

# 신호교차로 분석시 초기대기행렬이 총지체도에 미치는 영향에 관한 연구

## The Study on Effects Caused by the Initial Queue to the Total Delay Estimation in Analyzing Signalized Intersection

박순표\* · 김기혁\*\*

Park, Soon-Pyo · Kim, Ki-Hyuk

### Abstract

This study is aimed to analyze the overall effects of the additional delay caused by the vehicle in front of the queue, at the signal, to the total delay estimation. To estimate the average vehicle delay at the signalized intersection, as survey of the queue length at the intersection and traffic counts were conducted. As a result of this analysis, all of the three delay estimation methods turned out to be similar in that the estimation of the average delay for the test vehicle was less than 60 sec/vehicle. However, the average delay time for the vehicle in front of the queue only, was estimated at 60-70 sec/vehicle which is similar to the average delay of the test vehicle.

**Keywords :** initial queue delay, analysis of intersections delay, highway capacity manual

### 요 지

본 연구는 신호교차로 분석시 추가지체 산정을 위하여 적용하는 초기 대기차량이 총 지체도에 얼마나 영향을 미치는지 분석하기 위한 목적으로 실시하였다. 평균교차로 지체시간을 측정하기 위하여 통과차량과 대기행렬이 측정되었다. 분석결과, 시험차량의 평균 지체도가 60초/대 미만 일 경우에는 세가지 지체도 산정방법이 모두 유사한 것으로 분석되었으나, 60~70초/대는 초기 대기차량을 적용한 지체도만 시험차량의 평균지체도와 유사한 것으로 분석되었다.

**핵심용어 :** 추가지체, 교차로 지체도분석, 도로용량편람

### 1. 서 론

우리나라는 경제성장에 따른 급격한 교통량증가로 수도권과 지방대도시 및 주변도시의 교통문제가 심각한 수준에 봉착하였다. 이에 각종 개발계획 수립시 주변가로 및 교차로에 대한 운행상태를 분석하고 시행 전·후의 교통영향을 비교·분석하는 과정을 거침으로써 효율적이고 합리적인 교통개선 대책을 수립하는 근거자료로 활용하고 있다.

현재 대부분의 교통관련 업무에서 가로 및 교차로의 소통 수준분석은 도로용량편람(KHCM)이 사용되고 있다.

도로용량편람의 신호교차로 분석은 과포화시에 지체시간을 구할 수 있는 장점이 있으며, 지체시간은 총지체를 균일 지체·증분지체·추가지체로 구분하는데 과포화시 총지체에 큰 영향을 미치는 초기 대기차량은 교통량 조사에서 현장관측을 통해 수집되고 있다.

그러나 실제 교통관련업무 수행을 위한 교통량 조사는 제한된 시간에 한정된 인원을 투입하여 실시함에 따라 초기 대기차량에 대한 정확한 자료의 수집이 어려운 실정이며, 초기 대기차량의 관측을 누락하거나 비전문가인 교통량 조사원을 통해 초기 대기차량을 관측토록 하는 등 부정확한 조사 자료를 분석에 적용할 가능성이 높아 합리적인 교통개선 대책 수립이 어려운 실정이다.

본 연구의 목적은 실제 조사를 통하여 신호교차로 분석시 추가지체 산정을 위하여 적용하는 초기 대기차량이 총 지체도에 얼마나 영향을 미치는지 분석하고 도로용량편람의 신호교차로 분석방법으로 산정하는 지체도가 실제 통행하는 차량의 운행상태를 충분히 설명하고 있는지를 검증한 후 현실적인 조사방법을 제시하고자 한다.

\*계명대학교 도시공학과 대학원 · (주)한도엔지니어링 교통계획부 부장 (E-mail : handoman@empal.com)

\*\*정희원 · 계명대학교 교통공학과 교수 (E-mail : ghkim@kmu.ac.kr)

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 기존 연구 고찰

본 연구와 관련된 기존의 연구들을 살펴본 결과 이은미(2005)의 COSMOS 과포화시 초기 대기차량 추정, 대한 연구와 이은미(2006)의 단속류 과포화시 초기 대기차량 산정을 통한 구간통행시간 추정 연구가 있다.

전자는 과포화시 초기 대기차량을 추정하는 방안을 제시하여 현장관측에 의존하던 기존방법을 개선하고, 이로써 정확한 지체시간을 분석하여 실시간 통행시간 제공에 목적이 있었고, 후자는 COSMOS 과포화시 초기 대기차량 추정에 대한 연구에서 산정된 초기 대기차량 모형을 재검토하고 이를 이용하여 단속류의 과포화시 구간통행시간을 추정하였다.

또한 과포화시 지체시간을 산정함에 있어서 중요한 변수가 되는 초기 대기차량을 추정하는 방안을 제시하여 현장관측에 의존하던 방법을 개선하고자 하였다.

두 가지의 기존 연구는 본 연구와 마찬가지로 초기 대기차량이 교차로 총지체에 미치는 영향이 크다는 전제하에 이루어졌고 현장관측법에 의존하는 초기 대기차량의 조사방법을 개선코자 시뮬레이션을 이용하여 초기 대기차량의 모형을 개발하였으며, 그 모형을 이용하여 단속류 과포화시의 구간통행시간을 추정하였다.

### 2.2 초기 대기차량, 추가지체의 정의

본 연구에서 다루게 되는 신호교차로의 추가지체 산정시 가장 큰 변수는 초기 대기차량이며, 이는 분석기간 시작 순간에 관측했을 때 교차로를 통과하지 못하고 남아있는 잔여차량을 의미한다. 초기차량은 차로군별로 조사를 하고 현장관측방법을 사용하여 조사할 수 있다.

