

주택시장지역 구획을 위한 공간 최적화 모형*

김감영**

A Spatial Optimization Model for Delineating Housing Market Areas*

Kamyoung Kim**

요약 : 국지적 스케일에서 작동하는 주택시장의 공간성을 반영하는 개념 중 하나가 주택시장지역(housing market area, HMA)이다. 주택시장의 역동성을 분석하고 주택 수요와 공급에 대한 체계적인 계획 수립을 위한 틀을 제공하기 위해서는 먼저 HMA를 구획할 필요가 있다. 본 연구의 목적은 HMA 구획을 위한 혼합 정수 계획법(mixed integer programming, MIP) 형태의 공간 최적화 모형을 개발하는 것이다. HMA 구획을 위한 가장 중요한 기준은 HMA의 내적 응집력을 의미하는 자족성이다. 구획된 HMA 전체를 대상으로 평가되는 전역적 자족성을 목적함수 형태로, 개별 HMA 별로 평가되는 국지적 자족성을 제약조건 형태로 고려하였다. 서울시 구별 인구가동을 사례로 개발된 최적화 모형을 적용한 결과 2010년의 경우 공급-측면 및 수요-측면 자족도 수준이 0.70일 때 3개, 0.65일 때 4개의 HMA가 구획되었다. 휴리스틱 기법인 Intramax 결과와 비교한 결과 첫째, Intramax와는 달리 MIP 접근을 통하여 얻은 HMA는 계층적으로 조직되지 않았다. 둘째, Intramax 결과는 국지적인 해인데 반하여, MIP 결과는 전역적 최적해였다. 셋째, 전역적 자족도의 극대화가 반드시 모든 HMA에서 국지적 자족도의 향상을 가져오지는 않았다. 이러한 결과는 HMA의 구조를 보다 명확하게 이해하기 위해서는 MIP 접근이 필요하며, HMA 구획 방법론으로서 Intramax 접근이 분명한 한계를 갖는다는 것을 의미한다.

주요어 : 주택시장지역, 자족도, 인구가동, 혼합 정수 계획법(MIP), Intramax

Abstract : Housing market area (HMA) is a concept to reflect the spatiality of housing markets which are locally operated. Delineating HMA is required in order to analyze the dynamics of housing markets and to establish systematic plans for supply and demand of houses. The purpose of this study is to develop a spatial optimization model for delineating HMA in terms of mixed integer programming (MIP). The most important criterion for delineating HMA is the self-containment which means the internal cohesion of HMA delimited. In the MIP model, global self-containment evaluated for all delineated HMAs is considered as an objective function and local self-containment for individual HMA is considered as constraints. The developed MIP model was applied to migration between GUs of Seoul. 3 HMAs were delineated when supply-side and demand-side self-containments are 0.70 and 4 HMAs when both values are 0.65. MIP results were compared with those of Intramax. First, in MIP approach, HMAs were not organized hierarchically in contrast to the results of Intramax. Second, while Intramax found local optima, MIP approach always found the global optima when feasible solutions exist. Third, maximizing the global self-containment does not guarantee the improvement of local self-containment in all HMAs. These findings demonstrate that MIP approach is necessary to more clearly understand the structure of HMAs and Intramax as a HMA delineation approach has a clear limitation.

Key Words : Housing market area (HMA), Self-containment, Migration, Mixed integer programming (MIP), Intramax

*이 논문은 2013년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2013S1A5A8020533).

**경북대학교 지리교육과 부교수(Associate Professor, Department of Geography Education, Kyungpook National University, kamyoungkim@knu.ac.kr)

I. 연구 배경 및 연구 목적

현대 사회에서 주택은 거주지로서의 사용가치라는 본연의 의미뿐만 아니라 자본축적의 수단이라는 교환가치의 의미를 함께 지니고 있다(Kaplan *et al.*, 2014). 주택의 수요와 공급, 이 과정에서 나타나는 주택의 가격 변동은 주된 사회문제 중 하나로 인식되고 있으며, 중앙정부뿐만 아니라 지방정부 차원에서 주요 정책의 대상이 되었다(하성규, 2010). 특히 최근 주택 경기 침체는 사회적, 정치적이슈가 되면서, 취득세 감면, 부채상환비율 완화 등이 주택 및 부동산 경기 활성화를 위한 정책으로 제시되고 있다(주택산업연구원, 2010). 이러한 주택 관련 정책은 국가적 수준 혹은 광역자치단체와 같은 지역적 수준에서 적용되어 국가 혹은 지역 전반의 경기 부양을 유도하고 있다. 그러나 국가 혹은 지역 내의 주택 특성, 가격 구조, 수요 특성이 상이한 이질적인 성격을 지닌 하위지역 혹은 국지적 주택시장에서도 이러한 전역적 수준 정책의 효과가 동일하게 나타나는지는 의문이다.

이러한 의문 해결을 위한 출발점은 주택시장을 진단하고 정책적 대안을 제시하는데 있어 작동하는 주택 체계의 복잡한 공간성을 파악하는 것이다(Jones and Watkins, 2009). 구체적으로 말하면 국지적인 주택시장 평가 및 정책적 대안 제시를 위해서는 먼저 '시장(market)'의 정의가 선행되어야 하는데, 이때 주택 체계는 특정 지역을 기반으로 공간적 맥락에서 작동한다(O'Sullivan *et al.*, 2004:41). 주택시장의 이러한 성격으로 인하여 최근 국가 혹은 지역 수준의 주택시장 관점보다는 하위지역 혹은 국지적 수준의 주택시장 관점이 각광을 받고 있는데, 이는 주택시장이 작동하는 메커니즘이 하위지역 혹은 국지적 수준에서 현저하게 발현된다는 사실을 반영한다(이상일 등, 2012). 국지적 수준에서 주택시장의 공간성을 반영하는 개념 중 하나가 주택시장지역(housing market area, HMA)이다.

HMA에 대한 다양한 정의가 제시되었지만(이상일 등, 2012), '거주지를 옮기는 대부분의 가구가 직업을 바꾸지 않고 대안적인 거주지를 탐색하는 연속적인 지리적 영역'(O'Sullivan *et al.*, 2004:42)으로 정의될 수 있으며, '주택 가격이 결정되는 시장 영역'(Brown and Hincks, 2008:2228)이라 할 수 있다. 최근까지 많은 경우 지방 행정구역 경계를 HMA로 간주하곤 하였다. 지방 행정구역은 분명하고 명확하며, 해당 수준에서 데이터의 이용가능성이 높다는 장점이 있지만, 주택 체계가 작동하는 어떠한 기능적 의미

도 제공하지 않을 수 있다(Jones, 2002). 왜냐하면 가구는 주택과 관련한 의사결정을 내릴 때 행정구역 자체에 그렇게 많은 관심을 두지 않기 때문이다(O'Sullivan *et al.*, 2004). 이러한 상황에서 거주지 이동의 흐름은 폭 넓게 정의된 시장지역 내에서 주택에 대한 수요와 공급의 상호작용 결과로 보는 것이 타당하다. 따라서 주택시장지역의 정의는 행정 경계가 아닌 소비자의 행태에 대한 관찰에 근거해야 한다(Meen and Meen, 2003; DTZ Pieda, 2004). 결과적으로 HMA의 추정치로 행정구역 경계를 사용하는 것은 주택시장 분석을 통하여 제시된 정책의 타당성을 떨어뜨리거나 예상하지 못한 결과를 만들어 낼 수 있다(Goodman, 1998).

