

## 臺北市公車專用道作業特性及容量分析<sup>1</sup>

### Operating Characteristics and Capacity Analysis of the Bus Exclusive Lanes in Taipei City

曾平毅 Pin-Yi Tseng<sup>2</sup>

林豐博 Feng-Bor Lin<sup>3</sup>

張瓊文 Chiung-Wen Chang<sup>4</sup>

林國顯 Kuo-Shian Lin<sup>5</sup>

鄭嘉盈 Chia-Ying Cheng<sup>6</sup>

#### 摘 要

於幹道上設置公車專用道可以改善都市地區之大眾運輸服務，且能減少道路擁擠、能源消耗及空氣污染。從另一方面而言，臺灣都市地區設置之公車專用道通常需要佔用既有車道，故會對於其他車流有負面影響。因此，在何種道路條件下需要設置公車專用道以及專用道如何有效率地運作，乃成為重要研究課題。為探討此課題，有必要正確了解公車專用道之作業特性與容量。號誌控制、公車站設計、駕駛行為、公車收費系統及人流特性，為主要影響公車專用道運作之影響因素。分析性模式很難解釋公車道與其影響因素間之複雜關係。故本文主要在於利用公車專用道現場資料說明其運作特性，另一重點在於說明一能可靠地估計專用道容量及評估運作效率之模擬工具。

**關鍵詞：**公車站、容量、公車專用道、HTSS 模式、作業特性、模擬

1 本文部分內容曾於中華民國運輸學會九十九年年會暨學術研討會中發表。

2 中央警察大學交通學系教授（聯絡地址：333 桃園縣龜山鄉大崗村樹人路 56 號，電話：03-3282321 轉 4619，E-mail: una139@mail.cpu.edu.tw）。

3 美國 Clarkson 大學土木與環境工程學系教授。

4 交通部運輸研究所運輸計畫組簡任研究員。

5 交通部運輸研究所運輸計畫組前任組長，現為交通部路政司副司長。

6 交通部運輸研究所運輸計畫組管理師。

### Abstract

*The implementation of exclusive bus lanes on arterial streets can improve bus transit services in urban areas. It is a transportation management strategy that has the potential to reduce urban congestion, energy consumption, and air pollution. On the other hand, the implementation of an exclusive bus lane in Taiwan usually requires the assignment of an existing lane for the exclusive use by buses. Therefore it can have negative impacts on other traffic flows. Under what conditions exclusive bus lanes are desirable and how exclusive bus lane operations can be made as efficiently as possible are issues that need to be addressed. Resolving these issues requires an adequate understanding of the operating characteristics and capacities of bus lanes. Traffic signal control, bus stop design, driver behavior, fare collection systems, and passenger flow characteristics are major factors affecting the operations of exclusive bus lanes. Analytical models have limited abilities in explaining the complex relationships between bus lane operation and its influencing factors. One objective of this study is to describe the operating characteristics of bus lanes observed in the field. Another objective is to describe a simulation tool that can be readily used to estimate capacities and to assess the operating efficiencies of exclusive bus lanes.*

**Key Words:** *Bus stop, Capacity, Exclusive bus lane, HTSS model, Operating characteristics, Simulation.*

## 一、前言

交通部運輸研究所（以下簡稱運研所）正陸續修訂「2001年臺灣地區公路容量」（運研所，2001），最近幾年的修訂工作重點在於第十一章多車道郊區公路（運研所，2005）及第十三章市區號誌化路口（運研所，2006；2007）。但由於都會區之交通狀況比較複雜，故容量分析之工作的需要也較迫切。運研所自民國96年開始為期三年工作的研究計畫，並已完成第十六章「都市幹道」、第十七章「都市公車」及第十八章「機車專用道」的修訂工作（運研所，2008；2010a；2010b）。

從交通運作之觀點而言，市區公車作業效率除了受道路幾何設計、號誌控制策略及道路車流狀況的影響之外，也受到公車站設置及使用方式之限制。公車專用道（Exclusive Bus Lane）之設置不僅符合鼓勵大眾運輸的交通政策外，更符合「節能、減碳」的世界環保重要議題。雖然要在都市道路中設置公車專用道，有其先天性的幾何條件限制，但只要道路寬度許可之下，設置公車專用道可以有效提升大眾運輸效率與其承載率。目前臺北市已設置多條公車專用道（請參見表1），而其他縣市正積極規劃設置當中。其中，嘉義市已在市區與高鐵車站間的高鐵大道（50公尺寬）之內側快車道，雙向順向設置公車捷運（Bus Rapid Transit, BRT）車道，連接的世賢路、自由路，以及垂楊路則於內側快車道，雙向順向設置大客車專用道，其運作特性均屬於公車專用道之應用。臺中市則在臺中火車站之建國路（公

車站範圍)、福安路(內側快車道,南向順向,福科路至台中港路之間)設置公車專用道。高雄市則在於成功路(外側第二車道,雙向順向,新光路至時代大道間)設置大眾運輸專用道(公車、大客車、計程車均可行駛)。

表 1 臺北市公車專用道實施路段及時間表

路線別	起點	終點	長度 (公里)	佈設方式	行駛方向	實施日期
松江路	民權東路	長安東路	1.54	內側快車道	雙向、順向	1996.1.
新生南路	忠孝東路	和平東路	1.78	外側快車道	雙向、順向	1996.6.
敦化南北路	民權東路	信義路	3.15	外側快車道	南向順向	1996.1.
民權東路	敦化北路	承德路	3.60	內側快車道	雙向、順向	1996.8.
民權西路	承德路	延平北路	0.64	內側快車道	雙向、順向	1998.11.
南京東路	中山北路	三民路	4.20	內側快車道	雙向、順向	1996.7.
仁愛路	中山南路	敦化南路	3.10	外側快車道	西向順、東向逆	1996.7.
仁愛路延伸段	敦化南路	逸仙路	1.20	外側快車道	雙向、順向	1998.10.
信義路	中山南路	基隆路	4.50	外側快車道	東向順、西向逆	1996.7.
重慶北路	酒泉街	南京西路	2.00	內側快車道	雙向、順向	2001.1.
中華路	忠孝西路	愛國西路	1.10	內側快車道	雙向、順向	2001.4.
羅斯福路	和平西路	興隆路	3.10	內側快車道	雙向、順向	2006.5.
新生北路、松江路	長安東路	八德路	0.33	內側快車道	雙向、順向	2006.11.

資料來源：(臺北市交通管制工程處，2010)。

根據營建署之研究(內政部營建署，2008)，設置專用道的條件如表 2 所示。目前臺灣各市區只有臺北市及嘉義市有在幾條幹道上設置公車專用道。這些專用道皆與號誌化路口平面交叉，而且通常只有一車道。除非轉向或特殊原因，公車必須行駛在專用道上。專用道上之公車站可能設在快慢車道之內側或外側。站台寬度一般在 3 公尺左右，長度則可讓 3 到 7 輛的公車同時停靠。為了方便乘客通過路口，專用道的站台通常設置在號誌化路口附近，如圖 1 及圖 2 所示。

表 2 公車專用道設置條件

考慮因素	實施時段	設置條件
公車需求	尖峰時間	尖峰小時公車流量達 50 輛以上，或公車載客量達每小時 2,000 人以上。
	全天	尖峰小時公車流量達 75 輛以上，或 12 小時內 400 輛以上。
道路幾何設施	尖峰時間	在雙向車道上，應至少需有雙向合計四車道寬度 在單行道上，應至少需有三車道。
	全天	在雙向車道上，應至少需有雙向合計六車道寬度 在單行道上，應至少需有三車道。

資料來源：(內政部營建署，2008)。

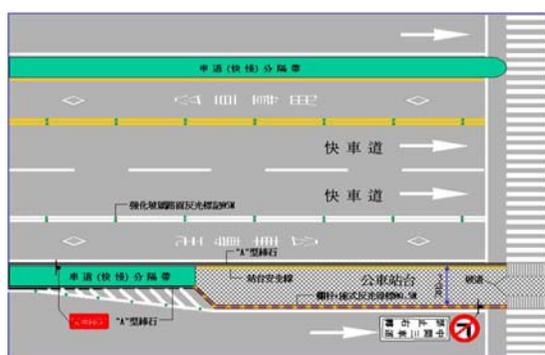


圖 1 快慢分隔路型快車道外側順向公車專用道站台

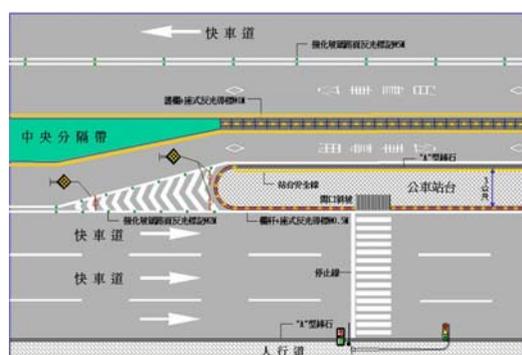


圖 2 中央分隔路型快車道內側順向公車專用道站台

目前臺北市設置公車專用道之型式，主要是一專用車道及停靠站，在停靠站後車無法超越前車。有鑑於目前臺灣對於都市公車專用道作業現況之了解仍不是很完整，而美國 2000 年公路容量手冊 (Highway Capacity Manual, HCM) 之分析方法有一些缺陷，加以影響公車專用道路段容量的因素很多，不易利用分析性模式 (analytical model) 進行分析，因此本研究透過現場調查資料與分析，以增進國內交通界對市區公車專用道作業之了解，並配合運研所推廣公路容量分析軟體之應用，說明如何利用「公路交通系統模擬模式」(Highway Traffic Systems Simulation Model, 簡稱 HTSS 模式)，以進行都市公車專用道容量之估計。

## 二、文獻回顧

從傳統公路容量分析之立場而言，公車系統之容量須根據個別公車路線來分析，才能反應各路線作業性質之差別。因此比較適用的容量定義是

在特定作業狀況下，經常能持續最少 15 分鐘並通過同一定點之最高流率的期望值。根據此定義，容量會隨作業狀況的改變而增減，因此在同一定點之公車容量並不是一固定值。此外，即使在幾何狀況、一般交通狀況及交通控制策略相同的狀況下，能通過一定點的最大流率會有變異。因此容量不是觀察值中之最大流率，而是在不同時段內觀察到之最大流率的平均值。

定義公車服務容量之另一困難是每一公車路線有許多公車站。能在讓乘客上、下車之後通過一公車站之最大公車流率隨公車站之設計（如停車位數及停車位之安排）及乘客上、下車所需之時間間隔而變。換言之，各公車站可能有不同之容量。此外，若一公車路線須利用平面、有號誌化路口之道路，則能通過兩號誌化路口之間路段的最高流率亦受到上、下游號誌控制策略的影響。在此情況下，一公車路線之容量可能隨路段而變。

