

택배 물동량 빅데이터를 활용한 도심 공동택배터미널 최적 용량 및 입지 선정 연구

김수형¹, 김도현², 김영훈³, 권용장⁴, 손승오⁵

^{1,2,3,4,5}한국철도기술연구원 미래교통물류연구소 첨단물류시스템연구실

A Study on Optimal Capacity and Location Selection for Urban Joint Courier Terminals Using Big Data on Parcel Volume

Su-hyeong Kim¹, Dohyun Kim², Young-Hoon Kim³, Yong-Jang Kwon⁴, Seung-oh Son⁵

^{1,2,3,4,5}Department of Advanced Logistics System Research,

Innovative Transportation and Logistics Research Center, Korea Railroad Research Institute

This study selected the optimal location and capacity of a Urban Joint Courier Terminals in Seoul based on the connectivity with idle land in the city center using the CLSCP-SO (Capacitated Location Set Covering Problem - System Optimal) model, which has facility capacity limitations among covering problems. The Euclidean distance was used as the criterion for evaluating connectivity, and the case with the smallest value was judged as optimal. As a result, three locations were selected as optimal cases with the capacity to handle 50% of the average daily demand occurring in all administrative districts of Seoul. Furthermore, through K-means cluster analysis, the Seoul population was classified into four types: 'leisure-centered', 'residential-centered', 'work-centered', and 'residential-leisure complex', and whether the three selected locations balancedly included the diversity of consumer life patterns. The maximum and minimum value differences between the four types existing within the coverage of each of the three selected locations were confirmed as the evaluation criteria. As a result, it was shown that the types were not concentrated in any one location, and thus the diversity was balanced. This will provide useful implications for responding appropriately to rapidly changing future demands when operating Urban Joint Courier Terminals in the future.

Keywords: Big Data, Parcel Volume, Urban Joint Courier Terminal, Covering Problem, Cluster Analysis

논문접수일 : 2024.06.10. 논문수정일 : 2024.08.08. 게재확정일 : 2024.09.22.

이 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었음.(22HCLP-C163182-02)

1. 한국철도기술연구원 학생연구원

2. 한국철도기술연구원 선임연구원

3. 한국철도기술연구원 책임연구원

4. 한국철도기술연구원 수석연구원

5*. 한국철도기술연구원 선임연구원, Corresponding Author: sson@krri.re.kr

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 전자상거래의 발달과 코로나19의 영향으로 전반적인 배송 산업이 빠르게 성장하고 있다. 과거와는 다르게 농수산물을 비롯한 다양한 상품들이 택배 서비스의 대상으로 포함되면서 유통구조가 확대되고 있다. 이러한 상황에서 대다수의 물류 시설이 도시 외곽에 있어 도시 물류를 효율적으로 제공하는데 제약이 존재한다. 서울시 내 물류 시설의 부족은 전체 택배 물동량의 70% 이상을 차지하는 수도권 물류 처리 시 어려움을 초래하고 있다. 이는 택배사별 배송 루트 중복 및 추가적인 화물차 유입을 발생시켜 배송비용 증가, 도심 교통혼잡, 소음, 대기오염 등의 사회 및 환경적 문제로 이어지고 있다. 따라서 중앙정부와 지방 정부는 도심 내 택배 물류 과부하 문제를 해결하기 위해 공동택배터미널 도입 등의 방안을 연구하고 있다. 물류공동화는 동일 업종·지역(수송 수단, 물류 인프라 등)을 중심으로 여러 참여업체가 공동으로 물류 활동을 수행하는 물류 운영 전략이다. 이를 통해 도심 택배 물류 효율성의 증대를 가져다줄 수 있기에 그 필요성이 대두되고 있다.

그러나 공동택배터미널을 성공적으로 실현하기 위해서는 입지 선정의 문제가 중요하다. 공급자와 수요자 간의 중재 역할을 하는 물류센터의 위치 결정은 물류 관리에서 주요한 전략적 결정이기 때문이다. 시설 입지는 총 운송비용, 운영관리비용, 택배 서비스 수준에 영향을 미치므로 물류 터미널의 부적절한 위치는 비용 측면에서 비효율적일 뿐만 아니라 택배 서비스 품질에도 악영향을 미칠 수 있다. 특히 도심 내 물류 터미널을 위한 토지 확보에는 그 비용에 대한 문제가 크게 작용하므로 모든 지역에 효과적인 배송을 가능하게 하는 최적의 터미널 용량(capacity)에 대한 사전정보가 필요하다. 그뿐만 아니라 도심 내 물동량의 증가 및 추가적인 물류 네트워크 구축까지 고려한다면 사전 설치된 공공인프라의 유휴공간을 활용할 수 있어야 한다. 이 외에도 인구 집약적인 도심 특성상 택배 수요가 소비자 행동에 더욱 민감하게 반응하므로 소비자의 다양한 생활 패턴을 균형 있게 포함할 수 있는 입지를 선택해야 한다. 주간 시간대의 유동 인구는 택배 흐름에 상당한 영향을 미치며 사회 경제 지표 혹은 지역별 우세 업종에 따라 택배 발생량이 달라진다(Yoo et al., 2023). 이처럼 입지 선정 문제는 공동택배터미널의 경쟁력 확보를 위한 중요한 요인이기에 수요에 따른 용량, 유휴부지와와의 연계성 그리고 배송 지역의 소비자 생활 패턴을 고려할 수 있는 입지 선정 연구가 필요하다. 이에 본 연구는 도심 택배 배송의 요구사항을 반영하여 도심 공동택배터미널의 성공적인 실현을 위해 최적 용량과 입지를 연구하고 시사점을 제공하는 데 목적이 있다.

1.2 문헌 연구

공동택배터미널의 입지를 결정하는 문제는 후보지 중에서 주어진 조건을 만족하는 터미널의 위치를 선택하는 것으로, 센터 문제(center problem), 미디언 문제(median problem), 커버링 문제(covering problem) 등이 있다. 이중 커버링 문제는 제한된 서비스 범위를 가진 시설물이 최대한 많은 수요를 충족시키도록 위치를 선정한다. Lee and Kim(2013)은 커버링 문제 중 대표적인 모델인 MCLP(Maximal Covering Location Problem)와 LSCP(Location Set Covering Problem)를 사용하여 각 모델에 따른 최적화된 슈퍼 와이어파이 입지 지점들을 도출하였다. Kim(2021)은 MCLP(Maximal Covering Location Problem)를 사용하여 총 수요에 대한 커버리지 비율을 향상시킬 수 있는 AED(자동심장충격기) 추가 입지 후보지를 탐색하였다. Kim et al.(2023a)은 MCLP(Maximal Covering Location Problem)를 사용하여 더 넓은 지역의 수요를 충족할 수 있는 서울시 안심귀가 서비스의 만남 거점 입지를 도출하였다. 본 연구에서는 공공성을 가진 공동택배터미널을 목표로 하므로 최소 비용으로 모든 수요 지점을 커버할 수 있는 시설물의 위치 결정 문제인 LSCP가 적절하며, 이를 응용한, 시설물의 용량까지 고려하여 최적의 입지를 선정하는 CLSCP-SO(Capacitated

Location Set Covering problem - System Optimal)를 사용하였다. 해당 모델은 각 시설(터미널)의 배송 가능 영역(이하 커버리지)을 고려하여 모든 수요지의 수요량이 각 시설의 용량 한도 내에서 충족되도록 하는 최소의 시설과 관련 용량을 배치한다. 이외의 입지 선정연구는 Table 1과 같다.

