



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

경제학박사 학위논문

사회적 재난 발생에 관한
실증적 연구 및 관리 전략

- 전염병, 인구이동, 방재 -

2023년 08월

서울대학교 대학원

농경제사회학부 지역정보학 전공

권대영

사회적 재난 발생에 관한 실증적 연구 및 관리 전략

- 전염병, 인구이동, 방재 -

지도교수 Hong Sok(Brian) Kim

이 논문을 경제학박사 학위논문으로 제출함

2023년 08월

서울대학교 대학원

지역정보학 전공

권 대 영

권대영의 박사 학위논문을 인준함

2023년 07월

위 원 장 _____ (인)

부위원장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국문초록

경제 성장에 따른 개인 삶의 질 향상을 위한 노력은 우리 사회 내 다양한 형태로 실현되고 있다. 그러나, 예기치 못한 재난 발생은 과거와 비교해 점차 사람에게 기인하게 되어 새로운 유형의 위협으로 발현되고 있다. 기후변화와 같은 불확실성 증가는 우리 삶에 이전과 다른 위협요인으로의 노출 빈도를 증대시키고 있다. 점차 증가하는 다양한 유형의 재난 발생은 우리 사회에 직·간접적으로 영향을 주고 있다. 드러나지 않은 위험에 따른 피해와 그 수준은 그간의 추세와 현재 우리 사회가 직면한 여건을 고려할 때 향후 더욱 커질 개연성이 있다. 이러한 상황은 국가 차원의 재난 대응 및 관리를 위한 정책과 제도 시행의 범위를 더욱 폭넓게 다루어야 할 필요성을 강조한다.

본 연구는 시대 변화에 따라 인간에 의해 발생하는 재난으로 인식되고 있는 여러 사회적 재난 중 전염병, 인구이동, 병해충을 대상으로 이들의 발생에 관한 연구를 실증적으로 분석한다. 실증연구를 통해 우리가 직면한 사회적 재난에 대한 대응 및 관리 측면의 정책 수립과 이에 관련한 전략 및 제도 시행의 당위성과 타당성 그리고 실행 가능성을 다룬다.

첫 번째 실증분석에서는 대도시 내 코로나바이러스 감염증 2019의 영향을 분석하여 도시 공간의 고밀 압축개발의 실행 가능성을 평가한다. 이를 위해 서울특별시를 대상으로 2020년의 감염병 발생 및 확산에 따른 지하철 이용자 수의 변화를 국가 및 지방정부 차원의 대응관리 조치와 지하철 역세권의 여러 특성과 연계하여 살펴보았다. 분석을 위해 서울특별시 지하철 이용자 수, 정부 차원의 감염병 대응관리 조치 시행 이력, 역세권 토지이용 현황, 역세

권 거주인구 및 종사자 수 자료를 활용하였다. 질병 발생의 맥락에서 지하철 이용 변화 패턴 유형화를 위해 시계열 군집분석을, 지하철 이용 감소 정도와 지하철역 및 역세권의 특성 간의 연관성을 파악하기 위해 다중회귀분석을 수행하였다. 감염병 발생 및 확산에 대응하기 위해 시행된 다양한 질병 관리 조치의 시행은 병의 확산 속도를 늦추었으나, 시간 흐름에 따라 병 확산세가 계속되었다. 이를 통해 서울특별시와 같이 높은 밀도를 갖는 대도시가 전염병에 취약성을 갖는다는 것을 확인시켜 주었다. 또, 지하철 이용자 수 감소 정도와 지하철 역세권 특성 간의 연관성을 살펴본 결과 고위험 감염병 노출이 장기화될 때 고밀도로 압축개발된 도시 공간은 향후 다각적인 관점에서 재구축되어야 할 필요성을 시사하였다. 이 결과는 고밀도 대도시에서 감염병 발생과 같은 재난에 의한 충격을 완화하고 분산할 수 있는 방향으로 전략이 수립되어야 할 필요성을 제기하였다.

두 번째 실증분석에서는 우리나라 인구이동 현상을 더욱 다각적인 관점에서 이해하기 위해 지역 단위의 인구이동과 다양한 지역 특성과 연계한 분석을 수행하였다. 우리나라 저출산·고령화 및 인구의 수도권 집중 현상은 지역 인구구조에 영향을 미치고 있으며, 비도시 지역의 인구감소로 이어져 지방소멸의 주요인으로 작용하고 있다. 인구의 사회적 감소세는 비도시 지역을 중심으로 더 크게 나타나는 특징은 해당 지역의 재정 악화와 함께 공공시설 및 기반시설에 대한 투자 감소로 이어져 지방소멸로 이어질 가능성이 있다. 이를 위해 우리나라 시군구를 대상으로 한 인구이동을 다양한 지역 특성과 연결지어 살펴보았다. 분석 자료로는 지역 단위 인구이동을 의미하는 순 이동자 수, 지역내총생산, 주민등록인구, 주거·상업·공업지역 면적, 총주택 수, 산업별 종사자 수 및 사업체 수를 활용하였다. 다각적인 관점에서 인구이동 현상을 이해하기

위하여 기존 계량분석 방법론이 지닌 한계에서 상대적으로 자유로운 기계학습 접근법을 적용하여 연령대를 기준으로 분류한 다섯개 집단의 순 이동자 수를 예측하였다. 나아가, 예측 결과에 대한 판정 근거 해석을 위해 설명 가능한 인공지능 방법론인 샐플리 값 분석을 활용하였다. 분석 결과 지역 단위 인구이동 예측에 있어 기계학습 접근법의 적용을 통해 전통적인 분석 방법론이 갖는 한계를 극복할 수 있고, 생활 서비스 관련 특성이 인구감소 문제와 연관되어 있음을 확인하였다. 또, 집단별 인구이동에 주요하게 기능하는 요인으로 지역 내 주거 여건과 밀도 그리고 생활 서비스 관련 특성을 식별하였다. 이를 통해 지방소멸 대응을 목적으로 한 정책 및 사업의 대상으로 생활 서비스 요인이 추가로 고려되어야 할 당위성에 대해 다루었다.

마지막 실증분석으로 본 연구는 우리나라에서 발생하는 병해충 발생에 기인한 피해를 분석하여 병해충 방제 사업 및 조치 시행의 당위성을 평가한다. 그간의 연구는 농작물 생산성을 대상으로 한 기후변화의 부정적인 영향 및 농가 피해 감소를 위한 구체적인 정책 및 제도적 지원에 초점을 두어 진행되고 있다. 기후변화 및 농산물 국제 교역량의 증가로 향후 병해충 피해 수준의 불확실성이 커지고 있다는 점은 병해충 피해가 더욱 다양한 관점에서 평가되어야 할 필요성을 강조한다. 이를 위해 병해충 A 피해와 연관된 두 작물을 대상으로 지금까지 발생한 피해와 향후 발생할 수 있는 피해를 살펴보았다. 분석 자료로는 해당 병에 대한 피해 자료 및 피해 양상, 작물별 재배 및 생육 특성 자료, 작물별 평균 도매가격과 수요공급 탄력성을 활용하였다. 병해충 A 발생에 기인한 사회후생 손실분 산출 및 추정을 위하여 부분균형모형을 적용하였다. 병해충 A 발생에 따른 피해를 수량화하기 위해 관련 산술식과 피해확산 시나리오를 설계하였다. 분석 결과 병해충 A를 대상으로

현재 시행되고 있는 피해 대응관리 조치의 강도는 병의 확산 가능한 지역에 있는 피해 대상 작물의 재배분포를 고려하여 조정될 필요가 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 두 작물 중 병에 취약한 작물이 재배되고 있는 지역에 강도 높은 세부 조치 시행이 필요함을 확인할 수 있었다. 이 실증분석 사례는 병해충 피해 평가 시 경제학적 방법론의 적용 가능성을 제고하는 측면에서 의의가 있으며, 향후 병해충 피해 관련 정책사업 등의 수립 또는 시행 과정에서 효율적인 예산 활용과 의사결정을 위한 참고 자료로 활용될 수 있을 것이다.

결론적으로 사회적 재난을 실증적으로 다룬 본연구는 사회경제적인 관점에서 재난 발생에 따른 위험을 평가할 수 있는 분석 방법론을 제시하고 이와 관련된 정량적 근거자료를 제시하였다. 또한, 본 연구의 결과는 향후 발생할 수 있는 다른 사회적 재난 발생의 간접 영향에 대한 평가 방법론을 개선하고 관련 정책 및 제도 수립의 당위성을 확보하는 데 기여할 수 있다.

주요어 : 사회적 재난, 위험평가, 코로나19, 인구이동, 지방소멸, 방재
학 번 : 2015-30386

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 목적	1
제 2 절 연구의 내용 및 구성	4
제 2 장 대도시 안에서의 코로나19 영향 분석 : 서울시 지하철 이용량 변화 사례	7
제 1 절 연구 배경	7
제 2 절 도시 공간 구조와 감염성 질병의 확산	9
제 3 절 연구 방법론	14
제 4 절 자료 및 변인	19
제 5 절 분석 결과	25
제 6 절 소결	42
제 3 장 인구이동 모델링을 위한 기계학습 접근법의 적용: 인구감소 대응의 측면에서	44
제 1 절 연구 배경	44
제 2 절 인구이동, 인구감소와 지역 간 격차	48
제 3 절 연구 방법론	51
제 4 절 자료 및 변인	58
제 5 절 분석 결과	67
제 6 절 소결	79

제 4 장 병해충 발생에 따른 사회·경제적 영향 분석 : 병해충 A를 중심으로	82
제 1 절 연구 배경	82
제 2 절 병해충 발생에 따른 사회·경제적 영향	85
제 3 절 연구 방법론	89
제 4 절 자료 및 변인	100
제 5 절 분석 결과	104
제 6 절 소결	115
제 5 장 결 론	117
제 1 절 분석 결과 요약	117
제 2 절 정책적 함의	119
제 3 절 연구 한계 및 향후 연구 방향	121
참고문헌	123
Abstract	155

표 목 차

[표 2-1] K-중앙개체 알고리즘 진행 순서	16
[표 2-2] 분석 자료	21
[표 2-3] 변인 설명 및 기초 통계량	24
[표 2-4] 군집별 지하철역	30
[표 2-5] 코로나19 충격 이전과 이후의 군집별 지하철 이용자 수	34
[표 2-6] 군집별 지하철역 이용자 수에 관한 기초 통계량	36
[표 2-7] 군집별 주거지역 내 주택 구성	37
[표 2-8] 회귀분석 결과	41
[표 3-1] 변인 설명	64
[표 3-2] 기계학습 모델 기반 집단별 순 이동자 수 예측 성능	68
[표 3-3] 선형회귀분석 모델 기반 집단별 순 이동자 수 예측 성능	68
[표 3-4] 집단별 순 이동자 수 예측 성능 비교	69
[표 4-1] 피해확산 시나리오별 피해율 수치	95
[표 4-2] 분석 자료	102
[표 4-3] 병해충 A 발생에 따른 지역별 피해수량 추이 ...	105
[표 4-4] 연도별 사회후생 손실분 및 병해충 A 미발생 시 국내시장 균형점	107
[표 4-5] 피해확산 시나리오별 피해수량 추정치	109
[표 4-6] 피해확산 시나리오별 작물 1의 시장균형점과 사회후생 손실분	111

[표 4-7] 피해확산 시나리오별 작물 2의 시장균형점과 사회후생 손실분	112
[표 4-8] 피해확산 시나리오별 사회후생 손실분	114
[부표 2-1] 감염병 위기경보 수준	149
[부표 4-1] 병해충 위험평가 시의 항목별 세부 위험평가 요소	150
[부표 4-2] 피해확산 반경별 피해 가능 지역	151
[부표 4-3] 지역 및 작물별 피해율 추이	152
[부표 4-4] 지역별 피해율 추이	153
[부표 4-5] 작물별 수요·공급 탄력성	154
[부표 4-6] 확산 가능 반경 및 작물별 재배 및 생육 특성	154

그림 목 차

[그림 1-1] 논문의 구성	6
[그림 2-1] DTW 기반 워핑 경로 탐색	18
[그림 2-2] 코로나19 관련 사건 및 조치와 지하철 이용자 수 변화 추이	26
[그림 2-3] 군집별 공간 분포도	32
[그림 2-4] 군집별 지하철 이용자 수 변화 추이	33
[그림 2-5] 군집별 대표역의 지하철 이용자 수 추이	36
[그림 2-6] 군집별 지하철 역세권의 토지이용 현황	37
[그림 3-1] 국가별 고령사회 진입 이후 초고령사회 도달 소요 연수 전망	45
[그림 3-2] 카토그램과 단계구분도 기법을 활용한 인구분포 추이	46
[그림 3-3] 연령층별 시군구 간 이동자 수 추이	63
[그림 3-4] 기계학습 접근법의 적용을 위한 자료 구조	66
[그림 3-5] 전체 순 이동자 수 기준 샐플리 값 분석 결과 ..	71
[그림 3-6] 20대 순 이동자 수 기준 샐플리 값 분석 결과 ..	74
[그림 3-7] 30대 순 이동자 수 기준 샐플리 값 분석 결과 ..	75
[그림 3-8] 40대 순 이동자 수 기준 샐플리 값 분석 결과 ..	76
[그림 3-9] 50-64세 순 이동자 수 기준 샐플리 값 분석 결과 ..	77
[그림 3-10] 65세 이상 순 이동자 수 기준 샐플리 값 분석 결과 ..	78
[그림 4-1] 병해충 A 발생 이력 및 확산 가능 반경	94
[그림 4-2] 병해충 발생에 따른 사회후생 손실분	99
[그림 4-3] 시군구별 작물 재배면적 분포	103

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 목적

1. 연구 배경

점차 증가하는 인위 또는 자연적으로 발생하는 재난에 의해 우리 사회는 수많은 위협에 잠재적으로 노출되고 있다. 지속가능한 사회 달성을 위해 이러한 위협을 줄이고 완화하기 위한 고려와 노력이 필요함을 시사한다. 국내외를 막론하고 여러 종류 및 유형의 재난으로부터 지역 안전도모를 위한 국가적 관심과 노력은 계속하여 증가하고 있다. 이는 실제로 우리나라 정부가 지역의 재난안전 도모를 위해 관련 분야에 투입하고 있는 국가보조금¹⁾을 통해서도 엿볼 수 있다. 지방자치단체로 지급된 국가보조금 중 재난안전 관련 세부 항목²⁾을 살펴보면, 지급액 규모가 2010년 기준 약 4,964억 원에서 2022년 기준 약 1조 7,169억 원까지 점차 증가하는 추세에 있다³⁾. 이러한 경향은 사회재난에 따른 피해액 규모가 2014년 기준 약 531억 원에서 2021년 약 6,768억 원으로 증가하는 추세를 보인다는 점을 통해 더욱 명확히 이해될 수 있다⁴⁾. 사회재난에 따른 피해액의 증가세는 현재 지역 단위의 재난안전 도모를 위해 지급되는 국가보조금의 당위성과 사회적 측면의 재난에 대한 국가적 관심의 필요성을 시사한다.

1) 국가가 지방자치단체 또는 관련 기관에 관련 법령에 근거하여 실시 의무를 부과하고 있는 보조금의 일종임.

2) 국가보조금은 총 일곱 가지의 종류로 분류되어 지방자치단체에 지급되고 있으며, 본 연구는 이들 중 소방안전교부세, 재난안전 특별교부세를 재난안전과 관련된 세부 항목으로 구분 지음.

3) 재난안전 관련 국가 지급액은 한국재정정보원에서 제공하는 자료를 출처로 함.

4) 해당 수치는 행정안전부에서 발행하는 2021 재난연감을 출처로 함.

재난은 우리 사회가 직면한 상황과 시대적 여건에 따라 변화한다는 점에서 불확실성이라 할 수 있다(Covello and Mumpower, 1985). 과거의 재난은 자연 현상에 따른 피해로 인식되어 왔으나, 시대 변화에 따라 인간에 의해 발생하게 되는 피해 또한 재난으로 인식되고 있다. 이러한 인식의 변화는 사람에 기인한 재난을 사회재난이라는 용어로 칭하며 대응 및 관리의 대상으로 두고 있다는 점을 통해서 확인할 수 있다. 이처럼 재난의 개념이 시대 및 상황에 따라 변화하고 그 범주가 점차 확장되어 온 것처럼 현재 우리 사회는 과거 경험해보지 못한 다양한 위험을 겪고 있다. 거주민 삶의 질 향상을 위해 구축한 지역 내 생활 시스템을 통해 우리는 이전보다 높은 수준의 편의를 누리고 있으나, 이와 동시에 새로운 유형의 위험에 잠재적으로 노출되고 있다. 일례로 코로나바이러스 감염증 2019(이하 코로나19)는 고위험 전염성 질병의 하나로 중동호흡기증후군과 흑사병과 유사하나, 유행 기간 또는 시대적 여건이 다르다는 점을 고려할 때 코로나19는 새로운 유형의 위험이라 할 수 있겠다⁵⁾.

이처럼 새로운 전염성 질병의 확산과 이상기후 빈도 증가 등과 같은 불확실성이 전 세계적으로 높아지며 다양한 유형의 자연 및 사회 재난의 완벽한 예방은 어려운 일이라는 인식이 공유되기 시작하였다(정지범, 2020). 회복탄력성(Resilience)의 개념이 전 세계적으로 강조되고 있는 것은 이러한 배경에 기인한 것이라 할 수 있다. 유럽연합(European Union)의 경우 재난에 회복탄력적으로 반응할 수 있는 사회 구축을 위한 계획을 점차 구체화하고 있으며, 국제연합(United Nation, UN)은 회복탄력성을 지속 가능한 사회 달성을 위한 주요소로 인식하고 있다. 이는 향후 여러 잠재적 위협요인에 기인한 재난에 따른 피해 수준과 이에 관한 방제의 불확실성이 더욱 커질 수 있음을 시사한다.

한편, 우리나라 정부는 자연재난과 별개로 인위적으로 발생하는 재난에 따른 피해에 대응하고 이를 관리하기 위한 목적으로 사회재난⁶⁾을 정

5) 중동호흡기증후군은 2015년과 2017년 우리 사회에 적지 않은 충격을 주었다는 점에서 유사하나 유행 기간 측면에서 큰 차이를 보이며, 역사적으로 상당한 인적 피해를 가져왔던 흑사병은 지금과 다른 시대적 여건을 가지고 있음.

6) 화재·붕괴·폭발·교통사고·화생방사고·환경오염사고 등으로 인하여 발생하는 대통령령으로 정하는 규모 이상의 피해와 에너지·통신·교통·금융·의료·수도 등 국가기

의하고 있다. 하지만, 기존의 정의는 시대적 여건 변화에 따라 다양한 형태로 발생할 수 있는 재난을 상대적으로 엄격한 기준 아래 구분하고 있다. 이는 인위적 재난이 갖는 특성과 그 의미를 생각해볼 때 장기적으로 지속가능한 사회 달성을 위해 더욱 넓은 범위에서 다루어야 할 당위성을 제공한다.

이처럼 우리 사회는 다양한 위험 요인에 잠재적으로 노출되어 있으나, 이러한 위험이 우리 삶에 어떻게 또는 어떠한 영향을 미치고 있는지에 대한 논의는 다소 제한적으로 이루어지고 있다. 사회적 재난, 즉 인간에 기인한 재난에 따른 영향을 평가하는 것은 우리가 지속가능한 사회 실현을 목적으로 시행하고 있는 재난관리 또는 대응 관련 정책과 전략 등의 수립에 있어 다양한 시사점을 제공해줄 것이다. 이를 위해 본 연구는 전염병, 인구이동, 병해충이라는 잠재적 위험요인을 사회적 재난으로 정의하고 이들의 발생에 따른 사회·경제적 영향 또는 피해를 다양한 계량·경제학적 방법론의 적용을 통해 분석한다. 본 연구는 재난 대응 및 관리를 위한 정책 및 전략 수립 과정에 다각적인 관점에서 사회적 재난 발생에 의한 간접적 영향을 고려해야 할 필요성을 강조하고자 한다.

2. 연구 목적

본 연구는 우리가 직면한 사회적 재난에 대한 대응관리 정책 및 제도 수립과 시행의 당위성과 타당성 그리고 실행 가능성을 평가하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 우리가 과거 경험하였거나, 현재 경험하고 있는 코로나바이러스 감염증 2019, 인구이동, 병해충 A를 대상으로 다음과 같이 총 세 개의 소론을 구성하여 분석을 진행한다.

먼저, 첫 번째 소론에서는 대도시 내 코로나바이러스 감염증 2019(이하 코로나19)의 영향을 분석하여 코로나19 이후 시대에 압축적인 도시

반체계의 마비, ‘감염병의 예방 및 관리에 관한 법률’에 따른 감염병 또는 ‘가축전염병예방법’에 따른 가축전염병의 확산 등으로 인한 피해로 정의하고 있음(국민재난안전포털).

공간 및 구조의 실행 가능성을 평가한다. 이를 위해 코로나19 발생 및 확산에 따른 지하철 이용자 수 변화를 질병 대응 및 관리 조치와 지하철 역세권의 여러 특성과 함께 연계하여 이들 간의 관계를 파악한다. 코로나19 발생 이전과 이후 시점인 2019년과 2020년의 지하철 이용 패턴을 지하철역 수준에서 살펴봄으로써 유사한 변화 양상을 지닌 역을 분류한다. 질병 발생에 의한 지하철역별 이용자 수 감소 정도와 지하철 역세권 건조환경 간의 연관성을 식별한다.

두 번째 소론에서는 인구이동의 관점에서 인구감소 대응을 위한 지역 개발 전략 및 사업 시행의 당위성과 인구감소 및 지방소멸 문제 대응을 위한 정책 및 제도 내 생활 서비스 특성 적용의 타당성을 평가한다. 이를 위해 시군구 단위의 순 이동자 수와 가용한 자료를 바탕으로 구축한 다양한 지역 특성 자료를 활용해 연령 집단별 인구이동을 예측한다. 나아가 집단별 예측 결과에 대한 판정 근거를 해석하여 우리나라 인구이동에 주요하게 기능하는 지역 특성을 파악한다.

마지막으로, 세 번째 소론에서는 병해충 위험 대응 및 관리 조치 시행의 당위성과 타당성을 경제학적 방법론의 적용을 통해 사회후생적 관점에서 평가한다. 이를 위해 본 연구에서는 병해충 A 피해수량 산술식을 관련 문헌 및 자료들을 통해 설정하고, 향후 발생할 수 있는 피해확산 시나리오를 설계하여 해당 병 발생에 따른 사회후생 손실 규모를 사후·사전적으로 산출 및 추정한다.

위 세 가지 소론의 분석 결과는 각 재난과 관련된 공공 정책 수립의 의사결정 과정을 지원하는 정량적 증거로 활용될 수 있으며, 우리 사회가 직면한 다양한 사회적 재난에 대한 평가의 필요성과 관련 정책 및 제도 수립의 당위성 확보를 도모할 것이라 기대한다.

제 2 절 연구의 내용 및 구성

본 연구는 사회재난으로 분류될 수 있는 코로나바이러스 감염증 2019 (이하 코로나19), 인구이동⁷⁾, 병해충 A에 의한 충격 또는 피해를 사회적

후생의 측면에서 분석 및 평가하는 것에 목적을 두고 있다. 코로나19, 지방인구 감소, 병해충 A의 주된 피해지역을 고려하여 각 재난의 공간적 연구 범위를 서울시, 대한민국 시군구, 농촌지역으로 설정하였다. 연구의 시간적 범위는 개별 재난이 갖는 특성과 가용한 자료의 범위를 고려하여 설정하였다. 본 논문은 총 다섯 개의 장으로 구성되어 있다.

두 번째 장부터 네 번째 장까지는 본 연구에서 사회적 재난으로 분류한 세 가지 현상에 의한 피해를 사회 및 경제적 측면에서 평가하고 있다. 각각의 장에서는 연구 주제에 따라 동적 시간 워핑(Dynamic Time Warping, DTW)과 최소자승법(Ordinary Least Squares, OLS), 기계학습(Machine Learning, ML) 접근법과 샤프(Shapley Additive Explanations, SHAP), 부분균형모형(Partial Equilibrium, PE)을 적용하여 사회적 재난 발생에 따른 직·간접적인 영향 및 피해를 실증적으로 분석한다. 나아가 분석 결과를 토대로 각 재난의 대응관리 관련 정책 수립과 사업 시행의 당위성, 타당성 그리고 실행 가능성을 평가한다.

두 번째 장에서는 먼저 코로나19 주요 사건 및 확진자 수, 정부의 대응조치와 지하철 이용자 수를 토대로 정부 대응 및 개인 이동과 감염병 발생 간의 역학 동적 관계를 살펴본다. 나아가, 지하철역별 코로나19에 의한 지하철 이용의 시계열 패턴을 바탕으로 변화 양상이 유사한 역을 분류하고, 이들의 특성을 각각 관찰하고, 감염병 발생 전후의 지하철 이용량 변화분과 지하철역 주변 건조환경 간의 연관성에 대해 분석한다.

세 번째 장에서는 연령대를 기준으로 구분한 집단별 순 이동자 수를 지역 내 다양한 인구·사회·경제학적 특성 자료들을 활용하여 예측한다. 나아가 인구이동 예측 결과에 대한 근거를 집단별로 해석하여 시군구 단위에서의 인구이동에 주요하게 기능하는 지역 특성을 식별하는 것에 중점을 두고 연구를 진행한다. 우리나라 인구이동 현상의 복잡성을 고려하여 본 연구에서는 분석 자료에 관한 가정으로부터 상대적으로 자유로운 기계학습 접근법을 적용함으로써 기술적 한계로 전통적 계량분석 방법을 통해 수행하지 못했던 연구모형을 구성해 우리나라 인구이동 현상을 분

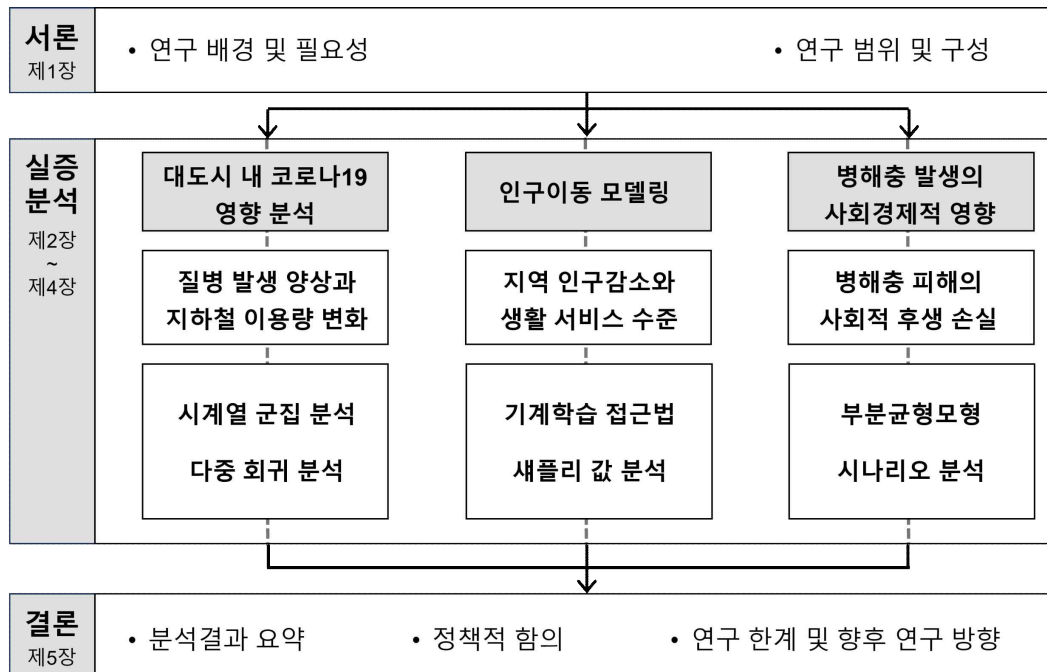
7) 인구이동을 사회적 재난으로 분류한 이유는 3장 1절과 2절에서 다룸.

석한다.

네 번째 장에서는 병해충 A의 피해를 평가하기 위해 경제학적 방법론에 기반을 둔 분석을 수행한다. 병해충 발생에 따른 사회후생 손실분을 사후·사전적인 측면에서 살펴본다. 관련 자료를 토대로 피해수량 산출식과 피해확산 시나리오를 설계하고, 이를 토대로 우리나라에서 재배되는 두 작물을 대상으로 과거부터 현재까지 발생하였거나 앞으로 발생할 수 있는 피해를 산출 및 추정한다. 이를 통해 병해충 A 발생에 따른 작물의 생산량 감소가 작물 시장가격에 미치는 영향을 분석함으로써 사회·경제적 영향을 분석한다.

다섯 번째 장에서는 본 연구에서 다룬 세 가지 주제에 관한 분석 결과와 이를 토대로 도출한 사회적 재난 발생 대응 및 관리를 위한 정책적 함의와 시사점에 대해 논의한다. 마지막으로 각 연구가 갖는 한계점을 서술하고, 향후 연구 과제를 제언하여 사회적 재난에 관한 연구의 학술적 확장성에 기여하도록 하였다.

그림 1-1. 논문의 구성



제 2 장 대도시 안에서의 코로나19 영향 분석 : 서울시 지하철 이용량 변화 사례⁸⁾

제 1 절 연구 배경

2020년 12월 중순까지의 코로나바이러스 감염증 2019(이하 코로나19) 확진 사례는 전 세계적으로 약 7,040만 건에 이르렀고, 코로나19로 인한 사망자는 총 160만 명에 달했다(WHO, 2020). 코로나19 전 세계적 유행(이하 팬데믹)의 영향은 신체적, 정신적 건강 위협을 넘어 고용 및 교육 시스템을 붕괴시켜 세계 경제의 건전성을 더욱 위태롭게 만들었다(Abodunrin et al., 2020; Brodeur et al., 2021; Polyakova et al., 2020; Scull et al., 2020). 경기 침체로 인해 임대료 및 주거비 부담에 직면한 기업과 개인은 뉴욕시와 같은 대도시에서 지리적으로 인접한 지역으로 사무실 및 거주지를 이전하였고, 시내 업무지구 공실률은 2008년 경기 침체와 9.11 테러 이후의 수치를 넘어섰던 것으로 나타났다(Bahney, 2020; Clarke, 2020; Creswell and Eavis, 2020; Grant and Tucker, 2020). 이와 같은 현상은 다른 대도시들에서도 목격되었고, 부동산 시장을 비롯한 기타 부문으로까지 확장되어 코로나19에 의한 피해를 더욱 악화시켰다.

코로나19의 충격을 완화하기 위한 대응은 국가에 따라 도시 봉쇄(Lock down)와 같은 강력한 이동 제한 조치(Mobility restriction)부터 사회적 거리두기와 같은 상대적으로 약한 강도의 조치에 이르기까지 다양하였다. 실제로 미국, 인도, 브라질 등 코로나19 확진 사례가 급격히 증가한 국가들에서는 감염병 확산 속도를 늦추기 위하여 도시 봉쇄 조치

8) 본 장은 2022년 3월 The Annals of Regional Science에 게재된 ‘Viability of compact cities in the post-COVID-19 era: Subway ridership variations in Seoul Korea’을 수정 및 보완하여 제시하였음을 밝힘.

를 시행하였던 반면, 우리나라는 사회적 거리두기, 드라이브 스루(Drive-through) 검사, 접촉자 추적 관리 조치 등 다양한 질병 관리 조치를 시행하여 코로나19 확산 속도를 조기에 늦추었다. 하지만, 이러한 노력에도 불구하고 코로나19 확진 사례는 전 세계적으로 지속하여 증가하였다.

특히 대도시에서의 대규모 코로나19 확진 사례 발생은 인구 밀도가 감염병 전이와 밀접히 관련될 수 있음을 시사하였다. 많은 현대 대도시는 일반적으로 높은 주거 밀도(Residential density), 혼합적 토지이용(Mixed Land-use)을 특징으로 하고 있다. 특히, 고밀도로 압축개발된 공간⁹⁾과 구조를 갖는 대도시(Large metropolitan city)에서는 통근 시간 단축, 화석 연료 및 에너지 소비 저감, 차량 의존도 및 공공기반 시설 수요 감소 등과 같은 이점이 제공된다. 그러나 고밀 압축개발을 통한 혜택은 밀도와 효율성 사이의 상충 관계에 기반을 두고 있다. 즉, 높은 밀도로 압축개발된 도시 공간에서는 공공서비스 수요·공급 불균형, 높은 생활비, 집중된 오염으로의 노출, 재난 취약성과 같은 부정적인 효과로 이어질 수 있다(Rérat, 2012; Westerink et al., 2013). 또한 대도시로의 인구 집중은 도시의 외연 확장뿐만이 아닌 도시 내 고밀개발로 이어지고 있다. 이는 어떠한 유형의 도시공간구조가 급격한 도시화로 인한 문제를 해결할 수 있을지에 관한 논의로 이어지며, 대도시 내 도시 공간의 고밀 압축개발이 과연 지속 가능한지 판단하는데 복잡성을 더한다(Kloosterman and Muster, 2001). 코로나19의 팬데믹이 여러 대도시에 미친 다양한 영향은 이러한 문제를 해결하고, 대도시 내 공간의 고밀 압축개발의 지속 가능성을 더욱 신중하게 평가할 기회를 제공한다.

본 연구는 서울특별시(이하 서울시)라는 전 세계적으로 주목할 만한 대도시에서 코로나19의 영향을 관찰한다. 서울시는 높은 인구·고용 밀도, 복합적 토지이용 개발, 첨단 대중교통 체계 등과 같은 특징을 가지고 있지만 코로나19 확산 및 대응에 있어 다른 대도시들과는 차이를 보였다. 이러한 점에 착안하여 본 연구는 서울시 사례를 통해 감염성 질병 확산과 같이 예기치 않고(Unexpected), 대비되지 않은(Unprepared) 사건에

9) 제한된 공간 내 이뤄지는 수직 개발로도 이해될 수 있으며, 본 연구에서는 압축도시(Compact city) 개념 아래 압축도시 모델이 적용되어 개발된 공간을 의미함.

직면할 때 대도시 내 고밀 압축개발의 실행 가능성을 검토하고 도시 계획적 관점에서 밀도와 질병 사이의 연관성을 조사한다.

이를 위해 본 연구는 코로나19 발생을 맥락화하기 위하여 먼저 코로나19 주요 사건과 정부 개입을, 그리고 도시 공간의 건조환경(Built environment)과 인구·사회·경제학적 특성을 연계하여 분석을 수행한다. 대도시 안에서 어떻게 나타나는지 밝히기 위하여 고밀도로 압축개발된 도시 공간과 인구의 이동성을 연결하는 대표적인 척도로 지하철 이용자 수를 자세히 살펴본다. 이를 위해 본 연구에서는 먼저 코로나19 확진자 수와 대규모 확진 사례, 지하철 이용 패턴의 변화와 정부 차원의 코로나 관리 조치 간의 역학 관계를 살펴본다. 다음 코로나19 발생으로 인한 지하철 이용 패턴의 변화를 지하철역 수준에서 식별한다. 마지막으로 지하철 이용자 수 감소 정도와 건조환경 및 인구·사회·경제학적 요인 간의 연관성을 조사한다. 궁극적으로 이 연구는 고밀도로 압축된 도시 환경에서 코로나19 발생 및 이에 의한 개인 이동성 변화와 밀접한 관련이 있는 요인을 파악함으로써 코로나19 이후에 도시 공간의 고밀 압축개발이 지속 가능할 수 있는지 평가할 것이다.

제 2 절 도시 공간 구조와 감염성 질병의 확산

1. 도시 성장과 고밀 압축개발

지난 수십 년간 도시의 높은 토지 및 주택 가격은 도시 외곽지역으로 신규 주거지역이 개발되는 도시 스프롤(urban sprawl) 현상으로 이어졌다. 이러한 도시 성장 패턴은 도시 주변부로의 무질서한 주거지 확산을 초래하여 낮은 밀도, 높은 자동차 의존도라는 특성을 갖는 주거지를 형성하였다(Atkinson and Oleson, 1996; Johnson, 2001; Dieleman and Wegener, 2004; Hamidi and Ewing 2014). 도시 확산의 부정적인 영향은

관련 문헌을 통해 다양하게 연구되었다. 계획되지 않은 도로망의 수평적 확장은 통근 시간을 늘렸고, 자동차 의존성이 높은 개인 이동은 대기오염을 초래하였으며, 저밀 개발은 공공시설 및 공공서비스로의 접근성을 제한하였다(Nilles, 1991; Brueckner, 2000; Holcombe and Williams, 2010; Nechyba and Walsh, 2004; Deng and Huang, 2004). 이는 도시의 관리 역량을 제약하고, 지역 내 자원을 고갈시키는 등 여러 환경·경제·사회적 비용 증가로 이어질 수 있다(Ciscel, 2001; Carruthers and Ulfarsson, 2003; Hortas-Rico and Solé-Ollé, 2010). 또한, 재난 발생 시 광범위하게 분산된 거주민이 직면할 위험을 완화 및 대응하기 위한 추가 비용은 감당할 수 없을 만큼 증가하게 된다(Mileti, 1999; Barnes et al., 2001; Hall and Ashely, 2008; Frumkin et al., 2004).

이에 따른 비효율성을 없애기 위해 압축도시 모델은 지속가능한 도시 공간 형태의 패러다임으로 지지받고 있다. 많은 연구에 따르면 압축도시 모델은 도시 내 개발과 활동을 강화하여 이동량 감소, 통근 시간 단축, 자동차 의존도 감소, 인프라 자재 소비 제한, 오염 완화, 녹지 공간 손실 최소화, 직장 선택의 다양성 개선, 사회적 상호 작용에 대한 접근성 향상 등으로 이어져 환경·경제·사회적인 측면에서 기존의 도시개발 방식보다 더욱 지속 가능하다(Burton, 2002; Jabareen, 2006; Hofstad, 2012; Bibri et al., 2020). 압축도시 모델의 특성은 이처럼 관련 문헌들을 통해 유연하게 정의되어 있지만, 자원 및 에너지 사용과 오염 배출량을 줄이면서 사회적 복지를 도모하여 도시의 장기적인 회복력과 생존력 개선을 목적으로 하는 지속 가능한 도시주의의 핵심 원칙과 매우 유사하다. 이러한 장점에 따라 압축도시 모델은 실제 우리 사회에서 고밀개발, 복합용도 개발(Mixed-Use Development)¹⁰⁾, 역세권 개발, 대중교통 지향형 개발(Transit Oriented Development, TOD)¹¹⁾ 등 높은 밀도로 압축된 형태의 도시 공간 개발을 장려하는 정책에 적용되어 보급되고 있다.

10) 다양한 용도의 토지들이 서로 밀접히 연계되어 기능할 수 있도록 개발하는 방식을 의미함.

11) 대중교통시설 중심으로 높은 밀도와 혼합적 토지이용, 보행 친화적 정주 환경을 유도하는 기법임(성현곤 외, 2007).

2. 지속가능한 도시 공간

고밀 압축개발 방식에 대한 경험적 적용과 검토는 압축도시 모델이 지속가능성 맥락 아래 다양한 측면의 목표 달성에 있어 그 한계를 보여 준다. 예를 들어 교통시설, 주거지역과 상업 중심지가 인접할 때 소음 공해로 인하여 거주민의 건강에 부정적인 영향을 미칠 수 있으며(De Roo, 2000), 높은 밀도의 도시 공간은 거주민의 만족도와 공공시설 및 서비스의 질을 낮출 수 있다(Bramley and Power, 2009; Dempsey et al., 2012). 또한, 일부 실증연구 결과에 따르면 압축도시의 환경적 이점인 연료 사용량 및 대기오염원 배출 감소는 사례에 따라 그 효과가 다른 것으로 나타나 과대평가의 가능성을 시사하고 있다(Breheny, 1995; 1997). 또 열악한 주거 환경, 저소득층 또는 사회적 약자를 위한 사회복지 서비스로의 접근성 부족과 같은 문제는 높은 밀도로 압축개발된 도시 공간에서 더욱 강조된다. 이렇게 고밀 압축개발된 공간이 갖는 단점은 지속가능한 도시 공간이란 과연 무엇인지, 환경·경제·사회적으로 균형 잡힌 지속가능한 개발을 위한 우선순위 선정에 복잡성을 더한다.

지속가능한 개발에 적합한 도시 공간에 관한 불명확성을 고려할 때, 여러 연구에서 압축도(Compactness)와 밀도에 관련 문제 해결을 위한 방안으로 다핵 개발(Polycentric development)을 강조하고 있다. 학계를 통해 정의되는 다핵성(Polycentricity)은 종사자 수나 인구 및 고용밀도 등에 의해 측정되는 도심과 부도심의 개수에 따라 단핵(Mono-centric) 또는 다핵(Poly-centric)으로 구분된다(McDonald 1987; Giulian and Small, 1991; Riguelle et al., 2007). 무질서한 도시 확산 및 압축도시 모델과 달리 다핵 개발에 대한 실증적 평가는 통근 시간 단축(Gordon et al., 1989), 자동차 의존도 감소 및 대중교통 이용 증가(Park et al., 2020; Choi et al., 2020), 공공기반시설에 대한 접근성 개선(Decoville and Klein, 2020)과의 연관성이 입증되었다. 또한, 다핵 구조는 인적 자본과 기타 자원을 밀집된 도시 내 여러 위치에 효율적으로 집중할 수 있게 하

여 자원의 효율적 배분을 개선할 뿐 아니라 잠재적 위협의 영향을 분산시켜 도시 체계의 복원력을 강화할 수 있다(Sharifi, 2019). 따라서 다핵 개발은 고밀 압축개발의 이점을 보존함과 동시에 단점을 개선할 수 있다.

다핵 개발과 동시에 대중교통 지향형 개발(TOD)은 지속 가능한 도시 개발을 달성하기 위한 수단으로 많은 학문적, 정책적 관심을 받고 있다. 대중교통 이용 증가의 결정 요인을 규명하는 연구들은 주로 건조환경의 특징을 중심으로 진행되어 왔으며(Kuby et al., 2004; Chen et al., 2009; Gutiérrez et al., 2011; Li et al., 2020b), 많은 연구에서 혼합적 토지이용과 대중교통 지향형 개발을 핵심 요인으로 강조하고 있다(Sung and Oh, 2011; Choi et al., 2012; Lee et al., 2013). 그러나 코로나19로 인한 대중교통 서비스의 중단은 대중교통 지향형 개발의 취약성을 두드러지게 하였다. 압축도시 개념이 적용된 많은 도시가 고밀도로 인해 발생하는 문제를 완화하기 위한 해결방안으로 대중교통 지향형 개발을 적용하고 있는 만큼, 코로나19 팬데믹 동안 시행된 대중교통수단 이용 제한 조치는 고밀도로 압축된 도시 공간이 지닌 특장점을 약화시켰다. 이러한 사례는 여러 연구를 통해 인구 밀도와 질병 전파 사이의 연관성을 분석하는 기회로 이어졌고, 다양한 결론을 도출하였다. Bhadra et al (2021)은 인구 밀도와 코로나19 간 연관성을 확인했지만, Hamidi et al (2020)은 지역 간 연결성과 코로나19 전파 간의 연관성을 강조하였다. 한편, Ribeiro et al (2020)의 연구에서는 소규모 도시와 대도시 간 발병 양상이 다르다는 사실을 발견하였다. 이처럼 기존 연구의 일관되지 않은 결과는 밀도와 감염성 질병의 확산에 관한 추가 연구의 필요성을 강조한다.

3. 도시 공간과 감염성 질병의 확산

인구 밀도와 더불어 도시의 이동성은 일반적으로 질병 전염과 관련된 주요 요인으로 알려져 있다. 코로나19의 팬데믹 동안 여러 대도시에서 대중교통 이용 제한을 포함한 다양한 형태의 이동 제한 조치를 시행하였다. 뉴욕시를 중심으로 개인의 이동성과 코로나19 발생 사이의 관계를

연구한 결과, 개인의 대중교통 이용이 질병 확진 사례 증가와 관련이 있는 것으로 나타났다(Harris, 2020; Glaeser et al., 2020). 다른 연구에서는 정부의 개입과 관계없이 코로나19에 대한 개인의 위험 인식이 통행과 관련한 개인의 행동 변화로 이어진다는 사실이 밝혀졌다 (Bhaduri et al., 2020; Kim et al., 2021). Hamidi et al. (2020)의 연구 결과와 관련하여, 이 연구들은 인구밀도가 높은 도시에서 대중교통을 이용한 통행이 밀폐된 공간에서의 인구과밀(Overcrowding)로 이어져 개인의 코로나19 감염 노출을 증가시킨다고 언급하였다. 그러나 정부 개입과 코로나19에 대한 위험 인식과 관계없이 개인은 쇼핑과 같은 통행 목적(Abdullah et al., 2020; Shamshiripour et al., 2020)과 개인 통행수단을 이용한 이동 가능 여부(Bucsky, 2020; Teixeira and Lopes, 2020; Abdullah et al., 2021)에 따라 계속하여 이동하고 있었다. 결론적으로 대중교통 이용은 질병 전염과 관련된 주요인으로 지속적으로 강조되고 있다.

질병 전파, 밀도, 이동성에 관한 기존 문헌은 코로나19와 같은 충격에 대비해 지속가능하고 회복력 있는 도시 건설을 위한 종합적인 도시 계획 접근법의 필요성을 강조한다. 이동 제한이 코로나19 전파에 미치는 영향에 대한 기존 문헌(Huang et al., 2020; Park, 2020; Pawar et al., 2020)과 대중교통 이용객을 기반으로 한 군집분석(Chen et al., 2009; Kim et al., 2017)은 위험에 대한 도시 계획적 측면의 해법에 관하여 부분적인 시사점을 제공한다. 따라서 대중교통 이용, 코로나19 발생, 정부 개입에 대한 총체적인 분석은 이들 간 역학적 관계에 의한 충격을 대비한 장기적인 전략을 개발하는 데 기여할 수 있다. 이를 위해 본 연구에서는 코로나19 발생 사례 및 관련 제한 조치가 지하철 이용자 수에 미친 영향을 분석하고, 지하철 이용자 수와 지하철 역세권 내 건조환경 및 인구·사회·경제적 요인과 같은 특성 간의 연관성을 평가한다.

제 3 절 연구 방법론

1. 분석 체계

본 연구에서는 대도시 안에서의 코로나19의 영향 분석을 위하여 총 세 가지 방법론을 적용한다. 먼저, 지하철 이용자 수와 코로나19 확진 및 사망 사례와 주요 사건, 그리고 중앙정부 및 서울시에서 시행한 질병 관리 조치 간의 역학 관계를 파악하기 위하여 동일한 그래프에 투영시켜 지하철 이용자 수 변화의 배경을 파악한다. 다음, 코로나19 발생에 따른 지하철 이용 변화 패턴의 유사성을 지하철역 수준에서 식별하기 위하여 군집분석을 수행한다. 마지막으로, 코로나19 충격으로 인한 지하철 이용 감소 정도와 지하철역과 인접한 지역 내 다양한 특성 간의 연관성을 파악하기 위하여 다중회귀분석을 수행한다. 위 분석을 통해 본 연구에서는 대도시 안에서의 코로나19에 의한 영향을 고밀도로 압축된 도시 공간인 지하철역 및 역세권 지역을 대상으로 하여 평가한다.

2. 그래프 투영을 통한 동적 역학 관계 분석

먼저 본 연구에서는 코로나19 관련 사건, 정부 개입, 지하철 이용자 수 간 역학 관계를 동적인 측면에서 관찰한다. 이를 위해 코로나19 발생 초기 시점인 2020년과 바로 이전 연도인 2019년을 기준으로 서울시 내 지하철 이용자 수, 코로나19 확진 및 사망자 수를 각각 선과 막대의 형태로 한 그래프 안에 투영시켜 표현한다. 또한 첫 번째 코로나19 사망, 대규모 코로나19 확진, 일일 최고 코로나19 확진 등과 같은 사례 그리고 유의미한 정부 차원의 질병 대응·관리 조치의 시행 시점 또는 시행 기간과 같은 사건을 하나의 도표에 표시하여 이용자 수 변화의 배경에 대한 자세한 정보를 제공한다.

2. 시계열 군집분석

본 연구에서는 시간에 따른 지하철 이용자 수 변화의 유사성을 지하철역 수준에서 측정하기 위해 동적 시간워핑(Dynamic Time Warping, DTW)를 사용하며, 이를 기반으로 K-중앙개체(Medoids) 군집분석을 수행하여 지하철 이용자 수의 변화 패턴이 유사한 역을 식별한다.