因為公車路線之容量受許多因素之影響，所以有關公車容量之研究通常必須依賴電腦模擬。例如 Bowes 及 Ban der Mark (1977) 利用電腦模擬探討加拿大首都 Ottawa 市區公車路線之容量。他們發現 Ottawa 市區之公車路線容量可達 150~170 輛/小時。美國 TRB 之 2000 年公路容量手冊 (Transportation Research Board, 2000) 估計公車路線容量的公式如下：

$$B_s = \frac{3600N_e(g/C)}{t_c + (g/C)t_d + Z_a C_v t_d} \quad (1)$$

此式中，

$B_s$  = 公車站之車輛容量 (公車/小時)；

$N_e$  = 有效停車位；

$C_v$  = 停站時間之變異係數 (coefficient of variation) ；

$Z_a$  = 有公車不能在抵達車站時能立即有車位可用之或然率所相關之標準常態變量 (standard normal variate)，公車進站時須先停在車站上游等候車位之或然率為 1%，2.5%，5%，10%，20%，30% 及 50% 時之個別  $Z_a$  值為 2.33，1.96，1.645，1.28，0.84，0.525 及 0.00；

$t_d$  = 公車之停站時間 (dwell time) ；

$g$  = 下游號誌控制之有效綠燈時間 (秒) ；

$C$  = 週期長度 (秒) ；

$b$  = 平均上車時間 (秒/人) 。

$t_c$  = 清站時間，即前一部公車開始加速離開停車位到下一部停等公車進入並停在停車位，開始讓乘客上下車所需時間 (clearance time，秒) ；

式 1 已被採用於 TRB 2000 年之 HCM 及 Transit Capacity and Quality of Service Manual (Transportation Research Board, 2003)。式 1 中之容量代表公車站上游有公車等待進站的或然率不超過禁止上限時，能通過公車站之最大流率。此容量亦受停車位之安排及利用方式之影響。如果停車位之安排能讓已上、下車完畢的公車能立即離開車位及公車站，而且每一空出的車位能讓隨後到達的公車隨時使用，則式 1 中之有效車位數  $N_e$  等於實際之停車位數。一般在市區中之公車站停車位屬線性 (linear) 安排，假設使用線性排列車位之公車不能超越前車，則上、下車已完畢之公車仍須繼續留在停車位，因而該停車位不能有效運用，造成有效車位數低於實際車位數。在這情形下，TRB 2000 年手冊建議利用表 3 所示之有效車位數來估計公車站容量。

表 3 線性實際停車位  $N$  及有效停車位  $N_e$  之關係

實際停車位 $N$	有效停車位， $N_e$	
	道路上停車	專用彎停車
1	1.00	1.00
2	1.85	1.85
3	2.45	2.60
4	2.65	3.25
5	2.70	3.75

資料來源：(Transportation Research Board, 2000)。

式 1 之應用有幾個缺陷。其中一缺陷是沒有考慮到像臺北市公車專用道上站台之作業。臺北市公車專用道公車站之站台，雖然有特定長度讓公車停靠，但公車停站時沒有固定的停車地點，因此實際的停車位數通常受制於第 1 輛公車之停車位置及停站公車之間距。式 1 亦沒有考慮公車站與下游交叉路口停止線之距離對公車站之影響。以臺北市公車專用道上公車站之設置為例，為了乘客的方便，公車站之前端通常緊鄰停止線，因此第 1 輛公車讓乘客上、下車之後如遇到紅燈，則該輛公車仍須佔用公車站，因而延誤了後面公車能進站的時間。如將公車站往上游移動，則有些公車讓乘客上、下車之後可立即離站讓後面車輛能進站讓乘客上、下車。由此可見，估計公車站容量時必須考慮公車站與下游停止線之距離。此外，當一公車路線受到號誌控制干擾時，能通過兩號誌化路口間之路段的最大公車流率受下列三種容量之限制：

1. 同一公車路線在上游路段之容量。
2. 公車站之容量。
3. 公車站下游號誌化路口之車道容量。

式 1 沒有考慮到上游路段容量之影響。其估計方法先將公車停站時間根據  $g/C$  比值調降以估計每小時能離開公車站之公車數，然後假設能通過下游路口之流率等於離開公車站之流率乘以下游號誌之  $g/C$  比值。臺灣公車站有許多設置在路段中點附近。公車離站之後如與其他車輛共用車道，則在尖峰期間，下游車道之總需求流率、飽和流率及號誌控制策略，皆可能影響到能通過下游路口之公車流率。從理論的觀點而言，式 1 利用  $g/C$  比值調整容量的方式也不合理。例如能從公車站離開之流率低於下游能利用綠燈通過停止線之最大流率時， $g/C$  比值應該對公車站容量沒有影響。

因為公車在車站的服務時間對公車能提供的運輸容量有很大的影響，所以交通界對於公車在公車站的服務時間有不少的研究。但資料蒐集方法常不一致，而且影響服務水準因素的性質隨公車系統而異，故以前研究之結果，無法直接整合應用，只適合作參考。

1985 年美國公路容量手冊將公車在車站的服務時間分成兩部分：靠站時間(dwelling time) 及清站時間 (clearance time)。靠站時間指公車停在車站讓乘客上、下車之時間。清站時間包括三項：(1)公車到站停車而車門尚未打開之時間；(2)乘客上、下車完畢門已關閉但尚未加速之時間；及(3)加速行進一車長之時間。2000 年美國 HCM 之靠站時間及清站時間有不同之定義。此手冊將公車到站停車，但車門尚未打開之時間與門打開讓乘客上、下車之時間合併稱為靠站時間。根據美國幾個城市的調查資料，TRB 手冊指出，如包括公車到站停車但門尚未打開之時間 (2~5 秒)，則清站時間在 9~20 秒之範圍內。乘客上、下車的時分則受收費方式、公車之設計 (如車門數、底盤之高度)、公車壅塞程度等許多因素的影響 (Milkovits, 2008; Dueker, *et al*, 2004)。在無站立乘客時，TRB 手冊所列之傳統 (單門設計) 公車乘客上、下車時間如表 4 所示。有站立乘客時，表中之上、下車時間需加 0.5 秒。

表 4 美國傳統公車在無站立乘客時通常之乘客上、下車時間

車 門		上車時間(秒/乘客)		下車時間 (秒/乘客)
使用數	位置	事先付費	代幣付費	
1	前	2.0	2.6 ~ 3.0	1.7 ~ 2.0
1	後	2.0	--	1.7 ~ 2.0
2	前	1.2	1.8 ~ 2.0	1.0 ~ 1.2
2	後	1.2	--	1.0 ~ 1.2
2	前、後	1.2	--	0.9
4	前、後	0.7	--	0.9

資料來源：Transportation Research Board (2000)。

TRB 手冊之資料沒有包括目前各國普遍使用之智慧卡 (Smart Card) 及其他高科技付費方法。美國加州在 1994 年開始試驗利用 radio frequency (RF) 及 integrated circuit (IC) 收費之兩種智慧卡。Chira-Chavala and Coifman (1996) 之研究發現用 IC 接觸卡之付費平均時間為 3.3 秒/乘客，用 RF 卡之平均時間則為 3.5 秒/乘客。另外，在三個公車路線上比較智慧卡及其他收費方法的結果顯示，智慧卡付費之時間只有現金收費時間之 38%~70%，但智慧卡之付費時間與用通行票 (pass) 或代幣 (token) 之付費時間相近，如表 5 所示。

表 5 美國加州三條公車路線上不同付費方式之付費時間

公車路線	付費方式	付費時間(秒/乘客)	
		平均值	標準差
LADOT	智慧卡	3.7	2.9
	現金	9.3	8.4
	代幣	5.8	4.9
	通行票	3.6	3.0
Terrance	智慧卡	3.0	2.0
	現金	7.9	10.3
Gardena	智慧卡	3.3	2.2
	現金	4.7	4.8
	代幣	3.3	1.4

資料來源：Chira-Chavala and Coifman (1996)。

TRB 之 Transit Capacity and Quality of Service Manual (Transportation Research Board, 2003) 也指出用智慧卡付費之通常時間為 3.5 秒/乘客，用磁條 (magnetic stripe) 車票付費的時間為 4.2 秒/乘客，公車有壅塞情況時的付費時間則大約增加 0.5 秒/乘客。Milkouits (2008) 利用 Chicago Transit Authority 蒐集的資料顯示智慧卡之付費時間比磁條車票之付費時間短 1.5~2.5 秒/乘客，但在公車壅塞時，兩者的付費時間沒有差異。

臺灣交通界對公車容量及服務品質之研究很有限，而且集中在公車專用道的作業。藍武王及盧亮甫 (1998) 曾利用模擬探討公車專用道之容量。周義華與賈毓虎 (1999) 探討影響專用道容量之因素。許添本與盧嘉棟 (1998) 曾探討公車進站後靠站位置對容量的影響，他們發現停車位超過 3 時，公車才會有隨機停靠的情形，而且隨機停靠會明顯地降低公車站之容量。張學孔等人 (1997)、張學孔與陳韋伶 (2006) 則探討電子票證對公車乘客服務時間及營運之影響。曹壽民及徐景揚 (2005) 討論非接觸式智慧卡對公車業者之效益。

綜合前述各文獻可知，2001 年臺灣 HCM (運研所，2001) 第十七章雖提供一分析公車設施之相關資料，但該章之內容係採用美國 1985 年 HCM，而該 1985 年 HCM 已被 2000 年 HCM 所取代 (Transportation Research Board, 2003)。這些手冊所提供之分析方法並不適用於臺灣之環境，除了是因為臺灣公車作業特性與美國有所不同之外，美國 2000 年 HCM 估計容量的模式並沒有正確的理論基礎。目前臺灣都市地區已陸續設置公車專用道，尤其是臺北市，但目前臺灣對公車容量及服務品質之研究有限，故有必要進一步蒐集現場作業特性資料，並提供分析容量與服務水準的工具。

### 三、公車專用道運作特性

本研究透過現場調查與分析，藉以了解目前臺北市公車專用道之運作特性。

#### 3.1 自由旅行速率

自由旅行速率 (以下簡稱自由速率) 指不受號誌控制及其他車輛影響時之速率，本研究在敦化北路 4 個路段中點利用雷射測速槍 (laser gun) 蒐集自由速率樣本。臺北市對於公車行駛市區道路 (包括公車專用道) 之速限為 40 公里/小時，其他市區道路的速限絕大多數為 50 公里/小時，速限為 60 公里/小時或 70 公里/小時之道路很少。此外，市區道路上，號誌化路口間距超過 400 公尺的路段不多，因此本研究的現場調查只包括 2 個速限 40 公里/小時之專用道路段及 2 個速限 50 公里/小時之混合車道路段，號誌化路口間距分別是 160 及 440 公尺。

