

라스트마일 배송시간 최소화를 위한 배송 구역 연구

류한별¹, 남대식^{1†}, 박민영¹

¹인하대학교 물류전문대학원

A Study on Dispatching Area Minimizing Last Mile Delivery Time

Hanbyul Ryu¹, Minyoung Park¹, Daisik Nam^{1†}

¹Graduate School of Logistics Department, Inha University

The purpose of this study is to establish an appropriate delivery area for the increasing last-mile delivery. At the same time, as the parcel delivery industry is growing explosively, regional delivery centers such as micro-fulfillment centers are moving toward demanding destinations. Also, the density of the center in an urban area is increasing. As the number of centers in the city center rises, it is necessary to set the delivery area rationally. In a situation where multiple centers are located in an urban area, we present a methodology for setting a delivery area using an actual road network and a single-to-many destination shortest path algorithm. The developed model is assumed to utilize the idle land of the transfer station in Seoul. As a result of the analysis, the developed model showed that the delivery area could be set rationally and efficiently compared to the existing circular buffer type delivery area setup.

Keywords: Last-Mile, Micro Fulfillment Center, Delivery Area, Travel Time

논문접수일 : 2021.10.13.

심사완료일 : 2021.12.29.

게재확정일 : 2021.12.29.

이 논문은 국토교통과학기술진흥원의 고부가가치 융복합 물류 배송·인프라 혁신기술개발 사업의 지원을 받아 수행되었음. (21HCLP-C163194-01)

† Corresponding Author: namd@inha.ac.kr

1. 서론 및 연구 배경

최근 1인 가구의 증가 전자상거래의 활성화 그리고 COVID-19로 인해 B2C 물류 시장은 급성장 하였다. 이에 따라 소량·다빈도의 택배 물류는 급격하게 증가하고 있다. 특히 수도권은 전국 택배 물동량의 약 70%를 차지하고 있고 당일배송, 새벽 배송 등의 새로운 물류 모델의 수요는 지속적으로 증가하고 있다. 하지만 기존 도심물류인프라를 활용하여 물류서비스를 제공하기에는 실질적으로 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 프랑스, 독일 일본 등의 해외에서는 도시철도 등을 활용한 도심물류시스템 연구가 활발히 진행되고 있다.

택배 산업의 성장과 함께 기업들은 늘어난 물류 수요를 효율적으로 대응하기 위해서 새로운 패러다임을 제시하였다. 기존에 택배업 종사자들만 운송을 하는 것이 아닌 쿠팡 플렉스, 배민 커넥터와 같이 개인 배달 서비스가 등장한 것이다. 이러한 개인 배달 서비스는 라스트마일의 효율성을 달성하기 위해서 등장하였다. 라스트마일 배송은 전체 물류비의 53%를 차지할 정도로 그 비중이 높다. 따라서 라스트마일 배송은 문 앞 배송, 당일 배송과 같은 서비스 효율과 물류비용의 효율화를 달성하기 위해 필수적이다.

ラスト마일 배송의 중요성이 증가하는 만큼, 라스트마일의 범위는 좁아지고 있다. 따라서 기존과 같이 라스트마일을 '반경 nm' 와 같은 유클리디안 거리나 최단 거리로 정의하는 것은 실제 운송시간을 반영하지 못한다는 한계가 있다. 일부 골목은 계단과 오르막이라는 변수로 배송에 더 많은 시간이 소요되기도 한다. 이러한 이유로 실제 배송 루트나 구역은 택배 실무자들의 감이나 경험적인 부분에 의존하게 한다. 따라서 본 연구에서는 라스트마일의 비용을 줄이기 위해, 도시철도를 활용한 물류 거점을 제시하고 거점 반경이 아닌 이동 시간을 기준으로 배송 구역을 제시하고자 한다.

2. 선행연구

효율적인 센터 입지선정과 운송의 효율화를 위한 연구는 다양한 관점에서 수행되어왔다. 본 연구에서는 라스트마일 딜리버리 서비스 모형을 개발하기 위해 도심지역 내 마이크로 풀필먼트 센터 구축 및 설계에 영향을 미치는 요소와 관련한 연구를 검토한다. 본 연구의 성격을 고려해 선행연구는 입지선정(location)과 라스트마일 딜리버리(last-mile delivery)에 초점을 맞추어 검토하였다.

