

貨櫃碼頭裝卸效率最佳化分析 —— 以基隆港東岸櫃場為例

Analysis of Efficiency Optimization of Loading and Unloading Operations in Container Terminal – A Case Study of the Keelung Port East Container Terminal

吳清慈 (Ching-Tsyr Wu)^{①*}、蔡詠瑩 (Yung-Chuan Tsai)^②

摘要

目 前在基隆港東 8 至東 11 營運碼頭裝卸業務，配合國家政策措施未來將規劃遷移至西岸北櫃場西 22 至西 26 碼頭營運，本研究基於此現況探討，東岸櫃場直線型碼頭之裝卸機具，移置西岸凸堤型碼頭對櫃場裝卸作業績效的影響。運用 Flexsim CT 港埠模擬軟體，建構櫃場碼頭模擬系統進行模擬分析，研擬八個方案進行分析，在船舶、櫃量、船席進出港時間、拖車數量及裝卸機具種類數量等相同條件下，碼頭型態、儲區配置方式、行駛動線、船席調派及拖車分派模式作為影響變數，而船席作業績效與儲區作業績效作為評估指標。研究結果顯示凸堤型碼頭裝卸作業績效在適當的碼頭長度、儲區配置及拖車統一調度方案設定下明顯優於直線型碼頭。

關鍵詞：貨櫃碼頭、模擬系統、裝卸效率

Abstract

With the establishment of the Taipei Port and its commencement of operation as the auxiliary port for Keelung Port since 2009, it partly takes over the role of

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；E-mail:ctwu@mail.ntou.edu.tw。

② 國立臺灣海洋大學商船學系碩士；聯絡地址：202 基隆市中正區北寧路 2 號；E-mail:puuwo163@gmail.com。

Keelung Port in cargo shipping. As a result, in the near future, West Terminals 22 to 26 at the north container yard will replace East Terminals 8 to 11 as the loading yards in the Keelung Port. This research is to discuss the impact of the above-mentioned relocation of container operation in the East Coast container yard with a linear quay to a convex pier in the West Coast container yard on their container yard's loading and unloading operations performance by utilizing Flexsim CT port simulation software to construct possible container yard systems for further analysis. In this research, eight plans are selected from the simulation results. Berth operation performance and storage area operation performance are evaluated with the scenario of various number and types of ships, container volume, berthing and unberthing, available trailers, and loading/unloading equipment are used as fixed variables, and terminal types, storage area configuration methods, truck routes, adjustment of berth, trailer dispatching are used as influencing variables. The result shows the loading/unloading performance of the convex pier is significantly better than that of the linear quay if appropriate pier length, storage area configuration and unified dispatching plan for trailer are provided.

Keywords: Container terminal, Simulation system, Handling efficiency

壹、緒論

基隆港是亞洲最早的現代化深水港，其總運量在 1970 年代前都維持臺灣第一，後因港區規模侷限及貨櫃船舶大型化等因素影響，運量逐年下滑。為改善上述不利因素，遂以規劃臺北港作為基隆港之輔助港，隨著臺北港在 1999 年正式開放營運後，基隆港的貨櫃裝卸量逐年下降；由於基隆港優越的地理位置，且是我國唯一鄰近市區的港口，在近年來基隆港旅客人數大幅提升，更於 2018 年時客運量突

破 100 萬人次。

綜上所述，基隆港的經營模式也隨著經濟情況與旅遊模式的改變，並於「東客西貨」及「內客外貨」的施政主軸下，將逐漸轉型成「加值型物流港」集客、貨兩運並重的港口。配合「東客西貨」的政策，基隆港已陸續在進行東櫃西遷的工作，東岸櫃場未來將由現行租用之東 8 到東 11 碼頭（直線型碼頭），改租用西 22 到西 26 碼頭（凸堤型碼頭），本研究即基於此現況探討由直線型碼頭轉換為凸堤型碼頭，藉由不同的碼頭配置、拖車分派方式與不同

的儲區配置，研擬可行之方案作為研究構想。

貳、文獻回顧

本研究為進行碼頭最佳裝卸效率之遴選，爰本章就貨櫃碼頭裝卸效率之相關文獻進行彙整，整理歸納臚列如下三類：

2.1 貨櫃碼頭績效指標相關文獻

周明道等 (2018) 以資料包絡分析法探討高雄港內貨櫃碼頭之效率分析，透過計算每小時橋式機裝卸貨櫃的數量與碼頭裝卸相關的投入產出資料來評估碼頭效率。得出因裝卸效率的快慢會影響船舶停靠於港區內的時間，滯港時間增加，其成本也跟著增加。並透過量化研究發現目前貨櫃裝卸效率較低的部分，若更新港區內的設備可以改善其效率並增加競爭力。

王文韜 (2017) 首先根據貨櫃碼頭自動化相關理論，研究分析了自動化碼頭和傳統碼頭的特點，並根據貨櫃碼頭作業特點從船席效率、裝卸效率、堆積場效率、管制站效率等四方面進行綜合分析，建立了四個一級指標，十八個二級指標的自動化貨櫃碼頭作業效率評估指標體系。

吳清慈等 (2016) 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。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。

李建等 (2015) 提出碼頭整個裝卸作業流程非常繁雜，其中如下因素可影響碼頭作業效率的包括：(1) 船舶在港外等待進港時間延滯嚴重程度；(2) 碼頭船席數量；(3) 櫃場裝卸設備能力；(4) 櫃場倉儲設備能力；(5) 碼頭集中、疏散貨物的交通運輸系統功能；(6) 碼頭業務人員業務處理能力；(7) 櫃場作業效率；(8) 船邊裝卸作業效率。

2.2 貨櫃碼頭模擬分析相關文獻

張書源 (2017) 分析整理國內外專家學者關於貨櫃碼頭資源配置問題的研究現狀，研究主要集中在船席分配問題、船席及橋式起重機調度問題、船席及堆積場分配問題三者的探討。另以在港船舶總作業時間最小為目標建立一船席一橋式起重機一堆積場的資源配置優化模型，目的是減少碼頭機械作業時間的等待時間，提高碼頭的裝卸效率。在進行模型求解時採用遺傳退火混合演算法，通過 Matlab 程式設計進行求解，驗證模型的有效性。

廖姿琳 (2016) 提出凹渠式與凸堤型

貨櫃碼頭在碼頭面積容量、碼頭面積、船舶進出港時間、貨櫃種類數量、機具數量與儲區容量基本配置皆相同下，貨櫃碼頭船席岸肩到堆積場儲區間拖車路徑、儲區機具數量、儲區機具群組支援、群組儲區大小與儲區間距離遠近，皆會影響船席與儲區作業績效。當儲區配置依照貨櫃種類分散至儲位，機具為固定儲區裝卸時，凹渠式因每台膠輪式門式機 (Rubber-Tired Gantry Crane, RTG) 負責固定範圍與一致的面積，RTG 作業量較平均也相較平順，則優於凸堤型碼頭。而當儲區與機具均設為群組，則凸堤型碼頭優於凹渠式碼頭，因凸堤型碼頭機具群組支援調度距離較短，機具可快速抵達裝卸位置。

Van Asperen et al. (2013) 研究了多種情況，有關拖車提貨的時間及更精確資訊，是否會對從堆疊中取出貨櫃的時間產生影響。儘管一些研究集中在碼頭管制站區域的改進上，但我們的範圍僅限於對堆積場的影響以及詳細的拖車提取出發時間中，包含其他資訊的可能性。

2.3 貨櫃碼頭作業系統相關文獻

錢繼鋒等 (2014) 研究了在貨櫃場的橋式起重機、拖車和門式機的搬運協調性，並考量橋式起重機和門式機的裝卸順序。門式機的計畫期程和貨櫃客戶提交貨櫃的需求。建立了合作計畫優化模型以實現整體系統優化目標。不同船舶之間共用貨櫃

場拖車，有助於減少拖車空載。由於模型的複雜性，另設計了智慧組合算法對模型進行求解。測試結果顯示橋式起重機的效率可以提高 28.2%。拖車的效率可以提高 34.6%。門式機的效率提高 15.9%。

Zhou et al. (2020) 提出貨櫃堆積場系統是由一組帶有門式機的儲存方塊所組成，這些門式機對拖車運輸的貨櫃執行堆放操作。通過管理和協調門式機和車輛的搬運操作，可以實現較高的裝卸效率。並提出了一種綜合優化方法，建立了混合整數規劃模型以優化問題，並開發了兩階段啟發式演算法來有效地解決問題。實驗顯示，與基於規則的啟發式演算法相比，該演算法具有更好的性能。

Bierwirth et al. (2015) 對於船席分配問題、碼頭橋式起重機分配問題、碼頭橋式起重機調度問題等文獻做一彙整。並經由現有模型的分類顯示，確定了考慮船隻的裝卸時間是正確選擇。所提供的問題分類可以幫助識別合適的建模技術和有效的優化方法。

Carlo et al. (2014) 為貨櫃碼頭的儲區操作引入分類方案，以回顧最近的文獻並根據當前的趨勢和發展確定學術研究的新途徑。區分在堆場操作中出現的以下主要決策問題：(1) 儲區設計，包括物料搬運設備 (MHE) 的選擇和儲區的佈局；(2) 分配給貨櫃的儲存空間；(3) MHE 調度和進程，以服務於儲存或檢索請求；(4) 優化貨櫃的改組。這些主題在文中將按此順序

處理，因為從儲區設計和使用的角度來看，這些方面在時間順序上或多或少相互依存。得出結論是專門針對儲存場操作的基準問題庫的設計，將有助於該領域的進一步研究，並使不同方法的比較更加順利。

2.4 相關文獻綜合評估

依據以上文獻回顧所述，因影響整體裝卸績效之因素眾多，績效評估為評比碼頭實際作業績效表示之一，雖能從中發現優缺點，並提供碼頭裝卸業者參考改善；但若無規劃性改善，仍無法得致最佳效果。

