

□ 論 文 □

# 信號交叉路에서의 推定遲滯에 관한 經驗的 分析

—An Empirical Analysis of Estimated Delay Time at Signalized Intersections—

李 勇 宰

(중앙대학교 건설대학 교수)

金 滿 經

(중앙대학교 일반대학원 토목공학과)

## 目 次

I. 序論

II. 遲滯模型의 種類와 特性

- 1. 美國道路容量便覽(HCM)의 遲滯模型
- 2. 韓國道路容量便覽(KHCM)의 遲滯模型
- 3. NCHRP-339의 遲滯模型

III. 推定遲滯의 分析結果

- 1. 資料의 蒐集과 分析
- 2. 實測遲滯와 推定遲滯의 比較
- 3. 到着狀態에 따른 補整係數의 算出

IV. 結論

## ABSTRACT

The purposes of this study are twofold: (1) to investigate the accuracy of estimation power of the individual models, such as those of Highway Capacity Manual(HCM), Korea Highway Capacity Manual(KHCM), and National Cooperative Highway Research Program(NCHRP) Report 339; and (2) to develop an adjusted delay model which can be applied to the signal control system in urban areas.

The study is mainly focused on four subjects related to the research purposes, which are as follows: (1) characteristics of existing delay models; (2) inherent problems in existing delay models; (3) validation of the proposed model by the comparison of observed delay with estimated delay; and (4) a method which can be applied to develop an appropriate delay model for actual signal control systems by the adjusted factor of the proposed model.

이 논문은 1993년 한국학술진흥재단 공모과제("신호등 교차로에서의 신호연동화 보정계수 산출을 위한 새로운 접근방법의 모색") 연구비지원에 의해 수행되었음.

## I. 序論

최근 都市地域에서의 경제 및 사회활동의 증가로 교통수요와 통행행태에 많은 변화가 일어나고 있으며, 지속적인 교통량 증가와 통행패턴의 변화로 혼잡이 예상되는 출퇴근시간 외에도 주요 교통축과 교차로에서 遲滯하는 빈도가 높게 발생하고 있다. 교통지체로 인한 불편은 운전자와 승객에게 불필요한 운행시간상의 손실뿐만 아니라 대기오염, 연료소모, 소음공해 등의 많은 문제점을 유발하고 있다.

遲滯는 交通需要가 증가 함에 따라 반드시 비례적으로 증가 하는 것이 아니고 交通需要가 도로의 용량에 도달하기 전까지는 완만하게 상승하다가 용량을 넘으면 급격히 높아지는 성질을 갖고 있기 때문에 交通停滯를 완화하기 위해서는 도로의 용량에 이르기 전에 적극적으로 交通流를 管理하여야 한다. 다시 말하면, 시시각각으로 변하는 交通流에 대하여 實時間으로 처리하는 방안을 구축하고, 混雜狀況, 道路條件, 交通事故地點 및 速度 등의 관련정보를 활용할 수 있는 기능을 가진 信號制御시스템의 도입이 필요하다고 볼 수 있다. 이를 위해서는 무엇보다도 交通流의 特性과 그 量을 정확히 推定하지 않으면 안된다. 따라서, 다양한 교통환경에 따른 正確한 遲滯의 推定作業은 신호등교차로의 最適信號週期の 결정과 交通流의 連動化를 위하여 가장 우선적으로 이루어져야 하는 중요한 과제라 할 수 있다.

본 연구의 목적은 크게 두가지로 나눌 수 있는바 첫번째는 美國道路容量便覽 (US Highway Capacity Manual : HCM) 및 韓國道路容量便覽(Korea Highway Capacity Manual : KHCM)에서 提案된 遲滯模型과 지난 1991년 9월에 TRB(Transportation Research Board)에서 발행된 NCHRP(National Cooperative Highway Research Program) 339의 遲滯模型을 實遲滯와 비교함으로써 각 模型의 推定力을

검토하고자 한다. 특히 운전자의 行態나 도로의 幾何條件이 外國의 경우와는 다른 우리나라의 實情에 적용할 수 있는 補整된 交叉路 遲滯模型을 提案하고자 한다.

본 연구의 두번째 목적은 連動(化)補整係數에 관한 것으로 기존에 개발된 지체모형들은 일반적으로 추정된 지체에다 到着形態에 따라 連動(化)補整係數를 적용하여 實遲滯를 추정하고 있지만 본 연구에서는 이 연동화 보정계수의 적용에 따른 문제점을 분석하고 개선방안으로 새로운 접근방법을 시도하고자 한다. 특히 到着形態를 판별하는데 사용되고 있는 車輛群比(Platoon Ratio ; Rp)보다 간단하면서도 실용적인 새로운 判斷指標를 提案하고자 한다.

본 연구에서는 실측자료의 蒐集을 위하여 連動化 현상을 잘 관찰할 수 있는 非尖頭時間帶(오후 1시에서 6시까지)를 調査時間으로 잡고, 서울시의 汝矣島와 鐘路 一帶를 調査對象地域으로 정했다. 일반화된 지체분석의 결과를 類推하기 위해서는 보다 많은 교차로를 상대로 조사를 하여야 하나 본 연구에서는 대표적인 4가지 到着形態에 局限하여 그 分析結果를 提示하고자 한다.

## II. 遲滯模型의 種類와 特性

遲滯(Delay)란 교통흐름의 마찰과 교통통제시설 등에 의하여 발생하는 통행시간의 손실을 의미하며 신호화된 교차로에서 사용되는 효과적이다. 주어진 교차로의 幾何構造, 교통여건 및 신호여건에 따른 遲滯推定을 위한 模型의 정립은 交叉路의 運營分析과 將來狀況豫測을 위하여 필수적으로 요구된다. 또한 遲滯推定에 대한 模型의 정확도는 信號顯示戰略이나 幾何構造改善 등에 많은 영향을 미치게 된다.

일반적으로 도로시설에서의 용량은 시설의 幾何構造와 交通流의 特性에 주로 관련되어 정의되어지지만, 信號交叉路에서의 용량은 주어진 신

호시간에 따라 달리 정의된다. 즉, 도로의 幾何構造는 시설에 대해 固定的이지만 각 접근부에 대한 信號時間의 割當은 信號交叉路의 運營상황에 변화를 주게 되므로 접근부의 容量을 크게 좌우한다. 따라서 信號交叉路의 容量分析에서는 幾何構造條件, 交通流條件, 信號條件을 함께 고려하여 이루어진다.

현재 美國道路容量便覽에서 사용하고 있는 교차로의 서비스수준을 평가하는 效果尺度(MOE)는 차량당 平均停止遲滯(average stopped delay)를 사용하고 있는데 여기서 停止遲滯란 한 차량이 赤色信號時에 通行權(Right of Way)을 받기 위해 待機하는 동안 운전자가 경험하는 停止時間을 말한다. 여기에는 加·減速時間과 走行時間은 제외된다. 다음에 소개되는 遲滯模型들은 信號燈 交叉路에서의 實遲滯를 推定하기 위하여 既存에 사용되고 있는 模型들로서 본 研究의 目的에 맞게 整理한 것이다.

1. 美國道路容量便覽(HCM) 遲滯模型

교차로의 서비스수준을 결정하기 위하여 제의된 美國道路容量便覽 (HCM :1985)의 遲滯算出 공식은 다음과 같다.

$$d = d_1 + d_2 \tag{1}$$

$$d_1 = 0.38 * C * \frac{(1-g/C)^2}{(1-g/C * X)} \tag{2}$$

$$d_2 = 173X^2 * [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (16X/c)}] \tag{3}$$

여기서 d : 차량당 平均정지지체(sec/veh)

C : 信號주기(Cycle length)

c : 특정차선군의 교차로 용량

d<sub>1</sub> : 균일지체(sec/veh)

d<sub>2</sub> : 부가지체(sec/veh)

X : 포화도(v/c)

g/C : 유효녹색비

여기서 d<sub>1</sub>은 도착교통량이 시간에 따라 균일하

게 분포될 때 발생하는 지체로서 한 週期동안 平均交通流率에 의해 생기는 遲滯를 설명한다. 또한 飽和度 X(v/c)는 일반적으로 1.0을 초과할 수 없다. d<sub>2</sub>는 부가적인 遲滯로 任意到着(Random Arrival)으로 인해 생기는 遲滯이며, 교통량의 변화에 따라 주어진 顯示內 통과하지 못하여 발생하는 遲滯를 포함하고 있다.

1985년 HCM에서는 連動化補整係數(PF)를 통해 車輛群이 遲滯에 미치는 영향을 설명하고 있다. 즉, 補整된 遲滯는 식(4)와 같으며 이는 1992년 韓國道路容量便覽(KHCM)에서 제시하고 있는 補整된 遲滯公式과 같다.

$$d_{adj} = d * PF = (d_1 + d_2) * PF \tag{4}$$

여기서 d<sub>adj</sub> : 보정된 지정지체(sec/veh)

PF : 연동화보정계수

d<sub>1</sub> + d<sub>2</sub> : 균일지체와 부가지체의 합

여기서 정의되고 있는 連動(Progression)이란 信號體系 街路網上에서 Non- Stop하는 車輛群을 설명하는데 사용되는 용어이며, 連動化補整係數란 實停止遲滯와 無作為到着으로 가정했을 때의 停止遲滯와의 비를 말한다. 즉, 교차로 간의 거리가 600m 이내의 비교적 짧은 구간일 경우 차량은 群의 형태를 이루면서 도착되므로 無作為到着을 假定한 遲滯模型의 결과는 實停止遲滯와 차이가 있으므로 이를 補整하는 것이 連動化補整係數이다.

1985년 美國道路容量便覽에서는 Passer II - 84의 模型의 개념을 사용하여 좀 더 나은 連動化를 고려하기 위하여 車輛群比(R<sub>p</sub>)를 정의하였다. 즉,

$$R_p = \frac{PVG}{PTG} = \frac{\text{綠色時間에 到着하는 交通量의 총 交通量에 대한 比}}{\text{週期에서 綠色時間이 차지하는 比}} \tag{5}$$

식 (5)에서는 車輛群比(R<sub>p</sub>)는 綠色時間 內의 상대적 交通密度를 나타낸다. 1 이라는 상대적 밀도에서 車輛群은 무작위하게 도착하며 그것의

相對的 遲滯 또한 1 이다. 따라서 綠色時間 內的 相對的 密度는 車輛群比라 정의되며 相對的 遲滯는 連動化補整係數가 된다.

여기서 PVG는 실측에서 얻어지며 PTG는 실측이나 계산상에서 얻어진다. 이것은 連動化의 개념과 직접적으로 관련이 있으며 實測과 模擬實驗

을 통해 산출된다. 또한 車輛群比(Rp)의 값들을 이용하여 <表 1>과 같이 5가지 到着形態로 구분하고 있으며 아래의 <表 2>는 信號燈의 形式과 飽和度에 따라 적용되는 연동화보정계수를 나타내고 있다.

