

從貨櫃航商之觀點評估 綠色航運績效指標

An Evaluation of Green Shipping Performance Indexes: Container Shipping Carriers' Viewpoints

丁吉峯 (Ji-Feng Ding)^①、程慶偉 (Chin-Wei Cheng)^②

摘要

本文係應用模糊層級程序分析法評估貨櫃航商綠色航運之績效指標，經由文獻之探討與專家意見，擬定一個包含六大構面與 18 項適用於綠色航運績效指標之層級結構，建構一個模糊層級程序分析法之運算模式，並配合專家問卷評估這些綠色航運績效指標。研究結果顯示，貨櫃航商綠色航運績效評估指標之最重要七項，分別為：「符合相關法規」、「經濟航線設計」、「設立船舶能源效率指標」、「是否達成航運合作效率目標程度」、「促進永續發展」、「使用新型船舶」及「符合船舶效能管理計畫」。除此之外，本文之研究結果可提供貨櫃航商評估綠色航運競爭力之參考。

關鍵字：貨櫃航商、模糊層級程序分析法、綠色航運績效指標

Abstract

This paper applies the fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) model to evaluate the performance indexes of green shipping practice for container shipping carriers in Taiwan. A hierarchical structure with six dimensions and eighteen green shipping performance indexes (GSPIs) was constructed according to literature review and experts' opinions. A FAHP algorithm model is proposed to evaluate

①* 通訊作者，長榮大學航運管理學系副教授；聯絡地址：71101臺南市歸仁區長榮路一段 396 號，長榮大學航運管理學系；E-mail: jfding@mail.cjcu.edu.tw。

② 長榮大學航運管理學系碩士。

the GSPIs based on the AHP experts' questionnaires. The results show that the top seven GSPIs for the container shipping carriers are "compliance with the related regulations", "economical route design", "set-up of energy efficiency design index (EEDI)", "the degree of shipping collaboration efficiency", "promotion of sustainable development", "usage of newly-built ships", and "compliance with the ship efficacy managerial plan (SEEMP)". In the end, the references to evaluate the green shipping competence for container shipping carriers are provided.

Keywords: Container shipping carrier, Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP), Green shipping performance indexes (GSPIs).

壹、前言

自從十八世紀中葉英國發起工業革命以來，製造業廣泛地使用煤與石油等天然能源，進而以機器作業取代人力作業活動，最後達到快速生產的效果。隨著生產效能快速增長，全球貿易也因專業分工與比較利益而更加地蓬勃發展，隨之而來的運輸需求³亦充分反應出世界貿易的榮景。雖然全球貿易的快速發展造就經濟的起飛，然而，就永續發展 (Sustainable Development) 之概念而言，過度的使用與開採資源，相對地也造成環境品質的惡化，因此永續發展的概念乃被世界各國學者與媒體提出討論，期望藉由相關的政府政策與措施之引領，以降低相關污染的發

生，進而產生友善的環境，並創造永續的綠色環境 (Green Environment)。

全球貿易的運輸主要是透過海洋運輸的航運服務方式，可見航運服務在全球經貿之發展過程中扮演著重要角色。復以，目前為環境保護意識抬頭的時代，環保已成為全世界必須共同面對的課題，而航運服務在海洋運輸中自然無法免除於環保課題之外 (Corbett et al., 2009)。楊正行 (2010) 認為：若從每延噸公里計算，航運為最具能源效率與對環境最友善的運輸工具，且海運為最具碳效率 (Carbon-Efficient) 的一種運輸方式。因此，從環境績效 (Environment Performance) 之角度探討綠色航運⁴ (Green Shipping) 之議題便成為重要的研究課題之一。

³ 運輸需求係有別於終端需求 (例如上班、上學、購物、休閒娛樂等) 的一種引申需求 (derived demand)，這種需求本身僅為達成目的的一種手段。

⁴ 楊正行 (2010) 認為綠色航運為：「航運在生產或營運的過程中，基於環保考量，透過科技或操作管理，以更為潔淨的生產或營運機制 (cleaner production or operations)，力求資源使用上的節約以及污染的減少，即可稱其為綠色航運」。

傳統上，許多組織企業除了必須符合一般的生產規範之外，在節能減碳之政策規範下，為利產業永續發展，組織企業亦必須符合綠色環保之規範，以利組織整體績效之提升。尤其該產業若高度涉及國際化，則該產業對於國際綠色環保規範亦必須相對的高度遵守。航運為一個高度國際化的產業，航運企業早已習慣遵守國際規範，且早在 50 年代左右，也已見相關國際環保的相關規範。例如「1954 年防止海上油污染國際公約 (International Convention for the Prevention of Pollution of the Sea by Oil 1954, OILPOL 1954)」、「關於 1973 年防止船舶污染國際公約之 1978 年議定書 (Protocol of 1978 Relating to the International Convention for the Prevention of Pollution From Ships 1973, MARPOL 73/78)」，可見海運在 60 年前已約略進行環境保護之規範。除此之外，相關的國際公約尚包括：「1974 年海上人命安全國際公約之 1978 年議定書 (Protocol of 1978 Relating to the International Convention for the Safety of Life at Sea 1974, SOLAS 74/78)」，以防止船舶或環境遭受損害；「國際安全管理章程 (International Safety Management, ISM code)」，提供一個船舶污染預防和安全管理之國際標準，且在 1994 年通過納入 SOLAS 第 IX 章中，要求所有航商必須達到規定才能進行運送；各國為保護海上人命安全與防止海洋及海

域遭受污染，因而實施「港口國管制 (Port State Control, PSC)」，以嚴格監控所有進出港船舶是否達到管制標準。

Corbett et al. (2009)、Psaraftis and Kontovas (2010)、Lai et al. (2011) 認為綠色供應鏈必須達到企業、社會及環境三贏才能成為綠色永續供應鏈，然而成為綠色永續供應鏈非單一企業可以獨力完成，還需要供應鏈產業中的相關業者合作，才能達成綠色永續供應鏈。因此，許多學者 (楊正行，2010；顏思綺，2010；邱永芳等人，2011；蕭再安，2011；Corbett et al., 2009；Psaraftis and Kontovas, 2010；Lai et al., 2011) 認為綠色供應鏈應由社會及企業之觀點向外延伸到各個綠色過程的環節，而供應鏈中所涉及到的各個環節，各企業必須緊密結合，俾使整個供應鏈系統和管理機制能夠達到環境、社會及經濟等方面的平衡。Lai et al. (2011) 認為航運為運輸供應鏈的一部分，因此環保運輸不能僅侷限於海運事業，就綠色航運而言，其係以海運為中心，且向外延伸的供應商均要實施環保規範，以期達成綠色供應鏈。朱俊謀 (2007) 認為建立足以長久因應之綠色供應鏈管理模式，才能迎接接踵而來的綠色挑戰。因此，海運業已不再只有經貿運輸的功能，其實更具有環境保護的意義，甚且是一種企業社會責任，而海運業未來朝綠色永續發展，乃是必然的一種趨勢。

