

# 구글 실시간 교통 정보를 활용한 시공간 자료 구축 및 정체 패턴 분석 - 미국 메릴랜드주 몽고메리카운티 사례 -

지상훈\* · 성정창\*\* · 애나 스타네스쿠\*\*\* · 황철수\*\*\*\* · 이유빈\*\*\*\*\*

## Spatiotemporal Traffic Database Construction with Google Real-time Traffic Information and Spatiotemporal Congestion Pattern Analysis: A Case Study of Montgomery County, Maryland, U.S.A.

Sanghoon Ji\* · Jeongchang Seong\*\* · Ana Stanescu\*\*\* · Chul Sue Hwang\*\*\*\* · Yubin Lee\*\*\*\*\*

**요약** : 실시간 차량 위치정보를 활용하는 Floating car data (FCD) 방식으로 수집된 교통 정보는 소유권이 주로 민간기업에 있기 때문에 연구를 위한 활용 시 비용 및 접근성에 제약이 있다. 이 연구에서는 그러한 제약이 없는 FCD기반의 실시간 교통 정보 지도(Real-time traffic map, RTM)를 활용하는 연구 방법을 제시한다. 구체적으로, RTM자료를 시계열적으로 수집한 후, 실시간 교통 지도 데이터 베이스(Real-time traffic map-based database, RTMDB)을 구축하였으며, 이를 활용하여 미국 메릴랜드주 몽고메리카운티 내 정체 패턴의 시공간적 특성을 분석하였다. 연구 지역 도로에 설치된 센서에서 수집되는 교통 정보와의 비교분석을 통해 RTMDB의 실효성을 검증하였고, 통행 속도 감지 센서의 관측 결과와 밀접한 상관관계를 확인하였다. 그리고 도로 유형별 정체 패턴 차이와 출퇴근 시간대별 정체 패턴 분포의 차이를 분석하였다.

**주요어** : 시공간 정보, 실시간 교통 지도, 정체 패턴 분석, 차량 흐름 자료(Floating Car Data), 지능형 교통 관리 체계

**Abstract** : The floating car data (FCD) method uses real-time vehicle locations to estimate traffic conditions. The use of FCD products for research can be limited by their costs and accessibility mainly because such datasets are collected by private companies. In this study, we propose a research method that utilizes FCD-based real-time traffic data from Google Maps. We constructed a real-time traffic map-based database (RTMDB) by compiling time-series real-time traffic map images. Using the RTMDB, we analyzed spatiotemporal congestion patterns in Montgomery County, Maryland, U.S.A. To check the reliability of RTMDB, a comparison analysis was conducted with traffic sensor data collected in the field. Results show that RTMDB is closely correlated to the collected data from traffic speed monitoring sensors. We also analyzed the congestion patterns depending on road types and AM/PM rush-hours.

**Key Words** : Spatio-temporal data, Real-time traffic map, Congestion pattern analysis, Floating-car data (FCD), Intelligent transportation systems(ITS)

\* 경희대학교 지리학과 대학원(Department of Geography, Kyung Hee University), jish@khu.ac.kr

\*\* University of West Georgia, Department of MSAT(Geography), jseong@westga.edu

\*\*\* University of West Georgia, Department of MSAT(Computer Science), astanesc@westga.edu

\*\*\*\* 경희대학교 지리학과(Department of Geography, Kyung Hee University), hcs@khu.ac.kr

\*\*\*\*\* 경희대학교 지리학과 대학원(Department of Geography, Kyung Hee University), leeyubin@khu.ac.kr

## 1. 서론

교통은 인간 활동의 결과로 나타나는 대표적인 공간 현상 가운데 하나이며, 교통 정보는 개인 의사결정 및 공공 정책결정에 중요하게 활용된다. 교통 정보는 통행량 및 통행 속도 정보를 포함하며(Nanthawichit *et al.*, 2003; Schäfer *et al.*, 2002), 전통적으로 도로에 설치된 고정식 센서를 통해 관측되고 수집되었다. 센서를 이용한 교통 정보 수집은 기기 확보, 유지, 관리에 많은 자원을 필요로 한다 (García-Ramírez, 2020; Leduc, 2008; Young, 2007). 또한 센서 수를 무한정 늘릴 수 없기에 도로 관측 범위에도 한계가 있다.

이러한 제약을 극복하고 선진화된 지능형 교통관리체계(Intelligent Transportation Systems, ITS) 구현을 위한 연구가 계속되고 있는데, 특히 Floating car data(FCD) 방식은 센서 기반의 교통 정보 수집을 대체하거나 보완하는 기법으로 주목받고 있다(Leduc, 2008). FCD 방식은 센서를 이용하는 것이 아니라, 운행 중인 차량의 위치 정보를 활용하여 도로의 교통 상황을 파악한다. FCD 방식은 스마트 기기 또는 소형 위치정보수집 장치를 활용하여 소프트웨어적 방식으로 교통 정보를 수집한다. 구글 지도에서 제공되고 있는 실시간 교통 상황 정보는 FCD 방식으로 수집된 교통 정보의 대표적인 사례다(Google, 2009). FCD 방식은 고정형 센서가 갖는 여러 한계점을 극복함과 동시에 광범위한 도로 구간에 대해 세밀한 수준의 분석을 가능케 한다(Nanthawichit *et al.*, 2003).

하지만 이러한 장점에도 불구하고 FCD 방식 교통 데이터를 구축하여 연구에 활용하기에는 여러 어려움이 있다. 먼저, FCD 구축을 위해선 대규모의 차량 위치 정보가 필요한데 이를 제공하는 차량 집단이 확보되어야 한다. 그리고 1차적으로 수집된 데이터는 점 형태의 차량 위치정보인데, 이를 교통 정보로 가공하여 활용하기 위한 별도의 데이터 처리 기술도 필요하다. 한편, 위에 언급된 위치 정보 제공 집단과 데이터 처리 알고리즘은 기업의 중요한 정보 자산으로, 이들을 연구에 활용하려면 값비싼 비용을 지불해야 한다. 이러한 점들은 개인적 차원에서 FCD 구축과 활용을 어렵게 만드는 요인이 된다. 이런 맥락에서, FCD 기반의 교통 정보를 수집하고 분석에 활용하는 대안적인 방법에 대한 연구가 필요한 상황이다.

이 연구에서는 FCD 기반 자료의 접근성 제한 및 고정형 센서 기반의 교통 정보 수집 방법의 한계를 극복하고 연구

지역 정체 패턴의 시공간적 특성을 분석하기 위해, 구글 지도에 표시되고 있는 FCD 기반의 RTM을 수집하여 활용하고자 한다. 이를 위해 시공간적 특성을 갖는 실시간 교통 지도 데이터베이스(Real-time traffic map database, RTMDB)를 구축하고, 다음의 3단계에 걸쳐 연구를 진행한다. 첫째, 전통적 방법의 고정형 센서를 통해 수집되는 실제 교통 데이터와의 비교를 통해 RTMDB의 활용 가능성을 분석한다. 둘째, RTMDB를 이용하여 연구 지역 정체 패턴의 공간적 특성을 분석한다. 셋째, RTMDB 내 시계열적 정체 정보를 분석하여 연구 지역 정체 패턴의 시간적 특성을 파악한다.

