

# 사회연결망 분석을 활용한 고속도로 유희부지의 물류센터 활용 방안에 관한 연구\*

Research on the Use of Logistics Centers in Idle site on  
Highway Using Social Network Analysis

공인택<sup>1</sup> · 신광섭<sup>2\*</sup>

인천대학교 국제물류유통 BK교육연구팀<sup>1</sup>, 인천대학교 동북아물류대학원<sup>2</sup>

## 요 약

모바일 기반 온라인 쇼핑의 급성장과 COVID-19로 인해 시작된 비대면 비즈니스의 성장은 택배와 같은 물류 서비스 수요를 폭발적인 증가를 이끌어냈다. 급격하게 성장한 수요에 대응하기 위해 대부분의 물류·유통기업들은 도심 내 풀필먼트 센터 구축을 통한 고객 서비스 수준 향상을 위해 노력하고 있다. 그러나, 높은 지가와 교통 체증 등과 같은 사회적 요인에 의해 도심 내 풀필먼트 센터를 확보하는 데 큰 어려움을 겪고 있다. 본 연구에서는 향후 고속도로에 스마트톨링 서비스가 전면 확대됨에 따라 유희부지로 전환될 요금소 부지를 공유물류센터로 전환하기 위한 후보지 선정 방안을 제시한다. 이를 위해 사회연결망 분석을 통해 각 후보지들의 중심성을 분석하였으며, 중심성 평가의 특성에 따른 결과의 해석을 위한 네트워크 구조를 거리기반과 시간기반의 두 가지 방법으로 재설계하여 평가하였다. 누적된 중요도를 기준으로 적정 후보지 군을 선택하는데 활용될 수 있을 것이다.

■ 중심어 : 사회연결망 분석, 물류 네트워크, 도시물류

## Abstract

The rapid growth of mobile-based online shopping and the appearance of untact business initiated by COVID-19 has led to an explosive increase in demand for logistics services such as delivery services. In order to respond to the rapidly growing demand, most logistics and distribution companies are working to improve customer service levels through the establishment of a full-filament center in the city center. However, due to social factors such as high land prices and traffic congestion, it becomes more difficult to establish the logistics facilities in the city center. In this study, it has been proposed the way to choose the candidate locations for the shared distribution centers among the space nearby the tall-gate which can be idle after the smart tolling service is widely extended. In order to evaluate the candidate locations, it has been evaluated the centralities of all candidates using social network analysis (SNA). To understand the result considering the characteristics of centrality, the network structure was regenerated based on the distance and the traveling time, respectively. It is possible to refer the result of evaluation based on the cumulative relative importance to choose the best set of candidates.

■ Keyword : Social Network Analysis, Logistics Network, Urban Logistics

2021년 07월 01일 접수; 2021년 08월 12일 수정본 접수; 2021년 08월 19일 게재 확정.

\* 본 연구 논문은 해양수산부 2020년도 해운항만물류 전문인력양성사업 지원에 의하여 연구되었음.

† 교신저자 (ksshin@inu.ac.kr)

## I. 서론

인터넷을 통한 마케팅 촉진 전 세계 온라인 시장은 매우 빠른 속도로 성장하고 있다. 국내의 경우, 온라인 쇼핑은 2019년 12월 전년 동월 대비, 17.6% 증가한 12조 5,865억 원이었으며, 온라인 쇼핑몰 거래액 중 모바일 쇼핑은 8조 2,524억 원을 기록하였다. 온라인 유통 시장의 성장에 따라 국내 물류 시장도 함께 성장하고 있으며, 2019년 택배 물동량은 27억 8,400만 개로 2018년 대비 약 9.5% 증가한 것으로 파악되고 있다(통합물류협회, 2020). 또한, COVID-19로 언택트 경제(Untact economy) 등장함에 따라 비대면 소비가 증가하면서 온라인 유통, 물류 시장은 더 성장할 것으로 예상된다.

물류·유통 시장의 성장과 고객의 니즈(Needs) 다양성을 빠르게 충족하기 위해 물류·유통기업들은 풀필먼트 센터(Fulfillment Center) 구축과 라스트마일 배송(Last mile delivery) 등 다양한 운영방식을 채택하고 있으며, 국내 택배 물량이 60% 이상이 집중된 수도권 배송 네트워크 최적화를 위해 수도권 인근에 물류센터 인프라를 구축하고자 한다. 하지만, 인근 주민의 민원, 적정 부지 부족 그리고 높은 임대료 및 지가로 인해 수도권 내 물류시설을 확보하기에는 어려운 실정이다. 수도권 내 물류시설을 확보하기 위해 도심 이동형 모바일 물류센터, 도심 내 공동물류센터, 소규모 풀필먼트 센터 등 다양한 방안이 운영되고 있다.

최근 국토부에서 발표한 ‘제1차 국가도로종합계획’에서는 트랜스로드(TransRoad) 7대 비전을 통해 기존 고속도로에 AI, 자율주행, 공간 가치 창출 등 다양한 전략 및 목표를 제시하였다. 이 중 ‘스마트톨링시스템(Smart Tolling System)’은 기존 고속도로 요금소에서 고속도로 이용료를 결제하는 대신 차량의 번호판을 인식해 자동으로 통행료를 결제하는 방식이다. 스마

트톨링시스템 도입으로 기존 고속도로 요금소에서 유희공간이 발생할 것으로 파악되며 이 공간을 활용할 방안이 요구되고 있다. 또한, 국토부에서는 ‘국가물류종합계획’, ‘제3차 물류시설 개발 종합계획’, 그리고 ‘물류산업 혁신방안’을 통해 수도권 및 도심 내에 물류 인프라 확충을 위해 다양한 지원 정책 및 방안을 마련하고 있다.

