

전염병의 경로 추적 및 예측을 위한 통합 정보 시스템 구현

Implementation of integrated monitoring system for trace and path prediction of infectious disease

김 은 경¹ 이 석¹ 변 영 태¹ 이 혁 재² 이 택 진^{1*}
Eungyeong Kim Seok Lee Young Tae Byun Hyuk-jae Lee Taikjin Lee

요 약

세계적으로 전파력과 병원성이 높은 신종인플루엔자, 조류독감 등과 같은 전염병이 증가하고 있다. 전염병이란 특정 병원체(pathogen)로 인하여 발생하는 질병으로 감염된 사람으로부터 감수성이 있는 숙주(사람)에게 감염되는 질환을 의미한다. 전염병의 병원체는 세균, 스피로헤타, 리케차, 바이러스, 진균, 기생충 등이 있으며, 호흡기계 질환, 위장관 질환, 간질환, 급성 열성 질환 등을 일으킨다. 전파 방법은 식품이나 식수, 곤충 매개, 호흡에 의한 병원체의 흡입, 다른 사람과의 접촉 등 다양한 경로를 통해 발생한다. 전 세계의 대부분 국가들은 전염병의 전파를 예측하고 대비하기 위해서 수학적 모델을 사용하고 있다. 하지만 과거와 달리 현대 사회는 지상과 지하 교통수단의 발달로 전염병의 전파 속도가 매우 복잡하고 빨라졌기 때문에 우리는 이를 예방하기 위한 대책 마련의 시간이 부족하다. 그러므로 전염병의 확산을 막기 위해서는 전염병의 전파 경로를 예측할 수 있는 시스템이 필요하다.

우리는 이러한 문제를 해결하기 위해서 전염병의 전파경로 예측에 관한 부분을 다루며, 이 시스템은 기존의 수학적 모델인 Susceptible - Infectious - Recovered (SIR) 모델을 기반으로 하였다. 이 모델의 특징은 교통수단인 버스, 기차, 승용차, 비행기를 포함시킴으로써, 도시내 뿐만 아니라 도시간의 교통수단을 이용한 이동으로 사람간의 접촉을 표현할 수 있다. 그리고 한국의 지리적 특성에 맞도록 실제 자료를 수정하였기 때문에 한국의 현실을 잘 반영할 수 있다. 또한 백신은 시간에 따라서 투여 지역과 양을 조절할 수 있기 때문에 사용자가 시뮬레이션을 통해서 어느 시점에서 어느 지역에 우선적으로 투여할지 백신을 컨트롤할 수 있다.

시뮬레이션은 몇가지 가정과 시나리오를 기반으로 한다. 그리고 통계청의 자료를 이용해서 인구 이동이 많은 주요 5개 도시인 서울, 인천국제공항, 강릉, 평창, 원주를 선정했다. 상기 도시들은 네트워크로 연결되어있으며 4가지의 교통수단들만 이용하여 전파된다고 가정하였다. 교통량은 국가통계포털에서 일일 교통량 자료를 입수하였으며, 각도시의 인구는 통계청에서 통계자료를 입수하였다. 그리고 질병관리본부에서는 신종인플루엔자 A의 자료를 입수하였으며, 항공포털시스템에서는 항공 통계자료를 입수하였다. 이처럼 일일 교통량, 인구 통계, 신종인플루엔자 A 그리고 항공 통계자료는 한국의 지리적 특성에 맞도록 수정하여 현실에 가까운 가정과 시나리오를 바탕으로 하였다.

시뮬레이션은 신종인플루엔자 A가 인천공항에 발생하였을 때, 백신이 투여되지 않은 경우, 서울과 평창에 각각 백신이 투여된 경우의 3가지 시나리오에 대해서, 감염자가 피크인 날짜와 I (Infectious)의 비율을 비교하였다. 그 결과 백신이 투여되지 않은 경우, 감염자가 피크인 날짜는 교통량이 가장 많은 서울에서 37일로 가장 빠르고, 교통량이 가장 적은 평창에서 43일로 가장 느렸다. I의 비율은 서울에서 가장 높았고, 평창에서 가장 낮았다. 서울에 백신이 투여된 경우, 감염자가 피크인 날짜는 서울이 37일로 가장 빨랐으며, 평창은 43일로 가장 느렸다. 그리고 I의 비율은 강릉에서 가장 높으며, 평창에서 가장 낮았다. 평창에 백신을 투여한 경우, 감염자가 피크인 날짜는 37일로 서울이 가장 빠르고 평창은 43일로 가장 느렸다. I의 비율은 강릉에서 가장 높았고, 평창에서는 가장 낮았다. 이 결과로부터 신종인플루엔자 A가 발생하면 각 도시는 교통량에 의해 영향을 받아 확산된다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 전염병 발생시 전파 경로는 각 도시의 교통량에 따라서 달라지므로, 교통량의 분석을 통해서 전염병의 전파 경로를 추적하고 예측함으로써 전염병에 대한 대책이 가능할 것이다.