HCM에서는 아래와 같은 식으로 초기 대기차량을 산정하는데, 분석기간 동안의 도착교통량과 용량과의 차가 초기 대기차량이 됨을 알 수 있다.

$$Q_{b(i+1)} = \max[0, Q_{b(i)} + cT(X_i - 1)]$$

$$cT(X_i - 1) = cT\left(\frac{v_i}{c} - 1\right)$$

$$= cT\left(\frac{v_i - c}{c}\right)$$

$$= T(v_i - c)$$

$$Q_{b(i+1)} = \max[0, Q_{b(i)} + cT(X_i - 1)]$$

여기서,  $Q_{b(i+1)}$  = 분석기간 (i+1)시점의 초기 대기차량(veh)

$Q_{b(i)}$  = 분석기간 (i)시점의 초기 대기차량(veh)

$T$  = 분석기간(hr)

$v_i$  = 분석기간 (i)의 도착교통량(veh/h)

$c$  = 용량(veh/h)

추가지체(initial queue delay)란 분석기간 시작 전에 대기차량이 남아 있으면, 이 대기차량이 방출되는 동안 분석기간에 도착한 차량이 감당해야 할 추가적인 지체를 말한다. 서비스 수준 분석이 일반적으로 침두시간에 대해서 많이 이루어지기 때문에 분석기간 전에 과포화가 발생하였다면 분석기간 중에도 과포화가 될 가능성이 클 수밖에 없으므로 초

기 대기차량이 지체에 미치는 영향은 크다.

도로용량편람에서는 초기 대기차량의 현장관측을 분석시간대에 과포화 상태가 발생하는 접근로에서 필요한 차로군에 대해서만 실시하고, 조사대상은 차로별 차량대수가 아니라 차로군별 차량대수이며, 각 차로군별로 3회 이상 조사한 자료의 평균치를 쓰는 것이 좋다고 제시하고 있다.

### 2.3 KHCM의 신호교차로 추가지체 산정방법

교차로 접근로별 용량은 실제의 도로조건, 교통조건 및 신호조건 하에서 교차로 정지선을 통과 할 수 있는 차로군별 최대교통량을 말한다. 교통류율은 일반적으로 침두 15분 교통량을 4배하여 시간당 교통량(vph)으로 표시하는 침두 시간 교통류율로 나타낸다.

분석기간 시작 전에 대기차량이 있으면 분석기간 초기에 도착한 차량은 대기행렬을 이루고, 이 대기차량들이 방출되는 동안 분석기간에 도착한 차량은 추가적인 지체를 해야 한다. 따라서 분석 시작시점에 대기차량이 없으면 이 추가지체는 고려할 필요가 없다. 이 추가지체는 분석기간 동안에 도착한 차량의 지체를 구하는 것이므로 분석기간 동안의 초기 대기차량의 지체는 고려하지 않는다.

이러한 추가지체가 있을 때는 다음에 설명되는 균일지체의 값이 달라지므로 주의해야 한다. 그 이유는 초기 대기차량이 있으면 이들이 처리될 때까지는 균일지체 때보다 큰 지체를 받기 때문이다. 추가지체는 분석기간을 몇 개의 소구간으로 나누어서 분석할 때, 앞 단계의 대기행렬이 다음 단계의 지체에 주는 영향을 분석할 때에도 이용된다. 추가지체 d3가 존재하는 경우를 3가지 유형으로 구분해 보면 다음과 같다.

- ① 유형 I : 초기 대기차량이 존재하고 분석기간 이내에 도착하는 모든 교통량을 처리하고 분석기간 이후에는 대기차량이 남지 않는 경우. 즉,  
 $0 < Q_b < (1-X)cT$
- ② 유형 II : 초기 대기차량이 존재하고 분석기간 이후에 여전히 대기차량이 남아 있으나 그 길이가 초기 대기차량보다 줄어든 경우. 즉,  
 $0 < (1-X)cT < Q_b$
- ③ 유형 III : 초기 대기차량이 존재하고 분석기간이 지난 후에도 여전히 대기차량이 남아 있으나 그 길이가 초기 대기차량보다 늘어난 경우. 즉,  
 $(1-X)cT < 0 < Q_b$

유형 II, III에서는 분석기간이 끝난 후에 남아 있는 대기차량의 지체(분석기간 이후에 발생하는)도 추가지체가 포함된다. 왜냐 하면 이들의 지체가 분석기간 이후에 발생한다 하더라도 분석은 분석기간에 도착한 차량을 대상으로 하므로 이 지체를 추가지체에 포함시켜야 한다. 앞에서 설명한 세가지 유형별 추가지체의 모형식은 다음과 같다.

$$d_3 = \frac{1800Q_b^2}{cT(c-V)} \quad (\text{유형 I 때})$$

$$= \frac{3600Q_b}{c} - 1800T(1-X) \quad (\text{유형 II 때})$$

$$= \frac{3600Q_b}{c} \quad (\text{유형 III 때})$$

여기서,  $d_3$  = 추가지체(분석기간 이전에 잔류한 과포화 대기행렬로 인한 지체)

$Q_b$  = 분석기간(T)이 시작될 때 존재하는 초기 대기차량대수(대)

$c$  = 분석기간 중의 해당 차로군의 용량(vph)

$V$  = 분석기간 중의 해당 차로군의 도착교통량(vph)

$T$  = 분석기간 길이(시간)

$X$  = 해당 차로군의 포화도

### 3. 조사개요 및 지체도 산정

#### 3.1 자료수집 및 지체도 산정방법

본 연구는 현장조사를 통해 이루어졌으며, 연구 목적에 적합한 분석대상 교차로를 선정하여 현장 관측을 통하여 교통량 및 지체도 산정에 필요한 자료를 수집하였다.

연구대상 교차로의 선정은 초기 대기차량에 대한 자료 수집을 위하여 상습적인 지체가 발생하고 있고 상류부 교차로와의 간격이 300m 이상으로 충분한 대기공간이 확보되어 있으며 캠코더설치가 가능한 접근로를 대상으로 하였다.