## 2. 관련 기술 및 연구 동향

센서를 활용해 수집된 교통 정보는 교통 현황을 파악하는 기초자료가 되어왔다. Seong *et al.*(2011)은 연평균 일일통행량(AADT, Annual Average Daily Traffic)과 같이 센서에서 수집된 통행량 정보를 활용해 미국 조지아주 애틀랜타 도시권의 구체적인 상습 정체 구간과 패턴을 도출한 바 있다. 하지만 AADT와 같은 센서 기반의 정보는 수집 지점의 수가 한정되어 관측이 세밀하게 이뤄지지 못하며, 비용 및 운용상의 문제로 상시 관측 가능한 센서의 수도 또한 한정되어 있다(Jiang *et al.*, 2006). 센서와 같은 하드웨어 기반의 교통 데이터 수집 방식은 이러한 문제점들이 존재하기 때문에 이를 보완하거나 대체하기 위한 연구가 진행되어 왔으며 FCD와 같이 물리적 제약이 없는 소프트웨어 기반의 교통 데이터 활용이 시도되고 있다(Leduc, 2008; Young, 2007).

FCD 구축을 위한 차량 위치 정보 수집에는 GPS 기술이 주로 활용된다. 하지만 이는 비교적 근래에 가능해진 일로써, 2000년 5월 이전까지는 선별적 활용(Selective availability) 정책의 영향으로 미국의 군용 목적 외 활용 시에는 정확도에 일정 수준 오차가 반영되어 있었다. 하지만 이러한 정책이 중단되면서 민간 활용 GPS 위치정보의 정확도가 개선되었으며, GPS 관련 산업 발전과 활용연구를 가능하게 하였다. FCD 기법도 이와 더불어 많은 기술적 발전이 이뤄질 수 있었다. FCD 활용 연구들은 주로 위치정보 수집 단말기가 달린 차량(Probe-vehicle)을 이용하거나 기업으로부터 위치정보 데이터를 제공받아 수행되었다(De Fabritiis *et al.*, 2008; He *et al.*, 2017; Herrera *et al.*, 2010; Liu and Ban, 2013;

Schäfer *et al.*, 2002). 국내의 경우, 박재홍 등(2010) 및 최기주 등(2004)이 GPS 단말기로부터 수집된 차량 위치정보를 활용하여 국내 4개의 고속도로 노선상의 사고 위험 구간과 수원 시내 일부 도로상의 혼잡 구간을 파악하였다. 국내 연구에 활용할 수 있는 FCD기반의 교통 정보로는 대표적으로 서울시 교통 정보 시스템(TOPIS)이 있으며, 주로 택시의 위치 정보를 활용하여 실시간 교통 정보를 파악한다.

FCD 원자료는 다수의 위치정보로 구성되며 그 규모가 방대하고 가공을 위한 기술력을 요구하기 때문에 개별 연구자가 쉽게 이용하기에는 어려움이 있다. 이런 맥락에서 최근에는 FCD에서 가공된 실시간 교통 상황 지도(Real-time traffic map, RTM)를 이미지 형태로 수집하여 활용하는 연구가 다양하게 시도되고 있다. 예를 들어 Bian *et al.*(2016)은 중국의 23개 도시의 정체 수준을 비교하기 위해 중국의 온라인 지도 서비스 AutoNavi에 표시되는 교통 정보를 가공하여 활용하였다. Song *et al.*(2019)은 중국 베이징 지역의 시점별 정체 구간과 그 요인을 분석하기 위해 AutoNavi의 실시간 교통 상황 지도 이미지를 10분 단위로 수집하여 활용하였다. Zhang *et al.*(2020)은 중국 귀양(Guiyang) 지역의 교통 정체 구간 예측을 위한 알고리즘 적용을 위해 AutoNavi의 교통 지도 이미지에서 교통 정보를 추출하여 시공간 행렬의 형태로 가공하였다. Mirzahosseini *et al.*(2021)는 이란 테헤란 지역의 교통 패턴 분석을 위해 구글 지도를 활용하였고, 교통 정보 추출을 위해 지도 이미지 내 2,595개의 RGB 색상 영역을 분석하였다.

RTM 기법은 교통정보를 제공하는 모든 온라인 지도를 활용할 수 있다. 국내 대표적인 온라인 지도서비스인 NAVER 지도와 DAUM 지도 서비스도 FCD기반의 실시간 교통 정보 서비스를 제공하고 있다. 중국지역 경우 AutoNavi를 주로 활용하며, 중국을 제외한 대부분의 나라에서는 구글 지도를 이용하여 RTM 자료 구축 및 분석이 가능하다 (García-Ramírez, 2020; Mirzahosseini *et al.*, 2021; van den Haak *et al.*, 2018). 특히 구글 지도와 같은 경우 전세계 지역 단위 256개 중 181개 지역에 교통 정보를 제공하고 있어 향후 다양한 지역 연구에 활용될 수 있다(Google, 2020; 2021). 특히 RTM은 상대적으로 저렴하게 수집하여 활용할 수 있기 때문에 교통 정보 수집 체계의 구축이 미흡한 개발도상국에서 유용하게 활용할 수 있는 대안적인 방법으로 주목받고 있다(García-Ramírez, 2020).

### 3. 연구 방법

#### 1) 데이터

이 연구에서는 구글 지도를 사용하였다. 구글 지도는 2007년 FCD기반 실시간 교통 정보 서비스를 시작한 이후, 오늘날 전세계 10억명 이상의 이용자가 사용하고 있는 가장 방대한 RTM 매체이다(Google, 2020). 동일한 URL (Uniform resource locator)주소를 활용하면 매번 똑같은 위치와 축척의 RTM을 불러와 수집할 수 있다. 이 연구에서 활용한 온라인 지도 URL은 [www.google.com/maps/@39.1269755,-77.1876252,12z/data=!5m1!1e1](http://www.google.com/maps/@39.1269755,-77.1876252,12z/data=!5m1!1e1)와 같은 형태로 구성되어 있다. 숫자 39.1269755와 -77.1876252은 지도 중심점의 위도와 경도를 의미한다. 12z는 지도의 축척을 나타내며, !5m1!1e1 은 교통정보 레이어 표시 여부를 의미한다. 지도 이미지는 연구를 위해 임의로 선정된 수집 기간인 2021년 1월 31일부터 2021년 3월 25일까지 54일간 10분 간격으로 Python의 Selenium라이브러리를 활용하여 수집되었다. 수집 기간은 평일과 휴일의 교통 패턴은 다르므로 토요일, 일요일, 그리고 공휴일을 제외한 41일간의 평일 수집 자료 5,904장을 활용하였다. 각 지도 이미지의 규격은 가로 2905, 세로 2859 픽셀로, 각 픽셀은 동서방향 27.4m, 남북방향 35.5m의 지면을 의미한다.

