

□ 論 文 □

연동신호 연구  
「버스連動信號의 시뮬레이션 研究」

Simulation Study of the Bus Progression Signal System

薛載勳

(서울大 土木工學科)

박창호

(서울大 土木工學科 教授)

目 次

I. 序 論

II. 버스連動信號에 對한 考察

III. 混合交通流下의 시뮬레이션

IV. 버스專用車線 並行하의 시뮬레이션

V. 結 論

ABSTRACT

Buses arrive at a traffic intersection later than passenger cars by the amount of dwell time at previous bus stops. This late arrival of buses affects the total passenger delay at intersections especially in the street carrying large bus volume. The bus progression signal system in which the signal offset is given in favor of bus platoons was applied in the case area of Kangnam street in Seoul, and various effects were analyzed using the TRANSYT-7F simulation model. It was observed that the total passenger delay can be reduced significantly if the bus progression signal system is applied, and the most effective bus priority treatment is proved to be the bus progression signal system installed with exclusive bus lanes.

I. 序 論

都市에서 양호한 公共交通서비스의 提供은 上下水道, 電氣 等に 못지않게 都市生活에 必須的인 要素이며, 交通서비스없이 都市生活을 營爲한다는 것은 不可能한 일이다.

그러나, 最近 自動車の 急速한 增加로 因하여 交通混雜은 점차 加重되고, 主要 大衆交通 手段인 버스의 서비스水準은 低下되고 있다.

都市交通의 目的은 窮極의 都市生活에 必要한 ‘사람’과 ‘貨物’을 移動시키는 것이며, ‘車輛’의 移動은 이러한 目標을 爲한 手段에 지나지 않는다. 따라서 都市街路의 利

用에 있어서 公共交通手段과 個人 交通手段, 高容量 手段과 低容量 手段, 그리고 乘客輸送 手段과 貨物運送手段을 同一한 基準으로 處理 하는 것은 都市 全體의 總輸送費用을 結果的으로 增加시키게 되는 非合理的이고 不公正한 體系가 될 可能性이 많다.

또한, 交通의 質을 維持하는 한 주어진 交通量을 可能한 限 적은 수의 車輛에 依하여 移動시키는 것이 더욱 經濟的인 自명한 事實이다.

이와 같은 事實에 對한 漸次的인 認識의 提高가 各 交通手段의 差等處理와 그에 따른 都

市交通政策의變化에 큰影響을 미치는 要素가 되었다.

本 研究는 街路 交通流의 分析과 遲滯時間 調査를 通하여 大衆交通手段인 버스의 서비스 水準 向上을 爲한 버스連動信號 (bus progression signal system)의 必要性을 提起하고, 混合交通流下와 버스專用車線 並行下에서 버스連動信號를 시뮬레이션하여 그 結果를 分析하였다.

## II. 버스連動信號에 對한 考察

### 1. 交通流 分析

交通 信號를 調節하는 重要한 目標中의 하나는 어느 交叉路를 出發한 車輛群(vehicle platoon)이 다음 交叉路에서 停止하지 않고 圓滑하게 通過하도록 하는 것이다. 이 때 가장 단순한 가정은 그 車輛群內의 모든 車輛이 平均速度로 同一하게 움직인다고 假定하는 것이다.

그러나, 大部分의 車輛群은 最初의 密集된 狀態를 그대로 維持하지 않고 道路를 走行하는 동안 分散되기 때문에 위와 같은 단순한 가정은 成立되지 않으며, 이러한 車輛群 分散에 對하여는 G.M.Pacey, M.J.Grace & R.B.Potts, D.I.Robertson 등이 여러 分散模型을 發表한 바 있다.

한편, 本 研究에서 다루는 路線버스의 境遇

는 一般의인 車輛群 分散特性과는 別途로 停留場 停車時間으로 因하여 버스群이 一般 乘用車群과 分離되는 特性을 지니며, 이러한 特性은 交通流의 停止線 到着分布에 따른 交叉路 遲滯時間 分析에 큰 影響을 미친다.

이같은 車輛群 分離(Platoon separation) 現象을 把握하기 爲하여 本 研究는 街路上에서 旅行時間에 對한 直接調査를 實施하였다.

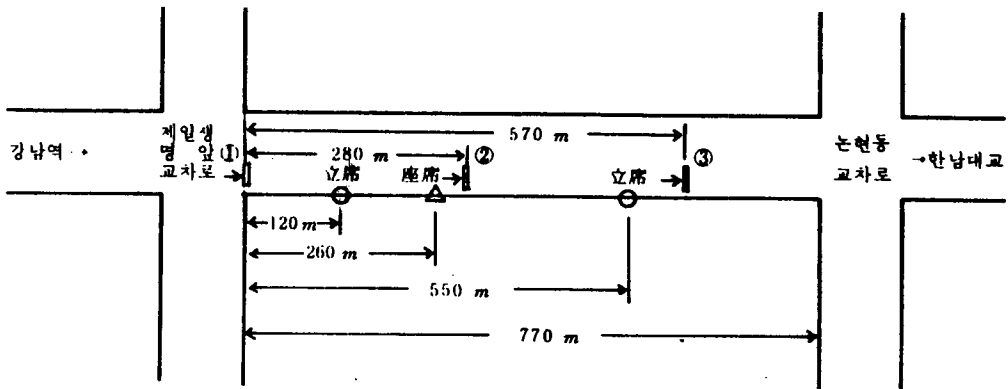
### 1) 旅行時間 調査概要

本 研究의 旅行時間 調査區間으로는 서울市 江南區에 位置한 江南大路의 第一生命앞 交叉路에서 論峴洞 交叉路間을 選定하였다.

이 區間에는 <그림 1>에서 보듯이 第一生命앞 交叉路에서 120 m 經過한 地點 및 550 m 經過한 地點에 각각 立席버스 停留場이 位置하고, 交叉路에서 260 m 經過한 地點에는 座席버스 停留場이 位置하고 있다.

調査地點은 第一生命앞 交叉路에 測定點①을 設定하고, 交叉路에서 각각 280 m, 570 m 떨어진 地點에 測定點 ②와 ③을 設定하였다.

調査方法으로서는 위의 測定點 ①, ②, ③에 調査員을 配置하여 乘用車, 立席버스, 座席버스, 非路線버스, 貨物車의 5個 車種別로 각각의 測定點 通過時刻 및 車輛番號를 記錄한 後, 車種別로 測定點 ①~②間 및 測定點 ①~③間의 旅行時間 分布를 算出하였다.