貨櫃碼頭作業為一繁雜之作業，乃由各子系統（船席配置、堆積場配置、管制站配置）相輔相成，任一環節皆會影響到其作業效率，亦仰賴航商、裝卸業者及港務管理單位的配合。因此本研究參考過往文獻資料，希能透過 Flexsim CT 建構貨櫃碼頭模擬系統探討裝卸過程中產生之誤差原因以及其他因素，以提升貨櫃碼頭作業績效，供業者針對不同碼頭型態做規劃構想。

參、貨櫃碼頭模擬系統之評估指標

3.1 貨櫃碼頭模擬系統 Flexsim CT

港埠模擬系統為分析港務業務和港

口資源配置，將系統管理之理念帶入，並將貨櫃港口裝卸作業進行模擬，可用來比較各港口採用不同配置方案時，各項資源的利用及使用能力，從中尋找最適配置方案。

典型的貨櫃碼頭主要由管制開口 (Gate)、貨櫃儲存區 (Container Yard) 以及船邊作業區 (Shipside Operation Area) 等三個設施所組成。因此本研究運用 Flexsim CT 之套裝軟體建構模型可就上述三項設施作業進行模擬實驗，爰就軟體所配置之三大子系統（船席規劃、堆積場規劃、管制站規劃）說明，如圖 1。

3.1.1 船席規劃

1. **到港船舶船席配置 (Berth Layout)：**配合港區地形，繪製出船席岸肩的位置和長度、設置 GC 數量及機具裝卸效率之設定。
2. **船舶貨櫃貨艙配置 (Hatch Profiles)：**設置橋式起重機作業之任務序列，依照貨櫃之種類（例如：進 / 出口櫃及空櫃）安排貨櫃船貨艙之裝 / 卸作業數量、規格、類型等設定。
3. **靠泊船舶類型配置 (Services)：**設置靠泊貨櫃船舶之設定，含船名、船長、船寬、容量、進出港時間、滿載吃水、總裝卸量及船艙配置等。
4. **到港船席安排配置 (Ship Schedule)：**設置貨櫃船進 / 出港時間、橋式起重機配置數量、優先權之指派、機具移動次

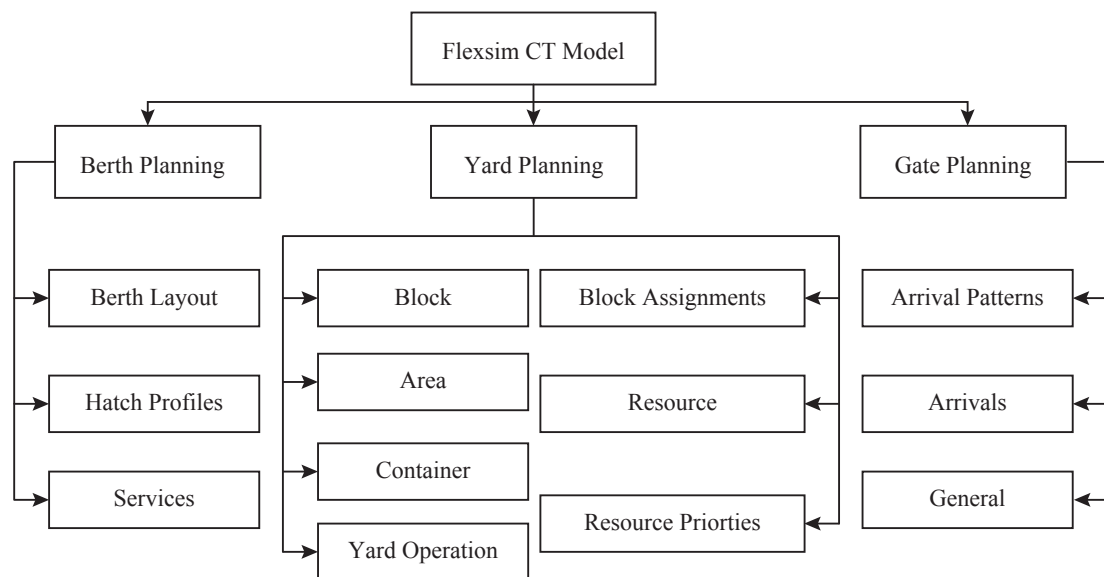


圖 1 Flexsim CT 模型建構圖

數、裝卸效率與裝卸量等參數設定，橫軸代表停靠的船席，縱軸代表船舶作業時間。

3.1.2 堆積場規劃

1. 櫃場貨櫃儲區配置 (Block)：貨櫃儲區長度、寬度、高度、最大容量及貨櫃堆疊順序之指定 (可依貨櫃型態、尺寸、到港船舶、裝卸貨艙位置等進行貨櫃堆疊之分類) 等設定。
2. 櫃場貨櫃區位配置 (Area)：可設定不同航商之貨櫃區位或不同貨櫃類型之貨櫃區位，有效管理貨櫃儲區之辨識與管控。
3. 貨櫃裝卸策略配置 (Container Placement)：可設定各種貨櫃裝卸策略之設定，有效安排貨櫃進入貨櫃儲區之堆疊

策略，可提升裝卸效率同時減少翻櫃及整櫃時間。

4. 貨櫃儲區指派配置 (Block Assignment)：可依照貨櫃種類、尺寸、起訖位置、指定船舶、指定堆疊儲區及堆疊策略指派等設定。
5. 儲區裝卸機具配置 (Resource Assignments)：可按照作業型態 (裝載或卸載)、貨櫃種類、起訖位置、指定船舶、貨櫃分類配置及貨櫃儲區裝卸機具指派等設定。
6. 機具優先權限配置 (Resource Priorities)：可設定堆積場機具等候作業指派策略之決定 (依據船邊作業、管制站作業、堆積場作業、貨櫃儲區轉換及運送距離等)。

7. 櫃場裝卸作業配置 (Yard Operations) :
包括兩種作業，貨櫃儲區間的貨櫃搬運 (Relocate) 與貨櫃儲區內之整櫃 (Consolidate)。

3.1.3 管制站規劃

1. **拖車到達方式 (Arrival Patterns) :** 用於建立拖車 (和貨櫃) 通常到達管制站的日期和時間。
2. **到達 (Arrivals) :** 用於建立在任何一週內實際到達管制站的貨櫃 (和拖車) 數量。此值是要執行的操作的類型。選項包括「貨櫃提貨」,「貨櫃卸貨」,「車架提貨」和「車架放下」。
3. **一般 (General) :** 設定通過管制站之拖車的速度、時間和長度。

3.2 貨櫃碼頭模擬績效指標

本研究透過 Flexsim CT 港埠模擬系統所建構之模型，可經由系統所建置之五大類作業績效指標選出適當指標，來比較模擬方案之優劣。本研究選用之績效指標，臚列如下：

1. 船席作業績效

- 船舶平均占有船席時間 (Average Berth Occupancy, ABO) 作為評估指標。模擬結果其值越低，船舶停靠時間越短，績效越佳。(單位：分)
- 橋式起重機等候百分率 (Gantry Crane Percent Waiting for Truck Rate, GWTR)，GC 實際作業時間與整體作

業時間之比值，模擬結果其值越低，績效越佳。(單位：%)

- 橋式起重機淨裝卸量 (Gantry Crane Net Moves Per Hour, GNMPH) 機具裝卸時間內，每小時實際裝卸移動趟次，模擬結果其值越高，績效越佳。(單位：個 / 小時)

2. 儲區作業績效：

- 門式機平均等候時間 (RTG Average Wait Time, RAWT)，船舶裝卸時，儲區作業機具平均等待貨櫃時間，其模擬結果其值越低，績效越佳。(單位：分)
- 門式機作業忙碌百分率 (RTG Percent Busy Rate, RBR)，儲區作業機具實際作業時間與整體作業時間之比值，其模擬結果值越低，績效越佳。(單位：%)
- 門式機淨裝卸量 (RTG Net Moves Per Hour，以下簡稱 RNMPH)，機具裝卸時間內，每小時實際裝卸移動趟次，模擬結果其值越高，績效越佳。(單位：個 / 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，將評估指標做 T 檢定 (兩個母體平均數差之檢定，假設變異數相等)，假設檢定模擬 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。

表 1 至表 2 分別表示評估指標 ABO 及 GWRT 之統計檢定的觀察值 T 值皆落於接受域，故不拒絕虛無假設，又 P 值均大於 α 值 (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，為求更精準的數據，故本研究每個方案均採取模擬 10 次之平均所得值作為衡量依據。

表 1 評估指標 ABO 之 T 檢定

ABO	模擬 10 次 (μ_0)	模擬 5 次 (μ_1)
平均數	235.0125838	231.0797666
變異數	28.55978898	7.949655765
觀察值個數	10	5
Pooled 變異數	22.21820953	
假設的均數差	0	
自由度	13	
t 統計	1.523311109	
P (T <= t) 單尾	0.075815396	
臨界值：單尾	1.770933396	
P (T <= t) 雙尾	0.151630792	
臨界值：雙尾	2.160368656	

表 2 評估指標 GWTR 之 T 檢定評估指標

GWTR	模擬 10 次 (μ_0)	模擬 5 次 (μ_1)
平均數	5.240813304	5.182780755
變異數	0.484539414	0.007498391
觀察值個數	10	5
Pooled 變異數	0.337757561	
假設的均數差	0	
自由度	13	
t 統計	0.182309157	
P (T <= t) 單尾	0.429076158	
臨界值：單尾	1.770933396	
P (T <= t) 雙尾	0.858152317	
臨界值：雙尾	2.160368656	

肆、貨櫃碼頭裝卸作業模式之績效評估

本研究八個方案，共建構八個模型，每個方案船舶進出港時間、橋式起重機數量、貨櫃儲區配置數量型式及拖車配置數量、門式機配置數量等基本條件均相同，以 TEUs (Twenty-Foot Equivalent Unit) 為計算單位。

