

# DTG 빅데이터 기반의 링크 평균통행시간을 이용한 도심네트워크 혼잡분석 방안 연구

## A Study of Measuring Traffic Congestion for Urban Network using Average Link Travel Time based on DTG Big Data

한 여 희\* · 김 영 찬\*\*

\* 주저자 : 서울시립대학교 교통공학과 박사수료

\*\* 교신저자 : 서울시립대학교 교통공학과 정교수

Yohee Han\* · Youngchan Kim\*

\* Dept. of Transportation Eng., Univ. of Seoul

† Corresponding author : Youngchan Kim, yckimm@uos.ac.kr

Vol.16 No.5(2017)

October, 2017

pp.72~84

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<http://dx.doi.org/10.12815/kits.2017.16.5.72>

2017.16.5.72

Received 29 May 2017

Revised 8 June 2017

Accepted 28 August 2017

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

### 요 약

4차 산업혁명의 빅데이터 시대와 더불어 교통정보 수집원도 기존 지점검지 체계에서 구간검지체제로 바뀌었다. 위성측위시스템 기반의 DTG(Digital Tachograph) 자료를 대상으로, 원시자료와 가공단계에 따른 자료의 속성을 고찰하였다. 가공단계에 따라 생성되는 개별차량의 주행궤적, 개별차량의 링크통행시간, 링크 평균통행시간 정보의 특성을 분석하였다. 가공자료의 특징에 따라 교통관리분야에서 활용할 수 있는 방안을 고찰하고, 센터의 자료 관리 현황과 현 시점에서 활용 가능한 이력자료를 선정하였다. 광범위성을 가지고 상시 수집 가능한 링크 평균통행시간의 이력자료를 이용하여 통행시간지표를 생성하는 방법을 제시하였다. 통행시간지표를 이용하여 도심 네트워크의 혼잡을 모니터링하는 방법에 대해 고찰하고, 단독 교차로의 운영 방법이 바뀔 경우 이에 대한 사전 사후 분석을 사례로 분석하였다. 동시에 DTG 자료의 온전한 활용이 어려운 현재의 상황을 한계점으로 제시하였다.

핵심어 : 빅데이터, DTG, 링크 평균통행시간, 통행시간지표, 혼잡 모니터링

### ABSTRACT

Together with the Big Data of the 4th Industrial Revolution, the traffic information system has been changed to an section detection system by the point detection system. With DTG(Digital Tachograph) data based on Global Navigation Satellite System, the properties of raw data and data according to processing step were examined. We identified the vehicle trajectory, the link travel time of individual vehicle, and the link average travel time which are generated according to the processing step. In this paper, we proposed a application method for traffic management as characteristics of processing data. We selected the historical data considering the data management status of the center and the availability at the present time. We proposed a method to generate the Travel Time Index with historical link average travel time which can be collected all the time with wide range. We propose a method to monitor the traffic congestion using the Travel Time Index, and analyze the case of intersections when the traffic operation method changed. At the same time, the current situation which makes it difficult to fully utilize DTG data are suggested as limitations.

Key words : Big Data, Digital Tachograph, Link Average Travel Time, Travel Time Index, Traffic Congestion Monitoring

## I. 서 론

4차 산업혁명 시대에 접어들면서 빅데이터, 인공지능, 인터넷 사물화 등 큰 데이터 처리와 빠른 연산 능력이 화두가 되고 있다. 교통 분야에도 빅데이터와 맞물려 다양한 교통수집원에 의해 수집된 교통자료의 활용에 관심이 높다(City of Toronto, 2015). 매설검지기의 지점검지체계를 시작으로 다양한 수집 검지기의 발달이 이루어졌다. 이후 기술의 발달로 도로 링크의 시작지점부터 끝지점까지의 구간 정보를 수집할 수 있는 시스템이 발달했다. 기존 지점검지체계에서 구간검지체계로 전환되면서 교통량 정보 수집 중심에서 통행시간정보 수집으로 환경이 변화했다.

통행시간정보는 도로의 노변검지기(RSE, Roadside Equipment)와 차량의 차내 단말기(OBU, on-board Unit)의 통신으로 주로 수집되었다. 도로 링크의 진출입 시각과 해당 링크의 기하구조 여건을 고려하여 링크의 통행시간과 통행속도를 산출하였다. 이후 기술이 발달하고, 교통분야에 위성측위시스템(GNSS, Global Navigation Satellite System)을 활용한 위치정보 수집이 가능해졌다. 차내 단말기와 위성의 통신으로 짧은 분석시간 단위에 따라 차량의 위치정보 수집이 가능하며, 차량궤적(Trajectory) 정보도 산출이 가능한 환경으로 발전했다. GNSS를 활용한 프로브차량(Probe car)의 위치정보 수집 이외에도, 기존 지점검지기를 이용한 교통량 등의 교통정보 수집, 최근 기술 발달에 따른 블루투스(Bluetooth)와 무선인터넷통신(Wifi) 등을 이용한 교통정보 수집에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

빅데이터 시대의 흐름에 맞춰 교통정보도 다양한 수집원에 의해 많은 양의 데이터가 수집되고 있다. 이러한 여건에도 불구하고, 실제 교통분야에서 활용하고 있는 것은 과거 지점검지체계와 비교하여 많이 달라지지 않았다. 교통관리 분야에는 여전히 교통량 자료가 있어야 효과 평가를 진행할 수 있고, 질이 높아진 통행시간 정보는 주로 통행속도의 교통정보 제공에만 활용되고 있다(Seoul Metropolitan Government, 2016)

본 논문은 다양한 기기를 이용해 수집하고 있는 통행시간정보를 교통관리분야에서 적극적으로 활용할 수 있는 방안을 고찰하고자 한다. 교통량 자료가 있으면 교통관리분야에서 다양한 지표와 효과척도를 분석할 수 있어 신호운영이나 혼잡 모니터링에 활용할 수 있지만, 교통량을 수집하기 위해서는 별도의 시설물에 대한 설치비와 유지관리비용이 많이 발생한다. 이에 광범위하게 수집이 가능하고 상시 수집이 가능한 통행시간정보를 중심으로 교통관리분야에서 활용할 수 있는 방안을 찾고자 한다. 또한, 자료의 질이 높아지는 차량의 위치정보에 대한 데이터의 속성을 검토하여 앞으로 교통관리분야에 더 많이 활용할 수 있는 밑거름이 되고자 한다. 새로 변화한 시대에서는 교통분야에 새로운 기술을 개발하거나 적용하기 위해서는 빅데이터의 특징과 속성을 제대로 이해해야 활용법을 찾을 수 있다.

