

貨櫃碼頭前後線作業模式與船期配合之研究

The Study of Integrated Operation Models with Sail Date Scheduling at Container Terminals

吳清慈 (Ching-Tsyr Wu)^{①*}、王騰毅 (Teng-Yi Wang)^②

摘要

貨櫃碼頭橋式起重機與貨櫃堆積場門式機的整合作業是影響貨櫃碼頭的裝卸績效甚重要關鍵因素。本研究考慮一個直線型碼頭垂直於船席的儲區配置，探討貨櫃碼頭前線船席的裝卸績效，並且以碼頭橋式起重機、貨櫃儲區門式機，與船期的調度為影響主要變數，研擬出八個方案，透過 Flexsim CT 港埠模擬系統進行模擬比較評估方案，以船席作業績效為評估指標。研究結果顯示，適當的儲區長度會影響碼頭橋式起重機停等儲區運具的時間，進而影響船席的停靠時間，岸肩運具指派為卡車，利用其速度優勢往返作業，調度區的設置能避免儲區間車流的壅塞。儲區間藉由跨載機之作業模式，其相較於膠輪式門式機的低成本及機動性，能有效提升儲區之裝卸效率。故適當的儲區長度與調度區的設置將影響碼頭後勤的作業績效。

關鍵字：貨櫃碼頭、橋式起重機、門式機、作業績效、模擬系統

Abstract

The integration of shore cranes at quayside and transtainers at storage areas significantly influences the operating performance of a container berth. This study analyzes how different operation models between the waterside and landside

①* 通訊作者，國立臺灣海洋大學商船學系助理教授；聯絡地址：202 基隆市中正區北寧路 2 號，國立臺灣海洋大學商船學系；E-mail: ctwu@mail.ntou.edu.tw。

② 國立臺灣海洋大學商船學系碩士研究生。

affects the cargo handling performance of the shore crane at a wharf with vertical storage areas. Considering various transportation vehicles at quayside, transtainers at container storage areas deployed, and ships' sailing schedule, a simulation system, Flexsim CT, is used to evaluate eight proposed operating plans. The results reveal that an appropriate length of container storage area affects travelling time of transportation vehicles at quayside and thus, berthing time of a ship at the port. The truck is adopted as the vehicle to move containers between quayside and container storage areas and their fast mobility reduces traffic jam inside storage areas. The straddle carriers are selected as the vehicle to move containers between various blocks in the storage areas due to their low cost and better mobility as compared to rubber-tired gantry crane. Hence straddle carriers can be used to improve the containers handling efficiency in the storage areas. In short, the lengths of container storage areas and appropriate layout at quayside marshalling areas both have tremendous impacts on the overall operating performance of a container terminal.

Keywords: Container terminal, Gantry crane, Transtainer, Operation performance, Simulation system

壹、緒論

臺灣為一海島型國家，島內資源缺乏，進出口貨運主要仰賴於海運，而碼頭岸肩的運具如何與儲區間之裝卸機具 (Material Handling Equipment, MHE) 做出有效運輸與裝卸之配合，致使提升裝卸作業效率，減少船舶靠港的作業時間，此乃船邊作業之重要課題之一。

貨櫃儲區的土地面積大小是最重要的影響因素，要如何根據有限的土地以選擇出不同的裝卸機具，使得整體作業的效率值達到最好，並有效的減低作業成本，將

影響碼頭的整體績效。貨櫃儲區的配置方向可分為平行碼頭與垂直碼頭兩類型，傳統貨櫃場及半自動化貨櫃場，配置方向大部分為平行碼頭，主要考量將外部貨櫃車之車流分散到貨櫃場的道路，避免集中到碼頭區，造成碼頭區的壅塞；相對的，自動化貨櫃場在配置方向則大部分為垂直碼頭，主要考量讓碼頭區前線與後線儲區之貨櫃能快速搬移，同時外部貨櫃車不能進到貨櫃場作業，因此會在儲區的後側設置裝卸區。

本研究以直線型碼頭作為依據，探討不同的作業機具，包括前線船席岸肩之運

具，卡車或跨載機 (Straddle Carrier, SC)，與後線堆積場之裝卸機具，包括膠輪式門式機 (Rubber-Tyred Gantry Cranes, RTG) 或跨載機，由於本研究的貨櫃數量較少，儲區的面積充足，未探討向上堆疊貨櫃的能力，故將跨載機納入儲區機具的選項，並未將軌道式門式機 (Rail Mounted Gantry Crane, RMG) 納入。在相同的儲區面積，相同櫃種與櫃量的情況下，依據不同的機具組合與是否在儲區配置調度區 (Transfer Area, TR)，調度區之設計，主要是將貨櫃儲放於儲區之前後兩端，避免卡車進入儲區，減少車流擁擠與提升儲區安全性，並以兩種船期之調度，分散式 (Dispersion) 與集中式 (Centralization)，研擬八種方案，利用船席作業績效及橋式起重機作業績效為二大評估指標，來作為比較分析：

- (1) 提升岸邊橋式起重機每小時淨裝卸量 (Net Moves Per Hour)，減少因為等待岸肩搬運機具，造成橋式起重機延滯；
- (2) 平均各儲區的作業時間以及平均儲區內各機具的工作百分率 (Working %)；
- (3) 平均分配各儲區的貨櫃量，使得各貨櫃儲區間的裝卸作業平均分配，以達到所有土地以及機具的最高均衡效益。

本研究不同於其他研究之處在於，利用 Flexsim CT 港埠碼頭模擬軟體，可針對不同碼頭、儲區之環境，個別設計其變異進行數據分析，而 3D 動畫的展示，亦增加了模擬的真實感，進而能觀察各機具的行徑路線，以了解貨櫃進出貨櫃儲區的過

程。本文在確立研究主題後，第二章進行國外及國內關於作業模式與港埠系統評估指標之相關文獻加以蒐集與探討，第三章將介紹貨櫃碼頭模擬系統之軟體功能與選用之貨櫃碼頭模擬指標，第四章將深入剖析本研究研擬八個方案之裝卸作業模式設計並針對實驗結果做評估分析，最後第五章提出結論與建議，以作為貨櫃航運公司研擬經營策略與調整資源分配的參考。

貳、文獻回顧

本研究旨在進行碼頭機具之評選，因此，本章擬就貨櫃碼頭機具評選績效之相關文獻進行彙整，整理歸納如下：

2.1 貨櫃碼頭績效指標相關文獻

Kozan and Preston (1999) 提出貨櫃船舶靠港時間長短，以貨櫃搬運之效率為主，而貨櫃搬運過程包括船邊裝卸、儲區裝卸及岸肩行進方式，其結果顯示貨櫃搬運時間與裝卸機具成反比，而貨櫃儲區堆放方式則以有計畫的堆放方式較隨機堆放方式為優。Vis and Koster (2003) 將貨櫃碼頭裝卸作業的整體過程進行詳細說明，在戰術、策略及操作層面上，其將碼頭作業流程分為船舶抵達港口、貨櫃裝卸、貨櫃運送、貨櫃堆積存放等不同程序，並對於相關論文做決策問題上的分析，認為多數

的論文多利用單一類型的作業機具，應該多關注各種設備的配合，最佳的配合效益是往後研究的一大課題。

Wang et al. (2003) 提到以往的港口績效評估主要是依據對於船席貨物處理之單一要素生產力或者特定期間內實際吞吐量與最適吞吐量的比較；近年來的績效評估方式則著重於港埠相關生產活動力之績效衡量。黃月娥 (2004) 建構數學模擬模式探討不同搬運機具數量對貨櫃裝卸作業績效之影響，該研究得出 (1) 岸肩正反向之搬運時間差異對貨櫃裝卸績效無顯著影響、(2) 橋式起重機與儲區起重機裝卸時間的分配差異對貨櫃裝卸有顯著影響、(3) 橋式起重機與儲區起重機裝卸時間相同時平均裝卸效率最大、(4) 過多數量的搬運機具會增加機具之等待時間，無助提升裝卸效率、以及 (5) 顯著差異的運具繞行時間對裝卸效率產生顯著影響。Dekker et al. (2006) 研究在自動貨櫃碼頭的堆放策略，他們考慮分類堆放不同的貨櫃，而在裝載的過程當中，貨櫃能交換成不同種類的櫃種，這樣的分類既方便堆疊也能提升堆高機的作業績效。

