

應用熵值法與灰關聯分析法實證貨櫃碼頭場站機具 作業效率之比較分析

Applying Entropy and Grey Relational Analysis to Evaluate Operating Efficiency of Cargo Handling Facilities in the Container Yard

楊鈺池 Yang Yi Chih¹

沈克勇 Sam Ke Yung²

摘 要

2007年馬士基公司的11300Teu超大型貨櫃輪投入市場競爭行列，揭開邁入萬噸級船舶時代來臨，在當下碼頭資源與港埠設施有限情況下，如何選擇高效率和高效能場站機具配置來滿足貨櫃處理量需求，成為港埠經營者和航商所關心課題。是故，本文研究目的在於探討場站機具作業效率之評量要因，不同場站機具作業效率之比較以及自動化作業是否符合高雄港第六貨櫃中心和未來洲際貨櫃碼頭使用需求。經文獻探討和問卷調查方式找出影響作業效率的關鍵因素，再利用此熵值代入灰關聯分析法來實證不同場站機具之作業效率衡量優劣排序。經實證結論為：(1)影響場站機具作業效率之重要因素，依序為CY櫃場機具配置數量、拖車在櫃場作業距離、櫃場機具的運行速度、CY櫃場機具處理效率、拖車配置數量。(2)場站機具灰關聯度分析所得優劣，依序分別為SA、RT、ASC、SC以及TT。(3)櫃場半自動化作業為業界公認效率最佳的機具，可提供第六貨櫃中心或新洲際貨櫃碼頭配置場站機具之決策建議。

關鍵詞：作業效率、貨櫃碼頭、灰色關聯分析、熵值法

ABSTRACT

Sea transport has made critical changes due to emergence of mega container ship tendency; ship type such as EMMA MERSK in terms of 11300TEUS in 2007. To allure a mega container ship calling on the terminal requires not only setting up adequate hardware and software facilities but also conquering many issues relevant to massive operational business, hence it is of crucial important to enhance container terminal capacity by upgrading operating efficiency of cargo handling facilities. The purpose of this paper is to explore key impact factors of operating efficiency in

¹海洋科技大學航運管理系暨研究所副教授 (聯絡地址：高雄市楠梓區海專路 142 號，電話：07-3617141-3158，E-mail: hgyang@mail.nkmu.edu.tw)。

²陽明海運高雄分公司工務組資深經理 (聯絡地址：高雄市楠梓區海專路 142 號，電話：07-8129191，E-mail: khshen@yml.com.tw)。

the container Yard, and make a comparison among various cargo handling facilities based on Entropy and Grey Relational Analysis approaches. Our finding was summarized as: (1) Key impact factors are number of cargo handling facilities, transport distance of trailers, moving speed of gantry crane, efficiency of cargo handling facilities, and number of trailer, (2) Operating efficiency comparison of cargo handling facility modes based on Entropy and GRA approaches are SA>RT>ASC> SC > TT, (3) semi-automatic crane is optimal cargo handling facility in the aspect of operating efficiency being recognized by shipping industry sectors.

Keywords : operating efficiency, container terminal, Entropy, Grey Relational Analysis

壹、前言

貨櫃運輸自 1960 年代開始，1980 年代逐漸成熟，在短短的五十年裡，貨櫃運送從最初的零星散貨，到現在 10,000TEU 的大型貨櫃船已相繼問世。碼頭機具日新月異，從早期的單吊 40 噸的橋式起重機，在 1990 年代開發出所謂的雙 20 呎吊架(Twin spreader)，一次可以吊起兩個 20 呎貨櫃，使櫃場作業效率往前一大步，2004 年發展到一次可以吊起兩個 40 呎櫃的雙主吊(dual hoist)，現在已成為各新建碼頭競相採用的主要機具。櫃場內機具也從早期的柴油引擎(Diesel Engine)發展到電動控制(Electric control)，1993 年德國漢堡(Hamburg)之 CTA 碼頭更進一步發展出全自動化控制(Full automation)，2007 年底上海振華港機推出新設計「全自動化貨櫃碼頭示範區(automated container yard design and invented by ZPMC)概念，未來將有可能朝向物流倉儲模式的方向發展。

船舶大型化必須要有相對的碼頭設施來因應，面對航運市場劇烈的變化，絕大多數早期建造的老碼頭均無法應付此一情勢的變遷，而須要有所調整與改善，一個現代化的碼頭每小時的作業產量(productivity)，以目前船公司的需求，每台橋式機(Quay crane 簡稱 QC 或 GC)每小時之作業效率至少要達到 35 櫃以上，當然，以目前橋式機的科技水準，要達到前述標準並不困難，但碼頭後線的場區(Container Yard)作業機具，除須配合船邊作業(Quayside Operation)外，亦須應付從管制站(Gate)進來之外部拖車交提櫃的作業需要，在場區作業量兩倍於船邊作業量的情形下，一種故障少，速度快、安全性高、成本低的作業機具是櫃場營運業者所期望採用的。櫃場的作業效率除取決於作業機具外，櫃場的設計亦為重要的一環，到底是採用水平配置或者是垂直配置，兩者都各有其優劣點，如何採用不同之機具來搭配理想的場區設計，一直是碼頭營運業者所希望探討之課題。

高雄港目前的貨櫃碼頭共 24 座，分別由九家碼頭營運業者經營，所採用之作業機具各不相同，場區設計也不一致，同業之間經常所討論的話題是誰的機具好、哪種機具效率高，以及作業場區水平設置或者是垂直設計，那種設計

效率較高？而世界級的碼頭經營業者如香港 HIT(Hong Kong International Terminals)、新加坡的 PSA、上海的洋山港以及阿聯酋 DP World 等公司亦經常在 TOC(Terminal Operation Conference)發表文章討論此議題。

不同種類機具各有其優劣點，而各機具製造商都認為其所生產的機具效能最好，各碼頭營運經理人也有其自己的經驗訴求，公司內部管理人員也有各自主張，到底哪種機具最能發揮效率，業界並無一套理論根據。因此，尋找一套可以說服大家的數理依據，是本文研究的最終目的，希望能研究出一套有準則的參考數據，提供給業界決策者作出正確的價值判斷。

