

차량 궤적의 도로망 커버리지 기반 고속도로 이동성 지표 개발*

Development of a Motorway Mobility Index Based on Road Network Coverage of Vehicle Trajectory

권철우 Kwon, Cheol-woo**, 장현호 Chang, Hyun-ho***

Abstract

Due to the limitations of available data, the performance evaluation of national main roadways is conducted using macroscopic traffic variables (e.g., traffic volume, travel time) that consist of the cross-sectional data of network vehicle trips. To conquer this ongoing hindrance, the aim of this research is to devise a novel mobility performance evaluation index based on the concept of spatial trip coverage. Trip length distribution, a sort of derivative data extracted from big data on vehicle GPS trajectories, is employed in order for the encapsulation of spatial trip coverage. To demonstrate the feasibility of the developed index, performance evaluation of national motorway sections was carried out using the index. The analysis results were similar to what transportation experts deduce. This indirectly indicates that the index, in itself, has strong explanatory and obvious discriminating power in evaluating the mobility of any road section as a member of the road network. In addition, it was demonstrated that the index could be successfully employed for the analyses of functional road classification and weekend leisure trip of motorway sections. Therefore, it is at least expected that the proposed mobility index could be efficaciously used as a policy decision-making index in the planning and operation of national highway network.

Keywords: Vehicle GPS Trajectory, Spatial Trip Coverage, Disaggregate Approach, Trip Mobility Index, Motorway Performance Evaluation

I. 연구 배경 및 목적

고속도로는 국토 공간 간 (중·장거리) 자동차 통행의 이동성(Mobility)을 담당하는 핵심 국토 인프라이다. 정부는 고속도로 연장을 지속적으로 확충(2020년 기준 4,848km)하였으며, 이는 2000년 기준 2,131km의 2.27

배에 달한다(MOLIT 2021). 이와 더불어 고속도로 접근성(Accessibility) 향상을 위하여 고속도로 나들목의 개소 수를 지속적으로 증가시키고 있다. 이를 고려하여 고속도로 성능평가는 이동성과 접근성 측면에서 수행됨이 바람직하다. 고속도로 접근성과 이동성 성능평가 지표에 관한 국·내외 연구를 살펴보면 다음과 같다.

* 본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 RS-2022-00144012)

** 인천대학교 도시융·복합학과 박사과정(제1저자) | PhD Candidate, Urban Convergence Engineering, Incheon National University | Corresponding Author | cjfdn300@naver.com

*** 네트렉(주) 총괄이사(교신저자) | Executive Director, Nettek Co. | Primary Author, PhD | nettrek@hanmail.net

먼저, 이동성과 접근성은 다음과 같이 정의된다. 이동성은 사람과 재화의 효율적인 이동 능력을 의미하며, 접근성은 이동성 자체가 아니라 이용기회에 도달하는 능력이다(Barter 2018). 따라서 기존 연구에서 고속도로 접근성 지표는 통행의 출발지-고속도로 진입로까지 또는 고속도로 진출로-통행의 목적지까지 통행비용이나 통행거리로 정의하여 적용하였으며, 이동성 지표는 고속도로 통행의 시작 진입로에서 종료 진출로까지 통행비용이나 통행거리로 정의하여 적용하였다.

접근성 지표 연구는 GIS와 같은 공간분석 툴을 이용한 연구에 집중되었으며, 공간분석을 통해 분석된 출발지-고속도로 진입부, 고속도로 진출부-도착지까지 통행거리나 통행시간을 지표로 적용하여 공간분석을 수행하였다(Beria, Debernardi and Ferrara 2017; Gutiérrez 2001; Holl 2007; Li and Shum, 2001; 이광연, 박기섭 2018).

이동성 지표 연구는 가용자료의 한계로 제한적이라 판단된다. Zhu, Boriboonsomsin and Barth(2010)은 차량 내비게이션 자료를 활용하여 고속도로 내부 통행의 이동성, 지역 간 연결성, 그리고 통행시간 신뢰성을 평가하였다. 이동성 지표의 대체지표로서 (수송 경쟁력 지표라 할 수 있는) 고속도로 노선의 km당 통행속도나 총 차량통행거리(대·km)를 적용하였다(KOTI 2014). 이러한 한계를 극복하기 위하여 박종일(2018)은 차량 내비게이션 데이터를 활용한 다양한 고속도로 성능평가 지표(기종점 총/평균 주행거리, 장거리 통행거리 비율, 교통존 기종점 Pair 수, 내부통행 비율)를 제시하였다. 정부와 영동 고속도로 일부 구간을 대상으로 평가한 결과, 교통량, 기종점 총 주행거리, 교통존 기종점 Pair 수를 복합적으로 분석해야 함을 언급하였다.

보고된 지표들은 고속도로 이동성 평가에 다음의 한계를 가진다. 첫째, 통행량과 통행속도 기반의 이동

성 지표는 통행의 단면 정보로서 변별력이 낮다. 예를 들어, A와 B 두 고속도로 구간의 교통량과 통행속도가 유사하다면 수송경쟁력 기반 이동성 지표는 변별력이 없다. 그러나 구간 A는 단·중거리 통행의 비율이 높고, 구간 B는 중·장거리 통행의 비율이 높은 경우, 고속도로의 순기능인 지역 간 이동성을 고려하면 구간 B의 이동성이 높다. 이처럼, 동일 고속도로 노선이라도 구간에 따라 단·중·장거리 통행의 커버리지는 상이할 것으로 판단된다.

둘째, 통행자의 관점에서 출·도착지 간 통행은 공간적으로 연속되므로 고속도로 접근성과 이동성은 분리될 수 없다. 따라서 고속도로 구간의 이동성은 통행의 시작과 종점을 고려한 전국 도로망의 수준 즉, 해당 고속도로 구간의 단·중·장거리 통행의 커버리지 관점에서 평가되어야 한다.

