

자연재해 피해액에 관한 적정모형 연구*

- 지리가중회귀모형을 중심으로

김학열**

Analysis of an Adequate Model for Natural Disaster Damage: Focus on Geographically Weighted Regression Model

Hag-Yeol Kim*

요약 : 이 연구는 자연재해와 연관이 있는 다양한 지역구분 변수와 지역특성 변수를 도입하여 20년간(1998~2017년) 누적된 자연재해 피해총액을 설명하는 통계모형을 개발하였다. 다중회귀분석(*OLS*) 모형과 지리가중회귀(*GWR*) 모형을 이용하여 광역모형과 세부지역 모형을 각기 추정하였다. 추정된 총 4개 모형의 적합도를 상호비교하고, 잔차의 이분산성을 분석해 20년간 누적피해액을 설명하는 데 가장 적합한 모형을 탐색하였다. 그 결과, 세부지역 변수를 도입한 *GWR* 모형이 설명력과 적합도가 가장 높으면서 잔차의 공간자기상관성도 제거된 모형인 것이 검증되었다. 설명력이 66.9%인 최종 모형의 변수별 추정결과는 다음과 같다. 특별시·광역시 변수에서 특별시·광역시시가 아닌 지자체와 비교할 때 최소 400억 원 이상 피해가 덜 발생하는 것으로 추정되었다. 한편, 동해안 지역과 남해안 지역의 지자체는 다른 지역보다 각각 최소 240억 원, 290억 원 이상의 피해가 더 발생하는 것으로 추정되었다. 4대강 유역에 속한 지자체를 유역별로 나누어서 살펴보면, 한강유역의 지자체는 최소 120억 원 이상, 낙동강유역은 430억 원 이상, 금강유역은 50억 원 이상의 피해가 추가 발생하는 것으로 확인됐다. 누적재해기간 피해액의 영향은 동해안지역과 남해안지역에서 거리가 멀어질 수록 점차 줄어드는 것으로 밝혀졌다.

주제어 : 지리가중회귀모형, 공간자기상관, 이분산성, 자연재해피해

ABSTRACT : The purpose of this study is to develop a model adopting various regional and local characteristic variables so that it could explain total natural disaster damage during recent 20 years (1998~2017). Multiple linear regression (*OLS*) and geographically weighted regression (*GWR*) are applied to the total damage with global variables and local variables, respectively. The most adequate model among the four regression models is explored through examining the goodness of fit values and heteroscedasticity of residuals. The *GWR* with local variables is identified as the one to have the most explanatory power as well as the adequate model, which also does not have spatial autocorrelation in its residuals. The results of final model which can explain 66.9% of variations in the total damage are as follows. Mean damage of local governments within metropolitan cities is estimated at least 40 billion won less than that of the other local governments. Meanwhile, municipalities located in the eastern and the southern seaboard area are estimated to have at least 24 billion won and 29 billion won more damage, respectively, than the other municipalities. As each of the four major river basins is analyzed separately, governments within Han-River basin, Nakdong-River basin, and Geum-River basin are expected to have at least 12 billion, 43 billion, and 5 billion more damage, respectively, than the others. For two decades, the influence of cumulative disaster period on the total damage of a government is identified to decrease as the distance from east and south coast area to the government would increase.

KeyWords : Geographically Weighted Regression, Spatial Autocorrelation, Heteroscedasticity, Natural Disaster Damage

* 이 연구는 행정안전부의 재원으로 재난예측및저감연구개발사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다 [MOIS-재난-2015-05].

** 서경대학교 도시공학과 교수(Professor, Dept. of Urban Planning and Engineering, Seokyeong Univ.) 주저자(E-Mail : hagkim@skuniv.ac.kr, 02-940-7783)

I. 서론

기후변화로 인하여 재해의 빈도 및 강도가 높아지면서 국토공간에 막대한 인명·재산상 피해를 끼치고 있다. 2018년 재해연보에 따르면, 지난 10년간(2009~2018년) 태풍에 의해 매년 평균적으로 1,500억 원 이상의 피해가 발생된 것으로 보고되고 있다. 세부적으로는 2009년, 2010년, 2017년에는 태풍피해가 전혀 없었던 반면 2012년에는 9,770억 원, 2016년에는 2,263억 원의 피해가 발생했으며, 2018년에는 632억 원 규모의 피해만 발생한 것으로 집계되었다. 그러나 올해는 예년과 달리 초가을 장마와 3차례 연이은 태풍으로 인해 많은 인명·재산상 피해가 발생되었다. 최근의 태풍 “미탁”만으로도 12개 시·도와 115개 시·군·구에 걸쳐 공공시설 1392억 원, 사유시설 285억 원의 피해가 발생한 것으로 집계되었고, 이에 따른 총피해복구비는 9,388억 원으로 확정되었다(연합뉴스 2019. 10. 29). 이렇듯 재해피해액은 연도별로 편차가 극심해서 예측 가능성이 매우 희박하여 단기간의 예측보다는 장기간의 패턴을 분석하는 것이 오히려 유용할 것으로 보인다.

전 국민의 재난안전 및 재해 피해에 관한 관심은 높으나 이를 전체 국토차원에서 지역적인 피해액의 변이를 총체적으로 설명하고자 하는 연구는 많지 않다. 재해피해액에 관련된 선행연구들은 첫째, 주로 도시특성요소와 재해피해액과의 관계를 규명하고자 하는 연구, 둘째로는 재해피해액 및 그 파급효과의 산출 혹은 추정에 관한 연구가 대부분이다.

첫째 유형에 속하는 연구는 분석대상지역의 토지이용 및 해당도시가 지니는 다양한 도시특성요소, 즉 인구특성, 토지이용특성, 건축물 특성, 기반시설과 관련된 요소 등을 도입하여 분석한 연구들이 이에 속한다. 토지이용에 중점을 둔 연구 중, 최

충익(2003) 및 심재현·김자은(2012)의 연구는 다중회귀모형을 구축하여 토지이용특성의 재해 피해액에 대한 영향력을 분석하였으나, 이러한 모형의 잔차에서 통상적으로 발생하는 공간자기상관성을 고려하지 못하였다. 최열·서만훈(2013)과 이미연·홍종호(2016)의 연구에서는 인구특성, 토지이용특성, 주택건설특성, 기타 특성 등 다양한 도시특성요소를 도입하여 패널분석을 수행함으로써, 이분산성(heteroscedasticity) 및 자기상관(autocorrelation)의 문제를 해결하고자 하였다.

둘째 유형에 속하는 연구는 재해유발인자로 인해 발생하는 직접적인 피해와 이와 연쇄하여 발생하는 파급효과를 산출하거나 추정하고자 수행된 연구들이다(이건행 외, 2006; 정준호·이승호, 2014; 최충익, 2010; 최장환 외, 2000; Ding et al., 2011; Galbusera and Giannopoulos, 2018; Marin and Modica, 2017; 현수현·김학열, 2018). 이 유형의 연구들은 기존의 다차원 피해산정방법을 도시지역에 적합하도록 개선하여 실제 편익에 근접한 피해액을 추정하거나(이건행 외, 2006), 장기간의 사회·경제적 요인, 기후요인, 자연재해강도 등의 변수를 이용한 패널모형을 구축하여 직접적인 경제적 피해를 추정하고자 하였다(정준호·이승호, 2014). 한편, 조건부 가치측정방법(CVM, Contingent Valuation Method), 산업연관분석 등 간접적인 피해추정기법을 활용한 연구들도 있다. CVM을 이용하여 비시장화되어 있는 부문에 대한 재해피해액을 추정하고자 하는 연구가 있고(최충익, 2010), 산업연관분석 방법을 이용하여 재해의 간접적 파급효과를 산출하는 연구도 다수 진행되었다(최장환 외 2000; Ding et al., 2010; Galbusera and Giannopoulos, 2018; Marin and Modica, 2017; 현수현·김학열, 2018).

이상의 연구를 종합해 보면, 자연재해 피해는 기후요인, 사회경제적 요인, 도시특성요인, 정책적

요인 등 매우 다양한 요인의 복합적 상호작용에 의해서 발생하는 것으로 정리될 수 있다. 분석방법으로는 일반회귀분석, 패널모형 등이 주로 사용되었고, 일부 제한적으로 공간상관성 분석 등이 활용되었다. 그러나 대부분의 선행연구들이 시·도 차원에서 이루어졌으며, 지리적 위치특성, 유역단위 특성, 사회경제적 요인 등을 큰 틀에서 도입한 연구는 미미하다. 더욱이 선행연구들은 전역적 모형에 중점을 두고 있어서 변수들의 세부 공간단위별 공간적 이질성을 고려한 연구는 찾아보기 힘들다.

