

# 유동인구 빅데이터 기반 고속도로 휴게소 혼잡지표 개발 연구

## Study on the Development of Congestion Index for Expressway Service Areas Based on Floating Population Big Data

김 해\* · 이 환 필\*\* · 권 철 우\*\*\* · 박 성 호\*\*\* · 박 상 민\*\*\* · 윤 일 수\*\*\*\*

\* 주저자 : 한국도로공사 과장  
 \*\* 공저자 : 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원  
 \*\*\* 공저자 : 아주대학교 건설교통공학과 대학원생  
 \*\*\*\* 교신저자 : 아주대학교 교통시스템공학과 부교수

Hae Kim\* · Hwan-Pil Lee\*\* · Cheolwoo Kwon\*\*\* · Sungho Park\*\*\* ·  
 Sangmin Park\*\*\* · Ilsoo Yun\*\*\*\*

\* Korea Expressway Corporation  
 \*\* Korea Expressway Corporation  
 \*\*\* Dept. of Transportation Eng., Ajou University  
 \*\*\*\* Dept. of Transportation Eng., Ajou University  
 † Corresponding author : Ilsoo Yun, ilsooyun@ajou.ac.kr

Vol.17 No.4(2018)  
 August, 2018  
 pp.99~111

ISSN 1738-0774(Print)  
 ISSN 2384-1729(On-line)  
<https://doi.org/10.12815/kits.2018.17.4.99>

Received 4 June 2018  
 Revised 23 June 2018  
 Accepted 9 July 2018

© 2018. The Korea Institute of  
 Intelligent Transport Systems. All  
 rights reserved.

### 요 약

고속도로 휴게소는 효율적인 고속도로 운영과 이용자의 편의를 위해 매우 중요한 시설로서 운전자에게 사전에 휴게소에 대한 혼잡 정도를 알려줌으로써 휴게소 이용객이 적절히 분산되도록 관리하는 교통운영 전략이 필요하다. 하지만, 현재 휴게소 이용인원을 측정할 수 있는 수집장치와 데이터의 부재로 인하여 휴게소에 대한 혼잡도 측정과 관리가 적절하게 이루어지지 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 이동통신사의 휴대폰 기반 유동인구 빅데이터를 활용하여 고속도로 휴게소 혼잡지표를 개발하였다. 휴게소 혼잡지표로 ‘휴게소 밀도’와 ‘휴게소 유동인구 V/c’, 두 가지를 대안으로 개발하였으며, 이 중 이해하기 쉽고 용량의 비교가 가능한 ‘휴게소 유동인구 V/c’를 휴게소 혼잡지표로 최종 선정하였다. 이용객들이 직관적으로 이해하기 쉽도록 휴게소 혼잡도 등급은 ‘여유’, ‘약간혼잡’, ‘혼잡’의 3단계로 설정하였다.

핵심어 : 혼잡지표, 휴게소, 유동인구, 빅데이터, V/c

### ABSTRACT

Service areas in expressways are very important facilities in terms of efficient expressway operation and the convenience of users. It needs a traffic management strategy to inform drivers in advance about congestion in service areas so as to distribute users of service areas. But due to the lack of sensors and data on numbers of people in the service areas, congestion in service areas had not been measured and managed appropriately. In this study, a congestion index for service areas was developed using telecommunication floating population big data. Two alternative indices (i.e., density of service areas and floating population V/c of service areas) were developed. Finally, the floating population V/c of service areas was selected as a congestion index for service areas for reasons of the ease of understanding and comparison.

Key words : Congestion Index, Service Area, Floating Population, Big Data, V/c

## I. 서 론

### 1. 연구의 배경 및 목적

최근 고속도로 휴게소의 이용 개념이 단순히 고속도로 이용객의 생리 현상 해결만을 위한 제한적인 장소가 아니라, 주차공간과 식당, 편의점, 화장실 등의 시설을 갖추고 있어 운전자와 동승자에게 휴식과 편의를 제공하는 종합편의시설로 탈바꿈하고 있다. 이러한 고속도로 휴게소는 이용객에게 편의를 제공할 뿐만 아니라, 운전자의 피로해소에 도움을 주어 졸음운전이나 갑작스런 차량 고장 등을 예방하는 등 고속도로 교통안전 측면에서 매우 중요한 교통시설이다(Kim, 2017a).

따라서 고속도로 휴게소는 다양한 편의시설 및 휴게시설을 제공하여 이용객의 다양한 욕구를 충족시킬 수 있어야 할 뿐만 아니라, 특정 고속도로 휴게소에 이용객이 과도하게 몰려 발생하는 이용의 난항을 예방할 수 있도록 운전자에게 사전에 휴게소 혼잡도에 관한 정보를 제공하여 휴게소 이용에 대한 선택권을 주는 휴게소 이용 분산 전략이 필요하다.

이처럼 휴게소 혼잡도는 고속도로 휴게소 이용객의 편의성과 쾌적성 향상을 위하여 도로관리자가 반드시 관리하여야 할 지표이나, 휴게소에는 고속도로 본선과는 달리 휴게소 진출입차량이나 이용인원을 측정할 수 있는 수집장치가 거의 설치되어 있지 않아 휴게소 내 혼잡을 측정할 수 있는 데이터를 수집할 수 없어 고속도로 휴게소의 혼잡도 측정 및 관리가 적절하게 이루어지지 못하고 있는 현실이다.