자료수집은 2008년 2월 13일(수요일) 오전 8시부터 오후 7시까지 총 11시간 동안 지·정체가 비교적 심하게 발생하는 서성네거리 동측접근로(4차로)에 대해서 캠코더촬영을 통하여 통과교통량과 초기 대기차량에 대한 조사를 실시한 후 통과차량 적용지체도, 초기 대기차량 적용지체도를 분석하고 실제 교차로 통과차량을 관측하여 평균 지체도를 산정하였으나 과포화상태의 교통량표본을 충분히 수집 할 수 없었다.

따라서 퇴근시간대에 지체가 발생하는 서성네거리 북측접근로(2차로)와 공산수원지 삼거리 서측접근로(4차로), 일요일 귀가시간대에 지체가 심하게 발생하는 도곡네거리 북편교차로의 동측접근로(1차로) 등 3개 지점에 대하여 오후 침두시를 대상으로 추가조사를 실시하였다.

서성네거리 북측접근로는 2008년 4월 2일(수요일) 공산수원지삼거리 서측접근로는 2008년 5월 14일(수요일), 도곡네거리 북편 교차로의 동측접근로는 2008년 5월 18일(일요일) 귀가시간대인 오후 5시부터 오후 7시까지 같은 방법으로 자료를 수집한후 통과차량 지체도, 초기 대기차량적용 지체도, 시험차량 평균 지체도를 분석하였다.

세 가지 분석방법 중 첫 번째로 통과차량 지체도는 초기 대기차량을 고려하지 않고 분석기간 동안에 교차로를 통과하는 차량들만으로 분석을 하여 산정한 지체도를 말하며, 두 번째로 초기 대기차량적용 지체도는 분석대상 접근로에서 분석기간 이전에 교차로를 다 통과하지 못한 차량들인 초기 대기차량을 적용하여 분석한 값이다. 세 번째로 시험차량 평균 지체도는 분석대상 접근로를 실제로 통과하는 차량들의 차량당 평균 제어지체를 관측하여 산정한 지체도이다.

#### 3.2 통과차량 지체도 산정

첫 번째 방법인 통과차량 지체도 산정은 연구대상 교차로 초기 대기차량을 고려하지 않고 분석기간 동안에 교차로를 통과하는 차량들만으로 교차로분석을 실시하여 산정한 값이다. 자료의 수집은 서성네거리의 동측접근로의 경우 오전 8시부터 오후 7시까지 총 11시간을 조사하여 15분 단위로

교통량을 조사하여 총 44개의 자료를 수집하였다.

서성네거리 북측접근로와 공산수원지삼거리, 도곡네거리 북편교차로의 경우는 가장 지·정체가 극심한 오후 5시부터 오후 7시까지 총 2시간을 조사하여 15분 단위로 교통량을 조사하여 각 접근로별로 8개의 자료를 수집하였다. 이때, 조사시간 모두 침두시간계수(peak hour factor : PHF)가 1.0으로 동일하다고 가정하고 수집된 15분 교통량을 4배해서 한 시간 교통량으로 환산하여 분석에 적용하였다.

통과 교통량만을 적용하여 교차로 지체도를 산정한 결과, 서성네거리 동측접근로의 지체값은 최저 48.4초/대~최대 57.3초/대, 북측 접근로의 지체값은 57.9초/대~63.1초/대로 산정되어 그 차이는 10초/대 미만으로 시간대별 지체도는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

공산수원지삼거리 서측접근로의 지체값은 최저 33.3초/대~최대 54.2초/대로 산정되었고, 도곡네거리 북편교차로의 지체값은 최저 54.4초/대~최대 95.1초/대로 산정되어 지체도가 시간대별로 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

시간대별 지체도는 서성네거리 북측접근로와 공산수원지삼거리 서측접근로는 완만하게 증가하는 것으로 분석되었으나 도곡네거리 북편 동측접근로는 급격하게 감소하는 것으로 나타났다.

#### 3.3 초기 대기차량 적용 지체도 산정

두 번째 방법인 초기 대기차량 적용 지체도는 분석대상 교차로의 각 접근로에서 분석기간 동안 교차로를 다 통과하지 못한 차량들인 초기 대기차량을 적용하여 산정한 값이다. 자료의 수집은 서성네거리 동측접근로의 경우 오전 8시부터 오후 7시까지 총 11시간을 조사하여 서성네거리 북측 접근로와 공산수원지삼거리 서측접근로, 도곡네거리 북편 동측접근로는 오후 5시부터 오후 7시까지 매 현시마다 초기 대기차량을 조사하여 서성네거리 동측접근로는 264개의 초기 대기차량 표본을 수집하였고, 서성네거리 북측접근로와 공산수원지삼거리 서측접근로는 각 48개, 도곡네거리 북편의 경우는 40개의 초기 대기차량 표본을 수집하였다.

표본은 15분 단위로 평균 6개로 나타났으나, 도곡네거리의 경우 신호주기가 장대하여 5개의 표본이 수집되었으며 그 평균치를 적용하였다.

서성네거리 동측접근로의 각 현시별로 초기 대기차량 대수를 조사한 결과 초기 대기차량 대수가 가장 적은 시간대는 오전 08:15~08:30 사이로 최저 13대, 최대 18대로 평균대수는 15대로 조사되었고, 초기 대기차량 대수가 가장 많은 시간대는 오후 18:30~18:45 사이로 최저 47대, 최대 63대로 평균대수는 58대로 조사되었다.

서성네거리 북측접근로는 오후 18:45~19:00 사이에 최저 15대, 최대 25대로 평균 21대로 조사되었고, 공산수원지삼거리 서측접근로는 오후 18:15~18:30사이로 최저 11대, 최대 20대로 평균 14대, 도곡네거리 북편교차로의 동측접근로는 초기 대기차량 대수가 가장 많은 시간대가 오후 17:15~17:30 사이로 최저 15대, 최대 29대로 평균대수는 23대로 조사되었다.