是故，本文研究目的，得簡要說明如下：

1. 探討影響櫃場作業效率的重要評量因素。
2. 不同貨櫃場站機具之優劣與作業效率比較。
3. 提供櫃場作業效率之改善對策與建議。

本文內容由分五部分所組成，分別為第一部分為前言、第二部分為貨櫃場站作業之特性與發展、第三部分為貨櫃場站作業效率之文獻回顧、第四部分為研究方法、第五部分為貨櫃場站作業效率之實證分析以及最後部分為本文結論。

貳、貨櫃場站作業之特性與發展趨勢

貨櫃場站作業是一個相當複雜的系統，要評估碼頭作業之競爭力，主要可由兩大層面來衡量，分別為比較碼頭的作業效率與評估碼頭的營運績效。因此碼頭的作業效率必須經由機具效率的提昇來提高貨櫃場產能，而場內作業起重機(Yard Crane)俗稱場橋，為貨櫃場內主要搬移或裝卸貨櫃、拖車之裝卸機具，關於貨櫃碼頭作業型態，根據夏力生^[1]「港務管理及棧埠經營」及林光、張志清^[2]「海運學」指出貨櫃碼頭作業之型態，本研究將貨櫃碼頭將作業型態效益彙整成表 1，一般分為四類，說明如下。

(1) 軌道式門型機(Rail Mounted Gantry Crane, 簡稱 RMG)：設計理念類似橋式機的一種場內作業機具，作業範圍可以橫越 16 排(Row)貨櫃，土地利用效益最大，但翻櫃機率較高，適合採用自動化(automation)裝卸作業。缺點是需依靠電能，一但停電或地震將軌道彎曲，機具即無法運作。優點為作業區域廣闊、堆儲量大、故障率低、作業及維修成本均低、安全性高、通訊及資料傳輸 e 化、作業自動化以及環保等，在油價日益高漲的現在，型機具為將來必定發展的主流。

(2) 輪胎式門型機(Rubber Tire Gantry, 簡稱 RTG)：不受軌道限制，經由輪胎轉向行走，跨距 6 Row 貨櫃的場內機具，亦較不受場區限制，靈活性佳，唯作業量不如 RMG，近年來因柴油價格不斷上漲，作業成本逐年增加，目前已有全電式的 RTG 發展出來，不過成本偏高，使用上亦有些許不便。由於柴油會排出一氧化碳造成環境污染且在環保意識逐漸高漲的現代，該種機具有可能會被逐步淘汰。

(3) 跨載機(Straddle Carrier, 簡稱 SC)：機動性最佳，有些櫃場用於行駛於碼頭與櫃場間做為拖車替代用，唯堆儲量較前面機種少，適合於畸零地或是擁有充裕土地面積的碼頭使用，缺點與前項同。

(4) 貨櫃堆積機(Reach Stacker)：採用側抓式單面吊架以抓取空櫃為目的，舉昇重量約 9 噸，機動性高、操作靈活、車價便宜為其優點。目前有可以一次抓取兩個 20 呎空櫃的設計，唯實際效益仍待評估。

表 1 貨櫃碼頭作業機具型態效益比較表

項目	SC	RTG	RMG	堆高機
機動性	佳	可	差	佳
安全性	差	可	佳	差
作業系統結合方式	無線傳輸	無線傳輸	光纖傳輸	無線傳輸
信號穩定性	不穩定	不穩定	穩定	不穩定
項目	SC	RTG	RMG	堆高機
故障率	高	可	低	高
機械性能	油電混合	油壓	電控	油壓
維修時間	長	可	短	長
燃料成本	柴油	柴油	電力	柴油
維修成本	高	高	低	高
空氣污染	嚴重	嚴重	無	嚴重

而一個現代化的碼頭未來的發展趨勢，必需要是大型的經濟規模、最新的科技與機具設備，以及現代化的管理風格等三項條件。而櫃場作業有許多不同之型態，在荷蘭鹿特丹港(port of Rotterdam)積極的開發與推動港埠技術、知識的努力下，對未來港埠物流作業產生了先驅作用。ECT 碼頭以及德國漢堡港(Port of Hamburg)的 HHLA 碼頭均採用中央電腦控制的自動化導引車輛 AGV(Automatic Guided Vehicle)，搭配自動化堆積起重機(Automated stacking crane)，未來將會發展成為最新的全自動化貨櫃場作業模式。美國 Virginia 港的 APMT、日本東京萬海碼頭、長榮高雄四櫃及即將啓用之台北港則採用半自動化(Semi-Automation)，而一般碼頭則採用拖車(Track) 作業模式。關於貨櫃碼頭採用自動化作業機具調查表，請參考表 2。

表 2 貨櫃碼頭採用自動化作業機具調查表

年份	港口	碼頭	類別	場內載具	電控系統
1993	鹿特丹	ECT	全自動	AGV	SIEMENS
2002	漢堡	CTA	全自動	AGV	ABB
2003	東京	萬海碼頭	半自動	拖超	ABB
2006	高雄	長榮	半自動	拖超	ABB
2008	鹿特丹	EUROMAX	全自動	AGV	ABB
2008	釜山	韓進碼頭	半自動	拖超	ABB
2009	台北	台北港	半自動	拖超	ABB
2009	釜山	PNC	半自動	拖超	ABB

