

■ 論 文 ■

연동교차로를 위한 통행시간기반 신호제어 알고리즘의 현장 적용 및 평가

Application and Evaluation of a Traffic Signal Control Algorithm based on
Travel Time Information for Coordinated Arterials

정 영 제

(서울시립대학교 교통공학과 박사과정)

김 영 찬

(서울시립대학교 교통공학과 교수)

— 목 차 —

- | | |
|---|--|
| <p>I. 서론</p> <p>1. 연구의 배경과 목적</p> <p>2. 연구의 내용과 방법</p> <p>II. 기존 문헌 고찰</p> <p>III. 통행시간기반 신호제어 알고리즘</p> | <p>1. 알고리즘 개요</p> <p>2. 실시간 신호제어 알고리즘</p> <p>IV. 현장 적용 및 평가</p> <p>V. 결론</p> <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 구간통행시간, 실시간 신호제어, 연동가로축, 지체 균등화, 현장실험 및 평가
Sectional Travel Time, Real-time Traffic Signal Control, Coordinated Arterial, Equalization of Delay, Field Test and Evaluation

— 요 약 —

본 연구에서는 구간통행시간을 기반으로 하는 실시간 교통신호제어 알고리즘을 개발하였으며, 알고리즘의 현장 실험 및 평가를 수행하였다. 구간통행시간 기반 실시간 신호제어 알고리즘은 전체 접근로의 지체 균등화를 목적함수로 하며, 주요 과정으로는 개별차량 지체와 차량관측 시간을 이용한 대기행렬 해소시간의 산정과 이를 기반으로 교차로 지체를 산정하는 과정이다. 이후 이동류별 주기단위 지체변화량을 산정하고, 주기 결정 및 현시 배분 등의 과정이 이루어진다. 이동류별 지체의 산정과정에서는 연동교차로의 특성을 고려하여 HCM의 연동계수를 이용한 독립교차로에서의 지체로 환산하는 과정을 수행하며, 이때 누적주기의 프르브 차량 정보를 이용함으로써 보다 안정적 신호제어를 도모하였다. 통행시간 기반 신호제어 알고리즘의 현장실험 및 평가를 통해 TOD 제어와의 비교평가를 수행하였으며, 실험대상 가로축은 약 400m의 평균 교차로 간격을 가지는 일련의 4개 교차로로 구성되어 있다. 현장실험 및 평가 결과 TOD 제어 대비 지체 감소 효과와 더불어 이동류별 지체의 표준편차 감소를 통해 지체의 균등화 효과를 확인하였다. 본 연구를 통해 교통정보수집을 위한 범용의 검지체계에서 산출되는 개별차량의 구간통행시간 정보를 기반으로 하는 실시간 신호제어 알고리즘의 개발 및 평가를 수행하였으며, 이는 유비쿼터스 환경의 급속한 확산이라는 교통환경의 변화에 부응하기 위한 신호제어 방법론의 근본적인 변화에 긍정적인 목표를 두고 있다.

This study develops a real-time signal control algorithm based on sectional travel times and includes a field test and evaluation. The objective function of the signal control algorithm is the equalization of delay of traffic movements, and the main process is calculating dissolved time of the queue and delay using the sectional travel time and detection time of individual vehicles. Then this algorithm calculates the delay variation and a targeted red time and calculates the length of the cycle and phase. A progression factor from the US HCM was applied as a method to consider the effect of coordinating the delay calculation, and this algorithm uses the average delay and detection time of probe vehicles, which were collected during the accumulated cycle for a stable signal control. As a result of the field test and evaluation through the application of the traffic signal control algorithm on four consecutive intersections at 400m intervals, reduction of delay and an equalization effect of delay against TOD control were confirmed using the standard deviation of delay by traffic movements.

This study was conducted to develop a real-time traffic signal control algorithm based on sectional travel time, using general-purpose traffic information detectors. With the current practice of disseminating ubiquitous technology, the aim of this study was a fundamental change of the traffic signal control method.

I. 서론

1. 연구의 배경과 목적

최근 IT 기술의 발달은 생활전반에 유비쿼터스기술의 형태로 급격히 확산되고 있으며, 이는 교통정보제공 및 교통운영관리 분야 등에서 활발히 적용 중에 있다. 그중 DSRC(Dedicated Short-Range Communication)와 같은 양방향 통신이 가능한 통신기술은 자동요금징수시스템(ETCS) 및 교통정보수집시스템 등에 활발히 적용되고 있으며, 이를 통해 개별차량의 ID 및 검지기 통과시각정보의 수집이 가능하다. 따라서 복수의 검지장치를 이용하여 실시간의 정확한 구간통행시간 정보가 수집 가능한 상황이다.