2.2 貨櫃碼頭模擬分析相關文獻

Das and Spasovic (2003) 主要研究岸肩貨櫃之運送，他們以跨載機作為支援貨櫃碼頭的方式，以跨載機在運送貨櫃，空車時間最短為指標，同時以客戶而言，

貨櫃延遲時間最短為目標，透過即時系統的模擬，建立調度模式，指派跨載機或拖車。鄭景怡 (2004) 探討碼頭岸肩與貨櫃儲區中，載運貨櫃車輛的派遣規劃，建立數學模型，並發展啟發式解法，推算拖車任務之指派與載運時間，處理橋式起重機與拖車等待之相對關係，且利用貨櫃儲區實務作業時間之差距，隨機處理拖車所需花費的時間；並利用「由近至遠」、「由遠至近」、「一遠一近」、「隨機選取」四種距離為基礎，配合實務裝卸作業之型態，全卸全裝、依艙位順序進行裝卸、同時裝卸四種方式進行不同拖車數量的指派分析，在不考慮儲區間連結的情況下，「由近至遠」為最佳的儲區指派原則。

張美香、顏宸韻 (2009) 採用模擬套裝軟體 SIMAN (ARENA 11.0)，依照三種途中出口貨櫃儲位指派方法，包括：期望額外移動次數最小化、至少等於最優先取回類型、壓櫃指數最小化。整櫃階段之目標堆疊選擇方法則依照：壓櫃指數、依照未鎖定貨櫃數、依照堆疊順序。根據期望額外移動次數最小化為原則，分析不同之貨櫃裝載順序、類型、已堆疊貨櫃與途中出口貨櫃比例、貨櫃儲區空間使用率之作業效率，利用壓櫃指數最小化的方式進行途中出口貨櫃儲位指派的績效最差總壓櫃指數差，為鎖定貨櫃數多寡進行整櫃的堆疊方式，整櫃成功率最差。Ting et al. (2010) 提及處理進口貨櫃隨機堆疊造成的問題，設計讓貨主可以預約提櫃之系統，並根據

提櫃時間做堆疊；亦或者是預測貨主提櫃的順序，並依據過去的資料，整合出這兩部分的貨主提櫃順序，以預作較佳的進口貨櫃之堆疊方式。

Tang et al. (2014) 討論貨櫃碼頭岸肩橋式起重機與卡車的調度問題，如何減少岸肩橋式起重機與卡車在執行作業時的空間的時間；利用混合的線性規劃模型，對於單向作業而言，卡車只要將岸肩之貨櫃運至儲區，不需再將貨櫃載至岸肩來推估；改進的粒子群優化 (Particle Swarm Optimization, PSO) 算法，解決這個問題，對於小規模的問題，利用所提出的粒子群，使用 CPLEX 軟件的模型以求得最佳解，一般的情況，同時考慮進口和出口的貨櫃，卡車可能會裝載出口的貨櫃。該模型延伸到處理此問題與雙向作業。實驗結果顯示，提出的改進 PSO 有效的解決貨櫃碼頭岸肩橋式起重機和卡車調度問題。

2.3 貨櫃碼頭作業系統相關文獻

朱金元等人 (2005) 於貨櫃堆積場最適規劃之研究中分析亞太鄰近主要港埠貨櫃場及臺灣地區主要港埠貨櫃場之作業，將資料利用統計與機率進行分析，認為就儲存容量而言，軌道式門式起重機優於膠輪式門式起重機，亦優於跨載機。就自動化而言，仍屬軌道式門式起重機最優，而大型貨櫃船對於儲區間之機具不會造成影響，反而對於橋式起重機產生重大衝擊。

Kim and Hong (2006) 探討貨櫃裝卸問題，以貨櫃整櫃次數最小化為目標。提出兩種貨櫃裝卸作業方式：數學規劃法及統計方法。數學規劃法利用分枝定界法 (branch and bound) 從貨櫃儲區中找出確定需要調動 (Confirmed Relocation) 的貨櫃，找出最佳之放置儲區。統計方法則是推估出各貨櫃額外移動之期望次數。

趙文邦 (2008) 以貨櫃碼頭船席與儲區間水平運輸作業為主題，界定岸肩載運機具在橋式起重機與貨櫃儲區間之運送，以提升貨櫃碼頭裝卸作業效率並縮短船舶停靠時間為目的；在「降低營運成本」、「提高作業效率」、「確保作業安全」、「資源有效運用」四個構面時，透過 FAHP 分析得知，受訪者認為在作業安全的環境下，提升作業效率乃業者所追求的營運目標。

Carlo et al. (2014b) 探討貨櫃碼頭岸邊至儲區間的作業過程。提出一種介紹運輸作業和所使用的裝卸運輸機具，凸顯當前行業發展趨勢，為了在有限土地提高效率及減低成本，岸間的部分設計成一個傾斜的平台，傾斜的輸送帶同時降低了貨櫃的高度，並將貨櫃輸送到一個臨時區域，再由一組的車輛分配於每一儲區，這樣的設置能縮短岸邊至儲區間的時間。Carlo et al. (2014a) 對貨櫃碼頭之船席、橋式起重機、岸肩機具、儲區機具等對於其相關論文做一彙整，以不同類型的碼頭，分別以歐洲及亞洲為子類檢討現有的文獻，討論目前的趨勢及儲區之作業，質疑目前的儲

區作業方式並提出創新的想法，認為岸邊橋式起重機必須提升其高度，但是提升高度之後會導致橋式起重機的垂直作業時間增加，可利用填高地面高度以因應較大的船舶，也能減少橋式起重機垂直作業的時間。

2.4 相關文獻總結

因影響儲區作業之因素眾多，績效評估的目的為評比碼頭實際績效之表現，從中發現其缺點，提高整體作業績效。大多數貨櫃碼頭使用預測以建構數學模型的方式，但其計算之結果為理想值，這當中的過程並不會完整的呈現，好的效率不一定會達到好的效果，兩者之間必須找到其平衡點，若只著重於效果而不重視效率，可能會導致資源濫用的狀況，所以效率是最適投入量與產生之碼頭設施能量的比率來衡量，只有效率與效果互相均衡配合下，才能真正發揮績效評估的最有效運用；對於分析貨櫃碼頭作業績效以貨櫃碼頭模擬套裝軟體之研究較為稀少，本研究參考以往研究文獻作為依據，透過建構貨櫃碼頭模擬系統來觀察其實際與理想狀況下，探討可能產生之誤差原因及數學建構模式可能產生之額外影響因素，以提升貨櫃碼頭作業績效與提供針對貨櫃儲區不同層次的構想規劃。

參、貨櫃碼頭模擬系統之評估指標

3.1 貨櫃碼頭模擬系統

港埠模擬重點在於運用系統管理之概念，將系統管理之觀念帶入模擬中，對於港埠裝卸營運提出一套有效之改善方法，不著重硬體工程之建設，而是強調運用軟體功能之管理，本研究運用 Flexsim CT 套裝軟體建構港埠系統模擬進行模擬實驗，此系統可分為以下三大部分。

3.1.1 船席配置子系統

船席規劃 (Berth Planning)：含到港船舶船席之配置 (Berth Layout)、船舶貨櫃貨艙之配置 (Hatch Profiles)、靠泊船舶船型之配置 (Services)、到港船期安排之配置 (Ship Schedule) 等功能。