한편, 최근 정보통신기술(Information Communication Technology, 이하 ICT)의 발달에 따라 우리 사회가 생성하는 데이터의 양이 폭발적으로 증가하고, 이러한 방대한 양의 데이터를 분석하여 사회적 문제를 해결하는 빅데이터의 시대가 도래하였다. 서울시는 이동통신사의 심야시간대 통신데이터를 활용하여 심야버스의 경로를 야간 교통수요가 보다 높은 곳으로 배치하도록 개선하였다. 이러한 사례처럼 고속도로 휴게소에 별도의 수집장치를 추가로 설치하지 않고 민간 빅데이터를 활용한다면, 휴게소의 혼잡도 측정 및 관리가 가능할 것이며, 이를 활용한 휴게소 운영관리를 통하여 휴게소 이용 편의성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

휴게소 혼잡도 측정에 활용될 수 있을 것으로 판단되는 민간 빅데이터는 이동통신사의 휴대폰 기반 유동인구 빅데이터이다. 이 데이터는 민간 이동통신사에서 보유한 데이터로 개인 휴대폰과 기지국 간의 통신을 통하여 개인의 위치를 식별해주는 사람 위치기반 데이터이다. 이동통신사의 유동인구 데이터는 그동안 주로 상권분석, 관광수요 분석 등에 활용되어 왔지만, 사람의 위치를 기반으로 교통수요와 출발지-목적지(Origin-Destination, 이하 O-D)를 파악할 수 있어 교통 분야에서 활용 가능성이 매우 큰 데이터로 사료된다.

이에 본 연구에서는 사람 기반 데이터로서 직접적으로 고속도로 휴게소 사용인구의 산출이 가능한 이동통신사의 유동인구 데이터를 활용하여 고속도로 휴게소의 혼잡도를 측정할 수 있도록 휴게소 혼잡지표를 개발해 보고자 한다.

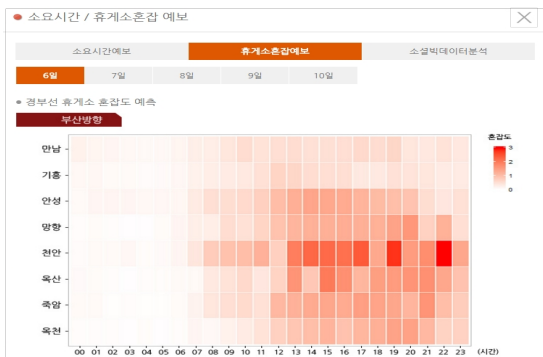
### 2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 시간적 범위는 각종 통계자료의 확보가 가능한 2016년 중에서 교통량이 집중되어 고속도로 휴게소 이용수요가 가장 많을 것으로 판단되는 9월로 선정하였다. 공간적 범위는 국내 가장 대표적인 고속도로인 경부고속도로의 서울~대전 구간의 14개 휴게소 중 자료의 수집이 용이한 마항 휴게소를 대상으로 하였다. 내용적 범위로는 휴대폰 기반 유동인구 빅데이터를 활용한 고속도로 휴게소 혼잡지표 개발을 설정하였다.

## II. 관련 현황 및 연구 고찰

### 1. 고속도로 휴게소 혼잡도 측정 및 안내 현황

지금까지 고속도로 휴게소의 혼잡 정도를 추정하여 고속도로 이용자들에게 서비스한 사례로써 총 두 가지 경우가 있었다. 첫째, 한국도로공사는 2016년 설 명절기간에는 고속도로 휴게소의 시간대별 매출데이터를 활용하여 휴게소 혼잡도를 분석·예측한 결과를 <Fig. 1>과 같이 한국도로공사 홈페이지를 통하여 제공하였다(KEC, 2016). 둘째, 국토교통부는 2017년 5월을 기준으로 안성휴게소를 포함한 전국 20개소 휴게소의 혼잡도를 운전자들에게 사전에 안내하는 서비스를 운영하여 고속도로 휴게소 이용객의 불편 최소화 및 휴게소 이용차량의 분산을 유도하고 있다(MOLIT, 2017). 고속도로 휴게소의 혼잡도는 한국도로공사 지역본부 교통센터에서 근무하는 교통운영자가 휴게소 주차장에 설치된 혼잡도 파악용 CCTV를 관찰하여 판단하며, ‘만차’, ‘혼잡’, ‘원활’의 세 단계로 구분한다. 교통운영자에 의해 판단된 휴게소 주차장의 혼잡도는 휴게소 전방 약 1km 지점에 설치된 휴게소 안내 표지판에 소형 도로전광표지(Variable Message Sign, 이하 VMS)을 통해 <Fig. 2>와 같이 운전자에게 안내되고 있다.



<Fig. 1> Expressway Service Areas Congestion Forecast Example



<Fig. 2> Expressway Service Areas Congestion Information Example

현재 시범적으로 휴게소 주차장에 혼잡도 파악용 CCTV가 설치된 휴게소 20개소 외에 나머지 휴게소에 CCTV를 설치하고 또한 진출입부에 차량검지기(Vehicle Detection System, 이하 VDS)를 설치한다면 모든 휴게소 주차장의 혼잡도는 보다 정확히 측정될 수 있을 것이다. 하지만, CCTV 및 VDS 설치에 따른 설치 및 유지보수 비용이 추가적으로 발생할 것이다. 또한 본질적으로 휴게소 이용의 주체는 차량이 아니라 휴게소 건물 내 식당, 화장실 등을 이용하는 사람임을 감안할 때 이 방법이 휴게소 혼잡도를 측정하는 완벽한 대안이라고 할 수 없다. 따라서 휴게소를 사용하는 사람의 수를 정확하게 파악할 수 있는 이동통신사 휴대폰 기반 유동인구 데이터 등의 민간 빅데이터를 활용한다면 차량 기준이 아닌 이용자 기준의 보다 정확한 고속도로 휴게소 혼잡도를 측정·관리할 수 있을 것으로 판단된다.

