

貨櫃碼頭儲區規劃與機具調度之整合模擬研究

The Study of Integrated Simulation for Block Planning and Resource Dispatching in Container Terminal

吳清慈 (Ching-Tsyr Wu)^{①*}、范瑋倫 (Wei-Lun Fan)^②

摘要

近代全球航商主導港埠經營的趨勢已成為主流，因此貨櫃碼頭之整合作業模式，為影響貨櫃碼頭作業績效之重要關鍵因素。本研究以平行碼頭作為研究基準，依貨櫃碼頭儲區規劃及機具調度為主，探討貨櫃碼頭前線船席與後線儲區之作業績效，建構 Flexsim CT 港埠模擬系統，研擬四個方案，透過船席與儲區四種評估指標，比較方案排序。藉由不同的機具群組調度方式，縮短機具行駛距離，減少等候拖車時間，降低機具間作業相互干擾，能有效改善儲區作業績效。研究結果顯示，將部分儲區，指派單一櫃種儲放並增加機具群組設計，充分發揮群組儲區中的裝卸機具互相支援作業，可達到顯著提升貨櫃碼頭整體裝卸作業績效。

關鍵字：儲區規劃、機具調度、作業績效、模擬系統

Abstract

Modern global shipping companies to operate the container port has become the mainstream, affecting the performance of container terminal handling are very important key factors. In this research, we are primarily concerned with linear

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；聯絡地址：202 基隆市中正區北寧路 2 號；電話：02-24622192 分機 3042；E-mail: alexandra23456@gmail.com。

berths, from the point of view of different block planning and resource dispatching. We discuss the operation models performance between the seaside and landside, through Flexsim CT port simulation system has design the four plans to simulate and four indicators to comparative. By means of different combinations of resource dispatch to shorten the distance machines, reduce waiting time of trucks, and decrease equipment interference. That can improve operation performance. The results show that assign part of the block in a single type of container to deposit and increase the resource group design can full support operation and also significantly improve overall handling performance of container terminals.

Keywords: Block planning, Resource dispatching, Operation performance, Simulation system

壹、前言

在國際海運市場中，不僅要關注貿易的互相往來、經濟的蓬勃發展；貨櫃運輸中，港口扮演著非常重要的角色，不單單只有負責海陸之間裝卸貨櫃，也能因為碼頭貨櫃儲區配置的方式，能夠增加作業效率，因此，港口對於儲區配置位置及容量需求增加，貨櫃儲區土地面積大小也是最重要的影響因素，目前可針對改變的就是貨櫃碼頭儲區配置及儲區作業機具的組合配置方式，後線作業機具的組合配置，做出有效運輸與裝卸之配合，可提升後線遠端作業人員的績效，減少船舶靠港的作業時間，致使提升裝卸作業效率。

本研究以平行碼頭作為方案設計，探討不同的作業機具，包括前後線船席岸肩之運具、卡車、與後線堆積場之裝卸機

具，主要以膠輪式門式機 (Rubber-Tyred Gantry Cranes, RTG) 作業。在相同的儲區面積，相同櫃種與櫃量的情況下，依據不同的儲區配置策略及儲區機具組合調度之設計，主要是將儲區配置與結合機具群組設計，讓儲區的 RTG 能互相支援調度，明顯提升作業的效率，研擬四種方案，利用船席及儲區作業績效為二大評估指標，作為比較分析，以達成以下目的：現今的實務作業或學術研究中，絕大部分亦已著眼於整合機具之調度；為提升儲區配置的作業績效影響，從貨櫃碼頭岸肩之調度問題、儲區使用機具作業模式及堆積場機具間的相互影響等等相關因素，最終的研究結果也會有所不同。

由於現有貨櫃碼頭之詳細櫃種、櫃量資料取得不易，建構之模擬模式僅對於碼頭之儲區配置、機具數量、貨櫃櫃種與貨

櫃量等相關作業進行分析，且參考現實的貨櫃碼頭作業內容設計方案。而研究採用之港埠模擬系統，無法依據船艙的貨櫃艙位配置，僅能對於櫃種、櫃量裝卸之順序、儲位及運具整合與搭配，期爾後能結合艙位之設計，使研究構面更加完整。

本研究利用 Flexsim CT 貨櫃碼頭模擬軟體，可針對不同碼頭、儲區之情境，個別設計其變異進行數據分析，對於港埠營運提出兼顧經濟、安全與效率之優化改善方法，似真實模擬 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，以瞭解貨櫃進出貨櫃儲區的過程。

本文從第二節進行國內及國外關於海運港埠相關作業評估指標之相關文獻加以蒐集與探討；第三節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；第四節將深入剖析本研究研擬四個方案之裝卸作業模式設計並針對實驗結果做評估分析；最後第五節提出結論與建議，以作為貨櫃航運公司研擬經營策略與調整機具資源分配的參考。

貳、文獻回顧

本研究旨在進行貨櫃堆積場儲區之機具群組支援比較差異，貨櫃碼頭作業之相關文獻進行彙整，整理歸納如下：

2.1 績效指標相關文獻

陳政宏 (2014) 認為就貨櫃碼頭作業而言，選擇適當的風險評估工具以滿足職業安全衛生標準顯得益發重要。本研究採用作業安全分析方法 (Job Safety Analysis, JSA) 針對貨櫃碼頭的各项作業風險進行評估，及 (Existing Control Measures, ECM) 因子加權方式，可讓風險等級更貼近於碼頭作業之實際狀況，更有助於危害預防控制措施之決策判斷，應用於貨櫃碼頭經營。

陳麒安 (2014) 將評估與分析港口的經營效率及環境績效，將港口的環境表現一同納入，來衡量港埠的效率。以資料包絡分析法作為考量環境因素下之效率評估的方法，利用差額變數分析瞭解無效率的港埠其溫室氣體的超額排放量以及投入與產出的差額，確認各項投入與產出需改善的數量。傳統的 CCR 模式與 BCC 模式評估港埠的經營效率，比較港埠的經營效率與環境效率，並探討營運表現良好的港埠是否在環境效率表現上也存在相同的結果。

Ding et al. (2015) 二元線性規劃制定的這些問題是不可行的現實生活中的問題，此研究提出了一個啟發式算法的貨櫃船舶配載計畫的問題。該研究的算法是時間效率，並能產生良好的解決方案等。理論上，可以產生比我們的算法更好的配載計畫，過程可被擴展以處理更複雜積載規劃問題。