Table 1. Summary of previous studies

Authors (year)	Subject	Model	Considered factors
Yu et al. (2008)	Natural gas filling station	Heuristic algorithm	Interest costs for facility investment costs, depreciation costs, labor costs, insurance premiums, operating costs, and fuel costs
Yun and Lee (2010)	Public service facility	P-median	Altitude, slope, population density, road accessibility, distance to public transportation
Park and Lee (2011)	Pickup point	Greedy heuristic algorithm	Number of subway passengers, movement routes of subway passengers
Park et al. (2013)	Bike parking lot	Heuristic p-median	Nearby demand-causing facilities, nearby public transportation
Jung and Kim (2015)	Parcel terminal	TOPSIS technique of Multi Attribute Decision Making (MADM)	Proportion of home delivery volume, proximity to main transportation routes, land cost, average daily traffic volume, registered population, and main road accessibility
Chen and Lee (2017)	Regional logistics complex	P-median	Land, accessibility, surroundings
Kang et al. (2024)	Urban micro-fulfillment center	Centroid method, dijkstra's algorithm	Actual vehicle driving speed data for each road based on vehicle navigation, seoul city living logistics data

한편, Kim et al.(2023b)는 투입-산출 분석을 통해 물류산업을 분석한 결과 철도화물 운송서비스업 활성화의 필요성을 언급했다. 도로에 화물이 집중된 현상을 피하게 하고 국가 물류산업 발전에 큰 도움이 될 것이라 주장하였다. 이는 본 연구에서 진행한 도심 유희공간으로서 철도 차량기지 활용의 필요성을 제공해 준다.

서울시 기반 생활인구 혹은 그 외 시계열 데이터를 군집 분석한 기존 선행연구는 다음과 같다. Jung and Nam(2019)은 서울시 내 활동 인구 패턴의 유형화를 통해 각 지역이 가지고 있는 특성을 밝힘으로써 향후 사회 경제적 변화에 따른 유연한 도시관리정책 수립에 시사점을 제공하였다. Kang and Lee(2019)는 서울시의 골목상권 매출액 자료에 동적타임워핑(DTW) 기법을 이용한 시계열 군집분석을 통해 성장상권을 식별하였다. Kim et al.(2021)은 외국인 인구의 시공간적 분포패턴과 이에 영향을 미치는 지역 특성을 파악하기 위해 K-means 군집분석으로 서울시 생활인구 데이터를 유형화하였다. Ryu and Kim(2021)은 코로나 유행 전후 행정동별 유사한 생활인구 변화율 분포를 보이는 지역들을 유형화한 후 각 지역 특성이 생활인구 변화에 미치는 영향을 분석하였다. 이처럼 시계열 데이터의 유형화를 통해 지역별 대표적인 특성을 파악할 수 있음을 확인하였다.

1.3 연구 차별점

기존 연구된 대부분의 입지 선정 문제들의 경우에는 수요지와의 거리와 수요량에 따른 운행 비용 그리고 시설 설치비용만을 고려하여 해법을 제시한 연구가 주요했다. 즉 시설물의 개수와 그 위치를 연구하는 논문 이외에 시설의 최적 용량을 고려한 연구는 미흡했다. 하지만 도심에 설치될 공동택배터미널의 경우 도심의 특성과 물동량 데이터를 반영한 입지 선정 연구가 요구된다. 따라서 본 연구는 커버링 문제 (covering problem) 중 시설 용량 한계가 있는 CLSCP-SO(Capacitated Location Set Covering problem - System Optimal) 모델을 사용하였다. 해당 모델의 기반이 되는 LSCP(Location Set Covering Problem)에서 시설의 커버리지 능력에 따라 수요지의 개별 발생 수요량과 시설의 용량을 함께 고려할 수 있는 이점이 있다.

이에 도심 내 유희공간과의 연계성을 기준으로 공동택배터미널의 최적 용량과 입지를 선정하였다. 연계성 평가의 기준으로 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 사용하였고 해당 값이 가장 작게 나타나는 경우를 최적으로 판단했다. 이에 더 나아가 K-means 군집분석을 통해 서울시 생활인구를 유형화하여 선정된 입지가 소비자 생활 패턴의 다양성을 균형 있게 포함하는지를 평가하였다. 이는 선정된 입지 중 어느 한 입지에만 소비자 생활 패턴이 치우치지 않고 균형이 잡힌 상황을 만족한다면, 빠르게 변화하는 미래 수요에도 적절히 대응할 수 있을 것으로 기대되기 때문이다. 따라서 향후 공동택배터미널 운영에 유용한 시사점을 제공할 수 있다. 본 연구의 수행절차는 Figure 1에 제시하였다.

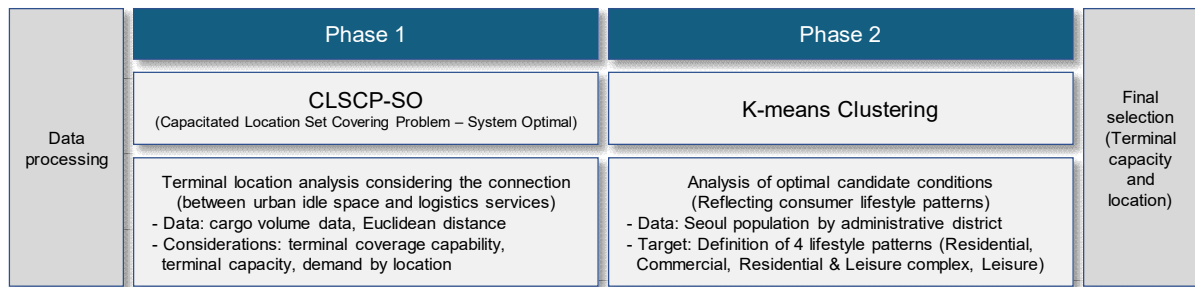


Figure 1. Summary of research process

2. 활용 데이터 및 방법론 소개

2.1 활용 데이터

본 연구는 공동택배터미널의 최적 용량과 입지 선정을 위한 활용 데이터로써 5개의 데이터를 사용하였다. 이를 Table 2에 나타내었다.

