

공공 공간데이터의 MAUP 실증 분석 : 아산시 행정구역·사각격자·H3 육각격자 비교를 중심으로

MAUP Analysis of Public Spatial Data: Comparing Administrative, Square, and H3 Hexagonal Grids in Asan

이경수 Lee Kyoungsoo*, 이상준 Lee Sangjun**, 황영재 Hwang Youngjae***

Abstract

This study examines the modifiable areal unit problem by reaggregating population, officially assessed land prices, and points of interest in Asan, Korea, into administrative units, square grids, and H3 hexagonal grids. Methods include descriptive statistics, global Moran's I, local indicators of spatial association, ordinary least squares, spatial regression, and river-road overlays. Moran's I ranges from 0.3067 to 0.5268 for population, 0.4963 to 0.7993 for land prices, and 0.2748 to 0.6790 for points of interest. Ordinary least squares fit peaks at the 1km² grid ($R^2=0.728$) and H3 level 8 ($R^2=0.753$), but residuals remain spatially autocorrelated throughout. Akaike information criterion comparisons favor spatial lag models at finer resolutions and spatial error models at medium and coarse resolutions. Spatial support changes distributions, clusters, conditional relationships, and spatial-dependence modeling. No grid shape is consistently superior. Spatial-data systems should provide fine-grained data and aggregation metadata, while policy analyses should test robustness across spatial units.

Keywords: Modifiable Areal Unit Problem, Public Spatial Data, H3 Hexagonal Grid, Spatial Autocorrelation, Spatial Information Policy, Asan City

I. 서론

1. 연구의 배경

현대 도시 및 국토계획은 직관에 의존하는 방식에서 고정밀 공공 공간데이터 기반의 의사결정 체계로 전환되고 있다. 하지만 인구 등 개인 관련 자료는 개인 정보 보호를 위해, 그 밖의 공공 공간데이터도 제공체

계의 표준화와 처리 효율을 위해 행정구역이나 사각격자 단위로 집계되어 제공되는 경우가 많다. 그러나 행정구역 체계는 현실적으로 실제 생활권 및 상권과 불일치하며, 사각격자는 인접 격자 간의 구조와 방향성 표현에 제약이 있다. 이는 동일한 원자료라도 어떤 공간 단위로 집계하는지에 따라 통계 결과와 정책적 해석이 달라지는 '공간단위 수정가능성 문제(MAUP)'를 발생시킨다.

* 서강대학교 일반대학원 부동산학협동과정 박사과정(제1저자) | Ph.D. Candidate, Dept. of Real Estate, Sogang University | Primary Author | kyoung42@sogang.ac.kr

** 서강대학교 일반대학원 부동산학협동과정 박사과정 | Ph.D. Candidate, Dept. of Real Estate, Sogang University | iamace@sogang.ac.kr

*** 서강대학교 일반대학원 부동산학협동과정 조교수(교신저자) | Assistant Prof., Dept. of Real Estate, Sogang University | Corresponding Author | hyjestate@sogang.ac.kr

한편 최근 민간 유통·모빌리티·플랫폼 분야에서는 계층성과 표준화된 인접 구조를 갖는 육각격자 기반 공간 인텍싱이 활발하게 활용되고 있다. 반면, 국내 공공 부문은 여전히 기존 행정구역 및 사각격자를 중심으로 자료를 제공하고 있어, 서로 다른 자료를 결합하거나 공간단위 민감성을 점검할 수 있는 대안에 대한 검토가 필요하다. 이에 본 연구는 공공 공간데이터의 신뢰성을 확보하고 실효성 있는 정책적 활용도를 높이기 위해, 기존 공간 단위와 함께 활용할 수 있는 표준화된 대안 단위로서의 육각격자의 효용과 한계를 실증적으로 검토하고자 한다.

2. 연구의 목적

본 연구는 원도심 쇠퇴, 신도시 및 산업단지 개발 등 국토 공간의 변화가 심한 도농복합도시 아산시를 대상으로 공간 단위 설정이 공공 공간데이터의 분포와 공간군집뿐 아니라 변수 간 관계의 추론에 미치는 영향을 실증하고자 한다. 정주 규모를 나타내는 인구수, 토지의 가치를 나타내는 공시지가, 도시서비스 및 인간 활동의 집적을 나타낼 수 있는 관심지점정보(POI)를 행정구역, 사각격자, H3 육각격자로 재집계하여 MAUP의 규모효과와 구획효과를 비교하고, 공간 단위별 회귀계수와 모형 선택의 민감도를 검증하였다. 이를 통해 특정 격자 형태의 우월성을 판단하기보다, 국토 및 도시정책 분석에서 다양한 공간 단위 집계데이터의 제공이 필요한 실증 근거를 제시하고자 하였다.

II. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

1. 공간단위 수정가능성 문제(MAUP)

MAUP는 국내에서 ‘가변적 공간단위 문제’, ‘수정 가

능한 공간단위 문제’, ‘공간단위 수정가능성 문제’ 등으로 번역되어 왔다(오충원 2002; 김감영 2011; 최동정, 서용철 2013; 조성진, 이규일, 윤승호, 문성국 외 2019). 본 연구는 공간단위가 분석 목적에 따라 수정될 수 있음을 직접 드러내는 김감영(2011)의 표현에 따라 ‘공간단위 수정가능성 문제’로 통일하고자 한다. MAUP는 공간데이터를 임의의 공간 단위로 집계할 때, 단위의 크기(규모효과)와 경계 구획 방식(구획효과)에 따라 평균, 분산, 공간자기상관 및 변수 간 회귀계수 및 모형 적합도 등 통계 결과가 달라지는 현상이다. 따라서 동일한 원자료에서도 정책대상지의 군집 여부와 변수 간 관계에 대한 추론이 공간 단위에 따라 변할 수 있다. 최근의 MAUP 연구는 단순한 현상 확인을 넘어, 변수의 통계적 민감도를 직접 검증하거나 데이터의 시계열적 변동성을 고려하여 특정 연구 분야에 최적화된 구역 설정 방안을 모색하는 방향으로 나가고 있다. 이에 본 연구에서도 아산시의 공공 공간데이터의 분포 및 군집 비교와 함께 공간회귀 결과에 따른 변수 간 민감도를 검증하였다.

2. 행정구역 및 격자체제

행정구역은 주민등록, 세무, 복지, 도시계획 등 행정 서비스의 제공과 정책 집행을 위한 기본 단위이다. 하지만 공간 범위의 형태가 불균일하고 실제 생활권을 충분히 반영하지 못하는 경우가 있다. 정책 수립을 위한 정확한 공간분석은 개체 수준의 원자료를 직접 활용하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 인구 및 지가 등의 공공데이터는 「개인정보 보호법」 및 재산권 민감정보의 비식별화 의무로 인해 필연적으로 특정 공간 단위로 집계되어 제공될 수밖에 없는 현실적 한계가 있다. 이를 보완하기 위해 널리 쓰이는 사각격자는 이웃 셀 중심 간 거리가 변 방향(d)과 대각선 방향($\sqrt{2}d$)에

따라 다르기 때문에 공간가중치 행렬 구성 시 이웃 관계의 모호성을 가지고 있다. 반면, 육각격자는 6 개의 인접 셀과 중심 거리가 모두 동일해 방향성 편향을 완화하는 기하학적 장점이 있다. 이처럼 기존에 제공되던 행정구역과 사각격자 자료 외에 육각 격자 자료도 공공 공간데이터의 목적에 맞게 활용 수 있도록 제공되어야 할 것이다.