2.2 模擬分析相關文獻

楊文全 (2005) 為了縮短貨櫃船靠港時間，探討貨櫃應堆於貨櫃場內的哪一儲區，先運用窮舉法找出最佳的卡車指派數量及貨櫃非整數鬆弛解，再針對貨櫃運用分支定限法找到貨櫃最佳整數解，來決定要裝載至同一艘貨櫃船的出口貨櫃應分別堆放哪一儲區，並在貨櫃場現有的車隊數中應分別派遣多少輛的卡車至每一儲區進行貨櫃運送作業，以 Mathematica 5.0 數學軟體編製求解程式碼，經由實例分析建立之求得最佳解，並確實能縮短貨櫃裝船時間。

劉盈娟 (2008) 從簡至繁雜，將起重機的排程規劃分為四個程序，每一程序都建構整數規劃模型，並且利用軟體 CPLEX 10.0 求解。當處理貨櫃數量龐大時，求解時間冗長。因此，該研究提出一階段式演算法。演算法分為兩部分，首先，決定貨櫃之起重機指派，然後決定起重機之工作時程。演算法與最佳解相比，在大部分的模擬方案中，演算法求解時間明顯較短而目標值在合理範圍內，提高起重機使用率是重要的議題。

陳竑成 (2013) 探討如何藉由避免堆積場機具間的相互影響，進而提升貨櫃碼頭的處理效率。堆場吊機提取貨櫃的排程規劃用以提升整體貨櫃碼頭的處理效率，針對每一台堆場吊機的工作區域，利用貪婪演算法 (Greedy Method)，找出堆場吊機處

理貨櫃的最佳排程。此研究使用前向啟發式演算法以及修正前向啟發式演算法來取代 Ng (2005) 的貪婪演算法，並探討這兩種演算法是否能夠得到較好的結果。所有的結果都以 Java-Programming 計算，排程規劃用以提升整體貨櫃碼頭的處理效率。

邱建中 (2013) 探討船邊貨櫃裝卸作業安全之核心風險因素 (Core Risk Factors)，以及建立風險管理策略，藉由蒐集作業安全資料及訪談人員之方式，以辨識出風險因素，並採用決策實驗室分析法 (Decision Making Trial and Evaluation Laboratory, DEMATEL) 尋找核心風險因素，將其風險因素依影響性質分類，以找出核心因素及其間的影響關係。評估結果得知貨櫃裝卸作業之核心風險因素，以軟體及組織構面的因素占多數，研擬出風險控制策略，目的在於降低風險發生的頻率。

鄒妮采 (2014) 研究以直線型碼頭作為依據，以貨櫃碼頭調度區作業方式及貨櫃儲區量化配置與儲區指派為研究目標，並結合 Flexsim CT 系統模擬之方法，研究結果得知，設置調度區，可使 RTG 平均等候時間較短，不過堆積場貨櫃平均滯留時間較長，所以將儲區配置方式分散，卡車進入岸肩與儲區間之速度愈快，橋式起重機等候時間較短，縮短船席靠港時間愈短，最終提升作業績效。

吳清慈、王騰毅 (2015) 以貨櫃碼頭作業為研究目標，探討貨櫃碼頭前線船席之裝卸績效，以碼頭岸肩運具、貨櫃儲區裝

卸機具與船期的調度為影響主要變數。研究採用 Flexsim CT 港埠模擬系統進行模擬比較評估方案，以船席靠泊時間作為評估指標，其研究認為儲區間藉由跨載機之作業模式，相較於膠輪式門式機可獲得低成本及機動性的優點，且能有效提升儲區之裝卸效率。研究亦表示適當儲區長度與調度區的設置攸關於碼頭後勤的作業績效。

Chou (2011) 認為許多儲區開始採用軌道式門型機作為主要作業模式，以達到增加儲區容量之目的。因此，他建構一多層時空網路，並以多元商品流動問題建構一自動化碼頭出口儲位指派之數學模式，目標式為最小化新進儲區貨櫃之指派成本、變位成本以及取出裝船時機具駐停最少次數之總成本。該研究於實證研究以及敏感度分析中提出四種情境以驗證模式的合理性與效度，並提出各情境之特性與適當之規劃策略。

Chen et al. (2013) 同時解決港口貨櫃碼頭裝卸起重機和卡車運輸之間的相互作用，此篇問題被配置為編程模型和開發三個階段的算法。在第一階段，由啟發式方法生成起重機時間表。在第二階段，所敘述多卡車路由問題是基於對從第一階段得到的運輸任務的優先關係解決。在最後階段的完整解決方案是通過使用析取圖構成，結果顯示第三階段是最有效率的解決方案。

Turkog˘ulları et al. (2014) 認為港口貨櫃碼頭高效率的管理已經成為一個重要的

問題，基本上，貨櫃碼頭營運將面臨泊位分配、岸橋分配(數量)，與岸橋分配(具體的)等問題。首先，該研究制定了新的二進制整數線性規劃的泊位分配與岸橋的分配，稱為 BACAP (數量) 問題的綜合解決方案。為了能夠解決大情況下，此研究提出了一個充分必要條件為從 BACAP 的使用後處理算法的最佳解決方案產生最優解，這使我們適用於現實的問題。

Zhang et al. (2014) 由於分析的位置分配出口箱的貨櫃碼頭。數值實驗證明，第一、二保守分配模型優於原有模型的性能指標方面。考慮不能對一些測試問題的托架模式內的合理時間量的大尺寸，提出了一個近似的動態規劃算法為好。堆積場裡港口分配同組的貨櫃，和位置分配每個新到的貨櫃依次處理。使用動態規劃算法計算，整數線性規劃模型泊位分配和岸橋分配問題 (BACAP) 和混合整數線性規劃模型的泊位分配岸橋的分配和調度問題。

Bierwirth et al. (2015) 探討調查的泊位分配、岸邊的分配，並在港口貨櫃碼頭岸肩調度問題。我們根據泊位分配考慮岸橋調度和綜合方法使用在前面的調查中提出的分類方案模型的特點進行分類。此外，我們確定趨勢的領域來看看已經被開發用於解決新機型的方法，點亮未來研究的潛在方向。

2.3 作業系統相關文獻

Pitty (2008) 探討處理進口貨櫃隨機堆

疊所造成的問題，第一步設計貨主提櫃預約系統，讓貨主可以預約提櫃時間，櫃場可根據提櫃時間預做堆疊；第二步是預測貨主提櫃的先後順序，因為大部分貨主可能不先做預約，對於這些貨主提櫃行為我們經由以往的資料分析，預測貨主提櫃的先後，整合這兩部分的貨主提櫃順序即可在船舶卸櫃後在貨櫃場預做較佳的分類堆疊。

Cordeau et al. (2011) 探討碼頭內卡車的管理問題，車組到達並從剛開始的計畫到了的最終離開。這些必須在從管理規則產生的一些限制分配給停車的地方，主要目標是能達到最有效率的處理時間。數據結果表明現實生活中，該啟發式算法是具有效性的。

