

G2SFCA 방법론 활용 도심 생활권 도시숲 이용 접근성 정량화 방법 연구

Quantifying Urban Green Space Accessibility in Seoul: Applying the Gaussian 2-Step Floating Catchment Area(G2SFCA)

지상훈, 이정희, 서경원* (국립산림과학원 산림휴먼서비스연구과)

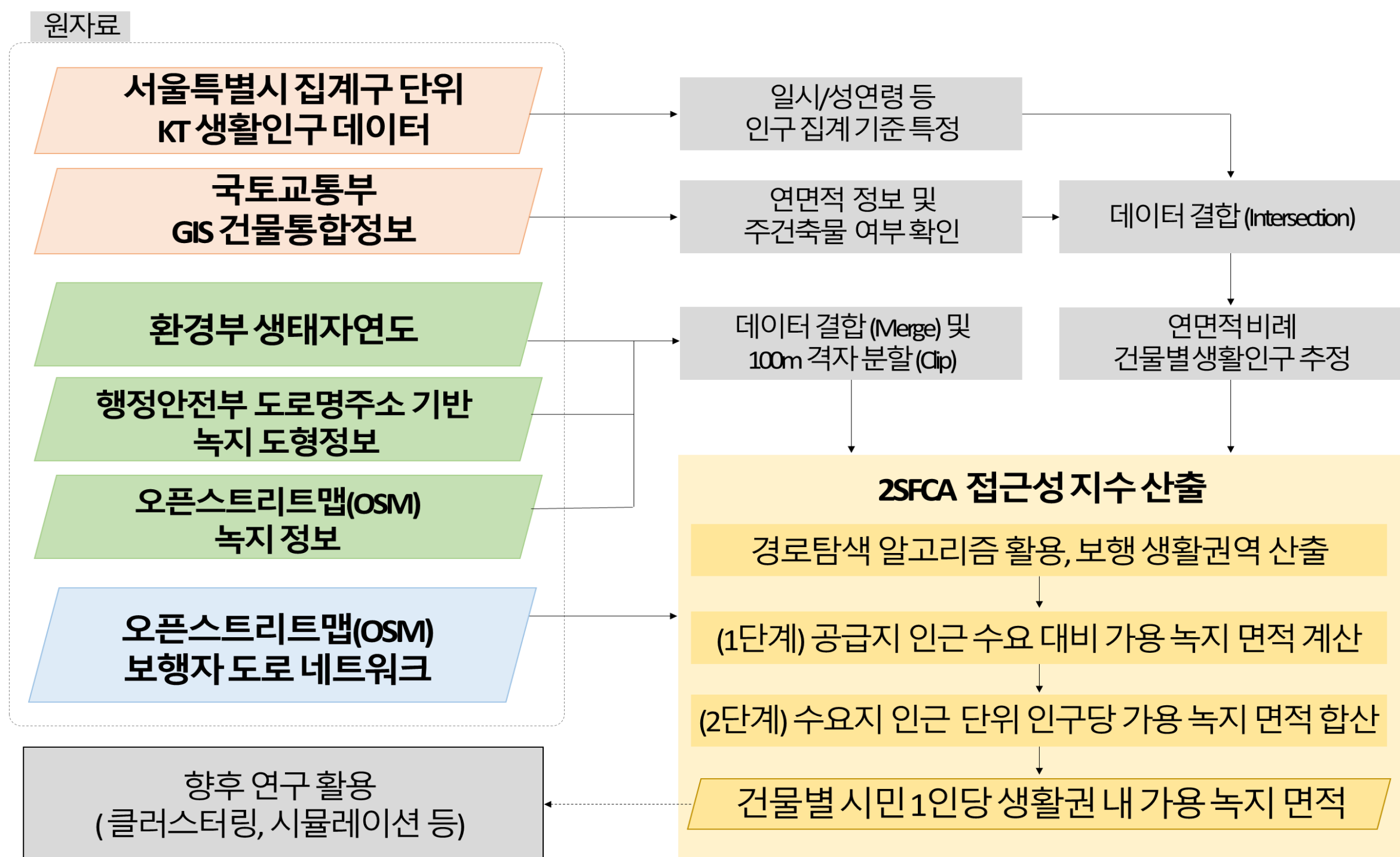
* 교신저자 : lorantree@korea.kr (서울특별시 동대문구 회기로 57, 국립산림과학원 미래전략연구동 302호, 휴먼서비스융합전략연구실. 02-961-2851)