## II. 선행연구

### 2.1 물류시설 입지선정 관련 연구

물류시설의 입지선정은 물류 분야에서 중요한 의사결정 대상으로 중 한 가지로, 특히 물류시설 입지선정은 큰 투자 비용, 장기간, 기타 수반 요소 등으로 인해 신중하게 결정해야 한다(오승철, 2015). 이에 물류시설 입지선정 관련 연구가 다양하게 진행되고 있다.

Saaty (1908)가 제안한 AHP(Analytic Hierarchy Process) 방법론은 의사결정자가 단순한 계층 구조의 형태로 복잡한 문제를 구조화하고 상충되는 여러 기준에 따라 평가할 수 있다. 양광모 (2011)은 AHP 방법론을 활용하여 제조업, 유통업, 서비스업에서 물류시설 입지선정의 요인에 대한 중요요인에 대해서 분석하였다. 분석 결과 제조업은 지리적 요인, 유통업은 교통요인 그리고 서비스업은 인적요인으로 중요도가 높은 것으로 분석되었다. 박진희, 문하연 (2016)은 예측배송시스템 관점에서 위계별 물류시설의 입지 특성을 도출하기 위해 AHP 기법을 활용하여 중요도 분석을 실시하고 중앙 및 지역 거점의 입지 요인별 상대적 중요도를 비교 분석하였다. Rajech Kr Singh (2018)은 경제특구(Special Economic Zone)과 자유무역지역(Free Trade Zone)의 창고 입지선정을 위해 퍼지 AHP 방법론을 활용하였으며 물류시설의 입지선정을 위한 프레임워크를 제안했다.

시설 입지 결정을 위한 방법론으로 AHP 방법론 외 Facility Location Problem(FLP) 문제를 위한 다양한 최적화, 휴리스틱 방법론 연구도 진행되었다. 오성록 외 3인 (2011)은 Steiner Tree 이론을 기반으로 무게중심법을 활용한 클러스터링을 통해 거점에 대한 가중치를 구하고 GOSST(Grade Of Services Steiner Minimum Tree)을 활용하여 S사의 미국 물류센터 입지 거점을 선정하였다. 이향숙 외 2인 (2017)은 지역의 무인택배함의 최적 입지 선정하는 방안을 제시하였다. 이를 위해서 무인택배함의 입지조건을 설정하고 설치 개수를 결정하여 최적의 설치 입지를 선정하는 프로세스를 순서대로 결합한 방법론을 활용하였다.

Mohammad Mahdi Nasiri et al. (2018)은 최대 수익 및 시장 점유율을 높이고 고객의 수요를 충족시키기 위한 신규 시설 수와 입지를 결정하는 문제를 연구하였다. 두 가지 모델에 대해서 분석을 진행하였으며, 첫째, 전체 수요를 만족하는 입지 결정 문제와 둘째, 부분적 수요를 만족하는 입지 결정 문제에 관해 연구하였다. 두 모델을 해결하기 위해 bi-level genetic algorithm 활용하였으며 결과적으로 부분적 수요를 충족하는 것이 시설의 용량 활용을 극대화할 수 있음을 제안하였다.

Seyed Mahdi Shavarani et al. (2019)는 도심지역에서 드론 배송을 위해 드론 출발지와 연료 보급지 입지선정 연구하였다. 퍼지 변수를 고려하여 혼합정수계획법 모형을 제안했으며 연구 문제의 비선형성 때문에 휴리스틱 방법으로 진화알고리즘(Genetic Algorithm: GA)을 제안하였다.

## 2.2 물류 네트워크 관련 연구

공급사슬(Supply Chain)을 구성하는 요소들인 공급, 생산, 물류센터, 고객과 이들 간의 상품이

전달되는 경로를 결정하는 물류 네트워크 설계는 기업의 운영 효율화 및 경쟁력 확보를 위해 매우 중요한 의사결정 문제이다 (안영호, 2010).

한용호 (2010)은 역물류 공급 사슬 환경 속에서 회수, 해체, 처리 센터와 제조, 리사이클링, 폐기업체들이 존재하는 네트워크 구조에서 총 수송비용을 최소화하는 MIP 모델을 제안하였다. 또한, 부분문제로 분할하여 해의 탐색 공간의 범위를 감소하는 협력적 공진화 알고리즘을 제안하였다.

안영호 외 2인 (2010)은 한 기업의 물류 네트워크 최적화를 위해 MIP 모델을 제시하였으며, 분석 결과, 제조센터 및 배송센터의 비용이 감소됨을 제시하였다. 그리고 택배 거점을 추가적으로 증설하는 시나리오를 분석하여 A사의 물류 네트워크 최적화 방안을 제시하였다.

김승현 외 1인 (2014)은 도심지 대형 마트의 온라인 주문을 효과적으로 배송하기 위해 경험에 기반한 기존 배송 경로와 다익스트라(Dijkstra Algorithm)을 통한 배송 경로를 비교 분석하였다. 부덕 결과 기존 배송 경로보다 다익스트라 알고리즘을 통한 배송 경로로 변경 시 하루 이동 평균 15% 감소 평균 시간은 35% 감소시킴을 도출하였다. 이민규 외 1인 (2016)은 도시 내 Last-mile 배송 효율화를 위해 거점 효율화와 운송수단 효율화 방안에 관해 연구하였다. ArcGIS를 활용하여 여의도 지역의 시나리오별 분석을 진행하였으며, 분석 결과 이동 거리와 연료소모량 측면에서는 거점 효율화 방식이, 소요시간과 CO2 배출량 측면에서는 거점 및 운송수단 효율화 방안이 좋은 대안으로 평가되었다. Simoni et al. (2018)은 도시 물류에서 통합 물류센터의 운영은 도시 물류에 따른 부정적인 영향을 감소시킬 수 있음을 제시하였으며, UCC(Urban Consolidation Center)를 위한 메타휴리스틱 방법인 유전자 알고리즘을 기반으로 UCC의 입지선정을 결정하고 Memetic 알고리즘을 활용

하여 차량별 최적 경로를 선정하였다. 이 외에도 도심 배송의 신속성과 신뢰성을 달성하기 위해 박진희 외 1인 (2016)은 배송 시간을 줄이기 위해서는 물류시설 간 연결이 필요함을 강조하였다. 이를 위해 AHP 분석을 통해 물류시설 간 입지선정 기준의 중요도를 분석하였다. 분석 결과 중앙 거점은 교통, 비용, 수요 순으로 나타났으며, 지역 거점은 수요, 비용, 교통 순으로 산출되었다.