先以基隆港東 8 至東 11 (表 3) 之直線型碼頭其實際作業機具及儲區的搭配，建模並模擬其作業績效作為基礎值，次以西 22 至西 26 (表 4) 之凸堤型碼頭搭配不同碼頭組成方式輔以相同於直線型碼頭之作業機具與儲區數量，探討在碼頭長度、

儲區擺設及行車路徑作為影響變數下能否發揮較佳之裝卸績效；另以凸堤型碼頭之不同方案在拖車調度作為影響變數下，探討裝卸績效。

4.1 貨櫃碼頭作業模式之設置 - 東 8 至東 11 直線型碼頭

建構東 8 至東 11 之直線型碼頭 (如圖 2) 實際作業之模型，碼頭總長度為 860 公尺，有關船舶到港時間、裝卸櫃量 (種) 以實際收集到之一週資料為主，依實際櫃場配置 7 台橋式起重機及 5 台門式起重機，每台橋式起重機搭配 4 輛拖車，貨櫃儲區之配置方式依實際櫃場空照由 Flexsim CT 模擬基隆港東 8 至東 11 碼頭配置圖及簡單示意圖，如圖 3。

表 3 基隆港東岸區 (E8 至 E11) 碼頭設施簡介

碼頭編號	碼頭現況	長度 (m)	寬度 (m)	水深 (m)	現行倉棧設施
8	貨櫃	240	47	12	貨櫃堆積 88,367 平方公尺，有效容量為 92,772 噸。
9	貨櫃	220	76	12	
10	貨櫃	200	76	12	
11	貨櫃	200	76	13	

表 4 基隆港西岸區 (W22 至 W26) 碼頭設施簡介

碼頭編號	碼頭現況	長度 (m)	寬度 (m)	水深 (m)	現行倉棧設施
22	貨櫃	190	120	15	1640 (TEU)
23	貨櫃	210	120	15	2435 (TEU)
24	貨櫃	241.7	120	13	
25	貨櫃	300	120	13	864 (TEU)
26	貨櫃	210	120	11	594 (TEU)

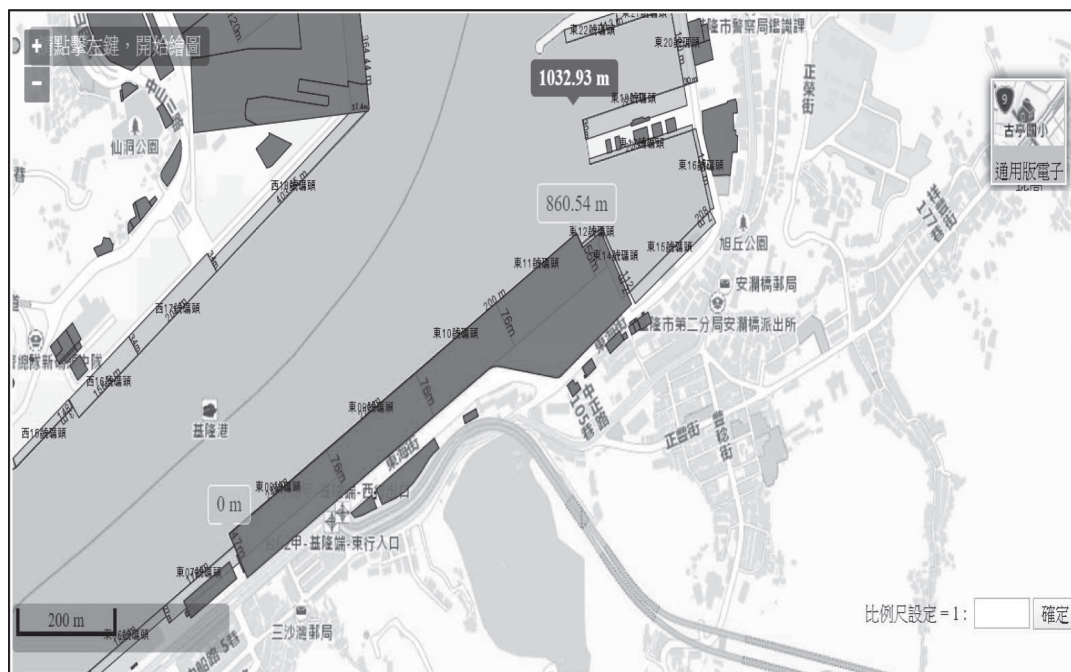


圖 2 基隆港東 8 至東 11 碼頭通用電子圖

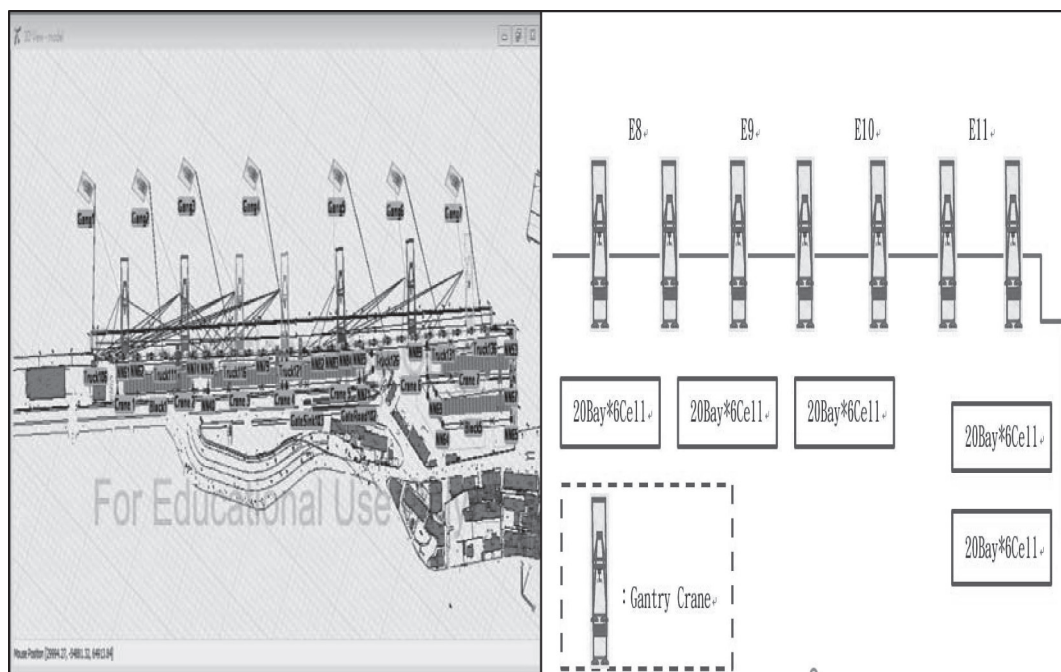


圖 3 Flexsim CT 模擬基隆港東 8 至東 11 碼頭配置圖及簡單示意圖

1. 本研究依蒐集資料指派 25 艘貨櫃船，貨櫃船基本資料如圖 4 所示，並依進出港時間安排一週船期，如圖 5 所示。
2. 每艘貨櫃船均配置 2 台橋式起重機作業，除 Ship06 因櫃量太多，故指派 3 台橋式起重機共同作業。
3. 各儲區均為：長可放置 20 個 20 呎 (TEUs) 貨櫃，寬可放置 6 個 20 呎 (TEUs) 貨櫃。每一 Block 單層可堆放 120 個貨櫃，如圖 6，並配置一台門式起重機。

4.2 貨櫃碼頭作業模式之設置 - 西 22 至西 26 凸堤型碼頭

西 22 至西 26 凸堤型碼頭 (如圖 7)，

總長度 1151.7 m，因本研究以東岸直線型碼頭長度為參考值，故所建構之作業方案最大碼頭設計長度為 860 m，最小碼頭設計長度為 642 m，務求在有限長度下，做最大效率提升。

本研究共建構八個方案，有關船舶進出港時間、貨櫃裝卸量、GC 等機具數量及儲區數量等基本條件均與直線型碼頭相同。研擬內容簡介如下：

4.2.1 方案 1-1 (西 24 至西 26)

1. 總長度 752m (西 24：242m+ 西 25：300m + 西 26：210m)，因配合西岸各碼頭之長度不一，而船舶之進出港時間為固定數，故調整船席配置如圖 8。

