

One-Way Error Component Regression Model을 활용한 도시지역 수재해 취약성 변화의 실증연구

A Study on the Changes of Flood Vulnerability in Urban Area Using One-Way Error Component Regression Model

최충익 한국건설기술연구원

Choi, Choong-Ik Korea Institute of Construction Technology

Abstract

This Study aims to demonstrate how much flood vulnerability in urban area changed for the past 32 years by using the panel model. At the same time, this study strives to determine the primary factors and to construct an effective counter-plan by means of empirical research.

After selecting research hypotheses based on considerations of issues concerning causes for urban flooding, their relevance is put to the test by conducting empirical research in individual case locations. This research verifies the four research hypotheses by using one-way error component regression model.

In conclusion, this research has shown that urban land use and local characteristics act as significant flood determinants, with forests acting to reduce flood dangers. Moreover, constructing embankments can no longer represent a reliable flood control policy. The changes in future flood control policies need to incorporate local characteristics and to minimize natural destruction, so that humans and nature can coexist through environmentally friendly flood management policies.

Keywords : Flood vulnerability, One-way error component regression model,
Environmentally friendly flood control policy

I. 서론

1. 연구배경 및 목적

최근 수재해로 인한 재산 피해가 기하급수적으로 증가하고 있다. 2002년 태풍 라마순과 루사에 의한 피해액은 6조 원을 넘었으며, 2003년 태풍 매미의 경우도 피해가 5조 원에 달했다. 하지만 이렇듯 막대한 수해 피해에도 불구하고 정부의 수재해관리정책은 뚜렷한 방향을 잡고 있지 못하고 있다. 더구나 수해복구 및 예방비용으로 엄청난 예산투입을 하고 있음에도 오히려 최근 수해는 급격히 증가하는 추세를 보이고 있다.

효과적인 수재해관리정책을 수립하기 위해서는 문제의 원인이 무엇인지 살펴보는 것이 필요하다. 즉, 도시지역 수해의 경우 피해를 극대화시키는 요소가 무엇인지를 파악하고 그에 따른 대비책을 세우는 것이 합리적이라 하겠다. 특히, 도시지역의 수재해관리는 실패할 경우 많은 인명 피해와 재산 피해로 이어질 수 있기에 보다 신중하게 이루어질 필요가 있다. 이러한 의미에서 도시지역 수재해 취약성에 대한 실증연구는 향후 자연재해관리정책에 있어서도 유용한 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다.

지속적으로 증가하는 경제적 재해비용에 대해서 보다 합리적으로 대응하기 위해서는 과거 재해에 대한 과학적이고 실증적인 연구가 무엇보다 필요한 때라 하겠다. 본 연구는 1970년 이후 도시화로 인해 수도권의 도시지역이 얼마나 수재해에 취약했는지를 연대별로 살펴보고 도시지역에 있어 수재해결정요인이 무엇이었는지 실증분석해 보고자 하였다. 나아가 이를 통해 바람직한 재해관리정책과 향후 재해관련 연구의 방향을 제시하고자 하였다.

과거 수해는 주로 자연적 현상에 의해 발생하는 것으로 인식되었으며 인간의 힘으로 통제할 수 없는 '신의 행위(Acts of God)'로 파악되어 사람의 행위가 수해에 영향을 미칠 수 있다는 생각은 배제되어 왔다. 하지만, 이제 대부분의 학자들이 수해가 자연적 현상에 의해서만 발생하지 않음에 동감하고 있다. 수해에 대한 원인이 1차적으로는 강수량 등의 자연적 요소에 기인하지만 최근 수십 년 간 수해 증가에는 사회적 요소의 변화가 중요한 원인을 제공했다는 주장이 일반적이다.

Pielke & Downton(2000)은 실증분석을 통해 강수량이 수해에 매우 유의미한 영향을 미치고 있음을 보이면서 강우강도에 대한 변수와 인문사회적인 변수의 영향을 종합적으로 고려할 필요가 있음을 주장하고 있다. 그러면서 자연적 요소는 수해의 발생에 있어서 매우 중요한 요소가 되지만 수해의 규모에 있어서는 전혀 결정적인 역할을 하지 않음을 실증분석하고 있다. 이는 인간의 개발행위에 의해서 수해에 대한 취약성이 증가했다면 마찬가지로 인

간의 노력에 의해 수해 취약성을 감소시킬 수 있음을 시사한다. 단적인 예로서, 물리적 요소인 도시적 토지이용의 증가는 홍수를 늘리는 요소로 작용하지만 투수층을 확보하는 토지이용계획을 활용한 도시계획은 동시에 수해에 대한 취약성을 감소시킬 수 있는 효과적인 대안이 될 수 있는 것이다.

OTA(Congressional Office of Technology Assessment)에서는 자연적인 요소가 수해에서 가장 중요함을 강조하면서 수해를 감소시킬 수 있는 가장 효과적인 방법으로 기후안정화를 들고 있으며 정책에 있어서도 구조적인 재해관리정책보다는 홍수터관리(flood plain management)에 의한 재해관리정책이 보다 바람직함을 주장하고 있다(Pielke & Downton, 2000: 3635에서 재인용). 특히 홍수 피해의 증가는 사회경제적인 요소에 의해 주로 결정되고 있음을 주장하면서 지속가능한 개발을 이루기 위해서는 빈부의 문제와 토지이용문제 그리고 환경 청지기정신(stewardship)이 보다 중요한 요소로서 다루어져야 함을 강조하였다. 하지만 실증분석에서 사회경제적인 변수를 추가하여 분석하지 못한 한계를 가지고 있다.

본 연구의 실증분석에서는 사회경제적인 변수를 반영하였으며 패널 모형을 사용하여 관찰되지 않은 누락변수(unobserved omitted variable)에 대한 적절한 처리를 통해 수해결정요인의 다양성을 반영하였다. 이에 따라, 수재해 피해가 과연 변화된 기상패턴에 의해 발생하였는지, 사회경제적인 요인에 의해 발생하였는지, 그 영향력이 얼마나 되고 도시지역의 재해 피해가 얼마나 영향을 받았었는지를 실증분석하고자 하였다. 아울러 도시지역에서 재해 피해를 증가시키는 구조적이고 체계적인 원인이 존재하는지에 대해서 패널 모형을 통해 고찰해보고자 하였다.

2. 연구범위 및 방법

본 연구에서는 도시지역 수재해 취약성에 대한 실증분석을 위해 공간적 대상을 경기도로 정하였다. 경기도는 서울을 둘러싸고 있어 어느 지역보다도 과거 수십 년 간 급속한 도시화를 경험하였으며 도 내 31개 시군이 각각 다양한 인문지리적 환경을 가지고 있어 패널모형을 적용한 실증분석에 가장 적합하다고 판단하였다. 시간적 범위는 1971년부터 2002년까지 32년으로 연도별 시계열 자료를 실증분석하였다. 내용적 범위는 도시지역의 수해결정요인으로서 도시화 효과를 분석함에 있어서는 인구적 측면과 토지이용적 측면을 중점적으로 다루었으며 재해를 논의함에 있어서도 인위재난이 아닌 자연재해를 주로 살펴보았다. 또한 자연재해 중에서도 지진이나 화산폭발과 같은 자연재해가 아니라 태풍, 홍수와 같은 수재해를 중심으로 살펴보았다. 따라서 본 연구에서의 자연재해는 주로 수재해를 의미하며 지진이나 산불과 같은 포괄적인 재해를 의미하지 않는다. 또한 수해 피해는 그 유형에 따라 내수와 외수로

나뉘는데 본 연구에서는 내수와 외수 피해 모두를 피해액의 범위에 포함시켰다.

본 연구의 목적은 1970년 이후 도시지역에서의 수재해 취약성 변화를 실증분석하고 그에 따르는 정책적 시사점을 도출하는 데에 있다. 이를 위해 사례지역에 대한 패널 데이터를 구축한 후 One-Way Error Component Regression Model을 적용하여 분석하였다. 패널 데이터는 시계열 자료와 횡단면 자료가 통합된 형식의 자료형태를 의미하며 본 연구에서는 시간에 따르는 도시화 영향을 살피기 위해 시계열 자료를 활용하였고 수해 피해에 영향을 주는 요소와 그 정도를 파악하기 위해 횡단면 자료를 활용하였다.

도시지역에서 재해를 결정하는 요인은 매우 다양하기 때문에 모든 요소를 파악하여 일일이 변수화하기란 거의 불가능하다. 그러므로 재해피해모형의 경우 관찰되지 않아 모형에 반영되지 않은 누락 변수가 있음을 고려할 필요가 있다. 아무리 분석 모형에 설명변수를 추가시키더라도 결국 설명하지 못하는 변수는 생기기 마련이기 때문이다. 이에 따라 몇 가지 중요한 변수를 설정하여 메카니즘을 개념적으로 파악하고 관찰되지 않은 변수에 대해서는 합리적으로 처리하는 것이 타당하다고 판단하였다. 본 실증연구에서 사용된 패널 데이터 분석은 이러한 관찰되지 않은 누락된 변수(omitted unobservable variable)에 대해서 계량경제학적으로 적절히 처리하여 줌으로써 최적의 모형결과가 나올 수 있도록 해 주었다. 또한 패널 데이터가 가지는 풍부한 정보를 다양한 분석기법을 통하여 추출해 낼 수 있어 정책적 시사점을 도출하기에도 적합하였다. 아울러 지역마다 각기 다른 재해 피해 양상을 가지고 있음을 반영하여 분석할 수 있기 때문에 주어진 자료에서 최대한의 정보를 얻을 수 있는 장점이 있었다. 이러한 의미에서 패널 모형¹⁾은 도시지역의 수해결정요인을 실증분석함에 있어서 가장 이상적인 분석 형태라고 볼 수 있겠다.

