



최대 커버링 입지 문제(MCLP) 모델을 이용한 김해시 역사 문화도심의 공공와이파이 재배치 최적화 연구*

Optimizing Public WiFi Redeployment in Gimhae's Historic Downtown with Maximum Covering Location Problem (MCLP) Model

최경인** · 문지훈***

Choi, Kyung-in · Mun, Jihun

Abstract

This study addresses the need to reassess and redeploy public WiFi infrastructure as part of an ongoing initiative that began in 2012, focusing on enhancing digital welfare and connectivity in urban areas. It evaluates the current public WiFi usage and estimates demand using pedestrian flow data in key historical and cultural tourism areas of Gimhae city. By applying the Maximal Coverage Location Problem (MCLP) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methodologies, the study aims to identify optimal locations for redeploying WiFi access points, ensuring service coverage meets maximum demand even with limited infrastructure. The findings propose a demand-oriented approach to enhance service utilization and accessibility, thereby contributing to improved urban public infrastructure management. This research offers new insights into demand density management in urban spaces, emphasizing the importance of evidence-based decision-making in Smart City planning and policy formulation. The study also highlights the relevance of sustainable urban management strategies in response to aging infrastructure and increasing demand, serving as a model for other cities aiming to improve public services and connectivity through Smart City initiatives. This case study underscores the critical role of data-driven approaches in achieving sustainable and efficient urban development.

주제어 스마트도시, 공공와이파이, 입지 최적화, 다기준평가기법, 최대 커버링 입지 문제

Keywords Smart City, Public WiFi, Location Optimization, Multi-Criteria Decision Making, Maximal Covering Location Problem

1. 서론

우리 정부는 2012년 이후, 「지능정보화 기본법」 제45조(구 「국가정보화기본법」 제31조)와 「방송통신발전기본법」 제13조에 따라 국민의 정보 접근성 향상과 디지털 격차 감소, 통신비 절감 등을 목적으로 공공와이파이 사업을 적극적으로 추진해 오고 있다

(김홍순 외, 2021). 이에 따라 각 지방자치단체는 스마트시티 기술을 기반으로 도시 데이터를 수집, 처리, 분석하여 데이터 주권을 확보하고자 공공와이파이를 구축하고 개방하고 있다(정규식, 2021). 사업 초기에는 정보통신 취약계층을 주요 대상으로 실내 공공장소에 와이파이를 공급했으며, 2018년 이후부터는 점차 시내버스, 버스정류장, 주요 보행 가로 등 옥외 공간으로 확대되었

* 이 논문은 한국토지주택공사가 주관한 <2023년 COMPAS 국토도시데이터 분석과제 공모> 과제에서 최우수상을 받은 결과와 2024년 5월 9일 대한국토·도시계획학회 춘계산학술대회에서 발표한 논문 일부를 수정·보완하여 작성하였으며, 한국연구재단(과제번호 2023S1A5B5A19093331)의 지원으로 수행되었음.

** Ph.D. Candidate, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University (First Author: angiechoi@snu.ac.kr)

*** Ph.D. Candidate, Interdisciplinary Program in Landscape Architecture, Graduate School of Environmental Studies, Seoul National University (Corresponding Author: munjihun@snu.ac.kr)

다. 미국의 컨설팅 기관인 ESI THOUGHTLAB(2021)에 따르면, UN의 지속 가능한 개발을 목표로 스마트도시 혁신을 추구하는 전 세계 167개 도시 중 90% 이상이 공공와이파이 설치에 투자하고 있는 것으로 나타났다. 이처럼 공공와이파이는 스마트도시의 효율적 운영과 관리에 필수적인 디지털 인프라로 자리를 잡고 있다.

경상남도 김해시도 2013년부터 시민들의 디지털 격차 해소와 복지 확대를 위해 공공장소나 복지시설을 중심으로 공공와이파이를 설치하였다. 더불어, 지방 중소도시의 쇠퇴 현상을 개선하고 지역 활성화를 도모하기 위한 노력을 해왔다. 국토교통부가 지원하는 2018년 스마트시티 「테마형 특화단지 조성사업」 대상지로 선정되어, 「김해시 스마트 도시계획(2018)」을 수립하고 2019년에 본사업으로 최종 선정되었다. 김해시 스마트 도시계획은 도시경쟁력 향상을 위해 역사문화 도심지역인 내외동과 회현동 일대를 대상으로 하는 지역 특화 전략을 포함한다. 예컨대 지역 상권 및 역사문화관광의 스마트 플랫폼 운영, IoT 기반의 실시간 도시데이터 수집 및 분석 체계 마련 등이 여기에 포함된다.

스마트시티 서비스를 효과적으로 지원하기 위해서는 시간이 지남에 따라 변화하는 여건, 예를 들어 노후화된 인프라, 제한된 예산, 사용자 수요와 정책 방향 등을 주기적으로 모니터링하고, 이에 상응하는 지속 가능한 도시관리 방안을 도출 및 갱신하는 것이 필요하다. 특히, 와이파이와 같은 제한된 인프라로 최대한 많은 수요자에게 서비스를 제공하려면, 시설물의 최적 입지를 선정하고 개선해 나가는 것이 중요하다. 이처럼 한정된 자원으로 시민에게 서비스를 제공하는 CCTV, 전기차(수소)충전소, 의료시설, 소방서 등 사회 필수 서비스의 입지 최적화 연구가 다양하게 이루어져 왔다. 그러나 기존에 설치된 공공인프라의 이용현황을 평가하고, 이와 연계한 종합적인 재배치 전략을 도출한 시도는 부족하다. 따라서 본 연구는 경상남도 김해시의 역사문화도심 ‘스마트시티 테마형 특화단지’를 대상으로 기존 공공와이파이의 이용현황을 평가하고, 재배치 최적화 방안을 제시하고자 한다.

II. 이론 및 선행연구 고찰

1. 지속 가능한 스마트도시와 공공와이파이

스마트도시법에 따르면, ‘스마트도시’란 ICT를 기반으로 도시 경쟁력과 삶의 질을 향상시키는 지속 가능한 도시를 의미한다. 1990년대부터 논의되어 온 지속 가능한 도시 개념은 일반적으로 사회, 환경, 경제, 거버넌스의 4가지 분야를 포함한다(반영운 외, 2017; 장석길·김태형, 2023). 특히, 스마트도시 실현 전략이 본격화되면서 ‘디지털 인프라’는 전통적인 4가지 지속가능성 분야를 ‘스마트성(Smartness)’으로 통합하여, 도시관리 체계의 효율성을 높이는 핵심 요소로 강조되고 있다(Pereira and Schuch de

Azambuja, 2021; Mishra et al., 2022; 장석길·김태형, 2023). 즉, 지속 가능한 스마트도시를 구현하기 위해서는 디지털 인프라를 갖추고 사회, 환경, 경제, 거버넌스 분야별로 지속적인 서비스를 제공할 수 있어야 한다.

스마트도시는 하드웨어 인프라, 센서, 네트워크, 데이터, 애플리케이션 등 5가지 주요 요소로 구성된다. 이 중 공공와이파이는 네트워크 인프라에 해당하며, 그 커버리지는 디지털 사회혁신의 관점에서 스마트도시를 평가하는 주요 지표 중 하나이다(박건철 외, 2018; 김유미·구자훈, 2019). 공공와이파이는 정부·지자체·공공기관 등이 구축하여 공공장소에서 일반 국민에게 무료로 제공하는 와이파이 서비스를 의미하는데, 광역 및 기초 지자체에서는 2011년부터 서울, 부산, 제주, 김해 등 70개 이상의 지역이 독자적인 예산으로 꾸준히 확대해 오고 있다.

그러나 장은덕(2019)의 연구에 따르면, 기존 공공와이파이의 품질, 실태 평가, 수요 분석, 관리 체계가 미흡한 상황에서 지속적인 확대는 정부나 지자체의 예산 부담으로 이어질 수 있다고 강조한다. 한정된 예산을 투자하여 공공와이파이의 품질과 이용효율을 높이기 위해서는 기존에 구축된 AP(Access Point)¹⁾의 현황을 정확하게 파악하고 성과평가를 체계화할 필요가 있다. 또한, 지속 가능한 스마트도시를 운영하기 위해서는 디지털 인프라의 기술적 측면과 아울러 공간구조 변화에 대응하는 계획도 함께 고려해야 한다(장석길·김태형, 2023). 도시계획 관련 정책 변화는 도시 공간에 영향을 미치는 요인으로, 입지 선정 의사결정 과정에서 지역별 발전 방향도 함께 고려해야 한다.