K-중앙개체 알고리즘은 중앙개체 주변 파티셔닝(Partitioning Around Medoids)이라고도 칭해지며, Kaufman and Rousseeuw (2009)가 제안한 군집분석 방법론이다. 이 알고리즘은 대표 개체기반 기법(Representative object-based technique) 중 하나로, 중앙개체 점(Medoids Points)과 그 주변 데이터 사이의 거리를 기준으로 K개의 군집을 형성한다. 유사한 군집 알고리즘으로는 MacQueen (1967)이 제안한 K-평균(Means) 알고리즘이 있다. K-평균 알고리즘은 K개의 군집 결과를 제공한다는 점에서 K-중앙개체 알고리즘과 유사하지만 몇 가지 단점이 있다. 첫째, K-평균 알고리즘은 군집의 중심을 무작위로 지정하므로 매번 다른 분석 결과가 도출될 수 있다. 둘째, 무작위로 지정된 중심점 간 거리가 비정상적으로 짧으면 해당 자료를 제외한 후 분석이 수행될 수 있다. 마지막으로, 군집 분석 시 평균에 의존하므로 이상치(Outlier)에 민감하다(Soni and Patel, 2017; Patel and Singh, 2013).

K-평균 알고리즘의 단점을 보완한 K-중앙개체 알고리즘은 임의의 K개의 중앙개체(Medoids)를 선택하여 군집분석을 진행한다. 이때 각 중앙개체는 값(value)이 아닌 중심점에 가장 가까운 개체(object)다. 중앙개체는 최적의 군집이 형성될 때까지 새로이 선정되어 군집분석 과정에 활용된다. Han et al. (2011)에서 언급한 K-중앙개체 알고리즘의 진행 순서는 다음의 표 2-1을 통해 확인할 수 있다.

표 2-1. K-중앙개체 알고리즘 진행 순서

단계	세부 절차
1	군집 수(K)와 각 군집에서의 중앙개체(Medoid) 설정
2	중앙개체는 대푯값으로, 해당 개체를 통해 형성된 군집에 근접한 자료를 할당하여 새로운 군집을 형성
3	새 군집과의 거리 또는 비용을 최소로 하는 새로운 중앙개체 지정
4	군집분석에 활용할 자료가 남지 않을 때까지 앞선 과정 반복

출처: Han et al. (2011)

본 연구에서는 표 2-1에 언급된 첫 번째 단계의 군집 수(K)를 집단 내 제곱의 합(Within-groups Sum of Squares)을 기준으로 엘보 포인트(Elbow Point)가 급격히 변하는 지점을 고려하여 6으로 선정하였다. 또, 세 번째 단계에 동적 시간위핑(이하 DTW) 알고리즘에 기반한 비용으로 시계열 군집분석을 수행하였다. 동적 시간위핑은 Bellman and Kalabo (1959)가 제안한 알고리즘으로, 여러 시계열 자료의 흐름을 확인하고 유사성을 측정하는 데 사용된다. 해당 알고리즘은 음성 인식(Amin and Mahmood, 2008), 온라인 서명 식별(Sharma and Sundaram, 2017), 동작 인식(Celebi et al., 2013)에 널리 사용된다. 유클리디안 거리(Euclidean distance) 기반의 유사성 측정이 두 지점 간의 일대일 매칭을 기반으로 시간 축과 자료의 변화에 민감하다. 반면, DTW 알고리즘을 통해 도출되는 유사도 측정은 자료 사이의 길이 차이에 영향을 받지 않으며 자료 간의 이동(Shift)을 고려하여 유사성을 측정하므로 상대적으로 강건(Robust)한 결과를 산출한다는 장점이 있다(Keogh and Pazzazni, 1999; Wang et al., 2018).

본 연구에서 시계열 군집분석을 위해 수행한 K-중앙개체 군집의 기준이 되는 DTW는 다음과 같이 설명될 수 있다. 두 개의 시간별 벡터(\tilde{a} , \tilde{b})가 존재하고, 두 벡터에 대한 시간 흐름의 유사성을 추정한다고

가정할 때 각 벡터의 원소 간 거리를 나타내는 유클리드 거리행렬을 구축한다. 이때 유클리디안 거리행렬 i 행 j 열의 원소는 다음의 식 2-1과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}\tilde{a} &= a_1, a_2, a_3, \dots, a_s && \text{식 2-1} \\ \tilde{b} &= b_1, b_2, b_3, \dots, b_t \\ D_{i,j} &= \sqrt{(a_i, b_j)^2}; (1 \leq i \leq s, 1 \leq j \leq t)\end{aligned}$$

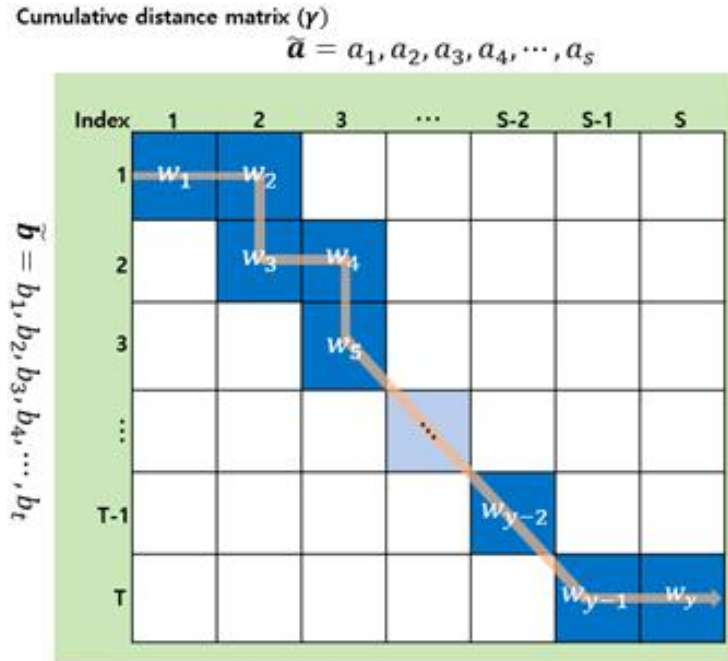
그 이후 동적 프로그래밍(Dynamic programming)을 이용하여 유클리디안 거리행렬 원소와 인접 행렬 요소의 최솟값을 고려하여 누적거리합 행렬로 DTW 거리행렬을 구성할 수 있다. DTW 행렬의 첫 번째 행과 열의 값은 유클리드 거리 행렬의 첫 번째 행과 열의 값에 해당하며, i 번째 행과 j 번째 열의 원소는 다음의 식 2-2로 표현할 수 있다.

$$\gamma(i, j) = D_{i,j} + \min[\gamma(i-1, j), \gamma(i, j-1), \gamma(i-1, j-1)] \quad \text{식 2-2}$$

최적의 워핑 경로(Warping path)는 행렬 내에서 워핑 비용 방정식(식 2-3)을 최소화하여 도출할 수 있다(그림 2-1). 구체적으로 워핑 경로는 누적 거리 합 행렬에서 워핑 비용인 $DTW(\tilde{a}, \tilde{b})$ 을 최소화하는 원소들이 속한 벡터로, 해당 누적 거리 행렬의 지표를 기준으로 매칭된 두 벡터의 요소 간 유사도를 나타낸다.

$$\begin{aligned}DTW(\tilde{a}, \tilde{b}) &= \min \sum_{x=1}^y w_x && \text{식 2-3} \\ \tilde{w} &= w_1, w_2, w_3, \dots, w_y; \max(s, t) \leq y \leq s+t+1\end{aligned}$$

그림 2-1. DTW 기반 워핑 경로 탐색



4. 다중회귀분석

본 연구에서는 코로나19 충격에 의한 지하철 이용자 수 감소 정도와 지하철 역세권 내 토지이용, 인구·사회·경제학적 특성 및 관련 요인 간의 연관성을 파악하기 위해 최소자승법(Ordinary Least Squares, OLS) 추정법을 사용하였다. 지하철역 n 개를 대상으로 k 개의 지하철 역세권 요인으로 구성된 자료를 활용하여 수행한 최소자승법 기반 다중회귀분석은 다음의 식 2-4와 같이 표현될 수 있다.

$$y_n = \alpha + \sum_{i=0}^k \beta_i x_i + \varepsilon_n \quad \text{식 2-4}$$

여기서 y_n 은 지하철역 이용자 수를, α 는 상수항을, β_i 는 i 번째 지하철역 및 역세권 특성 변인 x_i 의 회귀계수를, ε_n 은 오차항을 의미한다.

제 4 절 자료 및 변인

1. 연구 범위 및 대상

대도시 내 도시 공간과 질병 전파, 밀도, 그리고 이동성에 관한 논쟁은 서울시와 같이 도시 내 고밀도로 압축된 공간구조를 가진 도시들로 수렴한다. 서울시는 도시 내 고밀도로 압축된 도시 공간을 갖고 있으며, 지리적으로 인접한 지역들의 발전과 활동의 중심지 역할을 한다. 서울시는 2020년 기준으로 제곱킬로미터(km²)당 15,800명 이상이 거주하고 있는 우리나라에서 인구 밀도가 가장 높은 도시이며(통계청, 2021), 다양한 경제 활동을 지원할 수 있는 다기능·다목적의 혼합된 토지이용 형태를 갖추고 있다. 또한, 서울시는 지하철, 버스와 같은 통행수단으로 구성된 서울시의 대중교통 시스템을 통해 지리적으로 인접한 지역 거주민의 통근·통학 목적 통행을 매일 지원¹²⁾하고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 코로나19 발생 이후 개인 이동성의 변화를 가장 잘 관찰할 수 있는 서울시를 본 연구의 공간적 범위로, 코로나19 초기 영향을 살펴보기 위해 2019년과 2020년을 시간적 범위로 설정한다. 구체적으로, 먼저 서울시 지하철 총 이용자 수와 코로나19 관련 사건, 중앙 및 지방정부 차원의 질병 대응관리 조치를 대상으로 이들 간의 동적 역학 관계를 살펴본다. 또, 서울시에 소재한 296개 지하철역별 이용자 수를 대상으로 시간 흐름에 따른 지하철 이용 패턴 변화를 유형화한다. 마지막으로, 지하철역별 이용자 수와 지하철역 기준 500m 반경을 기준으로 한 영향권역(이하 역세권)¹³⁾을 범위로 하여 코로나19 충격에 의한 지하철 이용 감소 정도와 역세권 내 지역 특성 간의 연관성을 파악한다.

12) 서울시의 대중교통 시스템은 2020년 기준 약 130만 명의 통근·통학 통행을 지원하고 있음(서울 열린데이터 광장, 2021)

13) 우리나라 도시계획법 및 관련 지침상 역세권의 범위는 지하철역으로부터 반경 500m 이내의 지역이며, 해당 기준은 다수의 문헌에서도 활용됨.

2. 분석 자료

본 연구는 코로나19 발생 이후 이동성의 변화를 관찰하기 위해 2019년과 2020년 서울의 지하철 자료를 사용하여 지하철역 및 지하철 역세권을 분석 대상으로 삼아 분석에 필요한 자료들을 구축하였다. 먼저, 지하철 이용자 수는 서울 열린데이터 광장에서 제공되는 지하철역별 승·하차 인원 자료를 활용하여 구축하였다. 해당 자료에는 인천광역시와 경기도에 소재하는 지하철역의 자료 또한 포함되어 있으나, 본 연구에서는 서울시에 소재한 지하철역 총 296개를 대상으로 역별 승·하차 자료를 수집하였다. 지하철 이용자 수에 관한 연구는 일반적으로 시간대별 자료를 활용하지만(Chen et al. 2009; Kim et al. 2017; Kim, 2018), 본 연구에서는 분석 목적과 시간적 범위를 고려하여 지하철역 수준의 일일 이용자 수 자료를 활용하였다.

해당 기간의 코로나19 확진자 수 자료는 우리나라 질병관리청(Korea Disease Control and Prevention Agency, KDCA)과 서울대학교 아시아 지역정보센터(SNU Asia Regional Information Center, SNU ARIC)를 통해 수집하였다. 대한민국 정부와 서울시에서 시행한 질병 관리 조치에 관한 자료는 질병관리청과 보건복지부(Ministry of Health and Welfare, MOHW)에서 제공하는 정보들을 토대로 구축하였다. 우리나라 중앙정부 및 지방정부 차원에서 시행한 질병 대응 및 관리 조치에 대한 변동사항을 추적하기 위해 본 연구에서는 질병관리청, 보건복지부, 서울시의 보도 자료를 참조하였다.

코로나19 충격에 따른 지하철 이용자 수 감소 정도에 관한 다중회귀 분석에서의 독립변인은 서울 열린데이터 광장을 통해 수집한 지하철역 주소를 공간정보화(Geo-coding)한 후 국가공간정보포털(National Spatial Data Infrastructure Portal, NSDI)에서 제공하는 토지이용 현황 자료¹⁴⁾

14) 필지별 토지이용의 현황 즉 도시, 농업, 산림, 공업, 자연 및 문화재, 유보 지역 등 6단계로 구분하여 상세히 표시된 지도를 공간정보화한 자료임.

와 통계지리정보서비스(Statistical Geographic Information Service, SGIS)에서 제공하는 집계구 자료를 활용하여 구축하였다. 구체적으로는 공간정보화한 각 지하철역 기준 반경 500m 거리 안에 위치하는 토지용도별 면적, 대중교통시설 및 집계구별 인구 및 산업 대분류 기준 산업별 종사자 자료를 활용하였다. 공간 자료 추출을 위해 선정 및 활용한 500m는 우리나라 도시계획법 및 관련 지침에서 역세권 정의 시 기준이 되는 거리다. 서울과 도쿄의 지하철과 역세권을 다룬 선행연구들에서도 지하철역 반경 500m를 역세권의 정의로 기준으로 한다(Sung and Oh, 2011; Choi et al., 2012; Kim et al., 2017; Cao et al., 2020).

본 연구에서 대도시 안에서의 코로나19 영향 분석을 위해 활용한 자료에 관한 설명과 출처는 다음의 표 2-2를 통해 확인할 수 있다.

표 2-2. 분석 자료

구분		설명	출처
지하철 이용자 수		지하철역별 일일 승하차 인원	서울 열린데이터 광장
코로나19	관련 사건	코로나19 확진자 수 및 주요 사건	질병관리청, 서울대학교 아시아지역정보센터, 보건복지부
	정부 개입	중앙정부 및 서울시에서 시행한 질병 관리 조치	
건조 환경	토지 이용	토지이용 용도별 면적	국가공간정보포털
	대중 교통	버스 정류장 수 및 환승 가능 여부	서울 열린데이터 광장
인구 사회 경제	인구	연령별 인구수	통계정보지리서비스
	고용	한국표준산업분류 기준 산업별 종사자 수	

3. 변인 설명

지하철 이용과 코로나19 발생 및 정부 개입 간의 역학 관계 분석과 시계열 군집분석에 이어 본 연구에서는 코로나19의 팬데믹 기간 지하철 이용자 수의 변화와 연관된 건조환경 및 인구·사회·경제학적 요인을 파악하기 위해 최소자승법 기반 다중회귀분석을 실시하였다. 건조환경 관련 변인들은 Cervero and Kockelman (1997)에 의해 도입된 3D(Density, Diversity, Design) 개념을 반영하여 선정하였다. 먼저, 지하철역 주변의 밀도(Density)에 대한 척도는 밀도 또는 압축도(Compactness)를 나타내는 활동 밀도(Activity density)의 개념을 활용하였다. 해당 변인은 관련 문헌(Ewing et al., 2015; Kim et al., 2018; Hamidi et al., 2020)에서와 같이 거주인구와 고용인구의 합을 해당 지역의 면적으로 나누어 계산하였다. 일반적으로 거주인구만을 대상으로 한 인구 밀도(Population density) 또한 변인으로 활용할 수 있지만, 코로나19의 확산에 또 다른 요인으로 작용하는 업무 관련 접촉을 반영하기 위해 고용인구를 포함한 활동 밀도(Actden)를 변인으로 선정 및 활용하였다. 다음 토지이용 혼합 지수(Landusemix)는 다양성(Diversity)에 대한 척도로 사용되었으며, 이는 Bhat and Guo (2007)이 제안한 식¹⁵⁾을 토대로 계산하였다. 혼합적 토지이용은 실제 대도시 내 고밀 압축개발 시 관련 정책 및 제도를 통해 장려되고 있으며¹⁶⁾, 고밀도로 압축된 도시공간구조를 유지하는 측면에서 중요한 요소 중 하나이다. 이러한 측면에서 본 연구는 코로나19의 상황에서 혼합적 토지이용이 고밀도로 압축된 도시공간구조를 유지하는 데에

15) 본 연구에서 토지이용 혼합의 정도를 대변하는 변인은 Bhat and Guo (2007)에서 제안한 식을 토대로 계산된 지수이며, 관련 식은 다음과 같음.

$$Landusemix = 1 - \left\{ \frac{\left| \frac{r}{L} - \frac{1}{3} \right| + \left| \frac{ci}{L} - \frac{1}{3} \right| + \left| \frac{o}{L} - \frac{1}{3} \right|}{\frac{4}{3}} \right\}$$

여기서 L 은 전체 토지이용 면적을, r 은 주거이용, ci 은 상업·업무 및 공업이용, o 는 기타 토지이용 면적을 의미함.

16) 혼합적 토지이용은 복합용도 개발, 역세권 개발, 대중교통 지향형 개발에 관한 도시개발 정책 및 제도에서 장려하고 있는 대표적인 요소 중 하나임.

어떻게 작용하였는지 살펴보기 위하여 토지이용 혼합지수(Landusemix)를 변인으로 선정하여 활용하였다. 마지막으로 3D의 설계(Design) 요소 반영을 위해 본 연구에서는 분석 목적 및 분석 대상을 고려하여 지하철 역 반경 500m 이내 위치한 버스 정류장 수(Busstop)와 타 지하철 노선으로의 환승 가능 여부(Transfer)를 변인으로 선정하여 활용하였다¹⁷⁾. 먼저 버스 정류장 수는 선행연구에서 통행수단 간의 연결 및 연속성을 측정하는 척도로 활용(Sung and Oh, 2011; Cao et al., 2020)을 위해, 분석 대상이 지하철 이용임을 고려하여 다른 노선으로의 환승 여부(Transfer)를 설정하여 활용하였다.

본 연구에서는 코로나19 팬데믹 동안 시행된 사회적 거리두기 지침의 영향을 관찰하기 위한 목적으로 역세권 내 숙박 및 음식점업 종사자 비율(R_{emfood})을 선정하였다. 미국, 일본, 브라질 등에서 급격한 질병 확산세를 막기 위해 일시적으로 시행하였던 도시 폐쇄 조치와 달리, 서울시의 코로나19 관련 지침은 자발적 참여에 의존하기 때문에 상대적으로 강도가 덜한 이동 제한 조치였다. 하지만, 우리나라에서는 코로나19 팬데믹 동안 인구가 밀집하는 상황을 방지하기 위하여 다인이용시설 및 식당의 운영을 금지하거나 운영 시간을 제한하고 일정 규모 이상의 개인 모임을 제한하는 등 다양한 조치를 시행하였다. 개인 단위의 집합을 제한하는 형태의 조치가 팬데믹 동안 다양한 형태로 이루어졌음을 고려하여 이러한 조치의 역할을 관찰하기 위하여 본 연구에서는 숙박 및 음식점업 종사자 비율을 변인으로 선정하여 활용하였다.

상기한 변인 이외에 토지이용 관련 변인과 인구·사회학적 특성 변인(R_{p2064} , R_{eldpop})은 통제변수로서 분석 모형에 포함하였다. 본 연구의 다중회귀분석에 사용된 변인에 관한 설명과 기초 통계량은 다음의 표 2-3을 통해 확인할 수 있다.

17) 일반적으로 도로 밀도와 교차로 수를 변인으로 활용하나, 본 연구에서 변인으로 활용한 다섯 가지 토지이용 특성 변인 중 도로 및 교통시설 면적 비율(R_{rdtrns})과의 다중공선성을 고려해 활용하지 않음.

표 2-3. 변인 설명 및 기초 통계량

구분	변인명	설명	평균	표준편차	최솟값	최댓값
종속변인						
	<i>Ln_rdspdif</i>	코로나 충격 이후 감소한 지하철 이용자 수의 자연로그값 ($\ln_rdspdif = \ln(A-B)$) A: 코로나 충격 이전의 지하철 이용자 수의 합 B: 코로나 충격 이후의 지하철 이용자 수의 합	14.730	1.056	11.728	17.357
독립변인						
건조 환경	<i>Landusemix</i>	토지이용 혼합 지수	0.583	0.165	0.000	0.981
	<i>R_cmf</i>	상업 및 업무지역으로 이용되는 토지 면적 비율	0.120	0.129	0.000	0.721
	<i>R_rdrns</i>	도로 및 교통시설로 이용되는 토지 면적 비율	0.174	0.060	0.001	0.461
	<i>R_intma</i>	공업시설 및 공업 관련 토지 면적 비율	0.014	0.057	0.000	0.620
	<i>R_pubins</i>	공공기관 및 공공시설이 위치한 토지 면적 비율	0.111	0.108	0.000	0.614
	<i>R_opotre</i>	공원, 녹지, 체육시설 및 유원지가 위치한 토지 면적 비율	0.051	0.080	0.000	0.415
	<i>Busstop</i>	버스 정류장 수	20.365	8.733	2.000	50.000
	<i>Transfer</i>	다른 지하철 노선으로의 환승 가능 여부 (환승 가능=1)	0.276	0.431	0	1
	<i>Actden</i>	활동인구 밀도(= 거주 및 고용인구 / km ² × 1000)	31.138	18.984	0.946	109.655
인구 사회 경제	<i>R_p2064</i>	경제활동인구 비율	0.704	0.042	0.593	0.835
	<i>R_eldpop</i>	고령인구 비율	0.148	0.034	0.065	0.264
	<i>R_emfood</i>	숙박 및 음식점업 종사자 비율	0.111	0.054	0.021	0.411

주: 코로나 충격의 발생 시점은 2020년 1월 27일 국가적 차원에서 코로나19에 대한 위기경보 단계를 주의에서 경계로 격상한 일자임 (질병관리청, 2021).

제 5 절 분석 결과

1. 지하철 이용, 코로나19, 정부 개입 간 역학 관계

코로나19 발생, 정부 개입, 지하철 이용자 수 간의 동적 관계는 다음의 그림 2-2에서 확인할 수 있다. 구체적으로 지하철 이용자 수는 서울시에 소재한 하루 기준 지하철 승차 인원의 합으로, 코로나19 관련 사건과 정부 차원에서 코로나19 관리를 위해 시행한 조치에 대응하는 개인의 통행 선택을 나타낸다.

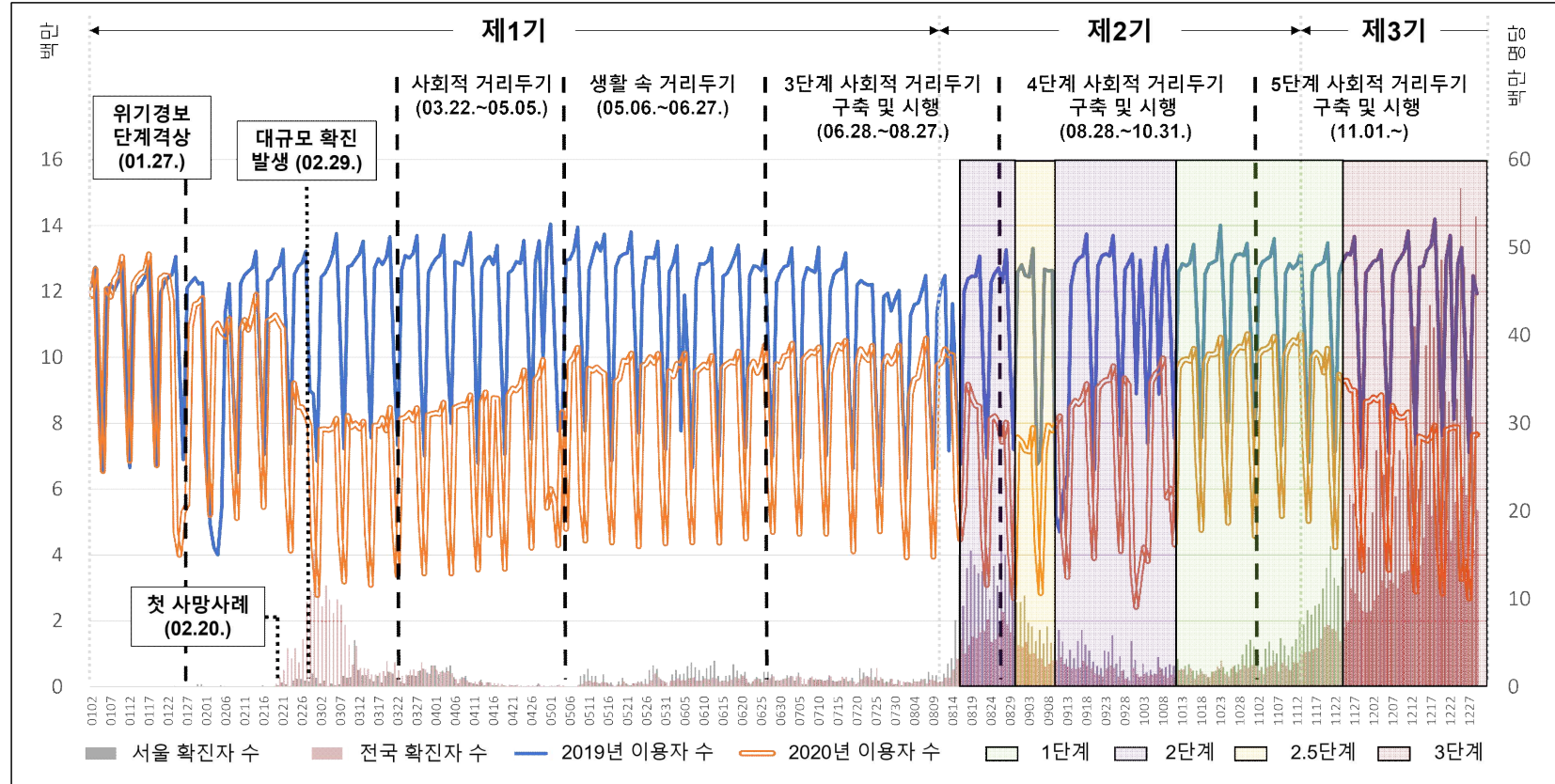
우리나라 정부는 지난 2020년 1월 27일 코로나19에 대해 황색(주의)경보¹⁸⁾를 발령하였다. 경보 발령 이후 지하철 이용자 수는 소폭 감소세를 보이다가 2020년 2월 20일 우리나라에서 코로나19로 인한 첫 사망자가 발생한 이후 큰 폭으로 감소하기 시작하였다. 이러한 급격한 감소세는 대구 및 경북 지역에서 발생하였던 대량 확진 사례¹⁹⁾, 2월 29일 발생하였던 일일 최대 확진 사례²⁰⁾를 기점으로 발생하였다. 이후 지하철 이용자 수는 회복세를 보이기 시작하며 5월 둘째 주부터 안정화되기 시작하였다. 2019년의 추세와 비교하면 계절적 요인에 의한 소폭 감소세를 보이는데, 이를 고려하면 해당 시기의 패턴은 코로나19 발생 이전 추세로 회복하고 있었던 것으로 보인다. 그러나 8월 중순부터 도심 집회 등 여러 요인으로 인하여 인구 백만 명당 확진자 수가 지난 2월 29일의 값에 근접하기 시작하고(양성찬 외, 2022), 2020년 8월 16일부터 사회적 거리두기가 2단계로 상향 조정되었다. 이 기간의 지하철 이용자 수는 2월

18) 우리나라 감염병 위기경보 체계와 관련한 자세한 내용은 부록 2-1에서 확인할 수 있음.

19) 특정 일이 아닌 우리나라 코로나19 발생 초기 특정 종교 교인들을 대상으로 한 사건이며, 코로나 제1차 대유행 시기인 2020년 2월 초부터 5월 초까지의 확진자 중 35.7%에 해당하는 확진 사례의 주요 감염경로로 밝혀짐(양성찬 외, 2022).

20) 2020년 2월 29일 전국적으로 총 813건의 확진 사례가 발생하였는데, 해당 수치는 2020년 12월 25일(전국 총 1,241건)에 갱신되었음. 일일 최대 확진 사례 갱신일은 질병관리청에서 지정한 코로나 제3차 대유행 시기(2020년 11월 13일부터 2021년 7월 6일)에 속함.

그림 2-2. 코로나19 관련 사건 및 조치와 지하철 이용자 수 변화 추이 (단위: 백만 명, 백만 명당 확진자 수)



자료: 서울 열린데이터 광장(지하철 이용자 수), 질병관리청 및 보건복지부(정부 질병 관리 조치), 질병관리청 및 SNU ARIC(코로나19 확진자 수)

주: 단계별 사회적 거리두기 조치가 격상 또는 격하된 시점은 각각 8월 16일~29일(2단계), 8월 30일~9월 13일(2.5단계), 9월 14일~27일(2단계), 10월 12일~11월 23일(1단계), 11월 24일부터 연말(3단계)임.

말과 마찬가지로 감소하기 시작하였지만, 감소의 정도를 비교할 때 상대적으로 덜 가파르게 감소한 것으로 나타났다. 8월 초부터 말까지 코로나 19 발생의 확산세가 지속되자 사회적 거리두기 지침을 2.5단계로 격상하였다. 강화된 정부 조치에도 지하철 이용자 수는 반등하기 시작하였고, 그 회복세는 11월 초까지 이어진 것으로 나타났다. 지속적인 지하철 이용자 수의 회복세와 더불어 사회적 거리두기는 9월 둘째 주부터 종전 2.5단계에서 2단계로, 10월 중순에는 1단계로 격하된 시점과 맞물리는 것으로 나타났다. 회복세를 이어가던 지하철 이용자 수는 11월 초중순부터 안정기에 접어든 것으로 나타났으나, 같은 시기부터 코로나19 확진 규모가 점차 증가하기 시작하며 11월 중순부터 다시 감소세에 접어들게 되었다. 이러한 감소세는 2020년 말까지 이어졌으며, 코로나19 확산 규모의 증가에 따라 사회적 거리두기는 11월 말 3단계로 격상하였다. 하지만, 해당 시기의 지하철 이용 패턴은 앞선 9월 초 2.5단계로 정부 조치를 격상한 때와 달리 지속적인 감소세를 보였다.

서울시의 지하철 이용자 수와 정부 개입 및 코로나19 관련 사건 간의 관계를 2020년을 대상으로 살펴보면, 이들 간의 역학 관계는 시간 흐름에 따라 다르게 나타났다. 먼저 코로나19 발생 초기부터 11월 중순까지²¹⁾의 지하철 이용자 수는 정부 차원의 대응 및 관리 조치가 시행된 이후 급증한 것으로 나타났다. 이는 정부 개입이 지하철 이용자 수의 회복에 부분적으로 영향을 끼친 것을 암시한다²²⁾. 또한, 2월 말과 9월 초 지하철 이용자 수의 감소는 코로나19 발생 지역과 관계없이 모두 발생하였는데, 그 이후 회복의 속도는 전자의 경우보다 후자의 경우에서 더 빠르게 나타났다. 이러한 결과는 전국적 감염병 발생이 서울시의 지하철 이용자 수 감소에 영향을 미치며, 그 영향의 크기는 발생 시점에 따라 다른 영향을 줄 수 있음을 시사한다. 결론적으로, 개인의 행동은 발생 장소보다는 발생 시점에 더 큰 영향을 받을 수 있다. 하지만, 11월 초 이후

21) 해당 시기에 대해 양성찬 외 (2022)는 코로나19 제1기(2020.01.20.~08.11.)와 제2기(08.12.~11.12.)로 분류하고 있으며, 각각 제1차 및 제2차 대유행이 있었던 시기임.

22) 9월 초 사회적 거리두기가 2단계에서 2.5단계로 격상한 이후 서울시 지하철 이용자 수는 회복세에 들어선 것으로 나타남(그림 2-2).

의 추이를 살펴보면, 코로나19 발생 규모가 서울시 지하철 이용 패턴에 영향을 준 것으로 판단된다. 이는 정부 차원의 관련 조치가 시행된 시점이 코로나19 발생 규모가 일정한 기간 지속된 이후에 이뤄진 것에 기인한 것으로 판단된다.

한편, 뉴욕시의 사례는 서울시와 다른 양상을 띤 것으로 조사되었는데, 팬데믹이 시작된 2월 중순 서울시의 지하철 이용자 수 감소 폭보다 3월 초 뉴욕시의 지하철 이용자 수가 더 큰 폭으로 감소한 것으로 나타났다. 이러한 추세의 차이는 두 도시의 전 세계적 영향의 규모와 심각도에 따른 질병 대응 전략의 차이에서 기인한 것으로 보인다. 서울시는 사회적 거리두기, 자가격리, 접촉자 추적 관리 등 상대적으로 덜 제한적인 지침을 시행한 반면, 뉴욕시는 PAUSE²³⁾라는 더욱 엄격한 조치를 시행했다. PAUSE는 모든 비필수적 사업장의 문을 닫고, 비필수적 모임을 취소하거나 연기하도록 하는 등 개인의 이동을 엄격히 제한하였다. 반면, 서울의 전략은 사회적 거리두기와 마스크 착용을 장려하고, 실내 식사를 규제하며, 단체 모임을 제한하였으나, 개인의 이동을 뉴욕시 사례와 같이 높은 강도로 제한하지는 않았다.

정부의 개입 수준 외에도 개인의 위험에 대한 인식, 원격 근무 여부, 통행수단 전환의 가능성 등이 두 도시의 서로 다른 양상을 이끈 중요한 요인이 될 수 있음을 시사했다. 두 도시의 지하철 분담률에 있어 뉴욕은 38.5%(U.S. Census Bureau, 2021), 서울은 40.7%(Seoul Metropolitan Government, 2020)로 유사하나, 코로나19 발생 초기 이후 지하철 이용자 수 회복세는 서로 다르게 나타났다. 이용자 수 회복 속도가 상대적으로 더뎠던 뉴욕의 경우 개인 차량을 이용한 통행이 가장 빨리 회복하였다(Ye et al., 2021; Kamga et al., 2020). 또한 지하철 이용 제한이 시행되자 개인 차량과 공유 자전거의 이용이 증가하였으며(Bian et al., 2021), 저소득층 인구가 많고 대중교통 의존도가 높은 지역에서는 택시의 이용이 증가하였다(Manley et al., 2021). 이러한 뉴욕시 주민들의 통행행태와 통행수단 전환 양상은 코로나19 팬데믹 동안 지하철에서 대체 통행수단

23) 코로나19 확산을 늦추기 위한 목적으로 뉴욕시를 중심으로 발효되었던 행정명령으로 도시의 필수 기능과 관련되지 않은 모든 경제 활동을 규제한 조치임.

으로의 전환에 영향을 미치는 다양한 요인을 보여준다.

두 사례는 개인의 이동을 제한하는 정부의 개입이 코로나19 확진자 감소의 원인이라는 것을 시사한다. 팬데믹 초기에 대규모 감염이 발생하자 뉴욕시는 엄격한 이동 제한 조치로 도시를 폐쇄하였다가 확산세가 안정화된 이후 감소세에 들어서자 점차 도시를 재개방하였다. 반면, 서울시에서는 사회적 거리두기와 기타 관리 조치를 시행하는 등 개인의 이동을 높은 강도로 제한하지 않았다. 이에 따라 대구-경북 집단 감염이 발생해 6월 22일경 2차 유행 전기로 이어진 이후에도 서울의 지하철 이용자 수는 크게 줄지 않았고, 8월 중순부터 시작된 서울을 중심으로 한 2차 유행으로 이어졌다.

뉴욕시와 서울시의 코로나19에 대응하는 서로 다른 방식은 그 충격을 완화하는 데 있어 봉쇄 및 사회적 거리두기 조치의 한계를 드러냈다. 예를 들어, 뉴욕시의 봉쇄 조치는 질병 확진자 급증세를 효과적으로 억제하였지만, 뉴욕의 저소득층과 유색인종의 생계에 부정적인 사회경제적 영향을 남겼을 수 있다. 예를 들어, 팬데믹이 절정에 달했을 때 뉴욕시 근로자의 절반 이상이 일자리를 잃었지만(Collier et al., 2020), 필수 근로자로서의 분류 여부는 코로나19 전파에 따른 인종 및 사회경제적 격차를 심화시키는 데 기여하였다. 흑인과 히스패닉 근로자는 현장직에 종사할 가능성이 더 높으며(Collier et al., 2020), 직장 내 또는 대중교통을 통한 질병 감염 위험이 증가했다(Dubay et al., 2020; Hawkins, 2020). 동시에 저임금 근로자는 코로나19로의 노출 등을 이유로 유급 휴가를 받을 가능성이 낮아져(US Bureau of Labor Statistics, 2021) 그들의 경제적, 신체적 건강을 더욱 위협에 빠뜨렸다. 마찬가지로 서울시의 사회적 거리두기는 초기에 코로나19의 확산을 늦추는 데 도움이 되었지만, 밀집된 도시 형태에서 장기적인 효과는 입증되지 않았다. 이 결과는 각국의 특성을 고려하지 않은 코로나19 대응 전략이 획일적인 결과를 가져올 수 있음을 시사하며, 코로나19 팬데믹을 통제하기 위하여 장소 기반 접근법과 사람 기반 접근법의 적용을 권하는 OECD (2020)의 권고가 효과적일 수 있음을 확인시켜 준다.

2. 지하철역별 이용 패턴 간 유사성

서울시 내 소개하고 있는 296개 지하철역별 이용자 수를 대상으로 시계열 군집분석을 수행한 결과, 2019년부터 2020년까지의 시계열 패턴에 따라 총 6개의 군집이 도출되었다(표 2-4). 여섯 개의 군집 중 군집 1이 가장 많은 75개 지하철역, 군집 2는 72개 역, 군집 3은 76개 역, 군집 4는 32개 역, 군집 5는 28개 역, 군집 6은 13개 역으로 분류되었다.

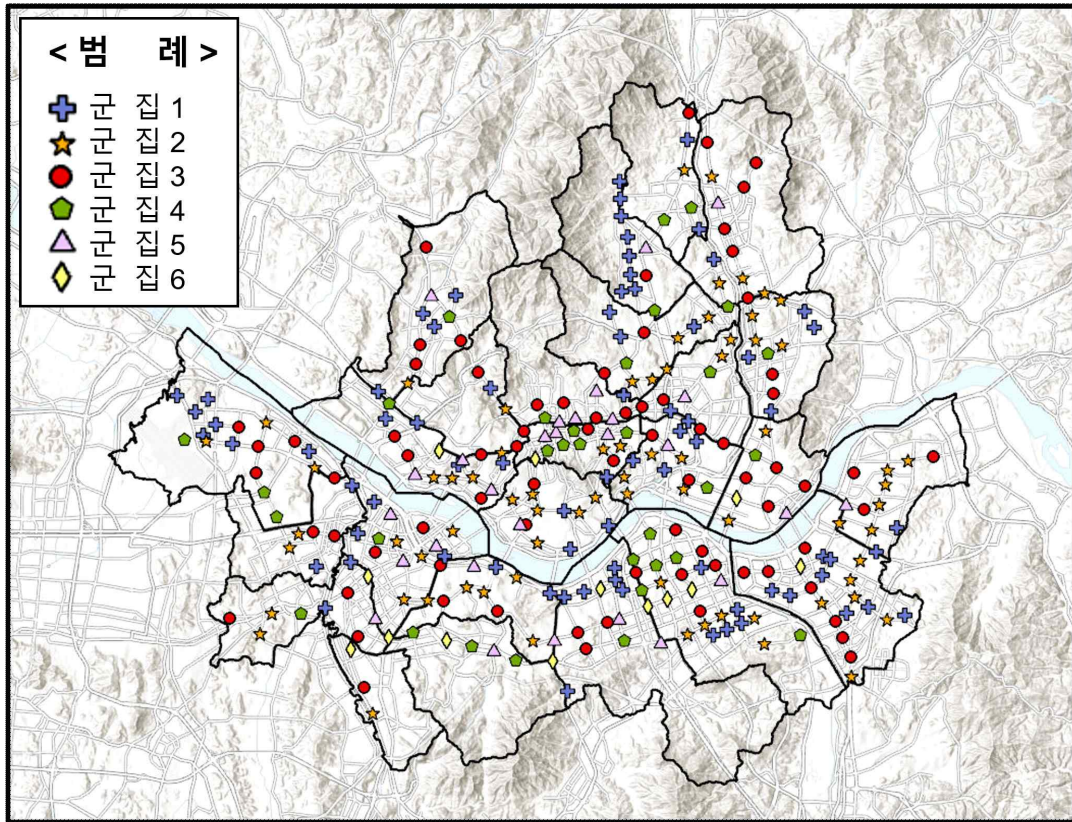
표 2-4. 군집별 지하철역

군집	지하철역
군집 1 (75개)	대표역(Medoid station): 셋강 4.19민주묘지, 가오리, 가좌, 개롱, 개포동, 개화, 개화산, 경찰병원, 공향시장, 구룡, 구반포, 구산, 구일, 남태령, 노들, 녹사평(용산구청), 녹천, 대모산입구, 도림천, 도봉, 독바위, 둔촌오륜, 마곡, 마장, 마천, 몽촌토성(평화의문), 무악재, 반포, 방화, 버티고개, 북한산보국문, 북한산우이, 사평, 삼성중앙, 삼양, 삼양사거리, 삼전, 상월곡(한국과학기술연구원), 셋강, 서강대, 서빙고, 석촌고분, 선유도, 솔밭공원, 솔샘, 송파나루, 수색, 신금호, 신내, 신답, 신목동, 신반포, 신방화, 애오개, 양원, 양천구청, 역촌, 용답, 용두(동대문구청), 용마산, 월계, 월드컵경기장(성산), 응봉, 잠원, 정릉, 중랑, 중앙보훈병원, 증미, 창신, 학여울, 한남, 한성백제, 화계, 동작(현충원), 양평
군집 2 (72개)	대표역(Medoid station): 오금 강동구청, 거여, 고덕, 고려대, 공릉, 광운대, 광흥창, 굽은다리, 금천구청, 금호, 길동, 남성, 남영, 대청, 대치, 대흥, 독립문, 돌곶이, 동국대, 둔촌동, 등촌, 뚝섬유원지, 마들, 망우, 매봉, 먹골, 명일, 방이, 방학, 보라매, 봉화산, 상도, 상수, 서울숲, 송정, 송파, 신이문, 신정, 신정네거리, 신흥, 아현, 안암, 양천, 향교, 언주, 여의나루, 영등포시장, 오류동, 외대앞, 월곡, 이태원, 일원, 장승배기, 중곡, 중화, 증산, 천왕, 한강진, 한양대, 행당, 화랑대, 흑석, 도곡, 보문, 북정, 삼각지, 신길, 오금, 옥수, 올림픽공원, 이촌, 청구, 효창공원

표 2-4. 군집별 지하철역(계속)

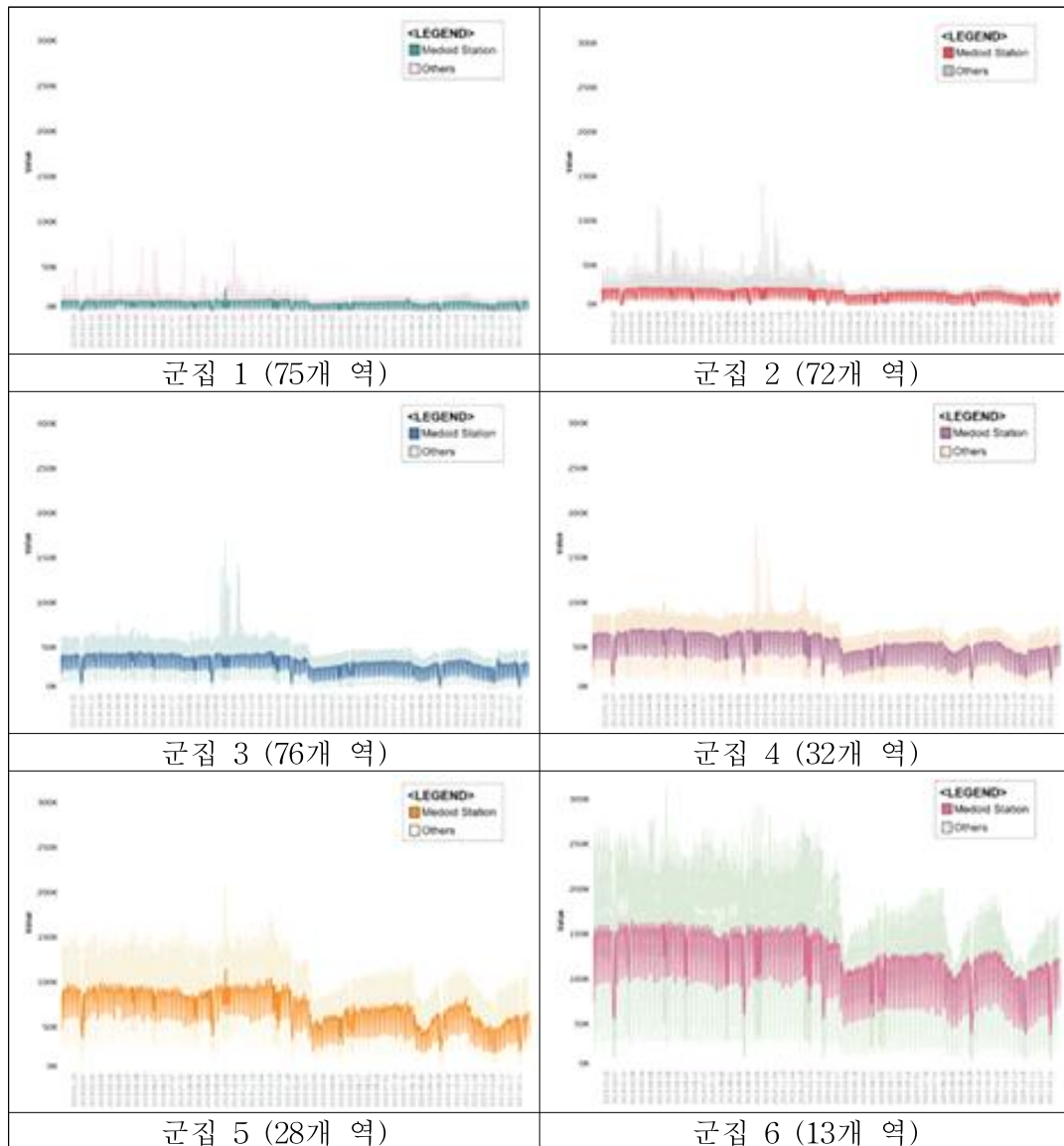
군집	지하철역
<p>군집 3 (76개)</p>	<p>대표역(Medoid station): 장지</p> <p>가양, 강동, 경복궁(정부서울청사), 광나루(장신대), 구로, 구의(광진구청), 구과발, 국회의사당, 길음, 남구로, 내방, 녹번, 논현, 답십리, 당고개, 대방, 독산, 뚝섬, 마포, 마포구청, 망원, 면목, 목동, 문래, 문정, 미아(서울사이버대학), 발산, 방배, 봉은사, 사가정, 상계, 상왕십리, 상일동, 새철(신사), 서대문, 서초, 숙대입구(갈월), 숭실대입구(살피재), 신대방삼거리, 신용산, 아차산(어린이대공원후문), 안국, 암사, 압구정로데오, 어린이대공원(세종대), 염창, 오목교(목동운동장앞), 우장산, 응암, 이대, 잠실나루, 잠실새내, 장지, 장한평, 제기동, 종로5가, 중계, 청담, 하계, 한성대입구(삼선교), 한티, 홍제, 가락시장, 도봉산, 동묘앞, 마곡나루, 석촌, 선정릉, 수락산, 신설동, 약수, 온수(성공회대입구), 을지로4가, 종합운동장, 충정로(경기대입구), 태릉입구</p>
<p>군집 4 (32개)</p>	<p>대표역(Medoid station): 낙성대</p> <p>개봉, 광화문(세종문화회관), 까치산, 낙성대, 남부터미널(예술의전당), 명동, 미아사거리, 봉천, 성수, 신논현, 신대방, 신사, 쌍문, 압구정, 학동, 화곡, 회기, 회현(남대문시장), 강남구청, 군자(능동), 김포공항, 디지털미디어시티, 불광, 상봉(시외버스터미널), 석계, 성신여대입구(돈암), 수서, 신당, 영등포구청, 을지로3가, 창동, 충무로.</p>
<p>군집 5 (28개)</p>	<p>대표역(Medoid station): 노량진</p> <p>강변(동서울터미널), 삼성(무역센터), 서울대입구(관악구청), 수유(강북구청), 양재(서초구청), 영등포, 용산, 을지로입구, 종각, 혜화, 공덕, 교대(법원.검찰청), 노량진, 노원, 당산, 대림(구로구청), 동대문, 동대문역사문화공원, 시청, 신촌, 여의도, 연신내, 왕십리(성동구청), 이수(충신대입구), 종로3가, 천호(풍납토성), 청량리(서울시립대입구), 합정</p>
<p>군집 6 (13개)</p>	<p>대표역(Medoid station): 신림</p> <p>신림, 사당, 건대입구, 고속터미널, 잠실, 홍대입구, 강남, 역삼, 선릉, 서울역, 신도림, 구로디지털단지, 가산디지털단지,</p>

그림 2-3. 군집별 공간 분포도



서울시에서는 2020년 1월 24일, 전국적으로는 2020년 1월 20일, 코로나19의 첫 확진자가 발생하였다. 코로나19 확산 이후 모든 군집의 지하철 이용자 수는 감소한 것으로 나타났다(그림 2-4). 그 이후, 이용자 수가 전반적으로 증가해 코로나19 이전 수준으로 회복하는 양상을 보이는 것으로 나타났다. 이처럼 전반적인 추세는 모든 군집이 유사한 것으로 보이나, 이용자 수가 많은 역일수록 코로나19 이전 수준으로 회복하는 데 상대적으로 더딘 경향을 보이는 것으로 나타났다. 또한 코로나19 이전과 이후의 이용자 수간의 차이는 시간 흐름에 따라 점차 줄어들었으나, 군집 간 이용 규모의 차이는 변하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 절대적인 이용자 수 감소에도 불구하고 전반적인 이용 패턴에는 큰 변화가 없는 것으로 보인다. 특히, 이용자 수가 적은 역일수록 코로나19 이전과 이후의 패턴 간 변화가 뚜렷하지 않은 것으로 나타났다.

