

인근지역 범위 설정이 공간회귀모형 적합에 미치는 영향

이창로* · 박기호**

The Effects of Neighborhood Segmentation on the Adequacy of a Spatial Regression Model

Chang Ro Lee* · Key Ho Park**

요약 : 공간회귀모형은 공간가중행렬을 통해 공간관계를 명시적으로 정량화한다는 점에서 타 모형과 뚜렷하게 구별되는 강점이 있는 동시에, 공간가중행렬 구성에 자의성이 개입된다는 약점을 가지고 있기도 하다. 본 연구에서는 공간가중행렬의 구성에 따라 모형 적합도가 어떻게 변화하는지 인천시를 사례로 실증적으로 검토하였다. 또한 인근지역 범위 설정에 따라 공간시차모형(spatial lag model) 또는 공간오차모형(spatial error model) 중 어떠한 모형이 보다 우수하게 나타나는지 검토하였다. 분석 결과, 토지가격 추정에 있어 인근지역 범위를 좁게 파악하는 공간가중행렬을 구성할수록 모형 적합도가 전반적으로 개선되는 것이 확인되었다. 또한, 공간적 이질성이 심한 지역은 공간오차모형의 적합도가 보다 우수한 것으로 파악되었다. 공간적 이질성이 심한 지역은 동질적 성격을 갖는 하부 인근지역으로 세분함으로써 그러한 이질성을 완화시킬 수 있었고, 그 결과 공간오차모형보다 공간시차모형의 적합도가 우수하게 나타날 수 있음을 밝혔다.

주요어 : 공간회귀모형, 공간가중행렬, 인근지역 범위 설정, 공간적 종속성, 공간적 이질성

Abstract : It can be advantage as well as disadvantage to use the spatial weight matrix in a spatial regression model; it would benefit from explicitly quantifying spatial relationships between geographical units, but necessarily involve subjective judgment while specifying the matrix. We took Incheon City as a study area and investigated how the fitness of a spatial regression model changed by constructing various spatial weight matrices. In addition, we explored neighborhood segmentation in the study area and analyzed any influence of it on the model adequacy of two basic spatial regression models, i.e., spatial lagged and spatial error models. The results showed that it can help to improve the adequacy of models to specify the spatial weight matrix strictly, that is, interpreting the neighborhood as small as possible when estimating land price. It was also found that the spatial error model would be preferred in the area with serious spatial heterogeneity. In such area, we found that its spatial heterogeneity can be alleviated by delineating sub-neighborhoods, and as a result, the spatial lagged model would be preferred over the spatial error model.

Key Words : spatial regression model, spatial weight matrix, neighborhood segmentation, spatial dependence, spatial heterogeneity

* 서울대학교 지리학과 박사과정(Ph.D Student, Department of Geography, Seoul National University), k25125@kab.co.kr

** 서울대학교 지리학과 교수 및 국토문제연구소 겸무 연구원(Professor, Department of Geography, Seoul National University, and Researcher, Institute for Korean Regional Studies), khp@snu.ac.kr

1. 서론

공간사상(空間事象)의 하나인 토지 가격은 독립적으로 결정되는 것이 아니라, 인접 필지와 영향을 주고받으며 형성된다. 토지 가격에 대해 이러한 공간적 연관성을 고려하지 않을 경우, 해당 분석 결과는 신뢰성이 저하되며 통계적 모형에서 산출된 추정치는 비효율적(inefficient)이고 편기(biased)를 갖게 된다. 이러한 오류를 피하기 위해 활용되는 일반적인 접근방법이 공간회귀모형(spatial regression model)이라 할 수 있다(Stakhovych & Bijmolt, 2008).

공간회귀모형을 적용하기 위해서는 자료가 가지는 공간적 연관성을 구조화(structuring)하고 이를 수치적으로 정량화하여야 한다. 이러한 정량화는 공간가중행렬(spatial weight matrix; W)의 구성을 통해 이루어진다. 국내의 경우 공간회귀모형은 2000년 이후 부동산 가격 추정에 빈번하게 활용되어 왔으나(서경천·이성호, 2001; 박현수 외, 2003; 서교 2005 등), 공간 관계를 정량화하는 핵심과정인 공간가중행렬의 구성에 대해 ‘합의된’ 표준이 없어 연구자에 따라 다양한 행렬을 구성하여 분석을 수행하였다.

본 연구에서는 공간회귀모형 적합의 가장 중요한 절차차임에도 종종 부차적 절차로 여겨지는 공간가중행렬의 구성에 초점을 두어, 공간가중행렬의 구성방법에 따라 모형의 적합 정도가 어떻게 변화하는지 사례분석을 통해 실증적으로 살펴보았다.

또한, 인근지역 범위 설정에 따라 어떠한 종류의 공간회귀모형이 보다 적합도가 우수하게 나타나는지 검토하였다. 본 연구 결과가 토지가격 추정을 위해 공간회귀모형 적용시 공간가중행렬의 구성, 적절한 공간회귀모형 종류의 선택 등에 있어 실증적 기준을 제 공할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 이론적 검토

1) 공간적 종속성과 이질성

지표에서 관측되는 공간적 연관성을 포착하려는 개념이 공간적 자기상관(spatial autocorrelation)이며, 이는 다시 공간적 종속성(spatial dependence)과 공간적 이질성(spatial heterogeneity)으로 구분된다(Anselin, 1988).

공간적 종속성과 이질성은 공간 자료를 다루는 문헌에서 자주 등장하는 용어이지만, 일반적으로 받아들여지는 ‘일관된’ 정의는 없는 것으로 보인다. 그러나 연구 분야에 따라 해당 용어를 사용하는 맥락은 비교적 명확한 것으로 보인다. 예를 들어 보건지리학 분야에서는 인근 관측치들끼리 유사한 값을 보이는 현상을 종속성으로, 관측치의 평균값이 세부 지역에 따라 변하는 현상을 이질성으로 파악하고 있으며(Waller *et al.*, 2004, p.204), 환경·생태학 분야에서는 변수 자체의 내생적 특성(endogenous process)을 종속성으로, 변수와 무관한 외생적 특성(exogenous process, 기후, 지형 등)을 이질성으로 표현하고 있다(Kissling *et al.*, 2008).

다시 말해, 공간적 종속성과 이질성은 개략적으로 공간 스케일(spatial scale)에 따라 구분할 수 있는 것으로 보인다. 즉, 공간적 종속성은 비교적 좁은 지역에서 국지적으로 나타나는 현상을 의미하고, 공간적 이질성은 비교적 넓은 지역에서 변수가 어떠한 경향(trend)을 보이는 현상이라고 해석할 수 있다.

부동산 시장에 적용할 경우, 공간적 종속성은 인접 부동산 가격수준에 따라 대상 부동산 가격 수준이 결정되는 경향이 강함을 의미하고, 공간적 이질성은 해당 부동산 시장 내부에 가격 수준이 상이한 하부시장의 존재, 고속도로·철도 등 건조물에 의한 지가 연속성의 단절 등을 시사하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 분석 지역의 공간적 이질성이 심한 것으로 파악되었다면 성격이 상이한 하부 인근지역을 함께 묶어 분석함으로써, 즉 분석 목적에 적합한 공간 스케일을 찾지 못해 생긴 현상으로 해석할 수 있다.

이와 같은 공간적 종속성과 이질성은 공간회귀모형 구성의 동기가 되는 것으로, 종속성과 이질성으로 표출되는 공간관계를 정량화하기 위한 도구가 바로 공간가중행렬이다.

2) 공간가중행렬의 구성

공간가중행렬이 다양하게 정의되고 수치화될 수 있다는 것은 잘 알려진 사실이며, 따라서 어떤 공간가중행렬이 ‘올바른’ 것이냐 하는 논의에 정답은 없다. 다만 어떤 공간가중행렬이 보다 ‘쓸모 있는지’를 찾아내는 것이 공간통계기법을 사용하는 연구자들의 몫이고 그들의 능력이다(박기호, 2004).

