

Research Paper

반복적인 자연재해 노출과 노인인구 공간구조

이달별

동의대학교 소방방재행정학과

Repeated Natural Hazard Exposure and the Spatial Structure of the Elderly Population

Dalbyul Lee

Dong-eui University, Department of Disaster Management and Fire Administration

요약: 기후변화로 자연재해가 반복되고 고령화가 심화되면서, 재난노출과 지역 인구구조를 함께 살펴볼 필요성이 커지고 있다. 본 연구는 전국 시·군·구의 2015~2024년 패널자료를 이용하여 반복적인 자연재해 노출과 노인인구 공간구조 간의 관련성을 분석하였다. 자연재해 노출은 단기 노출과 장기 누적 노출로 구분하고, 노인인구 공간구조는 집계구별 노인인구 비율로 산출한 FZ Moran's I로 측정하였다. 분석에는 이원고정효과 패널모형을 적용하였다. 분석 결과, 단기 노출은 노인인구 공간구조와 유의한 관련성을 보이지 않았으나 장기 누적노출은 유의한 음(-)의 관련성을 나타냈다. 보완분석과 강건성 검증에서도 기본분석 결과의 일관성이 확인되었다. 이러한 결과는 자연재해와 지역 고령화의 관계를 이해하기 위해 재난노출의 시간적 누적성과 노인인구의 공간적 분포를 함께 고려할 필요가 있음을 시사한다.

주요어: 자연재해, 노인인구, 공간구조, Moran's I, 패널분석

Abstract: As climate change increases repeated exposure to natural hazards and population aging continues, there is a growing need to consider disaster exposure together with local population structure. This study examines the association between repeated natural hazard exposure and the spatial structure of the elderly population using municipal-level panel data from South Korea for 2015–2024. Natural hazard exposure is classified into short-term and long-term cumulative exposure, while the spatial structure of the elderly population is measured using Fisher's z-transformed Moran's I (FZ Moran's I), calculated from elderly population ratios at the census-block level. Two-way fixed-effects panel models are employed for the analysis. The results show no significant association between short-term exposure and FZ Moran's I, whereas long-term cumulative exposure is significantly and negatively associated with FZ Moran's I. Supplementary analyses and robustness checks support the consistency of the main findings. These results suggest that understanding the relationship between natural hazards and population aging requires consideration of both the temporal accumulation of disaster exposure and the spatial distribution of the elderly population.

Keywords: Natural hazards exposure, Elderly population, Spatial structure, Moran's I, Panel data

I. 서론

기후변화로 자연재해의 발생 빈도와 강도가 증가하면서 재난위험은 지역사회가 지속적으로 대응해야 할 문제로 인식되고 있다(IPCC, 2023). 고령화가 빠르게 진행되는 가운데 노인인구는 지역 내부에 균등하게 분포하지 않고 특정 지역에 집중되거나 분산되는 공간적 특성을 보인다. 반복적인 자연재해 노출과 노인인구의 공간적 분포를 함께 살펴보는 것은 재난 대응과 복지 서비스 공급, 지역계획의 측면에서 중요하다.

기존 연구는 자연재해 이후의 인구이동과 인구변화, 재난취약지역의 고령인구 분포 등을 중심으로 자연재해와 인구구조의 관계를 다루어 왔다. 반복적인 자연재해 노출과 지역 내부 노인인구의 공간구조 간의 관계를 분석한 연구는 제한적이다. 자연재해를 단일한 사건이 아닌 시간적으로 누적되는 노출로 파악하고, 이를 노인인구의 공간적 군집과 연결한 실증연구도 충분하지 않다. 반복적인 재난피해에 따른 인구재편이 지역 내부에서 차별적으로 누적될 경우, 노인인구의 공간적 배열 역시 달라질 가능성이 있다.

본 연구는 전국 시·군·구의 2015~2024년 패널자료를 이용하여 반복적인 자연재해 노출과 노인인구 공간구조 간의 관련성을 분석한다. 자연재해 노출은 단기 노출과 장기 누적노출로 구분하여 시간적 차이를 살펴본다. 노인인구의 공간구조는 집계구별 노인인구 비율의 공간적 자기상관을 이용하여 측정한다. 노인인구의 전반적인 고령화 수준과 비공간적 분포 특성도 함께 분석하여 자연재해 노출과의 관련성이 어떠한 측면에서 나타나는지를 검토한다. 본 연구는 자연재해와 지역 고령화의 관계를 재난노출의 시간적 누적성과 노인인구의 공간적 분포라는 관점에서 살펴보고, 재난관리와 지역 고령화 대응에 필요한 시사점을 제시하고자 한다.

II. 선행연구 고찰

기후변화로 극한 기상의 발생 빈도와 강도가 증가하면서 자연재해는 지역사회에 장기적 변화를 가져올 수 있는 위험으로 인식되고 있다(IPCC, 2023). 재난 연구의 관심도 피해 규모와 복구 수준에서 지역사회에 축

적되는 장기적인 변화로 확대되었다. 재난위험은 자연현상 자체뿐 아니라 지역의 사회·경제적 취약성과 밀접하게 관련되며, 재난위험 경감은 지속가능한 지역발전과 밀접하게 연결된다(Mileti & Gailus, 2005).

