

2022
6.7

KRIHS POLICY BRIEF
No. 868

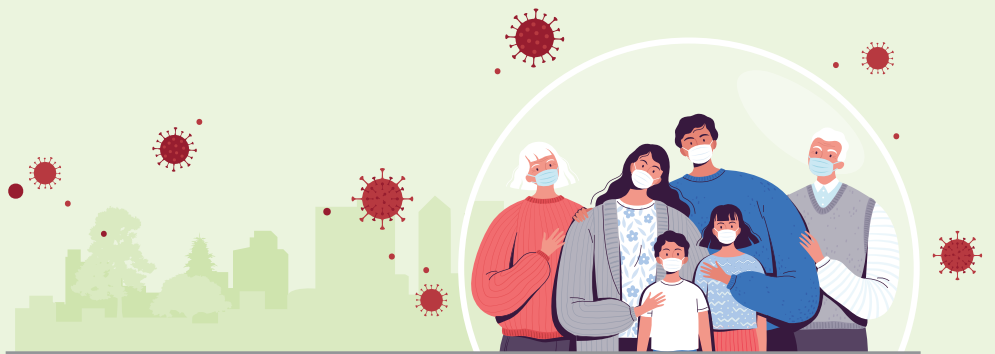
발행처 국토연구원
발행인 강현수
www.krihs.re.kr



국토정책 Brief

KRIHS POLICY BRIEF

코로나19의 시공간 확산으로 본 지역세분화 방역정책의 필요성



주요 내용

- 1 정부 방역정책에 대한 국민의 수용성을 높이기 위해서는 정책효과를 파악하고 제한사항을 최소한으로 설정하여 정책을 시행할 필요가 있음
- 2 지역과 감염경로의 특성에 따라 방역정책을 세밀하게 적용할 수 있는 근거를 마련하기 위해서는 기존 데이터의 분석과 예측을 위한 시공간 시뮬레이션 필요
- 3 이를 위해 방역정책의 엄격성(stringency)을 산출하고 시군구, 감염경로별 확진자수와 연계하여 시뮬레이션 시행 및 분석
- 4 분석 결과, 방역정책의 종류보다는 단계 조정이 확진자수와 연관성이 크며, 단계가 상향될수록 확진자수가 많이 발생하는 지역에만 영향을 미치고 감염경로의 수도 제한됨
- 5 향후 코로나19와 같은 감염병 확산 방지를 위해 방역정책의 효과를 세밀한 지역 단위로 예측할 수 있는 시뮬레이션 방법을 개발하고 실증하였음

정책제안

- 1 감염병 대응정책과 직·간접적으로 연관된 데이터, 분석방법, 성과 등을 종합적으로 수집하여 공유할 수 있는 기반 마련
- 2 확진자 특성에 대한 면밀한 분석을 토대로 감염경로 정보의 상세한 유형 구분 및 확진자 동선 데이터의 수집·활용에 대한 표준화
- 3 데이터 분석과 정보통신기술이 감염병 대응과 관리에 활용될 수 있도록 데이터 처리과정 전반에 대한 검토 및 제도적 체계 마련
- 4 협업문화 조성을 통한 데이터 기반 감염병 대응을 위하여 정부, 민간, 연구기관이 함께 협력할 수 있는 선도형 연구·개발사업 시도

