

# 공간 빅데이터를 활용한 행위자 기반 전염병 확산 예측 모형 구축에 관한 연구\*

—서울특별시 메르스 사태를 중심으로—

전상은<sup>1</sup> · 신동빈<sup>2\*</sup>

## A Study on the Agent Based Infection Prediction Model Using Space Big Data\*

—focusing on MERS-CoV incident in Seoul—

Sang-Eun JEON<sup>1</sup> · Dong-Bin SHIN<sup>2\*</sup>

### 요 약

역학 모델은 질병 확산에 대한 시뮬레이션 및 관련 방역대책을 수립하는데 유용하며, 개체들의 접촉을 통해 전파되는 질병의 공간 확산에 대한 자세한 이해를 가능하게 한다. 이 연구에서는 공간에서 개체 간의 상호작용에 의한 결과로 메르스 전염병의 확산을 실시간적으로 시뮬레이션하기 위해 공간 빅데이터와 통합된 행위자 기반 공간 모델을 제안하고자 한다. 설계된 모델은 모집단, 시간, 공간이라는 세 요소를 고려하여 병원간의 직접접촉을 묘사하였다. 모집단의 역학관계는 2015년 서울특별시에서 발생한 메르스 사례를 기준으로 하였으며, 도로를 이동하는 사람과 메르스 환자가 발생한 병원과의 직접접촉으로 전염병이 전파하는 것으로 설계하였다. 모델을 이용하여 메르스 발생 상황을 예측하면서 시계열별로 실제 메르스 확산과 본 모형의 결과를 비교분석 하여 모형의 타당성을 검증하였으며, 다양한 시나리오를 적용해서 모의실험을 수행하였다. 메르스 발생 상황에서 방역 전략을 선정하기 위해 제시된 방법을 이용하여 방역조치를 다양하게 실험하는 것은 메르스 확산을 통제하는데 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

**주요어 :** 공간 빅데이터, 중동 호흡기 증후군(메르스), 지역사회 전염병 확산, 행위자기반모델(ABM)

2018년 5월 4일 접수 Received on May 4, 2018 / 2018년 6월 19일 수정 Revised on June 19, 2018 / 2018년 6월 20일 심사완료 Accepted on June 26, 2018

\* 이 논문은 2014년 정부(국토교통부)의 재원으로 공간정보 융복합핵심인재 양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호 2014-06-01)

1 정도유아이티 스마트도시연구부 Smart Urban Research Department, Jungdo UIT

2 안양대학교 도시정보공학과 Dept. of Urban Information Engineering, Anyang University

\* Corresponding Author E-mail : dbshin@anyang.ac.kr

## ABSTRACT

The epidemiological model is useful for creating simulation and associated preventive measures for disease spread, and provides a detailed understanding of the spread of disease space through contact with individuals. In this study, propose an agent-based spatial model(ABM) integrated with spatial big data to simulate the spread of MERS-CoV infections in real time as a result of the interaction between individuals in space. The model described direct contact between individuals and hospitals, taking into account three factors : population, time, and space. The dynamic relationship of the population was based on the MERS-CoV case in Seoul Metropolitan Government in 2015. The model was used to predict the occurrence of MERS, compare the actual spread of MERS with the results of this model by time series, and verify the validity of the model by applying various scenarios. Testing various preventive measures using the measures proposed to select a quarantine strategy in the event of MERS-CoV outbreaks is expected to play an important role in controlling the spread of MERS-CoV.

**KEYWORDS** : *Geospatial Big Data, MERSC, Community Spread, Agent Based Modeling*

## 서론

최근 사회에서 전염병은 과거보다 전파의 유형과 속도가 매우 빠르고 복잡하게 진행되고 있다. 전염병의 전파 방법은 식품이나 식수, 곤충 매개, 호흡에 의한 병원체의 흡입, 다른 사람과의 접촉 등 다양한 경로를 통해 발생한다. 2003년 6월 기준으로 중증 급성 호흡기 증후군 SARS는 29개국에 확산하였으며, 8,098건이 넘는 발병 사례와 774명의 사망자를 초래하였다. 또한, 중동 호흡기 증후군인 메르스(Middle East Respiratory Syndrome)의 경우 2012년 4월 최초 환자가 보고된 이후 2015년 6월 5일까지 25개국에서 발생하였으며, 메르스에 감염된 1,211명 중 492명이 사망한 것으로 보고되고 있다. 이렇게 전 세계적으로 대유행한 전염병에 대한 사회적 관심이 높아지고 있으며, 이와 관련하여 거시적인 전염병의 전파 양상 분석, 의료 수요 예측, 그리고 중재 방법에 대한 효과 측정 등을 위해 수리적 모델과 시뮬레이션 모델을 이용한 많은 연구가 진행되어 왔다. 행위자 기반 모델은 복잡계(Complex System) 연구의 대표적인 방법으로 최근 주목받고 있는

수학적 모델이다. 복잡계에서 다양한 형태와 다양한 능동적 활동을 하는 개체를 하나의 행위자(Agent)로 표현한다. 행위자는 정해진 규칙에 따라 행동하게 되며, 행위자 기반 모델 기법을 통해 질병 확산의 시공간적 측면과 개체 간의 접촉과 같은 개체의 행동(Behavior)을 고려할 수 있다.

하지만 국내에서 행위자 기반 모델을 적용한 공간 빅데이터 전염병 확산 시뮬레이션을 위한 연구사례는 상대적으로 많지 않으며, 행위자 기반 모델을 적용한 전염병 확산 모델을 적용한 사례는 있으나 공간 빅데이터를 융·복합하여 활용한 모델을 적용한 연구는 없는 것으로 조사되었다. 전염병에 대한 피해의 규모와 빠른 전파속도를 감안하면, 전염병 확산에 대해서 공간 빅데이터 요인을 감안한 행위자 기반 모델에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구와 관련된 선행연구는 「공간정보 기반의 행위자 기반모형」, 「공간정보 기반의 전염병 확산 예측 방법」 2개 영역으로 구분할 수 있다. 기존의 「공간정보 기반의 전염병 확산 예측 방법」과 관련된 연구의 경우 NetLogo 프로그램을 활용하여 행위자 기반의 GIS 공간 내 비상 대피 실험 모델을 개발하고, 이를 서울시 양

평2동에 적용하여 모의실험을 진행하였으며(Yu, 2012), 은 행위자와 외부환경의 상호작용이 구제역의 시공간 확산에 어떠한 영향을 미치는지를 규명하기 위한 공간 확산 프로세스 분석을 하였다(Shin, 2013). 연구 결과를 바탕으로 확산방향과 창발현상의 발생 수를 시각적으로 확인하고 외부환경의 변화와 행위자의 행태에 따라 구제역의 시공간적 확산 패턴에 차이가 존재함을 밝혔다.

