

수요 기반 공공형 노인복지주택 최적 입지 선정 : 서울시 어르신안심주택 공급에 관한 Case Study

서한석¹, 김정훈², 정태수^{3*}

^{1,3}고려대학교 산업경영공학과

²동국대학교 산업시스템공학과

Demand-Based Optimal Location Decision: A Case Study on Public Senior Welfare Housing Supply in Seoul

Seo Han Seok¹, Kim Jeong Hoon², Cheong Tae Su^{3*}

^{1,3}Department of Logistics, Korea University

²Department of Industrial Engineering, Dongguk University

This study investigates the optimal location decision for public senior welfare housing in Seoul, driven by the provisions of the Seoul Metropolitan Government's ordinance on the support for the supply of senior welfare housing. The research proposes a demand-based mathematical model to identify the most suitable locations for public senior welfare housing by minimizing costs while satisfying the targeted number of housing units. The model integrates various factors, including population demographics, proximity to public transportation and healthcare facilities, to select the optimal location. A strategic location selection based on estimated demand is expected to address vacancy issues, improve the effectiveness of housing welfare policies for the elderly. The findings suggest that applying the relevant ordinance is likely to reduce costs compared to the existing purchase procedure. This study contributes to the ongoing efforts to enhance public welfare services by providing a data-driven approach to location decision-making in urban settings, with a specific case study conducted in Seoul.

Keywords: Public Senior Welfare Housing, Location Decision, Maximal Covering Problem, Urban Welfare Policy, Case Study in Seoul

논문접수일 : 2024.09.13. 논문수정일 : 2024.12.31. 게재확정일 : 2024.12.31.

이 논문은 2024년도 서울특별시의 재원으로 서울 데이터 펠로우십의 지원을 받아 수행되었음.

1. 고려대학교 산업경영공학과 박사과정

2. 동국대학교 산업시스템공학과 학부과정

3*. 고려대학교 산업경영공학과 교수, Corresponding Author: tcheong@korea.ac.kr

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

UN은 65세 이상 인구가 전체 인구의 14%를 초과할 경우 해당 사회를 고령사회(aged society)로, 20%를 초과할 경우 이를 초고령사회(super-aged society)로 정의하고 있다. 2022년 통계청의 장래인구추계에 따르면, 한국은 65세 이상 인구가 이미 전체의 14%를 초과하여 고령사회에 진입했으며, 생산가능인구(15~64세) 100명당 65세 이상 인구 수를 의미하는 노년부양비 역시 점차 증가하고 있다. 2070년에는 이 수치가 100을 초과할 것으로 예상된다. 이는 머지않은 미래에 생산가능인구 한 명당 노인 한 명을 부양해야 하는 상황이 될 것임을 의미한다(Figure 1). 또한, 2025년에는 고령화율이 20%를 넘어서면서 한국은 초고령사회로 진입할 것으로 전망되며, 노인만 생활하는 가구 수도 증가하는 추세이다(Choi, 2020). 2020년 인구주택총조사에 따르면, 70세 이상 1인 가구는 전체 1인 가구의 18.1%를 차지하여 29세 이하 1인 가구에 이어 두 번째로 높은 비율을 보인다(Statistics Korea, 2023).

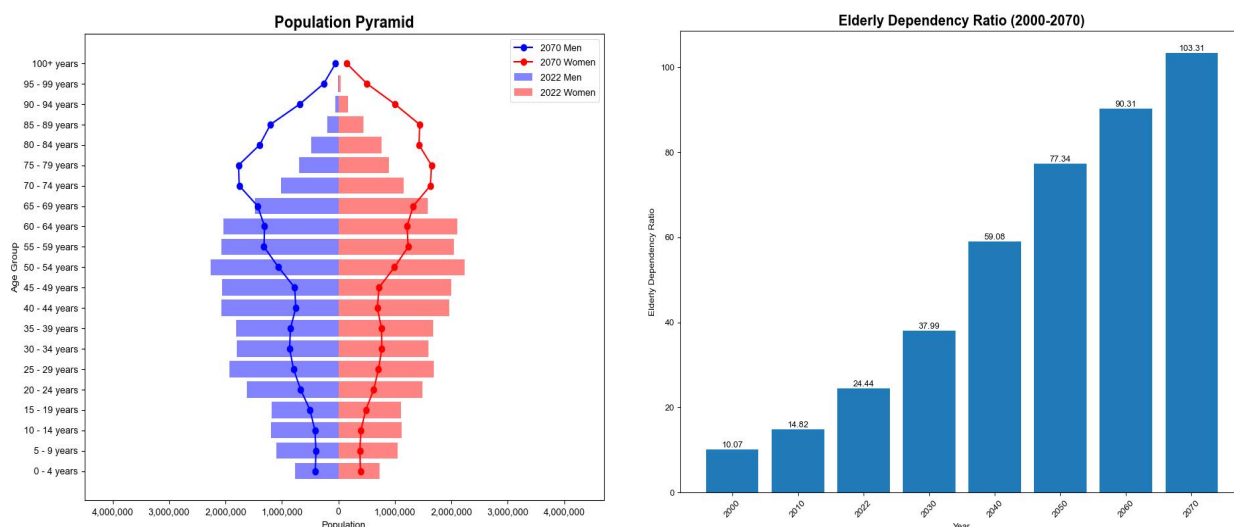


Figure 1. Population Pyramid (Left) and Elderly Dependency Ratio (Right)

노인 1인 가구의 증가는 사회적, 경제적 측면뿐만 아니라 주거 정책에서도 중요한 문제로 떠오르고 있다. 이들 가구는 은퇴 후 집에서 보내는 시간이 많아지면서 주거 환경의 중요성이 커지고 있으나, 실제로는 열악한 경우가 많다(Kim & Lee, 2021). 2017년 노인실태조사에 따르면, 노인들의 32.3%가 생활 편의시설의 부족이나 접근의 불편함을 이유로 주거 환경에 불만을 느꼈고, 19.5%는 대중교통의 부족이나 이용의 어려움을 지적했다(Jung et al., 2017). 또한, 노인 가구는 소득 대비 임대료 부담이 가장 크고, 전체 소비 지출 중 주거비 비율이 가장 높은 집단으로 일관되게 확인되고 있다(Choi, 2011; Kim & Park, 2019b). 이처럼 많은 노인 가구는 경제적 어려움과 주거 불안정을 겪고 있는 상황이며, 노인 1인 가구의 주거지와 삶의 만족도 간의 관계가 점점 더 중요해지고 있음에도 불구하고, 이들의 특성을 반영한 주택 공급이나 주거 복지 정책은 아직 심도 있게 논의되고 있지는 않은 실정이다(Kim & Lee, 2021).

2022년 노인복지시설 현황에 따르면 전국적으로 총 39개의 노인복지주택이 존재하며 입소정원 8,840명을 수용할 수 있는 노인복지주택이 보급되어 있다. 또한, 그 범위를 서울시로 한정하면 총 11개의 시설이 있으며, 1,779명의 인원을 수용할 수 있다(Ministry of Health and Welfare, 2022). 하지만 이들 대부분은 정부와 지방자치단체 등의 지원에 의존하지 않는 실버타운으로 입주자들이 낸 입주금만으로 운영되며 대부분

보증금은 억대, 월 생활비는 1인 기준 100만 원 후반에서 200만 원 상회하는 금액이다. 그러나 민간 노인복지주택은 저소득층을 대상으로 하지 않는다.

이러한 상황 속에서 고령화와 주거 불안정 문제를 해결하기 위한 노력도 함께 이루어지고 있다. 급속한 인구 고령화와 저소득층 인구의 주거 불안정으로 인한 노인 돌봄의 사회적 역할이 중요해지면서, 최근 우리나라에서도 ‘에이징 인 플레이스’(aging in place)라는 개념을 기반으로 주거와 돌봄 서비스의 통합적 제공을 강화하려는 노력이 시작되었다. 정부는 2018년 11월 커뮤니티케어 기본계획을 발표하며, 지역사회 내에서 주거와 돌봄 서비스를 통합적으로 제공하는 방안을 제시했다. 특히, 저소득층 주거 안정화를 위한 정책이 구체화되고 있으며, 2019년에는 주거약자에게 거주지와 서비스를 함께 제공하기 위한 법률 개정이 진행되었다(Kim & Park, 2019b).

그에 따라 최근 고령자 전용 국민임대주택 및 공공실버주택 등 정부 주도의 사업이 추진되고 있으며, 공공 자금과 민간 자원을 활용한 ‘공공형 노인복지주택’이 공급되고 있다. 이들 주택은 10~100호 규모의 공동주택 내에 개별 주거 공간을 갖추고 있으며, 각 호수에는 응급 비상벨이 설치되어 있고, 공동 식사와 레크리에이션, 물리치료실 등의 공용 공간이 마련되어 있다(Kim & Park, 2019a). 또한, 주택 내 관리 인력을 통해 거주자 안전을 확인하고 필요 서비스를 제공하는 등의 방식으로 운영되고 있다(Park et al., 2017). 추가적으로, 제 3차 저출산·고령사회 기본계획(2016년-2020년)과 『장애인, 고령자 등 주거 약자 지원에 관한 법률』 개정, 『장기공공임대주택 입주자 삶의 질 향상 지원법』 개정 등이 추진되면서, 세종시 밀마루복지마을 등에서 주거 복지 서비스 강화가 현실화되고 있다(Kim & Park, 2019a). 그동안 기존의 영구임대주택이 제공되었으나, 저소득 취약계층의 주거 수요를 완전히 충족하지 못한 상황에서, 고령자들의 다양한 욕구를 반영한 복지 서비스 제공의 필요성이 더욱 부각되어야 한다는 의견을 반영한 것이다(Kim & Park, 2019b). 기존 민간 노인복지주택이 분양이나 임대 비용을 감당할 수 있는 노인층을 주로 대상으로 했다면, 공공형 노인복지주택은 저소득 노인을 위한 특화된 복지 주택으로 자리매김하고 있다(Park et al., 2017). 이와 같이 공공형 노인복지주택은 저소득 노인 가구의 주거 안정과 삶의 질 향상을 목표로 하며, 지역사회와의 상호작용을 중요하게 고려한 주거 모델로 자리 잡고 있다(Spillman et al., 2012).

현재 우리나라의 노인복지주택은 현재 고령 인구의 0.08%만 수용할 수 있어, 급증하는 노인 인구에 비해 매우 부족한 상황이다(Koo et al., 2020). 그러나 2021년 서울시복지재단의 노인지원주택 운영방안 연구에 따르면, 2021년 11월 30일 기준으로 91호의 서울시 공공형 노인복지주택인 노인지원주택 중 30호가 공실 상태였으며, 이는 실질적인 수요와 공급 간의 괴리가 있음을 나타낸다(Hyun & Heo, 2021). 이로 인해, 노인복지주택에 대한 수요가 있음에도 불구하고 공실률이 발생하는 현상에 대한 의문이 제기된다. 서울시복지재단이 노인지원주택 종사자(슈퍼바이저, 코디네이터, 주거코치), 유관기관 종사자 등을 대상으로 한 포커스그룹인터뷰(Focus Group Interview)에 따르면 이러한 공실률의 주요 원인으로는 크게 3가지를 언급하였는데, ‘희망 거주 지역과의 불일치’, ‘주거 구조에 대한 선호도 부족과 높은 주거비’, 그리고 ‘정책에 대한 홍보 부족’이 지적되었다. 특히, 첫 번째 원인인 ‘희망거주지역 불일치’에 따르면, 현재의 노인지원주택이 위치한 지역과 노인들이 실제로 살기를 희망하는 지역이 일치하지 않기 때문에 이러한 공실 문제가 발생하는 것으로 확인할 수 있다(Hyun & Heo, 2021). 따라서, 노인복지주택의 입지를 선정할 때는 단순한 공급이 아닌, 수요를 기반으로 한 전략적인 입지 선정의 중요성이 강조된다. 반면 두 번째 원인인 ‘주거 구조에 대한 선호도 부족과 높은 주거비’, 그리고 세 번째 원인인 ‘정책에 대한 홍보 부족’은 수요를 정확하게 추정하기 어려운 요인들로, 이러한 부분은 별도의 정책적 방안이 필요하다.

