

경로형 통행데이터 기반 고속도로 우회행태 분석

Detour Behavior on the Expressway using Route Travel Data

이수진* · 손상훈** · 김형주***

* 주저자 : 한국과학기술원 조천식녹색교통대학원 박사과정

** 공저자 : 제주연구원 환경도시연구부 책임연구원

*** 교신저자 : 차세대융합기술연구원 경기도자율주행센터 선임연구원

Sujin Lee* · Sanghoon Son** · Hyungjoo Kim***

* The Cho Chun Shik Graduate School of Green Transportation, KAIST

** Jeju Research Institute

*** Advanced Institutes of Convergence Technology

† Corresponding author : Hyungjoo Kim, hyungjoo@snu.ac.kr

Vol.19 No.1(2020)

February, 2020

pp.58~70

pISSN 1738-0774

eISSN 2384-1729

<https://doi.org/10.12815/kits.2020.19.1.58>

2020.19.1.58

Received 17 May 2019

Revised 22 June 2019

Accepted 19 February 2020

© 2020. The Korea Institute of Intelligent Transport Systems. All rights reserved.

요약

고속도로 우회는 명절이나 연휴 등 교통수요가 집중되는 시점에 운전자들이 정체되는 고속도로 일부구간을 우회하여 국도 및 지방도를 이용하는 것을 의미한다. 기존에는 영업소 출구차량 우회 설문조사를 통해 우회행태를 분석하였으나 적은 설문조사 샘플로 인해 실 우회율 산정에는 어려움이 존재하였다. 이에 본 연구에서는 DSRC 기반 경로형 데이터를 활용해서 실 우회율 산정, 우회 시 통행시간 개선 효과, 그리고 고속도로 본선 소통상황과의 상관관계 등 ‘내-외-내’, ‘내-내’ 우회행태에 대한 실증연구를 수행한다. 추석전날 및 당일 주요 우회도로인 기흥동탄IC→오산IC, 서평택IC→월곶JC에 대해 승용차, 버스 및 화물차를 포함한 3종 차량의 우회행태를 분석한 결과, 본선의 정체시간대에서 우회도로 이용률이 점차 증가하였다. 본선 정체가 극심한 경우에는 우회도로 이용 시 통행시간이 개선되었지만, 본선 정체가 극심하지 않는 시간대는 오히려 우회도로 이용 시 통행시간이 증가하였다. 또한 고속도로 본선 소통상황과 실 우회율의 상관관계는 음의 상관성을 가지며, 이는 본선의 정체 행태와 일치함을 확인할 수 있었다. 본 연구 결과는 기존의 설문조사에 기초했던 우회행태 연구의 한계를 극복할 수 있으며, 교통수요가 집중되는 고속도로 구간의 우회전략 수립 등에 활용되어질 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 : 경로형 통행데이터, 우회행태, 우회율, 통행시간 감소, 교통정체

ABSTRACT

Detour behavior on the expressway means that the driver uses the local road by passing the part of the expressway which is stagnant at the time of the traffic demand such as holidays. Since the detour rate was estimated through the survey at toll gate in the past, there was a difficulty in estimating the actual detour rate due to the small sample of the survey. In this study, we use DSRC-based route travel data to conduct empirical studies on detour patterns such as the estimation of actual detour rate, the improvement of travel time using detour road, and the correlation between traffic conditions on the expressway and detour rate. On the day of Chuseok and the day before Chuseok, the analysis of Giheung-DongtanIC→OsanIC and Seopyeongtaek IC→Walgott JC showed that the use of detour roads increased gradually during the congestion of the main line and travel time reduced when using detour roads. However, when the traffic congestion of the main line is not severe, the travel time increases when using the detour roads. The correlation between the traffic

condition of the expressway and the actual detour rate has a negative correlation, which is consistent with the congestion pattern of the main line. The results of this study can be used to overcome limitations of detour pattern research based on surveys in the past and to establish a detour strategy for expressway sections where traffic demand is concentrated.

Key words : Route Travel Data, Detour Behavior, Detour Rate, Travel Time Reduction, Traffic Congestion

I. 서론

고속도로 우회 교통정보는 도로운영자 및 이용자에게 중요한 요인으로 작용한다. 운영자 관점에서는 우회 도로의 전반적인 교통상태를 확인할 수 있으며, 이용자 관점에서는 통행계획 수립과 통행경로 변경 등 중요한 요인으로 작용한다. 특히 명절이나 연휴 등 교통수요가 집중되는 기간에는 도로 이용자들이 VMS(variable message sign) 등 다양한 매체기반의 우회 교통정보를 통해서 정체되는 고속도로 일부구간을 국도 및 지방도를 이용하는 우회행태를 보이고 있으며, 이는 본선에 집중된 교통수요를 분산시키는 효과를 가진다.

우회 교통정보 및 우회행태 분석의 경우 지점검지(spot measurement) 및 구간검지(section measurement) 기반의 경로형 데이터에 의해서 수집 및 분석이 가능하다. 현행 우회 교통정보의 경우 국도 지점검지에서 수집되는 지점속도에 기반하여 공간의 우회 교통정보를 추정하며, 이를 활용해서 우회 교통정보 서비스 등에 활용되고 있다. 하지만 지점검지 기반의 우회 교통정보는 실제값과 비교할 때 교통류 상태에 따라 부정확한 정보를 생성하는 단점을 보인다(Xiao et al., 2014; Kim et al., 2017). 또한 지점검지 자료를 활용한 우회행태 분석의 경우 집계된 교통자료로 인해서 우회도로를 이용한 실제 차량비율, 우회 시 통행시간 개선 효과 등의 실증 분석에는 한계를 가진다. 과거 실 우회율 추정을 위해서 대부분 영업소 출구차량 우회 설문조사가 실시되었지만, 상대적으로 적은 설문조사 샘플로 인해 통계적 유의성에 한계가 있으며 실 우회율 산정에는 어려움이 존재하였다(Choi et al., 2007; Choi et al., 2010).