1. 到港船舶船席之配置 (Berth Layout)：配合現有港區地形，進行船席區位及長度配置、機具數量之調度與安排、機具裝卸效率等之設計。
2. 船舶貨櫃貨艙之配置 (Hatch Profiles)：依照貨櫃之型態（例如進口櫃、出口櫃及空櫃）安排於貨櫃船之貨艙的裝卸順序、數量及貨櫃之起迄位置等。
3. 靠泊船舶船型之配置 (Services)：靠泊貨櫃船舶之設計，包括船長、船寬、裝卸容量、到港時間、吃水及總裝卸量等。

4. 到港船期安排之配置 (Ship Schedule) :
可設計貨櫃船到港時間、離港時間、停靠船席之位置、機具配置之數量與優先權之指派 (充分應用機具之調度)、機具之移動次數、裝卸效率與裝卸量、每週與整年之裝卸量等。

3.1.2 堆積場配置子系統

堆積場規劃 (Yard Planning)，含櫃場貨櫃儲區之配置 (Block)、櫃場貨櫃區位之配置 (Area)、貨櫃裝卸策略之配置 (Container Placement)、貨櫃儲區指派之配置 (Block Assignments)、儲區裝卸機具之配置 (Resource Assignments)、機具優先權限之配置 (Resource Priorities)、櫃場裝卸作業之配置 (Yard Operations) 等功能。

1. **櫃場貨櫃儲區之配置 (Block) :** 貨櫃儲區之長度、寬度、高度及最大容量等之設定，貨櫃堆放順序之指定、可依貨櫃型態、尺寸、到港船舶、裝卸貨艙位置等進行貨櫃堆放之分類。
2. **櫃場貨櫃區位之配置 (Area) :** 可設定不同航商之貨櫃區位或不同貨櫃類型 (例如進口櫃、出口櫃或轉口櫃) 之貨櫃區位，有效管理貨櫃儲區之辨識與管控。
3. **貨櫃裝卸策略之配置 (Container Placement) :** 可設定各種貨櫃裝卸策略之設計，有效安排貨櫃進入貨櫃儲區之堆放策略，可提升裝卸效率、減少翻櫃與整櫃之時間。
4. **貨櫃儲區指派之配置 (Block Assignm-**

ents) : 依照貨櫃型態、尺寸、起迄位置、服務船舶到港船期順序設定貨櫃堆放之儲區之設定與堆放裝卸策略之指派等。

5. 儲區機具之配置 (Resource Assignments) : 依照作業型態 (裝載或卸載)、貨櫃型態、尺寸、起迄位置、服務船舶、貨櫃分類配置等指派貨櫃儲區之裝卸機具指派。

6. 機具優先權限之配置 (Resource Priorities) : 可設計堆積場機具等候作業指派策略之決定。依照船邊作業、管制站作業、堆積場作業、貨櫃儲區轉換、運送距離等。

7. 櫃場裝卸作業之配置 (Yard Operations) : 包含兩種作業，貨櫃儲區間的貨櫃搬運 (Relocate) 與貨櫃儲區內之整櫃 (Consolidate)。

3.1.3 管制站配置子系統

管制站規劃之配置 (Gate Planning)，可規劃貨櫃拖車到達管制站之進出管制，進入堆積場車道之管制與派送模式。

3.2 貨櫃碼頭模擬績效指標

本研究建構之 Flexsim CT 港埠模擬系統，可透過五大類之作業績效指標，如表 1 所示，再由各作業績效指標選出適合評估方案之指標，將模擬模式產生之結果進行比較，以了解其績效程度，作為評估研擬方案之優劣。選用之作業績效指標，如下所述：

表 1 作業績效評估指標

類型	評估指標
船席作業績效	船舶平均等候量 (Average Ship Queue Content)、船舶最小等候量 (Min Ship Queue Content)、船舶最大等候量 (Max Ship Queue Content)、平均占有船席時間 (Average Berth Occupancy)、船席占有百分率 (Percent Berth Occupancy)
橋式起重機作業績效	橋式起重機工作百分率 (Working%)、橋式起重機每小時毛裝卸量 (Gross Moves Per Hour)、橋式起重機平均等候時間 (Average Wait Time, GAWT)

1. 船席作業績效：以平均船席占有（或使用）船席時間 (Average Berth Occupancy, ABO) 與船席占有百分率 (Percent Berth Occupancy, PBO) 作為評估指標，模擬結果數值愈小，表示在相同裝卸作業量之下，船舶停靠船席的時間愈短，績效愈好。

ABO：船席實際進行裝卸占有船席之時間。即指船舶占用船席程度的一種指標（單位：分）。

PBO：船舶實際裝卸作業時間與船舶靠港時間之比值（單位：百分率）。

2. 橋式起重機作業績效：以橋式起重機 (GC) 工作率 (Working %, GWR) 與橋式起重機平均等候時間 (Average Wait Time, GAWT) 作為評估指標，模擬結果數值愈小，績效愈好。

GWR：GC 之實際作業時間與整體可供作業時間之比值（單位：百分率）。

GAWT：機具裝卸作業時間內，GC 之平均等候貨櫃時間（單位：分）。

3.3 模擬次數統計驗證

本研究每個方案均採模擬 10 次之數據平均值作為比較依據，利用 T 檢定（兩

個母體平均數差之檢定，假設變異數相等），檢定模擬 10 次的平均數 (μ_0) 與模擬五次的平均數 (μ_1) 是否有顯著差異，假設 H_0 為模擬次數 (10 次與五次) 之平均數相同 ($H_0: \mu_1 = \mu_0$)， H_1 為模擬次數 (10 次與五次) 之平均數不相同 ($H_1: \mu_1 \neq \mu_0$)。下表 (表 2、表 3) 各評估指標 ABO、PBO、GAWT、GWR 之統計檢定量的觀察值 t 皆落於接受域，故不拒絕虛無假設，又 P 值均大於 $\alpha=0.05$ ，故不拒絕虛無假設 (H_0)。即模擬 10 次與模擬五次之平均數並沒有顯著差異，為求得更精準的數據，本研究每個方案均採取模擬 10 次之平均值作為衡量依據。

肆、貨櫃碼頭前後線裝卸作業方式之績效評估

4.1 貨櫃碼頭作業模式之設置

4.1.1 船舶貨艙之配置

本研究八個方案，共建構八個檔案，每個檔案均模擬 10 次，取 10 次之平均值，有關船舶到港貨櫃裝卸量、橋式起

表 2 ABO 及 PBO 之 T 檢定

ABO	模擬 10 次	模擬五次	PBO	模擬 10 次	模擬五次
平均數	85.9738	85.9403	平均數	13.4334	13.4747
變異數	0.7958	0.5133	變異數	0.0194	0.0230
觀察值個數	10	5	觀察值個數	10	6
Pooled 變異數	0.7089		Pooled 變異數	0.0207	
假設的均數差	0		假設的均數差	0	
自由度	13		自由度	14	
t 統計	0.0727		t 統計	-0.5554	
$P(T \leq t)$ 單尾	0.4716		$P(T \leq t)$ 單尾	0.2937	
臨界值：單尾	1.7709		臨界值：單尾	1.7613	
$P(T \leq t)$ 雙尾	0.9432		$P(T \leq t)$ 雙尾	0.5874	
臨界值：雙尾	2.1604		臨界值：雙尾	2.1448	

