

# 택시 GPS데이터를 활용한 대기차량길이, 링크통행시간 추정 및 교통상황판단 알고리즘 개발

## Development of Queue Length, Link Travel Time Estimation and Traffic Condition Decision Algorithm using Taxi GPS Data

황재성\* · 이용주\*\* · 이철기\*\*\*

\* 주저자 : 아주대학교 건설교통공학과 석사과정

\*\* 공저자 : 아주대학교 교통연구센터 연구원

\*\*\* 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 교수

Jae-Seong Hwang\* · Yong-Ju Lee\*\* · Choul-Ki Lee\*\*\*

\* Dept. of Construction and Transportation Eng., Univ. of Ajou

\*\* Dept. of Transportation Research Institute, Univ. of Ajou

\*\*\* Dept. of Transportation System Eng., Univ. of Ajou

† Corresponding author : Choul-Ki Lee, cklee@ajou.ac.kr

Vol.16 No.3(2017)

June, 2017

pp.59~72

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits.2017.16.3.59>

2017.16.3.59

### 요약

기존 실시간 신호제어시스템의 루프검지기 기반 수집체계의 한계를 극복하기 위해 실시간 택시 GPS 데이터를 신호제어에 활용할 수 있는 방안에 대한 연구의 일환으로, 본 논문은 2016년 발표한 링크평균통행시간과 대기차량길이의 추정 모형과 교통상황 판단 알고리즘에 대해 평가와 개선을 수행하였다. 링크평균통행시간은 연동그룹과 비연동그룹을 고려하여 평균통행시간을 고도화하였고, 대기차량길이는 교통상황을 고려하여 추정모형을 고도화 하였다. 링크평균통행시간의 정확도는 약 95%, 대기차량길이의 정확도는 약 85%로 분석되었다. 교통상황판단 알고리즘은 정확도가 향상된 통행속도와 대기차량길이를 반영하였다. 반영된 지표들의 변동을 줄이고 교통상황의 추세를 판단하기 위해 평활화를 수행하였으며, 과포화 상황 판단 기준에 통과주기를 반영하여 알고리즘을 고도화하였다.

핵심어 : GPS데이터, 교통상황판단, 대기차량길이, 링크통행시간

### ABSTRACT

As the part of study which handles the measure to use the individual vehicle information of taxi GPS data on signal controls in order to overcome the limitation of Loop detector-based collecting methods of real-time signal control system, this paper conducted series of evaluations and improvements on link travel time, queue vehicle time estimates and traffic condition decision algorithm from the research introduced in 2016. considering the control group and the other, the link travel time has enhanced the travel time and the length of queue vehicle has enhanced the estimated model taking account of the traffic situation. It is analyzed that the accuracy of the average link travel time and the length of queue vehicle are respectively both approximately 95 % and 85%. The traffic condition decision algorithm reflected the improved travel speed and vehicle length. Smoothing was performed to determine the trend of the traffic situation and reduce the fluctuation of the data, and the algorithms have refined so as to reflect the pass period on overflow judgment criterion.

Key words : GPS data, Traffic condition judgement, Queue length, Traffic speed

Received 5 May 2017

Revised 5 June 2017

Accepted 20 June 2017

© 2017. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

## I. 서 론

### 1. 배경 및 목적

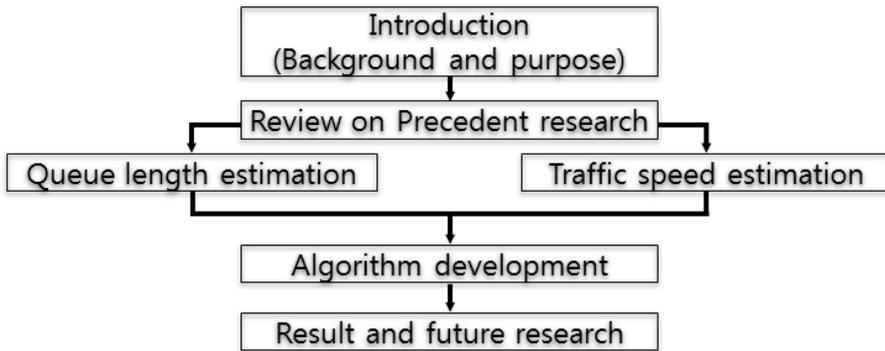
교통 혼잡의 해소와 급변하는 교통상황에 대응하기 위해 경찰청에서는 실시간신호제어시스템을 개발하여 운영하였다. 하지만 교통수요가 아닌 정지선에 설치된 지점검지기에서 수집되는 자료를 기반으로 산정된 포화도를 활용하는데 과포화 상황에서는 포화도의 활용이 어렵기 때문에 포화도기반 신호제어체계의 기술적 한계와 매설식 검지기의 설치 및 유지보수의 어려움 및 수집정보의 신뢰도 저하 등에 따른 매설식 검지체계의 비효율성으로 인해 실시간신호제어시스템의 운영효율성이 저하되고 있다.(Korean National Police Agency, 1981) 이러한 문제점을 해결하기 위해 교차로 구간의 구간소통정보를 핵심 입력변수로 도입함으로써 기술의 한계성을 극복할 수 있으며(Ko, 2015), 새로운 가용정보의 활용이 필요한 상황이다. 이런 실정에서 서울시에서는 법인택시 GPS데이터를 수집하여 TOPIS 교통정보에 활용하고 있으며 2014년부터 각 지자체에 도입되고 있는 택시운행관리시스템(TIMs)사업의 도입 및 확장으로 GPS데이터의 수집을 및 활용성이 높아질 전망이다.

