□論文□

# 신호등 교차로에서의 지체예측에 관한 연구

A Model for the Estimation of Delay at Signalized Intersections

李鐘基
(亞洲大學校 大學院 交通工學科)

李勝煥
(亞洲大學校 交通工學科 敎授)

目 次

Ⅰ. 序 論
Ⅱ. 交通量에 衣한 遲滯豫測 推定節次
1. 遲滯의 槪念
2. 遲滯 豫測 推定 節次
Ⅲ. 無作爲 到着形態 의 區間測定
Ⅳ. 調査 및 資料 分析
1. 調査 內容 및 資料 分析
2. 資料의 整理 및 分析
3. 統計 分析
Ⅴ. 遲滯 豫測 模型의 推定 結果
1. 遲滯 豫測 推定 模型
2. 無作爲 到着形態의 區間設定
Ⅵ. 結 論

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to construct a model to estimate the delay that vehicles arriving randomly will be experienced at an isolated singalized intersection.

To do this, the following objectives are set in this study :

(i) At what distance a random arrival pattern occurs after a platoon of vehicles are discharged from the stop line ;

(ii) A model which estimates the average delay per through-vehicle with respect to the degree of saturation ; and

(iii) The relation between the stepped delay and average approach delay per vehicle.

The following are the findings of this study :

(i) A random arrival pattern on the first, second, and third lanes occur 300,400, and 300 m downstream from stop line rdspectively.

A random arrival pattern on lane group occurs 500m. downstream from the stop line ;

(ii) A model for the estimation of approach delay has been developed in such a way that up to x=0.7, the delay increases linearly and beyond 0.7, the delay increases rapidly in a form of second order polynomial due to high degree of saturation ; and

(iii) Approach delay equals approximately 1.21 times of stopped delay.

## Ⅰ. 序 論

都市지역에서의 급격한 交通 需要의 증가에 따르는 交通施設의 부족과 政府의 소극적인 交通政策으로 인하여 현재 대도시의 交通難은 매우 심각한 상황에 直面하게 되었다. 이중에서 交叉路는 交通疏通 및 遲滯등에 至大한 影響을 미치는 重要部分으로서 특히 交叉路의 서비스 수준을 결정짓는 效果尺度(MOE)인 車輛遲滯의 증가는 결국 交叉路 混雜을 증가시키며 利用者의 서비스 수준을 低下시키는 結果를 招來하게 된다. 또한 過多한 遲滯는 燃料消耗, 大氣汚染, 騷音, 運轉者와 乘客의 불필요한 時間損失등을 增加시킴으로서 道路의 非效率的인 이용뿐만 아니라 生産性(productivity)의 減少를 가져오며 이로 인한 經濟的 損失 또한 莫大하다고 할 수 있다.

이와같이 車輛 遲滯는 個人的인 側面에서 뿐만 아니라 사회 全般的인 面에 있어서 매우 重要한 影響을 미치게 됨을 알 수 있다. 우리나라는 현재 교통에 관한 基礎 資料가 未備하여 美國 道路容量便覽(Highway Capacity Manual)을 國內 交通·道路·信號 與件에 그대로 適用함에 있어서 그 適合性 與否가 檢討되어 있지 않은 實情이다. 그러나 多幸히도 이러한 현실을 克服하기 위하여 국내에서 近者에 韓國型 道路容量便覽(Korean Highway Capacity Manual)作成作業이 着手되어 현재 연구가 進行中에 있다.

本 論文은 이러한 趨勢에 副應하여 (1) 信號燈 있는 獨立交叉路 接近路上에서의 車輛遲滯(接近遲滯, 停止 遲滯)模型을 構築하고, (2) 차량들의 無作爲到着形態(Random Arrival Pattern)에 따른 區間을 設定하고, (3) 停止遲滯 對 接近遲滯의 比를 糾明하고, (4) 各 遲滯 模型들을 比較함으로서 都市幹線道路의 信號時間의 最適化와 連動化에 관한 對策樹立을 위한 基礎資料를 提供하는데 그 目的을 두고자 한다.

## Ⅱ. 交叉路 遲滯豫測 推定節次

### 1. 遲滯의 槪念

遲滯(delay)는 交通研究의 基礎資料로서 중요한 變數이며, 서비스 수준(level of service)을 決定하여 道路設計를 함에 있어서도 직접적인 影響을 미치는 變數로서 이에 대한 定義를 要約하면 각각 다음과 같다.

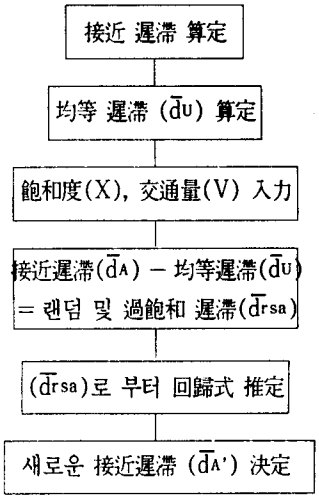
美國 道路 容量便覽('85 HCM)에서는 교차로 서비스 수준의 效果尺度로서 對象接近路나 車線群에서의 車輛當 平均 停止遲滯를 考慮하였는데 이는 "교차로 접근로나 차선군에서 특정한 시간동안 차량이 정지해서 소비하는 平均時間"으로 定義하였으며, 접근 지체는 "停止遲滯 뿐만 아니라 停止를 위한 감속 및 가속지체도 包含하는 遲滯"로서 定義하였는데 英國의 Webster의 지체모형(8, 9)이 代表的이다. 또한 TRANSYT-7F (17)에서는 지체를 "信號燈에 의한 停止나 徐行(slow down)을 포함하지 않는 차량의 目標速度(target speed)에 根據한 總 通行時間(total travel time)과 理想的 通行時間(ideal travel time)의 差"로서 定義하였다. 또한 NETSIM(13)에서는 지체를 "목표속도(target speed)에 근거한 각 링크(link)상의 總 通行時間과 理想的 通行時間의 差"로서 정의하였는데 NETSIM 지체 모형(13)의 特性은 링크(link)목표속도의 範圍를 75~125%까지 考慮하여 각 차량의 목표속도를 割當하고 있으므로 차량의 통행시간은 交通 信號燈뿐만 아니라 交通流內의 각 차량의 摩擦(side friction)에 의해서도 影響을 받는다. 以上과 같이 지체에 관한 여러 정의를 살펴 보았다. 이러한 여러 定義를 토대로 본 연구에서는 차량지체모형을 構築하기 위한 자료를 蒐集하기 위하여 다음과 같이 지체에 대한 정의를 하기로 한다. 첫째, 交叉路 平均停止遲滯時間이란 "교차로에 進入하기 위하여 待機行列속에서 停止해서 기다리는 각 차