기존 ITS에서 실시간 신호제어시스템의 경우 루프검지기의 점유율 추세 정보를 기반으로 함에 따라 정지선 등 특정 위치에서 신호제어만을 위한 별도의 검지기 설치 요구되며, 루프검지기와 같은 지점검지기의 점유율로서는 포화상태에서의 정보수집 제약으로 접근로 전체의 교통상황을 대변하기에는 한계가 있다. 따라서 실시간으로 수집된 구간통행시간, 지체 등의 구간정보를 이용한 신호제어 알고리즘이 요구되며, 현재는 교통신호제어를 위한 제반기술의 발달에 따른 운영 및 제어방법의 개선이 요구되는 시점이다.

본 연구에서는 무선통신을 기반으로 하는 개별 차량의 ID 수집이 가능한 범용의 교통정보 수집장치를 이용하여 개별차량 구간통행시간정보를 기반으로 하는 실시간 신호제어 알고리즘을 개발하고자 한다. 유비쿼터스기술의 발달에 따른 실시간 신호제어 방법론 변화를 통해 기존 점유율 기반 신호제어를 대체하는데 기반을 마련하고자 하며, 교통정보제공 등 다방면에서 활용 가능한 범용의 통신장비를 적용하여 신호제어를 수행하는 것이 궁극적인 목표라 할 수 있다.

2. 연구의 내용과 방법

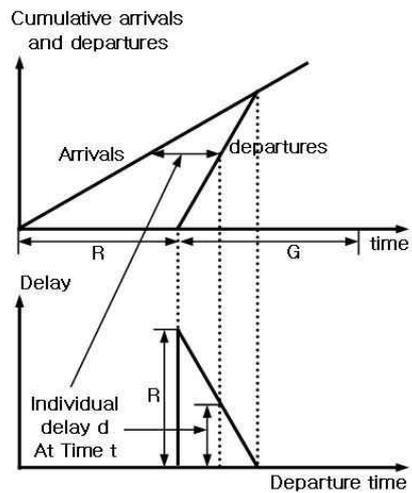
구간통행시간 기반 실시간 신호제어시스템 알고리즘 개발을 위한 본 연구는 신호제어시스템 개발을 위한 전체 연구 내용 중 교통신호제어기 또는 교통신호운영센터에 이식되기 위한 실시간 신호제어 알고리즘의 개발 및 현장 적용·평가에 관련한 내용만을 포함하고 있다. 구간통행시간 기반 실시간 신호제어 알고리즘의 현장적용

및 평가를 위해 과거 동일 연구에 의해 개발된 독립교차로를 위한 신호제어 알고리즘을 연동교차로 적용이 가능하도록 수정·보완하였다.

II. 기존 문헌고찰

통행시간 기반의 실시간 신호제어 관련 연구는 점유율 기반의 신호제어 대비 극히 미미한 수준이며, 교통정보수집에 있어 지진 등의 영향으로 비매설 방식의 검지체계를 널리 적용 중에 있는 일본을 중심으로 활발히 연구되고 있는 상황이다. Massart(1995)는 차량번호판 인식시스템(AVI)를 이용한 개별차량의 구간통행시간을 기반으로 하는 실시간 신호제어 시스템을 개발하였으며, 이는 <그림 1>과 같이 결정적 지체모형을 이용하여 주기단위의 누적지체를 산정하기 위해 개별차량의 지체를 합산하는 방법을 이용하고 있다. 결정적 지체모형을 이용하여 산정된 접근로별 지체를 통해 교차로 전체의 지체를 최소화 시키는 것을 실시간신호제어의 목표로 하고 있다. 신호제어를 위한 변수 산출과정은 주기단위 지체를 기반으로 접근로별 포화교통유율을 산출하며, 개별차량 지체에 의해 식 (1)에서와 같이 지체를 경험한 차량과 교차로 통과 시 적색신호를 경험하지 않아 자유속도로 주행한 차량으로 구분하여 포화교통유율을 산정한다.

지체를 경험한 차량의 수와 대기행렬 해소시간을 이용하여 포화교통유율을 산정하게 되며, 이러한 산정과정은 대기행렬의 해소는 포화교통유율과 동일한 차두시간을 나타내는 시점이라는 원리를 이용하고 있다. 또한 포



<그림 1> 결정적 지체모형을 이용한 지체 산정

화교통류율의 안정적 산출을 위한 방안으로 네트워크를 주행하는 전체차량과 정보수집 가능차량의 비율에 따라 수집주기를 달리하고 있으며, 보정계수를 이용하여 최종적인 포화교통류율을 산정한다.

$$S = \frac{1}{\epsilon} \times \frac{n_s^e}{N \times x} \quad (1)$$

여기에서,

N : 정보를 수집한 주기의 수

n_s^e : 지체를 경험한 정보수집 가능차량의 수

x : 대기행렬 해소시간

ϵ : 포화교통류율의 보정을 위한 계수

신호제어를 위한 교통류율(λ)의 산정 과정은 식 (2)와 같이 포화교통류율과 검지기를 통과한 정보수집가능 차량의 비율을 이용한다.