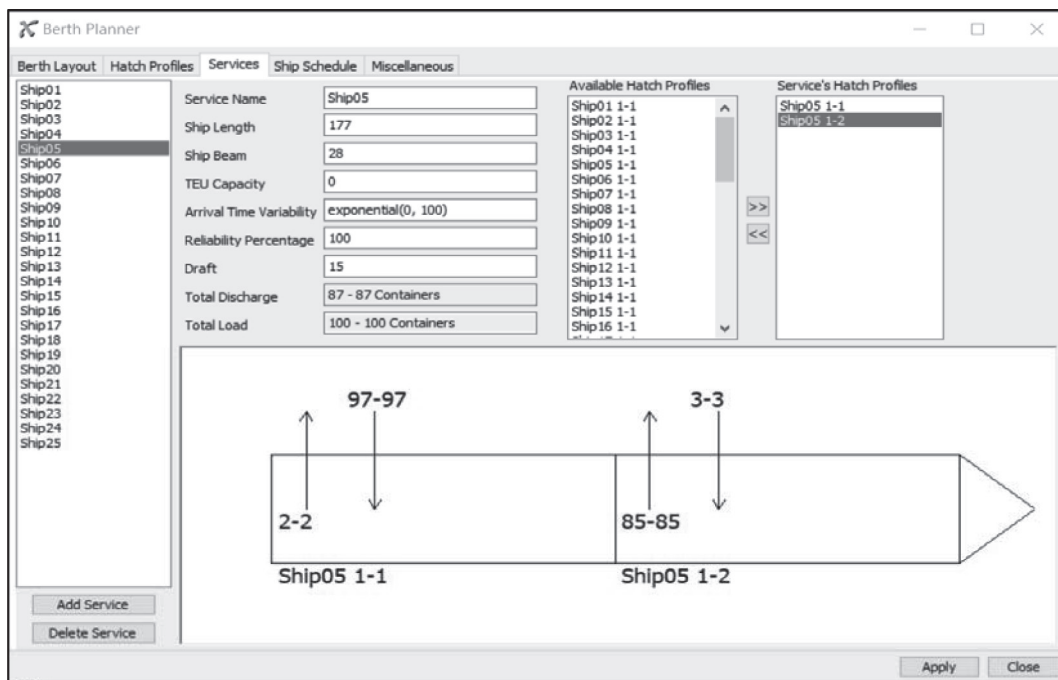


圖 4 貨櫃船基本資料

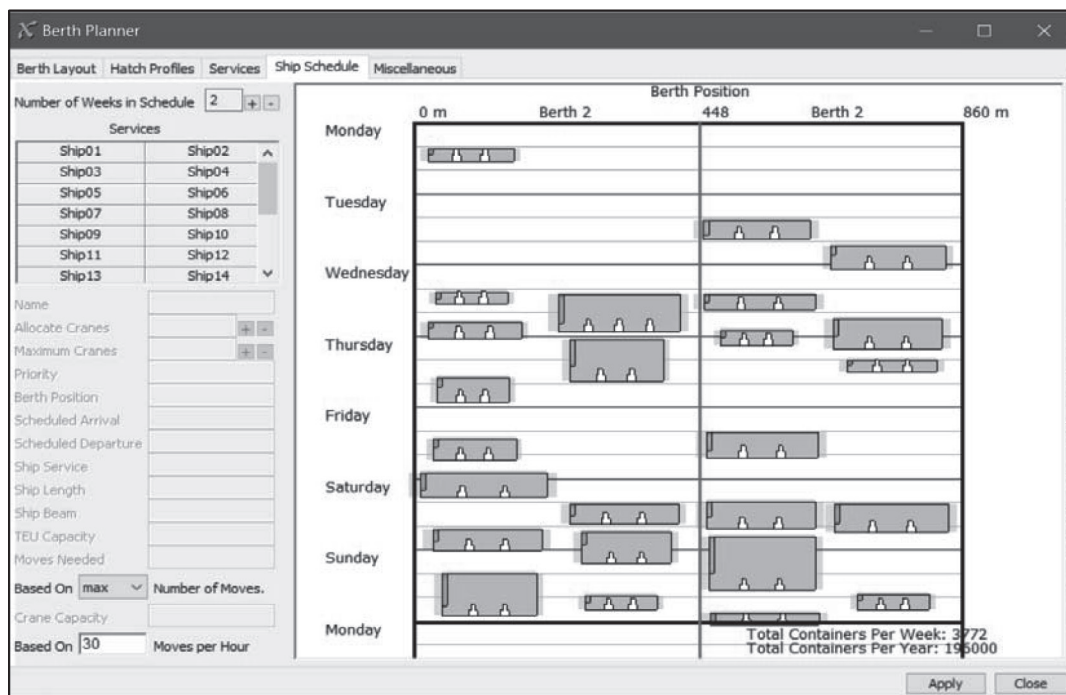


圖 5 東 8 至東 11 船席分配圖

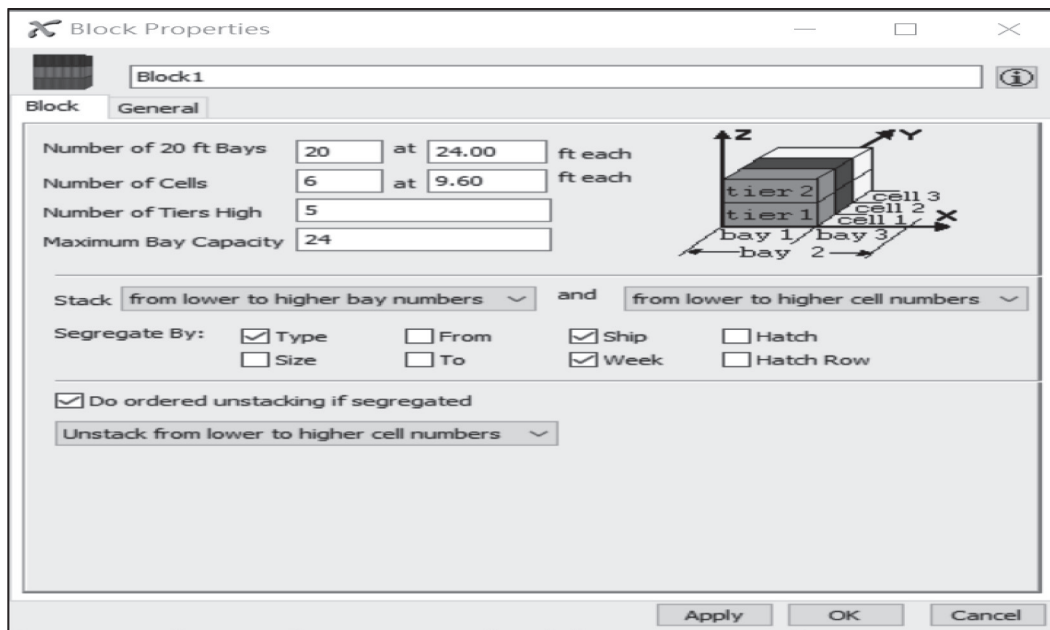


圖 6 儲區配置圖

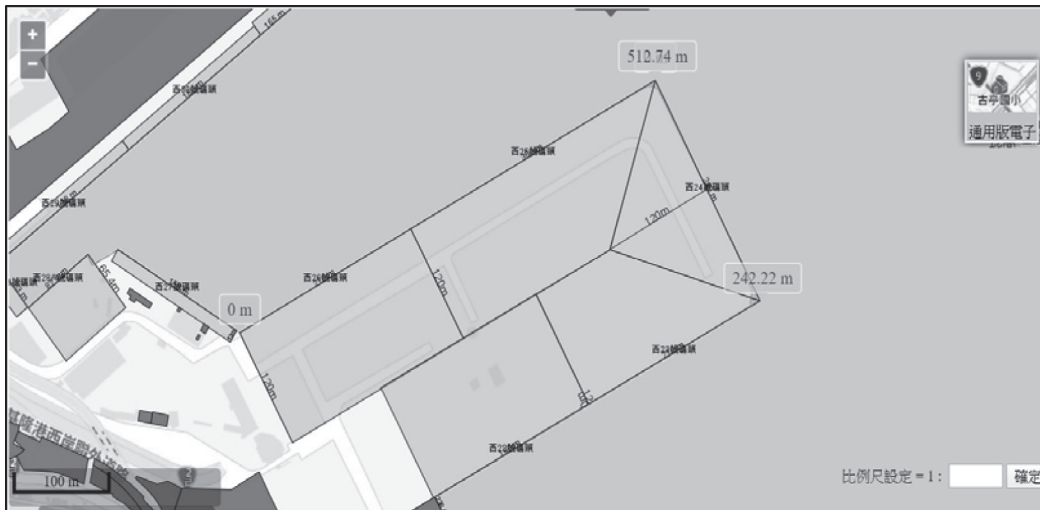


圖 7 基隆港西 22 至西 26 碼頭通用電子圖

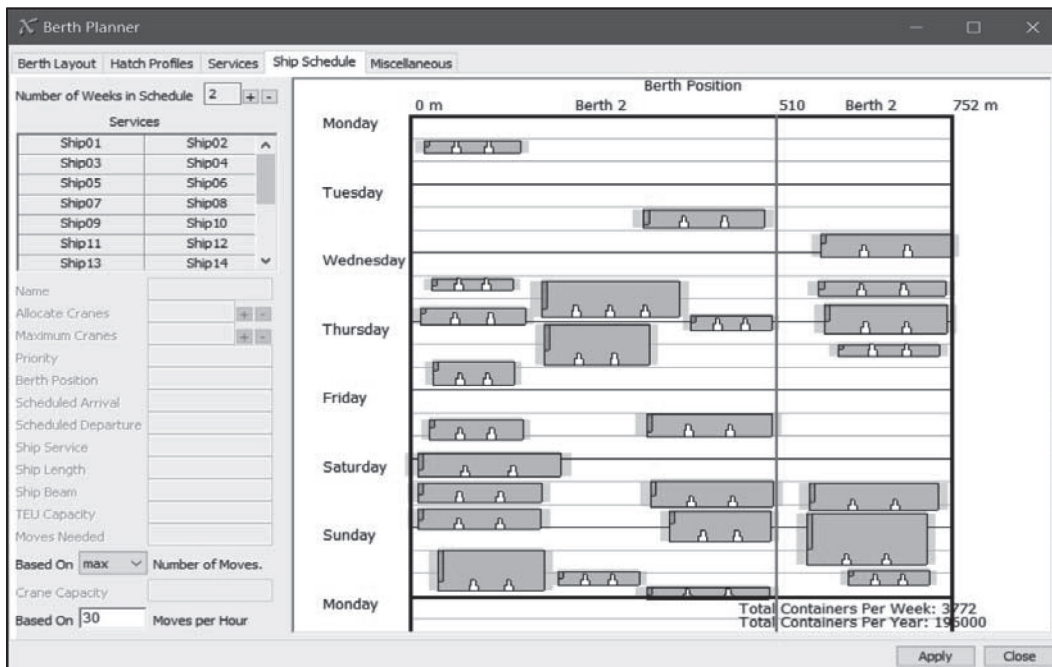


圖 8 方案 1-1 船席分配圖

2. 貨櫃儲區之配置方式由 Flexsim CT 模擬基隆港西 24 至西 26 碼頭配置圖及簡單示意圖，如圖 9；一台 GC 搭配一組拖車 (4 台)。

4.2.2 方案 2-1 (西 22 至西 24)

