

인간 이동패턴과 COVID-19 전염병 확산의 역학관계 분석

오현근, 김민경 *

경희대학교 경영학과, *경희대학교 빅데이터응용학과

{ohhyunkeun, minkkim}@khu.ac.kr

A Study on Dynamics of COVID-19 Spread based on Human Mobility Patterns

Hyunkeun Oh and Minkyung Kim *

Kyung Hee University

요 약

COVID-19의 팬데믹 상황이 장기화됨에 따라 전세계적으로 전염병 확산 예측을 위한 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 국내에서 인간의 이동패턴과 전염병 확산 간의 역학관계를 분석한 사례는 아직 부족하다. 이에 본 연구는 시공간 빅데이터에 내재되어 있는 창발적 사회현상의 역학관계를 위상학적 인간이동 패턴과 시계열 확산 곡선을 중심으로 분석하고자 한다.

I. 서 론

현재까지도 전국의 COVID-19(코로나바이러스감염증-19) 일일 확진자 수가 2022년 12월 31일 기준 6만여 명으로 여전히 많은 확진 사례가 보고되고 있다[1]. COVID-19가 팬데믹에 이르는 급격한 전파 속도를 보이는 것은 감염자와의 직·간접적 접촉과 전파가 용이한 호흡기 감염병의 특성 때문인 것으로 보고된 바 있다[2]. 이러한 직·간접적 접촉은 인간의 이동패턴 및 소셜 네트워크에 기인하며, 상이한 전염성 질병 확산 예측에 이를 적용하고자 하는 연구가 다양한 학문 분야에서 진행되어 왔다[3,4].

이에, 본 연구는 시공간 빅데이터에 내재되어 있는 인간의 이동패턴과 전염병 확산 간의 역학관계를 면밀히 분석하고자 한다. 이를 위해 서울시에서 제공하는 약 3년간의 서울 생활 이동 데이터(서울시 25개 행정 자치구 단위 유동인구 이동량 기록)와 동일기간 COVID-19 일일 확진자 수 데이터를 이용한다. 또한, 데이터 수집기간 동안의 확진자 수 추이에 기반하여, 전염병 유행 단계를 크게 세 단계로 구분하고, 각 단계별 역학관계를 관찰하여 비교·분석한다.

분석결과, 전염병 유행 단계별 인간의 이동패턴은 크게 변화하지 않았으며, 특히 출퇴근과 같은 규칙적 이동패턴이 전염병 확산의 중요한 요인임을 확인하였다. 이 연구 결과는 향후 시공간 데이터로부터 창발현상을 예측하는 연구들의 근거자료로 활용될 수 있을 것이라 기대한다.

II. 데이터 수집 및 전처리

인간 이동패턴과 COVID-19 확산의 역학관계 분석을 위해 대규모의 교통 시스템과 인구밀도가 집중된 서울시를 분석 대상으로 선정하였다. 이를 위해, 서울시에서 제공하는 서울 생활 이동 데이터[5]와 COVID-19 확진자 발생동향 데이터[6]를 각각 수집하였다.

서울 생활 이동 데이터는 KT사에서 익명처리한 고객들의 이동전화 LTE+5G 시그널을 이용하여 행정 자치구 단위의 유동인구 이동량을 산출한 결과로서, 시공간 정보(출발지, 도착지, 시간)와 인구통계학적 정보(성별, 나이 등)로 구성되어 있다. 한편, COVID-19 확진자 발생동향 데이터는 서울시 행정 자치구별 일일 확진자 수와 누적 확진자 수로 구성되어 있다.

그림 1은 데이터 수집기간의 일일 확진자 발생 동향을 나타낸다. 본 논문에서는 COVID-19 확산 곡선의 급격한 변곡 시점을 기준으로 세 차례의 전염병 유행 단계(3 Waves)로 구분하였으며, 이를 통해 각 단계별로 서울시 유동인구 이동패턴과 전염병 확산 간의 역학관계를 분석하고자 한다.



