

# 공간계량분석 방법에 따른 시설물 화재 발생 유의성 분석 Significance Analysis of Facility Fires Though Spatial Econometrics Assessment

서민송<sup>1)</sup> · 유환희<sup>2)</sup>

Seo, Min Song · Yoo, Hwan Hee

## Abstract

Recently, large and small fires have been happening more often in Korea. Fire is one of the most frequent disasters along with traffic accidents in Korean cities, and this frequency is closely related to the land use and the type of facilities. Therefore, in this study, the significance of fires was analyzed by considering land use, facility types, human and social factors and using 10 years of fire data in Jinju city. Based on this, OLS (Ordinary Least Square) regression analysis, SLM (Spatial Lag Model) and SEM (Spatial Error Model) using space weights, were compared and analyzed considering the location of the fire and each factor, then a statistical model with high suitability was presented. As a result, LISA analysis of spatial distribution patterns of fires in Jinju city was conducted, and it was proved that the frequency of fires was high in the order as follow, central commercial area, industrial area and residential area. Multiple regression analysis was performed by integrating demographic, social, and physical variables. Therefore, the three models were compared and analyzed by applying spatial weighting to the derived factors. As a result of the significance test, the spatial error model was analyzed to be the most significant. The facilities that have the highest correlation with fire occurrence were second type neighborhood facilities, followed by detached house, first type neighborhood facilities, number of households, and sales facilities. The results of this study are expected to be used as significant data to identify factors and manage fire safety in urban areas. Also, through the analysis of the standard deviation ellipsoid, the distribution characteristics of each facility in the residential area, industrial area, and central commercial area among the use areas were analyzed. In, the second type neighborhood facility with the highest fire risk was concentrated in the center. The results of these studies are expected to be used as useful data for identifying factors and managing fire safety in urban areas.

Keywords : Fires, Ordinary Least Square, Spatial Lag Model, Spatial Error Model, Standard Deviation Ellipse

## 초 록

최근 우리나라는 크고 작은 화재가 지속해서 발생하고 있다. 화재는 우리나라의 도시 내에서 교통사고와 더불어 가장 많이 발생하는 재해 중 하나이며, 화재 발생 빈도는 토지이용의 형태와 시설물의 유형에 따라 밀접한 상관성을 갖고 있다. 따라서 본 연구에서는 진주시를 대상으로 10년간 화재데이터를 사용하여 토지이용도별, 시설물 유형별 그리고 인문 사회적 요인을 고려하여 화재 발생의 유의성을 분석하였다. 먼저 진주시 화재 발생의 공간분포 패턴을 파악한 후, 다중 회귀분석을 통해 인문·사회 및 물리적 요인 간의 공간적 종속성 및 비정상성을 확인하였다. 이를 토대로 화재 발생 위치와 각 요인의 위치를 고려하여 공간가중치를 활용한 선형회귀모형, 공간시차모형 그리고 공간오차모형을 비교 분석하였으며 적합도가 높은 통계모형을 제시하였다. 그 결과 진주시 화재 발생의 공간분포 패턴을 확인하기 위해 LISA 분석을 실시하였으며 중심상업지역, 공업지역, 주거지역 순으로 화재 발생 빈도가 높은 것으로 나타났고, 인구·사회 및 물리적 변수를 통합하여 다중회귀분석을 실시하였다. 이에 따라 최종 도출된 요인들을 중심으로 공간가중치를 적용하여 세 모형을 비교 분석하였으며 유의성 검정을 실시한 결과 공간오차모형이 가장 유의한 것으로 분석되었다. 화재 발생과 가장 높은 상관성이 있는 시설은 제2종 근린생활시설로 나타났으며 다음으로 단독주택, 제1종 근린생활시설, 가구 수, 판매시설의 순으로 분석되었다. 또한, 표준편차 타원체분석을 통하여 용도지역 중 주거지역, 공업지역, 중심상업지역을 중심으로 시설물별 분포특성을 분석한 결과 주거지역 및 공업지역에서는 네 개 시설물의 특성이 비슷하게 나타났으나 중심상업지역에서는 화재위험도가 가장 높은 제2종 근린생활시설이 중심부에 집중분포하였다. 이러한 연구 결과는 도시지역에서 발생하는 화재에 대해 시설물별 특성을 파악하여 화재안전관리를 하는데 유용한 자료로 활용될 것으로 예상된다.

핵심어 : 화재, 선형회귀모형, 공간시차모형, 공간오차모형, 표준편차타원체

Received 2020. 04. 10, Revised 2020. 05. 06, Accepted 2020. 06. 25

1) Member, BK21+, Dept. of Urban Engineering, Gyeongsang National University (E-mail: msong7938@gmail.com)

2) Corresponding Author, Member, BK21+, ERI, Dept. of Urban Engineering, Gyeongsang National University (E-mail: hhyoo@gnu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근 급속도로 성장하는 도시에는 시설물들이 증가하고 많은 인구의 집중이 심화함에 따라 재난에 취약함을 나타내고 있다. 많은 재난들 중 도시 내에서 흔하게 접하게 되는 재난은 화재이며 사회재난에 속한다(Seo and Yoo, 2019). 특히 도시지역에서 도시계획은 토지의 이용 목적에 따라 주거용지, 상업용지, 공업용지 등으로 구분하여 용도지역을 지정하고 있으며 용도에 따라 다양한 시설물이 혼재되어 있다. 따라서 도시지역에서 발생하는 화재는 토지의 용도와 시설물 종류에 따라 상호 연관성이 높을 것으로 판단된다. 화재는 우리나라의 도시 내에서 가장 많이 발생하는 사회적 재해 중 하나로 도시민의 안전과 생명에 직접적인 영향을 끼친다. 토지용도, 인구 및 시설물의 밀집 정도에 따라 도시화재의 빈도가 좌우하게 된다. 이는 인명과 재산 손실에 대해 연쇄적 파장을 일으키며 많은 피해를 준다(Bac, 2016). 많은 피해가 발생하는 대형 화재는 인명피해의 경우 5명 이상의 사망자가 발생하거나 10명 이상의 사상자가 발생했을 때 해당되며 재산피해의 경우 50억 원 이상 피해액이 추정되는 화재를 말한다. 특히 2018년도는 역대 가장 많은 대형화재가 발생하였으며 2017년도 대비 두 배 이상 증가하였다. 피해 정도는 258명의 부상자와 69명의 사망자 그리고 7백억 원의 재산피해를 주었다(NFA, 2019). 도시 내 화재에 따른 재산 및 인명피해는 깊은 상실감과 좌절감을 동반한다.