<表 1> 도착형태와 차량군비와의 관계

도 착 형 태	차량군비(Rp)의 범위
1 (적색시점도착)	≤ 0.50
2 (적색중간도착)	0.51 - 0.85
3 (임의도착)	0.86 - 1.15
4 (녹색중간도착)	1.16 - 1.50
5 (녹색시점도착)	> 1.50

자료 : 1985 美國道路容量便覽(HCM)

<表 2> 1985 미국도로용량편람(HCM)에 따른 연동화보정계수(PF)

신호등의 종류	진행방향	v/c Ratio, X	Arrival Type				
			1	2	3	4	5
고정신호식	직진,우회전	≤ 0.6	1.85	1.35	1.00	0.72	0.53
		0.8	1.50	1.22	1.00	0.82	0.67
		1.0	1.40	1.18	1.00	0.90	0.82
감응신호식	직진,우회전	≤ 0.6	1.54	1.08	0.85	0.62	0.40
		0.8	1.25	0.98	0.85	0.71	0.50
		1.0	1.16	0.94	0.85	0.78	0.61
반감응신호식	Main St. 직진, 우회전	≤ 0.6	1.85	1.35	1.00	0.72	0.42
		0.8	1.50	1.22	1.00	0.82	0.53
		1.0	1.40	1.18	1.00	0.90	0.65
반감응신호식	Side St. 직진,우회전	≤ 0.6	1.48	1.18	1.00	0.86	0.70
		0.8	1.20	1.07	1.00	0.98	0.89
		1.0	1.12	1.04	1.00	1.00	1.00
보호좌회전		전부	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

자료 : 1985 美國道路容量便覽(HCM)

## 2. 韓國道路容量便覽(KHCM) 遲滯模型

韓國道路容量便覽(KHCM)에서는 시뮬레이션 모델인 TRAF-NETSIM을 사용하여 신호교차로에서의 정지지체를 산정하였고 미국도로용량편람에서 제시하고 있는 방식에 따라 連動化補整係數를 산출하였다. 또한 연동화보정계수의 산출시 감응신호식의 경우는 미국 HCM의 결과를 그대로 사용하였고 고정신호식에서는 offset의 비율과 포화도 및 링크의 길이에 따라 보정계수를 산출하였다.

또한 한국도로용량편람에서는 美國道路容量便覽 및 제 2의 待機行列(Secondary Queue)에 의한 방식에 대해 提示되었던 단점을 다음과 같이 해결하였다.

- 1) 連續的인(Continuous) 模型을 도출함으로써 현실의 각 상황에 대해 敏感하게 반응할 수 있다.
- 2) 시뮬레이션을 이용하므로써 제2의 待機行列에 의한 방법에서 제시하였던 接近遲滯와 停止遲滯의 관계에 대해 補整할 수 있다.
- 3) 시뮬레이션상에서 제2의 待機行列에 대해 고려하였다.
- 4) 윤셋, 링크 길이, 飽和度를 고려함으로써 車輛群比에 대해 반응한다.

韓國道路容量便覽(KHCM)에서는 KOTI(Korea Transport Institute) 遲滯模型을 제시하였는데 이 模型은 이론적 측면에서 기존모형의 향을 기하기 보다는 Akcelik[14]의 遲滯模型에서 母數(Parameter)를 조정하여 개발된 것으로 보인다. Akcelik의 일반화된 遲滯式을 앞에서 사용한 기호를 사용하여 나타내면 다음과 같다.

$$d = \frac{0.5 * C * (1 - g/C)^2}{(1 - g/C * X)} + \frac{900TX * [(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + m(X - X_0)/cT}]}{(7)}$$

여기서  $d$  : 平均接近遲滯(Approach Delay)

$a, b, m, n$  : 母數(Parameters)

$X_0$  : Overflow Delay가 발생하는 최초의 포화도 ( $= a + bsg$ )

$s$  : 飽和交通流率(대/초)

$T$  : 觀測時間(15분 : 1/4시간)

$g$  : 有效綠色時間(초)

위의 遲滯度 算出 일반식은 4개의 母數( $a, b, m, n$ )를 포함하는데 Akcelik의 遲滯模型은  $n, m$ 이 각각 0과 8이고  $a$ 는 0.5,  $b$ 는 0이고 美國의 遲滯식은  $n, m$ 이 각각 2와 4이고  $a, b$ 는 모두 0인 경우이다. 韓國의 遲滯模型은  $n, m$ 이 각각 0과 3이고  $a, b$ 는 모두 0인 경우로 韓國道路容量便覽에서 제시하는 최종적인 KOTI 遲滯模型은 아래의 식(7)과 같다.

$$d_{adj} = d * PF$$

$$d = \frac{0.38 * C * (1 - g/C)^2}{(1 - g/C * X)} + \frac{173 * [(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + (12X/c)}]}{(7)}$$

## 3. NCHRP-339 遲滯模型

현재까지 연구되어온 대부분의 遲滯模型은 지체의 분석을 위하여 無作為到着(Random Arrival)을 가정하고 있으므로 街路網上에서 群의 形態를 이루는 交通流에 대한 實遲滯를 정확히 반영하고 있지 못하였다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 美國道路容量便覽에서는 連動化補整係數(Progression Adjustment Factor : PF)를 사용하여 보다 정확한 遲滯의 분석을 시도하고 있다. 그러나 美國의 道路容量便覽에서 제시하고 있는 連動化補整係數는 다음과 같은 문제점을 內包하고 있다.

첫째, 信號燈 設置를 계획하고 있는 조건하에서 遲滯推定을 위한 기법이 없다.

둘째, 車輛群의 到着形態가 다양하지 못하므로

遲滯의 推定이 敏感하지 못하다.

세째, 直進車輛群에 이어 到着하게 되는 回轉 交通量으로 인한 2차 待機行列에 대한 遲滯를 반영하지 못한다.

넷째, 車輛群比의 방법은 車輛群 構造를 고려하지 않는다.

또한, 連動化補整係數를 적용할 때 주목해야 할 두가지 유의사항이 있는데 첫째, 連動은 過飽和 상태에서는 큰 영향을 주지 못하며 低飽和 상태 일 때 큰 영향을 미친다고 주장한 Olszewski [12]의 연구결과와 둘째, 美國道路容量便覽(HCM)에서 사용하고 있는 車輛群比(Rp)의 적용성에 관한 모호성을 들 수 있다.

Olszewski의 研究結果에 의하면 連動化補整係數는 總遲滯 중에서 均一遲滯(Uniform Delay)에만 적용되어야 하며 交通量에 의해 영향을 받는 附加遲滯(Incremental Delay)에는 적용하지 말도록 권고하고 있다. 또다른 문제점의 하나인 車輛群比(Rp)의 적용성에서는 美國道路容量便覽(HCM)에서 사용되는 車輛群比는 有效綠色比(g/C), 飽和度(v/c)등과 대상지역의 특성에 따라 그 허용범위가 다르게 나타난다는 점이다. 이러한 문제점은 HCM의 방식에 따른 韓國道路容量便覽도 예외는 아니다.

본 연구는 이러한 문제점을 보완하기 위하여 지난 91년 9월에 TRB(Transportation Research Board)에서 발행된 NCHRP(National Cooperative Highway Research Program) 339의 交通遲滯에 대한 信號燈 連動化의 효과분석 연구결과를 우리나라 실정에 적용할 수 있는 지를 검토했다. NCHRP 339 보고서에 제시된 지체공식과 連動化補整係數 유도과정은 참고문헌 [6]을 참조하고 본 연구에서는 그 연구의 결과를 간략히 소개하고자 한다.

만일 신호의 주기가 녹색시간과 적색시간으로만 구성된다면 다음과 같은 식의 유도가 가능하다.

$$C = r + g \text{-----} \quad (8)$$

$$q * C = r * q_r + g * q_g \text{-----} \quad (9)$$

여기서 C : 주기(Cycle~ Time)

g : 유효녹색시간(초)

r : 유효적색시간(초)

q : 평균 교통류율(대/초)

q<sub>g</sub> : 녹색시간동안의 평균 교통류율(대/초)

q<sub>r</sub> : 적색시간동안의 평균 교통류율(대/초)

양변을 qC 로 나누게 되면 아래와 같은 결과를 만들 수 있다.

$$1 = \frac{q_r * r}{q * C} + \frac{q_g * g}{q * C} \text{-----} \quad (10)$$

$$= PVR + PVG \text{-----} \quad (11)$$

여기서 PVR : 적색시간에 도착하는 교통량의 총 교통량에 대한 비

PVG : 녹색시간에 도착하는 교통량의 총 교통량에 대한 비

차량군비(R<sub>p</sub>)의 정의에 따라 이를 다시 정리하여 보면,

$$R_p = \frac{PVG}{PTG} = \frac{[\frac{q_g * g}{q * C}]}{g/C} = \frac{q_g}{q}$$

$$= \frac{q_g}{X * s * g/C} = \frac{q_g}{X * s * \lambda} \text{---} \quad (12)$$

여기서 X : 포화도

s : 포화교통류율

λ : 녹색시간대 주기의 비(즉, g/C)

만일 P=R<sub>p</sub> \* λ라고 정의하면 P =  $\frac{q_g}{q} (\frac{g}{C})$  = PVG를 얻을수 있고 P는 항상 0과 1사이의 값으로 정의된다. 일반적으로 遲滯는 P가 1.0에 가까울 수록 감소한다. 즉, 綠色信號에 도착하는 交通量이 많아지고 赤色信號에 도착하는 交通量이 적어질수록 지체는 감소한다.

만일 q<sub>r</sub> 과 q<sub>g</sub>가 균일하다면 즉, q<sub>r</sub> = q<sub>g</sub> = q 라고 한다면,

$$d_u = \frac{C}{2} * \frac{(1-\lambda)^2}{1-Y} = \frac{r}{2} * \frac{1-\lambda}{1-Y} \quad (13)$$

여기서 Y : 교통량과 포화교통류율의 비(q/s)  
 d<sub>u</sub> : 평균도착율을 가정한 균일지체 (초/대)  
 따라서 Olszewski의 연구결과에 따른 總 平均 遲滯(d<sub>tot</sub>)는 다음과 같고 여기서 d<sub>i</sub>는 부가지체를 의미한다.

$$d_{tot} = (d_u * PF) + d_i \quad (14)$$

여기서 PF를 다시 정리하여 보면 아래의 결과를 갖는다.

$$PF = \frac{1-P}{1-\lambda} * [1 + \frac{q_r}{s-q_g}] * [1 - \frac{q}{s}]$$

$$\approx \frac{1-P}{1-\lambda} \quad (15)$$

이 경우 새로 정의된 PF에 영향을 주는 요소는 P와 λ이며 P 역시 λ의 함수이므로 결국 PF에 영향을 주는 요소는 g/C 라는 것을 알 수 있다. 참고문헌 [6]에서는 PF와 P 그리고 g/C의 관계식에 대하여 상세히 분석되어 있다.