1. 總長度 642 公尺 (西 22 : 190 m + 西 23 : 210 m + 西 24 : 242 m)，因配合西岸各碼頭之長度不一，而船舶之進出港時間為固定數，故調整船席配置如圖 10。
2. 貨櫃儲區之配置方式由 Flexsim CT 模擬基隆港西 22 至西 24 碼頭配置圖及簡單示意圖，如圖 11；一台 GC 搭配一組拖車。

4.2.3 方案 3-1 (西 22 至西 25 部分)

1. 總長度 860 公尺 (西 22 : 190 m + 西 23 : 210 m + 西 24 : 242 m + 西 25 (部分) : 218 m)，因配合西岸各碼頭之長度不一，而船舶之進出港時間為固定數，故調整船席配置如圖 12。
2. 貨櫃儲區之配置方式由 Flexsim CT 模擬基隆港西 22 至西 25 部分碼頭配置圖及簡單示意圖，如圖 13；一台 GC 搭配一組拖車。

4.2.4 方案 4-1 (西 23 至西 26 部分)

1. 總長度 860 公尺 (西 23 : 210 m + 西 24 : 242 m + 西 25 : 300 m + 西 26 (部分) : 108 m)，因配合西岸各碼頭之長度不一，而船舶之進出港時間為固定數，故調整船席配置如圖 12。