<그림 1> 旅行時間分布 調査區間

2) 調査結果

調査區間に對하여 5個 車種別로 旅行時間 分布를 整理한 結果, 旅行速度 分布는 各 車種別로는 대체로 正規分布에 가까우나, 各 車種을 合한 全體 車輛群의 旅行速度分布는 低速車輛의 影響으로 偏倚된 正規分布(skewed normal distribution)에 가까움을 알 수 있었다.

한편, 各 車種別 旅行速度와 運行特性에 따라, 停止線을 出發한 車輛群은 乘用車群이 가장 앞서 나가고, 그 뒤로 非路線버스, 座席버스, 立席버스의 順으로 車輛群이 뒤처짐을 알 수 있었다.

乘用車 및 立席버스의 旅行時間分布를 測定點 ①~②間 및 測定點 ①~③間 別로 同一 時間軸上에 그리면 <그림 2>와 같다. 이에 依하면, 第一生命 앞 交叉路를 同時에 出發한 乘用車와 立席버스는 停留場 하나를 거쳐 測定點 ②에 이르러서는 立席버스가 乘用車보다 대략 20~30초 정도 뒤늦게 到着하고, 다시 停留場 하나를 거쳐 測定點 ③에 이르러서는 立席버스가 乘用車보다 40~60초 정도 뒤늦게 到着하며, 이러한 時間差는 다음 交叉路인

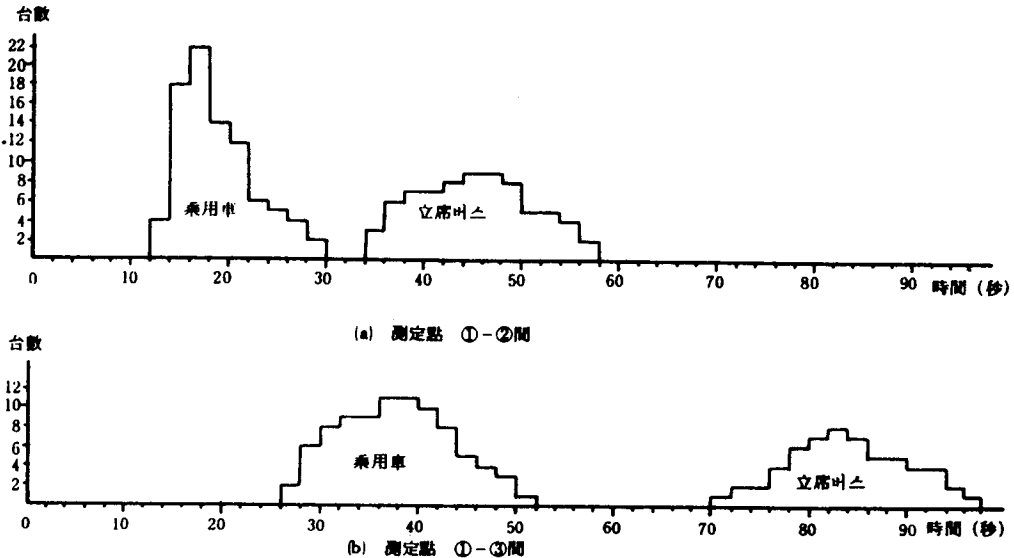
論峴洞 交叉路의 到着時間差에 이어졌다.

이 때, 交叉路 信號燈의 오프셀이 乘用車 進行에 맞추어 調整되어 있는 境遇에는 <그림 3>에서 보듯이 交叉路①을 出發한 車輛群中에서 乘用車群은 交叉路②에 이르러 綠色信號를 받아 그대로 通過하지만, 버스群은 赤色信號에 걸려 通過하지 못하고 다음 週期的 綠色信號까지 長時間을 遲滯하게 된다.

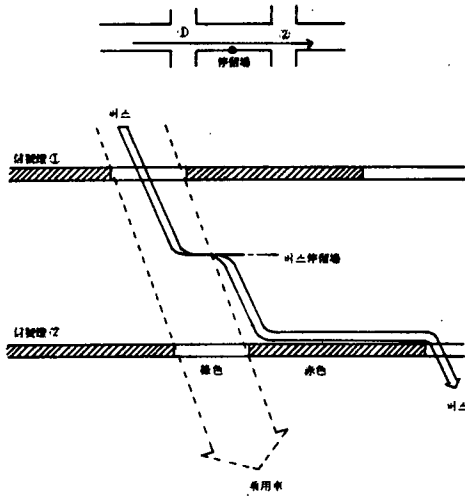
이러한 現象은 버스 交通量이 比較的 적은 歐美의 境遇는 크게 考慮할 問題가 아니나, 우리나라 都市같이 버스 交通量이 많은 境遇에는 반드시 考慮해야 할 現象으로 判斷된다.

특히, 車輛 爲主가 아닌 乘客爲主의 總遲滯時間 最小化를 目標로 하는 境遇에는, 우리나라 大部分의 都市에서 버스 乘客數가 乘用車 및 택시 乘客數의 2倍가 넘는 現實을 勘案할 때, 乘用車와 버스의 車輛群 分離現象과 그에 따른 버스 遲滯時間의 增加問題를 研究할 必要가 있다.

이와같은 乘用車와 버스의 車輛群 分離現象과 그에 따른 遲滯時間 問題는 本研究의 重要 研究對象이며, 버스連動信號의 妥當性을 가름하는 關鍵이 된다.



<그림 2> 乘用車 및 立席버스의 旅行時間 分布



<그림 3> 乗用車 및 버스의 時空圖  
(time-space diagram)

## 2. 遲滯時間 調査

街路上을 走行하는 車輛은 速度가 同一하고 運行特性이 同一한 境遇 運行中の 總遲滯時間은 同一하게 된다. 그러나, 車種別로 速度 또는 停留特性이 相異한 境遇에는 車種에 따라 遲滯時間이 달라지게 된다.

특히, 交叉路間의 오프셀이 乘用車 進行을 基準으로 運動化 되어 있는 境遇에는 運行特性的 差異에 依하여 乘用車와 버스의 遲滯時間에는 相當한 差가 發生할 可能性이 있다.

本 研究은 이와같은 可能性을 調査하기 爲하여 實際 街路上에서 乘用車 및 버스에 對한 遲滯時間을 測定하였다.

### 1) 遲滯時間 調査概要

乘用車 및 버스에 對한 遲滯時間 調査區間으로는 서울시 江南區에 位置한 江南大路上의 江南驛 交叉路에서 漢南大橋를 거쳐 漢南2洞 交叉路에 이르는 5.43 km 區間을 選定하였다.