現場資料顯示各調查路段之公車平均自由速率很接近，大約在 37 公里/小時到 41 公里/小時的範圍內。公車在混合車道之速限與在公車專用道之速限相同，但混合車道上公車自由速率約高出 2 公里/小時。號誌化路口間距對平均自由速率之影響也不大，間距從 160 公尺增加到 440 公尺時，平均自由速率大約只增高 1.5 公里/小時。根據這些現象，分析專用道及混合車道上之公車交通作業可將公車平均自由速率設定為 40 公里/小時。有現場資料時，則應根據實際之平均自由速率。

個別公車之自由速率在平均自由速率之 76% 與 140% 之間，如圖 3 所示。如與小車及大車之自由速率相比較 (運研所，2008；2010a)，圖 4 顯示正常化 (自由速率/平均自由速率) 公車自由速率的變異性比其他車種小。

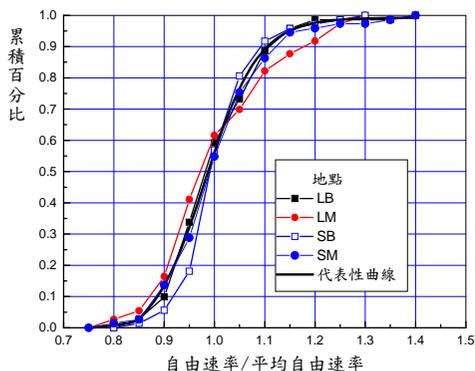


圖3 正常化公車自由速率之累積分布

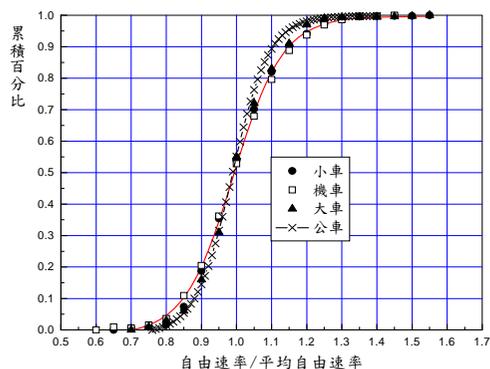


圖4 不同車種正常化自由速率累積分布之比較

### 3.2 停等公車之疏解特性

市區公車離開車站之後的行車效率深受停等公車在號誌化路口疏解特性之影響。本研究在敦化南路與市民大道路口之往南公車專用道蒐集現場資料，此專用道的公車站台長度為 47 公尺，站台前端即是路口之停止線，通常可讓 4 部公車同時停靠。車道寬為 3.2 公尺，號誌週期長度為 200 秒，專用道上公車可用之綠燈時段為 93 秒，黃燈為 4 秒。專用道之速限為 40 公里/小時。因為公車站之最後一部公車乘客上下車完畢，開始加速之後，在站台上游等候的公車才能進站讓乘客上下車，所以能連續疏解的公車通常只有 4 部。

現場資料蒐集乃利用有記憶體之碼錶 (stopwatch) 記錄每一公車後輪通過停止線之疏解車距 (headway)。在第一停等位置之公車疏解車距等於從綠燈開始到後輪通過停止線之所需時間。表 6 為從現場資料整理所得之平均疏解車距及疏解率之統計數據。

表 6 市區專用道停等公車疏解車距及疏解率

停等位置	疏解車距(秒)		疏解率(輛/小時)	樣本數
	平均值	標準差		
1	5.29	1.24	680	55
2	4.34	0.93	829	55
3	4.03	0.73	894	55
4	3.84	0.71	938	40
5	3.67	0.49	982	18
6	3.42	0.60	1051	2
7	3.78	--	952	1

註：調查地點為臺北市敦化南路上市民大道交叉口往南。

### 3.3 公車站停車位之利用

臺北市的公車專用道上公車站之站台長度通常在 45~50 公尺左右，同時可停靠 4 輛標準公車。由於公車到站時之停車位置會影響到後續到達之公車停靠與公車站之容量及旅行速率。本研究在臺北市市民/敦化（往南，U1）及民權/復興（往東，U2）之兩個專用道公車站蒐集資料，以了解公車靠站時利用停車空間之特性，現場調查對象包括了：(1)公車站沒有車輛時，第 1 輛進站公車之停車位置。(2)有數輛公車靠站時，公車之停車間距（車頭到車頭之距離）。

現場記錄公車專用道公車停車位置乃根據站台前端位置作基準，以公車停下之後車頭位置與基準點之距離來代表停車位置。『正』距離表示車頭沒超過基準點，『負』距離則表示車頭超越停止線。表 7 顯示第 1 部靠站公車平均停站位置及相關統計資料。從此表可觀察到，在公車專用道第 1 部公車之平均停車地點距離站台前端大約在 5 到 10 公尺之範圍。因為公車的平車長大約是 11.2 公尺，所以平均有半個到一個車長的站台長度不能讓其他公車使用。此外，如圖 5 所示，第 1 輛靠站公車之停車位置的範圍相當大，有些公車靠站時車頭超越停止線 2 公尺左右。在長度 45 公尺及 47 公尺之站台，沒有超越停止線之第 1 輛靠站公車停車位置離站台前端最遠的距離各達 35 公尺及 38 公尺。換言之，站台後端須有 9 到 10 公尺之站台停車空間，才能讓 1 輛公車停靠。所以如站台長度為  $L$  公尺，最少所需停車空間為  $L_{min}$  公尺（建議值：10 公尺），則第 1 輛公車靠站位置的範圍，從站台前端下游大約 2 公尺處延伸到上游  $L - L_{min}$  公尺。如將第 1 輛之停車位置除以  $L - L_{min}$  ( $L_{min}=10$  公尺) 以正常化，則圖 5 之停車位置的分布可轉換成圖 6 之分布。圖 6 顯示正常化之停車位置的分布隨公車站地點之不同有相當顯著之變異性。因此如果必須準確分析專用道之作業，則宜根據現場調查之結果以訂定停車位置之分布。在沒有現場資料之情況下，用圖 6 之分布可合併成一分布來代表停車位置之分布。

表 7 專用道第 1 輛公車停站位置之相關統計資料

車站代號	站台長度(公尺)	停等位置(公尺)			樣本數(公車)
		平均	標準差	範圍	
U1	47	10.2	9.8	-2~38	150
U2	45	5.6	6.5	-1~35	132

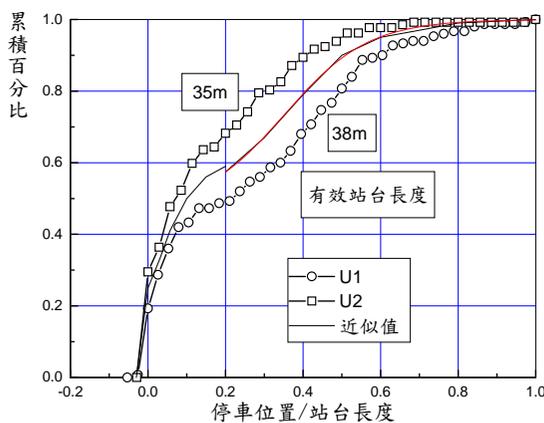
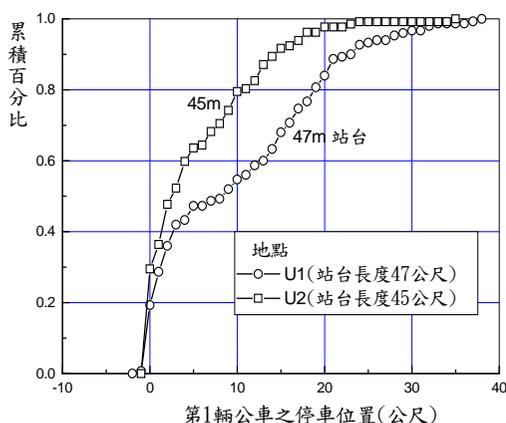


圖 5 專用道第 1 輛公車停車位置之累積分布 圖 6 專用道第 1 輛公車正常化停站位置之累積分布

表 8 顯示專用道上兩停站公車之車頭間距平均值大約為 13.2 公尺。因為公車平均車長為 11.2 公尺左右，所以前車車尾到後車車頭的間距在 2 公尺左右。從表 8 亦可知專用道靠站公車的車頭間距大約是一或兩公車長度。U1 及 U2 公車站靠站公車車頭間距之分布很接近。

表 8 靠站公車車頭間距統計資料

車站代號	車站型態	站台長度(公尺)	車頭間距(公尺)			樣本數(公車)
			平均	標準差	範圍	
U1	專用道	47	13.0	1.8	9~23	187
U2	專用道	45	13.4	1.9	9~24	215

### 3.4 靠站之跟進時間與清站時間

公車站若有專用站台或有畫在鋪面上之公車停車格，則當車站停車空間皆被佔用時，隨後到站的公車理應等在車站上游，讓前方公車離站之後才能進站讓乘客上下車。實際上這現象在路邊公車站少見，因為公車有時超越已靠站之公車然後停車讓乘客上下車，這些公車亦可能停在公車站上游時（尚未進入公車站）就讓乘客上下車，甚至與已停靠站之公車平行停車。

公車靠站跟進時間指一在站外停等公車從加速進站到停在車站內某地點所需之時間。這時間影響專用道的容量及公車之延滯及旅行速率。本研究在臺北市敦化南路與市民大道路口（往南）的專用道，蒐集靠站跟進時間。在調查地點所觀察到的跟進時間雖大約在 12 公尺及 60 公尺之範圍內，

其相關之跟進時間與跟進距離大致有線性的關係。此關係可用下列之迴歸模式 ( $r^2=0.77$ ) 來代表：

$$T_m = 3.5 + 0.18 D \quad (2)$$

此式中， $T_m$  為跟進時間 (秒)， $D$  為跟進距離 (公尺)。在特定跟進距離時，跟進時間之變異範圍大約在式 2 估計值之  $\pm 2$  秒。因為在公車專用道上，一停等公車只能在前方所有停站公車都開始加速離站時才能跟進，所以該停等車成為第 1 輛靠站公車，其跟進可根據專用道第 1 輛停站公車之位置來估計。

清站時間指從乘客上下車完畢 (雙腳落地或雙腳踏上公車) 到公車加速前進一車長所需的時間。公車之清站時間可能受到下游或左側車輛之影響，亦可能受到下游號誌控制的影響。本研究在 3 個公車站蒐集不受干擾情況下之清站時間。根據現場資料，表 9 顯示各調查地點公車平均清站時間及相關之統計資料。平均清站時間在 6.1 秒及 6.5 秒之間。臺北市公車專用道上之清站時間比桃園之平均清站時間 6.6 秒稍低。因為平均清站時間的變異範圍不大，所以在沒有現場資料之情況下，可假設平均清站時間為 6.5 秒。

