

코로나-19 감염증의 확산과 공간적 특성: 숙주, 환경적 요인, 기존 신규 감염병과의 관계*

정보경¹ · 홍성빈¹ · 박소정¹ · 양성준² · 김동현^{3*}

The Outbreak of COVID-19 and Spatial Characteristics: Relationship between COVID-19 and Host, Environment and Nationally Notifiable Infectious Diseases*

Bo-Kyung JUNG¹ · Sung-Bin HONG¹ · So-Jung PARK¹
Seongjun YANG² · Donghyun KIM^{3*}

요 약

본 연구의 목적은 2020년 1월부터 8월까지 발생한 COVID-19 감염증 발생의 공간적 확산의 패턴을 파악하고 영향요인을 추정하고자 하는 것이다. 우리나라 시·군·구별 COVID-19 확진자를 대상으로 탐색적 공간자료분석과 공간회귀모형을 활용하여 분석하였다. 분석의 결과 COVID-19는 기존에 논의되던 감염병 출현의 요인이었던 숙주와 환경요인이 큰 영향을 미치는 것으로 나타나지 않았으며 공간적으로 인접한 지역과의 관계가 높게 나타났다. 특히 신종 감염병인 4군 감염병의 발생 패턴과 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났다. 이 연구의 결과는 COVID-19가 새로운 감염병임에도 불구하고 기존에 발생하였던 신종 감염병의 발생과 전혀 다른 패턴이 아니라는 점을 보여준다. 이는 신종 감염병을 효과적으로 통제하기 위해서 과거 새로운 감염병이 출현하였던 공간의 특성을 지속적으로 관리해야 함을 의미한다.

주요어 : 코로나19, 공간회귀분석, 신규 감염병, 탐색적 공간분석

2022년 03월 01일 접수 Received on March 01, 2022 / 2022년 03월 17일 수정 Revised on March 17, 2022 / 2022년 03월 23일 심사완료 Accepted on March 23, 2022

* 이 논문은 2020 년 한국창의재단(학부생 연구프로그램)과 국토교통부의 스마트시티 혁신인재육성사업으로 지원되었습니다.

1 부산대학교 공과대학 도시공학과 학부과정 Undergraduate Student, Dept. of Urban Planning and Engineering, Pusan National University

2 부산대학교 공과대학 도시공학과 석사과정 Graduate Student, Dept. of Urban Planning and Engineering, Pusan National University

3 부산대학교 공과대학 도시공학과 조교수 Assistant Professor, Dept. of Urban Planning and Engineering, Pusan National University

* Corresponding Author E-mail : donghyun-kim@pusan.ac.kr

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the spatial characteristics and factors in the occurrence of COVID-19 from January 20 to August 30 of 2020. The exploratory spatial data analysis and spatial econometrics model are used. The spatial unit of analysis is 255 si-gun-gu in Korea. As a result of the analysis, COVID-19 infection did not appear to be a significant factors(host and environment) influencing the emergence of existing new infectious diseases, but there was a relationship between spatially adjacent areas and their occurrence. It also showed a close relationship with the outbreak pattern of group 4 infectious diseases, another type of new infectious disease in Korea. The result of this study shows that COVID-19 is not a new pattern of emerging infectious diseases. It means that the properties of the space where new infectious diseases appear must be continuously managed in order to effectively control new infectious diseases.

KEYWORDS : COVID-19, Spatial Regression Model, Emerging Infectious Diseases, Exploratory Spatial Data Analysis

서론

신종 감염병인 코로나 바이러스 감염증-19(COVID-19, Corona Virus Disease 19)는 2019년 12월 중국 우한에서 첫 사례가 나타난 이후 전 세계적으로 급격히 확산되었다. 우리나라는 2020년 1월 20일 국내 첫 확진자가 발생한 이후, 2월 18일 31번째 확진자가 대구지역에서 발생하면서 감염자 수가 증폭되어 74일 만에 1만명을 돌파하였다. 그 이후 8월 15일 광화문 집회를 비롯한 소규모 지역사회 전파가 더해져 전국적으로 확산되었다. 최근 COVID-19는 변이 바이러스의 발생으로 인하여 확산의 양상이 초기와 다른 형태를 보이고 있다. COVID-19는 발생 초기인 2020년에 도시지역을 중심으로 크게 확산되었다. 2020년을 기준으로 우리나라에서는 전체 감염자 중 72%가 대구, 부산, 서울, 인천 등 대도시지역을 중심으로 나타났으며 미국, 유럽, 남미 등에서도 주요 대도시지역을 중심으로 감염자 수가 증가 하였다.

19세기 콜레라의 전세계적 대유행 이후 현대 사회의 진보된 감염병 관리에도 불구하고 최근 나타난 COVID-19 뿐만 아니라 중증 급성 호흡

기 증후군(SARS, Severe Acute Respiratory Syndrome), 신종 인플루엔자 A(Influenza A virus subtype H1N1)에 이르기까지 수많은 신종 감염병이 출현하고 있어 공중 보건에 심각한 우려 대상이 되고 있다(WHO, 2005; WHO, 2014). WHO와 World Bank에 등록된 96개 주요 인간 사망원인 중 29개가 감염병에 해당할 뿐 아니라 전 세계 사망자의 25%가 감염병과 직접적으로 관련이 있다(WHO, 2003). 새로운 감염병의 출현과 확산은 사람의 죽음 뿐만 아니라 현대의 상호 연결된 세계에서 예전 보다 더 큰 사회경제적 영향을 미치고 있다(Keil and Ali, 2007; Jones *et al.*, 2008; WHO, 2014).

