

# GPS 운행궤적정보를 이용한 표준링크기반 통행속도 산출 시스템 연구

## A Study on the Standard Link-based Travel Speed Calculation System Using GPS Tracking Information

송길종\* · 황재선\*\* · 임재중\*\* · 정의용\*\*\*

\* 주저자 : ㈜엔제로 기업부설연구소 교통팀 책임연구원

\*\* 공저자 : ㈜엔제로 기업부설연구소 수석연구원

\*\*\* 교신저자 : ㈜엔제로 대표이사

Gil jong Song\* · Jae Seon Hwang\*\* · Jae Jung Lim\*\* · Eui Yong Jung\*\*\*

\* Transportation Team, Research Institute, NZERO Corporation Senior Research Engineer

\*\* Research Institute, NZERO Corporation Principal Research Engineer

\*\*\* NZERO Corporation CEO

† Corresponding author : Eui Yong Jung, waveface@nzero.kr

Vol.18 No.5(2019)

October, 2019

pp.142~155

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2019.18.5.142>

2019.18.5.142

Received 18 September 2019

Revised 30 September 2019

Accepted 7 October 2019

© 2019. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

### 요약

본 연구는 택시 GPS 프로브 정보를 수집하여 링크 결손 방지와 링크 진출·입 시각을 판단하여 표준링크기반의 통행속도 정확도를 향상시키기 위한 시스템 개발을 목적으로 진행되었다. 이를 위해 표준링크기반 맵매칭과 개별차량 통행속도를 산출하고 이를 이용해 서비스링크 평균 통행속도 산출을 위한 5단계 과정으로 구성된 프레임워크와 알고리즘을 제시하였다. 그리고 테헤란로와 학동로 두 곳의 현장 조사를 실시하여 본 논문에서 제시한 방법에 의한 결과를 검증하였다. 현장조사 전체시간 기준으로, 통행속도 편차는 0.2km/h와 0.6km/h, 정확도는 99%와 96%, 그리고 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)는 1%와 4%로 나타났다. 결과적으로 표준링크를 사용하지 않는 기존 방법론보다 우수한 정확도를 보였다.

핵심어 : GPS 프로브, 맵 매칭, 표준링크, 서비스링크, 통행속도

### ABSTRACT

This study was conducted with the aim of developing a system to collect taxi GPS probe information to prevent link defects and to improve the accuracy of the standard link-based travel speed by determining when to go into and come out the link. For this purpose, a framework and algorithm consisting of a five-step process for standard link-based map matching and individual vehicle travel speed are presented and used it to calculate the average travel speed of the service link. Two on-site surveys of Teheran and Hakdong-ro were conducted to verify the results by the methods proposed in this paper. On the basis of the overall time of the field survey, the deviation in the travel speed was 0.2 km/h and 0.6 km/h, the accuracy was 99% and 96%, and the MAPE(Mean Absolute Percentage Error) was 1% and 4% in Teheran and Hakdong-ro, respectively. These results were more accurate than those obtained using conventional methodologies without standard links.

Key words : GPS probe, Map matching, Standard link, Service link, Travel speed

## I. 서론

ITS<sup>1)</sup> 분야에서 실시간 교통정보수집체계는 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. ITS의 하위시스템인 ATIS<sup>2)</sup>, ATMS<sup>3)</sup> 등에 이용되는 실시간 속도정보는 지점 검지체계에서 AVI<sup>4)</sup>, DSRC<sup>5)</sup> 등을 이용한 구간 검지체계로 변화하였다(Youm, 2011). 또한 유지보수가 어려운 지점 검지체계를 대신하여 노변시설없이 정보수집이 가능한 구간 검지체계인 GPS 프로브 방식으로 전환되어 왔다. 이러한 GPS 프로브 방식은 실제 도로 링크를 주행하는 차량의 샘플이라는 점에서 구간정보 추정에 매우 적합하다(Choi, 2006). 하지만, 이들 GPS 프로브 차량정보는 도시부 내 단속류 구간의 다양한 도로교통 특성(교통신호 영향, 주·정차, 짧은 링크 등)에 의해 수집정보의 오류(이상치, 결측치 등)가 발생할 가능성이 있다. 특히, 도시부의 교차로 신호운영으로 인한 차량대기는 교통소통상황의 왜곡을 초래하는 대표적 요인으로 볼 수 있으며, 일부지역에서 프로브 차량의 보급이 충분히 이루어지지 못한 상황에서는 실제 교통상황과는 상이한 교통정보가 제공될 가능성이 높다(KoROAD, 2016).

이런 실정에서 서울시에서는 2014년부터 한국스마트카드 택시정보(법인차량 22,700여대, 개인차량 49,300여대)로부터 GPS 데이터를 교통정보시스템에서 수집하여 교통정보에 활용하고 있으며, 2014년부터 각 지자체에 도입되고 있는 택시운행관리시스템 사업의 확장으로 GPS 데이터의 수집률 및 활용성이 높아지고 있다(Hwang, 2017; Seoul, 2018). 서울시 택시 GPS 데이터는 10초 단위의 수집 주기로 2분 30초(150초)마다 교통정보시스템으로 전송되어 서비스링크기반의 통행속도 산출을 위해 사용되어지고 있다. 서울시 분석결과에 따르면, GPS 위치 데이터를 활용해 생산한 속도 정보의 정확성은 약 94% 수준에 이른다(Lee et al., 2016). 하지만, 불특정 도로를 이동하는 택시의 운행 특성상 10초 단위의 수집 주기(시속 50km/h 시, 10초 동안 약 139m 이동)로 인해서 이동 경로상 짧은 도로 링크구간이 포함된 경우에는 이들 링크구간에 대한 통행속도 산출에 있어 어려움이 존재하는 실정이다(Yoo, 2014). 또한, 이러한 데이터로는 정확한 링크 진입시각 및 진출시각을 파악하기 힘들다(Lee et al, 2016).

이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 2초 단위의 수집 GPS 데이터를 이용해 서비스링크 구성단위인 표준링크기반으로 결손된 링크 복원과 링크 진출·입 시각 산정을 위한 맵 매칭 기법을 제시하고자 한다. 또한, 택시 GPS 데이터 샘플 확대 적용을 위해서 일정 조건을 만족하는 공차 속도를 반영한 표준링크기반의 개별차량 통행속도를 산출한 후, 이를 이용해 서비스링크 평균 통행속도를 산출하는 방안과 그 시스템을 개발하여 제공하는 교통정보의 정확성과 적시성을 높이고자 한다. 이러한 통행속도 산출 접근 방법과 알고리즘은 기존 연구 방법과 비교해 새로운 접근 방법이라 할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 GPS 프로브 차량 데이터를 이용하여 링크 구간별 통행시간 및 통행속도를 산출하는 알고리즘, 기법들과 도로의 교통상황 판단 알고리즘에 관련된 연구를 알아보고, 3장에서는 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도 산출을 위한 과정으로, 데이터 전처리, 표준링크기반 맵매칭 및 개별차량 통행속도 산출, 그리고 이를 이용한 서비스링크 평균 통행속도 산출 및 평활화 과정별 제안 알고리즘과 기법에 대해 알아본다. 그리고, 4장에서는 본 논문에서 제시한 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도 산출 결과에 대해 현장 조사치 및 기존 방법론을 활용한 산출치와의 비교·평가를 통해 검증하고, 마지막으로 결론 및 향후 연구 방향에 대하여 알아본다.

