國 立 交 通 大 學

運輸與物流管理學系

碩士論文

考慮轉乘運量與污染排放之市區公車績效評估 – 兩階段方向性距離函數

Evaluating Operational Performance of City Bus Transit with Considering Factors of Transfer Passenger Ridership and Air Pollution：A Two-Stage DDF Approach

研究生　：　廖柏瑞

指導教授：　馮正民　教授

康照宗　教授

中 華 民 國 一 零 三 年 六 月

考慮轉乘運量與污染排放之市區公車績效評估

－ 兩階段方向性距離函數

Evaluating Operational Performance of City Bus Transit with Considering Factors of Transfer Passenger Ridership and Air Pollution ：A Two-Stage DDF Approach

研 究 生：廖柏瑞　　Student：Bo – Ruei　Liao

指導教授：馮正民　　Advisors：Cheng – Min　Feng

康照宗　　Chao – Chung　Kang

國 立 交 通 大 學

運輸與物流管理學系

碩 士 論 文

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

Traffic and Transportation

June 2014

Taipei, Taiwan, Republic of China

中 華 民 國 一 零 三 年 六 月

國 立 交 通 大 學

博碩士論文紙本論文暨全文電子檔著作權授權書

（提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用）

本授權書所授權之學位論文，為本人於國立交通大學運輸與物流管理學系 交通運輸 組， 102 學年度第 二 學期取得碩士學位之論文。

論文題目：考慮轉乘運量與污染排放之市區公車績效評估 － 兩階段方向性距離函數
指導教授：馮正民, 康照宗

一、紙本論文著作權授權

□同意立即公開

本人依著作權法第15條第2項第3款之規定(採推定原則即預設圖書館得 公開上架閱覽)，同意將本著作，以非專屬、無償授權國立交通大學，基於推動讀者間「資源共享、互惠合作」之理念，與回饋社會與學術研究之目的，國立交通大學圖書館得以紙本收錄、重製與利用；於著作權法合理使用範圍內，讀者得進行閱覽或列印。

■不同意立即公開

□1. 本論文為本人向經濟部智慧局申請專利的附件之一，申請文號 為：_____，請將論文延至____年____月____日公開。

■2. 本論文已投稿期刊並待審核中，請將論文延至中華民國 104 年 6 月 27 日公開。

說明：配合教育部函(100年7月1日臺高(二)字第1000108377號)，紙本不公開期限以5年為限

二、論文全文電子檔著作權授權

■ 同意

本人茲將本著作，以非專屬、無償授權國立交通大學、台灣聯合大學系統圖書館與國家圖書館：基於推動讀者間「資源共享、互惠合作」之理念，與回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、光碟或數位化等各種方法收錄、重製與利用；於著作權法合理使用範圍內，讀者得進行線上檢索、閱覽、下載或列印。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：	
本校及台灣聯合大學系統區域網路	■ 中華民國 106 年 6 月 26 日公開
校外網際網路	■ 不公開
國家圖書館	■ 不公開

研究生：廖柏瑞 （親筆簽名）

指導教授：馮正民 （親筆簽名）

中華民國 103 年 6 月 27 日

國立交通大學

研究所碩士班

論文口試委員會審定書

本校 運輸與物流管理學系交通運輸 碩士班 廖柏瑞 君

所提論文 考慮轉乘運量與污染排放之市區公車績效評估－兩階段方向性距離函數

合於碩士資格水準、業經本委員會評審認可。

口試委員：胡凱傑 [signature] [signature] [signature]

[signature] [signature]

指導教授：[signature] [signature]

系主任：[signature] 教授

中華民國一〇三年六月三日

考慮轉乘運量與污染排放之市區公車績效評估

－ 兩階段方向性距離函數

研究生：廖柏瑞　　指導教授：馮正民　博士

康照宗　博士

摘要

台北市公車為台北公共運輸相當重要的一環，隨著捷運路網的擴張、電子票證的整合，公共運輸已日益完備，搭乘公車民眾漸漸增多，投入與產出間的營運績效更備受公車營運者重視，但公車運量的提升有部分是自台北捷運與悠遊卡提供之轉乘優惠吸引而來，應視為一環境敏感因子。

本研究將公車與捷運間享有轉乘優惠的運量，與僅有單程搭乘公車的運量分別考量，採用資料包絡分析法(Data Envelopment Analysis)及方向性距離函數(Directional Distance Function)，將整體效率區分成生產效率(productive efficiency)與服務效能(service effectiveness)兩階段，探討台北公車業者之相對效率，同時將公車營運過程伴隨產出的廢氣視為非意欲產出，以生產技術為弱可拋(weak disposability)的假設下納入評估架構中。

研究中以台北 12 家公車業者 2007 年至 2010 年之營運情況作為案例分析，結果顯示由捷運轉乘至公車的運量對公車業者營運績效有顯著增加，營運績效影響敏感度為 6.7 %，服務效能影響敏感度為 13.9 %。

關鍵字：績效評估、資料包絡分析法、方向性距離函數、公車、轉乘

Evaluating Operational Performance of City Bus Transit with Considering Factors of Transfer Passenger Ridership and Air Pollution ：A Two-Stage DDF Approach

Student：Bo – Ruei Liao Advisors：Cheng – Min Feng

Chao – Chung Kang

Abstract

Bus transportation plays a pivotal part in public transportation system in Taipei. With the expansion of MRT road network and integration of the electronic ticket, the fully-equipped public transport system boosts up the passengers usability. Thus, bus companies put more and more emphasis on operational performance between inputs and outputs. Partially, the seamless convenience of Taipei MRT and the transfer discount between bus and MRT by Easy Card, attract passengers by bus. The reason above should also be considered as a factor of environmental sensitivity.

To distinguish passengers between bus ridership of transfer discount and one-way bus ridership, the study applies Data Envelopment Analysis (DEA) and Directional Distance Function (DDF), The methodologies categorized the operational performance into two stages between productive efficiency and service effectiveness in order to evaluate the relative efficiency of the Taipei bus companies. Also, the study considers undesirable outputs with air pollution due to traveling bus. Furthermore, production technology is being regarded as the assumption of weak disposability in the assessment framework.

This study includes 12 bus operational performance in Taipei bus companies from 2007 to 2010. Results show that the performance is significantly increasing from the MRT ridership transferring to bus. Operational performance impact sensitivity accounts for 6.7% and service effectiveness impact sensitivity accounts for 13.9%, respectively.

Keywords：Performance Evaluation , Data Envelopment Analysis (DEA) , Directional Distance Function (DDF) , Bus , Transfer Passenger Ridership

致謝

兩年時間飛快，隨著論文完成、通過口試後，求學生涯也告一段落。高興自己完成碩士學位的同時，更要感謝這一路上給予我幫助的許多人。

首先，要感謝我的父母，感謝你們無怨無悔的付出，在經濟上給予支助、在精神上給予溫暖，讓我能專心課業無後顧之憂，二十餘年來各種榮耀都是屬於你們的！你們辛苦了！

感謝阿姨與姨丈提供一個既寬敞又溫暖的住處，讓我這兩年免去舟車勞頓。

感謝馮正民老師收我當學生，在論文上悉心指導之外，生活上也常給予我們正面樂觀的態度，您宏觀的眼界以及曾經說過的金玉良言都是我在論文之外最大的收穫；感謝康照宗老師，對我亦師亦友的教導，常常從台中北上指導我們，真是辛苦您了，謝謝兩位老師！

感謝林村基老師與胡凱傑老師，兩位論文口試委員不吝指導，給予我精闢中肯的建議，讓我瞭解不足之處，得以將論文修改得更加完善！

感謝國家政策研究基金會的黃心華博士，在我近一年半工讀期間的照顧，讓我在課外之餘有更多的學習機會，以及美好的打工回憶！

另外，也要謝謝各位同學與朋友們，一起做報告、吃飯、聊天、打工、運動的生活真是多采多姿，要謝的人太多就不一一點名了，讓我們一起邁向美好的未來吧！有你們真好！

廖柏瑞　　謹致於

國立交通大學運輸與物流管理學系

目錄

摘要.....i
Abstract.....ii
致謝.....iii

第一章　緒論.....1

1.1 研究動機.....1
1.2 研究背景.....2
1.3 研究目的.....3
1.4 研究限制與假設.....4
1.5 研究流程.....5

第二章　文獻回顧.....7

2.1 公車績效.....9
2.2 衡量績效或效率之相關研究方法.....16
2.3 其他行業績效.....22
2.4 小結.....28

第三章　研究設計.....29

3.1 研究課題.....29
3.2 研究架構.....32
3.3 研究方法.....33
3.4 DEA 基本模式與距離函數.....34
3.5 模式架構.....38

第四章　案例分析.....46

4.1 案例概述.....46
4.2 數據分析.....46
4.3 結果分析.....50
4.4 模式比較.....59
4.5 差額變數分析.....65
4.6 討論.....68

第五章　結論與建議.....73

5.1 結論.....73
5.2 建議.....75

參考文獻.....76

表目錄

表 1.1：各種運具之市占率(民國 101 年) 2
表 2.1：公車績效評估文獻.....13
表 2.2：衡量績效或效率之相關研究方法文獻.....20
表 2.3：其他行業之績效評估文獻.....25
表 3.1：四種績效評估方法特性比較.....34
表 3.2：模式變數與參數說明.....45
表 4.1：台北市公車聯營業者.....46
表 4.2：公車變數定義.....47
表 4.3：第一階段投入產出相關係數.....48
表 4.4：第二階段投入產出相關係數.....48
表 4.5：整體投入產出相關係數.....48
表 4.6：公車變數特性.....50
表 4.7：Model 1 結果.....51
表 4.8：Model 1 之 12 家公車業者效能比較.....52
表 4.9：Model 2 結果.....53
表 4.10：Model 2 之 12 家公車業者效能比較.....54
表 4.11：Model 3 結果.....55
表 4.12：Model 3 之 12 家公車業者效能比較.....57
表 4.13：Model 4 結果.....57
表 4.14：Model 4 之 12 家公車業者效能比較.....59
表 4.15：四模式各年度效率個數比較.....60
表 4.16：模式比較與環境敏感指標.....61
表 4.17：環境敏感效率對公車業者影響程度.....63
表 4.18：模式年度分析無母數檢定.....64
表 4.19：模式結果差異無母數檢定.....64
表 4.20：Model 3 差額變數分析.....65
表 4.21：Model 4 差額變數分析.....67
表 4.22：四模式平均效能..... 69
表 4.23：Model 3 四年平均差額..... 70
表 4.24：Model 4 四年平均差額..... 71

圖目錄

圖 1.1：台灣地區所有旅次公共運輸市占率……2
圖 1.2：台北捷運與公車雙向轉乘旅次數……3
圖 1.3：研究流程……5
圖 2.1：三維方向性距離函數 ……16
圖 2.2：DEA 研究發展曲線……20
圖 2.3：文獻小結……28
圖 3.1：效率與效能 ……29
圖 3.2：方向性距離函數示意……31
圖 3.3：研究架構……32
圖 3.4：績效概念架構……33
圖 3.5：投入距離函數與投入集合……37
圖 3.6：產出距離函數與生產集合……38
圖 3.7：Model 1 一階段 DDF(無轉乘)評估模式……39
圖 3.8：Model 2 一階段 DDF(含轉乘)評估模式……41
圖 3.9：Model 3 兩階段 DDF(無轉乘)評估模式……42
圖 3.10：Model 4 兩階段 DDF(含轉乘)評估模式 ……44
圖 4.1：Model 1 年度效能趨勢……62
圖 4.2：Model 2 年度效能趨勢……62
圖 4.3：Model 3 年度效能趨勢……62
圖 4.4：Model 4 年度效能趨勢……62
圖 4.5：公車業者於四模式整體效能比較……70
圖 4.6：四模式年度效能趨勢圖……70

第一章　緒論

本章包含研究動機、研究背景、研究目的、研究限制與假設、以及研究流程五節，概述研究緣起之動機，研究對象之時間、空間範疇、本研究所欲達成之目的，以及研究過程中所作的相關假設及資料取得的限制，最後以研究流程圖呈現本研究之綱要與步驟。

1.1 研究動機

我國大眾運輸日益發達，投入與產出間的關係備受管理者與監督者重視，業者藉由績效評估找出營運無效率的因子，可加以改善、提升營運效率，同時，身為監管者的政府單位亦可研擬有助於運輸發展的對策。

績效評估的研究方法有很多種，生產力與效率的議題也已普遍運用於各類運輸業中，而資料包絡分析法(DEA)為專門處理多項投入與產出問題的方法，適用於相對效率的衡量。方向性距離函數(DDF)則可解決 DEA 方向性的問題，瞭解投入與產出該往如何調整。

電子票證的整合也進一步促使民眾更加樂於轉乘不同運具，以複合運輸的方式完成旅運需求。在捷運與公車關係越來越密切之下，尤其自民國 92 年開始，使用悠遊卡可享有捷運與公車雙向轉乘優惠，因此本研究認為公車業者在做績效評估時，應將該公司與捷運間轉乘人數特別考量。

另外，過去公車績效評估之研究多著重於公司實質的投入與意欲產出，較少考慮到營運過程的外部效益與外部成本，因此本研究認為此外部效益與外部成本亦為產出的一部分，並應一同考量。

茲於上述種種原因，研究動機可彙整於以下三點：

1. 悠遊卡提供公車與台北捷運轉乘優惠後轉乘數量日益攀升，因此，由公車轉乘捷運之旅客可視為公車業者之意欲產出，應放入績效評估架構進行評估。
2. 過去研究多將轉乘旅客直接納入公車之乘客數，並無提出討論，但由捷運轉乘公車之旅客為公車業者無法控制因素，但確實影響著公車之營運績效，故亦應將其納入考量。
3. 過去對公車非意欲產出對績效影響之相關研究，多以肇事數來進行換算，但無加入公車所排放之廢氣。基於環保觀念抬頭，公車公司營運時亦須考量公車營運時所造成的空氣汙染，因此本研究認為應將空氣汙染排放一同評估。

1.2 研究背景

1.2.1 空間範圍

台北市為台灣之首都，不僅人口密集，商業活動也相當頻繁，共包含 12 個行政區；新北市人口數量為全台灣之冠，全境內共包含 29 個行政區，全境環繞台北市，與台北市有著密不可分的關係，合稱大台北地區。

大台北地區為全台灣公共運輸最為發展之所在，根據交通部統計處資料，民國 101 年台北市公共運輸市占率為 38%，新北市為 27.3%，皆遠高於全台灣之平均值 15%，如圖 1.1 所示。

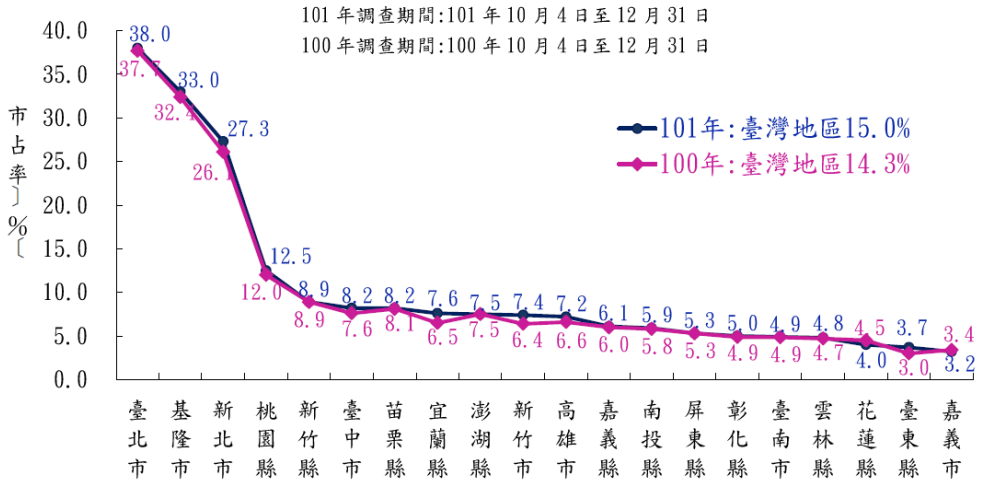


圖 1.1：台灣地區所有旅次公共運輸市占率(民國 100 年、民國 101 年)。

資料來源：交通部統計處

大台北地區公共運輸發達，民眾搭乘之公共運輸又以公車與捷運為大宗，台北市之公車與捷運之市占率分別為 18.9%與 14.4%；新北市之公車與捷運之市占率也分別為 12.1%與 9.5%，詳細數據如表 1.1 所示。

表 1.1：各種運具之市占率(民國 101 年)　　單位：%

運具 / 地區	公共運輸				非機動運具	私人運具
		公車	捷運	其他		
台灣地區	15	6.3	3.9	4.9	12.4	72.5
台北市	38	18.9	14.4	4.7	20	42
新北市	27.3	12.1	9.5	5.7	14.1	58.6

資料來源：本研究整理；交通部統計處

悠遊卡為大台北地區使用之電子票證，公司成立於 2000 年 3 月，由台北市政府、台北大眾捷運公司、12 家台北地區公車業者與其他金控公司所組成。而台北市政府於 92 年 11 月 1 日起實施悠遊卡普通卡及學生軍警卡雙向轉乘優惠之後，轉運人次也連年上升，截至 2011 年止，享受捷運與公車雙向轉乘優惠的人數已高達平均每日約 46.84 萬人次，占捷運平均日運量 30.19%，轉乘人次數量如下圖 1.2 所示。

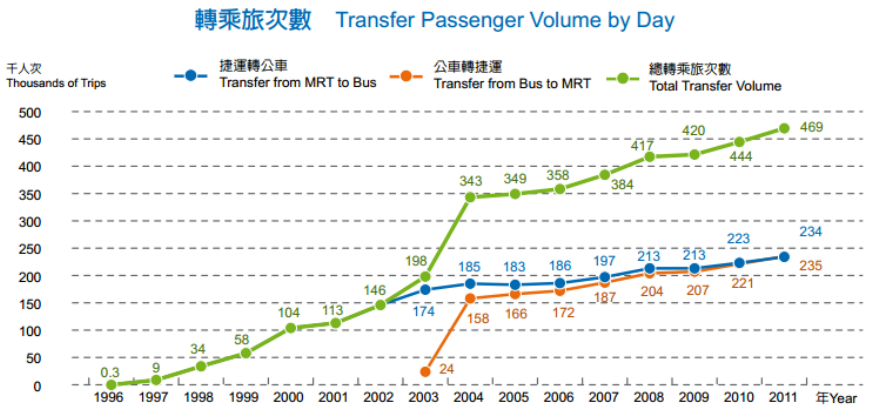


圖 1.2：台北捷運與公車雙向轉乘旅次數

資料來源：台北捷運公司 2011 年年報

1.2.2 研究對象

本研究對象為台北地區之公車業者。公車業者主要為「台北市聯營公車」與「新北市公車」所組成，包括大都會、首都、大南、欣欣、大有、光華、台北、三重、指南、中興、新店、新北、淡水、東南等 14 家客運業者。

1.3 研究目的

本研究以方向性距離函數(DDF)結合資料包絡分析法(DEA)，進行台北公車業者之績效評估。根據兩階段 DEA 為基礎架構，以延車公里作為連結生產效率(productive efficiency)與服務效能(service effectiveness)的中間項，投入縮減量以及產出擴張量之最大化為目標，進行公車業者相對效率求解。

根據2007年台北捷運公司委託交通大學交通運輸研究所所作之「捷運與公車雙向轉乘優惠效益分析研究」指出：轉乘優惠額度對公車運量變化影響之顯著性高於對捷運運量及大眾運輸(公車加捷運)運量變化影響之顯著性。另外，陳佳慧(2000)以台北捷運淡水線沿線之21 條接駁公車路線為研究對象，結果顯示以公車業者觀點而言，21 條路線中，適合營運之路線有18 條；但對捷運公司而言，

卻僅有1條帶來利潤，可知轉乘優惠對於公車運量的提升相當關鍵。

轉乘運量的增加原因包括轉乘優惠及捷運路網擴張兩部分(葉嘉文,2004)，公車的營運亦是如此，儘管不能確定轉乘運量是由何種原因而來，但可以確定其必然受另一運具所影響。故本研究將在在研究架構中納入雙向轉乘的乘客數量，藉由不同架構型態的模式，以及納入轉乘量與否，探討轉乘運量對公車業者營運績效影響程度，並納入公車營運中伴隨產生的空氣汙染，以反向距離函數的概念放入模式，以期改善傳統 DEA 的缺點。綜觀以上，本研究目的可彙整如下：

1. 公車排放廢氣以非意欲產出納入考量後，將外部成本內部化，獲得更客觀的營運績效，檢視各種汙染物對於公車公司績效之影響，同時促使業者對環境保護的重視。
2. 本研究以公車業者為受評單位，將由公車轉乘至捷運乘客數量以獨立之意欲產出放入模式，不同以往直接納入乘客量的評估模式。另將捷運轉乘至公車之旅客以環境敏感變數納入模式後，將以原本模式進行比較，透過環境敏感指標觀察變數對模式影響程度，並藉無母數統計檢定兩方法結果是否有顯著差異。
3. 觀察公車業者在不同年度的營運狀況是否有所差異，以及各公車業者經營的生產效率與服務效能狀況，投入與產出差額變數分析，提出管理意涵及改善策略。

1.4 研究限制與假設

雙向轉乘可分為「由公車轉乘至捷運」，以及「由捷運轉乘至公車」兩方向，但在巨觀的情況下，無法確認每一旅客旅運目的及轉乘心態，不同業者資料亦難以切割。再者，不完整之資料須予以刪除。故本研究有以下限制與假設：

1. 由公車轉乘至捷運之乘客數量視為公車可控制之意欲產出；由捷運轉乘至公車之乘客數量則可視為該公車業者無法掌控之環境敏感因子，表示其受捷運與轉乘優惠兩者的影響的敏感程度。
2. 由於轉乘的旅客僅能透過悠遊卡內部系統紀錄，故本研究所計算之轉乘旅運量數據僅來自悠遊卡系統所紀錄享有轉乘優惠之乘客，無使用悠遊卡之轉乘旅客則不納入計算。
3. 大台北地區共 14 家公車業者，扣除無完整營運數據的兩家公司，研究案例分析中受評單位為 12 家公車業者，自 2007 年至 2010 年四個年度之營運數據。

1.5 研究流程

本研究流程如下圖 1.3 所示。

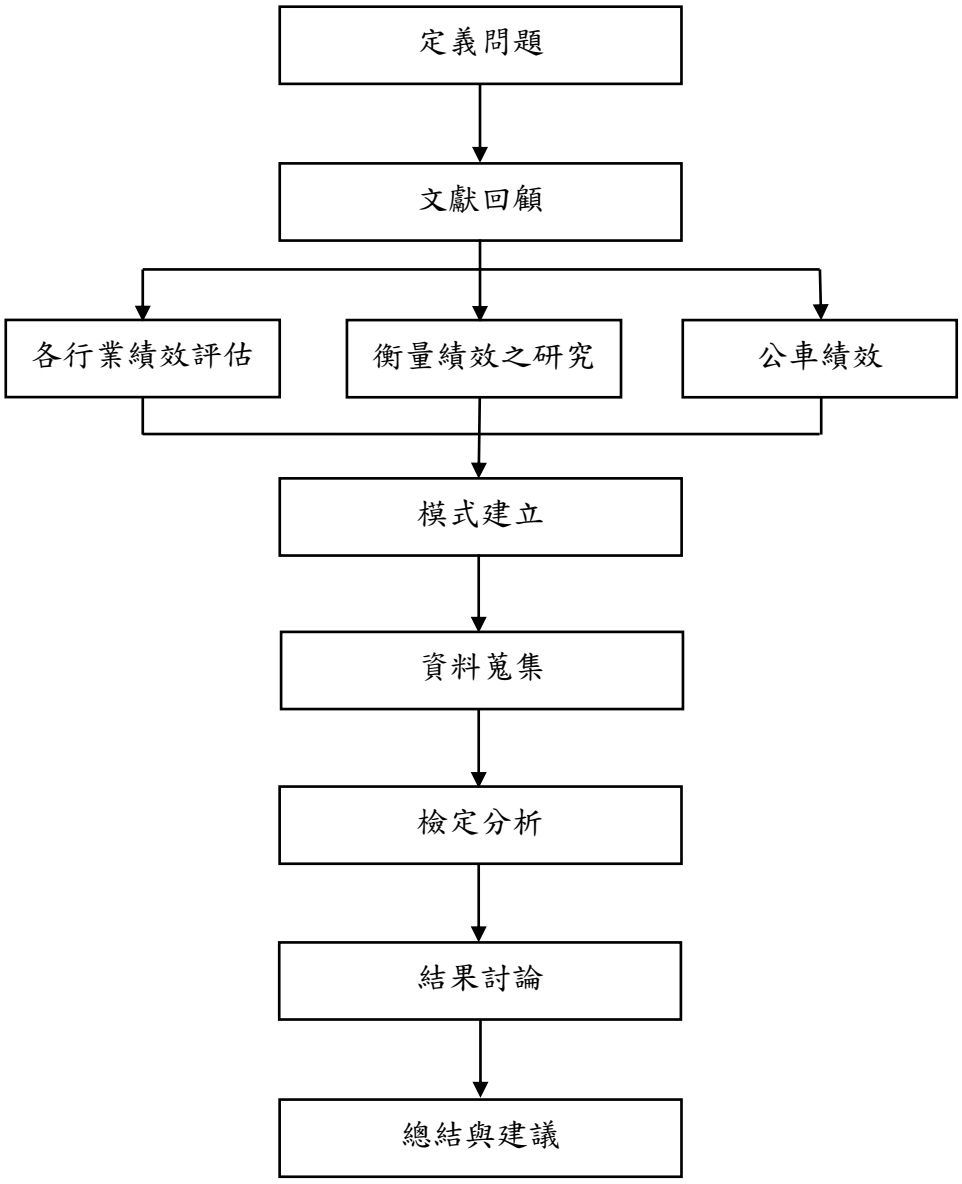


圖 1.3：研究流程

本研究流程即為各章節綱領，從定義問題開始至最後總結並給予建議，流程中各步驟內容設計如下：

1. 定義問題

   首先定義研究中欲解決的問題、目前問題的狀況，以及研究可能面臨的限制，並決定使用何種數學方法來進行後續工作。

2. 文獻回顧

主要分為三大類文獻回顧，分別是衡量績效或效率之相關研究方法、公車績效與其他行業績效的文獻，衡量績效或效率之相關研究方法中探討模式建構與設計；公車績效與其他行業績效則多為效率評估的實際應用，藉由文獻回顧比照本研究之方法及過去應用成效。

