

국토정책 Brief

국토연구원에서 수행한 주요 연구과제의 핵심 내용과 정책제안 등을 압축해 국민께 알려드리고자 하는 발간물입니다.

2023. 9. 18.
No. 933



발행처 국토연구원
발행인 심교언
www.krihs.re.kr

이보경 부연구위원
장요한 부연구위원
정예진 연구원
홍사흠 국토계획평가센터장
김동근 연구위원

인공지능기법을 적용한 1km 격자단위 장래인구 예측 방법론 개발

주요 내용

- 인구감소시대에 국가와 지자체의 지속가능한 운영을 위해서는 데이터를 활용한 적절한 계획과 정책 수립이 필요
 - 시·군·구 및 읍·면·동보다 더 작은 소지역단위 장래인구를 활용하면, 공간의 관점에서 지속가능성이 위협받고 있는 곳이 어디인지 탐색하고 대응할 수 있는 방안 마련이 가능
- 본 연구에서는 인공지능기법을 적용한 ‘격자단위 장래인구 예측 AI 모델(Gridded Population Forecast with AI, 이하 GPAI)’을 개발하고 향후 국토정책 및 계획에서의 활용방안을 제안
 - 시계열 분석 및 공간융합 활용이 용이한 1km 격자단위 장래인구 예측 방법을 제안
 - 인구학적·공간적 특성 관련 공간 빅데이터에 인공지능기법과 코호트요인법을 결합하여 1km 격자단위 장래인구를 예측
- GPAI를 적용하여 장래인구를 예측한 결과 2020년 평균 인구밀도를 100으로 보았을 때 2050년에 91 수준이며, 국토는 한정된 인구밀집지역과 대부분의 인구희박지역으로 양극화될 것으로 전망
 - 2050년까지 수도권, 충남 북부-세종-대전 및 일부 광역시의 외곽지역에 인구가 증가하는 곳도 있지만, 대부분의 국토공간에서 인구가 감소할 것으로 전망

정책방안

- ① 1km 격자단위 장래인구 예측을 위한 공간 빅데이터 활용 가능성과 이중의 두 모델(코호트 요인법-인공지능기법)의 결합 아키텍처를 개발하여 후속 연구로의 확장 가능성을 시사
- ② GPAI는 ① 유연한 정책·계획의 공간구역 설정, ② 미래예견적 계획 수립을 위한 과학적 의사결정 지원 및 ③ 실효성 있는 지자체 계획 수립의 근거 등으로 활용 가능
- ③ 향후 소지역단위 장래인구 예측 모델이 신뢰성 있게 실무에서 활용되기 위해서는 후속 연구를 수행하고 활용 확산을 주도할 수 있는 권한과 역량을 갖춘 조직과 제도 마련이 필요

01. 인구감소시대, 소지역단위 장래인구 기반 정책 수립 필요

인구감소시대, 국토 내 공간별로 겪고 있는 소멸의 위기수준은 천차만별

우리나라가 인구감소시대를 맞이함에 따라 지방소멸 위기가 본격적으로 대두되고 있으나, 국토 내 공간별로 겪고 있는 소멸 위기수준은 천차만별

- 수도권 일부 지역은 인구증가와 밀집에 따른 인프라 부족 등의 문제를 겪고 있지만, 지방 소도시는 급격한 인구감소로 지역의 경제침체를 걱정
- 수도권과 비수도권 간의 인구격차뿐 아니라 같은 지자체 내에서 서로 다른 공간 간의 인구격차 역시 국토의 균형발전을 저해하는 요인

지금까지 공간 맞춤형 전략보다는 시·군·구와 같은 거시적인 행정구역 틀 안에서 지역을 진단하고 지원책을 마련

- 따라서 국가와 지자체에서는 ‘소멸의 위험에 직접 노출된 장소는 어디인지?’, ‘실제 이 공간에 적절한 인구감소 관련 지원이 이루어지고 있는지?’, ‘지금까지 투입된 예산이 인구감소에 효과가 있었는지?’ 등 공간의 관점에서 발생하고 있는 인구감소 이슈에 답하지 못하고 있는 상황

지속가능한 국토·지역·도시 운영을 위해서는 데이터 기반의 과학적인 증거를 바탕으로 적절한 계획과 정책 수립이 필요

고해상도 소지역단위 장래인구를 활용하면 앞으로 어느 공간이 인구감소시대에 가장 취약할지 전망하고, 이들을 정밀하게 타기팅한 장소기반·증거기반 정책을 수립할 수 있을 것으로 기대