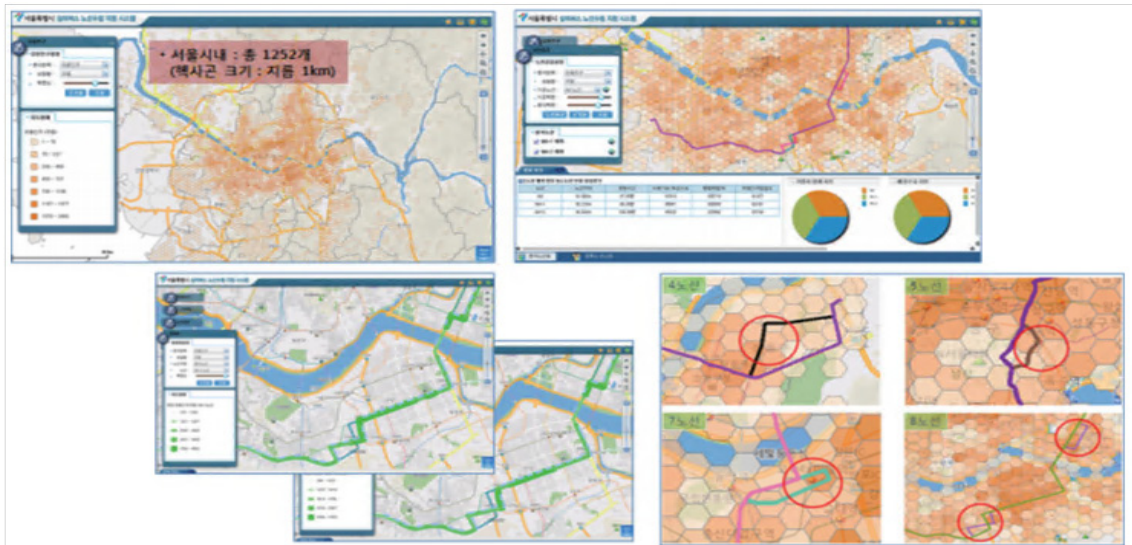
### 2. 혼잡도 관련 연구

우리나라에서 교통의 혼잡도와 관련된 가장 대표적인 문헌은 도로용량편람(MLTM, 2013)이다. 도로용량편

람에서는 고속도로, 신호교차로 등 도로 뿐만 아니라 버스와 같은 대중교통시설과 보행시설에 대한 혼잡도 기준을 제시하고 있다. 도로용량편람에서는 대중교통시설 중 버스의 차내 용량 및 서비스수준(Level of Service, 이하 LOS)을 분석하기 위하여 좌석형 버스의 경우 ‘좌석당 탑승인원’ 또는 입석형 버스의 경우 ‘승객 1인당 점유면적’을 효과척도(Measure of Effectiveness, 이하 MOE)로 활용할 것을 제시하고 있다. 또한 보행자 시설의 용량 및 LOS분석에는 ‘보행자 점유공간’을 MOE로 활용할 것을 제시하고 있다.

### 3. 유동 인구 관련 연구

City of Seoul(2013)에서는 이동통신사의 심야시간대 유동인구 데이터를 서울시 심야버스 노선 수립에 활용하였다. 2013년 3월의 00시부터 05시까지 사용한 KT의 이동통신 전화 데이터(Call Detail Record, 이하 CDR) 약 30억 건을 통해 심야시간대 서울 전역의 유동인구를 1km 반경 1,250개의 셀 단위로 산출하여, 심야시간대 교통수요에 따른 최적의 심야버스 노선과 배차간격을 도출하였다. 심야버스 노선 수립을 위한 유동인구 분석 및 적용 과정은 <Fig. 3>과 같다.



<Fig. 3> Population Analysis and Application process for Late Night Bus Route Establishment

Kim(2017b)는 교통문제 해결에 이동통신사 유동인구 데이터를 활용할 수 있는 방안을 제시하였다. 제시한 첫 번째 방안은 이동통신사 유동인구 데이터를 활용하여 서울 광역권에서 서울시로 출퇴근하는 인구의 출퇴근 패턴 및 O-D를 분석하여 서울 광역 대중교통 노선 수립에 활용하는 방법이다. 두 번째는 심야시간대 유동인구 분석을 통하여 심야버스 노선의 수요를 파악하여 정책에 활용하는 방법이다. 세 번째는 유동인구 데이터를 대안도로 개통의 영향도를 분석하는데 활용하는 방법이다. 이동통신사 유동인구 O-D분석을 통해 고속도로 연계통행비율을 살펴보면, 강남순환도시고속화도로(이하 강남순환로)는 수원광명고속도로와의 연계통행비율이 높은 것으로 나타났다. 이에 따라 강남순환로의 주 이용인구는 인천광역시 연수구, 남동구, 경기도 안양시, 광명시, 시흥시와 서울특별시의 강남구, 서초구 등을 오가는 인구라는 것을 알 수 있다.

Kong et al.(2015)은 교통량 예측이 대규모 도시 지역의 교통 혼잡을 완화하기 위한 중요한 전제 조건임을

인식하고 다양한 측정 기준을 활용하여 교통 정체를 예측하기 위한 예측 방법을 검토하였다. 검토 결과 기존 방법들이 추정한 값은 안정성 및 신뢰성 측면에서 부족함을 확인하였다. 이에 이 논문에서는 유동 자동차(floating car)의 궤도(trajecory) 데이터를 효율적으로 이용하여 도시 교통 혼잡을 예측하고 예측하는 접근법을 제안하였다. 이 방법에서 유동 자동차를 모바일 센서로 간주하여 수집함으로써 대규모 도시 교통 흐름을 실시간으로 감지할 수 있는 것을 확인하였다. 또한 교통 혼잡을 추정하기 위해 교통 흐름에 따라 다중 지수의 가중치를 부여하는 새로운 퍼지 종합 평가 방법을 사용하였다. 실험 결과, 이 연구에서 제안된 방법이 정확성, 즉각성 및 안정성 측면에서 장점이 존재함을 확인하였다.

Sun et al.(2009)은 속도, 교통량 및 밀도와 같은 단일 지점 또는 구간에 대한 교통류 설명변수를 이용하여 넓은 지역의 혼잡 상황을 정확하게 파악하는 것에는 한계가 있음을 인식하였다. 최근 기술 발전 및 ICT 장비 보급 확대로 인하여 GPS를 광범위하게 사용함에 따라 보다 넓은 지역에 대하여 개선된 정확도로 혼잡 상태를 측정할 수 있게 되었고, 이에 대한 핵심기술로서 유동 자동차 데이터를 활용할 수 있음을 확인하였다. 이에 이 연구에서는 유동 자동차 데이터 수집 및 처리 절차의 세부 사항을 제시하고 있다. 그리고 “5 차원”적인 교통 혼잡 성능 측정을 위한 핵심 요소로서 혼잡 강도, 공간 및 시간 분포, 혼잡 발생 빈도(병목 탐지 포함) 및 신뢰성을 제시하고 있다. 이 논문에서 제시된 방법을 중국 북경과 상하이에서 실험을 통하여 검증하였다.