셋째, 현행 고속도로 이동성 지표는 전국 도로망 수준에서 고속도로와 연계되는 경로통행의 관점을 설명하지 못한다. 따라서 도로의 기능으로 분류·연계되는 국가기간교통망의 노선계획에 적합하지 않다. 이는 전국 도로망상에서 개별 통행자의 경로행태를 고려하지 않기 때문이다.

마지막으로, 현행의 평가지표는 거시적 집계 자료를 이용한 집계 접근법 기반으로 개발된 지표로서 미시적 대용량 자료를 이용한 미시적 평가지표의 적용에 그 한계가 있다. 따라서 현행의 미시적 빅데이터 가용성에 적합한 미시적 평가지표의 개발이 필요하다.

이상에서 언급한 현행 이동성 평가지표의 한계를 효과적으로 극복할 수 있는 핵심 정보는 고속도로를 이용한 차량의 출·도착지 간 미시적인 개별 경로 정보이다. 이러한 미시적 정보는 대용량 차량 GPS 궤적 데이터에 포함되어 있다. 이러한 차량 GPS 궤적 정보의 잠재력에도 불구하고, 이를 이용한 고속도로 구간 이동성 평가지표의 개발과 전국 고속도로망 적용사례

는 보고되지 않고 있다.

본 연구는 차량 GPS 궤적에서 추출한 출·도착 통행의 공간적 커버리지 관점에서 고속도로 구간의 성능평가를 위한 이동성 평가 지표(Mobility Evaluation Index, 이하 MEI)를 개발·제시한다. 그리고 개발된 지표를 이용한 전국 고속도로 구간에 대한 이동성 성능평가와 시사점을 도출하도록 한다. 추가로 MEI는 대용량 차량 내비게이션 궤적 자료를 이용하여 미시적 분석과 거시적 분석이 동시에 가능하도록 비집계 접근법으로 개발되었다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제2장은 고속도로 구간을 경유하는 출·도착지 간 통행거리의 자료의 특성과 이를 이용한 MEI의 개발로 구성된다. 제3장은 개발된 MEI를 이용한 전국 고속도로 구간의 이동성 평가 결과와 시사점으로 구성된다. 마지막으로 본 연구의 결론과 정책 제언은 제4장에서 다루도록 한다.

II. 이동성 평가지표 개발

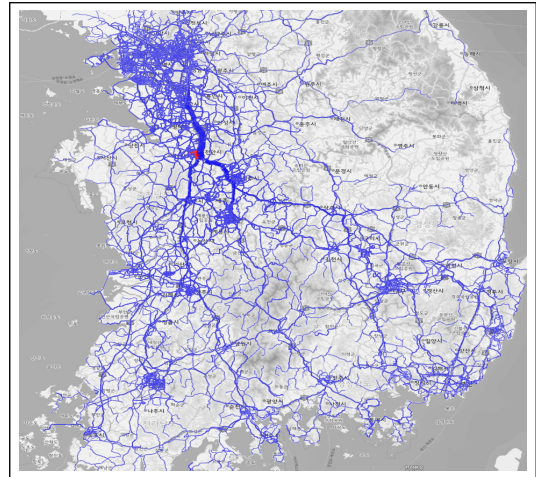
1. 데이터 특성 및 잠재력

본 연구에서는 차량 내비게이션 기종점 경로 데이터를 이용하여 해당 고속도로 구간의 공간적 통행 커버리지를 평가하기 위한 이동성 지표 즉, MEI를 개발한다. 개발 지표의 산정과정에서 앞서 (경로기반의) ①공간적 통행 커버리지 개념과 기능, 그리고 (개발지표의 입력값으로 이용되는 해당 고속도로 구간을 경유한 차량 내비게이션의 출·도착지 간) ②통행거리분포 (Trip length distribution, 이하 TLD)의 특성과 이용 잠재력에 대해 기술하면 다음과 같다.

공간적 통행 커버리지는 해당 고속도로 구간을 경유한 모든 차량 내비게이션 통행의 출발지에서 도착지까지 (개별 통행의 합인) 경로통행량의 공간적 분포라 정의한다. <Figure 1>은 정부고속도로 천안JC→

천안IC 구간을 경유한 차량 GPS 통행의 공간적 통행 커버리지를 출·도착지 간 경로통행량으로 보여주고 있다. 이처럼, (국토 수준의 도로망 차원에서) 고속도로 구간의 공간적 통행 커버리지가 넓다는 것은 (출·도착 통행거리의 관점에서) 고속도로 구간이 담당하는 이동성이 높음을 의미한다. 따라서 해당 고속도로 구간의 공간적 통행 커버리지, 즉 출·도착지 간 경로통행량의 공간적 분포는 전국 도로망의 (통행거리 기준) 이동성에 대한 기여도라 할 수 있다.

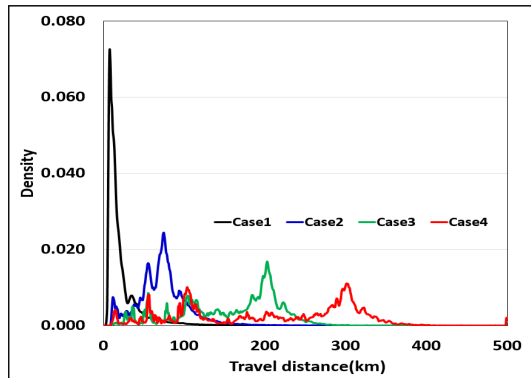
Figure 1 _ Example of Spatial Trip Coverage