- 인구감소에 따른 소멸 위기를 겪고 있는 지역은 효율적인 자원 배분 및 인프라 경영·관리 등 적절한 정책과 계획을 수립·시행할 수 있는 역량이 필요(제20대 대통령직인수위원회 2022)
- 지자체의 기획과 경영역량을 높이기 위해서는 이들이 활용할 수 있는 과학적 근거자료와 계획 수립의 도구가 필요한데, ‘상세한 공간단위(소지역)’의 ‘장래인구’ 정보는 미래예견적 계획 수립을 통해 지역의 지속가능성을 도모하는 데 중요한 역할
- 저출산고령사회위원회가 발표한 ‘인구구조 변화와 대응방안’에서는 데이터와 과학에 기반하여 정책 효과성을 검증하고, 공간 빅데이터를 활용한 권역 설정을 통해 인구정책 추진의 필요성을 강조(저출산고령사회위원회, 관계부처 합동 2022)

공공과 민간부문에서 공간 빅데이터 생산과 공개가 증가하고 있고, 분석 컴퓨팅 환경이 발전함에 따라 소지역단위 장래인구 예측이 가능해진 상황

인공지능기법을 적용하여 소지역단위 장래인구 예측 모델을 개발하고 국토·지역·도시정책과 계획의 활용방안을 모색

1km 격자단위 장래인구 예측 방법인 ‘격자단위 장래인구 예측 AI 모델(Gridded Population Forecast with AI, 이하 GPFI)’을 개발

- 소지역의 공간범위는 활용목적과 시대에 따라 다양하게 정의될 수 있으며, 이 연구에서는 우리나라 공간 데이터 현황과 정책 및 계획에서의 활용을 고려하여 1km 격자단위를 소지역으로 채택하여 방법론 개발
- GPFI를 전국에 적용하여 2050년까지 인구분포 변화를 전망하고, 인구증가지역, 인구감소지역, 무거주화 위험지역 등 국토공간을 유형화하여 비교·분석

GPFI가 신뢰성 있게 활용되기 위해 필요한 방법론의 고도화 방안, 활용 예시 및 활용 확산전략 등을 제언

- 소지역, 특히 격자단위 장래인구 예측결과는 생활권부터 광역권까지 공간적 정합성을 가지고 인구변화와 관련된 정보를 제공
- 정책적 관심에 따라 자유롭게 구역을 설정하고 의사결정에 참조할 수 있으며, 제한된 자원을 가장 효과적으로 배치하고 운영하는 데 활용 가능

02. 1km 격자단위 장래인구 예측 AI 모델(GPAI) 개발

인구학적 특성을 고려한 코호트요인법과 공간적 특성을 반영한 인공지능기법을 결합하여 새로운 인구예측 방법론을 제안

소지역단위 장래인구 예측 선행연구와 격자단위 인구통계 관련 사례 조사를 통해 GPAI의 개발방향을 정립

- 첫째, 시간이 지나도 변하지 않는 표준화되고 규격화된 소지역인 1km 격자단위의 장래인구 예측 방법을 고안
- 둘째, Tobler가 제안한 셀룰러 지오그래피(cellular geography) 개념을 바탕으로 격자 간의 이웃효과를 고려할 수 있도록 알고리즘을 적용
- 셋째, 인구학적 특성(인구규모, 사망률, 출생률, 순이동률 등)과 공간적 특성(건축물 밀도, 주거용 건축물 현황, 토지 경사도 등)의 변화를 복합적으로 고려할 수 있는 아키텍처를 설계
- 넷째, 시·공간 위계가 복잡하게 연계된 대용량의 공간 빅데이터를 학습할 수 있도록 인공지능기법을 활용

전통적인 장래인구 추계 방법인 코호트요인법의 결과와 공간 빅데이터를 통해 다양한 공간의 특성을 반영한 인공지능기법 모델을 결합하는 GPAI 아키텍처를 설계(<표 1> 참조)

- 모델1은 인구학적 특성과 공간적 특성을 고려한 인공지능기법 기반 모델이고, 모델2는 인구구조에 따른 시나리오를 활용한 코호트요인법 기반 모델
- 앙상블 보팅(ensemble voting)¹⁾ 방법을 통해 두 모델의 결과를 결합하여 2050년까지 우리나라의 장래인구를 1km 격자단위로 전망

