

國立交通大學  
運輸與物流管理學系碩士班

碩士論文

國際貨櫃港埠之經營績效及環境效率  
評估與分析

Evaluation of Operational and Environmental  
Performances for International Container Ports

研究生：陳麒安

指導教授：黃家耀

中華民國一百零三年七月

國際貨櫃港埠之經營績效及環境效率評估與分析  
Evaluation of Operational and Environmental Performances for  
International Container Ports

研究生：陳麒安

Student：Chi-An Chen

指導教授：黃家耀

Advisor：Ka-Lo Wong

國立交通大學  
運輸與物流管理學系  
碩士論文

The logo of National Chiao Tung University is a circular emblem with a gear-like outer border. Inside the circle, there is a stylized representation of a building or a bridge structure. The text '1896' is prominently displayed in the center of the logo.

A Thesis  
Submitted to Department of Transportation and Logistics Management  
College of Management  
National Chiao Tung University  
in partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of  
Master  
in  
Logistics Management

June 2014

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 103 年 7 月

# 國際貨櫃港埠之經營績效及環境效率評估與分析

學生：陳麒安

指導教授：黃家耀副教授

國立交通大學運輸與物流管理學系碩士班

## 摘要

目前世界經濟活動正快速的發展，國際貿易日趨頻繁，各國之間的貨物流通以及商品貿易大多需藉由海上運輸來達成，港口之間的競爭亦十分激烈，各港口管理單位也積極提升自身港埠的競爭力，過去有許多研究針對港口間的生產力、競爭力進行港口效率的評估與探討；隨著環境保護的議題受到重視，港埠營運所生產的大量的汙染氣體排放不僅造成大環境的破壞也影響民眾健康，因此，在進行港埠績效評估時，應將港口的環境表現一同納入，來衡量港埠的效率。

本研究將評估與分析港口的經營效率及環境績效，當中的環境因素為港口因處理貨物運輸所產生的溫室氣體排放。由於目前對港口本身進行排放統計的港埠不多，亦無相關平台與組織對該方面進行統整，故藉由逐一查詢各貨櫃港埠的公開報告書，蒐集並彙整出各貨櫃港埠的溫室氣體排放量，針對資料完整性較佳的北美地區 9 個國際貨櫃港埠為研究對象，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，並選用考量非意欲產出的 SBM 模式對於北美 9 個國際貨櫃港埠進行環境效率的評估，藉由效率評分與排名了解目前各港口考量環境因素下的效率表現，利用差額變數分析了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。除了針對港埠考量環境因素下之效率進行評估外，也利用傳統的 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。另外，會將台灣 3 個主要港埠加入討論，針對北美 9 港口與台灣 3 個主要港口，高雄港、基隆港以及台中港，共計 12 個港口進行環境效率的分析，並對效率分析結果加以探討。

最後會針對被評為相對無環境效率的港口，分別對其主要排放源提出具體的減排方案，提供港口管理單位作為參考。

關鍵詞：效率評估、資料包絡分析法、國際貨櫃港埠、溫室氣體、環境效率

# Evaluation of Operational and Environmental Performances for International Container Ports

Student: Chi-An Chen

Advisor: Ka-Io Wong

Department of Transportation and Logistics Management  
National Chiao Tung University

## Abstract

With the rapid development of world trading, many of the cargos are transported by international shipping through ports. Ports compete with each other and port authorities are committed to improve the competitiveness of ports. Numerous studies have researched the productivity and operational efficiency of ports, but studies on environmental efficiency of ports are limited. Port releases huge amounts of air emissions, damaging the environment and affecting people's health. Therefore, when port efficiencies are estimated, the generated pollution should also be considered.

This study considers greenhouse gas emissions generated by ports as an undesirable output, and estimates the operational efficiency and environmental efficiency of ports simultaneously. Data sources are from 9 container ports in North America which have conducted detailed estimation of the greenhouse gas emissions and reported in Air Emission Inventory reports. On the methodology, Data Envelopment Analysis (DEA) approach has been applied to assess performances. The Slack-Based Model (SBM-DEA) capable for handling undesirable output is used to measure environmental efficiency of ports and also can able to capture slack values of greenhouse gas excess and input excess as well as output shortage. The CCR model and BCC model of DEA are also used to estimate the operating efficiency of ports. Then, we compare the result of environmental efficiency and operational efficiency of ports and check if the port with good performances on operational efficiency could get good performance on environmental efficiency. Finally, ports of Kaohsiung, Taichung and Keelung are included in the performance evaluation to realize their relative performances as compared with the North America ports. Policies implications and suggestions for reducing air emissions are also summarized

Keywords: Performance Evaluation, Data Envelopment Analysis, Container Ports,  
Greenhouse gas, Environmental Efficiency

## 誌謝

研究所在交大的這兩年終究要拉下簾子走到布幕之後，回憶起兩年半前還是大四的我，興沖沖的搭車來新竹尋找指導老師，當時真的很幸運先敲了 KILAB 的門，遇到了小 C、小傑，熱心的為我介紹每一位老師的風格與研究方向，我想緣分大概就是這樣產生的吧！讓我進入這個大家庭，在 KILAB 十分有學長姊照顧學弟的感覺，不論是學校生活大小事、吃外食、上課講義甚至考古題總有小 C、小傑、阿哲和朱志杰罩著，對於我的疑難雜症也是有問必答，分享很多寶貴意見，我真的覺得在這裡是過於幸福了，隨著我升上碩二，一切似乎有些不習慣，只能說你們真的是太重要啦！！碩二生活進入，一切又是新的挑戰，有了穎文、峻庭、胖子、Ca 張的 LAB 總是充滿娛樂性的嗆聲，論文之餘 LOL 也跟著開戰啦，要感謝峻庭、李威和胖子的提攜，Ca 張與之馨的教學相長，論文方面也感謝穎文為我論文指點明燈，位一路的徬徨多了份安心感。

在研究方面，十分感謝 Walter 老師兩年來的指導，給我半年去認識這個領域，讓我有幸能參與計畫案，與更多人共事，享受團隊合作的喜悅，更感謝整整一年的論文指導，多次的討論讓我學著深入思考，當然也不會忘記老師提點的人生道理，在老師身上我受益良多，回顧整個做論文的過程，快樂比煩悶多了很多。也十分感謝張宗勝與黃寬丞兩位口試老師，給我許多研究上的寶貴意見。

在完成研究所生涯的路上，相伴的人很多，老爸、老媽、老姐是不斷支持鼓勵我的最大推進器，邱哥、宗倫、小季、小佑是打球放鬆的好夥伴，王 LAB、姚 LAB 和韓 LAB 的各位是閒聊調劑身心以及討論作業的對象，感謝 Peter、邱哥、小鄧子、善善、政翰、小倩、小蔚、小怒、Linda、陸衡、思思還有很多很多雖然不是同 Lab 但總能給彼此很多關照的同學們，還由大學的老友謝承評、許卜元、熾哥、Suk、高遠雖然忙於自己的生活仍不忘關心我的近況。

對於我的好女友之馨則有說不盡的感謝，從論文的開始陪伴彼此到結束，走過低落也一起克服困難，點綴了我碩二豐富的研究生活，帶走偶爾會來到身邊的小小煩惱，給予我很大的快樂。

LAB 生活相信畢業後還是會難以忘懷，真的要感謝 KILAB 的每個人未我創造的美好回憶，還有同屆的同學們，畢業時刻已到，離開是期待下次的團聚，祝福讓我在碩班生活發光的每位朋友們。

陳麒安 謹誌

2014 年 7 月

於新竹交大

# 目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 研究背景與動機.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍與限制.....	3
1.4 研究方法.....	4
第二章 文獻回顧.....	5
2.1 港埠績效與競爭力分析.....	5
2.1.1 港埠績效與競爭力.....	5
2.1.2 綠色港埠之定義與重要性.....	6
2.2 效率衡量的方法.....	7
2.2.1 績效評估的方法介紹.....	7
2.2.2 應用資料包絡分析法評估港埠經營效率.....	8
2.2.3 國內應用資料包絡分析法評估港埠經營效率.....	12
2.2.4 港埠績效經營投入與產出之指標分析.....	13
2.3 資料包絡分析法之模式.....	15
2.3.1 資料包絡分析法之起源.....	15
2.3.2 資料包絡分析法基本概念.....	16
2.3.3 CCR 模式.....	17
2.3.4 BCC 模式.....	20
2.3.5 考量非意欲產出之下的 SBM 模式.....	22
2.4 港埠排放量計算項目及資料收集.....	25
2.5 小結.....	29
第三章 研究方法與結果分析.....	31
3.1 投入與產出變數的選取.....	31
3.1.1 產出變數的選取與介紹.....	31
3.1.2 投入變數的選取與介紹.....	34
3.2 資料包絡分析法之模式選取.....	36
3.3 受評估單位之選用.....	38
3.4 投入與產出變數之相關統計與檢定.....	40
3.5 評估結果分析.....	41
3.5.1 不考慮環境因素下之效率分析.....	41

3.5.2 考慮環境因素下之效率分析.....	44
3.5.3 考慮與不考慮環境因素下效率分析之比較.....	45
3.6 北美與台灣 12 個貨櫃港埠之環境效率分析.....	46
第四章 提升港埠環境效率之策略探討.....	50
4.1 港埠減碳措施.....	50
4.1.1 洛杉磯港的減排措施.....	50
4.1.2 紐約港的減排措施.....	52
4.1.3 奧克蘭港的減排措施.....	53
4.2 無效率港埠環境改善方向.....	55
第五章 研究結論與建議.....	58
5.1 結論.....	58
5.2 建議及未來研究方向.....	59
參考文獻.....	61
附錄.....	65
附錄一 北美地區各國際港埠之各項投入資料整理.....	65
附錄二 北美地區各國際貨櫃港埠之各項產出資料整理.....	66
附錄三 北美地區各國際貨櫃港埠之溫室氣體排放量整理.....	67
附錄四 台灣各國際貨櫃港埠之各項投入資料整理.....	68
附錄五 台灣國際貨櫃港埠之各項產出項資料整理.....	68
附錄六 台灣各國際貨櫃港埠之溫室氣體排放量資料整理.....	69
附錄七 北美地區各 9 個受評估單位之投入與產出資料整理.....	69
附錄八 12 個貨櫃港口投入與產出變數之各項投入與產出資料.....	70

## 表目錄

表 1.1 2012 與 2013 年世界排名前 25 名貨櫃港.....	2
表 2.1 應用 DEA 評估港埠經營績效之文獻 .....	10
表 2.2 港口與環境效率評估之相關文獻.....	11
表 2.3 相關文獻評估港埠經營績效之投入與產出變數的彙整.....	15
表 2.4 歐洲地區港埠溫室氣體排放源之計算依據.....	26
表 2.5 北美、台灣與歐洲地區兩種不同的港口溫室氣體排放計算方式之比較..	27
表 2.6 北美 9 個國際貨櫃港埠溫室氣體排放統計表.....	28
表 2.7 台灣港埠溫室氣體排放統計表.....	29
表 3.1 港埠產出變數之說明.....	31
表 3.2 港埠各項目之溫室氣體排放計算方式.....	32
表 3.3 港埠投入變數之說明.....	35
表 3.4 投入與產出變數之相關性分析.....	36
表 3.5 所評估之國際貨櫃港埠及港埠完整資料年度.....	38
表 3.6 北美地區 9 個受評估單位之各項投入與產出資料.....	39
表 3.7 二氧化碳排放當量之單位轉換.....	39
表 3.8 投入與產出變數之敘述性統計.....	40
表 3.9 北美 9 個貨櫃港埠最新年度的投入與產出資料間的相關係數.....	41
表 3.10 CCR 與 BCC 模式評估結果.....	42
表 3.11 CCR 模式之差額變數分析結果.....	43
表 3.12 考量非意欲產出之下的 SBM 模式評估結果 .....	44
表 3.13 在考量環境因素下差額變數分析結果.....	45
表 3.14 考量與不考量環境因素下的效率評估比較.....	46
表 3.15 9 個北美港口與 3 個台灣港口投入與產出變數之敘述性統計.....	47
表 3.16 12 個貨櫃港埠最新年度的投入與產出資料間的相關係數.....	48
表 4.1 有環境效率之港埠主要的減排計畫與措施.....	55

## 圖目錄

圖 2.1 資料包絡分析法推估生產函數與評估效率值之圖解.....	17
圖 2.2 效率衡量與產出差額.....	23
圖 3.1 洛杉磯港之警戒區與主要航線圖.....	33
圖 3.2 洛杉磯港鐵路與陸路運輸路線圖.....	34
圖 4.1 洛杉磯港各年度溫室氣體排放量.....	50



# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景與動機

世界經濟活動發展快速，全球化已成為目前重要的趨勢，各國之間的貨物流通以及商品貿易需藉由運輸來達成，根據國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)2009年的報告書統計，全球約有90%的貨物藉由海運進行運送(IMO, 2009)，航運成為促進國際貿易、發展國家經濟建設的重要力量。貨櫃化運輸的發展超過半個世紀，成為當代航運的主流，各個國家及其主要都市皆十分重視在國際貨櫃運輸中的作用與其存在的地位，故各國的港務相關管理單位莫不致力於提升港口經營績效與貨櫃裝卸量，藉此促進貿易的發展，提升國家競爭力，表 1.1 為根據國際貨櫃化雜誌(*Containerisation International Yearbook*)，2012年與 2013 年依據貨櫃裝卸量進行排名，世界排名前 25 名的貨櫃港口。

世界各國為了提昇貿易導向的經濟發展，港務當局也面臨到確保其港埠的服務品質與能力以維持國際競爭之壓力，各港埠企圖藉由提升其生產力、提供更優良的服務水準以及減少營運成本，來增加港埠本身的競爭力。航運貿易不僅造就出許多世界重要的港口城市，同時創造出世界百分之六十以上的產值；港口績效的提升已逐漸受到重視，因此，近年來港口績效之評估成為廣泛被研究的議題，藉由績效評估可以確實了解港埠不足之處，以及過分投入造成資源浪費的項目，明確給予港埠經營者執行、改造與管理的方向，目的無非是維持港埠的競爭力。

隨著經濟發展帶給人們快速與便捷生活的同時，地球環境也因民眾享受便利生活而遭受到破壞，近年全球暖化、極端氣候以及環境污染對地球生態與人類生活造成衝擊，生態的破壞促使民眾反思環境保護的重要性，也帶動環保意識的上揚，各個產業開始提出減少環境汙染與節省能源消耗的營運與生產措施，環境保護也成為企業社會責任重要環節。在港口運作方面，過去港口著重在貨運流量與經濟效益的提升，對於生態與環境保護的重視程度相對不足，而現今隨著環境保護受到重視，「綠色港埠」的理念也開始受到關注，各港埠也紛紛提倡「永續性」(Sustainability)的發展，開始重視港口營運對環境污染的減少與防治。根據統計，2007年船舶運輸所排放的CO<sub>2</sub>約達10.46億噸，佔全球二氧化碳排放量3.3%(IMO, 2009)，頻繁的船舶航行、停靠、補給、貨櫃進出等作業與港區之人為活動，造成港區空氣(Air)、廢水(Water)、周邊生態(Wild life)的破壞與汙染，其中廢水以及野生動植物所受到的影響範圍屬於區域性的影響，即對港埠周邊所造成的破壞，而空氣汙染所帶來的破壞會因飄散而造成全球性的影響，如：船隻、貨物裝卸機具及貨櫃車運作所排放大量的溫室氣體(Greenhouse gas, GHG)造成全球暖化與氣候變遷，硫氧化物(sulfur oxides, SO<sub>x</sub>)及柴油微粒物質(diesel particulate matter, DPM)的排放則帶來酸雨及癌症風險，影響全球民眾的生活安全與生命健康，因此，目前空氣汙染的防治也是各國國際貨櫃港埠積極改善的重要項目之一。

表 1.1 2012 與 2013 年世界排名前 25 名貨櫃港

排 名		港 別	國別/地區	貨櫃裝卸量 (千 TEU)		成長率 (%)
2013 年	2012 年			2012 年	2011 年	
1	1	上海	中國大陸	33,640	32,529	3.4
2	2	新加坡	新加坡	32,578	31,649	2.9
3	4	深圳	中國大陸	23,278	22,940	1.5
4	3	香港	中國大陸	22,288	23,117	-3.6
5	5	釜山	南韓	17,680	17,041	3.8
6	6	寧波-舟山	中國大陸	16,770	15,670	7.0
7	8	青島	中國大陸	15,520	14,500	7.0
8	7	廣州	中國大陸	15,300	14,744	3.8
9	9	杜拜	阿拉伯聯合 大公國	13,641	13,280	2.7
10	10	天津	中國大陸	13,000	12,300	5.7
11	11	鹿特丹	荷蘭	11,621	11,866	-2.1
12	12	巴生港	馬來西亞	10,350	10,002	3.5
13	13	高雄	中華民國	9,938	9,781	1.6
14	17	大連	中國大陸	9,912	8,060	23.0
15	14	漢堡	德國	9,300	8,892	4.6
16	15	安特威普	比利時	8,578	8,635	-0.7
17	19	廈門	中國大陸	8,008	7,202	11.2
18	16	洛杉磯	美國	7,869	8,078	-2.6
19	18	丹絨柏樂巴斯	馬來西亞	7,620	7,700	-1.0
20	22	長堤	美國	6,731	6,046	11.3
21	21	丹絨不祿	印尼	6,500	6,200	4.8
22	23	南查邦	泰國	6,042	5,926	1.9
23	20	不來梅	德國	5,810	6,096	-4.7
24	25	胡志明	越南	5,502	5,076	8.4
25	24	紐約/紐澤西	美國	5,490	5,530	-0.7

資料來源：國際貨櫃化雜誌 (Containerisation International Yearbook)

為此，即使港埠績效評估的研究已十分廣泛，但過去學者的研究普遍著重以港口貨物處理能力與服務水準為基礎，衡量港埠生產力、競爭力以及經營效率，對於港埠經營所造成的環境汙染議題研究較少，同時也並未對國際港埠之間的環境效率進行研究、探討與比較，隨著環境汙染引起的嚴重性與代價受到關注，在評估各港埠績效時也應將港埠所造成的環境汙染納入，作為效率評估的指標，因此，本研究將港區營運所排放的溫室氣體納入考量，對國際貨櫃港埠進行環境效率之評估。

## 1.2 研究目的

本研究建立一個整體目的，當中包含四項子目的，整體目的為：將環境的影響因素納入港埠績效評估中，同時對於各港口環境效率以及經營效率進行衡量，了解目前各港埠發展的優勢與弱勢以及環境效率的狀況。四項子目的如下：

1. 收集並整理國際港埠溫室氣體排放量的計算方式及數據
2. 對於北美地區 9 個國際貨櫃港埠進行經營效率與環境效率分析
3. 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
4. 探討環境效率較佳的港口的運作方式；並對環境效率相對較低的港口，分析其缺乏效率的主要因素來源，找出可以改善的策略方向

## 1.3 研究範圍與限制

本研究主要目標為分析國際港埠之環境效率與經營效率，並以港口的溫室氣體排放量作為評估環境效率的因子。但受限於僅有少數的國際港口針對其本身的溫室氣體排放進行統計，再加上取得世界各港埠的溫室氣體排放資料存在困難性，故本研究僅針對中文與英文的港埠溫室氣體排放報告書進行資料的收集。

目前所蒐集到的港口排放資料包含北美地區、歐洲以及台灣三個地方，本研究會以北美地區的 9 個國際貨櫃港口為主要研究對象，進行環境效率與經營效率的評估；接著會對北美地區與台灣共 12 個港口進行環境效率的分析。

歐洲港口並不列入研究的範圍之中，主要原因來自於溫室氣體排放量計算方式與北美及台灣地區不同；歐洲港埠將溫室氣體排放分為港口直接排放源、間接排放源以及其他間接排放源進行計算，而北美地區港口則是將港口的溫室氣體依排放源分為遠洋船舶、港勤船舶、貨物裝卸機具、鐵路機車頭以及重型柴油貨車五類計算，台灣港口計算方式與北美地區相似，除了前述五類的排放源，並另外多計算外購電力的排放；由於計算方式的不同造成歐洲港口與北美及台灣港口在計算項目上有所差異，故研究範圍不考慮歐洲港埠。

在投入與產出資料收集方面，各個國際貨櫃港埠各項投入變數以及貨櫃吞吐量的相關資料主要由每個年度的國際貨櫃化雜誌(*Containerisation International*)

Yearbook)中進行統計而獲得，資料有缺漏的部分則以各港埠官方網站提供的資料代替；另外，在溫室氣體排放資料方面，各港口的溫室氣體排放量資料則是逐一搜尋每個受評估的國際港口之官方網站所提供的報告書經過分類整理後獲得，藉此完成主要資料的收集。

#### 1.4 研究方法

本研究利用資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)對國際貨櫃港埠進行經營效率與環境效率的分析，資料包絡分析法係以生產邊界作為衡量效率的基礎，無須預設生產函數模式，是以數學規劃模式藉由受評單位(Decision making unit, DMU)的多項投入與多項產出變數求得生產邊界來衡量彼此相對效率值。

本研究以傳統的CCR模式與BCC模式來衡量國際貨櫃港埠的經營效率，並利用考量非意欲產出的SBM(Slack-based measure)模式對於國際貨櫃港埠進行環境效率的分析，比較各港口間彼此的經營效率與環境效率評分與排名，藉由差額變數分析了解無效率的港口欲達效率情況下各項投入與產出所需增減的數量，並對於相對無環境效率的港埠提出一些可行的改善方案。



## 第二章 文獻回顧

本章節首先在 2.1 節對於港埠績效與競爭力進行介紹，同時闡述港埠績效評估之存在的必要性，並說明綠色港埠的定義及存在的重要性，接著在 2.2 節會介紹幾種常見的績效評估方法，並對於過去學者使用資料包絡分析法進行港埠績效評估的文獻以及所選擇的投入與產出變數進行整理，在 2.3 節會針對資料包絡分析法的起源、概念、理論基礎以及本研究使用的分析模式進行說明，2.4 節則對國際貨櫃港埠溫室氣體排放量的計算項目及所收集資料的過程與內容進行詳細的說明，最後 2.5 節對本章的內容進行一個結論與整理。

### 2.1 港埠績效與競爭力分析

#### 2.1.1 港埠績效與競爭力

世界各國為了提昇貿易導向的經濟發展，港務當局面臨確保其港埠服務維持國際競爭基礎之壓力，港口績效的改善開始逐漸受到重視。港埠是組成整體貿易鏈的重要連結，因此港埠績效對於國家在國際間的競爭力有重要貢獻(Tongzon, 1989; Chin and Tongzon, 1998)。

港埠是一個相當細膩且十分複雜的系統，貨櫃港埠更是影響區域經濟的關鍵角色(Haynes et al., 1997)，各國港埠之間同時存在著合作與競爭關係，在如此高競爭的態勢下，效率不彰的港埠將逐漸遭到取代並失去其地位及原有的重要性。Dyson (2000)提到績效衡量對於評估生產力佔有重要地位，原因在於績效衡量不僅能定義出系統現在甚至是未來的狀況。因此各個貨櫃港口與碼頭的績效評估對於該產業及經營者在分析其港埠產業競爭力與未來生存能力而言十分重要，績效的評估不僅提供港埠經營者強而有力的管理工具，同時也是建立區域性與國家性運輸計畫或港口規劃與營運的重要投入(Adler and Golany, 2001)，故世界各國莫不致力於港埠競爭力的評估，藉由績效評析能了解港埠不足之處，並提供政府及經營者明確改善方向，使港埠經營績效獲得提升，促進長久發展。

評估港埠績效之意涵，可藉由設定各項適當的指標進行闡述，而這些指標通常是由港埠面對船商及貨主時，所提供之各項優勢服務項目所組成。

Wang et al. (2003)提到傳統的港口績效評估主要是依據計算船席貨物處理的生產力、測量單一要素的生產力或者在特定期間內對實際吞吐量與最適吞吐量進行比較；而近幾年，績效評估的方式則是著重於港埠相關生產活動之效率衡量。

Tongzon and Heng (2005)從過去的文獻中篩選出影響港埠競爭力的8項決定因素，分別為港口的營運效率水準、貨物的裝卸費用、可靠程度、運送者與拖運者的港口選擇喜好、航道深度、對市場環境改變的適應能力、路側的可及性(landside accessibility)以及產品的差異化，評比全球25個重要的港口與貨櫃碼頭的

