

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

輕軌運輸系統與公車專用車道比較之研究

A Comparison study between Light Rail Transit and Exclusive Bus Lane

計畫編號：NSC 89-2211-E-009-025

執行期限：88 年 8 月 1 日至 89 年 7 月 31 日

主持人：黃台生 國立交通大學交通運輸研究所

電子郵件：taishen@cc.nctu.edu.tw

一、中文摘要

本研究由輕軌運輸系統與公車專用車道之容量與服務水準，及成本績效兩方面進行比較研究。研究結果顯示，就容量與服務水準來看：公車專用車道的容量為 9803 人/小時，略高於部分優先號誌下的六軸輕軌系統（9720 公車人/小時），但在容量下的公車專用車道服務速率只有 8.18 公里/小時，低於輕軌運輸系統的 11~22 公里/小時甚多。由此可知，公車專用車道若以密集發車來提高其容量，必定產生嚴重的延滯，輕軌運輸系統因為受到區間閉塞管制，因此發車間距與速率降低均有一定下限。就成本績效方面，從業者觀點來看，輕軌運輸系統每公里造價約從新台幣 5.7 億元到 10.9 億元之間；而公車專用車道無須負擔建造成本，又有降低營運成本、提高營收的好處，公車專用道較受業者支持。而從政府觀點來看，輕軌運輸系統雖可改善大眾運輸服務、空氣污染，但也可能使道路交通惡化、破壞景觀，且投資成本高昂；反觀公車專用車道，政府僅需負擔相對低廉許多之成本，又有提高公車服務水準、改善道路交通之好處，政府亦樂於推動公車專用道。從系統整體觀點來看，輕軌運輸系統在運量大於 8550 人/小時時，其每公里成本將比公車系統低，顯示輕軌運輸系統於此狀況較為適用。在績效方面，輕軌運輸系統之服務水準高，運能及服務速率皆較公車專用車道高，且可改善空氣污染。公車專用車道效益僅為現況之改善，對長久之大眾運輸服務水準、空氣品質並無明顯成效。從社會整體觀點來看，推動輕軌運輸系統將是長久之計。

關鍵詞：輕軌運輸系統、公車專用車道、比較研究

Abstract

A comparison of the capacity, service level, and cost-performance for light rail transit and exclusive bus lane is conducted in this study. The results of this study are as below:
The capacity of exclusive bus lane is 9803 passengers per hour. It's a little bit higher than that of the 6-axis light rail transit under partial priority (9720 passengers per hour). However, when exclusive bus lane reaches its capacity, the operation speed is only 8.18 kilometer per hour. It is much slower than that of light rail transit system at full capacity. As a result, if we want to increase the capacity of exclusive bus lane by

shortening the headway of buses, a serious delay will occur. From the viewpoint of cost-performance, operators will support exclusive bus lane, because exclusive bus lane incurs no construction costs for bus operators, rather could lower their operating costs. Light rail transit, though may help to improve public transport service and cut down air pollution, poses the threat of worsening existing road traffic and spoiling the city image. In addition, the construction cost for light rail transit is relatively higher than that of the exclusive bus lane. But light rail transit will be better than exclusive bus lane when the transit volume exceeds 8,550 passengers per direction per hour. Under this condition, the passenger-kilometer cost of light rail transit is lower than the exclusive bus lane's, and the service level, capacity, and operating speed are all better than those of exclusive bus lane. In general exclusive bus lane will only provide short-term solution to traffic problem, and could not improve the public transportation service and air quality in the long run, but construction of light rail transit will be beneficial in the long run.

Keywords: Light Rail Transit, Exclusive Bus Lane, Comparison Study

二、動機與目的

輕軌運輸系統與台北市行之有年之公車專用車道均非常類似，除了一以軌道列車，一以巴士運行外，在路段上均以欄柵或緣石、標線等分隔方式，維持相當程度之專用路權，而在交叉口處即同樣受到號誌管制。雖然輕軌運輸系統的列車載客數大於公車，但公車之班距(Headway)卻可大幅小於輕軌運輸系統，因此，兩者的容量誰大誰小？服務速率誰高誰低？均不甚明顯。另輕軌運輸系統雖有較可靠、較舒適、較少廢氣及噪音等優點，但亦有成本較高之缺點，因此優劣難作一認定。本研究即由輕軌運輸系統與公車專用車道容量、服務水準，成本績效各方面進行一較全面之比較分析，在此目的下，本研究之研究課題有以下三項：