상기의 식을 이용하여 Webster공식의 첫번째 항을 구하여 보면,

$$d_u * PF = \frac{r}{2} * \frac{1-P}{1-Y} \quad (16)$$

따라서 구하고자 하는 補整된 차량당 平均停止 遲滯는 아래의 식 (17)와 같다.

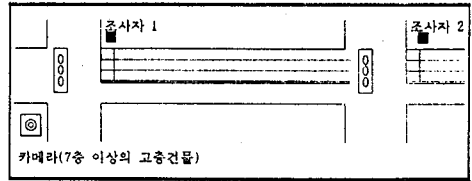
$$d_{adj} = \frac{r}{2} * \frac{1-P}{1-Y} + \frac{173X^2 * [(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + (16X/c)}]}{\quad} \quad (17)$$

### III. 推定遲滯의 分析結果

#### 1. 資料의 蒐集 과 分析

本 研究에서는 대상지역을 관측하는 방법으로, 연속적 관측과 각 차종의 주행상태를 巨視的으로 관측하기에 유리한 비디오 카메라에 의한 촬영방법을 채택했다. 카메라의 설치지점은 사전에 실시한 現場踏査를 통해 구간의 상류부 및 하류부 교

차로의 停止線을 포함하여 구간전체를 카메라로 촬영 가능한 곳(건물옥상등)을 선정하고 촬영했다. 비디오 촬영시 대상지역의 촬영도는 다음의 <그림 1>과 같다.

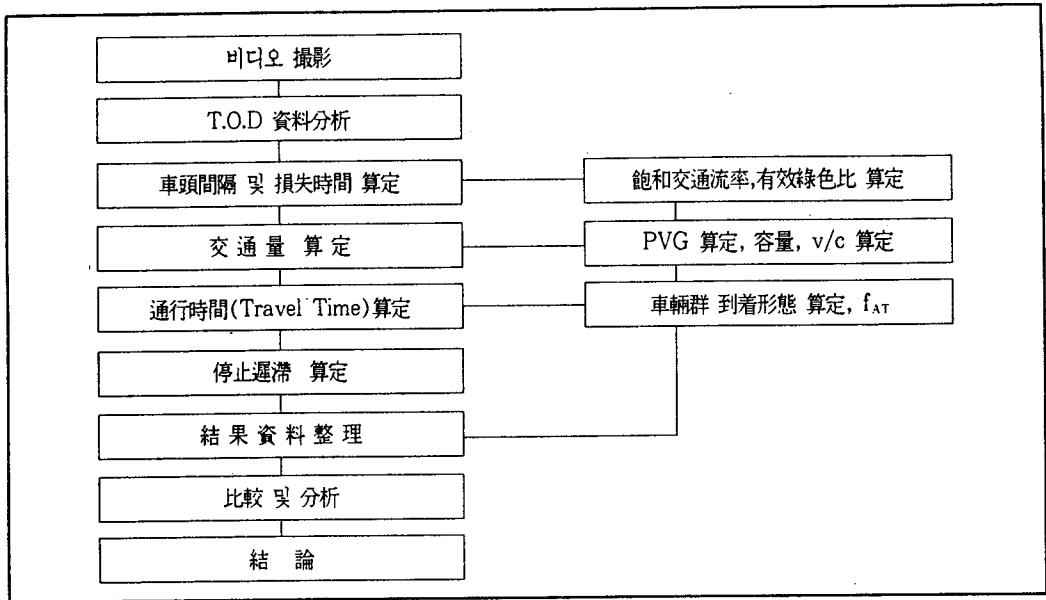


<그림 1> 교차로 및 대상구간 촬영도

비디오촬영이 끝나면 車頭間隔과 運行時間 및 停止遲滯, 그리고 P(PVG)값 등을 각 週期별로 분석하게 된다. 위에서 살펴본 방법과 수행과정을 종합적으로 나타내면 다음 <그림 2>와 같다.

분석을 위한 위치선정은 到着形態가 중복되는 교차로는 제외한 4개의 교차로를 分析對象으로 선정하였다. 각 분석대상 교차로의 幾何構造 및 到着形態는 다음 <表 3>, <表 4>에 나타나 있으며, 각각의 상황에 대해 간략히 기술하면 다음과 같다.

- (1) 선경빌딩 (Type 1) : 청계천로에서 을지로입구역 방향으로 동아빌딩 앞을 통과하는 交通流를 선경빌딩에서 촬영하였다.(교차로 A)
- (2) 여의도 동서증권빌딩 (Type 3) : 여의도 성모병원에서 MBC방송국 방향으로 진행하면서 한양맨션 앞 교차로를 통과하는 交通流를 동서증권빌딩에서 촬영하였다.(교차로 B)
- (3) 공간여행사 (Type 5) : 종각역에서 청계천로로 접속되는 도로의 交通流를 촬영하였다.(교차로 C)
- (4) 용마빌딩 (Type 6) : 종로 1가에서 새문안길 방향으로 진행하는 交通流를 위치에서 촬영한 것이다.(교차로 D)



<그림 2> 현장조사를 통한 분석작업 과정도

<表 3> 분석대상 교차로별 幾何構造 및 도착형태

구 분	(1) B교차로	(2) A교차로	(3) C교차로	(4) D교차로
도착 형태	3	1	5	6
Link 길이 (m)	370	331.5	145.6	166.4
차 선 수	직2, 좌1, 공1	직3, 공1	직3, 공1	직2, 공1
Offset(sec)	42	111	2	4

주) 車線數: 직 - 直進車線, 좌 - 左回轉 專用車線, 공 - 右回轉 共用車線

<表 4> 분석대상 교차로별 현시시간

(단위: 초)

TYPE	교차로		Cycle Time	Green	Yellow	Red	Left	Yellow	Offset
1	A	시점	130	43	3	84			111
		종점	130	36	3	91			
3	B	시점	120	23	3	94			42
		종점	120	43	3	55	16	3	
4	-	-							
5	C	시점	130	43	3	84			4
		종점	130	36	3	91			
6	D	시점	130	92	3	35			2
		종점	130	60	5	65			



本 研究의 분석대상이 直進交通流이므로, 左回轉專用車線과 直進車線 中 右回轉車輛과 共用하는 차선은 분석에서 제외시켰다. 그 이유는 右回轉車輛들이 直進車輛의 흐름에 방해요소로 작용하고 또한 반대편 차선에서 左回轉 하는 차량들이 많을 경우, 공용차선의 차량들은 자유로운 흐름에 제약을 받게 된다. 한편 直進車線은 중앙선 쪽에서 부터 直進 1, 直進 2, 直進 3 등으로 구분하여 분석을 실시하였다.

(1) 車頭間隔(Headway) 및 損失時間의 算定

대상 교차로의 용량을 구하기 위해서는 飽和交通流率을 구하여야 한다. 車頭間隔(Headway)은 飽和交通流率을 산정하기 위하여 측정하는 파라미터이며, 본 연구에서는 보다 정확한 결과를 얻고자 韓國道路容量便覽(KHCM)에서 제시한 값을 적용하지 않고 실측을 통해 車頭間隔을 산정하였다.

美國과 韓國道路容量便覽에 따르면 대상 접근로의 停止線을 지나가는 차량들의 車頭間隔(headway)을 관찰함으로써 飽和交通流率을 구할 수 있다고 제시되어 있다. 즉, 첫차량의 車頭間隔은 綠色信號의 시작부터 그 차량의 뒷바퀴가 停止線을 통과할 때까지 걸린 시간으로 정의하고, 두번째 차량의 車頭間隔은 첫 차량의 뒷바퀴가 停止線을 통과한 때부터 두번째 차량의 뒷바퀴가 停止線을 통과할 때까지 걸린 時間으로 정의된다. 따라서 總 飽和交通流率은 각 車線의 飽和交通流率을 합한 값이다. 이때의 계산은 道路의 상황이 飽和(Saturation)되었을 때 관찰이 이루어지게 된다.

交叉路 통과차량들의 車頭時間을 구하기 위한 방법으로는 여러가지 방법이 있으나, 本 研究에서는 車頭時間의 누적치에 해당하는 차량의 停止線通過時間에 대한 線形回歸分析을 차량의 대기위 치별로 제거해 가면서 수행하는 아래의 방법을 채택하였다.

$$T_x = aX + b \tag{18}$$

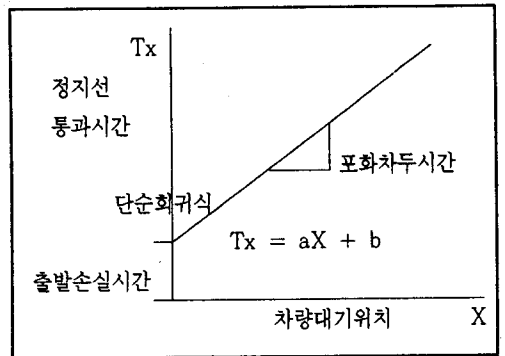
여기서

$T_x$  : 대기차량 X의 정지선 통과시간

X : 대기차량의 위치

a : 포화차두시간(sec)

b : 출발손실시간(sec)



<그림 3> 정지선 통과시간을 이용한 선형회귀 분석모형의 형태

이 모형은 각 차량이 停止線을 통과하는 시간의 차이가 처음에는 크게 나타났다가 어느정도의 차량이 지나간 후 飽和車頭時間으로 일정하게 된다는 가정하에서 停止線 통과시간에 대해 대기위 치별로 점점 제거해 나가면서 回歸分析을 실시한다. 이 모형은 자료가 이론적으로 車頭時間의 특성에 잘 부합할 경우 대기위치의 결정과 出發損失時間을 한번에 결정할 수 있는 장점을 가지고 있다.

消去損失時間의 결정은 黃色時間중에 교차로를 통과하는 차량을 집계해야 한다. 消去損失時間은 黃色信號 끝까지 待機行列이 통과할 경우 진행하는 차량의 시간을 조사하여 진행연장시간을 결정하고 黃色時間에서 進行時間을 뺀 나머지 시간으로 결정한다. 여기서 消去損失時間은 交通流가 飽和되어 綠色信號時間에 차량의 待機行列이 모두 출발하지 못하고 黃色信號時間을 이용하는 경우에 대한 결과이다.

