

# 도로망도와 실시간 교통정보를 이용한 도로 지연계수 산정

## The Estimation of Road Delay Factor using Urban Network Map and Real-Time Traffic Information

전정배\* · 김솔희\*\* · 권성문\*\*\*

Jeon, Jeongbae · Kim, Solhee · Kwon, Sungmoon

### Abstract

This study estimated the delay factor, which is the ratio of travel time at the speed limit and travel time at the actual speed using real-time traffic information in Seoul. The actual travel speed on the road was lower than the maximum speed of the road and the travel speed was the slowest during the rush hour. As a result of accessibility analysis based on travel speed during the rush hour, the travel time at the actual speed was 37.49 minutes on average. However, the travel time at the speed limit was 15.70 minutes on average. This result indicated that the travel time at the actual speed is 2.4 times longer than that at the speed limit. In addition, this study proposedly defined the delay factor as the ratio of accessibility by the speed limit and accessibility to actual travel speed. As a result of delay factor analysis, the delay factor of Seoul was 2.44. The results by the administrative district showed that the delay factor in the north part areas of the Han River is higher than her south part areas. Analysis results after applying the relationship between road density and traffic volume showed that as the traffic volume with road density increased, the delay factor decreased. These results indicated that it could not be said that heavy traffic caused longer travel time. Therefore, follow-up research is needed based on more detailed information such as road system shape, road width, and signal system for finding the exact cause of increased travel time.

Keywords: Urban Network Map, Real-Time Traffic Information, Speed Limit, Delay Factor

### 1. 서론

거리는 어떤 사물이나 장소가 공간적으로 얼마나 떨어져 있는가를 수치적으로 표현한 값으로, 일상적

인 상황에서 거리는 물리적인 거리나 시간의 간격으로 표현된다(위키백과 2020). 이러한 거리의 값을 추정하기 위하여 다양한 분석기법에 대한 연구가 지속적으로 진행되어 왔다(Francis and Goldstein 1974;

\* 한국국토정보공사 공간정보연구원 Korea Land and Geospatial Infomatix Corporation (first author: jbjjeon@lx.or.kr)

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학, College of Agricultural and Life Sciences, Seoul National University (co-author: solhee1101@sun.ac.kr)

\*\*\* 대구대학교 공과대학 도시·조경학부 Division of Urban Landscape, Daegu University (corresponding author: k2580a@daegu.ac.kr)

Ronald et al. 2002).

일반적으로 해석기하학에 의한 좌표평면 위의 두 지점간의 거리는 피타고라스의 정리를 이용하여 유클리디안 직선거리로 계산된다. 그러나 직선거리는 두 지점의 좌표에 의한 최단거리로 공간의 지리적 요소를 반영하지 않는다. 이로 인하여 공간내의 산맥, 하천 등과 같은 지형적 조건에 따라 결정되는 실제 도로망에 따른 거리의 차이가 발생하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 유클리디안 직선 거리에 어떠한 계수를 곱하여 거리를 추정하는 모델이 개발되었으며, 이 계수의 적합성을 검증하는 연구가 진행되어 왔다(Brimberg et al. 1995; Love and Morris 1972, 1979, 1988; Wesolowsky 1973). 이때의 계수를 우회계수(Circuitry Factor)라 하며, 유클리디안 직선거리와 실제 도로망에 따른 거리의 비로 정의한다(O'Sullivan and Morrall 1996; Levinson and El-Geneidy 2009; Kim et al. 2013). 최근 지리정보시스템과 빅데이터의 발달로 많은 양의 데이터를 축적하여 거리추정에 이용되는 계수의 값을 더욱 정확히 예측할 수 있게 되었다(김태곤 외 2013; 전정배 외 2018).

그러나 물리적 거리를 기준으로 산정된 우회계수는 지형적인 요소와 도로의 조건(물리적/인위적 조건)을 반영할 수 있으나, 시간의 개념이 포함되지 않은 단점을 가지고 있다. 시간적 거리는 차량의 이동에 제한을 주는 교통량 증가, 차량정체, 신호대기 등 도로의 상황에 따라 편차가 발생한다. 교통량 증가와 차량정체 등으로 인하여 목적지까지의 소요시간이 증가하고, 또한 에너지 소모에 따른 오염물질 발생도 증가하여 사회적비용을 전체적으로 증가시키는 요인이 된다. 특히 응급의료와 같은 위급상황에서는 차량정체로 인하여 골든타임내에 응급의료시설까지 도달이 어려워지게 되며, 이로 인하여 개인의 생명 뿐 아니라 경제적 손실이 발생할 가능성이 높아지게 된다(Jeon et al. 2020). 따라서 정확한 시간적 접근성이 산정되어야 한

다. 기존의 연구에서는 법적으로 허용된 제한속도를 기반으로 평가가 수행되고 있다(주승민 외 2012; 조광수 외 2014; 전정배 외 2018). 그러나 이 시간적 접근성은 법적으로 허용된 범위 내에서 가장 빠르게 이동을 할 수 있는 잠재적인(Potential) 값으로 볼 수 있다. 또한 최근에는 시뮬레이션을 통하여 교통량에 따른 교통속도(Traffic speed)를 예측하고자 하는 연구가 수행되고 있으며(Feng et al. 2021), 하루 동안 변화하는 도로의 실제 운행속도를 이용하여 휴리스틱 기반의 접근성을 분석한 연구도 진행되고 있다(Gmira et al. 2021).

이러침 법적으로 허용된 제한속도의 평가에서 실시간 운행속도에 따른 평가로 현실성이 반영되고 있는 추세이다.

따라서 본 연구에서는 실제이동속도를 기반으로 기존 법정허용속도를 기반으로 수행된 접근성과 빅데이터 기반의 속도정보를 이용한 접근성을 산출하고, 두 값의 비율인 지연계수라는 정량적 지표를 통하여 비교 분석하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 연구대상지역

본 연구에서 지연계수를 산정하기 대한민국의 수도인 서울을 대상으로 하였다. 서울시는 605.24km<sup>2</sup>의 면적을 가지고 있으며, 2019년 12월을 기준으로 대한민국 전체인구의 19%에 해당하는 970만명이 거주하고 있다. 또한 대한민국 전체 차량의 13%에 해당하는 315만대가 분포하고 있다. 특히 서울시는 출퇴근 시기에 교통량이 증가하여 교통체증(Rush Hour)이 매우 심각한 지역 중 한곳이다(Figure 1). 따라서 본 연구에서는 서울시를 대상으로 출퇴근 시간의 속도정보를 이용하여 지연계수를 산정하고자 한다.