☞ 주제어 : 전염병, 수학적 모델, SIR 모델, 신종인플루엔자 A, 경로 예측

¹ Sensor System Research Center, Korea Institute of Science and Technology., Seoul, 136-791, Korea.

² Nano and Electronic Physics, Kookmin University., Seoul, 136-702, Korea.

* Corresponding author (taikjin@kist.re.kr)

[Received 29 July 2013, Reviewed 9 August 2013, Accepted 1 October 2013]

☆ 본 연구는 환경부의 글로벌환경기술개발사업에서 지원받았습니다. (GT-11-F-02-002-1)

☆ 본 논문은 2013년도 한국인터넷정보학회 춘계학술발표대회우수 논문의 확장버전임.

ABSTRACT

The incidence of globally infectious and pathogenic diseases such as H1N1 (swine flu) and Avian Influenza (AI) has recently increased. An infectious disease is a pathogen-caused disease, which can be passed from the infected person to the susceptible host. Pathogens of infectious diseases, which are bacillus, spirochaeta, rickettsia, virus, fungus, and parasite, etc., cause various symptoms such as respiratory disease, gastrointestinal disease, liver disease, and acute febrile illness. They can be spread through various means such as food, water, insect, breathing and contact with other persons. Recently, most countries around the world use a mathematical model to predict and prepare for the spread of infectious diseases. In a modern society, however, infectious diseases are spread in a fast and complicated manner because of rapid development of transportation (both ground and underground). Therefore, we do not have enough time to predict the fast spreading and complicated infectious diseases. Therefore, new system, which can prevent the spread of infectious diseases by predicting its pathway, needs to be developed.

In this study, to solve this kind of problem, an integrated monitoring system, which can track and predict the pathway of infectious diseases for its realtime monitoring and control, is developed. This system is implemented based on the conventional mathematical model called by 'Susceptible-Infectious-Recovered (SIR) Model.' The proposed model has characteristics that both inter- and intra-city modes of transportation to express interpersonal contact (i.e., migration flow) are considered. They include the means of transportation such as bus, train, car and airplane. Also, modified real data according to the geographical characteristics of Korea are employed to reflect realistic circumstances of possible disease spreading in Korea. We can predict where and when vaccination needs to be performed by parameters control in this model.

The simulation includes several assumptions and scenarios. Using the data of Statistics Korea, five major cities, which are assumed to have the most population migration have been chosen: Seoul, Incheon (Incheon International Airport), Gangneung, Pyeongchang and Wonju. It was assumed that the cities were connected in one network, and infectious disease was spread through denoted transportation methods only. In terms of traffic volume, daily traffic volume was obtained from Korean Statistical Information Service (KOSIS). In addition, the population of each city was acquired from Statistics Korea. Moreover, data on H1N1 (swine flu) were provided by Korea Centers for Disease Control and Prevention, and air transport statistics were obtained from Aeronautical Information Portal System. As mentioned above, daily traffic volume, population statistics, H1N1 (swine flu) and air transport statistics data have been adjusted in consideration of the current conditions in Korea and several realistic assumptions and scenarios.

Three scenarios (occurrence of H1N1 in Incheon International Airport, not-vaccinated in all cities and vaccinated in Seoul and Pyeongchang respectively) were simulated, and the number of days taken for the number of the infected to reach its peak and proportion of Infectious (I) were compared. According to the simulation, the number of days was the fastest in Seoul with 37 days and the slowest in Pyeongchang with 43 days when vaccination was not considered. In terms of the proportion of I , Seoul was the highest while Pyeongchang was the lowest. When they were vaccinated in Seoul, the number of days taken for the number of the infected to reach at its peak was the fastest in Seoul with 37 days and the slowest in Pyeongchang with 43 days. In terms of the proportion of I , Gangneung was the highest while Pyeongchang was the lowest. When they were vaccinated in Pyeongchang, the number of days was the fastest in Seoul with 37 days and the slowest in Pyeongchang with 43 days. In terms of the proportion of I , Gangneung was the highest while Pyeongchang was the lowest. Based on the results above, it has been confirmed that H1N1, upon the first occurrence, is proportionally spread by the traffic volume in each city. Because the infection pathway is different by the traffic volume in each city, therefore, it is possible to come up with a preventive measurement against infectious disease by tracking and predicting its pathway through the analysis of traffic volume.

