차량 운행기록정보와 통행배정 모형을 이용한 교차로 영향권의 공간적 패턴에 관한 연구

박승준¹ · 홍기만² · 김태균² · 서현³ · 조중래¹ · 홍영석^{4*}

¹명지대학교 교통공학과, ²명지대학교 산학협력단, ³(주)큐빅웨어, ⁴명지대학교 대학부설연구소 산업기술연구소

A Study on Spatial Pattern of Impact Area of Intersection Using Digital Tachograph Data and Traffic Assignment Model

PARK, Seungjun¹ · HONG, Kiman² · KIM, Taegyun² · SEO, Hyeon³ · CHO, Joong Rae¹ · HONG, Young Suk^{4*}

¹Department of Transportation Engineering, Myongji University, Gyeonggi 17058, Korea

²Industry and Academia Cooperation Foundation, Myongji University, Gyeonggi 17058, Korea

³QBicware Corporation, Gyeonggi 14048, Korea

⁴Industrial Technology Research Institute, Research Institutes, Myongji University, Gyeonggi 17058, Korea

*Corresponding author: yshong@mju.ac.kr

Abstract

In this study, we studied the directional pattern of entering the intersection from the intersection upstream link prior to predicting short future (such as 5 or 10 minutes) intersection direction traffic volume on the interrupted flow, and examined the possibility of traffic volume prediction using traffic assignment model. The analysis method of this study is to investigate the similarity of patterns by performing cluster analysis with the ratio of traffic volume by intersection direction divided by 2 hours using taxi DTG (Digital Tachograph) data (1 week). Also, for linking with the result of the traffic assignment model, this study compares the impact area of 5 minutes or 10 minutes from the center of the intersection with the analysis result of taxi DTG data. To do this, we have developed an algorithm to set the impact area of intersection, using the taxi DTG data and traffic assignment model. As a result of the analysis, the intersection entry pattern of the taxi is grouped into 12, and the Cubic Clustering Criterion indicating the confidence level of clustering is 6.92. As a result of correlation analysis with the impact area of the traffic assignment model, the correlation coefficient for the impact area of 5 minutes was analyzed as 0.86, and significant results were obtained. However, it was analyzed that the correlation coefficient is slightly lowered to 0.69 in the impact area of 10 minutes from the center of the intersection, but this was due to insufficient accuracy of O/D (Origin/Destination) travel and network data. In future, if accuracy of traffic network and accuracy of O/D traffic by time are improved, it is expected that it will be able to utilize traffic volume data calculated from traffic assignment model when controlling traffic signals at intersections.

Keywords: digital tachograph, impact area, intersection, intersection traffic volumes, traffic assignment, traffic network, traffic pattern

J. Korean Soc. Transp.
Vol.36, No.2, pp.155-168, April 2018
<https://doi.org/10.7470/jkst.2018.36.2.155>

pISSN: 1229-1366
eISSN: 2234-4217

ARTICLE HISTORY

Received: 7 March 2018

Revised: 27 March 2018

Accepted: 27 March 2018

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

초록

본 연구는 단속류 도로에서 짧은 미래(5분 또는 10분)의 교차로 방향별 진입 교통량을 예측함에 앞서, 교차로 상류부 링크에서 교차로로 진입하는 방향별 패턴에 대한 연구를 수행하였고, 통행배정 모형과의 연계 및 활용을 통한 교통량 예측 가능성을 검토하였다. 분석 방법은 택시 DTG (Digital Tachograph) 자료(1주일)를 이용하여 2시간 단위로 구분된 교차로 방향별 교통량 비율을 변수로 클러스터 분석(Cluster analysis)을 수행하여 패턴의 유사성을 검토하였다. 또한, 통행배정 모형 결과와 연계를 위해 택시 DTG 자료와 교차로 중심의 5분 또는 10분 범위에 포함되는 영향권 비교 분석을 수행하였으며, 이를 위해 택시 DTG 자료와 통행배정 모형의 영향권 설정 알고리즘을 개발하였다. 분석 결과, 택시의 교차로 진입 패턴은 총 12개로 집합화 되었으며, 클러스터링의 신뢰 수준을 나타내는 Cubic Clustering Criterion은 6.92로 나타나 클러스터링 결과에 대한 신뢰성을 확보하였다. 통행배정 모형의 영향권 범위와 상관분석을 수행한 결과, 5분 영향권 범위에 대한 상관계수는 0.86으로 분석되어 유의한 결과를 도출하였다. 다만 10분 영향권 범위에서는 상관계수가 0.69로 다소 낮아지는 것으로 분석되었는데, 이는 통행량 및 네트워크 자료의 정밀성 부족에 따른 것으로 나타났다. 향후, 교통 분석용 네트워크의 정밀성과 시간대별 통행량의 정확성을 향상시켜 분석할 경우, 교차로 신호제어에 있어 통행배정 모형에서 산출된 교통량 자료를 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