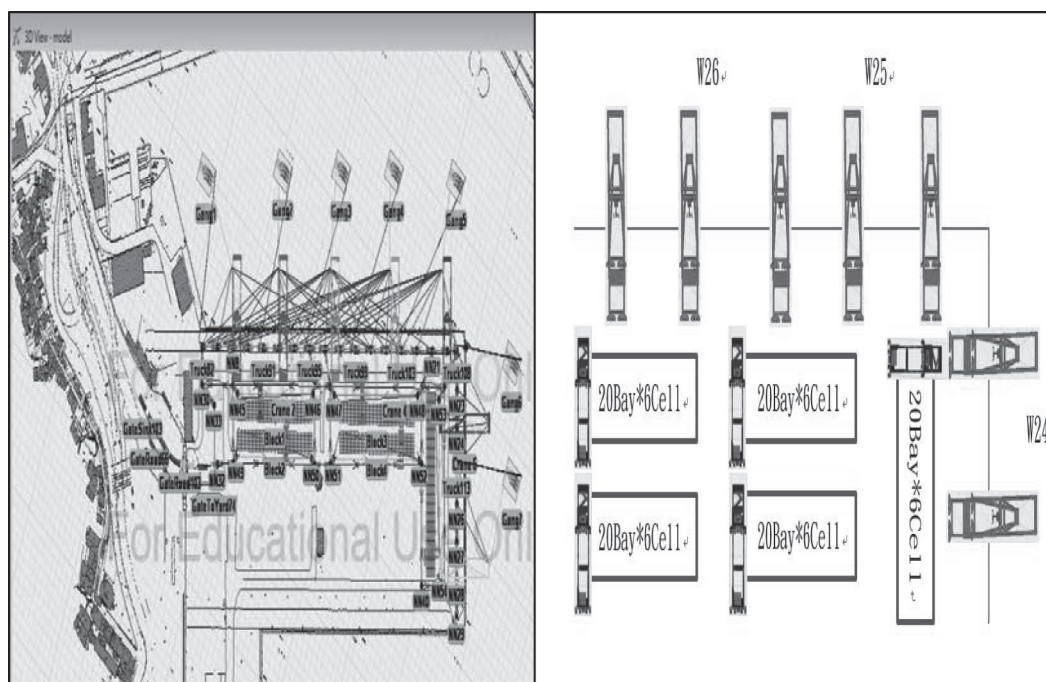


圖 9 方案 1-1 碼頭配置圖及簡單示意圖

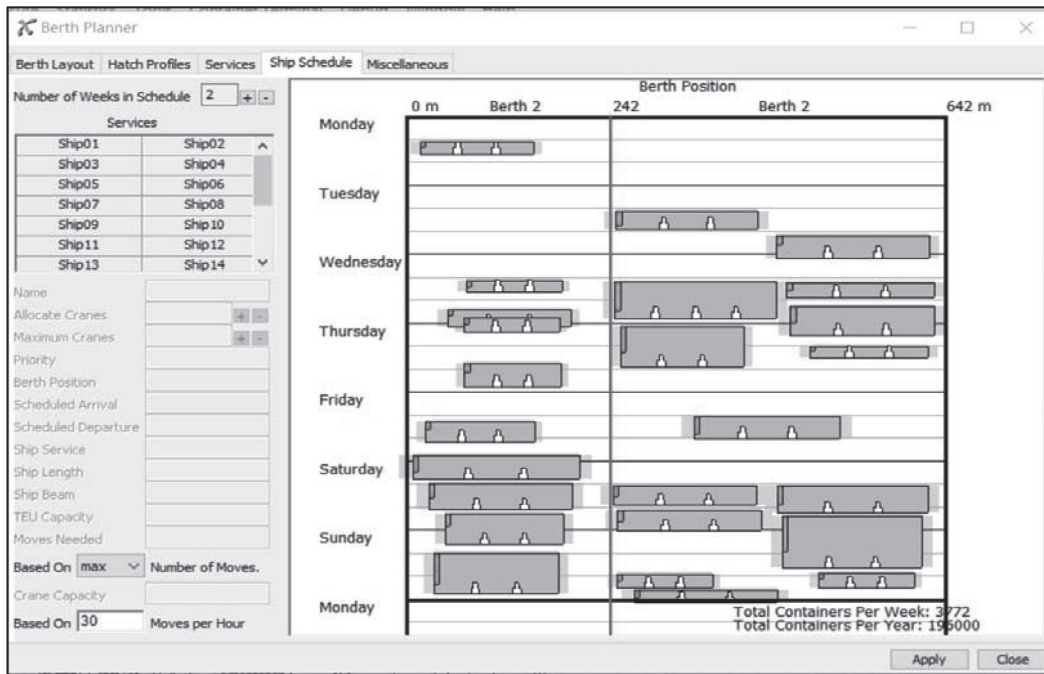


圖 10 方案 2-1 船席分配圖

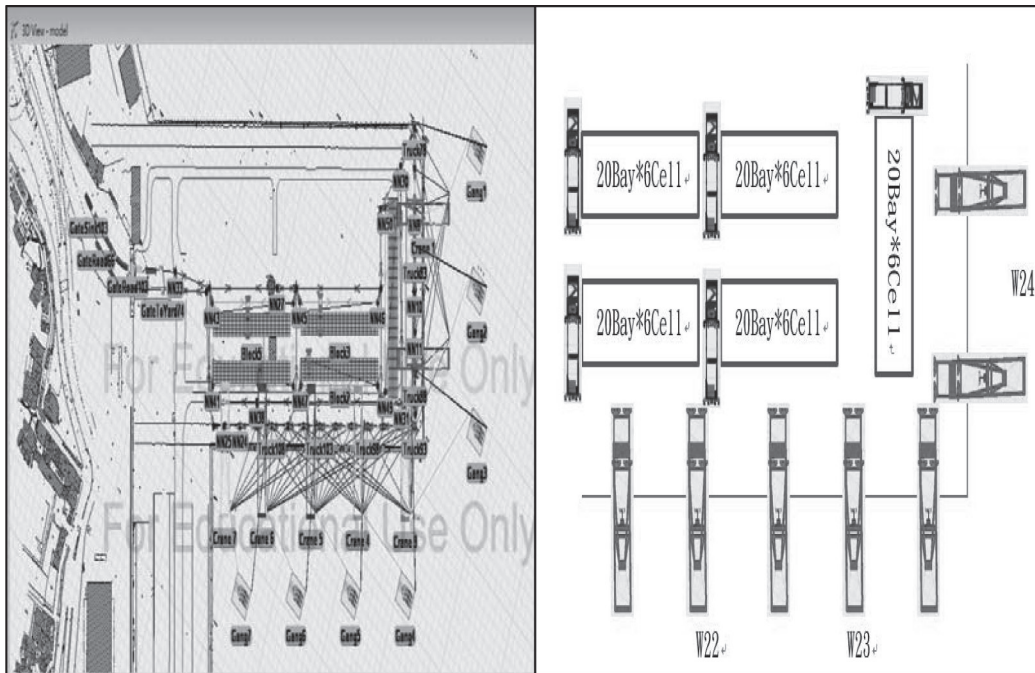


圖 11 方案 2-1 碼頭配置圖及簡單示意圖

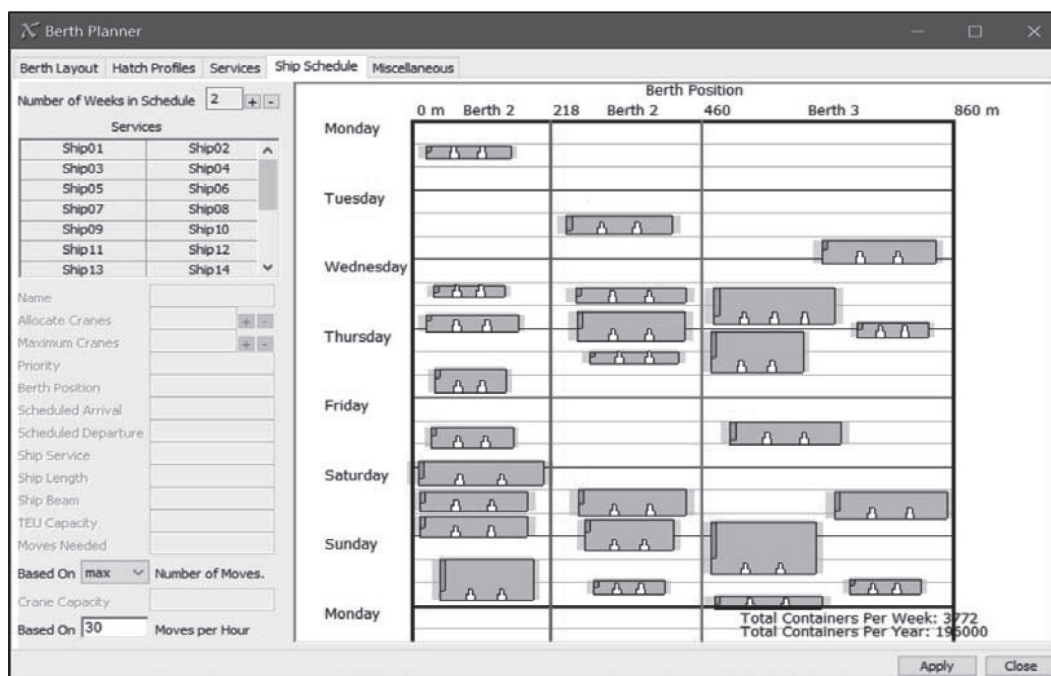


圖 12 方案 3-1 船席分配圖

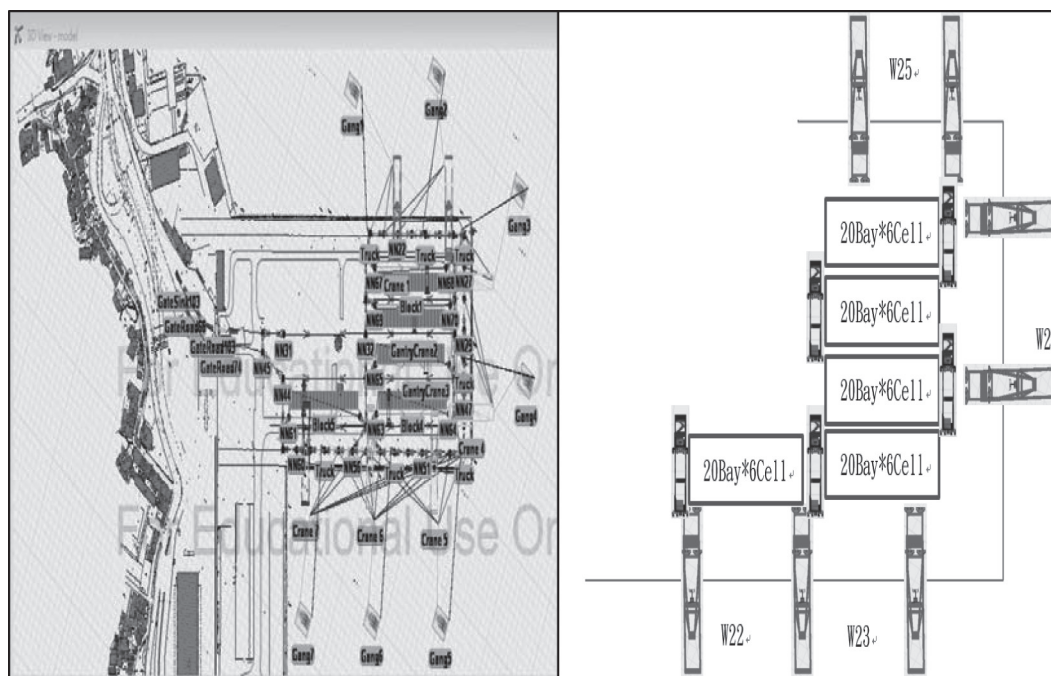


圖 13 方案 3-1 碼頭配置圖及簡單示意圖

不一，而船舶之進出港時間為固定數，故調整船席配置如圖 14。

2. 貨櫃儲區之配置方式由 Flexsim CT 模

擬基隆港西 23 至西 26 部分碼頭配置圖及簡單示意圖，如圖 15；一台 GC 搭配一組拖車。

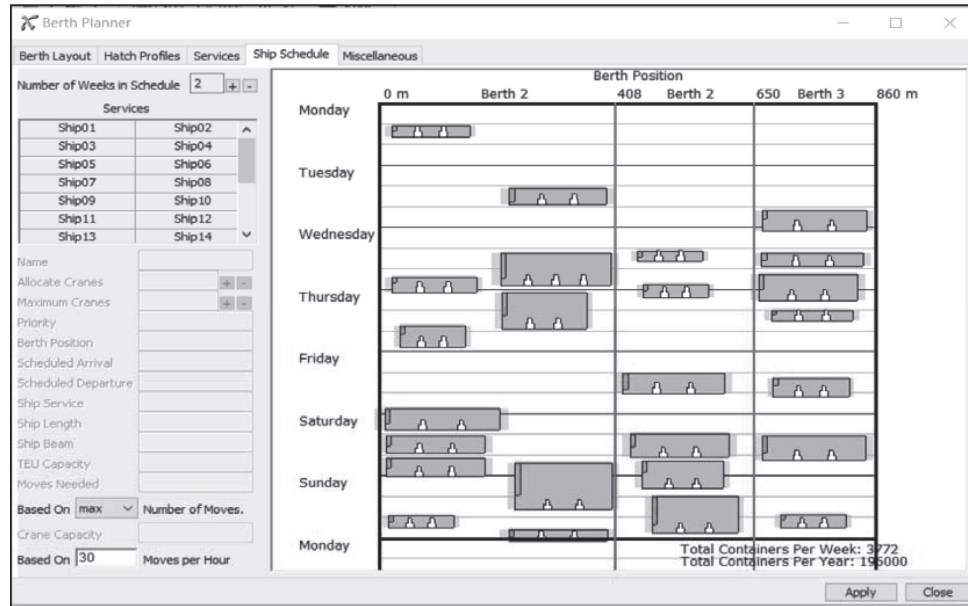


圖 14 方案 4-1 船席分配圖

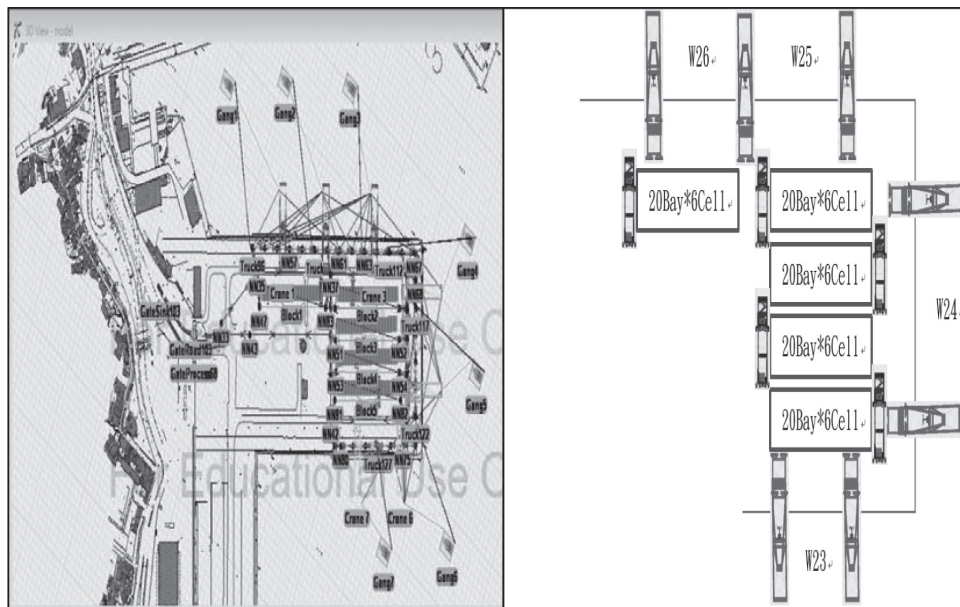


圖 15 方案 4-1 碼頭配置圖及簡單示意圖

4.3 貨櫃碼頭作業模式之設置 - 拖車統一調度方式

本研究是基於 4.2 節「西 22 至西 26 凸堤型碼頭」建構之四個方案下，再延伸深入探討，在所有條件基礎不改變之下，僅以拖車調度方式改變來作為變數，探討在拖車統一調度及分散調度下，如圖 16 (原西 22 至西 26 凸堤型碼頭為分散調度)，裝卸效率之比較。

本研究共建構四個方案，每方案均以最高標準模擬 10 次，取 10 次之平均值，有關船舶進出港時間、碼頭長度、貨櫃裝

卸量、GC 等機具數量及儲區數量等基本條件均與凸堤型碼頭相同。

4.3.1 方案 1-2 採拖車統一調度 (2 GC 對 2 Truck Group)

1. 總長度 752m (西 24 : 242 m + 西 25 : 300 m + 西 26 : 210 m)。
2. 貨櫃儲區之配置方式由 Flexsim CT 模擬基隆港西 24 至西 26 碼頭配置，拖車調度方式，如圖 17。
3. 拖車調度方式說明如下：
(1) W24 : 2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。