對象區間內 버스의 遲滯時間은 1987年 4月 6日, 7日에 걸쳐 對象區間을 運行하는 立席 버스에 乘車하여 調査하였다. 버스의 遲滯時間은 交叉路 및 橫斷步道에서 發生하는 遲滯時間과 停留場에서 停車하는 時間을 同時에 調

査하였으며, 遲滯時間은 調査의 便宜上 停止 遲滯(stop delay) 만을 調査하였다.

한편, 乘用車의 遲滯時間은 1987年 4月 14日, 15日에 걸쳐 直接走行調査(floating car survey)에 依하여 調査하였으며, 交叉路 및 橫斷步道에서의 遲滯時間은 역시 停止遲滯를 調査하였다.

### 2) 調査結果

위의 같은 方法에 依하여 江南驛~漢南2洞 區間에서 調査한 乘用車 및 버스의 平均 遲滯時間을 整理하면 <表 1>과 같다.

이에 依하면 各 區間別로 多少 差異는 있으나 全區間에 걸쳐 볼 때, 都心方向의 交叉路 遲滯時間은 乘用車가 總 117.5초, 버스가 總 169.6초로서 버스가 乘用車의 144%에 이르고 있으며, 버스의 停留場 停車時間까지 勘案하면 버스의 總遲滯時間은 乘用車의 199%에 이르고 있다. 이것은 停留場 停車에 依하여 遲滯된 버스가 그로 因하여 交叉路에서도 乘用車보다 遲滯時間이 더욱 增加하게 됨을 알 려준다.

한편, 外廓方向의 遲滯時間은 乘用車가 總 65.7초, 버스가 總 121.4초로서 버스가 乘用車의 185%에 이르고 있으며, 버스의 停留場 停車時間까지 勘案하면 버스의 總遲滯時間은 乘用車의 291%에 이르고 있다. 이렇게 外廓方向에서 乘用車와 버스의 遲滯時間 差異가 더 큰 것은 調査地域의 交叉路間 오프셀이 外廓方向을 基準으로 맞추어져 있어서 乘用車에 對하여는 오프셀 調整의 效果가 상당히 크기 때문이다. 即, 乘用車를 中心으로 오프셀이 調整되어 있는 境遇에 버스는 停留場 停車로 因하여 乘用車와 分離되고, 乘用車群이 交叉路를 通過한 後에 버스群이 交叉路에 到着하게 되어 오프셀 調整이 되어 있지 않은 境遇보다 오히려 버스의 遲滯時間을 더욱 增加시키는 傾向이 있기 때문이다.

이와같이 乘用車를 中心으로 하는 交叉路間 오프셀 調整은 버스의 遲滯時間을 더욱 增加시키게 되는 境遇가 많으며, 따라서 總乘客遲

滯時間을 最小化하기 爲한 最適 오프셀에 對하여는 別途의 考慮가 必要하다.

<表 1> 乘用車 및 버스의 遲滯時間 比較

單位: 秒

區 間	區 分	都心方向		外廓方向	
		乘用車	버스	乘用車	버스
江南驛~ 第一生命 앞	交叉路遲滯	17.7	56.1	24.4	16.1
	停留場停車	-	12.4	-	17.9
第一生命 앞~ 論峴洞	交叉路遲滯	58.4	63.0	3.1	41.4
	停留場停車	-	19.0	-	14.5
論峴洞~ 新沙驛	交叉路遲滯	33.9	19.9	12.4	17.0
	停留場停車	-	4.2	-	9.1
新沙驛~ 漢南洞	交叉路遲滯	0	23.6	25.8	30.3
	停留場停車	-	21.0	-	5.9
漢南洞~ 漢南 2 洞	交叉路遲滯	7.5	7.0	0	16.6
	停留場停車	-	7.1	-	22.5
合 計	交叉路遲滯	117.5	109.6	65.7	121.4
	停留場停車	-	63.9	-	69.9

### 3. 버스連動信號 運用方法

本 研究에서 다루는 버스連動信號는 넓은 範圍에서 버스優先信號 (bus priority signal) 의 일종에 속한다.

일반적으로, 버스優先信號는 交叉路에 버스感知機를 設置하느냐, 하지 않느냐에 따라 크게 能動的 方法 (active system)과 手動的 方法 (passive system) 으로 분류한다. 즉, 交叉路에 버스感知機를 設置하여 感知된 버스通行에 맞추어 信號燈을 조절하는 方法이 能動的 方法이고, 버스感知機를 設置하지 않은채 信號燈만을 調整해 주는 方法이 手動的 方法이다.

버스感知機를 設置하는 能動的 方法에는 感知된 버스 通行에 맞추어 (a)特別 버스 페이즈 (special bus phase) 를 호출하는 方法, (b) 平常 페이즈 (normal phase) 를 延長 또는 호출하는 두 가지가 있다.

한편, 버스感知機를 設置하지 않는 手動的 方法에는 (a)信號時間을 再調整하는 方法, (b)信號페이즈를 再配列하는 方法의 두 가지가 있다.

버스感知機를 設置하는 能動的 方法은 보다 積極的으로 버스 優先處理를 施行한다는 점이 특징이나, 우리나라 都市처럼 버스通行量이 과다하게 많은 곳에서는 施行上의 問題點이 있을 것으로 판단되며, 특히 電磁信號體系에 의하여 信號燈이 상호 連動化되어 있는 交通網 내에서는 適用된 事例가 드물다.

버스感知機를 設置하지 않는 手動的 方法중에서 信號時間을 再調整하는 方法에는 具體的으로 信號週期 調整, 信號 分割比 調整, 그리고 交叉路間 오프셀 調整 등이 있다.

信號週期 調整은 交叉路 遲滯時間을 減少시키기 爲하여 疏通에 지장이 없는 한 信號週期를 되도록 짧게 하는 方法이고, 信號 分割比 調整은 버스의 遲滯時間을 減少시키기 위하여 버스 通行이 많은 方向의 녹색 信號 分割比를 增加시켜 주는 方法이며, 交叉路間 오프셀 調整은 車輛 走行時間을 考慮하여 總遲滯時間을 最小化하는 方向으로 오프셀을 調整해 주는 方法이다. 이 交叉路間 오프셀 調整 方法중에서 特別히 버스의 遲滯時間을 減少시키기 爲하여 交叉路間 오프셀을 버스 進行에 맞추어 주는 것이 버스連動信號이다.