따라서 예상 수요 추정에서는 이들 요인을 제외하고 접근할 필요가 있다. 이와 같이 노인복지주택의 입지를 선정할 때는 수요를 기반으로 한 전략적 접근이 필수적이며, 이를 통해 공실 문제를 해결하고 실질적인 주거 복지를 실현할 수 있을 것이다.

1.2 선행연구

노인지원주택과 같은 공공임대주택의 입지와 관련된 연구는 크게 두 가지 접근 방식, 즉 실증적 접근과 규범적 접근으로 나눌 수 있다(Jin & Lee, 2015). 우선, 실증적 접근은 ‘현상을 있는 그대로 기술하고 설명하는 것’에 중점을 두고, 공공임대주택의 입지적 특성과 그 영향을 분석하는 것을 목표로 한다. 그 예시로, Nourse(1962)는 공공주택이 주변 부동산 가치에 미치는 영향을 분석하였으며, 그 결과 공공주택이 위치한 지역의 부동산 가격이 실제로 상승한 것으로 나타나, 공공주택이 해당 지역의 경제적 가치를 높일 수 있음을 시사했다. 이와 비슷하게, Hong & Lee(2006)는 국민임대주택의 주변 아파트 가격 분석을 위해 평당 가격을 종속변수로 하여 회귀분석을 진행하였으며, 그 결과 임대주택은 근거리(500m)내에서 주변 분양주택 가격에 긍정적인 영향을 미친다는 결론을 도출했다. 또한, McNulty & Holloway(2000)는 애틀랜타의 공공주택과 범죄 사이의 관계를 조사한 결과, 공공주택 주변의 범죄율이 높다는 일반적인 가설과는 달리, 공공주택과 범죄율 간에는 큰 연관성이 없다는 사실을 밝혀냈다.

반면, 규범적 접근은 ‘어떻게 하면 더 나은 입지정책을 마련할 수 있는가’에 초점을 맞추며, 현행 공공임대주택의 입지를 개선하기 위한 방식을 제안하는 것을 목표로 한다. 그 예시로 Monkkonen(2011)은 공공임대주택과 직장, 인프라 사이의 거리가 멀리 떨어질수록 더 높은 실업률을 겪고 있다고 분석했으며, 이를 직장 및 인프라와 공공주택의 거리 때문에 발생하는 공간적 불일치(spatial mismatch)의 결과로 설명하며 더 나은 입지 선정의 필요성을 강조하였다. 또한, Kim(2007)은 국민임대주택이 대부분 도시 저소득층의 생활권을 벗어난 도시 외곽에 위치하고 있으며, 도로 등 광역기반시설이 부족해 저소득층의 이동성을 충분히 고려하지 않았음을 지적했다. Kim & Kim(2009)의 연구에서는 경기도의 시·군을 대상으로 한 연구에서, 최저 주거기준을 충족하지 못하는 가구 수를 기준으로 국민임대주택의 수요와 공급 간의 괴리를 밝히며, 수요 중심의 입지 선정이 필요하다고 주장하였다. 그러나 이와 같은 연구들은 대체로 분석의 범위가 주로 이론적 고찰과 통계적 분석을 통한 기존 사례 평가에 그쳐 실제로 구체적인 입지를 선정하는 데에는 한계가 있다. 이러한 문제의식을 바탕으로, 본 연구에서는 수리모형을 이용, 보다 구체적이고 실질적인 입지 선정 방안을 모색하고자 한다. 이는 노인복지주택의 공급이 실질적 수요와 더욱 긴밀하게 연결될 수 있도록 함으로써, 현재의 공실 문제를 해결하고 노인 주거 복지의 효과성을 높이기 위한 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 기대한다.

노인복지주택의 입지 선정에 대한 수리적 접근과 모델의 개발은 아직까지 그 연구가 충분히 이루어지지 않고 있지만, 물류창고, 공장, 응급의료센터 등 다양한 시설(facility)의 입지 선정 연구는 지금까지 활발히 진행되어 왔다. 입지 선정 방법론과 수학적 모델에 관한 연구는 주로 1960년대부터 본격적으로 다루어졌으며(Song & Ko, 2017), Owen & Daskin(1998)은 시설 입지 선정 문제를 크게 네 가지 범주(covering, p-median, p-center, fixed charge)로 분류하였다. 첫 번째 범주는 covering 모형으로, 이는 다시 set covering 문제(SCP)와 maximal covering 문제(MCP)로 세분화된다. Set covering 문제(SCP)는 최소한의 자원(시설)을 사용하여 모든 수요 그룹을 충족하는, 즉 서비스를 제공받는 것을 목표로 한다. 이는 각 후보지에 시설을 설립할지 여부를 이진 결정 변수로 정의하여, 이 변수들의 총합을 최소화하는 방식으로 목적함수를 구체화하여 최적해를 구한다. 반면, maximal covering 문제(MCP)는 주어진 수의 시설로 가능한 한 많은 수요 지점을 만족하는 것을 목표로 하며, 이진 결정 변수로 정의된 후보지의 시설 설립 여부에 대해 총합이 N 으로 제약되는 제약식을 통해 최적화를 수행한다(Li et al., 2011). 두 번째 범주는 p-median 모형으로 이는 지정된 수(p)의 시설을 배치하여 수요 지점과 가장 가까운 시설 간의 총 거리를 최소화하는 것을 목표로 한다(Daskin & Maass, 2015). 이는 각 후보지에 시설을 설립할지 여부를 이진 결정 변수로 정의하며, 이 변수들을 사용하여 수요 지점과 할당된 시설 간의 총 거리를 최소화하는 방식으로 목적함수를 구체화하여 최적해를 구한다. 세 번째 범주인 p-center 모형은 지정된 수(p)의 시설을 배치하여 각 수요 지점이 가장 가까운 시설로부터 서비스를 받을 수 있도록 하면서, 모든 수요 지점에 대해 최대 이동 거리를 최소화하는 것을 목표로 하는 모형이다(Suzuki & Drezner., 1996). 이는 각 수요 지점이 가장 가까운 시설에

서 서비스를 받는다는 가정하에, 모든 수요 지점의 최대 이동 거리를 최소화하는 방식으로 목적함수를 구체화하여 최적해를 구하는 방식을 이용한다. 마지막 범주는 fixed charge 모형으로 정해진 예산에서 최대 수요를 충족하는 모델이다(Owen & Daskin, 1998). 이 모형은 입지 선정과 할당에 관한 이진 결정 변수를 정의하고, 건설비용과 수송비용을 포함하는 총 비용을 최소화하는 방식으로 목적함수를 구체화하여 최적해를 구하게 된다.

본 연구에서는 서울시 내 노인복지주택의 입지 선정을 위해 maximal covering 문제를 변형한 수리모형을 제안하고자 한다. 이 모형의 목표는 서울시의 목표 건설 호수를 만족하면서 이를 달성하기 위한 최소한의 예산을 사용하는 것이다. 기존의 maximal covering 문제와 유사하지만, 본 연구에서는 목표 호수를 충족하는 범위 내에서 예산을 최소화하는 것을 목적으로 한다. 특히, 이 모델에서 고려하는 변수는 단순히 특정 위치에 노인복지주택을 설립할지 말지를 결정하는 것이 아니라, 해당 입지에 몇 개의 호수를 건설할지를 고려하는 방식이다. 즉, 각 입지에 몇 개의 호수를 건설할지를 변수로 삼아, 이 변수들의 총합을 제약 조건으로 설정하고 목표 호수를 충족시키는 동시에, 필요한 예산을 최소화하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 최소한의 예산으로 최대한 많은 예상 수요를 만족할 수 있는 최적 입지를 선정하고자 한다.

그러나, 본 연구에서 제안하는 수리모형을 통해 도출된 결과는 실제 입지 선정을 위한 최종 결정이 아니라, 입지후보지를 검토하기 위한 목적으로 사용된다는 점을 강조하고자 한다. 이 모형은 사업성, 입지 구매 가능 여부 등 중요한 요소들을 고려하지 않고 오로지 예상 수요만을 중심으로 설계되었기 때문에, 최종적으로는 이 모형의 결과를 바탕으로 실제로 입지가 가능한 곳에서 후보지를 추리는 과정이 필요하다. 본 연구에서 제안하는 maximal covering 모델은 서울시 내 노인 인구가 최대한 혜택을 받을 수 있도록 하면서도 제한된 자원을 효율적으로 활용할 수 있는 중요한 수리적 접근을 제공하며, 실제 사업성을 검토하기 위한 초기 후보지 선별 과정에 유용하게 활용될 수 있다.

2. 수요 기반 공공형 노인복지주택 입지 선정

2.1 용어 정의, 연구 프레임워크

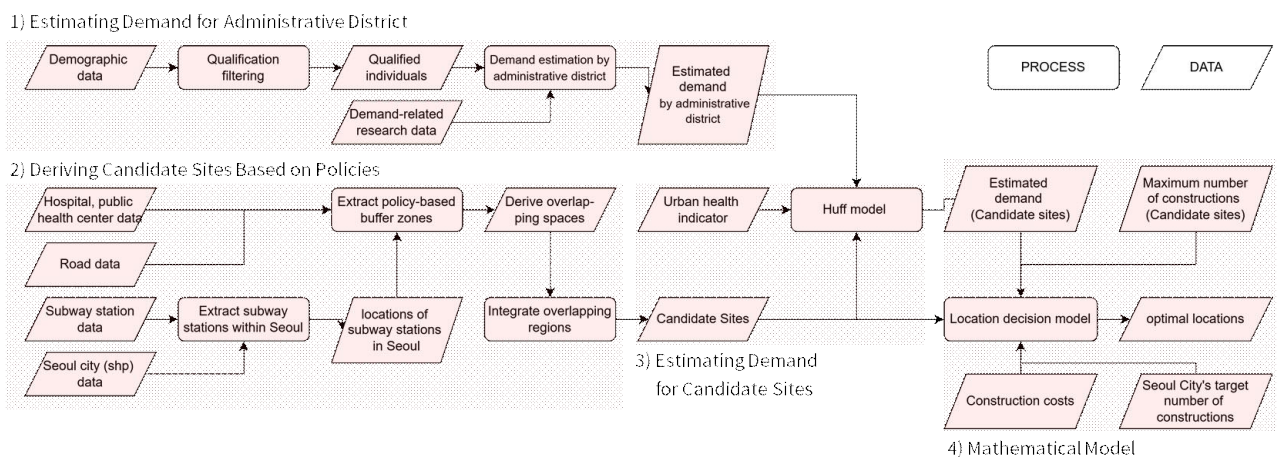


Figure 2. Research Framework

본 연구에서 수리모형을 통해 도출된 해는 입지 선정을 위한 것이 아니라 입지후보지를 검토하기 위한 것이다. 이러한 분석 과정은 시행사나 서울시가 사업성을 고려하여 최종 입지 결정을 내리는 데 유용한 참고자료로 활용될 수 있을 것이다. 이에 본 연구에서는 정책적 기준에 따라 건설이 가능한 입지를 '입지가능지'로 정의하고, 수리모형의 해로 선택된 입지를 '입지후보지'로 명명하고자 한다.