손재선 부연구위원
장요한 국토데이터랩 팀장
임은선 선임연구위원
황명화 연구위원
이경주 한국교통대학교 교수



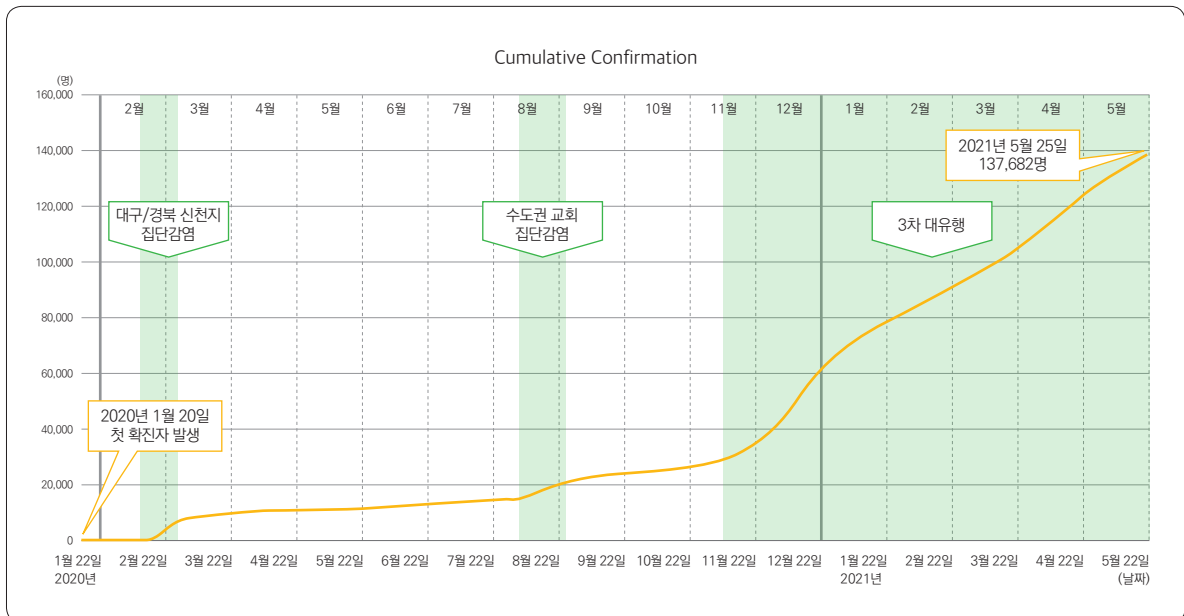
1

코로나19의 확산과 정책적 대응

코로나19는 기존 코로나바이러스와 달리 호흡기 상피세포에 접촉하기 위한 돌기(spike)에 변이 발생, 이로 인해 강력한 전파력, 빠른 증상 악화, 다른 장기로의 전이(轉移) 속도가 빠름

2020년 1월부터 2022년 3월까지 약 2.2년 동안, 4억 8천만 명 이상의 누적 확진자(국내 1,200만 명 이상)와 615만 명 이상의 사망자(국내 1만 5천 명 이상) 발생

그림 1 우리나라 초기 누적 확진자의 시계열적 추이



출처: COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering(CSSE) at Johns Hopkins University(JHU). <https://www.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6> (2021년 2월 23일, 5월 10일 검색)을 바탕으로 저자 재구성.

우리나라는 '사회적 거리두기'라 명명된 방역수칙을 통해 정책적으로 대응하였음

- '사회적 거리두기'는 개인 방역수칙, 시설 방역수칙, 사업장(직장) 방역수칙으로 구분됨
- 전염병의 확산 상황과 확진자 발생 기준을 토대로 미리 설정한 단계별 조치사항에 따라 방역 시행
- 방역 초기의 3단계, 5단계(2020년 11월 개편)를 거쳐 4단계(2021년 7월 개편) '사회적 거리두기'를 시행하였음

일반적인 확진자 예측은 대응정책이 작용하는 개인의 실제 생활 단위에서의 적용을 위한 시공간적 청사진을 더 세밀한 시공간 단위로 제시하지 못하는 한계

- '사회적 거리두기'는 초기의 광역적이고 일괄적인 적용으로 지역경제 침체 등의 피해와 반감이 컸으며, 사회적 스트레스도 계속 증가하는 추세
- 치료제의 개발 및 보급으로 감염자의 의료적 처치가 일반화되지 않는 이상, 사회적 거리두기의 대상이 되는 모든 주체의 불만을 해소하기에는 어려움이 예상

과학적 방법론을 통해 사회적 거리두기 정책의 효과를 세밀한 수준의 시공간적 단위로 제시한다면, 사회적 거리두기에 대한 반감을 줄이고 더 적극적인 참여를 유도할 수 있을 것임

- 국민에게는 확진자수의 예측보다는 어떤 사회적 거리두기 정책이 시행되고, 내가 사는 지역에 어느 정도 효과가 있을지 제시하는 것이 더 효과적일 수 있음
- 코로나19 등 감염병 확산 방지를 위한 대응정책의 효과를 예측할 수 있는 시뮬레이션 방법을 개발할 필요가 있음

2

감염병 수리모형과 대응정책 효과 분석 사례

실제 현상을 수학적 식으로 묘사하는 수리모형 구축과 시뮬레이션을 위해서는 수학, 통계, 수치적 계산기법의 적용이 필요하며, 컴퓨터 활용기술의 발전과 가용 데이터의 폭발적 증가 등 외적 요인으로 미시적 모형의 발전 가속

- 확산 여부를 규정하는 가장 중요한 지표는 기초감염재생산(지)수로 최초 감염자가 전파하는 평균 이차감염자 수를 말함
- 감염병 확산모형은 크게 분석범위, 분석방법, 사용 데이터에 따른 특징 등을 기준으로 분류
- 전통적인 SIR¹⁾ 모형은 감염률, 회복률 등 질병의 전파와 확산에 영향을 주는 주요 파라미터들을 한 국가나 지역 전체를 대상으로 적용하여 시간 경과에 따른 거시적 변화 예측