량의 平均 消耗時間"을 말한다. 둘째, 교차로 평균접근지체시간이란 "信號燈에 의한 車輛當 平均減速遲滯, 停止遲滯, 加速遲滯의 合"으로 정의 한다. 셋째, 交叉路 平均加速遲滯時間이란 信號燈에 의해 정지했던 각 차량이 녹색신호를 받고 出發遲延損失時間을 經驗하면서 最初로 巡行速度에 到達할때까지 걸린 시간을 同一區間을 순행속도로 통행한 차량의 시간으로 뺀 각 차량당 평균시간"으로 정의한다. 넷째, 交叉路 平均減速遲滯時間이란 "信號燈에 의해 정지하기 위하여 각 차량이 制動燈을 켜는 時點으로 부터 停止할때까지 걸린 時間을 동일 구간을 순행속도로 통행하여 걸린시간으로 뺀 각 차량당 평균시간"으로 정의한다. 다섯째, 平均巡行時間이란 "走行時間(Ruunning time)에서 교차로에 의한 減速 및 加速遲滯를 除外한 時間으로서 交叉路 및 周邊環境의 影響을 받는 狀態에서의 운전자가 希望하는 最大速度"이며(1), 이때 주행시간이란 "어떤 區間을 달리는 차량이 움직이면서 經過한 모든시간으로서 加速 및 遲滯가 包含된 時間을 말한다. 여섯째, "交叉路遲滯란 교차로 접근로상에서 신호등에 의한 정지나 徐行을 포함한 차량당 평균통행시간(Average Travel Time)과 동일구간을 순행속도(Cruising Speed)로 통과하는 것을 전제로 한 차량당 평균순행시간(Aver-age Cruising Time)의 차"로서 정의한다. 따라서 本 硏究에서는 각 交叉路의 狀況에 適合한 平均巡行時間을 구하여 각 遲滯를 算定한다.

## 1. 遲滯 豫測 推定 節次

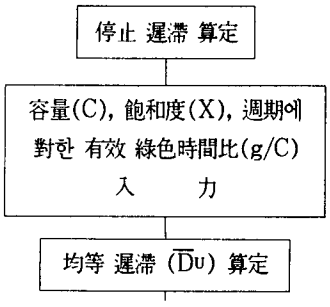
### 2.1. 接近遲滯 推定 節次

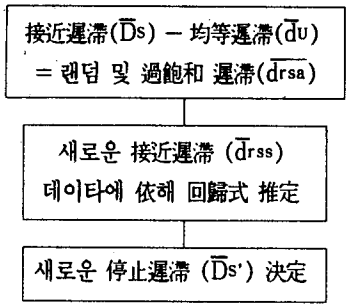
"各 車輛이 制動燈을 켜는 瞬間부터 停止한 후 다시 綠色信號를 받고 出發하여 最初로 巡行速度에 到達힐때 까지 걸린 시간과 同一區間을 巡行速度로 通行하는데 所要된 시간의 差"로서 비디오 테이프를 通하여 接近遲滯를 算定한후 Webster 接近遲滯式의 均等遲滯를 算定한다. 따라서 "接近遲滯와 均等遲滯의 差"를 算定한 후 回歸式을 推定하여 새로운 接近遲滯式($\bar{d}_A$)을 決定한다. 推定 節次는 다음과 같다.




### 2.2 停止遲滯 推定節次

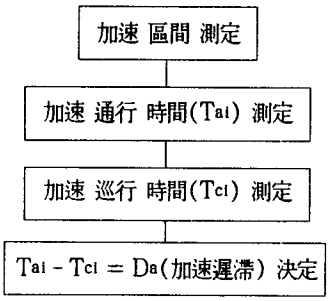
"交叉路에 進入하기 위하여 待機行列속에서 停止해서 기다리는 各 車輛의 平均消耗時間을 비디오 테이프에 의해 測定하여 交叉路 停止遲滯를 算定한후 美國道路容量便覽에서 提示된 停止遲滯式의 均等遲滯를 算定한다. 따라서 "停止遲滯와 均等遲滯의 差"를 算定한후 回歸式을 推定하여 새로운 停止遲滯式($\bar{D}_{S'}$)을 決定한다. 推定節次는 다음과 같다.





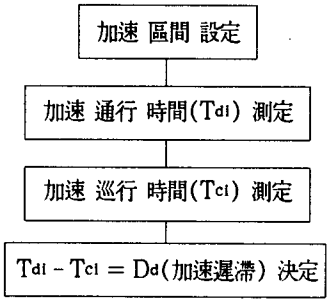

2.3 加速遲滯 推定節次

交叉路 信號燈으로 인하여 待機行列속에서 정지하고 있던 "각 차량이 綠色信號를 附與 받고 停止했던 위치로 부터 出發遲延損失時間을 經驗하면서 出發하기 始作하여 最初로 巡行速度에 到達할 때까지 걸린 시간과 同一區間을 巡行速度로 通行하는데 걸린 時間의 差"를 비디오 테이프 상으로 測定하여 加速遲滯를 算定한다. 이때 加速通行時間($T_{ai}$)은 i번째 車輛이 出發하기 始作하여 最初로 巡行速度에 到達할때까지 걸린 時間을 말하며, 加速巡行時間($T_{ci}$)은 i번째 차량이 同一區間을 巡行速度로 通行하는데 所要된 時間을 말한다. 推定 節次는 다음과 같다.




2.4 減速遲滯 推定節次

交叉路 信號燈으로 인하여 停止하기 위하여 "각 車輛이 브레이크를 밟는 瞬間(제동등이 켜지는 순간)부터 停止할 때까지 걸린 時間과 同一區間을 巡行速度로 通行하는데 所要된 時間과의 差"를 비디오 테이프 상으로 測定하여 減速遲滯를 算定한다. 이때 減速通行時間($T_{di}$)은 i번째 車輛이 브레이크를 밟는 瞬間부터 停止할 때까지 걸린 所要時間을 말하며, 減速巡行時間($T_{ci}$)은 i번째 車輛이 同一區間을 巡行速度로 通行하는데 所要되는 時間을 말한다. 推定 節次는 다음과 같다.