2. 공공와이파이의 최적 입지 선정

공공와이파이 관련 선행연구는 주로 공학적 기술 문제를 다루고 있으며, 이용현황의 평가나 공간적 입지를 다룬 연구는 부족하다. 따라서 본 연구는 공공시설의 입지 최적화에 관한 연구와 와이파이에 국한하지 않고 되도록 폭넓게 검토하였다. 특히, 스마트도시 인프라 중 데이터 전송과 유무선망을 활용하는 ‘네트워크형 공공시설물’인 CCTV의 최적 입지 연구를 함께 살펴보았다.

공공시설물의 입지와 관련된 연구는 공간적 분포와 특성에 중점을 둔 기술적 접근(Descriptive Approach)과 입지 선정의 의사결정 과정을 제안하는 규범적 접근(Normative Approach)으로 구분하여 살펴볼 수 있다. 공공시설물의 입지를 기술적 접근으로 다룬 연구는 도시별 용도지역 차이나 접근성 진단, 도시환경 요인을 고려한 입지 정책의 실효성 판단, 도시 내 정보 격차 수준 측정 등 공간적 분포에 대한 이해를 높이고자 하였다(홍일영, 2010; 이진학, 2012; 이민정·김영호, 2013; 김홍순 외, 2021; Grubestic and Murray 2004; Torrens, 2008).

반면에 규범적 접근은 입지 후보지에 관한 평가, 제한적 조건에서 효율을 높이기 위한 최적 후보지 선정, 또는 평가를 통한 후

보지 선정과 최적 입지 선정을 함께 수행하는 데 중점을 두었다. 평가와 관련한 대표적 방법론으로 다기준평가기법(Multi-Criteria Decision Making, MCDM)이 적용되었다(이해빈 외, 2023; 최영근·이동명, 2017; 이진학 외, 2010; 김감영, 2008; 김영 외, 2003; 이희연, 2000). 다기준평가기법은 상충하는 여러 평가 기준에 대하여 요인별 가중치를 부여하고, 의사결정 규칙(Decision Rule)에 따라 적합성을 평가하는 방법이다. 의사결정 규칙은 일반적으로 가중선형조합법(Weighted Linear Combination), 계층분석법(Analytic Hierarchy Process), 일치법(Concordance Method), 퍼지 가중선형법(Fuzzy Additive Weighting Method) 등이 있다. 이 중 공간적 다기준 의사결정에 빈번하게 사용되는 것은 단순가중합산법(Simple Additive Weighting)과 같은 의미인 가중선형조합법으로, 여러 요인에 가중치를 곱한 속성값을 합하여 입지 후보지에 대한 점수를 산출하는 방식이다.

후보지에 대한 최적 입지 선정 방법은 주로 최적화 이론(Optimization Theory)에 기반을 둔다. 최적화 이론은 주어진 제약 조건 아래에서 공공시설물의 서비스 커버리지 최대화 또는 비용의 최소화를 목표로 하며, 이를 달성하기 위한 최적 방안을 도출하는 데 초점을 둔다. 공공와이파이나 CCTV와 같이 공간적으로 제한된 서비스 영역을 갖는 네트워크형 시설물의 입지 최적화를 위해서는 커버리지 최적화 문제(Coverage Optimization Problem)가 활용되며, 대표적인 방법론으로 셋커버링 입지 문제(Location Set Covering Problem, LSCP)와 최대 커버링 입지 문제(Maximal Covering Location Problem, MCLP)가 있다. LSCP는 모든 서비스 수요를 커버할 수 있는 최소한의 시설물을 입지시키는 방법이고, MCLP는 제한된 수의 시설물로 최대한의 수요를 커버하도록 입지시키는 방법이다.

Church and ReVelle(1974)에 의해 소개된 MCLP는 주차시설, 전기차충전소, 임대주택, 학교, 코로나 검사시설 등 다양한 시설의 입지 최적화에 활용되어 왔다(진찬우·이진학, 2015; 우현 외, 2021; Kwon et al., 2020; Muren et al., 2020; Taiwo, 2021; Yi et al., 2022; Han et al., 2023). 또한, 공공와이파이나 CCTV의 최적 입지 선정에도 폭넓게 적용되고 있다(이진학·김감영, 2013; 이민정·김영호, 2014; 이수희·이진학, 2014; 이진학, 2015; 이진학, 2018; Karasakal and Karasakal, 2004; Lee and Murray, 2010; Pludow et al., 2022). 예를 들어 이진학·김감영(2013)은 전라남도 구례군을 대상으로 LSCP와 MCLP 모델을 비교 분석하여 슈퍼 와이파이 시설의 효율적 배치를 위한 최적 입지 모델링을 제안하였다. 이민정·김영호(2014)는 방범용 CCTV의 입지를 도출하기 위해 시간대별 유동 인구, 상주 인구 밀도를 고려하여 MCLP 모델을 통해 최적 입지를 선정하였다. 이수희·이진학(2014)은 인구학적, 경제적 특성을 종합적으로 고려한 모바일 격차 지수를 제안하여 지역 간 불균형 수준을 파악하

고, 격차가 심화된 지역들을 대상으로 최적화 모델을 적용하였다. 또한, 이진학(2015)은 인구 데이터를 기반으로 추정한 수요량을 반영하고, 수요 조건에 따라 슈퍼 와이파이 시설의 다양한 입지 시나리오를 제안하였다.

해외 연구에서는 공공와이파이 시설 위치와 수요지점 사이의 거리에 따라 발생하는 부분 커버리지의 서비스 수준을 고려하거나(Karasakal and Karasakal, 2004), 도시 전역을 대상으로 무선통신망을 공급할 때 공학적으로 네트워크 신뢰성 수준을 높이기 위해 토폴로지적인 접근 방식을 적용하는 등 전통적인 MCLP를 개선한 모델을 제안하였다(Lee and Murray, 2010). Pludow et al.(2022)는 캘리포니아 산타바바라 대학 캠퍼스의 무선 인터넷 접근 수준을 높이기 위해 기존 시스템을 재평가하고, 서비스 품질 향상과 운영비용 감소를 목표로 AP 시설의 최적 입지를 재구성하는 연구를 수행하였다.

더 나아가 최근에는 기계학습 알고리즘을 활용하여 공공와이파이의 최적 입지를 선정하는 연구도 진행되고 있다. 예컨대 황용준·김현정(2024)은 유동인구지수, 복합설치지수, 정보격차지수를 100m 격자 단위로 산출하고, 선형회귀나 트리 기반 모델 등 다양한 모델을 활용하여 공공와이파이 설치 필요 지역의 예측을 시도하였다.

기존 연구들이 주로 신규 설치 위주의 입지 선정에 집중해 온 반면, 본 연구는 공공와이파이 서비스의 효율성을 극대화하기 위해 기존 AP의 재배치에 초점을 맞춘다는 측면에서 차별성을 가진다. 이를 위해 다기준평가기법을 통해 현재 AP의 이용현황을 면밀히 분석하고, MCLP 모델을 활용하여 서비스 커버리지 범위를 고려한 최적의 재배치 전략을 제시한다. 특히, 지자체가 제공한 실증데이터를 분석에 활용함으로써, 실제 사용자들의 행태와 요구를 반영한 현실적인 재배치 방안을 도출하고자 한다.

III. 공공와이파이 최적 입지 모델링

1. 사례 지역

경상남도 김해시는 2013년부터 2024년 1월 현재까지 공공기관, 관광지, 문화시설, 복지시설, 전통시장, 버스정류장, 도시공원 등 총 1,317개소에 공공와이파이를 구축했으며, 관내 시내버스 236대에도 와이파이를 전수 설치하였다(김해시, 2024). 사업 방식에 따라 김해시가 자체 구축한 AP가 전체의 약 50.3%인 663개소를 차지하며, 기존 통신사가 개방한 AP는 654개소에 해당한다. 통신사 개방 AP는 각 통신사가 자사 가입자 전용으로 구축한 와이파이를 공공 서비스로 개방해 일반 이용자가 무료로 접속할 수 있도록 한 것이다.