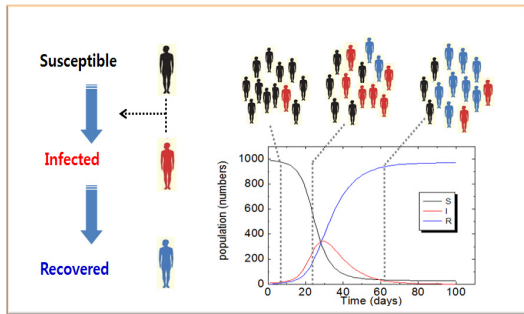
☞ keyword : infectious disease, mathematical model, SIR model, influenza A, path prediction

1. 서 론

전염병은 세균, 스피로헤타, 리케차, 바이러스, 진균, 기생충과 같은 여러 병원체에 의해 감염되어 발병하는 질환이다[1]. 세계 보건 기구 (WHO)는 신종인플루엔자와 고병원성 조류 인플루엔자 (H5N1)를 치사율이 높으면서 전염력도 높고, 변이가 심한 전염병으로 분류하고 있다 [2].

전염병의 전파를 예측하고 대비하기 위해서, 전 세계의 대부분 국가들은 전염병의 수학적 모델을 사용하고 있으며, 홍역, 사스 등에 대해서 전염병의 전파 유행을 수

학적 모델링으로 설명한 연구들이 있다 [3-5]. Glenn R. Fulford et al.의 연구그룹은 팬데믹 인플루엔자 A의 데이터를 기반으로, 수학적 모델인 Susceptible - Infectious - Recovered (SIR) 모델을 사용하여 전염병이 유행하기 위한 초기 조건과 전염병의 확산을 예측하였다 [6]. E. Neurirth et al.의 연구 그룹은 결정론적 방법과 확률론적 방법을 이용하여 SIR 모델을 확장한 Susceptible - Exposed - Infectious - Recovered (SEIR) 모델을 제시하였다 [7]. S. Bansal et al.의 연구그룹은 기존의 static network model이 아닌 새로운 dynamic contact network model을 기반으로 현실적인 social interactions을 개발하여 질병의 확산을 예



(그림 1) SIR 모델
(Figure 1) SIR model

측하였다 [8]. 그리고 M. G. Roberts et al.의 연구그룹은 지리적 모델링 방법으로 전염병 전파에 영향을 주는 사람간의 접촉을 중요한 변수로 사용하여 수학적 모델을 개발하였다 [9]. 이처럼 전염병 확산의 문제를 해결하기 위해서 많은 연구들이 진행되고 있다. 하지만 과거와 달리 현재 사회는 이동수단의 발달로 전염병의 전파 속도가 빨라지고 복잡해졌다. 그리고 전염병은 시간이 지나면서 변종 바이러스로 진화하기 때문에, 어느 가정이나 모델로도 완전한 예측이 어렵다.

본 논문에서는 전염병의 실시간 감시 및 관리를 위해 전염병의 경로를 추적 및 예측할 수 있는 통합 정보 시스템을 구현하였다. 추가로 모니터링된 자료는 일반 사용자에게 제공될 수 있도록 홈페이지를 제작하였다. 제안된 시스템은 기존의 SIR 모델을 기반으로 하였으며, 도시내의 인구가동 뿐만 아니라 도시 사이에서 인구가동을 고려하였다. 그리고 우리는 일일 교통량, 인구 통계, 신종인플루엔자 A 그리고 항공 통계자료를 기반으로 한국의 지리적 특성에 맞도록 실제 자료를 수정하여 현실에 가까운 가정과 시나리오를 바탕으로 하였다.

2. SIR 모델

전염병은 인구 집단내에서 일정한 전파 속도로 퍼져나가며, 전염병에 영향을 끼치는 요소들을 수학적인 모델로 만들 수 있다. 전염병의 수학적인 모델로는 병리학적인 특성에 따라 SIR, SEIR, SIRS 등이 있으며, 이 모델들은 질병의 진행과정을 나타낸다. 대표적인 모델로는 1927년에 Kermack-Mckendrick이 한정된 인구에서 질병이 어떻게 퍼지는지를 deterministic하게 수학적으로 모사한 SIR 모델이 있다[10]. 이 모델은 전체 인구를 각각 질병

의 진행 과정과 개인의 상태에 따라서 감염 가능성이 있는 개체 (Susceptible : S), 감염된 개체 (Infectious : I), 회복된 개체 (Removed : R)의 3가지 집단으로 분류하고, 집단 사이에서 전염병이 어떻게 퍼지는지를 보여준다. (그림 1)은 S, I, R 개체들의 관계를 나타낸 것이며, 각각의 개체 수는 시간이 경과함에 따라서 질병에 의해 직접, 간접적으로 변한다.