‘(a) 서울시 내 셀 단위 생활물류 착지 물동량 데이터’는 2020년 기준 약 50% 시장점유율을 보이는 국내 A 택배사의 2021년 9월부터 2022년 8월까지 수집된 서울시 생활물류 데이터 50m×50m 셀 단위 착지 기준 물동량이다. 본 연구에 사용된 입지 선정 모델의 주요 입력변수인 수요지별 택배 수요량 추정을 위해 사용된다. ‘(b) 한국행정구역분류’는 통계청 통계분류 포털에서 제공하는 데이터이다. ‘(a) 서울시 내 셀 단위 생활물류 착지 물동량’ 데이터에서 착지 셀 위치에 따른 한국 행정구역명과 행정구역코드 생성을 위해 사용된다. ‘(c) 센서스용 행정구역 경계’는 폴리곤(Polygon) 데이터 형식으로 서울시 행정구역 영역의 형태에 대한 정보를 파악할 수 있다. 위치를 시각화하고 행정구역의 중심 좌표를 생성하는 데 사용된다. ‘(d) 서울교통공사 차량사업소’는 한국철도기술연구원 내 공동물류거점 구축 환경 분석서를 참고한 10개의 차량기지의 위치 데이터이다. ‘(e) 행정동 단위 서울 생활인구(내국인)’ 데이터는 서울시가 보유한 공공데이터로 2021년 9월부터 2022년 8월 23일까지의 행정동별 요일별 24시간별 활동 인구수를 나타낸다. 선정된 최적 입지의 각 커버리지 내 존재하는 행정구역별 시계열 패턴을 유형화하는데 사용된다.

Table 2. Summary of used data

Name	Category	Reference Year/Month	Issuing Agency	Detail Type
(a) Landing volume of living logistics at cell level in Seoul	Parcel volume	2021.09~2022.08	Domestic delivery company	Numeric, Text
(b) Korean administrative district classification code	Administrative district code	2021.10	Statistics korea	Numeric, Text
(c) Administrative district boundaries for census purposes	Administrative district coordinates and boundaries	2021.10	Statistics korea	Polygon
(d) Seoul metro train depot	Urban idle space	2024	Google map	Numeric, Text
(e) Population living in Seoul by administrative Dong (domestic residents)	Consumer life patterns	2021.09~2022.08	Data seoul	Numeric

2.2 CLSCP-SO(Capacitated Location Set Covering problem - System Optimal)

본 연구에 사용된 CLSCP-SO(Capacitated Location Set Covering problem - System Optimal) 모델은 각 시설(터미널)의 커버리지 능력을 고려하여 모든 수요가 각 시설의 용량 한도 내에서 충족되도록 충분한 시설과 관련 용량을 배치하는 문제이다. 이를 본 연구목적에 적용하여 수식화하면 다음과 같다.

i = 수요지로서 서울시의 모든 행정구역 ($i \in I$)

j = 터미널 입지의 후보지 ($j \in J$)

S = 터미널의 배송 커버리지로서 배송 차량 한 대당 운행 가능한 최대 직선거리(km)

d_{ij} = 수요지 i 에서 터미널 입지 후보지 j 까지의 거리로서 행정구역간 직선거리(km)

$N_i = \{j \mid d_{ij} \leq S\}$, 수요지 i 로부터 배송 커버리지 안에 있는 후보지의 집합

a_i = 수요지 i 의 수요량

$C = \sum_{i \in I} a_i r$ ($r = \text{handling rate}$), 터미널의 용량으로 서울시의 모든 행정구역에서 발생하는 하루 평균 수

요량에 대한 처리량. handling rate 는 처리 비율.

z_{ij} = 수요지 i 에서 터미널 j 로 할당된 수요의 비율

x_j = 시설물이 j 에 위치한다면 1, 그렇지 않다면 0

$$\text{Minimize } \sum_{j \in J} x_j \quad (1)$$

Subject to

$$\sum_{j \in N_i} z_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} a_i z_{ij} \leq C x_j \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$x_j \in \{0, 1\} \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$z_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in N_i \quad (5)$$

목적함수(1)은 입지할 터미널의 수를 최소화하는 것이 해당 모델의 목적임을 나타낸다. 수요 할당은 변수 z_{ij} 를 통해 이루어지며, 이는 특정 수요지 i 의 수요가 여러 터미널 j 에 나누어 할당될 수 있음을 의미한다. 제약조건식(2)는 수요지 i 에서 터미널 j 로 할당된 수요의 비율 합이 1이 되어야 함을 나타낸다. 이는 모든 수요지 i 의 수요가 하나 또는 여러 터미널 j 에 모두 할당된다는 것을 의미한다. 이때, 모든 할당은 터미널의 배송 커버리지 S 내에서 이루어진다. 제약조건식(3)은 각 터미널 j 에 할당된 수요 ($a_i z_{ij}$)가 해당 터미널의 설정된 용량 C_j 를 초과할 수 없음을 나타낸다. 만약 터미널 j 가 선택되지 않는다면 $x_j = 0$ 이 되어 제약조건식(3)의 우변인 터미널 j 에 할당된 수요는 0이 된다. 이는 실제 선택된 터미널에 대해서만 할당이 이루어지도록 작용한다. 제약 조건(4)는 터미널 입지 변수 x_j 가 0과 1의 이진 정수를 가지도록 제약한다. 제약 조건(5)는 할당 변수 z_{ij} 에 대한 비음수 조건을 나타낸다.

시설물의 개수와 그 위치를 분석한 기존 연구는 존재하나 시설의 최적 용량까지 고려할 수 있는 모델을 활용한 연구는 미흡하였다. 따라서 본 연구에서는 공동택배터미널이라는 공공성을 가진 시설물을 대상으로 모든 수요 지점을 커버할 수 있는 시설물 위치 결정 문제인 LSCP 모델을 기반으로 각 시설물의 용량까지 고려할 수 있는 CLSCP-SO 모델을 적용하였다.

2.3 K-means 군집분석

군집분석(Clustering analysis)은 관측된 여러 개의 개체로부터 유사성에 대한 사전정보 없이 탐색적 분석을 통해 유사한 성격을 가지는 군집으로 구분해 가는 방법을 말한다. K-means 군집분석은 독점적 군집 분석의 한 형태로, 군집 내 개체 간 유사성을 극대화하고 군집 간 개체 간 차이를 최대화한다. 이는 입력된 데이터 객체들을 명확하게 구분된 클러스터로 배타적으로 분류하여, 하나의 명확한 군집에 속하도록 하는 특징이 있다. 특히 유사한 개체를 동일 군집으로 구분하기 위해서 유사도(Similarity)를 정량적으로 측정하여 최적의 군집 수를 결정해야 한다. 이에 Ward 방법으로 계층적 군집분석과 실루엣 계수(silhouette coefficient)를 사용하였다. Ward 방법은 군집 내의 오차제곱합(error sum of square)에 기초하여 군집을 수행기에 군집 간 정보의 손실을 최소화하는 장점이 있다. 실루엣 계수(silhouette coefficient)는 각 개체가 해당 군집 내의 다른 개체들과 얼마나 가깝게 군집되어 있는지를 나타내는 척도로, 이를 통해 군집 간의 분리 정도를 시각적으로 평가할 수 있다.