자연재해와 인구변화에 관한 연구는 자연재해를 인구이동의 한 요인으로 설명하는 데서 출발하였다(Hunter, 2005). 이후 환경 변화와 사회·경제적 조건이 결합해 이동을 결정하는 과정으로 논의가 확대되었다(McLeman & Smit, 2006). 환경 변화와 인구이동의 관계를 설명하는 개념적 틀을 제시하면서(Black et al., 2011), 반복적인 자연재해가 인구이동, 주거선택과 관련될 수 있다는 실증적 근거도 제시되었다(Boustani et al., 2012; Elliott, 2015). 최근 메타분석에서는 자연재해와 기후변화에 따른 인구이동이 지역의 경제수준, 산업구조, 사회적 맥락에 따라 다르게 나타날 수 있음을 보여준다(Hoffmann et al., 2020; Cipollina et al., 2024).

고령화 연구에서는 고령화 수준뿐 아니라 노인인구가 지역 내부에 어떻게 분포하고 배열되는지도 중요한 연구대상으로 다루어져 왔다. 노인의 삶을 거주지역과 생활환경이라는 공간적 맥락에서 이해하는 관점은 노인인구의 공간적 분포에 대한 관심으로 이어졌다(Warnes, 1990; Andrews & Phillips, 2004). 국내 연구도 지역 간 고령화 수준의 비교에서 노인인구의 공간적 군집과 공간적 자기상관, 연령집단의 공간분리와 공간구조를 분석하는 연구로 확대되었다(Choi & Yoon, 2012; Yeo & Seo, 2014; Hong, 2023). 고령화는 인구 규모나 비율뿐 아니라 지역 내부의 공간적 분포와 구조를 통해서도 이해할 필요가 있다.

자연재해와 고령자를 함께 다룬 연구는 재난취약성 평가와 인구구조 변화에 주목해 왔다. 국내에서는 재난취약지역의 고령인구 분포와 취약성을 평가하는 연구가 이루어졌으며(Kim & Kim, 2019), 최근에는 기후변화에 따른 인구이동과 지역 고령화의 관계도 논의되고 있다. Hauer et al. (2024)은 해수면 상승에 따른 기후이동 과정에서 젊은 인구의 선택적 이동과 고령인구의 상대적 잔류가 재난노출지역의 고령화를 심화시킬 수 있음을 제시하였다. 이는 자연재해와 인구이동의 관계가 지역의 고령화 특성과 연결될 수 있음을 보여준다.

자연재해 이후의 인구변화는 지역 내부의 공간적 재

편이라는 관점에서도 논의되어 왔다. 재난 피해와 복구는 지역 내부에서 균등하게 나타나지 않으며, 주거 환경과 사회·경제적 여건에 따라 주민의 이탈과 잔류, 귀환 및 유입이 선택적으로 이루어질 수 있다(Pais & Elliott, 2008; Groen & Polivka, 2010; Elliott, 2015). 이러한 이동은 전체 인구 규모의 변화와 별개로 근린의 인구구성을 변화시킬 수 있다(Raker, 2020). 국내에서도 대규모 자연재해 이후 집계구 수준의 연령 및 주택유형 구성이 변화하고, 그 양상이 피해 정도와 지역 여건에 따라 다르게 나타날 수 있음이 확인되었다(Lee, 2020). 재난 이후의 선택적인 이동과 차별적인 피해·복구가 반복되면 지역 내부의 인구구성이 서로 다르게 변화할 수 있다. 지역 전체의 고령화 수준이나 집계구 간 분포 차이가 크게 달라지지 않더라도, 유사한 인구구성을 가진 집계구의 위치와 인접관계는 달라질 수 있다.

선행연구에서는 자연재해가 인구이동과 구성 변화와 관련되며, 이러한 변화는 지역 내부에서 공간적으로 다르게 나타날 수 있음을 보여준다. 고령인구 역시 지역 내부에서 불균등한 공간적인 분포를 형성한다. 두 논의를 연결하여 반복적인 자연재해 노출과 노인인구 공간구조 간의 관계를 실증적으로 분석한 연구는 제한적이다. 자연재해를 단기적인 사건에 한정하지 않고 시간적으로 누적된 노출로 파악하여 노인인구의 공간적 군집과의 관계를 검토한 연구도 충분하지 않다. 본 연구는 재난노출의 시간적 누적성과 지역 내부 노인인구의 공간적 배열을 함께 고려한다는 점에서 기존 연구와 차별된다.

III. 연구방법

본 연구는 전국 시·군·구 패널자료를 이용하여 반복적인 자연재해 노출과 노인인구 공간구조 간의 관련성을 분석하였다. 이원고정효과 패널모형을 적용하고, 자연재해 노출을 단기노출과 장기 누적노출로 구분하였다. 분석은 기본분석, 보완분석, 강건성 검증의 순서로 수행하였다. 기본분석은 노인인구 공간구조를 나타내는 FZ Moran's I를 종속변수로 사용하였다. 보완분석은 노인인구의 전반적인 고령화 수준과 비공간적 분포 특성을, 강건성 검증은 변환 전 Moran's I를 이용하

여 기본분석 결과의 일관성을 확인하였다.

1. 분석자료

본 연구는 전국 시·군·구를 대상으로 2015년부터 2024년까지의 패널자료를 이용하였다. 최종 분석단위는 시·군·구이며, 자연재해 노출과 노인인구 공간구조의 관계를 시계열적으로 분석하기 위해 시·군·구-연도 단위의 자료를 구축하였다.

