결핵 발병의 공간불평등 다층모형분석: 경상북도를 대상으로

임창민¹, 김영호²

¹고려대학교 일반대학원 지리학과 박사과정생, ²고려대학교 일반대학원 지리학과/사범대학 지리교육과 교수

Spatially Filtered Multilevel Analysis on Spatial Inequality of Tuberculosis in Gyeongsangbuk-do, Korea

Changmin Im¹, Youngho Kim²

¹Doctoral Student, Department of Geography, Graduate School of Korea University, Seoul; ²Professor, Department of Geography, Graduate School of Korea University/ Department of Geography Education, Korea University, Seoul, Korea

Objectives: This study aims to identify the spatial inequality of tuberculosis (TB) and related socio-environmental factors in Gyeongsangbuk-do, Korea.

Methods: This study explains TB incidences in a spatial perspective. A spatial multilevel regression model was applied to account for the spatial inequality of TB and related factors. Applied socio-environmental factors were average age, population density, Normalized Difference Built-up Index (NDBI), particulate matter (PM₁₀), medical insurance, financial independence rate, and medical doctors per 1,000 people. **Results:** This study finds evident spatial inequality of TB in Gyeongsangbuk-do. Most TB hotspots are identified around Yeongyang-gun, the area with the lowest socio-economic status in Korea. The regression result shows that level 1 factors (Average age, NDBI, PM₁₀) and level 2 factors (medical insurance, financial independence rate) were statistically significant related to TB incidences. Furthermore, spatial filtering applied to multilevel regression accounts for spatial autocorrelation of TB incidence. **Conclusions:** Regional socio-economic and demographic conditions in Gyeongsangbuk-do influence TB incidences. Given low expectations on Gyeongsangbuk-do's socio-economic and demographic growth, reducing the spatial inequality of TB would be challenging.

Key words: Tuberculosis, Spatial inequality, Spatial distribution, Hotspot analysis, Spatially filtered multilevel analysis

서 론

결핵(Tuberculosis, TB)은 호흡기 감염병이며[1], 동시에 대표적인 사회적 질병(social disease)이다[2-4]. 결핵의 주요인은 결핵균(*Mycobacterium tuberculosis*)이지만, 사회 환경적 요인이 발병에 매우 큰 역할을 한다[5]. 사회적 질병은 질병의 발병에 다양한 사회, 문화, 환경적 요인들이 많은 영향을 주는 질병을 가리키는 것으로[6], 결핵은 사회적 질병으로 간주된다[2-4]. 결과적으로 결핵 발병의 사회 환경적 원인을 분석하기 위해서는 한 지역 및 국가의 사회, 경제, 문화, 자연환경 등을 다

각도로 진단해야 할 필요가 있다.

일반적으로 결핵은 사회 경제적 수준의 높고 낮음에 따라 발병률과 사망률이 영향을 받기 때문에[7-9], 발병에 공간불평등(spatial inequality)이 나타난다. 결핵의 공간불평등은 서로 다른 국가 혹은 지역의 사회·경제적 수준과 특성에 따라 발병과 사망 수준 등이 현저히 차이가 나타나는 현상을 말한다. 지리학에서는 1990년대 후반부터 지역 간 건강 공간불평등을 본격적으로 설명하기 시작했다[10]. 결핵 관련해서는 2000년대 들어와 지리정보시스템(geographic information system, GIS)이 본격적으로 활용되면서 결핵 분포의 지역 간 차이를 확인

Corresponding author: Youngho Kim

145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul 02841, Korea
Email: younghokim@korea.ac.kr

Received: January 22, 2021 Revised: February 18, 2021 Accepted: February 23, 2021

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

How to cite this article:

Im C, Kim Y. Spatially filtered multilevel analysis on spatial inequality of tuberculosis in Gyeongsangbuk-do, Korea. J Health Info Stat 2021;46(1):88-99. Doi: <https://doi.org/10.21032/jhis.2021.46.1.88>

© It is identical to the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permit unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

© 2021 Journal of Health Informatics and Statistics

하고, 결핵의 공간불평등을 밝히는 공간 연구가 등장하였다.

결핵의 지역 간 공간불평등에 관한 지리적 연구는 주로 결핵 발병률과 사망률이 높은 중남미, 아프리카, 중국 등에서 많이 이뤄졌다[11-13]. 우리나라 또한 1980년대 후반부터 경제협력개발기구(Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD) 국가 중 가장 높은 결핵 사망률과 발병률을 보이며 결핵 안전국가가 아니다[14]. 그러나 국내 결핵 발병의 지역 간 공간불평등을 밝히고 사회·환경적 원인을 분석한 연구는 많지 않다. 대표적 연구로는 우리나라 전체 시·군·구를 대상으로 결핵의 분포와 주요 핫스팟(hotspot)을 확인하고, 사회 환경적 요인을 밝히고자 한 Im and Kim [15]의 연구가 있다. 해당 연구는 경제적 수준이 낮고 높은 노인인구 비율과 1차 산업종사자 비율이 나타나는 지역에서 결핵 발병률이 높다고 밝히며 국내 결핵 발병의 공간 분석을 본격적으로 시도하였다[15]. 그러나 결핵 발병률의 연령 및 성별 표준화를 하지 않아 결핵의 연령에 따른 발병 특성 영향을 제거하지 못하였다는 한계가 있으며, 또한 공간분석단위를 시·군·구로 사용하였다는 점에서 결과해석에 있어 공간단위 수정가능성의 문제와 생태학적 오류 문제로부터 자유롭지 못하다.

우리나라 결핵 발병의 공간불평등을 보다 정확하게 파악하기 위해서는 세 가지가 중요하다. 첫째, 결핵 발병의 연령 및 성별에 대한 표준화, 둘째, 두 가지 이상의 위계적 구조를 갖는 공간단위의 사용, 셋째, 결핵 발병의 공간적 자기상관성의 설명이다. 먼저 결핵 발병을 연령 및 성별로 표준화해야 하는 이유는 다음과 같다. 만약 결핵의 공간 불평등이 단순히 지역 간 인구구성에 의한 차이에 의한 것이라면 이는 지역적, 맥락적 문제라기 보다는 개인적, 구성적 요인에 의한 것이라 설명된다. 반대로 결핵 발병을 인구 구성에 따라 표준화 했는데 공간적 불평등이 존재한다면, 이는 지역적 요인에 의한 것으로 해석할 수 있다[16]. 따라서 결핵 발병의 공간불평등을 보다 구성적 요인과 맥락적 요인을 구별하여 구체적으로 설명하기 위해서는 연령 및 성별의 표준화가 필요하다. 두 번째로 두 가지 이상의 위계적 구조를 가진 공간단위를 이용해야 하는 이유는 다음과 같다. 결핵의 공간불평등을 개인 단위가 집약된 시·군·구 공간 단위라는 하나의 단위로 분석한 후 해석한다면 생태학적 오류에 빠지는 문제를 겪을 수 있다[17]. 본 연구는 자료 구득의 한계로 개인이 아닌 시·군·구 단위 한 수준 아래의 읍·면·동 단위를 이용하였지만, 결핵의 공간불평등을 두 가지 수준의 요인들을 통해서 원인을 분석한다는 점에서 기존 하나의 수준을 고려한 분석보다 설득력을 높일 수 있다. 세 번째로 결핵 발병의 공간적 자기상관성을 설명해야 하는 이유는 결핵이 갖는 전염병의 특성으로 설명할 수 있다. 결핵은 공기를 통해 전파되는 전염병이기에, 결핵 발병 지역에 가깝게 위치한 지역일수록 발병의 위험이 높다. 따라서 지역 수준의 결핵 발병 자료는 상호 독립적일 수 없으며, 자연스럽게 공간적 자기상관

성을 갖게 된다[18,19]. 일반적으로 회귀모형은 변수의 독립성을 전제하기 때문에, 결과적으로 결핵 발병자료를 이용한 분석 시 공간적 자기상관성을 설명하지 않는다면 모형 추정에 오차를 가져올 수 있다. 기존의 연구에서 결핵 발병의 공간적 자기상관성은 공간회귀모형을 통하여 보완할 수 있음이 확인됐다[15].