그림 1. 서울시 COVID-19 일일 확진자 추이

그림 1에서 볼 수 있듯이, 1차 유행(1st Wave)과 달리 2, 3차 유행(2nd & 3rd Waves)은 2022년 대통령 선거와 2022년 8월 여름 휴가철을 중심으로 확진자 수의 급격한 증가 추세를 보인다. 각 유행 단계별 이동패턴 및 COVID-19 확진자 데이터 통계는 표 1과 같다.

표 1. 수집 데이터 기초 통계

단계 Wave	기간	서울시 생활 이동량 (백만)		코로나 19 확진자 수
		자치구 내부 이동 수	자치구 간 이동 수	
1 st	20.2~21.12	7,033	7,083	277,133
2 nd	22.1~22.5	1,194	1,119	3,340,057
3 rd	22.6~22.10	1,382	1,249	1,375,009

III. 실험방법 및 결과

1. COVID-19 확진자 수

앞에서 정의한 전염병 유행단계별 차이를 분석하기 위해, 아래 그림 2와 같이 각 단계별로 25개 서울시 행정 자치구의 거주자 수와 확진 누적자 수의 동향을 확인하였다. 그림과 같이, 1차 유행 단계에서 2, 3차 유행 단계로 진

* 교신저자(Email: minkkim@khu.ac.kr)

행될수록 상관관계가 더욱 강해짐을 알 수 있다. 즉, 전염병의 유행은 시간이 지남에 따라 모든 행정구역에서 거주지 인구 대비 확진자 수가 균일한 비율로 나타나는 것을 의미하며, 이는 행정구역의 지역적 특성의 영향이 미비해지는 것으로 해석될 수 있다.

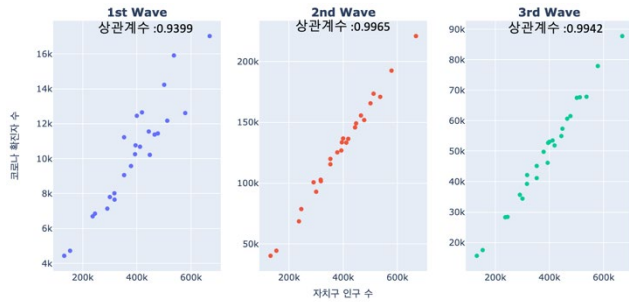


그림 2. 유행단계로 구분한 서울시 자치구별 거주자 수와 COVID-19 확진 누적자 수 분포

2. 인간 이동패턴

또한, 서울시 생활 이동 데이터를 통해 각 유행 단계별로 유동인구의 행정 자치구 간 이동패턴을 분석하였다. 이를 위해 데이터에서 제공한 출퇴근 유형(HW: 야간 주거지→주간 상주지, WH: 주간 상주지→야간 주거지)을 이용하여 그림 3 과 같이 보다 규칙적인 이동패턴을 추출하였다. 서울시 자치구 간 이동패턴은 모든 유행 단계에서 두드러진 차이가 없이 유사하게 나타났으며, 그림 3 은 관측기간이 가장 긴 1 차 유행단계의 이동량을 기준으로 표현하였다. 노드의 크기는 구별 거주자 수에 비례한다.

유행 단계별 인간 이동패턴이 유사함에도 불구하고 그림 1 과 같이 확진자 증감 추이가 다른 것은, COVID-19 확산이 비단 인간 이동패턴에만 기인하는 것이 아니라, 거리두기, 방역패스 해제와 같은 정부 정책의 변화와 대통령 선거, 휴가철과 같은 시간적·계절적 요인 등에 복합적으로 영향을 받을 수 있음을 시사한다.