#### 4. 기존 연구와의 차별성

과거에는 혼잡도와 관련한 대부분의 연구들이 도로용량편람 및 도로용량편람을 기반으로 하는 다양한 교통시설에 대한 용량 산정 및 서비스수준 분석에 집중된 것으로 확인되었다. 하지만, 최근 C-ITS, 자율주행자동차 등 차량 또는 휴대폰 등 노매딕 장치(nomadic device)의 확산 및 발달로 인하여 공간적으로는 지점 또는 구간 기반에서 보다 광범위한 지역으로 확대된 것을 확인할 수 있다. 또한 최근 이동통신사 유동인구를 이용한 분석의 빈도가 증가하고 있으나, 유동인구 분석을 통한 교통서비스는 최근 빅데이터 분석 붐과 함께 다양한 서비스 개발 연구가 진행되고 있는 것으로 확인된다. 하지만, 아직까지 휴대폰 기반 유동인구 자료를 이용하여 휴게소와 같이 특정 시설물에 대한 혼잡 측정과 같은 연구는 많지 않은 것으로 확인되었다. 본 연구에서는 기존 연구들과 달리 휴대폰 기반 유동인구 자료를 이용하여 고속도로 이용자들의 이용 빈도가 높고 혼잡상태에 대한 정보를 요구하는 상황에서 이에 대한 요구에 대응할 수 있는 혼잡지표 개발을 목적으로 하고 있는 것이 차별성이라 할 수 있다.

### Ⅲ. 자료 수집 및 기초 통계 분석

#### 1. 유동인구 빅데이터 개요

유동인구는 기지국과 통신한 휴대전화의 수를 이용하여 산출된 특정지역의 특정시간대에 존재하는 인구를 의미한다(Kim et al., 2015). 2015년 통계청 자료에 따르면 우리나라의 국민들은 1인당 1.13대의 휴대전화를 소유하고 있는 것으로 나타났다(Kim et al., 2015). 따라서 휴대전화 수는 인구 전수에 가까우며, 대부분의 사람들이 몸에 지니고 다닌다는 점에서 개인의 통행특성을 파악하는데 휴대전화의 통신 데이터가 유용하게 활용될 수 있다. 이러한 특성에 따라 이동통신사에서는 휴대전화의 통신 데이터를 활용하여 관광지나 특정 상권의 유동인구를 분석해주는 상권분석 서비스를 제공하고 있다.

본 연구에서는 국내 이동통신사의 약 50% 시장점유율을 가지고 있는 SK텔레콤의 유동인구 데이터를 자사의 빅데이터 서비스 플랫폼인 지오비전으로부터 제공받아 활용하였으며, 본 데이터는 해당 통신사의 점유율을 고려하여 전수화한 자료이다. SK텔레콤의 유동인구 데이터의 구성 및 특성은 <Table 1>과 같다(Kim, 2017a).

<Table 1> SK Telecom's Floating Population Data Configuration

Number	Column	Explanation
1	Date	8 digits(YYYYMMDD)
2	Block code	One block is separated by default by 50 m × 50 m
3	X-coordinate	UTM-K Coordinate system
4	Y-coordinate	UTM-K Coordinate system
5~28	Hourly floating population	Number of mobile phones that communicate with telecommunication center, in one cell, at one time zone. The data are not allowed to be duplicated at the same time, up to two decimal places are displayed. The data are made whole number considering the market share of SK telecom.

본 연구에서 사용된 SK텔레콤의 유동인구 데이터 샘플은 <Table 2>와 같다.

<Table 2> SK Telecom's Floating Population Data Sample

Date	Block Code	X- Coordinate	Y- Coordinate	...	09:00	10:00	11:00	...
20160901	34012120100021000000	971402.125	1873827	...	2.88	3.68	4.02	...
20160902	34012120100021000000	971402.125	1873827	...	4.44	4.95	5.00	...
20160903	34012120100021000000	971402.125	1873827	...	2.91	3.48	3.89	...
20160904	34012120100021000000	971402.125	1873827	...	3.36	3.82	2.79	...
20160905	34012120100021000000	971402.125	1873827	...	1.69	1.28	1.46	...
20160906	34012120100021000000	971402.125	1873827	...	4.20	4.70	4.99	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