## Ⅲ. 無作爲 到着形態의 區間測定

交叉路의 停止線上에 待機하고 있던 車輛群(Platoon)이 通行權(Green time)을 附與받고 出發할때 어느 程度의 距離동안 車輛群의 形態로 進行하게 된다. 그러나 道路條件, 交通條件, 運轉者의 行態, 環境的 要因等에 의해 車輛들은 차츰 無作爲 形態(Random pattern)의 通行패턴을 나타내게 된다. 無作爲到着 形態(random arrival pattern)라 함은 交叉路 停止線上에서 待機하고 있던 車輛群(platoon)이 出發하여 繼續해서 一定한 間隔으로 通行하는 것이 아니라 어느 程度 時間이 지난 후에는 어느 地點을 서로 無作爲로 到着(到着形態가 指數分布 내지는 포와손 分布를 따름)하게 되는데 이러한 到着形態를 말한다. 美國의 境遇에 있어서는 1/2mile(800m) 以後부터 車輛들이 無作爲 到着形態(Random arrival pattern)를 나타낸다고 MUTCD(Manual on Uniform Traffic Control Devices)(12)는 規定하고 있다.

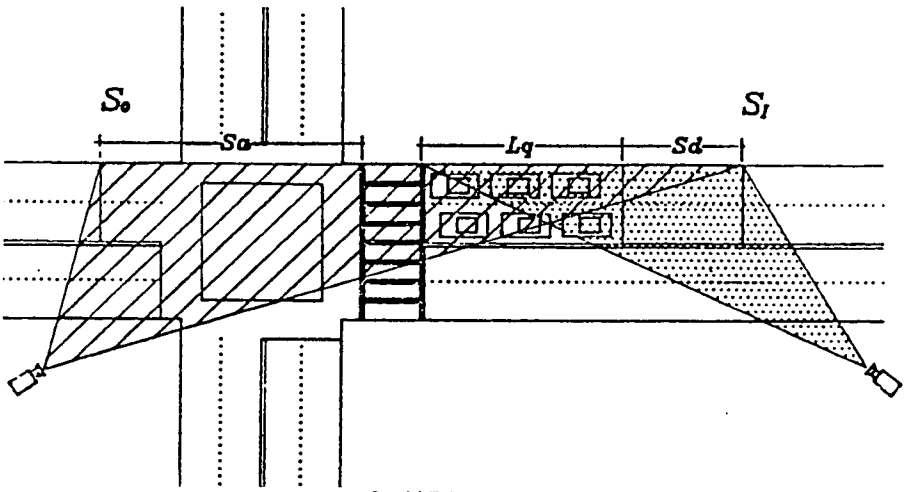
지금까지 우리나라의 경우 無作爲 到着形態(Random arrival pattern)에 關한 硏究가 전혀 없었으므로 本 硏究에서는 가능한 한 긴 링크를 選定하여 車線別, 接近路別로 停止線으로부터의 走行거리에 따른 車頭時間(Headway) 資料를 土臺로 無作爲 到着形態(Random arrival pattern)에 대한 區間을 定義하여 信號燈 連動化를 爲한 基礎 資料로서 提共하고자 한다.

## Ⅳ. 調査 및 資料 分析

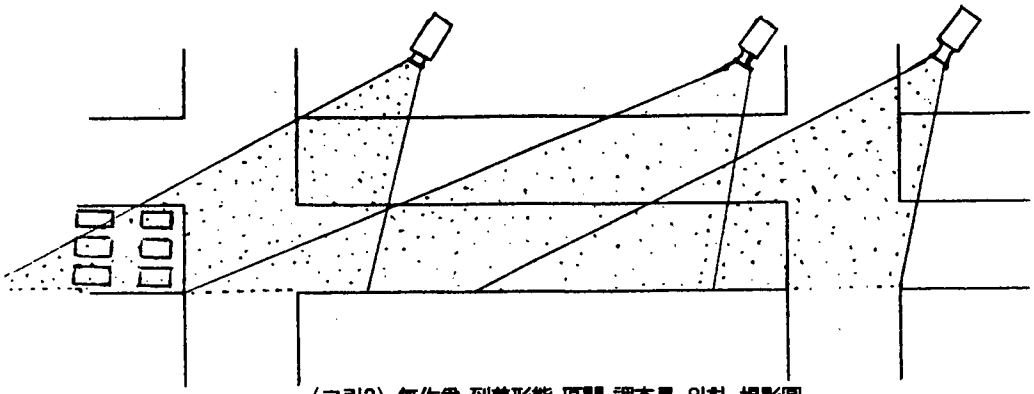
### 1. 調査內容 및 資料蒐集

本 硏究를 遂行하기 爲하여 각종 文獻 調査는 물론 現場 資料를 蒐集하고, 分析에 들어갈 地點을 決定하기 위하여 交叉路 現況 調査와 交叉路間 길이가 최소한의 無作爲 到着(Random Arrival)이 이루어질 수 있는 地點을 選定하였으며, 選定된 地點을 本 硏究의 目的에 附合되는 調査, 分析을 하기 위하여 交通流의 撮影을 實施하였다. 撮影에 所要된 裝備는 遲滯 硏究用으로 비디오 카메라 2대, 無作爲 到着形態區間 調査用으로 비디오 카메라 3대이며, 連續的으로 撮影할 수 있는 地形地物이 必要하였으며, 비디오 카메라를 設置하고 適用하는데 必要한 여러가지 基本的인 條件들이 要求되었다.

遲滯調査를 위한 撮影은 交叉路 流入, 流出部에 地形地物을 利用하여 각각 1대씩 設置하였으며, 특히 流出部에 設置된 비디오는 距離調整(Zoom)을 하여 橫斷步道의 撮影으로 停止한 후 움직이는 車輛들을 精密하게 分析할 수 있도록 하였다. 이에 관한 內容은 다음 〈그림1〉과 같다. 또한 無作爲 到着 形態 區間 調査用 資料蒐集을 爲한 撮影은 停止線으로 부터 200m, 400m, 700m 間隔으로 設置하였다. 이에 관한 內容은 아래 〈그림2〉와 같다.