출·도착지 통행거리의 관점에서 공간적 통행 커버리지, 즉 해당 고속도로 구간을 경유한 모든 차량 내비게이션 통행의 출·도착지 간 거리는 비집계 방식의 분포인 TLD로 설명할 수 있다. <Figure 2>는 TLD의 다양성을 보여주고 있다. 대상 고속도로는 서해안고속도로이며, Case별 구간은 다음과 같다. Case 1(조남JC→서서울TG), Case 2(당진IC→당진JC), Case 3(군산IC→동군산C), Case 4(영광IC→함평IC). Case 1은 수도권 서부의 통행을 담당하기 때문에 100km 이하의 통행이 집중되어 있으며, Case 2는 수도권 서부와 충남 북부지역의 통행을 담당함으로 침두시 통행거리는 100km 전·

후이다. 그리고 Case 3과 4는 [충청남도와 수도권] → [전라남·북도의 서부권]의 장거리 통행을 담당하고 있다. 이처럼 TLD는 해당 고속도로 구간의 공간적 통행 커버리지를 설명하는 데 명확한 변별력을 제공해 준다.

Figure 2 _ Variety of TLDs



이상에서 설명한 TLD의 다양성과 변별력을 이용하면, 해당 고속도로 구간의 공간적 통행 커버리지에 내재해있는 단·중·장거리 통행특성의 즉시적이고 명확한 분석이 가능하다. 따라서 (차량 내비게이션 궤적 빅데이터에서 추출한 파생 데이터인) TLD는 공간적 통행 커버리지 관점에서 고속도로 구간의 이동성을 설명하기 위한 즉시적이고 효과적인 정보이다. 추가로, 차량 내비게이션 경로 데이터는 실제 차량 통행의 동질적 직접 표본이다(Chang and Cheon 2019; Chang and Park 2021). 따라서 차량 내비게이션 기·종점 경로자료로 수집된 TLD는 모든 차량의 TLD에서 추출한 동질적 직접표본(Homogeneous direct sample)이다.

2. 통행거리분포 구축

이동성 평가 지표(MEI)의 산정을 위해서는 전국 고속도로 구간에 대한 TLD 정보가 구축되어야 한다. 본 연구에서는 개별 차량의 출·도착지 통행거리의 미시적 특성을 유지하기 위하여 TLD를 1km 집계간격의

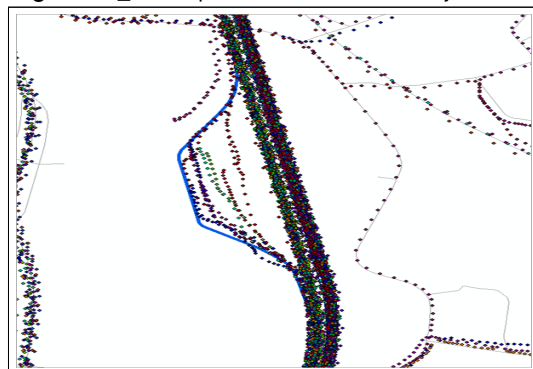
분포형태로 이용하였으며, K개 고속도로 구간에 대한 TLD는 $TLD(k)$, $k=[1,2,...,K]$ 로 정의한다. TLD의 최대 통행거리(l_{max} , km)는 500을 이용하였다. 추가로 TLD 구축을 위한 집계간격은 1km이므로 최대 허용 오차는 $\pm 0.5km$ 이다. 그리고 개별 출·도착지 간 차량의 궤적은 1초 간격의 연속적인 시간정보(년,월,일,시,분,초)와 위치정보(즉, 경위도 좌표)로 구성된다(<Figure 3 참조>). 주어진 I개의 출·도착지 간 차량 점-점 궤적 자료는 $VT(i)$, $i=[1,2,...,I]$ 로 정의한다. 그리고 $VT(i)$ 에 대한 연속된 링크 궤적은 $LT(i)$ 로 정의하며, $LT(i)$ 의 출·도착지 간 통행거리(km)는 $TD(i)$ 로 정의한다. I개의 주어진 VT를 이용한 K개 고속도로 구간의 TLD 구축과정은 다음과 같다.

[1단계] 모든 k의 $TLD(k)$ 의 집계구간(1~500) 값을 0.0으로 초기화한다.

[2단계] 주어진 $VT(i)$ 에 대해 맵매칭(Map-matching) 알고리즘을 이용하여 $LT(i)$ 와 $TD(i)$ 정보를 구축한다. $LT(i)$ 구축을 위한 맵매칭 알고리즘으로는 Python에서 제공하는 GitHub 알고리즘을 이용하였다.

[3단계] 구축된 $LT(i)$ 의 고속도로 링크에 해당하는 $TLD(k)$ 에 $TD(i)$ 집계구간 빈도수를 1 증가시킨다. 이상의 [2, 3단계]를 모든 $VT(i)$ 에 대해 수행함으로써 모든 고속도로 구간에 대한 $TLD(k)$ 을 구축한다.

Figure 3 _ Example of Vehicle GPS Trajectories



3. 이동성 평가 지표의 산정

고속도로 구간의 MEI는 구축된 TLD를 이용하여 산정된다. 고속도로 구간(k)의 MEI는 최대 통행거리($l_{\max}$)와 TLD(k) 누적합의 중합 면적($l_{\max} \times \text{TLD}(k)$ 누적합) 중에서 TLD(k) 누적합이 차지하는 면적을 제외한 나머지 면적의 비율이다. <Figure 4>는 TLD(k) 정보와 $l_{\max}$ 을 이용한 MEI 산정과정을 보여주고 있으며, 다음과 같다.