表 9 無干擾時平均清站時間及相關統計資料

車站代號	專用道車站名稱	平均清站時間(秒)	清站時間標準差(秒)	樣本數	平均清站時間(秒)
A1	民權復興站	6.2	1.3	56	6.3
A2	捷運西門站	6.5	1.1	51	
A3	捷運公館站	6.1	0.9	50	

上述清站時間包括乘客上下車完畢之後到車門關閉並開始加速之時間。為了探討這關門時間之性質，本研究在敦化北路長庚醫院站 (往北) 之路邊車站及民生敦化北路口專用道車站 (往南) 蒐集資料。根據現場資料，專用道站及路邊站之平均關門時間為 1.72 秒及 1.76 秒，其相關標準差各為 0.71 秒及 0.90 秒。

公車讓乘客上下車之後，如果受到號誌或其他車輛之影響，則其清站時間會比在無干擾時的清站時間長。臺北市專用道號誌常會增長公車之清站時間。路邊公車站通常遠離停止線，所以清站時間受號誌之干擾的可能性較小，但車站左側同向之車輛可能阻擋公車之清站，其影響程度隨許多因素而變。TRB 2000 年之 HCM 用一簡單的手續以調整清站時間之估計值，認為在車輛隨機到達之情況下，左側的流率在 100 輛/小時以下不會影響清站時間，車流率每增加 100 輛/小時，則清站時間會增加 1 秒。事實上，左側車流對清站時間之影響會隨公車站及停止線之間的距離而變。

### 3.5 乘客上下車及付費時間之間隔

公車到站時，從同一門上車或下車之乘客可分成無付費乘客及付費乘客。付費乘客之付費方式隨公車系統而異。以臺北都會區之公車為例，乘客可能上車付費或下車付費，付費時可使用現金（通常是硬幣，不找零），或使用非接觸性之悠遊卡(Taipei easy card)。乘客下車時間或付費時間會影響靠站時間，因而亦影響公車站容量及公車之延滯及旅行速率。為了建立一直接利用上下車及付費時間以估計靠站時間之模式，本研究在臺北市蒐集下列資料：

1. 無特殊乘客（如老人、小孩、帶大件行李及其他行動不良之乘客）、公車沒壅塞、無付費之上下車時間之間隔 (headway)。
2. 無特殊乘客、公車沒壅塞、有付費時之付費時間之間隔。
3. 特殊乘客之付費時間之間隔。

本研究沒有蒐集公車壅塞（很多站立乘客）時之上下車或付費時間，其原因是公車內之壅塞程度不易在現場觀察並數據化；而無付費特殊乘客上下車時間很難觀測到大樣本資料，所以本研究沒有蒐集這些資料。

#### 3.5.1 無付費乘客上下車時間之間隔

本研究在表 10 所列之公車站蒐集無付費乘客上下車時間間隔之資料。上車時間代表乘客雙腳、踏上公車之瞬間，下車時間代表乘客雙腳著地之瞬間。從現場資料整理所得之統計數據顯示，從此表可知不論地點、上車或下車，利用前門或後門，平均上下車時間之間隔都在 1.42 秒到 1.57 秒，其差異很小。在這情況下，本研究建議用 1.5 秒來估計無付費而且非特殊乘客上下車時間之間隔。

表 10 無付費/非特殊乘客上下車時間之間隔特性

公車站型式	上/下車	車門使用	公車站	樣本數	平均間隔(秒)	標準差(秒)	平均間隔(秒)	標準差(秒)
臺北市專用道	上車	前門	捷運西門站	67	1.52	0.28	1.50	0.32
		後門	民權復興站	42	1.46	0.37		
	下車	前門	捷運西門站	48	1.46	0.30	1.47	0.30
			民權復興站	84	1.48	0.26		
		後門	捷運西門站	42	1.42	0.33		
			民權復興站	51	1.52	0.34		

### 3.5.2 非特殊乘客之付費時間

付費時間指乘客輪流付費之時間間隔。表 11 所列為公車站蒐集付費時間的資料，顯示之收費時間特性簡述如下：

表 11 臺北市無特殊乘客時專用道上公車乘客付費時間統計資料

付費方式		公車站	樣本數 (公車)	付費時間(秒)		合併之付費時間(秒)	
				平均	標準差	平均	標準差
上車 收費	悠遊卡	民權松江站	111	1.92	0.44	1.92	0.42
		捷運西門站	79	1.96	0.41		
		捷運公館站	65	1.88	0.40		
	投現	民權松江站	28	2.17	0.50	2.06	0.56
		捷運西門站	57	2.01	0.58		
下車 收費	悠遊卡	捷運西門站	65	1.88	0.27	1.81	0.33
		捷運公館站	39	1.85	0.38		
		民權復興站	56	1.77	0.34		
		民權承德站	59	1.75	0.32		
	投現	捷運公館站	76	1.87	0.46	1.92	0.46
		民權承德站	58	1.98	0.45		

1. 付費方式相同時，平均付費時間隨公車站地點不同之變異性很小，所以表 11 不同車站之資料整合，以顯示不分車站時，上下車使用悠遊卡或投現之平均收費時間。
2. 從統計學之觀點而言，上車付費使用現金的平均付費時間確實高於使用悠遊卡的平均付費時間（顯著水準：0.05），但平均差異只有 0.14 秒（分別是 2.06 秒及 1.92 秒）；因此，如果這兩種付費方式之乘客各有 10 人，其總付費時間也只相差 1.4 秒。
3. 下車投現之平均付費時間亦確實比使用悠遊卡的平均付費時間長，但兩者之差異只有 1.1 秒（分別是 1.92 秒及 1.81 秒）；由此知，悠遊卡之主要益處在於方便乘客，並且可改善公車之經營效率。
4. 使用悠遊卡時，上車的平均付費時間確實有高於下車平均付費時間的現象（顯著水準：0.05）。使用現金時，現場上車之平均付費時間（2.06 秒）亦高於下車之平均付費時間，但是投現付費時間之變異性較高，因此不能確定觀察值之差異是因為上車或下車所造成。

### 3.5.3 特殊乘客付費時間

本研究在公車乘客較多之臺北市區蒐集特殊乘客付費時間的資料，調查地點包括了約 12 個公車站。因為特殊乘客很少，而且投現乘客也很少，所以只蒐集到有關悠遊卡付費，是很有限的資料。根據現場資料整理所得之平均付費時間如表 12 所示。所有特殊乘客的平均付費時間為 4.43 秒（標準差 1.94 秒），比非特殊乘客使用悠遊卡的收費時間約長 2.5 秒。

表 12 特殊乘客使用悠遊卡之上車付費時間

乘客屬性	樣本數 (人)	付費時間(秒)	
		平均值	標準差
1.老人	60	4.04	1.49
2.找悠遊卡及悠遊卡感應不良	8	6.93	1.89
3.其他行動不便乘客	12	4.69	2.34

註：其他行動不便乘客包括抱小孩、拖行李、拿大件行李、牽小孩等。

### 3.6 靠站時間

前一節所描述用於估計靠站時間的方法，只能在有乘客起迄點及上下車付費方法之分布的資料時才能應用。目前國內外公車公司一般沒有這種資料，因此分析公車作業效率及容量時所用的資料都是在各停車站公車靠站時間的機率分布。本研究在表 13 所列之專用道停車站蒐集靠站時間，以了解靠站時間之分布特性。現場調查時，調查員記錄每一到站公車之靠站時間，此時間從公車停住到乘客上下車完畢之後公車關門並開始加速之瞬間為止。根據現場資料，表 13 顯示各專用道及路邊調查車站公車靠站時間之平均值、標準差及變異係數。由表 13 可發現：

1. 專用道公車靠站平均時間普遍偏低。雖然調查期間在尖峰時段，平均靠站時間很少超過 15 秒。相對而言，路邊車站的平均靠站時間較長。臺北車站之平均靠站時間最高，達 37.7 秒，臺北市漢中街西門市場站之平均靠站時間也達 30.5 秒。公車專用道靠站時間偏低之原因，有可能多為中間站乘客上下車不多，或是公車服務頻率較高所造成。
2. 靠站時間之變異係數在 0.49 及 0.83 之範圍內，變異係數與平均停靠時間沒有顯著的關聯性。

表 13 臺北市專用道靠站時間之統計資料

調查站	靠站時間			樣本數
	平均(秒)	標準差(秒)	變異係數	
仁愛/中山路口 (往西)	7.2	3.8	0.53	74
仁愛/中山路口 (往東)	9.5	6.5	0.68	96
光華商場 (新生南路往北)	5.3	4.4	0.83	85
光華商場 (新生南路往南)	5.7	3.2	0.56	96
敦化南/市民大道 (往南)	7.3	4.3	0.59	108
捷運公館站 (往北)	15.0	8.6	0.57	65
南京復興路口站 (往西)	15.6	10.6	0.68	173

## 四、公車專用道路段容量之估計工具

### 4.1 基本說明

本研究所指「路段容量」係指從上游路口進入之車流不受限制時，在一小時內經常能從下游路口停止線離開路段之最大流率。容量受許多因素之影響。為方便說明，本研究另外定義下列兩種容量：

1. 公車站容量 (bus stop capacity)：指下列狀況下能讓乘客上下車之後離開車站之最大流率：

- (1) 有不斷的公車等著進站。
- (2) 公車進站及離站不受在下游號誌控制之影響。
- (3) 公車進站及離站時不受車站下游停等車之阻礙。

2. 停止線車道容量 (stop line segment capacity)：此容量為在有不斷之停等車等著進入下游路口時，在一小時內經常能利用綠燈及燈號轉換時段以疏解（進入路口）之最大流率。

公車專用道上之路段不一定有公車站。如沒有公車站，則公車路段容量等於停止線車道容量。有公車站時，路段容量受公車站容量及停止線車道容量之限制，所以路段容量除了受到下游號誌控制的影響外，也受到公車站之設置及其作業特性之影響。相關因素包括站台離下游停止線之距離、站台長度、站台利用之行為、靠站時間、清站及靠站跟進之時間等。有關號誌控制策略之影響因素包括控制方式（如定時號誌、觸動化號誌或適應性號誌）、控制邏輯及是否有公車優先 (bus preemption of signal) 之功能。臺灣目前仍依賴定時號誌來控制路口，所以號誌之週期長度及公車所得之綠燈時段與燈號轉換時段，為影響路段容量之主要因素。本研究只考