Yong Wang et al. (2017)은 물류 서비스 제공자들의 협력을 통한 2단계 공동 물류 네트워크 구조에 대해 제안하였다. 네트워크 최적화를 위해 선형 계획 모델과 IACO (Improved Ant Colony Optimization)을 제안하였으며 사례 분석을 통해 연구 제시하는 공동 물류 네트워크 구조가 네트워크 참여자들에게 좀 더 많은 이익이 분배될 수 있음을 증명하였다. Xiaofeng Xu et al. (2020)은 물류 네트워크 공유를 위한 총비용과 소요 기간을 고려할 뿐만 아니라 자원의 효율적 활용을 고려한 자원 할당 모델을 개발하였다.

### 2.3 사회연결망 분석 관련 연구

사회연결망 분석(Social Network Analysis)은 개인이 구분되는 개체들의 집단과 개별 개체 간의 연결 및 자원의 교류에 관해 분석하는 기법이다 (Mueller et al., 2008; Haythornthwaite, 1996). 네트워크의 구조적 특성을 파악하거나 네트워크의 구조에 따라 노드 및 연결상태가 어떠한 영향을 받는지에 대한 연구가 진행되고 있다 (박시영, 2018).

국승용 (2007)은 산지-물류센터-소비자 간의 환적모형과 사회연결망 분석을 활용하여 농수산물센터 입지 결정에 관해 연구하였다. 분석 결과, 농수산물 물류센터의 입지 특성 분석 및 거래비중에 따른 물류센터의 영향도, 기능의 정

도가 중요함을 도출하였다. 송지현 (2013)은 경기도 내 농수산물 도매시장의 적정 입지선정에 있어 사회연결망 분석을 활용하였으며, 분석 결과, 농산물 물동량 비중에 따라 네트워크 중심성이 높은 것을 도출하였다. 특히, 중심성이 높으면서 농수산물 시장이 없는 평택시, 화성시, 용인시 등이 농수산물 도매시장의 적정 입지로 제안하였다. 박경옥 외 2인 (2014)는 사회연결망 분석을 활용하여 부산 방문객의 이동 흐름을 분석하였으며 부산지역을 총 4개의 구역으로 구분하였다. 분석 결과, 해운대 해수욕장 포함된 구역(D)과 자갈치 시장이 포함된 구역(C)이 연결 중심성, 매개 중심성, 근접 중심성이 가장 높은 것으로 나타났으나, 그 외 지역은 B, C지역과 연결 중심성이 낮음을 분석했다. 이를 통해 편중성이 강한 지역을 Hub and Spoke 방식을 활용한 다른 지역과의 연계 관광 개발 전략 수립을 제안하였다. 이지민 외 1인 (2018)은 SNA를 활용하여 국내 농산물 물류 네트워크 분석과 물동량의 시계열 분석을 통해 국내 농산물 시장의 특성과 변화를 분석하였다. 분석 결과를 활용하여 향후 농수산물 전용 물류센터, 도매시장 활성화 계획에 활용이 가능할 것으로 판단하였다.

물류시설의 입지선정 및 물류 네트워크 최적화 문제 등은 다양한 연구자들에 의해 연구되었으며, 동시에 AHP, 혼합정수계획, 메타휴리스틱 방법 등 다양한 분석방법 제안했다. 하지만 SNA를 활용한 연구에서는 각 노드의 중심성을 분석한 연구가 주를 이루고 있으며, 분석 이후 결과를 실제 물류 서비스에 활용하기 위한 방법을 제안한 연구는 부족하다. 이에 본 연구에서는 SNA를 통해 각 후보 노드의 중심성을 분석한 뒤 시뮬레이션 분석을 통해 향후 운영방안을 제시했다는 점에서 기존 연구들과 차별점을 갖는다.

### III. 연구 문제 및 모델 설명

#### 3.1 연구문제 정의

본 연구에서는 향후 환상형 고속도로인 수도권 제1순환고속도로에 스마트톨링 시스템 도입에 따라 발생하는 유희부지를 공유물류센터로 전환하고, 이를 기반으로 수도권 내 간선 물류 서비스 운영을 위한 방안으로 다음과 같이 연구 문제를 정의하였으며 일반적으로 물류센터 입지를 선정하기 위해서는 토지가격, 교통량, 이동거리, 접근성 등 다양한 요인들을 고려해야 하지만 본 연구에서는 이동거리와 이동시간만을 고려한 네트워크에서의 공유물류센터 입지 분석을 실시한다.

현재 수도권 제1순환고속도로에는 총 8개의 요금소가 위치해 있다. 그러나 일부 요금소의 경우, 시설이 분리형 구조를 가지고 있어, 차량 진출입을 위한 구조적인 문제가 존재하며, 유희부지의 면적 역시 최소 요구 조건인 30,000㎡를 만족하지 못한다. 따라서, 아래 <표 1>과 같이 통일로 요금소를 제외한 나머지 7개 요금소를 후보지로 설정하였다.