따라서 이 연구에서는 전국을 대상으로 각 시군구에 대한 지리적 위치구분 변수, 사회경제적 변수 등을 도입하여 재해피해액에 관한 모형을 구축하고자 한다. 이때 공간적 이질성을 지니고 있는 변수들의 특성을 고려하여 변수의 효과가 모든 곳에서 일정하지 않다는 가정하에, 전역적인 모형이 아닌 국지적 차원의 회귀계수를 추정할 수 있는 모형을 도입함으로써, 독립변수의 영향을 국지적으로 설명하면서 적합성 높은 설명모형을 제시하고자 한다.

II. 연구 범위 및 분석 자료

본 분석의 시간적 범위는 1998년부터 2017년까지 총 20년을 분석기간으로 한다. 공간적 범위는 전국 시군구를 분석대상으로 하되, 육지와 거리가 너무 멀리 떨어져 공간자기상관을 분석하기 어려운 제주도와 울릉도를 제외하였다. 종속변수로는 시군구별로 사유시설, 공공시설 피해액을 합산한 피해총액을 종속변수로 활용한다. 여기서 다루는 자연재해피해는 강풍, 풍랑, 폭풍, 폭풍우, 대설, 폭풍설, 호우, 태풍, 지진, 해수범람 등의 재해

로 인한 피해로 구성된다. 20년 동안의 전체 피해를 합산한 이유는 다음과 같다. 서론에서 제시한 것처럼, 자연재해 발생과 피해액의 변화는 연도별 편차가 심하다. 이와 같은 자료는 피해가 발생하는 않아 '0'으로 피해가 집계되는 이산형 변수와 피해 발생 시 집계되는 연속형 변수가 혼합되는 특별한 속성을 지니고 있다. 즉, 단기간 동안의 피해발생 자료는 '0-과잉 복합포아송 모형'과 같이, 도입된 변수의 특성을 반영할 수 있는 모형으로 추정하는 것이 바람직하지만, 오랜 기간의 누적된 피해자료는 일반적인 연속형 데이터와 유사한 특성을 지니기 때문에 일반적인 통계모형으로 분석이 가능하다. 또한 재난관리정책 수립의 측면에서 살펴보면, 단기간 재산피해액의 급격한 변동과 연관이 있는 요인을 밝혀내는 것도 의미가 있겠으나, 장기간의 변화양상을 평균적으로 설명하는 요인을 분석하고 이를 통해 장기적인 대응전략과 정책적 대안을 마련하는 것이 중앙 및 지자체의 재난관리정책에 있어서 상당히 중요할 것으로 판단된다.

오랜 기간의 누적된 자연재해자료는 특정 연도의 기상이변 혹은 이상기후로 나타나는 급격한 변화양상 및 불규칙성을 완화시키는 역할을 함으로써, 피해액에 관한 통계모형구축을 용이하게 하고, 장기간의 재해피해를 설명·이해하는 데 기여할 수 있을 것으로 판단한다. 이에 '장기간' 피해액을 종속변수로 선택하고 있다는 점을 고려한다면, 단기간 변동성이 심하게 나타나는 변수보다는 장기간 변화가 크게 발생하지 않는 독립변수를 채택하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 따라서 분석모형구축에 있어서는 해당 시군구의 위치적 특성, 환경적·지리적 여건, 대도시·지방의 구분, 사회적 여건 등과 관련된 변수 중 장기간 동안 변화가 없거나 크지 않은 변수를 도입하는 것이 바람직하다. 또한 모형추정결과의 해석에 있어서도 20년간 변화폭이 작은 변수들의 특성을 반영하여 결과의 의미를 파

악하는 것이 필요하다. 아울러 독립변수로 도입될 수 있는 여러 공간특성요인들, 예를 들어, 기후·지리적인 여건, 물리적 환경, 사회경제적 환경 등의 요인을 도입하는 경우에는 공간자기상관성이 내재되어 있을 것으로 예상되므로 이를 반영한 모델이 구축이 고려되어야 한다.

독립변수로 도입된 변수는 <표 1>과 같은데, 시군구의 광역적 유사성을 나타낼 수 있는 변수를 더미(dummy) 변수로 처리하여 포함시켰다. *METRO*는 특별시·광역시를 나타내는 변수이고, *MTS*는 강원도 내 태백산맥 지역을, *COAST*는 해안과 접한 시군구를, *R4WS*는 4대강 유역의 시군구를 나타내는 더미변수이다. 또한 좀 더 세부화된 지역단위를 나타내기 위한 더미변수도 도입되었다. 전국 해안지역을 구성하는 연안별로, 동해안(*ESEA*), 서해안(*WSEA*), 남해안(*SSEA*) 지역을 나타내는 변수를 포함시켰다. 마찬가지로, 4대강유역도 이를 구성하는 한강유역(*HR*), 낙동강유역(*NR*), 금강유역(*GR*), 영산강·섬진강유역(*YR*)으로 세분하였다. 이처럼 변수를 광역변수, 세부지역변수로 구분한

이유는 모형구축 시 광역모형, 세부지역모형으로 구분하여 각각 개발함으로써, 모형별 공간적 상세도에 따라 더 적합도가 높은 모형을 탐색하기 위함이다.

이 외에 연속형 변수로는, 시간적 범위인 20년간의 시군구별 누적된 재해발생일수(*DP*), 20년간의 평균재정자립도(*FIDR*)가 도입되었다. 누적재해발생일수는 당연히 피해액에 직접적인 영향이 있을 것으로 예상되나, 동일한 재해기간이라고 하더라도 각 시군구의 대응역량 및 기타 연건에 따라 피해액의 규모에 차이가 있을 것으로 판단하여 도입되었다. 평균재정자립도의 경우는 지방자치단체의 재해예방사업예산규모 및 총체적인 재해관리역량을 대표할 수 있는 대리변수라고 판단하여 독립변수로 포함시켰다. 실제 2018년도 재정자립도와 17개 광역시도의 도시지역면적당 재해사업예산규모의 자료(행정안전부, 2018b)를 이용해서 상관계수를 산출해보면, 그 값이 0.777 ($\alpha < 0.01$)로 높은 상관관계가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

한편 인구, 인구밀도, 도시화율, 행정구역면적

<표 1> 도입 변수 및 설명

변 수		변수 설명	도입
총 피해액	<i>TOTDMG</i>	사유시설 및 공유시설 피해액의 총 계	B
광역시	<i>METRO</i>	특별·광역시=1, 광역도=0	M
태백산맥	<i>MTS</i>	강원도 내 태백산맥 지역=1, 그 외 지역=0	B
해안지역	<i>COAST</i>	해안지역=1, 내륙지역=0	M
동해연안	<i>ESEA</i>	동해연접=1, 그 외=0	D
서해연안	<i>WSEA</i>	서해연접=1, 그 외=0	D
남해연안	<i>SSEA</i>	남해연접=1, 그 외=0	D
4대강유역	<i>R4WS</i>	4대강유역=1, 그 외=0	M
한강유역	<i>HR</i>	한강유역=1, 그 외=0	D
낙동강유역	<i>NR</i>	낙동강유역=1, 그 외=0	D
금강유역	<i>GR</i>	금강유역=1, 그 외=0	D
영산강·섬진강유역	<i>YR</i>	영산강·섬진강=1, 그 외=0	D
누적재해기간	<i>DP</i>	20년간 총 재해발생일수	B
평균재정자립도*	<i>FIDR</i>	기간 내 일반회계 세입 중 지방세와 세외수입의 비율평균(%)	B

M = 광역모형에 도입될 변수; D = 세부지역모형에 도입될 변수; B = 두 모형 모두 도입될 변수

*시군구별 재정자립도 통계는 2001부터 공표되고 있음.