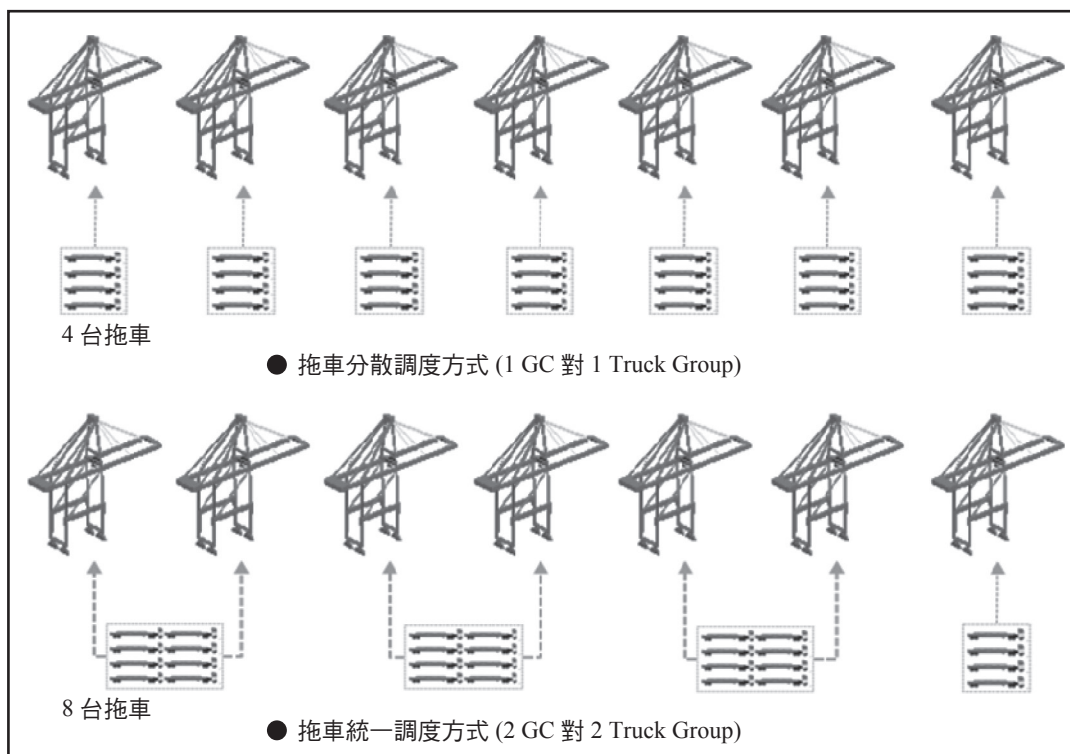


圖 16 拖車調度方式示意圖

- (2) W25：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車；1 台橋式起重機，分配 4 台拖車。
- (3) W26：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。

4.3.2 方案 2-2 採拖車統一調度 (2 GC 對 2 Truck Group)

1. 總長度 642 公尺 (西 22：190 m + 西 23：210 m + 西 24：242 m)。
2. 貨櫃儲區之配置方式由 Flexsim CT 模擬基隆港西 22 至西 24 碼頭配置，拖車調度方式，如圖 18。
3. 拖車調度方式說明如下：
 - (1) W22：2 台橋式起重機，分配 8 台

拖車；1 台橋式起重機，分配 4 台拖車。

- (2) W23：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。

- (3) W24：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。

4.3.3 方案 3-2 採拖車統一調度 (2 GC 對 2 Truck Group)

1. 總長度 860 公尺 (西 22：190 m + 西 23：210 m + 西 24：242 m + 西 25 (部分)：218 m)。
2. 貨櫃儲區之配置方式由 Flexsim CT 模擬基隆港西 22 至西 25 部分碼頭配置，拖車調度方式，如圖 19。

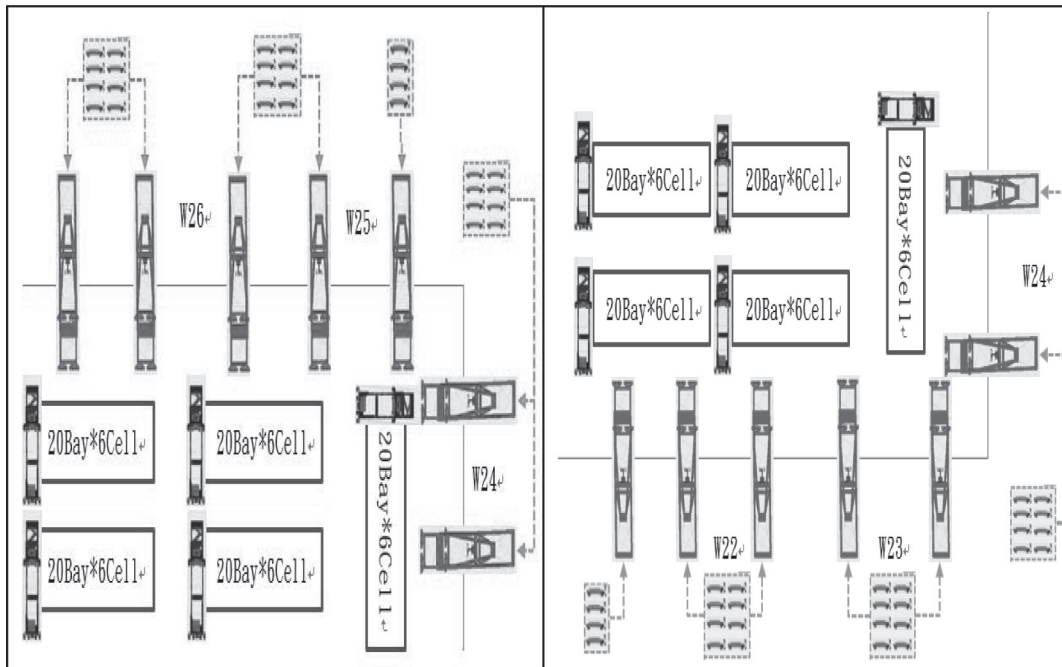


圖 17 方案 1-2 拖車調度示意圖

圖 18 方案 2-2 拖車調度示意圖

3. 拖車調度方式說明如下：

- (1) W22：1 台橋式起重機，分配 4 台拖車。
- (2) W23：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。
- (3) W24：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。
- (4) W25：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。

4.3.4 方案 4-2 採拖車統一調度 (2 GC 對 2 Truck Group)

- 1. 總長度 860 公尺 (西 23：210 m + 西 24：242 m + 西 25：300 m + 西 26 (部分：108 m)。
- 2. 貨櫃儲區之配置方式由 Flexsim CT 模

擬基隆港西 23 至西 26 部分碼頭配置，拖車調度方式，如圖 20。

3. 拖車調度方式說明如下：

- (1) W23：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。
- (2) W24：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。
- (3) W25：2 台橋式起重機，分配 8 台拖車。
- (4) W26：1 台橋式起重機，分配 4 台拖車。

4.4 模擬結果分析與評估

本研究船席作業績效指標依 Flexsim CT 模擬結果取 3 項指標 (ABO、GWTR、

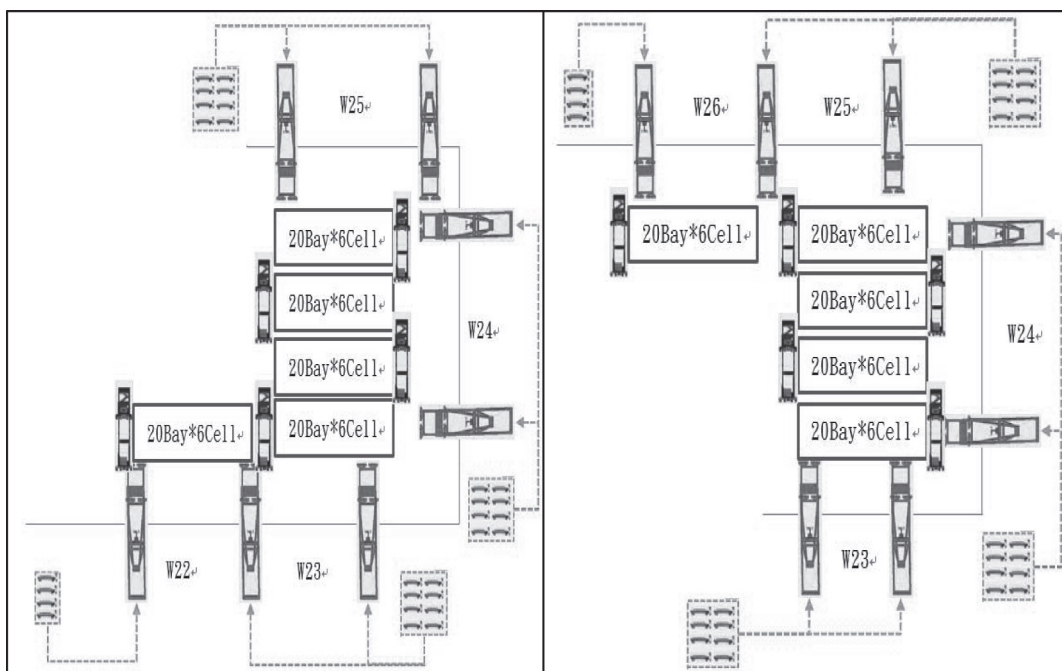


圖 19 方案 3-2 拖車調度示意圖

圖 20 方案 4-2 拖車調度示意圖

GNMPH) 來進行評估，各方案績效排名，如表 5 所示。另儲區作業績效依模擬結果取 3 項指標 (RAWT、RBR、RNMPH) 來進行評估，各方案績效排名，如表 6 所示。

4.4.1 簡單多屬性評估法 (SMARTER)

由於各方案之評估指標排名並不一致，必須藉由發放問卷給業界專家評比，

得知 6 種準則的重要性並進行排序，利用簡易多屬性權重法 (Simple Multi-Attribute Rating Technique Extended to Ranking, SMARTER) 分析法，解算出指標權重及利用 TOPSIS 分析法，進行比較分析各方案的整體績效排名

簡單多屬性評估法 (Simple Multi-Attribute Rating Technique Exploiting Ranks, SMARTER) 評估法的概念為基於多屬性

表 5 船席作業績效模擬結果

		ABO	排序	GWTR	排序	GNMPH	排序
直線型		242.91	8	5.8046	4	23.089	4
未採拖車 統一分派	Case 1-1	229.18	5	6.3612	6	21.669	7
	Case 2-1	217.03	2	4.2370	1	25.222	1
	Case 3-1	217.46	3	4.3427	2	24.859	2
	Case 4-1	236.37	6	6.5650	7	21.830	6
採拖車 統一分派	Case 1-2	238.78	7	8.3208	8	20.223	8
	Case 2-2	215.42	1	5.6358	3	23.802	3
	Case 3-2	223.73	4	6.2231	5	22.236	5
	Case 4-2	250.76	9	9.1298	9	19.535	9