특히 급속한 도시화와 무계획적 성장을 경험해온 도시들은 새롭게 발생하거나 재창발하는 감염병에 대해 지금까지 경험하지 못한 형태의 광범위한 영향을 받고 있다(Moore *et al.*, 2003; Neiderud, 2015). 현재의 신규 감염병 출현과 확산은 수많은 변수들 사이에서 복잡한 상호작용을 수반하는 요인들의 수렴 결과이다(Institute of Medicine, 2003; Wilcox and Gubler, 2005). 감염병의 확산과 재확산에 관한 메커니즘을 이해하기 위해서는 자연과 인간 시스템의 특성과 시스템 간 복잡한 상호작용을

이해해야 하는데, 이 문제는 오늘날 사회에서 가장 어려운 도전과제 중 하나이다(Finucane *et al.*, 2014).

도시 및 지역계획, 지리정보 분야에서 감염병과 공중 보건의 관계는 오래전부터 논의되어온 중요한 문제이다(Northridge and Sclar, 2003; Giles-Corti *et al.*, 2016). 19세기 영국에서 Ebenezer Howard에 의해 제안된 전원도시(garden city)는 감염병의 위험으로부터 안전한 주거환경을 만들기 위한 노력이었으며(Clark, 2003), 1854년 런던 콜레라 발병 당시 콜레라 발병의 원인을 찾아낸 John Snow의 연구는 감염병 발생의 원인을 도시의 환경적 요인과 연계한 최초의 공간분석이었다(Brody *et al.*, 2000).

최근 COVID-19 발생에 따라 감염병을 사전 예방, 통제하기 위한 도시의 역량 향상은 중요한 문제로 다시 인식되고 있으며, 감염병 관리를 위한 정책을 도시계획에 통합해야 할 필요성이 제기되고 있다(Alriol *et al.*, 2011; Neiderud, 2015). 특히 도시지역의 인구증가와 고도로 연결된 현대 도시의 등장은 감염병 발생과 확산의 측면에서 잠재적 위험요소가 되고 있다(Neiderud, 2015; Tong *et al.*, 2015).

현재 COVID-19에 대한 대응 방식은 확진자의 이동 동선을 파악하고과 확진자의 방문장소를 바탕으로 방역과 폐쇄를 반복하고 있으며, 예방책으로는 전 국민적 사회적 거리두기를 시행하고 있다. 고강도의 사회적 거리두기는 COVID-19 발생 초기에 있어 추가적 확산을 저지하는데 있어서는 어느 정도 성공적이었으나 이로 인한 경제적 피해와 사회적 관계 감소에 따른 집단적 우울감 등의 문제가 나타나고 있는 것 역시 현실이다.

본 연구는 신규 감염병인 COVID-19 발생의 공간적 패턴이 기존 감염병의 발생 및 감염병 발생의 영향요인과 어떠한 관련성을 가지는가? 라는 질문에서 출발한다. 본 연구는 국내에서 발생한 COVID-19 발생의 초기 확산에 대한 공간적 패턴과 감염병 확산의 영향요인을 파악하고자 하는 것이 목적이다. 연구의 대상은 국내 시·군·구를 대상으로 하였으며 COVID-

19의 변이가 나타나기 전 상태이며 초기의 확산 상태인 1월부터 8월까지를 시간적 범위로 하였다. 공간적 상관관계의 파악에는 탐색적 공간자료 분석을 이용하였으며 기존 감염병 및 영향요인과 COVID-19 확진자 간 관계를 파악하는데 있어서는 공간회귀분석을 이용하였다. 본 연구는 새로운 감염병인 COVID-19 확산과 기존 감염병 그리고 감염병의 영향요인 간 관계를 파악하였다는데 의의가 있다.

선행연구 고찰

신종 감염병에 있어 관련된 많은 연구들은 Bhopal (2002)가 제안한 역학 삼각형(epidemiological triangle)에기반하여 진행되고 있다. 이 삼각형은 신종 감염병에 있어 병원체(agent)가 다양한 전달시스템을 통해 외부 환경으로부터 숙주(host)에 도달하고 숙주 내에서 번식하는 인과 관계를 분석하는데 활용되어온 이론적 모형이다(WHO, 2004).

질병 혹은 감염병과 관련된 도시의 환경은 사람들의 먹을 것과 마실 물, 마시는 공기뿐 아니라 그들이 살고 있는 집과 일터, 가족구성원, 그들이 보건 서비스를 받기 위해 가는 곳, 그들에게 감정적 혹은 재정적 지원을 해줄 사람 등을 포함한다(Galea *et al.*, 2005). Institute of Medicine(2003)은 이러한 환경을 크게 유전 및 생물학적 영역과 물리적 환경 영역, 생태적 영역, 정치 및 사회경제적 영역으로 구분하고 감염병 발생과 연관된 개별요인들은 4가지 영역 중 하나 이상에 포함된다고 설명하고 있다.

감염병 발생에 있어 병원균의 전파 및 진화를 포함하는 과정은 글로벌 규모의 생태계 및 지역 환경변화를 수반한다(Wilcox and Gubler, 2005). 이러한 과정은 전통적으로 생태학 또는 시스템 생태학의 영역이었으나 최근에는 사회 생태적 관점으로 확장되었다(Wilcox and Gubler, 2005; Jones *et al.*, 2017). 사회 생태학적 관점은 복잡하고 대규모인 시스템의 동적 특성(dynamic behavior)을 다루는 것뿐만 아니라 기존에 분리되어있던 생물학과 사회과학 분야를 이론적으

TABLE 1. Previous studies

Factor	Relations	Previsous Studies
Host	Elderly and infants(vulnerable to outbreak and spread)	Lashley (2004), Ahrens <i>et al.</i> (2005)
	Low socioeconomic status, Low accessibility to social infrastructure, and Low nutritional status	Alriol <i>et al.</i> (2011), Rodas <i>et al.</i> (2012)
Agent	Pathogen population and survival period, Innovation of medical technology, Globalization	Hidore <i>et al.</i> (2009), Negev <i>et al.</i> (2015)
Environment	Urbanization, Populatio density, Economic activity, Changes of living standard and lifestyle, Past experience about infectious disease, Management system of government	Patz <i>et al.</i> (2004), Tong <i>et al.</i> (2015)

로 연결을 시도한다(Wilcox and Gubler, 2005). 이러한 관점을 반영하여 감염병 발생과 연관된 환경요인을 설명하는 Wilcox and Colwell (2005)의 Blueprint는 질병 통제 및 공중 보건 정책의 실패뿐만 아니라 전세계에 걸쳐 지리적으로 퍼져나가는 감염병에 대해 인구 통계학적 및 사회적 동인을 강조한다.