競爭力，研究發現以民營化方式的營運行為，確實有助於營運效率，並可提升港口的競爭優勢。另一方面，在港口營運單位，對於顧客的需求，能夠立即的處理與提出應變策略，也是能夠提升港口競爭力的因素。

### 2.1.2 綠色港埠之定義與重要性

港埠及其沿岸腹地位於海洋與陸地的連接處，是商品物流與資訊傳送的門戶，港口營運在過去側重於貨物流量的提升和經濟效益，對於生態環境關切較少(邱文彥，2008)，隨著近年環境保護意識高漲以及永續發展概念的推行，在港口營運方面也提出「綠色港埠」(Green Ports)或「生態港埠」(Eco Ports)的觀念，歐、美、日等世界大國也將綠色港埠的發展納入核心策略中，成為港埠未來經營的主流思維與趨向。

各國對「綠色港埠」或「生態港埠」的定義準則不一，較常被引述的為美國長堤港(Port of Long Beach)港務局於2005年所提出「綠色港灣」政策(Green Port Policy)，當中提出了一套由政策落實到行動方案之全面性機制，並認為綠色港埠是一套具有積極性、整合協調功能的方法，藉此降低港埠運作時對環境所產生的負面影響。

綠色港埠須同時考量經濟與環境利益，重視生態發展、環境保護、能源節省、環境管理的強化、建置生態港口等，以促進自然、經濟、與社會三方之和諧與永續發展(Ying and Yijun, 2011)。綠色港埠即是在環境影響和經濟利益之間獲得良好的平衡之可持續發展港口。許鉅秉等人(2014)提到綠色港埠之永續發展需在「經濟面」、「社會面」與「環境面」達成平衡下進行推動，並以專家問卷的方式歸納出綠色港埠永續發展之關鍵因素在於裝備節約能源的設施、港埠能量的提升、敦親睦鄰的活動、賦稅優惠與獎勵以及廢棄物傾倒管理。

我國航政司將綠色港埠定義為「以改善港埠營運模式及港區環境為目的，強調經濟效益外，同時發展低污染、提高生物多樣性、復育環境及結合周邊社區利益等多目標之港埠經營模式」。換言之，「綠色港埠」之目的是結合港埠營運與環境改善，重視經濟、社會、自然生態、能源與環境的各項發展，達到生態保護、污染減量、能源節省與港埠營運績效提升和周邊社區利益共生之多目標境界(邱文彥，2008)。

隨著氣候的變遷，航商與貨主對於消費兼具環境保護的綠色消費行為開始重視，加上國際公約與規範的建立，使民眾、企業與國家管理者不斷反思環境保護之意義，並強化環境永續發展之倡導，區域性組織及各國政府開始致力於環境保護相關措施，故當我們在衡量港埠的績效時，並不能單單僅以港埠的相關生產力與貨櫃處理能力為評估依據，港埠營運過程中所帶來的各項污染、溫室氣體排放所造成負面之外部性，應同時納入作為評估國際港埠績效的準則中。

## 2.2 效率衡量的方法

### 2.2.1 績效評估的方法介紹

以經濟學的角度，效率值的定義為產出項目之加權組合與投入項目加權組合之比值，當某經營單位投入的越少，而產出越多，則表示該單位的績效表現越好。進行績效評估的衡量方法眾多，包含比率分析法(Rational Analysis)、迴歸分析法(Regression Analysis)、生產邊界法(Production Frontier Approach, PFA)、隨機邊界法(Stochastic Frontier Approach, SFA)以及資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis, DEA)等，以下引用(孫遜，2004)將上述之衡量效率方法做簡單的介紹，而資料包絡分析法將於後面章節做更詳盡的介紹。

比率分析法：將單一產出項與單一投入項的比值視為效率值，其優點為所衡量的效率值明確，容易解讀，但無法同時處理多重投入與產出項的問題，而忽略相關因素的影響。

迴歸分析法：亦可稱為非邊界分析法，適用於多項投入與單一產出，將受評單位的多項投入當作自變數，並以產出為依變數，可得知投入項對於產出項的影響關係，但所推估的生產函數為平均的概念，缺少一個有完全效率的比較點，便無法有效的區分高效率與低效率的單位，此外迴歸分析需先假設自變數與依變數間須具有線性函數關係，一旦生產函數為非線性，迴歸分析法便不適用，另外也無法處理多項產出的問題。

生產邊界法：利用經濟學的方式，找出受評單位的生產函數，進而衡量受評估單位的生產力，其優點為運算簡便，同時可運用統計檢定的方法，使評估結果更為客觀，缺點為須先假設生產函數的型態，且所有投入與產出項皆須量化，無法同時處理多項產出的問題。

隨機邊界法：其特色在於組合性誤差項(Composite Error Term)，將生產無效率的原因分為兩大類，一為個別廠商技術或管理差異所造成，又稱為「技術無效率」，另一部分為廠商在實際生產過程中可能面臨到的隨機因素干擾，是隨機所造成的，稱為「統計噪音」，前者是相對效率邊界的效率差異所構成，而後者是無法衡量的誤差，將無法衡量之誤差降至最低，藉此獲得最接近現況的經營效率值。隨機邊界法的優點在於將非廠商所能控制得隨機因素列入考慮，也不必事先假設廠商皆為有效率的單位，能符合實際狀況，且可進行假設檢定；缺點在於隨機因素考量難以量化，必須考量函數型態及分配型態之假設，且需要較多觀測點，參數的估計值才會有較高的準確度。

資料包絡法：以生產邊界作為衡量效率的基礎，並以數學模式求得生產邊

界，且無須預設生產函數模式，可以將目標之投入及產出資料透過數學模式求出生產邊界，將各決策單位之實際資料與生產邊界比較，即可衡量出各決策單位相對有效率及相對無效率的程度，及達到相對效率的改善建議目標。

### 2.2.2 應用資料包絡分析法評估港埠經營效率

近年來，探討港埠績效指標的研究與文獻不勝枚舉，港口產業包含多元投入與產出之集合，港埠的經營效率亦是影響區域經濟的關鍵角色，因此有許多學者藉由資料包絡分析法來評估港埠相關績效，Roll and Hayuth (1993)，首先將資料包絡分析法用於衡量港埠經營績效上，應用 DEA 評估 20 個虛擬港埠間的相對效率，以 3 個投入項，分別為人力數、資本與貨物同質性，以及 4 個產出項，分別為總貨物裝卸量、服務水準、顧客滿意度與船舶進港數量作為衡量的依據，由於研究的對象為單一年度假設資料的港埠績效，而後續的研究者則開始應用 DEA 傳統模式與修正模式來評估實際港埠的相對績效。

Tongzon (2001)應用 CCR 及 Additive 模式，對 4 個澳洲港口與其他 12 國際港口進行績效的評估，將橋式起重機數目、拖船數量、貨櫃船席數、貨櫃碼頭面積、延遲時間、港務局員工數量作為投入變數，貨櫃的吞吐量及貨櫃船作業效率作為產出變數，文中發現應用不同的 DEA 模式的分析結果有所不同，模式的使用取決於規模報酬的假設條件，研究提出港口的規模的大小及功能並非是決定其績效的主要因素。其結果顯示 DEA 分析法是一有效的港埠績效評估方式，也能提供資源無效率使用情形，有助管理當局進行改善。

Bichou (2013)應用 CCR 與 BBC 模式，收集 2004 至 2010 年 7 個年度資料，對 60 個貨櫃碼頭共 420 個決策單位進行衡量，文中選出七項港埠投入變數與一項港埠產出變數，其中包括貨櫃碼頭區域面積、最大吃水深度、船席總長度、橋式起重機指標、堆場起重機指標、拖車或牽引車等數輛；年貨櫃吞吐量為產出項，並設立五個假設，對於不同的碼頭市場與營運狀況進行敏感度分析，研究指出大型碼頭出現無效率的情況可歸因於港口擴大其規模，導致吞吐量擴張超過所預期的交通擴建，造成短期過量且效率低落的情況，另外也發現有著較高的轉運、FEU、空櫃比率能獲得較高的效率評分。且利用自動化系統進行營運的港口其效率評分較佳。

Cullinane et al. (2006)應用 SFA 方式假設四種不同分配型態的函數，同時利用 DEA 中 CCR 與 BCC 模式對 2001 年世界排名前 30 名的港口，共 57 個貨櫃港埠與碼頭進行績效的評估，對於兩種效率分析方法進行比較，以及對貨櫃碼頭的規模報酬進行分析，文中所選取五個投入變數，分別為船席長度、碼頭區域面積、橋式起重機數量、門型起重機數量、跨載機數量(straddle carriers)，一項產出變數則為貨櫃吞吐量；研究結果指出在 CCR 模式下所獲的效率評分最低，而在 BCC 模式下所獲得的平均效率評分比 SFA 分析下假設 Half-normal 模型的平均效率值



高，但仍低於 SFA 下假設的指數分配、Gamma 分配及 Truncated 常態分配所求得之平均效率值，最後文獻中也提出 DEA 與 SFA 兩種方法所獲得的結果有相似的效率排名，兩個方法可以相互替代。將以上文獻所研究的對象、範圍、使用的分析模式以及選取的投入與產出變數進行整理，並列於表 2.1。

另外，過去的文獻將環境因素納入考量，衡量港埠相關效率評估的研究並不多，Chin and Low (2010)針對亞洲 13 個國際港口共計 156 條起訖對航線進行生產效率與環境效率之分析，並比較在考量環境條件後，對港口生產效率的影響，該研究係以各港埠的航路作為評估的對象，而非以港口本身作為受評估單位。

Chang (2013)應用考量非意欲產出的SBM(Slack-based measure)模式對2010年韓國國內23個港埠的經濟效率與環境效率進行分析，估計韓國港口潛在所需減少的CO<sub>2</sub>排放量，所選擇的4項投入變數為員工數量、碼頭總長度、碼頭區域面積、能源消耗量，產出變數分為意欲產出(desirable output)與非意欲產出(undesirable output)，意欲產出為船隻噸數、貨物處理噸數、而非意欲產出為CO<sub>2</sub>排放量；研究結果發現在同時考慮環境效率與經濟效率的情況下，韓國的港埠環境表現相對於經濟表現來的有效率，並提出考量非意欲產出的SBM-DEA模式是能有效結合環境與經濟因素，提供更全面性的效率，同時提供未達效率的港口其超額的投入量與CO<sub>2</sub>排放量以及產出變數所缺乏的量。

Lee et al. (2014)認為港口營運所產生的空氣汙染排放，對於該港口所座落的都市造成環境汙染及民眾健康上的危害，過去學者也並未針對這方面議題進行環境效率的探究，該研究針對2011年貨櫃吞吐量在4百萬TEU以上的港口都市進行環境效率的衡量，同樣以考量非意欲產出之下的SBM-DEA模式作為環境效率評估的模式，所選用的投入變數為都市勞動人口數，欲意產出變數為港口貨櫃吞吐量以及區域生產總值，非意欲產出為港口營運所造成的CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等汙染氣體排放，探討該港口都市在港口運作造成的汙染下是否存在環境效率。將港口環境效率評估相關的文獻整理於表2.2，由文獻的整理可知，。

近年來隨著環境的汙染所帶來的負面影響日趨受到重視，數個國際重要港埠也將減少港區汙染列入重要改善計畫之一，故在評估港埠效率時，港口所造成的汙染也不容被忽視，因此在評估各港埠績效時也應將港埠所造成的環境汙染納入考量。由文獻的整理可知，港埠對於環境效率評估相關的研究甚少，僅 Chang (2013)針對港口本身進行環境效率的分析，但分析對象為國內港口，尚未有研究針對國際貨櫃港埠之間的环境效率進行評估，隨著環境議題受到重視，加上貨櫃運輸在國際貿易間佔有舉足輕重的地位，本研究將環境因素納入考量，評估國際貨櫃港埠間的效率。

表 2.1 應用 DEA 評估港埠經營績效之文獻

作者	研究對象與期間	評估模式	投入變數	產出變數
Roll and Hayuth (1993)	20 個虛擬港埠，1993 年橫斷面的假設資料。	●CCR 模式	<ul style="list-style-type: none"> <li>●人力數</li> <li>●資本</li> <li>●貨物同質性</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●總貨物裝卸量</li> <li>●服務水準</li> <li>●顧客滿意度</li> <li>●船舶進港數量</li> </ul>
Tongzon (2001)	澳洲 4 個港埠及 12 國際港埠，共 16 個港埠 1996 年單期的橫斷面資料。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●CCR 模式</li> <li>●Additive 模式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●橋式起重機數目</li> <li>●拖船數量</li> <li>●貨櫃船席數</li> <li>●貨櫃碼頭面積</li> <li>●延遲時間</li> <li>●港務局員工數量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●貨櫃吞吐量</li> <li>●貨櫃船作業效率</li> </ul>
Wang et al. (2003)	2001 年世界排名前 30 名貨櫃港口，共 57 個貨櫃港口與碼頭，單期的橫斷面資料。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●CCR 模式</li> <li>●BCC 模式</li> <li>●FDH 模式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●船席長度</li> <li>●碼頭區域面積</li> <li>●碼頭貨櫃起重數量</li> <li>●堆貨場起重機數</li> <li>●跨載機數量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●貨櫃吞吐量</li> </ul>
Cullinane et al. (2006)	2001 年世界排名前 30 名貨櫃港口，共 57 個貨櫃港口與碼頭，單期的橫斷面資料。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●CCR 模式</li> <li>●BCC 模式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●船席長度</li> <li>●碼頭區域面積</li> <li>●橋式起重機數量</li> <li>●門型起重機數量</li> <li>●跨載機數量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●貨櫃吞吐量</li> </ul>

作者	研究對象與期間	評估模式	投入變數	產出變數
Bichou (2013)	2004 至 2010 年七個年度資料，對 60 個貨櫃碼頭共 420 個決策單位進行衡量。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●CCR 模式</li> <li>●BBC 模式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●船席長度</li> <li>●碼頭區域面積</li> <li>●最大吃水深度</li> <li>●橋式起重機指標</li> <li>●堆貨場起重指標</li> <li>●拖車數量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●貨櫃吞吐量</li> </ul>

表 2.2 港口與環境效率評估之相關文獻

作者	研究對象與期間	評估模式	投入變數	欲意產出變數	非意欲產出變數
Chin and Low (2010)	2009 年東亞 13 個主要港口 156 個航線為研究對象。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●CCR 模式</li> <li>●BBC 模式</li> <li>●考量非意欲產出的 SBM 模式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●航運服務頻率</li> <li>●雙邊貿易流量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●貨櫃流量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●各航線的 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、懸浮微粒排放量</li> </ul>
Chang (2013)	對 2010 年韓國國內 23 個港埠的經濟效率與環境效率進行橫斷面資料之分析。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●考量非意欲產出的 SBM 模式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●碼頭長度</li> <li>●碼頭區域面積</li> <li>●能源消耗量</li> <li>●勞工數量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●船隻噸數</li> <li>●貨物處理噸數</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●港口的 CO<sub>2</sub> 排放量</li> </ul>
Lee et al. (2014)	2011 年貨櫃吞吐量在 4 百萬 TEU 以上的港口城市。	<ul style="list-style-type: none"> <li>●考量非意欲產出的 SBM 模式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●都市勞動人口數</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●貨櫃吞吐量</li> <li>●區域生產總值</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>●港口的 CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub> 排放量</li> </ul>

### 2.2.3 國內應用資料包絡分析法評估港埠經營效率

本節整理近年來國內學者對於港口績效評估的相關文獻，藉此了解目前台灣對於港口研究發展的現況：

林彬等人 (2006)利用資料包絡分析法，探討台灣三大港口(高雄港、基隆港、台中港)之經營效率，並加入 AR 模式解決傳統模式中投入和產出項目之虛擬乘數過於自由而可能產生偏差的問題，同時利用視窗分析了解受評單位之動態變化趨勢與穩定度，研究結果發現，基隆港歷年績效表現多呈現相對無效率，主要是由於規模效率不佳所導致，可藉由船席空間的利用以及降低港埠支出兩方面著手進行改善，高雄港為國內相對有效率之港口，長期而言可藉由調整拖船與善用人力作為提升整體競爭力的策略。

林伶潔 (2008)同時應用資料包絡分析法以及隨機邊界分析法，分析 2004 年至 2006 年，3 個年度亞洲地區 20 大國際貨櫃港的經營績效與競爭力的變化，以 DEA 之 CCR 與 BCC 模式分析結果，2006 年之大陸地區的寧波、天津、廈門、上海、香港在亞洲地區二十大港埠中較具有競爭力的港口。SFA 法則採用兩種模式進行分析，分別為 Cobb-Douglas 及 Translog 生產函數，其中此兩模式所分析出效率最高的前三名港口結果相同，分別為深圳、上海、香港。運用相關係數分析以上四種效率衡量模式中各效率排序間之相關性，其結果顯示 CCR 模式與 SFA 之 Cobb-Douglas 及 Translog 兩模式效率值排序較一致，而 BCC 則與三模式效率值排序之相關係數相對較低。

魏惠儀 (2009)利用資料包絡分析法之 SBM 模式，針對全球 22 個國際港口進行港埠效率評估，魏學者將港埠整體效率依據港埠經營範圍細分為港灣與棧埠業務，就其港灣、裝卸與倉儲三大作業分別進行績效評估，將各受評單位之三項作業效率值平均後求得貨櫃港之整體績效表現，研究結果顯示，各港口在倉儲作業表現普遍較差，僅有高雄港在港灣、裝卸及倉儲三項作業效率值皆為相對有效率之港口，文獻最後提到，三大作業間存在勞動與固定資產之投入要素共同之情形，本篇文獻將其視為作業之特定投入項，並將三項作業績效值之平均視為整體港埠效率值，而可能導致整體效率不一致，未來研究可採用能評估多個活動效率的 Multi-Activity DEA Model，解決整體效率不一致的情況。

趙時樑 and 張貞德 (2011) 應用資料包絡分析法，收集 2006 年至 2008 年的資料，分析兩岸三地 16 大國際貨櫃港績效，加入 AR 模式處理傳統乘數過於自由導致解果可能出現不合理的問題，並利用生產力指數(MPI)對各港口的跨期效率進行分析，研究結果顯示，大陸港口表現呈現兩極化現象，連雲港與寧波港之跨期效率與現況效率均優於其他港口，台灣港口方面，現況效率表現普通，跨期效率顯示出未能有效使用資源的情況，趙學者等人也提出新型的橋式起重機的使用(雙吊式與雙小車式)，其作業效率優於傳統橋式起重機，故未來學者在研究時，

可以選擇分開統計或是給予權重上的差異，更能真實評估港口效率。

林建志 (2011)使用資料包絡分析法，以亞洲 15 大國際貨櫃港口作為受評單位，選取的投入變數為橋式起重機(台)、貨櫃船席數(座)、船席長度(公尺)、門式起重機(台)、貨櫃場堆積容量(TEU)共 5 項，產出變數為貨櫃裝卸量(TEU)，利用 CCR 及 BCC 模式分析其效率值，並進行規模報酬之分析，藉此判斷港口是否變更其營運規模，再利用交差效率分析對港口效率進行重新排序，驗證效率值是否有達到最佳化。

柯明學 (2012)利用資料包絡分析法，收集 2005 年至 2009 年的資料，以亞洲 15 大國際貨櫃港口作為受評單位，選取的投入變數為貨櫃碼頭船席數(座)、貨櫃碼頭船席長度(公尺)、橋式起重機(台)、貨櫃碼頭面積(平方公尺)、貨櫃調度場容積(TEU)共六項，產出變數為貨櫃裝卸量(TEU)，運用超級效率模式求得各港口的相對效率值，並針對五年間各港口的效率值進行比較分析及排序。

#### 2.2.4 港埠績效經營投入與產出之指標分析

港埠是船舶、貨物以及內陸運輸等多項服務活動之提供者；港口可能在面對船公司服務的部份表現傑出，卻無法兼顧貨物與內陸運輸業者優質的服務，因此在評估港埠的績效時，通常不只以單一要素作為衡量的依據，Cullinane et al. (2005)引述 UNCTAD 於 1976 年所建議的港口績效指標，分為財務指標與作業指標兩大類。Chang (1978)建議港埠的投入變數應包含港口淨資產實質貨幣價值、港口每年的勞動人口數、每年各月的平均雇用員工人數並將技術的進步與改善納入計算。Dowd and Leschine (1990)認為貨櫃港口與碼頭的生產力有賴於「勞動力」、「土地」、「設備」有效率的使用，因此港口生產力的衡量是將前三項資源的利用量化為效率的方式進行衡量。Cullinane and Song (2003)更進一步提到勞動力與建設費用共同構成港埠營運絕大部分的總成本，勞動的投入可分為執行主管提供管理服務所獲得的報酬以及支付勞工的薪資，資本投入方面，分為以港埠營運為目的之土地、建築及固定設備使用的帳面淨值，以及貨物處理設備的帳面淨值。除了各國港埠勞動力資料較難取得之外，其餘港埠基礎設施資料可藉由各國港務單位統計資料或是根據國際貨櫃化雜誌(*Containerisation International Yearbook*)取得，故近年來多數的學者是以作業面的指標來衡量港埠之績效。

整理過去研究學者之觀點並彙整利用 DEA 方式評估港埠績效之相關文獻，將整理結果列於表 2.3，變數部分可分為投入變數、產出變數以及其他變數三大類，其中投入變數主要可歸類為「勞動力」、「資本與設備」以及「其他生產投入」等三個項目，而產出變數部分則可分類為「港埠生產量」與「服務水準」兩類，其他變數主要歸類為環境影響之變數。

##### 1. 投入變數(Input variable)

###### (1) 勞動力投入

勞動力投入主要是指港埠內勞動人口數以及勞動支付的薪資費用，Roll and Hayuth (1993)以碼頭勞力人數做為投入變數，Tongzon (2001)提到碼頭勞動人數是最根本的勞動投入，但資料的取得普遍困難，便以港務局員工數量代替。另外，Notteboom et al. (2000)指出碼頭勞工數與門型起重機數量存在穩定的關係，可藉由此關係間接推估勞動人口資訊。根據過去的文獻，不論是直接或間接的方式，精確取得勞動人口數量有其困難之處，同時也可能存在潛在的測量誤差，因此近幾年的研究較少使用勞動力作為投入的變數。

## (2) 資本與設備投入

貨櫃港口的生產力與港埠各項設備的使用效率關係密切，購置的機具以及興建港口基礎設施需要港埠業者投入龐大的資本；因此，許多文獻將這類資金投入、港口機具數量、碼頭長度等視為資本與投入變數，例如：Roll and Hayuth (1993)利用港口營運與設備之資金作為投入變數；碼頭區域面積、起重機數目、船席長度、貨櫃船席數、跨載機數量、貨櫃場堆積容量、拖船數量等指標均是多數學者選擇作為設備之投入變數，Bichou (2013)除了納入前項所提到設施外，並加入碼頭最大吃水深度當作投入變數。

## (3) 其他生產投入

Tongzon (2001)將船隻等待時間、停泊時間以及工作時間加總命名為延遲時間作為投入變數；Chin and Low (2010)則考慮船運服務頻率以及港口雙邊貿易流量當作投入變數；Chang (2013)將港口營運所消耗的能源，包含電力、柴油以及液化天然氣納入變數中。

## 2. 產出變數(Output variable)

### (1) 港埠生產量

目前多數的文獻大多以貨櫃吞吐量、貨物裝卸量當作產出變數來衡量港埠之生產力。除了貨櫃及貨物之吞吐量，尚有其他與生產力相關之產出變數；Roll and Hayuth (1993)將船舶進港數量當作產出變數；Chang (2013)則同時考慮貨櫃吞吐量以及船隻噸數當作產出變數。

### (2) 服務水準

港埠的服務水準會影響顧客是否繼續選擇該港埠作為停泊處的意願，因此，有學者便利用服務水準來當作產出變數，衡量港埠經營效率。Roll and Hayuth (1993)以船舶在港時間與裝卸時間的比值當作服務水準，同時也考慮顧客滿意度當作產出變數；Tongzon (2001)將每艘船每小時貨櫃搬運的數量視為貨櫃船作業效率，可用來衡量港口服務水準與品質。

### 3. 其他變數

其他變數如環境變數，Chin and Low (2010)將港口營運所產生的CO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、懸浮微粒排放量當作負向產出變數，衡量港埠經營績效。Chang (2013)將