$$\lambda = \frac{(\frac{n_s^e}{\epsilon})/NC}{(\frac{n_s^e}{\epsilon})/Nx} = \frac{n_s^e}{n_s^e} \times \frac{x}{C} \quad (2)$$

여기에서,

n_s^e : 정보수집가능차량의 수

C : 주기길이

실시간 신호제어를 위한 최종적인 주기와 현시의 산출 과정은 식 (3), (4)와 같이 교통량비(λ)를 이용하며, Webster 방식으로 최적 주기와 현시를 결정함으로써 교차로 지체의 최소화를 위한 실시간 신호제어를 수행한다.

$$C_{opt} = \frac{1.5L+5}{1-\lambda} \quad (3)$$

$$G_i = C \times \frac{\lambda_i}{\sum \lambda_i} \quad (4)$$

III. 통행시간기반 신호제어 알고리즘

1. 알고리즘 개요

통행시간 기반 신호제어 알고리즘의 변수는 개별차량

통행시간지체로서 이는 식 (5)와 같이 개별차량 통행시간과 자유속도 주행 시 통행시간과의 차이를 통해 산정된다. 여기에서 개별차량 지체의 최대값을 지정하여 이상치를 제거하였으며, 이를 통해 택시 등의 링크내부 장시간 대기로 인해 발생하는 지체의 과대 추정을 방지하고자 하였다. 지체의 최대값은 일반적 지체모형에서 비포화 시 개별차량 지체의 최대치를 적색시간으로 하는 것과 동일한 사항으로 지체를 경험한 차량이 신호제어서비스를 제공받은 해당 현시 이외의 적색시간으로 하였다.

$$Individual\ Delay_i = traveltime_i - L/V_f \quad (5)$$

여기에서,

$Vehicle\ Delay_i < \alpha R$

$Vehicle\ Delay_i$: 차량 i 통행시간지체

$traveltime_i$: 차량 i 의 통행시간

L : 검지기간 거리(링크거리)

V_f : 링크별 자유속도

α : 최대 지체의 보정 계수

R : 적색시간

통행시간기반 신호제어 알고리즘은 식 (6)과 같이 전체 이동류의 통행시간 지체를 균등화하는 것을 목적함수로 하고 있다. 이동류별 통행시간지체의 표준편차를 최소화하기 위한 신호제어를 수행한다.

$$Min\ Z = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (d_j - \bar{d})^2}{n}} \quad (6)$$

여기에서,

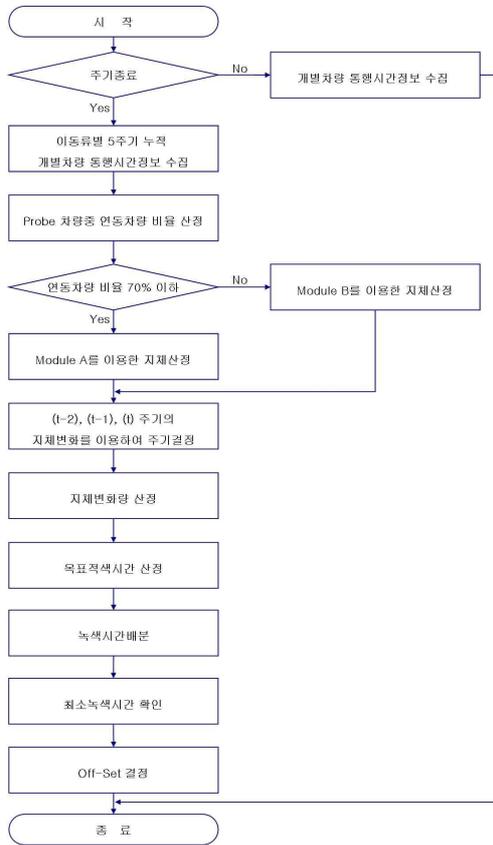
i : 이동류 번호

d_i : 이동류별 평균통행시간지체

\bar{d} : 통행시간 지체의 평균

2. 실시간 신호제어 알고리즘

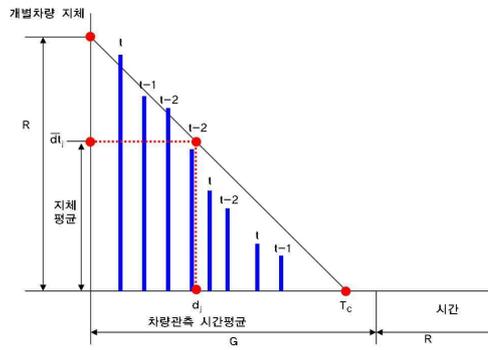
통행시간 기반 신호제어 알고리즘은 <그림 2>와 같이 주기 단위로 수집된 개별차량 통행시간정보를 이용하여 이동류별 통행시간지체를 산정한다. 이후 프르브 정보의 전수화를 위해 복수주기의 누적 지체를 산정한다. 이후 연동차량 비율에 따른 차별화된 접근로 지체 산정방식을



