

# 외국의 감염병 발생 예측 및 확산모형 사례



심은하 교수  
숭실대학교 수학과

## 1. 들어가며

작년에 유행한 MERS(Middle East Respiratory Syndrome)와 최근 확산되고 있는 콜레라는 공중보건위기 대비책과 대응전략의 중요성을 일깨워 준다. 브라질에서 발생한 지카 바이러스는 올림픽과 더불어 국제사회의 우려를 낳았는데, 이를 통해 감염병에 대한 관심은 세계적으로 높아지고 있다. 이러한 감염병의 확산을 막아 피해를 줄이기 위해서는 감염병의 전파 양상을 분석하고 중재 방법의 효과를 예측해야 하는데, 이를 위해 수학적 모델링과 시뮬레이션이 외국에서는 이미 많이 활용되고 있다. 감염병의 수학적 모델은 특히 실험 검증이 불가능하거나 비윤리적 일 때에도 활용될 수 있기 때문에 매우 가치 있는 방법이라고 할 수 있다. 그러나 우리나라에서는 감염병 확산 모델링에 대한 중요성이 간과되어 관련 연구가 상대적으로 부족한 상황이다.

## 2. 외국의 감염병 예측 및 확산모형의 내용 삽입

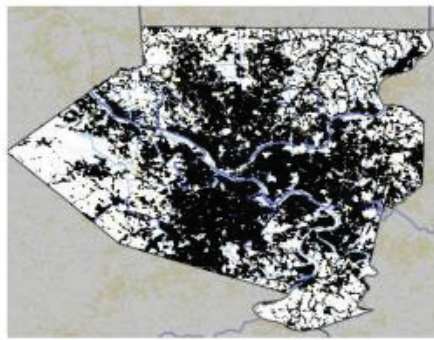
감염병 확산의 수학적 모델은 1760년 Bernoulli의 천연두(smallpox) 모델링으로 시작되었으며 1900년대 초반 수학 이론이 성립된 후, Kermack & McKendrick의 SIR(Susceptible-Infectious-Recovered) 모델 발표 이후 꾸준히 발전해왔다. 수학적 업적과 더불어 컴퓨터 기술이 발전되어, 최근에는 소프트웨어의 개발과 슈퍼컴퓨터(supercomputer)까지 동원된 시뮬레이션 모델링이 정부 정책과 연계하여 다양하게 이루어지고 있다.

수학을 통한 감염병 확산 모델은 활용 범위가 넓어서 외국에서는 이론 연구를 비롯하여 실용성을 강조한 시뮬레이션 모델링까지 다양한 연구가 활발하게 진행 중이다. 2001년 영국에서는 수족구병(hand, foot, and mouth disease)에 대한 대응정책을 평가하기 위해 수학적 모델링이 적극적으로 활용되었고 정책수립 과정에서도 이용되고 있다. 또한, 새로 개발된 백신을 도입하기 전 비용-효과 분석 모델링을 통해 가격 대비 효용성을 검증하기도 한다. 예를 들어, 필자는 영국 정부기관 및 제약회사와의 공동연구를 통해 로타바이러스(rotavirus) 백신 도입에 관한 비용-효과 분석 연구를 수행했는데, 비용 대비 사회적 효과가 만족스럽다는 결론을 도출하여 백신의 효용성을 입증하기도 하였다.