2.4 相關文獻統整

對於儲區配置的作業績效的影響，我們從港口貨櫃碼頭岸肩調度問題、儲區使用機具為主要作業模式、貨櫃碼頭儲區間的機具相互影響等等相關因素，最終的結果會有所不同。在眾多文獻當中，多數貨櫃碼頭使用預測以建構數學模式的方式，但其計算之結果並非理想，若這之間只重於效果不重視效率則可能會影響到每一區作業的績效，即會造成資源過度氾濫與閒置；以分析貨櫃碼頭作業績效的軟體作為研究相對較少，因此本研究希望能以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，

探討可能產生之落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。

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。研究採用之 Flexsim CT 系統於船艙之配置對於櫃種、裝卸之順序、儲位及運具做整合與搭配，故本研究在相同基準下，對於可控制之變數 - 儲區與機具調度作為研究之構想。各子系統之變數，舉凡船席配置子系統之船舶長度、靠泊時間等，堆積場配置子系統之儲位排序優先順序、作業機具行駛與裝卸速度等，管制站配置子系統之車輛行駛之距離、路線，以及每日車輛進出站之數量等，均可依研究目的自行設定。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。

- 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。
- 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。
- 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。
- 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。

- 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。
- 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。
- 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。
- 貨櫃儲區指派之配置 (Block Assignments)：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。
- 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。
- 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。
- 櫃場裝卸作業之配置 (Yard Oper-

ations)：包含貨櫃儲區間的貨櫃搬運 (Relocate) 與貨櫃儲區內之整櫃 (Consolidate) 等兩種作業。

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，可透過二大類之作業績效指標，如表 1 所示，將模擬模式產生之結果進行比較，以瞭解其績效程度，作為評估研擬方案之優劣，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)、GC 每小時淨裝卸量 (GC Net Moves Per Hour, GNMPH)
儲區作業績效	儲區作業 RTG 平均等候時間 (Average Wait Time, AWT)、RTG 每小時淨裝卸量 (RTG Net Moves Per Hour, RNMPH)

- 船席作業績效兩種作業：以平均船席占有 (或使用) 船席時間 (Average Berth Occupancy, ABO) 與 GC 每小時淨裝卸量 (RTG Net Moves Per Hour, GNMPH) 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)

GNMPH：GC 裝卸作業時間內，每小時實際裝卸移動之趟次。(單位：次 / 小時)

- 儲區作業績效：以儲區作業 RTG 平均等候時間 (Average Wait Time, AWT) 及 RTG 每小時淨裝卸量 (RTG Net Moves

Per Hour, RNMPH) 作為評估指標，模擬結果數值愈小，績效愈好。

AWT：儲區作業等候時間愈短，作業效率最好。GC 之實際作業時間與整體可供作業時間之比值。(單位：分)

RNMPH：RTG 裝卸作業時間內，每小時實際裝卸移動之趟次。(單位：次 / 小時)

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 5 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 5 次) 之平均數相同 ($H_0: \mu_0 = \mu_1$)， H_1 為模擬次數 (10 次與

5 次) 之平均數不相同 ($H_1: \mu_0 \neq \mu_1$)。下表 (表 2、表 3) 各評估指標 ABO、GNMPH (碼頭邊) 及 AWT、RNMPH (儲區) 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 5 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

表 2 ABO 及 GNMPH 之 T 檢定

ABO	模擬 10 次	模擬 5 次	GNMPH	模擬 10 次	模擬 5 次
平均數	3.626971	3.656237	平均數	28.45401	28.40835
變異數	0.039293	0.025065	變異數	0.018362	0.031431
觀察值個數	10	5	觀察值個數	10	5
Pooled 變異數	0.034915		Pooled 變異數	0.022383	
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	-0.28595		t 統計	0.557223	
$P(T \leq t)$ 單尾	0.389711		$P(T \leq t)$ 單尾	0.293421	
臨界值: 單尾	1.770933		臨界值: 單尾	1.770933	
$P(T \leq t)$ 雙尾	0.779421		$P(T \leq t)$ 雙尾	0.586842	
臨界值: 雙尾	2.160369		臨界值: 雙尾	2.160369	

表 3 AWT 及 RNMPH 之 T 檢定

AWT	模擬 10 次	模擬 5 次	RNMPH	模擬 10 次	模擬 5 次
平均數	121.4071	121.5655	平均數	28.75677	28.79194
變異數	0.550837	0.574565	變異數	0.017456	0.006471
觀察值個數	10	5	觀察值個數	10	5
Pooled 變異數	0.558138		Pooled 變異數	0.014076	
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	-0.3872		t 統計	-0.5413	
$P(T \leq t)$ 單尾	0.352437		$P(T \leq t)$ 單尾	0.298728	
臨界值: 單尾	1.770933		臨界值: 單尾	1.770933	
$P(T \leq t)$ 雙尾	0.704873		$P(T \leq t)$ 雙尾	0.597456	
臨界值: 雙尾	2.160369		臨界值: 雙尾	2.160369	

4.1.1 船舶貨艙之配置

本研究四個方案，共建構四個模擬檔案，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、橋式起重機數量之配置及船期安排等之基本條件均設定相同，均以 TEUs (Twenty-Foot Equivalent Unit) 為計算單位，船席長度 640 公尺，配置六台 GC，每台 GC 安排六台運具，預定指派兩類型定期貨櫃船並安排一週之船期，到港船舶 Service 1 (如圖 1 所示) 及 Service 2 (如圖 2 所示) 之基本配置如下：

1. Service1 為類型一船舶，其船長為 300 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 45 個轉口

櫃 (trans 1) 於儲區 3 (Block 3)、45 個轉口櫃 (trans 2) 於儲區 5 (Block 5)，從 Block1 裝載 90 個出口櫃 (expo1-1)。

- 第二貨艙 (Hatch2-1)，卸載 90 個空櫃 (empty 1-1) 於儲區 2 (Block 2)、從 Block 4 卸載 90 個氣體櫃 (gas 1) 於儲區 4 (Block 4)、從 Block1 裝載 90 個出口櫃 (expo 2-1) 於儲區 1 (Block 1)。
- 第三貨艙 (Hatch3-1)，卸載 90 個進口櫃 (impo1-2) 於儲區 2 (Block 2)、90 個冷凍櫃 (refrigerate 1) 於儲區 6 (Block 6)；從 Block 3 裝載 90 個空櫃 (empty 1) 於儲區 3 (Block 3)；全部卸載 450 個貨櫃、裝載 270 個貨櫃，總計裝卸載 720 個貨櫃；詳細配置資料如表 4 所示。