表 3 GAWT 及 GWR 之 T 檢定

GAWT	模擬 10 次	模擬五次	GWR	模擬 10 次	模擬五次
平均數	0.6112	0.6142	平均數	9.6595	9.6604
變異數	0.0109	0.0202	變異數	0.0105	0.0139
觀察值個數	10	5	觀察值個數	10	5
Pooled 變異數	0.0137		Pooled 變異數	0.0116	
假設的均數差	0		假設的均數差	0	
自由度	13		自由度	13	
t 統計	-0.0465		t 統計	-0.0169	
$P(T \leq t)$ 單尾	0.4818		$P(T \leq t)$ 單尾	0.4934	
臨界值：單尾	1.7709		臨界值：單尾	1.7709	
$P(T \leq t)$ 雙尾	0.9636		$P(T \leq t)$ 雙尾	0.9868	
臨界值：雙尾	2.1603		臨界值：雙尾	2.1604	

重機數量之配置、貨櫃儲區之配置型式等之基本條件均假設相同，均以 TEUs (Twenty-Foot Equivalent Unit) 為計算單位，船席長度 640 公尺，配置六台橋式起重機 (Gantry Crane, GC)，每台橋式起重機安排三台運具，預定指派兩種定期貨櫃船並安排一週之船期，兩種到港船舶 Service 1 (如圖 1 所示) 及 Service 2 (如圖 2 所示) 之基本設置如下：

1. Service 1 為類型一船舶，靠泊軸心港之大型船，其船長為 240 米，寬 30 米，吃水 15 米深；船舶靠泊港口時，預計安排三個貨艙進行裝卸貨櫃，指派三台 GC 負責裝卸，第一貨艙 (Hatch1-1)，卸載 60 個進口櫃 (imp01-1) 於儲區 1 (Block 1)、從 Block 1 裝載 20 個出口櫃 (exp01-1)；第二貨艙 (Hatch1-2)，

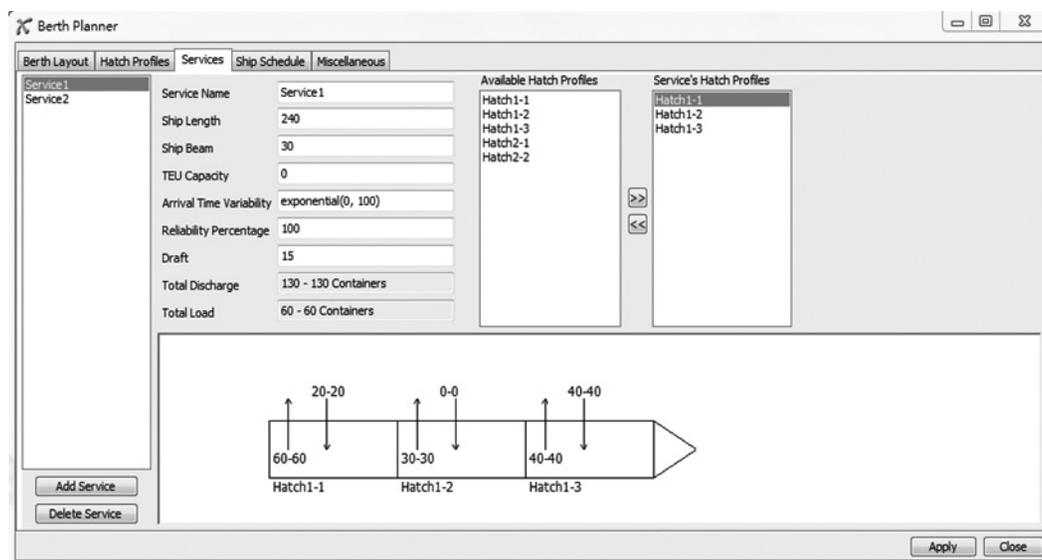


圖 1 Service 1 貨櫃船基本資料

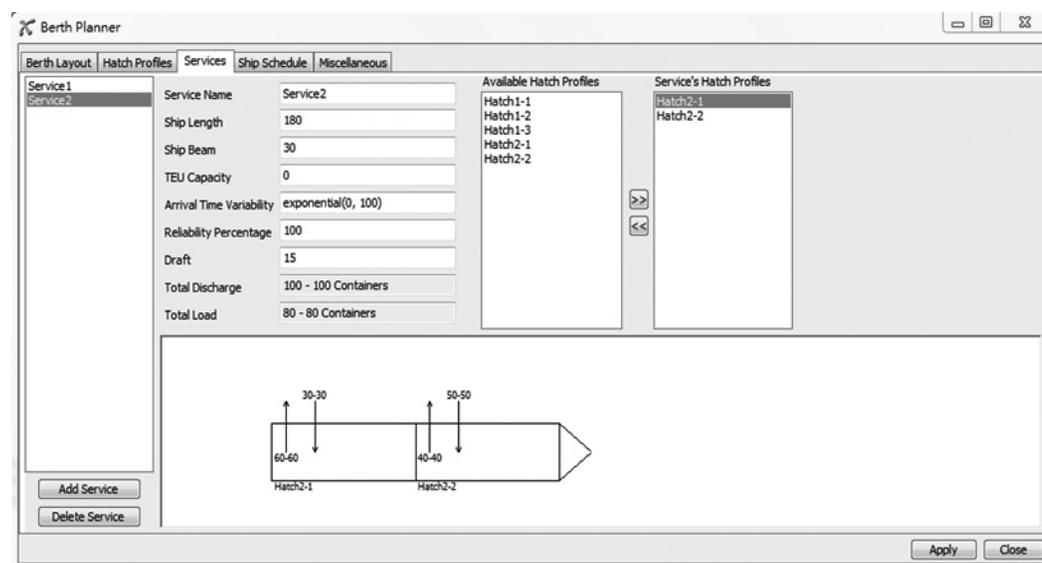


圖 2 Service 2 貨櫃船基本資料

卸載 30 個空櫃 (empty1-1) 於儲區 2 (Block 2)、從 Block 2 裝載 50 個轉口櫃 (trans)；第三貨艙 (Hatch1-3)，卸載 40 個冷凍櫃 (refrigerate1-1) 於儲區 3

(Block 3)、從 Block 3 裝載 40 個氣體櫃 (gas1-1)；全部卸載 130 個貨櫃、裝載 110 個貨櫃，總計裝卸載 240 個貨櫃；詳細配置資料如表 4 所示。

表 4 Service 1 船艙配置圖

Service1	儲區	裝 / 卸	櫃種	數量 (個)
Hatch1-1	Block 1	Discharge	impo1-1	60
		Load	expo1-1	20
Hatch1-2	Block 2	Discharge	empty1-1	30
		Load	trans	50
Hatch1-3	Block 3	Discharge	refrigerate1-1	40
		Load	gas1-1	40

表 5 Service 2 船艙配置圖

Service2	儲區	裝 / 卸	櫃種	數量 (個)
Hatch2-1	Block 2	Discharge	trans	50
			empty2-2	10
	Block 3	Load	gas2-2	30
Hatch2-2	Block 1	Discharge	impo2-2	10
		Load	expo2-2	50
	Block 3	Discharge	refrigerate2-2	30

2. Service 2 為類型二船舶，設計為靠泊集散港之小型船，其船長為 180 米，寬 30 米，吃水 15 米深；船舶靠泊港口時，預計安排二個貨艙進行裝卸貨櫃，指派兩台 GC 負責裝卸，第一貨艙 (Hatch2-1)，卸載 50 個轉口櫃 (trans) 及 10 個空櫃 (empty2-2) 於 Block 2、從 Block 3 裝載 30 個氣體櫃 (gas2-2)；第二貨艙 (Hatch2-2)，卸載 10 個進口櫃 (impo2-2) 於 Block 1、30 個冷凍櫃 (refrigerate2-2) 於 Block 3、從 Block 1 裝載 50 個出口櫃 (expo2-2)；全部卸載 100 個貨櫃、裝載 80 個貨櫃，總計裝卸載 180 個貨櫃；詳細配置資料如表 5 所示。

