

# 도시화에 따른 수해 취약성에 관한 실증분석 - 경기도 패널데이터를 활용하여 -

최충익 중앙대학교 도시 및 지역계획학과 강사

주요단어 : 도시화, 수해취약성, 패널 모형, 친환경적 수해관리정책, 자연재해

## I. 서론

### 1. 연구의 배경 및 목적

산업화·도시화가 심화됨에 따라 도시의 토지이용은 더욱 집약적으로 이루어지고 있으며 그 영역도 점차 확대되어가는 양상을 띠고 있다. 이러한 도시적 토지수요의 확대에 따른 도시적 토지이용의 급격한 변화는 더욱 도시를 자연재해에 취약하게 하고 있다. 도시적 용도로 토지가 개발되는 과정에서 자연환경이 인공 건조물로 채워지게 됨에 따라 도시는 더욱 수해에 취약해지고 있다.

우리나라의 경우 자연재해의 90% 이상이 홍수, 호우, 태풍 등 주로 수해에 의한 다. 상대적으로 단조로운 재해양상에도 불구하고 우리는 매년 큰 피해를 입고 있다. 비록 국지적인 집중호우, 태풍, 해일 등 기후변화에 따른 기상이변현상으로 인해 재해원인이 다양해지고 있음은 부인할 수 없지만 재해를 극복하면서 도시가 성장할 수 있는 방안에 대해서는 소홀히 해왔던 것이 사실이다. 우리나라의 도시는 1960년대 이후 급격하고 압축적인 도시화과정을 거치면서 재해에 대해서는 거의 무방비 상태로 성장해왔다고 볼 수 있다. 도시화의 진행은 필연적으로 재해위험성을 증가시킬 수밖에 없음을 간과해온 것이다.

도시화는 인구증가와 토지이용의 변화를 동반하면서 도시에서 발생하는 홍수피해를 증가시킨다(Ellen E. Wohl, 2000: 3-5). 과거에 함수, 우수 기능을 담당했던 산림, 초지, 전, 답 등 농촌적 용도의 토지들이 아스팔트 포장과 시멘트 건물로 피복되어 저류기능이나 침투기능이 없는 불투수성 지표로 바뀌게 되었다. 이러한 불투수성 지표의 증가는 집중호우 시 도시지역으로부터의 강수 유출에 의한 홍수 도달 시간을 단축시키고 침투유량을 증대시킴으로써 도시하천의 치수 기능을 저하시키는 역할을 하게 된 것이다(Kinosita and Sonda, 1969). 특히 유역에서의 개발로 인한 토지이용의 변화는 단기간에 하천유량을 급격하게 증가시켜 홍수의 위험을 더욱 높이고 있다(Hollis, 1974: 123-139). 이렇듯 유역에서 불투수층인 도시지역이 증가함에 따라 하천의 침투유량이 증가하여 도시는 더욱 재해에 취약하게 되고 있다(양유정, 2001: 70-71). 최근 들어 엘니뇨와 라니냐 등의 이상기후에 따르는 집중호우현상은 도시의 홍수재해에 대한 가능성을 더욱 높이고 있다.

수도권 인근에서 일어나는 난개발은 도시 내에 충분한 기반시설 공급이 없이 이루어져 재해에 대한 위험을 가중시키고 있다. 개발행위에 따른 토지이용의 변화가 도시의 재해취약성에 미치는 영향이 어떠한지 보다는 오히려 경제적 타당성이 우선시 되어왔던 것이다.

과거 많은 연구들이 도시개발로 인한 수문 특성의 변화를 연구·분석하였고 그 중

일부는 재해 피해와의 상관성을 분석하기도 하였다. 또 많은 기상학자들이 강수량과 홍수 피해의 관계를 연구하였으며 엘니뇨·라니냐와 자연재해와의 연관성에 대해 분석하였다. 하지만 도시에서 일어나는 자연재해에 의한 피해는 단순히 자연적 요소에 의해서만 일어나지는 않는다. 그곳에 사람이 살지 않고 어떠한 시설도 있지 않다면 어떠한 피해도 발생하지 않을 것이기 때문이다. 그렇다고 인문사회적인 요소에 의해서만 좌우되지도 않는다. 자연적 요소에 의해 원인이 제공되지 않는다면 그 자체는 어떠한 재해피해액을 발생시키지 않기 때문이다. 또한 자연재해는 도시라는 물리적 공간을 통해 나타난다(Comerio, 1998: 4).

본 논문은 이러한 논의들을 종합적이고 체계적으로 바라보고자 시도하였다. 수해는 인간과 자연이 만들어낸 종합적인 현상이라는 점에 착안하고 있다. 따라서 자연적 요소뿐만 아니라 사회경제적 요소로서 도시화를 고려하여 수해를 바라볼 필요가 있다. 우리나라의 경우 1960년대부터 도시화에 따른 급속한 산업발달과 인구증가에 따라 토지이용강도와 재산 가치가 높아져 과거 침수가 되어도 피해가 크지 않았던 지역이 이제는 많은 피해를 내는 지역으로 바뀌게 되었다. 이러한 현상은 특히 수도권에서 더욱 극명하게 나타나고 있는데 이에 본 연구에서는 지난 32년간의 패널데이터를 토대로 도시화로 인해 수도권의 도시들이 얼마나 수해에 취약했는가를 실증분석 해보고자 하였다.

## 2. 연구의 범위 및 방법

본 논문에서는 도시화로 인한 도시의 수해 취약성을 살펴봄에 있어 실증분석을 위한 공간적 대상을 경기도로 정하였다. 경기도는 서울을 둘러싸고 있어 어느 지역보다도 과거 수십 년간 급속한 도시화를 경험하였으며 도내 31개 시군이 각각 다양한 인문지리적 환경을 가지고 있어 실증분석을 하기에 가장 적합하다고 판단하였다.

시간적 범위는 1971년부터 2002년까지 32년으로 년도별 시계열자료를 실증분석 하였다.

내용적 범위는 재해를 논의함에 있어서 인위재난이 아닌 자연재해를 주로 살펴보았으며 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 않음을 밝힌다. 또한 하천의 피해는 내수와 외수로 나뉘는데 본 논문에서는 내수와 외수 피해 모두를 피해액의 범위에 포함시켰다.