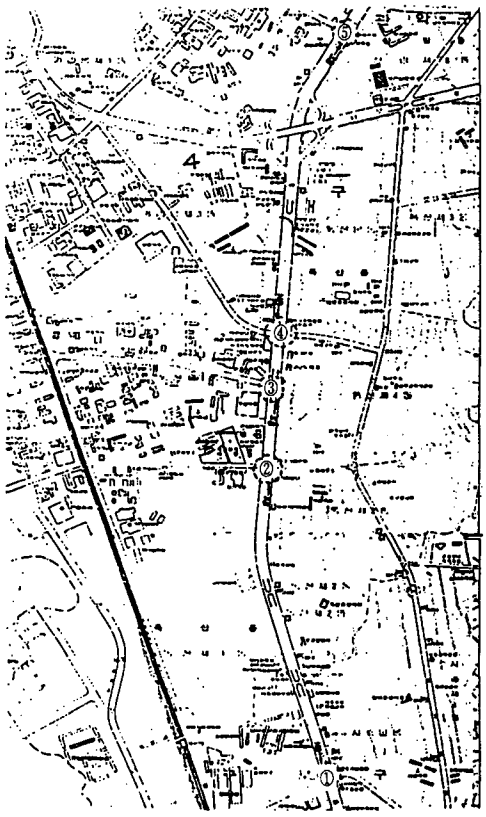



〈그림1〉 遲滯調査를 위한 撮影圖



〈그림2〉 無作爲 到着形態 區間 調査를 위한 撮影圖

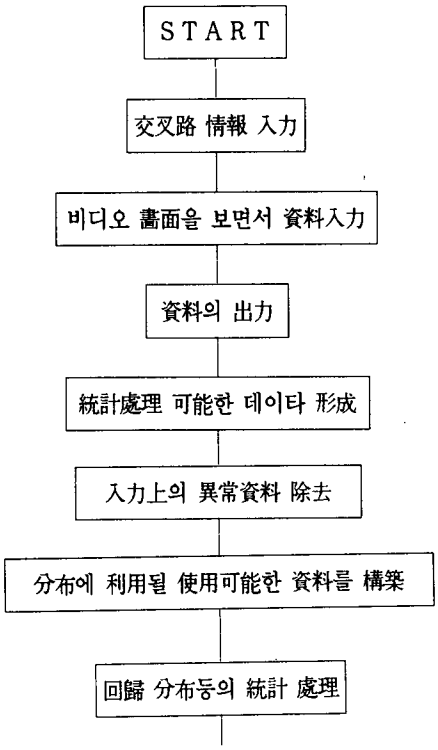
本 硏究를 遂行함에 있어서 독산동 地域의 5개 交叉路를 選定하였으며, 이들은 3車線 以上의 3지 및 4지 交叉路들로서 다음 地圖에 表示된 地點들이다.

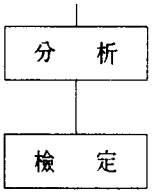



〈그림3〉 독산동의 撮影 地點圖(5개 交叉路)

## 2. 資料의 整理 및 分布

비디오로 撮影된 資料의 算出은 Fortran으로 構成된 프로그램으로 遂行되었으며, 資料 整理過程은 다음 〈그림 4〉와 같다.






〈그림 4〉 資料의 整理 및 分析過程

또한 本 硏究를 遂行함에 있어서 利用된 外部 資料는 現在 推進中에 있는 韓國形 道路容量便覽(KHCM)(5) 作業에 第2段階 中間報告書에서 提示된 것으로서 다음 〈표 1〉과 같다.

總計分析을 위하여 蒐集된 資料의 總量은 다음 〈표 2〉와 같다.

〈표 1〉 KHCM에서 利用한 資料 現況

| 乘用車 換算係數 | | 飽和 交通流率(s) | 車頭 時間(h) | 各顯示當 出發 遲延 損失時間 | 消去 損失 時間 |
|---|---|---|---|---|---|
| 乘用車 | 1.00 | 2230 | 1.61 | 2.6초 | 1초 |
| 소 형 버 스 | 1.18 | pcphgpl | 초 | | |
| 대 형 버 스 | 1.84 | | | 總 損失 時間 | |
| 소 형 트 럭 | 1.25 | | | 3.6초 | |
| 대 형 트 럭 | 2.11 | | | | |
| 특 수 차 량 | 2.11 | | | | |

※ 위 資料는 遲滯算定을 爲하여 大型車를 小型車로 換算 및 容量算定을 爲하여 利用되었음.

〈표 2〉 遲滯에 관한 調査 資料 現況

| 交叉路 番號 (月 日) | 總 資 料 數 | 使 用 資 料 數 | 綠 色 時 間 (초) | 區間別 巡行時間 (초) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 減速 | 加速 | 總 |
| 1番 交叉路(11/4) | 21 | 19 | 78.9 | 5 | 7 | 12 |
| 2番 交叉路(11/4) | 27 | 24 | 56.8 | 5 | 7 | 12 |
| 3番 交叉路(11/4) | 87 | 83 | 77.6 | 7 | 8 | 15 |
| 4番 交叉路(11/3) | 48 | 82 | A.M. 59.0<br>P.M. 78.0 | 6 | 7 | 12 |
| 5番 交叉路(11/2) | 29<br>178 | 23<br>134 | A.M. 79.0<br>P.M. 61.0 | 4 | 7 | 11 |
| 過飽和 資料 | 38 | 27 | P.M. 61.0 | | | |
| 계 | 479 | 411 | | | | |

1)위 資料는 서울시 독산동 一帶에서 1990年 11月 2日부터 3일간 調査된 資料임.
2) 總資料數에서 異常資料를 除去한 實際 使用 資料數임.
3) 過飽和 資料는 5番 交叉路에서의 資料임.

〈표 3〉 車頭時間에 關한 總 資料 現況

| 구분 | 1 LANE | 2 LANE | 3 LANE |
|---|---|---|---|
| 100m | 2904 | 2535 | 2315 |
| 200m | 2949 | 2705 | 3183 |
| 300m | 1789 | 1583 | 1768 |
| 400m | 2111 | 1305 | 2056 |
| 500m | 1739 | 1616 | 2189 |
| 600m | 1782 | 1685 | 2157 |

※ 위 資料는 無作爲 到着形態區間을 測定하기 爲하여 각 車輛 到着 車頭時間(headway)을 利用하여 指數分布에 따르는가의 與否를 判斷하기 爲하여 利用됨.