1. 연구 배경 및 목적

- 도보로 15분 내에 도달할 수 있는 생활권 내 산림, 공원 등 녹지 공간은 도시민에게 휴식과 재충전의 기회를 제공하므로써 삶의 질 향상에 크게 기여함(국립산림과학원, 2023).
- 도시숲은 누구나 누릴 수 있는 비배재성을 갖지만 그 자원은 한정되어 있어 경합성이 나타나는 공유재의 특성을 가짐. 도시숲 인근 수요 사이의 경쟁 효과와 공급의 누적기회 효과를 반영하는 정량적인 접근성 지표의 산출 방법에 관련 연구가 필요함.
- 본 연구는 G2SFCA 접근성 분석 방법을 적용해 도심 생활권 도시숲 이용 접근성의 정량화를 시도함. 도시숲 수요는 많으나 공급이 부족한 지역, 반대로 공급은 풍부하나 충분히 활용되지 못하고 있는 지역 등 서비스 불균형이 발생하고 있는 구체적인 지역과 분포를 과학적이고 체계적으로 산출해내는 방법을 제시하고자 함.
- 접근성 산출 방법으로는 2SFCA(Two Step Floating Catchment Area) 방법론(Luo&Wang, 2003)이 활용되었음. 이를 위해 도시숲 서비스 공급 지점과 수요 발생 지점 간의 세 가지의 상호작용 과정을 반영하였음.
 - 첫째, 도시숲 녹지의 서비스 공급 능력은 주변 수요 인구량에 반비례함. 도시숲 공급 면적은 한정된 한편, 수요자 간에는 경쟁 효과가 발생하기 때문에 주변 수요가 많은 도시숲은 개별 수요 지점에 대한 서비스 공급 능력이 저하됨.
 - 둘째, 각각의 수요 지점은 인근에 도시숲이 많을수록 누적된 이용 기회를 누리게 됨. 즉, 수요지 주변 도시숲들의 서비스 능력(가용 공급량)의 총합이 해당 지점의 도시숲 이용 기회를 의미함.
 - 셋째, 지점과 지점 사이의 이용 기회나 상호작용은 공간상의 거리가 멀어질수록 감소함. 이를 거리조락이라 하며, 가우스 확률 밀도 함수에 근거한 가중치 반영이 대표적임.