本 研究에서 調査된 바와 같이 街路上을 走行하는 乘用車와 버스는 그 運行 特性이 상이하다. 즉, 버스는 一般的으로 乘用車보다 減·加速能力이 떨어지고, 平均 走行速度가 乘用車보다 낮으며, 특히 停留場에서 乘客을 乘下車시키기 위하여 長時間 停留해야 한다. 따라서 一般 乘用車의 平均 走行速度를 基準으로 定해진 交叉路間 오프셀은 乘用車의 交叉路 停止率 및 遲滯時間을 減少시키는 데는 有用하나, 버스에 대해서는 오히려 遲滯時間을 增加시키는 要因으로 作用하고 있다.

그러므로, 버스 乘客이 乘用車 및 택시 乘客의 2 배에 이르는 現實을 勘案할 때, 總乘客遲

滯時間의 最小化를 爲해서는 停留場 停車時間을 考慮하여 交叉路間 오프셀을 버스 進行에 맞추어 주는 버스連動信號를 檢討할 必要가 있다.

버스連動信號의 施行을 위한 交叉路間 오프셀 調整은 信號燈이 相互 連結되어 있는 境遇 中央 交通管制센타 또는 各 交叉路 信號 제어기의 오프셀을 調整함으로써 比較的 容易하게 適用 可能하다

### III. 混合交通流下의 시뮬레이션

#### 1. 시뮬레이션 概要

本 研究은 버스連動信號의 效果分析을 爲하여 서울市 江南大路를 事例地域으로 選定하고 交通流에 對한 시뮬레이션을 遂行하였다.

本 研究에서 適用한 시뮬레이션模型, 車種區分, 評價項目, 交通流 模型化, 交通現況 및 適用概要를 要約하면 다음과 같다.

#### 1) 시뮬레이션 模型

本 研究은 버스連動信號의 效果를 評價하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 方法을 利用하였다. 이러한 目的에 利用할 수 있는 시뮬레이션模型으로는 NETSIM, SIGOP III, TRANSYT 등이 있다. 이 중 NETSIM은 微視的 模型에 속하고, SIGOP III와 TRANSYT은 巨視的 模型에 속하나, NETSIM과 SIGOP III는 各 車種別 遲滯時間 分析이 可能하지 않아서 車種別로 變化量을 各各 分析해야 하는 本 研究의 目的에는 符合되지 않는다.

반면에 TRANSYT은 交通流의 區分이 5種까지 可能하여 車種別 分析이 容易한 長點이 있으므로 本 研究은 시뮬레이션 模型으로서 TRANSYT을 使用하였다. 이 TRANSYT 模型은 英國의 Dennis J. Robertson에 依하여 1967년에 最初로 開發된 後, TRRL에 依하여 여러가지 機能이 添加되는 改善이 계속되었으며, 本 研究에서 使用한 模型은 1978年 開發된 TRANSYT-7 模型을 美國의 FHWA에서 改善補完하여 1983년에 發表한 TRANSYT-7F 模型이다.

#### 2) 車種區分

一般的인 交通量 調查時의 車種區分은 乘用車 換算係數의 適用을 爲하여 車種을 크게 小型과 大型으로 區分하고, 小型은 다시 乘用車, 택시, 小型貨物車 등으로 區分하며, 大型은 大型貨物車와 버스(小型 버스, 大型버스) 등으로 區分한다.

그러나, 이러한 區分은 在車人員에 따라 乘客의 總遲滯時間을 算定하거나, 街路上의 運行행태가 상이한 車種間을 比較分析하는데는 適合하지 않다.

따라서 本 研究은 總乘客遲滯時間을 分析하기 위하여 在車人員을 基準으로 車種을 크게 버스와 非버스(non-bus)로 區分하였다. 여기서, 非버스는 乘用車, 택시 및 貨物車로 構成되며, 버스는 運行행태별로 立席버스, 座席버스, 非路線버스로 다시 細分하였다.

#### 3) 評價項目

버스連動信號의 效果를 評價할 때 매우 重要한 것의 하나는 評價項目의 選定이다. 本 研究은 버스連動信號의 適用에 依하여 豫想되는 交通上의 諸般變化를 檢討한 後, TRANSYT 模型에 依하여 評價가 可能한 項目으로서 乘用車 및 버스의 總遲滯時間, 總旅行時間, 總燃料消費量, 總停止率을 評價項目으로 選定하였다.

乘用車 및 버스의 總遲滯時間은 버스連動信號의 評價에 있어서 重要한 測定項目이다. 本 研究에서 使用한 TRANSYT 遲滯模型은 遲滯를 均一遲滯(uniform delay)와 確率 및 飽和遲滯(random and saturation delay)로 區分한다. 均一遲滯  $d_u$ 는 한 週期동안 平均 대기 車輛數에 信號週期를 곱하여 구하고, 確率 및 飽和遲滯  $d_{rs}$ 는 車輛의 不規則한 到着分布와 容量飽和에 의한 遲滯이다.

車輛의 總旅行時間은 交叉路 遲滯時間과 링크 走行時間을 合한 값에 링크 交通量을 곱하여 구하며, 이 總旅行時間은 주어진 交通網의 信號時間을 最適化하여 交叉路 遲滯時間을 단축시키는 만큼 減少된다.

한편, 總燃料消費량은 車輛의 旅行距離, 遲滯時間, 停止數 등에 따라 달라지며, TRANSYT의 燃料消費模型은 이 세 가지 변수의 선형 함수로서 燃料消費량을 산정하고 있다.

車輛의 停止率은 停止 및 出發時에 乘客에게 미치는 不便이 크고, 燃料消費량을 增加시키는 要所로서 評價項目의 하나로 選定하였다.

#### 4) 交通流 模型化

本 研究는 앞에서 區分한 各 車種別로 버스連動信號의 適用에 따른 影響을 시뮬레이션하기 위하여 TRANSYT의 共有 停止線(shared stop line) 機能을 利用하였다. 이 共有停止線 技能은 運行행태가 相互 다른 車種들이 混合交通流下에서 運行될 때 各 車種別로 遲滯時間, 燃料消費量 등을 各各 分析하기 위하여 使用되는 機能이다.

이 共有停止線 機能을 利用하면 어느 한 車種의 遲滯時間은 타 車種과의 交通流 간섭을 勘案하여 다음과 같은 過程에 의하여 計算된다.

① 各 車種에 대하여 상류측 交叉路로부터의 停止線 到着分布를 算出한다.

② 녹색信號가 커지면 各 車種의 車輛들이 停止線에 到着한 順序에 따라 交叉路 飽和容量에 맞추어 停止線을 넘어 交叉路를 통과한다.