등도 분석초기에 주요한 사회적 변수로 고려하였으나 타 변수와의 상관관계 및 통계적 유의성 등의 문제로 본 분석에서는 제외되었다.

$$I = \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_i \sum_j w_{ij}} \quad (\text{식 1})$$

$$\text{여기서 } s^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

III. 분석 방법 및 과정

1. 공간자기상관성

지리적 분석단위를 기반으로 한 전역적인 통계 추정기법은 각 공간이 지니는 속성이 무작위적으로 분포한다고 가정하고, 모델을 구축함으로써 오차항에서 나타나는 공간적 상호의존성을 제대로 통제하지 못하는 경우가 많다(Doreian, 1981). 이러한 많은 지리적 사상들이 지니는 공간적 의존성, 상호작용을 ‘공간자기상관 (spatial autocorrelation)’ 이라고 하며, 이러한 현상을 간과할 경우 측정 오류, 모델설정 오류 등이 발생되어 잘못된 통계적 추론에 도달할 가능성이 높다(Miron, 1984; Griffith, 1996; Anselin and Bera, 1998). 따라서 통계모형의 구축에 앞서 탐색적 공간자료분석(ESDA)을 통한 공간자기상관의 탐색과 검증은 필수적으로 선행되어야 한다.

공간자기상관의 측도인 공간자기상관계수는 인접해 있는 공간단위들의 값을 비교하여 이 계수를 산출하게 되며, 이 중 가장 널리 사용되는 것이 Moran's I이다. 이는 일반적으로 알려져 있는 상관계수를 공간적으로 확대한 개념으로 인접한 공간단위들이 분석대상지역에 걸쳐 유사한 값을 갖는다면, Moran's I는 1에 가까운 '정적 공간상관'을 갖게 되고, 서로 상이한 값들을 갖게 되면, 그 값은 -1에 가까운 '부적 공간상관'을 갖게 된다. Moran I 계수는 다음의 (식 1)로 표현된다.

W 는 공간가중행렬(spatial weights matrix)로써, 구성인자인 w_{ij} 는 공간단위 i 와 j 가 서로 이웃하면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는 행렬이다. x_i 는 공간단위 i 의 값을, \bar{x} 는 x_i 의 평균을, n 은 관측개체 수를 나타낸다. s^2 는 x_i 의 분산이다.

(식 1)을 살펴보면, 공간단위 i, j 의 값 x_i, x_j 가 모두 \bar{x} 보다 크거나 그와 반대인 경우에 '양수'가 계산되는 반면, x_i, x_j 중 하나는 \bar{x} 보다 크고 다른 하나는 \bar{x} 보다 작을 때 '음수'를 갖게 된다. 따라서 인접한 공간단위들이 유사한 값을 갖는 경우의 합계가 서로 상이한 값을 갖는 경우의 합계보다 더 크면 클수록 +1에 가까운 양수를 갖게 된다.

비록 Moran's I는 전역적인 공간자기상관의 정도를 파악할 수 있더라도 하위 공간에 발생하는 공간자기상관의 국지적인 변이와 이에 대한 통계적인 유의성을 분석하기에는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해 Anselin(1995)은 LISA(Local Indicator of Spatial Association) 지표로 '국지적 공간자기상관지수 (Local Moran's I)'를 개발하였다.

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s^2} \sum_{j=1, i \neq j}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (\text{식 2})$$

이 지수는 인접지역 간 속성값의 수치적 유사성을 근거로 정(+)의 공간적 상관이 형성되는 핫스팟(hot spot)과 반대의 콜드스팟(cold spot) 군집을 탐색해 공간적 군집 패턴을 세부적으로 나타내는

통계량으로 특정 지역 i 의 주변에서 발생하는 공간적 자기상관성의 정도를 파악할 수 있다.

2. 지리가중회귀모형 (GWR)

재난 피해액에 대하여 다양한 지역구분의 더미 변수들과 연속형 변수들이 어떠한 영향을 나타내는지를 국지적으로 분석하기 위해서 지리가중회귀 모형(*GWR*: Geographically Weighted Regression)을 사용하고자 한다. *GWR*은 통계모형에 일반적으로 사용하는 *OLS* (Ordinary Least Squares) 모형과 달리, 독립변수와 설명변수의 관계가 전역적으로 동일하지 않다고 보고 지역적인 이질성을 반영하여 공간단위마다 독립변수들의 회귀계수를 추정한다. 개별분석단위 i 에 대한 독립변수 k 의 지역별 회귀계수 $\hat{\beta}_{ki}$ 를 추정하는 *GWR*는 다음 식3과 같이 나타낼 수 있다(이희연·심재현, 2011).

$$Y_i = \beta_{0i} + \sum_{k=1} \beta_{ki} X_{ki} + \epsilon_i \quad (\text{식 3})$$

$$\hat{\beta}_i = (\hat{\beta}_{0i}, \hat{\beta}_{1i}, \hat{\beta}_{2i}, \dots, \hat{\beta}_{mi})'$$

$$= (X' W_i X)^{-1} (X' W_i Y)$$

여기서 지역별 회귀계수 $\hat{\beta}_{ki}$ 는 *OLS*와 유사한 원리에 의해 추정되나, 하나의 관측치와 다른 관측치 간의 거리관계를 나타내는 공간가중행렬(W)이 반영됨으로써, 연구대상지역 내 위치에 따라 회귀계수에 대한 가중이 다르게 적용된다. 이때 *GWR*의 적합도는 대역폭의 영향을 받게 되는데, 표본들이 불균질하게 분포되어 있는 경우에는 고정된 커널(Fixed Kernel)이 아닌 적응적 커널(Adaptive Kernel)을 적용하는 것이 모델의 적합도를 증가시킬 수 있는 것으로 알려져 있다(이희연·심재현, 2011). 이 연구는 시군구 행정구역 단위로 분석이

이루어지므로 표본이 조밀한 광역시, 조밀하지 않은 광역도가 혼재되어 있기 때문에 적응적 커널 방식을 사용하고자 한다. 또한 가중치를 고려하는 방식에서는 가우시안(Gaussian) 방식과 바이스퀘어(bisquare) 방식 중에서 일반적으로 사용되는 가우시안 방식을 사용하고자 한다.

3. 분석 과정

우선, 누적 피해액을 설명하기 위해서 도입된 독립변수들의 공간적 분포를 분석한다. 이 때 공간적 상호의존성을 파악하기 위해 Moran'I와 Local Moran'I를 산출하며, 특히 Local Moran'I에서는 국지적인 공간적 유사성을 통계적으로 파악한 Hot spot 지도를 표출한다. 다음으로는 일반적인 통계적 추정기법인 *OLS* 모형과 공간자기상관성을 고려한 *GWR*을 이용하여 통계모형을 추정한다. 이때 각 모형은 광역적 차원의 변수들(해안지역, 4대강유역 등)의 영향을 분석하는 모형과 이 보다는 상대적으로 적은 규모의 공간단위 변수(동해안·서해안·남해안지역; 한강·낙동강·금강·영산강·섬진강 유역 등)가 도입된 두 가지 모형을 각기 추정한다. 따라서 광역적 모델에서는 국토를 지리적으로 대규모 공간으로 구분하는 변수를 포함시켜 광역적 권역구분 인자의 영향력을 분석하는 반면, 세부 지역 모형에서는 앞선 광역적 차원의 변수를 다시 세분화하여 지역별·유역별 세부영향을 분석하고자 한다. 총 4개의 모형 추정을 통해, 각 모형의 적합도와 잔차를 분석하며, 독립변수들의 회귀계수의 공간적 분포를 탐색한다.