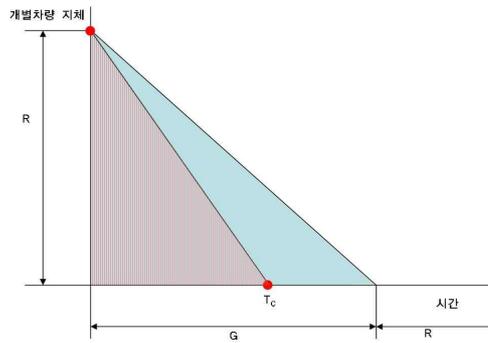
<그림 2> 신호제어 알고리즘의 수행과정

적용하였다. 이때 적용된 연동차량 비율 70%는 시뮬레이션 및 현장실험을 이용한 지체 산정방식의 검증을 통한 경험적 수치가 적용되었다. 이동류별 지체산정 이후 주기단위의 지체변화율을 산정하며, 이를 이용해 목표적색시간 및 녹색시간 배분, Off-set 선정이 이루어진다. 여기에서 Off-set의 선정은 산정된 주기 및 현시 정보에 따라 사전에 정의된 Off-set Table을 적용하였다.

이동류별 지체 산정을 위해 연동차량의 비율에 따른 지체산정 프로세스를 이중화 하였으며, 이는 연동교차로에서 지체산정의 정확도 향상을 목표로 한다. 비포화 상태에서 우수한 연동상태를 나타내는 신호교차로의 경우 연동 서비스를 제공받지 못한 일부 차량의 높은 지체만이 관측되므로 대기행렬 해소시간이 과대 추정되는 경향을 가지게 된다. 따라서 프르브 차량의 연동비율에 따라 아래와 같이 지체산정 프로세스를 차별화하여 적용한다. 첫째, 프르브 차량 중 연동차량의 비율이 70% 이하인 경우 프르브 차량의 지체 및 연동계수를 적용하여 이동류 지체를 산정한다. 둘째, 프르브 차량 중 연동차량의 비율이 70% 이상



<그림 3> 대기행렬 해소시간의 산정



<그림 4> 면적비에 따른 평균지체 산정

인 경우 연동 차량군 관측시간을 이용하여 지체를 산정한다. 연동차량의 비율이 70% 이하인 경우에 해당되는 모듈A에서의 지체산정 과정은 <그림 3>과 같이 이동류별 개별차량 지체의 평활화 및 지체를 경험한 차량의 관측시간에 대한 평활화를 동시에 수행한다. 개별차량 지체 및 차량관측시간의 평균을 이용하여 대기행렬 해소시간을 산정하며, 비포화 상태에서 개별차량의 최대 지체는 적색시간과 동일하므로 식 (7), 식 (8)과 같이 지체 및 지체관측시간의 평균을 이용하여 대기행렬 해소시간을 산정한다. 연동차량의 비율이 70% 이상의 경우에 해당되는 모듈B는 임계차두간격을 나타내는 차량군의 최종관측시점을 대기행렬의 해소시간으로 하였다.

$$a = (R - d_j) / \overline{dt_j} \tag{7}$$

$$t_c = R/a \tag{8}$$

여기에서,

a : 대기해소시점과 평균지체 연결직선의 기울기

d_j : 이동류 j의 평균지체

R : 적색시간
 \bar{d}_j : 이동류 j 의 지체경험 차량의 평균 관측시간
 t_c : 대기행렬 해소시간

임계포화도에서 지체-시간 그래프의 면적비를 이용하여 식 (9)와 같이 접근로 지체를 산정하며, 임계포화도에서의 지체는 도로용량편람의 지체모형을 적용하였다. 임계포화상태임을 고려하여 식 (10)과 같이 균일지체만을 고려하도록 하였다.

이동류별 지체 산정에 있어 연동의 영향을 고려하기 위한 방안으로 연동현시에 대해 US HCM 2000의 PF계수 (Progression Factor)를 적용하였다. 연동화된 교차로에서 개별 교차로의 지체는 연동상태에 따라 지체의 크기를 달리하게 되며, 연동상태에 따라 지체의 보정과정도 요구된다. 지체산정 방식 적용 이후 식 (14)에서와 같이 PF계수 및 보정계수를 적용하여 독립교차로에서의 지체로 환산하는 과정을 거치게 된다. 누적 주기의 프르브차량정보를 이용한 지체 경험차량과 비경험차량의 비율로 R_p 를 산정하며, f_{PA} 는 R_p 의 범위에 따라 고정된 값을 적용하였다.

$$d_j = A \times \frac{t_c}{g} \tag{9}$$

여기에서,
 A : 임계포화도에서 지체-시간 그래프 면적
 g : 녹색시간

$$d_{x=1} = \frac{0.5C(1-g/C)^2}{1-g/C} \tag{10}$$

$$PF = \frac{(1-P)f_{PA}}{1-\frac{g}{C}} \tag{11}$$

$$P = R_p \times \frac{g}{C} \tag{12}$$

$$R_p = 2(\text{지체비경험차량/전체관측차량}) \tag{13}$$

$$d_j' = \alpha \frac{d_j}{PF} \tag{14}$$

여기에서,
 d_j' : 비연동지체로 환산된 이동류 j 의 지체

P : 녹색시간 차량도착 비율
 f_{PA} : 녹색시간 차량도착 비율의 보정계수
 R_p : 차량군 비율
 α : 비연동 지체 보정 계수
 g : 녹색시간