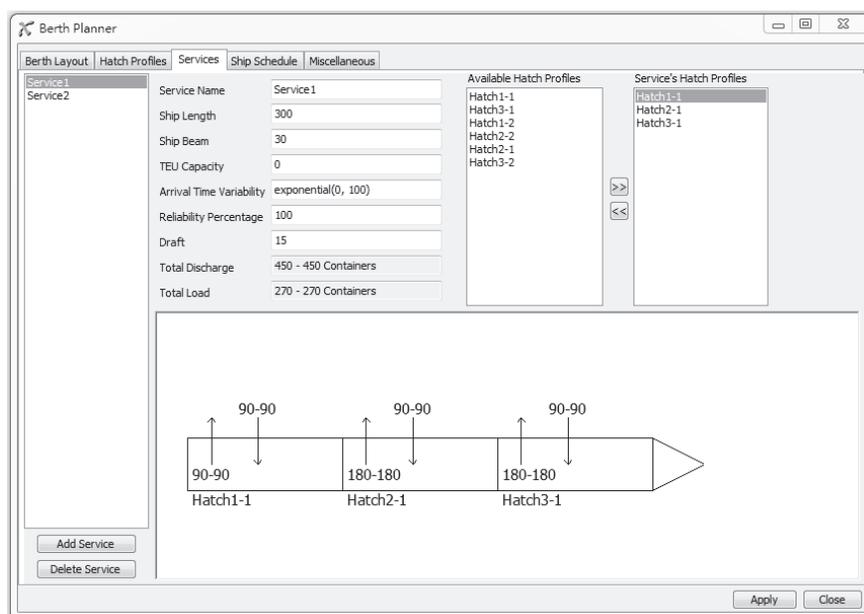


圖 1 Service 1 貨櫃船基本資料

表 4 Service 1 船艙貨櫃配置圖

Service 1	儲區	裝 / 卸	櫃種	數量 (個)
Hatch1-1	Block 3	Discharge	trans 1	45
	Block 5	Discharge	trans 2	45
	Block 1	Load	expo 1-1	90
Hatch2-1	Block 2	Discharge	impo 2-1	90
	Block 4	Discharge	gas 1	90
	Block 1	Load	expo 2-1	90
Hatch3-1	Block 2	Discharge	impo 1-1	90
	Block 6	Discharge	refrigerate 1	90
	Block 3	Load	empty 1	90

2. Service 2 為類型二船舶，其船長為 280 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 (Hatch1-2)，卸載 90 個進口櫃 (impo1-2) 於 儲 區 8 (Block 8)、90 個氣體櫃 (gas 2) 於儲區 4 (Block 4)、

從 Block 3 裝載 45 個轉口櫃 (trans 1) 於 儲 區 3 (Block 3)、從 Block 5 裝載 45 個轉口櫃 (trans 2) 於 儲 區 5 (Block 5)。

- 第二貨艙 (Hatch 2-2)，卸載 90 個空櫃 (empty 2) 於 儲 區 5 (Block 5)、90 個冷凍櫃 (refrigerate 2) 於 儲 區 6 (Block

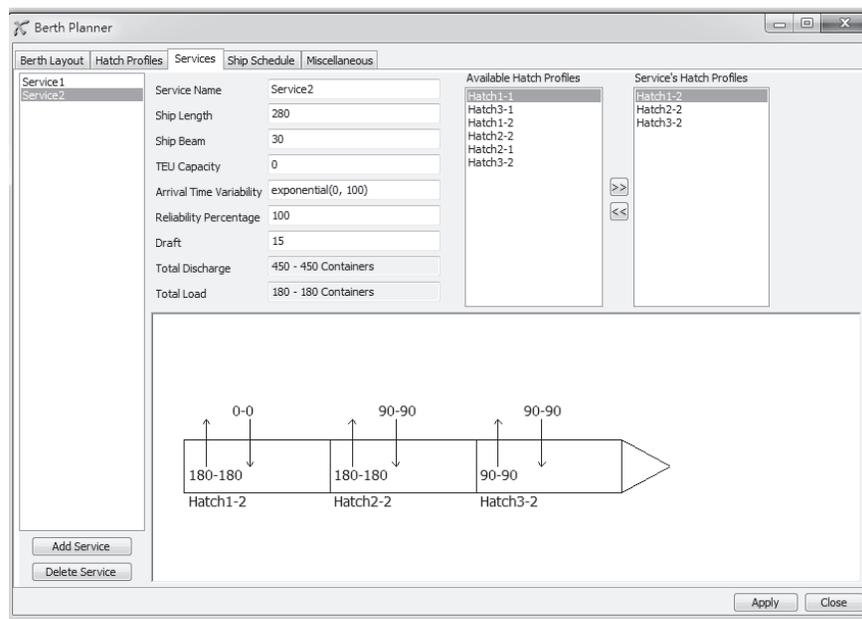


圖 2 Service 2 貨櫃船基本資料

- 6)、從 Block 7 裝載 90 個出口櫃 (expo 2-2) 於儲區 7 (Block 7)。
- 第三貨艙 (Hatch 3-2)，卸載 90 個進口櫃 (impo 1-2) 於儲區 8 (Block 8)，從 Block 7 裝載 90 個出口櫃 (expo 1-2) 於儲區 7 (Block 7)；全部卸載 450 個貨櫃、裝載 180 個貨櫃，總計裝卸載 720 個貨櫃；詳細配置資料如表 5 所示。
3. 船期介紹
- 船期方案之設計，圖 3 為一週內之船期安排，共指派兩類型貨櫃船；第一類型

表 5 Service 2 船艙貨櫃配置圖

Service 2	儲區	裝 / 卸	櫃種	數量 (個)
Hatch 1-2	Block 8	Discharge	impo 1-2	90
	Block 4	Discharge	gas 2	90
	Block 3	Load	trans 1	45
Hatch 2-2	Block 5	Load	trans 2	45
	Block 5	Discharge	empty 2	90
	Block 6	Discharge	refrigerate 2	90
Hatch 3-2	Block 7	Load	expo 2-2	90
	Block 8	Discharge	impo 2-2	90
	Block 7	Load	expo 1-2	90