港口所造成的 CO<sub>2</sub> 排放量作為負向產出變數，評估港口的環境效率與經營效率。

表 2.3 相關文獻評估港埠經營績效之投入與產出變數的彙整

項目 變數	類別	項目
投入變數	勞動力	碼頭人力數、港務局員工數量
	資本與設備	貨櫃碼頭面積、船席長度、貨櫃船席數、橋式起重機數目、門型起重機數量、拖船數量、跨載機數量、貨櫃場堆積容量、最大吃水深度
	其他生產投入	貨物同質性、延遲時間、能源消耗量、船運服務頻率、雙邊貿易流量
產出變數	港埠生產量	貨櫃吞吐量、貨物裝卸量、船舶進港數量、船隻噸數
	服務水準	顧客滿意度、服務水準、貨櫃船作業效率
	環境變數	CO <sub>2</sub> 、SO <sub>2</sub> 、NO <sub>x</sub> 、懸浮微粒排放量

資料來源：本研究整理

本研究將過去文獻進行整理，將所獲得之投入與產出變數為基礎，並考量各項資料之完整性與變數相關性，作為後續評估港埠績效評估之投入與產出變數選擇依據。

## 2.3 資料包絡分析法之模式

### 2.3.1 資料包絡分析法之起源

Farrell (1957) 提出「生產效率衡量」(The measurement of productive efficiency) 一文，以「非預設生產函數」代替「預設函數」來估計效率值，以生產效率前緣 (production frontier) 的概念來評估決策單位 (Decision Making Unit, DMU)，奠定資料包絡分析法理論基礎。直到 Charnes et al. (1978) 依據 Farrell (1957) 之效率衡量觀念，建立一般化數學模式，正式將其定名為資料包絡分析法 (DEA)。

於 1978 年由 Charnes、Cooper 及 Rhodes (CCR) 三位學者根據 Farrell 效率衡量觀念，將其擴充至固定規模報酬下，以多項投入及多項產出之多元評估準則的環境，簡稱為 CCR 模式，CCR 模式評估效率的主要觀念是將所有 DMU 的投入項與產出項投射至空間上，以尋求最高產出或最低投入之邊界，此即為 DEA 中所謂的效率前緣，在經濟學上則統稱為「包絡線」，落在邊界上之 DMU 及代表有相對效率，不在邊界上者則為無相對效率的受評估單位。於 1984 年，Banker、Charnes 與 Cooper (BCC) 三位學者考量不同規模報酬對效率之影響，引申出 BCC

模式。BCC 模式放寬了原本在 CCR 模式中固定規模報酬之假設，使 DEA 的操作業更具彈性，在 BCC 模式中可應用於探討技術效率、規模效率與規模報酬等問題。

### 2.3.2 資料包絡分析法基本概念

資料包絡分析法係以生產邊界作為衡量效率的基礎，並以數學模式求得生產邊界，且無須預設生產函數模式，可以將目標之投入及產出資料透過數學模式求出生產邊界，將各決策單位之實際資料與生產邊界比較，即可衡量出各決策單位相對有效率及相對無效率的程度，及達到相對效率的改善建議目標(孫遜，2004)。

此理論共有三個基本假設：

1. 生產前緣(Production frontier)是由最有效率的單位所組成，而較無效率的單位皆位於此前緣之下。
2. 固定規模報酬(Constant returns to scale, CRS)，增加一單位的投入，可以得到一等比例的產出。
3. 生產前緣凸向(Convex)原點，因此每點的斜率皆大於或等於零。

資料包絡分析法作為績效評估具有下述特性：

1. 可以同時處理多重投入與產出項，並容納不同計量單位。
2. 投入與產出的加權值由線性規劃產生，不受人為主觀因素的影響。
3. 不須事先假設廠商是有效率的，較符合實際情況。
4. 不須事先設定投入與產出函數關係。
5. 不用事先設定投入與產出的權數由數學規劃模型產生，因此不受人為主觀的因素影響可持公正客觀。
6. 相對有效率之 DMU 須滿足產出與投入比為 1 之嚴格要求。
7. 可提供相對無效率的單位，其產出不足或投入過多的資訊。

資料包絡分析法做為績效評估，其理論限制如下：

1. 所有的投入與產出資料都必須為可衡量，若資料錯誤將導致效率值偏誤。
2. 受評估對象之間的同質性要高。
3. 對資料十分敏感，易受到錯誤極端值的影響。
4. 不能衡量測量誤差或是統計上的殘差，且無法進行假設檢定。
5. 樣本不足或投入與產出項目過多時，易將無效率單位當成有效率單位。



績效評估的根本在生產函數的推估，藉由實際產出與生產函數所顯示理論產出之比值，即可求得效率值。如圖 2.1 所示，設定六個不同生產單位 (A、B、C、D、E、F)，分別使用不同數量的投入項目 (X) 生產不同數量的產出 (Y)。首先，在假設此 6 個生產單位之規模報酬為可變動的情況下，其所評估對生產單位最有利的生產函數為連接單位 A、B、C、D 之線段，超出 D 單位部分為水平線，表示投入量如果繼續上升，產出不應減少。由於生產單位 A、B、C、D 落在生產函數上，因此其效率值皆為 1；單位 E 位於生產函數之下，則其效率值為實際產出  $I_E E$  與理論產出  $I_E E^*$  的比值；同理，單位 F 的效率值為  $I_F F / I_F F^*$ 。

若假設此生產單位之規模報酬為固定，即投入量與產出量呈現等比例增加，此時的生產函數則為通過原點 O 與點 B，覆蓋過所有觀測點的直線。如圖 2.1 所示，只有點 B 落在生產前緣線上，為有效率生產單位；其餘生產單位則為相對無效率的生產單位，以 A、C、F 為例，其效率值依序為  $I_{AA} / I_{AA}^0$ 、 $I_{CC} / I_{CC}^0$ 、 $I_{FF} / I_{FF}^0$  (高強等人，2003)。

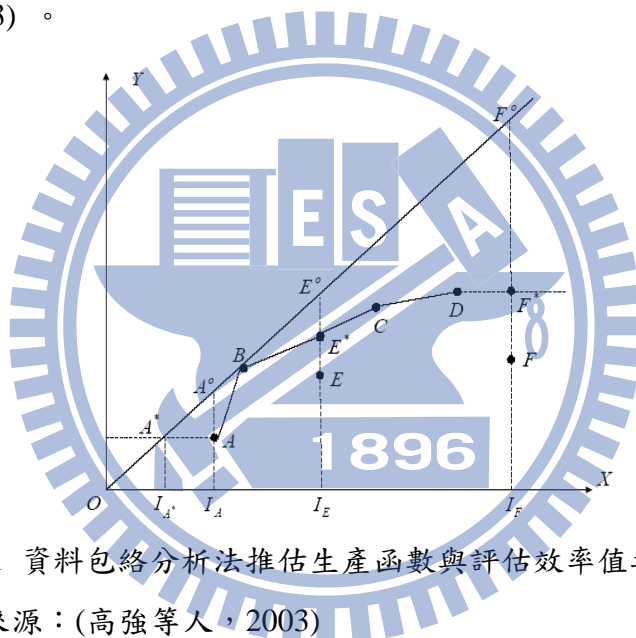


圖 2.1 資料包絡分析法推估生產函數與評估效率值之圖解

資料來源：(高強等人，2003)

資料包絡分析法起源於 Charnes、Cooper 及 Rhodes(1978)所提出之 CCR 模式，至 1984 年 Banker、Charnes 與 Cooper 三位學者，將 CCR 模式中規模報酬固定的限制取消，提出 BCC 模式。CCR 模式與 BCC 模式均包含投入導向以及產出導向兩個觀點，投入導向是由投入的角度探討效率，其觀點是以目前產出水準之下，應使用多少投入方屬有效率，而產出導向則是使用現有的投入水準下，探討應該有多少產出方屬有效率；無論以何種觀點進行衡量，其模式均可以比率式、原問題、偶問題三種型式作為描述，本章節以產出導向為例，分別介紹資料包絡分析法之 CCR 與 BCC 模式。

### 2.3.3 CCR 模式

Charnes、Cooper 及 Rhodes(CCR)採用固定經濟規模報酬(constant return to scale, CRS)衡量多項投入以及多項產出的受評單位(DMU)，亦即每增加一單位的

投入，同時會使產出相對的增加。假設一生產可能集合  $P$ ，存在  $n$  個相同性質的 (homogeneous) 受評單位，每個  $DMU_j$  ( $j=1, \dots, n$ ) 使用  $m$  項投入  $X_i$  ( $i=1, \dots, m$ )，產出  $s$  項  $Y_r$  ( $r=1, \dots, s$ )，則受評單位  $k$  之產出導向之比率行模式可表示為：

$$\text{Min } \frac{1}{g_k} = \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik}}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}} \quad (2.1)$$

$$\text{s.t. } \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij}}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}} \geq 1, \quad j=1, \dots, n \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} u_r &\geq \varepsilon > 0, \quad r=1, \dots, s \\ v_i &\geq \varepsilon > 0, \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (2.3)$$

模式中：

$g_k$ ：第  $k$  個 DMU 的相對效率值

$Y_{rk}$ ：第  $k$  個 DMU 的第  $r$  項產出值

$X_{ik}$ ：第  $k$  個 DMU 的第  $i$  項投入值

$Y_{rj}$ ：第  $j$  個 DMU 的第  $r$  項產出值

$X_{ij}$ ：第  $j$  個 DMU 的第  $i$  項投入值

$u_r$ ：第  $r$  個產出項的虛擬乘數

$v_i$ ：第  $i$  個產出項的虛擬乘數

$\varepsilon$ ：表極小的正數(設為  $10^{-6}$ )

由(2.1)式可知， $Y_{rk}$  與  $X_{ik}$  是各個 DMU 實際產出與實際投入的資料，而 CCR 模式是符合限制條件下，以 DMU 的各項產出與投入之虛擬乘數為變數，將產出加權組合與投入加權組合之最小比值視為該受評單位相對效率值之倒數，限制條件(2.2)式，限制該受評單位所選擇的虛擬乘數用於其他受評單位時，其所評估的效率值倒數大於等於 1，因此，受評單位的效率值會藉於 0 到 1 之間，當此受評估單位所求出的效率值為 1 時，則可表示為相對於其他受評單位有效率，小於 1 則表示相對無效率。虛擬乘數，或稱權數，是為使某個 DMU 效率值極大化，所能找出對此 DMU 最有利的數值( $u_r, v_i$ )，權數之意義表示所對應之投入與產出項對整體效率值的貢獻程度，故由(2.3)式可知權數不得為負值。

由於(2.1)式之目標函數為分數規畫，不僅求解不易，且尚有無窮解之虞，為使求解方便，將目標函數之分子值固定為 1，轉換成線性規畫之模式，形成產出導向之原問題(primal)，模式如下：

$$\text{Min } \frac{1}{g_k} = \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} \quad (2.4)$$

$$\text{s.t. } \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1 \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} \geq 0, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} u_r &\geq \varepsilon > 0, \quad r = 1, \dots, s \\ v_i &\geq \varepsilon > 0, \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (2.7)$$

(2.4)式目標函數的意義在於各產出項加權總和為 1 之情況下使投入項加權總和最小化。由於變數個數為  $m+s$  個，小於限制式個數  $m+s+n+1$ ，故將原問題轉換成對偶命題(dual)，可減少限制式個數，使得求解更有效率。對偶模式如下：

$$\text{Max } \frac{1}{g_k} = \theta + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^+ + \sum_{r=1}^s s_r^- \right) \quad (2.8)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + s_i^+ = X_{ik}, \quad i = 1, \dots, m \quad (2.9)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - \theta Y_{rk} - s_r^- = 0, \quad r = 1, \dots, s \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} \lambda_j, s_i^+, s_r^- &\geq 0, \quad r = 1, \dots, s \\ j &= 1, \dots, n, \quad i = 1, \dots, m, \end{aligned} \quad (2.11)$$

$\theta$  無正負限制

模式中：

$s_i^+$ ：第  $i$  種投入變數之差額變數

$s_r^-$ ：第  $r$  種產出變數之差額變數

對偶模式中，變數  $\theta$  對應原問題中之等號限制式， $\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1$ ，依據對偶性質，此變數無正負之限制，而實際上此變數代表受評單位之效率值，故其最佳解必為正值。 $s_i^+$  與  $s_r^-$  分別為投入與產出的差額變數，是線性規畫中將不等式轉換

為等式常用變數，可用來衡量技術無效率。 $s_i^+$  與  $s_r^-$  分別為原問題模式(2.4)式中產出與投入權數的互補差額變數(complementary slack variables)，藉由差額變數能明確了解投入與產出項所需改善的空間。受評單位相對有效率之充分且必要條件為  $\theta=1$  且  $s_i^+=s_r^-=0$ ，此時該受評單位是相對有效率的單位，否則即為相對無效率的單位。而無效率之單位欲達到效率的目標，需進行以下投入與產出的調整，亦即減少投入  $\Delta X_{ik}$  及增加產出  $\Delta Y_{rk}$ ：

$$\Delta X_{ik} = X_{ik} - (X_{ik} - s_i^{+*}) \quad (2.12)$$

$$\Delta Y_{rk} = (\theta^* Y_{rk} + s_r^{-*}) - Y_{rk} \quad (2.13)$$

### 2.3.4 BCC 模式

CCR 模式假設受評單位為固定規模報酬生產過程之下，衡量 DMU 的整體技術效率，然而生產無效率之因素有部分可能來自於規模無效率所造成，而並非技術無效率的緣故。因此，Banker、Charnes 與 Cooper 於 1984 年，以生產可能集合的四個公理和 Shephard 的距離函數，在包絡之要求上增加受評單位凸性組合之限制，將 CCR 模式之固定規模報酬之生產可能集合限制，放寬為變動規模報酬(Variable returns to scales, VRS)，推導出能夠衡量純粹技術效率(pure technical efficiency, PTE)及規模效率(scale efficiency, SE)之 BCC 模式，BBC 模式亦可分為投入導向與產出導向，如同前述依序介紹 BCC 產出導向之比率式、原問題與對偶命題三個模式，比率式模式如下：

$$\text{Min } \frac{1}{g_k} = \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rk}} \quad (2.14)$$

$$\text{s.t. } \frac{\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} + v_0}{\sum_{r=1}^s u_r Y_{rj}} \geq 1, \quad j=1, \dots, n \quad (2.15)$$

$$\begin{aligned} u_r &\geq \varepsilon > 0, \quad r=1, \dots, s \\ v_i &\geq \varepsilon > 0, \quad i=1, \dots, m \end{aligned} \quad (2.16)$$

$\varepsilon$  表極小的正數(設為  $10^{-6}$ )

$v_0$  無正負限制

模式中  $v_0$  可用以判定在產出觀點下，受評單位所處規模報酬之位置

$v_0 > 0$  時代表該 DMU 所對應之生產規模屬於「規模報酬遞減」

$v_0 = 0$  時代表該 DMU 所對應之生產規模屬於「規模報酬固定」

$v_0 < 0$  時代表該 DMU 所對應之生產規模屬於「規模報酬遞增」

由於(2.14)式之目標函數為分數規劃，不僅求解不易，且尚有無窮解之虞，為使求解方便，將目標函數之分母值固定為 1，轉換成線性規劃之模式，形成產出導向之原問題(primal)，模式如下：

$$\text{Min } \frac{1}{g_k} = \sum_{i=1}^m v_i X_{ik} + v_0 \quad (2.17)$$

$$\text{s.t. } \sum_{r=1}^s u_r Y_{rk} = 1 \quad (2.18)$$

$$\sum_{i=1}^m v_i X_{ij} - \sum_{r=1}^s u_r Y_{rj} + v_0 \geq 0, \quad j=1, \dots, n \quad (2.19)$$

$$u_r \geq \varepsilon > 0, \quad r=1, \dots, s \quad (2.20)$$

$$v_i \geq \varepsilon > 0, \quad i=1, \dots, m$$

$v_0$  無正負限制

同樣的為求計算上的方便且能夠增加解釋上的資訊，將原問題(2.17)式轉換成對偶命題，模式如下：

$$\text{Max } \frac{1}{g_k} = \theta + \varepsilon \left( \sum_{i=1}^m s_i^+ + \sum_{r=1}^s s_r^- \right) \quad (2.21)$$

$$\text{s.t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + s_i^+ = X_{ik}, \quad i=1, \dots, m \quad (2.22)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rj} - \theta Y_{rk} - s_r^- = 0, \quad r=1, \dots, s \quad (2.23)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (2.24)$$

$$\lambda_j, s_i^+, s_r^- \geq 0, \quad r=1, \dots, s$$

$$j=1, \dots, n, \quad i=1, \dots, m, \quad (2.25)$$

$\theta$  無正負限制

當  $\theta=1$  且  $s_i^+ = s_r^- = 0$  情況下，此時該受評單位具有 BCC 效率，反之未達效率境界，限制式隱含  $X_{ik}^* = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* X_{ij} = X_{ik} - s_i^{+*}$  以及  $Y_{rk}^* = \sum_{j=1}^n \lambda_j^* Y_{rj} = \theta^* Y_{rk} + s_r^{-*}$ ，因此無效率之單位欲達到效率之目標，可藉由差額變數進行改善，亦即減少投入  $\Delta X_{ik}$  及增加產出  $\Delta Y_{rk}$ ：

$$\Delta X_{ik} = X_{ik} - (X_{ik} - s_i^{+*}) \quad (2.26)$$

$$\Delta Y_{rk} = (\theta^* Y_{rk} + s_r^{-*}) - Y_{rk} \quad (2.27)$$

因 BCC 模式相較於 CCR 模式多了  $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$  凸性限制式，使得 BCC 模式可行解區域為 CCR 模式之子集合，故  $\theta_{CCR}^* < \theta_{BCC}^*$ ，學者將 BCC 模式所評估的效率值稱為純粹技術效率(pure technical efficiency, PTE)，CCR 模式所評估的效率值稱為總體技術效率(technical efficiency, TE)，兩者的比值則稱為規模效率(scale efficiency, SE)，其關係式如下：

$$TE = PTE \times SE \quad (2.28)$$

$$SE = TE / PTE \quad (2.29)$$

當規模效率等於 1 時，則表示具有規模效率，若規模效率小於 1 時則表示受評單位處於規模無效率的狀態，無效率情況是由遞增或是遞減的規模報酬所引起，藉由  $\sum_{j=1}^n \lambda_j^*$  可判定規模報酬之情況，整理如下：

- 當  $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* = 1$  時則表示該受評單位處於規模報酬固定階段
- 當  $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* < 1$  時則表示該受評單位處於規模報酬遞增階段
- 當  $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* > 1$  時則表示該受評單位處於規模報酬遞減階段

### 2.3.5 考量非意欲產出之下的 SBM 模式

SBM(slack-based measure)模式，是 Tone (2001)所提出，是以差額變數為衡量基礎的模式，與傳統的 CCR 模式與 BCC 模式的差異在於，傳統的 DEA 模式

是以射線差額的概念(radial projection)，使受評估單位的要素投入或產出項等比例調整(縮減或擴張)至效率前緣，並以該比例做為衡量效率的依據。若以投入導向來衡量受評單位的效率，其概念為在現有投入資源下，為達到效率前緣而尋求各項投入共同的最適縮減率；若以產出導向來衡量受評單位的效率，其概念為在現有的生產位置下，為了達到效率前緣而尋求各項產出共同的最適擴張率；然而，以射線方式衡量無法同時顧及兩種導向，同時也並未考量非射線差額(non-radial slacks)，若此差額對決策之進行有重要影響時，則可能會因未考慮非射線差額而造成決策方向的誤導。如圖 2.2 以產出導向為例，假設有一受評單位位處 A 點，並未座落在生產可能曲線(效率前緣)上，屬於相對無效率的受評單位，射線 DEA 模式以射線投射的方式將所有的產出項以等比例擴張的形式，使觀察點 A 投射至效率前緣 B 點，生產點 A 擴展到效率邊界投射點 B 的距離即為產出的射線差額 AB，產出射線效率為  $OA/OB$ ，B 點雖位於效率邊界，但仍有非射線差額 BC 並未受到考量，亦即受評單位可以在無需增加任何資源投入的情況下增加 BC 的  $Y_1$  產出。而 SBM 模式，為一非射線模式，並非如射線 DEA 模式對投入或產出採等比例共同調整的方式，而是能使每一投入項與產出項各自產生其最適的(縮減及擴張)比率，且能同時考慮投入產出的調整，做為衡量效率的方式。

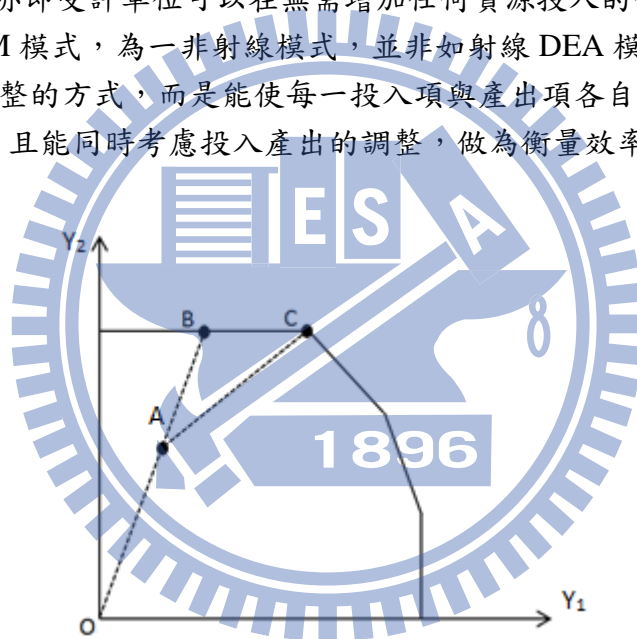


圖 2.2 效率衡量與產出差額

另一方面，由於傳統的 CCR 模式與 BCC 模式並無法直接將非意欲的產出(undesirable output)，也就是營運所產生負面不好的產出，當作是一般的產出變數，對受評估單位進行效率的衡量，而非意欲產出之 SBM 模式，能同時考慮一般產出與負面產出來衡量受評估單位間的相對效率，並且能提供無效率受評估單位欲達到有效率情境下之各項投入以及產出項的差額。本研究以港埠之溫室氣體排放量做為港口的非意欲產出，並利用考量非意欲產出之下的 SBM 模式來衡量各受評估單位納入環境因素下的效率。

考量非意欲產出之下的 SBM 模式是由 Tone (2004) 所提出，延伸於 Tone (2001) 所提出的 SBM 模式，能將受評單位營運所產生的負面產出，如：水汙染、空氣汙染及有害物質排放納入進行效率的衡量，該模式假設有  $n$  個受評估單，每個受

評估單使用  $m$  項投入  $x$ 、 $s_1$  項產出  $y^g$  與  $s_2$  項非意欲產出  $y^b$ ，以向量方式表達為

$\mathbf{x} \in R^m$ ， $\mathbf{y}^g \in R^{s_1}$ ， $\mathbf{y}^b \in R^{s_2}$ ，其投入與產出項之矩陣可定義為  $\mathbf{X} = [\mathbf{x}_1, \dots, \mathbf{x}_n] \in R^{m \times n}$ ，

$\mathbf{Y}^g = [\mathbf{y}_1^g, \dots, \mathbf{y}_n^g] \in R^{s_1 \times n}$ ， $\mathbf{Y}^b = [\mathbf{y}_1^b, \dots, \mathbf{y}_n^b] \in R^{s_2 \times n}$ ，生產可能集合(Production

Possibility Set)表示為  $P = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}^g, \mathbf{y}^b) | \mathbf{x} \geq \mathbf{X}\lambda, \mathbf{y}^g \leq \mathbf{Y}^g\lambda, \mathbf{y}^b \geq \mathbf{Y}^b\lambda, \lambda > \mathbf{0}\}$ ，並且假設

$\mathbf{x} > \mathbf{0}$ ， $\mathbf{y}^g > \mathbf{0}$ ， $\mathbf{y}^b > \mathbf{0}$ ， $\lambda$  為強度項量，代表為達到有效率情況下，DMU 的投入項與產出項所調整比例，以上的定義，對應到固定規模報酬。考量非意欲產出之 SBM 模式之數學式表達如下：

$$\text{Min } \rho_k^* = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{rk}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{rk}^b} \right)} \quad (2.30)$$

$$s.t. \quad \mathbf{x}_k = \mathbf{X}\lambda + \mathbf{s}^- \quad (2.31)$$

$$\mathbf{y}_k^g = \mathbf{Y}^g\lambda - \mathbf{s}^g \quad (2.32)$$

$$\mathbf{y}_k^b = \mathbf{Y}^b\lambda + \mathbf{s}^b \quad (2.33)$$

$$\mathbf{s}^-, \mathbf{s}^g, \mathbf{s}^b, \lambda \geq \mathbf{0} \quad (2.34)$$