주요어: 운행기록계, 영향권, 교차로, 교차로 교통량, 통행배정, 교통 네트워크, 통행패턴

서론

교차로의 진입 교통량은 교통신호 제어에 중요한 요소 중 하나로, 일정 구간마다 도로에 매설되어 있는 루프 검지기 등의 장비를 통해 수집되고 있다. 그러나 이러한 수집 장비는 과적차량 통행 및 기후 변화 등에 따른 잦은 고장으로 정기적인 유지보수 비용을 발생시킨다. 이로 인해 진입 교통량의 원활한 수집이 어려워, 교통신호 제어 방식에 따라 일부 차이는 있으나 감응식 교통신호와 같이 교통량에 민감한 교차로에서는 효율적인 교통신호 제어에 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하고자 국내·외에서는 시계열 분석, 퍼지-신경망 모델 등 다양한 기법을 활용하여 교통량 예측 연구를 수행하고 있다. 그러나 소수(2-3개)의 교차로 구간에 대한 교통량 예측 또는 연속류 도로에서의 교통량 예측에 관한 연구가 대다수로, 분석 대상 교차로의 변경에 따른 교통량 예측 기법의 적용 가능 여부와 공간적인 제약 등의 한계가 있는 것으로 나타났다. 또한, 대규모 도시부에서의 교통량 예측 연구 및 이에 앞서 고려되어야 하는 신호교차로에서의 교통량 진입 패턴과 영향 범위 등에 대한 연구는 미미한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 교차로 진입 교통량 예측에 앞서 출근, 등교, 귀가 통행과 같이 고정적인 통행이 많이 발생하는 도시부에서의 교차로 통행 패턴을 차량 운행기록정보 중 택시 DTG (Digital Tachograph) 자료를 활용하여 분석하고자 하며, 교통량 예측 과정에서 기존 연구들의 한계로 나타난 공간적 제약을 극복하고자 통행배정 모형과의 연계 및 활용 방안을 모색하는데 목적이 있다. 본 연구에서 분석하는 교차로 영향권이란, 교차로 방향별 상류부 링크에서 교차로 중심에 접근하는데 소요되는 5분 또는 10분 시간에 속하는 상류부 링크 거리를 말한다. 본 연구를 통해 단속류 도로망에서 각 교차로로부터 5분 또는 10분 소요구간에 해당하는 상류부 링크의 범위 즉, 교차로 영향권의 패턴이 존재하는 것으로 검증된다면, 교통 소통정보 등의 실측자료를 이용함으로써 현실에서 나타나는 교차로 통행 현황을 파악할 수 있는 기초자료로의 활용은 물론, 통행배정 모형과 연계하여 향후 5분 또는 10분 후와 같은 짧은 미래에 각 교차로의 방향별 진입 교통량 및 비율을 예측할 수 있을 것으로 전망한다.

기존 연구 고찰

Kim(1997)은 교통신호 제어 방법의 하나인 퍼지제어의 규칙이 고정적이라는 한계를 보완하기 위해 신경망의 학

습능력과 퍼지이론의 추론과정을 접목시킨 퍼지-신경망 모델을 제안하였다. 모형은 교통량 예측 방법 중 하나인 교통량 패턴을 입력하여 예측 정도에 따른 퍼지 추론에 적용할 수 있도록 구성하였으며, 신경망을 통해 제어를 위한 규칙을 생성하였다. 이를 독립교차로를 대상으로 다양한 도로 상황에 적용한 결과, 기존의 퍼지 제어보다 성능이 우수한 것으로 나타났다.

Kim(2003)은 구간 통행시간 및 통행속도, 혼잡도, 돌발 및 정체상황 등 교통 정보 수집에 많이 이용되는 프로브 차량의 효과적인 수단을 판단하기 위해 차종별 운행특성을 비교하였다. 운행특성 항목은 차량 운행률, 차종 구성비, 차종별 구간 통행시간, 시·공간적 분포 등을 선정하였으며, 비교 결과 승용차를 제외한 택시 수단이 프로브 차량으로 적합하다는 것을 제시하였다.

Heo et al.(2007)은 조사되지 않는 도로의 연평균일교통량(Annual Average Daily Traffic, AADT)의 예측을 위한 목적으로, 교통량 조사지점들 간의 최단경로를 이용한 공간통계모형의 활용 타당성을 연구하였다. 공간통계분석이란, 공간적으로 변동하는 정보를 이용하여 이들의 분포 특성 및 상관관계를 분석하고 신뢰 가능한 정보를 예측하는 기법을 말한다. 본 연구에서는 공간분석의 응용에서 사용되는 세미베리오그램(Semi-variogram)의 모수 추정 방법론을 제시하고, 교통량 자료를 통해 공간회귀분석을 활용한 교통량 예측 모형을 구축하였다.

Jia et al.(2014)은 루프 검지기의 물리적 손상 등으로 인해 수집이 누락된 교통량을 예측하기 위해 생물학 기반의 RBF (Radial Basis Function) 신경 회로망을 이용하여 인접한 교차로의 실시간 교통량을 예측하는 방법을 연구하였다. 연구 결과, 인접한 교차로에서의 교통 흐름이 서로 유사한 패턴으로 나타나는 특성을 고려하여 생물학의 Flocking theory를 기반으로 한 교통량 예측 연구를 수행하였다.

Choi(2015)는 도심지와 같은 복잡한 환경의 교통망 제어를 위해 다중 교차로를 연계하여 제어 가능한 트래픽 패턴 학습 기반 다중 교차로 교통신호제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 실시간으로 각 교차로의 접근로 교통량 측이 가능하다는 전제하에 강화 학습 이론의 대표적인 Q-learning 알고리즘을 통해 패턴 학습을 수행하였다. 시뮬레이션을 이용하여 고정식 및 감응식 신호제어의 비교 결과, 제안된 알고리즘의 효율성을 확인하였으며, 학습결과 누적횟수가 증가할수록 성능이 향상되는 것으로 분석되었다.

Hong et al.(2017)은 교통량 링크 커버리지가 높은 국외에 비해 상대적으로 낮은 커버리지를 갖는 국내 현황을 개선하기 위한 목적으로, 수집 교통량 및 속도의 링크 커버리지가 가장 낮은 서울특별시를 대상으로, 수집 교통량과 속도를 활용하여 교통량 결측 링크의 교통량을 추정하는 연구를 공간통계기법을 활용하여 수행하였다. 본 연구에서는 공공기관에서 수집한 교통량 및 속도 자료와 민간 내비게이션 DB를 활용하여 교통량 결측 링크의 교통량을 추정하였고, 공간적 변동과 오차를 통계적으로 모델링한 분석방법인 공간통계기법을 활용하여 교통량 결측 링크의 교통량을 추정하는 연구를 수행하였다.

선행 연구 검토 결과, 다양한 기법을 적용하여 교차로 교통량의 예측이 가능한 것으로 제시되었으며, 이를 위해 여러 연구에서 교차로 교통량에 대한 패턴 연구가 수행된 것으로 나타났다. 그러나 분석의 범위가 단일 교차로 또는 인접한 소수의 교차로에 제한되었으며, 교차로에 설치되어 있는 검지기 장비를 이용하여 접근 교통량 자료를 수집함에 따라 수집 장비가 가지고 있는 단점(잦은 유지보수 및 악천후 시 불안정한 교통량 수집 환경 등)을 고려하지 못한다는 한계가 있다. 또한, 방향별 교차로 간 거리 차이에 의한 접근 시간을 고려하지 못하는 것으로 나타났다. 최근 수행된 연구에서는 차량 내비게이션 자료를 이용한 링크의 교통량 추정 연구를 수행하였으나, 분석 영향권이 변경될 경우 연구 방법론의 적용에 대한 범용성을 확보하지 못하였고, 교통량이 매우 적은 지점에 대한 교통량 추정력은 다소 낮은 것으로 나타나 한계가 존재하는 것으로 나타났다.