楊正行 (2010) 根據國際海事組織 (International Maritime Organization, IMO) 之研究報告認為國際海運排放的溫室氣體約占全球的 2.7%，而貨櫃船排放之二氧化碳在各種海運運具中的比重最高。除此之外，航商實施綠色航運之效益可有效減少二氧化碳等溫室氣體之排放，進而降低全球暖化而造成巨大的經濟損失、促進環境及生態保護，以達航運永續發展之目標。因此，本文將以貨櫃航商之綠色航運作為主題。復以，Lai et al. (2011) 認為將綠色供應鏈之概念導進貨櫃航商，將使貨櫃航商開始對綠色環境議題產生回應，進而透過推行綠色航運實務 (Green Shipping Practices)，以綠化其航運作業活動。Lai et al. (2011) 認為實施綠色航運，可減少污染物排放、減少燃料消耗、提升營運效率、提升社會責任及提升公司競爭力。然而，貨櫃航商如何評估航商回應綠色航運環境之程度，進而評量其綠色航運績效 (Green Shipping Performance)，及是否具有綠色航運競爭力 (Green Shipping Competence)，實為一重要研究課題。

由於評估貨櫃航商之綠色航運績效涉及許多評估構面與評估準則，例如公司政策與程序、航運文件、航運設施與設備等等的評估構面，其所涵蓋之研究範圍及層次甚廣且複雜。而層級程序分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) (Saaty, 1980) 是一套將複雜問題系統化的決策方法，主要應用在不確定情況以及具有多屬

性的決策問題上。然而在實務中，由於選擇準則問題的質化性，以及評估人員對於問題主觀認定所隱含的模糊性，因而很難以精確的數值加以表達出準則的重要性。因此，本文擬應用模糊集合理論 (Fuzzy Set Theory) (Zadeh, 1965)，並以 AHP 法為基礎，進而構建模糊層級程序分析法 (Fuzzy Analytic Hierarchy Process, FAHP)，以作為貨櫃航商評估綠色航運績效的主要模式。準此，本文之主要目的係應用 FAHP 法評估貨櫃航商實施綠色航運績效之指標 (Green Shipping Performance Indexes)，冀期本文結果可提供未來貨櫃航商評估綠色航運競爭力之參考。

本文架構共分五節。除本節外，第二節回顧相關文獻，第三節簡介研究方法，第四節進行實證分析。最後，在第五節提出結論與建議。

貳、文獻回顧

2.1 綠色航運之重要性

綠色的定義眾說紛紜，如資源回收、節約能源、降低污染等均可以稱為綠色。而目前世界公認對永續發展概念的定義源於 1987 年「世界環境與發展委員會」 「我們共同的未來」報告中提到：所謂永續即既能滿足我們現今的需求，又不損害子孫後代能滿足他們需求的發展模式 (朱

俊謀，2007)。我國環保署對於永續的定義為：

1. 要能滿足當代的需求，同時不損及後代滿足本身需求的能力，亦即在提升和創造當代福祉的同時，不能以降低後代福祉為代價。
2. 以善用所有生態體系的自然資源為原則，不可降低其環境基本存量，亦即在利用生物與生態體系時，仍須維持其永遠的再生不息。

由於工業革命之後，世界經濟發展快速，伴隨而來的是大量的環境污染與生態破壞，例如：溫室效應、水污染、臭氧層破壞、生物絕種及可用能源快速消耗。依據聯合國報告指出：在 2007 年，全球十大自然災害中有九件是因氣候異常所引起，全球暖化的問題已迫在眉睫，因此許多國家開始重視環境生態保育的重要性。然而，造成這些污染的最大原因是交通工具在運送時所排放出的廢氣，且楊正行 (2010) 曾提及：全球 75% 的貨物係經由水運運送，故航商對於綠色與永續的議題，將首當其衝。而 Lai et al. (2011) 提到：為了要實施綠色航運，許多航商 (如 CMA-CGM、Yang Ming Line、Maersk Line 等) 已開始重視綠色航運實務。而綠色航運實務為航運業在運送時所做的環境管理實務，主要目的在於減少貨物運送及貨物裝卸時的能源浪費。且實施綠色航運實務不但可以增加公司的競爭力，更可以保護環

境達到永續發展。因此航運業陸續出現了許多綠色與永續發展的議題。

2.2 綠色航運績效指標之研擬

目前國內研究鮮少針對綠色航運績效指標進行研究。目前相關的綠色運輸文獻，主要包括綠色運輸 (Green Transport) (陳煜學，2010；蕭再安，2011)、綠色物流與供應鏈 (Green Logistics and Supply Chain) (桑國忠、呂錦山，2007；楊正行，2010；Beamon, 1999；Murphy and Poist, 2000；2003) 及綠色港埠 (Green Port) (顏思綺，2010；賴怡均，2010；邱永芳等人，2011；吳榮貴，2011) 居多。因此，為利於綠色航運績效指標之研擬，本文擬由綠色運輸、綠色物流與供應鏈及綠色港埠等相關文獻作為研究綠色航運績效指標之延伸與啟發。

在綠色運輸方面，蕭再安 (2011) 提及廣義的綠色運輸指的是對環境衝擊較輕微的運輸方式，有助於運輸系統朝向更環保的方向發展皆可稱之，例如使用環保車輛、汽車共乘、空間節約、高燃料效率等。陳煜學 (2010) 提及綠色運輸係以環境永續發展為基礎，使用低污染或零污染能源的運輸系統，但廣義來說綠色運輸系統係基於環境永續之前提下，使用具有溫室氣體減量效果且能源密集度及污染密度低運具之運輸系統。

Beamon (1999) 認為綠色供應鏈管理是除了充分整合、擴展傳統供應鏈的要素外，還需另外建構一個半封閉的循環，包括產品及包裝的回收、再使用及再製造的作業。而整個運輸活動為一條供應鏈，為了達到高運輸效率及低運輸污染就必須採取運輸供應鏈管理，因此整個綠色運輸必須採取綠色供應鏈管理來達成目的。楊正行 (2010) 提及綠色供應鏈廣義上指的是要求供應商之產品或服務應符合環境相關管理，亦即將環保原則納入供應鏈管理機制，如 IKEA 提出以環境為訴求的採購方案、績效評估過程，讓所有或大部分的供應商遵循。桑國忠、呂錦山 (2007) 認為綠色供應鏈管理旨在提倡供應鏈夥伴之間的效率與綜合效能，以增進環境的績效、最小化的浪費及達到成本的節省。