김해시 스마트 도시계획은 경제, 사회, 거버넌스, 환경 분야의 총 30가지 스마트도시 서비스 제공을 목표로 하고 있으며, 데이

터 수집과 시민의 정보 접근성 제고에 공공와이파이를 적극적으로 구축·확대하고 있다. 또한 스마트도시 재생사업과 연계하여 지역별 특성을 고려한 활성화 전략을 포함하고 있다. 김해시 원도심인 내외동과 회현동 일대는 역사문화자원이 풍부한 지역으로, 국토교통부가 지원한 ‘테마형 특화단지 조성사업’에 선정된 바 있으며 ‘스마트 관광도시’의 구현을 목표로 하고 있다.

이와 관련하여 김해시는 2023년, 한국토지주택공사가 운영하는 도시 데이터 분석 플랫폼(COMPAS)을 통해 내외동과 회현동 내 공공와이파이 재배치를 위한 최적 입지 분석 공모전을 추진한 바 있다(과제명: 김해시 공공 와이파이존 재배치 및 신규 입지 분석). 본 연구는 해당 공모전에서 제시한 분석 대상 지역을 고려하여, 동일 지역 일대의 ‘2018 스마트시티 테마형 특화단지’로 지정된 구역을 공간적 연구 범위로 한다.

2. 활용 데이터

도시 데이터 분석 공모를 운영하는 COMPAS 플랫폼은 과제마다 필요한 핵심 데이터를 제공한다. 민감정보의 속성에 따라 공개 또는 비공개로 구분되어 제한적으로 활용할 수 있으며, 본 연구는 김해시 공공와이파이 정보와 데이터 사용량, 위치 정보가 포함된 김해시의 유동 인구, 기타 공공인프라 및 행정 경계 공간 정보 등을 사용하였다. 주요 활용 데이터 목록은 <표 1>과 같다.

분석의 핵심이 되는 공공와이파이 데이터는 김해시가 내외동과 회현동 일대에 자체 구축한 74개 AP의 설치 위치와 데이터 사용량 정보를 포함한다. 대부분 AP는 내외중앙로 주변 상업지역

일대와 연지공원, 해반천을 따라 설치되어있다. 플랫폼에서 제공한 데이터는 2022년 1월부터 2023년 6월까지 18개월 동안의 공공와이파이 이용현황 정보를 포함하고 있었으며, 이 기간의 이용자 수는 AP당 평균 약 1만 5천 명, 1인당 평균 데이터 사용량은 27MB, 1인당 평균 이용 시간은 약 60분으로 확인되었다. 이용현황에 대한 기초통계와 이를 시각화한 결과는 각각 <표 2>, <그림 1>과 같다.

3. 분석 방법

본 연구는 기존 공공와이파이 시설의 이용현황 평가 및 재배치 대상 AP의 최적 입지를 분석하기 위해, 다기준평가기법(MCDM)과 최대 커버링 입지 문제(MCLP)를 활용하였다. 다기준평가기법은 여러 기준이나 목표를 고려하여 최적의 대안을 선택하거나 순위를 매기는 데 사용되는 분석방법이다. 본 연구는 선행연구를 토대로 단순가중합산법을 의사결정 규칙으로 하는 다기준평가기법을 적용하였다. 평가 요인으로는 데이터 사용량, 데이터 사용 시간, 총 사용자 수, 누적 유동 인구 지표를 사용하였다.

평가 기준의 변수들은 z-score를 이용해 표준화되었으며, 요인분석(Factor Analysis)을 통해 가중치를 부여하였다. 요인분석은 표준화된 변수 간의 상관관계를 바탕으로 데이터의 구조를 설명하는 공통 요인의 영향력을 판단하는 통계적 방법이다. 최종적으로 표준화 점수에 가중치를 곱해 합산한 값을 기반으로 AP 시설의 이용현황을 평가하고, 도시계획 현황과 주변 여건을 종합적으로 고려해 이용이 저조한 시설 중 재배치 대상 AP를 선정하였다.

이후, 재배치 대상으로 선정된 AP 시설의 최적 입지를 도출하기 위해 MCLP 모델을 적용하여 입지 시나리오를 제안하였다. MCLP 모델의 핵심 목적은 재배치 대상 선정 기준에 따라 도출된 AP 시설을 가능한 한 많은 수요를 포함하는 서비스 면적 내에 최

표 1. 활용 데이터

Table 1. Utilized data

Content	Data item	Information	Format
Supply status	Public wifi (location, data usage)	Ap name, address, coordinates / ap name, period, number of users, total data usage, usage time	.csv
Demand analysis	Floating population (gender, age)	Reference year and month, gender, age, coordinates (2020-2022)	.csv
Relocation candidates	CCTV, security lights, traffic lights, emergency bells, bus stops, light rail	Coordinates (up to 2022)	.csv
Basic spatial information	Road, administrative boundaries, tourist information (cultural assets)	Road name, administrative district name, administrative district code, cultural asset name	.geojson

표 2. 공공와이파이 이용현황 기술통계

Table 2. Descriptive statistics of public WiFi usage

Category(Unit)	Mean	Std.	Min	Max
Total number of users (persons)	15,300.74	9,615.94	1,032.00	37,080.00
Total data usage (gb)	268.03	660.52	3.81	4,742.23
Total usage time (hrs.)	14,118	12,632	950	50,710
Average data usage per user (mb)	37.96	114.52	0.44	722.84
Average usage time per user (min.)	60.32	51.18	11.47	320.49

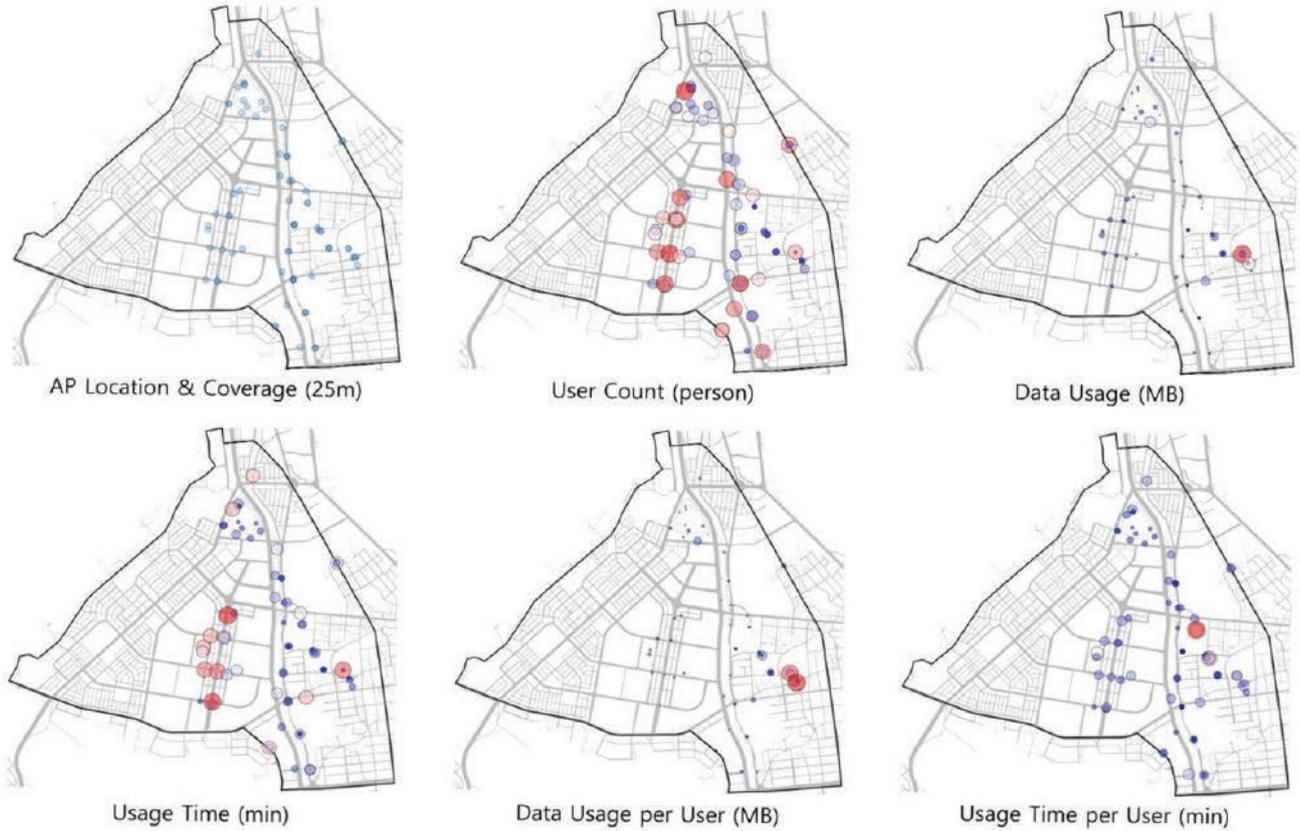


그림 1. 대상지 내 공공와이파이 위치 및 이용현황
(왼쪽 위 그림의 25m 서비스 반경을 제외한 나머지 원의 크기는 AP 간 상대적 비교를 위해 표준화한 값임)

Figure 1. Public WiFi locations and usage status within study area

(Only the top left image represents the 25 m service radius, while the sizes of the other buffers are standardized for relative comparison between APs.)