또한, 차량을 통한 농장 간 시공간에 따라 질병이 전파되는 역동적인 양상에 대한 공간 모델을 행위자 기반 모델링 개념을 활용해 개발·시물레이션 하였다. 구현된 모델은 집단, 시간, 공간이라는 3개 요소를 고려하여 축산농장 간의 간접 접촉을 묘사했다. 이를 통해 구제역 발생 시 방역 전략 선정을 위한 방역조치를 사전에 실험하는 것이 가능했다(Ariuntsetseg, 2013).

「공간정보 기반의 전염병 확산 예측 방법」과 관련된 선행연구로 국내 수두 감염병의 지역적 분포를 알아보고 최대로그우도비와 몬테카를로 가설검정을 활용하여, 수두 감염병이 위험한 지역을 도출하였다. 연구 결과를 통해 수두 감염병 지역이 계속 이동하며 전라도 지역 내에서 고 위험 지역의 클러스터의 반경의 변화를 예측했다(Ji, 2015). 또한, 생물테러 발생 시 탄저균의 확산을 예측하는 시물레이션모형(Kim, 2003)과 공간적 측면에서 말라리아의 이동 경로와 환자의 발생을 예측하는 공간정보시스템을 구현하

였다(Gong, 2001).

그러나 최근에 발생하는 다양한 전염병, 질병의 경우 비가변적인 모형으로는 확산을 예측하고 방역 활동을 취하는데 한계가 있으며, 특히 사람간의 전염병의 경우 사람의 이동, 개체별 특징 등 고려해야할 사항이 더욱 많기 때문에 연구의 어려움이 있었다. 감염병 확산과 같이 무질서해 보이는 현상 뒤에 숨은 규칙을 분석하는 복잡계 현상을 분석하기 위한 모델의 한계점이 있다. 그러나 최근 복잡계를 구현하기 위한 공간정보 바탕의 행위자 기반 모델과 관련된 긴급상황 발생시 대피 지도, 공간구조 분석, 시각-보행 통합 분석, 침수정보 바탕의 통행경로 예측 시스템, 지진시 긴급 피난 시물레이션 등과 같은 다양한 연구가 진행되고 있지만, 사람과 사람을 통해 전염되는 전염병에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서, 사람간의 전염병에 대한 피해의 규모와 빠른 전파속도와 공간적인 요인에 대한 연구와, 전염병과 관련된 다양한 정보를 실시간으로 수집하고 이들의 확산을 모니터링 및 예측할 수 있는 분석모형에 관한 연구가 필요하다.

## 공간빅데이터 기반 행위자모델 설계 및 구현

### 1. 공간빅데이터 기반 행위자모델 기본구상

공간 빅데이터 기반 행위자 모델로서 기본적인

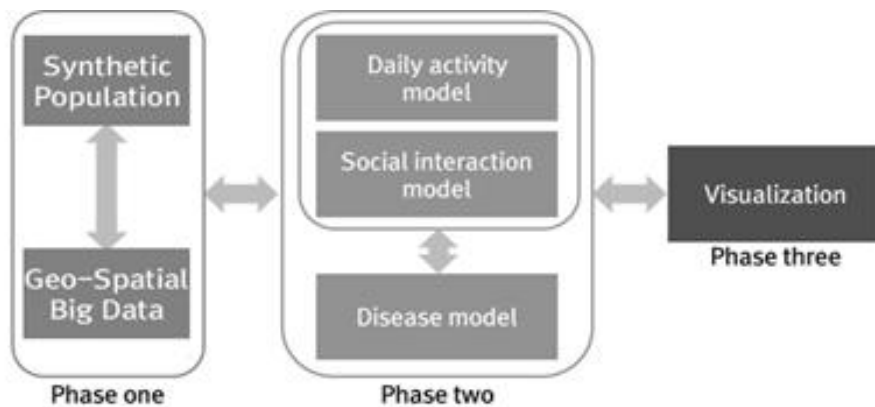


FIGURE 1. Model stages

으로 갖추어야 할 요소, 질병 전파 과정, 개체의 특성 등을 종합적으로 고려하여 시뮬레이션 과정을 단계별로 구별하여 그림 1과 같이 설계하였다.

1단계에서는 시뮬레이션을 구현하기 위해 공간 빅데이터에 접근하여 행위자, 그리고 공간 자료를 시뮬레이션 공간에 생성시키는 기능을 한다. 2단계에서는 행위자의 일상적 활동과 개체 간의 상호작용 및 감염 모델을 포함한 행위자 행태모델에 대한 행위자가 수행하는 각종 규칙과 알고리즘으로 구성한다. 3단계는 개체의 행동 등을 실제적으로 시각화하기 위한 부분으로 시스템 초기화 및 실시간 이벤트 정보를 바탕으로 시간 변화에 따른 결과를 시각적으로 재현한다.

## 2. 모델 환경 설계

질병의 발생은 공간상에 나타나는 현상으로 행위자간 상호작용, 그리고 행위자의 동을 표현하는 모델을 구성하기 위해 GIS 데이터를 활용해야 한다. 메르스 역시 공간상에 나타나는 현상이기 때문에 공간적 분포 특성에 대해 분석이 필요하다. 유동 인구와 버스이용률과 같은 위치 정보를 점(Point) 유형으로 추출하고, 이러한 점 객체에 대한 공간분포 특징을 알아보는 가장 일반적인 방법으로 커널 밀도분석을 실시한다.