공간가중행렬은 인접성 척도(contiguity measure) 또는 거리척도(distance measure)에 따라 구성할 수 있으며, 각 지점의 좌표나 지점 간 거리를 알 수 있는 경우 거리척도를 이용한 가중행렬이 보다 바람직하다(Anselin, 1988). 거리척도를 활용하는 경우, 거리가 멀어짐에 따라 관찰치들 간의 영향력이 감소한다는 공간현상을 정량화할 필요가 있는데, 거리조락함수(distance-decay function)로 표현하는 것이 일반적이다. 거리조락함수는 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$w_{ij} = f(d_{ij}, b) \tag{1}$$

여기서 d_{ij} 와 w_{ij} 는 관찰치 i 및 관찰치 j 간의 거리 및 부여된 가중치를 의미하며, b 는 임계치(또는 대역폭, bandwidth)를 나타낸다.

함수 $f()$ 는 다양한 형태로 표현할 수 있으나 주로 멱함수(power function)나 지수함수(exponential function)가 많이 활용되며 각각 식(2) 및 식(3)으로 나타낼 수 있다¹⁾.

$$w_{ij} = 1/(d_{ij})^\alpha \tag{2}$$

$$w_{ij} = \exp(-\beta d_{ij}) \tag{3}$$

최적의 함수 형태 $f()$ 를 정하기 위한 시도가 있었으나 학계에서 널리 받아들여지는 결론은 없는 것으로 보인다²⁾. 따라서 거리조락함수의 형태와 임계치 설정 여부에 따라 다양한 공간가중행렬의 구성이 가능한데, 국내 선행연구의 경우 주로 멱함수 형태를 활용하였으며 표 1은 최근의 국내의 연구 결과를 정리한 것이다.

표 1을 보면, 국내의 경우 대부분 거리 또는 거리제곱에 반비례하도록 가중치를 부여하였으며, 일부 연구는 전체 관측치에 대해 가중치를 부여하였고, 어떤

표 1. 공간가중행렬의 구성³⁾

연구자	대상지역	거리조락함수	임계치 설정
서경천 외(2001)	부산시 서측 7개구	$\frac{1}{d_{ij}^2}$	0.5km
박현수 외(2003)	서울시 광진구	$\frac{1}{d_{ij}}$	임계치 설정하지 않음
안지아 외(2005)	서울시 한강 이남 11개구	$\frac{1}{d_{ij}^2}$	5km
허윤경(2007)	서울시	$\frac{1}{d_{ij}^2}$	1km에서 6km까지 1km 단위로 행렬구성 후, 5km 임계치를 중심으로 설명
	부산시		1km에서 6km까지 1km 단위로 행렬구성 후, 3km 임계치를 중심으로 설명
김성우(2010)	부산시	$\frac{1}{d_{ij}}$	임계치 설정하지 않음
송용철 외(2012)	경기도 광주시	$\frac{1}{d_{ij}}$	임계치 설정하지 않음

연구자	대상지역	거리조락함수	임계치 설정
Dube <i>et al.</i> (2013)	Quebec City, Canada	binary weight	들로네 삼각형(DeLaunay triangle)에 기반
		$\frac{1}{d_{ij}^2}$	0.5km, 1.0km
Parent <i>et al.</i> (2013)	Hamilton County, City of Cincinnati, USA	상관계수(ρ)	공분산함수(covariance function)로부터 공간상관행렬(spatial correlation matrix) 구성 후 상관계수 값 이용 (임계치: $\rho=0.05$ 미만은 가중치 0 부여)
Getis <i>et al.</i> (2004)	Simulation data	$\frac{1}{d_{ij}} \cdot \frac{1}{d_{ij}^2} \cdot \frac{1}{d_{ij}^5}$	임계치 설정하지 않음
		상관계수(ρ)	베리오그램(variogram)으로부터 공간상관행렬 구성 후 상관계수 값 이용 (임계치: 베리오그램의 range를 초과하는 경우 가중치 0 부여)
Guo <i>et al.</i> (2008)	Sault Ste. Marie, Ontario, USA	$\left[1 - \left(\frac{d_{ij}}{b_i}\right)^2\right]^2$	Bisquare 커널함수 사용 임계치(b_i): 5m, 10m, 15m

연구는 임계치를 설정하여 해당 임계치를 초과하는 경우에는 가중치 0을 부여하였다. 반면 해외의 경우 거리의 역함수, 베리오그램(variogram)으로부터 산출한 공간 상관계수, 공간 커널함수 등 다양한 형태의 시도가 이루어졌다. 그러나 어떠한 형태의 거리조락함수가 해당 연구목적 달성에 보다 적합한지, 임계치를 설정하는 것보다 설정하지 않는 것이 적합한지 등에 대한 세밀한 검토는 미흡한 편이다.

3) 공간회귀모형의 종류

공간회귀모형의 종류는 다양하게 분류할 수 있으나, 크게 공간시차모형(spatial autoregressive model 또는 spatial lagged model; SAR)과 공간오차모형(spatial error model; SEM)으로 나눌 수 있다(Kissling *et al.*, 2008). 공간시차모형은 식(4)의 형태를 가지며, 공간적 자기상관을 또 하나의 설명변수로 동원하는 개념으로 자기상관을 보다 적극적으로 포착하고 해석하려는 입장이라 할 수 있다(Stakhoych & Bijmolt, 2008).

$$y = \rho W y + \beta X + \varepsilon, \quad (4)$$

$$\varepsilon \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2 I)$$

반면, 공간오차모형은 식(5)의 형태를 가지며, 공간적 자기상관을 부차적인 것(nuisance)으로 간주, 이를 오차항에 포함시켜 처리하려는 입장이다(Stakhoych & Bijmolt, 2008).

$$y = \beta X + u, \quad (5)$$

$$u = \lambda W u + \varepsilon$$

$$\varepsilon \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2 I)$$

식(4)의 ρ 는 공간적 종속성을, 식(5)의 λ 는 공간적 이질성을 나타내는 척도라 할 수 있다(서교, 2005; 남기찬 외, 2008 등).

이외에도, 상기 두 가지 모형을 결합한 일반공간모형(General Spatial Model; SAC)과 설명변수 X 에도 공간 종속성을 고려한 공간더빈모형(Spatial Durbin Model; SDM)도 흔히 활용되고 있다. 최근에는 공간더빈모형과 공간오차모형을 결합한 공간더빈오차모형(Spatial Durbin Error Model)을 적용한 사례도 있으며(Lacombe *et al.*, 2012), 일반공간모형과 공간더빈모형을 결합한 모형도 활용되고 있다(Lee, 2007). 그림 1은 이와 같은 여러 가지 공간회귀모형의 종류를 정리하여 표현한 것이다.

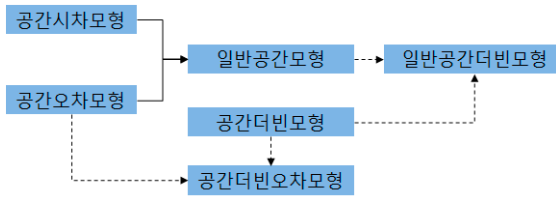


그림 1. 공간회귀모형의 종류

본 연구에서는 가장 기본이 되면서 비교·해석하기가 명확한 공간시차모형(SAR)과 공간오차모형(SEM)을 중심으로 살펴보고자 한다.

선행연구 중 SAR 모형과 SEM 모형을 명시적으로 비교한 연구 결과는 표 2와 같으며, 대부분 SEM 모형이 보다 우수한 것으로 결론 내렸다. 특히 Kissling *et al.*(2008)은 공간적 자기상관성을 갖도록 데이터를 임의생성 후 총 3,240개의 모형을 적합시켜 그 결과를 비교하였는데, 대부분의 시뮬레이션에서 SEM이 가장 우수한 것으로 나타났다.