그림 2-4. 군집별 지하철 이용자 수 변화 추이



주: 각 도식의 세로축은 0부터 30만까지를 범위로 함.

코로나19 충격 이전과 이후²⁴⁾ 지하철 이용자 수 합계의 차이를 살펴보면 앞선 내용을 뒷받침하고 있음을 확인할 수 있다. 코로나19 충격 이전

24) 본 연구에서는 2020년 1월 27일을 기점으로 코로나19에 의한 충격 이전과 이후로 선정함. 이는 해당 일자는 우리나라 정부에서 코로나19로 인한 위기경보단계를 주의에서 경계로 격상한 날짜임.

과 이후 기간 각각의 이용자 수 합의 차이 값이 작다는 건 그만큼 회복력이 크다는 것을 의미한다.

표 2-5. 코로나19 충격 이전과 이후의 군집별 지하철 이용자 수

구분	코로나19 이전 지하철 이용자 수 (A)	코로나19 이후 지하철 이용자 수 (B)	코로나19 이전과 이후 간의 지하철 이용자 수 차이 (C=A-B)
전체	14,869,073	10,702,957	4,166,116
군집 1	3,499,624	2,704,772	794,852
군집 2	8,084,319	5,900,003	2,184,316
군집 3	13,909,813	10,443,788	3,466,026
군집 4	22,786,860	16,692,297	6,094,563
군집 5	35,441,892	24,293,204	11,148,688
군집 6	59,846,490	40,948,154	18,898,336

주1: 코로나19 충격은 2020년 1월 27일을 기준으로 하며, 이날은 한국 보건복지부에서 감염병 위기경보단계를 주의에서 경계로 격상시킨 날임.

주2: 군집별 지하철 이용자 수는 각 군집의 평균값임.

주3: 코로나19 충격 이전과 이후의 일수는 각각 392일 및 399일로 약 7일 정도의 차이가 있으나, 모든 역에서 같음.

군집별 코로나19 이전과 이후의 총 지하철 이용자 수를 비교하면 군집 간 이용 패턴의 차이를 보다 자세히 확인할 수 있다(표 2-5). 일반적으로 이용자 수가 많은 지하철역에서는 코로나19 발생 이후 이용자 수의 높은 변동성을, 이용자 수가 적은 지하철역에서는 낮은 변동성을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 코로나19 관련 위험에 대한 개인행동의 맥락에서 볼 때, 개인의 통행 목적과 밀접한 연관성이 있을 수 있음을 시사한다(Bucsky, 2020; Li et al., 2020a, Shamsiripour et al., 2020; Abdullah et al., 2021; Kim et al., 2021). 예를 들어, 여가(Leisure)와 같은 비필수 통행과 연계된 역에서의 이용자 수의 변동은 크고 불규칙(non-stationary)할 확률이 높고, 출퇴근과 같은 필수 통행과 연계된 역의 이용자 수 변동은 작고 상대적으로 규칙적(stationary)일 가능성이 높다. 서울시의 경우, 서울시에 직장을 둔 사람의 거주지가 수도권 전역에

분포되어 있으므로 통근·통학 목적의 필수 통행과 연계된 역의 이용자 수는 상대적으로 변동성이 작을 가능성이 높다.

지하철 이용자 수에 관한 시계열 자료를 활용한 군집분석 결과, 코로나19의 영향은 지하철역에 따라 다르게 나타났으며, 코로나19 발생 이전과 이후의 이용자 수 변동은 이용자 수의 규모에 따라 다르다는 것을 확인할 수 있었다. 이는 코로나19 위협에 대한 개인 인식과 대응이 통행 목적과 개인이 선택한 통행수단에 반영되어 지하철 이용자 수로 실제 나타날 수 있다는 점에 기인한다.

그림 2-5는 코로나19에 관한 주요 사건 및 정부 개입과 함께 각 군집의 중앙개체인 대표역의 이용자 수준과 패턴을 보여준다. 먼저 군집 6의 대표역인 신림역의 경우 시간이 지남에 따라 이용 수준이 눈에 띄게 증가하며 높은 변동성을 보이는데, 이는 해당 군집으로 분류된 역들에 대한 수요가 탄력적임을 의미한다. 이러한 결과는 이용자 수준이 높을수록 더욱 많은 개인의 이동성과 인구 과밀(Overcrowding)의 가능성을 암시하기 때문에 군집 6으로 분류된 역들이 코로나19 초기 때 질병 전파의 역할을 수행하였을 것임을 시사하기도 한다(Hamidi et al., 2020; Bhadr a et al, 2021). 군집 4와 5의 역들은 군집 6과 비교하여 상대적으로 변동의 폭이 작으나 해당 역에서의 지하철 이용 규모 역시 높고 변동이 심한 것으로 나타나 군집 6과 유사한 양상을 갖는 것으로 보인다. 반면 군집 1부터 3까지의 역들은 모두 유사한 이용 패턴을 보이며 변동 폭에 있어 미세한 차이가 있지만, 변동의 폭이 앞선 군집 4부터 6과 비교할 때 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 표 2-6에서 볼 수 있듯이 군집 1에서 군집 6으로 갈수록 평균, 표준편차, 분산 값이 모두 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 일일 이용자 수가 많은 역일수록 이용자 수에 관한 변동의 폭이 크다는 것을 의미한다. 따라서, 본 연구는 이용자 수가 많은 역일수록 질병 확산에 따라 이용자 수의 변동이 더욱 크게 나타났다는 것을 식별하였으며, 이는 코로나19와 같은 전염성 질병이 인구 과밀이 더 빈번히 일어나는 지하철역에 더 큰 영향을 미친다는 것을 시사한다.

그림 2-5. 군집별 대표역의 지하철 이용자 수 추이

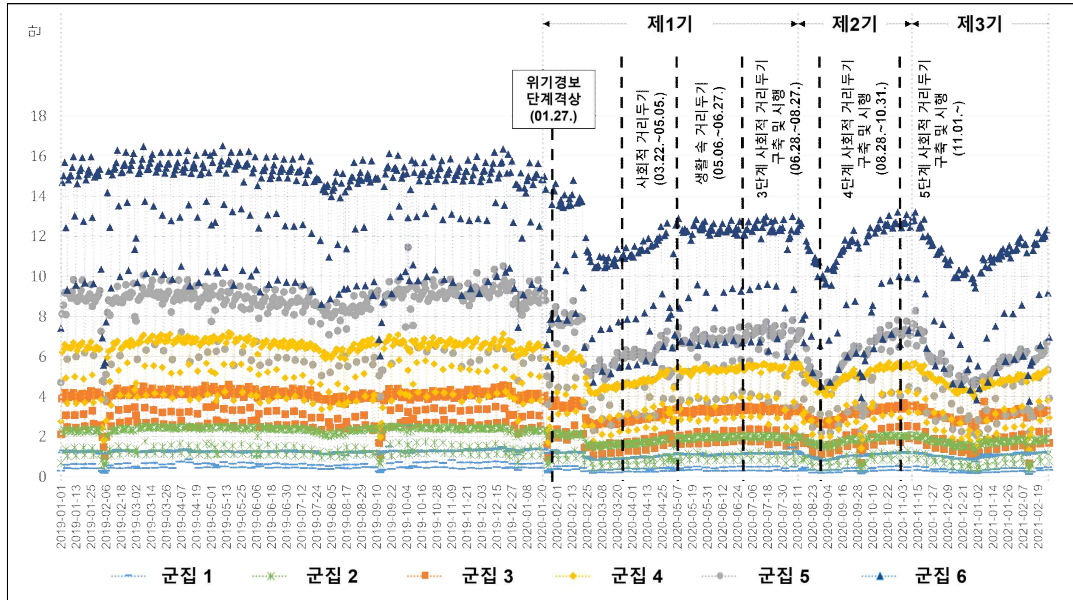


표 2-6. 군집별 지하철역 이용자 수에 관한 기초 통계량

기준	군집	평균	표준편차	분산
군집별 평균값	1(76개 역)	7,854	2,314	5,356,784
	2(72개 역)	17,702	5,383	28,973,041
	3(76개 역)	30,827	9,620	92,539,263
	4(32개 역)	49,974	15,460	239,021,703
	5(28개 역)	75,614	23,398	547,476,414
	6(13개 역)	127,588	39,268	1,541,958,214
대표역 (중앙개체)	1(셋강)	9,275	3,800	14,438,597
	2(오금)	17,461	5,888	34,666,194
	3(장지)	31,853	8,724	76,110,888
	4(낙성대)	51,052	13,931	194,072,874
	5(노량진)	69,791	19,701	388,123,520
	6(신림)	120,389	30,414	924,984,490

주: 2019년 1월부터 2021년 2월까지를 대상으로 한 지하철 이용자료에 기반을 둔 수치임.

코로나19 발생 전후의 지하철 이용 패턴을 기준으로 분류된 각 군집의 변동 추이는 지하철 역세권 내 토지이용 특성과 관련된 것으로 나타났다(그림 2-6). 군집 중 이용자 규모가 클수록 상업·업무지역, 공업지역, 도로 및 교통시설의 비중이 높게 나타났다. 이는 해당 군집에 속한 역들

이 고용과 밀접히 관련되어 있음을 의미한다. 반면, 이용자 규모가 작을 수록 주거지역, 공공시설, 농림지역의 비중이 높은 것으로 나타나 해당 군집의 역들이 대규모 주거단지와 연관되어 있음을 암시한다. 이는 지하철 이용 변동 폭이 상대적으로 적은 지하철역(군집 1-3)일수록 고층주택의 비중이 상대적으로 높은 것을 통해 확인할 수 있다(표 2-7).

그림 2-6. 군집별 지하철 역세권의 토지이용 현황

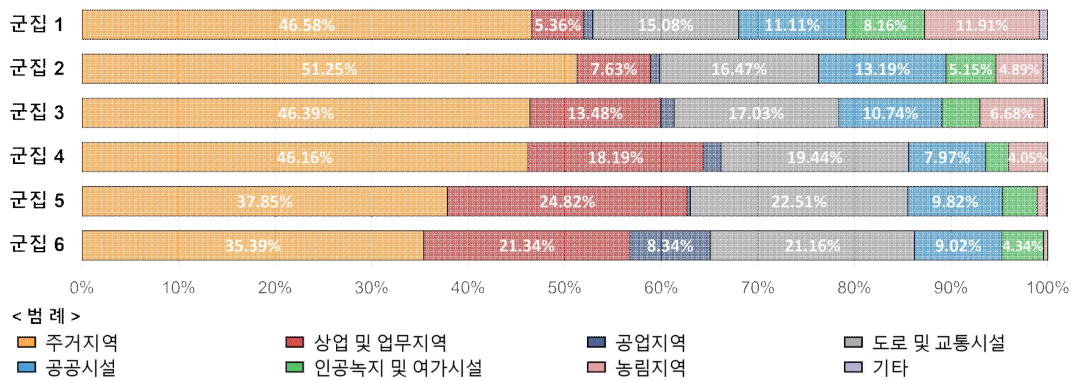


표 2-7. 군집별 주거지역 내 주택 구성

구분	주거지역	
	일반주택	고층주택
전체 평균	43.94%	10.61%
군집 1	46.58%	15.08%
군집 2	51.25%	14.78%
군집 3	46.39%	11.39%
군집 4	46.16%	8.25%
군집 5	37.85%	6.25%
군집 6	35.39%	7.89%

주1: 일반주택은 5층 미만의 연립, 다세대 및 단독 주택지를, 고층주택은 5층 이상의 공동주택 및 아파트를 의미함.

주2: 군집별 주거지역 수치는 역세권 내 모든 필지 중 주거지역으로 이용되고 있는 필지 면적의 비중을 의미함.

3. 지하철 이용 감소와 역세권 특성 간의 연관성

본 연구에서는 코로나19와 같은 충격에 대한 압축도시의 실행 가능성을 평가하기 위해 지하철 이용자 수 감소와 압축도시의 주요 특징인 혼합 토지이용 간의 연관성을 분석하였다. 인구·사회·경제학적 및 지하철 역 속성 변인을 통제한 첫 번째 모델(Model 1)은 혼합 토지이용이 코로나19 이후 지하철 이용자 수 감소와 관련이 있음을 시사하며, 토지이용의 다양성이 높을수록 지하철 이용에 긍정적으로 기여한다는 관련 문헌의 결과를 확인시켜준다(Choi et al., 2012). 이 결과는 토지이용이 고도로 혼합된 지역에서 지하철 이용자 수가 감소한 코로나19의 맥락에서 반대의 영향을 주는 것으로 나타났다. 이처럼 혼합 토지이용은 이용자 수의 전반적인 변동성에 영향을 미치는 것으로 보인다.

전체 모델인 두 번째 모델(Model 2)에서 계수가 가장 높고 통계적 유의성을 확보한 변수는 $R_embod(4.343)$, $R_rdtrns(2.583)$, $R_pubins(1.554)$, $R_cmof(1.256)$, $Landusemix(0.747)$, $Transfer(0.719)$, $Busstop(0.015)$, $Actden(0.011)$ 이다. 다양한 토지이용 변인을 통제하면 토지이용 혼합지수($Landusemix$)의 계수는 감소하는 것으로 나타나지만, 통계적 유의성은 첫 번째 모델에서와 마찬가지로 유지된다. 두 번째 모델의 토지이용 혼합지수 결과는 해당 모델에서 통제하지 않은 다른 토지이용 유형이 서울과 같은 압축도시에 존재함을 보여준다. 따라서 다양한 토지이용 조합으로 구성된 지역 특히 압축도시에서는 코로나19와 같은 위협에 의해 사람들의 이동이 제한될 수 있음을 보여준다.

토지이용 변수 중 전체 토지 면적 대비 도로 및 교통시설 면적 비율(R_rdtrns)은 개인 차량, 택시, 자전거 등 지하철을 대체할 수 있는 지상의 통행수단을 제공하기 때문에 역세권 지역의 접근성을 나타낼 수 있다. 두 번째 모델 결과에 따르면 해당 변수는 통계적으로 유의미하며 지하철 이용자 수 감소와 정(+)의 연관성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이 결과는 다른 연구(Abdullah et al., 2020; Teixeira and Lopes, 2020)와 마찬가지로 지하철이 아닌 통행수단 이용의 접근성이 좋은 지역일수록

록 코로나19 발생 이후 지하철 이용자 수가 더 많이 감소하였음을 시사한다. 반면, 공공시설 및 기관의 비율(R_{pubins})도 통계적으로 유의미성을 확보하고 이용자 감소와 정(+)의 연관성을 갖는 것으로 나타났는데, 이는 학교의 원격 수업 전환, 스포츠 경기장과 같은 다목적 시설의 출입 제한 등 코로나19 위험 관리를 위한 개입이 전반적인 이동성 감소에 미친 영향을 반영한 것으로 보인다. 마찬가지로, 통계적으로 유의미성을 확보하고 이용자 수 감소와 정(+)의 연관성을 보이는 토지 면적 대비 상업 및 업무시설 면적의 비율(R_{cmof})은 정부의 코로나19 예방 조치가 이동성 감소에 미치는 영향을 더욱 구체적으로 보여준다. 예를 들어, 숙박 및 음식업에 속하는 사업체의 서비스 제한으로 대규모 모임이 금지되면서 상업 지역으로의 통행량이 감소하였을 가능성이 높다. 마찬가지로, 정부가 위기 경보 수준을 ‘심각’ 단계로 격상한 후 원격 근무로 전환하면서 사무실이 밀집된 지역의 혼잡도가 감소하였을 가능성이 높다.

토지이용 변인을 제외한 변인 중 숙박 및 음식점업에 종사하는 종사자 수의 비율(R_{emfood})이 코로나19 발생 후 지하철 이용자 수 감소와 가장 큰 연관성을 가진 것으로 나타났다. 이러한 결과는 사회적 거리두기, 식당, 카페, 기타 다중이용시설 운영 제한 등 한국 정부와 서울시의 코로나19 위험 관리 목적의 개입에 기인한 것으로 보인다. 특히, 이러한 제한 조치로 인하여 관련 시설의 조기 영업 종료, 실내 취식 제한, 대규모 시설의 영업 금지가 의무화되었다. 코로나19 확진자가 이례적으로 최고치를 기록하자 이러한 조치를 보완하여 공공시설 이용과 모임을 제한하는 등 더욱 엄격한 조치가 시행되었다. 이러한 조치와 더불어 팬데믹 기간 동안 다중이용시설에 대한 대중의 위험 인식이 높았던 것으로 보인다(Kim et al., 2021). 따라서 R_{emfood} 가 지하철 이용자 수 감소에 미친 영향은 이동 제한 지침으로 인한 이동성 제약과 코로나19에 대한 일반 대중의 높은 위험 인식으로 설명될 수 있다.

활동밀도($Actden$)는 상대적으로 작은 계수 값을 갖는 것으로 나타났으나, 통계적으로 유의미성을 확보하였다. 이 결과는 활동밀도가 높은 지역에서 지하철 이용률이 낮다는 것을 의미하며, 이는 활동 밀도가 코로

나19 감염 및 사망률과 관련이 있다는 관련 문헌의 결과와 일치한다 (Hamidi et al., 2020). 인구통계학적 변수는 코로나19 동안 은퇴연령 인구의 지하철 이용률 감소를 확인한 관련 문헌(Park and Cho, 2021)에 따라 이용 패턴이 경제활동인구(R_{p2064}) 및 65세 이상 인구(R_{eldpop})와 관련이 있는지 파악하는 데 도움이 된다. 두 번째 모델 결과에 따르면, 해당 변수들은 통계적 유의미성을 확보하지 못하였으나 계수 값을 통해 팬데믹 기간 지하철 이용자 수 감소와 일정 부분 연관성을 지닌 것으로 나타났다. 2019년 서울의 지하철 수단 분담률은 41.6%로 지하철 분담률이 높은 도시에서 직장인 인구와 비직장인 인구가 이용자 수 감소에 미치는 영향은 통행수단 전환이 코로나19 발생으로 인한 개인행동 변화 중 하나일 수 있음을 시사한다.

역세권 내 버스 정류장 수(*Busstop*)와 환승 가능 여부(*Transfer*)에 대한 변수는 서로 다른 통행수단 간의 연결성을 암시하는 수단 전환을 함께 보여준다. 두 변인 모두 통계적으로 유의미성을 확보하고 이용자 수 감소와 정(+)의 연관성을 보여, 팬데믹 동안 버스와 지하철 간 수단 전환 여건이 좋은 지역에 소재한 역에서 지하철 이용자 수 감소를 경험했음을 나타낸다. 이 결과는 복합 교통망이 지하철 이용자 수에 긍정적인 영향을 미친다는 다른 연구 결과와도 일치한다 (Cervero, 1996; Lee et al., 2013). 다른 지하철 노선으로 환승 가능 여부의 영향은 버스 정류장 수보다 더 큰 계수 값을 갖는 것으로 나타났는데, 이는 동일한 통행수단 내에서의 이동이 다른 통행수단으로의 이동보다 이용자 수 변화에 더 큰 영향을 미친다는 것을 시사한다(Guo and Wilson, 2007)(표 2-8).

표 2-8. 회귀분석 결과

변수명		모델 1		모델 2	
		Coeff.	S.E.	Coeff.	S.E.
상수		11.021 ***	1.068	10.753 ***	1.140
토지이용	<i>Landusemix</i>	1.397 ***	0.318	0.747 **	0.378
	<i>R_cmf</i>			1.256 **	0.63-
	<i>R_rdrn</i>			2.583 **	0.956
	<i>R_intma</i>			0.289	0.951
	<i>R_pubins</i>			1.554 **	0.467
	<i>R_opotre</i>			0.002	0.655
지하철역 속성	<i>Busstop</i>	0.010 *	0.006	0.015 *	0.006
	<i>Transfer</i>	0.821 ***	0.117	0.719 ***	0.116
인구·사회 ·경제적 특성	<i>Actden</i>	0.016 ***	0.003	0.011 ***	0.004
	<i>R_p2064</i>	1.987	1.371	1.824	1.380
	<i>R_eldpop</i>	1.241	1.646	1.164	1.700
	<i>R_emfood</i>	3.731 ***	0.947	4.343 ***	0.956
표본수		293		293	
R^2		0.388		0.441	
조정된 R^2		0.373		0.417	
F-검정		25.82***		18.40***	
이분산성 검정		$\chi^2_{(1)}=0.25$ (0.6163)		$\chi^2_{(1)}=0.26$ (0.6127)	

주1: 이분산성은 Breusch-Pagan/Cook-Weisberg 검사를 통해 검증함.

주2: 군집분석과 달리 회귀분석 과정에 사용된 지하철역은 코로나19 발생 이후 이용자 수가 증가한 역 3곳을 제외함.

제 6 절 소결

전 세계적으로 코로나19의 위험을 통제하고 완화하기 위한 각국 정부의 노력은 긴 기간 이루어졌지만, 코로나19에 기인한 영향은 지금까지도 이어지고 있다²⁵⁾. 특히 대도시는 대규모 전염성 질병에 있어 집단 감염에 취약한 지역임이 밝혀졌다. 이는 코로나19 이후 시대에는 코로나19와 같은 예기치 못한 충격에 긴 시간 동안 견딜 수 있는 고밀도의 도시 공간 구조가 다각적인 관점에서 재구축되어야 할 필요성을 강조한다.

이를 해결하기 위해 본 연구에서는 먼저 우리나라의 대도시인 서울시의 고밀도로 압축개발된 도시공간구조라 할 수 있는 역세권을 대상으로 코로나19의 발생, 정부 개입, 지하철 이용자 수 간의 관계를 분석하였다. 분석 결과 개인의 이동성과 질병 전파, 정부 개입이 서로 밀접하게 관련되어 있음이 확인되었다. 또한 서울시에 소재한 296개 지하철역별 지하철 이용자 수를 대상으로 시계열 군집분석을 수행하여 시간 경과에 따른 지하철 이용 패턴 변화에 기인하여 총 여섯 개의 군집을 식별하였다. 군집분석 결과를 통해 질병 발생과 인구 과밀 간 연관성이 확인되었으며, 이는 강한 전염성을 가진 질병에 대해 고밀도로 개발된 도시공간구조가 갖는 취약성이 드러났음을 의미한다.

마지막으로, 다중회귀분석을 통해 코로나19에 따른 지하철 이용자 수 감소와 지하철 역세권 주변의 토지이용 및 산업종사자 비중, 인구·사회학적 특성, 그리고 대중교통 환승 여건 간의 연관성을 평가하였다. 분석 결과, 먼저 높은 토지이용 혼합도를 갖는 지하철 역세권일수록 코로나19에 의한 지하철 이용자 수에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 다양한 토지이용 조합이 밀집도가 높은 도시 공간 내에서 효율성을 최적화하는 핵심 요소로 다루어지고 있다는 점을 고려한다면, 해당 결과는 코로나19의 팬데믹 사례를 통해 확인할 수 있듯 고위험 감염성 질병으로

25) 세계보건기구는 코로나19에 따른 국제적 공중보건 비상사태(Public Health Emergency of International Concern, PHEIC) 선언을 2023년 5월 5일 해제하였으나, 기구 관계자를 비롯한 전문가들은 해당 결정이 전염병의 종식을 알리는 것은 아니며 코로나19 대응 체계의 해제 이유로 받아들이지 말 것을 경고함.

의 노출이 장기화될 때 고밀도로 압축개발된 도시 공간구조가 지속 가능하지 않을 수 있음을 시사한다. 이는 밀집도가 높은 도시 공간에서 다양한 자연 및 건조 환경 요소가 그 목적에 맞게 다양한 형태로 거주민의 삶과 연결되어 있다는 점에서 코로나19와 같은 재난이 다양한 유형의 생활 권역에 미칠 수 있는 영향은 균일하지 않음을 의미하여 높은 밀도의 도시 공간 구조가 갖는 취약성을 이해하는 데 적용될 수 있다. 본 연구의 분석 결과에 따르면 이러한 추세는 코로나19와 같이 일시적이지 않은 사례에 대해 고밀도의 도시 공간 구조가 취약한 것으로 나타났다.

따라서 혼합된 토지이용에 의존하는 고밀도의 도시 공간에서는 재난을 완화하기 위한 전략이 개발되어야 한다. 본 연구에서 관찰된 토지이용 혼합도의 역할을 고려할 때, 토지이용 분포를 재구성하는 전략이 효과적일 수 있다. 예를 들어, 일정 수준의 다핵성과 분산성을 갖춘 도시 형태는 물리적 접촉에 기인하여 확산되는 코로나19와 같은 재난으로부터의 충격을 완화하고 분산하는 데 도움이 될 수 있다. 이러한 전략은 대도시 인구, 생활 인구, 고용 밀도 등 각 도시의 규모와 특성에 따라 도심과 부도심의 수를 최적화함으로써 실현될 수 있다. 다핵성만으로 도시의 회복탄력성을 정의할 수는 없으나, 연결성과 같은 요소와 결합하여 최적의 도심 및 부도심 수는 향후 계획 수립 및 연구에서 회복탄력적이고 지속 가능한 도시 형태를 위한 지표로 사용될 수 있다. 향후 연구에서는 이러한 장기적 위험에 대한 복원력을 향상시킬 수 있는 다양한 도시 공간 구조와 특성을 보다 포괄적인 방식으로 조사할 수 있겠다.

마지막으로, 지하철 이외의 통행수단에 관한 연구와 코로나19에 따른 압축도시의 통행패턴 변화에 따른 장기적인 통행수단 변화 추세를 연구한다면 관련 문헌을 더욱 풍부하게 할 수 있을 것이다.

제 3 장 인구이동 모델링을 위한 기계학습 접근법의 적용: 인구감소 대응의 측면에서

제 1 절 연구 배경

우리나라 저출산 및 고령화 가속화, 인구의 수도권 집중 현상은 지역 내 인구구조 변화에 유의미한 영향을 미치고 있다. 우리나라는 고령사회(Aging society)에 진입한 경제협력개발기구(Organization for Economic Cooperation and Development; OECD) 국가 중 가장 빠른 7년 뒤 초고령사회(Super-aged society)²⁶⁾로 진입할 것으로 전망되고 있다(그림 3-1). 한편, 고령화 기조와 맞물려 우리나라 저출산 추세는 2020년 우리나라 총인구가 관련 통계 관측 이후 최초의 자연적 감소로 이어졌다(통계청, 2021). 또한 우리나라 인구의 절반 이상이 2019년 이후 서울을 포함한 수도권 지역에 거주하고 있으며, 우리나라 수도권으로의 인구 집중 현상은 김태환 외 (2020)에서 제시한 2000년 및 2019년의 지역별 인구분포 카토그램(Cartogram)을 통해 확인할 수 있듯 점차 심화하고 있다(그림 3-2). 이처럼 우리나라 인구의 사회 및 자연적 감소세²⁷⁾는 비도시 지역의 축소가 향후 불가피함을 시사한다.

비도시 지역의 인구감소 문제는 단순히 지역 축소에 그치지 않는다. 인구감소는 지역 내 공공서비스를 유지하는 측면에서도 부정적인 영향을 미친다. 우리나라는 지방교부세제도 아래 중앙정부에서 지방정부에 일정 보조금을 지급함으로써 자치단체 간 재정력 격차를 해소하고 지방재정의 균형을 도모한다. 하지만, 실제로 인구감소 지역은 여전히 재정적 위협

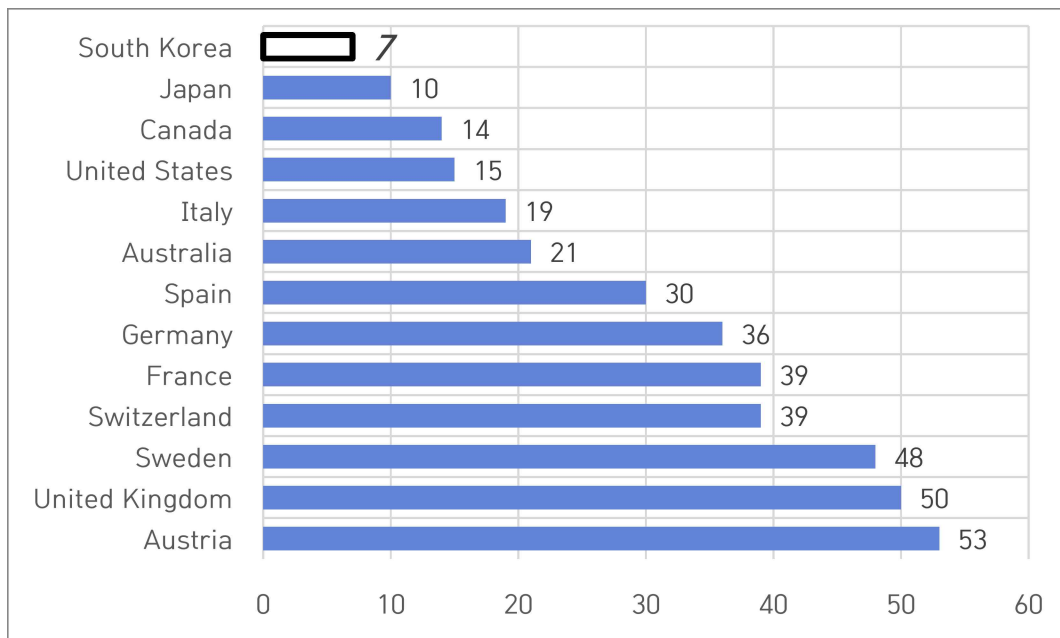
26) 초고령사회와 고령사회는 국가 내 만 65세 이상 인구의 비율을 기준으로 각각 20%와 14% 이상인 경우를 의미함.

27) 지역의 인구 증감은 출생과 사망이라는 자연적 증가 및 감소와 전입과 전출이라는 사회적 증가 및 감소로 설명됨.

에 노출되어 있으며, 이는 지역 거주민이 받는 공공서비스로의 지출 감소로 이어지고 있다(조임곤, 2020). 이처럼 인구감소 지역이 사용할 수 있는 재정의 악화는 공공시설 및 서비스 질 저하로 이어져 해당 지역에서 인구 유출이 반복하여 일어날 수 있고(제현정, 2019), 이는 곧 지역 내 공공서비스 유지를 위한 비용 증가로 이어진다(박종철, 2011). 이러한 사회적 비효율성의 증가는 인구감소 대응 방안 마련의 시급성을 강조한다.

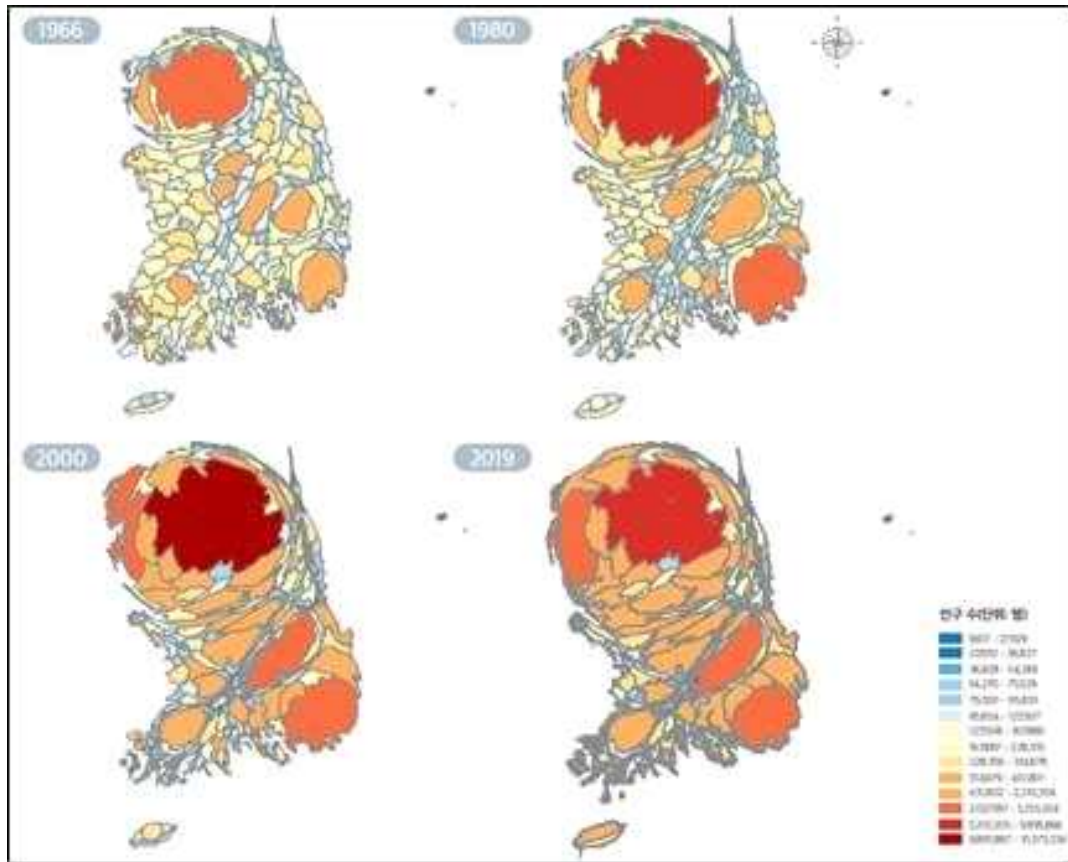
우리나라 인구감소 문제는 지역 인구의 사회적 증감인 인구의 유출입에 기인하고 있으며(이상림 외, 2018; 조임곤, 2020), 비도시 지역 인구의 사회적 감소세는 지방소멸의 주요인으로 작용하고 있다. 우리나라 인구의 자연 및 사회적 감소세는 비도시 지역을 중심으로 급격한 인구구조 변화를 초래하고 있으며, 농산어촌 인구 과소화로 이어져 지역 내 취락(聚落)의 소멸로 이어지는 원인으로도 꼽히고 있다(이정섭·김정환, 2014; 한주성, 2018). 특히 인구이동 흐름은 지역 인구구조 변화 요인임과 동시에 지방소멸을 가속하는 요인으로도 언급되고 있다(이상호, 2018; 고문익·김결, 2021).

그림 3-1. 국가별 고령사회 진입 이후 초고령사회 도달 소요 연수 전망



자료: 통계청 (2022)을 참고하여 재구성함.

그림 3-2. 카토그램과 단계구분도 기법을 활용한 인구분포 추이



출처: 김태환 외 (2020)

이러한 위기에 대해 우리나라 정부는 2021년 10월 인구감소지역²⁸⁾을 선정하여 인구감소 대응을 위한 행정 및 재정적 지원을 2023년 1월 1일부터 시행 중이다. 한편, 기존에 국토교통부와 행정안전부에서 각각 성장촉진지역²⁹⁾과 특수상황지역³⁰⁾ 지원사업을 시행하고 있다는 점은 인구감소 및 지방소멸 문제가 비용 측면의 비효율성으로 이어질 여지가 존재함과 동시에 해당 사안이 복합적임을 시사하기도 한다. 인구감소 문제가

28) 지역 인구감소 위기에 따라 국가균형발전특별법에 근거하여 행정안전부에서 인구감소지수를 기준으로 지정하였으며, 첫 선정에 총 39개의 시군구가 선정됨.
 29) 생활환경 및 개발의 수준이 저조한 지역을 대상으로 지역의 자립적인 발전을 지원하는 사업으로 2009년 최초 지정된 후, 5년을 주기로 재지정하고 있음.
 30) 도서 및 군 접경지역과 같이 상대적으로 개발에 제약이 많은 지역을 대상으로 정주 여건 개선 및 지역경제 활성화 도모를 목표로 이루어지는 지원사업임.

인구의 사회적 증감인 인구이동과 밀접한 관련이 있다는 점에서 본 연구는 우리나라 인구이동 현상을 지역의 인구감소 문제와 같은 맥락의 사회적 재난 중 하나로 여길 근거가 충분하다고 판단하였다.

우리나라의 지역 인구감소 문제와 지역 내 생활 편의시설 간 연관성은 특히 농촌지역에서 경험적으로 식별되고 있다. 한이철 외(2022)는 농촌지역을 대상으로 인구감소와 거주민 생활과 밀접하게 관련된 시설 수의 변화를 2010년부터 2020년까지를 대상으로 살펴봄으로써 인구감소에 따른 농촌 면(面) 지역의 생활 서비스 임계인구를 산출하였다. 분석 결과, 면 인구 규모가 3천 명 이하로 줄면 지역의 보건의료 시스템에, 2천 명 이하로 줄면 식당, 제과점, 세탁소, 이·미용실 등이 폐업하기 시작하는 것으로 나타났다. 이는 더 나은 서비스와 주거 환경을 원하는 기존 거주민이 도시로 이동하게 되는 결과로 이어져 농촌은 다시 인구가 줄어들게 되는 부정적인 순환 고리 형성으로 이어졌음을 언급하였다. 한이철 외 (2022)의 연구 결과는 곧 인구감소로 인한 지방재정의 위협이 지역 내 공공서비스로의 지출을 감소시키고(조임곤, 2020), 공공시설 및 생활 편의 서비스 수준의 저하를 초래하게 되어 결국 인구의 유출이 다시 발생할 수 있음(제현정, 2019)을 언급한 관련 문헌들의 주장을 경험적으로 뒷받침하고 있다.

본 연구는 국가 주도의 다양한 지원사업이 시행됨에도 불구하고 우리나라 인구이동 현상이 지속되고 있다는 점에서 인구이동 현상과 지역 특성 간의 관계를 다각적으로 살펴보고자 한다. 이를 위해 개인의 거주지 선택에 있어 주요인으로 다루어진 지역의 경제적 요소와 함께 인구구조, 공공시설 관련 요소들을 분석의 변인으로 활용한다. 또한, 우리나라 인구감소 대응 전략 중 하나인 인구감소지역, 성장촉진지역, 특수상황지역과 같은 사업에서 중점적으로 지원하는 요소인 공공시설 및 생활 편의시설 관련 요소들을 변인으로 활용한다. 우리나라 인구이동 현상과 지역 특성 간 관계를 다각적으로 살펴보기 위해 본 연구는 기계학습 접근법을 적용하여 인구이동을 시군구 단위에서 예측하고, 이에 대한 이해를 높이고자 설명 가능한 인공지능 방법론을 활용하여 모델 판정 근거를 확인한다.

궁극적으로 이 연구는 인구감소 대응을 위한 정부 주도의 관련 정책 및 사업 요소들이 향후 유의미한 역할을 할 수 있는지 지역 단위 인구이동 예측과 예측 모델의 판정 근거를 해석함으로써 위 사업 시행의 당위성을 평가할 것이다.

제 2 절 인구이동, 인구감소와 지역 간 격차

인구이동, 지역 인구 유출입은 지역의 경제적 특성에서부터 인구구조와 같은 인구·사회학적 특성, 노동 및 주택 여건, 사회기반시설 및 공공서비스의 질 등 다양한 특성에 영향을 받는다 (Champion et al., 1998; Plane and Heins, 2003; Andrienko and Guriev, 2004; Ghatak et al., 2008; Etzo, 2011; Simini et al., 2012; Cavalleri et al., 2021; Wiśniewski et al., 2021). 인구이동에 관한 연구는 토다로(Todaro)와 티부(Tiebout)의 가설에 근간을 두고 있다. 각 연구는 개인 거주지 선택에 있어 민간과 공공부문 중 어느 부문에 초점을 두어 인구이동을 설명³¹⁾하는지에 있어서 차별적이다. 인구이동에 관한 연구들은 앞선 두 모형의 개념을 토대로 인구이동 가설을 확장하고, 물리학 이론³²⁾을 적용하여 인구이동에 관한 이해를 다양한 측면에서 제고하고 있다.

우리나라 인구이동 현상은 다른 국가와 비교할 때 차별적인 특징을 보이며, 오랜 기간 국가 차원의 노력 투입에도 관련 문제가 지속하여 발생하고 있다. OECD 국가를 대상으로 지역 간 인구이동(Inter-regional migration)을 실증적으로 분석한 Cavalleri et al. (2021)은 우리나라 인구

31) 토다로 모형은 지역 간 기대소득의 차이에 의해, 티부 모형은 정부에 의해 공급되는 공공서비스에 의해 인구이동이 이루어질 수 있음을 언급하고 있음(Tiebout, 1956; Harris and Todaro, 1970).

32) 대표적으로 뉴턴의 중력모형(Gravity Model) 개념에 착안하여 개발된 확장된 중력모형과 에너지 입자나 파동이 진공을 통과하는 과정을 연구하기 위해 등장한 방사모형(Radiation Model)에 착안한 확장된 방사모형이 존재함(Andrienko & Guriev, 2004; Ghatak et al., 2008; Etzo, 2011; Simini et al., 2012; Robinson et al., 2020; Alis et al., 2021)..

이동은 다른 국가와 달리 부동산 가격과 임금 수준이 견인하고 있음을 언급하였다. 한편 국내에서의 인구이동 연구들은 다양한 범위에서 인구 감소와 인구이동을 다루고 있으나, 대체로 분석의 공간적 범위를 수도권 내 시군구 지역, 수도권 및 비수도권 간의 비교를 대상으로 하는 등 특정 권역 및 지역에 초점을 두어 인구이동 또는 인구 증감과 지역 특성 간의 연관성에 대해 다루었다(이현재, 2014; 이찬영·문제철, 2016; 이정록, 2020; 조대현, 2020; 김우영·김만규, 2021). 이는 우리나라 인구이동이 수도권 및 비수도권 간의 이동뿐만이 아닌 비수도권 지역 간에서도 불균형하게 나타나고 있다는 점(이상림 외, 2018)을 충분히 고려하지 못한다. 우리나라 인구감소 및 인구이동은 복합적으로 얽힌 지역 내 사회·경제적 요인에 의한 결과로, 지역 간 불균형을 심화시키는 요인이다(이희연·박정호, 2009; 구양미, 2021). 이는 곧 현재와 같은 인구이동의 양상이 지속하게 된다면 향후 지역 간 격차는 가속화될 것을 의미한다.

국가균형발전 정책과 지역 개발 사업의 시행을 통해 우리나라 정부의 인구감소에 관한 관심과 노력을 엿볼 수 있으나, 그 효과에 대한 평가는 대체로 긍정적이지 못하다. 비수도권 지역으로 공기업과 공공기관의 이전을 목표로 시행되었던 혁신도시 개발사업과 세종시 및 통합 창원시의 출범은 대표적인 우리나라 지역 균형 발전정책이다. 이러한 국가적 투입에 대해 김우영·김만규(2021)는 진주시를 대상으로 한 연구에서 도시의 인구 증가 측면에서는 효과가 있었으나, 생산인구 유입에 있어 그 효과가 다소 미흡하다는 점을 언급하였다. 임석희·송주연(2020)은 마산, 창원, 진해시의 행정구역 통합 효과가 유의미하지 않음을 밝히며, 오히려 지역 거주민의 부정적 인식이 확대되었음을 언급하였다. 이지현·전명진(2018)은 세종시 출범 이후 5년간의 누적 순 유입인구를 살펴본 결과, 이들 중 절반 이상이 대전 및 충청권에서 유입되는 등 수도권 인구 분산에 주목적을 두었던 세종시 출범의 효과가 미미한 수준에 그쳤음을 언급하였다. 이처럼 국가균형발전정책이 오랜 기간 시행되었음에도, 수도권으로의 인구 집중 및 농산어촌 지역의 인구 유출 현상을 완화하지 못하였다는 점은 위 정책을 비롯한 관련 정책의 효과가 미비하였음을 암시한다.

지역 간 격차 해소 및 인구감소 대응을 목적으로 우리나라 정부는 2018년 생활 사회간접 자본(Social Overhead Capital, 이하 생활 SOC)³³⁾ 개념을 도입한 후 기초생활인프라 국가적 최저기준을 수립하여 낙후지역 중심의 지역 개발 사업 시행 시 관련 지표로 활용하고 있다. 해당 지표는 국토교통부에서 관리하는 성장촉진지역 선정 과정과 통계 지리정보서비스를 통해 제공되고 있는 살고 싶은 우리 동네 서비스에도 활용되고 있다. 해당 지표에 대한 개념이 기존의 국가균형발전정책 하위 지표의 개념과 비교해 상대적으로 최근 도입되어 활용되고 있다는 점에서 관련 연구들은 대체로 생활 SOC 지표 및 정책의 보완 필요성을 언급하거나(구형수, 2018; 조희은·남지현, 2019), 관련 서비스에 대한 공간적 형평성을 분석(이혜령 외, 2020; 정윤남 외, 2020)하는 정도에 그치고 있다.

우리나라 인구이동에 관한 기존 문헌은 인구감소 대응을 위하여 기존에 수립되고 시행되었던 정책 및 사업에 대한 보완의 필요성을 강조한다. 또, 지역 거주민의 관점에서 낙후도 체감 지표라 칭해지고 있는 생활 SOC 관련 연구가 현재까지 제한적이라는 점에서 관련 지표를 비롯하여 관련 문헌을 통해 다뤄진 지역 특성들을 활용하여 우리나라의 인구이동 현상을 이해하는 것은 복잡성을 띠는 인구이동 현상에 대한 이해를 개선하기 위한 노력으로써 의의가 있음과 동시에 인구감소 대응 전략을 장기적 측면에서 개발하는 데 기여할 수 있다. 이를 위해 본 연구는 지역의 다양한 특성을 활용하여 인구이동을 예측하고, 예측 결과에 관한 판정 근거를 해석함으로써 향후 인구감소 대응을 위한 관련 정책 및 사업에 고려되어야 할 지역 특성이 무엇인지 살펴본다.

33) 사회기반시설의 다른 용어로 경제 활동이나 일상생활을 원활하게 하기 위해 간접적으로 필요한 시설로 정의됨. 해당 시설은 고속도로, 항만, 공항과 같은 대규모 SOC와는 다른 개념으로 국민 생활 편의 증진시설 및 삶의 기본 전제가 되는 안전시설 등을 의미함(대한민국 정책브리핑, 2018).