옥스퍼드대학교의 OxCGRT²⁾는 국가별로 서로 다른 코로나19에 대한 정부의 대응을 비교하기 위해 다양한 정책적 대응 항목 및 세부 항목의 정량화를 바탕으로 연구자들과 정부 부처 관계자에게 다양한 지수 제공

- 공개하고 있는 데이터는 180개 국가를 포괄하는 23개의 정량화된 지표를 활용한 지수
- 정부대응지수(Government response index, 16개 지표 반영), 봉쇄및보건지수(Containment and health index, 9개 지표 반영), 엄격성지수(Stringency index, 9개 지표 반영), 경제지원지수(Economic support index, 2개 지표 반영) 등을 생성

표 1 OxCGRT 지표

아이디	지표명	종류	일부/전체	아이디	지표명	종류	일부/전체
봉쇄 및 폐쇄				보건 시스템			
C1	휴교	서수형	지리적	H1	공공캠페인	서수형	지리적
C2	직장 폐쇄	서수형	지리적	H2	검사정책	서수형	없음
C3	행사 취소	서수형	지리적	H3	접촉 추적	서수형	없음
C4	모임 제한	서수형	지리적	H4	보건 응급 투자	숫자형	없음
C5	대중교통 제한	서수형	지리적	H5	백신 투자	숫자형	없음
C6	외출 제한	서수형	지리적	H6	안면 가림	서수형	지리적
C7	국내 이동 제한	서수형	지리적	H7	백신정책	서수형	비용
C8	해외 이동 제한	서수형	없음	H8	노인 보호	서수형	지리적
경제적 대응				백신정책			
E1	가계 소득 지원	서수형	부문별	V1	백신 우선순위 부여	범주형	없음
E2	가계 부채 구제	서수형	없음	V2	백신 자격/가능성	범주형	없음
E3	재정 조치	숫자형	없음	V3	백신 재정 지원	범주형	없음
E4	국제 지원	숫자형	없음	기타			
				M1	기타 응답	문자형	없음

출처: Hale et al. 2021, 5.

1) SIR 모형은 Susceptible(감염대상군)-Infectious(감염군)-Removed(면역군)로 구성된 모형.

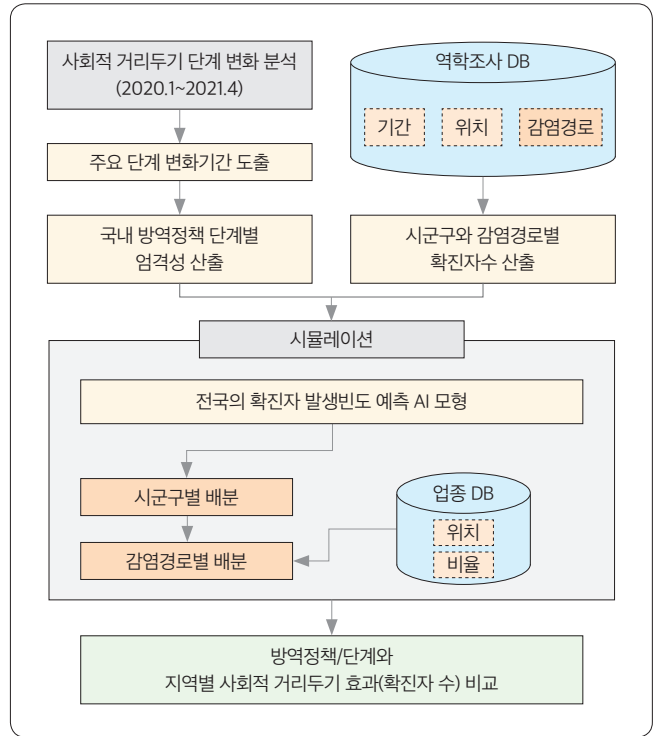
2) 옥스퍼드대학교 블라바트닉 행정대학원(Blavatnik School of Government, University of Oxford)에서 제공하는 코로나19 정부대응추적기(The COVID-19 Government Response Tracker).

