

공간 회귀분석을 활용한 긴급차량 출동 지연요소의 우선순위 도출

- 서울시를 중심으로 -

Deriving the Priority of Emergency Vehicle Dispatch Delay Factors Using Spatial Regression Analysis

- Focusing on Seoul -

박준상* · 이수빈** · 김정옥***

Park, Jun-Sang · Lee, Su-Bin · Kim, Jung-Ok

Abstract

As cities become overcrowded and concentrated, the demand for public services continues to increase due to the improvement of the living standards of urban residents. Among them, fire service can be seen as one of the important public services by reducing damage caused by accidents in emergency situations and affecting the improvement of access to medical services for urban residents. Rapid movement of patients and medical institutions within golden time and proper first aid are essential elements in emergency situations, and Seoul is a super-large city with a large population of about 10 million people and has a large number of emergency medical patients. Therefore, this study used spatial regression analysis to examine the factors affecting the delay factors of emergency dispatch in Seoul to secure golden time, and derived management priorities, and suggested implications for the management of emergency vehicle dispatch delay factors. As a result of the main analysis, land-use characteristics were the most influential factor in emergency vehicle dispatch time, and land-use mixing, commercial area density, average patient age, and average road length were found to affect emergency vehicle dispatch time in order. This study can be used as important basic data for an accurate understanding of the delay factors for emergency dispatch and preparing countermeasures according to priorities.

Keywords: Fire Services, Emergency Vehicles, Dispatch Delay factors, Spatial Regression Analysis

1. 서론

현대에 들어 도시의 규모는 과밀화, 집중화가 되어

가고 있으며, 이와 동시에 생활 수준의 향상으로 인해 도시에서 제공하는 공공서비스에 대한 수요는 계속해서 증가 추세이다. 그중 소방 서비스와 같은 긴급출동

* 서울연구원 연구원 Researcher, The Seoul Institute (first author: june1264@si.re.kr)

** 서울연구원 연구원 Researcher, The Seoul Institute (second author: soob1022@si.re.kr)

*** 서울연구원 연구위원 Research Fellow, The Seoul Institute (corresponding author: jungok@si.re.kr)

서비스는 방법·방재 등 도시민의 생명과 재산을 보호하기 위하여 매우 중요한 도시 공공서비스 중 하나로 볼 수 있다. 긴급 상황이 발생하였을 때 긴급차량이 사고 현장에 빠르고 안전하게 도착하여 사고로 인한 손해를 줄이고 긴급 서비스에 접근할 수 있는 기회와 삶의 질 향상에도 영향을 미치기 때문이다.

긴급 상황에서 응급 환자의 생존율을 높이기 위해서는 골든타임 내 환자 및 의료기관에 대한 신속한 이동과 적절한 응급처치가 필수적이라고 볼 수 있다. 특히 골든타임 내 환자의 이송은 사고 상황에서 인명을 구조하기 위해 1차적으로 갖추어야 할 필수 요건이라고 볼 수 있다. 골든타임이란 재난 대응 목표 시간 관리의 개념으로 긴급상황 발생 시 조치를 취하기 위한 초기 집중 대응 시간을 의미하며, 소방청에서는 골든타임을 7분으로 제시하고 있다(박태희 외 2022).

서울특별시에는 약 1,000만명이 모여 살고 있는 초대형 도시로, 감당해야 하는 응급의료 환자 및 구급 환자의 수가 매우 큰 편이다. 특히, 서울시의 4대 중증응급 환자(심정지, 급성심근경색증, 급성 뇌졸중, 중증외상)의 규모는 매년 지속적으로 증가하고 있는 추세이다(송경준 2018). 따라서 서울시는 긴급차량의 골든타임 내 도착이 특히 중요하다고 볼 수 있으며 긴급 출동 시 긴급 자동차 출동 지연 요소의 영향요인 파악과 효율적인 관리를 위한 관리 우선순위 도출이 필요할 것으로 판단된다.

이에 따라 본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 소방 빅데이터 플랫폼에서 제공하고 있는 서울시 구급 출동 데이터를 활용하여 집계구별 평균 긴급차량 출동서비스 수준을 파악한다. 둘째, 긴급차량 출동서비스 수준 영향요인을 분석하기 위하여 공간 회귀분석을 통해 선행연구들에서 언급되었던 긴급차량의 출동 지연 요소의 영향요인을 파악한다. 최종적으로, 회귀분석의 표준화계수(β)를 활용하여 출동 지연 요소간의 우선순위를 도출하고 효율적인 관리를 위한 정책

적 시사점을 도출하는 것이다. 긴급차량 출동지연 요소에 대한 정확한 이해와 골든타임의 확보를 통해 도시민의 생명안전과 삶의 질 향상에 도움이 될 수 있다.