II. 이론적 고찰 및 가설의 설정

우리 나라의 경우 자연재해의 90% 이상이 수해에 기인하고 있다. 수해는 유사 이래 전 세계적으로 가장 흔하게 발생하는 재해 중의 하나이며 이에 따라 피해의 원인을 규명하기 위한 연구 역시 오래 전부터 많이 이루어져 왔다. 그럼에도 불구하고 최근의 수해 경향은 감소하지 않고 있으며 오히려 증가하는 추세에 있다. 이러한 상황 속에서 보다 효과적인 재해관리 정책을 수립하기 위해서는 합리적으로 수재해 취약성을 파악하고 분석할 필요성이 제기된다

1) 패널 모형은 패널 데이터가 가지고 있는 다양하고 풍부한 정보들을 가장 효과적으로 추출해 내는 분석기법으로서 계량경제학에서 가장 이상적인 분석기법으로 간주된다. 특히 이 모형은 횡단면분석이나 시계열분석에서는 통제 불가능한 누락변수(unobservable omitted variable)에 대한 처리를 해 주기 때문에 제반 변수들에 대한 통제가 불가능한 사회과학연구에서는 가장 이상적인 분석모형이라고 볼 수 있다.

하겠다. 하지만 재해가 발생하는 메카니즘이 워낙 복잡하고 다양하여 요인들을 모두 정확히 파악하기에는 많은 제약과 한계가 따르게 되며 이에 따라 몇 가지 핵심적인 요인들로 단순화된 모형을 구축하고 이를 통해 전체의 메카니즘을 이해하는 것이 중요한 의미를 가진다. 본 장에서는 도시지역 수해결정요인과 도시화와 수해 취약성에 대해 차례로 살펴해보도록 하겠다.

1. 도시지역 수해결정요인

인간의 활동에 많은 영향을 주는 홍수 피해는 단지 지리학적·기상학적인 이유에서만 발생하지 않는다는 것이 학자들의 공통된 의견이다. 최근 들어 사회경제적 요소와 기상학적 요소들을 결부시켜서 수해를 설명하려는 시도들이 많이 이루어지고 있다. 수해의 기상학적인 측면을 강조하면서 홍수 피해가 증가했다는 연구는 많은 학자들에 의해서 실증분석되었다(Changnon & Demissie, 1996; Smith, 1993; Changnon, 1980; White et al., 1958; Renshaw, 1957; Hoyt & Langbein, 1955). 또한 수해의 증가추세를 생태학적·지리학적 요소뿐만 아니라 사회경제학적·기상학적 요소들이 결합해서 나타난 복합 현상으로 보려는 시각이 많다(Hamburger, 1997; Pielke, 2000).

Kerwin & Verrengia(1997)은 인구의 증가와 도시개발이 수해증가의 주된 원인이라고 주장했다(Pielke & Downton, 2000: 3626에서 재인용). 한편, Coyle(1993)은 재해의 증가는 정부의 그릇된 정책과도 밀접한 관계가 있음을 지적했다. Labaton(1993) 역시 늘어나는 수해에 대하여 정부의 수해관련 정책이 실효를 거두지 못하고 있음에 의견을 함께하고 있다. Changnon(1996)은 미국에서의 관련 실증연구를 예로 들어 가며 기후와 함께 인구증가와 도시개발 및 정부의 정책이 얼마나 재해 피해에 영향을 주었는지를 정리했다. 재해관련 학자들의 수해에 관련한 논의를 종합해 보면 자연적 요소, 물리적 요소, 인문적 요소, 방재적 요소가 복합적으로 작용해서 수해가 발생하게 됨을 확인할 수 있다.

이러한 논의들을 종합적으로 정리해 보면 크게 두 부분으로 이루어져 있는데 홍수의 수리수문학적인 발생(hydrologic flood)과 이에 대한 노출이 결국 수해(damaging floods)를 만든다는 것이다. 기후적인 원인에 의해 발생한 강우 등이 홍수를 늘리는 조건(flood intensifying conditions)에 결합하여 수리수문학적인 홍수를 발생시키고 이것이 정부의 구조적/비구조적 저감정책²⁾의 실패로 인해 수해취약지역에 거주하는 사람들에게 노출되어 수해를 발생시키게 된다. 결국, 수해는 기상·기후학적인 자연적 요소와 인간이라는 인문적 요소, 토지이용이라는 물리적 요소, 정부의 정책으로 대표되는 방재적 요소가 복합적인 상호작용을 이루면서

2) Pielke & Downton을 비롯한 대부분의 방재학자들은 정부의 수해방지대책에 대해서 구조적인 방법(structural mitigation policy)과 비구조적인 방법(non-structural mitigation policy)으로 나누고 있다.

만들어지는 현상이라고 볼 수 있다. 따라서 재해정책을 수립함에 있어서도 이러한 통합적인 개념틀(integrative framework)을 가지고 접근할 필요가 있다. 수해는 단순히 비가 많이 왔기 때문에 발생한다고 볼 수 없으며 도시개발, 인구의 증가, 정부 정책의 실효성이 복합적으로 작용되어 발생함을 이해할 필요가 있다.

자연적 요소와 관련해서 최근의 연구는 기후와 관련한 인간의 사회학적인 영향이 점차 중요하게 인식되고 있음을 밝히고 있다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)는 기후 온난화로 인해서 홍수의 수리수문학적인 사이클이 짧아지고 있으며 그 강도가 높아지고 있음을 밝혔다(IPCC, 1966). 이론연구뿐만 아니라 모델링 연구결과는 이러한 가설이 사실임을 뒷받침해 주고 있으며 실증연구 역시 비슷한 주장을 하고 있다(Trenberth, 1998; Karl & Knight, 1998; Karl et al., 1995). Karl & Knight(1998)는 미국에서의 홍수 규모가 커지고 있으며 이를 강수량 추세와 결부시키고 있다.

우리 나라에도 기후변화와 홍수의 관련성을 연구한 사례가 있다. 기상청이 관측한 지난 24년(1976년~2000년) 동안 연도별 한반도 평균기온을 분석한 결과 인구밀도가 가장 높은 서울이 1.8도가 증가했으며 농촌과 해변지역의 경우 0.6도가 증가한 것으로 나타났다. 이러한 기온변화와 더불어 강수형태 역시 변화가 나타났음을 주장하는 연구도 있다. 특히 여름철의 대표적인 장마전선이 약화되고, 장마 종료 후 대류성 폭풍우를 동반한 산발적이고 국지적인 소나기성 강수가 주를 이루고, 특히 1990년대 후반에 급격히 증가하는 경향이 나타났음을 주장하고 있다(권태영 등, 1998; 최영진, 2000; 차은정, 2001). 그러나 아직까지 역학적-물리적 이론에 근거한 설명은 충분하지 않으며 기상청도 최근의 강수량 증가는 강수량의 주기적 변동 특성 한계 내에 있음을 공식적으로 발표한 적이 있다는 것을 감안할 때 명확한 결론을 내리기에는 어려움이 따른다.

하지만 최근 10년간(1992~2001년) 1일 100mm 이상의 집중호우가 발생한 빈도가 1970~1980년대의 222회에 비해 무려 1.5배가 증가한 325회를 기록하고 있음을 볼 때 홍수의 원인이 집중호우에 기인함을 단적으로 보여 주고 있다. 이러한 수재해 취약성의 증가는 인구와 시설이 밀집한 도시지역의 홍수 피해액을 기하급수적으로 늘리고 있다.

2. 도시화와 수해 취약성

도시지역의 수해 취약성을 논함에 있어서 도시화와 수해 취약성에 대한 논의는 매우 중요한 의미를 가진다. 도시지역은 도시화를 통해 만들어졌으며 결국 인간 활동(human behavior)의 변화는 수해 취약성과 깊은 관련성을 맺기 때문이다. 한편, 도시화는 인문사회과학 분야에서 매우 광범위하게 사용되며 다양한 의미를 가지고 있기에 도시화에 따르는 도시의 수해

취약성을 실증분석하기 위해 이론(異論)의 여지가 적은 개념들을 정리하여 다음과 같이 도시화에 대한 조작적 정의를 내렸다. 도시를 농촌에 대비되는 개념으로 보고 도시화를 일정한 공간에서 도시적 토지면적을 증가시키면서 제한된 곳에 많은 사람들이 밀집되어 살게 되는 현상으로 정의를 내리고자 한다. 실증분석에서도 도시화를 파악함에 있어서 인문적 요소로서 인구밀도를 변수로 선정하였으며 물리적 요소로서 도시적 토지이용면적을 변수로 선택하여 이들 도시화 변수가 어떠한 영향을 미치는지 패널 모형을 통해 살펴보았다.