최근 교통정보 수집 기술의 발달로 연속된 시공간상 개별차량의 통행정보, 즉 경로형 데이터의 수집이 가능해졌다. 경로형 데이터는 동일 구간을 주행하는 차량들의 통행시간을 기반으로 실제 교통정보를 생성하고, 개별 차량의 통행경로(travel route) 분석에 사용되어 높은 활용도를 가진다(Haseman et al., 2010; Puckett et al., 2010; Haghani et al., 2010; Kim et al., 2013; Lee et al., 2018). 또한 우회행태 분석의 경우에도 경로형 데이터를 활용하면 개별차량의 지점 통과시간, 본선 또는 우회 경로 통행 시 소요 시간 산정 등이 가능하다. 따라서 경로형 데이터 기반의 실 우회율 산정 및 우회 시 통행시간 추정 등 실증 분석으로 과거 설문조사 및 영업소 통행량 비교에 기반한 우회행태 연구 등이 갖는 한계를 극복할 수 있다.

이에 본 연구에서는 우리나라 고속도로에 대해 우회행태를 분류하고, DSRC 기반의 경로형 데이터를 활용하여 실 우회율 및 우회 시 통행시간 개선 분을 산정하였다. 이때 분석 기간이 추석 특송 기간임을 고려하였을 때, 버스 통행 또한 일정 비중을 차지하므로 분석에 있어 차종을 승용차, 버스 및 화물차를 포함한 3종 차량으로 구분하여 분석을 진행하였다. 또한 고속도로 본선의 소통상황을 고려하여 실증연구 결과로서 본선 통행속도와 우회율 간의 상관관계를 분석하였다. 분석 결과를 통해, 본 연구에서는 우회도로 이용 행태에 대한 시사점을 도출하고, 향후 분석 방안에 대해 논의하고자 한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 우회도로와 관련된 문헌연구를 수행한다. DSRC 기반 경로형 데이터를 이용한 우회도로 분석방법은 3장에 서술하였으며, 이를 활용한 주요 우회도로 분석 결과는 4장에서 논의한다. 마지막 5장에서는 주요 우회도로 관리방안 및 향후 연구 과제를 서술하였다.

II. 선행연구 고찰

1. 선행연구 고찰

우회정보 제공을 통한 고속도로 본선 교통정체 완화는 교통관리시스템의 중요한 기능이다. 따라서 우회도로에 대한 정확한 정보 생성 및 제공, 실 우회를 산정, 그리고 우회 시 통행시간 개선 효과 등의 우회도로 서비스를 위한 주요 과제로 제기되고 있다. 국내에서는 우회행태에 영향을 미치는 요인과 우회교통량 산정 등에 대한 연구가 수행되었다.

우회행태에 관한 연구는 주로 조사응답자에게 가상적인 시나리오를 제공하고, 주어진 시나리오를 바탕으로 응답자 개인의 선호를 표시하는 SP(Stated Preference) 방식의 설문 조사를 기반으로 진행되었다. 대부분의 연구에서 해당 기법을 사용하여 교통상황 및 통행자 정보 등 우회행태 요인을 분석하였다.

Choi et al.(2004)는 SP 설문을 통해 운전자 성별, 차종, 통행목적, 우회도로 인지 여부, 교통정보메시지 유형 등을 토대로 우회율에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. Jang et al.(2005)는 운전자들의 인지도 차이, 교통정보 메시지, 시간 관련 통행비용을 교통대안 속성 변수로 적용하여 설문조사를 설계해 우회율을 분석하고 고속도로의 통행시간 가치를 정량화하여 제시하였다. 우회경로 이용에 영향을 미치는 정보제공 방식을 살펴보기 위해 Choi et al.(2007)은 고속도로 영업소 출구 설문조사를 실시하였다. 설문조사를 통해 운전자가 자신의 경험보다 제공된 교통정보에 의존하며, 그 중 도로전광판이 가장 효과적임을 확인하였다. Choi et al.(2010)은 VMS 교통정보가 우회행태에 미치는 영향을 분석하였다. 우회 행태에 영향을 미치는 요인으로는 AADT, 우회도로까지의 거리, 본선 정체로 인한 통행시간 증가량이 있었다. 설문조사를 통해 통행시간 증가량, AADT가 클수록, 우회도로까지의 거리가 짧을수록 우회율이 높게 나타나는 것을 확인하였으며, 이를 바탕으로 이항 로짓모형을 통한 우회율 모형식을 정립하였다.

설문조사 기반의 우회 행태 연구는 우회도로 이용에 대한 경험, 인지도 등 정성적인 지표를 얻을 수 있는 장점이 있지만, 운전자 기억에 의존적이기 때문에 통행시간 개선 정도에 대한 정확한 값을 얻기는 어려웠다. 또한 충분한 표본 자료의 취득이 어려워 시간대별로 변화하는 우회도로 이용 통행량 및 소요 시간 등의 통행정보를 추정하는 실증적인 분석에는 한계가 있었다.

최근 VDS(vehicle detection system), TCS(toll collection system)와 같은 교통정보 수집 방식을 통해 다양한 형태의 교통정보 수집이 가능해졌다. 우회행태 분석에 있어서도 보다 정확하고 높은 표본율의 교통 데이터를 활용하여 우회 통행량을 추정하는 연구가 진행되고 있다. Ko et al.(2012)은 VDS 및 TCS 데이터를 이용하여 우회통행량을 추정하는 방법을 제안하였으며, 시범구간을 대상으로 VMS 정보제공에 따른 우회행태 변화를 분석하였다. 또한 Han and Kim(2016)는 차량의 진입 영업소 및 재진입 영업소에 대한 통행이력자료를 사용하여 개별 통행자의 우회행태를 분석하였으며, 우회 경로 이용 시 통행시간 변화를 비교하였다. 하지만 우회행태 분석에 있어 일 단위 분석으로 시간대별 정체패턴에 따른 실 우회율 분석 등 실증분석에는 한계를 보였다.