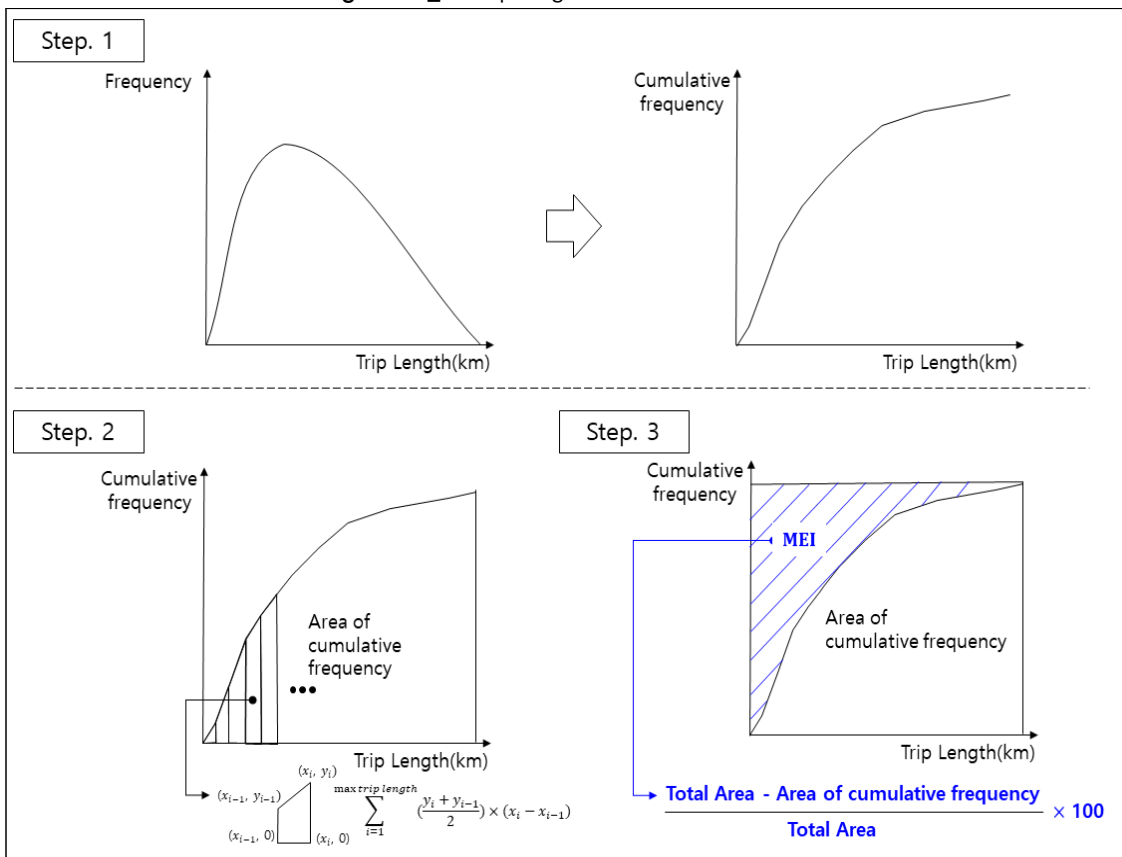
[1단계] 주어진 TLD(k) 데이터를 이용하여 누적된 빈도 TLD(k)을 산정한다.

[2단계] 누적된 빈도 TLD(k)의 면적을 산정한다.

[3단계] $l_{\max}$ 와 누적된 빈도 합으로 계산되는 총면적에서 2단계 값을 제외한 값이 차지하는 비율을 산정한다.

산정된 MEI 값은 TLD(k)가 좌편향될수록 +0.0에 가까워지며, 우편향될수록 +100.0에 가까워진다. 즉 MEI 값은 이론적으로 0.0에서 100.0까지 존재한다. MEI 값은 (고속도로를 이용하는 통행의 관점에서) 단거리 통행의 비율이 높을수록 감소하며, 장거리 통행의 비율이 높을수록 증가한다. 따라서 해당 고속도로 구간의 공간적 통행 커버리지에 내재해있는 단·중·장거리 경로통행량의 정도를 즉시적으로 설명한다.

Figure 4 _ Computing Process of MEI Index



III. 고속도로 이동성 평가

1. 데이터 및 평가 시나리오

본 연구에서 개발된 MEI를 이용한 고속도로 이동성 평가를 위한 데이터는 2019년(365일)에 수집된 전국 차량 내비게이션 궤적 자료이다. 평가대상 고속도로 구간은 한국교통연구원의 View-T 시스템(<https://viewt.ktdb.go.kr>)에서 교통정보의 분석·제공에 이용되는 전국 도로망 수치지도의 고속도로 본선 링크이며, 총 13,923개 구간이다. 대상 구간별 MEI 값을 산정하기 위한 TLD는 주중과 주말로 구분하여 구축하였다.

평가를 위한 시나리오는 다음과 같이 설정하였다. 평가 시간대는 평일과 주말로 구분하였다. 이는 평일 평균 교통혼잡 기·종점 통행량을 기준으로 국가기간 교통망계획이 계획되므로 시간적 일치성을 확보하기 위함이다. 또한 고속도로는 여가통행 빈도가 높으므로 이동성의 변화를 주중과 주말로 구분하여 분석하고자 한다. 그리고 군집분석을 통해 통행 이동성 측면에서 고속도로의 기능을 분석하도록 한다.