이에 본 연구는 택시 GPS데이터를 실시간 신호제어에 활용할 수 있는 방안의 일환으로 기존 신호제어시스템의 문제점으로 제기된 지점검지체계를 이용한 포화도 기반의 신호제어 방식을 탈피하고, 매설식 지점검지기의 한계를 극복하기 위해 대기차량길이, 링크통행속도 등 링크소통정보를 추정하는 연구(Lee et al., 2016a)와 링크소통정보 기반의 교통상황을 판단 알고리즘 개발에 관한 연구(Lee et al., 2016b)를 진행하였다. 하지만, 실측값의 조사에 한계로 실측 결과와의 비교 및 검증 단계의 결여와 과포화 상태에 한정된 연구 결과 및 모형의 한계 등으로 추가 연구가 필요한 실정이다.

기존 과포화로 한정된 연구의 범위를 모든 교통상황으로 확장하였으며, 대기길이 추정 모형과 교통상황판단 알고리즘의 고도화 방안을 연구하였다. 실측 데이터 측정의 한계로 인해 미시교통시물레이션인 VISSIM을 활용하여 모형 및 알고리즘의 검증 및 고도화를 수행하였다.

### 2. 연구 방법

본 연구는 선행연구로 진행하였던 서울시 법인택시 GPS의 개별차량정보를 활용한 대기차량길이 추정과 교통상황판단 알고리즘의 개발에 대해 추가·보완하여 진행한 연구이다. 지난 연구에서는 택시 GPS의 데이터로 대기차량길이와 통행시간 추정, 교통상황판단에 적용할 수 있는 방안에 대해 중점적으로 연구를 진행하였다면, 본 연구에서는 대기차량길이와 통행시간 추정의 정확도 향상을 위해 해당 모형과 교통상황판단 알고리즘의 고도화 방안의 연구를 진행하였다. 선행연구에서는 실제로 수집한 택시 GPS 데이터를 연구에 적용하였으나 대기차량길이와 통행속도의 실측조사의 한계로 참값을 구하지 못해 평가를 진행하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 미시교통시물레이션 VISSIM에서 toy network를 구축하고 데이터 수집률을 반영하여 택시 GPS 데이터의 수집 상황을 구현하였다. 현재 서울시 법인택시의 시장점유율을 5%, 향후 택시운행관리시스템의 확장으로 예상 점유율 10%를 가정하고 수집률에 따른 대기차량길이 추정, 통행시간 추정에 관한 연구를 진행하였고 교통상황의 유기적인 추세를 판단하기 위해 대기길이의 성장여부 판단, 평활화 과정으로 교통상황판단 알고리즘을 고도화 하였다.



〈Fig. 1〉 Research process

## II. 선행연구 고찰

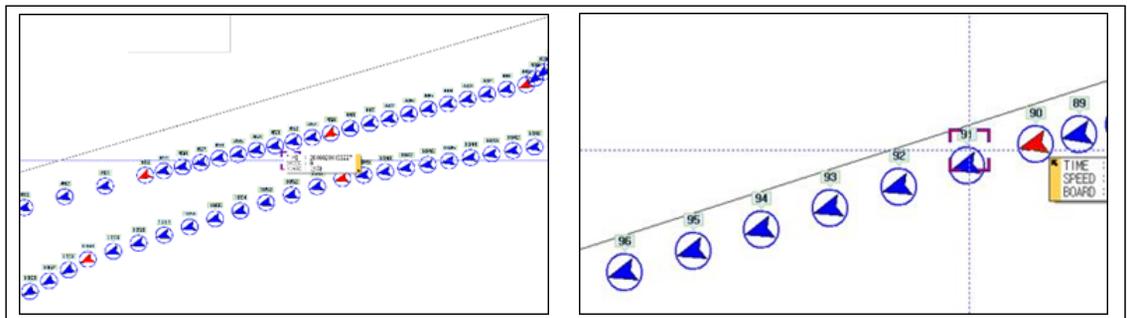
### 1. GPS 데이터를 이용한 대기행렬길이 산출에 관한 연구(Lee et al., 2016a)

신호제어시스템의 지점검지체계의 한계를 탈피하기 위해 신호제어 기초변수를 기존 통과교통량이 아닌 교차로 대기행렬을 활용할 수 있도록 대기행렬길이의 산출을 목적으로 하였고, 기존 시스템의 한계로 나타난 과포화 상태를 범위로 설정하여 연구를 진행하였다. 서울시의 과포화 상황이 빈번하게 일어나는 강남역 ~ 역삼역 구간의 교차로의 오후 첨두시간 18시~20시를 대상으로 분석하였다.

#### 1) 맵매칭 방식 적용

범인택시 GPS data는 아무런 과정없이 네트워크에 매칭시키게 될 경우 고층빌딩 등의 영향으로 GPS 측정 오차가 발생하기 때문에 이를 감소시키기 위해 맵 매칭 방식을 적용하여 오차를 감소시켰다.

맵 매칭에 적용한 방식은 데이터를 측정된 위치와 가장 가까운 링크에 매칭시키는 Point-to-Curve 방식을 적용하였으며, Point-to-Curve 방식의 문제점으로 거론되는 측정오차가 많이 발생했을 경우 다른 링크에 매칭되는 문제점을 개선하기 위해 차량의 궤적을 추출하여 궤적의 방향에 맞는 링크에 매칭시키는 방법을 적용하였다.