3. 儲區櫃種儲放位置與數量：

(1) Block 1：儲放 (Deposit) Service 1 之 60

個進口櫃 (impo1-1)、提領 (Retrieval) 20 個出口櫃 (expo1-1) 及儲放 Service 2 之 10 個進口櫃 (impo2-2)、提領 50 個出口櫃 (expo2-2)，共裝卸 140 個貨櫃。

(2) Block 2：儲放 Service 1 之 30 個空櫃 (empty1-1)、提領 50 個轉口櫃 (trans) 及提領 Service 2 之 10 個空櫃 (empty2-2)、儲放 50 個轉口櫃 (trans)，共裝卸 140 個貨櫃。

(3) Block 3：儲放 Service 1 之 40 個冷凍櫃 (refrigerate1-1)、提領 40 個氣體櫃 (gas1-1) 及提領 Service 2 之 30 個氣體櫃 (gas2-2)、儲放 30 個冷凍櫃 (refrigerate2-2)，共存放 140 個貨櫃。

(4) 三個儲區均裝卸 140 個貨櫃之作業。

詳細配置資料如表 6 所示。

4. 為進行船期方案之設計，圖 3 及圖 4 為兩種方案在一週內之船期安排，集中式到港方案之船期(圖 3)為四艘小型船(Service 2)先行分別不同時間進港，隨後兩艘大型船(Service 1)同時進港(大型船集中式到港)，此種船期之安排，主要是採「集中式」之集散港小型船的全部到港，再安排大型船進港，四大二小之船期方式；「分散式」到港方案之船期(圖 4)為兩艘小型船先行安排不同時間進港，隨後再安排一艘大型船進港(大型船分散式到港)，此種船期之安排，主要是採分散式之集散港小型船的到港船期，再安排大型船進港，二大一小之船期方式。

4.1.2 作業模式之設計

本研究將後線貨櫃堆積場設計成相同

的垂直碼頭配置方式；假設在相同的採購成本下，一台橋式起重機約等於三台跨載機的價格，每組車隊或者是跨載機車隊均配置三台，並利用貨櫃碼頭岸肩不同之運具與儲區裝卸機具的不同搭配形式，並結合兩種不同的船期調度，以及在有調度區(設計五個儲位(Slot))的情況下，與傳統的配對方式，產生八種的設計方案，經模擬八種不同的方案下，評估貨櫃碼頭的整體裝卸作業績效，詳細說明如下：

1. 作業模式 M1 (Truck+RTG+TR)–Plan1-1 (大型船集中式到港)、Plan1-2 (大型船分散式到港)

兩方案在每個儲區分別設置兩台 RTG，並由岸肩之卡車車隊配合 RTG 裝卸貨櫃，各個車隊均搭配三台卡車，每個車隊搭配一台 GC 負責裝卸，在每個儲區前後兩側均設有調度區(TR)，從船上卸載貨櫃運送至儲區時，卡車進入調度區等

表 6 儲區 (Block) 貨櫃配置圖

儲區	船舶	儲放/提領	櫃種	數量 (個)	總裝卸量 (個)
Block 1	Service 1	Deposit	impo1.1	60	140
		Retrieval	expo1-1	20	
	Service 2	Deposit	impo2-2	10	
		Retrieval	expo2-2	50	
Block 2	Service 1	Deposit	empty1-1	30	140
		Retrieval	trans	50	
	Service 2	Deposit	empty2-2	10	
		Retrieval	trans	50	
Block 3	Service 1	Deposit	refrigerate1-1	40	140
		Retrieval	gas1-1	40	
	Service 2	Deposit	gas2-2	30	
		Retrieval	refrigerate2-2	30	

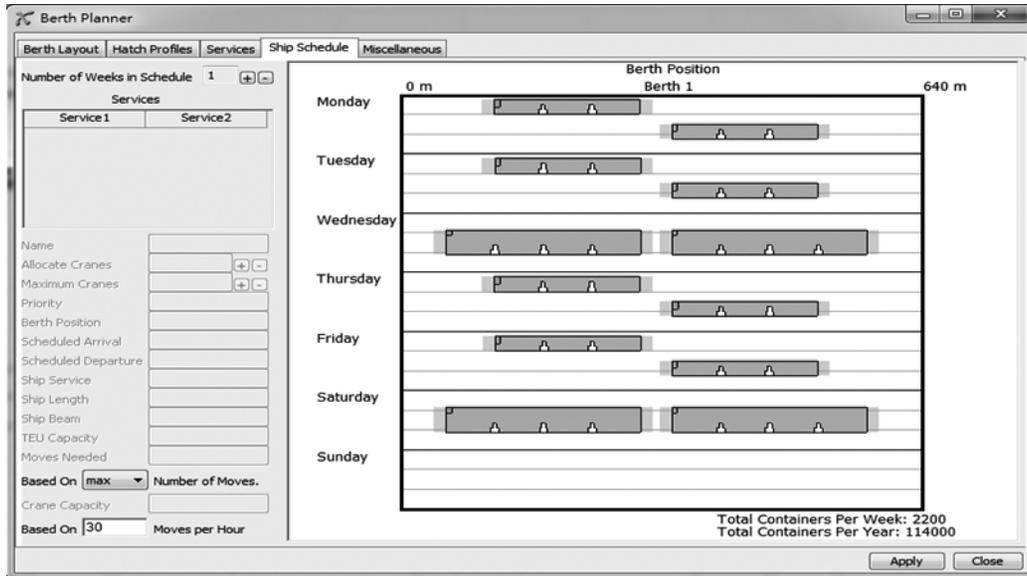


圖 3 集中式到港方案之船期

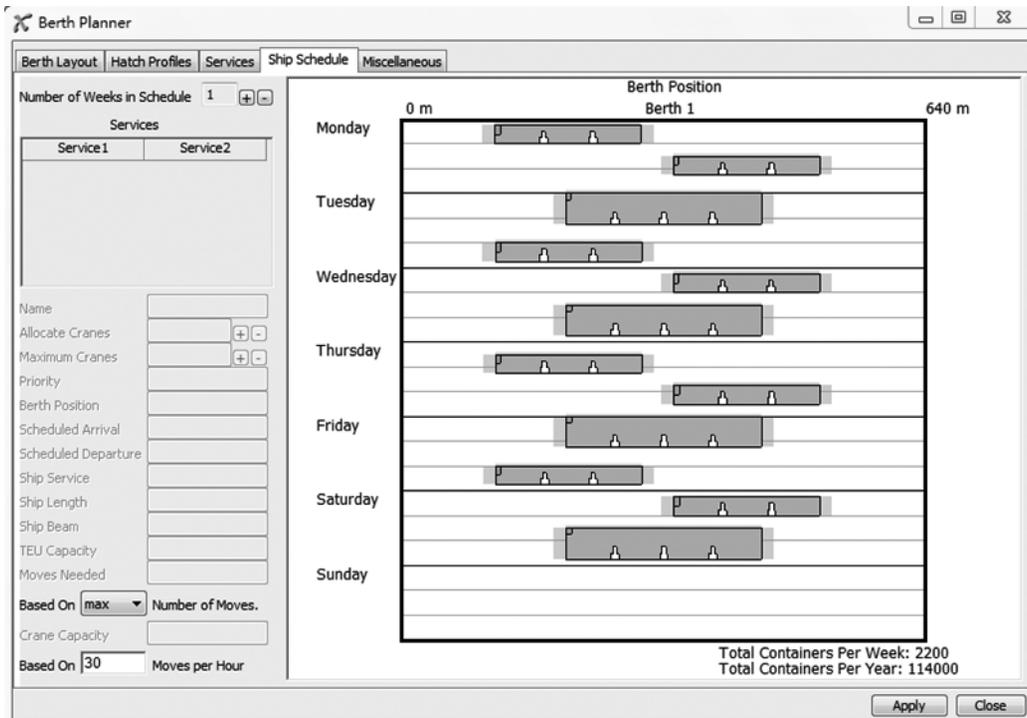


圖 4 分散式到港方案之船期

待 RTG 卸載後才離開，再由 RTG 吊放至儲區中儲放；而從儲區要裝載貨櫃至船舶時，RTG 會移動至調度區中，等待卡車前來運送，再由卡車從調度區載送至岸肩，由 GC 裝載至船上，調度區的設置主要是希望儲區內，禁止卡車的進出以避免儲區間車流的壅塞，從管制站進入儲區之卡車，亦是在調度區作業，Plan1-1 搭配集中式之船期方案，而 Plan1-2 則搭配分散式之船期方案。詳細設計如圖 5 所示。