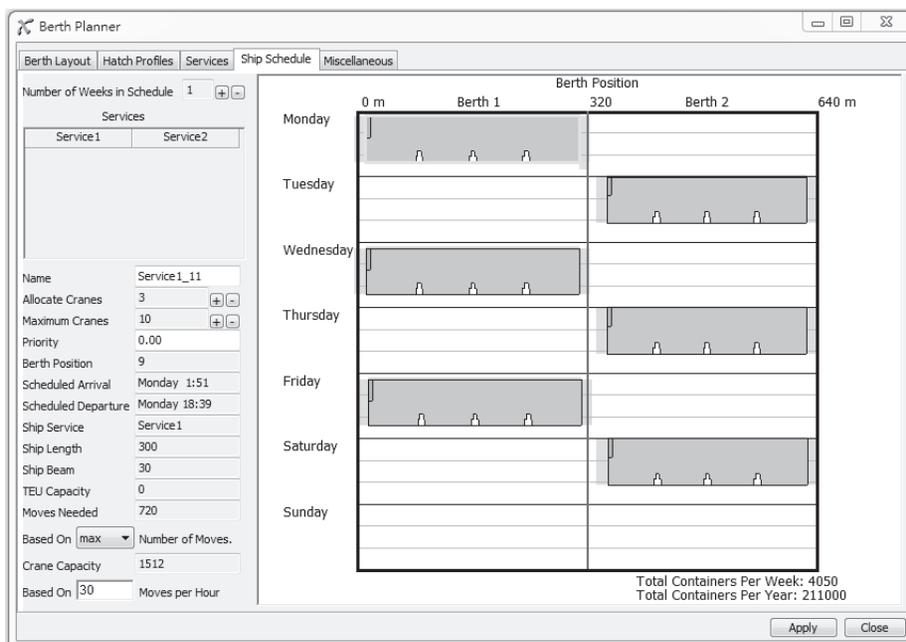


圖 3 貨櫃船期安排

貨櫃船 (Service 1) 為星期一、星期三、星期五進港；第二類型貨櫃船 (Service 2) 為星期二、星期四、星期六進港。

4. 群組 (Resource Group) 設計概念

現今貨櫃碼頭儲區作業機具大多採用單一儲區之指派，鮮少有互相支援與靈活調度的設計，為達到自動化貨櫃碼頭 (Automated Container Terminal, ACT)，在貨櫃碼頭作業時需多位人力，由自動化設備取代人力資源，先進之樞紐港，對於儲區機具指派已採用遠端遙控之自動化作業，遠端控制室作業人員，一人需負責多台機具裝卸，以簡化人力，故本研究依此構想設計群組機具之調度。

藉由此群組設計讓群組儲區 (Area) 中的膠輪式門式機 (RTG) 能互相支援作業，縮短機具行駛距離，減少等候拖車時間。

本研究中以三角形 (▲) 圖型表示為某一群組及正方形 (■) 圖型表示為另一群組，呈現出自動化的模擬概念圖。

4.1.2 貨櫃堆積場儲區之方案設計

本研究設計貨櫃堆積場儲區之作業方式，共有四個方案，包括方案 1、方案 2、方案 3、方案 4。設計方案之每一台 GC 均指派六台拖車，負責貨櫃之運送且儲區總容量均相同，亦均以 TEUs 為計算單位。

1. 方案 1

每一儲區設計為 12 bays*8 cells，單層可儲放 96 TEUs 貨櫃，共設置八個儲區，儲區總容量，單層可儲放 768 TEUs 貨櫃，每一儲區指派一台 RTG，每一儲區指定固定機具負責作業，如圖 4 所示。裝卸貨櫃量如表 6 所示。

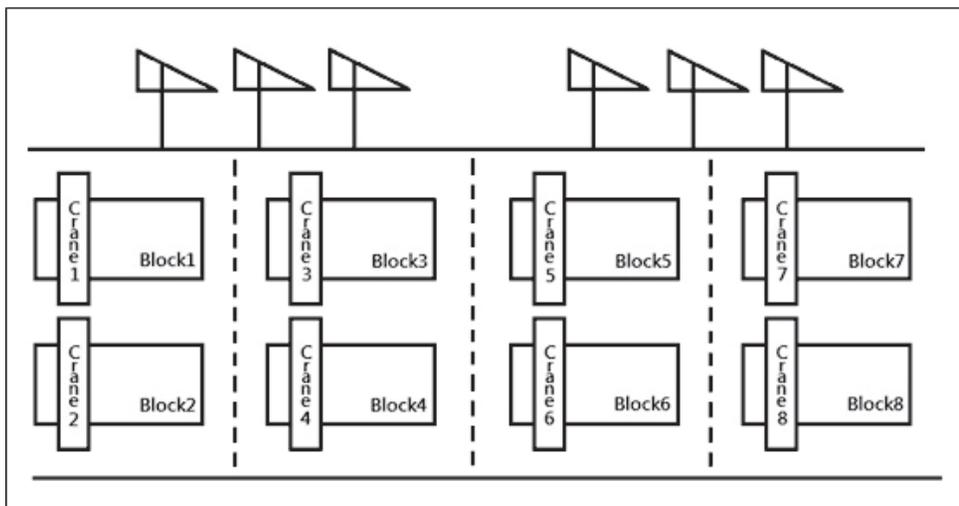


圖 4 方案 1 儲區配置及裝卸機具指派示意圖

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	Retrieval	expo 1-1	90	180
			expo 2-1	90	
Block 2	Service 1	Deposit	impo 2-1	90	180
			impo 1-1	90	
Block 3	Service 1	Deposit	trans 1	45	180
		Retrieval	empty 1	90	
	Service 2	Retrieval	trans 1	45	
Block 4	Service 1	Deposit	gas 1	90	180
	Service 2		gas 2	90	
Block 5	Service 1	Deposit	trans 2	45	180
	Service 2	Retrieval	trans 2	45	
		Deposit	empty 2	90	
Block 6	Service 1	Deposit	refrigerate 1	90	180
	Service 2		refrigerate 2	90	
Block 7	Service 2	Retrieval	expo 2-2	90	180
			expo 1-2	90	
Block 8	Service 2	Deposit	impo 1-2	90	180
			impo 2-2	90	

2. 方案 2

每一儲區設計為 12 bays*8 cells，單層可儲放 96 TEUs 貨櫃，共設置八個儲區，其儲區配置與方案 1 相同，每一儲區指派一台 RTG，但此方案增加機具群組設計，藉由此群組設計能讓群組儲區 (Area) 中的 RTG 能互相支援作業。

- 儲區 1 (Block 1)、儲區 3 (Block 3)、儲區 5 (Block 5) 及儲區 7 (Block 7) 設為群組儲區一 (Area1)，由 Crane 1、Crane 3、Crane 5 及 Crane 7 為群組 1 (Group 1) 負責作業，以三角形 (▲) 圖型表示為群組 1 (Group 1)。

- 儲區 2 (Block 2)、儲區 4 (Block 4)、儲區 6 (Block 6) 及儲區 8 (Block 8) 設為群組儲區二 (Area 2)，由 Crane 2、Crane 4、Crane 6 及 Crane 8 為群組 2 (Group 2) 負責作業，以正方形 (■) 圖型表示為群組 2 (Group 2)。