IV. 분석결과

1. 공간자기상관

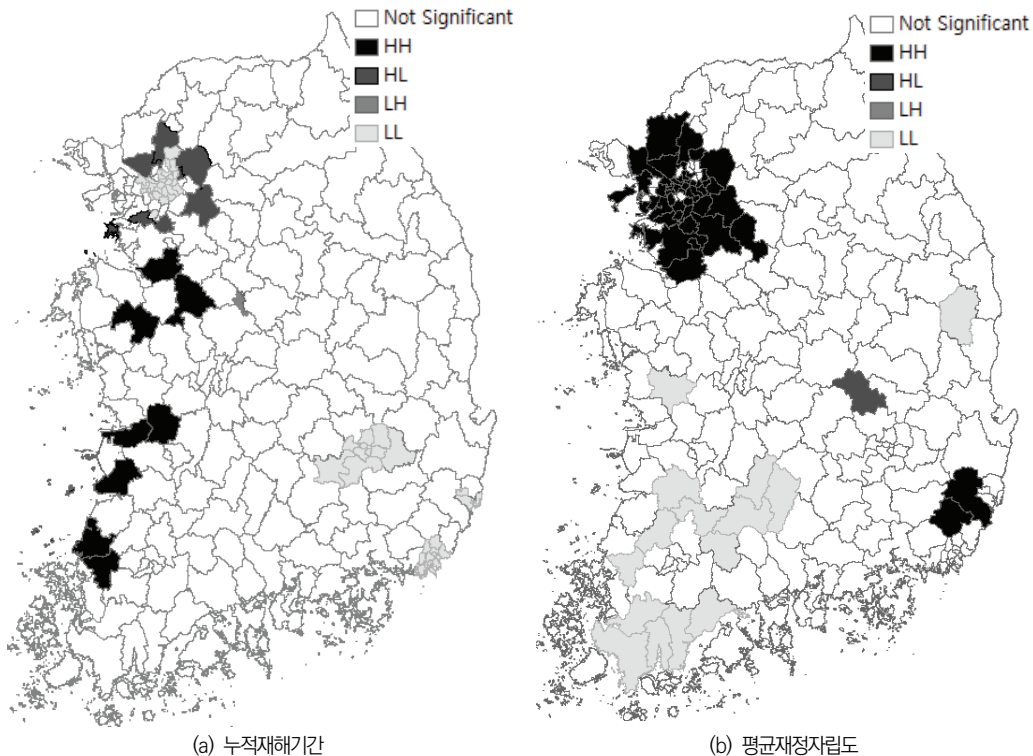
우선, 누적재해기간을 이용하여 전역적 공간자기상관계수(Global Moran's I)를 산출한 결과, Moran's I의 값은 0.7095로 산출되었고, 이의 표준화 값(Z)은 26.155로 통계적으로 매우 유의하게 ($p=0.0000$) 군집되어 있는 것으로 검정되었다.

이러한 전역적 공간자기상관의 국지적인 군집현상을 시각적·통계적으로 확인하기 위하여 국지적 모란지수(Local Moran's I)를 산출한 결과, 누적재해기간의 'Hotspot'으로는 경기남부와 충남 북부지역, 전북 및 전남의 서해안 일부지역(그림 1(a)의 HH 표시지역)이 확인되었다. 이와 반대로, 총 누적재해기간이 주변보다 낮은 'Cold spot'으로는

대도시 지역인 서울, 부산, 대구, 울산 지역으로 나타났다. 한편 서울 인근의 고양, 양주, 남양주, 광주 등은 주변에 비해 누적재해기간이 통계적으로 긴 곳으로 검정되었다.

평균재정자립도(FIDR)에 대해서도 전역적 공간자기상관계수를 산출해 보면, 그 값이 0.988로 1에 가깝고, 통계적으로도 매우 유의한 군집현상을 나타내는 것으로 검정되었다. 이를 국지적으로 분석하기 위해 국지모란지수를 산출한 결과, 그림 1(b)에서처럼, 특정지역에 뚜렷한 군집현상을 확인할 수 있었다. 경기도에 24개 지자체, 서울 17개, 인천 4개, 울산 1개, 경남 1개 지자체 등 총 47개 지자체가 'Hot spot'으로 나타났고, 전남에 8개, 전북 4개, 경북 1개, 경남 1개, 충남 1개 등 총 15개 지자체가 'Cold spot'(LL 지역)으로 확인되었다. 특이하게 구미시는, 낮은 재정자립도의 지자체들로 둘러싸인 재정자립도가 높은 지역(HL 지자체들)

〈그림 1〉 전국 시군구 국지적 공간자기상관지수(Local Moran's I)



역)으로 검정되었다.

따라서 2개의 연속형 독립변수는 공간적 군집도가 매우 높은 공간자기상관성을 보이고 있다. 나머지 더미변수들은 지역을 구분하는 기준으로 활용하였기에 공간자기상관성 분석없이 당연히 군집 현상이 확연히 나타날 것으로 예상할 수 있다. 이 상과 같이, 독립변수의 값들이 공간적으로 매우 밀접한 상호관계가 존재하므로 이를 반영할 수 있는 분석모형이 필요할 것으로 예상된다.

2. 일반회귀(OLS) 모형

1) OLS 광역모형

20년간의 OLS 광역모형 추정 결과를 보면, 모형의 통계적 유의성이 인정되었고, 전체적으로 56.7%의 낮지 않은 설명력을 보여주었다. 유의수준 5%이하에서 유의한 변수로는 특별시·광역시지역(METRO), 강원도 태백산맥지역(MTS), 누적재해기간(DP), 재정자립도(FIDR) 변수로 나타났고, 나머지 해안지역(COAST), 4대강유역지역(R4WS) 변수는 통계적 유의확률이 1% 이상이었

다. 각 변수의 회귀계수를 살펴보면, METRO의 경우는, 그 밖의 지자체에 비해 피해액 규모가 513억 원 정도 적게 발생하는 것으로 나타났다. 또한 MTS는 그 밖의 지역에 비해 414억 원 정도 더 피해가 발생하는 것으로 추정되었다, 반면 비록 통계적 유의성이 낮았지만, 해안지역(COAST) 및 4대강 유역(R4WS)은 각각 내륙지역, 4대강 유역 외 지역에 비해 약 217억 원, 296억 원 정도의 피해가 추가적으로 발생하는 것으로 추정되었다.

누적재해기간(DP)에서는 그 기간이 평균으로부터 1% 늘어날수록 피해액은 0.67%¹⁾ 정도 증가하는 것으로 계산되었다. 반면 재정자립도의 경우, 재정자립도(FIDR)의 1% 증가가 피해액 0.2%의 감소와 연관되는 것으로 분석되었다.

비록 이 모형이 유용한 결과를 도출하였으나, Koenker(BP) 검정통계량으로 오차의 이분산성(non-stationarity)을 판정한 결과, 종속변수와 설명변수 간의 관계가 고정적이지 않음이 확인되었다. 이는 공간의 위치에 따라 회귀계수가 변화될 수 있다는 공간적 이질성을 나타내는 것이며, 이는 통상적인 OLS모형이 아닌 지리가중회귀모형(GWR) 추정의 필요성을 시사하는 것이다.

〈표 2〉 OLS 광역모형 추정결과

변 수		회귀계수	t 값	VIF	적합도
Intercept		23,859.7	0.63	0	$F=47.62^{***}$
광역시	METRO	-51,283.7	-3.58***	1.93	$R^2=0.567$
강원태백산맥지역	MTS	41,420.6	12.95***	1.05	$AIC=8898.0$
해안지역	COAST	21,683.7	1.16	1.74	
4대강유역	R4WS	29,630.4	1.28	1.62	
누적재해기간	DP	300.0	3.17***	1.94	
평균재정자립도	FIDR	-679.1	-2.21**	1.11	

* $\alpha = 0.1$; ** $\alpha = 0.05$; *** $\alpha = 0.01$ level

1) 평균에서의 탄력성을 이용하여 계산한 것으로, 누적재해기간의 피해액 탄력성은 다른 변수가 고정된 상태에서 0.67% (=300*225.54/101345.5) 정도로 계산됨.

같은 방식으로, 재정자립도에 대한 피해액의 탄력성은 -0.20% (= -679.1*30.03/101345.5)임.

2) OLS 세부지역 모형

세부지역에 관한 OLS모형은 앞선 광역모델의 변수 중, COAST변수를 동해안(ESEA)·서해안(WSEA)·남해안(SSEA)로 나누고, 4대강 유역변수(R4WS)를 한강(HR)·낙동강(NR)·금강(GR)·영산강·섬진강(YR)으로 세분하고 각각의 터미변수를 도입하여 OLS모형을 추정한 것이다. 그 결과, 세부지역모형은 전체적으로 63.4% 정도의 설명력을 나타냈는데 이는 앞선 광역모델의 설명력에 비해 향상된 결과이다. MTS, ESEA, SSEA, HR, NR, GR, DP 등의 변수는 양의 회귀계수를 보여 피해액 증가와 연관이 있음을 보여주었으며, 그중 MTS, SSEA, NR, DP 변수는 유의수준 0.01에서 유의하였다. 반면, METRO, WSEA, YR, FIDR에서는 변수의 증가는 피해액이 감소와 연관이 있는 것으로 분석되었다. 그중 METRO는 0.01 유의수준에서, FIDR은 0.05 수준에서, YR은 0.1 수준에서 통계적 유의성이 인정되었다.