노인인구 자료는 통계청 통계지리정보서비스(SGIS)의 집계구별 인구자료를 사용하였다. SGIS는 2015년부터 집계구 단위 인구자료를 매년 제공하고 있으며, 그 이전 자료는 5년 간격으로 구축되어 연도별 공간변화를 연속적으로 분석하기 어렵다. 본 연구는 시·군·구 내부 노인인구의 공간구조 변화를 연도별로 분석하는 것을 목적으로 하므로, 동일한 공간수준의 자료를 연속적으로 확보할 수 있는 2015년을 분석 시작 연도로 설정하고 자료 구축 시점의 최신 연도인 2024년까지를 분석에 포함하였다.

자연재해 자료는 행정안전부 『재해연보』의 시·군·구별 자연재해 피해자료를 이용하였다. 자연재해 노출은 『재해연보』에 수록된 태풍, 호우, 대설, 강풍, 풍랑 등 자연재난 유형 전체를 대상으로 하였으며, 특정 재난유형을 구분하지 않고 연도별 자연재해 피해액을 사용하였다. 장기 누적노출 변수를 산출하기 위해 패널 분석 기간 이전인 2005년부터의 피해자료를 함께 활용하였다.

통제변수는 행정안전부 한국도시통계를 이용하여 구축하였다. 인구규모, 인구밀도 및 사업체 자료를 시·군·구-연도 단위로 정리하여 자연재해 자료와 결합하였다. 최종 분석자료는 전국 229개 시·군·구의 2015~2024년 자료로 구성되며 총 2,290개의 시·군·구-연도 관측치를 포함한다.

2. 자료 구축 및 변수 설정

기본분석의 종속변수는 시·군·구 내부 노인인구의 공간적 자기상관을 나타내는 FZ Moran's I이다. 본 연구는 지역의 평균적인 고령화 수준보다 시·군·구 내부에서 노인인구가 어떠한 공간적 배열을 형성하는지에 초점을 맞추고 있어, 노인인구 비율 대신 공간적 군집 정도

를 나타내는 FZ Moran's I를 사용하였다. FZ Moran's I는 집계구별 노인인구 비율을 이용하여 산출하였다. 먼저 각 집계구의 65세 이상 인구를 전체 인구로 나누어 집계구별 노인인구 비율을 계산하였다. 동일한 시·군·구에 포함된 집계구를 하나의 공간분석 범위로 설정하고 Queen 인접성 기준의 공간가중행렬을 구축하였다. 이를 이용하여 시·군·구별 Moran's I를 산출한 후 Fisher의 z 변환을 적용하여 FZ Moran's I를 생성하였다.

Moran's I는 공간단위 간 유사한 속성값이 서로 인접하여 분포하는 정도를 측정하는 대표적인 공간자기상관 지표이다(Moran, 1950; Cliff & Ord, 1981). Moran's I는 -1과 1 사이의 제한된 범위를 갖는 공간적 상관계수이다. Fisher의 z 변환은 제한된 범위를 갖는 상관계수의 분포를 정규분포에 가깝게 변환하고 분산을 안정화하기 위해 널리 사용되는 방법이다(Fisher, 1921; van Aert, 2023). 본 연구는 지역 및 연도 간 공간구조를 보다 안정적으로 비교하기 위해 Moran's I 대신 FZ Moran's I를 기본 종속변수로 사용하였다. FZ Moran's I의 해석은 Moran's I와 동일하다. 값이 클수록 노인인구 비율이 유사한 집계구들이 서로 인접하여 공간적으로 군집하는 경향이 강하며, 값이 작을수록 공간적 군집성이 약한 것으로 해석한다. 수식(1)은 Moran's I를 이용한 FZ Moran's I의 산출식을 나타낸다.

$$FZMoranI = \frac{1}{2} \ln \left(\frac{1 + MoranI}{1 - MoranI} \right) \quad (1)$$

핵심 설명변수는 시·군·구별 자연재해 피해액을 이용하여 산출한 자연재해 노출이다. 피해액은 자연재해가 지역에 초래한 실제 피해규모를 반영할 수 있다는 점에서 노출의 측정기준으로 사용하였다. 피해가 발생하지 않은 지역·연도가 존재하고 일부 대규모 재난으로 인해 분포가 우측으로 치우치는 특성을 고려하여 연도별 피해액에는 $\log(x+1)$ 변환을 적용하였다.

재난의 영향은 발생시점에 한정되지 않고 이후 수년간 지속될 수 있기 때문에, 반복적인 자연재해 노출은 시간적 범위에 따라 단기노출과 장기 누적노출로 구분하였다.

최근 국내외 연구에서는 재난 이후 3년의 추적기간

을 활용하여 피해와 그 변화를 분석하고 있다(Lee & Kang, 2024; Koh & Sim, 2025). 본 연구는 이러한 선행 연구를 참고하여 분석시점과 가까운 기간에 반복된 자연재해 피해를 반영하기 위한 단기노출 기간을 최근 3년으로 설정하였고, 따라서 이 기간의 로그변환 피해액을 합산하여 산출하였다.