이동류별 지체 산정 이후 전체 이동류의 지체를 합산한 교차로지체의 변화를 이용하여 주기를 산정하였다. 교차로 지체가 단위지체 이상의 3주기 연속하여 증감 시 단위시간 만큼 증감시키는 방법을 이용하였다. 적색시간 당 지체 변화량의 산정을 위해 이동류별 주기단위 지체 변화를 이용하며, 이는 식 (15)와 같이 이전 (t-1)주기와 현재 (t)주기의 지체 및 적색시간 비율을 이용한다. 주기산정 이후 현시배분을 위해 식 (16)과 같이 목표지체에 해당하는 이동류별 적색시간 비율을 산정한다. 주기 대비 녹색시간의 비율($\bar{\lambda}(t)$)은 (t)주기와 (t+1)주기의 지체 가중평균을 적용하여 주기별 적색시간의 차이에서 발생하는 지체 차이를 고려하였다.

$$md_j(t) = d_j(t) - d_j(t-1) \tag{15}$$

$$u_j(t) = md_j(t) / [1 - \bar{\lambda}(t)] \tag{16}$$

여기에서,
 $md_j(t)$: 주기당 지체변화
 $u_j(t)$: 적색시간당 단위지체 변화량
 $\bar{\lambda}(t)$: 녹색시간비율의 지체가중평균

목표 지체 및 지체 변화량을 고려한 목표적색시간의 산정은 통행시간 기반 신호제어 알고리즘의 목적함수에 해당하는 평균지체와 이동류별 지체차의 최소화를 통해 이동류별 지체의 표준편차를 최소화하기 위한 과정에 해당한다. 목표지체의 산정과정은 식 (17) 및 (18)과 같이 이동류별 평균지체와 이동류 지체의 차이를 이용하였다. 적색시간당 지체변화율과 목표지체를 이용하여 식 (19) 및 (20)과 같이 다음 (t+1)주기의 녹색시간 변화량을 산정한다. 다음 주기 녹색시간 비율의 변화량은 현시의 급격한 변화 방지를 위해 주기의 10% 미만으로 결정하였다.

현시배분 과정은 이동류별 통행시간정보 수집 이후 지체의 평균을 산정하며, 다음 주기의 목표지체 산정으로 녹색시간비율의 변화량을 결정한다. 목표 녹색시간 비율을 이용하여 최종 현시배분을 수행하며, 목표 녹색

시간 비율에 따라 식 (20)과 같이 이동류별 다음 주기 녹색시간비율을 결정한다. 이후 녹색시간비율의 크기에 따라 현시배분을 수행한다.

$$\bar{d}(t) = \frac{\sum_{j=1}^n d_j(t)}{n} \quad (17)$$

$$Goal\ d_j(t) = \bar{d}(t) - d_j(t) \quad (18)$$

여기에서,

$\bar{d}(t)$: (t) 주기의 교차로 평균 지체

$d_j(t)$: (t) 주기의 이동류별 지체

$Goal\ d_j(t)$: (t) 주기의 이동류별 목표 지체

$$d\lambda_j(t+1) = 1 - \frac{Goal\ d_j(t)}{u_j(t)} \quad (19)$$

$$Goal\ \lambda_j(t+1) = \lambda_j(t) + d\lambda_j(t+1) \quad (20)$$

여기에서,

$d\lambda_j(t+1)$: (t+1) 주기의 녹색시간비율 변화량

$Goal\ \lambda_j(t+1)$: 목표녹색시간비율 변화량

$$\lambda_j(t+1) = \frac{Goal\ \lambda_j(t)}{\sum_{j=1}^n Goal\ \lambda_j(t)} \quad (21)$$

$$g_j(t+1) = C(t+1) \frac{\lambda_j(t+1)}{\sum_{j=1}^n \lambda_j(t+1)} \quad (22)$$