주택시장의 작동원리를 파악하여 주택 수요와 택지 요구에 대한 보다 전략적이고 장기적인 계획을 수립하기 위해서는 먼저 HMA의 확인이 선행되어야 한다(ODPM, 2005). 즉 기능지역의 하나인 HMA를 구획하는 것은 주택시장의 역동성 분석, 주택시장 평가, 체계적인 계획 수립을 위한 틀을 제공하는데 있어 첫 번째 단계이다(Jones, 2002; DTZ Pieda, 2004). 이러한 문제의식 하에 최근 여러 연구들이 기존의 행정구역을 사용하는 대신에 새로운 HMA의 구획을 시도하였다. HMA 구획과 관련된 대부분의 학문적 연구는 유럽을 중심으로 이루어졌다(Jones, 2002; Coombes *et al.*, 2006; Brown and Hincks, 2008; Royuela and Vargas, 2009). 이들 연구들은 상품의 가격이 공간적으로 균등해지는 과정인 '공간적 아비트리지(spatial arbitrage)'(Jones, 2002:552) 개념을 주택시장 구분의 기저 원리로 삼았고, 주택시장에서 수요와 공급 간의 관련성을 반영해주는 현상으로 거주지 이동에 주목하였다. 최근 들어 몇몇 연구들은 HMA와 노동시장지역(labor market area, LMA) 사이의 유사성과 상호관련성을 논의하기 시작하였다(Hincks and Wong, 2010; Hincks, 2012; Hincks and Baker, 2012; Jones *et al.*, 2012). HMA와 LMA의 상호관련성을 파악하고자한 이러한 연구들의 출발점은 LMA는 거주지 이동 데이터가 아닌 통근 데이터를 바탕으로 구획되지만, HMA와 같이 공간 시장지역으로 동일한 공간 아비트리지 원칙에 기반을 두고 있다는 사실이다(Jones and Watkins, 2009). 한국의 경우 HMA 구획에 대한 연구는 시작 단계로, 기존에 제시된 구획방법론을 한국 사례에 적용하거나(Jaegal, 2012), 대안적인 구획 알고리즘을 제시하는 연구(이상일 등, 2012), 지역 부동산시장의 미시적 동태분석과 모형구축을 위한 출발점으로 HMA를 구획하

는 연구(박천규 등, 2013) 등이 제한적으로 이루어졌다.

이들 연구들은 HMA 구획을 위하여 행정구역 단위로 집계된 거주지 이동 데이터를 활용하였다. 구획방법론으로 Intramax (Masser and Brown, 1975; Hirst, 1977)와 같은 목적함수 기반의 계층적 합역 알고리즘(박천규 등, 2013; Goetgeluk and de Jong, 2006; Brown and Hincks, 2008; Mitchell and Watts, 2010; Jaegal, 2012)이나 규칙 기반의 반복적 합역 알고리즘(Jones 2002; Coombes *et al.*, 2006; Royuela and Vargas, 2009; Hincks and Wong, 2010; Hincks, 2012; Hincks and Baker, 2012; Jones *et al.*, 2012) 등을 활용하였다. 이러한 방법론들은 구획문제에 대한 휴리스틱 접근으로 빠르게 준최적(sub-optimal) 해를 찾을 수 있고, 구획문제와 관련한 다양한 기준들을 손쉽게 결합할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 목적함수 기반의 계층적 합역 알고리즘의 경우 한번 결합된 기본 공간 단위들은 이후 과정에서 다시 분리되지 않기 때문에 국지적 해(local optima)에 빠질 가능성이 높다(Alvanides *et al.*, 2000). 또한 목적함수 기반의 계층적 합역 알고리즘은 구획 전체에 대한 목적함수를 갖는 반면, 개별 HMA의 자족성(self-containment) 기준을 평가하는 조건을 가지고 있지 않다. 한편 규칙 기반 반복적 합역 알고리즘은 개별 HMA 수준에서 자족성 기준을 만족시키는 방식으로 기본 공간 단위들을 합역해 나가지만, 전체를 아우르는 목적함수를 가지고 있지 않다. 따라서 구획된 결과가 자족성 기준을 만족시키는 상황에서 내부이동 비율을 향상시키는 해가 존재할 가능성이 있다. 한편 목적함수 기반의 계층적 합역 알고리즘의 경우 암묵적으로 HMA가 계층적으로 조직화된다는 것을 가정한다. 알고리즘이 계층적이기 때문에 이를 이용하여 구획한 HMA는 계층적으로 나타날 수 밖에 없다. 그러나 이러한 가정이 타당한지는 검증할 필요가 있다. 따라서 HMA 구획의 가장 중요한 기준인 자족성을 전역적으로뿐만 아니라 국지적으로 적용할 필요가 있다. 또한 HMA가 공간적으로 조직되는 방식에 대한 이해를 위해서는 정해(exact solution)를 찾는 공간 최적화 접근이 요구된다.

본 연구의 목적은 HMA 구획을 위한 혼합 정수 계획법(mixed integer programming, MIP) 형태의 공간 최적화 모형을 개발하는 것이다. 공간적으로 연속적인 영역을 구분하는 HMA 구획은 모든 기본 공간 단위들을 포괄적으로 그리고 배타적으로 소수의 구역에 할당한다는 점에서 구획문제(districting problem)의 하나로 볼 수 있다. 구획문제의 기본 틀 속에서 HMA 구획을 위하여 가장 중요한 기준

인 전역 및 국지적 자족성을 수학적으로 정의한 후 각각 목적함수와 제약조건 형태로 반영한다. 2장에서는 HMA 구획을 위한 기준인 자족성을 개념적, 수학적으로 정의하고, 3장에서는 MIP 관점에서 정의된 HMA 구획을 위한 공간 최적화 모형을 제시한다. 4장에서는 서울을 사례로 개발된 MIP 모형을 평가한다. HMA 구획에서 MIP 접근의 필요성과 HMA의 구조에 대한 분명한 이해를 위하여 HMA 구획에서 널리 적용되어 온 목적함수 기반의 계층적 합역 알고리즘인 Intramax 결과와 MIP 결과를 비교 서술한다.

II. HMA 구획을 위한 기준: 자족성

자족성은 구역의 내적 응집력 정도를 나타내는 것으로, 주로 인구이동 데이터를 이용하여 해당 HMA에서 기원하여 해당 HMA에 정착한 인구이동의 비율이 얼마나 되는지로 평가된다(Jones, 2002). 자족성이 높은 HMA를 구획하는 것이 목표이다. 자족성이 높다는 것은 인구이동 측면에서 HMA의 내적 응집력이 HMA 간의 외적 연결성보다는 크다는 것을 의미한다. 다시 말해서, 내부이동량이 HMA의 권역 경계를 넘는 이동량보다 높아야 자족성이 높아진다.

이러한 자족성 개념은 전역적 수준과 국지적 수준으로 구분할 수 있다(이상일 등, 2012). 전역적 수준의 자족성은 총 이동 중에서 구획된 HMA 전체를 대상으로 평가된 내부이동 비율을 의미한다. 목적함수 기반의 계층적 합역 알고리즘이 전역적 수준의 자족성에 기초하고 있다. 전역적 수준의 자족성은 구획할 HMA의 수와 반비례 관계를 보여, HMA의 수가 줄어들수록 전역적 수준의 자족성이 높아진다(이상일 등, 2012; 박천규 등, 2013; Jaegal, 2012). 전역적 자족성은 구획된 HMA 전체를 대상으로 평가되기 때문에 목적함수 형태로 최적화 모형에서 고려될 수 있다.