본 연구의 프레임워크는 (Figure 2)와 같다. 먼저 인구통계 데이터를 활용하여 공공임대주택 자격 요건 및 노인복지주택 관련 수요 연구를 기반으로 각 행정구별 예상 수요를 추정한다. 그 다음으로 병원, 보건소, 도로, 지하철역, 서울시의 지리 데이터를 활용하여 서울특별시 어르신안심주택 공급 지원에 관한 조례에 제정된 기준을 통해 입지가 가능한 공간을 추출하여 입지가능지를 도출한다. 앞서 도출한 행정구별 수요와 입지가능지 데이터를 활용하여 허프모델을 통해 각 입지가능지의 예상 수요를 도출한다. 마지막으로 수리모형을 통해 입지 후보지, 즉 최적 입지를 도출한다.

본 연구에서 제시하는 수리모형에 사용되는 집합, 의사결정변수, 매개변수는 (Table 1)과 같다.

Table 1. Sets, decision variables, parameters

Sets	
S	Set of administrative districts
C	Set of candidate sites
K_j	Set of demand levels for candidate site j ($\forall j \in C$)
N_j^k	Set of construction counts for candidate site j at demand k ($\forall j \in C, k \in K_i$)
Decision variables	
x_j^k	Binary decision variable that equals 1 if k constructions are built at candidate site j , otherwise 0 ($\forall j \in C, k \in K_i$)
Parameters	
W_j	Urban health indicator of candidate site j ($\forall j \in C$)
d_{ij}	Distance between the centroid* of administrative district i and candidate site j ($\forall i, j \in S \cup C, i \neq j$)
p_{ij}	Probability that demand from administrative district i is allocated to candidate site j ($\forall i \in S, j \in C$)
G_{ij}	Allocation status of demand from administrative district i to candidate site j (1 if allocated, 0 otherwise) ($\forall i \in S, j \in C$)
D_i	Demand for administrative district i ($\forall i \in S$)
R	Maximum distance for acceptable accessibility
Q_j	Maximum capacity for constructions allowed at a candidate site j ($\forall j \in C$)
F_j^k	Cost of k units at a candidate site j ($\forall i \in C, k \in K_j$)
A_j	Area of a candidate site j ($\forall j \in C$)
A_{\max}	Maximum area of candidate sites
T	Construction distance constraints between candidate sites
P	Target number of constructions in Seoul
b	Distance decay parameter for the huff model
u	Exclusive area
γ	Purchasable ratio of area in candidate sites
α	Floor area ratio (FAR)
β	Public contribution ratio

* Central point of administrative districts or candidate sites

2.2 행정구별 예상 수요 정의

행정구별 예상 수요를 추정하는 과정에서는, 노인복지주택 공실률의 원인 중 하나로 지적된 '희망거주지역 불일치' 문제를 다루고자 하였다. Hyun & Heo(2021)에 따르면, 기존 거주지를 떠나고 싶지 않은 상황으로 인해 입주를 취소하는 경우가 발생한다는 인터뷰를 확인할 수 있다. 따라서 현재 거주지역을 희망 거

주지역으로 가정하고 서울시 인구통계 데이터를 활용하여 각 지역에 대한 예상 수요를 추정하였다. 해당 데이터는 서울주거포털의 지원주택 입주대상 신청 자격 요건을 기준으로 공공임대주택 신청이 가능한 인원을 먼저 선별하였다. 나이 만 65세 이상, 무주택자, 가구당 월 평균소득 기준, 가구 총 자산평가금액(3.25억원 이하)의 기준을 적용한 결과, 총 7,432,211명 중 이를 만족하는 인원은 193,691명이었으며, 세부적인 행정구별 지원 가능 인원은 (Figure 3)과 같다.

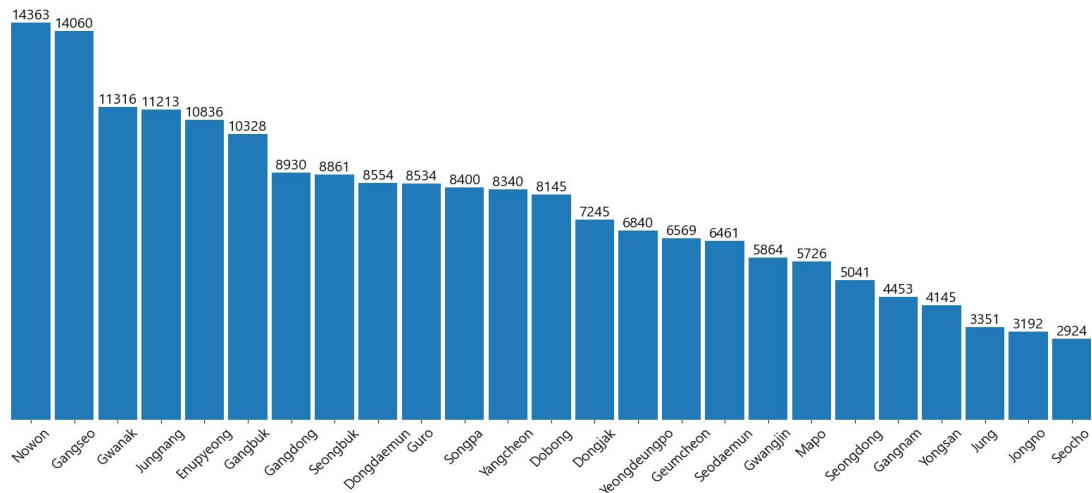


Figure 3. Qualified Individuals by Administrative District

본 연구는 위와 같이 추출한 행정구별 지원 가능 인원 중, 이사 희망 비율 및 이유를 통해 노인복지주택의 예상 수요를 추정하고자 하였다. 주택산업연구원(2024)에 따르면, 도시 1인 노인가구의 경우 8.9%, 2인 이상 노인가구의 경우 약 4.4%(부부가구 4.5%, 가족 동거 노인가구 4.3%의 평균)가 이사를 희망하는 것으로 확인하였다(Korea Housing Institute, 2024). 이사 희망이유는 집값·집세 부담, 재개발 및 재건축, 시설·설비 등으로 다양하게 나타났으며 이중 본 연구에서 보완할 수 있다고 판단되는 항목을 선택, 합산한 결과 61.1%의 비율을 도출하였다. 그 항목은 (Table 2, 3)에서 빨간 색 표시를 통해 확인할 수 있다.

Table 2. Preferred Residential Location If Health Is Maintained(%)

	Total	Elderly household						Elderly households living with family
		1-person household			Couple household			
		Total	Urban	Rural	Total	Urban	Rural	
Continue living in the current area	83.7	79.0	77.5	82.7	85.4	84.0	89.1	84.2
Move to another house in the current residential area	11.2	12.4	13.5	9.7	10.7	11.5	8.6	11.4
Move to housing that provides meals and living convenience services (e.g., silver towns, nursing homes, senior welfare housing)	5.1	8.5	8.9	7.6	3.9	4.5	2.2	4.3

Sources : Korea Housing Institute (2024), Strategies for Improving Housing Benefits for Elderly Households.

Table 3. Reasons for Elderly Households' Relocation(%)

	Total	Elderly household						Elderly househ olds living with family	Non-e lderly house holds
		1-person household			Couple household				
		Total	Urban	Rural	Total	Urban	Rural		
Due to rent or housing cost burden	3.8	6.2	6.4	5.2	1.9	2.2	0.0	3.8	3.7
Due to redevelopment and reconstruction	6.9	7.3	7.0	9.3	6.5	6.4	7.5	9.4	1.4
To a house with better facilities and infrastructure	29.0	28.7	28.1	32.8	29.2	28.7	33.3	25.1	26.3
To a house with a suitable size	9.6	9.1	8.9	10.2	10.0	9.9	10.5	12.0	8.8
To live closer to parents, children, etc.	5.3	5.8	5.5	8.4	4.8	4.1	10.0	1.8	2.8
To an area with better transportation, amenities, culture, parks, and green spaces	13.7	11.8	12.0	9.8	15.2	15.6	12.2	10.7	12.7
To an area with a better natural environment	3.1	1.5	1.3	2.6	4.3	4.7	1.9	3.1	0.9
Others	28.7	29.6	30.7	21.7	28.0	28.5	24.5	34.1	43.4

Sources : Korea Housing Institute (2024), Strategies for Improving Housing Benefits for Elderly Households.

이를 바탕으로 (자격 요건을 충족하는 1인 가구 * 희망 이사 비율 8.9%) + (자격 요건을 충족하는 2인 이상 가구 * 희망 이사 비율 4.4%)에 이사 희망 비율 61.1%를 곱하여 총 수요를 추정하였으며, 최종 행정구별 예상 수요는 (Figure 4)에 제시된 바와 같다.

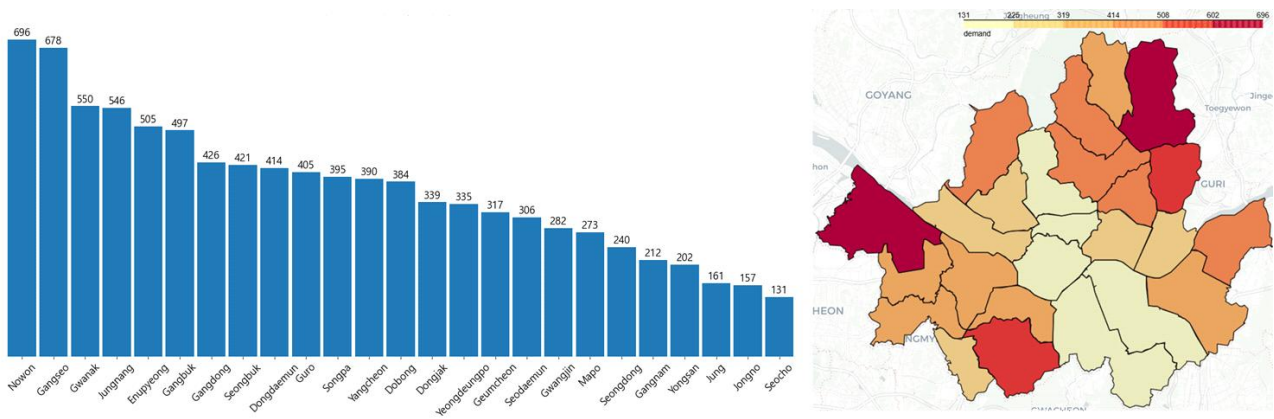


Figure 4. Estimated Demand by Administrative District

(Left: Number of Individuals, Right: Administrative District Heatmap by Number of Individuals)

2.3 정책 기반 입지가능지 도출

정책적 기준에 따라 건설이 가능한 입지가능지를 도출하기 위해 서울특별시 조례 제4634호 서울특별시 어르신안심주택 공급 지원에 관한 조례 제2조(이하 서울시 조례)를 기반으로 입지가능지를 선정하였다 (Seoul Metropolitan Government, 2024). 서울시 조례에 따르면, “대중교통 중심지역”이란 지하철 및 버스 등 대중교통의 편리한 이용이 가능한 지역으로 지하철, 국철, 경전철 등의 역에서 승강장 경계 및 출입구로

부터 최대 350미터 이내, 혹은 간선도로변(주간선도로 및 보조간선도로 경계에서 50미터 이내의 지역)에 해당하는 지역을 의미한다. 또한 "의료시설 중심지역"은 의료법 제3조에 따른 종합병원이나 시립병원, 또는 지역보건법 제 2조에 따른 보건소의 의료시설 대상부지 경계로부터 350미터 이내의 지역을 의미한다. 본 연구에서는 이러한 기준을 종합하여 정책 기반의 입지 가능성을 추출하기 위해 대중교통 중심지역과 의료시설 중심지역을 고려하였으며, 이 두 지역의 교집합(intersection)을 입지 가능지로 선정하였다.