조사된 초기 대기차량을 적용하여 지체도를 산정한 결과 서성네거리 동측접근로의 지체값은 최저 53.3초/대~최대

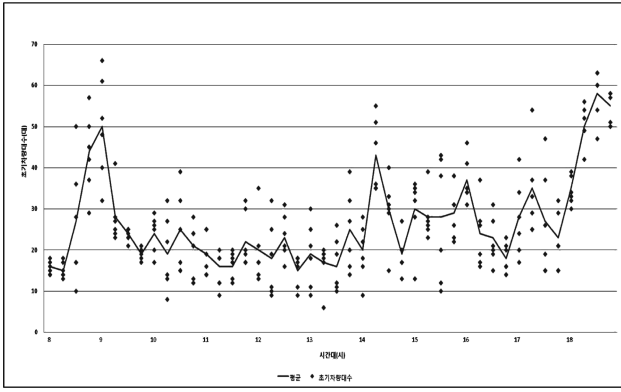


그림 1. 시간대별 초기 대기차량 분포도 및 평균값(서성네거리 WB)

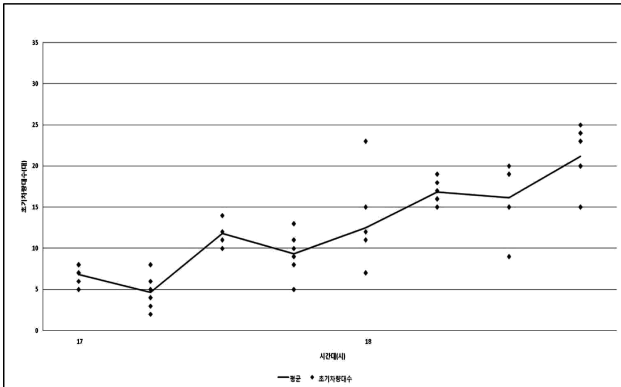


그림 2. 시간대별 초기 대기차량 분포도 및 평균값(서성네거리 SB)

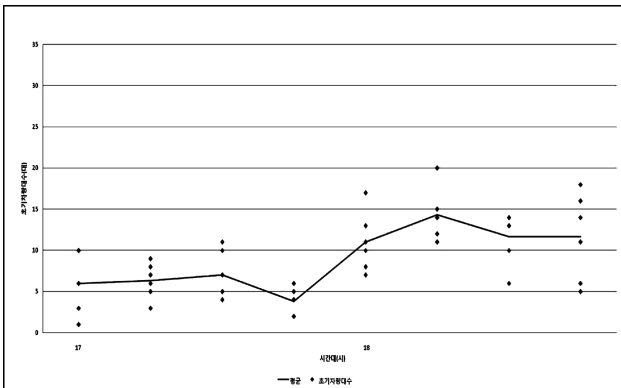


그림 3. 시간대별 초기 대기차량 분포도 및 평균값(공산수원지삼거리 EB)

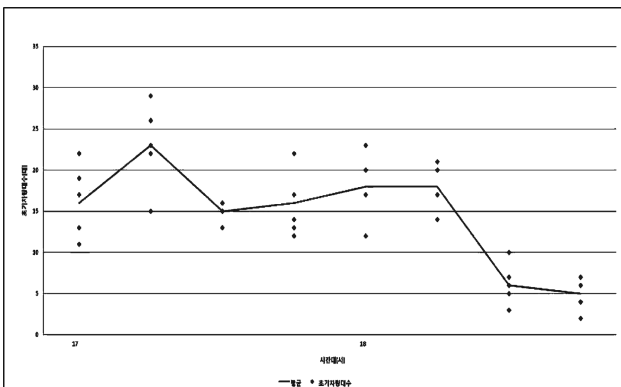


그림 4. 시간대별 초기 대기차량 분포도 및 평균값(도곡네거리 북편 WB)

147.6초/대로 그 차이가 94.3초/대로 산정되어 통과교통량만을 적용하여 산정한 지체도와는 상당한 차이가 있는 것으로 나타났다.

서성네거리 북측접근로의 지체값은 최저 59.4초/대~최대 71.5초/대로 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 공산수원지삼거리의 서측접근로의 지체값은 최저 42.4초/대~최대 98.6초/대로 그 차이가 56.2초/대이며, 도곡네거리 북편 교차로의 동측접근로의 지체값은 최저 57.7초/대~최대 222.3초/대로 그 차이가 164.6초/대로 상당히 큰 것으로 나타났다.

### 3.4 시험차량 평균 지체도 산정

세 번째 방법인 시험차량 지체도는 분석대상 교차로의 각 접근로에서 실제 주행하는 차량들을 대상으로 분석기간에 도착한 차량들이 교차로에 접근하면서부터 교차로의 정지선을 통과할 때까지 걸린 차량당 제어지체를 측정하여 산정한 값이다. 이때의 차량당 평균제어지체는 분석기간 이전에 교차로를 다 통과하지 못한 차량으로 인해서 분석기간 동안에 도착한 차량이 받는 추가지체도 포함된다.

자료의 수집은 서성네거리 동측접근로의 경우 오전 8시부터 오후 7시까지 총 11시간을 조사하였고, 서성네거리 북측 접근로와 공산수원지삼거리, 도곡네거리 북편 교차로의 경우는 오후 5시부터 7시까지 2시간동안 교차로를 진입하는 차량들을 캠코더로 촬영하여 30초에 한 대씩 랜덤으로 표본을 추출하여 차량당 제어지체값을 측정하였다.

서성네거리 동측접근로의 경우 총 11시간동안 1,320대의 표본을 수집하였고, 그 외 분석대상 접근로는 2시간동안 각 240대의 표본을 수집하였다.

시험차량의 평균 지체도는 15분 단위로 조사된 30개 표본의 평균을 적용하였다.