본 연구는 자료 속성 분석, 혼잡지표 산출, 혼잡지표를 이용한 교통관리 활용방안으로 진행하였다. 자료는 GNSS 시스템 중 글로벌 포지셔닝 시스템(GPS, Global Positioning System)으로 차량의 위치정보를 수집하는 서울시의 자료를 대상으로 분석하였다. 차량의 위치정보를 가공처리하여 도로 링크의 통행시간을 산출하는 과정과 각 단계별 자료 속성을 검토하였다. 가공된 링크 평균통행시간 정보를 이용하여 산출할 수 있는 혼잡지표를 검토하여 통행시간지표를 혼잡 모니터링 지표로 선정하였다. 통행시간지표를 산출하여 교통관리분야에 활용할 수 있는 방법을 제시하고, 교차로의 혼잡 모니터링 사례를 분석하였다. 링크 평균통행시간 기반의 통행시간지표(TTI)를 산출하는 방법과 사례 분석을 통해 교통분야에서 현 환경에서 사용할 수 있는 자료를 알고자 한다. 앞으로 통행시간 정보를 교통관리분야에 적극 활용이 가능하다는 긍정적인 연구결과가 되길 기대하고, 더 나아가 교통관리분야에서 통행시간 정보를 제대로 활용하기 위하여 자료 수집 및 가공처리 단계에서 데이터베이스(DB, Data Base) 설계가 중요함을 알릴 수 있는 계기가 되길 바란다.

## II. 링크 평균통행시간 자료 속성

택시의 운행관리를 위해서 택시에 디지털운행기록계(DTG, Digital Tachograph)의 차내 단말기를 설치한 지자체가 있다. 서울시는 택시 DTG 정보를 가공하여 서울시의 교통정보를 통행속도로 제공하고 있다. 본 연구는 서울시의 교통정보센터(TOPIS)에서 제공 중인 통행속도 정보를 대상으로 링크 평균통행시간의 자료 속성에 대하여 검토하였다.

### 1. 택시 DTG 원시 자료 수집

서울시는 영업용 택시 약 72,000대에 설치된 DTG를 통해 GPS와의 통신으로 택시의 위치정보를 10초 단위로 저장한다(Seoul Metropolitan Government, 2016). DTG 단말기에 저장된 택시의 운행관련 정보는 한국스마트카드(KSCC)에 2분 30초 간격으로 자료를 전송한다. 2분 30초 간격으로 전송되는 이 정보를 보통 택시 DTG의 원시자료(Raw Data)로 정의한다. DTG 원시자료에는 차량의 위치정보에 관련된 속성 이외에 택시의 운행관리를 위한 재차/공차 정보, 운행 거리 등 많은 자료를 포함하고 있다.

서울시 교통정보센터는 위의 원시데이터에서 도로 링크의 통행속도 정보를 제공할 수 있는 일부의 자료를 추출하여 사용한다. 교통정보 제공용 원시자료는 10초 단위의 개별 택시 위치자료로 위도, 경도, 방위각(heading) 정보를 포함한다. 여기에 개별차량의 고유번호(ID, Identity)와 공차/실차 여부의 정보를 포함한다.

〈Table 1〉 Characteristic of DTG Raw Data(Seoul Data)

Taxi ID	Longitude <sup>1)</sup>	Latitude <sup>2)</sup>	Altitude <sup>3)</sup>	Recorded Time <sup>4)</sup>	Heading <sup>5)</sup>	Instantaneous Speed <sup>6)</sup>	Unique Number	Boarding <sup>7)</sup>
180208259	1268721375	375470755	0	20160201175940	108	38	1	0
180208259	1268735635	375468645	0	20160201175950	93	41	1	0
180113572	1269106065	375098135	0	20160201175730	344	0	1	0
180113572	1269105255	375101185	0	20160201175740	327	0	1	0

1) Longitude(경도) : 지구 위치를 나타내는 좌표축 중에서 세로로 된 것.(예:126.8721375°)

2) Latitude(위도) : 지구 위치를 나타내는 좌표축 중에서 가로로 된 것.(예: 37.5470755°)

3) Altitude(고도) : 평균 해수면 따위를 0으로 하여 측정된 대상 물체의 높이이나, 본 자료에는 수집되지 않음.

4) Recorded Time(기록시간) : 년-월-일-시-분-초.(예:20160201175940, 2016-02-01 17:59:40)

5) Heading(방위각) : 진북을 기준으로 시계방향으로 360도로 측정된 각으로 차량의 방향을 나타냄.

6) Instantaneous Speed(순간속도) : 자료 수집시 차량이 주행하고 있던 순간 속도임.(단위 km/h)

7) Boarding(승차유무) : 빈차는 0, 승차는 1.

택시 DTG 자료를 가공하여 생성하는 정보를 사용하기 위하여 택시 프로브의 자료 규모를 살펴보았다. 〈Table 1〉의 서울 통행속도 보고서에 따르면 주중 기준으로 하루 평균 시간당 약 22,000대가 운행하며 이 중 위치정보의 표본수는 실차 기준의 시간당 약 12,105대 수준이다.(Seoul Metropolitan Government, 2016)

〈Table 2〉 Data Size of Taxi Probe Car(Seoul Data)

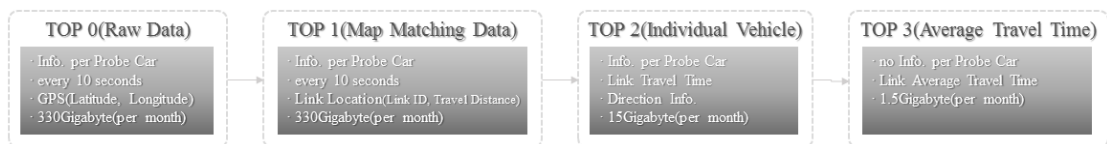
Number of Registered Taxi	Weekday Average			Weekend Average		
	Number of Operations[veh/h]	Number of Probes[veh/h]	Number of Processes[per day]	Number of Operations[veh/h]	Number of Probes[veh/h]	Number of Processes[per day]
72,101	22,116	12,105	3,798,231	19,456	10,548	3,266,950

대략적인 택시 프로브 차량의 샘플수를 살펴보기 위하여 2016년 10월 24일 월요일 오후 6시부터 오후 7시의 오후 첨두 한 시간 기준으로 자료를 분석하였다. 링크 당 가장 많은 차량이 지나가는 건수는 시간당 405대 수준으로 신호주기를 150초로 가정할 경우 주기 당 17대 수준으로 나타났다.

