

데이터 기반 생활권 계획을 통한 노인복지시설 최적 배치와 정책 효과 검증

남 우 민¹ · 김 장 현² · 박 건 철^{3*}¹성균관대학교 인공지능융합학과 박사과정 ²성균관대학교 인공지능융합학과 교수 ³한국공학대학교 경영학부 조교수

Optimal Data-Driven Placement of Living-Zone Infrastructure

Woo Min Nam¹ · Jang-Hyun Kim² · Keon Chul Park^{3*}¹Ph.D. Candidate, Department of Applied Artificial Intelligence, Sungkyunkwan University, Seoul 03063, Korea²Professor, Department of Applied Artificial Intelligence, Sungkyunkwan University, Seoul 03063, Korea³Assistant Professor, Department of Business Administration, Tech University of Korea, Siheung 15073, Korea

[요 약]

도시의 초고령화로 복지시설 수요가 급증하는 가운데, 행정구역 중심의 시설 배치는 실제 접근성을 고려하지 못해 서비스 사각지대와 공간적 불평등을 심화시키고 있다. 이에 본 연구는 생활권 계획 수립 과정에 데이터 분석을 내재화하여, 한정된 사회 기반시설(SOC)의 최적 배치 전략을 도출하고 그 효과를 검증하는 것을 목적으로 한다. 본 연구는 2021년 초고령사회에 진입한 부산 강동생활권의 재가노인복지시설을 대상으로 분석을 수행하였다. 2SFCA 기법과 K-Means 클러스터링으로 수요-공급 현황과 공간 접근성을 진단하고 지역 특성을 유형화하였으며, 유전 알고리즘, 그리디 알고리즘, P-Median 알고리즘을 결합한 다중 최적화 전략으로 효율적 배치를 모색하였다. 그리고 몬테카를로 시뮬레이션, 부트스트랩 검증, OpenStreetMap(OSM) 네트워크 분석으로 견고성을 검증하였다. 분석 결과, 수요-공급 비율 0.118로 심각한 공급 부족이 확인되었고, 접근성 지니계수는 0.326으로 지역 간 불균형이 드러났다. 본 연구는 데이터 기반의 과학적 방법론으로 시민 수요 중심의 계획 수립과 증거 기반 정책 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

[Abstract]

The demand for welfare facilities is increasingly accelerating with the super-aging of the urban population. Implementing services based on administrative boundaries does not consider actual accessibility, creating service blind spots and spatial inequality. Facility placement is critical to addressing these challenges. Data were analyzed to develop optimal placement strategies for social infrastructure and verify their effectiveness. The target was home-visit welfare facilities of older adults in the Gangdong Living Area in Busan, which became a super-aged society in 2021. The supply-demand status and spatial accessibility were determined using the 2SFCA method. The regional characteristics were captured through K-means clustering. Optimal facility placement was examined through hybrid optimization using the genetic, greedy, and P-median algorithms. The robustness of the model was verified through Monte Carlo simulation, bootstrap validation, and OpenStreetMap (OSM) network analysis. Supply shortage was severe as the supply-demand ratio was 0.118, and supply was regionally imbalanced as the accessibility Gini coefficient was 0.326. This study contributes to evidence-based policy design and citizen demand-centered planning.

색인어 : 데이터 기반 의사결정, 생활권계획, 사회기반시설 공간 최적화, 노인복지시설, 다중 최적화 알고리즘**Keyword** : Data-Driven Decision-Making, Living Area Planning, Social Infrastructure, Older Adult Facilities, Multioptimization<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2025.26.11.3239>

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

Received 19 September 2025; Revised 13 October 2025

Accepted 31 October 2025

***Corresponding Author; Keon Chul Park**

Tel: +82-31-8041-0671

E-mail: parkkc07@tukorea.ac.kr

I. 서론

도시의 지속 가능한 발전을 위해서는 한정된 자원의 최적 배치를 통해 다수의 시민에게 양질의 서비스를 제공할 수 있는 과학적이고 전략적인 의사결정이 필수적이다[1]. 특히 생활밀착형 사회기반시설(Social Overhead Capital, SOC)의 경우 일상생활과 직접적으로 영향을 미치는 서비스를 제공하기 때문에 접근성과 형평성을 고려한 최적 배치가 더욱 중요하며[2],[3], 최근 도시계획 패러다임이 공급자 중심에서 수요자 중심으로 전환되면서 생활권계획 수립과정에서 실수요를 반영하기 위한 데이터 기반의 의사결정이 핵심 요소로 인식되고 있다[4],[5].

그러나 현재 생활권계획 수립과 생활SOC 배치는 여전히 행정구역 중심의 공급자 관점에 머물러 있어 시민들의 실수요를 충분히 반영하지 못하는 문제가 있다[6],[7]. 특히 부산광역시의 경우 2024년 기준 고령인구 비율이 23.90%로 전국 평균(20.03%)을 상회하여 노인복지시설에 대한 수요가 급증하고 있으나, 현재의 행정구역 중심 공급 방식으로는 이러한 변화에 적절히 대응하지 못하고 있다[8]. 이로 인해 시민 수요가 집중되는 지역과 시설 공급이 이루어지는 지역 간의 공간적 불일치가 심각한 문제로 나타나고 있다[9].

이러한 문제를 해결하기 위해서는 기존 행정구역 중심의 공급자 관점에서 벗어나 시민 실수요에 기반한 새로운 접근이 필요하며, 최근 빅데이터와 지리정보시스템(Geographical Information System, GIS) 공간 기술의 발전으로 실시간 수요 분석과 공간 최적화가 가능해졌다. 대안에서는 노인의 보행 능력과 수요 인구를 종합 고려한 지리적 접근성 평가를 통해 행정구역이 아닌 실제 이용 가능성에 기반한 자원 배분을 실현하고 있다[10].

본 연구는 부산광역시 강동생활권(북구, 사상구, 사하구)을 대상으로, 시민 수요에 기반한 사회기반시설의 최적 배치 전략을 모색하고자 한다. 이를 위해 이용 대상과 서비스 종류가 법령으로 규정되어 정량적 접근성 분석이 가능하고, 일상 생활권 내 접근성이 서비스 이용에 직접적 영향을 미치는 노인복지시설 중 재가노인복지시설(주간보호센터)을 대상으로 연구를 진행하였다. 본 연구는 기존의 경험적 판단에 의존하던 생활권 수립 방식에서 벗어나, 객관적인 데이터 분석에 기반한 과학적 방법론을 도입함으로써, 시민 중심의 생활권계획 수립 및 증거 기반 정책 개발에 학술적 기여를 하고자 한다.

II. 데이터 기반 생활권계획과 재가노인복지시설 최적배치

2-1 생활권계획 수립과정의 데이터 기반 의사결정

생활권계획은 지역주민 삶의 질 향상을 위해 특정 지역의 생활 기반 시설 및 환경 개선을 목표로 하는 도시계획의 한 종류이며, 이를 위해 다양한 도시 데이터를 기반으로 한 의사

결정 방식이 중요해지고 있다[11],[12]. 특히, 인구분포, 교통 접근성, 생활편의시설 이용 패턴 등 다양한 도시 데이터를 활용하여 시민의 실수요를 정량적으로 파악하고, 이를 생활권 계획에 반영하려는 시도는 국내외에서 활발히 진행되고 있다[13],[14].