국지적 수준의 자족성은 개별 HMA 별로 평가된 것으로 HMA 개수가 m 개이면, m 개의 국지적 수준의 자족성 측정치가 존재하게 된다. 국지적 수준의 자족성은 다시 공급-측면(supply-side) 혹은 목적지-기반(destination-based) 자족성과 수요-측면(demand-side) 혹은 기원지-기반(origin-based) 자족성으로 구분할 수 있다(O'Sullivan *et al.*, 2004; Brown and Hincks, 2008; Young *et al.*, 2010). 공급-측면의 자족성은 한 HMA에서 이주해 나간 사람 중에서 동일 HMA에 정착한 비율을 의미한다. 즉 한 HMA 밖의 목적지

(destination)로 이주하기 보다는 해당 HMA 내로 이동한 사람의 비율이다. 따라서 한 HMA에서 발생한 총 공급 중 에서 해당 HMA가 공급(supply)한 정도를 나타내게 된다. 이와는 달리 수요-측면 자족성은 한 HMA로 이주해 들어 온 사람 중에서 원래 HMA에서 이동한 사람의 비율을 의미 한다. 즉 HMA 밖에서 기원하였다기 보다는 HMA 내부에 그 기원지(origin)를 가지고 있는 사람의 비율이다. 따라서 한 HMA에서 발생한 총 수요 중에서 해당 HMA가 차지 하는 수요(demand)의 정도를 나타내게 된다. 이러한 국 지적 자족성은 HMA 별로 평가되기 때문에 최적화 모델에 서 제약조건의 형태로 고려될 수 있다.

기능지역으로서 HMA를 구획하는데 있어 적절한 자족 도(자족성의 정도)의 임계값이 얼마인지를 결정하는 과학 적인 방법은 없다(Brown and Hincks, 2008). 그러나 자족 성이 HMA의 내적 응집력을 파악하는 것이라고 할 때, 분 명한 것은 HMA 내에서 발생한 이동은 HMA 경계를 넘는 이동보다 커야 한다. 즉 HMA가 기능지역으로서 의미를 갖기 위해서는 자족도가 최소 50%를 넘어야 한다. Jones (2002)와 Jones *et al.*(2012)은 수요-측면 자족도 50%를 적용한 반면, Coombes *et al.*(2006), Brown and Hincks (2008) 등은 공급-측면 및 수요-측면 자족도 모두에서 70% 이상을 적용하였다. 특히, Brown and Hincks (2008)에 따 르면, 공급-측면과 수요-측면 자족도를 함께 적용하게 되 면 구획된 HMA의 강건성이 높아질 수 있다. 따라서 HMA 구획을 위한 최적화 모형 정의에서도 공급-측면과 수요-측면 자족도 모두를 포함시킬 것이다.

혼합정수계획법(MIP)은 최적해에서 결정변수의 일부 가 정수를 갖도록 제약하는 모형이다. MIP 모형은 비선형 혹은 선형의 형태로 정의될 수 있는데, 본 연구에서는 목 적함수 및 제약조건에 비선형 요소를 포함하지 않는 선형 계획법(linear programming) 형태로 HMA 구획을 위한 최 적화 모형을 정의한다. 혼합정수선형계획법은 일반적으로 새로운 제약식을 추가하여 정수해를 포함하지 않는 부 분을 점차적으로 제거해감으로써 최적의 정수해를 찾는 분담탐색법(branch and bound algorithm)을 이용하여 정 해를 찾는다. 전역적 자족도를 반영하는 목적함수, 국지 적 자족도에 대한 제약조건을 포함한 HMA 구획을 위한 MIP 관점의 최적화 모형을 정의하기 위해서는 다음과 같 은 기호와 결정변수(decision variable)를 먼저 정의할 필 요가 있다.

- $i, j =$ 기본 공간 단위 인덱스, $i, j = 1, \dots, n,$
- $k =$ HMA 인덱스, $k = 1, \dots, m,$
- $m =$ 구획할 HMA의 수,
- $a_{ij} =$ 기본 공간 단위 i 로부터 j 로의 공간 상호작용량,
- $d_{ij} =$ 기본 공간 단위 i 와 j 사이의 거리,
- $\gamma =$ 최소 자족도 수준,
- $O_i =$ 기본 공간 단위 i 로부터의 총 전출량, $O_i = \sum_j a_{ij},$
- $D_i =$ 기본 공간 단위 i 로의 총 전입량, $D_i = \sum_j a_{ji},$

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{기본공간단위 } i \text{가 HMA } k \text{에 할당된 경우} \\ 0, & \text{그렇지않은 경우,} \end{cases}$$

$$w_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{기본공간단위 } i \text{가 HMA } k \text{의 시드로} \\ & \text{선택된 경우} \\ 0, & \text{그렇지않은 경우,} \end{cases}$$

$$y_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{기본공간단위 } i \text{와 } j \text{가 동시에 HMA } k \text{에} \\ & \text{할당된 경우} \\ 0, & \text{그렇지않은 경우.} \end{cases}$$

HMA 구획 연구에서 보편적으로 사용되는 공간상호작 용량 a_{ij} 는 인구이동이다(Jones, 2002; Brown and Hincks, 2008). 주택이 공간적으로 고정되어 있고 수요자가 이동 하는 상황에서 인구이동은 한 지역 내에서 주택에 대한 수 요와 공급의 상호작용을 반영하는 결과물이라 할 수 있다 (이상일 등, 2012). 기본 공간 단위 사이의 인구이동 행렬 을 기반으로 결정변수를 포함한 공급-측면 자족도와 수요-측면 자족도를 다음과 같이 수학적으로 정의할 수 있다.

$$\text{HMA } k \text{에 대한 공급-측면 자족도 } \frac{\sum_i \sum_j a_{ij} y_{ijk}}{\sum_i O_i x_{ik}} \geq \gamma \quad (1)$$

$$\text{HMA } k \text{에 대한 수요-측면 자족도 } \frac{\sum_i \sum_j a_{ij} y_{ijk}}{\sum_i D_i x_{ik}} \geq \gamma \quad (2)$$

두 식에서 분자는 HMA k 를 구성하는 기본 공간 단위 사 이의 공간 상호작용의 합, 즉 내부 이동량이고, 식 (1)에서 분모는 HMA k 를 구성하는 기본 공간 단위들로부터의 총 전출량의 합을, 식 (2)에서 분모는 HMA k 를 구성하는 기 본 공간 단위들로의 총 전입량의 합을 나타낸다. 이렇게 정의된 공급-측면 및 수요-측면 자족도는 사전에 정의된 최소 자족도 수준 γ 보다 크거나 같아야 한다. 식 (1)과 (2) 에서 결정 변수 y_{ijk} 와 x_{ik} 가 비선형으로 결합되어 있다.

MIP 관점에서 최적화 모형을 정의하기 위해서는 변수들이 모두 선형으로 결합되어야 한다. 따라서 식 (1)과 (2)에 해당 식의 분모를 곱하여 다음과 같이 선형화할 필요가 있다.

$$\sum_i \sum_j a_{ij} y_{ijk} \geq \gamma \sum_i O_i x_{ik} \quad (3)$$

$$\sum_i \sum_j a_{ij} y_{ijk} \geq \gamma \sum_i D_i x_{ik} \quad (4)$$

III. HMA 구획을 위한 최적화 모형

HMA의 구획은 사전 정의된 목적함수에 따라 다수의 기본 공간 단위를 적의 수의 HMA로 묶는 일종의 구획문제 혹은 지역구분(regionalization)이다. 즉 모든 기본 공간 단위를 HMA에 배타적으로 할당하되, 구획된 HMA는 지리적으로 연속적이어야 한다. 따라서 HMA 구획은 p -median problem (Hakimi, 1964; Hess *et al.*, 1965) 혹은 p -regions problem (Duque *et al.*, 2011; Kim *et al.*, 2015)을 기반으로 정의하는 것이 가능하다. 두 모형 모두 모든 공간 단위를 배타적으로 할당하는 논리를 가지고 있다는 점에서 공통적이지만, 구획의 연속성(contiguity)을 확보하는 논리는 상이하다. p -median problem의 경우 구역의 중심지와 할당된 기본 공간 단위 사이의 거리의 합을 최소화함으로써 암묵적으로 연속성을 추구하는 반면, p -regions problem은 명시적으로 연속성을 확보하는 제약조건을 가지고 있다. 전자의 경우 반드시 연속적인 구획이 만들어진다는 보장은 없지만 연산이 빠르다는 장점이 있는 반면, 후자의 경우 필연적으로 연속적인 구획이 만들어진다는 장점이 있지만, 기본 공간 단위의 수가 늘어나면 MIP 관점에서 최적해를 찾는 것이 어렵다는 단점이 있다.