장기 누적노출은 단기노출 기간과 중복되지 않는 t-3부터 t-10까지 8년간의 로그변환 피해액에 감쇠가중치를 적용하여 산출하였다. 과거 재난경험의 영향이 시간의 경과에 따라 점차 감소할 수 있다는 점을 반영하여 지수감쇠 방식을 적용하였다. 선행연구(Song et al., 2021)를 토대로 t-3년의 피해에 1의 가중치를 부여하고 과거로 한 해씩 멀어질 때마다 직전 가중치의 80%를 적용하였다. 수식(2)는 감쇠가중치 0.8을 적용한 장기 누적노출을 산출한 것이다.

$$LongDamage = \sum_{t=3}^{10} 0.8^{t-3} \ln(Damage + 1) \quad (2)$$

여기서 *Damage*는 시·군·구별 특정 연도의 자연재해 피해액이다. 이에 따라 오래된 피해의 비중은 점차 감소하나 완전히 제외되지 않도록 설정하였다. 이는 반복된 재난피해가 장기간 지역에 축적되고, 현재의 공간구조와의 관련성은 시간이 지날수록 약해진다는 점을 반영한 것이다.

노인인구의 공간구조는 자연재해 노출뿐 아니라 지역의 인구규모, 도시화 수준 및 경제·서비스 기반과 같은 지역적 특성과도 관련될 수 있다. 본 연구는 이러한 시간에 따라 변화는 지역 특성의 영향을 고려하기 위해 인구규모, 인구밀도 및 인구 대비 사업체 수를 통제변수로 포함하였다. 인구규모(POP)는 시·군·구의 총인구에 자연로그를 적용한 값으로, 지역의 인구 규모와 정주기반을 통제한다(Warnes, 1990). 인구밀도(Density)는 단위면적당 인구에 자연로그를 적용한 값으로, 지역의 도시화 정도와 공간적 집약성을 반영한다(Warnes, 1990). 사업체 변수(M_Business)는 시·군·구의 전체 사업체 수를 총인구로 나누어 산출하였으며, 지역의 경제활동 및 사업체 기반을 통제하기 위해 포함하였다(Takahashi, 2022).

3. 패널분석모형

본 연구는 시·군·구에서 시간에 따라 변화하는 자연재해 노출과 노인인구 공간구조 간의 관련성에 초점을 맞춘다. 지역별로 시간에 따라 크게 변하지 않는 특성과 특정 연도에 모든 지역에 공통적으로 작용하는 영향을 통제하기 위해 지역 고정효과와 연도 고정효과를 포함한 이원고정효과 패널모형을 적용하였다. 기본 분석모형은 수식(3)과 같다.

$$Y = \text{Damage} + \gamma X + \mu + \lambda + \varepsilon \quad (3)$$

여기서 종속변수 Y 는 시·군·구별 특정 연도의 노인인구 공간구조를 나타내는 FZ Moran's I 이며, Damage 는 자연재해 노출, X 는 통제변수 벡터이다. μ 는 지역 고정효과, λ 는 연도 고정효과, ε 는 오차항을 의미한다. 지역 고정효과는 지리적 입지, 행정구역의 형태, 장기간 형성된 정주구조와 같이 분석기간에 거의 변하지 않는 지역 고유 특성을 통제한다. 연도 고정효과는 전국적인 고령화 추세, 정책 및 제도의 변화, 특정 연도의 공통 충격을 통제한다. 표준오차는 동일 시·군·구 내 오차항의 시계열적 상관과 이분산성을 고려하여 시·군·구 단위로 군집화하였다.

단기노출과 장기 누적노출은 각각 별도의 모형에 포함하였다. 두 변수는 단순한 대체지표가 아니라 자연재해 노출의 서로 다른 시간적 범위를 측정한다. 단기노출 모형은 최근 3년간의 피해와 노인인구 공간구조 간의 관련성을, 장기 누적노출 모형은 그 이전 장기간에 걸쳐 축적된 피해와 공간구조 간의 관련성을 분석한다. 두 모형의 결과를 비교하여 자연재해 노출과 노인인구 공간구조의 관련성이 노출의 시간적 범위에 따라 다르게 나타나는지를 확인하였다.

보완분석에서는 기본모형과 동일한 이원고정효과 모형을 적용하되, 종속변수를 시군구별 노인인구 비율($R_Elderly$), 집계구별 노인인구 비율의 표준편차($SD_R_Elderly$), 변동계수($CV_R_Elderly$), 범위($Ra_R_Elderly$)로 각각 대체하였다. FZ Moran's I 가 집계구 간 공간적 인접성을 고려하여 노인인구의 군집 정도를 측정하는 것과 달리, 이들 지표는 지역의 평균적인 고령화 수준과 시·군·구 내부 노인인구 분포의 차이 및 변동 정도를 나타낸다. 따라서 보완분석은 자연재해 노출과

의 관련성이 노인인구의 전반적인 증가나 지역 내부의 분포 차이에서도 나타나는지, 또는 공간적 인접성을 고려한 군집구조에서 구별되어 나타나는지를 비교하기 위해 수행하였다.

강건성 검증에서는 기본분석의 종속변수인 FZ Moran's I 를 변환 전 Moran's I 로 대체하고 동일한 모형을 추정하였다. 이를 통해 기본분석에서 확인된 자연재해 노출과 노인인구 공간구조 간의 관련성이 Fisher의 z 변환에 따른 결과인지, 공간적 군집을 측정하는 원지표에서도 일관되게 나타나는지를 확인하였다.