3. Uber사의 H3와 육각격자 체계

H3(Hexagonal Hierarchical Spatial Index)는 Uber사가 개발한 계층적 공간 인덱싱 체계로, 각 계층 면적이 약 1/7로 줄어드는 Aperture 7 구조를 가진다. 또한, 전 지구를 여러 해상도의 셀 체계로 구분하며 각 셀에 고유한 인덱스를 부여함으로써 서로 다른 위치자료를 동일한 공간 단위에서 결합하고 비교할 수 있다. 이에 H3 인덱스는 모빌리티 수요 예측, 차량 배치, 물류 최적화 및 이동 패턴 분석 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. H3와 같은 육각격자는 동일한 원자료를 여러 해상도로 재집계할 수 있어 공간 단위 크기 변화에 따른 규모효과를 검토하는데 유용하다. 또한, 사각격자와 공간자기상관 결과를 직접 비교할 수 있어 공간 단위의 형태와 경계 설정에 따른

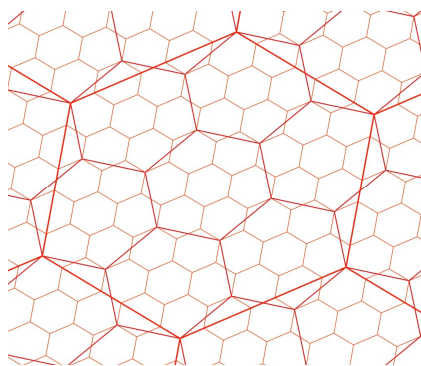
구획효과를 분석하기에 수월하다. <그림 1>은 H3 각 level별 중첩범위를 나타낸다.

4. 선행연구 고찰 및 본 연구와의 차별성

1) MAUP 및 공간단위설정 연구

MAUP 연구는 Openshaw and Taylor(1979)와 Openshaw(1984)의 실증·이론적 정립 이후 공간통계와 GIS 분석의 핵심 검토 과제로 다루어져 왔다. Wong(2009)은 이를 공간분석의 구조적 편향으로 정리하였고, Duque, Laniado and Polo(2018)은 S-MAUP 검토으로 공간 집계 변수의 민감도를 정량화하였다. 이후 연구는 분포 변화의 확인을 넘어 회귀추론과 공간의존성에 미치는 파급효과까지 다루었다. Lee, Lee, Chun and Griffith(2019)은 초기 공간자기상관 수준에 따라 MAUP의 불확실성이 달라짐을 보였고, Ye and Rogerson(2022)은 공간집계가 누락변수 편의를 서로 다른 방식으로 왜곡할 수 있음을 제시하였다. Cheung, Sham and Yiu(2024)은 주택밀도와 가격의 관계가 공간단위에 따라 달라짐을 확인하였으며, Lee, Rogers and Soifer(2025)은 모의실험과 재현분석을 통해 회귀결과의 일관성과 타당성이 경계 선택에 민감함을 증명하였다. 또한 MAUP을 고려한 대응은 하나의 보편적 단위를 찾는 것보다 연구대상의 작동범위에 맞는 구역을 설계하고 대안 구획의 민감도를 확인하는 방향으로 발전하였다. 김감영(2014)은 경계 결합 가능성을 반영한 구역설정 최적화 모형을 제안하였고, 조성진, 이규일, 윤승호, 문성국 외(2019)는 대중교통 접근성에서 행정구역과 격자의 한계를 비교하여 상세생활권 등 분석목적에 부합하는 단위의 필요성을 보였다. 이러한 연구는 복수 단위의 결과를 비교하는 것만으로 참값이라고 확정할 수 없으며, 이론적·정책적 타당성이 있는 후보 단위를 먼

그림 1 H3 해상도별 중첩 범위



주 : H3 level 7 ~ level 9.

저 정하고 결과의 강건성을 보고해야 함을 시사한다. 본 연구는 MAUP 효과에서 최적의 구역을 찾기보다 행정구역·사각격자·H3의 다중 해상도에서 분포, 군집, 회귀추론과 공간모형 선택의 민감도를 동일한 절차대로 실증하며 의미를 찾고자 했다. 공시지가를 활용한 회귀분석에서 변수의 역할은 연구 목적에 따라 달라진다. 선민수, 백승진, 박찬혜, 송요섭 외(2025)는 어린이공원 입지 분석을 위해 공시지가를 독립변수로 활용하였고, 김슬기, 김의준(2025)은 격자별 공시지가를 종속변수로 빈집 분포와 토지가치의 공간적 관계를 분석하였다. 본 연구는 이러한 활용사례를 검토한 뒤, 인구·POI와 토지가치의 조건부 연관성이 공간단위에 따라 어떻게 달라지는지를 확인하는 연구목적에 맞추어 평균 공시지가를 종속변수로 설정하였다.

2) 격자체계 및 H3 기반 분석 연구

행정구역의 경계 임의성을 보완하기 위해 김대현, 김재명, 윤병찬, 장은미 외(2015)와 김문수, 이지영(2015)은 공공데이터의 격자화 표현 및 체계 개선 방안을 제시하였다. 육각격자의 기하학적 우수성은 Christaller(1933)의 중심지 이론과 Sahr, White and Kimerling(2003)의 이산 전지구 격자체계(DGGS)를 통해 이론화되었고, Birch, Oom and Beecham(2007)은 균일한 이웃 관계와 거리 특성을, Brodsky(2018)는 Uber H3의 계층적 위치 기반 데이터 집계 효율성을 강조하였다. 그러나 기존 연구는 격자의 기술적 특성에 치중하거나 사각격자와의 비교에서 머물렀으며, 공공 공간데이터를 행정구역, 사각격자, H3 육각격자와 동시에 종합 비교한 실증 연구는 제한적이었다.

3) 선행연구와 본 연구의 차별성

본 연구는 행정구역, 사각격자, H3 육각격자를 동일한 공공데이터와 분석 체계로 비교함으로써 다음과 같은 차별성을 가진다. 첫째, 국토·도시 공간 데이터를 대표할 수 있는 정주규모(인구수), 토지가치(공시지가), 도시서비스·활동 집적(POI) 변수를 함께 사용하여 가산형·연속형·점형 자료의 공간 단위 민감도를 비교하였다. 둘째, 다중 해상도에 따른 규모효과와 유사 관측치 단위 간 구획효과를 동시에 검토하였다. 셋째, Moran's I, LISA 분석은 물론 OLS, SLM, SEM 모형을 적용함으로써 공간 단위가 변수 관계 및 모형 선택에 미치는 영향을 확인하였다. 또한 하천·도로와 같은 선형 인프라와의 중첩 분석은 경계 변화가 정책대상 셀의 범위를 어떻게 바꾸는지 보여주는 보조분석으로 제시하였다. 이로써 행정구역 및 사각격자 중심의 공공데이터 제공 체계에 H3 육각격자 기반 통계를 병행 도입하기 위한 실질적인 정책적 근거를 제공하였다. 선행연구 정리는 <표 1>과 같다.

III. 연구방법

1. 연구의 범위

본 연구의 공간적 범위는 충청남도 아산시이다. 아산시는 비수도권임에도 지속적으로 인구가 증가하고 도시 규모가 확대되고 있는 지역이다. 또한, 도농 복합도시로 도시지역과 농촌지역이 함께 있으며 원도심 쇠퇴, 대규모 신도시 및 산업단지 조성, 고속철도 역세권 형성 등 우리나라의 국토 공간의 다양한 변화모형이 압축된 지역이라 할 수 있다. 이러한 공간적 이질성은 특정 공간 단위로 집계 시 발생하는 통계적 왜곡(MAUP)의 민감도를 확인하고 다양한 격자 체계를 비교 실증하기에 좋은 대상지이다.

표 1 선행연구 정리

구분	주요연구	분석대상	방법론	본연구 적용
이론적 배경	Openshaw and Taylor(1979), Openshaw(1984), Wong(2009), Duque, Laniado and Polo(2018), Lee, Lee, Chun and Griffith(2019), Lee, Rogers and Soifer(2025), Ye and Rogerson(2022)	공간 집계자료	상관·회귀·오차의 MAUP 민감도, S-MAUP 검정	규모효과와 구획효과 구분, 공간단위 설정의 민감성 해석
	Christaller(1933)	중심지	중심지 이론	육각격자 기본이론 반영
	Moran(1950), Anselin(1995)	공간 분포 및 국지 군집	Moran's I, LISA	전역 및 국지적 공간자기상관 적용
	Sahr, White and Kimerling(2003)	이산 전지구 격자체계	계층적 격자체계	격자체계의 계층성 반영
MAUP 실증 연구	오충원(2002)	지가변동	시공간 분석 방법	격자 단위 공간 구성
	김감영(2011, 2014)	인구이동자료, 구역설정	합역 수준·방식, 구역설정 최적화	회귀결과 민감도와 구역설정 검토
	정진성, 김우중(2012)	지역사회 범죄자료	다중회귀분석	아산시 MAUP 실증
	설유정, 김지윤, 김호웅(2022)	부산시 빈집 발생	지리가중화귀모델(GWR)	읍면동 단위, 공간적 스케일 효과
	황선아(2024)	공공자전거 이용수요	Moran's I, 공간회귀	행정동 및 사각격자 비교
격자 기반 연구	Birch, Com and Beecham(2007), Brodsky(2018)	사각·육각격자, H3	격자 비교, H3 인덱싱	H3 육각격자 활용
	김대현, 김재영, 윤병찬, 장은미 외(2015)	국가격자체계	격자분할방식	국가격자체계 표준안 반영
	김문수, 이지영(2015)	격자기반 통계정보	데이터 변환방법	격자 기반 통계정보 시각화 방법론
	이수연, 김혜민, 이민혁, 전철민(2023)	생활폐기물 발생량	미시 공간단위 예측	미시 공간단위 분석
	이지원, 김지영(2023)	경기도 성남시 격자단위	POI 임베딩	POI 변수 및 공공데이터 융합

주: 주요 선행연구를 연구목적에 따라 재분류함.