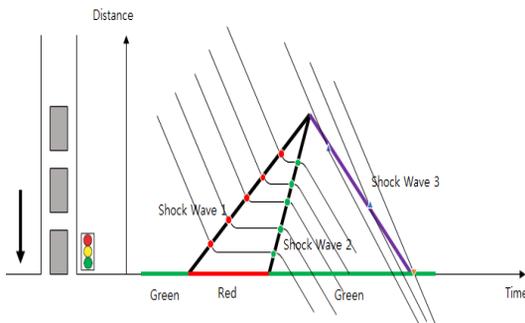


〈Fig. 2〉 Comparison before and after map matching

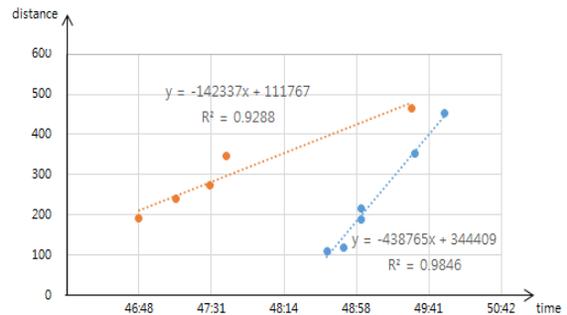
## 2) 대기차량길이 추정

대기차량길이 산출 모형은 충격파 모형을 적용하였다. GPS데이터에서에서 수집된 개별차량의 통행정보 (위치, 시간)를 차량의 출발과 정지하는 충격파의 직선식으로 산출하여 두 직선식의 교차점에서 대기차량길이를 측정하였다.

과포화 상태에서는 차량의 대기행렬이 전체 가로구간을 채우고 인접 가로구간까지 영향을 미치기 때문에 하류부 교차로의 대기행렬로 인하여 차량의 진입이 불가능한 상황이 발생하는데 GPS에서 수집되는 차량의 위치정보를 통해 과포화 상태에서 충격파 모형을 적용하여 대기차량길이를 추정하였다. 과포화 상태에서 대기차량길이는 해당 링크를 초과하는 경우 해당 교차로 링크길이에 상류부 교차로의 대기차량길이를 더한 길이를 하류부 교차로 영향권의 대기차량길이를 판단하였다.



〈Fig. 3〉 Principle of Shock Wave model



〈Fig. 4〉 Graph of Shockwave

이력정보를 활용하여 연구를 진행하였기 때문에 비교 값인 현장 실측값이 없어 모형의 검증이 이루어지지 않았고, 혼잡상황에 한정되어 연구를 진행하였기에 비혼잡 상황에서 교통특성에 대한 분석이 이뤄지지 않아 대기차량길이의 신뢰도를 보장할 수 없으며, 충격파모형은 균일지체를 가정하며, 차량군의 교통특성을 반영하지 않는 모형이기 때문에 대기차량길이를 과추정하는 경향이 있다. 또한, 과포화 상황 및 택시의 통행이 많은 지역으로 연구를 진행하였기 때문에 낮은 수집률을 고려한 추가 연구가 필요하다.

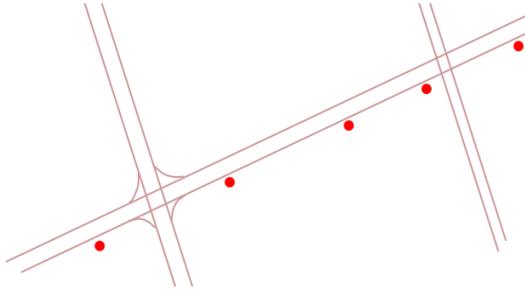
## 2. 택시 GPS데이터를 활용한 신호제어용 혼잡상황 판단 알고리즘 개발(Lee et al., 2016b)

이 연구는 선행연구 Lee et al.(2016a)과 같이 진행하여 동일한 공간적 시간적 범위에서 연구를 진행하였으며, Lee et al.(2016a)은 대기차량길이를 분석자료로 활용하여 연구를 진행하였다. 이 연구는 개별차량정보를 통한 링크통행시간 추정과 대기차량길이, 통행속도를 통한 교통상황판단 알고리즘 개발을 주 연구 내용으로 다뤘다.

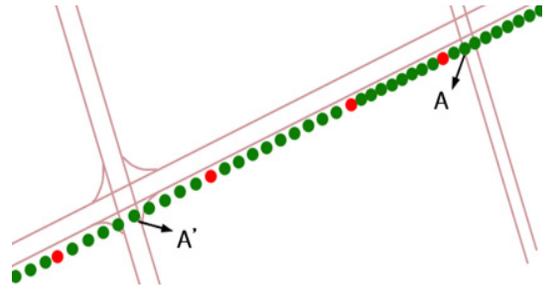
### 1) 링크통행시간 산출

링크통행시간 추정은 다음과 같은 절차를 통해 추정한다.

- ① 10초단위의 수집주기를 1초단위로 균등분할



〈Fig. 5〉 GPS data in 10 seconds



〈Fig. 6〉 Equally divided GPS data in 1 seconds

② 링크 진출입 시간 예측과 통행시간 추정

1초단위로 균등 분할된 <Fig. 6>에서 A'과 A 지점의 시간이 각각 예측된 진입 진출 시간이 된다. 예측된 진입 진출입 시간의 차이가 링크 통행시간이 된다.

$$\text{Link Travel Time } T_i = T_A - T_{A'} \tag{1}$$

여기서,  $T_A = A$ 지점 통과시간

$T_{A'} = A'$ 지점 통과시간

예측된 링크통행시간은 링크의 특성을 반영하기 위해 통행속도로 환산해야 한다. 통행속도는 링크길이의 개념이 포함되는 링크통행속도로 산출하기 위해 링크거리를 분석시간의 링크통행시간의 평균으로 나눠 평균속도를 산출한다.

$$\text{Travel speed } \bar{V}_S = L / \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i) \right) \tag{2}$$

여기서,  $L =$  링크길이

2) 교통상황판단 알고리즘

교통상황판단 알고리즘은 대기차량길이와 통행속도를 변수로 과포화 판단, 혼잡 판단, 교통상황의 성장여부 3가지 판단과정이 포함되어 있으며, 과포화 판단은 대기차량길이와 링크길이를 초과하는지에 대한 비교 판별로 과포화 여부를 판단하며, 혼잡 판단은 분석시간의 대기차량길이와 통행속도로 추정된 주기당 이동거리의 비교를 통해 대기차량길이와 주기당 이동거리보다 긴 경우 혼잡으로 판단하며 아닌 경우 비혼잡으로 판단한다. 교통상황의 성장여부는 전 분석시간 대기차량길이와 현 분석시간 대기차량길이의 비교를 통해 성장과 비성장으로 구분하였다.