통계적 유의성이 검정된 변수를 중심으로 살펴보면, 강원도 태백산맥 지역(MTS), 남해안지역(SSEA)은 타 지역에 비해 각각 4,067억, 309억

가량의 누적피해가 더 발생이 되는 것으로 추정되었다. 한편 4대강 중 낙동강 유역의 시군구 지역은 672억 원 가량의 누적피해가 더 발생하는 반면, 영산강·섬진강 유역은 오히려 피해가 284억 원 정도 작은 것으로 추정되었다. 이 결과는 태백산맥지역, 남해안 지역, 낙동강 유역에 대한 재난관리당국의 재해 예방사업 및 관리강화가 필요함을 시사한다.

DP와 FIDR의 경우, 광역모델의 결과와 비교했을 때, 회귀계수의 절댓값이 증가되었다. 두 변수의 탄력성을 분석해보면, 평균값을 기준으로 누적재해기간이 1% 늘어나면 피해액은 0.97% 정도 증가하는 반면, 재정자립도가 1% 증가하면 피해액은 0.2% 감소하는 것으로 분석되었다.

광역모형과 마찬가지로, 이 모형의 오차에 대해 Koenker(BP) 검정통계량으로 검정한 결과, 회귀계수가 고정적이지 못함이 판정되어 GWR 모형추정의 필요성이 제기되었다.

〈표 3〉 OLS 세부지역모형 추정결과

변수		회귀 계수	t 값	VIF	적합도
Intercept		-10,649.5	0.34		$F=33.505^{***}$
광역시	METRO	-40,464.4	-3.41***	1.97	$R^2=0.634$
강원태백산맥지역	MTS	406,654.7	5.20***	1.56	$AIC=8871.5$
동해연안	ESEA	30,681.3	0.85	1.55	
서해연안	WSEA	-17,914.1	-1.23	1.46	
남해연안	SSEA	70,804.9	3.65***	1.43	
한강유역	HR	28,478.5	1.42	2.03	
낙동강유역	NR	67,207.8	4.05***	1.75	
금강유역	GR	10,315.9	0.72	1.57	
영산강유역	YR	-28,434.3	-1.82*	1.44	
누적재해기간	DP	434.3	5.85***	2.09	
평균재정자립도	FIDR	-688.8	-2.21**	1.46	

* $\alpha = 0.1$; ** $\alpha = 0.05$; *** $\alpha = 0.01$ level

3. 지리가중회귀(GWR) 모형

1) GWR 광역모형

전술된 *OLS* 모형들은 *OLS*가 충족해야 할 여러 가정 중 잔차의 등분산성이 충족되지 못하였다. 이를 해결하기 위한 방법 중의 하나가 *GWR* 모형으로 알려져 있다. 이에 전국 시군구의 20년간 누적피해액에 관하여 *GWR*모형을 추정하였다. 전체적인 설명력은 66.5%로 증가되어 57% 정도였던 앞선 *OLS* 모형에 비해 설명력이 향상되었다. 또한 모형의 적합도를 판정하는 기준 중의 하나인 *AIC*(Akaike Information Criterion)를 살펴보면, 그 값 역시 8,898에서 8,856로 낮아져 *GWR*의 모형이 더 적합한 모형으로 판단되었다.

전술한 것처럼, *GWR*은 각 독립변수의 회귀계수를 분석공간단위별로 산출하기 때문에 회귀계수를 지도로 표출하여 회귀계수의 전체적인 분포경향을 쉽게 파악할 수 있다. 그러나 독립변수 중 공간을 구분하는 더미(dummy) 변수의 회귀계수 분포를 전체 시군구지역에 대해 분석하는 것은 불필요하다. 그 이유는 더미변수의 회귀계수에 대해 해석의 의미가 있는 지역은 1의 값으로 부여된 지역으로 한정되기 때문이다. 따라서 더미변수의 회귀계수를 전국 지도로 표출하는 것보다는 단지 더미값이 1인 지역 내에서의 회귀계수의 변화양상을 분석하는 것이 의미가 있다.

특별시·광역시 지역(*METRO*) 내 자치지역의 회귀계수는 전체적으로 -92,407.3(부산 사하구) ~ -43,553.5(서울 금천구) 범위로, 특별시·광역시 내 모든 자치단체는 타 지방자치단체보다 피해가 적을 것으로 추정되었다. 회귀계수는 부산, 광주, 울산, 대구, 대전, 세종, 인천 등의 지자체 순서로 상승하였으며, 그 중 서울의 자치구가 전체 74개 광역시 자치단체 중 전반적으로 가장 큰 회귀계수를 보였다. 회귀계수의 범위로 볼 때 *METRO* 지역

은 그 외 지역보다 435억~924억 원 정도 자연재해피해가 덜 발생할 것으로 추정되었다. 이는 *METRO* 지역의 재정여건이나 재난 행정·관리 능력이 광역도시가 아닌 타 지역보다 상대적으로 우수하기에 때문에 기인한 것으로 볼 수 있다.

해안지역(*COAST*) 변수에 대한 회귀계수의 범위는 -17,934.6(군산시) ~ 85,258.2(울진군)로 나타났다. 해안지역에 위치한 총 71개 지자체 중 *COAST*의 회귀계수의 전반적인 크기순서는 전북, 충남, 전남, 경기, 인천, 경남, 부산, 울산, 강원, 경북 순으로 나타났다. 따라서 경북 및 강원 해안지역에 대하여 적극적이고 강도높은 재해 예방 및 관리의 필요성이 제기된다.

강원도 내 태백산맥지역(*MTS*) 변수의 회귀계수를 살펴보면, 그 범위가 414,150.8 ~ 421,880.3 사이로, 타 지역에 비해 20년 동안 최소한 4,142억 원 정도의 추가적인 피해가 발생되는 것으로 추정되었다.

누적재해기간(*DP*)의 회귀계수는 강원도 고성군(429.4), 강릉시(424.2), 인제군(420.4) 등의 순으로 전체적으로 강원도를 중심으로 높은 회귀계수가 추정되었으며, 강원도로부터 거리가 멀어질수록 점차 낮아지면서 전라도 지역에는 상대적으로 낮은 회귀계수가 추정되었다(그림 2(a) 참조). 회귀계수의 범위는 135.3(전북 부안군) ~ 429.4(고성군) 정도로 나타났다. 쉽게 예상할 수 있는 것처럼, 모든 지자체에서 *DP*가 길어질수록 피해액이 늘어나는 것으로 해석된다. 다만, 그 차이는 해당 지역의 재해의 강도, 재해예방 및 대응역량 등 다양한 원인에 따라 발생할 것으로 판단된다.

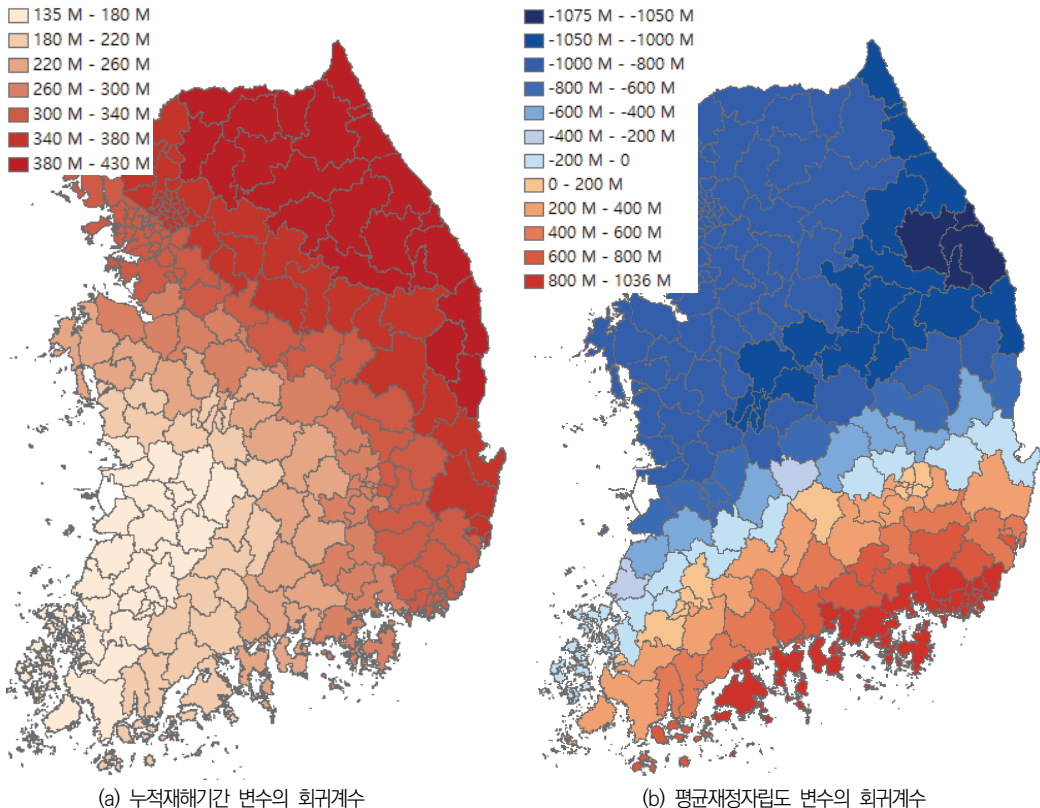
각 변수가 평균에 고정되어 있다고 가정하고 피해액에 대한 *DP*의 1% 상승에 대한 재난피해액의 변화율을 구해보면, 최소인 부안군의 경우 0.3% 증가하고, 최대인 고성군의 경우는 0.96% 정도 증가하는 것으로 계산되어 지자체 모두가 단위 탄력