기존의 많은 수해관련 논의들은 도시화가 수해를 증가시킨다는 막연한 논리를 큰 거부감 없이 받아들이고 있다. 하지만 최근 들어 단순히 도시화가 수해를 증가시키지만은 않을 것이라는 주장이 일각에서 제기되고 있다. 도시화된 상황에서도 새로운 형태의 재해관리시스템이 등장하게 되어 보다 체계적으로 재해 상황을 통제할 수 있도록 해 준다는 것이다(김경동, 1997). 이하에서는 도시화가 수해 취약성에 미치는 영향에 관한 전반적인 이슈를 살펴보고 앞서 도시화에 대해서 내린 조작적 정의에 근거해서 도시화에 따르는 도시지역의 수해 취약성을 인구적인 측면과 토지이용적인 측면에서 살펴보도록 하겠다.

인구는 토지이용을 변화시키는 중요한 원인이 되기도 하며 반대로 토지이용이 인구에 결정적인 영향을 미치기도 하기 때문에 수재해를 파악하기 위해서 이들에 대한 고려는 불가피하다. 하지만 이들이 수해에 어떠한 영향을 미치게 될 것인가에 대한 논의에 대해서는 상반된 주장이 있다. 국내외 많은 방재학자들은 인구의 증가는 산업의 발달과 함께 도시화 현상을 심화시키고 하천변 저지대가 시가화됨으로써 내배수 불량으로 인한 침수피해가 증가되는 메카니즘을 갖게 된다고 주장하고 있다(이종태 외, 1991: 73). Changnon(2000)과 Pielke(2000)를 비롯한 학자들도 인구밀도의 증가는 결국 수해취약지역에서의 인구를 증가시켜 그 피해를 더욱 크게 할 것이라고 주장하고 있다. Lundgren(1999)은 단순히 인구의 증가 자체가 수재해를 늘린다고는 보기 어려우며 토지이용을 매개로 수재해의 취약성이 가중된다고 주장하였다. 그러면서 Lundgren(1999)은 도시화에 의한 토지이용의 변화에 대해 다음의 두 가지로 그 특징을 설명하고 있다. 첫째는 도시개발에 따라 토지 표면이 불투수면(impermeable materials)으로 뒤덮이는 비율이 증가한다는 것이며 둘째는 그에 따라 호우 시 자연적 배수기능을 담당하는 토지 면적이 감소한다는 것이다(Lundgren, 1999: 192). 결국 도시화는 토지의 형질을 변경하는 도시개발을 유발시키며 그에 따라 도시의 불투수면적이 증가하게 되고 침투율이 감소됨으로써 유출계수의 증가요인으로 작용하게 된다는 것이다.

도시하천의 수해는 도시의 인구 및 토지이용과 밀접한 관계를 맺고 있다. 사람이 살지 않고 개발되지 않은 땅이 물에 잠기는 것은 재해가 될 수 없기 때문이다. 반대로 사람들이 밀집해 있고 고도로 개발된 땅이 물에 잠기는 것은 엄청난 재해로 인식된다(Comerio, 1998: 4). 고도로 도시화된 도시는 그렇지 않은 곳보다 피해에 취약할 수밖에 없는 것이다. 그렇지만,

도시화되었다고 해서 무조건 피해가 늘어난다고는 보기 어렵다. 도시화에 따라 재해방지기 술을 비롯해 인간의 체계적인 대처능력 역시 함께 발달할 수 있기 때문에 재해를 저감시키는 효과도 동시에 작용을 하기 때문이다. 따라서 단순히 도시화가 재해 피해를 늘린다는 단순한 논리전개는 설득력을 상실할 수 있으며 두 측면을 동시에 고려하는 것이 보다 합리적인 정책 수립을 위해서 타당할 것이다.

본 연구는 인구밀도와 도시적 토지이용은 매우 밀접한 관계에 있지만, 이들이 수해에 미치는 영향은 서로 다를 수 있음에 착안하고 있으며 이 같은 내용을 가설로 설정하여 패널 모형을 통해 실증분석하였다.

3. 가설의 설정

본 연구에서는 앞서 살펴본 이론적 고찰을 토대로 도시지역 수재해 취약성 변화에 대해 다음과 같은 가설을 설정하였다.

가설 1. 도시지역 수재해 취약성에 있어 기본적으로 자연적 요소가 가장 큰 영향력을 미쳤을 것이다.

본 연구의 첫 번째 가설은 도시지역의 수재해 취약성을 결정하는 요소로서 자연적 요소가 가장 큰 영향력을 미칠 것인가에 대한 내용을 담고 있다. 인문사회적 요소로서 도시화가 수해에 많은 영향을 미치고 있음을 주장하는 연구가 많이 나오고 있지만 기본적으로 수해 피해는 자연적 요소에 의해 가장 큰 영향을 받게 될 것이라는 것이다. 도시지역에서의 수재해 피해는 기본적으로 증가할 수밖에 없는 취약성을 가지지만 이것은 자연적 요소에 의해 촉발되는 특성을 지닌다(Changnon et al., 2000). 이는 수해 피해의 규모가 자연적 요소에 의해 가장 큰 영향을 받는 것임을 의미한다. 또한 근래의 극심한 기상변화는 홍수 및 태풍의 발생가능성을 매우 높이고 있어 자연적 요소에 의한 수해의 위험성이 더욱 커지고 있는 상황이다. 인구밀도나 도시적 토지이용과 같은 도시화 변수들도 중요한 영향을 미치겠으나 기본적으로 자연적 요소에서 수해의 영향력은 보다 크게 나타날 것이라는 것이 본 가설의 관점이다.

본 연구에서는 자연적 요소를 나타내는 변수로서 강수량, 월 강우집중도, 하절기 강우집중도를 설정하였으며 가설의 검증을 위해 패널 모형을 활용하여 추정된 변수들의 계수 값의 부호와 t-통계량의 유의한 정도를 살펴보았다.

가설 2. 도시지역의 수재해 취약성은 도시화에 의해 가중되었을 것이다.

수해는 기본적으로 자연적 요소의 영향을 많이 받지만 사회경제적인 요소로서 도시화는

도시지역의 수해결정요인에 있어서 매우 중요한 영향을 미쳐 왔음을 부인할 수 없다. 따라서 사회경제적인 요소로서 도시화 요소에 관한 변수를 분석 모형에 반영할 필요가 있다. 두 번째 가설에서는 사회경제적인 요소로서 도시화에 대한 내용을 담고 있다.

도시화라는 것은 단순히 인구의 증가뿐만 아니라 토지이용의 변화를 수반하게 된다. 본 연구에서는 도시를 농촌에 대비되는 개념으로 보고 도시화를 일정한 공간에서 도시적 토지면적을 증가시키면서 사람들이 밀집되어 살게 되는 현상으로 정의를 내리고 이를 분석 모형에 반영하기 위해 도시적 토지이용 면적과 인구밀도를 변수로 선정하였다.

가설 3. 제방시설은 도시지역 수재해 취약성을 줄이는 데에 큰 효과가 없었을 것이다.

세 번째 가설은 수해 피해와 제방시설에 대한 내용을 담고 있는데 이는 계속되는 정부의 예산투자에도 불구하고 반복되는 수해를 입고 있음에 문제의식을 가지고 정책의 효과성을 검증하기 위함이다. 이에 구조적 수해관리정책으로서의 제방시설이 피해를 줄이는 데에 효과적이지 못하였을 것인가라는 연구 과제를 세우고 이를 검증하고자 하였다.

본 연구에서는 구조적 수해관리정책에 대한 대리변수(Proxy Variable)로서 제방면적을 선택하였다. 지난 32년간 정부에 의해 이루어진 정책 변수가 재해 피해에 어떠한 영향을 미쳐 왔는지를 실증분석해 보고자 하였다. 과거 진행되어 온 하천 개수는 대부분 하천 주변의 범람지역(floodplain)을 정비하여 제방을 높이고 확보된 공간을 생산적인 토지 용도로 변화시키는 방향으로 이루어졌다. 하지만 이러한 방법은 토지의 생산성을 높일 수는 있겠지만 하천 범람시 오히려 피해를 늘릴 수 있는 요소로 작용하였다. 제방변수가 재해피해변수와 어떠한 방향으로 움직이고 있는지를 살피는 것은 정부정책의 효과성을 검증하는 데에 있어서 중요한 단서를 제공할 것이라는 것이 본 연구의 과제이다. 또한 이의 검정을 통해 구조적 수해관리정책의 효율성을 단적으로 살펴보고 향후 친환경적인 수해관리정책으로 패러다임 전환의 필요성을 제기하고자 하였다.

가설 4. 도시지역 수재해 취약성은 지역마다 차이를 보일 것이며 이러한 양상은 시간이 지나면서 더욱 크게 나타날 것이다.

