

수학적 모델링을 이용한 COVID-19 해외 유입 확진자수 예측

이승열, 신명기*

과학기술연합대학원대학교, *한국전자통신연구원

runtimeing@etri.re.kr, *mkshin@etri.ac.kr

Prediction of COVID-19 overseas inflow using mathematical modelling

Seungyeol Lee, Myung-Ki Shin*

University of Science and Technology., *Electronics and Telecommunications Research Institute.

요 약

COVID-19가 전세계적으로 유행하는 팬데믹 상황으로 인해 국내에서 소규모 집단 감염을 통해 발생하는 신규 확진자 뿐만 아니라 해외 유입 확진자들의 수가 늘고 있다. 특별입국절차와 같은 정책을 통해 막대한 경제적인 피해를 동반함에도 불구하고 COVID-19의 해외 유입 위험을 줄이고 있지만 한계에 다다르고 있다. 따라서 해외에서 유입되는 확진자의 규모를 예측하여 통제하는 것은 매우 중요하다. 본 논문은 최근 들어 증가하고 있는 COVID-19 해외 유입 확진자수를 예측할 수 있는 수학적 모델을 제안한다. 제안하는 모델은 로밍 서비스 데이터와 LSTM 알고리즘을 사용하여 해외 유입 확진자수를 예측한다. 또한 질병관리본부의 공식 해외 유입 확진자수 수치를 통해 모델을 검증한다.

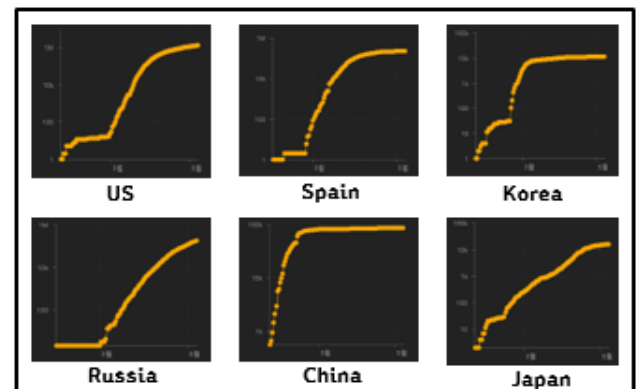
I. 서 론

2019년 말 중국 우한에서 발병한 COVID-19는 2020년 전세계적인 팬데믹 상황으로 치닫게 되었다. 한국 역시 초기에는 신천지 종교 행사, 이태원 클럽 발등과 같이 집단 감염 사례로 인하여 폭발적으로 증가하는 n차 국내 감염 확진자들을 통제하는 것이 매우 시급했다. 적극적인 역학조사를 포함한 체계적인 방역시스템과 많은 의료진들의 노고로 인하여 빠르게 확진자들을 색출하여 격리할 수 있었다. 또한, 마스크 착용, 대규모 집단 모임 연기 및 취소 등 국민들의 사회적 거리두기 실천의 결과로 국내 일일 신규 확진자수를 대폭 감소시키고 통제할 수 있는 수준으로 유지할 수 있게 되었다.

하지만, 해외 유입 확진자수는 여전히 증가하고 있어 문제가 되고있다. WHO의 COVID-19 팬데믹 공표와 정부의 특별 출입국 절차의 결과로 2020년 3월 기준 출입국자의 수는 전년 동월 대비 91.7% 감소하였으나[1], 이에 해외 유입 확진자수도 한 자리수로 감소하였지만, 이후 전세계 각국의 심각한 감염수준에도 불구하고 경제 재개 움직임으로 인해, 출입국자 수가 계속 증가하고 있고, 이에 상응하여 해외 유입 확진자수도 폭발적으로 증가하는 추세이다.