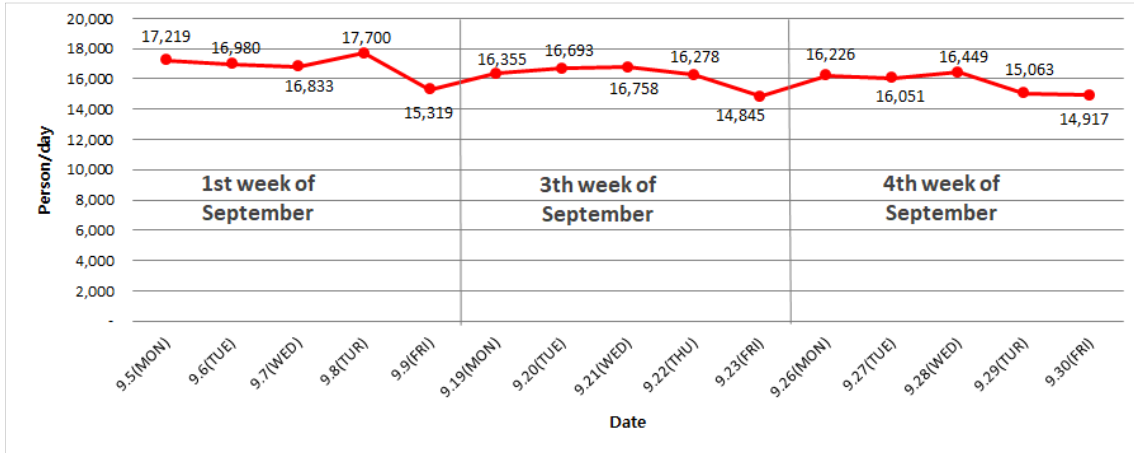
## 2. 휴게소 유동인구 데이터 수집

휴게소 유동인구의 수집은 고속도로 중 가장 대표성을 띠는 구간인 경부고속도로 서울~대전 구간에 있는 14개 휴게소를 대상으로 실시하였으나, 이 중 전체 휴게소 평균 유동인구 값인 16,632인/일과 가장 비슷한 방향 휴게소를 휴게소 혼잡지표 개발을 위한 대표 휴게소로 선정하여 분석하였음을 밝힌다. 참고로, 부산 방향에서만 이용 가능한 망향 휴게소는 경부고속도로 부산기점을 기준으로 343.6km 떨어진 지점에 위치하고 있다. 전체 부지면적은 34,779m<sup>2</sup>, 건물면적은 5,478m<sup>2</sup>, 주차면수는 총 404면이며, 휴게소 본관 건물과 주유소, LPG충전소, 주차장 등으로 구성되어 있다(KEC, 2017).

2016년도 중에서 추석 명절이 포함되어 있고, 단풍나들이 교통량이 집중되어 고속도로 휴게소 이용수요가 가장 많을 것으로 판단되는 9월 한 달간의 시간대별 평균 휴게소 유동인구를 수집하였다. 또한 휴게소 이용 패턴이 현격하게 차이를 보이는 추석이 있는 둘째 주를 제외하고 2016년 9월 첫째, 셋째 그리고 넷째 주 평일의 일차별, 시간대별 유동인구 데이터를 수집하였다.

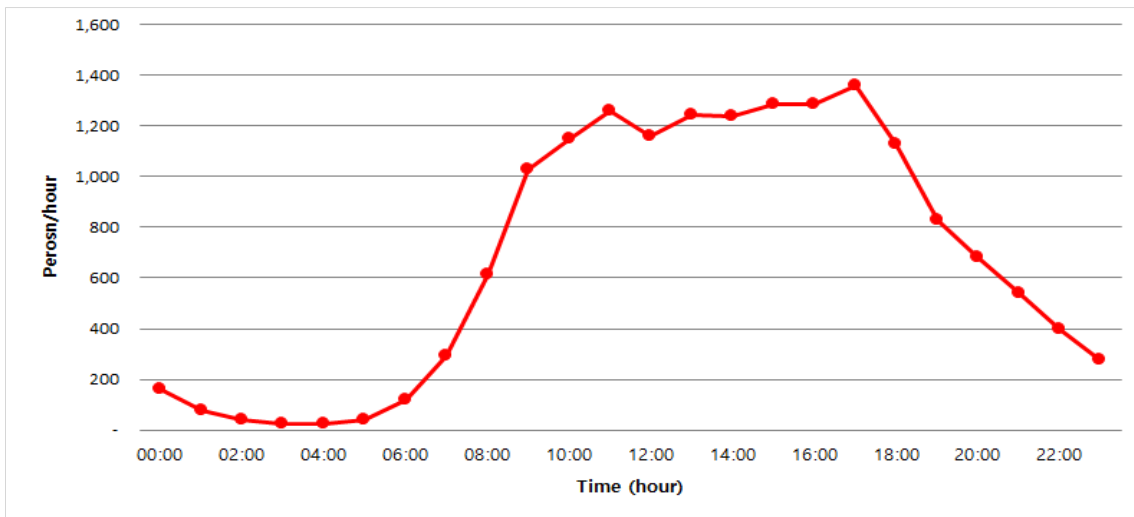
### 3. 휴게소 유동인구 데이터 통계 분석

망향 휴게소의 2016년 9월 첫째, 셋째 그리고 넷째 주 평일의 일자별 유동인구 값은 <Fig. 4>와 같다. 평균 값은 16,246인/일이며, 표준편차 값은 865.6인/일으로 상당히 고르게 분포된 데이터 패턴을 가지고 있음을 알 수 있다.



<Fig. 4> Manghyang Service Area's Daily Floating Population Value

망향 휴게소의 2016년 9월 첫째, 셋째 그리고 넷째 주 평일의 시간대별 평균 유동인구 값은 <Fig. 5>와 같다. 주간시간대에 유동인구가 많고, 자정에 가까워질수록 유동인구가 줄어드는 매우 일반적인 시간대별 교통량 분포를 가지고 있다(Kim, 2017a).



<Fig. 5> Manghyang Service Area's Average Floating Population Value by Hours

## IV. 휴게소 혼잡지표 개발

### 1. 휴게소 혼잡지표 개발

#### 1) 기존 교통 혼잡지표 특징분석

휴게소 혼잡지표 개발을 위하여 기존의 교통 혼잡을 측정하는 지표를 조사하였다. 조사된 지표는 대부분 도로의 혼잡을 나타내는 지표이다. 대표적인 혼잡지표로는 통행시간 기반 지표인 통행시간, 통행률, 지체율, 통행량 기반 지표인 V/c 등이 있다(Hwang, 2002). 조사된 혼잡지표의 유형별 특징은 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Traffic Congestion Index Characteristics by Type

Type	Example	Characteristic
Travel Time Base	Travel Time, Traffic Rate, Delay Rate	Many of them are used in advanced countries such as the USA Excessive data collection cost compared to traffic data
Traffic Volume Base	V/c	Ease of data collection compared to other metrics Typical Congestion Criteria
Density of Traffic Base	Queue Length, Dwell Time, Lane Occupancy	Limited Use Due to Difficult Data Collection
etc.	VKT, VHT, PKT, TTI	Estimate the social costs of transportation

본 연구에서는 유동인구 데이터의 특성과 가장 잘 맞는 통행밀도 기반 혼잡지표(대안1)와 통행량 기반 혼잡지표(대안2), 두 가지 유형의 휴게소 혼잡지표를 개발하여 휴게소 혼잡도를 측정하는 것으로 검토하였다.