적 입지시키는 것이다. 각 AP는 공간적으로 제한된 서비스 범위를 갖는 네트워크형 시설물이기 때문에 LSCP보다 MCLP가 적합하다고 판단하였다. 공공와이파이의 입지 최적화 모델은 다음과 같이 구축하였다.

인덱스와 결정변수:

i : 공급 지점을 나타내는 인덱스, 모든 공급 지점에 대해 $i \in I$

j : 수요지점을 나타내는 인덱스, 모든 위치에 대해 $j \in J$

x_i : 위치 i 에 무선랜 AP를 설치하면 1, 그렇지 않으면 0

y_j : 수요지점 j 가 포함될 때 1, 그렇지 않으면 0

매개변수:

W_j : 수요지점 j 의 가중치

N : 설치할 수 있는 AP의 최대 개수

$d_{i,i'}$: 두 AP 지점 i 와 i' 사이 거리

D_{min} : AP 사이에 유지해야 할 최소거리

목적함수:

$$\text{Maximize } \sum_j W_j y_j$$

제약 조건:

$$y_j \leq \sum_{i \in S_j} x_i, \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_i \leq N \quad (3)$$

$$x_i + x_{i'} \leq 1, \text{ if } d_{i,i'} < D_{min}, \forall i \neq i' \quad (4)$$

$$x_i, y_j \in \{0,1\} \forall i \in I, \forall j \in J \quad (5)$$

여기서 수식 (1)의 W_j 는 수요지점 j 의 예상 수요량으로 위치별 가중치로 작용한다. 이 목적함수는 설치된 AP의 서비스 면적이 커버하는 총 수요량을 최대화하고자 하며, 가장 주요한 수요를 만족시키는 위치에 AP를 설치한다. 수식 (2)는 커버리지 제약 조건으로 모든 수요지점 j 에 적용되며, 각 수요지점이 최소한 하나의 설치된 AP의 서비스 커버리지에 포함되도록 한다. 이는 목적함수를 달성하기 위한 주요 제약으로, 최적화 과정에서 모든 수요지점을 고려하도록 한다. 수식 (3)은 설치하려는 AP의 개수가 다기준평가기법에 따라 재배치 대상으로 선정한 N 개로 제한되는 것을 의미하며, 수식 (4)는 서비스 면적이 중첩되는 것을 최소화하여 공공와이파이 커버리지를 가능한 한 최대화하기 위해

(1)

AP 시설 간 거리제약 조건을 설정한 것이다. 두 위치 i 와 j 사이의 거리가 D_{min} 보다 작은 경우, x_i 와 x_j 의 합이 1을 초과할 수 없다는 것은 두 위치 중 최대 하나만 AP 설치 위치로 선택될 수 있음을 의미한다. 이를 통해 한정된 자원의 낭비를 방지하고, 전체 네트워크 커버리지의 효율성을 증가시킨다. 수식 (5)는 결정변수 x_i, y_j 가 모두 이진 변수로서 설치 위치에 대한 의사결정 문제의 이분적 특성을 반영한다.

4. 도심부 AP의 재배치 최적화

1) 기존 AP의 이용현황 평가

기존에 설치된 AP는 접속자 현황과 데이터 사용량이 실시간으로 수집되고 있으나, 와이파이 시설이 효율적으로 운영되고 있는지에 대한 체계적이고 제도화된 평가 방법은 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 가용 데이터의 범위 안에서 공공와이파이의 1) 이용량, 2) 이용 수요, 3) 이용 효율을 종합적으로 평가할 수 있는 측정 지수를 도입하였다.

첫 번째로, 이용량은 사용자의 이용 시간과 데이터 사용량을 동시에 고려하는 'WiOpt Score(WiFi Optimal Score)' 지수로 평가하였다. WiOpt Score 지수는 김해시 공공와이파이 데이터에 포함된 총 이용자 수, 총 데이터 사용량, 총 이용 시간, 1인당 평균 데이터 사용량, 1인당 평균 이용 시간 등 5개의 변수를 표준화하고, 요인분석을 통해 가중치를 반영하여 합산한 지수이다. 이를 산출하는 방식은 수식 (6)과 같다.

$$WiOpt\ Score = \sum_{i=1}^n (X_{std,i} \times Loading_i) \quad (6)$$

여기서 $X_{std,i}$ 는 i 번째 변수의 표준화된 값, $Loading_i$ 는 i 번째 변수의 요인 가중치, n 은 사용된 변수의 총개수이다.

요인분석 결과로 얻은 변수별 가중치는 <표 3>과 같은데, WiOpt Score 지수 산출에 미치는 영향력의 정도와 방향을 나타낸다. '총 이용자 수'의 가중치는 0.7307, '총 이용 시간'의 가중치는 0.9875로 변수의 영향력이 높았다. 반면, '총 데이터 사용량'은 0.2582, '1인당 평균 이용 시간'은 0.3572로 영향력이 상대적으로

낮았다. '1인당 평균 데이터 사용량'의 가중치는 오히려 -0.1048로 반대 방향의 경향을 보였다. 이는 이용자 수가 많지만, 이용 시간 대비 데이터 사용량이 저조한 경우, 네트워크 품질이 낮거나 현재 AP의 입지가 많은 데이터 사용이 필요하지 않은 지역일 가능성이 있다. 따라서, 추가적인 신규 설치보다는 전반적으로 이용이 저조한 기존 AP 시설의 효율성을 높이는 재배치에 중점을 두었다. 다만, 이 가중치들은 데이터의 분포 특성과 분석 과정에서의 상대적 중요도를 반영하므로, 절댓값에 의존하기보다는 재배치 전략 수립 과정에서 참고 지표로만 활용해야 한다는 점을 유의해야 한다.

두 번째로, 잠재 이용수요는 유동 인구 데이터를 기반으로 'WiDemand Score(WiFi Demand Score)' 지수를 도입하여 평가하였다. COMPAS 플랫폼에서 제공한 김해시 유동 인구 데이터는 2020년부터 2022년까지의 월 단위 성·연령별, 시간대별, 요일별 유동 인구를 위치 정보와 함께 포함하고 있었다. AP는 공공재의 특성상 한번 설치되어 고정되면 일시적인 유동 인구보다는 누적 유동 인구가 주요 고려 사항이 된다. 또한, 해당 기간이 코로나로 인한 사회적 거리 두기 시기를 포함하고 있다는 점도 유의할 필요가 있었다. 따라서 시간대별, 요일별 유동 인구보다는 성·연령별 유동 인구의 분포를 각각 구분하여 검토했으나, 유의미한 차이를 발견할 수 없었다. 이에 본 연구는 3개 연도 누적 유동 인구 데이터(U)를 사용해 잠재적 이용수요의 분포를 추정하였다.