본 연구의 목적은 다음과 같다. 첫째, 대구광역시를 포함하는 경상북도(이하 경북)를 대상으로 결핵 발병의 공간적 분포를 파악한다. 특히 연령 및 성별을 표준화 했을 때, 결핵 발병의 공간불평등이 어떻게 나타나는지 확인한다. 둘째, ‘시·군·구’와 ‘읍·면·동’이라는 두 가지 공간단위를 사용한 다층 분석을 통해 결핵 발병의 공간불평등을 설명한다. 시·군·구 단위의 속성변수와 읍·면·동 단위의 속성변수를 동시에 고려하여 결핵 발병의 공간불평등을 가장 잘 설명하는 사회 환경적 요인을 확인한다. 셋째, 결핵 발병의 공간적 종속성을 고려하여, 다층 분석모형에 공간효과 변수를 추가하여 최적의 설명력을 갖는 모형을 선택한다.

선행연구

결핵의 공간불평등은 결핵의 발병에 나타나는 지역간 불평등을 말한다. 구체적으로 결핵의 공간불평등은 거주지역의 사회 경제적, 물리적, 제도적 환경과 같은 지역적으로 내재된 요인들의 차이에 의해 발생하는 발병 및 사망의 차이를 의미한다[16]. 즉 결핵의 공간불평등은 만약 지역간 내재된 환경이 동일하다면 나타나지 않을 불필요하며 피할 수 있는 현상으로서, 현재 결핵 발병에 지역간 차이가 나타나는 것은 불공평하고 부당하다는 것이다[20,21]. 따라서 많은 연구들은 결핵 발병의 지역간 차이를 확인하고자 하였으며, 이 과정에서 어떠한 지역적 환경이 영향을 미쳐 결핵 발병의 공간적 불평등을 야기시키는지 밝히고자 하였다.

결핵의 공간불평등에 대한 연구는 2000년대부터 본격적으로 시작되었다. 그 이전의 연구들은 주로 개인 혹은 인구집단 차원의 불평등 연구로서 결핵의 발병이 개인의 경제적 수준, 사회적 지위, 위생 및 건강상태에 따라 다르게 나타난다는 것을 밝혀내는데 집중했다. 1990년대 말부터 GIS의 활용이 본격화되면서 공간적 차원을 함께 고려하는 결핵의 공간불평등 연구가 활성화된 것이다. 결핵의 공간불평등 연구는 해외에서 먼저 진행되었는데, 그 효시가 되는 연구는 1993년부터 1998년까지의 남아프리카 공화국(이하 남아공) 케이프타운의 결핵 발병에 대한 공간분석 연구이다[1]. 남아공 케이프타운은 1996년 인구 10만 명당 1,340명에 이르는 높은 결핵 발병률이 나타났는데, 이 중에서도 결핵 발병이 많이 나타나는 지역은 인구밀도가 높으며, 실업률이 높고 경제적으로 어려운 지역으로 이들 지역이 결핵의 전파와 감염이 쉽다는 것을 밝혀냈다. 해당 연구는 결핵이라는 감염병의 전파에 지

역차원의 사회 경제적인 환경이 중요한 역할을 미친다는 것과 이로 인해 결핵 발병의 지역간 공간불평등이 나타날 수밖에 없다는 것을 보여줬다.

이후 본격적으로 여러 국가에서 결핵의 공간불평등을 밝히기 위해 결핵 발병에 영향을 미치는 지역 수준의 요인에 대한 공간 분석이 계속됐다. 서로 다른 국가와 지역에서 공통적으로 결핵 발병에 있어 지역의 경제적 수준이 큰 영향을 미친다는 것이 확인됐다[15,22,23]. 지역의 인구특성에 있어서는 연구마다 다르게 나타났는데, 브라질 남동지역의 경우 20, 30대를 포함하여 나이가 어린 사람이 많은 지역일수록 결핵의 발병률이 높아지는 경향이 나타났지만[24], 반대로 우리나라의 경우 노인 인구가 많은 지역일수록 결핵의 발병률이 높게 나타났다[15]. 최근에는 결핵 발병에 있어 지역의 사회 경제적 요인만이 아니라 자연 환경적 요인을 밝히고자 하는 연구도 진행되고 있다. 대표적으로 결핵 발병에 있어 지역의 미세먼지를 포함한 대기 오염물질의 농도와 의 관련성을 밝힌 연구들이 있으며[25,26], 이외에도 지역의 온도, 습도, 고도 등과의 연관성을 밝히고자 한 연구들도 있다[27,28].

논의된 연구들을 통해 결핵의 공간불평등이라는 같은 개념을 설명할지라도, 지역마다 서로 다른 사회 경제적 요인과 자연환경적 요인들이 각기 다른 영향을 미치고 있다는 것을 볼 수 있다. 이렇게 지역마다 결핵의 공간불평등에 미치는 영향이 다르게 나타나기 때문에, 결핵의 공간불평등 연구에 있어서는 한 국가라 할지라도 지역을 구체적으로 살펴볼 필요도 있다. 따라서 본 연구는 경북 결핵 발병의 공간적 분포를 확인하고, 공간필터링 다층모형을 활용하여 경북 내 결핵의 공간불평등에 대한 사회 환경적 요인을 분석해보고자 한다.

연구 방법

다층모형

다층모형(Multilevel model)은 위계적 구조를 가진 데이터에 대해 개념적이고 통계적인 분석의 오류를 피하는 추정 방법으로 공간데이터에 대한 분석에 있어 장점이 있다. 다층모형은 단위가 다른 공간데이터를 함께 사용하므로 결과 해석에 있어 집합화, 개별화에 의한 개념적, 통계적 오류의 발생을 최소화한다[17]. 공간분석에서 주로 사용하는 행정구역 또는 센서스(Census) 구역 경계라는 분석 단위는, 사회적인 현실에 기반하여 만들어진 형태이지만 실제 현상과의 직접적인 관계를 설명하지는 않는다[29]. 따라서 한 가지 공간 단위만을 이용한 연구는 그 결과 해석에 있어 분명한 한계를 갖는다. 이와 같은 관점에서 두 가지 이상 계층의 공간단위를 이용하는 다층모형은 공간데이터를 이용하는 회귀모형의 결과 해석에 있어 좋은 대안이 될 수 있다.

본 연구는 ‘읍·면·동’과 ‘시·군·구’라는 두 개의 위계적(hierarchi-

cal) 구조를 가진 공간 데이터를 이용하여, 결핵 발병에 있어 하위 수준(읍·면·동)의 영향, 상위 수준(시·군·구)의 영향, 그리고 하위 수준에 대한 상위수준의 영향을 설명하고자 한다. 다층모형의 분석은 다음과 같은 단계를 갖는다. 먼저 독립변수가 없는 계층 구조만 포함하는 귀무모형(null model)을 추정한다. 이는 종속변수의 총 분산과 집단 간 분산을 확인하는 과정으로, 이를 통해 다층모형을 필요성을 판단할 수 있다[17]. 순차적으로 하위 수준과 상위 수준의 독립변수들을 귀무모형에 추가하여 최종적으로 두 가지 수준의 모든 독립변수가 포함된 다층모형을 추정한다. 그 식은 다음과 같다.

$$\text{읍·면·동 수준(1수준 모형): } \log(Y_{ij}) = \beta_{0j} + \beta_{10}X_{ij} + e_{ij}$$

$$\text{시·군·구 수준(2수준 모형): } \beta_{0j} = \gamma_{00} + \gamma_{01}Z_j + u_{0j}$$

$$\text{결합모형: } \log(Y_{ij}) = \gamma_{00} + \beta_{10}X_{ij} + \gamma_{01}Z_j + u_{0j} + e_{ij}$$

위 식에서 Y_{ij} 는 j 시·군·구의 i 읍·면·동의 결핵 발병률을 의미하며, 포아송 분포(Poisson distribution)를 가정하였다. X_{ij} 와 Z_j 는 각각 읍·면·동 수준과 시·군·구 수준의 독립변수를 가리키며, e_{ij} 와 u_{0j} 는 각 수준별 오차항을 나타낸다. γ_{00} 은 시·군·구 수준의 평균 결핵 발병률을 의미하여, 2수준의 절편이기도 하다. 결합모형에서 $\gamma_{00} + \beta_{10}X_{ij} + \gamma_{01}Z_j$ 부분은 고정효과를 나타내며, $u_{0j} + e_{ij}$ 부분은 랜덤효과(random effect)를 나타낸다.