택배의 간선 네트워크 설계를 위해서는 O-D (Origin-Destination) 설계가 필요하다. 수요지 노

<표 1> 공유물류센터 요금소 후보지

No.	요금소	위치	가용 면적	가능 여부
1	의왕청계	의왕시	30,975㎡	○
2	성남	성남시	35,051㎡	○
3	구리 남양주	구리시	44,913㎡	○
4	불암산	남양주시	39,940㎡	○
5	양주	양주시	36,833㎡	○
6	통일로	고양시	10,371㎡	×
7	김포	김포시	25,208㎡	○
8	시흥	시흥시	38,352㎡	○

드를 설정하기 위해서 서울, 인천, 경기 지역 중 수도권 제1순환고속도로에서 10km 이상 벗어나는 지역은 양주시, 양평군 등 수도권으로 고려하기 어려운 지역이 포함되어 있기에 수도권 지역을 10km 내외로 제한하였다. 그리고 실제 물류 네트워크와 유사하게 구성하기 위해 현재 물류 사업을 운영하고 있는 각 지역의 구에 위치한 우체국 위치데이터를 활용하였다.

ArcGIS를 활용하여 분석한 결과 서울은 403개로 가장 많은 우체국이 위치하며 다음으로는 경기 281개, 인천은 72개로 본 연구에서 활용하는 수요지 노드의 개수는 총 756개의 노드를 활용하였다.

<표 2> 지역별 고객 노드 대상지

지역	고객 노드 대상지	
	개수	비율
서울	403	56.3
인천	72	9.5
경기	281	37.2
합계	756	100.0

#### 3.2 분석방법

사회연결망 분석(Social Network Analysis)은 개인 간 상호작용이나 관계분석에서 조직간, 지역 간, 국가 간 관계에서 형성되는 구조적 지위나 지배력을 파악하는 데 널리 사용되고 있다 (송지현, 2013). 최근에는 물류 분야인 해운·항공 네트워크 분석에도 많이 적용되고 있다.

본 연구에서 노드(node)는 고속도로 요금소 후보지와 각 시군의 우체국 위치이며, 각 링크(Link)는 각 수요지에서 6개의 후보지 중 가장 가까운 거리의 후보지로 설정한 후, 연결했다. 각 링크의 길이는 트럭의 이동 거리로 ArcGIS를 통해 데이터를 확보했다. 그리고 본 연구에서는 물류센터의 입지 특성을 분석하기 위해 매개 중

심성(Betweenness Centrality)와 근접 중심성(Closeness Centrality), 아이겐벡터 중심성(Eigenvector Centrality) 그리고 페이지 랭크(Page Rank)를 활용하고자 한다.

### 3.2.1 매개 중심성

매개 중심성은 네트워크 내에서 한 점이 담당하는 매개자 혹은 중재자 역할의 정도를 표현하는 것이다. 한 노드가 네트워크의 구성원들에 대한 실제적인 혹은 잠재적인 중재 역할이 커지게 되며 다른 노드들의 의존성도 커지게 된다(배현준 등, 2017).

매개 중심성은 서로 다른 두 노드를 연결하는 경로의 수 중에서 특정 노드를 경유할 비율로 표현될 수 있다(송지현, 2013). 본 연구에서 매개 중심성이 높은 노드는 노드들 사이의 최단 경로에 위치하고 있는가를 고려할 수 있다. 매개 중심성은  $j$  노드와  $k$  노드를 연결하는 최단 경로의 수를  $g_{jk}$  라하고 그 중 노드  $i$  를 경유하는 연결의 수를  $g_{jk}(p_i)$  라 하면  $C_B$ 는 식(1)과 같다.

$$C_B(p_i) = \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^{j-1} \frac{g_{jk}(p_i)}{g_{jk}} \quad (1)$$

### 3.2.2 근접 중심성

근접 중심성은 한 노드가 네트워크에서 얼마나 중심에 위치하는지를 보여주는 지표이다(박한힘, 박상욱, 2017). 즉 특정 노드가 다른 노드들과의 거리가 얼마나 짧은지를 보는 것으로 다른 노드들과의 거리가 짧을수록 중심성이 높아진다. 본 연구에서는 주어진 노드에서 네트워크 상의 다른 노드로 이동하는데 얼마나 오랜 시간이 걸리는지 나타내는 척도로 간주할 수 있다. 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 까지 최단 거리를  $d(i,j)$ 라고 할 때,  $C_C$ 는 식(2)와 같다.

$$C_C(p_i) = \frac{N-1}{\sum_{k=1}^N d(p_i, p_k)} \quad (2)$$

### 3.2.3 아이겐벡터 중심성

아이겐벡터 중심성은 위세 중심성이라고도 불리운다. 연결 정도 중심성과 마찬가지로 네트워크 내에서 가장 영향력이 있는 핵심 노드를 구별하는데 사용되는 지표이다(임병학, 2012). 연결 정도 중심성은 다른 노드들과의 연결만을 통해 특정 노드의 중심성을 평가하는 반면, 아이겐벡터 중심성은 특정 노드의 고유 중심성뿐만 아니라 해당 노드와 연결된 다른 노드들의 중심성 값을 가중치로 반영해 최종적으로 중심성을 계산한다.  $\lambda$  는 노드  $i$ 의 아이겐 값,  $A_{ij}$ 는 노드  $i$ 에서 노드  $j$ 로의 연결여부,  $v_j$ 는  $j$ 의 아이겐벡터 중심성,  $N$  네트워크 상 노드 개수이다.

$$CE_i = \frac{1}{\lambda} \sum_j^N A_{ij} v_j \quad (3)$$

### 3.2.4 페이지랭크 중심성

페이지랭크 중심성은 구글 검색에서 사용하는 알고리즘으로 사용자가 정보 검색 시, 불필요한 정보와 필요한 정보를 구분하고 연결된 링크에 기반을 뒤서 페이지 중요도를 계산하는 방식이다(김주혜 외 1인, 2014; 이진규 2019).