표 1 GPAI 아키텍처 설계

구분	모델1	모델2
주요 가정	과거의 인구변화 추세를 학습하고, 장래의 공간적 특성 변화 예측을 통해 격자별 장래인구를 전망 • 과거의 해당 격자 및 주변 격자의 인구변화가 장래의 인구규모에 영향 • 과거의 해당 격자 및 주변 격자의 공간적 특성이 장래의 공간적 특성에 영향	격자단위 인구학적 구조(성별 및 연령)와 인구학적 변동 요인에 따른 자연적 증감을 통해 격자별 장래인구를 예측 • 현재 격자단위의 성별, 연령별 인구구조에 인구학적 변동요인을 적용하여 자연적 증감에 따른 장래인구 변화 예측 ※ 인구가동에 따른 인구의 사회적 증감은 시도단위에서 고려
활용 데이터	인구학적 특성(시도 및 격자 단위)과 공간적 특성(격자 단위)을 변수로 활용 • 2050년 시도단위 추계 사망률, 출생률, 순이동률 등 인구변동 요인(통계청 2022년 자료)과 격자단위 인구변화(2000~2020)를 활용 • 격자단위 건축물수, 주택수, 주거용 연면적, 경사도 등 공간적 특성(2000~2020)을 활용	인구학적 특성(시도단위)과 인구구조적 특성(격자단위)을 변수로 활용 • 2050년 시도단위 추계 사망률 및 출생률과 같은 인구변동 요인(통계청 2022년 자료) • 2020년 격자단위 성별, 연령별 인구구조(행정안전부 주민등록 통계)를 기준인구로 설정
적용 방법론	3개 단계(인구학적-공간적 특성 학습, 장래의 공간적 특성 변화 예측, 장래의 인구학적-공간적 특성 기반의 격자단위 인구 예측)로 구성 • 1단계: 인구학적 특성, 공간적 특성 및 격자단위 인구분포와의 관계 학습을 위해 이웃효과를 고려한 랜덤포레스트(random forest) 수행 • 2단계: CNN-LSTM(Convolutional Neural Network-Long Short Term Memory) 알고리즘을 적용하여 공간적 특성 예측 • 3단계: 장래의 인구학적 변동요인과 2단계 공간적 특성 예측결과를 1단계에서 학습한 랜덤포레스트에 적용하여 격자단위 장래인구를 예측	이보경(2019)에서 제안한 격자단위 장래인구 추계를 위한 코호트요인법을 활용 • 1단계: 격자단위 기준인구 정의 • 2단계: 격자별 코호트요인법 적용 • 3단계: 격자별 장래인구 가중치 산출 • 4단계: 시도단위 장래인구 추계를 격자별 가중치를 기준으로 배분하여 통계청과 정합성을 갖춘 격자단위 장래인구 예측값 도출
최종 결과	1km 격자단위 장래인구 예측(2025~2050년)	

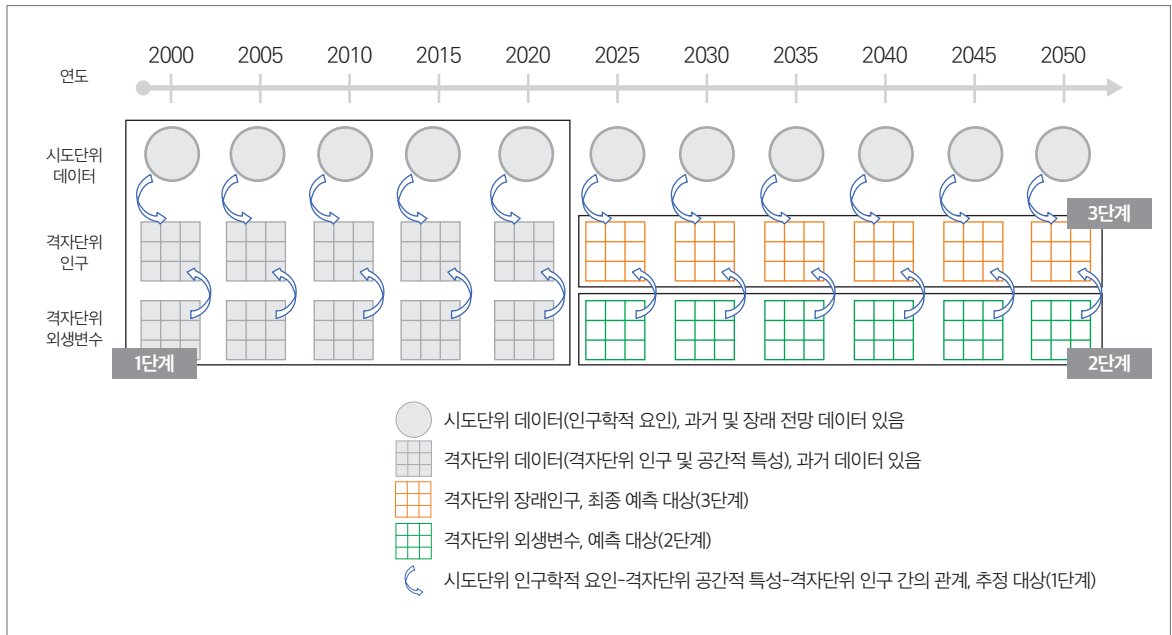
1) 앙상블(ensemble)은 데이터에 기반한 알고리즘의 과대 또는 과소적합을 방지하기 위해 다양한 알고리즘이 조화를 이루어 최종값을 도출하는 데이터마ining 방법으로, 그중 보팅(voting)은 앙상블 중 하나로, 예측결과값이 명목형 변수인 경우 하드보팅, 소프트보팅, 가중치 투표 등으로 하나의 값을 선택하고 연속형인 경우(장래인구 규모) 각 알고리즘을 통해 도출된 결과의 평균을 활용하여 두 모델을 결합하는 방식임.