3 방역정책 시뮬레이션 방법

사회적 거리두기 단계별 확진자수와 감염경로 관련 업종의 유형별 위치정보를 이용하여 지역(시군구) 단위의 확진자 발생 추이를 예측해볼 수 있는 정책 시뮬레이션 방법론 제안

- 질병관리청의 실증데이터를 이용, 사회적 거리두기 단계별 확진자수 정보를 시군구 단위로 구축, 이를 시군구 단위의 업종 유형별 시설의 개수 데이터와 결합
- 사회적 거리두기 주요 단계의 변화 기간을 도출하여 국내 방역정책 단계별 엄격성 산출, 전국의 확진자 발생빈도 예측, 배분 시뮬레이션에 입력하여 시군구 단위와 감염경로별 확진자 계산, 정책단계와 지역별 사회적 거리두기 효과 비교

그림 2 정책 시뮬레이션 방법론의 구조



사회적 거리두기 방역정책의 엄격성 산출

OxCGRT의 엄격성(stringency)지수를 응용하여 우리나라의 사회적 거리두기 정책과 연계할 수 있는 8개의 정책을 선정하여 새롭게 정책별 엄격성을 부여

- 사회적 거리두기 정책의 방역지침과 단계 변화에 따라 시도 및 시군구 단위로 발표되었던 거리두기 단계조정 정보를 종합한 결과를 기본으로 엄격성 산출
- 시간(x축), 250개 시군구(y축), 8개의 정부 정책(z축)과 함께 같은 시간축과 시군구축을 갖는 확진자수 행렬이 정부 정책의 엄격성 단계 변화와 관련하여 확진자수가 어떻게 변화하였는지를 추정하는 종속변수로 쓰이게 됨

표 2 정부 정책 및 사회적 거리두기 단계별 엄격성 비교표

정부 정책	1단계	1.5단계	2단계	2.5단계	3단계
마스크 착용 의무화	1	2	3	4	4
모임·행사 제한	1	2	3	4	5
스포츠 관람 제한	1	2	3	4	5
교통시설 이용 제한	1	1	2	3	4
등교 제한	1	2	3	4	5
종교활동 제한	1	2	3	4	5
직장근무 제한	1	2	2	3	4
다중이용시설 제한	1	2	3	4	5

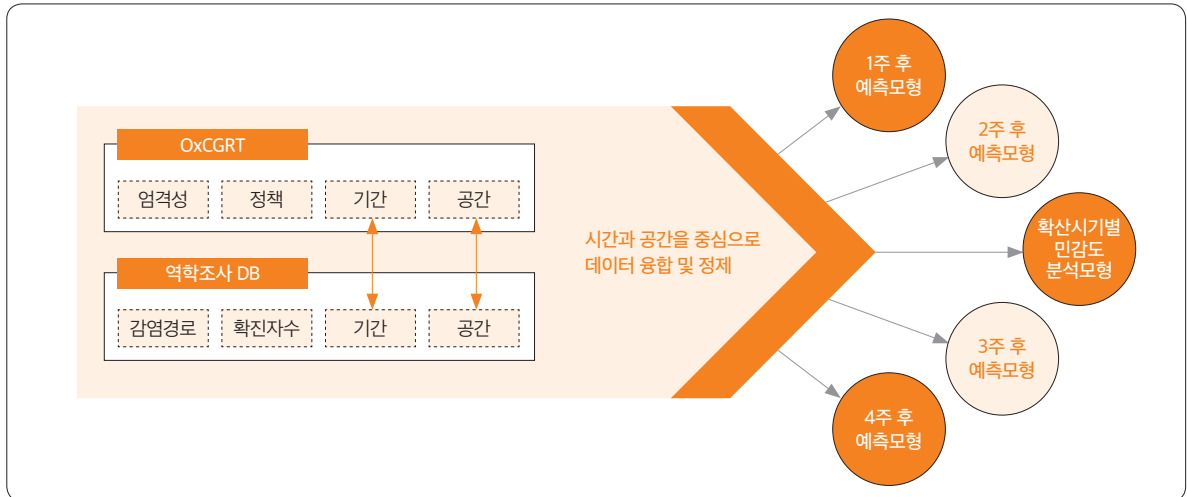
주: 사회적 거리두기가 3단계로 운영된 기간은 5단계의 1, 2, 3단계를 그대로 적용.
출처: 보건복지부 2020, 9-10을 바탕으로 저자 작성.