2. 구간별 이동성 평가

고속도로 구간별 MEI를 평가한 결과는 <Table 1>과 같으며, MEI 기반 이동성은 최솟값을 제외하고 주말이

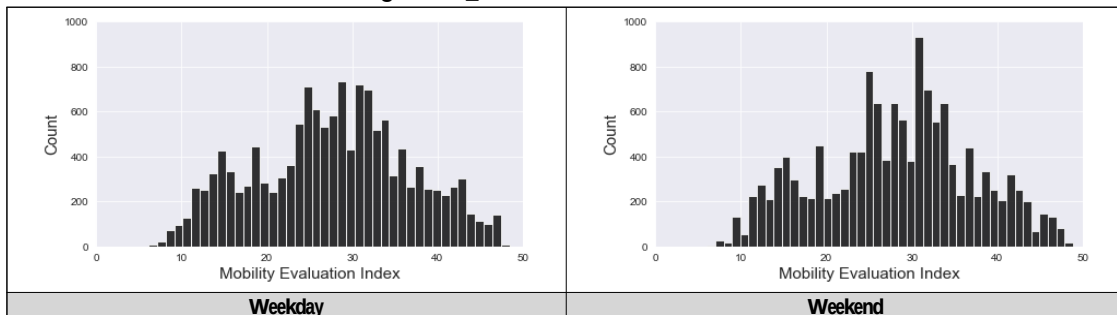
주중보다 높게 나타났다. 이는 주중에 비하여 주말의 차량 통행거리가 증가하기 때문으로 판단된다. 주중과 주말 모두에서 중앙값은 평균값보다 다소 크게 나타났다. 이는 도시부의 단거리 통행의 영향 때문으로 판단된다. 특히, 최솟값의 경우 주중의 4.1은 주말의 1.5와 큰 차이를 보이고 있다. 이는 고속도로 구간에 따라 주말에 단거리 통행이 집중되는 경향이 있음을 의미한다.

Table 1 _ Summary of MEI Analysis Results

Statistic	Weekday	Weekend
Ave.	27.7	28.1
Med.	28.1	28.5
Std.	9.0	9.0
Min.	4.1	1.5
25%	21.5	22.2
50%	28.1	28.5
75%	33.7	33.9
Max.	48.4	48.8

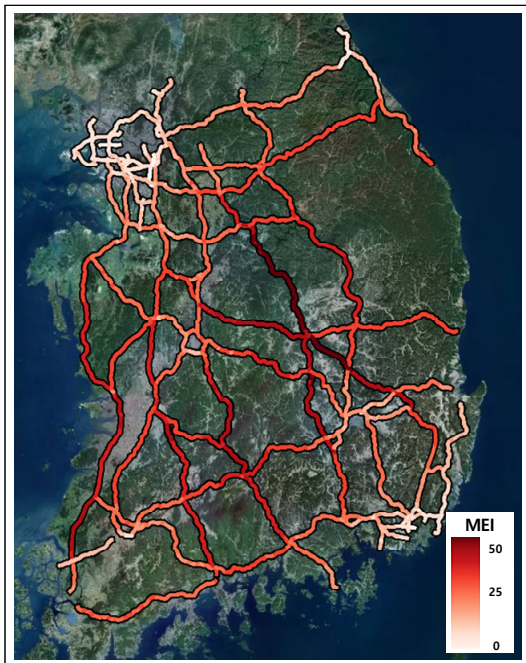
분석대상 고속도로 구간의 주중과 주말 MEI 값은 <Figure 5>와 같이 정규분포에 가까운 특성을 보이고 있다. 이는 국가기간망계획의 고속도로 부분이 효율적으로 계획되었다는 의미이기도 하다. 주말에 비해 주중의 MEI 값 분포는 정규분포에 보다 유사하다. 이는 국가기간망계획이 평일 통행을 기준으로 구축되기 때문으로 파악된다. 공간적 통행 커버리지 측면에서 고속도로망의 효율성 증대를 위해서는 고속도로 지선의 구축과 더불어 주말 여가통행을 적극적으로 반영하여야 할 것으로 사료된다.

Figure 5 _ Distribution of MEI Values



MEI 값의 공간적 분포를 살펴보면 <Figure 6>과 같다. MEI 수치의 공간적 분포는 도시·교통 전문가의 일반적인 통념과 유사하게 나타나고 있으며, 이는 본 연구에서 제시한 MEI 지표의 적용성이 높음을 의미한다고 할 수 있다. MEI 값은 (단거리 통행이 집중되는) 수도권·광역권의 낮은 수치와 (중·장거리 통행이 집중되는) 비광역권의 높은 수치로 확연히 구분되고 있다. 수도권의 경우, 경기도 전역에서 낮은 수치를 보이고 있다. 수도권 제2순환고속도로의 건설은 단거리 통행의 처리와 더불어 중·장거리 통행의 우회기능으로서 합리적이라 할 수 있다. 또한 향후 수도권 제3순환고속도로의 계획 및 건설이 필요하다고 판단된다. 부산권의 경우, 제2부산외곽순환고속도로의 추가적인 건설이 필요할 것으로 판단된다. 추가적으로, 강릉·속도·인제 권역은 낮은 인구밀도에도 불구하고 MEI 수치가 낮게 나타나고 있다. 이는 해당 권역 내에서 여가통행 비율이 높기 때문으로 판단된다.

Figure 6 _ Spatial Distribution of MEI Values



3. 고속도로의 기능 분류

앞서 언급한 바와 같이 국내 고속도로 연장은 4,848km (2020년 기준)까지 확장되었으며, 나들목의 개수도 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 고속도로망의 확대에도 불구하고, 현행 도로등분 분류체계에서 고속도로는 고속도로와 도시고속도로로 분류되고 있다. 따라서 통행의 공간적 통행 커버리지 관점에서 고속도로 구간의 기능을 구분할 필요가 있다.