2.1 물류센터 입지선정(Location)

Jarugumilli & Zhu (2021)는 지하철역에 물류센터를 입지하여 보다 빈번한 운송을 가능하게 하는 모형을 개발하였다. 이 모형은 매장의 재고를 감소시키고, 재고회전율을 증가시켜 총비용을 감소시키는 것을 주목적으로 한다. 스타벅스에 대해 모형을 적용하며 마이크로 주문처리에 대한 배송 유연성과 비용에 대한 민감도 분석을 시뮬레이션을 통해 수행한다. 지하철역을 활용하는 경우 운송은 재고를 낮추고 라스트마일 운송을 거리를 증가시키지만, 기존의 방식보다 총운송 거리를 줄일 수 있는 효과가 있고, 이를 통해 총비용을 절감할 수 있음을 시사한다.

Lim & Koo (2016)는 지속 가능한 지역 물류센터를 위해 배송 비용을 절감하고 택배 수요 균형을 맞추기 위해 p-median 기법을 활용한 수요공급 관리 프레임워크를 제공한다. 물류창고와 택배 영업소 간의 운송 비용을 최적화함과 동시에 택배 영업소 간의 배송 물량의 균형을 맞춰 영업소 개수와 위치를 할당한다.

Yang(2011)은 물류센터 입지선정 요인으로 지리적 요인, 교통요인, 인력요인, 사회적 요인 등을 제시하였고 AHP 기법을 활용해 요인별 가중치를 분석하였다. 모든 산업에서 공통으로 교통요인이 가장 중요하게 선택되었으나 산업별로 그 중요도가 다른 것으로 나타났다. 제조업이 지리적 요인, 서비스업에 인력요인에 중요성을 두는 것과는 다르게 유통업에서는 교통요인이 중요한 것으로 드러났다.

Zak and Węgliński (2014)는 2단계로 나누어 물류센터의 입지를 선정한다. 첫 번째 단계에서 기술, 기반 시설, 사회적 잠재력 등을 고려하고 두 번째 단계에서는 개인의 선호와 같은 요소들을 고려한다. 실제 도심 지역 내 물류센터를 선정하는데 있어서 시설의 이용 가능 여부는 중요한 요소이다. Li et al. (2020)는 센터의 수가 정해졌을 때, 더 많은 고객에게 서비스를 사용할 수 있도록 하는 자전거 공유 경제 MCLP(Maximum Coverage Location Problem)를 제안한다. 물류센터의 관점에서 센터가 가지는 서비스 가능 지역에 대해 고려할 수 있다.

Park(2019)은 라스트마일 비즈니스 모델의 평가요인별 중요도에 대해 분석하였다. 이 중 라스트마일 비즈니스모델 특성의 세부 평가속성에서 라스트마일에서 신속성이 가장 중요함을 제시한다. 또한 라스트마일 창고폴필먼트에서는 무인창고에 대한 관심도가 가장 높음과 동시에 소규모 도시형 창고가 2순위임을 제시하였다. 이는 적절한 도시 내에 소규모 물류 창고의 필요성이 중요함과 동시에 본 연구에서 제시할 도시 철도 거점의 필요성에 대한 근거가 된다.

2.2 물류센터의 접근성(Accessibility)

늘어난 물량을 처리하기 위한 개인 배달 서비스와 라스트마일 비용을 감소시키기 위해 물류센터의 접근성 측면에서 선행연구를 고찰하였다. 지하철 역과 같은 관련 시설에 대한 접근성을 분석한 연구를 검토하였다.

Moyano et al. (2018)는 고속철도 역에 대해 실제 고속철도를 이용하는 경우보다 fist-mile과 last-mile 시간이 차지하는 비중이 더 높다는 것을 제시한다. 이는 운송수단을 변경하는 과정에서 시간과 비용이 발생한다는 것을 보여준다. 또한 교통 혼잡으로 발생하는 이동시간과 접근성의 변화에 대해 설명한다.

Ha and Lee(2017)는 기존의 접근성 연구에 활용된 직선거리의 한계점을 제시하고 보행자 경로안내 API와 GIS프로그램을 활용하여 직선거리 버퍼가 아닌 보행거리 버퍼로 면적을 산출하였다. 이를 통해 이동시간에 영향을 주는 다양한 물리적 요소들의 고려를 통해 보행시간을 구체화 하였고 이를 통해 실질적인 접근성 수준을 도출하였다.