본 연구에서는 점 객체에 대한 밀도분석 방법으로 ESRI사의 ArcGIS에서 제공하는 Silverman (1986)의 커널밀도(Kernel Density) 분석을 활용하였다. 도시 내 유동인구의 밀집도를 계산하여 이를 확산 속도와 연관시켜 모델링 하였다. ‘메르스(MERS) 대응 지침(제3-3판)’에 따르면 확진 또는 의심환자와 신체적 접촉을 한 자(또는 환자가 증상이 있는 동안 2m 이내의 공간에 함께 머문자)로 설정하고 있기 때문에, 본 연구에서는 전파 거리를 2m로 설정하였으며, 감염 확률은 유동인구 밀도와 병원 밀도 및 환자 이용률에 따른 감염 확률을 정의 하였다. 또한, 본 연구에서는 메르스 감염 경로 전수조사를 바탕으로 대부분의 감염자가 병원에서 감

염되었다는 것을 확인하여 밀도 확률에서도 병원에 오래 머문 행위자는 감염확률을 높였으며, 그 외 실제 방역과정에서 메르스 감염자가 버스 및 지하철과 같은 대중교통을 이용한 경로도 확인이 되어 감염 확률은 낮지만 향후 활용 가능성 및 방역 경로를 설정하기 위해 대중교통 이용률 데이터를 활용하였다.

모델 환경은 시뮬레이션 대상 지역에 대한 행정 경계, 도로망, 유동 인구, 버스 이용률, 병원 밀도 등의 공간자료와 행위자가 올바르게 차로를 인식하고 이동 경로 설정 등의 시뮬레이션 초기 환경을 설정하는 과정이다.

## 3. 데이터 환경

본 연구에서는 서울특별시에서 제공하고 있는 서울열린데이터광장의 공간빅데이터인 유동인구 데이터와 버스이용률 데이터 그리고 서울특별시에 위치한 병원데이터와 병원별 응급실 개수 데이터를 사용하였다. 데이터의 기준일은 2015년 5월로 데이터의 특성상 일별 데이터가 없기 때문에 월평균 데이터를 활용하였다. 그 외 서울시 도로망데이터, 서울특별시 지역구 데이터를 국가공간정보 오픈마켓에서 제공하는 데이터를 활용하였다.

수집된 데이터를 본 모형에 적용하기 위해 유동인구 데이터와 버스이용률 데이터를 요일별로 가공하였으며, 가공된 데이터와 병원별 응급실 개수 데이터를 ArcGIS의 커널밀도 분석을 수행하였다. 커널밀도 분석을 통해 산출된 공간밀도 값을 바탕으로 본 모형에 적용하였다. 그 외 서울시 도로망데이터의 경우 행위자가 이동할 수 있는 데이터로 사용하였으며, 지역구 데이터는 서울특별시 공간내에서 행위자가 활동하는 공간으로 사용하였다.

사용된 데이터를 정리하면 4개의 레이어로 구분할 수 있다. 첫 번째 레이어(A)는 해당 지역구의 행정구역 경계이며, 행위자가 폴리곤의 밖으로 나갈 수 없도록 행동을 제한하였다. 두 번째 레이어(B)는 해당 지역에 있는 유동 인구, 버스 이용률, 병원의 밀도 정보이며, 밀도는

Kernel Density 알고리즘을 사용하여 계산하였으며, 메르스 전파 확률을 계산하는 데 적용하였다. 세 번째 레이어(C)는 메르스 발병 주요 병원의 위치정보가 있는 좌표 포인트로 활용하였다. 마지막 레이어(D)는 도로망이며, 한 위치에서 다른 위치로 이동하는 사람이 이동하는 데이터로 사용하였다. 도로망 레이어는 모델에서 중요한 레이어로서 사람의 이동 경로를 설정하기 위해 도로에 대한 설계가 필요하다. 이를 위해 도로망 데이터를 사용해 설계하였다.

#### 4. 행위자 행태 모델

행위자 행태 모델 설정에서는 행위자의 접촉에 따른 메르스 전파 과정을 설정하는 단계로 크게 감염 모델 설정과 행위자의 형태와 상호작용으로 구분할 수 있다. 감염 모델에서는 감염자와 감염자간의 접촉에 따른 메르스 확산 모델을 설정하는 단계이다.

공간빅데이터 기반 행위자 행태기반의 감염 모델을 구현하기 위해 SEIR 모델을 메르스의 특성을 확장시켜 행위자 기반 모델로 구현하여 그림 2와 같이 구현하였다. 메르스 감염 모델은 사람을 5종류로 구분한다. 민감한 행위자(Susceptible), 감염된 병원 및 행위자에 노출된 행위자(Expose), 감염된 병원과 감염된 행위자(Infectious) 그리고 회복 또는 질병에 의

한 사망으로 제거되는 개인(Recovered and Dead) 등으로 구분된다.

감염경로는 크게 감염자와 병원의 감염 그리고 감염된 병원 및 행위자와 민감한 행위자와의 감염을 통한 확산이다. 모델에서 민감한 행위자(Susceptible)는 메르스에 노출된 적이 없으며, 메르스 감염에 노출될 경우 감염의 가능성이 있는 행위자로 전염되는 과정은 확률 프로세스로 표현되지만, 질병이 진행되는 동안 다른 상태로 전환되는 잠복기 및 증상을 보이는 시간은 결정성(Deterministic)을 보이고 있다. 모델에서 메르스 경과 양상은 하루 단위로 전개되고 사람간 전파를 실험하는 형식으로 구성되었다. 메르스 바이러스에 감염되면 개체의 상태는 민감한 행위자에서 잠재 감염 상태로 전환된다. 이 상태에서는 아직 다른 개체 및 병원을 감염시키지 않는다. 잠복기가 지난 다음 바이러스를 배출하게 되면 이때를 감염기(Infected)라고 한다. 이렇게 감염된 사람은 병원으로 입원을 하거나 격리를 통해 다른 감염자를 발생시키지 않도록 하며, 감염자는 치료가 완료되면 제거된 상태 회복 또는 사망으로 처리된다. 이렇게 제거된 개체는 모델에서 더 이상 고려하지 않는다. 일단 감염성을 가진 개체는 치료가 될 때까지 지속적으로 감염성이 있는 것으로 간주한다. 또한 한명의 감염자가 병원을 방문할 경우 이 병원은