以綠色港埠而言，邱永芳等人 (2011) 及 Dodridge (2011) 認為港口以環保發展、生態發展及永續發展的目標作為港埠經營趨勢，並積極促進平衡環境挑戰與經濟需求的總體目的，謂之綠色港口。顏思綺 (2010) 認為達到海洋生物保育、港口污染防治、港口環境美觀及節能減碳才可稱為生態港 (Eco Port)。吳榮貴 (2011) 以國外綠色港埠規劃作為案例 (如美國長堤港港務局)，共提出了五大指導原則來成為綠色港埠，分別包括：(1) 保護社區免於港埠作業所帶來的環境影響；(2) 使港埠成為最遵循環境法規的領導者；(3) 促進永續經營；

(4) 採用最佳技術以防範或減輕環境影響；及 (5) 從事社區教育活動。賴怡均 (2010) 提及港口在國家經濟發展扮演著重要的角色，且近年來擁有高環境品質的港口逐漸成為航商選擇泊靠的影響因素之一。因此，他們提出綠色港埠衡量指標分為空氣、水、噪音、廢棄物土壤等各方面來著手。

綜合上述學者之論點，本文試圖綜整相關綠色運輸指標，主要包括減少在運送和裝卸時能源的浪費、使用智慧型運輸系統、實施逆物流、減少碳排放、使用新型低污染運具營運、整合運輸流程、使用高效率之運輸方式、採取策略合作、以環保及永續為發展目標、實施社會教育、實施環境美觀及文件電子化。其中 Lai et al. (2011) 所提出之指標大致涵蓋其他學者之指標，故本文將以 Lai et al. (2011) 所提出之指標作為本文之研究構面。

Lai et al. (2011) 認為海上貨物運送是個長期的運輸活動，因為其單位運送成本低廉，故國際間大量的貨物運送均以海運為主，但也造成長期的運輸污染，故海運業必須藉由實施綠色航運實務來減輕對於環境的破壞。綠色航運實務的主要目的希望在經濟發展與環境保護兩者間取得平衡點 (Psaraftis and Kontovas, 2010)，同時也可因採取環保措施而提升社會形象；實施綠色航運實務可能會增加營運上的成本，但相對的可以提高公司在航運業中的

競爭力及減少環境上的污染，故 Lai et al. (2011) 提出六大項 GSPIs 來評估航商是否達到綠色航運實務的標準。然而，本文認為此六項構面僅將綠色航運實務做一般性之介紹，其並未將綠色航運績效評估指標完整地呈現出來，故本文將以此六項構面

為基礎，進而針對各構面內之各項內容重新說明，並增加本研究之觀點。準此，本文初步綜整貨櫃航商綠色航運績效之評估構面、評估指標、指標描述及參考文獻，歸納如表 1 所示。

表 1 初擬貨櫃航商綠色航運績效指標

構面	評估指標	指標描述	參考文獻
公司政策和程序 (C ₁)	符合相關法規 (C ₁₁)	貨櫃航商必須遵行 IMO 之規定，方可進行貨物運送，如 ISO 認證、SOLAS 規範。通過 ISO 國際認證，可以證明該公司為公認的環保企業，並提高公司的競爭力。	高明瑞等人 (2008)、顏思綺 (2010)、邱永芳 (2011)、蕭再安 (2011)、Porter and van der Linde (1995)、Murphy and Poist (2000; 2003)、Dodridge (2011)、Lai et al. (2011)
	推動綠色管理 (C ₁₂)	推動綠色管理可以在外部樹立優良企業之形象，更可以提升公司附加價值，但必須隨時做監控以及評估是否達到管理的效果，才不會造成資源之浪費。	
	促進永續發展 (C ₁₃)	永續發展目前已成為各跨國企業和國際商港營運的努力目標，國際航商邁向企業永續發展，可以提升公司的社會地位，更可以成為國際的優良企業。	
航運文件 (C ₂)	資訊科技與資訊系統完備程度 (C ₂₁)	資訊科技為公司現代化的指標，其中包括軟體資訊系統與硬體資訊設備。因此公司資訊科技化程度愈高，與同業的競爭力就愈高。	林秀青 (2004)、蕭再安 (2011)、Bovet and Martha (2000)、Lai et al. (2011)
	航運電子文件整合與應用程度 (C ₂₂)	在航運流程中使用的文件繁多，如提單、綜合運輸文件、貨物到港通知書等。若將航運文件整合，達到規格統一並電子化，將可增加文件處理速度及減少紙張的浪費。如 MAERSK 推行的 EDI 系統即為「航運電子文件整合與應用程度」之最佳釋例。	
	航運鏈電子文件普及化程度 (C ₂₃)	為達到前項整合之目的，航運供應鏈之各公司都必須提高使用電子文件之普及化。而航運鏈電子文件之普及化不僅可以大量減少紙張使用，還可增加貨物的處理及流通速度，同時達到節省成本與環境保護的效果。	
航運設備 (C ₃)	使用綠色貨櫃程度 (C ₃₁)	貨物的運送需要使用大量的貨櫃，故使用環保型貨櫃的程度愈高，降低貨櫃製造與使用時所造成的污染程度愈高。如 MAERSK 使用竹製貨櫃及新型冷凍櫃。	邱永芳等人 (2011)、Murphy and Poist (2000; 2003)、Lai et al. (2011)
	使用綠色碼頭頻率 (C ₃₂)	世界各大港口紛紛建設綠色碼頭，代表泊靠綠色碼頭將成為未來航運之趨勢。故航商使用綠色碼頭之頻率，會影響營運成本和社會形象。	
	使用綠色倉儲程度 (C ₃₃)	航運經營每日須處理大量的貨物，因此倉儲為非常重要的一環。美國長堤港之港埠建設中，就提到綠色倉儲的使用可以降低能源需求。	
	使用綠色運具比率 (C ₃₄)	在航運活動上，運具排放污染物的比例最高，例如路上之卡車、港區之搬運機具。若大量使用綠色運具，航運公司將能有效地減少碳排放，而對於未來實施碳稅制度，也有相當大的幫助。	

表 1 初擬貨櫃航商綠色航運績效指標 (續)