수재해의 경우 지역마다 모두 다른 양상을 가지고 나타날 수 있으며 이러한 특성이 시간이 지나면서 더욱 커지고 있음에 착안하였다. 또한 각 지역마다 동일한 수재해에 대해서도 대처하는 방식에 따라 모두 다르게 나타나기 때문에 피해양상은 전혀 다를 수 있다. 특히 최근의 엘니뇨와 라니냐 같은 이상기후 현상이 재해발생의 불확실성을 더욱 크게 하는 상황이었어서 가설의 의미는 더욱 크다 하겠다. Godschalk(2003)은 자연재해관리정책이 지역의 특성에 기초해서 이루어져야 함을 강조하였는데 본 가설은 이와 맥락을 같이 한다고 볼 수 있겠다.

III. 분석모형의 선택 및 사례지 선정

1. 가설검정을 위한 분석모형의 탐색

본 연구에서는 이상에서 설정된 도시지역 수재해 취약성 변화에 관한 가설을 테스트하기 위하여 패널 데이터 분석모형을 구축하였다. 패널 모형은 패널 데이터가 가지고 있는 다양하고 풍부한 정보들을 가장 효과적으로 추출해 내는 분석기법으로서 계량경제학에서 가장 이상적인 분석기법으로 간주된다. 패널 데이터 분석은 시계열과정에서 발생하는 추정오차와 지역별 단위의 자료에서 발생하는 추정오차를 통제할 수 있는 장점을 가지고 있기 때문에 횡단면 또는 시계열 자료에 비해 현실을 보다 제대로 분석할 수 있는 장점이 있다(Baltagi, 2001: 5~9).

일반적으로 회귀방정식을 설정할 때 종속변수에 영향을 미치는 모든 변수를 포함할 수는 없다. 설사 모든 변수를 포함시킨다고 하더라도 그것이 가장 좋은 모형이라고 판단하기도 어렵다. 하지만 중요한 것은 종속변수에 매우 중요한 영향을 미침에도 불구하고 독립변수로 포함되지 않은 요인들이 있을 경우 추정된 모형이 매우 위험하게 된다는 것이다. 패널분석은 이러한 누락된 변수(omitted variable)에 대한 한계를 극복하는 데에 가장 큰 의의를 가지고 있다.

누락된 변수를 제어하기 위해서는 오차항에 대해서 개인(individual, 본 연구에서는 지역을 의미함) 간에는 다르나 시간변동이 없는 변수, 시간변화에 따라 변동하나 개인 간에는 차이가 없는 변수, 개인 간에도 차이가 있고 시간변화에 따라서도 변동하는 확률적 교란항으로 구분하여 다루게 된다. 이를 일반적인 선형 모형으로 표현하면 아래 식과 같다(Ashenfelter, et al., 2002: 268~269).

$$Y_{it} = a + X_{it}\beta + i_{it}$$

(단, $i_{it} = \eta_i + \xi_t + \epsilon_{it}$, i (지역)= 1,2,...,N, t (년도)=1,2,...,T)

η_i = 관찰되지 않은 지역특성 효과 (unobservable individual effect)

ξ_t = 관찰되지 않은 시간 효과 (unobservable time effect)

ϵ_{it} = 확률적 교란항 (remainder stochastic disturbance term)

한편, 이러한 오차항의 형태에 따라 Random Effect Model과 Fixed Effect Model로 나뉜

다. 어느 모형을 선택할 것인가는 연구자에게 매우 중요한 문제가 된다. 이들 모형의 선택은 단순한 선택의 문제를 넘어서 계량경제학계에서도 최근 크게 부각되고 있다(Baltagi, 2001: 20). 또한 이들 모형은 오차항 고려방식에 따라 One-Way Error Component Regression Model과 Two-Way Error Component Regression Model로 나누어지며 오차항에 대한 가정에 따라서 Fixed Effect Model과 Random Effect Model로 나뉜다.

패널 데이터 분석모형을 표기하는 데에는 학자들마다 그 형식을 달리하고 있다. 여기서는 가장 이해하기 쉬운 형태의 수식을 혼합하여 사용하도록 하겠다. 패널 데이터 분석모형은 기본적으로는 회귀모형(regression model)의 형식을 취한다. Fixed Effect Model의 경우는 개별특성효과를 고려한 회귀모형을 의미하며 식으로는 다음과 같이 표현된다.

$$Y_{it} = \beta_0 + \gamma_i + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \epsilon_{it}$$

여기서, Y_{it} 는 종속변수로서 i 번째 개인의 t 시점의 관측치를 의미하며 γ_i 는 개별특성효과, X_{kit} 는 독립변수, β_0 는 상수항, β_k 는 변수의 파라미터값, ϵ_{it} 는 확률적 교란항을 의미한다.

여기서 γ_i 가 Fixed Effect Model을 결정짓는 항이 된다. 이 모형의 특징은 개별특성요소(individual-specific component)가 개인마다 다르다는 설정을 하게 되며 시간에 따라 일정한 값(a constant over time)로 간주된다(Ashenfelter, et al., 2002: 263).

이 모형에서 고정효과는 마치 더미변수와 같은 역할을 하게 된다. N 개의 개인에 대해서 시계열로 더미를 부여하여 계수값을 추정하게 된다. 그러한 이유로 Fixed Effect Model에 의한 추정방식을 LSDV(Least Square Dummy Variable)이라고도 한다. 이 추정 방식을 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$Y_{it-1} = \beta_0 + \gamma_i + \beta_1 X_{1it-1} + \beta_2 X_{2it-1} + \beta_3 X_{3it-1} + \dots + \beta_k X_{kit-1} + \epsilon_{it-1}$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \gamma_i + \beta_1 X_{1it} + \beta_2 X_{2it} + \beta_3 X_{3it} + \dots + \beta_k X_{kit} + \epsilon_{it}$$

두 식은 시계열을 달리하는 똑같은 식이며 뒤 식에서 앞의 식을 빼 주면 다음과 같이 된다.

$$\Delta Y_{it} = \beta_1 \Delta X_{1it} + \beta_2 \Delta X_{2it} + \beta_3 \Delta X_{3it} + \dots + \beta_k \Delta X_{kit} + \Delta \epsilon_{it}$$

여기서 $\Delta Y_{it} = Y_{it} - Y_{it-1}$ 을 의미하며 γ_i 는 시간에 따라서 변하지 않는 일정한 값을

가지게 되므로 차분 과정에서 없어지게 된다. 따라서 이 식을 가지고 추정을 하게 되면 개인이 가지는 개별특성효과를 제거하고 추정할 수 있게 되어 관찰되지 않은 이질적 요소(unobserved heterogeneity)에 의한 문제를 해결할 수 있다.

본 연구에서는 이들 모형 중에서 One-Way Error Component Regression Model을 사용하여 수재해 취약성을 실증분석하였다. 그 이유로는 다음과 같다. 첫째, 지역특성효과와 시간특성효과가 모두 반영되는 Two-Way Error Component Regression Model의 경우 모델 내에서 도구변수를 지나치게 많이 생성하여 자유도가 심각하게 떨어져 계수추정이 제대로 이루어지지 않는 단점이 있었다. 둘째, 경기도의 지리적 범역이 서울 외곽에 광범위하게 걸쳐 있기 때문에 일정한 시기에 동일한 재해현상에 대해서 같은 반응을 보이지 않기 때문에 시간특성효과가 큰 의미를 가지지 않는다고 판단하였다.

2. 사례지역 및 변수의 설정

1) 사례지역의 선정 및 분석단위 조정

본 연구에서는 도시지역의 수재해 취약성 변화를 실증분석하기 위한 대상지역으로 경기도를 선정하였다. 경기도 내 개별 시군은 지역적으로 광범위하여 하나의 광역지자체이지만 자연적, 인문사회적, 물리적 환경이 시군마다 모두 달라 개별적인 지역 특성을 반영한 경기도의 수재해피해특성을 분석하기에 적절하다고 판단하였다. 21개 조정된 지역은 서로 이질적인 환경을 가진 시, 군으로, 본 실증분석에서 사용된 패널 모형의 결과가 더욱 효과적일 수 있음에 착안하고 있다.

또한 경기도는 수도권으로서 서울의 개발압력에 의한 도시적 토지수요가 지난 32년간 지속적으로 발생한 곳이라고 판단했다. 타 지역에 비해 급격한 도시화를 겪으면서 동시에 수재해에 대한 취약성도 함께 증가했던 곳이기도 하다. 또한 서울에 인접하여 개발잠재력이 매우 높기 때문에 다른 어떤 지역보다 도시화에 따르는 수재해 취약성 변화를 가장 잘 파악할 수 있다고 판단하였다.

이에 경기도 전체 31개 시군을 대상으로 32년 시계열 데이터를 구축하였다. 하지만 지난 32년간 경기도는 잦은 행정구역의 변천을 거쳐 현재의 31개 시군에 이르고 있었기 때문에 행정구역의 조정이 불가피하였다. 경기도 내 시군에 대해 32년간 시계열 데이터를 구축하여 패널 데이터 분석을 하기 위해서는 이렇게 변화된 도시들에 대한 통합조정이 필요했다. 이에 본 분석에서는 경기도 내 개별 시군을 <표 2>와 같이 조정하였다.