基本上，自動化碼頭大致區分為三種型態：

1. 全自動化櫃場：配備有 AGV 自動化導引車與自動化門型機(automated stacking crane)相互搭配作業，橋式起重機將貨櫃直接卸放在具有導航系統之 AGV 上，AGV 經由埋設在地面之感應裝置(sensor)，將貨櫃運往櫃場作業系統(Terminal Operating System: TOS)指定之儲區前方，最後由自動化門型機將貨櫃移往指定儲位，裝船與貨主提領櫃時則依反向程序操作。此種櫃場的優點如下：場區無人化；不受天候與時間之影響；節省人事費用。然亦有其缺點之處：投資金額龐大；作業效率不佳。
2. 半自動化碼頭：作業方法與傳統方式略有差異，仍由拖車搭配場區之自動門型機共同作業，經由 TOS 作業系統自動分配工作指令，現場作業情形是經由光纖傳送畫面，將現場透過攝影機將畫面直接傳送回辦公室，作業機具配置有自動偵測與自動調整設備，由車機之電腦系統自動進行校正動作，為考量拖車司機安全，櫃場司機經由辦公室之監控畫面，經由遠距遙控(Remote control)進行貨櫃吊升與卸放動作。投資金額雖較傳統作業高一些，但作業效率確實有較佳的回饋，享有全自動碼頭各項的優點，也能迴避其缺失之處，部分的亞洲國家如日本、韓國、台灣及澳洲，多逐漸採用此作業模式。
3. 振華式全自動化碼頭：2007 年底上海振華港機公司(Shanghai Zhenhua Port Machinery Co.,ltd 簡稱 ZPMC)新設計出一種名為「全自動化貨櫃碼頭」，他採用的是物流理念，將貨櫃視同單一商品，不用拖車，以履帶運送的概念，透過 TOS 管理及地面台車的方式，將貨櫃送到場區內儲放，或由場區直接送交貨主提領。此種模式可說是櫃場作業的重大突破，目前該系統還在研究階段，尚未有任何貨櫃碼頭採用。

其中，ZPMC 自動化碼頭的設計與 ETC、CTA 與 Euromax 有所不同，原型設計是在碼頭後方架設數排的「低架橋」，橋式機在裝卸貨櫃時，不將貨櫃卸儲給拖車，而是將貨櫃直接卸存放在位於低架橋上的運送台車(frame trolley)

上，透過運送台車將貨櫃移往儲區前方的轉接平台(transfer platform)，在經由各儲區配置的固定吊(fixed crane)，將貨櫃吊起轉 90 度方向，並置放在地面軌道上的地面車(ground trolley)上，經由地面台車由 TOS(Terminal Operating System)系統控制，運往各儲去位置，最後由場區內之軌道式門型機，吊運進儲至指定位置。而裝船程序或貨櫃提領程序則呈反向進行。此種設計的優點如下：全部作業均由 TOS 系統控管，不受拖車司機人為影響，櫃場作業效率可以有效提昇；所有機具均為電力控制，可節約能源並符合環保理念。經電腦自動指配作業指令，可節省拖車及場內機具司機員的配置，降低人事成本負擔。

參、貨櫃場站作業效率之文獻回顧

本節主要在探討國內外有關貨櫃碼頭作業效率指標相關的文獻內容，主要找出可以貨櫃碼頭評量因素，分別依照年度排列文獻做綜合分析比較。國內方面邱盛生等人^[3]將碼頭作業績效指標區分為港灣、船席、裝卸及倉儲等四類。其次，陳榮聰^[4]以地理位置、自然天候、港埠腹地、碼頭數量、船席調配、引水服務、帶解纜服務、拖駁服務、港外等候時間、機具數量、裝卸效率、機具故障等12項評估指標來橫量航商對台灣三大國際商港港埠條件之滿意度。倪安順^[5]進行「亞洲地區國際商港港埠競爭力與效率調查」之研究，該調查將評估港埠競爭力之項目分為「整體港埠設施」與「軟體服務」兩大類，並依港埠設施分別考慮「整體港埠」與「貨櫃船席」兩大部分進行調查。碼頭的經營模式與港埠經營模式是一體兩面息息相關的，利用相同理念可以得知港埠裝卸設備能量、港埠倉儲設備能量、港埠整體運輸系統能量發揮，是決定港埠競爭力的主要項目之一。

黃文吉^[6]提出港埠運輸系統的評估指標應區分為效益指標(effectiveness)及效率指標(efficiency)，效益指標又可分為船舶指標、船席指標以及貨櫃場站內指標。在貨物卸下後通常會將之存放於貨櫃場站，如貨櫃調度場(Marshalling Yard, MY)、貨櫃場站(Container Yard, CY)、貨櫃集散站(Container Freight Station CFS)，以等候拖車或鐵路運輸將貨交給貨主。所以貨櫃場站指標方面則考量貨櫃裝卸效率、貨櫃取出率，場站使用率，貨櫃搬運能力，貨櫃處理能力等貨櫃場站內的各種指標以衡量貨櫃場站的運作情形。

基本上，影響貨櫃碼頭作業效率的因素可從技術面與配置面兩大方向說明，技術面主要係研究作業機具性能、作業機具的運作速度、作業距離的遠近、櫃場堆儲量以及作業機具的種類來進行效率評估。而配置面則係研究不同種類之機具及數量對效率影響的不同變化，在實務上，並非機具數量越多就代表作業效率越高，作業效率在達到某一臨界點時，效率數值就會呈現鈍化現象，在此臨界點上所消耗致機具數量是毫無意義的，就像許多港口碼頭，為了顯現它的作業效率，刻意動用過多的機具以顯示其優越性，殊不知雖提早完成裝卸作

業，讓船隻儘速離港，但功效僅僅是讓船隻能在下一個港口提早抵達，而非準時進港，也就顯得毫無意義了，相反的浪費了碼頭資源及提高了作業成本，對一個碼頭經營業者而言，作業效率與作業成本是同等重要的。

張徐錫^[7]其碩士論文「東亞地區主要貨櫃港 SWTO 分析量化模型構之研究」中，以內部環境的四大影響層面：包括軟硬體設施、作業效率、營運方式與費率、整體規劃與開發效率，作為評量貨櫃港優越與否的主要指標，而其中作業效率構面裡面的貨櫃機具毛裝卸效率為其主要評量因素。

鄭景怡^[8]碩士論文「貨櫃裝卸作業與岸肩載運機具指派之研究」指出，港埠經營績效之良窳以貨櫃碼頭裝卸作業效率作為衡量的指標而其又與碼頭後線支援有極為密切之關連。碼頭岸肩與貨櫃堆積場間的距離與載運貨櫃車輛之派遣之車次有密不可分的關係，前者為策略層面的區位指派原則應用，後者則需考量作業層次上之拖車供應考量。櫃場前後線距離的遠近直接關係到作業效率，車輛派遣則可彌補因距離過遠對效率影響的不足。由於每座碼頭的設計並不相同，因此在規劃碼頭的作業效率時，應循前述原則，適當的分析出所需機具的數量，投入機具少會產生效率不佳的情形，投入的機具過多則會有投資浪費的可能。