전국 확진자 발생빈도 예측방법

회귀분류 머신러닝 모형 중 하나인, 랜덤 포레스트(random forest) 모형³⁾을 이용하여 입력변수를 구성하고 변수 사이의 상관관계 파악

- 일별·지역별·감염경로별 확진자 발생정보를 종속변수로 가정하고, 일별·지역별 8가지 정책의 엄격성 단계 변화여부를 독립변수로 가정
- 확진자 발생 예측모형을 1주일 단위로 1주일 평균부터 4주일 평균까지 산출하도록 구성

그림 3 예측모형의 구분 및 항목 구성

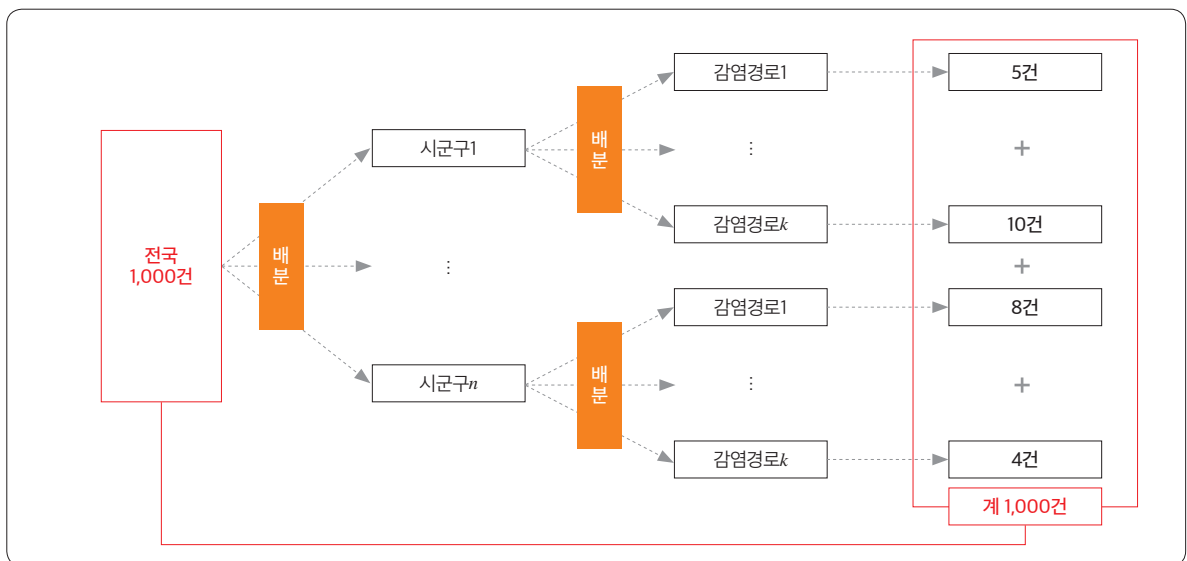


배분 시뮬레이션 방법

시군구 단위 감염경로별 확진자수 배분은 해당 감염경로시설의 밀도를 고려하여 시뮬레이션 과정에서 해당 시군구로 배분된 확진자수를 감염경로에 배분

- 질병관리청의 실증자료를 이용하여 전국 대비 해당 시군구의 과거 확진자수 비중에 비례하는 방식

그림 4 배분 시뮬레이션 방법론의 구조적 개요(예시)



3) 랜덤 포레스트 모형은 변수 간 인과관계의 집합을 앙상블(ensemble) 형태로 취합, 전개하면서 모형의 예측력 조절.

4

방역정책 시뮬레이션 모델 시범 적용

지역의 사회적 거리두기 단계 변화와 방역지침을 참고하여 8개의 정책을 바탕으로 2020년 1월 20일부터 2021년 4월 6일까지 250개 시군구 단위로 엄격성을 산출하고, 질병관리청에서 구축·관리하고 있는 같은 기간의 확진자수와 감염경로를 정리하여 시뮬레이션을 위한 데이터 생성 및 적용

- 확진자 발생 영향도가 높았던 '종교시설'과 '직장'의 엄격성을 각 사회적 거리두기 정책별 최저치(각 1단계)와 최고치(종교시설-5단계, 직장-4단계)로 구분하여 시뮬레이션
- 정책의 엄격성이 높게 주어졌을 때 높은 확진자 발생 예측은 확진자 발생과 방역정책의 경험적 관계가 선(先) 확산, 후(後) 정책 대응이라는 점과 다른 정책변수의 엄격성은 유지된 채로 특정 정책변수만 수정하여 시뮬레이션하였다는 데서 기인한 결과로 추정
- 전국 확진자 발생 예측은 실제 참값과 매우 유사한 패턴으로, 1주 평균 확진자수 결과보다는 4주 평균 확진자수 결과에서 참값과 예측값의 결과가 더욱 유사하게 예측
- 감염경로별 상대적 영향도는 '직장'과 '종교시설'이 가장 높았으며, 장기 예측모형일수록 '교정시설'과 '미분류' 등의 상대적 영향도가 증가