정부의 특별입국절차 강화 및 입국 금지 등과 같은 정책들은 국내외 글로벌 기업 및 외교문제들에 심각한 피해를 끼친다는 점에서 한계에 봉착하고 있다. 따라서 정부와 방역당국이 폭발적인 감염자 유입이 예상되는 특정 국가 및 지역의 특별관리와 같은 효율적인 통제를 위해서는 해외 유입 확진자수에 대한 예측이 선제적으로 수행되어야 한다. 본 논문에서는 이를 위해, 해외 유입

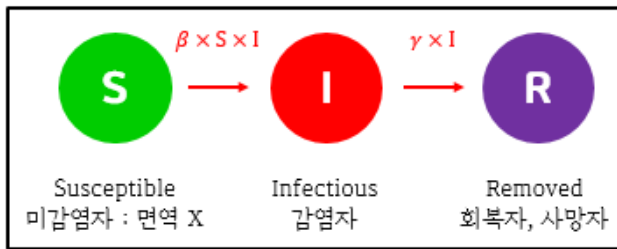
확진자수를 예측할 수 있는 수학적 모델을 제안한다. 더 나아가, 제안한 모델의 검증을 위해 로밍 서비스 데이터와 LSTM 알고리즘을 사용하여 COVID-19 해외 유입 확진자수를 예측하고 실제 해외 유입 확진수와 비교한다.



(그림 1) 각국의 누적 확진자수 추이[2]

II. 본론

백신과 치료제가 없는 COVID-19는 전세계적으로 빠르게 확산되어 많은 확진자들이 발생하고 있다. 각국의 방역정책뿐만 아니라 각 국민들의 생활 습관 및 발병 시기에 따라 바이러스의 전파 속도 및 확산 추세가 각각 상이하다. (그림 1)에서 확인할 수 있듯이, 특정 국가에서는 누적 확진자수가 일정하게 유지되는 감소 국면에 접어드는 반면, 특정 국가에서는 가파르게 누적 확진자수가 증가하고 있다.



(그림 2) SIR 모형

이러한 감염병의 역학적 특성을 나타낼 수 있는 모형 중에 대표적으로 SIR 모형이 있다. 미감염자는 감염자와의 접촉으로 감염된다는 가정으로 한 간단한 구획(compartment) 모형으로 감염병의 역학적인 특성을 분석할 때 계산이 비교적 간단하다는 장점으로 인하여 여러 연구에서 사용되어왔다[3]. 본 논문에서는 SIR 모형에 기반하여 각국의 COVID-19 역학성을 파악하여 해외 유입 확진자수 최종 계산식에 활용하였다.

기초감염재생산수(basic reproduction number) R_0 는 한 사람의 감염자가 감염 가능한 기간 동안에 전염시킬 수 있는 평균 사람 수를 나타내는 지수로 감염병의 전파 정도를 나타내는 수치이다. 감염병 유행이 진행되는 동안 R_0 값은 변화하게 되는데 이를 유효감염재생산수(effective reproduction number) R_t 로 표현한다.

SIR 모형을 이용해서 각 국의 R_0 , R_t 값을 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$R_0 = N \times \frac{\beta}{\gamma} \quad \dots \quad ①$$