이에 따라 화재와 관련된 연구가 다양한 관점에서 이뤄지고 있으며 화재 발생에 대한 공간분석 및 통계 분석, 화재위험에 대비할 수 있는 지도 구축과 화재 대피 시뮬레이션을 위한 BIM (Building Information Modeling) 정보 구축 등에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다. 공간분석 및 통계분석을 살펴보면 GIS를 활용한 공간적 요소가 고려된 분석에 관한 연구의 경우 Kim(2009)은 대전광역시를 대상으로 화재의 공간 특성 분석과 화재 발생의 시계열 변화를 근간으로 하여 화재 발생지점과 화재 발생 출동시간을 6분 지점을 기준으로 하여 분석하고 119안전센터의 이동에 대해 제안하였으나 화재가 발생한 다발 지점의 군집분석이 이뤄지지 못하였다. 또한, Lee(2010)는 울산광역시를 대상으로 화재 발생 분포패턴 분석과 구급 발생 분포패턴 분석을 이원화하였다. 또한, 울산시 소방서의 구조, 구급, 화재 3가지 요소에 대해 공간분석을 실시하였으나, 대안 마련이 부족하다. Kang and Park(2005)은 서울 청산동을 대상으로 9년간의(1995-2004) 화재 발생 건수에 대해 밀도지도도를 생성하고 화재 발생에 따른 분포 경향과

악을 위해 영향요인을 13개로 구축하였으며 이를 토대로 화재 발생분포 경향을 분석하여 화재위험 지도를 시범 구축하였다. 공간통계기법을 활용한 연구의 경우 Kim and Um(2007)은 화재발생과 환경 및 인문 요소의 상관관계를 분석하였으며 화재 발생의 불특정성을 포아송 확률분포로 해석했다. Shin *et al.*(2012)은 건축물 용도를 분류하고 화재발생에 따른 위험도 범위를 구축하고 리스크 매트릭스를 활용하여 절대평가 및 상대평가를 동시에 실시하여 SFPE (Society of Fire Protection Engineers)를 기준으로 위험 건축물 용도에 대해 활용방안을 제시하였다. Kim *et al.*(2011)은 전국 9개 도를 대상으로 산불 화재 발생 데이터를 활용하여 공간통계분석을 실시하였으며 산불 발생위험 예측을 분석하기 위해 Kriging 기법을 활용하여 권역별로 공간 자기 상관성의 유무에 대해 분석하였다. Kim(2014)은 충청북도를 대상으로 산불의 공간적 분포패턴을 분석하고, 토지 용도와 산불 발생 간의 관계를 도출하였으나, 이에 따른 예방과 정책적 수립을 구체적으로 밝히고 있지 못하고 있다. Seo and Yoo(2019)는 화재 발생과 시설물 요인에 대한 유의성 분석을 위해 공간자기상관성 분석을 실시하여 화재발생의 공간분포패턴을 파악하였다. 또한, 선형회귀모형을 통해 화재 발생에 영향을 미치는 요인들을 밝혔으나, 다양한 공간통계모형의 적용이 부족하였다. 대부분의 선형연구 경우 화재 발생에 대한 통계적 데이터를 기준으로 공간 분포패턴 분석과 위험지도 제작 등이 주로 이뤄져 왔으며 실제 화재 발생지점과 토지용도, 시설물 유형별 그리고 인문사회적 요인들에 대한 공간적 상관성이 고려된 연구는 아직 부족한 실정이다. 화재 발생은 토지용도 및 시설물의 용도에 따라 다양한 원인으로 발생하며 화재 발생 빈도의 경우 토지이용의 형태와 시설물 유형에 따라 밀접한 상관성을 갖고 있을 것으로 판단되며 이에 대한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 화재 발생에 대해 토지 이용별, 시설물 유형별 그리고 인문사회적 요인을 고려하여 화재 발생의 공간적 자기상관성에 대한 유의성을 분석하고자 한다. 화재 발생에 대한 유의성 분석을 위해 진주시를 대상으로 10년간의 화재 위치 데이터를 취득하고, 화재 발생의 토지 이용별 공간분포 패턴을 파악하기 위해 전역적 공간 자기 상관성 분석 및 국지적 공간 자기 상관성 분석을 실시하였다. 또한, 인문사회 요인과 물리적 요인 간의 상관관계 및 다중 회귀 분석을 수행하여 공간적 종속성과 비정상성을 확인하였다. 이를 토대로 화재 발생 위치와 인문·사회 요인 및 물리적 요인별 위치를 고려하여 공간가중치를 활용한 선형회귀모형(OLS), 공간시차모형(SLM) 그리고 공간오차모형(SEM)을 비교분석하였으며 적합도가 높은 통계모형을 제시하였다. 또한, 표준편차

타원체분석을 통하여 용도지역 중 주거지역, 상업지역, 중심 상업지역을 중심으로 시설물별 분포특성을 분석하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1 화재 발생 공간분포패턴 분석

본 연구는 화재 발생의 토지 이용별 공간분포 패턴을 파악하기 위해 전역적 공간자기 상관분석 및 국지적 공간자기 상관분석을 실시하고자 국지적 Moran 지수를 활용하여 제시된 LISA (Local Indicator of Spatial Association) 분석을 실시하였다. 공간자기상관은 공간상에 분포하고 있는 실체 (spatial entities)들이 위치의 유사성이 높아짐에 따라 이 실체들이 갖는 값의 유사성도 또한 높아 가는 현상이다 (Anselin and Bera, 1998). 공간상의 유사성 및 차이성을 측정할 수 있으며 이러한 공간실체들 간의 유사성과 차이성을 측정·요약하여 보여주는 것이 공간자기상관이라고 할 수 있다 (Lee and Wong, 2001).

국지적 Moran 지수의 경우 특정 지역 값과 인접하고 있는 주변 지역들이 갖는 가중 평균값이 서로 유사하게 나타나면 양적인 자기 상관으로, 반대로 특정 지역의 값과 인접하고 있는 주변 지역들이 갖는 가중 평균값의 차이가 크게 분석되면 음적인 자기 상관으로 판정하게 되며 국지적 LISA 분석을 통해 각 개별지역의 주변에 유사한 값을 갖는 공간적 군집에 대한 유의성을 판정할 수 있으며 국지적 군집과 이레 지역에 대한 정보도 추출할 수 있다 (Lee and No, 2013). 결과값은 -1에서부터 1까지의 값을 가지게 되고 -1에 가까울수록 큰 값과 작은 값이 규칙적으로 섞이는 공간분포를 보이며, 1에 가까울수록 큰 값들이 군집해 있는 공간분포를 나타낸다 (Lee and No, 2013).

### 2.2 화재 발생의 유의성 분석

공간에 자기 상관성을 측정하고자 하는 경우에는 공간적 인접성을 정의하고 측정해야 하며 공간적 자기 상관성이 존재하는 경우 공간가중행렬을 이용하여 공간효과를 통제하여야 한다 (Yeon, 2016). 공간가중행렬을 구축하는 방법은 두 가지로 공간거리기준, 공간인접성 기준으로 구축하는 방법으로 나뉜다. 인접성 기반 가중치는 먼저 공간적 인접성을 고려해야 하며 이격된 경우에는 0, 인접한 경우에는 1을 부여하는 것을 의미한다. 거리기반 가중치는 연속성을 6가지로 구분할 수 있으며 실제 거리를 기반으로 다양한 응용이 가능하다 (James et al., 2008). 공간적 상호작용의 크기를 적용하여 두 지역 간의 접근성의 척도를 해석할 수 있다. 가까운 곳일수록

큰 가중치를 가져야 하므로, 거리의 역수가 가장 많이 사용된다 (Baller et al., 2001). 따라서 본 연구는 이와 같이 공간적 요소를 고려한 세 가지 공간계량모형을 사용하여 분석하였다.