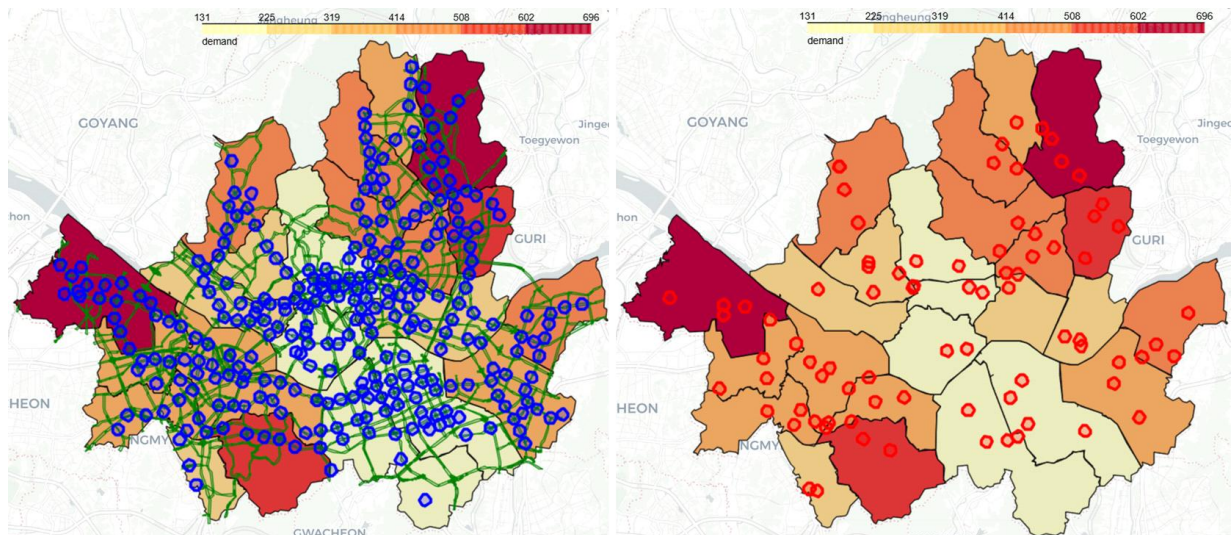


Figure 5. Proximity to Public Transport(Left), Proximity to Healthcare Facilities(Right)

대중교통 중심지역의 경우, 도로중심선 서울시 데이터를 이용하여 서울시 조례에 의거, 간선도로 및 보조간선도로의 50m 이내 지역을 추출하였으며 서울시 역사마스터 정보에서 지하철역의 좌표를 추출한 후, 행정구역시군구 경계 데이터를 활용하여 서울시 조례에 따라 해당 역의 350m 이내 지역을 도출하였다. 그 결과, (Figure 5)의 좌측 그림에서 주간선도로 및 보조간선도로 50m 이내 지역은 녹색 선으로, 지하철역 350m 이내 지역은 파란색 원으로 표시된 것을 확인할 수 있다.

의료시설 중심지역의 경우, 서울시 병원 인허가 정보에서 서울시 조례에 따라 종합병원만을 선택하여 57개의 병원의 350m 이내 지역을 추출하였다. 위·경도 좌표가 정리된 다른 데이터와 달리 보건기관 데이터의 경우, 직접 네이버 지도 API를 통해 각 행정구의 25개 보건소 및 서울시가 관리하는 시립병원 3개(서북병원, 은평병원, 북부병원)의 좌표를 추출하였으며 마찬가지로 350m 이내 지역을 추출하였다. 그 결과, (Figure 5)의 우측 그림에서 종합병원 및 보건소의 350m 이내 지역을 빨간색 원으로 표시된 것을 확인할 수 있다.

최종적인 입지가능지 선정을 위해 대중교통 중심지역과 의료시설 중심지역의 교집합, 즉 {의료시설 중심지역 \cap 지하철역 350미터 이내} \cup {의료시설 중심지역 \cap 간선도로변 50미터 이내} 지역을 추출한 결과, 총 91개의 교집합을 도출하였다. 하지만 서울특별시 어르신안심주택 건립 및 운영기준 제2장 제1절에 따라 최소 면적 기준 1,000m² 미만인 지역, 총 5곳을 제외하여 총 86개의 입지가능지를 선정하였으며, 그 결과는 (Figure 6)과 같다.

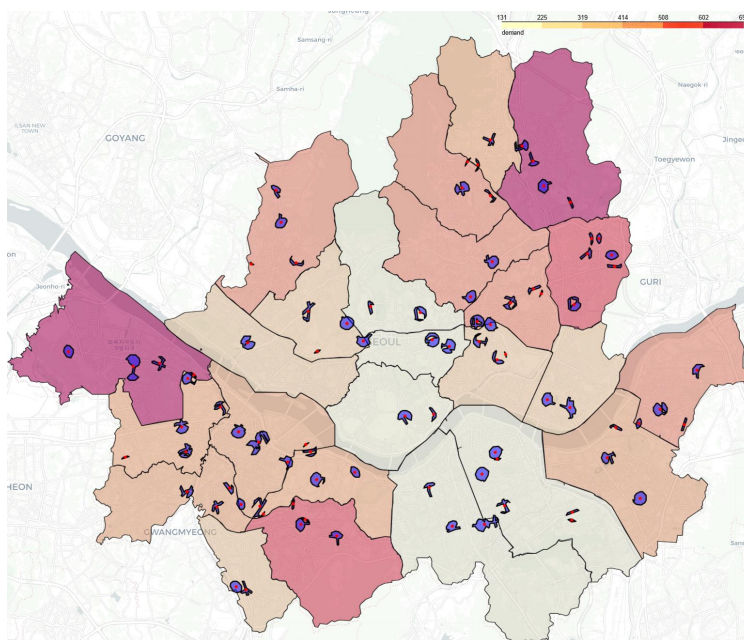


Figure 6. Candidate Sites

2.4 입지가능지별 예상 수요 및 단위 호수 당 비용 정의

본 연구는 최소한의 예산으로 서울시의 목표 호수를 만족하는 입지후보지를 선정하는 것이다. 따라서 행정구 기반의 수요가 아닌 입지에 대한 예상 수요를 정의해야 한다. 입지가능지별 예상 수요는 소매입지 이론 중 하나인 허프모델(Huff, 1963)을 활용하여 추정한다. 허프모델은 거리를 기반으로 수요를 확률적으로 추정한다. 본 연구에서는 행정구의 centroid와 입지가능지의 centroid 간의 거리를 기반으로 이를 추정한다. 이에 대한 수식은 아래 식 (1)과 같다.

$$p_{ij} = \frac{W_j/d_{ij}^b}{\sum_k W_k/d_{ik}^b}, \quad \forall i \in S, j \in C \quad (1)$$

여기서 b 는 거리 감쇠 파라미터로 증가할수록 가까운 행정구의 수요를 더 크게 반영한다. W_j 는 허프모델에서 매력도라고 불리며, 본 연구에서는 도시건강지수 중 건강 결정요인을 차용한다. Son & Kim (2019)에 따르면, 도시건강지수는 각 행정구의 다양한 건강결정요인과 요인 간의 유기적인 관계, 이에 따른 건강결과까지 종합적으로 해석하기 위한 목적으로 개발된 지표이며 그 중 건강결정요인은 미래의 건강결과를 예측할 수 있는 수단으로, 본 연구에서는 미래에 건강결과가 좋을수록 선호도가 높음을 가정한다. (Table 4)를 보면, 1분위일수록 미래의 건강결과가 좋다는 것을 의미하며, 1분위인 경우에는 5점, 5분위인 경우에는 1점을 적용한다.

Table 4. Seoul Urban Health Index

Group	Health outcomes		Health factors	
	Administrative District	Zscore range	Administrative District	Zscore range
1st quintile	Seocho, Gangnam, Songpa, Yeongdeungpo, Dongjak	-1.61~-0.42	Songpa, Seocho, Gangnam, Dongjak, Yeongdeungpo,	-0.65~-0.21
2nd quintile	Seodaemun, Yangcheon, Gwangjin, Mapo, Yongsan	-0.37~-0.20	Gangdong, Yangcheon, Guro, Nowon, Gwangjin	-0.19~0.07
3rd quintile	Seongbuk, Guro, Seongdong, Gwanak, Nowon	-0.11~0.21	Seongbuk, Jongno, Gwanak, Jung, Eunpyeong,	-0.04~0.10
4th quintile	Jung, Gangseo, Eunpyeong, Jongno, Dobong	0.21~0.43	Yongsan, Gangseo, Dobong, Jungnang, Seongdong	0.12~0.17
5th quintile	Gangdong, Dongdaemun, Gangbuk, Geumcheon, Jungnang	0.47~1.20	Mapo, Seodaemun, Gangbok, Dongdaemun, Geumcheon	0.23~0.66

Sources : Son, C. W., Kim, K. A. (2019), The Diagnosis of Health Problems and its Suggestions in terms of Public Health Perspective, The Seoul Institute.

식 (1)을 통해 행정구 i 와 입지가능지 j 간 수요를 확률적으로 추정하며, 이를 활용하여 각 입지가능지에 대한 수요를 추정한다. 그 수식은 아래 식 (2)과 같다.

$$N_j = \sum_i^S G_{ij} p_{ij} D_i, \quad \forall j \in C \quad (2)$$

여기서 N_j 는 입지가능지 j 의 예상 수요, G_{ij} 는 행정구 i 가 입지가능지 j 의 수요 대상인지에 대한 이진변수로, 아래 식(3)과 같다.

$$G_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } d_{ij} \leq R \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}, \quad \forall i \in S, j \in C \quad (3)$$

d_{ij} 는 행정구 i 와 입지가능지 j 의 거리이며 생활권을 나타내는 R 보다 작거나 같으면 행정구 i 는 입지가능지 j 의 생활권 내에 있다고 가정한다. 해당 내용을 토대로 식 (2)를 다시 설명하면, 행정구 i 가 입지가능지 j 의 생활권 내에 있다면($G_{ij} = 1$) 행정구의 수요(D_i)를 거리에 따른 확률(p_{ij})과 가중합하여 입지가능지 j 의 수요를 추정한다.

식 (2)는 입지가능지 j 의 예상 수요의 최대값이므로, 건설 호수에 대한 정보로 추가적인 전처리가 필요하다. 건설 호수에 대한 파라미터는 K_j 이고 이는 아래 식 (4)와 같이 정의한다.

$$K_j = \{1, 2, \dots, \min(N_j, Q_j)\}, \quad \forall j \in C \quad (4)$$

여기서 Q_j 는 입지가능지 j 면적에 따른 최대 건설 가능 호수로, 입지가능지 j 의 면적(A_j)에 구매 가능 비율(γ)을 곱한 값과 최대 면적(A_{\max}) 중 작은 값에 용적률(α)과 공공기여 비율(β)을 곱하고 전용 면적으로 나누어 건설 가능 최대 호수를 정의한다. 이는 아래 식 (5)와 같다.

$$Q_j = \alpha \times \beta \times \min(\gamma \times A_j, A_{\max}) \times \frac{1}{u}, \quad \forall j \in C \quad (5)$$

본 연구의 목표는 최소한의 예산으로 서울시의 목표 건설 호수를 충족하는 것이다. 이를 위해서는 비용에 대한 정보가 필수적이다. 비용은 크게 토지비와 건축비로 나눌 수 있다. 토지비의 경우, 본 정책에서는

규제 완화를 통해 주택 공급을 증대하고, 이로 인해 발생하는 공급 증가분의 일정 부분에 대해 지자체가 공공기여를 받는다. 이러한 공공기여는 토지비에 해당하므로, 본 연구에서는 토지비를 별도로 고려하지 않는다. 한편, 건설비에 대해서는 단위 호수당 비용에 대한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 부동산뱅크의 지역별 시세통계 데이터 중 주간 아파트 3.3㎡당 가격 데이터를 활용하여, 공공건설임대주택 표준건축비에 가정된 면적과 곱하여 단위 호수당 비용을 정의한다. 해당 데이터는 (Table 5)와 같다.