$$R_t = S_t \times \frac{\beta}{\gamma} \quad \dots \quad ②$$

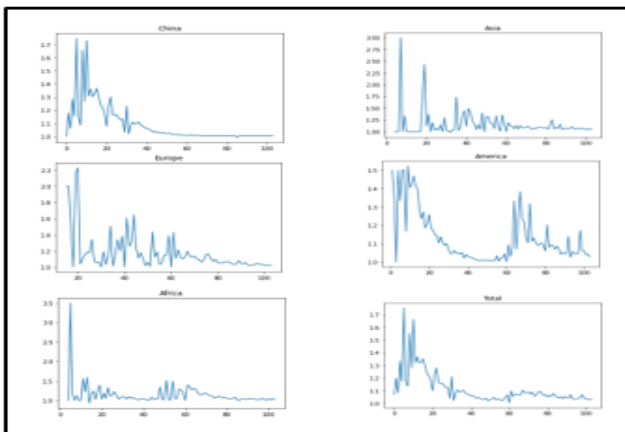
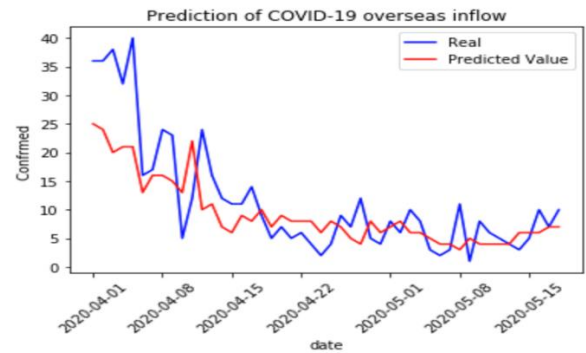
이 때, 시간 t 에 따라서 변화하는 R_t 값은 마스크 착용, 대규모 종교 행사 및 집회 금지 등의 각 국의 정책에 영향을 받으므로, 이를 사회적 거리두기(Social Distancing) 값 SD_t 로 정의하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{t+1} = R_t \times SD_t \quad \dots \quad ③$$

(그림 3)과 같이 SD_t 값을 계산하게 되면, ③의 식을 통해 각 국가별로 상이한 R_t 값을 구할 수 있고, 이는 해당 국가의 현재 감염 정도를 나타내는 척도로 이해된다. 따라서 각 국의 R_t 값을 기반으로 해당 국가에서 우리나라로 입국하는 사람들 중 감염자의 비율을 예측할 수 있다.

통신사의 로밍 서비스 데이터를 이용하여 특정 국가에서 유입된 사람들의 수를 계산할 수 있다. 최종적으로 해외유입 확진자수를 도출하는 식을 정리하면 다음과 같다.

$$\sum_{국가i} R_{i,t} \times x_{i,t} \times C \quad \dots \quad ④$$

(그림 3) LSTM 알고리즘을 이용한 각 국의 SD_t 추이

(그림 4) COVID-19 해외유입 확진자수 예측

국내 통신사 로밍 데이터와 존스 홉킨스 대학의 COVID-19 데이터를[4] 사용하여 실제 해외 유입 확진자수를 예측하였고, 질병관리본부의 공식 보도자료[5]와 비교해보면 (그림 4)와 같다. 실제 해외 유입 확진자수와 비교하여 시간이 지날수록 오차가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 수학적 모델링을 통해 COVID-19 해외 유입 확진자수를 예측하였다. 또한, 로밍 서비스 데이터와 LSTM 알고리즘을 이용하여 제안한 모델을 검증하였다. 해외 유입 사례로부터 대규모 국내 집단 감염으로 이어질 수 있기 때문에, 해외 유입 확진자에 대한 경각심이 더욱 필요한 시점이다. 제안하는 수학적 모델을 통해 정부 및 방역당국이 해외 유입 확진 사례에 대한 효율적인 대처 방안을 마련하는데 도움을 줄 것으로 생각된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019-0-00024, 네트워크 자동화를 위한 개방형 네트워크 데이터 분석 기반 지도형 애자일 머신러닝 기술 개발).

참 고 문 헌

- [1] 법무부 출입국 통계월보 2020년 3월호
- [2] COVID-19 Dashboard by CSSE at JHU, (<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>).
- [3] Kim, Soyoung, Yu Bin Seo, and Eunok Jung. "Prediction of COVID-19 transmission dynamics using a mathematical model considering behavior changes in Korea." *Epidemiology and health* 42 (2020).
- [4] 존스홉킨스 대학 공개 데이터 세트, (<https://github.com/CSSEGISandData/COVID-19>)
- [5] 질병관리본부 공식보도자료, (<https://www.cdc.go.kr/board/board.es?mid=a20501000000&bid=0015>)