- 
- 1) ITS : Intelligent Transport System,
  - 2) ATIS : Advanced Traffic Information System,
  - 3) ATMS : Advanced Traffic Management System,
  - 4) AVI : Automatic Vehicle Identification,
  - 5) DSRC : Dedicated Short Range Communication,

## II. 기존 연구 고찰

### 1. GPS 데이터를 이용한 통행속도 산출

Jeong et al.(2014)은 프로브 차량의 특성을 분석한 결과를 토대로 도로의 소통상황을 대표할 수 있는 구간 통행속도의 산출 절차를 4가지 과정으로 제안하였다. 이 과정들은 대부분 도로 소통상황을 오인할 수 있는 데이터의 제거 방법으로 정리되어 있다. 첫째, 5분 수집 주기 동안 수집된 표본 수가 단 1건이면 이 값은 제외하였다. 둘째, 개별 프로브 차량의 구간 통행시간으로 산출된 구간 통행속도의 최대값과 최소값을 상수값으로 설정하여 극단적인 프로브 차량의 구간 통행속도는 이상치로 판정하여 제거하였다. 셋째, 중위값(Median)과 중위편차를 활용한 중위절대편차법을 통하여 이상치를 제거하였다. 넷째, 지수평활법(Exponential Smoothing)을 사용하여 최종 구간 통행속도를 생성하였다.

Bin et al.(2013)은 버스 정보를 이용한 교통류 패턴 인식 방법을 적용하여 버스 정보가 구간 통행속도 정보로 활용될 수 있는지를 검토하였다. 그 결과, 버스 정보는 고가부가 존재하는 경우에는 신뢰도가 떨어지지만, 도로구간의 기하구조에 특이사항이 없다면 구간의 통행속도 정보로 이용할 수 있다고 밝혔다.

Lee(2013)는 울산시 BIS에서 수집된 버스 정보를 활용하여 경로 통행시간 추정을 위한 연구를 수행하였다. 그 결과, 시내버스의 구간 통행시간에서 서비스 시간을 제외한 후 일반 차량의 구간 통행시간과 비교했을 때 분포특성이 유사하였고, 상관성이 매우 높았다고 밝혔다.

Youn(2011)은 택시 프로브 기법을 이용하여 수집되는 도시부 구간속도자료의 다중시간대 누락상태에서 실시간 구간통행속도를 예측하기 위한 다중시간대 예측 기법을 개발하였다. 개발된 다중시간대 예측 기법은 비모수회귀(NPR, Non-Parametric Regression)를 기반으로 개발되었으며, 이력자료와 누락자료를 포함하는 현행자료를 이용하도록 설계되었다. 개발모형은 택시 프로브 기법으로 수집된 실제 구간통행속도 자료를 이용하여 단일 시간대 예측기법으로 널리 이용되는 칼만필터링 기법과 비교하여 우수한 결과를 보였다.

You(2014)은 서울시에서 제공하는 서울시 법인택시 GPS 데이터 기반의 통행시간 정보의 정확도 문제를 개선하기 위해서 제한된 GPS 데이터로 인하여 손실되는 링크들을 위상정보와 결합시켜 복원시킨 후, 통행속도를 산출하여 GPS 데이터의 정확도를 향상시키는 연구를 진행하였다. 제한된 GPS 데이터기반으로 구성된 시계열모형에서 차량 진행방향과 위상정보를 결합하여 결손된 링크 중에서 가장 근접한 링크를 후보 링크로 선정하여 복원한 후, 이를 기반으로 산출되는 통행량 및 통행시간의 정확도를 향상시키는 방법이었다.

Zheng(2012)는 프로브 차량에 의해 수집된 정보를 기반으로 신경망 모델을 이용하여 개별 프로브 차량에 대한 완전한 링크 운행시간을 추정하는 모델을 제안하였으며, VISSIM 시뮬레이션 모델에서 얻은 결과를 사용하여 제안한 신경망 모델 성능을 검증하였다.

### 2. GPS 데이터를 이용한 도로의 교통상황 판단방안

Lee et al.(2016)은 검지기 등을 이용하는 기존의 교통상황 판단방안에서 벗어나 서울시에 등록된 법인택시 GPS 데이터의 가공을 통한 구간통행속도 산출방안과 GPS 데이터를 이용해 산출된 대기행렬 길이를 기반으로 도로의 혼잡상황을 판단하는 방안을 수립하였다. 서울시 법인택시 GPS 데이터의 경우 10초 단위로 프로브 차량의 위치를 검지하기 때문에 정확한 링크 진입시각 및 진출시각을 파악하기 힘들다. 그래서 프로브 차량의 링크 진입 및 진출 시각을 산출하기 위해서 프로브 차량이 동일한 속도로 주행한다는 가정하에 링크 진입 및 진출 시각을 1초 단위로 보정하는 방법을 사용하였다. 또한, 접근로의 혼잡상태를 파악하기 위한 방

안으로 통행속도, 대기행렬 길이를 고려하여 판단하는 방안을 수립하였다. 링크를 한 주기 동안 통과하기 위한 통행속도보다 낮은 통행속도를 나타내고 주기당 주행거리(distance per cycle)가 대기행렬 길이보다 짧은 경우에는 도로의 혼잡상태로 판단하였으며 그 외의 경우에는 비 혼잡상태로 판단하였다.

Hofleitner(2012)는 스트리밍 GPS 프로브 데이터를 이용하여 간선도로 교통상황을 추정하고 예측하기 위한 하이브리드 모델링 프레임워크를 제안하였다. 샌프란시스코, 캘리포니아에서 500대 이상의 프로브 차량들이 1분마다 위치를 기록한 대량의 데이터를 사용하였다. 교통류 이론의 원리를 이용하여 예측데이터를 생성하였으며, 이러한 접근 방식은 실시간 데이터의 소규모 데이터를 사용하여 간선도로 전체의 네트워크 트래픽 상태를 추정하기 위한 중요한 단계임을 시사하였다.