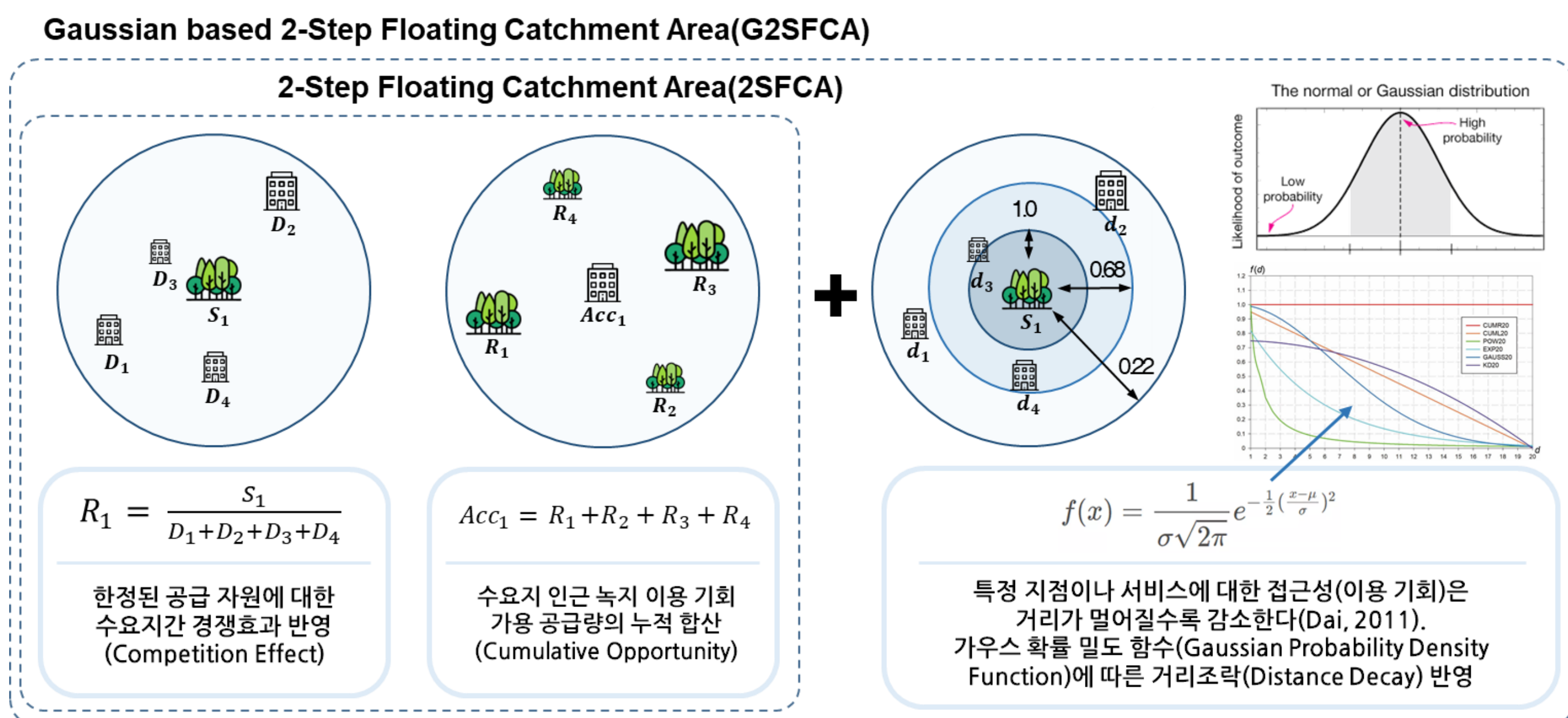
2. 연구 방법

- 본 연구는 도심 생활권 도시숲 이용 접근성 정량화 방법 설계 후, 서울 지역에 사례로 적용한 결과를 제시함.
- 도시숲에 대한 이용 수요를 산정하기 위한 지표로는 각 건물 단위 생활인구를 추정해 활용하였음. 생활인구 정보는 이동통신사 KT의 이용자 위치정보가 반영된 서울시 내 통계청 집계구 단위 인구 정보를 이용하였음.
- 이후 대시메트릭 GIS 기법을 적용해 건물 연면적에 따른 인구 편차를 반영한 건물당 인구수를 추정함. 일반적으로 큰 건물엔 더 많은 인구가 체류하여 그에 비례하는 도시숲 이용 수요가 발생한다는 가정이 전제됨.
- 도시숲 서비스 공급 지표로는 공급 지표로는 환경부, 행정안전부, Openstreetmap(OSM) 각각에 구축된 서울 지역 내 녹지 공간정보를 결합한 후, 100m 격자(1ha) 구역으로 분할하여 활용함. 서울 지역 내 도시숲은 그 크기와 형태가 다양한데, 이를 격자 형태의 구역으로 표준화하여 북한산지와 같은 일부 대규모 도시숲 지역의 서비스 공급량이 과대추정 되지 않도록 현실화함.