생활권계획 수립과정은 기존 공급자 중심 방식(Top-Down)에서 최근에는 수요자 중심 방식(Bottom-Up)으로 패러다임이 변화하고 있다. 이러한 변화의 배경은 도시 데이터의 폭발적 증가와 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 기술 발달로 인해 데이터 기반의 의사결정이 가능해졌기 때문이다[15]. 또한 직관이나 경험에 의존한 계획 수립 방식의 한계를 극복하고 보다 객관적이고 실증적인 근거 기반의 의사결정을 할 수 있게 되었다[16]. 데이터 기반 접근법은 지역 특성과 시민들의 실수요를 반영함으로써 생활권 내 사회서비스를 효과적으로 제공할 수 있으며, 이는 궁극적으로 시민 피부에 와닿는 정책효과를 높이는데 기여하고 있다. 그리고 시민 실수요를 정량적으로 파악함으로써 진정한 의미의 수요자 중심 생활권 계획 수립이 가능하게 되었다.

데이터 기반 의사결정 체계의 도입 필요성은 특히 복잡한 도시 문제와 급변하는 인구구조에 직면한 현재 상황에서 더욱 중요성을 갖는다. 대표적으로 우리나라는 급속한 고령화 사회로 진입하면서 노인복지서비스에 대한 수요가 급증하고 있으나, 기존의 공급자 중심적 시설배치 방식으로는 고령인구의 실제 생활패턴과 접근성을 충분히 고려하지 못하는 한계를 보이고 있다. 이러한 상황에서 데이터 기반 의사결정 체계를 활용한 노인복지시설의 최적 배치는 고령사회 대응을 위한 핵심적 과제로 대두되고 있다[17].

따라서 본 연구는 생활권계획 수립 과정에서 데이터 기반 의사결정 체계를 활용하여 고령인구의 실제 생활패턴과 접근성을 고려한 노인복지시설의 최적 배치 방안을 도출하고자 한다. 이를 통해 공급자 중심의 획일적 시설 배치에서 벗어나 수요자 중심의 맞춤형 도시서비스 제공 체계를 구축하고, 궁극적으로 도시 내 노인복지서비스의 공간적 형평성과 접근성 향상에 기여하는 것을 목적으로 한다.

2-2 시민수요 기반 사회기반시설 최적 배치 전략

전통적인 시설 배치는 공급자 중심의 효율성과 행정구역 기준으로 결정되는 경우가 지배적이다[18]. 그러나 이러한 접근법은 실제 시민수요와 괴리가 발생하여 서비스 이용률 저하와 지역 간 불균형을 야기하는 한계를 가지고 있다. 특히 초고령화 사회 진입과 함께 노인복지시설에 대한 수요가 급증하면서, 단순한 인구 비례 배치보다는 지역별 특성과 실제 이용 패턴을 반영한 수요자 중심 접근법의 필요성이 대두되었다[19]. 관련 연구를 보면, 인구통계학적 특성뿐만 아니라 사회경제적 요인, 기존 서비스 이용 형태, 지리적 접근성 등을 종합적으로 고려하여 시설 배치의 효과성을 극대화하는 방향으로 발전하고 있으며[20],[21], 이는 제한된 공공자원의 효

율적 활용과 서비스 형평성 제고를 동시에 추구하는 정책 요구와 부합하고 있다. 이러한 패러다임 변화는 새로운 기술적 접근법에 대한 학술적 관심을 증대시키고 있다.

한편, 공간분석의 주요 도구로 오랫동안 활용되어 온 전통적인 거리 기반 접근성 분석은 단순한 물리적 거리만을 고려함으로써 실제 시민의 복합적 수요 특성을 충분히 반영하지 못하는 한계를 지니고 있다. 특히 노인복지시설과 같은 사회 기반시설의 경우, 단순한 물리적 거리보다는 대중교통 연계성, 의료시설과의 접근성, 지역 커뮤니티 네트워크 등이 실제 이용에 더 큰 영향을 미치지만, 기존의 단순 거리 기반 분석은 이러한 복합적 요인들을 종합적으로 고려하기 어려웠다. 또한 정적인 분석 방식은 인구구조 변화, 교통 환경 개선, 신규시설 공급 등 도시 환경의 동적 변화에 따른 시설 배치 효과의 변화를 예측하고 반영하는데 한계를 보였다.

이에 본 연구는 단순 거리 기반 시설 배치 연구의 한계를 극복하기 위해 다중 최적화 알고리즘과 정량적 접근성 지표를 융합하여 분석하였다. 데이터 기반 공간분석을 통해 지역별 실제 돌봄 수요를 정량적으로 파악하고, 이를 토대로 최적 배치 시나리오를 설계하여 시설 배치의 효과를 접근성, 형평성, 효율성 등 다각적 측면에서 종합적으로 평가하고자 한다. 또한 기존 연구들이 주로 광역 단위의 거시적 접근에 집중한 것과 달리, 부산광역시 강동생활권이라는 특정 지역에 대한 심층 분석을 통해 지역 고유의 사회경제적 특성과 공간적 맥락을 충분히 반영한 맞춤형 배치 전략을 개발한다는 점에서 학술적, 정책적 의의를 지닌다. 이를 통해 제한된 공공자원의 전략적 활용을 통한 서비스 효과 극대화와 지역사회 돌봄 인프라의 지속가능한 발전 방안을 제시하고자 한다.

III. 2SFCA 접근성 진단 및 다중 최적화 알고리즘 기반 배치 방법론

3-1 데이터

본 연구는 부산광역시 강동생활권(북구, 사상구, 사하구)을 대상으로 하여 노인복지시설 중 재가노인복지시설의 최적 배치 모델을 구축하고자 한다. 공간 분석의 정확성을 위해 EPSG(European Petroleum Survey Group): 5179(Korea 2000 / Central Belt 2010) 좌표계를 적용하였으며, 500m x 500m 격자 단위로 공간을 구획하여 분석하였다.

인구 데이터는 국토정보플랫폼 국토통계지도(2024년 10월 기준)에서 부산광역시 강동생활권(북구, 사상구, 사하구) 500m x 500m 단위의 격자별 총 인구 및 고령인구(65세 이상) 자료를 수집하였다. 연구지역은 총 283개의 격자로 구성되며, 각 격자별 인구 수와 고령인구 수 정보를 포함한다.

본 연구에서는 재가노인복지시설 중 주간보호센터를 주요 분석 대상으로 선정하였다. 주간보호센터는 거동이 불편한 노인들이 일정 시간 동안 시설에 방문하여 식사, 목욕, 여가활동 등의 서비스를 제공하는 시설로 이용자가 직접 시설에 방문

하는 형태로 운영된다. 따라서 시설까지의 물리적 접근성이 서비스 이용의 핵심 요인이며, 「노인복지법 시행규칙」에 따르면 주간보호센터는 이용자의 거주지와와의 접근성을 고려하여 설치되어야 한다. 이러한 법률적 특성을 고려할 때, 주간보호센터의 입지는 고령인구의 도보 접근성과 밀접한 관련이 있으며[22], 이는 본 연구에서 2SFCA 접근성 분석과 보행 기반 최적 배치 모델을 적용하는 근거가 된다. 주간보호센터 현황 데이터는 문화빅데이터플랫폼에서 수집한 2024년 기준 자료를 활용하였으며, 연구 지역 내 운영 중인 60개소의 시설에 대한 시설명, 위치좌표(경도, 위도), 수용정원 등의 속성정보를 확보하였다. 행정동 경계는 국가공간정보포털에서 제공하는 shapefile을 활용하였으며, 부산광역시 북구, 사상구, 사하구의 행정 경계 정보를 포함한다.