위의 資料를 分析하면 各 遲滯 構築 模型에 利用된 資料는 總 479개 자료중 過飽和 資料를 包含하고 있는 구로공단역 入口 3지 交叉路에서 蒐集된 174개 자료중 40개의 異常値를 實驗計劃法의 技法으로서 95% 信賴區間으로 除去한후 134개 正常値 자료를 利用하였다.

各各을 살펴보면, 첫째 接近遲滯와 停止遲滯 模型構築에 利用된 資料數는 總 479개의 자료중 134개가 이용되었으며, 실측치 자료등은 週期別로 取하여진 車輛當 平均 遲滯時間에 관한 자료로서 이에는 여러가지 變數들(飽和度, 週期, 容量, 交通量, 損失時間등)이 利用되었다. 둘째, 加速과 減速遲滯分析에 이용된 자료수는 총 479개 자료중 68개의 異常値를 除去한 411개 자료가 이용되었으며, 이들 자료들은 模型構築을 위하여 別途로 사용되지는 않았다. 이들 자료의 分布를 分析해 본 結果는, 첫째 總遲滯에 대한 加速 및 減速遲滯의 比는 별로 重要한 比重을 차지하지 못했고, 飽和度 1.0 未滿에서 加速遲滯는 대개 2.0~7.5초의 範圍에 分布하며, 減速遲滯의 範圍는 1.5~6.0초의 범위에 분포했다. 따라서 飽和度 1.0未滿에서는 加速遲滯가 減速遲滯보다 大略 1초程度 높은 것으로 나타났다. 둘째, 또한 飽和度 1.0以上의 過飽和인 境遇에 加速遲滯의 範圍는 5.5~8.0초로 나타났고, 減速遲滯의 境遇는 3.5~5.0초의 범위에 分布했다. 따라서 過飽和 1.0이상인 過飽和狀態에서는 가속지체가 감속지체보다 약2초 정도 더 높은 것으로 나타났다. 結局 飽和度의 增加에 따라 遲滯는 증가하며, 가속지체가 감속지체보다 더 증가한다는 것을 알 수 있다. 셋째, 無作爲 到着 形態 區間 設定 硏究에 이용된 자료를 살펴보면, 총 39,068개의 車頭時間(Headway)資料中 697개의 異常値를 除去한 38,371개의 자료가 實際 統計分析에 利用되었다. 異常値의 除去는 實驗計劃의 技法과 專門家의 助言을 通하여 除去하였으며, 分析에 이용된 기법은 統計的 分析技法인 確率圖(Probability Plot)의 技法과 $\chi^2$ 檢定法을 이용하였다.

### 3. 統計 分析

統計 分析은 다음의 3가지로 나누어 分析하였다.

첫째, 遲滯模型 構築에 關한 資料를 分析함에 있어서, 분석된 자료들을 各 遲滯 函數 推定을 위하여 PC용 統計 패키지인 SAS를 利用하여 재정리하고, 模型을 導出한다. 導出된 結果는 接近遲滯의 決定 係數(R-Square)의 값이 약 94%이며, 停止 遲滯의 決定 係數(R-Square)의 값이 약 95%로서 實測値와 豫測値간의 誤差에 대한 信賴區間이 꽤 높은 것을 알 수 있다. 이에 관한 檢定은 模擬 實驗(Simulation)檢定法中 하나인 實測値와 豫測値 差에 관한 信賴區間 方式을 利用하였으며, 이용된 資料數는 277개이다. 이것은

비록 制限된 資料에 의해 導出된 模型이긴 하지만 다른지역의 交叉路에서도 現實適合性이 높다는 것을 意味한다.

둘째, 無作爲 到着形態 區間 設定에 관한 자료를 분석해 보면, 交叉路間 距離가 700m인 하나의 지역을 調査區間으로 選定하여 총 39,068개의 차두시간 자료를 蒐集하고, 697개의 異常要因을 除去한 후, 實際 統計分析에 이용된 자료수는 13,668개이다. 이용된 技法은 確率圖(Probablity Plot)法으로서 이것은 比較하고자 하는 分布와의 分布函數를 豫測, 比較하는 것이다.

本 硏究의 分析段階에 이용된 값은 $\{X(i), C-(1/\beta)\ \ln\langle(n-i+0.5)/n)\}$이며, 確率圖에 나타난 結果가 原點을 지나면서 45°의 기울기를 이룰 때 실측치 자료들이 假定한 分布에 따른다고 말할 수 있다.

따라서 本 硏究의 統計分析結果 實測値 資料들이 1車線의 境遇 300m, 2車線 400m, 3車線 300m에서 각각 指數 分布에 따르며, 車線群으로 볼때 500m 以後에 指數分布를 따랐다. 이에 관한 統計的 檢定方法으로는 적합도 검정법 중 $\chi^2$ 檢定(Chi-Square Test)을 이용하였다. 檢定結果 1차선 300m, 2차선 400m, 3차선 300m에서 무작위 도착형태가 나타났고, 차선군으로는 400m에서 $\alpha=0.005$의 값으로 전 차선이 무작위 도착 형태를 나타냈다. 따라서 檢定結果와 確率圖의 結果가 一致함을 알 수 있다.

셋째, 週期當 車輛當 平均接近遲滯와 停止遲滯의 關係에 관한 자료를 분석함에 있어서 자료들의 定規性檢定을 實施하였는 바 非定規性을 띄고 있었다. 따라서 本 硏究에서의 접근지체모형과 정지지체모형간의 關係 그래프를 이용하여 두 遲滯의 面積의 比로 計算해 본 結果 飽和度 0.7未滿에서는 大略 1.005배, 飽和度가 0.7에서 1.6까지 範圍에서는 1.25배 임을 알 수 있었다. 全體的으로는(포화도 0~1.6) 大略 1.21배 임을 알 수 있다.