3. 연구 과정 및 결과

3.1 데이터 가공

먼저 ‘(a) 서울시 내 셀 단위 생활물류 착지 물동량’ 데이터와 ‘(b) 한국행정구역분류’를 사용하여 착지 위치를 서울시 행정구역명 및 행정구역코드와 연계하였다. 이를 통해 행정구역별 착지 물동량으로 수요지의 개별 수요량을 추정할 수 있었다. 423개의 행정구역을 확인하였으며 하루 평균 착지 물동량(이하 수요량)을 파악하기 위해 행정구역별 합계 물동량을 365로 나누었다. 수요량에 대해 자치구 기준으로 살펴보면 가장 많은 자치구는 강남구로 72413.132개, 가장 적은 자치구는 종로구로 18682.54로 나타났다. 행정구역 단위로 살펴보면 최대값은 8941.142, 최소값은 10.951, 평균은 2171.579, 표준편차는 106.260으로 나타났다. 이후 Table 3과 같이 ‘(c) 센서스용 행정구역 경계’ 데이터를 사용하여 행정구역코드별 Polygon에 따른 중심 좌표를 추가하였다.

그리고 이를 활용하여 행정구역 중심지 간 직선거리 데이터를 생성하였다. 이는 본 연구의 입지 선정 모델에서 필수로 요구하는 데이터이다. CLSCP-SO(Capacitated Location Set Covering problem - System Optimal) 모델의 기반이 되는 LSCP(Location Set Covering Problem)는 특정한 지리적 범위 내에 모든 수요가 커버될 수 있도록 시설의 수를 최소화하는 것을 목적으로 한다. 모든 수요지가 적어도 하나의 시설로 커버될 수 있도록 수요지와 시설 입지 후보지와의 거리 정보를 필수로 요구한다. 본 연구에서는 서울시 내 모든 행정구역이 수요지이자 공동택배터미널 입지 후보지이다. 따라서 Table 3의 행정구역별 중심 좌표인 경도 위도 값을 사용하여 행정구역간 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 도출하였고 이를 Table 4와 같이 Matrix 형태로 가공하였다. 단위는 km이다.

입지 후보지와 도심 유희부지와 연계성 평가를 위해서는 한국철도기술연구원 내 “공동물류거점 구축 환경분석서”를 참고하여 서울교통공사에서 운영 중인 10개의 차량기지(도봉기지, 신내기지, 고덕기지, 군자기지, 수서기지, 모란기지, 천왕기지, 신정기지, 방화기지, 지축기지)를 선정하였다. 수도권 내 대표적인 공공 유희부지로서 ‘제반 현황’, ‘교통망’, ‘물류 시설 도입 가능 공간 특성’, ‘물류 시설 도입 관련 법령’ 등을 고려하여 10개의 차량기지를 연계성 평가 대상 후보지로 선정하였다. 차량기지 위치는 Google map에서 제공하는 “서울교통공사 00차량사업소” 좌표값으로 산출하였다. 차량기지 위치와 함께 행정구역별 수요량을 히트맵으로 나타내면 Figure 2와 같다.

Table 3. Sample of demand and coordinate values data of 423 administrative districts

Administrative district name	Administrative district code	Demand	Longitude	Latitude
Banghwa 1(il)-dong	1116070	3726.499	126.813903	37.57104
Banghwa 2(i)-dong	1116071	2071.638	126.804642	37.583303
Gonghang-dong	1116069	3678.792	126.795483	37.555273
...
Myeongil 2(i)-dong	1125054	1522.126	127.157255	37.547002
Gil-dong	1125074	3898.444	127.144805	37.539585
Dunchon 2(i)-dong	1125071	2099.227	127.148896	37.530555

Table 4. Sample of euclidean distance data between 423 administrative districts (unit: km)

Arrival code Destination code	1116071	1116072	1116070	...	1125074	1125071	1125070
1101053	14.610	13.773	13.774	...	15.967	16.590	16.510
1101054	15.751	14.952	15.030	...	15.230	15.936	15.963
1101055	13.857	13.108	13.278	...	17.495	18.217	18.258
...
1125072	29.650	28.786	28.704	...	1.421	2.484	3.319
1125073	28.499	27.623	27.508	...	1.947	2.668	3.021
1125074	30.444	29.566	29.446	...	0.000	1.065	1.995

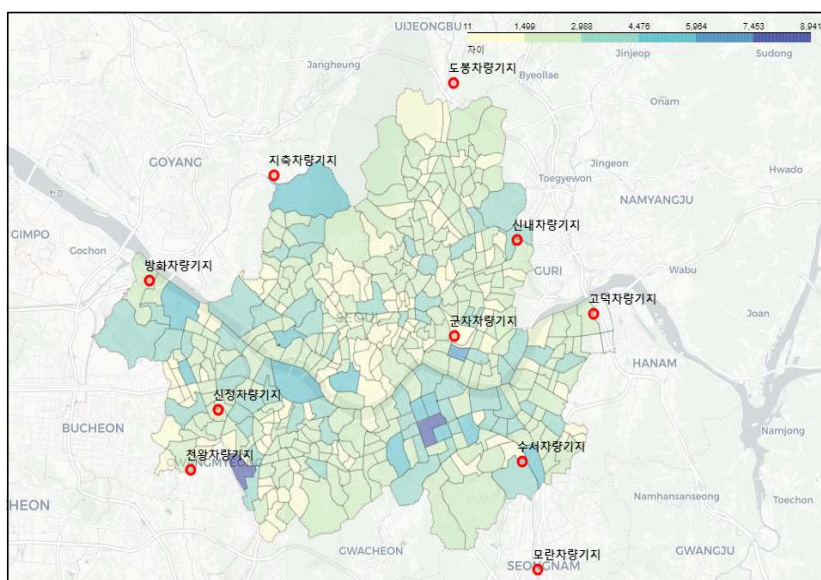


Figure 2. Demand and depot location heat map by district

3.2 도심 유희부지와 연계성을 고려한 최적 용량 및 입지 선정

먼저 터미널 커버리지와 용량이 변화할 때, CLSCP-SO(Capacitated Location Set Covering problem - System Optimal) 모델에 의해 선정된 입지 후보지와 차량기지 사이의 평균 최근접 거리인 유클리디안 거리(Euclidean distance)의 평균값으로 연계성 여부를 정의하였다. 터미널 커버리지는 배송 차량 한 대당 운행 가능한 최대 직선거리(km)로 그 임계값을 10km부터 최대 18km까지 1km 단위로 증가시켜 가정하였다. 이는 해당 값에 대한 정확한 정보를 얻을 수 없는 한계점을 반영하였다. 또한 터미널 커버리지는 본 연구의 주요한 분석대상이 아니므로 이에 따른 제약을 최소화하고자 서울연구원에서 측정한 서울시의 동서 간 길이인 37km를 참고하여 가정하였다. Table 5에 터미널 커버리지와 터미널 용량에 따라 도출된 평균 최근접 거리를 나타내었고 Table 6에는 선정된 입지 개수를 나타내었다. Table 5 및 Table 6에서 터미널 용량(Terminal capacity)은 수요처리비율(Demand handling rate)으로서 서울시의 모든 행정구역에서 발생하는 하루 평균 수요량을 얼마나 처리하는지를 의미한다. 해당 값이 0.1이면 터미널당 서울시 하루 평균 수요량의 10%까지 처리할 수 있음을 의미한다. 최소 0.1부터 최대 0.9까지 0.1씩 증가시켜 정의하였다.