페이지랭크는 무작위로 웹페이지를 방문할 때 특정 페이지에 도달하는 안정상태의 확률을 의미한다. 즉, 페이지랭크 중심성을 네트워크에 적용하면 어떤 노드가 가장 영향력이 있고 중요한 노드인지 알 수 있다. Degree( $i$ )는 노드  $i$ 에서 생성된 총 링크의 수,  $n$ 은 네트워크 상 총 노드 개수 그리고  $\alpha$ 는 현재 페이지에 만족을 못하고 다른 페이지로 갈 확률이다.

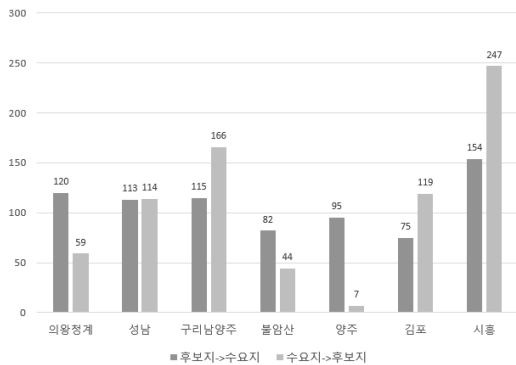
$$PR_i = \frac{(1-\alpha)}{n} + \alpha \sum_{j \in G(i)} \frac{pageRank(j)}{Degree(j)} \quad (4)$$

#### IV. 수치 실험 결과 및 분석

##### 4.1 실험 설정

요금소 후보지 7개와 서울·경기·인천지역의 우체국을 대상으로 수요지 756개를 선정하였다. 네트워크의 링크는 ArcGIS를 활용하여 각 수요지에서 요금소까지 트럭의 이동 거리와 이동 시간을 후보지에서 수요지까지 그리고 수요지에서 후보지까지 각각을 계산하여 가장 가까운 요금소에 할당하였다.

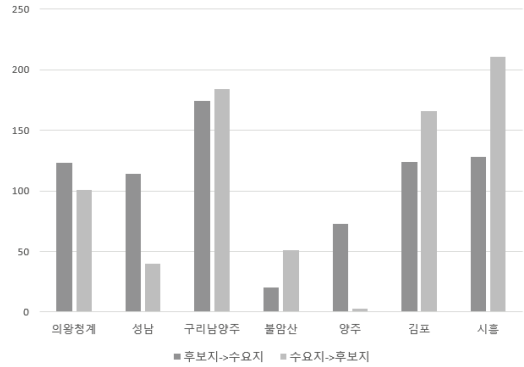
거리 기반 네트워크 구조에서 후보지에서 수요지로 방향 네트워크에서는 시흥(20.4%), 의왕청계(15.9%) 그리고 구리남양주(15.3%)로 나타났으며, 수요지에서 후보지로 방향 네트워크에서는 시흥(32.7%), 구리남양주(22.0%) 그리고 김포(15.7%)으로 나타났다.



〈그림 1〉 거리 기반 네트워크 수요지 할당

또한, 시간 기반 네트워크 구조에서 후보지에서 수요지로 방향 네트워크에서는 구리남양주(23.0%), 시흥(16.9%) 그리고 김포(16.4%)로 나타났으며, 수요지에서 후보지로의 방향 네트워크에서는 시흥(27.9%), 구리남양주(24.3%) 그리고

김포(22.0%)로 나타났다. 네트워크 구성 결과 전반적으로 시흥, 구리남양주 요금소가 많은 수요 노드를 할당받은 것을 알 수 있다.



〈그림 2〉 시간 기반 네트워크 수요지 할당

##### 4.2 중심성 분석

각각의 네트워크를 구성한 후 python 모듈인 networkX를 활용하여 요금소의 매개 중심성과, 근접 중심성, 아이젠벡터 중심성 그리고 페이지랭크 중심성을 분석하였다. 각 네트워크에서 Depots->Nodes는 후보지에서 수요지의 방향으로의 네트워크 구조 Nodes->Depots는 수요지에서 후보지로의 방향 네트워크이다. 각 네트워크를 구분한 이유는 네트워크의 방향에 따라 거리와 시간이 다르기에 분리 구분하였다.

〈표 3〉 거리 기반 네트워크 근접 중심성

요금소	Depots->Nodes(a)	Depots->Nodes(b)	Avg. (a + b)/2	순위
의왕청계	6.856	6.925	6.891	2
성남	5.790	6.136	5.963	6
구리남양주	5.609	5.735	5.672	7
불암산	6.202	5.967	6.085	5
양주	6.452	6.153	6.302	4
김포	6.658	6.515	6.587	3
시흥	6.950	7.054	7.002	1

거리 기반 네트워크 근접 중심성을 분석한 결과 시흥(7.002), 의왕청계(6.891), 김포(6.587) 순으로 나타났으며 거리 기반 네트워크에서 높은 근접 중심성을 보아 타 노드들과의 거리가 짧은 것을 알 수 있다.

거리 기반 네트워크 매개 중심성을 분석한 결과 시흥(0.521), 성남(0.505) 그리고 의왕청계(0.438) 순으로 나타났다. 각 후보지들의 매개 중심성이 높을수록 노드들 간의 연결에서 경유하는 중요한 역할을 할 수 있는 것을 알 수 있다.

〈표 4〉 거리 기반 네트워크 매개 중심성

요금소	Depots-> Nodes(a)	Depots-> Nodes(b)	Avg. (a + b)/2	순위
의왕청계	0.489	0.476	0.438	3
성남	0.506	0.504	0.505	2
구리 남양주	0.470	0.459	0.465	4
불암산	0.352	0.191	0.272	5
양주	0.287	0.106	0.197	7
김포	0.239	0.295	0.267	6
시흥	0.426	0.616	0.521	1

다음은 아이겐벡터 중심성을 분석한 결과이다. 아이겐 벡터 중심성은 시흥(0.668), 의왕청계(0.253) 그리고 김포(0.151) 순으로 나타났다. 시흥과 타 후보지 간의 중심성의 정도의 차이가

〈표 5〉 거리 기반 네트워크 아이겐벡터 중심성

요금소	Depots-> Nodes(a)	Depots-> Nodes(b)	Avg. (a + b)/2	순위
의왕청계	0.313	0.192	0.253	2
성남	0.031	0.014	0.023	5
구리 남양주	0.009	0.004	0.007	7
불암산	0.022	0.004	0.013	6
양주	0.093	0.026	0.060	4
김포	0.167	0.135	0.151	3
시흥	0.647	0.689	0.668	1

큰 것을 알 수 있는데 이는 시흥이 타 후보지보다 많은 노드가 할당되기 때문으로 분석된다.