인구와 자원소비의 증가는 폐기물 발생과 더불어 토지이용 및 피복변화를 가져왔으며, 이는 지역환경의 변화를 불러왔고 감염병 출현에 중대한 역할을 한다(Wilcox and Colwell, 2005; Wilcox and Gubler, 2005; Wilcox and Ellis, 2006). 이 패턴은 지역마다 다르지만 도시화와 같은 인위적 환경 변화와 다면적인 상호작용에 의한 생태계의 변형을 가져오며 병원균과 동물 숙주, 인간 집단에 영향을 주는 피드백을 생산할 수 있다(Wilcox and Colwell, 2005; Wilcox and Gubler, 2005; Semenza *et al.*, 2013). 이러한 숙주-병원체 관계의 변화는 새로운 숙주로 병원체 유출(pathogen spillover)과 병원체에 의한 급속한 적응, 신규 또는 재발 감염병을 야기하는 신규 병원균의 변이체의 빈번한 생성은 물론 그 범위의 확대, 그리고 기존 질병들의 유행 강도와 빈도 증가를 촉진시킨다(Finucane *et al.*, 2014).

감염병 발생에 있어 도시특성과 연계된 요인은 다수의 선행연구에서 제시되고 있는데, 표 1은 이러한 선행연구를 토대로 도시특성과 연계된 감염병 발생 원인을 숙주, 병원, 환경의 세 요인으로 구분하여 정리한 것이다. 먼저 숙주

요인의 경우, 연령, 면역력 등 생물학적·체질적 요소뿐 아니라 사회경제적 상태와 밀접한 관계가 있다. 다음으로 병원 요인의 경우, 병원체와 매개체의 개체 수 및 생존기간 분포범위 등이 변화함에 따라 병원 요인이 강세를 보일 수 있다. 이러한 변화에는 환경 요인의 변화가 주요한 원인으로 작용한다. 마지막으로 환경 요인의 경우, 도시화와 같은 토지이용의 변화, 기반시설의 위생 및 안정성과 같은 물리적 요인과 기후와 같은 생태적 요인 뿐 아니라 관리역량, 감염병에 대한 과거의 경험 등으로 구성된다.

본 연구는 이러한 이론적 논의 및 선행연구에 바탕을 두고 최근 등장한 COVID-19에 대해 분석을 시도한다. 많은 기존 연구들은 감염병의 확산이 공간적인 현상으로 나타남에도 불구하고 이를 고려하고 있지 않다. 본 연구는 COVID-19의 확산에 있어 기존에 논의되던 요인을 바탕으로 기존의 신규 감염병과 COVID-19의 공간적 연관관계를 고려하였을 때 그 영향관계가 어떠한가를 파악하는데 초점을 둔다. COVID-19의 병원 요인은 아직 그 형태가 밝혀지지 않아 제외하였다.

연구방법 및 자료

본 연구의 공간적 범위는 우리나라를 대상으로 하며 시간적 범위는 2020년 1월 20일부터 8월 30일까지로 한다. COVID-19 확진자에 관련된 자료는 질병관리청 및 각 시·도의 홈페이지를 통해 수집하여 활용하였다. 기존 감염병과 관련된 자료 및 숙주, 환경적 요인은 2010년을

기준으로 통계청에 발표된 자료를 활용하였다. 기존 감염병과 관련된 자료는 질병관리청에서 수집하여 통계청에서 발표된 2016년과 2017년의 자료를 이용하였다. 본 연구의 공간적 분석 단위는 제주도, 용진군, 울릉도를 제외한 225개 시·군·구로 설정하였다.

본 연구는 두 가지 방법을 통해서 수행한다. 첫째, COVID-19가 기존 법정 감염병(1종~4종)의 공간적 패턴과 유사성을 GIS를 이용하여 분석한다. 공간적 상호 관련성은 Anselin(1995)가 제안한 탐색적 공간자료분석 기법 중 Moran' s I를 이용한다(식 1, 식 2). Moran' s I는 공간의 다양한 속성의 집중 형태를 통계적으로 파악할 수 있는 방법으로 최근 감염병 관련 연구에서도 활용되고 있다. 기존 감염병의 공간적 패턴을 파악하고 영향요인을 분석한 Kim(2021) 연구에서도 Moran' s I를 활용한바 있다. 전역적 Moran' s I의 값은 -1에서 +1 사이의 값을 가지며 +1에 가까울수록 양의 공간적 자기상관성을 -1에 가까울수록 음의 공간적 자기상관성을 의미한다. 국지적 Moran' s I의 값은 클러스터 맵으로 표현되며 자신의 값과 주변 값의 특성에 따라 HH(High-High), LL(Low-Low),

HL(High-Low), LH(Low-High)로 구분된다. 통계적으로 유의미하지 않은 경우 Not significant로 표기된다.

분석에 이용할 수 있는 공간 가중치는 다양한 형태로 구성가능하나 본 연구의 경우 자료가 구성되는 형태가 행정구역(시·군·구)으로 적용의 한계가 존재한다. 시·군·구와 같이 불규칙한 다각형 모형을 지닌 공간단위의 경우 잠재적인 부정확성을 처리하기 위해 Queen Contiguity 방식을 이용한다(Choi *et al.*, 2003). 따라서 본 연구의 모형에서는 Queen Contiguity 방법의 가중치를 이용하였으며 횡단표준화 하였다. 둘째, COVID-19의 공간적 확산과 관련해 기존의 감염병 발병자료와 숙주 및 환경요인을 고려한 공간계량분석을 수행하였다. 공간계량모형은 크게 공간자기회귀모형과 공간오차모형으로 구분되며 이 두 모형은 식 3 및 식 4와 같다.