그림 5 모형 4/시나리오별 예측 결과 비교(전국 일별)

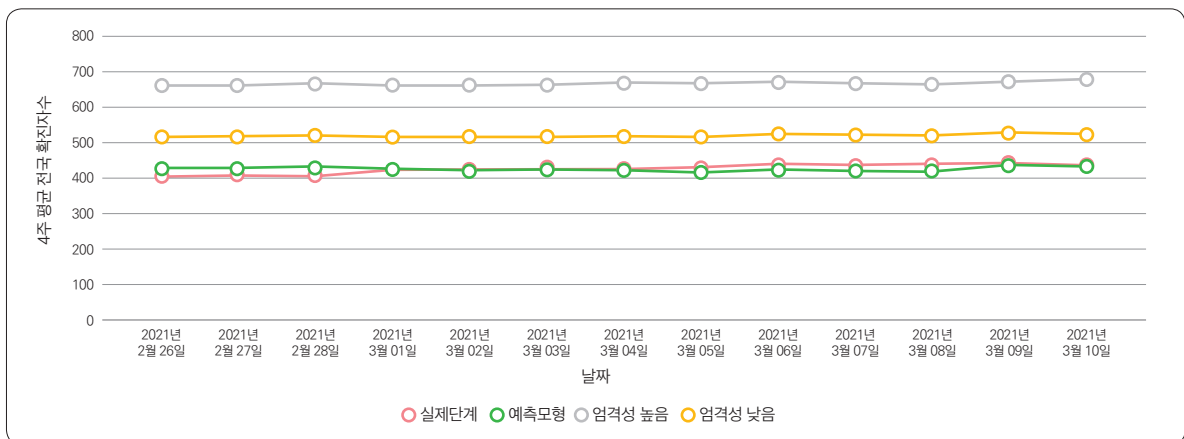
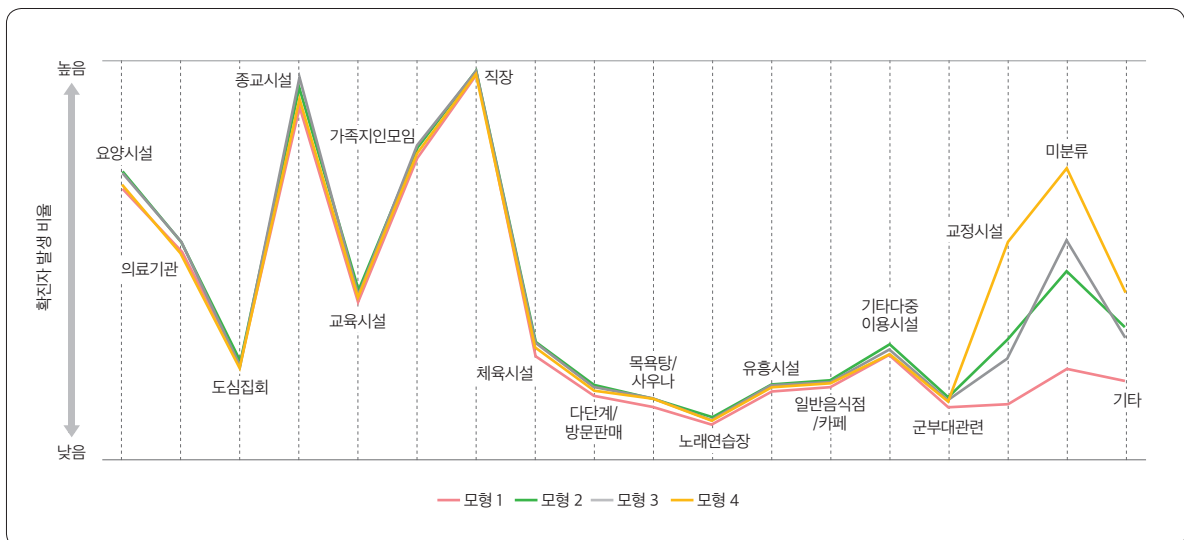


그림 6 모형별 감염경로에 따른 상대적 영향도 비교



주: 모형 1(1주일 후 1주일 확진자 평균), 모형 2(2주일 후 2주일 확진자 평균), 모형 3(3주일 후 3주일 확진자 평균), 모형 4(4주일 후 4주일 확진자 평균).