그러나 어떠한 상황에서 SAR 모형 또는 SEM 모형이 보다 적정한지 그 원인을 파악하는데 초점을 둔 연구는 거의 없는 편이며 Stakhovych & Bijmolt(2008)는 시뮬레이션 분석을 통해 오차항 분산이 클수록 SEM 모형보다 SAR 모형 회귀계수 추정치의 신뢰성이 높아짐을 밝힌 바 있다.

본 연구에서는 SAR 모형과 SEM 모형을 비교하되, 공간가중행렬의 형태에 관계 없이 특정 지역에서 일관되게 어느 한 모형이 우수하게 나타나는 경우, 그 원인을 파악하여 제시하고자 한다.

3. 사례 분석

1) 사례지역의 선정 및 자료의 수집

본 연구에서는 인천광역시를 사례지역으로 선정하되, 대부분 도서지방으로 이루어진 강화군, 옹진군 및 중구는 제외하였다⁴⁾. 가격 자료는 국토교통부에서 발표하는 '12년 기준 표준지 공시지가 자료를 활용하였으며⁵⁾, 그림 2는 사례지역의 위치를 보여준다.

인천광역시는 동구, 남구 등 인천항 개항시절부터 개발된 구도심과 서구, 계양구 등 최근 개발이 활발히



그림 2. 사례지역

표 2. SAR 및 SEM의 비교

연구자	지역	적용한 모형	최종 선택 모형
박현수 외(2003)	서울시 광진구	OLS, SAR, SEM	SAR
최열 외(2006)	창원시	OLS, SAR, SEM	SEM
남기찬 외(2008)	서울시	OLS, SAR, SEM, OLS Robust, 2-step SEM	SAR, SEM 중 SEM이 보다 우수
허윤경 외(2008)	서울시	OLS, SAR, SEM, SAC	SEM
Kissling <i>et al.</i> (2008)	Simulation Data	OLS, SAR, SEM, SDM	SEM
이정섭 외(2012)	수도권 지역	OLS, SAR, SEM	SEM

진행되고 있는 지역까지 다양한 지역 특성을 아우르는 지역이라 할 수 있다.

2) 모형의 구성 및 공간적 자기상관성 검증

서로 다른 인근지역의 특성을 비교하기 위해 분석의 지역단위는 ‘구(區)’로 하였으며, 따라서 7개 구마다 모형을 적합시켰다.

모형 구성시 설명변수는 표준지 공시지가 발표시 함께 공표되는 토지 특성(면적, 용도지역, 용도지구 등)을 중심으로 OLS(Ordinary Least Squares) 모형 적합을 통해 선별하였다. 표 3은 선별된 설명변수를 보여준다.

8개 설명변수 모두가 유의하게 나타난 지역은 서구 뿐이었으며, 대부분의 지역에서 8개 변수 중 일부가 유의하지 않은 것으로 나타나 이러한 변수는 해당 지역 설명변수에서 제외하였다.

표 3을 보면, 용도지역, 이용상황 및 도로접면은 모

든 지역에서 유의한 것으로 나타났는데, 이 세 가지 변수가 지가형성의 주요한 요인임은 부동산 평가 실무에서나 이론에서 모두 잘 알려진 사실이다.

반면, 면적⁶⁾, 고지, 형상, 유해시설은 유의하지 않은 지역이 일부 있으며, 예를 들어 ‘고지’ 변수의 경우 해당 지역이 전반적으로 평탄한 지세를 이루어 완경사나 급경사 토지가 거의 없는 경우 이러한 변수는 유의하지 않게 나올 수 있다.

그림 3은 7개 지역에 대한 OLS 모형 적합 결과를 보여주며, 조정 결정계수(adjusted R²) 값이 80% 수준에서 90% 수준까지의 범위를 보이는 등 선택된 설명변수는 전반적으로 공시지가 수준을 잘 설명하는 것으로 보인다.

OLS 모형에서 산출된 잔차에 대한 공간적 자기상관성은 Moran’s I 검정을 통해 확인하였다. Moran’s I 검정시 적용한 공간가중행렬은 이후 설명할 다양한 형태의 공간가중행렬을 모두 적용하였으며, 모든 형태의 행렬에 대해 자기상관성이 존재하는 것으로 확

표 3. 설명변수의 선별(OLS 모형 적합)

지역 ⁷⁾	면적	용도지역	용도지구	이용상황	고지	형상	도로접면	유해시설
동구	○	○	×	○	×	×	○	×
남구	×	○	○	○	○	○	○	○
서구	○	○	○	○	○	○	○	○
부평구	○	○	○	○	○	○	○	×
계양구	○	○	○	○	×	○	○	×
남동구	×	○	○	○	○	○	○	×
연수구	○	○	○	○	○	×	○	×

용도지역	제1종일반주거지역, 일반상업지역 등 24개 범주
용도지구	최고고도지구, 일반미관지구 등 29개 범주
이용상황	단독, 상업용 등 26개 범주
고지	저지, 평지, 완경사, 급경사, 고지(5개 범주)
형상	정방형, 가장형, 세장형, 사다리형, 삼각형, 역삼각형, 부정형, 자루형(8개 범주)
도로접면	광대한면, 광대소각, 광대세각, 중로한면 등 12개 범주 * 광대한면(폭 25m 이상), 중로한면(폭 12~25m) 등은 인접한 도로의 폭을 의미
유해시설	당해, 50M 이내, 100M 이내, 500M 이내, 그 이상(5개 범주) * 철도·고속국도 등 유해 교통시설과의 거리를 의미

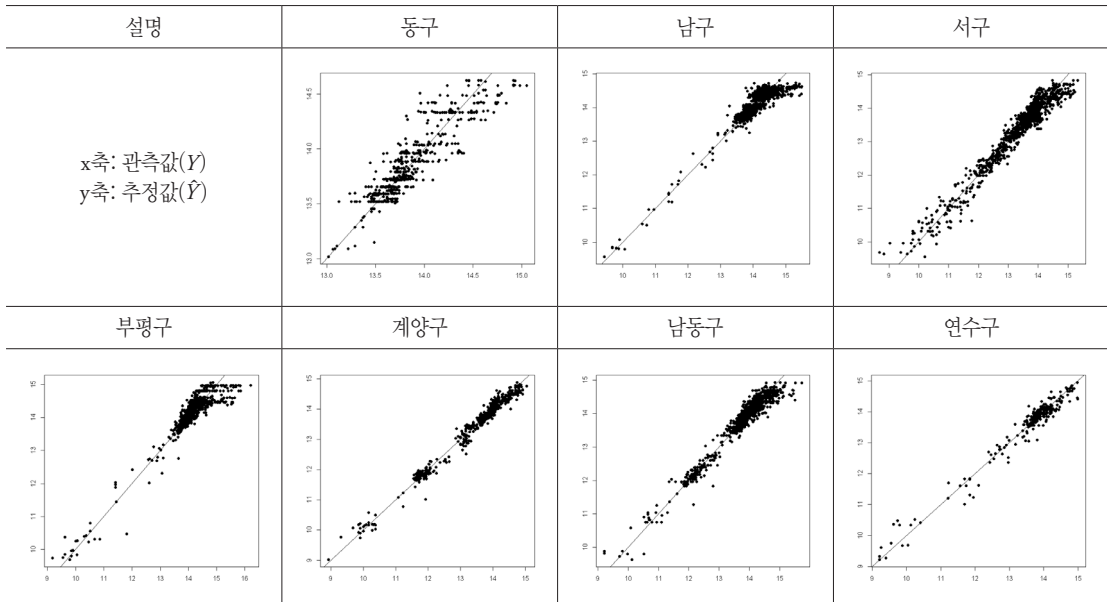


그림 3. OLS 모형 적합 결과

인되어 공간회귀모형 적합의 필요성을 시사하고 있다.

3) 공간회귀모형의 적합

(1) 거리조락함수에 따른 모형 적합 결과

공간회귀모형 구성의 핵심은 공간가중행렬의 설정으로 본 연구에서는 우선 특정한 임계치를 설정하지 않고, 전체 관측치에 대해 공간관계를 정량화하였다.