在模式中向量  $\mathbf{s}^- \in R^m$ ，代表超額的投入量，向量  $\mathbf{s}^g \in R^{s_1}$ ，代表短缺的產出量，向量  $\mathbf{s}^b \in R^{s_2}$ ，代表超額的非意欲產出量，在(2.30)式中， $\rho_k^*$  為任一受評單位  $k$  的

相對效率值，且滿足  $0 < \rho^* \leq 1$ ，表示 SBM 模式所衡量的效率值限制在 0 到 1 之

間。當該 DMU 各項投入與產出不存在差額時，即  $\mathbf{s}^- = \mathbf{s}^g = \mathbf{s}^b = \mathbf{0}$ ，此時  $\rho^* = 1$ ，

則此 DMU 是有效率的。反之，若 DMU 之  $\rho^* < 1$ ，則代表此 DMU 相對無效率，

可藉由減少超額的投入量與非意欲產出量以及增加短缺的產出量，改善該 DMU 之效率以達到有效率的境界。(2.35)至(2.37)式為將無效率之 DMU 欲達到效率的

調整方式，其中  $(\mathbf{x}_k, \mathbf{y}_k^g, \mathbf{y}_k^b)$  代表效率邊界之投射點：

$$\mathbf{x}_k = \mathbf{x}_k - \mathbf{s}^- \quad (2.35)$$



$$\mathbf{y}_k^g = \mathbf{y}_k + \mathbf{s}^{g*} \quad (2.36)$$

$$\mathbf{y}_k^b = \mathbf{y}_k - \mathbf{s}^{b*} \quad (2.37)$$

由於(2.30)式之目標函數為分數規劃形式，不僅求解不易，且尚有無窮解之虞，為使求解方便，可利用 Tone (2001)提出的轉換方式，將目標函數轉換成線性規劃之模式。首先將目標式之分子分母同乘一數量變數 $t$  ( $t > 0$ )，令分母為1，移至限制式中，接著令 $\tau = \rho$ ,  $\mathbf{S}_i^- = t\mathbf{s}_i^-$ ,  $\mathbf{S}_r^g = t\mathbf{s}_r^g$ ,  $\mathbf{S}_r^b = t\mathbf{s}_r^b$ ,  $\Lambda_j = t\lambda_j$ ，考量非意欲產出之下的 SBM 模式之線性規劃模式為：

$$\text{Min } \tau_k^* = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{ik}} \quad (2.38)$$

$$s.t. \quad t + \frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{r=1}^{s_1} \frac{S_r^g}{y_{rk}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{S_r^b}{y_{rk}^b} \right) = 1 \quad (2.39)$$

$$\mathbf{x}_k t = \mathbf{X}\Lambda + \mathbf{S}^- \quad (2.40)$$

$$\mathbf{y}_k^g t = \mathbf{Y}^g \Lambda - \mathbf{S}^g \quad (2.41)$$

$$\mathbf{y}_k^b t = \mathbf{Y}^b \Lambda + \mathbf{S}^b \quad (2.42)$$

$$\mathbf{S}^-, \mathbf{S}^g, \mathbf{S}^b, \Lambda \geq \mathbf{0}, t > 0 \quad (2.43)$$

在線性規劃模式下求得的最佳解為 $(\tau^*, t^*, \Lambda^*, \mathbf{S}^-, \mathbf{S}^{g*}, \mathbf{S}^{b*})$ ，在經過轉換後 $\rho^* = \tau^*$ ,  $\mathbf{s}^{-*} = \mathbf{S}^- / t^*$ ,  $\mathbf{s}^{g*} = \mathbf{S}^{g*} / t^*$ ,  $\mathbf{s}^{b*} = \mathbf{S}^{b*} / t^*$ ,  $\lambda^* = \Lambda^* / t^*$ 可獲得各受評單位的最適效率值、各項投入與非意欲產出的超額以及意欲產出短缺量 $(\rho^*, \mathbf{s}^{-*}, \mathbf{s}^{g*}, \mathbf{s}^{b*}, \lambda^*)$ 。

## 2.4 港埠排放量計算項目及資料收集

在收集各國際港埠的排放資訊時發現，港埠溫室氣體統計項目主要包含兩類，分別為二氧化碳(CO<sub>2</sub>)以及二氧化碳排放當量(CO<sub>2</sub>e)，其中，二氧化碳當量(CO<sub>2</sub>e, carbon dioxide equivalent)是測量碳足跡(carbon footprints)的標準單位。概念是將不同溫室氣體(包含 CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>)對於暖化的影響程度轉換成相同當量的二氧化碳進行表示。當量的轉換需要有標準的轉換係數，此係數是根據每種氣體的全球暖化潛勢(global warming potential)，也就是特定時間內(通常指一百年)每種氣體相對於 CO<sub>2</sub>所造成的暖化影響力。根據標準資料，甲烷(CH<sub>4</sub>)的溫暖化潛勢是 21(代表一公噸的甲烷所造成的暖化效應是同量 CO<sub>2</sub>的 21 倍)，氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)的暖化潛勢是 310。

港埠排放量的計算項目主要來自於燃油引擎與電力消耗，由於，目前針對港

埠本身之溫室氣體排放進行計算的港口數量甚少，而且大部分港埠並非針對每個年度溫室氣體排放進行統計，同時也尚未有相關的平台或組織將各港埠的溫室氣體排放資料進行統整，需要逐一查詢各國港埠網站是否有出版公開報告書(如：Air emission inventory)，再針對可獲得的資料進行數據的整理。可收集到的資料多半來自於北美及歐洲地區部分已開發國家的少數港埠，亞洲地區，台灣所收集到的資料最為完整。

表 2.4 歐洲地區港埠溫室氣體排放源之計算依據

範疇	評估項目
範疇一	港口之直接排放源，包括港務管理單位的自有車隊、租賃車、貨物裝卸機具、船隊等直接使用燃料之排放源
範疇二	港口之間接排放源，為港務管理單位營運所需消耗的電力
範疇三	港口之其他間接排放源，主要來自於承租人營運過程相關的排放，包含遠洋船舶及貨車、貨物裝卸機具等，到港與離港之海洋相關運輸能源消耗、電力消耗以及員工上下班的通勤排放皆屬之

歐洲地區港口碳足跡的計算方式是採用 ISO 14064 國際標準，源自於世界企業永續發展委員會(World Business Council for Sustainable Development, WBCSD)與世界資源研究院(World Resources Institute, WRI)共同制定之溫室氣體盤查議定書(Greenhouse Gas Protocol)，此議訂出提供碳排放指導計算的準則，將排放源分為三個範疇(World Ports Climate Initiative, 2010；Port of Oslo, 2007)。各範疇的說明如表 2.4，範疇一為港口直接排放源，包括港務管理單位自有車隊、租賃車、貨物裝卸機具、船隊等直接使用燃料之排放源；範疇二為間接排放源，為港務管理單位營運所需消耗的電力；範疇三為其他間接排放源，包含遠洋船舶及貨車等，到港與離港之海洋相關運輸能源消耗皆屬之。目前歐洲地區可取得溫室氣體排放資料的港口共有三個，分別為哥德堡港、鹿特丹港、奧斯陸港，以上港口在進行排放計算時，並不會針對各範疇內的所有項目進行計算，如鹿特丹港、奧斯陸港在統計範疇三的排放僅針對員工上下班通勤的運具排放及商務旅次的飛機排放進行統計。

北美地區港埠的溫室氣體排放統計是所有可蒐集到的排放資料中資訊及內容最為詳盡的港埠，各港口均有針對港埠的空氣汙染排放建立空氣排放清冊(Air Emission Inventory)，將港埠營運所產生的溫室氣體排放劃分為遠洋船舶、港勤船舶、貨物裝卸機具、鐵路機車頭、重型柴油貨車五個主要排放項目，並詳細提供各個項目計算排放量所需利用的資料依據，例如到港船隻數量與類別、港口各項機具馬力和持有數量以及到港貨車數量、引擎排放因子等等，此外這五類港口排放源也均有嚴謹的計算公式來進行排放量的統計，所計算出的排放量，其結果是可以被驗證的。北美地區可蒐集到進行溫室氣體排放統計的貨櫃港口共有 9 個，分別為洛杉磯港、長堤港、紐約港、奧克蘭港、維吉尼亞港、休士頓港、溫哥華港、塔科瑪港以及西雅圖港。

亞洲部分僅取得高雄港、基隆港、台中港以及台北港四個台灣港口的排放資料，其排放的計算方式與北美相近，計算包含遠洋船舶、港勤船舶、貨物裝卸機具、鐵路機車頭、重型柴油貨車五個港口主要排放項目，台灣港口部分另外還多計算外購電力所產生的排放量以及漁船排放量，其中，在重型柴油貨車方面，北美地區的計算範圍與台灣港口有所差異，台灣是只計算港內的車輛所產生的排放量，而北美地區的港口則是計算包括港區內及港區外車輛行駛於港口腹地道路上所產生的排放。

由於歐洲港口在溫室氣體排放的計算方式與排放的計算項目上與北美及台灣港口有所不同，例如：北美港口針對遠洋船舶、港勤船舶及柴油貨車進行排放量計算，但歐洲港口並未對這類的排放項目進行計算；而歐洲港口所計算的員工上下班的通勤排放以及港區內建築所耗用的電力與天然氣排放，在北美地區港埠則未將其納入計算中，此差異造成歐洲港口所計算的溫室氣體排放明顯少於北美與台灣兩地區，因此歐洲地區的港埠不納入本研究分析的對象，故本研究主要以北美 9 個國際貨櫃港口為主要研究對象，對其進行環境效率與經營效率的評估；並會針對北美地區與台灣共 12 個港口進行環境效率的分析。

將北美、台灣與歐洲地區兩種不同溫室氣體排放量的計算方式的比較列於表 2.5，北美港埠詳細的排放計算方式將於第三章進行介紹。

表 2.5 北美、台灣與歐洲地區兩種不同的港口溫室氣體排放計算方式之比較

港口	北美與台灣港埠	歐洲港埠
排放計算方式	將營運所產生的排放分為以下五個類別，計算港口的溫室氣體排放量： 1.遠洋船舶 2.港勤船舶 3.貨物裝卸機具 4.鐵路機車頭 5.重型柴油貨車 (台灣多計算外購電力的排放)	將港口的溫室氣體排放源劃分為三個範疇(Scope)，計算各範疇的排放量，分別為： Scope 1：港口的直接排放源 Scope 2：港口的間接排放源 Scope 3：港口其他間接排放源

表 2.6 與表 2.7 分別將北美地區與台灣可取得之港埠各年度溫室氣體排放量資料以表列的方式進行統整，數據資料收集的過程，是逐一查詢各別港口官方網站，了解各港埠是否有針對有害氣體排放建立空氣汙染排放清冊，並將有建立空氣汙染排放清冊的港口，整理其港區各類營運項目的排放，經過加總後獲得當年度港埠的溫室氣體排放。

其中，洛杉磯港與長堤港是目前全美貨櫃吞吐量排名前兩大港，兩港位置相鄰同處於聖佩羅德灣區(San Pedro Bay)，並於 2005 年開始每個年度建立空氣汙染排放清冊(Air Emission Inventory)，目前最新一期的空氣汙染排放清冊已出

版至 2012 年度，洛杉磯港與長堤港亦是所有進行資料收集的港埠中，排放數據的資料最為詳細且完整的港口。紐約與紐澤西港，是北美地區吞吐量第三大港，於 2006 年起每兩個年度對港埠的污染氣體排放量進行計算，最新年度的空氣污染排放清冊已出版至 2010 年。奧克蘭港吞吐量位居美國第四大港，於 2005 年已有建置排放清冊，但僅針對港區的懸浮微粒(particulate matter, PM)、氮氧化物(nitrogen oxides, NO<sub>x</sub>)、二氧化硫(sulfur oxides, SO<sub>2</sub>)、一氧化碳(carbon monoxide, CO)等進行計算，並未統計溫室氣體的排放，於 2012 年，新一期的排放清冊出版，並加入對溫室氣體排放的計算。塔科瑪港、西雅圖港、埃弗雷特港同位處於美國普吉特海灣(Puget Sound)，Puget Sound Maritime Air Forum 於 2007 年與 2013 年分別出版 2005 年及 2011 年普吉特海灣海洋空氣排放清單(Puget Sound Maritime Air Emissions Inventory)，同時針對塔科瑪港、西雅圖港、埃弗雷特港及周邊的小型港口的溫室氣體及污染氣體進行統計。

表 2.6 北美 9 個國際貨櫃港埠溫室氣體排放統計表

港口	排放量統計年份								統計項目	
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> e
洛杉磯港 <sup>[1]</sup>	●	●	●	●	●	●	●	●	√ <sup>[a]</sup>	√ <sup>[a]</sup>
長堤港 <sup>[2]</sup>	●	●	●	●	●	●	●	●	√	√
紐約港 <sup>[3]</sup>		●		●		●			√	√
奧克蘭港 <sup>[4]</sup>								●	√	√
維吉尼亞港 <sup>[5]</sup>				●			●		√	
休士頓港 <sup>[6]</sup>			●						√	
溫哥華港 <sup>[7]</sup>						●			√	
塔科瑪港 <sup>[8]</sup>	●						●			√
西雅圖港 <sup>[8]</sup>	●						●			√

註：[a]洛杉磯港所蒐集之 CO<sub>2</sub> 排放量資料年度由 2005 年至 2010 年，而 CO<sub>2</sub>e 排放量資料年度從 2005 年至 2012 年

資料來源：[1]洛杉磯港(Starcrest Consulting Group, LLC. 2013. Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions 2012. The Port of Los Angeles.)；[2]長堤港(Starcrest Consulting Group, LLC. 2013. Port of Los Beach Inventory of Air Emissions 2012. The Port of Los Beach.)；[3]紐約港(Starcrest Consulting Group, LLC. 2012. The Port Authority of New York and New Jersey Port Commerce Department 2010 Multi-facility emission inventory. The Port Authority of New York and New Jersey.)；[4]奧克蘭港(ENVIRON International Corporation. 2013. Port of Oakland 2012 Seaport Air Emissions Inventory. Port of Oakland.)；[5]維吉尼亞港(Moffatt & Nichol. 2013. 2011 Comprehensive Air Emissions Inventory Update. The Port of Virginia.)；[6]休士頓港(Starcrest Consulting Group, LLC. 2009. 2007 Goods Movement Air Emissions Inventory at The Port of Houston. Port of Houston Authority.)；[7]溫哥華港(SLR International Corporation. 2013. Northwest Ports Clean Air strategy. Metro Vancouver.)；[8]塔科瑪港,西雅圖港(Starcrest Consulting Group, LLC. 2013. Puget Sound Maritime Air Emissions

在台灣的部分，交通部運輸研究所於民國 100 年至 103 年推動「台灣港埠節能減碳效益提升之研究」四年期計畫，建立港區的排放清冊並進行碳交易在港埠地區推動之研究，針對主要國際貨櫃港埠高雄港、基隆港、台中港、台北港的溫室氣體及污染氣體進行統計，目前已進入至四年期計畫的第三年，完成 2009 年至 2012 年台灣港口排放清冊的建置，而台北港也於 2011 年建立起排放清冊。

表 2.7 台灣港埠溫室氣體排放統計表

港口	排放量統計年份								統計項目	
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> e
高雄港 <sup>[1]</sup>					●	●	●	●	✓	✓
基隆港 <sup>[1]</sup>					●	●	●	●	✓	✓
台中港 <sup>[1]</sup>					●	●	●	●	✓	✓
台北港 <sup>[1]</sup>							●	●	✓	✓

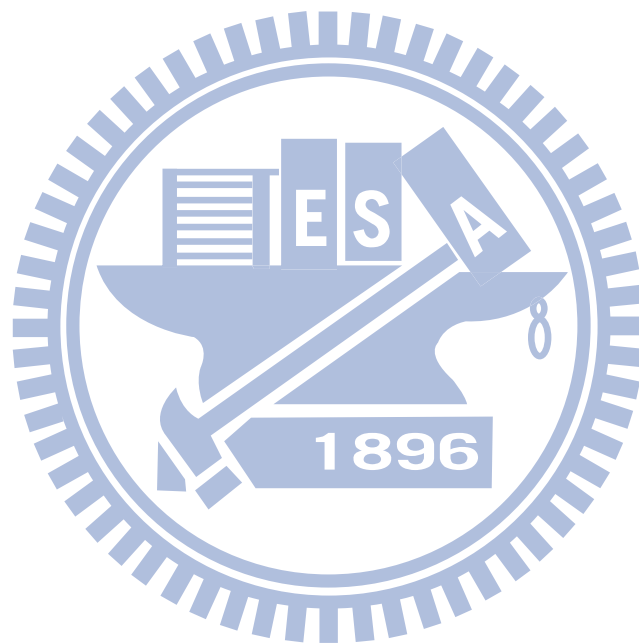
資料來源：[1]高雄港、台中港、基隆港、台北港(葉雨松等，民國 103 年。臺灣港埠節能減碳效益提升之研究(3/4)，交通部運研所)

## 2.5 小結

隨著全球化趨勢形成，國際間商品貿易日趨重要，而貨櫃運輸是促成商品在國際間移動的主要運具，也造成負責處理貨櫃的港埠彼此的競爭更佳激烈，各港埠管理單位試圖提升其生產力與服務品質以維持其競爭優勢；過去對國際貨櫃港埠進行績效評估的研究十分廣泛，但隨著溫室氣體的大量排放，造成暖化與極端氣候的出現，永續發展的議題受到關注，航商與貨主對於兼具環境保護的消費行為也開始重視，當我們在衡量港埠效率時，不能再僅以港埠於既有的投入下所能創造的生產力與貨櫃處理能力做為評估港埠是否為效率的依據，港埠在營運過程造成的環境汙染和溫室氣體排放等，引起負面之外部性，也應同時納入影響港埠效率的評量當中。

在過去的文獻中將環境因素納入考量進行港埠效率的研究甚少，僅有 Chang (2013)將港口營運所製造的二氧化碳做為負面的產出，針對韓國國內 23 個港口進行環境效率與經濟效率的評估。而因應國際貿易的發展，本研究將問題延伸，以國際貨櫃港埠為研究對象，逐一查詢各港埠官方網站所提供的公開報告書，確認各港口是否有針對溫室氣體排放進行統計，將有計算溫室氣體排放的港口資料與報告書進行統整，了解各港口劃分溫室氣體排放項目的方式、各排放項目所計算的細項內容、排放量的計算範圍、不同項目的排放量計算方法以及港埠所提出的減排措施等，最後將各港口的溫室氣體排放資料依不同年度與不同排放源進行彙總，獲得各港埠的溫室氣體排放資料，並利用所統整的各港埠排放資料，以及經由國際貨櫃化雜誌整理而得的其他投入與產出資料，對國際貨櫃港埠進行環境

效率與經營效率的分析。



## 第三章 研究方法與結果分析

### 3.1 投入與產出變數的選取

#### 3.1.1 產出變數的選取與介紹

本研究主要是探討國際貨櫃港埠之營運能否達到經營效率與環境效率，為了反映兩種效率之評估，因此在產出變數部分選擇「貨櫃吞吐量」與「二氧化碳排放當量(CO<sub>2</sub>e)」兩項；過去文獻大多選擇以貨櫃吞吐量做為衡量港埠績效之產出變數，國際間也經常以港埠的年度貨櫃吞吐量多寡作為世界排名的依據，因此，貨櫃吞吐量為國際貨櫃港埠展現其生產力與處理能力的主要指標。

另一方面，溫室氣體排放的多寡是目前各項產業用以檢視其是否達到綠色營運的主要觀察的項目，同時，溫室氣體也是造成全球暖化的主要來源，是受評估單位運作所產生的非意欲產出(undesirable output)，故對於評估港埠是否存在環境效率，選用港埠的二氧化碳排放當量作為指標，表 3.1 對所選取的產出變數進一步說明。

表 3.1 港埠產出變數之說明

類別	產出項目指標	說明
意欲產出 Desirable output	貨櫃吞吐量 Container throughput (單位：TEU)	貨櫃吞吐量能反映貨櫃港埠本身的生產力與貨櫃處理能力，國際間也經常以年度貨櫃吞吐量作為港埠排名的依據。
非意欲產出 Undesirable output	二氧化碳當量 Carbon dioxide equivalent(CO <sub>2</sub> e) (單位：公噸)	測量碳足跡的標準單位，概念是將不同溫室氣體(包含 CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> O、CH <sub>4</sub> )對於暖化的影響程度轉換成相同當量的二氧化碳進行表示。溫室氣體排放多寡反映出該港埠對於環境的影響程度，故選其做為評估港埠環境效率之指標。

二氧化碳當量(CO<sub>2</sub>e)於本文的 2.5 節已有提到，當量的轉換需要有標準的轉換係數，此係數是根據每種氣體的全球暖化潛勢(global warming potential)，也就是特定時間內每種氣體相對於 CO<sub>2</sub> 所造成的暖化影響力。根據標準資料，甲烷(CH<sub>4</sub>)的溫暖化潛勢是 21(代表一公噸的甲烷所造成的暖化效應是同量 CO<sub>2</sub> 的 21 倍)，氧化亞氮(N<sub>2</sub>O)的暖化潛勢是 310。

由於目前對港埠本身之溫室氣體排放進行計算的港口數量甚少，可收集到的資料多半來自於北美及歐洲地區部分已開發國家的少數港埠，亞洲地區僅有台灣所收集到的資料最為完整，另一方面，如同文中 2.4 節所提到，歐洲地區，將港埠之溫室氣體排放劃分為三項範疇進行計算，計算方法與項目與北美洲與台灣地

區差異較大，後者將港埠的排放源劃分為五個主要項目進行計算，因此歐洲地區之港埠不納入分析的對象，本研究主要以北美洲的 9 個國際貨櫃港埠做為績效評估的對象進行分析，並於 3.6 節加入台灣的貨櫃港埠共同進行環境效率的分析。

本研究將北美洲與台灣兩地區各個國際貨櫃港埠可取得之空氣汙染排放清冊(Air emissions inventory)進行收集統整，空氣汙染排放清冊主要目的是統計當年度港埠營運所造成各項環境破壞與污染氣體的排放量，這些造成環境破壞與污染的氣體包括溫室氣體(greenhouse gas, GHG)、懸浮微粒(particulate matter, PM)、柴油微粒物質(diesel particulate matter, DPM)、氮氧化物(nitrogen oxides, NO<sub>x</sub>)、硫氧化物(sulfur oxides, SO<sub>x</sub>)、一氧化碳(carbon monoxide, CO)等等，並依據港口活動將港埠引起空氣污染的項目區分為五大類，分別為：

1. 遠洋船舶(Ocean-Going Vessels, OGV)
2. 港勤船舶(Harbor Craft, HC)
3. 貨物裝卸機具(Cargo Handling Equipment, CHE)
4. 鐵路機車頭(railroad locomotives)
5. 重型柴油貨車(Heavy-Duty Vehicles, HDV)

以上五個大類的排放源均有對各類污染氣體的排放量進行計算，在此僅針對溫室氣體排放的計算進行說明，港埠五個排放項目之溫室氣體排放計算方法列於表 3.2，雖然少數港埠在計算方法上有些許差異，但影響總體排放量計算的結果甚低，故將此計算上的差異予以忽略；

表 3.2 港埠各項項目之溫室氣體排放計算方式

排放項目	排放計算方法
遠洋船舶	$Emission = Energy \times EF \times FCF \times CF$
港勤船舶	$Emission = Power \times Activity \times LF \times EF \times FCF$
貨物裝卸機具	$Emission = Power \times Activity \times LF \times EF \times FCF \times CF$
鐵路機車頭	$Emission = \frac{(Annual\ work \times EF)}{(453.59\ g/lb \times 2,000\ lb/ton)}$
重型柴油貨車	$Emission = Pop \times Activity \times Ber \times CF$

註：*Emission*：引擎排放量(公克)；*Energy*：消耗能源(kWh)；*EF*:排放係數(g/kwh)；*FCF*:燃料校正係數(無單位)；*CF*:可減少排放設備之減量係數(無單位)；*Power*:引擎動力(hp)；*LF*:負載係數(無單位)；*Pop*:車輛數；*Ber*:單一車輛行駛里程之排放係數(g/mile)；*Activity*：引擎工作時數(hr)，在計算重型柴油貨車時表示車輛平均行駛里程(mile)。

以下以美國洛杉磯港為例，說明港埠溫室氣體排放的計算範圍，在遠洋船舶排放方面，遠洋船舶的排放主要來自於三項設備，包含主引擎(Propulsion Engine)、輔助引擎(Auxiliary Engine)以及輔助鍋爐(Auxiliary Boiler)；如圖 3.1，遠洋船舶之排放計算範圍分別來自東、西、南、北四條航路之進港與離港船舶的排放量，



以及在警戒區(Precautionary Zone)內船舶下錨、停泊、船席間移動等各項操縱之排放量。

港勤船舶排放方面，港勤船舶之類別包含輔助拖船、港勤交通船、遠洋拖船、商用漁船、拖船、遊覽船、政府船、渡輪與工作船等九項，其溫室氣體排放量是藉由統計上述之船舶在規範區域內之排放所獲得。

貨物裝卸機具排放方面，機具類別包含堆高機、門式起重機、橋式起重機、跨載機以及拖車等，其排放源主要來自於各項貨櫃貨物的裝卸、搬運與處理所造成機具引擎操作之排放。

鐵路機車頭排放部分，主要來自於鐵路進行港埠貨物運送所造成引擎運作之排放，如圖 3.2，洛杉磯港以南海岸空氣盆地地區(South Coast Air Basin)為溫室氣體排放之計算範圍。

重型柴油貨車排放方面，來自於貨車引擎燃油排放，可分為港內移動的排放及道路運輸排放，港內移動包含排隊進港、離港與等待貨物裝卸時車輛怠速惰轉所造成的排放，離港道路運輸則是於南海岸空氣盆地進行貨運移動造成的溫室氣體排放。



圖 3.1 洛杉磯港之警戒區與主要航線圖

資料來源：Starcrest Consulting Group, LLC. 2013. Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions 2012. The Port of Los Angeles.