### 3. 시사점

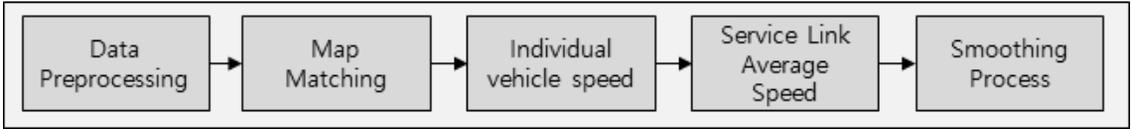
기존의 서울시 법인택시 프로브 차량의 GPS 위치 데이터는 10초 간격으로 수집됨으로 인해, 링크 통행속도 산출에 아주 중요한 요소인 링크의 진입과 진출 시각을 정확하게 산정할 수 없었다. 차량이 50km/h의 속도로 10초 동안 운행할 수 있는 거리가 약 139m이기 때문에, 거리가 짧은 도심부 도로 링크에서는 링크 통행속도를 산출할 수가 없는 경우가 많이 발생하였다. 그리고 차량이 등속운동을 한다고 가정된 상태에서 결측치 보정 등의 방법으로 10초 간격의 위치좌표를 1초 간격으로 구하고, 이를 링크 통행속도 산출에 사용하였지만, 이 경우에도 속도 오차를 내포하고 있었다. 또한, 기존의 택시 프로브 차량 위치 데이터를 이용한 링크 통행속도 산출 기법에서는 택시 프로브 차량의 공차와 승·하차 구간을 제외하여 통행속도 산출을 하였다. 이로 인해 통행속도 산출을 위한 샘플 수가 상대적으로 적어져 통행속도를 산출하지 못하는 결측 링크가 많이 발생하는 현상을 초래하였다. You(2014)의 연구에서는 이러한 결측 링크를 지도기반의 표준노드·링크 데이터를 이용해 결측 링크 발생을 최소화하기 위한 알고리즘을 통해 통행속도 정밀도를 높이고자 하였다.

이에 본 연구에서는 2초 간격의 GPS 프로브 데이터를 수집하고, 이를 이용해 표준링크기반의 통행속도를 산출함에 있어 다음과 같은 접근 방법과 알고리즘을 적용하여 통행속도 정확도 향상을 위해서 기존 연구 방법들과 차별을 두었다. ① 승·하차 구간 구별을 통한 해당 표준링크 위치좌표 제외 ② 샘플수 확대를 위해서 일정 조건을 만족하는 경우에 한해 공차 정보를 활용 ③ 이전 시각에 맵 매칭한 링크와 현 시점에 맵 매칭된 링크간의 연결성 여부 판단 ④ 이전정보 활용에 대한 통행속도 평활화 개선 ⑤ 표준링크기반의 개별차량 통행속도 생성을 통해 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도를 산출하였다.

## Ⅲ. 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도 생성 방법론

### 1. 통행속도 생성 방법 개요

택시 GPS 데이터를 활용한 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도 산출을 위한 전체 과정은 <Fig. 1>과 같다. 우선 수집된 GPS 데이터에 대한 전처리를 통해 오류데이터 제거와 결측치 보정 처리를 수행하고, 개별차량에 대해 표준링크기반의 맵 매칭과 통행속도를 산출한다. 그리고 이들 정보를 이용하여 서비스링크 평균 통행속도를 산출하고 평활화 과정을 수행한다.

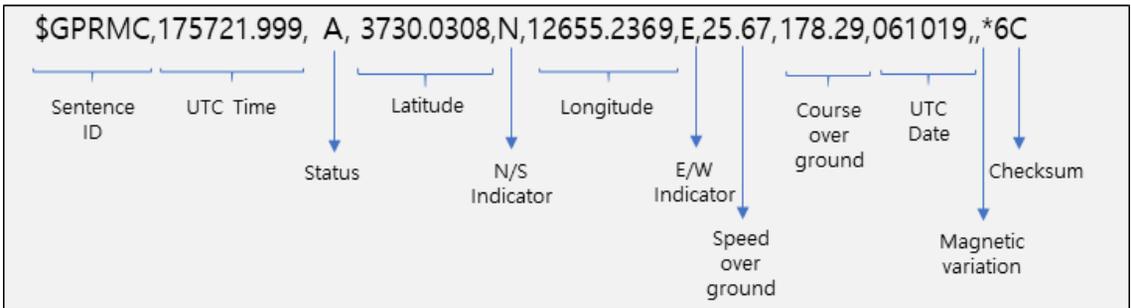


<Fig. 1> The Calculation process of service link average speed based on standard link

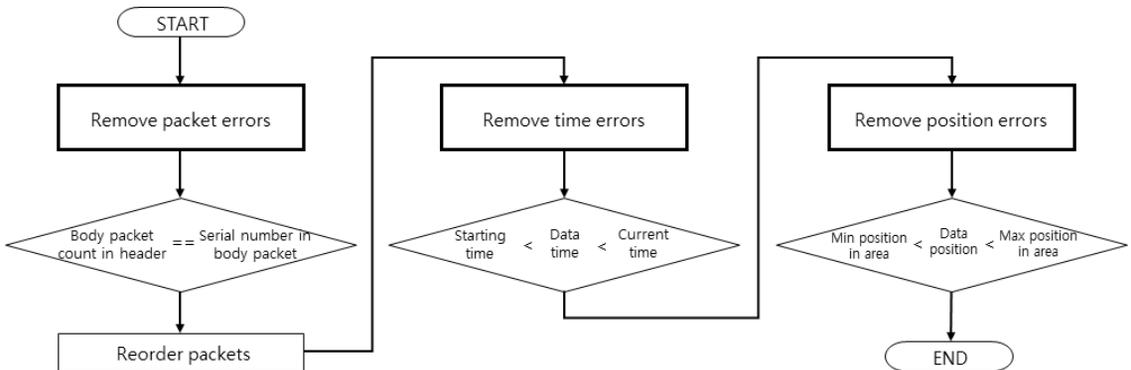
## 2. 통행속도 생성과정

### 1) 데이터 전처리

데이터 가공 전에, <Fig. 2>와 같은 택시 GPS 데이터는 패킷오류, 시각오류, 좌표오류에 해당하는 데이터를 제거하는 전처리 과정을 <Fig. 3>과 같이 수행한다.



<Fig. 2> The structure of the GPS acquisition packets for the NMEA protocol



<Fig. 3> Data pre-processing process

개별차량의 GPS 데이터는 통신 부하를 줄이기 위해서 2초 단위의 데이터를 약 50초 주기로 25개의 패킷을 수신하며, 이들 패킷은 1개의 Header 패킷과 24개의 Body 패킷으로 구성된다. Header 패킷 수신 후, Body 패킷의 일련번호를 비교하여 패킷 손실을 확인하며, 손실된 패킷이 존재하는 경우에는 식(1)과 같이 결측치 보정을 통해 Body 패킷을 생성한다. 그리고 이들 패킷은 데이터 취득 시각순으로 재 정렬과정을 수행한 후, 데이터의 취득 시각과 위치 좌표의 유효 범위를 조사한다.