<표 2> 경기도 내 시군의 행정구역변화를 감안한 분석지역 설정

분석대상 지역수	통합된 시군	분석 통합 지역	분석대상 지역수	통합된 시군	분석 통합 지역
1	수원	수원	12	김포	김포
2	성남	성남	13	여주	여주
3	시흥군, 시흥시, 광명, 과천, 군포, 의왕	시흥	14	양평	양평
4	부천	부천	15	의정부	의정부
5	평택시, 평택군, 송탄	평택	16	양주, 동두천, 구리, 남양주, 미금	양주
6	안산, 반월, 화성, 오산	화성	17	고양	고양
7	하남, 광주	광주	18	파주	파주
8	용인	용인	19	포천	포천
9	안양	안양	20	가평	가평
10	이천	이천	21	연천	연천
11	안성	안성			

2) 변수의 설정

21개의 조정된 지역에 대해서 앞서 제2장에서 고찰한 논점을 토대로 도시지역 수해결정요인과 관련한 변수를 아래와 같이 선정하였다. 변수는 크게 종속변수와 독립변수로 나누었으며 독립변수는 다시 자연적 요소, 인문적 요소, 물리적 요소, 방재적 요소로 구분하였다.³⁾

먼저, 종속변수로서 자연재해피해액을 선택하였다. 본 연구의 내용적 범위가 수해에 한정되지만 종속변수로서 자연재해피해액을 사용한 것은 우리 나라의 경우 자연재해 대부분이 수재해에 해당되기 때문에 일관성의 상실은 크지 않다고 판단하였다.

또한, 독립변수로서 수해의 취약성을 증가시키는 불투수면을 분석에 반영하기 위해 물리적 요소로서 도시적 토지이용면적을 선택하였다. 본 연구에서는 불투수면의 산정방법으로 간접측정법 중에서 토지이용분류를 활용한 방법을 사용하였으며 이는 지적통계상의 지목별

3) 최충익(2003)은 경기도 9개 시의 22년(1979년-2000년) 시계열 데이터를 가지고 도시의 자연재해 취약성에 영향을 미치는 요소를 인문적 요소, 물리적 요소, 자연적 요소로 구분하고 이들이 도시의 자연재해피해에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다. 하지만 9개 시에 대한 횡단면 자료와 시계열 자료를 하나의 데이터 셋으로 분석하여 개별 시군의 고유한 재해특성을 반영하는 패널 데이터 분석을 하지 못하였다. 결과적으로 개별 시군에 대한 특성을 감안하지 못하여 자연재해에 영향을 미치는 관찰되지 않은 지역의 특성을 고려하지 못한 한계가 있었다. 또한, 경기도 31개 시군 전체를 분석하지 않고 9개 시만을 선정하여 분석하였기 때문에 경기도 전체의 재해피해함수 특성을 제대로 반영하기 어려운 한계가 있었다.

자료를 활용하여 산정하는 방법이다. 지목을 활용하는 경우에는 지목별 지적자료의 대지, 공장용지, 학교용지, 도로용지 등 도시의 대표적인 구조물이 입지한 지목분류를 불투수면으로 적용하는 방법이다. 이는 전통적인 수공학적 기법과 비교할 때에 다소 오차는 발생하지만, 대규모 도시지역의 전체적인 불투수면 면적을 파악하는 데에는 매우 유용하다. 토지이용변화가 빈번하게 일어나는 도시지역에서는 불투수면이 계속 증가하기 때문에 이러한 변화를 살피는 데에 매우 효과적이다(최지용, 장수환, 2003: 82). 본 연구에서는 불투수면의 비율이 높은 대지, 공장용지, 도로 이상 3개 지목을 도시적 토지이용면적으로 산정하였다.

자연적 요소로서는 연평균강수량, 월강우집중도, 하절기강우집중도, 하천면적을 선택하였다. IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)에서는 최근에 기후의 특성에 변화가 생겼음을 보고하면서 보다 현실적인 자연재해피해 모형이 만들어져야 할 필요성을 강조하였다(IPCC, 1996: 335). 이에 보다 복잡해진 강우의 패턴을 모형에 반영하기 위해 강우집중의 양상을 설명해 주는 월강우집중도와 하절기강우집중도를 변수로 선택하였다. 월 강우집중도는 연평균강수량 대비 최대 월강수량의 비율을 의미하며 하절기 강우집중도는 연평균 강수량대비 6, 7, 8, 9월 하절기 강수량의 비율을 의미한다. Changnon(2001)은 최근의 수해 피해가 이상적인 강우 패턴에 있다고 주장하면서 자연적 요소의 중요성을 강조하였다.

자연적 요소의 변수로 선정된 하천면적의 경우 사례 대상지 내의 유역별 하천특성을 자세하게 나타내 주지는 못 하지만 지역별로 하천의 유무와 규모에 따르는 도시지역의 수해 피해 양상을 보여줄 수 있다고 판단하였다. 기본적으로 도시지역의 수해가 하천에 의해 발생하는 것을 볼 때 도시 하천면적의 변수지정은 타당하다 하겠다.

인문적 요소로서 인구밀도를 선택하였다. Changnon, Pielke, Sylves, Pulwarty(2000) 등은 최근 증가하는 자연재해피해액의 근본적인 원인이 인문적 요소에 있다고 주장하면서 인구증가 및 인구밀도에 대한 중요성을 언급하여 실증분석에서 인구변수가 반영되어야 함을 시사하고 있다. 본 연구에서는 도시화의 중요한 척도로서 인구밀도를 선정하였으며 이를 모형에 반영하여 인구밀도에 의한 수해 피해의 영향정도를 분석하고자 하였다.

IV. 패널모형을 이용한 수재해 취약성 변화분석

1. 실증분석모형

본 연구는 도시지역에서의 수해결정요인을 고찰하기 위해 경기도 개별 시군을 사례로 패널 모형을 이용하여 실증분석을 하였다. 이는 가장 합리적인 수해관리정책 연구를 위해서는

개별 지역의 특성을 감안한 분석이 이루어져야 한다는 Rayner & Malone(1998)의 주장에도 합한다고 볼 수 있으며 개별 지역 단위의 데이터에 기초한 분석이 이루어져야 한다고 한 Pielke & Downton(2000)의 주장과도 맥을 같이 한다고 볼 수 있겠다.

모형의 결정에 있어서는 외생성(exogeneity)을 확보하고 편이(Bias)를 줄이기 위해 제3의 요인들을 통제하기 위해 다양한 변수들을 넣어야 할 필요가 있었다. 특히 사회과학에서는 실험상황을 재현하기 어렵다는 것과 수해와 관련된 다양한 인자들 역시 모형 내에서 통제해야 함을 감안하면 여러 요소와 관련된 변수들을 넣을 필요가 있었다. 하지만 변수가 지나치게 많아지면 Sampling Variance가 커지게 되고 계량경제학모형에서 가장 요구되는 단순성(Parsimoniousness)을 달성하기 어려운 단점이 있어 일부 중요도가 떨어지는 변수는 분석에서 제외하였음을 밝힌다.

수재해에 영향을 미치는 요소는 복잡다양하기 때문에 본 연구에서는 수재해와 그에 영향을 주는 요인들로 이루어진 수재해 피해함수를 설정하였다. 먼저, 수재해를 종속변수로 설정하였으며 이에 영향을 미치는 요소로서 인문·사회적 요소, 물리적 요소, 자연적 요소로 정하였다. 인문사회적인 요소로 인구밀도(popdn)를 물리적 요소로 도시적 토지이용면적(landuse)을 자연적 요소로 강수량(연평균강수량-prep, 하절기 강우집중도-prepsum, 월 강우집중도-preprat)과 하천면적(river)을 설정하였다. 또한 방재적 요소로서 제방면적(levee)과 임야면적(forest)을 선정하였으며 지역의 전반적인 방재능력을 나타내는 재정자립도(finance)를 변수로 선정하였다. 여기서, U_i 는 모형 내의 변수들이 설명하지 못하는 확률적 교란항을 의미한다. 이들을 함수식으로 표현하면 아래 식과 같다.

$$D = f(\text{pop}, \text{landuse}, \text{forest}, \text{prep}, \text{preprat}, \text{prepsum}, \text{river}, \text{levee}, \text{finance}, U_i)$$

본 연구에서는 이들 변수들과 종속변수와의 관계를 선형관계로 보고 패널 분석을 시행하였다. 선형관계를 가정하고 다중 회귀분석(multiple regression)을 하게 되면 다른 조건이 동일한 상황(ceteris paribus)하에서 특정 변수의 개별효과를 도출해낼 수 있기 때문이다. 또한, Gauss-Markov Theorem에 의해서 선형회귀모형이 주어졌을 때 계수 값을 최량선형불편추정량으로 추정할 수 있는 장점을 활용할 수 있기 때문이다.