제 3 절 연구 방법론

1. 기계학습 접근법의 적용

우리나라의 인구이동이 지역 간 격차와 비도시 지역의 인구감소 등과 상호 연결되어 있다는 점은 인구이동 양상이 더욱 다양한 측면에서 이해되어야 할 필요성을 강조한다. 인구이동 현상 이해를 위한 노력은 대체로 중력모형의 개념에 근간을 두고, 전통적인 회귀분석 방법론에 기반을 둔 실증연구의 형태로 이루어지고 있다. 중력모형 기반 연구는 두 지역 간 물리적 거리와 지역 내 총인구와 같은 변수를 대표적으로 활용한다. 한편, 전통적인 회귀분석 방법론의 적용은 선형성 가정 등과 같은 기술적인 이유에 기인하여 활용할 수 있는 변인 개수 또는 종류의 제약 등으로 이어진다. 이는 해당 연구의 분석 결과를 통해 도출될 수 있는 시사점이 상대적으로 제한적일 수 있다는 것을 의미한다.

한편, 예측을 목적으로 하는 기계학습 접근법은 선형 모델과 달리 잔차의 정규성 및 등분산성, 독립성과 변수 간 선형성의 가정에서 자유롭다는 특징을 가진다. 기존의 선형 모델은 변수들의 선형 조합을 기반으로 연관성 또는 인과성 추론을 목적으로 하며, 계수 값을 추정할 때 최대우도법(Maximum likelihood method)을 사용한다. 이는 정규분포에 기반하므로 잔차의 정규성이 필요하다. 또한 추정된 계수가 1종 오류를 범하지 않도록 잔차의 독립성이 필요하다³⁴⁾. 또한, 추정된 계수의 2종 오류³⁵⁾를 범하지 않기 위해 분산을 팽창시키는 잔차의 등분산성을 위배하지 않도록 해야 한다.

이와 달리, 기계학습 모델은 변수의 특성에 따라 오차가 최소화되는 방향으로 학습하는 방식의 예측을 목적으로 한다. 즉, 모델 내 변수들의 특성에 따른 경계선을 기준으로 여러 방향에서 분류를 진행하여 결과를

34) 잔차 독립성의 위배는 추정 계수의 분산을 감소시켜 t-통계량을 팽창시키기 때문임.

35) 2종 오류는 변수들의 높은 상관성에 의해 분산이 팽창하는 다중공선성과도 연관이 있어, 이 또한 기존 선형성을 가정한 방법론에서는 유의할 사항임.

산출하므로 선형 조합을 가정하지 않는다. 이러한 특성으로 인해, 단일 또는 다수의 직선으로 데이터를 설명하려는 선형 모델보다 기계학습 기반 모델들이 이상치에 상대적으로 강건하다는 장점이 존재한다. 또한 특정한 계수 값을 도출하는 것을 목표로 하지 않으므로 선형 모델과 달리 정규성을 가정하지 않으며, 해당 계수 값의 효율성을 담보하거나 좁은 신뢰구간을 구하기 위해 잔차의 등분산성이나 독립성을 가정할 필요가 없다. 이와 더불어, 기계학습에서 여러 모델의 기반이 되는 의사결정나무(Decision tree) 알고리즘은 임의의 변수를 순차적으로 투입하여 데이터를 분류한다. 즉, 투입된 모든 변수가 동시에 사용되지 않아 다중공선성의 문제가 발생하지 않으며, 의사결정나무에서 앙상블(Ensemble) 기법으로 파생된 모델들(Random Forest, Xgboost 등)은 붓스트랩(Bootstrap)으로 개별 변수를 포함하는 독립적인 나무들을 생성하여 학습을 진행하므로, 이 또한 다중공선성 문제가 발생하지 않는다(Piramuthu, S. 2008; Ma, J., & Cheng, J. C. 2016; 김인호 & 이경섭, 2020; de Prado, M. M. L. 2020; Ma, J., et al., 2020). 이러한 특징을 통해 다수의 선행연구는 기계학습 기반의 모델들이 기존의 계량경제 선형모델보다 예측의 영역에 있어 우수하다는 점을 밝힌 바 있다(Singal, A. G. et al., 2013; Herrera, G. P et al., 2019; Basu, R., & Ferreira, J. 2020; Pérez-Pons, M. E, et al., 2022).

인구이동이 지역 내 다양한 요소와 연관되어 있음이 관련 연구들을 통해 밝혀진 것을 고려하여 본 연구에서는 더욱 다양한 지역 특성 자료를 활용하고자 한다. 이를 위해 강력한 비선형 모델인 기계학습 접근법을 적용하여 우리나라 인구이동을 예측하고 예측 결과를 설명 가능한 인공지능 방법론을 토대로 해석함으로써 우리나라 인구이동을 분석한다. 나아가, 본 연구의 결과를 토대로 향후 인구감소 대응을 위한 관련 정책 수립 및 사업 시행 등에 활용될 수 있는 유의미한 시사점을 도출한다.

2. 극한 그래디언트 부스팅 기법

기계학습 접근법이 지니는 기술적 장점에 착안하여 본 연구에서는 우리나라 인구이동을 분석하기 위한 분석 방법론으로 기계학습 모델을 사용한다. 일반적으로 회귀와 분류에 높은 성능을 보이는 것은 트리기반의 기계학습 모델로 알려져 있다. 가장 기본적인 모델은 의사결정나무(Decision-tree)로, 각 노드(Node; 잎사귀) 내 불순도를 최소화하는 방식으로 분기해 종속변인의 예측값을 산출한다. 그러나, 단일 의사결정나무의 경우, 분기 중 오류가 발생하면 이를 수정하지 않고 분기를 지속해 결과값에 영향을 주는 단점이 존재한다.

이에 대한 해결책으로 여러 나무를 조합하여 결정하는 앙상블(ensemble) 기반의 배깅(bagging)³⁶, 부스팅(boosting)³⁷ 알고리즘이 존재한다. 본 연구에서는 이전 나무의 결과(잔차)를 다음 나무에 학습시켜 최적의 모델을 찾는 부스팅 알고리즘 기반 모델인 극한 그래디언트 부스팅 기법(Extreme Gradient Boosting, 이하 XGB)³⁸을 사용하고자 한다.

Chen and Guestrin (2016)에 의해 도입된 XGB의 학습은 목적 함수 $L(\Phi)$ 를 최소화하는 방향으로 이루어진다. 목적함수는 관측치(y_i)와 예측치($\hat{y}_i, p_i^0 + \eta * O_{value(i)}$)의 차이로 나타낸 손실함수(Loss function)와 규제항으로 구성되며, 예측치는 과적합을 방지하기 위해 $[0,1]$ 을 범위로 하는 학습률(η)³⁹을 포함한다. 이때 p_i^0 는 모든 나무에서 관측치마다 공통으로 갖는 초기 예측치⁴⁰이며, $O_{value(i)}$ 는 나무 내 특정 관측치에 대한 출력치(Output value)로 이는 과적합을 방지하기 위한 학습률과 더불어 특정

36) 같은 유형의 알고리즘 학습기가 각각 다른 학습 데이터셋을 학습한 후 투표를 통해 최종 예측 결과를 결정하는 과정을 의미함.

37) 여러 개의 약한 학습기가 순차적으로 학습 후 예측하는 과정에서 잘못 예측한 데이터에 가중치를 부여함으로써 오류를 개선해 나가는 학습 방식임.

38) 회귀, 분류 및 순위 지정 등 다양한 예측 모델링 문제에 사용되는 앙상블 기계 학습 알고리즘임(Chen and Guestrin, 2016).

39) 값이 낮을수록 과적합 방지에 적합함.

40) 초기 예측치는 임의의 값으로, 본 연구에서는 0.5로 가정함

관측치에 대한 예측값의 구성요소이다. 다음의 식 2-1과 같이 목적함수는 $O_{value(i)}$ 에 대한 이차함수로 정리되며, 모델의 분기(학습)는 특정 기준(관측치별 변인 특성)에 따라 관측치가 분류되어 속한 노드의 목적함수를 최소화하는 $O_{value(i)}$ 를 찾는 방식으로 진행된다. 즉, 이전 나무의 학습 결과가 다음 나무에 영향을 미치므로, 첫 나무의 예측치로 계산된 잔차는 새로운 나무의 초기 예측치에 영향을 주어 상대적으로 잔차를 줄일 수 있는 나무를 구축한다. 이러한 방식의 학습은 최소 잔차가 도출할 수 있는 나무가 구축될 때까지 진행된다. 즉, 특정 관측치에 대한 예측값은 각 관측치가 속한 노드의 $O_{value(i)}$ 와 p_i^0 로 구성되며, 목적함수 $L(\Phi)$ 이 최소화될 때까지 갱신되어 최종적으로 최적 예측값을 산출한다. 이들을 본 연구의 단위에서 해석하면 y_i 와 \hat{y}_i 는 각각 i 번째 시군구의 실제 순 이동자 수 및 예측 순 이동자 수로 볼 수 있다. 또한 p_i^0 는 i 번째 시군구의 초기 예측값으로, $O_{value(i)}$ 는 투입 변인의 기준값(예를 들어, 지역의 작년 인구수)에 따라 i 번째 시군구가 분류된 노드에서 \hat{y}_i 를 산출하기 위해 같은 노드에 속한 시군구들의 잔차와 개수로 계산되는 값으로 볼 수 있다.

$$L(\Phi) = \sum_{i=1}^n L(y_i, p_i^0 + O_{value(i)}) + \frac{1}{2} \lambda O_{value(i)}^2 \quad \text{식 2-1}$$

$$= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n [y_i - (p_i^0 + O_{value(i)})]^2$$

$$Regularization \ term = \frac{1}{2} \lambda O_{value(i)}^2$$

$$O_{value(i)} = \frac{\text{Sum of residuals of Node}}{\text{Number of residuals of Node} + \lambda}$$

이를 한 나무 내 분기로 살펴보면 최적의 $O_{value(i)}$ 는 각 노드가 유사한 잔차를 가진, 즉 유사한 값을 가진 관측치들을 군집화하는 과정에서 도출된다고 할 수 있다. $O_{value(i)}$ 를 2계 테일러 근사하면, 분자가 잔차의 제곱항으로 정리될 수 있는데, 이러한 근사값을 유사성 점수 (Similarity

score)라고 한다. 이에 따라 모델의 분기를 각 노드의 유사성 점수와 특정 변인의 값을 기준으로 관측치들을 나누어 얻을 수 있는 획득 점수 (Gain score)에 따라 진행할 수 있다. 유사성 점수는 잔차가 유사한 관측치들을 같은 노드에 배정하여 계산한다. 초기 분기의 경우 특정 변인 내 첫 관측치와 두 번째 관측치가 가지는 임의의 값을 기준으로 이루어진다. 이후 뿌리 노드와 하위 노드들의 유사성 점수에 기반하여 획득 점수를 도출한다. 이때 초기 분기의 경우 임의의 값을 기준으로 이루어졌으므로 두 번째 관측치와 세 번째 관측치 사이의 값을 기준으로 다시 분기하여 획득 점수를 도출한다. 이와 같은 작업을 반복하여 가장 큰 획득 점수를 갖게 하는 변인의 값이 분기의 기준이 된다. 이러한 방식으로 매 단계에서 분기 특정 변인의 기준값을 변경하며 분기가 이루어지며, 이는 특정 단계의 분기에서 산출된 획득 점수의 값이 이전 분기의 값보다 작을 때까지 지속된다. 한편, 모델의 과적합(Over-fitting) 방지는 λ 와 획득 점수에 γ 를 제한 값을 기준으로 진행된다. 이때 λ 값은 규제 정도로서, 해당 값이 클수록 획득 점수의 값을 축소해 분기 정도를 규제하는 역할을 한다. 즉, λ 는 나무의 복잡도를 제어하고 과적합을 방지한다. 이와 달리 획득 점수에 γ 를 제한 값이 음수일 경우, 가지치기 방식으로 노드를 잇는 가지를 제거하는 역할을 하여 복잡도를 제어하고 과적합을 방지한다.

$$\text{Similarity score} = \frac{\text{Squared Sum of residuals of Node}}{\text{Number of residuals of Node} + \lambda}$$

$$\text{Gain score} = \text{Similarity score}_{\text{Left Node}} + \text{Similarity score}_{\text{Right Node}} + \text{Similarity score}_{\text{Root Node}}$$

그래디언트 부스팅 기반 모델들은 잔차($y_i - \hat{y}_i$)를 줄이는 방향으로 (손실함수를 최소화하는 방향으로) 자료를 학습하여 최적의 모델을 만든다. 그러나, 일반 그래디언트 부스팅 머신(Gradient Boosting Machines, 이하 GBMs)은 식 2-2와 같이 손실함수 내 정규화 항(λ , Regularization

term)이 없으므로, 과적합(Over-fitting)의 위험성이 존재한다. 반면, XGB의 경우 기본적으로 정규화 항을 통해, 모델이 데이터의 복잡한 분포에 대해 필요 이상으로 학습하여 손실함수 값이 지나치게 줄어드는 것을 지양하는 방식으로 과적합을 방지하고, 이를 통해 일반화를 도모한다(식2-3). 이와 더불어 XGB는 병렬처리 기능으로 인해 GBMs보다 연산 속도가 빠르며, 자체 내장된 교차검증(Cross-validation)을 통해 최적화된 반복 학습 횟수 지정이 가능하다는 장점이 존재한다. 이러한 특성에 기반하여 본 연구에서는 해당 알고리즘을 통해 지역별 특성에 따른 순 이동자 수 예측을 반복적으로 실시하고, 각 예측 횟수마다 오차가 최소화되는 방향으로 검증과 학습을 진행하는 과정을 거쳐 더욱 정확한 지역별 순 이동자 수 예측 모델을 구축하고자 한다.

$$\sum_{i=1}^n L(y_i - \hat{y}_i) \quad \text{식 2-2}$$

$$\sum_{i=1}^n L(y_i - \hat{y}_i) + \frac{1}{2} \lambda (\text{Output Value})^2 \quad \text{식 2-3}$$

$$L(y_i - \hat{y}_i) = \frac{1}{2} (y_i - \hat{y}_i)^2$$

3. 설명 가능한 인공지능 샤프

Lundberg and Lee (2017)에 의해 소개된 샤프(Shapley Additive Explanations, 이하 SHAP)는 인공지능(Artificial Intelligence; 이하 AI) 기반 모델의 신뢰성을 보완하기 위해 만들어진 게임이론 기반의 모델 예측 근거 해석 방법이다. 기계학습 모델과 같은 인공지능 기반 모델은 예측에 있어 높은 성능을 나타내지만, 모델 내부의 복잡도로 인해 예측에 대한 근거를 제공하는 데 한계가 존재하였다. 이러한 점으로 인해 인공지능 기반 모델이 시스템에 적용되면 효율성은 높을 수 있으나, 상대적으로 낮은 신뢰성이 문제가 될 수 있다는 지적이 있었다. 이에 이러한

한계를 극복하고 인공지능 기반 모델의 메커니즘을 설명하고자 하는 설명 가능한 인공지능(Explainable AI, 이하 XAI)에 관한 연구가 진행되고 있다(Ribeiro et al., 2016; Gunning et al., 2021). SHAP 또한 XAI의 한 방법으로써 모델의 예측 근거를 보여주며, 이를 통해 변인 간 비선형 관계를 분석할 수 있다는 장점이 있다.

모델 해석의 근거로 SHAP를 사용하는 것에 있어 장점 중 하나는 모델 해석 결과의 신뢰성이다. 일반적으로 앙상블 기반의 기계학습 모델은 자체적으로 변인의 중요도를 제시할 수 있는 알고리즘을 내장하고 있다. 그러나 이는 특정 기준에 따라 변인의 중요도가 제시될 수 있는지에 따라 결과가 달라질 수 있다는 단점이 존재한다. 일례로 본 연구에서 사용한 XGB는 Gain score, Cover, Weight⁴¹⁾에 따라 변수 중요도를 제시할 수 있는데, 각 기준에 따라 변수의 중요도가 달라지므로 XGB에 내장된 변수 중요도 산출 방식은 일관성이 결여되어 있다 할 수 있다(Lundberg et al., 2018). 이와 달리 SHAP는 각 변수의 기여도를 보여주는 샐플리 값(Shapley value, $\varphi_j^{(i)}$)을 제공하는 데, 이는 모델의 예측에 있어 특정 변수의 기여도를 보여주어 최종적으로 변수의 중요도를 측정할 수 있게 한다.

샐플리 값은 게임이론에 기반하여 계산되므로 목표(Goal)는 예측이며, 게임의 참여자(Player)는 각 변수, 보수(Payoff)는 각 변수의 기여도로 설정된다. 이때 기여도는 어떠한 값을 예측할 때 특정 변수가 포함되었을 때의 예측치와 포함되지 않았을 때의 예측치를 가중 평균하여 계산된다. 이와 같은 접근을 통해 샐플리 값은 변수별 중요도 판정에 있어 신뢰성 있는 결과를 제공해준다. 이를 본 연구의 분석 단위에 적용하여 해석하면 i 번째 시군구의 순 이동자 수를 예측할 때, 모든 투입 변인 전체 집합(F)과 특정 변인(j , 예를 들어 시군구별 의료시설 수)를 제외한 집합(S)이 i 번째 시군구의 순 이동자 수 예측에 대한 특정 변인의 기여도($\varphi_j^{(i)}$)를 계산하는데 기준이 된다고 할 수 있다. 이를 기반으로 특정 변

41) Gain score와 Cover는 특정 변인이 기준이 되어 분류한 관측치 수를, Weight는 특정 변수가 분류 기준이 된 횟수를 의미함.

인을 포함한 집합의 특정 시군구 순 이동자 수에 대한 예측 기여도 ($f_{(S \cup \{j\})}(x_{(S \cup \{j\})}^{(i)})$)에서, 특정 변인(j)을 제외한 집합의 특정 시군구 순 이동자 수에 대한 예측 기여도($f_s(x_s^{(i)})$)를 감하여 특정 변인의 i 번째 시군구 순 이동자 수 예측에 대한 기여도($\varphi_j^{(i)}$)를 산출하는 것이다. 이와 같은 과정은 식 2-4로 표현될 수 있다.

$$\varphi_j^{(i)} = \sum_{S \subseteq F \setminus \{j\}} \frac{|S|! (|F| - |S| - 1)!}{|F|!} (f_{(S \cup \{j\})}(x_{(S \cup \{j\})}^{(i)}) - f_s(x_s^{(i)})) \quad \text{식 2-4}$$

이에 본 연구에서는 샤프리 값을 사용하여 XGB 모델의 판정 근거와 비선형적 관계, 변인의 중요도를 해석한다. 또한 XGB 모델이 나무 기반의 모형이므로 Lundber et al. (2018)에서 제시된 바와 같이 Tree SHAP를 통해 샤프리 값을 계산한다. 본 연구에서는 샤프리 알고리즘의 특성에 기반하여 지역별 순 이동자 예측에 있어 변인의 중요도 및 방향성을 밝히고자 한다. 또한 이를 선행연구와 비교 분석하여, 모델 예측 결과의 신뢰성을 확보하고자 한다.

제 4 절 자료 및 변인

1. 연구 범위

본 연구에서는 2010년부터 2019년까지 10개년을 시간적 범위로, 우리나라 전국 229개 시군구를 공간적 범위로 한다. 지방자치제도를 시행하지 않는 일반구⁴²⁾를 제외한 우리나라 시군구 229개를 분석의 공간적 범위로 선정한다. 또, 인구이동으로의 코로나19 영향을 배제하기 위해 분석

42) 우리나라 행정구역인 자치구와 구분되며, 일반구는 자치구와 달리 지방자치제도를 시행하지 않는, 즉 자치권이 없는, 상위 행정기관에 속한 기관임.

의 시간적 범위를 2010년부터 2019년까지로 선정한다.

인구이동의 범위에 있어 본 연구는 개인의 거주지 이전이 기존 생활 지역인 시군구의 경계를 벗어나는 경우로 한정한다. 즉, 시군구 내부의 이동은 분석에서 배제한다. 이는 지역의 인구감소 문제와 직접적으로 연관된 인구이동은 기존 거주지를 벗어나 다른 특성을 가진 지역으로 이동하는 특징이 있으며(이상림 외 2018), 내부 이동은 주거비용 및 주거 쾌적성과 같은 주택 요인과 밀접한 관련이 있기 때문이다(최대식·김태균, 2009; 조대현, 2020).

본 연구에서 우리나라 인구이동 분석을 위해 연령대를 기준으로 분류한 지역 단위의 순 이동자 수를 대상으로 분석을 진행한다. 우리나라 인구이동 관련 연구들은 거주지 선택에 있어 이동 주체인 개인의 나이 또는 성별에 따라 이동 양상이 다르며, 동일 지역 특성에 대해서도 서로 다른 연관성을 갖고 있음을 언급하였다(이성우, 2002; 홍성호·유수영, 2012; 이찬영, 2018; 김진석·김의준, 2021; 구양미 2021). 이러한 점을 고려하기 위해 지역 단위의 순 이동자 수를 전체, 20대, 30대, 40대, 50-64세, 65세 이상으로 구분한다.

2. 분석 자료

우리나라 인구이동 분석을 위한 자료 구축을 위해 본 연구에서는 국가통계포털(KOSIS)과 마이크로데이터통합서비스(MDIS)에서 제공하는 자료들을 활용하였으며, 일부 자료에 있어 각 지자체 통계연보도 활용하였다. 먼저, 시군구 단위의 순 이동자 수, 지역내총생산(Gross Regional Domestic Product, GRDP), 주민등록연앙인구, 주거·상업·공업지역 면적은 국가통계포털을 출처로 하며, 산업별 종사자 수 및 사업체 수는 마이크로데이터통합서비스에서 제공되는 전국사업체조사(NES)를 출처로 한다. 마지막으로, 시군구 단위 주택 수와 아파트 주택 수는 지자체 통계연보를 출처로 한다.

3. 변인 설명

우리나라 인구이동을 분석하기 위해 본 연구에서는 순 이동자 수를 종속변인으로 하며, 인구이동을 주제로 한 국내외 연구들이 활용한 변인 일부를 독립변인으로 선정하여 분석에 활용한다. 지역의 인구 유출입의 요인에 관해 본 연구에서는 경제·주택·노동 관련 변인과 함께 인구구조, 건조환경, 생활 편의시설로 분류될 수 있는 변인들을 고려하여 총 42개의 독립변인을 선정하여 분석에 활용한다. 본 연구에서 활용한 변인들은 다음의 표 3-1을 통해 확인할 수 있다.

본 연구에서 우리나라 인구이동 분석을 위해 활용한 종속변인은 지역 단위 순 이동자 수로 연령대를 기준으로 세분화하여 분석을 진행한다.

국가 내 인구이동에 관한 실증 연구들을 통해 인구이동과 지역 특성 간의 관계는 국가에 따라 서로 다르게 나타나고 있다(Cavalleri et al., 2021). 이는 국가 내부 인구이동은 독립변인 선택에 있어 국가별 맥락을 참고해야 함을 시사한다. 본 연구는 국가 내 지역 단위의 인구이동을 다룬 연구에서 독립변인으로 활용한 변인 일부를 우리나라 사례에 맞게 재구성한 후 활용한다. 먼저, 인구이동을 이해하기 위해 활용한 지역의 경제적 변인은 지역 내 총생산(*GRDP*)과 1인당 *GRDP*(*grdper*)다. 인구이동 연구에 있어 소득과 관련한 변인의 중요성은 강조되어야 마땅하나, 가용한 자료 구득 한계로 위 변인들을 지역의 경제적 특성을 반영하는 변인으로 선정하였다⁴³. 경제 지표에 이어 본 연구에서 주택 요소를 대리하기 위해 활용한 변수는 지역 내 총주택수(*htot*)와 아파트 비율(*hapt_r*)이다. 주택 가격 역시 인구이동에 있어 유의미한 연관성을 갖는다는 것은 관련 문헌들을 통해 밝혀졌다. 하지만 관련 문헌들의 분석 결과가 일관되지 못하고, 우리나라 주택시장만이 갖는 전세 제도와 같은 특성을 고려할 때 우리나라 인구이동 현상을 제대로 이해하기 위한 변인

43) 국세청에서 제공하는 지역별 근로소득 신고현황 자료가 존재하나, 가용한 통계 자료의 공표가 2016년부터 이루어지고 있으므로 사용이 불가함.

으로 활용하는 것에 있어 제한적인 역할을 수행할 것으로 판단하여 제외하였다. 먼저 우리나라 지역 간 인구이동을 살펴본 Cavalleri et al (2021)에서는 높은 주택 가격이 인구 유입을 이끌고 있음을 밝혔으나, 우리나라 특성상 큰 규모의 인구가 유입되는 수도권 지역의 주택 가격이 다른 지역과 비교하여 상대적으로 높다는 점을 고려할 때 해당 변인의 활용은 분석 목적상 적절하지 못할 것으로 판단하였다. 또한, 아파트 공급이 집중된 곳으로의 순 이동이 증가하였다는 조대현 (2018)의 분석 결과는 아파트 비중을 주택 변인으로 활용하는 것이 주택 가격보다 인구이동을 이해하는 것에 더욱 적합할 것으로 판단하였다.

본 연구에서 활용한 지역의 노동 지표는 총 다섯 개로 지역 내 노동여건을 대표하는 변인이라 판단한 지역 내 총종사자 수(temp), 지역 내 총사업체 수(tcop), 2차 산업 종사자 수(scnd), 서비스 산업 종사자 수(srvc), 경제활동참여율(labr)을 활용하였다. 이들 중 2차 산업 종사자 수와 서비스 산업 종사자 수에 대한 고려는 전통적인 인구이동 이론과 우리나라 인구이동의 현상을 고려한 조치다. 먼저 2차 산업 종사자 수에 대해 박승규 (2020)은 지역균형발전정책의 시행 결과로 수도권으로의 광업 및 제조업 노동자 인구이동 감소를 언급하였다. 이는 조대현 (2021)을 통해서도 확인될 수 있는데, 인구감소가 일어나는 도시의 2차 산업 종사자 비율이 증가한다는 점에서 다른 산업종사자와 비교해 2차 산업 종사자의 이동은 상대적으로 덜 할 것임을 의미하기도 한다. 더불어 조대현 (2021)의 분석 결과에서 서비스 산업 종사자 비율이 인구변화와 양의 상관관계를 보이는 것으로 나타났다는 점을 고려하여 활용하였다.

인구 관련 지표들에 있어 본 연구에서는 지역 내 총인구수(pp), 경제활동 인구수(ppecn), 고령화율(edr), 도시화율(urat), 인구밀도(pden) 및 고용밀도(emden)를 선정하였다. 다양한 지표들을 선정한 이유는 먼저 총인구수와 경제 활동 인구수는 인구이동을 다룬 관련 문헌들에서 가장 기본적으로 활용하고 있다는 점을 고려한 것이다. 이외 고령화율과 도시화율은 각각 우리나라 인구이동의 특징이라 할 수 있는 농산어촌 이탈 현상과 서울 수도권 및 광역시로의 집중을 고려한 조치다. 지역 내 인구

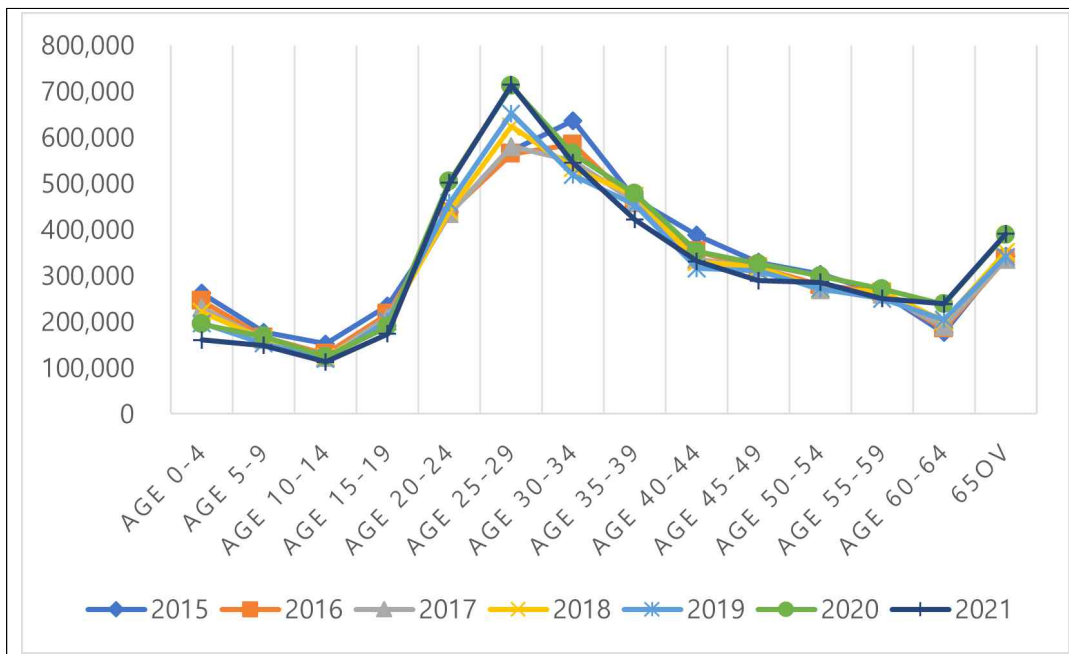
및 고용밀도를 변인으로 선정한 이유는 장기간 누적되어 온 우리나라의 도시 집중 현상 결과로 기존 거주민들이 인근 지역으로 이동한다는 점을 반영하기 위해서다. 이러한 현상은 실제 서울 인구가 2016년 천만 명 이하로 감소한 이후 지속적인 감소세에 있는 추세를 고려한 것이다.

인구이동을 다룬 문헌 중 일부는 지역의 건조환경 특성의 중요성을 강조하고 있다. Simini et al. (2020)은 지역의 토지이용 구성과 편의시설 등이 인구이동과 밀접한 관련이 있음을 강조하며 토지이용 변인과 함께 음식점 수를 비롯해 도로·교통시설, 보건의료시설, 교육시설과 유통시설을 변인으로 활용하였다. 이러한 변인 활용은 Alis et al. (2021)의 연구에서도 확인할 수 있는데, 해당 연구에서는 오픈스트리트맵(Open Street Map, OSM) 출처의 관심 지점(Point of Interest, POI) 자료를 활용하여 지역 내 다양한 편의시설과 토지이용 특성을 변인으로 활용하였다. 또한, 지역 편의시설 관련 변인에 관해 본 연구는 해당 시설들의 서비스 수준을 우리나라 인구이동을 이해하기 위한 변인으로 추가 선정 및 활용하였다. Wiśniewski et al. (2021)는 지역 인구구조 변화와 공공서비스 지표 간 유의미한 연관성을 발견하고, 인구감소 대응에 있어 지역사회 수준의 서비스가 중요한 의미를 갖는다고 언급했다. 또 2018년 지역균형발전 및 지역 인구감소 대응 전략으로 생활 SOC 개념을 도입, 활용하고 있다는 점에서 관련 변수들의 활용이 적절하다고 판단하여 변인으로 활용하였다. 구체적으로 통계청은 이에 관한 지표를 ‘살고싶은 우리동네’라는 주거지 분석 서비스를 제공하고 있는데, 구체적으로 개인의 거주지 선택에 참고할 수 있는 7개 분야의 32개 세부 지표 관련 정보를 제공하고 있다. 이에 본 연구는 우리나라 정부가 시행 중인 지역개발 전략 및 관련 사업 평가를 목적으로 해당 지표 일부를 선정하여 변인으로 활용하였다.

마지막으로, 본 연구에서는 인구 및 노동 지표와 관련된 변인을 다른 의미에서 선정하여 분석에 활용하였다. Rodriguez-Pose and Ketterer (2012)에서는 순 이동을 분석을 위해 앞서 언급한 변인 중 1인당 GRDP, 국가 성장률, 젊은층 비율 등과 함께 소셜 필터 지수 (Social Filter Index, 이하 SFI)를 활용하였다. 해당 연구에서는 SFI를 개인의 거주지

선택 결정에 영향을 미칠 수 있는 사회적 측면의 지역 외부효과를 포착하는 것에 목적이 있음을 언급하였다. 특히, 15-24세 인구 비중과 농업 종사자 비중 변인에 대해 그들의 이동성이 각각 높고 낮다는 특성을 반영한 것임을 언급하고 있다. 우리나라 맥락에서 이를 바라본다면, 20-24세 또는 25-29세 인구의 이동성이 다른 연령층과 비교할 때 상대적으로 높다는 점을 생각해볼 수 있다(그림 3-3). 한편, 우리나라 인구이동은 자녀 교육과도 일부 연관되어 있다. 고등교육 진학을 위한 이주가 가족 또는 본인의 이동과 밀접한 관련이 있는 한편, 초등학교 고학년 또는 중학교에 다니는 자녀가 있는 가구의 이동은 상대적으로 낮은 편이다. 이러한 경향은 양희준 (2018)의 농촌 학생 수 감소에 따른 농촌교육 대응 방안에 관한 연구를 통해서도 확인할 수 있는데, 농촌지역 학령인구 감소에 대응하기 위한 정책 중 일환으로 초등 및 중학교 학생 이동 감소를 목표로 설정하고 있어 해당 연령층의 자녀를 가진 가구의 상대적으로 낮은 이동성을 시사한다.

그림 3-3. 연령층별 시군구 간 이동자 수 추이, 2015-2021



자료: 통계청

주: 해당 수치는 동일 시도 내 시군구간 이동자 수와 시도간 이동자 수의 합임.

표 3-1. 변인 설명

구분	변인명	설명	단위	출처
종속변인	<i>TMGTx</i>	집단별 순 이동자 수 (전체, 20대, 30대, 40대, 50-64세, 65세 이상)	인	KOSIS
독립변인				
	<i>CGTx</i>	전년 대비 연령 집단별 인구 증감률	%	KOSIS
경제	<i>GRDP</i>	지역 내 총 생산	백만 원	
	<i>grdper</i>	1인당 지역 내 총 생산	백만 원/인	
주택	<i>htot</i>	총 주택 수	주택 수	
	<i>hapt_r</i>	총 주택 대비 아파트 수	%	
노동	<i>temp</i>	전체 종사자 수	인	NES
	<i>tcop</i>	전체 사업체 수		
	<i>sncd</i>	2차 산업 종사자 수 (표준산업분류코드: B, C, D, F)		
	<i>srvc</i>	서비스 산업 종사자 수 (표준산업분류코드 E, G, ..., U)		
	<i>labr</i>	경제참여율 (= 전체 종사자 수 / 전체 인구 × 100)	%	
인구 구조	<i>pp</i>	주민등록연앙인구 수	인	KOSIS
	<i>ppecn</i>	경제활동인구 수(15-64세 인구)	%	
	<i>edr</i>	고령화율 (= 만 65세 이상 인구 / 전체 인구)		
	<i>urat</i>	도시화율 (= 도시지역 인구 / 전체 인구)		
	<i>pden</i>	인구 밀도 (= 전체 인구 / 전체 토지 면적 × 1000)	km^2*1000	
	<i>emden</i>	고용 밀도 (= 전체 종사자 수 / 전체 토지 면적 × 1000)		
토지 이용	<i>rsar</i>	주거지역 면적	m^2	KOSIS
	<i>cmar</i>	상업지역 면적		
	<i>inar</i>	공업지역 면적		
	<i>rsper</i>	1인당 주거지역 면적	$m^2/인$	
	<i>cmper</i>	1인당 상업지역 면적		
	<i>inper</i>	1인당 공업지역 면적		

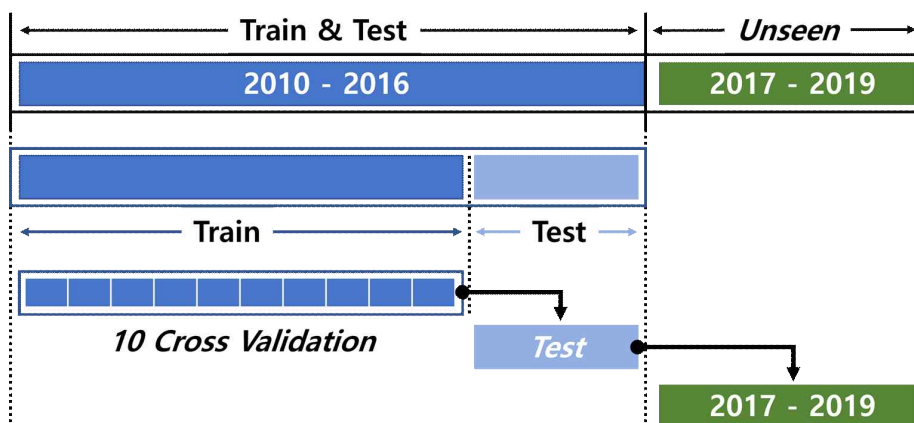
구분	변인명	설명	단위	출처
생활 서비스	<i>ckhnf</i>	유치원 및 보육시설 수	시설 수 또는 개소	NES
	<i>mddf</i>	종합 소매점 수 (백화점, 중대형 마트, 편의점 등)		
	<i>grsf</i>	잡화점 수 (식료품점)		
	<i>restf</i>	외식시설 수 (음식료점)		
	<i>pubf</i>	공공행정기관 수 (시청, 주민센터, 경찰서, 소방서 등)		
	<i>hedf</i>	고등교육기관 수 (전문대, 대학, 일반대학원 등)		
	<i>pedf</i>	사설 학원 수		
	<i>medf</i>	의료기관 수 (종합병원, 병의원, 보건진료소 등)		
	<i>clspf</i>	문화·체육기반 시설 수 (박물관, 영화관, 사적지, 동·식물원, 유원지 등)		
	<i>chknper</i>	유아(만 0-5세) 1인당 유치원 및 보육시설 수		
<i>mdsper</i>	1인당 종합 소매점 수			
<i>grsper</i>	1인당 잡화점 수			
<i>restper</i>	1인당 외식시설 수			
<i>pubper</i>	1인당 공공행정기관 수			
<i>hedper</i>	만 20~29세 1인당 고등교육기관 수			
<i>pedper</i>	1인당 사설 학원 수			
<i>medper</i>	1인당 의료기관 수			
<i>clsper</i>	전체 인구 대비 문화·체육기반시설 수			
소셜 필터	<i>yng_r</i>	만 10~14세 인구 비율	%	KOSIS
	<i>agrc_r</i>	농업 종사자 비율		NES

4. 기계학습 적용을 위한 분석 자료 구조

기계학습 접근법의 적용을 위해서는 분석 자료 전체 중 일부를 구분하여 학습시켜 모델을 만들고, 기계학습 접근법을 통해 만들어진 모델이 분석의 대상으로 삼은 현상을 제대로 설명하는지를 평가하기 위해 시험 집단 적용하여 분석을 수행하여야 한다. 이를 위해 학습 집단(Train set)과 시험 집단(Test set)으로 분석 자료를 구분하는데, 본 연구에서는 분석의 시간적 범위로 선정한 2010년부터 2019년까지의 자료 중 시기적으로 앞선 7개 연도인 2010년부터 2016년까지의 자료를 학습 집단으로, 나머지 3개 연도인 2017년부터 2019년까지의 자료를 시험 집단으로 구분하여 분석에 활용한다. 또한 모델의 과적합 방지를 위해 학습에 있어 10겹 교차검증(10-fold cross validation)을 적용하였다.

구체적으로 본 연구에서는 앞선 7개 연도가 우리나라 인구이동을 학습하고 및 시험하는 집단으로 분류하고, 나머지 3개 연도가 학습을 통해 만들어진 모델의 성능을 시험하기 위한 집단으로 분류한다. 하지만, 여기서 앞선 7개년 자료에서 인구이동 모델 구축을 위한 학습 및 시험 절차를 거치므로, 2017년부터 2019년까지의 3개년의 자료는 ‘unseen’으로 분류하고 해당 데이터에 대한 예측을 진행하여 모델 결과의 일반화를 도모하고자 한다.

그림 3-4. 기계학습 접근법의 적용을 위한 자료 구조



제 5 절 분석 결과

1. 집단별 순 이동자 수 예측 결과

본 연구에서 우리나라 시군구 단위의 순 이동자 수를 연령대를 기준으로 기계학습 접근법 중 하나인 극한 그래디언트 부스팅 모델(이하 XGB)을 사용하여 집단별 순 이동자 수를 예측하였다. 다음의 표 3-2는 XGB를 통해 표 3-1의 변인들을 모두 고려하였을 때의 예측성능을 설명하는 표다. 분석 결과, 지역 단위의 순 이동자 수는 전체 인구를 대상으로 할 때보다 연령대를 기준으로 집단을 구분하였을 때 더 좋은 예측성능⁴⁴⁾을 보이는 것으로 나타났다. 다섯 개의 연령 집단 중 65세 이상을 대상으로 할 때의 예측성능이 가장 높은 것으로 나타났다. 이는 앞서 선정한 변인들을 활용하여 구축한 모델로 해당 집단의 인구이동이 가장 잘 예측되었다는 것을 의미한다. 그다음으로 예측성능이 높게 나타난 집단은 50부터 64세 인구, 20대, 30대, 40대의 순으로 나타났다.

한편, 일반적인 선형회귀분석 모형에 적용하였을 때보다 더 높은 예측성능을 보인 것으로 나타났다. 우리나라 전체 순 이동자 수와 연령별 순 이동자 수를 앞서 선정한 독립변인들을 활용하여 예측한 결과는 다음의 표 3-3과 같이 나타났다. 선형회귀분석을 통한 분석 결과를 극한 그래디언트 부스팅 기법의 결과와 비교하면, 모든 집단에서 XGB를 통해 예측성능이 개선되었음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 우리나라 인구이동의 복잡성을 고려하기 위해서는 인구이동과 지역 특성 간의 관계를 선형 관계보다는 비선형 관계로 가정하여 접근하는 것이 더욱 적절하다는 것을 의미한다.

본 연구에서 인구이동 모델 예측의 향상의 판단 기준으로 삼은 R^2 를 제외한 다른 지표들의 수치는 표 3-4를 통해 확인할 수 있다.

44) 본 연구에서 인구이동 분석을 위해 적용한 기계학습 접근법의 성능은 R^2 를 기준으로 평가함.

표 3-2. 기계학습 모델 기반 집단별 순 이동자 수 예측 성능

구분		Original	Tuned
전체	train	0.6172	0.6780
	순 이동	unseen	0.5849
20-29세	train	0.7468	0.7896
	순 이동	unseen	0.7270
30-39세	train	0.6777	0.7384
	순 이동	unseen	0.6752
40-49세	train	0.6665	0.6869
	순 이동	unseen	0.6245
50-64세	train	0.7422	0.7760
	순 이동	unseen	0.7432
65세 이상	train	0.7790	0.7797
	순 이동	unseen	0.7565

주1: 본 연구에서 XBG의 성능 평가는 R^2 를 기준으로 함.

주2: 모델 성능 평가의 기준은 unseen의 R^2 값임.

주3: Original과 Tuned는 모델 성능 확보를 위하여 분석 시 튜닝 작업을 거쳤는지의 여부임.

표 3-3. 선형회귀분석 모델 기반 집단별 순 이동자 수 예측 성능

구분		Original	Tuned
전체	train	0.3364	0.3375
	순 이동	unseen	0.4963
20-29세	train	0.4719	0.4719
	순 이동	unseen	0.4694
30-39세	train	0.4388	0.4402
	순 이동	unseen	0.5524
40-49세	train	0.2879	0.2895
	순 이동	unseen	0.4572
50-64세	train	0.5287	0.5287
	순 이동	unseen	0.5900
65세 이상	train	0.4885	0.4891
	순 이동	unseen	0.5637

주1: 모델 성능 평가의 기준은 unseen의 R^2 값임.

주2: Original과 Tuned는 모델 성능 확보를 위하여 분석 시 튜닝 작업을 거쳤는지의 여부임.

본 연구에서 인구이동 모델 예측 향상의 판단 기준으로 삼은 R^2 를 제외한 다른 성능 지표들에 관한 수치는 다음의 표 3-4를 통해 확인할 수 있다. 세 가지 지표 중 MAPE(Mean Absolute Percentage Error)와 RMSLE(Root Mean Squared Logarithmic Error)은 기계학습 기반 예측 모델의 성능 평가 시 대표적으로 활용되는 지표다⁴⁵⁾. 각 집단에 대한 모델별 예측성능을 평가해보면, 모든 경우에서 XGB를 통한 예측이 선형회귀분석 모델(LR)보다 더 나은 성능을 보인 것으로 나타났다⁴⁶⁾.

표 3-4. 집단별 순 이동자 수 예측 성능 비교

구분		R^2	<i>RMSLE</i>	<i>MAPE</i>
집단	모델			
전체 순 이동	XGB	0.6569	1.3308	1.9813
	LR	0.4978	1.5832	6.0847
20-29세 순 이동	XGB	0.7270	0.9294	1.0327
	LR	0.4694	1.3143	1.6322
30-39세 순 이동	XGB	0.7438	1.2602	1.7483
	LR	0.5526	1.5794	5.3865
40-49세 순 이동	XGB	0.6502	1.2089	2.9598
	LR	0.4577	1.5624	5.5990
50-64세 순 이동	XGB	0.7432	0.9597	2.2913
	LR	0.5900	1.3306	2.3262
65세 이상 순 이동	XGB	0.7881	1.0824	1.8538
	LR	0.5649	1.2657	2.2734

주1: 여기서 XGB는 극한 그래디언트 부스팅 모델을, LR은 선형회귀분석 모델을 의미함.

주2: 집단 및 모델별 수치는 Original과 Tuned의 결과 중 본 연구에서 성능 평가 기준으로 삼은 unseen의 R^2 값이 큰 경우로 함.

45) 이 외에도 여러 지표가 있으나, 본 연구의 종속변인이 연령 집단에 따라 다른 규모를 갖는다는 점에서 규모에 상대적으로 덜 의존적인 지표를 선정해 표기함.

46) R^2 와 달리 *RMSLE*와 *MAPE*는 0에 가까운 값을 가질수록 모델이 좋은 예측 성능을 갖는 것을 의미함.

3. XGB의 샤프리 값 분석 결과

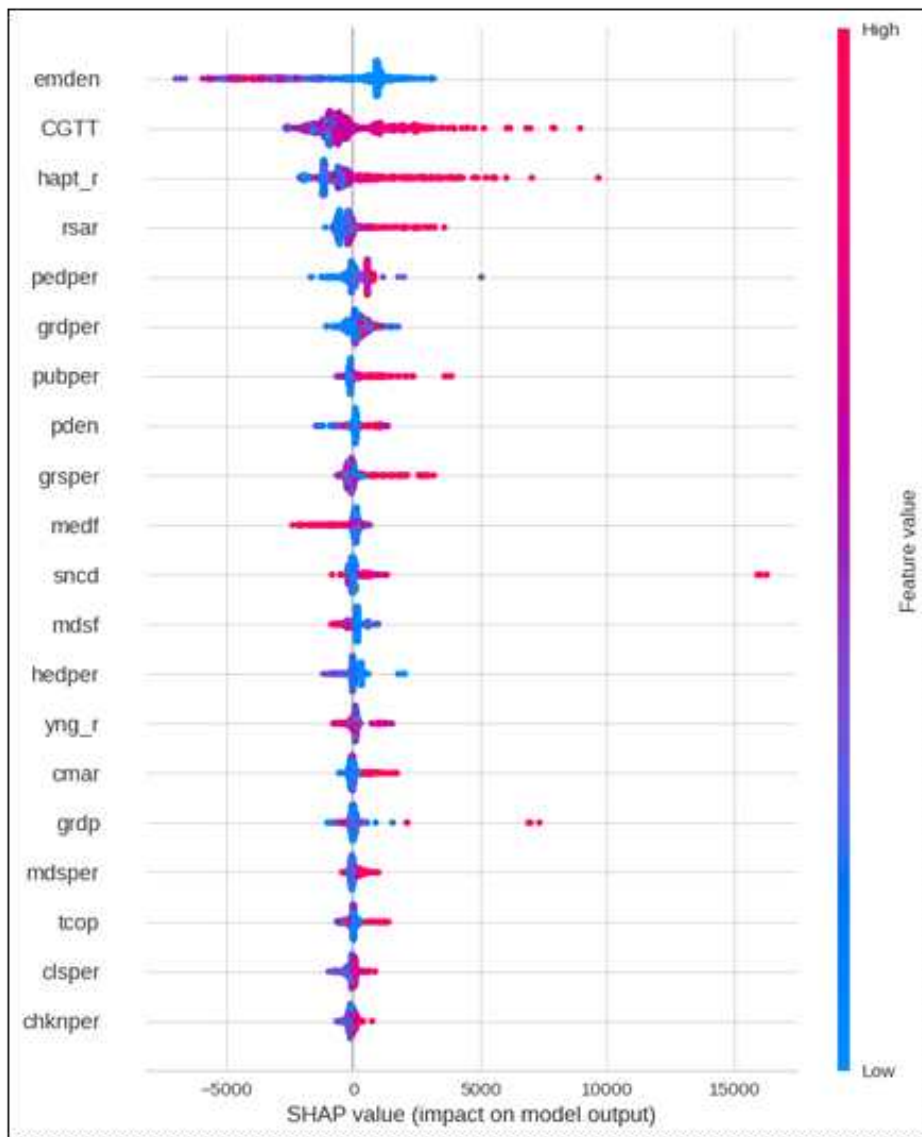
본 연구에서는 기존 기계학습 접근법에 근거한 분석이 지녔던 한계를 종속변인과 독립변인과의 연관성을 보여주는 SHAP를 통해 극복하고자 한다. 먼저 전체 순 이동자 수를 기준으로 한 분석을 위해 활용한 지역 특성 변인들로 분석한 XGB 기반 샤프리 값은 그림 3-5와 같이 나타났다. 순 이동자 수 예측에 활용된 변인들은 중요도에 따라 내림차순으로 그림에 나타나며, 동시에 예측 결과와 각 변인이 어떠한 연관성을 가지는지를 보여준다. 만약 특정 변인에 대한 샤프리 값이 음(-)의 값을 띠면, 지역 단위의 인구이동에 대해 순 유출과 연관성을 갖는다는 것을 의미한다. 반대로 양(+)의 값을 띠면 순 유입과 연관되어 있음을 의미한다. 이를 변인 값(Feature value)과 함께 연결 지으면 변인 값이 크고(High) 샤프리 값이 양(+)의 값을 띠면 해당 변인은 인구이동과 서로 정비례 관계에 있음을 의미한다. 반대로, 변인 값이 작고(Low) 샤프리 값이 양(+)의 값을 띠면 반비례의 관계에 있음을 의미한다⁴⁷⁾.