교통상황은 신호제어 전략에 따라 분류하였다. NCHRP<sup>1)</sup>, KHCM의 기준을 반영하여 크게 비포화, 혼잡, 과포화 3가지 교통상황으로 구분하였으며, 교통 혼잡의 성장여부를 반영하여 비포화상황, 혼잡 비성장, 혼잡 성장, 과포화 비성장, 과포화 성장 5가지로 세분화하였다.

1) NCHRP(National Cooperative Highway Research Program) : 미국 국가협력도로연구 프로그램

<Table 1> Traffic condition criteria

Traffic condition	criteria
Non Congestion	If the vehicle leaves the intersection within one cycle
Saturation	If the vehicle takes more than one cycle to leave the intersection
Over Saturation	If the vehicle takes more than two cycle to leave the intersection or Queue length exceeds link length

① 포화여부 판단

포화의 기준은 교차로 대기차량으로 인해 한주기 이내 통과하지 못하는 경우로 설정하였다. 반대로 한주기 이내 통과하는 경우는 비혼잡 상황으로 판단한다.

$$Queue\ length > D_c \tag{3}$$

여기서,  $D_c$  = 주기당 이동거리

$$D_c = Travel\ speed * effective\ green \tag{4}$$

② 과포화여부 판단

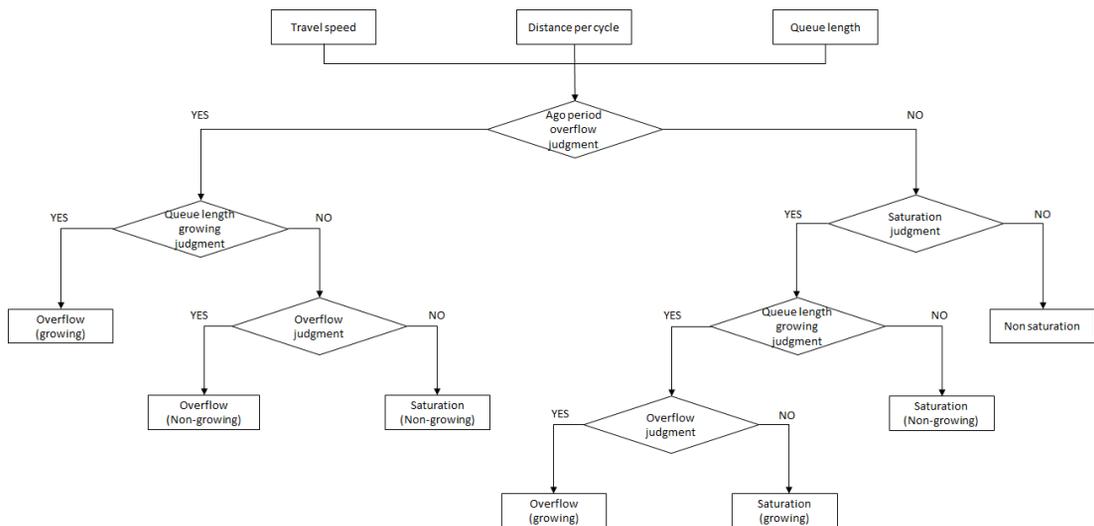
과포화의 기준은 차량이 두주기 이상 교차로를 통과하지 못하거나 그 이하에 통과하지만 대기차량길이 전체 가로구간을 채우고 인접가로까지 영향을 주는 경우로 설정하였다.

$$Queue\ length - D_c > Link\ length \tag{5}$$

③ 대기길이 성장여부 판단

교통상황의 변화를 판단하기 위해서는 각 상황별 혼잡의 증가와 감소의 상황을 판단할 수 있어야 한다. 이를 교차로 교통수요를 나타내는 지표인 대기차량길이를 통해 전 분석주기의 대기차량길이와 현 분석주기의 대기차량길이를 비교하여 판단한다.

$$Q_{n-1} < Q_n : Growth, Q_{n-1} > Q_n : Non\ growth \tag{6}$$

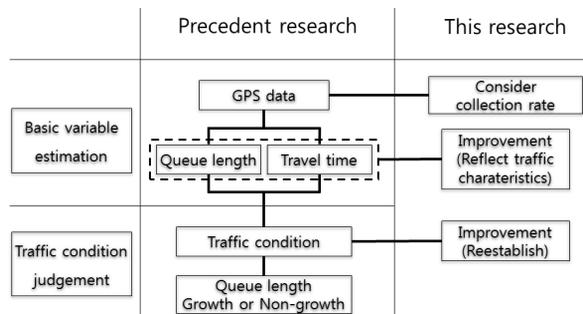


<Fig. 7> Traffic congestion decision algorithm

이 연구 또한 실측값의 측정에 한계로 알고리즘의 평가 및 검증의 단계가 필요하며, 통행시간의 추정 단계에서 수집률과 통행특성, 즉 연동 차량군과 비연동 차량군의 통행시간의 차이를 반영하지 못하였다는 문제점이 발생한다. 소통상황판단 알고리즘은 판단지표의 유동성을 그대로 반영하여 교통혼잡의 증가와 감소의 표현이 급격하게 나타나고 있어 교통상황의 추세를 보여주는데 한계가 있다.

### 3. 본 연구의 차별성

본 연구와 선행연구와의 차별성은 선행연구의 문제점과 한계에 대한 추가 연구를 진행하여 기초변수의 정확도 향상과 교통상황판단알고리즘의 개선에 중점을 두었다. 미시교통 시뮬레이션 VISSIM 모의실험을 통해 선행연구의 과포화 범위와 교통특성의 반영이 미흡했던 문제점과 수집율을 고려하여 기초변수들의 정확도 향상과 과포화 상황에서 교통상황을 재정립하고, 기초변수들의 변동성을 감소하기 위해 가중이동평균법을 적용하여 교통상황판단 알고리즘을 고도화 하였다.