국내 선행연구의 경우 대부분 거리의 역수($1/d_{ij}$) 또는 거리제곱의 역수($1/d_{ij}^2$)로 거리조락함수를 구성하였다(안지아 외, 2005; 김성우, 2010 등). 거리의 역수 대신 거리제곱의 역수를 사용한다는 것은, 거리가 멀어짐에 따라 인근 필지가 해당 필지의 지가형성에 미치는 영향력이 급속하게 하락함을 의미한다. 다시 말해 지가에 영향을 미치는 공간범위를 좁게 보겠다는 뜻이고, 이는 인근지역의 개념을 보다 엄격하게 해석하려는 의도이다.

반대로 영향력 있는 공간의 범위를 넓게 보려는 경우 거리제곱근의 역수($1/\sqrt{d_{ij}}$)를 사용하기도 한다(Halas, 2012). 본 연구에서는 지가형성에 있어 영향

력 있는 인근지역 범위를 어떻게 설정하는 것이 보다 정확한 공간회귀모형 결과를 산출하는지에 초점을 두었으므로, 거리역수를 기준으로 거리제곱의 역수와 거리제곱근의 역수 모두를 검토하였다⁸⁾.

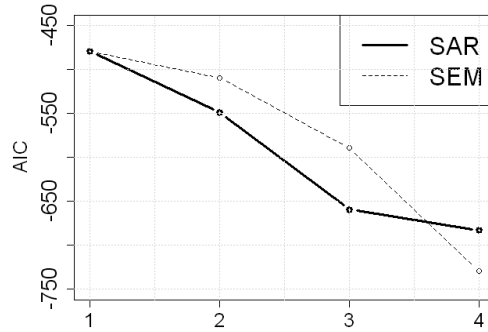
그림 4는 거리조락함수에 따른 지역별 공간회귀모형(SAR, SEM)의 적합 결과를 나타낸다. 모형의 적합 정도는 AIC(Akaike Information Criterion)값을 기준으로 표시했으며, AIC 이외의 BIC(Bayesian Information Criterion), 로그우도값(Log-Likelihood) 등을 기준으로 분석하여도 모형간 동일한 서열이 유지되어 그림 4에서는 AIC값만을 제시하였다.

그림 4를 보면, 대부분 인근지역의 범위를 보다 좁게 해석할수록 모형 적합도가 개선되고 있음을 알 수 있다. 즉, 지가의 경우 상호 영향력이 미치는 공간범위를 좁게 설정할수록 전반적으로 정확한 가격추정이 가능한 것으로 해석된다.

(2) 임계치 설정 여부에 따른 모형 적합 결과

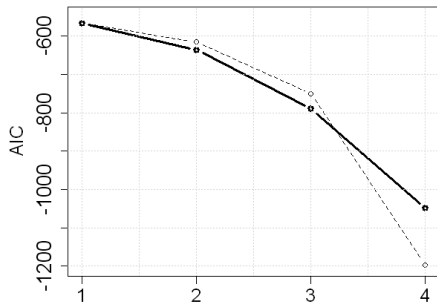
지가의 영향력이 미치는 공간범위를 좁게 설정할수록 모형 개선에 유리하다면, 공간가중행렬 구성시 전체 관측치에 대해 공간관계를 정량화하는 대신 일

동구

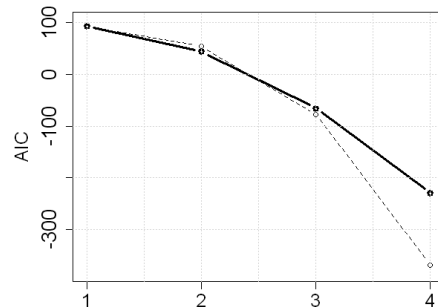


* (x축) 1: OLS 모형, 2: $\frac{1}{\sqrt{d_{ij}}}$ 기준 모형, 3: $\frac{1}{d_{ij}}$ 기준 모형, 4: $\frac{1}{d_{ij}^2}$ 기준 모형 (이하 동일)

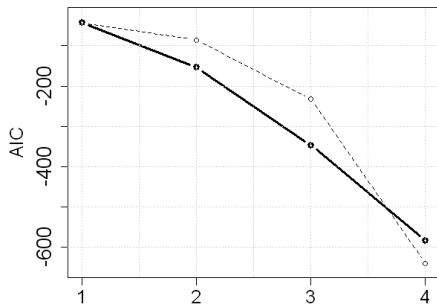
남구



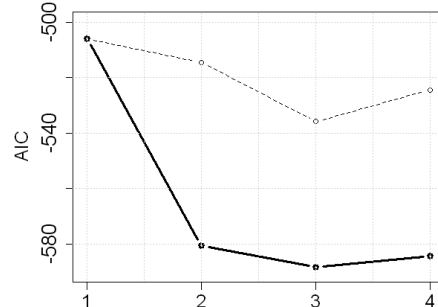
서구



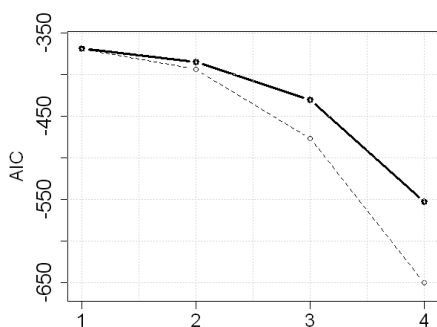
부평구



계양구



남동구



연수구

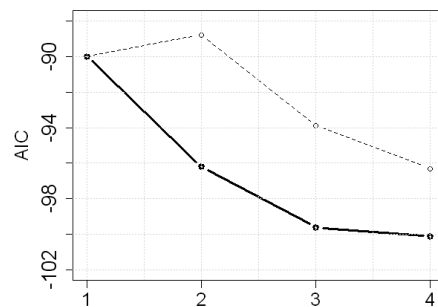


그림 4. 거리조락함수에 따른 모형 적합도

정한 임계치를 설정하여 임계치보다 멀리 떨어진 관찰치에 대해서는 아예 가중치 0을 부여할 수도 있다. 즉, 모형 적합시 가중치 계산에서 처음부터 제외하는 것으로, 선행연구의 경우에서도 이러한 방법을 활용한 예가 있다(서경천 외, 2001; 안지아 외 2005).

본 연구에서는 7개 지역에 대해 OLS 모형의 잔차를 대상으로 베리오그램(variogram)을 적합시켜 적절한 임계치를 설정하였다⁹⁾. 7개 지역 중 경험적 베리오그램(empirical variogram)에 대해 이론적 베리오그램(theoretical variogram)이 비교적 잘 들어맞는 지역은 동구, 연수구였으며 여타 지역은 이론적 베리오그램을 쉽게 찾을 수 없었다.

베리오그램 적합이 수월한 지역들은 해당 베리오그램상의 상관거리(range, 동구 570m, 연수구 820m)를 임계치로 설정하여 공간회귀모형을 적합시킨 결과, 사용한 거리조락함수 형태($1/\sqrt{d_{ij}}$, $1/d_{ij}$, $1/d_{ij}^2$)에 관계없이 앞 절의 결과보다 모형 적합도가 일관되게 개선되었다. 반면 베리오그램 적합이 어려운 지역은 여러 가지 다양한 값의 임계치를 적용(200m 단위로 적용)한 결과, 사용한 거리조락함수에 따라 악화 또는 개선되는 등 일관성을 찾을 수 없었다. 그림5는 임계치 설정으로 모형 적합도가 개선된 2개 지역 AIC 값의 변화를 보여준다.

또한 베리오그램에서 파악된 공간적 연관성의 정도를 거리조락함수에 추가 반영한 결과는 그림5 하단의 5번 모형(상관계수(ρ) 기준 모형)과 같다. 즉 5번 모형은 아래 식(6)의 베리오그램으로부터 식(7)과 같은 상관관계 계수를 산출하고(Geris et al., 2004), 이 상관관계 계수를 거리조락함수(공간가중행렬의 가중치)로 사용하였다.

$$\gamma(d) = 1/[2N]\sum(y_i - y_j)^2 \tag{6}$$

$$\rho(d) = 1 - \gamma(d)/\sigma^2 \tag{7}$$

식(6)은 거리 d만큼 떨어진 관찰치에 대해 관찰값 차이의 제곱합 계산을 나타내며, N은 거리 d만큼 떨어진 관찰치쌍의 수를 의미한다. 식(7)에서 σ^2 은 분산(variance), 즉 베리오그램에서의 문턱값(sill)을 나타낸다.