2. 선행연구와의 차별성

선행연구검토에서 확인할 수 있듯이 우회행태 분석을 위한 다양한 연구가 진행되었으나 대부분의 연구가 설문조사에 기반하여 수행되었다. 이러한 설문조사 방식은 조사항목에 따른 우회경로의 요인 파악은 가능하지만, 상대적으로 적은 설문조사 샘플로 인해 실 우회를 산정 및 제약적인 우회도로 구간분석 등 한계가 존재한다. 또한 설문조사의 경우 통행자의 기억에 의존하기 때문에 정확한 우회 통행시간 및 우회 시 통행시간

개선 효과 등을 추정하는 것에 한계가 있다. VDS 및 영업소 통행량 데이터를 이용하는 경우 전체 통행량 대비 우회율 추정은 가능하지만 실 우회율 산정, 개별 통행단위의 우회행태 및 우회 시 통행시간 개선 효과 등을 분석하는 데에 어려움이 있다. TCS의 경우, 고속도로 본선 이용에 대해서는 개별 통행에 대해 정보 취득이 용이하나, 국도 및 지방도로 우회 후 고속도로 본선으로 재진입한 경우, 동일 차량 식별에 한계를 갖는다. 이에 본 연구에서는 고속도로에서 수집되는 DSRC 기반 경로형 데이터를 이용하여 실 우회율 산정, 우회 시 통행시간 개선 효과, 그리고 고속도로 본선 소통상황과의 상관관계 등의 실증연구를 수행한다. 또한 우회행태에 영향을 주는 요인을 분석하기 위해 기존 설문조사 방식에서 벗어나 개별 차량의 경로형 데이터를 기반으로 시간대별 우회행태 및 통행특성 분석 등을 실시한다.

Ⅲ. 연구방법론

1. 경로형 데이터 정의 및 가공

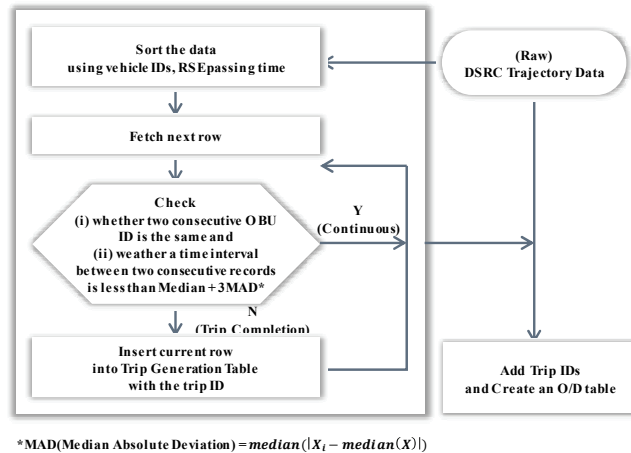
본 연구에서는 근거리전용통신(Dedicated Short-Range Communication; DSRC)을 사용해 수집된 차량의 경로형 데이터를 활용한다. DSRC는 현재 고속도로에서 사용되고 있는 개별 차량의 통행정보 수집 방식으로, 하이패스 단말기(On Board Unit; OBU) 부착차량이 본선 도로에 설치된 노변검지기(Roadside Equipment; RSE)의 인식 반경 내를 통과하면 단말기와 검지기 간 통신에 의해 통행정보가 수집된다. 차량 단말기 정보, 차종, 고속도로 노선 및 이정 등 RSE 정보를 포함한 해당 통행정보는 데이터베이스에 저장되며 데이터 구조는 <Table 1>과 같다. 여러 차량의 통행정보가 함께 저장된 경로형 데이터에서 각 차량의 통행경로를 추정하기 위해 하이패스 단말기 번호를 이용하였다. 이 암호화된 번호를 통해 식별된 각 차량의 통행데이터를 통행 시간 순으로 정렬하면 TG, IC, JC 등 주요 지점 및 노선을 따라 설치된 RSE 위치에 기반하여 기존의 교통자료에서는 분석하기 어려웠던 개별 차량의 통행경로 추정이 가능하다. 이에 본 연구에서는 DSRC 기반 경로형 데이터를 이용하여 통행단위로 가공하는 전처리 과정을 거쳐 고속도로 이용자의 우회행태 분석을 수행한다.

<Table 1> Data scheme for DSRC raw data

Name	Description	Example
Date	Passing date	20171004
Day	Passing day	Wednesday
Time	Passing time	000000
RSE ID	Roadside equipment ID	2100401012804
OBU ID	Encrypted on board unit ID	1470064
Car type (name)	Name of car type	Type 1
Route number	Route number of expressway	0010
Road stop	Cumulative distance from the starting point of each route	280.4
Car type (code)	Code of car type	1

본 경로형 데이터는 한국도로공사 고속도로 공공데이터 포털에서 ‘DSRC 원시자료’로서 제공되며, 우회행태 분석에 앞서 각 차량의 RSE 통과기록을 유효한 통행 단위 정보로 가공하는 과정이 필요하다. 이에 본 연

구에서는 기종점 단위로 통행을 구분하기 위해 <Fig. 1>과 같이 OBU 정보를 이용하여 차량을 식별하고, 각 차량의 통행 정보를 RSE 통과시각으로 정렬하였다. 통행의 시작과 종료를 구분하기 위해 정렬된 데이터의 전후 행의 차량 정보 및 통행시간 간격에 대한 조건문을 사용하여 통행시점(Trip generation) 테이블을 생성하였다. 이때 연속된 통행기록을 판단하기 위해 중앙값 절대 편차(Median absolute deviation, MAD)를 적용하여 ‘중앙값 + 3MAD’ 미만의 통행시간간격에 대해서는 동일한 통행 트랜잭션으로 분류하였다. 통행시점 테이블과의 비교를 통해 원본 데이터에 통행 트랜잭션(Transaction) ID를 부여하여 RSE 통과기록 데이터를 기종점 단위 경로자료로 분류가 가능하도록 가공하였다.



<Fig. 1> Data preprocess for estimating route travel

2. 본 연구 우회행태 정의

본 연구에서는 한국도로공사의 고속도로를 기본 경로 (Main route)로 설정하고, 기본 경로 외의 통행경로를 우회경로로 정의하였다. 우회행태는 우회 시 이용하는 도로 특성에 따라 2가지로 분류하였다. 고속도로 IC 진출 후 국도, 지방도를 이용한 뒤 다시 IC로 재진입할 경우 ‘내-외-내’ 우회, JC에서 다른 고속도로 노선으로 우회 후 다시 JC로 재진입할 경우 ‘내-내’ 우회로 정의하였다. 우회행태별 분석 구간으로는 고속도로 상황 및 IC, JC 등 주요 분기점 위치 등을 고려하여 ‘기흥동탄 IC →오산IC’ 구간과 ‘서평택 IC →월곶IC’ 구간을 선정하였다. 이 밖에 해당 방식에 따라 정의될 수 있는 ‘외-내’, ‘내-외’는 각각 고속도로 진입 및 진출에 해당하므로 우회행태로 고려하지 않았다.