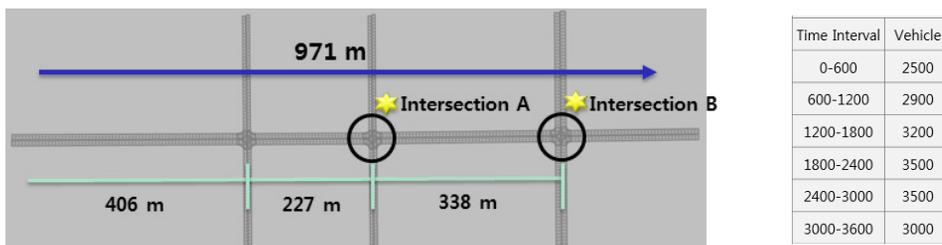


〈Fig. 8〉 Differentiation of research

## Ⅲ. 통행시간(속도) 및 대기차량길이 추정

### 1. 시뮬레이션 모의실험 환경

본 연구에서는 기초변수인 링크통행속도와 대기차량길이의 정확도 평가를 위해 VISSIM ver 8.0을 활용하여 편도 3차로 1×3 Toy network를 구성하였다. 네트워크 구성 시나리오에는 10분을 주기로 교통량을 증가시켰으며, 과포화현상이 충분히 나타나는 시간 이후부터 교통량을 감소시켰다. VISSIM에서 가공되는 데이터를 참값으로 가정하고, 개별차량 위치데이터인 수집시점의 위치, 시간을 수집률 5%, 10%로 추출하였다. 추출된 개별차량 위치데이터로 기초변수인 대기차량길이와 링크통행시간을 추정하여 정확도를 평가하였다.

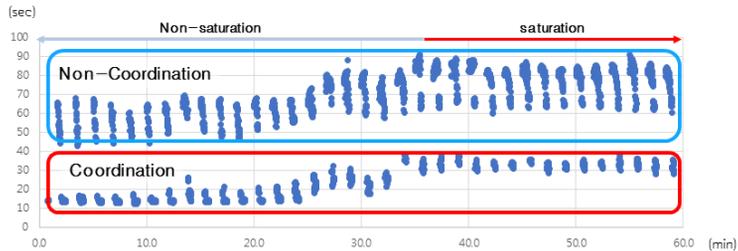


〈Fig. 9〉 VISSIM toy network and Traffic scenario

## 2. 통행시간(속도) 추정

### 1) 연동 차량 분류

독립교차로와 연속교차로 각각의 경우 통행시간의 특성은 상이하게 나타난다. 독립교차로는 상류부 교차로의 신호제어에 따른 영향을 받지 않기 때문에 차량군의 특성이 반영되지 않고, 연속교차로의 경우 상류부 교차로의 신호제어에 따른 차량군이 분류되기 때문에 연동차량과 비연동 차량의 통행시간 분포가 나타난다. 연속교차로의 경우 수집된 차량이 연동 차량군이 많으면 통행속도는 낮아질 것이며, 비연동 차량군에 속한 차량이 많으면 통행속도는 증가될 것이다. 따라서 수집된 차량이 연동군에 속한 차량인지, 비연동군에 속한 차량인지에 대한 구별이 선행되어야 한다.



〈Fig. 10〉 Travel time pattern of signal intersecton

〈Fig. 10〉에서 나타나듯이 상류부 교차로의 신호제어에 따라 적색시간 만큼의 통행시간의 간격이 발생한다. 측정된 데이터 중 최소 통행시간을 보인 차량은 연동을 받은 차량이며, 이는 지체가 가장 적은 순행시간과 가장 가까운 통행시간을 나타낸 차량으로 볼 수 있다. 따라서 패턴의 차이인 상류부 교차로 적색시간과 최소 통행시간을 이용하여 연속교차로에서 연동·비연동 차량 구분은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$\text{연동 차량 통행시간 } T_c : T_c < \min(T) + R_{upstream} \quad (7)$$

$$\text{비연동 차량 통행시간 } T_{nc} : T_{nc} \geq \min(T) + R_{upstream} \quad (8)$$

여기서,  $R_{upstream}$  : 상류부 교차로 적색신호시간

### 2) 평균통행시간 추정 및 링크통행속도 환산

평균통행시간은 수집된 데이터 중 연동차량에 속한 차량이 많으면 통행시간은 감소하고, 비연동차량에 속한 차량이 많으면 통행시간은 증가하게 된다. 교차로 모든 차량에서 데이터가 수집되는 100% 수집상황에서는 연동 비연동의 구별이 필요없지만 택시 시장점유율의 특성 상 5%내외의 수집률을 보이기 때문에 연동차량의 비율과 비연동차량의 비율을 예측하여야 정확도 높은 통행시간 추정이 가능해진다. 이를 반영하기 위해 오프셋의율 TVO 값을 연동, 비연동 평균통행시간에 적용하여 통행시간을 보정하였다. TVO값을 계산하기 위해서는 순행시간을 적용해야 하지만 교통상황을 반영하기 위해 추정된 최소 링크통행시간( $\min(T)$ )을 적용하여 TVO를 계산하였다.