본 연구는 지난 32년간 도시화에 따른 수해 피해의 취약성을 실증 분석하는 데에 있으며 이를 위해 사례지역에 대한 패널 데이터를 구축한 후 패널 모형을 적용하여 분석하였다. 도시화에 따른 수해의 양상은 매우 복잡하기 때문에 이에 영향을 주는 모든 요소를 파악하여 그것을 일일이 변수화 하기란 거의 불가능하다. 하지만, 패널데이터 분석은 이러한 관찰되지 않은 생략된 변수(omitted unobservable variable)에 대해서 통계적으로 적절히 처리하여 줌으로써 최적의 모형을 선택할 수 있도록 해주고 있다. 아울러 지역마다 각기 다른 수해 양상을 가지고 있기 때문에 지역별 특성을 고려한 분석 모형을 사용함으로써 보다 다양한 분석을 할 수 있게 해주었다. 본 논문에서는 패널 데이터 분석기법인 One-Way/Two-Way Error Component Regression Model과 Fixed/Random Effect Model을 활용하여 최적 모형을 도출하고 이론적 배경을 토대로 설정된 가설을 검정하고자 하였다.

## II. 도시화에 따른 수해취약성

### 1. 도시의 수해발생과정

본 연구는 재해 중에서도 자연재해를 다루고 있으며 여러 가지 자연재해 중에서 수해를 중심으로 다루고 있다. 수해는 자연재해 중에서 물에 의한 자연재해를 의미하는데 보통 호우를 동반한 태풍이나 홍수에 의한 피해를 의미한다. 우리나라에서 발생하는 자연재해는 지진이나 화산폭발이 주민생활에 불편을 끼칠 정도의 수준으로 발생하지 않는 상황에서 수재해가 대부분이라고 할 수 있다. 하천의 구배가 급하고 하천의 길이가 짧은 지형적인 조건을 가진 우리나라에서는 집중호우에 따른 수재해가 발생할 가능성이 매우 높다. 특히 도시에서 발생하는 수해는 인구와 토지이용이 밀집한 곳에서 발생하는 피해이기 때문에 더욱 위협적일 수 있다. 때문에 도시에서 발생하는 수해에 대한 연구가 무엇보다 비중 있게 다루어져야 할 필요가 있다.

수해는 발생과정에 따라 크게 1차적 재해와 2차적 재해로 구분될 수 있다. 먼저, 수해는 기상요인인 강우에 의해 시작되며 지표면에 강하된 우량은 지표면 또는 배수시설로 유출되거나 지하로 침투된다. 이때 유출되는 유량은 재해요소가 되어 자연상태인 산지, 농토 혹은 도시지역의 배수시설을 거쳐 하천으로 유입되고, 이때 도시지역은 산지, 농토와는 달리 강우에 따른 유출량을 저수, 유수하는 특별한 시설이 없는 한 그대로 하천에 유입된다(이재길 외, 1998: 5). 하천으로의 유출량이 지표면, 또는 도시지역의 배수시설의 허용한계를 넘어서게 되면 이는 재해력으로 작용하여 침수, 범람 등의 하천유역의 피해와 산사태 등의 취약지역 피해현상으로 나타나게 된다. 수해는 재해력의 규모에 따라 1차적으로 하천 주변지역, 저지대의 시설과 가옥, 인명 등의 손실, 파괴, 유실현상을 초래하며, 2차적으로 피해지역의 전염병 확산, 사회질서 혼란 등 사회경제적 시스템에 장애를 일으키기도 한다(이재길 외, 1998: 5).

통상적으로 수해라 하면 후자를 의미한다. 강이나 호수에 의해 발생하는 수해는 도시 발생의 양상에 따라 외수피해, 내수피해, 토사유출<sup>1)</sup>에 의한 수해로 나뉜다(김광목, 1991: 10). 외수피해란 유로길이가 길고, 유역내 큰 도시하천이나 주변 대하천의 월류나 제방의 붕괴에 의한 범람으로 도시지역에 피해를 주는 우리나라 재해의 가장 고전적인 수해라 할 수 있다. 이것이 도시형 수해인가의 여부는 피해지역이 도시화된 지역인지 아닌지에 판단된다. 이러한 외수피해의 원인은 크게 자연적 원인과 구조적 원인으로 나눌 수 있는데 자연적 원인으로서는 먼저, 우리나라가 지형적으로 다우지역이고 강우가 대부분 하절기인 6-9월 사이에 집중분포한다는 점과 둘째, 유로연장이 짧고 급경사 하천이기 때문에 홍수도 달시간이 짧고 유사량(流砂量)이 많은 것을 들 수 있다. 또한 구조적 원인으로서는 중소하천 상류부의 홍수조절시설이 미비한 것과 하천관리 및 시설물 유지보수가 미흡한 것을 들 수 있다(김광목, 1991: 11-12; 최충익, 2003: 38).

다음으로 내수피해는 우수가 하천에 유입하여 외수로 되기 이전에 발생하는 수해로, 저지대의 시가지 및 미정비된 시가지에서 가옥 및 도시시설 등이 침수되어 나타나는 것을 말한다. 따라서 외수피해에 비해 피해는 적을 수 있으나 발생빈도는 외수피해보다 많으

1) 토사유출(土砂流出)에 의한 수해는 토석류, 축대붕괴 및 산사태 등의 3종류로 나눌 수 있는데 강우, 지형, 지질, 토질, 임상(林相) 등의 자연적 요인과 절성토, 벌목 등의 행위에 의한 인위적 요인에 의해 주로 발생하게 된다(김광목, 1991: 12). 하지만 이중 어느 특정 요인에 의해 발생하는 것은 아니며 여러 원인들이 복합적으로 상호관련되어 발생하고 있어 종합적인 대책이 필요하다.

며 도시하천 유역은 지형상 내수피해 발생지역이 광범위하고 넓다. 도시 수해는 토목, 건축 기술의 발달로 대형하천의 제방 붕괴에 의한 범람보다는 오히려 중소하천의 범람에 의한 피해와 도시 내 침수에 의한 피해가 문제가 되고 있으며 그에 따른 재산피해가 집중되고 있다(김광목, 1991: 11-12; 최충익, 2003: 38). 특히 최근 대부분 수해는 단기간의 집중호우로 인한 배수불량에 따르는 내수피해가 주종을 이루고 있어 이에 대한 대비가 시급한 실정이다.