출처: 저자 작성.

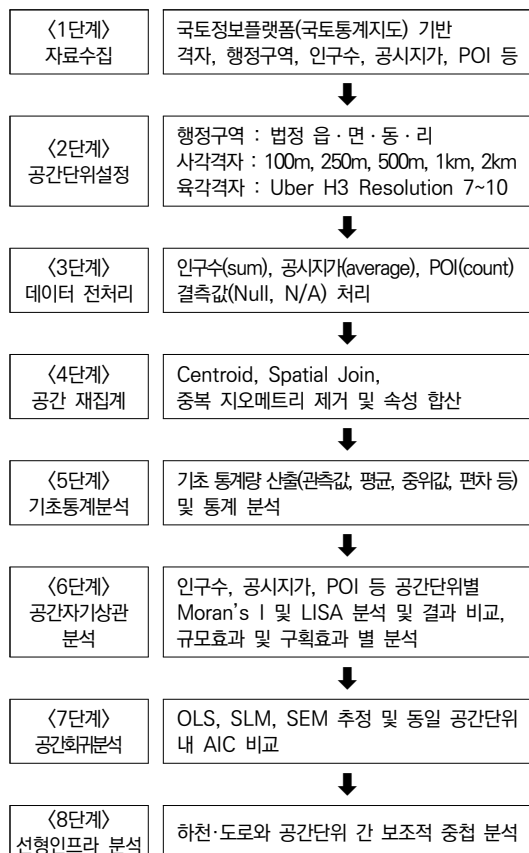
내용적 범위는 공공에서 제공하는 공간데이터 가운데 국토계획 및 부동산 분야에서 활용도가 높은 인구수, 공시지가, 관심지점정보(POI)로 설정하였다. 인구수는 도시 성장, 주거 수요, 생활SOC 공급, 부동산 시장 분석 등의 기초적인 변수이며, 국토통계지도에서 사각격자와 행정구역 단위로 제공되는 자료이다. 인구 변수는 가산형 자료이기에 공간 단위별 집계 시 합계값을 사용하였다. 공시지가는 토지 가치와 부동산 시장의 공간적 집적을 나타내는 중요한 지표로, 지가 분포, 개발 압력, 상업·업무 기능의 집적, 역세권 효과 등을 파악하는데 활용된다. 공시지가는 연속형 양수 자료로 공간 단위별 집계 시 평균값을 기본으로 하였다. 관심지점정보는 상업, 교육, 보건, 행정, 생활 서비스 등 도시 기능의 공간 분포를 나타내는 점 자료로 포털지도에서 위치를 검색할 때 기반이 되는 데이터이다. POI는 점 자료이므로 각 공간 단위에 포함되

는 개수를 집계하였다. 인구수, 공시지가 및 POI와 같은 변수는 도시공간구조와 국토정책 연구에서 활용도가 높고, 공공데이터 기반 분석의 재현성도 확보할 수 있다는 공통점을 가지고 있다. 본 연구에 활용된 데이터는 모두 국가가 공식 제공하는 전수조사 성격의 자료로 한정하였다. 이는 민간 데이터의 표본 추출 편향을 배제하고 공간 단위의 표준성을 활용하여, MAUP 효과를 객관적으로 검토하기 위한 것이다.

2. 연구의 절차

본 연구의 데이터 구축 및 분석 절차는 <표 2>와 같다. 분석 프로그램은 QGIS 3.44.8과 GeoDa 1.22.0.20을 사용하였고, 공간데이터는 EPSG:5179 (KGD2002/Unified CS) 좌표계로 통일하여 동일한 기준에서 분석하였다.

표 2 데이터 구축 및 연구분석 절차



3. 연구의 방법

1) 자료수집 및 공간단위설정

본 연구는 국토정보플랫폼 국토통계지도의 공공데이터를 활용하여, 공간 단위를 행정구역(읍·면·동·리), 사각격자(100m, 250m, 500m, 1km, 2km), H3 육각격자(Level 7~10)로 구축하였다. H3 격자는 QGIS 'H3 Toolkit'으로 생성 후 EPSG:5179로 재투영하였다. 이는 본 연구의 목적이 단순히 특정 공간자료의 분포 분석에 있는 것이 아니라, 현재 국가와 공공기관이 제공하는 공간 데이터의 집계 단위가 분석 결과에 어떤 영향을 미치는지 파악하는 데 있기 때문이다.

2) 데이터 전처리

본 연구는 국토정보플랫폼 국토통계지도에서 제공하는 자료를 사용하였다. 인구수는 2024년 10월, 공시지가는 2024년 1월 기준이며, POI는 2026년 5월에 수집된 자료이다. 100m 격자 원자료를 중심점(Centroid)으로 변환한 뒤 위치 기반 속성결합을 수행하고, 인구수는 합계(Sum), 공시지가는 평균(Mean), POI는 개수(Count)로 재집계하였다. 인구수와 POI의 0은 실제 관측값으로 유지하고 NULL은 결측 또는 분석 제외값으로 구분하였다. 공시지가 NULL은 임의 대체하지 않고 제외한 뒤 유효 셀을 기준으로 공간가중치 행렬을 재구성하였다. 이는 평균과 분산뿐 아니라 Moran's I, LISA 및 회귀모형의 표본구성이 결측 처리에 따라 달라지는 것을 최소화하기 위함이다. 또한 공간 단위의 변화가 개별 변수의 분포뿐 아니라 변수 간 관계에 미치는 영향을 검토하기 위해 평균 공시지가를 종속변수로 인구수와 POI를 독립변수로 설정하였다. 공시지가는 토지의 위치적 가치와 개발 여건이 가격으로 나타나는 결과지표이며 인구수는 주거 및 토지수요의 규모를, POI는 상업·업무·생활 서비스 등 도시 기능의 집적을 나타내는 지표이다. 일반적으로 인구와 도시 기능이 집중된 지역은 토지 이용 수요와 입지 편익이 높아 공시지가와 연관될 가능성이 있다. 이에 인구수와 POI를 도시활동과 입지 수요를 나타내는 설명변수로 설정하고, 이들이 공시지가와 갖는 조건부 관계가 공간 단위에 따라 어떻게 달라지는지를 분석하였다. 특히 인구수는 합계, POI는 포함 개수, 공시지가는 평균으로 집계되므로 공간 단위의 크기와 경계 변화가 변수 간 관계에도 서로 다른 영향을 미칠 수 있기에 의미가 있다.