마지막으로 거리 기반 네트워크 구조에서 후보지별 페이지랭크 중심성은 시흥(0.122), 구리 남양주(0.086) 그리고 성남(0.069) 순으로 나타났다.

〈표 6〉 거리 기반 네트워크 페이지랭크 중심성

요금소	Depots-> Nodes(a)	Depots-> Nodes(b)	Avg. (a + b)/2	순위
의왕청계	0.074	0.039	0.057	5
성남	0.069	0.069	0.069	3
구리 남양주	0.071	0.101	0.086	2
불암산	0.051	0.028	0.040	6
양주	0.060	0.007	0.034	7
김포	0.047	0.073	0.060	4
시흥	0.095	0.149	0.122	1

시간 기반 네트워크 근접 중심성을 분석한 결과 시흥(6.865), 의왕청계(6.181), 김포(6.563) 순으로 나타났으며 시간 기반 네트워크에서 높은 근접 중심성을 갖는 노드들은 타 노드들과의 이동 시간이 짧은 것을 알 수 있다.

시간 기반 네트워크 매개 중심성을 분석한 결과 구리 남양주(0.492), 시흥(0.0486) 그리고 의왕청계(0.480) 순으로 나타났다. 각 후보지들의

〈표 7〉 시간 기반 네트워크 근접 중심성

요금소	Depots-> Nodes(a)	Depots-> Nodes(b)	Avg. (a + b)/2	순위
의왕청계	6.640	6.996	6.818	2
성남	5.609	5.282	5.446	6
구리 남양주	5.429	5.089	5.259	7
불암산	5.718	5.974	5.846	5
양주	6.016	6.465	6.241	4
김포	6.252	6.874	6.563	3
시흥	6.537	7.193	6.865	1



매개 중심성이 높을수록 노드 간의 연결에서 경유하는 중요한 역할을 할 수 있는 것을 알 수 있다.

〈표 8〉 시간 기반 네트워크 매개 중심성

요금소	Depots-> Nodes(a)	Depots-> Nodes(b)	Avg. (a + b)/2	순위
의왕청계	0.485	0.475	0.480	3
성남	0.480	0.360	0.420	4
구리 남양주	0.492	0.491	0.492	1
불암산	0.233	0.241	0.237	6
양주	0.267	0.144	0.206	7
김포	0.332	0.391	0.362	5
시흥	0.411	0.560	0.486	2

다음은 아이젠벡터 중심성을 분석한 결과이다. 아이젠 벡터 중심성은 구리남양주(0.350), 시흥(0.329) 그리고 김포(0.166) 순으로 나타났다. 아이젠 벡터 중심성은 구리남양주와 시흥이 타 후보지와의 중심성의 정도의 차이가 큰 것을 알 수 있는데 이는 구리남양주, 시흥 요금소가 타 후보지보다 많은 노드가 할당되기 때문으로 분석된다.

마지막으로 거리 기반 네트워크 구조에서 후보지별 페이지랭크 중심성은 구리남양주(0.350), 시흥(0.329), 그리고 김포(0.166) 순으로

〈표 9〉 시간 기반 네트워크 아이젠벡터 중심성

요금소	Depots-> Nodes(a)	Depots-> Nodes(b)	Avg. (a + b)/2	순위
의왕청계	0.076	0.063	0.070	4
성남	0.069	0.024	0.047	5
구리 남양주	0.107	0.113	0.110	1
불암산	0.013	0.032	0.023	7
양주	0.046	0.004	0.025	6
김포	0.076	0.102	0.089	3
시흥	0.079	0.128	0.104	2

나타났다.

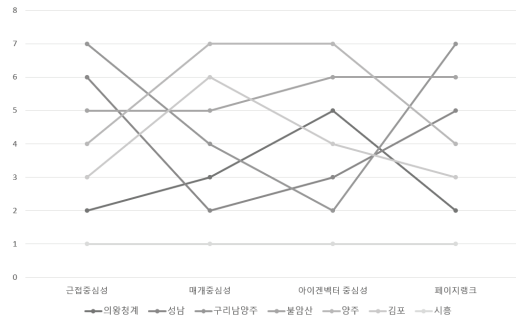
〈표 10〉 시간 기반 네트워크 페이지랭크 중심성

요금소	Depots-> Nodes(a)	Depots-> Nodes(b)	Avg. (a + b)/2	순위
의왕청계	0.026	0.183	0.105	4
성남	0.166	0.006	0.086	5
구리 남양주	0.697	0.002	0.350	1
불암산	0.026	0.004	0.015	7
양주	0.009	0.045	0.027	6
김포	0.015	0.317	0.166	3
시흥	0.020	0.638	0.329	2

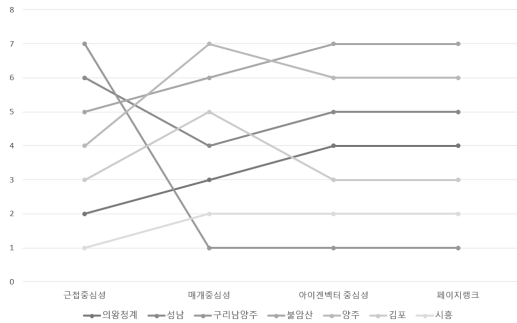
### 4.3 종합 분석

앞선 분석에서 사회연결망 분석 중 근접 중심성, 매개 중심성, 아이젠벡터 중심성 그리고 페이지 랭크 중심성을 분석하였다. 하지만 각 방법에 따라서 중심성을 계산하는 방식이 다르기에 각 중심성의 값을 비교하는 것은 의미가 없으므로 각 중심성의 값의 편차 또는 순위로 분석을 실시하였다.