#### 2.2.1 선형회귀모형(OLS: Ordinary Least Square method)

선형회귀모형은 설명변수와 종속변수 관계가 직선적으로 나타나는 것을 가정하고 있다. 회귀분석을 수행하는 목적은 종속변수 및 설명변수들 사이의 관계를 가장 잘 설명하는 회귀 식을 추정한 후, 그 추정된 회귀식으로부터  $X_i$  값의 변화에 따라 대응하는  $Y_i$  값을 예측하는데 궁극적인 목적을 두고 있다 (Seo and Yoo, 2019). 선형회귀분석을 최소제곱법(OLS: ordinary least square method)이라고 부르는 이유는 최적선을 구하는 기준이 잔차 제곱의 합을 최소화하는 직선을 구하기 때문이다 (Lee and No, 2013). 그러나 모집단  $X$ 와 모집단  $Y$ 와의 관계를 추정하기 위해 표본으로부터 추정된 회귀계수  $a, b$ 가 모집단의 모수인  $\alpha, \beta$ 를 정확하게 추론하기 위해서는 추정된 회귀모형이 회귀 분석에서 전제가 되는 기본 가정들을 충족시켜야만 한다. 따라서 회귀분석방법을 이용할 경우 추정된 회귀모형이 기본 가정을 잘 준수하고 있는지를 먼저 판정하고 난 후 가장 적합한 회귀모형을 설정하여야 한다 (Jeo, 2017).

#### 2.2.2 공간시차모형(SLM: Spatial Lag Model)

공간적 자기상관성이 종속변수에서 존재할 때, 종속변수에 공간가중행렬을 투입하여 공간변수와의 관계를 설명하는 모형이다. 종속변수에 공간적 의존성이 있을 때, 주변 지역으로부터 받는 파급효과를 공간시차변수로 반영하게 된다. SLM의 기본식은 Eq.(1)과 같이 나타낼 수 있다.  $X$ 는 종속변수인 화재발생이며,  $Y$ 는 공간이용영향요인 변수,  $\epsilon$ 는 오차항 그리고  $\rho$ 는 공간효과를 의미한다. 우항의 변수 ( $\rho WX$ )를 좌항으로 이항 후 정리하면 공간승수효과 (spatial multiplier)을 나타낼 수 있으며,  $(I - \rho W)^{-1}$ 은 공간파급효과라고 한다 (Lee and No, 2013).

$$\begin{aligned} X &= \rho WX + Y\beta + \epsilon, \epsilon \sim MNV(0, \sigma^2 I_n) \\ X - \rho WX &= Y\beta + \epsilon \\ (I - \rho W)X &= Y\beta + \epsilon \\ X &= (I - \rho W)^{-1}(Y\beta + \epsilon) \end{aligned} \quad (1)$$

$$(I - \rho W)^{-1} = I + \rho W + \rho^2 W^2 + \dots \approx \frac{1}{1 - \rho}$$

where  $X$  is exemplifications,  $Y$  is space use effect variable,  $\epsilon$  is error term,  $\rho$  is rho(space effect).

### 2.2.3 공간오차모형(SEM: Spatial Error Model)

오차에서 공간효과가 존재할 때 선형회귀모형의 오류를 고려하여 활용하게 된다. 오차에서 공간적 자기상관이 나타나는 이유는 데이터 집계 단위와 특정 현상이 나타나는 범위가 공간적으로 불일치할 때에 발생하거나, 설명 불가능한 변수에서 공간적 자기상관이 나타나는 경우를 고려할 수 있다. 일반적으로 SEM은 설명되지 못한 변수로부터 공간적 자기상관인 공간효과가 일어난 것으로 해석한다. SEM에서는 공간가중행렬을 이용하여 오차공분산을 만들고, 회귀분석 시 나타나는 공간 상호작용의 영향을 통제하는 것이다(Lee and No, 2013). SEM의 식은 Eq.(2)와 같으며  $X$ 는 화재발생을 의미하며,  $Y$ 는 공간이용영향요인 변수 그리고  $\mu$ 는 공간효과가 반영된 오차항을 의미한다.

$$\begin{aligned}
 X &= Y\beta + \mu (\mu = \lambda W\mu + \epsilon \sim MNV(0, \sigma^2 I_n)) \\
 X &= Y\beta + (I - \lambda W)^{-1} \epsilon \\
 (I - \lambda W)^{-1} &= I + \lambda W + \lambda^2 W^2 + \dots \approx \frac{1}{1 - \lambda}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

where  $X$  is exemplifications,  $Y$  is space use effect variable,  $\mu$  is error term with spatial effect.

### 2.2.4 공간계량모형 선정

본 연구에서는 공간계량모형의 특성을 반영한 모형값을 산출하여, 가장 적합한 모형을 중심으로 결과를 해석하고자 한다. 모형의 적합도 검정을 위해서는 기본적인 선형회귀모형을 사용하여 추정한 후, 종속변수나 오차에서 공간효과가 존재하지 않는다는 귀무가설을 검정하는 라그랑지 승수검정(LM: Lagrange Multiplier Test)의 LM-Lag값과 LM-Error값이 0.05에서 유의한지에 따라 판정할 수 있다. 더불어 모든 값에서 통계적으로 유의하게 나타나는 경우 Robust LM진단을 통해 최종적인 공간계량모형을 선정할 수 있다(Lee and No, 2013).

기본적인 선형회귀모형에서 가정하는 '오차의 정규성·등분산성·공간적인 독립성'을 준수하는가를 판정하여 모형의 적합성을 판단할 수 있다.

비정규성에 대해서는 Jarque-Bera통계로 검정하며 이분산성에 대해서는 Breusch-Pagan 통계값을 통해 판정한다. 이를 통해 공간계량모형 선정의 타당성을 평가할 수 있으며, 공간계량모형 중 적합한 모형은 로그우도(log likelihood)값이 높고, AIC (Akaike Info Criterion), SC (Schwarz Criterion)값이 보다 낮은 모형을 선정하게 된다.

### 2.2.5 표준편차 타원체

본 연구는 공간계량모형의 선정을 토대로 도시공간내의 각 시설물별 점사상의 전체적인 방향성을 알아보기 위해 표준편차 타원체 분석을 실시하였다. 표준편차 타원체 분석은 점사상의 산술적 평균과 표준거리를 이용하여 타원체를 도식화하는 것으로 사건의 분포 경향을 확인할 수 있고 특히 점사상의 방향성을 직관적으로 파악할 수 있는 장점이 있다(Jeong, 2016).

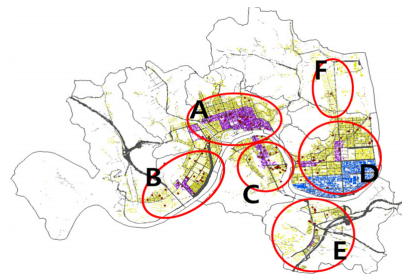
## 3. 자료 구축 및 결과 분석

### 3.1 연구대상지 선정

경상남도의 도시지역을 대상으로 최근 5년간의 화재 발생 건수를 분석할 때 인구 100만 도시인 창원외의 경우 2,787건으로 나타났다. 진주시의 경우 인구 34만 도시임에도 화재 발생은 2,441건으로 나타나고 있다(National Fire Disaster System, 2019). 따라서, 연구대상지는 인구수 대비 화재 발생 현황이 높은 진주시로 선정하였다.

진주시는 경상남도 서부권에 위치하고 있는 중소도시이다. 또한, 각종 행정업무와 다양한 상업시설, 공업시설, 주거시설이 밀집된 지역으로 면적은 714km<sup>2</sup>의 현황을 가지고 있다.

또한, 진주시의 용도지역은 도시지역과 비도시지역으로 구분할 수 있으며 도시지역은 주거지역, 중심상업지역, 일반상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 구성되어있다. 주거지역 면적 17.04km<sup>2</sup>, 상업지역 면적 3.00km<sup>2</sup>, 공업지역 면적 5.02km<sup>2</sup>, 녹지지역 면적 249.44km<sup>2</sup>이다. 비도시지역은 계획관리지역, 생산관리지역, 보전관리지역, 관리지역, 농림지역, 자연환경보전지역으로 437.39km<sup>2</sup>이다(Jinju City, 2019). 용도지역을 바탕으로 진주시의 토지이용을 나누면 크게 6가지의 특징이 나타나며 Fig. 1과 같다. A지역의 경우 중심상업지역이다. B지역의 경우 최근 개발되고 있는 주거지역이며 C지역의 경우 오래된 주거지역이다. D지역의 경우 공업지역, 주거지역이 혼재되어 있는 지역이다. 그리고 E지역의 경우 대학교 근처의 주거지역이며 F의 경우 주거지역이다.