慮定時號誌控制。此外，因道路面積的限制，臺灣公車專用道絕大多數只有一車道，因此公車在車站讓乘客上下車之後不能超車。目前只有臺北市敦化北路上兩個路口（南京東路與八德路）有專用道右側增設停靠用的專用停車彎，以讓不必停車或已讓乘客上下車完畢之公車能超越停在公車站之車輛。這種公車作業相當複雜，宜直接用電腦模擬來分析。由於能超車之公車站作業為例外，因此本研究之重點在於專用道公車不能超越前車之作業。

為了提供交通界一分析公車站作業之工具，運研所利用前述之公車專用道現場資料微調公路交通系統模擬模式 (Highway Traffic Systems Simulation Model, 簡稱 HTSS 模式)，並將在運研所之網站提供分析軟體及輸入檔案例，讓有興趣的使用者免費下載。

HTSS 模式可以模擬公路交通系統中獨立路口、幹道、及網路，為一微觀模擬模式。此模式以每秒為單位更新車輛之位置及速率，並估計下列績效指標：平均每車之停等延滯、平均每車之總延滯、平均每週期最長停等車隊長度，及各路段之平均旅行速率。HTSS 模式第三版乃根據運研所在民國 95 年及 99 年之間蒐集之郊區及市區車流特性資料微調之結果，HTSS 模式目前可讓使用者模擬有 49 個號誌化路口之系統。

HTSS 模式可利用有 Windows 98 以上作業系統之電腦來運作。使用者只須將 HTSS 之執行檔及輸入檔放在同一子目錄(folder)中即可執行模擬。執行檔之檔名為 HTSS-V3.exe，輸入檔及輸出檔之檔名各為 HTSS.txt 及 HTSSout.txt。有興趣的使用者可從運研所之網站 (<http://www.iot.gov.tw/>) 下載執行檔及輸入檔範例 (如 ISO2P.txt, ISO4P.txt, ART1.txt, ART2.txt, ART3.txt, ART4.txt 及 NET1.txt)。其中之 ReadHTSS.pdf 檔對這些範例所模擬之設施有簡單的說明。「2001 年臺灣地區公路容量手冊」第 11 章及第 16 章之修訂版 (可由運研所網站下載) 對這些範例的應用有進一步的說明。利用前述之公車專用道現場資料與微調 HTSS 模式，目前的 HTSS 模式已經可以用於模擬公車專用道作業與分析路段容量 (運研所, 2010b)。

以下本研究分別說明如何運用 HTSS 模式，估計公車專用道之容量 (輸入檔 Busiso2p.txt) 及評估專用道之作業 (輸入檔 Artbus.txt)。關於輸入檔之各檔型 (Type) 輸入細節，讀者可於運研所網站下載 ReadBus.doc，內有詳細的說明。

## 4.2 估計公車專用道之容量

Busiso2p.txt 是 HTSS 模式之一輸入檔，此檔可用來估計公車專用道上公車站容量及公車路段容量。公車站容量指在有持續的公車等著進站而且公車站下游的車輛及號誌化路口的作業不影響公車離站之情況下，能離站之最大

公車流率。根據此定義，欲估計公車站容量時，公車站必須遠離下游路口停止線，而且下游號誌化路口給公車使用之綠燈必須很長（如 200 秒），而且公車面臨之紅燈必須很短（如 6 秒）。

路段指在兩鄰近號誌化路口之間的街道。公車路段容量指在不斷的公車等著進站時，能離站並通過停止線之最大流率。此容量受站台長度、有無公車彎、公車站與下游停止線之距離、號誌控制策略等因素之影響。

Busiso2p.txt 所模擬的範圍涵蓋一獨立號誌化路口。此路口之相關東行路段有一公車專用道，如圖 7(a)所示。該路段為模擬路網之第一節線(Link)，如圖 7(b)所示。此路段有 2 車道，第 2 車道為公車專用道。專用道上有一公車站；車站的設置如圖 7(c)所示。HTSS 模式使用者可利用輸入檔調整停車彎之有無及有效長度，並設定公車站站台長度及站台與下游路口停止線之距離。

上述路口有一 2 時相之定時號誌。公車專用道之公車可用第 1 時相之綠燈及黃燈時間進入路口。在輸出資料檔中，節線 1 (Link 1) 之第 2 車道(Lane 2) 的流率代表在模擬期間從公車專用道進入路口之流率。

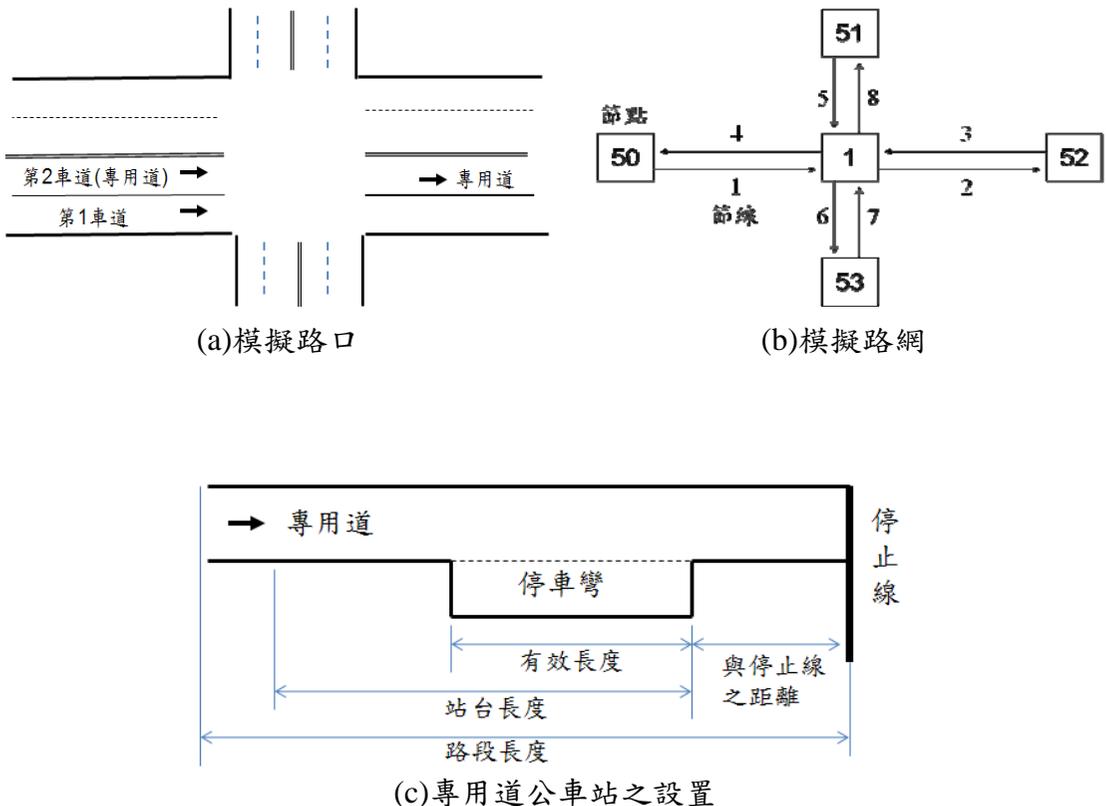


圖 7 Busiso2p.txt 所模擬公車專用道及相關路口及模擬路網示意圖

應用 Busiso2p.txt 時，使用者可能須修改有些輸入資料。這些輸入資料屬於不同檔型。檔型之代號為 Busiso2p.txt 中第一欄位之數值。例如 Busiso2p.txt 中第一行之輸入值為“1 0 30”。第一欄位之“1”表示此行資料為檔型 1 資料。使用者可能須修改之檔型資料包括檔型 1 (模擬次數)、檔型 2 (熱機時間、模擬時間)、檔型 3 (隨機亂數)、檔型 7 (進入專用道之公車流率)、檔型 17 (路段長度)、檔型 20 (公車型態代號、站台與下游停止線之距離、站台長度、停車彎有效長度)、檔型 22 (公車平均靠站時間)、檔型 52 (號誌資訊)。

#### 4.2.1 公車站容量

表 14 為根據 Busiso2p.txt 模擬 10 次之輸出檔(進行較多次的模擬實驗，可以增加模擬結果的說服力，如欲調整模擬次數，只要修改檔型 1 之模擬次數即可)。公車專用道上根據檔型 20 資料，模擬之公車站距離下游停止線 450 公尺，車站之站台長度為 45 公尺 (可同時停靠 4 部公車)，無公車停車彎 (公車必須依序停靠，不能超越前面的公車)，號誌狀況為綠燈 220 秒、黃燈 3 秒、全紅 1 秒、紅燈 6 秒，週期 230 秒。此一幾何設計與號誌時制是因為本次模擬的目的是估計公車站容量 (不受號誌控制影響)，故除了車站須遠離路口之外，幾乎所有在一週期內之綠燈應分配給專用道。

表 14 Busisop2p.txt 模擬分析結果之樣本

<p>The following lanes are exclusive bus lanes:                  (See Types 7, 19, 20, 21, and 22 data for details)</p> <p>Link 1 Lane 2                  Link 2 Lane 2</p> <p>FLOW = departure rate from link, vph                  STOPPED DELAY = Average stopped delay, in s/vehicle                  TOTAL DELAY, in s/vehicle = average of link travel time minus free-flow travel time                  QUEUE LENGTH, in m = average length of maximum queue length per cycle                  MEAN SPEED = average link travel speed, in kph                  INITIAL QUEUE = queue length at start of data collection (red light begins)</p> <p>LOS = level of service based on stopped delay</p> <table> <tr> <td>LOS=A</td> <td>stopped delays &lt;= 15 s/veh</td> </tr> <tr> <td>LOS=B</td> <td>&gt;15 and &lt;= 30</td> </tr> <tr> <td>LOS=C</td> <td>&gt;30 and &lt;= 45</td> </tr> <tr> <td>LOS=D</td> <td>&gt;45 and &lt;= 60</td> </tr> <tr> <td>LOS=E</td> <td>&gt;60 and &lt;= 80</td> </tr> </table>	LOS=A	stopped delays <= 15 s/veh	LOS=B	>15 and <= 30	LOS=C	>30 and <= 45	LOS=D	>45 and <= 60	LOS=E	>60 and <= 80
LOS=A	stopped delays <= 15 s/veh									
LOS=B	>15 and <= 30									
LOS=C	>30 and <= 45									
LOS=D	>45 and <= 60									
LOS=E	>60 and <= 80									