3. 경로형 데이터 기반 우회행태 분석 프로세스

경로형 데이터를 활용한 본 연구에서는 각 차량의 통과 지점을 비교하여 우회 행태를 본선 경로 이용, ‘내-외-내’ 또는 ‘내-내’ 우회 경로 이용, 고속도로 진입 및 진출로 행태를 분류하였다. RSE는 민자노선을 제외한 고속도로 본선을 중심으로 설치되어있기 때문에 우회 경로가 있는 구간에서 해당 통행자가 본선 경로를 이용하는 경우, <Table 2>에서와 같이 ‘A→B→C→D→E’ 순으로 RSE 정보가 기록된다. 이때 DSRC 통신 오류 및 검지기 불능 등의 영향으로 발생하는 이상치를 고려하여, 본선 지점 정보가 2/3 이상 수집될 경우 이를 본선 경로 이용으로 분류하였다. 통행 ‘내-외-내’ 우회의 경우 RSE A와 B 사이 지점에서 본선 구간을 벗

어나 D와 E 사이 지점에서 본선으로 재진입하므로 ‘A→E’의 경로 정보만 기록된다. 통행 ‘내-내’ 우회의 경우 JC에서 다른 고속도로로 노선으로 우회 후 다시 JC로 재진입하는 경우 ‘내-내’ 우회로 정의한다. 이때, 우회한 노선에 RSE (<Table 2>의 RSE F)가 설치되어있을 경우, ‘A→B→F→E’의 경로 정보가 수집된다. 한편 단순히 고속도로를 진출 및 진입하는 경우, 해당 구간에 대하여 A 혹은 E 하나의 RSE 정보가 수집된다. 본 연구에서는 우회 경로가 있는 특정 구간에서의 우회행태를 분석하기 위해, 위에서 설명한 네 가지 행태 중 본선 경로 이용과 우회 경로 이용에 초점을 맞춰 분석을 진행한다.

<Table 2> Framework of detour behavior analysis

Section	Route	Symbol	Trajectory based on DSRC	Study site
<p>● Roadside equipment (RSE) I IC J JC</p> <p>Sub-Origin Detour Type 2 Sub-destination</p> <p>Main Route A I₁ B J₁ C D J₂ I₂ E</p> <p>Detour Type 1</p>				
Sub-origin	Main route		A→B→C→D→E	(Baseline)
(IC)	Detour type(1)		A→E	Giheung-Dongtan IC→Osan IC
	Detour type(2)		A→B→F→E	Seopyungtaek IC→Walgott IC
Sub-Destination	Exit		A	-
	Entrance		E	-

IV. 방법론 적용 및 분석

1. 분석구간 및 자료

본 연구에서는 우회행태를 ‘내-외-내’, ‘내-내’ 방식으로 분류 및 정의하고 우회 방식에 따라 해당 통행행태를 분석하였다. 이를 위해 주요 우회도로 중 기흥동탄IC→오산IC, 서평택IC→월곶JC를 ‘내-외-내’, ‘내-내’ 각각의 분석구간으로 선정하였다. <Fig. 2>에 제시된 해당 분석 구간은 정체가 잦은 고속도로 본선 구간으로 정체 시 제공되는 우회 교통정보를 통해 국도 혹은 민자 고속도로로 우회하는 형태의 노선이다. DSRC 자료에 기록된 RSE를 기반으로 살펴본 결과, 기흥동탄IC→오산IC의 분석 구간 내에는 8개의 RSE, 서평택IC→월곶JC 구간에는 14개의 RSE가 설치되어있다. 분석 기간으로는 교통수요가 집중되는 추석 특송 기간인 2019년 9월 12일 (기흥동탄IC→오산IC), 13일 (서평택IC→월곶JC)을 선정하였다.

우회행태 분석에 앞서 DSRC 기반 경로형 데이터를 통행 트랜잭션 단위로 가공하였으며, 또한 분석 기간이 특송 기간임을 고려하여 승용차, 버스 및 화물차를 포함한 3종 차량으로 구분하여 분석을 진행하였다. 경로형 데이터 기반 우회행태 분석 프로세스를 토대로 우회행태 통행을 구분하여 차종별 시간대별 실 우회율, 우회 시 통행시간 개선 효과, 그리고 고속도로 본선 소통상황과의 상관관계 등에 대해서 분석을 실시하였다. 이때 DSRC 체계로부터 수집된 통행정보의 표본을 검증을 위해서 전수교통량 수집이 가능한 VDS 교통량을 활용하였으며, 본선 속도자료의 경우 우회도로를 포함하는 본선구간의 VDS 속도를 이용하였다.

2. 우회행태 분석결과

본 연구에서는 DSRC 기반 경로형 데이터를 활용하여 시간대별 실 우회율 산정 및 우회 시 통행시간 개선 효과, 그리고 고속도로 본선 소통상황과의 상관관계 등의 우회행태를 분석하였다. 2019년 추석 전날과 추석 당일 분석 구간의 표본율을 VDS로부터 집계된 교통량 대비 DSRC 경로형 교통정보로부터 수집한 통행 차량의 비율로 계산한 결과, <Table 3>과 같은 표본율을 보였다.