3) 분석절차 및 분석방법

분석 절차는 다음과 같다. 먼저, 공간 단위별 기초통

계량으로 분포 특성을 비교하였다. 둘째, 모든 공간단위에 경계선 또는 꼭짓점을 공유하는 Queen 인접 기준과 행 표준화를 적용하여 공간가중치 행렬을 구축하고, 999회 무작위 순열검정으로 전역적 Moran's I의 유의성을 판단하였다. 이는 사각 및 육각 격자의 대각선 방향은 물론 불규칙한 행정구역의 인접 관계를 반영하기 위함이다. 셋째, 국지적 공간연관성(LISA) 분석을 통해 국지적 군집(Hot/Cold Spot)과 공간 이상치 패턴을 비교하였다. 넷째, 동일한 격자 유형 내에서 단위 크기의 영향을 비교하며 '규모효과'를 검토하고, 평균 면적 및 관측치 수가 비슷한 단위를 상호 대응시켜 경계 형태와 구획 방식에 따른 '구획효과'를 검증하였다. 다섯째, 공간 단위의 변화가 변수 간 관계와 통계적 추론에 미치는 영향을 확인하기 위해 평균 공시지가를 종속변수, 인구수와 POI를 독립변수로 하여 일반최소제곱모형(OLS), 공간시차모형(SLM), 공간오차모형(SEM)을 추정하였다. OLS는 평균적 관계를 확인하는 기준모형이며, SLM은 인접 지역 공시지가의 연계, SEM은 모형에 포함되지 않은 입지요인의 공간적 상관을 반영한다. 회귀계수와 유의성, 잔차 Moran's I, 공간계수, 로그우도와 AIC를 비교하였다. 표본수가 다른 공간단위 사이에서는 AIC를 직접 비교하지 않고, 동일 공간단위의 동일 표본을 대상으로 SLM과 SEM의 상대적 적합도를 판단하였다. <식 1> ~ <식 3>은 OLS, SLM 및 SEM 모형을 나타낸다.

$$JIGA_i = \alpha + \beta_1 POP_i + \beta_2 POI_i + \epsilon_i \quad \langle \text{식 1} \rangle$$

$$JIGA_i = \alpha + \rho WJIGA_i + \beta_1 POP_i + \beta_2 POI_i + \epsilon_i \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

$$JIGA_i = \alpha + \beta_1 POP_i + \beta_2 POI_i + u_i$$

$$u_i = \lambda Wu + \epsilon_i \quad \langle \text{식 3} \rangle$$

마지막으로 하천과 도로 등 선형 공간요소와 격자 간 중첩 셀 수를 산정하였다. 이 분석은 선형요소를 더 정확히 포착하기 위한 검증이기보다, 경계와 형태가 바뀔 때 정책대상 셀의 수와 범위가 얼마나 달라질 수 있는지를 보여주는 보조적 구획효과를 검증 목적으로 사용하였다.

IV. 분석결과

1. 공간 단위별 기초통계량 비교

공간단위별 기초통계량을 비교한 결과, 동일한 공공 공간데이터도 집계 단위의 크기와 형태에 따라 분포 특성이 다르게 나타났다. 인구수는 사각격자와 육각격자 모두 공간 단위가 세분화될수록 평균과 표준편차는 감소하고, 왜도와 첨도는 증가하여 인구가 일부 주거지와 도시지역에 집중되어 있음을 보여주었다. 공시지가는 격자 단위별 평균의 변화는 상대적으로 크지 않았으나, 공간 단위가 세분화될수록 표준편차와 왜도, 첨도가 증가해 세부 공간의 지가 격차가 뚜렷해졌다. 관심지점정보는 공간 단위 변화에 가장 민감하게 반응하였으며, 단위가 작아질수록 평균과 표준편차는 감소하고 왜도와 첨도는 증가하였다. 또한, 행정구역 단위는 격자 단위와 다른 집계 특성을 보였으며, 동·리 단위와 2km 사각격자는 관측치 수가 유사함에도 통계 특성이 달라 공간 단위의 크기뿐 아니라 경계 형태와 구획 방식도 분석 결과에 영향을 미침을 확인하였다. 이는 Moran's I와 LISA 분석을 해석하기 위한 기초 근거가 된다. 공간 단위별 기초통계량은 <표 3>과 같다.

2. Moran's I 규모효과 분석

동일 격자유형에서 단위 크기 변화의 영향을 검토한

결과, 인구수 Moran's I는 사각격자 250m와 H3 level 8에서 가장 높았고, 더 세밀한 단위에서는 0값 과다로 인해 낮아졌다. 공시지가는 사각격자 250m와 H3 level 9, POI는 사각격자 250m와 H3 level 9에서 상대적으로 높은 군집성을 보였다. 이를 정리하면 공

간단위가 세분화될수록 무조건 공간적 군집성이 일 관되게 강화되는 것은 아니며, 변수 특성에 맞는 적정 공간해상도 설정이 정책적 오류를 방지하기 위해 필수적임을 의미한다. 공간단위별 분석 결과는 <표 4>와 같다.

표 3 공간 단위별 기초통계량

(단위: 인구수(명), 공시지가(원/㎡), POI(개))

구분		인구수				공시지가				POI			
		평균	표준 편차	왜도	첨도	평균	표준 편차	왜도	첨도	평균	표준 편차	왜도	첨도
사각 격자	2km	2,080	6,153	4.5	23.0	61,253	91,186	3.2	11.5	489	871	5.7	40.9
	1km	586	1,939	5.0	26.8	62,275	98,219	4.0	19.3	132	284	7.0	61.5
	500m	153	679	7.3	63.0	62,318	108,996	4.7	29.1	34	85	7.3	71.2
	250m	39	214	9.2	107.6	63,484	117,311	5.1	37.6	9	25	8.4	109.2
	100m	6	49	13.0	231.7	64,114	147,951	7.8	96.1	1	5	9.3	137.2
육각 격자	level7	2,119	5,869	4.3	21.7	65,469	90,366	3.1	10.1	499	850	5.7	41.7
	level8	314	1,191	5.4	33.1	64,453	105,161	4.2	23.7	74	166	7.0	64.7
	level9	45	252	9.2	110.1	64,587	119,881	5.5	47.5	11	29	8.2	102.2
	level10	7	56	12.9	217.6	58,459	140,460	7.9	102.3	2	5	9.5	142.2
행정 구역	읍면동	11,800	18,225	3.1	11.6	127,923	133,267	2.5	7.5	2,655	3,111	1.7	2.7
	동·리	2,172	5,093	3.4	12.0	68,679	92,116	3.7	17.1	489	774	5.1	35.8

주: 왜도(Skewness, 자료 분포의 비대칭성) - $S = 0$ (대칭분포), $S > 0$ (오른쪽 꼬리가 긴 양의 왜도), $S < 0$ (왼쪽 꼬리가 긴 음의 왜도).

첨도(Kurtosis, 분포의 뾰족함 또는 극단값의 영향력) - $K = 0$ (정규분포), $K > 0$ (값이 클수록 뾰족한 분포).

표 4 공간 단위별 Moran's I 결과

구분		이웃 격자개수 통계량					인구수		공시지가		POI	
		min	max	mean	median	% non-zero	Moran's I (p-value)	z-value	Moran's I (p-value)	z-value	Moran's I (p-value)	z-value
사각 격자	2km	3	8	7.04	8	4.32	0.3067(***)	8.150	0.5813(***)	14.483	0.2748(***)	7.743
	1km	3	8	7.47	8	1.24	0.4157(***)	21.331	0.6808(***)	32.393	0.4791(***)	23.566
	500m	3	8	7.72	8	0.33	0.4434(***)	43.558	0.7220(***)	70.698	0.6172(***)	59.006
	250m	3	8	7.85	8	0.09	0.4777(***)	89.181	0.7993(***)	146.635	0.6438(***)	119.068
	100m	2	8	7.94	8	-	0.4485(***)	208.071	0.6343(***)	292.334	0.5703(***)	274.264
육각 격자	level7	2	6	5.31	6	3.38	0.3675(***)	7.763	0.6428(***)	13.559	0.3318(***)	7.711
	level8	2	6	5.72	6	0.54	0.5268(***)	30.116	0.7645(***)	42.473	0.6249(***)	35.719
	level9	2	6	5.89	6	0.08	0.4801(***)	70.060	0.7934(***)	114.204	0.6790(***)	96.887
	level10	1	6	5.95	6	-	0.4300(***)	174.585	0.5824(***)	228.892	0.5841(***)	232.763
행정 구역	읍면동	1	10	3.67	4	12.22	0.3189(**)	2.989	0.4963(**)	4.264	0.3070(*)	2.304
	동·리	1	8	4.81	5	2.95	0.4108(***)	7.885	0.5852(***)	11.275	0.3852(***)	8.017

유의수준: pseudo p-value : *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

Moran's I 유의성은 999회 permutation에 따른 pseudo p-value를 기준으로 하였음.