亦即每一群組由四台 RTG 負責該群組儲區作業，可彈性調度指派，如下圖 5 所示。裝卸貨櫃量如同表 6 所示。

3. 方案 3

儲區 3 及 4 設計為 24 bays*8 cells，單層可儲放 192 TEUs 貨櫃，其餘儲區設計為 12 bays*8 cells，單層可儲放 96 TEUs

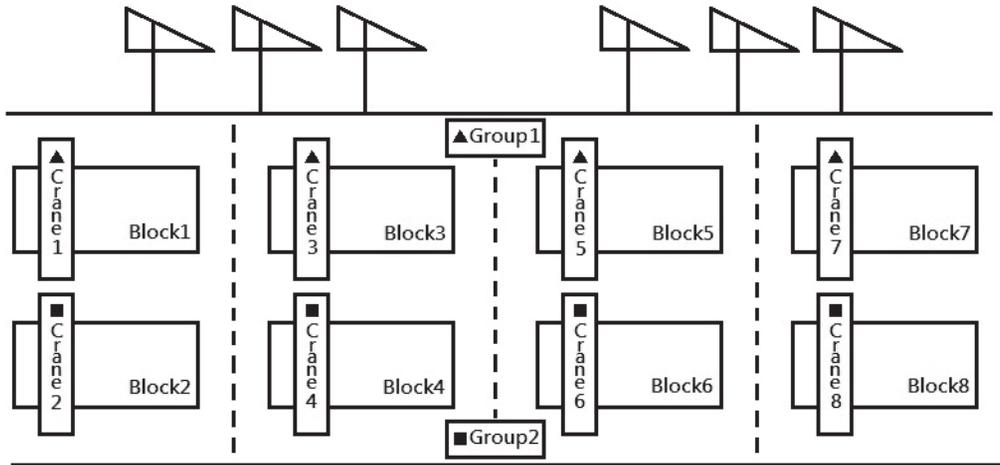


圖 5 方案 2 儲區配置及裝卸機具指派示意圖

貨櫃，共設置六個儲區，原先每一儲區配置一台 RTG，改為中間兩個儲區合併配置兩台 RTG，設計理念如同方案 2，其差異僅在將中間兩個儲區合併成一儲區，指派兩台 RTG 作業。

- 儲區 1 (Block 1)、儲區 3 (Block 3) 及儲區 5 (Block 5) 設為群組儲區一 (Area1) 負責作業，以三角形 (▲) 圖型表示為群組 1 (Group 1)。
- 儲區 2 (Block 2)、儲區 4 (Block 4) 及儲區 6 (Block 6) 設為群組儲區二 (Area 2) 負責作業，以正方形 (■) 圖型表示為群組 2 (Group 2)。

機具調度方式也設成兩群組，但儲區總容量與前述方案相同，如下圖 6 所示。裝卸貨櫃量如表 7 所示。

4. 方案 4

每一儲區設計為 24 bays*8 cells，單

層可儲放 192 TEUs 貨櫃，共設置四個儲區，每一儲區指派兩台 RTG，設計理念亦如同前述方案，其差異在將兩儲區合併成一儲區，每一儲區指派兩台 RTG 作業。

- 將儲區 1 (Block 1) 及儲區 3 (Block 3) 設為群組儲區一 (Area1) 負責作業，以三角形 (▲) 圖型表示為群組 1 (Group 1)。
- 儲區 2 (Block 2) 及儲區 4 (Block 4) 設為群組儲區二 (Area 2) 負責作業，以正方形 (■) 圖型表示為群組 2 (Group 2)。

機具調度方式也設成兩群組，但儲區總容量與前述方案相同，以上設計方案四如下圖 7 所示。裝卸貨櫃量如表 8 所示。

- 方案差異性總結，及各個儲區儲放櫃種的特性，簡略分析如表 9 所示。

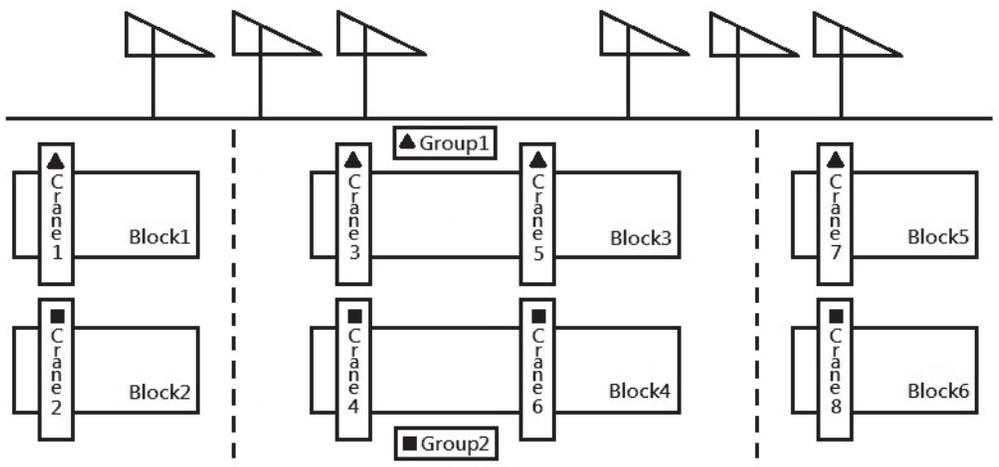


圖 6 方案 3 儲區配置及裝卸機具指派示意圖

表 7 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	Retrieval	expo 1-1	90	180
			expo 2-1	90	
Block 2	Service 1	Deposit	impo 2-1	90	180
			impo 1-1	90	
Block 3	Service 1	Deposit	trans 1	45	360
			trans 2	45	
		Retrieval	empty 1	90	
	Service 2	Deposit	empty 2	90	
		Retrieval	trans 1	45	
			trans 2	45	
Block 4	Service 1	Deposit	gas 1	90	360
			refrigerate 1	90	
	Service 2		gas 2	90	
			refrigerate 2	90	
Block 5	Service 2	Retrieval	expo 1-2	90	180
			expo 2-2	90	
Block 6	Service 2	Deposit	impo 1-2	90	180
			impo 2-2	90	