신호주기를 150초로 가정하고 주기 당 샘플수가 10대 이상(시간당 200~400대 수준)인 비율은 1.2%, 5대~9대 수준(시간당 100~200대 수준)인 비율은 11.1%, 1대~4대 수준(시간당 10~100대 수준)인 비율은 71.3%로 나타났다. 서울시 교통정보센터에서 통행속도를 가공할 때, 위의 샘플수와 관련하여 결측 구간 및 결측 시간대가 발생할 경우 이력자료를 활용하여 통행속도를 생성하고 있다.

## 2. 데이터 가공 처리

서울시 교통정보센터는 DTG의 원시자료를 이용하여 도로링크에 맵매칭을 하고, 개별차량의 링크통행시간을 산출하여, 링크당 평균 통행속도를 산출하고 있다. 본 논문에서는 이를 기준으로 가공단계를 상세하게 구분하여 자료의 각 속성을 살펴보았다. 자료의 특징을 고려하여 가공단계에 따라 자료 명칭을 <Fig. 1>의 네가지로 구분하여 지정하였다. 위의 DTG 원시자료는 TOP 0으로, 원시자료를 도로 링크에 맵매칭한 자료는 TOP 1, 개별차량의 링크 통행시간 정보는 TOP 2, 링크 평균통행시간은 TOP 3으로 지정하였다.



<Fig. 1> Kinds of Travel Time Data through Data Process

### 1) 1차 가공(맵매칭 위치 정보)

원시자료 TOP 0은 GPS 위치 정보로 되어있기 때문에 위도, 경도의 좌표값으로 이루어져있다. 이에 1단계 가공처리에서는 좌표값을 도로의 링크에 맵매칭한 작업을 진행한다. 이 때, 택시의 통행특성을 반영하기 위하여 실차(손님이 탑승한 경우) 정보만 사용한다. 손님이 탑승하지 않은 공차 상태의 위치정보는 보통 도로 링크에서 정차하고 있는 경우가 대부분이기 때문에 제외시킨다. 실차 정보 중 GPS 위치 정보가 오류가 있는 경우 또한 제외하여 실차 정보이면서 위치정보의 특이점이 없는 자료만을 추출하여 1단계 가공처리를 진행한다. 위도 좌표, 경도 좌표, 방향각(heading)을 이용하여 도로 링크(상행, 하행)에 매칭하여 10초 간격의 도로 링크에서의 이동좌표를 생성한다.

일반적으로 차량궤적정보(Trajectory)라고 칭하는 것이 이 정보에 해당한다. 10초 간격이 아닌 1초 간격의 도로 링크 내에서의 이동 위치정보라고 한다면 도로 링크내에서 겪는 다양한 교통류의 상태를 반영한 차량 궤적정보가 생성된다. 차량 궤적정보는 교차로의 신호운영에 따라 발생하는 이동, 정지의 영향을 고려할 수 있기 때문에 신호운영의 교통관리분야에 중요한 정보이다. DTG의 설정값을 변경하면 1초 단위의 GPS 위치 정보도 수집이 가능하다.

본 연구에서는 개별차량의 위치정보인 TOP 1을 활용하여 교통관리를 할 수 있는 상세지표를 만들고자 하였으나, 현재 서울시 교통정보센터에서는 이 자료의 필요성이나 저장 용량 등 관리의 여건 상 가공처리는 하지만 저장하지는 않는다. 향후 프로브차량의 GPS 위치 정보 수집이 더 많아지고 이러한 자료의 활용에 관심이 높아지면 개별차량의 위치정보인 TOP 1에 대한 수요도 늘어날 것으로 기대한다.

## 2) 2차 가공(개별차량의 링크 통행시간 정보)

10초 간격으로 도로 링크에서 이동하는 위치 정보를 이용하여 개별차량의 링크 통행시간을 산출한다. 이를 2차 가공이라 정의하고 TOP 2 데이터로 지정하였다. 각 링크내에서 통행하는 개별차량의 통행시간을 알 수 있고 방향정보를 지니고 있어 좌회전, 직진, 우회전 등의 상세 회전 정보도 알 수 있다.

〈Table 3〉 Characteristic of Individual Vehicle Travel Time(Seoul Data)

Recorded Time	Taxi ID	Link ID <sup>1)</sup>	Data Process Server	Travel Distance [m]	Travel Time [sec]	Travel Speed [km/h]	Direction <sup>2)</sup>	Processing Time <sup>3)</sup>
20161017015030	180405516	1220002800	SVR0	512	79	23	0	20161017015124
20161017014958	180710792	1200004000	SVR0	960	113	31	0	20161017015124
20161017015058	180710792	1200005800	SVR0	1035	60	63	0	20161017015124
20161017014839	180712015	1040014100	SVR0	861	83	37	0	20161017015124

- 1) Link ID : 서울시에서 교통정보를 제공하고 있는 도로 링크로 서울시 교통정보센터의 서비스링크를 의미함. 서비스링크는 교통정보제공 목적으로 사용하기 위하여 표준링크의 링크간 결합 또는 단독링크를 기준으로 사용하고 있음. 따라서 상세한 링크별, 이동류별 소통정보를 생성하는데 한계가 있는 실정임.
- 2) Direction : 차량의 회전정보로 0 : 직진, 1 : 좌회전, 2 : 우회전, 3: 유턴을 의미함.
- 3) Processing Time : 가공시간으로 2분 30초 간격으로 자료를 처리하고 있음.