위 내용을 토대로 전체 순 이동자 수의 샤프리 값 결과를 살펴보면 밀도, 주택·주거여건, 생활 SOC 관련 요인들이 높은 중요도를 보이는 것으로 나타났다. 그중 고용 밀도(*emden*)가 가장 높은 샤프리 값을 나타내 우리나라 전체 인구이동 예측에 있어 주요한 변인임을 의미한다. 그림 3-5의 고용 밀도의 샤프리 값을 해석하면 해당 변인은 전체 인구이동과 반비례 관계에 있음을, 강한 부(-)의 연관성을 가지고 있는 것으로 나타났다. 즉, 고용 밀도가 낮은 지역에서 전체 인구 순 유입이 일어나고 있음을 의미한다. 전년 대비 전체 인구이동의 증감률(*CGTT*)의 샤프리 값이 인구이동과 강한 정(+)의 연관성을 가지고 있는 것을 통해 해당 값이 큰 지역일수록 인구 순 유입이 일어나고 있다는 것으로 해석될 수 있다. 한편, 주택·주거여건 관련 변인인 지역 내 아파트 비율(*hapt_r*)과 1인

47) 변인 값이 작을 때(Low), 샤프리 값이 양(+)의 값을 띠면 해당 변인은 인구이동과 서로 반비례 관계에, 샤프리 값이 음(-)의 값을 띠면 서로 정비례 관계에 있다고 해석함.

당 주거지역 면적(*rsar*) 또한 전체 인구이동과 정비례 관계에 있는 것으로 나타나 하성규 (2010), 한지혜 외 (2015), 조대헌 (2018)에서 밝힌 바와 같이 우리나라 인구이동이 주택 및 주거 특성과 밀접한 관련이 있다는 것을 확인할 수 있다.

그림 3-5. 전체 순 이동자 수 기준 샐플리 값 분석 결과



한편, 생활 SOC 관련 변인의 결과는 우리나라 전체 인구이동 예측에 높은 중요도를 갖는 것으로 나타났으나, 변인에 따라 인구이동과 뚜렷한 연관성을 갖지 못한 변인도 있는 것으로 나타났다. 먼저 전체 인구이동과 뚜렷한 연관성을 갖는 것으로 나타난 변인들은 인구 대비 공공행정기관 수(*pubper*)와 인구 대비 잡화점 수(*grsper*), 지역 내 의료기관 수(*medf*)다. 공공행정기관 수와 잡화점 수는 인구이동과 뚜렷한 정(+) 연관성을 가진 것으로 나타난 것과 달리 의료기관 수의 경우 뚜렷한 부(-) 연관성을 가진 것으로 나타났다. 이러한 결과는 높은 공공행정서비스 수준과 잡화점 수가 인구 대비 많은 특성을 가진 지역에서 인구 순 유입이 일어나는 것으로 보인다. 반면, 지역 내 의료기관 수가 많은 지역에서는 인구 순 유출이 일어나는 것으로 보인다. 이는 우리나라 인구이동 관련 문헌에서 의료기관 병상수가 인구 유입에 긍정적인 영향을 준다는 결과와 다르나, 의료기관 접근성이 낮은 지역을 중심으로 시행되었던 의료접근성 향상 지원사업 시행의 결과와 관련된 결과로 여겨진다. 인구 대비 사설 학원 수(*pedper*)는 위 변인들과 달리 전체 인구이동 예측에 상대적으로 높은 중요도를 갖는 것으로 나타났으나, 뚜렷한 연관성을 보이지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 연령별 인구이동의 요인이 다를 수 있음을 시사하여 본 연구는 연령대를 기준으로 집단을 분류하여 XGB 기반 새플리 값 분석을 수행하였다.

4. 연령대별 새플리 값 분석 결과

우리나라 인구이동이 연령에 따라 지역 특성과 서로 다른 연관성을 갖는다는 점은 관련 문헌을 통해 밝혀졌다(홍성호·유수영, 2012; 이찬영·문제철, 2016; 이찬영, 2018; 김진석·김의준, 2021). 이에 본 연구에서는 연령대를 기준으로 인구이동을 20대, 30대, 40대, 50-64세, 65세 이상으로 구분 및 분류하여 XGB 기반 인구이동 모델을 해석하기 위해 새플리 값 분석을 수행하였다.

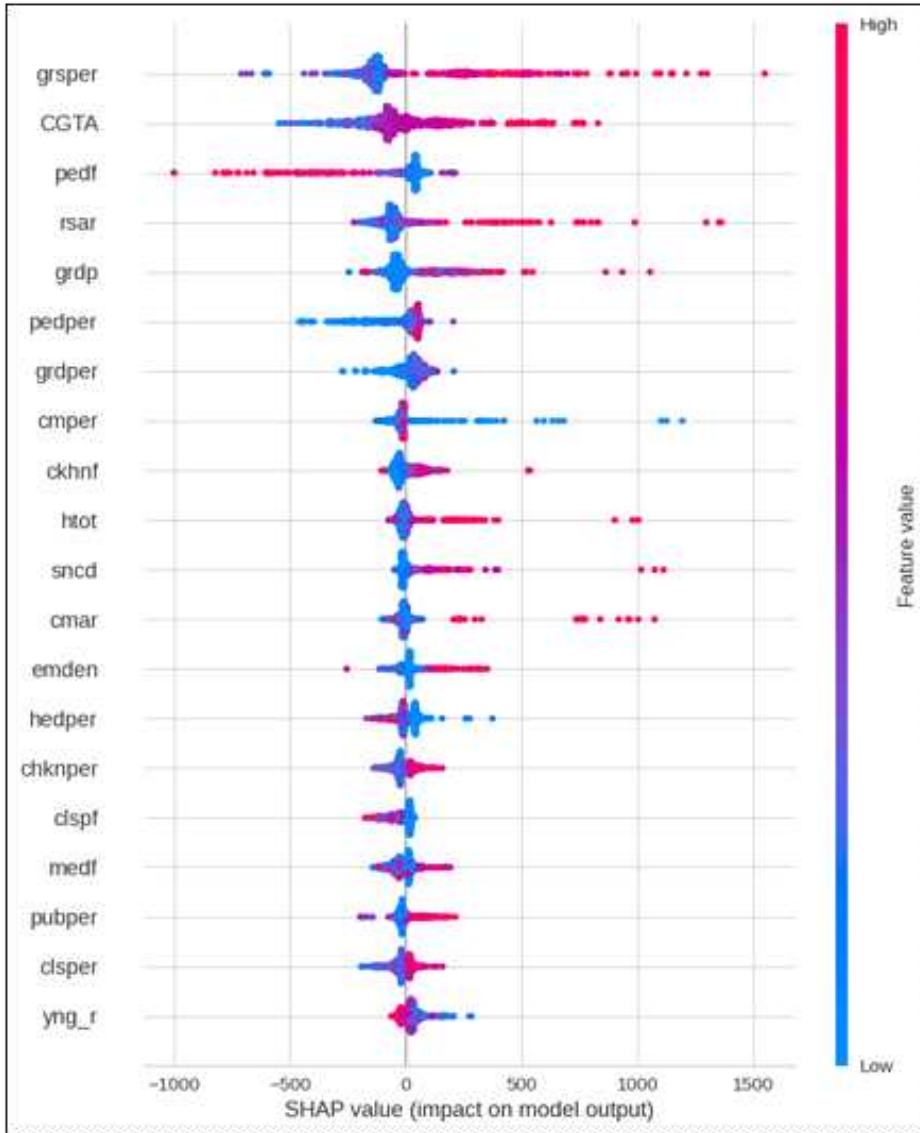
총 다섯 개 집단별 새플리 값 분석 결과를 비교하였을 때, 모든 집단

에서 전년 대비 순 이동자 수 증감률(*CGTA*, *CGTB*, *CGTC*, *CGTD*, *CGTE*)이 다른 변인과 비교해 상대적으로 높은 중요도를 보이는 것으로 나타났다. 또한 모든 집단의 인구이동에서 각 변인이 강한 정(+)의 연관성을 갖는 것으로 나타났다. 이 외에도 집단별 예측에 있어 중요도와 연관성의 정도에는 일부 차이가 있으나, 주거지역 면적(*rsar*)이 모든 집단과 정비례 관계에 있는 것으로 나타났다. 이와 함께 주택 변인으로 선정된 지역 내 아파트 비율(*hapt_r*)은 20대를 제외한 모든 집단에서 높은 중요도를 보이며, 지역 단위 인구이동과 강한 정(+)의 연관성을 갖는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 지역 내 총주택 수(*htot*)의 분석 결과가 20대에서만 정(+)의 연관성을 보이는 점과 함께 생각해보면, 20대 인구이동은 주로 지역 내 총주택 수가 많은 지역에서 순 유입을 보이고 있음을 의미한다. 한편, 30대 이상의 연령층의 인구이동에 있어 지역 내 아파트 비율과 주거지역 면적이 강한 정(+)의 연관성을 갖는다는 점은 그들의 거주지 선택에 있어 주거 환경이 주요인이라 할 수 있겠다.

이와 같은 경향은 각 집단에서 높은 중요도를 보이거나 뚜렷한 연관성이 있는 것으로 나타난 고용밀도(*emden*)와 인구밀도(*pden*)의 결과와 함께 고려할 때 더 나은 이해가 가능하다. 30대 이상 연령층의 인구이동은 고용 및 인구밀도와 반비례 관계에 있는 것으로 나타났다 (그림 3-6부터 3-9). 반면, 20대의 새플리 값 분석 결과에서 고용밀도의 중요도는 타 연령층과 비교해 상대적으로 낮지만, 뚜렷한 정(+)의 연관성을 갖는 것으로 나타났다. 이는 곧 20대의 경우 고용밀도가 높은 지역에 순 유입하고 있는 것을 의미한다.

다른 연령층과 비교하여 20대에서만 보이는 특징은 해당 집단의 인구이동이 상업 및 생활 편의시설 관련 변인들과 밀접하게 관련되어 있음을 시사한다. 특히 1인당 상업지역 면적(*cmper*)과 인구 대비 사설 학원 수(*pedb*)에 있어 20대 인구이동만 뚜렷한 반비례 관계를 갖는 한편 상업지역 면적(*cmar*), 인구 대비 잡화점 수(*grsper*) 및 공공·행정기관 수(*pubper*)와 정(+)의 연관성을 갖는 것으로 나타났다는 점은 20대 유입이 높은 수준의 상업 및 생활 서비스 수준과 연관되어 있음을 의미한다.

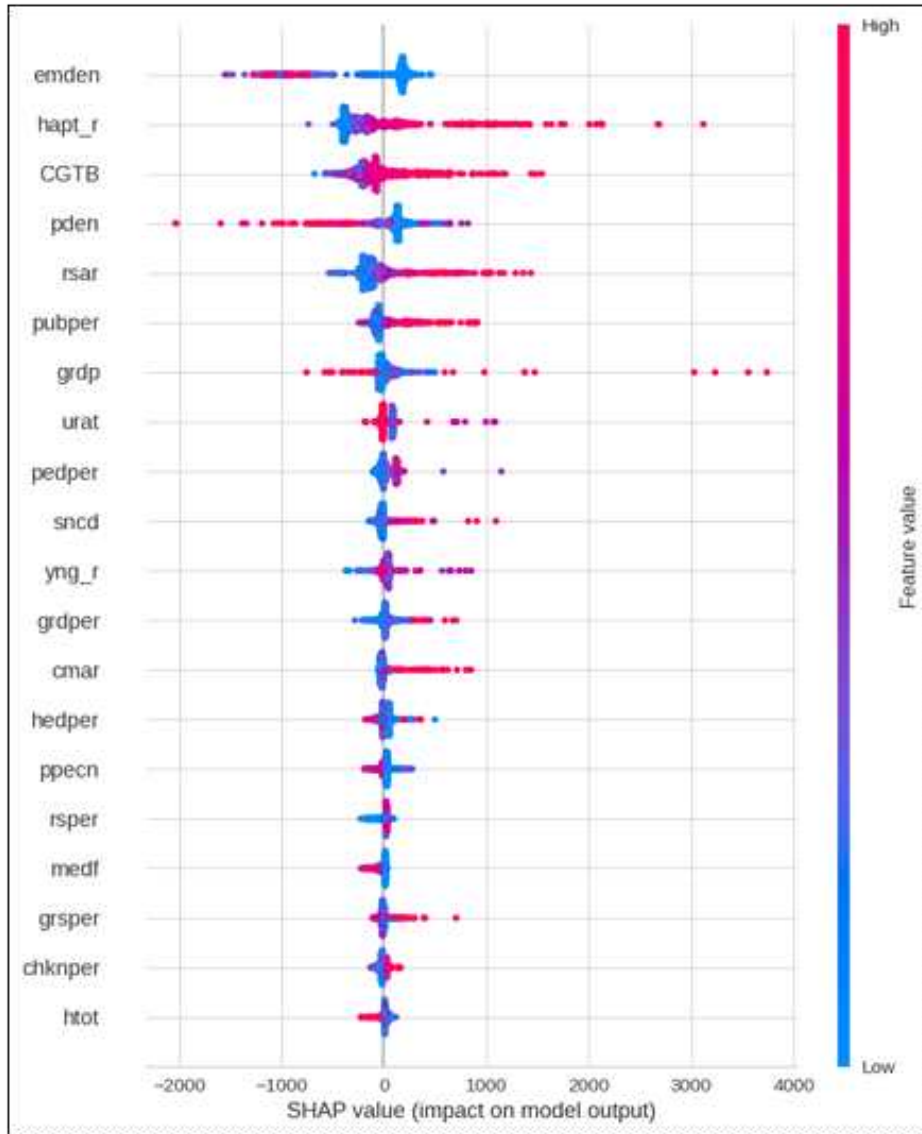
그림 3-6. 20대 순 이동자 수 기준 새플리 값 분석 결과



이와 비교해 30대의 인구이동에 대한 새플리 값 분석 결과는 해당 집단의 이동이 밀도 및 주거 환경과 밀접한 관련이 있음을 시사한다(그림 3-7). 먼저 고용밀도(*emden*)와 인구밀도(*pden*) 모두 30대 인구의 이동 예측에 높은 중요도를 보이는 것으로 나타났다. 다른 집단과 비교하여 30대 인구이동만이 갖는 특징은 다른 지역 특성 변인 중에서도 밀도와 주택 및 주거와 관련된 변인들과 상대적으로 강한 연관성을 갖는 것으로

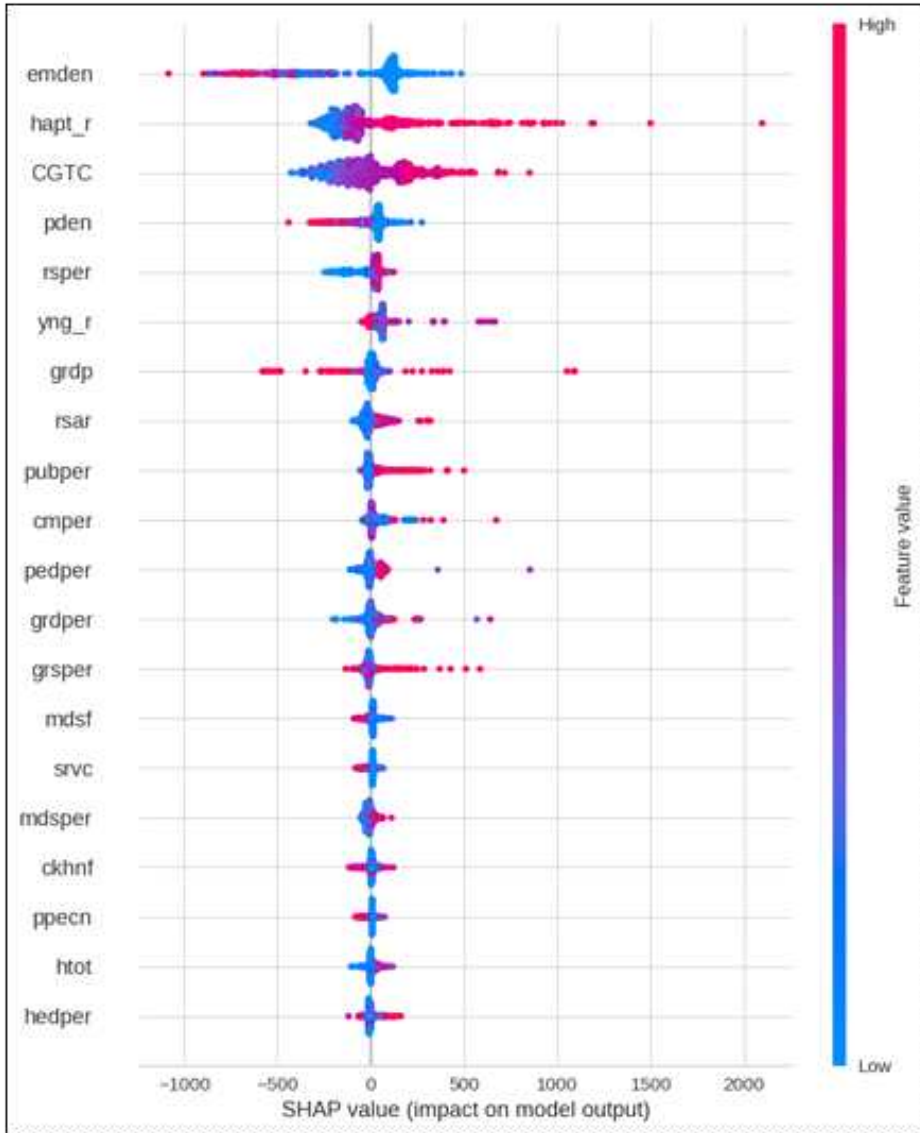
나타났다는 점이다. 이는 곧, 30대의 거주지 선택에 있어 해당 변인들이 주요인으로써 작용할 수 있음을 시사한다.

그림 3-7. 30대 순 이동자 수 기준 샐플리 값 분석 결과



한편 40대의 인구이동에 대한 샐플리 값 분석 결과는 30대에서의 결과와 변인별 중요도 측면에서 유사한 특징을 갖는 것으로 나타났으나, 연관성의 정도에 있어 다소 차이가 있다(그림 3-8).

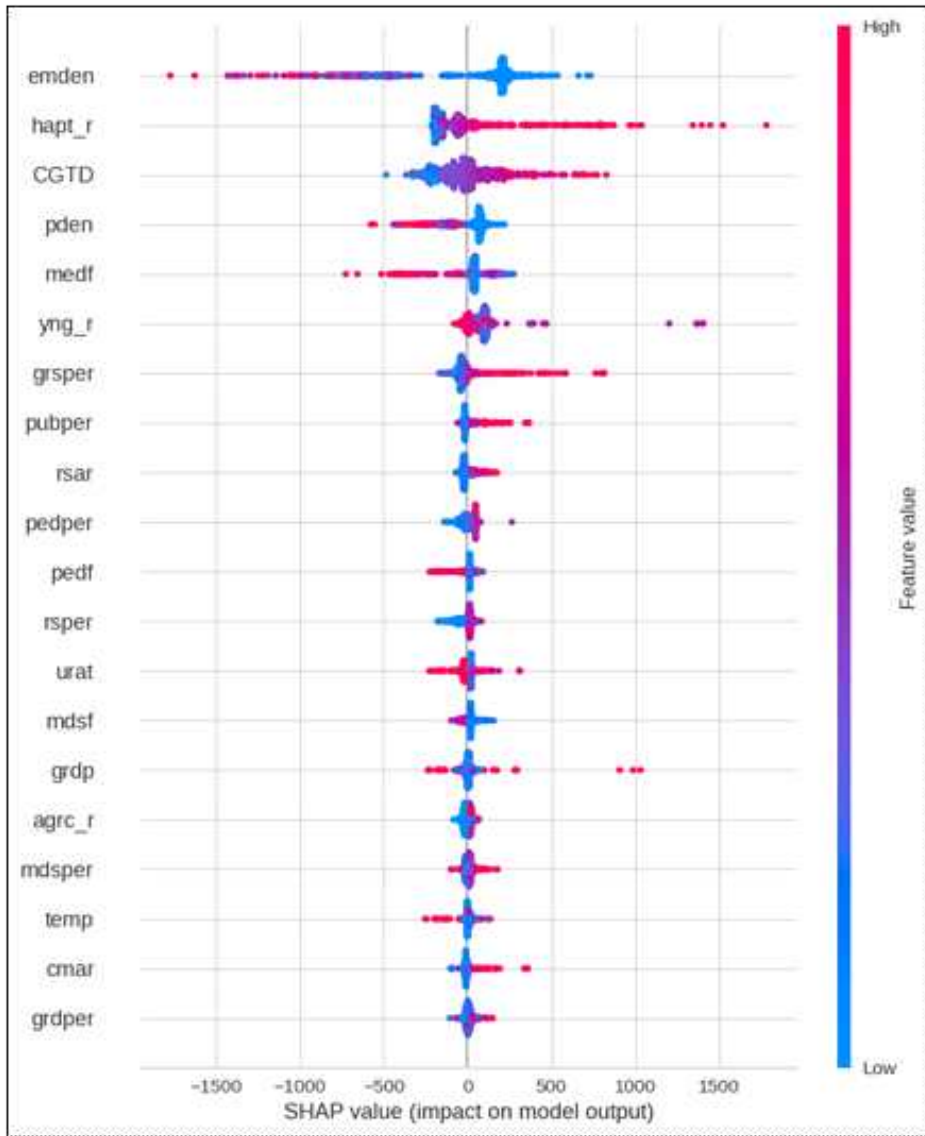
그림 3-8. 40대 순 이동자 수 기준 새플리 값 분석 결과



본 연구에서 구분한 집단 중 우리나라에서 가장 큰 인구 비중을 차지하는 50-64세의 인구이동 분석 결과는 그림 3-9와 같다. 분석 결과 중 두드러지는 점은 다른 변인과 비교할 때 상대적으로 중요도는 덜하나, 도시화율(*urat*)이 해당 연령층 인구이동과 부(-)의 연관성을 갖는 것으로 나타났다는 점이다. 또한 농업 종사자 비중(*agrc_r*) 변인이 뚜렷한 연관성을 보이고 있진 않지만, 다른 연령층의 분석 결과와는 달리 유의미한

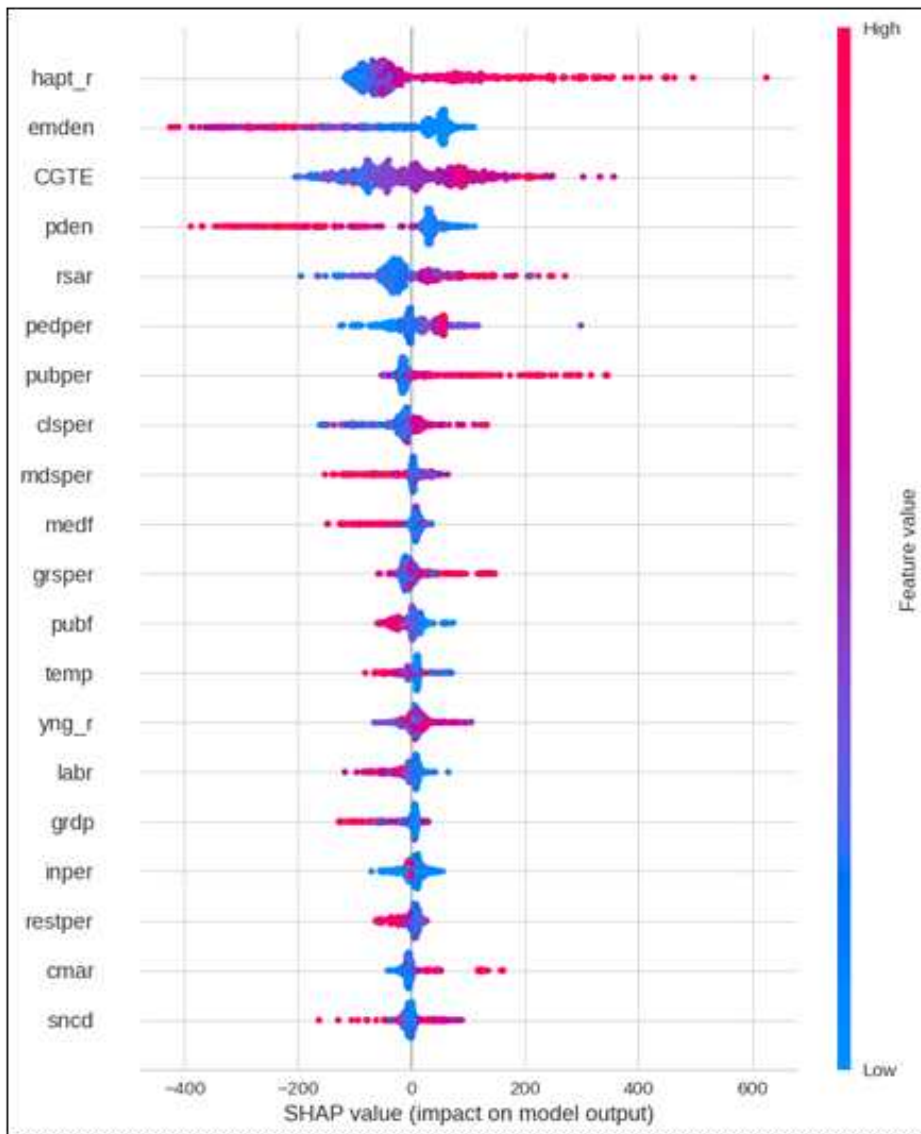
중요도를 갖는 변인으로 나타났다는 점이 두드러진다. 이 결과는 해당 집단이 은퇴 후 도시화 수준이 상대적으로 덜한 지역으로 이동하는 점을 시사하는데, 실제로 귀농 가구주의 평균연령이 55.8세 나타났다는 점(통계청, 2022)은 위 분석 결과를 뒷받침하고 있다.

그림 3-9. 50-64세 순 이동자 수 기준 새플리 값 분석 결과



다른 연령층과 비교하여 이동의 규모가 가장 적은 65세 이상 인구의 이동은 30대 이상의 집단들의 분석 결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 나타났다(그림 3-10). 다른 집단의 분석 결과와 비교해 인구 대비 종합 소매점 수(*mdsper*)와 지역 내 총생산(*grdp*)은 부(-)의 연관성을 갖는 것으로 나타났다는 점에서 차이가 있다.

그림 3-10. 65세 이상 순 이동자 수 기준 샐플리 값 분석 결과



제 6 절 소결

본 연구에서는 우리나라 시군구 단위의 인구이동 예측을 위하여 기계 학습 접근법의 활용 가능성을 살펴보았다. 또, 기계학습 접근법 기반 순 이동자 수 예측치에 대한 이해를 높이고자 설명 가능한 인공지능(XAI) 방법론 중 하나인 샤프리 값을 활용하여 모델 판정 근거를 확인하였다. 우리나라 인구이동 현상은 관련 연구들을 통해 그 복잡성이 언급되고, 그간의 막대한 국가적 차원의 투입에도 좀처럼 해소되지 못한다는 점은 인구이동과 연관성이 있는 것으로 밝혀진 다양한 지역 특성을 활용하여 지역 단위의 인구이동이 다루어져야 할 필요성을 시사한다. 이러한 상황은 전통적인 계량분석 방법론이 갖는 분석상의 한계를 고려할 때 우리나라 인구이동 현상의 이해를 위한 기계학습 접근법 적용의 기회를 제공한다. 이를 위해 본 연구는 가용한 자료들을 활용하여 여섯 가지 지역 특성으로 분류될 수 있는 변인 총 42개를 선정하여 기계학습 기반 분석을 수행하여 시군구 단위 순 이동자 수를 예측하였다.

기계학습 접근법 중 하나인 극한 그래디언트 부스팅 기법(XGB)을 활용하여 우리나라 시군구 단위의 순 이동자 수를 예측한 결과, 본 연구에서 예측 대상으로 삼은 순 이동자 수의 예측은 일반적인 선형회귀분석 하에서의 예측 성능보다 개선되었음을 확인할 수 있었다. 이러한 방법론별 성능 차이는 우리나라 인구이동의 복잡성을 고려하기 위해 선형 관계 보다는 비선형 관계를 가정하여 접근하는 것이 더욱 적절함을 시사한다. 또한, 극한 그래디언트 부스팅 기법을 활용한 집단별 순 이동자 수의 예측은 전체 인구를 대상으로 할 때보다 연령을 기준으로 집단을 구분하였을 때 더 좋은 예측 성능을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 관련 문헌의 결과와 궤를 같이한다는 측면에서 연령대를 기준으로 집단을 구분하여 분석을 진행할 필요성을 재차 시사한다. 집단별 성능 값을 비교해보면, 다섯 개의 집단 중 65세 이상 인구에 대한 순 이동자 수의 예측 성능이 가장 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 본 연구에서 활용한 지역 단위의 변인들을 활용하여 구축한 모델로 해당 집단의 인구이동

이 가장 잘 예측되었다는 것을 의미한다.

한편, 새플리 값을 활용한 집단별 예측성능에 대한 판정 근거를 살펴 보면 우리나라 인구이동예측에 주택·주거 여건, 밀도, 생활 SOC 관련 변인들이 높은 기여 및 중요도를 보이는 것으로 나타났다. 먼저 주거지역 면적, 지역 내 아파트 비율과 같은 주거 특성은 대다수의 집단에 있어 높은 예측 기여도를 보여주어, 타 변인 대비 밀접한 연관성이 있는 것으로 나타났다. 주거 특성 관련 변인의 결과는 관련 문헌의 분석 결과와 마찬가지로 순 이동자 수 예측에 있어 주택·주거 여건이 주요한 요인으로 작용한다고 할 수 있겠다. 다음 밀도의 경우 20대의 예측에서는 비례의 관계를, 30대 이상의 예측에서는 반비례의 관계를 보이는 것으로 나타났다는데, 이는 현재 우리나라 20대의 수도권 집중과 30대 이상의 서울 및 수도권 이탈 현상이 반영된 것이라 할 수 있겠다. 마지막으로 생활 SOC 관련 변인 중 공공서비스 및 식료품점 관련 변인은 모든 연령 집단의 예측에 상대적으로 높은 기여도를 보인 것으로 나타났다. 이는 거주지 선택에 있어 개인이 접근 및 이용 가능한 공공서비스와 식료품점의 수준이 유의미한 요인임을 시사한다. 한편, 20대의 새플리 값 결과는 다른 집단과 구분된 특징을 보이는 것으로 나타났다. 20대의 결과를 살펴 보면, 이들은 주로 지역 내 주택 수 및 고용밀도와 정(+)의 연관성을 갖고, 상업 및 생활 편의시설 변인들이 상대적으로 더 높은 기여도를 보인 것으로 나타났다. 이를 30대 이상의 연령층에서 고용밀도와 인구밀도가 대체로 부(-)의 연관성을 보였다는 점을 고려한다면, 20대의 인구 유입은 높은 수준의 상업 및 생활 서비스와 연관되었음을 암시한다.

본 연구의 결과는 인구감소 문제 대응을 위해 현재 시행 중인 관련 정책 및 사업 등에 생활 SOC 고려의 필요성과 중요성을 강조한다. 지역 인구감소에 따른 지역 내 공공서비스 수준 및 질의 저하는 관련 문헌을 통해 지방자치단체의 재정 악화와 함께 세 요소가 서로 연관되어 있음을 시사한다. 또, 지역 내 인구감소에 따른 생활 서비스 수준의 변화가 국내의 사례에서도 관련 문헌을 통해 밝혀졌다는 점에서 우리나라 인구이동 양상은 기존과는 다른 새로운 관점에서 관리되어야 할 필요성을 시사한

다. 이러한 점에서 본 연구는 지역 단위의 인구이동을 연령을 기준으로 구분한 집단별 순 이동자 수를 통해서 살펴보았다. 분석 결과, 우리나라 인구이동에 있어 지역 내 생활 서비스 수준은 유의미한 역할을 할 것으로 나타났다. 따라서, 우리나라 인구감소 및 지방소멸 대응을 국가 차원의 투입에 지역 내 생활 서비스와 관련된 요소들이 고려될 수 있겠다.

향후 연구에서는 본 연구의 몇 가지 한계점을 보완할 수 있다. 첫째, 우리나라 인구이동에 광역 교통수단 발달에 따른 하루 생활권 영역 확장은 적지 않은 영향을 미쳤을 것으로 판단된다. 이러한 점을 고려할 때, 통근·통학 거리와 같은 자료를 토대로 개인 생활반경을 구축하여 분석에 적용한다면 더욱 현실성을 담보한 분석 결과 도출이 가능할 것이다. 둘째, 본 연구에서 주요하게 다룬 생활 SOC는 가용한 자료의 부재 또는 미비를 이유로 다양하게 활용하지 못하였다. 그러나, 최근 제공되고 있는 생활 SOC 관련 자료들을 고려할 때 향후 관련 변수에 기반한 더 높은 수준의 연구모형을 구축하여 분석을 수행할 수 있을 것이다.

본 연구는 가용한 자료 측면에서 위와 같은 한계점을 가지고 있으나, 다음과 같은 면에서 의의가 있다. 먼저, 우리나라 인구이동의 복잡성에도 불구하고 그간의 연구에서는 분석 측면의 제약을 이유로 한정된 자료를 활용하였다. 가용한 자료의 수가 점차 많아지고 있는 시점에서 기계학습 접근법의 적용 가능성을 살펴보았다는 점은 향후 우리나라 인구이동을 더욱 다양한 관점에서 연구할 기회를 제공할 것이다. 이와 함께 본 연구는 비교적 최근 도입되어 관련 정책에 적용되고 있는 생활 SOC의 맥락에서 향후 인구감소 및 지방소멸 대응에 있어 생활 편의시설과 관련된 요인이 과연 유의미한 영향을 줄 수 있을지에 대한 물음에 실마리를 제공할 것이다.

제 4 장 병해충 발생에 따른 사회·경제적 영향 분석: 병해충 A를 중심으로

제 1 절 연구 배경

기후변화라는 불확실성 아래 병해충 발생은 실제 작물 수확량에 영향을 미치며(Pimentel et al., 2000; Soliman et al., 2012), 극단적 이상기후 발생 빈도의 증가와 함께 외래병해충⁴⁸⁾ 정착 및 돌발병해충⁴⁹⁾ 발생의 가능성을 높이고 있다(Deutsch et al., 2008; Phopi and Mafongoya, 2017; Chaloner et al., 2021). 이러한 우려는 국제 농업 분야의 주된 관심사 중 하나로 다뤄지며(Perrings et al., 2002; Robinet et al., 2012; MacLeod et al., 2016), 병해충 발생에 기인한 위험을 평가하는 구체적인 방안과 체계적인 연구의 필요성이 점차 강조되고 있다.

우리나라의 국제 농산물 교역량 증가는 고위험 병해충 유입 우려로 이어지고 있으며, 기후변화와 함께 외래병해충의 유입, 확산 및 정착을 통해 향후 농업 부문에 큰 피해를 주는 위협요인으로 작용할 수 있음이 전망되고 있다(정학균 외, 2014; 환경부, 2020; 기상청, 2021). 실제 우리나라로 유입되는 외래생물종의 수가 계속하여 증가⁵⁰⁾하고 있다는 점(환경부, 2019)에서 병해충 발생에 의한 피해(이하 병해충 피해) 우려가 향후 기후변화와 함께 위협요인으로 작용할 개연성은 충분하다.

한편 우리나라에서는 기후변화가 국가 단위의 식량 생산에 미치는 영향과 기후변화 대응방안 도출 관련 연구의 필요성이 강조되어 오며, 관

48) 국내에 분포기록이 없는 병해충으로서 지리적 분포 등을 고려할 때 외국으로부터 침입되었다고 판단되는 병해충을 말함(농작물 병해충 예찰·방제에 관한 규정).

49) 기후변화, 작부체계 다양화 등 환경변화 때문에 돌발적으로 발생하여 농작물에 피해를 주는 토착 또는 외래병해충을 말함(농작물 병해충 예찰·방제에 관한 규정).

50) 국내로 유입되는 외래생물종의 수는 2009년에 894종에서 2018년 기준 2,160종으로 지속하여 증가하고 있음(환경부, 2019).

런 연구들이 이루어지고 있으나(권오상·김창길, 2008; 이승호 외, 2008; 김창길 외, 2012; 황재희 외, 2012; 김성재 외, 2013; 권오상 외, 2016; 정재원 외, 2018; 조성주·김화년, 2022), 농작물 생산 측면에서 병해충 피해를 주요하게 다루고 있는 연구는 제한적으로 이루어지고 있다(윤덕훈 외, 2014; 정학균 외, 2014; 김용준 외, 2017; 안현진 외, 2018).

병해충 피해는 단순히 농작물 그 자체에만 국한되지 않고 재배 농가 및 농산물 시장, 관련 산업에까지 확대될 수 있다. 먼저 농작물 수확량 감소는 이를 재배하는 농가의 수익에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Molua, 2007; Bobojonov and Aw-Hassan, 2014; Huong et al., 2019). 또한 생산량 감소에 따른 시장 공급량 감소는 피해 농작물과 구조적으로 연결된 시장에서의 가격 변동으로 이어져 관련 산업을 비롯한 일반 구매자에게까지 간접적으로 영향을 미치게 된다(Berrittella et al., 2007; Gallai et al., 2009; Jaffee et al., 2010) 즉, 병해충 피해는 비농업인으로서 까지 확대되어 우리 사회 전반에 직·간접적으로 영향을 미치게 된다.

우리 사회에 광범위한 영향을 미치는 병해충 피해는 국가적 차원에서 병해충 피해가 관리되어야 할 당위성과 필요성을 강조한다. 우리나라는 현재 식물검역⁵¹⁾ 제도 및 공적방제⁵²⁾ 사업과 같은 국가적 조치를 통해 병해충 피해를 관리하고 있다. 우리나라 식물검역 체계는 과거 수입 농산물에 대한 안전 문제가 사회문제로 대두되고, 소나무재선충 발생으로 인한 피해와 이에 관한 막대한 방제 비용이 소요되며 식물검역의 필요성과 중요성에 대한 인식이 확대되었다(배상호, 2015). 하지만, 국제 교역량과 이상기후 빈도수의 증가는 병해충에 기인한 피해 수준과 이에 관한 방제의 불확실성을 더욱 증가시키고 있다. 이는 실제 식물검역 제도를 통한 관리와 공적방제 조치 시행 대상 병해충의 우선순위 선정과 조정 작업의 반복으로 이어지고 있어 우리나라를 사례로 한 병해충 발생에 의

51) 식물에 피해를 주는 병해충의 유입 방지를 목적으로 수·출입되는 식물과 식물성 산물에 대한 병해충 부착 여부를 검사하고, 규제병해충 발견 시 방역 조치를 하는 임무를 말함(농림축산검역본부, 2021).

52) 식물방역법 제31조 및 제36조에 따라 농촌진흥청장이나 특별시장·광역시장·특별자치시장·도지사 또는 특별자치도시자가 해당 병해충의 확산을 저지하기 위하여 시행하는 방제를 말함(농작물 병해충 예찰·방제에 관한 규정).

한 피해를 사회과학 분야의 관점에서 평가할 기회를 제공한다.

본 연구는 병해충 A를 대상으로 해당 병해충의 대표적인 피해 작물인 작물 1과 작물 2의 생산량 감소에 따른 사회·경제적 영향을 경제학적 관점에서 분석한다. 병해충 A는 일반적인 병해충과 달리 전염성이 강하고, 피해 대상 작물의 생산에 장기간의 영향을 주는 특징을 가지고 있다. 해당 병 발생에 따른 피해 수준과 방제의 불확실성이 다른 병해충과 비교하여 상대적으로 높아 현재 피해관리 대상 병해충 중 하나로 분류되고 있다. 이러한 사례를 통해 본 연구는 고위험 병해충의 국내 유입 및 확산 시 발생할 수 있는 피해를 현시점에서 가용한 자료를 토대로 추정하여 우리나라를 사례로 한 병해충위험분석의 일부인 병해충 피해 평가를 수행한다.

구체적으로 본 연구는 관련 문헌을 통해 병해충 A의 피해 현황을 파악하고, 병 발생에 따른 작물 1과 작물 2의 생산량 감소가 사회적 후생 측면에서 어떠한 영향을 주었는지 분석함으로써 해당 병에 의한 피해를 평가한다. 이를 위해 먼저 관련 문헌을 출처로 수집한 자료들을 토대로 병해충 A의 피해수량 산술식을 설정하고, 피해확산 시나리오를 설계한다. 그다음 병 발생에 따른 작물 1과 작물 2 각각의 피해수량과 이에 따른 사회후생 손실분을 산출하고, 향후 발생할 수 있는 상황을 가정한 시나리오에 기반하여 병의 확산 가능 반경에 따른 피해를 추정한다. 궁극적으로 본 연구는 해당 병으로 지금까지 발생한 피해와 향후 발생할 수 있는 피해를 경제학적 방법론에 기반을 두어 추정함으로써 병해충 피해 관리 조치 시행의 당위성을 평가할 것이다.

제 2 절 병해충 발생에 따른 사회·경제적 영향

1. 병해충 피해 평가와 병해충위험분석

농작물을 대상으로 병해충 발생에 의한 피해(이하 병해충 피해)는 학계를 통해 관련 분야에 따라 다양한 관점에서 정의된 후 평가되고 있다. 병해충 피해 평가를 목적으로 하는 분석은 일반적으로 국제협약 중 하나인 국제식물보호협약(International Plant Protection Convention, IPPC)의 식물위생 용어집 내 정의에 기초하여 병해충위험분석(Pest Risk Analysis, PRA)⁵³⁾이라는 용어로 통용되고 있다. 우리나라에서는 ‘식물방역법 시행규칙’과 관련 조항에 따라 병해충위험분석에 관한 세부적인 기준, 절차, 단계 등을 규정하고 있다⁵⁴⁾. 해당 분석은 대상 병해충에 대한 위험분석 계획을 수립한 이후 병해충 확인(Initiation), 위험평가(Risk assessment), 위험관리(Risk management) 총 세 단계를 거쳐 실시한다.

여기서 병해충 피해는 병해충위험분석 시 위험평가 단계에서 고려되는 위험평가 요소⁵⁵⁾ 중 하나인 경제적 중요성⁵⁶⁾과 관련되어 있다. 특정 병해충에 대한 경제적 중요성을 평가할 수 있는 세부 요소로는 병해충 발생에 의한 직·간접적인 피해가 있다. 각 세부 요소는 간단한 예시⁵⁷⁾를 통해 설명되고 있다. 이 중 병해충에 의한 직·간접적인 피해는 학계를

53) 병해충 위험분석은 생물학적 또는 기타 과학 및 경제적 증거를 평가하여 유기체(organism)의 병해충 여부, 규제 대상 여부, 해당 유기체에 대해 취해야 할 식물위생 조치의 강도를 결정하는 과정을 의미함(FAO, 2022). 용어상 해충 위험 분석으로 해석될 수 있으나, 해당 협약상 식물에 피해를 주는 병원균(Pathogen) 또한 분석 범위에 포함됨.

54) 더 자세한 내용은 ‘병해충위험분석 세부실시 방법’을 통해 확인할 수 있음.

55) 위험평가 단계에서 고려되는 평가 요소로는 유입가능성, 정착가능성, 확산가능성, 경제적 중요성이 있음. 위험평가 요소별 하위 항목(세부 요소)에 대한 자세한 내용은 부록 4-1을 통해 확인할 수 있음.

56) 병해충 위험분석의 위험평가 단계에서 고려되는 위험평가요소는 총 네 가지로 병해충에 의한 직·간접적인 피해를 비롯하여 병해충 방제 또는 박멸 조치에 따른 비용 및 생산비용의 증가와 병해충에 의한 환경적 영향이 있음.

57) 병해충에 의한 직접적인 피해는 경제작물의 생산량 감소 및 품질변화에 의한 피해 등을, 간접적인 피해는 수출제한 및 국내시장 위축 등을 예로 하고 있음.

통해 오랜 기간 연구되고 있는데, 특히 병해충 피해의 간접적인 영향 및 효과는 우리나라 관련 고시에서 규정한 범위보다 폭넓게 다양한 관점에서 평가되고 있다.

병해충위험분석 시 고려되는 세부 요소인 병해충에 의한 직접적인 피해는 자연과학 기반 분야에서 주로 평가되고 있다. 원예학과 같은 자연과학 분야의 연구는 주로 일정 실험조건 아래 병해충 발생에 따라 변하는 농산물의 질량, 당도, 생산량 등 상품 가치에 관한 모수(parameter)를 추정하거나(송장훈·고영진, 1998; 박무용 외, 2013; 현재욱 외, 2013), 병해충 피해 저감을 위한 농약 및 방제기법 효과 규명(최현석 외, 2011; Sherzod, R., 2013), 지역별 병해충 피해 양상 및 특징 식별(백채훈 외, 2007; Lim et al., 2012; 최경산 외, 2014; 정종국 외, 2018)에 초점을 두고 있다. 한편, 농림기상학과 같이 학제 간 연구를 수행하는 분야에서는 병해충 발생 또는 피해 정도와 기상·기후요인 간의 연관성을 살펴보는 연구들이 이루어지고 있다(김명현 외, 2013; 정학균 외, 2014; 윤덕훈 외, 2014; 안현진 외, 2019). 이처럼 자연과학에 기반한 분야의 연구들은 우리나라 병해충위험분석에서 직접적인 피해로 규정 및 분류하는 병해충 발생에 따른 생산량 감소 및 품질변화에 초점을 두어 병해충에 의한 직접적인 피해를 평가하고 있다.

반면, 병해충에 의한 간접적인 피해는 농업경제학을 중심으로 응용경제학에 기반을 둔 사회과학 분야 연구에서 주로 평가되고 있다. 사회과학 분야에서는 병해충 피해가 피해 대상 작물의 생산량 감소에 그치지 않고 이를 재배하는 농가, 피해 대상 작물을 활용하는 연관 산업, 이를 거래하는 시장에 간접적인 영향을 준다는 면에서 병해충에 의한 간접 피해를 사회·경제적 관점에서 평가하고 있다. 관련 연구들은 병해충 발생이 국가 또는 피해 대상 작물 재배 농가의 비용 및 수익에 미친 영향(Macleod et al., 2003; Lu et al., 2013; William et al., 2015), 피해 대상 작물의 국내외 수요 또는 국내시장에 미친 영향(Breukers et al., 2008; Surkov et al., 2009; Kwon et al., 2015; Soliman et al., 2018), 관련 산업 및 지역 경제에 미친 영향(Anaman, 1994; Alam and Rolfe, 2006;

Julia et al., 2007; Evans et al., 2010)을 산출 및 추정함으로써 병해충에 따른 간접적인 피해를 평가하고 있다. 이처럼 자연과학 기반 연구들과 달리 사회과학 분야의 연구는 병해충에 의한 간접적인 피해를 재배 농가, 시장, 관련 산업 및 국가 등 다양한 차원에서 평가함으로써 병해충 피해의 광범위함을 제시함과 동시에 피해 최소화를 위한 대응 및 관리 정책의 필요성과 당위성을 시사하고 있다.