2. 선행연구 고찰

2.1. 긴급차량 출동 지연요소

긴급차량의 출동과 관련하여 골든타임의 확보를 위해 긴급차량 출동 서비스의 공간적 특성을 분석한 연구들이 진행되었다(최혜림 외 2018; 김성재 외 2015; Shahparvari et al. 2020). 김대성·윤상후(2020)는 보로노이 다이어그램을 활용하여 서울시의 소방권역을 분석하였으며, 서울시 내에서는 신영 119안전센터(종로구)와 수서 119안전센터(강남구)가 화재 위험성이 비교적 높은 지역으로 나타났다. 다만, 해당 연구에서는 화재가 발생한 토지이용 유형, 교통량, 도로 특성을 반영하지 못한 점을 한계점으로 언급하고 있었다. 즉, 소방 서비스의 공간적 특성 분석의 정확한 분석을 위해서는 토지이용 특성, 교통량, 도로 특성 등을 반영하는 것이 필요함을 알 수 있다.

서울시 소방 서비스의 공간적·사회적 형평성에 관한 연구를 진행한 이달별(2017)의 연구에서는 서울시 외곽은 중심지에 비해 소방 서비스가 미흡한 지역이 다수 분포하며, 이면도로 불법 주차에 대한 단속을 넘어 공용주차장을 추가적으로 마련하는 계획이 필요하다고 주장하였다. 서울시의 소방 서비스에는 지역에 따라 차이가 존재하며, 불법 주정차는 이를 발생시키는 요소 중 하나로 볼 수 있다. 부산광역시의 화재 출동 지체의 원인을 분석한 우보람·김회경(2022)의 연구에서는 부산광역시의 권역별로 골든타임 내 도달 가능한 영역을 분석하고, 다중회귀분석을 활용하여 출동 소요시간을 지체시키는 원인에 대하여 분석하였다. 그 중, 여섯 개 권역 모두에서 화재 출동 소요시간을 지체시키는 공통적인 요인은 출동 경로 내 교차로

수인 것으로 도출되었다. 이에 따라 교차로의 수가 적고 도로가 길게 뻗어 있는 형태의 도시공간 구조가 화재출동 시간을 단축하는 데에 중요한 요인 중 하나인 것으로 판단할 수 있다.

현재 긴급차량 출동의 지연에 대해서는 운전자들의 양보의식, 교통정체 등이 원인이라고 막연하게만 알고 있는 것이 전부이며 실제 출동 지연 요소가 현장 대응능력을 얼마나 저하시키는지 계량화하여 분석한 강윤구(2016)의 연구에서는 출동 환경에서의 지연 요인을 상황적 요인과 구조적 요인으로 나누어 분석하였다. 대표적인 상황적 요인에는 교통체증, 불법 주정차, 교차로 차량 정체 등이 있었으며, 구조적 요인에는 출동로 협소, 과속방지턱, 건물 구조 등 정보 부족 등을 언급하였다. 또한, 출동 시 주변건물 정보, 구조대상자 세부정보 등이 필요로 하는 정보인 것으로 나타났다.

선행연구 고찰 결과, 대표적으로 언급되는 긴급차량 출동 지연 요소는 구조적 요인과 상황적 요인으로 나눌 수 있었다. 우선 구조적 요인에는 도로 특성, 건물 특성, 토지이용 특성이 있으며 상황적 요인에는 교통량, 불법 주정차, 생활인구 등이 있는 것으로 볼 수 있다. 하지만 해당 지연 요소들 각각이 긴급 자동차의 출동에 얼마나 영향을 미치는지에 대해 분석한 연구는 미미한 실정이며, 출동 지연 요소의 효율적인 관리를 위해서는 영향 요인 간의 관리 우선순위 선정을 위한 연구가 필요하다.

2.2. 공간 회귀분석

Tobler(1970)는 공간적 의존성(Spatial Dependence)에 대하여 공간 정보를 가지고 있는 모든 실체는 완전히 독립적일 수 없으며, 실체들간 인접성이나 거리에 따라 영향력이 달라진다고 설명하였다. 이러한 공간 자기상관과 공간적 분포 패턴을 도출하기 위해 많은 연구에서는 Moran's I 지수를 활용한다(김윤기 2020). OLS 기반의 다중회귀분석은 공간 자기상관,

또는 공간 이질성(Spatial Heterogeneity)등 공간으로부터의 영향에 관한 가정은 가지고 있지 못하기 때문에 잘못된 통계적 추정(Statistical Inference)을 도출할 위험이 있다(Griffith and Layne 1999; 김광구 2003).

따라서 도시공간 특성 분석 등 공간 데이터를 활용한 분석 연구들은 OLS 모형보다 공간 자기상관을 고려한 공간회귀분석이 더 효과적인 방법론임을 언급하고 있다. 토지거래량, 지가변동, 개발사업 영향, 고용과 관련된 사회·경제적 변수를 분석하는 연구들에서는 특히 공간자기상관을 제어하는 것이 중요하기 때문에 많이 사용되었다(서수복 2014; 임동일 2010; 백영기·은석인 2017). 도시공간구조에서 어떠한 현상 일 일어날 때에는 한 개의 요소로 인해 단기간에 형성되는 것이 아니며, 사회·경제등과 같은 인문학적 요인과 지리·토목·건축과 같은 물리적 요인 등이 복합적으로 장기간에 걸쳐 작용하게 된다(전형하 외 2017; 정상훈 외 2021). 따라서 도시공간에서 발생하는 현상의 특성이나 원인을 정확하게 파악하기 위해서는 공간 의존성을 제어한 상태에서 분석을 진행하는 것이 필요하다고 볼 수 있다.