본 연구의 경우 p -median problem 접근을 통하여 연속성을 암묵적으로 확보하고자 한다. 연속성 확보를 위하여 명시적인 접근을 취하지 않은 이유는 식(3)과 (4)를 통하여 정의된 공급-측면 및 수요-측면 자족도 제약조건을 엄격하게 적용할 경우 해를 찾는 것이 어렵기 때문이다. 또한 해당 제약조건에 포함되어 있는 y_{ijk} 는 $m \times n^2$ 만큼의 변수를 만들어낸다. 따라서 기본 공간 단위 개수가 늘어나면 결정 변수의 수가 기하급수적으로 늘어나고, 그 결과 MIP 관점에서 해를 찾는 것이 더욱 어려워진다. 따라서 명시적인 연속성 제약조건 대신 동일 HMA에 속하는 기본 공

간 단위 사이의 공간 상호작용을 극대화하고 거리를 최소화하는 형태로 HMA의 연속성을 확보하고자 한다.

한편 자족도 계산식 (1)과 (2)에서 분자는 내부이동의 합이기 때문에 인구이동 행렬에서처럼 i 에서 j 로의 이동과 j 에서 i 로의 이동을 구분할 필요 없이 i 와 j 사이의 총이동을 사용하여 계산할 수 있다. 총이동 값을 사용함으로써 y_{ijk} 와 관련된 변수의 수는 $m \times n^2$ 개에서 $m((n^2 + n)/2)$ 개로 줄어 들고, MIP 관점에서 최적해를 찾는 것이 보다 용이해진다. HMA 구획을 위한 MIP 관점의 공간 최적화 모형을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\text{Maximize } Z = \sum_k \sum_i \sum_{j \geq i} \frac{a_{ij}}{d_{ij}^\lambda} y_{ijk} \quad (5)$$

Subject to

$$\sum_k x_{ik} = 1 \quad \forall i \quad (6)$$

$$x_{ik} \geq w_{ik} \quad \forall i, k \quad (7)$$

$$\sum_i w_{ik} = 1 \quad \forall k \quad (8)$$

$$2y_{ijk} \leq x_{ik} + x_{jk} \quad \forall i, j \geq i, k \quad (9)$$

$$\sum_{j \geq i} a_{ij} y_{ijk} - \gamma \sum_i O_i x_{ik} \geq 0 \quad \forall k \quad (10)$$

$$\sum_{j \geq i} a_{ij} y_{ijk} - \gamma \sum_i D_i x_{ik} \geq 0 \quad \forall k \quad (11)$$

$$x_{ik} = \{0, 1\} \quad \forall i, k \quad (12)$$

$$w_{ik} = \{0, 1\} \quad \forall i, k$$

$$y_{ijk} = \{0, 1\} \quad \forall i, j \geq i, k$$

목적함수 (5)는 구역 내 인구이동의 합을 극대화하는 동시에 동일 구역에 할당된 기본 공간 단위 사이의 거리의 합을 최소화한다. 이 목적함수에 전역적 자족도 개념이 내포되어 있다. 구역 내 인구이동의 합을 총이동량으로 나누면 전역적 자족도가 된다. 그런데 총이동으로 나누지 않은 이유는 총이동이 상수이기 때문에 최적화 모형에서 해를 산출하는 데에 아무런 영향을 미치지 않기 때문이다. 목적함수에서 λ 는 거리 마찰계수 역할을 한다. λ 값이 커질수록 구획된 HMA에 대한 거리의 영향이 더욱 커져 보다 공간적

으로 조밀한 구역이 형성된다. 본 연구에서는 구획문제에 대한 수치모형을 처음 제시한 Hess *et al.*(1965)와 같이 $\lambda = 2$ 의 값을 취하였다. 제약조건 (6)은 모든 공간 단위는 오직 하나의 구역에 할당되어야 함을 의미한다. 이 제약조건을 통하여 할당의 배타성과 포괄성을 모두 담보할 수 있다 (김감영 등, 2009). 제약조건 (7)은 기본 공간 단위 i 가 HMA k 에 할당이 되었을 때만이 HMA k 의 시드(seed)가 될 수 있도록 한다. 제약조건 (8)은 각 HMA에 오직 하나의 시드만이 존재하게 함으로써 m 개의 HMA가 구획되도록 한다. 제약조건 (9)는 기본 공간 단위 i 와 j 가 동시에 HMA k 에 할당된 경우에 결정변수 y_{ijk} 가 1이 될 수 있음을 의미한다. 즉 x_{ik} 와 x_{jk} 가 모두 1일 때, y_{ijk} 는 0과 1의 값을 가질 수 있는데, 극대화 목적함수에 의해서 1의 값을 갖게 된다. 둘 중의 하나만 0이거나 둘 다 0인 경우 y_{ijk} 는 반드시 0이 된다. 제약조건 (10)과 (11)은 공공-측면 및 수요-측면 자족도 제약조건으로, 첫 번째 항은 구역 내 이동의 합이고, 두 번째 항은 각각 구역에 할당된 기본 공간 단위로의 전입과 전출의 합에 최소 자족도 수준 γ 를 곱한 값으로, 두 값의 차이가 0보다 크거나 같아야 한다. 제약조건 (12)는 결정변수 x_{ik} , w_{ik} , y_{ijk} 가 양의 이진 정수임을 나타낸다.

IV. 공간 최적화 모형의 평가

1. 사례분석 개요

서울시를 사례하여 이전 장에서 정의된 공간 최적화 모형의 구동 여부와 특성을 평가하였다. 기본 공간 단위는 구($n = 25$)이고, 통계청의 2010년과 2014년 국내인구이동 통계를 사용하였다. 모형 평가를 위하여 서울을 사례지역

으로 선택한 이유는 모델링 관점에서 정의된 MIP의 작동 여부를 평가하기 위함이다. 서울의 경우 인구이동 측면에서 서울 내부뿐만 아니라 주변지역과의 상호작용이 상당하여 의미 있는 HMA 구획을 위해서는 서울뿐만 아니라 주변지역까지 함께 보아야 한다. 그러나 사례지역의 공간 범위가 넓어지고 기본 공간 단위의 수가 늘어나면 MIP 관점에서 정해를 찾는 것이 어렵다. 이러한 이유로 서울의 구 수준에서 모형 평가를 진행하였다. MIP 형태로 정의된 모형에 대한 최적해를 찾기 위하여 일반적으로 많이 사용되고 있는 최적화 소프트웨어인 IBM CPLEX Optimization Studio Version 12.5.1을 이용하였다. 사례 데이터에 대한 CPLEX 코드를 생성하기 위하여 Microsoft Visual Basic 2010 Express를 이용하여 프로그래밍하였고, Windows 7, Intel Core™ i5-3570 3.40 GHz processor, 4 GB RAM의 사양을 갖는 컴퓨터를 이용하여 문제를 풀었다.