이상에서 살펴본 바와 같이 도시의 수해는 도시화와 밀접한 관계를 맺고 있음을 알 수 있다. 사람이 살지 않고 개발이 되지 않은 땅이 물에 잠기는 것은 재해가 될 수 없다. 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 무조건적으로 피해가 늘어난다고 보기는 어렵다. 도시화에 따라 재해방지기술이 발달하기 때문에 재해를 저감시키는 작용을 하기 때문이다. 이하에서는 도시화의 개념에 대해서 살펴보고 도시화와 수해취약성에 대한 논의를 하도록 하겠다.

## 2. 도시화와 수해 취약성

### 1) 도시화에 대한 조작적 정의

도시화와 도시의 자연재해취약성을 논의하기 위해서는 먼저 도시화에 대한 개념적 고찰이 필요하다. 도시화(urbanization)란 도시적인 모습으로 변화되어 가는 과정을 의미하는데, 학문분야와 학자에 따라 각각 상이한 의미로 사용되고 있다(김추윤 외, 1998: 149). 이에 도시화에 관한 여러 가지 개념들을 살펴본 후 본 연구에서 쓰이는 조작적 정의(Operational Definition)를 내리도록 하겠다.

일반적으로 사회과학분야에서 사용하고 있는 도시화의 개념<sup>2)</sup>은 크게 세 가지로 쓰이고 있다. 첫째는 행태학적 개념(behavioral concept)으로 사회현상이나 지역이 어떠한 간에 개개 시민의 행태가 도시적으로 변화하는 것을 도시화로 개념 짓는다(양병이, 1970; 5-6)<sup>3)</sup>. 둘째는 구조적인 개념(structural concept)으로 개개 시민의 행태에는 관계없이 농업사회에서 비농업사회로 인구가 이동하는 것을 의미한다. 이 개념은 어느 지역 내의 산업이나 직업에 차이를 두고 있는 접근방법으로 경제개발 모델의 틀이 되고 있으며 사회과학분야에서 흔히 통용된다(양병이, 1970; 5-6)<sup>4)</sup>. 셋째 인구학적인 개념(demographic

2) Friedmann(1973)은 도시화의 개념을 도시화1과 도시화2로 세분하고 있다. 도시화1은 인구나 비농업적 활동이 지리적으로 도시환경에 집중하는 것을 의미하며 도시화2는 도시 가치, 행태, 조직, 제도 등의 지리적 확산을 의미한다(Friedmann, 1973: 65). 한편, 도시화를 산업화근대화와 연계시킨 연구도 있었다. 김형국(1997)은 근대화가 경제적으로는 산업화를, 공간적으로는 도시화를, 정치적으로는 민주화를, 문화적으로는 세속화를 뜻하는 복합적인 사회변혁이라고 하면서 산업화와 민주화와 세력화는 현장을 갖기 마련인 점에서 도시화는 바로 근대화의 터전이자 원동력이라고 해석했다(김형국, 1997: 58). 그러면서 도시화와 산업화를 합해 도시화1(urbanization 1)이라 하고, 도시에서 이루어지는 추상적인 모습의 근대화 곧 민주화와 세속화를 합해 도시화2(urbanization 2)라고 정의하였다(김형국, 1997: 58; Friedmann, 1973: 65)

3) 이 경우 도시지역, 특히 대도시는 사회변화의 중심지로 이해되며 태도, 가치 및 행동패턴은 도시규모와 밀도 및 그 주민의 이질성에 따른 특정 도시환경에서 형성되고 도시체계를 통한 확산과정을 통하여 다른 인구집단으로 전파된다(한국지리연구회, 1992: 108)

4) 이는 산업자본주의가 발달하여 사회가 구조적으로 변화하는 데에 주안점을 두고 있다. 도시는 자본주의 생산양식에서 가장 핵심이 되는 교환과정의 결절점이 되며 따라서 생산기능의 최적입지가 되며 이 경우 생산성

concept)은 도시화를 인구의 집중현상으로 보고 인구나 공간의 두 가지 변수만을 고려의 대상으로 하고 있으며 인간 행태학에서 많이 활용된다(양병이, 1970: 5-6). 인구학적 현상으로서의 도시화는 통상 국가와 같은 일정한 지역에서 도시가 절대적·상대적으로 성장하는 과정으로 이해된다<sup>5)</sup>.

도시화의 개념은 도시를 바라보는 시각과 입장에 따라서 다양한 해석이 이루어질 수 있다. 본 연구에서는 도시화에 따르는 도시의 수해취약성을 실증분석하기 위해 이론(異論)의 여지가 적은 개념들을 정리하여 도시화에 대한 조작적 정의를 내리고자 한다. 이에 도시를 농촌에 대비되는 개념으로 보고 도시화를 일정한 공간에서 도시적 토지면적을 증가시키면서 사람들이 밀집되어 살게 되는 현상으로 정의를 내리고자 한다. 이에 따라 실증분석에서 도시화를 파악함에 있어서도 인문적 요소로서 인구의 변화와 물리적·공간적 요소로서 도시적 토지이용면적의 변화를 통해 그 영향을 살펴보았다.

## 2) 도시화에 따른 수해취약성

앞서 도시화를 인구나 토지이용의 측면에서 살펴본다고 조작적 정의를 내렸다. 하지만 단순히 인구의 증가 자체가 수해를 늘린다고는 보기 어려우며 토지이용을 매개로 자연재해의 취약성이 가중된다 할 것이다(Lundgren, 1999: 192). 하지만 인구는 토지이용을 변화시키는 중요한 원인이 되기도 하며 반대로 토지이용이 인구에 결정적인 영향을 미치기도 하기 때문에 자연재해를 파악하기 위해서 이들의 고려는 불가피하다. 결국 인구의 증가는 산업의 발달과 함께 도시화 현상을 심화시키게 되고 하천연변 저지대가 시가화됨으로써 내배수 불량으로 인한 침수피해가 증가되는 메카니즘을 갖게 되는 것이다(이종태 외, 1991: 73).

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 호우시 자연적 배수 기능을 담당하는 토지 면적이 감소한다는 것이다. 결국 도시화는 토지의 형질을 변경하는 도시개발을 유발시키며 그에 따라 도시의 불투수면적이 증가하게 되고 침투율이 감소됨으로써 유출계수의 증가요인으로 작용하게 된다는 것이다. <그림 1>은 이를 잘 설명해주고 있다.