## 3) 3차 가공(링크 평균통행시간 산출)

도로 링크의 고유번호(ID)에 따라 개별차량의 통행시간을 5분 단위로 집계하여 산출하는 3단계 가공처리 과정을 통해 링크 평균통행시간을 산출한다. 각 링크 ID의 링크 길이, 통행시간 정보를 이용하여 통행속도를 산출하여 교통정보를 제공하고 있다. TOP 2의 자료에서 개별차량의 도로 내에서 위치정보를 산출이 가능하기 때문에 각 차량의 회전정보를 포함하고 있다. 정보 자체에서는 좌회전, 직진, 우회전, 유턴 등의 통행시간 정보를 가공할 수 있지만, 정보를 제공하고 있는 서울시 TOPIS의 서비스링크<sup>1)</sup>에는 방향별 링크로 구분되어 있지 않아 방향별 통행속도 정보는 제공하고 있지 않다. 또한 원시자료는 프로브차량의 위치정보로 산출하기 때문에 방향별의 샘플수가 많지 않아 현 단계에서는 이용하기 어려운 실정이다. 향후, 통행시간 정보를 기준으로 교통관리에 활용하는 수요가 많아질 것으로 예상되기 때문에 표준노드링크 체계에 대한 향후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

〈Table 4〉 Characteristic of Link Average Travel Time(Seoul Data)

Year	Month	Day	Hour	Minute	Link ID	Travel Speed[km/h]
2016	12	1	0	0	100000100	42
2016	12	1	0	0	100000200	30
2016	12	1	0	0	100000300	27
2016	12	1	0	0	100000400	29

1) 서울시는 국가 표준노드링크체계를 준수하고 있으나, 교통정보센터에서 통행속도를 제공하는 링크는 표준링크의 여러 구간을 연결하거나, 필요한 링크만 추출한 서울시의 서비스링크를 생성하여 사용하고 있음.

### 3. 링크 평균통행시간

서울시의 교통정보센터(TOPIS)에서 택시 DTG 원시 자료를 이용하여 서비스링크의 통행속도를 제공하는 자료 가공처리를 알아보았다. 프로브차량의 실시간 정보를 수집하여 5분 단위로 통행속도를 제공하고 있지만, 샘플수가 없거나 누락된 구간의 정보는 과거 누적된 이력자료를 활용하여 통행속도를 제공하고 있다. 자료의 단계에 따라 크기가 다르기 때문에 저장용량을 고려하여 누적하는 기간도 다르다. 이러한 데이터베이스(DB)는 자료의 활용목적과 각 센터의 여건에 따라 다르게 설계되어 있다. 누적된 이력자료를 활용하여 모니터링을 할 경우 DB설계부터 관심있게 살펴볼 필요가 있다.

링크 평균통행시간을 이용하여 모니터링 지표를 산출하기 위하여 서울시의 TOP3 단계인 링크 평균통행시간 정보를 추출하였다. 자료의 용량과 처리 용량 등을 고려하여 본 논문에서는 2016년 2분기인 4월, 5월, 6월 자료를 기준으로 분석하였다.

## Ⅲ. 통행시간지표(TTI) 산출

교통관리 분야에서 혼잡 모니터링을 할 수 있는 이동성 지표에 대하여 살펴보았다. 이 중 교통량 정보 없이 링크 평균통행시간 자료만으로 활용할 수 있는 지표를 선정하여 분석하였다.

### 1. 통행시간지표(TTI) 선정

일반적으로 이동성을 평가하는 지표로 통행시간지표(TTI), 도로교통망의 물리적인 운영측면을 분석하는 CI(Circuitry Index), 도로교통망의 교통시스템 운영측면을 비교분석 하는 Two-fluid model 등이 있다(Seoul Development Institute, 2003). 혼잡수준을 측정하기 위해 통행률(Travel Rate), 총 지체(Total Delay) 등 다양한 지표가 있다. 본 논문에서는 교통량 정보가 아닌 링크 평균통행시간 자료만으로 도심부 네트워크의 이동성을 평가하고 혼잡 모니터링을 할 수 있는 지표로 통행시간지표(TTI)를 선정하였다. 통행시간정보는 광범위한 공간을 대상으로 상시 수집이 가능하기 때문에 지속적인 모니터링의 목적으로 통행시간지표(TTI)를 산출하기 적합한 환경이다.

통행시간지표는 국내 연구, 국외 연구에서 이전부터 지금까지 지속적으로 활용되고 있다. 미국은 도시의 이동성을 분석할 때 주로 통행시간지표(TTI)를 적용하여 분석한다(Texas A&M Transportation Institute and INRIX, 2015). 통행시간 정보 수집이 과거보다 용이해졌고 네비게이션과 같은 길안내 시스템 이용빈도가 높아지면서 이에 대한 자료를 활용할 수 있는 여건이 증가하였다. 이에 이동성에 대한 지속적인 모니터링 측면에서 통행시간지표(TTI)가 널리 활용되고 있다(Maricopa Association of Governments, 2008).

과거에는 통행시간지표(TTI)를 주로 고속도로와 같은 연속류에서 주로 활용하였다(Texas Transportation Institute, 2003; Kansas City Scout, 2011). 통행시간지표(TTI)의 개념이 자유교통류 상태일때의 이동시간 대비 관측된 실제 이동시간의 비를 나타내는 지표이기 때문에 도심부의 단속류에서의 활용이 가능하다. 이에 도심부 도로에 통행시간지표(TTI)를 적용하는 분석방법 제시에 대한 사례가 증가하였다(TRB, 2013; INRIX, 2010). 통행시간지표(TTI)를 기준으로 도심부 네트워크의 이동성을 평가하는 분석사례도 증가하였다(Chungwon, 2003).