其次，本文近期所蒐集國外文獻關於貨櫃碼頭作業效率之評量因素，大抵比國內文獻在數量上相對要來的多，譬如。Roll and Hayuth^[9]所主張人力、資本、貨物、貨物吞吐量（總作業量）、服務水準、客戶滿意度、進出港船舶艘數。Budria, Armas, Ibanez and Meas^[10]則認為勞力成本、折舊費用、其他費用。Preston and Kozan^[11]認為運具（叉架起貨機、堆高機、拖車、橋式起重機）之數量、貨櫃種類（20 呎、40 呎）、滑車的數量及大小、碼頭與貨櫃場的距離、船舶岸邊船席作業最短時間。Tongzon^[12]主張橋式機數；貨櫃碼頭數、拖船數、碼頭面積、延遲時間、僱用人數、資產的帳面價值。Song, Cullinane and Wang^[13]認為碼頭長度（M）、碼頭大小（Ha）、橋式起重機（數量）、場站起重機（數量）、跨載機（數量）、貨櫃吞吐量（總作業量）。Barros^[14]強調僱用人數及資產的帳面價值、船舶與各類碼頭的營運量（總作業量）、淨所得與市場佔有率。Park and De^[15]主張船席容量（艘次）、貨物裝卸量（噸）、貨物吞吐量（總作業量）、進港船舶艘次、收入及客戶滿意度。Barros & Athanassiou^[16]持看法為勞力與資本、船舶艘次、貨物及貨櫃裝卸量。Cullinane et al.^[17]主張碼頭長度（M）、碼頭大小（Ha）、橋式起重機（數量）、場站起重機（數量）、跨載機（數量）、貨櫃吞吐量（總作業量）。Kim, Kim, Hark and Chang^[18]主張某段時間流量內的運輸設備、碼頭內可以利用的機具設備、碼頭對貨物時間流量之控管、作業員對貨物之優先處理權、船舶岸邊船席作業最短時間。Cullinane, Song and Wang^[19]認為碼頭長度、碼頭面積、岸邊橋式機數、櫃場吊機、及跨載機數、貨櫃運量（總作業量）。Murty, Liu, Wan and Linn^[20]認為場站的路線網路規劃、

滑車的數量及大小、橋式起重機（數量）、岸式起重機（數量）、設備目前的位置、每架滑車可以儲存的貨櫃量、貨櫃儲放的地方、船舶岸邊船席作業最短時間。Barros^[21]認為僱用人數、資本投資額、作業成本、裝卸量進出、港船舶艘數、營業收入。Cullinane, Wang, Song and Ji^[22]實證得出碼頭長度、碼頭面積、岸邊橋式機數、櫃場吊機、跨載機數以及貨櫃運量（總作業量）。Rio and Macaca^[23]認為橋式機數、碼頭船席數、僱用人數、碼頭面積、櫃場機具、貨櫃裝卸量（總作業量）以及平均每小時每船裝卸量。李選士和薛勝陽^[24]主張運用管制站數量、船席、區域、長度、儲存區、冷凍區和貨櫃量等評量變數作為分析亞洲主要貨櫃碼頭之相對效率。崔容石^[25]主張港埠生產性評量指標關於場站區機具作業評量變數分別場產區起重機生產力(每小時處理量、稼動量、待機比率、移動比率)和場站拖車生產力(週轉時間、運行速度)、不同機具組合生產力以及拖車到機具間運行距離。崔容石和河泰營(2006)^[26]使用場站機具處理量、櫃場儲存量、拖車作耶時間、車輛運行通路與時間、拖車到櫃場作業距離以及拖車配置數量等評量變數來作貨櫃碼頭模擬設計。

一般而言，貨櫃場(Container Terminal)係由船席區(Berth Area)、場站區(Container Yard)以及管制站區(Gate Area)等三個區域所組成，船席區主要配置橋式起重機做為自船舶裝卸貨物到貨櫃碼頭區域；場站區域主要利用場站機具做為貨物堆疊儲存區域而言；管制站區則作為貨主或託運人提領貨櫃或進出管制站而言。本文主要研究範疇限定於場站區域機具作業效率評量，因此所蒐集前後端相關變數給予刪除，而僅就與場站相關評量變數作為分析依據。

表 3 貨櫃場站作業效率之評量變數

裝卸生產力指標名稱	資料來源
CY櫃場機具處理效率	張徐錫(2000)、崔容石(2004)、崔容石和河泰營(2006)
CY櫃場機具配置數量	Kozan (2001)、Song et al (2003)、Katta et al (2005)、Cullinane et al (2006)、Rio and Macaca (2006)
總作業量	Roll and Hayuth (1993)、Tongzon (2001)、Song et al (2003)、Barros (2003)、Park and De (2004)、Barros & Athanassiou (2004)、Cullinane et al (2006)、Rio and Macaca (2006)
櫃場機具的運行速度	黃文吉(1997)、崔容石(2004)
不同之作業機具配置	黃文吉(1997)、崔容石(2004)
作業成本	黃文吉(1997)、Barros(2006)
櫃場堆儲存量	李選士和薛勝陽(2006)、崔容石和河泰營(2006)
櫃場堆儲密度	黃文吉(1997)。
拖車在櫃場作業距離	Kozan (2001)、鄭景怡(2003)、崔容石和河泰營(2006)
拖車運行速度	黃文吉(1997)、崔容石(2004)
拖車配置數量	Kozan (2001)、Katta et al (2005)、崔容石和河泰營(2006)
CY櫃場面積	Song et al (2003)、Cullinane et al (2006)