③ 各 車種別로 停止線에 到着한 時刻과 出發한 時刻의 差에 따라 遲滯時間을 計算한다.

한편, 버스專用車線이 設置되어 있는 街路는 一般車線用 링크와는 別途로 버스車線에 對하여 버스링크를 設定하여 줌으로써 比較의 간단히 模型化할 수 있다. 따라서 一般車線의 停止線은 乘用車, 택시 및 貨物車가 共有하는 것으로 보고, 버스專用車線의 停止線은 立席버스, 座席버스, 非路線버스가 共有하는 것으로 본다.

#### 5) 事例地域 交通現況

事例地域으로 選定한 서울시 江南大路 區間에는 남으로부터 第一生命앞 交叉路, 論峴洞

交叉路, 新沙驛 交叉路, 漢南洞 交叉路의 4 個 交叉路가 위치하고 있다. 이 4 個의 交叉路는 모두 四枝形 交叉路로서 信號燈에 依하여 制御되고 있으며, 漢南洞 交叉路에는 南北方向으로 4車線의 高架道路가 設置되어 있다.

한편, 第一生命앞 交叉路와 論峴洞 交叉路 사이는 블록의 길이가 길어서 信號燈 있는 橫斷歩道가 設置되어 있다.

事例地域의 交通量 水準은 午前 尖頭時 基準으로 都心方向으로는 時間當 約 1,500pcu, 外廓方向으로는 時間當 約 1,400 pcu가 통과하고 있다.

交通量의 車種別 構成比는 方向別로 다소 差異가 있으나, 乘用車 및 택시가 75%, 버스가 24%, 其他 1% 水準이다.

交叉路의 信號週期는 電磁式으로 感知되는 交通量에 따라 變動되고 있으나, 尖頭時에는 130 秒로 運用되고 있으며, 페이즈 分割比는 各 交叉路別로 상이한 값이 適用되고 있다.

對象區間의 各 交叉路間 오프셋은 한 값으로 고정되어 있지 않고 信號週期에 따라 變動되고 있으며, 交通量이 많을 때는 信號週기가 길어지고 交叉路間 오프셋도 그에 비례하여 길어지고 있다.

事例地域 交叉路의 各 回轉方向別 交通量은 서울시 TSM事業報告書(1986)의 交通量 資料를 活用하였다.

#### 6) 適用 概要

事例地域에 대하여 버스連動信號를 適用하는 境遇의 效果를 分析하기 위하여, 本 研究는 混合交通流下에서 現信號體系下의 交通流를 시뮬레이션하여 各 評價項目別로 結果值를 구하고, 버스連動信號를 適用하는 境遇에 대하여 交通流를 시뮬레이션하여 구한 結果值와 比較分析하였다. 이 때, 比較의 일관성을 維持하기 위하여 信號燈의 週期 및 페이즈 分割比는 現在의 實際 값을 그대로 適用하였으며, 시뮬레이션 時間은 1時間으로 하였다.

車輛의 速度는 區間別로, 또 時間帶別로 달라지나 本 研究에서는 乘用車의 走行速度를

55 km/時, 버스의 走行速度를 40 km/時로 設定하였다.

그리고 버스의 停留場 停車時間은 立席버스 및 座席버스別로 실측한 資料를 使用하였다.

한편, 交叉路의 車線當 飽和容量은 研究機關別로 제시하는 값이 다소 다르나, 本 研究에서는 직진에 대하여 2,200 pcu/時, 左右回轉에 대하여 2,000pcu/時를 適用하였다.

또한, 車種別 在車人員은 交通開發 研究院의 실측資料를 利用하여 乘用車는 2人/臺, 버스(立席버스, 座席버스, 非路線버스)는 28人/臺를 適用하였다.

2. 시뮬레이션 結果

앞 節의 條件들을 適用하여 混合交通流하에서 既存信號體系와 버스를 基準한 버스連動信號를 시뮬레이션한 結果를 各 評價項目別로

정리하면 다음과 같다.

단, 對象地域은 交叉路間 오프셀이 現在 外廓方向으로 맞추어져 있기 때문에, 本 研究에서도 外廓方向을 基準으로 分析하였다.

1) 遲滯時間

버스連動信號를 適用함으로써 漢南洞 交叉路부터 第一生命앞 交叉路까지 3.53 km 區間에 걸친 車種別 總乘客遲滯時間은 <表 2>와 같다.

이에 의하면 乘用車의 總乘客遲滯時間은 24.04 人-時/時에서 33.46 人-時/時로 39.2%가 增加한 反面, 立席버스의 總乘客遲滯時間은 108.78 人-時/時에서 79.80 人-時/時로 26.6%가 減少하였고, 座席버스는 16.6%가 減少하고, 非路線 버스는 2.2%가 減少하였다.

<表 2> 混合交通流하의 車種別 總乘客遲滯時間

單位: 人-時/時

信號體系	車種	漢南洞 →新沙驛	新沙驛 →論峴洞	論峴洞 →橫斷步道	橫斷步道→ 第一生命앞	合計
既存 信號體系	乘用車	6.66	9.88	0.96	6.54	24.04
	立席버스	35.42	32.62	0.56	40.18	108.78
	座席버스	8.82	7.70	0.14	9.52	26.18
	非路線버스	5.46	8.68	0.28	4.90	19.32
	合計	56.36	58.88	1.94	61.14	178.32
버스 連動信號	乘用車	7.06	11.18	5.22	10.00	33.46
	立席버스	25.48	32.48	5.74	16.10	79.80
	座席버스	7.56	7.42	3.08	3.78	21.84
	非路線버스	6.72	7.56	2.10	2.52	18.90
	合計	46.82	58.64	16.14	32.40	154.00

2) 旅行時間

對象區間的 旅行時間은 乘用車의 경우 街路 走行時間과 交叉路 遲滯時間의 合으로, 그리고 버스의 경우 여기에 停留場 停車時間을 合하여 求해진다.

混合交通流하에서 既存信號體系와 버스連動信號에 對하여 車種別로 總乘客 旅行時間을

要約하면 <表 3>과 같다.

이에 依하면 乘用車의 總乘客旅行時間은 68.36 人-時/時에서 77.78 人-時/時로 13.78%가 增加한 反面, 立席버스는 7.5% 減少, 座席버스는 4.3% 減少, 非路線버스는 0.4% 減少하였다.