Table 5. Terminal coverage, capacity, and depot proximity relationship (unit: km)

coverage capacity	10km	11km	12km	13km	14km	15km	16km	17km	18km
10%	5.3	4.435	3.495	5.57	5.142	4.457	4.429	5.203	5.278
20%	3.967	4.807	3.793	5.162	4.367	3.519	5.131	3.439	4.019
30%	5.954	4.339	4.565	4.262	4.058	5.358	4.545	2.7	6.93
40%	4.22	4.648	4.988	4.522	4.593	7.979	3.337	1.994	5.262
50%	4.677	5.531	5.504	3.855	2.754	6.521	5.462	6.485	5.52
60%	4.31	4.885	4.431	4.621	4.924	3.907	5.594	6.538	6.33
70%	4.553	4.455	4.503	5.71	4.811	3.022	4.765	6.08	8.036
80%	4.553	4.455	2.872	3.779	4.924	4.986	3.848	4.6	5.724
90%	4.553	4.455	2.872	5.912	4.308	6.02	6.783	5.866	7.388

Table 6. Terminal coverage, capacity, and number of selected location relationship (unit: km)

coverage capacity	10km	11km	12km	13km	14km	15km	16km	17km	18km
10%	10	10	10	10	10	10	10	10	10
20%	5	5	5	5	5	5	5	6	5
30%	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40%	4	3	3	3	3	3	3	3	3
50%	4	3	3	3	3	3	2	3	2
60%	4	3	3	3	2	2	2	2	2
70%	4	3	3	3	2	2	2	2	2
80%	4	3	3	3	2	2	2	2	2
90%	4	3	3	3	2	2	2	2	2

터미널 커버리지별 평균 최단거리가 가장 작게 나타나는 터미널 용량과 선정된 입지 개수는 Table 7과 같다. 터미널 커버리지가 14km인 경우 평균 최단거리가 2.754km로 연계성이 가장 우수했으며 이때의 터미널 용량은 40%, 선정된 입지의 위치는 Figure 3과 같다. 해당 입지는 영등포구 A동, 강남구 B2동, 중랑구 C1동으로 나타났고 차례로 가장 인접한 차량기지(신정차량기지, 수서차량기지, 신내차량기지)이다.

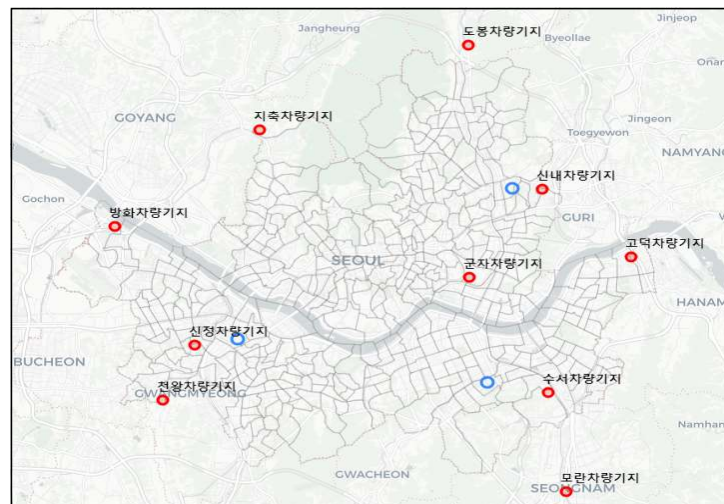


Figure 3. Locations with the best connectivity to train depot

Table 7. Terminal capacity and the best locations by coverage

	10km	11km	12km	13km	14km	15km	16km	17km	18km
Terminal capacity	20%	30%	80%	80%	50%	70%	40%	40%	20%
Number of selected location candidates	5	4	3	3	3	2	3	3	5

*When terminal coverage is 12km, terminal capacity is arbitrarily set to 80%.

3.3 소비자 생활 패턴 유형화를 통한 입지 평가

앞서 선정된 최적 입지를 기준으로 각 커버리지 내 존재하는 행정구역별 시계열 패턴을 유형화하였다. 그리고 유형 간 차이를 확인함으로 다양한 소비자 생활 패턴을 균형감있게 포함할 수 있는지를 평가하였다. 소비자의 다양한 생활패턴에서 발생하는 직업 및 거주 형태의 차이는 택배의 도시 내 이동성에 큰 영향을 미치는 요인이기에(You, 2022) 선정된 각 입지는 해당 커버리지내 이를 적절히 포함시켜야 빠르게 변화하는 미래 수요에 적절히 대응이 가능할 것이다. 선행연구(Kim et al, 2021)에서 주장하는 바와 같이 서울시 생활인구 데이터 패턴을 유형화함으로 각 유형별 대표적인 특성을 파악할 수 있는 점을 활용하였다. 서울 열린데이터 광장에서 제공하는 서울시 행정동별 생활 인구수의 시계열적인 패턴을 K-means 군집분석으로 유형화했다. 이는 Table 2의 ‘(e) 행정동 단위 서울 생활인구(내국인)’ 데이터이다. 특히 행정동은 지방자치단체의 조례에 따라 행정목적으로 수시 변동되나, 통계청 행정구역분류는 분기별로 공고됨을 반영하여 서울시별 행정동을 2021년 10월 기준 통계청 행정구역으로 매칭하여 분석하였다.

‘(e) 행정동 단위 서울 생활인구(내국인)’ 데이터를 사용하여 21년 9월 00시부터 22년 8월 23시까지 총 1년 간 서울 생활인구 패턴을 분석했다. 하루 동안 서울에 존재하는 생활인구의 시간대별 평균은 00시~05시 23816.834명, 06시~11시 24425.952명, 12시~17시 24863.672명, 18시~23시 24260.357명으로 나타났다. 통계청 행정구역으로 구분하여 살펴보면 반포본동이 평균 3202.699명으로 값이 가장 적으며 역삼1동이 평균 101708.852명으로 제일 큰 값을 보였다. 이후 423개의 행정구역에 대해 요일 및 시간대별 평균 생활인구수로 1차 가공한 후, 식(6)에 따라 표준화하여 Table 8과 같이 정리하였다. 이는 서울시 기반 생활인구 혹은 그 외 시계열 데이터를 군집 분석한 기존 선행연구에서 주장하는 바와 동일하게 각 변수를 표준화하면 가장 오류가 적은 군집분석을 수행할 수 있음을 반영하였다.

$$Z_{at} = \frac{X_{at} - A_a}{S_a} \quad (6)$$

Z_{at} : a행정구역 t시 생활인구 수의 표준값

X_{at} : a행정구역 t시 생활인구 수

A_a : a행정구역 생활인구 수의 평균

S_a : a행정구역 생활인구 수의 표준편차

최적의 군집 수를 결정하기 위해 Ward 방법의 계층적 군집분석과 함께 실루엣 계수(silhouette coefficient)를 사용하였다. Ward 방법은 군집 내의 오차제곱합(error sum of square)의 증가분에 기반해서 두 군집 간의 유사성을 측정한다. 두 군집이 합해지면 병합된 군집의 오차제곱합은 병합 이전 각 군집의 오차제곱합의 합 보다 커지게 되므로 그 증가량이 가장 작아지는 방향으로 군집을 형성해 나간다. 이를 계층적 군집분석의 유사도 측정 지표로 사용하여 군집 간 유사도가 급격하게 변하는 구간을 경계로 삼아 최

적의 군집 수 결정에 활용할 수 있다. 실루엣 계수(silhouette coefficient)는 각 개체가 해당 군집 내의 다른 개체들과 얼마나 가깝게 군집되어 있는지를 나타내는 척도로, 이를 통해 군집 간의 분리 정도를 시각적으로 평가하는 군집 타당성 지표로 활용할 수 있다. 1에 가까울 수록 군집화가 잘 되었음을 의미한다.