시험차량 평균 지체도 산정결과 서성네거리 동측접근로의 지체값은 최저 48.7초/대~최대 131.4초/대로 초기 대기차량을 적용하여 산정한 지체도와 대부분 유사한 것으로 나타났다.

서성네거리 북측접근로의 평균지체도는 최저 52.4초/대~최대 86.7초/대로 초기 대기차량 적용지체도보다 다소 높은 것으로 나타났고, 공산수원지삼거리 서측접근로의 시험차량 평균 지체도는 최저 38.2초/대~최대 73.4초/대로 최대 지체값이 초기 대기차량 적용 지체도보다 낮게 산정되었다.

도곡네거리 북편교차로 동측접근로의 시험차량 평균 지체도는 최저 84.5초/대~최대 215.9초/대로 산정되었으며, 대부

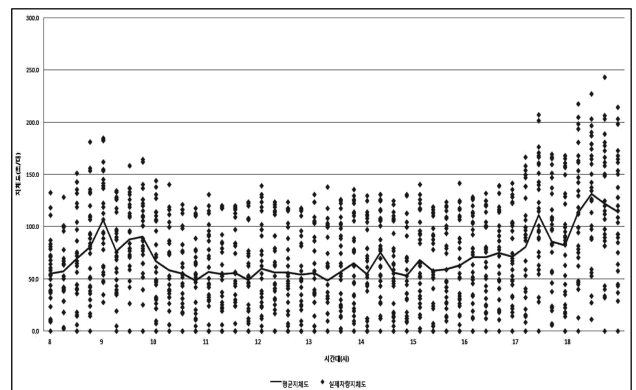


그림 5. 시간대별 시험차량지체도 분포도 및 평균값(서성네거리 WB)

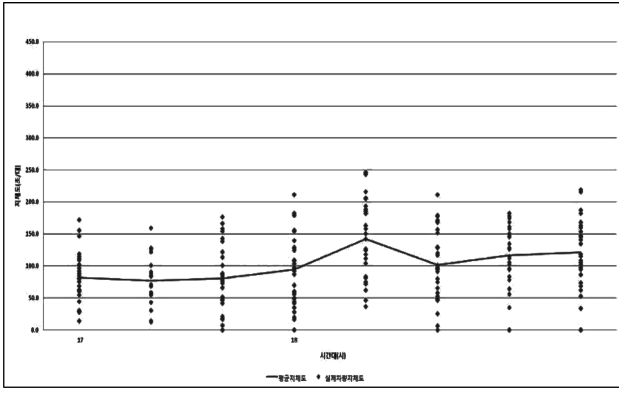


그림 6. 시간대별 시험차량지체도 분포도 및 평균값(서성네거리 SB)

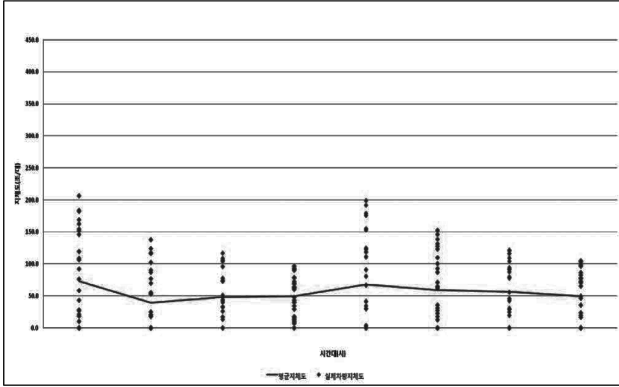


그림 7. 시간대별 시험차량지체도 분포도 및 평균값(공산수원지 삼거리 EB)

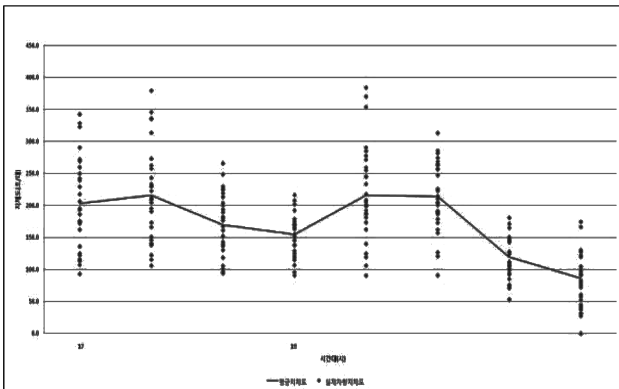


그림 8. 시간대별 시험차량지체도 분포도 및 평균값(도곡네거리 북편 WB)

분의 시간대에서 초기 대기차량을 적용하여 안정적인 지체도 보다 높게 나타났다.

#### 4. 지체도 산정방법간 비교 분석

서성네거리와 공산수원지삼거리, 도곡네거리 북편 교차로의 연구대상 접근로에서 산정한 총 68개의 시간대별 지체도 산정결과를 시험차량 평균 지체도를 기준으로 10초/대 단위로 계급을 구분하여 통과차량 지체도와 초기 대기차량 적용 지체도에 대하여 RMSE 분석과  $\chi^2$ 검증을 실시한 결과, 통과차량 지체도는 유사성이 떨어지나 초기 대기차량 적용 지체도와 시험차량 평균 지체도는 상당히 유사한 것으로 분석되었다.