2. 경제학적 관점에서의 병해충 피해 평가

우리나라 정부 차원의 병해충 관리 및 대응을 위한 노력은 국가검역 체계와 고위험 병해충을 대상으로 시행되고 있는 공적방제 조치 사업을 통해 엿볼 수 있다. 병해충에 의한 피해를 예방하고 최소화를 목적으로 하는 상기 제도 및 사업은 여타 부문의 공공사업과 같이 경제성 분석의 평가 대상이 되고 있다. 비용편익분석(Cost Benefit Analysis, CBA)⁵⁸⁾은 공공사업에 대한 경제성 분석 시 대표적으로 활용되고 있는 방법론 중 하나로, 학계에서는 다양한 방법론을 적용함으로써 비용편익분석 시 활용되는 비용과 편익 항목을 산출하거나 추정하고 있다. 특히, 관련 문헌들에서는 병해충으로 인해 발생할 수 있는 직·간접적인 영향 또는 피해를 화폐 가치화하여 편익 항목으로 제시하거나 병해충 관련 제도와 사업의 경제적 타당성 평가에 활용하고 있다(Glauber and Narrod, 2001; MacLeod et al., 2004; Keller et al., 2007; Frem et al., 2022).

병해충에 의한 직·간접적인 피해를 다룬 연구들은 사회·경제학적 관점에서 다양한 방법론을 활용하여 병해충 피해를 산출 및 추정하고 있다. 대표적으로 활용하고 있는 방법론으로는 부분예산법(Partial Budgeting, PB), 부분균형모형(Partial Equilibrium, PE), 투입산출모형(Input Output,

58) 비용편익분석은 공공사업의 비용과 경제적 편익을 사회적 측면에서 측정하고 이에 따라 경제적 타당성을 계산하는 것으로(한국지방행정연구원 지방투자사업관리센터, 2016), 평가 대상에 따라 사업 시행의 주체 및 사업 시행에 따라 혜택을 받는 집단 등의 입장에서 비용과 편익이 달리 측정될 수 있음.

IO), 연산가능 일반균형모형(Computable General Equilibrium, CGE)이 있다⁵⁹⁾. 각 방법론은 피해 대상 작물과 구조적으로 연관된 재배농가의 수익, 시장의 수요·공급, 연관 산업을 비롯한 국가 단위 산업 투입·산출, 산업·정부·국민의 수입·지출 구조를 활용하여 병해충 발생에 따른 영향을 다양한 수준과 범위에서 평가한다는 점에서 차이가 있다⁶⁰⁾.

이처럼 병해충에 의한 피해는 병해충 발생으로 영향을 받는 대상과 집단에 따라 직접 및 간접 피해로 구분하여 평가될 수 있다. 병해충 발생에 따른 직접 피해와 달리 간접 피해는 국외를 중심으로 상대적으로 오랜 기간 다양한 정량적 평가 방법론의 적용을 토대로 평가되어왔지만, 우리나라를 대상으로 한 연구는 미흡하게 이루어지고 있다. 병해충 피해에 관한 우려와 함께 불확실성이 증가하고 있는 시점에서 우리나라를 대상으로 한 병해충에 의한 간접 피해 및 영향에 관한 연구는 병해충 관리 정책 및 대응조치 시행에 요구되는 병해충위험분석에 경제학 관점의 방법론의 적용 가능성을 타진하는데 기여할 수 있을 것이다. 이를 위해 본 연구는 작물 1과 2의 생산량 감소에 유의미한 영향을 주고 있는 병해충 A의 발생에 의한 사회·경제적 영향을 분석한다.

59) 이 외에도 행위자 기반 모형(Agent-based model, ABM)이 언급될 수 있겠으나, 관련 문헌들은 농작물 생산 관리 측면에서 생산량 증대를 위한 재배 기술, 날씨 및 병해충 발생위험 예측정보, 종합 병해충 관리 기술 등이 재배 농가에 적용될 때의 영향을 다루고 있음(Manson, 2005; Rebaudo et al., 2011; Grovermann et al., 2017).

60) 각 방법론이 병해충 발생에 의한 영향 평가를 위해 활용되는 과정 및 분석 결과에 대한 구체적인 내용은 Soliman et al. (2010)을 통해 확인할 수 있음.

제 3 절 연구 방법론

1. 연구 체계

본 연구에서는 병해충 A 발생에 따른 사회·경제적 영향을 추정하기 위해 총 세 가지 절차를 거쳐 분석을 진행한다. 먼저, 병해충 A와 피해 대상 작물로 선정된 작물 1과 작물 2에 관한 문헌을 토대로 피해수량 산술식을 설정한다. 병해충의 피해가 향후 다른 지역으로 확산할 수 있음을 고려하여 가용한 자료를 참고 및 활용하여 병해충 A의 확산 및 피해를 가정한 피해확산 시나리오를 설계한다. 마지막으로, 앞선 산술식과 시나리오를 토대로 추정한 작물 1과 작물 2의 피해수량을 부분균형 모형에 적용함으로써 병해충 A 발생에 따른 사회후생 손실분을 추정함으로써 사회·경제적 영향을 평가한다.

더욱 구체적인 병해충 피해 평가 방법론의 활용을 위해 본 연구에서는 병해충 A 발생에 따른 사회·경제적 영향을 사후 및 사전적인 측면에서 분석한다. 이를 위해 과거부터 특정 시점까지의 병해충 피해를 피해수량 산술식에 기초하여 산출한 후 부분균형모형에 적용하여 병해충 A에 의한 피해를 사후적 측면에서 평가한다. 또, 관련 문헌을 통해 수집한 구체적인 피해 수치와 발병지역 추이를 고려하여 향후 발생할 수 있는 확산 및 피해 상황을 가정하여 피해확산 시나리오를 설계한다. 시나리오 기반 피해수량을 추정한 뒤 부분균형모형에 적용하여 사전적 측면에서 피해 평가 분석을 수행한다.

2. 병해충 발생에 따른 농작물 피해수량 산출

병해충 발생에 따른 농작물 피해수량을 산출하는 방법은 일반적으로 병해충 피해 양상, 피해대상 작물의 재배 및 생육에 관한 특징을 고려하여 설정한 산술식에 기초한다. 피해수량 산출을 위해 활용되는 산술식은

기본적으로 병해충이 발생한 면적, 피해대상 작물의 단위 면적당 생산량 (이하 단위), 병해충 발생으로 인한 피해율로 구성된다.

$$Q_{D,k} = A_{O,k} \times y_j \times r_k \quad \text{식 4-1}$$

여기서 $Q_{D,k}$ 는 병해충 k 의 발생에 따른 피해수량을, $A_{O,k}$ 는 병해충 발생 면적을, y_j 는 피해대상 농작물 j 의 단위면적당 생산량인 단수를 의미한다. 병해충 k 에 의한 피해율 r_k 이 1의 값을 가질 때는 병해충 발생으로 피해를 본 농작물 전체가 상품 가치가 없음을, 0 값을 가질 때는 병해충에 의한 피해가 없음을 의미한다.

피해수량 산술식은 분석 대상이 되는 병해충과 피해 대상 농작물의 재배 및 생육 측면의 특징(이하 재배 및 생육 특성)에 따라 다르게 구성 및 설정될 수 있다⁶¹⁾. 또한 병해충 발생으로 인한 피해는 작물에 따라 다른 양상을 띠 수 있으므로, 병해충 및 피해대상 작물별 피해율(r_k)은 분석 대상에 따라 관련 문헌을 참고하여 달리 적용할 필요가 있다. 예를 들어, 사과 갈색무늬병(Marssonina blotch)은 사과 잎과 과실에 병반(病斑)을 일으키는 특징을 가지고 있다. 사과 잎에 병반이 발생하여 조기에 낙엽할 때 미성숙과를 생산하게 되는데(백창기·정희영, 2014), 해당 병은 발병으로 조기낙엽하는 비율이 높아질수록 과실의 무게가 유의미하게 감소한다(사공동훈 외, 2011)는 특징이 있다. 이러한 특징을 식 4-1에 반영하여 사과 갈색무늬병의 피해수량 산술식 설정하면 다음과 같다.

$$Q_{D,mb} = A_{ap,mb} \times y_{ap} \times r_{mb} \quad \text{식 4-2}$$

$$r_{mb} = (W_0 - W_d) / W_0$$

61) 농작물은 서로 다른 재배 및 생육 특성이 있음. 예를 들어, 토양 병해충은 연작(連作, Repeated cultivation)하는 작물에 지속해 피해를 줄 수 있음. 또, 식재 후 2년 이후 결실하는 농작물을 대상으로 하는 병해충의 발생은 1년이 넘는 기간의 피해를 초래할 수 있음.

위의 식 4-2에서는 피해율 r_{mb} 을 사과 갈색무늬병 발생에 기인한 조기 낙엽 비율의 정도 d 에 따른 미성숙과의 질량 W_d 와 해당 병이 발생하지 않았을 때의 과실 질량 W_0 을 활용하여 피해율을 설정하였다.

이처럼 병해충 발생에 따른 피해수량 산술식은 분석 대상 병해충과 피해 대상 작물에 관한 문헌을 참고하여 파악할 수 있는 정보를 토대로 설정할 수 있다.

3. 병해충 A 피해수량 산술식⁶²⁾

본 연구에서는 우리나라 작물 1과 2에 큰 피해를 주고 있는 병해충 A를 대상으로 분석을 진행한다. 병해충 A는 작물 1과 2에 발생하는 일반적인 병해충과 달리 국내에서의 확산세가 두드러지며, 재배농가에 유의미한 피해를 주고 있다는 특징이 있다. 또한, 이 병은 피해 작물 농가 내 발생 시 2년 이상 재배 농가의 생산에 유의미한 영향을 준다는 특징이 있다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 앞선 일반적인 병해충 피해수량 산술식인 식 4-1의 구성을 달리하여 병해충 A의 피해수량 산술식을 설정한다. 병해충 A에 따른 피해, 작물 1과 2의 재배 및 생육 특성을 고려하여 설정한 피해수량 산술식은 다음의 식 4-3과 같다.

$$Q_{D,t,i} = CA_{t,i} \times G_{t,i} \times y_{t,i} \times r_{t,i} \quad \text{식 4-3}$$

$$CA_{t,i} = A_{t,i} + \sum_{j=1}^n A_{t-1,i,j}$$

여기서 $Q_{D,t,i}$ 는 특정 시점(t)의 지역 i 에서 병해충 A로 인해 발생하는 피해수량을, $CA_{t,i}$ 은 t 기의 지역 i 에서 병해충 A 발생으로 인한 피해면

62) 본 연구에서 설정한 피해수량 산술식은 병해충 A의 피해에 관한 사후 및 사전적 분석 모두에서 동일하게 활용됨. 하지만, 두 분석의 목적이 다름을 고려하여 각 분석의 생산량 감소분을 피해수량 산출치, 피해수량 추정치로 칭함.

적을, $G_{t,i}$ 은 t 기의 지역 i 내 작물 1 또는 작물 2 재배 농가 내 식재된 성목면적⁶³⁾ 비율을 의미한다. 한편, $CA_{t,i}$ 는 병해충 A의 피해 특성을 반영하기 위한 항(term)으로 $A_{t,i}$ 는 t 기 지역 i 에서의 피해 면적을, $\sum A_{t-1,i,j}$ 는 특정 시점 t 기 이전의 과거 j 년간 지역 i 에서 발생한 피해 면적을 의미한다. 본 연구의 분석 대상인 병해충 A의 대표적인 피해 대상 작물인 작물 1과 2는 재배 농가 내 식재 후 3년 차에 개화 및 결실하는 3년지 결실형 작물로, 병해충 A에 의한 피해 발생 시 2년 이상의 생산에 영향을 준다는 점을 동시에 고려하기 위하여 본 연구에서는 과거 j 년간 지역 i 에서 병해충 A에 따라 발생한 피해면적의 누적값을 활용하였다.

본 연구에서는 병해충 발생에 따른 피해수량 산출 및 추정을 위하여 활용되는 일반적인 피해수량 산술식을 토대로 병해충 A 피해 특성과 대표적인 피해대상 작물인 작물 1과 작물 2의 재배 및 생육 특성을 고려하여 병해충 A의 피해수량 산술식을 설정하였다. 이를 토대로 지금까지의 병해충 A 발생에 따른 피해수량을 산출하고, 향후 발생할 수 있을 것으로 판단되는 병해충 A 확산 시나리오를 활용하여 피해수량을 추정한다.

4. 피해확산 시나리오

본 연구에서는 병해충 A 피해가 향후 기존 발생 지역과 지리적으로 인접한 지역으로 확산할 수 있음을 가정하여 시나리오를 설계하였다. 이는 해당 병이 과거 발생한 이력이 있는 지역에서 계속하여 발생하고 있으며, 행정 경계상 인접한 지역으로 확산하여 유사한 피해 양상을 보인다는 점을 고려한 것이다.

병해충 A는 자연 및 인위적인 요인⁶⁴⁾에 의해 반경 30km 이상까지 확

63) 과목의 생육 특성상 과원 내 묘목 식재 후 상품성을 지닌 농작물 생산은 일반적으로 3년이라는 시간이 소요됨. 즉, 묘목(苗木)이 성목(成木)이 되기 전까지의 생산량은 상품 가치를 지니지 않기 때문에 본 연구의 분석 대상에서 제외하였으며, 이를 고려하여 피해수량 산술식 내 성목면적 비율을 추가함.

산한 사례가 있고, 그보다 먼 거리로 확산할 수 있음을 고려하여 확산 가능 거리를 반경 10km, 30km, 50km로 선정하였다⁶⁵⁾. 구체적으로 본 연구에서 과거 발생 이력 지역을 기준으로 확산 가능 거리에 소재한 지역을 분류하기 위하여 시군구 단위의 공간 자료를 활용하여 각 지역의 중심점(Centroid)을 추출하였다. 중심점이 앞서 선정한 세 개의 반경 내에 위치할 때 병해충 A가 발생할 수 있는 지역으로 분류하였다⁶⁶⁾.

향후 병해충 A의 확산을 가정할 때 확산 가능 지역에서 어느 정도의 피해를 초래할지에 관하여서는 관련 문헌 및 도별 농업기술원 자료에 기반을 두어 설계하였다. 즉, 해당 문헌들을 출처로 한 피해 자료를 활용하여 확산 시 발생할 수 있는 피해 정도인 피해율 수치⁶⁷⁾를 선정하였다. 문헌을 통해 수집한 자료 중 작물 1과 2 각각의 피해 자료가 식별되는 사례만을 대상으로 계산한 수치 중 세 개, 작물 구분 없이 구축한 피해 자료 기준으로 계산한 수치 중 두 개를 선정하여 분석에 활용하였다.

구체적으로 작물별 세부 수치가 식별되는 자료 기준으로 선정한 값은 발생 이력이 있는 지역들의 평균값(작물 1은 2.27%, 작물 2는 1.24%)⁶⁸⁾, 수집한 자료 중 가장 최근인 2020년 기준 발생지역들의 평균값(3.33%, 2.37%), 세부 수치 중 최댓값(5.11%, 4.91%) 총 세 개의 수치를 선정하였다. 한편, 작물 구분 없이 구축한 자료를 기준으로 분석 시 활용한 값은 작물 1과 2의 피해가 각각 두드러졌던 지역인 충청북도 충주 및 제천, 경기도 안성 및 충청남도 천안의 수치 중 최댓값(16.66%, 11.45%)을

64) 확산의 자연적 요인으로는 바람 및 비와 같은 기상요소가, 인위적 요인으로는 생산성 향상을 위한 재배 및 경작 활동 등에 쓰인 도구의 반복된 사용 및 감염된 묘종 및 묘목의 사용 등이 있음.

65) 상기 확산 요인 외에도, 피해대상 작물의 화분 매개체인 벌에 의한 자연 감염 및 확산 가능성이 다뤄짐(Choi et al., 2022). 벌의 최대 이동 반경은 13km임(Pahl et al., 2011)을 다른 확산 요인과 함께 고려하여 확산 가능 거리를 설정함.

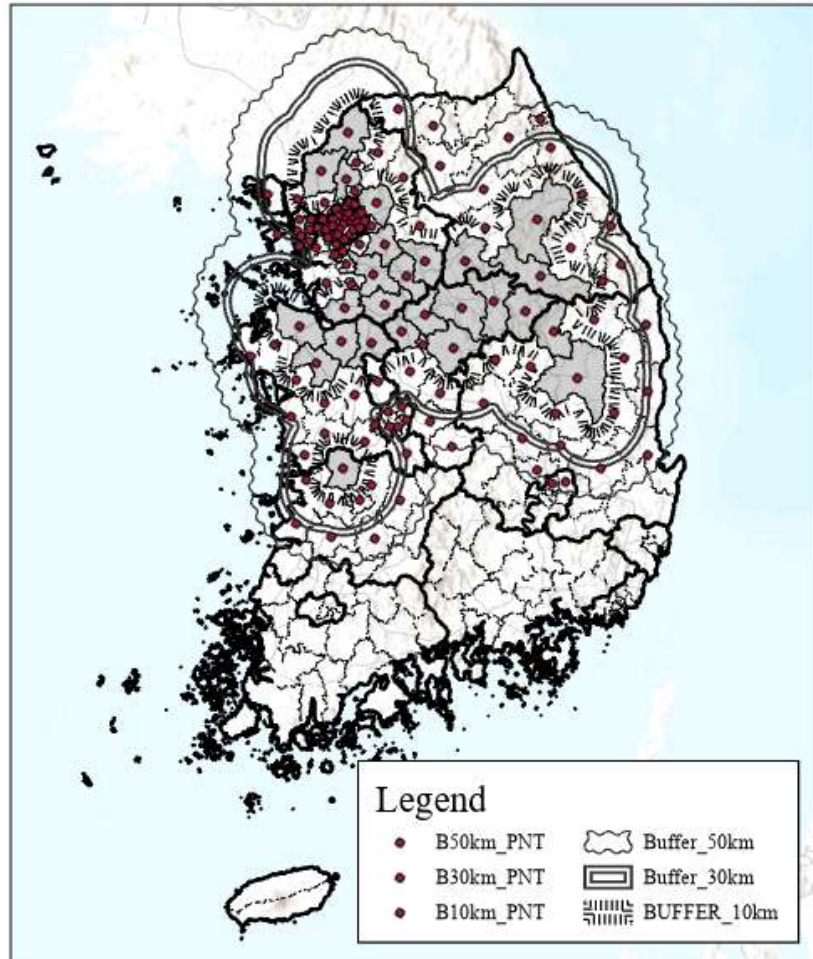
66) 실제 재배지 위치와 재배면적을 파악할 수 있는 자료가 부재함을 이유로 각 시군구의 중심점이 병의 확산 가능 반경 내 위치하는지를 기준으로 분류함. 각 반경에 따라 피해확산 지역으로 분류한 시군구는 부록 4-2를 통해 확인할 수 있음.

67) 본 연구에서 활용한 피해율 수치는 관련 문헌을 통해 확인된 피해면적이 전체 재배면적에서 차지하는 비율임.

68) 작물별 세부 수치와 관련하여 이후의 괄호 안 값 중 첫 번째는 작물 1, 두 번째는 작물 2의 값을 의미함.

선정하였다. 또한, 해당 값과 앞선 작물별 최대 피해율 수치와의 평균값 (10.88%, 8.17%)을 추가하였다.

그림 4-1. 병해충 A 발생 이력 및 확산 가능 반경



자료: 국립원예특작과학원 (2015), 차재순 외 (2019), 경기도농업기술원(2021) 참고하여 작성

본 연구에서 병해충 A 관련 문헌을 통해 수집한 자료들을 바탕으로 선정된 세부 피해율 수치⁶⁹⁾는 다음의 표 4-1을 통해 확인할 수 있다.

69) 관련 문헌을 토대로 구축한 병해충 A에 관한 지역별 피해 추이는 부록 4-3을 통해 확인할 수 있음.

표 4-1. 피해 확산 시나리오별 피해율 수치 (단위: %)

피해정도	작물 1	작물 2
R1	2.27	1.24
R2	3.33	2.37
R3	5.11	4.91
R4	10.88	8.17
R5	16.66	11.45

출처: 국립원예특작과학원 (2015), 차재순 외 (2019), 농림축산검역본부 (2020, 2021), 경기도농업기술원 (2021), 충청북도농업기술원 (2022)

5. 부분균형모형

본 연구에서는 병해충 A에 의한 사회·경제적 영향 추정을 위해 부분균형모형(Partial Equilibrium)을 적용한다. 해당 모형은 정책 도입 및 병해충 발생과 같은 충격에 의한 생산량 및 가격 변화가 시장 소비자와 생산자의 잉여(Surplus)⁷⁰⁾에 미치는 영향을 평가하는 방법론이다. 부분균형모형은 정책 개입이나 병해충 유입과 같은 충격에 영향을 받는 시장 참여자의 사회적 후생(Social Welfare)을 평가할 수 있는 강력한 도구이며(Soliman et al., 2010), 충격 전후의 시장 균형조건을 비교함으로써 사회적 후생 변화의 측정을 용이하게 한다는 장점이 있다(Mas-Collel et al. 1995).

농업 분야에서의 부분균형모형의 적용 사례는 농업 정책 및 제도, 국제 무역 여건 변화 등에 따른 효과를 평가하거나(Elobeid and Beghin, 2006; Schmitz et al., 2008), 병해충 위험평가(Arthur, 2006; Breukers et al., 2008; Surkov et al., 2009; Kwon et al., 2015)를 위해 활용되었다. 즉, 본 모형은 병해충 발생으로 변화되는 소비자와 공급자의 잉여분인 사회후생 손실분(Social Welfare Loss; SWL)을 추정 및 계측하는 방법론으로 이해될 수 있으며, 본 연구에서는 병해충 A의 발생에 따른 사회·

70) 잉여는 주어진 시장 내에서 형성되는 가격에 특정 상품을 거래하는 것으로부터 소비자와 공급자에게 귀속되는 총순이익 또는 가치를 의미함.

경제적 영향을 추정함으로써 병해충 위험평가를 수행하는 것을 목적으로 부분균형모형을 활용한다.

분석 수행을 위해서는 먼저 평가 대상 작물의 수요 및 공급의 기능적 관계를 정의함으로써 작물 시장을 묘사하여야 한다⁷¹⁾. 이는 분석 대상 작물의 수요곡선과 공급곡선으로 정의될 수 있다. 작물의 수요 및 공급 함수를 지수함수⁷²⁾로 정의하고, 수요공급 탄력성이 변하지 않음을 가정할 때 작물의 수요 및 공급함수는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_D = f_D(P_Q) = \gamma P_Q^{\varepsilon_D} \quad \text{식 4-4}$$

$$Q_S = f_S(P_Q) = \delta P_Q^{\varepsilon_S} \quad \text{식 4-5}$$

여기서 γ 와 δ 는 각각 수요와 공급함수의 모수를, ε_D 와 ε_S 는 각각 수요 및 공급탄력성을 의미한다.

식 4-4를 통해 묘사된 작물 시장에서 거래가 실현될 때의 작물 가격을 균형가격 및 균형수량을 각각 P^* 와 Q^* 라 칭하고, 이 상황에서의 작물 가격과 수량의 조합을 균형상태(시장균형점, E^*)라 하면, 각 함수를 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$E^* = Q_D = Q_S \quad \text{식 4-5}$$

$$P^* = \left(\frac{\delta}{\gamma}\right)^{\frac{1}{(\varepsilon_D - \varepsilon_S)}} \quad \text{식 4-7}$$

$$Q^* = \gamma P^{*\varepsilon_D} = \delta P^{*\varepsilon_S} \quad \text{식 4-8}$$

71) 부분균형모형은 사회후생을 극대화하는 상품의 가격과 수량의 조합 결정을 위하여 상품의 수요 및 공급의 기능적 관계를 정의하는 것에 기초함(Mas-Collel et al., 1995).

72) 모형 적용 및 분석의 용이성을 목적으로 작물의 수요·공급함수를 선형으로 가정하기도 하나, 선형함수로 정의할 때 수량 및 가격 변동에 따라 탄력성이 변한다는 단점이 있음. 이에 본 연구에서는 병해충에 의한 생산량 감소로는 탄력성이 변하지 않음을 가정하기 위해 지수 형태로 함수를 정의함.

작물 수요 및 공급함수의 모수인 γ 와 δ 는 시장에서 거래가 실현되는 균형가격(P^*)과 균형수량(Q^*)을 활용하여 다음과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{\gamma} = \frac{Q^*}{P^{*\varepsilon_D}} \quad \text{식 4-9}$$

$$\hat{\delta} = \frac{Q^*}{P^{*\varepsilon_S}} \quad \text{식 4-10}$$

일반적인 수요곡선 및 공급곡선으로의 도식화를 목적으로 각 함수는 다음과 같은 형태로 표현할 수 있다.

$$P_D = \left(\frac{Q}{\hat{\gamma}}\right)^{\frac{1}{\varepsilon_D}} \quad \text{식 4-11}$$

$$P_S = \left(\frac{Q}{\hat{\delta}}\right)^{\frac{1}{\varepsilon_S}} \quad \text{식 4-12}$$

병해충에 의한 사회·경제적 영향 평가를 목적으로 부분균형모형 적용을 위해서는 식 4-12를 수정하여 병해충 발생에 따른 생산량 감소에 기인한 충격을 고려할 수 있다. 본 연구에서는 병해충 A에 의한 생산량 감소라는 충격을 피해대상 작물의 생산량 감소분인 Q_{dmg} , 이에 따른 시장 공급량을 Q' 라 칭하면 식 4-12는 다음의 식 4-13과 같이 수정될 수 있다⁷³⁾.

$$P_S' = \left(\frac{Q'}{\hat{\delta}'}\right)^{\frac{1}{\varepsilon_S}} \quad \text{식 4-13}$$

$$Q' = Q - Q_{dmg}$$

73) 본 연구에서는 병해충 A에 의한 충격을 고려하기 위하여 시장 내 공급되는 작물 모두가 처분되며, 피해대상 작물의 공급자에만 충격이 있을 것을 가정함.

병해충 A에 의한 충격을 반영하기 위한 가정들이 성립하고 발병에 의한 생산량 감소분이 반영된 공급함수(식 4-13)가 실현될 때, 해당 공급함수의 모수인 δ' 은 다음과 같이 추정될 수 있다.

$$P_1 = \left(\frac{Q_1}{\hat{\gamma}}\right)^{\frac{1}{\epsilon_D}} \quad \text{식 4-14}$$

$$\hat{\delta}' = \frac{Q_1}{P_1^{\epsilon_S}} \quad \text{식 4-15}$$

여기서 병해충 A의 발생으로 감소한 시장 내 공급량이 반영된 새로운 균형수량을 Q_1 , 균형가격을 P_1 라 할 때⁷⁴⁾ 이들은 다음과 같은 식들을 통해 추정될 수 있다.

$$E_1 = Q_D = Q_S' \quad \text{식 4-16}$$

$$P_1 = \left(\frac{\delta'}{\gamma}\right)^{\frac{1}{(\epsilon_D - \epsilon_S)}} \quad \text{식 4-17}$$

$$Q_1 = \gamma P_1^{\epsilon_D} = \delta' P_1^{\epsilon_S} \quad \text{식 4-18}$$

앞선 식들을 바탕으로 병해충 A 발생이 없었을 때의 시장균형점을 각각 P_0 와 Q_0 , 발생 시의 균형점을 P_1 와 Q_1 라 할 때 기존의 수요 및 공급함수인 식 4-10, 식 4-11, 식 4-12를 활용하면 해당 병 발생에 의한 사회후생 손실분(Social Welfare Loss, SWL)을 다음의 식 4-19부터 식 4-22를 활용하여 계산할 수 있다.

74) 앞선 시장균형점 P^* 와 Q^* 와의 혼동을 방지하기 위하여 피해 여부를 기준으로 시장균형점의 기술 방식을 피해 미발생 시 P_0 와 Q_0 , 발생 시 P_1 와 Q_1 로 변경함.

$$A = g + i = \int_0^{Q_0} (Q/\hat{\delta})^{1/\varepsilon_s} dQ \quad \text{식 4-19}$$

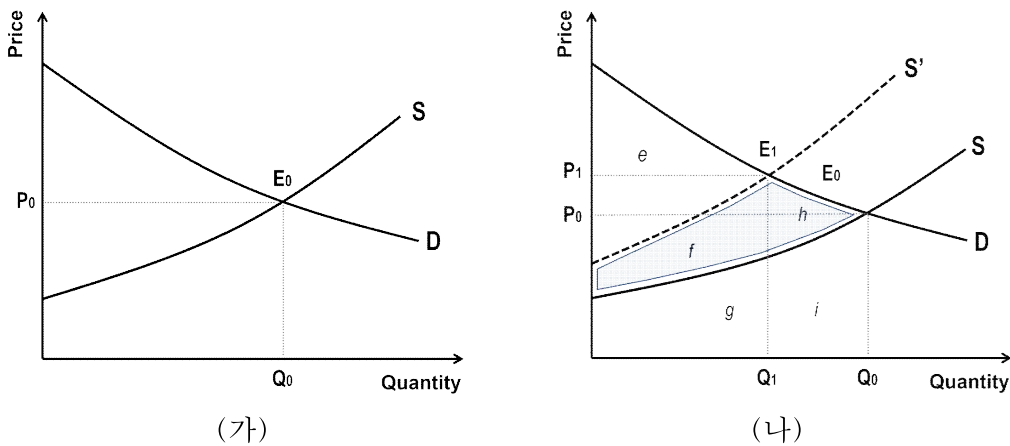
$$B = f + g = \int_0^{Q_1} (Q'/\hat{\delta}')^{1/\varepsilon_s} dQ \quad \text{식 4-20}$$

$$C = h + i = \int_{Q_1}^{Q_0} (Q/\hat{\gamma})^{1/\varepsilon_D} dQ \quad \text{식 4-21}$$

$$SWL = (B + C) - A = f + h \quad \text{식 4-22}$$

병해충 발생에 의한 사회후생 손실분은 피해대상 작물의 수요·공급 곡선으로 구현한 시장에 병해충으로 인한 생산량 감소라는 외부 충격이 반영되기 전과 후에서의 시장균형점으로 비교함으로써 평가할 수 있다. 다음 그림 4-3의 (나)에 음영 처리된 부분이 병해충 피해에 의한 사회후생 손실분을 의미한다.

그림 4-2. 병해충 발생에 따른 사회후생 손실분



제 4 절 자료 및 변인

1. 연구 범위 및 대상

본 연구는 병해충 A의 발생에 따른 사회·경제적 영향을 추정하는 것에 목적을 둔다. 이를 위해 본 연구에서는 해당 병해충의 대표적인 피해 대상 작물인 작물 1과 2를 분석 대상으로 선정해 분석을 수행한다.

분석의 시간적 범위는 관련 문헌을 통해 병 발생이 구체적으로 확인되는 2009년부터를 주요 범위로 한다⁷⁵⁾. 과일 병해충 발생에 기인한 피해는 일반적으로 대상 과목(과실나무) 및 과실에 나타나기 때문에 본 연구의 경우 작물 1 또는 2의 과목을 기준으로 분석을 진행⁷⁶⁾함이 마땅하다. 하지만, 우리나라의 경우 관련 기관을 통해 제공되는 자료 대다수가 17개의 시도를 대상으로 한 자료다⁷⁷⁾. 이에 본 연구에서는 시도 단위 자료를 주되게 활용하여 분석을 수행하며, 향후 발생할 수 있는 피해를 사전적으로 분석하는 피해확산 시나리오 분석에서만 시군구 단위의 재배면적 자료를 활용하여 시군구 수준의 분석을 수행한다.

75) 해당 병해충 발생에 관한 수치는 여러 매체를 통해 확인되나, 본 연구에서는 관련 문헌에서 제공하는 자료 중 분석에 활용할 수 있는 시점만을 분석의 범위로 함.

76) 과일 병해충의 피해율은 병해충의 피해 양상에 따라 이병주율(전체 개체 중 병에 걸린 개체의 비율), 이병과율(전체 과실 중 병에 걸린 과실의 비율) 등과 같이 피해 대상 과목 또는 과실 기준의 피해율이 자연과학 분야를 통해 제공되고 있으나, 이를 활용하여 경제적 영향 또는 피해분석 수행을 위해서는 각 지역에 식재된 과목 수와 같은 자료가 요구됨.

77) 우리나라 농업 분야 자료는 대체로 국가통계포털을 통해 제공되고 있으며, 마이크로데이터통합서비스를 통해 미시자료를 수집할 수 있음. 그러나 작물별 재배면적, 성목면적, 생산량 등 본 연구에서 활용하는 자료 대부분은 관련 통계치의 신뢰성을 주된 이유로 시도 수준에서만 제공하고 있음.

2. 분석 자료

본 연구에서는 병해충 A의 발생에 따른 사회경제적 영향을 추정하기 위해 관련 문헌 및 활용할 수 있는 자료에 기반하여 병해충 A의 피해수량 산술식과 피해확산 시나리오를 설정 및 설계하고, 국내에서 재배되는 작물 1과 2를 대상으로 하는 시장 수요·공급 구조를 각각 구축하였다.

이를 위해 본 연구에서는 국가통계포털, 관련 문헌, 농산물유통정보 등 다양한 출처를 기반으로 관련 자료를 수집하였다. 먼저, 피해수량 산술식 설정을 위해 요구되는 자료 중 작물 1과 2의 지역별 재배 및 성목 면적과 생산량은 국가통계포털에서 제공하는 농업면적조사, 농산물생산 조사를 출처로 수집하였다. 단위(단위면적당 생산량)는 국가통계포털에서 제공하는 면적 및 생산량 자료를 활용하여 자체적으로 계산하였으며, 병해충 A의 피해 자료는 관련 문헌을 출처로 구축하였다. 사후 분석에서 활용한 피해 자료는 여러 문헌에서 제공하는 수치들을 교차검증하여 활용할 수 있는 지역과 시점만을 분석의 범위로 하였다⁷⁸⁾. 피해확산 시나리오 설계는 관련 문헌을 통해 수집한 구체적인 피해 자료와 도별 농업기술원을 통해 수집할 수 있는 지역별 피해 자료를 활용하였다. 또, 본 연구에서는 국가통계포털에서 제공되는 시도 단위보다 하위 수준의 자료가 필요하다고 판단하여 농업경영체 등록정보 통계 서비스(이하 농가경영DB)를 출처로 시군구별 작물 1과 2의 재배면적 자료를 활용하여 시나리오 분석 자료를 구축하였다. 부분균형모형 적용을 위한 자료 중 작물 평균 도매가격⁷⁹⁾은 농산물유통정보(atKAMIS)에서 수집하였으며, 작물별 수요·공급탄력성은 관련 문헌에서 제공하는 수치⁸⁰⁾를 활용하였다. 본 연구의 분석에 활용한 자료는 다음의 표 4-2와 같다.

78) 관련 문헌을 통해 본 연구에서 분석의 시간적 범위로 둔 2009년 이전부터 해당 병이 발생한 것이 확인되나, 분석 시 요구되는 구체적인 피해 자료가 부재함.

79) 작물 1과 2의 연도별 평균 도매가격은 각 작물의 주요 품종의 상품 및 중품에 대한 도매가격의 평균값임.

80) 작물 1과 2의 수요와 공급탄력성을 제시하는 관련 문헌 중 가장 최근 문헌의 수치를 활용함.

표 4-2. 분석 자료

구분		설명	단위	출처
피해수량 산술식	재배면적	작물별 과목이 식재된 면적	ha	국가 통계 포털
	성목면적	작물별 성목이 식재된 면적		
	생산량	작물 1과 2의 생산량	톤	
	단수	단위면적당 연간 생산량	톤/ha	자체 계산
	피해율	전체 작물별 재배면적 중 병해충 A 피해면적 비율	ha	관련 문헌*, 도별 농업기술원
피해확산 시나리오	과거 발생 자료	과거 병해충 A 발생지역	장소	
	시군구 재배면적	시군구단위 작물별 과목 식재 면적	ha	농가 경영DB
부분균형 모형	평균	작물별 주품종의 상품과 중품의	원	농산물
	도매가격	연간 평균 도매가격의 평균치	/kg	유통정보
	수요·공급 탄력성	가격 변화에 따른 작물별 수요 및 공급량의 변화율	%	관련 문헌**

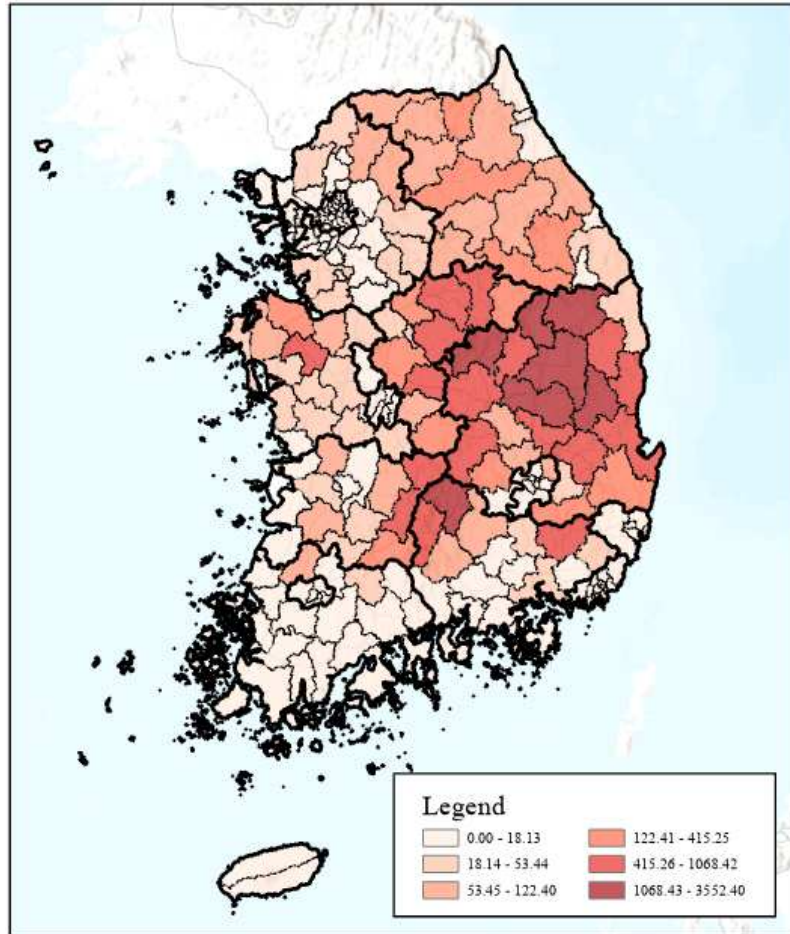
*: 국립원예특작과학원 (2015), 차재순 외 (2019), 함현희 외 (2020), 농림축산검역본부 (2020, 2021), 경기도농업기술원(2021), 충청북도농업기술원 (2022)

** : 김명환 외 (2008), 성명환 외 (2016), 조재환 (2018)

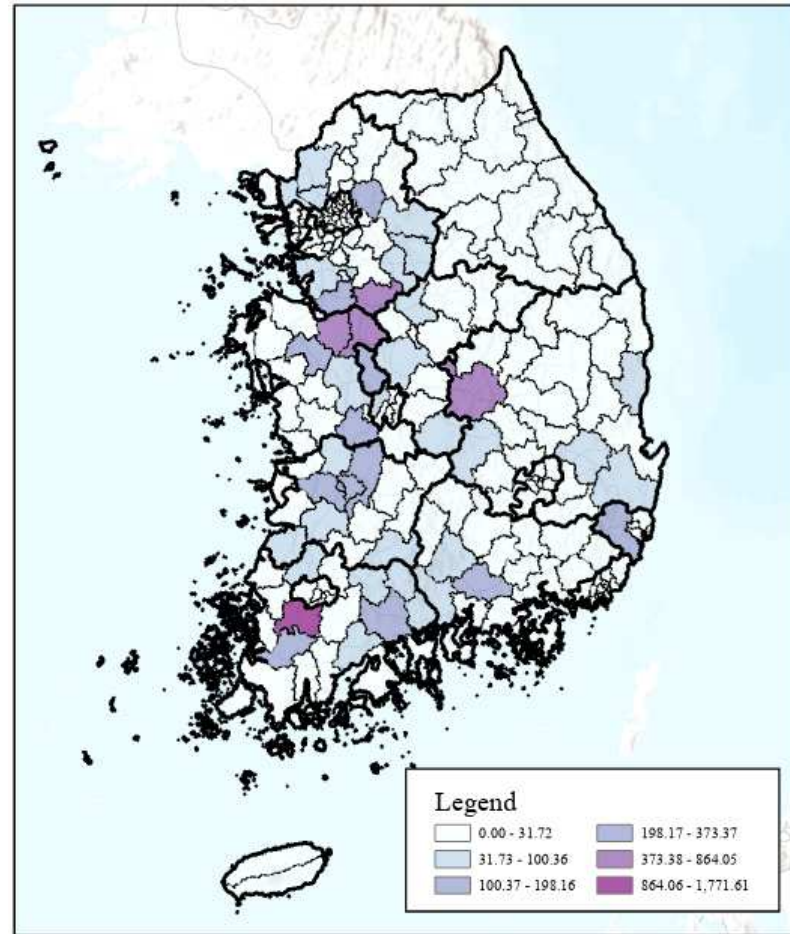
3. 시나리오 분석을 위한 자료 구축 및 가정

본 연구는 병해충 A 피해 자료를 토대로 피해확산 시나리오를 설계하여 향후 발생할 수 있는 피해수량과 사회후생 손실분을 추정한다. 시나리오 분석에 활용한 시군구별 재배면적은 국가통계포털에서 제공하는 2022년 시도별 값을 기준으로 농가경영DB를 통해 수집한 2022년 시군구별 재배면적이 상위 시도에서 차지하는 비율을 계산한 후 이를 시도 값에 곱해주는 방식으로 구축하였다. 시군구별 성목면적비율과 단수 자료는 각 지역이 속한 상위 시도 값을 활용하였다. 즉, 시나리오 분석에서는 각 시군구가 상위 시도와 같은 재배 및 생육 특성을 갖는 것으로 가정하였다. 성목면적비율은 재배면적과 같이 2022년, 생산량과 단수 그리고 평균 도매가격은 2021년과 2022년의 평균값을 활용하였다.

그림 4-3. 시군구별 작물 재배면적 분포 (단위: ha)



작물 1



작물 2

제 5 절 분석 결과

1. 병해충 A 피해의 사후적 분석 결과

병해충 A 발생에 의한 작물별 피해수량과 이로 인한 사회후생 손실분은 작물 및 시점에 따라 다른 추세를 보이는 것으로 나타났다.

먼저 관련 문헌을 통해 구체적으로 식별할 수 있는 작물별 피해 자료에 근거하여 2009년부터 2020년까지 병해충 A 발생으로 인한 작물별 피해수량은 표 4-3과 같이 나타났다. 앞선 피해수량 산술식 4-3에 근거하여 산출한 결과, 작물 1은 2009년부터 2020년까지 약 1,971톤, 작물 2는 2011년부터 2020년⁸¹⁾까지 약 4,755톤인 것으로 나타났다. 작물별 추이를 살펴보면 먼저 작물 1은 2009년부터 2011년까지 10톤 이하의 상대적으로 작은 피해 규모를 보였으나, 2012년은 2011년 대비 약 8.6배(각각 69.21톤과 7.18톤)의 유의미한 증가세를 보인 이후 2017년까지 감소세를 보였다. 그러나, 2018년 전년 대비 피해 규모가 약 4.4배(각각 415.59톤과 77.35톤) 증가한 이후 증가세를 이어간 것으로 나타났다. 한편, 작물 2는 2011년부터 2017년까지 유의미한 피해 정도(각각 111.37톤과 756.22톤)를 보이며 증가세를 보이다 2018년과 2019년에는 2017년 대비 약 36%(각각 478.77톤, 485.99톤, 756.22톤)에 가까이 피해 규모가 감소한 것으로 나타났다. 하지만, 2020년에는 피해 규모가 전년 대비 약 41% (686.92톤) 증가한 것으로 산출되었다.

81) 관련 문헌에 따르면, 2009년과 2010년 병해충 A에 의한 피해는 작물 1을 대상으로 경기도에서만 발생한 것으로 확인됨.

표 4-3. 병해충 A 발생에 따른 지역별 피해수량 추이, 2009-2020 (단위: 톤)

구분	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	계	
전국	10.66	10.85	118.55	275.57	374.17	435.24	746.25	859.24	833.57	894.36	967.04	1,200.82	6,726	
	작물1	10.66	10.85	7.18	69.21	102.01	93.11	99.00	91.36	77.35	415.59	481.05	513.89	1,971
	작물2	0	0	111.37	206.36	272.16	342.13	647.25	767.88	756.22	478.77	485.99	686.92	4,755
경기도	10.66	10.85	85.25	220.75	268.37	327.20	324.03	325.92	226.43	49.42	59.76	262.91	2,172	
	작물1	10.66	10.85	7.18	58.88	87.55	75.45	64.76	59.07	44.33	0.94	12.95	29.74	462
	작물2	0	0	78.07	161.88	180.82	251.75	259.27	266.85	182.10	48.48	46.81	233.17	1,709
강원도	0	0	0	0	0	2.13	3.10	3.48	2.98	33.14	68.18	64.60	178	
	작물1	0	0	0	0	0	2.13	3.10	3.48	2.98	33.14	68.18	178	
	작물2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
충청북도	0	0	0	0	0	0	13.90	13.67	13.25	381.51	399.92	415.24	1,237	
	작물1	0	0	0	0	0	13.90	13.67	13.25	381.51	399.92	403.04	1,225	
	작물2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.20	12	
충청남도	0	0	33.30	54.81	105.80	105.90	405.21	516.18	590.90	430.29	439.18	444.10	3,126	
	작물1	0	0	0	10.33	14.46	15.53	17.23	15.14	16.78	0	0	2.54	92
	작물2	0	0	33.30	44.48	91.34	90.38	387.98	501.04	574.12	430.29	439.18	441.56	3,034
전라북도	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.97	14	
	작물1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13.97	14	
	작물2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

주: 표에 수록되지 않은 지역은 병해충 A 발생으로 인한 피해가 구체적으로 확인되지 않는 지역임.

병해충 A의 발생으로 인한 사회후생 변화분은 관련 문헌을 통해 수집한 지역 및 연도별 발병 피해 자료와 앞서 설정한 피해수량 산술식을 토대로 산출한 작물별 피해수량을 본 연구에서 묘사한 우리나라 시장에 대입하여 산출하였다. 여기서 사회후생 변화분은 연도별 실제 시장균형가격(P_0) 및 균형수량(Q_0)과 병해충 A가 발생하지 않았음을 가정할 때의 이상적인 시장균형가격(P_{id}) 및 균형수량(Q_{id}) 각각의 소비자와 생산자 잉여의 합을 제한 값을 의미한다.

총 12년간의 병해충 A 피해에 따른 사회후생 손실분은 약 263억 원에 달하는 것으로 나타났다. 병 발생에 의한 작물 1의 생산량 감소가 초래한 사회후생 손실분은 2009년부터 2020년까지 12년간 약 94억 원에 달하고, 작물 2의 경우 약 169억 원에 달하는 것으로 나타났다(표 4-4). 이는 병해충 A에 기인한 사회적 측면의 후생 감소가 작물 1보다는 2에서 더 크게 나타났다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 병해충 A에 의한 피해가 지난 12년간 작물 1보다 2에서 더 크게 나타났기 때문이다.

연도별 사회후생 손실분을 살펴보면 작물 1에서는 급격한 증가세를, 작물 2에서는 점진적 증가세를 확인할 수 있다. 이러한 추세는 식 4-3에 근거하여 산출한 작물별 피해수량에 기인한 것으로 판단된다. 한편, 작물별 생산량 감소에 기인한 사회후생 손실분은 2019년 기점으로 작물 1의 값이 작물 2의 값(각각 약 20.4억 원, 약 19.2억 원)을 역전한 것으로 나타났다. 이는 작물별 단위 무게당 도매가격과 수요 및 공급탄력성에 기인한 것으로 보인다. 작물 1의 생산량 감소에 의한 사회후생 손실분 증가세가 두드러진다는 점은 향후 병해충 A가 경상북도 및 전라남도와 같이 피해 작물의 재배면적이 큰 지역으로 확산하게 되면 병에 의한 사회·경제적 영향이 더욱 커질 수 있음을 시사한다.