이 과정에서 50m 간격의 격자 포인트로 관측된 유동 인구 데이터를 기존 AP 위치의 수요량으로 변환하기 위해 커널 밀도 추정(Kernel Density Estimation, KDE) 방식을 적용하였다. KDE는 가우시안 함수를 사용하여 데이터의 연속적인 확률밀도를 추정하는 기법으로, 이를 지리 정보와 결합하면 유동 인구의 공간적 밀집 정도를 히트맵 형태로 시각화할 수 있다. 이후 래스터(Raster) 형태로 산출된 KDE 값을 74개 AP 위치에 매핑하기 위해 최근접 이웃 탐색(Nearest Neighbor Search, NNS) 알고리즘을 사용하여, 각 AP 위치와 가장 가까운 지점의 KDE 값을 결합하였다. $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 를 공급 지점의 집합이라 할 때, WiDemand Score 지수를 산출하는 방식은 수식 (7)과 같다.

$$WiDemand\ Score(s_i) = NN(KDE(U), s_i) \quad (7)$$

마지막으로, 이용효율은 이용수요(WiDemand Score) 대비 이용량(WiOpt Score)을 측정하는 'WiEff Score(WiFi Efficiency Score)' 지수로 평가하였다. WiEff Score 지수를 산출하는 방식은 수식 (8)과 같다.

$$WiEff\ Score = \frac{WiOpt\ Score}{WiDemand\ Score} \quad (8)$$

표 3. WiOpt Score 지수 산출을 위한 변수별 가중치
Table 3. Weights for variables in WiOpt Score calculation

Category	Weights
Total number of users	0.7307
Total data usage	0.2582
Total usage time	0.9875
Average data usage per user	-0.1048
Average usage time per user	0.3572

지금까지 설명한 세 가지 지수의 측정 결과는 표준화를 통해 서로 다른 단위를 통일하였으며, 이에 대한 기초통계량과 시각화 결과는 각각 <표 4>, <그림 2>와 같다. 확인 결과, 이용량을 평가한 WiOpt Score 지수는 전통시장과 먹자골목이 위치한 내외중앙로(무로 거리) 일대, 연지공원, 그리고 수로왕릉 등 스마트 관광을 운영하는 인근 문화재 주변에서 공공와이파이의 이용이 높게 나타났다. 또한, 누적 유동 인구 기반의 이용수요를 평가한 WiDemand Score 지수는 내외중앙로 주변과 신세계백화점 및 고속버스터미널이 있는 상업지역에서 공공와이파이의 잠재 이용수요가 집중되는 것을 확인할 수 있다. 마지막으로, 이용수요 대비 이용량 즉, 이용효율을 평가한 WiEff Score 지수는 도심 최대 변화가인 무로 거리 일대 상업지역에서 이용효율이 높게 나타났다. 반면 연지공원과 수로왕릉 일대의 이용효율은 상대적으로 낮았다. 이는 오픈스페이스 공공장소에서 특정 시기에 문화 행사가 운영될 때 일시적으로 많은 유동 인구가 몰려 이용량이 많아지지만, 평상시에는 이용량이 적어 최댓값과 최솟값의 격차가 크기 때문에 객관적 분석 결과에서 상대적으로 이용효율이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

2) 재배치 대상 AP의 선정 및 후보지 검토

서비스 최적화를 위한 AP 재배치는 내외동과 회현동 일대의 도시계획 현황과 주변 여건, 그리고 앞서 산출한 평가 결과를 종합적으로 고려하여 다음 기준에 따라 선정되었다. 첫째, 김해시 내외동과 회현동 내 '테마형 특화단지' 사업지역 경계 외부에 있는 AP를 재배치 대상으로 선정하였다. 이는 분석 과제의 요구사항

을 반영한 것이다. 둘째, 이용효율이 하위 10%에 해당하는 AP를 재배치 대상으로 선정하였다. 임계를 최소화한 이유는 공공 서비스가 필요한 관광지나 공원 등 야외공간에 설치된 AP가 배제될 가능성을 줄이기 위함이다. 즉, 유동 인구만을 기준으로 이용효율을 비교한 본 연구의 한계로 인해, 하위 임계를 높일수록 AP의 재배치가 상권에만 집중될 가능성이 크다고 보았다. 셋째, AP의 좌표가 같거나 서비스 반경(25m)이 겹치는 경우, 이용효율이 가장 높은 하나만 남기고 나머지는 재배치 대상으로 선정하였다. 실제로는 좌표가 같더라도 설치 장소가 미세하게 다를 수 있어 현장에서는 모두 필요할 수 있으나, 본 분석에서는 개별 AP당 평면적인 서비스 반경만을 고려하였다. 이 기준에 따라 총 74개의 AP 중 31개가 재배치 대상으로 선정되었다.

AP의 재배치가 가능한 후보지는 기본적으로 현재 전원 공급이 가능한 시설로 한정하였다. 여기에는 보안등 1,031개소, CCTV 519개소, 버스정류장 100개소, 신호등 46개소, 안전 비상벨 47개소, 경전철 역 2개소 등 총 1,743개소가 포함된다. 그중에서 재배치 대상으로 선정되지 않은 AP, 즉 유지 대상으로 분류된 AP의 서비스 반경(25m) 안에 포함되는 후보지 129개소는 제외하였다. 이에 따라 재배치가 가능한 후보지는 총 1,614개소로 확인되었으며, 이를 시각화한 결과는 <그림 3>과 같다.

3) MCLP 모델을 이용한 최적 재배치

MCLP 모델은 특정 조건에서 최대한 많은 수요를 충족시킬 수 있는 최적의 위치를 선정하는 문제로, 본 연구에서는 공공와이파이 서비스의 효율성과 이용자의 접근성 향상을 목표로 한다. 이 모델에서 목적함수는 재배치된 AP의 서비스 반경(25m) 내에서 포착되는 수요량을 최대화하는 것으로 설정되었다. 여기서 수요량은 각 AP의 서비스 반경의 원과 KDE로 산출된 유동 인구 밀도가 중첩되는 영역의 총합을 의미한다.

모델 설정에서는 재배치가 필요한 AP를 앞서 도출된 31개로 설정하고, 최종 설치될 AP 간의 최소거리 제약 조건을 적용하였다. 다양한 시나리오를 검토하기 위해 거리제약 조건을 10m에서 60m까지 10m 단위로 변화시켜 분석하였다. 여기서 50m는 AP

표 4. 이용량, 이용수요, 이용효율의 기술통계
Table 4. Descriptive statistics of WiOpt, WiDemand, and WiEff Scores

Category	Mean	Std.	Min	Max
WiOpt Score	0	1.0068	-1.3463	2.8546
WiDemand Score	0	1.0068	-0.9752	3.3888
WiEff Score	0	1.0068	-2.4495	3.5885

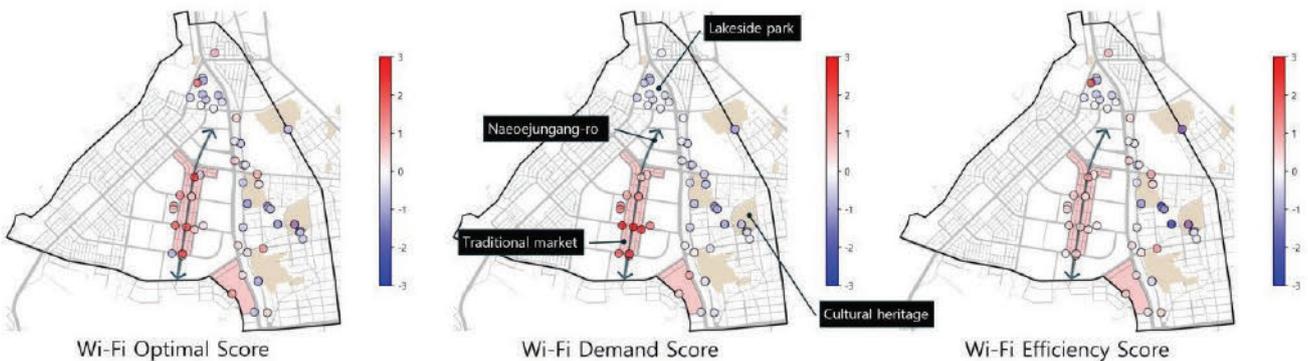


그림 2. 이용량, 이용수요, 이용효율 평가 결과
Figure 2. Evaluation results of WiOpt, WiDemand, and WiEff Scores

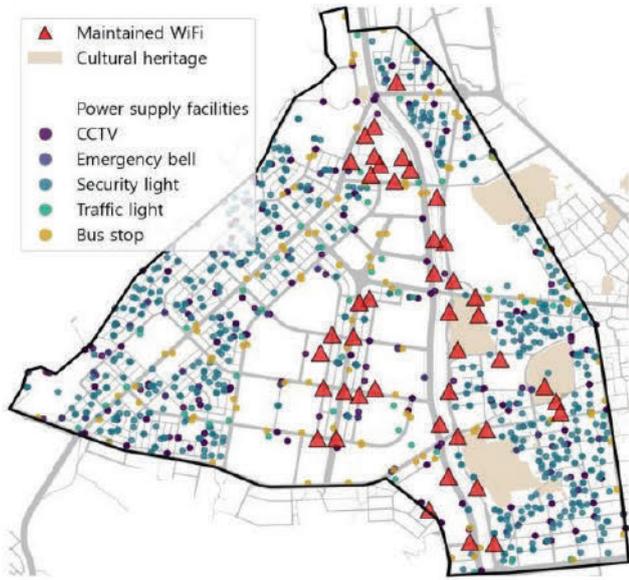


그림 3. 공공와이파이 재배치 후보지(전원공급가능시설)

Figure 3. AP redeployment candidate sites (power-supplied facilities)

간의 서비스 반경(25m)이 서로 간섭하지 않는 최소거리 조건이며, 10m에서 40m까지의 거리 조건은 서비스 중복을 단계적으로 허용하는 기준에 해당한다. 즉, AP 간의 거리가 멀어질수록 커버리지 중첩이 줄어들어 공공와이파이 커버리지의 총면적은 증가하는 경향을 보인다.