1. 了解輕軌運輸系統與公車專用車道之系統特性與操作特性。
2. 構建模式，比較輕軌運輸與公車專用車道之容量及服務水準。
3. 釐清輕軌運輸系統與公車專用車道之成本績效，並進行比較分析。

三、研究範圍

本研究之輕軌運輸系統僅考慮平面佈置，並採用與公車專用車道相同之 B 型路權，即在路段上不受行人或其他車輛之干擾，僅在交叉口處與其他車輛同受號誌管制。至於輕軌運輸系統與公車專用車道在容量及服務水準上之比較，本研究選取台北市南京東路三民路至林森北路口之路段作為模擬模式構建與分析之對象；而成本績效之比較則以一般性之狀況作為分析比較之基礎。成本方面包含建造成本與營運成本；績效方面包含對使用者之績效，對非使用者(其他用路人)之績效，以及對環境之衝擊。另成本績效之比較，包含由營運者之觀點，由政府推動政策之觀點，及由社會整體之觀點進行比較分析。

四、研究內容與流程

本研究首先經由文獻回顧[1, 2, 3, 4]，收集整理輕軌運輸系統與公車之系統特性及操作特性，輕軌運輸系統之車輛包含四軸、六軸、八軸三種型式，車輛長度約 14.1m~29.7m，動力來源多以架空線方式供電，由駕駛人依目視號誌駕駛車輛，但有閉塞區間之行車制度，每一閉塞區間只容許一輛車進入，前一閉塞區間有車輛時，後車一定得在一閉塞區間停車等待。公車則為雙軸車輛，車長 10~12m，以柴油內燃機驅動，由駕駛人依目視操作車輛，行車採跟車模式，沒有閉塞區間制。

其次即以 Visual Basic 程式語言，撰寫模擬模式，並以上述台北市南京東路路段為對象調查各路段長度、車站位置、號誌時制、號誌時差(Offset)、公車間距(Headway)、乘客上下車時間分佈等參數值。經模式驗證(Validation)校估(Calibration)等程序後，再進行輕軌運輸系統容量及服務水準(平均服務速率)之分析。而公車專用車道之容量與服務速率。本研究在參考賈毓虎、孫千山、徐淵靜、盧亮甫等人之研究成果[5, 6, 7, 8]後，選擇孫千山君之成作為比較之基礎，亦以前述調查參數代入其研究成果，並校核說明性後，作為分析之依據，進行公車專用車道與輕軌運輸系統容量與服務水準之比較分析。

最後在輕軌運輸系統與公車專用車道成本績效比較分析方面，本研究亦採文獻回顧之方式，收集整理兩者之建造成本、營運成本以及各項績效資料[9~20]，並將其標準化(單位化)後作為比較之基礎。輕軌運輸系統之建造成本包含土地成本、軌道成本、車站成本、機廠成本、電力輸送設備成本、車輛成本等；公車專用車道部份只列候車站土木成本，及土木與交通工程成本兩項。營運費用分為固定成本與變動成本兩大類，輕軌運輸系統之固定成本包含系統設備折舊費、管理與行政人員薪資、訓練費用；變動成本包含車輛折舊費、行車與維修、人員薪資、電費。公車專用車道之營運成本基本上

即採用台北市公車運價計算之十六項成本，唯亦依固定成本與變動成本之精神，將場站成本、業務及管理員工薪資、業務與管理費用、設備折舊費用、稅捐費、財務費用歸為固定成本；將燃料、輪胎、車輛折舊、行車及修車員工薪資、修車材料、行車及修車附支、附屬油料歸為變動成本。在績效方面除對使用者考慮運能、服務速率、班次、舒適性等績效外，尚考慮對道路容量及其他車種運行之影響；而對環境衝擊則考慮噪音、震動、景觀、空氣污染等績效之差異。

五、研究架構

本研究在輕軌運輸系統運行之模擬模式建立完成，並經校估後，即以 60、70、80、90 秒之固定發車間距，記錄其延滯時間(號誌延滯、閉塞區間延滯及車站上下客時間)，計算服務速率。另外再以縮小發車間距，視是否有車發不出去(因前車受阻，閉塞區間不容許發車)之狀況計算其容量，除此以外，本研究並調整交叉之口號誌週期，綠燈時比、是否給予輕軌車輛優先通行，及以前門下車或後門上下車之方式，使用四軸車輛、六軸車輛、八軸車輛分析其對輕軌運輸系統容量及服務速率之影響。