<그림1> 연구 모식도

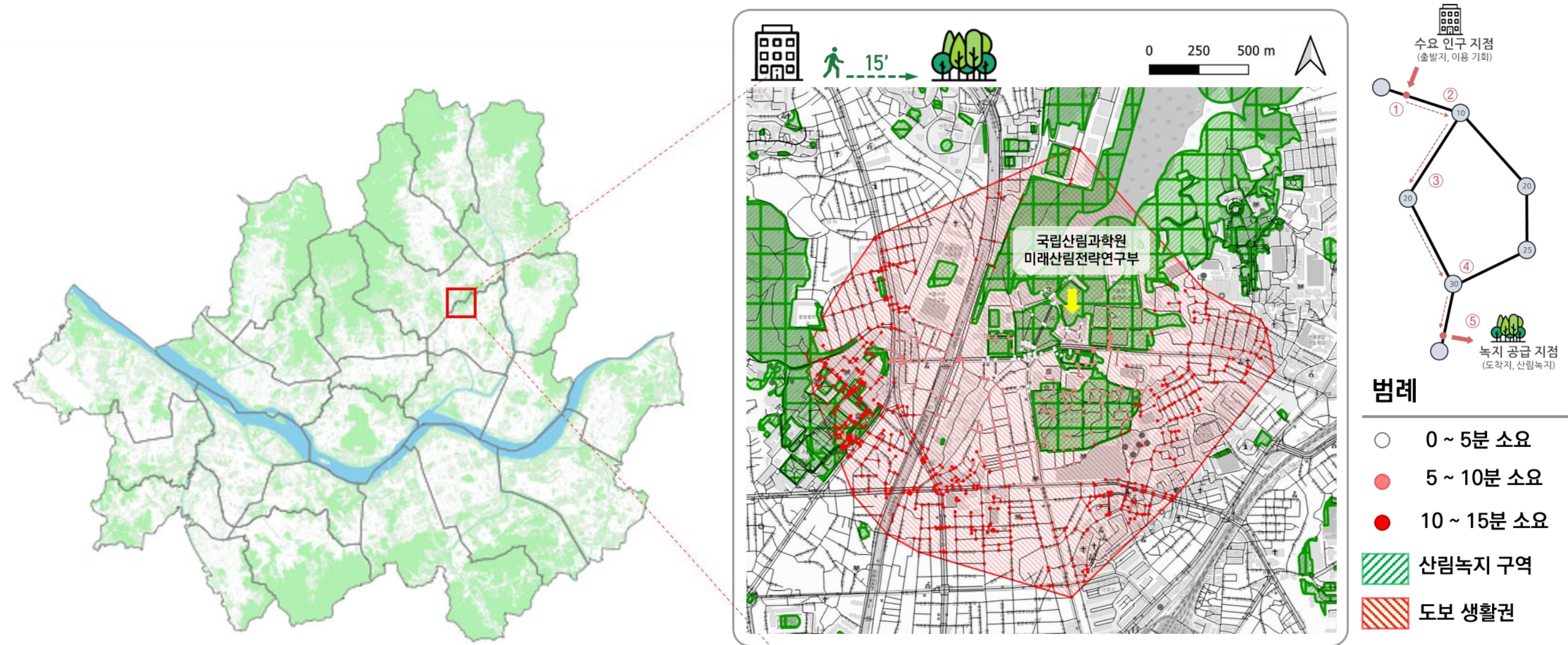
- 생활권 범위는 도시민이 도보로 15분 내에 도달 가능한 지점을 기준으로함.
- 도시숲 지점과 수요가 발생하는 건물 지점간 현실적인 시간거리를 산출하기 위해 OSM 보행자 도로 네트워크, 다익스트라(Dijkstra) 경로탐색 알고리즘 등의 GIS 기법을 Python프로그래밍으로 적용함.
- 수요 지점과 공급 지점 간의 거리 증가에 따른 이용 기회 감소를 반영하기 위해 정규분포 확률밀도함수에 기반한 거리조락 가중치를 적용한 시간 거리를 계산함.
- 또한 고도값을 바탕으로 경사도를 산출하여 경사에 따른 보행속도의 변화(Wei, 2024)를 반영하였음.
- 2SFCA는 주변 수요량에 따라 공급 가능한 도시숲 서비스 능력이 달라지는 것을 반영하며, 각 수요지 입장에서 주변 녹지공간의 서비스 능력의 합으로 최종적인 접근성 지수를 산출함. 결과적으로 각 건물에서 1인당 이용 가능한 도시숲 면적이 산출됨. 구체적인 산출 과정은 아래에 제시된 그림2와 같이 2단계로 구분됨.
 - (1단계 - 공급 시설의 서비스 능력 계산) 각 도시숲 지점 서비스 공급 능력(면적) 계산. 공급지 인근 수요 발생 건물 지점들의 인구 수를 합산하고 이를 도시숲 면적으로 나누어 각 도시숲 단위 면적당 수요 인구량 산출.
 - (2단계 - 수요 지점의 전체 접근성 산출) 각 수요 지점 2SFCA 접근성 지수를 계산. 수요 지점 인근 각 도시숲별 산출된 도시숲 단위 면적당 수요 인구량을 합산하여 최종적인 접근성 지수를 산출.