모형에서 추정된 자연재해 노출의 계수 β 는 관찰된 통제변수와 지역 및 연도 고정효과를 통제한 상태에서 자연재해 노출의 변화와 종속변수 변화 간의 조건부 관련성을 의미한다. 따라서 추정결과는 자연재해 노출의 인과효과가 아닌 변수 간의 관련성을 중심으로 해석하였다.

IV. 연구 결과

1. 기초 통계 및 패널분석

Table 1은 주요 변수의 기술통계 결과를 정리한 것이다. 분석 대상은 전국 시·군·구를 대상으로 구축한 최근 10년 간의 패널자료로, 총 2,290개의 관측치를 포함한다. 기본 종속변수인 FZ Moran's I 의 평균은 0.471이었으며, 단기노출과 장기 누적노출의 평균은 각각 25.895와 34.186으로 나타났다. 또한 노인인구 비율과 집계구 간 노인인구 비율의 표준편차, 변동계수 및 범위는 지역 간 충분한 변동성을 보여 이후 패널분석에 활용하기에 적절한 것으로 확인되었다.

Table 2는 반복적인 자연재해 노출과 노인인구 공간구조 간의 관련성을 분석한 결과를 나타낸다. 본 연구는 자연재해 노출의 시간적 특성을 고려하기 위해 단기노출과 장기 누적노출을 구분하여 각각 분석하였으며, 두 변수를 동시에 포함한 결합모형을 추가적으로 추정하였다. 통계적 유의성은 양측 검정을 기준으로 1%, 5%, 10% 유의수준에서 판단하였으며, 각 기준은 각 표에 제시하였다.

먼저 최근 3년간의 자연재해 피해를 나타내는 단기노출은 기본모형(Model 1)에서 FZ Moran's I 와 통계적

Table 1. Descriptive Statistics of the Variables

Variables	Min.	Max.	Mean	St.D.	Variables	Min.	Max.	Mean	St.D.
FZMoranI	-0.100	1.217	0.471	0.266	R_Elderly	0.068	0.471	0.218	0.088
MoranI	-0.100	0.839	0.417	0.206	SD_R_Elderly	0.041	0.452	0.129	0.049
ShortDamage*	0.000	51.500	25.895	12.895	CV_R_Elderly	0.182	2.374	0.646	0.329
LongDamage*	0.000	65.502	34.186	14.446	Ra_R_Elderly	0.133	3.000	1.180	0.922
POP*	9.008	14.020	11.812	1.078	M_Business	0.035	0.588	0.105	0.050
Density*	2.912	10.192	6.441	2.160	n = 2,290				

* log value

Table 2. Associations between Short- and Long-term Natural Hazard Exposure on the Spatial Structure of the Elderly Population

<i>FZMoranI</i>	Model 1	Model 2	Model 3
	Short Damage	Long Damage	Short & Long Damage
ShortDamage	0.0008 (0.0007)		0.0003 (0.0007)
LongDamage		-0.0017** (0.0008)	-0.0016* (0.0008)
POP	0.7045*** (0.1195)	0.6879*** (0.1184)	0.6884*** (0.1189)
Density	-0.0314 (0.0389)	-0.0201 (0.0344)	-0.0220 (0.0357)
M_Business	-1.0180* (0.4988)	-1.0600** (0.4807)	-1.0760** (0.4857)
Fixed-Effects			
Region(Si·Gun·Gu)	Yes	Yes	Yes
Year	Yes	Yes	Yes
R ²	0.765	0.766	0.766
Wintin R ²	0.069	0.073	0.073
Clustered Observations	2,290	2,290	2,290

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ Parentheses indicate clustered standard errors.

으로 유의한 관련성을 보이지 않았다. 장기노출을 함께 포함한 결합모형(Model 3)에서도 단기노출의 계수는 유의하지 않았으며, 계수의 방향 역시 기본 모형과 달라지지 않았다. 즉, 최근 발생한 자연재해 피해는 다른 조건을 통제한 이후 노인인구의 공간적 자기상관과 유의한 관련성이 확인되지 않았다.

반면 장기 누적 자연재해 노출은 기본 모형(Model 2)에서 FZ Moran's I와 통계적으로 유의한 음(-)의 관련성을 나타냈다($\beta = -0.0017$, $p < 0.05$). 단기노출을 함께 고려한 결합모형(Model 3)에서도 장기노출은 동일한 방향을 유지하였으며 10% 수준에서 통계적으로 유의하였다($\beta = -0.0016$, $p < 0.10$). 두 모형에서 계수의 방향과 크기가 유사하게 나타난 점은 장기 누적 자연재해 피해와 노인인구 공간구조 간의 관련성이 모형 설정에 따라 크게 달라지지 않았음을 보여준다.

통제변수의 경우 인구가 모든 모형에서 일관되게 양(+)의 관련성을 나타냈으며, 사업체 변수는 음(-)의 관련성을 보였다. 반면 인구밀도는 모든 모형에서 통계적으로 유의하지 않았다.

이상의 결과는 반복적인 자연재해 노출과 노인인구 공간구조 간의 관련성이 단기피해보다 장기간 축적된 자연재해 피해에서 확인됨을 보여준다. 즉, 자연재해 노출의 시간적 범위를 구분한 결과, 노인인구 공간구조와 관련된 것은 최근의 재난 경험이 아니라 장기적으로 누적된 재난 노출이었다.