肆、研究方法

鄧聚龍^[27]首度提出灰色理論分析，主要是針對系統內不確定性、資訊不完整之下，進行關於系統內的關聯分析(Relational Analysis)、模型建構(Model Constructing)，並利用預測與決策之方式來探討及瞭解系統內的架構關係。張偉哲等^[28]認為，傳統上利用統計與機率方法來尋找大量的數據，但事實上其得來不易且訊息有限(貧訊息)，因此灰色理論可應用在貧訊息處理。

根據灰色理論的定義，傳統的灰關聯度是表示兩個序列的關聯程度，而且為定性的分析，主要是利用離散序列間相關程度，來展現不同序列的關聯度，為一種定性的分析方式，此方法最大特性，即為可以利用各序列之灰關聯度值進行排序。在灰關聯分析中，辨識係數的功能，主要是作背景值和待測物之間的對比，數值的大小可以根據實際的需要做適當之調整。一般而言，辨識係數的數值均為 0.5，但為了加大結果的差異性，可以依據實際需要做調整。由實際的數學證明中得知，辨識係數的改變只會對灰關聯度的相對數值大小產生影響，卻不會影響灰關聯度的排序(溫坤禮等^[29])。

本文係假設貨櫃碼頭場站區域內有 m 個場站機具並以 n 個評量變因為比較基礎，以評估機具作業效率，則以：

$$x_i = (x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)), \quad i = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, n, \quad i \& k \in N. \quad (1)$$

代表第 i 個場站機具($i=1,2,\dots,m$)內所有變因 $k(k=1,2,\dots,n)$ 評量值所形成的序列，今可藉由熵值(Entropy)權重法求得 n 個變因的個別權重後，再循傳統的 GRA 運算方式為之。整體過程說明如下：(張偉哲等^[28]；戴輝煌^[30]；戴輝煌，鍾彥妍^[31])

1. 熵值權重法：熵值有多種計算與表示方法，任一訊息向量內之熵值愈大，即表示其內的個別事件發生愈具不確定性、機率分配狀態傾向均一分配、隨機亂度亦愈大。今以向量 k (某變因 k)存在 m 個事件訊息為例，個別事件發生的機率分別為 p_{k1} 、 p_{k2} ... p_{km} 。則可由式(2a)與(2b)將此訊息向量標準化 ($0 \leq D_{ki} \leq 1$)，並可由式(3)求出 p_{ki} ：

$$\text{望大者標準化式：} \quad D_{ki} = x_{ki} / \underset{\forall i}{\text{Max}}(x_{ki}), \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2a)$$

$$\text{望小者標準化式：} \quad D_{ki} = \underset{\forall i}{\text{Min}}(x_{ki}) / x_{ki}, \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2b)$$

$$D_k = \sum_{i=1}^m D_{ki} \Rightarrow p_{ki} = \frac{D_{ki}}{D_k} \quad i=1,2,\dots,m \quad (3)$$

續之導出之式(4)即為熵值(E_k 值)，熵值愈大，代表訊息向量 k 所含之相關事件能夠傳遞的資訊愈少，反之， $(1-E_k)$ 則代表可以傳遞資訊的確定程度。

$$E_k = \left(\frac{1}{\ln(m)}\right) \sum_{i=1}^m p_{ki} \times \ln\left(\frac{1}{p_{ki}}\right) = -\left(\frac{1}{\ln(m)}\right) \sum_{i=1}^m p_{ki} \times \ln(p_{ki}) \quad (4)$$

因之，若欲評估所有貨櫃場站內第 k 項變因對於作業效率的影響，即可以式(5)之客觀權重值 λ_k 表之：

$$\lambda_k = \frac{1 - E_k}{\sum_{k=1}^n (1 - E_k)} \quad (5)$$

2. GRA 的運算過程：若以 x_0 表示參考序列；其組成可以由所有 x_i 內各個不同變因 $k(k=1,\dots,n)$ 之最佳或最適值代表之：

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k)) \quad (6)$$

而 x_0 與 x_i 之間第 k 項評量值之差的絕對值，稱為差序列：

$$\Delta_{oi}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (7)$$

先就每一個序列針對不同之 k 求其與參考序列的絕對差，並求出最大值，進而在求這些最大值中最大者，以下式表之：

$$\Delta_{\max} = \max_{i \in N} \max_k |x_0(k) - x_i(k)| \quad (8)$$

先就每一個序列針對不同之 k 求其與參考序列的絕對差，並求出最小值，進而在求這些最小值中最小者，以下式表之：

$$\Delta_{\min} = \min_{i \in N} \min_k |x_0(k) - x_i(k)| \quad (9)$$

由不同的 x_i 分別與 x_0 進行比較之方式，稱為局部性灰關聯分析(Localized GRA)，其比較結果稱為灰關聯係數(Gray Relational Coefficient)

$\gamma(x_i(k), x_0(k))$ ：

$$\gamma(x_i(k), x_0(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \zeta \Delta_{\max}}{\Delta_{oi}(k) + \zeta \Delta_{\max}} \quad (10)$$

其中， ζ 為辨識係數($\zeta \in [0,1]$)一般以 0.5 表之，亦可視資料內容調整之。之後，即可依式(10)之灰關聯係數 $\gamma(x_i(k), x_0(k))$ ，計算灰關聯度 $\gamma(x_i, x_0)$ ：

$$\gamma(x_i, x_0) = \sum_{k=1}^n (\beta_k * r(x_i(k), x_0(k))) \quad (11)$$

其中， β_k 為權重因子，傳統上係以均權法($\beta_k=1/n$)計算各灰關聯係數之平均值，本文建議採式(5)之熵值權重 λ_k 取代之：

$$\gamma(x_i, x_0) = \sum_{k=1}^n (\lambda_k * r(x_i(k), x_0(k))) \quad (12)$$

式(12)係以 Γ 事件內之 x_0 為參考序列、其他 x_i 為比較序列下，即可求得事件 $\Gamma_0(\gamma(x_i, x_0), i=1, \dots, m)$ 序列；其內為 $\gamma(x_i, x_0)$ 之間的排序結果，除了可以測定 m 個場站機具對不同作業效率評量變數之關聯度值大小，做為知覺判斷的優先順序之外，式(5)之 λ_k 值亦可以推斷出不同變因屬性的重要程度，此方法能夠簡化「不同評項與其影響因素」需同時評估的過程。其中， Γ ，係指評量事件而言； Γ_0 ，係指 Γ 事件內之 x_0 參考序列與 x_i 為比較序列下，所得排序結果之事件而言。