2. MIP 연산 결과

HMA의 개수 m 을 3에서 6까지, 각각의 m 에 대하여 최소 자족도 수준 γ 를 0.5에서 0.8까지 0.05씩 변화시켜 문제 사례를 생성한 다음 CPLEX를 이용하여 최적해를 찾았다. HMA의 수 m 에 대하여 가장 큰 γ 를 갖는 계산 결과가 표 1에 제시되어 있다. 이 표는 MIP 접근을 통하여 사전에 정해진 HMA의 수와 최소 자족도 수준에 상응하는 최적해를 찾는 것이 가능함을 보여준다. 서울에는 공급-측면 및 수요-측면 자족도 기준이 0.70 이상 일 때 3개, 0.65 이상 일 때 4개, 0.60 이상 일 때 최대 6개의 HMA가 존재함을 알 수 있다. HMA 수 m 이 증가하면서 제약조건의 수와 결정변수의 수가 늘어나게 되고 이로 인하여 탐색하는 노드의 수 (node)와 반복 수행 횟수(iteration)가 늘어났다. 그 결과

표 1. 서울시 HMA 구획에 대한 CPLEX 계산 결과($n = 25$, 2010년)

m	γ	목적함수값	반복횟수(iteration)	노드(node)	시간(초)
3	0.70	535,856	267,227	2,359	6.32
	0.75	Infeasible	1,090,178	5,699	29.05
4	0.65	535,153	2,308,497	31,413	85.85
	0.70	Infeasible	7,400,286	46,215	285.06
5	0.60	534,566	3,514,825	29,499	183.47
	0.65	Infeasible	18,131,124	1,083,126	3471.90
6	0.60	533,215	9,150,532	73,034	584.10
	0.65	Infeasible	29,496,380	1,066,150	4609.61

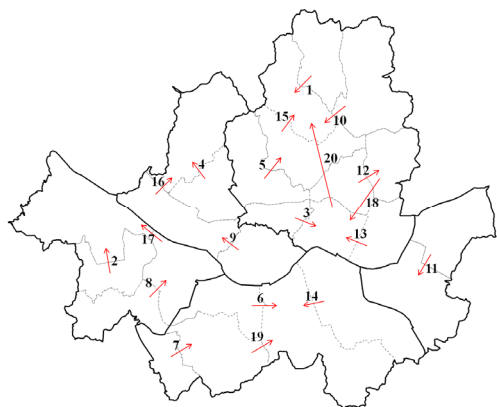


그림 1. Intramax에 의해서 구획된 5개의 HMA와 합역 순서 (2010년)

최적해를 찾는 데 소요되는 시간이 늘어났음을 알 수 있다. $m = 3, \gamma = 0.70$ 인 경우 최적해를 찾는 데 6.32초가 소요된 반면, $m = 6, \gamma = 0.60$ 인 경우 584.10초가 소요되었다. 또한 γ 가 너무 크게 설정되어 가능해(feasible solution)가 존재하지 않는 경우, 존재하는 경우에 비하여 탐색하는 노드의 수, 반복 수행 횟수 및 시간이 크게 증가함을 알 수 있다. 또한 구획할 구역의 수 m 이 커지면, 자족도 수준이 낮아지게 된다. 결과적으로 구획할 구역의 수 m 값이 너무 클 경우 자족도 수준 0.5에서 해가 존재하지 않게 된다. 종합하면 본 연구에서 제시된 HMA 구획을 위한 공간 최적화 모형은 주어진 HMA 개수에서 자족도 수준 γ 에 민감하게 반응한다. 또한 모형의 복잡성은 기본 공간 단위의 수 n 뿐만 아니라 구획할 HMA의 수 m 의 함수임을 알 수 있다.

3. Intramax 결과와의 비교

MIP 접근을 통하여 얻은 해의 특성을 파악하기 위하여 기존 HMA 구획을 위하여 널리 활용되어온 Intramax 접근과 비교하였다. Intramax는 Masser and Brown(1975)과 Hirst(1977)의 논의에 토대를 둔 목적함수 기반 계층적 합역 알고리즘으로, HMA 구획(박천규 등, 2013; Goetgeluk and de Jong, 2006; Brown and Hincks, 2008; Mitchell and Watts, 2010; Jaegal, 2012)뿐만 아니라 통근지역(구형모, 2012; Hincks and Wong, 2010) 구분에 널리 적용된 기법이다(이상일 등, 2012). Intramax 구동을 위하여 de Jong and Vaart(2013)의 Flowmap 7.4.2를 이용하였다. 그림 1은 HMA의 수가 5개가 될 때까지의 Intramax 접근의 합역

순서를 보여주고 있다.

그림 2는 MIP 접근과 Intramax 접근을 이용하여 구획한 서울시의 HMA의 공간적 분포를 공급-측면 및 수요-측면 자족도와 함께 보여주고 있다. 그림 2를 통하여 MIP 접근과 Intramax 접근의 몇 가지 분명한 차이를 확인할 수 있다. 첫째, Intramax의 결과에서는 HMA가 계층적으로 구성되는 반면, MIP의 결과는 그렇지 않다. Intramax의 경우 알고리즘의 특성상 구획된 결과는 계층적으로 조직될 수밖에 없다. 즉 HMA의 개수가 줄어들면서 상대적으로 상호작용의 비율이 높은 두 개의 구역을 결합하여 새로운 구역을 생성한다. 다시 말해서, 새롭게 생성된 구역은 이전의 두 구역을 완전히 포괄하게 된다. Intramax 접근의 특징은 합역 과정에서 여러 개의 기본 공간 단위들이 묶인 '구역' 전체를 기준으로 다른 구역과의 상호작용을 평가한다는 점이다. 그림 1에 제시된 Intramax 합역 순서에서 보는 것처럼, 4번째 단계에서 서대문구가 은평구에 결합되었고, 9번째 단계에서 용산구가 마포구에 결합되었다. 두 단계에서 상호작용의 평가 수준은 기본 공간 단위이다. 16번째 단계에서 은평구-서대문구 구역과 마포구-용산구 구역이 결합되는데, 이 때는 구역 단위로 상호작용이 평가되었다. 그러나 한 구역을 구성하는 모든 공간 단위가 반드시 결합된 구역과 가장 높은 수준의 상호작용을 하는 것은 아니다. Intramax의 경우 $m = 5$ 의 구획 결과에서 내부이동 비율은 69.12%이다. 그러나 앞의 예에서 용산구와 은평구-서대문구-마포구 사이의 인구이동은 4,659명, 강남구-서초구-동작구-관악구-금천구 사이의 인구이동은 5,756명이다. 용산구를 후자와 결합할 경우 내부이동 비율은 69.12%에서 69.33%로 증가하게 된다. 비슷하게 영등포구를 강서구-양천구-구로구 구역에서 강남구-서초구-동작구-관악구-금천구 구역으로 이동시킬 경우 내부이동 비율은 69.12%에서 69.25%로 증가하게 된다. 이러한 사실은 내부이동 비율 극대화를 목적함수로 하여 HMA를 구획함에 있어 여러 개의 기본 공간 단위의 묶음인 '구역' 단위가 아니라 개별 기본 공간을 대상으로 상호작용 강도를 평가해야 함을 의미한다. 또한 이러한 사실은 HMA의 공간적 조직화가 계층적이지 않다는 것을 실증한다. Intramax 접근과는 달리 개별 기본 공간 단위를 기준으로 상호작용이 평가되는 MIP의 경우 구획할 HMA의 개수가 줄어들면서 기본 공간 단위가 상이한 구역에 포함되면서 계층적 관계가 드러나지 않았다.