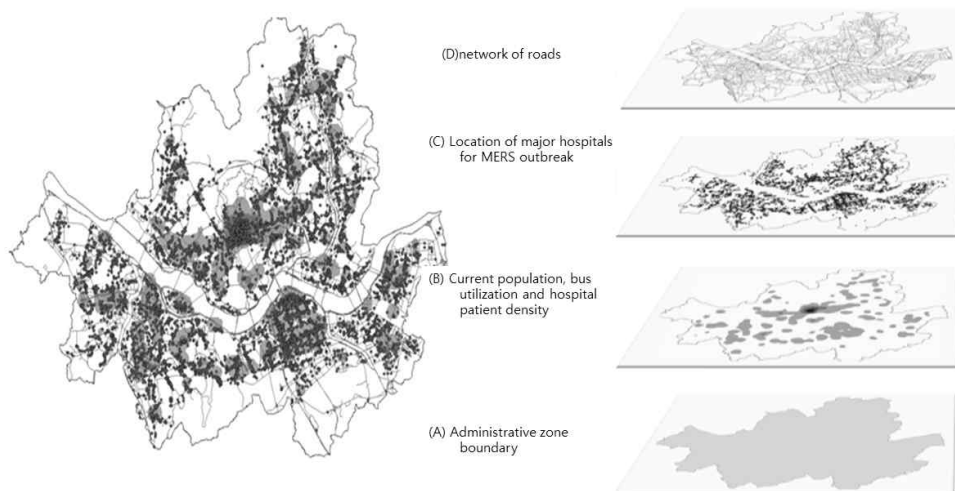


FIGURE 2. Key GIS data for building models

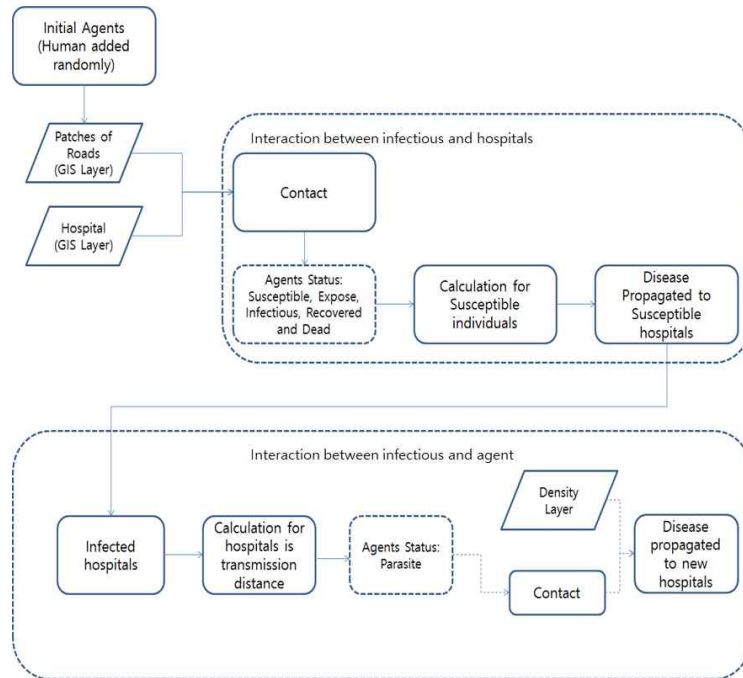


FIGURE 3. An infection-based model of the plague and the process of personal interaction and environment

감염된 병원으로 간주된다.

그림 3에서 표현된 잠복기는 다음의 수식을 통해 산정한다.

$$\beta(I_i + I_s + lH) / N \quad (2)$$

여기서  $\beta$ 는 하루 평균 사람과 사람간의 감염 확률이며,  $l$ 은 입원한 환자에 비해 사회에서 증상을 보이는 전염성을 정량화한 것이다(Ksiazek *et al.*, 2003).

본 모형에서는 모델의 간편화를 위해 선행연구를 참고로 개별적으로 노출된 행위자에서 감염을 보이는 증상으로 진행되는 과정을 비율 값을 동일하게 산정하였으며, 모든 증상을 보이는 감염군의 값과 입원이 필요한 감염군의 값으로 가정하여 진행하였으며, 잠복기는 질병관리본부에서 발표한 평균 6.5일로 수정하였다(Assiri *et al.*, 2013).

또한 국내에서 발생한 메르스 사태에 대한 역학적인 분석과 실제 데이터 및 해외 선행연구의 메르스 데이터를 바탕으로 본 연구에 필요한 값

을 참고하였다. 증상을 보여 감염 단계로 노출된 사람의 비율 값  $p_{c,s}$ 을 55.3%, 병원에 입원하여 증상을 보인 값  $p_h$ 을 76.2%로 산정하였다. 사회에서 회복된 값  $\gamma_{I,s}$ 을 하루 1/5로 산정하였다(Lipsitch *et al.* 2003).

## 시뮬레이션 모형 구축 및 실행

### 1. 공간빅데이터 기반 행위자모델 환경 설계

질병의 발생은 공간상에 나타나는 현상으로 행위자간 상호작용, 그리고 행위자의 동을 표현하는 모델을 구성하기 위해 GIS 데이터를 활용해야 한다. 메르스 역시 공간상에 나타나는 현상이기 때문에 공간적 분포 특성에 대해 분석이 필요하다. 메르스의 공간적 확산은 병간호나 양육, 동거와 같은 가까운 접촉을 통해 발생하였으며, 특히 사람이 밀집하는 장소에서의 확산의 주 의되어 관련 데이터를 공간빅데이터로 구현하기 위해 유동 인구와 버스이용률과 같은 위치 정보를 점(Point) 유형으로 추출하고, 이러한 점 객

체에 대한 공간분포 특징을 알아보는 가장 일반적인 방법으로 Kernel 밀도분석을 실시한다.

Kernel 밀도분석을 통해 도시 내 유동인구의 밀도를 계산하여 이를 확산의 속도와 연관시켜 모델링 하였다. 메르스 확산의 방법으로 직접 접촉을 구현하기 위해 서울특별시의 유동 인구 데이터, 버스 이용률, 대형병원 밀집도 및 환자 수를 바탕으로 모델 환경을 구축하였다.