美國과 韓國道路容量便覽에서 제시하고 있는 消去損失時間은 모두 1.0초로 같으며 美國과 韓國 모두 같은 값을 사용하기 때문에 本 研究에서

도 1.0초를 그대로 적용했다. 아래의 <표 5>는 현재까지 연구된 損失時間의 분석결과이다.

<表 5> 손실시간 분석결과 비교

구 분	KHCM	HCM	CASE1'	CASE2''
출발손실시간(초)	2.3초	3.0초	2.69초	3.05초
소거손실시간(초)	1.0초	1.0초	-	-
총손실시간(초/현시)	3.3초	4.0초	-	-

자료 : 건설부, 한국도로용량편람 제3단계 최종보고서, 1992.10

주) : 황색시간 3초의 경우 \* 아주대학

\*\* 국토개발연구원

각 차선당 飽和交通流率을 구하기 위해 車頭間隔을 계산하는데 있어 한개의 차선에서 여러번 반복해서 측정을 하고 이산적인 값(특이한 교통 상황으로 정상적인 車頭間隔을 나타내지 않은 경

우)은 제외하였으며 가능한 승용차로만 구성된 車輛群에 대해서 측정을 하였다. 다음 <表 6>은 대상 교차로별 車頭間隔을 回歸分析한 결과이다.

<表 6> 교차로별 차두간격 회귀분석모형

TYPE	교차로	회귀분석모형 $T_s = aX + b$		포화차두시간 (초)	포화교통류율 (pcphgpl)
		a	b		
1	A	1.78	2.94	1.78	2022
3	B	1.95	2.66	1.95	1842
4					
5	C	1.79	2.93	1.79	2013
6	D	1.85	2.33	1.85	1942

실측을 통해 도출된 <表 6>에서 b로 표현된 出發損失時間은 韓國道路容量便覽(KHCM)에서 제안한 2.3초보다는 대체로 높고, HCM이나 국토개발연구원에서 제시한 수치와 비슷한 것으로 나타났다. 또한, 모든 回歸分析에서 R<sup>2</sup>가 높아 상당히 신뢰할 수 있는 수치를 보이고 있다.

위에서 언급했듯이 직진 2차선보다 직진 1차선

이 對向車線의 交通量에 영향을 적게받고 또한 車線이 승용차 專用車線이므로 이상적인 교통조건이라 판단하고 有效綠色時間의 산정에 필요한 出發損失時間을 직진 1차선에 대한 값을 적용하기로 했다. 또한 대상교차로의 顯示에 따라 有效綠色時間, 有效綠色比(g/C), 容量(c)을 아래의 <表 7>와 같이 산출하였다.

<表 7> 직진 1개차선의 용량(vphpl)

TYPE	교차로	G	Y	$l_1$	$l_2$	g	g/C	s	$c=g/C \times s$
1	A	36	3	2.94	1.0	35.06	0.27	2022	545.44
3	B	43	3	2.66	1.0	42.34	0.35	1842	650.24
5	C	43	3	2.93	1.0	42.07	0.32	2013	651.59
6	D	60	5	2.33	1.0	61.67	0.47	1942	921.27

(주 :  $g = G + Y - (l_1 + l_2)$ ) 여기서 g: 유효녹색시간, G: 실제녹색시간(초), Y: 황색시간(초),  $l_1$ : 출발손실시간(초),  $l_2$ : 소거손실시간(1.0초)

(2) 交通量 算定

분석과정 중 車輛群比(Rp)를 구하기 위하여 綠色信號에 도착하는 交通量과 赤色信號에 대기한 차량의 수를 계산하였으며 右回轉 차량과 左回轉 차량을 제외한 直進 交通量에 대해서만 분석하여 PVG(綠色信號에 도착하는 交通量의 總交通量에 대한 比)값을 계산하였다. 그 계산방법을 개략적으로 설명하면 다음과 같다.

- ① 조사할 대상지역의 차선이나 차선그룹을 관찰한다.
- ② 신호가 적색으로 바뀔때 到着交通量을 계산하기 시작한다. 이때 待機行列의 마지막 끝차량을 확인한다.
- ③ 綠色信號가 시작되면서 出發交通量을 계산한다. 차량들이 차선그룹의 정지선을 통과할때 차량을 계산하며 이 값은 黃色信號가 끝날때까지 측정된 뒤 기록하며 이 交通量을 總交通量으로 看做한다.

여기서 待機行列이 모두 없어지면 녹색에 출발하는 交通量과 적색에 도착하는 交通量과의 차이가 綠色에 到着하는 交通量이다. 만일 待機行列이 없어지지 않으면 녹색에 출발하는 交通量과 過飽和 待機行列과의 합이 總交通量이다. 또한 녹색에 도착하는 交通量은 녹색에 출발하는 交通量 + 過飽和 待機行列과 적색에 도착하는 交通量과의 차이가 된다. 交通量은 모두 승용차로 換算하여 계산하였으며 換算係數는 韓國道路容量便覽(KHCM)에서 제시한 값들을 그대로 사용하였다.

(3) 到着形態(Arrival Type)와 通行時間(Travel Time)算定

通行時間의 산정은 車輛群의 到着形態를 결정하기 위한 것으로, 研究에서 정의하는 通行時間(Travel Time)은 車輛群의 선두가 상류부교차로의 停止線을 통과하여 하류부교차로의 停止線에 도착할 때까지의 시간을 말한다. 우선 通行時間을 산정하기에 앞서 車輛群의 到着形態를 설명하면 다음과 같다.

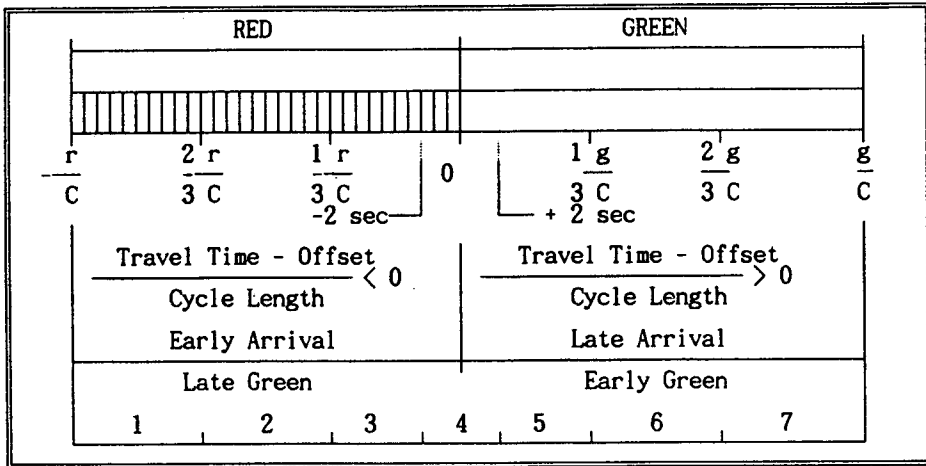
P(녹색시간동안에 도착하는 交通量의 總交通量에 대한 比:PVG)값이 連動의 정도를 표현할 때 車輛群比(Rp)보다 더 나은 指標로 사용될 수 있다고 설명하였다. 즉, P는 고정된 경계조건(0과 1사이의 값)이고 車輛群比(Rp)와 有效綠色比(g/C)에 달려있다. 그러나 P를 이용하여 遲滯와 連動化補整係數를 고려할 때 주어진 동일한 P값에 서로 다른 連動化補整係數나 遲滯를 경험할 수 있다. 그 이유는 車輛群의 앞과 뒤가 하류부교차로에 도착하는 시간상의 차이 때문이다.

다시 설명하면 동일한 P에 대하여 각 도착형태에 따른 遲滯는 車輛群의 도착이 綠色顯示 前인지(Early) 혹은 綠色顯示 後인지(Late)에 따라 민감하게 반응한다. 따라서 실측자료에서 나타내는 관측치가 이른도착(Early Arrival)인지 늦은도착(Late Arrival)인지를 규명할 수 있는 어떤 방법을 제시할 필요가 있다.

NCHRP 339에서 제시한 방법은 美國道路容量便覽에서 제시한 것과 비슷하지만 실제적인 到着

類型別 설명은 다르다. 근본적으로 실측자료에서 얻은 通行時間과 Offset 자료는 車輛群의 선두차량이 하류부 교차로에 도착하게 될 상대적인 綠色信號의 시작시점을 결정하는데 사용된다. 관측된 週期에 주어진 綠色과 赤色時間을 3등분하고 여섯개의 到着類型別 分割 외에도 綠色이 시작할

무렵 즉, 완전 연동(Perfect Progression)을 포함하는 7번째 分割이 하나 더 추가된다. 따라서 차량들은 總 週期길이의 얼마만큼의 비율로 綠色信號의 前 혹은 後에 도착한다고 말하게 된다. 아래의 <그림 4>는 到着形態의 分類를 도식화한 것이다.



<그림 4> NCHRP 339에 따른 차량군 도착형태의 분류

자료 : NCHRP Report 339

다음의 <表 8>은 車輛群의 到着形態와 대상 교차로(즉, 하류부 교차로)에 진입하는 車輛群의

도착과의 관계를 설명한 것으로 위의 그림에 나타나 있는 7가지의 到着形態를 설명한 것이다.

<表 8> 제안된 지체모형에서의 차량군 도착형태

도착형태	연동의 상태	도착형태의 설명
1	Bad	차량군의 선두가 적색신호의 처음 1/3 동안에 도착
2	Poor	차량군의 선두가 적색신호의 2/3 동안에 도착
3	Good	차량군의 선두가 적색신호의 마지막 1/3 동안에 도착
4	Perfect	차량군의 선두가 녹색신호의 시작 무렵 도착
5	Good	차량군의 선두가 녹색신호의 처음 1/3 동안에 도착
6	Poor	차량군의 선두가 녹색신호의 2/3 동안에 도착
7	Bad	차량군의 선두가 녹색신호의 마지막 1/3 동안에 도착

자료 : NCHRP Report 339

車輛群의 도착이 이른도착(Early Arrival)이면 모형지체의 값은 실제로 차량들이 경험하는

遲滯값보다 높게 산출되며 늦은도착(Late Arrival)일 경우에는 낮게 산출된다. 즉, 車輛群의

到着形態에 따라서 또다른 補整係數 즉 到着狀態 補整係數가 필요하다고 판단된다. NCHRP의 報告書에 의하면 비록 離散의인 값이긴 하나 경험적으로 이른도착은 0.85를 적용하고 늦은도착일 경우 1.3을 적용하도록 권장하고 있다. 결과적으로 NCHRP 보고서에 따른 최종적인 補整된 遲滯公式는 식 (19)와 같다.

$$d_{adj} = (d_1 * PF * f_{AT}) + d_2 \quad (19)$$

여기서  $d_{adj}$ : 보정된 모형지체

$d_1$ : 균일지체 (sec/veh)

$d_2$ : 부가지체 (sec/veh)

PF: 연동화보정계수

$f_{AT}$ : 도착형태보정계수(이른도착: 0.85, 늦은도착: 1.30)

지금까지 通行時間 산정에 앞서 到着形態에 따른 여러가지 諸般 事項을 살펴보았다. 通行時間의 산정은 촬영한 비디오를 보면서 상류부 交叉路의 停止線에서 출발하여 하류부 交叉路 停止線에 도착하는데 걸린 시간을 산출하여 이들의 평균값을 취하였다. 각 대상교차로의 通行時間은 평균적으로 다음 <表 9>와 같이 나타났다.