[모델1] 인구변화 추세와 장래의 공간적 특성 변화 예측을 고려한 인공지능기법

인공지능기법을 통해 충분한 사전정보를 학습하면 관찰하고자 하는 대상의 숨겨진 패턴 예측이 가능

- 2000년부터 2020년까지 격자단위 인구 데이터를 학습하여 2050년까지 격자단위 인구를 예측하는 인공지능기법을 개발
- 인공지능 기반의 모델1은 다중 모형결합 방식으로 총 3개의 단계로 구성되었으며, [1단계]에서는 격자단위 실제 인구 - 인구학적 특성 - 공간적 특성 간의 관계를 과거로부터 학습하여 규명하고, [2단계]에서는 장래 인구분포에 영향을 미치는 토지이용 및 물리적 환경인 공간적 특성 관련 외생변수의 변화를 예측하며, 마지막으로 [3단계]에서는 앞선 두 단계의 결과를 활용하여 2050년까지 격자단위 장래인구를 전망

그림 1 GPAI 모델1 개념 아키텍처

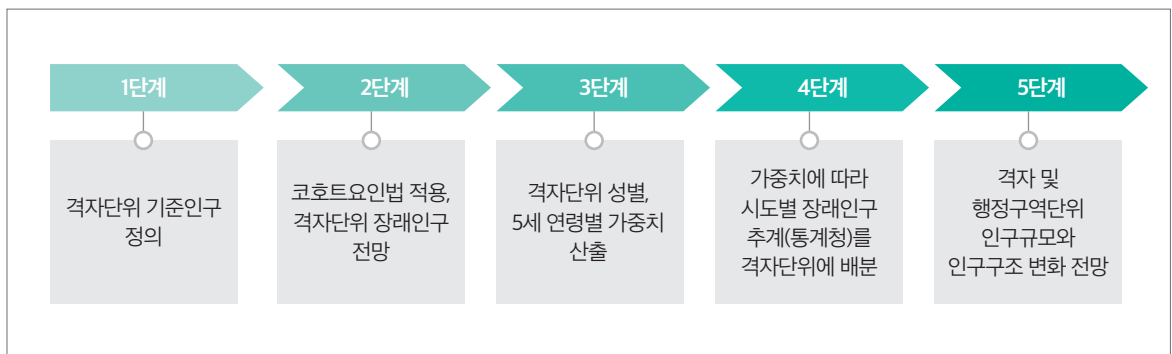


[모델2] 인구학적 변동요인을 고려한 코호트요인법

격자별로 코호트요인법을 적용하여 시뮬레이션을 통해 장래인구를 추계(이보경 2019)

- 격자별 기준인구를 정의하고, 연령에 따른 인구구조와 인구변동 요인(출산율, 사망률)을 인구균형방정식에 반영하여 시도단위 장래인구 추계를 각 격자에 배분하는 가중치를 도출

그림 2 격자단위 장래인구 전망 방법



자료: 이보경 2019, 그림 3.