모델 환경은 행정 경계, 도로망, 병원 위치, 유동 인구 밀도, 버스 이용률 밀도, 병원 밀도 등 일곱 가지 공간 데이터 레이어로 구성된다. 특히 유동 인구 밀도, 버스 이용률 밀도, 병원 환자 수 밀도 레이어는 메르스 전파 확률을 계산하는 데 사용 한다. NetLogo에서는 래스터 데이터를 Patch 형태로 변환 밀도 차이별로 다른 색을 설정하였다. 시뮬레이션이 시작되면 모델 초기화 단계에서 환경이 생성된다.

## 2. 시뮬레이션 실험 및 신뢰성 분석

첫 메르스 감염자 발견을 인지한 즉시 방역활동을 수행한 시뮬레이션 결과는 그림 5와 같다. 실선 그래프는 메르스 발생 시점부터 발생 종료 시점까지 1일 단위로 각 여러 감염 상태에 있는 사람 수의 변화를 나타내고 있다.

그래프에서와 같이 메르스 발생 1일 후 잠복 상태선(파란색)이 증가되는 것으로 보아 질병

전파가 시작된 것을 알 수 있으며, 2일 이후 감염선(붉은 선)이 증가한 것은 잠복기를 지나 감염상태로 활성화됐기 때문이다. 초록색의 회복 상태는 4일부터 증가하게 되며 그 후로 계속 완만한 증가추세를 보이고 있다. 특히 실제 메르스 사태와 비슷하게 격리자 및 메르스 위험지역 노출자가 많은 반면에 실제 메르스 환자는 적었던 실제 사례와 마찬가지로 노출자는 많은 수를 보이지만 실제 감염자는 적은 수를 보이며 메르스 확산속도 또한 낮은 모습을 보이고 있었다.

모의실험에서는 최초 발생 병원의 위치를 삼성병원으로 선정했기 때문에 이번 메르스 노출자가 삼성병원 주변의 유동 인구, 버스 이용률, 병원 밀집지역 등의 높은 밀도를 보이고 있어 해당 지역에서 많은 사람이 메르스에 쉽게 노출되는 것을 보였다.

메르스 바이러스 발생 이후 서울 메르스 노출자 및 감염자의 이동에 따른 강남구, 송파구 일대의 메르스 위험지역의 확산을 확인할 수 있었다. 특히 6일에는 서울 아산병원이 메르스 바이러스에 노출되 아산병원을 중심으로 메르스 확산이 더욱 가속화되는 것을 확인할 수 있었으며, 그래프에서 보듯이 노출자를 나타내는 파란색 그래프의 기울기와 노출자의 비율이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

실제 사례에서는 5월 12일 메르스 발생 이후

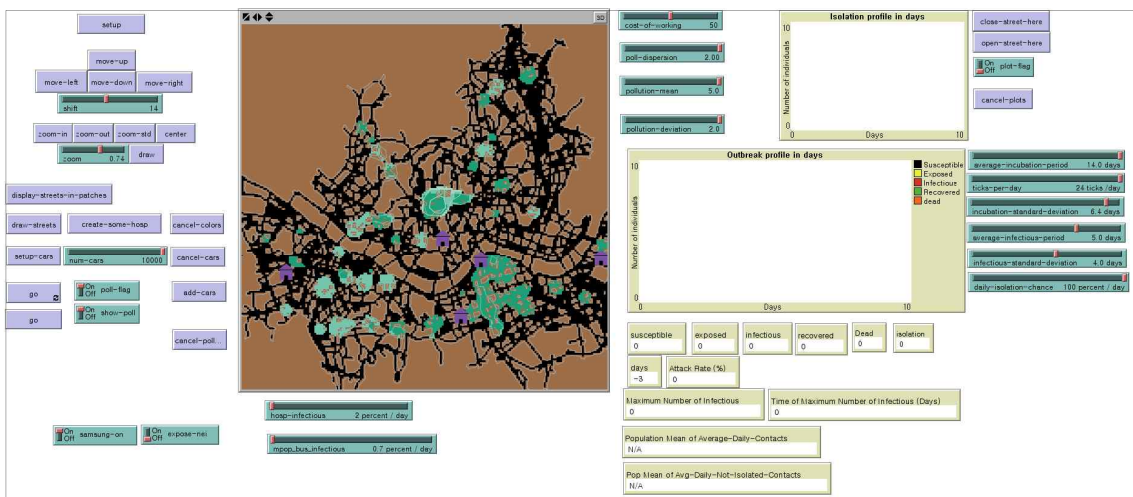


FIGURE 4. Simulation interface view

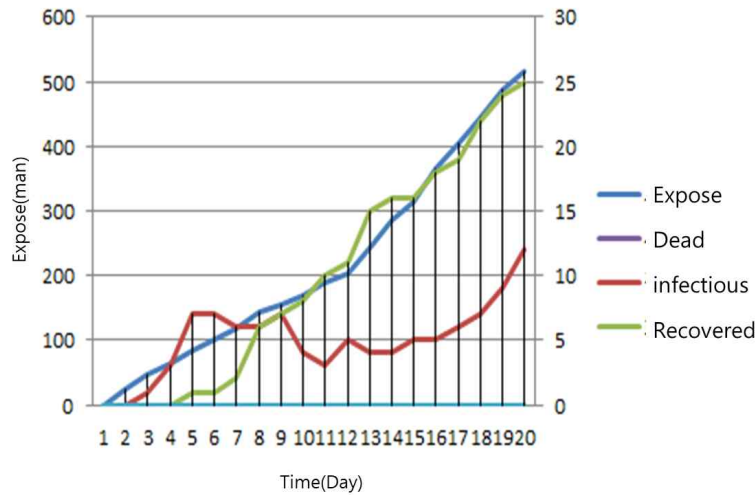


FIGURE 5. Personal health status and the dissemination of disease with time flow

5일 후인 5월 17일에 서울삼성병원에서 메르스 확진자가 나오면서 서울삼성병원을 중심으로 메르스 확산이 시작된다. 이후 9일후인 5월 26일에는 경기도 평택 성모병원의 2차감염자인 6번 확진자가 서울아산병원으로 입원을 하여 서울아산병원 또한 감염되었다. 이후 하루 뒤인 5월 27일에 해당 감염자를 서울특별시 여의도 성모병원으로 이송하여 성모병원의 감염도 확인할 수 있었다.