2.3. 연구의 차별성

선행연구 고찰에 따른 한계점은 다음과 같다. 먼저, 긴급차량의 출동 동선계획, 최적의 소방권역 설정 등 긴급차량의 출동 지연 요소를 분석하는 데 있어 여러 가지 요인들이 고려되었으나, 해당 요인들을 활용하여 출동 프로세스를 제시하거나, 새로운 소방권역, 교통신호 시스템을 개발한 연구가 주를 이루었다. 하지만, 긴급차량의 출동 지연 요소를 고려하는 데 있어 모든 요소들이 같은 중요도를 가지고 있는 것은 아니기에 효율적인 관리를 위해서는 출동 지연 요소의 우선순위를 파악하는 것이 필요하다고 볼 수 있다. 두 번째는 대부분의 연구들이 출동 지연 요소를 분석하는 데

있어 다중회귀분석을 진행하였다. 하지만, 도시지역에서의 긴급차량 출동과 같은 공간 데이터를 활용한 분석을 진행할 때에는 공간 자기상관을 고려한 분석이 필요하다.

이에 따른 본 연구의 차별성은 다음과 같다. 첫째, 긴급차량의 출동 지연 요소의 영향요인을 분석하는데 있어 회귀분석의 표준화계수(β)값을 활용하여 지연 요소 간의 영향요인을 비교하고, 효율적인 관리를 위하여 우선순위를 파악하는 것이다. 둘째, 대부분의 선행연구에서 진행하였던 다중 회귀분석이 아닌 공간 자기상관을 고려한 공간 회귀분석을 활용하여 공간 데이터를 분석하였다. 공간 자기상관을 고려한 회귀 분석은 더욱더 정확한 분석 결과를 도출할 수 있다.

3. 분석 자료 및 분석 방법론

3.1. 분석 자료

본 연구에서는 서울시 긴급차량의 출동에 영향을 미치는 요인을 알아보고자 한다. 따라서 본 연구의 공간적 범위는 서울특별시이며, 시간적 범위는 2022년으로 설정하였다. 분석의 단위는 서울시 내를 미시적으로 분석하기 위하여 집계구를 분석 단위로 설정하였다.

종속 변수로 사용한 긴급차량 출동 데이터의 경우 소방안전 빅데이터 플랫폼에서 제공하는 구급출동 현황 데이터를 활용하였다. 구급 출동 현황 데이터에는 환자 발생 유형, 신고 시각, 출동 시각, 현장 도착 시각, 환자 접촉 시각 등 출동시 기록된 환자 및 구급차 이동에 대한 데이터이다. 이 중 신고 시각으로부터 현장 도착 시각까지의 시간을 계산하여 종속변수로 활용하였다(Figure 1).

독립변수는 선행연구 고찰을 통해 크게 제어요인, 상황적 요인, 구조적 요인으로 구분하고 변수를 구축하였다. 구체적으로 제어 요인에는 평균 환자 연령, 평

균 기온, 평균 강수량, 평균 적설량, 평균 가시거리 데이터를 활용하였다. 상황적 요인으로는 집계구별 생활인구 밀도, 집계구별 불법 주정차 민원신고 밀도, 교통량 밀도를 활용하였다. 이 중 평균 교통량 데이터의 경우, 서울시 교통정보 시스템(TOPIS)에서 제공하는 지점별 일자별 교통량 데이터를 활용하였다. 해당 데이터는 약 140개의 지점에서 수집된 교통량 데이터로, 시간대별 교통량을 월별로 제공하고 있다. 교통량 데이터와 같이 지점별로 수집된 형태의 데이터를 활용하여 서울시 전체의 공간분포 형상을 추정하기 위해서는 공간 내삽기법을 활용하여야 한다(김영규 외 2017). 본 연구에서는 지점별로 수집된 교통량 데이터를 활용하여 서울시 전역의 교통량을 예측하기 위하여 크리깅(Kriging) 내삽법을 활용하였다. 크리깅 내삽법은 지구통계학에서 자주 사용되는 내삽법 중 하나로 가우시안 프로세스(Gaussian Process)라고도 불린다(고윤담·이호영 2022).