그림 1은 교통 정보를 나타내는 픽셀의 구조와 해당 픽셀을 표현하는 RGB 값을 보여준다. 구글에 표시되는 정체 수준은 초록, 주황, 빨강, 진한 빨강 이렇게 네 가지로 구분되며, 진한 빨강에 가까울수록 심각한 정체임을 의미한다 (Google, 2019). 위치 정보가 수집되지 않는 구간이나 통행량이 없는 경우에는 흰색이나 회색으로 표시된다. 정체 수준을 나타내는 픽셀의 RGB값은 고유의 색 영역으로 구분되어 있기 때문에 지명 라벨, 도로 심볼 등 지도 내 다른 사상의 RGB색 영역과는 중첩되지 않는다. 교통 정보에 해당하는 픽셀을 Python의 OpenCV라이브러리를 이용해 추출하였고, 이를 Python Numpy의 Multi-dimensional array구조로 가공하였다. 주황, 빨강, 진한 빨강의 혼잡 수준은 각각 1, 2, 4의 정체 지수(Congestion index, CI)로 치환되었다. 한편 도로에 해당하지 않거나 초록색으로 표시되는 교통 상태와 같이 정체가 발생하지 않는 지점의 행렬값으로는 0이 입력되었다. CI는 기하급수적 관계의 척도로 표현되었으며, 산술적인 통계 분석에 활용될 수 있다. RTMDB

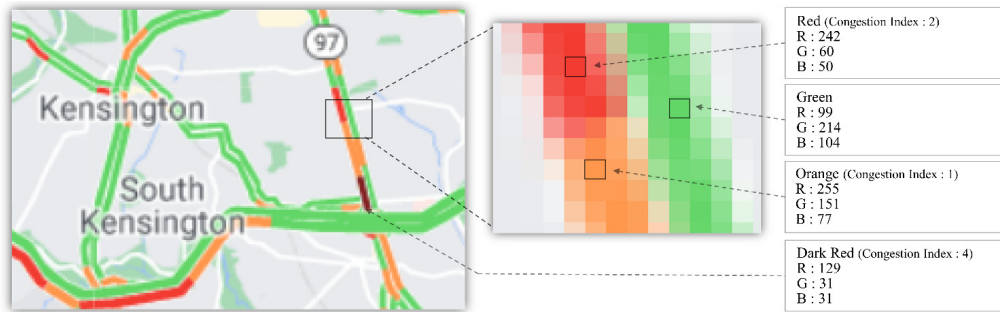


그림 1.수집된 구글 지도 이미지 내 교통 정보를 나타내는 픽셀의 RGB 영역

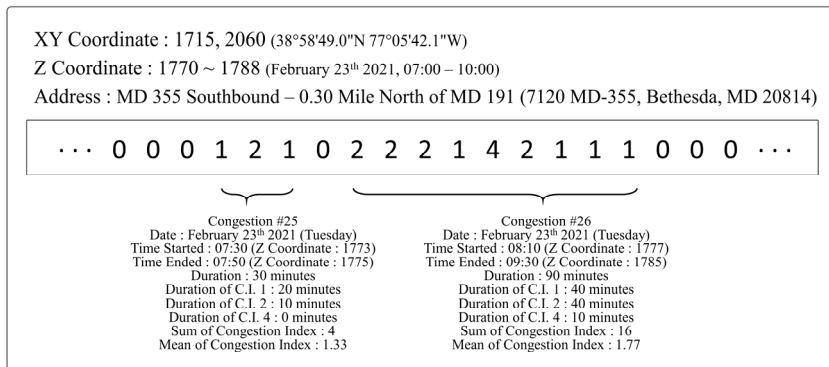


그림 2. 특정 픽셀 지점에서의 정체 현상 시계열 구조 및 분석 예시

는 2차원 행렬 형태의 지도 이미지를 시계열적으로 적층하는 방식으로 설계되었으며, 시공간적 특성을 갖는 3차원 배열 구조이다.

그림2는 특정 지점에서 나타나는 CI 배열의 통계량 활용 예시를 나타낸다. 3차원 구조의 RTMDB에서 시간(Z)축을 따라 추출되는 0,1,2,4 구성의 배열은 CI의 시계열적 나열을 의미한다. 이 연구에서는 정체가 발생하고 나서 다시 CI가 0이 되어 해소되는 시점까지를 하나의 정체 현상으로 정의하고, 각 정체 현상에 ID를 부여하였다(예: Congestion #25, Congestion #26). 정체 지속 시간(Duration)은 연속적으로 나타나는 CI의 개수로 파악하였다. 또한 CI의 합계(Sum of CI)와 CI의 평균(Mean of CI) 등을 산출하였다.

## 2) 연구 지역

본 연구는 미국 메릴랜드주 몽고메리카운티 지역을 중심으로 진행하였고, 해당 지역을 나타내는 RTM과 공간 정

보가 활용되었다. 메릴랜드 교통국 고속도로 관리처(Maryland department of transportation state highway administration, MDOTSHA)는 실시간 교통 정보 수집 센서를 운영하며 그수집 정보를 공개하고 있고, 센서의 위치 및 기타 세부 정보 또한 공간 정보로 제공하고 있다. 이러한 요소들은 RTMDB의 비교 검증 연구를 수월하게 한다. 그림 3은 MDOTSHA에서 운영하는 센서의 종류별 위치와 현황을 나타낸다. 카운티 내에서 운영되고 있는 센서는 통행량 수집 센서(Traffic volume sensor)와 통행 속도 수집 센서(Traffic speed sensor) 두 종류로, 각각4개 지점과 25개 지점에서 각기 다른 형태로 운용되고 있다.

통행 속도 수집 센서는 그림 3의 S1에 나타나듯 도로 밖 기둥에 설치되며, 극초단파(Microwave)를 투사하여 통행 속도를 파악한다. 그림 3 우측 상단 사진에서는 센서가 주변 수풀에 가려진 모습을 보이는데, 센서 주변 물리적 환경에 대한 지속적인 관리가 필요함을 알 수 있다. 극초단파 센서는 이동하고 있는 물체를 탐지하는 데에는 적합하나,

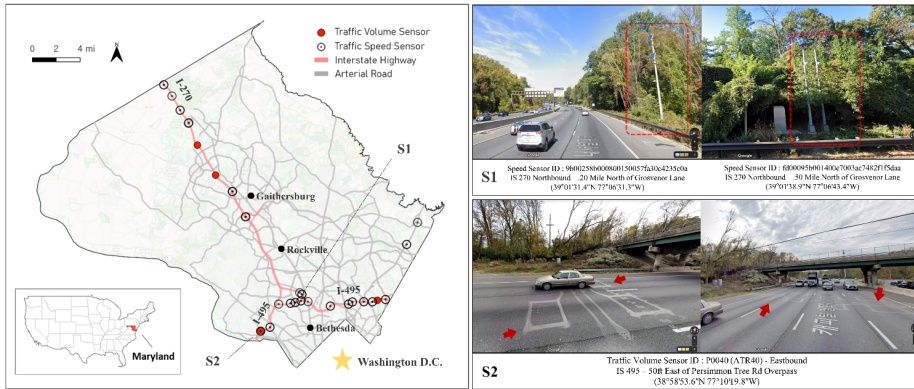


그림 3. 연구지역 내 고정형 교통정보 수집 장치 현황

정지된 차량이나 행렬을 인식하지 못하는 단점이 있으며 자성을 가진 물체나 지물에 영향을 받을 수 있다.