공간필터링 다층모형

공간필터링 다층모형(Spatial filtering multilevel model)은 아이겐벡터(eigenvector) 공간필터링과 다층모형을 결합한 모형으로, 공간효과를 나타내는 아이겐벡터를 다층모형에 추가한 모형이다[30]. 공간필터링 다층모형의 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \log(Y_{ij}) &= \underbrace{\gamma_{00} + \beta_{10}X_{ij} + \gamma_{01}Z_j}_{\text{fixed effect (고정효과)}} + \underbrace{u_{0j} + e_{ij}}_{\text{random effect (랜덤효과)}} \\ &= \underbrace{\gamma_{00} + \beta_{10}X_{ij} + \gamma_{01}Z_j}_{\text{fixed effect (고정효과)}} + \underbrace{(\delta_0 + \delta_1 e_1 + \dots + \delta_n e_n)}_{\text{spatial filtering component (아이겐벡터)}} + \underbrace{u'_{0j} + e'_{ij}}_{\text{white noise (백색소음)}} \\ &\quad \text{random effect (랜덤효과)} \end{aligned}$$

위의 식에서 괄호 $(\delta_0 + \delta_1 e_1 + \dots + \delta_n e_n)$ 부분이 다층모형에 추가한 아이겐벡터 집합이다. 아이겐벡터 집합은 투영 행렬(projection matrix)과 공간가중 행렬(spatial weight matrix)의 행렬 연산을 통해 산출된다. 산출한 아이겐벡터 집합 중 선택하여 추가한 아이겐벡터들은 공간적 자기상관요소의 대리변수(proxy variable) 역할을 한다[30,31]. 본 연구에서는 잔차의 공간적 자기상관성을 최소화하는 순서대로 아이겐벡터를 선택하였다. 결과적으로 다층모형의 랜덤효과와 공간적 자기상관성

을 설명할 수 있으며, 남아있는 백색소음(white noise) $u'_{0j} + e'_{ij}$ 는 상호 독립적이고 동일한 분포를 갖는다. 본 연구에서 사용한 공간필터링 아이젠벡터들은 시·군·구 단위 수준에 적용하였다. 공간필터링 모형의 보다 구체적인 수리적 설명은 관련 참고 문헌으로 대체한다[31].

본 연구의 데이터 분석은 통계 소프트웨어 R 3.6.2 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria)를 사용하였으며, 다층모형 분석은 통계 패키지 lme4를 활용하였고, 아이젠벡터 공간필터링 모형은 spdep을 통해 구현하였다. 모든 시각화는 ESRI의 ArcGIS Pro를 이용하여 완성하였다.

연구 지역 및 변수 선정

연구지역

본 연구의 연구지역은 대구광역시를 포함하는 경상북도 전체를 선정하였다. 경상북도를 연구지역으로 선택한 이유는 크게 두 가지다. 첫째, 대구광역시를 포함하는 경북 지역은 결핵의 핫스팟이다. Im and Kim [15]는 우리나라의 결핵 핫스팟으로 경북지역을 밝힌 바 있으며, 실제로 경상북도는 지난 19년간 총 54,818명의 누적 결핵환자가 발생한 지역이다[32]. 이는 국내 시·도 단위 전체 행정구역 중 인구대비 가장 높은 수치이다. 둘째, 경북은 결핵 고위험지역이다. 결핵은 연령이 높아질수록 발병률과 사망률이 높은 역학적 특성을 보이는데, 경북은

전체 인구 중 65세 이상 인구가 20%를 넘는 초고령화 지역으로[33], 결핵 발병의 위험도 다른 지역에 비해 높다고 할 수 있다. 또한 경북은 의료 및 보건 수준도 매우 낮는데, 실제로 인구 1,000명당 의사 수 2.1명으로 세종특별자치시를 제외하고 전국에서 가장 낮은 수치이다. 이러한 관점에서 경북지역은 결핵의 핫스팟이자 고위험지역으로서, 결핵 발병의 사회, 환경적 요인에 대한 분석이 보다 필요한 지역이라 할 수 있다. 본 연구에서는 대구광역시, 경북 내 31개의 시·군·구 행정구역과 240개의 읍·면·동 행정구역을 분석 대상으로 하였다.

변수 선정

본 연구에서는 종속변수는 읍·면·동 별 연령 및 성별 표준화 결핵 발생비로 하였고, 독립변수는 서로 다른 7개의 사회 환경변수를 사용하였다. 본 연구의 종속변수 및 독립변수의 개략적인 설명과 기초통계량은 Table 1과 같다.

종속변수

종속변수는 2015년 읍·면·동 별 연령 및 성별 표준화 결핵 발생비이다. 본 연구에서 활용한 표준화 발생비는 기대 환자 수 대비 실제 환자 수를 나타낸 발병률로, 1을 기준으로 1보다 큰 경우 해당 지역의 결핵 환자가 인구구조 및 인구수에 비해 많이 발생한 것을 의미한다. 표

Table 1. Variables used in this study

Category		Variables	Unit	Descriptive statistics					References		
				Mean	Median	Max	Min	S.D.			
Dependent variable		(1) TB SIR	-	1.35	1.23	4.54	0.01	0.79	(34)		
Independent variable	District level (Eup·Myeon·Dong)	(2) Average age	-	51.07	52.70	63.60	30.70	7.05	(36)		
		(3) Population density	/1km ²	862.02	59.37	11,838.10	4.90	2,132.53	(43, 52)		
		(4) Normalized Difference Built-up Index (NDBI)	-	-0.21	-0.22	0.00	-0.33	0.06	(52, 53)		
		(5) Particulate matter (PM ₁₀)	ppm	44.94	45.23	49.03	40.08	2.31	(26, 54)		
	City and county clvel (Si·Gun·Gu)	(6) Medical insurance	\	73,766.66	72,864.00	120,690.00	57,237.00	9,775.21	(11, 12,		
		(7) Financial independence rate	%	11.83	10.90	37.60	4.50	5.38	22)		
		(8) Medical doctors per 1,000 people	count	1.92	1.70	22.00	1.20	1.38	(43)		
Distribution histogram of TB SIR		Correlation matrix									
		variables	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
(1)	1								
		(2)	0.24	1							
		(3)	-0.14	-0.45	1						
		(4)	-0.25	-0.52	0.78	1					
		(5)	-0.28	-0.09	0.09	0.17	1				
		(6)	-0.28	-0.52	0.32	0.30	0.18	1			
		(7)	-0.20	-0.54	0.29	0.23	0.14	0.81	1		
		(8)	-0.09	-0.13	0.42	0.29	0.07	0.20	0.21	1	

SD, standard deviation; TB SIR, standardized tuberculosis incidence ratio.

준화 작업을 하면 발병률 비교에 있어 인구구조 및 인구가 다른 지역, 집단 간의 비교가 용이하다.