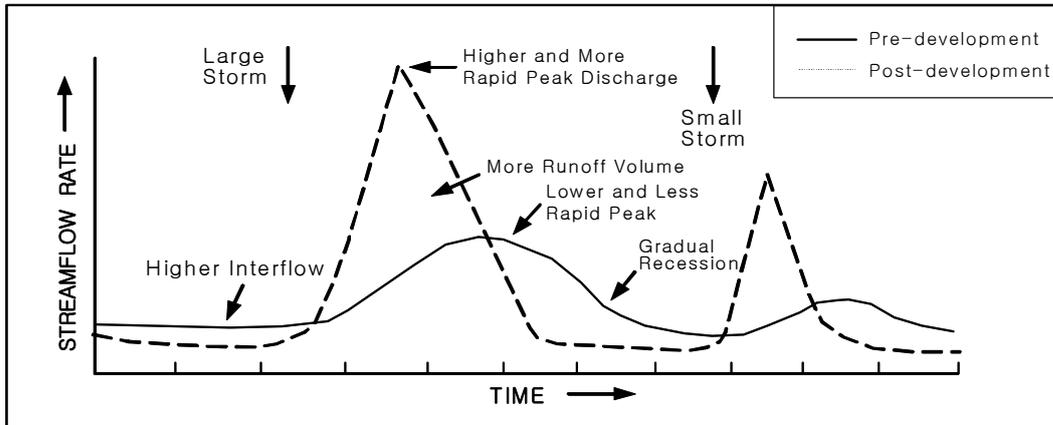
<그림 1>에서 실선은 개발 전의 유출계수 변화를 보여주고 있으며 점선은 개발 후의 유출계수 변화를 보여주고 있다. 그림을 보면 비가 많이 올 경우 비가 적게 올 경우에 비해서 점선과 실선의 격차가 더욱 커짐을 확인할 수 있다. 또한 실선의 경우 비의 양에 따라 유출계수의 기복이 적으나 개발 후에는 토지의 불투수면이 증가하게 되어 기복이 매우 심한 것을 확인할 수 있다. 즉, 개발된 토지에 단기간에 비가 많이 내릴 경우 유출계수가 커지게 되어 이를 처리하는 배수관에 많은 부하가 걸리게 되는 것이다. 최근의 피해가 하천 범람에 의한 외수피해가 아니라 이러한 내수의 피해가 증가하고 있음을 감안해보면 위 그림이 시사하고 있는 바는 크다 하겠다.

---

증가를 위한 규모의 경계를 달성하기 위해 도시에서 공장이 발달하게 되고 이익 창출을 위한 집적과 집중의 과정을 거치면서 도시화가 이루어진다는 것이다(한국지리연구회, 1992: 108).

5) 이러한 과정은 통상 도시지역에 거주하는 인구비율이 증가하는 단계와 대도시에 거주하는 인구비율이 증가하는 두 단계로 나타나며 도시화의 결과로 인구의 대부분은 대도시에 집중하게 된다(한국지리연구회, 1992: 108).

<그림 1> 도시개발에 따른 불투수면 증가에 의한 유출계수의 변화



출처 : Schueler, T.R., 1987. Controlling Urban Runoff : A Practical Manual for Planning and Designing Urban Bmps, Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, pp.1-1~1-10.

도시개발에 따르는 홍수특성의 변화에 관해 많은 연구가 이루어져 왔다<sup>6)</sup>. 정동국, 이범희(2003)는 시가지의 확장 및 개발에 따르는 도시에서의 강우-유출현상은 자연하천유역에 비해 더욱 복잡한 양상을 가짐을 실제 유역의 변화를 사례로 하여 실증분석 하였다. 사례지는 대전광역시의 노은지역이 선정되었으며 실제 유역 및 시설자료, 강우-유출 자료와 다양한 강우강도모형을 사용하여 실증분석을 하였다. 분석 결과 도시의 개발 전·후의 유출 양상을 살펴봤을 때 첨두유출량이 약 20% 정도의 증가율을 보였으며, 첨두 유량 발생 시각이 약 25분이 단축됨을 확인하였다. 따라서 첨두 유량 발생시각의 감소와 첨두 유출량적의 증가가 뚜렷해져 개발 전·후의 유출양상이 크게 변화됨을 보였다<sup>7)</sup>(정동국, 이범희, 2003: 84-85). 한편, 국립방재연구소(2000)는 동일한 유역에서도 개발사업이 이루어지는 공간적 위치에 따라 유출양상이 변화함을 분석하였으며 도시유역의 경우 산지유역에 비해 개발면적이 증가함에 따라 급격하게 첨두유출량이 늘어나고 있음을 실증 연구하였다.

이상의 논의를 요약해보면 도시화에 의해 수해가 늘어나는 직접적인 원인은 도시개발에 따르는 불투수면의 증가라고 요약될 수 있겠다. 따라서 수해의 취약성에 대한 실증분석을 위해서는 불투수면에 대한 고려가 필수적이라 하겠다. 이에 본 연구에서는 이러한 불

6) 한국회, 이길춘(1996)은 산본천 유역을 대상으로 유출해석을 하였다. 이 연구는 실측한 각종 자료를 유출해석 모형인 ILLUDAS를 이용하여 도시화에 따르는 첨두유량과 총유출량과의 관계를 실증분석하였다. 보다 구체적으로 살펴보면, 대도시 주변의 상류지역에 건설된 신도시 하천유역에 자기수위계를 설치하여 건설된 실측한 유량과 강우량 자료로 최적의 도시유출모형을 선택하여 유출량과 강우와의 관계만이 아니라 도시화와 의한 불투수면적의 증대 및 수로정비 정도에 따른 유출 특성을 규명하였다(한국회, 이길춘, 1996: 154). 결과로서 도시화에 의한 수문량의 변화는 유출율보다 첨두유량의 변화가 크며, 하천정비에 따른 유속의 증가로 수위는 감소하는 경향을 보였음을 밝혔다. 또한 동일한 조도계수, 선행강우 조건에서 강우 지속시간에 따른 강우량과 총유출량의 증가율은 거의 비례하지만 첨두유량은 영향이 적게 나타났다. 아울러 호우 현상에서 지속시간의 변화보다 재현기간의 변화가 첨두유량에 더 크게 영향을 미치는 것으로 분석하였다(한국회, 이길춘, 1996: 161).