ラスト마일 딜리버리 서비스에서 효율화를 위한 연구는 운송 비용을 최소화하는 측면에서 제안되었다. 하지만 새로운 물류 서비스에서 물류기업은 더 많은 비용을 지불하더라도 신속한 배송서비스를 위해 투자한다. 본 연구에서는 도시철도 거점을 활용하여 물류 인프라 거점을 기반으로 배송 시간을 최소화할 수 있는 배송 구역을 설정하는 방법을 제시한다.

3. 방법론

3.1 데이터 전처리

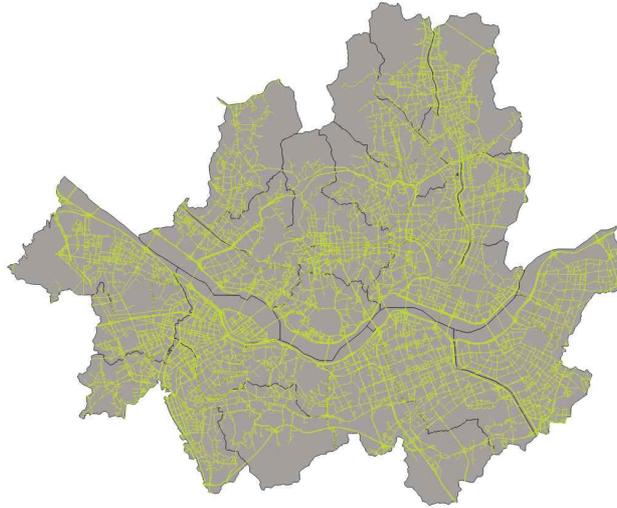


Figure 1. Road Network Seoul

데이터는 서울시 교통망의 노드와 링크 정보를 사용한다. 해당 데이터에는 각 링크의 길이와 도로의 타입에 따른 랭크 값이 존재한다. 각 도로의 거리 기반의 최단 경로와 이동 시간 기반의 최소 시간 경로를 구하기 위해 데이터 전처리를 수행한다. 시간 기반의 최소 시간 경로를 구하기 위해 각 링크의 거리와 해당 도로의 특성을 반영한 평균 속력을 적용하여 계산한다. 개별 도로 랭크 중 고속도로 및 자동차 전용도로에 해당 하는 값들은 라스트마일 배송 루트로 사용하지 않음을 가정하고 제외한다. 여기서 평균 속력은 네비게이션에서 제공하는 개별 도로들에 도로 랭크를 기준으로 평균 속력을 산정하여 적용하였다.

운송 도착점은 각 도로정보에서 가지고 있는 노드들로 설정하여 진행한다. 도시철도 거점을 라스트마일 풀필먼트 센터로 적용한다. 본 연구에서는 7개의 해당 거점 역사를 선정하였다. 거점 역사의 선택은 먼저 2개 이상의 노선을 가지는 환승역으로 후보지를 선정하였고 해당 후보지 중에 지도 내 거리상으로 반지름 이상 떨어진 역사들로 임의 선정하였다. 또한 철도 및 공항 등 운송 연계 수단을 가지는 역을 우선적으로 고려하여 선정하였다.

3.2 운송구역 선정 과정

시간 기반으로 구해진 도달 범위를 기반으로 운송 구역을 선정한다. 운송시간을 기준으로, 최종 배송 지점에 따라 해당 배송을 진행할 라스트마일 풀필먼트 센터를 선정할 수 있다. <Table 1>은 해당 과정을 의사결정 코드로 표현한 것이다. Target_Station은 선정된 7개의 역사이며, 해당 역사와 가장 가까운 노드를 MFC의 출입 점으로 설정하였다. 해당 출입 점을 기준으로 모든 노드들에 대하여 다익스트라 알고리즘을 수행하여 모든 노드에 대한 최단 시간을 구한다. 이를 7번 반복하여 개별 노드에 대한 가장 최단 시간을 가지는 MFC를 갱신한다.