伍、貨櫃場站作業效率之實證分析

第一次問卷總共寄發出34份，發放對象以碼頭營運業者為主要對象，而職位以課長級以上居多，將問卷結果回收後以SPSS統計分析方法進行驗證，主要目的是為了找出影響貨櫃效率因素之重要度指標，以進行第二次問卷之熵值法結合灰色關聯分析，以探討不同場站機具作業效率之優劣處所在。而第二次問卷總共寄發出24份，發放對象則與第一次相同，回收後問卷在進行實證分析。

5.1 敘述性統計分析

本問卷採用 1~5 分尺度評分方式，由填答人針對問題重要性程度給予評分，本問卷為評估尺度為 1 時，代表非常不重要，重要程度依序遞增，評量尺度如為 5 則表示非常重要。因此設定門檻值。若分別以 70%、75%、80% 設定高門檻值，則換算成 1~5 分尺度，其門檻值各為 3.5、3.75、4.0。換言之，在進行重要性分析方面，主觀認定重要性門檻值大於 75% 者表示為重要性，故門檻值為 3.75。

第一部分主要探討貨櫃碼頭場站在各方面作業效率之比較分析，總共分為 20 項主要評量變數，在此全部的平均數介於 3.98~3.21 之間。評量變數高於 3.75 者，依其分數高低分別是 CY 櫃場機具配置數量 (3.98)、拖車配置數量 (3.81)、櫃場機具的運行速度 (3.79)、CY 櫃場機具處理效率 (3.79)、拖車在櫃場作業距離 (3.75)，表示貨櫃碼頭場站在各方面作業效率依照各專家的實務經驗判斷，影響效率主因普遍在於這五項因素 (參考表 4)。

CY 櫃場機具的處理效率主要表彰在櫃場機具、TOS 智慧系統與櫃場管理等層面，它是其他各項變動因素的總合。在拖車行走距離方面應考量櫃場的佈

置，幾項重要的因素應納入考量，如重櫃區與空櫃區的配置、進出口櫃與轉口櫃儲位的分派、冷凍櫃插拔電對作業效率的延遲、超高寬櫃對作業效率的影響等，都需事先加以考慮周到。就車機運行速度方面，選擇快速度運行的機具並不代表作業效率就會有效提昇，有時反而是造成投資浪費，必須針對櫃場的作業需求，進行局部系統的速度改善，相信對櫃場效率會有很大的幫助。另外，在櫃場機具與拖車數量的配置，也不是盲目的增加，作業機具數量過多，反而容易造成櫃場車機動線的壅塞，效率反而無法充分發揮，車機與拖車配置數量必須經由審慎評估，尋求最佳的配置數量，效率才能有效的提昇。

表 4：貨櫃場站作業效率評量變數之平均數分析

重要性排名	題項	平均數	標準差
1	CY 櫃場機具配置數量	3.98	0.83
2	拖車配置數量	3.81	0.96
3	櫃場機具的運行速度	3.79	0.74
4	CY 櫃場機具處理效率	3.79	0.74
5	拖車在櫃場作業距離	3.75	0.69
6	CY 櫃場面積	3.65	0.97
7	櫃場堆儲密度	3.63	1.02
8	不同之作業機具配置	3.60	0.76
9	櫃場堆儲存量	3.58	1.05
10	總作業量	3.56	0.70
11	作業成本	3.42	0.82
12	拖車運行速度	3.33	0.75

5.2 熵值權重法與灰關聯分析法

根據前項研究方法所示，首先利用熵值權重法計算出場站作業效率評量變數之重要程度排序，其後再利用灰關聯分析法來計算不同場站機具和作業效率評量變數之權重值相乘所得灰關聯度值，以判定場站機具之優劣之處所在，依序說明：

1. 各場站機具作業效率之重要評量變數：此為表 2 所示原始資料之序列數據，在此以式(1)之 $x_i(k)$ 內容($i=5$ 種機具； $k=5$ 種評量變數)代表評量貨櫃場站機具作料效率之種要因素評量指標值。
2. 將各項指標值序列以望大者採取(2a)與望小者採取(2b)方式標準化。
3. 把各標準化序列再藉由式(3)求出 p_{ki} 。

4. 由式(4)可求出 E_k 值；再藉式(5)可求得各項因素的權重值(λ_k)，據此對各項因素進行重要性排序。
5. 由第 2.項的數列中，擇出各行指標的最大值(1)做為參考序列(r)，即如式(6)所示。再以式(7)求算 x_0 與 x_i 指標值之差的絕對值，即可得出各個評項之差序列。例如：RT 之差序列為(0.067,0.070,0.089,0.070,0.026)，其中 $0.067=|1.00-0.933|$ ， $0.070=|1.00-0.930|$ ， $0.089=|1.00-0.911|$ ， $0.070=|1-0.930|$ ， $0.026=|1-0.974|$ 同時並可求算出各評項之差序列的最大與最小值，即藉式(8)與式(9)得出 Max/Min 二欄之值。
6. 利用辨識係數 $\zeta = 0.5$ 並透過式(10)，求出各數列之灰關聯係數。例如 RT 之 $0.723=(0.000+0.5*0.349)/(0.067+0.5*0.349)$ 。
7. 最後藉由式(12)，以不同的灰關聯係數乘以各項因素的權重值，即可以得出每個機具之灰關聯度值，以代表在即有的競爭條件下(A~K)各機具作業效率之評量指標評比值。例如 RT 灰關聯度值 $0.714=0.723*0.134+0.714*0.339+0.662*0.161+0.714*0.324+0.869*0.042$ 。