		LOS=F		>80					
*****									
****Summary(Means) of LINK/LANE Statistics****									
Sample Size (number of runs)= 10									
Stopped Total Queue Mean									
Initial	Link	Lane	Flow	Delay	LOS	Delay	Length	Speed	
Queue	1	2	316	541.1	F	672.4	0.0	3.1	
1.4	2	2	315	0.0	A	1.1	0.0	38.3	
0.0									
*****									
Failure Rates and Maximum Queues at Bus Stops in Exclusive Bus Lanes									
(1) Failure Rate: percent of arriving buses that have to wait for empty berths									
(2) Maximum Queue behind Bus Stop: the largest number of buses waiting to enter bus stop at any instant									
	BUS STOP	Failure	MAX QUEUE behind Stop						
LINK	ID	Rate, %	Buses						
1	1	99.9	187.1						
*****									

模擬時輸入專用道之流率為 500 公車/小時，但表 14 顯示每小時只有 316 部公車能從專用道 (Link1, Lane2) 離開並進入下游 450 公尺之路口，且專用道平均停等延滯高達 541.1 秒/公車。這表示專用道之公車站容量大約為 316 公車/小時。表 14 亦顯示專用道車流之平均速率只有 3.1 公里/小時，到站公車沒有空位可進站之百分率 (失敗率) 為 99.9%，公車站上游最長停等車隊長度為 187.1 部公車。

前述相同狀況如增加站台長度為 57 公尺 (約可增加 1 部公車停靠) 進行模擬，則可發現公車站容量可增加至 363 公車/小時。相較於 45 公尺之 4 部公車停靠車位 (公車站容量為 316 公車/小時)，公車站容量約提升 (363-316=) 47 公車/小時，約 (47/316=) 15%。

#### 4.2.2 公車路段容量

目前臺北市最常配置之公車站位係緊鄰號誌化路口之停止線，故本研究另外模擬分析最常見之號誌時制下的公車路段容量。因此，本研究設定檔型 20 資料，模擬之公車站距離下游停止線 0 公尺，車站之站台長度為 45 公尺（可同時停靠 4 部公車），無公車停車彎（公車必須依序停靠，不能超越前面的公車），號誌狀況為綠燈 90 秒、黃燈 3 秒、全紅 1 秒、紅燈 86 秒，週期 180 秒。

模擬結果顯示，由上游輸入專用道之流率為 300 公車/小時，但每小時只有 193 公車能從專用道離開並通過路口。而專用道之平均停等延滯高達 632.7 秒/公車。這表示公車專用道之路段容量大約為 193 公車/小時。

前述相同狀況如增加站台長度為 57 公尺（約可增加 1 部公車停靠）進行模擬，則可發現其容量可增加至 217 公車/小時。相較於 45 公尺之 4 部公車停靠車位（公車路段容量為 193 公車/小時），公車站容量約提升  $(217-193) \div 193 = 11.4\%$ 。

#### 4.3 評估公車專用道之作業

進入一路段之公車數及時間受上游路段號誌控制之影響。Busiso2p.txt 沒有模擬上游路口之作業，所以不適用於評估公車作業。因此，運研所網站亦提供 Artbus.txt 來評估公車專用道路段之作業。

Artbus.txt 所模擬之路段及相關模擬路網如圖 8 所示。此路網中，節線 3 之第 2 車道，節線 5 之第 3 車道，節線 6 之第 3 車道及節線 7 之第 3 車道為公車專用道。評估對象為節線 6 之專用道。節線 3, 5, 6 及 7 各有一公車站。有兩公車路線（1 及 2）使用此路網，第 1 公車路線使用節線 5, 6 及 7，並須在這些節線上之公車站停車。第 2 公車路線使用節線 3, 6 及 7，但只須在節線 3 及 6 之公車站停車。節點 1 及 2 為號誌化路口。各路口有 2 時相定時號誌。第 1 時相給節線 5, 6 及 7 使用。節點 1 路口之第 2 時相給節線 3 之公車使用。兩路口之號誌可連鎖。連鎖時相為各路口之第 1 時相。連鎖必須使用同樣的週期長度。

如同 Busisop2P.txt 之應用，使用 Artbus.txt 時可考慮修改下列檔型資料：

1. 檔型 1 之模擬次數。
2. 檔型 2 之模擬時間。
3. 檔型 7 兩公車路線發車之流率。
4. 檔型 20 節線 3, 5, 6 及 7 之公車站的型態，與停止線距離，站台長度，及公

車彎長度。

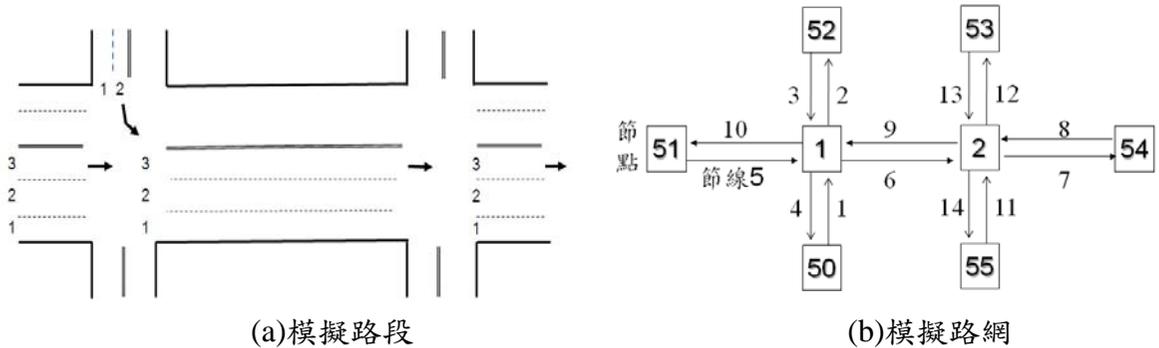


圖 8 Artbus.txt 所模擬公車專用道路段及相關路網示意圖

- 5.檔型 21 節線 6 及 7 公車站所服務之公車路線代號 (1 或 2)。
- 6.檔型 22 節線 3, 5, 6 及 7 各公車站上公車之平均停靠時間。
- 7.檔型 52 各路口 (節點 1 及節點 2) 各時相 (1 或 2) 之綠燈、黃燈及全紅時段(秒數) 之 10 倍。

Artbus.txt 之檔型 49 資料要求輸出公車行駛節線 5, 6 及 7 之平均速率及行駛節線 3, 6 及 7 之平均速率。根據 Artbus.txt 所模擬之輸出檔，如表 15 所示。

由表 15 知評估對象節線 6 上之公車專用道每小時約有 280 輛公車可離開進入下游路口。而且專用道之平均停等延滯為 66.3 秒/公車，服務水準為 E 級，平均速率 17.4 公里/小時，到站公車沒有空位可進站之百分率（失敗率）為 95.2%，公車站上游最長停等車隊長度為 11.5 部公車。而公車行駛節線 5, 6 與 7 及節線 3, 6 與 7 之平均速率分別為 21.4 公里/小時及 19.3 公里/小時。但若在節線 6 上之停靠時間由 10 秒增加到 15 秒，則每小時僅有 237 輛公車可離開進入下游路口，平均停等延滯增為 136.7 秒/公車，服務水準降為 F 級，服務失敗率增為 98.2%，上游最長停等車隊長度增為 28.5 部公車。

表 15 Artbus.txt 模擬分析結果之樣本

<p>The following lanes are exclusive bus lanes:                  (See Types 7, 19, 20, 21, and 22 data for details)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Link 3 Lane 2</li> <li>Link 5 Lane 3</li> <li>Link 6 Lane 3</li> <li>Link 7 Lane 3</li> </ul> <p>FLOW = departure rate from link, vph                  STOPPED DELAY= Average stopped delay, in s/vehicle                  TOTAL DELAY, in s/vehicle = average of link travel time minus free-flow</p>
---

travel time								
QUEUE LENGTH, in m = average length of maximum queue length per cycle								
MEAN SPEED = average link travel speed, in kph								
INITIAL QUEUE = queue length at start of data collection (red light begins)								
LOS = level of service based on stopped delay								
LOS=A      stopped delays <= 15 s/veh								
LOS=B      >15 and      <= 30								
LOS=C      >30 and      <= 45								
LOS=D      >45 and      <= 60								
LOS=E      >60 and      <= 80								
LOS=F      >80								
****Summary(Means) of LINK/LANE Statistics****								
Sample Size (number of runs)=      2								
Stopped      Total      Queue      Mean								
Initial								
Queue	Link	Lane	Flow	Delay		Delay	Length	Speed
0.0	3	2	100	35.7	C	55.9	0.0	15.6
0.0	5	3	201	20.6	B	38.5	0.0	23.5
3.5	6	3	280	66.3	E	95.1	0.0	17.4
0.0	7	3	272	11.2	A	21.2	0.0	28.2
*****								
Failure Rates and Maximum Queues at Bus Stops in Exclusive Bus Lanes								
(1) Failure Rate: percent of arriving buses that have to wait for empty berths								
(2) Maximum Queue behind Bus Stop: the largest number of buses waiting to enter bus stop at any instant								
BUS STOP      Failure      MAX QUEUE behind Stop								
LINK	ID	Rate, %	Buses					
3	1	0.0	0.0					
5	1	2.8	1.0					
6	1	95.2	11.5					
7	1	23.9	2.5					
*****								

\*\*\*\*\*LINK Chain Statistics\*\*\*\*\*

Chain= 1

IDs of Links in the Chain

5 6 7

Speed Limit in km/h= 50.0

Average Spacing in m= 667

AVERAGE SPEED in km/h= 21.4

Standard Deviation in km/h= 1.9

Level of Service= D

\*\*\*\*\*LINK Chain Statistics\*\*\*\*\*

Chain= 2

IDs of Links in the Chain

3 6 7

Speed Limit in km/h= 50.0

Average Spacing in m= 600

AVERAGE SPEED in km/h= 19.3

Standard Deviation in km/h= 1.8

Level of Service= E

## 五、應用分析

Busiso2p.txt 可用於估計公車專用道之容量，本研究進一步用於探討站台長度之影響、站台與下游停止線距離之影響、平均靠站時間對容量的影響、公車專用道站台使用方式對路段容量之影響。

### 5.1 站台長度之影響

站台長度限制能同時靠站之公車數。車長 11.5 公尺時，除了最後一部靠站公車之外，每一公車大約需 13.5 公尺之站台長度讓乘客上下車。最後一部公車只需大約 10 公尺之站台。如圖 9 及圖 10 所示，能同時靠站之公車數增加時，路段容量亦隨著增加，但增加率隨站台長度而減小。這現象是因為靠站公車讓乘客上下車完畢之後，如果前方公車尚未讓乘客上下車完畢，則須停在公車站直到前方公車開始加速才能隨著離站。站台長度每增加一可停靠的公車，讓公車受前方公車阻礙機會增大，故此效率會降低。

站台長度對路段容量之影響亦隨站台與停止線之距離，平均靠站時間等因素而變。以圖 9 及圖 10 所示之關係為例，站台離開下游停止線越遠，增加站台長度對改善容量的效益越高。但站台與停止線的距離超過某一限度時，站台長度對容量的影響程度不再增加。例如平均靠站時間為 10 秒（圖 9），而且站台緊靠停止線時，平均每增加 1 靠站公車之站台長度會增加大