일반적으로 간단한 모델에서는 각각의 개체에 대해 그 합인 전체 개체수가 고정되어 있다고 보며, 개체들 사이의 시간에 따른 함수는 수식 (1)과 같이 미분식으로 나타낼 수 있다. 여기에는 사망과 출생이 일정하며, 사람간 접촉의 균질성, 전염병의 치료에 아무런 조치도 취하지 않는 상태라는 가정이 포함된다.

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\beta SI \\ \frac{dI}{dt} &= \beta SI - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I \end{aligned} \quad (1)$$

여기에서 β 는 전염률, r 는 회복율이며, 전염율은 > 0 이고, 회복율은 $r > 0$ 이다. SI 는 감염된 개체수와 감염 가능한 개체수에 비례하며, 이 비율만큼 감염된 개체수가 증가한다. rI 는 감염된 개체에서 제거되어 회복하는 비율이며, 감염된 개체에 비례하여 감소한다. 잠복기는 감염 가능한 개체가 질병을 만나면 잠복기 없이 바로 감염되기 때문에 잠복기는 무시한다.

3. 전염병의 경로 추적 및 예측 통합정보 시스템 구현

3.1 가정과 시나리오

가정과 시나리오는 한국에서 신종인플루엔자 A (H1N1)가 발생한 2009년 4월 12일부터 7월 20일까지 ($t=1\sim 100$ 일) 질병관리본부에서 보고된 자료를 기반으로 감염 경로 추적 및 예측 모니터링 시스템을 설계하였다.

- 모든 사람들은 S (Susceptible), I (Infectious), R (Recovered)의 3가지 상태로 존재.
- 감염자는 인천 공항에서 2009년 5월 2일 ($t=21$ 일) 부터 7월 20일 ($t=100$ 일) 까지 발생하고, 인천공항 인구의 0.1%가 I로 가정.

- 인구가동이 많은 주요 5개 도시를 선정함. 선정된 도시와 인구수는 서울 (10,223,243명), 인천국제공항 (51,224명), 강릉 (219,245명), 평창 (43,706명), 원주 (320,563명) [11].
- 신종인플루엔자 A는 실제 인구의 이동을 나타내기 위해서 기차, 승용차, 버스, 비행기의 이동수단을 이용해서만 전파 (교통수단은 기차 1대=300명, 승용차 1대=4명, 버스 1대=25명, 비행기 1대=200명의 만차로 가정).
- 교통량은 국가통계포털에서 일일 교통량 자료를 입수 (교통량은 서울이 가장 많으며, 인천국제공항, 강릉, 원주, 평창의 순임) [12].

3.2 전염병의 경로 추적 및 예측 통합 정보 시스템

전염병의 실시간 감시 및 관리를 위해, (그림 2)의 원격 모니터링 통합 정보 시스템을 구현하였다. 먼저 신종인플루엔자와 같은 바이러스를 검지하기 위하여 생명공학연구원에서 개발된 신속 면역 진단기와 카이스트에서 개발된 Portable RT-PCR(reverse transcriptase- polymerase chain reaction)의 진단기로부터 감염여부가 현장에서 바로 진단된다. 이렇게 진단기로부터 측정된 데이터는 중앙 집중적으로 취합과 분석하기 위하여 개발된 의료장비에 내장된 무선통신모듈과 의료장비 통신 데이터를 광대역 네트워크에 접속하여 게이트웨이를 통해서 전달된다. 전달된 정보는 전염병의 감염 경로 추적 및 예측 기능이 포함된 원격 모니터링 통합 정보 시스템에서 실시간으로 전염병의 모니터링 및 DB화하는 등 통합 관리된다.