각 네트워크 후보지의 중심성 순위를 분석한 결과는 <그림 3>과 <그림 4> 와 같이 나타났다. 거리 기반 네트워크에서는 시흥 요금소가 평균적으로 순위가 높아 가장 좋은 후보지로 나타났으며, 다음으로는 의왕청계요금소, 김포, 성남



〈그림 3〉 거리 기반 네트워크 후보지별 중심성 순위



〈그림 4〉 시간 기반 네트워크 후보지별 중심성 순위

요금소는 유사한 결과를 나타냈다.

다음으로 시간 기반 네트워크 구조에서는 시흥 요금소의 중심성이 평균적으로 가장 높음으로 나타났으며, 다음으로는 구리남양주 요금소가 높은 순으로 나타났다. 구리남양주 요금소의 경우에는 근접 중심성이 순위가 매우 낮게 나와 시흥 요금소에 비해 중심성 순위가 낮지만 그 외 중심성에서는 높은 것으로 나타났다.

다음 <표 11>은 각 네트워크 중심성의 평균과 표준편차를 분석한 결과이다. 분석 결과 앞선 후보지별로 순위의 차이는 있으나 후보지별 네트워크 구조에서 편차가 크지 않음을 알 수 있다.

종합 분석 결과, 시흥 요금소, 구리남양주 각 네트워크 구조에서 높은 중심성을 나타냈으며, 시간 우선, 거리 우선 등 물류·유통 기업의

〈표 11〉 각 네트워크의 평균, 표준 편차 분석

구분	거리 기반 네트워크		시간 기반 네트워크	
	평균	편차	평균	편차
근접 중심성	6.36	0.46	6.15	0.60
매개 중심성	0.38	0.12	0.38	0.11
아이젠벡터 중심성	0.067	0.028	0.067	0.033
페이지 랭크	0.17	0.22	0.15	0.13

우선순위와 특성에 따른 후보지를 활용할 수 있을 것이다.

## V. 결론

온라인 쇼핑 시장의 성장과 언택트 경제의 등장으로 인해 전 세계적으로 물류 시장은 급속한 성장을 하고 있다. 이와 동시에 증가하고 있는 물동량을 처리하기 위해 물류·유통기업에서는 물류시설을 확보하기 위해 노력하고 있다.

2019년 국내 택배 물동량의 약 60%는 수도권(서울, 인천, 경기)에서 발생하고 있으며, 물류·유통 기업에서는 수도권 내 물동량을 처리하기 위해 수도권 인근에 대형 물류시설을 확보하거나 지방권에 허브앤스포크(Hub&Spoke) 방식을 활용한 메가 허브 터미널 또는 도심 내에 마이크로 풀필먼트센터를 활용한 물류 네트워크를 구축하고자 한다. 그러나 현재 급격하게 증가하고 있는 물동량을 처리하고 수도권 인근에 더 많은 물류시설을 확보하고자 하지만 높은 임대료와 인근 주민의 민원으로 인해 쉽지 않은 실정이다.

최근 국토부가 발표한 ‘제1차 국가도로종합계획’에 따르면 기존 고속도로를 AI, 자율주행 등 스마트 고속도로로 변화를 위한 계획을 세웠다. 주요 개발계획 중, 기존 요금소에 스마트톨링시스템(Smart Tolling System) 도입을 계획하고 있으며, 요금소 인근에 유희부지가 발생하고 이를 효율적으로 활용할 방안이 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 스마트톨링시스템 도입으로 환상형 고속도로인 제1순환고속도로(구:서울외곽순환고속도로) 요금소에 발생하는 유희부지를 공유물류센터로 활용하여 수도권 물류 서비스 효율화 및 운영방안에 관해 제안하고자 한다.

본 연구 분석을 위해 제1순환고속도로 7개 요금소와 우체국 위치 데이터를 활용하여 고객 노

드를 선정하고 후보지와 수요지 간의 관계를 사회연결망 분석(SNA)를 활용하여 분석하였다. 분석 결과, 거리 기반 네트워크 및 시간 기반 네트워크에서 시흥 요금소와 구리남양주 요금소가 높은 중심성을 나타냈으며 이를 통해 향후 물류센터로 활용할 시 활용가치가 있음이 나타났다. 하지만 각 네트워크 내에서 후보지 간 중심성의 표준편차가 크지 않다는 것을 알 수 있었다.