본 연구에서 연령 및 성별 표준화 결핵 발생비를 구한 방법은 다음과 같다. 먼저, 우리 나라 전체 결핵 발병 환자 수를 연령 및 성별에 따라 개별 집단(s)으로 분류한다. 이후 분류된 개별 집단의 결핵 환자수(T_s)를 개별 연령 및 성별에 해당하는 집단의 전국 표준 인구수(P_s)로 나누어 각 집단의 기대 발병률을 구한다. 다음으로, 행정구역 별(r) 연령 및 성별 분류 인구수(p_{rs})에다 앞서 계산한 기대 발병률을 곱하여 개별 인구 집단의 기대 발병 환자 수를 계산하고, 이를 합산한다. 마지막으로, 개별 행정구역의 실제 발병 환자수를 앞서 합산한 전체 기대 발병 환자수로 나눈다[34].

$$\text{개별 인구 집단}(s) \text{의 결핵 기대 발병률} = \frac{T_s}{P_s}$$

(P_s : 인구집단 s 의 인구수, T_s : 인구집단 s 의 결핵 환자수)

$$r \text{ 지역의 기대(Expected) 결핵 환자 수} = \sum_{s=1}^n p_{rs} \times \frac{T_s}{P_s}$$

(p_{rs} : i 지역의 인구집단 s 의 인구수, n : 전체 인구집단의 수)

$$\text{표준화 결핵 발생비} = \frac{\text{실제(Observed)발병 결핵 환자 수}}{\text{기대(Expected)발병 결핵 환자 수}}$$

독립변수

읍·면·동 수준

평균연령

결핵은 결핵균에 감염될지라도 발병하는 비율이 전체의 약 10%에 불과하다[35]. 그러나 나이가 들수록 면역력이 떨어지기 때문에, 고령일수록 결핵의 발병에 더 취약하다 [36]. 실제로 우리나라의 전체 결핵 신규 환자 중 65세 이상 환자가 차지하는 비율은 약 47%이다[32]. 이에 따라 평균연령이 높은 지역일수록 결핵의 발병이 많이 나타날 것이라 예상할 수 있다. 평균연령 자료는 통계청(<http://kosis.kr>)에서 제공하는 자료를 활용하였다.

인구밀도

지역의 인구밀도와 결핵과의 관련성은 두 가지 측면으로 살펴볼 수 있다[37]. 첫번째 측면은 인구밀도가 높은 지역은 사람 간 접촉이 활발한 지역이라 할 수 있기에, 결핵의 전파와 감염이 쉬워 결핵의 발병위험도 크다는 것이다. 오히려 인구밀도가 낮을수록 결핵의 전파와 감염의 위험이 낮아지기에, 결핵의 발병이 낮게 나타날 거라고 예상한다. 이와 달리 두번째 측면은 인구밀도가 높은 지역은 도시적 경관이 발달한 지역이라 볼 수 있기에, 개인 위생상태가 좋으며 동시에 의료 인프라도 잘 갖춰져 있어 결핵의 발병이 낮다는 것이다. 인구밀도 자료는

통계청(<http://kosis.kr>)에서 제공하는 인구통계자료와 읍·면·동 공간 데이터의 면적 자료를 가공하여 제작하였다.

정규시기화지수

정규시기화지수(Normalized Difference Built-up Index, NDBI)는 해당 지역의 도시화 정도를 나타낼 수 있는 변수로 사용하였다. NDBI는 Zha et al. [38]이 제안한 위성영상의 각 밴드에서 계산된 반사도 값을 이용하여 도시지역을 추출하는 방식으로, 그 결과 값은 해당 지역의 도시화 정도를 나타낸다. Wood et al. [39]은 도시화로 인해 개인의 위생, 의료 시설 및 서비스의 수준이 높아지기 때문에 감염병 발병에 대한 부담이 줄어든다고 밝혔는데, 따라서 결핵 또한 지역의 도시화 수준이 높을수록 발병률이 낮게 나타난다고 예상할 수 있다. 본 연구에서는 미국지질조사국(United States Geological Survey)에서 제공하는 2015년 Landsat 8 위성영상(5월 26일-6월 4일)을 사용하였으며, 자세한 방법은 Zha et al. [38]의 연구를 참고 바란다.

미세먼지

일반적으로 미세먼지는 대표적인 대기오염물질이기 때문에 미세먼지 농도가 높을수록 결핵 발병률이 높다고 알려져 있으나 연구마다 결과가 다르게 나타나고 있다. Smith et al. [40]은 1993년부터 2007년까지 미세먼지 농도 변화와 결핵 발병의 시계열적 분석 연구를 통해, 높은 수준의 미세먼지에 장기간 노출될수록 결핵의 발병률이 높다고 밝혔다. 그러나 Hwang et al. [25]은 2002년부터 2006년까지 서울 지역의 대기오염물질과 결핵 발병의 관련성을 밝힌 연구에서, 미세먼지와는 연관성이 없음을 밝혔다. 또한 미세먼지에 대한 노출이 낮을 경우, 고령화에 따른 폐 기능 저하를 늦출 수 있다는 점에서[41], 결핵 발병과 미세먼지와 관련성에 대한 논의는 더 필요하다. 따라서 본 연구는 2015년 경북지역에서의 미세먼지와 결핵 발병과의 관련성은 어떻게 나타나는지 확인한다. 미세먼지 자료는 에어코리아(<https://www.airkorea.or.kr>)에서 제공하는 미세먼지 측정 자료를 베이지안 크리깅(bayesian kriging)을 통해 가공하여 제작하였다.

시·군·구 수준

1인당 평균 건강보험료

1인당 평균 건강보험료는 시·군·구 수준에서 개인의 소득 수준을 나타낼 수 있는 변수로 사용하였다. 높은 결핵 발병이 나타나는 지역은 주로 개인 혹은 지역의 경제적 수준이 낮은 지역이다[11,12,22]. 또한 Im and Kim [15]은 국내 시·군·구 수준 결핵 발병 연구에서 평균 건강보험료가 낮은 지역일수록 결핵 발병률이 높다고 밝힌 바 있다. 평균 건강보험료 자료는 국민건강보험공단(<https://www.nhis.or.kr>)에서 제

공하는 지역별 의료이용 통계자료를 활용하였다.

재정자립도

재정자립도는 지방 재정의 건전성 및 독립성을 나타내는 지표이지만 해당 지역의 사회 경제적 자본 수준을 간접적으로 반영할 수 있는 변수로, 국내 지역사회 건강불평등 연구에서 많이 사용된다[16,42]. 1인당 평균 건강보험료와 마찬가지로 지역의 사회, 경제적인 수준이 결핵 발병률과 높은 상관관계가 있음을 고려할 때, 지역의 재정자립도 또한 결핵 발병에 영향을 미칠 것이라 사료된다. 재정자립도 자료는 통계청(<http://kosis.kr>)에서 제공하는 자료를 활용하였다.

인구 1,000명당 의사 수

인구 1,000명당 의사 수는 해당 지역의 의료 서비스 수준을 반영할 수 있는 대표적인 변수이다. 결핵은 지역 단위의 조기 검사와 지속적인 치료가 병행되어야 예방이 가능하기 때문에, 해당지역의 의료 서비스

수준이 낮다면 결핵의 발병 위험이 높아질 수 있다[43]. 그러나 중국, 브라질과 같은 도시화가 빠르게 진행되고 지역은 인구 1,000명당 의사 수가 많다 하더라도 오히려 결핵 발병이 높거나 관련이 없다고 나타나기도 한다[22,44]. 인구 1,000명당 의사 수 자료는 통계청(<http://kosis.kr>)에서 제공하는 자료를 활용하였다.

연구 결과

경북 결핵 발병률의 공간 분포 분석

Figure 1은 행정구역별 2015년 결핵 발병률을 지도화한 것으로, (A) 지도는 표준화하지 않은 인구 10만 명당 결핵 발병률이고, (B) 지도는 연령 및 성별을 표준화 한 발생비이다. 두 지도 모두 발병률 분포는 비슷하게 나타나 보인다. 두 지도 모두 높은 발병률 군집을 보이는 지역은 영양군 산간지방을 중심으로 한 울진군, 영덕군 등의 일부 지역이다. 특히 영양군은 거의 모든 지역이 가장 높은 수준의 발병률을 보이

Figure 1. Spatial distribution of TB. (A) TB incidence rate (IR: cases/100,000), (B) Standardized TB incidence ratio (SIR). TB, tuberculosis; SIR, standardized incidence ratio; IR, incidence rate.