표 4는 식(7)에 기초하여 산정한 공간가중행렬의 가중치(상관계수 값)를 보여준다.

동구는 상관거리 570m를 경계로 이보다 가까운 거리에서 지가의 공간적 종속성이 존재한다고 해석할 수 있으며, 특히 약 130m 이내 거리에서 지가 간 상관관계수 $\rho=0.46$ 으로 비교적 강한 종속성을 보이고 있다. 연수구의 경우에도 상관거리 820m를 경계로 이보다 가까운 거리에서 지가 간 종속성이 내재하며, 약 190m 이내 거리에서 상관관계수 $\rho=0.40$ 의 비교적 뚜렷한 종속성을 보이고 있다. 두 지역 모두 상관거리를 초과하는 관찰치에 대해서는 가중치 0을 부여하였다.

베리오그램상의 상관거리(range)를 임계치로 설정하여 거리조락함수를 적용한 결과 동구 및 연수구 모두 모형 적합도가 일관되게 개선되었으며(그림 5), 특히 거리조락의 효과를 $1/\sqrt{d_{ij}}$, $1/d_{ij}$, $1/d_{ij}^2$ 과 같이 확실히 설정하지 않고 베리오그램에서 파악된 거리에 따른 지가 상관성(ρ)을 반영한 결과 모형 적합도가 추가적으로 개선되었음을 알 수 있다(그림 5 하단의 5:상관계수(ρ) 기준 모형).

표 4. 거리에 따른 상관계수 값

지역	상관계수 ρ (적용거리)				
	0.46(~130m)	0.34(~230m)	0.16(~350m)	0.05(~460m)	0.03(~570m)
동구	0.46(~130m)	0.34(~230m)	0.16(~350m)	0.05(~460m)	0.03(~570m)
연수구	0.40(~190m)	0.22(~340m)	0.18(~510m)	0.11(~670m)	0.01(~820m)

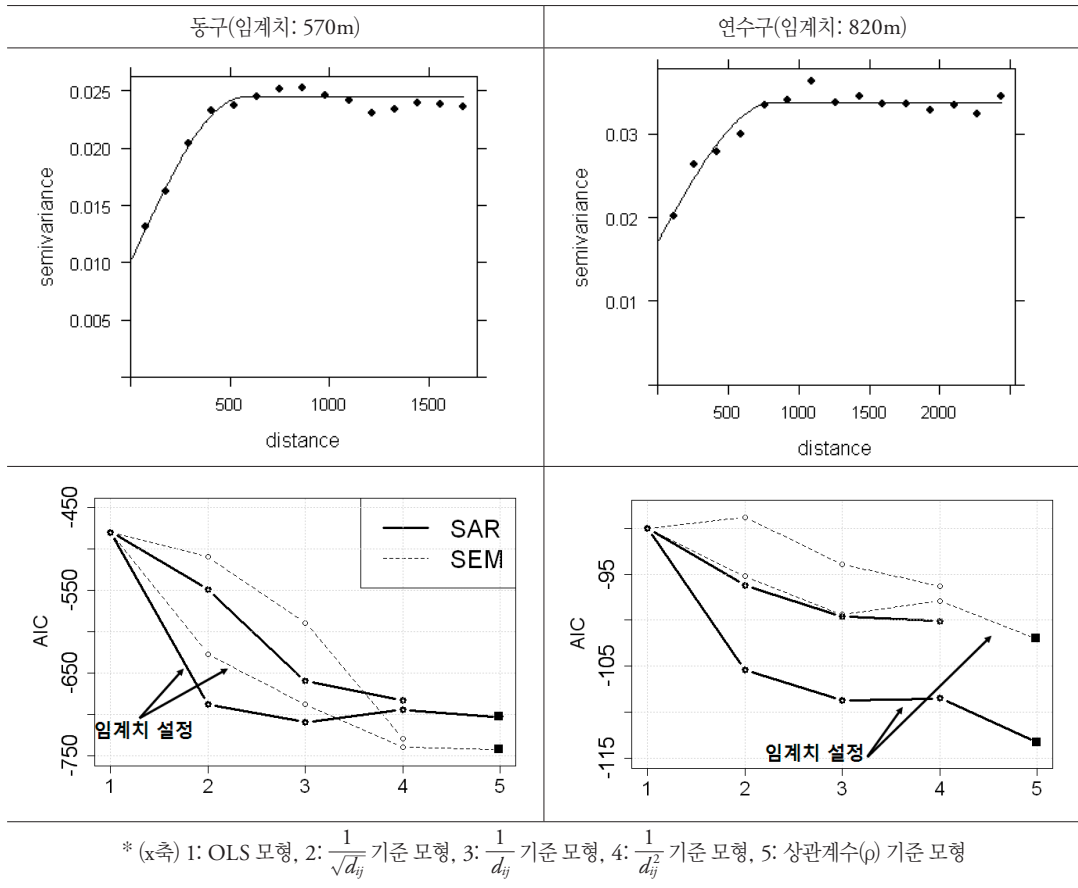


그림 5. 임계치 설정 후 모형 적합도

4. 분석결과의 고찰

1) 공간가중행렬의 선택

공간가중행렬 구성에서 거리조락함수의 기울기를 가파르게 구성할수록, 즉 지가의 상호작용 범위를 좁게 설정할수록, 지역에 관계없이 모형 적합도가 개선되었음을 확인할 수 있었다. 이는 인근지역이 어떠한 특성을 갖는지에 상관없이, 적어도 지가 분석의 경우 인근지역 범위를 엄격하게 해석하는 것이 공간회귀 모형 적합에 보다 유리함을 시사하는 것이다.

다만 7개 분석지역 중 계양구의 경우 거리조락함수

를 $1/d_{ij}$ 에서 $1/d_{ij}^2$ 로 바꾸었을 경우 오히려 모형 적합도가 악화되었다(그림 4). 이는 계양구의 경우 지가의 상호작용 범위가 비교적 넓다고 해석할 수도 있고, 계양구만의 특수한 중요 설명변수가 누락된 것으로 받아들일 수 있다. 그러나 인근지역 범위를 좁게 설정할 수록 모형 적합도가 나아지는 전반적 경향은 다른 지역과 유사한 편이다.

연수구의 경우도 특기할만한 사항이 발견되었는데, OLS 모형에서 SEM 모형으로 바꾸었을 경우(거리조락함수: $1/\sqrt{d_{ij}}$), 모형 적합도가 근소하나마 오히려 악화되었다. 이는 OLS 모형보다 공간회귀모형의 가격 설명력이 우수하다는 결론을 내린 대부분의 선행연구 결과와 상반되는 것이다. 그러나 Kissling

et al. (2008)은 공간적 자기상관성을 갖도록 데이터를 임의생성 후 총 3,240개의 공간회귀모형을 적합시킨 결과에서 일부 시뮬레이션에서는 OLS 모형이 공간회귀모형보다 우수하게 나타났음을 밝힌 바 있다. 즉, 공간회귀모형이라고 하여 OLS 모형보다 항상 설명력이 높은 것은 아니며, 인근지역의 특성 등에 따라 선택 가능한 최적 모형이 달라질 수 있음을 의미한다.