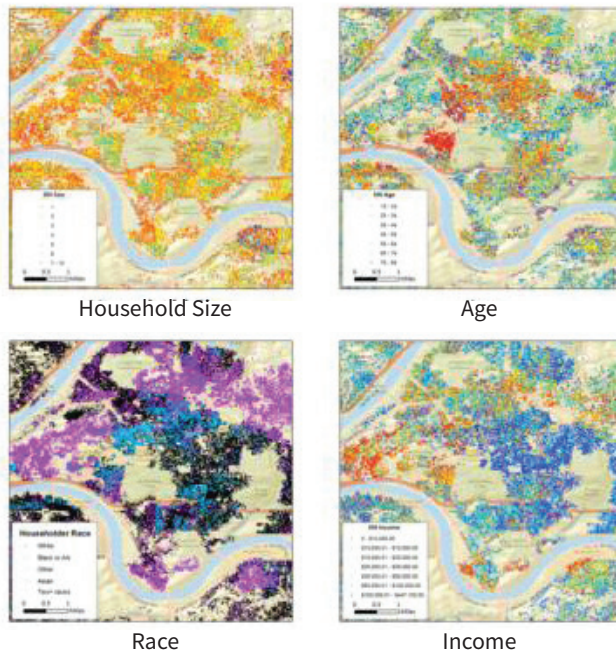
수학적 모델의 이러한 장점에도 불구하고, 개개인의 특성과 같은 세부 현상을 반영하기 어렵다는 점은 한계로 지적되며, 그 점을 보충하기 위해 해당 지역의 지리적/개인적 특성 등을 반영한 시뮬레이션 모델이 선제적 대응을 위하여 함께 사용되고 있다. 미국에서 개발한 에피시스(EpiSimS: Epidemic Simulation System), 글림(GLEaM: Global Epidemic and Mobility Model), 프레드(FRED: A framework for Reconstructing Epidemic Dynamics) 등 에이전트 기반의 모델(Agent-based model; 이하 ABM)이 대표적인 예다. ABM은 전체 시스템을 자율적으로 의사결정할 수 있는 Agent의 집합으로 나타냄으로써, 사람들 사이에서 일어나는 상호작용과 지역적 불확실성, 변동 등을 반영할 수 있다. 즉, 인구 조사 데이터, 가정 구성원, 직업, 수입, 취미, 주소, 교통 등을 모두 반영하여, 실제 사회의 특성을 가진 가상 인구를 만드는 것이다. 그 중에 피시스(EpiSimS)는 테러 사상자에 대한 추정치를 제공하고 테러 대응책들의 비용 효과 분석에 이용되었으며, 천연두나 유행성 독감 같은 공기 전염병이 인구에 미치는 영향을 평가하는 데에도 사용되었다. 또한, 프랑스 국립과학연구소와 미국 인디애나대학이 공동 개발한 글림(GLEaM)은 메르스가 아시아에 확산될 가능성(66%)이 유럽(21%)과 아프리카(12%)에 비해 높을 것으로 예측한 바 있다. 미국 피츠버그 대학에서 개발한 프레드(FRED) 역시 H1N1의 대유행과 유행성 독감에 대한 대응 방안 및 정책 수립에 도움을 주고 있으며, 최근에는 필자와의 공동 연구를 통해 미국 내 고령 인구의 인플루엔자 백신 효과를 최적화할 수 있는 정책 방안을 제시하기도 하였다. 아시아의 경우, 싱가포르에서는 2007년 조류 인플루엔자가 전파되었을 때 RAHS(Risk Assessment and Horizon Scanning)이라는 국가위기관리시스템을 통해 조류 인플루엔자가 발생 가능한 지역의 위험 수준을 예측하고 가상 시나리오를 세워 대응 방안을 제시한 바 있다.

수학적 모델링은 정책의 분석뿐만 아니라, 감염병 유행을 예측하는 시스템에도 사용되고 있다. 2008년 구글은 '독감 트렌드' 시스템을 통해 독감과 관련된 검색어 변화와 과거 발생률, 환경조건 등을 현재와 비교하여 독감 유행을 예측하였다. 그 결과, 예측된 내용은 실제 미국 질병통제예방센터(CDC)의 예상치 비교와 매우 유사한 결과를 나타냈다.

이처럼 국외에서는 수학적 모델과 시뮬레이션 모델을 이용하여 감염병의 전파 양상과 중재 방안의 효과를 분석하고 의료 수요를 예측하는 연구가 꾸준히 이루어지고 있다. 더욱이 미국에서는 전문가들의 정보 공유와 공동 연구를 위해 MIDAS(Models of Infectious Disease Agent Study)라는 감염병 모델링 전문가 네트워크를 구축하였다. MIDAS는 감염병의 위협을 감지하여, 2009년 유행한 H1N1 신종플루 같은 감염병이 발생한 상황에서 담당 공무원들의 의사결정과정을 돕기 위한 모델을 개발하고 있다.



(a)



(b)

### 3. 나가며

다양한 전염병 확산 모델을 구축하여 정책 의사결정에 기여하는 외국과 같이, 한국의 데이터를 기반으로 한 한국형 모델을 개발하고 시뮬레이션 연구를 활성화한다면, 감염병 중재에 많은 도움을 줄 것이다. 한국은 교통의 발달과 밀집된 도시 생활로 전염병의 피해가 극대화될 수 있기 때문에, 감염병 중재 모델의 사용은 사망자 수를 줄이고 피해 환자들에게 직간접적으로 들어갈 천문학적 의료비용까지 감소시키는 효과를 줄 수 있을 것이다. 덧붙여, 신종 감염병의 동향을 파악하고 해외에서 유입된 감염병 정보를 적극적으로 수집한다면, 수학적 모델링의 정확도를 높여 연구 결과의 효율성을 극대화할 수 있을 것으로 판단된다.

Agent-Based Model에 사용된 Allegheny County 합성인구의 인구통계학적 특징.  
(a) Allegheny County의 전체 인구 밀도, (b) 가구 크기, 세대주의 연령, 호주의 인종 및 가구 소득에 의한 공간분포. (출처: J.J. Grefenstette et al. (2013) BMC Public Health, 13:940). 