Area	Land usage
A	Central commercial area
B	Residential area(land development area)
C	Residential area(old town)
D	Industrial·Residential facility mixed area
E	Residential area(university town)
F	Residential area

Fig. 1. Land use map of Jinju city

### 3.2 자료 구축 및 구성

진주시의 화재 발생 영향요인 분석을 위한 자료 구성과 구축 방법은 다음과 같다.

첫째, 2007년부터 2017년까지 10년간 화재 발생 현황자료(화재 발생 위치 주소, 날짜 및 시간, 재산피해액, 인명피해 등)를 토대로 지오코딩(geocoding) 작업을 실시하였다. 진주시 행정구역 중 면 단위에서 발생한 화재는 90% 이상 산불 화재로 나타나 제외하였으며 기재 누락 및 주소가 불명확한 자료 등을 제외하였다. 최종적으로 동 단위의 화재 발생 1,786건을 최종 자료로 활용하였다. 또한, 동 단위보다 더욱 세분화된 분석을 실시하기 위해 집계구 중심의 자료를 구축하였으며 법정동, 행정동의 자료를 집계구 단위로 재통합하는 과정을 거쳤다. 진주시의 집계구는 총 536개로 나타났다.

둘째, 도시지역 내에는 토지이용에 따라 용도지역으로 나누어져 있으며 용도지역의 성격에 맞게 시설물들이 분포하게 된다. 또한, 인구와 각 시설물의 밀집 정도에 따라 도시화재의 빈도가 좌우하게 된다. 따라서 본 연구에서는 진주시 화재 발생과 시설물에 대해 공간적 분포와의 관련성을 분석하였으며 크게 두 가지의 요인으로 나누어 분석하였다. 첫 번째는 인문학적 요인 및 사회적 요인으로 인구가 가구 및 세대구성 가구의 집계구별 데이터를 사용하였으며 두 번째는 물리적 요인으로 시설물 데이터를 사용하여 분석하였다. 본 연구에서 사용된 시설물의 용도는 건축법상 용도별 시설물 표준코드를 기준으로 변환하여 분석 자료를 구축하였다.

셋째, 통계 분석 및 공간계량분석을 분석하기 위해 인문·사회 변수로 진주시 가구와 세대구성별 가구 및 인구의 집계구별 데이터를 사용하였다. 변수는 가구수, 1세대가구, 2세대가구, 3세대가구, 4세대가구, 1인가구, 비혈연가구로 구성되어있다. 물리적 변수로 진주시 시설물에 대한 집계구 면적 대비 시설물 면적을 활용하였다. 각 변수는 공동주택, 단독주택, 관광휴게시설, 업무시설, 영업시설(다중생활시설), 공장, 제1종 근린생활시설, 제2종 근린생활시설, 판매시설, 숙박시설, 교육

연구시설, 노유자시설, 동물 및 식물 관련시설, 수련시설, 운동시설, 문화 및 집회시설, 운수시설, 위락시설, 묘지관련시설, 위험물 저장 및 처리시설, 의료시설, 자동차 관련 시설, 자원순환 관련 시설, 장례시설, 창고시설로 구성되어있다.

### 3.3 진주시 화재 발생 공간분포패턴 분석

본 연구에서는 진주시의 화재 발생에 대해 공간분포패턴을 파악하기 위해 공간가중행렬을 구축하여 종속변수(화재 발생 건수)의 공간적 자기상관성을 분석하였다. 먼저 전반적인 화재 발생의 공간 분포패턴을 분석하기 위해 전역적 자기상관성을 분석한 결과 공간시차변수와 종속변수 간에 양(+)의 관계가 있다고 나타났으며 모란 지수 값은 0.820로 공간적 자기상관이 존재하는 것으로 분석된다. 따라서, 진주시의 화재는 지난 10년간 화재가 발생지점과 인접한 지역에서 서로 유사한 값을 나타내며 공간적 군집을 이루는 것을 확인할 수 있다.

전역적 자기상관성은 진주시 전체의 공간적 자기상관성을 분석할 수 있기 때문에 국지적으로 어떤 지역들이 서로 유사한 값들을 가지며 군집하고 있는지 분석하기 위해 국지적 자기상관성 분석의 방법 중 하나인 LISA분석을 실시하였으며 LISA지표로 나타내는 유형은 다음과 같이 분석할 수 있다. High-High(HH)유형은 높은 값 주변에 높은 값이 존재하는 것으로 화재 발생 고 위험 지역으로 해석된다. Low-Low(LL)유형은 낮은 값 주변에 낮은 값이 존재하는 것으로 분석한다. 또한, High-Low(HL)유형 높은 값 주변에 낮은 값이 존재하고 Low-High(LH)유형은 낮은 값 주변에 높은 값이 존재하는 것으로 분석된다. 이에 따른 용도지역별 화재 발생을 분석하기 위해서 LISA 분석을 적용하였으며 그 결과 Fig. 2와 같다. 즉, 도시지역에서는 주거지역, 상업지역, 공업지역 등과 같은 용도지역을 지정하여 토지를 이용하고 있으므로 용도지역과 화재발생 빈도간의 상관성을 분석하였다. 진주시의 경우 HH 지역 33곳, LH지역 22곳, HL지역 3곳, LL지역 14곳으로 나타났다. 각 분석 결과를 용도별로 살펴보면 HH지역은 33곳 중 중심상업지역이 48%차지하고 있으며 공업지역이 27%, 주거지역 18%로 각각 나타났다. LH지역은 22곳 중 주거지역이 52%, 공업지역 26%, 일반상업지역은 13%로 각각 나타났다. HL지역은 3곳이며 모두 주거지역으로 나타났다. LL지역은 14곳으로 주거지역 42%이며 일반상업지역이 28%로 각각 분석되었다. 따라서, HH지역은 고 위험 지역으로 중심상업지역인 중앙동 및 성북동, 공업지역인 하대 2동 및 상평동, 주거지역인 초장동 및 가호동으로 나타났다. HH에 해당하는 지역들은 해당 지역 및 주변지역에 대한 화재 예방 대책 수립이 필요하다. 또한, LH 지역은 주거지역인 초장동 일부와 진주시청이 위치한

고 있는 상대1동과 공업지역인 상평동 일부로 나타났다. LH에 해당하는 지역들은 주변 지역 화재 발생이 높은 것으로 분석되기 때문에 이에 따른 대책 수립이 필요한 것으로 보인다.