$$TVO = (\min(T) - offset) / C \quad (9)$$

여기서,  $\min(T)$  = 분석시간동안의 최소 통행시간

$$offset = \text{교차로간상대offset}$$

$$Average\ Travel\ Time : T' = aver(T_c) * (1 - TVO) + aver(T_{nc}) * (TVO) \tag{10}$$

$$Link\ Travel\ speed : \bar{V} = Link\ length / T' \tag{11}$$

3) 평균통행속도 추정 결과

VISSIM에서 분석시간 5분으로 측정된 연속된 두 개 네트워크의 실제 평균통행속도와 방법론으로 추정된 통행속도를 비교하여 평가를 진행하였다. 해당 링크의 링크길이를 보정된 평균통행시간으로 나누면 링크평균속도를 산출할 수 있다. VISSIM에서 측정된 통행속도는 실측치이므로 수집률 100%로 결과값을 표에 입력하였고, 현재 시장점유율 5%, 향후 기대 시장점유율 10%의 통행속도를 추정하였다. 이를 절대오차평균 MAE와 절대백분율오차의 평균 MAPE로 값을 평가하였다. MAE와 MAPE는 아래 식(12)와 식(13)을 통해 구한다.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \tag{12}$$

$$MAPE(\%) = \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} \right| \right) * 100 \tag{13}$$

여기서,  $y_i$  = 참값,  
 $\hat{y}_i$  = 추정값,  
 $e_i$  = 오차

<Table 2> Travel speed estimation result (Unit : km/h)

Intersection	min Collection rate													MAE (km.h)	MAPE (%)
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60		
Intersection A	100%	63.7	58.3	59.9	58.3	56.4	56.9	49.9	31.6	15.1	15.4	15.3	13.5	-	-
	10%	62.0	57.4	59.1	58.0	57.2	59.1	52.3	36.3	17.0	15.5	19.2	14.9	1.8	6.6
	5%	63.6	58.1	57.6	57.7	57.3	58.0	56.1	42.5	16.6	16.8	14.5	12.9	2.2	7.1
Intersection B	100%	36.0	35.8	30.4	32.9	29.2	19.0	18.5	15.2	16.0	16.0	15.8	16.0	-	-
	10%	33.1	34.9	31.2	31.3	30.1	23.0	18.6	14.1	16.8	16.8	17.0	15.4	1.3	6.1
	5%	33.9	35.0	31.1	32.8	28.7	24.0	19.8	16.8	15.8	16.7	15.1	16.8	1.2	6.0

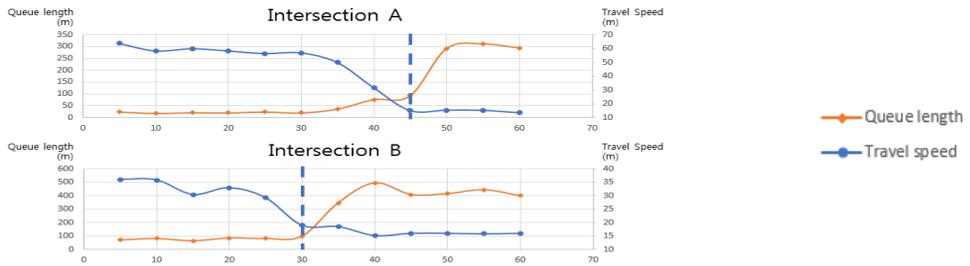
<Table 2>에서 평균통행속도의 추정값을 살펴보면 최대 10km/h의 오차가 발생하지만 평균적으로 MAE는 2km/h 이내의 오차를 보이며, MAPE는 7% 내외의 오차를 보인다. 통행속도가 높은 비혼잡 상황에서의 수집차량대수와 통행속도가 낮은 혼잡상황에서의 수집차량 대수의 차이는 분명하지만 혼잡도에 따른 오차의 편차가 낮은 것으로 보아 낮은 수집률에서도 활용가능하다고 판단된다.

3. 대기차량길이 추정

선행연구의 충격과 모형은 차량도착 행태를 균일도착으로 가정하여 충격과의 직선식을 이용한 대기차량길이를 추정하였다. 때문에 상류부 신호제어에 의한 차량군 행태의 반영을 하지 못하여 과추정되는 상황이 발생한다. 과포화 상황에서는 대기차량 후미에 지속적으로 차량이 도착하게 되어 많은 오차가 발생하지 않지만 비포화 상황의 경우 상류부 교차로의 신호제어에 의해 차량군이 형성되며 대기차량 후미에 추가 차량이 접근하지 않기 때문에 과추정되는 상황이 발생한다. 선행연구에서는 연구의 범위를 과포화 상황으로 한정되었기 때문에 비포화 상황에서 충격과 모형의 적용방안이 필요하다.

1) 교통상황을 고려한 대기차량길이 추정 모형

HCM의 지체식에는 동일한 신호현시에 진행되는 차로군에 연동계수(PF)를 적용하고 있다. 비포화 상황에서 과포화 추정을 방지하기 위해 연동계수로 대기차량길이의 추정치를 보정하였다. 보정하기 전 보정의 경제지점인 포화 상황과 비포화 교통상황을 판단하는 과정이 선행되어야 한다. <Fig.10>은 VISSIM에서 산출된 통행속도와 대기차량길이를 나타낸 그래프이다. 통행속도의 급격한 감소 후 시점부터 대기차량길이가 증가됨을 나타내고 있다. 비포화의 판단 기준은 링크통행속도의 급격한 감소된 시간으로 판단하며, 비포화 상황에서 과추정을 방지하였다. 비포화 판단 기준은 교차로의 특성에 따라 상이할 것으로 예상되며 통행속도의 감속을 판단하여 교차로의 특성에 맞는 통행속도 기준을 달리 적용해야 할 필요가 있다.



<Fig. 11> Graph of queue length and travel speed

링크통행속도로 보정시점이 결정되면 식 (14)과 같이 대기차량길이를 보정하여 대기차량길이를 결정한다. 본 연구에서는 비포화상황의 기준을 통행속도 20kph 이하인 경우로 설정하였다.

$$Queue\ length(Non\ saturation) : Q' = Q * PF \ (v/c < 1, \ Travel\ speed < 20\ kph) \quad (14)$$

$$Queue\ length(saturation) : Q' = Q \ (v/c \geq 1, \ Travel\ speed \geq 20\ kph) \quad (15)$$

2) 대기차량길이 추정 결과

VISSIM으로 두 개의 네트워크가 연속된 교차로를 구축하여 5분의 분석주기로 10%, 5% 수집률 별 대기차량길이를 추정하였다. VISSIM으로 산출된 대기차량길이를 100% 수집률에서 산출되는 대기차량길이를 가정하여 수집률별 대기차량길이를 비교하였다. 분석지표는 절대오차평균 MAE와 절대백분율오차의 평균 MAPE로 비교하였다.