성 이하인 것으로 나타났다. 탄력성이 0.9% 이상이 되는 시군구는 총 9개 지역으로써 공간적으로는 고성군을 중심으로 강릉, 인제, 속초, 양양, 양구, 화천, 등의 동해안과 강원도 내륙으로 분포하고 있다. 이들 지역의 탄력성은 상대적으로 높기 때문에 누적재해기간의 증가에 따라 피해액이 크게 늘어나는 지역으로 예상할 수 있어, 해당 지역의 취약성 분석을 통한 세심한 방재대책이 필요한 지역이다.

그림 2(b)에서 제시된 것처럼, 재정자립도(*FIDR*)의 회귀계수 분포는 삼척시, 동해시, 정선군, 태백시 일대 지역에서 가장 낮은 회귀계수 군집을 보이고 거리에 따라 점차 높아져 경남 거제시, 통영시 등 남해안 일대에서 가장 높은 값을 나타냈다. 회귀계수의 범위는 -1,072.7~1,035.8로 음의 회귀계수로부터 양의 회귀계수가 지역적으로 큰 편차

를 나타내며 분포하고 있다. 음의 회귀계수를 나타내는 시군구는 총 152곳이고 반대로 양의 회귀계수를 보이는 곳은 73곳이다. 즉, 전체 지자체의 67.6%에 해당하는 지자체는 *FIDR*의 향상이 재난 피해액의 감소와 연관이 있는 것으로 분석되었고, 나머지 지자체는 오히려 재난피해액의 증가와 연관성이 있는 것으로 추정되었다. 음의 회귀계수 지역은 중부지방 전체와 전북 및 경북 지역에 위치한 지자체들로 고성군 일대로 근접할수록 낮은 회귀계수를 보였다. 따라서 이들 지역에서는 *FIDR*이 개선되면 누적피해액이 감소하는 것으로 나타났다. 양의 회귀계수 지역은 남쪽지역에 위치한 지자체들로서 태풍의 길목에 위치하여 *FIDR*의 높고 낮음과 관계가 없이 피해가 발생되기 때문에 나타나는 현상으로 추정해 볼 수 있다. 회귀계수의 최솟값과 최댓값의 범위를 적용하여 재정자립 탄력성

〈그림 2〉 GWR 광역모델의 회귀계수 공간분포

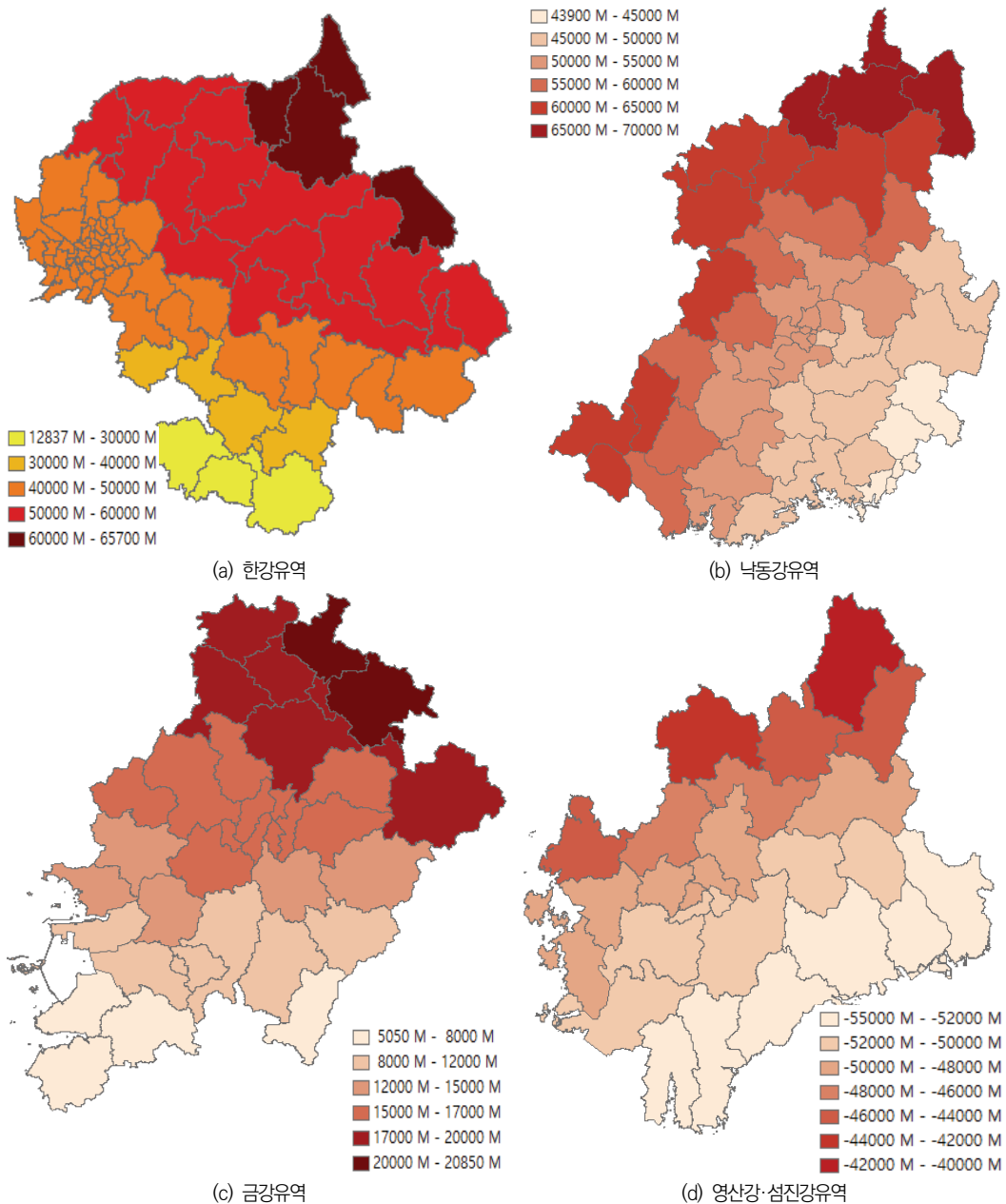


을 구하면 $-0.37\% \sim 0.31\%$ 사이에 있는 것으로 계산된다.

GWR 모형이 추정되었다고 하더라도 그 잔차가 공간자기상관성이 있는지 여부는 추가적으로 검정해야 한다. 잔차의 공간분포도를 통해 자기상관성을 시각적으로 확인할 수 있지만, 정확한 통계

적 검정을 위하여 잔차에 대한 Moran's I 를 산출하였다. 그 결과 모란지수 값은 $0.089(p=0.010)$ 로 상당히 유의한 것을 판정되어 잔차의 공간적 독립성 문제가 여전히 해결되지 못하여 회귀계수 추정에도 문제가 있음이 확인되었다.