표 4-4. 연도별 사회후생 손실분 및 병해충 A 미발생 시 국내시장 균형점 (단위: 원/kg, 톤, 백만 원)

구분 연도	작물 1					작물 2				
	기준		미발생 시		사회후생 손실분	기준		미발생 시		사회후생 손실분
	P	Q	P_{id}	Q_{id}		P	Q	P_{id}	Q_{id}	
2009	3,423.75	494,491	3,423.64	494,502	41.24	2,060.70	418,366	-		-
2010	3,643.30	460,285	3,643.17	460,296	44.66	2,121.43	307,821			
2011	4,765.60	379,541	4,765.46	379,548	38.66	3,073.00	290,494	3,070.65	290,605	429.48
2012	5,267.85	394,596	5,266.44	394,665	411.56	3,271.50	172,598	3,263.72	172,804	843.88
2013	4,382.35	493,701	4,380.97	493,803	504.56	3,469.77	282,211	3,463.11	282,483	1,181.75
2014	4,936.95	474,711	4,935.48	474,804	518.83	2,949.93	302,731	2,943.30	303,073	1,261.99
2015	3,898.25	582,846	3,897.11	582,945	454.85	2,367.03	260,974	2,355.38	261,621	1,903.22
2016	3,485.65	576,369	3,484.70	576,460	375.36	2,721.80	238,015	2,705.01	238,783	2,549.28
2017	3,603.95	545,349	3,603.07	545,426	328.60	2,700.00	265,756	2,685.30	266,512	2,495.02
2018	3,645.90	475,301	3,640.41	475,717	1,779.71	2,418.40	203,166	2,407.49	203,645	1,418.20
2019	3,611.25	535,324	3,605.66	535,805	2,040.21	3,224.60	200,732	3,209.65	201,218	1,918.89
2020	4,820.95	422,116	4,810.85	422,630	2,905.05	3,499.43	132,581	3,464.86	133,268	2,904.59
계					9,443.27					16,906.31

주1: 기준 가격 및 수량은 각 연도 시장 내 거래가 실현된 값을 의미함. 즉, 실제 피해가 반영된 상황에서의 시장균형점임.

주2: 본 표에서 미발생 시 균형가격(P_{id})과 균형수량(Q_{id})은 병해충 A 미발생 시 실현되는 시장 균형가격과 수량을 의미함.

주3: 배를 대상으로 한 병해충 A 피해가 2009년과 2010년에는 없었기 때문에 두 연도의 사회후생 손실분과 시장균형점은 없음.

2. 피해확산 시나리오 분석 결과

병해충 A가 기존 발생지역과 지리적으로 인접한 지역으로 확산하여 피해를 줄 때 발생할 수 있는 피해수량 추정치와 이에 따른 사회후생 손실분은 피해확산 범위에 따라 다르게 나타났다.

먼저 병해충 A가 기존 발생지역 또는 미발생지역으로 확산하여 각 작물에 피해를 줄 것임을 가정할 때 두 작물에 대한 각각의 피해수량은 다음 표 4-5와 같이 추정되었다. 기존 발생지역에서 발생할 수 있는 피해(확산 없음)를 확산 반경별 수치⁸²⁾와 비교하면, 두 작물 모두 기존 발생지역에서 발생할 수 있는 피해가 가장 큰 것으로 나타났다. 이는 곧, 피해 최소화를 위한 조치가 기존 발생지역에서 엄격하게 시행되어야 함을 시사한다.

확산 반경별 피해수량 추정치를 살펴보면 작물에 따라 다른 경향을 보이는 것으로 나타났다. 작물 1의 경우 기존 발생지역을 기준으로 반경 10km에 소재한 지역(반경 10km 확산), 작물 2는 반경 30km에 소재한 지역(반경 30km 확산)에서의 피해가 ‘확산 없음’을 가정한 기존 발생지역의 피해수량 추정치를 제외하고 가장 크게 나타났다. 특히, 작물 1을 대상으로 기존 발생지역 기준 반경 10km에 소재한 지역으로 병이 확산하게 되면 ‘확산 없음’ 시나리오 추정치의 약 87.44%에 달하는 피해가 발생할 것으로 나타났다. 반면 작물 2의 경우 반경 10km 확산 시 ‘확산 없음’ 시나리오 추정치의 약 9.05%에 해당하는 것으로 나타났다. 이는 시군 단위 각 작물의 성목면적 분포에 기인한 것이다⁸³⁾. 확산 반경에 따라 발생할 수 있는 피해 규모가 다르다는 점은 병 확산 저지를 목적으로 하는 세부 조치 시 작물 1 재배 지역을 대상으로 강력하게 시행되어야 할 필요성을 강조한다.

82) 반경별 피해수량 추정치는 기존 발생지역과 작은 확산 반경 내 지역들에서의 피해를 제외한 수치임. 즉, 반경 10km 내 소재한 지역에서의 피해는 기존 발생지역의 피해를, 반경 30km의 추정치는 기존 발생지역 및 반경 10km 피해 추정치를, 반경 50km의 추정치는 앞선 지역들에서의 피해수량 추정치를 제외한 값임.

83) 확산 반경별 재배 및 생육 특성 관련 값은 부록 4-5를 통해 확인할 수 있음.

표 4-5. 피해확산 시나리오별 피해수량 추정치 (단위: 톤)

시나리오		구분		작물 1		작물 2	
		구분	구분	구분	구분		
확산 없음 (기준선)	R1		3,408.17	-		857.86	-
	R2		4,987.32			1,637.47	
	R3		7,649.91			3,392.85	
	R4		16,307.50			5,655.43	
	R5		24,965.08			7,918.02	
반경 10km 확산 (B10)	R1		2,979.99	(87.44%)		77.62	(9.05%)
	R2		4,360.75			148.16	
	R3		6,688.83			306.99	
	R4		14,258.74			511.71	
	R5		21,828.65			716.43	
반경 30km 확산 (B30)	R1		1,861.55	(54.62%)		526.15	(61.33%)
	R2		2,724.09			1,004.31	
	R3		4,178.40			2,080.93	
	R4		8,907.20			3,468.65	
	R5		13,636.00			4,856.36	
반경 50km 확산 (B50)	R1		996.12	(29.23%)		95.60	(11.14%)
	R2		1,457.67			182.47	
	R3		2,235.87			378.09	
	R4		4,766.26			630.22	
	R5		7,296.65			882.36	

주1: 확산 반경에 따른 추정치는 기존 발생지역 및 적은 반경의 값을 포함하지 않음.

주2: 괄호 안의 값은 '확산 없음'을 가정한 기준선 시나리오의 추정치와 비교해 해당 수치가 차지하는 비중을 차지하는지를 의미함.

본 연구의 피해확산 시나리오 분석을 통해 추정된 사회후생 손실분은 사후 분석 결과와 달리 피해확산 시나리오에 기반하여 향후 발생할 수 있는 병해충 A의 피해를 평가한 것이다. 여기서 사회후생 손실분 추정치의 비교를 위해 기준이 되는 병 피해가 없음을 가정한 균형상태 (E_0),

즉 시장 균형가격 P_0 와 시장 균형수량 Q_0 은 2021년과 2022년의 평균값으로 설정하였다⁸⁴). 피해확산 시나리오 분석을 통해 추정되는 사회 후생 손실분은 앞선 E_0 와 병해충 A의 확산 및 피해를 가정할 때의 시장 균형 상태 E_1 에서의 소비자와 생산자 잉여 합의 차이를 의미한다.

병해충 A 피해확산 시 발생할 수 있는 작물별 가격 변화와 사회·경제적 영향, 즉 병 확산에 따른 사회후생 손실분은 두 작물 각각 다음의 표 4-6 및 표 4-7과 같이 추정되었다. 먼저, 병 확산 및 피해에 따른 두 작물의 단위 무게당 가격 변화는 모든 시나리오에서 가격의 증가로 이어졌다. 앞선 피해수량 추정 결과에서 피해 규모가 가장 클 것으로 나타난 ‘확산 없음’ 시나리오에서 가장 큰 피해(작물 1과 2는 각각 16.66%와 11.45%)가 발생할 때 작물 1의 가격은 피해 없음을 가정할 때의 시장 균형가격(P_0)인 4,871.78원보다 약 8.5% 증가한 5,285.16원이 될 것으로 추정되었다. 동일한 피해 상황을 작물 2에 적용하면 기준 가격(4,048.40원)보다 약 6.9% 증가(4,329.37원)할 것으로 나타났다. 이 결과는 병해충 A 피해에 기인한 두 작물의 생산량 감소가 작물 1과 2의 가격을 상승시킬 수 있음을 시사한다.

한편, 병의 확산 및 피해에 의해 발생할 수 있는 사회후생 손실분은 기존 발생지역에서 가장 큰 피해가 있었던 지역 상황을 가정한 시나리오(확산 없음, R5)를 기준으로 할 때 두 작물 각각 약 1,494억 원과 약 411억 원인 것으로 추정되었다. 이는 작물별 총생산액의 약 5.67%(작물 1)와 4.40%(작물 2)의 비중을 차지하는 수치로 본 연구에서 설계한 피해확산 시나리오 결과 중 가장 큰 값을 갖는 것으로 나타났다. 병해충 A의 확산을 가정한 시나리오의 분석 결과 중 작물 1은 기존 발생지역 기준 반경 10km 지역으로 확산(반경 10km 확산), 작물 2는 반경 30km 지역으로 확산(반경 30km 확산)할 때 가장 큰 사회적 후생 손실을 초래할 것으로 나타났다(작물 1과 2 각각 약 1,300억 원과 약 248억 원).

84) 피해수량 추정을 위한 자료와 달리 시장 균형가격과 시장 균형수량은 2021년과 2022년의 평균값을 활용함. 이는 관련 문헌들을 통해 병 피해가 가장 큰 것으로 파악되는 2020년의 영향을 제외하기 위한 것에 목적이 있음.

표 4-6. 피해확산 시나리오별 작물 1의 시장균형점과 사회후생 손실분

(단위: 원/kg, 톤, 백만 원)

확산	구분	피해 정도				
		R1	R2	R3	R4	R5
		2.27%	3.33%	5.11%	10.88%	16.66%
기준	$P_{ap,0}$	4,871.78				
	$Q_{ap,0}$	540,986				
확산 없음	P_{B0}	4,925.14	4,950.18	4,992.86	5,135.73	5,285.16
	Q_{B0}	537,578	535,999	533,336	524,679	516,021
	SWL_{B0}	19,692.85 (0.75%)	28,890.50 (1.10%)	44,504.87 (1.69%)	96,218.45 (3.65%)	149,424.25 (5.67%)
반경 10km 확산 (B10)	P_{B10km}	4,918.39	4,940.22	4,977.39	5,101.34	5,230.24
	Q_{B10km}	538,006	536,625	534,297	526,727	519,157
	SWL_{B10km}	17,206.97 (0.65%)	25,235.49 (0.96%)	38,853.29 (1.47%)	83,848.50 (3.18%)	129,972.42 (4.93%)
반경 30km 확산 (B30)	P_{B30km}	4,900.81	4,914.36	4,937.33	5,013.21	5,090.96
	Q_{B30km}	539,124	538,262	536,808	532,079	527,350
	SWL_{B30km}	10,729.70 (0.41%)	15,722.89 (0.60%)	24,173.20 (0.92%)	51,924.86 (1.97%)	80,104.96 (3.04%)
반경 50km 확산 (B50)	P_{B50km}	4,887.28	4,894.49	4,906.68	4,946.66	4,987.16
	Q_{B50km}	539,990	539,528	538,750	536,220	533,689
	SWL_{B50km}	5,733.55 (0.22%)	8,396.33 (0.32%)	12,894.93 (0.49%)	27,600.17 (1.05%)	42,425.52 (1.61%)

- 주1) 본 표의 수치들은 작물 1을 대상으로 한 피해확산 시나리오 분석 결과임.
- 주2) 기준 가격 및 수량은 2021년과 2022년 값의 평균값임.
- 주3) 행렬표 내 각각의 균형가격과 균형수량은 확산 시나리오별 피해 정도에 따른 피해수량이 반영될 때 도출되는 균형가격과 균형수량을 의미함.
- 주4) 사회후생 손실분(SWL) 아래 괄호 안의 값은 총생산액 대비 비율임.
- 주5) 총생산액은 기준 균형가격에 균형수량을 곱해주어 계산함.

표 4-7. 피해확산 시나리오별 작물 2의 시장균형점과 사회후생 손실분

(단위: 원/kg, 톤, 백만 원)

확산	구분	피해 정도				
		R1	R2	R3	R4	R5
		1.24%	2.37%	4.91%	8.17%	11.45%
기준	P_0	4,048.40				
	Q_0	230,694				
확산 없음	P_{B0}	4,077.48	4,104.19	4,165.30	4,246.13	4,329.37
	Q_{B0}	229,836	229,057	227,301	225,039	222,776
	SWL_{B0}	4,317.88 (0.46%)	8,268.79 (0.89%)	17,260.07 (1.85%)	29,048.02 (3.11%)	41,065.90 (4.40%)
반경 10km 확산 (B10)	P_{B10km}	4,051.02	4,053.40	4,058.77	4,065.71	4,072.66
	Q_{B10km}	230,616	230,546	230,387	230,182	229,978
	SWL_{B10km}	389.42 (0.04%)	743.53 (0.08%)	1,541.62 (0.17%)	2,571.87 (0.28%)	3,603.88 (0.39%)
반경 30km 확산 (B30)	P_{B30km}	4,066.20	4,082.48	4,119.49	4,167.97	4,217.31
	Q_{B30km}	230,168	229,690	228,613	227,225	225,838
	SWL_{B30km}	2,644.62 (0.28%)	5,058.07 (0.54%)	10,527.77 (1.13%)	17,651.33 (1.89%)	24,858.97 (2.66%)
반경 50km 확산 (B50)	P_{B50km}	4,051.63	4,054.56	4,061.18	4,069.73	4,078.32
	Q_{B50km}	230,598	230,512	230,316	230,064	229,812
	SWL_{B50km}	479.64 (0.05%)	915.86 (0.10%)	1,899.21 (0.20%)	3,169.07 (0.34%)	4,441.61 (0.48%)

- 주1) 본 표의 수치들은 작물 2를 대상으로 한 피해확산 시나리오 분석 결과임.
- 주2) 기준 가격 및 수량은 2021년과 2022년 값의 평균값임.
- 주3) 행렬표 내 각각의 균형가격과 균형수량은 확산 시나리오별 피해 정도에 따른 피해수량이 반영될 때 도출되는 균형가격과 균형수량을 의미함.
- 주4) 사회후생 손실분(SWL) 아래 괄호 안의 값은 총생산액 대비 비율임.
- 주5) 총생산액은 기준 균형가격에 균형수량을 곱해주어 계산함.

두 작물을 대상으로 병 확산을 가정할 때의 시나리오 분석 결과 중 작물 1을 대상으로 한 반경 10km 지역으로 확산 시 (B10) 가장 큰 규모의 사회적 후생 손실이 초래될 것으로 나타났다. 만약 해당 지역에 발생 이력이 있는 지역들의 평균 수준만큼 피해가 발생하여 작물 1의 생산량이 감소(B10-R1)할 때 약 172억 원(0.65%)에 달하는 사회적 후생 손실이 발생할 것으로 나타났다. 나아가, 해당 지역에 2020년만큼 피해가 발생하여 생산량이 감소(B10-R2)할 때는 약 252억 원(0.96%), 가장 피해가 컸던 지역만큼 피해가 발생하여 생산량이 감소(B10-R3)할 때는 약 389억 원에 달하는 사회적 후생 손실이 발생할 것으로 나타났다. 마지막으로, 만약 병해충 A 피해가 가장 컸던 수준만큼 반경 10km 안의 작물 1 재배지역을 대상으로 발생한다면(B10-R5), 약 1,300억 원(4.93%)에 달하는 사회후생 손실분이 발생할 것으로 추정되었다. 한편, 작물 2는 반경 30km 지역으로의 확산을 가정한 시나리오(B30)에서 발생할 수 있는 피해가 가장 클 것으로 나타났으며(표 4-7), 발생 가능 피해 정도에 따라 최소 약 27억 원(0.28%, B30-R1)에서 최대 약 249억 원(2.66%, B30-R5)에 달하는 사회적 후생 손실이 발생할 것으로 나타났다.

병해충 A 확산에 따라 발생할 수 있는 사회후생 손실분을 작물 구분 없이 살펴보면, 반경 10km 지역으로의 확산(B10)에서 가장 큰 사회후생 손실분인 약 1,336억 원(5.32%)이 발생할 것으로 나타났다. 한편, 두 작물의 총생산액 대비 사회후생 손실분의 비중을 기준으로 할 때는 반경 30km 지역으로의 확산(B30)에서 가장 큰 비중인 5.70%(약 1,050억 원)를 차지하는 것으로 나타났다(표 4-8).

이와 같은 확산 반경과 작물에 따른 피해확산 시나리오 분석 결과를 통해 본 연구는 다음과 같은 시사점을 도출할 수 있다. 먼저, 향후 병의 확산 반경에 따라 서로 다른 규모의 피해를 초래할 수 있다는 점은 병의 확산 가능 반경에 따라 차별적인 피해 대응 및 관리 조치 시행의 필요성을 강조한다. 특히, 향후 병 확산에 따라 작물 1을 대상으로 한 피해가 클 것을 고려하면 해당 작물 재배 지역에서 높은 강도의 피해관리 조치

가 시행되어야 할 것으로 판단된다. 반면, 향후 발생할 수 있는 피해 규모가 작물 2보다는 작물 1에서 크게 추정된 것은 본 연구에서 설정한 병의 확산 가능 지역에 작물 1의 주산지가 소재하기 때문이라 판단된다. 이는 곧 향후 병해충 A가 기존 발생지역을 기준으로 50km가 넘는 지역으로까지 확산한다면 작물 2의 생산량 감소에 기인한 피해 역시 증가할 수 있음을 암시한다. 병해충 A 확산에 따른 피해가 향후 더욱 커질 수 있음을 고려한다면, 해당 병을 대상으로 한 관련 조치 및 사업 시행의 당위성은 충분히 뒷받침될 것으로 여겨진다.

표 4-8. 피해확산 시나리오별 사회후생 손실분 (단위: 백만 원)

확산	피해	피해정도				
	구분	R1	R2	R3	R4	R5
확산 없음	SWL_{B0}	24,010.73 (1.21%)	37,159.29 (1.98%)	61,764.94 (3.54%)	125,266.47 (6.76%)	190,490.15 (10.07%)
반경 10km 확산	SWL_{B10km}	17,596.39 (0.69%)	25,979.02 (1.04%)	40,394.91 (1.64%)	86,420.36 (3.46%)	133,576.30 (5.32%)
반경 30km 확산	SWL_{B30km}	13,374.32 (0.69%)	20,780.96 (1.14%)	34,700.97 (2.04%)	69,576.19 (3.86%)	104,963.93 (5.70%)
반경 50km 확산	SWL_{B50km}	6,213.19 (0.27%)	9,312.19 (0.42%)	14,794.15 (0.69%)	30,769.24 (1.39%)	46,867.12 (2.09%)

주1) 본 표의 수치들은 작물 1과 2를 대상으로 한 피해확산 시나리오 분석 결과임.

주4) 사회후생 손실분(SWL) 아래 괄호 안의 값은 총생산액 대비 비율임.

주5) 총생산액은 2020년과 2021년 작물별 가격에 수량을 곱해주어 계산함.

제 6 절 소결

외래·돌발병해충 피해에 대한 우려는 국제 농업 분야의 주요 관심사 중 하나로 여겨지며 다양한 관점에서 다루어져 왔다. 반면, 우리나라의 관련 연구는 농작물 생산의 측면에서 기후변화에 따른 부정적인 영향을 줄일 지역별 재배 기술 및 전략 도출에 초점을 두어 이루어지고 있다. 과거 소나무재선충 피해사례가 식물검역 제도 및 병해충 방제사업 시행의 당위성을 부여하였다. 하지만, 국제 교역량과 이상기후 빈도 증가는 병해충 피해의 수준과 방제의 불확실성을 더욱 증가시키고 있어 병해충 피해에 평가가 다각적인 관점에서 이루어져야 할 필요성을 강조한다.

이 상황에서 본 연구는 우리나라 작물 1과 2 재배 농가에 유의미한 피해를 주고 있는 병해충 A 발생이 지금까지 초래하고, 향후 초래할 수 있는 피해를 사회적 후생 측면에서 분석하였다. 과거 2009년부터 2020년까지의 피해 자료를 활용하여 병 피해에 의한 사회적 후생 손실 규모를 살펴본 결과 지금까지의 작물 생산량 감소에 의한 피해는 작물 1보다는 2에서 더 컸던 것으로 나타났다. 반면, 향후 기존 발생지역에서 지리적으로 인접한 지역으로 병이 확산하게 되면, 작물 1의 생산량 감소에 의한 피해 규모가 작물 2와 비교하였을 때 상대적으로 더 큰 사회후생 손실로 이어질 것으로 나타났다. 이러한 결과는, 현재 작물 1 재배지역이 상대적으로 작물 2보다는 잠재적인 위협에 더 노출되어 있음을 의미한다.

따라서, 병해충 A를 대상으로 시행되고 있는 피해 대응 및 관리 조치의 강도는 확산 가능 반경에 소재한 지역 내 피해 대상 작물의 재배분포를 고려하여 조정되어야 한다. 본 연구에서 활용한 자료들을 토대로 설계한 피해확산 시나리오 결과를 고려할 때, 기존 발생지역을 기준으로 10km 반경에 소재한 지역에서는 작물 1 재배지역을 대상으로 한 강도 높은 조치의 시행이 효과적일 수 있다. 또한, 병의 확산이 지금까지의 확산 반경보다 더욱 넓어질 수 있음을 고려하면 우리나라 작물 2 주산지인 전라남도로의 확산이 우려될 수 있다. 병 피해 최소화를 목적으로 관리 대상 작물 간 우선순위를 정하는 것이 적합하지 않을 수 있으나, 해당

병에 의한 작물별 피해 특성을 살펴본 관련 문헌들과 본 연구의 분석 결과를 종합하면, 작물 1이 2보다 해당 병에 상대적으로 더 취약한 것으로 나타났다. 따라서, 병해충 A에 의한 피해 수준과 방제의 불확실성의 최소화를 위한 전략으로 기존 발생지역과 지리적으로 인접한 지역의 작물 1 재배지역을 대상으로 한 높은 강도의 세부 조치 시행이 고려될 수 있겠다.

향후 연구에서는 본 연구의 몇 가지 한계점을 보완할 수 있다. 첫째, 본 연구에서는 국가통계포털 및 관련 기관을 통해 제공되는 자료의 수준을 고려하여 시도 및 시군구 수준에서 분석을 수행하였다. 최근 원예학 분야의 관련 연구 동향을 참고하여 위성영상자료를 활용한다면, 본 연구의 피해대상 작물에 대한 미시 공간 자료를 구축하여 현실성을 담보한 분석이 가능할 것으로 판단된다. 둘째, 관련 문헌을 통해 구체적으로 확인할 수 있는 피해 자료만을 분석에 활용하였다. 마지막으로, 우리나라에서 재배되는 특정 농작물은 다른 국가로 수출이 이루어지고 있지만 수입은 이루어지고 있지 않은 상황이다. 해당 작물에 대한 수출 및 수입 시장의 변동을 고려한 분석을 수행한다면, 관련 연구의 다양성과 의의를 높이는 데 기여할 수 있을 것이다.

본 연구는 가용한 자료 측면에서 위와 같은 한계점을 가지고 있으나, 다음과 같은 면에서 의의가 있다. 먼저, 그간 우리나라에서 제한적으로 이루어진 병해충 피해에 중점을 두어 향후 발생할 수 있는 간접 피해를 경제학적 방법론을 토대로 추정하였다. 이러한 접근방식은 우리나라를 사례로 하는 병해충위험분석 시 적용할 수 있는 정량적인 평가 방법론을 소개한다는 측면에서 의의가 있다. 이와 동시에 식물검역 대상 병해충 우선순위 선정 및 병해충위험평가 시 본 연구의 내용은 근거자료로 활용될 수 있다.

제 5 장 결 론

기후변화와 같은 불확실성의 증가로 우리 사회는 잠재적인 위협요인에 노출되고 있다. 점차 증가하는 다양하고 새로운 유형의 재난 발생에 따른 영향은 직·간접적으로 우리 사회에 피해를 주고 있다. 이러한 시점에서 국가적 차원의 재난 대응관리 정책과 제도 시행 대상의 범위는 더 넓은 범위에서 다루어져야 할 필요성이 강조된다. 이처럼 우리 사회는 다양한 위협 요인으로부터 잠재적으로 노출되어 있으나, 이러한 위협이 우리 삶에 어떻게 또는 어떠한 영향을 미치고 있는지에 대한 논의는 다소 제한적으로 이루어지고 있다. 사회적 재난, 즉 인간에 기인한 재난에 따른 영향을 평가하는 것은 우리가 지속 가능한 사회 실현을 목적으로 시행하고 있는 재난관리 또는 대응 관련 정책과 전략 등의 수립에 있어 다양한 시사점을 제공해준다. 본 연구는 사회적 재난 중 전염병, 인구이동, 병해충을 대상으로 이들의 발생에 관한 연구를 실증적으로 분석하여 우리가 직면한 재난에 대한 대응관리 정책 또는 제도 수립 및 시행의 당위성과 타당성 그리고 실행 가능성을 다루었다.

제 1 절 분석 결과 요약

기후변화에 따른 전염병 발생 가능성은 증대되고 있으며, 대도시와 같은 고밀도로 압축개발된 도시 공간 구조에서 전염병 예방과 관리의 취약성이 드러나고 있다. 코로나19 이후 시대에는 집단 감염을 일으킬 수 있는 감염병과 같은 예지치 못한 충격에 견디고, 이겨낼 수 있는 형태로 대도시 내 도시 공간 및 구조의 전환이 다각적인 관점에서 고려되어야 할 필요가 있다. 높은 밀도를 갖는 대도시인 서울시를 대상으로 코로나 19의 발생 양상, 지하철 이용자 수 변화, 지하철 역세권에서의 토지이용

혼합 정도 및 인구·사회학적 특성을 연계하여 분석한 결과, 전염성이 높은 질병에 대해 고밀도로 개발된 도시 공간 구조가 취약한 것을 확인할 수 있었다. 또한 코로나와 같은 위험에 대한 노출이 장기화될 때 감염병 노출 위험이 더욱 커질 수 있음을 확인할 수 있었다. 이와 같은 사회적 재난에 대한 완화 방안으로 토지이용 전략을 재구성할 필요가 있으며, 일정 수준의 다핵성과 분산성을 갖는 도시 형태를 구성하는 것이 물리적 접촉에 의해 확산하는 코로나19와 같은 재난으로부터 충격을 완화하고 분산하는 데 도움이 될 수 있음을 시사한다.

다양한 원인, 복잡성 및 분석의 난이도로 인해 발생하는 것으로 인식되는 인구이동 현상에 대한 분석은 다양한 방법으로 시도되었다. 본 연구에서는 가용한 자료를 활용하여 지역 특성으로 분류될 수 있는 변인을 선정하고 기계학습을 통해 시군구 단위의 인구이동을 예측하고자 하였다. 일반적인 선형회귀분석을 통한 인구이동의 예측보다 본 연구에서 적용한 기계학습을 통해 더 높은 예측성능을 개선할 수 있었으며, 대상 지역의 총 인구를 대상으로 하는 것보다 연령대를 기준으로 집단을 구분하여 분석하는 것이 더 높은 예측성능을 나타낼 수 있는 것으로 나타났다. 또한 주택·주거 여건, 인구밀도, 생활 SOC와 관련된 지역 특성 요인들이 인구이동 예측에 주요한 변인임을 알 수 있었다. 인구이동 및 인구감소 문제를 해소하기 위해 우리나라 정부는 다양한 정책 및 사업이 시행 중이다. 보다 효율적으로 인구감소 문제 대응을 위해서는 지역의 생활 서비스 수준 및 질의 개선이 방안으로 고려될 수 있을 것으로 판단된다.

또 다른 사회적 재난으로 다른 병해충에 의한 피해는 우리의 사회적 부담으로 작용할 가능성이 있다. 그동안 농작물의 생산성을 기후변화에 따른 부정적인 영향을 감소하기 위한 방향의 연구와 피해 경감을 위한 정책적 지원 방안이 중점적으로 진행되어 왔으나, 병해충 피해의 수준과 방제의 불확실성에 따라 다양한 관점에서 피해의 평가가 이루어질 필요가 있다. 우리나라 대표 작물 1과 2의 생산에 유의미한 영향을 주고 있는 병해충 A에 의한 피해를 사후 및 사전적인 측면에서 분석한 결과 본 연구에서 설계한 병해충 A의 피해확산 시나리오를 바탕으로 기존 발생

지역 인근에 있는 재배지를 대상으로 조치 범위의 폭을 재검토할 필요가 있으며, 이 병을 대상으로 시행되고 있는 피해 대응 및 관리 조치의 강도는 확산 가능 반경에 소재한 피해 대상 작물의 재배분포를 고려하여 조정될 필요가 있는 것으로 확인되었다.

제 2 절 정책적 함의

전 세계적인 코로나19 발생과 확산에 따른 충격은 다양한 형태로 사회 전반에 영향을 끼쳤다. 우리나라도 예외는 아니었으나, 다양한 정책과 질병 관리 조치 등을 통해 일상생활이 가능하게 되었다. 고밀도로 압축 개발된 도시공간 및 구조를 가진 도시인 서울시에서 전염병 발생 현황, 지하철 이용자 수 및 지하철 역세권의 특성을 고려한 본연구의 분석을 통해 밀집도가 높은 도시 공간이 전염병 위험에 대한 노출이 장기화로 이어질 때 고밀도로 압축개발된 도시공간은 향후 다각적인 관점에서 재구축되어야 할 필요성을 시사하였다. 따라서, 코로나와 같은 재난에 대한 충격 완화를 위한 다양한 도시 개발정책에 관한 지속적인 분석이 필요하다. 편의성과 생산성이 강조되는 고밀 도시에서 재난에 의한 피해를 완화하고, 지속 가능한 성장을 위한 전략 수립과 정책 실행이 요구된다.

인구감소에 대처하기 위한 다양한 사회적 노력과 국가 주도의 정책 및 사업이 시행되고 있다. 또한 지역 간 불균형 해소를 위한 제도적 노력이 꾸준히 시행되고 있으나, 효율적인 적용을 위해서는 인구이동의 복잡성을 반영한 다각적인 관점의 지역 특성이 고려되어야 할 필요성이 강조되고 있다. 인구이동 원인의 복잡성 및 다양성은 현재 우리나라가 직면하고 있는 문제에 효과적이지 못한 대응으로 이어지고 있다. 가용한 자료의 수가 증가하고 다양한 분야로의 기계학습 접근법의 적용 가능성이 증대되고 있는 시점에서, 본 연구는 인구이동 현상을 더욱 다각적인 관점에서 이해하기 위한 노력의 일환이라 할 수 있겠다. 분석 자료로 가

용한 자료와 기계학습 접근법의 적용을 바탕으로 본 연구의 내용은 향후 추가 분석 시 적용이 고려될 수 있는 방법론을 제시하였다. 인구이동에 주요하게 역할을 하는 자료를 확보하고 기계학습 접근법의 적용을 통해 인구이동 예측의 정확성이 향상될 경우, 인구감소와 지방소멸 대응 정책 및 사업에 대한 적용 효과성 향상을 기대할 수 있을 것이다.

이상기후의 빈도 증가 및 국제 교역량의 증가는 외래·돌발병해충에 의한 피해 가능성을 증대시키고 있다. 식물검역 관련 제도 및 병해충의 방제를 위한 정부 차원의 노력은 병해충에 의한 국가적 손실을 억제하거나 피해를 경감시키는 데 기여했다고 평가되고 있다. 하지만, 병해충 피해에 대한 불확실성의 증가로 이에 대한 평가가 더욱 다양한 관점에서 이루어져야 할 필요성이 강조되고 있다. 이에 본 연구는 농산물 생산량을 고려한 안정적 공급뿐만 아니라 농가의 병해충 피해의 경제적 보상을 비롯한 정책적 결정에 필요한 기초자료로써 활용될 수 있을 것이다. 본 연구의 병해충 피해분석 결과는 현재 우리나라 농업시장이 여러 국가로부터 개방 압력을 받고 있다는 점과 분석 대상 작물이 위생 및 식물위생 (Sanitary and Phytosanitary, SPS) 조치 대상으로 현재 국내로의 수입이 제한된 품목이라는 점을 고려할 때 중요한 정책적 시사점을 갖는다. 우리나라는 칠레와의 자유무역협정(Free Trade Agreement, FTA)을 발효한 이후 우리나라는 55개국과 체결한 자유무역협정에 따라 포도, 키위, 체리 등이 수입되기 시작하였으며, 이에 따라 실제 우리나라 과일 수출액이 다소 감소한 것으로 나타났다(한석호, 2016). 이러한 맥락에서 고위험 병해충 발생으로 인한 작물 1과 2에 대한 수입 개방은 곧 우리나라 농업에 적지 않은 영향을 미칠 것임을 시사한다. 우리나라 농업의 지속가능성을 위해 외부 병해충의 유입을 방지하고, 국내 토착 병해충의 발생 및 확산으로부터 발생하는 피해를 최소화하는 병해충 관리 조치 사업 시행의 타당성은 현시점에 더욱 요구되는 바이다.

제 3 절 연구 한계 및 향후 연구 방향

본 논문의 소론들은 각각 다음과 같은 한계를 지니며, 분석 대상 및 자료의 특성을 고려해볼 때 다음과 같이 후속 연구를 진행할 수 있다.

세계보건기구는 2023년 5월 5일 코로나19에 대한 국제 공중 보건 위기 상황 해제를 발표하였다. 이 발표가 질병의 종식을 의미하는 것은 아니나, 적어도 지난 3년 4개월이라는 긴 기간 동안 우리 사회는 코로나19라는 위협에 노출되어 왔다. 그간 각국 정부는 자국민 백신 접종, 이동 제한, 한시적 도시 및 국가 폐쇄 등 다양한 조치를 시행하며 코로나19에 대응하였다. 우리나라의 경우 2020년 이후 코로나19 대응을 위해 기존 사회적 거리두기 조치를 질병 확산세에 따라 강화 또는 완화하고 업종에 따라 영업장을 폐쇄하는 등의 조치를 시행함과 동시에 백신 접종을 비롯해 각계각층을 대상으로 한 다양한 지원정책을 시행하였다. 이러한 측면에서, 해당 연구의 시간적 범위가 2020년에 한정되어 있다는 점은 코로나19와 같은 감염성 질병에 취약성을 드러냈던 고밀 압축개발의 도시 공간 구조가 상대적으로 긴 기간을 대상으로 할 때 위와 같은 재난에 과연 회복탄력적으로 기능하였는지를 평가해볼 기회가 될 것이다.

우리나라 인구이동 현상은 지역 외부뿐만 아니라 내부의 다양한 지역 특성과 연관성을 가지고 있으며, 우리나라의 인구이동 추세 및 양상은 다른 국가와 비교했을 때 차별적이다. 광역 교통수단 발달에 따른 하루 생활권 영역의 확장은 개인의 통행패턴과 직장·거주 불일치 수준에 유의미한 영향을 미치고 있음이 많은 연구를 통해 밝혀지고, 지역 생활권에서 나아가 광역도시 또는 경제권 설정에 관한 논의가 최근 활발히 이루어지고 있는 점을 고려할 때 기능 도시 공간(Functional urban area, FUA)에 관하여 고려할 필요성이 충분하다. 인접 지역과의 연계성이 하나의 지역 특성 변수로 활용될 수 있다는 점은 이를 고려한 분석이 향후 이루어짐으로써 보다 총체적인 우리나라 인구이동의 이해를 도모할 수 있을 것이라 여겨진다.

우리나라는 현재 중국 및 미국과 같은 다수의 농업생산 국가로부터

수입 개방 압력을 받고 있으며, 국제 동반관계 구축 방안 중 일환으로 우리나라 정부는 2020년 역내 포괄적 경제 동반자 협정 (Regional Comprehensive Economic Partnership; RCEP)을 체결하였다. 이러한 움직임은 농업분야 자유무역협정, 즉 우리나라 농산물 시장의 개방화 가속을 시사한다. 이러한 상황은 현재 우리나라에서 열대 생과실과 생열매채소 등 여러 농작물 수입이 금지되고 있다는 점과 우리나라 농업분야에서 작물 1과 2가 차지하고 있는 비중을 함께 생각해본다면, 해당 품목에 대한 수입 개방의 영향은 적지 않을 것으로 판단된다. 과일 병해충 발생에 의한 피해가 지속되는 상황 속에서 해당 품목에 대한 수입 개방이라는 가상 상황을 가정한 시뮬레이션 분석의 시행은 병해충 관리 및 대응 조치의 경제적 타당성 평가 및 관련 의사결정 과정에 유의미한 근거를 제공할 것이라 여겨진다.

참 고 문 헌

- 경기도농업기술원. (2021). 경기도 과수화상병 백서. 경기도농업기술원 기술보급국: 화성.
- 고문익, & 김걸. (2021). 한국의 지방소멸위험에 대한 설명인자 연구. *한국도시지리학회지*, 24(1), 17-27.
- 구형수. (2018). 생활 SOC 정책의 주요 이슈와 전략적 추진방향. *국토정책 Brief*, 1-8.
- 국립원예특작과학원. (2015). 과수 가지검은마름병 발생우려지역 정밀조사에 관한연구. 농촌진흥청.
- 기상청 보도자료. (2021) 「사회/경제적 피해로 본 2020년 기후위기」
- 김명현, 방혜선, 나영은, 김미란, 오영주, 강기경, & 조광진. (2013). 기후변화에 따른 주요 벼 병해충에 의한 벼 생산의 취약성평가. *J. Korean Env. Res. Tech*, 16(1), 147-157.
- 김명환, 권오복, 이대섭, 김태훈, 조영수, 박상미. (2008). *농업부문 전망모형 구축연구*. 나주: 한국농촌경제연구원.
- 김범식, 장윤희. (2020). 서울시 니트의 특성 분석: 성별 비교 분석. *서울도시연구*, 111-128.
- 김성재, 김성민, & 김상민. (2013). 기후변화에 따른 농업생산기반 취약성 평가지표 개발방법 연구. *농업생명과학연구*, 47(1), 205-213.
- 김용준, 정진교, & 안동환. (2017). 병해충의 공간자기상관을 고려한 인삼 피해함수 추정. *농촌경제* 40(4), 75-95.
- 김우영, & 김만규. (2021). 공공기관의 혁신도시 이전의 인구 및 고용효과: 진주시 사례를 중심으로. *한국지역지리학회지*, 27(2), 144-163.
- 김인호, & 이경섭. (2020). 트리 기반 앙상블 방법을 활용한 자동 평가모형 개발 및 평가: 서울특별시 주거용 아파트를 사례로. *한국데이터정보과학회지*, 31(2), 375-389.
- 김진석, & 김의준. (2021). 수도권 시군구 간 인구이동에서의 서울 국경

- 효과에 대한 연령층별 실증분석. *한국지역개발학회지*, 33(1), 113-137.
- 김창길, 정학균, 한석호, 김정승, 문동현. (2012). 기후변화가 식량공급에 미치는 영향분석과 대응방안, 한국농촌경제연구원 연구보고서 R663.
- 김태환, 김은란, 민성희, 신휴석, 이차희, & 박미래. (2020). 인구 및 국토 공간구조의 변화와 전망. 국토연구원 국가균형발전지원센터.
- 구양미. (2021). 인구 변화와 도시 쇠퇴의 지역 불균형: 저출산과 지방소멸 문제에 대한 시사점. *국토지리학회지*, 55(3), 301-320.
- 권오상, & 김창길. (2008). 기후변화가 쌀 단수변화에 미치는 영향: 비모수적 및 준모수적 분석. *농업경제연구*, 49(5), 45-64.
- 권오상, 강혜정, 정학균, & 김창길. (2016). PMP 최적화 모형을 이용한 기후변화 대응 작물전환 분석. *농촌경제*, 39(2), 1-27.
- 농림축산검역본부. (2021). 2021년 식물검역제도 및 신선농산물 품목별 수출검역요건. 농림축산검역본부 식물검역부: 김천.
- 농림축산검역본부. (2020). 2019년 과수화상병 역학조사 분석보고서. 농림축산검역본부: 김천.
- 농림축산검역본부. (2021). 2020년 과수화상병 역학조사 분석보고서. 농림축산검역본부 역학조사위원회.
- 박무용, 사공동훈, 권헌중, 도윤수, 송양익, & 이동혁. (2013). 갈색무늬병의 시기별 이병 및 낙엽 정도가 '후지'/M. 9 사과나무의 과실품질 및 신초생장에 미치는 영향. *원예과학기술지*, 31(5), 523-530.
- 박승규. (2020). 산업별 고용구조변화에 따른 노동자 인구이동의 지역경제효과에 관한 연구. *지역산업연구*, 43(2), 231-261.
- 박종철. (2011). 인구감소시대의 축소 도시계획 수립방안: 전라남도 중소도시의 도시공간구조를 중심으로. *한국지역개발학회지*, 23(4), 55-88.
- 백창기, & 정희영. (2014). 사과나무를 가해하는 한국산 갈색무늬병균의 생물학적 특성. *한국균학회지*, 42(3), 183-190.

- 백채훈, 이건휘, 최만영, 김두호, 최동로, & 서홍렬. (2007). 고구마 재배지 주요 곰팡이 발생양상 및 피해. *한국응용곤충학회지*, 46(1), 165-168.
- 사공동훈, 권헌중, 송양익, 박무용, 남종철, 강석범, & 이상규. (2011). 갈색무늬병에 의한 낙엽이'후지'/M. 9 사과나무의 수체생장 및 과실품질에 미치는 영향. *원예과학기술지*, 29(6), 531-538.
- 서민철, (2019), 소득세 자료를 활용한 우리나라의 지역별 소득 격차의 추이, *한국지역지리학회지*, 25(3), 326~346.
- 성명환 신유선 이미숙. (2016). 명절 과일 수요 및 가격 분석. *한국농촌경제연구원 기타연구보고서*. 1-58.
- 성현곤, 박지형, 김동준. (2007). 대중교통지향형 도시개발의 효과분석 및 유도기법 적용방안. *한국교통연구원: 고양*.
- 송장훈, & 고영진. (1998). 우리나라 감귤 더듬이병균의 형태적 특성과 병원형. *The Plant Pathology Journal*, 14(4), 303-307.
- 신윤정, 임지영, 전광희, & 계봉오. (2020). 코로나 19 이후 인구 변동 추이 분석. *한국보건사회연구원*.
- 제현정. (2019). 인구감소지역 유형별 대응정책 사례 연구. *한국도시지리학회지*, 22(1), 131-147.
- 안현진, 이상민, & 최준영. (2019). 기후변화에 따른 산림병해충 영향과 대응과제. *한국농촌경제연구원 기본연구보고서*, 1-147.
- 안현진, 조성주, 오새라, & 정재민. (2018). 기후변화에 따른 미발생 병해충 피해 경제적 영향 분석: *Lycorma delicatula* 의 사례를 중심으로. *한국산학기술학회 논문지*, 19(7), 415-422.
- 양성찬, 장진화, 박신영, 안선희, 김성순, 박수빈, 류보영, 이선영, 신은정, 김나영, 유명수, 이종걸, 김태영, 강애리, 권동혁. (2022). 국내 코로나19 확진자 2년 발생 보고서 (2020.1.20.~2022.1.19.). *주간 건강과 질병*, 15(7), 414-426.
- 양희준. (2018). 학생 수 감소에 따른 농촌교육 실태 및 대응방안. *한국교육개발원*

- 윤덕훈, 오소영, 남기웅, 엄기철, & 정필균. (2014). 기상요인 변화에 따른 주요 양념채소의 재배면적 및 주요 병해 발생 변화. *한국기후변화학회지*, 5(1), 47-59.
- 이상림, 이지혜, 임소정, & 성백전. (2018). 지역 인구공동화 전망과 정책적 함의. 한국보건사회연구원.
- 이상호. (2018). 한국의 지방소멸 2018: 2013~2018년까지의 추이와 비수도권 인구이동을 중심으로. *고용동향 브리프*, 7.
- 이성우. (2002). 지역특성이 인구이동에 미치는 영향: 독립이동과 연계이동. *지역연구*, 18(1), 49-82.
- 이승호, 허인혜, 이경미, 김선영, 이윤선, & 권원태. (2008). 기후변화가 농업생태에 미치는 영향: 나주지역을 사례로. *대한지리학회지*, 43(1), 20-35.
- 이정록. (2020). 인구과소지역의 인구이동과 인구구조 변화에 관한 연구: 전남 고흥군을 사례로, *한국지역지리학회지*, 26(2), 172-184.
- 이정섭, & 김성환. (2014). 단계적 인구이동에 따른 출산력 변화와 과소화: 전라북도를 사례로, *대한지리학회지*, 49(5), 728-746.
- 이지현, & 전명진. (2018). 세종시 건설에 따른 수도권 인구 분산 효과 분석: 2010 -2016년 간의 국내 인구 이동 자료를 중심으로, *한국지역개발학회지*, 30(1), 47-66.
- 이찬영. (2018). 연령대별 인구유출입 결정요인 분석. *산업경제연구*, 31(2), 707-729.
- 이찬영, & 문제철. (2016). 광주·전남 지역의 연령별·이동지역별 인구이동 결정요인 분석. *산업경제연구*, 29(6), 2239-2266.
- 이현재. (2014). 우리나라의 권역별 기대소득 격차와 노동인구 이동에 관한 실증분석: [5+ 2] 광역경제권을 중심으로. *지역연구*, 30(1), 63-80.
- 이혜령, 정효진, & 이희정. (2020). 생활 SOC 의 공간적 형평성 분석: 경기도 5 대 대도시를 중심으로. *한국지역개발학회지*, 32(1), 69-88.
- 이희연, & 박정호. (2009). 경로분석을 이용한 인구이동 결정요인들 간의

- 인과구조. *한국경제지리학회지*, 12(2), 123~141.
- 임석희, & 송주연. (2020). 마산 창원 진해의 행정구역 통합 효과 - 도시성장과 균형발전을 중심으로. *대한지리학회지*, 55(3), 289-312.
- 정재원, 김성섭, 이인규, 소남호, & 고현석. (2018). 이상기후가 과수 생산성에 미치는 악영향-기상특보 발효횟수를 중심으로. *한국농림기상학회지*, 20(4), 305-312.
- 정윤남, 이건원, & 이원호. (2020). 생활 SOC 공급의 형평성제고를 위한 지표설정 및 유형화 방안 연구. *국토지리학회지*, 54(4), 449-459.
- 정종국, 권혁준, 김황, 김현선, 서상태, & 고상현. (2018). 호두나무 포장 내 복숭아명나방 (나비목: 포충나방과) 과 굴피가는나방 (나비목: 가는나방과) 에 의한 호두열매 및 잎 피해. *한국응용곤충학회지*, 57(1), 33-38.
- 정학균, 김창길, & 문동현. (2014). 기후변화가 벼 병해충 피해면적 발생에 미치는 영향분석. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 33(1), 52-56.
- 조대현. (2018). 주택가격과 인구이동 간의 연관성에 관한 공간 분석: 수도권권의 전세가격을 중심으로. *한국지리학회지*, 7(3), 449-462.
- 조대현. (2020). 중소도시의 내부 인구이동과 주택시장 간의 연관성 분석: 강릉시 사례 연구. *한국지도학회지*, 20(2), 71-85.
- 조대현. (2021). 우리나라 도시 축소의 인구 요인 및 특성 분석. *한국도시지리학 학회지*, 24(1), 29-44.
- 조성주, & 김화년. (2022). 기후변화에 따른 작물 재배면적 할당 및 이동 변화 분석. *농업경영·정책연구*, 49(2), 191-211.
- 조임곤. (2020). 인구감소지역의 지방재정 현황과 과제. *국토*, 37-42.
- 조재환. (2018). 망고 수입이 국내 과일수요에 미친 영향. *농업경영·정책연구*, 45(3), 630-640.
- 조희은, & 남지현. (2019). 생활 SOC의 범위 및 시설의 유형별·지역별 특성 연구-경기도생활 SOC 현황 및 개선방안을 중심으로. *한국도시설계학회지 도시설계*, 20(5), 33-52.