통행량수집 센서는 그림 3의 S2의 빨간 화살표가 가리키고 있는 바와 같이 도로면 아래에 매립되어 운영된다. 이를 루프 검지기(Inductive loop vehicle detector)라 하며, 차량 통과시 자기량의 변화를 감지하여 통과 차량의 수를 계산한다. 도로 면 일부를 잘라내야 하므로 설치에 시간과 비용이 비교적 많이 들며(Young, 2007), 도로의 운영 수명을 단축시킨다. 또한 고장이나 점검을 해야하는 경우에는 도로를 일시적으로 폐쇄해야 한다는 단점이 있다.

미국 메릴랜드(Maryland)주의 몽고메리(Montgomery) 카운티는 미국 내에서 교통이 가장 혼잡한 지역 중 하나이다. 2018년 메릴랜드주 교통 현황 연차 보고(Mahapatra and Pujara, 2018)에 따르면 해당 주의 하루 평균 통근 시간은 32.4분으로 미국 내에서 2위를 차지하며, 교통 정체로 인한 사회적 손실 추정치는 연 39.7억 달러에 이른다. 몽고메리 카운티는 남쪽으로 워싱턴DC와 인접하고 있어 상권과 주거지가 발달하였고, 교통량이 많다. 남북으로 I-270, 동서로 I-495 고속도로가 지나며, 두 도로는 카운티 남측 베테스다(Bethesda) 북측에서 합류한다. 연구 지역에는 I-270을 따라 게이더스버그(Gaithersburg), 록빌(Rockville), 베테스다(Bethesda) 이렇게 세 개의 주요 시가지가 있다.

### 3) 데이터 검증

RTMDB의 정확성과 유의성을 파악하기 위한 센서 데이터와의 비교 검토에는 통행 속도 및 통행량 수집 센서 기록

이 활용되었다. 통행 속도는 교통이 혼잡할수록 감소하는 관계를 갖고 있으므로 다른 자료와의 원활한 비교를 위해 최고속도 속도 대비 감속 수준(Speed reduction)으로 바꾸어 도표에 반영하였다. 구글 교통 정보로는 RTMDB에서 추출된 CI를 활용하였다. 분석을 위한 도표 시각화에는 2021년 3월 15일부터 17일까지 3일간 수집된 각 지점의 평균값을 0과 100사이의 수로 정규화(Normalization)한 수치가 반영되었다. 선정된 비교 지점은 세 곳으로, 통행량/통행 속도 센서의 위치가 서로 인근에 위치하여 비교가 용이한 지점이다. 연구 지역 내에서 정상적으로 작동하고 있는 통행량 수집 센서는 총 4개소가 있으나, 그 중 한 곳(P0060)은 비교 가능한 통행 속도 센서가 인근에 없는 관계로 비교 대상에서 제외되어 총 3개소를 비교 대상 지점으로 선정하였다.

### 4) 정체 구간의 공간적 특성 - 고속도로, 지방도로 간의 정체 특성 비교

연구 지역 내 정체 현상의 공간적 특성 분석은 고속도로와 지방간선도로의 각 도로 지점에서 나타나는 CI의 통계량을 산출하여 그 패턴을 비교하는 방식으로 진행한다. 정체 패턴의 구분은 통계량 산출 방법에 따라 분명한 분포 차이를 보이는 세 가지 유형으로 분류하여 연구를 진행하였다. 정체 패턴은 (1) 매일 높은 확률로 정체가 반복해서 발생하고 있는 도로 구간, (2) 일일 평균 정체 지속 시간이 긴 도로 구간, (3) 정체 발생 수준이 상대적으로 심각한 도로 구간으로 구분하였고, 해당 유형의 정체 패턴이 나타나는 도로 구간을 지도로 시각화하였다. 매일 높은 확률로 정체

가 반복해서 발생하고 있는 도로구간으로는 하루 중 특정 시간대의 정체 확률이 60% 이상 나타나는 구간으로 정의하여 지도에 시각화 하였다. 정체 확률은 연구 기간 중 정체가 발생하였던 날짜의 비율을 의미하며, 하루 24시간을 10분 단위로 쪼개어 각 시간단위마다 그 비율을 계산하였다. 일일 평균 정체 지속 시간이 긴 도로 구간으로는 하루 평균 300분 이상 정체가 발생하고 있는 도로 구간으로 정의하여 지도로 시각화 하였다. 정체 발생 수준이 심각한 도로 구간으로는 CI 2에 해당하는 정체가 일일 평균 120분 이상 발생하거나, CI 4에 해당하는 정체가 10분 이상 발생하는 도로 구간, 그리고 두 가지 조건 모두에 해당하는 도로 구간으로 정의한 뒤, 각 유형의 도로 구간을 지도로 시각화 하였다.

### 5) 정체 구간의 시간적 특성 - 오전, 오후 출퇴근 시간대 정체 구간 분석

연구 지역 내 정체 현상의 시간적 특성 분석은 오전 및 오후 교통 집중 시간에 따라 달리 나타나는 상습 정체 구간의 분포 차이를 중심으로 진행한다. 오전과 오후의 교통 집중 시간대는 한 시점에서 나타나는 모든 도로 구간의 CI를 합산하여 합계가 가장 높은 오전의 한 시점과 오후의 한 시점으로 정의하였다. 이후에는 각 도로지점에서 10분 단위의 정체 발생 확률을 계산하였고, 각 교통 집중 시간대에 정체 확률이 높게 나타나는 도로 구간의 분포를 파악하여 지도로 시각화 하였다. 지도 시각화 결과에는 오전/오후 교통

량 집중 시간대뿐만 아니라 일과 시간대를 나타내는 정오(12:00)의 상습 정체 구간 분포도 반영하였다. 그리고 각 시간대에서 나타나는 상습 정체 구간의 CI통계량을 분석하여 하루 중 정체 확률이 가장 높은 시점과 그 확률, 평균적인 지속 시간과 CI의 합계 및 평균, 그리고 각 CI 별 일일 평균 발생 시간 등 구체적인 정체 패턴을 분석하였다.

## 4. 연구 결과

### 1) 실시간 통행량, 실시간 통행 속도, FCD기반 구글 교통 정보 간 비교분석

그림 4는 통행량/ 통행 속도/ CI 간의 추이 비교 분석을 위한 3개의 비교 지점 위치와 분석 결과를 나타낸다. 첫 번째 A1 지점은 연구 지역 북쪽 I-270상에 있으며, MD 121도로와의 교차 지점으로부터 2마일 남측에 위치하여 남쪽(Southbound)과 북쪽(Northbound) 방향의 도로를 관측하고 있다. 통행량 센서, 통행 속도 센서의 ID는 각각 'P0004', 'd10005a60079000e003bc7482f1f5daa'이다. 두 번째 A2 지점은 연구 지역 남서쪽 I-495 상에 있고, Persimmon Tree 도로와의 교차점 부근에서 서쪽(Westbound)과 동쪽(Eastbound) 방향의 도로를 관측하고 있다. 통행량 센서, 통행 속도 센서의 ID는 각각 'P0040', '4e0004d2009d003c003bc7