(그림 2) 전염병의 경로 추적 및 예측 통합 정보 시스템 (Figure 2) Integrated information system for trace and path prediction of infectious disease

제안된 원격 모니터링 통합 정보 시스템은 전염병의 감염 경로 추적 및 예측을 위해서 간단한 SIR 모델을 확장하였다[10]. 이 모델은 단순히 가까운 거리에서 사람간의 접촉을 모델링 한 것이 아니다. 우리는 사람들이 교통수단을 이용하여 넓은 지역을 이동할 수 있도록 교통수단인 버스, 기차, 승용차, 비행기를 포함시켜 먼 거리에서 사람간의 접촉까지도 모델링하였다 (수식 2).

$$\begin{aligned} \frac{dS_i[t]}{dt} &= -\alpha \left[\frac{I_i[t]}{N_i[t]} + \sum_{j \neq i} \left(\frac{m_{ij}}{N_i[t]} + \frac{m_{ji}}{N_j[t]} \right) \frac{I_j[t]}{N_j[t]} \right] S_i[t] \\ \frac{dI_i[t]}{dt} &= -\beta I_i[t] + \alpha \left[\frac{I_i[t]}{N_i[t]} + \sum_{j \neq i} \left(\frac{m_{ij}}{N_i[t]} + \frac{m_{ji}}{N_j[t]} \right) \frac{I_j[t]}{N_j[t]} \right] S_i[t] \\ \frac{dR_i[t]}{dt} &= \beta_i [t] \end{aligned} \quad (2)$$

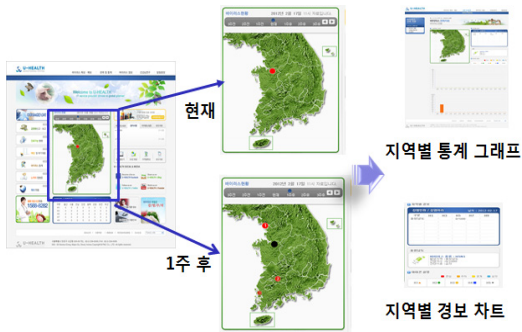
여기에서 α 는 전염율이고, β 는 회복율이다. 그리고 m 은 기차, 승용차, 버스, 비행기의 교통수단들을 이용하여 이동한 인구의 수이다. m_{ij} 는 도시 i 의 전체 인구 N_i 중에서 도시 j 로 교통수단들을 이용하여 이동한 사람의 수이다. $(m_{ij}/N_i[t]) \times (I_j/N_j[t])$ 는 도시 i 에서 도시 j 로 이동한 사람이 도시 j 에서 I 인 사람과 접촉할 확률이다.

우리는 S 에 백신 투여율을 추가하여 백신의 투여율과 시간을 컨트롤 할 수 있도록 하였다.

$$\begin{aligned} \frac{dS_i[t]}{dt} &= -\alpha \left[\frac{I_i[t]}{N_i[t]} + \sum_{j \neq i} \left(\frac{m_{ij}}{N_i[t]} + \frac{m_{ji}}{N_j[t]} \right) \frac{I_j[t]}{N_j[t]} \right] S_i[t] \\ &\quad - p S_i[t] \theta [t - t_{ii}] \\ \frac{dI_i[t]}{dt} &= -\beta I_i[t] + \alpha \left[\frac{I_i[t]}{N_i[t]} + \sum_{j \neq i} \left(\frac{m_{ij}}{N_i[t]} + \frac{m_{ji}}{N_j[t]} \right) \frac{I_j[t]}{N_j[t]} \right] S_i[t] \\ \frac{dR_i[t]}{dt} &= \beta I_i[t] + p S_i[t] \theta [t - t_{ii}] \end{aligned} \quad (3)$$

여기에서 수식 (3)의 $\theta(t)$ 는 Heaviside 함수로 t_{ii} 시간 이후에 도시 i 에서 S 인 사람이 백신 투여율 (p)에 따라서 백신이 접종되어 R 상태로 전환된 사람의 수를 고려할 수 있도록 수식 (2)를 변형하였다.

이와 같이 확장된 SIR 모델을 이용한 제안된 시스템은 기존의 시스템과 달리 다음과 같은 특징을 갖는다. 첫째, 4가지의 교통수단을 포함시킴으로써 넓은 지역에서 사람간의 접촉을 표현할 수 있다. 둘째, 다음과 같은 실제 자료를 한국의 지리적 특성에 맞추어 수정하였기 때문에 한국의 현실을 잘 반영할 수 있다. 실제 자료는 국가 통계포털의 일일 교통량 자료, 통계청의 인구 통계 자료, 질병관리본부의 신종인플루엔자 A 자료 그리고 항공



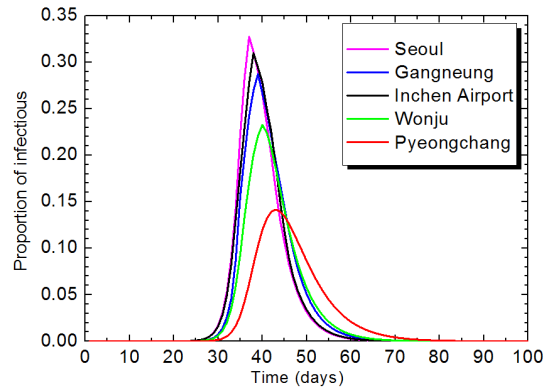
(그림 3) 통합 정보 시스템의 홈페이지
(Figure 3) Integrated information system's website