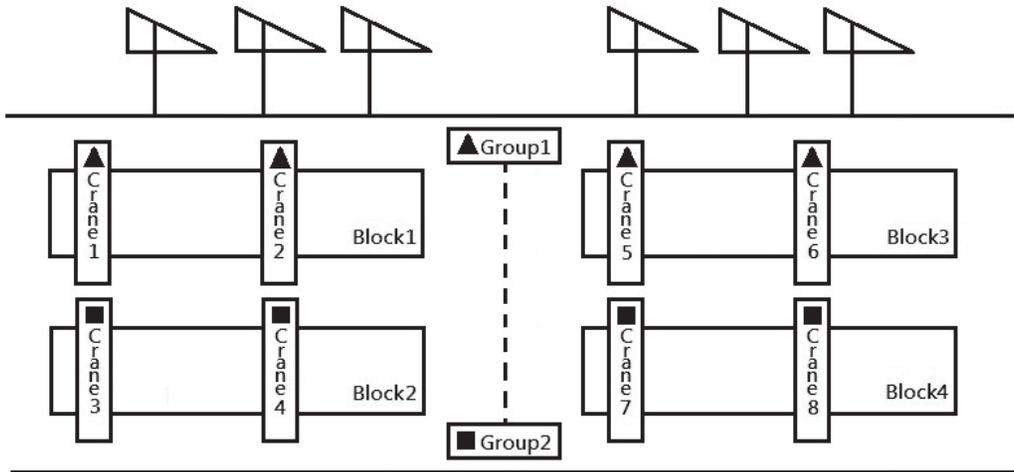


圖 7 方案 4 儲區配置及裝卸機具指派示意圖

表 8 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	trans 1	45	360
			expo 1-1	90	
		Retrieval	expo 2-1	90	
			empty 1	90	
	Service 2	Retrieval	trans 1	45	
Block 2	Service 1	Deposit	impo 1-1	90	360
			impo 2-1	90	
			gas 1	90	
	Service 2		gas 2	90	
Block 3	Service 1	Deposit	trans 2	45	360
	Service 2		empt 2	90	
		Retrieval	expo 2-2	90	
			expo 1-2	90	
		trans 2	45		
Block 4	Service 1	Deposit	refrigerate 1	90	360
	Service 2		impo 1-2	90	
			impo 2-2	90	
			refrigerate 2	90	

表 9 各方案之差異性比較

方案 1	方案 2
<ul style="list-style-type: none"> • 基底方案為原始的配置儲區方案。 • 設置八個儲區。 • 櫃種設計概念，一律把出口櫃放置前排，進口櫃放置後排，轉口櫃則是放置中間位置，儲放櫃種都是放置固定位置。 	<ul style="list-style-type: none"> • 此方案增加群組設計。 • 設置八個儲區。 • 櫃種設計概念，與方案 1 設計理念相同。
方案 3	方案 4
<ul style="list-style-type: none"> • 此方案增加群組設計。 • 設置六個儲區（由八個儲區，因應儲區作業績效變化，研擬合併中間兩個儲區為六個儲區）。 • 櫃種設計概念，儲放櫃種合併儲區（前排）都是放置轉口櫃及（後排）都放置氣體櫃和冷凍櫃。 	<ul style="list-style-type: none"> • 此方案增加群組設計。 • 設置四個儲區（由八個儲區，兩兩相合併為四個儲區）。 • 櫃種設計概念，四個儲區內之櫃種依方案 1 中的兩兩儲區貨櫃儲放。

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 10 示，儲區作業績效評估，詳如表 11 所示，透過四個指標顯示方案 1 至方案 4 之模擬結果，最後依模擬結果比較不同儲區配置及機具群組支援指派方式，對於船席作業績效及儲區作業績效之影響。

4.2.1 船席之作業績效評估

表 10 為船席平均靠泊時間 (ABO) 及 GC 每小時淨裝卸量 (GNMPH) 之模擬結果比較表，ABO 與 GNMPH 方案排序具有一致性，ABO 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，GNMPH 值愈高，表示每小時搬運貨櫃的數量愈多，代表作業效率愈高；從表 10 可得知船席靠泊時間之模擬比較結果。

配置方案 1 優於方案 4，每一儲區位置配置容量不相同，方案 4 的儲區配置將原始方案 1 的八個儲區各個左右合併，方案 4 則是合併左右兩邊，櫃量不變，僅將四個儲區配置做改變，同時增加機具群組調度設計，讓儲區中的 RTG 能互相支援，以提升作業靈活調度，但是相較之下，方案 4 的效率卻沒那麼顯著改善，其主要原因在於方案 4 的每一儲區容量增大，但相對增加其儲放之貨櫃種類，顯然

表 10 船席靠泊時間之模擬結果比較

方案	ABO	方案排序	GNMPH	方案排序
方案 1	121.4071	3	28.75677	3
方案 2	121.2289	2	28.77701	2
方案 3	116.8549	1	30.56534	1
方案 4	131.0180	4	27.47377	4

增加其複雜性，在作業上會產生機具相互干擾，雖有機具群組作業但仍無法提升船席作業績效。

配置方案 2 優於方案 1，儲區位置配置雖相同，但方案 2 有增加機具群組設計，透過儲區 RTG 的互相支援，以提升作業效率，但是方案 1 是沒有用群組設計來支援其他儲區，每一個儲區指派一台 RTG，由此可見，方案 2 略優於方案 1。由於本研究在研擬其裝卸過程中，僅少數時段需機具群組的相互支援，若當船席作業繁忙時，例如當有兩艘船舶同時進港時，會大幅提升機具群組的績效。

配置方案 3 優於方案 2，儲區配置亦不盡相同，兩種方案同時都有增加群組設計，但是方案 3 中間儲區初始配置是由兩台 RTG 在作業，且中間儲區之櫃量亦相對增加，當左右兩儲區需機具支援作業，其支援調度距離也相對較短，如此情況可減少作業干擾，相較於方案 2，每一 RTG 所需支援行駛距離相對較遠且不易調度，因此作業績效顯著低於方案 3。

4.2.2 儲區作業機具之作業績效評估

表 11 為儲區作業 RTG 平均等候時間 (AWT) 及 RTG 每小時淨裝卸量 (RNMPH) 之模擬結果，AWT 的值愈小，代表等候時間愈短，作業效率愈好，由 AWT 結果，方案 3 及方案 4 比較結果與船席靠泊時間之模擬結果相同，方案 1 與方案 2 的值略相近，方案 2 的值比較不好的原因可能是儲區機具群組關係，機具行駛較遠的距離，造成有拖車等候現象，所以相對的方案 1 的結果略優，使得方案排序不同於前述船席作業績效；RTG 每小時淨裝卸量 (RNMPH) 結果，四個方案的排序完全不同於船席作業績效，對於儲區作業機具比較，方案 2 效率最好，反之方案 1 沒有群組協助支援的情況下，儲區作業的效率相對是最不理想，由於方案 1 之機具僅單純該儲區的裝卸，無需支援作業，相對平均作業量減少，另外，此評估指標僅考慮其淨作業效率未加入等候延滯之考量，造成方案 2 最佳，而方案 4 其機具有群組支援且儲區作業量平均而提升其績效排名。從表 11 可得知儲區作業機具之作業績效評估。