통행시간지표(TTI)는 자체적으로도 많이 활용되고 있지만 지표를 활용 목적에 맞게 변형시켜서도 널리 활용되고 있다. 이용자가 보다 쉽게 이해하고 기존 지체시간의 개념으로 비교분석이 가능하도록 통행시간지표(TTI)에서 비침두 대비 추가로 늘어난 통행시간의 개념으로 분석하는 사례도 증가하였다(INRIX, 2015). 여기

에 교통량 자료가 추가로 있다면 통행시간지표(TTI) 값을 이용하여 연간 낭비되는 추가 통행시간이나 첨두 시 겪는 차량당 추가 통행시간을 산출하여 분석하기도 한다(INRIX, 2015). TomTom 회사는 자체 네비게이션을 통해 수집되는 통행시간 자료를 이용하여 전 세계의 도시를 대상으로 TomTom Travel Index 라는 통행시간지표(TTI)의 개념을 다양하게 분석하여 도시별 비교 결과를 제시하였다(TomTom, 2017).

## 2. 통행시간지표(TTI) 개념

### 1) 통행시간지표(TTI)의 개념

통행시간지표(TTI)는 자유통행시간 대비 실제 통행시간의 비로 산출한다. 자유통행시간은 자유속도(Free Flow Speed)로 해당 구간을 주행할 때 소요되는 시간이고, 실제 통행시간은 해당 시간대에 실제로 주행한(Actual Speed) 통행시간이다.

$$TTI = \frac{TT_{Actual\ Speed}}{TT_{Free\ Flow\ Speed}} \quad (1)$$

여기서,  $TT_{Actual\ Speed}$  : 실제 운행속도로 주행할 때의 통행시간

$TT_{Free\ Flow\ Speed}$  : 자유속도로 주행할 때의 통행시간

본 논문에서는 비첨두시 대비 관측 시간대의 혼잡정도가 어떠한가를 모니터링 하는 목적으로 비첨두시간대 주행하는 통행시간 대비 관측시간에 주행한 통행시간의 비로 혼잡정도를 분석하였다. 비첨두의 기준속도(Reference Speed)로 주행하는 통행시간 대비 관측 시간대의 수집된 평균통행시간(Observed)의 비로 통행시간지표를 산출하였다.

$$TTI = \frac{TT_{Observed}}{TT_{Reference\ Speed}} \quad (2)$$

여기서,  $TT_{Observed}$  : 관측된 통행시간

$TT_{Reference\ Speed}$  : 기준속도로 주행할 때의 통행시간

### 2) 자유속도(Free Flow Speed) 및 기준속도(Reference Speed)

교통신호의 영향이 없는 연속류에서 사용하는 자유속도는 교통류 상대가 원활할 때 자유롭게 주행할 수 있는 기준으로 보통 시속60마일(약 96.6kph)을 사용한다. 통행시간 자료를 수집하는 환경이 이전에 비하여 좋아졌기 때문에 연속류에도 고정값이 아닌 수집한 자료의 85th percentile 속도를 사용하기도 한다(Andrew, 2011; Kentucky Transportation Center, 2015).

교통신호가 있는 단속류에서는 자유 통행속도를 어떠한 속도를 사용하느냐에 따라 통행시간지표의 값 자체가 달라지기 때문에 중요하다. 이전에는 제한속도, 설계속도를 주로 사용하였으나, 통행시간정보 활용이 가능해지면서 단속류에서도 85th percentile 속도를 사용하는 경우가 증가하였다(Texas Transportation Institute, 2010). 이후 통행시간지표의 활용방안에 대한 지속적인 연구를 통해 간선도로의 통행시간지표를 산출할 때

는 85th percentile 속도의 사용을 제시하는 보고서가 발간되었다(TRB, 2013).

본 논문에서는 자유속도로 수집된 5분 단위의 링크 평균통행시간자료에서 비침두시인 새벽 3시부터 새벽 5시까지의 통행속도 자료 중 85th percentile 속도를 사용하였다. 서울시 도심부 네트워크의 특성을 고려하여 주 간선도로, 보조 간선도로, 기타 도로 기준으로 도로 위계별로 자유속도 값을 산출하여 분석 공간범위에 따라 기준속도를 거리 가중평균으로 산출하여 적용하였다(Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2013).

### 3. 링크 평균통행시간을 이용한 통행시간지표(TTI) 산출 방법

링크 평균통행시간을 이용하여 통행시간지표(TTI)를 산출하는 과정을 5단계로 구성하였다. 자유속도 개념을 반영한 기준속도를 산출하는 1단계, 링크 단위의 통행시간지표(TTI)를 산출하는 2단계, 공간단위의 통행시간지표(TTI) 산출의 3단계, 시간단위의 통행시간지표(TTI) 산출의 4단계, 분석기준에 따른 최종 통행시간지표(TTI) 산출의 5단계 과정으로 분류하였다.

개별 링크의 통행시간지표(TTI)를 산출한 후 공간범위의 집계는 거리가중 평균인 조화평균으로, 시간범위의 집계는 산술평균으로 산출한다.

<Table 5> Process of Travel Time Index Calculation

Process	Purpose	Logic	Variables
Step 1	Reference Speed	$RS = \frac{LD}{\frac{LD_M}{RS_M} + \frac{LD_m}{RS_m} + \frac{LD_c}{RS_c}}$	LD : link distance M : major arterial road m : minor arterial road c : collector road
Step 2	Travel Time Index of Link	$TTI_{link, 5min} = \frac{TT_{link, 5min}}{TT_{RS}}$	$TTI_{link, 5min}$ : TTI on each link for every 5 minute
Step 3	Spatial Aggregation	$TTI_{I, 5min} = \frac{\sum_{i=1}^I (TTI_{link_i} \times LD_{link_i})}{\sum_{i=1}^I LD_{link_i}}$	$TTI_{I, 5min}$ : TTI on space range 'I' for every 5 minute
Step 4	Temporal Aggregation	$TTI_{I, 1h} = \frac{\sum_{n=1}^{12} (TTI_{I, 5min})_n}{60_{min} / 5_{min}}$	$TTI_{link, 5min}$ : TTI on space range 'I' for 1 hour
Step 5	Travel Time Index	$TTI_{I, N} = TTI_{I, AM-peak} = \frac{TTI_{I, 7-8} + TTI_{I, 8-9}}{2}$	I : space unit N : time unit