〈그림 3〉 *GWR* 세부지역 모델의 4대강 유역별 회귀계수 공간분포



2) GWR 세부지역 모형

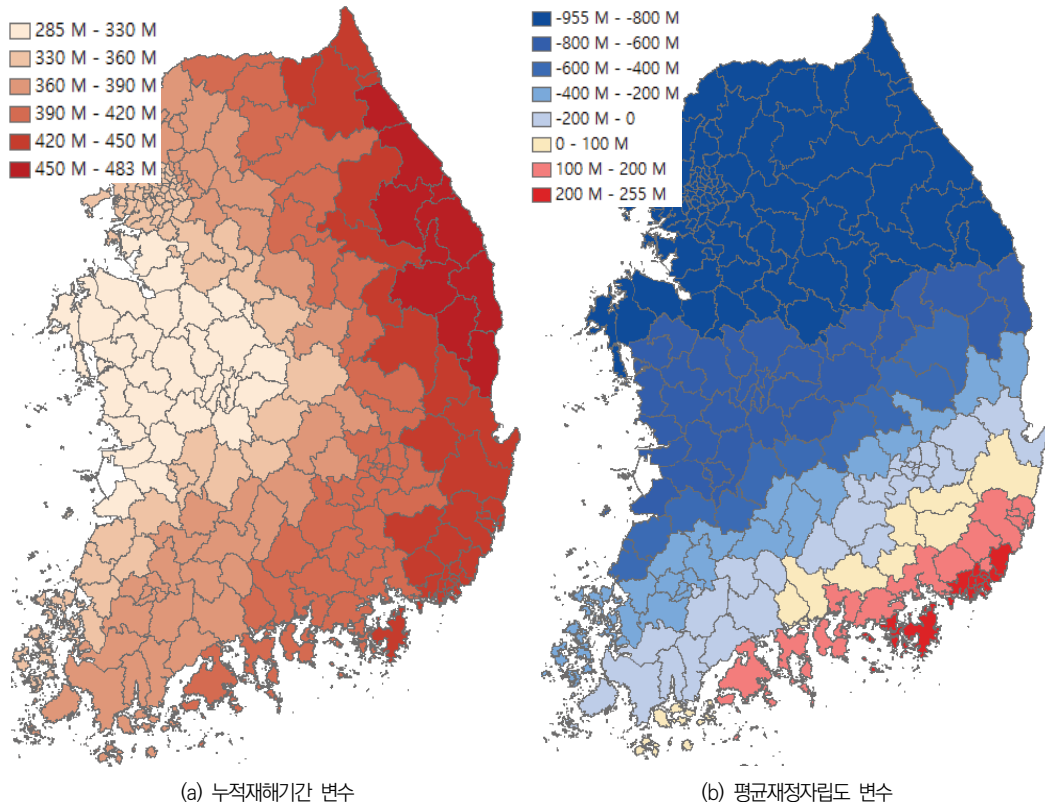
앞선 광역모델에 비해 더 세분화된 더미변수를 사용한 GWR 세부지역모형은 63.4% 정도였던 OLS 세부지역 모형의 설명력을 66.9%까지 향상시키는 결과를 보였다. AIC값도 8871.5에서 8863.96으로 낮아져 GWR의 모형이 더 적합한 모형임이 판정되었다.

특별시·광역시 내 74개의 지자체에 대한 더미변수의 회귀변수는 -76,355.5(부산 영도구) ~ -38,998.6(서울 노원구)의 범위로 나타나, 전술된 GWR 광역모델과는 회귀계수 값의 범위가 줄어들었고, 특히 최솟값에서 변화가 컸다. 본 모형에서는 대체적으로 회귀계수의 크기는 부산, 울산, 대구, 광주, 대전, 세종, 인천, 서울의 순서로 증가하여 순서상 울산 지역 외에는 광역모델의 결과와 큰

변화가 없었다. 특별시·광역시 내 모든 자치단체는 타 지자체에 비해 390억~763억 원 정도 피해가 될 발생하는 것으로 추정되었다.

동해안지역(ESEA) 변수에 대한 회귀계수의 범위는 24,799.4(강원 고성군) ~ 48,044.6(울진군)로 나타났다. 동해안지역에 위치한 총 14개 지자체인데, 이 지역에서는 248억 ~ 480억 원 가량의 피해가 더 발생하는 것으로 추정되었다. 서해안지역(WSEA) 변수의 회귀계수는 -44,894.2(전남 영암군) ~ 4,676.3(파주시) 범위로 음의 회귀계수는 19개 지역, 나머지 11개 지역에서는 양의 회귀계수가 나타났다. 지역적으로는 전남, 전북, 충남 해안지역이 음의 회귀계수를, 경기·인천은 양의 회귀계수를 나타냈다. 남해안지역(SSEA) 변수의 회귀계수는 29,150.5(전남 진도군) ~ 59,171.8(부산 기장군) 범위로 총 19개 지역이 모두 양의 회귀계

〈그림 4〉 GWR 세부지역 모델의 회귀계수 공간분포



수로 나타났다. 그 회귀계수는 전남, 경남, 부산으로 이동할수록 그 크기가 증가하는 것으로 추정되었다.

4대강 유역에 속한 각 유역을 세부적으로 살펴보면, 총 81개 지자체가 포함된 한강유역 변수(HR)의 회귀계수의 범위는 12,836.7(경북 상주군) ~ 65,672.6(강원 고성군)으로 나타났다. 고성군으로부터 멀어짐에 따라 점진적으로 회귀계수가 감소함을 확인할 수 있었다(〈그림 3(a)〉 참조).

총 52개 지자체가 속한 낙동강유역 지역변수(NR)의 회귀계수 범위는 43,889(부산 금정구) ~ 69,800.2(태백시)로 나타났다. 태백시에 근접할수록 점진적으로 회귀계수가 증가하고, 반대로 하류 지역으로 갈수록 감소함을 확인할 수 있었다(〈그림 3(b)〉 참조).

금강유역은 총 35개 지자체에 걸쳐있는데 그 더미변수(GR)의 회귀계수의 범위는 5,048.2(전북 고창군) ~ 20,848.1(음성군)이며, 상류지역에서 하류지역으로 갈수록 감소하는 것으로 나타났다(〈그림 3(c)〉 참조).

영산강·섬진강 유역은 총 28개 지자체에 걸쳐있으며 그 더미변수(YR)의 회귀계수의 범위는 -54,515.6(전남 광양시) ~ -40,393.3(전북 진안군)로 추정되었다. 다른 유역과는 달리 피해액이 타 지자체에 비해 상대적으로 감소하는 유역으로 나타났다. 전체적으로 남쪽해안지역으로 접근할수록 피해액의 감소폭이 증대되는 되는 것으로 분석되었다(〈그림 3(d)〉 참조).

누적재해기간(DP)의 회귀계수는 충남 보령시(285)가 가장 작았고 동해안으로 가면서 점차 증가하여 경북 울진군(482.9)에서 가장 높은 회귀계수가 추정되었다(〈그림 4〉 참조). 이 회귀계수의 범위는 광역모델보다 좀 더 확대된 것으로 나타났다. DP 의 1% 상승에 대한 누적피해액의 탄력성을 구해보면, 최소인 보령시에서 0.63%, 최대인 울진군

에서 1.07%로 산출되었다. 단위탄력성 이상이 되는 시군구 즉, 회귀계수의 값이 449.34 이상이 되는 시군구는 울진군, 삼척시, 동해시, 영덕군, 영양군, 태백시, 강릉시, 봉화군, 정선군, 양양군 등 총 10개 지역으로, 경북, 강원 지역의 해안을 중심으로 분포하였다.

재정자립도($FIDR$)의 회귀계수 분포는 철원군, 양구군, 화천군 일대에서 가장 낮은 회귀계수를 보이며 거리에 따라 점차 높아져 부산광역시 일대에서 가장 높은 값을 나타냈다. 회귀계수의 범위는 -955 ~ 255.4로 음의 회귀계수와 양의 회귀계수가 지역적으로 군집하여 분포하고 있는 것으로 나타났다. 양의 회귀계수를 보이는 곳은 40곳이고, 음의 회귀계수를 보이는 시군구는 185곳이었다. 즉, 전체 지자체의 67.6%에 해당하는 지자체는 $FIDR$ 가 개선될수록 재난피해액이 감소하는 것으로 분석되었고, 나머지 지자체는 오히려 반대로 변화되는 것으로 추정되었다. 대부분의 경남 및 부산 지역과 일부 전남, 경북지역을 제외하고는 $FIDR$ 의 개선이 누적피해액을 감소시키는 데 연관이 있는 것으로 나타났다. 회귀계수의 최솟값과 최댓값의 범위를 적용하여 재정자립에 대한 누적피해탄력성을 구하면 -0.28% ~ 0.08% 사이에 있는 것으로 계산된다.