포털시스템의 항공 통계자료이다. 셋째, 백신은 시간에 따라서 투여 지역과 양을 조절할 수 있기 때문에 사용자가 시뮬레이션을 통해서 어느 시점에서 어느 지역에 우선적으로 투여할지 백신을 컨트롤할 수 있다. 백신의 컨트롤에 의한 시뮬레이션 결과는 전염병을 예방하기 위해 백신을 어느 지역에 우선으로 투여하여 치료해야 하는지 그 대책을 세울 수 있다.

추가로 전염병이 모니터링된 자료는 일반 사용자에게 제공될 수 있도록 홈페이지가 제작되었다 (그림 3). 홈페이지는 현재 전염병의 상태뿐만 아니라 앞으로 어느 방향으로 전염병이 확산될지의 예측도 포함하고 있다. 전염병의 예측은 현재를 기준으로 전염병의 확산지역을 1주 단위로 업데이트하며, 전염병의 예측 지역은 숫자로 1단계 ~ 3단계 (순위)로 나누어 표시된다. 1단계는 가장 빠르게 전염병이 전파될 확률이 매우 높은 지역이고, 2단계는 전염병이 확산될 가능성이 있으므로 바이러스에 대비가 필요한 지역, 3단계는 바이러스가 확산될 확률이 매우 적은 지역이다.

4. 실험 결과

시뮬레이션은 한국에서 신종인플루엔자 A가 발생한 2009년 4월 12일부터 7월 20일까지 ($t=1\sim 100$ 일) 자료를 기반으로 전염병의 전파 경로를 예측하였고, Mathematica 6.0을 이용하였다. 신종인플루엔자 A가 인천 공항에서 2009년 5월 2일 ($t=21$ 일)에 발생하고 인천공항 인구의 0.1%가 I 로 가정되었을 때, (그림 4)는 백신 투여가 없는 경우의 각 도시에 대한 감염자가 피크인 날짜와 I 의 비율이다.

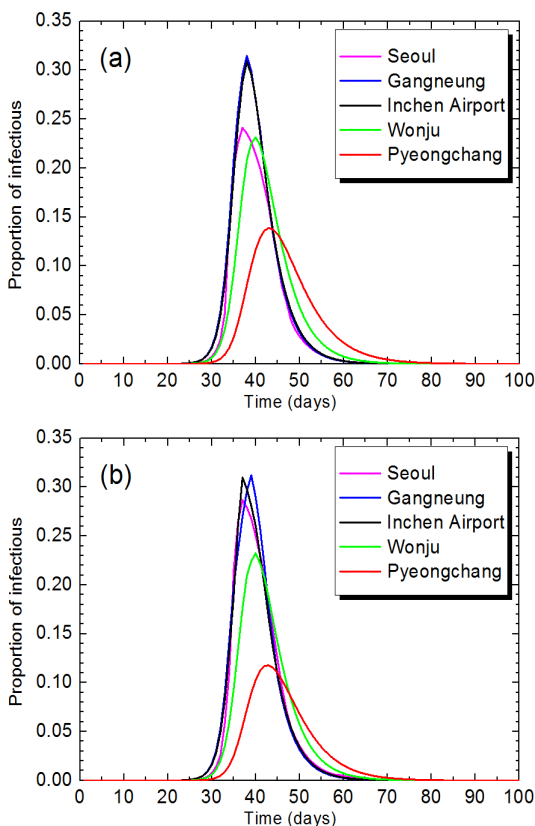


(그림 4) 인천공항에 신종인플루엔자 A 발생시, 백신 투여가 없을 때 각 도시에 대한 I 의 비율. ($I=21\sim 100$ day, 0.1%)

(Figure 4) Proportion of infectious persons by city after an occurrence of influenza A at Incheon International Airport, if no vaccine. ($I=0.1\%$, $t=21\sim 100$ days)

시뮬레이션 결과 백신의 투여가 없는 경우, 각 도시에 대한 감염자가 피크인 날짜는 서울이 37일로 가장 빨랐다. 그 다음으로 인천공항이 38일, 강릉이 39일, 원주 40일, 평창이 43일이었다. 그리고 I 의 비율은 교통량이 제일 많은 서울에서 가장 높았으며, 그 다음 높은 도시는 감염도시인 인천공항이고, 강릉, 원주, 평창 순이었다.