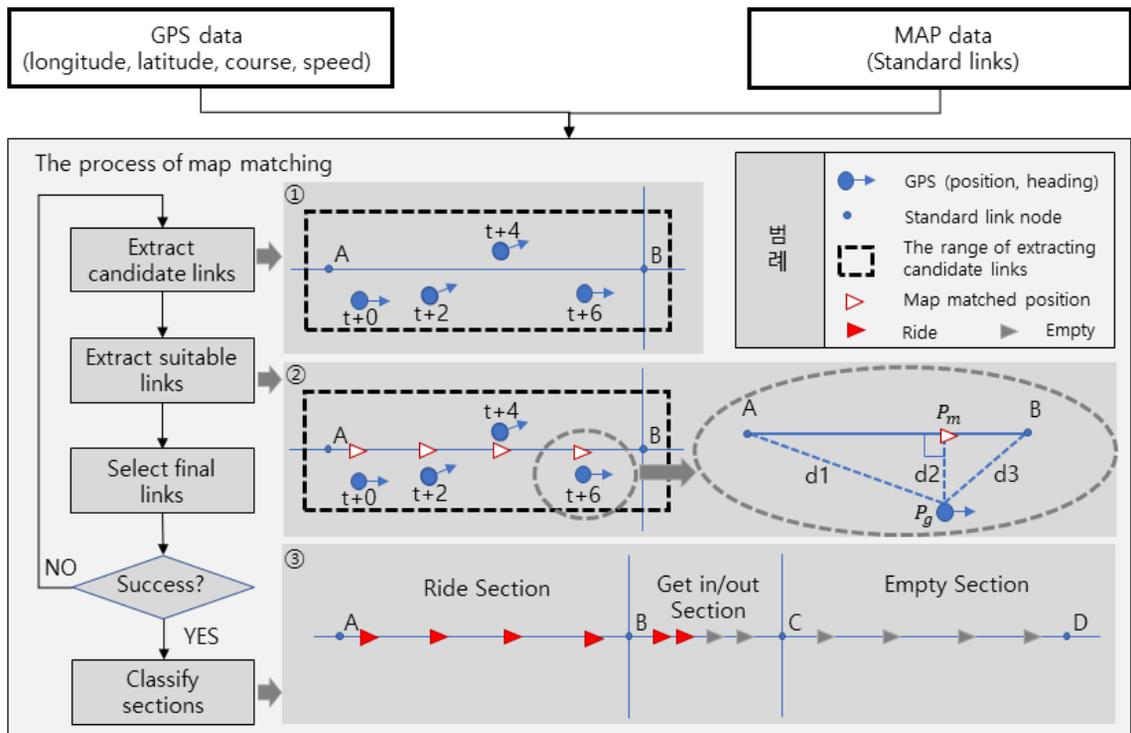
$$P_t = \frac{(P_{t-1} + P_{t-2} + P_{t-3} + \dots + P_{t-n})}{n} \dots\dots\dots (1)$$

여기서,  
 $P_t$ =결측치가 발생한 지점  $t$ 에서 추세를 이용한 추정 위치 데이터  
 $P_{t-n}$ =결측치가 발생한 지점으로부터  $t-n$  지점에서 수집한 위치 데이터  
 $n$ =추세를 이용한 추정 위치 데이터 계산을 위한 주기 (최대값  $n < 25$ )

2) 표준링크기반의 맵 매칭

GPS 데이터는 도심지에서 멀티패스와 수신 GPS 위성 수와 배치 등에 영향을 받아 위치 오차가 발생할 수 있다. 이에 맵 매칭 수행 전에는 초당 택시 최대 속도(예, 80km/s)를 미리 정하고 이전 수집 GPS 위치와 현 수집 GPS 위치 간 거리가 택시 최대 속도에 의한 이동 거리를 넘는 경우 필터링을 수행한다. 그리고, 맵 매칭 과정의 최종링크 선정 시에, 이전 시각에 맵 매칭되었던 표준링크와 현 시각에 맵 매칭된 표준링크와의 연결성 여부를 판단하여 맵 매칭 보정을 수행한다.

개별차량의 GPS 위치 및 자세 데이터를 표준링크 상의 위치 데이터로 매핑하기 위해서 <Fig. 4>와 같은 맵 매칭 과정을 수행한다. 맵 매칭 과정은 후보 링크 추출, 적합 링크 추출, 최종링크 선정, 그리고 실차/승차차/공차 구간 구분의 세부 과정으로 이루어져 있다.



<Fig. 4> Map matching process based on standard link

먼저, 후보 링크 추출과정에서는 <Fig. 4>의 ①과 같이 GPS 위치 데이터로부터 식(2)의 조건을 만족하는 일정 범위 내의 표준링크 선분들을 추출한다.

$$(g.long - range_{long} \leq \max(sl.long)) \cap (g.long + range_{long} \geq \min(sl.long)) \cap \dots \dots \dots (2)$$

$$(g.lat - range_{lat} \leq \max(sl.lat)) \cap (g.lat + range_{lat} \geq \min(sl.lat))$$

여기서,

$g.long$  = GPS 경도좌표

$g.lat$  = GPS 위도좌표

$\max(sl.long), \max(sl.lat)$ =표준링크 선분을 구성하는 버텍스 중 가장 큰 경도좌표와 위도좌표

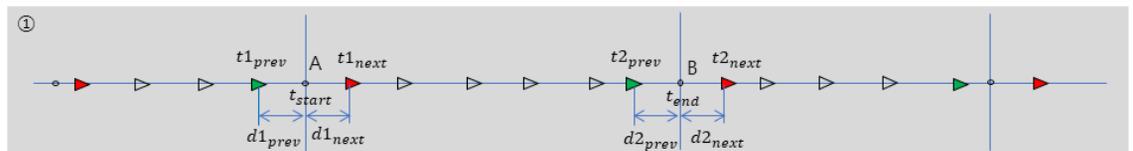
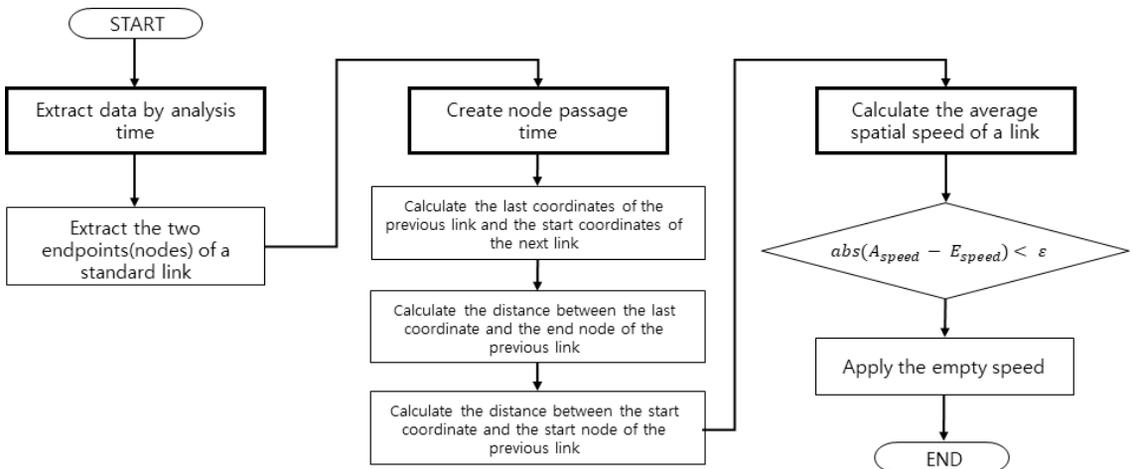
$\min(sl.long), \min(sl.lat)$ =표준링크 선분을 구성하는 버텍스 중 가장 작은 경도좌표와 위도좌표