03. GPAI로 예측한 2050년 우리나라 인구변화

전국 및 광역권 장래인구 변화 전망

GPAI를 적용하여 2025년부터 2050년까지 우리나라 격자단위 장래인구를 5년 단위로 예측

- 2020년도 인구분포와 2050년 장래인구 분포를 비교하였을 때 일부 수도권과 광역지자체를 제외하고 전체적으로 인구밀도가 감소할 것으로 전망
 - 2020년 인구밀도를 100으로 보았을 때 2050년의 인구밀도는 91 수준
 - 무거주화 위험 및 감소지역이 87%에 달할 것으로 전망

표 2 전국 2020~2050년 인구밀도와 인구증가, 인구감소 및 무거주화 위험지역 비중 변화

구분	2020년	2025년	2030년	2035년	2040년	2045년	2050년
평균 인구밀도(전 국토 기준)	483명/km*	479명/km ²	477명/km ²	473명/km ²	467명/km ²	456명/km ²	441명/km ²
평균 인구밀도(인구거주지역 기준)	724명/km ²	696명/km ²	694명/km ²	695명/km ²	691명/km ²	683명/km ²	672명/km ²
무거주화 위험지역 비중(2020년 기준)	-	1.6%	1.7%	1.9%	2.3%	2.9%	3.9%
인구감소지역 비중(2020년 기준)	-	58.2%	74.9%	79.8%	81.4%	83.2%	83.3%
인구증가지역 비중(2020년 기준)	-	40.2%	23.4%	18.3%	16.3%	13.9%	12.8%

주: *2020년 이전 전 국토 기준 인구밀도의 경우 SGIS 격자통계는 개인정보보호를 위해 5인 이하를 0으로 처리한 경우가 있어, 해석의 왜곡을 방지하기 위해 비마스킹된 국토지리정보원 2020년 10월 기준 1km 격자단위 인구통계를 활용.

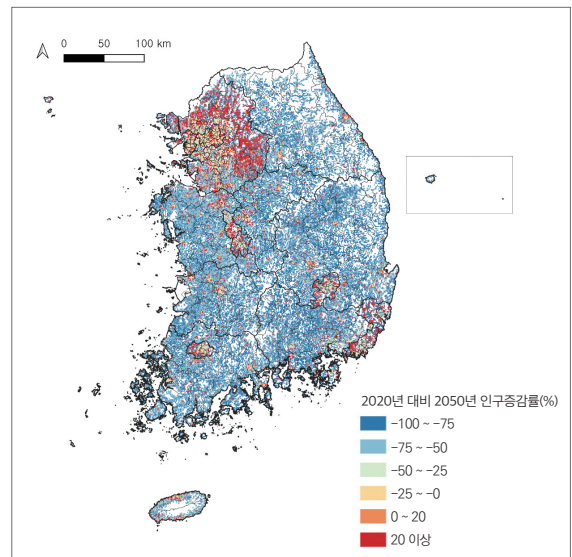
2050년까지 수도권, 충남 북부-세종-대전 및 일부 광역시의 외곽지역에 인구가 증가하는 곳도 있지만, 대부분의 국토공간에서 인구가 감소할 것으로 전망 (<그림 3> 참조)

- 전체 인구 중 수도권 거주 인구비중은 2020년 약 50.2%에서 2050년 약 53.0%로 격차가 커질 것으로 전망
- 2050년 수도권 인구는 2020년 대비 96.5%, 비수도권의 경우 86.5%로 비수도권의 인구감소폭이 더 클 것으로 나타남
- 2050년까지 대전·세종·충청권의 총인구는 증가하는 것으로 전망되었으나, 해당 지역 내에서도 공간 간의 인구분포 양극화는 심해질 것으로 전망

비수도권 내 지자체 중 2021년 말 행정안전부가 인구 감소지역으로 지정한 곳과 지정되지 않은 곳의 장래인구 변화 패턴을 비교한 결과,

- 2050년까지 비수도권에 위치한 인구감소 지정지역과 비(非)지정지역 모두 인구밀도 감소
- 인구감소 지정지역의 평균 인구밀도는 114명/km², 인구감소 비지정지역은 795명/km²으로 전망
- 2020년 대비 인구밀도 감소폭은 인구감소 비지정지역이 큰 것으로 나타남(2020년 평균 인구밀도: 인구감소 지정지역 129명/km², 인구감소 비지정지역 924명/km²)

그림 3 GPAI를 활용한 전국 1km 격자단위 장래인구 변화 전망(2020년 대비 2050년 인구증감률)