메르스 발생 20일후인 6월 5일과 6월 6일에는 서울삼성병원의 3차 감염자인 76번 확진자가 건국대병원과 강동경희대 병원으로 이송함으로써, 건국대병원과 강동경희대병원에서의 감염도 확인할 수 있었다.

이렇게 실제사례와 본 연구의 모형과의 비교를 실시한 결과 실제 발생 5일후에서는 서울삼성병원을 중심으로 메르스의 확산이 현상이 일치하였으며, 특히 10일에는 실제에서는 서울아산병원과 서울성모병원의 감염이 발생하였고 본 모형에서는 서울아산병원과 서울건국대학교병원의 감염이 이루어졌다. 이러한 차이점이 발생한 점은 실제 사례에서는 환자를 이송하여 서울성모병원의 감염이 발생했지만, 본 모형에서는 환자의 이송을 표현하는데 한계가 있어 감염자가 거리상 가장 가까운 병원인 서울건국대학교 병

원을 경유함에 따라 차이점을 보였다.

이후 20일에는 서울성모병원을 제외한 서울경희대학교병원의 감염이 발생함에 따라 실제 사례와 본 연구의 모형의 유사성을 확인할 수 있었으며, 실제 사례에서도 강남구, 송파구를 중심으로 메르스 확진병원과 메르스 환자의 경유병원이 많음을 확인할 수 있었는데, 이는 본 모형에서도 강남구, 송파구 일대를 중심으로 메르스 위험지역이 확산하는 현상을 발견하여 메르스 바이러스의 공간적 확산의 양상의 유사성을 확인할 수 있었다.

### 3. 시나리오 및 민감도 분석

시나리오 및 민감도 분석은 메르스 감염 주요 병원별 확산 시나리오와 모델 결과에 대한 민감도 분석을 중심으로 분석하였다.

병원별 확산 시나리오는 메르스 바이러스에 노출된 병원을 통해 바이러스가 감염된 것을 가정한 후 모의실험을 시작하였다. 메르스 바이러스에 감염된 병원에서 증상이 나타난 후 10일 후에 메르스 발생에 상응하는 방역활동을 동일 조건으로 시뮬레이션을 5번 반복 실행하였다.



TABLE 1. Comparison of the MERS outbreak and the model


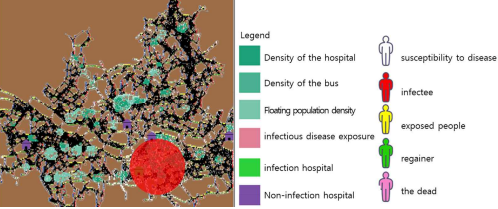

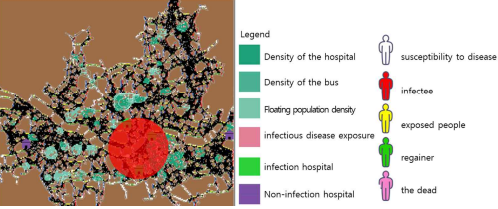

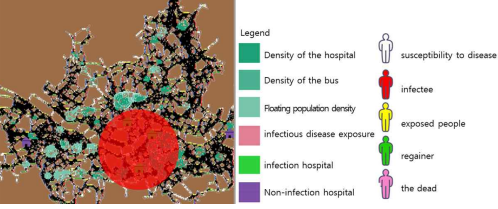
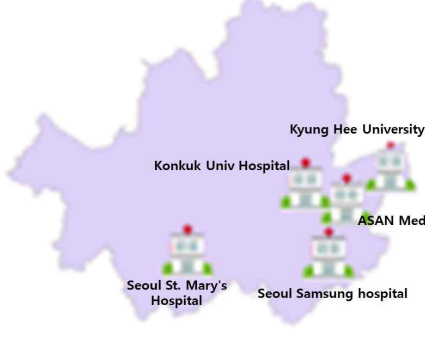
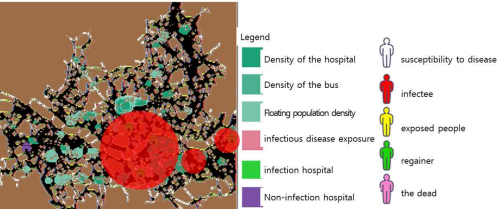
Days	Actual occurrence area	Simulation results
5	 <p>Seoul Samsung hospital</p>	
10	 <p>Seoul St. Mary's Hospital Seoul Samsung hospital ASAN Medical Center</p>	
15	 <p>Seoul St. Mary's Hospital Seoul Samsung hospital ASAN Medical Center</p>	
20	 <p>Kyung Hee University Hospital Konkuk Univ Hospital Seoul St. Mary's Hospital Seoul Samsung hospital ASAN Medical Center</p>	

TABLE. 2 Distribution of MERS infection according to scenario

Simulation	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Days	17	17	17	17	17
Exposure	45	28	282	179	65
infected	2	0	1	0	0
regainer	2	0	8	3	2
the dead	0	0	0	0	0
isolated perosn	2	0	1	0	0

TABLE. 3 Evaluation of infection rate and sensitivity change based on density

Scenario	A	B	C	D
Hospital	6	0.5	6	3
Bus coefficient of utilization	3	3	0.5	2
floating population	0.5	6	3	0.5

시뮬레이션 분석 결과 메르스 발생이 유동인구가 밀집된 지역에서 특히 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

연구 사례 2015년 메르스 최다 발생지역은 서울삼성병원으로 유동 인구가 밀집된 지역이기 때문에 메르스가 확인되지 않은 잠복기 중인 병원을 방문한 사람과 간호사 및 의사로 인한 전파가 대부분을 차지하는 것으로 추정되었다. 연구 사례 데이터와 비교한 결과, 개발된 모델의 시뮬레이션 결과가 유사하게 분석되었으며, 유동인구 및 병원 환자 밀도가 집중된 곳에 질병의 피해가 컸다는 점이 주요했다고 추정된다.