3. Moran's I 구획효과 분석

유사 면적 단위를 대응시켜 경계 형태와 구획 방식의 영향을 비교하였다. 거시 수준에서 인구수는 동·리, 공시지가는 H3 level 7, POI는 동·리에서 Moran's I가 상대적으로 높았고, 미세 수준의 POI는 H3 level 9가 250m 사각격자보다 높았다. 이는 각 공간 단위가 서로 다른 분포 구조를 가지고 있음을 뜻하지만, 가장 높은 Moran's I를 보인 단위가 정책적으로 최적이거나 기하학적으로 우월하다고 볼 수 없다. 이는 변수별 순위가 일치하지 않고, 유사 면적 단위도 경계·관측치 수가 완전히 같지 않기 때문이다. 따라서 정책 대상과 분석 목적에 따라 후보별 공간 단위를 병행하여 결과 민감도를 확인해야 할 필요가 있다. 분석 결과는 <표 5>와 같다.

4. LISA 분석

전역적 지표로 파악하기 어려운 국지적 군집(Hot/Cold Spot)을 LISA 분석으로 검토하였다. 세 변수 모두 도심지(HH)와 외곽지(LL)의 기본 구조는 유지되었으나, 구획 방식과 형태에 따라 군집의 범위와 유지지역 수, 이상치가 다르게 나타났다. 행정구역은 제도적 정주 체계가 뚜렷이 반영된 반면, 격자 단위는 연속적 분포

포착에 유리했다. 특히 단위가 세분화될수록 인구수와 POI는 0값의 영향으로 군집이 분절되는 경향을 보였으나, 공시지가는 비교적 안정적인 군집을 유지했다. 이러한 핫스팟 식별 결과의 차이는 도시계획의 정책 대상지 선정에 직접적인 영향을 미치므로 다중 공간 단위의 병행 비교가 요구된다. 공간 단위별 LISA 결과에 따른 비교는 <표 6> 및 <그림 2>로 표현하였다.

5. 공간단위별 변수관계와 공간회귀모형 비교

공간단위별 평균 공시지가와 인구수·POI의 조건부 연관성을 OLS로 추정한 결과, 읍·면·동을 제외한 대부분의 단위에서 두 설명변수는 대체로 양(+)의 관계를 보였다. 그러나 모형의 설명력은 공간단위가 커질수록 일관되게 증가하지 않았다. 사각격자의 결정계수(R^2)는 100m 0.390, 250m 0.591, 500m 0.686, 1km 0.728, 2km 0.670으로 1km에서 가장 높았으며, H3는 level10 0.331, level9 0.626, level8 0.753, level7 0.728로 level8에서 가장 높았다. 이는 공간 단위의 세분화 또는 집계가 변수 간 관계와 모형의 설명력을 단조롭게 변화시키는 것이 아니라, 일정한 해상도에서 관계가 가장 뚜렷하게 나타날 수 있음을 보여준다.

표 5 구획효과 비교

구분		전체 셀 개수	단일격자 당 평균면적 (㎡)	Moran's I 분석			선형 공간요소 분석	
				인구수	공시지가	POI	하천	도로
거시 지역	2km	163	4,000,000	0.3067	0.5813	0.2748	18	50
	level7	157	3,572,360	0.3675	0.6428	0.3318	18	54
	동·리	163	3,331,653	0.4108	0.5852	0.3852	26	60
미세 지역	250m	8,982	62,500	0.4777	0.7993	0.6438	152	448
	level9	7,454	72,907	0.4801	0.7934	0.6790	126	401
초미세 지역	100m	55,034	10,000	0.4485	0.6343	0.5703	370	1,213
	level10	52,128	10,415	0.4300	0.5824	0.5841	350	1,113

주: 거시지역(행정구역, 사각, 육각 비교), 미세지역 및 초미세지역(사각 및 육각 비교).

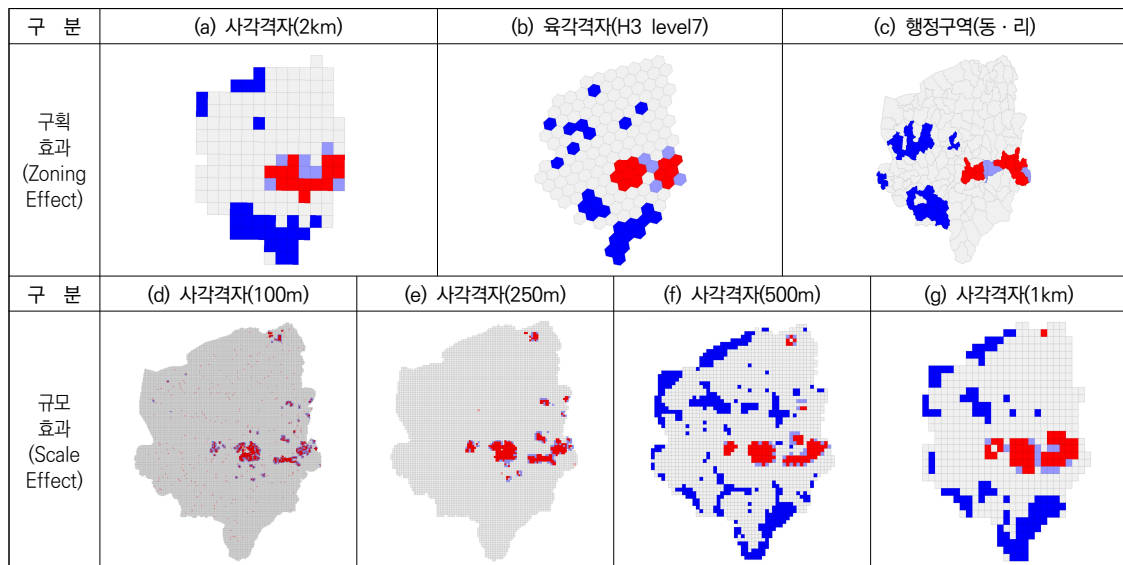
표 6 공간 단위별 LISA 군집분석 결과

(단위 : 개수(%))

구분		인구수					공시지가					관심지점정보(POI)				
		HH	LL	LH	HL	N/S	HH	LL	LH	HL	N/S	HH	LL	LH	HL	N/S
구획 효과 (가시)	2km	14 (8.6)	27 (16.6)	7 (4.3)	0 (0)	115 (70.6)	22 (13.5)	34 (20.9)	1 (0.6)	0 (0)	106 (65.0)	13 (8.0)	28 (17.2)	2 (1.2)	0 (0)	120 (73.6)
	level7	12 (7.6)	25 (15.9)	5 (3.2)	0 (0)	115 (73.2)	20 (12.7)	36 (22.9)	0 (0)	0 (0)	101 (64.3)	9 (5.7)	28 (17.9)	4 (2.5)	1 (0.6)	115 (73.3)
	동·리	8 (4.9)	19 (11.7)	4 (2.5)	0 (0)	132 (81.0)	13 (8.0)	41 (25.2)	0 (0)	0 (0)	109 (66.9)	6 (3.7)	24 (14.7)	4 (2.5)	0 (0)	129 (79.1)
구획 효과 (미세)	level9	259 (3.5)	0 (0)	86 (1.2)	6 (0.1)	7,103 (95.3)	592 (7.9)	2,148 (28.8)	16 (0.2)	4 (0.1)	4,694 (63.0)	368 (4.9)	1,657 (22.2)	32 (0.4)	20 (0.3)	5,377 (72.1)
	250m	320 (3.6)	0 (0)	128 (1.4)	3 (0)	8,531 (96.0)	820 (9.1)	3,071 (34.2)	34 (0.4)	0 (0)	5,057 (56.3)	460 (5.1)	2,331 (26.0)	57 (0.6)	37 (0.4)	6,097 (67.9)
구획 효과 (초미세)	level10	1,022 (2.0)	0 (0)	737 (1.4)	393 (0.8)	49,976 (99.9)	3,203 (6.1)	13,132 (25.2)	658 (1.3)	93 (0.2)	35,042 (67.2)	2,535 (4.9)	0 (0)	477 (0.9)	269 (0.5)	48,847 (93.7)
	100m	1,140 (2.1)	0 (0)	766 (1.4)	295 (0.5)	52,833 (96.0)	4,122 (7.5)	17,092 (31.1)	497 (0.9)	90 (0.2)	33,233 (60.4)	2,777 (5.0)	1 (0)	620 (1.1)	170 (0.3)	51,466 (93.5)
규모 효과	2km	14 (8.6)	27 (16.6)	7 (4.3)	0 (0)	115 (70.6)	22 (13.5)	34 (20.9)	1 (0.6)	0 (0)	106 (65.0)	13 (8.0)	28 (17.2)	2 (1.2)	0 (0)	120 (73.6)
	1km	45 (7.5)	104 (17.2)	13 (2.2)	0 (0)	442 (73.2)	75 (12.4)	189 (31.3)	1 (0.2)	1 (0.2)	338 (56.0)	34 (5.6)	158 (26.2)	6 (1.0)	2 (0.3)	404 (66.9)
	500m	107 (4.6)	421 (18.2)	37 (1.6)	0 (0)	1,748 (75.6)	227 (9.8)	761 (32.9)	13 (0.6)	1 (0)	1,311 (56.7)	124 (5.4)	599 (25.9)	15 (0.6)	5 (0.2)	1,570 (67.9)
	250m	320 (3.6)	0 (0)	128 (1.4)	3 (0)	8,531 (96.0)	820 (9.1)	3,071 (34.2)	34 (0.4)	0 (0)	5,057 (56.3)	460 (5.1)	2,331 (26.0)	57 (0.6)	37 (0.4)	6,097 (67.9)
	100m	1,140 (2.1)	0 (0)	766 (1.4)	295 (0.5)	52,833 (96.0)	4,122 (7.5)	17,092 (31.1)	497 (0.9)	90 (0.2)	33,233 (60.4)	2,777 (5.0)	1 (0)	620 (1.1)	170 (0.3)	51,466 (93.5)