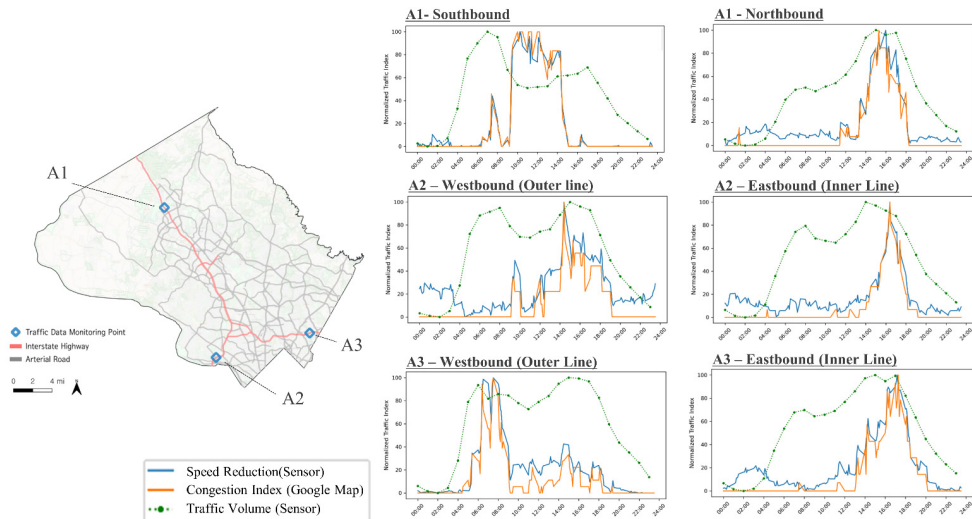


그림 4. 고정형 센서 수집 교통 정보(통행 속도/통행량)와 구글 지도 내 교통 정보의 추이 비교



482f1f5daa'이다. 세 번째 A3 지점은 연구 지역 남동쪽 I-495 상에 있고, MD 650 도로와의 교차 지점으로부터 0.8마일 서쪽에 위치하고 있다. 해당 센서 또한 서쪽과 동쪽 방향의 도로를 관측하고 있다. 통행량 센서, 통행 속도 센서의 ID는 각각 'P0041', '550023a600b3000b0057fa30c4235c0a'이다.

그림 4의 좌측 그래프는 위에서부터 A1, A2, A3 지점의 비교 결과를 나타내며, 관측 지점별 통행 방향에 따라 좌우의 그래프로 구분된다. 그래프에서 파란색 선(Speed Reduction)은 통행 속도 관측 센서, 주황색 선(Congestion Index)은 RTMDB에서 추출한 CI, 초록색 점선(Traffic Volume)은 통행량 관측 센서에서 수집된 데이터를 가공하여 나타낸 교통 추이이다. CI와 통행 속도의 변화를 통해 나타나는 정체 발생의 추이는 서로 비슷하나, 통행량은 다른 양상을 보인다. RTMDB의 CI와 통행 속도로 나타나는 도표는 정체의 발생과 종료 시점이 상당부분 동일한 추세로 나타나고 있으며 정체의 강도도 서로 비슷한 추이를 보인다. 반면에 통행량은 정체의 발생 여부와 뚜렷한 상관관계를 보이지 않으며, 정체 수준에 따른 통행량의 추이도 상관성을 파악할 수 없다. 결론적으로, FCD기반의 구글 교통 정보는 통행 속도 센서의 수집 결과와 뚜렷한 상관성을 보이는데 반해, 통행량과는 상관관계가 확인되지 않는다.

## 2) 정체 구간의 공간적 특성 - 고속도로, 지방도로 간의 정체 특성 비교

그림 5의 지도에서 빨간색으로 표시된 도로 지점은 하루 중 특정 시점에 반복적으로 정체가 발생하고 있는 지점을 의미한다. 즉, 위 도표에서 표현되는 정체 확률이 높은 지점이란, 하루를 10분 단위로 나누고 각 시점의 정체 확률을 계산하였을 때, 특정 시점의 정체 확률이 60%이상(41일 중 26일 이상) 나타나 상습적인 정체가 발생하는 도로 구간을 의미한다. 다른 도로 구간에 비해 정체 확률이 높고 반복적인 정체 패턴이 나타나는 도로 구간으로 해석할 수 있다. 그 분포를 살펴보면, 카운티 남부 I-495를 따라 분명한 정체 패턴을 확인할 수 있다. 또한 그 주변 시가지에서 그 분포가 집중되어 있음을 확인할 수 있으며, 카운티 남북을 관통하는 I-270 도로 구간에서도 정체 패턴을 파악할 수 있다. 카운티로 진입하는 북쪽 구간과 게이더스버그 지역 인근의 I-270에서 정체 발생 빈도가 높은 도로 구간이 확인된다. 정체 확률이 높은 도로 구간은 주간 고속도로 상의 구간만

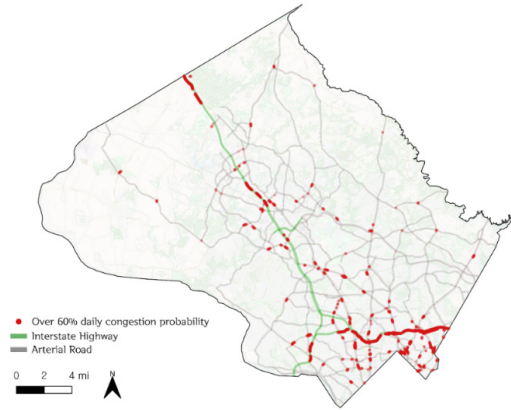


그림 5. 공간적 특성에 따른 정체 패턴 분석 - 정체 확률이 높은 지점

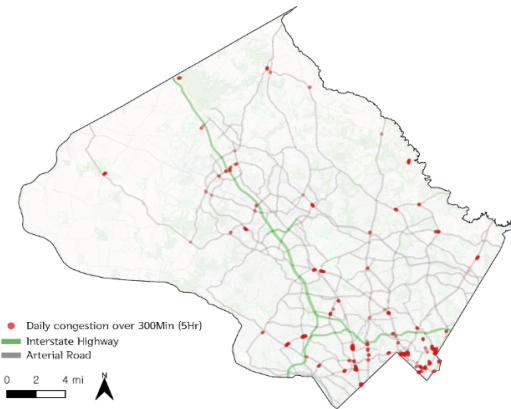


그림 6. 공간적 특성에 따른 정체 패턴 분석 - 장시간 정체가 발생하는 지점

이 아니라, 카운티 남부 워싱턴 D.C.와 인접한 시가지에서도 그 분포가 광범위하게 산발적으로 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이는 정체 빈도가 높고 반복 수준이 높은 정체 패턴은 도로 구간은 고속도로만이 아니라, 지방도로로 구성된 시가지에서도 나타나고 있음을 의미한다.