表 6 儲區作業績效模擬結果

		RAWT	排序	RBR	排序	RNMPH	排序
直線型		18.581	1	39.206	1	32.735	3
未採拖車 統一分派	Case 1-1	19.515	4	40.418	5	32.903	1
	Case 2-1	23.617	8	40.331	4	32.382	6
	Case 3-1	18.882	2	39.862	2	32.432	4
	Case 4-1	19.340	3	39.991	3	32.824	2
採拖車 統一分派	Case 1-2	20.407	7	40.954	9	32.398	5
	Case 2-2	24.863	9	40.723	8	31.919	9
	Case 3-2	20.079	6	40.573	6	31.929	8
	Case 4-2	19.951	5	40.716	7	32.065	7

價值理論所發展出的模式，主要應用於確定情況下必須評估一個以上屬性的決策問題。在處理多屬性的評估問題時，往往藉助一些工具與標準化的操作流程，來幫助決策者達到系統化決策的目的，尤其是面臨屬性間不具有相依性這類較不複雜的決策問題時，每個屬性可獨自進行衡量並以

簡易的加法來加總方案的總體價值，直接依評估準則的順序作為等級的基礎，求取相對權重。

主要針對以上 6 項評估指標準則設計問卷並進行業界專家問卷發放以進行各指標之重要性評比，根據問卷結果，將評估指標分為兩類，船席評估準則及儲區評估

表 7 問卷結果

種類	準則	評分	排名	權重
船席評估準則	平均占有船席時間 (ABO)	4.7	1	0.408
	橋式機等候百分率 (GWTR)	3.7	2	0.242
	橋式機淨裝卸量 (GNMPH)	3	4	0.103
儲區評估準則	門式機平均等候時間 (RAWT)	3.1	3	0.158
	門式機作業忙碌百分率 (RBR)	2.8	5	0.061
	門式機淨裝卸量 (RNMPH)	2.3	6	0.028

準則，如表 7 所示。

根據以上的準則排名，本研究利用 SMARTER 分析法來算各個準則的權重值。

4.4.2 TOPSIS 分析法

理想解類似度偏好順序評估法 (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution, TOPSIS) 為理想解類似度偏好順序評估法，在多目標的決策分析中是一種非常有效的方法，它通過歸一化後的數據加以規範化矩陣，找出眾多目標中最優目標和最劣目標 (分別以正理想解

和負理想解表示)，分別計算各評估準則與正理想解與負理想解的距離，按照理想解貼近度的大小排序，作為評估準則優劣的依據。假設每一評估準則具有單調遞增或單調遞減，當評估準則屬於最大化準則時，績效值越大效用偏好也就越大，評估準則屬於最小化準則時，績效值越大效用偏好就越小。

將原 E8-E11 方案連同八個方案 (評估模擬結果，如表 8) 及利用 TOPSIS 進行排序並得到結果，如表 9。

表 8 各方案評估指標模擬結果

		ABO	GWTR	GNMPH	RAWT	RBR	RNMPH
直線型		242.91	5.8046	23.09	18.5811	39.21	32.7347
未採拖車 統一分派	Case 1-1	229.18	6.3612	21.67	19.5153	40.42	32.9033
	Case 2-1	217.03	4.2370	25.22	23.6169	40.33	32.3817
	Case 3-1	217.46	4.3427	24.86	18.8824	39.86	32.4322
	Case 4-1	236.37	6.5650	21.83	19.3403	39.99	32.8237
採拖車 統一分派	Case 1-2	238.78	8.3208	20.22	20.4066	40.95	32.3981
	Case 2-2	215.42	5.6358	23.80	24.8634	40.72	31.9188
	Case 3-2	223.73	6.2231	22.24	20.0785	40.57	31.9288
	Case 4-2	250.76	9.1298	19.54	19.9507	40.72	32.0651

表 9 TOPSIS 分析法之結果

		Pi	排名
直線型		0.637402804	4
未採拖車 統一分派	Case 1-1	0.581534279	6
	Case 2-1	0.834272966	2
	Case 3-1	0.969491126	1
	Case 4-1	0.530045504	7
採拖車 統一分派	Case 1-2	0.238789833	8
	Case 2-2	0.672035513	3
	Case 3-2	0.616102862	5
	Case 4-2	0.161163744	9

伍、結論與建議

5.1 研究結論

本研究運用 Flexsim CT 港埠模擬系統評估基隆港東岸 E8-E11 直線貨櫃碼頭

裝卸機具移至西岸 W22-W26 凸堤型貨櫃碼頭之裝卸效率，以兩種設計方式，經由十二種配置方案之分析，並以船席評估準則及儲區評估準則作為兩大指標，所得結果彙整如表 10，研究結論如下：

表 10 各項績效排名結果

	ABO	GWTR	GNMPH	RAWT	RBR	RNMPH	Pi
	排名	排名	排名	排名	排名	排名	排名
直線型	8	4	4	1	1	3	4
Case 1-1	5	6	7	4	5	1	6
Case 2-1	2	1	1	8	4	6	2
Case 3-1	3	2	2	2	2	4	1
Case 4-1	6	7	6	3	3	2	7
Case 1-2	7	8	8	7	9	5	8
Case 2-2	1	3	3	9	8	9	3
Case 3-2	4	5	5	6	6	8	5
Case 4-2	9	9	9	5	7	7	9

方案 3-1 為綜合績效排名第 1 之方案，總長度 860 m (W22 + W23 + W24 + W25 (部分))，此方案為本研究之最佳配置設計。此設計完整利用碼頭長度，可容納 4 個船席供貨櫃船裝卸工作所需，儲區作業裝卸機具密度最高，4 個儲區共有 6 台 GC 可同時作業，每台拖車作業完成，可從獨立通道離去，使岸肩與儲區間之距離大幅縮短，降低作業機具等候時間，達到減短船舶靠泊時間與提升整體作業績效之目的。

本次研究模擬實驗績效最差為方案 4-2 採拖車統一調度 (2、3 GC 對 2、3 Truck Group) 總長度 860 公尺 (W23 + W24 + W25 + W26 (部分))，由船席作業績效指標及儲區作業績效指標來看表現最差，第 4 方案在分組排名上均較為落後，經研究發現為以下多個原因所造成：

1. 拖車行走距離較遠：本研究發現方案 4-2 因設定拖車路徑較長，拖車行駛時間增加，降低貨櫃裝載效率，導致船席作業績效表現最差。
2. 船席調度較為不佳：船席調度為因應本研究之各方案，所以經研究發現本方案在 Berth 2 分配 12 艘船舶，相較於方案 3-1 Berth 3 分配 9 艘船舶為多，導致等待時間增加。
3. 拖車統一調度不佳：研究發現採拖車統一調度模式比 1 GC 對 1 Truck Group 方案作業績效差，本研究拖車調度模式為達實驗數據之一致性，採 Flexsim CT 內建模式並未調校，顯示軟體內建模式對於拖車調度模式仍有待進一步優化。

5.2 建議

本研究以 Flexsim CT 碼頭模擬軟體

進行裝卸效率之評估，有賴大量現場實際參數設定，惟囿於數據蒐集之困難，部分數值仍需依賴軟體所設置基本參數方能驗證方案之可行性，難免與現場作業有所落差，若能加入更多實際參數，能使之更貼近真實數據。

由於本研究設定之裝卸機具為沿用東岸櫃場原有數量，並不完全符合西岸櫃場需求，因此未來可以依據西岸櫃場之岸肩總長度、儲區總面積、裝卸機具種類及數量做整體規劃設計，運用不同作業模式，提升西岸櫃場之整體裝卸績效。

本研究拖車分派模式，只針對單一 GC 指定 4 台拖車或 2 台 GC 指定 8 台拖車，囿於軟體所致仍無法完整呈現最佳化分派方式，目前實務上拖車之調度依舊高度仰賴人力調配，值得後續再針對拖車分派方式深入探討研究。

參考文獻

周明道、張元泰、劉立仁，2018，高雄港貨櫃碼頭裝卸效率分析，*航運季刊*，27(3)，頁 81-105。

王文韜，2017，自動化集裝箱碼頭作業效率評估研究，集美大學交通運輸工程碩士論文。

張書源，2017，大連港集裝箱碼頭核心資源分配問題研究，大連海事大學碩士論文。

吳清慈、范瑋倫，2016，貨櫃碼頭儲區規

劃與機具調度之整合模擬研究，*航運季刊*，25(4)，頁 23-44。

廖姿琳，2016，凹渠式與凸堤型貨櫃碼頭之作業模擬分析，國立臺灣海洋大學碩士商船學系論文。

李建、劉國新，2015，探討提高集裝箱碼頭作業效率的因素，*城市建設理論研究(電子版)*(8)，頁 1。

錢繼鋒、朱曉寧、謝霞，2014，「岸橋—集卡—堆場」雙向作業協同模型，*交通運輸系統工程與信息*，14(2)，頁 6。

Bierwirth, C., Meisel, F., 2015. A follow-up survey of berth allocation and crane scheduling problems in container terminals. *European Journal of Operational Research*, 244(3), 675-689.

Carlo, H. J., Vis, I. F. A., Roodbergen, K. J., 2014. Storage yard operations in container terminals: Literature overview, trends, and research directions. *European Journal of Operational Research*, 235(2), 412-430.

van Asperen, E., Borgman, B., Dekker, R., 2013. Evaluating impact of truck announcements on container stacking efficiency. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25(4), 543-556.

Zhou, C., Lee, B. K., Li, H., 2020. Integrated optimization on yard crane scheduling and vehicle positioning at container yards. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 138, 101966.