반면, 본 연구는 도시부를 대상으로 교차로의 방향별 진입 교통량에 대하여 요일별/시간대별 구분에 따른 패턴의 유사성을 분석하고 소통정보의 수집주기를 고려하여 분석 교차로에 영향을 미치는 범위를 파악하는데 목적이 있으며, 교차로 교통량 예측을 위해 통행배정 모형을 활용한다는 점에서 기존 연구와 차이가 있다.

분석 방법 설정 및 자료 구축

1. 분석 방법 설정

본 연구는 교차로 교통량의 진입 방향별 접근 패턴 분석을 위해 다양한 교통정보 자료 중 현실성 및 정확성이 높은 차량 운행기록정보의 택시 DTG (Digital Tachograph) 자료를 활용하였다. 택시 DTG 자료는 기존 연구에서 언급하였듯이 교통정보 수집을 위한 프로브 차량으로 적합한 교통수단으로, 본 연구에서는 24시간 동안 구축된 2분 30초 단위의 1주일 자료(2016년 3월 15일(화)~21일(월))를 이용하였다. 그러나 택시 DTG 자료는 좌표로 구성된 자료로, 해당 좌표의 위치를 파악하기 어려움에 따라 국토교통부에서 제공하는 표준노드링크 자료와 맵핑 작업을 수행하였다. 또한 통행배정 모형에서 적용되는 기초자료는 수도권 자료(2015년 현행화)를 이용하며, 실측 자료와의 시점을 맞추기 위해 분석용 네트워크 및 통행량(O/D) 자료를 수정·보완하였다.

분석 지역은 혼잡지역으로 판단되는 강남권 지역을 선정하였으며, 분석 방법은 수집된 택시 DTG 자료(1주일)의 구조를 파악하고 오류 검토를 수행하여 택시의 주행경로 및 교통정보(통행시간)를 생성하였다. 이후, 표준노드링크와의 맵핑을 위한 영향권 설정 알고리즘을 구축하여 2시간 단위로 구분한 교차로 방향별 교통량을 산출하였다. 이와 같이 산출된 방향별 교통량의 비율을 이용하여 접근 교통량 패턴의 유사성을 분석하였으며, 유사성 분석은 통계 분석기법 중 개별 자료의 특성을 범주화시키는 클러스터 분석(Cluster analysis)을 이용하였다. 클러스터 분석이란, 유사한 특성을 가진 데이터들의 대표점을 찾아 집합화하는 데이터 마이닝 기법 중 하나로, 각 클러스터는 비슷한 특성을 가진 데이터들의 집합체를 의미한다. 본 연구에서는 택시 DTG 자료에서 산출된 2시간 단위의 교차로 방향별 진입 교통량에 대한 클러스터 분석을 수행하여 요일별/시간대별 패턴을 집합화하였다. 또한, 영향권 설정 알고리즘을 구축하여 집합화된 항목에 대한 상호 연관성을 분석하였다.

통행배정 모형 분석에서는 수도권 자료의 특성을 파악한 후, 분석 지역을 대상으로 읍면동 단위의 교통존을 블록 단위의 교통존으로 세분화 하였다. 또한, 세분화 존에 맞춰 네트워크 정밀화와 지점 교통량과 구간 통행시간에 대한 현행화 작업을 수행하였다. 이 후, 통행배정 모형의 결과를 이용한 교차로 영향권 설정 알고리즘을 구축하여 택시 DTG 결과(수요일 오전 첨두(07:00~09:00), 오후 첨두(18:00~20:00), 비첨두(09:00~18:00))와 영향권의 범위를 비교 분석하였다.

Figure 1. The methodology of comparative analysis for impact area at intersections

2. 분석 자료 구축

1) 택시 DTG 자료 구축

택시 DTG 자료는 서울시에 등록된 개인 및 법인 택시 약 6만 대의 차량에 장착된 주행기록장치에서 일정 시간간격마다 통신을 통해 센터에 전송되며, 자료의 구조는 차량 ID, 경·위도 좌표, 고도, 수집시간, 방향각, 운행속도, 승차유무 등으로 구성되어 있다. 그러나 개별 택시에 설치된 주행기록장치의 특성 또는 전송 과정상의 오류, 사용자의 기기 설정 오류 등이 발생함에 따라 수집된 자료에 대하여 검토를 수행하였으며, 총 3개의 형태로 구분된 오류가 발생하였다. 먼저 첫 번째 오류 유형은 개별 택시의 좌표 오류로, 경·위도 좌표가 아닌 임의의 상수 값이 존재하거나 음수를 포함하는 자료가 존재하였다. 두 번째 오류 유형은 실제 운행된 시점과 수집된 시점의 차이가 크게 나타나는 자료로, 예를 들면 특정 운행기록에서 2016년이 아닌 2010년으로 기재된 데이터가 존재하였다. 마지막으로 세 번째 오류 유형은 개별 택시의 방향각에 대한 오류로, 방향각 범위(0-360°)를 벗어난 값이 기재되어 있거나 특정 시간간격마다 방향각이 측정되지 않는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 오류로 판단되는 자료를 제외하였으며, 또한 택시 수단은 승객이 탑승한 경우와 그렇지 않은 경우의 운행 패턴에 차이가 명확하게 나타남에 따라 승객이 탑승 중인 자료만을 활용하여 분석을 수행하였다.