고 있다(Table 2). 고령군 또한 일부 지역이 높은 결핵 발병률을 나타내고 있으나, 인접지역과의 군집은 보이지 않는다. 반대로 두 지도 모두 낮은 발병률이 나타나는 지역은 구미시, 김천시, 안동시 일부 지역, 대구광역시 일부 지역, 포항시 북구 정도인데(Table 3), 이들 지역은 공통적으로 시·군 단위 이상의 행정구역으로 경북 내에서는 상대적으로 도시화 수준이 높은 지역이라 할 수 있다.

그러나 표준화하지 않은 결핵 발병률 분포와 표준화한 결핵 발생비 분포의 비교를 통해, 발병률에 대한 표준화 효과를 확인할 수 있다. 표준화하지 않은 발병률 분포에서 낮은 발병률을 보이는 대구광역시 달성군, 포항시 남구, 경산시와 같이 경북 내 도시화 수준이 높은 지역들의 표준화한 결핵 발생비는 1보다 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 반대로 표준화하지 않은 결핵 발병률 분포에서는 그 발병률이 매우 높게 나타났던 상주시, 군위군, 영주시의 일부 지역(상주시 화남면, 상주시 은척면, 군위군 고로면, 영주시 장수면 등)들은 표준화한 결핵 기대 발생비가 상대적으로 낮아진 것을 확인할 수 있다. 결과적으로 성별 및

연령에 따른 표준화를 통해 결핵 발병의 공간분포를 확인하였을 때, 서로 상이한 인구구조 및 인구수를 가진 지역에 대한 비교가 보다 용이해졌음을 판단할 수 있다.

Figure 2는 결핵 발병률의 군집성의 국지적 패턴을 확인하기 위하여 Getis-Ord Gi* 통계량을 이용하여 대구광역시·경북 지역의 결핵 발병률의 핫스팟과 콜드스팟(cold spot)을 탐색한 결과이다. 해당 핫스팟과 콜드스팟은 통계적 유의도($p < 0.01$)가 높은 지역들이다. 핫스팟의 경우, 영양군 전체와 안동시, 영덕군, 울진군, 봉화군 일부 지역이 포함된 지역으로 특정됐으며, 콜드스팟의 경우, 김천시와 안동시에서 발견됐으나 포함된 지역들의 수와 면적들을 봤을 때 큰 의미를 갖기 어렵다. 그러나, 결핵 발병률이 유난히 높은 지역의 군집을 나타내는 핫스팟 지역들은 자세히 볼 필요가 있다. 특히 핫스팟에 포함된 여러 지역들 중에서도 전체 행정구역이 포함된 영양군은 결핵 발병과의 연관성에 있어서 중요한 의미를 갖을 것으로 판단된다.

영양군은 전체 인구가 16,677명(2020년 11월 기준)으로 울릉군을 제

Table 2. TB incidence highest regions (Top 5)

Rank	TB incidence rate (cases/100,000)		Standardized TB incidence ratio (SIR)	
	Region	IR	Region	SIR
1	Cheonggi-myeon, Yeongyang-gun	531.91	Cheonggi-myeon, Yeongyang-gun	4.53
2	Chuksan-myeon, Yeongdeok-gun	482.62	Subi-myeon, Yeongyang-gun	4.13
3	Ugok-myeon, Goryeong-gun	447.92	Ugok-myeon, Goryeong-gun	3.89
4	Subi-myeon, Yeongyang-gun	431.73	Geumgangsog-myeon, Uljin-gun	3.85
5	Changsung-myeon, Yeongdeok-gun	427.35	Seokbo-myeon, Yeong- yang-gun	3.73

TB, tuberculosis; SIR, standardized incidence ratio; IR, incidence rate.

Table 3. TB incidence lowest regions (Top 5)

Rank	TB incidence rate (cases/100,000)		Standardized TB incidence ratio (SIR)	
	Region	IR	Region	SIR
1	Myeongnyun-dong, Andong-si	17.26	Sabeol-myeon, Sangju-si	0.21
2	Jijwa-dong, Gimcheon-si	18.72	Junggu-dong, Andong-si	0.23
3	Junggu-dong, Andong-si	19.27	Myeongnyun-dong, Andong-si	0.24
4	Dasan-myeon, Goryeong-gun	20.88	Guseong-myeon, Gimcheon-si	0.26
5	Sabeol-myeon, Sangju-si	24.20	Buseok-myeon, Yeongju-si	0.27

TB, tuberculosis; SIR, standardized incidence ratio; IR, incidence rate.

Figure 2. Hotspots of TB incidence.

외하고 전국 시·군·구 단위 지자체 중 가장 적은 인구가 살고 있는 지역이다[45]. 또한 전체 인구 중 65세 이상 인구는 6,262명으로 약 38%를 차지하고 있을 정도로, 고령 인구의 비율이 매우 높은 지역이다. 앞서 밝힌 바와 같이 결핵의 발병은 연령이 높을수록 많이 나타나기 때문에, 인구적 측면에서 높게 나타난다고 볼 수도 있다. 그러나 본 연구에서 사용한 발병률은 연령 및 성별을 표준화한 발병률이기 때문에 영양군의 인구구조 및 인구수에 대한 영향을 보정하였다고 봐야 한다. 그렇기 때문에 인구적 특성 이외에도 영양군의 지역적 다양한 특성을 살펴볼 필요가 있다.

영양군은 지역 경제 및 사회적 기반이 취약한 지역이다. 영양군의 재정자립도는 6.1%로 전국 최하위를 나타내고 있으며, 이는 경북내 지자체 평균인 27.1%에도 크게 미치지 못하고 있는 수준이다[46]. 영양군의 경제기반의 취약함은 사회적 안전망의 부재로 이어져, 영양군의 인구 10만 명당 자살률은 66.6명으로 전국에서 가장 높은 수치를 보였다[47]. 이렇게 영양군의 지역 경제 및 사회적 기반은 경북 내뿐만 아니라 전국을 통틀어서도 매우 열악하다고 볼 수 있다. 결핵의 발병과 예방에 직, 간접적인 영향을 미치는 보건 및 의료 환경 수준에서도 영양군은 전국 최하위권이다. 실제 적절한 의료서비스를 받았더라면 피할 수 있는 사망률을 나타내는 수치인 치료가가능사망률(amenable mortality rate)이 전국 최고(107.8명)이다[48]. 이는 서울특별시 강남구의 29.6명에 비하여 3배 이상 높은 수치이기도 하다. 또 다른 보건 및 의료 환경 지표인 인구 1,000명당 의사 수는 경북 내에서도 최하위 수준으로 인구 1,000명당 1.4명을 기록하고 있다[49].

대구광역시, 경북 내 결핵 발병률의 탐색적 공간분석을 통해 결핵 발병률의 공간 분포에는 지역 차가 분명히 나타나며, 연령 및 성별 표준화를 하여도 발병의 군집성이 해소되지 않음을 확인하였다. 또한 핫스팟 분석을 통해 결핵 발병이 높은 군집을 보이는 지역을 영양군을 중심으로 한 경북 내 북동쪽 산간 및 해안지역으로 특정하였다. 특히 핫스팟의 중심이 되는 영양군의 지역 경제 환경 및 사회적 기반을 살펴봐왔을 때, 높은 결핵 발병률과의 연관성을 짐작할 수 있다.

모형 분석 결과

Table 4는 본 연구의 다층모형과 공간필터링 다층모형의 분석 결과이다. 귀무모형 분석을 통해 본 연구의 다층모형의 적용은 적절한 것으로 판단할 수 있는데, 이는 집단 내 상관계수(Intraclass Correlation Coefficient, ICC)를 통해 확인할 수 있다[50]. 본 연구의 ICC값은 0.323으로 다층모형의 분석의 적절성 기준이 0.05 이상을 고려할 때 적절하다고 판단된다. ICC의 값은 0에서 1로 나타나는데, ICC의 값이 0.05 이상이면 다층분석이 적절하다고 판단할 수 있다[50]. 또한 이는 읍·면·동 수준의 결핵 발병률에 대한 총 분산 중 상위 수준인 시·군·구 단위 수준의 분산이 약 32.3%를 설명한다는 것을 의미한다.