約 30 輛/小時之容量。站台與停止線距離超過 180 公尺之後，平均每增加 1 靠站公車之站台長度會固定增加大約 60 輛/小時之容量。從圖 9 及圖 10 亦可知，平均靠站時間增長時，增加 1 靠站公車，站台長度對改善容量之效益會減小。

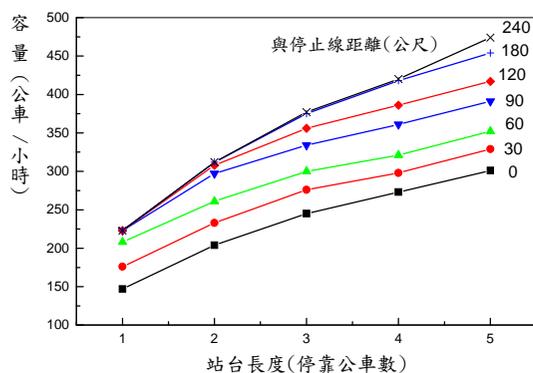


圖 9 站台長度對路段容量之影響(週期長度=180s，綠燈時段=108s，平均靠站時間 10s)

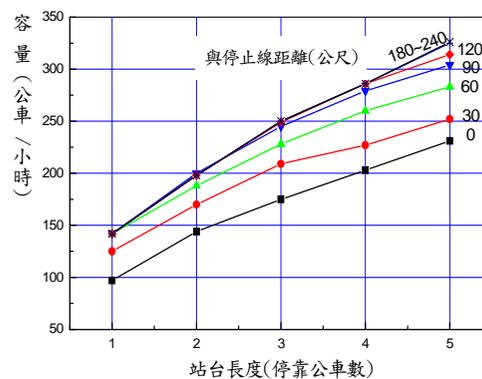


圖 10 站台長度對路段容量之影響(週期長度=180s，綠燈時段=108s，平均靠站時間 20s)

## 5.2 站台與下游停止線距離之影響

站台與下游停止線之相對位置對容量有相當大的影響。目前臺北市公車專用道上站台之前端多緊靠路口之停止線。當第 1 輛靠站公車讓乘客上下車之後，如遭遇到紅燈，則該公車不能離站，因而在站台上游等候之公車不能進站。在這種情形下，站台不能充分利用，導致路段容量偏低。如將站台向上游移動，讓公車能在乘客上下車完畢之後離站，則路段容量應可增高。圖 11 及圖 12 顯示這現象。這兩圖明顯指出，在號誌控制狀況，站台長度及平均靠站時間固定時，路段容量隨站台與停止線距離之增加而增高，但距離增加到某一程度之後，容量不能再增高。這現象是因為公車站之容量有限。當能離站之公車不受站台下流車輛或號誌紅燈阻礙時，增加站台與停止線之距離就失去其影響力。圖 11 及圖 12 亦顯示站台與停止線距離對容量的影響程度受站台長度(亦即同時能靠站之公車數)，平均靠站時間等因素之影響。以圖 10 平均靠站時間為 20 秒之情形為例，如果能同時靠站之公車數為 1，則站台與停止線距離從 0 公尺增到 60 公尺時，容量從大約 100 輛/小時升高到大約 140 輛/小時。但距離超過 60 公尺之後，容量不再增高。另一方面，如果同時能靠站的公車數為 5，則距離超過 60 公尺之後，容量仍可繼續上升，直到距離超過 210 公尺之後容量方不再增加。圖 9 平均靠站時間為 10 秒之資料亦顯示同樣的現象。因此可知站台越

長，其離停止線之距離也應越大，才能充分利用站台之潛在功能。此外，圖 11 及圖 12 也顯示平均靠站時間較低時，增加站台與停止線之距離對容量有較大的改善功能。

增加站台與下游停止線之距離雖可改善容量，但亦會造成乘客進出車站之不便，因為行走到下流號誌化路口之距離會增大。所以站台與停止線之距離必須在乘客願意接受的範圍內。為了乘客方便而增加與下游停止線之距離也不宜將站台設置在很接近上游路口之地點，因為在尖峰有大量的公車欲進站時，等著進站的公車可能回堵到上游路口。

### 5.3 平均靠站時間對容量的影響

當公車站作業與下游號誌控制及車流有互動關係時，容量與平均靠站時間的關係相當複雜，本研究測試了幾個站台長度，站台與下游路口之距離，及號誌控制策略會改變容量與平均靠站時間的關係，如圖 13 到圖 16 所示。

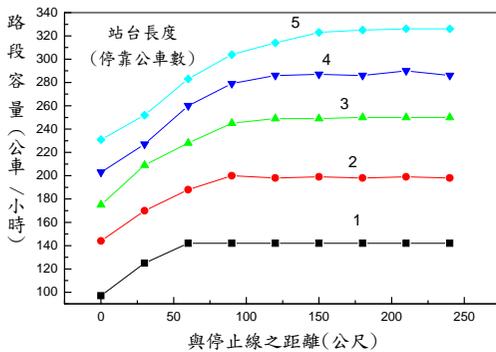


圖 11 站台與下游停止線距離對路段容量之影響(週期長度=180 秒，綠燈時段=108 秒。平均靠站時間=20 秒)

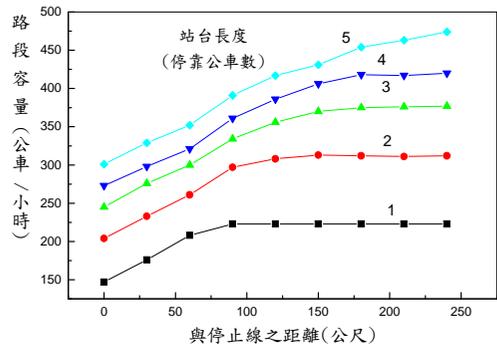


圖 12 站台與下游停止線距離對路段容量之影響(週期長度=180 秒，綠燈時段=108 秒。平均靠站時間=10 秒)

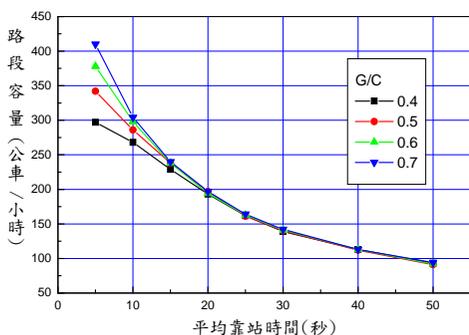


圖 13 路段容量隨靠站時間及綠燈/週期 (g/C) 比之變化(站台長度=25 公尺，站台與停止線距離=60 公尺，週期長度 C=90 秒)

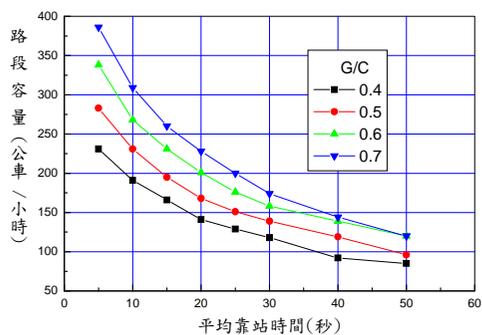


圖 14 路段容量隨靠站時間及綠燈/週期 (g/C) 比之變化(站台長度=50 公尺，站台與停止線距離=0 公尺，週期長度 C=120 秒)

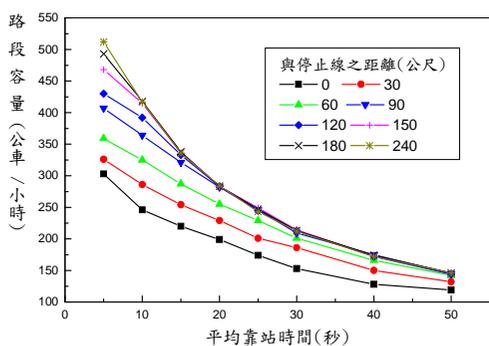


圖 15 路段容量隨靠站時間及站台與停止線距離之變化(站台長度=65 公尺，週期長度 C=120 秒，綠燈 g=60 秒)

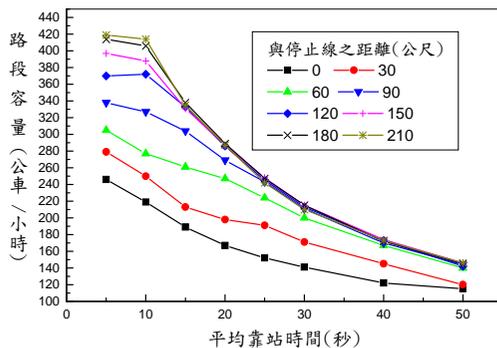


圖 16 路段容量隨靠站時間及站台與停止線距離之變化(站台長度=50 公尺，週期長度 C=120 秒，綠燈 g=48 秒)

一般而言，靠站時間與路段容量有非線性關係。靠站時間一增加，路段容量隨著降低，但降低率隨靠站時間而減緩。圖 13~圖 16 亦顯示靠站時間對容量之影響隨其他影響因素 (如號誌控制及與停止線之距離) 而變。

### 5.4 公車專用道站台使用方式對路段容量之影響

第三節指出臺北市專用道公車靠站時第 1 輛公車車頭位置的範圍從站前端下游約 2 公尺處延伸到站前端下游約 9~10 公尺處。第 1 輛靠站公車下游之站台不能讓其他公車使用。此外，後到公車不一定緊靠前車。

在一般街道上停等車之間的距離通常在 2 公尺左右，大約有 5% 到 10% 之情況下，靠站公車佔據 15 公尺到 23 公尺之站台長度。換言之，前車車尾到後車車頭之間距可能超過 10 公尺。這些大的間距也會降低站台之使用效率並連帶的減低公車站及路段容量。

從公車靠站之觀點而言，高效率站台使用須有下列原則：(1)第 1 輛靠站公車的車頭皆在站台前端。(2)靠站公車之車頭與前車車尾保持大約 2 公尺之距離。

本研究進一步利用 HTSS 模式模擬以比較現況站台使用方式及上述高效率使用方式之路段容量。模擬狀況說明如下：

- 1.一般車道上停等車之間距在 1.2 公尺與 2.8 公尺之間，隨機均勻變化。
- 2.號誌週期長度為 90 秒及 180 秒。公車專用道所得之綠燈時段為週期之 40%，50% 或 70%。綠燈轉換時段固定為 4 秒。
- 3.站台長度包括 12 公尺，25 公尺，38 公尺，50 公尺及 65 公尺，各相當於同時能停靠 1 到 5 輛之大型公車。
- 4.站台前端離下游停止線之距離為 0，15，20，30，40 或 50 公尺。
- 5.平均靠站時間為 5，10，15，20，25，30，40 或 50 秒。