構面	評估指標	指標描述	參考文獻
航運合作 (C ₄)	是否達成航運合作效率目標程度 (C ₄₁)	貨櫃航商在運送過程中會與許多航運夥伴合作，如承攬業、貨櫃集散站經營業等。選擇高效率的夥伴較能有效降低能源及資源的消耗。	江鎮宇 (2009)、楊正行 (2010)、吳榮貴 (2011)、Lai et al. (2011)
	是否達成航運合作策略目標程度 (C ₄₂)	貨櫃航商內部規劃航運運送策略後，將選擇相同策略的合作夥伴，以提升運送效率，並達到公司訂定策略的目標。	
	是否達成航運合作資源目標程度 (C ₄₃)	資源的共享能有效降低投資的成本，並且增加資源的使用效率，以提升各公司間的合作及彼此的競爭力。	
航運物料使用效率 (C ₅)	設立船舶能源效率指標 (EEDI) (C ₅₁)	為 IMO 提出解決環境問題的方法之一，從 2013 年開始，對於所有總噸位達 400 噸以上之新型船舶，包括：油輪、散裝船、雜貨船、冷凍貨船與貨櫃船，規範以上船舶必須遵照航行速度的規定、引擎效率應達到碳排放量降低 10% 的規定。	張瀞之、王志敏 (2010)、Lai et al. (2011)、IMO
	符合船舶效能管理計畫 (SEEMP) (C ₅₂)	為 IMO 近期提出解決環境問題方法之一，該組織設計出一套評估方式，能幫助船舶所有人監控其船舶在能源使用上之效率，並減少污染物的排放。	
航運規劃與承諾 (C ₆)	使用新型船舶 (C ₆₁)	船舶為海上運送之主軸，而新型船舶之建造使用大量的綠色建材，並且裝載新式引擎，可增加燃油使用效率、降低污染物排放，達到 IMO 所規定之污染物排放標準。	Murphy and Poist (2000; 2003)、Lai et al. (2011)
	經濟航線設計 (C ₆₂)	貨櫃航商考慮貨源、油耗和季節等因素後，規劃出最佳航線，用以增加運送效率並降低能源消耗。	
	廣泛使用綠色航運材料 (C ₆₃)	在航運過程中所有的運用器材，皆應廣泛使用綠色材料製成之器具，不僅可以促進逆物流的實施，更可以達到資源再利用並降低環境的破壞。	

參、研究方法

本節擬針對本文所採用之研究方法與概念，做一扼要地介紹。

3.1 三角形模糊數

設 X 為一個事物的集合，則稱 X 為字集合 (Universal Set)。對字集合 X 及定義在其上的函數 $f_A : X \rightarrow [0, 1]$ 而言，集合 $A = \{x, f_A(x) \mid x \in X\}$ 稱為 X 上的模糊子集合 (Fuzzy Subset)， $f_A(x)$ 稱為 x 在 A 中的隸屬

度 (Grade of Membership)， $f_A(x)$ 稱為 A 的隸屬函數 (Membership Function)。 $f_A(x)$ 的值愈接近於 1，則表示 x 在 A 中的隸屬度愈高。若有一模糊數 A (Dubois and Prade, 1978)，假設它的隸屬函數 $f_A : X \rightarrow [0, 1]$ ，即

$$f_A(x) = \begin{cases} (x - c)/(a - c), & c \leq x \leq a \\ (x - b)/(a - b), & a \leq x \leq b \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

式中 $-\infty < c \leq a \leq b < \infty$ ，則稱此模糊數為三角形模糊數 (Triangular Fuzzy Number)。

根據 Zadeh(1965) 的擴展法則 (Extension Principle)，假設 $A_1 = (c_1, a_1, b_1)$ ， $A_2 = (c_2, a_2, b_2)$ ，則下列之模糊運算式恆為真：

- (1) $A_1 \oplus A_2 = (c_1 + c_2, a_1 + a_2, b_1 + b_2)$
- (2) $A_1 \ominus A_2 = (c_1 - b_2, a_1 - a_2, b_1 - c_2)$
- (3) $k \otimes A = (kc, ka, kb)$, $k \geq 0, k \in R$,
 $A_1 \otimes A_2 \cong (c_1c_2, a_1a_2, b_1b_2)$ ，若 $c_1 \geq 0$ 且 $c_2 \geq 0$ 。
- (4) $A_1 \oslash A_2 \cong (c_1/b_2, a_1/a_2, b_1/c_2)$ ，若 $b_2 > 0, b_2 \neq 0, c_1 \geq 0, c_2 > 0, c_2 \neq 0$

3.2 模糊層級程序分析法 (FAHP)

本文之 FAHP 主要引用徐村和 (1998) 及 Ding (2006) 之做法。茲將本文 FAHP 之步驟扼要敘述如下：

步驟一：建立層級結構

本文以圖 1 為層級結構圖，在此架構中，第 L 層為問題，亦即獲取貨櫃航商各項綠色航運績效指標；第 $L + 1$ 層為綠色航運績效的 k 個評估構面；第 $L + 2$ 層為

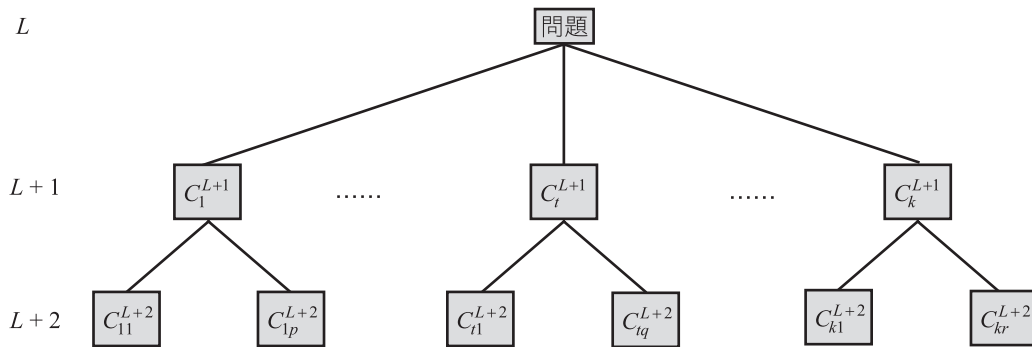


圖 1 層級結構圖

各項構面下之 $p + \dots + q + \dots + r$ 個主要評估指標。

步驟二：建立明確值成對比較

藉由成對比較問卷以獲取專家對兩評估指標之相對重要性之看法。

- (1) 設 x_{ij}^h 為專家 $h, h = 1, 2, \dots, n$ 在第 $L + 1$ 層級中任兩個評估構面 i, j 之相對重要性之看法，則在第 $L + 1$ 層級中之成對比較矩陣 (Pairwise Comparison Matrix) 為 $[x_{ij}^h]_{k \times k}$ 。