Table 1. Select of Dispatching Area Pseudo Code

```

Target_Station = nearest_neightbor(Stations)
MFC = nearest_neightbor(all_nodes)
Destination = [all_node]
For i=1 to Destination do
For j=1 to MFC do
    origin= MFC[j]
    dest = destitation[i]
    TT = Dijkstra_length(origin, dest, weight='speed')
    if Destination.travel_time > TT then
        Destination.travel_time = TT
    endif
endfor
endfor

```

4. 연구 결과

4.1 연구데이터



Figure 2. Green Area in Seoul

<Figure 1>과 <Figure 2>와 같이 서울시의 녹지와 도로 네트워크를 고려하여 물류센터가 입지할 수 없는 공간은 후보 지역에서 제외하였다. 또한 녹지 지역에는 링크 및 노드가 없으므로 각 MFC에서 커버 여부를 고려하지 않았다. 이후 2개 이상의 노선을 가지는 환승역 중, <Figure 3>과 같이 풀필먼트 센터 위치를 선정하였다. 해당 위치는 각 서울역, 고속터미널역, 김포공항역, 신도림역, 광운대역, 잠실역, 왕십리역이다. 기본적으로 센터의 반경 5km의 구역을 커버한다고 가정하고, 버퍼 내에 해당하지 않는

구역은 거리상으로 가까운 센터에서 수요를 충족한다고 가정한다.

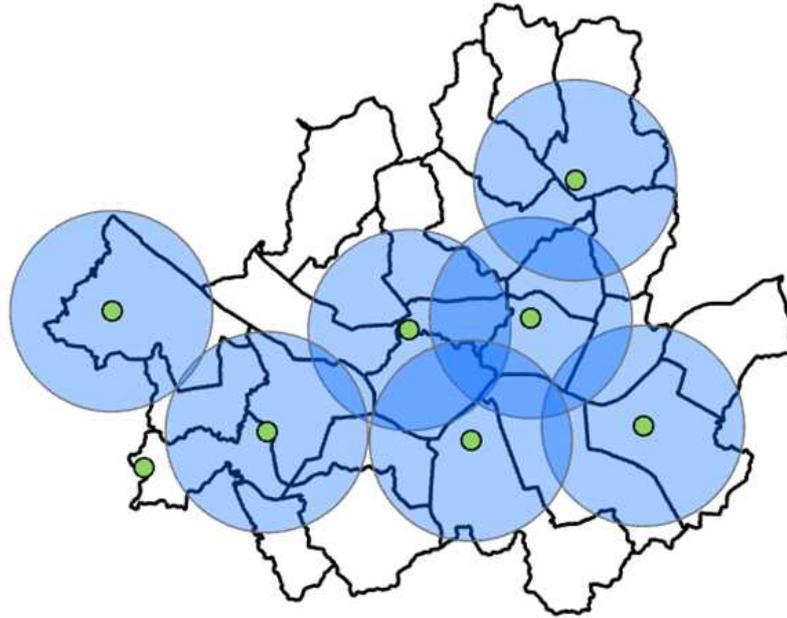


Figure 3. Selected Fulfillment Center and Delivery radius

해당 풀필먼트 센터 노드로부터 갈 수 있는 노드들은 서울시 도로 정보를 기반으로 선정하였으며, 총 25,784개이다. 각 노드들을 연결하는 링크는 방향성을 가지고, 일방통행 등을 고려하며 총 56,759개이다. 각 노드에 대해 최단 시간 경로로 이동이 가능한 노드들을 선정한 결과는 <Figure 4>와 같다.