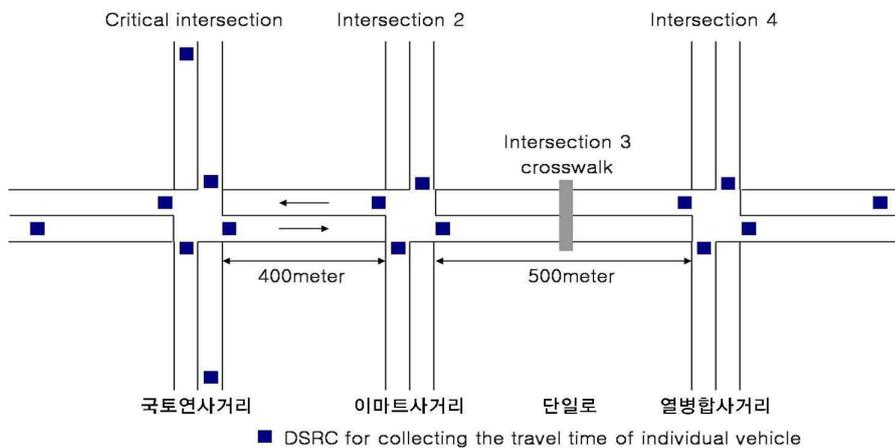
IV. 현장적용 및 평가

통행시간기반 신호제어 알고리즘의 현장적용은 <그림 5> 및 <그림 6>과 같이 경기도 안양시 시민대로 안양시 청인근 국토연사거리 외 3개 교차로를 대상으로 수행되었다. 실험대상 교차로 중 중요교차로에 해당되는 국토연사거리의 교통량 및 프르브차량 추이에 대한 분석결과 2008년 11월의 일평균 교통량은 64,223대로 분석되었으며, 이는 국토연사거리 전체 접근로에 설치 운영 중에 있는 영상검지기의 수집자료를 기반으로 분석되었다. 개별차량의 수집정보 중 구간통행시간정보로 가공된 건수는 <그림 7>과 같이 일평균 2,350건으로 교통량 대비 약 4%에 해당된다.

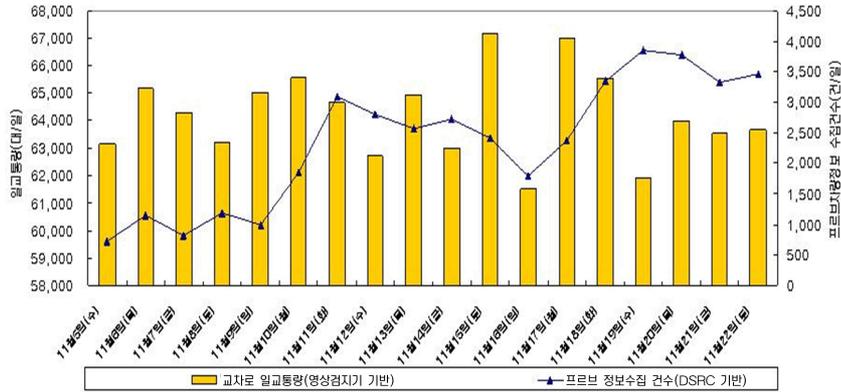
통행시간기반 신호제어 알고리즘의 현장실험에 대한 효과분석을 위해 실측을 통한 지체조사를 수행하였다. 단위시간당 접근로별 정지차량 대수 및 통과차량 대수를 실측하는 방법을 이용하였다. 조사는 총 2회가 수행되었으며, 2008년 11월 화요일, 목요일 주중 2일에 걸쳐 조사가 진행되었다. 1차 평가결과 <표 1>과 같이 국토연사거리에서 열병합발전소사거리 주방향의 지체 감소효과를



<그림 5> DSRC 노변 검지단말 설치 예시



<그림 6> 실험대상 가로축의 교차로구성 및 검지기 배치



<그림 7> 프르브 차량 정보수집 추이

<표 1> 신호제어 유형별 효과평가 결과

제어유형 및 평가구분			지체(초/대) [교통량(vph)]		
			국도연사거리	이마트사거리	열병합사거리
TOD 제어	1차 평가	오전첨두	21 [4,445]	29 [3,361]	-
		비첨두	24 [3,194]	22 [2,442]	-
	2차 평가	오전첨두	26 [4,004]	27 [3,253]	21 [2,790]
		비첨두	21 [3,031]	28 [2,619]	23 [2,418]
통행시간 기반제어	1차 평가	오전첨두	17 [4,121]	16 [3,153]	16 [2,807]
		비첨두	16 [2,715]	12 [2,200]	17 [2,132]
	2차 평가	오전첨두	31 [4,611]	31 [3,753]	22 [3,107]
		비첨두	16 [3,024]	27 [2,525]	20 [2,268]

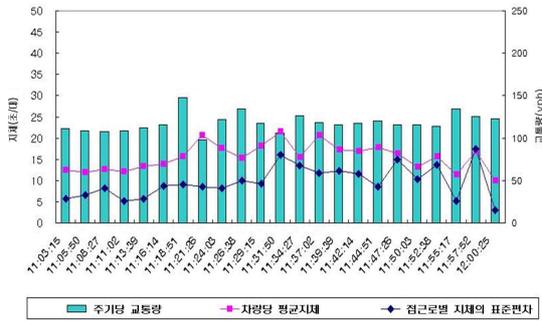
명확히 관찰할 수 있었다. 요일별 교통량의 감소에 따른 요인이 포함되어 있으나 신호시간 및 off-set 등 신호제어의 효과를 명확히 확인할 수 있었다. 2차 평가의 경우 1차 평가에서와는 상반된 경우로 교통량이 증가한 경우에 해당된다. 그러나 교통량 증가 대비 지체의 증가는 교차로 평균 10% 미만으로 미미한 상황이다. 여기에서 적용된 지체의 경우 중요교차로에 해당되는 국도연사거리는 교차로 지체를 의미하며, 이마트사거리 및 열병합발전소사거리의 경우 주방향의 지체만을 조사대상으로 하였다. 상기 두 교차로의 부방향 교통량은 시간당 약 300여대 수준으로 극히 미미한 상황에 해당되며, 횡단보도 신호와 연계되어 운영되는 특성에 따라 횡단보도 시간내에 전체 대기행렬의 해소가 가능한 상황이다.