Table 5. Weekly Apartment Price per 3.3㎡

Unit: 10,000 KRW

District	Price per 3.3㎡	District	Price per 3.3㎡
Gangnam	7,309	Seodaemun	2,883
Gangdong	3,602	Seochon	7,508
Gangbuk	2,148	Seongdong	4,195
Gangseo	2,881	Seongbuk	2,602
Gwanak	2,555	Songpa	5,210
Gwangjin	4,021	Yangcheon	3,968
Guro	2,395	Yeongdeungpo	3,710
Geumcheon	2,188	Yongsan	5,451
Nowon	2,431	Eunpyeong	2,595
Dobong	2,055	Jongno	3,372
Dongdaemun	2,738	Jung	3,537
Dongjak	3,553	Jungnang	2,209
Mapo	3,907		

Sources : Weekly Market Statistics by Region, Real Estate Agency

Table 6. Standard Construction Costs for Public Rental Housing

Unit: 1,000 KRW

Category (Based on Exclusive Residential Area)		Maximum Construction Cost (Applied to Total Residential Area)
5 floors or below	Up to 40㎡	1,126.7
	Over 40㎡ and up to 50㎡	1,145.2
	Over 50㎡ and up to 60㎡	1,109.5
	Over 60㎡	1,120.8
6-10 floors	Up to 40㎡	1,209.8
	Over 40㎡ and up to 50㎡	1,226.1
	Over 50㎡ and up to 60㎡	1,188.5
	Over 60㎡	1,192.3
11-20 floors	Up to 40㎡	1,142.0
	Over 40㎡ and up to 50㎡	1,154.1
	Over 50㎡ and up to 60㎡	1,119.3
	Over 60㎡	1,118.8
21 floors or above	Up to 40㎡	1,162.6
	Over 40㎡ and up to 50㎡	1,173.8
	Over 50㎡ and up to 60㎡	1,139.2
	Over 60㎡	1,138.4

Sources : Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Announcement No. 2023-64, July 2023, Construction Division

3.3㎡ 당가가 가장 높은 값을 분모로 하고 각 행정구의 3.3㎡ 당가를 분자로 하여 해당 행정구의 가격

비율을 산정하고 입지가능지는 본인이 속하는 행정구의 가격 비율을 따른다고 가정한다. 이를 면적 및 가정한 공공건설임대주택 표준건축비의 건축비 상한가격과 곱하여 각 입지가능지의 단위 호수 당 비용을 결정한다. 본 연구에서는 21층 이상의 35m²의 전용 면적을 가정한다. 그에 해당하는 건축비 상한가격은 1,162.6 천원이며 그 구분은 아래 (Table 6)과 같다. 전용면적 대비 공급면적은 단지마다 상이할 수 있기 때문에 이는 배제하고 공급면적이 아닌 전용면적과 곱하여 비용을 산출한다.

2.5 제안 수리모델

본 절에서는 앞서 설명한 내용을 바탕으로, 최소 건설 비용으로 노인복지주택 수요 목표를 달성하기 위한 수리계획법 모형을 설계하였다. 그 모형은 다음과 같다.

$$\text{Minimize } \sum_j^C \sum_k^{K_j} F_j^k x_j^k \quad (6)$$

Subject to

$$\sum_k^{K_j} x_j^k \leq 1, \quad \forall j \in C \quad (7)$$

$$\sum_j^C \sum_k^{K_j} N_j^k x_j^k = P \quad (8)$$

$$d_{ij} \left(\sum_k^{K_i} x_i^k + \sum_l^{K_j} x_j^l - 1 \right) + M \left(2 - \sum_k^{K_i} x_i^k - \sum_l^{K_j} x_j^l \right) \geq T, \quad \forall i, j \in C, i \neq j \quad (9)$$

$$x_j^k = \{0, 1\}, \quad \forall j \in C, k \in K_i \quad (10)$$

식 (6)는 수리계획법 모형의 목적식으로 본 문제는 건설 비용을 최소화하는 것을 목적으로 한다. 식 (7)은 각 입지가능지에는 최대 하나의 건설 호수만 선택이 가능하다는 것을 나타낸다. j 는 각 입지가능지를 의미하며, k 는 해당 입지가능지에 건설하는 호수를 의미한다. 식 (8)은 서울시의 목표 호수를 건설해야함을 의미한다. 식 (9)는 입지가능지 간 거리 제약을 의미한다. 선택된 두 입지가능지는 간의 거리는 T 거리 이상의 거리를 가져야한다. 해당 제약이 없을 경우, 3.3m² 당가가 낮은 순서대로 입지가능지를 최대 호수로 선택하게 되며 이는 지역적 편차를 야기한다. 따라서 이를 방지하기 위해 각 입지가능지 간 거리 제약을 적용한다. 식 (10)은 결정변수가 이진 변수임을 의미한다.

3. 연구 결과

3.1 실험

본 연구에서는 거리 감쇠 파라미터(b), 수요 거리 제약(R), 건설 거리 제약(T)에 따른 입지후보지 선정 결과를 확인하고 그 결과에 대해 분석한다. 뿐만 아니라 현재 정책을 완화하여 실험하고 그 결과를 통해 정책적 제언을 제시한다. 마지막으로 기존 매입임대 주택과의 비용 대비 호수를 비교하여 현재 정책에 대한 실효성을 확인한다. 모든 실험은 인텔(R) i7-12700KF, 3.60GHz CPU와 32G RAM의 개인용 컴퓨터를 사용하였으며 수리모형은 python 3.9 버전, 오픈 소스인 Google OR-Tools 9.10 버전을 활용하였다.

거리 감쇠 파라미터(b)는 2와 4, 수요 거리 제약(R)은 3km와 5km, 건설 거리 제약(T)은 1km와 3km 각각 두 값을 설정하며 총 8개의 시나리오에 대한 테스트를 진행한다. 그 결과는 아래 (Table 7)과 같다. 거리

감쇠 파라미터(b)와 건설 거리 제약(T)은 특별한 기준이 없어 임의로 설정한 값이며, 수요 거리 제약은 서울시민의 현재 생활권계획의 평균 직경 3km와 일상 소비 목적 이동의 평균 거리 5.32km에서 소수점을 제외한 값을 적용하였다(Heo et al., 2024).

그 외 서울시 목표 건설 호수(P)는 3,000호수, 입지가능지 최대 면적(A_{max})은 30,000m², 전용 면적(u)은 35m², 입지가능지 면적 중 구매 가능 비율(γ)은 50%, 용적률(α)은 400%, 공공기여 비율(β)은 20%로 설정한다. 전체 결과에 대한 시각화는 (Figure 7)과 같다.

Table 7. Test Result

case	Distance Decay Parameter(b)	Demand Distance Constraint(R)	Construction Distance Constraint(T)	Total Cost (billion KRW)	Time (sec)
1	2	3	1	424.17	6.14
2	2	3	3	497.46	6.28
3	2	5	1	404.95	6.85
4	2	5	3	475.36	7.23
5	4	3	1	382.03	15.63
6	4	3	3	397.99	10.40
7	4	5	1	380.71	9.72
8	4	5	3	397.2	16.03

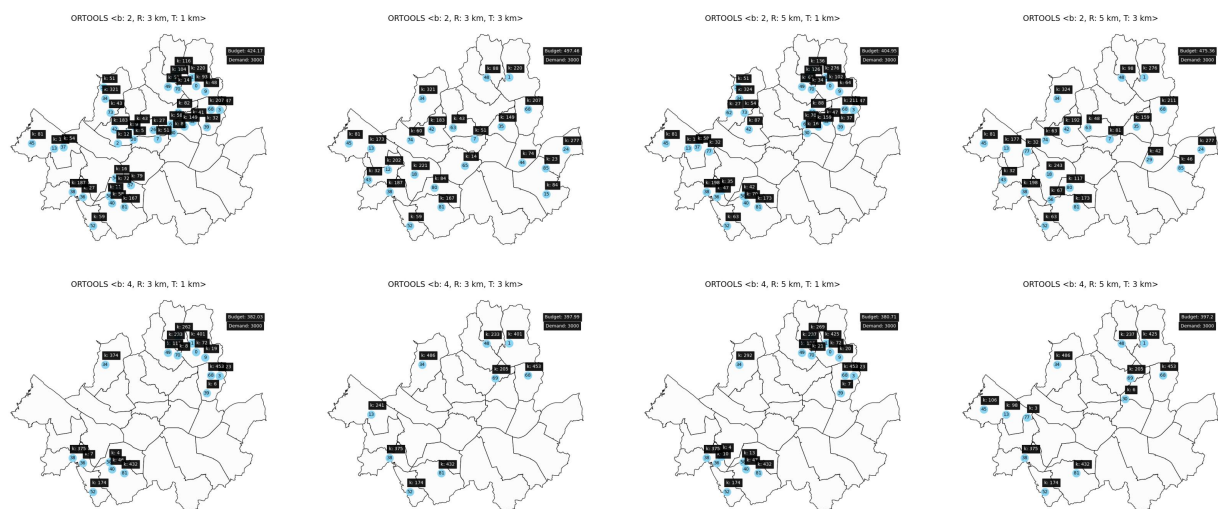


Figure 7. Result Plots

3.2 거리 감쇠 파라미터(b)에 따른 결과 변화

수요 거리 제약(R)은 5km, 건설 거리 제약(T)은 3km로 설정한 후, 거리 감쇠 파라미터(b) 변화에 따른 결과를 비교하고자 한다. 거리 감쇠 파라미터(b)는 값이 커질수록 가까운 거리의 행정구 수요를 더 크게 반영한다. 그 결과, 가까운 행정구의 수요를 크게 추정함에 따라 노원구에 위치한 입지가능지에 대한 예상 수요를 크게 추정한 것을 확인할 수 있다. (Figure 8)의 1번 노드를 보면 b 가 2인 경우, 276개의 호수를 최대 수요로 추정한 반면, b 가 4인 경우 425로 크게 증가한 것을 알 수 있다. 수요가 많고 입지가 비교적 저렴한 곳에 건설 호수를 크게 증가시켰기 때문에 선택된 입지후보지는 22개에서 12개로 감소한 것을 알 수 있다.

예산 또한 동일한 이유로 475.36억에서 397.2억으로 크게 감소하였다. 이는 본 정책에 지원 자격이 있는 인
원들의 생활권을 어떻게 해석하느냐에 따라 입지후보지 선정 결과 및 사용 예산이 변경될 수 있다는 것을
확인할 수 있다. 현재 거주지에서 가까운 곳을 선호하는 정도에 따라 해당 파라미터를 변경하여 결과를 확
인할 수 있다.