〈그림 4〉에서 분석한 바와 같이, 거리 제약 조건에 따른 공공와이파이의 KDE 수요량 변화를 살펴본 결과, 커버리지 중첩을 최소화하면서 최대 수요를 포함하는 최적의 간격은 AP 간 거리가 40m일 때 나타났다. 50m와 60m의 경우 커버리지 면적은 더 넓어지지만, 이 범위 내에 유동 인구가 밀집된 지역이 충분히 포함

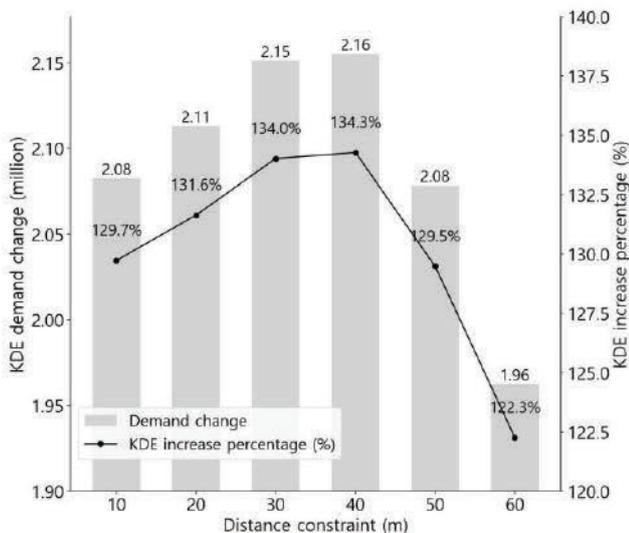


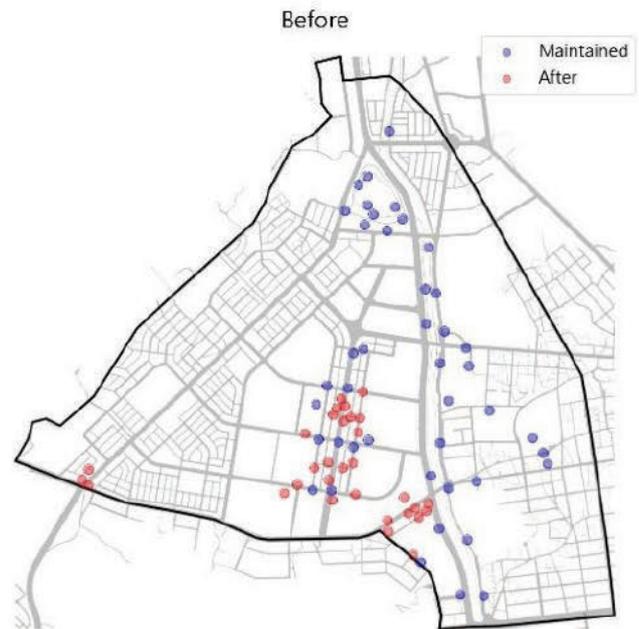
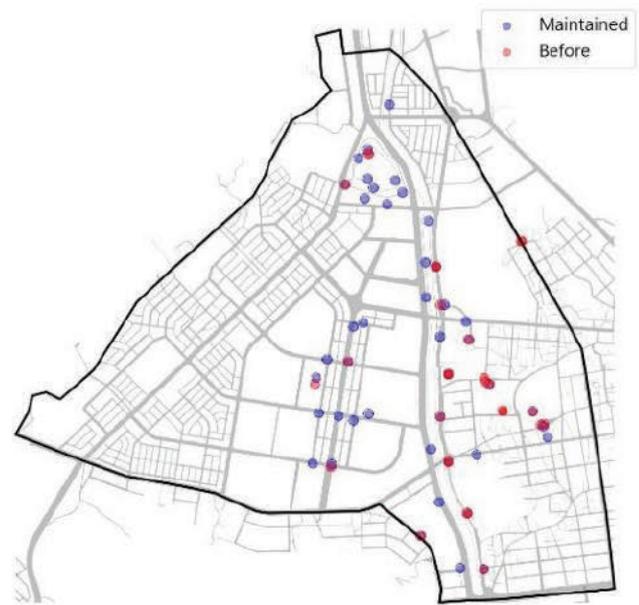
그림 4. 거리제약 조건에 따른 KDE 수요 변화량(막대), 증가율(꺾은선) 변화

Figure 4. KDE demand change (bar) and increase rate (line) by distance constraints

되지 않아, KDE 수요량은 40m 제약 조건일 때보다 낮게 나타났다. 공공와이파이 재배치 전후를 비교한 시각화 결과는 〈그림 5〉와 같다.

IV. 결론 및 시사점

본 연구는 지속 가능한 스마트도시 관리를 목표로 경상남도 김해시 원도심 내 공공와이파이 시설의 이용현황을 평가하고 최적의 재배치 방안을 제안하였다. 김해시 원도심의 내외동과 회현동에 설치된 AP의 기존 입지는 해당 지역의 역사문화관광 자원이 밀집된 특성을 충분히 반영하지 못하는 한계를 드러냈다. 이를



After (40m distance constraint)

그림 5. 공공와이파이 재배치 전후 비교
Figure 5. Public wifi redeployment: before and after

해결하기 위해 본 연구에서는 다기준평가법(MCDM)을 활용하여 재배치 대상 AP를 선정하고, 최대 커버링 입지 문제(MCLP) 모델을 적용하여 공공와이파이 커버리지 증첩을 최소화하는 거리제약 조건을 고려한 최적화 시나리오를 제안하였다.

김해시 내외동과 회현동의 '테마형 특화단지' 내 기존 공공와이파이 AP 시설은 주로 상업지역, 공원, 문화재, 버스정류장을 중심으로 분포하고 있었다. 평가지표로는 총 사용자 수, 총 데이터 사용량, 1인당 평균 데이터 사용량 및 이용 시간을 사용하였으며, 각각을 표준화하고 지표 간 상관관계를 반영한 가중치를 고려하여, 실제 이용효율을 보다 객관적으로 평가하였다. 분석 결과, 공영주차장과 공중화장실 등 일부 공공시설에 설치된 AP는 이용이 저조한 것으로 나타났다.

다만, 정량적 데이터 분석만으로는 연지공원이거나 수로왕릉 유물전시관과 같은 공공장소에서, 상시 유동 인구가 많은 상업지역과 달리 문화 행사로 인해 일시적으로 유동 인구가 밀집되는 상황을 충분히 반영하지 못했다. MCDM을 통한 의사결정 과정은 지역의 정책 방향과 장소적 특성을 고려하여 객관적 지표의 한계를 보완할 수 있었다. 이를 바탕으로 종합적인 재배치 기준을 마련하였고, 기존 74개 AP 중 31개를 재배치 대상으로 선정하였다. 이후, MCLP 모델을 적용하여 AP 31개가 최대 수요를 포함할 수 있도록 거리제약 조건에 따른 최적 입지를 제안하였다.

AP 시설의 서비스 반경은 반경 25m로, 두 AP 간의 거리가 50m~60m인 경우 서비스 면적이 증첩되지 않아 와이파이의 평면적 커버리지는 증가하지만, 커버리지가 포함하는 최대 수요량은 오히려 낮아지는 결과를 보여주었다. 이는 거리제약 조건을 통해 단순히 커버리지를 확대하는 것이 실제 이용효율을 높이는 데 효과적이지 않음을 입증하였으며, 최대 수요를 수용하기 위해서는 유동 인구 유발 시설과의 연계가 중요함을 시사한다.