(그림 5)는 (그림 4)와 동일한 조건이며, 교통량이 가장 많은 서울과 교통량이 가장 적은 평창에 백신을 각각 25일에 투여하여 각 도시에 대한 감염자가 피크인 날짜와 I 의 비율을 비교하였다. 여기서 p 는 2009년 질병관리본부 자료에 의해서 서울과 평창 인구의 0.64% (1day)로 하였다. (그림 5) (a)의 시뮬레이션 결과는 서울에 백신을 투여한 경우로, 각 도시에 대한 감염자가 피크인 날짜는 서울이 37일로 가장 빨랐다. 그 다음으로 강릉과 인천공항이 38일로 동일했으며, 원주는 40일 그리고 평창이 43일이었다. 그리고 I 의 비율은 강릉에서 가장 높았으며, 그 다음 높은 도시는 감염도시인 인천공항이고, 서울, 원주, 평창 순이었다. (그림 5) (b)의 시뮬레이션 결과는 평창에 백신을 투여한 경우로, 각 도시에 대한 감염자가 피크인 날짜는 강릉(39일)을 제외하고는 (그림 4)의 결과와 같았다. 평창에 백신을 투여했을 때 강릉에서만 감염자가 피크인 날짜가 1 day의 차이를 보였던 이유는 평창과 강릉 사이의 교통 왕래가 서로 적었기 때문에, 평창에 백신을 투여하게 되더라도 강릉에는 백신의 영향이 조금



(그림 5) 인천공항에 신종인플루엔자 A 발생시, (a) 서울에 백신이 25일에 투여, (b) 평창에 백신이 25일에 투여되었을 때 각 도시에 대한 I 의 비율. ($p=0.64\%$)
 (Figure 5) Proportion of infectious persons by city after an occurrence of influenza A at Incheon International Airport, (a) the vaccination in Seoul form the 25st days, (b) he vaccination in Pyeongchang form the 25st days. ($p=0.64\%$).

늦게 반영된다. 그리고 I 의 비율은 강릉에서 가장 높았으며, 그 다음 높은 도시는 감염도시인 인천공항이고, 서울, 원주, 평창 순이었다.

위 시뮬레이션 결과로부터 서울과 평창에 백신을 투여했을 때, 감염자가 피크인 날짜는 강릉을 제외하고 모든 도시들의 감염자가 피크인 날짜는 같았다. 그리고 백신을 투여했을 때 교통량이 가장 많은 서울에서 I 의 비율이 크게 줄어드는 것을 확인하였다. 따라서 전염병 확산은 교통량에 많은 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 수학적 모델인 SIR 모델을 확장하여 신종인플루엔자 A의 실시간 감시 및 관리를 위해 전염병의 감염 경로 추적 및 예측할 수 있는 통합 정보 시스템을 제안하였다. 전염병은 도시내 뿐만 아니라 도시 사이에서도 이동이 가능하도록 4가지의 교통 수단인 기차, 승용차, 버스, 비행기를 포함시켜서 교통에 의한 인구의 이동을 고려하여, 수학적 모델의 단점을 극복하고자 하였다. 시뮬레이션은 신종인플루엔자 A가 21일부터 인천공항에 발생하였을 때, 백신이 투여되지 않은 경우와 서울과 평창에 각각 백신이 투여된 경우에 대해서, 각 도시의 I 의 비율과 감염자가 피크인 날짜를 비교하였다. 그 결과 교통량이 많은 서울에서는 백신이 투여되지 않은 경우 I 의 비율이 높고, 감염자가 피크인 날짜 또한 37일로 가장 빠르다. 반면에 교통량이 가장 적은 평창에서 I 의 비율은 가장 낮고 감염자가 피크인 날짜가 43일로 가장 느리게 나타났다. 서울에 백신이 투여된 경우, I 의 비율은 강릉에서 가장 높았고, 평창에서 가장 낮았다. 그리고 감염자가 피크인 날짜는 서울에서 37일로 가장 빠르며, 평창에서는 43일로 가장 느렸다. 평창에 백신을 투여한 경우, I 의 비율은 강릉에서 가장 높았으며, 평창에서 가장 낮았다. 그리고 감염자의 피크 날짜는 서울에서 37일로 빠르며 평창에서는 43일로 느리게 나타났다. 이 결과로부터 신종인플루엔자 A가 발생하면 각 도시는 교통량에 의해 영향을 받아 확산된다는 것을 확인할 수 있다. 만약 백신의 양이 한정되어 있을 때, 백신이 투여될 우선 순위의 도시가 선정되어야 한다면, (그림 5)의 결과로부터 교통량이 많은 최적의 백신 투여 도시가 찾아질 수 있다.