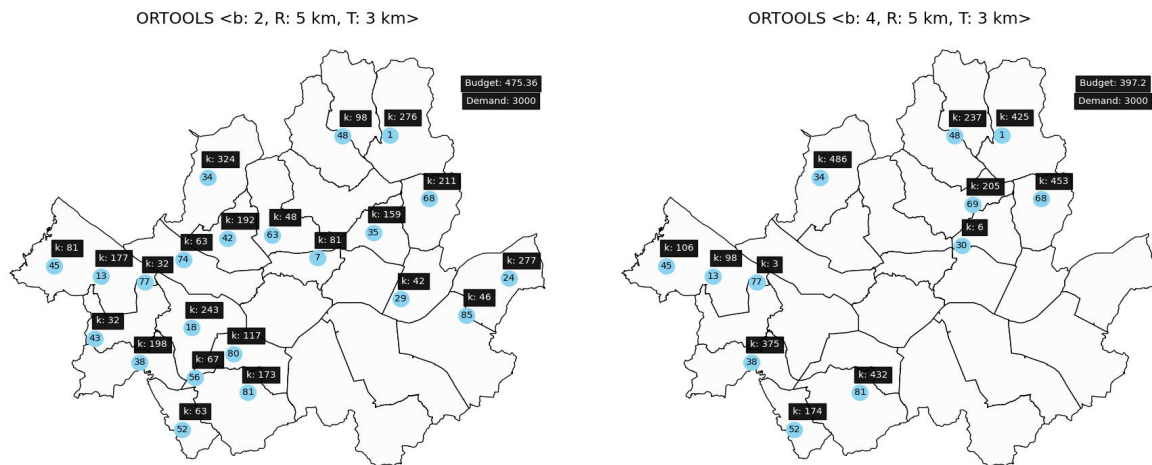


Figure 8. Results Based on Changes in Distance Decay Parameter(b)

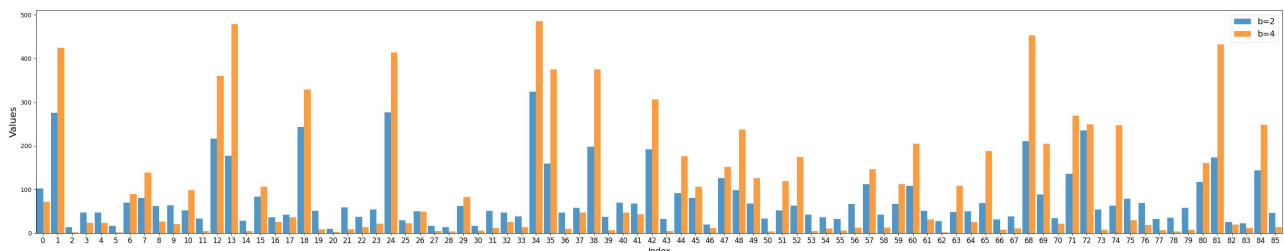


Figure 9. Changes in Demand Estimation Based on Variations in Distance Decay Parameter(b)

거리 감쇠 파라미터(b) 변화에 따른 수요 추정 변화는 (Figure 9)와 같다. 행정구와 가까운 입지가능지의 수요는 크게 증가하는 반면, 그와 반대 경우에는 감소하는 것을 확인할 수 있다.

3.3 수요 거리 제약(R)에 따른 결과 변화

건설 거리 제약(T)은 3km, 거리 감쇠 파라미터(b)는 4로 설정한 후, 수요 거리 제약(R)에 따른 결과를 비교하고자 한다. 수요 거리 제약(R)은 값이 커질수록 입지가능지에서 거리가 먼 행정구의 수요도 반영하기 때문에 수요 거리 제약(R)이 작을 때에 비해 예상 수요를 크게 추정한다. 하지만 그 정도가 거리 감쇠 파라미터(b)의 증가에 따른 수요 증가 수준에 비해 미미하다. (Figure 10)의 1번 노드에 대한 수요는 R 이 3km인 경우 401이었지만 5km인 경우 425로, 21개 가구만큼의 수요를 더 크게 추정하였다. 각 입지가능지에 대한 수요를 크게 추정하는 것은 거리 감쇠 파라미터(b)와 동일하나 그 정도가 크지 않음을 알 수 있다. 이는 수요 거리 제약이 입지후보지 선정에 거리 감쇠 파라미터(b)에 비해 큰 영향을 주지 않는다는 것을 알 수 있다.

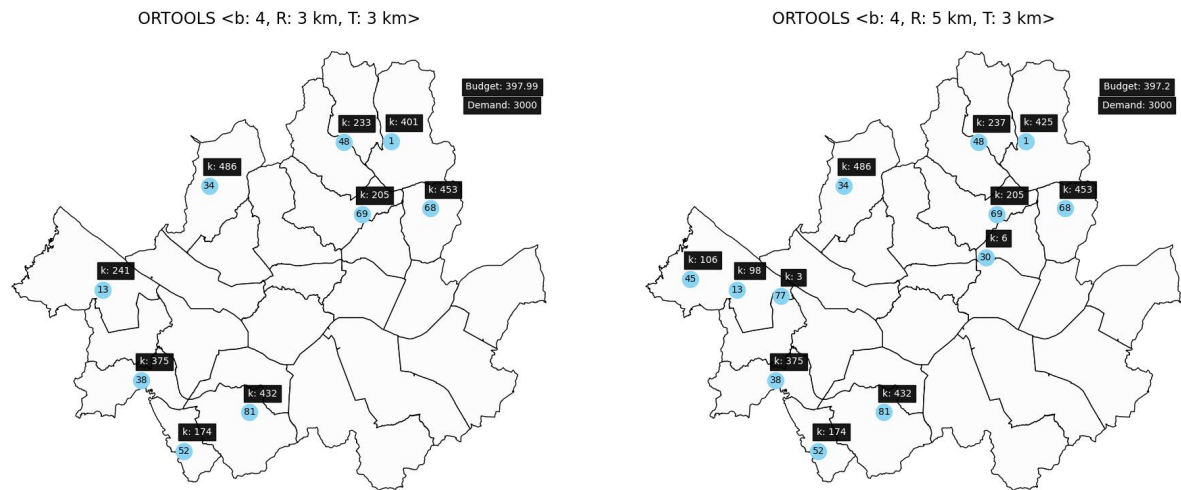


Figure 10. Results Based on Changes in Demand Distance Constraint(R)

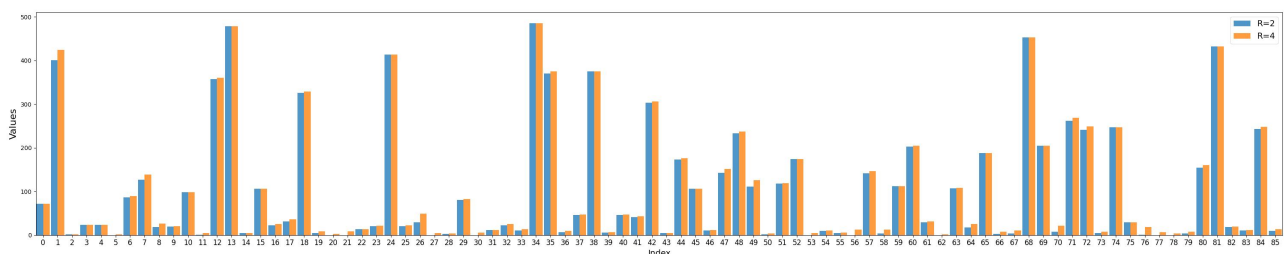


Figure 11. Changes in Demand Estimation Based on Variations in Demand Distance Constraint(R)

수요 거리 제약(R) 변화에 따른 수요 추정 변화는 (Figure 11)과 같다. 거리 감쇠 파라미터(b) 변화에 따른 수요 추정 변화의 폭에 비해 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 이는 식 (1)의 추정 방식에 기인하며 행정구와 거리가 먼 입지가능지의 수요는 거리 감쇠 파라미터에 따라 미미하게 영향을 미치기 때문에 식 (3)에서 수요 거리 제약에 해당하는 입지를 제외한다고 하더라도 그 영향은 크지 않은 것을 알 수 있다.

3.4 건설 거리 제약(T)에 따른 결과 변화

거리 감쇠 파라미터(b)는 4, 수요 거리 제약(R)은 5km로 설정한 후, 건설 거리 제약(T)에 따른 결과를 비교하고자 한다. 건설 거리 제약(T)은 값이 커질수록 입지가능지 간 건설이 제한되면서 서울시 전역에 고르게 입지후보지 선정이 되는 것을 알 수 있다. 그 과정에서 지역 간 거점화가 이뤄지며 입지후보지로 선정된 곳의 큰 호수가 할당된다. (Figure 12)의 좌측 그림은 건설 거리 제약이 1km로, 수요가 많고 단위 호수 당 비용이 저렴한 곳에 밀집되어 있다. 한강을 기준으로 강북지역은 도봉구, 노원구, 중랑구에, 강남지역은 구로구, 금천구, 관악구에 밀집되어 있는 것을 알 수 있다. (Figure 12)의 우측 그림은 건설 거리 제약이 3km로, 선정된 입지후보지가 해당 지역의 거점과 같이 형성된 것을 알 수 있고 비교적 서울시 전역에 고루 분포하는 결과를 보인다. 즉, 건설 거리 제약(T)을 통해 입지후보지의 분포를 조정할 수 있다.

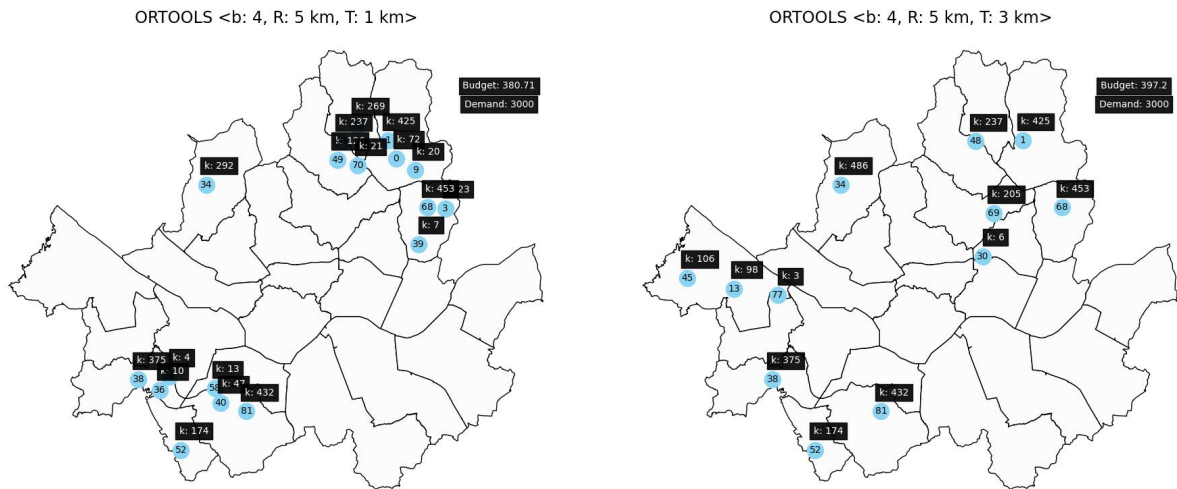


Figure 12. Results Based on Changes in Construction Distance Constraint(T)

3.5 정책적 제언: 의료시설 기준 완화

본 연구는 서울특별시 어르신안심주택 공급 지원에 관한 조례에 따라 총 85개의 의료시설만을 고려한다. 이는 입지가능지에 수를 대폭 완화하는 요인 중 하나로, 대중교통 중심지역과 교집합을 이루는 지역만을 고려한다. 대중교통 중심지역은 간선도로변과 서울시 내 모든 지하철역을 고려하기에 서울시 전역을 촘촘하게 차지한다. 그러나 85개의 의료시설 중심지역이 차지하는 면적이 매우 희박하기 때문에 교집합을 이루는 면적 자체가 매우 제한적으로 구성된다. 서울시 조례의 심사보고 자료에 의하면 서울시 내 의료시설 분포 현황이 고루 분포되어있다는 것은 확인하였으나 대중교통 중심지역과 교집합을 이루는 입지가능지를 분석한 자료는 보이지 않는다. 그 결과 입지가능지는 서울시 전역에서 86개의 매우 적은 지역만 고려하게 된다. 이를 보완하기 위해 의료시설 기준을 완화하여 그 결과를 비교·분석하고자 한다. 공공형 노인복지주택에 적합할 수 있도록 서울시 병원 인허가 데이터에서 업태구분명 중 요양병원(일반요양병원)과 요양병원(노인병원)을 추가하여 (Table 7)의 case 4와 8과 동일한 하이퍼파라미터 설정에서 실험하고 이를 비교·분석하며 그 결과는 (Figure 13)과 같다.