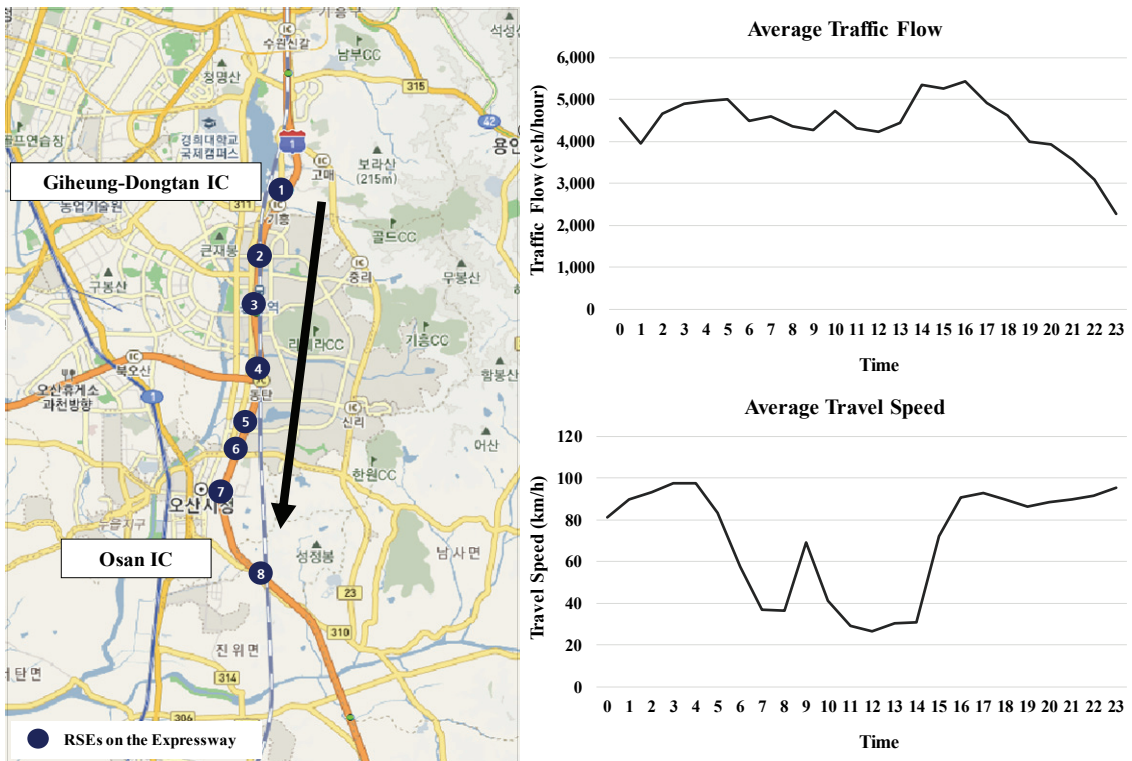
<Table 3> Penetration rate

Region	Date	Number of vehicle passing (a)	Number of vehicles detected by DSRC (b)	Penetration Rate (100 * b / a %)
Giheung-Dongtan IC→Osan IC	2019.09.12.	105,863	26,899	25.4%
Seopyeongtaek IC→Walgott JC	2019.09.13.	56,887	3,978	7.0%

Penetration rate was estimated based on the traffic volume detected by VDS systems

1) 내-외-내 우회행태 분석: 기흥동탄IC→오산IC 구간

분석 구간의 시간대별 본선 및 우회도로 통행 특성과 우회 행태 분석 결과는 <Table 4, Fig. 4(a)>와 같다. 기흥동탄IC→오산IC 구간에서 추석 전날, 승용차의 경우 자정-2시에 우회도로 이용 비율이 큰 폭으로 증가



<Fig. 2> Case study of detour road on Gyeongbu Expressway: Giheung-Dongtan IC→Osan IC

후 감소하였다가, 오전 6시부터 13시 이전까지 다시 서서히 증가하는 형태를 보였다. 또한 3종 차량의 경우, 심야 시간 이후 운행을 시작하여 오전 6시부터 10시, 15시 및 18시에는 다른 시간대에 비해 높은 우회율을 보였다. 이는 시공도(time-space diagram)상의 본선 정체가 시작되고 종료되는 시점과 일치하는 것으로 추측 전날 자정부터 정체가 시작되어 15시까지 본선의 정체가 높으며, 해당 시간대에 우회율이 증가하는 것으로 분석되었다.

그리고 우회도로 이용 시 통행시간 개선 효과의 경우 극단값에 영향을 최소화하기 위해서 중위 통행시간 (median travel time)을 활용해서 분석을 실시하였다. 일반적으로 동일한 출발/도착지 기준으로 고속도로 본선 구간 길이가 우회도로 구간 길이보다 짧지만, 분석결과 본선 정체가 극심한 경우에는 우회도로 이용 시 통

<Table 4> Detour pattern: Giheung-Dongtan IC→Osan IC, September 12, 2019

Hour	Number of vehicles				Average Travel Time (min)				Detour Rate(%) ¹⁾		Reduction in Travel Time using Detour Road(min) ²⁾	
	Passenger vehicle (PV)		Bus & Truck		Passenger vehicle (PV)		Bus & Truck					
	Main	Detour	Main	Detour	Main	Detour	Main	Detour	PV	Bus & Truck	PV	Bus & Truck
0	1833	39	106	1	32.0	41.2	13.7	10.3	2.1	0.9	-9.2	3.4
1	1530	234	37	1	38.5	36.5	35.8	29.1	13.3	2.6	2.0	6.7
2	1781	24	8	-	24.1	58.9	31.2	-	1.3	0.0	-34.8	-
3	1605	10	13	-	21.7	26.7	25.3	-	0.6	0.0	-5.0	-
4	1899	19	7	-	19.0	28.2	26.6	-	1.0	0.0	-9.2	-
5	2460	20	4	-	34.4	44.8	28.0	-	0.8	0.0	-10.4	-
6	1806	35	26	-	45.3	64.4	36.2	-	1.9	0.0	-19.1	-
7	1237	29	81	2	45.8	54.5	35.0	36.4	2.3	2.4	-8.7	-1.4
8	1070	28	223	3	48.4	64.2	44.9	54.6	2.6	1.3	-15.8	-9.7
9	980	24	216	3	45.6	52.8	44.6	39.7	2.4	1.4	-7.2	4.8
10	1212	26	144	-	45.1	55.4	45.1	-	2.1	0.0	-10.3	-
11	1067	40	83	-	47.4	46.2	47.1	-	3.6	0.0	1.2	-
12	1123	46	71	-	37.6	42.2	38.7	-	3.9	0.0	-4.6	-
13	1171	12	55	-	24.8	32.7	22.2	-	1.0	0.0	-7.9	-
14	1557	12	39	-	14.4	33.6	8.0	-	0.8	0.0	-19.2	-
15	1421	30	22	1	10.0	12.5	6.9	7.0	2.1	4.3	-2.5	0.0
16	1558	21	29	-	7.7	16.7	6.9	-	1.3	0.0	-9.1	-
17	1267	15	19	-	7.5	13.0	6.8	-	1.2	0.0	-5.4	-
18	1077	24	14	1	8.0	10.8	12.6	6.9	2.2	6.7	-2.8	5.7
19	1266	19	8	-	9.0	12.5	17.5	-	1.5	0.0	-3.5	-
20	1223	11	7	-	8.6	13.0	7.4	-	0.9	0.0	-4.4	-
21	1056	18	6	-	8.9	12.6	7.5	-	1.7	0.0	-3.8	-
22	765	31	4	-	8.4	12.2	6.9	-	3.9	0.0	-3.8	-
23	632	3	2	-	7.7	7.4	6.7	-	0.5	0.0	0.3	-