綜上所述，得到以下幾點供參考：(1)根據熵值權重法分析得證機具作業效率之重要因素，依序為 CY 櫃場機具配置數量、拖車在櫃場作業距離、櫃場機具的運行速度、CY 櫃場機具處理效率、拖車配置數量。(2)場站機具之灰關聯度，依據排序分別為 SA 之 1.000、RT 之 0.714、ASC 之 0.641、SC 之 0.452 以及 TT 之 0.372。(3)整體而言，SA 所謂半自動化場站機具在作業效率優於其他機具作業模式，為貨櫃碼頭經營者所共同認知，因此不論在台北港、第六貨櫃中心甚至未來新設碼頭，皆可參考採用此類場站機具作業，至於全自動化作業機具在鹿特丹或是德國漢堡港所實施 ASC 與 AGV 作業模式，由於每小時平均橋式起重機作業量僅達到 20 到 25 個 TEU，無論從時間或成本考量上，與現行人工作業效率相比平均達到 30 到 35 個 TEU 相比較仍有諸多待改善之瓶頸。

表 5：貨櫃場站作業效率評量變數之重要性評估

1. 各場站機具作業效率之評量指標值							
機具/評量因素	CY 櫃場機具處理效率	CY 櫃場機具配置數量	櫃場機具的運行速度	拖車在櫃場作業距離	拖車配置數量		
SA	4.500	4.300	4.500	4.300	3.800		
RT	4.200	4.000	4.100	4.000	3.700		
ASC	4.000	3.900	4.000	3.900	3.500		
SC	3.600	3.300	3.700	3.300	3.400		
TT	3.500	2.800	3.300	2.900	3.300		
2. 將指標值以式(2)方式標準化							
SA	1.000	1.000	1.000	0.674	1.000		
RT	0.933	0.930	0.911	0.725	0.974		
ASC	0.889	0.907	0.889	0.744	0.921		
SC	0.800	0.767	0.822	0.879	0.895		
TT	0.778	0.651	0.733	1.000	0.868		
3. 以式(3)求出 p_{ki}							
SA	0.049	0.232	0.169	0.203	0.328		
RT	0.056	0.290	0.549	0.209	0.358		
ASC	0.254	0.232	0.141	0.203	0.134		
SC	0.363	0.159	0.085	0.196	0.104		
TT	0.279	0.087	0.056	0.189	0.075		
4. 以式(4)及式(5)求出 E_k 值與 λ_k 值							
E_k 值	0.997	0.993	0.997	0.993	0.999		
$1-E_k$ 值	0.003	0.007	0.003	0.007	0.001		
λ_k 值	0.134	0.339	0.161	0.324	0.042		
影響因素	CY 櫃場機具處理效率	CY 櫃場機具配置數量	櫃場機具的運行速度	拖車在櫃場作業距離	拖車配置數量		
重要性排序	4	1	3	2	5		
5. 以參考數列(r)求算差序列							
參考數列(r)	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	Max	Min
SA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
RT	0.067	0.070	0.089	0.070	0.026	0.089	0.026
ASC	0.111	0.093	0.111	0.093	0.079	0.111	0.079
SC	0.200	0.233	0.178	0.233	0.105	0.233	0.105
TT	0.222	0.349	0.267	0.326	0.132	0.349	0.132
6. 利用辨識係數求算灰關聯係數						7. 灰關聯度	
SA	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1
RT	0.723	0.714	0.662	0.714	0.869	0.714	2
ASC	0.611	0.652	0.611	0.652	0.688	0.641	3
SC	0.466	0.429	0.495	0.429	0.624	0.452	4
TT	0.440	0.333	0.395	0.349	0.570	0.372	5

陸、結 論

本文研究重點在於探討貨櫃碼頭之所謂場站區(Container Yard)，不同機具在特定作業效率評量基準下所得優劣比較，以提供櫃場決策者改善作業效率之建議參考，得以下幾點結論簡要說明：

1. 影響貨櫃碼頭場站區評量機具作業效率之重要因素，分別為 CY 櫃場機具配置數量、拖車在櫃場作業距離、櫃場機具的運行速度、CY 櫃場機具處理效率、拖車配置數量。
2. 就櫃場機具的作業效率來說，現階段半自動化(semi-automation) 機具，備受到業界專家均肯定該機種為作業效率最佳的場內機具，其次為軌道式門型機、第三為全自動化機具、第四為跨載機、第五為輪胎式門型機。
3. 半自動化起重機目前已發展到成熟的階段，該機種的運行速度、自動化程度、與 TOS 的融合程度，都已超越其他機種。2008 年多座新建造的碼頭採用此種作業模式。而全自動化碼頭，由於初期投資金額龐大，作業效率又受限於各種機械性能限制，再投資效益的考量下，目前並未能有效推廣，或許在不久的將來，會有不同的結果。
4. 隨著世界能源的短缺，能源費用有越來越高的趨勢，耗費能源的作業機具如輪胎型門式機(RTG)與跨載機(SC)等，會因沈重的作業成本所淘汰，取而代之的是有節能、環保概念，採用供電式的作業機種。採用耗能之柴油引擎作業機具所消耗之能源費用為供電式之作業機具的 5.47 倍，作業量越多其差異也越大，因此，有許多櫃場已將耗費柴油之輪胎式門型機改為油電兩用的機具，一般作業時以供電方式進行，需要更換作業區域時，先將電力供應線切斷，改用柴油發電來進行作業區間的轉換工作，待抵達新作業區後再行接電進行下一段作業，此種作業方式會影響櫃場的作業效率，因此，預期此種耗能機具將會因燃油費用過高而被淘汰。
5. 本文研究對於人工操作之貨櫃碼頭機具諸多著墨，並未對全自動化碼頭的作業效能未有深入的評估，但可以預見無論是自動化機具(Auto Crane)或是全方位的自動化管檢站(Auto Gate)，櫃場自動化是未來因應港埠現代化與船舶大型化必定發展的方向。惟因全自動化頭還在發展階段，實際的案例並不多見，各自動化碼頭的營運方式也多所分歧，歐洲模式與亞洲模式現存著太大的差異，上海振華港機公司新推出的全自動化碼頭觀念，更是革命性的改變，學術研究在這塊領域上應有很大的發展空間。
6. 貨櫃櫃場自動化的管理理念與現今的管理模式有著很大的差異，目前這一區塊之軟、硬體學術研究還有很大的分析題材，特別是兩者的差異性以及 TOS 管理系統如何應用於自動化作業，以提昇櫃場作業效能等課題。