주: HH는 High-High, LL은 Low-Low, LH는 Low-High, HL은 High-Low, N/S은 Not Significant(유의하지 않음).

그림 2 공간 단위별 LISA 군집지도 비교



주: 변수는 인구수 자료임.

9개 격자 단위를 대상으로 OLS 결정계수와 잔차 Moran's I 간 기술적 Pearson 상관을 산출한 결과 0.841로 양(+)의 관계가 나타났다. 다만 후보 수가 적고 동일 원자료에서 파생된 공간단위이므로 유의성 검정이나 일반화의 근거로 사용하지 않았다. 이 결과는 높은 R^2 가 잔차 공간의존성의 감소를 뜻하지 않으며, 집계로 인구·POI와 공시지가의 평균적 관계가 선명해져도 모형에 포함되지 않은 입지요인의 공간구조가 남을 수 있음을 보여준다. 행정구역은 읍·면·동($R^2=0.083$, 잔차 $I=0.3958$)과 동·리($R^2=0.788$, 잔차 $I=0.1938$)의 양상이 달라, 경계와 내부 이질성이 관계를 바꿀 수 있음을 보여준다.

한편, 모든 공간단위에서 OLS 잔차 Moran's I가 유의하여 R^2 만으로 모형의 공간적 적절성을 판단할 수 없었다. 동일 공간단위 내 AIC를 비교하면 사각격자는 100m·250m에서 SLM, 500m·1km·2km에서 SEM이 상대적으로 우세했다. H3도 level 9·10에서는 SLM, level 7·8에서는 SEM이 우세했다. 유사 해상

도의 100m-H3 level 10과 250m-H3 level 9는 모두 SLM이, 500m-H3 level 8과 2km-H3 level 7에서는 모두 SEM이 선택되었다. 이는 격자 형태의 차이뿐 아니라 해상도 변화가 공시지가의 공간 의존성을 설명하는 모형 선택에 중요한 영향을 미칠 가능성이 있음을 의미한다. SLM이 우세한 세부 단위에서는 인접 지역 공시지가와의 공간적 연계가, SEM이 우세한 중·대규모 단위에서는 모형에 포함되지 않은 입지 특성의 공간적 군집이 상대적으로 중요할 수 있다. 이는 통계적 구조에 대한 해석이며 구체적 원인이나 인과관계를 확인한 결과는 아니다. 또한 동·리와 H3 level 7처럼 SLM과 SEM의 AIC 차이가 크지 않은 것은 특정 모형의 절대적 우위를 단정하기보다 모형 선택의 불확실성을 함께 고려하였다. 이상의 결과는 MAUP이 평균·분산과 공간적 군집을 변화시키는 데 그치지 않고 변수 간 관계의 방향과 유의성, 모형의 설명력, 잔차의 공간의존성 및 적정 공간모형의 선택에도 영향을 미칠 수 있음을 보여준다. 다만 인구수와

표 7 공간 단위별 OLS, SLM, SEM 결과 비교

구분		OLS				SLM		SEM		AIC 우세모형 계수	
		인구 β	POI β	R^2	잔차 Moran's I	ρ	AIC	λ	AIC	인구 β	POI β
사각 격자	2km	7.06108(***)	39.4483(***)	0.670	0.5210(***)	0.648	3,880	0.920	3,858	2.77(***)	49(***)
	1km	17.3294(***)	198.373(***)	0.728	0.5892(***)	0.622	14,365	0.862	14,289	5.93(***)	204(***)
	500m	34.3957(***)	878.697(***)	0.686	0.5027(***)	0.614	56,217	0.811	56,139	6.42(***)	765(***)
	250m	104.818(***)	3,068.2(***)	0.591	0.5378(***)	0.794	218,413	0.922	218,745	7.130(**)	1,228(***)
	100m	473.044(***)	16,139.2(***)	0.390	0.3771(***)	0.684	1,414,420	0.773	1,416,980	137.545(***)	7,443.2(***)
육각 격자	level7	9.15773(***)	29.5789(**)	0.728	0.4420(***)	0.624	3,689	0.911	3,686	2.496(**)	48(***)
	level8	27.9334(***)	396.332(***)	0.753	0.6169(***)	0.643	25,351	0.865	25,235	10.827(***)	360(***)
	level9	98.7218(***)	2,764.1(***)	0.626	0.5368(***)	0.704	182,593	0.841	182,933	22.407(***)	1,258(***)
	level10	515.968(***)	12,761.6(***)	0.331	0.3171(***)	0.608	1,345,850	0.671	1,348,860	254.789(***)	5,959(***)
행정 구역	읍면동	2.70411	-4.53908	0.083	0.3958(***)	0.449	790	0.873	779	-9.490(***)	64(***)
	동·리	7.14155(***)	64.2118(***)	0.788	0.1938(***)	0.292	3,906	0.672	3,902	0.770	81(***)

주: AIC는 동일 공간단위의 동일 표본에서만 비교함. 마지막 두 열은 AIC가 더 낮은 상대적 우세모형의 회귀계수임. 우세모형은 사각격자 2km·1km·500m, H3 level 7·8 및 행정구역 읍·면·동과 동·리는 SEM이며, 사각격자 250m·100m와 H3 level 9·10은 SLM임. 공간모형의 R^2 는 정의가 달라 AIC와 로그우도를 우선 적용함.

유의수준: *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$.

POI를 각각 합계와 개수로 사용하였기 때문에 공간 단위별 회귀계수의 절대적 크기를 직접 비교하는 데는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 계수의 방향과 유의성, 잔차 Moran's I, 공간계수 및 동일 공간단위 내 모형 적합도의 변화를 중심으로 공간 단위 민감성만을 해석하고, 관측치 수가 다른 공간 단위는 AIC를 비교하지 않았다. 공간 단위별 결과는 <표 7>이다.

6. 선형 공간요소 중첩을 통한 보조적 검토

도시공간을 관통하는 국교천과 주요 국도 등 선형요소가 포함되는 셀 수를 공간단위별로 비교하였다. 이 분석은 앞선 기초통계·공간자기상관·회귀분석과 같은 핵심 분석이 아니라, 경계 구획이 바뀔 때 정책 대상 셀의 수와 범위가 달라지는 현상을 보여주기 위한 보조적 성격이 강하다. 거시 및 미세 수준에서 유사한 면적의 단위를 비교한 결과, 대부분 H3 육각격자가 사각격자보다 더 적은 셀 수로 선형 요소를 간결하게 포착하는 경향을 보였다. 이는 사각격자가 지닌 대각선 방향의 단절 한계를 육각격자가 기하학적으로 보완할 수 있음을 의미하며, 교통망 및 인프라축을 고려한 광역적 공간계획 수립 시 육각격자 활용이 행정구역이나 사각격자보다 적은 개체로도 적용할 수

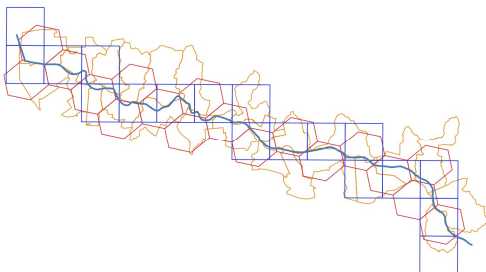
있음을 알 수 있다. 다만, 중첩된 셀 수가 적다고 공간 포착의 정확성이나 특정 격자 체계의 우월성을 의미하지는 않는다. 분석 결과는 <표 5>로, <그림 3>은 행정구역, 사각 및 육각격자별로 하천(국교천)과 중첩된 것을 표현하였다.