1) Detour Rate(%)=(Number of vehicle using detour road / Total number of vehicle)×100

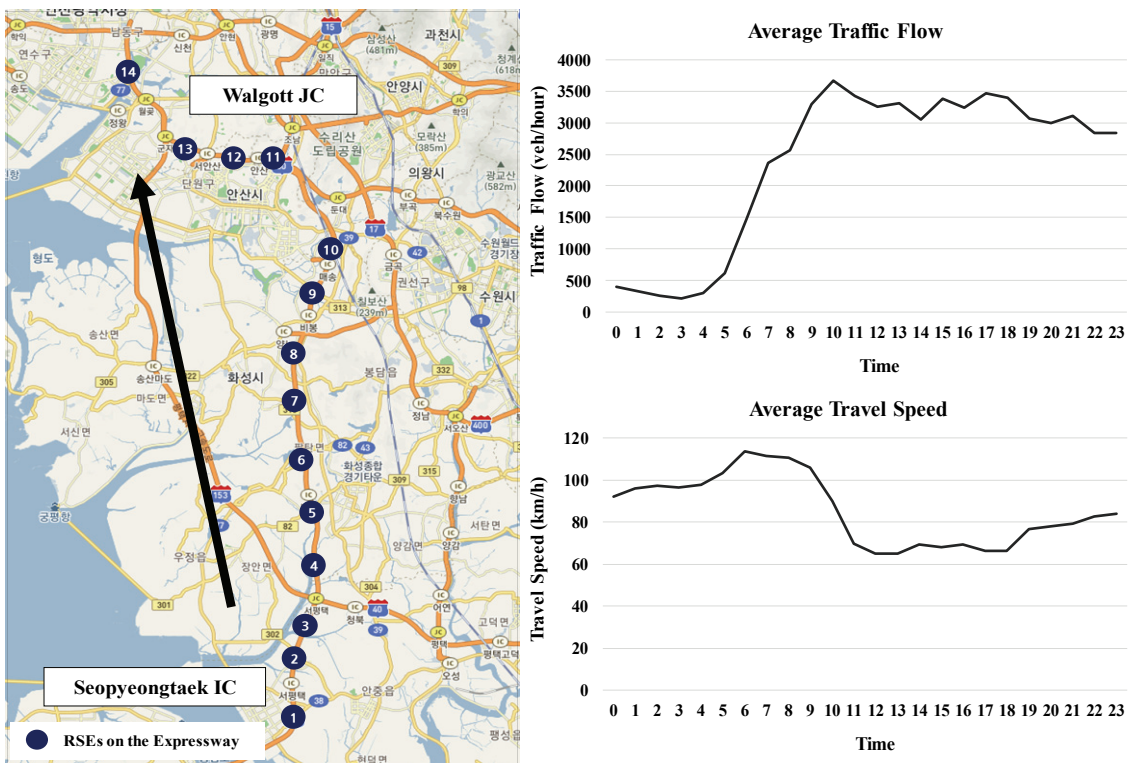
2) Reduction in Travel Time using Detour Road(min)=Median travel time on the Expressway-Median travel time on the detour road

행시간이 더 적게 소요되는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 본선 정체가 극심하지 않는 시간대는 오히려 우회도로 이용 시 통행시간이 증가하였다. 우회를 통한 통행시간 개선은 3종 차량의 통행에서 효과적으로 확인할 수 있었는데, 이는 특송기간 높은 비율의 버스전용차로로 인한 효과로도 추측할 수 있다. 결과적으로 우회도로를 포함하는 본선 구간의 정체 정도에 따라 우회도로 이용 시 통행시간 개선 여부가 결정됨을 확인할 수 있었다.

마지막으로 고속도로 본선 소통상황과 실 우회율의 상관관계 분석을 위해서 본선 소통상황은 해당 구간 내 지점 속도자료를 활용하였다. 분석결과 고속도로 본선 소통상황과 실 우회율은 음의 상관성을 가짐을 확인할 수 있었다. 이는 본선의 정체패턴과 일치하는 것으로 본선 정체시점에서 우회도로 이용률이 점차 증가하고, 반대로 본선 정체가 감소하는 시점에서 우회율이 감소하는 것을 의미한다. 이는 본선의 시공간 속도 맵을 통해서 시각적으로 본선 정체패턴과 우회율의 상관관계를 확인할 수 있다(Fig. 4(a) 참조).

2) 내-내 우회행태 분석: 서평택IC→월곶JC 구간

서평택IC→월곶JC 구간은 대표적 우회도로로 평택시흥 민자 고속도로가 있는 구간으로 추석 당일, 서울방향 우회행태 분석 결과는 <Table 5, Fig. 4(b)>와 같다. 본 구간은 일반적으로도 본선 이용에 비해 우회도로의 이용이 압도적으로 높은 구간으로 분석 기간 동안 승용차, 3종 차량이 각각 평균 78.9%, 91.1%의 우회율을 보였다. 우회율 자체는 본선 속도와의 음의 상관관계를 보이고 있으나, 우회도로 이용시 통행시간 감소분 등을 함께 고려했을 때 본선 속도가 우회율에 끼치는 영향은 미미한 것으로 판단하였다. 이는 우회도로 의존율



<Fig. 3> Case study of detour road on Seohaean Expressway: Seopyeongtaek IC→Walgott JC