## V. 遲滯 豫測 模型 推定 結果

### 1. 遲滯 豫測 推定 模型

#### 1.1 接近 遲滯 模型

推定된 方程式은 飽和度 $0 \le X \le 0.7$에서는 線型式

즉 $drs_1=14.5x$로 推定되었으며 $0.7\langle x\le 1.6$에서는 2차 다항식의 形態인 $drs_2=128.500\,x^2-83.161\,x^2+5.2000$로 推定되었다. 推定된 無作爲와 過飽和에 따른 遲滯式은 다음과 같다.

$$drs = \begin{cases} 14.5\,x, & 0 \le x \le 0.7 \\ 128.500\,x^2 - 83.161\,x^2 + 5.2000, & 0.7\langle x \le 1.6 \end{cases}$$

따라서 本 硏究에서 導出된 接近遲滯 模型은 다음과 같다.

$$D_A' = \begin{cases} D_U + D_{rs1} \\ \dfrac{C\,(1-\frac{g}{c})^2}{2\,(1-\frac{g}{C}\,x)} + 14.500x \\ \qquad\qquad , \quad 0 \le x \le 0.7 \\ D_U + D_{rs2} \end{cases}$$

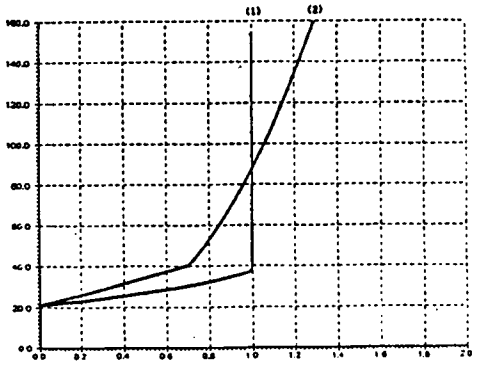
$$= \frac{C\,(1-\frac{g}{c})^2}{2(1-\frac{g}{c}\,x)} + 128.500x^2 - 83.161x + 5.200$$

$$\qquad\qquad , \quad 0.7\langle x \le 1.6$$

이때, x = 飽和度, $D_{rs1}$, $D_{rs2}$=無作爲와 過飽和遲滯

g/C=週期에 對한 有效綠色時間 比. $D_U$=均等遲滯

윗 식은 實測値와 理論値 差의 信賴區間 方式을 利用하여 檢定을 實施하였는바 決定係數(R-Square)값이 94%를 나타내며, Webster의 接近遲滯模型과 本 硏究에 依한 接近遲滯模型을 그래프상으로 나타낸 結果는 다음 〈그림 5〉와 같다.



(1) Webster의 接近遲滯 模型

(2) 本 硏究에 의한 接近遲滯 模型

〈그림 5〉 飽和度(X)에 따르는 Webster 模型과 本 硏究에 의한 接近遲滯 模型과의 比較

그래프에서 알 수 있듯이 Webster의 접근지체 모형 ($D_A$)은 飽和度 1.0까지 使用할 수 있는 반면, 새로운 接近遲滯 식은 포화도 1.6까지 적용 可能範圍를 定하였으나 차후에 明確한 範圍의 決定이 要望된다.

두 그래프에서 볼 수 있듯이 새로운 접근지체 모형 ($D_{A'}$) 이 webster의 접근지체 ($D_A$)모형에 비해 포화도 0.7未滿에서는 多少 遲滯가 낮으나 0.7에서 1.6의 範圍에서는 높은 것으로 나타났다. 또한 포화도 1.0이상의 경우에는 2차 다항식의 형태로 증가하는 傾向을 나타냈다.

### 1.2 停止遲滯 模型

推定된 方程式은 飽和度 $0 \le x \le 0.7$에서는 線形式의 形態로 增加하는 傾向을 나타냈고, $0.7 < x \le 1.6$에서는 2차다항식의 형태로 증가하는 경향을 나타낸다.

推定된 結果는 다음과 같다.

$$drs = \begin{cases} Drs1 = 14.1\,x & 0 \le x \le 0.7 \\ Drs2 = 83.664\,x^2 - 52.274\,x + 5.780, & 0.7 < x \le 1.6 \end{cases}$$

따라서 새로운 停止遲滯(ds')式은 다음과 같다.

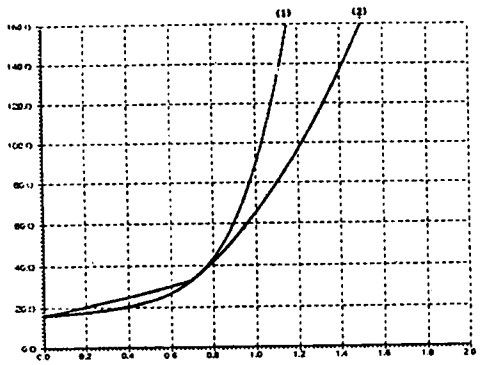
$$D_{A'} = \begin{cases} D_U + Drs1 \\ \dfrac{C\,(1-\frac{g}{c})^2}{2\,(1-\frac{g}{C}x)} + 14.1x \\ \qquad\qquad , \quad 0 \le x \le 0.7 \\ D_U + Drs2 \end{cases}$$

$$= \frac{C\,(1-\frac{g}{c})^2}{2(1-\frac{g}{c}x)} + 83.664x^2 - 52.274x + 5.780$$

$$, \quad 0.7 < x \le 1.6$$

위 方程式 역시 實測値와 理論値간의 差의 信賴區間 方式을 이용하여 檢定을 實施하였는 바 決定 係數(R-Square)값이 95%라는 좋은 結果를 가져왔다.

本 硏究의 停止遲滯 模型과 1985년 美國 道路容量便覽의 停止遲滯 模型을 比較해 본 結果는 다음 〈그림 6〉과 같다.



(1) 美國 HCM 模型

(2) 本 硏究에 의한 停止遲滯 模型

〈그림 6〉 飽和度(X)에 따르는 두 停止遲滯의 比較

美國 停止遲滯 模型은 飽和度 1.0까지 適用되며 $1 \le x \le 1.2$에서는 주의를 기울여 使用해야 한다. 本 硏究에서 提示된 새로운 정지지체 모형은 포화도 1.6까지 適用 可能한 것으로 나타났다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 포화도 0.7未滿에서

는 본 연구에서 構築된 정지지체 모형이 多少 遲滯가 높은 것으로 나타났다. 그러나 0.7이상에서는 미국 HCM모형의 정지지체가 높다는 것을 알 수 있다.

### 1.3 停止遲滯에 대한 接近遲滯의 關係 設定

美國의 境遇에 있어서 接近遲滯는 停止遲滯의 1.3배인 것으로 調査되었다. 이에 本 硏究는 국내의 이러한 關係를 糾明하기 위하여 實測値 데이타로서 定規性 檢定을 實施해 본 結果 資料들이 非定規性을 띄고 있었다. 따라서 開發된 模型들의 面績의 比(接近遲滯/停止遲滯)로서 이러한 關係를 설정하였는데 〈그림 8〉의 그래프(4)와 (5)의 面績의 比이다.