둘째, MIP의 결과는 전역적 최적해(global optima)인데

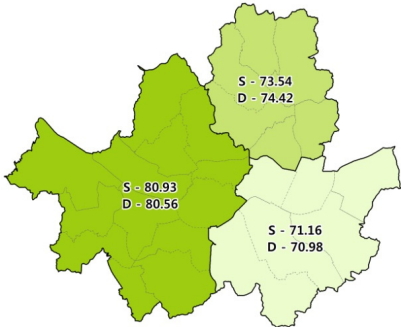
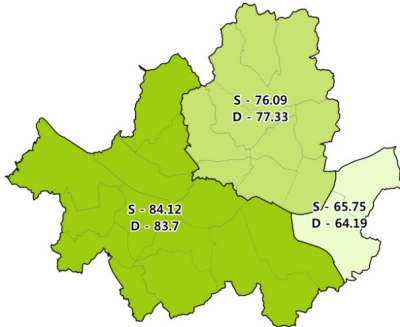
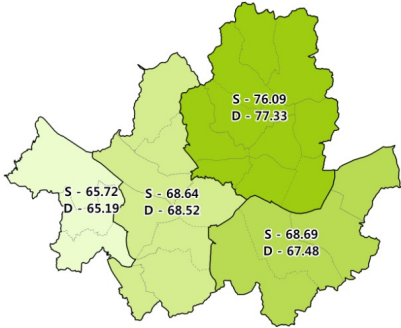
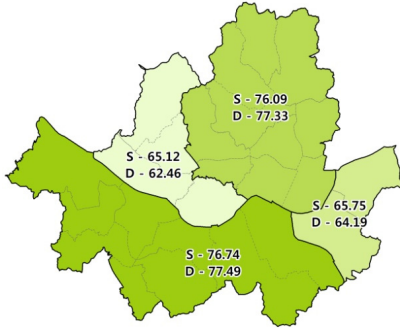
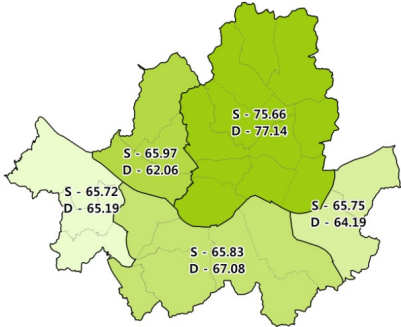
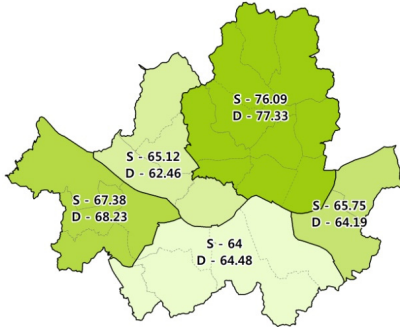
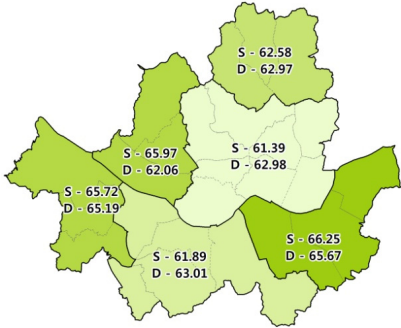
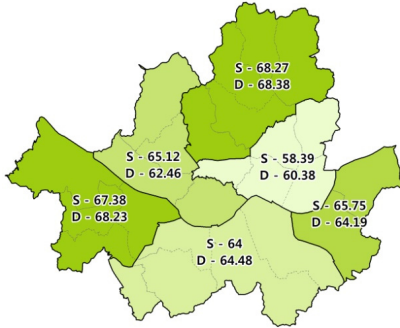
m	MIP 접근	Intramax 접근
3	내부이동 비율 = 76.30% 	내부이동 비율 = 79.24% 
4	내부이동 비율 = 70.85% 	내부이동 비율 = 73.49% 
5	내부이동 비율 = 69.47% 	내부이동 비율 = 69.12% 
6	내부이동 비율 = 63.63% 	내부이동 비율 = 64.85% 

그림 2. MIP와 Intramax 기법을 적용하여 구획된 HMA(2010년, S - 공급-측면, D - 수요-측면 자족도)

반하여 Intramax의 결과는 국지적 최적해이다. 즉 MIP의 경우 찾은 해보다 더 나은 해는 존재하지 않는 반면, Intramax의 경우 제시된 해보다 더 좋은 해가 존재할 수 있다. Intramax가 국지적 해에 빠지는 이유는 이전 단계에서 한번 결합된 기본 공간 단위들이 이후 과정에서 절대 분리되지 않기 때문이다. 앞서 기술한 마포구와 영등포구의 사례가 Intramax가 국지적 최적해에 빠진 예이다. 이와는 달리 MIP 접근의 경우 개별 기본 공간 단위를 기준으로 특정 구역 할당에 따른 영향을 평가하여 전역적인 최적의 조합을 찾아냈다.

셋째, 전체 HMA에서 지역 내 이동 비율의 극대화가 반드시 모든 구역에서 공급-측면 및 수요-측면 자족도 기준을 충족시키는 것은 아니다. 그림 2에서 구역별로 표시된 수치는 공급-측면 자족도(S)와 수요-측면 자족도(D)를 백분율로 나타낸 것이다. 전체적으로 평가된 내부이동 비율은 자족도 제약조건이 고려되지 않은 Intramax 결과에서 다소 높다. 예외적으로 $m=5$ 인 경우 MIP 접근의 내부이동 비율이 Intramax 접근보다 높다. $m=4$ 의 경우, MIP 접근의 내부이동 비율이 70.85%로 Intramax 접근의 73.49%보다 낮다. 그러나 MIP 접근을 통하여 구획된 4개 HMA의 공급-측면 및 수요-측면 자족도는 모두 65%를 넘는 반면, Intramax 접근의 경우 두 개 구역에서 수요-측면 자족도가 65%를 넘지 않는다. Intramax의 경우 HMA의 수가 4개에서 3개로 줄면서 내부이동 비율은 73.49%에서 79.24%로 상승하였다. 그런데 65% 전후의 자족도 수준을 보이는 강동구-송파구 구역이 그대로인 상태에서 다른 두 개의 권역이 결합되면서 공급-측면 및 수요-측면 자족도 모두에서 83% 이상을 보이는 구역이 형성되었고, 그 결과 전체적인 내부이동 비율이 높아지게 되었다. 단계별로 두 개의 하위 구역이 합역된 곳에서만 공급-측면 및 수요-측면 자족도 향상이 이루어진다. 즉 모든 구역의 공급-측면 및 수요-측면 자족도의 향상 없이도 일부 구역의 자족도가 극단적으로 높아지면서 전체적인 내부이동 비율이 높아진 것이다.

따라서 자족도가 HMA 구획의 핵심 기준이라고 할 때, 내부이동 비율 자체만을 극대화하는 Intramax 접근은 구획 방법론으로써 한계를 가질 수밖에 없다. 이와는 달리 MIP 접근의 경우 제약조건을 통하여 공급-측면 및 수요-측면 자족도를 명시적으로 고려하였기 때문에 구획된 모든 HMA는 사전에 설정한 자족도 기준을 모두 충족시키고 있다.

4. 시기별 HMA 구획 결과 비교

표 2는 MIP 접근을 통하여 2010년과 2014년 인구이동 데이터를 바탕으로 구획된 HMA 수에 따른 내부이동 비율과 공급-측면 및 수요-측면 자족도 수준 변화를 보여주고 있다. 2010년의 서울시 구 사이의 총이동은 1,199,708명에서 2014년 607,415명으로 49%이상 감소하였다. 모든 m 에 대하여 내부이동 비율이 낮아졌으며, $m=3$ 인 경우를 제외하고 공급-측면 및 수요-측면 자족도 최대 임계값도 낮아진 것을 알 수 있다. 이는 두 시기 동안 이동자 수는 감소한 반면 인구이동은 지리적으로 보다 광역화 되었음을 의미한다. 실제로 두 시기 사이에 서울시 구들의 내부이동 비율은 2010년 43.37%에서 2014년 40.11%로 감소한 반면, 구를 기준으로 직선거리가 15km를 넘는 인구이동의 비율은 2010년 9.43%에서 2014년 10.74%로 증가하였다.