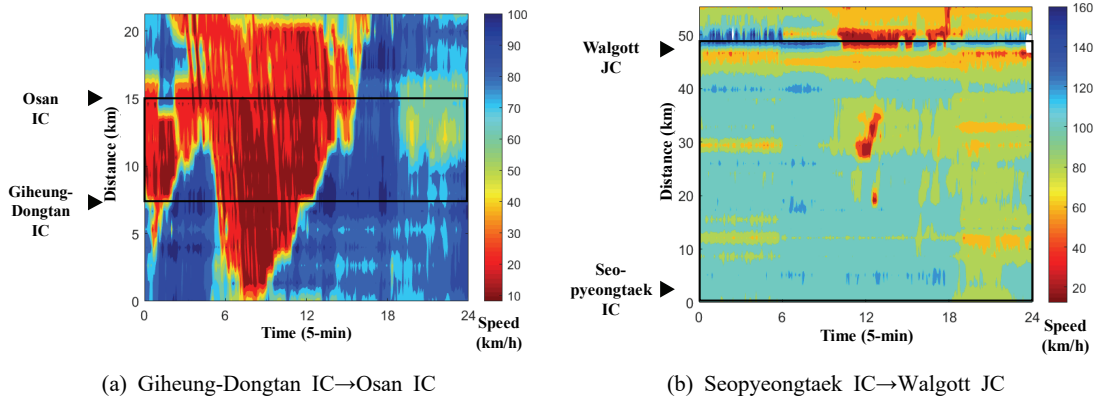
이 높은 구간 특성으로 설명할 수 있다. 승용차 기준으로 11시~14시 사이에 통행시간 개선 정도가 줄어들었고, 12시~14시 사이 우회율이 감소하는 것을 확인하였다. 정보 수집 및 전달 상황 등을 고려하였을 때, 이와 같은 결과는 기흥동탄IC→오산IC 구간 분석과는 반대로 우회도로의 소통상태가 본선도로 이용에 영향을 끼치는 것으로 해석할 수 있다.

<Table 5> Detour pattern: Seopyeongtaek IC→Walgott JC, September 13, 2019

Hour	Number of vehicles				Average Travel Time (min)				Detour Rate(%) ¹⁾		Reduction in Travel Time using Detour Road(min) ²⁾	
	Passenger vehicle (PV)		Bus & Truck		Passenger vehicle (PV)		Bus & Truck					
	Main	Detour	Main	Detour	Main	Detour	Main	Detour	PV	Bus & Truck	PV	Bus & Truck
0	4	22	1	2	31.0	34.1	41.7	50.4	84.6	66.7	-3.1	-8.7
1	3	15	-	2	32.2	35.3		35.4	83.3	100.0	-3.1	-35.4
2	1	11	1	2	27.9	33.9	37.1	40.7	91.7	66.7	-6.0	-3.6
3	3	8	-	-	31.9	34.8	-	-	72.7	-	-2.9	-
4	5	7	-	-	39.4	44.0	-	-	58.3	-	-4.6	-
5	13	27	-	-	39.6	32.2	-	-	67.5	-	7.4	-
6	16	87	-	-	32.6	34.7	-	-	84.5	-	-2.1	-
7	44	123	-	1	39.3	36.6	-	65.0	73.7	100.0	2.7	-65.0
8	40	226	-	3	37.8	37.7	-	37.2	85.0	100.0	0.1	-37.2
9	61	268	-	3	43.1	42.0	-	36.7	81.5	100.0	1.1	-36.7
10	53	175	-	-	74.5	65.1	-	-	76.8	-	9.4	-
11	32	206	-	1	112.0	93.0	-	93.8	86.6	100.0	19.0	-93.8
12	56	172	-	1	102.6	112.7	-	94.2	75.4	100.0	-10.1	-94.2
13	39	127	-	2	114.4	118.6	-	111.6	76.5	100.0	-4.1	-111.6
14	72	65	-	-	98.4	102.9	-	-	47.4	-	-4.5	-
15	55	175	-	1	98.4	96.3	-	81.2	76.1	100.0	2.1	-81.2
16	47	142	-	-	106.5	87.7	-	-	75.1	-	18.9	-
17	86	155	-	1	85.3	84.9	-	89.6	64.3	100.0	0.5	-89.6
18	30	183	-	-	65.4	74.2	-	-	85.9	-	-8.8	-
19	27	258	-	1	74.6	66.8	-	60.8	90.5	100.0	7.7	-60.8
20	46	224	1	2	71.9	73.9	56.3	63.5	83.0	66.7	-2.0	-7.1
21	25	268	1	2	75.6	74.1	89.7	93.5	91.5	66.7	1.6	-3.9
22	17	178	-	3	59.9	58.3	-	53.4	91.3	100.0	1.6	-53.4
23	5	45	-	-	51.1	45.5	-	-	90.0	-	5.6	-

1) Detour Rate(%)=(Number of vehicle using detour road / Total number of vehicle)×100

2) Reduction in Travel Time using Detour Road(min)=Median travel time on the Expressway-Median travel time on the detour road



<Fig. 4> Spatio-temporal speed contours

V. 결론

본 연구는 DSRC 기반 경로형 데이터를 활용하여 고속도로 주요 구간에 대한 우회행태를 분석하였다. 기존 영업소 출구차량 설문조사 기반의 우회행태 연구는 상대적으로 적은 설문조사 표본 수, 응답자의 기억에 의존하는 설문 결과로 인한 정확도 등의 문제로 실증분석에는 적용하기 어려웠다. 한편 영업소 통행량 데이터(TCS)를 통한 우회행태 연구는 집계단위의 우회통행량 추정으로 실 우회율 분석은 가능했지만 우회 시 통행시간 개선 효과 산정에는 한계가 존재했다. 이에 본 연구에서는 ‘내-외-내’, ‘내-내’의 우회행태를 정의 및 분류하고, 경로형 데이터 기반의 우회행태 분류 방법론을 제시하였다. 해당 방법론을 토대로 개별 차량의 우회도로 이용특성을 분석하여 차종별 시간대별 실 우회율 및 우회 시 통행시간 개선 효과 산정, 그리고 고속도로 본선 소통상황과의 상관관계 등 실증분석을 진행하였다.