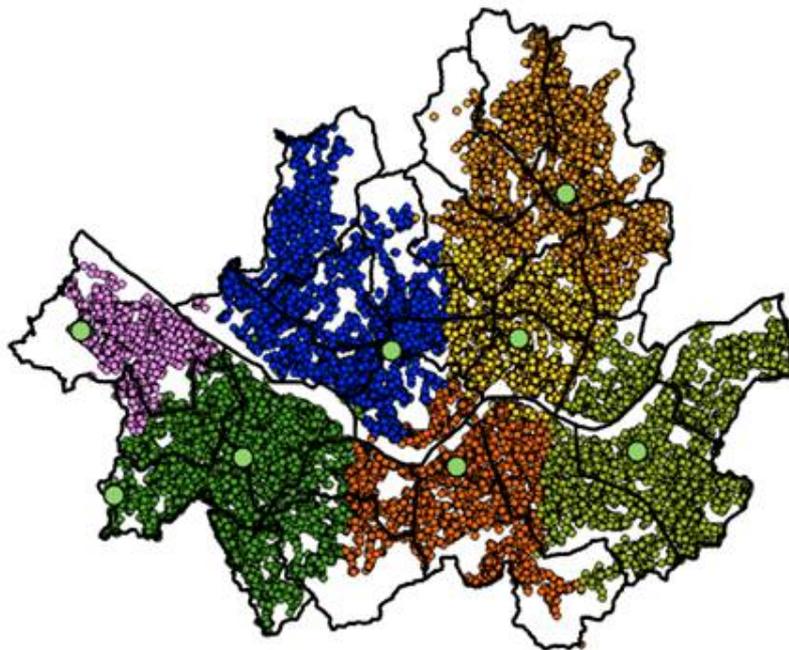


Figure 4. Delivery Area Allocations Based on Travel Time

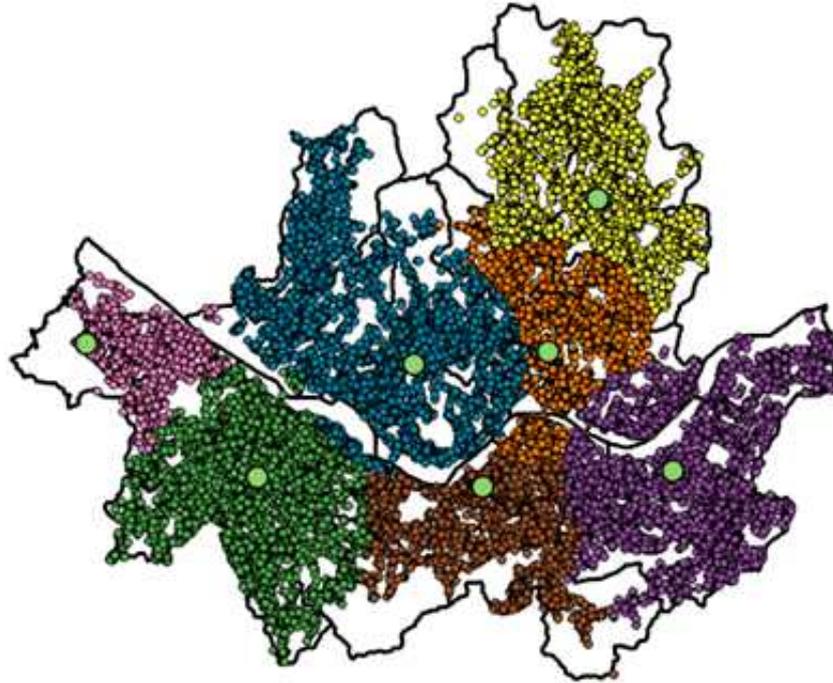


Figure 5. Delivery Area Allocations Based on Euclidean Distance

<Figure 4>와 <Figure 5>를 보면, 각 시간과 반경 및 거리 기준으로 노드를 선정하였으나 그 배송 구역에서 차이가 있음을 확인할 수 있다. 해당 구역으로 선정된 운송 구역의 이동 시간의 평균값을 구하면 그 차이를 확실히 알 수 있다.

최소 시간 기준 배송 노드를 선정하면 평균 시간은 12.58분이었고, 반경 및 거리를 기준으로 노드를 선정하였으면 평균 시간은 12.92분으로 계산되었다. 해당 두 값이 통계적으로 유의한지 확인하기 위해 T-검정을 수행하였다. 먼저 두 값의 등분산성 여부를 확인하기 위해 레빈의 검정과 바틀렛 검정을 수행하였다. 두 검정 값은 각각 <Table 2>와 같이 통계값과 p-값을 가진다. 해당 분석을 통해 통계값이 충분히 크고, p-값이 작아 등분산으로 판단할 충분한 근거가 존재하지 않는다고 판단하였다.

Table 2. Estimation of Dynamic Variance

	statistic	p-value
LeveneResult	70.64	4.39e-17
BartlettResult	59.52	1.21e-14

이를 바탕으로 T-검정을 수행하였고, 그 결과는 <Table 4>와 같다. T검정의 p값은 7.10e-10으로, 두 방법의 배송시간에는 유의미한 차이가 존재한다고 판단할 수 있다.