GWR 광역모형처럼, GWR 세부지역 모형의 잔차가 공간자기상관성이 존재하는지를 검정하기 위하여 잔차에 대해 전역적 Moran'I를 산출하였다. 그 결과 Moran'I 값은 0.0329로 통계적으로 유의하지 않아($p=0.303$) 전술된 광역모델과는 달리, 잔차의 공간적 자기상관성은 제거된 것으로 검정되었다. 결론적으로, 본 모형은 모형의 설명력이 나, AIC 기준, 잔차의 공간자기상관성의 기준으로 판단해 볼 때, GWR 세부모형이 가장 적합한 모형이라고 판단할 수 있다.

V. 결론

이 연구는 자연재해와 연관이 있는 다양한 지역 구분 변수 및 지역특성 변수를 도입하여 20년간 누적된 사유·공유재산 피해액에 관한 통계모형을 추정하였다. 전국 시군구를 대상으로 분석한 이 연구는 종속변수와 독립변수의 관계가 전역적으로 동일하지 않다는 것에 기초하여 개별 공간단위마다 독립변수들의 회귀계수를 각기 추정함으로써, 공간단위별로 독립변수의 차등적인 영향력을 산출하였다. 재해피해액에 적합한 모형을 찾기 위해서 일반적인 *OLS* 모형 및 *GWR* 모형을 이용하여 광역모형, 세부지역 모형을 각각 추정하였다. 이때 각 모형의 적합도를 비교하고 모형의 기본적 가정의 충족 여부를 분석함으로써, 20년간의 누적피해액을 설명하는 데 가장 적합한 모형을 탐색하였다. 그 결과, 세부지역 변수를 도입한 *GWR* 모형이 설명력과 적합도가 가장 높고 잔차의 공간자기상관성도 제거된 모형임이 검증되었다. 설명력이 66.9%인 최종 모형의 변수별 추정결과는 다음과 같다. 특별시·광역시 변수에서 특별시·광역시가 아닌 지자체와 비교할 때 411억~562억 원 정도의 피해가 덜 발생하는 것으로 추정되었다. 한편, 해안지역에 위치한 지자체를 살펴보면, 동해안 지역은 타 지역에 비해서 248억~480억 원, 남해안 지역은 292억~592억 원 정도의 피해가 더 발생하는 것으로 추정되었다. 4대강 유역에 속한 지자체에서는, 전반적으로 상류지역의 피해가 크고 하류지역으로 갈수록 작아지는 것으로 추정되었다. 한강 유역은 128억~657억 원 정도의 피해가 더 발생되고, 낙동강유역은 439억~700억 원가량, 금강유역은 50억~209억 원 정도가 추가적으로 발생되는 것으로 나타났다.

누적재해기간의 피해액에 대한 영향은 동해안

지역 및 남해안지역에서부터 거리가 멀어질수록 작아지는 것으로 나타났다. 강원 및 경북의 동해안 지역의 지자체들은 그 영향이 단위탄력성 이상이 되는 것으로 분석되어, 이 지역에 대한 구조적·비구조적인 대책을 망라하여 종합적인 재해저감 및 관리정책의 필요함이 제기되었다.

재정자립도 1%증가에 따라 자연재해피해는 최대 0.28%의 감소와 연결되는 것으로 분석되었다. 비록 재정자립도가 피해액 저감에 직접적인 원인에 해당하진 않지만, 그 수준이 지자체의 방재관리 역량에 관련이 있음을 고려해 볼 때 지자체의 자족능력의 향상은 중앙정부 및 지방정부가 적극적으로 해결해야 할 과제라고 판단된다.

이 연구가 국토의 재난환경을 지역적으로 구분하는 여러 인자를 도입하여 지역별 피해액의 영향 정도를 분석하면서 공간자기상관성을 배제한 의미 있는 모형을 구축하였음에도 불구하고 여러 가지 한계를 지니고 있다. 우선, 이 연구에서 구축한 모형이 원인-결과를 설명할 수 있는 모형이 아니라는 점이다. 이에 향후 경로분석과 같은 통계모형을 이용하여 피해액의 원인을 분석할 필요가 있다. 다음으로는, 시군구의 물리적·사회경제적 재해취약성을 대표할 수 있는 인자가 부족하다는 점이다. 건축물 구조 및 노후도, 사회기반시설의 종류 및 규모, 지역특화산업 등의 다양한 인자들이 고려되지 못하였다. 또한 직접적인 재해원인인 강우강도, 강우량, 풍속 등 재해유발인자의 적극적인 도입도 필요하다. 끝으로, 재해연보에 기록된 피해액 통계량이 지니는 제약사항이다. 재해연보의 피해액은 실제 피해액과는 상이하기 때문에 이를 개선하고자 하는 국가연구개발과제가 현재 진행 중이다. 향후에 이 결과 및 데이터를 기반으로 새로운 연구가 추진되어야 할 것이다.

참고문헌

- Anselin, L. and Bera A. K., 1998, "Spatial dependence in linear regression models with an introduction to spatial econometrics", in Aman Ullah and David Giles (eds.), *Handbook of Applied Economic Statistics*, New York, 237~289.
- Anselin, L. 1995, "Local indicators of spatial association LISA", *Geographical Analysis*, 27(2) : 93~115.
- Ding, Y, Hayes, M. J., and Widhalm, M., 2011, "Measuring Economic Impacts of Drought: A Review and Discussion", *Disaster Prevention and Management*, 20(4), 434~446
- Doreian, P., 1981, "Estimating linear models with spatially distributed data", in Samuel Leinhardt (ed.), *Sociological methodology*, 1981: 359~388, San Francisco, CA: The Jossey-Bass Publishers.
- Galbusera, L. and Giannopoulos G., 2018, "On input-output economic models in disaster impact assessment", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 30: 186~198.
- Griffith, D. A., 1996, "Introduction: The need for spatial statistics", in S. L. Arlinghaus and D. A. Griffith (eds.), *Practical Handbook of Spatial Statistics*, Boca Ration, FL: CRS Press, 1~15.
- Marin, G. and Modica, M., 2017, "Socio-economic exposure to natural disasters", *Environmental Impact Assessment Review*, 64: 57~66.
- Miron, J., 1984, "Spatial autocorrelation in regression analysis: A beginner's guide,", in Gary L. Gaile and Cort J. Willmott(eds.), *Spatial Statistics and Models*, 201~222, D. Reidel Publishing Company.
- 심재현·김자은, 2012, "토지이용특성과 자연재해 피해액의 상관성 분석", 「한국산학기술학회논문지」, 13(9): 4319~4325
- 이건행·최승안·김형수·심명필, 2006, "다차원 홍수피해산정방법을 이용한 도시지역의 홍수피해액 산정", 「대한토목학회논문집 B」, 26(4B): 363~369
- 이미연·홍종호, 2016, "패널모형을 이용한 자연재해 피해의 결정요인에 관한 고찰", 「한국방재학회논문집」, 16(4): 247~257.
- 이희연·심재현, 2011, 「GIS 지리정보학」, 법문사.
- 정준호·이승호, 2014, "폭설에 의한 경제적인 직접 피해액의 추정", 「기후연구」, 9(2): 125~139.
- 최열·서만훈, 2013, "도시특성 요소가 자연재해에 의한 피해액에 미치는 영향에 관한 연구", 「국토계획」, 48(5): 309~318.
- 최정환·허은영·심명필, 2000, "가뭄시 용수공급지장으로 인한 경제적 파급효과분석", 「한국수자원학회」, 33(5): 647~658.
- 최충익, 2003, "도시적 토지이용의 변화가 도시의 자연재해 취약성에 미치는 영향에 관한 연구", 「국토계획」, 38(2): 35~48.
- 최충익, 2010, "도시가뭄재해 피해액 산정에 관한 기초연구". 「국토계획」, 45(4): 171~181.
- 행정안전부, 2018a, 「2018 재해연보」, 행정안전부.
- 행정안전부, 2018b, 「2018년도 지방자치단체 통합재정 개요(하)」, 행정안전부.
- 현수현·김학열, 2018, "자연재난 및 사회재난의 사회경제적 간접손실 분석: 태풍 볼라벤 및 덴빈과 세월호 참사를 사례로", 「한국방재학회논문집」, 18(4), 297~309.

원 고 접 수 일 : 2019년 11월 3일

1 차 심 사 완 료 일 : 2019년 11월 18일

최 종 원 고 채 택 일 : 2019년 12월 10일