<表 9> 조사대상지역별 통행시간(초)

TYPE	1	3	4	5	6
촬영교차로	A	B	.....	C	D
Travel Time	25.47	29.71	.....	11.70	24.27

구한 通行時間과 Offset값의 差異를 週期로 나눈 값을 <그림 4>에 적용하여 각 도착형태를 결정하였고, 외국의 결과치인 이른도착의 경우 0.

85, 늦은도착의 경우 1.3의 到着狀態 補整係數를 우선 적용하여 보았다. 아래의 <表 10>과 <表 11>은 到着形態의 결과표이다.

<表 10> 대상교차로별 도착형태 결정계수

교차로	도착형태 결정계수						
	Green	Red	Cycle	Offset	TT	(TT-O)/C	Type
A	36	91	130	111	25.47	-0.658	1
B	43	71	120	42	29.71	-0.102	3
C	43	84	130	2	11.47	0.073	5
D	60	65	130	4	24.27	0.156	6

<表 11> 대상교차로별 도착형태 결정범위

교차로	도 착 형 태						
	1	2	3	4	5	6	7
A	-0.7	-0.467	-0.233	0	0.092	0.185	0.277
B	-0.592	-0.394	-0.197	0	0.119	0.239	0.358
C	-0.646	-0.431	-0.215	0	0.110	0.221	0.331
D	-0.5	-0.333	-0.167	0	0.154	0.308	0.462

(4) 實停止遲滯

本 研究에서는 信號交叉路의 遲滯를 현장실측을 통하여 산정하였으며 제 2장에서 정의한 바와 같이 현재 美國과 韓國道路容量便覽에서 信號交叉路의 有效尺度(MOE)로 보고있는 停止遲滯(Stopped Delay)에 대해서만 분석하였다. 信號交叉路에서의 지체측정방법은 어느 측정시간(Time Interval)의 대기차량을 각 週期(Cycle)마다 조사함으로써 이 때 조사된 대기차량은 한 週期동안 정지한 것으로 가정하고 總停止時間을 구하고 이때 통과한 차량수로 나누어 차량당 停止遲滯를 구하는 방법 즉, Queue Sampling Method를 사용하였으며 조사방법은 다음과 같다.

- ① 차량의 最大 待機行列의 길이를 파악한다.
- ② 10초 또는 20초 시간간격(I)으로 交叉路에 정지하고 있는 차량의 수를 기입하고 조사기간 동안(주로 15분 간격)의 시간간격동안 정지하고 있는 車輛臺數의 合을 ( $\sum V_s$ )을 계산한다.
- ③ 조사기간(주로 15분 간격)동안 출발한 차량의 수(V)를 조사한다.
- ④ 정지한 차량은 모두 시간간격(I)만큼 정지한 것으로 간주하고 아래의 停止遲滯를 산정한다.

$$- \text{정지지체} = \frac{\sum V_s \cdot I}{V} \quad (20)$$

停止遲滯에 대한 분석은 각 週期별로 계산되었으며 시간간격(I)은 10초씩 잡고 左回轉 차량과 右回轉 및 直進 3車線(右回轉 公用車線)을 이용하는 차량을 제외한 直進車輛에 대해서만 고려하였다.

2. 實測遲滯와 推定遲滯와의 比較

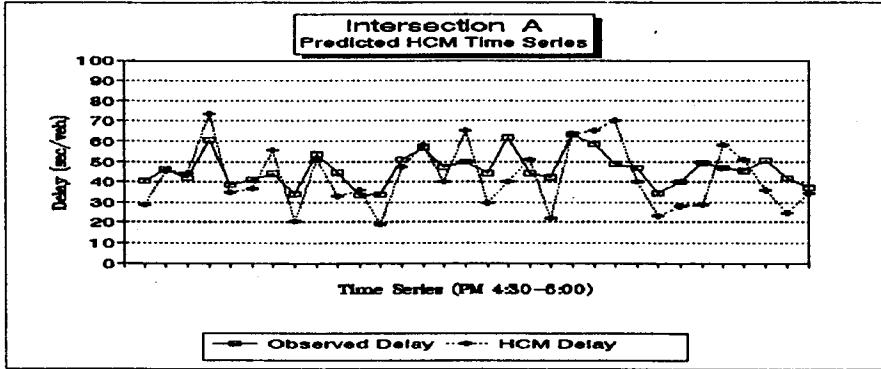
各 模型에 따른 遲滯를 산정하기 위해서 本

研究에서 언급한 각 변수에 대한 고찰이 필요했다. 먼저 有效赤色時間을 구하기 위해 각 교차로별 有效綠色時間을 산출하고 이를 週期(Cycle Time)에서 뺀 값을 사용하였다. 아울러 이미 관측된 車頭間隔에서 飽和交通流率과 容量을 산출하고 이를 각 週期別 交通量에 나누어 週期別 포화도를 導出하였고, P(綠色時間 交通量을 總交通量으로 나눈 값:PVG)와 Y(交通量에 대한 飽和交通流率)을 週期別로 구하였다. 또한, 보간법을 이용하여 각 모형에서 제안된 連動化補整係數(PF)를 주기별로 구하였다.

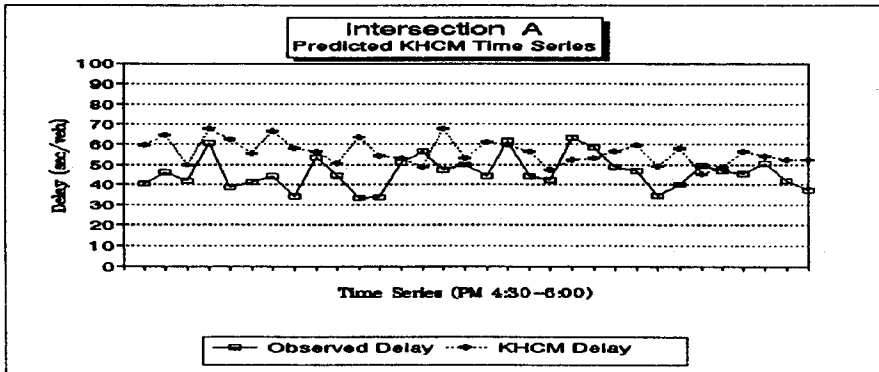
아래의 <그림 5>는 到着形態가 1인 A 교차로에서의 實遲滯와 HCM, KHCM, NCHRP-339 報告書에 따른 推定遲滯를 시간대별로 살펴본 것으로, 실측과정에서 비정상적인 교통흐름으로 추정되는 遲滯값을 제외하면 HCM과 NCHRP-339모형이 實測值의 변화에 비교적 잘 따라 가는 편임을 알 수 있다.

本 研究에서는 통계패키지인 SPSS/PC+를 이용하여 回歸分析을 실시하였고, 분석기법은 單純回歸分析으로 Y축 절편을 뺀 식(즉,  $Y = aX$ )을 사용하였기 때문에 豫測值와 實測值가 같게 되는 이상적인 경우는 回歸式의 기울기가 1.0이 된다. 따라서 回歸式의 기울기가 1.0에 가까울수록 그 지체공식의 豫測力이 뛰어나다고 판단하게 된다. 아래의 <表 12>는 實測遲滯와 A 교차로에서의 模型遲滯의 回歸分析 결과를 정리한 것이다.

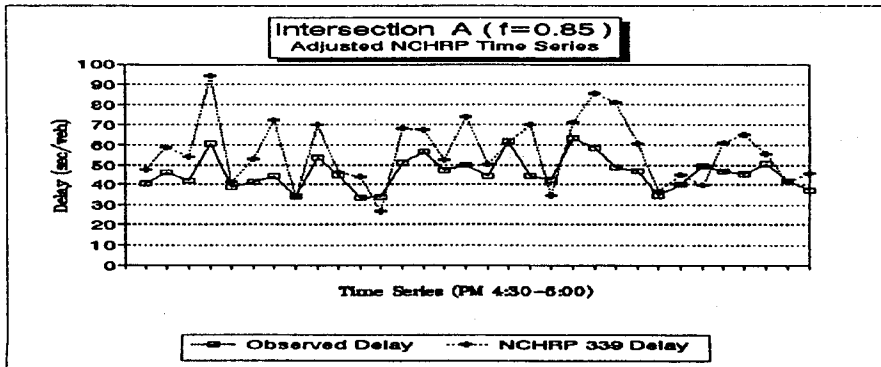
-HCM 지체모형



-KHCM 지체모형



- NCHRP-339 지체모형



<그림 5> A 교차로에서의 실측지체와 모형지체의 변화추이 비교

<表 12> A 교차로(Type 1)에서의 실측지체와 예측지체 회귀분석 결과

-HCM 지체모형

* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.93766				
Standard Error	11.87709				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	65779.38891	65779.38891		
Residual	31	4373.02569	141.06534		
F =	466.30439	Signif F = .0000			
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
H	1.00552	.04656	.96833	21.594	.0000

-KHCM 지체모형

* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.95945				
Standard Error	9.57977				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	67307.48317	67307.48317		
Residual	31	2844.93143	91.77198		
F =	733.42083	Signif F = .0000			
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
KH	.81051	.02993	.97951	27.082	.0000

-NCHRP-339 지체모형

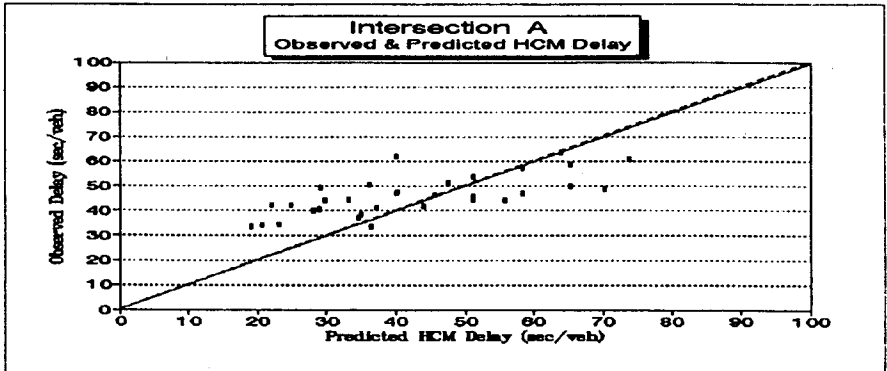
* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.96730				
Standard Error	8.60183				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	67858.67636	67858.67636		
Residual	31	2293.73824	73.99156		
F =	917.11379	Signif F = .0000			
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
NO.85	.78372	.02588	.98352	30.284	.0000