圖 3.2 洛杉磯港鐵路與陸路運輸路線圖

資料來源：Starcrest Consulting Group, LLC. 2013. Port of Los Angeles Inventory of Air Emissions 2012. The Port of Los Angeles.

鐵路機車頭排放部分，主要來自於鐵路進行港埠貨物運送所造成引擎運作之排放，如圖 3.2，洛杉磯港以南海岸空氣盆地地區(South Coast Air Basin)為溫室氣體排放之計算範圍。

重型柴油貨車排放方面，來自於貨車引擎燃油排放，可分為港內移動的排放及道路運輸排放，港內移動包含排隊進港、離港與等待貨物裝卸時車輛怠速情轉所造成的排放，後者則是於南海岸空氣盆地進行貨運移動造成的溫室氣體排放。

### 3.1.2 投入變數的選取與介紹

影響國際港埠經營效率的因素甚多，變數的選擇需同時考慮適切性與資料的可取得性，本研究主要研究對象為北美洲地區之國際貨櫃港埠，故投入變數之選取也須符合貨櫃港埠營運之需求，藉由文獻的整理可將所選擇的投入變數分為「勞動力」、「資本設備」與「其他生產的投入」三類。由於各港埠勞動力數量資料不易取得，因此過去文獻主要以港埠營運所需使用的各項機具設備數量與土地面積作為投入變數。參考過去文獻之精神，本研究所收集的投入變數資料包含「貨櫃船席總長度(公尺)」、「橋式起重機數量(台)」、「貨櫃碼頭面積(平方公尺)」以及「堆貨場儲存容量(TEU)」等四項資料，表 3.3 對所選取的投入變數進一步說明。

表 3.3 港埠投入變數之說明

投入項目指標	說明
貨櫃船席總長度 Length of berth (單位：公尺)	貨櫃船席為提供貨櫃船停靠，使定泊於船席的船舶進行裝卸貨櫃之作業，貨櫃船席長度越長，所能靠泊的船隻數量越多，也可有效減少船舶等待時間，由於各港埠所擁有的船席數量不同，每個船席間的長度也有所不同，隨著貨櫃船舶趨向大型化，可能使得一艘船舶的停泊超過一個船席的情況，因此選用船席總長度做為評估港埠效率指標。
橋式起重機數量 Number of cranes (單位：台)	橋式起重機的主要功能為從事船舶與岸邊碼頭之貨櫃裝卸作業，起重機的數量與處理能力，為影響港埠吞吐量與績效的重要依據。
貨櫃碼頭面積 Area of container terminal (單位：平方公尺)	包含貨櫃集散場、貨櫃堆積場與貨櫃存放場，主要目的是擺放船舶所卸下之貨櫃，故貨櫃碼頭面積，影響港埠作業能否流暢與迅速運行，因此選用貨櫃碼頭面積做為評估貨櫃港埠效率的指標。
堆貨場儲存容量 Container storage (單位：TEU)	貨櫃場所擁有的堆積容量，能反映該港埠所能負載的貨櫃數量，也影響到港埠的裝卸量，是評估港埠效率重要指標。

受限於進行溫室氣體排放量統計的港口並不多，使得可進行效率評估的國際貨櫃港埠有所限制，在受評估單位數量受到限制之下，使用過多的投入與產出變數進行效率分析可能會使受評單位之間缺乏比較的基準，減少資料包絡分析法的辨識能力，而導致相對有效率的港口數量增加(Panayides et al., 2009)，根據過去研究所歸納的經驗法則，受評單位的個數至少應為投入項與產出項個數總和的兩倍(Thompson et al, 1986; Bowlin, 1987; 高強等人，2003)，本研究以北美地區 9 個國際貨櫃港埠為受評估單位，故在經驗法則之下投入與產出的數量總和應為 4 個，產出變數部分分別為用以評估港埠環境以及生產力的「二氧化碳當量」與「貨櫃吞吐量」兩項，因此在投入變數部分也需篩選至兩項。

在投入變數篩選部分，將 9 個國際貨櫃港埠之四項投入與兩項產出變數之數據資料列於附錄 7，而投入與產出變數間的相關係數列於表 3.4。

首先觀察各投入變數之間的相關性，若部分的投入項間存在高度相關性，則投入變數之間可能存在可替代的關係，如港口所擁有的「橋式起重機數量」越多，則須擁有相當距離的「貨櫃船席長度」來提供建置，兩者存在高度相關性，此兩項投入變數對產出變數的影響相似，將能相互代換的資源投入予以排除，從中選擇一項作為投入變數，對於評估的結果影響不大；接著觀察各項投入變數與產出變數之間的相關性，若投入項與產出項的相關性較低，則表示該項投入對產出的貢獻性較少，故應將與產出相關性較低的投入變數予以去除；在以上的篩選方式之下，由於「橋式起重機數量」與「貨櫃船席長度」兩項投入變數相關性高達(0.926)，

且「橋式起重機數量」對於產出變數間的相關性低於「貨櫃船席長度」，故排除「橋式起重機數量」這項投入變數，另外，由表 3.4 可知投入項「貨櫃碼頭面積」與產出項「二氧化碳排放當量」相關性為 0.197，相較其他投入項目而言，貨櫃碼頭面積的大小對於「二氧化碳排放當量」並沒有顯著的影響，將其予以排除，經過篩選後所留下的兩項投入變數為「貨櫃船席長度」與「堆貨場儲存容量」。

表 3.4 投入與產出變數之相關性分析

	貨櫃船席 長度	橋式起重 機數量	貨櫃碼頭 面積	堆貨場儲 存容量	二氧化碳 當量	貨櫃吞吐 量
船席總長度(m)	1.000					
橋式起重機數量(台)	0.926	1.000				
貨櫃碼頭面積(m <sup>2</sup> )	0.832	0.819	1.000			
堆貨場儲存容量(TEU)	0.739	0.657	0.606	1.000		
二氧化碳當量(公噸)	0.501	0.469	0.197	0.686	1.000	
貨櫃吞吐量(TEU)	0.966	0.925	0.786	0.830	0.658	1.000

### 3.2 資料包絡分析法之模式選取

在本研究以港口營運所排放的溫室氣體為環境影響因素，納入衡量港埠的經營效率，而港埠營運所產生的二氧化碳排放當量是負面的產出，即非意欲產出，傳統 CCR 與 BCC 模式無法將受評單位營運所造成的非意欲的產出，當作是產出變數，對受評估單位進行績效的衡量；Seiford and Zhu (2002)歸納以下四個處理非意欲產出來衡量受評估單位效率的方式，第一種方式是將問題進行簡化，直接忽略非意欲產出，進行效率之評估；第二種方式是 Färe et al (1989)所提出，利用非線性之資料包絡分析法以雙曲線的方式來評估，其概念是以同時減少投入、增加產出並降低非意欲產出的曲線效率來進行績效之評估，比起僅衡量投入與意欲產出來評估效率的方式，更能符合追求利潤極大以及存在政府管制下的行為，缺點在於其缺少共同比較的基準，導致無法產生一致性的整體產業效率(李文福 and 范雅鈞, 2010)；第三種方式是將非意欲產出視為投入變數對問題進行效率分析，但此方式並不能反映真實的生產過程，第四個方法則是將非意欲產出做單調遞減轉換，如 Seiford and Zhu (2002)將非意欲產出項之值加上負號，接著，以一個適當轉換向量使負值的非意欲產出項轉換為正值後，再進行效率的分析。

另外，Lu et al. (2013)也提到五種處理非意欲產出以衡量受評單位效率之方式，其中三種與 Seiford and Zhu 所提出的方式相同，其餘的兩種方法，其一是 Chung et al., (1997)所提出，以方向性距離函數方式衡量受評單位效率值，以產出導向的方式計算方向性距離函數，將意欲產出與非意欲產出兩者作為方向向量，朝向增加意欲產出同時減少非意欲產出的方向做調整，依據既定投入水準下，受評單位要達到有效率情況時，意欲產出與非意欲產出所需擴張與縮減的程度，來

衡量無效率的程度 (卓佳慶, 2011)。另一種方式則是以 SBM 非射線模式衡量受評單位之效率, 亦是本研究所使用的效率評估方式, 改善傳統 CCR 與 BCC 模式未考慮非射線差額並以等比率方式縮減與擴張投入與產出項之數量, 在非射線效率下能使各項投入項與產出項獲得各自最適的(縮減及擴張)比率, 能同時考慮一般產出與負面的產出來衡量受評估單位間的相對效率, 並且提供無效率受評估單位欲達到有效率情境下之各項投入以及產出項的差額。

本研究以可衡量非意欲產出的 SBM 模式作為分析模式, 模式的概念於 2.3.5 節已進行介紹, 在此則針對研究情境對模式進行說明, 本研究以北美洲地區共計 9 個國際貨櫃港埠最新年度的資料作為受評單位, 在沒有足夠資訊確定港埠生產規模的情況下, 以固定規模報酬(Constant returns to scale, CRS)模式對 9 個國際貨櫃港埠進行環境效率評估, 所選用投入變數  $x$  分別為「貨櫃船席總長度(公尺)」

以及「堆貨場儲存容量(TEU)」共 2 項, 1 項意欲產出  $y^g$  為「貨櫃吞吐量(TEU)」,

1 項非意欲產出  $y^b$  為「二氧化碳排放當量(公噸)」; 生產可能集合(Production

Possibility Set)表示  $P = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}^g, \mathbf{y}^b) | \mathbf{x} \geq \mathbf{X}\lambda, \mathbf{y}^g \leq \mathbf{Y}^g\lambda, \mathbf{y}^b \geq \mathbf{Y}^b\lambda, \lambda \in R^n\}$ , 並且假設

$\mathbf{x} > \mathbf{0}$ ,  $\mathbf{y}^g > \mathbf{0}$ ,  $\mathbf{y}^b > \mathbf{0}$ ,  $\lambda$  為密度向量, 代表為達到有效率情況下, DMU 的投入項與產出項所調整比例, 以上的定義, 對應到固定規模報酬。考量非意欲產出之下的 SBM 模式表達如下:

$$\min \rho_k^* = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{ik}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{rk}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{rk}^b} \right)} \quad (3.1)$$

$$s.t. \quad \mathbf{x}_k = \mathbf{X}\lambda + \mathbf{s}^- \quad (3.2)$$

$$\mathbf{y}_k^g = \mathbf{Y}^g\lambda - \mathbf{s}^g \quad (3.3)$$

$$\mathbf{y}_k^b = \mathbf{Y}^b\lambda + \mathbf{s}^b \quad (3.4)$$

$$\mathbf{s}^-, \mathbf{s}^g, \mathbf{s}^b, \lambda \geq \mathbf{0} \quad (3.5)$$

在模式中向量  $\mathbf{s}^- \in R^m$ , 代表超額的投入量, 向量  $\mathbf{s}^g \in R^{s_1}$ , 代表短缺的產出量, 向量  $\mathbf{s}^b \in R^{s_2}$ , 代表超額的非意欲產出量,  $\rho_k^*$  為任一國際貨櫃港埠  $k$  的相對效率值, 當該港埠各項投入項與產出項不存在差額時, 即  $\mathbf{s}^- = \mathbf{s}^g = \mathbf{s}^b = \mathbf{0}$ , 此時  $\rho_k^* = 1$ ,

則此港埠存在環境效率。反之，若受評單位之 $0 < \rho^* < 1$ ，則代表此港埠相對無環境效率，可藉由減少超額的投入量與非意欲產出量或者增加短缺的產出量，改善該港埠之效率以達到有效率的境界。

### 3.3 受評估單位之選用

受評估單位的選用方面，必須選取生產過程具有同質性(Homogenous)的組織，包括(1)各受評單位具備相同的目標，且擁有相同類別的資源投入，並生產相同種類的產品，提供相同的服務，(2)各受評單位應在相似的經營環境與市場條件下運作，如此才能在同一基準進行評估，另外，受評單位需具備決策與管理的功能，才有調整投入與產出數量的權力，能對無效率的部分進行改善。

表 3.5 所評估之國際貨櫃港埠及港埠完整資料年度

港口	完整投入與產出資料的年度							
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
洛杉磯港	●	●	●	●	●	●	●	●
長堤港	●	●	●	●	●	●	●	●
紐約港		●		●		●		
奧克蘭港								●
維吉尼亞港				●			●	
休士頓港			●					
溫哥華港						●		
塔科瑪港	●						●	
西雅圖港	●						●	

本研究針對北美地區 9 個國際貨櫃港埠進行效率的評估與比較，在資料收集方面，各港埠各年度的投入項資料以及貨櫃吞吐量(TEU)三項數據是從國際化貨櫃雜誌(Containerisation International Yearbook)2005 年至 2012 年資料進行整理後獲得；二氧化碳排放當量(公噸)數據則是從各國國際貨櫃港埠官方所提供的各年度空氣污染排放報告書(Air Emissions Inventory)中取得；但由於目前執行溫室氣體排放統計的港埠數量並不多，使得能評估的港埠數量受到限制，再加上大部分港埠並非針對每個年度溫室氣體排放進行統計，而是以複數年度作為一次計算循環的方式進行統計，因此，受評單位的資料年度受限於港埠溫室氣體排放資料的可取得性，無法獲得每個港口同一個年度的溫室氣體排放資料進行效率的衡量，故本研究是針對 9 個國際貨櫃港埠從 2005 至 2012 年蒐集到完整投入與產出資料之最新年度作為分析對象，表 3.5 列出所評估的 9 個國際貨櫃港埠及該港埠可蒐集到完整資料的年度，所選出的受評估對象分別為洛杉磯港、長堤港、奧克蘭港選取 2012 年資料、維吉尼亞港、塔科瑪港、西雅圖港選取 2011 年資料、紐約港與

溫哥華港選取 2010 年資料、休斯頓港選取 2007 年資料。將以上 9 個受評估單位之各項投入與產出資料列於表 3.6，其中，各項投入與產出項資料都屬於貨櫃碼頭數據，除了二氧化碳排放當量的資料是來自於港口整體營運所產生的排放，主要原因是港埠在計算氣體的排放時，並無法明確的切割哪些是屬於貨櫃業務所產生的排放，而哪些則來自於乾散貨業務的排放；再加上所評估的 9 個港口主要是以貨櫃業務為主，因此以港埠所產生的二氧化碳當量作為非意欲產出。

表 3.6 北美地區 9 個受評估單位之各項投入與產出資料

港口	項目	年份	船席總長度 (m)	堆貨場儲存容量 (TEU)	二氧化碳當量 <sup>[1]</sup> (公噸)	貨櫃吞吐量 (TEU)
洛杉磯港		2012	9381	104006	850898	8077714
長堤港		2012	7323	127432	743207	6045655
紐約港		2010	7615	48323	498185	5292020
奧克蘭港		2012	5424	28375	202192	2344392
維吉尼亞港		2011	4560	49282	229442	1918029
休士頓港		2007	3525	36084	569323	1768627
溫哥華港		2010	4404	46832	755671	2514309
塔科瑪港		2011	2884	28300	359962	1476148
西雅圖港		2011	4231	47150	519868	2049733

資料來源：國際貨櫃化雜誌（Containerisation International Yearbook）2008 至 2012 年

<sup>[1]</sup>來自於各國際貨櫃港埠網站所提供之氣體排放 Air Emissions Inventory 報告書

表 3.7 二氧化碳排放當量之單位轉換

港口	項目	年份	轉換前 CO <sub>2</sub> e (短噸)	轉換後 CO <sub>2</sub> e (公噸)
長堤港		2006	1360481	1234201
		2007	1289949	1170216
紐約港		2006	591053	536191
		2008	542834	492448
		2010	549158	498185
奧克蘭港		2012	222880	202192
維吉尼亞港		2008	258527	234531
		2011	252918	229442
休士頓港		2007	627574	569323
塔科瑪港		2005	485463	440402
		2011	396792	359962
西雅圖港		2005	605240	549062
		2011	573059	519868

其中港口所排放的溫室氣體資料來自各港埠官方報告書，部份港口，如紐約港、奧克蘭港、休士頓港、西雅圖港、塔科瑪港以及 2006、2007 年的長堤港使用短噸(tons per year, Tpy)作為計算排放的單位，在此將其統一轉換為公噸(metric ton)以利評估而非修正報告書的數值，短噸與公噸的單位轉換為：1 短噸=0.90718 公噸，將轉換的港埠資料列於表 3.7。

### 3.4 投入與產出變數之相關統計與檢定

將北美 9 個國際貨櫃港埠各項投入項與產出項資料之敘述性統計結果列於表 3.8，投入變數方面，船席總長度最大值為洛杉磯港的 9381 公尺，最小值為塔科瑪港 2884 公尺，9 個港口平均值為 5483 公尺；堆貨場儲存容量最大值為長堤港的 127432TEU，最小值為塔科瑪港 28300 TEU，平均值為 57309TEU。在產出變數部份，港埠的二氧化碳排放當量最大值為洛杉磯港 850898 公噸，最小值為奧克蘭港所排放的 202192 公噸，平均排放值為 525416.4 公噸，港埠的貨櫃吞吐量最大值為洛杉磯港 8077714TEU，最小值為塔科瑪港的 1476148TEU，平均吞吐量為 3498514TEU。

表 3.8 投入與產出變數之敘述性統計

	貨櫃船席長度 (m)	堆貨場儲存容量 (TEU)	二氧化碳當量 (公噸)	貨櫃吞吐量 (TEU)
最大值 Max	9381	127432	850898	8077714
最小值 Min	2884	28300	202192	1476148
平均值 Average	5483	57309.3	525416.4	3498514.11
標準差 SD	2035.8	32634.7	218209.5	2227447.3

在利用資料包絡分析法進行效率分析之前，需先對所選擇的投入與產出變數進行相關性檢定，用以確認所選定的因子能充分解釋對效率的影響，由於投入項目是對產出項目有貢獻之因子，故投入與產出項資料必須符合「等幅擴張性(Isotonicity)」，亦即投入數量增加時產出數量不得減少(高強等人，2003)，利用 Pearson 相關分析來檢定投入與產出間的相關性，若存在負相關，則須將此變數予以刪除，表 3.9 為所能獲得之各港埠最新年度的投入與產出資料間的相關係數，可看出投入與產出間皆存在正相關，符合等幅擴張性之特性，故選擇以上變數進行分析為合理可行。

另外，投入與產出項目的數量過多，可能造成受評單位間缺乏比較基準，使相對有效率的受評單位數量增加，造成資料包分析法的辨識能力降低。根據過去研究所歸納的經驗法則，受評單位的個數至少應為投入項與產出項個數總和的兩倍，本研究以 9 個港埠最新年度的資料作為受評估單位，大於投入與產出項目總和的兩倍(8 個)，符合資料包絡分析法之經驗法則。



表 3.9 北美 9 個貨櫃港埠最新年度的投入與產出資料間的相關係數

	貨櫃船席長度 (m)	堆貨場儲存容量 (TEU)	二氧化碳當量 (公噸)	貨櫃吞吐量 (TEU)
貨櫃船席總長度(m)	1.000	-	-	-
堆貨場儲存容量(TEU)	0.739	1.000	-	-
二氧化碳當量(ton)	0.501	0.686	1.000	-
貨櫃吞吐量(TEU)	0.966	0.830	0.657	1.000

### 3.5 評估結果分析

過去幾十年間，港埠績效之評估已有十分廣泛的研究，截至目前，許多研究仍持續進行，但過去學者的研究普遍著重以港口貨物處理能力與服務為基礎，衡量港埠生產力、效率以及競爭力，對於港埠經營所造成的環境汙染議題研究較少，同時也並未對國際貨櫃港埠之間的环境效率進行研究與探討與比較，故本研究將港埠所造成之環境影響(溫室氣體排放)因素納入考量，對於港埠績效進行評估。以下評估方式會先以傳統的 CCR 與 BCC 模式，在不考慮環境因素下對北美地區 9 個國際貨櫃港埠進行評估；接著將環境因素納入效率評估模式之中，使用考量非意欲產出之 SBM 模式進行分析。

本研究應用 2006 年所發行的 DEA Solver Pro 5.0 軟體作為效率求解與分析工具，該軟體提供考量非意欲產出之下的 SBM 分析模式，能對受評單位在營運過程中產生的環境汙染以及外部性影響作為負面的產出因子，進行效率比較與分析；近幾年 DEA Solver 軟體持續更新，已於 2013 年更新版本至 DEA SolverPro 10.0，新推出的版本主要針對其他 DEA 模式進行擴充，目前該軟體已能針對超過 174 個 DEA 模式進行分析，而考量非意欲產出之下的 SBM 模式於 DEA Solver Pro 5.0 提出後則沿用至今，模式內容與本研究所進行分析之模式(本文 2.3.5 節)相同。

#### 3.5.1 不考慮環境因素下之效率分析

在不考量環境因素下(即不考慮二氧化碳排放當量，以兩項投入項與一項產出進行效率分析)，使用傳統的 CCR 與 BCC 模式，對北美地區 9 個港口的效率進行評估，投入與產出導向選擇方面，Cullinane et al. (2006)提到，投入導向較接近於探討營運與管理的議題，而產出導向則與規畫及總體經濟策略相關，隨著全球商務(global business)與國際貿易快速發展，貨櫃港埠必須經常性的檢視本身的生產能力，確保能夠提供使用者優質的服務，同時維持港埠競爭優勢，而建設新碼頭或新增各項設備來增加生產力有時是無可避免的，但在實行各項擴建計畫之前，必須先清楚了解港口本身現有的各項設施是否達到充分利用以獲得最大產出，即在既定的投入水準之下產出是否達到最大化，由此觀點，產出導向的模式提供營運者一個參考標竿，因此，本研究從產出導向的角度對貨櫃港埠進行效率評

估。

在沒有足夠精確的資訊來判定各港埠生產規模報酬情況下，同時使用固定規模報酬與變動規模報酬兩種模式進行評估(Tongzon, 2001；Wang et al. 2003；Cullinane et al. 2006)，故應用 CCR 模式與 BCC 模式對 9 個國際貨櫃碼頭進行效率分析，CCR 模式是假設所有的受評單位生產過程處於固定規模報酬下進行效率分析，所獲得的效率值稱為總體技術效率(經營效率)，但當生產無效率時，原因可能來自於營運規模的無效率或是經營上的無效率，CCR 模式無法有效判斷；BCC 模式能提供分辨的依據，BCC 模式則假設受評單位生產過程處於變動規模報酬下進行效率分析，所求得的效率值為純粹技術效率，BCC 模式能區分一個受評單位不存在 CCR 效率的原因是來自於營運無效率或是規模無效率(孫遜 2004)，並獲得受評單位所處的規模報酬狀態，藉由 CCR 與 BCC 兩者所獲得的效率值之比值，即可求出該受評單位之規模效率(scale efficiency)；在不考慮溫室氣體排放對效率的影響因素下，北美地區 9 個國際貨櫃港埠利用 CCR 與 BCC 模式所獲得的效率評分結果如表 3.10。