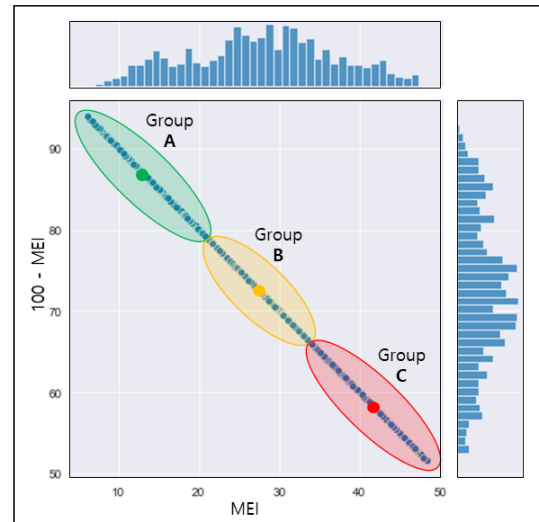
MEI 수치를 이용한 고속도로의 이동성 관점에서 기능적 분류를 클러스터링 분석을 수행한 결과는 <Figure 7>과 같다. 클러스터링 기법으로는 널리 이용되는 K-means 클러스터링 기법을 적용하였다. 이동성 관점에서 고속도로 구간은 3개 그룹으로 분류되었으며, 그룹별 공간적 통행 커버리지 특성은 다음과 같다.

[Group A] 단거리 통행이 집중

[Group B] 중·장거리 통행이 집중

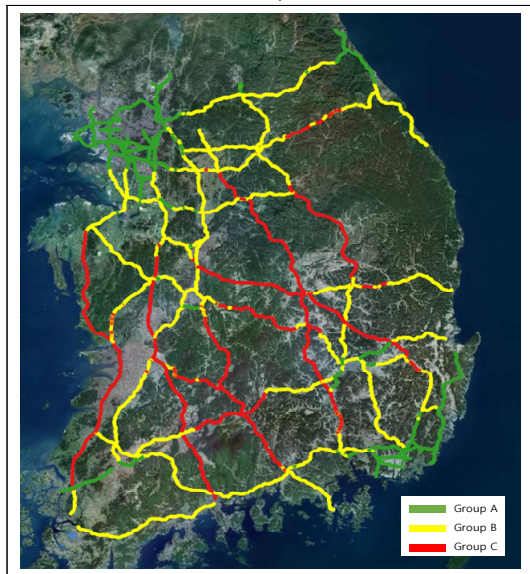
[Group C] 장거리 통행이 집중

Figure 7 _ Clustering Result of MEI Values



3개 그룹에 대한 공간적 분포는 <Figure 8>과 같다. 수도권과 부산광역시권은 단거리 통행이 집중되는 명확한 Group A의 특성을 보이고 있으며, 사실상 지역 간 고속도로의 기능보다는 지역 내 고속도로의 기능을 수행한다고 사료된다. 추가로, 강릉·속도·인제 권역은 단거리 여가통행이 집중되는 Group A의 특성을 보이고 있다. Group B와 C는 지역 간 고속도로의 기능이 강한 노선이다. 해당 고속도로 노선을 따라 일정하게 분포하거나 고속도로 분기점을 경계로 분포하고 있다. 이상의 분석결과는 공간적 통행 커버리지 관점에서 이동성에 따른 고속도로 노선 또는 일정 구간에 대한 기능 분류가 가능함을 의미한다. 이러한 고속도로의 기능 분류는 고속도로 노선의 관리 및 확장 계획에 반영할 수 있을 것으로 판단된다.

Figure 8 _ Spatial Distribution of Mobility Function of Motorway Sections



4. 주중/주말 이동성 변화

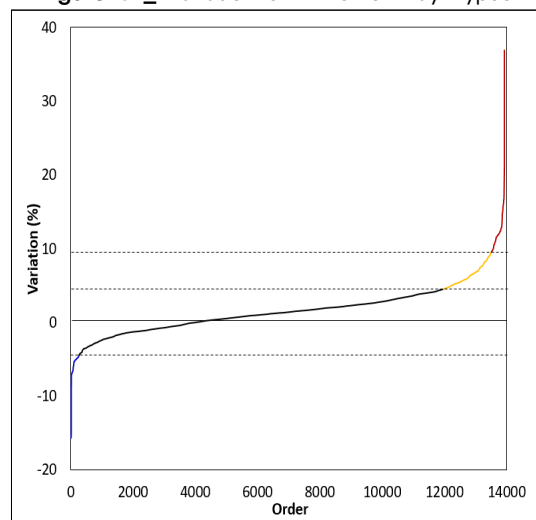
여가통행은 통근, 업무 등의 통행에 비하여 상대적으로 통행거리가 길다는 특징이 있으며, 주말에 집중되

는 경향을 보인다. 따라서 주중 대비 주말의 MEI 변동률(%)은 고속도로 여가통행의 특성 분석에 있어 주요한 의미를 가진다.

<Figure 9>는 13,923개 대상구간에 대한 주중 대비 주말의 MEI 변동률을 보여주고 있다. MEI 변동률이 -방향으로 감소할수록 주중 중·장거리 통행의 비율이 높으며, +방향으로 증가할수록 주말 중·장거리 통행의 비율이 높음을 의미한다. MEI 변동률의 평균값(1.67)과 중앙값(1.37)은 각각 0.0보다 크게 분석되었으며, 이는 주중 대비 주말의 이동성이 높음을 의미한다. 또한 MEI 변동률의 분포는 중앙값이 평균값보다 작은 좌편향으로 나타났다.

MEI 변동률은 -15.7~36.9%를 보이고 있다. 이는 통근, 업무 등의 주중 통행 특성이 강한 구간과 여가통행의 특성이 강한 구간으로 구분됨을 의미한다. MEI 변동률이 -5% 이하인 구간은 1.9%(261개 구간)로 나타났다. 반면, MEI 변동률이 5% 이상인 구간은 14.1%(1,964개 구간)로 분석되었다. 이상의 분석결과는 본 연구에서 제시된 MEI가 고속도로 여가통행의 분석에서 변별력이 있음을 의미한다.