그림 3은 2014년 데이터를 이용하여 구획한 HMA 중 2010년 결과와 공간적 범위가 다른 경우를 지도화한 것이다. 먼저 $m=3$ 을 보면, 2010년의 경우 도심을 중심으로 방향에 따라서 HMA가 구획된 반면(그림 2), 2014년에는 북동에서 남서로 가면서 대각선 방향으로 HMA가 형성되었다. $m=4$ 에서는 미세한 변화가 나타났다. 2010년 은평구-관악구를 잇는 HMA에서 용산구가 중구 쪽으로, 금천구가 구로구 쪽으로 할당되면서 HMA의 공간적 범위가 줄어들었다. 표 2와 그림 3은 HMA는 고정된 것이 아니라 시간에 따라 그 특성과 공간적 범위가 역동적으로 변한다는 것을

표 2. 2010년과 2014년의 HMA 수 별 내부이동 비율 및 자족도 γ 의 변화

연도		HMA의 수			
		3	4	5	6
2010	γ	0.70	0.65	0.60	0.60
	내부이동 비율(%)	76.30	70.85	69.47	63.63
2014	γ	0.70	0.60	0.55	0.55
	내부이동 비율(%)	73.53	67.33	65.48	60.46

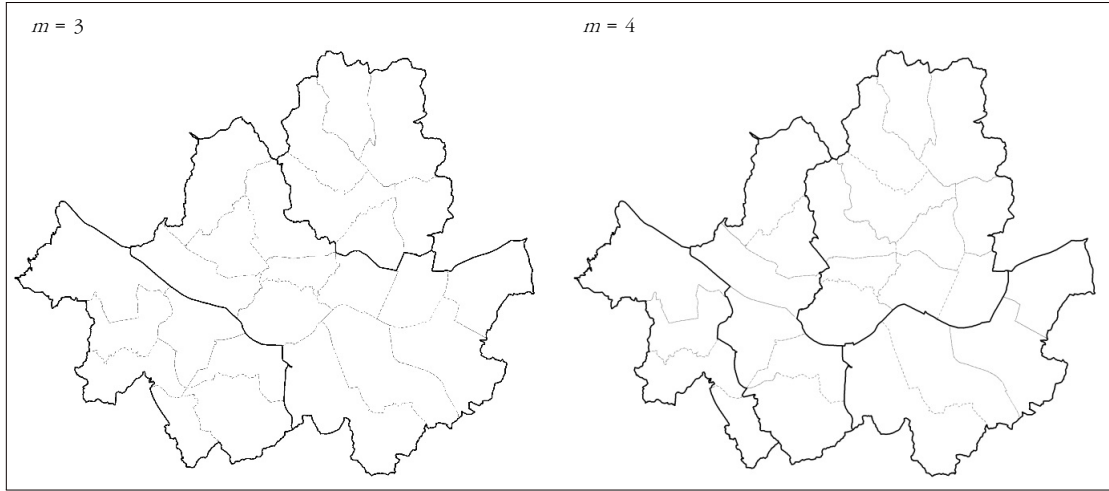


그림 3. MIP 접근을 이용하여 구획한 HMA(2014년)

의미한다. 즉 HMA라는 기능지역은 지역 간 인구가동 변화에 의해서 재구조화될 수 있다(손승호, 2011; 조일환 등, 2011).

V. 요약 및 결론

공간적 고정성을 특징으로 하는 주택의 수요와 공급 체계는 특정 지역을 기반으로 공간적 맥락에서 작동한다. 이러한 국지적 수준에서 작동하는 주택시장의 공간성을 반영하는 개념 중 하나가 HMA이다. 지방 행정구역 경계를 HMA로 간주하는 경우가 많은데, 지방 행정구역은 주택 체계가 작동하는 어떠한 기능적 의미도 제공하는 않는다. 이는 행정구역 경계를 바탕으로 한 주택시장 분석의 타당성이 떨어질 수밖에 없다는 것을 의미한다. 따라서 주택시장의 역동성을 분석하고 주택 수요와 공급에 대한 체계적인 계획 수립을 위한 틀을 제공하기 위해서는 먼저 HMA를 구획할 필요가 있다. 이러한 배경 하에서 본 연구에서는 HMA 구획을 위한 MIP 형태의 공간 최적화 모형을 개발하고자 하였다.

HMA의 구획은 사전 정의된 목적함수와 제약조건에 따라 다수의 기본 공간 단위를 보다 적은 수의 HMA로 묶는 일종의 구획문제로, 구획문제를 위하여 기존에 제시된 최적화 모형을 기반으로 새로운 모형을 개발하였다. HMA 구획을 위한 가장 중요한 기준은 HMA 내의 내적 응집력을 의미하는 자족성이다. 자족성은 총이동 중에서 HMA 내부

이동이 차지하는 비율인 전역적 자족성과 개별 HMA 별로 측정되는 국지적 자족성으로 구분된다. 국지적 자족성은 다시 공급-측면 자족성과 수요-측면 자족성으로 나눌 수 있다. 본 연구에서 전역적 자족성을 목적함수 형태로, 공급-측면 및 수요-측면의 국지적 자족성을 제약조건 형태로 고려하였다.

서울시 구별 인구가동을 사례로 MIP 접근을 통하여 정해를 산출한 결과 2010년의 경우 공급-측면 및 수요-측면 자족도 수준이 0.70 이상 일 때 3개, 0.65일 때 4개, 0.60일 때 최대 6개의 HMA가 구획되었다. 기본 공간 단위의 수와 구획할 HMA의 수가 커지거나 자족도 임계값이 높아질수록 MIP 관점에서 정해를 찾는 데 더 많은 시간이 소요되었다. MIP 접근을 통하여 산출된 해의 특징을 파악하기 위하여 Intramax의 결과와 비교하였다. 그 결과 첫째, Intramax와는 달리 MIP 접근을 통하여 얻은 HMA는 계층적으로 조직되지 않았다. 이는 Intramax가 기본 공간 단위의 묶음인 구역 단위의 상호작용을 평가하는데 반하여, MIP 접근은 개별 공간 단위 별로 상호작용을 평가하기 때문이다. 둘째, Intramax의 경우 구획된 결과보다 더 나은 해가 존재할 수 있는 국지적인 최적해인데 반하여, MIP 결과는 전역적인 최적해였다. Intramax가 국지적 최적해를 도출한 이유는 구역 단위로 상호작용을 평가하면서 선행 단계에서 결합된 기본 공간 단위들이 이후 과정에서 결코 분리되지 않기 때문이다. 셋째, Intramax 접근의 경우 전역적 자족도의 극대화가 반드시 모든 HMA에서 국지적 자족도의 향상을 가져오는 않았다. 사실, 합역이 이루어진 구역에서만

국지적 자족도의 향상이 이루어졌다. 그 결과 개별 HMA 수준에서 자족도 기준을 만족시키지 못하는 경우가 다수 발생하였다. 반면 국지적 자족도에 대한 명시적인 제약조건을 가진 MIP 접근의 경우, 도출된 해에서 모든 개별 HMA는 국지적 수준의 자족도를 만족시켰다. 이는 HMA 구획을 위하여 국지적 자족도를 명시적으로 고려해야 함을 의미한다. 한편 2010년과 2014년 인구이동 데이터를 이용하여 구획된 HMA를 비교한 결과 HMA의 특성 및 공간적 범위는 시간에 따라 역동적으로 변화하였다.

HMA 구획에 대한 MIP 접근을 통하여 HMA가 갖는 특성을 보다 명확하게 파악할 수 있었고, 기존 Intramax 접근의 한계를 분명히 할 수 있었다는 점이 본 연구를 통하여 얻은 가장 큰 성과라 할 수 있다. 그러나 분석 결과에서 보았듯이, MIP 접근의 경우 기본 공간 단위의 수와 구획할 HMA의 수가 증가할수록, 그리고 자족도 임계값이 엄격하게 적용될수록 문제에 대한 해를 찾는 것이 어려워진다. 이는 보다 효과적으로 해를 찾는 대안적 접근이 필요함을 의미한다. 그러나 기존에 널리 활용된 Intramax의 경우 그 한계가 분명한 만큼 다른 구획문제에 적용된 라그랑지안 완화법(Lagrangian relaxation)(김종근, 2013), 담금질 기법(Simulated annealing)(김명진, 2012), 타부서치(Tabu search)(Glover, 1989a; 1989b) 혹은 여러 가지 기법을 결합한 보다 정교한 휴리스틱 알고리즘(Kim *et al.*, 2016) 등을 참조하여 HMA 구획을 위한 대안적인 휴리스틱 기법을 개발할 필요가 있다.