$range_{long}, range_{lat}$ =후보 링크 추출을 위한 경도, 위도 범위 값(약 50m)

적합 링크 추출과정에서는 후보 링크 추출과정에서 추출한 링크별로 링크 선분각과 GPS 방향각의 차이를 구하여 약 30도 내의 범위에 속하는 후보 링크를 적합 링크로 정하고, 이들 적합 링크로부터 <Fig. 4>의 ②와 같이 GPS 위치( $P_g$ )에서 링크 선분( $\overline{AB}$ )까지 정사영으로 투영한 직교좌표( $P_m$ )까지의 거리(d2)를 구한다. 이때, 직교좌표가 존재하지 않으면 GPS 위치( $P_g$ )에서부터 링크 선분 양 끝점까지의 거리(d1 or d3) 중 짧은 거리를 구한다. 그 이후에 최소거리 차이와 최소각도 차이를 나타내고 이전 시각에 매칭된 링크와 연결성을 가진 적합 링크를 최종링크로 선정한다. 그리고 <Fig. 4>의 ③과 같이 최종링크로 선정된 표준링크에 대해 승객을 태운 상태에서 운행하는 실차 구간, 승객이 승차 또는 하차하는 승·하차 구간, 그리고 승객을 태우지 않은 상태에서 운행하는 공차 구간으로 구분한다.

### 3) 개별차량 통행속도 생성

표준링크기반의 개별차량 통행속도 생성과정은 <Fig. 5>와 같으며, 상대적으로 차량의 운행속도가 느려지거나 정차를 해야 하는 승·하차 구간에 해당하는 표준링크는 개별차량 통행속도 생성에서 제외한다.



<Fig. 5> Individual vehicle speed generation process

앞서 구한 개별차량의 운행계획을 이용해 맵 매칭된 표준링크를 분석시간 단위(약 5분)로 <Fig. 5>의 ①과 같이 추출한 후, 이전 링크의 마지막 좌표 통과 시각( $t1_{prev}$ ,  $t2_{prev}$ )과 다음 링크의 시작좌표 통과 시각( $t1_{next}$ ,  $t2_{next}$ )을 산출하고, 이전 링크 마지막 좌표에서부터 이전 링크 종료 노드까지의 거리( $d1_{prev}$ ,  $d2_{prev}$ )와 다음 링크 시작좌표에서부터 다음 링크 시작 노드까지의 거리( $d1_{next}$ ,  $d2_{next}$ )를 계산한다. 그리고 이 구간에서는 등속운동을 한다고 가정하고 식(3)을 사용하여 표준링크의 노드 통과시각( $t_{start}$ ,  $t_{end}$ )을 산정한다.

$$t_{passnode} = t_{prev} + (t_{next} - t_{prev}) / \frac{(d_{next} + d_{prev})}{d_{prev}} \dots\dots\dots (3)$$

여기서,  $t_{passnode}$  =표준링크 선분의 노드 통과시각  
 $t_{next}$  =다음 링크의 시작좌표 통과시각  
 $t_{prev}$  =이전 링크의 마지막 좌표 통과시각  
 $d_{prev}$  =이전 링크의 마지막 좌표에서부터 이전 링크의 종료 노드까지의 거리  
 $d_{next}$  =다음 링크의 시작좌표에서부터 다음 링크의 시작 노드까지의 거리

그리고 표준링크기반의 개별차량 통행속도( $SPD_{average}$ )는 식(4)와 같이 링크의 공간평균속도로 산출한다. 이때, 해당 표준링크 구간을 개별차량이 공차로 운행하였을 경우, 식(5)에 의해 실차 속도와 공차 속도의 차이 절대값이 일정 속도( $\epsilon$ ) 이내인 경우에만 적용한다.

$$SPD_{average} = \frac{d_{link}}{(t_{end} - t_{strt})} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $SPD_{average}$  =표준링크의 공간평균속도  
 $d_{link}$  =표준링크 전체거리  
 $t_{strt}$  = 표준링크 시작 노드 통과시각  
 $t_{end}$  = 표준링크 종료 노드 통과시각

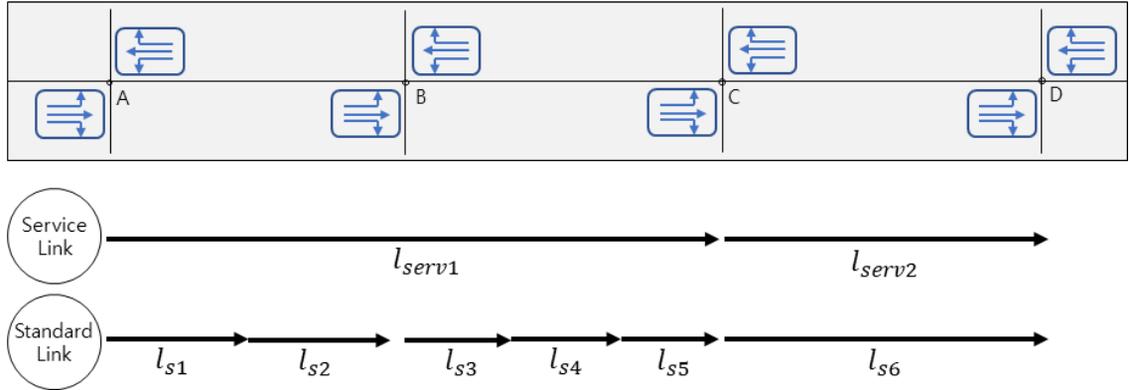
$$abs(A_{speed} - E_{speed}) \leq \epsilon \dots\dots\dots (5)$$

여기서,  $A_{speed}$  =실차 속도  
 $E_{speed}$  =공차 속도  
 $\epsilon$  =공차 속도 적용 임계값

#### 4) 서비스링크 평균 통행속도 생성

본 과정에서는 표준링크를 서비스링크로 매핑한 후, 표준링크기반의 개별차량 통행속도를 이용해 서비스링크 평균 통행속도를 산출한다.

<Fig. 6>은 서비스링크와 표준링크 간의 상관관계를 나타내고 있다.  $l_{serv1}$  서비스링크는 여러 개의 교차로를 지나는 선분( $\overline{AC}$ )으로, 표준링크( $l_{s1} \sim l_{s5}$ )로 구성되어 있고,  $l_{serv2}$  서비스링크는 교차로 사이의 선분( $\overline{CD}$ )으로, 표준링크( $l_{s6}$ )로 구성되어 있다. 이처럼 서비스링크는 표준링크와 1:N의 관계성을 가진다.