Table 1. The types of error of taxi digital tachograph data

Sequence	Types	Example																																				
1	Coordinate error (1-1)	<table><tr><th>Taxi_ID</th><th>Longitude</th><th>Latitude</th><th>Altitude</th><th>Collected_time</th><th>Head</th><th>Speed</th><th>TCCnt</th><th>Passenger</th></tr><tr><td>180103575</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>20120305235814</td><td>0</td><td>72</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>180103575</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>20120305235824</td><td>0</td><td>78</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>180103575</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>20120305235834</td><td>0</td><td>76</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger	180103575	5	5	0	20120305235814	0	72	1	1	180103575	5	5	0	20120305235824	0	78	1	1	180103575	5	5	0	20120305235834	0	76	1	1
Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger																														
180103575	5	5	0	20120305235814	0	72	1	1																														
180103575	5	5	0	20120305235824	0	78	1	1																														
180103575	5	5	0	20120305235834	0	76	1	1																														
2	Coordinate error (1-2)	<table><tr><th>Taxi_ID</th><th>Longitude</th><th>Latitude</th><th>Altitude</th><th>Collected_time</th><th>Head</th><th>Speed</th><th>TCCnt</th><th>Passenger</th></tr><tr><td>180229166</td><td>-1590354791</td><td>-526369161</td><td>0</td><td>20160315235840</td><td>550</td><td>57</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>180229166</td><td>-1590354791</td><td>-526369161</td><td>0</td><td>20160315235850</td><td>540</td><td>49</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>180229166</td><td>-1590354791</td><td>-526369161</td><td>0</td><td>20160315235900</td><td>540</td><td>44</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger	180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235840	550	57	1	1	180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235850	540	49	1	1	180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235900	540	44	1	0
Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger																														
180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235840	550	57	1	1																														
180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235850	540	49	1	1																														
180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235900	540	44	1	0																														
3	Error of the time at which coordinates were collected (2)	<table><tr><th>Taxi_ID</th><th>Longitude</th><th>Latitude</th><th>Altitude</th><th>Collected_time</th><th>Head</th><th>Speed</th><th>TCCnt</th><th>Passenger</th></tr><tr><td>180410073</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>20100616235720</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>180410073</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>20100616235730</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>180410073</td><td>5</td><td>5</td><td>0</td><td>20100616235740</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger	180410073	5	5	0	20100616235720	0	0	1	0	180410073	5	5	0	20100616235730	0	0	1	0	180410073	5	5	0	20100616235740	0	0	1	0
Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger																														
180410073	5	5	0	20100616235720	0	0	1	0																														
180410073	5	5	0	20100616235730	0	0	1	0																														
180410073	5	5	0	20100616235740	0	0	1	0																														
4	Error of direction angle (3-1)	<table><tr><th>Taxi_ID</th><th>Longitude</th><th>Latitude</th><th>Altitude</th><th>Collected_time</th><th>Head</th><th>Speed</th><th>TCCnt</th><th>Passenger</th></tr><tr><td>180229166</td><td>-1590354791</td><td>-526369161</td><td>0</td><td>20160315235840</td><td>550</td><td>57</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>180229166</td><td>-1590354791</td><td>-526369161</td><td>0</td><td>20160315235850</td><td>540</td><td>49</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>180229166</td><td>-1590354791</td><td>-526369161</td><td>0</td><td>20160315235900</td><td>540</td><td>44</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger	180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235840	550	57	1	1	180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235850	540	49	1	1	180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235900	540	44	1	0
Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger																														
180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235840	550	57	1	1																														
180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235850	540	49	1	1																														
180229166	-1590354791	-526369161	0	20160315235900	540	44	1	0																														
5	Error of direction angle (3-2)	<table><tr><th>Taxi_ID</th><th>Longitude</th><th>Latitude</th><th>Altitude</th><th>Collected_time</th><th>Head</th><th>Speed</th><th>TCCnt</th><th>Passenger</th></tr><tr><td>180413323</td><td>1269114065</td><td>375083365</td><td>0</td><td>20160315235920</td><td>314</td><td>16</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>180413323</td><td>1269112015</td><td>375084555</td><td>0</td><td>20160315235930</td><td>0</td><td>5</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>180413323</td><td>1269110005</td><td>375086885</td><td>0</td><td>20160315235940</td><td>344</td><td>31</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger	180413323	1269114065	375083365	0	20160315235920	314	16	1	0	180413323	1269112015	375084555	0	20160315235930	0	5	1	0	180413323	1269110005	375086885	0	20160315235940	344	31	1	0
Taxi_ID	Longitude	Latitude	Altitude	Collected_time	Head	Speed	TCCnt	Passenger																														
180413323	1269114065	375083365	0	20160315235920	314	16	1	0																														
180413323	1269112015	375084555	0	20160315235930	0	5	1	0																														
180413323	1269110005	375086885	0	20160315235940	344	31	1	0																														

2) 교통 분석용 네트워크 자료 구축

(1) 존 세분화 및 네트워크 상세화

Y. Sheffi(1984)는 특정 지역의 교통흐름을 분석하는 경우, 분석 지역을 세밀하게 구분하고 이에 따라 도로망을 상세하게 구축해야 분석의 정확도가 향상된다고 제시하고 있다. 그러나 도로망을 상세화하는 과정에서 소요되는 직·간접적인 비용은 교통존의 개수 및 네트워크의 규모가 증가함에 따라 커지기 때문에 일반적으로 분석의 정확성과 비용간의 적정 기준을 설정해야한다. 또한, Karsten G. Baass(1981)는 최적의 존 경계 선택 문제에서도 이와 같은 문제를 언급하고 있다(Figure 2 참고).

이에 본 연구에서는 도시부의 연속된 교차로의 영향권 분석을 위해 강남권역(서초구, 강남구, 송파구 일대)을 대상으로 읍면동 단위의 교통존을 블록단위 존으로 세분화하였다. 존 세분화는 통계청의 집계구 단위 인구 및 종사자 수 자료를 이용하였으며, 세분화된 존체계에 적합한 네트워크 상세화 작업을 수행하였다. 네트워크 상세화는 택시 DTG 자료에서 활용되는 표준노드링크의 도로망 및 실제 도로망과의 비교를 통해 미구축된 왕복 1-2차로 도로망을 추가하였다. 또한, 이에 따른 자유속도는 도시부 VDF의 최소값을 적용하였으며, 용량은 왕복1차로의 경우 도시부 VDF 최소값의 1/2를 적용하였다.

Figure 2. Problem of choice of optimum zonal boundaries

Figure 3. Comparison of before and after network detailing

(2) 네트워크 현행화

KTDB에서 제공하는 도시부 다차로도로의 VDF별 자유교통류 속도는 Table 2와 같이 제시되어 있어 해당 도로의 교통량을 고려하더라도 통행속도가 상당히 높은 수준이다. 이는 도시부 다차로도로의 경우, 교차로의 밀도가 높을수록 교통신호기의 녹색시간의 영향 때문에 도로의 설계속도보다 낮은 범위에서 자유교통류 속도를 형성한다.