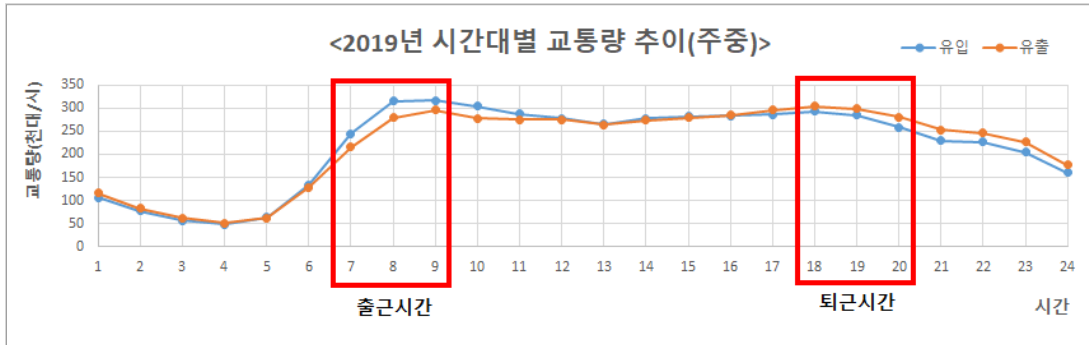


Figure 1. Traffic volume by timeslot and traffic congestion durin commuting time in Seoul city

## 2.2. 사용데이터

서울시를 대상으로 지연계수를 산정하기 위하여 도로망도와 교통정보를 이용하였다.

도로망도는 국토교통부(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MILT) 지능형교통체계관리시스템(Intelligent Transportation System, ITS)에서 제공하고 있는 표준노드링크 데이터가 이용하여 서울시 지역의 도로네트워크셋을 구축하였다. 표준노드링크는 링크 ID, 최대속도, 도로등급, 회전제한 등 도로의 다양한 정보를 제공한다. 본 연구에서는 속도 정보의 Data Join을 위하여 링크 ID를 이용하였으며, 이동시간 산정을 위한 최대속도, 회전제한 정보를 이용하여 도로망을 구축하였다.

다음으로 교통정보는 국토교통부에서 제공하는 교통정보공개 서비스<sup>1)</sup>를 이용하였다. 교통정보공개 서비스는 교통소통정보, 공사, 사고정보를 제공하며, 과거 데이터는 CSV(Comma Separated Values) 형태로 제공하고, 실시간 정보는 Open API(Open Application Programming Interface) 형태로 제공한다. 교통소통정보는 1일을 주기로 5분단위의 소통정보를 제공한다. 데이터는 집계일자, 시간, 링크 ID, 속도를 제공

하며, 링크 ID는 표준노드링크의 링크 ID와 조인이 가능하다. 교통소통정보의 데이터는 하루 약 3~4 Gigabyte(GB) 정도의 크기로 제공이 된다. 대규모 데이터의 통계치를 추출하는 과정에서 H/W의 제약으로 본 연구에서는 2020년 5월 2째주에 해당하는 5일간(월~금)의 데이터를 활용하였다.

## 2.3. 연구방법

본 연구에서 서울시를 대상으로 지연계수를 산정하였으며, 이를 위해 다음의 Figure 2와 같은 프로세스로 진행을 하였다. 접근성 분석을 위해 도로망도에 교통소통정보를 결합하고, 출발지점과 도착지점까지 법정허용속도와 출퇴근 시간의 평균속도를 이용하는 경우의 접근시간을 분석하고, 최종적으로 지연계수를 계산하였다(Figure 3).

여기서, 지연계수란 출발지점과 도착지점까지 법정허용속도를 이용하여 소요되는 시간과 출퇴근 시간대의 평균속도를 이용하여 소요되는 시간과의 비율로 다음의 식(1)과 같이 계산된다.

$$DF = \frac{T_r}{T_l} \quad (1)$$

1) 교통정보공개서비스 : <https://openapi.its.go.kr>

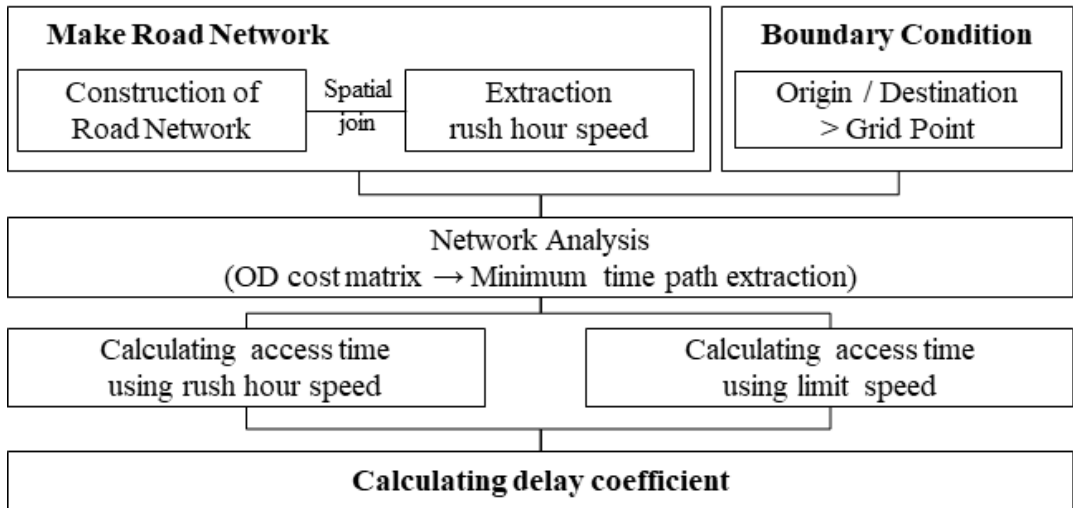


Figure 2. Flow chart

여기서  $DF$ 는 지연계수를 의미하며,  $T_r$ 은 출퇴근 시간대의 속도로 이용하는 경우 접근시간을 의미하고,  $T_l$ 은 법정허용 속도로 이용하는 경우 접근시간을 의미한다.