앞 장에서 거리조락함수 이외에 임계치 설정 여부에 따른 모형 적합도를 함께 검토하였으며, 공간통계기법의 하나인 베리오그램을 통해 OLS 잔차에 대한 적정 상관거리를 찾아 이를 임계치로 사용하였다. OLS 잔차를 대상으로 한 상관거리는 지가형성의 상호작용이 발생하는 공간적 범위라고 해석할 수 있기 때문이다. 일부 선행연구(김성우, 2010)에서는 임계치를 설정하는 경우 과도하게 공간적 상호작용 범위를 축소시키므로 분석에 투입된 전체 관측치에 대해 공간가중행렬을 구성하는 것이 바람직하다는 의견을 제시하였다. 본 연구의 경우 OLS 잔차에 대한 상관거리 파악이 어려운 지역(남구, 서구, 부평구, 계양구, 남동구)에서는 임계치를 설정한다고 하여 반드시 모형 적합도가 개선되지는 않았으며, 이는 지역 내 이질적인 하부시장의 존재, CBD(Central Business District)나 지가 중심점과의 근접성 등 다양한 지역 특성(공간적 이질성)이 통제되지 않았기 때문인 것으로 풀이된다.

반면 OLS 잔차에 대한 상관거리가 비교적 명확하게 드러나는 지역(동구, 연수구)은 임계치를 설정함으로써 모형의 적합도를 높일 수 있었다. 또한 베리오그램에서 파악된 공간적 연관성을 상관계수(ρ)로 수치화한 후 이를 거리조락함수로 활용한 결과 모형의 적합도를 보다 높일 수 있었다. 따라서 임계치 설정 여부, 거리조락함수 형태의 결정 등도 인근지역의 특성 등에 따라 개별적으로 판단되어야 할 사항이라 할 수 있다.

임계치를 설정하여 공간가중행렬을 구성한다는 것은 일정 거리 이상의 관측치에 대해서는 지가의 상호작용이 없다고 간주하는 것으로, 이러한 가정이 실제 현실과 부합되는 경우 모형의 적합도를 높일 수 있을 뿐 아니라, 지가의 상호작용 거리를 구체적으로 가늠

할 수 있게 된다. 또한 컴퓨터 계산량을 상당히 줄일 수 있다는 부차적인 이점도 있다.

예를 들어 인천 동구의 경우 분석에 사용된 표준지는 598 필지로서 전체 관측치에 대해 공간가중행렬을 구성할 경우 598×598 행렬이 되며, 계산하여야 할 공간가중치는 357,006개가 된다($598 \times 598 - 598$). 그러나 동구의 경우 적정한 임계치를 570m로 파악하여 이를 기준으로 공간가중행렬을 구성한 결과, 모형 적합도를 높일 수 있었고 대상지역의 지리적 전체 범위(동서 약 4,500m, 남북 약 3,000m) 중에서 약 570m 거리까지 지가의 상호작용이 일어나고 있음을 가늠할 수 있다. 또한 570m 범위 내에 있는 85,214개의 공간가중치만 고려하게 되어 전체 관측치에 대해 계산하는 것보다 약 76% 계산량을 줄일 수 있었다.

마지막으로 그림 5의 2개 지역 임계치를 살펴보면, 동구 570m, 연수구 820m로서 이는 분석의 대상으로 삼은 지역의 전체 크기에 주로 영향을 받는 것으로 보인다. 분석의 지역 단위를 본 연구처럼 시군구로 정한 서경천 외(2001)의 연구에서는 500m, 광역시·도로 정한 경우에는 3km, 5km 등으로 임계치가 나타났기(안지아, 2005; 허윤경, 2007) 때문이다. 이는 분석의 지역 단위를 주로 행정구역에 의존해서 정하는 기준의 연구관행에 시사하는 바가 크다. 즉, 공간회귀모형 결과에 기초해서 지가의 상호작용이 발생하는 범위라던가 부동산 하부시장의 공간적 범위 등을 언급할 때에는 자신이 선택한 공간 스케일(spatial scale)의 맥락 하에서만 그러한 언급이 유효하다고 할 수 있다.

2) 공간회귀모형 종류의 선택

본 연구에서는 다양한 공간회귀모형 종류 중 특히 SAR 모형과 SEM 모형을 적합시켜 그 결과를 살펴 보았다. 그림 4를 보면 어떠한 거리조락함수를 사용했는지에 따라 SAR 모형과 SEM 모형 간 우선 순위가 달라짐을 알 수 있다. 즉, 공간가중행렬 구성에 따라 최적 모형 선택이 달라진다. 그러나 7개 지역 중 남동구의 경우에는 SEM 모형이, 계양구 및 연수구의 경우에는 SAR 모형이 공간가중행렬 구성 방식에 상관 없이 일관되게 더 낮은 AIC값을 보였다.

식(4)의 SAR 모형식에서 ρ 는 공간적 종속성을, 식(5)의 SEM 모형식에서 λ 는 공간적 이질성을 나타내는 척도이다. 공간적 종속성은 지가형성의 당연한 특징이라 할 수 있으나, 공간적 이질성은 대상 지역의 지가형성과정이 세부 공간마다 상이함을 의미한다. 다시 말해 선행연구 검토에서 언급하였듯, 어떤 지역의 공간적 이질성은 가격 수준이 상이한 하부시장의 존재, 분석 목적에 적합하지 않은 공간 스케일의 선택 등이 그 원인일 수 있다.

그림 4에서 남동구는 SEM 모형이 일관되게 우수한 것으로 나타났는 바, 남동구의 경우 공간적 이질성이 심한 하위 지역을 하나의 분석 단위로 묶어 발생한 현상이라고 추론할 수 있다. 이러한 추론이 합리적이라면 남동구를 보다 하위의 인근지역으로 분류할 경우 공간적 이질성이 어느 정도 완화되어 SAR 모형이 상대적으로 우수하게 나타나야 할 것이다.

본 연구에서는 군집분석을 통해 남동구 지역을 2개의 인근지역으로 분류하였으며, 그림 6은 남동구 소재 표준지(1,164 필지)를 2개 인근지역으로 분류하여 표시한 결과이다¹⁰⁾.

북서쪽 인근지역(A)은 인천시청, 버스터미널, 대형마트 등이 소재하는 비교적 지가수준이 높은 남동구의 중심지역이고, 남동쪽 인근지역(B)은 주택, 공장,

농경지 등이 혼재하는 외곽지대로 간략하게 기술할 수 있다. 분류 결과는 법정동과 일치하지 않으며, 시내 가로망, 남동구를 통과하는 고속국도 및 임야지대와 일부 일치하는 측면이 있다.

두 인근지역에 대해 공간회귀모형을 적합시킨 결과는 그림 7과 같으며, 인근지역 A, B 모두 SAR 모형이 전반적으로 우수한 것으로 나타났다. 이는 그림 4의 남동구 전체 경우처럼 일관되게 SEM 모형이 우수하게 나타난 것과 대조를 이룬다.

따라서 SEM 모형이 전반적으로 우수하게 나타난 지역의 경우 지역 내에서의 공간적 이질성이 심하고, 이는 하부시장이 존재함을 시사하는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 지역은 하부시장을 파악하여 보다 적절한 공간 스케일을 찾아 분석할 필요성이 있다.

그러나 반대 측면에서 보면, 하부시장 파악이 어렵거나 그러한 공간적 이질성을 초래한 원인 또는 설명 변수를 찾기 어려운 경우 이러한 지역에서는 SEM 모형이 가장 현실적인 대안인 것이다.

남동구와 대조를 이루는 연수구 및 계양구(SAR 모형 적합이 우수한 지역) 중, 남동구와 인접해 있으며 그림 5의 임계치 설정시에도 일관되게 SAR 모형 적합이 탁월하였던 연수구와 남동구의 표준지 공시지가 분포 현황을 비교하면 그림 8과 같다¹¹⁾.

그림 8(b)의 남동구는 북서쪽의 비교적 지가가 높은 지역과, 남동쪽의 그보다 지가가 낮은 지역으로 시각적인 구분이 가능하다. 반면 그림 8(c)의 연수구는 지역 전체적으로 지가수준이 큰 변화를 보이지 않으며, 다만 국지적으로 지가수준이 높은 지점(주로 전철역 인근)이 눈에 띈다. 남동구가 연수구보다 지가 분포의 공간적 이질성이 심하다는 사실은 그림 8(a)의 경험적 베리오그램을 통해서도 확인할 수 있다.