表 3.10 CCR 與 BCC 模式評估結果

港口	資料年度	CCR 總體效率	BCC 純技術效率	規模效率	規模報酬
洛杉磯港	2012	1.000	1.000	1.000	CRS
長堤港	2012	0.959	1.000	0.959	IRS
紐約港	2010	1.000	1.000	1.000	CRS
奧克蘭港	2012	0.754	1.000	0.754	IRS
維吉尼亞港	2011	0.494	0.603	0.819	IRS
休士頓港	2007	0.604	0.831	0.727	IRS
溫哥華港	2010	0.675	0.832	0.811	IRS
塔科瑪港	2011	0.627	1.000	0.627	IRS
西雅圖港	2011	0.563	0.720	0.782	IRS

若該港埠所評估的效率值為 1 時，則表示為相對於其他受評單位為有效率之港埠，反之，若相對效率值小於 1 則表示該受評單位相對無效率，評分越低則代表港埠整體經營效率相對較低；由 CCR 模式分析結果可知，北美地區九個國際貨櫃港埠中，相對有效率的港口有兩個，分別為洛杉磯港(2012)與紐約港(2010)，其餘七個港口為相對無效率之港口，無效率的程度依序為：長堤港(2012)效率值為 0.959、奧克蘭港(2012)效率值為 0.754、溫哥華港(2010)效率值為 0.675、塔科瑪港(2011)效率值為 0.627、休士頓港(2007)效率值為 0.604、西雅圖港(2011)效率值為 0.563，排名最低為維吉尼亞港(2011)，效率值為 0.494。

由 BCC 模式假設生產過程為變動規模報酬，比起 CCR 模式富有更多彈性，因此其效率評分比 CCR 模式來的高；由分析結果可知，在不考慮港埠溫室氣體

排放因素下，北美地區九個貨櫃港口中，共有五個港口存在相對效率，除了原本就存在 CCR 效率的洛杉磯港(2012)與紐約港(2010)，另外還包含長堤港(2012)、奧克蘭港(2012)以及塔科瑪港(2011)，其餘四個相對無效率之港口，無效率的程度依序為：溫哥華港(2011)效率值為 0.832、休士頓港(2007)效率值為 0.831、西雅圖港(2011)效率值為 0.720，排名最低仍然為維吉尼亞港(2011)，其效率值為 0.603。

由表 3.10 可知北美 9 個貨櫃港口中洛杉磯港與紐約港兼具有技術效率與規模效率，能在最適的投入下生產最適產出，使其達到最適生產規模，達到經營效率；長堤港、奧克蘭港與塔科瑪港雖被評為不具經營效率，但被評為具有 BCC 效率，即存在純粹技術效率，表示其能在既有的投入下獲得最大產出，但還未達到規模效率，處於規模報酬遞增(Increasing returns to scale, IRS)的狀態，可藉由逐步增加現有的投入規模，來增進生產力；維吉尼亞港、休士頓港、溫哥華港與西雅圖港同時不具有技術效率與規模效率，不僅在既有的投入下無法獲得最佳產出，也未處於最適規模下進行生產，可藉由差額變數分析進一步了解無效率的來源與需改善的方向。

差額變數可提供受評單位資源的使用狀況，並針對無效率的受評單位的各項投入與產出變數給予明確的改善幅度及方向，換言之即為求得相對無效率的港埠應減少的資源投入量以及應增加的產出量，藉此提升港埠的效率。差額變數係指受評單位與效率前緣上投射點間的差距，表 3.11 為 CCR 差額變數分析結果，值得注意的是，各項差額變數是利用數學模式所求得，並未考慮各港埠投入、產出以及營運上的特性與限制，在實務上應需針對實際狀況進行運用。

表 3.11 CCR 模式之差額變數分析結果

港口	資料年度	CCR			
		效率評分	超額(Excess)		短缺(Shortage)
			船席長度(m)	堆貨場儲存容量(TEU)	貨櫃吞吐量(TEU)
洛杉磯港	2012	1.000	0.0	0.0	0.0
長堤港	2012	0.959	0.0	46242.8	259973.4
紐約港	2010	1.000	0.0	0.0	0.0
奧克蘭港	2012	0.754	952.5	0.0	763053.1
維吉尼亞港	2011	0.494	0.0	0.0	1963812.5
休士頓港	2007	0.604	0.0	0.0	1161629.8
溫哥華港	2010	0.675	0.0	0.0	1207961.4
塔科瑪港	2011	0.627	0.0	0.0	878429.3
西雅圖港	2011	0.563	0.0	241.4	1593461.5

由 CCR 模式之差額變數分析結果可知，洛杉磯港與紐約港為相對有效率之港口，故其各項投入與產出的差額均為 0，其餘未達效率之港口，差額變數分析

如下：

1. 船席總長度：相對無效率的 7 個港口中，僅有奧克蘭港存在超額的情況，表是奧克蘭港的船席長度呈現資源閒置的現象，可以考慮將其進行改善，藉此使用提升效率。
2. 堆貨場儲存容量：長堤港與西雅圖港兩個港口存在超額的情況，其中西雅圖港資源閒置情形較不嚴重，不到整體的 1%，而長堤港則存在較嚴重的閒置問題，雖然短期內無法立即改善，但可藉由長期逐步減少資源投入，以改善效率。
3. 貨櫃吞吐量：除了洛杉磯港與紐約港兩個相對有效率的港口外，其餘七個貨櫃港口均存在產出不足的情況，效率排名倒數兩名的西雅圖港與維吉尼亞港差額最為嚴重，若管理當局能運用管理策略以提升各港埠產出之貨櫃吞吐量，便能使港埠的經營效率得到提升。

### 3.5.2 考慮環境因素下之效率分析

在考量環境因素下，將各港口整年度所排放之二氧化碳當量做為環境影響因素，並以考量非意欲產出之下的 SBM 模式進行效率的評量，了解目前北美地區的國際貨櫃港埠是否存在環境的效率，評分結果列於表 3.12。

表 3.12 考量非意欲產出之下的 SBM 模式評估結果

港口	資料年度	環境效率評分	排名
洛杉磯港	2012	1.000	1
長堤港	2012	0.731	4
紐約港	2010	1.000	1
奧克蘭港	2012	1.000	1
維吉尼亞港	2011	0.434	7
休士頓港	2007	0.432	8
溫哥華港	2010	0.488	5
塔科瑪港	2011	0.464	6
西雅圖港	2011	0.416	9

由表 3.12 可知，北美地區 9 個國際貨櫃港埠中，共有 3 個相對效率之港口，比起不考慮環境因素之下的 CCR 模式多了一個有效率的港埠，相對有效率的港口分別為洛杉磯港(2012)、紐約港(2010)以及奧克蘭港(2012)。其餘 6 個港口為相對無效率之港口，其無效率的程度依序為：長堤港效率值為 0.731(2012)、溫哥華港(2010)效率值為 0.488、塔科瑪港(2011)效率值為 0.464、維吉尼亞港(2011)效率值為 0.434、休斯頓港(2007)效率值為 0.432，排名最低的則是西雅圖港(2011)，其效率值為 0.416。

考量非意欲產出之 SBM 模式之差額變數分析結果列於表 3.13，洛杉磯港與紐約港以及奧克蘭港為相對有效率之港口，故其各項投入與產出的差額均為 0，其餘 6 個相對無效率的港口在資源投入以及溫室氣體排放上均存在差額，由此可知長堤港、維吉尼亞港、休士頓港、溫哥華港、塔科瑪港以及西雅圖港等 6 個港口為相對無環境效率的港口；相對無效率港口之差額變數分析如下：船席總長度方面，效率評分排名末 3 名的維吉尼亞港、西雅圖港以及休士頓港超額期況最為嚴重，約 30% 左右的船席長度受到閒置，維吉尼亞港的閒置情形更接近 40%；在堆貨場儲存容量方面，6 個相對無效率港口資源閒置情況均達 40% 以上，其中西雅圖港與維吉尼亞港閒置情形更高達 60%，表示堆貨場的使用需要藉由管理進行改善與有效的規劃；在溫室氣體排放方面，休士頓港、溫哥華港、西雅圖港以及塔科瑪港的超額排放均高達 60%，長堤港與維吉尼亞港雖然超額排放情況不如前面 4 個港口嚴重，但仍存在約 15% 至 20% 的過剩排放，顯示以上港口在減碳行動方面仍需訂定積極且完善的措施進行持續性的改善，進一步改善政策會在第四章進行詳細的討論。

表 3.13 在考量環境因素下差額變數分析結果

港口	資料年度	效率評分	超額投入量		超額之非意欲產出量	短缺之產出量
			船席長度 (m)	堆貨廠儲存容量 (TEU)	二氧化碳當量 (公噸)	貨櫃吞吐量 (TEU)
洛杉磯港	2012	1.000	0.0	0.0	0.0	0.0
長堤港	2012	0.731	301.9	53662.3	118544.5	0.0
紐約港	2010	1.000	0.0	0.0	0.0	0.0
奧克蘭港	2012	1.000	0.0	0.0	0.0	0.0
維吉尼亞港	2011	0.434	1800.0	31767.9	48880.8	0.0
休士頓港	2007	0.432	980.0	19934.1	402826.4	0.0
溫哥華港	2010	0.488	786.0	23873.1	518976.7	0.0
塔科瑪港	2011	0.464	759.9	14820.9	220999.0	0.0
西雅圖港	2011	0.416	1281.5	28433.3	326908.4	0.0

### 3.5.3 考慮與不考慮環境因素下效率分析之比較

將不考慮環境因素下對北美地區國際貨櫃港埠進行效率評估的結果與考慮環境因素後評估的結果進行比較，由於 CCR 模式與非意欲產出之 SBM 模式均在受評估單位的生產過程為固定規模報酬假設基準下進行效率分析，故選擇 CCR 模式而不選擇 BCC 模式進行比較，比較結果列於表 3.14。

由表 3.14 的比較可發現在考慮溫室氣體排放後，港口間的排名出現改變，可以分為三個部分進行探討；第一部分為相對有效率的港口增加，原本存在總體經營效率的洛杉磯港(2012)與紐約港(2010)，在考慮溫室氣體排放後仍為有效率的港口，表示在當年度的產出水準之下，洛杉磯港與紐約港的溫室氣體排放是處

於有效率的狀態，此 2 個港口同時存在經營效率與環境效率，另外，原本不存在經營效率的奧克蘭港(2010)在考量環境因素後亦成為相對有效率的港口，觀察數據可知奧克蘭港的貨櫃吞吐量為 2344392TEU 在 9 個貨櫃港中排名第 5 名，但其二氧化碳排放當量卻是 9 個港口中最少的，顯示出奧克蘭港在溫室氣體排放的管理措施得宜，能有效控制溫室氣體的排放。第二部分為考慮環境因素後排名上升的港口，除了前面提到的奧克蘭港之外，維吉尼亞港(2011)也從最後一名向上提升，表 3.12 差額變數分析可知維吉尼亞港雖然仍存在超額得溫室氣體排放，但比起排名後面休士頓港(2007)以及西雅圖港(2011)存在嚴重的過剩排放溫室氣體的港口(超額超過 60%)，使得維吉尼亞港在納入環境因素後，效率排名提升。第三部分為考慮環境因素後排名下降的港口，包括長堤港(2012)、休士頓港(2007)以及西雅圖港(2011)，其中長堤港在雖未達技術效率，但在 CCR 模式的效率評分甚高，而在納入環境因素進行評估後，評分仍未達效率，除了在 CCR 與考量非意欲產出之 SBM 模式均同時顯示堆貨場儲存容量之投入超額較嚴重之外，在溫室氣體排放方面也有約 15% 的超額，若能針對此兩方面進行改善，效率便能有效獲得提升；另外，原本經營效率排名就較為後面的休士頓港(2007)與西雅圖港(2011)，考慮環境因素後排名甚至降到末兩名，並在各項投入資源以及溫室氣體排放上均有嚴重的閒置與超額的情況，值得一提的是休士頓港是以 2007 年的資料進行分析，相較於其他港埠的資料年份是比較舊的，可能因此造成效率評估結果比起其他使用較新年度資料的港口來的低，若休士頓港有較新年度的資料，造成其無效率的部分可能已經有所改善。

表 3.14 考量與不考量環境因素下的效率評估比較

港口	資料年度	CCR 效率評分	排名	考量非意欲產出之 SBM 效率評分	排名
洛杉磯港	2012	1.000	1	1.000	1
長堤港	2012	0.959	3	0.731	4
紐約港	2010	1.000	1	1.000	1
奧克蘭港	2012	0.754	4	1.000	1
維吉尼亞港	2011	0.494	9	0.434	7
休士頓港	2007	0.604	7	0.432	8
溫哥華港	2010	0.675	5	0.488	5
塔科瑪港	2011	0.627	6	0.464	6
西雅圖港	2011	0.563	8	0.416	9

### 3.6 北美與台灣 12 個貨櫃港埠之環境效率分析

本研究從交通部運輸研究所出版的「台灣港埠節能減碳效益提升之研究」報告書中取得高雄港、基隆港以及台中港三個台灣主要貨櫃港口 2009 年至 2012 年的溫室氣體排放量資料，台灣港口所統計的排放項目分為遠洋船舶、港勤船舶、

貨物裝卸機具、鐵路機車頭以及重型柴油貨車以及外購電力排放量六項，與北美地區港埠的差異在於台灣港埠有多針對港區外購電力所產生的排放量進行計算，外購電力的用電來源主要包含作業機具使用、貨櫃場及道路照明用電以及行政區域的生活用電，如照明、冷氣、電梯等，其中作業機具的使用包含電力驅動的貨物裝卸機具在內，即使外購電力所造成的溫室氣體排放未達港口整體排放的 10%，但為求排放項目的計算與北美地區港埠一致，故假設在台灣港埠的外購電力所造成的溫室氣體排放量當中有 30% 來自於作業機具的使用，其餘外購電力的排放則不加入進行效率評估。另一方面，由於台灣腹地狹小，火車貨運較不具競爭力，目前已無火車在港內進行搬運，因此火車排放量為零。

將台灣(3 個)與北美地區(9 個)共計 12 個國際貨櫃港埠最新年度的投入與產出資料列於附錄 8，12 個國際貨櫃港埠各項投入項與產出項資料之敘述性統計結果列於表 3.15，投入變數方面，船席總長度最大值為洛杉磯港的 9381 公尺，最小值為台中港 1800 公尺，12 個港口平均值為 5115 公尺；堆貨場儲存容量最大值為長堤港的 127432TEU，最小值為基隆港 16049TEU，平均值為 54051TEU。在產出變數部份，港埠的二氧化碳排放當量最大值為高雄港 900413 公噸，最小值為基隆港所排放的 63420 公噸，平均排放值為 503278 公噸，港埠的貨櫃吞吐量最大值為高雄港 9781221TEU，最小值為台中港的 1395405TEU，平均吞吐量為 3689235TEU。

表 3.15 9 個北美港口與 3 個台灣港口投入與產出變數之敘述性統計

	貨櫃船席長度 (m)	堆貨場儲存容量 (TEU)	二氧化碳當量 (公噸)	貨櫃吞吐量 (TEU)
最大值 Max	9381	127432	900413	9781221
最小值 Min	1800	16049	63420	1395405
平均值 Average	5114.7	54051.4	503277.5	3689234.9
標準差 SD	2133.5	30902.9	259589.7	2764181.0

如同前面章節在對北美貨櫃港埠進行效率分析前，需對所選擇的投入與產出變數進行相關性檢定，以確認所選定的因子能充分解釋對效率的影響，表 3.16 利用 Pearson 相關分析檢定 12 個受評估港口各項投入與產出之間的相關性，可看出各項投入與產出間皆存在正相關，符合等幅擴張性之特性，故選擇以上變數進行分析為合理可行。

在考量環境因素下，以考量非意欲產出之下的 SBM 模式進行效率的評量，比較包含北美與台灣共計 12 個港口環境效率間的情況，評分結果列於表 3.17，由表 3.17 可知，在 12 國際貨櫃港口中，共有 2 個港口被評為相對有效率的港口，此 2 個港口皆為台灣的港口，分別為高雄港(2012)與基隆港(2012)，其餘 10 個被評相對無效率的港口依無效率程度依序為：紐約港效(2010)率值為 0.627、洛杉磯港(2012)效率值為 0.542、奧克蘭港(2012)效率值為 0.495、長堤港(2012)效率值為 0.404、溫哥華港(2010)效率值為 0.289、台中港(2012)效率值為 0.285、塔科瑪

港(2011)效率值為 0.277、休士頓港(2007)效率值為 0.257、維吉尼亞港(2011)效率值為 0.255，效率排名最低的港口為西雅圖港(2011)，效率值為 0.245。

表 3.16 12 個貨櫃港埠最新年度的投入與產出資料間的相關係數

	貨櫃船席長度 (m)	堆貨場儲存容量 (TEU)	二氧化碳當量 (公噸)	貨櫃吞吐量 (TEU)
貨櫃船席總長度(m)	1.000	-	-	-
堆貨場儲存容量(TEU)	0.715	1.000	-	-
二氧化碳當量(ton)	0.592	0.718	1.000	-
貨櫃吞吐量(TEU)	0.840	0.717	0.759	1.000

表 3.17 12 個貨櫃港埠考量非意欲產出之 SBM 模式評估結果

港口	資料年度	整體效率評分	排名
洛杉磯港	2012	0.542	4
長堤港	2012	0.404	6
紐約港	2010	0.627	3
奧克蘭港	2012	0.495	5
維吉尼亞港	2011	0.255	11
休士頓港	2007	0.257	10
溫哥華港	2010	0.289	7
塔科瑪港	2011	0.277	9
西雅圖港	2011	0.245	12
高雄港	2012	1.000	1
基隆港	2012	1.000	1
台中港	2012	0.285	8

在北美港口和台灣港口的綜合績效評比當中，高雄港(2012)及基隆港(2012)被評為具有環境效率的港口，而原來最有效率的洛杉磯港(2012)及紐約港(2010)則排在第 3 名和第 4 名，顯示台灣的港口在環境績效上是十分有效率的。再翻閱細部數據及排放計算的相關報告書，分析其原因可分為四個面向，包括貨櫃碼頭面積、貨物裝卸機具、車輛排放以及貨運進出口特性。

在貨櫃碼頭方面，台灣面積狹小，整體可使用的土地相較於廣大的北美地區而言狹窄許多，藉由附錄一與附錄四彙整的港埠資料可知高雄港與基隆港的貨櫃碼頭面積與北美港口比較起來相對較小，以國際貨櫃大港的高雄港為例，根據國際貨櫃化雜誌資料，高雄港貨櫃碼頭面約為 142 萬平方公尺，而北美的主要大港洛杉磯與長堤港的面積則約為 647 萬平方公尺及 445 萬平方公尺，大於高雄港甚多，因此可能造成台灣港口在機具搬運貨物方面所需移動的距離以及貨車在港區內進行裝卸貨所行駛的距離不若北美貨櫃港埠來的長，而產生較低的排放。



在貨物裝卸機具方面，除了前段提到移動範圍以及貨櫃轉運造成機具貨動量較小之外，高雄港的門式起重機有一部份的比例已汰換為電力驅動或是油電混合的機具，比起傳統的柴油驅動機具，每年能減少約 5500 公噸的二氧化碳排放(葉雨松等人, 2012)，而目前北美地區港口的貨物機具主要仍是以柴油為動力來源，造成其所產生的排放量較大。

在車輛排放方面，台灣港口的報告書是針對港區的行政管轄範圍進行車輛排放的計算，而北美港口排放量的計算範圍則延伸至運具可達的港口腹地，包括港區內(on-terminal)以及港區外的連外道路 (on-road)排放。以洛杉磯港與長堤港為例，其所計算的貨車排放範圍包含港口內車輛移動、停等、怠速的排放量，以及車輛行駛於港區之外，在港口所座落的南海岸空氣盆地地區(South Coast Air Basin)進行貨物運送所產生的排放量，港外行駛距離約達 60 公里。因此比起台灣計算港區內的排放量，北美地區在重型柴油車輛方面的排放量會明顯高出許多。

在貨運進出口的特性方面，台灣位處亞太地區的樞紐位置，高雄港亦是亞太地區的樞紐港口，貨櫃轉運的比例頗高，根據高雄港務局資料統計，2012 年高雄的轉口貨櫃量為 467 萬 TEU，約占總貨櫃量的 47.8%。相較於進出口的貨櫃，轉運貨櫃在碼頭內的移動（如搬運、移動與存放等）動作比較少，也不會進入都市內，因此可能也是上述裝卸機具的排放和車輛排放比較低的原因之一。

整體而言，從港口資源投入的角度觀察，和其他資源投入數量相似的港口相比，高雄港與基隆港可以以較少的資源投入獲得數量相當的吞吐量，故比起其他港口更能有效運用投入資源。

## 第四章 提升港埠環境效率之策略探討

北美地區之國際貨櫃港埠的經營效率與環境效率已在第三章進行效率的評估，藉由前章節的效率分析能得知哪些港埠為相對具有環境效率的港埠，並針對被評為具有環境效率的港埠所使用的減排措施進行歸納，瞭解其所採用的減排計畫為何，提供給相對無環境效率的港埠作為改善與參考的方向。港埠在改善空氣污染的過程，不僅僅以減少溫室氣體的排放為單一目標，港埠的運作包含遠洋船舶的航行、港勤船舶及港內裝卸機具的運作、火車與貨櫃車在港區移動以及貨櫃貨物的移動，這些活動的運行過程都須依靠汽柴油、石化燃料的燃燒以及電力的消耗，除了會排放溫室氣體(greenhouse gas, GHG)之外，同時也會釋放懸浮微粒(particulate matter, PM)、柴油微粒物質(diesel particulate matter, DPM)、氮氧化物(nitrogen oxides, NO<sub>x</sub>)、硫氧化物(sulfur oxides, SO<sub>x</sub>)等，會造成周遭環境嚴重污染且破壞生態的氣體，以上這些氣體均是港埠需積極減少排放的標的。因此，本章在4.1節首先會針對被評為具有環境效率的港埠探討其所實行能促進有效減少空氣污染排放的計畫與措施為何，在4.2節對於相對無環境效率的港口提出可行的空氣污染減排方案與策略。

### 4.1 港埠減碳措施

針對上一章效率評估結果中被評為相對有環境效率之3個貨櫃港埠，分別為洛杉磯港、紐約港以及奧克蘭港，了解其是否有制定相關的管制方針與措施來減少港口的溫室氣體排放，將這些有效的規劃與措施進行整理。

#### 4.1.1 洛杉磯港的減排措施

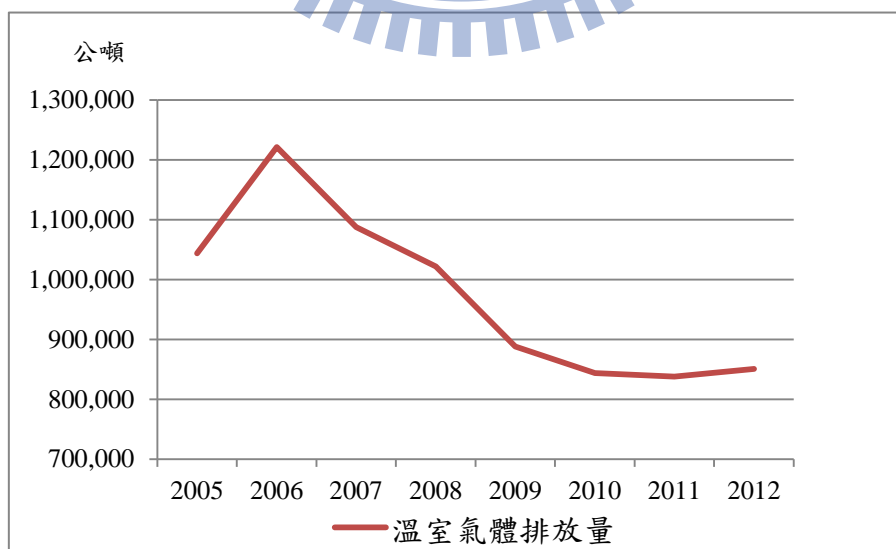


圖 4.1 洛杉磯港各年度溫室氣體排放量

洛杉磯港於 2005 年起每個年度均對港區的溫室氣體進行排放統計，將各年度的氣體排放清冊(Inventory of Air Emissions)彙整，獲得各年度的排放量，並以折線圖觀察排放趨勢，由圖 4.1 可知近年來洛杉磯港所產生的溫室氣體排放量於 2006 年起有逐年下降的趨勢，由 2006 年的 122 萬公噸降至 2012 年的 85 萬公噸，主要是歸因於各項減排措施的執行獲得成效，另有一部分原因來自於近幾年港埠的貨櫃吞吐量降低所造成。