접근성 분석을 위하여 출발지와 목적지의 설정이 필요하다. 서울시 전체를 대상으로 한 분석은 계산량이 많아지기 때문에 본 연구에서는 1km \* 1km의 616

개 격자 중 도로망도와 인접한 566개의 격자를 기준으로 분석을 수행하였다(Figure 4). 설정된 격자 566의 중심점을 기준으로 출발점이자 동시에 도착점으로 설정하여 총 320,356개의 접근성 OD(Origin-Destination) cost matrix를 분석을 수행하였다. OD cost matrix는 ArcGIS™의 Network Analyst를 이용하였다. Network Analyst는 도로망에 따른 최적 경

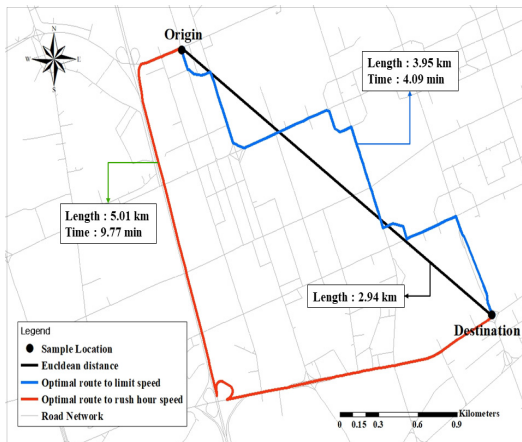


Figure 3. Optimal route of limit speed and rush hour speed

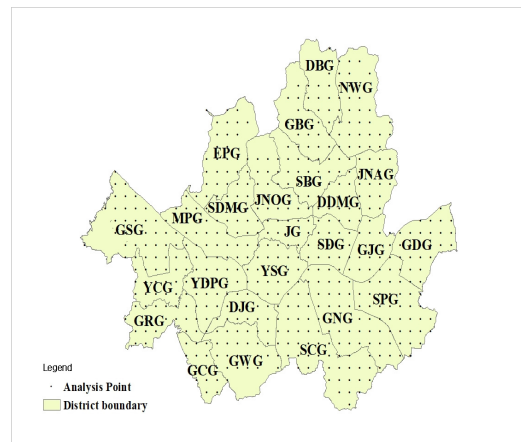


Figure 4. Distribution of 566 grid center points in the study area

로, 주변 시설, 서비스 영역 등과 같은 네트워크 기반의 공간분석을 제공하는 Extension이다. 본 연구에서는 도로망에 따른 최적 경로 분석을 알고리즘을 이용하였으며, 이때 출발점과 도착점은 앞에서 설정된 566개의 격자 중심점으로 설정하였다. 이 과정을 도로망의 법정허용속도로 이동할 때의 접근성과 출근시간(오전 7시~오전 9시)과 퇴근시간(오후 5시~오후 7시)까지의 평균속도로 이동할 때의 접근성과 법정허용속도로 이용하는 경우에 대해서 2회 계산하였으며, 식(1)을 이용하여 지연계수를 산정하였다.

또한 지연계수를 산정하기 위하여 구단위 지역으로 통계치를 산정하였으며, 내부와 외부의 지연계수로 설정하였다. 내부의 지연계수는 한 개의 구 지역 내부에서 접근성을 의미하며, 외부의 지연계수는 해당 지역 외의 지역으로 이동하는 접근성을 의미한다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 도로 속도 정보 결과

서울시의 도로망도를 기준으로 속도정보를 연결하여 데이터를 구축하였다. 서울시의 도로망의 링크는

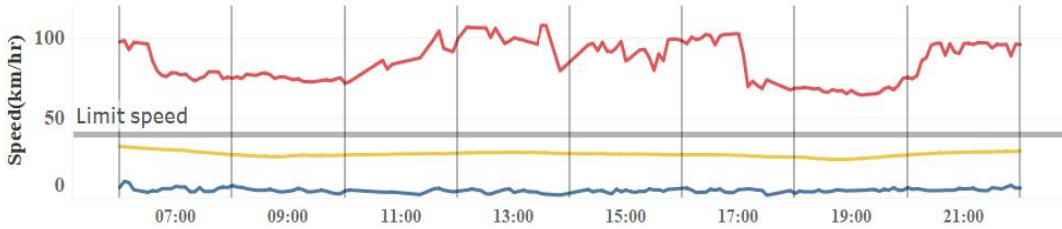
전체 5,710,677개로 분석되었으며, 노선 총 길이는 632,398km인 것으로 분석되었다. 서울시 도로망의 법정허용속도는 11개 등급으로 구분되었다. 이 가운데 법정허용속도가 60km/hr 등급에서 가장 많은 링크 수와 노선이 가장 긴 것으로 분석되었다. 또한 법정허용속도보다 높은 속도로 이용되는 경우는 허용속도가 낮은 10, 20km/hr일 때로 분석되었다. 그러나 총 길이로 보면 전체의 1%에도 미치지 않는 것으로 나타났다(Table 1). 따라서 도로의 실제 이용속도는 도로 법정허용속도보다 낮다고 볼 수 있으며, 전체적인 접근시간을 증가시킬 가능성이 높은 것으로 파악된다.

이를 전체시간을 기준으로 살펴보면 Figure 5와 같다. 법정허용속도가 40, 70km/hr의 경우에는 평균속도가 법정허용속도에 미치지지는 않지만 일부 구간에서는 법정허용속도보다 높은 속도로 이용되는 것으로 분석되었으며, 특히 40km/hr의 도로에서는 법정허용속도에 두배에 달하는 속도로 이용되는 것으로 분석되었다. 이 도로들은 도로에서 도로를 연결시키는 램프구간 또는 도심지의 내부도로로 안전을 위하여 법정허용속도는 낮으나 도로폭이 넓어 이용자가 법정허용속도 이상의 속도로 이용을 하는 구간으로 분석되었다(Figure 6). 그 외의 도로에서는 최대속도가 허용

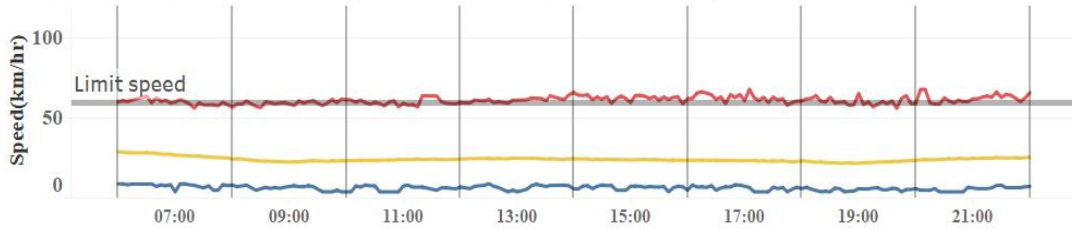
Table 1. Physical properties of Road network and statistics of actual usage speed

Limit speed (km/hr)	Average speed of rush hour (km/hr)	Road link (count, %)	Length (km, %)
10	19	965 (0.02)	100 (0.02)
20	21	6,369 (0.11)	956 (0.15)
30	26	536,959 (9.40)	51,170 (8.09)
40	28	530,416 (9.29)	82,420 (13.03)
45	45	193 (0.00)	11 (0.00)
50	24	97,815 (1.71)	21,471 (3.40)
60	24	3,546,880 (62.11)	383,100 (60.58)
70	32	569,454 (9.97)	35,709 (5.65)
80	52	387,923 (6.79)	54,151 (8.56)
100	62	33,317 (0.58)	3,254 (0.51)
110	86	386 (0.01)	55 (0.01)