Table 3. Significance Test to Minimizing Last Mile Delivery Time(T-Test)

	statistic	p-value
Ttest_indResult	-6.17	7.10e-10

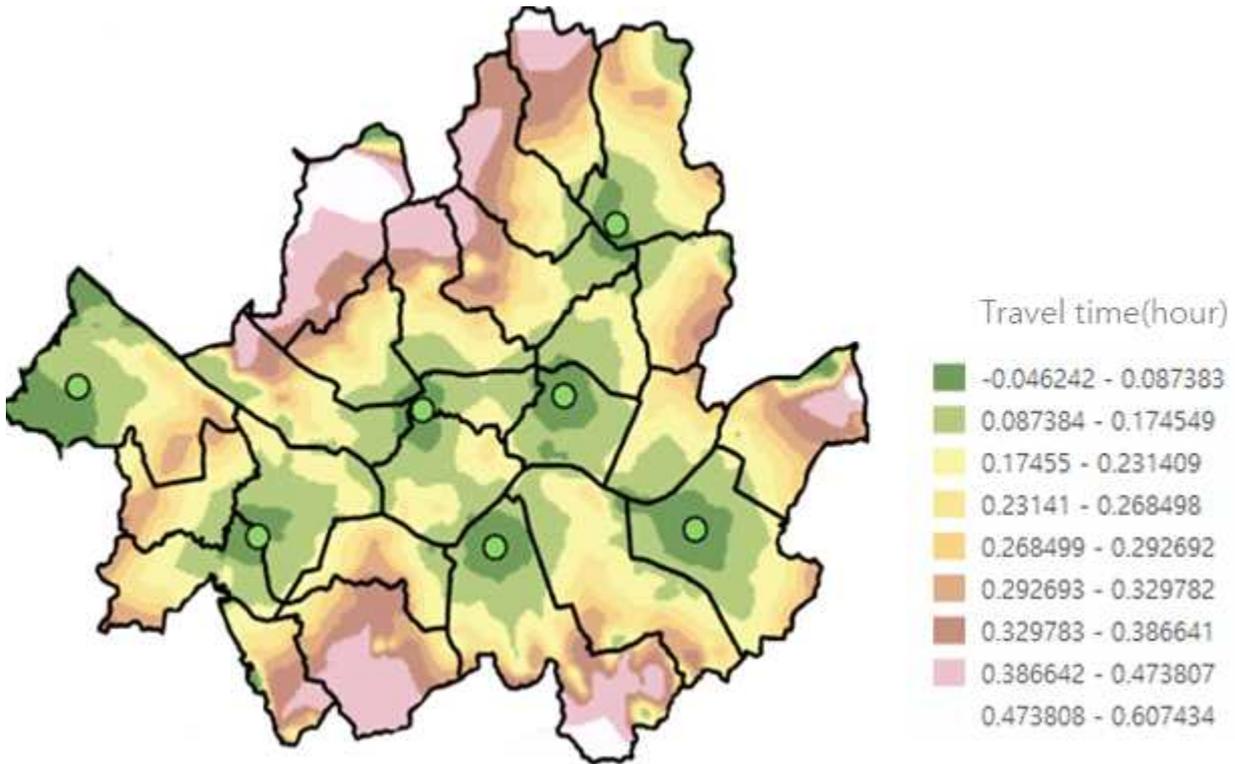


Figure 6. Travel Time From The Fulfillment Center to The Target Node

<Figure 6>은 배송 시간에 따라 각 지역을 GIS의 등고선으로 환산하여 표현한 그림이다. 해당 그림과 같이 배송 시간을 기준으로 배송 구역을 할당할 때, 해당 구역이 지도상으로 직선거리인 원형 버퍼가 아님을 알 수 있다. 이는 도로의 평균 속도, 도로의 연결 모양 등이 반영되어 다른 시간을 가지는 것을 의미한다. 따라서 <Figure 6>과 같이 합리적인 배송 시간이 될 수 있도록 배송 구역을 선정할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구는 효율적인 배송 구역을 선정하기 위해서, 도로 네트워크를 고려하여 배송 시간이 최소가 될 수 있도록 각 마이크로폴필먼트 센터에 따른 배송 구역을 할당하는 방법을 제안하였다. 택배 및 배달 서비스는 반경 거리를 기준으로 서비스를 제공한다. 반경거리와 실제 이동 경로에는 도로 네트워크에 따라 이동 거리와 이동 시간에 차이가 있다. 지도 내에서 직선상으로 가장 가까운 거리로 측정이 되어도 실제 운송 서비스를 제공하는데 있어서 가장 빠른 배송을 보장해주지는 못한다는 것이다. 이는 신속성이 가장 중요한 지표로 뽑히는 라스트마일 딜리버리에 있어서 운송시간의 증가를 야기해 경쟁력을 저해시키는 요인으로

작용할 수 있다. 따라서 운송 시간을 고려한 라스트마일 딜리버리 배송 구역은 배송서비스의 품질을 증가시키기 위해서 함께 고려될 수 있을 것이다.