Table 2. The comparison of link travel speeds by each criterion at Teheran-ro, Gangnam-gu, Seoul, Korea (unit: km/h)

Speed range value of KTDB VDF 27th grades (optimized value)	The result of origin-based traffic assignment in network (applying optimized value of speed in KTDB)	Travel speed (surveyed by TOPIS)	
		Weekdays Am 3:00	Weekdays Am 8:00
55.0-65.0 (62.4)	52.7	30.5	22.0

따라서 제공되는 VDF를 이용하여 분석을 수행할 경우, Figure 5와 같이 현재의 통행패턴을 구현하는데 한계가 발생함에 따라 본 연구에서는 분석 네트워크의 현행화를 수행하였다. 네트워크 현행화는 실제 통행패턴을 모사하기 위한 과정으로 현실 모사 정도를 파악하기 위한 지표로는 일반적으로 교통량 자료를 적용하고 있다. 그러나 본 연구의 경우, 분석 교차로에 영향을 미치는 범위를 분석함에 따라 교통량 지표와 더불어 구간 통행시간에 대한 현행화를 수행하였다. 또한, 현행화를 위한 관측 자료는 ‘2015 서울특별시 교통량 조사자료’(서울특별시, 2015)와 ‘2015 서울특별시 차량통행속도 보고서’(서울특별시, 2015)와 ‘2015년 상시/수시 도로 교통량 통계연보’(한국건설기술연구원, 2015), 그리고 한국교통연구원의 ‘ViewT’ 자료를 이용하여, 총 14개 지점에 대한 교통량과 61개 구간의 방향별 통행시간에 대한 현행화를 수행하였다.

교통량 현행화 결과, R-Squared는 0.913으로 나타났으며, 통행시간 현행화는 R-Squared는 0.954로 나타났다.

Figure 4. Optimized speed values by VDF grades of major streets and surveyed speed values by TOPIS in Gangnam-gu

Figure 5. The point map about network calibration

Table 3. The result of calibration of traffic volumes

Seq.	Types	Name of traffic observation point	Surveyed Vol.(A) (veh/day)	Assigned Vol.(B) (veh/day)	Difference (B-A) (veh/day)	Error rate (%)
1	Bridge	Banpo large bridge	104,234	104,031	-203	-0.19
2		Hannam large bridge	218,206	192,197	-26,009	-11.92
3		Dongho large bridge	82,051	67,737	-14,314	-17.45
4		Yeongdong large bridge	142,765	135,496	-7,269	-5.09
5		Cheongdam large bridge	116,795	128,687	11,892	10.18
6		Jamsil large bridge	75,812	77,579	1,767	2.33
7	Arterial	Maebong tunnel	73,029	52,481	-20,548	-28.14
8	road	Cheongdam bridge	157,877	158,175	298	0.19
9		Suseo I.C	81,624	69,294	-12,330	-15.11
10		Express bus terminal	107,837	86,503	-21,334	-19.78
11		Seoul arts center	106,153	76,324	-29,829	-28.10
12		Segok intersection (Bamgogae-gil)	43,371	48,897	5,526	12.74
13	Express	Yangjae I.C-Pangyo I.C	185,834	145,945	-39,889	-21.46
14	way	Heolleung I.C-Godeung I.C	61,194	52,639	-8,555	-13.98

Table 4. The result of calibration of link travel times

Seq.	Link name	Directions	Link length (km)	Link travel times (min)		Difference (B-A) (min)	Error rate (%)
				Surveyed (A)	Assigned (B)		
1	Gangnam-daero	NB	7.82	24.7	20.9	-3.8	-15.6
		SB		23.1	21.0	-2.2	-9.4
2	Gaepo-ro	EB	4.51	11.4	11.2	-0.2	-1.8
		WB		11.8	11.6	-0.2	-1.5
3	Gwangpyeong-ro	EB	3.45	7.0	7.4	0.4	6.2
		WB		6.6	7.5	0.9	14.1
		...					
59	Jungdae-ro	EB	3.25	7.4	8.0	0.7	9.3
		WB		7.6	8.1	0.5	5.9
60	Tancheondong-ro	EB	7.67	13.4	13.9	0.5	3.7
		WB		13.7	14.7	1.0	7.0
61	Olympic-daero	EB	41.84	46.1	47.3	1.2	2.5
		WB		44.2	46.7	2.5	5.8

3) 교차로 영향권 설정 알고리즘 개발

본 연구의 교차로 영향권 분석을 위해 택시 DTG 자료를 이용하는 방법과 통행배정 모형의 분석 결과를 이용하는 방법에 대한 영향권 설정 알고리즘을 개발하였다. 우선 택시 DTG 자료를 이용한 교차로 영향권 설정 알고리즘은 Figure 6(a)와 같이 택시 DTG 자료에 대한 표준노드링크와의 맵핑을 수행하며, 맵핑은 각 택시 단말기 ID의 첫 번째 수집 자료에 해당하는 경·위도 좌표와 방향각을 이용하였다. 해당 과정을 반복 수행하여 누적된 결과에 대하여 각 택시 단말기 ID별 주행 경로를 생성하고 통행시간을 산출하였으며, 이후 각 교차로 노드를 기준으로 5분 또는 10분 거리의 링크를 표출하도록 알고리즘을 개발하였다.

다음으로, 통행배정 모형의 결과를 이용한 교차로 영향권 설정 알고리즘은 Figure 6(b)와 같이 통행배정 모형 중 하나인 OBA (Origin-Based Assignment)의 Bush 자료를 활용하였다. Bush란, 모든 출발 존에서 모든 도착 존까지 이용된 경로의 정보를 저장하는 자료로, 분석 교차로의 방향별 링크에 진입하는 기·종점을 탐색한 후, 해당 링크의 통행시간을 역으로 산정하여 분석 교차로를 중심으로 5분 또는 10분 거리의 링크를 설정하였다.