장기 누적노출에서 나타나는 음(-)의 관련성은 앞서 검토한 재난 이후의 불균등한 회복과 선택적 인구이동 및 대체에 따른 공간적 인구재편의 관점에서 해석할 수 있다. 이러한 과정이 지역 내부에서 반복될 경우 집계구별 인구구성이 서로 다르게 변화하면서 기존에 유사

Table 3. Associations of Natural Hazard Exposure on Alternative Measures of Elderly Population Distribution

	Model 4		Model 5		Model 6		Model 7	
	R_Elderly		SD_R_Elderly		CV_R_Elderly		Ra_R_Elderly	
ShortDamage	-0.0000	(0.0000)	-0.0000	(0.0002)	-0.0004	(0.0010)	-0.0043	(0.0033)
LongDamage	-0.0000	(0.0000)	0.0002	(0.0002)	0.0011	(0.0010)	0.0037	(0.0038)
POP	-0.1114***	(0.0107)	-0.2154***	(0.0353)	-1.0680***	(0.1926)	-3.1360***	(0.5492)
Density	0.0019	(0.0015)	0.0237***	(0.0068)	0.0545	(0.0584)	0.5175***	(0.1728)
M_Business	0.0475	(0.0304)	0.2437*	(0.1286)	2.6160***	(0.5971)	6.382***	(2.1260)
Fixed-Effects								
Region	Yes		Yes		Yes		Yes	
Year	Yes		Yes		Yes		Yes	
R ²	0.995		0.535		0.733		0.528	
Wintin R ²	0.439		0.079		0.102		0.054	
Observations	2,290		2,290		2,290		2,290	

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ Parentheses indicate clustered standard errors.

Table 4. Robustness Checks Using Untransformed Moran's I

<i>MoranI</i>	Model 8		Model 9		Model 10	
	Short Damage		Long Damage		Short & Long Damage	
ShortDamage	0.0005	(0.0006)			0.0001	(0.0006)
LongDamage			-0.0014**	(0.0007)	-0.0013*	(0.0007)
Control Variables	Yes		Yes		Yes	
Region Fixed-Effects	Yes		Yes		Yes	
Year Fixed-Effects	Yes		Yes		Yes	
Within R ²	0.069		0.074		0.074	
Observations	2,290		2,290		2,290	

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.1$ Parentheses indicate clustered standard errors.

한 고령화 수준을 보이던 인접 집계구 간의 유사성이 낮아질 수 있으며, 이는 노인인구의 공간적 군집이 약화되는 방향으로 나타날 수 있다. 특히 단기 노출에서는 유의한 관련성이 나타나지 않고 장기 누적노출에서만 음(-)의 관련성이 확인된 결과는 이러한 공간적 재편이 단일한 재난사건보다는 반복적인 피해와 회복과정의 누적과 관련될 가능성을 시사한다. 다만 본 연구는 이러한 인구이동과 재편 과정을 직접 분석하지 않았으므로, 이는 관찰된 결과를 설명하기 위한 가능한 메커니즘으로 해석할 필요가 있다.

2. 보완분석과 강건성 검증

Table 3은 기본분석에서 확인된 관련성이 노인인구 분포의 다른 차원에서도 나타나는지를 확인하기 위한

보완 분석 결과이다. 이를 위해 종속변수를 시·군·구 노인인구 비율과 집계구별 노인인구 비율의 표준편차, 변동계수 및 범위로 각각 대체하여 동일한 분석모형을 적용하였다. 분석 결과 단기노출과 장기노출 모두 노인인구 비율, 표준편차, 변동계수 및 범위와 통계적으로 유의한 관련성을 보이지 않았다. 각 자연재해 노출 변수의 추정계수는 설정한 유의수준의 기준을 충족하지 않았으며, 단기 및 장기 자연재해 노출 모두 네 가지 대체 종속변수에서 일관된 통계적 관련성이 확인되지 않았다. 반면 일부 통제변수는 종속변수에 따라 통계적으로 유의한 관련성을 보였다.

노인인구 비율은 지역의 전반적인 고령화 수준을 나타내는 반면, 표준편차, 변동계수, 범위는 공간적 인접성을 고려하지 않은 집계구 간 분포 차이를 나타낸다.

이들 지표와 달리 공간적 인접성을 측정하는 FZ Moran's I에서만 장기 누적노출과의 유의한 관련성이 확인된 결과는 반복적인 재난노출과 관련된 인구 재편이 전반적인 고령화 수준이나 집계구 간 분포 차이보다 지역 내부의 공간적 배열과 관련되어 나타날 가능성을 시사한다.

다음으로 Table 4는 기본 분석결과가 공간자기상관의 측정방식에 따라 달라지는지를 확인하기 위한 강건성 검증 결과를 제시한 것이다. 이를 위해 기본모형의 종속변수를 FZ Moran's I에서 일반 Moran's I로 대체하고 동일한 모형을 반복 추정하였다. 분석 결과 단기노출은 모든 모형에서 통계적으로 유의하지 않았으며, 장기노출은 기본 분석과 동일하게 음(-)의 계수를 나타냈다. 장기노출은 단독모형에서는 5% 수준, 결합모형에서는 10% 수준에서 각각 통계적으로 유의하였으며, 추정계수의 방향과 크기 또한 기본 분석과 유사하게 나타났다. 따라서 FZ Moran's I를 사용한 기본분석에서 확인된 장기피해의 음(-)의 관련성은 변환 전 Moran's I에서도 동일한 방향과 유의수준으로 확인되었다. 이는 장기 누적 자연재해 피해와 노인인구 공간구조 간의 관련성이 Fisher의 z 변환 여부와 관계없이 일관됨을 확인해준다. 이는 분석 결과가 Moran's I의 변환 방식에 크게 의존하지 않음을 보여준다.