3. 模式建立

確認本研究之數學模式，包括決策變數、目標式、限制式以及所需軟體。

4. 資料蒐集

蒐集研究所需資料，資料整理、篩選之後即為投入變數，在下一步驟放入模式中進行實證。

5. 檢定分析

根據模式計算結果，逐步探討各模式、各年度與各項績效差異，並以統計檢定檢視其差異性。

6. 結果討論

綜合討論前項檢定分析結果，討論各模式、各年度與各項績效差異意涵，以及各項投入與產出差額所占比例。

7. 總結與建議

對於結果分析進一步給予大眾運輸管理者與監督者可行之建議，以期在未來達到改善績效的目的。

第二章　文獻回顧

公車營運的整體績效、技術效率與生產效率常為政府補貼、減稅，以及管制政策的重要指標之一，因此為達到補貼等目的，公車業者需提高營運績效及服務品質。因此，過去有許多研究對公車營運績效進行調查與分析，如 Chang 與 Kao (1992)應用 DEA 模型評估台北市五家私營公車業者之相對效率，研究中以員工數目與燃料使用量作為投入變數，以收入、車公里、旅次數作為產出變數，實證分析結果顯示，台北市公車市場開放後，有效提升了業者之技術效率。

在 1992 年，Fielding 等人提出評估績效方法中應區分出效率(efficiency)與效能(effectiveness)，此種方法取代了原有評估效率的單一指標。兩階段的 DEA 模型(two-stage DEA)也是在此時被 Chu 等人所提出，第一階段表示技術效率衡量，第二階段則為效能的衡量，值得注意的是，Chu 等人發現在交通運輸領域中，效率與效能呈現負相關的現象，也就是說當一運輸業者擁有較高效率等級時，其效能卻呈現較低的等級。繼 Fielding (1985)提出效率與效能量測的概念後，Chen 與 Shiau (1984)應用兩階段 DEA 模型，以 CCR 模式衡量台灣 32 家公車業者之技術效率愈整體效能；Yu 與 Fan(2009)更提出混合結構的網路型 DEA 模式，將整體績效(OEV)區分為生產效率(PE)以及服務效能(SEV)，在生產效率部分又依公車業者行駛路線之特性不同區分為公路客運及市區客運兩區塊，可得出更詳細的資訊。Yu 與 Fan(2009)應用的網路型 DEA 概念不同於 Chen 與 Shiau (1984)之兩階段模型。

除 DEA 之外，自由階層處理模式(Free Disposal Hall；FDH)亦是一種非參數規劃模式，而超越對數函數以及隨機邊界分析法(SFA)則為需預設參數之效率評估方法，近年亦有相關研究取道以上方法對運輸系統做評估分析，如 Lin、Law 與 Chiu (2010)及 Kerstens (1996)以 DEA 與 FDH 衡量法國城市公車之技術效率。但在 FDH 中效率決策單位（DMU）只受實際觀察績效值影響，其參考群體的選擇是實際觀察的 DMU，因此其效率前緣線會以階梯式呈現，並不同於一般 DEA 的包絡曲線，這種結果造成幾乎所有的 DMU 皆為有效率，較無法區隔出真正有效率之單位。另外，Viton (1997)利用投入導向以及產出導向的 DEA 模式，評估美國公車業者之技術效率，結果發現有將近 80%的業者擁有技術效率，且 Viton (1998)又以 Malmquist 生產力指數與 DEA 方法，選取 1988 年至 1992 年度資料，評析美國電動公車及需求反應式公車之生產力與效率，結果表明技術效率有明顯

進步。

近年來，有越來越多研究調查世界各地的公車效率，Odeck 與 Alkadi (2001)以 BCC 投入導向模式，衡量挪威 47 家公車業者的相對效率，實證結果可看出，大部分公車業者為規模報酬遞增的現象，但是，公司所有權以及規模經濟則無法對績效值作出解釋。Odeck (2008)同時應用 Malmquist 生產力指數、DEA、Kruskal-Wallis 檢定方法審視挪威數家公車公司合併前後的效率變化。Borger (2004)則以 1990 年至 1998 年加拿大公車業者資料，使用 DEA 加以評估其相對效率，發現加拿大公車業者平均技術效率僅有約 0.78，意味著加拿大公車系統有相當大的進步空間。Karlaftis (2004)則結合 DEA 與生產前緣函數，評析美國地區共 256 個擁有規模經濟且營運超過五年之運輸系統，結果顯示營運之效率與效能呈現正相關。

上述所提及之研究，在評估績效的過程中，不管在效率或效能部分的衡量過程，皆鮮少將運輸系統之環境影響納入考量，如：交通事故、空氣汙染等外部成本，而僅聚焦於增加意欲產出，以及設法降低超額投入來達到提升績效的目的。但事實上，此種忽略非意欲產出的作法是不公平且容易誤導社會大眾的，因為當交通事故、空氣汙染被忽略時，也就是作了無外部成本的假設(Lin 與 Lan, 2009)。因此，近年來已有許多研究，評估公車業者營運績效時，同時納入意欲產出與非意欲產出考量(Evan 與 Morrison, 1997; McMullen 與 Noh, 2007)。舉例來說，Lin 與 Lan (2009)將過去曾經以傳統 DEA 進行公車業者績效評估，如今以同樣的評比單位，加入交通事故予以考量，並將肇事類型分為死亡事故、重傷害、輕傷害以及財物損失，不同類型的事故加以權重後以距離函數及 DEA 計算，結果發現納入交通事故數量考量的模式，與過去僅以傳統 DEA 評量的績效，兩模式所得公車業者績效有顯著差異。Lin, Lan 與 Chiu (2010)應用 SFA 評估台北市公車經營效率，採用車輛數、員工數、燃油三項投入，以及延車公里一項產出，亦將交通事故一併納入考量，實證結果亦發現，模式中加入交通事故數量與否，存在著顯著的差異。然而，Lin 等人 (2010)研究中僅納入了意欲產出與非意欲產出各一項，當中忽略了其他意欲產出，如：收入、乘客數，也忽略了某些非意欲產出，如：空氣汙染、噪音。

Chen 等人(2012)提出整數模式 DEA，加入交通事故衡量高雄市公車營運績效，投入項分別為燃油、員工數、車輛數，意欲產出項為車公里與旅客數。此 Chen 等人(2012)提出的整數模式 DEA 不同於 Tone(2001)提出的差額變數模式

(SBM)或 Lin 與 Lan (2009)使用的距離函數。此外，Heng , Lim 與 Chi (2012)以 Malmquist 生產力指標評估卡車運送業者績效時，同時考量卡車造成的空氣汙染，包括氮氧化物(NOx)、一氧化碳(CO)、懸浮微粒(PM10)以及揮發性有機物(VOC)，實證結果顯示當忽略上述汙染時，生產力明顯高估，反之，加入上述汙染之影響，才較能完整體現生產力的情況。Yu 與 Fan (2006)使用定向距離函數與多活動連結的 DEA 模型，除基本的投入與意欲產出之外，研究中同時考量公車業者服務地區的環境因子及風險敏感度，實證分析所採用之資料為台灣地區 24 家公車業者數據，提供更完善的結果以供業者參考。

如同上述眾多研究，效率評估的議題已廣泛應用在運輸系統及業者，然而，尚有許多研究將非意欲產出對效率所造成的影響忽略不計，儘管如此，運輸服務的過程一定會伴隨著造成非意欲產出，這些不良的產出有可能造成環境惡化、影響健康，甚至危及生命財產。因此，若欲將外部成本內部化，則在績效評估的過程中，因在意欲產出之外再加入非意欲產出共同考量，完整反映營運績效外，亦可提供業者對於環境的各種影響因素。

本研究所欲研究之對象雖為公車，但亦有與台北捷運相關之變數，故回顧之文獻中除了公車之外，還有軌道、港埠運輸，及其他行業的績效評估相關研究，公車業者之績效評估課題的相關研究可謂相當廣泛，也相當眾多。捷運績效評估的研究相對少了許多，一來由於捷運系統僅存於台北、高雄兩地，二來因為一地區之捷運系統皆為單一業者營運，若設捷運為 DMU 則無評比單位，須將路線分段評比，或以時間序列資料計算。此外，亦有關於方法論之文獻回顧，內容包含不同派系學者之方法，各有優劣及其使用限制，最後則為其他相關文獻的回顧。

2.1 公車績效

顧志遠、張國平(1990)利用 DEA 方法之 CCR 模式評估台北市公車，其以勞工人數、車輛、燃料用量為投入變數，延車公里數及載客人次為產出變數，以台北市公車業者之單一業者為例，蒐集 1979 至 1985 年之季節資料(time series data)進行效率評估分析。此研究係採用時間序料資料，雖然為單一業者，但其效率評估對象(DUM)為季節單位。另外，該研究屬 CCR 模式，不考慮業者之經營網路結構性，以及其他民營業者競爭性因素，亦不考慮所謂非意欲產出或伴隨意欲產出之外部性效果。

Filippini et al.(1992)指出瑞士公車業者共 177 家，由民間企業及州政府經營

組成，但卻因為營運虧損導致瑞士政府在 1988 年給予公車業者補貼金額高達 8 千 4 百萬瑞士法郎，研究中以生產函數與成本函數推斷規模經濟與密度經濟等關聯性，投入要素價格除了員工薪資及資產價值之外，亦加入燃料價格；單一產出則選用延人公里或延座公里。結果發現公車業在規模較小時會有規模報酬遞增的現象，反之，公車業者擴增規模至一定程度時，規模報酬則呈現遞減的狀況；三種投入價格要素之成本份額以員工薪資占最大部分為 80%，其次為資產占 15%，燃料價格則占 5%，而採用延座公里及延人公里為產出的兩種模型，其成本彈性分別為 0.17 及 0.35。

J,Pedersen et al.(1997)欲找出挪威公車營運業者無效率的原因，開始時將無效率的來原歸納為兩種可能，一為公營與民營公車組織結構的不同，二為政府對客運業者補貼方式的不同，接者以隨機成本邊界(stochastic cost frontier)的方法建立相對有效率的前緣，再找出相對無效率的公車業者，並以統計回歸模型檢視前兩項假設的無效率可能性是否顯著，發現公營與民營業者組織結構的不同並不是造成無效率的原因；然而，以固定成本補貼方式的業者其效率則較高。除此之外，因平均隨機成本邊界曲線呈 U 型，故藉由成本規模的控管可達到改善效率的目的，最後此研究也指出，挪威政府因嘗試將公車業市場開放為完全競爭，提升競爭的同時迫使各公營與民營業者各自改善無效率的情況。

陳佳慧(2000)指出捷運僅能做「線」的運輸，若要有完整的路網，勢必要整合市區公車進行接駁工作。該研究以捷運淡水線沿線之 21 條接駁公車為例，建立績效評估指標共 19 項，再以多變量方法中之因素分析進行維度縮減，可歸類出績效評估指標之四大面向，分別為產出利用效果、乘客之捷運轉乘使用效果、車輛利用情形、行車效率，並將此四項因素的分數化為總績效評點，得出各條路線各週營運績效後加以排序，發現對公車業者而言，21 則路線中就有 18 條路線平均每日可賺取利潤，但對捷運公司而言，則僅有 1 條公車路線(紅 23)帶來利潤，其餘皆虧損，若對社會大眾而言，則有 14 條公車路線社會效益為正值。研究程序採用的是相對的績效評估模式，文中建議在未來可衡量各接駁路線之絕對績效，來做為是否營運或調整的依據。

許國隆(2002)探討台北市首都客運、大南客運、新店客運等共十四家公車業者，第一階段使用 DEA 模式，投入要素有營業公里、營業車輛、員工人數、油耗量；產出項有行駛公里、乘客人數、營業收入。第二階段再以 Tobit 回歸模式對各項效率值影響因素做進一步探討。Tobit 回歸結果可發現公車處相對於民營

業者有較高的純粹技術效率，但在規模上，民營業者則較公車處為佳，而研究中指出，該績效差異可能是由於公車處在政策上的考量而造成的。

Yu and Fan(2006)將公車業者整體績效評估切分為公路客運以及市區客運兩大區塊，除此之外，研究中認為一家公車公司經營的公路與市區路線有共享的管理者、員工、機械，故加入共享投入(share input)；再者，公車經營過程中事故是無可避免的，無責肇事的發生也讓公車多了理賠金額，故將意外獲得的理賠金額加入非意欲產出項(undesirable output)；最後，又提出環境因子(environment factor)的概念，表示長程與短程運輸需求量，在生產過程中對公路客運及市區客運的影響。公路客運投入項為公路客運的員工、車輛、路網長度、油耗；市區客運投入項為市區客運的員工、車輛、路網長度、油耗；公路客運產出項為延人公里；市區客運產出項為總旅客數。研究結果分為三種模式，第一種為傳統的 DEA 模式，並無加入上述的環境因子及非意欲產出，第二種為第一種模式再加上環境因子，第三種則為將環境因子及非意欲產出接納入考慮，結果顯示環境因子可能造成效率上升或下降，而理賠金額因為額外的收入使得效率可能上升，但以全部公車公司觀之，整體成本效能對於是否採用環境因子及非意欲產出相當敏感，可能影響各公司績效的排名。

王伯珩(2007)期望找出台北市聯營公車成功之因素，首先進行專家訪談，以問卷方式彙整各種意見，問卷內容包括對市場、財務、行銷、員工訓練、智慧型運輸系統等看法。總結過後以德爾菲法(Delphi method)擷取其中的關鍵因素，建構各項因素之間的分層架構，最後透過三層構面的層級分析法(Analytic Hierarchy Process；AHP)評估各因素之權重，結論指出經營之成功因素主要分別為行銷構面、組織構面、財務構面、公共政策構面，且以組織構面為四大構面之關鍵，再者，行銷構面首重平面與多媒體廣告，組織構面首重滿足員工需求以及激勵士氣，財務構面應開展多元化經營並減少不合的財務開銷，公共政策構面則以政府補貼措施最為重要。

McMullen,Noh (2007)將 2000 年美國地區共 43 家公車營運機構作為評比對象，以方向性距離函數(directional distance function)來證明公車廢氣排放對於績效的影響不可小覷，也相當重要。研究中投入項為員工小時、燃油消耗、總車輛座位數；意欲產出項為延人公里、延車公里；非意欲產出項即為車輛排放之廢氣量，包括 HC、CO 與 NOx。研究中除了以方向性距離函數加以實證之外，分析中亦使用標準 DEA 模式評量 43 家公車機構的分數，兩種方法結果都指出，非意欲產

出對於績效有相當程度的影響，亦有改變績效排名的可能，故改善車輛廢氣排放是提升績效值的關鍵之一。

黃裕文(2008)對新北市智慧型公車服務系統，針對使用者效益進行分析，而研究中以鼎漢顧問公司於民國 95 年提出之「系統服務水準評估報告書」為基礎，對該報告書中之統計結果做進一步的交叉與統計分析。結果可知，影響乘客滿意度的主要因素為系統功能及精確度、使用系統頻率與經驗、社經變數等三大類。故該研究建議公車主管機關、系統廠商與公車業者應落實系統的回饋機制，並使系統能穩定、精確的運作，甚至配合道路交通控制設施，提升公車行車效率以及到站時間的可靠性。

Yu and Fan(2009)又利用混合結構的資料包絡分析法(mixed structure network data envelopment analysis；MSNDEA)，以及方向性距離函數的應用，來估計多面經營運輸公司的生產效率、服務效率與營運效率，績效評估的運具包括國道客運以及市區公車，投入變數有駕駛員數量、車輛、燃油消耗、路網長度，中間產出變數為延車公里數，最終產出項為延人公里數及乘客數，評估架構中也納入外在因子包括私有運具數量、國道客運服務範圍內之人口密度、市區公車服務範圍內之人口密度。混合結構的資料包絡分析法與傳統模型主要差別在於可將同時產生的服務也納入考慮，以及可共享投入項，故此研究得出的結論與傳統模型有很大差別，且認為混合結構的資料包絡分析法較適用於營運範圍較廣的業者的績效評估，唯各個階段距離函數的權重須進一步研究探討。

Lin and Lan(2009)以 DEA 分析台北地區公車業者績效，文中提及過去某些 DEA 研究中採用肇事件數為非意欲產出，固然可增加績效評估的完整性，但都須假設每次肇事程度都是相同的。因此在研究中將事故程度分為死亡、重傷、輕傷、財損等四種狀況，並依照台灣地區保險業平均理賠金額作為權重比例，比例依序為 1、0.5、0.067、067。分析資料為 2001 年至 2006 年共 10 家台北市公車業者的年度資料共 60 組 DMU，投入項採用員工數、車輛數與燃油；意欲產出項採用車公里；非意欲產出則為上述之肇事數量。加入非意欲產出後的績效值，相較於傳統 DEA，足足多出 15 個無效率的 DMU，故採用此種衡量方式與傳統 DEA 有相當顯著的差別，且建議公車業者應朝降低事故次數、程度，提升安全來達到提升效率的目的。

Chiu、Lin et al. (2010)使用隨機邊界分析法(SFA)，探討非意欲產出對市區公車營運效率的影響，研究中之非意欲產出項納入公車之肇事率，而肇事率將分為

不區分肇事之嚴重性的肇事率以及依死亡、重傷、輕傷及僅財務損失等嚴重性不同，分成四個等級並賦以適當權重的肇事加權。研究範圍以台北市 10 家公車業者在 2001 年至 2006 年間之營運效率為例，投入項有營業車輛數、耗油、員工數，意欲產出項為延車公里。研究結果發現，公車業者的技術效率在加入公車肇事率評估後有顯著的不同，且是產生無效率的狀況，因此建議公車業者在研擬提升效率的策略時，不僅要以傳統的減少投入及增加意欲產出方法之外，設法透過駕駛安全訓練等方式減少公車的肇事率。此外，研究建議後續作相關研究時，可進一步對肇事率等級的權重做更深入探討，以期充分反映肇事程度的因果關係。

謝尹甄(2011)認為過去在作公共運輸的績效評估時，往往因為忽略非意欲產出而造成效率高估的情況，在績效評估時應將其汙染一同考量。研究中以資料包絡分析的差額變數法針對台北市聯營公車在 2007 年至 2010 年間之營運效率，受評單位包括欣欣客運、大南客運等 14 家公車業者，投入變數為員工數、車輛數、油耗，意欲產出為車公里、營收，非意欲產出為一氧化碳排放量。評估過程，共分為三種情境，第一種情境在意欲產出中只考慮延車公里，第二種情境在意欲產出中只考慮營收，而第三種情境則為上述兩者皆納入考慮，此種做法可得知效率與效能的差異，除此之外，在第三種情境中亦比對考慮非意欲產出以及不考慮非意欲產出之績效差異，結果可以發現，三種情境平均績效分別為 0.833、0.748、0.853，意欲產出只考慮營收的評估方式，低於其他兩種情境約 0.1 的效率值，而若將非意欲產出納入考量，也會拉低效率值。研究中也建議公車業者，未來應朝著提升承載率，以及定期更換觸媒轉化器等排氣系統來改善整體績效。

公車業為普遍於世界各地重要的公共運輸，且一地區之公車運輸大多為數家業者所組成聯合經營，故各家業者相對之投入與產出關係更加受到關注。藉由上述種種對於公車的績效評估可知，不管國內或國外皆已有諸多學者以各種方法進行研究，可供本研究參考運用，彙整如表 2.1 所示：

表 2.1：公車績效評估文獻

作者	投入與產出	研究對象	方法	結果
顧志遠、張國平(1990)	投入：勞工人數、車輛、燃料用量 產出：延車公里數、載客人次	台北市單一公車業者	DEA - CCR	研究採用時間序料資料，以季節為單位，探討公車業者民營化前後之效率，顯示民營化後技術效率的提升。

Filippini et al.(1992)	投入：員工薪資、資產價值、燃料價格 產出：延人公里/延座公里	瑞士 177 家公車業者	生產/成本函數	公車業在規模小時會有規模報酬遞增現象，反之，公車業者擴增至一定程度時，規模報酬則呈現遞減的狀況；採用延座公里及延人公里為產出的兩模型，成本彈性分別為 0.17 及 0.35。
Jorgensen et al.(1997)	建立相對效率的前緣，再以假設檢定找出無效率的業者	挪威公車營運業者	隨機成本邊界、統計回歸	公營與民營業者組織結構的不同並不是造成無效率的原因，但以固定成本補貼方式的業者其效率則較高，且藉由成本規模的控管可達到改善效率的目的。
陳佳慧(2000)	四項指標： 1.產出利用效能 2.捷運轉乘使用效能 3.車輛利用情形 4.行車效率	捷運淡水線沿線之 21 條接駁公車	因子分析法、集群分析、鑑別分析	對公車業者而言，21 則路線中有 18 條路線平均每日可賺取利潤；對捷運公司而言，則僅有紅 23 線 1 條公車路線帶來利潤，其餘皆虧損。
許國隆(2002)	投入：營業公里、營業車輛、員工人數、油耗 產出：行駛公里、乘客人數、營業收入	台北市十四家公車業者	第一階：DEA 二階段：Tobit 回歸模式	公車處相對於民營業者有較高的純粹技術效率，但在規模上，民營業者則較公車處為佳。
Yu and Fan(2006)	公路/市區投入：員工、車輛、路網長度、油耗。 公路產出：延人公里。 市區產出：旅客數。 共同投入：共同成本。 環境因子：長程需求量、短程需求量。 非意欲產出：意外理賠金。	台灣地區 24 家公車公司 2001 年度資料	方向距離函數、多樣性 DEA(Multiactivity DEA)	整體成本效能對於是否採用環境因子及非意欲產出相當敏感，可能影響各公司績效的排名。

王伯珩 (2007)	專家訪談，以問卷方式彙整，內容包括對市場、財務、行銷、員工訓練、智慧型運輸系統	台北市聯營公車	德爾菲法 層級分析法 (AHP)	成功因素主要分別為行銷構面、組織構面、財務構面、公共政策構面，且以組織構面最為重要。
McMullen, Noh (2007)	投入：員工小時、燃油消耗、總車輛座位數。 意欲產出：延人公里、延車公里。 非意欲產出：車輛排放之 HC、CO 與 NOx 廢氣量。	2000 年美國地區共 43 家公車營運機構	方向性距離函數、DEA	非意欲產出對於績效有相當程度的影響，亦有改變績效排名的可能，故改善車輛廢氣排放是提升績效值的關鍵之一。
Yu and Fan(2009)	投入：駕駛員數量、車輛、燃油消耗、路網長度。 中間項：延車公里數。 產出：延人公里數、乘客數。	台灣國道客運與市區公車	混合結構的資料包絡分析法 (MSNDEA)	網路模型與傳統模型有很大差別，且混合結構較適用於複合運具的績效評估、考核，以及對運具進行轉運的績效評估。
Lin and Lan (2009)	投入：員工數、車輛數、燃油消耗。 意欲產出：車公里。 非意欲產出：肇事程度。	2001 年至 2006 年共 10 家台北市公車業者	方向性距離函數、DEA	非意欲產出對於績效有相當程度的影響；公車業者應朝降低事故次數、程度，提升安全來達到提升效率的目的。
Chiu、Lin et al. (2010)	投入：營業車輛數、耗油、員工數。 意欲產出：延車公里。 非意欲產出：公車之肇事率。	台北市 10 家公車業者在 2001 年至 2006 年間之營運效率	隨機邊界分析法(SFA)	公車業者的技術效率在加入公車肇事率評估後有顯著無效率狀況，因此建議公車業者在研擬提升效率的策略時，要設法透過駕駛安全訓練等方式減少公車的肇事率。
謝尹甄 (2011)	投入：員工數、車輛數、油耗。 意欲產出：車公里、營收。非意欲產出：一氧化碳排放量。	欣欣客運、大南客運等 14 家台北市聯營公車業者	差額變數資料包絡分析法 (DEA-SBM)	將非意欲產出納入考量，才能完整的顯現效率值，但也會拉低效率。因此建議公車業者，未來應朝著提升承載率，以及定期更換觸媒轉化器等排氣系統來改善整體績效。