表 11 儲區作業機具之作業績效評估

方案	AWT	方案排序	RNMPH	方案排序
方案 1	3.626971	2	28.45401	4
方案 2	3.647624	3	38.50451	1
方案 3	2.451273	1	36.03470	3
方案 4	4.047153	4	37.12574	2

伍、結論與建議

5.1 結論

1. 方案 1：為原始儲區配置方案，將設置八個儲區，每一儲區配置一具 RTG，每一台橋式起重機配置六台拖車，負責岸肩之運送，使得增加作業效率，為最基本的儲區配置的方式，沒有群組幫忙支援的情況下，儲區作業的效率相對是最不理想，想要藉由此方案延伸出其他更有效率的方案。
2. 方案 2：此方案增加群組設計，藉由此群組設計能讓儲區中的 RTG 能互相支援，將設置的八個儲區，每一儲區配置一具 RTG，每一台橋式起重機配置六台拖車，負責岸肩之運送，使得增加作業效率，研擬其裝卸過程中，僅少數時段需機具群組的相互支援，若當船席作業繁忙時，例如當有兩艘船舶同時進港時，會大幅提升機具群組的績效且有顯著成效。
3. 方案 3：此方案於前方案 2 一樣增加群組設計，藉由此群組設計能讓儲區中的 RTG 能互相支援，將原本方案 1 設置的八個儲區改為六個儲區，其中的中間儲區位置將於原先的方案 1 左右儲區位置合併，並且在合併儲區的位置配置兩具 RTG，每一台橋式起重機配置六台拖車，中間儲區初始配置是由兩台 RTG 在作業，且中間儲區之櫃量亦相對增

加，當左右兩儲區需機具支援作業，其支援調度距離也相對較短，如此情況可減少作業干擾，此配置方案為本研究之最佳配置設計。

4. 方案 4：此方案於前兩種方案，一樣增加群組設計，藉由此群組設計能讓儲區中的 RTG 能互相支援，方案 4 的每一儲區容量增大，但相對增加其儲放之貨櫃種類，顯然增加其複雜性，在作業上會產生機具相互干擾，雖有機具群組作業但仍無法提升船席作業績效。
5. 本研究四組設計方案，由以上模擬結果顯示，對於原始方案 1 未增設機具群組設計，可透過群組設計的效果，以不同的機具群組調度方式，可充分發揮機具相互支援的功能，縮短機具行駛距離，減少等候拖車時間，能有效改善儲區作業績效。
6. 本研究主要是透過儲區配置的變化結合機具群組合理調度，降低機具間作業時的相互干擾問題，亦可達到顯著提升貨櫃碼頭整體裝卸作業績效。

5.2 建議

1. 本研究設計之群組支援作業方式為參考儲區自動化及遠端監控作業的思考模式，可提供航商或裝卸業者作為參照方向，以驗證此設計概念的適用性。
2. 對於不同的儲區配置方式及配櫃量的方法不一樣，所得到的結果不會相同，

能搭配不同的思考模式去比較差異性，對於未來能使用不同的貨櫃儲區配置模式，指派不同的作業機具，提升各貨櫃儲區的作業績效。

- 若能取得國內外相關貨櫃場之實際櫃量與配置方式，利用模擬方式提供不同的作業方案，對於數據及績效方面更能有效提升。

參考文獻

- 吳清慈、王騰毅，2015，貨櫃碼頭前後線作業模式與船期配合之研究，*航運季刊*，第 24 卷，第 2 期，25-45。
- 李忠益，2005，岸肩橋式起重機工作人員排班之研究，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士學位論文，基隆市。
- 邱建中，2013，船邊貨櫃裝卸作業安全核心風險因素之研究，長榮大學航運管理學系碩士學位論文，臺南市。
- 張乃文，2011，高雄港貨櫃碼頭營運整與規劃問題之探討，國立高雄海洋科技大學航運管理系碩士論文，高雄市。
- 陳政宏，2014，高雄港某貨櫃碼頭作業安全風險評估之研究，國立雲林科技大學環境與安全衛生工程系碩士論文，雲林縣。
- 陳竑成，2013，應用前向啟發式演算法於單一貨櫃堆塊中多部起重機的排程問題，國立東華大學運籌管理研究所碩士論文，花蓮縣。
- 陳麒安，2014，國際貨櫃港埠之經營績效及環境效率評估與分析，國立交通大學運輸與物流管理學系碩士論文，新竹市。
- 楊文全，2005，出口貨櫃堆儲指派之研究，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，新竹市。
- 鄒妮采，2012，貨櫃碼頭儲區量化配置與機具指派作業績效之研究，國立臺灣海洋大學商船學系碩士論文，基隆市。
- 劉盈娟，2008，兩部起重機在貨櫃堆塊之排程規劃，國立東華大學全球運籌管理研究所碩士論文，花蓮縣。
- Bierwirth, C. and Kirschstein, T., 2015. Solving a pollution routing problem under emission allocation selection rules. *International Conference on Operations Research*, Wien, Austria, 02.09.
- Chen, L., Langevin, A. and Lu, Z., 2013. Integrated scheduling of crane handling and truck transportation in a maritime container terminal. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 144-152.
- Chou, C.N., 2011. Assigning Preferred Areas for Export Containers in Terminals: The Perspective of Automatic Rail-Mounted Gantry Cranes, Master Thesis, Department of Shipping and Transportation Management National Taiwan Ocean University, Taiwan.
- Cordeau, J.F., Laporte, G., Moccia, L. and Sorrentino, G., 2011. Optimizing yard assignment in an automotive transshipment

terminal. *European Journal of Operational Research*, 215(1), 149-160.

Ding, D. and Mabel, C.C., 2015. Stowage planning for container ships: a heuristic algorithm to reduce the number of shifts. *European Journal of Operational Research*, 246(1), 242-249.

Ng, W.C., 2005. Crane scheduling in container yards with inter-crane interference. *European Journal of Operational Research*, 164(1), 64-78.

Pitty, F.M., 2008. Categorized Stacking for Imported Containers in Port Container Terminals, Master Thesis, Department of Transportation and Navigation Science National Taiwan Ocean University, Taiwan.

Turkoğulları, Y.B., Taskın, Z.C., Aras, N. and Altinel, I.K., 2014. Optimal berth allocation and time-invariant quay crane assignment in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 235(1), 88-101.

Zhang, C., Wu, T., Kim, K.H. and Miao, L., 2014. Conservative allocation models for outbound containers in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 238(1), 155-165.