읍·면·동 단위 자료만을 독립변수로 사용한 1수준 모형은 분석 결과, 평균연령, 정규시가화지수, 미세먼지가 유의하게 나타났다. 또한 1수준 모형은 모형의 적합도를 나타내는 아카이케 정보 기준(Akaike Information Criterion, AIC) 값을 귀무모형과 비교하였을 때, 소폭 감소한 것을 보이며 보다 높은 적합도를 보였다. 1수준 모형에 시·군·구 단위

Table 4. Estimation results of the models

Categories		Multilevel models					Spatially filtered multilevel model	
		Null model	Level 1 multilevel		Level 2 multilevel			
Fixed effects								
			Estimate	p-value	Estimate	p-value	Estimate	p-value
Level 1 (Eup·Myeon·Dong)	Average age	-	0.12*	0.02	0.12*	0.02	0.10**	<0.01
	Population density	-	0.10	0.17	0.11	0.20	0.11	0.22
	NDBI	-	-0.18*	0.02	-0.18*	0.02	-0.16*	0.01
	PM ₁₀	-	-0.18**	<0.01	-0.18**	<0.01	-0.17**	<0.01
Level 2 (Si·Gun·Gu)	Medical insurance	-	-	-	-0.14*	0.03	-0.13*	0.02
	Financial independence	-	-	-	-0.02*	0.04	-0.02**	<0.01
	Medical doctors per 1,000 people	-	-	-	-0.01	0.09	-0.01	0.08
Random effects								
Group-level variance		0.22	0.18		0.10		0.05	
Constant		1.37	1.37		1.33		1.37	
AIC		540.76	540.30		538.49		532.24	
Log-likelihood		-267.38	-266.15		-265.24		-261.84	
Moran's I of random effect		0.24	0.17		0.12		0.01	

NDBI, Normalized Difference Built-up Index; PM₁₀, particulate matter; AIC, Akaike information criterion.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

위 변수를 추가한 2수준 모형은 3개의 읍·면·동 단위 변수(평균연령, 정규시가화지수, 미세먼지)와 2개의 시·군·구 단위 변수(평균 건강보험료, 재정자립도)가 통계적 유의성이 나타났다. 랜덤효과의 시·군·구 단위 수준의 분산은 1수준 모형에 비하여 0.18에서 0.10으로 감소하였으며, AIC 값도 감소하였다. 이를 통해 2수준 모형이 결핵 발병률 분석이 1수준 모형보다 높은 적합성을 보인다는 것을 확인할 수 있다.

공간필터링 다층모형에 또한 2수준 모형과 같이 동일한 3개의 읍·면·동 단위변수와 2개의 시·군·구 단위 변수가 통계적으로 유의하다는 결과가 나타났다. 그러나 2수준 모형과 달리 공간필터링 다층모형에서는 읍·면·동 단위의 평균연령과 시·군·구 단위의 재정자립도의 통계적 유의성이 보다 향상된 것을 확인할 수 있다. 모형 적합성 평가에서는, 공간필터링 다층모형이 AIC 값은 532.24로 가장 낮은 수치를 보이며 본 연구에서 분석한 회귀 모형 중 가장 적합한 모형임을 나타냈다. 시·군·구 단위 수준의 분산 또한 2수준 모형에 비해 0.10에서 0.05로 감소하였으며, 이는 공간 필터링 아이겐벡터들이 시·군·구 단위의 분산을 설명하였음을 의미한다. 또한 랜덤효과 공간적 자기상관

성을 나타내는 Moran's I 값은 공간필터링 다층모형에서 모두 설명함에 따라 결핵 발병의 사회, 환경적 요인을 분석하는 모형을 최적화했다고 할 수 있다. 또한 공간필터링 다층모형을 통해 잔차의 공간적 자기상관성이 설명됐다는 것은 지도를 통해서도 확인할 수 있다(Figure 3).

변수의 해석

결핵 발병의 사회, 환경적 요인의 공간필터링 다층모형 분석 결과 읍·면·동 단위에서는 높은 평균연령, 낮은 시가화지수, 낮은 미세먼지 농도가, 시·군·구 단위에서는 낮은 1인당 평균 건강보험료와 낮은 재정자립도가 결핵 발병의 위험을 높인다는 것을 확인하였다.

먼저 모든 모형에서 유의하게 나타난 평균연령 변수를 통해 결핵 발병의 높은 연령 의존성을 확인할 수 있다. 이는 경북의 결핵 발병률에 대하여 연령 표준화를 하였음에도 불구하고, 평균연령이 유의하게 나타났기 때문이다. 이러한 결핵 발병의 높은 연령 의존성은 현재 경북의 인구 변화 추세를 고려할 때, 향후에도 그 발병 위험성이 계속해서 높아질 것이라고 예상하게 한다. 경북의 고령인구비율이 2020년 21.7%에서 2047년 45.4%로 추정되는 상황에서[51], 추후 결핵 환자 발생률이 높아짐과 동시에 누적환자가 계속해 증가할 것이라고 판단된다.

마찬가지로 모든 수준의 모형에서 읍의 회귀계수로 유의하게 나타난 시가화지수는 도시화 수준이 낮을수록 결핵 발병률이 높아질 수 있다는 것을 보여주었다. 인구밀도 변수가 모형분석결과 유의하게 나타나지 않았다는 것을 함께 고려할 때, 현재 경북의 결핵 발병률이 높은 지역은 사람들의 잦은 접촉에 의한 감염과 발병의 영향보다는 고령화로 인한 면역력 약화와 지역의 낙후된 생활 환경 측면의 영향이 크다고 생각할 수 있다. 물론 인구 1,000명 당 의사 수가 유의하게 나타나지 않음에 따라 생활 환경 측면에서 의료 수준은 큰 영향이 없다고 할 수 있다.

지역의 경제적 수준을 반영하는 변수인 1인당 평균건강보험료와 재정자립도 모두 유의하게 나타나면서, 비교적 큰 시·군·구 단위의 경제적 수준이 결핵 발병에 분명하게 영향을 미친다는 것을 확인하였다. 이는 상위 수준의 지역 단위의 경제적 수준이 낮다면, 해당 지역의 하위 수준 지역 단위 결핵 발병이 커질 수 있다는 것을 보여준다.

미세먼지는 모든 수준 모형에서 통계적 유의도가 가장 높게 나타나는 결과가 나왔는데, 다만 회귀계수가 음수로 일반적으로 기대하는 높은 미세먼지 농도에 따른 결핵 발병률의 증가라는 관계가 발견되지는 않았다. 그러나 해당 결과를 미세먼지가 낮을수록 결핵 발병률이 높아진다고 해석하기는 무리가 있다. 추가적인 연구가 필요하지만 해당 결과는 통계적 해석 보다는 공간적으로 확인하여 해석할 필요가 있다. 지역단위로 보았을 때 경북에서 결핵 발병률이 높게 나타나는 지역들은 주로 미세먼지 농도가 낮게 나타나는 자연환경을 가진 지역들이라

Figure 3. Residuals of spatial filtering model.

는 점이 영향을 미친 결과로 볼 수 있다는 것이다.

고찰 및 결론

본 연구는 경북 내 결핵 발병의 공간불평등을 설명하고자, 먼저 지역별 결핵 발병률의 공간적 분포를 확인하였다. 경북의 결핵 발병률 분포를 살펴본 결과, 영양군 산간 지방을 중심으로 인접한 봉화군, 울진군, 영덕군과 경북 남서 지역의 고령군이 높게 나타났다. 이렇게 결핵 발병률이 높게 나타나는 지역은 공통적으로 고령인구가 많은 산간지역 혹은 해안지역이며, 이와 달리 결핵 발병률이 낮게 나타나는 지역은 안동시, 김천시, 상주시, 영주시 등으로 상대적으로 도시적 경관이 발달한 지역이다. 연령 및 성별 표준화 한 결핵 발병률의 공간적 자기상관성(Global Moran's I)은 0.3201로 높은 양의 공간적자기상관성이 나타났으며, 이는 감염병이라는 결핵의 역학적 특성이 반영된 것이라 할 수 있다. 이에 Getis-Ord Gi*를 통해 핫스팟 분석을 실시한 결과, 영양군을 중심으로 한 뚜렷한 결핵 발병의 군집이 확인됐다. 특히 영양군은 지역의 인구, 사회, 경제 모든 측면에서 매우 취약하다는 것을 고려할 때, 앞으로 경북의 결핵 예방사업 및 정책 시행에 있어서 영양군에 대한 보다 집중적인 관리가 필요하다.