Table 8. Sample of standardized living population data by administrative district code

Administrative district code	Monday 00:00	Monday 01:00	...	Sunday 22:00	Sunday 23:00
11110515	-0.887973	-0.891004	...	-0.910562	-0.910562
11110530	-1.104158	-1.111858	...	-1.081841	-1.081841
11110540	-0.931307	-0.941395	...	-0.915473	-0.915473
...
11740685	1.028396	0.986577	...	1.119777	1.119777
11740690	0.658684	0.521619	...	0.720264	0.720264
11740700	0.483155	0.611461	...	0.276498	0.276498

Figure 4와 같이 Ward 방법의 계층적 군집분석 결과 군집수가 4일때 군집 간 유사도가 급격하게 변하는 경계로 확인되었다. Figure 5와 같이 군집수에 따른 실루엣 계수(silhouette coefficient)는 군집수 5 이후 해당 값이 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 다만 이는 군집이 얼마나 균질하게 형성되었는지를 보여주는 보조적인 지표이므로, 앞선 계층적 군집분석 결과를 반영하여 최적의 군집수를 4로 결정하고 군집분석을 진행하였다. 행정구역별 소비자 생활 패턴의 시계열 유형화에 대한 군집분석 결과는 Figure 6과 같다.

서울시 행정동(본 연구에서는 행정구역)별 활동 인구는 시간에 따라 서로 다른 변화 양상을 보이며 시계열적 패턴 특성을 기준으로 유형화될 수 있다고 하였다(Jung and Nam, 2019). 해당 연구에서 제시하는 시계열적 패턴 특성을 기준으로 Figure 6의 결과를 해석하여 위에서부터 거주 중심, 업무 중심, 거주·여가 복합, 여가 중심으로 유형을 정의하였고 각 특성과 유형별 평균 수요 및 수요 비율은 Table 9에 제시하였다.

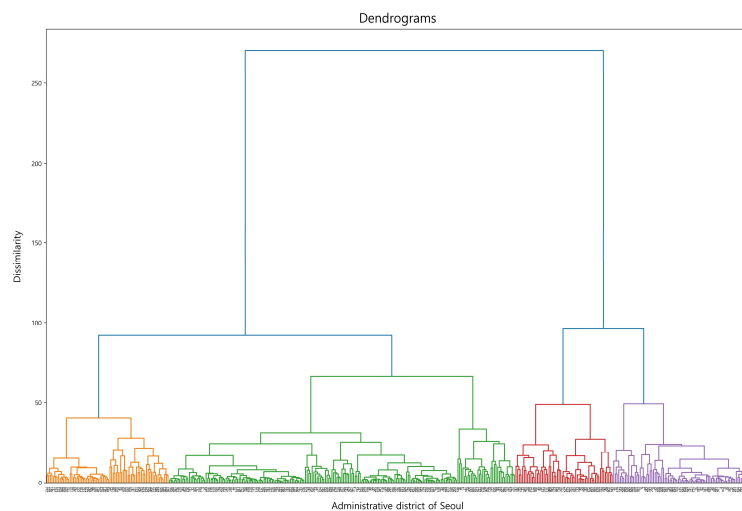


Figure 4. Hierarchical Cluster Analysis of Ward Method

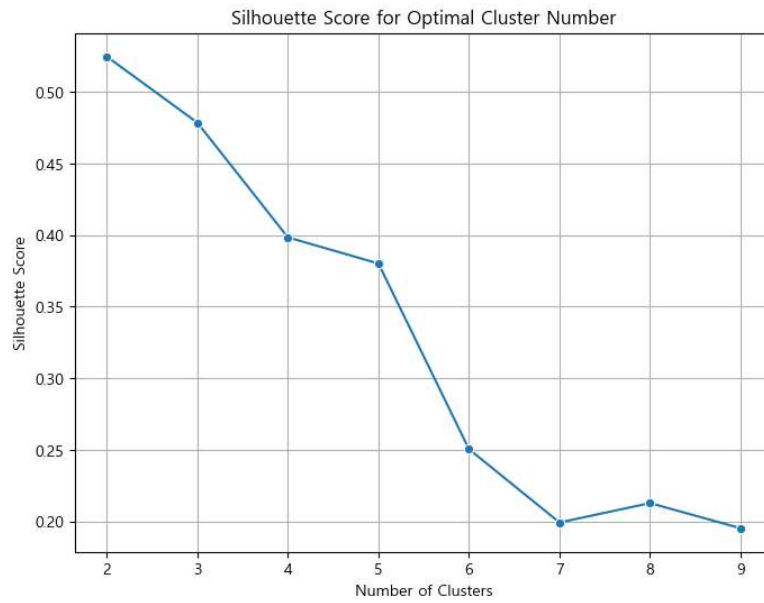


Figure 5. Visualization of silhouette coefficients by cluster number

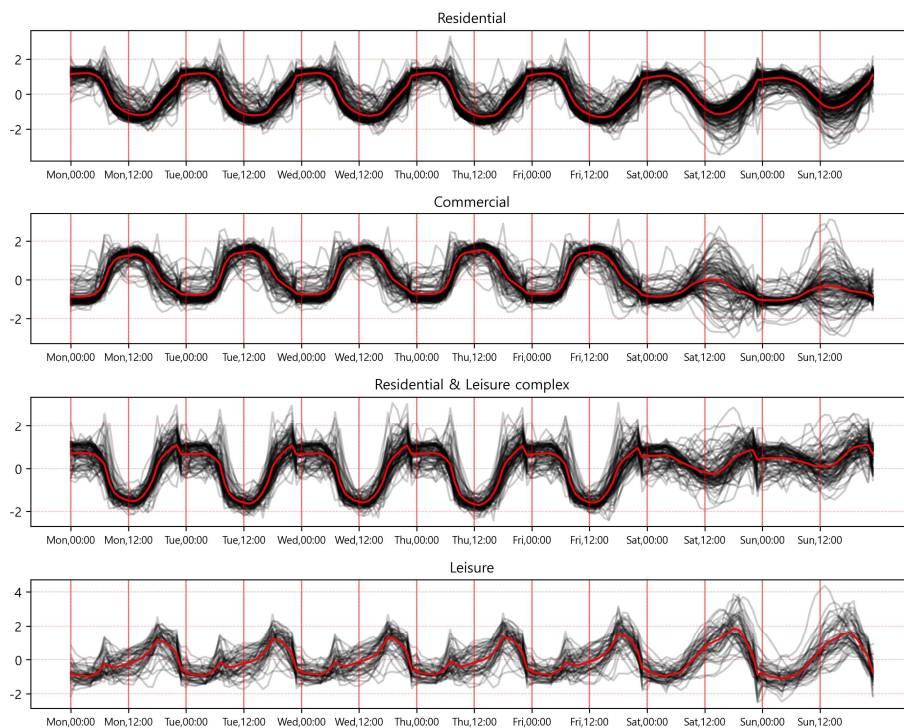


Figure 6. Weekly pattern of standardized population in Seoul

Table 9. Characteristics and Demand proportion(1 year) of time series patterns by four types