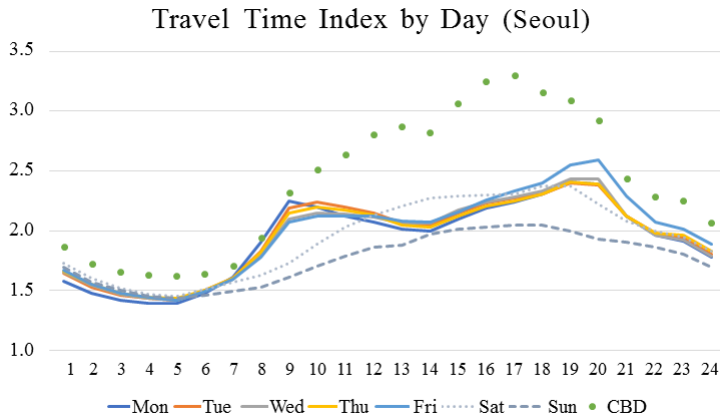
## IV. 통행시간지표(TTI)의 활용 사례 분석

### 1. 혼잡패턴 분석

서울시의 5분 단위의 링크 평균통행시간 자료를 이용하여 서울시 전체의 통행시간지표(TTI)를 산출하였다. 자료는 2016년 2분기 자료에서 명절이나 공휴일 등의 특수일을 제외하고, 각 요일별 한시간 단위의 통행

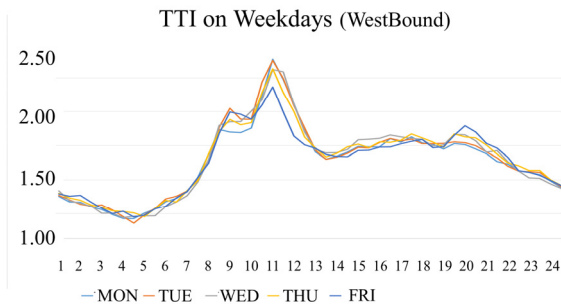


시간지표(TTI)를 산출하였다. 하루 동안의 시간대별 교통량 그래프에서 오전 첨두와 오후 첨두시의 패턴을 볼 수 있듯이, <Fig. 2>의 통행시간지표(TTI)의 그래프를 통해 오전첨두시와 오후첨두시의 혼잡 패턴을 알 수 있다. 오전 첨두시에는 월요일의 혼잡이 상대적으로 높고, 오후 첨두시에는 금요일의 혼잡이 상대적으로 높음을 알 수 있다. 서울시의 도시기본계획에 따른 도심지역의 통행시간지표(TTI)를 서울시 전체 평균과 비교할 경우 도심지의 혼잡이 매우 높음을 확인할 수 있다.

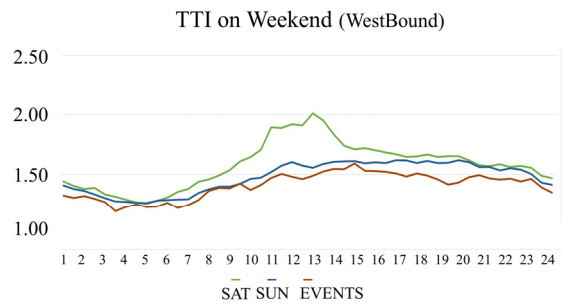


<Fig. 2> Travel Time Index by Day(Seoul)

개별 링크의 통행시간지표(TTI)를 활용하여 교차로의 접근로 단위의 혼잡패턴도 살펴볼 수 있다. <Fig. 3>와 <Fig. 4>는 서울시 전농동사거리의 동측 접근로에 대한 30분 단위의 통행시간지표(TTI)를 시간대별로 나타낸 것으로, 하루 동안의 혼잡패턴의 변화를 상세 분석할 수 있다. <Fig. 3>은 평일 기준의 통행시간지표(TTI)를 나타낸 결과이다. 평일의 통행시간지표를 통해 해당 구간은 오전첨두시의 혼잡이 높음을 알 수 있다. <Fig. 4>는 주말동안의 통행시간지표(TTI)를 나타낸 결과로 토요일의 오전시간대의 혼잡이 상대적으로 높고, 일요일은 변화가 거의 없음을 알 수 있다.



<Fig. 3> Travel Time Index on Weekdays



<Fig. 4> Travel Time Index on Weekend

위의 혼잡 패턴 분석 결과에서 알 수 있듯이, 통행시간지표(TTI)는 분석 시간대와 분석 범위에 따라 다양하게 혼잡패턴을 분석할 수 있는 지표로 모니터링에 활용하기 좋음을 알 수 있다. 해외 대도시의 통행시간지

표(TTI)도 연구보고서나 웹을 통하여 요일별, 월별, 분기별 패턴 결과가 매년 업데이트 된다. 분석하고자 하는 대상지의 혼잡수준과 교통운영상태를 비교하여 평가하기에 활용되기 좋은 지표라고 판단된다.

## 2. 교차로의 교통운영방식 변경에 따른 혼잡 비교 분석

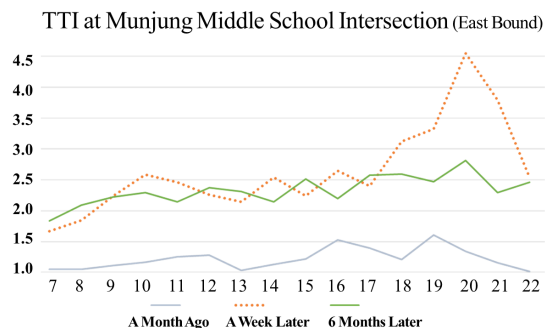
통행시간지표(TTI)를 활용하여 교차로의 운영 방식이 바뀌었을 때 사전/사후 효과분석을 하였다. 신호교차로의 신호 이력이 바뀌었을 때 이전과 이후의 혼잡도의 변화를 분석하고, 미신호 교차로가 회전교차로로 개선되었을 때의 혼잡도의 변화를 모니터링 하고자 한다.