시뮬레이션은 교통수단들로 버스, 기차, 승용차, 비행기만 고려하였으며, 5개 도시로 축소하여 모델링을 하였기 때문에 제한적이다. 따라서 향후 도시를 추가하여 연구가 진행될 예정이다.

참 고 문 헌(Reference)

- [1] Susan S. Aronson, Timothy R. Shope, "Managing Infectious Diseases in Child Care and Schools", 3rd Edition, American Academy of Pediatrics, pp. 169-171, 2013.
- [2] World Health Organization (WHO), Influenza virus activity in the world on September 2, 2012.

- [3] S. Jain, R. R. Creasey, J. Himmelspach etc., "Simulation of mitigation strategies for a pandemic influenza", Proceedings of the 2011 Winter Simulation Conference, pp. 1340-1348, 2011.
- [4] S. Towers, K. V. Geisse, C. C. Tsai, Q. Han and Z. Feng, "The impact of school closures on pandemic influenza: Assessing potential repercussions using a seasonal SIR model", Math. Biosci. Eng., vol. 9, no. 2, pp. 413-430, 2012.
- [5] S. Lee, M. Golinski, G. Chowell, "Modeling optimal age-specific vaccination strategies against pandemic influenza", Bull. Math. Biol., vol. 74, pp. 958-980, 2012.
- [6] E. Neurirth, D. Arganbright, "The Active Modeler: Mathematical Modeling with Microsoft Excel", Belmont : Thomson Brooks/Cde, 2004.
- [7] S. Bansal, J. Read, B. Pourbohloul, L. A. Meyers, "The dynamic nature of contact networks in infectious disease epidemiology", J. Biol. Dyn., vol. 4, pp. 478-489, 2010.
- [8] M. G. Roberts, M. Maker, L. C. Jennings, G. Sertsov, N. Wilson, "A model for the spread and control of pandemic influenza in an isolated geographic region", J. R. Soc. Interface, vol. 4, pp. 325-330, 2007.
- [9] W. O. Kermack, A. G. McKendrick, "Contributions to the mathematical theory of epidemics", Proc. Roy. Soc. Lond, vol. 115, pp. 700-721, 1927.
- [10] <http://kostat.go.kr/>
- [11] <http://www.kosis.kr/>

◎ 저 자 소 개 ◎

김 은 경(Eungyeong Kim)

2001년 공주대학교 화학과(이학사)
 2003년 공주대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
 2006년 공주대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
 2010년~2011년 성균관대학교 컴퓨터공학부 연구교수
 2011년~현재 한국과학기술연구원 연구원
 관심분야 : 인공지능, 패턴인식, u-healthcare
 E-mail : eungyeong@kist.re.kr



이 석(Seok Lee)

1985년 연세대학교 물리학과 (이학사)
 1987년 연세대학교 대학원 물리학과 (이학석사)
 1994년 연세대학교 대학원 물리학과 (이학박사)
 1995년~1996년 동경대학 전자공학 외국인 방문 연구원
 1996년~2001년 한국과학기술연구원 선임연구원
 2001년~현재 한국과학기술연구원 책임연구원
 관심분야 : 광전자 및 광정보, 지능형 오감 센서 플랫폼, 바이오 인공지능
 E-mail : slee@kist.re.kr



● 저 자 소 개 ●



변 영 태(Young-Tae Byun)

1985년 고려대학교 물리학과(이학사)
1989년 고려대학교 대학원 물리학과(이학석사)
1995년 고려대학교 대학원 물리학과(이학박사)
1989년~현재 한국과학기술연구원 책임연구원
관심분야 : 나노센서, 센서시스템, u-healthcare
E-mail : byt427@kist.re.kr



이 혁 재(Hyuk-jae Lee)

1985년 연세대학교 물리학과(이학사)
1987년 연세대학교 대학원 물리학과(이학석사)
1993년 연세대학교 대학원 물리학과(이학박사)
2012년~현재 국민대학 나노전자물리학과 교수
관심분야 : 양자 정보 기술, 생체 정보 기술
E-mail : lhjae@kookmin.ac.kr



이 택 진(Taikjin Lee)

2001년 서울대학교 기계항공학과 (공학사)
2008년 서울대학교 기계항공학과 (공학박사)
2008년~2010년 서울대학교 연구원
2010년~현재 한국과학기술연구원 선임연구원
관심분야 : 항법시스템, 실내 위치 추적 기술
E-mail : taikjin@kist.re.kr