7) 양유정(2001)은 서울의 탄천을 사례로 개발로 인한 토지이용의 변화가 하천의 유량을 어떻게 변화시키는 지 분석하였다. 택지개발이 유역의 불투수층을 증가시켜 하천의 첨두유량을 증가시킴을 실증하고 있다. 또한 유역에서 불투수층인 도시 지역이 증가함에 따라 하천의 첨두유량이 증가함을 정량적으로 분석하였다(양유정, 2001: 71). 이는 도시지역이 증가하고 임야가 감소하면 하천의 첨두유량이 증가된다는 것을 정량적으로 평가함으로써 도시개발이 환경수문학적 영향을 가지게 됨을 시사하고 있다.

투수면을 변수화하여 실증모형에 반영하였다.

### 3. 수해 발생의 메카니즘과 관련요소

수해는 유사이래 전세계적으로 가장 흔하게 발생하는 재해중의 하나로서 피해의 원인을 규명하기 위한 연구 역시 오래전부터 많이 이루어져 왔다. 이하에서는 최근의 연구동향에 대해 주로 소개하도록 하겠다.

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: 3626). 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 들어가며 기후와 함께 인구증가와 도시개발 및 정부의 정책이 얼마나 재해피해에 영향을 주었는지를 정리했다. 재해관련 학자들의 수해에 관련한 논의를 종합해보면 자연적 요소, 물리적 요소, 인문적 요소, 방재적 요소가 복합적으로 작용해서 수해가 발생하게 됨을 확인할 수 있다.

이러한 논의들을 종합적으로 정리해보면 크게 두 부분으로 나눌 수 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 저감정책<sup>8)</sup>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 만들어지는 현상이라고 볼 수 있다. 따라서 재해정책을 수립함에 있어서도 이러한 통합적인 개념틀(integrative framwork)를 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, 1966)는 기후 온난화로 인해서 홍수의 수리수문학적인 싸이클이 짧아지고 있으며 그 강도가 높아지고 있음을 밝혔다. 이론연구뿐만 아니라 모델링 연구결과도 이러한 가설이 사실임을 뒷받침해주고 있으며 실증연구 역시 비슷한 주장을 하고 있다(Trenberth, 1998;

8) Pielke & Downton을 비롯한 대부분의 방재학자들은 정부의 수해방지대책에 대해서 구조적인 방법(structural mitigation policy)과 비구조적인 방법(non-structural mitigation policy)으로 나누고 있는데 이에 대해서는 제3절에서 상세히 다루고 있다.

Karl & Knight, 1998; Karl et al., 1995). Karl & Knight(1998)는 미국에서의 홍수 규모가 커지고 있으며 이를 강수량 추세와 결부시키고 있다<sup>9)</sup>.

수해에 대한 원인이 1차적으로는 강수량 등의 자연적 요소에 기인하지만 최근 수십년간 수해 증가에는 사회적 요소의 변화가 중요한 원인을 제공했다는 주장이 일반적이다(Pielke & Downton, 2000: 3635; Rubiera et al., 2003: 101). Pielke & Downton(2000)은 실증분석을 통해 강수량이 수해에 매우 유의미한 영향을 미치고 있음을 보이면서 강우강도에 대한 변수와 인문사회적인 변수의 영향을 종합적으로 고려할 필요가 있음을 주장했다. 아울러 자연적 요소는 수해의 발생에 있어서 매우 중요한 요소가 되지만 수해의 규모에 있어서는 전혀 결정적인 역할을 하지 않음을 실증분석 했다. 그러면서 인간의 개발행위에 의해서 수해에 대한 취약성이 증가했다면 마찬가지로 논리로 인간의 노력에 의해 수해 취약성을 감소시킬 수 있음을 시사했다. 단적인 예로서, 물리적 요소인 도시적 토지이용의 증가는 홍수 피해액을 늘리는 요소로 작용하지만 투수층을 확보하는 토지이용계획을 활용한 도시계획은 수해에 대한 취약성을 감소시킬 수 있는 대안이 될 수 있다. OTA(Congressional Office of Technology Assessment)에서는 수해를 감소시킬 수 있는 가장 효과적인 방법으로 기후안정화나 구조적인 수해관리정책보다는 홍수터관리(flood plain management)에 의한 수해관리정책을 들고 있다(OTA, 1993; Pielke & Downton, 2000: 3635). Pielke(2000), Rubiera(2003), Landsea(2003), Fernandez(2003), Klein(2003) 등도 홍수 피해의 증가는 사회경제적인 요소에 의해 주로 결정되고 있음을 주장하면서 지속가능한 개발을 이루기 위해서는 빈부의 문제와 토지이용문제 그리고 환경청지기정신(stewardship)이 보다 중요한 요소로서 다루어져야 함을 강조하였다.

### III. 가설설정 및 실증분석을 위한 모형의 탐색

#### 1. 가설설정

본 연구에서는 이상에서 살펴본 내용을 토대로 다음과 같은 가설을 설정하여 검증하고자 하였다.

##### 가설 1. 도시화는 기본적으로 수해 피해를 크게 하는 속성을 지니고 있다

도시화라는 것은 단순히 인구의 증가뿐만 아니라 토지이용의 변화를 수반하게 된다. 본 논문에서는 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.

9) 우리나라에서도 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 변동특성 한계 내에 있음을 공식적으로 발표한 바 있음을 감안할 때 명확한 결론을 내리기에는 어려움이 따른다.

**가설 2. 수해는 인위적 요인에 의한 자연현상에서 발생하며 그 자연적 요소는 여타 요소에 비해 영향력이 크게 나타날 것이다**

자연적 요소와 도시화 요소의 영향력에 있어서 정도의 차이는 있겠지만 기본적으로 자연적 요소에서 더욱 크게 나타날 것이다. 도시에서의 수해는 기본적으로 증가할 수밖에 없는 취약성을 가지지만 이것은 자연적 요소에 의해 촉발되는 특성을 지닌다. 자연적 요소에 의해 촉발되지 않는다면 도시에서의 재해는 문제가 되지 않을 것이다. 최근의 기상변화는 홍수 및 태풍의 발생가능성을 매우 높이고 있어 자연적 요소(강수량, 월 강우집중도, 하절기 강우집중도)에 의한 자연재해의 위험성이 더욱 커지고 있는 상황이다.