표 1. 시간대별 지체도 산정결과(서성네거리 WB)

시간대	통과 교통량 (대/시)	통과차량 적용 지체도 (초/대)	초기 대기차량 적용지체도		시험차량 평균지체도 (초/대)
			초기대기 차량(대)	지체도 (초/대)	
08:00 ~ 09:00	1,300	54.3	16	58.6	55.3
	1,438	56.9	15	62.5	57.5
	1,298	54.3	27	63.9	69.1
	1,412	56.6	44	81.1	80.9
09:00 ~ 10:00	1,473	52.5	50	84.9	106.8
	1,387	51.6	28	69.6	76.5
	1,352	50.9	24	73.9	87.7
10:00 ~ 11:00	1,442	56.9	19	73.5	90.8
	1,431	57.2	24	68.2	67.1
	1,439	54.8	19	62.9	58.4
11:00 ~ 12:00	1,306	53.0	25	62.2	55.3
	1,162	50.8	21	56.2	48.7
	1,258	51.9	19	56.6	56.9
12:00 ~ 13:00	1,108	49.8	16	53.3	55.0
	1,242	52.1	16	56.5	55.8
	1,334	48.8	22	60.5	49.0
13:00 ~ 14:00	1,310	48.8	20	60.2	60.0
	1,260	52.1	18	57.5	56.7
	1,166	50.4	23	56.8	56.6
14:00 ~ 15:00	1,384	54.9	15	59.4	54.4
	1,284	52.4	19	58.0	55.7
	1,166	50.8	17	54.6	48.8
15:00 ~ 16:00	1,166	50.4	16	53.3	48.8
	1,326	49.1	25	63.8	65.0
	1,300	48.6	20	58.3	54.8
16:00 ~ 17:00	1,360	54.0	43	85.2	75.8
	1,358	53.3	30	67.5	56.4
	1,200	51.3	19	56.0	53.3
17:00 ~ 18:00	1,420	55.7	30	76.1	68.3
	1,370	54.0	28	67.9	57.9
	1,408	54.8	28	69.1	59.5
18:00 ~ 19:00	1,442	55.6	29	74.5	62.9
	1,274	48.4	37	69.9	70.9
	1,416	49.9	24	69.2	71.1
19:00 ~ 20:00	1,312	52.6	23	67.6	75.0
	1,260	52.0	18	71.3	71.4
	1,332	52.6	28	80.8	80.6
20:00 ~ 21:00	1,464	54.0	35	90.0	111.5
	1,427	53.5	27	84.2	85.8
	1,357	52.8	23	78.0	82.5
21:00 ~ 22:00	1,498	54.5	35	102.8	113.1
	1,544	55.0	50	147.6	131.4
	1,516	57.3	58	120.1	122.1
22:00 ~ 23:00	1,352	55.0	55	107.1	114.3

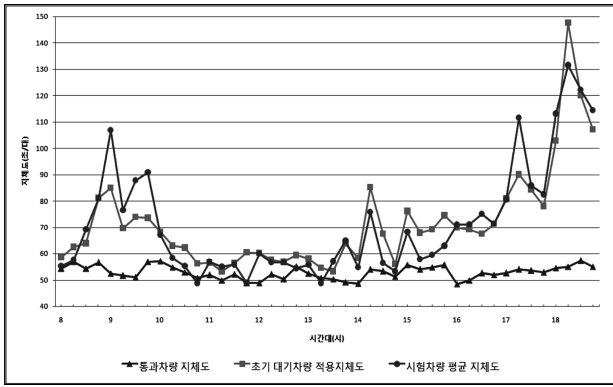


그림 9. 방법별 · 시간대별 지체도 비교(서성네거리 WB)

표 2. 시간대별 지체도 산정결과(서성네거리 SB)

시간대	통과 교통량 (대/시)	통과차량 적용 지체도 (초/대)	초기 대기차량 적용지체도		시험차량 평균지체도 (초/대)
			초기대기 차량(대)	지체도 (초/대)	
17:00 ~ 18:00	988	60.1	7	60.8	54.3
	1,044	61.0	5	61.4	57.9
	808	57.9	12	59.5	59.0
	892	58.3	9	59.4	61.7
18:00 ~ 19:00	952	59.3	13	61.5	76.5
	1,089	62.0	17	66.5	86.7
	1,085	62.1	16	66.7	58.4
	1,119	63.1	21	71.5	52.4

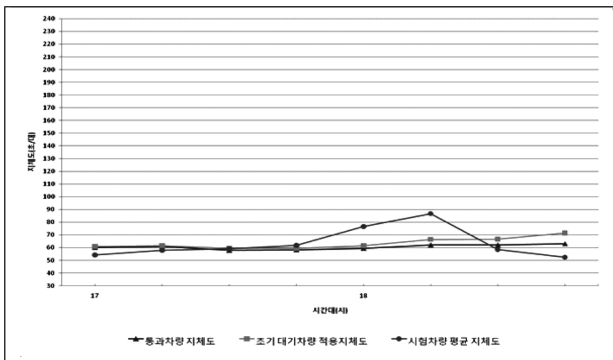


그림 10. 방법별 · 시간대별 지체도 비교(서성네거리 SB)

표 3. 시간대별 지체도 산정결과(공산수원지삼거리 EB)

시간대	통과 교통량 (대/시)	통과차량 적용 지체도 (초/대)	초기 대기차량 적용지체도		시험차량 평균지체도 (초/대)
			초기대기 차량(대)	지체도 (초/대)	
17:00 ~ 18:00	2,535	6	33.3	42.4	73.4
	2,706	6	38.1	55.6	38.2
	2,802	7	45.2	50.3	48.2
	2,839	4	49.2	76.1	49.8
18:00 ~ 19:00	2,852	11	50.9	90.8	73.2
	2,756	14	52.1	62.8	56.2
	2,715	12	52.4	97.9	56.5
	2,932	12	54.2	98.6	49.5

표 7과 같이 시험차량 평균 지체도를 기준으로 60초/대 미만, 60~70초/대, 70초/대 이상으로 구분하여 분석하였으며,

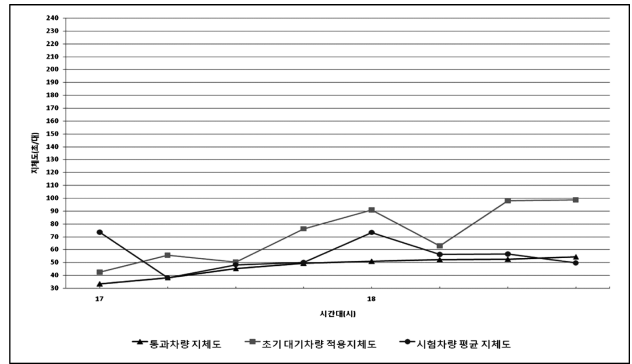


그림 11. 방법별 · 시간대별 지체도 비교(공산수원지삼거리 EB)