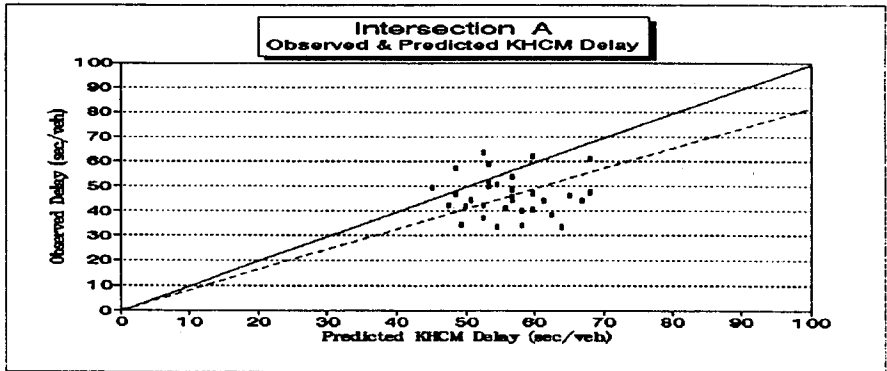
<表 12>의 回歸分析결과에서 알 수 있듯이 각 모형의  $R^2$ 가 0.90 이상으로 관측치와 예측치의 相關關係가 매우 높게 나타났으며, 다음 <그

림 6>에서는 實遲滯와 模型遲滯를 더욱 상세하게 도식화한 것이다.

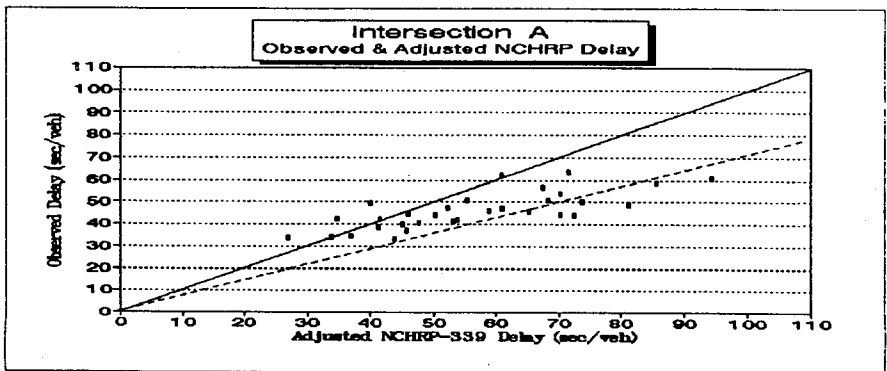
-HCM 지체모형



-KHCM 지체모형



-NCHRP-339 지체모형



<그림 6> A 교차로에서의 실측지체와 모형지체의 산포도

그 외 到着形態 3,5,6에 대한 분석은 설명이重複되므로 <表 13>에 분석결과만 간략히 기술

하고 각종 도표는 <附錄>에 수록하였다.

<表 13> 도착형태 3,5,6에서 지체모형의 분석결과

도착형태		Type 3 (B 교차로)	Type 5 (C 교차로)	Type 6 (D 교차로)
HCM	회귀식	$Y = 0.83 * X$	$Y = 0.94 * X$	$Y = 1.18 * X$
	R Square	0.85902	0.82122	0.95807
KHCM	회귀식	$Y = 0.82 * X$	$Y = 0.63 * X$	$Y = 1.23 * X$
	R Square	0.82468	0.83721	0.91909
NCHRP-339	회귀식	$Y = 1.09 * X$	$Y = 0.91 * X$	$Y = 0.95 * X$
	R Square	0.88396	0.93350	0.98826

지금까지의 분석과정에서 각 遲滯模型이 어느 정도의 추정력이 있음을 알 수 있다. 그러나, 조사된 4개의 교차로 전체를 대상으로 하면 주기별 변화추이와 R Square 값의 측면에서, 가장 汎用성이 있는 모형은 NCHRP-339에 제안된 지체모형인 것을 알 수 있다. 즉, HCM이나 KHCM 모형은 대상지역에 따라 推定力이 뛰어난 경우와 반대로 전혀 그렇지 못한 경우가 있었으나, NCHRP-339 지체모형은 모든 조사대상 교차로에서 推定力이 優秀한 것으로 분석되었다.

3. 到着狀態에 따른 補整係數의 算出

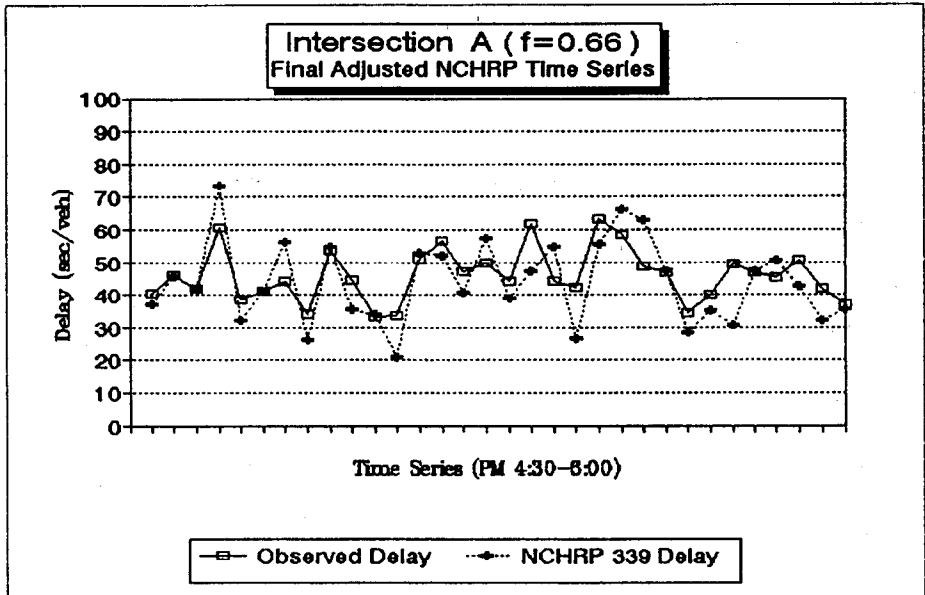
지금까지 실측자료를 통하여 필요한 파라메타를 구하고 模型遲滯와 實遲滯를 比較·分析하였다. 그 결과 NCHRP-339에 제안된 지체모형을 실제 적용하는 것이 가장 妥當하다는 사실을 알 수 있었다. 그러나 NCHRP-339 지체모형이 추정력의 우수성에도 불구하고, 實遲滯와의 비교에서 다소 절대수치상의 차이가 있음을 보였다. 이 差異에 대하여 역계산으로 補整을 하고, 그 결과

를 분석하였다.

우선 實測値와 推定値의 관계를 설명하는 回歸係數의 값이 얼마인지를 파악하고 이 값이 1이 되도록 到着形態補整係數( $f_{AT}$ )를 수정해 주었다. 到着形態補整係數는 제안된 模型에서 이른도착일 경우에는 0.85, 늦은도착의 경우는 1.3을 적용하도록 되어 있으나 실제 분석의 결과는 到着形態別로 相異한 값을 갖는 것으로 나타났다.

아래의 <그림 7>은 A 교차로에서의 분석에서 模型遲滯의 到着狀態補整係數 0.85에서 0.66으로 조정하고 이를 주기별로 관측치와 함께 도식화한 것으로서, 조정 이전의 <그림 5>와 비교하여 模型遲滯와 觀測遲滯의 偏差가 크게 줄어들었다는 것을 알 수 있다. 따라서, 模型遲滯의 補整을 위해서는 到着狀態補整係數의 변화가 필요하다라는 것을 간접적으로 示唆하고 있다.

이와같은 과정을 통하여 제안된 遲滯模型을 補整하고 이를 觀測値와 비교한 回歸分析의 결과가 <表 14>에 나타나 있다.



<그림 7> A 교차로에서의 실측지체와 보정된 모형지체의 변화추이

<表 14> A 교차로(Type 1)에서의 실측지체와 보정된 예측지체 회귀분석 결과

* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *				
R Square	.96730			
Standard Error	8.60282			
----- Analysis of Variance -----				
	DF	Sum of Squares	Mean Square	
Regression	1	67858.15117	67858.15117	
Residual	31	2294.26343	74.00850	
F =	916.89675	Signif F = .0000		
----- Variables in the Equation -----				
Variable	B	SE B	Beta	T Sig T
NO.66	1.00783	.03328	.98351	30.280 .0000

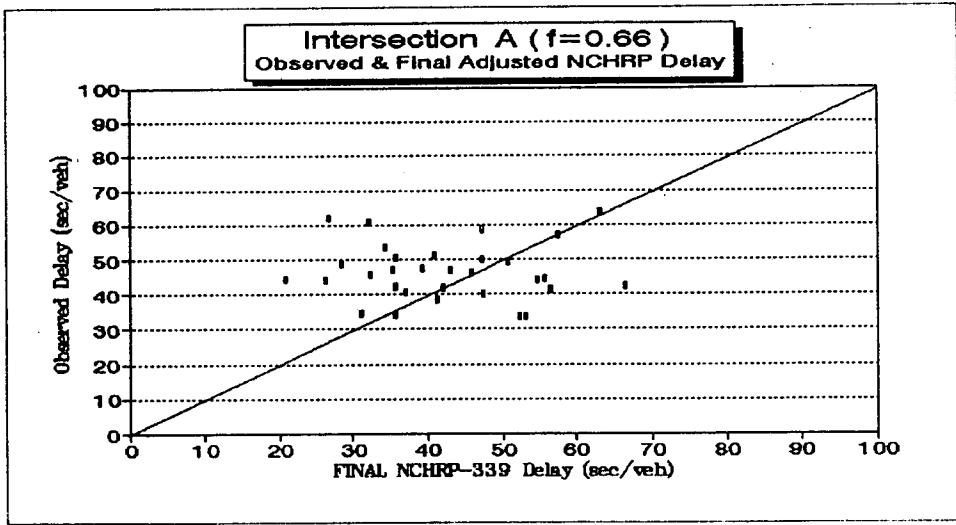
회귀분석의 결과를 관찰하면 到着狀態補整係數 ( $f_{AT}$ )를 0.85에서 0.66으로 調整해 주었을 때, 回歸係數 B의 값이 0.78에서 1.00으로 거의 完全한 값으로 나타났다. 따라서 到着形態가 1인 A 교차로에서의 到着狀態補整係數는 0.66이 보다

적합한 수치로 판단된다. 이 분석에서 決定係數  $R^2$ 는 補整 이전의 수치와 差無는 0.96730으로 여전히 說明力이 높은 것으로 나타났고 到着狀態補整係數의 調整이 模型의 適合度를 떨어뜨리지 않고도 거의 完備한 推定值를 導出할 수 있다는

결론에 이른다.