洛杉磯港於 2006 年與長堤港一同加入清淨空氣行動計畫(Clean Air Action Plan, CAAP)，其目的在於減少遠洋船隻、港勤船舶、碼頭機具設備、火車以及卡車等各項港口活動所產生影響健康風險的污染氣體排放，這些污染氣體包含柴油微粒物質(diesel particulate matter, DPM)、氮氧化物(nitrogen oxides, NO<sub>x</sub>)、硫氧化物(sulfur oxides, SO<sub>x</sub>)以及溫室氣體(greenhouse gas, GHG)等；清淨空氣行動計畫為一項訂有長期目標且具全面性的計劃，其所包含的大氣汙染防治策略的子計畫項目包含船舶汙染減排計畫(Vessel pollution reduction programs)、潔淨卡車計畫(Clean Trucks Program, CTP)以及技術改進計畫(Technology Advancement Program, TAP)等，導入先進的新技術，提供資金以推動港口移動源的減排創新科技，例如：使用天然氣卡車以及成為全球首度利用混合動力拖船(Hybrid tugboat)港埠，以下便針對洛杉磯港各項促進減少港區汙染排放的措施進行介紹。

在船舶減排措施方面，洛杉磯港於 2008 年起實行船舶減速獎勵計畫(Vessel Speed Reduction Incentive program, VSRIP)，藉由降低船舶航行速度，以減少空氣汙染的排放，若船舶經營者能遵守「進港與離港船隻在距離港口 20 海里範圍內，以船速 12 結以下的速度航行」，便可享有船塢使用費(dockage)的優惠；該項計畫的實施促使遠洋船隻(Ocean Going Vessel, OGV)進入港區內的行駛船速降低，行駛速度的下降能有效減少負責船隻推進的主引擎所需的能源消耗需求，主引擎的能源消耗量減少便能有效使船隻的溫室氣體、氮氧化物、硫氧化物以及懸浮微粒的排放量降低。洛杉磯港於 2008 年度達到該項激勵條件的船舶經營者已高達 90%，於 2009 年將範圍擴展至距離港區 40 海里，藉此進一步改善港區的空氣汙染，同樣也高達 90% 的到港船隻配合執行。另一方面，洛杉磯港於貨櫃碼頭建置岸電設備(Shore Power)，岸電系統的建立能使船隻在靠泊期間，以岸邊電力設施代替船上輔助引擎提供發電的需求，由於輔助引擎是以柴油為燃料，燃燒過程會產生大量的空氣汙染及二氧化碳，岸電的使用能有效減少汙染的排放。

在重型柴油貨車方面，洛杉磯港重型柴油貨車溫室氣體排放由 2005 年 48 萬噸向下降至 2012 年的 38 萬噸，排放量的減少主要來自於潔淨卡車計畫(Clean Trucks Program, CTP)的實行、港區內卡車的閒置時間降低以及部分年度較少的貨物吞吐量，其中以潔淨卡車計畫(CTP)造成空氣汙染減排的效益最大，以逐步漸進的方式禁止舊型卡車進入港區裝卸貨物，此計畫對於卡車減少污染氣體的排放有顯著的效果；該項計畫建立起三個階段規範，首先於 2008 年 10 月，禁止引擎製造年份在 1989 年以前的卡車進入港區，第二階段於 2010 年 1 月實行，進一步

限制引擎製造年度在 2003 年以前的卡車進入港區，最新規範於 2012 年 1 月起開始實施，所有未滿足 2007 年聯邦清潔卡車排放標準的卡車均禁止進入港區，在潔淨卡車計畫的規範之下，有效抑制進入港區載運貨物的卡車所產生的污染氣體及溫室氣體排放。另外，根據 2012 年排放報告書統計進入港區的貨車中大約有 10% 改使用液化天然氣為燃料，而在堆放場所使用的牽引車(Yard tractor)也有部分改用液化天然氣為燃料，能減少懸浮微粒(PM)、柴油微粒物質(DPM)以及溫室氣體(GHG)的排放。

另外，洛杉磯港於 2012 年起加入國際船舶環境指數計畫(Environmental Ship Index, ESI)，為世界港口氣候倡議計畫(World Ports Climate Initiative, WPCI)的一環，洛杉磯港推行三項獎勵措施，引導船商使用潔淨技術(cleaner technology)來降低污染氣體排放，第一項措施為，凡於 2012 年 7 月 1 日至 9 月 30 日間完成註冊 ESI 之船商，於船舶於靠泊港區期間，若能符合國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)，所訂定的氮氧化物、硫氧化物與二氧化碳排放標準，則紀錄點數做為獎勵，並依據點數的多寡，給與 250 美元至 1250 美元的獎勵金，第二項措施為 OGV5，若船舶主引擎符合國際海事組織第 2 層標準(IMO Tier II)，即主引擎氮氧化物排放量低於 14.4g/kW-hr，且於 2011 年後安裝，則船舶每次停泊給予 750 美元的獎勵，另外若船舶主引擎符合國際海事組織第 3 層標準(IMO Tier III)，即主引擎於 2016 年後裝置，且氮氧化物排放量低於 3.4g/kW-hr，則船舶每次停泊給予 3250 美元的獎勵，各項獎勵措施，目的無非是希望船商能藉此提升船隻動力設備，來促進港口空氣環境的淨化。

洛杉磯港於 2012 年榮獲美國環境保護署(Environmental Protection Agency, EPA)首屆的「氣候領導獎」(Climate Leadership Award)，肯定並表彰其在因應氣候變遷方面展現傑出的領導力，也證實洛杉磯港落實減少危害氣候與威脅健康的碳污染方面傑出的成就；各項減排計畫的施行加上獲得國際上的肯定，與本研究評估其為環境效率港埠的結果相符合。

#### 4.1.2 紐約港的減排措施

紐約港第一本空氣汙染排放清冊於計算了 2006 年港口的各類污染氣體排放，至目前為止紐約港已出版三個年度的空氣汙染排放清冊，分別為 2006 年、2008 年以及 2010 年。

於 2009 年開始，港務局與其合作夥伴共同發展紐約與紐澤西港清淨空氣計畫(Clean Air Strategy for the Port of NY and NJ, CAS)，並承諾不論未來十年內港口是否處於成長狀態，在這十年的計劃期間內，減少港口營運與活動所產生的氣體汙染排放。其中，降低海運相關的溫室氣體排放被列為該計畫的主要目標之一，具體目標是以 2006 年的溫室氣體排放量為基礎，每個年度降低 5% 的排放量，故十年共預期降低 50% 的排放量為目標。

在遠洋船舶方面，2010年起對於到港船隻建立船隻減速獎勵計畫(Vessel Speed Reduction Program)，控制進出港運輸的船隻，平均航行速度在10結(knot)以下，藉此降低溫室氣體、懸浮微粒及氮氧化物的排放。另外，在布魯克林郵輪碼頭(Brooklyn Cruise Terminal)也積極規劃船舶接用岸電設施(cold ironing)，岸電的使用能減少輔助引擎與鍋爐使用所造成的排放。

貨物裝卸機具方面，推動減少閒置計畫(Idle Reduction Program)，在所有的貨櫃碼頭使用自動關閉設備(automatic shutoff devices)及電動插入式技術(electric plug-in technology)來限制柴油驅動的貨櫃裝卸機具閒置時間所造成的排放，並在貨櫃碼頭安裝電動起重機以及現代化機具設備取代傳統起重機，應用新技術來降低港埠溫室氣體排放。

重型柴油貨車方面，港務局與美國環境保護署(Environmental Protection Agency, EPA)共同設立兩百萬的減排基金(Emission Reduction Fund)，提供經費給貨車車主購買較新或較低排放的車輛，促進貨車汰舊換新，以較為新式與環保的引擎於港部內外進行作業。於2010年港務局提供2800萬的低利息貸款基金，推動託運貨車的汰換計畫(Truck Replacement program)，引擎製造年份在2003年之前的卡車禁止進入港區作業，需換成排放量較少且較有燃料效率的新型貨車，至2013年為止，429輛舊型卡車已利用此項計畫換成新型、潔淨且具有燃油效率的貨車，比起舊型的車隊估計每年能降低約1675短噸溫室氣體的排放，以及約70%氮氧化物和64%懸浮微粒排放(The Port Authority of NY & NJ, 2013)。

#### 4.1.3 奧克蘭港的減排措施

奧克蘭港目前已出版兩個年度的空氣汙染排放清冊，分別為2005年以及2012年空氣汙染排放清冊，2005年的空氣汙染排放清冊，計算當年度港區的氣體汙染排放，針對港口營運所產生的懸浮微粒(PM)、柴油微粒物質(DPM)、氮氧化物(NO<sub>x</sub>)、硫氧化物(SO<sub>x</sub>)以及一氧化碳(CO)的排放量進行統計，但並未對港區的溫室氣體(GHG)排放進行計算，最新年度2012年的空氣汙染排放清冊，則開始加入港區溫室氣體排放量的統計。

於2009年奧克蘭港推展海上空氣品質改善計畫(Maritime Air Quality Improvement Plan, MAQIP)，這項長期的改善計畫將持續提出各項改善方案直到2020年，計畫的主要宗旨為「減少來自於港口營運造成的柴油微粒物質(DPM)產生，以確保降低超額的社會罹患癌症健康風險」；並以2005年為的排放為基準，目標至2020年減少85%柴油微粒物質(DPM)，該計畫主要致力於減少柴油微粒物質的排放，由於其與引起民眾健康風險關係最大，其餘汙染排放，包含氮氧化物、硫氧化物以及一氧化碳也同樣有建立減排機制及目標，但主要致力於柴油微粒物質的減排，值得一提的是該項計畫並未特別針對溫室氣體排放的減排措施進行規劃，但港口船隻、設備機具、貨車營運所造成的汙染排放，是包含多種氣體同時排放，而非僅排放單一汙染氣體，故該計畫在致力於柴油微粒物質(DPM)、

氮氧化物、硫氧化物以及一氧化碳減排的同時，也有助於溫室氣體排放的減少。

港區排放量改善措施方面，奧克蘭港同樣也對在港運作的卡車設立規範，逐步禁止引擎年份較為舊型的卡車進入港區活動；在船隻減排方面，建置岸電系統，減少到港船隻靠泊所造成的輔助引擎排放，並針對港口各項活動類別實施控制技術，包含在遠洋船隻的主引擎、輔助引擎、貨櫃裝卸機具以及柴油貨櫃車安裝污染控制系統，如：在船隻上裝配選擇性催化還原系統(selective catalytic reduction)能減少氮氧化物排放，在貨櫃裝卸機具及柴油貨櫃車上安裝柴油氧化催化器(diesel oxidation catalysts)及柴油碳微粒過濾器(diesel particulate filters)能減少碳氫化合物、一氧化碳的排放，且同時捕捉柴油燃燒的廢棄，並過濾碳微粒。另外，藉由經營效率提升促進排放量的減少，例如：改善碼頭貨櫃堆放場的交通動線及貨櫃擺設，促使處理貨物的速度加快，進而減少貨櫃移動數目；在卡車減排措施方面，除了汰舊換新之外，在貨車上裝置無線射頻辨識系統(Radio frequency identification, RFID)能讓作業人員追蹤到港貨車，及時準備貨物的裝載與卸載，減少等待時間與車輛的閒置，降低污染氣體的排放。

將洛杉磯港、紐約港與奧克蘭港，三個被評為有環境效率的港埠主要的減排措施整理於表 4.1。



表 4.1 有環境效率之港埠主要的減排計畫與措施

港口	港口減排措施
洛杉磯港	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 船舶減速獎勵計畫，提供船商獎勵誘因，使其降低船舶到港與離港的航行速度，以減少空氣污染的排放。</li> <li>2. 潔淨卡車計畫，逐步禁止舊型卡車進入港區裝卸貨物，新型卡車的引擎有助減少港區內污染氣體的排放。</li> <li>3. 建立岸電設備，在船隻靠泊期間時利用岸邊電力設備代替船上輔助引擎提供能源，以降低污染排放。</li> <li>4. 加入國際船舶環境指數計畫，推行三項獎勵措施，激勵航商使用低污染排放的動力設備。</li> <li>5. 實施技術改進計畫，提供資金以創新科技推動港口營運設備與機具的減排功能。</li> </ol>
紐約港	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 船舶減速獎勵計畫，提供船商獎勵誘因，使其降低船舶到港與離港的航行速度，以減少空氣污染的排放。</li> <li>2. 減少貨物裝卸機具閒置計畫，利用新式設備及科技限制機具的閒置，減少不必要的污染排放。</li> <li>3. 以電動起重機取代傳統起重機，利用新技術來降低港埠溫室氣體排放。</li> <li>4. 推動卡車的汰換計畫，將舊型卡車換成排放量較少且較有燃料效率的新型卡車。</li> </ol>
奧克蘭港	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 在船舶引擎、貨物裝卸機具以及柴油貨櫃車安裝污染控制系統，抑制機具排放時所造成的污染。</li> <li>2. 在貨車上裝置無線射頻辨識系統，便於追蹤車輛即時動態，減少等待時間與車輛的閒置。</li> <li>3. 建立岸電設備，在船隻靠泊期間利用岸邊電力設備代替船上輔助引擎提供能源，以降低污染排放。</li> <li>4. 潔淨卡車計畫，逐步禁止舊型卡車進入港區裝卸貨物，新型卡車的引擎有助減少港區內污染氣體的排放。</li> </ol>

## 4.2 無效率港埠環境改善方向

根據第三章針對北美 9 個港埠環境效率評估所獲得的結果，相對無效率的港埠包含西雅圖港、休士頓港、溫哥華港、塔科瑪港、維吉尼亞港以及長堤港等六個港埠，藉由差額變數分析結果可知，休士頓港、溫哥華港、西雅圖港以及塔科瑪港為溫室氣體超額排放最為嚴重的四個港埠。藉由附錄三，依排放源所統整的各港埠溫室氣體排放量，分析以上四個港口在各別排放項目上的排放情況，休士頓港在貨櫃機具排放量與重型柴油貨車方面有排放量有偏高的情況，而溫哥華港及塔科瑪港則是在遠洋船舶排放方面所產生的排放較多，西雅圖港則是在遠洋船

船排放以及重型柴油貨車方面排放較高，各港口均除了需針對排放項目偏高的部分制定改善計畫，更需對港口整體的溫室氣體減排設立目標，並做長遠的規劃。

本節將有助於減少港區溫室氣體與其他空氣污染排放的政策以及前一節針對相對有效率港埠所歸納出有效的減排計畫，提供給效率評估結果為相對無環境效率的國際貨櫃港埠，給予其可行的溫室氣體減排方案與建議方向，作為學習及改善的參考依據，以提升港埠的環境效率。

### 1. 制定明確計畫與目標

港埠藉由建立空氣污染氣體排放清冊(Air emission inventory)，能了解該港埠當前的溫室氣體排放情況。欲改善排放無效率的問題，港口管理單位應制定一套具有短期與中長期的改善計畫，如：洛杉磯港的清淨空氣行動計畫(CAAP)與紐約港的清淨空氣計畫(CAS)等，並明確訂定減排的目標，目標的建立能提供計畫清楚執行的方向。

### 2. 針對港區主要營運活動進行減排計畫

港埠溫室氣體排放源來自於遠洋船舶、港勤船舶、貨物裝卸機具、鐵路機車頭、重型柴油貨車等五個港埠主要營運項目所構成，應針對船隻航行、碼頭機具運作以及陸上卡車與貨車載運等各別活動項目制定因應的減排計畫。

#### 3. 船隻航行減排措施方面

(1)在遠洋船隻航行方面，可實行船隻進出港減速計畫，提供船商碼頭費用的優惠或是其他獎勵誘因，促使航商在進出港口時維持在規定的速度下行駛，藉此降低溫室氣體的排放以及其他污染氣體的產生。

(2)港埠可裝設岸電系統(Shore power)，來替代船舶靠岸時利用輔助引擎發電所造成燃油燃燒對污染的排放，岸電系統的安裝，能使船舶靠岸後不以燃燒柴油來供應船上所需的電力，而是利用電纜將陸上供應的電流變壓後提供給船舶使用。根據世界港口氣候倡議(World Ports Climate Initiative, WPCI)官方網站資料指出，船舶靠岸由燃油轉為使用岸電，可減少96%懸浮微粒、96%硫氧化物、97%氮氧化物污染氣體排放，並有助於減少二氧化碳的排放，目前，洛杉磯港、長堤港與奧克蘭港均有設置岸電設備，提供貨櫃船到港時的電力供應，其餘港口也能效仿此措施，建置岸電設施改善港區空氣品質。

(3)港口能提供船舶效能的激勵方案，來獎勵環保表現優異的入港船隻，以改善港區空氣品質；若船舶營運商願意自行改進引擎、燃料或是以技術的升級來降低船隻的污染排放，並達到所訂定之標準，港口當局可提供獎助金做為激勵。目前，船舶環境指數(Environmental Ship Index, ESI)計畫，即是給予超越當前環保性能標準和規範的營運商提供獎勵，來推動船舶環保，截至2012年包含荷蘭、挪威、德國、比利時、義大利9座歐洲港口以簽屬加入ESI計畫(行政院環境保護署，2011)，且積極制定相關計畫，為超越環保標準的營運商提供激勵獎金，洛杉磯



港是北美地區第一個加入該計畫的港口，並於 2012 年著手實行，其他北美地區的港口也可以考慮簽屬加入此項計畫，藉此改善港區船隻的溫室氣體與其他空氣汙染排放。

#### 4. 貨物裝卸機具方面

針對港區的主要搬運機具，包含橋式起重機、門式起重機與跨載機等，使用柴油驅動方式提供機具的運作，其排放的廢氣對於港區環境污染影響嚴重，建議港埠可改用電力驅動替換柴油驅動機具，能有效降低環境污染，減少柴油微粒物質(DPM)以及溫室氣體(GHG)等污染氣體的排放，但考量大批機具換新帶來成本負擔過大的問題，可以逐年汰換的方式，將機具改為電動式，電力式機具的使用不僅改善港區環境同時也能節省能源支出，政府及相關管理單位也可訂定獎勵措施及補助計畫，協助各貨櫃港埠進行改善。

#### 5. 重型柴油貨車方面

貨車所使用的柴油引擎在港區的移動、裝卸貨物以及停等閒置是造成貨車排放污染的主要來源，各港區可效法洛杉磯港、長堤港與紐約港採行潔淨卡車計畫(Clean Trucks Program, CTP)逐步限制舊型的貨櫃車隊禁止進入港區內運作，必須改以新式貨車進入港區，新式貨櫃車在港區營運能有效改善環境品質，減少污染氣體的排放，另一方面，有效的車輛動線規畫以及即時車輛狀態確認，能有效減少車輛的閒置與怠速惰轉的時間，也能減少貨車不必要的排放。

港埠空氣汙染排放的改善並非一蹴可幾，各項減排計畫往往需要先經過數個月的規劃，並經過多年度的努力落實，方能展現出成效，在本研究中，被評估為相對無效率的港口，近年來也陸續推動溫室氣體及其他空氣汙染的減排計畫，如：長堤港於 2006 年與洛杉磯港共同參與清淨空氣行動計畫(Clean Air Action Plan, CAAP)，同時發展船隻減速計畫(Vessel Speed Reduction)、潔淨卡車計畫(Clean Trucks Program)並導入先進技術降低溫室氣體與污染氣體的排放；而溫哥華港、西雅圖港、塔科瑪港也於 2007 年共同推動西北港口清淨空氣計畫(Northwest Ports Clean Air Strategy)，希望藉由合作的方式減少港口相關的柴油與溫室氣體排放，該計畫於 2013 年進行更新，並建立起短期與長期控制空氣汙染排放的目標與管理辦法。以上這些國際貨櫃港埠所施行的措施，其減排效果或許在短期內尚無法有非常明顯的成效，但藉由長期逐年度的觀察可看出計畫實行的成果。

## 第五章 研究結論與建議

在結論與建議的部分，5.1 節會將本研究效率分析結果以及有助於港埠減少環境排放的措施與方向進行總結，5.2 節針對本研究內容與限制以及未來可進行改善的部分提供意見，並提出未來研究的可行方向。

### 5.1 結論

從 90 年代開始有許多關於港埠績效評估之研究陸續發表，截至目前，港埠績效的評估已十分廣泛且提供許多的貢獻，過去學者的研究普遍著重以港口貨物處理能力以及服務水準為依據來評估港埠的經營效率與競爭力，對於港埠營運所造成的環境汙染議題研究較少。不過近年來隨著環境的汙染對於全球生態帶來的負面影響日趨受到重視，數個國際重要港埠也將減少港區汙染列入重要改善計畫之一，故在評估港埠效率時，港口所造成的汙染也不容被忽視，因此在評估各港埠績效時也應將港埠所造成的環境汙染納入考量，但由於目前關於這方面的研究甚少，且尚未有研究針對國際貨櫃港埠之間的环境效率進行評估，隨著環境議題受到重視，加上貨櫃運輸在國際貿易間佔有舉足輕重的地位，故本研究將環境因素納入考量，評估國際貨櫃港埠間的效率。

本研究所選擇的投入變數為「貨櫃船席總長度(公尺)」、「堆貨場儲存容量(TEU)」兩項，產出項的部分，正向產出為「貨櫃吞吐量(TEU)」，非意欲產出為港口營運所產生的「二氧化碳排放當量(公噸)」。由於，目前針對港埠本身之溫室氣體排放進行計算的港口數量甚少，而且也尚未有相關的平台或組織將各港埠的溫室氣體排放資料進行統整，需要逐一查詢各國港埠網站是否有出版公開報告，再針對可獲得的資料進行數據的整理。其中以北美地區的國際貨櫃港埠所能收集的資料最為完整，但受限於大部分港埠並非每個年度進行溫室氣體排放統計，因此無法獲得每個港口相同年度的資料，故本研究是以北美 9 個國際貨櫃港埠所能獲得之最新年度的資料作為效率評估對象，由於所評估的港埠資料年度不同，造成各港埠無法在相同年度的基準下比較港埠間效率的優劣，而缺少能在同一基礎下相互評比的功能，是本研究難以克服之處，但本研究仍能以所擁有的資料了解各港口在受評估年度間的效率狀況，9 個受評估的港口以及評估年份分別為洛杉磯港(2012)、長堤港(2012)、紐約港(2010)、奧克蘭港(2012)、休斯頓港(2007)、維吉尼亞港(2011)、溫哥華港(2010)、塔科瑪港(2011)與西雅圖港(2011)，分別以傳統的 CCR、BCC 模式，在不考慮環境因素下對國際貨櫃港埠進行經營效率之評估，接著將環境因素列入考量，以考量非意欲產出之下的 SBM 模式，評估國際貨櫃港埠間的环境效率值，並比較兩者評估的結果。

不考慮環境因素下，9 個國際貨櫃港口的 CCR 效率評分結果，相對有效率的港埠共有 2 個，分別為洛杉磯港(2012)及紐約港(2010)，效率值為 1，表示在所

選定的資源投入與產出之下，洛杉磯港與紐約港相較於其他貨櫃港埠，存在經營效率；而將港區溫室氣體排放量(環境因素)納入考量，以考量非意欲產出之 SBM 模式評估效率的結果，共有 3 個港口存在環境效率，分別為洛杉磯港(2012)、紐約港(2010)以及奧克蘭港(2012)，原本存在總體技術效率的洛杉磯港與紐約港，在考慮溫室氣體排放後仍為有效率的港口，表示在當年度的投入與產出水準之下此 2 個港口同時存在經營效率與環境效率，而奧克蘭港(2012)在考慮環境因素後，成為相對有效率的港口，主要原因來自於奧克蘭港管理措施得宜，能有效控制溫室氣體的排放。比較各港埠經營效率與環境效率評估之結果，可得知經營效率表現較好的港口，不一定存在良好的環境效率表現，如：原本經營效率排名第 3 名、第 7 名及第 8 名的長堤港、休士頓港和西雅圖港，在考量環境因素後，其環境效率排名分別向後下跌至第 4 名、第 8 名及最末位，而奧克蘭港、維吉尼亞港在考量溫室氣體排放後之環境效率排名則優於經營效率的結果。