模擬結果如圖 17 所示。從此圖可知現況使用方式之容量比高效率使用方式下之容量低，但兩者有很明顯之線性關係。如將模擬資料依綠燈/週期比(g/C)予以細分，則現況使用方式與高效率使用方式下之容量有如表 16 之線性關係。

表 16 現況站台使用方式與高效率使用方式下路段容量之關係

綠燈/週期比值	迴歸模式	模式 $R^2$ 值
0.4	$Q_a = -3.2 + 0.92Q_h$	0.973
0.5	$Q_a = 1.7 + 0.89Q_h$	0.978
0.7	$Q_a = 8.0 + 0.84Q_h$	0.988

$Q_a$ =現況使用方式之相關容量（公車/小時）。

$Q_h$ =高效率使用方式之容量（公車/小時）。

表 16 之模式涵蓋站台距離下游停止線從 0 公尺到 240 公尺之站台設置，且站台長度可同時停靠 1~5 輛公車。若只考慮臺北市目前公車站前端緊靠下游停止線而且車站長度能同時停靠 4 輛公車之情形，則現況站台使用方式及高效率使用方式所屬之容量有如圖 18 顯示的關係。這些關係可用表 17 所列之迴歸模式來代表。

表 16 之迴歸模式顯示  $Q_h$  在大約 100~600 公車/小時之範圍內。現況使用方式之容量大約只有高效率容量之 86%~92%。根據臺北市一般之車站

設置現況，綠燈/週期 ( $g/C$ ) 比值為 0.4, 0.5 及 0.7 時之路段容量範圍大約各為 90~250, 100~300 及 120~400 公車/小時。在這範圍內，表 17 之模式表示現況使用方式之路段容量大約是高效率容量之 87%~92%。因此採用高效率站台使用方式大約可將目前之公車道路段容量增加大約 10%。

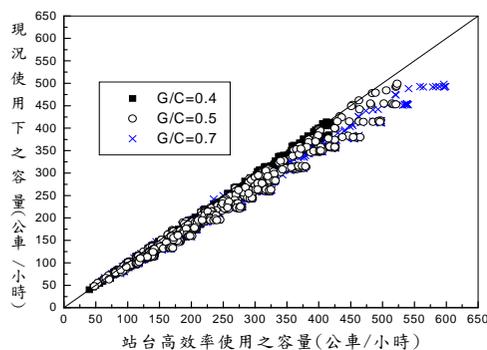


圖 17 站台長度現況與高效率使用之路段容量比較(所有的樣本)

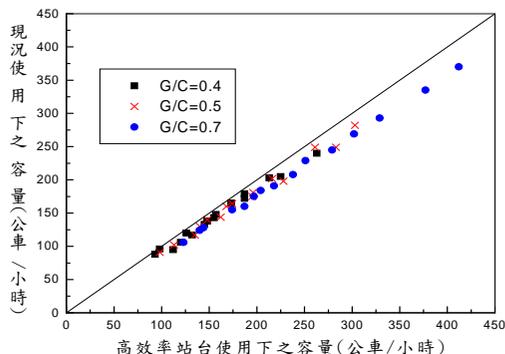


圖 18 站台長度現況與高效率使用之路段容量比較(與停止線距離 0 公尺，站位長度 = 4 公尺)

表 17 現況站台使用方式與高效率使用方式下路段容量之關係 (同時能靠站公車數=4 輛，站台與停止線距離=0 公尺)

綠燈/週期比值	迴歸模式	模式 $R^2$ 值
0.4	$Q_a = -0.5 + 0.93Q_h$	0.981
0.5	$Q_a = 0.2 + 0.92Q_h$	0.992
0.7	$Q_a = -3.5 + 0.90Q_h$	0.993

$Q_a$ =現況使用方式之相關容量 (公車/小時)。

$Q_h$ =高效率使用方式之容量 (公車/小時)。

## 六、結語

有鑑於目前臺灣對於都市公車專用道之作業現況了解仍不是很完整，而美國 2000 年 HCM 之分析方法有一些缺陷，因此本研究透過現場調查資料與分析，以增進國內交通界對市區公車專用道作業之了解，並配合運研所推廣公路容量分析軟體之應用，說明如何利用 HTSS 模式，以進行都市公車專用道容量之估計。經由現場調查與分析發現：

1. 公車專用道之平均自由旅行速率隨路口間距的變化很小，約為 40 公里/小時。

- 2.公車專用道上第1輛公車靠站時，車頭與站台前端之平均距離約6~10公尺，因此常有站台不能有效利用之情形。
- 3.公車專用道等著進站之公車，從加速前進然後減速並停車靠站之時間，與跟進距離有明顯之線性關係。
- 4.乘客上下車完畢之後加速並前進一車長所需的時間，平均約6.1~6.9秒。
- 5.公車平均靠站時間在7~16秒之範圍。
- 6.停等公車疏散時，在第1停等位置之公車之疏散車距平均為5.29秒，在第5停等位置之平均車距降低為3.67秒。

本研究利用前述之現場資料與微調 HTSS 模式，目前的最新 HTSS 模式版本已經可以用於模擬公車專用道作業與分析路段容量。為了便利於使用者估計公車專用道容量及評估公車專用道之作業，本研究特別說明如何運用 Bususo2p.txt 及 Artbus.txt 兩個輸入檔，並用以探討站台長度之影響、站台與下游停止線距離之影響、平均靠站時間對容量的影響、公車專用道站台使用方式對路段容量之影響。結果發現：

- 1.專用道公車路段之容量受靠站時間，站台長度，站台與下游號誌化路口之距離，站台使用特性，及號誌控制的影響。本研究利用 HTSS 模式探討路段容量與其影響因素的關係。因為站台太長會造成乘客之不方便，所以本研究只考慮站台能同時讓1到5輛公車靠站的情形。此外，一般街道上難以在專用道旁邊另外提供公車超車用的短車道以減少公車在乘客上下車之後仍須等候前車之情形，所以本研究所分析之專用道作業皆假設靠站公車不能超車。
- 2.其他狀況相同時，路段容量隨站台長度而增加，但每增相當於一車長之站台長度，其效益會減低。站台長度能同時讓4輛公車停靠時，將站台增長以同時能讓5輛公車停靠只能增加大約25公車/小時之路段容量。
- 3.站台與下游停止線之距離對路段容量很有影響。如將距離從0公尺增加到60公尺左右，而且平均靠站時間在10~20秒之範圍，則路段容量可增加約40~60公車/小時。平均靠站時間越短，增加站台與下游停止線之距離對容量之改善程度越大。

都市地區道路之運作與號誌控制策略密切相關，不僅限制了停止線車道容量，同時也可能產生長的停等車隊而阻礙公車之離站。號誌控制對專用道作業有很大的影響，目前臺灣之公車專用道常設在號誌化路口之近端(near side)，故其運作更與號誌控制有關，建議後續研究可針對目前常見的號誌控制情形與專用道布設狀況，或是一些重要課題（如都市幹道路段中可否設置行人穿越設施以進入公車站？乘客能接受的到站步行距離？公車

專用道之公車站能否有超越車道，以利於不靠站公車可以繼續前進，或是已靠站完成之公車可以超越前方公車等)，進一步研究。

## 參考文獻

- 交通部運輸研究所 (2001) ，2001 年臺灣地區公路容量手冊，90-16-1183。
- 交通部運輸研究所 (2005) ，臺灣地區多車道郊區公路容量及特性研究 (三)，94-78-1221。
- 交通部運輸研究所 (2006) ，市區號誌化路口容量分析及服務水準之研究 (1/2)，95-113-1235。
- 交通部運輸研究所 (2007) ，市區號誌化路口容量分析及服務水準之研究 (2/2)，96-113-1244。
- 交通部運輸研究所 (2008) ，機車專用道、公車設施及都市幹道容量與服務水準研究(1/3)，97-94-1248。
- 交通部運輸研究所 (2010a) ，機車專用道、公車設施及都市幹道容量與服務水準研究(2/3)，99-95-1275。
- 交通部運輸研究所 (2010b) ，機車專用道、公車設施及都市幹道容量與服務水準研究(3/3)，99-113-1292。
- 許添本、盧嘉棟 (1998) ，「公車專用道站位容量推估模式之建立」，中華民國運輸學會第十三屆論文研討會，頁 293-302。
- 張學孔、吳英立、陳信雄 (1997) ，「電子票證系統對公車乘客服務時間影響之評估研究」，*運輸學刊*，第十卷第一期，頁 163-184。
- 張學孔、陳韋伶 (2006) ，票證技術對公車捷運系統設計與營運之影響，中華民國運輸學會第二十一屆年會暨學術論文研討會論文集，頁 308-326。
- 周義華、賈毓虎 (1999) ，「公車專用道之容量及其影響因素分析」，*運輸學刊*，第十一卷第三期，頁 21-42。
- 曹壽民、徐景揚 (2005) ，非接觸式智慧卡對公車業者之效益分析，中華民國運輸學會第二十屆論文研討會論文集光碟。

- 藍武王、盧亮甫 (1998) ,「公車專用道之容量分析：UTSS 模式之應用」, *中華民國運輸學會第十三屆學術論文研討會論文集*, 頁 269-274。
- 臺北市交通管制工程處網頁 (2010) ,擷取日期：2010 年 1 月 12 日, 擷取位址：  
<http://www.bote.taipei.gov.tw/ct.asp?xItem=660723&CtNode=20069&mp=117031>.
- Bowes, R. W., and Van der Mark, J. (1977), “Simulation of Bus Lane Operations in Downtown Areas,” *Transportation Research Record No.644*, Transportation Research Board, National Research Council, pp.41-44.
- Chira-Chavala, T., and Coifman, B. (1996), “Effects of Smart Card on Transit Operators,” *Transportation Research Record 1521*, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D. C., pp.84-90.
- Dueker, K. J. , Kimpel, T. J., Strathman, J. G., Gallas, S. (2004), “Determinations of Dwell Time,” *Journal of Public Transportation*, Vol7, No.1, pp.21-40.
- Milkovits, M. N. (2008), “Modeling the Factors of Bus Dwell Time,” *Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 2072*, National Research Council, Washington, D. C., pp. 125-130.
- Transportation Research Board (2000), *Highway Capacity Manual*, National Research Council, Washington, D. C.
- Transportation Research Board (2003), *Transit Capacity and Quality of Service Manual*, 2<sup>nd</sup> Edition, TCRP Report 100, National Research Council.
- (2010.09.28 投稿, 2010.11.10 第一次修改, 2010.11.15 定稿。)