그림 6의 지도에서 빨간색으로 표시되는 도로 지점은 하루 평균 정체 발생 시간의 합계가 300분을 초과하는 지점을 의미한다. 그 분포를 살펴보면, 앞서 설명된 그림 5와 그 분포의 양상이 조금 다르게 나타난다. 그림 5의 분석 결과에서는 높은 정체 확률을 보이던 도로 구간이 연구 지역 남부 I-495 고속도로를 따라 분명하게 표시되고 있던 반면, 지속 시간을 기준으로 하는 그림 6에서는 I-495상의 분포를 찾을 없다. 대신 카운티 남부 베서스다와 실버스프링(Silver

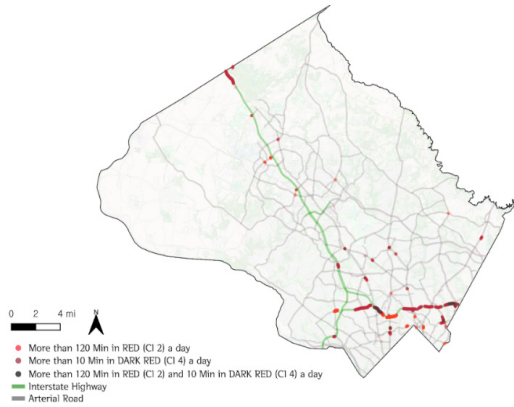


그림 7. 공간적 특성에 따른 정체 패턴 분석 - 극심한 정체가 발생하는 지점

Spring) 인근 지방 도로와 시가지에 집중되는 양상을 보인다. 이는 상대적으로 하루 중 정체 발생 시간이 긴 도로 구간은 고속도로가 아닌 시가지 내 지방 도로에 분포하고 있다는 것을 의미하며, 고속도로인지 지방도로인지와 같은 공간적 요인에 따라 달리 나타나는 정체 패턴에는 정체 지속 시간이 변수가 되고 있음을 의미한다.

위 그림 7의 지도에서 나타나는 열은 빨간색, 진한 빨간색, 검정색 점들은 발생하는 정체의 심각도가 상대적으로 높은 도로 지점들을 의미한다. 빨간색 도로 구간은 CI 2, 즉 구글 지도에서 빨간색 정체 상태로 표시되는 시간이 일일 평균 120분을 초과하는 도로 구간을 의미한다. 그리고 진한 빨간색으로 표시된 도로 구간은 CI 4, 구글 지도에서 진한 빨간색으로 표시되는 시간이 일일 평균 10분 이상 발생하는 도로 구간을 의미한다. 그리고 검정색으로 표시되는 구간은 위 두 가지 조건 모두에 해당하는 도로 구간으로 가장 극심한 정체가 발생하는 구간을 의미한다. 그림 7에서 확인되는 도로 지점의 분포 또한 앞서 제시된 그림 5와 6의 분포와 확연히 다른 양상을 보인다. 해당 지도에서 표시되고 있는 도로 구간의 분포를 보면, 시가지를 중심으로 나타나던 그림 6의 분포와는 다르게 그림 7에서는 I-495 고속도로를 따라 분명한 분포가 나타나고 있다. 이러한 결과는 시가지 내의 도로 구간은 정체 수준이 극심하지는 않으나, 장기간에 걸쳐 정체가 발생하는 양상을 보이는 반면, 고속도로의 도로 구간은 정체 지속 시간이 길지는 않으나, CI, 즉 정체의 심각도가 상대적으로 높다는 것을 의미한다.

### 3) 정체 구간의 시간적 특성 - 오전, 오후 출퇴근 시간대 정체 구간 분석

그림 8은 몽고메리 카운티 전역에서 하루 동안 나타나는 CI의 변동 추이를 나타낸다. X축은 각 시간 단위를 의미하며, 10분 간격으로 총 144개의 시간 단위가 반영되었다. Y축은 CI의 합계를 0과 100 사이의 수로 정규화한 수치이며, 41일간의 데이터가 반영되었다. 분석 결과, 오전과 오후의 교통 집중 시간대는 각각 08시경과 17시 30분경으로 나타났다. 실질적인 오전 정체의 추이는 오전 07시경부터 이미 상당 수준의 정체가 발생하고 있으며, 08시 이후에는 정체가 조금 완화되는 양상을 보인다. 오후 정체 집중 시간대의 경우에는 15시부터 18시까지 약 3시간에 걸쳐 심각한 수준의 정체가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 해당 지역의 실질적인 오전 정체 집중 시간대는 07시부터 08시까지로 보는 것이 타당하며, 오후 정체 집중 시간대의 경우 15시부터 18시까지로 확장하여 파악할 수 있음을 시사한다.

그림 9는 앞서 도출된 오전(08시00분) 및 오후(17시 30분)의 교통 집중 시간대별로 나타나는 상습 정체 구간의 분포를 시각화한 것이다. 그리고 일과 시간대에 해당하는 12시 정오의 상습 정체 구간도 표시하였다. 그림에서 파란색, 초록색, 빨간색으로 표시된 지점은 각각 8시, 12시, 17시 30분에 정체 발생 확률이 65%를 넘는 곳을 의미한다. 즉 해당 도로 지점에서 각 시간대에 정체가 발생하였던 날짜의 비율이 전체 데이터 수집 기간 41일 중 27일 이상이라는 뜻이다. 그림 9를 보면, 각 시간대별 정체 확률이 높은 도로 구간의 분포가 확연히 다를 수 있다. 오전 출근 시간대에는 카운티 동쪽, I-495의 서쪽 진행방향 도로 구간에서 높은 정체 확률이 나타난다. 오후 퇴근 시간대에는 같은 I-495 도로이나 오전과는 반대로 동쪽으로 향하는 구간에서 정체 확률이 높게 나타났다. 이와 같이 오전, 오후 분포가 다르게 나타나는 이유는 워싱턴 D.C.로 가장 단거리로 진입할 수 있는 지방도로 MD 185와 MD 97, 그리고 MD 29 도로와 같은 지방 도로의 고속도로 합류 지점이 각 구간 사이에 위치하고 있기 때문으로 해석할 수 있다. 고속도로를 따라 주행하던 차량들과, D.C.에서 지방도로로 복상하여 고속도로로 합류하려는 차량 행렬과 맞물려 정체가 발생하는 것이다. 고속도로가 아닌 시가지 내 지방 도로에서 정체가 빈발하는 패턴은 오전보다는 오후 시간대에 더 두드러진 경향을 보인다. 그리고 I-495 고속도로 상에 정체 패턴이 집중되는 오전/오후와는 달리, 정오 시간대에는 카운티 북쪽