마지막으로 구조적 요인에는 도로 특성인 평균 도로 폭, 도로 폭 다양성, 평균 도로 길이, 도로 길이 다양성, 토지이용 특성인 주거·상업·업무지역 밀도, 토지이용 혼합도 변수를 활용하였다. 도로 특성의 경우 선행연구 고찰에서도 언급되었던 긴급차량 출동 서비스 수준을 결정하는 중요한 요인 중 하나이며, 도로 폭의 경우 평균 도로 폭이 교통량을 수용하지 못할 정도로

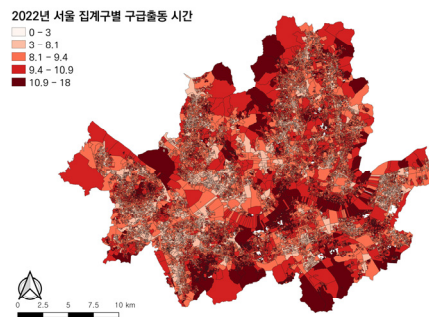


Figure 1. Time of dispatch by Seoul

좁거나, 병목현상을 일으켜 정체현상을 유발할 수 있기 때문에 평균과 표준편차를 계산하였다. 도로 길이의 경우에는 평균 도로 길이가 너무 짧아 도로의 복잡성이 높아지거나, 도로 길이의 표준편차가 높아져 도로별 평균 주행속도가 차이가 날수록 스탑 앤고(stop&go) 현상으로 인해 정체가 발생할 것으로 판단하고 해당 변수를 분석에 활용하였다.

독립변수 중 상황적 요인인 생활인구, 불법 주정차 변수와 구조적 요인인 주거지역, 상업지역, 업무지역 밀도의 경우에는 집계구의 크기에 영향을 받을 수 있기 때문에 밀도 변수로 계산하여 분석에 활용하였다. 또한, 분석에 사용된 독립변수는 다양한 분야에서의 통계 데이터로, 모든 독립변수를 표준정규화 시킨 후 회귀분석에 활용하였다. 독립변수의 VIF 값은 10 이하로 허용할 만한 수준인 것으로 나타났다.

3.2 분석 방법론

모든 공간정보를 포함하고 있는 데이터를 분석할 경우 공간 자기상관(Spatial Autocorrelation)을 고려할 필요가 있다. 공간 자기상관이 고려되지 않은 분석은 거리에 자연현상의 특징을 충분히 반영하지 못한 연구가 된다(김광구 2003). 본 연구에서 종속변수로 활용한 집계구별 평균 긴급자동차 출동 시간의 경우, 공간정보를 포함하고 있기 때문에 공간 자기상관을 고려해야 한다. 이를 고려하여 분석하기 위한 연구의 순서는 다음과 같다.

먼저, 소방안전 빅데이터 플랫폼에서 제공하는 구급출동 현황 데이터 중 신고 시각부터 현장 도착시각까지의 데이터를 활용하여 출동 시간을 계산하였다. 이후, 집계구별 평균 출동 시간을 계산하여 서울시 긴급출동 서비스 현황을 파악하였다. 이후, 선행연구 고찰을 통해 긴급차량 출동 지연 요소를 도출하고 공간 회귀분석을 통해 연구의 시·공간적 범위인 2022년 서울특별시의 긴급자동차 출동 지연 요소의 영향요인

을 파악하였다. 최종적으로, 회귀분석의 표준화계수를 활용하여 출동 지연 요소의 우선순위를 파악하여 효율적인 긴급자동차 출동지연 요소 관리를 위한 정책적 시사점을 도출하였다.

4. 분석 결과

4.1. 공간회귀모형 적합도 검증

Tobler(1970)는 지리학 제1 법칙에서 공간 데이터를 포함하고 있는 모든 실체는 완전히 독립적일 수 없으며 실제들간 공간적 의존성(Spatial Dependence)이 존재한다고 주장하였다. 따라서 공간데이터를 가지고 있는 실체들은 공간상의 특성으로 인해 서로 영향을 주고받으며, 거리가 가까우거나 인접성이 클수록 더 커진다고 볼 수 있다(김광구 2003).

공간 자기상관은 공간 자기상관 계수인 Moran's I 계수를 통해 표현할 수 있으며, -1부터 1 사이의 값으로 나타난다. 0에 가까울수록 공간 자기상관이 존재하지 않으며, -1에 가까울수록 부적(negative) 공간 자기상관, 1에 가까울수록 정적(positive) 공간 자기상관이 높다고 볼 수 있다.

다음 식(1)은 공간 자기상관 계수인 Moran's I에 대한 식이며, W는 공간적 인접성을 나타내는 공간 가중치 행렬을 의미한다. 본 연구의 공간 단위인 집계구는 크기와 형태가 다양하여 인접 기반 방식의 가중치 설정이 타당하다고 보아 Queen 방식을 선택하여 분석에 활용하였다(박준상·이수기 2022).

$$Moran's I = \frac{n \sum \sum w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W \sum (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots(1)$$

x_i = 공간 i 의 값
 \bar{x} = i 의 평균값
 n = 개체 수

먼저, 공간 자기상관의 존재 여부를 확인하기 위하여 Moran's I 값을 도출한 결과는 다음 (Figure 2)와 같다. Moran's I 값은 0.522로 정적 공간자기상관이 존재하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구는 일반 다중 회귀분석보다 공간 회귀분석이 더 적합하다고 판단하고, 공간 회귀분석을 활용하여 분석을 진행하였다.