2. 作業模式 M2 (Truck+SC+TR) –Plan2-1 (大型船集中式到港)、Plan2-2 (大型船分散式進港)

兩方案在每個儲區分別設置兩組跨載機組，共六台跨載機 (SC)，並由岸肩之卡車車隊配合 SC 裝卸貨櫃，各組車隊亦均搭配三台卡車，每組車隊搭配一台 GC 負責裝卸，在每個儲區前後兩側均設有調度

區 (TR)，從船上卸載貨櫃運送至儲區時，卡車進入調度區等待 SC 卸載後才離開，再由 SC 吊放至儲區中儲放；而從儲區要提領貨櫃裝載至船舶時，SC 會先移動至調度區中，等待卡車前來運送，再由卡車從調度區運送至岸肩，由 GC 裝載至船上，方案二搭配集中式之船期方案，而方案六則搭配分散式之船期方案。詳細設計如圖 6 所示。

3. 作業模式 M3 (Truck+RTG) –Plan3-1 (大型船集中式到港)、Plan3-2 (大型船分散式到港)

兩方案為傳統的儲區設置方式，未設置調度區，在每個儲區分別設置兩台 RTG，並由岸肩之卡車車隊配合 RTG 裝卸貨櫃，各組車隊均搭配三台卡車，每組車隊搭配一台 GC 負責裝卸，從船上卸載貨櫃由卡車運送至儲區，卡車直接進入儲

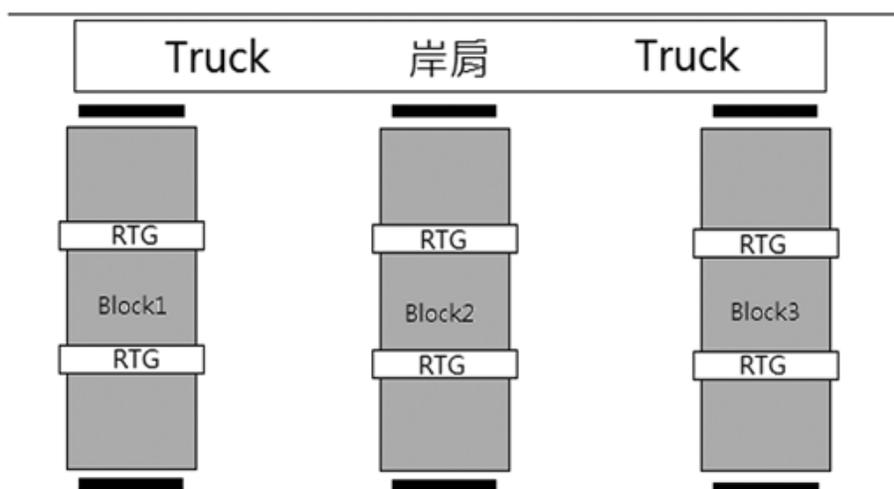


圖 5 作業模式 M1 (Truck+RTG+TR) 之儲區設計

區，經由 RTG 吊放至儲區中；而從儲區要裝載貨櫃至船舶時，卡車會開至儲區中並經由 RTG 吊放至卡車上，再由卡車載送至岸邊橋式起重機裝載至船上，方案三則搭配集中式之船期方案，而方案七則搭配分散式之船期方案。詳細設計如圖 7 所示。

4. 作業模式 M4 (SC+RTG+TR) –Plan4-1 (大型船集中式到港) 與 Plan4-2 (大型船分散式到港)

兩方案在每個儲區分別設置兩台 RTG，並由岸肩之跨載機車隊配合 RTG 裝卸貨櫃，各個車隊均搭配三台跨載機，每個車隊搭配一支岸邊橋式起重機之裝

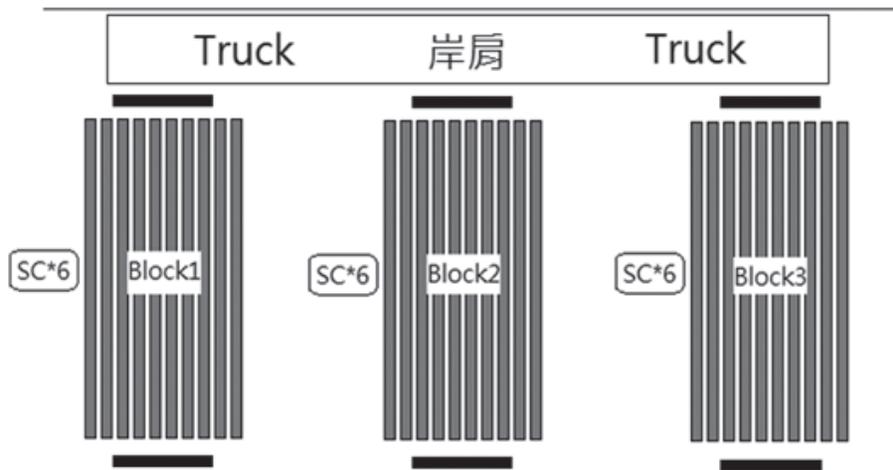


圖 6 作業模式 M2 (Truck+SC+TR) 之儲區設計

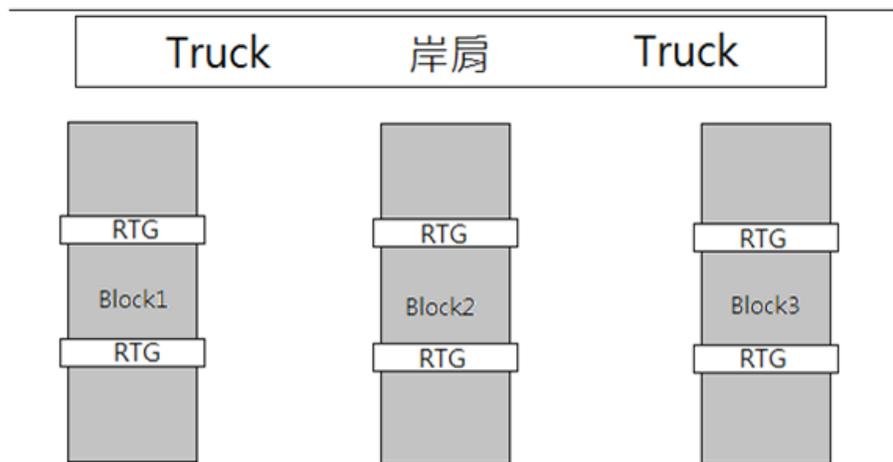


圖 7 作業模式 M3 (Truck+RTG) 之儲區設計

卸，在每個儲區前後側均設有調度區 (TR)，從船上卸載貨櫃運送至儲區時，SC 將貨櫃放置調度區，無需等待儲區裝卸機具，即可直接離開儲區，進行下一次的裝卸作業；而從儲區要裝載貨櫃至船舶時，RTG 會先將貨櫃放至調度區，等待跨載機前來運送，RTG 將貨櫃放置調度區中即可進行下一次的裝卸作業，無需等待岸肩運具的帶來，再由跨載機從調度區將貨櫃載送至岸邊橋式起重機至船上，而方案七則搭配船期方案一，方案八則搭配船期方案二。詳細設計如圖 8 所示。