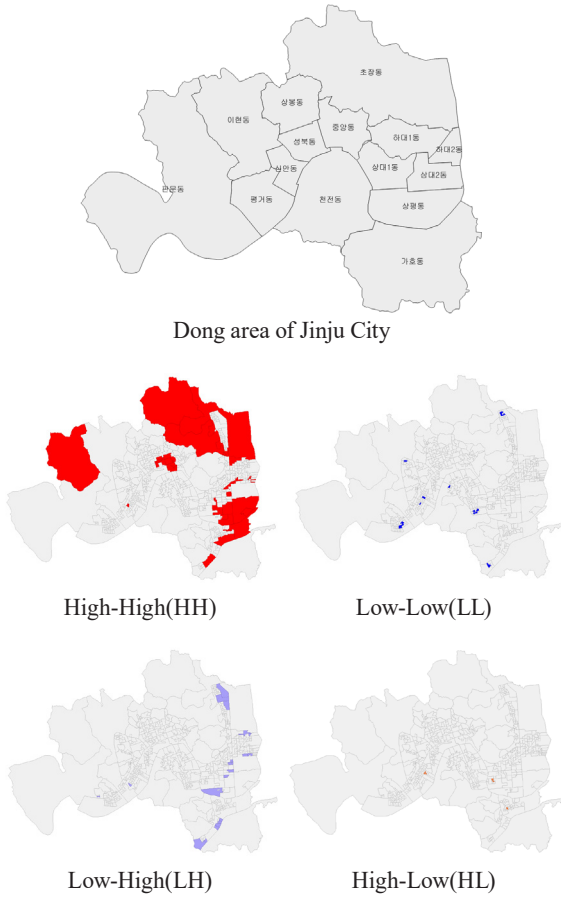


Fig. 2. LISA analysis index of Jinju city

### 3.4 화재 발생 영향요인 다중회귀분석

공간자기상관분석을 실시하여 진주시의 화재 발생은 고 위험지역인 HH유형에 많은 지역이 포함되고 있으므로 화재 발생에 대한 더욱 정확한 요인 분석이 필요하다. 따라서, 각 요인별 통계분석을 통해 화재발생 영향요인 분석을 실시하고자 한다. 통계자료의 범위는 진주시 집계구 단위로 선정하였으며 분석변수로는 인문·사회적 요인과 물리적 요인을 사용하였다. 유효한 변인들을 찾아내기 위해 다중공선성 문제를 우선적으로 해결해야 하므로, 상관분석 및 반복적인 회귀분석을 실시하였다.

집계구 데이터의 상관관계를 분석한 결과 다음과 같다. 먼저, 화재 발생과 인문·사회요인의 각 변수를 분석한 결과 가구

수(657) > 1세대 가구(638) > 1인 가구(621) 등으로 나타났다. 반면 비혈연 가구와 4세대 가구는 상관성이 유효하지 않은 것으로 나타났다. 또한, 화재 발생과 물리적 요인의 각 변수를 분석한 결과 판매시설(666) > 제2종 근린생활시설(570) > 제1종 근린생활시설(513) 등으로 나타났다. 반면 묘지 관련 시설 및 수련시설 그리고 자원순환 관련 시설, 운동시설은 상관성이 유효하지 않은 것으로 나타났다.

상관관계 분석 결과 많은 변인들의 상관성이 매우 유효한 것으로 나타났다. 따라서, 다중 공선성 발생 소지가 있는 것으로 분석되었다. 이에 따라 다중공선성 문제를 해결하기 위해 반복적인 분석을 통해 다중공선성 문제를 유발시키는 변인들을 제외하였다. 상관분석 결과에서 유효하지 않은 변인들 및 상관성이 낮은 변인들은 제외하였으며 이러한 과정을 통해 최종 선정된 변인들을 대상으로 단계적 회귀분석을 실시하였다.

회귀분석 결과 Eq.(3)은  $R^2$  값이 0.856으로 나타났으며 85.6%의 설명력을 갖는 것으로 분석되었다. 또한, 독립변수의 회귀계수는 0(종속변수와 독립변수는 서로 무관)이라는 귀무가설을 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 전부 기각하고 있으므로 이들 모형에 포함된 독립변수들이 종속변수의 변량을 잘 설명해주고 있다.

이상과 같이 다중회귀분석을 통한 각 모형의 세부 변수에 관한 연구 결과는 Seo and Yoo(2019)에서 발표되었으며 Eq.(3)은 회귀 분석 모형에 따른 파급효과 표준화 계수( $\beta$ )를 통해 도출된 회귀 분석식이다.  $\hat{Y}$ 는 화재발생율을 의미하며  $x_1$ 는 판매시설,  $x_2$ 는 단독주택,  $x_3$ 는 제2종 근린생활시설,  $x_4$ 는 제1종 근린생활시설,  $x_5$ 는 가구수,  $x_6$ 는 업무시설,  $x_7$ 는 운동시설을 의미한다. 다중회귀분석 결과 판매시설이 화재발생에 가장 많은 영향을 미쳤으며 업무시설과 운동시설은 화재발생과 부적인 관계를 보여 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

$$\hat{Y} = 0.326x_1 + 0.294x_2 + 0.243x_3 + 0.153x_4 + 0.135x_5 - 0.71x_6 - 0.67x_7 \quad (3)$$

where  $\hat{Y}$  is fire rate,  $x_1$  is sales facility,  $x_2$  is detached house,  $x_3$  is The second type neighborhood facility,  $x_4$  is the first type neighborhood facility,  $x_5$  is number of households,  $x_6$  is business facility,  $x_7$  is exercise facility.

단계적 분석방법에 따라 Eq.(3)과 같이 7개의 변수가 포함된 회귀모형이 설정되었으며, 적합성과 회귀계수의 유의성을 검증한 결과 모두 유의하게 나타났다. 하지만 높은 신뢰성 판단을 위해 잔차 분석을 통해 정규성 및 이상치 등을 진단해야

한다. 잔차의 정규분포를 분석한 결과 표준편차 0.986으로 나타났다으며 표준화 잔차의 분석 결과 잔차들이 어느 정도 정규성을 이루고 있는 것으로 나타났다. 하지만 종속변수의 예측값에 대해 잔차의 등분산성을 분석한 결과 이분산성을 띄고 있으므로 등분산성을 만족시키지 못하고 있다(Seo and Yoo, 2019). 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위해서 일반 통계 분석의 기법이 아닌 공간적 요소가 고려된 공간회귀분석에 의한 추가적 분석이 필요하다고 판단된다.

### 3.5 화재 발생에 따른 선형회귀모형(OLS) 분석 결과

앞서 분석된 상관관계 분석과 다중회귀분석의 경우 단순히 통계적인 개념에서의 분석만 가능하였으며 공간적인 요소는 포함되지 않았다. 따라서, 본 연구에서는 각 변수의 위치와 화재 발생 위치를 기준으로 공간적 요소를 고려하기 위해 공간가중치를 활용한 회귀 분석을 실시하였다. 다중회귀분석의 결과를 기준으로 최종 선정된 변수를 통해 이분산성 진단과 공간회귀모형의 적합도를 확인하였다. 각 변수들을 OLS에 적용하여 분석하였다. 이는 Seo and Yoo(2019)에서 발표되었으며 Table 1과 같다. 먼저 다중공선성을 확인해야 하며

Condition number가 30 이하인 경우 심각한 다중공선성이 없다고 판단된다. 따라서, 본 연구의 다중공선성을 분석한 결과 지수는 5.804로 나타났으며 심각한 다중공선성은 없다고 분석된다. 결정계수(R-squared)의 분석결과 76.8%의 설명력을 가지고 있는 것으로 분석된다. 또한, 이분산성을 검정하는 White 검정, Kosenker-Bassett 검정, Breusch-pagan 검정 모두 유의수준 0.01로 유의성이 높다고 판단된다. 정규성을 판단하는 Jarque-Bera값은 오차항이 정규분포하지 않음을 유의확률에서 확인하였다. 따라서, 선형회귀모형의 유의성 분석 결과 신뢰성이 높은 것으로 나타났다. 각 모형들의 결과값을 분석한 결과 제2종 근린생활시설이 화재 발생에 가장 높은 영향을 주는 것으로 나타났다. 다음으로 단독주택, 판매시설, 제1종 근린생활시설, 가구 수의 순으로 화재 발생에 영향을 주는 것으로 분석된다.