<Table 3> Queue length estimation result (Unit : m)

Intersection	Collection rate	min												MAE (m)	MAPE (%)
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60		
Intersection A	100%	24	18	21	20	24	20	36	76	92	291	311	294	-	-
	10%	17	14	22	18	18	23	23	64	106	224	292	267	14.5	17.2
	5%	23	23	27	31	23	28	46	71	99	274	284	249	11.8	18.7
Intersection B	100%	70	81	64	85	81	98	346	494	408	414	443	399	-	-
	10%	86	62	85	75	120	93	320	484	456	478	403	366	27.7	16.7
	5%	68	85	95	82	72	85	307	416	478	488	503	450	36.1	14.3

대기차량길이 추정 결과인 <Table 3>에서 MAE는 교차로 A에서는 약 14m, 교차로 B에서는 약 35m 내외의 오차가 발생하였다. 교차로 B의 링크길이가 길며, 교통수요가 많기 때문에 절대오차는 높게 나타났으나, MAPE는 14~18%로 큰 편차 없이 결과가 도출되었다. 개별 분석시간에 대한 오차를 살펴보면, 비혼잡 상황에서 발생하는 10m 이내의 오차는 차량 1~2대정도의 오차이며, 포화시 발생하는 30m에서 50m정도의 오차는 차량 6~8대 정도로 상대적 지표인 MAPE 비교 시 약 85% 내외의 정확도로 추정되었다.

## IV. 교통상황판단 알고리즘

### 1. 교통상황판단 알고리즘 구축

#### 1) 교통상황판단 고도화 개요

선행연구 Lee et al.(2016b) 교통상황판단 알고리즘과의 차이점은 첫 번째로 과포화의 기준을 앞막힘 상황인 경우에만 과포화로 판단하였지만 링크가 긴 경우 앞막힘이 발생하기 교차로를 통과하는데 2주기 이상 소요되는 경우가 발생한다. 신호교차로의 서비스수준 기준에서 서비스수준 F를 과도한 지체 상태로써 과포화상태로 명시하고 있으며 서비스 수준 FF의 경우 교차로를 통과하는데 2주기 이상 소요된다고 정의하였다. 과포화의 기준에 앞막힘과 함께 교차로 통과주기를 2주기 이상 소요되는 경우를 알고리즘에 적용하였다(Do, 2012).

모형식으로 추정된 대기차량길이와 링크통행속도는 급격한 변화에 따라 높은 편차가 발생하고 있어 교통상황이 급격하게 변화되는 상황이 나타날 수 있다. 하지만 표출되는 교통상황은 이전 교통상황을 고려하여 교통상황이 변화하는 흐름을 연속적으로 나타내야 되기 때문에 이전 분석시간의 교통상황과의 평활화를 통해 전반적으로 부드러운 변화 추세를 보이도록 할 필요가 있다. 평활화 방법은 현 교통상황의 반영을 위해 현 분석주기의 가중치를 높게 두어 가중이동평균을 사용하였으며, 분석주기 3주기(15분)를 평활화 하였다.

#### 2) 알고리즘 고도화

알고리즘의 판단지표는 분석주기 3주기(15분)의 가중이동평균을 통해 평활화된 대기차량길이( $wma^2(Q_n)$ )와 통행속도를 통해 산출된 주기당 이동거리( $D_c$ )를 사용한다. 주기당 이동거리는 식(4)와 같이 산출한다.

알고리즘의 개념적 아키텍처 구성은 선행연구 Lee et al.,(2016b)와 동일하게 포화여부판단, 과포화여부판단, 대기길이성장여부판단으로 구성되어 있으며 판단기준은 아래와 같다.

##### ① 포화여부 판단 (saturation judgment)

차량이 1주기 이상의 지체를 겪고 2주기 이내 교차로를 통과하는 경우이며, 대기차량길이가 1주기 이동거리보다 크고 2주기 이동거리보다 짧은 경우이다.

$$2D_c > Queue\ length > D_c \tag{16}$$

##### ② 과포화여부 판단 (Over flow saturation judgment)

차량이 2주기 이상의 지체를 겪거나, 앞막힘 현상이 발생하는 경우를 말하며, 대기차량길이가 2주기 이동거리보다 크거나, 대기차량길이에서 1주기 이동거리를 감한 길이가 링크의 길이보다 긴 경우이다.

$$Queue\ length - D_c > Link\ length \text{ or } Queue\ length > 2D_c \tag{17}$$

2) wma : Weighted Moving Average, 가중이동평균

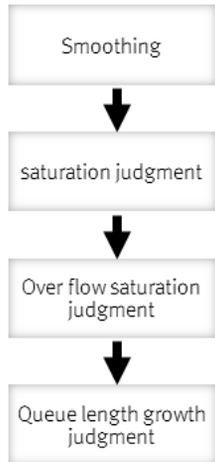
③ 대기길이 성장여부 판단 (Queue length growth judgment)

혼잡상황(포화, 과포화)에서 교통상황의 증가와 감소의 상황을 판단하기 위해 대기차량길이의 성장과 감소여부로 판단한다.