이 연구는 공공와이파이 시설의 재배치 최적화를 위한 중요한 결과를 도출하였지만, 몇 가지 한계도 존재한다. 첫째, 본 연구는 공공와이파이 서비스의 평면적 커버리지만을 기준으로 검토했기 때문에 실제 현장에서의 네트워크 간섭이나 복수 AP의 필요성과 같은 기술적 요소를 충분히 반영하지 못했다. 둘째, 본 연구는 행정동 단위의 규모를 대상으로 진행되었기에, 시군 단위 이상 규모에서의 시설 평가와 최적 입지 선정에는 적합하지 않을 수 있다. 더 넓은 규모에 관해서는 추가 연구가 필요하다. 셋째, 연구에 사용된 데이터는 코로나 시기의 자료를 포함하고 있어 유동 인구 추정에 왜곡이 있을 가능성이 있다. 이를 보완하기 위해 누적 유동 인구 데이터를 활용하였으나, 이로 인해 공원이나 야외 유적지 등 필수 공공시설에서 서비스 공백이 발생할 우려도 있다. 예를 들어, 수로왕릉 일대에서 열리는 '김해 문화재야행'은 높은 집객 효과를 기대할 수 있는 문화 행사로 공공와이파이 설치가 중요한 지역이지만, 코로나 시기의 특수 상황이 데이터에 반영될 수 있기 때문이다. 향후 연구에서는 유동 인구의 시계열적 특성을

다층적으로 고려하여 시간대별, 계절별 최대 유동 인구를 활용하거나, 실제 수요를 더 정밀하게 반영하기 위해 지방 소도시의 생활 인구 데이터를 연계하는 방안 등을 검토할 필요가 있다. 또한, 기존 서비스 시스템의 체계적인 평가를 위해서는 토지이용 및 도시 기반 서비스를 고려한 데이터 목록의 구체화, 수집 체계의 마련과 제도화, 모니터링 기반 구축이 필요하며, 이는 후속 연구에서 점진적으로 논의되어야 할 부분이다.

그럼에도 본 연구는 기존 공공와이파이 시설에 대한 평가의 중요성을 강조하며, 이를 토대로 재배치를 위한 최적 입지를 도출하는 증거 기반의 의사결정 과정을 제시했다는 점에서 큰 의의가 있다. 정책적으로는 예산 제약 상황에서 한정된 자원의 효율성을 극대화하는 공공사업의 해법이 될 수 있으며, 스마트도시를 목표로 하는 기반 시설의 계획 및 관리 측면에서 실질적으로 활용할 수 있는 기초 자료가 될 수 있다. 도시 공간적 관점에서는 정량적 분석만으로 도출된 평가가 지역의 문화적 특성을 충분히 반영하기 어렵다는 점을 고려하여, 궁극적으로 관련 전문가와 이용자의 질적 평가가 함께 이루어져야 한다는 점을 시사한다.

주1. AP(Access Point)는 무선랜을 구성하는 네트워크 장치 중 하나로 유선랜 등 통신망과 연결하여 무선랜 서비스를 제공하는 장치를 의미하며 공공와이파이는 동일장 장소에 여러 대의 AP가 설치될 가능성이 있으므로, 본 연구에서는 와이파이 접속장치의 입지를 결정한다는 점에서 이후 공공와이파이를 AP로 표기하였다.

인용문헌 References

- 김감영, 2008. "GIS를 이용한 환승시설 입지 적합도 평가", 「한국지역지리학회지」, 14(6): 718-735.
Kim, K.Y., 2008. "Evaluation Location Suitability of Park-and-Ride Facilities Using GIS", *Journal of the Korean Association of Regional Geographers*, 14(6): 718-735.
- 김영·김경환·류태창, 2003. "다기준 의사결정기법을 이용한 응급의료시설의 공간 입지 분석에 관한 연구: 경남지역의 응급의료시설을 중심으로", 「국토계획」, 38(4): 19-32.
Kim, Yeong., Kim, G.H., and Ryu, T.C., 2003. "The Spatial Location Analysis for Emergency Medical Service Facility Using Multiple Criteria Decision Method: A Case Study on Medical Equipment of Kuungnam", *Journal of Korea Planning Association*, 38(4): 19-32.
- 김유미·구자훈, 2019. "디지털 사회혁신관점의 스마트도시 평가 지표 설정에 관한 연구", 「한국콘텐츠학회논문지」, 19(10): 511-521.
Kim, Y.M. and Koo, J.H., 2019. "On the Developing of Evaluation Indicators for Smart City from the Perspective of Digital Social Innovation", *Journal of the Korea Contents Association*, 19(10): 511-521.

4. 김해시, 2018. 「김해시 스마트도시계획」, 김해.
Gimhae City, 2018. *Gimhae Smart City Plan*, Gimhae.
5. 김홍순·최승호·이하민·임하원·오윤찬·김성아, 2021. “제주도 공공와이파이의 입지 특성과 이용 요인에 관한 연구”, 「토지주택연구」, 12(4): 1-13.
Kim, H.S., Choi, S.H., Lee, H.M., Lim, H.W., Oh, Y.C., and Kim, S.A., 2021. “Locational Characteristics and Use Factors of Public Wi-Fi in the Jeju Province”, *Journal of Land, Housing, and Urban Affairs*, 12(4): 1-13.
6. 박건철·강민욱·이승하, 2018. 「서울형 스마트시티 모델 수립 연구: 서울시 스마트시티 성공을 위한 정책 제언」, 서울: 서울디지털재단.
Park, G.C., Kang, M.W., and Lee, S.H., 2018. *Study on Establishing a Seoul Smart City Model: Policy Recommendations for the Success of Seoul's Smart City*, Seoul: Seoul Digital Foundation.
7. 반영운·김유미·홍나은·한경민·백종인, 2017. “지속 가능한 스마트도시 추진방안”, 「지역연구」, 30(1): 45-57.
Ban, Y.U., Kim, Y.M., Hong, N.E., Han, K.M., and Baek, J.I., 2017. “Implementation Measures for Sustainable Smart City”, *Journal of Korean Regional Science Association*, 30(1): 45-57.
8. 우현·손용주·최승연, 2021. “전기차충전소 최적 입지 선정을 통한 충전 부하 분산 전략에 관한 연구”, 「조명·전기설비학회논문지」, 35(9): 24-31.
Woo, H., Son, Y.J., and Choi, S.Y., 2021. “A Study on the Charging Demand Balancing Strategy by Selecting Optimal Location of New EV Charging Station”, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 35(9): 24-31.
9. 이진학, 2012. “대학 캠퍼스 주변의 와이파이 지리”, 「한국도시지리학회지」, 15(2): 51-66.
Lee, G.H., 2012. “Wi-Fi Geographies on the Campus Surroundings”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 15(2): 51-66.
10. 이진학, 2015. “광역 커버리지 슈퍼 와이파이 최적 입지 모델링”, 「한국지도학회지」, 15(1): 37-58.
Lee, G.H., 2015. “Optimal Location Modeling of a Wide Coverage Super Wi-Fi”, *Journal of the Korean Cartographic Association*, 15(1): 37-58.
11. 이진학, 2018. “공공 CCTV의 공간분포 특성과 가시 커버리지에 기반한 최적 입지”, 「대한지리학회지」, 53(3): 405-425.
Lee, G.H., 2018. “The Characteristics of Spatial Distribution and Visible Coverage based Optimal Locations of Public CCTVs”, *Journal of the Korean Geographical Society*, 53(3): 405-425.
12. 이진학·김강영, 2013. “화이트 스페이스를 활용한 슈퍼 와이파이 시설의 효율적 배치를 위한 공간 입지 모델링”, 「대한지리학회지」, 48(2): 259-271.
Lee, G.H. and Kim, K.Y., 2013. “Spatial Location Modeling for the Efficient Placements of the Super WiFi Facilities Utilizing White Spaces”, *Journal of the Korean Geographical Society*, 48(2): 259-271.
13. 이진학·신정엽·신성희, 2010. “GIS 기반의 다기준 의사결정분석 기법을 이용한 시립 미술관 입지 적합성 분석 연구: 인천시를 사례로”, 「한국도시지리학회지」, 13(3): 89-105.
Lee, G.H., Shin, J.Y., and Shin, S.H., 2010. “The Research on the Location Suitability Analysis of the City Museum Using the GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: A Case Study of Incheon”, *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 13(3): 89-105.
14. 이민정·김영호, 2013. “다수준모델(Multi-level)을 이용한 안산시 방법용 CCTV 분포의 공간적 분석”, 「국토지리학회지」, 47(3): 275-289.
Lee, M.J. and Kim, Y.H., 2013. “Spatial Analysis of CCTV for Crime Prevention Using Multi-level Model in Ansan”, *The Geographical Journal of Korea*, 47(3): 275-289.
15. 이민정·김영호, 2014. “유동 인구 및 인구밀도를 활용한 안산시 방법용 CCTV의 입지모델링 연구”, 「국토지리학회지」, 48(4): 533-546.
Lee, M.J. and Kim, Y.H., 2014. “Location modeling of CCTV for Crime Prevention in Ansan Using Floating Population and Population Density”, *The Geographical Journal of Korea*, 48(4): 533-546.
16. 이수희·이건학, 2014. “지역 간 모바일 격차 측정과 공공와이파이 입지 최적화”, 「한국지도학회지」, 14(3): 73-89.
Lee, S.H. and Lee, G.H., 2014. “Measuring Regional Mobile Divide and Optimizing Public Wi-Fi Location”, *Journal of the Korean Cartographic Association*, 14(3): 73-89.
17. 이해빈·김다혜·남귀연·정유지·한정규·박영진, 2023. “공공데이터 기반 공용주차장 최적 입지 선정을 위한 최대커버리지 문제(MCLP) 해결 기법”, 「멀티미디어학회논문지」, 26(2): 275-287.
Lee, H.B., Kim, D.H., Nam, G.Y., Jung, Y.J., Han, J.K., and Park, Y.G., 2023. “Selection of Optimal Public Parking Lot Location Using Public Data and MCLP Method”, *Journal of Korea Multimedia Society*, 26(2): 275-287.
18. 이희연, 2000. “공공시설물 입지 선정에 있어서 다기준평가기법의 활용에 관한 연구: 쓰레기 소각장을 사례로 하여”, 「대한지리학회지」, 35(3): 437-454.
Lee, H.Y., 2000. “The Site Selection for Public Facilities in Using the Multi-Criteria Evaluation Method in Geographic Information System: A Case Study of the Waste Incinerator”, *Journal of the Korean Geographical Society*, 35(3): 437-454.
19. 장석길·김태형, 2023. “지속 가능한 스마트도시의 지속가능성 요소 분석: 국내 정부출연연구기관 연구보고서 및 서울시 스마트도시 및 정보화 기본(시행) 계획을 중심으로”, 「한국지역개발학회지」, 35(5): 1-25.
Jang, S.G. and Gim, T.H., 2023. “Sustainability Elements of the Sustainable Smart City”, *Journal of the Korean Regional Development Association*, 35(5): 1-25.
20. 장은덕, 2019. 「공공와이파이 구축·운영 실태 및 개선과제」, 서울: 국회입법조사처.
Jang, E.D., 2019. *South Korea's Status and Improvement Tasks for Public Wi-Fi*, Seoul: National Assembly Research Service.
21. 정규식, 2021. “공공와이파이 구축으로: ‘스마트 도시재생’ 정책 제언”, 「도시정보」, 468: 24-28.
Jeong, G.S., 2021. “The Implementation of Public Wi-Fi: Policy Proposal for ‘Smart Urban Regeneration’”, *Urban*