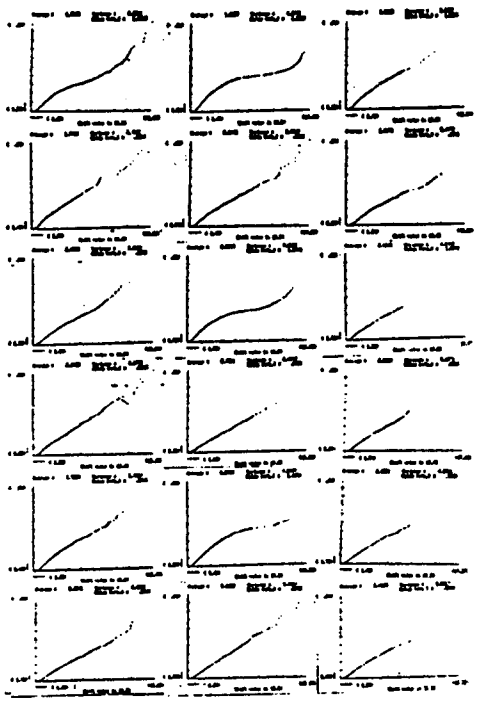
糾明한 結果 接近遲滯는 停止遲滯의 大略 1.21배로 나타났다. 飽和度의 區間에 따라 세분화하면 포화도 0.7미만에서는 大略 1.005배, 포화도 0.7에서 1.6의 範圍에서는 1.25배로 나타났다. 이 數値는 미국의 경우보다 작다. 이것은 美國보다 우리나라가 加速 및 減速遲滯가 차지하는 比重이 總遲滯에 비해 작다는 것을 意味하며 아마도 우리나라 운전자들의 加·減速時間이 外國에 비해 짧기 때문인 것으로 보여진다.

### 1.4 無作爲 到着形態의 區間定義

美國에 境遇에 있어서 停止線上에 待機하고 있던 車輛群(Platoon)이 綠色 信號를 받고 出發하기 始作하여 無作爲(random)로 到着되는 地點을 1/2 mile(800m)로 規定하고 있다.

本 硏究에서는 車線別 距離別 車頭時間(Headway)을 이용하여 무작위성을 체크하였다. 結果는 다음과 같다.

車線別로는 1차선이 300m, 2차선이 400m, 3차선이 300m 구간에서 無作爲 到着 形態를 나타내었고, 車線群(Lane Group)으로 보면 500m 이후에 랜덤 도착을 나타냈다. 이에 관한 內容이 〈그림 7〉에 나타나 있다. 이것은 미국의 경우 보다 大略 300m 정도 짧은 구간에서 랜덤 도착을 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. 이에 대한 理由는 우리나라 運轉者들의 加·減速時間이 美國보다 짧은 것으로 判斷된다.



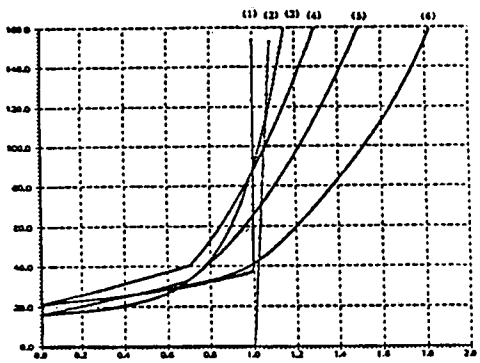
| 구분 / 모형 | α | t(n1:α) | min intv. | Max intv. | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| S S A | 0.001 | 3.291 | 3.636 | 9.937 | Mean :6.787 Std Dev. :12.663 N obs : 175 |
| | 0.01 | 2.576 | 4.231 | 9.252 | |
| | 0.02 | 2.326 | 4.560 | 9.013 | |
| | 0.05 | 1.960 | 4.910 | 8.663 | |
| | 0.10 | 1.645 | 5.212 | 8.361 | |
| | 0.20 | 1.282 | 5.560 | 8.014 | |
| S S D | 0.001 | 3.291 | 2.697 | 7.663 | Mean : 5.179 Std Dev. : 9.981 N obs : 175 |
| | 0.01 | 2.576 | 3.236 | 7.123 | |
| | 0.02 | 2.326 | 3.425 | 6.935 | |
| | 0.05 | 1.960 | 3.701 | 6.658 | |
| | 0.10 | 1.645 | 3.938 | 6.421 | |
| | 0.20 | 1.282 | 4.212 | 6.147 | |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| T O T | 0.001 | 3.291 | -0.327 | 5.923 | Mean : 2.798 Std Dev. :15.802 N obs : 277 |
| | 0.01 | 2.576 | 0.352 | 5.244 | |
| | 0.02 | 2.326 | 0.590 | 5.006 | |
| | 0.05 | 1.960 | 0.937 | 4.659 | |
| | 0.10 | 1.645 | 1.236 | 4.360 | |
| | 0.20 | 1.282 | 1.581 | 4.015 | |
| S T O | 0.001 | 3.291 | 0.217 | 5.625 | Mean : 2.291 Std Dev. :13.525 N obs : 271 |
| | 0.01 | 2.576 | 0.805 | 5.037 | |
| | 0.02 | 2.326 | 1.010 | 4.832 | |
| | 0.05 | 1.960 | 1.311 | 4.531 | |
| | 0.10 | 1.645 | 1.569 | 4.272 | |
| | 0.20 | 1.282 | 1.868 | 3.974 | |

〈그림 7〉 無作爲 到着 形態의 區間 設定을 爲한 確率圖 및 檢定結果表

### 1.5 他 遲滯模型과의 比較

지금까지 硏究되어온 많은 遲滯模型들과 本 硏究에서 導出된 지체모형을 비교해본 結果는 다음 〈그림 8〉과 같다.



(1) Webster 模型
(2) 過飽和 模型
(3) 美國의 HCM 模型
(4) 本 硏究 에서 構築된 接近遲滯 模型
(5) 本 硏究에서 構築된 停止遲滯 模型
(6) TRANSYT-7F 模型

〈그림 8〉 飽和度(X)에 따르는 各 遲滯의 關係曲線

위 그래프상에 나타난 結果를 要約하면 다음과 같다.

첫째, 本 硏究에서 構築된 接近遲滯 模型이 飽和度 1.0未滿에서 가장 遲滯가 높다는 것을 알 수 있다.