V. 결론

본 연구는 반복적인 자연재해 노출과 지역의 노인인구 공간구조 간의 관련성을 분석하기 위해 전국 시·군·구를 대상으로 패널분석을 수행하였다. 자연재해 노출은 단기노출과 장기 누적노출로 구분하였으며, 노인인구 공간구조는 집계구 단위 노인인구 비율을 이용하여 산출한 FZ Moran's I로 측정하였다.

분석 결과, 단기 자연재해 노출은 노인인구 공간구조와 유의한 관련성을 보이지 않았으나, 장기 누적노출은 FZ Moran's I와 유의한 음(-)의 관련성을 나타냈다. 반면 장기 누적노출은 노인인구 비율과 지역 내부의 변동성을 나타내는 표준편차, 변동계수 및 범위와는 유의한 관련성을 보이지 않았다. 이는 장기 누적노

출과의 관련성이 지역의 전반적인 고령화 수준이나 지역 내부의 분포 차이보다 노인인구의 공간적 배열에서 나타날 가능성을 보여준다.

본 연구의 학술적 의의는 자연재해와 고령화의 관계를 지역 내부의 공간구조 관점에서 살펴보았다는 데 있다. 특히 장기 누적노출에서 확인된 음(-)의 관련성은 재난 노출과 노인인구의 공간구조 간의 관계가 전반적인 고령화 수준이나 비공간적 분포 특성과 구별되어 나타날 수 있음을 보여준다. 선행연구에서 논의된 선택적 이동과 인구구성의 변화를 고려하면, 지역별로 차별적인 피해와 복구가 누적되면서 인접지역 간 고령화 수준의 공간적 연속성이 약화될 가능성이 있다. 이 결과는 자연재해와 지역 고령화의 관계를 이해하기 위해 재난노출의 시간적 누적성과 노인인구의 공간적 분포를 함께 고려할 필요가 있음을 시사한다.

연구결과는 재난관리와 고령화 대응을 연계한 지역 계획에도 정책적 시사점을 제공한다. 고령지역의 재난 취약성을 평가할 때 현재의 고령화 수준이나 최근의 재난피해뿐 아니라 장기간 누적된 재난노출을 함께 고려할 필요가 있다. 시·군·구별 재난피해 이력과 집계구 수준의 노인인구 공간분포를 연계하면 장기 변화를 파악하는 모니터링 체계를 구축할 수 있다. 이는 지속적인 관리가 필요한 지역을 식별하고 지역별 재난 대응 수요를 세밀하게 파악하는 데 도움이 될 수 있다. 지역 내부의 노인인구 분포를 고려한 대피·안전 및 생활지원 서비스의 공간적 배치에도 활용할 수 있다. 이러한 접근은 한정된 재난관리 및 고령자 지원 자원의 공간적 배분과 중장기 대응계획의 구체화에 기여할 수 있다.

본 연구는 장기 누적노출과 노인인구의 공간적 군집 약화 사이에 작동하는 과정을 직접 확인하지 못했다는 한계가 있다. 선택적 인구이동과 지역 내부의 인구 재편은 선행연구와 분석결과를 바탕으로 제시한 가능한 설명이며, 본 연구에서 직접 검증한 것은 아니다. 향후 연구에서는 집계구별 재난피해와 복구과정에 개인·가구의 이동자료를 연계할 필요가 있다. 주민의 이탈, 잔류, 귀환 및 유입이 노인인구의 공간적 배열을 어떻게 변화시키는지를 분석한다면, 본 연구에서 확인한 관계의 메커니즘을 구체적으로 검증할 수 있을 것이다.