우회행태 분석은 고속도로 본선 교통 정체 시 국도로의 우회가 가능한 구간 중 정체가 잦은 대표 노선인 기흥동탄IC→오산IC 부산방향, 서평택IC→월곶JC 서울방향을 대상으로 교통수요가 집중되는 2019년 추석전날 및 당일 통행을 분석하였다. 평균 25.4%, 7.0%의 표본율을 갖는 본 범위에 대해 시간대별 우회율을 분석한 결과, 본선의 정체 시간대에서 우회도로 이용률이 점차 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 본선 교통량 대비 우회도로를 이용한 실 우회율은 승용차를 기준으로 기흥동탄IC→오산IC 구간에서 추석 전날의 경우, 1시에 13.3%/1시간, 서평택IC→월곶JC 구간에서 추석 당일 2시 91.7%/1시간으로 최대치를 보였다. 본선 구간 대비 우회도로의 길이를 함께 고려하였을 때, 속도 부분에서는 개선 분이 발생할 수 있으나 단편적으로 통행시간만을 고려했을 때에는 우회도로 이용 시 큰 개선을 확인하기는 어려웠다. 고속도로 본선 정체와 우회율의 관계를 살펴보기 위해 본선 통행속도와 우회율의 상관관계를 분석한 결과, 두 변수 사이에 음의 상관성이 존재하였고 이는 본선의 정체패턴과 일치함을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 사용한 경로형 통행 데이터는 고속도로 본선 통행에 대해서는 정보 수집이 가능하지만, 민자 고속도로, 지방도, 국도 등의 도로는 RSE 미설치로 통행 데이터 취득이 어려워 이는 데이터가 가진 한계로 판단된다. 또한 본 연구에서는 우회행태를 파악을 위해 분석 구간 직전 및 직후의 통행기록으로 우회를 판단하였지만 우회는 해당 구간만 빗겨가는 것보다 넓은 범위에서부터 일어날 수 있다. 이러한 경우 내-외-내, ‘내-내’ 우회로 우회행태를 분류하기 어려울 뿐 만 아니라, 넓은 우회 범위로 인해 운전자가 어떠한 구간을

우회하고자 하였는지 의도를 추정하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 고속도로 주요 구간 중 상대적으로 짧은 구간을 대상으로 직관적인 우회분석을 수행하고자 하였으며, 이러한 한계점은 경로형 통행데이터를 이용한 우회행태 실증분석이 나아가야 할 방향을 보여준다.

향후 연구에서는 공사 및 사고 등의 이벤트, 날씨와 같은 외부변수를 추가하여 우회행태 모델을 수립하는 연구를 진행할 것이다. 또한 단순 우회행태 분류에서 더 나아가 다중 데이터를 활용하여 상세 우회경로 분류를 연구할 계획이다. 여러 기간에 걸쳐 축적된 각 통행 경로 자료를 이용하여 경로별 우회행태 모델 학습을 통한 우회구간의 장래 통행특성 예측 방안을 제시할 것이다. 이러한 향후 연구를 바탕으로 교통수요가 집중되는 고속도로 구간에서 교통상황별 우회정보 제공전략, 정확한 우회경로 제공 등 다양한 우회전략 수립에 활용되어질 수 있을 것이라 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 국토교통기술지역특성화사업(19RDRP-B076268-06)의 지원으로 수행하였으며, 2019년 한국ITS학회 춘계학술대회에 게재되었던 논문을 수정·보완하여 작성하였습니다.

REFERENCES

- Choi J. S., Sung H. J., Kim S. H., Park J. and Kang W. E.(2010), “Analysis of Influencing Factors of Traveler Detour Making Behavior for Providing Freeway VMS Information,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, vol. 9, no. 3, pp.41-50.
- Choi K. C., Jang J. A., Kim S. H. and Kim J. S.(2004), “Diversion Rate Analysis for Various Detour Information on VMS-Focusing on National Road Number 3,” *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, vol. 24, no. 6D, pp.873-880.
- Choi Y. H., Choi K. C. and Oh S. H.(2007), “A Study on Information Media Affecting En-route Diversion Behavior on Driver’s Decision Making,” *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, vol. 27, no. 6D, pp.705-712.
- Expressway Public Data Portal, Korea Expressway Corporation, <http://data.ex.co.kr>.
- Haghani A., Hamed M., Sadabadi K. F., Young S. and Tarnoff P.(2010), “Data Collection of Freeway Travel Time Ground Truth with Bluetooth Sensors,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 2160, pp.60-68.
- Han D. H. and Kim S. H.(2016), “An Analysis of Highway Detour Route Using Vehicle Trajectory Data,” *KSCE 2016 Convention*, pp.29-30.
- Haseman R. J., Wasson J. S. and Bullock D. M.(2010), “Real-Time Measurement of Travel Time Delay in Work Zones and Evaluation Metrics Using Bluetooth Probe Tracking,” *Transp. Res. Rec.*, vol. 2169, pp.40-53.
- Jang J. A., Moon B. S. and Choi K. C.(2005), “Assessment of Diversion Rate by Detour Traffic Information Provision Freeway,” *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, vol. 25, no. 2D, pp.221-226.
- Kang M. W., Kim S. J. and Shin Y. E.(2017), “Simulation Effects of Divert Route on National

- Highway Section,” *KSCE 2017 Convention*, pp.1513-1514.
- Kim H. J. and Jang K. T.(2013), “Short-Term Prediction of Travel Time Using DSRC on Highway,” *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, vol. 33, no. 6, pp.2465-2471.
- Kim H. J., Kim Y. H. and Jang K. T.(2017), “Systematic relation of estimated travel speed and actual travel speed,” *IEEE Transactions on Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 10, pp.2780-2789.
- Ko H. G., Choi Y. H., Oh Y. T. and Choi K. C.(2012), “Analysis of Diversion Rate using Expressway Traffic Data (FTMS, TCS): Focusing on Maesong~ Balan IC at Seohaean Expressway,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 30, no. 3, pp.31-41.
- Lee J. and Chung J. H.(2007), “Study on Information System on VMS in Consideration with Multiple lternative Routes,” *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, vol. 27, no. 6, pp.691-696.
- Lee J., Son S. and Kim H.(2019), “Long-term Prediction of Freeway Travel Time Using Route Travel Data,” *Journal of Korean Society of Transportation*, vol. 37, no. 5, pp.399-409.
- Lee S. J., Yeo J. H. and Jang K. T.(2018), “Analysis of expressway mobility pattern using RFID-based trip data,” *The 2018 Korean Institute of ITS Conference*, pp.548-553.
- Puckett D. D. and Vickich M. J.(2010), *Bluetooth-Based Travel Time/Speed Measuring Systems Development*, University Transp. Center for Mobility (UTCM) Project #09-00-17.
- Xiao Y., Qom S. F., Hadi M. and Al-Deek H.(2014), “Comparison of Instantaneous and Experienced Travel Time Using Point Detector Data and AVI Data,” *Proc. 93th Transp. Res. Board Annu. Meet.*, Washington, D.C., USA.