장래인구 변화에 따른 공간 유형과 특성

지자체의 특성(수도권, 광역시, 도내 시 지자체와 도내 군 지자체)과 인구증감 패턴(인구감소, 무거주화 위험, 인구증가)을 종합하고, 공간(격자)을 유형화하여 비교·분석을 실시

- 수도권 → 광역시 → 도내 시 지자체 → 도내 군 지자체순으로 인구밀도가 낮아질 것으로 전망
- 대표적인 정주여건인 생활인프라(초등학교와 약국) 접근성 관점에서 인구감소 유형을 진단한 결과, 인구증가 공간이 대체로 인구감소 및 무거주화 위험 공간에 비해 생활인프라 이용 편의성이 좋은 것으로 나타남
- 도내 시·군 지자체에서 인구가 증가할 것으로 예상되는 공간(격자)의 경우 수도권보다도 생활인프라 이용 편의성이 양호한 것으로 나타나, 총인구가 감소할 것으로 예상되는 군지역이라고 하더라도 정주여건이 좋으면 인구가 증가할 수 있음을 시사

04. 소지역단위 장래인구 예측 방법론 활용을 위한 정책제언

고해상도의 소지역단위 장래인구 예측을 활용하여 데이터 기반의 과학적 정책 및 계획 수립이 가능

GPAI 적용 결과와 모델은 ① 유연한 정책·계획의 공간구역 설정, ② 미래예견적 계획 수립을 위한 과학적 의사결정 지원 및 ③ 인구변화 대응을 위한 실효성 있는 지자체 계획 수립의 근거 등에 활용 가능

- 첫째, 1km 격자라는 공간범위의 특성에 따라 예측 공간범위와 위치가 표준화되어 있기 때문에 통시적이면서도 유연하게 구역을 지정하여 정책 및 계획 수립과 집행이 가능
- 둘째, 미래예견적 정책 및 계획을 수립할 수 있도록 장래의 인구변화 정보를 활용하여 시뮬레이션을 통해 과학적 의사결정을 내리는 데 도움
- 셋째, 시·군·구보다 작은 소지역단위 인구정보를 통해 급격한 인구변화에 큰 영향을 받는 장소를 타기팅할 수 있어, 지자체에서 실효성 있는 도시·군기본계획 등 공간계획 수립 지원이 기대

데이터를 활용한 정책 수립과 집행이 실무에서 이루어지기 위해서는 이를 이끌어 나갈 권한과 역량 있는 조직이 필요

격자를 포함한 소지역단위 장래인구 예측 모델이 신뢰성 있게 실무에서 활용되기 위해서는 방법론 고도화를 위한 후속 연구 수행과 함께 활용 확산을 위한 인센티브 부여 방법, 전문조직 및 제도 마련방안 등에 대한 논의가 필요

- 후속 연구를 수행하고 활용 확산을 주도할 수 있는 권한과 역량을 갖춘 조직과 제도 마련이 필요
- 깃허브(GitHub)와 같은 오픈소스 플랫폼을 통해 GPAI 모델을 공개하여 누구나 모델 고도화에 참여하고 관련 기관 및 전문가가 업무에서 GPAI 코드와 데이터를 활용할 수 있는 오픈이노베이션 전략 마련 필요

참고문헌

- 이보경. 2019. 2040년 장래인구 분포 전망 연구. 세종: 국토연구원.
저출산고령사회위원회, 관계부처 합동. 2022. 인구구조 변화와 대응방안. <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156545172> (2023년 8월 21일 검색).
제20대 대통령직인수위원회. 2022. 지역균형발전 비전 대국민 발표. <http://www.balance.go.kr/base/contents/view?contentsNo=27&menuLevel=2&menuNo=52> (2023년 8월 21일 검색).

※ 이 브리프는 “이보경, 장요한, 정예진, 홍사흠, 김동근. 2022. 인공지능 기법을 적용한 소지역단위 장래인구 예측 방법론 개발 기초 연구. 세종: 국토연구원” 보고서를 요약 정리하였음.

- 이보경 국토연구원 공간정보사회연구본부 부연구위원(bklee@krihs.re.kr, 044-960-0414)
- 장요한 국토연구원 국토데이터랩 부연구위원(ycanns@krihs.re.kr, 044-960-0406)
- 정예진 국토연구원 공간정보사회연구본부 연구원(yaejin@krihs.re.kr, 044-960-0645)
- 홍사흠 국토연구원 국토계획평가센터장(saheum@krihs.re.kr, 044-960-0356)
- 김동근 국토연구원 도시연구본부 연구위원(dkkim@krihs.re.kr, 044-960-0166)