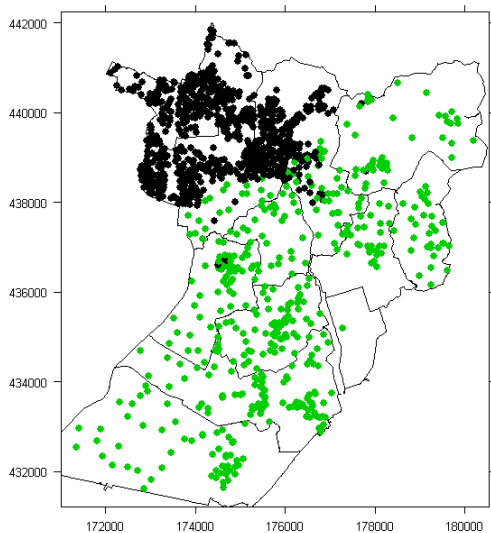


그림 6. 남동구의 인근지역 분류

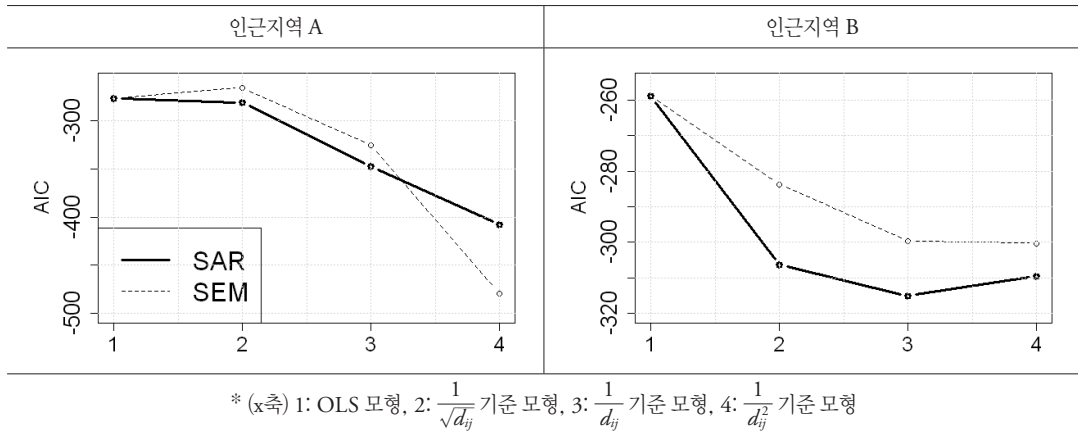


그림 7. 남동구 인근지역별 모형적합 결과

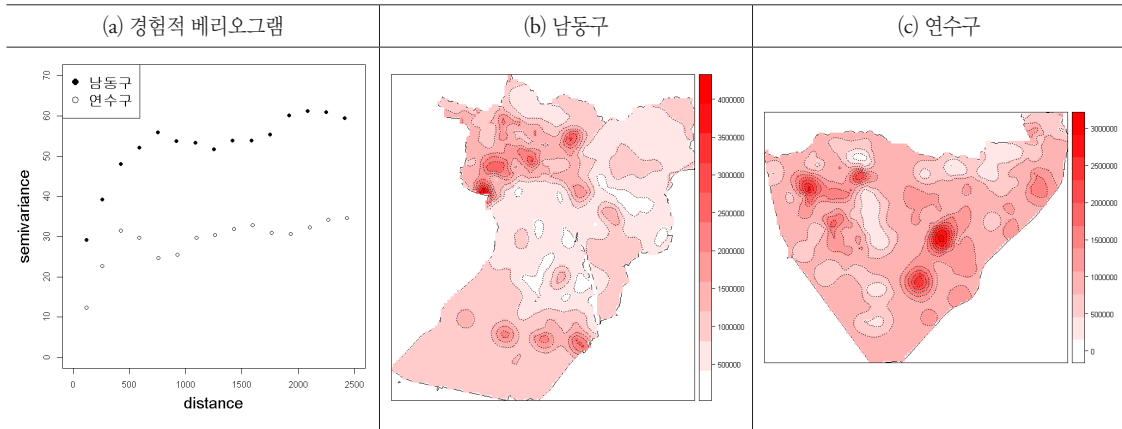


그림 8. 남동구 및 연수구의 지가분포 비교

5. 결론

공간회귀모형은 공간가중행렬을 통해 공간관계를 명시적으로 정량화한다는 점에서 타 모형과 뚜렷하게 구별되는 강점이 있는 동시에, 공간가중행렬 구성에 자의성이 개입된다는 약점을 가지고 있기도 하다. 본 연구에서는 이러한 문제의식을 기초로 공간가중행렬의 구성에 따라 모형 적합도가 어떻게 변화하는지 인천시를 사례로 실증적으로 검토하였다.

대부분 지역에서 인근지역 범위를 좁게 해석할수록 모형 적합도가 우수하게 나타나는 경향을 보였다.

또한 일부 지역(동구, 연수구)의 경우 특정 거리 이상에서는 지가의 상호작용이 없다고 간주하고, 해당 거리보다 멀리 떨어진 관찰치에 대해서는 공간가중치를 처음부터 부여하지 않는 것이 모형의 적합도를 높일 수 있었다. 그러나 여타 지역에서는 임계치를 설정하는 것이 전체 관측치에 대해 공간관계를 구조화하는 것보다 모형 적합에 보다 유리하다는 확정적인 증거를 찾지 못했다.

또한 본 연구는 공간회귀모형 발전의 이론적 동기가 된 공간적 종속성과 이질성에 초점을 맞추어 어떠한 인근지역에서 SAR 또는 SEM 모형이 보다 우수하

게 나타나는지 검토하였다. 지가의 공간분포 변동이 심한 지역, 즉 공간적 이질성이 심한 경우 SEM 모형이 보다 우수한 것으로 나타났고, 이러한 지역은 그러한 공간적 이질성을 야기한 원인을 찾아 제거하면 SAR 모형이 보다 우수한 모형이 될 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서는 사례지역 공간적 이질성의 원인을 지가수준이 상이한 하부시장의 존재로 파악하였다.

그러나 공간적 이질성은 하부시장의 존재뿐만 아니라 CBD나 지가 중심점과의 근접성, 고속도로·철도와 같은 건조물에 의한 지가 연속성의 단절, 산맥·하천과 같은 자연환경에 의한 사회·경제적 교류의 단절 등 여러 가지 요인에 의해 발생할 수 있다. 따라서 본 연구결과를 일반화하여 적용하기 위해서는 공간적 이질성을 야기하는 다양한 요인들을 어느 정도 통제할 연후에야 순수한 공간효과, 즉 공간적 종속성을 신뢰성 있게 분석할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 결과는 OLS 모형에 의해 가격을 결정하는 현행 공시지가 산정방식에 활용되어 가격의 정확성을 제고할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 적절한 하부시장 파악의 중요성을 부각시킴으로써 지가변동률, 아파트 실거래가지수, 상가 투자수익률 등 정부가 발표하는 각종 부동산 가격지표의 공간적 작성단위를 재검토하는 좋은 기회가 될 것으로 기대된다.

본 연구가 공간회귀모형 적용시 공간가중행렬 구성의 중요성을 다시 한번 부각시키고, 분석을 시작하기 전 적절한 공간 스케일을 찾는 작업이 필수적 절차를 환기시키는데 일조하기를 기대한다.

주

- 1) 이외도 공간가중치의 일반화된 개념이라 할 수 있는 커널 함수에서 사용되는 여러 함수 형태(Uniform, Triangle, Quartic, Triweight, Gaussian 등)가 존재한다(Waller & Gotway, 2004, pp.89-90, pp.130-134).
- 2) 비교적 단거리의 공간현상은 지수함수, 장거리는 멱함수의 형태가 바람직하다는 연구 결과(Fotheringham & O'Kelly, 1989, pp.12-13) 이후, 다양한 실증연구가 있었으

나(Johansson *et al.*, 2002; Vries *et al.*, 2005 등) 합의된 결론은 없다.