2.2 衡量績效或效率之相關研究方法

自從 Shephard 於 1953 年提出距離函數概念，以射線縮減與擴張來表示，說明多投入與多產出的生產技術效率。Farrell 於 1957 年運用確定性無參數前緣(Deterministic Non-parametric Frontier)的觀念，透過經濟學的生產函數在「The measurement of productive efficiency」一文中提出以「非預設生產函數」取代常用的「預設生產函數」來推估多項投入之效率值，奠定了 DEA 理論之基礎，後陸續有 Charnes、Cooper 、Banker 等學者展出其他模式，皆有許多具深度及廣度之應用與研討，本研究不在此再加贅述，僅羅列近代針對 DEA 方法衍伸與變形，以及應用距離函數在 DEA 上之文獻回顧。

在前述公車績效文獻中，Yu and Fan(2006)以 DEA 及距離函數衡量公車營運的效率，並同時將公車營運所造成的意外，以意外理賠金額方式計算納入效率衡量，以反向距離函數表示此非意欲的產出，其中不同於一般將非意欲產出視為負向投入，而是將距離函數分解為三部分，分別為投入距離函數、意欲產出距離函數、非意欲產出距離函數，可以三維座標加以呈現，數學式及三維距離函數座標表示如下圖 2.1：

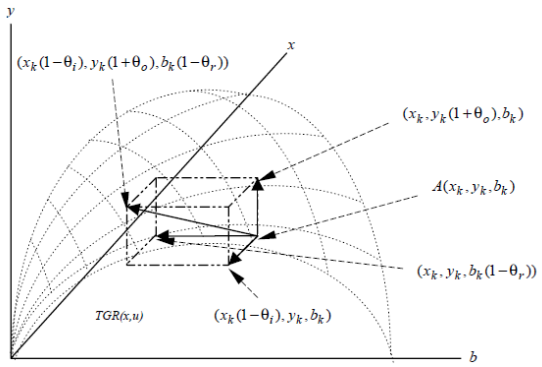


圖 2.1：三維方向性距離函數(Yu and Fan,2006)

$$Max\ \theta = w_i\theta_i + w_o\theta_o + w_r\theta_r$$

$$z \cdot X \geq (1-\theta_i)x_k$$

$$z \cdot Y \geq (1+\theta_o)y_k$$

$$z \cdot B = (1-\theta_r)b_k$$

$$z \geq 0$$

其中，X、Y、B 分別代表投入、意欲產出，與非意欲產出，θ_i、θ_o與θ_r則分別為其距離函數值，藉由距離函數的拆解，可將非意欲產出的效率獨立出來，

再以加權方式計算整體距離函數及效率，此種方法可避免產生無法分析其差額的問題。結果顯示除環境因子對結果造成不同外，非意欲產出對效率影響程度也相當之大。

徐茂鈞(2008)指出資料包絡分析法(DEA)雖然可以客觀的評估績效，但卻無法提供優劣順序；反之，共同權重能夠給予受評單位優劣順序卻無法完全反映環境的情況。此研究想擷取此兩方法之優點，期使能夠客觀的評斷又能判別出各單位優劣順序。因此提出一種新的兩階段模式，此研究中之兩階段模式不同於常見的兩階段 DEA，並非以中間投入與產出項作兩階段連結。而是在第一階段利用線性規劃來取得權重以評量其他單位之差異，採取 MCWA 的概念，各個 UOA(unit of assessments)擇一權重進行對其他 UOA 之評量，第二階段再以交叉效率加以評量自身單位的績效，最後以 25 間消防分隊為例進行評比。

Kao and Hwang(2008)對他們於 2006 年提出台灣產險公司效率評估的模式做出修正，亦即在原本僅一個階段的效率評估中，加入中間項將效率評估方式以兩階段表示，投入項有營業費用與保險支出兩項，營業費用中包括了工資與日常營業費用，保險支出包括支付經紀人、律師之費用、行銷等其他支出；產出項有承保費用與投資收益兩項，承保費用代表保險本業之收入，投資收益代表藉由其他投資組合賺取來的利潤；中間項則為直接承保費用以及再保險費用兩項。Kao,Hwang 認為兩階段模式的第一階段與第二階段並非完全獨立的，且在模式中將中間項於兩階段的權重設為相同，換言之，第一階段的產出值與權重完全等同於第二階段投入值與權重，如此一來，整體效率可改寫為兩階段效率值之乘積，但兩個階段之限制式加入了整體效率的計算，因此整體效率通常低於原本無中間項評估模式的效率值。

Liang、Cook et al(2008)賽局的觀點闡述兩階段 DEA 的過程，尤其是 DEA 的兩階段為上下游關係的時候，時常會將共同利益極大化作為首要目標，而又因兩階段的關係不同而導致方法有異，若兩個階段其中一為領導者(leader)，另一為跟隨者(follower)，則會以非合作模式(Non-cooperated model)呈現績效；若兩個階段彼此並無從屬關係，則會以集中模式(Centralized model)呈現績效。前者會以領導方績效極大化為標竿，進一步影響跟隨者的績效，最後得出整體績效；後者則即是將兩階段共同計算可知整體績效，若欲知各階段績效則須再藉由單獨計算得出結果。兩種模式共同的特點是整體績效都會比傳統忽略中間項的 DEA 績效來的低，但兩階段卻可觀察出不同階段對整體的影響，而賽局的方法也解決了過

去兩階段模式的衝突問題。

Kao(2009)改善傳統 DEA 無法分解內部效率的缺點，將內部階段效率依投入與產出特性分為串聯(Series)與並聯(Parallel)兩種系統，指出各階段會互相影響而並非彼此獨立，稱為「Relational model」。在此系統中，除本身整體效率之限制式之外，尚需加入各階段各自效率不大於一的限制式，並採用差額變數加以求解，此外，研究中加入虛擬階段(dummy process)將原有結構轉換為兩組並聯結構互相串連的架構，如此一來，可再分別求出前後兩組系統之效率值。最後研究以台灣 24 間產險公司為例，比較該模式與傳統 DEA 的差別，結果顯示此網路結構 DEA 因加入更多限制式的關係，效率值皆低於或等於傳統 DEA，但優點是更能反映內部階段對整體效率的影響。值得注意的是，此模式僅適用於固定規模報酬的 CCR 模式，無法在變動規模報酬下運作。

Tone、Tsutsui (2009)以差額變數探討網路結構的 DEA 模型(Network DEA；NDEA)，當 DEA 不只一個階段且各階段投入與產出互相連結時，內部的階段效率並非完全獨立的，但由於傳統 DEA 模型在面臨 NDEA 問題時往往直接做整合或分別的探討，前者忽略各階段的關聯性且無法看出整體無效率的癥結所在，後者雖然可得出階段效率標竿，卻會忽略各階段間的連續性。因此研究使用差額變數的方式，將各階段間的連結限制式分為自由連結(free link)與固定連結(fixed link)兩種，並推論出投入導向、產出導向，以及無特定導向的 DMU 效率，以無特定導向為例，最佳化效率目標式可表示如下：

$$\rho_o^* = \min_{\lambda^k, s^{k-}, s^{k+}} \frac{\sum_{k=1}^{K} w^k \left[1 - \frac{1}{m_k}\left(\sum_{i=1}^{m_k} \frac{s_i^{k-}}{x_{io}^k}\right)\right]}{\sum_{k=1}^{K} w^k \left[1 + \frac{1}{r_k}\left(\sum_{r=1}^{r_k} \frac{s_r^{k+}}{y_{ro}^k}\right)\right]}$$

其中，

k：網路結構中階段個數；

m_k：第 k 階段之投入項數目；

r_k：第 k 階段之產出項數目；

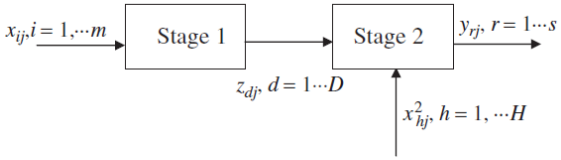
s_i^{k-}：投入項之差額向量；

s_r^{k+}：產出項之差額向量；

w^k：第 k 階段之權重值。

研究結果證明，在不同的連結限制式中(free or fixed)，會產生不同的效率值，而限制式的選擇須視其生產策略而定，另外，在變動規模(VRS)的假設下，每一個階段至少有一決策單位是有效率的。

Li、Chen et al.(2012)延伸 Liang (2008)年所提出的兩階段 DEA，將「僅有第一階段的產出投入至第二階段」的假設去除，加入一額外投入項於第二階段中，發展出新的兩階段 DEA 結構，如下圖：



而目標式則沿用 Kao, Hwang 將兩階段效率相乘的公式並加入額外投入項，的 j 個 DMU 目標式可表示為：$\theta = \frac{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} * \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^{D} w_d z_{dj} + \sum_{h=1}^{H} Q_h x^2_{hj}}$

又因此式無法轉為線性進行求解，因此文中也進一步介紹啟發式解法，先求解某一階段之最佳值，得出該階段之可行解範圍，再將該階段可解範圍放入限制式，最終得出兩階段之最佳化結果。

其中，

x_{ij} = 第 j 個 DMU 第一階段第 i 項投入；

z_{dj} = 第 j 個 DMU 第一階段第 d 項產出(中間項)

y_{rj} = 第 j 個 DMU 第二階段第 r 項產出

v_i = 第 j 個 DMU 第一階段第 i 項投入之權重

w_d = 第 j 個 DMU 第一階段第 d 項產出之權重

u_r = 第 j 個 DMU 第二階段第 r 項產出之權重

x^2_{hj} = 第 j 個 DMU 第二階段第 h 項額外投入項

Q_h = 第 j 個 DMU 第二階段第 h 項額外投入之權重

John S.Liu et al.(2012)以文獻數量為基礎，以 g-index 與 h-index，等科學(論文)生產量之指標，回顧 1978 至 2010 年間資料包絡分析法的發展進程與成果，研究中將相關文獻定義為以 DEA、data envelopment analysis 、constant returns to scale、variable returns to scale、non-parametric efficiency、Farrell efficiency 等字彙為關鍵字搜尋而得，自 Farrell(1957)提出生產前緣的觀念，並將衡量技術效率及價格效率以數學規劃表之以來，到 2000 年不僅出現更多的演變，也加入了其他的元素。DEA 議題的發展如同常見的 S 型增長曲線，Charnes,Cooper and Rhodes

(1978)提出在固定規模報酬下產生的 CCR 模式，Banker,Coop and Cooper (1984)提出在報酬可變動下產生 BCC 模型，後續又有加法模式、乘法模式與差額變數模式，今 DEA 研究略有分支，但以兩階段模型最多人進行後續研究。此發展曲線如下圖 2.2：

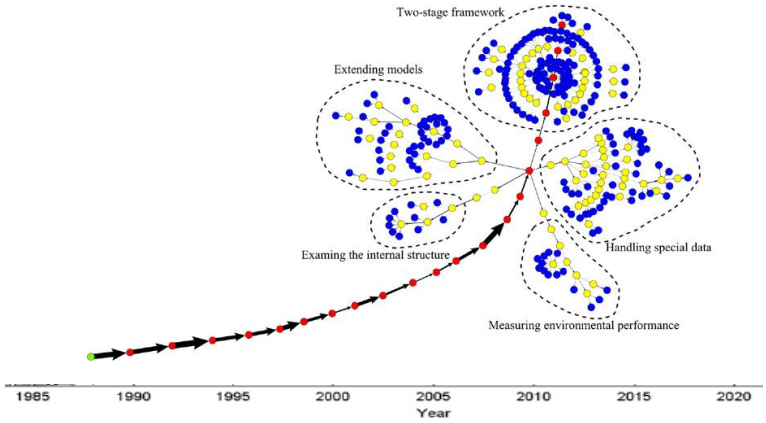


圖 2.2：DEA 研究發展曲線

Chen、Wade D.Cook et al(2013)針對 DEA 兩種形式作深入的探討，在傳統 DEA 模型中，可分為乘數型式(Multiplier)與包絡型式(Envelopment)，且兩者互為對偶的數學規劃問題，可得出相同之目標值。但文中指出，若當 DEA 模式衍伸成兩階段時，乘數型式與包絡型式的 DEA 不僅為兩種不同的效率概念，也會得出不同的階段效率(Divisional efficiency)，研究中以中國大陸 30 個省級地區之研發設計系統兩階段效率評估為例，第一階段投入為研發設計經費支出、研發人員、該區科技經費占總經費比例；中間項為專利數量、文獻數量；而第二階段投入則有契約成交量一項；產出項為 GDP、出口總額、每年平均可支配收入、高科技產業總產值，並分別以兩種型式計算，研究結果發現僅有 8 個地區之效率值相同。故結論出，在過去傳統的 DEA 模型下，可簡易的轉換模式型式，但若為兩階段的評估，則需注意其潛在的差異與缺陷。

由此可知，DEA 已行之有年，亦有相當程度的擴張與變化，為數最多的即為兩階段模型的衍伸，而兩階段模型亦為本研究後續之使用方法，衡量績效或效率之相關研究方法彙整如下表 2.2 所示。

表 2.2：衡量績效或效率之相關研究方法文獻

作者	理論/貢獻
Shephard(1953)	提出距離函數概念，以射線縮減與擴張來表示，說明多投入與多產出的生產技術效率。
Farrell(1957)	最早提出以生產前緣衡量技術效率及價格效率，並以數學規劃模式進行計算。

Charnes et al. (1978)	將 Farrell 提出之觀念加以推廣，提出在符合固定規模報酬的假設下，多重投入與多重產出效率之數學式。(CCR)
Banker et al. (1984)	擴大了 CCR 模式的效率觀點與運用範圍，以生產可能集合的四項性質：凸性性質(Convex)、非效率性質(Inefficiency)、射線無限制性質(Ray Unboundedness)、最小外插性質(Minimum Extrapolation)以及 Shephard 提出的距離函數，推導出純粹技術效率與規模效率。(BCC)
Fielding et al. (1985)	效率偏重於資源使用的程度，探討產出的數量與投入數量的比率關係；效能則偏重目標的達成程度。
Chu et al(1992)	兩階段的 DEA 模型：第一階段表示技術效率衡量，第二階段則為效能的衡量。
Yu and Fan(2006)	將公車肇事賠償金額已非意欲產出納入績效評估模式，並把非意欲產出之距離函數單獨提出，以距離函數及 DEA 求解公車營運效率。
徐茂鈞 (2008)	由於 DEA 無法提供優劣順序，而共同權重能夠給予受評單位優劣順序卻無法完全反映環境的情況，因此研究中擷取此兩方法之優點，提出一種新的兩階段模式，在第一階段利用線性規劃來取得權重以評量其他單位之差異，採取 MCWA 的概念，各個 UOA(unit of assessments)擇一權重進行對其他 UOA 之評量，第二階段再以交叉效率加以評量自身單位的績效。
Kao and Hwang(2008)	假設兩階段模式中之中間項權重相同，故整體效率可改寫為兩階段效率值之乘積。
Liang、Cook et al.(2008)	以賽局的觀點闡述兩階段 DEA，若兩階段中一為 leader，另一為 follower，則會以 Non-cooperated model 呈現；若兩個階段彼此並無從屬關係，則以 Centralized model 呈現。
Tone and Tsutsui(2009)	使用差額變數的方式，將各階段間的連結限制式分為自由連結(free link)與固定連結(fixed link)兩種，並推論出投入導向、產出導向，以及無特定導向的 DMU 效率。
Kao(2009)	提出 Relational model 將內部階段效率依投入與產出特性分為串聯與並聯兩種系統，提出虛擬階段(dummy process)的概念，將原有結構轉換為兩組並聯結構彼此互相串連的架構，可改善傳統 DEA 無法分解內部效率的缺點。
Li、Chen et al (2012)	延伸 Liang (2008)提出的兩階段 DEA，加入一額外投入項於第二階段中，發展出新的兩階段結構，以啟發式解法先求解某一階段之最佳值可行解範圍，再將該階段可行解範圍放入限制式，最終得出兩階段之最佳化結果。

John S.Liu , et al.(2012)	以文獻數量為基礎，以 g-index 與 h-index 等科學(論文)生產量指標為衡量方式，觀察過去 1978 至 2010 年間資料包絡分析法(DEA)的發展進程與成果。發現 DEA 之發展過程呈現 S 形曲線，而至今 DEA 研究略有分支，但以兩階段模型最多人進行後續研究。
Chen、Wade D.Cook et al(2013)	指出傳統 DEA 模型若模式衍伸成兩階段時，原本的乘數型式(Multiplier)與包絡型式(Envelopment) 不僅為兩種不同的效率概念，也會得出不同的階段效率(Divisional efficiency)。

2.3 其他行業績效

張致祥(2000)為探討淡水線上公車轉乘設施的完整程度，先觀察淡水線上各站周邊的主要活動地點、外圍服務地區、周邊的服務特性，包括轉運、辦公、休閒、商圈等，以及各捷運站之站體形式、公車停車彎與公車路線數，再針對沿線上之公車路線、服務範圍加以描述。最後將捷運車站的服務範圍、旅次吸引強度、公車轉運強度等類別變數，對淡水線上車站進行分析，以集群分析的方式，並採用歐基里德距離平方的定義、華德法的分群依據，得出三種公車轉乘設施類型的車站，指出三種類型車站所面臨之問題，並給予適當建議。

章智清(2001)針對台北捷運各站務部門之營運狀況，以 DEA 評量整體效率及技術效率，研究對象包含當時運務中心所屬的五個段，並將時間劃分為 2000 年上半季、下半季與 2001 年上半季三個時間段，2000 年捷運路段有新中段、淡南段、淡北段、新南段、板南段，而 2001 年則因路線擴增將板南段分為板橋段與南港段，故共有 16 個受評單位(DMU)；投入項與產出項之挑選則先以過去績效指標之文獻初步選定，再藉由皮爾森(Pearson)積差相關分析做進一步篩選，最後得出三項投入項，分別為員額、薪資、加班時數，以及二項產出項，分別為旅客運量、取締違規。分析結果後發現，整體效率以淡南段最佳，這是由於淡南段包含多條路線交會的台北車站，且淡南段各站位較佳的緣故；淡北段與新南段則屬整體效率較差的路段，而淡北段之技術效率亦偏低，研究認為應從投入資源及運用方面加以檢討，且應擴大生產規模。最後在生產規模評估方面，發現 2000 年下半季板南段之規模過大，但在 2001 年分為板橋段與南港段之後卻又有規模過小的情形，認為應擴大生產規模。

Sexton and Lewis(2003)體認傳統 DEA 的不足，以兩階段 DEA 分析美國職棒大聯盟(MLB)共 30 隊球隊之效率，第一階段為一球隊生產效率，投入變數為全隊薪資總和，產出為攻占壘包數量、失去壘包數量，研究中模式如同常見的兩階

段模式，第二階段的投入項為第一階段產出之盜壘數量及失去壘包數量，第二階段產出則為球隊獲得之勝場數，可衡量組織管理效率。藉由比較以傳統 DEA 及兩階段 DEA 得出之結果，顯現兩階段 DEA 可獲得較多訊息，找出無效率所在的癥結點，逐一提升效率，但研究最後提及，兩階段 DEA 依然無法將績效做完美的區分，故應朝更縝密的網路結構 DEA 模式(Network DEA)進行發展。

Abad et al.(2004)欲探討西班牙 30 家公司發行之股票與該公司之價值聯結，故以兩階段 DEA 作股票基本面分析，特別的是，此研究之兩階段 DEA 不同以往，該兩階段擁有各自的投入與產出，其中第一階段投入為應收帳款、存貨、固定資產、其他資產、營業費用；產出為營業收入。第二階段投入則為預期收入、業外支出、帳面價值；產出為市場價值。結果顯示，30 家公司中僅有 2 家在兩階段中皆有效率，且當市值相較於基本價值是被低估時，會有較大的獲利空間。

劉國樑(2006)以 Fielding 績效評估架構中的三個構面：生產效率、生產效能以及服務效能，從國際鐵路聯盟(UIC)會員國中挑選出丹麥、奧地利、日本等 21 家傳統鐵路事業，以資料包絡分析法進行績效評估。投入項為營業里程、客車車輛數、貨車車輛數、員工人數；產出項為旅客列車公里、貨物列車公里、列車準點率；消費服務項目為：延人公里、延頓公里。研究結果顯示，在生產效率構面，經評估發現奧地利、日本、台灣等國之鐵路事業皆相對有效率，但台灣在生產效能構面以及服務效能構面皆相對無效率，整體而言，受評比的各國鐵路事業在生產效率構面的投入與產出較能掌握，而在生產效能構面與服務效能構面則有待努力，研究結果認為未來應朝“減少客車公里與貨車公里之投入或是增加延人公里及延噸公里之產出”的方向努力。

魏惠儀(2009)使用差額變數資料包絡分析法(Slack based measure data envelopment analysis , DEA SBM)，針對 2008 年新加坡、香港等貨櫃裝卸量前 22 大的國際貨櫃港埠為研究對象，並將港埠整體效率依據港埠經營範圍細分為港灣及港埠作業，對其港灣、裝卸及倉儲三大面向進行衡量。港灣方面投入變數為港灣面積、船席總長度、拖船數，產出變數為進港船數、船噸數；裝卸方面投入變數為裝卸員工數、船席總長度、裝卸設備，產出變數為貨櫃裝卸量；倉儲方面投入變數為倉儲管理員、搬運設備、堆積容量，產出變數為延日存倉量。研究結果顯示，22 個國際港埠整體績效值排名與貨櫃裝卸量排名有異，且 22 個國際港埠整體績效皆不盡理想，其中又以倉儲作業技術效率最差，平均僅 0.397。

黃慧君(2010)以二階段 DEA 模式來評估台灣壽險公司之經營績效，由於保

費收入如同銀行業中的資金投入，兼具投入與產出的性質，故將其列為中間產出項，亦即第一階段的產出與第二階段的投入。結論指出兩階段的評估方式比起傳統的一階段評估方式，更能夠反映出真正的績效值，呈現壽險公司的經營內涵，亦能評斷保險費的收入恰當與否，也才能藉由收益與成本的計算找出相對無效率的壽險公司。

李莞霜(2011)在台灣高速鐵路承包、興建並於 2007 年完工通車後，持續觀察其發展歷程與營運狀況，認為應與其他國家之鐵路事業互相比較，因此使用 DEA 方法評估國際鐵路聯盟(UIC)包括台灣高鐵在內的 9 條高速鐵路國際鐵路事業，蒐集 2007 年至 2009 年各國鐵路事業營運資料，分析其相對的技術、規模與整體效率以提出改善建議，其中 2009 年某間公司無資料故僅共有 26 個決策單位(DMU)。研究中投入項為員工人數、總資產；產出項為旅運人數、營業收入，再經由 CCR 與 BCC 模式計算後得知，2007 年至 2009 年整體效率及技術效率僅有三家鐵路事業達到有效率的狀況，其餘無效率之鐵路事業須對投入項目作改善；交叉效率分析下若效率值依然為 1 則代表在眾多鐵路事業中其效率相對有效許多，結果可看出代號 C 的鐵路事業為營運有效的公司；差額分析則發現，大部份無效率的受評單位都需要減少員工的數量、增加資產或增加旅運量及營收。

楊宏基(2013)以 DEA 衡量台電公司 9 座水力發電廠，水力發電廠不僅供電於全台各地，也有防洪、灌溉、供水、儲水的功能，但研究中僅探討其發電效率，投入變數採取裝置容量(MW)、員工人數、運維費、降雨量；產出變數採用淨發電量(kWH)、容量因數(%)。值得注意的是此研究中將「降雨量」設為投入變數，目的為藉由探討降雨量多寡對水力發電營運效率之影響，藉由關鍵要素的釐清，進一步可知一發電廠的無效率原因為自然因素還是人為因素所造成。該研究結果顯示，台電水力電廠整體之純技術效率優於規模效率。

經由上述績效評故在多方面的應用，可以發現鐵路及捷運等軌道運輸，大多為政府經營或者單一業者營運，因此較少有進行相對效率評估之研究，或需進一步將營運範圍用路線別、場站等方式加以切割。而在運輸業之外，像是金融業、製造業，甚至休閒娛樂的體育競賽中亦有應用。上述提及之相關文獻亦彙整如下表 2.3，於 2.2 節某些有提及實證分析之衡量績效或效率之相關研究方法文章，亦列於下表。