모델 내의 변수 및 의사 결정 규칙의 영향을 평가하기 위해 모델이 변수 값 변경에 민감한지를 검토하는데 사용되는 민감도 분석을 수행하였다. 민감도 분석은 입력 변수의 값을 변경하였을 때 결과 값들이 어떻게 변화하는지를 판단할 때 사용된다.

본 연구에서는 일변량 방법을 사용하여 민감도 분석을 수행하였다. 유동인구 밀도에 따른 감염률을 표 3의 값을 기준으로 변경시켜 네 개의 시나리오를 수행하였다. 각각의 경우에 따른 유동인구 밀도에 대한 감염률을 결정하였다. 표 3에서 유동인구의 병원 밀도/유동인구 밀도/버스 이용률 밀도에 따라 감염률 변수의 변경을 정의하였다. 각 시나리오를 21일 시간적 간격으로 수행하였다.

감염률 변경에 대한 모델 결과물은 그림 5로 민감도 평가는 시나리오 A, B, C, D에 대한 결과를 보여주며, 17일 동안 메르스 경과에 따른 상태를 하루 단위로 표시했다.

시나리오 A에서는 병원 밀도가 높은 지역에서 높은 감염률(6%)을 그리고 버스 이용률 밀도에서는 낮은 감염률(0.5%)로 정하였으며, 시나리오 B에서는 그 반대로 정하였다. 이 값으로 확산 모델을 적용한 결과 시나리오 A에서는 절정(peak) 감염 사람 수는 7명으로 나타났다. 시나리오 B의 절점 감염 사람 수는 4명으로 수치는 달랐지만 절정 일은 하루 차이가 났다. 같은 방식으로 A와 C, A와 D 시나리오를 분석하였으며, 위의 결과는 병원 밀도 및 이용환자 요인의 감염률 변수에 민감한 것으로 나타났으며, 그중 가장 넓은 면적을 가지고 있는 유동인구 밀도 변수에도 민감한 것으로 분석된다. 하지만 유동인구의 경우 감염확률이 낮아 이에 대한 중요도는 상대적으로 떨어진다고 볼 수 있다.

#### 4. 모델의 활용성 분석

모델의 활용성을 제시하기 위해 모델에 방역 시나리오를 적용해서 모의실험을 수행하고 도출된 결과를 예측하면서 모델의 활용도를 분석하였다.

메르스 발생 상황을 예측하고 다양한 방역조치를 비교하기 위해 설계된 모델을 이용하여 시

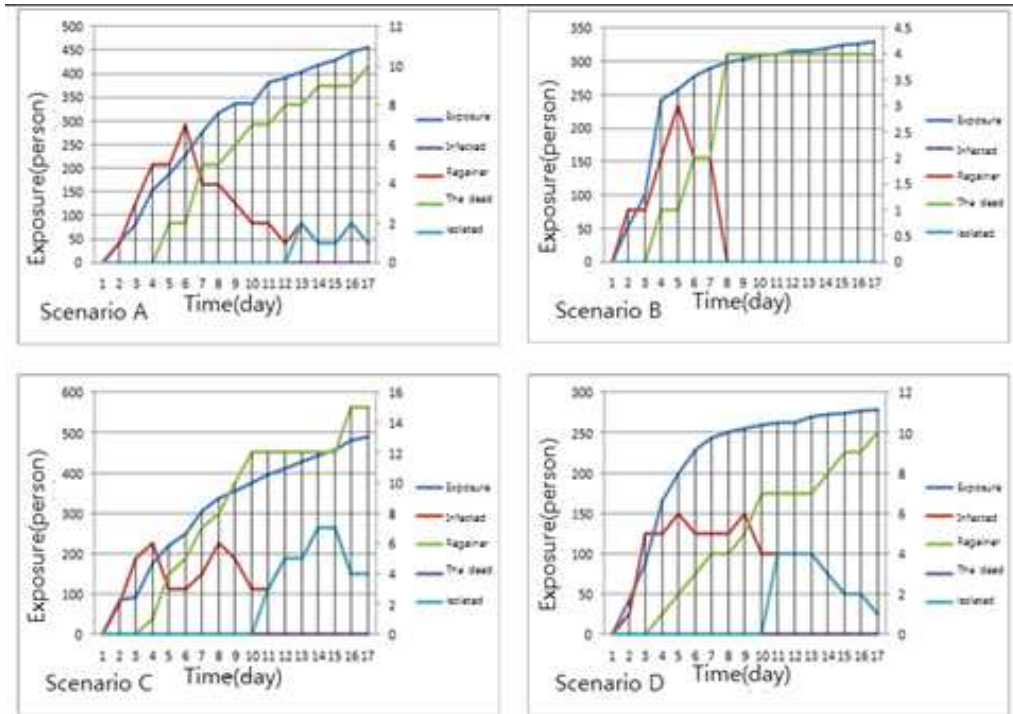


FIGURE 6. MERS outbreak by scenario

나리오에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 시나리오는 방역 활동의 시작일을 10일 지연시키면서 시뮬레이션 결과를 분석하였다. 발생 상황에 따라 질병관리본부에서 메르스 범위는 감염자와의 2m로 정하고 있어 본 연구에서는 메르스 발생 병원 및 메르스 감염자가 발생한 메르스 위험지역과의 직접 접촉을 대상으로 하였다.

그래프는 메르스 환자 발생에 따른 방역 시기를 5일씩 다르게 했을 때의 결과이다. 이때 각각의 경우의 감염된 사람의 수는 3명, 12명, 19명으로 계산되었다. 하지만 메르스와 같은 사람간의 감염이 이루어지는 병원균의 경우 메르스 위험지역에 노출된 사람 또한 방역을 위해 고려해야 할 그룹으로 분류된다. 특히 메르스 위험지역에 노출된 사람의 경우 각각의 시뮬레이션 별로 121명, 182명, 446명으로 나타났는데 마지막 발생 후 10일 뒤의 경우 감염자가 다른 병원까지 메르스 병원균에 감염을 시켜 그 피해가 급속도로 증가하기 시작했다. 특히, 방역 조치가 늦어질수록 메르스 확산이 종결하는데

지 많은 시간이 소요되는 것으로 나타났다. 따라서 격리 및 방역조치를 신속하게 한 것이 메르스 감염피해를 감소시키는데 도움이 되는 것을 확인할 수 있었다(그림 7).