Figure 6. The algorithm of setting impact area of intersections

분석 결과

1. 택시 DTG 자료를 이용한 교차로 진입 방향별 패턴 분석

교차로 진입 방향별 패턴의 유사성을 분석하기 위해 적용되는 클러스터 분석은 유사한 특성을 가진 데이터들의 대표점을 찾아 집합화하는 데이터 마이닝 기법 중 하나이다. 본 연구에서는 통계 패키지 'SAS 9.4'를 활용하여 교차로 패턴에 대한 클러스터 분석을 수행하였으며, 분석 대상 지점은 서울시 강남구의 대치우성아파트 교차로를 선정하였다. 해당 교차로의 현황을 살펴보면, 동서방향의 도곡로(편도 3-4차로)와 남북방향의 영동대로(편도 4-5차로)가 교차하는 지점으로 인근의 아파트 단지가 밀집되어 있어 출근, 통학 및 귀가 통행은 물론 강남과 잠실 방면으로의 통과 교통량이 많이 발생됨에 따라 본 연구의 목적에 부합하는 교차로로 선정하였다.

1) 교차로 방향별 교통량 진입 비율 산정

본 연구에서 수집된 택시 DTG 자료는 2016년 3월 15일(화)부터 21일(월)까지 1주일간의 자료로 이를 2시간 단위로 구분하여 총 84개의 시간대 그룹을 생성하였다. 이에 대한 방향별 교통량 진입 비율 산정 결과, 평균적으로 동서방향의 경우, 동방향(EB)의 교차로 진입 비율은 약 22.5%, 서방향(WB)의 교차로 진입 비율은 약 19.2%로 나타났다. 또한, 남북방향에서는 남방향(SB)의 교차로 진입 비율이 40.3%로 네 방향 중 가장 높은 것으로 나타났으며, 북방향(NB)의 교차로 진입 비율이 15.9%로 네 방향 중 가장 낮은 것으로 나타났다. 이는 동부간선도로와 송파구에서 강남구로 진입하는 주요 경로에 위치하는 지리적 특성으로 인한 것으로 판단된다. 시간대별로 살펴볼 경우, 첨두시의 동서방향에서 방향별 특성이 뚜렷하게 나타났다. 오전 첨두에는 동방향(EB) 15.4%, 서방향(WB) 27.6%로 강남구 방향으로 접근하는 비율이 높으나, 오후 첨두에는 동방향(EB) 26.0%, 서방향(WB) 16.2%로 상반된 특성을 나타냈다.

Table 5. The traffic volume rate per directions of Daechi Useong Apartment Intersection (per 2 hours) (volume unit: veh/2hrs)

Seq.	Day_time	EB_vol	WB_vol	SB_vol	NB_vol	Tot_vol	EB_rate	WB_rate	SB_rate	NB_rate
1	15_00-02	152	76	393	75	696	0.2184	0.1092	0.5647	0.1078
2	15_02-04	48	24	127	11	210	0.2286	0.1143	0.6048	0.0524
3	15_04-06	35	31	58	19	143	0.2448	0.2168	0.4056	0.1329
...										
82	21_18-20	200	101	263	100	682	0.2933	0.1481	0.3856	0.1466
83	21_20-22	202	102	265	85	654	0.3089	0.1560	0.4052	0.1300
84	21_22-00	208	121	602	84	1,038	0.2004	0.1166	0.5800	0.0809

2) 클러스터 분석(Cluster analysis)

앞서 산정된 교통량 방향별 비율을 변수로 클러스터 형성을 위한 집합화는 최소 3개에서 최대 20개까지로 설정하였으며, 분석결과 총 12개의 집합이 생성되었다. 클러스터 분석 결과, 클러스터 분석의 신뢰 척도인 R-Squared는 0.80으로 나타나 통계적 유의성을 확보하였다. Cubic clustering criterion은 클러스터 분석을 통한 클러스터링의 신뢰수준을 나타내는 지표로, 일반적으로 2.0 이상일 경우에 다양한 클러스터가 형성될 수 있음을 설명한다. 본 연구에서는 약 6.92로 나타나, 택시 DTG 자료를 통한 본 교차로의 교통량 진입 비율 자료는 신뢰 높은 수준으로 클러스터링된 것으로 분석되었다.

Table 6. The result of statistical test of variable of cluster analysis

Variable	Pseudo F statistic	Approximate expected R-squared	Cubic clustering criterion
OVER-ALL	43.68	0.80	6.92

총 12개의 클러스터 중 Cluster 7과 11을 살펴보면, 단일 유형으로 나타남에 따라 개별 유형으로 판단할 수 있으나, 실제 분석한 결과에서는 Nearest Cluster로 선정된 Cluster 8과 9와 유사한 교차로 영향권 패턴을 나타내는 것으로 분석되었다. 따라서 본 연구에서는 Cluster 7과 11을 각각의 Nearest Cluster에 포함하여 총 10개의 패턴 유형을 형성하였다.

Table 7. The result of clustering analysis

Cluster	Freq.	RMS Std deviation	Maximum distance from seed to observation	Nearest cluster	Distance between cluster centroids	Day	Time
1	10	0.0231	0.0677	10	0.1296	Tue+Wed, Wed+Thu	22-04
2	11	0.0269	0.0759	5	0.1010	All days	08-12
3	12	0.0237	0.0844	9	0.0799	Weekdays	12-16
4	5	0.0224	0.0710	5	0.0972	Weekdays	06-08
5	5	0.0339	0.0952	4	0.0972	Tue, Thu, Sat	06-10
6	3	0.0293	0.0719	3	0.1061	Weekend	00, 06, 16
7	1	.	0.0000	8	0.1537	Thu	12
8	8	0.0280	0.0848	3	0.1027	Tue, Thu, Sat	14-20
9	7	0.0236	0.0738	3	0.0799	Mon-Thu	04-06
10	4	0.0330	0.1049	6	0.1162	Fri, Sun	04-06
11	1	.	0.0000	9	0.1489	Mon	02
12	17	0.0295	0.0994	9	0.0963	Weekdays	20-22

생성된 클러스터 결과를 바탕으로 5분 단위 영향 범위를 표준노드링크에 도식화하면, 클러스터 4의 경우(2016년 3월 15일(화)~18일(금), 21일(월) 평일 오전 6~8시), Figure 7과 같이 나타났다.