다음으로, 최소제곱법 기반의 일반 회귀모형(Ordinary Least Squares, OLS), 공간시차모형(Spatial Lag Model, SLM), 공간오차모형(Spatial Error Model, SEM) 중 가장 적절한 모형을 선정하는 과정이 필요하다. 따라서 가장 적절한 모형을 선정하기 위하여 Lagrange Multiplier(LM) 통계량을 활용하였으며, LM 통계량이 통계적으로 유의한 모형을 가장 적절한 모형으로 판단하였다. LM 통계량의 경우 통계량이 유의한 모형이 가장 적절한 모형이라고 판단하며, SLM 모형과 SEM 모형이 모두 유의하게 나타날 경우, Robust LM 통계량을 활용하여 더 유의하게 나타나는 모형을 더 적절한 모형이라고 판단하는 방식이다(최열·이백호 2006).

다음 Table 1은 본 연구에서 활용한 변수들에 대한 LM 통계량 산출 결과이다. 분석 결과 SLM 모형과 SEM 모형 모두 LM 통계량이 모두 유의한 것으로 나타나 Robust LM 통계량을 비교하였다. Robust LM 통계량의 경우 Robust LM(error)의 값만 유의하게 도

Table 1. Lagrange Multiplier(LM) test

Test	MI/DF	Value	Prob.
Moran's I (error)	0.47	87.02	0.00
Lagrange Multiplier (lag)	1	1,406.98	0.00
Robust LM (lag)	1	0.021	0.88
Lagrange Multiplier (error)	1	7,555.60	0.00
Robust LM (error)	1	6,148.64	0.00
Lagrange Multiplier (SARMA)	2	7,555.62	0.00

Moran's I: 0,522 (isolates in weights are removed)

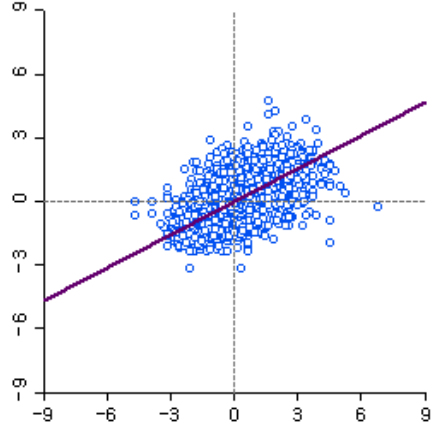


Figure 2. Moran's I statistics of dispatch time

출되어 SEM 모델을 최종 모형으로 선정하고 분석에 활용하였다.

4.3. 공간 회귀분석 결과

다음 Table 2는 공간 회귀모형 중 하나인 SEM을 활용하여 긴급 자동차 출동 지연에 영향을 미치는 요소를 분석한 결과이다. 먼저, 통계적으로 유의하게 도출된 변수를 살펴보면 제어요인 중에는 평균 환자 연령, 평균 기온, 평균 강수량이 유의하게 도출되었고, 상황적 요인에서는 생활인구 밀도, 교통량 밀도가 도출되었다. 마지막으로 구조적 요인에서는 평균 도로 길이, 상업지역 밀도, 업무지역 밀도, 토지이용 혼합도가 도출되었다.

이와 더불어, 긴급차량 출동 지연 요소의 우선순위를 파악하기 위하여 표준화 계수(β)를 계산하고, 절대값의 크기를 비교하여 순위를 도출하였다. 순위 도출 결과, 토지이용 혼합도, 상업지역 밀도, 업무지역 밀도 등 토지이용 변수들이 가장 높은 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 즉, 토지이용에 따라 긴급출동 시간은 다르게 나타나며, 특정 용도의 토지이용에서 출동 시간이 더 길게 나타남을 알 수 있다.

Table 2. Estimation summary of spatial error model

Variable		Coefficient		Beta(β)	Rank
Control factors	Average patient age	0.081	***	0.046	3
	Average temperature	-0.005		-0.003	15
	Average amount of rainfall	0.019	***	0.027	8
	Average amount of snow	-0.017	**	-0.013	10
	Average visibility	0.040	***	0.026	9
Situational factors	Living population density	-0.038	***	-0.028	7
	illegal parking density	-0.000		-0.001	16
	Traffic density	-0.041	***	-0.029	6
Structural factors	Average road width	-0.009		-0.008	12
	Road width diversity	-0.018		-0.011	11
	Average road length	0.026	***	0.045	4
	Road length diversity	-0.006		-0.005	14
	Density of residential areas	-0.011		-0.007	13
	Density of commercial areas	-0.042	***	-0.065	2
	Density of business areas	0.124	**	0.042	5
Land use mix	-0.217	***	-0.091	1	
CONSTANT		9.193			
Lambda(λ)		0.618			
No. obs.				15,673	
R-squared				0.40	
Log likelihood				-23,441.30	
AIC				46,916.6	
SC				47,406.8	

주: *p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01

구체적으로, 토지이용 혼합도는 긴급차량 지연에 있어 가장 높은 우선순위를 가지고 있는 것으로 나타났다. 토지이용 혼합도가 낮을수록 긴급차량의 출동 시간은 늘어나는 것으로 나타났다. 이를 구체적으로 살펴보기 위하여 토지이용 혼합도가 낮게 나타나는 지역을 살펴본 결과, 평창동, 문정동, 상계동 등 서울시의 외곽지역 위주로 낮게 나타나고 있었으며, 이들의 출동시간 또한 긴 시간을 보이고 있었다. 또한, 외곽지역이 아닌 한강 경계의 압구정동, 잠원동, 반포동, 서빙고동 등 한강과 인접한 집계구들이 대부분 주거 지역으로 토지이용 혼합도가 낮았으며, 평균 구급 출동 시간은 긴 것으로 나타났다.