4.2 實驗結果與分析評估

船席作業績效評估模擬結果，詳如表 7 所示，橋式起重機作業績效模擬結果，詳如表 8 所示，共以四個指標顯示 M1 至 M4 之模擬結果，透過模擬結果來比較不

同作業方式與搭配不同船期對於船席作業績效之影響。

4.2.1 船席之作業績效評估

表 7 為船席平均靠泊時間 (ABO) 及船席靠泊時間所占比例 (PBO) 之模擬結果比較表，ABO 與 PBO 具有一致性，ABO 及 PBO 值愈低，表示在相同裝卸作業量之下，船舶停靠船席的時間愈短，機具作業效率愈高；從表 7 可得知在相同的機具與運具配置時，大型船分散式進港與大型船集中式進港之模擬結果有些微差異，其作業績效之比較，分散式比集中式之船期方案較佳，其主要原因為當兩艘大船採分散式進港時，在同一期間其儲區之裝卸貨櫃量較少，導致其 ABO 及 PBO 均較小。

作業模式 M2 優於 M3，岸肩之運具同為卡車的情況下，卡車都必須等待儲區

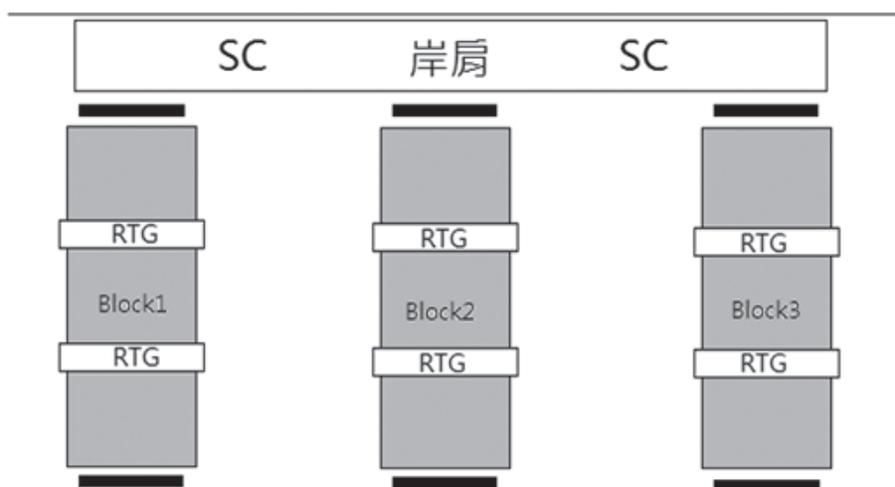


圖 8 作業模式 M4 (SC+RTG+TR) 之儲區設計

表 7 船席靠泊時間之模擬結果比較

大型船集中式到港				
方案	Average Berth Occupancy	方案排序	Percent Berth Occupancy	方案排序
Truck+RTG+TR (Plan1-1)	117.2349	7	18.3179	7
Truck+SC+TR (Plan2-1)	64.4857	2	10.0758	2
Truck+RTG (Plan3-1)	85.9738	4	13.4334	4
SC+RTG+TR (Plan4-1)	121.0628	8	18.9160	8
大型船分散式到港				
方案	Average Berth Occupancy	方案排序	Percent Berth Occupancy	方案排序
Truck+RTG+TR (Plan1-2)	100.6670	5	15.7292	5
Truck+SC+TR (Plan2-2)	63.8709	1	9.9798	1
Truck+RTG (Plan3-2)	80.6511	3	12.6017	3
SC+RTG+TR (Plan4-2)	104.36124	6	16.3064	6

機具的裝卸才能執行下一趟作業，雖然 M3 之卡車能直接進入儲區由 RTG 完成裝卸作業，但因為卡車之行駛距離過長，導致卡車必須從碼頭至儲區，使得岸肩橋式起重機必須等待卡車才能完成作業；而 M2 之卡車雖然必須在調度區等待儲區機具 (SC)，但區內有六台 SC 能執行儲區裝卸作業，卡車之行駛距離僅達調度區不至於過長，能短時內回至岸肩橋式起重機，快速執行下一趟作業。

作業模式 M3 優於 M1，最大差異在於沒有設置調度區，卡車不用在調度區停等 RTG 前來吊掛，故能快速行駛至岸邊橋式起重機執行下一趟作業；顯然設置調度區對於 M1 之裝卸績效並未提升，可能是因為設置之儲區長度過長，儲區裝卸機具之移動速度相較於卡車是顯著的慢，因而產生此現象。

作業模式 M1 優於 M4，雖然 M4 之岸肩橋式起重機的作業，可以因為 SC 的設置，能直接將貨櫃放置於岸肩地面，便轉回船上執行下一趟作業，而 SC 可直接從碼頭載運貨櫃至調度區，因此 SC 能迅速搬運貨櫃至調度區，但因為岸肩之貨櫃量在短時間內較多，當調度區之容量不足時，會導致 SC 必須在調度區等候，等待 RTG 前來執行裝卸作業，產生壅塞的現象，因而延遲 SC 前往碼頭載運，從而影響橋式起重機產生等待 SC 之狀態，故 M1 優於 M4。

4.2.2 橋式起重機之作業績效評估

表 8 為橋式起重機等候時間及工作百分率之模擬結果，如同前述，大型船分散式進港與大型船集中式進港之模擬結果亦是相同，作業績效之比較，仍然是以分散式比集中式之船期方案較佳。

表 8 橋式起重機之模擬結果比較

大型船集中式到港				
方案	Average Wait Time (Min.)	方案排序	Working (%)	方案排序
Truck+RTG+TR (Plan1-1)	13.5956	7	4.0881	7
Truck+SC+TR (Plan2-1)	6.7186	2	0.1553	2
Truck+RTG (Plan3-1)	9.6594	4	0.6111	4
SC+RTG+TR (Plan4-1)	13.9590	8	5.1056	8
大型船分散式到港				
方案	Average Wait Time (Min.)	方案排序	Working (%)	方案排序
Truck+RTG+TR (Plan1-2)	11.8267	5	2.4034	5
Truck+SC+TR (Plan2-2)	6.6966	1	0.1209	1
Truck+RTG (Plan3-2)	9.0589	3	0.1687	3
SC+RTG+TR (Plan4-2)	11.9709	6	3.1641	6

作業模式 M2 優於 M3，岸肩之運具同為卡車的情況下，卡車都必須等待儲區裝卸機具才能執行下一趟作業，M2 儲區之裝卸機具數目為六個，在最高能同時執行裝卸六個貨櫃的情況下，雖然卡車必須在調度區停等 SC，但 SC 其機動性較 RTG 高，不像 RTG 必須橫移其吊臂至指定位置，SC 能直接行駛至貨櫃之儲位，以直上直下的方式完成其作業，即能快速回至調度區裝載下個貨櫃，可大幅縮短卡車快速回至岸肩。

作業模式 M3 優於 M1，卡車之行駛速度相較於 RTG，快速許多，卡車直接進入貨櫃儲區側邊，派由 RTG 執行裝卸作業，RTG 省去其行駛的時間，故在此相同機具指派下，調度區的設置影響了此兩方案的差異。

作業模式 M1 優於 M4，兩方案的差距在於岸肩與儲區間運具之指派，M4 之

作業模式之設計，主要目的是藉由 SC 可自行執行裝卸作業且可當作運具，GC 可直接將貨櫃放置地面，無需等待運具，但研究結果並未產生此現象，由模擬作業畫面顯示出，當岸肩儲放貨櫃容量受限時，而 SC 的行駛速度又較卡車為慢，導致 GC 仍必須等候 SC 將岸肩之貨櫃載運至調度區，才能進行裝卸貨櫃，故造成 GC 仍須停等之現象；另外，當調度區之容量不足時，亦會導致 SC 必須在調度區等候，此兩種原因，導致作業模式 M4 的作業績效排序最差，不如預期之構想效果。