Figure 9 _ Variation of MEIs for Day Types



IV. 결론 및 정책 제언

고속도로는 중·장거리 자동차 통행의 이동성을 담당하는 핵심 국토 인프라이다. 국토교통부는 고속도로 연장을 지속적으로 확장하였다. 이러한 외형적 규모의 확장에도 불구하고, 고속도로의 성능평가는 고속도로의 통행 관점에서 순기능인 이동성보다는 통행시간, 통행속도, 그리고 교통량을 이용한 일종의 수송경쟁력 지표로 수행되어 왔다.

이상의 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 차량 내비게이션 궤적 대용량 자료를 이용한 비집계 기법 기반의 이동성 평가 지표(MEI)를 개발하였다. MEI는 전국 도로망의 관점에서 해당 고속도로 구간의 공간적 통행 커버리지 개념을 기반으로 단·중·장거리 통행 이동성을 설명하도록 개발되었다. MEI는 도로망에서 통행거리분포 기반의 미시적 분석과 지표 기반의 거시적 분석을 병행함과 더불어 직관적이고 명확한 판단의 기준을 제공하도록 설계되었다.

개발된 MEI를 이용한 전국 고속도로망 이동성 성능평가 결과를 수행하였으며, 이를 요약하면 다음과 같다. 첫째, MEI는 도로망 통행의 차원에서 고속도로 구간의 이동성 평가에 명확한 설명력과 변별력을 가진다. 국토 수준에서 고속도로 구간의 이동성에 대한 전문가의 통념과 일치하였다. 일부 지역(예: 강릉-속초-인제 권역)은 여가통행에 관련된 새로운 시사점을 제시해 주었다. 둘째, MEI는 고속도로의 이동성 관점에서 통행거리의 집중도에 따라 3개 그룹(단거리, 중·장거리, 장거리)으로 고속도로의 기능을 분류하였으며, 이는 MEI가 높은 설명력과 강력한 변별력을 지녔기 때문에 가능한 것으로 판단된다. 셋째, MEI는 주중과 주말의 이동성에 높은 변별력을 보였다. 이는 고속도로의 여가통행 분석 등 다양한 분석에 활용될 수 있음을 시사해 준다. 마지막으로, MEI는 고속도로뿐

만 아니라 모든 도로구간에 적용하도록 개발되었다. 모형의 재설계나 추가적인 업데이트 없이 즉시적으로 전국 도로망의 이동성 성능평가가 가능하다. 향후 국가간선망의 도로구간에 대한 적용 연구에 활용될 수 있을 것이다.

개발된 MEI의 적용결과를 기반으로 고속도로 노선의 계획 및 타당성 평가 측면에서 정책 제언을 언급하자면 다음과 같다. 첫째, 현행 도로·철도사업의 경제성 기반 타당성 평가를 보완하기 위한 정책 평가에 도로망 수준에서 정량적 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 경제성이 충분하지 않더라도 국토와 도로망의 이동성과 연계성을 정책 평가에 반영할 수 있을 것이다. 일례로, 제천-동해 고속도로의 도로망 차원에서 이동성과 지역 연계성은 영동고속도로 원주-강릉구간보다 높게 나타날 수 있다. 둘째, 국가기간망계획과 관련하여 고속도로와 국도의 Missing 노선을 탐지함과 더불어, 도로사업의 사전·사후 이동성 서비스 평가에 현행 수요분석기법의 한계를 극복하면서 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 셋째, 신설 고속도로의 노선과 국도개선사업의 타당성 평가에 있어 전국 도로망 차원에서 정책 결정에 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 예를 들어, 수도권 제2순환고속도로는 MEI 측면에서 타당하며, 수도권 제3순환고속도로의 구축이 필요한 것으로 분석되었다. 추가로 제2부산외곽순환고속도로의 건설이 필요한 것으로 분석되었다.

MEI 기반 고속도로 구간의 이동성은 운전자 관점에서의 고속도로 운영에 활용될 수 있을 것으로 판단되며, 이에 대한 정책 제언은 다음과 같다. 첫째, 제안된 MEI를 이용하면 운전자의 중·장거리 통행정도의 분석이 가능하며, 이를 이용하면 운행거리 증가에 따른 운전자의 운전 피로도 분석이 가능하다. 국내 지역간 고속도로 교통사고의 주된 원인은 중·장거리 운전

으로 인한 피로 및 졸음이다(이승봉, 장현호, 천승훈, 백승걸, 이영인 2016; Chang and Park 2020). MEI의 분석결과를 기반으로 졸음쉼터 등의 입지 적정성 및 추가설치를 통해 교통사고 감소정책에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

둘째, MEI 값이 큰 (즉 이동성이 높은) 고속도로 구간에 대한 제한최고속도(km/시)의 상향 조정에 정책적 판단자료로 활용할 수 있다. 이를 통해 지역 간 이동성을 출·도착지 간 통행시간의 측면에서 향상시킬 수 있을 것이다. 참고로 우리나라 고속도로의 설계속도는 120km/시이며, 정부고속도로 수도권 구간과 서해안고속도로 등이 제한최고속도 110으로 운영되고 있으므로 (설계속도가 낮은 일부 구간을 제외하면) 제한최고속도의 향상 조정에는 도로설계상의 이슈가 없을 것으로 판단된다.