또한, 상업지역과 업무지역의 경우에는 3위, 4위로 비슷하게 비교적 높은 영향력을 미치고 있었으나, 상업지역의 경우에는 상업지역 밀도가 낮을수록, 업무지역의 경우에는 업무지역의 밀도가 높을수록 긴급차량의 출동 시간이 길어지는 것으로 나타났다.

이후 순위의 요인으로는 평균 도로 길이, 평균 환차 연령, 교통량 밀도 등이 도출되었다. 평균 도로 길이 변수 또한 도로의 길이가 길수록 긴급차량의 출동 시간이 늘어나는 것으로 나타났다. 즉, 평균 도로의 길이가 긴 지역 또한 긴급차량 출동시간 단축을 위한 높은 우선순위의 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다. 이는 교차로 밀도가 부산의 모든 권역에서 화재 출동을

지연시키는 요소라고 언급한 우보람·김회경(2022)의 연구와 반대의 결과라고 해석할 수 있다.

이를 구체적으로 살펴보기 위해 서울시와 부산시의 집계구별 도로 길이에 대한 평균과 표준편차를 살펴 보았다. 부산시의 도로 길이 평균은 약 1,737m, 표준편차는 약 4,538m로 나타났으며, 서울시의 도로 길이 평균은 약 767m, 표준편차는 약 1,230m로 나타났다. 따라서 부산시의 도로 길이는 평균적으로 서울시 보다 두배 이상 길며, 편차 또한 서울시에 비해 굉장히 큰 것으로 나타나 교차로 부근에서 상대적으로 정체 현상이 서울시보다 크기 때문으로 판단된다.

상황적 요인에서는 교통량 밀도와 생활인구 밀도의 우선순위가 6위, 7위로 비슷한 순위를 가지고 있는 것으로 나타났다. 이 또한 구체적으로 살펴보기 위하여 생활인구 및 교통량 밀도가 낮은 곳을 확인해 본 결과 남현동, 진관동, 우이동 등 서울의 외곽지역과 자양동, 회현동 등 도심 근처의 지역에서도 생활인구는 낮으나 출동 시간은 긴 것으로 나타났다. 해당 결과는 서울시의 중심지에 소방서 및 119 안전센터가 존재하여 외곽지역의 화재 위험성이 높다는 김대성·윤상후(2020)의 결과와 일부 맥락을 같이 한다고 볼 수 있다. 따라서 현재 서울시는 생활인구와 교통량이 많은 지역의 긴급 출동 서비스 수준이 높아 오히려 생활인구와 교통량이 낮은 외곽지역 등의 긴급출동 시간 단축에 대한 우선적인 대책 마련이 필요한 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 2022년 1년간 서울 긴급출동 데이터 중 신고 시각과 현장 도착 시각을 활용하여 집계구별 평균 긴급출동 시간을 계산하였다. 이후, 선행연구 고찰을 통한 긴급차량 출동 지연 요소와 공간 회귀분석을 활용하여 긴급차량의 출동 지연에 영향을 미치는 요소의 우선순위를 도출하였다. 주요 분석 결과는 다음

과 같다. 먼저, 긴급차량의 출동 지연에 가장 높은 영향을 미치는 요인은 토지이용 관련 변수인 것으로 나타났다. 특히, 토지이용 혼합도의 경우에는 가장 높은 우선순위로 나타나 단일용도 토지이용 지역과 같은 토지이용 혼합도가 낮은 지역에서의 긴급차량 출동 지연에 대한 대책이 가장 우선순위로 마련되어야 할 것으로 판단된다.

이와 더불어, 토지이용 변수 중 상업지역 밀도와 업무지역 밀도 변수 또한 통계적으로 유의하며, 3위와 4위로 우선순위 또한 높은 것으로 나타났다. 즉, 상업지역 밀도가 낮은 지역과 업무지역 밀도가 높은 지역 또한 높은 우선순위의 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

이후 우선순위가 높은 요인으로는 평균 도로 길이, 교통량 밀도, 생활인구 밀도가 높은 우선순위를 가지고 있는 것으로 나타났다. 평균 도로 길이가 긴 지역, 생활인구와 평균 교통량이 낮은 지역 또한 앞서 언급한 출동 지연 요소에 이어 대책 마련이 시급한 지역으로 판단된다.