<Fig. 6> Relationship between service link and standard link

개별차량별 서비스링크 통행속도는 식(4)에서 사용된 표준링크 길이와 통행시간을 이용하여 식(6)과 같이 계산하고, 서비스링크 평균 통행속도는 식(7)과 같이 계산한다.

$$SPD_{service} = \sum_{i=1}^n Dlink_i / \sum_{i=1}^n T_i(t_{end} - t_{strt}) \dots\dots\dots (6)$$

여기서,  $SPD_{service}$  = 개별차량의 서비스링크 통행속도  
 $Dlink_i$  = 표준링크(i)의 총 길이  
 $T_i(t_{end} - t_{strt})$  = 표준링크(i)의 통행시간  
 $n$  = 해당 서비스링크를 구성하는 표준링크 개수

$$AVGSPD_{service} = (\sum_{i=1}^n i SPD_{service}) / N \dots\dots\dots (7)$$

여기서,  $AVGSPD_{service}$  = 서비스링크 평균 통행속도  
 $i SPD_{service}$  = 개별차량(i)의 서비스링크 통행속도  
 $N$  = 해당 서비스링크를 운행한 개별차량 대수

5) 서비스링크 평균 통행속도 평활화

이전 분석 주기와 현 분석 주기 간의 서비스링크 평균 통행속도의 편차가 큰 경우에, 해당 서비스링크의 교통상황이 급변하는 형태로 나타날 수 있다. 이러한 상황을 방지하기 위해서 평활화 과정을 거쳐 최종 서비스링크 평균 통행속도를 산출할 필요가 있다. 본 과정에서는 식(8)과 같은 지수평활법을 사용한다.

$$SAVGSPD_{service}^t = \alpha \times AVGSPD_{service}^t + (1 - \alpha) \times (\sum_{k=1}^n SAVGSPD_{service}^k) / N \quad (8)$$

여기서,  $SAVGSPD_{service}^t$  = t 분석 시점의 평활 서비스링크 평균 통행속도  
 $SAVGSPD_{service}^k$  = k 분석 시점의 평활 서비스링크 평균 통행속도  
 $AVGSPD_{service}^t$  = t 분석 시점의 서비스링크 평균 통행속도  
 $\alpha$  = 평활 계수  
 $N$  = 이전 자료 개수

## IV. 적용 및 평가

### 1. 현장조사 및 평가 방법

본 연구에서 제안한 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도 산출 방법의 평가를 위해서 테헤란로 삼성역사거리-포스코사거리와 학동로 경기고교앞사거리-청담공원앞교차로를 대상 구간으로 정하고, 속도조사 방법으로 차량번호판 조사법을 이용하여 07시부터 12시까지 총 5시간 동안의 통행시간을 조사하였다. 그리고, 동일 구간 동일 시간대의 택시 GPS 데이터는 서울 토포스 시스템의 자료를 획득하여 표준링크를 사용하지 않는 기존 방법론과 제안 방법론에 대해 비교·평가를 시행하였다.

현장조사, 기존 방법론, 제안 방법론 모두에 대해 5분 단위의 서비스링크 평균 통행속도를 기준으로 15분 단위의 서비스링크 평균 통행속도를 산출하고, 이들 산출치로부터 통행속도 편차, 정확도, 그리고 평균 절대 백분율 오차(MAPE)를 계산하여 비교·평가하였다. 여기서 정확도 산출은 식(9)와 같이 현장조사 일반 차량의 평균 통행속도를 기준으로 상대오차를 사용하였고, 추정 오차의 평가를 위한 지표로써 식(10)과 같이 MAPE를 사용하였다.

$$Accuracy(\%) = (1 - (\frac{|SPD_{actual} - SPD_{proposed}|}{SPD_{actual}})) \times 100 \dots\dots\dots (9)$$

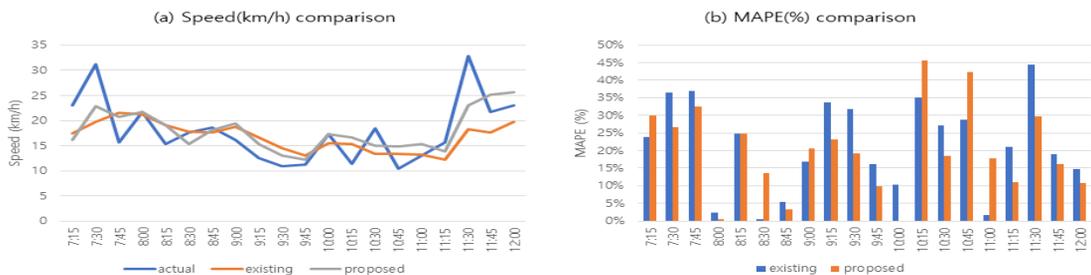
$$MAPE(\%) = (\sum_{i=1}^N \frac{|SPD_{actual} - SPD_{proposed}|}{SPD_{actual}}) / N \times 100 \dots\dots\dots (10)$$

여기서,  $Accuracy(\%)$ =현장조사 대비 추정치의 정확도(현장조사 대비 절대 백분율 오차)  
 $MAPE(\%)$ =평균 절대 백분율 오차  
 $SPD_{proposed}$ =제안 방법으로 산출한 서비스링크 평균 통행속도  
 $SPD_{actual}$ =현장조사 서비스링크 평균 통행속도  
 $N$ =표본 수

### 2. 평가 결과

#### 1) 삼성역사거리-포스코사거리 구간

테헤란로 삼성역사거리에서 포스코사거리까지의 현장조사, 기존 방법론, 제안 방법론에 의한 서비스링크 평균 통행속도와 MAPE 결과는 <Fig. 7>과 같다. 그림의 (a)와 (b)를 살펴보면, 제안 방법론의 평균 통행속도가 기존 방법론보다 현장 조사치에 전반적으로 근접하고 있음을 확인할 수 있고, MAPE도 기존 방법론보다 작은 값을 나타내는 구간이 전체 20개 구간 중 13개 구간으로 분포하고 있음을 알 수 있다.