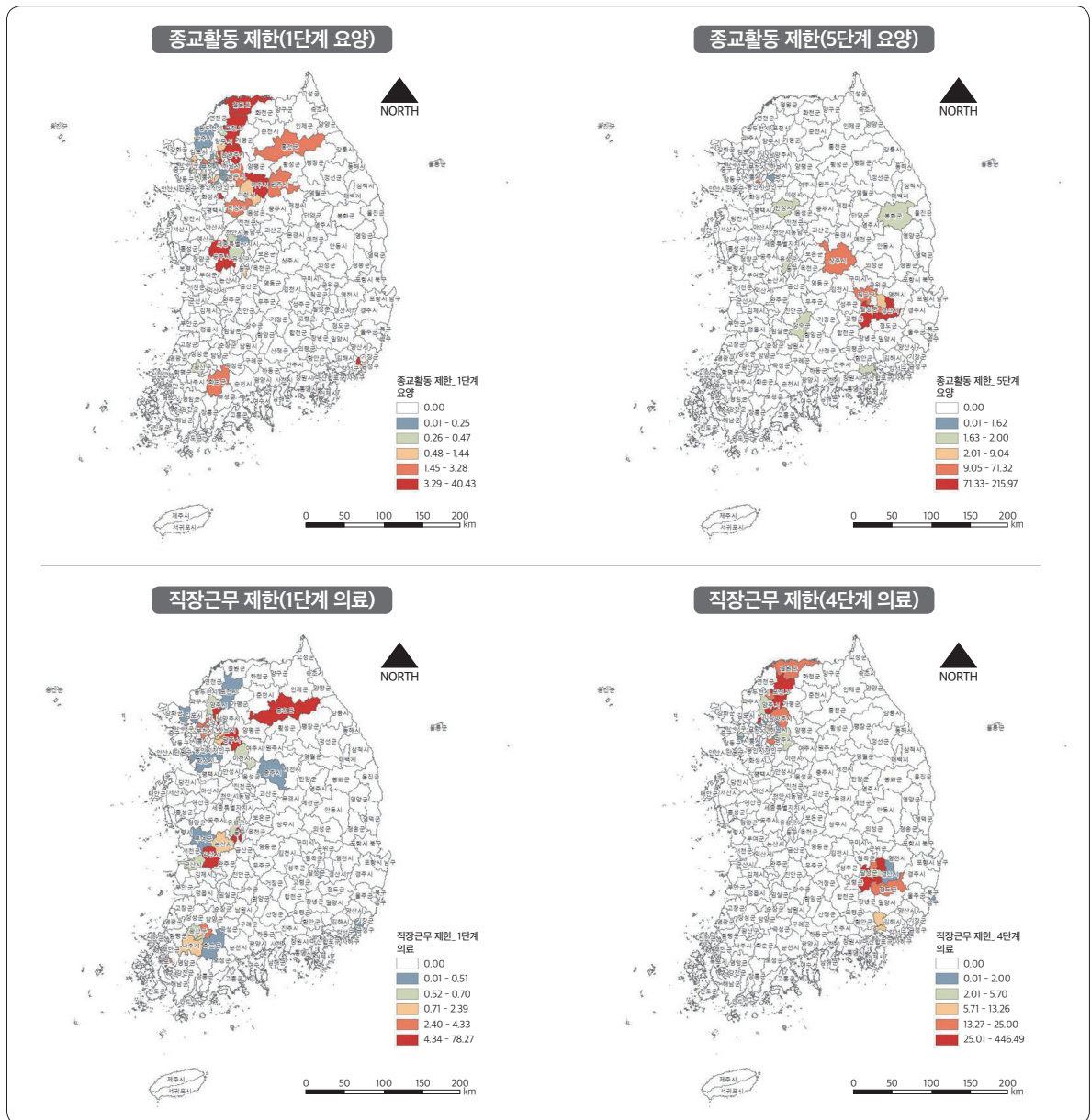
확진자 발생 영향도가 높았던 ‘직장’과 ‘종교시설’의 방역 단계 조정에 따른 감염경로별 확진자수를 시군구 단위로 시뮬레이션하여 분포패턴을 예측

- 전국 확진자수를 2,000명으로 설정하여 예측한 결과, 방역정책에 상관없이 4, 5단계에서 모두 약 1,910명 정도의 확진자가 네 가지 감염경로(요양, 의료, 종교, 교육)에 집중하여 발생하는 것으로 예측
- 방역 단계가 높을수록 발생지역의 지리적 범위가 제한되며, 소수의 지역에 상당히 대규모로 발병이 이루어지는 것으로 예측

표 3 방역정책별 단계 조정에 따른 주요 감염경로별 확진자수 시뮬레이션 결과 (단위: 명)