### 1) 대각선 횡단보도 설치 전후 통행시간지표(TTI) 비교 분석

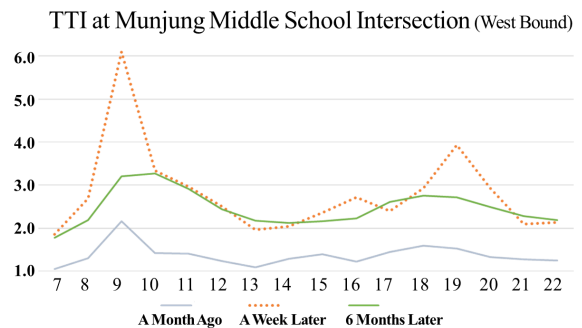
서울시 송파구 문정중교 교차로에 2015년 대각선 횡단보도를 설치하였다. 신호 운영 이력자료를 토대로 2015년 12월 18일에 대각선 횡단보도 설치에 따른 신호 DB를 최종 업데이트 했다. 대각선 횡단보도 설치 전후를 비교하기 위하여 설치 공사 중의 영향을 제외하고 분석하고자, 신호 DB 변경을 기준으로 한달 전, 일주일 후, 6개월 후의 통행시간지표(TTI)를 분석하였다.

<Fig. 5>는 문정중학교 교차로 서측 접근로의 결과, <Fig. 6>은 동측 접근로의 통행시간지표(TTI)를 모니터링 한 결과이다. 대각선 횡단보도 설치에 따라 신호주기는 기존 130초에서 180초로 증가하였고, 보행자 전용 현시가 83초 추가되었다. 기존 4현시에서 5현시로 증가하였고 녹색시간 비율이 감소함에 따라 혼잡은 심해짐을 알 수 있다. 특히 신호 DB가 변경되고 일주일 후에는 변경된 신호 DB에 익숙하지 않아 퇴근시간에 혼잡이 극심해졌다. 6개월 이후에는 교통량 분산의 영향인지 하루 중 혼잡패턴은 대각선 횡단보도 설치 전과 유사하였다. 다만 녹색시간 비율이 적어짐에 따라 혼잡 수준은 두 배 이상 증가함을 알 수 있었다.

이 사례를 통하여 대각선 횡단보도를 설치할 경우 교차로 여건이 비슷한 유형의 경우에는 혼잡수준을 예상할 수 있다. 이러한 분석자료가 누적되면 교통운영방식과 도로 기하구조 여건, 기존 신호 운영 이력 등을 통해 혼잡수준을 예상하여 후속조치를 준비할 수 있는 근거자료로 쓰일 가능성이 높다. 기존에는 실제 활용할 자료가 없어서 개선안을 적용할 경우 교통 시뮬레이션 분석을 통해 결과를 추정했지만, 앞으로는 통행시간지표(TTI)의 모니터링 자료를 유형화 하여 누적시키면 교통관리분야에서 실질적인 도움이 될 가능성이 높음을 알 수 있다.



<Fig. 5> Travel Time Index at Munjung Middle School Intersection(East Bound)



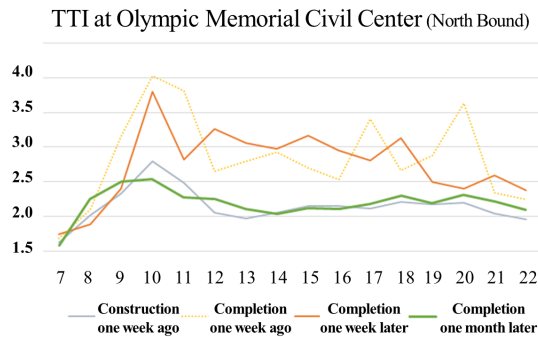
<Fig. 6> Travel Time Index at Munjung Middle School Intersection(West Bound)

## 2) 회전교차로 신규 설치 전후 통행시간지표(TTI) 비교 분석

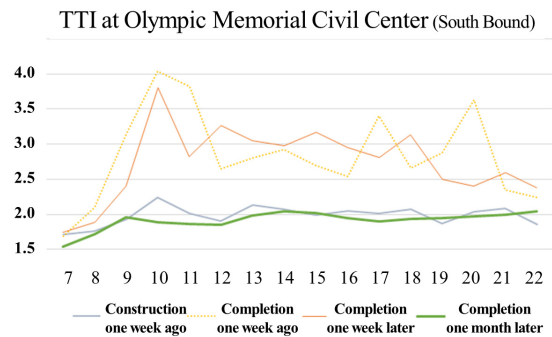
서울시 종로구 종로구민생활관앞은 2016년 4월 30일에 기존 경보 운영에서 회전교차로 설치가 완료되었다. 회전교차로는 도로기하구조 시설물 공사가 필요함에 따라 착공, 공사중, 준공의 시점을 명확하게 한 후 분석할 필요가 있다. 그러나 실제 공사 현황과 문서상의 기록이 완전히 일치하지 않아 보도자료와 웹상의 사진정보 등을 이용하여 기준날짜를 정하였다.

착공 전 일주일(4/4-8), 준공 전 일주일(4/25-29), 준공 후 일주일(5/2-6), 준공 후 한달(6/13-17)을 기준으로 통행시간지표(TTI)의 변화를 분석하였다.

<Fig. 7>은 남측 접근로를 대상으로 한 분석 결과이고, <Fig. 8>은 북측 접근로를 대상으로 한 통행시간지표(TTI)의 분석 결과이다. 공사중인 준공 전 일주일과 준공 후 일주일에는 혼잡수준이 증가하였으나, 준공 후 한달자료를 분석한 결과 회전교차로 설치 전과 크게 달라지지 않았음을 알 수 있었다.



〈Fig. 7〉 Travel Time Index at Olympic Memorial Civil Center(North Bound)



〈Fig. 8〉 Travel Time Index at Olympic Memorial Civil Center(South Bound)

## 3. 소 결

링크 평균통행시간 기반의 통행시간지표(TTI)를 산출하여 혼잡패턴을 분석하고, 교차로의 운영방식의 변경에 따른 사전/사후 모니터링을 분석하였다. 통행시간지표(TTI)의 산출과정은 통행시간 자료만을 이용하여 간단한 로직으로 산출할 수 있다. 모니터링 하고자 하는 분석 목적과 활용 방법에 따라 통행시간지표(TTI)의 분석 단위를 변경하여 교통운영 상태를 상세하게 평가할 수 있음을 알 수 있었다.