在成本績效方面，本研究首先以成本資料建立輕軌運輸系統與公車專用車道成本與路線長度及運量需求之關係，以分析兩者在不同運量需求下單位成本之差異。對使用者之績效差異分析即以前述模擬分析及各系統特性資料比較之；對非使用者及環境衝擊之績效，則用收集之資料以建設前後(Before and After)之狀況比較之。最後成本績效之綜合比較，則以成本負擔對象，相對績效優劣等項目，分由營運者之觀點，由政府政策推動之觀點，及整體系統之觀點，比較輕軌運輸系統與公車專用車道之優劣。

六、結論與建議

綜合本研究之成果，茲提出 12 項結論及 2 項建議如下：

1. 本研究設定一條仿自南京東路的虛擬公車專用車道，當到達間距最小路段之到達間為 6 秒時，容量最小路段的瓶頸容量為 196.07 輛/小時，相當 9803 人/小時，全線容量為 217.37 輛/小時，相當於 10868 人/小時，此時的服務速率為 8.18 公里/小時。若將到達間距漸漸加長，使容量值漸次減少，可使服務速率提昇，公車專用車道服務速率達到與輕軌運輸相當的 15 公里/小時時，其容量值只有 6100 人/小時。
2. 輕軌運輸系統依車輛型式不同影響容量甚巨，以四軸、六軸、八軸輕軌列車分別乘載 100、180、220 人來計算，在定時號誌下，四軸、六軸、八軸的輕軌系統的容量分別為

- 4800、8280、9680 人/小時；完全優先號誌下，四軸、六軸、八軸的輕軌系統最高容量則達 6800、11340、13200 人/小時，公車專用車道之瓶頸容量介於六軸輕軌列車部分優先與完全優先號誌的容量值之間。
3. 輕軌運輸系統容量之影響因素中，影響程度較大的有綠燈時比、列車軸數與優先號誌，當發車間距同為 60 秒時，綠燈時比由 0.4 提高到 0.6，容量由 7200 提高到 9540 人/小時；軸數由四軸到八軸，容量 5000 提高到 10340 人/小時；號誌由無優先到完全優先時，容量由 8280 提高到 10800 人/小時。
 4. 能使系統在模擬結束時沒有發不出去的列車的最小發車間距定義為「臨界發車間距」，此發車間距下流量即最大，為輕軌運輸系統容量之比較基礎。例如在六軸輕軌系統時，定時號誌、部分優先號誌、完全優先號誌的臨界發車間距分別為 79 秒、67 秒、58 秒；單門下車與多門上下客之臨界發車間距分別為 100 秒與 80 秒。
 5. 輕軌運輸系統在定時號誌下的服務速率介於 13.5~15 公里/小時之間，部分優先號誌時介於 15~17.5 公里/小時之間，完全優先號誌時則介於 20.5~21.5 公里/小時之間，均大於公車專用車道於最大容量下的服務速率，且列車軸數對於服務速率並非主要影響因素。
 6. 輕軌運輸系統在發車間距小於臨界發車間距時，會產生列車受到前車影響無法順利發出的情形，此時流量大致平穩地維持在最大值附近，服務速率也會維持在一定值，定時號誌約為 11.5~12.5 公里/小時，完全優先號誌時約為 14~16.5 公里/小時，超過臨界發車間距後容量開始下降，此時容量開始呈發車間距的倒數關係(容量=3600/發車間距)，並將隨著發車間距增加不斷下降，服務速率則增加至一定值後不再上升，上限值在定時號誌時約為 17~19 公里/小時，完全優先號誌時約為 25~28 公里/小時，這些特性不論在各型輕軌列車亦或不同的號誌優先策略下均相同。
 7. 輕軌運輸系統每公里造價約從新台幣 5.7 億元到 10.9 億元之間，公車專用車道則為 1440 萬元，而每車公里營運成本，輕軌運輸系統隨運量增減，其大小從運量 5000 人/小時之 216 元到 15000 人/小時之 120 元；公車專用車道以台北市公車為例，約為 70 元。就每人公里成本來看，輕軌運輸系統大致亦與運量需求有關，運量越大，每人公里成本越小，分別為 5000 人/小時之 1.5 元、10000 人/小時之 1.03 元、15000 人/小時之 0.85 元；公車則為 1.28 元。
 8. 輕軌運輸系統對道路交通可能有負面影響，架空供電線會破壞景觀，但對空氣污染有相當大之改善。公車專用車道雖可改善道路交通，但對於空氣品質之改善並無太大之效