또한 본 연구는 공간필터링 다층모형을 이용해 경북 결핵 발병의 공간불평등에 영향을 미치는 사회 환경적 요인을 추정하였으며, 결핵 발병 데이터의 공간적 자기상관성을 설명하여 통계적 추정의 오류를 최소화하였다. 다층모형의 경우, 인구 구조적인 측면에서 결핵 발병에 있어 높은 연령의존도를 확인하였으며, 지역의 사회 경제적 환경 측면에서는 도시화 수준이 낮고 낙후된 지역일수록, 동시에 경제적 수준이 낮을수록 결핵 발병률이 높아지는 것을 확인하였다. 특히 시·군·구 행정단위의 지역 경제수준이 낮을 경우, 하위 행정구역인 읍·면·동 수준의 결핵 발병률도 높아질 수 있다는 것을 추정할 수 있었다. 미세면지와 결핵 발병의 관련성을 살펴보았을 때, 경북 내 결핵 발병률이 높은 지역들은 대개 산간지방에 위치하여, 상대적으로 청정한 대기환경이 조성된 지역으로 확인되어 결핵 발병요인으로서 미세먼지에 대한 기대를 충족하지 못하였다. 결과적으로, 결핵 발병에 대한 대기환경요인 영향을 제외하고 경북의 사회경제적 수준과 인구의 성장에 대한 낮은 기대치만을 고려할 때, 향후 경북 결핵 발병의 공간적 불평등을 해소하는 데는 어려움이 따를 것으로 예상된다.

경북의 결핵 발병의 공간불평등을 확인하고 그 영향 요인들을 구체적으로 살펴본 본 연구는 다음과 같은 의의와 기대를 갖는다. 본 연구는 국내 결핵 발생을 공간불평등이라는 관점에서 살펴본 최초의 연구이다. 특히 그 지역을 결핵 고위험지역인 경북으로 한정했다는 점에서, 향후 결핵관리정책에 대한 반영을 기대한다. 현재 시행되고 있는 제2

기 결핵관리정책은 공간에 대한 고려가 부족한데, 공간적 측면에 대해서는 지자체의 역량강화, 지자체의 역학조사 참여 확대 등과 같이 구체적이지 않은 전략이 전부이다. 감염병은 그 발병 지역을 특정하였을 때 보다 효과적인 관리가 가능하다. 따라서 추후 결핵 관리 정책에서는 본 연구에서 확인된 핫스팟 지역들과 같이 결핵 발병률이 군집해 나타나는 지역들은 결핵관리 특별지역으로 지정하는 등 내부적 지침 개정을 통하여 관리하는 방안을 고려했으면 한다.

그러나 본 연구의 다음과 같은 한계점들을 갖는다. 첫째, 경북 내 일부 행정구역(포항시, 영천시, 경산시, 구미시, 청송군, 청도군)의 경우 하위 수준인 읍·면·동 단위의 결핵 환자 데이터를 구득하지 못하였다. 따라서 완전한 다층 모형을 구성하지는 못하였으며, 나아가 개인 수준의 데이터가 없었기에 다층모형을 보다 효과적으로 사용하지 못하였다. 둘째, 본 연구는 단 년(2015년)연구로서 잠복기간이 긴 결핵 발병의 특성 반영을 하지 못하였다. 특히 미세먼지의 경우, 해마다 그 변화가 크기 때문에 이를 고려하기 위해서는 시계열적 분석 변화를 확인해야 할 필요가 있다. 언급한 한계점들은 모두 일차적으로 데이터 구득의 문제에 기인하기에, 향후 결핵 발병의 공간불평등과 그 요인을 보다 구체적으로 분석하여 결핵관리정책을 펼치기 위해서 대응적 차원의 데이터 공개에 대한 지원을 요하는 바이다.

ORCID

Changmin Im <https://orcid.org/0000-0002-5254-0995>

Youngho Kim <https://orcid.org/0000-0002-8131-0080>

REFERENCES

1. Munch Z, Van Lill SW, Booysen CN, Zietsman HL, Enarson DA, Beyers N. Tuberculosis transmission patterns in a high-incidence area: a spatial analysis. *Int J Tuberc Lung Dis* 2003;7(3):271-277.
2. Barnes DS. The making of a social disease: Tuberculosis in nineteenth-century France. Berkeley: University of California Press; 1995.
3. Raviglione M, Krech R. Tuberculosis: still a social disease. *Int J Tuberc Lung Dis* 2011;15(Suppl 2):6-8. DOI: 10.5588/ijtld.11.0158.
4. Ali M. Treating tuberculosis as a social disease. *Lancet* 2014;383(9936):2195. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61063-1
5. Dubos RJ, Dubos J. The white plague: tuberculosis, man, and society: Rutgers University Press; 1987.
6. Timmermans S, Haas S. Towards a sociology of disease. *Social Health Illn* 2008;30(5):659-676. Epub 2008/06/21. DOI: 10.1111/j.1467-9566.