### 3.6 공간시차모형(SLM) 분석 결과

앞에 분석된 OLS의 결과와 함께 공간계량모형인 SLM과 SEM을 분석한 후 세가지 모형을 비교분석 함으로써 분석결과의 신뢰도 및 타당성을 높이고자 한다. 따라서, 앞서 선정

Table 1. OLS analysis results

Division	Variable name	OLS		
		Coef.	t	P
Human·social variable	Number of households	0.033	4.820	0.016
	Detached house	0.346	2.428	0.001
Physical variable	The first type neighborhood facility	0.072	5.056	0.000
	The second type neighborhood facility	0.592	2.526	0.000
	Sales facility	0.093	6.283	0.049
Model statistics	R2	0.768	-	-
	Adj_R2	0.753	-	-
Regularity	Condition number	5.804		
	Jarque-bera	523.571	-	0.000
Evenly dispersed	Breusch-pagan	497.671	-	0.000
	Kosenker-bassett	115.932	-	0.000
	White	217.861	-	0.000
Spatial dependency	Likelihood ratio	-	-	-
	Log likelihood	-1255.221	-	-
Suitability of model	AIC	2540.414	-	-
	SC	2604.661	-	-

된 변수들을 통해 공간 가중행렬을 적용하여 SLM을 분석한 결과는 Table 2와 같다. 설명변수들이 모두 유의수준을 준수하며 Lag coeff.(RHO)인 공간시차항은 0.23으로 통계적으로 매우 유의하게 나타났다. 결정계수(R-squared)의 분석결과 82.6%로 나타났으며 OLS 결과보다 높은 설명력으로 분석된다. 또한, 이분산성을 검정하는 White검정, Kosenker-Bassett 검정, Breusch-pagan 검정 모두 유의수준 0.01로 유의성이 높다고 판단된다. 정규성을 판단하는 Jarque-Bera값은 오차항이 정규분포하지 않음을 유의확률에서 확인하였다. 따라서, SLM의 유의성 분석 결과 신뢰성이 높다고 판단된다. SLM의 결과를 토대로 각 변수들의 결과값을 분석한 결과 제2종 근린생활시설이 화재 발생에 가장 높은 영향을 주는 것으로 나타났다. 다음으로 단독주택, 판매시설, 가구 수, 제1종 근린생활시설의 순으로 화재 발생에 영향을 주는 것으로 분석된다. OLS분석과 비교 분석한 결과 화재 발생에 가장 높은 영향을 주는 시설은 제2종 근린생활시설로 나타났으며 다음으로 단독주택, 판매시설의 순으로 세 번째 변수까지의 결과는 동일하게 나타났다. 하지만 네 번째 변수와 다섯 번째 변수는 OLS

분석결과와 차이점을 보인다. SLM의 분석결과는 제1종 근린생활시설보다 가구수가 화재 발생과 더 높은 상관성이 있는 것으로 나타났다.

### 3.7 공간오차모형(SEM) 분석 결과

SEM을 분석한 결과 Table 3과 같다. 설명변수들이 모두 유의수준을 준수하며 Lag coeff.(RHO)인 공간 시차항은 0.36으로 통계적으로 매우 유의하게 나타났다. 결정계수(R-squared)의 분석결과 82.8%로 나타났으며 OLS와 SLM 결과보다 높은 설명력으로 분석된다. 또한, 이분산성을 검정하는 White 검정, Kosenker-Bassett 검정, Breusch-pagan 검정 모두 유의수준 0.01로 유의성이 높다고 분석된다. 정규성을 판단하는 Jarque-Bera값은 오차항이 정규분포하지 않음을 유의확률에서 확인하였다. 따라서, SEM의 유의성 분석 결과 신뢰성이 높다고 판단되며 각 변수들의 결과값을 분석한 결과 제2종 근린생활시설이 화재 발생에 가장 높은 영향을 주는 것으로 나타났다 다음으로 단독주택, 제1종 근린생활시설, 가구 수, 판매 시설 순으로 화재 발생에 영향을 주는 것으로 분석된다. OLS

Table 2. SLM analysis results

Division	Variable name	SLM		
		Coef.	t	P
Human·social variable	Number of households	0.068	4.820	0.016
Physical variable	Sales facility	0.068	6.283	0.049
	Detached house	0.457	2.428	0.001
	The first type neighborhood facility	0.053	5.056	0.000
	The second type neighborhood facility	0.621	2.526	0.000
Model statistics	R2	0.826	-	-
	Adj_R2	-	-	-
Evenly dispersed	Breusch-pagan	480.063	-	0.000
	Kosenker-bassett	-	-	0.000
	White	-	-	0.000
Spatial dependency	Likelihood ratio	23.632	-	-
Spatial effect	Lag coeff.(rho)	0.231		
Suitability of model	Log likelihood	-1254.880	-	-
	AIC	2541.771	-	-
	SC	2610.312	-	-



Table 3. SEM analysis results

Division	Variable name	SEM		
		Coef.	t	P
Human-social variable	Number of households	0.075	4.820	0.016
Physical variable	Sales facility	0.063	6.283	0.049
	Detached house	0.665	2.428	0.001
	The first type neighborhood facility	0.085	5.056	0.000
	The second type neighborhood facility	0.751	2.526	0.000
Model statistics	R2	0.828	-	-
	Adj_R2	-	-	-
Evenly dispersed	Breusch-pagan	485.082	-	0.000
	Kosenker-bassett	-	-	0.000
	White	-	-	0.000
Spatial dependency	Likelihood ratio	25.532	-	-
Spatial effect	Lag coeff.(rho)	0.362	-	-
Suitability of model	Log likelihood	-1254.782	-	-
	AIC	2539.561	-	-
	SC	2603.820	-	-

및 SLM와 비교 분석한 결과 제2종 근린생활시설이 화재 발생에 가장 높은 영향력이 있으며 다음으로 단독주택 순으로 나타났으므로 첫 번째 변수와 두 번째 변수까지의 결과는 동일하게 나타났다. 하지만 세 번째 및 네 번째 변수 그리고 다섯 번째 변수는 앞서 분석된 다른 모형들과 차이점을 보인다. SEM의 분석결과는 제1종 근린생활시설이 가구수와 판매시설보다 화재 발생과 더 높은 상관성이 있는 것으로 분석된다.