수집된 모든 공간 데이터는 한국 표준좌표계(EPSSG:5179)로 통일하여 정확한 거리 계산이 가능하도록 하였다. 시설 위치 데이터의 좌표 정확성을 검증하였으며, 총 인구가 0인 격자는 분석에서 제외하여 실제 거주지역만 대상으로 분석하였다.

3-2 수요-공급 불균형 분석

1) 2SFCA 접근성 분석모형

재가노인복지시설의 공간적 접근성을 정량적으로 측정하기 위해 Luo와 Wang[23]이 제안한 2SFCA(Two-Step Floating Catchment Area) 모형을 적용하였다. 1단계에서는 각 시설 j 에 대한 공급-수요 비율(R_j)을 계산한다:

$$R_j = \frac{S_j}{\sum_{k \in d_{kj} \leq d_0} P_k \cdot f(d_{kj})} \quad (1)$$

2단계에서는 각 격자 i 의 접근성 점수(A_i)를 계산한다:

$$A_i = \sum_{j \in d_{ij} \leq d_0} R_j \times f(d_{ij}) \quad (2)$$

여기서 S_j 는 j 번째 시설의 수용능력, P_k 는 k 번째 격자의 고령인구, $f(d_{ij})$ 는 거리감쇠 가중치, d_0 는 임계거리(750m)를 의미한다.

2) 거리감쇠 함수 및 불균형 지표

거리감쇠 함수는 지수감쇠 함수를 적용하였으며, 고령자의 평균 도보 이동가능 거리를 고려하여 750m를 임계거리로 설정하였다.

$$f(d_{ij}) = \exp(-\beta \cdot d_{ij}/d_0) \quad (3)$$

수요-공급 불균형을 정량화하기 위해 격차지수, 수요 압박지수, 지니계수를 산정하였다. 격차지수는 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{격차지수}_i = \frac{D_i - S_i}{D_i + S_i} \quad (4)$$

3) K-Means 클러스터링 지역 분류

지역의 공간적 이질성을 파악하기 위해 K-Means 클러스터링 기법을 적용하였다. 총 인구, 고령인구, 고령화율, 인구밀도, 시설까지의 최단거리, 2SFCA 접근성 점수 등 6개 변수를 사용하였다. 이들 변수는 인구학적 특성(총 인구, 고령인구, 고령화율, 인구밀도)과 접근성 특성(시설까지의 최단거리, 2SFCA 접근성 지수)을 균형있게 포함하도록 구성하여, 재가노인복지시설의 수요자(고령인구) 분포와 공간적 접근성을 종합적으로 고려한 지역 유형화를 수행하였다. 그리고 표준화 처리 후 엘보우 방법과 실루엣 분석을 통해 최적 클러스터 수를 결정하였다.

3-3 재가노인복지시설 최적배치

1) 다중 최적화 알고리즘 전략

고도화된 공간 최적화를 위해 유전 알고리즘(Genetic Algorithm), 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm), P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)을 통합한 다중 최적화 전략을 구현하였다. 유전 알고리즘은 전역 최적화에, 그리디 알고리즘은 계산 효율성에, P-Median 알고리즘은 비용 최소화에 각각 특화되어 있다.

2) 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)

개체군 크기를 200-250개체, 진화 세대 400-600세대, 토너먼트 크기 12, 엘리트 보존율 15%로 설정하였다. 적응형 변이 메커니즘과 다중 교배 방식(클러스터 기반 60%, 우선순위 기반 20%, 기본 교배 20%)을 적용하였다.

3) 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm) 및 P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)

그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)은 우선순위 점수 기반 후보 평가와 500m 이내 중복 방지 메커니즘을 적용한 단계적 선택 방식으로 구현하였다. P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)은 수요 가중 거리 최소화를 목적함수로 하는 모델을 구현하였다:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_i \cdot d_{ij} \cdot x_{ij} \quad (5)$$

4) 성능 평가 지표

접근성(평균 접근거리, 커버리지율, 2SFCA 지수), 형평성(지니계수, 최대 접근거리), 효율성(공간적 효율성, 커버리지 효율성) 등 3개 차원의 다양한 지표를 설정하여 종합적 성능 평가를 수행하였다.

3-4 최적배치 결과 시뮬레이션 및 검증

1) 통합 검증 프레임워크

전통적인 직선거리 기반 접근성 분석의 한계를 극복하기 위해 OpenStreetMap(OSM) 데이터를 활용한 실제 도로망 네트워크 분석이 주목받고 있으며, 이는 직선거리 기반 분석 대비 20-30%의 정확도 향상을 보인다[24],[25]. 특히 고령자 대상 시설의 접근성 평가에서는 단순한 물리적 거리보다 실제 이용 가능한 교통수단과 보행 환경 등 종합적으로 고려한 분석이 필요하다[26],[27]. 이에 본 연구에서는 OSM 기반 네트워크 분석의 현실성, 몬테카를로 시뮬레이션의 불확실성 반영 능력, 부트스트랩 기법의 통계적 검증 등 상호보완적으로 연계한 통합 검증 시스템을 개발하였다.

통합 검증 프레임워크는 시나리오 기반 비교분석, 몬테카를로 시뮬레이션, OSM 기반 네트워크 시뮬레이션 등 3가지 모듈로 구성된 포괄적 검증 시스템을 구축하였다. 핵심 파라미터는 몬테카를로 반복 횟수 1,000회, 고령자 평균 보행속도 1.2m/s로 설정하였다.

2) OpenStreetMap 기반 네트워크 시뮬레이션

직선거리 분석의 한계를 보완하기 위해 OSMnx 라이브러리를 활용한 실제 도로 네트워크 분석을 수행하였다. 부산광역시 강동생활권 반경 5km 네트워크를 구축하고, 고령자 친화적 가중치 시스템(경사로 페널티 1.5, 계단 페널티 2.0 등)을 적용하였다. Dijkstra 알고리즘을 통해 실제 보행 경로 기반 접근성을 계산하고, 직선거리와 네트워크 거리를 비교 검증하였다.

3) 시나리오 기반 비교 및 몬테카를로 시뮬레이션

OSM 기반 네트워크 시뮬레이션은 현 시점의 도로망과 시설 현황을 반영할 뿐, 도시계획 과정에서 발생하는 인구구조 변화, 교통 환경 개선 등 다양한 불확실성 요소를 고려하지 못하는 한계를 가지고 있다. 이러한 한계를 부분적으로 보완하기 위해 도시계획의 불확실성을 다루기 위한 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션 기법을 활용하였다[28]. 몬테카를로 시뮬레이션에서는 이러한 불확실성 요소들을 확률분포로 모델링하고 계획 대안의 성과를 정량적으로 평가하는 효과적인 방법으로 활용되고 있다[29]. 본 연구의 몬테카를로 시뮬레이션은 수요 불확실성(Demand Uncertainty), 접근성 불확실성(Accessibility Uncertainty), 민감도(Sensitivity Analysis)의 세 가지 측면에서 불확실성을 모델링하였으며, 각 측면별 세부 변수는 표 1과 같다. 그리고 불확실성을 고려하여, 1,000회 반복을 통해 성능 분포와 신뢰구간을 계산하였다.