전역적

$$Moran' s I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

TABLE 2. Variables and indicators related to infectious disease

Factor	Type	Indicator	Variables	Source
Host	Biological	Vulnerable group	Number of people above 65 years(H1)	Statistics Korea
			Number of people under five years (H2)	Statistics Korea
	Behavioral	Economic status	Number of welfare recipients(H3)	Statistics Korea
		Educational status	Number of people below education level of primary school(H4)	Statistics Korea
	Physiological	Individual immune system and resilience	Rate of unmet medical need(H5)	Statistics Korea
Socioeconomic		Crowdedness	Population density(E1)	Statistics Korea
		Financial status of local government	Financial self-sufficiency(E2)	Statistics Korea
		Management capacity	Number of residents per public official (E3)	Statistics Korea
	Environment	Cohesion of local society	Rate of participation in civic activities (E4)	Statistics Korea
		Ecological	Temperature	Days of daily average maximum temperature ≥ 25°C between 2000-2010(E5)
	Precipitation		Days of daily average precipitation ≥ 80mm between 2000-2010(E6)	Korea Meteorological Administration

TABLE 3. Nationally notifiable infectious diseases(Group 1-4)

Group	Characteristics	Diseases
G1	Airborne or foodborne (epidemics); Immediate notification (n=6)	Cholera, typhoid, paratyphoid, bacterial dysentery, E coli hemorrhagic colitis, hepatitis A
G2	National vaccination coverage (n=12)	Diphtheria, whooping cough, tetanus, measles, epidemic parotitis (mumps), rubella, polio, hepatitis B, Japanese encephalitis, chickenpox, Haemophilus influenza type b (Hib), pneumococci
G3	Monitoring of continued occurrence of intermittent outbreaks; Establishment of control measures (n=22)	Malaria, tuberculosis, Hansen's disease, scarlet fever, meningococcal meningitis, legionellosis, vibrio sepsis, typhus fever, endemic typhus, tsutsugamushi, leptospirosis, brucellosis, anthrax, rabies, hemorrhagic fever, influenza, acquired immunodeficiency syndrome (AIDS), syphilis, Creutzfeldt-Jakob disease (CJD) and variant Creutzfeldt-Jakob disease (vCJD), hepatitis C, vancomycin-resistant staphylococcus aureus (VRSA) with yellow colonies infection, carbapenem-resistant Enterobacteriaceae (CRE) infection
G4	Surveillance of new community-based outbreaks or cases from inbound travelers (n=20)	Pest, yellow fever, dengue fever, viral hemorrhagic fever (Marburg hemorrhagic fever, Lassa fever, Ebola virus disease), smallpox, botulinum toxin, severe acute respiratory syndrome, animal influenza human infections, novel swine-origin influenza A (swine flu), tularemia, Q fever, West Nile fever, new infectious disease syndrome, Lyme disease, tick-borne encephalitis, melioidosis, Chikungunya fever, Severe Fever with Thrombocytopenia Syndrome (SFTS), Middle East Respiratory Syndrome (MERS), Zika virus infection

$$\text{국지적 Moran's } I = (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (2)$$

(x_i, x_j : i 지역과 j 지역의 COVID-19 확진자 수, \bar{x} 는 COVID-19 확진자의 평균 값, w_{ij} : 공간가중행렬)

$$y = \rho W y + X \beta + \epsilon \quad (3)$$

(ρ : 공간자기회귀계수, $W y$: 공간가중행렬, X : 독립변수, β : 독립변수로부터 추정된 모수)

$$y = X \beta + u \quad (4)$$

$$u = \lambda W u + \epsilon$$

(λ : 공간자기회귀계수, $W u$: 공간가중행렬)

COVID-19 외에 감염병 발생의 숙주, 환경 요인과 관련된 변수는 표 2와 같다. 이 연구의 기본 모형은 Bhopal(2002)의 역학 삼각형에 기초를 둔 변수들과 기존 감염병 발병 변수를 추가하여 구성하였다. 기존 감염병의 발병은 감염병예방및관리에관한법률¹⁾에 따른 제1군~제4군 감염병(표 3)을 기준으로 하였으며 2016년과 2017년의 합하여 사용하였다. 본 연구의 분석에는 Anselin 에 의해 개발되어 2003년부터 공간분석에 활용되고 있는 Geoda 1.18을 이용

하였다. 본 연구에서 회귀분석을 위한 기초 모형은 식 5와 같다.

$$\begin{aligned} COVID19_i = & \beta_0 + \beta_1 H1_i + \beta_2 H2_i + \beta_3 H3_i \quad (5) \\ & + \beta_4 H4_i + \beta_5 H5_i + \beta_6 E1_i + \\ & \beta_7 E2_i + \beta_8 E3_i + \beta_9 E4_i + \beta_{10} E5_i \\ & + \beta_{11} E6_i + \beta_{12} G1_i + \beta_{13} G2_i + \\ & \beta_{13} G3_i + \beta_{14} G4_i + \mu \end{aligned}$$

분석 결과

1. COVID-19 발생과 기존 감염병 발생의 공간적 패턴

해외유입을 제외하고 225개 시·군·구에서 2020년 1월 20일부터 8월 30일까지 발생한 국내 COVID-19 확진자의 총 수는 18,276명이다. 그림 1(a)은 COVID-19 확진자의 공간적 분포를 나타낸다. 신천지 교회와 관련해 대구경북 지역에서 확진자들이 집중되어 있으며, 집단감염이 나타났던 수도권 및 광주 지역에서 집중이 나타났다. COVID-19의 Moran's I는 0.582로 나타났다. COVID-19의 발생은 대구 및 경북 일부 지역에서 HH 클러스터가 나타났으며, 강원 일부 지역, 전남 및 전북 일부지역,