- Information Service*, 468: 24-28.
22. 진찬우·이건학, 2015. “행복주택 최적 입지 선정에 관한 연구: 다목적 공간 최적화 접근”, 『한국도시지리학회지』, 18(2): 81-95.
Jin, C.W. and Lee, G.H., 2015. “Optimal Location Modeling for Happy Houses: A Multi-Objective Spatial Optimization Approach”, *Journal of The Korean Urban Geographical Society*, 18(2): 81-95.
 23. 최영근·이동명, 2017. “AHP를 이용한 의료서비스시설 입지 선정에 관한 연구”, 『한국생산관리학회지』, 28(3): 293-308.
Choi, Y.K. and LEE, D.M., 2017. “A Study on the Medical Service Facility Location Using AHP”, *Journal of the Korean Production and Operations Management Society*, 28(3): 293-308.
 24. 홍일영, 2010. “WiFi의 공간분포와 이용특성”, 『한국지도학회지』, 10(1): 55-64.
Hong, I.Y., 2010. “Spatial Distribution and Utilization Feature of WiFi”, *Journal of The Korean Cartographic Association*, 10(1): 55-64.
 25. 황용준·김현정, 2024. “공공 와이파이 배치를 위한 100×100 격자 내 위치 최적화 분석모델: 김해시 사례 연구”, 『한국정보기술학회논문지』, 22(3): 79-87.
Hwang, Y.J. and Kim, H.J. 2024. “Optimal Location Analysis Model for Public Wi-Fi Deployment in a 100×100 Grid: A Case Study of Gimhae City”, *Journal of Korean Institute of Information Technology*, 22(3): 79-87.
 26. Church, R.L. and ReVelle, C., 1974. “The Maximal Covering Location Problem”, *Papers in Regional Science Association*, 32: 101-118.
 27. ESI THOUGHTLAB, 2021. *Smart City Solutions for a Riskier World: How Innovation Can Drive Urban Resilience, Sustainability, and Citizen Well-being*, ESI THOUGHTLAB.
 28. Grubestic, T., and Murray, A., 2004. “‘Where’ Matters: Location and Wi-Fi Access”, *Journal of Urban Technology*, 11(1): 1-28.
 29. Han, Z., Cui, C., Kong, Y., Li, Q., Chen, Y., and Chen, X., 2023. “Improving Educational Equity by Maximizing Service Coverage in Rural Changyuan, China: An Evaluation-optimization-validation Framework Based on Spatial Accessibility to schools”, *Applied Geography*, 152(2): 102891.
 30. Karasakal, O. and Karasakal, E.K., 2004. “A Maximal Covering Location Model in the Presence of Partial Coverage”, *Computers & Operations Research*, 31(9): 1515-1526.
 31. Kwon, Y.S., Lee, B.K., and Sohn, S.Y., 2020. “Optimal Location-allocation Model for the Installation of Rooftop Sports Facilities in Metropolitan Areas”, *European Sport Management Quarterly*, 20(2): 189-204.
 32. Lee, G. and Murray, A.T., 2010. “Maximal Covering with Network Survivability Requirements in Wireless Mesh Networks”, *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(1): 49-57.
 33. Mishra, P., Thakur, P., and Singh, G., 2022. “Sustainable Smart City to Society 5.0: State-of-the-Art and Research Challenges”, *SAIEE Africa Research Journal*, 113(4): 152-164.
 34. Muren, Li, H., Mukhopadhyay, S.K., Wu, J., Zhou, L., and Du, Z., 2020. “Balanced Maximal Covering Location Problem and Its Application in Bike-sharing”, *International Journal of Production Economics*, 223: 107513.
 35. Pereira, G.V. and Schuch de Azambuja, L., 2021. “Smart Sustainable City Roadmap as a Tool for Addressing Sustainability Challenges and Building Governance Capacity”, *Sustainability*, 14(1): 239.
 36. Pludow, B. A., Murray, A. T., and Church, R. L., 2022. “Service quality modeling to support optimizing facility location in a microscale environment”, *Socio-Economic Planning Sciences*, 82: 101273.
 37. Taiwo, O.J., 2021. “Maximal Covering Location Problem (MCLP) for the Identification of Potential Optimal COVID-19 Testing Facility Sites in Nigeria”, *African Geographical Review*, 40(4): 395-411.
 38. Torrens, P.M., 2008. “Wi-Fi Geographies”, *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1): 59-84.
 39. Yi, Z., Liu, X.C., and Wei, R., 2022. “Electric Vehicle Demand Estimation and Charging Station Allocation Using Urban Informatics”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 106: 103264.
 40. 김해시, 2024.02.08. “공공 와이파이(Wi-Fi) 구축 현황”, <https://www.gimhae.go.kr/00954/01023/05799.web?gcode=1095&idx=2535626&amode=view&>
Gimhae City Hall, 2024.02.08. “Current Status of Public Wi-Fi Deployment”, <https://www.gimhae.go.kr/00954/01023/05799.web?gcode=1095&idx=2535626&amode=view&>

Date Received 2024-05-30
Date Reviewed 2024-07-19
Date Accepted 2024-07-19
Date Revised 2024-08-19
Final Received 2024-08-19