#### 2) 유형별 휴게소 혼잡지표 개발

<대안 1> 통행밀도 기반 : 휴게소 밀도

도로용량편람(MLTM, 2013)에서는 고속도로 일반구간, 보행자도로 등 여러 교통시설의 LOS를 측정하는데 밀도를 가장 대표적인 MOE로 사용한다. 이에 본 연구에서는 휴게소 혼잡지표의 <대안 1>로 휴게소 밀도를 검토하였다. 여기에서 휴게소 면적의 기준은 휴게소 이용객들이 대부분 휴게소 내 식당, 화장실 등을 이용하기 위하여 휴게소에 들른다는 점을 고려하여 휴게소 건물면적(방향 휴게소의 경우 5,478m<sup>2</sup>)을 적용하였다. 관련 식은 <식 1>과 같다(Kim, 2017a).

$$\text{휴게소 유동인구 밀도(인/}m^2\text{)} = \frac{\text{휴게소 유동인구(인)}}{\text{휴게소 건물면적}(m^2)} \quad (1)$$

<대안 2> 통행량 기반 : 휴게소 유동인구 V/c

통행량 기반의 혼잡지표인 교통량과 용량의 비(volume/capacity, 이하 V/c) 역시 도로용량편람(MLTM, 2013)에서 여러 교통시설의 LOS를 측정하는데 사용되고 있으며, 개념상 단순하기 때문에 이해가 쉬워 널리 쓰이고 있다. 이에 본 연구에서는 V/c 개념을 적용하여 ‘휴게소 수용인원 대비 유동인구’(이하 휴게소 유동인구 V/c)를 휴게소 혼잡지표의 <대안 2>으로 검토하였다. 관련 식은 <식 2>와 같다(Kim, 2017a).

$$\text{휴게소 유동인구 V/c(\%)} = \frac{\text{휴게소 유동인구(인)}}{\text{휴게소 수용인원(인)}} \times 100 \quad (2)$$



여기에서 휴게소 수용인원은 소방, 건축 관련 법령 등에서 정한 건물 수용인원 산정기준 중 판매지역(sales area)에 해당하는 2.8m<sup>2</sup>/인을 기준으로 산정하였으며, 망향 휴게소의 경우 건물 면적인 5,478m<sup>2</sup>을 기준값인 2.8m<sup>2</sup>/인으로 나눈 값인 1,956인을 휴게소 수용인원으로 적용하였다(KICT, 2014; MIS, 2015).

### 3) 대안별 휴게소 혼잡도 산출 결과

위에서 개발한 두 가지 대안에 대하여 각 대안별로 망향 휴게소의 시간대별 유동인구 데이터를 활용하여 휴게소 혼잡도를 산출해 보았다.

<대안 1> 통행 밀도 기반 : 휴게소 밀도

<대안 1>로 검토한 휴게소 밀도(인/m<sup>2</sup>) 지표를 활용하여 휴게소 혼잡도를 산출한 결과 평균값과 표준편차가 각각 0.1236인/m<sup>2</sup>과 0.0922인/m<sup>2</sup>으로 나타났다. <Table 4>의 기초 통계값과 히스토그램에서 볼 수 있듯이 휴게소 밀도값의 분포는 원본 데이터인 휴게소 유동인구 데이터의 분포와 동일하게 평균에 집중되어 있지 않고 양 끝단에 데이터가 집중되어 있는 표준편차가 매우 큰 분포임을 알 수 있다.

<Table 4> Basic Statistics of Manghyang Service Area's Density (person/m<sup>2</sup>)

Type	Density(person/m <sup>2</sup> )	Histogram
Average	0.1236	
Standard Deviation	0.0922	
Maximum	0.2802	
Third-percentile	0.2150	
Median	0.1168	
First percentile	0.0243	
Minimum value	0.0030	

<대안 2> 통행량 기반 : 휴게소 유동인구 V/c

<대안 2>로 검토한 휴게소 유동인구 V/c 지표를 활용하여 휴게소 혼잡도를 산출한 결과 평균값과 표준편차가 각각 34.60%, 25.82%로 나타났다. <Table 5>의 기초 통계 값과 히스토그램에서 볼 수 있듯이 휴게소 유동인구 V/c값의 분포 역시 원본 데이터인 휴게소 유동인구 데이터의 분포와 동일하게 평균에 집중되어 있지 않고 양 끝단에 데이터가 집중되어 있는 표준편차가 매우 큰 분포임을 알 수 있다.

<Table 5> Basic Statistics of Manghyang Service Area's Floating Population V/c(%)

Type	V/c (%)	Histogram
Average	34.60	
Standard Deviation	25.82	
Maximum	78.46	
Third-percentile	60.21	
Median	32.69	
First percentile	6.80	
Minimum value	0.84	

여기서 <Table 4>와 <Table 5>에서 계산된 각 지표값의 표준편차가 크다는 것은 그만큼 고속도로 휴게소 이용이 특정 시간(예, 점심 또는 저녁 시간 등)에 집중되어 있다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 수요가 몰리는 시간대에 대한 휴게소 혼잡 정보 서비스가 더욱 의미를 갖는다고 판단된다.

4) 휴게소 혼잡지표 결정

위에서 개발한 휴게소 혼잡지표인 휴게소 밀도와 휴게소 유동인구 V/c, 두 가지 대안은 모두 유동인구를 분자로 하여 분모를 각기 다른 고정 값(휴게소 건물면적, 휴게소 수용인원)으로 나눈 지표 값으로, 사실상 지표에 유의한 차이가 있다고 보기는 어렵지만 두 가지 지표 모두 휴게소 유동인구 데이터를 활용하여 휴게소의 혼잡도를 산출할 수 있는 지표라 할 수 있다(Kim, 2017a).