전체 부방향 교통량 수준이 주기당 약 10여대 수준으로 실시간 신호제어로 인한 신호시간의 변화가 보행자신호시간으로 제약되는 특징에 따라 검지기 설치 대상에서 제외되었다. 구간통행시간 기반 실시간 신호제어 알고리즘의 현장 적용 및 평가를 통해 지체의 감소효과와 더불어 신호제어 알고리즘의 목적함수에 해당하는 접근로별 지체의 균등화 여부를 확인하기 위해 교차로별 접근로별

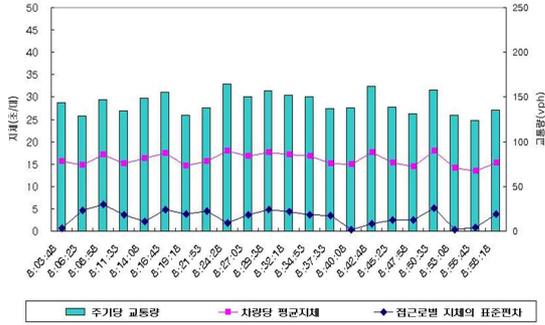
지체의 표준편차 변화를 관측하였으며, <표 2>에서와 같이 TOD 제어 대비 평균지체의 표준편차가 약 20% 이상 개선되어 접근로별 지체의 균등화 효과를 확인하였다. 주기단위의 지체변화 중 가장 우수한 개선 효과를 나타낸 이마트사거리의 오전첨두시 주기단위 지체변화 추이를 확인한 결과 <그림 10> 및 <그림 11>과 같이 TOD 제어 대비 통행시간기반제어의 경우 지체의 표준편차 변화는 안정적 변화추이를 나타내었다. 이는 접근로별 지체의 균등화를 목적함수로 하고 있는 통행시간 기반 신호제어의 영향으로 판단된다. 구간통행시간 기반 실시간 신호제어 알고리즘의 평가를 위한 비교대상으로 TOD 제어의 수행결과를 선택하였으나, TOD 제어의 경우 현행 신호시간으로서 최적화된 신호시간에는 해당되지 않

<표 2> 교차로별 지체의 표준편차(단위: 초/대)

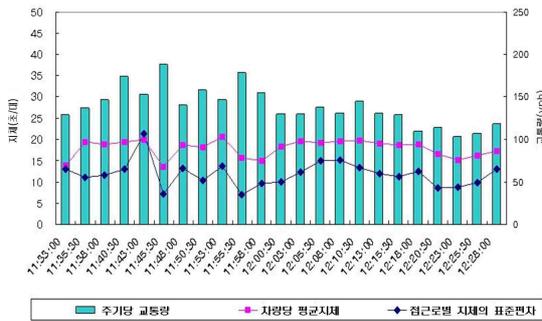
제어유형	비교 시간대	국도연사거리	이마트사거리	열병합사거리
TOD제어	오전첨두	9	12	-
	낮비첨두	12	5	-
통행시간 기반제어	오전첨두	10	3	5
	낮비첨두	10	6	5



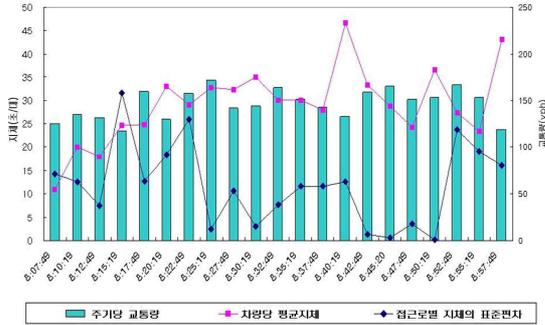
<그림 8> 제어유형별 지체 및 지체의 표준편차 변화 1 (동행시간기반제어, 국토연사거리, 11:00~12:00)



<그림 10> 제어유형별 지체 및 지체의 표준편차 변화 3 (동행시간기반제어, 이마트사거리, 08:00~09:00)



<그림 9> 제어유형별 지체 및 지체의 표준편차 변화 2 (TOD제어, 국토연사거리, 11:00~12:00)



<그림 11> 제어유형별 지체 및 지체의 표준편차 변화 4 (TOD제어, 이마트사거리, 08:00~09:00)

는다. 또한 본 실험에서 연동을 위한 윤셋의 경우 현장 실험을 통해 최적화된 값을 사전정의하였으며, 이러한 영향이 <표 2>에서와 같이 이마트사거리의 오전첨두시 접근로별 표준편차의 획기적인 변화로 나타날 수 있었던 것으로 판단된다.