본 연구는 공간 회귀분석과 선행연구에서 언급한 출동 지연 요소를 활용하여 긴급 차량 출동시간 단축을 위한 출동 지연 요소의 우선순위를 도출하였다. 본 연구의 한계점은 상황적 요인인 생활인구, 불법 주정차, 교통량 등은 시간대에 따라 달라질 수 있으나 이를 반영하지 못했다는 점과 본 연구에서 도출한 Moran's I 지수의 경우 국지적인 공간 자기상관을 확인할 수 있으나 지역적인 공간 자기상관을 확인하는 데에는 한계가 있다. 따라서 추후 비교적 최근 모형인 Geographically Weighted Regression(GWR), Multiscale Geographically Weighted Regression (MGWR) 등을 활용하여 긴급차량 출동 서비스 지연의 영향요인의 지역별 차이를 더 구체적으로 확인할 수 있을 것으로 판단된다(Brunsdon et al. 1996).

공간 자기상관을 제어한 공간 회귀분석의 활용은 기존 최소제곱법 기반의 다중 회귀분석에 비해 더 높

은 설명력과 정확한 분석 결과를 도출할 수 있다. 긴급차량 출동 지연 요소에 대한 정확한 이해와 우선순위에 따른 대책 마련은 골든타임 확보와 국민 삶의 질 향상에 있어 기초자료로 활용될 수 있음을 시사한다.

감사의 글

본 연구는 실시간 지오컨텍스트 인지 기반 복합재난 대응 기술 개발(2019R1A2C101097614) 연구의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

References

김윤구. 2016. 소방차량 출동 지연요소 분석에 관한 연구: 출동시간 단축방안 중심으로. 국내석사학위논문 강원대학교 산업과학대학원, 강원도

Kang Y., 2016. A study on factors restrained from fast moving of fire engine: Focused on reduction of moving time. Master's Dissertation, Kangwon National University.

고윤담, 이호영. 2022. 크리깅 공간 보간을 활용한 고해상도 일사량 데이터 생성. 대한건축학회 학술 발표대회 논문집, 42(1), 306-307.

Ko YD, Lee HY. 2022. Spatial interpolation of solar irradiance data using kriging. Proceeding of Conference of Architectural Institute of Korea, 42(1), 306-307

김광구, 2003. 공간자기상관(Spatial Autocorrelation) 탐색과 공간회귀분석(Spatial Regression)의 활용. 정책분석평가학회보. 13(1), 273-294.

Kim K. 2003. Exploration of spatial autocorrelation and application of spatial regression analysis. Korean Journal of Policy Analysis and Evaluation. 13(1): 273-294.

김대성, 윤상후. 2020. 보로노이 다이어그램을 이용한

서울특별시 소방권역 분석. 한국데이터정보과학회지. 31(5), 865-875.

Kim D, Yoon S. 2020. An analysis of the fire jurisdiction in Seoul using voronoi polygons. Journal of the Korean Data & Information Science Society. 31(5), 865-875.

김성재, 최갑용, 장은미, 송완영. 2015. GIS를 이용한 화재진압 취약성 지도 제작: 대구광역시 달서구를 사례로. 한국지리정보학회지. 18(3), 11-20.

Kim SJ, Choi GY, Chang EM, Song WY. 2015. Producing firefighting vulnerability maps using GIS: A case study of Dalso-gu, Daegu. Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies. 18(3), 11-20.

김영규, 유완식, 정안철, 정관수. 2017. 공간보간 기법에 따른 격자기반 DAD 분석 프로그램 적용. 지적과 국토정보, 47(1), 191-211.

Kim YK, Yu WS, Jeong AC, Jung KS. 2017. Application of grid-based DAD analysis program according to rainfall spatial distribution technique. Journal of Cadastre & Land InformatiX. 47(1): 191-211.

김윤기. 2020. 국지적 공간자기상관통계를 이용한 도시녹지의 공간적 분포패턴에 관한 연구. 지적과 국토정보. 50(1). 25-45.

Kim YK. 2020. A study on the spatial distribution patterns of urban green spaces using local spatial autocorrelation statistics. Journal of Cadastre & Land InformatiX. 50(1): 25-45.

박재성. 2015. 화재취약지구의 화재안전성 개선 방안에 관한 연구: 서울시를 중심으로. 한국방재학회 논문집, 15(5), 131-137.

Park JS. 2015. A study on the improvement of fire safety in fire vulnerable districts: Focused on Seoul city. Journal of the Korean Society of