到着狀態補整係數가 조정된 模型遲滯의 결과를 도식화한 결과이다.

다음 <그림 8>은 到着形態 1에서 實遲滯와



<그림 8> A 교차로에서의 실측지체와 보정된 모형지체의 산포도

같은 방법으로 到着形態 3,5,6을 분석하였다. 분석결과와 도표는 설명이 중복되므로 <附錄>에

수록하였고, 최종적인 결과만 다음 <表 15>에 記述하였다.

<表 15> 도착형태 3,5,6에서 보정된 지체모형의 분석결과

도착형태	Type 3 (B 교차로)	Type 5 (C 교차로)	Type 6 (D 교차로)
분석결과			
$f_{AT}$	0.965	1.18	1.27
R Square	0.88968	0.93337	0.98823

지금까지의 연구결과에서 보면 NCHRP-339에 제시된 遲滯豫測模型이 예측력 면에서 대단히 우수한 模型으로 생각된다. 특히 各 週期別로 實遲滯와 模型遲滯를 비교하여 본 결과, 實測遲滯의 변화에 模型遲滯가 아주 敏感하게 반응하는 것으로 나타났다. 이러한 연구의 결과만으로 미루어 보면 제의한 推定模型을 交叉路 遲滯分析過程에 적용하는 것이 既存의 遲滯模型들 보다 타당할 것으로 판단된다. 특히 到着狀態 補整係數의 導出은 비록 대표적인 4가지 도착형태에 국한

하여 분석되었으나 到着形態에 따라 나타난 最終補整係數가 일정한 傾向을 나타내고 있으므로 離散的(Discrete)인 값들을 이용하여 連續的(Continuous)인 관계식을 도출할 수 있으리라 판단된다.

關係式을 導出하는 쉬운방법의 하나는 우선 到着狀態(이른도착과 늦은도착)을 각각 3等分하여 到着形態의 구분범위를 더욱 세분화하고, 다음으로 각 到着形態에 따른 分析對象交叉路를 다양화하여 이에 맞는 最終補整된 到着形態補整係數를

도출하고, 이 두가지 數値를 統計處理하면 어떤 경향을 갖는 關係式을 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

### V. 結論

본 연구에서는 HCM, KHCM, NCHRP-339 報告書에 제시된 遲滯模型과 連動化補整係數를 現場에서 직접 얻은 實測值와 비교함으로써 각 模型의 정확성 및 예측력을 검토하였다. 지금까지의 연구결과로 볼 때, NCHRP-339에 제시된 遲滯豫測模型이 예측력면에서 기존의 지체모형보다 대단히 우수한 모형으로 판단된다. 특히 각 週期별로 實遲滯와 模型遲滯를 비교하여 보면 제시된 새로운 遲滯模型은 實遲滯의 變化에 대하여 推定遲滯가 아주 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

본 연구의 분석에서 관찰된 주요 연구결과를 세가지로 요약하여 보면 우선 P(綠色顯示에 도착하는 交通量의 總交通量에 대한 比率)값이 車輛群比(RP)보다 交叉路의 連動化를 설명하는데 효과적이라는 사실과 연구의 대상인 교차로에서의 到着狀態 補整係數의 數値가 기존의 외국의 결과와 비교하면 변화에 대한 傾向은 같으나 전반적으로 낮게 추정된다는 점이다. 그리고 Olszewski의 연구결과를 遲滯模型에 반영하였을 때 즉 均一遲滯에 대해서만 連動化 補整係數를 적용할 때 模型의 推定力이 優秀하다는 사실이다. 따라서 향후 實驗結果에 대한 再檢討가 이루어져야 하겠지만 신호교차로에서의 遲滯分析에서는 이 결과에 대하여 반영하는 것이 많은 도움을 줄 것으로 생각된다.

마지막으로 본 연구를 통하여 建議하고 싶은 점은 到着形態의 7가지중에서 대표적인 4가지 到着形態에 대하여서 분석되었으므로 우리나라의 信號體系 전반에 대한 一般化된 結果를 얻지 못한 것이다. 그러나 본 研究에서 提示한 方法을 이용하여 향후 추

가적인 研究事業이 이루어진다면 이 分野 研究에 빠른 進展이 있을 것으로 생각된다.

### 參考文獻

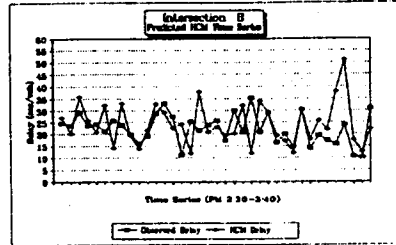
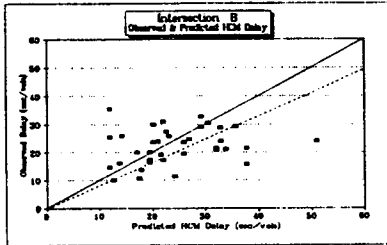
1. 건설부, "도로용량편람 연구조사 제3단계 최종보고서", 한국건설기술연구원, 교통개발연구원, 1992. 10.
2. 대한교통학회, 도로용량편람, 1992.
3. 도철용, 교통공학원론(상), 청문각, 1989.
4. 최우혁, "신호등 교차로에서의 신호연동보정계수 산출을 위한 새로운 접근방법의 모색", 중앙대학교 대학원 석사 학위 논문, 1993.
5. 김원창, "신호등이 있는 가로망상에서의 신호연동화보정계수 산정모형", 대한교통학회지, 제10권 2호, 1992.
6. 이용재, 최우혁, "신호등 연동화 보정계수 산출 모형의 개발(이론적 고찰)", 대한토목학회 논문집, 제 14 권 제 3 호, 1994. 5, pp 379 - 390
7. B. Fambro Daniel, Edmond C.P. Chang and Carroll J. Messer, "Effects of The Quality of Traffic Signal Progression Delay." NCHRP Report 339, Washington, D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, 1991.
8. John Neter and William Wasserman, "Applied Linear Statistical Models", Richard D. Irwin, INC, 1974.
9. M.A.P. Taylor and W. Young, "Traffic Analysis", Hargreen Publishing Company, 1988.
10. Daniel L. Gerlough and Matthew J. Huber, "Traffic Flow Theory", TRB, 1975.
11. "Highway Capacity Manual-1985", TRB Special Report 209, Washington, D.C.:

- Transportation Research Board, National Research Council, 1985.
12. P.S. Olszewski, "Traffic Signal Delay for Non-Uniform Arrivals" Paper Presented at the 11th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C., 1990.
  13. Reilley W.R., S.L. Bolduc, J.H. Kell, and M.L. Gallagher, "Urban Signalized Intersection Capacity." NCHRP Report 3-28 (2), Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council, 1983.
  14. R. Akcelik, "The Highway Capacity Manual Delay Formula for Signalized Intersections", ITE journal, March 1988, pp 23-27.
  15. N.M. Roupail, "Analysis of TRANSYT Platoon Dispersion Algorithm." Transportation Research Record 905, Washington, D.C. : Transportation Research Board, National Research Council, 1983, pp.72-80.
  16. Prevedouros P.D., and P.P. Jovanis, " Validation of Saturation Flows and Progression Factors for Traffic Actuated Signals." Transportation Research Record 1194, Washington, D.C., National Research Council, 1988, pp.147-159.
  17. Courage K.G., C.E. Wallage, and R. Alqasem, "Modeling the Effect of Traffic Signal Progression on Delay." Transportation Research Record 1194, Washington, D.C., National Research Council, 1988, pp.139-146.

< 附 錄 >

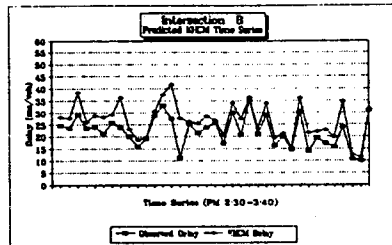
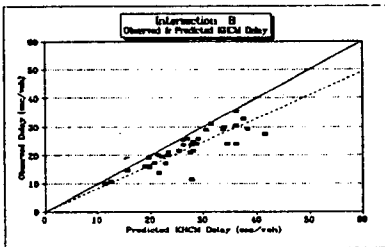
Intersection B (등서빌딩 : Type 3)

① HCM : 실지체



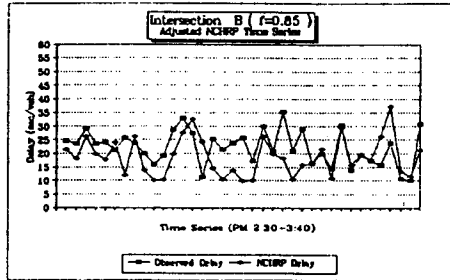
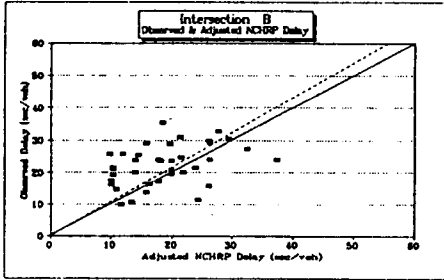
*** MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN ***				
R Square	.85902			
Standard Error	8.81074			
----- Analysis of Variance -----				
	DF	Sum of Squares	Mean Square	
Regression	1	17028.29843	17028.29843	
Residual	36	2794.64657	77.62907	
F =	219.35466	Signif F = .0000		
----- Variables in the Equation -----				
Variable	B	SE B	Beta	T Sig T
H	.83275	.05623	.92683	14.811 .0000