4) 부트스트랩 통계적 검증

몬테카를로 시뮬레이션 결과의 통계적 안정성과 신뢰성 확보를 위해 표본 크기나 시뮬레이션 횟수에 따른 결과 변동성에 대한 검증이 필요하다. 이와 관련하여 부트스트랩 기법을 활용한 통계적 신뢰성 검증과 네트워크 분석을 결합한 종합

표 1. 몬테카를로 시뮬레이션 분석 변수

Table 1. Monte Carlo simulation analysis variable

Category	Variable Name	Distribution Type	Parameters	Basis
Demand Uncertainty	Elderly Population Variation	Normal	0.15	KSNO Population Projections ($\pm 15\%SD$)
	Aging Rate Variation	Normal	0.1	Busan Living Zone Variation(8%~12%)
Accessibility Uncertainty	Weather Factor	Uniform	U(0.8, 1.2)	Weather impact on walking speed($\pm 20\%$)
	Personal Factor	Uniform	U(0.7, 1.4)	Individual mobility variance(WHO, 2015)
Sensitivity Analysis	Walking Speed	Uniform	0.8 ~ 1.6m/s	Korean elderly range(KGS, 2019)
	Max Walking Distance	Uniform	800 ~ 1,600m	Elderly Welfare Act & Literature
	Elderly Mobility	Beta	0.5 ~ 1.0	Adult Mobility Ratio(50~100%)

적 검증 방법론을 적용하였다[30],[31]. 부트스트랩 기법은 시뮬레이션 결과의 분산과 신뢰구간을 추정함으로써 몬테카를로 분석 결과의 통계적 견고성을 보강하는 역할을 수행한다. 이를 위해 500회의 부트스트랩 표본 추출을 통해 각 성능지표의 95% 신뢰구간을 산정하고, 알고리즘별 성과의 통계적 유의성을 검증하였다. 이를 통해 최적배치 결과의 견고성(robustness)과 일관성(consistency)을 종합적으로 평가하였다.

IV. 분석결과

4-1 부산광역시 강동생활권 재가노인복지시설 수요-공급 현황 및 지역 유형화 결과

1) 수요-공급 현황 분석 및 2SFCA 접근성 분석 결과

부산광역시 강동생활권 내 283개 격자의 인구 및 재가노인복지시설 분포현황을 분석한 결과 표 2와 같다. 격자별 총 인구는 최소 517명에서 최대 7,601명까지 분포하였으며, 평균 2,759.7명으로 나타났다. 고령인구는 평균 478.3명으로 나타났다. 재가노인복지시설은 총 60개소가 분포하고 있으며, 시설 당 평균 수용인원은 50.3명 수준이다.

재가노인복지시설의 수요는 격자별 고령인구로 정의하였으며, 공급은 시설의 수용인원으로 측정하였다. 부산광역시 강동생활권 전체의 고령인구는 총 135,352명이며, 재가노인복지시설의 총 수용인원은 3,022명으로 나타났다. 이를 통해 산출한 전체 수요-공급 비율은 0.022로 수요 대비 공급이 현저히 부족한 상황임을 확인하였다.

재가노인복지시설의 공급-수요 비율 분석 결과는 표 3과

표 2. 부산광역시 강동생활권 인구 현황

Table 2. Busan Gandong living area population

	Total Population (persons)	Elderly Population (persons)	Population Density (persons/km ²)
Min.	517	7	24
Max.	7,601	2,364	54,284
Avg.	2,759.7	478.3	10,749
Std.	2,684.3	447.8	9,743

같다. 평균 수요-공급 비율은 0.118로 나타났으며, 이는 수요 대비 공급이 매우 부족함을 의미한다. 분석 대상 60개 시설 중 59개 시설(98.3%)에서 공급 부족 현상이 관찰되었으며, 공급이 충분한 시설은 단 한곳도 없는 것으로 확인되었다.

수요-공급 불균형은 공간적 분포를 분석하기 위해 격자별 수요-공급 격차지수를 산출하였다. 격차지수는 (수요-공급)/수요로 계산하였으며, 1에 가까울수록 공급 부족이 심각함을 의미한다. 분석 결과, 전체 격자의 평균 격차지수는 0.847로 나타나 대부분 지역에서 심각한 공급 부족 상황임을 확인하였다.

표 3. 시설별 공급-수요 비율 현황

Table 3. Grid-based supply-demand ratios

Indicator	Value	Visualization
Avg. Demand-Supply Ratio	0.118	
Max. Demand-Supply Ratio	0.941	
Min. Demand-Supply Ratio	0.000	
Adequately Supplied Facilities	59 (98.3%)	
Under-supplied Facilities	0 (0%)	

2SFCA 모형을 적용한 접근성 분석 결과는 표 4와 같다. 전체 격자의 평균 접근성 점수는 0.281이며, 최댓값은 0.995, 최솟값은 0.000으로 나타났다. 표준편차는 0.171로 지역 간 접근성 편차가 큰 것으로 분석되었다. 접근성 지니계수는 0.326으로 중간 수준의 불평등을 보였다.

재가노인복지시설 60개소의 공간적 분포를 분석한 결과, 대부분의 시설이 주거밀집지역에 위치하고 있으며, 시설 간 공간적 군집 현상이 관찰되었다. 시설까지의 평균 거리는 격자별로 384m에서 1,421m까지 다양하게 분포하였다.

2) K-Means 클러스터링을 통한 지역 유형 분류

엘로우 방법과 실루엣 분석을 통해 최적 클러스터 수를 5

표 4. 2SFCA 접근성 분석 결과

Table 4. Result of 2SFCA accessibility analysis

Indicator	Value	Visualization
Avg.	0.281	
Max.	0.995	
Min.	0.000	
Std.	0.171	
Gini Coefficient	0.326	

개로 결정하였으며, 실루엣 점수는 0.542로 클러스터링의 품질이 양호한 것으로 평가되었다.

K-Means 클러스터링을 통한 공간적 특성 분석 결과는 표 5와 같다. Cluster1은 평균 총 인구 995명, 평균 고령인구 12.5명, 평균 시설거리 656m, 평균 접근성 점수는 0.269로 중간밀도-보통접근성 지역 특성을 보였다. Cluster2는 평균 총 인구 3,982명, 평균 고령인구 50.2명, 평균 시설거리 419m, 평균 접근성 점수 0.304로 고밀도-양호접근성 지역으로 분류되었다. Cluster3은 평균 총 인구 517명, 평균 고령인구 6.5명, 평균 시설거리 1,421m, 평균 접근성 점수 0.050으로 저밀도-취약접근성 지역으로 확인되어 가장 심각한 서비스 사각지대로 확인되었다. Cluster4는 평균 총 인구 701명, 평균 고령인구 8.8명, 평균 시설거리 491m, 평균 접근성 점수 0.792로 중간밀도-우수접근성 지역의 특성을 나타냈다. 마지막으로 Cluster5는 평균 총 인구 7,601명, 평균 고령인구 95.8명, 평균 시설거리 384m, 평균 접근성 점수 0.340으로 초고밀도-양호접근성 지역으로 분류되었다.