- (2) 設 x_{ij}^h 為專家 $h, h = 1, 2, \dots, n$ 在第 $L + 1$ 層之某評估構面 $C_1^{L+1}, C_t^{L+1}, C_k^{L+1}$ 下，其所對應之第 $L + 2$ 層級中任兩個評估指標 u, v 之相對重要性之看法，則該評估構面 $C_1^{L+1}, C_t^{L+1}, C_k^{L+1}$ 所對應之第 $L + 2$ 層中之成對比較矩陣分別為 $[x_{uv}^h]_{p \times p}, [x_{uv}^h]_{q \times q}, [x_{uv}^h]_{r \times r}$ 。

步驟三：建立三角形模糊數 (以幾何平均數整合專家之意見)

徐村和 (1998) 以決策成員對某一評選

準則之評比值的的最小值當作三角形模糊數的下界，而以評比值的最大值，當作三角形模糊數的上界，並以所有評比值的幾何平均數，當作三角形模糊數隸屬度為 1 的數值。

設

$$x_{ij}^h \in [\frac{1}{9}, \frac{1}{8}, \dots, \frac{1}{2}, 1] \cup [1, 2, \dots, 8, 9]$$

為專家 $h, h = 1, 2, \dots, n$ 在第 $L + 1$ 層級中任兩個評估構面 $i, j, \forall i, j = 1, 2, \dots, k$ 之相對重要性之看法， $\tilde{A}_{ij}^{L+1} = (c_{ij}, a_{ij}, b_{ij})$ 為所有 n 個專家在第 $L + 1$ 層級中整合後之三角形模糊數，式中

$$\begin{aligned} c_{ij} &= \min\{x_{ij}^1, x_{ij}^2, \dots, x_{ij}^n\}, \\ a_{ij} &= \left(\prod_{h=1}^n x_{ij}^h\right)^{1/n}, \\ b_{ij} &= \max\{x_{ij}^1, x_{ij}^2, \dots, x_{ij}^n\} \end{aligned}$$

同理，在第 $L + 2$ 層中，整合後之三角形模糊數為 $\tilde{A}_{uv}^{L+2} = (c_{uv}, a_{uv}, b_{uv}), \forall u, v = 1, \dots, p; \dots; \forall u, v = 1, \dots, q; \dots; \forall u, v = 1, \dots, r$ ，式中

$$\begin{aligned} c_{uv} &= \min\{x_{uv}^1, x_{uv}^2, \dots, x_{uv}^n\} \\ a_{uv} &= \left(\prod_{h=1}^n x_{uv}^h\right)^{1/n}, \\ b_{uv} &= \max\{x_{uv}^1, x_{uv}^2, \dots, x_{uv}^n\} \end{aligned}$$

步驟四：建立模糊正倒值矩陣

針對各層級所有專家之兩兩比較後的整合模糊數，建立一個模糊正倒值矩陣。就第 $L + 1$ 層級而言，其模糊正倒值矩陣

為

$$A = [\tilde{A}_{ij}^{L+1}] = \begin{bmatrix} 1 & \tilde{A}_{12}^{L+1} & \dots & \tilde{A}_{1k}^{L+1} \\ 1/\tilde{A}_{12}^{L+1} & 1 & \dots & \tilde{A}_{2k}^{L+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/\tilde{A}_{1k}^{L+1} & 1/\tilde{A}_{2k}^{L+1} & \dots & 1 \end{bmatrix},$$

where

$$\tilde{A}_{ij}^{L+1} \otimes \tilde{A}_{ji}^{L+1} \cong 1, \quad \forall i, j = 1, 2, \dots, k$$

同理，在第 $L + 2$ 層中亦可類推。

步驟五：計算模糊正倒值矩陣之模糊權重

就第 $L + 1$ 層級而言，設

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_i^{L+1} &\cong (\tilde{A}_{i1}^{L+1} \otimes \tilde{A}_{i2}^{L+1} \otimes \dots \otimes \tilde{A}_{ik}^{L+1})^{1/k}, \\ \forall i &= 1, 2, \dots, k \end{aligned}$$

為第 i 個評估構面之三角形模糊數的幾何平均數，則第 i 個評估構面之模糊權重可表示為

$$\tilde{W}_i^{L+1} \cong \tilde{Z}_i^{L+1} \otimes (\tilde{Z}_1^{L+1} \oplus \tilde{Z}_2^{L+1} \oplus \dots \oplus \tilde{Z}_k^{L+1})^{-1}$$

為符號表示方便計，三角形模糊數以

$$\tilde{W}_i^{L+1} = (w_{ic}, w_{ia}, w_{ib})$$

表示。同理，在第 $L + 2$ 層中亦可類推。

步驟六：將模糊權重解模

本文採用 Chen and Hsieh (2000) 所提出之最佳梯形模糊數代表值之隸屬度平均積分代表法 (Graded Mean Integration Representation Method) 來解模糊化，其理由係 Chen and Hsieh 之方法目前在解模糊化之過程中較為有效，且使用方便簡單。

令

$$\begin{aligned} \tilde{W}_i^{L+1} &= (w_{ic}, w_{ia}, w_{ib}) \\ \forall i &= 1, 2, \dots, k \end{aligned}$$

為 k 個三角形模糊權重，則解模糊化後之 k 個明確的權重值為

$$\begin{aligned} W_i^{L+1} &= \frac{w_{ic} + 4w_{ia} + w_{ib}}{6} \\ \forall i &= 1, 2, \dots, k \end{aligned}$$

同理，在第 $L+2$ 層中亦可類推。

步驟七：標準化

為方便比較各層級評估構面之相對重要性，擬將上述解模糊化後之 k 個明確權重值予以標準化 (Normalized) 為

$$NW_i^{L+1} = \frac{W_i^{L+1}}{\sum_{i=1}^k W_i^{L+1}}$$

步驟八：層級串連下各評估構面與指標之權重

設第 $L+1$ 層級、第 $L+2$ 層級之標準化後之明確權重值分別以

$$\begin{aligned} &NW_i^{L+1} (\forall i = 1, 2, \dots, k) \\ &NW_u^{L+2} (\forall u = 1, \dots, p; \dots; \forall u = 1, \dots, q; \dots; \\ &\forall u = 1, \dots, r) \end{aligned}$$

表示，則

(1) 第 $L+1$ 層級各評估構面權重仍為 NW_i^{L+1} 本身，亦即

$$HW_i^{L+1} = NW_i^{L+1}, \forall i = 1, 2, \dots, k$$

(2) 第 $L+2$ 層級之各評估指標權重分別為

$$\begin{aligned} HW_u^{L+2} &= NW_i^{L+1} \times NW_u^{L+2} \\ \forall i &= 1, 2, \dots, k; \forall u = 1, \dots, p; \dots; \forall u = 1, \dots, \\ &q; \dots; \forall u = 1, \dots, r) \end{aligned}$$