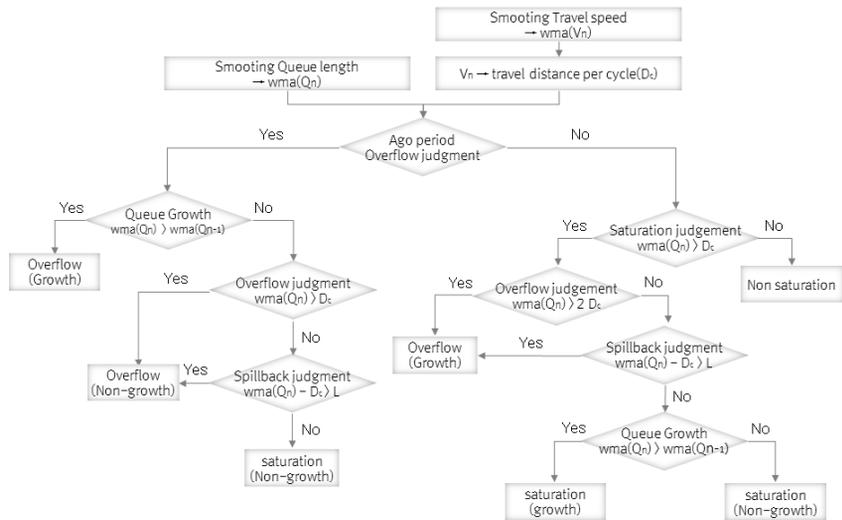
$$Growth : wma(Q_{n-1}) < wma(Q_n) \tag{18}$$

$$Non-growth : wma(Q_{n-1}) > wma(Q_n) \tag{19}$$

Conceptual architecture



Logical architecture



<Fig. 12> Traffic condition decision Algorithm

2. 교통상황 판단 결과 분석

<Table 4> Traffic condition decision algorithm result before smoothing

Classify	Collection rate	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Inter section A	100%	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red						
	10%	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red						
	5%	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red						
Inter section B	100%	Green	Green	Green	Green	Green							
	10%	Green	Green	Green	Green	Green							
	5%	Green	Green	Green	Green	Green							

<Table 5> Traffic condition decision algorithm result after smoothing

Classify	Collection rate	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Inter section A	100%	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red						
	10%	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red						
	5%	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red						
Inter section B	100%	Green	Green	Green	Green	Green							
	10%	Green	Green	Green	Green	Green							
	5%	Green	Green	Green	Green	Green							

Non - Saturation	Saturation (non-growth)	Saturation (growth)	Over-Flow (non-growth)	Over-Flow (growth)
------------------	-------------------------	---------------------	------------------------	--------------------

<Fig. 13> Legend of traffic condition decision algorithm

<Table 4>는 지표들의 평활화 수행 전 교통상황 판단 알고리즘의 결과이다. 알고리즘을 통해 판단된 교통상황이 시간대별 변화가 심한 것을 알 수 있다. 또한 참값로 계산된 수집률 100%의 교통상황과 차이가 발생한다. 반면, 평활화를 수행한 <Table 5>는 참값의 결과와 동일하거나 비슷한 추세의 교통상황을 보여주고 있으며, 교통상황의 변화추세를 안정적으로 나타내고 있음을 알 수 있다.

## V. 결론 및 향후과제

본 연구는 실시간 신호제어시스템의 한계를 극복하기 위해 새로운 가용정보의 활용방안에 대한 연구를 목적으로 최근 서울시 TOPIS에서 교통상황 판단에 활용하고 있으며 택시운행관리시스템의 도입 및 확장으로 수집률이 높아질 전망이다 택시 GPS 데이터를 활용하는 방안을 연구하였다. 수집된 GPS데이터를 통한 링크통행시간 추정방안, 대기차량길이 추정방안과 정확도 향상 방안 그리고 추정된 지표를 활용한 교통상황판단 알고리즘을 제시하였다. 현장 실측값의 조사의 한계로 VISSIM 모의실험을 활용하였으며, 현 택시 점유율과 향후 택시 점유율을 가정하여 추정된 지표의 정확도를 평가하였다. 추정모형의 고도화 결과 통행속도는 약 95%의 정확도, 대기차량길이는 약 80%정확도로 분석되었다.

대기차량길이의 성장여부를 비교하여 교통혼잡 상황의 성장과 비성장여부의 판단을 수행하였으며, 추정된 기초변수에 가중이동평균을 적용하여 통행속도와 대기차량길이의 변동을 줄임과 동시에 이전 교통상황을 반영하여 교통상황의 추세의 변화를 판단할 수 있도록 하였다.

개별차량 데이터를 활용한 대기차량길이의 추정방법 대신 타 검지기에서 수집이 가능하며 비교적 추정 정확도가 높은 통행시간 데이터를 활용하면 보다 정확도가 높은 대기차량길이의 추정이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 통행시간과 대기차량길이의 상관관계의 분석과 비선형 관계를 고려하여 딥러닝 기법을 적용한 지도학습으로 대기차량길이의 추정방안에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 미래창조과학부 재원으로 경찰청과 치안과학기술연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 치안과학기술연구개발사업임.(PA-A000001-2015-401)

본 논문은 한국ITS학회의 2017년도 춘계학술대회에 게재되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

## REFERENCES

- Doh. T. W.(2012), "The theory of traffic engineering," chungmungak, pp.239-240.
- Ko. K. Y.(2015), "Status of smart signal control system development and future of intersection," TTA Journal, vol. 160, pp.44-45.
- Korean National Police Agency(2014), "Development of Signal control algorithm using big data on traffic information".
- Lee C. K., Lee S. D., Lee Y. J. and Lee S. J.(2016b), "A Traffic congestion judgement Algorithm

development for signal control using taxi gps data,” The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systmes, vol. 15, no. 3, pp.51-59.

Lee Y. J., Hwang J. S. and Lee C. K.(2016a), “Study on Queue length estimation using GPS trajectory data,” The Journal of the Korea Institute of Intelligent Transportation Systmes, vol. 15, no. 3, pp.45-51.

Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013), “KHCM, Korea Highway Capacity Manual 2013,” pp.209-417.