둘째, 美國 HCM 模型이 포화도 0.7未滿에서 가장 지체가 낮다는 것을 알 수 있다.

세째, TRANSYT-7F의 遲滯가 他 遲滯보다 多少 낮은 것을 알 수 있다.

넷째, Webster 模型을 除外한 나머지 模型들은 모두 過飽和 遲滯의 範圍를 包含한다는 것을 알 수 있다.

다섯째, 本 硏究에서 構築된 停止遲滯 模型이 美國 HCM 停止遲滯 模型보다 飽和度 0.7未滿에서는 낮고, 飽和度 0.7以上에서는 높다는 것을 알 수 있다.

여섯째, 本 硏究에서 構築된 接近遲滯 模型이 Webster의 接近遲滯보다 飽和度 1.0未滿에서 높은 것으로 나타났다.

## 結 論

本 硏究에서는 獨立 信號燈 交叉路에서의 遲滯模型을 構築하고 接近遲滯와 停止遲滯의 關係를 糾明하고 無作爲 到着形態의 區間을 設定하여 우리나라의 交通特性을 밝히고자 하였다.

本 硏究의 結果를 硏究 課題別로 整理하면 다음과 같다.

첫번째 과제인 遲滯模型 構築에 관한 結果는 다음과 같다.

(1) 車輛當 平均 接近遲滯 模型($D_A$)

$$D_A' = \begin{cases} \dfrac{C(1-g/C)^2}{2(1-(g/C)x)} + 14.500x & ,0 \le x \le 0.7 \\ \dfrac{C(1-g/C)^2}{2(1-(g/C)x)} + 128.500x^2 - 83.161x + 5.200 & ,0.7 \le x \le 0.7 \end{cases}$$

(2) 車輛當 平均 停止遲滯 模型(Ds)

$$Ds' = \begin{cases} \dfrac{C(1-g/C)^2}{2(1-(g/C)x)} + 14.100x & ,0 \le x \le 0.7 \\ \dfrac{C(1-g/C)^2}{2(1-(g/C)x)} + 83.664x^2 - 52.274x + 5.780 & ,0.7 \le x \le 1.6 \end{cases}$$

위 模型들은 飽和度 1.6까지 考慮한 模型으로서 그 以上의 範圍에 관한 事項은 此後에 檢討되어야 할 것이다.

두번째 과제인 接近遲滯와 停止遲滯의 關係에 관한 結果는 다음과 같다.

接近遲滯는 大略 停止遲滯의 1.21배와 같으며 飽和度에 따른 두 遲滯의 비를 細分化하면 포화도 0.7未滿에서는 1.005배, 포화도 0.7에서 1.6의 範圍內에서 1.25배 라는 結論을 얻었다.

이것으로 미루어 볼 때 우리나라의 境遇 미국보다 總 遲滯에 대하여 加速 및 減速 遲滯가 차지하는 比重이 작다고 판단된다. 역으로 결론을 얻는다면 相對的으로 停止遲滯 時間이 길다고 판단된다. 이는 우리나라 運轉者들의 加·減速時間이 짧기 때문인 것으로 판단된다.

세번째 과제인 無作爲 到着 形態의 區間 設定에 관한 結果는 다음과 같다.

車線別로는 1차선이 300m, 2차선이 400m, 3차선이 300m 地點부터 各 車輛이 無作爲 到着形態를 나타내었고, 車線群으로 보면 500m 地點부터 無作爲 到着 形態를 나타냈다.

以上의 結果들을 導出하는데 있어서 많은 所要時間과 費用의 關係로 資料를 더 얻을만한 充分한 地域을 對象으로 하지 못하여 多樣한 容量에 관한 자료를 얻을 수 없었기 때문에 遲滯 函數로서 飽和度의 獨立 變數만을 考慮할 수밖에 없었다.

따라서 本 硏究의 此後 硏究 課題로서 이 分野에 관한 좀더 包括的이고 詳細한 硏究들이 이루어져야 하겠다. 아울러 都市 幹線道路의 連動化 效果가 높은 交叉路에 관한 遲滯 模型의 硏究도 이루어져야 한다고 생각한다.

## 參考文獻


1) 도철웅, 교통공학원론, 청문사, 1989
2) 이승환, 교차로 용량분석을 위한 교통류 특성 기초조사, 대한교통학회지, 제7권 12호, 1989. 12
3) 이영해, 백두권, 시스템 시뮬레이션, 경문사, 1990
4) 조형가, 이승환, 신호등있는 교차로에서 대형차량의 승용차 환산계수에 관한 연구, '90대한 산업공학회 논문집, 1990. 11
5) 도로용량편람 연구조사 제2단계 중간보고서, 교통개발연구원, 한국건설기술연구원, 1990. 7
6) Ahamad Jadegh, A. Essam Radwan, "Comparative Accessment of 1985 HCM Delay Model", ASCE, 1985. 3. pp. 194~208.
7) B. D. Greenshields, D. Schapiro and E. L. Erickson, Traffic Performane at Urban Intersections Bereau of Highway Traffic, Yale University Press, 1947.
8) F. V. Webster and B. M Cobbe, Traffic Singals, Road Research Laboratory Ministry of Transport, Road Research Technical Paper No. 56, 1966.
9) F. V. Webster Traffic Signal Setting, Road Research Technical No. 39. 1961.
10) Highway Capacity Manual, Special Report 87, Washington, D. C. Highway Research Board, 1965.
11) Highway Capacity Manual, Special Report 209, Washington D. C. Transportation Research Board, 1985.

12) Manual on Uniform Traffic Control Devices, U. S Department of Transportation Federal Highway Administration, 1978.
13) Network Traffic Simulation, U. S. Department of Transportation Fedral Highway Administration, May, 1986.
14) Pignataro L. J., Traffic Engineering-Theory and Practice, 1973.
15) Special Report 165 : Traffic Flow Theory, Transportation Research Board National Research Council, Washington, D. C., 1975.
16) Transportation and Traffic Engineering Handbook, ITE, 1982.
17) Transyt-7F Student Workbook, U. S Department of Transportation Federal Highway Administration, 1984.
18) William R. McShane, A Report on Some Aspect of Traffic Operations, Unpublished Lecture Notes, 1979.
19) Yosef Sheffi, Urban Transportation Network, Massachusetts Institute of Trchnology, 1985.