參考文獻

1. 夏力生, “港務管理及棧埠經營”, 台北: 翠柏林企業, 增訂版, 1998。
2. 林光、張志清, “海運學”, 台北: 航貿文化, 七版, 2006。
3. 邱盛生、倪安順及楊啓宏, “應用DEA/AR模式評估港埠經營效率之研究—以基隆、台中及高雄三港為例”, *運輸計畫季刊*, 第35卷, 第四期, 頁355-378, 2006。
4. 陳榮聰, “航商對台灣三大國際商港港埠條件滿意度調查研究”, 國立交通大學/交通運輸研究所/碩士論文, 1992。
5. 倪安順, “亞洲地區國際商港港埠競爭力與效率調查之研究”, *海運月刊*, 124期, 1996。
6. 黃文吉, “臺灣地區貨櫃沿海轉運之研究”, 交通處港灣技術研究所, 1997。
7. 張徐錫, “東亞地區主要貨櫃港 SWTO 分析量化模型構之研究”, 國立海洋大學河海工程學系研究所碩士論文, 2000。
8. 鄭景怡, “貨櫃裝卸作業與岸肩載運機具指派之研究”, 國立台灣海洋大學航運管理研究所碩士論文, 2003。
9. Roll, Y. and Hayuth, Y., “Port Performance Comparison Applying Data Envelopment Analysis (DEA)”, *Maritime Policy and Management*, Vol. 20, No. 2, pp. 153-161, 1993.
10. Martinez Budria, E., R. Diaz Armas, M. Navarro Ibanez and T. Ravelo Meas, “A Study of the Efficiency of Spanish Port Authorities Using Data Envelopment Analysis”, *International Journal of Transport Economics*, Vol. 2, pp. 237-253, 1999.
11. Preston, P. and Kozan, E., “An Approach to Determine Storage Locations of Containers at Seaport Terminals”, *Computer & industrial engineering*, pp. 983-995, 2000.
12. Tongzon, “Efficiency Measurement of Selected Australian and Other International Ports Using Data Envelopment Analysis”, *Transportation Research Part A: Policy and practice*, Vol. 35, No. 2, pp.113-128, 2001.
13. Song, D. W., Cullinane, K. P. B, and Wang, T., *An Application of DEA Window Analysis to Container Port Production Efficiency*, In International association of maritime economists annual conference, 2003.
14. Barros, C. P., “The Measurement of Efficiency of Portuguese Seaport Authorities with DEA”, *International Journal of Transport Economics*, Vol. 30, pp. 335-354, 2003.
15. Park, R., “An Alternative Approach to Efficiency Measurement of Seaport”, *Maritime Economic & Logistics*, Vol. 6, pp. 53-60, 2004.

16. Barros, C. P. and Athanassiou M, “Efficiency in European Seaport with DEA: Evidence from Greece and Portugal”, *Maritime Economic & Logistics*, Vol. 6, pp. 122-140, 2004.
17. Cullinane, K. P. B., Song, D. W., Ji, P. and Wang, T. F., “An Application of DEA Windows Analysis to Container Port Production Efficiency”, *Review of Network Economics*, Vol. 3, No. 2, pp. 186-208, 2004.
18. Kim, K. H., Kim, K. W., Hwang, H and Chang, S. K., “Operator-scheduling Using a Constraint Satisfaction Technique in Port Container Terminals”, *Computer & industrial engineering*, pp. 373-381, 2004.
19. Cullinane, K. P. B., Song, D. W. and Wang, T. F., “The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency”, *Journal of Productivity Analysis*, Vol. 24, pp. 73-92, 2005.
20. Murty, K. G., Liu, J, Wan, Y. W. and Linn, R., “A Decision Support System for Operations in a Container Terminal”, *Decision Support System*, pp. 309-332, 2005.
21. Barros, C. P., “A Benchmark Analysis of Italian Seaport Using Data Envelopment Analysis”, *Maritime Economic & Logistics*, Vol. 8, pp. 347-365, 2006.
22. Cullinane, K., Wang T. F., Song, D. W. and Ji P., “The Technical Efficiency of Container Port: Comparing Data Envelopment Analysis and Stochastic Frontier Analysis”, *Transportation Researcher Part A*, Vol. 40, pp.354-374, 2006.
23. Rio L. R. and Macaca, A. C. G., “Analyzing the Relative Efficiency of Container of Terminals of Macros Using DEA”, *Maritime Economic & Logistics*, Vol. 8, No. 4, pp. 331-346, 2006.
24. 李選士、薛勝陽, “運用資料包絡分析法評估全球前 20 大貨櫃港埠經營績效之研究”, 國立台灣海洋大學 航運管理研究所, 2006。
25. 崔容石, “貨櫃碼頭機具結合生產性之模擬研究”, 韓國海洋水產月刊, 第 236 號, 2004。
26. 崔容石、河泰營, “知識經濟來模擬設計貨櫃碼頭之方案”, 韓國海洋政策研究, 第 30 卷, 第 1 期, 2006。
27. 鄧聚龍, “灰色系統理論與應用”, 台北: 高立圖書公司, 2000。
28. 張偉哲、溫坤禮、張廷政, “灰關聯模型方法與應用”, 台北: 高立圖書公司, 2000。
29. 溫坤禮、張簡士琨、葉鎮愷、王建文、林慧珊, “MATLAB 在灰色系統理論的應用”, 台北: 全華科技圖書股份有限公司, 2006。
30. 戴輝煌, “越洋航商在兩岸三地擇港因素與港口競爭力之評估”, 未出版之博士論文, 國立交通大學交通運輸研究所, 台北, 2006。

31. 戴輝煌、鍾彥妍，“以熵值法結合灰色關聯分析的理論探討 — 以華南地區貨櫃港口競爭力為分析個案”，中華民國第五屆十校聯盟航運物流學術研討會論文集，A1-43，ISBN 978-986-01-0764-7，成功大學，2007。