### 3.8 일반선형회귀모형과 공간계량모형의 비교분석

일반선형회귀모형인 OLS모형과 공간계량모형인 SLM모형, SEM모형의 결과는 Table 4와 같다. 세 가지 모형들을 비교 분석한 결과 OLS, SLM, SEM모두 화재발생과 가장 높은 영향을 주는 시설물은 제2종 근린생활 시설로 나타났으며 다음으로 OLS는 판매시설, SLM과 SEM은 단독주택으로 나타났다. 세 번째부터 화재 발생과 상관성이 있는 변수는 각각 다르게 나타났으며 OLS의 경우 단독주택, 제1종 근린생활시설, 가구수의 순으로 분석되었으며, SLM의 경우 판매시설, 가구수, 제1종 근린생활시설로 나타났다. 또한, SEM의 경우 제1종 근린생활시설, 가구수, 판매시설 순으로 나타

났다. 또한, 모형의 적합성을 판단할 수 있는 결정계수( $R^2$ ) 값, Akaike Info Criterion(AIC)값, Schwarz Criterion(SC)값, Log-Likelihood값을 비교 분석한 결과  $R^2$  값의 경우 OLS가 76.8%, SLM은 82.6% 그리고 SEM는 82.8%로 SEM이 가장 높은 설명력을 나타내고 있다. Log likelihood의 경우 SEM이 -1255.212, SLM은 -1254.881, OLS은 -1254.780로 나타났으며 SEM, SLM, OLS 순으로 감소하였다. AIC의 경우 OLS에서 2540.410로 나타났으나 SLM에서는 2541.771, SEM에서는 2539.561로 나타나고 있어 OLS, SLM, SEM 순으로 줄어들었음을 알 수 있었다. 또한, SC의 경우 OLS에서 2604.660로 나타났으며 SLM은 2610.312, SEM은 2603.820로 나타나고 있어 세 가지 모형을 비교분석 하였을 때 SEM이 OLS와 SLM에 비해 적합도가 향상되었다고 분석할 수 있다. 따라서, 이러한 분석 결과를 고려하면 SEM이 가장 적합성이 우수하다고 나타났다. 또한, SEM에서 가장 중요하다고 볼 수 있는 공간오차변수의  $\rho$ 계수는 0.25로 통계적으로 유의하게 나타나고 있다. 이 계수는 공간적 파급효과를 나타내며 화재 발생 수에 영향을 나타내는 것이므로, 화재 발생이 이웃하는 주변 지역과 약 25% 공간적 영향력을 주고 있다고 나타났다. 이는 화재 발

생 영향요인들이 해당 공간에서 주변 지역으로 상호 영향을 끼치고 있는 것으로 분석된다. 따라서, 세 가지 모형중 가장 신뢰도 및 타당성이 높은 SEM은 오차의 공간적 자기상관성을 통제할 수 있다는 장점을 가지고 있으며 이를 토대로 진주시의 화재 발생에 대한 영향요인들을 분석하면 다음과 같다. 제2종 근린생활시설이 화재 발생에 높은 영향을 주며 단독주택, 제1종 근린생활시설, 가구 수, 판매시설 순으로 나타났다.

### 3.9 SEM에 의한 용도지역별 시설물분포특성분석

OLS, SLM, SEM에 의해 시설물별 화재발생위험도를 공간계량분석한 결과 SEM에 의한 결과가 가장 신뢰도가 높은 것으로 분석되었으므로 이들 시설에 대한 도시공간내의 분포특성을 분석하였다. SEM에 의해 분석된 시설물별 화재위험도 순서는 제2종 근린생활시설(4,007개), 단독주택(27,241개), 제1종 근린생활시설(1,963개), 판매시설 (3,761개)로서 각각 시설물에 대한 분포도는 Fig. 3과 같다. Fig. 3에서 나타난 바와

같이 네 개의 시설물별 도시공간 분포특성은 용도지역에 따라 분포특성의 차이를 보이고 있다.

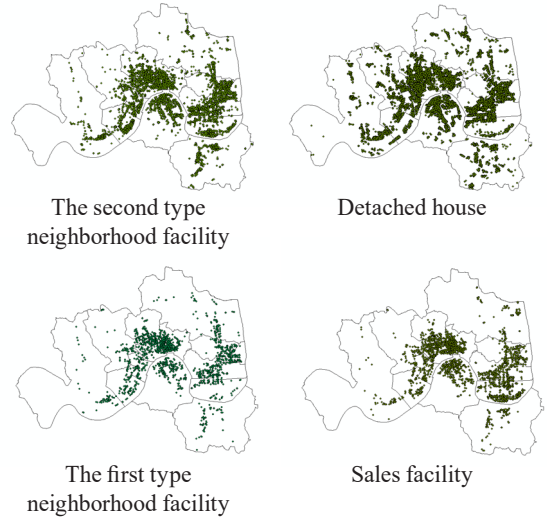


Fig. 3. Point data of facility location

Table 4. OLS, SLM, SEM model comparison analysis

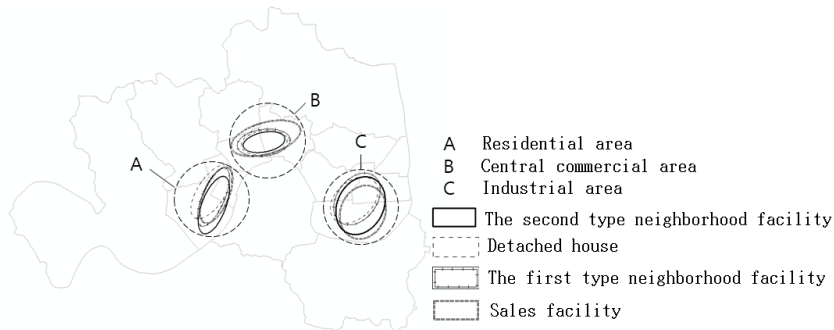
Division	Variable name	OLS	SLM	SEM
Human·social variable	Number of households	0.033	0.068	0.075
	Sales facility	0.094	0.068	0.063
Physical variable	Detached house	0.347	0.457	0.665
	The first type neighborhood facility	0.073	0.053	0.085
	The second type neighborhood facility	0.592	0.621	0.751
	R2	0.768	0.826	0.828
Model statistics	Adj_R2	0.553	-	-
	Regularity	Jarque-bera	523.570	-
Evenly dispersed	Breusch-pagan	497.671	480.063	485.082
	Kosenker-bassett	115.930	-	-
	White	217.862	-	-
Spatial dependency	Likelihood ratio	-	23.632	25.532
	Log likelihood	-1255.212	-1254.881	-1254.780
Suitability of model	AIC	2540.410	2541.771	2539.561
	SC	2604.660	2610.312	2603.820
	LM-Lag	8.953		
Robust LM-Lag	7.238			
LM-Error	5.465			
Robust LM-Error	6.899			

본 연구에서는 표준편차 타원체분석을 통하여 용도지역 중 주거지역, 공업지역, 중심상업지역을 중심으로 이들 시설물에 대한 분포특성을 분석하였다(Fig. 4). 그 결과 주거지역 및 공업지역에서는 네 개 시설물에 대한 타원체의 크기와 방향이 비슷한 특성을 나타냈다. 그러나 중심상업지역인 경우 타원체의 크기가 SEM의 분석에 따른 화재위험도 순과 같이 제2종 근린생활시설의 타원체가 가장 작게 나타나 중심부에 집중분포하고 있음을 알 수 있었다. 그 다음으로 단독주택, 제1종 근린생활시설, 판매시설 순으로 분산되어 분포되었다. 따라서 중심상업지역의 경우 화재위험도가 가장 높은 시설물이

중심부에 집중분포하고 있음을 알 수 있었고, 주거지역과 공업지역에서는 시설물간의 타원체 크기 변화가 크게 나타나지 않아서 다양한 용도의 시설물이 혼재되어 분포되고 있다는 것을 알 수 있었다.