요양병원(일반요양병원)과 요양병원(노인병원)을 추가한 결과, 기존 입지가능지 86개에서 136개로 총 50개의 입지를 더 고려할 수 있음을 확인하였다. 변수가 증가함에 따라 연산 시간은 case 4와 case 8에서 각각 7.23초, 16.03초 걸리던 것에 비해 10.36초, 17.94초가 걸렸다, 총 비용은 case 4와 case 8에서 각각 475.36억, 397.2억에서 529.17억, 401.67억으로 증가하였다. 선택된 입지후보지는 case 4와 case 8에서 각각 22개, 12개에서 32개, 13개로 증가하였다.

해당 결과에 대한 원인은 허프모델의 계산 방식에 기인한다. 행정구의 centroid와 가까운 곳에 새로운 입지가능지가 생긴 경우, 해당 입지가능지가 행정구의 수요를 대부분을 흡수하게 된다. 따라서 노원구, 성북구의 결과처럼 새로운 입지의 대규모 단지를 형성하게 된다. 이와 반대로 중랑구와 은평구의 경우, 기존 대규모 단지를 형성하던 입지가 새로운 입지가능지가 증가함에 따라 경쟁 관계를 갖게 되고 수요를 분배받게 된다. 따라서 기존 대규모 단지가 구성되었던 것과 달리 비교적 적은 호수를 건설하게 의사결정이 이뤄진다.

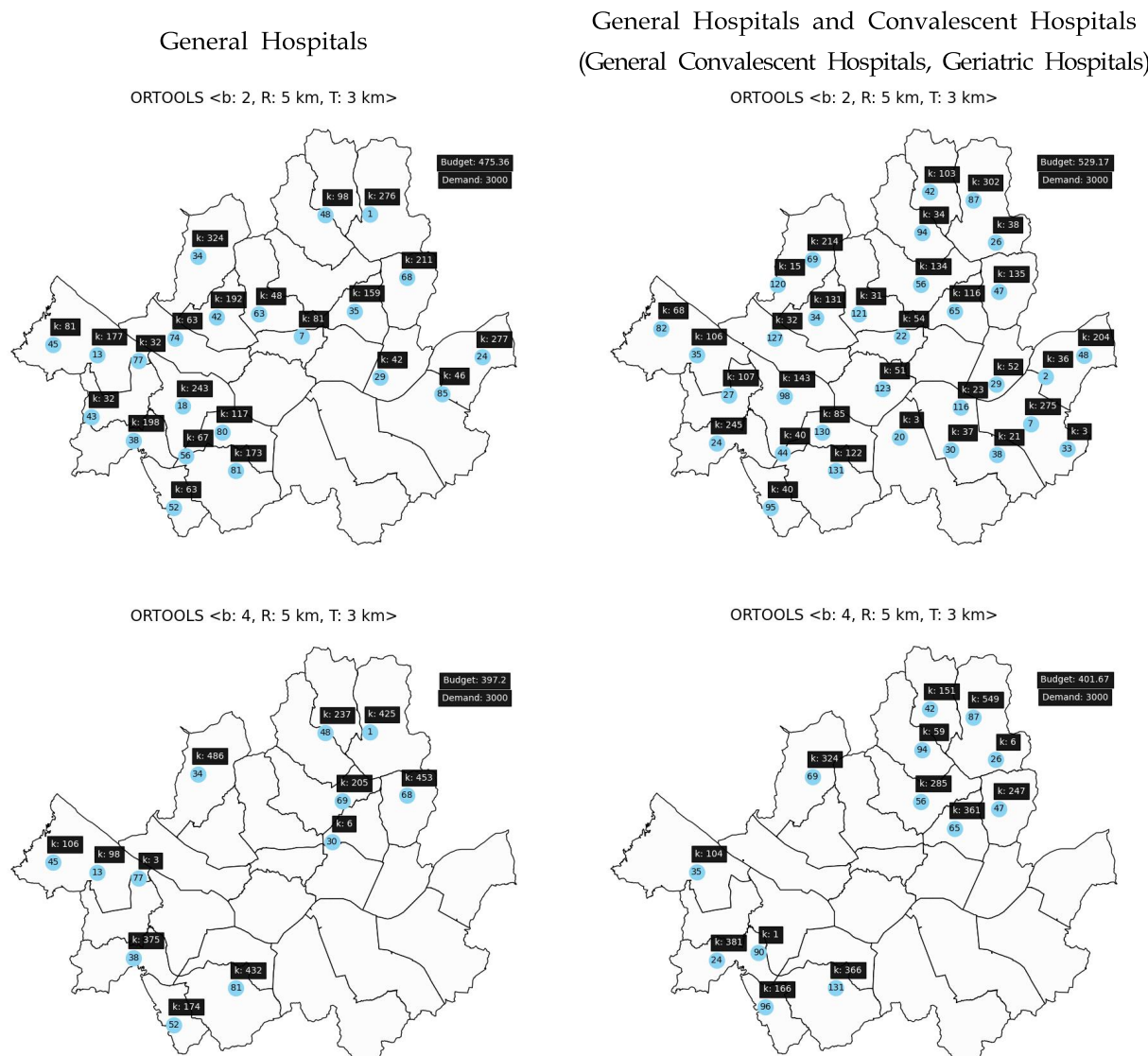


Figure 13. Comparison of Results with Convalescent Hospitals

요양병원(일반요양병원)과 요양병원(노인병원)을 추가한 결과, 수요 추정이 변화함에 따라 다양한 입지 가능성을 입지후보지로 선정한다. 예산이 증가한다는 점에서 안 좋은 결과로 판단할 수도 있지만, 그와 반대로 공공성에 초점을 맞춘다면 서울시 전역에 촘촘하게 입지후보지를 선택할 수 있다는 점에서 복지 정책의 의미를 찾아볼 수 있다. 현재 거주지역을 떠나고 싶지 않은 노인가구에 다양한 선택지를 제공한다는 점에 있어서 유의미한 결과로 판단할 수 있다.

3.6 정책 실효성

본 연구의 기반이 되는 서울특별시 어르신안심주택 공급 지원에 관한 조례는 규제 완화를 통해 공급을 증대하고 증대된 공급의 일정 부분을 공공기여로 증여받는다. 이는 토지 구입 등 건설 비용은 대부분 민간 시행사에서 부담하는 방식으로, 지자체의 예산 지출을 획기적으로 낮출 수 있는 정책이다. 비용 산정 방식이 기존과 달라 직접적인 비교는 어렵지만, 예산 투입을 기준으로 비교·분석하고 정책의 실효성을 판단하고자 한다.

먼저, 기존 방식과의 차이점에 대해 간단히 기술한다. 기존 매입임대주택의 경우, 말 그대로 기존 건축물을 매입하는 방식으로, 그에 따라 높은 비용의 지출이 불가피하다. 반면 본 정책의 경우, 토지비용, 자재비인상 등의 따른 건축비 초과분은 민간 사업자가 지출하기 때문에 해당 비용은 서울시와 무관하다. 서울시는 규제 완화를 통해 공급을 증대하고 이에 대해 일정 부분 공공기여로 주택을 받는다. 즉, 토지와 건축물은 민간 사업자에게 귀속되고 그 중 일부만을 기여 받으며 기여분에 대한 건축비를 지출한다. 해당 건축비는 공공건설임대주택 표준건축비를 준용한다. 일부 선매입 방식을 택할 경우, 일부 주택을 구매하는 비용이 지출될 수 있는데 이에 대한 비용은 서울시에서 부담하지 않는다.

Table 8. Costs and Number of Units for LH and SH Buy-to-Rent Public Housing (2016-2022)

Unit: billion KRW, in parentheses: number of units

Catogory	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Total
LH	3,700 (2,318)	5,165 (2,952)	10,045 (4,866)	21,691 (9,214)	17,438 (6,838)	Not Disclosed	Not Disclosed	58,039 (26,188)
SH	3,926 (1,840)	3306 (1,509)	4,744 (2,039)	5,729 (2,321)	9,446 (3,211)	15,023 (4,482)	1,325 (396)	43,499 (15,798)
Total	7,626 (4,158)	8,471 (4,461)	14,789 (6,905)	27,420 (11,535)	26,884 (10,049)	15,023 (4,482)	1,325 (396)	101,538 (41,986)

Sources : "LH and SH purchased rental housing over 7 years..." The Kyunghyang Shinmun, 23.08.23.

https://m.khan.co.kr/economy/real_estate/article/202303281408001#c2b

상기 매입 방식의 차이에 의해 직접적인 비교가 어렵지만, 비용 관점에서 그 차이를 논하고자 한다. 한국토지주택공사(LH), 서울주택도시공사(SH)의 2016년부터 2022년까지의 매입임대주택 현황은 (Table 8)과 같다. 2016년도부터 2022년도까지의 LH, SH의 호수 당 비용의 평균은 2.418억 원이며 2021년, 2022년 SH의 매입임대주택 호수 당 비용은 각각 3.352억과 3.346억으로 비교적 높은 비용이 드는 것을 알 수 있다. 그러나 본 정책에서는 민간 시행사의 규제 완화를 통한 공공기여를 받고 토지비 등의 부대 비용 없이 공공건설임대주택 표준건축비에 따라 건축비 상한가격을 적용하기 때문에 기존 매입임대주택 구입 비용과는 큰 차이를 보인다.

본 정책에서 서울시의 목표인 3,000호의 노인복지주택을 건설 및 구매하는 데 드는 비용은 여러 파라미터에 따라 달라질 수 있다. 그러나 본 연구에서 진행한 실험 중 가장 높은 비용을 나타낸 사례인 Case 2에서도, 3,000호 건설에 대해 서울시가 부담해야 할 총 비용은 497.46억 원으로 나타났다. 이는 호수당 비용 부담을 고려했을 때, 지자체 입장에서 충분히 실효성 있는 정책이라고 판단할 수 있다. 이러한 비용 차이는 주로 토지 매입에 따른 차이에서 비롯되었으며, 이에 대한 세부적인 자료를 통해 그 이유를 확인할 수 있다.

국토교통부 실거래가 공개시스템의 토지 매입 데이터 중 서울시의 2023년 8월부터 2024년 8월까지의 데이터 중 지목은 '대', 용도지역은 '주거지역', '준공업지역', '일반상업지역', '보전녹지지역'만을 대상으로 평균 거래금액을 계산한 결과는 (Table 9)와 같다. 가장 저렴한 행정구는 관악구로 1m² 당 평균 거래금액은 315만원이었으며, 그 반대의 경우 서초구로 평균 거래금액은 4,020만원이다. 이러한 토지 가격은 민간 사업자가 부담하기 때문에 서울시 지자체에서는 적은 예산 투입으로 공공형 노인복지주택 공급 호수를 마련할 수 있으며, 민간 사업자의 경우 규제 완화를 통해 공급 호수 증대로 인한 사업성을 확보할 수 있는 실효성 있는 정책이라 판단할 수 있다.