References

- Andrews, G. J., & Phillips, D. R. (2004). *Ageing and place: Perspectives, policy, practice*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203694510>
- Black, R., Bennett, S. R. G., Thomas, S. M., & Beddington, J. R. (2011). Migration as adaptation. *Nature*, 478(7370), 447-449. <https://doi.org/10.1038/478477a>
- Boustan, L. P., Kahn, M. E., & Rhode, P. W. (2012). Moving to higher ground: Migration response to natural disasters in the early twentieth century. *American Economic Review*, 102(3), 238-244. <https://doi.org/10.1257/aer.102.3.238>
- 최재현, 윤현위. (2012). 한국 인구고령화의 지역적 전개 양상. *대한지리학회지*, 47(3), 359-374.
- Choi, J.-H., & Yoon, H.-W. (2012). The changing spatial patterns of aging population in Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, 47(3), 359-374. <https://doi.org/10.22776/kgs.2012.47.3.359>
- Cliff, A. D., & Ord, J. K. (1981). *Spatial Processes: Models & Applications*. Pion
- Cipollina, M., De Benedictis, L., & Scibè, E. (2024). Environmental migration? A systematic review and meta-analysis of the literature. *Review of World Economics*, 160(4), 1393-1441. <https://doi.org/10.1007/s10290-024-00529-5>
- Elliott, J. R. (2015). Natural hazards and residential mobility: General patterns and racially unequal outcomes in the United States. *Social Forces*, 93(4), 1723-1747. <https://doi.org/10.1093/sf/sou120>
- Fisher, R. A. (1921). On the probable error of a coefficient of correlation deduced from a small sample. *Metron*, 1(4), 3-32.
- Groen, J. A., & Polivka, A. E. (2010). Going home after Hurricane Katrina: Determinants of return migration and changes in affected areas. *Demography*, 47(4), 821-844. <https://doi.org/10.1007/BF03214587>
- Hauer, M. E., Jacobs, S. A., & Kulp, S. A. (2024). Climate migration amplifies demographic change and population aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 121(3). <https://doi.org/10.1073/pnas.2206192119>
- Hoffmann, R., Dimitrova, A., Muttarak, R., Cuaresma, J. C., & Peisker, J. (2020). A meta-analysis of country-level studies on environmental change and migration. *Nature Climate Change*, 10, 904-912. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0898-6>
- 홍유진. (2023). 연령에 따른 거주지의 공간 분포 특성과 변화-서울시를 중심으로-. *한국지리학회지*, 15(2), 475-489.
- Hong, Y.-J. (2023). Characteristics and change of spatial distribution by age: Focusing on Seoul. *Journal of the Association of Korean Geographers*, 12(3), 475-489. <https://doi.org/10.25202/JAKG.12.3.7>
- Hunter, L. M. (2005). Migration and environmental hazards. *Population and Environment*, 26(4), 273-302. <https://doi.org/10.1007/s11111-005-3343-x>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- 김지수, 김오석. (2019) 저출산고령화를 고려한 서울시 구별 수해노출인구 전망. *한국도시지리학회지*. 22(2), 159-171.
- Kim, J.-S., & Kim, O.-S. (2019). Projecting flood exposure given low fertility and aging in Seoul, Korea. *Journal of the Korean Urban Geographical Society*, 22(2), 159-171. <https://doi.org/10.21189/JKUGS.22.2.12>
- 고진아, 심경옥. (2025). 태풍 미탁 이후 3년-자연재난 피해자의 심리적 회복 예측 요인. *한국과 국제사회*, 9(3), 801-830.
- Koh, J.-A., & Sim, K.-O. (2025). Three years after Typhoon Mitag-Predictors of psychological recovery in natural disaster victims-. *Korea and Global Affairs*, 9(3), 801-830. <https://doi.org/10.22718/kga.2025.9.3.028>

- 이달별. (2020). 대규모 자연재해의 근린 다양성에 미치는 영향. *한국방재학회논문집*, 20(1), 71-78.
- Lee, D. (2020). The impacts of large natural hazards on neighborhood diversity. *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, 20(1), 71-78. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2020.20.1.71>
- Lee, H., & Kang, S. (2024). Classifications of trauma exposure and their associations with 3-year follow-up psychological symptoms among Korean victims of disaster: A latent class analysis. *Asia Pacific Journal of Public Health*, 36(4), 322-328. <https://doi.org/10.1177/10105395241240965>
- McLeman, R., & Smit, B. (2006). Migration as an adaptation to climate change. *Climatic Change*, 76(1-2), 31-53. <https://doi.org/10.1007/s10584-005-9000-7>
- Mileti, D. S., & Gailus, J. L. (2005). Sustainable development and hazards mitigation in the United States: Disasters by design revisited. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 10(3), 491-504. <https://doi.org/10.1007/s11027-005-0057-4>
- Moran, P. A. P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1-2), 17-23. <https://doi.org/10.1093/biomet/37.1-2.17>
- Pais, J. F., & Elliott, J. R. (2008). Places as recovery machines: Vulnerability and neighborhood change after major hurricanes. *Social Forces*, 86(4), 1415-1453. <https://doi.org/10.1353/sof.0.0047>
- Raker, E. J. (2020). Natural hazards, disasters, and demographic change: The case of severe tornadoes in the United States, 1980-2010. *Demography*, 57(2), 653-674. <https://doi.org/10.1007/s13524-020-00862-y>
- Song, S., Wang, S., Fu, B., Dong, Y., Liu, Y., Chen, H., & Wang, Y. (2021). Improving representation of collective memory in socio-hydrological models and new insights into flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*, 14(1), 1-12. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12679>
- Takahashi, T. (2022). On the economic geography of an aging society. *Regional Science and Urban Economics*, 95, 103798. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2022.103798>
- van Aert, R. C. M. (2023). Meta-analyzing partial correlation coefficients using Fisher's z transformation. *Research Synthesis Methods*, 14(5), 768-773. <https://doi.org/10.1002/jrsm.1654>
- Warnes, A. M. (1990). Geographical questions in gerontology: Needed directions for research. *Progress in Human Geography*, 14(1), 24-66. <https://doi.org/10.1177/030913259001400103>
- 여창환, 서윤희. (2014) 공간자기상관을 활용한 농촌지역 인구 고령화의 공간적 확산 분석. *한국지리정보학회지*, 17(3), 39-53.
- Yeo, C.-H., & Seo, Y.-H. (2014). An analysis on the spatial spillover patterns of aging population in rural areas. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 17(3), 39-53. <https://doi.org/10.11108/kagis.2014.17.3.039>