본 연구에서는 스마트톨링시스템 도입으로 발생하는 유희부지를 공유물류센터로 활용함으로써 부족한 물류시설을 확보하여 수도권 내 물류 서비스 향상 및 운영방안에 대해 제시하였다. 또한, 그동안 개별 노드의 중심성 측정과 비교에만 집중되어 있던 기존 연구에서 벗어나, 노드의 중심성을 평가하고 도출된 결과를 물류센터 입지선정에 활용할 수 있는 구체적인 방안을 제시하였다. 그러나, 본 연구의 사회연결망 분석에 활용된 데이터가 실제 물동량이 아닌 트럭의 이동 거리에 기반한 분석 결과라는 한계점을 가진다. 향후 연구에서는 단순 이동 거리뿐만 아니라 물동량, 인구, 주변 물류센터 입지 등 다양한 요인들을 동시에 고려할 필요가 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] 김승현, 배상훈, “효율적 배송체계 구축을 위한 배송 경로 비교분석 연구: 도심지 대형 온라인 마트 배송 차량 중심으로”, 한국 ITS 학회 학술대회, pp. 329-331, 2014.
- [2] 박경옥, 김인신, 류지호, “Hub-and-spoke 관광개발을 위한 Network 분석: 부산지역을 중심으로”, 관광연구, 제29권, 제3호, pp 1-20, 2014.
- [3] 박시영, 서용원, “공급사슬 네트워크 노드 수준 척도 측정에 관한 연구”, 전자무역연구, 제16권, 제1호, pp 43-67, 2018.
- [4] 박진희, 문하연, “전자상거래 환경을 고려한 위계별 물류시설의 최적 입지 선정에 관한 연구에 측배송시스템 관점에서”, 로지스틱스 연구, 제24권, 제4호, pp 41-59, 2016.
- [5] 박한힘, 박상욱, “사회연결망 분석기법(SNA)을 활용한 기후변화 분야 공동연구네트워크 분석”, 사회과학논총, 제19권, pp 177-205, 2017.
- [6] 배현준, 박용화, 김영인, “아시아 주요공항의 저비용항공사 네트워크 분석”, 대한교통학회지, 제35권, 제3호, pp 247-259, 2017.
- [7] 송지현, “연결망분석을 통한 경기도 농수산물 도매시장 적정 입지 선정”, 한국산학기술학회 논문지, 제14권, 제3호, 1123-1134, 2013.
- [8] 안영효, 오승철, 김정혁, “물류네트워크 설계 방법 및 적용 사례에 관한 연구”, POSRI 경영경제연구, 제10권, 제1호, pp. 61-87, 2010.
- [9] 양광모, “AHP를 활용한 물류센터 입지 선정 요인 분석에 관한 연구”, 대한안전경영과학회, 제13권, 제2호, pp. 129-135, 2011.
- [10] 오성록, 김연진, 차주일, 이홍철, “GIS와 GOSST를 이용한 물류센터의 입지선정에 관한 연구”, Journal of Information Technology Applications & Management, 제18권, 제4호, pp. 81-93, 2011.
- [11] 이민규, 박진희, “도심형 집배송센터와 자전거리를 활용한 단말물류 효율화 방안의 기대효과 관한 연구”, 물류학회지, 제26권, 제3호, pp. 15-24, 2016.
- [12] 이지민, 오윤경, “농산물 물류 네트워크의 변화 및 중심성 분석”, Journal of Korea Planning Association, 제53권, 제1호, pp. 105-122, 2018.
- [13] 이향숙, 진무위, 추상호, “무인택배함의 최적 입지 선정을 위한 방법론 개발”, 한국 ITS 학회 논문지, 제16권, 제4호, pp. 13-24, 2017.
- [14] 한용호, “역물류 네트워크 모델의 최적화를 위한 협력적 공진화 알고리즘”, 해운물류연구, 제27권, 제3호, pp. 15-31, 2010.

[15] Haythornthwaite, C., Social “Network Analysis: An Approach and Technique for the Study of Information Exchange”, Library Information Science Research, Vol. 18, No. 4, pp. 323-342, 1996.

[16] Jianxin Wang, Ming K. Lim, Ming-Lang Tseng, Yu Yang, “Promoting low carbon agenda in the urban logistics network distribution system”, Journal of Cleaner Production, Vol. 211, pp. 146-160, 2019.

[17] Michele D. Simoni, Pavle Bujanovic, Stephen D. Boyles, Erhan Kutanoglu, “Urban consolidation solutions for parcel delivery considering location, fleet and route choice”, Case Studies on Transport Policy, Vol. 6, No. 1, pp. 112-124, 2018.

[18] Mohammad Mahdi Nasiri, Vahid Mahmoodian, Ali Rahbari, Shabnam Farahmand, “A modified genetic algorithm for the capacitated competitive facility location problem with the partial demand satisfaction”, Computers & Industrial Engineering, Vol. 124, pp. 435-448, 2018.

[19] RAE Mueller, D Buergelt, L Seidel-Lass, “Supply chains and social network analysis”, pp. 411-419, 2008.

[20] Rajesh Kr Singh, Nikhil Chaudhary, Nikhil Saxena, “Selection of warehouse loaction for a global supply chain:A case study”, IIMB Management Review, Vol. 30, No.4, pp. 343-356, 2018.

[21] Seyed Mahdi Shavarani, Sam Mosallaeipour, Mahmoud Golabi, Gökhan İzbirak, “A congested capacitated multi-level fuzzy facility location problem: An efficient drone delivery system”, Computers & Operations Research, Vol. 108, pp. 57-68, 2019.

[22] Thomas. Saaty, “The Analytic Hierarchy

Process”, McGraw-Hill, New York, 1980.

[23] Xiaofeng Xu, Jun Hao, Yao Zheng, “Multi-objective artificial bee colony algorithm for multi-stage resource leveling problem in sharing logistics network”, Computers & Industrial Engineering, Vol. 142, pp. 106338, 2020.

[24] Yong Wang, Xiaolei Ma, Mingwu Liu, Ke Gong, Yong Liu, Maozeng Xu, Yin Hai Wang, “Cooperation and profit allocation in two-echelon logistics joint distribution network optimization”, Applied Soft Computing, Vol. 56, pp. 143-157, 2017.

## 저자 소개



### 공 인 택(InTaek Gong)

- 2013년 2월 : 인천대학교 무역학과(무역학사)
- 2015년 2월 : 인천대학교 동북아물류대학원 (물류학 석사)
- 2021년 2월 : 인천대학교 동북아물류대학원 (물류학 박사)
- 2021년 3월~현재 : 인천대학교 국제물류유통 BK교육연구팀 박사 후 연구원
- 관심분야 : 물류 및 SCM, 빅데이터, 수요예측



### 신 광 섭(KwangSup Shin)

- 2003년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학사)
- 2006년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 서울대학교 산업공학과 (공학박사)
- 2012년 2월~현재 : 인천대학교 동북아물류대학원 교수
- 관심분야 : 빅데이터, 물류 및 SCM, 위험 관리