<表 3>

混合交通流下的 車種別 總乘客旅行時間

單位：人-時/時

信號體系	車種	漢南洞 →新沙驛	新沙驛 →論峴洞	論峴洞 →橫斷步道	橫斷步道→ 第一生命堂	合計
既存 信號體系	乘用車	19.18	21.54	14.34	13.30	68.36
	立席버스	144.20	84.56	99.40	62.30	390.46
	座席버스	35.70	20.72	28.00	15.82	100.24
	非路線버스	20.44	22.40	12.46	8.68	65.98
	合計	219.52	149.22	154.20	100.10	623.04
버스 連動信號	乘用車	19.56	22.84	18.60	16.78	77.78
	立席버스	134.26	84.42	104.44	38.22	361.34
	座席버스	34.58	20.30	30.94	10.08	95.90
	非路線버스	21.70	21.42	14.28	6.30	63.70
	合計	210.10	148.98	168.26	71.38	598.72

3) 燃料消費

既存信號體系 및 버스連動信號에 對하여 TRANSYT의 燃料消費量 推定 模型에 依하여 各車種別로 總燃料消費量을 求하면 <表 4>와 같다.

이에 依하면 對象區間에 걸친 乘用車의 總

燃料消費量은 181.03 ℓ / 時로부터 버스連動信號를 適用함으로써 209.36 ℓ / 時로 15.6%가 增加한 反面, 立席버스는 136.73 ℓ / 時에서 128.97 ℓ / 時로 5.7%가 減少하였고, 座席버스는 2.0%가 減少하고, 非路線버스는 5.0%가 增加하였다.

<表 4>

混合交通流下的 車種別 總燃料消費量

單位：ℓ / 時

信號體系	車種	漢南洞 →新沙驛	新沙驛 →論峴洞	論峴洞 →橫斷步道	橫斷步道→ 第一生命堂	合計
既存 信號體系	乘用車	49.45	54.90	38.50	38.18	181.03
	立席버스	47.21	37.25	26.98	25.29	136.73
	座席버스	12.34	9.15	8.51	6.56	36.56
	非路線버스	9.24	9.81	5.70	3.61	28.36
	合計	118.24	111.11	79.69	73.64	382.68
버스 連動信號	乘用車	50.14	57.69	54.57	46.96	209.36
	立席버스	44.39	37.73	28.95	17.90	128.97
	座席버스	12.01	9.20	9.70	4.91	35.82
	非路線버스	9.84	9.74	7.10	3.09	29.77
	合計	116.38	114.36	100.32	72.86	403.92

4) 停止率

對象區間內 各 交叉路에서 赤色信號에 걸려

停止당하는 車輛의 比率을 外廓方向에 對하여 整理하면 <表 5>와 같다.

&lt;表 5&gt;

混合交通流下의 車種別 停止率

單位: %

信號體系	車種	漢南洞 →新沙驛	新沙驛 →論峴洞	論峴洞 →橫斷步道	橫斷步道→ 第一生命앞	平均
既存 信號體系	乘用車	61	81	18	73	58
	立席버스	66	72	3	74	54
	座席버스	63	68	2	66	50
	非路線버스	54	67	5	60	47
버스 連動信號	乘用車	62	87	66	96	78
	立席버스	60	81	38	68	61
	座席버스	62	80	53	72	67
	非路線버스	70	82	59	79	73

이에 依하면 버스連動信號를 適用함으로써 停止率은 乘用車와 버스가 모두 增加하는 것으로 나타났다. 그러나 버스의 停止率은 버스連動信號를 適用함으로써 減少되는 것이 一般적인 바, <表 5>에 依하면 停止率의 增加는 主로 橫斷步道에서 일어났음을 알 수 있다. 이 橫斷步道는 綠色時間 100 초, 赤色時間 24 초인 橫斷步道로서, 直進 交叉路에서 左右 回轉하여 이 橫斷步道에 到着하는 交通流의 停止率이 오프셀 變動으로 增加하게 되었으나, 실제 遲滯時間의 增加는 미미하며, 全體적인 遲滯時間은 앞 節에서 分析하였듯이 減少하였다.

#### IV. 버스專用車線 並行下의 시뮬레이션

##### 1. 시뮬레이션 概要

우리나라에는 아직 버스專用車線の 設置에 對한 基準이 確立되어 있지 않다. 그러나, 美國 ITE나 英國 TRRL의 設置基準인 尖頭 1 時間當 버스 40~75 臺 水準에 비추어 본다면, 本 研究의 事例地域인 江南大路의 尖頭時間 버스 交通量은 200~250 臺 以上이 되어, ITE 또는 TRRL의 버스專用車線 設置基準보다 훨씬 많은 버스가 通過하고 있다.

따라서 本 研究는 事例地域에 對하여 버스專用車線을 設置하는 同時에 버스連動信號를 並行 實施하는 경우에 對하여 그 施行效果를

各 評價項目別로 分析하였으며, 이와 比較하기 爲하여 버스連動信號를 適用하지 않고 버스專用車線만을 設置하는 경우에 對하여도 分析하였다.

버스專用車線을 設置하는 方法으로서 中央車線을 利用하는 方案은 停留場 設置問題로 因하여 곤란한 點을 勘案하여 街路邊 車線을 利用하여 設置하는 方案을 採擇하였다.

버스專用車線の 運營方法은 모든 버스는 左右回轉을 爲하여 回轉車線으로 들어가는 경우를 除外하고는 原則적으로 버스專用車線만을 利用하여 通行하는 것으로 하였고, 乘用車, 택시 및 貨物車는 左右回轉을 爲한 車線變更時를 除外하고는 버스專用車線에 들어가지 못하는 것으로 하였다.

한편, 交叉路와 交叉路 사이 全區間에 걸쳐 버스專用車線을 設置하는 것이 街路 幾何構造에 비추어 不合理한 경우나, 乘用車의 步道接近을 禁止하는 것이 큰 不便을 招來하는 경우, 그리고 交叉路 停止線 附近에서 右回轉 乘用車의 待機行列때문에 街路邊 車線을 利用한 버스專用車線の 效果가 크게 低下되는 경우에는, 交叉路 停止線에 隣接하여 100~200 m 정도 部分的으로 버스專用進入車線을 設置해 줌으로서 一般적인 버스專用車線の 效果를 充分히 거둘 수 있다.

버스專用車線을 設置해 주는 경우에 對한

分析에 있어서도 車種區分, 評價項目, 車輛速度, 버스의 停留場 停車時間, 1車線當 飽和容量, 車種別 在車人員 等은 앞 章의 混合交通流인 경우와 同一하게 適用하였다.