表 2.3：其他行業之績效評估文獻

作者	投入與產出	研究對象	方法	結果
張致祥 (2000)	轉乘設施： 該捷運站外之公車站牌、公車站位、公車彎、路外轉運站	台北捷運淡水線之 20 個捷運車站及車站鄰近地區	因子分析法、群落分析、華德法	捷運站運輸型式可分為集散、接駁、轉乘三種型式，並在設置轉乘公車之設施時，應依不同類型捷運站有不同設置考量。
章智清 (2001)	投入：員額、薪資、加班時數。 產出：旅客運量、取締違規。	台北捷運各路段(2000 年至 2001 年中共三個半年度)	皮爾森(Pearson)積差相關分析、 DEA、	各路段整體效率在 2001 年上半達到最高；技術效率偏高，三個半年度均維持 0.9 以上，代表站務部門對於資源運用有效；站務部門在三個半年度規模報酬均小於 1，有擴張空間的必要。
Sexton and Lewis (2003)	投入：全隊薪資總和 中間項：攻占壘包數量 (TBG)、失去壘包數量(TBS)。 產出：勝場數	美國職棒大聯盟 30 球隊	傳統 DEA 兩階段 DEA	兩階段 DEA 雖可獲得較多訊息，找出無效率所在的癥結點，但兩階段 DEA 尚無法完全表達績效評析之內部結構，須研究網路結構 DEA 模式(Network DEA)加以分析。
Abad et al.(2004)	第一階段 投入：應收帳款、存貨、固定資產、其他資產、營業費用。 產出：營業收入。 第二階段 投入：預期收入、業外支出、帳面價值。 產出：市場價值。	西班牙 30 家發行股票之公司	兩階段 DEA (兩階段各有不同之投入及產出變數)	30 家公司中僅有 2 家在兩階段中皆有效率，且當一公司基本價值高於市值時，股票有較大的獲利空間。

劉國樑 (2006)	投入：營業里程、客車車輛數、貨車車輛數、員工人數。 產出：旅客列車公里、貨物列車公里、列車準點率。 消費服務項目：延人公里、延頓公里	國際鐵路聯盟(UIC)會員國中丹麥、奧地利、日本等 21 家傳統鐵路業。	Fielding 績效評估、DEA	在生產效率構面，奧地利、日本、台灣等國之鐵路事業皆相對有效率，但台灣在生產效能構面以及服務效能構面皆相對無效率。
徐茂鈞 (2008)	指標：消防人員數 、消防車輛數、火災死亡人數、火災受傷人數、消防安檢次數、消防栓數、火災次數、緊急救護次數	某縣市消防隊其 25 個分隊	第一階段：線性規劃取得權重，採取 MCWA 概念，各個 UOA 擇一權重進行其他 UOA 評量。 第二階段：交叉效率評量自身單位的績效。	此種二階段方法使得評比足夠客觀以及評斷出整體表現程度。且在評估多指標的營運單位，以及對不同領域的營運單位有不同的指標需要有不同情況的探討。
Kao and Hwang (2008)	投入：營業費用、保險支出。 中間項：直接承保費用、再保險費用。 產出：承保費用、投資收益。	2006 年台灣產險公司共 24 家	兩階段 DEA，假設第一階段的產出與權重完全等同第二階段投入與權重。	兩個階段之限制式加入了整體效率的計算，因此整體效率通常低於原本無中間項評估模式的效率值。
魏惠儀 (2009)	1. 港灣 投入：港灣面積、船席總長度、拖船數 產出：進港船數、船噸數。 2. 裝卸 投入：裝卸員工、船席總長度、裝卸設備。 產出：貨櫃裝卸量。 3. 倉儲 投入：倉儲人員、搬運設備、堆積容量。 產出：延日存倉量。	2008 年新加坡、香港等貨櫃裝卸量前 22 大的國際貨櫃港埠	差額變數資料包絡分析法 (DEA-SBM)	22 個國際港埠整體績效值排名與貨櫃裝卸量排名有異，且 22 個國際港埠整體績效皆不盡理想，其中又以倉儲作業技術效率最差。

Kao (2009)	投入：營業費用、保險支出。 中間項：直接承保費用、再保險費用。 產出：承保費用、投資收益。	2006 年台灣產險公司共 24 家	DEA(Traditional / Relational model)	效率值皆低於或等於傳統 DEA，但更能反映內部階段對整體效率的影響，且此模式僅適用於固定規模報酬的 CCR 模式。
黃慧君 (2010)	投入：內勤人數、外勤人數、固定資產、其他資產。 中間項：人壽、健康、傷害等保費收入。 產出：現金及銀行存款、放款、投資。	2004 年至 2008 年 24 家保險公司，總計共 120 上市/櫃公司	二階段 DEA	兩階段的評估方式比起傳統的一階段評估方式，更能夠反映出真正的績效值，呈現壽險公司的經營內涵，亦能評斷保險費的收入恰當與否。
李莞霜 (2011)	投入：員工人數、總資產。 產出：旅運人數、營業收入。	國際鐵路聯盟(UIC)內 9 條高速鐵路國際鐵路事業(2007 年至 2009 年)	DEA、交叉分析、Malmquist 生產力指數	整體效率及技術效率僅有三家鐵路事業達到有效率的狀況；代號 C 的鐵路事業為營運有效的公司；無效率的公司可藉由減少員工的數量、增加資產或增加旅運量及營收來改善效率
Chen、Wade D.Cook et al(2013)	第一階投入：研發設計經費、研發人員、科技經費占總經費比例。 中間項：專利數量、文獻數量。 第二階投入：契約成交量。 產出：GDP、出口總額、可支配收入、科技業產值。	中國大陸 30 個省級地區之研發設計系統	乘數(Multiplier)型式 DEA、包絡(Envelopment)型式 DEA	若當 DEA 模式衍伸成兩階段時，乘數型式與包絡型式的 DEA 不僅為兩種不同的效率概念，也會得出不同的階段效率(Divisional efficiency)
楊宏基 (2013)	投入：裝置容量(MW)、員工人數、運維費、降雨量。 產出：淨發電量(kWH)、容量因數(%)。	台電公司 9 座水力發電廠	DEA	整體而言，純技術效率優於規模效率；整體純技術效率平均值 0.977，規模效率平均值 0.912。

2.4 小結

資料包絡分析法(DEA)自 Charnes 等人(1978)提出 CCR 模式後，陸續有其他模式的出現及網路架構的擴張，而方向性距離函數(DDF)由 Shephard 在 1953 首度提出，但直至三、四十年後才開始受到重視，但 DEA 與 DDF 皆為衡量效率之方式，且兩種方式演變至今已可混合應用，即以 DDF 為目標式，並以類 DEA 之線性規劃進行求解。且根據上述國內外文獻可發現，以 DEA 對運輸業者進行績效評估，是一相當簡潔又不失論據之方法。

對於公車的眾多研究中，所採用的投入項目無非駕駛、車輛與燃油，因為這些皆為公車營運之必要的要素，而產出皆以收入、延車公里、延人公里或乘客數等，選擇部分作為代表。故本研究亦參照選取投入與產出項目，作為衡量模式之參數。

另外，文獻回顧中可見非意欲產出為績效評估研究的趨勢之一，漸有衡量公車肇事、汙染排放的文獻出現。但過去不曾對公車與捷運轉乘量作出考量，而是僅以載客數概括全體。故本研究重點於此轉乘運量，期望針對轉運量對模式之影響作出進一步分析。概括而言，國內外文獻提供了諸多關於 DEA 變數、受評單位、注意事項的訊息，應用於本研究可分成四部份並彙整如下圖 2.3。

圖 2.3：文獻小結

第三章　研究設計

3.1 研究課題

進入研究架構與模式之前，本研究藉研究中使用之辭彙及議題稍先行釐清，包括選用之方法與變數，分別敘述如下：

1. 課題一：何謂績效

績效一詞源於管理學中，是大家耳熟能詳的名稱，對於其定義也因應用範圍的不同而有所差異。以衡量方式區分可分為效率與效能，在 Peter Drucker 的《有效的管理者 The Effective Executive》書中表示，效率可理解為「把事做好」，效能則為「做對的事」，其實就是資源使用與目標達成的概念，可表示如下圖 3.1：

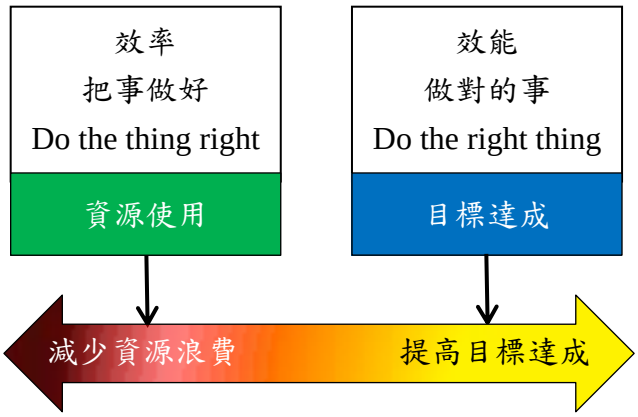


圖 3.1：效率與效能

若以衡量範圍區分，則可分為垂直比較與水平比較，前者為針對時間序列的資料特性進行比較，如同一公司 A 工廠 2013 年與 2014 年生產產品績效比較；後者為針對同質性單位的相對比較，如同一時間範圍下，該公司 A 工廠與其他工廠生產產品績效進行比較。本研究中圍各家公車業者同於 2007 年至 2010 年之績效評估，故屬後者。

2. 課題二：績效評估方法有哪些

績效是需要管理的，而進行管理之前必須有一個客觀的方式來衡量，此衡量方式即為績效評估方法。若欲以比較主觀的方式進行，則可以給定一績效指標，以專家訪談或者問卷方式進行評分，以等級排列或強制比例的方法給定績效。若欲以較客觀的數學方式進行評估，如同前述績效的定義，當我

們須對時間序列的資料進行評估時，可選擇最小平方計量經濟生產模式，或者總要素生產力指標來進行評估；當我們對數個部門或公司的相對效率有興趣時，則可選用資料包絡分析法，或者隨機邊界分析法；當我們與評估多期的各個單位的績效評估，也就是研究的數據為縱橫斷面資料，亦可使用資料包絡分析法與隨機邊界分析法。以上四種客觀的績效評估方法將在後 3.3 節作詳細介紹。

3. 課題三：變數如何選擇

績效評估中選擇的變數就有衡量指標的涵義，將形成投入與產出的包絡線，若未達到相對的效率該單位則落於包絡線內，並產生差額。在資料包絡分析法中，變數選取有兩大特性及要點：

(1) 變數的單位不受影響，應避免重複計算

(2) 投入與產出需具有同向性(isotonicity)

若在衡量中排除了重要的投入或產出，或者，資料中存在著偏誤的離群直，都會產偏差的結果。所幸在過去眾多對於公車業所進行的績效評估研究，我們可以發現其所用的變數不外乎員工、車輛、燃油、延車公里、乘客、收入等，因此我們可參照選取再進行檢查即可，本研究中的案例分析屬市區公車，發現乘客量與收入似有接近等比例放大的跡象，為避免單位不受影響的特性而重複計算，我們將收入剔除。

4. 課題四：方向性距離函數的概念與應用

距離函數可用來估計多產出生產技術的特性，在沒有價格資訊，以及不適用成本極小化或收益極大化假設的問題下，可以投入距離函數或以產出距離函數進行衡量。通常在使用距離函數的時候，我們必須先選取函數型態，以 Cobb-Douglas 函數型態為例，投入距離函數可表示為：

$$\ln d_t^i = \beta_0 + \sum_{n=1}^{N} \beta_n \ln x_{ni} + \sum_{m=1}^{M} \varphi_m \ln q_{mi} + v_i$$

其中，I 表示受評單位數，M 為產出項數目，N 為投入項數目，x_{ni}為第 i 個受評單位的第 n 項投入，q_{mi}為第 i 個受評單位的第 m 項產出。

本研究選用距離函數作為目標式，即以盡可能地減少投入以及增加產出，取代DEA中產出與投入比值的概念，可解決方向性的問題。但在本研究中僅以方向性函數概念應用於目標式及部分限制式中，限制式主要形式依然採用

DEA之BCC模式，故沒有假設其函數型態。原因是傳統的 DEA 只能單一考慮到降低投入或增加產出，而 Fare and Grosskopf (2005) 提出的方向性距離函數，可同時觀察投入與產出的變動程度。令x與y為投入與產出，g_x 為投入向量，g_y為產出向量，$P(x)$為生產可能集合，依此生產可能集合的方向性距離函數可定義為：

$$\mathrm{d}(\mathrm{x},\mathrm{y}\,;-g_x,g_y)=\sup\{\beta:(x-\beta g_x,y+\beta g_y)\in P(x)\}$$

則 $\mathrm{g}=(-g_x,g_y)$ 為一向量，投射到生產邊界點$(x-dg_x,y+dg_y)$，如下圖3.2所示：

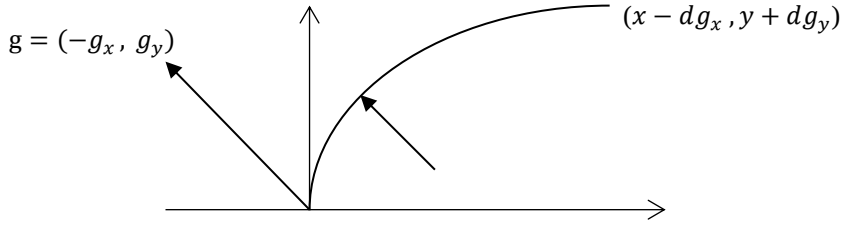


圖3.2：方向性距離函數示意

5. 課題五：轉乘數量應用於績效評估的意義

所謂轉乘即是在旅運過程中所使用的運具並非直接到達目的地，而是使用並整合不同運輸工具的運輸模式，在大眾運輸上，轉乘的出現大多是因為某運具路網無法完全一次滿足該旅運者，再者是因為時間或價錢等其他考量因素。在本研究中所考量的轉乘，僅在於公車與捷運之間使用悠遊卡搭乘之旅客，這是因為我們僅能由悠遊卡紀錄得知公車與捷運轉乘的旅運量，是為一研究限制。我們可以想像，如果有一地區擁有像台北市一樣的公車路線、班次，一樣的公車服務水準，但是並沒有台北捷運與悠遊卡的轉乘優惠，則搭乘公車的人數勢必不如現今的旅運量，這就是因為一個大眾運輸設施會與其他設施相輔相成，帶來外部效益的結果。

公車營運過程會為捷運帶來外部效益，研究中亦視為一種意欲產出，而台北捷運與悠遊卡所產生的外部效益，對於公車業者而言就是一種不可控制的環境因素，因為公車路線須由政府核定，捷運路網與站點為捷運公司擬定，路上轉乘設施亦由政府建置，於是我們將之視為環境敏感變數。當然，將所有由公車轉向捷運的旅客視為外部效益，將所有由捷運轉向公車的旅客視為環境敏感變數，這樣的區分方式存在著些許偏誤，但我們難以微觀到細分每一個旅客起訖點以及其原本的搭乘心態，故以此巨觀方式加以區分，並以「敏感」一詞表達該變數對於績效影響的概念。

3.2 研究架構

本研究在取得資料後，會先進行決策單位(Decision Making Unit；DMU)的挑選，達到每一 DMU 符合均質性(Homogenous)的原則，接著參考國內外文獻中使用的數據選取投入與產出，並以皮爾森相關係數，確認投入與產出之間具有同向性(isotonicity)，再將各變數帶入本研究建構之一階段 DDF 模式與兩階段 DDF 模式進行計算，前者以單一階段的距離函數公式求解，並無中間項；後者則為兩階段模型，依 Fielding(1985)提出生產效率(productive efficiency)與服務效能(service effectiveness)的概念來加以區分。

我們對公車與捷運間轉乘運量相當有興趣，因此我們再將此兩模式細分為：有加入轉乘運量與無加入轉乘運量，並根據 Ball(2004)提出的環境敏感度效率指標(E^H)來比較其結果的不同。其中，如第一章所述，我們將「由公車轉乘捷運」視為公車之意欲產出，「由捷運轉乘公車」視為公車之環境敏感變數，詳細數學公式將於第 3.4 節「問題說明與模式架構」進行說明。

本研究共四種模式，求解結果後，除了以上述指標進行比較之外，會再以無母數統計方法檢定不同模式是否具有顯著差異。當然，在求解出各模式結果後，可陳列個決策單位相對效率值，以及各投入、產出變數之差額，最後研擬效率改善方案。研究架構如下圖 3.3 所示。

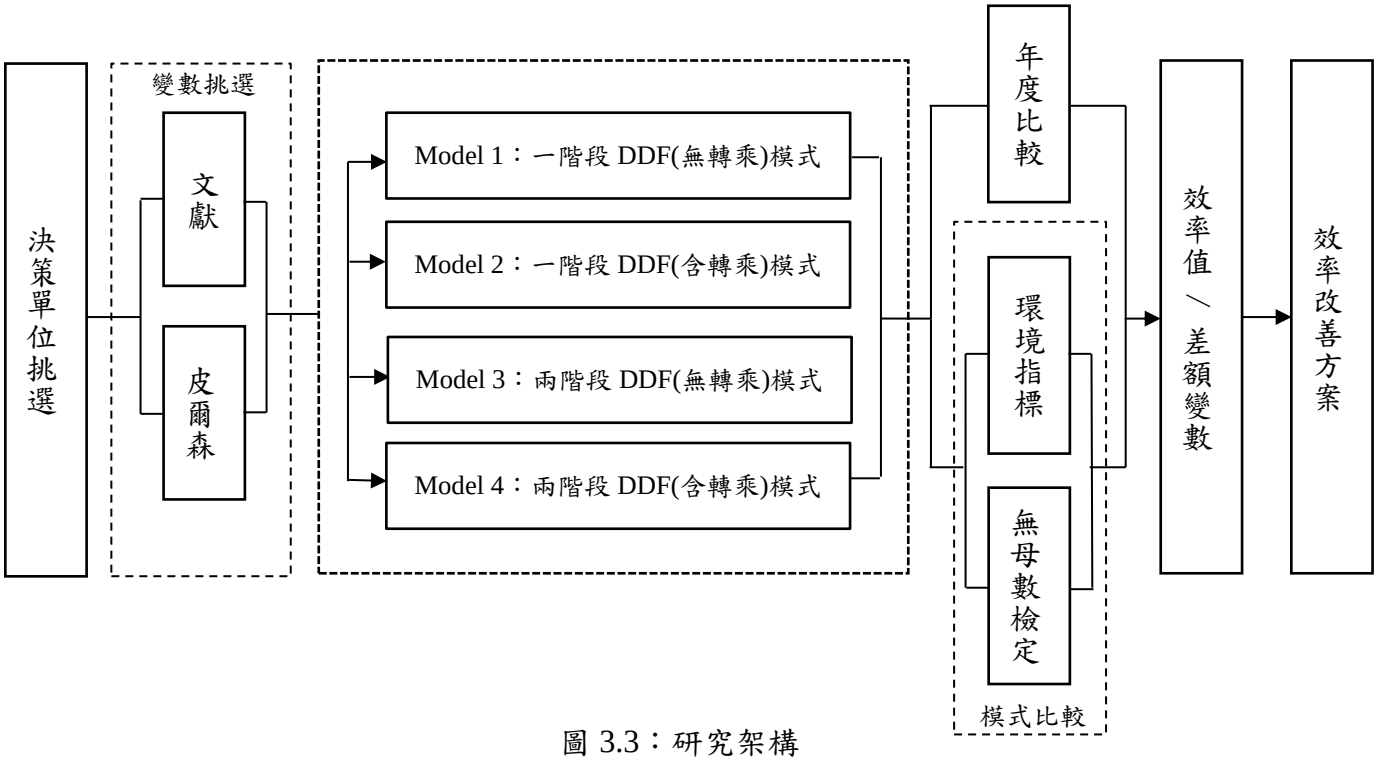


圖 3.3：研究架構

3.3 研究方法

本研究選用 DDF 並以 DEA 線性規劃方式來探討台北地區公車之績效,故先說明績效的定義、各種績效評估方法之特性與差異比較,再闡述 DDF 與 DEA 基本原理。由與本研究模式中之限制式與 DEA-BCC 模式相當類似，故會再介紹 DEA 之發展歷程與模式演進。

3.3.1 績效的定義

績效（Performance）的定義至 1960 年起受許多學者提及，包括 Dajani (1978)、OECD (1980)、Giuliano(1981)、Zerrillo(1981)、Fielding(1985)等人，大致可分為效率(efficiency)及效能(effectiveness)兩大觀念，效率的概念偏重於資源使用的程度，即探討產出的數量與投入數量兩者之間的比率關係；效能則偏重目標的達成程度，產品被消費者使用的程度是衡量效能的一大指標，服務或產品被消費者使用的越多，其表現愈理想，故效能與投入的員工及資產的數量並沒有直接關係。其中 Fielding(1985)的定義最廣為目前學者使用，且提出一連結投入、產出與消費的架構，如下圖 3.4。

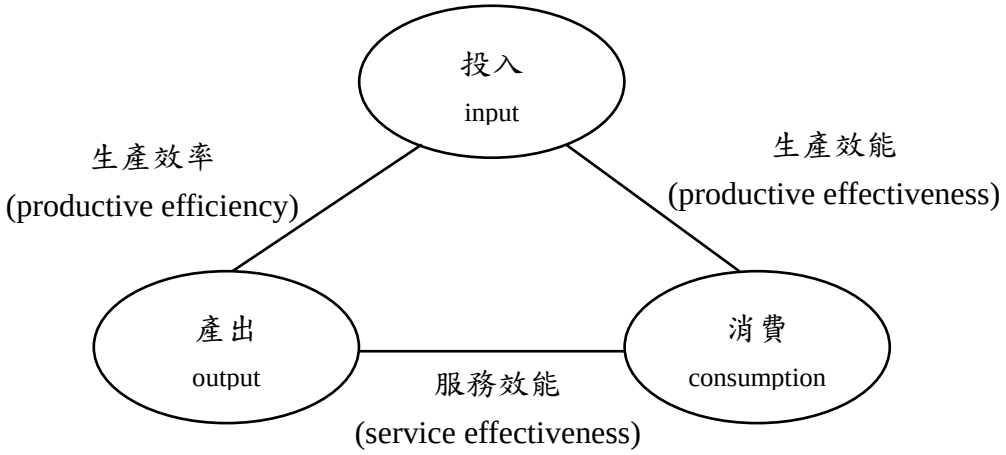


圖 3.4：績效概念架構(Fielding et,al., 1985)

3.3.2 績效評估方法與特性

績效衡量的方法可以應用在許多地方，包括製造業、服務業、金融業及運輸業等不同業別；公部門與私部門等各種不同組織架構的公司。當生產的過程中只有單一投入與單一產出時，我們可以快速地得知生產的效率，但是當我們面臨多項投入與多項產出時，則需使用其他數學方法進行衡量。通常用來衡量績效的方法有四種，分別為：

1. 最小平方(LS)計量經濟生產模式(Econometric models)
2. 總要素生產力指標(TFP)
3. 隨機邊界分析法(SFA)
4. 資料包絡分析法(DEA)

Coelli (2005)提及 LS 與 TFP 計算過程中假設受評單位皆具有技術效率，可用來衡量總要素生產力；SFA 與 DEA 則並未有以上假設，若要評估技術變革則需多期的資料。另外，LS 與 SFA 屬於參數函數的評估方式，TFP 與 DEA 則屬於無參數的函數。以上所述四種績效評估方法特性彙整於下表 3.1。

表 3.1：四種績效評估方法特性比較

屬性	最小平方法	總要素生產力	隨機邊界法	資料包絡分析
參數	○	X	○	X
考量隨機干擾	○	X	○	X
可用來衡量：				
技術效率	○	X	○	○
配置效率	○	X	○	○
技術變革	○	X	○	○
規模效果	○	X	○	○
總要素生產力變	○	○	○	○
所需資料：				
投入數量	○	○	○	○
產出數量	○	○	○	○
投入價格	X	○	X	X
產出價格	X	○	X	X

資料來源：Coelli et al.(2005) "An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis".