V. 결론 및 정책적 제언

1. 연구의 결론

공공 공간데이터는 부동산, 도시계획, 지적 및 국토 계획 등 다양한 분야의 의사결정을 위한 기반 데이터로 과학적인 분석을 위해 정확한 데이터를 다양하게 제공하는 것이 매우 중요하다. 그 가운데에서도 인구수, 공시지가와 POI는 다른 데이터들보다 더 많이 활용되고 대부분 분야에서 기초가 되는 중요한 데이터라고 할 수 있다. 이에 본 연구는 아산시의 인구수, 공시지가와 POI를 다양한 공간 단위로 재구성하여 MAUP의 규모 및 구획 방식에 따른 공간 변동성을 실증하였고, 그 결과 동일 원자료도 단위의 크기·경계·인접 구조에 따라 기초통계, 전역적 Moran's I, 국지적 군집과 회귀결과가 명확히 달라짐을 확인하였다. 공간 단위가 세분화될수록 무조건 공간자기상관이 강화되는 것은 아니었으며, 인구수는 정주 체계, 공시지가는 연속적 토지이용, POI는 미시적 중심지 집중 등 변수 특성에 따라 군집의 범위와 왜곡 정도가 상이했다. 각 변수 간 관계 분석에서도 OLS의 설명력, 잔차 공간자기상관, 공간회귀모형의 선택과 계수가 변하였다. 특히 정규 격자에서 OLS 설명력과 잔차 Moran's I가 대체로 함께 커지는 경향이 나타나 높은 R^2 가 공간의존성의 해소를 보장하지 않았다. 또한, 모든 공간단위에서 OLS 잔차의 공간의존성은 유의하였으며, 세부 단위에서는 SLM, 중·대규모 단위에서는 SEM이 상대적으로 우세한

그림 3 공간 단위별 중첩 현황



구역: 하천(국교천).
대상: 행정구역(동·리), 사각격자(2km), 육각격자(level 7).

양상이 나타났다. 이는 사각 또는 육각이라는 형태 하나가 일관되게 우월하다는 결과가 아니라, 해상도와 구획이 통계적 추론과 공간과정의 모형화에 함께 영향을 미치며, 분석 목적에 부합하는 다중 공간단위의 병행 검토가 필수적임을 의미한다. 지금까지 대부분의 공공 공간데이터는 사각격자와 행정구역 단위로 제공되었다. 하지만, 그 데이터의 분석 목적 및 필요에 따라 육각격자와 같은 기존과 다른 형태의 데이터 제공도 필요하다는 것을 MAUP 분석 실증을 통하여 확인하였다.

2. 정책적 제언

실증분석 결과를 바탕으로 한 정책적 제언은 다음과 같다. 첫째, 국가 공간정보 플랫폼은 가능한 범위에서 개체 수준 또는 세분화된 원자료의 접근성을 확대하되, 개인정보와 민감정보로 집계 제공이 불가피한 경우 행정구역·사각격자와 함께 H3 등 대안 공간단위를 실험적으로 병행하여 제공할 것을 제안한다. 이는 데이터 형태별로 활용에 따른 장단점이 존재하고 MAUP 실증을 통해 알 수 있듯이 그 데이터별 활용 효과가 다르기 때문이다. 둘째, 제공하는 데이터와 함께 격자 해상도, 경계, 집계합수, 0값·NULL 처리, 기준시점 등 메타데이터를 제공해야 한다. 제공하는 데이터에 메타데이터가 없을 경우 재현성과 해석의 타당성을 훼손할 수 있는 등 오류를 범할 수 있는 우려가 있다. 셋째, 정책대상지와 공간모형을 결정할 때 단일 공간단위의 결과만 사용하지 않고, 유사 해상도 또는 대안 구획 간 결과의 일치 여부와 민감도를 보고하는 절차가 필요하다. 비록 본 연구의 결과는 특정 데이터에 따른 최적의 격자체계를 찾지는 못하였지만 분석 목적과 변수 형태에 맞춘 다중 공간단위의 강건성 검증이 필요함을 확인하였다.

3. 연구의 한계와 향후 과제

본 연구는 탐색적 공간자료 분석과 공간회귀를 결합하여 공간단위가 분포·군집·변수 관계에 미치는 차이를 제시하였으나 다음의 한계가 있다. 첫째, 연구대상지가 국토 공간의 다변화가 압축된 아산시로 한정되어 있어 그 결과를 모든 도시로 일반화하기 어렵다. 향후 대도시권이나 전국 단위로 범위를 확대해 도시 유형별 공간 단위 민감도를 비교할 필요가 있다. 둘째, OLS·SLM·SEM 분석은 공간 단위별 변수 관계의 민감도를 확인하기 위한 것으로, 이러한 분석만으로 인구 또는 POI가 공시지가를 변화시킨다는 분명한 인과 효과까지 식별하기는 어렵다. 특히 변수의 기준시점이 정확하게 일치하지 않고, 용도지역·접근성·토지이용 등 누락변수와 내생성을 통제하지 못했으며, 원수준 집계·개수 모형이어서 공간단위 간 계수의 절대 크기를 직접 비교할 수 없었다. 향후 동일 기준시점 자료, 통제변수, 공통 공간지지체제와 외부표본의 검증이 필요하다. 셋째, 다수 모형에서 잔차 비정규성과 이분산성이 확인되어 최대우도 공간모형의 유의확률과 계수는 신중하게 해석해야 한다. 향후 강건 공간회귀, 공간Durbin 모형, GWR·MGWR, 다도시 반복분석을 통해 결과를 검증하여 분석하려는 대상지의 공간 단위별 일치율과 변경률을 직접 산출할 필요가 있다.