由差額變數分析可得知，6 個被評為相對無環境效率的港埠，除了在資源投入的部分存在閒置問題之外，在負向產出方面，休士頓港、溫哥華港、西雅圖港以及塔科瑪港的溫室氣體超額排放量均超過 60% 以上，顯示以上港口仍需積極加強減碳措施的規劃與執行力。在減少港埠溫室氣體及其他空氣汙染排放策略方面，可將被評為相對有環境效率的港埠，所使用的減排措施列入參考與學習對象，並提出其他可行的計畫，作為無效率港埠學習、改善及參考的依據，藉此提升相對無效率港埠的效率，減排建議與措施如下所示。

1. 港口管理單位應制定一套具有短期與中長期的改善計畫，並明確訂定減排的目標，目標的建立能提供計畫清楚執行的方向。
2. 針對引起港埠溫室氣體排放的主要營運活動項目，包含船隻航行、碼頭機具運作以及陸上貨車載運等，分別制定因應的減排計畫。
3. 船隻減排措施方面，可實行船舶減速計畫，提供獎勵誘因，使航商在進出港口時維持低速航行，能有效降低排放；另外，港埠可建置岸電系統，利用碼頭電力替代船隻靠泊時使用輔助引擎，降低溫室氣體及其他污染氣體的排放。
4. 貨物裝卸機具方面，可以逐年汰換的方式將柴油驅動的貨物搬運機具改用電力驅動替換，電力驅動設備能大幅降低汙染排放，同時也可在機具上安裝自動關閉設備，減少機具閒置所造成不必要的排放。
5. 重型柴油貨車方面，減少貨車進入港區停等與閒置時間，另外，能效法潔淨卡車計畫，逐步禁止舊型的貨櫃車隊進入港區內運作，改以新式貨車進入港區，能有效改善港區的環境品質。

## 5.2 建議及未來研究方向

目前針對港埠進行溫室氣體排放量統計的港口並不多，僅以北美地區港埠資

料最為完整，加上並非每個港口皆針對逐年的排放量進行統計，故難以取得多個港口且相同年度的資料，造成無法觀察每一個港口同一年的環境效率結果，是十分可惜之處，未來若建立溫室氣體排放清冊的港埠有所增加，且能獲得相同年度的資料，便能針對多個主要國際貨櫃港口的環境效率值進行研究與比較。

由於港埠的溫室氣體排放是由不同類別排放源所加總而得，往後的研究可將港埠的溫室氣體排放劃分為海上所產生的排放(遠洋船隻與港勤船舶)以及陸上所產生的排放(貨物裝卸機具及陸上運具)兩類來進行環境效率分析，藉由差額分析能更進一步了解造成環境無效率的差額主要是由海上船隻的排放或是陸上運作的排放所造成。本研究受限於計算港埠溫室氣體排放的港口數量較少，加上歐洲港口在排放量的計算方式和項目上與北美地區的港口有所不同，而不納入評估範圍之中，故僅針對北美地區 9 個國際貨櫃港埠作為效率分析對象，仍然嘗試將溫室氣體排放分為海上與陸上兩類進行環境效率的分析，其結果雖然可看出海上與陸上溫室氣體分別的超額排放的狀況，作為各港口改善政策執行方向的參考，但也因投入與產出變數數量增加，而使受評單位間可能缺乏比較的基準而導致有效率的港口數量增加。未來若可評估的港口數量增加，可朝此方向進行分析。

另外，港口所施行的多項溫室氣體及其他空氣污染減排政策，其成效並非單一個年度就能完全展現，使港區排放量獲得顯著改善，往往必須經過複數年的努力，方能展現改善的效果，故在資料可完整取得的前提下，未來的研究可以朝向對港埠多個年度的環境效率進行分析，一方面了解減排計畫的實施的成果，一方面能隨時間推移，探討港埠環境效率是否有所改善與提升。

## 參考文獻

- ADLER, N. & GOLANY, B. 2001. Evaluation of deregulated airline networks using data envelopment analysis combined with principal component analysis with an application to Western Europe. *European Journal of Operational Research*, 132, 260-273.
- BANKER, R. D., CHARNES, A. & COOPER, W. W. 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30, 1078-1092.
- BICHOU, K. 2013. An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking. *Research in Transportation Economics*, 42, 28-37.
- BOWLIN, W. F. 1987. Evaluating the efficiency of US Air Force real-property maintenance activities. *Journal of the Operational Research Society*, 127-135.
- CARBON FOOTPRINT WORKING GROUP., WORLD PORTS CLIMATE INITIATIVE. & Port of Los Angeles. 2010. Carbon footprinting for ports guidance document. World Ports Climate Initiative.
- CHANG, S. 1978. Production function, productivities, and capacity utilization of the Port of Mobile. *Maritime Policy & Management*, 5, 297-305.
- CHANG, Y.-T. 2013. Environmental efficiency of ports: a Data Envelopment Analysis approach. *Maritime Policy & Management*, 40, 467-478.
- CHARNES, A., COOPER, W. W. & RHODES, E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- CHIN, A. & TONGZON, J. 1998. Maintaining Singapore as a major shipping and air transport hub. *Competitiveness of the Singapore Economy*. Singapore University Press, Singapore, 83-114.
- CHIN, A. T. H. & LOW, J. M. W. 2010. Port performance in Asia: Does production efficiency imply environmental efficiency? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 15, 483-488.
- CULLINANE, K. & SONG, D.-W. 2003. A stochastic frontier model of the productive efficiency of Korean container terminals. *Applied Economics*, 35, 251-267.
- CULLINANE, K., SONG, D.-W. & WANG, T. 2005. The Application of Mathematical Programming Approaches to Estimating Container Port Production Efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, 24, 73-92.

- CULLINANE, K., WANG, T.-F., SONG, D.-W. & JI, P. 2006. The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40, 354-374.
- DOWD, T. J. & LESCHINE, T. M. 1990. Container terminal productivity: a perspective. *Maritime Policy & Management*, 17, 107-112.
- DYSON, R. 2000. Performance measurement and data envelopment analysis. *OR Insight*, 13, 3-8.
- FARRELL, M. J. 1957. The Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 120, 253-290.
- HAYNES, K. E., HSING, Y. M. & STOUGH, R. R. 1997. (New York: Vintage) pp. 45–55. *Maritime Policy & Management*, 24, 93-113.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO). 2009. Shipping, World Trade and the Reduction of CO<sub>2</sub> emissions. The International Chamber of Shipping (ICS).
- KIELICHOWSKA, I., GEURTS, F., RINKEMA, A. & SPAAS, R. 2008. Port of Oslo CO<sub>2</sub> Emission report for calendar year 2007. Port of Oslo.
- LEE, T., YEO, G.-T. & THAI, V. V. 2014. Environmental efficiency analysis of port cities: Slacks-based measure data envelopment analysis approach. *Transport Policy*, 33, 82-88.
- LU, C.-C., CHIU, Y.-H., SHYU, M.-K. & LEE, J.-H. 2013. Measuring CO<sub>2</sub> emission efficiency in OECD countries: Application of the Hybrid Efficiency model. *Economic Modelling*, 32, 130-135.
- NOTTEBOOM, T., COECK, C. & VAN DEN BROECK, J. 2000. Measuring and explaining the relative efficiency of container terminals by means of Bayesian stochastic frontier models. *Maritime Economics & Logistics*, 2, 83-106.
- PANAYIDES, P. M., MAXOULIS, C. N., WANG, T. F. & NG, K. Y. A. 2009. A Critical Analysis of DEA Applications to Seaport Economic Efficiency Measurement. *Transport Reviews*, 29, 183-206.
- ROLL, Y. & HAYUTH, Y. 1993. Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA). *Maritime Policy & Management*, 20, 153-161.
- SEIFORD, L. M. & ZHU, J. 2002. Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142, 16-20.
- THE PORT AUTHORITY OF NY & NJ. 2013. A Clean Air Strategy for The Port of New York & New Jersey 2013 Implementation Report. THE PORT AUTHORITY OF NY & NJ.

- THOMPSON, R. G., SINGLETON Jr, F. D., THRALL, R. M., & SMITH, B. A. 1986. Comparative site evaluations for locating a high-energy physics lab in Texas. *Interfaces*, 16, 35-49.
- TONE, K. 2001. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130, 498-509.
- TONE, K. 2004. Dealing with Undesirable Outputs in DEA: A Slacks-based Measure (SBM) Approach. *The Operations Research Society of Japan*, 2004, 44-45.
- TONGZON, J. 2001. Efficiency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 35, 107-122.
- TONGZON, J. & HENG, W. 2005. Port privatization, efficiency and competitiveness: Some empirical evidence from container ports (terminals). *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 39, 405-424.
- TONGZON, J. L. 1989. THE IMPACT OF WHARFAGE COSTS ON VICTORIA'S EXPORT-ORIENTED INDUSTRIES. *Economic Papers: A journal of applied economics and policy*, 8, 58-64.
- WANG, T.-F., SONG, D.-W. & 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.
- YING, H. & YIJUN, J. 2011. Discussion on Green Port Construction of Tianjin Port. *Energy Procedia*, 11, 4059-4064.
- 李文福 & 范雅鈞 2010. 台灣銀行業經營績效分析: Luenberger 生產力指標法之應用. *經濟論文叢刊*, 38, 593-627.
- 林彬, 游明敏 & 楊啟宏 2006. 應用 DEA/AR 模式評估港埠經營效率之研究-以基隆, 臺中及高雄三港為例. *運輸計劃季刊*, 35, 391-413.
- 趙時樑 & 張貞德 2011. 應用資料包絡分析法評估兩岸三地國際貨櫃港經營績效之研究. *運輸計劃季刊*, 40, 2-29.
- 邱文彥, 民國 97 年。「綠色港灣」的概念與其對高雄港的意涵, 「2008 高高屏區域永續治理研討會」, 高雄, 第 193-200 頁。
- 林伶潔, 民國 98 年。以資料包絡法與隨機邊界分析法評估亞洲地區二十大港富之貨櫃經營效率, 碩士論文, 國立交通大學運輸科技與管理學系。
- 葉雨松等, 民國 101 年。臺灣港埠節能減碳效益提升之研究(1/4), 交通部運研所, 台北市: 五南。
- 葉雨松等, 民國 102 年。臺灣港埠節能減碳效益提升之研究(2/4), 交通部運研所, 台北市: 五南。
- 葉雨松等, 民國 103 年。臺灣港埠節能減碳效益提升之研究(3/4), 交通部運研所, 台北市: 五南。

行政院環境保護署，民國100年。出席「第3屆太平洋港口清淨空氣合作研討會」會議報告，行政院環境保護署。

柯明學，民國100年。2005-2009年亞洲地區主要貨櫃港口績效評估-資料包絡分析之應用。碩士論文，國立臺灣海洋大學航運管理學系。

林建志，民國100年。亞洲地區主要貨櫃港之績效評估-資料包絡分析法之應用。碩士論文，國立臺灣海洋大學航運管理學系。

魏惠儀，民國98年。國際貨櫃港之港灣裝卸及倉儲績效之評估－應用差額變數資料包絡分析法，碩士論文，國立海洋大學運輸與航運科學系。

高強、黃旭男、Toshiyuki，管理績效評估資料包絡分析法，華泰文化事業股份有限公司，2003年。

薄喬萍，績效評估之資料包絡分析法，五南圖書出版股份有限公司，2005年。

孫遜，資料包絡分析法理論與應用，揚智文化事業股份有限公司，2004年。

世界港口氣候倡議（World Ports Climate Initiative, WPCI），岸電系統供應介紹，擷取日期2014年5月20日，網站：<http://www.onshorepowersupply.org/>。





## 附錄

### 附錄一 北美地區各國際港埠之各項投入資料整理

項目 港口	年份	貨櫃船席 數(個)	貨櫃船席總 長度(m)	橋式起重 機數量(台)	貨櫃碼頭面積 (m <sup>2</sup> )	堆貨場儲存容量 (TEU)
洛杉磯港	2005	25	9,002	59	6,161,200	98,574
	2006	28	9,278	67	6,477,336	104,006
	2007	28	9,278	67	6,477,336	104,006
	2008	29	9,369	67	6,477,336	104,006
	2009	29	9,381	71	6,477,336	104,006
	2010	29	9,381	69	6,477,336	104,006
	2011	29	9,381	69	6,477,368	104,006
	2012	29	9,381	69	6,477,368	104,006
長堤港	2005	34	6,736	46	4,835,780	138,015
	2006	34	7,498	56	4,889,227	142,515
	2007	34	7,902	60	4,889,227	142,515
	2008	34	7,902	60	4,889,227	142,515
	2009	34	7,902	60	4,889,227	142,515
	2010	34	7,902	60	4,889,227	142,515
	2011	32	7,323	55	4,452,227	127,432
	2012	32	7,323	55	4,452,227	127,432
紐約港	2006	44	9,037	71	5,680,100	56,323
	2008	36	7,615	66	5,566,100	48,323
	2010	36	7,615	70	5,566,100	48,323
奧克蘭港	2012	19	5,424	28	2,427,500	28,375
維吉尼亞港	2008	13	4,307	23	4,885,577	49,282
	2011	13	4,560	23	5,131,800	49,282
休士頓港	2007	12	3,525	16	1,140,300	36,084
溫哥華港	2010	15	4,404	23	1,783,312	46,832
塔科瑪港	2005	12	3,403	25	2,423,057	28,300
	2011	9	2,884	26	2,245,058	28,300
西雅圖港	2005	15	4,055	25	2,036,814	47,150
	2011	12	4,231	30	2,294,016	47,150

資料來源：國際貨櫃化雜誌 (Containerisation International Yearbook) 2006 至 2013 年

附錄二 北美地區各國際貨櫃港埠之各項產出資料整理

項目 港口	年份	貨櫃吞吐 量 (TEU)	Dry Bulk (百萬 公噸)	Liquid Bulk (百萬公 噸)	General cargo(百萬公噸)			Total Tonnage (百萬公噸)
					Container	Break Bulk	Other	
洛杉磯港	2005	7,484,624	4.3	12.8	145.0			162.1
	2006	8,469,853	3.6	22.8	155.2			181.6
	2007	8,355,039	2.8	15.4	171.9			190.1
	2008	7,849,958	1.9	6.2	161.9			170.0
	2009	6,748,994	2.0	11.1	144.3			157.4
	2010	7,831,902	1.4	10.7	145.8			157.9
	2011	7,940,000	1.2	10.6	149.1			160.9
	2012	8,077,714	1.1	9.9	163.9			174.9
長堤港	2005	6,709,818	7.2	34.7	114.6	1.7	1.1	159.2
	2006	7,290,365	9.4	33.2	124.2	2.0	1.1	169.8
	2007	7,312,465	7.4	35.8	128.4	1.6	0.7	174.0
	2008	6,487,816	7.3	31.7	116.0	1.5	0.6	157.1
	2009	5,067,597	6.6	32.1	92.4	1.0	0.4	132.5
	2010	6,263,499	6.9	32.3	112.5	1.0	0.4	153.1
	2011	6,061,085	8.5	29.6	108.6	0.8	0	147.5
	2012	6,045,655	8.4	30.1	109.7	1.0	0	149.2
紐約港	2006	5,142,059	55.0	0	31.2			86.2
	2008	5,265,053	55.3	0	33.6			88.9
	2010	5,292,020	49.1	0	32.2			81.4
奧克蘭港	2012	2,344,392	-	-	-	-	-	-
維吉尼亞港	2008	2,083,278	-	-	15.9	0.3	0	16.2
	2011	1,918,029	-	-	13.9	0.3	0	14.2
休士頓港	2007	1,768,627	-	-	-	-	-	-
溫哥華港	2010	2,514,309	-	-	-	-	-	-
塔科瑪港	2005	2,070,000	-	-	-	-	-	-
	2011	1,476,148	-	-	-	-	-	-
西雅圖港	2005	2,087,929	5.0	1.0	14.5	0.1	0	20.6
	2011	2,049,733	5.0	0.9	16.9	0.1	0	22.9

資料來源：

貨櫃吞吐量資料來自 2006 至 2013 年的國際貨櫃化雜誌以及各國國際貨櫃港埠網站資料，  
貨物公噸數資料來自於各國國際貨櫃港埠之官方網站資料

附錄三 北美地區各國際貨櫃港埠之溫室氣體排放量整理

項目 港口	年份	遠洋船舶	港勤船舶	貨物裝卸 機具	鐵路機 車頭	重型柴 油貨車	Total (公噸)
洛杉磯港	2005	299,371	57,199	134,952	82,372	470,053	1,043,947
	2006	334,883	56,145	171,668	109,879	548,807	1,221,381
	2007	298,456	56,875	160,112	93,130	479,085	1,087,658
	2008	257,571	55,088	152,175	78,768	478,075	1,021,676
	2009	226,400	55,399	130,227	55,629	420,642	888,296
	2010	224,937	51,613	145,113	61,594	360,544	843,801
	2011	222,405	51,901	145,409	69,505	348,555	837,775
	2012	203,846	50,330	146,046	70,011	380,665	850,898
長堤港	2005	374,677	44,860	103,864	60,704	388,532	972,637
	2006	403,194	68,199	192,828	69,624	500,355	1,234,201 <sup>[a]</sup>
	2007	400,658	70,039	172,930	73,590	452,999	1,170,216 <sup>[a]</sup>
	2008	362,449	54,884	104,948	61,073	345,682	929,036
	2009	340,476	47,911	77,648	41,772	270,232	778,039
	2010	327,821	46,115	105,649	44,565	289,539	813,689
	2011	310,476	46,741	100,668	47,251	246,539	751,675
	2012	284,940	44,407	101,794	49,772	262,294	743,207
紐約港	2006	179,317	24,214	130,218	13,345	189,098	536,191 <sup>[a]</sup>
	2008	159,226	21,842	104,338	15,588	191,453	492,448 <sup>[a]</sup>
	2010	143,844	18,493	112,352	15,752	207,744	498,185 <sup>[a]</sup>
奧克蘭港	2012	121,863	18,486	35,414	848	25,581	202,192 <sup>[a]</sup>
維吉尼亞港	2008	86,037	6,018	38,666	18,858	84,952	234,531 <sup>[a]</sup>
	2011	109,901	8,415	23,921	12,435	74,771	229,442 <sup>[a]</sup>
休士頓港	2007	177,426	4,786	102,165	50,911	234,034	569,323 <sup>[a]</sup>
溫哥華港	2010	430,178		65,624	161,934	97,935	755,671
塔科瑪港	2005	194,487	14,347	35,059	41,805	154,706	440,402 <sup>[a]</sup>
	2011	166,690	15,862	20,399	27,243	129,769	359,962 <sup>[a]</sup>
西雅圖港	2005	260,688	34,522	34,595	43,452	175,804	549,062 <sup>[a]</sup>
	2011	232,743	29,149	31,353	37,984	188,639	519,868 <sup>[a]</sup>

資料來源：各國際貨櫃港埠之官方網站所提供的溫室氣體排放報告書

<sup>[a]</sup>該國際貨櫃港埠之溫室氣體排放清冊是以短噸為統計單位，將其進行單位轉化，轉為公噸

#### 附錄四 台灣各國際貨櫃港埠之各項投入資料整理

項目 港口	年份	貨櫃船席 數(個)	貨櫃船席總 長度(m)	橋式起機 數量(台)	貨櫃碼頭 面積 (m <sup>2</sup> )	堆貨場儲存 容量 (TEU)
高雄港	2009	22	6,714	62 <sup>[a]</sup>	1,421,374	70,584
	2010	22	6,714	66 <sup>[b]</sup>	1,421,374	70,584
	2011	22	6,713	66 <sup>[b]</sup>	1,416,374	70,584
	2012	22	6,713	66 <sup>[b]</sup>	1,416,374	70,584
基隆港	2009	15	3,516	29	495,000	11,905
	2010	15	3,516	29	495,000	11,905
	2011	15	3,516	29	396,900	16,049
	2012	15	3,516	29	396,900	16,049
台中港	2009	6	1,800	13	935,269	46,200
	2010	6	1,800	13	935,269	46,200
	2011	6	1,800	13	936,369	46,200
	2012	6	1,800	13	936,369	46,200

資料來源：國際貨櫃化雜誌 (Containerisation International Yearbook) 2010 至 2013 年

<sup>[a]</sup>2009 年高雄港起重機數量統計資料，來自於趙時樑 and 張貞德 (2011)

<sup>[b]</sup>2010 至 2012 年高雄港起重機數量統計資料，來自於高雄港務局網站所提供的資料

#### 附錄五 台灣國際貨櫃港埠之各項產出項資料整理

項目 港口	年份	貨櫃吞吐量 (TEU)	貨櫃貨 (百萬公噸)	散雜貨 (百萬公噸)	貨物裝卸量 (百萬公噸)
高雄港	2009	8,581,273	308.9	88.3	397.2
	2010	9,181,211	330.5	92.6	423.1
	2011	9,636,289	346.9	90.7	437.6
	2012	9,781,221	352.1	88.2	440.3
基隆港	2009	1,577,825	56.8	13.2	70.0
	2010	1,763,900	63.5	13.2	76.7
	2011	1,749,386	63.0	12.4	75.4
	2012	1,607,566	57.9	11.5	69.4
台中港	2009	1,193,943	43.0	46.2	89.2
	2010	1,356,952	48.9	58.2	107.0
	2011	1,383,578	49.8	57.9	107.7
	2012	1,395,405	50.2	60.9	111.2

資料來源：交通部統計查詢網(<http://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100>)

附錄六 台灣各國際貨櫃港埠之溫室氣體排放量資料整理

項目 港口	年份	遠洋船舶	港勤船舶	貨物裝 卸機具	鐵路機 車頭	重型柴 油貨車	外購 電力	Total (公噸)
高雄港	2009	766,442	17,958	24,275	0	11,431	81,420	980,073
	2010	745,362	23,492	23,262	0	12,152	74,044	926,352
	2011	655,860	19,312	11,176	0	17,741	74,235	778,629
	2012	842,844	5,660	10,642	0	18,817	74,832	952,795
基隆港	2009	94,198	3,878	849	0	980	5,465	122,533
	2010	114,901	4,172	474	0	1,025	5,594	121,822
	2011	86,163	3,662	2,564	0	1,291	11,645	105,386
	2012	59,456	382	333	0	1,191	6,861	68,223
台中港	2009	196,396	14,151	1,938	0	10,200	7,610	213,143
	2010	242,959	11,775	2,124	0	12,723	8,125	254,523
	2011	172,155	5,136	4,125	0	14,382	8,353	205,072
	2012	314,141	6,915	2,315	0	19,589	12,625	355,586

資料來源：

葉雨松等，民國 101 年。臺灣港埠節能減碳效益提升之研究(1/4)，交通部運研所

葉雨松等，民國 102 年。臺灣港埠節能減碳效益提升之研究(2/4)，交通部運研所

葉雨松等，民國 103 年。臺灣港埠節能減碳效益提升之研究(3/4)，交通部運研所

附錄七 北美地區各 9 個受評估單位之投入與產出資料整理

項目 港口	年份	貨櫃船席 長度(m)	橋式起機 數量(台)	貨櫃碼頭 面積(m <sup>2</sup> )	堆貨場儲存 容量(TEU)	二氧化當 量 (ton)	貨櫃吐 量(TEU)
洛杉磯港	2012	9381	69	6477368	104006	850898	8077714
長堤港	2012	7323	55	4452227	127432	743207	6045655
紐約港	2010	7615	70	5566100	48323	498185	5292020
奧克蘭港	2012	5424	28	2427500	28375	202192	2344392
維吉尼亞港	2011	4560	23	5131800	49282	229442	1918029
休士頓港	2007	3525	16	1140300	36084	569323	1768627
溫哥華港	2010	4404	23	1783312	46832	755671	2514309
塔科瑪港	2011	2884	26	2245058	28300	359962	1476148
西雅圖港	2011	4231	30	2294016	47150	519868	2049733

附錄八 12 個貨櫃港口投入與產出變數之各項投入與產出資料

項目 港口	年份	船席總長度 (m)	堆貨場儲存容 量(TEU)	二氧化碳當量 (公噸)	貨櫃吞吐量 (TEU)
洛杉磯港	2012	9381	104006	850898	8077714
長堤港	2012	7323	127432	743207	6045655
紐約港	2010	7615	48323	498185	5292020
奧克蘭港	2012	5424	28375	202192	2344392
維吉尼亞港	2011	4560	49282	229442	1918029
休士頓港	2007	3525	36084	569323	1768627
溫哥華港	2010	4404	46832	755671	2514309
塔科瑪港	2011	2884	28300	359962	1476148
西雅圖港	2011	4231	47150	519868	2049733
高雄港	2012	6713	70584	900413	9781221
基隆港	2012	3516	16049	63420	1607566
台中港	2012	1800	46200	346749	1395405