<Fig. 7> The comparison of speed and MAPE between algorithms (#01)

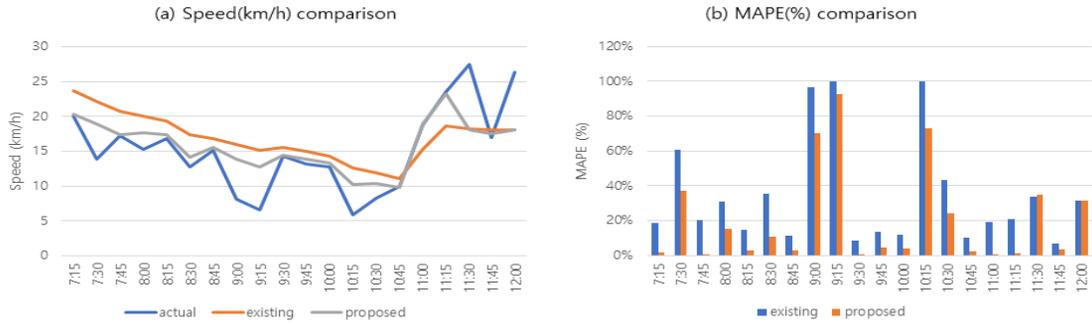
<Table 1>은 테헤란로 삼성역사거리에서 포스코사거리까지의 15분 단위의 서비스링크 평균 통행속도와 편차, 정확도, MAPE를 계산하고 비교한 결과이다. 여기서 A = 현장조사, E = 기존 방법론, P = 제안 방법론을 나타낸다. 서비스링크 평균 통행속도를 분석한 결과, 현장 조사치는 11 ~ 32.9 km/h, 기존 방법론은 12.3 ~ 21.5 km/h, 제안 방법론은 12.3 ~ 25.6 km/h 속도로 나타났다. 그리고 5시간 동안의 평균 통행속도를 기준으로 현장 조사치 대비 제안 방법론의 평균 통행속도는 0.2 km/h의 오차를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 정확도는 99%, MAPE는 1%로 나타났으며, 전반적으로 기존 방법론보다 속도 신뢰성이 높은 결과를 확인할 수 있었다.

<Table 1> The result of deviation, accuracy and MAPE (#01)

Time		Speed(km/h)			Deviation(km/h)		Accuracy		MAPE	
		A	E	P	E	P	E	P	E	P
7:00	7:15	23	17.5	16.1	5.5	6.9	76%	70%	24%	30%
7:15	7:30	31.2	19.8	22.9	11.4	8.3	63%	73%	37%	27%
7:30	7:45	15.7	21.5	20.8	5.8	5.1	63%	68%	37%	32%
7:45	8:00	21.8	21.3	21.7	0.5	0.1	98%	100%	2%	0%
8:00	8:15	15.3	19.1	19.1	3.8	3.8	75%	75%	25%	25%
8:15	8:30	17.7	17.8	15.3	0.1	2.4	99%	86%	1%	14%
8:30	8:45	18.7	17.7	18.1	1	0.6	95%	97%	4%	2%
8:45	9:00	16.1	18.8	19.4	2.7	3.3	83%	80%	17%	20%
9:00	9:15	12.5	16.7	15.4	4.2	2.9	66%	77%	34%	23%
9:15	9:30	11	14.5	13.1	3.5	2.1	68%	81%	32%	19%
9:30	9:45	11.2	13	12.3	1.8	1.1	84%	90%	16%	10%
9:45	10:00	17.3	15.5	17.3	1.8	0	90%	100%	10%	0%
10:00	10:15	11.4	15.4	16.6	4	5.2	65%	54%	35%	46%
10:15	10:30	18.4	13.4	15	5	3.4	73%	82%	27%	18%
10:30	10:45	10.4	13.4	14.8	3	4.4	71%	58%	29%	42%
10:45	11:00	13	13.2	15.3	0.2	2.3	98%	82%	2%	18%
11:00	11:15	15.6	12.3	13.9	3.3	1.7	79%	89%	21%	11%
11:15	11:30	32.9	18.3	23.1	14.6	9.8	56%	70%	44%	30%
11:30	11:45	21.7	17.6	25.2	4.1	3.5	81%	84%	19%	16%
11:45	12:00	23.1	19.7	25.6	3.4	2.5	85%	89%	15%	11%
Total		17.9	16.8	18.1	1.1	0.2	94%	99%	6%	1%

## 2) 경기고교앞사거리-청담공원앞교차로 구간

학동로 경기고교앞사거리 청담공원앞교차로까지의 현장조사, 기존 방법론, 제안 방법론에 의한 서비스링크 평균 통행속도와 MAPE 결과는 <Fig. 8>과 같다. 그림의 (a)와 (b)를 살펴보면, 제안 방법론의 평균 통행속도가 기존 방법론보다 현장 조사치에 전반적으로 근접하고 있음을 확인할 수 있고, MAPE도 기존 방법론보다 작은 값을 나타내는 구간이 전체 20개 구간 중 19개 구간으로 분포하고 있음을 알 수 있다.



<Fig. 8> The comparison of speed and MAPE between algorithms (#02)

<Table 2>는 학동로 경기교앞사거리 청담공원앞교차로까지의 15분 단위의 서비스링크 평균 통행속도와 편차, 정확도, MAPE를 계산하고 비교한 결과이다. 여기서 A = 현장조사, E = 기존 방법론, P = 제안 방법론을 나타낸다. 서비스링크 평균 통행속도를 분석한 결과, 현장 조사치는 8.1 ~ 26.3 km/h, 기존 방법론은 11 ~ 23.7 km/h, 제안 방법론은 9.8 ~ 23.2 km/h 속도로 나타났다. 그리고, 5시간 동안의 평균 통행속도를 기준으로 현장 조사치 대비 제안 방법론의 평균 통행속도는 0.6 km/h의 오차를 가지고 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 정확도는 96%, MAPE는 4%로 나타났으며, 앞서 살펴본 테헤란로 결과와 같이 전반적으로 기존 방법론보다 속도 신뢰성이 높은 결과를 확인할 수 있었다.

<Table 2> The result of deviation, accuracy and MAPE (#02)

Time		Speed(km/h)			Deviation(km/h)		Accuracy		MAPE	
		A	E	P	E	P	E	P	E	P
7:00	7:15	20	23.7	20.3	3.7	0.3	82%	99%	19%	2%
7:15	7:30	13.8	22.2	18.9	8.4	5.1	39%	63%	61%	37%
7:30	7:45	17.2	20.7	17.3	3.5	0.1	80%	99%	20%	1%
7:45	8:00	15.3	20	17.6	4.7	2.3	69%	85%	31%	15%
8:00	8:15	16.8	19.3	17.3	2.5	0.5	85%	97%	15%	3%
8:15	8:30	12.8	17.3	14.2	4.5	1.4	65%	89%	35%	11%
8:30	8:45	15.1	16.8	15.5	1.7	0.4	89%	97%	11%	3%
8:45	9:00	8.1	15.9	13.8	7.8	5.7	4%	30%	96%	70%
9:00	9:15	6.6	15.1	12.7	8.5	6.1	0%	8%	100%	92%
9:15	9:30	14.3	15.5	14.4	1.2	0.1	92%	99%	8%	1%
9:30	9:45	13.2	15	13.8	1.8	0.6	86%	95%	14%	5%
9:45	10:00	12.8	14.3	13.3	1.5	0.5	88%	96%	12%	4%
10:00	10:15	5.9	12.6	10.2	6.7	4.3	0%	27%	100%	73%
10:15	10:30	8.3	11.9	10.3	3.6	2	57%	76%	43%	24%
10:30	10:45	10	11	9.8	1	0.2	90%	98%	10%	2%
10:45	11:00	18.8	15.2	18.9	3.6	0.1	81%	99%	19%	1%
11:00	11:15	23.5	18.6	23.2	4.9	0.3	79%	99%	21%	1%
11:15	11:30	27.5	18.2	18	9.3	9.5	66%	65%	34%	35%
11:30	11:45	16.9	18	17.5	1.1	0.6	93%	96%	7%	4%
11:45	12:00	26.3	18	18.1	8.3	8.2	68%	69%	32%	31%
Total		15.2	17	15.8	1.8	0.6	88%	96%	12%	4%

## V. 결 론

본 연구는 2초 단위의 GPS 프로브 차량 데이터를 이용하여 짧은 도로 링크에 대한 정보 결손을 방지하고 링크의 진입 및 진출 시각을 정확하게 판단하여 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도의 정확도를 향상시키기 위한 방안 마련과 시스템 개발을 위한 목적으로 진행되었다.