**가설 3. 수해피해는 지역마다 각기 다른 양상과 패턴을 가지고 나타날 것이며 경기도 내 31개 시군 역시 저마다 다른 양상의 재해특성을 갖게 될 것이다.**

경기도의 경우 31개의 서로 이질적인 환경을 가진 시, 군이 입지해 있다. 즉, 자연재해의 경우 이들 지역마다 모두 다른 양상을 가지고 나타날 수 있다는 것이다. 또한 각 지역마다 동일한 자연재해에 대해서도 대처하는 방식에 따라 모두 다르게 나타나기 때문에 피해양상은 전혀 다를 수 있다. 경기도 내 31개 지역은 모두 상이한 환경을 가지고 있기 때문에 동일한 홍수 강도에도 그 피해액은 크게 차이가 날 것이다. 다시 말하면 지역의 고유한 특성에 따라 수해 피해양상은 다르게 나타날 것이라는 것이다.

## 2. 분석모형 설정

패널데이터 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. 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.

이들 누락된 변수를 제어하기 위해서는 오차항에 대해서 개인(individual, 본 논문에서는 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(Ashenfelter, et al., 2002: 268-269).

이러한 오차항의 형태에 따라 모형이 나뉘어지는데 이를 표로 나타내면 다음과 같다. <표 1>에서 모형 I는 One-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model을 의미하며 모형 II는 One-Way Error Component Regression Model의 Random Effect Model을 의미한다. 모형 III은 Two-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model을 의미하며 모형 IV은 Two-Way Error Component Regression Model의 Random Effect Model을 의미한다. 이하에서는 패널 모형의 대표적인 형태인 One-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model에 대해서 살펴보도록 하겠다.

<표 1> Panel Data Analysis의 구분

	Fixed Effect Model	Random Effect Model
One-Way Error Component Regression Model	I	II
Two-Way Error Component Regression Model	III	IV

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  $\gamma_i$ 는 개별특성효과,  $X_{kit}$ 는 독립변수,  $\beta_0$ 는 상수항,  $\beta_k$ 는 변수의 파라미터값,  $\epsilon_{it}$ 는 확률적 교란항을 의미한다.

여기서  $\gamma_{it}$ 가 Fixed Effect Model을 결정짓는 항이 된다. 이 모형의 특징은 개별 특성요소(individual-specific component)가 개인마다 다르다는 설정을 하게 되며 시간에 따라 일정한 값(a constant over time)로 간주된다(Ashenfelter, et al., 2002: 263). 따라서, Fixed Effect Model에 잠재되어 있는 핵심 가정은 개인마다 가지고 있는 관찰되지 않는 고유한 특성이 있다는 것이다. 다시 말하면, 그 개별효과는 확률적인 변동(random variation)의 결과가 아니라 장기간 고정적으로 지속되는 효과를 의미한다는 것이다. 만일 이 가정이 정확하다면 Fixed Effect Model에 기초한 패널 데이터 분석은 불편추정량에 가까운 계수값(unbiased coefficient)을 제공해줄 수 있게 된다. Fixed Effect Model의 추정 원리는 관찰되지 않은 어떤 이질적 요소(unobserved heterogeneity)에 의해 발생하게 되는 잠재적 편이(bias)를 패널 데이터를 활용함으로써 제거하는 데에 있다(Ashenfelter, et al., 2002: 264).

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 추정방식을 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 빼주면 다음과 같이 된다.

$$\Delta Y_i = \beta_1 \Delta X_{1i} + \beta_2 \Delta X_{2i} + \beta_3 \Delta X_{3i} + \dots + \beta_k \Delta X_{ki} + \Delta \epsilon_i$$

여기서  $\Delta Y_i = Y_{it} - Y_{it-1}$ 을 의미하며  $\gamma_i$ 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 요

소(unobserved heterogeneity)에 의한 문제를 해결할 수 있다<sup>10)</sup>.

### 3. 사례지역 및 분석변수의 선정

본 연구에서는 설정된 가설을 실증하는 사례지역으로 경기도를 선정하였다. 경기도는 지난 30년간 급격한 도시화를 겪으며 잦은 행정구역의 변천을 거쳐 현재의 31개 시군에 이르고 있다. 경기도 내 시군에 대해 32년간 시계열데이터를 구축하여 패널데이터 분석을 하기 위해서는 변천된 도시들에 대한 통합이 불가피해진다. 왜냐하면 일관된 데이터를 구축하여 실증분석을 할 필요성이 있기 때문이다<sup>11)</sup>.

아래의 표는 경기도 31개 시군이 지난 32년간 변천해온 행정구역을 분석단위별로 구분한 것이다<sup>12)</sup>. 분석의 편의를 위해서 행정구역을 통합하였으며 용인, 이천, 안성, 김포,

10) 추정방법에 대해서 살펴보면, 패널 데이터 분석에서의 Fixed Effect Model은 기본적으로 오차항에 대한 분해(decomposition)를 기본 개념으로 하고 있다. 이를 벡터의 개념을 도입해서 설명하면 다음과 같다.

기본적인 회귀식을  $y = X\beta + u$ 라고 하고, 오차항에 대한 기본 식을  $u = \alpha \otimes l + \epsilon$ 라 가정하면  $Var(u) = E(uu')$ 가 된다(여기서  $\otimes$ 은 Kronecker product를 의미한다). 이는 다시  $E[(\alpha \otimes l + \epsilon)(\alpha \otimes l + \epsilon)']$ 로 변형할 수 있다(여기서,  $\alpha$ 는  $N \times 1$ ,  $l$ 은  $T \times 1$ ,  $\epsilon$ 는  $NT \times 1$  행렬로 정의된다). 이 식을 전개하면  $(E\alpha\alpha') \otimes ll' + E(\epsilon\epsilon')$ 이 되고 이를 Block Diagonal Matrix의 형태로 변형을 시키면  $\sigma_\alpha^2 I_N \otimes ll' + \sigma_\epsilon^2 I_{NT}$ 가 된다. 여기서  $\sigma_\epsilon^2 I_{NT}$ 을 앞으로 묶어주면  $\sigma_\epsilon^2 I_N \otimes [I_T + \frac{T\sigma_\alpha^2}{\sigma_\epsilon^2} (\frac{1}{T} ll')]$ 가 된다.