肆、實證分析

4.1 FAHP 分析說明

本問卷調查係針對貨櫃航商綠色航運績效指標之評估項目進行相對重要性評估，以便獲得綠色航運績效指標之排序。由於 Robbins (1994) 建議群體決策問題所需之專家人數應以 5~7 人為宜，因此本文之 FAHP 調查問卷乃透過陽明海運前董事長黃望修先生之引介，並研請國內外著名航商之專業高階經理人填寫本文之 AHP 專家問卷。本文發放問卷總數為 14 份，回收 13 份，有效問卷為 11 份 (6 位協理、4 位資深協理、1 位副總經理)。

經由有效問卷回收並將各專家之意見整合後，本文依據 FAHP 運算之步驟，最後求算出各層級串聯下之評估指標的相對權重，藉以瞭解各評估構面與評估指標間之相對重要性排序，統整最後之結果如表 2 所示。

表 2 評估構面與準則之權重與整合權重

評估構面	權重 (A)	評估指標	權重 (B)	整合權重 (C) = (A) × (B)
公司政策和程序	0.278(1)	符合相關法規	0.579(1)	0.1610(1)
		推動綠色管理	0.191(3)	0.0531(8)
		促進永續發展	0.230(2)	0.0639(5)
航運文件	0.082(6)	資訊科技與資訊系統完備程度	0.459(1)	0.0376(14)
		航運電子文件整合與應用程度	0.323(2)	0.0265(17)
		航運鏈電子文件普及化程度	0.218(3)	0.0179(18)
航運設備	0.158(4)	使用綠色貨櫃程度	0.215(3)	0.0340(15)
		使用綠色碼頭頻率	0.336(1)	0.0530(9)
		使用綠色倉儲程度	0.168(4)	0.0265(16)
		使用綠色運具比率	0.281(2)	0.0444(11)
航運合作	0.162(3)	是否達成航運合作效率目標程度	0.417(1)	0.0676(4)
		是否達成航運合作策略目標程度	0.259(3)	0.0420(13)
		是否達成航運合作資源目標程度	0.323(2)	0.0523(10)
航運物料使用效率	0.135(5)	設立船舶能源效率指標	0.540(1)	0.0729(3)
		符合船舶效能管理計畫	0.460(2)	0.0621(7)
航運規劃與承諾	0.185(2)	使用新型船舶	0.337(2)	0.0623(6)
		經濟航線設計	0.429(1)	0.0794(2)
		廣泛使用綠色航運材料	0.235(3)	0.0435(12)

註：權重數字後之括弧為排序。

由表 2 之資料顯示，貨櫃航商實施綠色航運績效指標之重要評選因素，主要包括：

1. 在評估構面方面，「公司政策和程序 (0.278)」為貨櫃航商認為實施綠色航運績效指標之最重要環節，其次，「航運規劃與承諾 (0.185)」被認為是第二重要的環節，而「航運合作 (0.162)」與「航運設備 (0.158)」兩者相差不多，分居第三、第四，「航運物料使用效率 (0.135)」為第五，最後「航運文件 (0.082)」則被認為是六者中較不重要的環節。
2. 就六大評估構面分屬之各評估指標而言：

- (1) 「公司政策和程序」中，「符合相關法規」為最重要的評估指標。
- (2) 「航運文件」中，「資訊科技與資訊系統完備程度」為最重要的評估指標。
- (3) 「航運設備」中，「使用綠色碼頭頻率」為最重要的評估指標。
- (4) 「航運合作」中，「是否達成航運合作效率目標程度」為最重要的評估指標。
- (5) 「航運物料使用效率」中，「設立船舶能源效率指標」為最重要的評估指標。
- (6) 「航運規劃與承諾」中，「經濟航線設計」為最重要的評估指標。

3. Daniel (1961) 認為大部分的產業都具有二至六項決定是否成功的關鍵要素，如果一個公司欲獲得成功，務必對這些要素做得特別好。就所有 18 項評估指標之整合權重觀之，本文之整合權重因第六項和第七項數值相差極小，故本文將採用七項關鍵評估指標。研究結果顯示，貨櫃航商實施綠色航運績效評估指標之最重要七項，分別為：「符合相關法規 (0.1610)」、「經濟航線設計 (0.0794)」、「設立船舶能源效率指標 (0.0729)」、「是否達成航運合作效率目標程度 (0.0676)」、「促進永續發展 (0.0639)」、「使用新型船舶 (0.0623)」及「符合船舶效能管理計畫 (0.0621)」。

4.2 討論

以下將針對本文結果之七項評估指標做一些討論，如下所述。

1. 符合相關法規：

由於人類為了經濟發展進而過度開發而導致環境污染，許多團體紛紛設立環保法規，以規範企業活動對於環境之危害。由於貨櫃航商為國際型態之事業，其營運必須符合 IMO 之規範和各地區的環保標準。現今亞洲、歐洲、美洲為世界三大貿易體系，貨櫃航商營運有必要遵守其所規範的環保規定或建議，如通過 ISO 認證 (ISO 認證中包含了公司管理方式及資源

運用和污染排放等)、通過 ISM Code 船舶安全管理系統認證等。若貨櫃航商在營運時，沒有符合國際法規之要求，輕則受到罰款，重則取消其貨物運送資格。貨櫃航商的經營主要就以貨物運送為營利方式，符合相關法規為非常重要的準則，因其不僅能確保公司得以順利營運及增加合作公司的信任，還能減輕營運時對環境的負擔。

2. 經濟航線設計：

貨櫃航商在船隊靠港的船期上須做嚴謹及長遠的規劃，在考慮貨源、油耗和季節及船型等航運成本因素。航運成本包含船舶時間成本、燃油成本與港埠成本，貨物存貨成本、等待時間成本與航運時間成本。葉書銘 (2012) 提到：設計經濟航線可節省運作成本、存貨少、節省運費、快速、有效的配送流程，可以增加其業務量，提高營運收入。故規劃出最經濟的航線，用以增加運送效率並降低能源消耗進而減少公司成本的支出。而大型國際航商在營運時會有大量的船舶實施運送，故設計出最經濟的航線不僅能節省公司營運成本，更能降低船舶航行時的污染物排放以及燃油消耗。如：Maersk Line 自行研發系統來規劃出低營運成本、高運送效率的航線。

