. doi:10.1016/j.tre.2011.04.001
- Guan, C. Q., & Liu, R. (2009). Modeling gate congestion of marine container terminals, truck waiting cost, and optimization. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2100(1), 58–67.  
doi:10.3141/2100-07
- Huynh, N., & Walton, C. M. (2008). Robust scheduling of truck arrivals at marine container terminals. *Journal of Transportation Engineering*, 134(8), 347–353.

doi:10.1061/(asce)0733-947x(2008)134:8(347)

- Mongelluzzo, B. (2018, August 29). Real-time truck appointment system at LA-LB takes shape. 20190910. Retrieved from [https://www.joc.com/port-news/us-ports/port-los-angeles/dynamic-real-time-truck-appointment-system-la-lb-takes-shape\\_20180829.html](https://www.joc.com/port-news/us-ports/port-los-angeles/dynamic-real-time-truck-appointment-system-la-lb-takes-shape_20180829.html)
- Phan, M. H., & Kim, K. H. (2015). Negotiating truck arrival times among trucking companies and a container terminal. *Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review*, 75, 132-144. doi:10.1016/j.tre.2015.01.004
- Phan, M. H., & Kim, K. H. (2016). Collaborative truck scheduling and appointments for trucking companies and container terminals. *Transportation Research Part B-Methodological*, 86, 37-50. doi:10.1016/j.trb.2016.01.006
- Port of Hamburg (2019). 20190910. Retrieved from <https://www.hafen-hamburg.de/>
- Schulte, F., Gonz'alez, R. G., & Voß, S. (2015). Reducing port-related truck emissions: Coordinated truck appointments to reduce empty truck trips. *Computational Logistics*, 495-509. doi:10.1007/978-3-319-24264-4\_34
- Shiri, S., & Huynh, N. (2016). Optimization of drayage operations with time-window constraints. *International Journal of Production Economics*, 176, 7-20. doi:10.1016/j.ijpe.2016.03.005
- Torkjazi, M., Huynh, N., & Shiri, S. (2018). Truck appointment systems considering impact to drayage truck tours. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 116, 208–228. doi:10.1016/j.tre.2018.06.003
- Zehendner, E., & Feillet, D. (2014). Benefits of a truck appointment system on the service quality of inland transport modes at a multimodal container terminal. *European Journal of Operational Research*, 235(2), 461-469. doi:10.1016/j.ejor.2013.07.005
- Zhang, X., Zeng, Q., & Yang, Z. (2019). Optimization of truck appointments in

container terminals. *Maritime Economics & Logistics*, doi:10.1057/s41278-018-0105-0