3.4 DEA 基本模式與距離函數

DEA 乃效率評估方法之一，自 Farrell(1957)提出以生產前緣衡量技術效率及價格效率，後續學者以數學規劃模式進行計算相對效率值，模式中需各欲評估單位之投入與產出項目，生產前緣即投入與產出資料包絡出之無參數生產曲線，生產曲線代表達到效率的生產情況，反之，則為無效率。DEA 議題的發展如同常見的 S 型增長曲線，繼 Charnes 等人(1978)提出在固定規模報酬下產生的 CCR 模式，Banker 等人(1984)提出在報酬可變動下產生 BCC 模型，後續又有加法模式、乘

法模式與差額變數模式，發展至今，DEA 研究略有分支，其中以兩階段模型相關研究最盛。

3.4.1 CCR 模式

CCR 模式為 DEA 方法中最基本之模式，由 Charnes、Cooper 以及 Rhodes 在 1978 年根據經濟學中柏拉圖最佳境界(Pareto optimality)之觀念所提出，CCR 模式假設固定規模報酬(CRS, constant return to scale)，也就是每一單位投入可得產出量是固定的。CCR 模式中DMU_k之相對效率定義如下：

$$\max_{u,v} \ h_k = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik}}$$

$$\text{s.t.} \ \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_j x_{ij}} \leq 1 \quad ,j = \ 1,2,\dots,n \quad (j \text{ 表示 DMU 個數})$$

$$v_i \geq 0 \quad ,i = 1,2,\dots,m \quad (i \text{ 表示投入要素個數})$$

$$u_r \geq 0 \quad ,r = 1,2,\dots,s \quad (r \text{ 表示產出要素個數})$$

由於此模式為非線性模式，因此 Charnes 等人也進一步將此 CCR 模式轉為線性模式：

$$\max_{u,v} \ h_k = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk}$$

$$\text{s.t.} \ \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \leq 0 \quad ,j = \ 1,2,\dots,n$$

$$\sum_{j=1}^{m} v_i x_{ik} = 1$$

$$v_i \geq 0 \quad ,i = 1,2,\dots,m$$

$$u_r \geq 0 \quad ,r = 1,2,\dots,s$$

3.4.2 BCC 模式

上一節之 CCR 模式僅適用於固定規模報酬，但事實上，通常在不同的生產規模下，規模報酬將會隨之改變，在許多情況下，初創期生產規模小時，產出投入比會隨著規模增加而提升，稱為規模報酬遞增(Increasing Returns to Scale, IRS)；達到高峰期時，產出與規模成正比而達到最適生產規模，稱為規模報酬固定(CRS)；生產規模過於龐大時，會造成產出投入比增加比例減緩，則稱為規模報酬遞減(Decreasing Returns to Scale, DRS)，也就是投入增加時，產出增加的比例會少於

投入增加的比例。

因此，Banker 等人在 1984 提出修正模型，使得模式能夠在變動規模報酬(Variable Returns to Scale, VRS)的假設下衡量 DMU 之相對效率，稱為 BCC 模式。BCC 模式將 DMU 是否達到有效的生產規模也納入效率計算，可同時衡量規模效率與技術效率。BCC 模式如下所示：

$$\max_{u,v} \ h_k = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} - u_{0k}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik}}$$

$$s.t. \ \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - u_{0k}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq 1 \ \ , j = 1,2, \dots, n$$

$$v_i \geq 0 \ \ , i = 1,2, \dots, m$$

$$u_r \geq 0 \ \ , r = 1,2, \dots, s$$

如同 CCR 模式，BCC 模式可改寫為線性模式：

$$\max_{u,v} \ h_k = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rk} - u_{0k}$$

$$s.t. \ \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} - u_{0k} \leq 1 \ \ , j = 1,2, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ik} = 1$$

$$v_i \geq 0 \ \ , i = 1,2, \dots, m$$

$$u_r \geq 0 \ \ , r = 1,2, \dots, s$$

由於上式限制式數目大於變數數目，為方便求解，可進一步轉為對偶模式：

$$\text{Min} \ \ Z_k = \theta$$

$$\text{s.t.} \ \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{ik} \, , \qquad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} \, , \qquad r = 1, \dots, s$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0 \, , \qquad j = 1, \dots, n$$

3.4.3 距離函數

距離函數在 1953 年由 Malmquist 與 Shephard 各自提出，常用來描述生產技術，也是衡量效率及生產力的一種方法。距離函數又可分為投入距離函數與產出距離函數，前者亦即在產出固定的情況下，衡量投入最小的縮減比例；後者則是在投入固定的情況下，衡量產出最大的擴張比例。

若 I(q)為所有投入向量的集合，亦即可用來生產產出向量 q 的集合，則投入距離函數可以 I(q)定義其距離函數d_I：

$d_I(x,q) = \max\{\rho: (x/\rho) \in I(q)\}$

假設今有兩投入項分別為x_1與x_2，產出向量 q，則可以等產量(Isoquant)曲線 Iso-I(q)來描述生產結果的效率，如下圖 3.5 所示，圖中 Iso-I(q)表示為投入集合 I(q)，以 B 點為例，其投入距離函數值為$\rho = OB/OA$，其值大於 1。

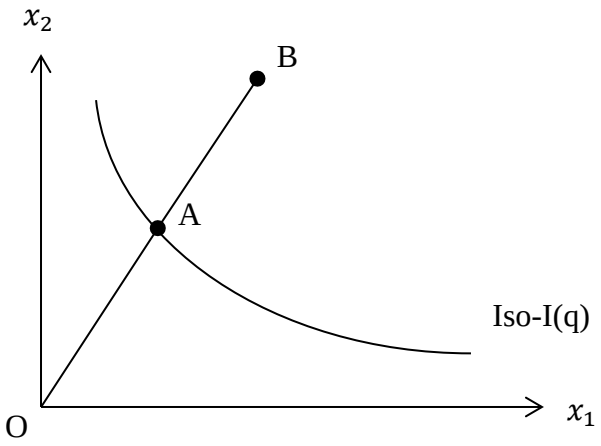


圖 3.5：投入距離函數與投入集合

若產出集合 P(x)代表所有產出量的集合 q，亦即投入量 x 下可能產出集合，則產出距離函數可由產出集合 P(x)定義其距離函數d_o：

$d_o(x,q) = \min\{\delta: (q/\delta) \in P(x)\}$

假設今有一投入向量為x，兩產出項分別為q_1與q_2， P(x)為一定投入量下之生產邊界，代表生產可能集合，如下圖 3.6 所示，生產狀況只要落在生產邊界上，其距離函數值即為 1，以 B 點為例，其產出距離函數值為$\delta = OB/OA$，其值小於 1。

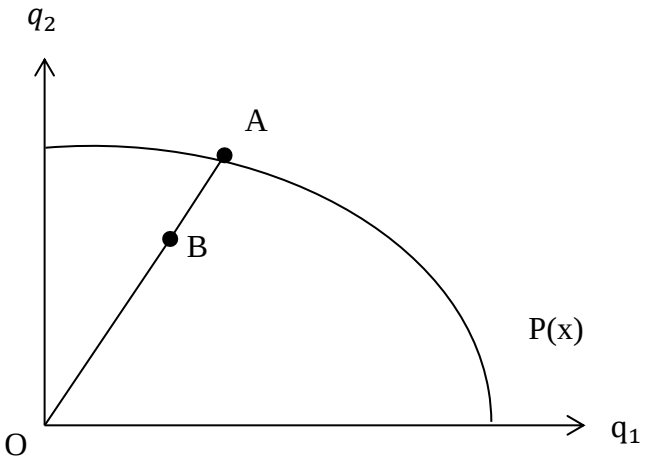


圖 3.6：產出距離函數與生產集合

3.5 模式架構

本研究主要核心在於考量轉乘運量對公車業者績效的影響，以及不同評估架構所得的結果有何差異。績效評估架構分為兩種主要模式，分別為單一階段的方向性距離函數，以及兩階段的方向性距離函數；前者無中間項變數，僅作整體績效的考量，後者則依 Fielding et al.(1985)提出之概念，各分成生產效率與服務效能兩階段模式，其中第一階段為生產效率，而第二階段為服務效能，兩階段之中間項為「延車公里」，整體生產效能則以兩階段加權值計算(Yu,2009)。但為了評比加入轉乘運量後對於績效的影響，以及計算環境敏感指標時模式的一致性，因此可將上述兩種架構再各自細分為兩模式，共四模式進行比較。

本研究採用之模式採用方向性距離函數之概念，將效率值以投入導向及產出導向之距離函數呈現，計算績效之外亦可看出投入可縮減幅度，以及產出尚可擴張至何種程度，進一步由差額變數研擬後續改善措施。

在兩階段 DDF 模式中，根據 Yu(2009)指出，延車公里有不可儲存的特性，以及 Seiford and Zhu (1999)提出兩階段中可能潛在的衝突，因此本研究在模式的第一階段採用投入導向距離函數，第二階段則採用產出導向距離函數。研究中四種模式詳細介紹如下：

3.5.1 Model 1：一階段 DDF(無轉乘)評估模式

單一階段 DDF，即為僅一階段評估模式，且在此模式中並無加入環境敏感變數，可與下一模式 Model 2 比較。Model 1 如下圖 3.7 所示。

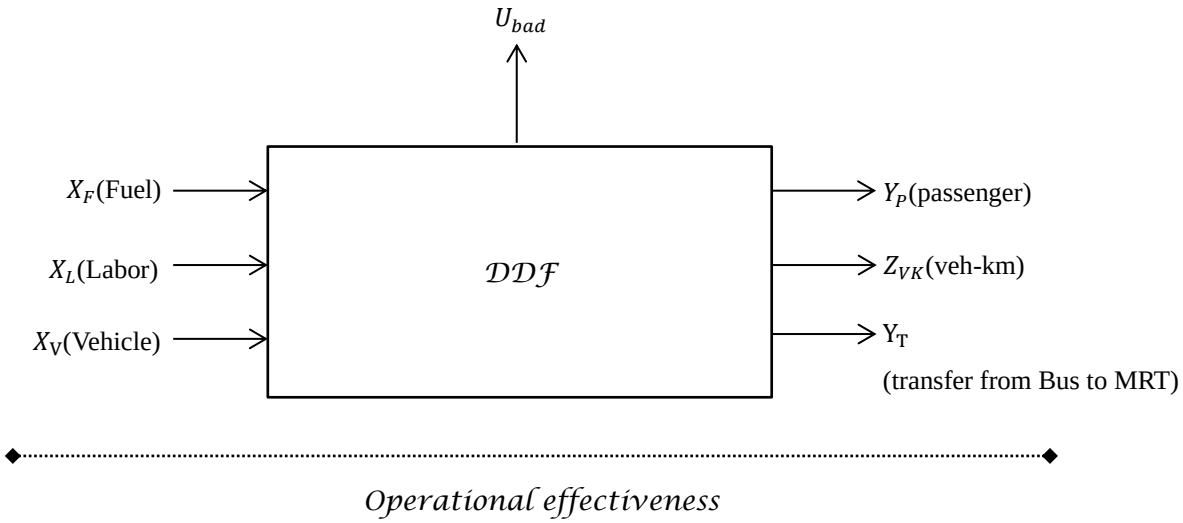


圖 3.7：Model 1 一階段 DDF(無轉乘)評估模式

Model 1 為無特定導向之距離函數，意味可同時縮減投入與擴張產出，而此單一階段代表整體營運效能。投入項為燃油(X_F)、員工人數(X_L)以及車輛數(X_V)，產出為延車公里(Z_{VK}) 、乘客數(Y_P)及由公車轉乘捷運之乘客數(Y_T)，另外有營運的非意欲產出(U_{bad})，包括公車營運排放出的一氧化碳、碳氫化合物、氮氧化物、懸浮微粒，其中需注意，本研究中將含有轉乘的旅客從公車業者紀錄的旅客量中扣除獨立出來，故Y_P代表僅搭乘公車的旅客，並不包含Y_T。若今總共有 n 個 DMU，以第 k 個 DMU 為例，其衡量模式可如下公式所示：

Model 1：

Max α_k (1)

Constraints：

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(X_F)_j-(1-\alpha_k)(X_F)_k\le 0$ (1.1)

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(X_L)_j-(1-\alpha_k)(X_L)_k\le 0$ (1.2)

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(X_V)_j-(1-\alpha_k)(X_V)_k\le 0$ (1.3)

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(U_{CO})_j-(1-\alpha_k)(U_{CO})_k= 0$ (1.4)

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(U_{HC})_j-(1-\alpha_k)(U_{HC})_k= 0$ (1.5)

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(U_{NOx})_j-(1-\alpha_k)(U_{NOx})_k=0 \quad (1.6)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(U_{PM})_j-(1-\alpha_k)(U_{PM})_k=0 \quad (1.7)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(Z_{VK})_j-(1+\alpha_k)(Z_{VK})_k\geq 0 \quad (1.8)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(Y_P)_j-(1+\alpha_k)(Y_P)_k\geq 0 \quad (1.9)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j(Y_T)_j-(1+\alpha_k)(Y_T)_k\geq 0 \quad (1.10)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1 \quad (1.11)$$

$$\lambda_j\geq 0\,,\ j=1,\dots,n \quad (1.12)$$

公式(1)為單一階段 DDF 評估模式效能值目標函數，藉由極大化之距離函數，表示出盡可能縮減投入、擴張產出的概念。α_k定義為距離函數，$(1-\alpha_k)$即代表整體效能值，當α_k等於零時，效能值則為一，代表投入已無法再縮減、產出已無法再擴張，為一有效能之階段；反之，α_k不為零時，表示投入尚有縮減範圍、產出向有擴張空間，為無效能階段。

公式(1.1)至(1.3)表示投入項目之限制式，公式(1.4)至(1.7)則為非意欲產出之限制式，公式(1.8)至(1.10)為產出項限制式。最後，公式(1.11)表示為報酬規模可變動情況下之凸性限制，公式(1.12)為正數限制式。

值得注意的是，非意欲產出限制式(1.4)至(1.7)為等式或不等式符號，是根據其為「強可拋」抑或「弱可拋」來決定，非意欲產出限制式在強可拋(strong disposability)的情況下，也就是若該非意欲產出可以自由丟棄不須付出任何代價，則產出具有強可拋性質，該限制式可定義為不等式；反之，若為弱可拋(weak disposability)的情況，也就是若要減少此類非意欲產出，必須減產或付出額外代價清除，我們稱此非意欲產出具有弱可拋性質，則定義為等號限制式。由於公車所排放之廢氣需加強車輛的維修，如：更換噴油嘴等零組件，或者更換新車輛，故定義為弱可拋，在其餘三個模式(Model 2、Model 3、Model 4)中之非意欲產出，皆如此定義，不再贅述。

3.5.2 Model 2：一階段 DDF(含轉乘)評估模式

如同上 Model 1，再加入環境敏感變數一同考量，架構如下圖 3.8 所示。

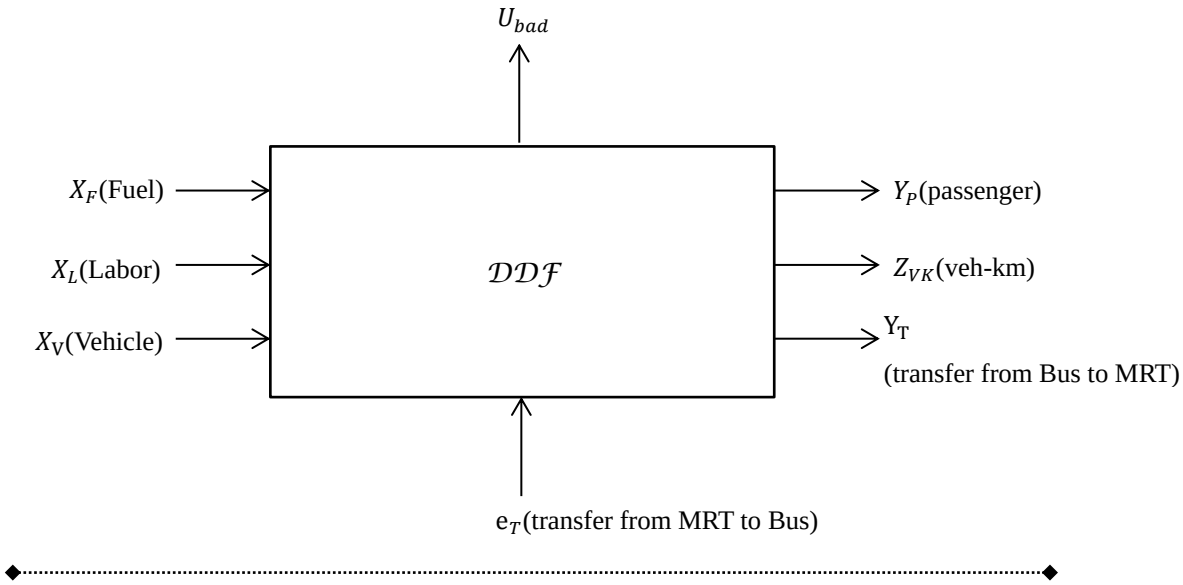


圖 3.8：Model　2 一階段 DDF(含轉乘)評估模式

Model 2 如同前述 Model 1，為無特定導向之距離函數。投入項分別為燃油(X_F)、員工人數(X_L)以及車輛數(X_V)，產出為延車公里(Z_{VK}) 、乘客數(Y_P)及由公車轉乘捷運之乘客數(Y_T)，另外有營運的非意欲產出(U_{bad})，包括公車營運排放出的一氧化碳、碳氫化合物、氮氧化物、懸浮微粒。不同的地方在於另外加入了由捷運轉乘公車之轉運量，視為一環境敏感變數(e_T)。

由於 Model 2 與 Model 1 皆為單一階段 DDF 模式，故在目標式與限制式大多相同，重複之處就不再贅述，而僅以前項公式代號表示。若今總共有 n 個 DMU，以第 k 個 DMU 為例，其衡量模式中目標式及為公式(2)，限制式亦為公式(1.1)至(1.12)，另外加入的環境敏感變數(e_T)限制式表示如如下公式(2.1)，Model 2 數學式表示如下：

Model 2：

Max　　α_k　　(2)

Constraints：

公式(1.1)　~ 公式(1.12)

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j (e_T)_j - (e_T)_k = 0$　　(2.1)

各項公式解釋同前項 Model 1，公式(2.1)則代表公車業主無法控制的環境敏感變數，根據 Banker and Morey (1986)對環境敏感變數的定義，以及 Yu(2009)的闡述，我們將環境敏感變數中不等式設為等號，亦即來自營運環境中的不確定

性變數；Model 4 中之環境敏感變數限制式亦同。

3.5.3 Model 3：兩階段 DDF(無轉乘)評估模式

兩階段 DDF 為本研究主要模式，但我們在此 Model 3 先僅考量各家公車業者之投入、意欲產出，以及非意欲產出，架構如下圖 3.9 所示。

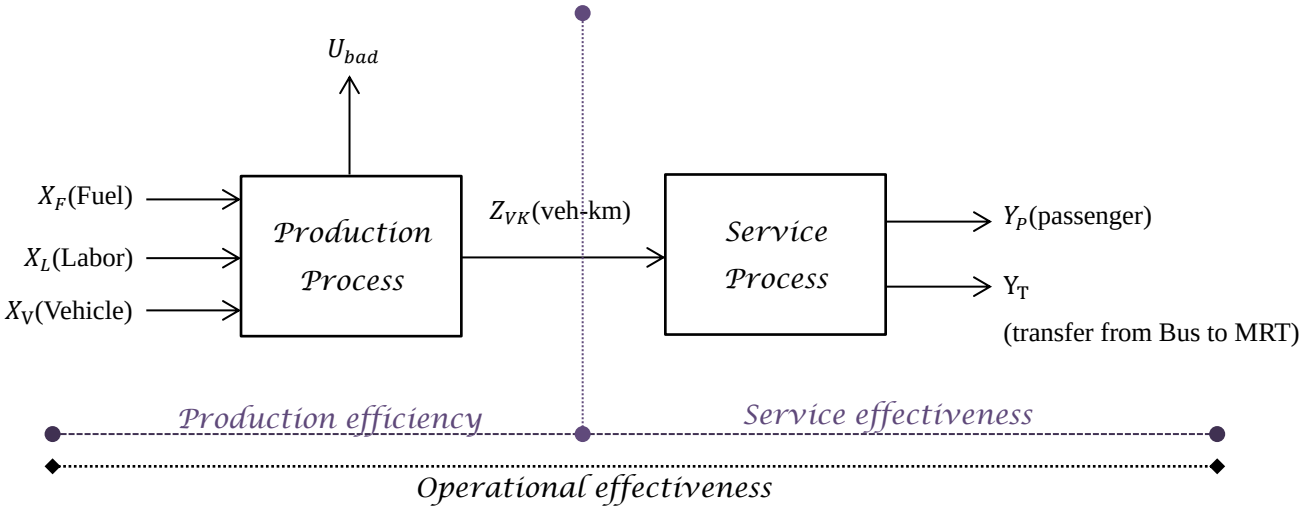


圖 3.9：Model 3 兩階段 DDF(無轉乘)評估模式

Model 3 中第一階段為生產效率，採用投入導向距離函數，投入項為燃油(X_F)、員工人數(X_L)以及車輛數(X_V)，第一階段產出為延車公里(Z_{VK})，另外有營運的非意欲產出(U_{bad})，包括公車營運排放出的一氧化碳、碳氫化合物、氮氧化物、懸浮微粒；第二階段為服務效能，延車公里即為第二階段的投入，第二階段採用產出導向距離函數，最終產出項為乘客數(Y_P)以及由公車轉乘捷運之轉運量(Y_T)。若今總共有 n 個 DMU，以第 k 個 DMU 為例，其衡量模式可如下公式所示：

Model 3：

Max $w_1\alpha_k + w_2\beta_k$ (3)

Constraints：

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_{1j}(X_F)_j - (1-\alpha_k)(X_F)_k \le 0$ (3.1)

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_{1j}(X_L)_j - (1-\alpha_k)(X_L)_k \le 0$ (3.2)

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_{1j}(X_V)_j - (1-\alpha_k)(X_V)_k \le 0$ (3.3)

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_{1j}(Z_{VK})_j - (Z_{VK})_k \ge 0$ (3.4)

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_{1j}(U_{CO})_j - (1-\alpha_k)(U_{CO})_k = 0$ (3.5)

$\sum_{j=1}^{n}\lambda_{1j}(U_{HC})_j - (1-\alpha_k)(U_{HC})_k = 0$ (3.6)

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{1j}(U_{NOx})_j - (1-\alpha_k)(U_{NOx})_k = 0 \quad (3.7)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{1j}(U_{PM})_j - (1-\alpha_k)(U_{PM})_k = 0 \quad (3.8)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j}(Z_{VK})_j - (Z_{VK})_k \leq 0 \quad (3.9)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j}(Y_P)_j - (1+\beta_k)(Y_P)_k \geq 0 \quad (3.10)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j}(Y_T)_j - (1+\beta_k)(Y_T)_k \geq 0 \quad (3.11)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{1j} = 1 \quad (3.12)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j} = 1 \quad (3.13)$$

$$\lambda_{1j}, \lambda_{2j}, \geq 0\ ,\ j = 1, \dots, n \quad (3.14)$$

公式(3)為兩階段 DDF 評估模式效能值目標函數，藉由極大化兩階段之距離函數，表示出盡可能縮減投入、擴張產出的概念。α_k定義為投入距離函數，$(1-\alpha_k)$即代表生產效率值，當α_k等於零時，效率值則為一，代表投入向量已無法再縮減，為一有效率之階段；反之，α_k不為零時，表示投入向量尚有縮減範圍，為無效率階段。β_k定義為產出距離函數，$\frac{1}{1+\beta_k}$即代表服務效能值，當β_k等於零時，效能值則為一，代表產出向量已無法再擴張，為一有效能之階段；反之，β_k不為零時，表示產出向量尚有擴張空間，為無效能階段。

值得注意的是，目標式(3)中w_1與w_2分別為第 k 個 DMU 之兩階段的權重值，此權重值並非經由數學規劃求解得出，而是求解之前由研究者自行決定並帶入公式，因權重值的設定又是另一有待深入之課題，故本研究不多做討論，兩權重皆暫以 0.5 帶入計算之。

公式(3.1)至(3.3)表示第一階段投入項目之限制式，公式(3.4)則表示第一階段產出項限制式，公式(3.5)至(3.8)則為非意欲產出之限制式，此公式(3.1)至(3.8)皆為第一階段之限制式。公式(3.9)則為第二階段投入項目之限制式，公式(3.10)與(3.11)為第二階段產出項限制式，此公式(3.9)至(3.11)皆為第二階段之限制式。最後，公式(3.12)與(3.13)表示為報酬規模可變動情況下之凸性限制；公式(3.14)為確保變數為正數之限制式。