- 2008.01097.x
7. Harling G, Ehrlich R, Myer L. The social epidemiology of tuberculosis in South Africa: a multilevel analysis. *Soc Sci Med* 2008;66(2):492-505. DOI: 10.1016/j.socscimed.2007.08.026
8. Lonnroth K, Jaramillo E, Williams BG, Dye C, Raviglione M. Drivers of tuberculosis epidemics: the role of risk factors and social determinants. *Soc Sci Med* 2009;68(12):2240-2246. DOI: 10.1016/j.socscimed.2009.03.041
9. Ximenes RAD, de Albuquerque MDP, Souza WV, Montarroyos UR, Diniz GTN, Luna CF, et al. Is it better to be rich in a poor area or poor in a rich area? A multilevel analysis of a case-control study of social determinants of tuberculosis. *Int J Epidemiol* 2009;38(5):1285-1294. DOI: 10.1093/ije/dyp224
10. Curtis S, Rees Jones I. Is there a place for geography in the analysis of health inequality? *Sociol Health Illn* 1998;20(5):645-672. DOI: 10.1111/1467-9566.00123
11. Álvarez-Hernández G, Lara-Valencia F, Reyes-Castro PA, Rascón-Pacheco RA. An analysis of spatial and socio-economic determinants of tuberculosis in Hermosillo, Mexico, 2000–2006. *Int J Tuberc Lung Dis* 2010;14(6):708-713.
12. Nana Yakam A, Noeske J, Dambach P, Bowong S, Fono LA, Ngatchou-Wandji J. Spatial analysis of tuberculosis in Douala, Cameroon: clustering and links with socio-economic status. *Int J Tuberc Lung Dis* 2014;18(3):292-297. DOI: 10.5588/ijtld.13.0573
13. He WC, Ju K, Gao YM, Zhang P, Zhang YX, Jiang Y, et al. Spatial inequality, characteristics of internal migration, and pulmonary tuberculosis in China, 2011–2017: a spatial analysis. *Infect Dis Poverty* 2020;9(1):159. DOI: 10.1186/s40249-020-00778-0
14. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). OECD health statistics 2019. Available at <http://www.oecd.org/els/health-systems/health-data.htm> [accessed on January 10, 2021]
15. Im C, Kim Y. Spatial socio-environmental analysis of tuberculosis in South Korea using eigenvector spatial filtering methodology. *J Korean Cartographic Assoc* 2016;16(3):89-101 (Korean). DOI: 10.16879/jkca.2016.16.3.089
16. Lee J. The regional health inequity, and individual and neighborhood level health determinants. *Health Soc Welf Rev* 2016;36(2):345-384 (Korean).
17. Kreft IGG, Leeuw Jd. *Introducing multilevel modeling*. London: Sage; 1998.
18. Hollo V, Kotila SM, Kodmon C, Zucs P, van der Werf MJ. The effect of migration within the European Union/European Economic Area on the distribution of tuberculosis, 2007 to 2013. *Euro Surveill* 2016;21(12). DOI: 10.2807/1560-7917.ES.2016.21.12.30171
19. Li L, Xi YL, Ren F. Spatio-temporal distribution characteristics and trajectory similarity analysis of tuberculosis in Beijing, China. *Int J Environ Res Public Health* 2016;13(3):291. DOI: 10.3390/ijerph13030291
20. Braveman P, Gruskin S. Defining equity in health. *J Epidemiol Community Health* 2003;57(4):254-258. DOI: 10.1136/jech.57.4.254
21. Whitehead M. The concepts and principles of equity and health. *Int J Health Serv* 1992;22(3):429-445. DOI: 10.2190/986L-LHQ6-2VTE-YRRN
22. Harling G, Castro MC. A spatial analysis of social and economic determinants of tuberculosis in Brazil. *Health Place* 2014;25:56-67. DOI: 10.1016/j.healthplace.2013.10.008
23. Wubuli A, Xue F, Jiang D, Yao X, Upur H, Wushouer Q. Socio-demographic predictors and distribution of pulmonary tuberculosis (TB) in Xinjiang, China: a spatial analysis. *PLoS One* 2015;10(12):e0144010. DOI: 10.1371/journal.pone.0144010
24. Lima SVMA, dos Santos AD, Duque AM, de Oliveira Goes MA, da Silva Peixoto MV, da Conceição Araújo D, et al. Spatial and temporal analysis of tuberculosis in an area of social inequality in Northeast Brazil. *BMC Public Health* 2019;19(1):873. DOI: 10.1186/s12889-019-7224-0
25. Hwang S, Kang S, Lee JY, Lee JS, Kim HJ, Han SK, et al. Impact of outdoor air pollution on the incidence of tuberculosis in the Seoul metropolitan area, South Korea. *Korean J Intern Med* 2014;29(2):183-190 (Korean). DOI: 10.3904/kjim.2014.29.2.183
26. Sohn M, Kim H, Sung H, Lee Y, Choi H, Chung H. Association of social deprivation and outdoor air pollution with pulmonary tuberculosis in spatiotemporal analysis. *Int J Environ Health Res* 2019;29(6):657-667 (Korean). DOI: 10.1080/09603123.2019.1566522
27. Xiao Y, He L, Chen Y, Wang Q, Meng Q, Chang W, et al. The influence of meteorological factors on tuberculosis incidence in Southwest China from 2006 to 2015. *Sci Rep* 2018;8(1):10053. DOI: 10.1038/s41598-018-28426-6
28. Gelaw YA, Yu W, Magalhães RJS, Assefa Y, Williams G. Effect of temperature and altitude difference on tuberculosis notification: a systematic review. *J Glob Infect Dis* 2019;11(2):63-68. DOI: 10.4103/jgid.jgid_95_18

29. O'Sullivan D, Unwin D. Geographic information analysis. Hoboken, NJ: Wiley; 2003, p. 436.
30. Tiefelsdorf M, Griffith DA. Semiparametric filtering of spatial autocorrelation: the eigenvector approach. *Environ Plann A* 2007;39(5): 1193-1221. DOI: 10.1068/a37378
31. Griffith D, Chun Y. Spatial autocorrelation and eigenvector spatial filtering. In: Fischer M, Nijkamp P (eds). *Handbook of regional science*. Berlin/Heidelberg, Germany: Springer; 2014, p. 1477-1507.
32. Korea Disease Control and Prevention Agency. Annual report on the notified tuberculosis in Korea, 2019. Cheongju: Korea Disease Control Prevention Agency; 2020 (Korean).
33. Statistics Korea. Elderly population ratio, 2019. Available at http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1YL20631&conn_path=I2 [accessed on January 10, 2021]
34. Naing NN. Easy way to learn standardization: direct and indirect methods. *Malays J Med Sci* 2000;7(1):10-15.
35. Frieden TR, Sterling TR, Munsiff SS, Watt CJ, Dye C. Tuberculosis. *Lancet* 2003;362(9387):887-899. DOI: 10.1016/S0140-6736(03)14333-4
36. Meyer KC. The role of immunity in susceptibility to respiratory infection in the aging lung. *Respir Physiol* 2001;128(1):23-31. DOI: 10.1016/S0034-5687(01)00261-4
37. Dye C, Williams BG. The population dynamics and control of tuberculosis. *Science* 2010;328(5980):856-861. DOI: 10.1126/science.1185449
38. Zha Y, Gao J, Ni S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *Int J Remote Sensing* 2003;24(3):583-594. DOI: 10.1080/01431160304987
39. Wood CL, McInturff A, Young HS, Kim D, Lafferty KD. Human infectious disease burdens decrease with urbanization but not with biodiversity. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2017;372(1722):20160122. DOI: 10.1098/rstb.2016.0122
40. Smith GS, Schoenbach VJ, Richardson DB, Gammon MD. Particulate air pollution and susceptibility to the development of pulmonary tuberculosis disease in North Carolina: an ecological study. *Int J Environ Health Res* 2014;24(2):103-112. DOI: 10.1080/09603123.2013.800959
41. Downs SH, Schindler C, Liu LJ, Keidel D, Bayer-Oglesby L, Brutsche MH, et al. Reduced exposure to PM10 and attenuated age-related decline in lung function. *N Engl J Med* 2007;357(23):2338-2347. DOI: 10.1056/NEJMoa073625
42. Kim HY. Community inequalities in health: the contextual effect of social capital. *Korean J Sociol* 2010;44(2):59-92 (Korean).
43. Liu J, Yao H, Liu E. Analysis of factors affecting the epidemiology of tuberculosis in China. *Int J Tuberc Lung Dis* 2005;9(4):450-454.
44. Wang Q, Guo L, Wang J, Zhang L, Zhu W, Yuan Y, et al. Spatial distribution of tuberculosis and its socioeconomic influencing factors in mainland China 2013-2016. *Trop Med Int Health* 2019;24(9):1104-1113. DOI: 10.1111/tmi.13289
45. Statistics Korea. Population by provinces, 2020. Available at https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1B040A3 [accessed on January 10, 2021]
46. Statistics Korea. Financial independence rate by provinces, 2020. Available at https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1YL20921 [accessed on January 10, 2021].
47. Korea Suicide Prevention Center. The number of suicide by provinces, 2020. Available at <https://spckorea-stat.or.kr> [accessed on January 10, 2021].
48. Lee Y. National health care survey. Cheongju: Korea Health Industry Development Institute; 2017 (Korean).
49. Statistics Korea. The number of doctors per 1,000 population, 2019. Available at http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1YL20981&conn_path=I2 [accessed on January 10, 2021].
50. Raudenbush SW, Bryk AS. Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods. London: Sage; 2002.
51. Statistics Korea. Farm population, 2019. Available at http://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=INH_1EA1011_01&conn_path=I2 [accessed on January 10, 2021].
52. Killewo J. Poverty, TB, and HIV infection: a vicious cycle. *J Health Popul Nutr* 2002;20(4):281-284.
53. Franco-Paredes C, Santos-Preciado JI. The introduction of antimicrobial agents in resource-constrained countries: Impact on the Emergence of Resistance. In: Sosa Adj, Byarugaba DK, Amabile-Cuevas CF, Hsueh PR, Kariuki S, Okeke IN, editors. *Antimicrobial Resistance in Developing Countries*. New York, NY: Springer-Verlag New York; 2010, p. 59-71.
54. Zhu S, Xia L, Wu J, Chen S, Chen F, Zeng F, et al. Ambient air pollutants are associated with newly diagnosed tuberculosis: A time-series study in Chengdu, China. *Sci Total Environ* 2018;631-632:47-55. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.03.017