<그림2> Gaussian based 2SFCA(G2SFCA) 개념 설명도

3. 결과

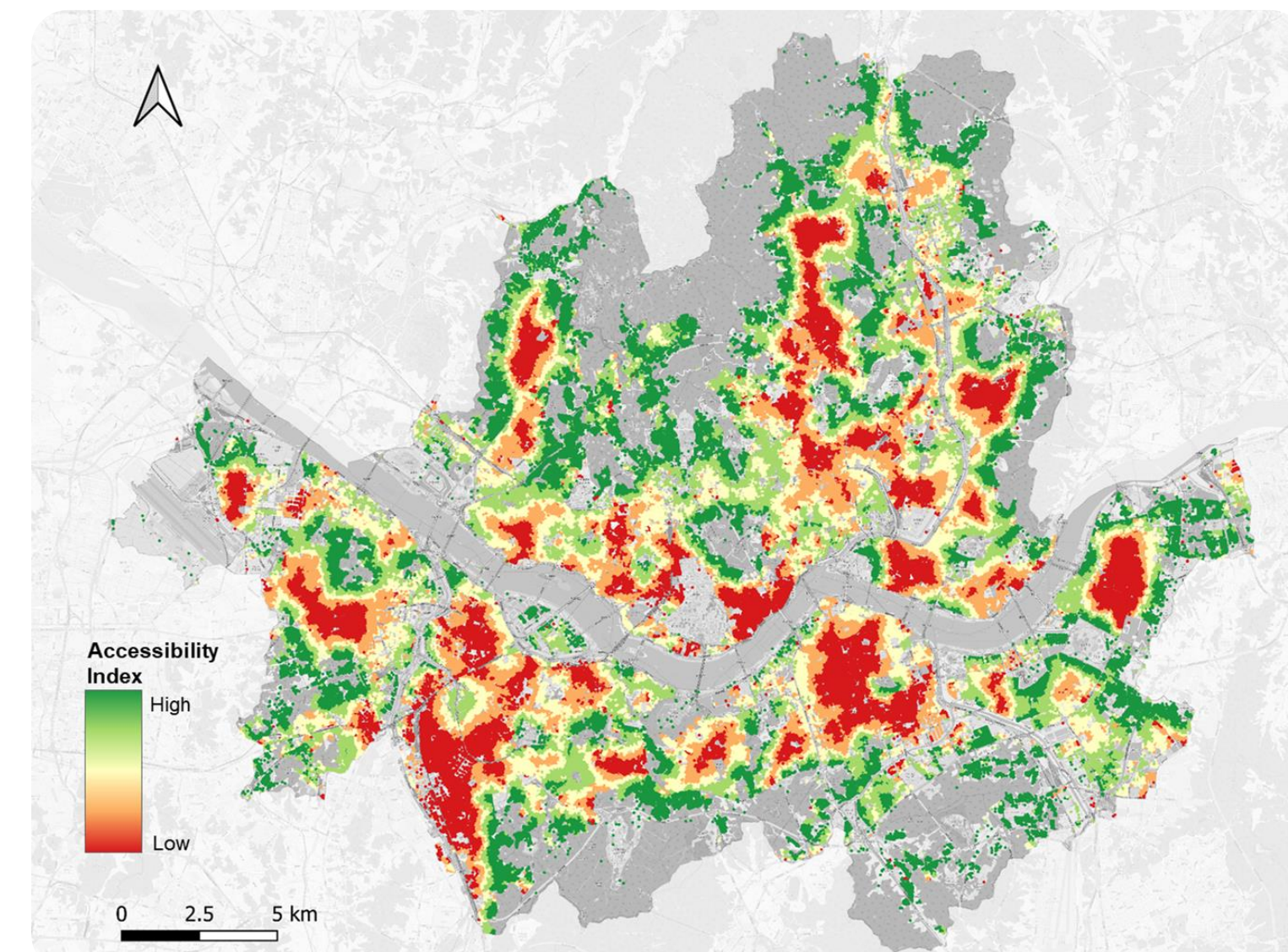
- 본 연구는 생활권 도시숲 접근성 정량화 방법의 적용 사례로 2024년 4월 1일 월요일 오후 2시 기준으로 집계된 1,053만 1,448명의 서울시 내 생활인구에 적용해 분석한 결과를 제시함.
- 서울시 내 480,230 개의 개별 건물당 평균 21.9명의 인구가 생활하고 있던 것으로 추정됨.
- 서울시 내 전체 면적의 28.67%(약 173.6 km²)에 달하는 47,143개의 도시숲 폴리곤을 구축하여 분석에 적용함.
- 아래 그림3은 서울시 동대문구 회기동 국립산림과학원 입구 인근 지점(노란색 화살표)에서 도보 15분 내에 도달할 수 있는 생활권 범위(빨간색 면)를 지도로 시각화한 결과임. OSM 도로 네트워크 상에서 출발지에서 도착지까지의 구체적인 시간거리가 다익스트라 경로탐색 알고리즘으로 산출됨. 기준 지점 인근 100m 격자의 도시숲 구역(초록색 면)을 확인할 수 있으며, 각 도시숲 구역과 건축물 사이 도달 시간이 연산되어 활용됨.