非意欲產出限制式(3.5)至(3.8)，是由於公車只要一開始營運，就會有污染排放，所以我們將非意欲產出定義在第一階段，並定義為弱可拋。

3.5.4 Model 4：兩階段 DDF(含轉乘)評估模式

此為本研究主要模式，不僅考量各家公車業者之投入、意欲產出、非意欲產出亦考量從捷運轉乘至公車的乘客數量，定義為環境敏感變數，架構如下圖 3.10 所示。

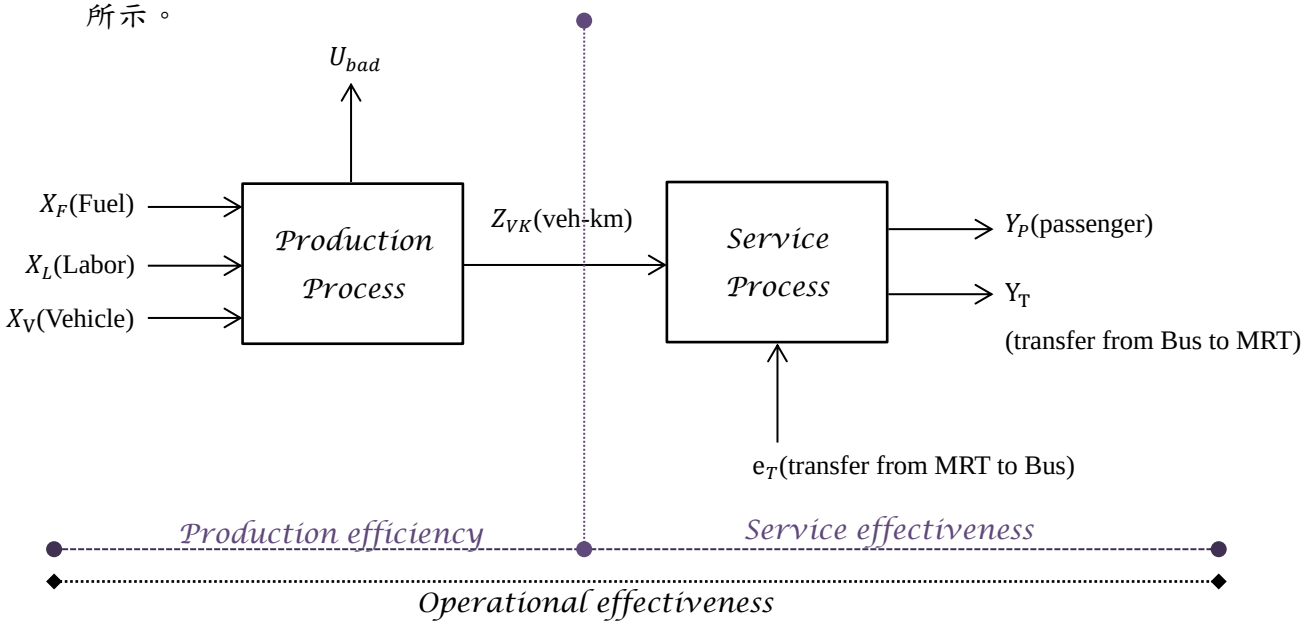


圖 3.10：Model 4 兩階段 DDF(含轉乘)評估模式

Model 4 如同前述 Model 3，第一階段為生產效率，採用投入導向距離函數，投入項為燃油(X_F)、員工人數(X_L)以及車輛數(X_V)，第一階段產出為延車公里(Z_{VK})，另外有營運的非意欲產出(U_{bad})，包括公車營運排放出的一氧化碳、碳氫化合物、氮氧化物、懸浮微粒；第二階段為服務效能，延車公里即為第二階段的投入，第二階段採用產出導向距離函數，最終產出項為乘客數(Y_P)以及由公車轉乘捷運之轉運量(Y_T)。不同的地方在於另外加入了由捷運轉乘公車之轉運量，視為一環境敏感變數(e_T)，在第二階段產生。

由於 Model 4 與 Model 3 皆為兩階段 DDF 模式，故在目標式與限制式大多相同，重複之處就不再贅述，而僅以前項公式代號表示。若今總共有 n 個 DMU，以第 k 個 DMU 為例，其衡量模式中目標式及為公式(4)，限制式亦為公式(3.1)至(3.14)，另外加入的環境敏感變數(e_T)限制式表示如如下公式(4.1)，Model 4 數學式表示如下：

Model 4 ：

Max $w_1\alpha_k + w_2\beta_k$ (4)

Constraints：

公式(3.1) ~ 公式(3.14)

$\sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j}(e_T)_j - (e_T)_k = 0$ (4.1)

各項公式解釋同前項 Model 3，公式(4.1)則代表公車業主無法控制的環境敏感變數限制式。

上述四模式公式中變數及參數所代表之值彙整如下表 3.2：

表 3.2：模式變數與參數說明

變數		說明
投入	X_F	公車使用之燃油(柴油)
	X_L	公車業者之員工人數
	X_V	公車業者之車輛數
中間項	Z_{VK}	公車營運延車公里
產出	Y_P	公車載客人數
	Y_T	由公車轉乘捷運之旅客數量
非意欲產出	U_{CO}	公車排放之一氧化碳
	U_{HC}	公車排放之碳氫化合物
	U_{NOx}	公車排放之氮氧化物
	U_{PM}	公車排放之懸浮微粒
環境敏感變數	e_T	由捷運轉乘公車之旅客數量
距離函數	α_k	第一階段第 k 個 DMU 之距離函數值
	β_k	第二階段第 k 個 DMU 之距離函數值
權重	w_k^1	第 k 個 DMU 之公車第一階段距離函數權重
	w_k^2	第 k 個 DMU 之公車第二階段距離函數權重
參數	λ_j	單一階段模式之強度向量
	λ_{1j}	兩階段模式中第一階段之強度向量
	λ_{2j}	兩階段模式中第二階段之強度向量

第四章　案例分析

4.1 案例概述

本研究所使用的案例分析，即採用台北市的市區公車業者營運數據，目前台北市公車管理單位為台北市交通局公共運輸處，台北市區公車背景描述如下。

1969 年之前，僅由台北市政府經營管理，且只有 51 條路線及 651 輛公車在市區營運。1969 年之後，台北市政府開放公車市場，使其他民營業者進入，開始市區公車民營化的過程，民營化初始階段有欣欣客運、大有巴士、大南汽車、光華巴士等四家民營業者，此時各家業者票證並無統一，導致票證種類與票價過於複雜、不一致，但整體規模已擴增至 847 輛公車營運於 90 條公車路線。隨著城市與人口不斷發展，大眾運輸亦隨之蓬勃，2002 年已有 14 家公車業者經營，而至 2010 年為止，公車路線超過 300 條，全年搭乘公車旅客數量亦達 6 億餘人，公車於台北市大眾運輸重要性可見一斑。台北市聯營公車業者組成如下表 4.1 所示：

表 4.1：台北市公車聯營業者

公司	
大都會客運(Metropolitan Bus；MP)	首都客運(Capital Bus；CP)
欣欣巴士(Shin-shin Bus；SS)	指南客運(Zhinan Bus；ZN)
大有巴士(Air Bus；AB)	中興巴士(Chung-shing Bus；CS)
大南客運(Da-nan Bus；DN)	新店客運(Xindian Bus；XD)
光華巴士(Kuang-hua Bus；KH)	東南客運(Southeast Bus；SE)
台北客運(Taipei Bus；TP)	淡水客運(Tanshui Bus；TS)
三重客運(San-chung Bus；SC)	新北客運(New Taipei Bus；NT)

4.2 數據分析

本研究欲收集台北市區 14 家聯營公車營運資料進行分析，但最後獲取資料共 12 家業者於 2007 年至 2010 年度營運資料，其中 12 家業者為表 4.1 中 14 家業者扣除淡水客運與新北客運等其餘 12 家業者。

4.2.1 變數定義

本研究中公車評估架構所採用之變數，如同過去眾多對於公車績效研究所採用變數，效率階段投入項為燃油、員工數、車輛數，效能產出項為乘客數、以及轉乘至捷運人數，中間項則為延車公里。另外，非意欲產出則採用公車排放出的廢氣，根據行政院環保署對於柴油車輛的檢測標準，以各業者年度車公里進行換算，汙染物包括一氧化碳(CO)、碳氫化合物(HC)、氮氧化物(NOx)、懸浮微粒(PM10)四種對人體健康有害的物質

環境變數則為自捷運轉乘至公車之乘客，本研究中意欲產出項-「公車轉捷運人數」以及此環境變數-「捷運轉公車人數」皆由原本的「乘客」中擷取出來，而研究中的「乘客」則為「僅搭乘公車的人數」，如此一來，方可避免重複計算的問題。詳細定義及說明如下表 4.2 所示：

表 4.2：公車變數定義

集合	變數	描述
投入	燃油(X_F)	公車業者某年度中，於市區公車營運所使用之柴油千公升數。
	員工(X_L)	公車業者某年度中，於市區公車營運所雇用之員工人數。
	車輛(X_V)	公車業者某年度中，於市區公車營運(含待用車輛)所使用之車輛數。
中間項	延車公里(Z_{VK})	公車業者某年度車輛總營運里程數
意欲產出	乘客(Y_P)	公車業者某年度總載客數量(不包含Y_T及e_T)
	公車轉捷運人數(Y_T)	公車業者某年度由搭乘該公車公司之乘客轉乘至搭乘捷運之旅客總數
非意欲產出	一氧化碳(Y_{CO})	公車業者某年度車輛所排放出之一氧化碳總量
	碳氫化合物(Y_{HC})	公車業者某年度車輛所排放出之碳氫化合物總量
	氮氧化物(Y_{NOx})	公車業者某年度車輛所排放出之氮氧化物總量

	懸浮微粒(U_{PM})	公車業者某年度車輛所排放出之粒徑在 10 微米以下懸浮微粒總量
環境敏感變數	捷運轉公車人數(e_T)	公車業者某年度由搭乘台北捷運乘客轉乘至搭乘該公車公司之旅客總數

4.2.2 相關性檢定

為確認投入與產出間符合同向性(isotonicity)原則，本研究再進行模式求解之前先將資料進行相關性檢定，分別有兩個階段的投入、產出，以及整體的投入、產出。如下表 4.3、4.4、4.5 所示。

表 4.3：第一階段投入產出相關係數

產出 / 投入	一氧化碳	碳氫化合物	氮氧化物	懸浮微粒	延車公里
員工	0.92	0.92	0.92	0.93	0.84
車輛	0.97	0.97	0.97	0.97	0.92
燃油	0.99	0.99	0.99	0.99	0.96

表 4.4：第二階段投入產出相關係數

產出 / 投入	乘客	公車轉捷運	捷運轉公車
延車公里	0.99	0.88	0.88

表 4.5：整體投入產出相關係數

產出 / 投入	乘客	公車轉捷運	捷運轉公車
員工	0.85	0.96	0.96
車輛	0.92	0.95	0.95
燃油	0.97	0.96	0.96

經由相關性檢定顯示，以上投入與產出間皆具有高度正相關，且在顯著水準 0.01 的雙尾檢定時，具有顯著的相關性，故所有變數皆無須剃除。

4.2.3 敘述性統計

如上 4.2 所述，本研究從台北市政府公共運輸處以及各家公車業者取得資料，獲取資料共 12 家業者於 2007 年至 2010 年度營運資料，故總共有 48 個 DMU。經由簡單的統計運算我們可以發現：

一、投入

1. 燃油：營運客車之柴油消耗量。最大值為大都會客運於 2007 年消耗共 24,626 千公升的燃油；最小值則為東南客運於 2010 年消耗的 2,598 千公升，相差近 10 倍。
2. 員工：此項變數為公車駕駛人、公司管理人員、維修技術人員的統稱。資料顯示，大都會客運的員工人數最為眾多，又以 2010 年度最高，擁有 1,419 名員工為最大值；東南客運員工人數則最少，最小值為 2007 年度東南客運的 81 人。
3. 車輛：公車業者所擁有的註冊客車數量。最大值為大都會客運 2010 年擁有近 800 台車輛；最小值則為東南客運於 2009 年時的 165 輛。

二、中間項

1. 延車公里：即為所有營運車輛該年度運行之公里數總和。最大值為大都會 2007 年數據高達 47,706,814 公里，最小值則為東南客運 2010 年數據，僅 5,614,994 公里。

三、意欲產出

1. 乘客：大都會 2008 年載客量為最大值，共 110,541,431 人；東南客運 2010 年載客量僅 7,083,593，為最小值。
2. 公車轉捷運旅客量：原搭乘某公車業者之乘客後轉乘台北捷運之旅客數。以大都會 2010 年之 16,486,633 人為最多；以東南 2009 年之 1,048,142 人最少。

四、非意欲產出

1. 一氧化碳：一氧化碳排放量最大值為每年 500 噸；最小值為每年 59 噸。
2. 碳氫化合物：碳氫化合物排放量最大值為每年 114.5 噸；最小值為每年 13.5 噸。
3. 氮氧化物：氮氧化物排放量最大值為每年約 240.9 噸；最小值為每年約 28.4 噸。
4. 懸浮微粒：懸浮微粒是造成心肺功能損害的一大元兇，排放量最大值為

每年 0.237 噸；最小值為每年 0.015 噸。

五、環境敏感變數

1. 捷運轉公車旅客量：原搭乘捷運之乘客後轉乘公車之旅客數。以大都會 2010 年之 17,381,835 人為最多；以東南 2009 年之 1,078,523 人最少。

上述各項公車變數之最大值、最小值、平均數、標準差可彙整為下表 4.6。

表 4.6：公車變數特性

公車變數	Max.	Min.	Average	Std. Dev
X_F	24,626	2,598	9,637.6	6,216.5
X_L	1,419	81	535.6	363.6
X_V	800	165	334	183
Z_{VK}	47,706,814	5,614,994	23,393,264	13,953,184.7
Y_P	110,541,431	7,083,593	46,622,284	30,391,292
Y_T	16,486,633	1,048,142	6,223,380	3,998,015
U_{CO}	500.9	59.0	215.9	132.2
U_{HC}	114.5	13.5	49.4	30.2
U_{NOx}	240.9	28.4	103.9	63.6
U_{PM}	0.237	0.015	0.089	0.06
e_T	17,381,835	1,078,523	6,504,529	4,179,581

4.3 結果分析

本研究以 LINGO 7.0 求解四模式績效值，得出在各種模式下之每一 DMU 的生產效率、服務效能與營運效能，亦可得 2007 年至 2010 年各年度之平均效能，並進一步對模式結果進行比較分析。

4.3.1 單一階段 DDF(無環境敏感變數)評估模式結果

本模式僅有一階段，得出之整體數值代表營運效能，各 DMU 距離函數值與效能平均列於末列，完整數據如下表 4.7。第一欄編號以英文字母加數字取代公司名稱，後方數字代表年度(如：A07 代表 A 公司於 2007 年營運狀況)，後表亦同。

表 4.7：Model 1 結果

DMU	距離函數(α)	營運效能	排名
A07	0	1	1
B07	0.078	0.922	48
C07	0	1	1
D07	0	1	1
E07	0.053	0.947	43
F07	0	1	1
G07	0.052	0.948	42
H07	0	1	1
I07	0	1	1
J07	0.043	0.957	40
K07	0	1	1
L07	0	1	1
A08	0	1	1
B08	0.068	0.932	45
C08	0	1	1
D08	0	1	1
E08	0.037	0.963	39
F08	0	1	1
G08	0	1	1
H08	0.005	0.995	35
I08	0	1	1
J08	0.071	0.929	46
K08	0.004	0.996	34
L08	0	1	1
A09	0	1	1
B09	0.063	0.937	44
C09	0	1	1
D09	0.011	0.989	37
E09	0.026	0.974	38
F09	0	1	1
G09	0	1	1
H09	0	1	1
I09	0	1	1
J09	0.073	0.927	47
K09	0.006	0.994	36
L09	0	1	1

A10	0	1	1
B10	0	1	1
C10	0	1	1
D10	0	1	1
E10	0	1	1
F10	0	1	1
G10	0	1	1
H10	0	1	1
I10	0	1	1
J10	0.044	0.956	41
K10	0	1	1
L10	0	1	1
平均	0.013	0.987	-
效率個數	-	33	-

在 Model 1 的架構下，DMU 效率普遍偏高，48 個 DMU 中有 33 個效能值皆為 1，平均效率為 0.987、距離函數為 0.013。若以公車業者角度觀察，可將各公車業者四年度之效率以平均計算，檢視各公司在這四年度經營的狀況，及需要改善的幅度，可見下表 4.8。

表 4.8：Model 1 之 12 家公車業者效能比較

公司	整體效能	排名
A	1	1
B	0.948	11
C	1	1
D	0.997	8
E	0.971	10
F	1	1
G	0.987	9
H	0.999	6
I	1	1
J	0.942	12
K	0.998	7
L	1	1

4.3.2 單一階段 DDF 評估模式結果

本模式亦僅有一階段，加入環境敏感變數後結果稍有不同，得出之整體數值代表營運效能，各 DMU 距離函數值與效能平均列於末列，完整數據如下表 4.9。

表 4.9：Model 2 結果

DMU	距離函數(α)	營運效能	排名
A07	0	1	1
B07	0.021	0.979	47
C07	0	1	1
D07	0	1	1
E07	0.021	0.979	48
F07	0	1	1
G07	0	1	1
H07	0	1	1
I07	0	1	1
J07	0.016	0.984	45
K07	0	1	1
L07	0	1	1
A08	0	1	1
B08	0.013	0.987	43
C08	0	1	1
D08	0	1	1
E08	0.012	0.988	42
F08	0	1	1
G08	0	1	1
H08	0.002	0.998	41
I08	0	1	1
J08	0.013	0.987	44
K08	0	1	1
L08	0	1	1
A09	0	1	1
B09	0	1	1
C09	0	1	1
D09	0	1	1
E09	0	1	1
F09	0	1	1
G09	0	1	1
H09	0	1	1

I09	0	1	1
J09	0.001	0.999	40
K09	0	1	1
L09	0	1	1
A10	0	1	1
B10	0	1	1
C10	0	1	1
D10	0	1	1
E10	0	1	1
F10	0	1	1
G10	0	1	1
H10	0	1	1
I10	0	1	1
J10	0.017	0.983	46
K10	0	1	1
L10	0	1	1
平均	0.002	0.998	-
效率個數	-	39	-

在 Model 2 的架構下，DMU 效率依然偏高，且高於 Model 1 結果，48 個 DMU 中有 39 個效能值皆為 1，平均效率為 0.998、距離函數為 0.002，可發現此模式鑑別度較低。若以公車業者角度觀察，可將各公車業者四年度之效率以平均計算，檢視各公司在這四年度經營的狀況，及需要改善的幅度，可見下表 4.10。

表 4.10：Model 2 之 12 家公車業者效能比較

公司	整體效能	排名
A	1	1
B	0.996	11
C	1	1
D	1	1
E	0.992	10
F	1	1
G	1	1
H	0.999	9
I	1	1

J	0.988	12
K	1	1
L	1	1

4.3.3 兩階段 DDF(無環境敏感變數)評估模式結果

我們必須給予兩階段分別之權重植，在此，本研究中兩階段權重值w_k^{B1}與w_k^{B2}暫皆以 0.5 設定進行運算，完整結果於下表 4.11，整體績效與排名分別位於表中右二攔，各 DMU 平均及有效率個數則列於最後一列。

表 4.11：Model 3 結果

DMU	距離函數 (α)	生產效率	距離函數 $(\frac{1}{1+\beta})$	服務效能	整體績效	排名
A07	0	1	0.022	0.978	0.989	7
B07	0.299	0.701	0.248	0.752	0.727	47
C07	0	1	0.417	0.583	0.792	41
D07	0.049	0.951	0.109	0.891	0.921	21
E07	0.197	0.803	0.324	0.676	0.74	43
F07	0	1	0.215	0.785	0.892	29
G07	0.123	0.877	0.093	0.907	0.892	30
H07	0	1	0.232	0.768	0.884	32
I07	0	1	0.214	0.786	0.893	28
J07	0.086	0.914	0.105	0.895	0.905	26
K07	0	1	0.062	0.938	0.969	11
L07	0	1	0.319	0.681	0.84	38
A08	0	1	0	1	1	1
B08	0.291	0.709	0.236	0.764	0.736	45
C08	0	1	0.015	0.985	0.992	5
D08	0.157	0.843	0	1	0.921	20
E08	0.245	0.755	0.316	0.684	0.719	48
F08	0	1	0.159	0.841	0.920	22
G08	0	1	0.077	0.923	0.962	13
H08	0.167	0.833	0.17	0.83	0.831	40
I08	0	1	0.192	0.808	0.904	27
J08	0.127	0.873	0.105	0.895	0.884	31
K08	0.008	0.992	0.022	0.978	0.985	8
L08	0	1	0.142	0.858	0.929	17

A09	0.121	0.879	0.021	0.979	0.929	16
B09	0.295	0.705	0.188	0.812	0.759	42
C09	0	1	0	1	1	1
D09	0.174	0.826	0.083	0.917	0.871	35
E09	0.241	0.759	0.3	0.7	0.73	46
F09	0	1	0.188	0.812	0.906	25
G09	0	1	0.101	0.899	0.949	14
H09	0.176	0.824	0.145	0.855	0.839	39
I09	0	1	0.175	0.825	0.913	24
J09	0.136	0.864	0.127	0.873	0.868	36
K09	0.023	0.977	0.03	0.97	0.974	10
L09	0	1	0.018	0.982	0.991	6
A10	0.065	0.935	0	1	0.967	12
B10	0.159	0.841	0.079	0.921	0.881	33
C10	0	1	0	1	1	1
D10	0.178	0.822	0.06	0.94	0.881	34
E10	0.206	0.794	0.32	0.68	0.737	44
F10	0	1	0.152	0.848	0.924	19
G10	0.014	0.986	0.127	0.873	0.93	15
H10	0.203	0.797	0.098	0.902	0.849	37
I10	0	1	0.148	0.852	0.926	18
J10	0.083	0.917	0.086	0.914	0.915	23
K10	0	1	0.041	0.959	0.979	9
L10	0	1	0	1	1	1
平均	0.08	0.92	0.131	0.869	0.895	-
效率個數	-	22	-	6	4	-

在 Model 3 的架構下，生產效率有較高的結果，而服務效能較低。48 個 DMU 中有 22 個 DMU 生產效率值為 1，平均效率為 0.92、投入距離函數為 0.08；而僅有 6 個 DMU 服務效能值為 1，平均效能為 0.869、產出距離函數為 0.131；整體營運效能則僅有 4 個 DMU 之值為 1，平均營運效能為 0.895。若以公車業者角度觀察，可將各公車業者四年度之效率以平均計算，檢視各公司在這四年度經營的狀況，及需要改善的幅度，可見下表 4.12。

表 4.12：Model 3 之 12 家公車業者效能比較

公司	生產效率	服務效能	整體效能	排名
A	0.953	0.989	0.971	2
B	0.739	0.812	0.776	11
C	1	0.892	0.946	3
D	0.86	0.937	0.899	8
E	0.778	0.685	0.731	12
F	1	0.821	0.911	6
G	0.966	0.9	0.933	5
H	0.863	0.839	0.851	10
I	1	0.818	0.909	7
J	0.892	0.894	0.893	9
K	0.992	0.961	0.977	1
L	1	0.88	0.94	4

4.3.4 兩階段 DDF 評估模式結果

我們必須給予兩階段分別之權重植，在此，本研究中兩階段權重值w_k^{B1}與w_k^{B2}暫皆以 0.5 設定進行運算，得出完整結果於下表 4.13，整體績效與排名分別位於表中右二攔，各 DMU 平均及有效率個數則列於最後一列。。

表 4.13：Model 4 結果

DMU	距離函數 (α)	生產效率	距離函數 $(\frac{1}{1+\beta})$	服務效能	整體績效	排名
A07	0	1	0.006	0.994	0.997	14
B07	0.299	0.701	0.024	0.976	0.839	48
C07	0	1	0.024	0.976	0.988	22
D07	0.049	0.951	0.024	0.976	0.963	28
E07	0.197	0.803	0.024	0.976	0.89	41
F07	0	1	0	1	1	1
G07	0.123	0.877	0.018	0.982	0.929	33
H07	0	1	0.024	0.976	0.988	21
I07	0	1	0.024	0.976	0.988	24
J07	0.086	0.914	0.024	0.976	0.945	30

K07	0	1	0	1	1	1
L07	0	1	0.024	0.976	0.988	23
A08	0	1	0	1	1	1
B08	0.291	0.709	0.015	0.985	0.847	47
C08	0	1	0.008	0.992	0.996	15
D08	0.157	0.843	0	1	0.921	35
E08	0.245	0.755	0.015	0.985	0.87	45
F08	0	1	0	1	1	1
G08	0	1	0	1	1	1
H08	0.167	0.833	0.015	0.985	0.909	39
I08	0	1	0.015	0.985	0.993	17
J08	0.127	0.873	0.015	0.985	0.929	34
K08	0.008	0.992	0	1	0.996	16
L08	0	1	0.015	0.985	0.993	18
A09	0.121	0.879	0	1	0.94	31
B09	0.295	0.705	0	1	0.853	46
C09	0	1	0	1	1	1
D09	0.174	0.826	0	1	0.913	36
E09	0.241	0.759	0	1	0.88	44
F09	0	1	0	1	1	1
G09	0	1	0	1	1	1
H09	0.176	0.824	0	1	0.912	37
I09	0	1	0	1	1	13
J09	0.136	0.864	0	1	0.932	32
K09	0.023	0.977	0	1	0.988	20
L09	0	1	0	1	1	1
A10	0.065	0.935	0	1	0.967	27
B10	0.159	0.841	0.02	0.98	0.911	38
C10	0	1	0	1	1	1
D10	0.178	0.822	0.016	0.984	0.903	40
E10	0.206	0.794	0.025	0.975	0.885	43
F10	0	1	0	1	1	1
G10	0.014	0.986	0.025	0.975	0.981	26
H10	0.203	0.797	0.024	0.976	0.886	42
I10	0	1	0.025	0.975	0.988	25
J10	0.083	0.917	0.025	0.975	0.946	29
K10	0	1	0.017	0.983	0.991	19
L10	0	1	0	1	1	1