伍、結論與建議

5.1 結論

1. 作業模式 M1 (Truck+RTG+TR)：雖然

卡車在調度區之停等，可以減少貨櫃儲區間車流之壅塞狀況，不過貨櫃儲區的長度使得 RTG 必須長時間的在貨櫃儲區間來回穿梭，增加了卡車在調度區的停等時間，而岸肩橋式起重機也必須因為卡車的停等，耽誤到其貨櫃之裝卸，在卡車均於調度區停等 RTG 的同時，岸邊橋式起重機也負擔了同樣的時間成本在停等 RTG 上，故調度區的設置雖然能讓貨櫃儲區間的作業較為單純，卻增加了船席靠泊時間。

2. **作業模式 M2 (Truck+SC+TR)**：此作業模式為本研究之最佳配置設計。卡車能快速地行駛於岸肩與儲區之間，再加上相同成本下，能增加同一時間貨櫃儲區之最多貨櫃裝卸量，SC 以優於 RTG 的機動性於貨櫃儲區間作業，加上其數量的優勢與彈性調度，使得碼頭整體之績效值相對提升；岸肩卡車快速地往返，貨櫃儲區中 SC 的高機動性以及數量的差異，讓船席岸肩以及貨櫃儲區的兩端區域，都有優勢的完成各自的指派作業，使得船舶的船席停泊能有效減短時間，也讓岸肩橋式起重機快速的作業，降低許多停等的時間。
3. **作業模式 M3 (Truck+RTG)**：雖然無設置調度區，能直接地進入指定貨櫃儲區側邊，指派 RTG 執行裝卸作業，RTG 省去其行駛的時間，在卡車數量固定的情況之下，搬運每一櫃次卡車所需行駛之距離過長，對於卡車之負擔過高，也

因為卡車之數量不足，在短時間內櫃量增加時，會出現供不應求的狀況，產生岸肩橋式起重機仍須停等卡車的情形，雖然岸肩橋式起重機停等卡車的頻率不高，卻是利用此作業模式會產生之現象。

4. **作業模式 M4 (SC+RTG+TR)**：此作業模式為本研究之最差配置設計。起初研究初步構想認為此一作業模式應為最佳結果，在透過模擬過程的觀察發現，雖然岸肩橋式起重機，因為岸肩指派 SC 的設置可以免去停等岸肩運具的時間，可是貨櫃儲區中 RTG 的緩慢移動速度，拖延了調度區貨櫃裝卸速度，導致調度區的貨櫃量過多時，SC 沒辦法將貨櫃儲放於調度區，必須等待 RTG 將調度區的貨櫃搬移至貨櫃儲區，此時 SC 才能卸下貨櫃於調度區，回至岸肩執行下一作業，也因為 SC 在調度區的等待，沒有足夠的機具能搬運岸肩橋式起重機所卸下之貨櫃，在空間有限的情況下，迫使岸肩橋式起重機暫停運作，等待岸肩貨櫃運至貨櫃儲區的作業過程，增加船席靠停時間以及降低岸肩橋式起重機的作業效率。
5. 本文四項作業模式，去除 RTG 後的組合，都會是較好結果，此仍因為 RTG 其動線與機動性，均遠不如 SC 與 Truck，尤其是在配合上 TR 後，RTG 的弱勢更馬上凸顯出來。

5.2 建議

1. 本研究所使用之研究方法以 Flexsim CT 貨櫃碼頭模擬系統軟體進行績效之評估，其中各變異之數值最佳化仍需輔以其他研究方法加以求取，再套入此模擬系統軟體予以驗證，使得整體之評估能結合理論與模擬過程，使之更加完整。
2. 對於不同的櫃種而言，其特性不同，放置之儲位也會影響，如果能依據不同的櫃種放置於不同的貨櫃儲區，搭配不同的儲區作業模式，比較其差異性；因此未來可以針對不同的貨櫃儲區，指派不同的作業模式，提升各貨櫃儲區的績效。
3. 由於模擬過程的停等大多是因為貨櫃儲區間的裝卸機具以及岸肩的搬運機具所影響，要如何設計出合適的儲區長度、岸肩距離、裝卸機具數量，值得將之納入探討，如果能在碼頭建構時即提早將儲區長度以及岸肩距離予以考慮，而不單只就如何指派機具以及數量上問題去討論，將使得整個碼頭之績效值更高，畢竟機具的改變及汰換其方便性與可行性，相較於貨櫃碼頭整體重新建構來得容易，對於整體貨櫃碼頭之變動性也較為靈活。
4. 本研究所指派之機具為較傳統的機具，並未使用較為先進的機具，如 AGC 或自動式跨載機，往後的研究如能配合較先進的機具，並考量到儲區向上堆疊貨

櫃的能力，對於目前全球重要貨櫃碼頭或繁忙的樞紐港，會有更好的研究價值。

5. 如能將貨櫃碼頭作業上之「人力與燃料等變動成本、環境汙染、機具投置成本、整體櫃場之堆積能量」等納入考量，而不單就時間成本來評估，綜合所有評估面向，方可提升整體碼頭營運績效。

參考文獻

朱金元、謝幼屏、黃文吉、程培倫、吳勝傑、王昌欽、林文宣，2005，貨櫃堆積場最適規劃之研究，交通部運輸研究所，臺北市。

張美香、顏宸韻，2009，出口貨櫃儲位指派暨預先整櫃作業之模擬分析，*中華民國運輸學會 98 年學術論文研討會論文集*，1621-1638，桃園縣。

黃月娥，2004，搬運機具數量對貨櫃裝卸作業績效影響分析，*國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文*，基隆市。

趙文邦，2008，貨櫃碼頭船席與儲區間水平運輸作業模式選擇之研究，*國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文*，基隆市。

鄭景怡，2004，貨櫃裝卸作業與岸肩載運機具指派之研究，*國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文*，基隆市。

- Carlo, H.J., Vis, I.F.A. and Roodbergen, K.J., 2014a. Storage yard operations in container terminals: literature overview, trends, and research directions. *European Journal of Operational Research*, 235(2), 412-430.
- Carlo, H.J., Vis, I.F.A. and Roodbergen, K.J., 2014b. Transport operations in container terminals: literature overview, trends, research directions and classification scheme. *European Journal of Operational Research*, 236(1), 1-13.
- Das, S.K. and Spasovic, L., 2003. Scheduling material handling vehicles in a container terminal. *Production Planning and Control*, 14(7), 623-633.
- Dekker, R., Voogd, P. and Asperen, E., 2006. Advanced methods for container stacking. *OR Spectrum*, 28(4), 563-586.
- Kim, K.H. and Hong, G.P., 2006. A heuristic rule for relocating blocks. *Computers & Operational Research*, 33(4), 940-954.
- Kozan, E. and Preston, P., 1999. Genetic algorithms to schedule container transfers at multimodal terminals. *International Transactions in Operations Research*, 6, 311-329.
- Tang, L., Zhao, J. and Liu, J., 2014. Modeling and solution of the joint quay crane and truck scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 236(3), 978-990.
- Ting, S.C., Wang, J.S., Kao, S.L. and Pitty, F.M., 2010. Categorized stacking models for import containers in port container terminals. *Maritime Economics & Logistics*, 12, 162-177.
- Vis, I.F.A. and Koster, R., 2003. Transshipment of containers at a container terminal: an overview. *European Journal of Operational Research*, 147(1), 1-16.
- Wang, T.F., Song, D.W. and Cullinane, K., 2003. Container port production efficiency: a comparative study of DEA and FDH approaches. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 698-713.