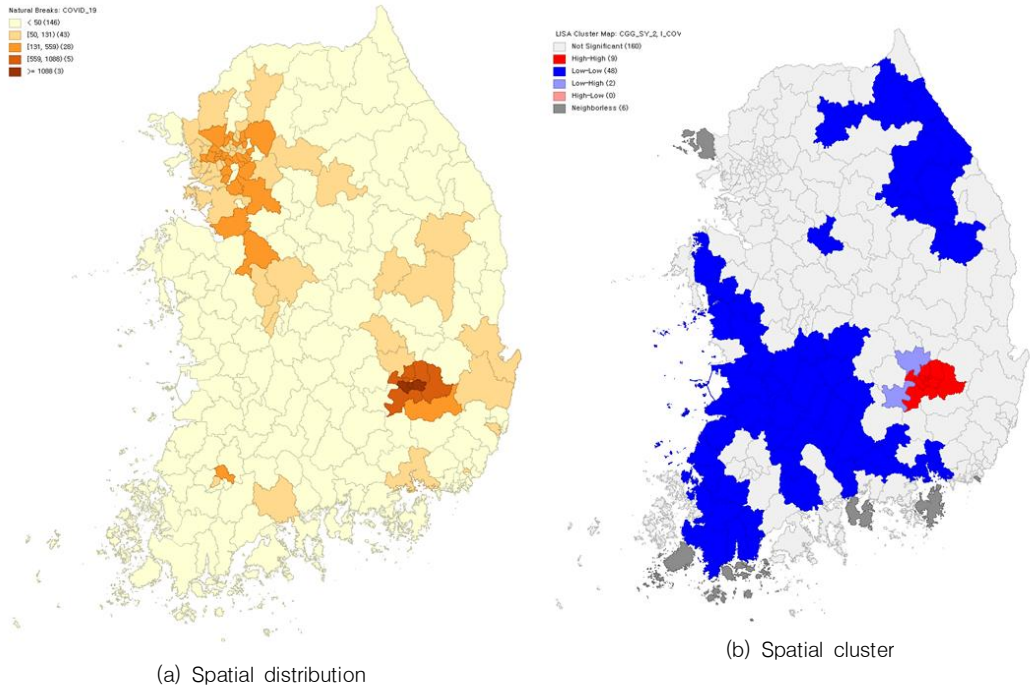


FIGURE 1. Spatial distribution and cluster of COVID-19

충남 일부지역 등에서 LL 클러스터가 나타났다 (그림 1(b)).

그림 2는 기존 감염병 1군~4군의 2016년, 2017년 발병자 수에 대한 공간적 분포와 클러스터이다. 1군 감염병은 9,871명, 2군 감염병은 167,801명, 3군 감염병은 74,418명, 4군 감염병은 1,169명이다. 기존 감염병은 경기 남부와 서북부, 경남 일부 지역, 대구 경북 일부 지역, 광주 및 전북, 충남 일부 지역 등에서 높게 나타났다(그림 2(a)). 기존 감염병의 경우 Moran's I는 0.344 였으며 수도권 남부와 서부지역을 중심으로 HH 클러스터가 나타났다(그림 2(b)). 경남 일부지역에서도 HH 클러스터가 나타났다.

COVID-19와 기존 감염병 발생의 공간적 관련성은 피어슨 상관계수와 탐색적 공간분석을 통해 수행되었다. COVID-19와 기존 감염병 발병과의 피어슨 상관계수는 0.28로 나타났다. 1군 감염병과는 0.22, 2군 감염병과는 0.31, 3

군 감염병과는 0.16, 4군 감염병과는 0.21의 상관관계가 있었다.

대구경북 지역에 집중된 COVID-19의 HH 클러스터와 기존 감염병의 HH 클러스터는 큰 관련성이 없어 보이나 이는 기존 감염병 분류 내 다양한 감염병이 포함되었기 때문으로 여겨진다. COVID-19는 법정 감염병 분류에 따르면 4군 감염병에 속할 수 있다. 4군 감염병의 발생에 대한 공간적 분포와 클러스터는 그림 3과 같다. COVID-19 발생의 공간적 분포와 클러스터인 그림 1과 비교해보면 공간적 분포에 있어 수도권을 중심으로 남쪽과 동쪽, 그리고 대구·경북 일부 지역, 경남 일부지역, 광주지역 등에서 유사성이 일부 발견된다. 4군 감염병 발생의 Moran's I는 0.237로 나타났으며, HH 클러스터의 경우 COVID-19의 HH 클러스터와 중복되어지는 부분은 존재하지 않는다. 이는 COVID-19의 발생이 대구·경북 지역에서 초기에 집단감염을 통해 폭증하였다는 사실 때문