시뮬레이션		요양	의료	종교	교육	계
종교활동 제한	1단계	224.39	203.68	418.20	173.21	1,019.48
	5단계	722.87	908.72	261.44	16.97	1,910.00
직장근무 제한	1단계	220.34	203.79	406.05	170.89	1,001.07
	4단계	723.19	908.48	261.29	17.05	1,910.01

그림 7 시뮬레이션 결과 시군구 단위 분포 패턴 예시(종교활동 제한-단계: 감염경로)



5

방역정책 효과 증대를 위한 정책제언

이 브리프에서 소개한 정책 시뮬레이션 모델은 방역정책의 효과를 지역 단위로 세밀하게 예측하는 방법으로 방역정책별·지역별로 세분화한 단계 적용의 근거, 시도의 지역 위험성 평가 및 예측 도구로 활용 가능

- 정책 시뮬레이션을 통해 방역정책의 종류와 상관없이 단계 조정의 중요성 발견, 방역정책의 효율성 제고를 위해서는 지역 간 편차를 생성하는 요인들을 세분화하여 지역별 실제 상황을 고려한 유연한 방역정책 적용 필요성 확인
- 발생가능지역과 확산경로의 예측을 지원할 수 있으므로 정부의 방역정책 기초를 발생 후 대응에서 선제 대응 후 관리의 체계로 전환할 수 있는 도구로 사용 가능

감염병의 최신 연구 추세인 행위자기반 모형과 같은 최신 방법론을 적용하지 못하고, 여러 정책의 복합적인 효과를 분석하기에는 무리가 있다는 연구의 한계점 존재

- 역학조사 데이터를 통해 구성할 수 있는 확진자의 감염병 전파 네트워크를 감염경로와 연계할 수 있는 정확한 주소 정보 미비(확진자의 위치 정보가 거주지 기준, 시군구 단위로 되어 있어 더 정밀한 분석 불가)
- 엄격성 산출의 경우, 1~4단계 또는 1~5단계의 명목 척도를 사용하였기 때문에 하나의 정책과 확진자수의 변화를 유추할 수 있지만, 여러 정책의 복합적인 효과 분석은 어려움

시뮬레이션 모형의 활용도를 높이기 위해서는 분석방법, 데이터 기반 구축, 활용체계 마련 등에서 다음과 같은 향후 과제를 수행할 필요

- 향후 시뮬레이션 모형의 예측력과 논리적 설명력을 개선하고 사회적 거리두기 이외에도 적용 가능한 시뮬레이션 모형 추가 연구 및 적용 범위 확대 필요
- 감염병 관련 데이터, 분석방법 및 성과를 종합적으로 수집 및 공유할 수 있는 기반 마련으로 집단지성 발휘가 가능한 협업문화 조성 필요
- 확진자특성 분석 기반 감염경로 정보의 유형화 및 수집·활용체계에 대한 재검토 필요
- 「감염병 예방관리법」에 따라 데이터 분석과 정보통신기술이 감염병 대응과 관리에 활용될 수 있는 제도적 체계 마련 필요

참고문헌

보건복지부. 2020. 코로나바이러스감염증-19 중앙재난안전대책본부 정례브리핑, 11월 1일. 보도자료.

COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering(CSSE) at Johns Hopkins University(JHU). <https://www.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/bda7594740fd40299423467b48e9ecf6> (2021년 2월 23일, 5월 10일 검색).

Hale, T., Anania, J., Angrist, N., Boby, T., Cameron-Blake, E., Di Folco, M., and Ellen, L., et al. 2021. Variation in Government Responses to COVID-19. *Blavatnik School of Government Working Paper Version 12.0*. https://www.bsg.ox.ac.uk/sites/default/files/2021-06/BSG-WP-2020-032-v12_0.pdf (2022년 5월 18일 검색).

※ 이 브리프는 “손재선, 장요한, 오창화, 임은선, 황명화, 이경주. 2021. 감염병 방역정책 지원을 위한 시공간 시뮬레이션 모형 개발 연구. 세종: 국토연구원”의 결과를 정리한 것임

• **손재선** 국토연구원 공간정보사회연구본부 부연구위원
(jsson@krihs.re.kr, 044-960-0418)

• **장요한** 국토연구원 국토데이터랩 팀장
(ycanns@krihs.re.kr, 044-960-0406)

• **임은선** 국토연구원 국토모니터링연구센터 선임연구위원
(esim@krihs.re.kr, 044-960-0413)

• **황명화** 국토연구원 국토모니터링연구센터 연구위원
(mhhwang@krihs.re.kr, 044-960-0185)

• **이경주** 한국교통대학교 교수
(lgjracer@ut.ac.kr)