참고문헌

- 구형모, 2012, “향상된 계층적 합역 방법을 이용한 서울 대도시권의 기능 지역 구분,” 한국지도학회지, 12(2), 25-35.
- 김감영·신정엽·이건학·조대현, 2009, “농촌지역 노년인구를 위한 방문 의료서비스 구역 설정 모델 및 알고리즘,” 대한지리학회지, 44(6), 813-832.
- 김명진, 2012, “새로운 인접성 식별 방법을 이용한 의회선거구 구획에 관한 휴리스틱 접근,” 한국지도학회지, 12(3), 81-94.
- 김종근, 2013, “지역포괄 시설물 입지선정 문제를 위한 라그랑지안 해법 연구,” 한국지도학회지, 13(1), 143-153.
- 박천규·김재환·황관석·전성애·김태환·김영미·전성제·손학기·김근용·이수옥·변세일·제갈영, 2013, 「지역 부동산시장의 미시적 동태분석과 정책시뮬레이션 모형 구축 연구(I): 주택시장을 중심으로 문제 진단과 분석기반 구축」, 국토연구원, 국토연 2013-29.
- 손승호, 2011, “인천시 공간상호작용의 변화에 따른 기능 지역의 재구조화,” 한국도시지리학회지, 14(3), 87-99.
- 이상일·김감영·제갈영, 2012, “지오컴퓨터이션 접근에 의한 주택시장지역의 설정: 우리나라 수도권권의 적용,” 한국도시지리학회지, 15(3), 59-75.
- 조일환·김소연·곽수정·홍서영, 2011, “통근·통학·업무 목적통행으로 본 수도권 지역의 구조 변화,” 한국도시지리학회지, 14(1), 49-66.
- 주택산업연구원, 2010, 「주택정책 동향과 평가」, 住産研 2010-2.
- 하성규, 2010, 「주택정책론」, 증보판 4판, 서울: 박영사.
- Alvanides, S., Openshaw, S., and Duke-Williams, O., 2000, Designing zoning systems for flow data, in Atkinson, P. and Martin, D. eds., *GIS and Geocomputation*, New York: Taylor & Francis, 115-134.
- Brown, P.J.B. and Hincks, S., 2008, A Framework for Housing Market Area delineation: Principles and Application, *Urban Studies*, 45(11), 2203-2223.
- Coombes, M.G., Raybould, S., and Wymer, C., 2006, *Housing Market Areas across the North East Region: Draft Report*, Newcastle upon Tyne: Centre for Urban and Regional Studies, University of Newcastle.
- de Jong, T. and Vaart, N.V., 2013, *Manual Flowmap 7.4.2*, Faculty of Geographical Sciences, Utrecht University, The Netherlands, <http://flowmap.geo.uu.nl>.
- DTZ Peda, 2004, *Housing Market Assessment Manual*, London: Office of the Deputy Prime Minister.
- Duque, J.C., Anselin, L., and Rey, S.J., 2012, The Max-p-regions problem, *Journal of Regional Science*, 52(3), 397-419.
- Glover, F., 1989a, Tabu search-Part I, *ORSA Journal of Computing*, 1(3), 190-206.
- Glover, F., 1989b, Tabu search-Part II, *ORSA Journal*

- of *Computing*, 2(1), 4-32.
- Goetgeluk, R. and de Jong, T., 2006, Dynamic clusters in migration patterns: Intramax-analyses of inter-municipal migration flows between 1990 and 2004, *ENHR International Conference Housing in an Expanding Europe: Theory, Policy, Participation and Implementation*, July 2-5, Slovenia.
- Goodman, J.L., 1998, Aggregation of local housing markets, *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 16(1), 43-53.
- Hakimi, S.L., 1964, Optimal locations of switching centers and the absolute centers and the medians of a graph, *Operations Research*, 12(3), 450-459.
- Hess, S.W., Weaver, J.B., Siegfeldt, H.J., Whelan, J.N., and Zitlau, P.A., 1965, Nonpartisan political redistricting by computer, *Operations Research*, 13(6), 998-1006.
- Hincks, S., 2012, Daily Interaction of Housing and Labour Markets in North West England, *Regional Studies*, 46(1), 83-104.
- Hincks, S. and Baker, M., 2012, A Critical Reflection on Housing Market Area Definition in England, *Housing Studies*, 27(7), 873-897.
- Hincks, S. and Wong, C., 2010, The Spatial Interaction of Housing and Labour Markets: Commuting Flow Analysis of North West England, *Urban Studies*, 47(3), 620-649.
- Hirst, M.A., 1977, Hierarchical aggregation procedures for interaction data: A comment, *Environment and Planning A*, 9(1), 99-103.
- Jaegal, Y., 2012, *Delineating Housing Market Areas in the Seoul Metropolitan Area Using a Geo-computational Approach*, Master's Thesis, Department of Geography Education, Seoul National University.
- Jones, C., 2002, The definition of housing market areas and strategic planning, *Urban Studies*, 39(3), 549-654.
- Jones, C., Coombes, M., Dunse, N., Watkins, D., and Wymer, C., 2012, Tiered Housing Markets and their Relationship to Labour Market Areas, *Urban Studies*, 49(12), 2633-2650.
- Jones, C. and Watkins, C., 2009, *Housing Markets and Planning Policy*, West Sussex, United Kingdom: Wiley-Blackwell.
- Kaplan, D.H., Holloway, S.R., and Wheeler, J.O., 2014, *Urban Geography*, 3rd edition, Hoboken, NJ: Wiley.
- Kim, H., Chun, Y., and Kim, K., 2015, Delimitation of functional regions using a p-regions problem approach, *International Regional Science Review*, 38(3), 235-263.
- Kim, K., Dean, D.J., Kim, H., and Chun, Y., 2016, Spatial optimization for regionalization problems with spatial interaction: a heuristic approach, *International Journal of Geographical Information Science*, 30(3), 451-473.
- Masser, I. and Brown, P.J., 1975, Hierarchical aggregation procedures for interaction data, *Environment and Planning A*, 7(5), 509-523.
- Meen, D. and Meen, G., 2003, Social behaviour as a basis for modelling the urban housing market, *Urban Studies*, 40(5-6), 917-935.
- Mitchell, W. and Watts, M., 2010, Identifying Functional Regions in Australia Using Hierarchical Aggregation Techniques, *Geographical Research*, 48(1), 24-41.
- ODPM, 2005, *Factsheet 3: planning: draft planning policy statement 3: housing*, London: ODPM.
- O'Sullivan, T., Young, G., Maclellan, D., et al., 2004, *Local Housing System Analysis: Good Practice Guide*, Edinburgh: Communities Scotland.
- Royuela, V. and Vargas, M., 2009, Defining housing market areas using commuting and migration algorithms: Catalonia (Spain) as a case study, *Urban Studies*, 46(11), 2381-2398.
- Young, G., O'Sullivan, A., and Gibb, K., 2010, *Northern Ireland Housing Market Areas*, Belfast: Northern Ireland Housing Executive.

교신: 김감영, 41566, 대구광역시 북구 대학로 80, 경북대학교 지리교육과(이메일: kamyoungkim@knu.ac.kr)

Correspondence: Kamyoung Kim, Department of Geography Education, 80 Daehak-ro, Buk-gu, Daegu 41566, Republic of Korea (Email: kamyoungkim@knu.ac.kr)

투 고 일: 2016년 03월 25일

심사완료일: 2016년 04월 08일

투고확정일: 2016년 04월 13일