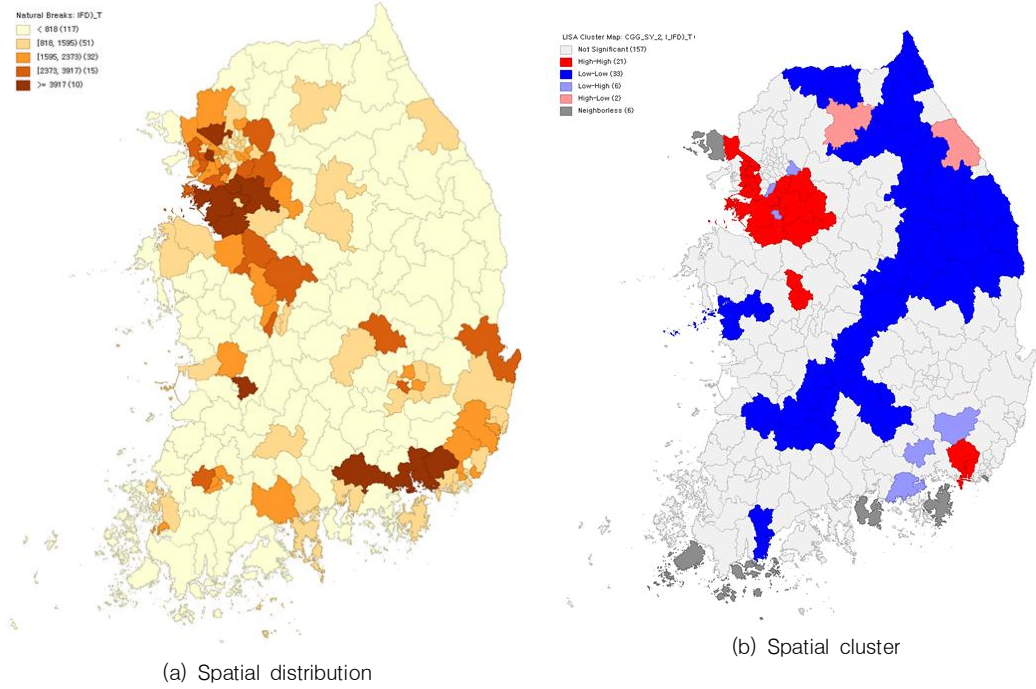


FIGURE 2. Spatial distribution and cluster of nationally notifiable infectious diseases(Group 1-4)

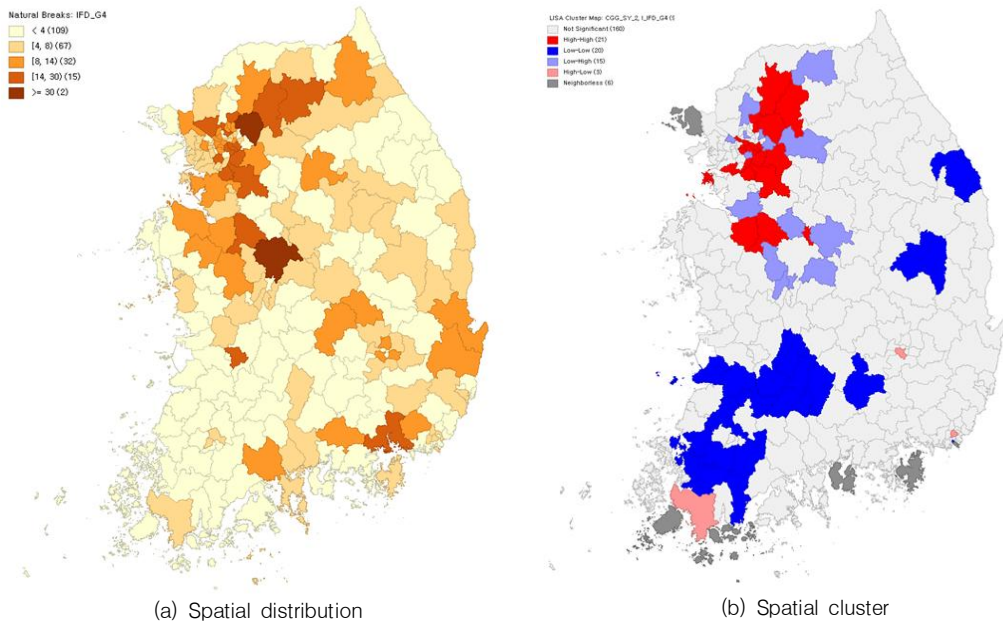


Figure 3. Spatial distribution and cluster of nationally notifiable infectious diseases(Group 4)

인 것으로 여겨진다. 하지만 단순 상관관계는 다른 변수를 통제하지 않았고 그림의 비교만을 통한 기존 감염병과 COVID-19의 관계 역시 명확하다고 할 수 없기 때문에 공간회귀분석을 통하여 그 관계를 살펴보았다.

2. COVID-19 발생에 대한 숙주 및 환경요인, 기존 감염병의 영향

COVID-19 발생이 감염병 발생 요인인 숙주와 환경 요인이 어떠한 영향을 주고 있으며, 기존 감염병 발생과 어떠한 관계를 가지는지 공간

계량모형을 통하여 파악하였으며 그 결과는 표 4와 같다. COVID-19 발생은 공간의존성이 0.582로 나타났으며, Jarque-Bera 검증, Breush-Pagan 검증 등을 통해 공간의존성을 고려한 공간자기회귀모형(spatial lag model)이 적합한 것으로 확인되었다. 일반선형회귀모형(OLS)을 통하여 분석한 결과 종속변수와 오차항 간 공간의존성 여부를 판단하는 LM-Lag 통계값과 LM-Error 통계값 모두가 유의하였다. 하지만 Robust LM-lag 통계값은 유의한 반면 Robust LM-Error 통계값은 유의하지 않아 공간자기회

TABLE 4. Result of OLS and spatial regression model

Variable	OLS		Spatial Lag Model		Spatial Error Model		
	Coefficient	s.e.	Coefficient	s.e.	Coefficient	s.e.	
Constant	182.076	174.503	-43.827	128.366	-69.585	128.889	
Host	H1	0.0005	0.0015	0.0016	0.0011	0.0009	0.0011
	H2	-0.0017	0.0035	-0.0022	0.0026	-0.0011	0.0024
	H3	0.0038	0.0041	0.0035	0.003	0.002	0.0028
	H4	-2.1114	3.2177	1.9219	2.3608	2.406	2.3219
	H5	-1.9789	2.4334	-1.5763	1.7783	-0.853	1.5348
Environment	E1	0.0037	0.0028	0.0008	0.002	-0.0013	0.0026
	E2	-0.3789	1.2201	-0.5991	0.8917	-1.2473	0.9859
	E3	0.1489	0.1227	0.1728*	0.0899	0.3557***	0.0973
	E4	-4.2409	2.8096	-1.4699	2.0654	-1.0197	2.0889
	E5	14.2963***	2.0366	2.6154*	1.5766	-6.8058***	2.9533
	E6	-15.9469	11.4667	-0.7595	8.3936	28.0411**	11.9429
Nationally notifiable infectious diseases	G1	-0.8462**	0.4475	-0.7571**	0.3269	-0.5217	0.3708
	G2	0.1095***	0.036	0.0871***	0.0264	0.0953***	0.0242
	G3	-0.2423***	0.0678	-0.1405***	0.0498	-0.1318***	0.0493
	G4	5.8195**	2.6093	3.9577**	1.9067	1.3542	1.9087
Spatial effect	rho		0.714***	0.0513			
	lambda				0.8986***	0.0283	
R ²	0.4435		0.6802		0.7272		
Adjusted-R2	0.4036						
LIK	-1436.13		-1388.29		-1384.2477		
AIC	2904.27		2810.59		2800.5		
SC	2958.93		2868.66		2855.15		
Jarque-Bera	4422.4774***						
Breush-Pagan	832.0422***						
Kosenker-Bassett	73.2016***						
Moran's I	0.3329***						
LM-lag	93.4616***						
Robust LM-lag	34.1376***						
LM-error	61.7433***						
Robust LM-error	2.4192						