- 차재순, 손수형, 허광일, 신두산, 최다희, 오창식, 박덕환, 이영기, 황인선, 송유림, 이한별, 박정금, 이민수, 유효정, 민상원, 오현세, 김삼규, 장영철, 이승제, 홍민, 최효원, 박세근, 김점순, 명인식. (2019). 과수 화상병 발생예찰, 조기 정밀진단 및 방제 체계에 관한 연구. 농촌진흥청.
- 충청북도농업기술원. (2022). 2022 충청북도 과수화상병 백서. 충청북도 농업기술원 기술지원국 기술보급과: 청주.
- 최경산, 송정흡, 양진영, 최활란, & 김동순. (2014). 제주도지역 아스파라거스의 주요 해충 종류, 피해 및 발생양상. *한국응용곤충학회지*, 53(3), 231-237.
- 최대식, & 김태균. (2009). 택지개발사업지구 입주인구의 내부유입률 추정 연구. *서울도시연구*, 10(1), 105-119.
- 최현석, 김월수, 오수옥, & 이연. (2011). 키틴분해 미생물제와 석회보르도액 처리가 배 과원 검은별무늬병 및 과실품질에 미치는 영향. *한국국제농업개발학회지*, 23(1), 64-68.
- 통계청 보도자료. (2020). 「2020년 출생·사망통계 잠정 결과」
- 통계청 보도자료. (2022) 「2021년 귀농어 귀촌인 통계」
- 통계청 보도자료. (2022). 「2022년 고령자 통계」
- 하성규. (2010). [주택정책론], 제4전정증보판, 박영사, 서울.
- 하혜영. (2023). 「인구감소지역 지원 특별법」 시행 및 향후 과제. 국회 입법조사처. 이슈와 논점, (2054).
- 한국지방행정연구원 지방투자사업관리센터. (2016). 지방재정투자사업 타당성 조사 경제성 분석 가이드라인. 한국지방행정연구원: 서울.
- 한석호. (2016). 한·EU FTA 농업부문 사후영향평가. *한국산학기술학회 논문지*, 17(7), 648-655.
- 한이철, 이순미, 정확성, 박대식, 안규미. (2022). 인구감소 농촌 지역의 기초생활서비스 확충 방안. 한국농촌경제연구원: 나주.
- 한지혜, 최승비, & 김갑성. (2015). 상대주거비용의 변화가 전세가구의 점유형태 및 주거이동에 미치는 영향. *주택연구*, 23(2), 5-29.

- 한주성. (2018). 과소지역의 한계취락 출현과 지역 재생. *대한지리학회지*, 53(3), 327-346.
- 함현희, 이영기, 공현기, 홍성준, 이경재, 오가람, 이미현, 이용환. (2020). 2015-2019 국내 과수화상병 발생. *식물병연구*, 26(4): 222-228.
- 현재욱, 이평호, 황록연, & 문경환. (2013). 최근 주요 감귤 병의 발생 양상. *Research in Plant Disease (식물병연구)*, 19, 102-107.
- 홍성효, & 유수영. (2012). 세대별 시군구 간 인구이동 결정요인에 관한 실증분석. *서울도시연구*, 13(1), 1-19.
- 환경부. (2020). *한국 기후변화 평가보고서 2020: 기후변화 영향 및 적응*. 세종: 환경부.
- 환경부 보도자료. (2019). 「제2차 외래생물 관리계획(2019~2023) 수립」
- 황재희, 김현중, & 이성우. (2012). 특화작목과 기후변화 간 영향 분석을 통한 지역농업 활성화 전략 연구-과수를 중심으로. *농촌계획*, 18(3), 149-164.
- Abdullah, M., Dias, C., Muley, D., & Shahin, M. (2020). Exploring the impacts of COVID-19 on travel behavior and mode preferences. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 8, 100255.
- Abdullah, M., Ali, N., Hussain, S. A., Aslam, A. B., & Javid, M. A. (2021). Measuring changes in travel behavior pattern due to COVID-19 in a developing country: A case study of Pakistan. *Transport policy*, 108, 21-33.
- Abodunrin, O., Oloye, G., & Adesola, B. (2020). Coronavirus pandemic and its implication on global economy. *International journal of arts, languages and business studies*, 4.
- Alam, K., & Rolfe, J. (2006). Economics of plant disease outbreaks. *Agenda: A Journal of Policy Analysis and Reform*, 133-146.
- Alis, C., Legara, E. F., & Monterola, C. (2021). Generalized radiation model for human migration. *Scientific reports*, 11(1), 22707.

- Amin, T. B., & Mahmood, I. (2008, November). Speech recognition using dynamic time warping. In *2008 2nd international conference on advances in space technologies* (pp. 74-79). IEEE.
- Anaman, K. A. (1994). Input-output analysis of the secondary impact of a screwworm fly invasion of Australia on the economy of Queensland. *Preventive Veterinary Medicine*, *21*(1), 1-18.
- Andrienko, Y., & Guriev, S. (2004). Determinants of interregional mobility in Russia. *Economics of transition*, *12*(1), 1-27.
- Arthur, M. (2006). *An Economic Analysis of Quarantine: The Economies of Australia's Ban on New Zealand Apple Imports* (No. 1164-2016-93145).
- Atkinson, G., & Oleson, T. (1996). Urban sprawl as a path dependent process. *Journal of economic issues*, *30*(2), 609-615.
- Bahney A (2020) Manhattan had 15,000 empty apartments in August – a new record. CNN Business.
- Barnes, K. B., Morgan III, J. M., Roberge, M. C., & Lowe, S. (2001). Sprawl development: its patterns, consequences, and measurement. *Towson University, Towson*, *1*, 24.
- Basu, R., & Ferreira, J. (2020). Understanding household vehicle ownership in Singapore through a comparison of econometric and machine learning models. *Transportation Research Procedia*, *48*, 1674-1693.
- Bellman, R., & Kalaba, R. (1959). On adaptive control processes. *IRE Transactions on Automatic Control*, *4*(2), 1-9.
- Berrittella, M., Hoekstra, A. Y., Rehdanz, K., Roson, R., & Tol, R. S. (2007). The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis. *Water research*, *41*(8), 1799-1813.

- Bhadra, A., Mukherjee, A., & Sarkar, K. (2021). Impact of population density on Covid-19 infected and mortality rate in India. *Modeling earth systems and environment*, 7, 623–629.
- Bhaduri, E., Manoj, B. S., Wadud, Z., Goswami, A. K., & Choudhury, C. F. (2020). Modelling the effects of COVID-19 on travel mode choice behaviour in India. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 8, 100273.
- Bhat, C. R., & Guo, J. Y. (2007). A comprehensive analysis of built environment characteristics on household residential choice and auto ownership levels. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(5), 506–526.
- Bian, Z., Zuo, F., Gao, J., Chen, Y., Venkata, S. S. C. P., Bernardes, S. D., ... & Wang, J. (2021). Time lag effects of COVID-19 policies on transportation systems: A comparative study of New York City and Seattle. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 145, 269–283.
- Bibri, S. E., Krogstie, J., & Kärrholm, M. (2020). Compact city planning and development: Emerging practices and strategies for achieving the goals of sustainability. *Developments in the built environment*, 4, 100021.
- Bobojonov, I., & Aw-Hassan, A. (2014). Impacts of climate change on farm income security in Central Asia: An integrated modeling approach. *Agriculture, ecosystems & environment*, 188, 245–255.
- Bramley, G., & Power, S. (2009). Urban form and social sustainability: the role of density and housing type. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 36(1), 30–48.
- Breheny, M. (1997). Urban compaction: feasible and acceptable?.

- Cities*, 14(4), 209–217.
- Breheny, M. (1995). The compact city and transport energy consumption. *Transactions of the institute of British Geographers*, 81–101.
- Breukers, A., Mourits, M., Werf, W. V. D., & Lansink, A. O. (2008). Costs and benefits of controlling quarantine diseases: a bio economic modeling approach. *Agricultural Economics*, 38(2), 137–149.
- Brodeur, A., Clark, A. E., Fleche, S., & Powdthavee, N. (2021). COVID-19, lockdowns and well-being: Evidence from Google Trends. *Journal of public economics*, 193, 104346.
- Brueckner, J. K. (2000). Urban sprawl: Diagnosis and remedies. *International regional science review*, 23(2), 160–171.
- Bucsky, P. (2020). Modal share changes due to COVID-19: The case of Budapest. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, 8, 100141.
- Burger, M., & Meijers, E. (2012). Form follows function? Linking morphological and functional polycentricity. *Urban studies*, 49(5), 1127–1149.
- Burton, E. (2002). Measuring urban compactness in UK towns and cities. *Environment and planning B: Planning and Design*, 29(2), 219–250.
- Cao, Z., Asakura, Y., & Tan, Z. (2020). Coordination between node, place, and ridership: Comparing three transit operators in Tokyo. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 87, 102518.
- Carruthers, J. I., & Ulfarsson, G. F. (2003). Urban sprawl and the cost of public services. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 30(4), 503–522.

- Cavalleri, M. C., Luu, N., & Causa, O. (2021). Migration, housing and regional disparities: A gravity model of inter-regional migration with an application to selected OECD countries.
- Celebi, S., Aydin, A. S., Temiz, T. T., & Arici, T. (2013, February). Gesture recognition using skeleton data with weighted dynamic time warping. In *VISAPP (1)* (pp. 620-625).
- Cervero, R. (1996). Mixed land-uses and commuting: Evidence from the American Housing Survey. *Transportation research part a: policy and practice*, 30(5), 361-377.
- Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel demand and the 3Ds: Density, diversity, and design. *Transportation research part D: Transport and environment*, 2(3), 199-219.
- Champion, A. G. (1998). The determinants of migration flows in England: A review of existing data and evidence: A report prepared for the Department of the Environment, Transport and the Regions. Department of Geography, University of Newcastle upon Tyne.
- Chen, C., Chen, J., & Barry, J. (2009). Diurnal pattern of transit ridership: a case study of the New York City subway system. *Journal of Transport Geography*, 17(3), 176-186.
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016, August). Xgboost: A scalable tree boosting system. In Proceedings of the 22nd acm sigkdd international conference on knowledge discovery and data mining (pp. 785-794).
- Choi, J., Lee, Y. J., Kim, T., & Sohn, K. (2012). An analysis of Metro ridership at the station-to-station level in Seoul. *Transportation*, 39, 705-722.
- Choi, S., Choo, S., & Kim, S. (2020). Exploring the influences of compact development on zone-based travel patterns: A case

- study of the Seoul metropolitan area. *Transportation Letters*, 12(5), 316–328.
- Ciscel, D. H. (2001). The economics of urban sprawl: Inefficiency as a core feature of metropolitan growth. *Journal of Economic issues*, 35(2), 405–413.
- Clarke K (2020) COVID-19 Pounds New York Real Estate Worse Than 9/11, Financial Crash. *The Wall Street J.* August 20th.
- Collyer, S., Huq, S., Washington, K., & Wilmer, C. (2020). Spotlight on COVID-19: Nearly half of all New York City workers lost employment income from the pandemic, deepening economic insecurity and racial inequity across the city. *Robin Hood*.
- Creswell J, Eavis P (2020) Manhattan’s Office Buildings Are Empty. But for How Long? *New York Times*. September 8th.
- Chaloner, T. M., Gurr, S. J., & Bebber, D. P. (2021). Plant pathogen infection risk tracks global crop yields under climate change. *bioRxiv*, 2020–04.
- Choi, H. J., Kim, Y. J., & Park, D. H. (2022). Extended longevity of *Erwinia amylovora* vectored by honeybees under in vitro conditions and its capacity for dissemination. *Plant Pathology*, 71(3), 762–771.
- DaVanzo, J. (1978). Does unemployment affect migration? Evidence from micro data. *The Review of Economics and Statistics*, 504–514.
- De Roo, G. (2000). Environmental conflicts in compact cities: complexity, decisionmaking, and policy approaches. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 27(1), 151–162.
- Decoville, A., & Klein, O. (2020). Polycentrism and the accessibility of

- public facilities to the population. The example of the Grand Duchy of Luxembourg and Belval. *European Planning Studies*, 28(4), 653–671.
- Dempsey, N., Brown, C., & Bramley, G. (2012). The key to sustainable urban development in UK cities? The influence of density on social sustainability. *Progress in planning*, 77(3), 89–141.
- Deng, F. F., & Huang, Y. (2004). Uneven land reform and urban sprawl in China: the case of Beijing. *Progress in planning*, 61(3), 211–236.
- de Prado, M. M. L. (2020). *Machine learning for asset managers*. Cambridge University Press.
- Deutsch, C. A., Tewksbury, J. J., Huey, R. B., Sheldon, K. S., Ghalambor, C. K., Haak, D. C., & Martin, P. R. (2008). Impacts of climate warming on terrestrial ectotherms across latitude. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(18), 6668–6672.
- Dieleman, F., & Wegener, M. (2004). Compact city and urban sprawl. *Built environment*, 30(4), 308–323.
- Dubay, L., Aarons, J., Brown, K. S., & Kenney, G. M. (2020). How risk of exposure to the coronavirus at work varies by race and ethnicity and how to protect the health and well-being of workers and their families. *Washington DC: Urban Institute*.
- Elobeid, A., & Beghin, J. (2006). Multilateral trade and agricultural policy reforms in sugar markets. *Journal of Agricultural Economics*, 57(1), 23–48.
- Etzo, I. (2011). The determinants of the recent interregional migration flows in Italy: A panel data analysis. *Journal of regional science*, 51(5), 948–966.

- Evans, E. A., Crane, J., Hodges, A., & Osborne, J. L. (2010). Potential economic impact of laurel wilt disease on the Florida avocado industry. *HortTechnology*, 20(1), 234-238.
- Ewing, R., Tian, G., Goates, J. P., Zhang, M., Greenwald, M. J., Joyce, A., ... & Greene, W. (2015). Varying influences of the built environment on household travel in 15 diverse regions of the United States. *Urban Studies*, 52(13), 2330-2348.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2022). *Glossary of Phytosanitary Terms*. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization.
- Frem, M., Fucilli, V., Petrontino, A., Acciani, C., Bianchi, R., & Bozzo, F. (2022). Nursery Plant Production Models under Quarantine Pests' Outbreak: Assessing the Environmental Implications and Economic Viability. *Agronomy*, 12(12), 2964.
- Frumkin, H., Frank, L. D., & Jackson, R. J. (2004). *Urban sprawl and public health: Designing, planning, and building for healthy communities*. Island press.
- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological economics*, 68(3), 810-821.
- Ghatak, S., Mulhern, A., & Watson, J. (2008). Inter Regional Migration in Transition Economies: The Case of Poland. *Review of Development Economics*, 12(1), 209-222.
- Giuliano, G., & Small, K. A. (1991). Subcenters in the Los Angeles region. *Regional science and urban economics*, 21(2), 163-182.
- Glaeser EL, Gorbach C, Redding SJ (2020) *How much does COVID-19 increase with mobility? Evidence from New York and four other U.S. cities*. NBER working paper (w27519)

- Glauber, J. W., & Narrod, C. A. (2001). *A rational risk policy for regulating plant diseases and pests* (No. 412-2016-25821).
- Gordon, P., Kumar, A., & Richardson, H. W. (1989). The influence of metropolitan spatial structure on commuting time. *Journal of urban economics*, *26*(2), 138-151.
- Grant P, Tucker E (2020) Manhattan Offices are nearly empty, threatening New York City's Recovery, The Wall Street J. September 29th.
- Grovermann, C., Schreinemachers, P., Riwthong, S., & Berger, T. (2017). 'Smart' policies to reduce pesticide use and avoid income trade-offs: An agent-based model applied to Thai agriculture. *Ecological Economics*, *132*, 91-103.
- Gunning, D., Vorm, E., Wang, Y., & Turek, M. (2021). DARPA's explainable AI (XAI) program: A retrospective. Authorea Preprints.
- Guo, Z., & Wilson, N. H. (2007). Modeling effects of transit system transfers on travel behavior: case of commuter rail and subway in Downtown Boston, Massachusetts. *Transportation Research Record*, *2006*(1), 11-20.
- Gutiérrez, J., Cardozo, O. D., & García-Palomares, J. C. (2011). Transit ridership forecasting at station level: an approach based on distance-decay weighted regression. *Journal of transport geography*, *19*(6), 1081-1092.
- Hall, S. G., & Ashley, W. S. (2008). Effects of urban sprawl on the vulnerability to a significant tornado impact in northeastern Illinois. *Natural Hazards Review*, *9*(4), 209-219.
- Hamidi, S., & Ewing, R. (2014). A longitudinal study of changes in urban sprawl between 2000 and 2010 in the United States. *Landscape and urban planning*, *128*, 72-82.

- Hamidi, S., Sabouri, S., & Ewing, R. (2020). Does density aggravate the COVID-19 pandemic? Early findings and lessons for planners. *Journal of the American Planning Association*, 86(4), 495-509.
- Han, J., Pei, J., & Kamber, M. (2011) *Data mining: concepts and techniques*. Elsevier
- Harris, J. E. (2020). *The subways seeded the massive coronavirus epidemic in New York City* (No. w27021). National Bureau of Economic Research.
- Harris, J. R., & Todaro, M. P. (1970). Migration, unemployment, and development: A two-sector analysis, *American Economic Review*, 126-142.
- Hawkins, D. (2020). Differential occupational risk for COVID 19 and other infection exposure according to race and ethnicity. *American journal of industrial medicine*, 63(9), 817-820.
- Herrera, G. P., Constantino, M., Tabak, B. M., Pistori, H., Su, J. J., & Naranpanawa, A. (2019). Long-term forecast of energy commodities price using machine learning. *Energy*, 179, 214-221.
- Hofstad, H. (2012). Compact city development: High ideals and emerging practices. *European Journal of Spatial Development*, 10(5), 1-23.
- Holcombe, R. G., & Williams, D. W. (2010). Urban sprawl and transportation externalities. *Review of Regional Studies*, 40(3), 257-273.
- Hortas-Rico, M., & Solé-Ollé, A. (2010). Does urban sprawl increase the costs of providing local public services? Evidence from Spanish municipalities. *Urban studies*, 47(7), 1513-1540.
- Huang, V., Sutermeister, S., Caplan, Y., Kemp, H., Schmutz, D., &

- Sgaiier, S. K. (2020). Social distancing across vulnerability, race, politics, and employment: How different Americans changed behaviors before and after major COVID-19 policy announcements. *MedRxiv*, 2020-06.
- Huong, N. T. L., Bo, Y. S., & Fahad, S. (2019). Economic impact of climate change on agriculture using Ricardian approach: A case of northwest Vietnam. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 449-457.
- Jabareen, Y. R. (2006). Sustainable urban forms: Their typologies, models, and concepts. *Journal of planning education and research*, 26(1), 38-52.
- Jaffee, S., Siegel, P., & Andrews, C. (2010). Rapid agricultural supply chain risk assessment: A conceptual framework. *Agriculture and rural development discussion paper*, 47(1), 1-64.
- Johnson, M. P. (2001). Environmental impacts of urban sprawl: a survey of the literature and proposed research agenda. *Environment and planning A*, 33(4), 717-735.
- Julia, R., Holland, D. W., & Guenther, J. (2007). Assessing the economic impact of invasive species: the case of yellow starthistle (*Centaurea solstitialis* L.) in the rangelands of Idaho, USA. *Journal of Environmental Management*, 85(4), 876-882.
- Kamga C, Moghimi B, Vicuna P, Mudigonda S, Tchamna R (2020) Mobility trends in New York City during COVID-19 pandemic: analyses of transportation modes throughout June 2020.
- Kaufman, L., & Rousseeuw, P. J. (2009). *Finding groups in data: an introduction to cluster analysis*. John Wiley & Sons.
- Keller, R. P., Lodge, D. M., & Finnoff, D. C. (2007). Risk assessment for invasive species produces net bioeconomic benefits.

Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(1), 203–207.

- Keogh, E. J., & Pazzani, M. J. (1999). Scaling up dynamic time warping to massive datasets. In *Principles of Data Mining and Knowledge Discovery: Third European Conference, PKDD'99, Prague, Czech Republic, September 15–18, 1999. Proceedings 3* (pp. 1–11). Springer Berlin Heidelberg.
- Kim, M. K., Kim, S. P., Heo, J., & Sohn, H. G. (2017). Ridership patterns at subway stations of Seoul capital area and characteristics of station influence area. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 21, 964–975.
- Kim, D., Park, J., & Hong, A. (2018). The role of destination's built environment on nonmotorized travel behavior: a case of long beach, california. *Journal of Planning Education and Research*, 38(2), 152–166.
- Kim, M. H., Lee, J., & Gim, T. H. T. (2021). How did travel mode choices change according to Coronavirus Disease 2019? Lessons from Seoul, South Korea. *International Journal of Urban Sciences*, 25(3), 437–454.
- Kloosterman, R. C., & Musterd, S. (2001). The polycentric urban region: towards a research agenda. *Urban studies*, 38(4), 623–633.
- Kuby, M., Barranda, A., & Upchurch, C. (2004). Factors influencing light-rail station boardings in the United States. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38(3), 223–247.
- Kwon, D., Kim, S., Kim, Y., Son, M., Kim, K., An, D., & Kim, B. H. (2015). An empirical assessment of the economic damage caused by apple Marssonina blotch and pear scab outbreaks

- in Korea. *Sustainability*, 7(12), 16588–16598.
- Lee, S., Yi, C., & Hong, S. P. (2013). Urban structural hierarchy and the relationship between the ridership of the Seoul Metropolitan Subway and the land-use pattern of the station areas. *Cities*, 35, 69–77.
- Li, S., Lyu, D., Liu, X., Tan, Z., Gao, F., Huang, G., & Wu, Z. (2020). The varying patterns of rail transit ridership and their relationships with fine-scale built environment factors: Big data analytics from Guangzhou. *Cities*, 99, 102580.
- Li, A., Zhao, P., He, H., & Axhausen, K. W. (2020). Understanding the variations of micro-mobility behavior before and during COVID-19 pandemic period. *Arbeitsberichte Verkehrs-und Raumplanung*, 1547.
- Lim, J. R., Park, S. H., Moon, H. C., Kim, J., Choi, D. C., Hwang, C. Y., & Lee, K. S. (2012). An Investigation and Evaluation of Insect Pests in Greenhouse Vegetables in Jeonbuk Province. *Kor. J. Appl. Entomol*, 51(3), 271–280.
- Lu, W., Duthie, J. A., Roberts, B. W., Taylor, M. J., & Edelson, J. V. (2003). Partial budget analysis of effects of crop management intensity on profitability of three watermelon cultivars. *Journal of vegetable crop production*, 9(1), 49–71.
- Lundberg, S. M., & Lee, S. I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in neural information processing systems*, 30.
- Lundberg, S. M., Erion, G. G., & Lee, S. I. (2018). Consistent individualized feature attribution for tree ensembles. arXiv preprint arXiv:1802.03888.
- Ma, J., & Cheng, J. C. (2016). Identifying the influential features on the regional energy use intensity of residential buildings based

- on Random Forests. *Applied energy*, 183, 193–201.
- Ma, J., Ding, Y., Cheng, J. C., Jiang, F., Tan, Y., Gan, V. J., & Wan, Z. (2020). Identification of high impact factors of air quality on a national scale using big data and machine learning techniques. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118955.
- MacQueen, J. (1967, June). Classification and analysis of multivariate observations. In *5th Berkeley Symp. Math. Statist. Probability* (pp. 281–297). Los Angeles LA USA: University of California.
- Manley E, Ross S, Zhuang M (2021) Changing demand for New York yellow cabs during the COVID–19 pandemic. *Findings*. 22158
- MacLeod, A., & Baker, R. H. A. (2003). The EPPO pest risk assessment scheme: assigning descriptions to scores for the questions on entry and establishment. *EPPO Bulletin*, 33(2), 313–320.
- MacLeod, A., Head, J., & Gaunt, A. (2004). An assessment of the potential economic impact of Thrips palmi on horticulture in England and the significance of a successful eradication campaign. *Crop Protection*, 23(7), 601–610.
- Manson, S. M. (2005). Agent-based modeling and genetic programming for modeling land change in the Southern Yucatan Peninsular Region of Mexico. *Agriculture, ecosystems & environment*, 111(1–4), 47–62.
- Mas–Colell, A., Whinston, M.D., Green, J.R. (1995). Microeconomic Theory. *Oxford University Press*, New York.
- McDonald, J. F. (1987). The identification of urban employment subcenters. *Journal of Urban Economics*, 21(2), 242–258.
- Molua, E. L. (2007). The economic impact of climate change on agriculture in Cameroon. *World Bank Policy Research Working Paper*, (4364).

- Nechyba, T. J., & Walsh, R. P. (2002). Urban sprawl. *Journal of economic perspectives*, 18(4), 177–200.
- Nilles, J. M. (1991). Telecommuting and urban sprawl: Mitigator or inciter?. *Transportation*, 18(4), 411–432.
- OECD (2020) OECD policy responses to coronavirus (COVID-19): cities policy responses. Tackling coronavirus (COVID-19): contributing to a global effort. OECD.
- Office of New York City Comptroller (2021) *The pandemic's impact on NYC migration patterns*.
- Pahl, M., Zhu, H., Tautz, J., & Zhang, S. (2011). Large scale homing in honeybees. *PloS one*, 6(5), e19669.
- Park, K., Ewing, R., Sabouri, S., Choi, D. A., Hamidi, S., & Tian, G. (2020). Guidelines for a polycentric region to reduce vehicle use and increase walking and transit use. *Journal of the American Planning Association*, 86(2), 236–249.
- Park, B., & Cho, J. (2021, April). Older adults' avoidance of public transportation after the outbreak of COVID-19: Korean subway evidence. In *Healthcare* (Vol. 9, No. 4, p. 448). MDPI.
- Park, J. (2020). Changes in subway ridership in response to COVID-19 in Seoul, South Korea: Implications for social distancing. *Cureus*, 12(4).
- Pawar, D. S., Yadav, A. K., Akolekar, N., & Velaga, N. R. (2020). Impact of physical distancing due to novel coronavirus (SARS-CoV-2) on daily travel for work during transition to lockdown. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 7, 100203.
- Pérez-Pons, M. E., Parra-Dominguez, J., Omatu, S., Herrera-Viedma, E., & Corchado, J. M. (2022). Machine learning and traditional econometric models: a systematic mapping study. *Journal of*

- Artificial Intelligence and Soft Computing Research*, 12(2), 79–100.
- Phophi, M. M., & Mafongoya, P. L. (2017). Constraints to vegetable production resulting from pest and diseases induced by climate change and globalization: A Review. *Journal of Agricultural Science*, 9(10), 11–25.
- Piramuthu, S. (2008). Input data for decision trees. *Expert Systems with applications*, 34(2), 1220–1226.
- Plane, D. A., & Heins, F. (2003). Age articulation of US inter-metropolitan migration flows. *The annals of regional science*, 37, 107–130.
- Polyakova, M., Kocks, G., Udalova, V., & Finkelstein, A. (2020). Initial economic damage from the COVID-19 pandemic in the United States is more widespread across ages and geographies than initial mortality impacts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(45), 27934–27939.
- Rebaudo, F., Crespo-Pérez, V., Silvain, J. F., & Dangles, O. (2011). Agent-based modeling of human-induced spread of invasive species in agricultural landscapes: insights from the potato moth in Ecuador. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 14(3), 7.
- Rérat, P. (2012). Housing, the compact city and sustainable development: Some insights from recent urban trends in Switzerland. *International Journal of Housing Policy*, 12(2), 115–136.
- Ribeiro, H. V., Sunahara, A. S., Sutton, J., Perc, M., & Hanley, Q. S. (2020). City size and the spreading of COVID-19 in Brazil. *PloS one*, 15(9), e0239699.
- Ribeiro, M. T., Singh, S., & Guestrin, C. (2016, August). " Why

should i trust you?" Explaining the predictions of any classifier. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD international conference on knowledge discovery and data mining (pp. 1135-1144).

Riguelle, F., Thomas, I., & Verhetsel, A. (2007). Measuring urban polycentrism: a European case study and its implications. *Journal of Economic Geography*, 7(2), 193-215.

Robinson, C., Dilkina, B., & Moreno-Cruz, J. (2020). Modeling migration patterns in the USA under sea level rise. *PLoS One*, 15(1), e0227436.

Rodríguez Pose, A., & Ketterer, T. D. (2012). Do local amenities affect the appeal of regions in Europe for migrants?. *Journal of Regional Science*, 52(4), 535-561.

Schmitz, T. G., Giese, C. R., & Shultz II, C. J. (2008). Welfare implications of EU enlargement under the CAP. *Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie*, 56(4), 555-562.

Scull, J., Phillips, M., Sharma, U., & Garnier, K. (2020). Innovations in teacher education at the time of COVID19: an Australian perspective. *Journal of education for teaching*, 46(4), 497-506.

Sharifi, A. (2019). Resilient urban forms: A macro-scale analysis. *Cities*, 85, 1-14.

Shamshiripour, A., Rahimi, E., Shabanpour, R., & Mohammadian, A. K. (2020). How is COVID-19 reshaping activity-travel behavior? Evidence from a comprehensive survey in Chicago. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 7, 100216.

Sharma, A., & Sundaram, S. (2017). On the exploration of information from the DTW cost matrix for online signature verification.

- IEEE transactions on cybernetics*, 48(2), 611–624.
- Sherzod, R. (2013). Evaluation of Scab Resistance and Effect of Photosynthetic Rates on Fruit Characteristics among Elite Pear Seedlings. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 32(2), 117–122.
- Singal, A. G., Mukherjee, A., Elmunzer, B. J., Higgins, P. D., Lok, A. S., Zhu, J., ... & Waljee, A. K. (2013). Machine learning algorithms outperform conventional regression models in predicting development of hepatocellular carcinoma. *The American journal of gastroenterology*, 108(11), 1723.
- Simini, F., Barlacchi, G., Luca, M., & Pappalardo, L. (2021). A deep gravity model for mobility flows generation. *Nature communications*, 12(1), 6576.
- Simini, F., González, M. C., Maritan, A., & Barabási, A. L. (2012). A universal model for mobility and migration patterns. *Nature*, 484(7392), 96–100.
- Soliman, T., & Inglis, G. J. (2018). Forecasting the economic impacts of two biofouling invaders on aquaculture production of green-lipped mussels *Perna canaliculus* in New Zealand. *Aquaculture Environment Interactions*, 10, 1–12.
- Soliman, T., Mourits, M. C. M., Lansink, A. O., & Van der Werf, W. (2010). Economic impact assessment in pest risk analysis. *Crop Protection*, 29(6), 517–524.
- Soliman, T., Mourits, M. C. M., Lansink, A. O., & van der Werf, W. (2012). Quantitative economic impact assessment of an invasive plant disease under uncertainty - A case study for potato spindle tuber viroid (PSTVd) invasion into the European Union. *Crop Protection*, 40, 28–35.
- Sung, H., & Oh, J. T. (2011). Transit-oriented development in a

- high-density city: Identifying its association with transit ridership in Seoul, Korea. *Cities*, 28(1), 70–82.
- Surkov, I. V., Oude Lansink, A. G., & van der Werf, W. (2009). The optimal amount and allocation of sampling effort for plant health inspection. *European Review of Agricultural Economics*, 36(3), 295–320.
- Teixeira, J. F., & Lopes, M. (2020). The link between bike sharing and subway use during the COVID-19 pandemic: The case-study of New York's Citi Bike. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 6, 100166.
- Tiebout, C. M. (1956). A pure theory of local expenditures. *Journal of political economy*, 64(5), 416–424.
- Veneri, P., & Burgalassi, D. (2012). Questioning polycentric development and its effects. Issues of definition and measurement for the Italian NUTS-2 regions. *European Planning Studies*, 20(6), 1017–1037.
- Wang, W., Lyu, G., Shi, Y., & Liang, X. (2018, November). Time series clustering based on dynamic time warping. In *2018 IEEE 9th international conference on software engineering and service science (ICSESS)* (pp. 487–490). IEEE.
- Westerink, J., Haase, D., Bauer, A., Ravetz, J., Jarrige, F., & Aalbers, C. B. (2013). Dealing with sustainability trade-offs of the compact city in peri-urban planning across European city regions. *European Planning Studies*, 21(4), 473–497.
- William, J. G., Hella, J., Lars, E., Offenber, J., Mwatawala, M., & Rwegasira, G. (2015). Partial budgeting analysis of different strategies for management of insect pests in cashew and mango orchards in Tanzania. *Int J Sust Agric Res*, 2(4), 98–110.

- Wiśniewski, R., Stępnia, M., & Szejgic-Kolenda, B. (2021). Accessibility of public services in the age of ageing and shrinking population: Are regions following trends. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, *103*(1), 55-74.
- World Health Organization (2020) WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. WHO.
- Ye, Q., Ozbay, K., Zuo, F., & Chen, X. (2023). impact of social media on travel behaviors during the COVID-19 pandemic: evidence from New York City. *Transportation Research Record*, *2677*(4), 219-238.

부 록

2-1. 우리나라의 감염병 위기경보 체계

부표 2-1. 감염병 위기경보 수준

구분	위기 유형		주요 대응 활동
관심 (Blue)	해외에서의 신종감염병의 발생 및 유행	국내 원인불명 및 재출현 감염병의 발생	<ul style="list-style-type: none"> - 감염병별 대책반 운영(질병청) - 위기징후 모니터링 및 감시 - 필요시 현장 방역 조치 및 방역 인프라 가동
주의 (Yellow)	해외 신종감염병의 국내 유입	국내 원인불명 및 재출현 감염병의 제한적 전파	<ul style="list-style-type: none"> - 중앙방역대책본부(질병청) 설치 및 운영 - 유관기관 협조체계 가동 - 현장 방역 조치 및 방역 인프라 가동 - 모니터링 및 감시 강화
경계 (Orange)	국내 유입된 해외 신종감염병의 제한적 전파	국내 원인 불명 및 재출현 감염병의 지역사회 전파	<ul style="list-style-type: none"> - 중앙방역대책본부(질병청) 운영 지속 - 중앙사고수습본부(복지부) 설치 및 운영 - 필요시 총리주재 범정부 회의 개최 - (행안부) 범정부 지원본부 운영검토 - 유관기관 협조체계 강화
심각 (Red)	국내 유입된 해외 신종감염병의 지역사회 전파 또는 전국적 확산	국내 원인불명 및 재출현 감염병의 전국적 확산	<ul style="list-style-type: none"> - 범정부적 총력 대응 - 필요시 중앙재난안전대책본부 운영

출처: 질병관리청

4-1. 병해충위험분석 내 병해충 위험평가

부표 4-1. 병해충 위험평가 시의 항목별 세부 위험평가 요소

구분	설명
유입 가능성	가. 재배지(원산지)에서 병해충 발생현황(분포, 발생정도)
	나. 재배지(원산지)의 생산물 병해충관리 여부(선과, 상품화 과정 : 세척/화학처리/저온저장 포함)
	다. 수송 중 생존가능성(검출기록, 수송조건·기간·생육단계)
	라. 상품의 수입시기 및 국내 기후조건(병해충발생시기, 기후적합성 및 기주접근성)
	마. 수입되는 상품의 용도 및 수입 횟수(수입량 등)
	바. 도착지 검역에서 병해충 검출 난이도(서식부위, 병해충의 크기 및 표징)
정착 가능성	가. 병해충의 생활사를 완료할 수 있는 환경적합성(병해충 생존범위, 원산지와 국내 기후조건, 국내 기주 존재여부)
	나. 병해충의 유전적 적응성(약제내성, 생태형, 레이스, 병원형 등)
	다. 병해충의 침입경력(생물지리구 병해충 분포국가 또는 지역수 분포정보 기반 평가)
	라. 병해충의 증식 및 감염능력(발생회수, 단위생식, 월동분화 여부)
확산 가능성	가. 병해충의 확산 요소(자연적·인위적)
	나. 방제의 난이도(생물적·화학적방제, 특수 재배관리 등)
	다. 기주의 연속성 및 대체 기주 존재(세대수/년)
	라. 병해충 잠재적 매개체의 국내 존재 및 분포
경제적 중요성	가. 병해충에 의한 직접적인 피해(경제작물 생산량 감소·품질 변화에 의한 피해 등)
	나. 병해충에 의한 간접적인 피해(수출제한, 국내시장 위축)
	다. 방제·박멸조치에 따른 비용 및 생산비용 증가
	라. 병해충에 의한 환경적 영향(생태계 교란·생물다양성·멸종위기·보호종, 인축독성, 거주지·경관, 환경에 영향을 주는 불가피한 방제프로그램 도입 등)

출처: 농림축산검역본부고시 제2020-10호의 [별표 1] 병해충(잡초제외) 위험평가표

4-2. 피해확산 반경별 시군구

부표 4-2. 피해확산 반경별 피해 가능 지역

반경 (지역수)	지역명
10km (35개)	서울특별시 종로구, 광진구, 동대문구, 중랑구, 성북구, 강북구, 도봉구, 노원구, 은평구, 송파구, 강동구
	경기도 수원시, 성남시, 의정부시, 안양시, 동두천시, 고양시, 과천시, 구리시, 오산시, 군포시, 의왕시, 하남시, 김포시, 포천시
	강원도 강릉시, 태백시, 횡성군,
	충청북도 증평군
	충청남도 서산시, 홍성군,
	경상북도 문경시, 의성군, 청송군, 예천군
30km (52개)	서울특별시 중구, 용산구, 성동구, 서대문구, 마포구, 양천구, 강서구, 구로구, 금천구, 영등포구, 동작구, 관악구, 서초구, 강남구
	인천광역시 동구, 남동구, 부평구, 계양구, 서구, 미추홀구, 강화군
	세종특별자치시 세종시
	경기도 부천시, 광명시, 시흥시, 화성시, 가평군, 양평군
	강원도 삼척시, 홍천군, 정선군, 철원군, 양양군
	충청북도 청주시, 보은군
	충청남도 공주시, 보령시, 논산시, 계룡시, 부여군, 서천군, 청양군, 태안군
	전라북도 전주시, 군산시, 김제시, 완주군
경상북도 상주시, 군위군, 영양군, 영덕군, 봉화군	
50km (26개)	대구광역시 동구, 북구
	인천광역시 중구, 연수구
	대전광역시 동구, 중구, 서구, 유성구, 대덕구
	강원도 춘천시, 동해시, 속초시, 화천군, 인제군
	충청북도 옥천군, 영동군
	충청남도 금산군
	전라북도 정읍시, 진안군, 임실군, 부안군
경상북도 포항시, 구미시, 영천시, 칠곡군, 울진군	

4-3. 지역별 병해충 A 피해 추이

부표 4-3. 지역 및 작물별 피해율 추이 (단위: %)

구분	지역명	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
작물 1	경기도 광주시	0	0	0	0	0	14.0897
	경기도 양주시	0	0	0	0	0	0.2467
	경기도 평택시	0	0	0	0	0	3.6840
	경기도 이천시	0	0	0	0	0	0.0467
	충청북도 충주시	0	0	0	0.1132	0	-
	충청북도 제천시	0.1473	0	0	5.1051	0	-
	충청남도 아산시	0	0	0	0	0	0.2117
	충청북도 진천군	0	0	0	0	0	3.0210
	충청북도 음성군	0	0	0	0	0	1.7939
	전라북도 익산시	0	0	0	0	0	2.5331
	강원도 평창군	0	0	0	4.7968	0	2.8034
	강원도 원주시	0	0	0	3.7172	2.8752	0
	경기 파주, 연천	0	0	0	0	0	4.8522
작물 2	경기도 평택시	0	0	0	0	0	4.9058
	경기도 이천시	0	0	0	0	0	2.4038
	충청남도 천안시	1.2179	0.4751	0	0	0	-
	충청남도 아산시	0	0	0	0	0	0.7676
	충청북도 음성군	0	0	0	0	0	1.3933

출처: 국립원예특작과학원 (2015), 차재순 외 (2019), 함현희 외 (2020), 농림축산검역본부 (2020, 2021), 경기도농업기술원(2021), 충청북도농업기술원 (2022)

주: 관련 문헌을 통해 미발생지역으로 확인되는 경우 '0', 구체적인 피해자료를 확인할 수 없는 경우는 '-'로 표기함.

부표 4-4. 지역별 피해율 추이 (단위: %)

지역명	2015년	2016년	2017년	2018년	2019년	2020년
경기도 광주시	0	0	0	0	0	2.0653
경기도 양주시	0	0	0	0	0	0.0246
경기도 평택시	0	0	0	0	0	4.8251
경기도 파주시	0	0	0	0	0.4246	2.5273
경기도 연천군	0	0	0	0	5.8317	2.9836
경기도 이천시	0	0	0	0	3.6732	0.4822
경기도 안성시	3.4672	1.3566	2.2652	1.1162	1.2707	9.7617
경기도 용인시	0	0	0	0	13.2029	0
경기도 남양주시	0	0	0	0	0	0
경기도 여주시	0	0	0	0	0	0
강원도 평창군	0	0	0	4.5183	0	2.6997
강원도 원주시	0	0	0	1.8626	1.4371	0
충청북도 충주시	0	0	0	0.1091	3.1298	16.6603
충청북도 제천시	0.1442	0	0	5.0208	8.6185	15.9935
충청북도 진천군	0	0	0	0	0	2.1847
충청북도 음성군	0	0	0	0	0.8009	3.1424
충청북도 괴산군	0	0	0	0	0	0
충청북도 단양군	0	0	0	0	0	0
충청남도 천안시	1.1870	0.4587	0.5773	0.5958	0.9055	0
충청남도 아산시	0	0	0	0	0	0.9713
전라북도 익산시	0	0	0	0	0	4.1591

출처: 국립원예특작과학원 (2015), 차재순 외 (2019), 함현희 외 (2020), 농림축산검역본부 (2020, 2021), 경기도농업기술원(2021), 충청북도농업기술원 (2022)

주: 관련 문헌을 통해 미발생지역으로 확인되는 경우 '0'으로 표기함.

4-4. 출처별 작물 1과 2의 수요 및 공급 탄력성

부표 4-5. 작물별 수요·공급 탄력성

구분		작물 1		작물 2	
		ϵ_D	ϵ_S	ϵ_D	ϵ_S
김명환 외 (2008)		-0.52	0.33	-0.54	0.35
성명환 외 (2016)	2005-2009	-0.7025	-	-0.6615	-
	2010-2015	-0.6566		-0.5019	
조재환 (2018)		-0.5801		-0.5205	

4-5. 확산 가능 반경별 재배면적, 성목면적, 단수

부표 4-6. 확산 가능 반경 및 작물별 재배 및 생육 특성 (단위: ha, 톤/ha)

반경 (지역수)	작물 1			작물 2		
	재배면적	성목면적	단수	재배면적	성목면적	단수
10km (35개)	8,764.19	6,617.37	18.26	299.54	277.63	21.27
30km (52개)	5,496.93	4,086.62	17.99	1,837.27	1,721.53	20.46
50km (26개)	2,884.45	2,148.10	18.64	386.07	342.41	20.50

주: 반경별 수치는 각 반경에 속하는 지역의 재배 및 성목면적 총합을, 단수는 평균값임.

Abstract

Empirical Studies and
Management Strategies on
Societal Disaster Outbreaks
– Epidemics, Population Migration, and
Disaster Prevention –

Daeyoung Kwon

Program in Regional Information Studies

The Graduate School

Seoul National University

Following the economic growth, various forms of efforts to improve individuals' life quality are taking place in our society. Unlike the past, however, human-made disasters are increasing, imposing new types of risks and negative effects to our society. Thus, uncertainties, such as climate change, are increasing and are exposing humans to more potential threats. Such impact damages our society in both direct and indirect ways. Given our current situation, the magnitude of damage caused by these undisclosed hazards will

continue to increase in the future. Therefore, there is a need for a broader scope of disaster response management policies and institutions at the national level.

This study empirically analyzes the research on the occurrence of epidemics, population migration, and pestilence among several social disasters that have been recognized as human-caused disasters over time. This study addresses the necessity, feasibility, and viability of policy establishment regarding response and management to the societal disasters we face and its implementation of related strategies and systems.

The first empirical analysis analyzes the impact of the COVID-19 outbreak in metropolitan cities to evaluate the viability of compact development in urban space. We examined the changes in subway ridership in Seoul, Korea, following the outbreak and spread of the disease in 2020 and linked it with related disease response and management measures and various attributes of subway station areas. We utilized the data such as daily subway ridership, the governmental countermeasure for infectious disease, and characteristics of land use and demographics in subway station areas. Time series clustering was conducted to categorize the changes in subway ridership patterns in the context of disease outbreaks, and multiple regression analysis was conducted to identify the association between the degree of decline in subway usage and the characteristics of subway station areas. Implementing various disease control measures in response to the outbreak of COVID-19 slowed the spread, but the spread of disease increased over time. This indicates that high-density cities such as Seoul are vulnerable to the spread of infectious diseases. In addition, the association between the decline in subway ridership and the characteristics of subway station areas suggests

that urban spaces with high-density and compact developed need to be reconstructed with a multifaceted perspective in the future if the exposure to high-risk infectious diseases is prolonged. This result raises the need to formulate strategies for mitigating and dispersing the impact of disasters such as infectious diseases in high-density cities and to reconfigure existing land use distribution (i.e., an urban form with a certain degree of polycentricity and dispersion).

In the second empirical analysis, we analyzed various regional characteristics to understand the population migration phenomenon in Korea along with a more multifaceted perspective. Korea's chronic trend of low birthrate, aging population, and concentration of population in the metropolitan areas are affecting regional population structure and leads the population decline mainly in rural areas and as a major cause of local extinction. Regional population outflows, a major cause of rural areas' depopulation, may lead to a deterioration of the region's finances and a decrease in investment in public infrastructure and its service level, leading to a societal disaster called local extinction. We examined population migration by sigungu level in Korea and linked it to various regional characteristics. We analyzed the number of net migrants with diverse variables such as the gross regional domestic product, residential population, land use area, and numbers of total housing units, industrial workforce, and businesses. To understand the phenomenon of population migration from a multifaceted perspective, we applied a machine learning approach that is relatively free from the limitations of conventional econometric methodologies to predict the number of net migrants in five groups categorized by age. Furthermore, we conducted Shapley value analysis, an explainable artificial intelligence methodology, to interpret the prediction result of the machine learning model. The

result showed that the application of the machine learning approach could overcome the limitations of regression analysis methodologies in terms of prediction, and it suggests that the characteristics related to local amenities and the level of social overhead capital can act as a countermeasure on the issue of depopulation. In addition, we identified housing conditions, density, and living service characteristics as the main factors contributing to population migration by group. The study suggests further consideration of the above factors as a primary element when establishing related policies and projects to respond to and mitigate depopulation issues.

As a last empirical analysis, we analyze the damage caused by pest outbreaks in Korea to assess the feasibility of implementing pest control projects and measures. Previous studies have focused on the negative impacts of climate change on crop productivity and the need for specific policies and institutional support to reduce damage to farmers. The increasing uncertainty of future pest damage levels due to climate change and increased international trade in agricultural products emphasizes the need for pest damage to be assessed from a more diverse perspective. Based on related data, we analyzed the potential future damage to two crops under disease A's outbreak and spread. We utilized the data such as the characteristics of the disease itself and its damage and spread patterns, crop-specific cultivation, average wholesale prices, and supply and demand elasticities. To evaluate the social welfare losses caused by disease A's outbreak and spread, we designed equations to calculate the damage from the disease A outbreak and designed disease spread scenarios using relevant data to estimate the expected damage. The results of the analysis showed that the intensity of damage response management measures currently being implemented for disease A needs to be

adjusted to take into account the distribution of affected crops in areas where the disease is likely to be spread and that more intensive and detailed measures need to be implemented in areas where the more susceptible of the two crops are grown. This analysis can enhance the economic methodology's applicability in assessing pest damage. It can be used as a reference for efficient budget utilization and decision-making in establishing or implementing future policy projects related to pest damage.

In conclusion, this empirical study on social disasters suggests an analytical methodology to evaluate the risk of disaster occurrence from a socioeconomic perspective and simultaneously provides relevant quantitative evidence. In addition, this study can also contribute to a better assessment of the social impacts of other potential societal disasters and the establishment of policies and programs based on the assessment.

**keywords : Societal Disaster, Risk Assessment, COVID-19,
Population Migration, Local Extinction, Disaster
Prevention**

Student Number : 2015-30386