본 연구에서 제안한 운송 시간 기준 배송 구역 할당은 풀필먼트 센터 입지선정, 배송구역 할당과 같은 연구로 확장될 수 있다. 본 연구에서 고려하지 못한 도심지역 내 물동량을 고려하여 각 풀필먼트 센터별 운송 구역과 기사 1인의 목표 물량을 선정할 수 있다. 기사 1인은 운송 시간에 따라 물량을 배정받고 운송 시간을 고려한 운임 체계에 따라 임금을 수령할 수 있다. 현재 운송기사들은 운송 건수에 따라 수입을 책정하는 구조에서 운송 시간에 따른 가중치를 부과하여 운송기사의 구역이 임의로 배정되거나 특정 사람의 경험에 의존하는 업무를 효율적으로 처리할 수 있다. 이에 따라 발생하는 배송 구역 및 임금의 불평등 문제도 해결할 수 있을 것이다. 또한 각 구역의 물동량과 처리량을 고려하여 물류센터를 새로 추가할 때 합리적인 위치를 선정할 수 있다.

또한 실시간 도로 정보를 활용하여 각 도로에 부과했던 속도에 대한 가중치를 동적으로 설정하여 운송 경로 및 배송 구역 선정할 수 있을 것이다. 해당 연구에서는 자동차와 도로 네트워크를 기준으로 분석을 수행하였다. 하지만 친환경 운송 수단이나 도보 운송을 고려하여 도로 이외의 도보 및 자전거 도로와 같은 네트워크를 고려하여 환경친화적 운송 서비스를 제공하고 클라우드 소싱과 같은 다양한 운송 주체의 참여에 대응할 수 있다. 모든 지하철역에 대한 소규모 도심 물류 거점화를 통해 라스트마일 배송뿐만 아니라 지하철 간선 수송을 함께 고려해 운송경로 최적화 문제를 해결할 수 있다.

참고문헌

- Hooper, A., & Murray, D. (2019). E-commerce Impacts on the Trucking Industry.
- Zhu, F., & Jarugumilli, S. P. (2021). Micro-Fulfillment Feasibility for Metro Trade Area Transformation.
- Lim, H., & Koo, M. W. (2016). Promoting cost efficiency and uniformity in parcel delivery centre locations and service areas: a GIS-based analysis. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 19(5), 369-379.
- Yang, K. M. (2011). A study on the factor analysis of distribution center location selection using analytic hierarchy process. *Journal of the Korea Safety Management and Science*, 13(2), 129-135.
- Żak, J., & Węgliński, S. (2014). The selection of the logistics center location based on MCDM/A methodology. *Transportation Research Procedia*, 3, 555-564.
- Li, H., Mukhopadhyay, S. K., Wu, J. J., Zhou, L., & Du, Z. (2020). Balanced maximal covering location problem and its application in bike-sharing. *International Journal of Production Economics*, 223, 107513.
- Park Hongkyun (2019). A study on Last Mile's business model strategy. *Shipping and Logistics Research*, 35(4), 531-553.
- Moyano, Amparo, Borja Moya-Gómez, and Javier Gutierrez. "Access and egress times to high-speed rail stations: a spatiotemporal accessibility analysis." *Journal of transport geography* 73 (2018): 84-93.
- Lee, M., & Park, j.,(2016) A Study on the Effects of Last-mile Logistics Using Ultra Micro Consolidation Center and Cargo-bike The Korea Logistics Research Association
- Hemmelmayr, V. C. (2015). Sequential and parallel large neighborhood search algorithms for the periodic location routing problem. *European Journal of Operational Research*, 243(1), 52-60.
- Seoul Metro(2019) A plan to commercialize the urban railway joint logistics platform
- Ha, Jaehyun, Lee, Sugie, (2017)Analysis of Influential Factors to Public Transportation Accessibility using Pedestrian Route Guide API Information Service - Focused on Walking Accessibility to Subway Station in Seoul, *Journal of Korea Planning Association* 52(3)