* P value < 0.1, ** P value < 0.05, *** P value < 0.01

규모형을 사용하는 것이 적절하다고 할 수 있다.

분석 결과는 세 가지로 논의된다. 첫째, 공간 자기회귀모형 분석결과 COVID-19의 발생은 주변지역에서 발생한 형태와 상호 관련성을 가지는 것으로 나타났다. COVID-19 발생의 형태가 지역사회 감염 및 밀접 접촉을 통해 확산이 되는 만큼 해당 공간에서 감염증의 발생은 인접공간의 발생과도 관련성이 있다는 것이다. 특히 인접한 사군·구는 사회경제적 활동에서 연계된 특성을 보이기 때문에 COVID-19의 공간적 영향력이 나타났다고 판단된다.

둘째, COVID-19는 신규 감염병이지만 기존 감염병의 발생과 밀접한 관계를 보인다. 공간자기회귀모형의 결과를 보면 4군 감염병의 발생과 관계가 크다. 4군 감염병은 국내 새로 발생하거나 국외유입 우려가 큰 20종의 감염병으로 최근 발생한 메르스를 포함한다. 4군 감염병의 발생이 높은 지역일수록 COVID-19 역시 높게 나타나며 영향정도는 3.9577로 나타났다. 이는 신규 감염병이 나타나는 공간적 특성이 존재한다는 것을 의미한다.

셋째, COVID-19는 감염병과 관련된 숙주, 환경 요인이 크게 유의하게 나타나지 않는 특성을 보인다. 감염병은 그 전파에 있어 개인 및 집단의 면역적 특성, 그리고 집단의 공통된 특성과 관련되는데 COVID-19는 그러한 특징이 뚜렷하게 나타나지 않는다. 다만 환경적 요인에서 관리 역량을 의미하는 공무원 1인당 주민 수가 유의하게 나타났다. 공무원 1인당 주민 수(E3)가 많을수록 새로운 위험에 대한 관리 인력이 부족하다는 것을 의미한다. 이는 행정기관의 역량이 신규 감염병의 발생 및 확산에 영향을 주는 것을 의미한다. 이에 더해 환경 요인 중 평균 일 최고기온이 25도 이상인 날의 수(H6) 역시 정의 방향에서 유의하게 나타났다. 온도에 관한 부분은 통계적으로 유의미하지 않지만 본 연구에서 계절적 요인을 통제하지 않았기 때문에 단정할 수 없는 부분이다. 뿐만 아니라 다른 국내외 연구에서 온도에 대한 영향력은 여전히 논의가 진행 중인 부분이다. 따라서 본 연구에서 온도와 관련된 부분은 COVID-19

의 초기 확산시기인 1월부터 8월까지 자료를 이용하고 있다는 점을 염두하여 제한적으로 해석해야 한다.

결론 및 시사점

본 연구는 COVID-19를 대상으로 공간적 형태와 그 영향요인을 공간회귀모형을 통하여 살펴보았다. COVID-19는 기존 신규 감염병의 출현과 관련한 영향요인인 숙주 요인은 크게 나타나지 않았다. 환경 요인 중에서는 지역사회에 대한 관리역량을 의미하는 공무원 1인당 주민 수가 유의미하게 나타났다. 공간회귀분석을 통하여 살펴본 결과 숙주, 환경요인 보다는 공간적 효과가 더 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 또한 우리나라에서 나타난 다른 형태의 신규 감염병인 4군 감염병의 발생 형태와 밀접한 관련성을 보였다. 본 연구는 COVID-19는 기존 감염병 발생에 영향을 주는 숙주, 환경 요인이 크게 작용하지 못하나, 국내에 기존 발생했던 신규 감염병(4군)의 발생 및 확산과는 유사성을 가진다는 사실을 확인하였는데 의의가 있다. 이는 COVID-19가 신규 감염병임에도 불구하고 공간적 측면에서 감염병 발생의 형태는 반복적인 형태로 나타나고 있다는 것이다. 이는 신규 감염병을 효과적으로 관리하기 위해서는 신규 감염병의 출현하는 공간의 속성을 지속적으로 관리하고 변화시켜야 함을 의미한다. 하지만 본 연구는 COVID-19 발생의 공간적 관계를 행정구역 단위인 시·군·구를 이용하고 있어 세부적인 공간에서의 확산과 공간을 구성하는 세부 요인과의 관계를 설명하는데 한계가 있다. 더 세부적인 공간단위에서 COVID-19 발생자의 자료가 확보된다면 일상생활과 연계된 공간영역의 변수를 포함하여 그 관계를 고찰할 수 있는 후속 연구가 필요하다. 뿐만 아니라 COVID-19의 병인과 관련된 메커니즘이 밝혀진다면 관련된 변수를 모형에 포함시켜야 할 것이다. **KAGIS**

주

- 1) 2022년 현재 시행중인 감염병의예방및관리예관한법률은 2020년 개정을 통하여 제1급, 제2급, 제3급, 제4급 등으로 구분하고 있으나 자료의 구축 상태를 고려하여 개정 이전의 분류를 이용하였음