2. 시뮬레이션 結果

事例地域에 對하여 既存信號體系下에서 버스專用車線만을 設置해 주는 경우와, 버스專用車線과 並行하여 버스連動信號를 適用하는 두

가지 경우에 對하여 시뮬레이션한 結果를 各項目別로 要約하면 다음과 같다.

但, 適用對象方向은 混合交通流의 경우와 마찬가지로 外廓方向으로 하였다.

1) 遲滯時間

버스專用車線을 設置하는 경우에 對하여 信號體系別로 總遲滯時間을 比較하면 <表 6> 과 같다.

<表 6> 버스專用車線 並行下의 車種別 總乘客遲滯時間

單位: 人-時/時

信號體系	車種	漢南洞 →新沙驛	新沙驛 →論峴洞	論峴洞 →橫斷步道	橫斷步道→ 第一生命앞	合計
既存 信號體系	乘用車	6.32	11.74	1.02	4.94	24.02
	立席버스	40.60	31.64	0.70	39.06	112.00
	座席버스	10.08	7.70	0.14	9.10	27.02
	非路線버스	6.30	8.68	0.28	4.76	20.02
	合計	63.30	59.76	2.14	57.86	183.06
버스 連動信號	乘用車	6.84	13.20	4.88	8.70	33.62
	立席버스	28.28	29.68	5.60	11.20	74.76
	座席버스	8.40	6.58	2.94	2.24	20.16
	非路線버스	7.28	6.72	2.10	1.68	17.78
	合計	50.80	56.18	15.52	23.82	146.32

이 表의 結果를 앞 章의 混合交通流인 경우와 比較하면, 버스專用車線만을 設置해 주는 경우 乘用車 利用乘客의 總遲滯時間은 매시간 당 24.04 人-時/時에서 24.02 人-時/時로 變化가 미미하며, 버스(立席버스, 座席버스, 非路線버스) 利用乘客의 總遲滯時間은 154.28 人-時/時에서 159.04 人-時/時로 오히려 근소하게 增加하였다.

이렇게 버스專用車線을 設置해 줘도 불구하고 버스의 遲滯時間이 增加하는 理由를 分析한 結果, 遲滯時間이 增加한 區間에서는 버스專用車線을 設置해 줌으로 因하여 버스專用車線內의 V/C比가 混合交通流인 때보다 오히려 增加하였음을 發見하였다.

即, 乘用車 交通量에 比하여 버스交通量이

많은 街路에 있어서는 버스專用車線을 設置하여 버스를 1個 車線으로 集中시킴으로 인하여 混合交通流인 경우보다 오히려 버스專用車線의 V/C比가 增加하게 되고, 이것은 곧 버스의 遲滯時間 增加를 招來하게 되는 것이다.

이러한 事實은 버스專用車線의 設置에 있어서 새로운 주의를 要求하며, 실질적인 버스優先處理의 效果를 保障하기 위해서는 버스專用車線 設置時에 버스 대수만을 基準으로 해서는 안되고, 對象 街路上的 乘用車 交通量과 버스交通量의 比率를 勘案하여, 버스專用車線의 設置로 因하여 버스專用車線設置內의 V/C比가 混合交通流인 경우보다 오히려 增加할 것이 豫想될 때는 버스專用車線을 設置하지

말고 현상대로 混合交通流을 維持하든지, 아니면 버스專用車線으로 두 車線을 許容할 것을 檢討해 보아야 할 것이다.

한편, 버스專用車線 設置와 並行하여 버스連動信號를 適用하는 境遇에는 混合交通流인 경우보다 總乘客遲滯時間이 178.32人-時/時에서 146.32人-時/時로 17.9%가 減少하였다. 이것은 버스連動信號를 適用할 때, 버스專用車線을 設置해 주면 停止線에서 乘用車와 버스가 混合되어 待機하고 있는 때보다 버스를 버스專用車線內에 모아서 버스群을 形成해 줌으로써 버스의 交叉路 遲滯時間을 더욱 減少시킬 수 있다는 것을 보여준다.

2) 旅行時間

버스專用車線을 設置해 주는 경우에 對한 既存信號體系와 버스連動信號의 車種別 總乘客旅行時間은 <表7>에 整理되어 있다.

이에 依하면 버스專用車線만을 設置해 주는 경우 總乘客旅行時間은 623.04人-時/時에서 628.18人-時/時로 약간 增加하였고, 버스專用車線 設置와 並行하여 버스連動信號를 適用하는 境遇에는 591.02人-時/時로 5.1%가 減少하였다.

따라서 總乘客旅行時間은 總遲滯時間의 경우와 마찬가지로 버스專用車線 設置만으로는 減少效果를 거두기가 어렵고 버스連動信號를 並行 實施하는 境遇에 비로소 效果를 거둘 수 있는 것으로 分析된다.

<表7>

버스專用車線 並行下の 車種別 總乘客旅行時間

單位：人-時/時

信號體系	車種	漢南洞 →新沙驛	新沙驛 →論峴洞	論峴洞 →橫斷步道	橫斷步道→ 第一生命앞	合計
既存 信號體系	乘用車	18.82	23.40	14.38	11.72	68.32
	立席버스	149.38	83.72	99.54	61.18	393.82
	座席버스	37.10	20.58	28.00	15.40	101.08
	非路線버스	21.42	22.54	12.46	8.54	64.96
	合計	226.72	150.24	154.38	96.84	628.18
버스 連動信號	乘用車	19.36	24.86	18.24	15.46	77.92
	立席버스	137.06	81.62	104.44	33.32	356.44
	座席버스	35.28	19.60	30.80	8.54	94.22
	非路線버스	22.26	20.44	14.28	5.46	62.44
	合計	213.96	146.52	167.76	62.78	591.02

3) 燃料消費

버스專用車線을 設置해 주는 경우에 既存信號體系 및 버스連動信號에 대한 車種別 燃料消費量을 整理하면 <表8>과 같다.

이에 依하면, 버스專用車線만을 設置해 주는 경우 總燃料消費量은 382.68ℓ/時에서 378.19ℓ/時로 1.2% 減少하였다.

한편, 버스專用車線 設置와 並行하여 버스連動信號를 適用하는 경우에는 總燃料消費量은 397.37ℓ/時로 3.8%가 增加하였는데 이는

乘用車 遲滯時間 增加의 影響 때문이다.

4) 停止率

버스專用車線을 設置해 주는 경우에 대하여 停止率의 變化를 分析한 結果, 버스專用車線 設置에 의하여 停止率은 약간 減少되었으나, 버스連動信號를 並行 適用하는 경우에는 오프셀 變化로 因하여 橫斷步道에서 停止당하는 車輛이 增加함으로써 全體의인 停止率은 약간 增加하는 것으로 나타났다.