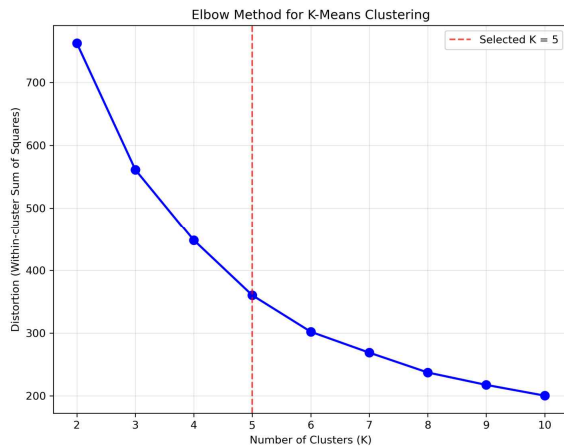


그림 1. 엘보우 방법 분석 결과

Fig. 1. Result of Elbow method analysis

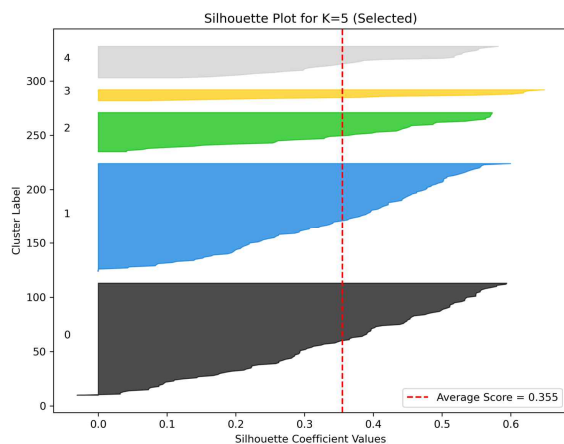


그림 2. K=5일 때 실루엣 분석 결과

Fig. 2. Result of silhouette analysis (K=5)

표 5. K-Means 클러스터링 분석 결과

Table 5. Results of K-Means clustering analysis

Cat.	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5
No. of Cases	104	101	37	11	30
Avg. Total Pop	995	3,982	517	701	7,601
Avg. Elderly Pop.	12.5	50.2	6.5	8.8	95.8
Avg. Facility Distance	656	419	1,421	491	384
Avg. Accessibility	0.269	0.304	0.050	0.792	0.340
Density	Mid	High	Low	Mid	Very High
Accessibility	Low	Balanced	Lowest	High	Balanced

4-2 재가노인복지시설 최적배치

1) 알고리즘 별 성능 비교 분석

5개 신규시설 추가 시나리오 별 성능 비교 결과는 표 6과 같다. 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)은 시설 수를 65개 소로 확장할 때 평균 접근거리 434.9m, 고령인구 커버리지 89.8%, 접근성 지니계수 0.344를 달성하였다. 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)은 평균 접근거리 419.5m, 고령인구 커버리지 90.1%, 접근성 지니계수 0.349를 기록하였다. P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)은 평균 접근거리 436.7m, 고령인구 커버리지 90.1%, 접근성 지니계수 0.347의 성능을 보였다.

표 6. 알고리즘 별 성능 비교 결과

Table 6. Algorithm-based performance comparison

Algorithm	No. of Facilities	Avg. Access Distance	Elderly Pop. Coverage	Accessibility Gini Coefficient
Current Status	60	449.9m	89.6%	0.337
Genetic Algorithm	65	434.9m	89.8%	0.344
Greedy Algorithm	65	419.5m	90.1%	0.349
P-Median Algorithm	65	436.7m	90.1%	0.347

2) 성능 개선 효과 분석 및 공간적 효율성 분석

현재 상황 대비 개선율을 분석한 결과, 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)이 평균거리 6.8%, 커버리지 1.5%, 고령인구 커버리지 0.6% 개선되어 가장 높은 개선효과를 보였다. 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)은 평균거리 3.3%, 커버리지 개선 1.0%, 고령인구 커버리지 0.22%가 개선되었으며, P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)은 평균거리 2.9%, 커버리지 1.0%, 고령인구 커버리지 0.54%가 개선되었다.

시설 배치의 공간적 특성을 분석한 결과 표 7과 같다. 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)이 평균 시설간 거리 8.686km, 공간 분산도 2.987km, 2SFCA 접근성 지수 0.525로 가장 우수한 성능을 보였다. 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)은 평균 시설간 거리 9.558km, 공간 분산도 3.061km, 2SFCA 접근성 지수 0.521을 보였으며, P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)은 평균 시설간 거리 8.620km, 공간 분산도 3.049km, 2SFCA 접근성 지수 0.525를 달성하였다.

표 7. 시설 배치의 공간적 특성 분석 결과

Table 7. Spatial characteristics of facility placement

Algorithm	Avg. Facility Distance	Spatial Dispersion	2SFCA Accessibility Index
Genetic Algorithm	8.686km	2.987km	0.525
Greedy Algorithm	9.558km	3.061km	0.521
P-Median Algorithm	8.620km	3.049km	0.525

3) 최적 배치 위치 분석

유전 알고리즘(Genetic Algorithm)기반 최적배치 결과, 신규 5개 시설은 주로 Cluster3(서비스 사각지대)와 Cluster1(중간밀도 지역)에 우선 배치되는 것으로 나타났다. 특히 기존 시설로부터 500m 이상 떨어진 지역 중 고령인구 밀도가 높은 격자가 우선 선정되었다. 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)은 단계적 선택 방식을 통해 매 단계에서 가장 높은 우선순위 점수를 가진 위치를 선정하였으며, 이

는 즉각적인 접근성 개선 효과에 중점을 둔 결과로 해석된다. P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)은 수요 가장 거리 최소화를 목적으로 하여 고령인구가 집중된 지역에서의 평균 이동거리 단축에 특화된 배치 패턴을 보였다.

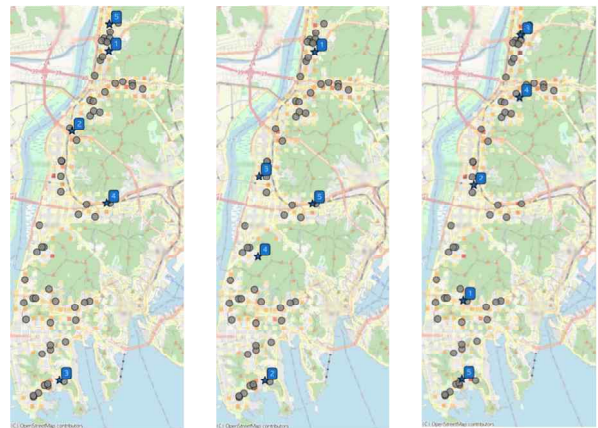
4-3 최적배치 결과 시뮬레이션 및 검증

1) 몬테카를로 시뮬레이션 결과

환경적 요인의 불확실성을 고려한 성능 분포 결과는 표 8과 같다. 평균 접근거리 분포에서 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)이 평균 476.8m로 가장 우수한 성능을 보였으며, 변동계수는 16.6%로 나타났다. 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)은 평균 510.7m, 변동계수 16.1%를 기록하였다. P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)은 평균 500.0m, 변동계수 15.7%의 결과를 보였다.