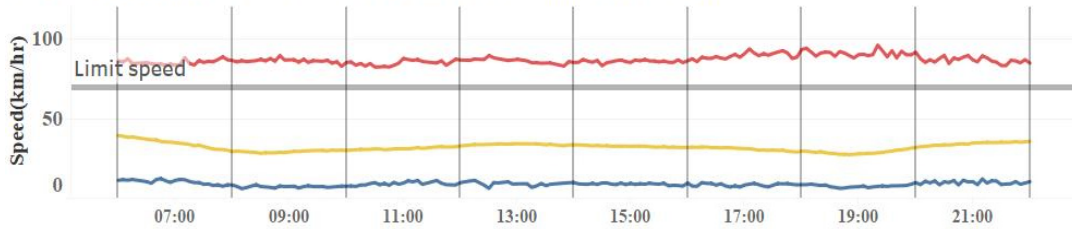
Every 5 minute speed distribution of speed limit of 40km/hr (6:00AM-22:00PM)



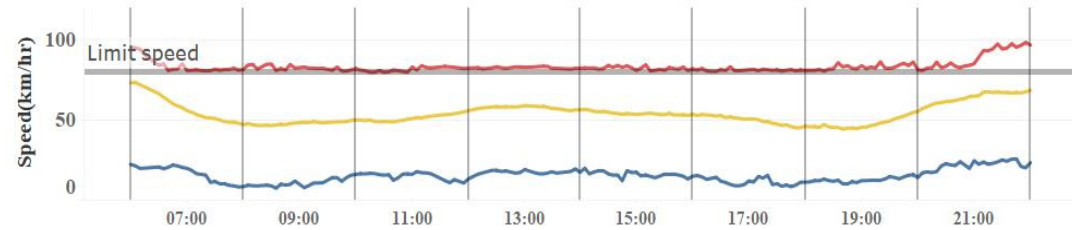
Every 5 minute speed distribution of speed limit of 60km/hr (6:00AM-22:00PM)



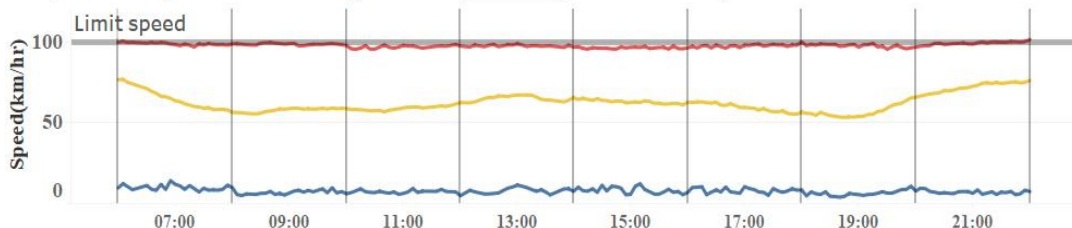
Every 5 minute speed distribution of speed limit of 70km/hr (6:00AM-22:00PM)



Every 5 minute speed distribution of speed limit of 80km/hr (6:00AM-22:00PM)



Every 5 minute speed distribution of speed limit of 100km/hr (6:00AM-22:00PM)



Legend  
■ Average speed    ■ Maximum speed    ■ Minimum speed

Figure 5. Every 5 minute speed distribution

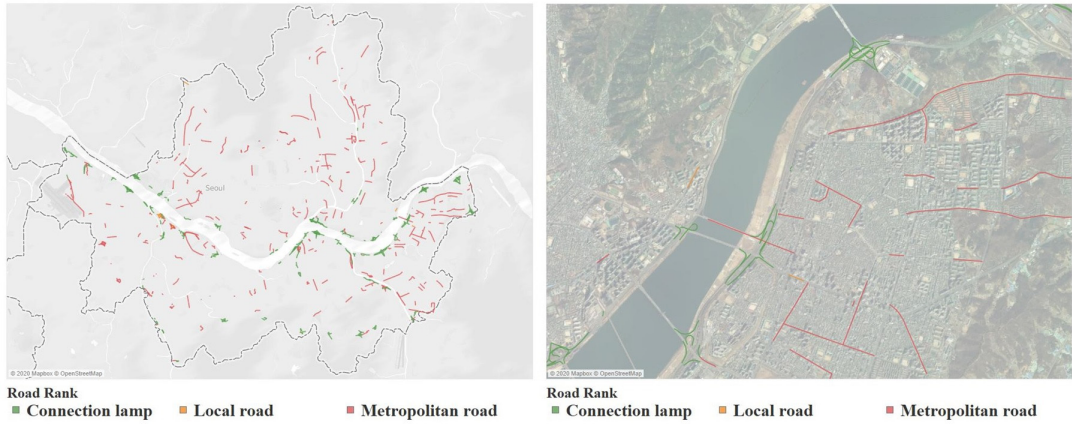


Figure 6. Road distribution used at more than twice the speed limit

속도의 범위에서 이용되며, 평균속도는 법정허용속도의 절반의 속도로 이용되는 것으로 분석되었다. 또한 대부분의 평균속도는 출근시간과 퇴근시간에 가장 낮게 분포하는 것으로 분석되어, 출퇴근시간에 가장 소요시간이 오래 걸릴 것으로 예측될 수 있다.

### 3.2. 접근성 분석 결과

서울시 도로망도의 법정허용속도와 출퇴근 시간의 평균속도를 이용하여 접근성 분석을 수행하였다. 그 결과 법정허용속도를 이용한 평균 접근성 시간은 15.70분으로 분석되었으며, 출퇴근 시간의 평균속도를 이용한 평균 접근성 시간은 37.94분으로 분석되었다. 즉, 법정허용속도를 기준으로 한 접근성 분석은 약 2.42배 가량 과소평가가 되고 있는 것이다.

이를 행정구역상 시군구 단위로 구분하여 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음의 Figure 7과 같다. 행정구역별 법정허용속도 기준의 접근시간의 대부분이 20분 내로 분석되었으나, 출퇴근 시간의 평균속도를 이용한 접근시간은 30분~50분이 소요되는 것으로 분석되었다. 행정구역 가운데 접근시간이 가장 높게 소요되는 지역은 도봉구로 출퇴근시간의 속도를 기준으

로 평균 48.67분이 소요되는 것으로 분석되었다. 이 지역은 서울시 가운데 가장 북쪽에 위치한 행정구역으로 지리적 위치로 인하여 타 행정구역으로 이동을 위한 시간이 가장 높은 것으로 파악된다. 다음으로 서남부에 위치한 구로구에서 45.96분이 소요되는 것으로 분석되었다. 이와 반대로 용산구의 행정구역에서 29.47분으로 접근시간이 가장 작게 소요되는 것으로 분석되었다. 이 지역은 서울시의 중심지역에 위치한 행정구역으로 타 지역으로의 이동을 위한 지리적 위치가 가장 좋은 지역으로 파악된다. 이와 인접한 성동구, 중구의 행정구역에서도 접근시간이 작게 소요되는 것으로 분석되었다(Figure 8).