본 연구에서는 두 가지 대안 중에서 지표 값의 의미가 일반인이 보다 이해하기 쉽고, 지표 값을 용량 값과 비교할 수 있는 <대안 2> 휴게소 유동인구 V/c를 휴게소 혼잡지표로 사용하기로 결정하였다. 대안별 적합성 진단 결과는 <Table 6>과 같다.

<Table 6> Results of Suitability Diagnosis by Alternative Congestion Index in the Service area

Type	<Alternative 1>	<Alternative 2>
	Service Area Density	Service Area Floating Population V/c
Understandability	△	○
Obviousness	△	○
Output possibility	○	○
Comparability	X	○
Final selection		◎

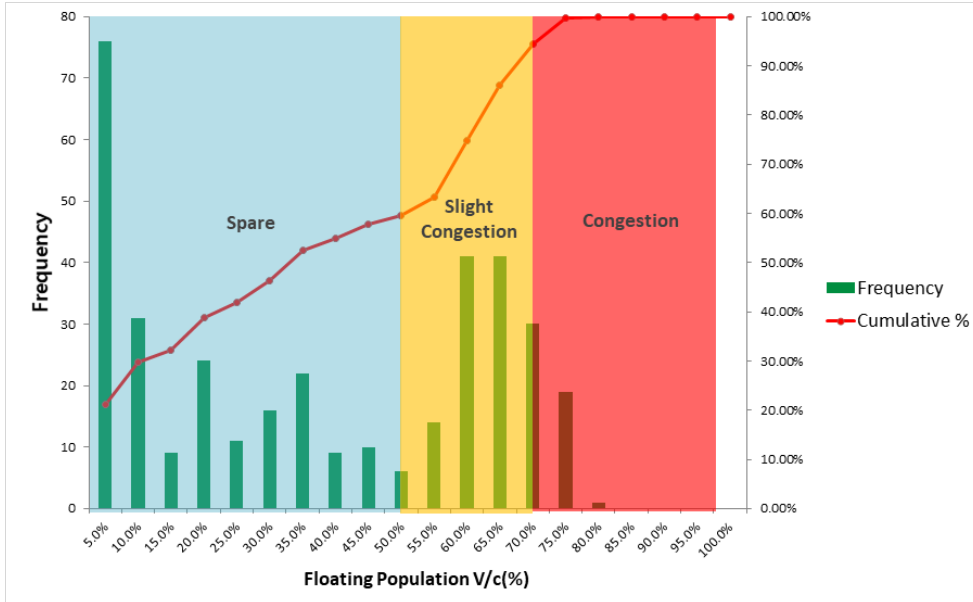
2. 휴게소 혼잡도 등급 산정

도로용량편람에서는 LOS 등급을 A에서 F까지 6가지로 구분하지만 본 연구에서는 이용자들에게 휴게소 혼잡정보를 제공하였을 때 이해가 용이하고, 직관적인 상황 파악이 가능하도록 휴게소 혼잡도를 ‘여유’, ‘약간 혼잡’, ‘혼잡’의 3단계 등급으로 구분하였다(Kim, 2017a).

휴게소 혼잡도 등급은 휴게소 유동인구 V/c 값의 분포를 고려하여 <Table 7>에서 보인 바와 같이 전체 데이터의 약 60 퍼센타일에 해당하는 V/c 50% 값을 ‘여유’와 ‘약간 혼잡’ 등급을 구분 짓는 기준값으로 정하고, 전체 데이터의 약 95 퍼센타일에 해당하는 V/c 70% 값을 ‘약간 혼잡’과 ‘혼잡’ 등급을 구분 짓는 기준값으로 정하였다. 각 등급별 휴게소 혼잡도 기준값은 <Table 7>과 같으며, 혼잡도 등급을 지표 값에 적용한 결과는 <Fig. 6>과 같다.

<Table 7> Service Area Congestion LOS Criteria

Type	Service Area Floating Population V/c	Note
No Congestion	≤ 50%	60% of total data
Slight Congestion	≤ 70%	35% of total data
Congestion	> 70%	5% of total data



(Fig. 6) Results of Application of Congestion Ratings in Manghyang Service Area

## V. 결론 및 향후 연구과제

### 1. 결 론

본 연구는 이동통신사의 유동인구 빅데이터를 활용하여 고속도로 휴게소 혼잡도를 측정하기 위한 혼잡지표를 개발하였다. 이를 위하여 국내 고속도로 중 가장 대표적인 구간인 경부고속도로 서울~대전구간 내 14개 휴게소를 대상으로 2016년 9월 한 달간 시간대별 평균 유동인구 데이터를 SK텔레콤으로부터 제공받았기초 통계 분석을 통해 평균 유동인구 값과 가장 유사한 방향 휴게소를 대표 휴게소로 선정하고, 나아가 유동인구 상세 데이터를 통하여 휴게소 혼잡지표 개발을 진행하였다.

휴게소 혼잡지표로 통행밀도 기반의 휴게소 밀도(인/m<sup>2</sup>)와 통행량 기반의 휴게소 유동인구 V/c(%), 두 가지 대안을 검토하였으며 이 중 지표의 개념이 간단하여 대중이 이해하기 쉽고, 값을 용량과 쉽게 비교할 수 있는 휴게소 유동인구 V/c를 휴게소 혼잡지표로 최종 선정하였다. 최종 휴게소 혼잡지표로 선정된 휴게소 유동인구 V/c를 대상으로 방향 휴게소의 지표 값을 산출해 본 결과 평균은 34.60%, 표준편차는 25.82%, 최대값과 최소값은 각각 78.46%, 0.84%로 나타났다.

휴게소 이용객들이 직관적으로 이해하기 쉽도록 휴게소 혼잡도 등급을 ‘여유’, ‘약간혼잡’, ‘혼잡’의 3가지 등급으로 나누었으며, 휴게소 유동인구 V/c 값이 50% 이하인 경우에는 ‘여유’, 50~70%인 경우에는 ‘약간혼잡’, 70%를 초과하는 경우에는 ‘혼잡’으로 등급 기준값을 결정하였다.