<그림3> 생활권역 산출 예시 - 서울시 동대문구 국립산림과학원 사례

- 2SFCA 접근성 지수의 산출은 그림4 좌측의 예시코드와 같은 방식으로 설계되었으며, 우측의 지도는 산출된 개별 건축물의 접근성 지수(1인당 이용 가능한 도시숲 면적)를 단계구분도로 지도시각화한 결과임. 비슷한 원리로 각 도시숲 내 단위 면적당 주변 인구수도 산출이 가능함. 본 연구에서는 개별 건축물의 도시숲 접근성을 기준으로 사례를 제시함.
- 높은 접근성 지수(초록색 점)의 지역은 수요보다 공급이 더 풍부한 지역으로, 인근 지역과 비교해 시민 1인당 이용 가능한 도시숲 면적이 상대적으로 넓음을 의미함. 이는 각 시민이 도보로 15분 이내에 도시숲을 이용할 수 있는 기회가 풍부한 지역이라고 해석할 수 있음.
- 반대로, 낮은 접근성 지수(빨간색 점)의 지역은 수요는 많으나 공급이 부족한 지역으로, 인근에 이용 가능한 도시숲이 상대적으로 희박하여 시민 1인당 이용 가능 도시숲 면적이 적음을 의미함.

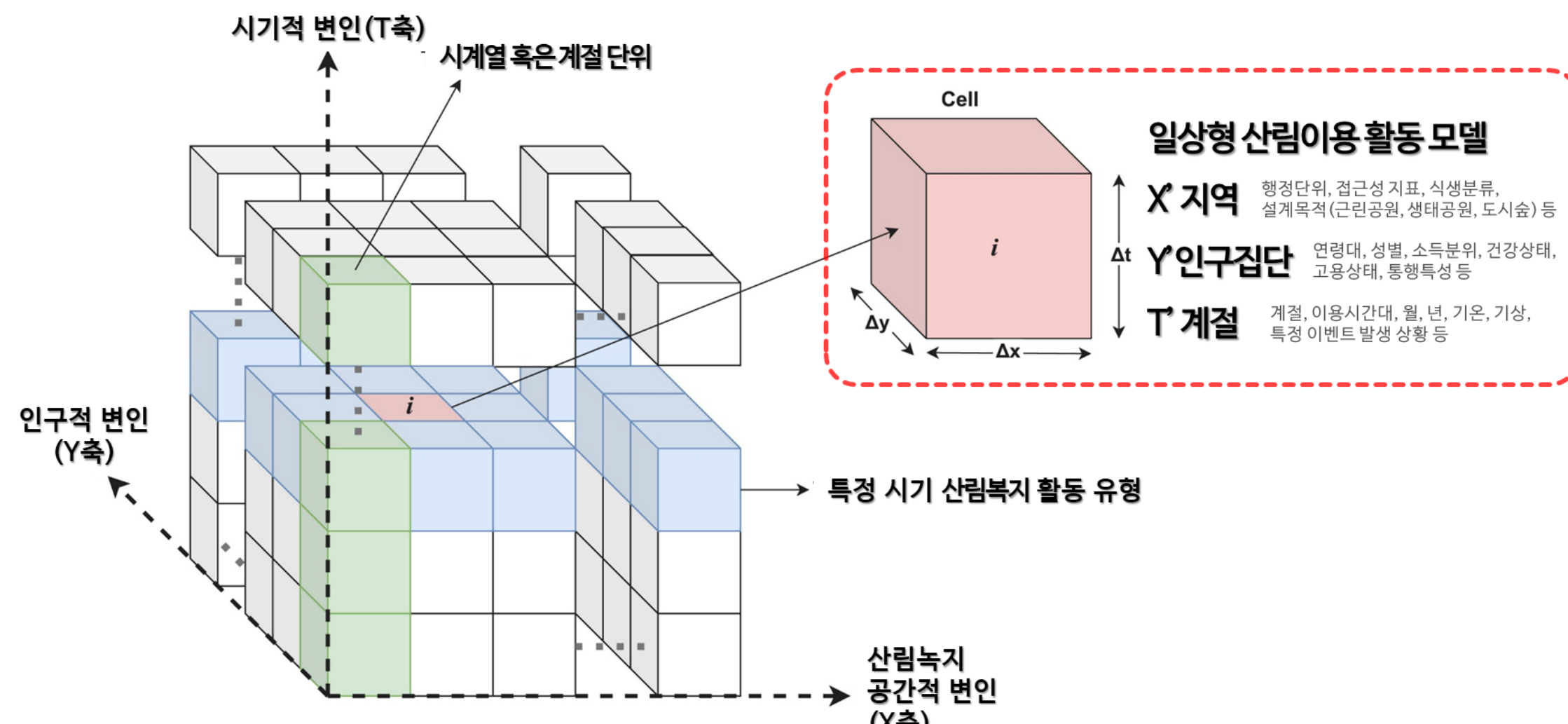
Algorithm 1 2SFCA with Gaussian Weighting
Input: List of green spaces, List of population grids, Gaussian function parameters
Output: Accessibility index for each population grid
Step 1: Calculate R values for green spaces
for each green space i do
 Initialize $total_demand \leftarrow 0$
 for each population grid j within $catchment_area$ of i do
 $d_{ij} \leftarrow$ distance between i and j
 $w_{ij} \leftarrow$ Gaussian weight for d_{ij}
 $demand \leftarrow$ population of $j \times w_{ij}$
 $total_demand \leftarrow total_demand + demand$
 end for