이에 개별 변수의 변화율에 따르는 탄력성을 살펴보기 위해 자연대수식으로 모형을 설정하여 변환하였다. 로그를 취하여 변수를 변환시킬 경우 자료의 분산이 적어져 보다 안정되게 계수를 추정할 수 있도록 해주며 많은 경우 이분산성의 문제도 해결할 수 있게 된다. 로그변환된 식을 정리해 보면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \ln(D) = & \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{popdn}) + \beta_2 \ln(\text{landuse}) + \beta_3 \ln(\text{prep}) + \beta_4 \ln(\text{preprat}) \\ & + \ln \beta_5 (\text{prepsum}) + \beta_6 \ln(\text{river}) + \beta_7 \ln(\text{levee}) + \ln \beta_8 (\text{finance}) \\ & + \ln \beta_9 (\text{forest}) + u_i \end{aligned}$$

본 연구에서는 위의 모형을 기초로 하여 패널 데이터 분석을 실시하였는데 오차항을 지역 특성효과와 교란항으로 분해하여 살피는 One-Way Error Component Regression Model을 사용하여 연대별로 비교분석하였다.⁴⁾

본 연구에서는 Panel Data를 분석함에 있어서 SAS Release 8.01을 사용하였다. SAS에서는 패널 데이터에 대해서 두 가지 분석방법을 제공해 주고 있다. 하나는 TSCSREG(Time Series Cross Section Regression)와 MIXED가 그것이다. 하지만 본 연구의 자료는 1970년대에 누락된 자료가 있어서 TSCSREG로 분석을 하지 못하였다. TSCSREG도 버전 6.12부터 불균형 자료(unbalanced data)에 대한 분석을 제공해 주고 있으나 Parks Model, Fuller-Battese Model,⁵⁾ Dasilva Model⁶⁾의 경우 불균형 자료에 대한 분석이 불가능하여 MIXED를 사용하여 분석하였다. MIXED의 경우는 Parks Model에서 제공해 주는 세 가지의 기본적인 특성 중에서 두 가지를 지원한다. 즉, 이분산성(heteroscedasticity)제거 절차와 자기회귀오차모형 절차(autoregressive error process)를 사용하여 추정을 하며 동시성 상관관계(contemporaneous correlation)에 대한 처리는 지원하지 않는다.

2. One-Way Error Component Regression Model에 의한 연대별 수재해 취약성 변화분석

본 분석에서는 One-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model을 사

4) 전체적인 계수값의 유의성과 Hausman Specification Test를 통해 판단한 결과 경기도 개별 시군의 지난 32년 간의 패널 데이터를 가장 잘 적합시키고 정보를 효과적으로 이용한 모형은 One-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model로 나타났다. Two-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model의 경우에 있어서는 Random Effect Model에 비해서 자료 적합정도가 떨어지는 것으로 나타났으며 이는 지역특성효과와 시간특성효과를 고려하는 과정에서 지나치게 많은 자유도를 상실했기 때문인 것으로 판단된다.

5) Fuller-Battese Model는 횡단면에서의 개별특성효과를 일정한 확률분포의 값을 갖는다고 가정한 모델로서 분산요소모형(variance component model)이라고도 한다.

6) Dasilva Model은 오차항의 특성이 횡단면오차와 시계열오차 외에 별도로 주어진 기간에 걸쳐 이동 평균하는 설명되지 않는 오차로 구성되어 있다고 가정하는 모델이며 흔히 혼합분산요소 이동평균모형(mixed variance component moving average error model)이라고도 불린다. 이 모형은 2단계 GLS-type 추정법을 사용한다.

용하여 1970년대, 1980년대, 1990년대의 수해피해모형을 도출한 후 이를 연대별로 비교해 보고 지역별로 어떠한 변화가 있었는지 살펴보았다. 분석 결과는 다음의 <표 3>과 같다.

<표 3> One-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model에 의한 1970년대, 1980년대, 1990년대 수해피해함수 비교표

연대별		1970년대		1980년대		1990년대	
Effect	region	Estimate	standard error	Estimate	standard error	Estimate	standard error
지역 특성 효과	안 성	10.2454**	1.5928	9.8132**	2.2231	15.5057**	2.4049
	안 양	14.4830**	5.8652	20.5976*	11.0785	4.9541	10.9412
	부 천	12.2332	7.7789	20.0843	16.1423	-6.1830	16.7400
	가 평	11.4036**	3.4397	13.7975*	7.0068	27.4881**	7.2236
	김 포	10.6308**	2.5011	11.8355**	4.4322	2.1644	5.1577
	고 양	11.3538**	2.2717	13.3894**	4.2494	8.2084**	3.7076
	광 주	14.7576**	1.9248	14.6419**	3.3593	22.0950**	3.7128
	화 성	11.2044**	2.0130	9.3338**	3.0053	19.2894**	3.4480
	이 천	10.0278**	1.2772	11.3280**	1.2348	11.9641**	1.3942
	파 주	11.0122**	1.4745	10.5576**	2.6689	14.6058**	3.8087
	포 천	11.3359**	2.9065	12.5843**	6.2086	25.1154**	6.0704
	평 택	9.2543**	1.5975	9.0368**	4.1124	3.9779	3.7478
	시 흥	10.5239**	2.0240	11.9954**	3.4263	13.2505**	3.3468
	성 남	10.5338**	3.8014	13.7926**	6.1176	9.7652	6.0761
	수 원	12.8893**	5.6680	16.3811	10.3417	-0.5366	9.9884
	의정부	10.2304**	4.9825	19.7786**	8.9603	10.1376	8.6289
	양 주	9.4896**	3.1246	10.2574*	6.1899	26.1913**	6.4602
	양 평	14.2912**	3.2324	12.1997*	6.7992	24.5771**	7.0585
여 주	14.2271**	2.2888	12.0604**	3.3298	14.7464**	4.0379	
연 천	14.4540**	2.7787	16.6068**	3.7047	19.3011**	4.3260	
용 인	12.0733**	2.1663	11.4252**	3.3879	21.0817**	3.1975	
LN_LAND	도시적 토지이용	1.6239	1.8206	5.3824*	2.7656	4.5353**	1.7323
LN_RIV	하천면적	-0.3065	1.1580	0.03127	1.8127	2.0970	1.9393
LN_LEVEE	제방면적	1.3606**	0.4933	1.5742**	0.6227	0.7097	0.8663
LN_FORES	임야면적	-0.01150	2.4559	-0.1340	5.6967	-12.5865**	5.5277
LN_PREP	강수량	2.7036**	1.0246	4.2899**	0.7445	0.9975**	0.3585
LN_PRERA	월강우 집중도	2.1250**	0.7296	0.3207	0.7588	0.6892	0.7934
LN_PRESU	하절기 강우집중도	1.0529	1.3461	6.2933**	1.2980	6.0401**	1.6515
LN_POPDN	인구밀도	1.1507	1.8194	-0.2209	1.8733	-1.5967	1.5658
LN_FINAN	재정자립도	-1.6075**	0.7851	-1.7390	1.0908	-3.7954**	1.0197

* 유의수준 $\alpha=0.10$ 에서 유의함
 ** 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 유의함

한편, 연대별 패널 모형의 구조적 안정성에 변화가 있었는지를 살펴보기 위하여 Chow Test를 실시하였으며 그 검증방법은 다음과 같은 절차에 의하여 이루어졌다. 1970년대와 1980년대의 Chow Test의 경우 첫째, 1970년대와 1980년대의 관측치를 통합하여 통합된 패널 모형을 구하고 이 때의 RSS를 구하고 이를 S1으로 놓는다. 둘째, 1970년대와 1980년대의 개별 회귀식을 추정하여 이 때의 RSS를 각각 S2와 S3로 놓는다. 셋째, 이 때 S4는 S2와 S3의 합으로 계산되며 S5는 S1-S4로 계산되어 Chow Test를 실시하게 된다. 검정은

$$F = \frac{S_3 k_f}{S_4 (n_1 + n_2 - 2k)}$$

에 의해서 자유도(df)=(k, n1+n2-2k)에 의해 계산된 F값이 일정 유의수준에서의 F임계치보다 크면 1970년대와 1980년대의 패널모형은 동일하다는 귀무가설을 기각하게 된다. 1980년대와 1990년대 역시 동일한 방법에 의해 비교되었다.

분석결과 1970년대와 1980년대를 비교한 Chow Test 통계량은 12.6으로 나와 0.01 유의수준하의 기술통계량인 2.41보다 커서 모형의 차이가 있음을 확인하였다. 한편, 1980년대와 1990년대의 모형 역시 통계량이 28.51로 나타나 기술통계량인 2.41보다 훨씬 큰 수치를 나타내 전체 모형에서 구조적 변화가 있었음을 나타내고 있었다. 따라서 1970, 80, 90년대의 연대 구분은 매우 의미가 있음을 나타내었으며 이들 기간 동안 뚜렷한 수재해 취약성의 변화가 존재하였음을 시사하고 있었다.

계수값의 추이를 살펴보면 도시화요소로서 도시적 토지이용의 경우 1.623이었으나 1980년대에는 5.38, 1990년대에는 4.53으로 80-90년대에 급격히 커졌음을 알 수 있다. 이는 최근의 도시개발에 의해 수해 피해가 늘어났음을 시사하고 있다. 인구밀도의 경우 1970년대에는 (-)를 보이다가 1980년대에 (+)로 전환하여 1990년대에는 -1.5967의 값을 보여 인구밀도가 수해 피해를 저감하는 효과를 준 것으로 나타났다. 이는 인구밀도의 증가가 반드시 수해 피해액을 증가시키지는 않을 것이라는 가설을 뒷받침해 주며 일정 수준 이상의 도시화는 오히려 수해 피해를 감소시킬 수 있는 저항력을 가지는 것으로 판단된다. 왜냐하면 산업화, 고도화된 도시에서 인구밀도가 증가할 경우 잘 갖추어진 재해 장비와 조직을 활용하면 오히려 수해에 더욱 적절하게 대응할 수 있도록 해 주기 때문이다. 하지만 인구밀도 변수의 계수값의 유의성이 떨어져 인구밀도의 효과를 확정짓기는 어려운 것으로 판단된다. 다만, 유의미한 (+)값이 나오지 않음은 적어도 인구밀도가 수해 피해에 적극적인 영향을 미치지 않음을 의미하며 적절하게 도시성장(smart growth)이 이루어진다면 수해 피해를 저감시킬 수 있음을 시사하고 있다.