시나리오 결과 분석에 의하면 메르스 유행의 규모는 발생 초기에 검출되는 사람 수에 따라 다르지만, 발생 규모를 최소화하려면 최대한 빨리 감염을 인지하여 질병의 전파 확산을 방지하는 것이 가장 중요하다는 것을 알 수 있었다. 또한 메르스 확산을 방지하는 방역조치로는 광범위한 예방적 방역보다는 고위험 지역 즉, 유동 인구 및 대중교통을 이용이 높은 지역 내에 있는 병원을 우선 선정하여 즉시 방역조치를 하는 것이 효율성이 높은 것으로 나타났다.

## 결론

본 연구는 공간 빅데이터를 활용하여 메르스 공간 확산 시뮬레이션을 시행하는 공간 명시적 행위자 기반 모델을 설계 및 구현하는 데 목적

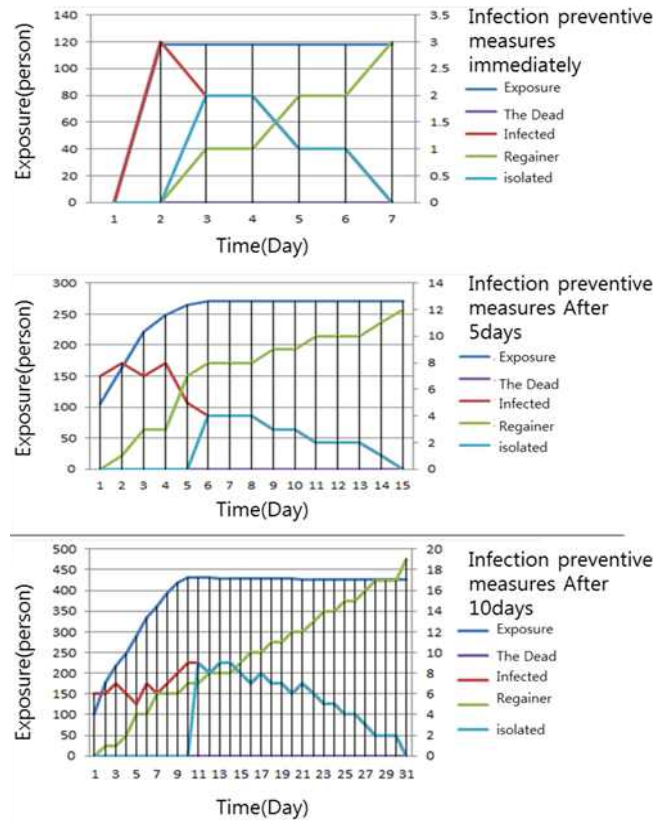


FIGURE 7. MERS outbreak according to the time of preventive measures

을 두고 연구를 수행하였다.

모형을 이용한 방역 활동에 대한 분석 결과에 의하면 발생 규모를 최소화하려면 최대한 빨리 감염을 인지하여 질병의 전파 확산을 방지 하는 것이 매우 중요한 것을 알 수 있었다. 또한, 유동 인구, 버스 이용률, 병원의 밀집도와 사람의 감염을 고려한 시뮬레이션을 통해 메르스 확산을 방지하기 위한 방역조치로는 유동 인구가 많으며 병원이 밀집된 장소를 우선적으로 방역 및 해당 지역의 노출자를 격리하는 것이 효율성이 높은 것을 확인할 수 있었다. 밀집도에 따라 방역범위를 지정하는 것은 투자 비용 및 시간 측면에서 가장 효과적인 것으로 판단된다. 하지만 본 연구는 행위자 개인의 특성과 실제 감염경로 중 하나인 구급차에서 발생한 감염은 고려하지 못하였다. 따라서 향후 연구에서는 여성, 노인, 면역력 약자 등의 개인 특성과 메르스 의심

자를 수송한 앰블런스에 대한 데이터를 제공받아 이를 바탕으로 실제 감염모델에 적용하는 것이 필요하다. 또한, 모델에서는 실제 서울시의 인구수를 반영하려고 했지만 컴퓨터의 하드웨어의 한계로 시뮬레이션이 실행되지 않아 이를 극복할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하다.

**KAGIS**

**REFERENCES**

Assiri, A. and J.A. Al-Tawfiq. 2013. Epidemiological, Demographic, and Clinical Characteristics of 47 Cases of Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus Disease from Saudi Arabia: a descriptive study. NCBI.

Gong, Y.W. 2001. Design and Implementation

- of Outbreak Estimation System for Infectious Disease Using GIS (for malaria). INHA UNIVERSITY (공용우. 2001. GIS를 이용한 전염병 발병 예측 시스템 설계 및 구현(말라리아를 중심으로). 인하대학교 대학원 석사학위논문).
- Hong, J.W. 2013. Foot-and-mouth Disease Spread Simulation Using Agent-Based Spatial Model 31(3):209-219. (염재홍. 2013. 행위자 기반 공간 모델을 이용한 구제역 확산 시뮬레이션. 한국측량학회지 31(3): 209-219).
- Ksiazek, T.G. and Erdman, D. 2003. A Novel Coronavirus Associated with Severe Acute Respiratory Syndrome, NCBI.
- Lipsitch, M. and T.M. Cohen. 2003. Transmission Dynamics and Control of Severe Acute Respiratory Syndrome. NCBI.
- Shin, H. S. 2014. (An)Agent-based Approach for Modelling Spatial Transmission Processes of Foot-And-Mouth Disease in Korea 2010-11. Seoul National University. (신혜섭. 2014. 행위자기반 접근법을 활용한 2010-11 한국 구제역의 공간확산 프로세스 분석, 서울대학교 대학원 석사학위논문).
- Yu, S.Y. 2012. GIS and Agent-based Modeling of Emergency Evacuation, Korean Society of hazard mitigation 12(1):127-132. (유순영. 2012. GIS와 행위자 기반의 비상 대피 모형 개발. 한국방재학회논문집 12(1):127-132). **KAGIS**