3. 設立船舶能源效率指標：

二氧化碳為影響氣候變遷的重要物質，其被視為一種對公眾健康造成間接影

響的空氣污染物，尤其石化燃料燃燒，產生大量二氧化碳吸收太陽輻射，過多的輻射使地球表面溫度上升，形成溫室效應，造成地球溫度上升，故環保團體開始重視運具在運送時所排放的溫室氣體議題。船舶能源使用上，有效率的使用燃料也為一種降低污染排放之方式。一直以來都只提倡節能、減速，然而節省多少能源、航行速度才稱為效率，均無確切的數值與指標作為評估。故 IMO 為了因應國際環保趨勢下，提出船舶能源效率指標 (EEDI)，此指標對於其規範為：從 2013 年開始，所有總噸位 400 以上之新型油輪、散裝船、雜貨船、冷凍貨船與貨櫃船，必須遵照航行速度的規定且引擎效率應達到碳排放量降低 10% 的規定，故貨櫃航商必須採用此評估指標用於檢視自我營運船隊是否有符合 IMO 所規範之標準，作為船隊採購及船隊營運模式之選擇用途。

4. 是否達成航運合作效率目標程度：

江鎮宇 (2009) 提到，現今的企業已經花許多精力在產品運輸上，而運輸的成本占總成本的比例最高，又為了達到綠色法規因素必須再花成本投入在綠色物流倉儲中，使得成本負擔增加，故本文認為，在運輸供應鏈中必須尋找合作夥伴，以降低投入成本並且達到專業化及效率化的運輸鏈。而企業合作的好處有：可以增加各方的收益、透過企業合作創造和開拓新市場、加速產品開發及投入市場速度、促進資源的運用及增加彼此競爭力。在整個運

輸活動中，貨櫃航商的運輸活動只為整體運送鏈中的一環，故貨櫃航商必須尋找其運輸鏈中合作之夥伴以提升整體運送效率。然而如何挑選夥伴為一重要課題，公司必須尋找有效率的合作夥伴，以減少資源浪費，再者，尋找航運合作資源能夠共享之夥伴，用以減少運輸活動中成本之投入，除了可以減少不必要的資源浪費，更可以將資金作為其他政策之使用，以提升公司競爭力。

5. 促進永續發展：

「企業社會責任」(Corporate Social Responsibility, CSR) 也被稱為「企業公民精神」(Corporate Citizenship)，因為企業之經營與活動，其影響的不僅是企業整體，更會影響社會福祉的創造。而一個「永續發展」的企業，必定是一個能與其所處之環境和諧共處，並且致力於大環境永續發展的企業。陳勁甫、許金田 (2010) 提到：環境的變遷，經濟發展快速的變動，全球化已經是經濟發展的主流。企業在全球化的過程中，都必須為自我尋找角色定位。企業透過國際分工，以提升競爭力，除要顧及本身之經濟利潤外，也必須盡到企業責任，追求企業永續發展。永續發展目前已成為各跨國企業和國際商港營運的努力目標，國際航商邁向企業永續發展，不僅可以提升企業的社會責任，更可對大眾樹立優良形象與模範。此乃增加競爭力並減輕環境負擔之營運策略。

6. 使用新型船舶：

由於船舶都有其一定之使用年限，故航商均會建造新型船舶來汰換老舊船舶。而新型船舶對於航行上的安全性相較高於老舊船舶，在引擎效率方面也都使用最新科技，以符合低污染排放係數且高燃燒效率，在節省燃油及低污染物排放均優於老舊船舶。陳宇琦 (2008) 提到：以長榮海運為例，長榮海運 S 型船，是以綠色船舶設計概念打造之巴拿馬極限型全貨櫃輪船，船舶上建構之所有硬體設施均符合世界各國對環保的最高標準及規範，其設計曾獲得勞氏亞洲海運獎之「年度最佳船舶」。故貨櫃航商使用新型船舶，不僅能夠降低環境污染，更可以提升公司於國際之觀感，樹立優良企業之表率。

7. 符合船舶效能管理計畫：

根據歐盟在 2005 年的報告指出：商用運輸船舶在航行水域擔任貨物運輸暢流之任務，每一艘船舶每日所耗用的燃油多則百餘噸、少則數十噸。且近年來國際油價不斷攀升，故船舶使用效能已為一重要課題。而在如此大量的能源消耗下，IMO 提出應對環保議題方法提出「船舶效能管理計畫」，而標準面完備後，接下來在執行管理面上，需建立一套能源效率標示運作程序和機制，包括執行面所需之相關作業辦法、運作流程與管理程序。為提供船東或船舶經營者對於能源的規劃、實施、監督及自我評估準則來達到降低二氧化碳

排放的計畫。故貨櫃航商對於其船隊實施此項計畫，就可以有效監督其船隊之污染物排放，能有效率改善其船隊對於環境之影響。

伍、結論與建議

5.1 結論

國際上許多貨櫃航商紛紛開始實施綠色航運，以提高其航運競爭力，因此貨櫃航商如何回應綠色航運環境之程度，進而評量其綠色航運競爭力，實為一重要研究課題。為對綠色航運競爭力產生回應，貨櫃航商乃透過推行綠色航運績效，以綠化其航運作業活動。本文之主要目的係應用 FAHP 法評估貨櫃航商實施綠色航運績效之指標，冀期研究結果可提供未來貨櫃航商評估綠色航運競爭力之參考。

茲簡要敘述本文所獲得之研究結論如后：

1. 本文建構貨櫃航商實施綠色航運績效指標，包含六大評估構面及 18 項評估指標，包括：
 - (1) 公司政策和程序：包括「符合相關法規」、「推動綠色管理」及「促進永續發展」等三項評估準則。
 - (2) 航運文件：包括「資訊科技與資訊系統完備程度」、「航運電子文件整合程度與應用程度」及「航運鏈

電子文件普及化程度」等三項評估準則。

- (3) 航運設備：包括「使用綠色貨櫃程度」、「使用綠色碼頭頻率」、「使用綠色倉儲程度」及「使用綠色運具比率」等四項評估準則。
 - (4) 航運合作：包括「是否達成航運合作資源目標程度」、「是否達成航運合作策略目標程度」及「是否達成航運合作效率目標」等三項評估準則。
 - (5) 航運物料使用效率：包括「設立船舶能源效率指標」和「符合船舶效能管理計畫」兩項準則。
 - (6) 航運規劃與承諾：包括「使用新型船舶」、「經濟航線設計」和「廣泛使用綠色航運材料」等三項準則。
2. 透過專家問卷之回收，進而以 FAHP 進行綠色航運績效指標評估項目之重要性評估。本文發現貨櫃航商實施綠色航運績效評估指標之最重要七項分別為：「符合相關法規 (0.1610)」、「經濟航線設計 (0.0794)」、「設立船舶能源效率指標 (0.0729)」、「是否達成航運合作效率目標程度 (0.0676)」、「促進永續發展 (0.0639)」、「使用新型船舶 (0.0623)」及「符合船舶效能管理計畫 (0.0621)」。