2) 부트스트랩 검증 결과

격자 데이터 샘플링을 통한 결과 안정성 평가에서 평균 접근거리의 95% 신뢰구간 분석 결과는 표 9와 같다. 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm)이 추정값 419.5m, 48.8m의 구



Genetic Algorithm Greedy Algorithm P-Median Algorithm

그림 3. 재가노인복지시설 최적배치 Top5 결과

Fig. 3. Top5 optimal placement results for home-based elderly care facilities

표 8. 몬테카를로 시뮬레이션 결과

Table 8. Results of Monte Carlo simulation

Algorithm	Avg.	Std.	95% Confidence Interval	Coefficient of Variation
Current Status	512.4m	82.8m	[383.4, 686.5]m	16.2%
Genetic Algorithm	510.7m	82.4m	[364.8, 662.0]m	16.1%
Greedy Algorithm	476.8m	79.1m	[342.6, 627.4]m	16.6%
P-Median Algorithm	500.0m	78.3m	[370.9, 655.0]m	15.7%

간 폭을 보이며 가장 안정적인 결과를 보였고, 유전 알고리즘 (Genetic Algorithm)은 추정값 434.9m, 53.4m의 구간 폭을 보였다. 마지막으로 P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)은 추정값 436.7m, 48.8m의 구간 폭을 보였다.

커버리지의 95% 신뢰구간 분석에서는 그리디 알고리즘 (Greedy Algorithm)이 추정값 71.7%로 가장 높은 신뢰도를 보였으며, 그 뒤로 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)과 P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)의 추정값은 각각 71.4%, 71.4%를 기록하였다.

표 9. 부트스트랩 검증 결과

Table 9. Results of Bootstrap validation

Algorithm	Estimate	95% Confidence Interval	Interval Width
Genetic Algorithm	434.9m	[408.2, 461.6]m	53.4m
Greedy Algorithm	419.5m	[395.1, 443.9]m	48.8m
P-Median Algorithm	436.7m	[412.3, 461.1]m	48.8m

3) OpenStreetMap 기반 네트워크 검증 결과

부산광역시 강동생활권의 실제 도로 네트워크를 OSMnx 라이브러리를 활용하여 구축하고 분석한 결과, 네트워크 기본 통계는 총 노드 수 8,821개(교차점, 분기점), 엣지 수 25,570 개(도로구간), 총 네트워크 길이 2,313.4km, 평균 엣지 길이 90.5m로 나타났다.

직선거리와 네트워크 거리 비교 분석 결과 평균 접근거리는 직선거리 기반 619.9m에서 OSM 네트워크 기반 446.6m로 27.9% 단축되는 효과를 보였다. 중간값 접근거리는 565.0m에서 400.0m로 29.2% 감소하였으며, 최대 접근거리는 1,690.2m에서 3,000m로 77.5% 증가하여 일부 지역의 접근성 제약이 확인되었다. 거리 상관계수는 0.882로 강한 상관관계를 보였다.

OSM 네트워크 기반 분석에서 평균 접근거리가 직선거리보다 약 28% 단축되는 결과는 부산 강동생활권의 조밀한 보행 네트워크 효율성에 기인하는 것으로 분석된다. 이는 기존 직선거리 분석이 실제 접근성을 38% 과대평가함을 의미하며, 도시계획에서 과도한 보수적 접근의 위험성을 시사한다.

V. 결론 및 한계점

본 연구는 부산광역시 강동생활권을 대상으로 재가노인복지시설의 최적 배치 방안을 제시하기 위해 다중 최적화 알고리즘과 2SFCA 모형을 활용하여 데이터 기반 접근법을 적용하였다. 주요 연구결과는 다음과 같다.

첫째, 현황 분석을 통해 부산광역시 강동생활권 내 재가노인복지시설의 수요-공급 불균형이 확인되었다. 전체 수요-공급 비율이 0.118로 나타나 시설 공급이 수요에 현저히 미치지 못하고 있으며, 60개 시설 중 98.3%에서 공급 부족 현상이 관

찰되었다. 2SFCA 접근성 분석 결과, 지니계수가 0.326으로 도출되어 지역 간 접근성의 불평등이 존재함을 확인하였다.

둘째, K-Means 클러스터링을 통해 연구지역을 5개 유형으로 분류하고, 각 지역의 특성에 기반한 차별화된 배치 전략의 필요성을 제시하였다. 특히 Cluster3(저밀도-취약접근성 지역)을 접근성 취약지역으로 식별하여 우선적으로 공급의 필요성을 확인하였다.

셋째, 유전 알고리즘(Genetic Algorithm), 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm), P-Median 알고리즘(P-Median Algorithm)의 성능을 비교 분석하였다. 그리디 알고리즘이 평균 접근 거리 419.5m와 고령인구 커버리지 90.1%로 가장 우수한 접근성 개선 효과를 보였다. 그 뒤로 유전 알고리즘은 평균 접근거리 434.9m, 고령인구 커버리지 89.8%의 개선 효과를 보였으며, P-Median 알고리즘은 평균 접근거리 436.7m, 고령인구 커버리지 90.1%로 비용 효율성 측면에서 우수한 결과를 보였다. 본 비교분석을 통해 각 알고리즘의 장·단점을 객관적으로 평가할 수 있으며, 이는 실무에서 목적에 따라 적절한 알고리즘을 선택할 수 있는 기준을 제시하였다는 점에서 방법론적 기여가 있다.

본 연구는 단일 최적화 방법에 의존하지 않고 서로 다른 3 가지 알고리즘을 동시에 비교·검증하였다. 이를 통해 각 알고리즘의 장·단점을 객관적으로 평가할 수 있었고, 실제 업무에 적용할 때 어떤 알고리즘을 선택해야 하는지 기준을 제시하였다는 점에서 방법론적으로 기여하였다.

마지막으로 연구 결과의 신뢰성 확보를 위해 몬테카를로 시뮬레이션, 부트스트랩 검증, OSM 기반 네트워크 분석을 결합한 다층적 검증 체계를 구축하였다. 1,000회 반복 시뮬레이션 결과, 모든 알고리즘이 95% 신뢰구간 내에서 안정적 성능을 유지하는 것으로 확인되어 제안한 최적배치 모델의 견고성(robustness)을 검증하였다.

본 연구의 학술적 기여는 다음과 같다. 첫째, 기존의 정성적 접근법이나 단순 거리 기반 분석의 한계를 극복하기 위해 다중 최적화 알고리즘과 포괄적 시뮬레이션을 결합한 통합적 방법론을 제시하였다. 둘째, 2SFCA 모형과 K-Means 클러스터링을 결합한 정량적 접근성 분석 프레임워크를 개발함으로써, 접근성 진단과 최적화를 개별적으로 수행하던 기존 방식의 한계를 극복하고, 지역 특성에 기반한 맞춤형 배치 전략을 도출하였다. 셋째, 다층적 검증 시스템을 구축하여 연구 결과의 견고성을 확보하였다.