본 연구를 통해 개발된 고속도로 휴게소 혼잡지표는 첫째, VMS·스마트폰 앱 등을 통해 고속도로 이용객에게 휴게소 혼잡 정보를 미리 제공하여 특정 휴게소에 이용객이 몰리는 것을 막을 수 있을 것이고, 둘째, 고속도로 휴게소 이용실태 조사를 일부 대체하여 보다 정확한 휴게소 이용실태를 파악하는데 도움을 줄 것이며, 셋째, 휴게소의 수용 인원 대비 부족한 편의시설 개량 및 추가 설치 등 휴게소 설치·운영에 대한 의사결정 지원에 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서 개발된 이동통신사 유동인구 데이터를 활용한 휴게소 혼잡지표를 지속적으로 활용하기 위해서는 이동통신사와의 업무협약·구매 등을 통하여 안정적인 휴게소 유동인구 데이터의 확보가 필요하며, 더 나아가 유동인구 DB구축 및 시스템화 작업이 필요할 것으로 사료된다.

## 2. 향후 연구과제

본 연구에서 개발한 휴게소 혼잡지표의 대표성과 정확도를 향상시키기 위해서는 여러 가지 추가 연구가 필요하며, 그에 따른 향후 연구과제를 다음과 같이 제시하였다.

첫째, 본 연구에서 휴게소 혼잡지표 개발을 위해 활용된 이동통신사 유동인구 데이터는 데이터 확보 제한으로 인해 경부고속도로 방향 휴게소의 2016년 9월 중 평일 15일간의 데이터만을 활용하였다. 보다 정확한 지표 산출을 위하여 일부 데이터의 활용이 아닌 추가적인 유동인구 데이터의 확보를 통하여 휴게소 혼잡지표와 혼잡도 등급에 대한 유의성 검증이 필요하다. 또한 본 연구에서는 이동통신사 중 시장 점유율이 가장 높은 SK텔레콤의 유동인구 데이터를 가지고 SK텔레콤에서 자체 전수화한 데이터를 활용하였으나, 보다 높은 정확도를 위하여 타 이동통신사의 유동인구 데이터도 포함된 전체 데이터를 활용하여 연구자가 전수화하여 분석하는 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 본 연구는 이동통신사의 유동인구 데이터를 이용해 휴게소 혼잡지표를 개발하였지만, 실 데이터를 통한 검증을 진행하지 않았다. 이에 휴게소를 이용하는 인원을 정확히 반영하는지에 대한 데이터 정확성 검증이 필요하다. 실제 특정 휴게소의 현장조사를 통해 확보한 휴게소 이용인원 데이터와 이동통신사로부터 제공받은 유동인구 데이터의 비교를 통해 데이터 정확성을 검증하고, 통계적으로 유의한지 검정해 보아야 한다.

셋째, 본 연구에서는 휴게소 혼잡도 등급의 기준값을 휴게소 유동인구 V/c 값의 분포를 고려하여 50%와 70%로 단순 적용하였기에 실제 고객이 체감하는 휴게소 혼잡도 등급을 정확히 반영하고 있지 못할 것으로 사료된다. 이에 휴게소 이용고객이 어떠한 상태에서 휴게소가 혼잡하다고 느끼는지에 대하여 설문조사를 통해 분석하고, 상황에 맞는 휴게소 혼잡도 등급의 조정이 필요하다.

넷째, 유동인구 데이터는 이동통신사가 보유한 민간 데이터로 데이터 확보의 어려움으로 인해 연구 사례가 매우 부족한 상태이므로, 향후 개발될 것으로 예상되는 이동통신사 유동인구 빅데이터를 활용한 연구 및 활용 사례들을 지속적으로 모니터링 한 후에 이를 본 연구를 발전시키는데 활용할 수 있는 방안을 추가로 강구하여야 한다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

이 논문은 2015년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(NRF)의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2015R1A1A1A05028008).

## REFERENCES

- Choi J. K., Lee H. and Yoo B. S.(2014), “Development of an Algorithm for Estimation of Real-time Subway Platform Congestion using Public Transportation Card Data,” *Journal of The Korean Society for Railway*, pp.1219-1228.
- Hwang S.(2002), “Development of Urban Congestion Index for Economic congestion Estimation,”

*The Korea Transport Institute.*

- Kim H.(2017a), *Development of a Congestion Index for Expressway Service Areas Using Floating Population Big Data*, Master Thesis, Ajou University.
- Kim H. J.(2017b), “Big data about Floating Population and Telecom Opens the age of Transportation Revolution,” *Monthly KOTI Magazine on Transport*, vol. 229, pp.11-15.
- Kim K. T., Lee I. M., Kwak H. C. and Min J. H.(2015), “Application study of Telecommunication Record Data in Floating Population Estimation,” *Seoul Studies*, vol. 16, no. 3, pp.177-187.
- Kong X., Xu Z., Shen G., Wang J., Yang Q. and Zhang B.(2015), “Urban Traffic Congestion Estimation and Prediction based on Floating Car Trajectory Data,” *Future Generation Computer Systems*, Vol. 61, pp.97-107.
- Korea Expressway Corporation(2017), Current Status of Work at Rest Facilities.
- Korea Expressway Corporation, [www.ex.co.kr](http://www.ex.co.kr), 2016.
- Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(2014), A Study on Improvement of Classification System of Use of Building.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2013), Highway Capacity Analysis.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(2017), Press Release About Expansion to 20 Locations of Guide to Service Areas Congestion in This Year.
- Ministry of the Interior and Safety(2015), Performance-Oriented Design Methods and Standards for Fire Fighting Facilities.
- Seoul(2013), Public-Private Convergence Big Data and Public Data.
- Sun J., Wen H., Gao Y. and Hu Z.(2009), “Metropolitan Congestion Performance Measures Based on Mass Floating Car Data,” *2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization*, Sanya, Hainan, China, pp.109-113.