그림 3. 서울 자치구 간 유동인구의 규칙적 이동패턴

3. 이동패턴과 COVID-19 확산의 역학관계

마지막으로 서울시 자치구 간의 규칙적인 유동인구 이동패턴이 코로나 확산에 미치는 영향을 분석하였다. 이를 위해, 그림 4 와 같이 이동패턴을 반영한 각 행정 자치구별 유입 확진자 수의 기대값과 실제 확진자 수를 비교하였다. 각 자치구별 유입 확진자 수의 기대값 도출식은 다음과 같다.

$$E[A_i] = \sum_j C_j \times \frac{W_{j \rightarrow i}}{W_j} \quad (1)$$

식 (1)에서 A_i 는 행정 자치구 i 로 유입(arrivals)되는 확진자 수를, C_j 는 행정 자치구 j 의 실제 확진자 수(cases)를, $W_{j \rightarrow i}$ 는 행정 자치구 j 에서 i 로의 이동량(weight)을,

$W_j = \sum_k W_{j \rightarrow k}$ 는 행정 자치구 j 에서 유출되는 전체 이동량을 각각 나타낸다.

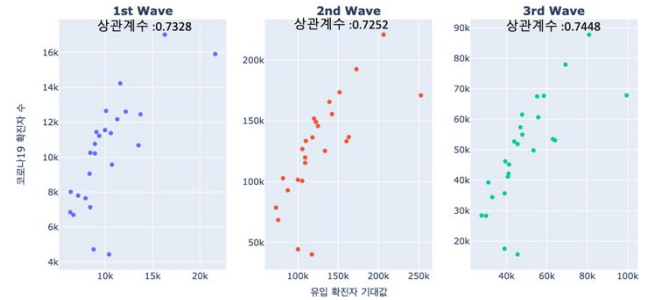


그림 4. 유행단계로 구분한 서울 자치구별 유입 확진자 수의 기대값과 실제 누적 확진자 수 분포

그림 4 가 보여주는 바와 같이, 이동패턴에 기반한 행정 자치구별 유입 확진자 수의 기대값과 실제 확진자 수는 모든 유행 단계에 걸쳐 강한 상관관계가 있음을 알 수 있다. 이는, 인간의 이동패턴이 전염병 확산에 중요한 영향을 미치고 있음을 의미할 뿐만 아니라, 이때의 이동패턴은 불규칙한 이동보다는 출퇴근과 같은 규칙적인 이동에 기인함을 시사한다. 즉, 인간 이동의 규칙적 패턴이 전염병 확산 예측 모델에 고려되어야 하는 중요한 요인임을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 인간의 이동패턴과 전염병 확산의 역학관계를 분석함으로써, 전염병 유행이 장기화될수록 거주자 수와 확진자 수의 비율이 행정 자치구와 상관없이 점차 균등해지며, 인간의 규칙적 이동패턴이 전염병 확산에 중요한 요인이 될 수 있음을 확인하였다.

이에, 향후 연구방향으로서 전염병 확산 예측 모델 수립에 인간의 규칙적인 이동패턴을 적용하고자 한다. 또한, 수도권뿐만 아니라 지방 및 해외 유입인구에 대한 이동패턴도 고려하여 전염병 예측 연구를 진행하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2020R1G1A1011097).

참 고 문 헌

- [1] 서울특별시 코로나 19 확진자 발생 동향 (<https://www.seoul.go.kr/coronaV/coronaStatus.do>)
- [2] 이진희, 박민숙, 이상원, "코로나바이러스감염증-19의 시공간적 확산 패턴 및 지역 간 감염 네트워크 분석", 국토연구 (2021): 43-62.
- [3] M. Kim et al., "Real-world diffusion dynamics based on point process approaches: A review," *Artificial Intelligence Review*, vol. 53, no. 1, pp. 321-350, 2020.
- [4] M. Kim et al., "Modeling stochastic processes in disease spread across a heterogeneous social system," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 116, no. 2, pp. 401-406, 2019.
- [5] 서울 생활 이동 데이터 (<https://data.seoul.go.kr/dataVisual/seoul/seoulLivingMigration.do>)
- [6] 서울특별시 코로나 19 자치구 별 확진자 발생 동향 (<https://data.seoul.go.kr/dataList/OA20470/S/1/datasetView.do>)