지금까지의 접근시간 결과는 해당 행정구역 내부의 이동과 타 행정구역까지의 이동 접근시간의 결과이다. 이를 해당 행정구역 내부의 접근시간을 살펴보았다. 법정허용속도를 이용한 평균 접근성 시간은 5.0분으로 분석되었으며, 출퇴근 시간의 평균속도를 이용한 평균 접근성 시간은 12.21분으로 분석되었다. 이를 행정구역별로 나눠서 보면, 서울시의 남부에 위치한 강남구와 서초구에서 내부를 이동하는 경우 가장 높은 접근시간을 가지는 것으로 분석되었으며, 다음으로 서부에 위치한 강서구에서 높은 것으로 분석되었



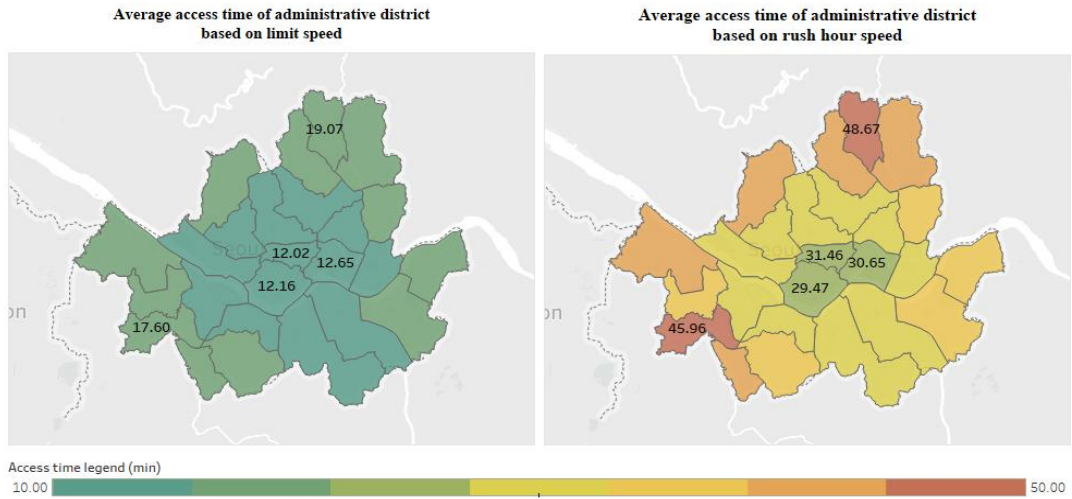


Figure 7. Average access time for each administrative district using the speed limit and the rush hour speed used

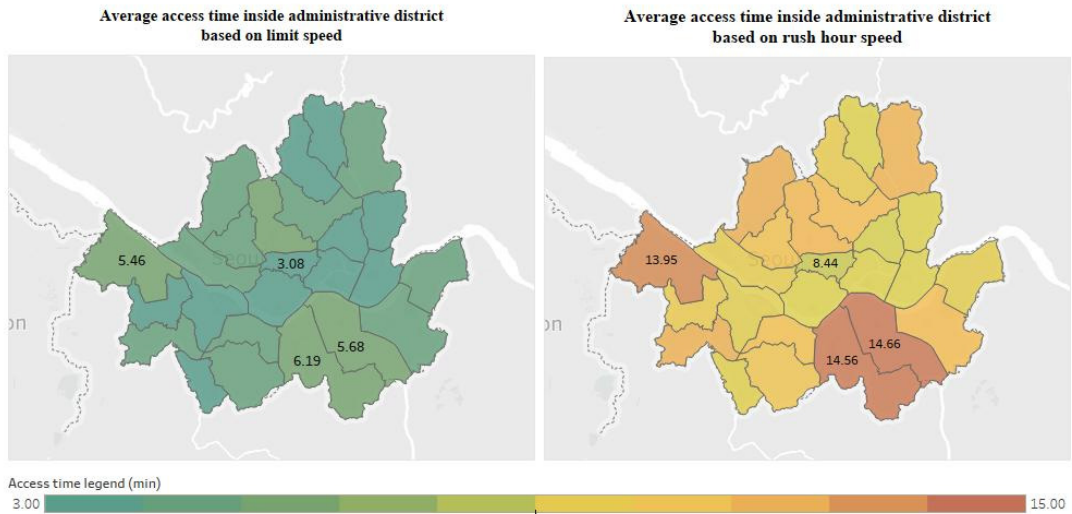


Figure 8. The average access time inside the administrative district using the speed limit and the rush hour speed used

다. 이와 반대로 서울시에 중앙에 위치한 용산구에서 내부를 이동하는 경우 가장 작은 접근시간을 가지는 것으로 분석되었다. 강남구와 서초구, 강서구는 서울시 지역 중 면적이 가장 넓은 지역이다. 그에 비해 용산구는 서울시 25개 행정구역 가운데 14번째로 큰 면

적을 가지고 있는 지역이다. 이를 면적과 접근시간의 회귀분석을 수행하였다. 그 결과 면적과 접근시간의 R2은 0.33으로 분석되었으며, p-value는 1% 이내의 수준에서 유의하는 것으로 나타났다(Table 2). 이를 추세로 보면 다음의 Figure 9와 같다. 법정허용속도를



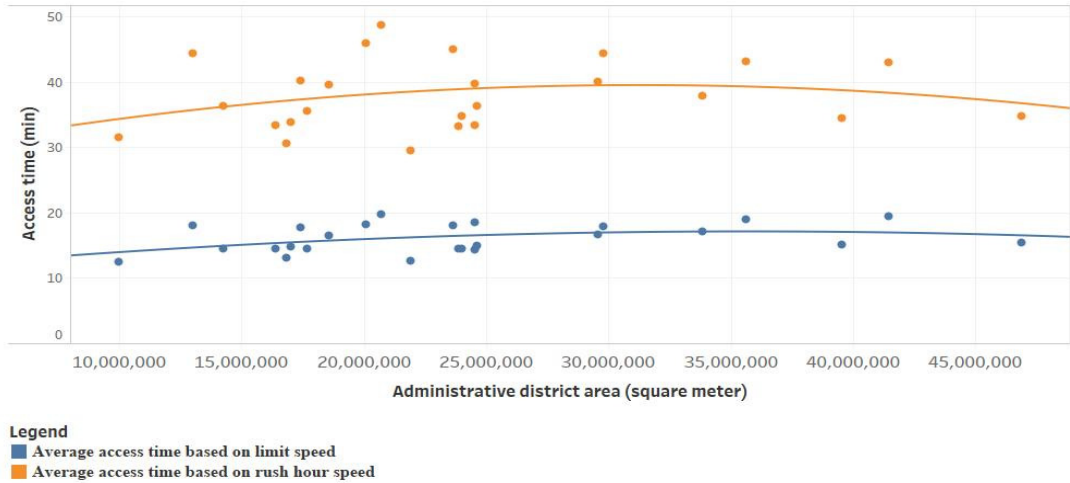


Figure 9. Relationship between average access time and area by administrative district

기준으로 한 경우와 출퇴근시간의 속도를 기준으로 한 경우 모두에 일정 면적까지는 접근시간이 증가하지만 일정 면적 이상의 경우로 증가하면 접근시간은 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 면적이 일정 부분에 영향을 미치지 않지만, 그 외의 변수(도로밀도, 인구, 유동인구 등)에서도 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 따라서 향후 접근시간이 증가하는 요인을 찾는 연구가 진행되어야 교통 정책을 통하여 접근시간을 감소시킬 수 있는 효과적인 대응방안이 마련이 될 수 있을 것이다.