마지막으로, 해당 고속도로 구간의 TLD는 고속도로 혼잡의 원인을 통행거리의 관점에서 규명하고, 혼잡 완화를 위한 교통운영의 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 단거리 통행 집중도가 높은 구간(예: 수도권 제1순환고속도로 판교JC~청계TG)은 오전·오후 첨두시에 반복적 혼잡의 특성이 강한 구간으로 나타났고 있으며, 중·장거리 통행의 집중도가 높은 구간(예: 서해안 고속도로 송학IC~서평택IC)은 비 반복적 혼잡의 특성이 강한 구간으로 나타나고 있다. 그리고 이러한 두 경우가 겹치는 경우 중일 혼잡을 보이는 구간(예: 오산IC~신갈JC)으로 나타나고 있다. 특히, 중·장거리 통행의 비중이 높은 구간의 경우 공간통행분포의 특성(즉, 경로통행량)을 이용하면 단거리 우회가 아닌 중·장거리 관점에서 우회 전략에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌 •••••

1. 국토교통부 2021. 제2차 국가도로망종합계획(2021~2030). Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) 2021. *2nd National Road Network Comprehensive Plan (2021-2030)*.
2. 박종일 2018. 효율적인 도로관리체계 개편을 위한 간선기능 평가 방안. 내비게이션 데이터의 활용을 중심으로. 국토정책 브리프, 695호: 1-8. 세종: 국토연구원.
Park Jong-il 2018. Arterial function evaluation plan for efficient road management system reorganization: Focusing on the use of navigation data. *KRIHS Policy Brief*, no.695: 1-8. Sejong: Korea Research Institute for Human Settlements.
3. 이광연, 박기섭 2018. 접근성 지표의 알고리즘을 이용한 2011년과 2017년의 우리나라 고속도로 분석. 한국사물레이선학회 논문지 27권, 4호: 9-18.
Lee Kwang-yeon and Park Ki-seop 2018. Analysis on the Korean Highway in 2011 and 2017 Using Algorithms of Accessibility indices. *Journal of the Korea Society for Simulation* 27, no.4: 9-18.
4. 이승봉, 장현호, 천승훈, 백승걸, 이영인 2016. 데이터 기반의 도로구간별 운전자의 통행행태를 고려한 교통사고지표 개발. 대한교통학회지 34권, 4호: 341-353.
Lee Soong-bong, Chang Hyun-ho, Cheon Seung-hoon, Baek Seung-kirl and Lee Young-ihn 2016. Development of traffic accident index considering data-based driving behavior. *Journal of Korea Society of Transportation* 34, no.4: 341-353.
5. 한국교통연구원 2014. 2014년 「국가교통조사 및 DB구축사업」 교통망 성능평가 연구. 고양: 한국교통연구원.
KOTI 2014. *2014 National Transportation Survey and DB Construction Project - A Study on the Performance Evaluation of Transportation Networks*. Goyang: Korea Transport Institute.
6. 한국교통연구원. View-T. <https://viewt.ktdb.go.kr> (2022년 9월 10일 검색).
KOTI. View-T. <https://viewt.ktdb.go.kr> (accessed September 10, 2022).
7. Barter, P. D. 2018. *Distinguishing between Accessibility and Mobility*. <http://www.gdrc.org/uem/sustran/access-mobility.html> (accessed September 10, 2022).
8. Beria, P., Debernardi, A. and Ferrara, E. 2017. Measuring the long-distance accessibility of Italian cities. *Journal of*

Transport Geography 62: 66-79.

9. Chang, H. and Cheon, S. 2019. The potential use of big vehicle GPS data for estimations of annual average daily traffic for unmeasured road segments. *Transportation* 46: 1011-1032.
10. Chang, H. and Park, D. 2020. Potentialities of vehicle trajectory big data for monitoring potentially fatigued drivers and explaining vehicle crashes on motorway sections. *Sustainability* 12, no.15: 5877.
11. Chang, H. and Park, D. 2021. Surveying annual average daily traffic volumes using the trip connectivity function of vehicle GPS in an urban road network. *International Journal of Urban Sciences* 25, no.2: 193-207.
12. Gutiérrez, J. 2001. Location, economic potential and daily accessibility: An analysis of the accessibility impact of the high-speed line Madrid-Barcelona-French border. *Journal of*

Transport Geography 9, no.4: 229-242.

13. Holl, A. 2007. Twenty Years of Accessibility Improvements: the Case of the Spanish Motorway Building Programme. *Journal of Transport Geography* 15, no.4: 286-297.
14. Li, S. M. and Shum, Y. M. 2001. Impacts of the national trunk highway system on accessibility in China. *Journal of Transport Geography* 9, no.1: 39-48.
15. Zhu, W., Boriboonsomsin, K. and Barth, M. 2010. Defining a freeway mobility index for roadway navigation. *Journal of Intelligent Transportation Systems* 12: 37-50.

-
- 논문 접수일: 2022. 7. 20.
 - 심사 시작일: 2022. 8. 3.
 - 심사 완료일: 2022. 9. 16.

요약

주제어: 차량 GPS 궤적, 공간적 통행 커버리지, 비집계 접근법, 통행 이동성 지표, 고속도로 성능평가

국가간선도로의 성능평가는 가용자료의 한계로 거시적 교통지표인 교통량과 통행시간 등을 이용한 단면적 지표를 이용하여 수행되고 있다. 이러한 한계를 극복하고자, 본 연구의 목표는 공간적 통행 커버리지 개념 기반의 이동성 성능평가 지표를 개발하는 데 있다. 공간적 통행 커버리지 설명하기 위하여 차량 내 비게이션 궤적에서 추출한 파생데이터인 통행거리분포를 이용하였다. 개발된 이동성 지표를 이용한 전국 고속도로 구간의 성능평가를 수행하였다. 평가결과

는 교통관련 전문가의 통념과 동일한 결과를 도출하였다. 이는 개발된 지표가 도로망의 일원으로서 도로 구간의 이동성을 설명하는데 있어 강력한 설명력과 명확한 변별력을 가지고 있음을 의미한다. 또한 개발된 지표는 고속도로 구간의 기능 분류와 주말 여가통행의 분석에 효과적으로 적용될 수 있음을 증명하였다. 따라서 개발된 이동성 지표는 국가간선도로망의 계획과 운영 과정에서 정책 의사결정지표로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