平均	0.08	0.92	0.01	0.989	0.955	-
效率個數	-	22	-	20	12	-

在 Model 4 的架構下，生產效率如同 Model 3 的結果，而服務效能較 Model 3 高。48 個 DMU 中有 22 個 DMU 生產效率值為 1，平均效率為 0.92、投入距離函數為 0.08；而有 20 個 DMU 服務效能值為 1，平均效能為 0.989、產出距離函數為 0.01；整體營運效能則僅有 12 個 DMU 之值為 1，平均營運效能為 0.955。若以公車業者角度觀察，可將各公車業者四年度之效率以平均計算，檢視各公司在這四年度經營的狀況，及需要改善的幅度，可見下表 4.14。

表 4.14：Model 4 之 12 家公車業者效能比較

公司	生產效率	服務效能	整體效能	排名
A	0.953	0.999	0.976	7
B	0.739	0.985	0.862	12
C	1	0.992	0.996	2
D	0.86	0.99	0.925	9
E	0.778	0.984	0.881	11
F	1	1	1	1
G	0.966	0.989	0.978	6
H	0.863	0.984	0.924	10
I	1	0.984	0.992	5
J	0.892	0.984	0.938	8
K	0.992	0.996	0.994	4
L	1	0.99	0.995	3

4.4 模式比較

4.4.1 模式差異與環境指標

獲得四個模式的績效表之後，我們尤其關心不同模式，以及不同年度情況下 DMU 績效值的差異，由下表 4.15 可以發現，Model 1 與 Model 2 分別有 33 個與 39 個 DMU 是具有效率的，也就是此兩模式僅分別有 15 個與 9 個 DMU 績效值小於 1；Model 3 與 Model 4 則是分別有 4 個與 12 個 DMU 具有效率，而分別有 44 個與

36 個 DMU 績效值小於 1，需要進行改善的。由此可見，不同的模式架構，情況大相逕庭。

表 4.15：四模式各年度效率個數比較

年度	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
2007	8	9	0	2
2008	7	8	1	3
2009	7	11	1	4
2010	11	11	2	3
Total	33	39	4	12

Model 1、Model 2 之間的差別，以及 Model3、Model 4 之間的差別，皆在於環境敏感變數。根據 Ball et al.(2004)提出環境敏感度效率指標(E^H)，我們將E^H定義為含有環境敏感變數模式結果與無環境敏感變數模式結果之比值，如下公式(5)。

E^H = (含環境敏感變數 DDF / 無環境敏感變數 DDF) (5)

當環境有助於公司營運績效時，含有環境敏感變數的模式結果會超過無納入環境敏感變數的模式結果，則$E^H > 1$；反之，若環境敏感變數的模式結果比無納入環境敏感變數的模式結果來的低落時，$E^H < 1$；當兩者績效相同時，則$E^H = 1$，此種情況代表此環境敏感變數並不會對公司營運績效造成影響，模式結果沒有差異。

比較環境敏感變數造成的影響時，為避免模式架構不同所造成的影響，計算E^H時之分子與分母必須為同一種模式架構，亦即無環境敏感變數單一階段 DDF(Model 1)與含環境敏感變數單一階段 DDF(Model 2)進行比較，而含環境敏感變數兩階段 DDF(Model 3)與無環境敏感變數兩階段 DDF(Model 4)進行比較。

E_1^H與E_2^H定義為以兩模式之整體營運效能進行計算，針對研究中所定義之$E_2^H = \frac{\text{Model 4}}{\text{Model 3}}$為兩模式營運效能比值，但其中又可分為第一階段的技術效率與第二階段的服務效能，又兩模式技術效率並無差異，且加入環境敏感變數後皆反映在第二階段，故我們可再對 Model 3 與 Model 4 的服務效能值計算其環境敏感度指標，定義為E_{SE}^H。

下表 4.16 為依照前表 4.7、4.9、4.11 及 4.13，進一步求解出四模式 2007 年

至 2010 年各年度之平均效能，並計算出其E^H。

表 4.16：模式比較與環境敏感指標

	單一階段		兩階段		E^H index		
環境敏感變數	無	有	無	有	$E_1^H =$ Model 2 / Model 1	$E_2^H =$ Model 4 / Model 3	$E_{SE}^H =$ Model 4 SE / Model 3 SE
年度	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4			
2007	0.981	0.995	0.87	0.96	1.014	1.103	1.223
2008	0.985	0.997	0.899	0.955	1.012	1.062	1.127
2009	0.985	1.00	0.894	0.951	1.015	1.064	1.130
2010	0.996	0.999	0.916	0.955	1.002	1.042	1.086
Average	0.987	0.998	0.895	0.955	1.011	1.067	1.139

根據上表 4.16 可知，Model 1 至 Model 4 在 2007 年至 2010 年的平均績效分別為 0.987、0.998、0.895、0.955，顯示台北公車業者平均來看尚未達到有效率，且四模式分別平均尚有 1.3%、0.2%、10.5%、4.5% 的程度需要改善。

Model 2 的績效高達 0.998，比起同樣使用一階段，但無納入環境敏感變數的 Model 1 的績效值 0.987 來的高；Model 4 的績效則為 0.955，比起同樣使用兩階段架構的 Model 3 的績效值 0.895 來的高，表示當我們沒有納入環境敏感變數時，公車業者的營運績效是被低估的，也顯現悠遊卡轉乘優惠帶來的效益。因為，環境敏感變數意味悠遊卡轉乘優惠所附帶的運量，環境敏感變數的加入使得營運績效隨之上升。

另外，Model 1、Model 2 與 Model 3 各年度的營運效能稍有上行之趨勢，Model 4 卻稍有下降，但四模式各年度而言皆維持在 0.85 以上，趨勢圖可參照圖 4.1 至圖 4.4。

不同模式及不同年度所造成的績效差異，在數據中可以很容易地看出，但其是否具有顯著差異，可進一步看到表 4.16 中末三欄的環境敏感效率指標(E^H)。

E^H因評估架構的不同，可再細分為E_1^H及E_2^H，其中，E_1^H = (Model 2 / Model 1)；E_2^H = (Model 4 / Model 3)。以及前述所說依不同階段細分出之E_{SE}^H。E_1^H 從 2007 年至 2010 年指標為 1.014、1.012、1.015、1.002，四年平均為 1.011；E_2^H 從 2007 年至 2010 年指標為 1.103、1.062、1.064、1.042，四年平均為 1.067；而E_{SE}^H則依序為 1.223、1.127、1.130、1.086，四年平均為 1.139。我們可以看出，以服務效

能計算出之環境敏感指標有較大的數值。而不管是各年度E^H或平均的 E^H均大於1，表示在兩種評估架構下，納入環境敏感變數對績效的影響皆是正面的。

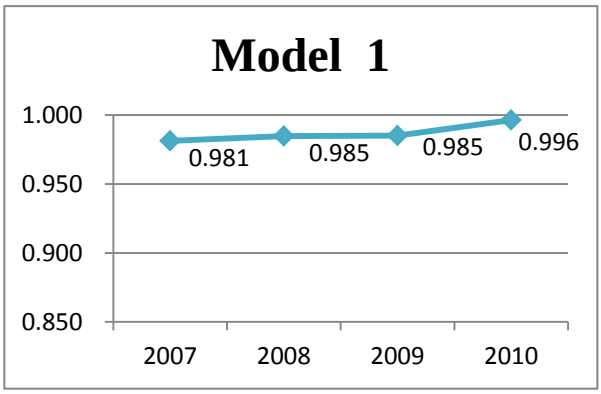


圖 4.1：Model 1 年度效能趨勢

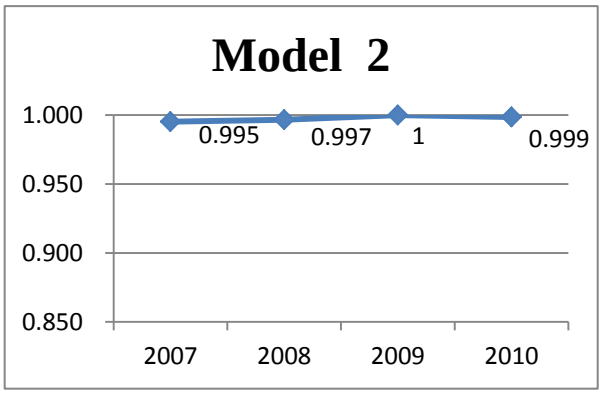


圖 4.2：Model 2 年度效能趨勢

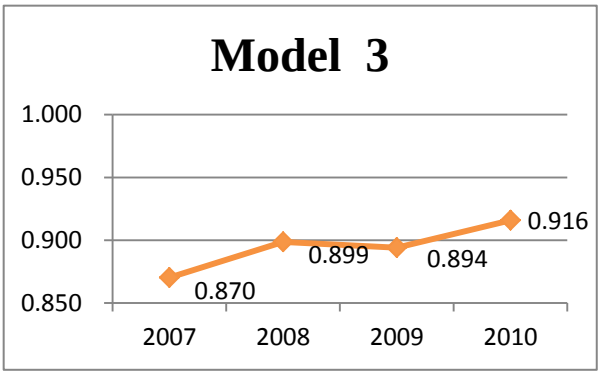


圖 4.3：Model 3 年度效能趨勢

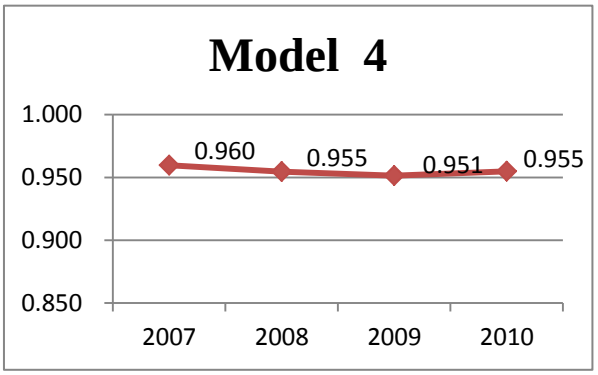


圖 4.4：Model 4 年度效能趨勢

Zhou, Ang, and Poh(2006)提出環境敏感效率對公車業者影響程度的衡量方式，即是一種 E^H的反向概念，利用$(1-E^H)$計算而得，在過去環境敏感指標相關研究中，大多納入負面的影響。但本研究中所納入之環境敏感變數為對公車業者正向關係的情況，E^H皆大於 1，因此我們定義以(E^H-1)表示環境對於績效的正面影響。

(E_1^H-1) 數值從 2007 年至 2010 年為 0.014、0.012、0.015、02，平均為 0.011；(E_2^H-1) 數值從 2007 年至 2010 年為 0.103、0.062、0.064、0.042，平均為 0.067；(E_{SE}^H-1) 數值從 2007 年至 2010 年為 0.223、0.127、0.13、0.086，平均為 0.139。顯示受悠遊卡轉乘優惠吸引而附帶產生的運量對績效有正面效應，且兩階段評估架構中環境的影響程度 0.067，大於單一階段評估架構中環境的影響程度 0.011。環境敏感效率對公車業者影響程度彙整如下表 4.17。

表 4.17：環境敏感效率對公車業者影響程度

年度	$(E_1^H - 1)$	$(E_2^H - 1)$	$(E_{SE}^H - 1)$
2007	0.014	0.103	0.223
2008	0.012	0.062	0.127
2009	0.015	0.064	0.13
2010	02	0.042	0.086
Average	0.011	0.067	0.139

即便在不同模式下產生了不同結果，但依然可看出從 2007 年至 2010 年公車營運績效稍有上升趨勢。而經過環境敏感效率指標，我們初步了解到，台北捷運現行的路網及營運狀況，配合目前悠遊卡實行的轉乘優惠，對於公車業者效益有所助益，且不論在單一階段或兩階段的評估架構下皆然。但不同年度的績效差異以及不同模式下技術效率、服務效能、整體營運效能差異是否顯著，需進一步以無母數檢定觀之。

4.4.2 統計檢定

在第 4.3 節的「結果分析」中，我們可以看到四個模式中 48 個 DMU 的結果，又該 48 個 DMU 實為 12 家公車業者於 2007 年至 2010 年的營運績效，因此，不同年度時效率前緣是否有所變動，意即業者經營狀況會因時間的變化而有所改變，可藉由無母數檢定中的 Kruskal – Wallis 檢定加以釐清，其中虛無假設(Null Hypothesis；H_0)為公車業者在各年度營運績效無差異；對立假設(Alternative Hypothesis；H_1)則反之。

Kruskal – Wallis 檢定結果如表 4.18 所示，Model 1 至 Model 4 四個模式皆有一卡方值，表示該模式下 2007 至 2010 年度差異情況。其卡方值分別為 3.706、3.587、2.445、0.161，而其漸進顯著值則分別為 0.295、0.31、0.485、0.984，可知在顯著水準α = 0.05 的雙尾檢定下皆無法拒絕H_0，表示不管在何種模式下，2007 年至 2010 年此四年度之營運績效並沒有顯著差異。

表 4.18：模式年度分析無母數檢定

Samples	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Years 2007-2010	χ^2=3.706	χ^2=3.587	χ^2=2.445	χ^2=0.161
Df	3	3	3	3
Asymp. Sig.	0.295	0.31	0.485	0.984

註：*Df* 為卡方自由度；Asymp. Sig.為漸進顯著性。

在第 4.4 節的「模式比較」中，我們看到四模式效率個數與平均值的不同，也藉由E^H與$(E^H - 1)$比較納入環境敏感變數後的前後差別，以及變數對結果的影響程度。不同模式所造成的差異是否具有顯著性，我們亦可透過無母數檢定中的 Wilcoxon Signed-Rank 檢定進一步釐清，避免受模式架構的不同影響，本研究將單一階段的 Model 1 營運效能與 Model 2 營運效能結果進行檢定，而兩階段的 Model 3 與 Model 4 之技術效率、服務效能、營運效能結果再分別加以檢定。其中虛無假設為兩模式效率(效能)結果無差異；對立假設則反之。Wilcoxon Signed-Rank 檢定結果表列於下表 4.19。

表 4.19：模式結果差異無母數檢定

Comparison	Model 1 OE vs Model 2 OE	Model 3 TE vs Model 4 TE	Model 3 SE vs Model 4 SE	Model 3 OE vs Model 4 OE
Wilcoxon Signed-Rank Test	Z = −3.408*	Z = 0	Z = −5.645*	Z = −5.699*
Asymp. Sig.	01	1	00	00

註： Asymp. Sig.為漸進顯著性。Z 值*表示在α = 0.05 的雙尾檢定下具顯著差異。

在 Model 1 與 Model 2 營運效能的檢定中，Z 值為−3.408，漸進顯著值為 01，在 α = 0.05 的雙尾檢定時拒絕H_0，表示 Model 1 與 Model 2 之營運效能具顯著差異；Model 3 與 Model 4 技術效率的檢定中，Z 值為0，不拒絕H_0 且完全無差異，這是由於該兩模式第二階段之投入與產出完全相同，導致技術效率完全相同之故；Model 3 與 Model 4 服務效能的 Z 值則為−5.645，在α = 0.05 的雙尾檢定時拒絕H_0，表示 Model 3 與 Model 4 之服務效能具顯著差異；最後，Model 3 與 Model 4 營運效能的 Z 值則為−5.699，在α = 0.05 的雙尾檢定時拒絕H_0，表示 Model 3

與 Model 4 之營運效能具顯著差異。

我們也可以發現,除了技術效率部分的檢定之外,其餘之漸進顯著性皆極小,顯示不僅在α = 0.05 的雙尾檢定時拒絕H_0,在更小的顯著水準下依然可支持兩模式具有顯著差異的論點。總而言之，我們不僅可說：加入環境敏感變數-「捷運轉乘公車」後的模式(Model 2，Model 4)績效較未加入環境敏感變數前的模式(Model 1，Model 3)來的好。也可說：加入環境敏感變數後績效結果的提升具有顯著性。

4.5 差額變數分析

由效率階段分解可知公車業者相對無效率的發生處,而差額變數分析則可就資源使用情況，以及產出分配情況，顯示出無效率之 DMU 應改善的方向及幅度，亦即無效率的 DMU 應針對何項投入予以減少、針對何項產出致力擴張，方能成為有效率的單位，是管理者施行策略的第一步。

根據本研究四種模式，我們針對兩階段，分別有無納入環境敏感變數的兩模式進行分析，亦即 Model 3 與 Model 4 的差額變數分析，如表 4.20 與表 4.21 所示。

表 4.20：Model 3 差額變數分析

DMU	員工(人)	車輛(輛)	燃油(千公升)	單程乘客(人)	公車轉捷運乘客(人)	營運效能
A07	0	0	0	0	558345	0.989
B07	37	0	425.04	0	0	0.727
C07	0	0	0	0	499009	0.792
D07	72	0	0	0	0	0.921
E07	11	21	0	0	0	0.740
F07	0	0	0	0	5793509	0.892
G07	0	0	0	0	2736319	0.892
H07	0	0	0	0	0	0.884
I07	0	0	0	0	2452585	0.893
J07	0	0	0	0	2149363	0.905
K07	0	0	0	0	3116742	0.969
L07	0	0	0	0	101929	0.840
A08	0	0	0	0	0	1
B08	50	0	0	0	0	0.736
C08	0	0	0	0	112691	0.992

D08	0	11	0	0	0	0.921
E08	0	22	0	0	0	0.719
F08	0	0	0	0	5288205	0.920
G08	0	0	0	0	3248214	0.962
H08	262	0	0	0	0	0.831
I08	0	0	0	0	2099057	0.904
J08	0	1	0	0	2087851	0.884
K08	0	0	0	0	2990029	0.985
L08	0	0	0	732784	0	0.929
A09	155	17	457.36	0	0	0.929
B09	38	0	0	0	0	0.759
C09	0	0	0	0	0	1
D09	0	6	0	0	0	0.871
E09	0	24	18.65	0	0	0.730
F09	0	0	0	0	5268994	0.906
G09	0	0	0	0	3059139	0.949
H09	250	0	27.69	0	0	0.839
I09	0	0	0	0	2207421	0.913
J09	0	2	13.20	0	2013821	0.868
K09	0	0	56.61	0	2923181	0.974
L09	0	0	0	0	63015	0.991
A10	127	22	198.31	0	0	0.967
B10	174	7	0	1458888	0	0.881
C10	0	0	0	0	0	1
D10	0	4	0	780984	0	0.881
E10	11	34	0	0	0	0.737
F10	0	0	0	0	4914119	0.924
G10	48	0	191.04	0	2398856	0.930
H10	233	0	0	0	0	0.849
I10	0	0	0	0	2305009	0.926
J10	0	19	0	0	1746076	0.915
K10	0	0	0	0	2772168	0.979
L10	0	0	0	0	0	1

根據上表 4.21 我們發現，在 Model 3 中各 DMU 之投入差額分布較為平均，且有 22 個 DMU 有投入差額；在產出差額中，多集中於公車轉捷運乘客，表示公車應多著重於此項，且有 29 個 DMU 有產出差額。若以投入與產出整體來看則可見，

在 48 個 DMU 中僅有 H07、A08、C09、C10、L10 等 5 個 DMU 無投入與產出差額，其中除 H07 之外，其餘 4 個 DMU 皆為有效率單位，因此本研究認為 H07 須著重的策略，不在於投入精簡或意欲產出的擴張，而是非意欲產出的減少。

表 4.21：Model 4 差額變數分析

DMU	員工(人)	車輛(輛)	燃油(千公升)	單程乘客(人)	公車轉捷運乘客(人)	營運效能
A07	0	0	0	0	36213	0.997
B07	37	0	425.04	0	0	0.839
C07	0	0	0	0	0	0.988
D07	72	0	0	0	0	0.963
E07	11	21	0	0	0	0.890
F07	0	0	0	0	0	1
G07	0	0	0	0	0	0.929
H07	0	0	0	0	0	0.988
I07	0	0	0	0	0	0.988
J07	0	0	0	0	0	0.945
K07	0	0	0	0	0	1
L07	0	0	0	279864	0	0.988
A08	0	0	0	0	0	1
B08	50	0	0	0	0	0.847
C08	0	0	0	0	25390	0.996
D08	0	11	0	0	0	0.921
E08	0	22	0	0	0	0.870
F08	0	0	0	0	0	1
G08	0	0	0	0	0	1
H08	262	0	0	0	0	0.909
I08	0	0	0	0	0	0.993
J08	0	1	0	0	0	0.929
K08	0	0	0	0	0	0.996
L08	0	0	0	745775	0	0.993
A09	155	17	457.36	0	0	0.940
B09	38	0	0	0	0	0.853
C09	0	0	0	0	0	1
D09	0	6	0	0	0	0.913
E09	0	24	18.65	0	0	0.880
F09	0	0	0	0	0	1
G09	0	0	0	0	0	1

H09	250	0	27.69	0	0	0.912
I09	0	0	0	0	0	1
J09	0	2	13.20	0	0	0.932
K09	0	0	56.61	0	0	0.988
L09	0	0	0	0	0	1
A10	127	22	198.31	0	0	0.967
B10	174	7	0	4690340	0	0.911
C10	0	0	0	0	0	1
D10	0	4	0	1478731	0	0.903
E10	11	34	0	0	0	0.885
F10	0	0	0	0	0	1
G10	48	0	191.04	0	0	0.981
H10	233	0	0	5826689	0	0.886
I10	0	0	0	0	0	0.988
J10	0	19	0	0	0	0.946
K10	0	0	0	0	0	0.991
L10	0	0	0	0	0	1

根據上表 4.22 我們發現，在 Model 4 中各 DMU 之投入差額分布較為平均，且有 22 個 DMU 有投入差額；在產出差額中，相對於前項 Model 3 顯然少了許多，僅有 7 個 DMU 有產出差額。若以投入與產出整體來看則可見，在 48 個 DMU 中共有 27 個 DMU 具有投入或產出差額，而有 21 個 DMU 無差額。由於在 Model 4 我們納入了環境敏感變數，因此無差額的卻不為有相對效率單位的 DMU，其原因可能為非意欲產出或環境敏感變數造成。

4.6 討論

本研究在初始的研究動機中，提及台北營運的公車業者，經營環境不同於其他地區，主要因為台北有龐大的台北捷運路網，以及方便有效的電子票證，優惠措施讓公車與捷運彼此間的轉乘更有吸引力。公車與捷運彼此間的轉乘數量存在無法控制的成分，包括營運路線，捷運站轉乘設施及資訊，因而本研究假設捷運轉乘至公車之乘客數量為環境敏感變數，在此情況下，計算此一變數對公車業者相對績效的影響，故探討環境敏感變數對績效之影響為本研究首要之務。

表 4.22 本研究彙整了研究中所採用的四個模式，求算出之各公車業者四年平均績效結果，以及四模式平均績效結果。不同的模式、不同的公車業者、不同

的年度皆會造成不同的結果，根據表 4.2 之各種模式結果以及各模式下的公車業者狀況，可總結為下圖 4.5。

如同前述環境敏感效率指標所說，不管是單一階段或者兩階段的 DDF，加入環境敏感變數後，平均績效皆有所提升，單一階段模式與兩階段模式之環境敏感效率指標分別為 1.011 與 1.067，表示捷運轉乘至公車的乘客量對績效有正面影響，且其影響之敏感度分別為 1.1 % 及 6.7 % 。再者，4.4.2 節中兩兩模式之 Wilcoxon Signed-Rank 檢定結果呈現顯著差異，因此本研究認為，環境敏感變數對於公車績效有正向影響，且其影響具有顯著性，表示捷運轉乘至公車的乘客量，對於公車業者而言是相當重要的。

根據 4.4.2 節中 Kruskal – Wallis 檢定結果，四個模式中，公車業者於 2007 年至 2010 年四個年度的營運績效皆沒有顯著的差異，因此，我們無法認定其中必然的趨勢，但可藉由簡易直觀的曲線圖，瞭解四個模式在四個年度中績效的變化情形，Model 3 於四年度中曲折較明顯，而其餘三模式則無，僅稍有遞增現象，如圖 4.6 所示。

表 4.22：四模式平均效能

DMU	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
A	1	1	0.971	0.976
B	0.948	0.996	0.776	0.862
C	1	1	0.946	0.996
D	0.997	1	0.899	0.925
E	0.971	0.992	0.731	0.881
F	1	1	0.911	1
G	0.987	1	0.933	0.978
H	0.999	0.999	0.851	0.924
I	1	1	0.909	0.992
J	0.942	0.988	0.893	0.938
K	0.998	1	0.977	0.994
L	1	1	0.940	0.995
Average	0.986	0.998	0.895	0.955