• 참고문헌

References

1. 김감영. 2011. 공간 상호작용 모델에 대한 공간단위 수정 가능성 문제(MAUP)의 영향. *대한지리학회지* 46권, 2호: 197-211.
Kim Kamyong. 2011. Effects of the modifiable areal unit problem (MAUP) on a spatial interaction model. *Journal of the Korean Geographical Society* 46, no.2: 197-211.
2. _____. 2014. 경제 결합 가능성 기반 구역설정 최적화 모델. *대한지리학회지* 49권, 3호: 423-437.
_____. 2014. An Optimization Model Based on Combining Possibility of Boundaries for Districting Problems. *Journal of the Korean Geographical Society* 49, no.3: 423-437.
3. 김대현, 김재명, 윤병찬, 장은미, 최윤수. 2015. 공간정보를 활용한 격자체계 개선방안. *한국공간정보학회지* 23권, 6호: 43-55.
Kim Daehyun, Kim Jaemyoung, Yoon Byeongchan, Jang Eunmi and Choi Yunsoo. 2015. Development Plan of Grid System Utilizing Spatial Information. *Journal of Korea Spatial Information Society* 23, no.6: 43-55.
4. 김문수, 이지영. 2015. 격자 기반의 통계정보 표현을 위한 데이터 변환 방법. *한국공간정보학회지* 23권, 5호: 31-40.
Kim Moonsoo and Lee Jiyong. 2015. A Data Transformation Method for Visualizing the Statistical Information based on the Grid. *Journal of Korea Spatial Information Society* 23, no.5: 31-40.
5. 김슬기, 김의준. 2025. 지리가중화귀도형을 활용한 빈집 분포와 공시지가의 관계 분석. *부동산분석* 11권, 3호: 83-102.
Kim Seulki and Kim Euijune. 2025. Analyzing the Relationship Between Vacant Housing Distribution and Land Prices Using Geographically Weighted Regression. *Journal of Real Estate Analysis* 11, no.3: 83-102.
6. 선민수, 백승건, 박찬혜, 송요섭, 조항훈, 김흥순. 2025. 서울시 어린이공원의 입지특성 분석: 형평성, 효율성 및 입지요인을 중심으로. *국토지리학회지* 59권, 3호: 171-187.
Sun Minsu, Baek SeungGeon, Park Chanhye, Song Yoseop, Jo Hanghun and Kim Heungsoon. 2025. Analyzing locational characteristics of children's parks in Seoul: Focusing on equity, efficiency, and locational factors. *The Geographical Journal of Korea* 59, no.3: 171-187.
7. 설유정, 김지윤, 김호용. 2022. 공간단위 수정가능성 문제(MAUP)를 고려한 빈집 발생지역의 특성 분석: 부산광역시 원도심 일대를 대상으로. *한국지리정보학회지* 25권, 1호: 120-132.
Seol Yujeong, Kim Jiyun and Kim Hoyong. 2022. Analysis of Spatial Characteristics of Vacant House in Consideration of the Modifiable Areal Unit Problem (MAUP): Focused on the Old Downtowns of Busan Metropolitan City. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 25, no.1: 120-132.
8. 오충원. 2002. 가변적 공간 단위의 문제를 고려한 자가 변동의 시공간 분석. *한국GIS학회지* 10권, 2호: 185-199.
Oh Chungwon. 2002. Spatio-Temporal analysis of land price variation considering modifiable area unit problem. *The Journal of GIS Association of Korea* 10, no.2: 185-199.
9. 이수연, 김혜민, 이민혁, 전철민. 2023. 미시적 공간단위에서의 생활폐기물 발생량 예측: 인천광역시를 사례로. *대한공간정보학회지* 31권, 1호: 11-19.
Lee Suyun, Kim Hyemin, Lee Minhyuk and Jun Chulmin. 2023. Prediction of Household Waste Generation at the Microscopic Spatial Units: Case Study on Incheon. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science* 31, no.1: 11-19.
10. 이지원, 김지영. 2023. POI 임베딩 기법에 기반한 도시가능 지역 추출방법. *대한공간정보학회지* 31권, 4호: 53-63.
Lee Jiwon and Kim Jiyong. 2023. Urban Functional Area Extraction Method based on POI Embedding Technique. *Journal of Korean Society for Geospatial Information Science* 31, no.4: 53-63.
11. 정진성, 김우중. 2012. 지역사회 범죄연구와 가변적 공간단위의 문제(MAUP). *경찰학연구* 12권, 2호: 27-47.
Cheong Jinseong and Kim Woojoong. 2012. Neighborhood-Level Crime Research and the MAUP(Modifiable Areal Unit Problem). *The Journal of Police Science* 12, no.2: 27-47.
12. 조성진, 이규일, 윤승호, 문성국, 김현명. 2019. 대중교통 접근성 분석에 있어서 가변적 공간단위 문제. *대한교통학회지* 37권, 6호: 499-513.
Cho Sungjin, Lee Kyuil, Yoon Seungho, Moon Seonggook and Kim Hyunmyung. 2019. Modifiable

- Areal Unit Problem in Transit Accessibility Analysis. *Journal of Korean Society of Transportation* 37, no.6: 499-513.
13. 최돈정, 서용철. 2013. 장수 인구의 분포 패턴에 관한 탐색적 공간 데이터 분석과 수정 가능한 공간단위 문제(MAUP)의 Scale Effect에 관한 연구. *한국지리정보학회지* 16권, 3호: 40-53.
Choi Donjeong and Suh Yongcheol. 2013. A Study on the Exploratory Spatial Data Analysis of the Distribution of Longevity Population and the Scale Effect of the Modifiable Areal Unit Problem. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 16, no.3: 40-53.
14. 황선아. 2024. 공공자전거 이용수요 분석에서의 분석단위 탐구: MAUP의 영향과 적정 분석단위의 탐구. 석사학위논문, 아주대학교.
Hwang Suna. 2024. *Exploring Analytical Units in Public Bicycle Usage Demand Analysis: Exploring the Effects of MAUP and Appropriate Analysis Units*. M.S. diss., Ajou University.
15. Anselin, Luc. 1995. Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical Analysis* 27, no.2: 93-115.
16. Birch, C. P. D., Oom, S. P. and Beecham, J. A. 2007. Rectangular and hexagonal grids used for observation, experiment and simulation in ecology. *Ecological Modelling* 206, no.3-4: 347-359.
17. Brodsky, Isaac. 2018. H3: Uber's Hexagonal Hierarchical Spatial Index. Uber Engineering Blog, June 27. <https://www.uber.com/blog/h3/> (accessed June 23, 2026).
18. Cheung, K.-S. W., Sham, C.-W. and Yiu, C.-Y. 2024. Disentangling the Modifiable Areal Unit Problem in Housing Density and Price Associations. *Buildings* 14, no.6: 1840.
19. Christaller, Walter. 1933. *Die zentralen Orte in Süddeutschland*. Jena: Gustav Fischer.
20. Duque, J. C., Laniado, H. and Polo, A. 2018. S-Maup: Statistical test to measure the sensitivity to the modifiable areal unit problem. *PLOS ONE* 13, no.11: e0207377.
21. Lee, D. W., Rogers, M. and Soifer, H. D. 2025. The Modifiable Areal Unit Problem in Political Science. *Political Analysis* 33, no.4: 412-424.
22. Lee, S.-I., Lee, M., Chun, Y. and Griffith, D. A. 2019. Uncertainty in the Effects of the Modifiable Areal Unit Problem under Different Levels of Spatial Autocorrelation: A Simulation Study. *International Journal of Geographical Information Science* 33, no.6: 1135-1154.
23. Moran, Patrick A. P. 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika* 37, no.1/2: 17-23.
24. Openshaw, Stan. 1984. *The Modifiable Areal Unit Problem*. CATMOG 38. Norwich: Geo Books.
25. Openshaw, S. and Taylor, P. J. 1979. A million or so Correlation Coefficients: Three Experiments on the Modifiable Areal Unit Problem. In *Statistical Applications in the Spatial Sciences*, ed. Wrigley, N., 127-144. London: Pion.
26. Sahr, K., White, D. and Kimerling, A. J. 2003. Geodesic discrete global grid systems. *Cartography and Geographic Information Science* 30, no.2: 121-134.
27. Wong, David W. S. 2009. The Modifiable Areal Unit Problem. In *The SAGE Handbook of Spatial Analysis*, eds. Fotheringham, A. S. and Rogerson, P. A., 105-123. London: SAGE.
28. Ye, X. and Rogerson, P. 2022. The Impacts of the Modifiable Areal Unit Problem (MAUP) on Omission Error. *Geographical Analysis* 54, no.1: 32-57.

- 논문 접수일: 2026. 6. 28.
- 심사 시작일: 2026. 7. 21.
- 심사 완료일: 2026. 8. 31.

요약

본 연구는 아산시의 인구수, 공시지가 및 관심지점정보를 행정구역, 사각격자와 H3 육각격자로 재집계하여 공간단위 수정가능성 문제(MAUP)의 규모효과와 구획효과를 실증하였다. 이를 위해 기초통계, 전역 Moran's I, LISA, OLS·SLM·SEM 및 선형 공간요소 중첩 분석으로 비교하였다. Moran's I는 인구 0.3067~0.5268, 공시지가 0.4963~0.7993, 관심지점정보는 0.2748~0.6790으로 나타났다. 공시지가와 인구·관심지점정보의 관계를 다룬 OLS모형의 설명력은 1km 사각격자 0.728, H3 level 8 0.753에서 가장 높았으나, 모든 잔차에 유의한 공간자기상관이 나타났다. 세밀한 단위에서는 SLM, 중·대규모에서는 SEM이 상대적으로 우세하였다. 공간단위는 분포와 군집뿐 아니라 변수 관계와 공간의존성에도 영향을 미쳤다. 이는 특정 격자형태가 항상 우월하지 않으므로 세밀한 원자료와 집계 메타데이터를 제공하고, 정책분석에서 복수 공간단위의 강건성을 검토해야 한다는 것을 의미한다.

• **주제어:** 공간단위 수정가능성 문제, 공공 공간데이터, H3 육각격자, 공간자기상관, 공간정보정책, 아산시