5.2 建議

本文研擬下列幾點建議，以供後續研究再進一步之探討：

1. 由於本文之研究方向目前鮮少有學者研究類似之文章，綠色航運績效評估指標項目的建構上，僅參考過去學者對其他產業間相關文獻而擬定，並無貨櫃航商直接相關之文獻基礎或實務經驗，且本文僅由貨櫃航商之觀點出發來探究此一課題，並無考量產業鏈內公司是否有能力配合。
2. 本文建議未來研究可收集更新且適合於產業鏈間之相關文獻與實務經驗，並從不同觀點建構出各種評估構面與指標，讓整體評估架構之建立能更為完整、明確，俾使貨櫃航商能確實找出其實施之綠色航運績效指標。
3. 指標的建構宜考量周延、互斥、獨立等原則，本研究在指標的建構過程中，已經收集各方觀點，因此應該符合周延之要求。然而，六大指標以及各細項指標之間，在互斥、獨立等準則上，則還未盡周延。建議未來研究可更清楚討論各項指標之間的關係，俾符合指標建構之原則。除此之外，若各項指標間具有相依關係，則可採用網路程序分析法 (Analytic Network Process, ANP) (Saaty, 1996) 處理之。
4. 由於綠色航運為運輸永續發展的重要議題，永續發展可從環境、社會、經濟等

層面進行探討，本文僅由環境層面角度切入，未來研究可針對業者實施綠色航運效益、綠色航運產業在臺灣之重要性、或國家政策實施綠色航運等議題進行更深入之探討。

參考文獻

朱俊謀，2007，綠色供應鏈管理之環境績效指標研究，南華大學環境管理研究所碩士學位論文，嘉義縣。

江鎮宇，2009，演化演算法應用於結合正逆向物流之多目標區位網路設計問題之研究，淡江大學運輸管理學系碩士學位論文，新北市。

邱永芳、陸曉筠、李忠潘、陳陽益、薛憲文、吳濟華，2011，臺灣綠色港埠之發展，臺灣綠色港埠建置研討會論文集，1-1-1-21，臺中市。

吳榮貴，2011，綠色港埠發展規劃，臺灣綠色港埠建置研討會論文集，6-1-6-20，臺中市。

林秀青，2004，定期航商推行電子商務對顧客滿意度影響之研究，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文，基隆市。

徐村和，1998，模糊德菲層級程序法，模糊系統學刊，第4卷，第1期，59-72。

高明瑞、黃義俊、張乃仁，2008，企業智慧資本對環境績效之影響，環境與管理研究，第9卷，第1期，21-45。

桑國忠、呂錦山，2007，綠色供應鏈管理能力與績效關聯性之研究，兩岸三地航運與物流研討會論文集，757-778，臺北市。

陳宇琦，2008，船舶能源效率提昇之研究以船用電動機為例，國立臺灣海洋大學輪機工程學系碩士學位論文，基隆市。

陳勁甫、許金田，2010，企業倫理：內外部管理觀點與個案，前程文化事業公司，臺北市。

陳煜學，2010，環境態度影響綠色運輸策略支持度之研究，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士學位論文，基隆市。

張灝之、王志敏，2010，徵收碳稅對船舶減速與營運成本之影響評估，運輸計劃季刊，第39卷，第4期，441-460。

楊正行，2010，航運業在全球氣候變遷下提升綠色競爭力之研究，中華技術，第85期，40-51。

葉書銘，2012，海運承攬業發展多國併櫃之關鍵成功因素與行銷策略之研究，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文，基隆市。

賴怡均，2010，我國發展綠色港口措施之研究，國立臺灣海洋大學航運管理學系碩士論文，基隆市。

顏思綺，2010，我國生態港埠表現指標之建立與研究，國立高雄第一科技大學運籌管理系碩士學位論文，高雄市。

蕭再安，2011，綠色運輸環境建構，臺灣綠色港埠建置研討會論文集，2-1-2-15，臺中市。

- Beamon, B.M., 1999. Designing the green supply chain. *Logistics Information Management*, 12(4), 332-342.
- Bovet, D. and Martha, J., 2000. *Value Nets: Breaking the Supply Chain to Unlock Hidden Profits*, John Wiley & Sons: New York.
- Chen, S.H. and Hsieh, C.H., 2000. Representation, ranking, distance, and similarity of L-R type fuzzy number and application. *Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems*, 6(4), 217-229.
- Corbett, J.J., Wang, H.F. and Winebrake, J.J., 2009. The effectiveness and costs of speed reductions on emissions from international shipping. *Transportation Research Part D*, 14(8), 593-598.
- Daniel, R.D., 1961. Management information crisis. *Harvard Business Review*, 39(5), 111-121.
- Ding, J.F., 2006. Using fuzzy AHP to investigate key factors influencing the quality of service delivery system for port of Kaohsiung. *Advances in Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 63-81.
- Dodridge, R., 2011. Successful port planning and development with respect for the environment striking the balance. In *Proceedings of Green Port Development in Taiwan*, 1-1-1-21.
- Dubois, D. and Prade, H., 1978. Operation on fuzzy numbers. *The International Journal of Systems Sciences*, 9(6), 613-626.
- International Maritime Organization (IMO), Mandatory energy efficiency measures for international shipping adopted at IMO environment meeting. *Marine Environment Protection Committee(MEPC) - 62nd session: 11 to 15 July 2011*, <http://www.imo.org/MediaCentre/PressBriefings/Pages/42-mepc-ghg.aspx>.
- Lai, K.H., Lun, Y.H., Wong, W.Y. and Cheng, T.C.E., 2011. Green shipping practices in the shipping industry: conceptualization, adoption, and implications. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 631-638.
- Murphy, P.R. and Poist, R.F., 2000. Green logistics strategies: an analysis of usage patterns. *Transportation Journal*, 40(2), 5-16.
- Murphy, P.R. and Poist, R.F., 2003. Green perspectives and practices: a “comparative logistics” study. *Supply Chain Management: An International Journal*, 8(2), 122-131.
- Porter, M.E. and van der Linde, C., 1995. Green and competitive: ending the stalemate. *Harvard Business Review*, 73(5), 120-134.
- Psaraftis, N.H. and Kontovas, C.A., 2010. Balancing the economic and environmental performance of maritime transportation. *Transportation Research Part D*, 15(8), 458-462.

Robbins, S.P., 1994. *Management*, Prentice Hall Inc: New Jersey.

Saaty, T.L., 1980. *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill Companies: New York.

Saaty, T.L., 1996. *Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process*, RWS Publications: Pennsylvania.

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy set. *Information and Control*, 8(3), 338-353.