 $R_i \leftarrow area$ of $i / total_demand$
end for
Step 2: Calculate accessibility index for population grids
for each population grid j do
 Initialize $accessibility \leftarrow 0$
 for each green space i within $catchment_area$ of j do
 $d_{ij} \leftarrow$ distance between i and j
 $w_{ij} \leftarrow$ Gaussian weight for d_{ij}
 $accessibility \leftarrow accessibility + (R_i \times w_{ij})$
 end for
 Store $accessibility$ for j
end for
Return: Accessibility index for all population grids



<그림4> 좌: G2SFCA 접근성 지수 산출 알고리즘 / 우: 접근성 수준의 공간적 분포

4. 결론

- 도시숲 수요는 많으나 공급이 부족한 지역, 반대로 수요보다 공급이 더 풍부한 지역 등 서비스 불균형이 발생하고 있는 구체적인 지역과 분포를 과학적이고 체계적인 분석 방법을 통해 제시. 연구 대상 지역 내 이용 가능한 산림복지서비스의 확대 등 불균형 개선을 위한 정책적 방안 모색에 활용될 수 있을 것임.
- 연구에 활용된 생활인구 데이터셋은 성별, 나이와 같은 인구 통계적 특성과 날씨, 시간 등 시간적 요소별로 구분되어 있어 상세한 분석이 가능함. 다양한 분류의 인구 유형을 반복적으로 연산해 각각의 접근성 지수를 계산한 뒤, K-Means 클러스터링 알고리즘을 활용해 아래 그림과 같이 도시숲 활동 모델을 탐색하는 방법 등을 향후 연구에서 시도해 볼 수 있음.



<그림5> 도시숲 접근성 유형화 개념도

참고문헌

- 국립산림과학원, 2021, "산림복지서비스의 국민 삶의 질 기여도 평가 연구"
- Luo, W. & Wang, Fahui, 2003, "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, Page 865-884.