그러나 混合交通流인 경우와 마찬가지로 이

<表 8> 버스專用車線 並行下의 車種別 總燃料消費量

信號體系	車 種	漢南洞 →新沙驛	新沙驛 →論峴洞	論峴洞 →橫斷步道	橫斷步道→ 第一生命앞	合 計
既 存	乘 用 車	48.55	58.68	38.77	30.90	176.90
	立席버스	48.79	35.94	27.01	24.68	136.42
	座席버스	12.76	8.85	8.51	6.29	36.41
信號體系	非路線버스	9.60	9.60	5.72	3.54	28.46
	合 計	119.7	113.07	80.01	65.41	378.19
버 스	乘 用 車	49.53	61.13	53.96	44.14	208.76
	立席버스	45.32	36.15	29.06	14.49	125.02
	座席버스	12.28	8.78	9.70	3.86	34.62
優先信號	非路線버스	10.08	9.26	7.17	2.46	28.97
	合 計	117.21	115.32	99.89	64.95	397.37

橫斷步도는 赤色信號가 짧아서 全體的인 遲滯時間은 앞에서 分析한 바와 같이 減少하는 것으로 나타났다.

V. 結 論

街路上을 走行하는 버스群은 停留場 停車로 因하여 乘用車群과 分離되어 乘用車보다 뒤늦게 交叉路에 到着하는 特性을 가지며, 이것은 交通流의 停止線 到着分布에 따른 交叉路 遲滯時間 算出에 큰 影響을 미친다. 특히 버스를 利用하는 乘客數가 乘用車 및 택시 乘客數의 2倍에 이르는 우리나라의 現實을 勘案할 때, 總乘客遲滯時間 最小化的 觀點에서 버스連動信號에 대한 效果 分析이 必要하였다.

이러한 버스連動信號의 效果를 分析하기 위하여 서울市 江南區에 位置한 江南大路上的 3.53 km區間을 事例地域으로 選定하였으며, 交通類 시뮬레이션模型으로는 TRANSYT-7F를 利用하였다.

事例地域에 대하여 버스連動信號를 適用한 結果, 在車人員이 많은 버스의 遲滯時間 短縮 影響으로 既存보다 總乘客遲滯時間은 13.6% 減少하고, 總乘客旅行時間은 3.9% 減少하였으며, 總燃料消費量은 5.6% 增加하였다.

한편, 事例地域에 대하여 既存信號體系下에

서 버스專用車線만을 設置해 주는 경우를 시뮬레이션한 結果, 버스專用車線內的 V/C比가 一部 區間에서 混合交通類인 경우보다 오히려 增加한 影響으로 因하여 總乘客遲滯時間은 2.7% 增加하고, 總乘客旅行時間은 0.8% 增加하였으며, 總燃料消費量은 1.2%가 增加하였다.

따라서, 實質的인 버스優先處理의 效果를 保障하기 위해서는 버스專用車線 設置時에 버스臺數만을 基準으로 해서는 안되고, 該當 街路上의 乘用車 交通量과 버스交通量의 比率을 勘案하여, 버스專用車線의 設置로 因하여 버스專用車線內的 V/C比가 混合交通流인 경우보다 減少될 경우에만 設置의 妥當性이 있는 것으로 判斷된다.

또한, 事例地域에 대하여 버스專用車線의 設置와 並行하여 버스連動信號를 適用하는 경우를 시뮬레이션한 結果, 버스專用車線內的 버스群이 더욱 效率的으로 處理되는 影響으로 因하여 總乘客遲滯時間은 既存보다 17.9% 減少하였고, 總乘客旅行時間은 5.1% 減少하였으며, 總燃料消費量은 3.8% 增加하였다.

本 研究의 結果, 버스交通量이 많은 街路上에 있어서 버스連動信號의 適用은 버스의 交叉路 遲滯時間 短縮에 매우 效果的이었으며, 버스專用車線 設置에 並行하여 버스連動信號를 適

用하는 경우 더욱 效率的인 버스優先處理가 達成될 것으로 分析되었다.

### 辭 謝

文 論文은 文敎部 學術研究造成費의 支援에 의한 研究結果의 一部이다. 研究를 支援해 준 文敎部 當局에 感謝드린다.

### 參 考 文 獻

- 1) 交通開發研究院, 都市別 適正 大衆交通手段 開發計劃에 關한 研究, 1986.12.
- 2) 韓國交通問題研究院, 서울特別市 交通運營改善 (TSM) 事業 報告書, 1986.7.
- 3) NATO Committee on the Challenges of Modern Society, Bus Priority Systems, CCMS Report No. 45, 1976.
- 4) Herbert S. Levinson, Crosby L. Adams, and William F. Hoey, Bus Use of Highways: Planning and Design Guidelines, NCHRP Report 155, 1975.
- 5) Transport and Road Research Laboratory, Bus Priority, TRRL Report LR 570, 1973.
- 6) John J. Roark, Experiences in Transportation System Management, NCHRP Synthesis 81, TRB, 1981.
- 7) Transportation Systems Management: Implementation and Impact. U.S. DOT, DOT-1-82-59, 1982.
- 8) Urban Traffic Control and Bus Priority System, Federal Highway Administration, Report No. FHWA-RD-76-184, 1976.
- 9) B.R. Cooper, Bus-Actuated Traffic Signals—Simulation Study of Priority at Three Stage Junctions, TRRL Report 1089, 1983.
- 10) Karen L. Paine, The Bus Priority Signal System Story, Workshops on Bus Priority Signal Systems.
- 11) M. Yedlin and E.B. Lieberman, Analytic and Simulation Studies of Factors that Influence Bus-Signal-Priority Strategies, TRR 798, 1981.
- 12) A. Essam Radwin and David A. Benevelli, Bus Priority Strategy: Justification and Environment Aspects, ASCE 109, No. 1, 1983.
- 13) D.I. Robertson and R.A. Vincent, Bus Priority in a network of Fixed-Time Signals, TRRL Report 666, 1975.
- 14) Edward B. Lieberman, Ann Muzyka, and David Schmeider, Bus Priority Signal Control: Simulation Analysis of Two Strategies, TRR 633, 1978.
- 15) Joseph A. Wattleworth, Kenneth G. Courage, and Charles E. Wallace, Evaluation of Bus Priority Strategies on North West Seventh Avenue in Miami, TRR 626, 1977.
- 16) TRANSYT-7F User's Manual, Federal Highway Administration, U.S. DOT, 1983.