### 4. 결론

본 연구는 토지용도별, 시설물 유형별 그리고 인문사회적 요인을 고려하여 화재 발생의 유의성을 분석하기 위해 진주시를 대상으로 10년간(2007년~2017년) 화재데이터를 취득하였



Central commercial area			Industrial area		Residential area	
Facility types	Rotaion angle	Ellipsoid area	Rotaion angle	Ellipsoid area	Rotaion angle	Ellipsoid area
The second type neighborhood facility	20.5	1.03km <sup>2</sup>	26.1	1.97km <sup>2</sup>	26.1	0.58km <sup>2</sup>
Detached house	32.9	1.22km <sup>2</sup>	47.2	1.44km <sup>2</sup>	47.2	0.79km <sup>2</sup>
The first type neighborhood facility	22.9	0.98km <sup>2</sup>	35.7	1.61m <sup>2</sup>	35.7	1.01km <sup>2</sup>
Sales facility	22.7	1.05km <sup>2</sup>	22.0	1.74km <sup>2</sup>	22.0	1.59km <sup>2</sup>

Fig. 4. Multiple regression analysis of Jinju city

으며, 공간자기상관성 분석을 통해 진주시 화재 발생의 공간 분포 패턴을 파악하기 위해 공간자기상관성 분석을 실시하였으며, 사회적 요인, 인문학적 요인 및 물리적 요인 관점에서 상관관계와 다중회귀분석을 통해 공간적 종속성 및 비정상성을 확인하였다. 이를 토대로 화재 발생 위치와 각 요인별 위치를 고려하여 공간 가중치를 활용한 선형회귀모형(OLS), 공간시차모형(SLM) 그리고 공간오차모형(SEM)을 비교분석하였으며 결과는 다음과 같다.

첫째, 진주시의 화재 발생과 용도지역 간의 공간상관성을 알아보기 위해 LISA 분석을 실시한 결과 HH 지역은 33곳, LH 지역은 22곳, HL 지역은 3곳, LL 지역은 14곳으로 분석되었다. 이러한 결과를 토대로 용도지역별 화재 발생 빈도를 분석한 결과 주변지역과 해당 지역 모두 화재 발생 빈도가 높은 용도 지역은 중심상업지역, 공업지역, 주거지역 순으로 나타났다.

둘째, 진주시의 화재 발생의 영향 요인 분석을 위해 인구·사회적 변수들과 및 물리학적 특성 변수를 통합하여 최종 회귀분석모형을 도출하였다. 모형의 결정계수(R-squared)는 0.856으로 85.6%의 설명력을 갖는 것으로 나타났으며 다중회귀분석의 결과를 통해 최종 선정된 변수를 기준으로 이분산성진단과 공간회귀모형의 적합도를 확인하고 일반선형회귀모형(OLS)과 공간계량모형인 공간시차모형(SLM), 공간오차모형(SEM)을 비교분석 하였다. 각 모형들의 결과값을 분석한 결과 결정계수(R-squared)는 OLS, SLM, SEM의 순으로 크게 나타나서 SEM이 가장 유의한 것으로 판단된다. 또한, 모형의 적합성 지수를 비교 분석한 결과 AIC, SC의 경우 OLS, SLM, SEM 순으로 작게 나타나서 SEM이 세 모형 가운데 가장 유의한 모형이라고 분석된다. 따라서, SEM을 기준으로 진주시의 화재 발생에 대한 영향요인들을 분석한 결과, 제2종 근린생활시설이 화재 발생에 가장 큰 영향을 주고 상관성을 갖고 있는 것으로 분석되었으며 그 다음으로 단독주택, 제1종 근린생활시설, 가구 수, 판매시설 순으로 분석되었다.

셋째, 표준편차 타원체분석을 통하여 용도지역 중 주거지역, 공업지역, 중심상업지역을 중심으로 시설물별 분포특성을 분석한 결과 주거지역 및 공업지역에서는 네 개 시설물의 특성이 비슷하게 나타났으나 중심상업지역에서는 화재위험도가 가장 높은 제2종 근린생활시설이 중심부에 집중분포하였다.

이상의 연구결과는 지방중소도시인 진주시를 중심으로 도시시설물별 화재위험도와 용도지역별 분포특성을 제시하였으며 향후 지속적인 연구를 통해 도시규모별로 화재특성을 분석하여 보다 객관적인 연구결과가 제시되어야 할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 이공학개인기초연구지원사업 기본연구(2019R1F1A1060161)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

Anselin, L. (2013), *Spatial Econometrics: Methods and Models*, Dordrecht: Kluwer Academic, California, USA.

Bae, G.H. (2016), *Spatial Distribution Analysis and Risk Evaluation of Fire Occurrence in Jinju-si*, Gyeongsang National University, Jinju, Korea, 62p.

Baller, R.D., Anselin L., Messener S.F., Deane, G., and Hawkins, D.F. (2001), Structural covariates of U.S county homicide rates : incorporating spatial effects, *Criminology*, Vol. 39, No. 3, pp. 561-588.

Jeo, A.L. (2017), *A Study on Factors Affecting Women's Space Utilization Through Floating Population Analysis*, Master's thesis, Gachon University, Gachon, Korea, 95p.

Jeong, D.W. (2016), *Analysing spatial pattern of urban fire accidents based on causal factors using text mining*, Master's thesis, Anyang University, Anyang, Korea, 82p.

James, P., Lesage, R., and Kelley, P. (2008), Spatial econometric modeling of origi-destination flows, *Journal of Regional Science*, Vol. 48, No. 5, pp. 941-967.

Kang, Y.O. and Park, M.R. (2005), Guidelines for the construction of vulnerability map of fire in Seoul, *Conference of Korean Society for Geospatial Information System*, Korean Society for Geospatial Information System, 14 October, Seoul, Korea, pp. 195-200.

Kim, H.J. (2009), *A Study on Spatial Characteristics in Fire Outbreak Using GIS*, Master's thesis, Korea National University of Education, Chongju, Korea, 90p.

Kim, Y.L. (2014), *Analysis of the Effect of Land use on Forest Fires -Focused on Chungbuk Province Cases-*, Master's thesis, Chungbuk National University, Korea, 72p.

Kim, J.T. and Um, J.S. (2007), The urban fire prediction mapping technique based on GIS spatial statistics, *Fire Science and Engineering*, Vol. 21, No. 2, pp. 14-25. (in Korean with English abstract)

Kim, M.I., Kwak, H.B., Lee, W.K., Won, M.S., and Koo,

- K.S. (2011), Study on regional spatial autocorrelation of forest fire occurrence in Korea, *The Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 19, No. 2, pp. 29-37. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.Y. (2010), *A Study on Spatial Distribution in Fire, Emergency, Rescue Outbreaks Using GIS and Dispatch System Analysis*, Master's thesis, Korea National University of Education, Chongju, Korea, 109p.
- Lee, H.Y. and No, S.C. (2013), *Advanced Statistical Analysis*, Munu, Korea.
- Lee, Jay and David W.S.Wong. (2001), *Statistical Analysis with Arcview GIS*, JohnWiley& Sons Inc., New York, N.Y.
- Shin, J.D., Jeong, S.H., Kim, M.S., and Kim, H.J. (2012), Analysis of fire risk with building use type using statistical data, *Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 12, No. 4, pp. 107-114. (in Korean with English abstract)
- Seo, M.S. and Yoo, H.H. (2019), Spatial econometrics analysis of fire occurrence according to type of facilities, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 37, No. 3, pp. 129-141.
- Yeon, G.H. (2016), *The Analysis about Distributive Characteristics and Influential factors of Urban Fires -Focusing on Cheongju city-*, Master's thesis, Chungbuk National University, Chungbuk, Korea, 134p.
- Jinju city. (2019), Jinju city, *Jinju City Homepage*, <http://www.jinju.go.kr/00133/00448/00573.web>, (last date accessed: 27 December 2019).
- National Fire Agency. (2019), National fire agency, *National Fire Disaster System Homepage*, <https://www.nfds.go.kr/stat/general.do>, (last date accessed: 20 December 2019).