- 3) 공간가중행렬의 구성방법에 대해 명시적으로 밝힌 선행연구만 정리하였다.
- 4) 도서지방도 포함할 경우 이후 구성할 공간가중행렬에서 관측치 간 거리 분포범위가 과다하게 넓어지는 등 적정한 분석이 어려워진다. 따라서 본 연구에서는 내륙에 위치한 7개구(동구, 남구, 서구, 부평구, 계양구, 남동구, 연수구)만을 대상으로 하였다.
- 5) 표준지는 지역별 모집단(개별 필지)을 대표할 수 있도록 일정 원칙(대표성, 중용성, 안전성, 확정성)에 따라 선정하도록 되어 있는 바, 유형·공간분포 등의 측면에서 편중이 심한 토지 실거래가격보다 해당 지역의 모집단을 보다 잘 대표한다고 할 수 있다.
- 6) 종속변수는 총액이 아닌 단가(원/㎡)를 사용하였으므로(자연대수를 취한 값), 면적에 대한 회귀계수는 토지구모 증가에 따른 단가의 체감 또는 체증 현상을 나타낸다.
- 7) 동구: 섬에 위치한 1개 표준지 제외, 서구: 섬에 위치한 4개 표준지 제외, 연수구: 매립지에 위치한 송도국제도시(송도동) 제외.
- 8) 모형 간 또는 지역 간 비교의 용이성 등을 위해 일반적으로 공간가중행렬은 행표준화(row-standardization)를 하는데, 본 논문에서도 이러한 관행을 따랐다.
- 9) 베리오그램은 공간자료의 거리에 따른 상관관계를 해석하기 위한 공간통계기법의 하나이다. 본 연구에서는 등방성(isotropy)을 가정하였고, 이론적 베리오그램으로 구형 베리오그램(Spherical variogram)을 적합시켰다. 자세한 내용은 Isaaks & Srivastava(1989) 참조.
- 10) 군집의 수를 2개로 미리 정한 후, 표준지의 x, y 좌표값 및 공시지가를 기준으로 K-means 군집분석을 통해 인근지역을 분류하였다. 지리적으로 인근지역 B에 속한 일부 표준지가 인근지역 A로 분류되기도 했으나, 본 연구에서는 하위시장 분류에 따라 모형 적합도가 달리 나올 수 있다는 점을 보여주는 것이 초점이므로 최초의 지역 분류 결과를 수정 없이 그대로 사용하였다.
- 11) 표준지 공시지가를 대상으로 Ordinary Kriging 기법을 이용, 연속 표면을 구축하였다.

참고문헌

- 김성우, 2010, “공간계량모형에 따른 주택가격 추정에 관한 연구: 부산시 아파트 실거래가를 중심으로,” 한국공공관리학보, 24(3), 119-137.

- 남기찬·손지완·김홍석, 2008, “공간헤도닉 모형을 활용한 대기질 개선 편익 추정: 서울지역을 중심으로,” *대한국토·도시계획학회 추계학술대회*, 697-708.
- 박기호, 2004, “근린가중치행렬이 공간적 자기상관 추정에 미치는 영향: 서울시를 사례로,” *서울도시연구*, 5(3), 67-83.
- 박현수·정수연·노태욱, 2003, “공간계량경제모형을 이용한 아파트가격과 공간효과분석,” *국토계획*, 38(5), 115-125.
- 서경천·이성호, 2001, “공간적 자기회귀모델과 토지시장 분할에 의한 효율적 지가추정에 관한 연구,” *국토계획*, 36(4), 1-18.
- 서교, 2005, “헤도닉분석기법과 공간계량경제모형을 이용한 농촌지역 지가의 영향인자 분석,” *농촌계획*, 11(3), 11-17.
- 송용철·박현수, 2012, “공간계량경제 접근방법을 이용한 농지가격추정에 관한 연구: 수도권 근교농지를 중심으로,” *국토연구*, 72, 121-140.
- 안지아·박현수, 2005, “공간중속성을 이용한 아파트 가격의 공간효과에 관한 연구,” *대한국토·도시계획학회 정기학술대회*, 957-965.
- 이정섭·김영래, 2012, “여가이동에 영향을 미치는 공간적 특성과 효과: 공간의 자기상관성과 공간회귀 분석 적용,” *관광학 연구*, 36(9), 221-240.
- 최열·이백호, 2006, “공간자기상관과 주변 용도지역에서 접근성을 고려한 주거지 내 지가 추정에 관한 연구,” *국토계획*, 41(5), 45-60.
- 허윤경, 2007, “도시별 주택가격의 공간적 영향력 검증: 서울과 부산의 아파트 가격을 중심으로,” *주택연구*, 15(4), 5-23.
- 허윤경·김성진, 2008, The Estimation of Spatial Effects of the Office Rent in Seoul, *국토연구*, 58, 195-208.
- Anselin, L., 1988, *Spatial Econometrics: Method and Models*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Dube J., Legros D., 2013, A spatio-temporal measure of spatial distance: An example using real estate data, *Papers in Regional Science*, 92(1), 19-31.
- Fotheringham, A. S. and O’Kelly, M. E., 1989, *Spatial Interaction Models: Formulations and Applications*, Kluwer, Dordrecht.
- Getis, A., Aldstadt, J., 2004, Constructing the Spatial Weights Matrix Using a Local Statistic, *Geographical Analysis*, 36(2), 90-104.
- Guo, L., Ma, Z., Zhang, L., 2008, Comparison of bandwidth selection in application of geographically weighted regression: a case study, *Canadian Journal of Forest Research*, 38, 2526-2534.
- Halas, M., 2012, Distance decay function and its application in the territory of the Czech Republic, *AUPO Geographica*, 43(1), 51-60.
- Isaaks, E. H. and Srivastava, R. M., 1989, *An Introduction to Applied Geostatistics*, Oxford University Press, New York.
- Johansson, B., Klaesson, J. and Olsson, M., 2002, Time distances and labor market integration, *Papers in Regional Science*, 81(3), 305-327.
- Kissling W. D. and Carl, G., 2008, Spatial autocorrelation and the selection of simultaneous autoregressive models, *Global Ecology and Biogeography*, 17, 59-71.
- Lacombe, D. J., Holloway, G. J. and Shaughnessy, T. M., 2012, Bayesian Estimation of the Spatial Durbin Error Model with an Application to Voter Turnout in the 2004 Presidential Election, *International Regional Science Review* (first published on Aug. 1, 2012).
- Lee, L., 2007, Identification and Estimation of Spatial Econometric Models with Group Interactions, Contextual Factors and Fixed Effects, *Journal of Econometrics*, 140(2), 333-374.
- Parent O., Hofe R., 2013, Understanding the impact of trails on residential property values in the presence of spatial dependence, *Annals of Regional Science*, 51, 355-375.
- Stakhoych, S. and Bijmolt, T., 2008, Specification of spatial models: A simulation study on weights matrices, *Papers in Regional Science*, 88(2), 389-408.
- Vries, J., Nijkamp, P. and Rietveld P., 2005, Exponential or power distance-decay for commuting? An alternative specification, *45th Congress of the European Regional Science Association*.
- Waller, L. A. and Gotway, C. A., 2004, *Applied Spatial Sta-*

tistics for Public Health Data, John Wiley & Sons,
Hoboken, New Jersey.

Seoul National University, 599, Gwanangno, Gwanak-gu,
Seoul 151-742, Korea (e-mail: khp@snu.ac.kr, phone: +82-
2-880-6453, fax: +82-2-876-9498)

교신: 박기호, 151-742, 서울시 관악구 관악로 599, 서울
대학교 지리학과(이메일: khp@snu.ac.kr, 전화: 02-880-
6453, 팩스: 02-876-9498)

Correspondence: Key Ho Park, Department of Geography,

최초투고일 2013. 10. 17

수정일 2013. 12. 9

최종접수일 2013. 12. 12