### 3.3. 지연계수 분석 결과

앞절에서 산정된 법정허용속도를 이용한 접근시간과 출퇴근시간의 평균속도를 이용한 접근시간을 기준으로 두 값의 비율인 지연계수를 산정하였다.

그 결과 서울시 전체의 지연계수는 2.44로 분석되었다. 이는 접근성 분석에 따른 2.42배와 유사한 결과이다. 산정된 지역계수를 행정구역의 단위로 살펴보면, Figure 10과 같이 분석된다. 지연계수가 가장 작은 시군구는 강동구로 지연계수가 2.23으로 분석되었다. 강동구는 서울시에서 가장 우측에 위치하고 있으며, 하남시와 경계를 이루고 있다. 강동구와 하남시의 위로 남한강이 위치해 있으며, 아래로는 남한산이 위치해 있어 타 지역보다 개발가능 지역이 적기 때문에 주변에서 들어오는 교통량이 상대적으로 타지역보다 적은 이유로 지연계수가 낮은 것으로 파악된다. 이와 반대로 지연계수 가장 높은 행정구는 구로구로 2.67로 분석되었다. 구로구는 서울시와 인천시 사이에 위치한 행정구이다. 구로구는 광명시, 부천시와 직접적으로 붙어 있으며, 인천시, 시흥시, 안양시와도 가깝게 근접해 있다. 이러한 도시지역과의 지리적 근접성으로 인

Table 2. The regression analysis of access time and area

Variables	R	R2	t	P-value
Rush hour speed	0.574199	0.329705	3.198507	0.004147
Limit speed			-2.73398	0.012116

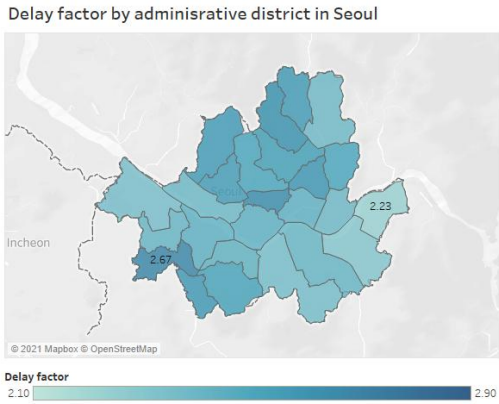


Figure 10. Delay factor by administrative district

하여 서울시의 서부지역에 위치한 도시에서 서울로 들어오는 진입로 역할을 하여 상대적으로 타 행정구보다 지연계수가 높게 나타나는 것으로 볼 수 있다. 또한 한강변을 중심으로 북쪽에 위치한 행정구역이 남쪽에 위치한 행정구보다 지연계수가 높은 것으로 분석되었다. 한강의 북쪽 지역은 지난 500년간 대한민국(옛 조선)의 수도로 왕성이 위치해 있고, 당시의 시대의 기준에 따라 도로체계가 설정되어 현재의 기준과는 다르게 설정되어 있다. 따라서 도로의 폭이 좁고, 기존의 도로체계의 훼손을 최소화하는 개선으로 통행편의의 효과가 낮은 실정이다. 이와 반대로 한강의 남부지역은 서울시의 인구증가로 인한 도시확대로 계획적인 도로체계에 따라 도로가 보급되었다. 이로 인하여 타 지역보다 높은 교통편의 관점이 부각되고, 교통량의 분산을 위한 신호체계로 이동의 시간이 감소되는 효과가 나타나게 된다.

이를 정량적으로 판단하기 위하여 교통량과 도로밀도의 관계로부터 지연계수와와의 상관성을 분석하였다. 도로밀도는 단위면적 당의 도로 연장으로 해당 행정구역에 도로가 얼마나 보급이 되었는지 판단할 수 있는 공급지표가 된다. 또한 교통량은 통근통행에 따른 물리적인 수요량으로 볼 수 있다. 따라서 도로밀도당 통행량은 수요-공급을 판단하기 위한 지표로 활용 가

능하다.

이를 위하여 통계청에서 제공하는 행정구역별 도로 교통 통계정보를 이용하였다. 2020년도를 기준으로 통행량, 도로연장, 면적을 수집하고 이를 지연계수와 비교를 하였다(Table 2). 서울시 행정구역별 통행발생량은 강남구, 송파구, 관악구, 서초구가 가장 높은 것으로 나타났으며, 이 지역들은 한강을 기준으로 남쪽에 위치한 지역들이다. 반면 종로구, 중구, 용산구, 서대문구에서는 교통량이 낮으로 나타났으며, 한강 북쪽에 위치한 지역이다. 수치적으로 북쪽 지역교통량은 남쪽 지역 비해 교통량이 1/3 수준인 것으로 조사되었다. 서울시 행정구역별 도로 밀도가 높은 지역은 성북구, 성동구, 양천구, 동대문구로 조사되었으며, 낮은 지역은 강북구, 서초구, 노원구로 조사되었다. 도로 밀도가 높은 지역은 한강 북쪽 지역에 분포되어 있다. 그러나 이 지역들은 통행량이 타 지역보다 상대적으로 낮은 지역으로 볼 수 있다. 그러나 반대로 지연계수가 높은 지역들에 해당한다. 따라서 높은 도로밀도를 가지고 있으며, 통행량이 작은 지역이 지연계수가 높다고 볼 수 있다. 서울시 전체 행정구역의 지연계수와 도로밀도당 통행량을 기준으로 회귀분석을 수행하였다(Figure 11). 회귀분석결과 p-value > 0.05로 분석되어 유의한 것으로 나타났다. 회귀분석에 따른 그래프에서와 같이 서울시 지역에서는 도로밀도당 통행량이 증가할수록 지연계수는 감소를 하는 하향추세로 분석되었다. 따라서 서울시 지역은 도로를 이용함에 있어 차량 정체, 차량 막힘 등으로 인한 속도저감은 단순히 통행량만으로 결정할 수 없다고 볼 수 있다. 특히 서울시 같은 경우에는 인구가 밀집되어 있음과 동시에 기존에 도로망의 훼손을 최소화하는 도로체계 구축으로 북쪽 지역에 지연계수가 높게 나타나는 것으로 볼 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 도로의 형상, 도로 조건(차선수, 도로폭 등), 도로체계(교통신호 등)이 고려하여 고도화된 연구로 진행되어야 할 것이다. 또한 Jeon et al. (2020)의 연구에 따르면 도시지역에