교통관리분야에서 어떠한 대안을 현장에 적용할 경우 교통 시뮬레이션 분석 작업이 아닌 실제 통행시간 자료로 모니터링을 하여, 직관적으로 유추할 수 있는 예상 결과에 대한 논리적인 근거를 마련할 수 있으리라 기대한다.

## V. 결 론

개별 차량의 GPS의 위치 정보를 이용하여 산출한 링크 평균통행시간 자료의 실제 현장에서의 활용성을 살펴보았다. 기술의 발달로 이전보다 다양하고 질이 높은 교통정보가 수집되고 있으나, 실제 교통 현장에서 활용하고 있는 분석 방법은 이전 교통량 자료 중심의 방법과 동일하다.

수집하기 어려운 교통량 자료에 기대지 않고, 비용과 노력이 많이 들어가는 교통시뮬레이션 작업을 하지 않고 실제 현장에서의 질 좋은 교통자료를 이용하여 모니터링에 활용할 수 있는 방안을 마련하고자 했다. 프 로브 차량의 GPS 위치정보에서 링크 평균통행시간 산출까지의 가공처리 단계를 고찰하여 자료 속성에 따라 교통관리 분야에 활용 가능한 방향을 제시하였다. 또한, 링크 평균통행시간자료를 이용하여 일반적인 이동성 지표인 통행시간지표(TTI)로 지속적으로 교통관리분야에서 모니터링을 할 수 있는 방안을 제시하였다. 통행 시간지표(TTI)를 이용하여 혼잡패턴 분석, 교통운영방식 변화에 따른 사전/사후 비교 분석으로 실제 교통 현 장에서 활용 가능한 사례를 분석하였다.

연구 결과를 통해 통행시간지표(TTI)으로 도심 네트워크를 거시적으로 모니터링 할 수 있는 가능성을 보 여주고, 이를 활용할 수 있는 방안을 제시하였다. 앞으로는 수집되는 다양한 교통정보를 버리지 않고 실제 현장에서 사용할 수 있길 기대한다. 향후 연구는 통행시간지표(TTI)와 추가 여행시간의 개념을 활용하여 신 호교차로의 서비스수준과 연계한 혼잡 모니터링 지표를 개발하고자 한다.

본 연구의 시작은 DTG 자료 기반의 교통정보 빅데이터의 고품질의 정보를 교통관리분야에 적용하는 방 안을 수립하고자 했다. 연구를 진행하면서 DTG 자료의 온전한 활용이 어려운 한계점을 발견하였다. DTG 자 료의 고품질의 정보를 저장하고 관리하는 DB의 설계 및 관리방안 부재, 교통관리용의 표준노드링크 체계의 한계로 인하여 자료의 활용이 어려웠다. 또한, 본 연구에서는 가공된 링크 기반의 통행시간 정보의 결과 값 만 사용하였기 때문에, 자료를 가공할 때 발생할 수 있는 오류에 대한 검증은 하지 못한 한계를 지니고 있 다. 이에 대한 한계로 인하여 본 논문은 현 실정에서 사용할 수 있는 가공된 교통정보 빅데이터를 활용할 수 있는 방안에 초점을 맞추어 연구를 진행하였다.

향후에는 이러한 한계를 개선하기 위하여 개별차량에서 수집하는 정보를 이용하여 링크 기반의 통행시간 정보를 생성할 때의 과정 및 오류를 검증하는 연구가 필요할 것으로 판단된다. 또한, DB 관리방안과 표준노 드링크체계가 개선된다면 기술의 발달에 따라 얻을 수 있는 교통정보 빅데이터를 다양한 교통분야에서 활용 할 수 있을 것으로 기대한다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 미래창조과학부 재원으로 경찰청과 치안과학기술연구개발사업단의 지원을 받아 수행된 치안과 학기술연구개발사업임(PA-A000001-2015-202).

## REFERENCES

- Andrew J. M. and Wenjing P.(2011), Applying Emerging Private-Sector Probe-Based Speed Data in the National Capital Region's Planning Processes, *TRR*, No. 2243, p.19.
- Chungwon L.(2003), "Mobility Index for Macroscopic Urban Transportation Network Analysis," *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, D 23(6D), p.795.
- City of Toronto(2015), *Congestion Management -PLAN 2016-2020-*, p.19.
- City of Toronto, <http://www1.toronto.ca>, 2017.05.24.
- INRIX(2010), *INRIX National Traffic Scorecard -2010 Annual Report-*, pp.3-14, pp.42-44.

- INRIX(2015), *Traffic Scorecard 2015*, pp.9-16.
- Kansas City Scout(2011), *Congestion Index Report*, p.4.
- Kentucky Transportation Center(2015), *Analysis of Historical Travel Time Data*, pp.10-32.
- Maricopa Association of Governments(2008), *Performance Measurement Framework and Congestion Management Update -Review of Best Practices-*, p.39, p.2.
- McMaster Institute for Transport and Logistics(2015), *City of Toronto -Major Arterials-*, pp.1-75.
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(2013), *Korean Highway Capacity Manual*, pp.210-325, 524-554.
- Seoul Development Institute(2003), *Network Mobility Evaluation Index Development -Centered on Seoul Metropolitan CBD Transportation Network Restructuring-*, pp.59-62, pp.97-101.
- Seoul Metropolitan Government(2016), *Seoul Travel Speed Report in 2015*, pp.674-682.
- Texas A&M Transportation Institute and INRIX(2015), *2015 Urban Mobility Scorecard*, Appendix A, pp.7-19.
- Texas A&M Transportation Institute and INRIX(2015), *2015 Urban Mobility Scorecard*, pp.1-2, p.14.
- Texas Transportation Institute(2003), *Selecting Travel Reliability Measures*, p.32.
- Texas Transportation Institute(2010), *Investigating the Effect of Freeway Congestion Thresholds on Decision-Making Inputs*, pp.18-87.
- TomTom, [https://www.tomtom.com/en\\_gb/trafficindex/](https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/), 2017.01.13.
- TRB(2013), *Analytical Procedures for Determining the Impacts of Reliability Mitigation Strategies*, pp.42-61.