Type	Characteristics of time series patterns	Average of daily demand	Demand proportion
Residential	The active population is low during the day and the decline is slightly smaller on weekends.	364684.499	39.7%
Commercial	During the daytime, the inflow and active population are high.	272800.838	29.7%
Residential & Leisure complex	The daytime population is low, rising later with a slight midnight dip, but weekend decreases are less pronounced than weekdays.	169968.293	18.5%
Leisure	The active population is high in the evening and the population flows in on weekends.	111124.392	12.1%

1년(21.9~22.8) 동안의 전체 수요량 대비 각 유형별 수요량 비중을 도출한 결과 Table 9와 같이 나타났다. 거주 중심 유형이 전체 수요량의 39.7%를 차지하는 만큼 그 비중이 제일 컸으며, 여가 중심 유형이 12.1%로 가장 적었다.

앞서 선정된 최적 입지(Figure 3)에 대해 입지별 커버리지 내에 존재하는 여가 중심, 거주 중심, 업무 중심, 거주·여가 복합의 네 가지 유형 간 차이를 확인하였다. Figure 7과 같이 Table 7에 제시된 최적 입지 후보군 중 각 유형에서의 최소, 최대값 차이가 가장 작음을 보여주었고 이를 Table 10에 정리하였다. 이에 선정된 세 입지는 모두 소비자 생활 패턴의 다양성을 균형 있게 포함하고 있어, 빠르게 변화하는 미래 수요에도 적절히 대응할 수 있을 것으로 판단된다.

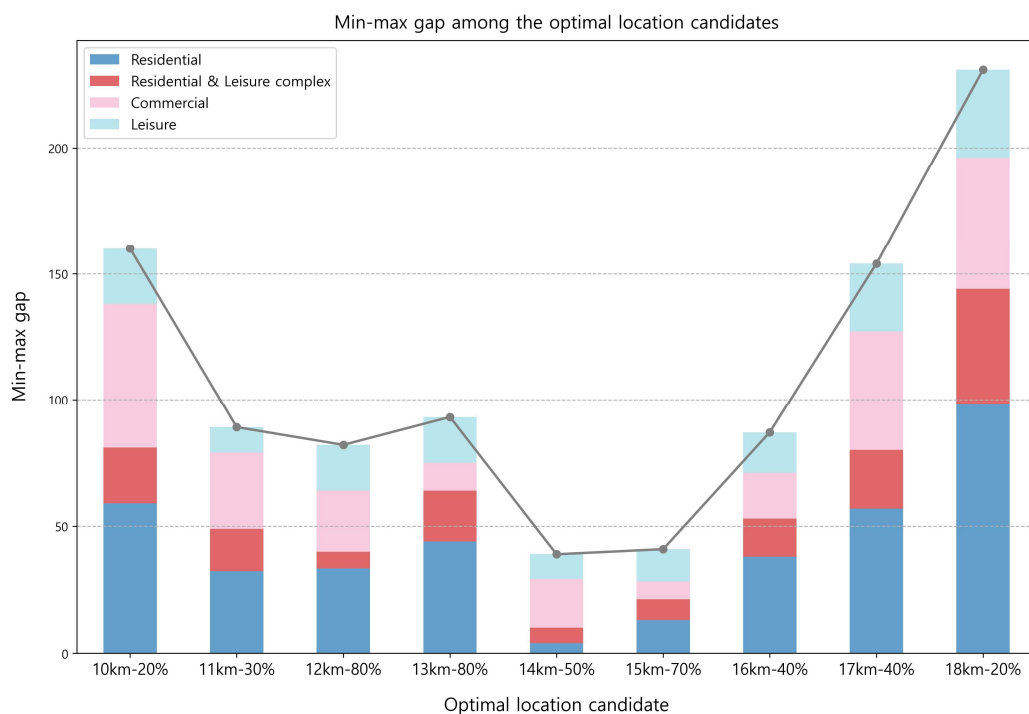


Figure 7. Min-max gap among the optimal location candidates in Table 6.

Table 10. Min-max gap for each type among the optimal location candidates (unit: count)

coverage - capacity Type	10km - 20%	11km - 30%	12km - 80%	13km - 80%	14km - 50%	15km - 70%	16km - 40%	17km - 40%	18km - 20%
Residential	59	32	33	44	4	13	38	57	98
Commercial	22	17	7	20	6	8	15	23	46
Leisure	57	30	24	11	19	7	18	47	52
Residential & Leisure complex	22	10	18	18	10	13	16	27	35

4. 결론

본 연구는 최근 생활물류 수요 급증으로 발생하는 사회적, 환경적 문제의 해결책인 공동택배터미널의 성공적인 운영을 위한 실효성 있는 용량 및 입지 선정 과정을 제시하였다.

도심 내 물류 터미널을 위한 토지 확보 시 비용에 대한 문제가 크게 작용한다. 따라서 모든 지역에 효과적인 배송을 가능하게 하는 최적의 터미널 용량에 대한 사전정보가 필요하다. 그뿐만 아니라 향후 도심 내 물동량의 증가 및 추가적인 물류 네트워크 구축까지 고려한다면 사전 설치된 공공인프라의 유휴공간을 활용할 수 있어야 한다. 특히 인구 집약적인 도시의 특성상 택배 수요가 소비자 생활 패턴에 더욱 민감하게 반응하므로 소비자의 다양한 생활 패턴을 균형있게 포함할 수 있는 입지를 선택해야 한다.

이에 도심 유휴부지와 연계성을 고려하여 최적 입지를 선정했다. 도심 내 유휴부지인 철도 차량기지와의 연계성을 확인하기 위해 CLSCP-SO(Capacitated Location Set Covering problem - System Optimal) 모델을 사용했다. 터미널 커버리지와 용량이 변화할 때, 선정된 입지 후보지와 차량기지 사이의 평균 최근접 거리를 계산하였다. 그 결과 터미널 커버리지가 14km이며 터미널 용량이 50%인 경우 차량기지와의 평균 최근접 거리가 2.754km로 연계성이 가장 우수했으며 3개의 입지가 선정되었다.