여기서  $I_N \otimes [I_T + \frac{T\sigma_\alpha^2}{\sigma_\epsilon^2} (\frac{1}{T} ll')]$ 을 오차항의 분산공분산에 대한 transformed matrix로 정의하고  $\Omega$ 라고

표기한다. 위 식에서  $\theta = \sqrt{\frac{\sigma_\epsilon^2}{\sigma_\epsilon^2 + T\sigma_\alpha^2}}$ ,  $P_0 = \frac{1}{T} ll'$  이라고 놓으면  $\Omega$ 는  $I_N \otimes [I_T + \frac{1-\theta^2}{\theta^2} P_0]$ 로 정

리할 수 있다. 여기서  $P_0$ 는 개별 지역의 평균을 만들어내는 projection matrix(mean extraction operator)로 정의된다. 한편,  $\theta$ 의 의미는 개별특성효과와 확률적 교란항(white noise)의 비율을 나타내는 파라미터로써 오차항의 분산을 개별특성효과가 얼마나 설명하고 있는지를 나타낸다. 이 수치가 1에 가까우면 그 모형은 굳이 패널 데이터의 Fixed Effect Model을 쓸 필요가 없음을 의미하며 0에 가까게 되면 개별적으로 관찰되는 오차의 값이 너무나 커서 확률적 교란항이 없게 됨을 의미한다.

여기서  $M_0 = I - P_0 = I - \frac{1}{T} ll'$ 라고 가정하면 식은 결국  $\Omega = I_N \otimes [M_0 + \frac{1}{\theta^2} P_0]$ 가 된다.  $\Omega$ 를 변형시

켜서 half inverse를 시켜주면  $\Omega^{-\frac{1}{2}} = I_N \otimes [M_0 + \theta P_0] = I_N \otimes [I_T - (1-\theta)P_0]$ 이 된다. 결국

$\Omega^{-\frac{1}{2}} y = (\Omega^{-\frac{1}{2}} X)\beta + \Omega^{-\frac{1}{2}} u$ 가 된다. 이것은 원래의 회귀식에  $\Omega^{-\frac{1}{2}}$ 로 변형시킨(transform) 후에 OLS를 적용하는 것과 전혀 다르지 않다. 즉, 패널데이터 분석은 기존의 데이터를 적절하게 변형한 후에 OLS를 적용하는 GLS의 한 형태임을 의미한다고 할 수 있다. 여기에서 개별특성효과가 너무 커서 확률적 교란항이 0이 되는 극단적인 Fixed Effect Model을 가정할 경우  $\theta$  값이 0이 될 것이며 반대로 개별특성효과가 없어서 확률적 교란항이 1이 되는 극단적인 Random Effect Model은  $\theta$  값이 1이 된다. 따라서 Fixed Effect Model이라고 하는 것은 일반적인 Random Effect Model의 특수한 경우로 이해될 수 있겠다.

11) 경기도의 경우 서로 이질적인 지역들이 각기 다른 양상의 재해양상을 가지고 피해액을 발생시키기 때문에 이러한 지역적 특성을 감안한 분석모형이 필요하게 된다. 앞서 두 모형에서는 이러한 고려를 하지 못하고 있기 때문에 보다 정확한 분석을 위해서는 관찰되지 않은 변수(unobservable omitted variable)에 대한 통계적 처리가 필요하게 된다(Hausman & Taylor, 1981: 1377). 아무리 분석 모형에 설명변수를 추가시키더라도 결국 설명하지 못하는 변수는 생기기 마련이기 때문이다.

12) 예를들어, 양주의 경우 구리시는 1985년까지는 남양주군 구리읍으로 있다가 1986년 1월 1일 구리시로 승격되어 지금까지 존재하고 있지만 1971년부터 자료를 구축할 경우 15년간 데이터가 비게 된다. 이때는 분리되기 이전 행정구역을 기준으로 분리된 행정구역을 통합하여 구역을 조정할 필요성이 생긴다. 동두천시의 1981

여주와 같이 군에서 시로 승격한 경우는 대부분 지역 그대로 사용을 하였다. 한편, 성남의 경우 시흥군에 1973년까지 포함되어 있어 1971년, 72년, 73년 자료가 존재하지 않았으나 현재 인구가 100만에 가까운 도시로 성장하였고 너무 많은 자치단체가 하나의 분석지역으로 설정될 경우 지역별 특성을 고려하기 어려운 문제가 있어 독립된 분석지역으로 설정하였다. 안양의 경우도 1973년까지 안양읍으로 광주군에 포함되어 있어 1971년부터 73년까지의 자료가 누락되어 있으나 SAS 8.1 통계 프로그램에서는 unbalanced data에 대한 통계적 처리를 해주어 안양을 독립된 분석지역으로 설정하였다<sup>13)</sup>.

한편, 본 연구에서는 앞서 살펴본 이론적 논의를 토대로 수해에 영향을 줄 수 있는 변수를 설정하였다. 변수는 크게 종속변수와 독립변수로 나누었으며 독립변수는 다시 자연적 요소, 인문적 요소, 물리적 요소, 방재적 요소로 구분하여 설정하였다.

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

또한, 독립변수로서 수해의 취약성을 증가시키는 불투수면을 분석에 반영하기 위해 물리적 요소로서 도시적 토지이용면적을 선택하였다. 본 연구에서는 불투수면의 비율이 월등히 높은 지적통계 상의 대지, 공장용지, 도로 이상 3개 지목을 도시적 토지이용면적으로 이름하여 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 강우 집중의 양상을 설명해주는 월강우집중도와 하절기강우집중도를 변수로 선택하였다. 월 강우집중도는 연평균강수량 대비 최대 월강수량의 비율을 의미하며 하절기 강우집중도는 연평균 강수량대비 6, 7, 8, 9월 하절기 강수량의 비율을 의미한다.

인문적 요소로서 인구밀도를 선택하였다. Changnon, Pielke, Sylves, Pulwarty(2000) 등은 최근 증가하는 자연재해피해액의 근본적인 원인이 인문적 요소에 있다고 주장하면서 인구증가 및 인구밀도에 대한 중요성을 언급하였는데 본 연구에서는 도시화의 중요한 척도로서 인구밀도를 선정하였으며 이를 모형에 반영하여 인구밀도에 의한 수해피해액의 영향정도를 분석하였다.