REFERENCES

- Ahrens, W., K. Krickeberg and I. Pigeot. 2005. An introduction to epidemiology. In Wolfgang Ahrens and Iris Pigeot (Eds.). *Handbook of epidemiology* (pp. 3-40). Heidelberg: Springer.
- Alirol, E., L. Getaz, B. Stoll, F. Chappuis and L. Loutan. 2011. Urbanisation and infectious diseases in a globalised world. *The Lancet Infectious Diseases* 11(2): 131-141.
- Anselin, L. 1995. Local Indicators of Spatial Association-LISA. *Geographical Analysis* 27(2):93-115.
- Bhopal, R. 2002. *Concepts of Epidemiology: An integrated introduction to the ideas, theories, principles and methods of epidemiology*. New York: Oxford University Press.
- Brody, H., M. R. Rip, P. Vinten-Johansen, N. Paneth and S. Rachman. 2000. Map-making and myth-making in Broad Street: The London cholera epidemic, 1854. *The Lancet* 356(9223):64-68.
- Choi, M., U. Kim. and J. Bang. 2003. Spatial dependence of apartment sale prices in Seoul: An application of spatial econometric Model. *Korean Regional Science Association* 19(3):61-80 (최명섭, 김의준, 방정욱. 2003. 공간종속성을 고려한 서울시 아파트 가격의 공간 영향력. *지역연구* 19(3):61-80).
- Finucane, M., J. Fox, S. Sumeet and J. H. Spencer. 2014. A conceptual framework for analyzing social-ecological models of emerging infectious diseases. In Michael Manfredi, Jerry Vaske, Andreas Reckemmer, & Esther Duke (Eds.). *Understanding society and natural resources: Forging new strands of integration across the social sciences* (pp. 93-109). Dordrecht: Springer.
- Galea, S., N. Freudenberg and D. Vlahov. 2005. Cities and population health. *Social Science and Medicine* 60(5):1017-1033.
- Giles-Corti, B., A. Vernez-Moudon, R. Reis, G. Turrell, A. Dannenberg, H. Badland, and N. Owen. 2016. City planning and population health: A global challenge. *The Lancet* 388(10062):2912-2924.
- Hidore, J., J. Oliver, M. Snow and R. Snow. 2009. *Climatology: An atmospheric science*. New York: Prentice Hall
- Institute of Medicine of the National Academies. 2003. *Microbial threats to health: Emergence, detection, and response*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Jones, B., M. Betson and D. Pfeiffer. 2017. Eco-social process influencing infectious disease emergence and spread. *Parasitology* 144:26-36.
- Jones, K., N. Patel, M. Levy, A. Storeygard, D. Balk, J. Gittleman and P. Daszak. 2008. Global trends in emerging infectious diseases. *Nature* 451:990-993.
- Keil, R. and H. Ali. 2007. Governing the sick city: Urban governance in the age of emerging infectious disease. *Antipode* 39(5):846-873.
- Kim, D. 2021. Exploratory study on the

- spatial relationship between emerging infectious diseases and urban characteristics: Cases from Korea. *Sustainable Cities and Society* 66:102672.
- Lashley, F. 2004. Emerging infectious diseases: Vulnerabilities, contributing factors and approaches. *Expert Review Anti-infective Therapy* 2(2): 299–316.
- Moore, M., P. Gould and B. Keary. 2003. Global urbanization and impact on health. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 206(4–5):269–278.
- Negev, M., S. Paz, C. Alexandra, P–O. Noemie Groag, S. Uri, Y. Tamar and G. Manfred S. 2015. Impacts of climate change on vector borne diseases in the Mediterranean Basin: Implications for preparedness and adaptation policy. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12(6):6745–6770.
- Neiderud, C–J. 2015. How urbanization affects the epidemiology of emerging infectious diseases. *Infection Ecology and Epidemiology* 5:27060.
- Northridge, M. E. and E. Sclar. 2003. A joint urban planning and public health framework: Contributions to health impact assessment. *American Journal of Public Health* 93(1): 118–121.
- Patz, J., P. Daszk, G. Tabor, A. A. Aguirre, M Pearl, ... and V. Zakarav. 2004. Unhealthy landscapes: Policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. *Environmental Health Perspective* 112(10): 1092–1098.
- Rodas, J. R., C. H. Lau, Z. Z. Zhang, S. M. Griffiths, W. C. Luk and J. H. Kim. 2012. Exploring predictors influencing intended and actual acceptability of the A/H1N1 pandemic vaccine: A cohort study of university students in Hong Kong. *Public Health* 126(12):1007–1012.
- Semenza, J., B. Sudre, T. Oni, J. Suk and J. Giesecke. 2013. Linking environmental drivers to infectious diseases: The European environment and epidemiology network. *PLOS Neglected Tropical Diseases* 7(7): e2323.
- Tong, M. X., A. Hansen, S. Hanson–Easey, S. Cameron, J. Xiang, Q. Liu, ... and P. Bi. 2015. Infectious diseases, urbanization and climate change: Challenges in future China. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12(9):11025–11036.
- WHO 2004. *Globalization and infectious diseases: A review of the linkage*. Geneva: World Health Organization.
- WHO 2005. *Combating emerging infectious diseases in the South–East Asia region*. Geneva: World Health Organization.
- WHO 2014. *A brief guide to emerging infectious diseases and zoonoses*. Geneva: World Health Organization.
- Wilcox, B. and R. Colwell. 2005. Emerging and re-emerging infectious diseases: Biocomplexity as an interdisciplinary paradigm. *EcoHealth* 2(4):244.
- Wilcox, B. and B. Ellis. 2006. Forests and emerging infectious diseases of humans. *Unasylva* 57:11–18.
- Wilcox, B. and D. Gubler. 2005. Disease ecology and the global emergence of zoonotic pathogens. *Environmental Health and Preventive Medicine* 10(5):263–272.