이를 위해 기존 GPS 프로브 데이터를 이용한 링크구간 통행속도 산출 알고리즘과 교통상황 예측 알고리즘 등과 관련된 문헌 고찰을 바탕으로, 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도 산출을 위한 5단계의 과정으로 구성된 프레임워크와 각 단계별로 적용된 알고리즘과 기법들을 제시하였다. 1단계 과정으로 데이터 정제과정에서는 수신 패킷의 오류 제거와 결측 위치정보에 대해 이동평균을 이용한 보정을 진행하였다. 2단계에서는 링크 결손과 진출입 시각을 정확하게 판단하기 위해 표준링크기반의 맵 매칭을 수행하고, 3단계에서 이를 바탕으로 표준링크기반의 개별차량 통행속도를 실차, 승·하차, 공차구간으로 구분하여 산출하였다. 그리고 4단계에서 표준링크기반의 개별차량 통행속도를 서비스링크로 확장하여 평균 통행속도를 산출하고, 5단계에서 이전 분석 주기와 현 분석 주기 간의 통행속도 편차로 인한 급격한 교통상황 변화 반응을 줄이기 위해 통행속도 평활화 과정을 거친 후, 최종으로 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도를 산출하였다.

그리고 테헤란로와 학동로 두 곳에 대해 현장 조사를 실시하여 기존 방법론과 본 논문에서 제시한 표준링크기반의 서비스링크 평균 통행속도 산출 방법에 의한 5분/15분 통계 결과에 대해 비교·평가하였다. 전반적으로 기존 방법론에 비해 본 논문에서 제시한 방법론의 결과가 정확도 및 MAPE가 우수한 것으로 나타났다. 테헤란로와 학동로에 대한 기존 방법론 대비 제시한 방법론의 현장 조사 시간 전체에 대한 평균 통행속도 기준으로, 통행속도 편차는 1.1km/h vs 0.2km/h, 1.8km/h vs 0.6km/h로 나타났고, 정확도는 94% vs 99%, 88% vs 96%, 그리고 MAPE는 6% vs 1%, 12% vs 4%의 결과로 나타났다. 하지만, 5분 통계를 합산한 15분 통계 결과에서 특정 시간대에서는 기존 방법론의 결과치가 좋게 나타나는 경우가 있었다. 이는 향후 더욱 정밀한 통행속도 산출 알고리즘 개선을 통해 보완해야 할 점이다.

2019년 현재, 서울시에서는 교통정보시스템에서 제공하는 통행속도 산출 고도화 목적으로 택시 GPS 데이터를 기존 수집방식인 10초 단위에서 2초 단위로 수집하는 사업을 진행하고 있다. 따라서, 향후 연구과제로는 더 많은 현장 조사와 실제 차량 운행 데이터 확보를 통해서 본 논문에서 제시한 각 단계별 알고리즘과 기법들에 대한 검증이 필요하다. 그리고 2초 단위의 택시 GPS 데이터 처리를 위한 대용량 고속 처리용 데이터베이스 기술 및 링크 방향별 속도 산출 알고리즘을 접목한 표준링크기반 서비스링크 통행속도 산출 알고리즘 고도화 연구를 진행할 필요성이 있다. 또한, 그동안 교통연구가들에 의해 많은 연구가 진행되고 있는 교통상황 예측 알고리즘들에 대한 연구와 시스템 적용을 통해 교통정보 제공 서비스 품질을 향상시킬 필요성이 있다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

This research was supported by the Ministry of Land, Infrastructure, and Transport (MOLIT, KOREA)[Project ID : 19TLRP-B146733-02, Project Name : Connected and Automated Public Transport Innovation(National R&D Project)].

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원(19TLRP-B146733-02)에 의해 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Bin M. Y., Moon J. B. and Lim S. K.(2013), "A Study on the Travel Speed Estimation Using Bus Information," *Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 12, no. 4, pp.1-10.
- Choi K. C., Hong W. P. and Choi Y. H.(2006), "A Travel Time Estimation Algorithm using Transit GPS Probe Data," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 26, no. 5D, pp.739-746.
- Hofleitner A., Herring R. and Bayen A.(2012), "Arterial Travel Time Forecast with Streaming Data: A Hybrid Approach of Flow Modeling and Machine Learning," *Transportation Research Part B*, vol. 46, no. 9, pp.1097-1122.
- Hwang J. S., Lee Y. J. and Lee C. K.(2017), "Development of Queue Length, Link Travel Time Estimation and Traffic Condition Decision Algorithm using Taxi GPS Data," *J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 3, pp.59-72.
- Jeong Y. T. and Jung H. Y.(2014), "A Traffic Congestion Judgement Algorithm Development for Signal Control Using Taxi GPS Data," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 34, no. 6, pp.1851-1861.
- Korea Road Traffic Authority Traffic Science Institute(2016), *A Study on the Calculation of Linkage Velocity Considering the Characteristics of Intersection Signal Operation*, pp.2-9.
- Lee K. C., Lee S. D., Lee Y. J. and Lee S. J.(2016), "A Study on Calculation of Sectional Travel Speeds of the Interrupted Traffic Flow with the Consideration of the Characteristics of Probe Data," *J. Korea Inst. Intell. Transp. Syst.*, vol. 15, no. 3, pp.52-59.
- Lee Y. W.(2013), "A Study on Estimating Route Travel Time Using Collected Data of Bus Information System," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 33, no. 3, pp.1115-1122.
- Seoul(2018), *Traffic Speed Report in Seoul*, pp.3-7.
- Yoo N. H.(2014), "A Study on Algorithm for Travel Time Estimation using Restricted GPS Data," *The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 12, pp.1373-1379.
- Youn B. J.(2011), "A Study on the Development of a Technique to Predict Missing Travel Speed Collected by Taxi Probe," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, vol. 31, no. 1D, pp.43-50.
- Zheng F. and Van Zuylen H.(2013), "Urban Link Travel Time Estimation Based on Sparse Probe Data," *Transportation Research Part C*, vol. 31, pp.145-157.