- Hazard Mitigation. 15(5), 131-137.
- 박준상, 이수기. 2022. 불법 주정차에 영향을 미치는 도시 환경 요인 분석: 서울시 스마트 불편신고 민원자료를 중심으로. 지역연구, 38(3), 3-17.
- Park J, Lee S. 2022. Analysis of urban environmental factors affecting illegal parking: focused on the smart civil complaints data in Seoul, Korea. Journal of the Korean Regional Science Association. 38(3), 3-17.
- 백영기, 은석인. 2017. 전주시 공간구조의 변화, 1996~2014년. 한국도시지리학회지. 20(1): 45-60.
- Beck YK, Eun SI. 2017. Changes in the spatial of JeonJu, 1996~2014. Journal of the Korean Urban Geographical Society. 20(1): 45-60.
- 서수복. 2014. 지가변동과 토지거래량의 공간적 자기상관에 관한 연구. 국토계획. 49(8): 21-34.
- Seo SB. 2014. A study in the spatial autocorrelation of land price variation and trading volume. Journal of Korea Planners Association. 49(8): 21-34.
- 이달별. 2017. 서울시 소방서비스의 공간적· 사회적 형평성에 관한 연구. 한국방재학회 논문집, 17(1), 145-154.
- Lee D. 2017. A study on spatial and social equity of fire service in Seoul. Journal of the Korean Society of Hazaed Mitigation. 17(1), 145-154.
- 임동일. 2010. 도시개발에 의한 강릉시 공간구조 변화의 분석. 지역발전연구. 10(1): 99-128.
- Lim DI. 2010. Analysis of the change of urban structure in Gnageung-City by urban development. Journal of Korean Regional Development. 10(1): 99-128.
- 전형하, 성주한, 윤영식. 2017. 지방도시지역의 공간구조 특성이 도시성장에 미치는 영향에 관한 연구: 충청북도 청주시를 중심으로. 부동산학보. 68: 119-133.
- Jeon HH, Sung JH, Yoon YS. 2017. A study on the spatial structure Characteristics of local urban areas effecting on the land price: Focusing on Cheongju City, Chungbuk Province. Korea Real Estate Academy Review. 68: 199-133.
- 정상훈, 이상조, 신상화, 정재우. 2021. 공간회귀모델을 적용한 지역주민 연령과 도시공간구조 패턴 상관성 연구. 주거환경 19(3): 83-96.
- Jeong SH, Lee SJ, Shin SH, Chung JW. 2021. Correlation between the age of residents and urban spatial structure patterns by applying spatial regression model. Journal of the Residential Environment Institute of Korea. 19(3): 83-96.
- 최열, 이백호. 2006. 공간자기상관과 주변 용도지역에서 접근성을 고려한 주거지 내 지가 추정에 관한 연구. 국토계획. 41(5), p45-60.
- Choi Y, Lee BH. 2006. A Study on the Estimation of Land Price Considering Characteristic of the Adjacent Land Use and Spatial Autocorrelation in Residential Zone. Journal of Korea Planners Association. 41(5), 45-60.
- 최혜림, 반영운, 백종인, 이승훈. 2018. GIS 공간분석 기법을 활용한 소방 서비스 특성 분석 및 취약지역 도출: 청주시를 대상으로. Crisisonomy, 14(9), 101-109.
- Choi HR, Ban YU, Back JI, Lee SH. 2018. GIS-based spatial analysis method to analyze the characteristics of fire services and identify vulnerable areas. Crisisonomy. 14(9), 101-109.
- Brunsdon, C., Fotheringham, A. S., and Charlton, M. E. 1996. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. Geographical analysis, 28(4), 281-298.

<p>Griffith, Daniel A. and Larry J. Layne. 1999. A casebook for spatial data analysis: A compilation of analysis of different thematic data set. Oxford University Press.</p> <p>Shahparvari S, Fadaki M, Chhetri P. 2020. Spatial accessibility of fire stations for enhancing operational response in Melbourn. Fire Safety Journal. 117, 103149.</p> <p>Tobler WR. 1970, A computer movie simulating</p>	<p>urban growth in the detroit region. Economic Geography. 46(1), 234-240.</p> <hr/> <p>2023년 10월 10일 원고접수(Received)</p> <p>2023년 10월 26일 1차심사(1st Reviewed)</p> <p>2023년 11월 10일 2차심사(2st Reviewed)</p> <p>2023년 11월 29일 게재확정(Accepted)</p>
---	--

초 록

도시가 과밀화, 집중화됨에 따라 도시민의 생활수준 향상으로 공공서비스에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 그중 소방서비스는 응급상황에서의 사고로 인한 피해를 줄이고 도시민의 의료서비스 접근성 향상에 영향을 미쳐 중요한 공공서비스 중 하나라고 볼 수 있다. 골든타임 내 환자 및 의료기관의 신속한 이동과 적절한 응급처치는 응급상황 시 필수적인 요소로 서울은 약 1천만 명의 인구가 거주하는 초대형 도시로 응급의료 환자가 매우 많은 지역이다. 이에 본 연구는 골든타임 확보를 위해 공간회귀분석을 활용하여 서울시의 응급차 출동 지연요인에 영향을 미치는 요인을 살펴보고, 관리 우선순위를 도출하여 응급차 출동 지연요인 관리에 대한 시사점을 제시하였다. 주요 분석 결과 긴급차 출동 시간은 토지이용 특성이 가장 영향력이 큰 요인으로 나타났으며, 토지이용 혼합도, 상업지역 밀도, 평균 환자 연령, 평균 도로길이 순으로 응급차 출동 시간에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구는 응급차 출동 지연요인의 정확한 이해와 우선순위에 따른 대응방안 마련을 위한 중요한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

주요어 : 소방서비스, 긴급차량, 출동 지연 요소, 공간회귀분석