Table 3. Delay factor and traffic characteristics statistics for each administrative district

District	Delay Factor	Traffic (count/day)	Length (km)	Area (km <sup>2</sup> )	Road density (km/km <sup>2</sup> )	Traffic per density (count-km/km <sup>2</sup> )
GNG (강남구)	2.41	347041.0	435.0	39.5	11.0	31513.8
GDG (강동구)	2.23	208486.0	290.0	24.6	11.8	17675.4
GBG (강북구)	2.61	164753.0	227.3	23.6	9.6	17108.5
GSG (강서구)	2.34	268468.0	410.9	41.4	9.9	27076.6
GWG (관악구)	2.52	310459.0	322.2	29.6	10.9	28491.2
GJG (광진구)	2.38	193448.0	324.6	17.1	19.0	10170.1
GRG (구로구)	2.67	230243.0	294.4	20.1	14.6	15734.9
GCG (금천구)	2.57	152889.0	189.4	13.0	14.5	10510.4
NWG (노원구)	2.38	242668.0	296.1	35.4	8.4	29046.0
DBG (도봉구)	2.56	181695.0	257.4	20.7	12.5	14582.5
DDMG (동대문구)	2.58	182970.0	327.7	14.2	23.1	7937.9
DJG (동작구)	2.42	202238.0	248.2	16.4	15.2	13324.0
MPG (마포구)	2.39	226912.0	421.3	23.9	17.7	12845.5
SDMG (서대문구)	2.55	148903.0	311.2	17.6	17.7	8433.4
SCG (서초구)	2.35	278731.0	396.5	47.0	8.4	33028.2
SDG (성동구)	2.44	165629.0	408.3	16.9	24.2	6838.4
SBG (성북구)	2.53	226801.0	629.7	24.6	25.6	8851.5
SPG (송파구)	2.31	322934.0	368.3	33.9	10.9	29701.0
YCG (양천구)	2.41	227058.0	404.8	17.4	23.3	9763.7
YDPG (영등포구)	2.44	218207.0	390.1	24.5	15.9	13730.7
YSG (용산구)	2.44	128474.0	281.1	21.9	12.9	9994.8
EPG (은평구)	2.55	226788.0	352.0	29.7	11.8	19141.8
JNOG (종로구)	2.50	102260.0	275.0	23.9	11.5	8891.2
JG (중구)	2.64	112471.0	114.2	10.0	11.5	9806.4
JNAG (중랑구)	2.50	199111.0	334.0	18.5	18.1	11025.8

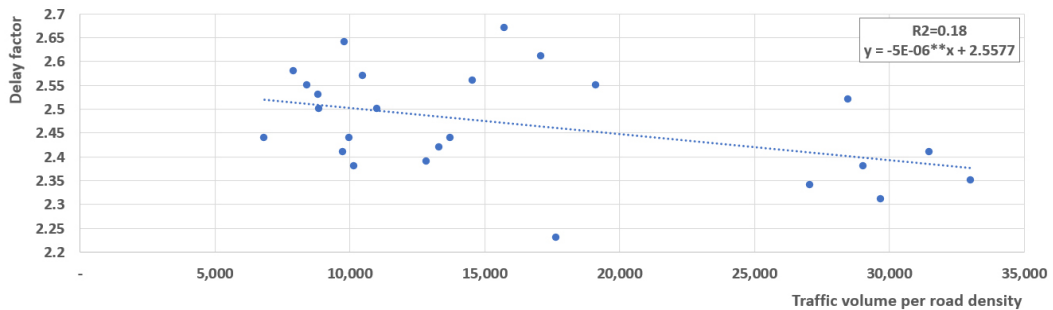


Figure 11. Relationship between delay coefficient by administrative district and traffic volume per road density

서는 신호체계와 차량정체 등으로 법정허용속도보다 낮은 속도로 이용하지만, 농촌지역의 경우에는 법정허용속도보다 높은 속도로 이용하는 것으로 분석되었다. 따라서 지연계수는 지역에 따라 1보다 크거나 혹은 1보다 작은 값으로 나타낼 수 있다. 따라서 지연계수를 이용하면 지역의 사회경제적 가치 비용을 볼 수 있는 하나의 지표로 활용이 가능하다. 특히 서울의 경우에는 지연계수가 2.44로 분석되었기 때문에 기존에 법정허용속도를 기반으로 분석이 된 자료보다 과소추정되고 있으며, 응급의료체계, 교육접근성, 통근통행과 같은 삶의 질 지표에서 과소추정되고 있을 가능성을 내포하고 있다. 따라서 정확한 데이터 기반의 의사결정을 위하여 지연계수의 활용성은 높을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 도로망도와 도로의 법정허용속도와 실제이용속도를 이용하여 지연계수를 산정하였다. 이를 위하여 실시간 교통정보를 5분 단위로 수집하여 도로 공간정보 DB를 구축하였으며, 이를 토대로 접근성 분석을 수행하였다.

구축된 도로망의 실시간 교통정보를 보면 출퇴근 시간에 도로의 이동속도가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 대부분의 도로에서 법정허용속도의 절반 수준의 속도로 이용되는 것으로 조사되었다. 이를 통하여 접근성 분석을 수행한 결과 법정허용속도를 통한 접근시간보다 실제이용속도를 이용하는 경우의 접근시간이 약 2.4배 가량 더욱 소요되는 것으로 분석되었다. 따라서 접근성 분석을 수행하기 위해서는 기존 법정허용속도로 이용하는 경우 과소평가될 수 있으며, 이를 기반으로 정책 의사결정을 하는 경우에는 현실성을 반영하지 못할 가능성이 높아지게 된다.

다음으로 지연계수를 산정한 결과 평균적으로 2.4

로 분석되었다. 지연계수가 가장 높은 지역은 경기도 동부와 인천과 인접한 구로구로 분석되었으며, 가장 낮은 지역은 경기도 하남시와 인접한 강동구로 분석되었다. 지연계수는 한강을 중심으로 북쪽지역에서 높게 나타났으며, 남쪽지역에서는 낮게 형성되어 있는 것으로 분석되었다. 이를 도로밀도에 따른 통행량(수요-공급)으로 비교를 한 결과 도로밀도에 따른 통행량이 증가할수록 지연계수가 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 통행량이 높다고 하여 반드시 이동 시간이 증가하지 않는다는 것으로 볼 수 있다. 이는 도로체계의 형상, 도로 폭, 신호체계 등 다른 요인이 포함되어 있다는 것으로 볼 수 있다. 따라서 도로의 속성이 포함되어 있는 고도화된 분석을 통하여 이동시간에 미치는 영향이 분석되어야 할 것으로 보여진다.