표 4. 시간대별 지체도 산정결과(도곡네거리 북편 WB)

시간대	통과 교통량 (대/시)	통과차량 적용 지체도 (초/대)	초기 대기차량 적용지체도		시험차량 평균지체도 (초/대)
			초기대기 차량(대)	지체도 (초/대)	
17:00 ~ 18:00	650	86.8	16	165.5	203.2
	657	95.1	23	222.3	214.2
	589	74.8	15	121.0	171.2
	618	81.5	16	149.8	153.0
18:00 ~ 19:00	426	54.7	18	72.7	215.9
	416	54.4	18	72.0	213.4
	422	55.3	6	57.7	118.4
	540	65.7	5	67.8	84.5

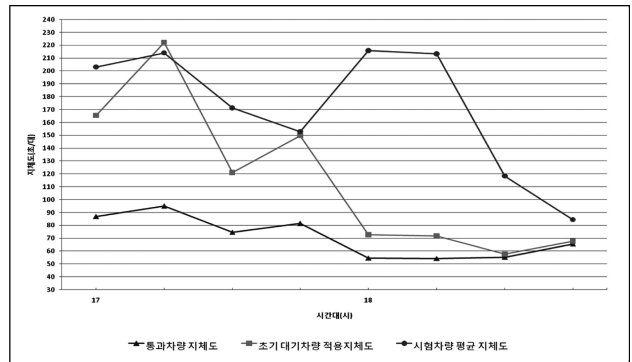


그림 12. 방법별 · 시간대별 지체도 비교(도곡네거리 북편 WB)

표 5. 시험차량 평균 지체도별 통과차량 지체도와 시험차량 평균 지체도의  $\chi^2$ 검증과 RMSE 분석결과

구분	시험차량 평균 지체도(초/대)					
	50~60	60~70	70~80	80~90	90이상	
RMSE	4.549	11.469	24.332	28.337	93.261	
$\chi^2$ 검증	유의수준	0.05				
	자료수(N)	24	7	9	7	14
	P	0.996	0.008	0.000	0.000	0.000
	$\chi^2$ 합계	9.072	17.510	120.044	103.427	1947.716
	기각역	35.172	12.592	15.507	12.592	22.362
결과	통과차량 지체도와 시험차량 평균 지체도가 유사함			통과차량 지체도와 시험차량 평균지체도가 유사하지 않음		

지체값이 50초/대 이하의 경우 소통상태가 양호(서비스 수준 : “A~C”)하므로 제외하였다.

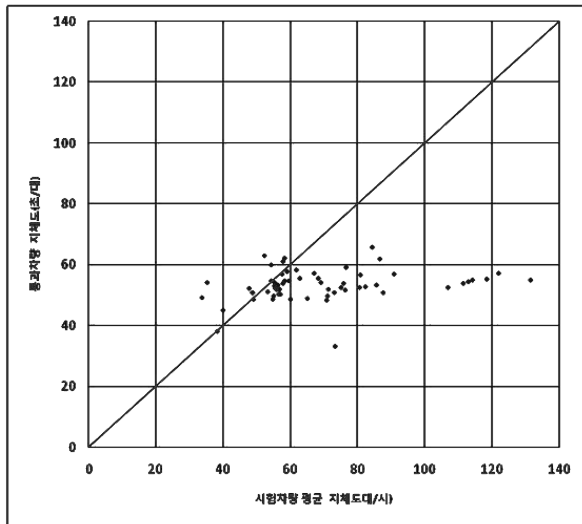


그림 13. 통과차량 지체도와 시험차량 평균 지체도 비교

표 6. 시험차량 평균 지체도별 초기 대기차량 적용 지체도와 시험차량 평균지체도의  $\chi^2$ 검증과 RMSE 분석결과

구분	시험차량 평균 지체도(초/대)					
	50~60	60~70	70~80	80~90	90이상	
RMSE	10.665	5.739	13.701	11.358	59.674	
$\chi^2$ 검증	유의수준	0.05				
	자료수(N)	24	7	9	7	14
	P	0.788	0.788	0.000	0.041	0.000
	$\chi^2$ 합계	32.681	3.161	32.299	13.158	671.374
	기각역	35.172	12.592	15.507	12.592	22.632
	결과	초기 대기차량 적용 지체도와 시험차량 평균 지체도가 유사함		초기 대기차량 적용 지체도와 시험차량 평균 지체도가 유사하지 않음		

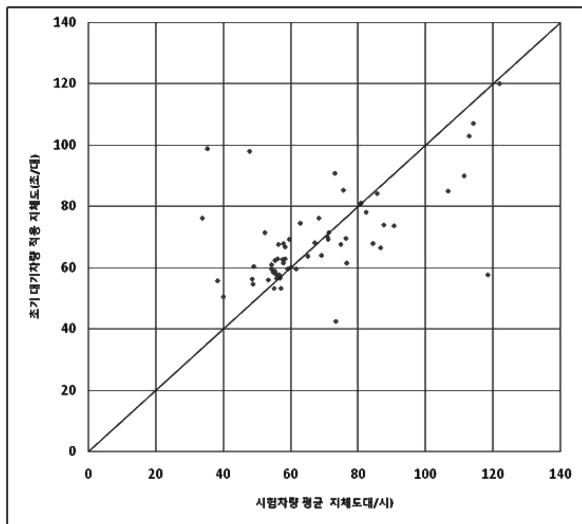


그림 14. 초기 대기차량 적용 지체도와 시험차량 평균 지체도 비교

분석결과, 기준이 되는 시험차량 평균 지체도가 60초/대 미만일 경우 세가지 지체도 산정방법이 모두 유사한 것으로 분석되었으나 60~70초/대는 초기 대기차량 적용하여 산정한 지체도만 유사한 것으로 분석되었고, 70초/대 이상에서는 초기 대기차량을 적용하여 지체도를 산정한 경우에도 시험차량 평균지체도와 유사하지 않은 것으로 분석되었다.