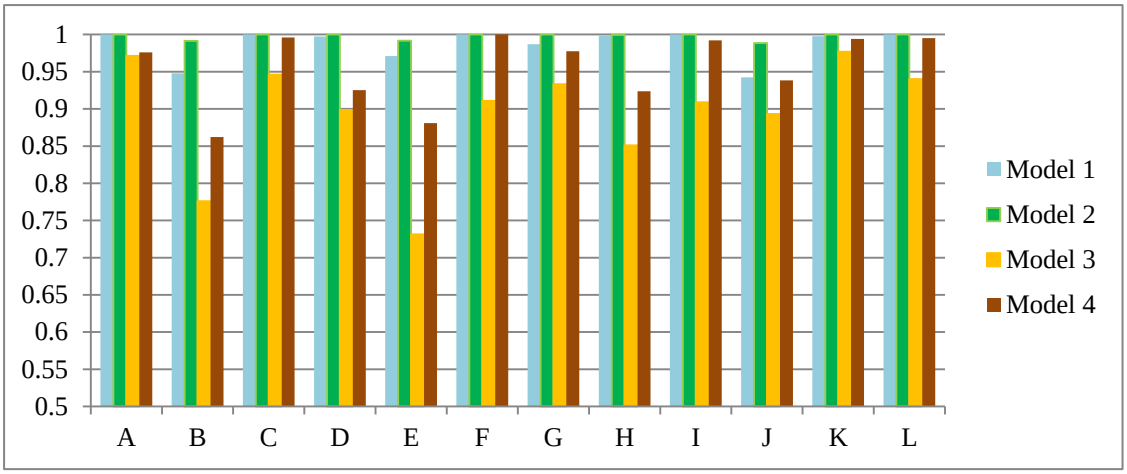


圖 4.5：公車業者於四模式整體效能比較

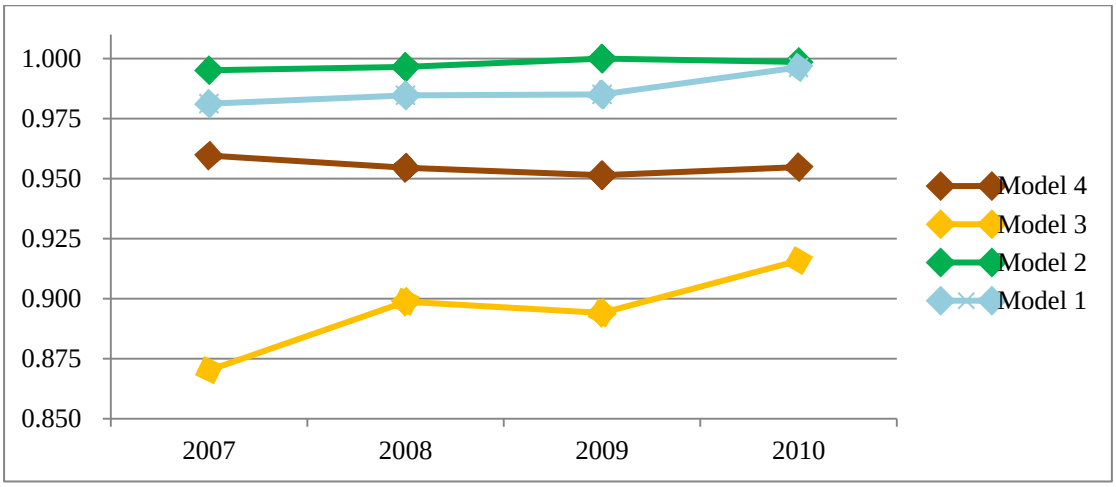


圖 4.6：四模式年度效能趨勢圖

在 4.5 節中羅列之 48 個 DMU 之投入與產出差額，本研究進一步統整 Model 3 與 Model 4 中 12 家業者四年平均差額，及占現況投入與產出之百分比，更有利於管理者擬定策略，分別如表 4.23 與表 4.24 所示。

表 4.23：Model 3 四年平均差額

DMU	員工	%	車輛	%	燃油	%	單程乘客	%	公車轉捷運乘客	%
A	70.5	5	9.8	1.2	163.9	0.7	0	0	139586.2	0.9
B	74.6	10.3	1.8	0.5	106.3	0.9	364722	0.8	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	152925.1	4
D	17.9	5.4	5.1	2.3	0	0	195245.9	1	0	0
E	5.7	1.3	25.3	9.6	4.7	0.1	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	5316206.8	66.4
G	11.9	1.5	0	0	47.8	0.3	0	0	2860632	34.2

H	186.2	19.5	0	0	6.9	0.1	0	0	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	2266018	68.2
J	0	0	5.6	2.7	3.3	0.1	0	0	1999277.8	64.6
K	0	0	0.1	0.1	14.2	0.3	0	0	2950530	115.9
L	0	0	0	0	0	0	183195.9	2.5	41236.1	3.5
Ave.	26.9		4.0		28.9		61930.3		1310534.3	

在 Model 3 中分別對投入與產出兩部分差額進行說明：

1. 投入差額

(1)員工：H 公司為 12 家業者中最多員工投入差額者，若欲達效率前緣尚需縮減約 186 位員工，占其總員工數近 20%，而 12 家業者中有一半公司皆有此項差額，平均值為 26.9。

(2)車輛：E 公司為 12 家業者中最多車輛投入差額者，表示其應精簡其車輛使用，減量 25 輛為最佳。在此項差額中亦有半數公司需縮減，平均值為 4 輛。

(3)燃油：A 公司為 12 家業者中最多燃油投入差額者，可藉由車輛汰換、駕駛員訓練，提升燃油效率加以改善。燃油投入差額平均值為 28.9 千公升。

2. 產出差額

(1) 單程乘客：僅 B、D、L 三家業者具有差額，需擴張的產出分別為每年 364722、195245.9、183195.9 位乘客，擴張幅度約為 1 %~3 %。

(2) 公車轉捷運乘客：僅 B、D、E、H 四家無須再擴張，另外 8 家皆須提升轉往捷運的乘客，平均值為 1310534.3。其中又以 K 公司差額最大，需擴增 115.9 %，可從車上轉乘資訊提供等方式引導乘客。

表 4.24：Model 4 四年平均差額

DMU	員工	%	車輛	%	燃油	%	單程乘客	%	公車轉捷運乘客	%
A	70.5	5	9.8	1.2	163.9	0.7	0	0	9053.1	0.1
B	74.6	10.3	1.8	0.5	106.3	0.9	1172585	2.5	0	0
C	0	0	0	0	0	0	0	0	6347.6	0.2
D	17.9	5.4	5.1	2.3	0	0	369682.8	1.8	0	0

E	5.7	1.3	25.3	9.6	4.7	0.1	0	0	0	0
F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
G	12	1.5	0	0	47.8	0.3	0	0	0	0
H	186.2	19.5	0	0	6.9	0.1	1456672.3	2.1	0	0
I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
J	0	0	5.6	2.7	3.3	0.1	0	0	0	0
K	0	0	0.1	0.1	14.2	0.3	0	0	0	0
L	0	0	0	0	0	0	256409.9	3.5	0	0
Ave.	30.6		4.0		28.9		271279.2		1283.4	

在 Model 4 中亦分別對投入與產出兩部分差額進行說明：

1. 投入差額

(1)員工：H 公司為 12 家業者中最多員工投入差額者，若欲達效率前緣尚需縮減約 186 位員工，占其總員工數近 20%，而 12 家業者中有一半公司皆有此項差額，平均值為 30.6。

(2)車輛：E 公司為 12 家業者中最多車輛投入差額者，表示其應精簡其車輛使用，減量 25 量為最佳。在此項差額中亦有半數公司需縮減，平均值為 4 輛。

(3)燃油：A 公司為 12 家業者中最多燃油投入差額者，可藉由車輛汰換、駕駛員訓練，提升燃油效率加以改善。燃油投入差額平均值為 28.9 千公升。

2. 產出差額

(1) 單程乘客：僅 B、D、H、L 四家業者具有差額，需擴張的產出分別為每年 1172585、369682.8、1456672.3、256409.9 位乘客，擴張幅度約為 2 %~4 %。

(2) 公車轉捷運乘客：僅 A、C 兩家業者具有差額，需擴張的產出分別為每年 9053.1、6347.6 位乘客，擴張幅度僅約為 0.2 %。

第五章　結論與建議

本研究應用 DDF 針對台北 12 家公車業者進行生產效率、服務效能及營運效能之績效評估，依序進行效率分析、環境敏感效率指標計算、年度比較、模式檢定，與最後的差額變數分析，可知公車業者無效率原因及改善方向、不同年度時公車營運績效的差異，以及環境敏感變數的概念應用，透過指標及模式檢定的方式透析其中影響。

為求有效分析公車營運的相對效率，本研究參照過去諸多相關研究所採用的投入、產出變數，並透過相關性檢定確認投入與產出具有同向性後選出變數。再者，在環保觀念日益盛行之下，不僅航空業有碳稅、日常生活用品有碳足跡的概念，即便陸上運輸尚未有其碳交易機制，但節能減碳、提升燃油效率甚至替代能源是必然的趨勢，因此，在研究中我們也加入了公車營運中伴隨產出的空氣汙染物，包括二氧化碳、一氧化碳、碳氫化合物、氮氧化物、懸浮微粒等共五項排放物，期使將外部成本內部化，也讓所得出之績效結果更貼近真實情況。

公車業者營運狀況與該地方之政府政策、路網形式、其他大眾運輸發展、票證整合情況等因素息息相關，因此我們可以推測，台北公車業者的營運環境是全台灣最好的，當然，除地區差異造成環境不同之外，台北各公車業者被分配核定的路線不同議會造成其經營環境的不同，進一部造成績效有所差別，這也就是本研究中所採用的環境敏感變數的原因之一。

另外，DEA 與 DDF 為生產力與效率衡量的方法之一，乃由營運者的角度出發，以投入與產出數量，比較同質營運單位的效率狀況，藉由效率前緣的方式找出其相對效率，因此不會考量使用者的使用滿意度與公車業者服務水準等感受的指標，是與大眾對公車品牌既定印象有所出入。

本章中包含結論與建議兩部分，前者就本研究之研究分析結果作出結論，提供管理意涵與改善方向，供管理者及政府參考，並說明本研究在學術上以及實務上之貢獻；後者檢視本研究不足之處，提供未來研究方向及課題。

5.1 結論

考慮轉乘運量與污染排放之市區公車績效評估之研究，應用單一階段與兩階段的架構模式，以及環境敏感變數的有無，總共提出四種模式求解，主要研究結果可羅列如下：

1. 單一階段評估架構的兩個模式，平均績效分別為 0.986 與 0.998，有效率個數分別為 33、39 個；兩階段評估架構的兩個模式，平均績效分別為 0.895 與 0.955，有效率個數分別為 4、12 個。由於本研究中使用之限制式數量多，因此模式效率值普遍偏高，又單一階段的評估架構所得出績效會高於兩階段的評估架構，有效率單位個數也較多。
2. 加入捷運轉乘至公車的乘客量之後，單一階段模式與兩階段模式之環境敏感效率指標分別為 1.011 與 1.067，表示捷運轉乘至公車的乘客量對績效有正面影響，且其影響之敏感度分別為 1.1 % 及 6.7 %，若以對服務效能階段敏感度觀之，環境敏感效率指標則為 1.139，敏感度為 13.9 %。且經由 Wilcoxon Signed-Rank 檢定可知，自捷運轉乘至公車的乘客量不管是對單一階段架構，或者兩階段架構的評估模式，皆會造成顯著性的差異。
3. 2007 年至 2010 年中，以 2010 年度之營運績效最佳，稍有上升跡象，但在顯著水準 0.05 的 Kruskal – Wallis 檢定下，不同年度之下的營運績效並沒有顯著差異。
4. 半數以上公車業者須縮減投入量，或者改善其投入資源配置。需縮減投入之公司其員工投入差額約在 1 % ~ 10 %，僅有一業者差額較高，為將近 20%，可朝人力精簡，改善人力配置的方向加以改善；車輛投入差額約在 1 % ~ 3 %，僅有一業者差額較高為 9.6 %，表示後續有老舊車輛淘汰後，須謹慎考量是否需再購入新車；而燃油投入差額則皆在 1 % 以內，可透過車輛維護、汰換，或者駕駛訓練來提高燃油效率。
5. 產出差額則在有無加入環境敏感變數的兩模式中有較大差異，加入環境敏感變數之前，大多公司應致力增加公車轉往捷運之乘客量，應增加的平均量為每年 1310534.3 人，可致力於公車上轉乘資訊的提供，或加強與捷運公司的合作；加入環境敏感變數之後的 Model 4 則產出差額較少，僅有 6 家業者具有產出差額，其中單程乘客增加量約在 2 %，可以提升服務品質，或者政府加強推動公共運輸來加以提升，公車轉往捷運之乘客量則僅約 0.1 %。

本研究使用 DDF 以不同以往計算乘客的方式，將公車與捷運間轉乘旅客數從中切割出來，是為本研究中最大之創新與貢獻。蓋括以上研究結果，本研究之貢獻有：

1. 學術：本研究擴展過去僅考慮環境的負向課題，加以考慮運輸過程的中其他大眾運具的外部效益，是為環境的正向課題，顯示大眾運輸發展相輔相成的效益，以及此環境對於業者績效的影響程度。
2. 實務：目前政府對於公車評鑑或者補貼依據多以服務品質作為指標，而藉由方向性距離函數可知公車業者在生產效率及服務效能的營運狀況，作為輔助公車發展之參考。

5.2 建議

台北地區大眾運輸發達，電子票證整合與優惠效益亦是運輸研究熱門議題，而公車市場含有獨占性競爭的特性，票價與經營路線又受政府管制的情況下，其績效評估研究數目眾多可想而知。DEA 與 DDF 為評估績效方便又直接的方法，但本研究尚有些許限制及假設，有待改進及作為未來研究：

1. 本研究在資料蒐集部分僅取得 12 家公車業者，以及四個年度資料，未來可持續蒐集其他資料，補足未取得的業者資料和 2010 年至今的營運數據，使得績效結果更符合現況。
2. 研究實際上因轉乘優惠而為公車業者所帶來的效益或乘客數量，能更有效的將數據加以分割，並作出效率分解。
3. 在兩階段距離函數中，生產效率與服務效能以加權方式得出整體的營運效能，該權重在本研究中僅以 0.5 加以計算，未來可以各個階段對營運者所帶來效益程度的不同，來衡量權重的數值分配，以利在更多階段的模式架構下，取得更準確的距離函數值。
4. 本研究中模式中雖有放入非意欲產出，但因其為弱可拋的特性無法計算差額，故並無多作探討，未來可將非意欲產出項的距離函數獨立出來，藉由效率分割的方式瞭解其影響程度。

參考文獻

一、中文文獻

1. 葉嘉文，捷運與公車轉乘優惠政策意義之檢討分析，國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文，民國 93 年。
2. 張國平，數據包絡曲線分析(DEA)效率評估法之應用—以臺北市公車為例，運輸計劃季刊，第十九卷第一期，頁 27-38，民國 79 年。
3. 高蓓華，公民營事業生產效率之評估--以台北市公車系統為例，國立清華大學經濟研究所碩士論文，民國 79 年 6 月。
4. 吳秉玟，台北市聯營公車業績效評估之研究，佛光大學經濟學系碩士班論文，民國 97 年。
5. 楊志慶、魏慶地、張新福，「市區公車業者及其路線經營效率之研究--以桃園客運及中壢客運為例」，交通學報，第八卷第一期，頁 1-26。
6. 陳敦基、蕭智文，「公路客運業總體績效 DEA 評估模式建立之研究」，運輸計畫季刊，第二十三卷第一期，頁 11-40，民國 83 年。
7. 王伯珩，市區聯營公車之經營關鍵成功因素研究 – 以台北市公車為例，中華大學科技管理研究所，碩士論文，民國 96 年。
8. 李莞霜，應用資料包絡分析法分析高鐵營運績效，逢甲大學工業工程與系統管理研究所，碩士論文，民國 100 年。
9. 徐茂鈞，多項績效指標之營運單位之兩階段評估程序，國立交通大學工業工程與管理研究所，碩士論文，民國 97 年。
10. 張致祥，捷運淡水線公車轉成設施之檢討，國立交通大學交通運輸研究所，碩士論文，民國 89 年。
11. 章智清，台北捷運公司各站務部門經營績效之研究，中國文化大學政治學研究所，碩士論文，民國 90 年。
12. 陳佳慧，捷運接駁公車營運績效評估 – 以淡水線為例，國立台灣大學土木工程學研究所，碩士論文，民國 89 年。
13. 許國隆，台北市公車經營效率及其影響因素之探討，淡江大學會計學系，碩士論文，民國 91 年。
14. 謝尹甄，非意欲產出對市區公車營運效率之影響，國立交通大學交通運輸研

究所，碩士論文，民國 100 年。
15. 魏惠儀，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，國立海洋大學運輸與航海科學研究所，碩士論文，民國 98 年。
16. 黃慧君，台灣壽險公司經營績效之評估 – 兩階段資料包絡分析法的應用，國立高雄大學經營管理研究所，碩士論文，民國 99 年。
17. 黃裕文，台北縣智慧型公車服務資訊系統使用者效益評估分析，逢甲大學交通工程與管理學研究所，碩士論文，民國 97 年。
18. 劉國樑，應用資料包絡分析法評估鐵路運輸業之營運績效，逢甲大學交通工程與管理學研究所，碩士論文，民國 95 年。
19. 余燕菁，臺北市公車處民營化前後聯營公車業者營運績效之比較研究，淡江大學會計學系碩士班論文，民國 95 年。
20. 楊宏基，應用 DEA 評估國內水力發電廠效率，國立東華大學高階經營管理碩士在職專班，碩士論文，民國 102 年。

二、 英文文獻

1. Abad, C., Thore , S. A., and Laffarga, J.(2004), "Fundamental analysis of stocks by two-stage DEA", Managerial and Decision Economics, 25(5), pp.231-241.
2. Ball, V. E., Lovell, C. A.K., Luu, H., and Nehring, R.(2004), "Incorporating environment impacts in the measurement of agricultural productivity growth ", Journal of Agriculture and Resource Economics, Vol.29, pp. 436-460.
3. Banker, R.D., Morey, R.C., (1986), "Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs", Operations Research 34 (4), 513–521.
4. Boame, A. K., (2004), "The technical efficiency of Canada urban transit system", Transportation Research Part E, Vol., 40, pp. 401-416.
5. Borger, B. de, and Kerstens, K, "The performance of bus-transit operators" published in Handbook of Transport Modeling, edited by D. A. Hensher and K. J. Button, pp. 577-595, 2000, Elsevier Science Ltd.
6. Barnum, D. T., Karlaftis, M. G., and S. Tandon (2011), "Improving the efficiency of metropolitan area transit by joint analysis of its multiple providers," Transportation Research Part E, Vol., 47, pp. 1160-1176.
7. B. Starr McMullen and Dong-Won Noh., (2007), "Accounting for emissions in

the measurement of transit agency efficiency: A directional distance function approach," Transportation Research Part D, Vol., 12, pp. 1–9.

8. Chen, C M., J. Du, J., Huo, and J. Zhu, (2012), "Undesirable factors in integer-valued DEA: evaluating the operational efficiencies of city bus systems considering safety records," Decision Support Systems, Vol., 55, pp. 330-335.
9. Chang, K. P. and P. H. Kao (1992), "The relative efficiency of public versus private municipal bus firms: an application of Data Envelopment Analysis," The Journal of Productivity Analysis, Vol., 3, pp. 67-84.
10. Chen, Dun-Ji and Jyh-Wen, Shiau (1994), "A study on the development of DEA model for the aggregate performance evaluation of highway bus industry,"Transportation Planning Journal, Vol., 23, No., 1, pp. 11-40. (In Chinese)
11. Chiang Kao,(2009), "Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model," European Journal of Operational Research, 192, pp. 949–962.
12. Chu, X., G. J. Fielding, and B. W. Lamar (1992), "Measuring transit performance using data envelopment analysis," Transportation Research Part A, Vol., 26A, No., 3, pp. 223-230.
13. Chiang Kao and Shiuh-Nan Hwang, (2008), "Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan," European Journal of Operational Research, 185, pp. 418–429.
14. Coelli, Rao, O'Donnell and Battese, (2005), "An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis," Springer Science + Business Media,Inc.
15. Evans, A. W. and Morrison, A. D. (1997), "Incorporating accidents risks and disruption in economic models of public transport," Journal of Transport Economics and Policy, Vol., 31, pp. 117-146.
16. Fan, Chih-ku (2004), "Evaluating bus transit performance - A data envelopment analysis approach" Ph.D., Dissertation of Department of Transportation Technology and Management, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.

17. Fielding, G. J., T. T. Bakitsky, and M. E. Brenner (1985), "Performance evaluation for bus transit," Transportation Research Part A, Vol., 19 A., No., 1, pp. 73-82.
18. FINN JØ RGENSEN, PÅ L ANDREAS PEDERSEN & ROLF VOLDEN., (1997), "Estimating the inefficiency in the Norwegian bus industry from stochastic cost frontier models," Transportation 24: 421–433, Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
19. Heng, Y., S. H., Lim, and J. Chi (2012), "Toxic air pollutants and trucking productivity in the US," Transportation research Part D, Vol., 17, pp. 309-316.
20. John S. Liu, Louis, Y. Y. Lu, Wen-Min Lu, and BruceJ.Y. Lin, (January, 2013) "Data envelopment analysis 1978–2010: A citation-based literature survey," Omega, Vol., 41, Issue 1, pp. 3–15.
21. Karlaftis, M. G. (2004), "A DEA approach for evaluating the efficiency and effectiveness of urban transit systems," European Journal of Operational Research, Vol., 152, pp. 354-364.
22. Kerstens, K. (1996), "Technical efficiency measurement and explanation of French urban transit companies," Transportation Research Part A., Vol., 30, No., 6, pp. 431-452.
23. Liang Liang, Wade D. Cook, and Joe Zhu (August 2008), "DEA Models for Two-Stage Processes: Game Approach and Efficiency Decomposition, " Published online 25 in Wiley InterScience.
24. Lin, E.T.J and Lan,L.W (2009), "Accounting for accidents in the measurement of transport inefficiency: a case of Taiwanese bus transit," International Environment and Sustainable Development, Vol. 8, Nos. 3/4, pp. 365-385.
25. Lin, E.T.J, Lan, L.W and Agnes K.Y. Chiu, (April 2010), "Measuring transport efficiency with adjustment of accidents: case of Taipei bus transit,"Transportmetrica, Vol. 6, No. 2, pp.79–96.
26. Massimo Filippini, Rico Maggi and Paola Prioni, (1992) "Inefficiency in a regulated industry the case of Swiss regional bus companies," Annals of Public and Cooperative Economics, Vol. 63, No. 3, pp. 437-455.
27. Nijkamp, P. (1994), "Roads toward environmentally sustainable transport,"

Transportation Research Part A, Vol., 28, No., 4, pp. 261-271.

28. Odeck, J and A. Alkadi (2001), "Evaluating efficiency in the Norwegian bus industry using data envelopment analysis," Transportation, Vol., 28, pp. 211-232.
29. Odeck, J. (2008), "The effect of mergers on efficiency and productivity of public transport services," Transportation Research Part A, Vol., 42(4), pp. 696-708.
30. Peter F.Drucker, (1966), " The Effective Executive: The Definitive Guide to Getting the Right Things Done".
31. Sexton, T. R., and Lewis, H. F. (2003). "Two-stage DEA: an application to major league baseball, "Journal of Productivity Analysis , 19(2),pp. 227-249.
32. Seiford , L.M., and J. Zhu, Profitability and marketability of the top 55 US commercial banks, Management Sci 45 (1999),1270–1288.
33. Tone , K. and Tsutsui, M. (2009), "Network DEA: A slacks-based measure approach," European Journal of Operational Research, 197, pp. 243–252.
34. Viton, P. A. (1997), "Technical efficiency in multi-mode bus transit efficiency: a production frontier analysis,"Transportation Research,Part B, Vol., 31, pp. 23-39.
35. Viton, P. A. (1998), "Changes in multi-mode bus transit efficiency: 1988-1992," Transportation, Vol., 25, pp. 1-21.
36. Yu, M. M. and C. K., Fan (2006), " Measuring the Cost Effectiveness of Multimode Bus Transit in the Presence of Accident Risks" Transportation Planning and Technology, Vol. 29, No. 5, pp. 383-407.
37. Yu, M. M. and C. K., Fan (2009), "Measuring the performance of multimode bus transit: a mixed structure network DEA model" Transportation Research Part E, Vol., 45, pp. 501-515.
38. Yao Chen, Wade D. Cook, Chiang Kao, and Joe Zhu,(2013), "Network DEA pitfalls: Divisional efficiency and frontier projection under general network structures,"European Journal of Operational Research, 226, pp. 507–515.
39. Yongjun Li, Yao Chen, Liang Liang , and Jianhui Xie,(2012), "DEA models for extended two-stage network structures," Omega, Vol., 40, pp. 611–618.
40. Zhou, P., Ang, B. W., and Poh, K. L. (2006), "Slacks-based efficiency measures for modeling environmental performance, "Ecological Economics, Vol., 60, pp.111-118.