Table 9. Average Land Prices by Administrative District in Seoul

Unit: 10,000 KRW/m²

District	Average Transaction Price	District	Average Transaction Price
Gangnam	3,165	Seodaemun	858
Gangdong	1,013	Seocho	4,020
Gangbuk	561	Seongdong	1,466
Gangseo	681	Seongbuk	704
Gwanak	315	Songpa	2,702
Gwangjin	1,001	Yangcheon	927
Guro	399	Yeongdeungpo	1,084
Geumcheon	644	Yongsan	1,852
Nowon	391	Eunpyeong	1,149
Dobong	342	Jongno	1,762
Dongdaemun	515	Jung	2,217
Dongjak	736	Jungnang	726
Mapo	1,509		

Sources : Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Public Transaction Price Disclosure System

4. 결론

본 연구는 데이터 기반의 수리모형을 통해 정책에 대한 구체적인 결과를 도출한다. 노인가구의 증가로 인해 서울시는 이를 어르신안심주택을 통해 대비하고 있다. 해당 조례는 24년 3월 15일에 공포된 것으로 현재 이에 대한 구체적인 연구 혹은 해당 주택의 입지를 제시한 결과는 없다. 본 연구는 해당 정책에 대한 구체적인 결과를 제시한 첫 연구로, 인구통계 데이터 기반의 행정구별 수요 추정, 대중교통 중심지역 및 의료시설 중심지역에 대한 데이터를 통한 입지가능지 도출, 두 데이터를 활용하여 허프모델 기반 입지가능지별 수요 추정 및 수리모형을 통한 최적 입지후보지를 도출하였다. 뿐만 아니라 제한적인 입지가능지를 해소하기 위해 임의로 완화된 정책을 가정하여 의료시설 중심지역을 추가하여 그 결과를 기존 정책과 비교·분석하였다. 또한 연구 결과를 기반으로, 기존 정책과 비교하였을 때의 본 정책의 실효성에 대해서도 비용 관점에서 수치 자료를 제시한다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다.

변수가 증가하거나 기타 제약이 추가와 같이 문제복잡도가 높아질 경우, 합리적인 시간 내에 해를 도출하기 어려워질 수 있다. 본 연구에서는 86개의 입지가능지와 136개의 입지가능지에 대한 실험을 진행하였으며 모두 20초 내로 해를 도출하였으나 문제가 어려워질 경우에 합리적인 시간 내에 최적해 혹은 최적 근사해를 도출하기 위한 대안 알고리즘이 필요할 수 있다.

현실성에 대한 검토가 필요하다. 특히 건축비(F_j^k)에 대한 가정과 수요 추정에 대해 추가적인 검토 및 연구가 필요하다. 본 연구에서는 건축비를 행정구의 주택 가격을 기반으로 산정하였다. 그러나 이는 실질적인 건축비와 상이할 가능성이 높다. 따라서 예산 사용의 주체인 서울시와 민간 시행사 간의 논의를 거쳐 현실적인 비용을 재산정할 필요가 있다.

노인복지주택 수요 추정은 그 단위가 비교적 큰 행정구를 기반으로 한다. 본 연구는 2021년 서울시복지

재단의 연구에서 노인지원주택 공실률의 원인 중 하나인 희망거주지역 불일치에서 시작하였다(Hyun & Heo, 2021). 이를 보완하기 위해 생활권을 반영하기 위해 거리 감쇠 파라미터(b)와 수요 거리 제약(R)을 도입하였으나 이 또한 실질적인 생활권을 충분히 반영한다고 보기 어렵다. 따라서 이를 보완하기 위한 노인 인구 생활권에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

노인복지주택 수요 추정에서의 근거가 될 연구자료가 제한적이다. 노인복지주택이 화두로 떠오른지는 오래 되지 않았으며 이에 대한 연구자료는 현재 충분하지 않은 실정이다. 가장 최근 연구 중 하나인 2024년 주택산업연구원의 국회 세미나 자료를 기반으로 가구 별 이사 희망 비율을 곱하여 행정구별 수요를 추정하였다. 그러나 이는 '노인가구 주거편의 향상 방안'에 대한 연구자료로, 노인가구의 이사 희망 비율이며 노인복지주택 수요와 일치한다고 보기 어렵다. 특히 건강이 유지된다면 어디에서 거주할 생각인지에 대한 자료(Table 2)의 비율은 고소득층과 저소득층을 구분하지 않기 때문에 저소득층을 위한 공공형 노인복지주택의 수요와 괴리가 존재할 가능성이 크다. 따라서 노인복지주택에 대한 수요 관련 추가적인 연구가 필요하다.

또한 노인복지주택으로 이사를 희망한다고 하더라도 이는 단순 이사 희망 비율로, 주거 입지 선정에서의 다양한 요인을 반영할 수 없다. 본 연구에서는 건강결정요인 하나로 이를 반영하였지만, 이에 대한 추가적인 연구 혹은 사회과학 선행연구를 반영하는 방안이 필요하다.

마지막으로 본 연구에 향후 연구는 다음과 같다. 본 연구는 2021년 서울시복지재단의 노인지원주택 운영 방안 연구를 근거로 시작하였다. 해당 연구에서 또 다른 공실률의 원인으로 제시한 '정책에 대한 홍보 부족'을 보완할 수 있는 입지 선정 연구 또한 필요하다. 주거복지센터의 주요 업무는 주거복지 관련 정보제공 및 상담, 공공임대주택에 대한 정보 제공, 관련 실태조사, 관련 제도에 대한 홍보 등 폭넓은 범위를 가지고 있다 (Mun & Lee, 2020). 따라서 각 행정구의 주거복지센터 및 중앙주거복지센터와의 거리를 최소화하는 방식의 P-median 모델을 적용하여 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- Choi, I. H. (2020). A study on provincial urban policy in response to super-aged society. *Public Land Law Review*, 91, 381-396.
- Choi, O. G. (2011). The categorization of consumption for elderly in Korea: Focused on poverty and receipt of the public assistance. *Journal of Welfare for the Aged*, 51, 277-296.
- Church, R., Velle, C. R. (1974). The maximal covering location problem. *Papers in regional science*, 32(1), 101-118.
- Daskin, M. S., Maass, K. L. (2015). The p-median problem. In *Location science* (pp. 21-45). Cham: Springer International Publishing.
- Heo, J. Y., Kim, J. H., Yang, J. H., Yang, E. J., Choi, W. B. (2024), *Daily Destinations and Measuring Urban Proximity for 30-minute City in Seoul*, The Seoul Institute.
- Hong, J. M., Lee, J. H. (2006). Public Housing'Influence on the Neighboring Private Apartment. *Journal of the Urban Design Institute of Korea Urban Design*, 7(3), p23-32.
- Huff, D. L. (1963). A probabilistic analysis of shopping center trade areas. *Land economics*, 39(1), 81-90.
- Hyun, M. Y., Heo, Y. J. (2021), *Study on the Operational Plan for Senior Housing*, Seoul Welfare Foundation.
- Jin, C., Lee, G. (2015). Optimal Location Modeling for Happy Houses: A Multi-Objective Spatial Optimization Approach. *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 18(2), 81-95.
- Jung, G. H., Oh, Y. H., Kang, E. N., Kim, K. R., Lee, Y. G., Oh, M. A., Hwang, N. H., Kim, S. J., Lee, S. H., Lee, S. G., Hong, S. Y. (2017), *2017 Survey on the Elderly*, Ministry of Health and Welfare.
- Korea Housing Institute (2024), *Strategies for Improving Housing Benefits for Elderly Households*.
- Kim, B. S., Lee, D. S. (2021). The effects of residential characteristics of elderly single person households on residential satisfaction: Comparing elderly households to ordinary households. *Journal of the Residential Environment Institute of Korea*, 19(3), 349-360.
- Kim, T., Kim, W. (2009). Exploring Spatial Characteristics of 'National Rental Housing' Supply. *Journal of Korea Planning Association*, 44(3), 95-108.
- Kim, T., (2007). Forecasting Spatial Effects of the National Rental Housing in Greenbelt Areas. *Journal of Korea Planning Association*, 42(4), 59-73.
- Kim, Y., Park, S. (2019a). A Study on the Characteristics of Older Adults in Public Welfare Housing for the Eldery and their 'Aging in Place'. *Discourse and Policy in Social Science*, 12(1), 1-34.
- Kim, Y., Park, S. (2019b). An Exploratory Study on the Outcome of the Public Welfare Housing for Older Adults as Housing Alternatives for Low-income Elderly. *Korean Journal of Gerontological Social Welfare*, 74(1), 223-252.
- Kim, Y., Park, S., Park, S. (2019). Development of a Housing with Services Model that Support Older Adults' Aging in Place. *Health and Social Welfare Review*, 39(2), 65-102.

- Koo, J., Kwak, S., Kim, J. (2020). A Study of Proposal of Direction to Promote the Supply of Senior Welfare Housing in the Private Sector. *Journal of the Korea Institute of Healthcare Architecture*, 26(4), 49-57.
- Li, X., Zhao, Z., Zhu, X., Wyatt, T. (2011). Covering models and optimization techniques for emergency response facility location and planning: a review. *Mathematical Methods of Operations Research*, 74, 281-310.
- McNulty, T. L., Holloway, S. R. (2000). Race, crime, and public housing in Atlanta: Testing a conditional effect hypothesis. *Social Forces*, 79(2), 707-729.
- Ministry of Health and Welfare (2022), 2023 Status of Welfare Facilities for the Elderly.
- Monkkonen, P. (2011). Public housing and unemployment: skills and spatial mismatch in postindustrial Hong Kong. Institute of Business and Economic Research, Program on housing and urban policy, Working Paper Series, WORKING PAPER, (W11-004).
- Mun, S., Lee, G. (2020). Location Analysis and Modeling for the Housing Support Center of Seoul using the Regionally Constrained P-Median Problem. *Journal of the Korean Geographical Society*, 55(2), 197-206.
- Nourse, H. O. (1963). The Effect of Public Housing on Property Values in St. Louis. *Land Economics*, 39(4), 433-441.
- Owen, S. H., Daskin, M. S. (1998). Strategic facility location: A review. *European journal of operational research*, 111(3), 423-447.
- Park, S., Kim, Y., Park, S. (2017). Typology and Characteristics of Residential Welfare Services for Older Adults in Korea. *Korean Journal of Gerontological Social Welfare*, 72(3), 395-428.
- Seoul Metropolitan Government. (March 15, 2024). Ordinance on Support for the Supply of Senior Housing in Seoul. Ordinance No. 4634, Seoul Metropolitan Bulletin No. 3960.
- Seoul Metropolitan Government. (May 28, 2024). Construction and Operation Standards for Senior Citizen Safety Housing in Seoul.
- Son, C. W., Kim, K. A. (2019), The Diagnosis of Health Problems and its Suggestions in terms of Public Health Perspective, The Seoul Institute.
- Song, B., Ko, Y. (2017). Quantitative approaches for location decision strategies of a hotel chain network. *International Journal of Hospitality Management*, 67, 75-86.
- Spillman, B. C., Biess, J., MacDonald, G. (2012). Housing as a platform for improving outcomes for older renters, What Works Collaborative.
- Statistics Korea. (2023). Future Population Projections: 2022-2072.
- Suzuki, A., & Drezner, Z. (1996). The p-center location problem in an area. *Location science*, 4(1-2), 69-82.

요약문

본 연구는 서울특별시의 노인복지주택 공급 지원에 관한 조례에 따라 공공형 노인복지주택의 최적 입지 선정에 다룬다. 연구에서는 서울시의 목표 주택 수를 충족하면서 비용을 최소화할 수 있는 최적의 위치를 결정하기 위해 수요 기반의 수리모형을 제안한다. 이 모델은 인구통계 데이터, 대중교통 및 의료시설과의 접근성 등 다양한 요소를 통합하여 최적의 입지를 결정하며, 추정된 수요를 바탕으로 한 전략적 입지 선정은 공실 문제를 해결하고, 노인 주거 복지 정책의 효과를 향상시킬 것으로 기대한다. 연구 결과에 따르면, 관련 조례를 적용할 경우 기존 매입 절차와 비교하여 비용이 절감될 것으로 나타났다. 본 연구는 서울을 대상으로 한 구체적인 사례 연구를 통해, 도시 환경에서의 입지 결정을 위한 데이터 기반 접근 방식을 제시함으로써 공공 복지 서비스 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

주제어: 공공형 노인복지주택, 입지 선정, 최대 커버링 문제, 도시 복지 정책, 서울 사례 연구