본 연구의 정책적 시사점은 다음과 같다. 첫째, 행정구역 중심의 공급자 관점에서 벗어나 시민 수요와 접근성을 고려한 수요자 중심 시설 배치 정책의 필요성을 실증하였다. 본 연구에서는 2SFCA 분석을 통해 동일 행정구역 내에서도 격차별 접근성 점수가 최대 19.9배의 격차를 보임을 규명하였으며, 이는 행정구역 단위의 획일적 공급 방식이 지닌 한계를 정량적으로 입증했다. 둘째, 세밀한 공간분석을 통해 지역 맞춤형 시설 배치 전략의 가능성을 제시하였다. K-Means 클러스터링 결과, 연구 지역은 5개 유형으로 분류되었으며, 각 유

형별로 차별화된 공급 전략이 요구됨을 도출하였다. 특히 Cluster3은 저밀도-취약접근성 지역으로 평균 시설 거리가 1,421m로 타지역 대비 2.9배 원거리에 위치하여, 우선적 시설 공급이 필요한 서비스 사각지대로 식별되었다. 셋째, 데이터 기반 과학적 접근을 통해 정책 결정의 객관성과 효율성을 제고하였다. 그리디 알고리즘(Greedy Algorithm) 적용 시 현 상황 대비 평균 접근거리 6.8% 개선 효과를 정량적으로 산출하였으며, 이는 정책 시행 전 효과 예측과 증거 기반 의사결정을 가능하게 한다.

본 연구의 실무 적용 방안은 다음과 같다. 첫째, 본 연구에서 제안한 '2SFCA-클러스터링-최적배치' 통합 방법론은 경험 기반 계획 수립에서 데이터 기반 의사결정으로의 전환을 지원한다. 둘째, 분석에 활용한 데이터가 공공데이터로 구성되어 있어 전국 단위 확대 적용이 가능하며, 어린이집, 보건소 등 다양한 생활SOC 분야로 확장 적용할 수 있다. 셋째, 평균 접근거리, 2SFCA 접근성 지수, 지니계수 등 정량적 지표와 몬테카를로 시뮬레이션을 결합한 증거 기반 정책 평가 체계를 마련할 수 있다.

그러나 본 연구는 다음과 같은 한계점을 가지고 있다. 첫째, 연구 대상이 부산광역시 강동생활권으로 제한되어 연구 결과의 일반화에 한계가 있다. 둘째, 정적 데이터에 기반하여 시간에 따른 인구구조 및 도시 환경 변화를 충분히 반영하지 못하였다. 셋째, 격자 데이터의 한계로 인해 실제 거주 패턴과 피리, 개인별 이동성 및 서비스 선호도 등 질적 요소를 충분히 고려하지 못하였다. 넷째, 시설 배치 효과를 접근성과 형평성 측면에서 평가하였으나, 시설 건립비용 및 운영비 등 경제적 요인에 대한 데이터 부재로 비용-편익 분석을 수행하지 못한 한계가 있다.

향후 연구에는 이러한 한계를 보완하기 위해 다음과 같은 접근이 필요하다. 첫째, 다양한 지역을 대상으로 한 비교 연구와 시계열 데이터를 활용한 동적 모델링 연구를 수행해야 한다. 둘째, 시설 배치 이후의 효과를 검증하는 사후 평가 연구와 종합적 성과 평가 체계를 개발해야 한다. 셋째, 시민참여를 활성화할 수 있는 다양한 방법론을 모색하여 계획 수립 과정의 투명성과 민주성을 제고해야 한다. 궁극적으로는 경제성 분석과 시민참여형 방법론을 결합한 시민 중심의 시설 배치 모델 개발이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었습니다. (과제번호: RS-2022-00143404)

참고문헌

[1] Z. Wang and F. Ren, "Developing a Decision Support System for Sustainable Urban Planning Using Machine

Learning-Based Scenario Modeling," *Scientific Reports*, Vol. 15, No. 1, 13210, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90057-5>

- [2] H. Song and S. Eom, "Development and Evaluation of Walking Core Allocation Model of Living Infrastructure: Case Study of Dobong-Gu, Seoul," *Journal of Korea Planning Association*, Vol. 56, No. 4, pp. 74-87, 2021. <https://doi.org/10.17208/jkpa.2021.08.56.4.74>
- [3] Y. Zhao and P. Gong, "Optimal Site Selection Strategies for Urban Parks Green Spaces Under the Joint Perspective of Spatial Equity and Social Equity," *Frontiers in Public Health*, Vol. 12, 1310340, 2024. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1310340>
- [4] Y. L. Wong, "What Is Participatory Planning In The Urban Setting?," *What Is Participatory Planning In The Urban Setting*, 2023.
- [5] B. Choi, H. Kim, and J. Lim, "A Baseline Study for Urban Change Monitoring for Data-Driven Urban Planning," *Journal of the Korea Regional Development Association*, Vol. 35, No. 1, pp. 55-85, 2023. <https://doi.org/10.22885/KRDA.2023.35.1.55>
- [6] J. Kim and B. Kang, "Defining Seoul's 15-Minute Neighborhood Boundaries for Evaluating Administrative Community Area Boundaries: Using the Personal Travel Survey Data and Community Detection Algorithms," *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 40, No. 6, pp. 119-130, 2024. <https://doi.org/10.5659/JAIK.2024.40.6.119>
- [7] S. Kang and Y. Oh, *We Need Planning Centered on Living Zones!*, Gyeonggi Research Institute, Gyeonggi, 2022.
- [8] N. An and S. Park, "Current Status and Supply Plans of Living Soc in Incheon City: Focusing on Care and Leisure Facilities," *The Incheon Institute*, Incheon, Research Report, 2022.
- [9] S. Lee, H. Kim, and K. Yeo, "Regional Disparities and Optimal Location Analysis of Living Soc: Focusing on Living Hub Facilities," *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 40, No. 3, pp. 159-168, 2022. <https://doi.org/10.7848/ksgpc.2022.40.3.159>
- [10] H.-C. Wu and M.-H. Tseng, "Evaluating Disparities in Elderly Community Care Resources: Using a Geographic Accessibility and Inequality Index," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, Vol. 15, No. 7, 1353, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071353>
- [11] H. Koo, "Regional Imbalance in Living Soc Supply and Policy Tasks," *National Territory Research Institute*, Vol. 449, pp. 5-13, 2019.