접근시간, 특히 통근통행시간은 최근의 부동산시장에 큰 요인으로 인식되고 있으며 출퇴근 거리에 따라서 부동산의 가격이 급격하게 증가하는 사례가 발생하고 있다. 이로 인하여 수도권 출퇴근 시간 감소를 위한 GTX(Great Train Express)와 같은 대체 교통수단의 등장하기 시작하였다. 그러나 이와 같은 수단은 초기 투자비용이 높게 투여되어야 하기 때문에 국가 단위의 신중한 도입 논의가 필요하다. 이를 위해서는 다양한 관점에서 통근시간에 논의가 이루어져야 하고, 본 연구에서는 도로망과 교통량에 따른 지연계수와 관계를 검토하였다. 이를 통해 기존에 구축되어 있는 도로의 속도 개념을 도입하여 통근접근성의 새로운 관점을 제시하고자 하였다. 향후 연구에서는 통근시간에 미치는 요인을 파악하기 위해 고도화된 연구가 필요하며, 이를 통하여 도로의 이용 효율을 극대화시킬 수 있는 정책적 협의와 의사결정이 필요할 것으로 보인다.

## 참고문헌

### References

- 국가교통정보센터. 2020. 국토교통부. <http://www.its.go.kr/>
- Intelligent Transport System(ITS). 2020. Ministry of Land, Infrastructure, and Transport(MLIT). <http://www.its.go.kr/>
- 김태곤, 신용훈, 이지민, 서교. 2013. 도로거리를 이용한 지역별 우회계수 산정. *국토계획*. 48(4): 319-329.
- Kim TG, Shin YH, Lee JM, Suh K. 2013. Calculation of Regional Circuitry Factors using Road Network Distance in South Korea. *Journal of Korea Planning Association*. 48(4):319-329.
- 주승민, 이경하, 최진호. 2012. GIS 서비스 권역분석을 활용한 대구광역시 응급의료 취약지 분석. *대구 경북개발연구*. 11(1): 1-9.
- Joo SM, Lee KH, Choi JH. 2012. To Identify the Vulnerable Areas of Emergency Medical Services for Daegu City in 2012. *Journal of Daegu Gyeongbuk Development Institute*. 11(1): 1-9.
- 조광수, 홍성수, 윤종철. 2014. 도로 접근성 표현을 위한 왜곡 지도 시각화 기술. *정보과학회논문지*. 20(4):253-256.
- Cho KS, Hong SS, Yoon JC. 2014. Districition-based Map Visualization for Presenting Traffic Network Structure. *KIISE T Transaction on Computong Practices*. 20(4):253-256.
- 전정배, 박미정, 장도담, 임창수, 김은자. 2018. 응급실과 119 안전센터의 접근성을 고려한 응급의료 취약지 분석. *농촌계획학회지*. 24(4):147-155.
- Jeon JB, Park MJ, Jang DD, Lim CS, Kim EJ. 2018. Vulnerable Analysis of Emergency Medical Facilities based on Accessibility to Emergency Room and 119 Emergency Center. *Journal Of The Korean Society Of Rural Planning*. 24(4): 147-155.
- Brimberg, J, Love, R. F. and Walker, J. H. 1995. The Effect of Axis Rotation on Distance Estimation. *European Journal of Operational Research*. 80(2):357-364.
- Feng, B., Xu, J., Zhang, Y. and Lin, Y. 2021. Multi-Step Traffic Speed Prediction Based on Ensemble Learning on an Urban Road Network. *Applied Sciences*, 11(10): 4423.
- Francis, R. L., and J. M. Goldstein. 1974. Location theory: A selective bibliography. *Operations Research*. 22(2):400-410.
- Gmira, M. Gendreau, M. Lodi, A. and Potvin, J. Y. 2021. Tabu Search for the Time-Dependent Vehicle Routing Problem with Time Windows on a Road Network. *European Journal of Operational Research*. 228(1):129-140.
- Jeon, JB, Kim, SH, Kang, GH. and Suh, K. 2020. Analysis of Emergency Medical Vulnerability and Survival Rates Following Real-Time Traffic Information. *Applied Sciences*, 10(18): 6492.
- Love, R. F. and Morris, J. G. 1972. Modelling Inter-city Road Distances by Mathematical Functions. *Operational Research Quarterly*. 23(1):61-71.
- O'Sullivan, S. and Morrall, J. 1996. Walking Distances to and from Light-rail Transit Stations. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 1538:19-26.
- Ronald, H. B. Handoko, R. and Noriaki, S. 2002. Selected Country Circuitry Factors for Road

Travel Distance Estimation. <i>Transportation Research Part A: Policy and Practice</i> . 36(9): 843-848.	2021년 5월 18일 원고접수(Received) 2021년 6월 7일 1차심사(1st Reviewed) 2021년 6월 21일 2차심사(2nd Reviewed)
Wesolowsky, G. O. 1973. Location in Continuous Space. <i>Geographical Analysis</i> . 5(2):95-112.	2021년 6월 28일 게재불가(1st Reviewed)

### 초 록

본 연구는 도로의 실시간 교통정보를 이용하여 법정허용속도로 이동하는 시간과 실제속도로 이동하는 시간의 비율인 지연계수를 산정하였다. 연구의 대상지는 우리나라의 수도인 서울을 대상으로 하였다. 도로망의 실제 이용 속도는 대부분 최대속도보다 낮은 속도로 이용되는 것으로 조사되었으며, 이용 속도가 가장 낮은 시간은 출퇴근 시간대로 조사되었다. 조사된 출퇴근 시간대의 이용속도를 기반으로 접근성 분석을 수행한 결과 평균 37.94분이 소요되는 것으로 분석되었으며, 법정허용 속도에서는 15.70분으로 분석되어 약 2.4배 가량 과소평가되고 있는 것으로 나타났다. 이를 법정허용속도에 의한 접근성과 실제 이용속도 접근성 비율을 지연계수라 정의하고 분석을 수행한 결과 서울시의 지연계수는 2.44로 분석되었다. 행정구역별로 지연계수를 분석한 결과 한강을 중심으로 북쪽이 높고 남쪽이 상대적으로 낮은 지연계수를 보이는 것으로 분석되었다. 이를 도로밀도에 따른 통행량으로 비교한 결과 도로밀도에 따른 통행량이 증가할수록 지연계수가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 통행량이 많다고 하여 반드시 이동시간이 증가하지 않는 것으로 볼 수 있으며, 이동시간의 증가를 유발하는 인자를 파악하기 위해서 향후에는 도로체계의 형상, 도로 폭, 신호체계 등 고도화된 정보를 기반으로 파악해야 할 것으로 보여진다.

주요어 : 도로망도, 실시간 교통정보, 법정허용속도, 지연계수