표 7. 시험차량 평균 지체도별 지체도 비교 · 검증 종합

구분	시험차량 평균 지체도		
	60초/대 미만인 경우	60~70초/대인 경우	70초/대 이상인 경우
지체도 산정방법별 RMSE와 $\chi^2$ 검증 결과	시험차량 평균 지체도 = 통과차량 지체도, 초기 대기차량 적용 지체도	시험차량 평균 지체도 = 초기 대기차량 적용 지체도 ≠ 통과차량 지체도	시험차량 평균 지체도 ≠ 통과차량 지체도, 초기 대기차량 적용 지체도

## 5. 결 론

연구결과를 종합해 본다면 지 · 정체가 심하지 않은 상태인 차량당 평균지체도가 60초/대 미만에서는 통과차량만을 적용하여 지체도를 산정하여도 실제 차량당 평균 지체도와 차이가 없지만 지 · 정체가 발생하기 시작하는 60초/대부터는 통과차량만 적용하여 지체도를 산정한 경우 실제 차량당 평균 지체도와의 차이가 있으므로 초기 대기차량 조사자료를 적용하여 지체도를 산정하여야 한다.

그러나 차량당 평균 제어지체가 70초/대 이상에서는 지 · 정체가 급격하게 일어나는 시점(서비스수준 “E”)으로 초기 대기차량을 적용하여 지체도를 산정한 경우에도 실제 교차로를 통과하는 차량의 평균지체도와 차이가 있는 것으로 분석되어 도로용량편람에 의한 신호교차로 지체도 산정결과가 현행 소통수준을 충분히 반영하지 못한다고 판단할 수 있다.

본 연구에서 지체도 산정방법별로 비교한 결과를 고려할 때 신호교차로 분석시 초기 대기차량을 적용하여 산정한 지체도가 60초/대 미만으로 산정된 접근로는 실제지체도와 유사하므로 분석결과에 문제가 없으나 지체도가 70초/대 이상으로 산정되었다면 실제 지체도는 이보다 높다고 판단할 수 있다.

따라서 신호교차로 분석시 반드시 초기 대기차량에 대한 조사를 실시하여 지체도 산정에 적용하여야 할 것이며, 지 · 정체가 심한 교차로의 경우 분석업무 담당자가 반드시 현장 조사에 참여하여 지체도 산정결과가 실제 교차로의 운행상태를 충분히 설명하고 있는지를 확인하여야 보다 정확한 분석결과 도출이 가능하다.

초기 대기차량에 대한 정확한 조사방법은 본 연구에서 수행한 조사방법과 같이 교통량 조사시점에 각 방향별로 캄코더를 설치하여 관측하는 방법이 있으며, 조사인원이 충분한 경우 각 방향별로 별도의 초기 대기차량 조사원을 배치하는 방법이 가장 정확한 자료수집 방법으로 판단된다.

그러나 실제업무에서 제한된 인원과 장비로 정확한 조사가 어려우므로 휴대가 간편한 디지털카메라나 휴대폰을 이용한 동영상 및 사진촬영방법으로도 비교적 정확한 자료수집이 가능한 것으로 판단되며, 촬영을 위한 시거확보가 곤란하거나 상습적인 지체가 발생하는 접근로의 경우 초기 대기행렬 꼬리부분의 위치를 지도에 표시한 후 정지선과의 거리를 이용하여 개략적인 대수관측이 가능하므로 초기 대기차량에 대한 현장조사를 누락하여서는 안 될 것이다.

지 · 정체가 심한 접근로의 경우 분석결과를 실제 운행상태와 비교해보는 방법은 본 연구에서와 같이 동영상을 촬영한 후 통과차량에 대한 지체도를 측정하여 산정하거나 시험

차량을 운행하여 지체도를 실측해보는 방법 등이 있다.

추후 연구과제로는 차량당 평균 지체도가 70초대 이상으로 지·정체가 발생하는 교차로에 대한 추가적인 연구를 통하여 본 연구결과를 검증할 필요가 있으며, 지·정체가 극심한 분석대상 접근로의 경우 초기 대기차량의 조사 및 적용에 어려움이 있으므로 차량의 실제 운행상태를 충분히 설명할 수 있는 분석기법에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

### 참고문헌

건설교통부(1999) 도로용량편람 개선 연구, 교통개발연구원.  
 건설교통부(2001) 도로용량편람.  
 김성득, 박창수, 박원규(2001) 한국 도로용량편람과 HCM 2000

의 신호교차로 서비스수준 결정에 관한 고찰, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제19권 제5호, pp. 143-154.  
 원제무(1998) 도시교통론, 박영사.  
 이은미(2006) 단속류 과포화시 초기 대기차량 산정을 통한 구간 통행시간 추정, 석사학위논문, 서울시립대학교.  
 이은미, 김영찬, 박현석(2005) COSMOS 과포화시 초기 대기차량 추정에 대한 연구, 한국ITS학회지, 한국ITS학회, pp. 13-18.  
 최영훈(1997) 비모수통계학 : 이론과 응용, 자유아카데미.  
 하동익(1997) 신호교차로 지체체계 분석방법론 연구, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제15권 제2호, pp. 83-103.  
 Highway Capacity Manual. (2000) *Extension of signal models to incorporate effect of an initial queue*, TRB, National Research Council, Appendix F.

(접수일: 2009.4.6/심사일: 2009.4.29/심사완료일: 2009.6.8)