Figure 7. The map of cluster 4 per days

클러스터 4의 요일별/방향별 5분 영향권의 유사성을 검토하기 위해 방향별 영향권 거리를 이용한 상관분석(Correlation analysis)을 수행하였다. 상관분석이란, 확률론과 통계학에서 두 변수 간에 어떠한 선형적 관계를 갖는지 분석하는 방법으로, -1.0에서 +1.0까지의 값으로 두 변수 간의 상관관계의 정도를 나타내는 수량적 지수인 상관계수를 척도로 한다. Rea and Parker(2005)는 상관계수의 해석에 대하여 0.6-0.8의 경우에는 강한 양의 상관관계, 0.8-1.0의 경우에는 매우 강한 양의 상관관계로 제시하였다.

분석 결과, 각 요일을 기준으로 타 요일의 방향별 링크거리에 대한 상관계수는 약 0.75-1.00으로 나타났으며, 전반적으로 클러스터 4의 요일별/방향별 5분 영향권의 범위는 서로 강한 양의 상관관계를 갖는 것으로 분석됨에 따라, 해당 클러스터에 포함된 방향별 5분 영향권은 유사한 것으로 나타났다.

Table 8. Pearson correlation coefficient analysis for distance of links forming impact area for 5 minutes at Daechi Useong Apartment Intersection

Date	Taxi DTG data (km)				Pearson correlation coefficient				
	EB	WB	SB	NB	15 (Tue)	16 (Wed)	17 (Thu)	18 (Fri)	21 (Mon)
2016.03.15. (Tue)	1.81	2.06	2.30	1.01	-	0.9470	0.9062	0.9993	0.8786
2016.03.16. (Wed)	1.81	1.74	2.30	1.12	0.9470	-	0.7471	0.9492	0.8425
2016.03.17. (Thu)	1.81	2.06	1.83	1.12	0.9062	0.7471	-	0.8933	0.9010
2016.03.18. (Fri)	1.81	2.06	2.30	1.12	0.9993	0.9492	0.8933	-	0.8604
2016.03.21. (Mon)	1.97	1.74	1.83	0.82	0.8786	0.8425	0.9010	0.8604	-

2. 교차로 영향권 비교 분석

교차로 영향권 비교 분석은 통행배정 모형 결과에서 도출된 분석 교차로 중심의 5분 또는 10분 영향권과 택시 DTG 자료에서 생성된 영향권을 비교한 것으로 통행배정 모형의 통행량 자료는 평일(수요일의 요일별 변동계수: 1.0 적용) 기준으로 구축됨에 따라 앞서 생성된 택시 DTG 자료의 수요일 결과와 비교 분석하였다. 분석은 오전 첨두, 오후 첨두, 비첨두 시간대로 구분하여 분석 교차로를 중심으로 각 방향별 5분 또는 10분 거리에 해당하는 지점까지의 거리를 비교하였다.

대치우성아파트 교차로의 5분 영향권 비교 결과, 각 방향별 교차로 영향권에 속하는 링크 거리의 비교에 대하여 R-squared 0.55-0.99사이로 나타나, 통행배정 모형이 차량 운행기록정보의 영향권과 유사한 결과를 표출하는 것으로 분석되었다. 또한, 10분 영향권의 경우, SB만 R-Squared 0.85로 유의성을 확보하였고 기타 방향은 통계적 유의성을 확보하지 못함에 따라 두 자료 간 교차로 영향권은 유사하지 않는 것으로 분석되었다.

택시 DTG 자료를 이용한 영향권 분석 결과와 통행배정 모형 결과를 이용한 영향권 분석 결과를 Figure 8과 같이 비교해 보면, 교차로 5분 영향권에서는 택시 DTG 자료의 실제 통행패턴과 방향별 영향권을 형성하는 링크의 거리 비교에서는 유사한 영향권을 형성하는 것으로 나타났다. 반면, 교차로 10분 영향권의 경우, 도시부에서는 방향별 영향권의 범위는 유사하나, 외곽부 또는 연속류 도로가 영향권에 포함되는 경우에는 영향권 범위의 유사성이 낮아지는 것으로 나타났다.

Table 9. Pearson correlation coefficient analysis for distance of links forming impact area for 5 or 10 minutes at Daechi Useong Apartment Intersection

Travel time	Time slot	Taxi DTG data (km)				The result of traffic assignment (km)				Pearson correlation coefficient
		EB	WB	SB	NB	EB	WB	SB	NB	
5 mins	AM peak	1.67	2.23	2.71	1.01	2.66	2.68	2.71	1.81	0.8610
	Off-peak	1.96	3.00	2.90	3.04	2.90	3.21	3.21	3.04	
	PM peak	0.62	2.24	2.30	1.81	2.11	2.37	2.71	2.43	
10 mins	AM peak	3.39	3.92	5.42	4.09	4.83	3.48	6.10	4.09	0.6925
	Off-peak	3.97	8.36	6.02	6.88	5.90	8.36	7.41	7.07	
	PM peak	2.11	3.11	2.71	3.83	4.65	7.32	4.99	5.77

Figure 8. The comparative analysis for the impact area for 5 or 10 minutes at Daechi Useong Apartment Intersection in calibrated network (2016.03.16.(Wed) AM, PM peak and off-peak periods)

이러한 오차가 발생하는 원인은 네트워크에 사용된 시간대별 O/D 자료의 존간 통행분포와 택시 DTG 자료의 지역 간 통행분포의 차이가 일부 발생하는 것은 물론, 네트워크 분석 시 적용되는 회전제약 정보의 정확성 문제가 존재하기 때문인 것으로 나타났다. 또한, Figure 9와 같이 교차로 영향권 표출 과정에서 적용된 표준노드링크와 교통 분석용 네트워크간의 링크 표현 방법에 오차가 존재하는 것으로 나타났다. 이는 교통 분석용 네트워크에서 표현된 하나의 링크가 표준노드링크에서는 다수의 링크로 분할됨에 따라 교차로 중심의 5분 또는 10분 영향권을 정확히 표현하는데 한계가 있어 두 자료간의 공간적인 차이가 발생하기 때문이다.