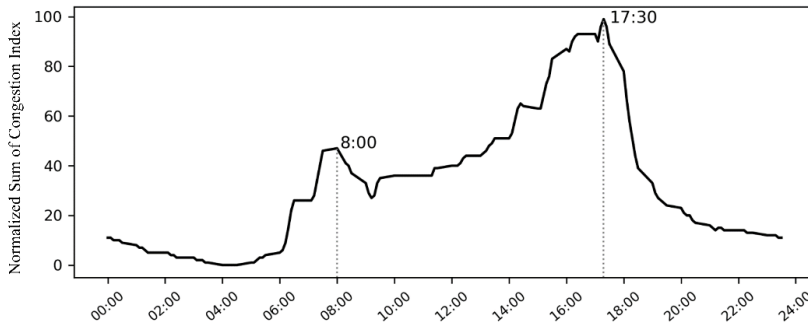


그림 8. 정체 수준(Congestion Index) 합계의 일일 추이

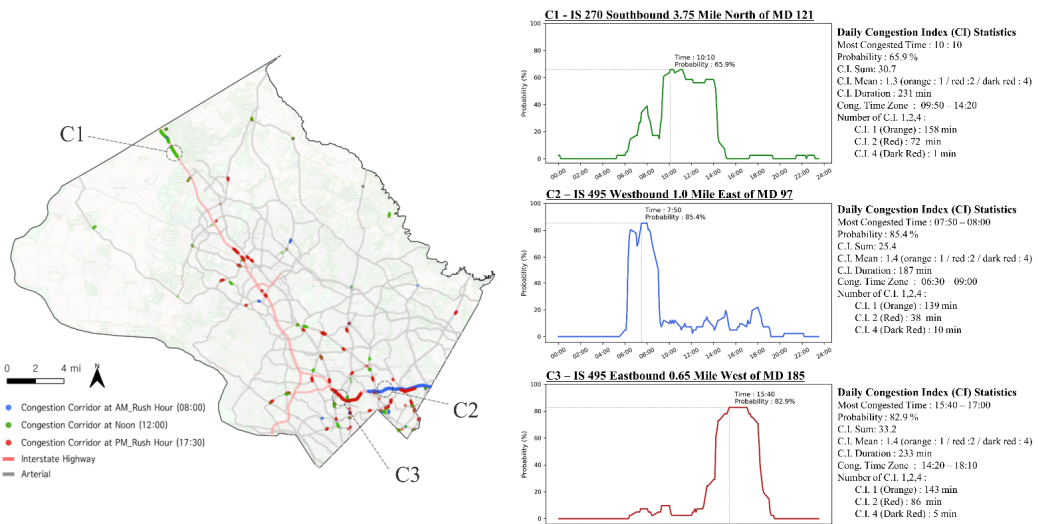


그림 9. 시간적 특성에 따른 정체 패턴 분석 - 오전/정오/오후 정체 집중 시간별 분포

I-270 도로 상에서 정체가 상승적으로 발생하는 것으로 나타났다. 이처럼 시간대별 상승 정체 구간의 분포는 서로 달리 나타나고 있다.

그리고 그림 9에서 오른쪽의 도표들은 각 정체 패턴에 해당하는 도로 지점의 세부적인 정체 확률의 일간 추이와 통계량들을 나타낸다. 분석의 대상이 되는 도로지점으로는 센서와 센서 사이의 지점을 선정하였고, 이를 통해 그동안 센서로 관측될 수 없던 고속도로 지점을 분석하였다. 10분 단위로 나타나는 정체 확률의 변화를 일간 추이로 나타내었으며, 해당 지점에서 나타나는 CI의 통계량을 분석하였다. 이를 통해 해당 분석을 통해 하루 중 정체 발생 확률이 가장 높은 시점은 언제이고, 몇 %의 확률로 정체가 발생하는지, 일일 평균 CI의 합계는 몇이고, 평균적인 CI는 몇

인지, 하루 중 정체가 발생하였던 시간은 총 몇 분인지, 발생 확률이 50%가 넘는 시점은 구체적으로 몇 시부터 몇 시까지 인지, 그리고 각 CI는 몇 분씩 발생하였는지 등의 상세한 사항들을 RTMDB내 통계량을 이용해 시각화하고 분석하였다.

지도상에서 구분되는 정체 패턴에 따라 그래프의 양상도 확연히 다름을 확인할 수 있다. C1은 카운티 북쪽에 위치한 I-270 상의 남쪽 방향 도로 지점이다. 가장 혼잡한 시간은 10시 10분경 65.9%의 확률로 정체가 발생한다. 하루 중 평균적인 정체 지속 시간은 231분이며, CI 1,2,4에 해당하는 정체는 각각 158분, 72분, 1분 내외로 발생한다. 그리고 정체 확률이 50%를 초과하여 비교적 혼잡하다 볼 수 있는 시간대는 09시 50분부터 14시 20분 사이인 것으로 파악

되었다. 그래프를 보면, 오전 출근 시간대에도 잠시 정체 확률이 높은 구간이 파악된다. C2지점은 카운티 남동부에 위치한 I-495도로상의 서쪽 방향 도로 지점으로, 07시 50분부터 08시 사이에 85.4%의 확률로 정체가 발생한다. 정체 확률이 50%를 넘는 혼잡 시간대는 06시 30분부터 09시 사이로 나타나며, 하루 평균 187분의 정체가 발생한다. CI 1,2,4에 해당하는 정체는 각각 139분, 38분, 10분 내외로 발생하는 것으로 파악된다. 오전 출근 시간대에 발생하는 통행량 집중 외에도 퇴근 시간대에도 낮은 확률로 정체가 발생하는 양상을 보임을 그래프를 통해 확인할 수 있다. C3는 C2와 같이 I-495도로상에 위치한 지점이나, 동쪽 방향의 도로 지점이다. 15시 40분부터 17시 사이에 82.99%의 확률로 정체가 발생하며, 정체 확률이 50%를 초과하는 시간대는 14시 20분부터 18시 10분 사이로 나타났다. 하루 평균 정체의 발생 시간은 233분으로 파악되고, CI 1,2,4에 해당하는 정체는 각각 143분, 86분, 5분으로 나타났다.

## 5. 결론

이 연구에서는 구글의 실시간 교통 정보 지도(RTM)를 시공간 데이터 구조로 가공한 RTMDB를 활용하여 미국 몽고메리 지역 정체 패턴의 시공간적 특성을 분석하였다. RTMDB는 구글 교통 지도 이미지를 시계열적으로 수집한 뒤, 교통 정보를 추출하여 만드는 다차원 배열 구조의 시공간 데이터이다.

먼저 RTMDB의 정확성 및 신뢰성을 검증하기 위해 미국 메릴랜드주 몽고메리카운티 내에서 센서로 관측되고 있는 통행량 및 통행 속도 정보를 수집하여 구글의 교통 정보와 비교하였다. 3일간 수집된 교통량, 통행 속도, 구글 지도의 CI의 일일 평균값을 0과 100사이의 수로 정규화하여 그 추이를 비교하였다. 그 결과, 구글에 표시되는 교통 정보는 통행 속도 센서에서 나타나는 교통 정체의 발생 추이와 상당 부분 일치하여 밀접한 관련이 있는 것으로 파악되었다. 다만 통행량 정보의 추이와는 분명한 상관성이 확인되지 않았다.

이후 RTMDB를 활용해 몽고메리 지역의 각 도로 구간별 구체적인 시공간 정체 패턴 분석을 진행하였다. 그 결과 정체 패턴에 따라 달리 나타나는 도로 구간 분포의 차이를 확인할 수 있었다. 먼저 고속도로와 지방도로에서 나타나는

정체 패턴의 차이를 분석하였다. 고속도로 상에서는 극심한 수준의 정체가 상대적으로 빈발하는 반면, 지방도로 상에서는 다양한 수준의 정체가 하루 중 오래 지속되는 경향이 나타났다. 특히 카운티 남부 I-495도로 구간에서는 정체 지속 시간이 길지는 않으나, 극심한 정체를 의미하는 CI 2와 4 수준의 정체가 상대적으로 자주 발생하였다. 반면 I-495주변 시가지와 그 주변 지방도로에서는 I-495 도로 구간의 사례처럼 높은 CI의 정체가 발생하지는 않았으나, 정체가 상대적으로 장시간 나타났다. 한편, 연구 지역에서 가장 정체 정도가 심각한 시간대는 오전 출근 시간대의 경우 08시, 오후 퇴근 시간대의 경우 17시 30분으로 나타났다. 그리고 각 정체 시간대별 상승 정체 구간의 분포에는 분명한 차이가 있음을 파악하였다. 오전 집중 시간대의 혼잡 도로 구간은 I-495 서쪽 방향으로 나타난 반면, 오후 집중 시간대의 혼잡 도로 구간은 I-495 동쪽 방향으로 나타났다.