② KHCM : 실지체



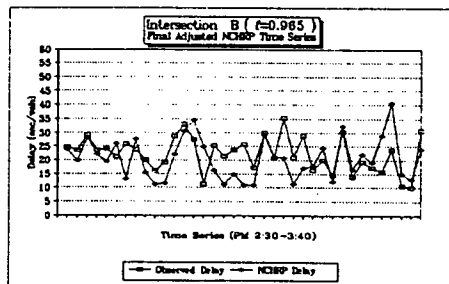
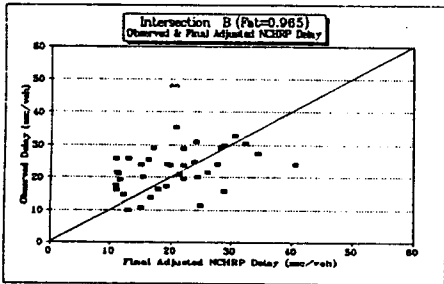
*** MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN ***				
R Square	.97954			
Standard Error	3.35671			
----- Analysis of Variance -----				
	DF	Sum of Squares	Mean Square	
Regression	1	19417.31411	19417.31411	
Residual	36	405.63089	11.26752	
F =	1723.29898	Signif F = .0000		
----- Variables in the Equation -----				
Variable	B	SE B	Beta	T Sig T
KH	.82468	.01987	.98972	41.513 .0000

③ NCHRP : 실지체



* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.88396				
Standard Error	7.99336				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	17522.77019	17522.77019		
Residual	36	2300.17481	63.89374		
F =	274.24860	Signif F = .0000			
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
NO.85	1.08813	.06571	.94019	16.560	.0000

④ 보정된 NCHRP : 실지체

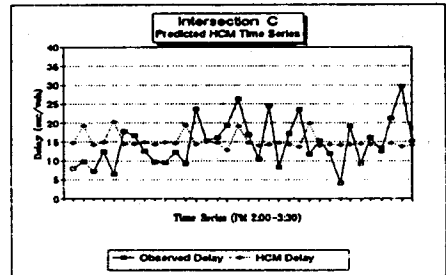
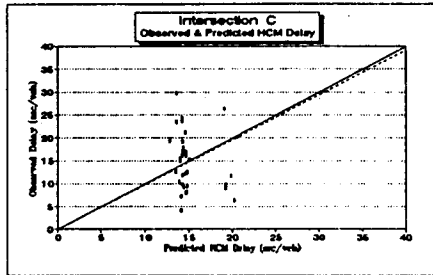


* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.88968				
Standard Error	7.79386				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	17636.15002	17636.15002		
Residual	36	2186.79498	60.74430		
F =	290.33421	Signif F = .0000			
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
NO.965	1.00013	.05870	.94323	17.039	.0000



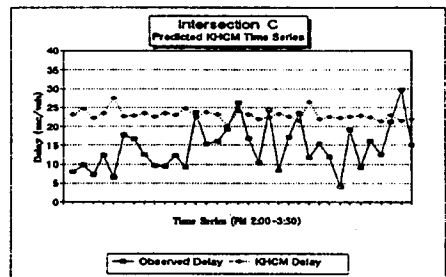
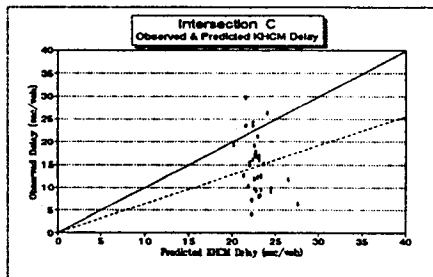
**Intersection C (공간여행사 : Type 5)**

① HCM : 실지체



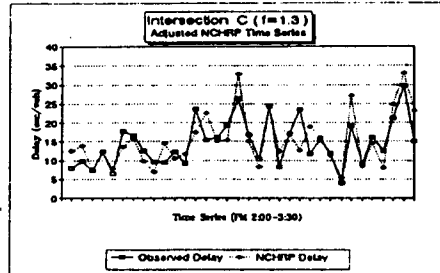
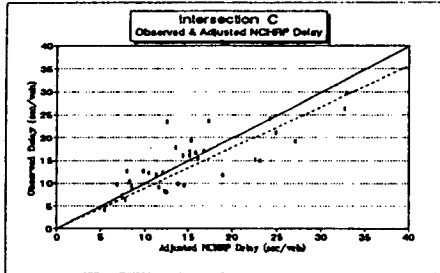
* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.82122				
Standard Error	6.78434				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	6976.89857	6976.89857		
Residual	33	1518.90163	46.02732		
F =	151.58167	Signif F =		.0000	
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
PH	.94491	.07675	.90621	12.312	.0000

② KHCM : 실지체



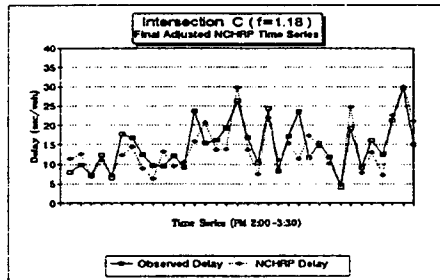
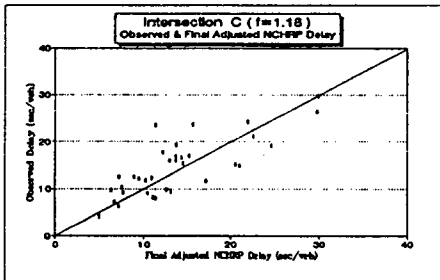
* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.83721				
Standard Error	6.47387				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	7112.73904	7112.73904		
Residual	33	1383.06116	41.91094		
F =	169.71078	Signif F =		.0000	
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
PKH	.62947	.04832	.91499	13.027	.0000

③ NCHRP : 실지체



* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.93350				
Standard Error	4.13771				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	7930.81978	7930.81978		
Residual	33	564.98042	17.12062		
F =	463.23208	Signif F =		.0000	
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
AN	.91259	.04240	.96618	21.523	.0000

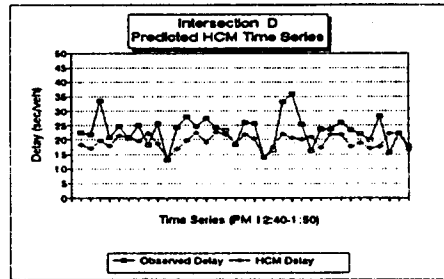
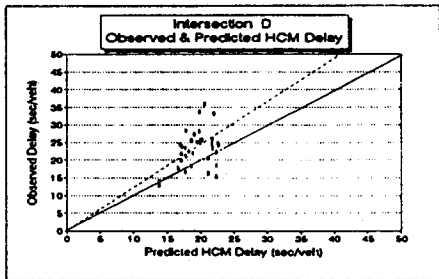
④ 보정된 NCHRP : 실지체



* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.93337				
Standard Error	4.14180				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	7929.70133	7929.70133		
Residual	33	566.09887	17.15451		
F =	462.25166	Signif F =		.0000	
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
FAN	1.00411	.04670	.96611	21.500	.0000

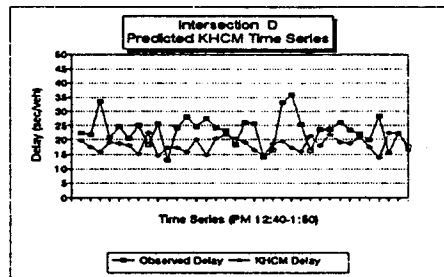
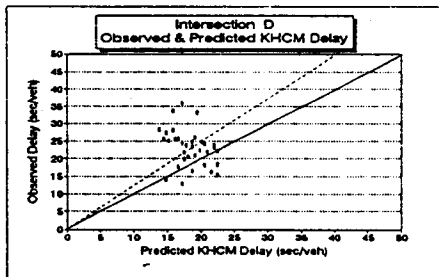
**Intersection D (음마빌딩 : Type 6)**

① HCM : 실지체



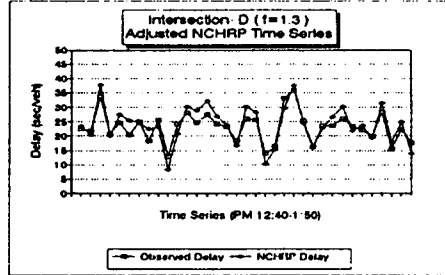
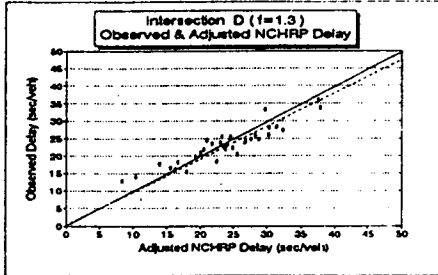
* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.95807				
Standard Error	4.94291				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	18981.13556	18981.13556		
Residual	34	830.70124	24.43239		
F =	776.88413	Signif F =		.0000	
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
PH	1.18449	.04250	.97881	27.873	.0000

② KHCM : 실지체



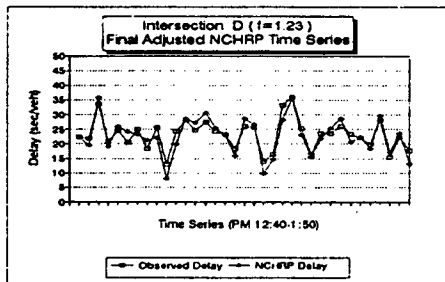
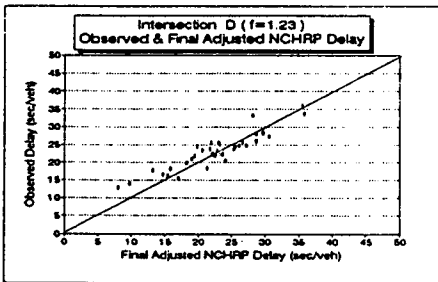
* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *					
R Square	.91909				
Standard Error	6.86616				
----- Analysis of Variance -----					
	DF	Sum of Squares	Mean Square		
Regression	1	18208.93532	18208.93532		
Residual	34	1602.90148	47.14416		
F =	386.23946	Signif F =		.0000	
----- Variables in the Equation -----					
Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
PKH	1.22651	.06241	.95869	19.653	.0000

③ NCHRP : 실지체



* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *				
R Square	.98826			
Standard Error	2.61589			
----- Analysis of Variance -----				
Regression	DF	Sum of Squares	Mean Square	
Residual	34	19579.17837	19579.17837	
		232.65843	6.84289	
F =	2861.24199	Signif F =	.0000	
----- Variables in the Equation -----				
Variable	B	SE B	Beta	T Sig T
AN	.95132	.01778	.99411	53.491 .0000

④ 보정된 NCHRP : 실지체



* * * * MULTIPLE REGRESSION THROUGH THE ORIGIN * * * *				
R Square	.98823			
Standard Error	2.61907			
----- Analysis of Variance -----				
Regression	DF	Sum of Squares	Mean Square	
Residual	34	19578.61331	19578.61331	
		233.22349	6.85951	
F =	2854.22731	Signif F =	.0000	
----- Variables in the Equation -----				
Variable	B	SE B	Beta	T Sig T
FAN	1.00375	.01879	.99410	53.425 .0000