Figure 9. The example of expression of impact area at intersection

교차로의 방향별 진입 교통량 비율에 대한 패턴을 비교한 결과, 택시 DTG 자료와 통행배정 결과의 상관계수가 0.3369로 낮게 분석되었다. 교차로 영향권 형성의 유사성이 존재하는 결과와 달리 동일한 진입 방향에 대한 교통량

진입 비율에 대해서는 오차가 발생하는데, 이 또한 앞서 교차로 영향권 비교 분석에서 나타난 오차의 발생 원인과 같이 네트워크에 사용된 시간대별 O/D 자료의 존간 통행분포와 택시 DTG 자료의 지역 간 통행분포의 차이로 인한 것으로 분석되었다.

Table 10. Pearson correlation coefficient analysis for rate of volumes for direction at Daechi Useong Apartment Intersection

Time slot	Taxi DTG data (%)				The result of traffic assignment (%)				Pearson correlation coefficient
	EB	WB	SB	NB	EB	WB	SB	NB	
AM peak	16.9	33.0	21.8	23.0	9.6	22.8	25.4	42.0	0.3369
Off-peak	21.6	19.2	39.3	18.1	18.5	13.4	32.8	35.3	
PM peak	21.3	15.6	49.1	12.3	20.9	10.5	33.5	35.2	

결론 및 향후 연구

본 연구는 도시부의 교차로 진입 교통량 패턴을 분석하고 이를 통행배정 모형과의 연계 방안을 제시함으로써 향후 교차로의 진입 교통량 예측을 위한 자료로 활용 가능성 여부를 파악하는데 목적이 있다. 분석 방법은 기존 연구 검토 결과를 토대로 교통 정보 수집에 적합한 택시의 DTG 자료(1주일)를 이용하여 도시부 교차로의 요일별/시간대별(2시간 단위) 교차로 방향별 교통량 패턴을 집합화하였다. 분석 대상은 도시부의 혼잡지점으로 판단되는 서울시 강남구의 우성아파트 교차로를 선정하였으며, 교통량 패턴의 유사성 분석을 위하여 클러스터 기법을 적용하였다. 또한, 통행배정 모형과의 연계 방안을 검토하기 위해 KTDB의 수도권 자료를 이용하여 존 세분화와 네트워크 정밀화 및 현행화를 수행하였으며, 분석 교차로의 영향권 분석을 위해 택시 DTG 자료 및 통행배정 모형 분석 결과를 이용한 영향권 분석 알고리즘을 구축하였다.

분석 결과, 교차로 방향별 교통량 패턴 분석에서는 총 12개의 클러스터로 분류되었으며, 클러스터링의 신뢰 수준을 나타내는 Cubic Clustering Criterion은 6.92로 나타나 클러스터 분류의 신뢰성을 확보하였다. 또한, 각 클러스터의 요일별/시간대별 교차로 5분 영향권 범위를 표출한 결과에서도 교차로 영향권 패턴이 유사한 것으로 나타났다.

교차로 영향권 비교 분석에서는 5분 영향권의 경우, 택시 DTG 자료와 통행배정 모형 결과의 방향별 영향권 링크 거리가 유사한 것으로 분석되었으나, 10분 영향권에서는 유사성이 다소 낮은 결과가 도출되었다. 또한, 교차로의 방향별 진입 교통량 비율에 대한 패턴 비교 분석에서도 택시 DTG 자료와 통행배정 모형 결과의 상관계수가 낮게 나타났다. 이는 통행배정 모형에 적용된 시간대별 O/D와 택시 DTG 자료의 지역 간 통행분포의 차이가 발생하며, 네트워크 회전제약 정보의 부정확성 문제가 있는 것으로 분석되었다. 네트워크 구조 측면에서는 5분 및 10분 영향권 링크 구간을 표출하는 과정에서 표준노드링크와 교통 분석용 네트워크의 링크 구조적 차이로 인해 오차가 발생하는 것으로 분석되었다.

따라서 교통 분석용 네트워크 및 시간대별 기·종점 통행량 자료(O/D)의 정밀성이 향상된다면 교차로 상류부에서 교차로로 진입하는 영향권의 오차가 감소할 것으로 판단되며, 교차로 진입 교통량 예측을 위한 차량 운행기록정보와 통행배정 모형의 연계가 가능할 것으로 기대한다.

Funding

This research was supported by Projects for Research and Development of Police science and Technology under Center for Research and Development of Police science and Technology and Korean National Police Agency funded by the Ministry of Science and ICT (PA-A000001).

ORCID

PARK, Seungjun <http://orcid.org/0000-0003-1440-2388>

HONG, Kiman <http://orcid.org/0000-0003-1187-3918>

KIM, Taegyun <http://orcid.org/0000-0002-6755-6340>

SEO, Hyeon <http://orcid.org/0000-0003-3996-3894>

CHO, Joong Rae <http://orcid.org/0000-0002-0314-5606>

HONG, Young Suk <http://orcid.org/0000-0001-6145-0863>

References

- Choi J. S. (2015), Multiple Intersection Traffic Signal Control Based on Traffic Pattern Learning, Graduate School of Kangwon National University, Chuncheon, South Korea.
- Heo T. Y., Park M. S., Eom J. K., Oh J. S. (2007), A Study on the Prediction of Traffic Counts Based on Shortest Travel Path, Korean Journal of Applied Statistics, 20(3), 459-473.
- Hong D. H., Kim J. H., Jang D. I., Lee T. W. (2017), The Study for Estimating Traffic Volumes on Urban Roads Using Spatial Statistic and Navigation Data, J. Korean Soc. Transp., 35(3), Korean Society of Transportation, 220-233.
- Jia Z. Z., Jin X. C., Yuan Z. (2014), Traffic Volume Forecasting Based on Radial Basis Function Neural Network With the Consideration of Traffic Flows at the Adjacent, Transportation Research Part C 47, 139-154.
- Karsten G. B. (1981), Design of Zonal Systems for Aggregate Transportation Planning Models.
- Kim H. J. (1997), Traffic Signal Control Using Fuzzy-Neural Model and Prediction Method, Graduate School of Ewha Womans University, Seoul, South Korea.
- Kim I. H. (2003), A Study on the Classified Character of Probe Cars for Link Travel Time Data Collection, Graduate School of Myongji University, Yong-in, South Korea.
- Rea L. M., Parker R. A. (2005), Designing & Conducting Survey Research A Comprehensive Guide (3rd Edition).
- Sheffi Y. (1985), Urban Transportation Networks.