益。

9. 以業者觀點來看，輕軌運輸系統建造、營運成本高，且收益不確定。而公車專用車道無須負擔建造成本，又有降低營運成本、提高營收之好處，公車專用車道勢必較受到業者支持。
10. 10. 以政府觀點來看，輕軌運輸系統雖可改善大眾運輸服務、空氣污染，但也可能使道路交通惡化、破壞景觀，且投資成本高昂。反觀公車專用車道，政府僅需負擔相對低廉許多之成本，又提高公車服務水準、改善道路交通之好處，政府亦有樂於推動公車專用車道。
11. 11. 以系統整體觀點來看，輕軌運輸系統在運量大於 8550 人/小時時，其每公里成本將比公車系統低，顯示輕軌運輸系統於此狀況下較為適用。
12. 輕軌運輸系統之服務水準高，且可改善空氣污染；公車專用道效益僅為現況之改善，對長久之大眾運輸服務水準、空氣品質並無明顯成效。

建議

1. 本研究之模擬環境乃以南京東路為模型所設定，不同道路環境下之結果可能不同，應可進一步探討。
2. 對於輕軌運輸系統優先號誌的實施，必定會影響路口績效，若要使路口或路網總人延滯最低，應該給予輕軌列車何種程度的優先才合理，亦是值得後續研究的課題。

參考文獻

1. Vukan R. Vuchic, Urban Public Transportation-Systems and Technology, 1981.
2. 交通部運輸研究所，台灣地區引進輕軌系統之可行性研究，民國 87 年 3 月。
3. 中華民國運輸學會，關渡社子島開發之交通衝擊分析及引進輕軌電車構想之研究，民國 87 年 7 月。
4. 交通部運輸研究所，台灣地區引進輕軌系統技術形式選擇之研究，民國 87 年 7 月。
5. 賈毓虎，「公車專用道之容量分析」，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 87 年 6 月。
6. 孫千山，「公車專用道容量推估方法之研究」，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 87 年 6 月。
7. 徐淵靜，「公車專用道容量之研究」，行政院國科會專題研究計畫成果報告，民國 87 年 9 月。
8. 盧亮甫，「台北市公車專用道之運作特性與容量分析：UTSS 模式之應用」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 87 年 6 月。
9. 楊庸昇，「台南大都會區大眾運輸技術選擇之研究-兼論輕軌運輸系統之適用性」，成功大學

- 交通管理科學研究所碩士論文，民國 88 年 6 月。
10. 盧曉櫻，「公車外部效益與費率之最佳化研究」，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 85 年 6 月。
 11. 謝中週，「公車專用道實施方式評估之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 81 年 6 月。
 12. 常華珍，「台北市公車專用道實施方式評估之研究」，交通部運輸研究所碩士論文，民國 86 年 6 月。
 13. 張璋君，「公車專用道對公車業者之效益分析」，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 86 年 6 月。
 14. 台北市交通局，「公車專用道實施前後之公車營運調查」，民國 85 年 10 月。
 15. 簡志華，「市區道路公車專用道設置條件之研究」，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國 86 年 6 月。
 16. 洪勝福，「高運量與中運量捷運系統營運成本比較研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 81 年 6 月。
 17. 蘇坤華，「都市捷運系統車道結構建造成本因素之比較研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 82 年 6 月。
 18. 亞新、鼎漢工程顧問公司，「新竹都會區大眾捷運系統規劃」，台灣省政府住宅及都市發展局委託，民國 85 年 1 月。
 19. 中華工程顧問公司，「台中都會區大眾捷運系統規劃」，台灣省政府住宅及都市發展局委託，民國 85 年 1 月。
 20. 陳志杰，「輕軌捷運系統與公車專用道容量及服務速率比較之研究」，交通大學交通運輸研究所碩士論文，民國 89 年 6 月。