이후 K-means 군집분석을 통해 선정된 입지가 소비자 생활 패턴의 다양성을 균형있게 포함하는지 여부를 평가하였다. 서울시 생활인구의 시계열적 패턴 특성을 참고하여 거주 중심, 업무 중심, 거주·여가 복합, 여가 중심, 네 가지 유형으로 유형화하였다. 그리고 앞서 선정된 최적 입지(Figure 3)에 대해서 커버리지 내에 존재하는 위 네 가지 유형 간 차이를 확인하였다. 그 결과 선정된 세 입지 모두 어느 한 입지에만 소비자 생활 패턴 유형이 치우치지 않아 그 다양성을 균형있게 포함한다는 것을 알 수 있었다.

이처럼 ‘도심 유휴부지인 철도 차량기지와의 연계성이 우수한가?’를 기준으로 최적의 입지를 선정하였고 이에 더 나아가 ‘도심 내 소비자의 생활 패턴을 균형있게 포함하는가’를 기준으로 해당 입지를 평가하였다. 최종적으로 터미널 커버리지를 14km로 가정하는 경우 최적의 터미널 용량은 50%로 나타났고, 이에 따라 영등포구 A동, 강남구 B2동, 중랑구 C1동이 선정되었다.

본 연구 결과는 도심 내 물동량 증가에 대응하기 위해 도시의 유휴공간을 효과적으로 연계할 수 있게 하고 소비자들의 생활패턴을 객관적으로 반영하여 균형잡힌 공동택배터미널 용량과 입지를 연구함에 의의가 있다. 이에 향후 도심 물류 시스템 운영 및 정책 수립에 있어 중요한 참고자료로 활용될 수 있다. 다만, 본 연구에서 사용한 물동량 데이터가 국내 A 택배사에만 한정되었고 모든 포인트(터미널 입지, 수요지, 차량기지) 간의 거리를 직선거리인 유클리디안 거리(Euclidean distance)로 계산했다는 점에 한계가 있다. 따라서 향후 더 다양한 택배사들의 물동량 데이터를 추가하고 현실적인 배송 거리를 반영한 연구를 수행할 것을 제언한다.

참고문헌

- Chen, M., & Lee, H. (2017). A study on developing methodologies for optimal location selection of regional logistics complex. *Korea Logistics Society*, 25(4), 95-106.
- Church, R. L., & Murray, A. T. (2018). *Location covering models: history, applications and advancements*, Springer, pp.160-162
- Jung, J., & Nam, J. (2019). Types and characteristics analysis of human dynamics in Seoul using location-based big data. *Journal of Korea Planning Association*, 54(3), 75-90.
- Jung, S., & Kim, S. (2015). MADM analysis-based optimal decision-making methodology for location selection of parcel terminal. *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, 15(1), 83-92.
- Kang, H., & Lee, S. (2019). Analyzing growth factors of alley markets using time-series clustering and logistic regression.. *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, 37(6), 535-543.
- Kang, M., Lee, S., & Nam, D. (2024). An optimal urban micro-fulfillment center location model utilizing mobility big data for delivery vehicles. *Journal of Logistics Science & Technology*, 5(1), 76-98.
- Kim, D., Phani, U., & Ha, H. (2023b). An analysis of changes in the economic impacts of the logistics industry using input-output analysis. *Journal of Logistics Science & Technology*, 4(2), 74-105.
- Kim, H., Won, M., Yi, J., Chae, H., & Park, In. (2021). Spatio-Temporal Distribution Patterns of Foreign Population and their Determinants: Analyzing Seoul's De Facto Population Data. *Land and Housing Review*, 12(1), 101-117.
- Kim, J., Choi, Y., Kim, S., & Lee, G. (2023a). The optimization of the service meeting locations for the safe return-home service of Seoul using the MCLP model. *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 26(1), 133-148.
- Kim, K. (2021). Evaluating coverage of automated external defibrillator (AED) using a spatial optimization model: The case of Gangnam-Gu. *Journal of the Association of Korean Geographers*, 10(1), 153-166.
- Lee, G., & Kim, K. (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.
- Lee, J., & Ahn, J. (2023). Analyzing regional last-mile logistics demand and service equity using public spatial data. *The Geographical Journal of Korea*, 57(4), 521-539.
- Lim, S., & Park, J. (2022). Proposal to utilize a joint platform for digital life logistics in response to the new normal era. *Journal of Logistics Science & Technology*, 3(1), 44-67.
- Park, B., Lee, K., & Choi, K. (2013). Optimum location choice for bike parking lots using heuristic P-median algorithm. *Journal of Korean Society of Civil Engineers*, 33(5), 1989-1998.
- Park, J., & Lee, K. (2011). Greedy heuristic algorithm for the optimal location allocation of Pickup Points: Application to the metropolitan Seoul subway system. *Journal of the Economic Geographical Society of Korea*, 14(2), 116-128.

- Ryu, E., & Kim, E. (2021). Analysis of the changes in de facto population pattern and effects of local environment on changes in the de facto population in Seoul after the COVID-19. *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 24(3), 19-35.
- Seda, P., Seda, M., & Hosek, J. (2020). On mathematical modelling of automated coverage optimization in wireless 5G and beyond deployments. *Applied Sciences*, 10(24), 8853.
- Yoo, G., Kim, W., & Kim, Y. (2023). Expansion and support plan for urban logistics service facilities in Seoul: Focusing on parcel service. The Seoul Institute.
- You, J. (2022). A study on the location and characteristics of living logistics facilities in the Seoul metropolitan area. Korea Research Institute for Human Settlements.
- Yu, J., Lee, M., & Oh, S. (2008). A model of location decisions of natural gas filling stations considering spatial coverage and travel cost. *Journal of Korean Society of Transportation*, 26(3), 145-153.
- Yun, J., & Lee, S. (2010). A Study on the location analysis of public service facilities considering spatial efficiency and equity. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 13(2), 1-10.

요약문

본 연구는 커버링 문제 중 시설 용량 한계가 있는 CLSCP-SO(Capacitated Location Set Covering problem - System Optimal)모델을 사용하여 도심 유희부지와 연계성을 기준으로 서울시내 공동택배터미널의 최적 입지와 용량을 선정하였다. 연계성 평가의 기준으로 유클리디안 거리(Euclidean distance)를 사용하였고 해당 값이 가장 작게 나타나는 경우를 최적으로 판단했다. 그 결과 서울시의 모든 행정구역에서 발생하는 하루 평균 수요량의 50%를 처리할 수 있는 용량과 함께 3개의 입지가 최적의 경우로 선정되었다. 이에 더 나아가 K-means 군집분석을 통해 서울시 생활인구를 '여가 중심', '거주 중심', '업무 중심', '거주·여가 복합' 네가지 유형으로 분류하여 선정된 세 입지가 소비자 생활 패턴의 다양성을 균형 있게 포함하는지를 평가하였다. 선정된 세 입지별 커버리지 내에 존재하는 네 가지 유형 간 최소, 최댓값 차이를 평가 기준으로 확인하였다. 그 결과 어느 한 입지에만 해당 유형들이 치우치지 않아 그 다양성을 균형있게 포함하고 있음을 나타내었다. 이는 향후 공동택배터미널 운영 시 빠르게 변화하는 미래 수요에 적절히 대응하는 데 유용한 시사점을 제공할 것이다.

주제어: 빅데이터, 택배 물동량, 도심 공동택배터미널, 커버링 문제, 군집분석