이 연구는 기존의 교통 정보 수집 방식이 갖던 한계점들을 보완할 수 있는 방법으로 온라인 지도 내 교통 정보가 활용될 수 있음을 보여주었다는 점에서 학술적 의의가 있다. 특히, FCD방식의 교통 정보는 데이터 취득과 취급 과정에 어려움이 있었는데, RTM은 상대적으로 저렴하게 취득이 가능하고 구조가 간단하여 연구 활용이 수월하다. 그리고 RTMDB는 시공간적 특성을 갖는 3차원 데이터로써, 실시간 교통 데이터를 적용한 시공간적 교통 패턴 분석을 가능하게 한다. 또한 RTMDB는 교통 상황의 관측 범위가 센서보다 넓고 세밀하여 고속도로와 지방도로를 포괄하는 교통 분석도 가능하다. 이 연구는 RTMDB를 활용하는 선행적인 연구로써, 정체 지수의 산정이나 통계량 산출 방법 등에서 추가적인 시도와 개선이 이뤄질 여지가 있다. 예를 들어, RTM의 정체 수준과 실제 통행 상황의 구체적인 상관관계가 도출된다면 RTMDB에서 나타나는 정체 지수의 실제 통행 속도 유추가 가능할 것이다. 한편, RTMDB는 3차원의 정형적 데이터 구조를 갖고 있어 해석과 적용이 용이하다. 이러한 특성을 활용하여 CI의 시계열적 내역을 기계학습에 적용한다면, 더 구체적인 정체 패턴 도출과 교통상황 예측이 가능할 것으로 기대된다.

## 사사

이 논문은 정보통신기획평가원 글로벌핵심인재양성(HTP-2020-0-01593)사업의 지원을 받아 연구되었습니다.

This research was supported by the MSIT (Ministry of Science, ICT), Republic of Korea, under the High-Potential Individuals Global Training Program (IITP-2020-0-01593) supervised by the IITP (Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation). We also thank AAG Headquarter and Board Members for supplying abstract data for this research.

## 참고문헌

- 박재홍·오철·김태형·주신혜, 2010, "GPS 프로브 차량 속도자료를 이용한 고속도로 사고 위험구간 추출기법," 한국ITS학회논문지, 9(3), 73-84.
- 서울시 교통정보 시스템, 속도 정보, [https://topis.seoul.go.kr/refRoom/openRefRoom\\_1.do](https://topis.seoul.go.kr/refRoom/openRefRoom_1.do)
- 최기주·장정아·정재영·심상우, 2004, "교통정보제공을 위한 GPS/GIS기반의 실시간 혼잡지표개발," 대한지형공간정보, 12(4), 53-60.
- Bian, C., Yuan, C., Kuang, W. and Wu, D., 2016, "Evaluation, classification, and influential factors analysis of traffic congestion in chinese cities using the online map data," *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1-10.
- De Fabritiis, C., Ragona, R. and Valenti, G., 2008, "Traffic estimation and prediction based on real time floating car data," *Proceedings of the 11th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, Beijing, 197-203.
- García-Ramírez, Y., 2020, "Developing a traffic congestion model based on google traffic data: a case study in Ecuador," *Proceedings of the 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems*, 137-144.
- Google, Arterial traffic available on Google Maps, 2009, <https://googleblog.blogspot.com.tr/2009/08/bright-side-of-sitting-in-traffic.html>
- Google, Google Maps is turning 15! Celebrate with a new look and features, 2020, <https://blog.google/products/maps/maps-15th-birthday>
- Google, Google Maps Platform Coverage Details, 2021, <https://developers.google.com/maps/coverage>
- Google, View places, traffic, terrain, biking, and transit, 2019, [https://support.google.com/maps/answer/3092439?hl=en&visit\\_id=1-636415200196506079-2363811973&rd=2](https://support.google.com/maps/answer/3092439?hl=en&visit_id=1-636415200196506079-2363811973&rd=2)
- He, Z., Zheng, L., Chen, P. and Guan, W., 2017, "Mapping to cells: a simple method to extract traffic dynamics from probe vehicle data," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32(3), 252-267.
- Herrera, J. C., Work, D. B., Herring, R., Ban, X., Jacobson, Q. and Bayen, A. M., 2010, "Evaluation of traffic data obtained via GPS-enabled mobile phones: the mobile century field experiment," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 18(4), 568-583.
- Jiang, Z., McCord, M. R., and Goel, P. K., 2006, "Improved AADT estimation by combining information in image- and ground-based traffic data," *Journal of Transportation Engineering*, 132(7), 523-530.
- Leduc, G., 2008, Road Traffic Data: Collection Methods and Applications.
- Liu, X. and Ban, Y., 2013, "Uncovering Spatio-temporal cluster patterns using massive floating car data," *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 2(2), 371-384.
- Mahapatra, S. and Pujara, K. R., 2018, 2018 Maryland State Highway Mobility Report, MDOTSHA, USA.
- Mirzahosseini, H., Gholampour, I., Sedghi, M. and Zhu, L., 2021, "How realistic is static traffic assignment? Analyzing automatic number-plate recognition data and image processing of real-time traffic maps for investigation," *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 9(100320), 1-11.
- Nanthawichit, C., Nakatsuji, T. and Suzuki, H., 2003, "Application of probe-vehicle data for real-time traffic-state estimation and short-term travel-time prediction on a freeway," *Transportation Research Record*, 1855(1), 49-59.
- Schäfer, R.-P., Thiessenhusen, K.-U. and Wagner, P., 2002, "A traffic Information system by means of Real-time Floating-Car Data," *Proceedings of ITS World Congress 2002*, Chicago, IL.
- Seong, J. C., Kassa, H. and Choi, D., 2011, "Modeling and mapping traffic-congested corridors for statewide decision support," *Advances in Cartography and*

- GIScience*, 2, 449-456.
- Song, J., Zhao, C., Zhong, S., Nielsen, T. A. S. and Prishchepov, A. V., 2019, "Mapping spatio-temporal patterns and detecting the factors of traffic congestion with multi-source data fusion and mining techniques," *Computers, Environment and Urban Systems*, 77, 101364.
- van den Haak, P., Bakri, T., van Katwijk, R., Emde, M., Agricola, N. and Snelder, M., 2018, "Validation of google floating car data for applications in traffic management," *TRB 97th Annual Meeting Compendium of Papers*, Washington DC.
- Young, S., 2007, "Real-time traffic operations data using vehicle probe technology," *2007 Mid-Continent Transportation Research Symposium*, Iowa.
- Zhang, S., Li, S., Li, X., and Yao, Y., 2020, "Representation of traffic congestion data for urban road traffic networks based on pooling operations," *Algorithms*, 13(4), 84.
- 교신: 성정창, 30118, 미국 조지아주 캐롤턴시 백캠퍼스 드라이브 112로, 캘러웨이 빌딩 161호, jseong@westga.edu, +1-770-862-9275.  
Correspondence: Jeongchang Seong, 30118, 161 Callaway Science Building, 112 Back Campus Dr, Carrollton, GA, U.S.A., jseong@westga.edu, +1-770-862-9275.
- 최초투고일 2021. 6. 3  
수정일 2021. 6. 24  
최종접수일 2021. 6. 28