- [12] J. Yeo, J. Park, S. Eom, J. Choi, and H. Song, "Delineation of Living Zones Based on Urban Big Data: Focusing on 15-Minute Walkable Living Zones," *Proceedings of the Korean Society of Transportation*, 2023.
- [13] S. Nam, J. Lee, and S. Hong, "Classification of Hierarchy of Living Zones and Analysis of Level of Living Service for Establishing Living Zone Plan: A Case Study of Cheongju City," *Regional Policy Research*, Vol. 34, No. 3, pp. 187-212, 2023. <https://doi.org/10.22773/RPR.2023.34.3.187>
- [14] M. H. Rahman, F. R. Ashik, and M. J. Mouli, "Investigating Spatial Accessibility to Urban Facility Outcome of Transit-Oriented Development in Dhaka," *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Vol. 14, 100607, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.trip.2022.100607>
- [15] D. Lartey and K. M. Y. Law, "Artificial Intelligence Adoption in Urban Planning Governance: A Systematic Review of Advancements in Decision-Making, and Policy Making," *Landscape and Urban Planning*, Vol. 258, 105337, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2025.105337>
- [16] M. M. Hansen, K. Koonsanit, and V. Kulmala, "How Can Data Contribute to Smart City Innovation: A Study from Thailand's Smart City Initiatives," *Frontiers in Sustainable Cities*, Vol. 6, 1473123, 2025. <https://doi.org/10.3389/frsc.2024.1473123>
- [17] D. Han, D. Kim, and M. Lee, "Extraction of Service-Deficient Areas for Living Soc in Small and Medium Cities Using Big Data: Centered on Iksan City, Jeollabuk-Do, Korea," *Journal of Korean Institute of Rural Architecture*, Vol. 22, No. 4, pp. 43-50, 2020. <https://doi.org/10.14577/kirua.2020.22.4.43>
- [18] J. Yoo, S. Kim, and S. Kim, "Analysis of Characteristics of Living Service Facility Locations by Population Size in Rural Regions: Focusing on Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism's Study on Sustained or Closed Living Services in Japan," *Journal of Korean society of Rural Planning*, Vol. 30, No. 4, pp. 53-60, 2024. <https://doi.org/10.7851/ksrp.2024.30.4.053>
- [19] S. Kim and H. Kim, "Adequacy Analysis of Supply Compared to Demand of Elderly Medical Welfare Facilities by Region: Focusing on Cities, Counties, and Districts," *GRI Research Papers*, Vol. 23, No. 4, pp. 77-104, 2021. <https://doi.org/10.23286/gri.2021.23.4.004>
- [20] E. H. Lee and J. Jeong, "Facility Location Problem for Senior Centers in an Upcoming Super-Aging Society," *Scientific Reports*, Vol. 15, No. 1, 6317, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-90096-y>
- [21] N. Martino, C. Girling, and Y. Lu, "Urban form and Livability: Socioeconomic and Built Environment Indicators," *Buildings & Cities*, Vol. 2, No. 1, pp. 220-243, 2021. <https://doi.org/10.5334/bc.82>
- [22] G. Kwon, Y. Jeong, Y. S. Choi, C. Jeon, and J. H. Tak, "Location Analysis of Elderly Medical Welfare Facilities Using GIS: Focusing on Spatial Accessibility," *Journal of Cadastre & Land Informatik*, Vol. 55, No. 1, pp. 89-103, 2025.
- [23] W. Luo and F. Wang, "Measures of Spatial Accessibility to Health Care in a Gis Environment: Synthesis and a Case Study in the Chicago Region," *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 30, No. 6, pp. 865-884, 2003. <https://doi.org/10.1068/b29120>
- [24] J. M. Ludrosky, A. Newhouse, E. Hudnall, A. Sheree, and J. G. Perle, "When a Straight Line Is Not the Most Direct Method: An Evaluation of Straight Line Versus True Distance Metrics for Patients in Rural Settings," *The Journal of Behavioral Health Services & Research*, Vol. 50, No. 2, pp. 214-220, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11414-022-09812-5>
- [25] P. Apparicio, J. Gelb, A.-S. Dubé, S. Kingham, L. Gauvin, and É. Robitaille, "The Approaches to Measuring the Potential Spatial Access to Urban Health Services Revisited: Distance Types and Aggregation-Error Issues," *International Journal of Health Geographics*, Vol. 16, No. 1, 32, 2017. <https://doi.org/10.1186/s12942-017-0105-9>
- [26] B. A. Jnr, "Exploring Mobility Equity, Equality, and Accessibility for Older People in the Local Environment: A Systematic Literature Review," *Local Environment*, Vol. 30, No. 1, pp. 16-36, 2025. <https://doi.org/10.1080/13549839.2024.2424437>
- [27] F. Gaglione, C. Gargiulo, and F. Zucaro, "Where Can the Elderly Walk? A Spatial Multi-Criteria Method to Increase Urban Pedestrian Accessibility," *Cities*, Vol. 127, 103724, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2022.103724>
- [28] S. Kang, Y. Jeong, G. Lee, and E. Ko, "Deriving Smart Urban Regeneration Services and Assessing their Importance Using Monte Carlo Simulation," *Journal of the Architectural Institute of Korea*, Vol. 38, No. 6, pp. 27-35, 2022. <https://doi.org/10.5659/JAIK.2022.38.6.27>
- [29] E. F. Garcia, E. R. Zúñiga, J. Bruch, M. U. Moris, and A. Syberfeldt, "Simulation-Based Optimization for Facility Layout Design in Conditions of High Uncertainty," *Procedia Cirp*, Vol. 72, pp. 334-339, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.227>
- [30] P. Apparicio, J. Gelb, A.-S. Dubé, S. Kingham, L. Gauvin,

and É. Robitaille, "The Approaches to Measuring the Potential Spatial Access to Urban Health Services Revisited: Distance Types and Aggregation-Error Issues," *International Journal of Health Geographics*, Vol. 16, No. 1, 32, 2017. <https://doi.org/10.1186/s12942-017-0105-9>

[31] A. P. Christensen and H. Golino, "Estimating the Stability of Psychological Dimensions via Bootstrap Exploratory Graph Analysis: A Monte Carlo Simulation and Tutorial," *Psych*, Vol. 3, No. 3, pp. 479-500, 2021. <https://doi.org/10.3390/psych3030032>



남우민(Woo Min Nam)

2022년 : 성균관대학교 일반대학원
(인공지능융합학과 석사)

2022년 : 성균관대학교 일반대학원
(인공지능융합학과 박사과정)

2022년~2025년: 차세대융합기술연구원 도시데이터혁신
연구실 연구원

2022년~현 재: 성균관대학교 인공지능융합학과 박사과정
※ 관심분야 : 스마트시티, 머신러닝, 딥러닝 등



김장현(Jang-Hyun Kim)

1998년 : 연세대학교 일반대학원
(신문방송학과 석사)

2007년 : 뉴욕주립대학교 대학원
(커뮤니케이션학 박사)

2007년~2012년: 미국 하와이대 교수

2013년~2014년: DGIST 교수

2014년~현 재: 성균관대학교 교수

※ 관심분야 : Social/Semantic Network Data Analysis,
자연어 처리, Human-AI Interaction 등



박건철(Keon Chul Park)

2011년 : 연세대학교 정보대학원
(정보시스템 석사)

2015년 : 연세대학교 정보대학원
(정보시스템 박사)

2015년~2016년: 성균관대학교 박사후연구원

2016년~2021년: 서울디지털재단 정책연구팀장

2021년~2025년: 차세대융합기술연구원 AI융합연구센터 센터장

2025년~현 재: 한국공학대학교 경영학부 조교수

※ 관심분야 : 도시정보학(Urban Computing), 데이터과학 등