하천면적의 경우는 1970년대, 80년대, 90년대 전 시기에 걸쳐 의미가 없었던 것으로 나타났다. 이는 행정구역 내에 하천면적이 많다고 해서 수해에 더 취약하지 않음을 의미한다. 방재적 요소로서 제방면적의 경우는 전 시기에 걸쳐서 (+)값을 보이고 있는데 이는 제방면적 증가가 수해 피해 저감에 별다른 영향력을 미치지 못하였거나 아직 충분한 제방이 확보되지

않았음을 의미한다. 임야면적의 경우 전 시기에 걸쳐 (-)값을 보이고 있으며 특히 1990년대에 급격하게 증가하여 -12.58을 보이고 있는데 이는 1990년대에 산림훼손에 의한 수해 피해가 큰 영향을 미쳤음을 시사하고 있다. 한편, 재정자립도는 1970년대, 80년대, 90년대 모두 (-)의 값을 나타내고 있었으며 그 절대값이 커지고 있었다. 이는 재정자립도가 높은 지역일수록 수해 피해가 적었음을 의미하며 시간이 지남에 따라 그 경향이 뚜렷해짐을 나타내고 있었다. 특히 90년대의 경우 -3.79로 나타나 재정자립도가 높은 도시가 수해에도 강한 경향을 보이고 있음을 실증하고 있었다.

3. 가설의 검증 및 정책적 시사점

지금까지 1970년대, 80년대, 90년대에 대한 One-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model 분석결과에 대해서 살펴보고 연대별 특성을 살펴보았다. 이상의 분석 결과를 토대로 앞서 설정된 가설에 대한 검증 및 정책적 시사점에 대해 살펴보면 다음과 같다.

패널 분석을 통해 가설 1에 대한 검정을 한 결과, 강수량, 월강우집중도, 하절기 강우집중도의 자연적 요소가 수해 피해에 유의미한 영향을 미치고 있음을 확인하였으며 수해결정요인으로서 가장 큰 영향력을 행사하고 있음을 확인하였다. One-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model에 의한 계수추정 결과 자연적 요소의 경우 변수의 탄력성 합계가 전 기간에 걸쳐 도시적 토지이용의 탄력성에 비해 월등히 큰 것으로 나타났으며 이는 수해에 있어서 자연적 요소가 가장 많은 영향을 미치고 있음을 입증하고 있었다. 1980년대에 그 성향이 가장 뚜렷했으며 이러한 분석 결과는 Pielke & Downton(2000)의 실증 분석 결과와도 일치하고 있었다. 1980년대 이후 하절기 강우집중도가 매우 탄력성이 높게 나타나고 있음을 볼 때 6, 7, 8, 9월의 강수량에 수해 피해가 집중되고 있음을 짐작하게 해 주며 하절기 강우집중인 6, 7, 8, 9월에 수해저감 대책이 보다 집중적으로 이루어질 필요가 있음을 시사하고 있었다. 연대별 모형에서 1990년대 모형을 보면 자연적 요소의 탄력성(강수량, 월강우집중도, 하절기강우집중도)이 7.71로 가장 높은 수치를 보였으며 이는 최근의 이상 기후현상에 피해가 늘어나고 있음을 간접적으로 입증하고 있었다.

가설 2를 검증한 결과 단순히 도시화가 수해 피해를 크게 하는 속성만을 지니고 있지 않음을 확인하였다. 도시적 토지이용과 인구밀도의 추정된 계수값을 살펴보면 부호가 서로 다르게 나타나 두 변수가 일정한 효과를 가지지 않음을 확인하였다. 지난 32년간 경기도 개별 시군의 실증분석에서 단순히 인구밀도의 증가가 재해 피해를 늘린다고 단정하기는 어려웠다. 인구밀도의 증가는 도시의 체계적인 대응능력을 향상시켜 수해를 저감시킬 수도 있음을 시

사하고 있었다. 도시가 성장하고 발전함에 따라 그만큼 수재해에 대한 준비를 강화시킬 수도 있는 가능성을 확인한 것이기도 하다.

한편 도시적 토지이용의 증가가 도시지역의 수해 취약성을 가중시켰음을 확인하였다. 이는 도시화요소로서 도시적 토지이용이 도시지역의 수해결정요인에 있어서 인구밀도보다 유의미한 변수임을 나타낸 것이며 향후 인구밀도보다는 토지이용계획을 활용한 수해관리정책이 수립될 필요가 있음을 시사하고 있다. 또한 이러한 실증분석 결과는 단순한 인구밀도의 증가보다는 저밀 스프롤 도시개발에 의한 영향력이 오히려 심각할 수 있음을 지적하고 있는 기존의 연구결과(CWP, 1998; DE DNREC, 1997; Dreher & Price, 1994; Maurer, 1996; SCCCL, 1995)와도 그 맥을 같이하고 있음을 확인하였다.

가설 3을 검증한 결과 지난 32년간 도시지역 구조적 수해관리정책으로서의 제방시설은 피해를 줄이는 데에 효과적이지 못하였음을 확인하였다. 정책 변수로서의 제방변수 계수값은 매우 유의미한 것으로 분석되었으며 (+)값을 나타내 수해 피해액과 그 방향을 같이하고 있었다. 이는 수해를 저감하기 위해 계속해서 제방을 쌓았지만 제방에 의한 저감효과가 크지 않은 것으로 판단되며 오히려 재해 피해를 늘려온 것으로 실증되었다. 따라서 향후 제방시설을 늘리는 것이 더 이상 수해를 저감하는 데에 큰 효과를 거두지 못할 것임을 시사하고 있으며 이에 따라 장래 수해관리정책의 방향이 새롭게 설정될 필요가 있음을 보여 주고 있었다. 앞서, 도시적 토지이용이 도시지역의 수해결정요인에 있어 중요한 요소가 됨을 감안해 볼 때 향후 토지이용계획을 활용한 수해관리정책이 효과적일 수 있음을 시사하고 있다.

가설 4를 검증한 결과, One-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model이 주어진 데이터를 잘 적합함을 확인함으로써 수해 피해가 지역마다 각기 다른 양상과 패턴을 가지고 나타남을 확인하였다. 또한 연대별 지역특성효과 변화 추이를 살펴보았을 때, 시간이 갈수록 지역 간 계수값 차이가 커져서 수해피해양상이 점점 복잡해지고 다양해짐을 확인할 수 있었다. 이는 시간의 흐름에 따라 관찰되지 않은 변수에 의해서 수해 피해가 증가하고 있음을 의미한다. 즉, 지난 32년간 독립변수들만으로는 설명이 되지 않는 어떤 요인으로 인하여 21개 지역 모두에게 수해 피해를 증가시키는 구조적이고 체계적인 영향력이 작용했음을 확인하였다. 이러한 영향 요소로서 엘리노 및 라니나와 같은 급격한 기상변화를 들 수 있겠으며 이에 대해 보다 체계적인 대책수립이 필요함을 시사하고 있다.

따라서 효과적인 수해관리정책을 펴기 위해서는 각 지역의 실정에 맞는 수해관리정책을 수립할 필요성이 있으며 수해 피해에 대한 불확실성을 해소하기 위해 지속적인 방재 투자에 관심을 기울일 필요가 있다. 한편, 개별 시군의 지역특성을 가장 잘 파악하고 있는 해당 시군에서 1차적인 수해관리를 감당할 필요가 있으며 지역별 특성이 수해 피해에 있어서 중요한 요소가 된다면 지방정부에 위험지역을 통제 및 계획할 수 있는 권한을 이양하는 것도 고려할

수 있겠다.

이상의 내용을 토대로 정책적인 함의를 정리해 보면 다음과 같다. 첫째, 수재해에 영향을 미치는 중요한 요소로서 강수량 등의 자연적 요소를 통제할 수 없다고 본다면, 첨단 홍수에 경보시스템 및 재해위험지도를 개발하여 예방기능 및 재해대응기능을 향상시킬 필요가 있겠다. 둘째, 수재해저감을 위한 제방이 제 역할을 하지 못해 왔고 도시화에 의한 도시적 토지이용면적의 증가가 재해 피해에 중대한 영향을 미치고 있음과 임야면적과 같은 불투수층이 재해 저감에 효과적임을 볼 때, 향후 도시개발은 산림훼손을 최소화하면서 이루어져야 할 것이라는 것이며 개발이 이루어지더라도 투수층을 확보하는 토지이용계획기법이 활용될 필요성이 있음을 시사하고 있다. 녹색주차장, 옥상 유출수관리, 홍수터 관리, 오픈 스페이스 주거지 분할 등은 구체적인 계획기법의 좋은 예가 될 수 있을 것이다. 셋째, 지역마다 수재해 특성이 다를 때에 이들의 특성에 기반한 수재해 관리정책을 수립함으로써 보다 방재효과를 극대화시킬 필요가 있겠다. 또한 정보통신 기술을 활용하여 지역 간 정보를 실시간으로 교환하여 실정에 맞는 재해대응전략을 수립할 필요가 있다.

V. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 도시지역 수재해 취약성 변화에 대한 실증연구를 통해 향후 수재해 관리정책에 있어서 바람직한 방향제시를 하기 위한 목적으로 경기도 사례지역을 대상으로 도시지역 수해를 늘리는 요소가 무엇인지를 파악하고자 하였다. 실증분석 내용을 전체적으로 살펴보면 One-Way Error Component Regression Model의 연대별 Fixed Effect Model이 주어진 데이터를 잘 적합시킨 것으로 확인되었으며 지역특성효과의 계수값도 모두 10을 넘어 패널 데이터 분석이 매우 효과적이었음을 알 수 있었다. 아울러 적용된 모형에 따르는 결과비교분석은 타 모형에 비해 패널 분석이 계수 값을 과대추정하지 않아 분석결과가 타당함을 시사하였다.

본 연구의 분석결과를 가지고 장래 수해규모에 대해 선부른 결론을 내릴 수는 없지만 지난 32년간의 실증분석 결과를 활용하여 향후 수해관리정책의 방향을 제시해 줄 수 있다고 판단된다. 한편, 본 실증연구를 통해 추정된 계수는 어디까지나 경기도 내 21개의 조정된 지역에 대해 지난 32년간의 데이터를 설명하고 있는 것으로 그 이전이나 그 이후에 대해서 내삽(interpolation) 및 외삽(extrapolation)을 하는 것에는 매우 신중을 기해야 할 것이다. 과거 데이터에 대해서 적합된 수식이기 때문에 향후 미래에 대해서 어떠한 것이라는 예측은 조심해야 하겠으며 그 이전 상황에 대해서도 소급하여 성급한 결론을 내리기에는 무리가 따른다. 더구나 수해의 발생은 워낙 복잡한 메카니즘을 가지고 있기 때문에 분석 기간을 벗어난 시간에 대해서 유추 해석을 함에는 각별히 유의할 필요가 있다.

본 연구는 실증연구의 진행과정에서 다음의 몇 가지 한계를 가지고 있다. 첫째, 패널 데이터 구축에 관한 한계이다. 경기도 32년간의 패널 데이터를 구축하면서 1970년부터 1975년까지의 데이터가 누락자료 및 통계자료 자체가 잘못된 경우가 많아 이를 처리하는 과정에서 자료의 손실이 발생했다. 또한 통계연보상에 누락된 해가 있는 경우 이를 다른 통계연보에서 채우는 과정에서 일관성 있는 데이터를 확보하는 데에 한계가 있었다. 균형 자료를 구축하지 못한 이유로 보다 다양한 분석이 이루어지지 못하였다. 둘째, 경기도 31개 개별 시군에 대해 패널 분석을 하는 과정에서 21개로 지역을 통합하는 과정에서 개별 시군의 특성이 사라졌다는 점에서 자료상의 한계가 있다. 예를 들어, 시흥의 경우 광명, 과천, 군포, 의왕이 통합되어 각각의 시군 특성을 반영하기 어려운 한계가 있었다. 셋째, 변수 설정에 대한 한계로 종속변수를 수해 피해액에 한정하여 분석함으로써 정신적인 피해나 간접적인 피해 등이 고려되지 못한 한계가 있다. 종속변수로 설정된 수해피해액은 재해연보상의 자연재해피해액을 의미하며 여타 재해에 의한 피해액도 포함되어 수해피해액만을 추출하지 못한 한계가 있다.

향후 관련 연구의 방향은 위에서 기술한 한계들을 극복하면서 이루어질 필요가 있으며 정책적인 활용도를 높이기 위해서 보다 많은 실증연구가 이루어져야 할 것이다. 최근 더욱 복잡한 양상을 띠고 있는 이상기후 현상에 대한 고려가 반영된 분석모형이 개발될 필요가 있겠다. 또한 본 연구에서 확인된 지역특성효과를 보다 구체화하고 명확히하는 연구가 진행될 필요가 있으며 이는 지역의 고유한 특성을 반영한 수해관리정책을 수립함에 있어서도 매우 유용할 것이다. 아울러, 수해관리에 대한 보다 많은 관심과 함께 학계의 후속 연구가 활발하게 이루어질 필요가 있으며 이러한 토대가 갖추어졌을 때 비로소 재해에 강한 도시(resilient city)를 만들 수 있을 것이다.

참고문헌

- 고재웅, 1980, “도시화에 따른 수문현상의 변동”, 『한국수문학회지』, 제13권 제2호, pp. 10~13.
- 김광목, 1991, 『도시하천의 치수대책 및 관리방안 연구 -서울시를 중심으로-』, 국토개발연구원(현 국토연구원).
- 김명국, 1988, “과거의 홍수재해와 특성분석”, 『한국수문학회지』, 제21권 제2호, pp. 151~154.
- 김영한, 1986, “도시 상습침수지구의 토지이용특성에 관한 연구 - 대구시를 중심으로”, 계명대학교 석사학위 논문, pp. 49~58.
- 반효원, 2001, “유역분지의 개발 및 수해피해와 관련된 지역인자들의 분석-용인시 서북부 지역을 사례로”, 이화여자대학교 석사학위논문.
- 서우규 · 박문형 · 이동진 · 조원철, 1997, “도시화 유역에서의 강우특성 변화에 따른 유출영향분석”, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 244~249.
- 양유정, 2001, “탄천유역의 토지이용변화에 따른 하천유량변화 예측”, 서울대학교 석사학위 논문.
- 이정식, 1980, “도시화에 의한 강수량변화에 대한 통계학적 해석”, 제22회 수공학 연구발표회 논문초록집, 한국수자원학회, pp. 31~37.
- 임송태, 1996, 『재난종합관리체제에 관한 연구』, 한국지방행정연구원.
- 최지용 · 장수환, 2003, “유역관리 효율화를 위한 불투수면 지표개발과 적용 I”, 한국환경정책 · 평가연구원.
- 최충익, 2003, “도시적 토지이용의 변화가 도시의 자연재해 취약성에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한국토 · 도시계획학회지, 통권 127호, pp. 35~48.
- 최충익, 1999, “지방자치단체의 자연재해관리에 대한 연구”, 서울대학교 석사학위논문.
- 한국희 · 이길춘, 1996, “도시화 유역에서의 홍수유출 특성”, 한국수자원학회지, 제29권 제3호, pp. 153~161.
- Burby, R. J. and May, P. J., 1998, “Intergovernmental environmental planning: Addressing the commitment conundrum”, *Journal of Environmental Planning and Management*, Jan, Vol. 41. Issue. 1, pp. 95-110.
- Changnon, S. A., et al., 2000, “Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes”, *Bulletin of the American Meteorological Society*. Boston: Mar, Vol. 81, Iss. 3, pp. 437-442.
- Changnon, Ed., 1996, “The Great Flood of 1993”, *Causes, Impacts, and Responses*,

- Westview Press, p. 332.
- Changnon, S. A., 1980, "Removing the confusion over droughts and floods: The interface between scientists and policy makers", *Water Int.*, pp. 10-18.
- Comerio, M. C., 1998, *Disaster Hits Home*, University of California Press in Berkeley and Los Angeles & University of California Press in London.
- Gerald A. Meehl, et al., 2000, "An Introduction to Trends in Extreme Weather and Climate Events: Observations, Socioeconomic Impacts, Terrestrial Ecological Impacts, and Model Projections", *Bulletin of the American Meteorological Society*. Boston: March, Vol. 81, No. 3, pp. 413-416.
- Godschalk, D. R., 2003, "Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities", *Natural Hazards Review*, Aug. pp. 136-143.
- Hollis, E. G., 1974, "The effect of urbanization on floods in the Canon's Brook, Harlow, Essex", *Institute of British Geographers Special Publication*, No. 6, pp. 123-139.
- IPCC, *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, 1996.
- Kinosita, T. and Sonda, 1969, "Changes of runoff due to urbanization", *International Association of Scientific Hydrology Publication* 85, pp. 787-796.
- Lundgren, L. W., *Environmental Geology*, Prentice Hall, Inc., pp. 171-206.
- Pielke, R. A. and Downton, M. W., 2000, "Precipitation and Damaging Floods: Trends in the United States, 1932-97", *Journal of Climate*. Boston: Oct 15, Vol. 13, Iss. 20, pp. 3625-3637.
- Smith, D. I., 1993, "Greenhouse climatic change and flood damages, the implications", *Climate Change*, Vol. 25, pp. 319-333.
- Trenberth, K. E., 1997, "Global warming: It's happening", *Natural Science*.
- Wohl, E. E., 2000, *Inland Flood Hazards: human, riparian, and aquatic communities*, Cambridge University Press.