V. 결론

구간통행시간 기반 실시간 신호제어 알고리즘의 개발 및 현장적용을 수행하였으며, 효과평가를 통해 TOD 제어 대비 지체의 감소효과 및 본 신호제어 알고리즘의 목적함수에 해당하는 접근로별 지체의 균등화 효과를 확인하였다. 구간통행시간 기반 실시간 신호제어 알고리즘은 주기 단위로 수집된 개별차량의 구간통행시간정보를 이용하여 이동류별 지체를 추정하며, 신호교차로 연동계수를 적용하여 비연동의 경우를 가정한 상태에서의 지체로 환산하게 된다. 이동류별 지체의 변화량을 산정하고, 목표 적색 시간을 산정하여 이후 현시배분을 수행하게 된다. 연동을 위한 Off-set은 주기 및 현시에 따른 사전정의된 Off-set

Table을 이용하였다. 신호제어 알고리즘의 현장적용 및 효과평가 결과 현황 TOD제어 대비 교차로 평균지체의 감소효과를 확인하였으며, 교차로별 이동류별 지체의 표준편차 감소리는 지체의 균등화 효과를 확인하였다.

구간통행시간 기반 실시간 신호제어 알고리즘의 현장 평가에 있어 연구의 한계로 전체 교차로의 모든 이동류를 대상으로 구간통행시간이 수집되지 않고 중요교차로를 제외한 교차로는 주방향을 대상으로 하였으며, 성능평가의 비교대상이 최적화된 TOD를 적용하지 못하는 등 완벽한 실험환경을 구축하여 평가가 이루어지지 못하였다. 또한 신호제어 알고리즘의 한계로서 목적함수가 이동류별 평균에 있어 일부 실험에서 지체 증가가 관측됨에 따라 교차로 지체 최소화와 더불어 접근로별 균등화가 이루어지기 위한 보완이 필요한 것으로 판단된다.

본 연구는 범용의 교통정보 수집장치를 이용한 개별 차량의 구간통행시간정보를 기반으로 실시간 신호제어를 수행하기 위한 알고리즘을 개발하기 위해 수행되었으며, 교통량 또는 점유율 등의 지점정보가 아닌 링크의 소통 상황이 반영된 구간통행시간 정보를 이용한 신호제어를

수행할 수 있도록 하였다. 이는 유비쿼터스 기술의 확산이라는 추세를 반영하여 아직 연구의 초기단계에 있으나 신호제어 방법론의 근본적인 변화를 목표로 두고 있다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 정영제 · 김영찬 · 백현수(2005), “구간검지체계의 통행시간정보를 이용한 신호제어 알고리즘 개발”, 대한교통학회지, 제23권 제8호, 대한교통학회, pp.181~191.
2. 이영인 · 김상운(2004), “COSMOS에서의 Sub Area 운영 알고리즘에 관한 연구 및 평가”, 대한교통학회지, 제22권 제2호, 대한교통학회, pp.109~119.
3. M. Massart, M. Koshi, M. Kuwahara(1995), “Traffic Signal Control based on Travel Time Information from Beacons”, Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transportation Systems.
4. Asano M., Nakajima A., Horiguchi R.(2003), “A Traffic Signal Control based on a Queuing Model using ITS Sensing Technologies”, Proceeding of the 10th World Congress on Intelligent Transportation Systems.
5. 대한교통학회(2004), “도로용량편람”, pp.209~366.
6. Transportation Research Board(2000), “Highway Capacity Manual 2000”. Washington DC: National Research Council, p.16-19-16-20.
7. Paul C. Box, Joseph C. Oppenlander(1976), “Manual of Traffic Engineering Studies”, Institute of Transportation Engineers, pp.106~112.
8. 교통개발연구원(2006), “차세대무선통신 신호제어 시스템 개발”, pp.65~66.
9. 김보겸(2007), “통행시간 지체기반 교통신호제어 알고리즘 개발”, 서울시립대학교 석사학위 논문.
10. 백현수(2008), “무선통신 검지자료를 이용한 통행시간기반 신호제어 알고리즘 개발”, 서울시립대학교 박사학위 논문.

- ♣ 주 작성자 : 정영제
- ♣ 교신저자 : 김영찬
- ♣ 논문투고일 : 2009. 2. 21
- ♣ 논문심사일 : 2009. 4. 13 (1차)
2009. 8. 26 (2차)
- ♣ 심사판정일 : 2009. 8. 26
- ♣ 반론접수기한 : 2010. 2. 28
- ♣ 3인 익명 심사필
- ♣ 1인 abstract 교정필