방재적 요소로서 임야면적과 제방을 선택하였다. 임야면적은 불투수면에 해당하는 도시적 토지이용면적과 상반되는 변수로서 임야 면적이 많을 경우 상대적으로 수해 피해에 대한 저항력이 높음을 의미한다. 또한 경기도의 경우 지난 32년간 도시적 토지이용면적 증가가 주변 임야의 개발과 함께 일어났기 때문에 이들의 상관성을 분석할 필요가 있다고 판단했다. 본 연구의 분석에 사용된 제방면적 변수는 제방의 면적을 시계열로 살펴봄으로써 자연재해를 저감시키기 위한 구조적 수해관리정책의 하나인 제방설치가 효과가 있었는지를

년 양주군 동두천읍에서 동두천시로 승격이 되었는데 1971년부터 1980년의 자료는 사용할 수 없게 된다. 남양주의 경우도 1980년 4월 1일자로 경기도 양주군에서 남양주로 분리되었는데 마찬가지로 1971년부터 1979년까지의 자료를 구할 수 없게 된다. 미금시의 경우는 1989년도 1월에 생겼다가 1995년도에 남양주군과 도농복합시가 되어 그 이후 별도의 행정정보를 구할 수가 없게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 경우 양주군, 동두천, 구리, 남양주, 미금을 모두 통합하여 한 지역으로 분석하였다.

13) 통합된 경기도 개별시군은 다음과 같다. 수원, 성남, 시흥, 부천, 평택, 화성, 광주, 용인, 안양, 이천, 안성, 김포, 여주, 양평, 의정부, 양주, 고양, 파주, 포천, 가평, 연천 이상 21개 지역이다.



본 연구에서는 Pooled OLS, Pooled WLS, 패널 분석에서 별 의미가 없었던 하천 변수를 변수의 대상에서 제외하였다. 한편, 재정자립도 변수를 포함시킬 경우 주성분 분석 결과 도시화 변수를 나타내는 도시적 토지이용면적과 인구밀도를 묶어주는 주성분이 나오지 않아 이를 제외시켰다. 따라서, 이 두 변수를 제외한 7개의 변수를 대상으로 주성분 분석을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

<표 2> 주성분 분석결과 분석표

Eigenvalues of the Correlation Matrix					
	Eigenvalue	Difference	Proportion	Cumulative	
1.000	2.29334762	0.61378689	0.3276	0.3276	
2.000	1.67956073	0.4466619	0.2399	0.5676	
3.000	1.23289883	0.270005	0.1761	0.7437	
4.000	0.96289383		0.1376	0.8812	

Eigenvectors					
		Prin1	Prin2	Prin3	Prin4
도시적 토지이용면적	ln_land	0.356178	0.064999	<u>0.663837</u>	0.076029
제 방 면 적	ln_levee	<u>0.468352</u>	-0.085475	0.459111	0.006458
임 야 면 적	ln_forest	<u>0.583029</u>	-0.157644	-0.296274	0.017063
강 수 량	ln_prep	0.030041	<u>0.236853</u>	-0.103271	0.959536
월 강우 집 중 도	ln_prepra	0.145882	<u>0.651367</u>	-0.122273	-0.24366
하 강 우 절 중 기 도	ln_prep	0.174361	<u>0.661804</u>	-0.073255	-0.11456
인 구 밀 도	ln_popdn	-0.51115	0.212732	<u>0.479351</u>	0.026133

고유값이 1보다 큰 성분은 4개로 분석되었다. 제1 주성분에 의해서 전체 자료변동의 32.8%가 설명되고 있었으며 제2 주성분으로 56.8%의 자료가 설명되었다. 제3 주성분의 추가로는 74.4%를 설명해주고 있었다. 세 개의 주성분으로 전체 7개 변수에 의한 변동을 74.4% 설명해주고 있었다. 이에 본 연구에서는 제1 주성분의 계수값이 제방면적(0.468)과 임야면적(0.583)에서 가장 크게 나타나 방재적 요소성분으로 이름하였다. 제 2 주성분의 경우 강수량(0.236), 강우집중도(0.651), 하절기 강우집중도(0.662)에서 계수값이 가장 커서 이를 자연적 요소성분으로 이름하였다. 제 3 주성분의 경우 도시적 토지이용(0.664)과 인구밀도(0.479)에서 가장 큰 수치를 보이고 있어 이를 도시화 요소 성분으로 이름하였다. 다음의 패널 분석은 이들 주성분 요소를 독립변수로 하여 이루어진 것이다.

## 2. 주성분 변수에 의한 패널 모형

본 연구에서는 Panel Data를 분석함에 있어서 SAS Release 8.01을 사용하였다. SAS에서는 Panel Data에 대해서 두 가지 분석방법을 제공해주고 있다. 하나는 TSCSREG(Time Series Cross Setion Regression)와 MIXED가 그것이다<sup>15)</sup>. 하지만 본 연구의 자료는 1970년대에 누락된 자료가 있어서 TSCSREG로 분석을 하지는 못하였다. 다음의 표는 앞서 주성분 분석에 의해 구하여진 세 가지 성분을 독립변수로 하여 패널 모형을 적용하여 분석한 결과이다. 계수추정방법으로는 REML방법이 사용되었고 독립변수는 방재적 요소성분, 자연적 요소성분, 도시화 요소성분이 사용되었다.

15) TSCSREG는 SAS/ETS에서 지원해주며 MIXED의 경우는 SAS/STAT에서 지원해준다.

<표 3> 패널 모형 적용 결과

Solution for Panel Model									
		One Way Error Component Regression Model				Two Way Error Component Regression Model			
		Fixed Effect Model(I)		Random Effect Model(II)		Fixed Effect Model(III)		Random Effect Model(IV)	
Effect	region	Estimate	Pr >  t						
지역 특성 효과	안성	11.9173	<.0001			6.081	0.0330		
	안양	15.2013	<.0001			8.258	0.0761		
	부천	15.6352	<.0001			8.9514	0.0800		
	가평	11.6628	<.0001			-0.2065	0.0467		
	김포	12.2332	<.0001			7.4792	0.0154		
	고양	14.1740	<.0001			7.8139	0.0688		
	광주	14.4415	<.0001			4.5481	0.0432		
	화성	9.6211	<.0001			5.7129	0.4717		
	이천	12.8504	<.0001			6.6583	0.3279		
	파주	13.2183	<.0001			6.3009	0.0564		
	포천	12.9795	<.0001			2.0465	0.0145		
	평택	12.8967	<.0001			8.3624	0.0345		
	시흥	13.6209	<.0001			7.3331	0.0155		
	성남	14.3028	<.0001			7.2205	0.0476		
	수원	15.0207	<.0001			8.0034	0.1610		
	의정부	14.3326	<.0001			6.8205	0.1089		
	양주	12.1489	<.0001			2.0833	0.2943		
	양평	12.3235	<.0001			0.5607	0.0714		
여주	13.1362	<.0001			5.9233	0.0167			
연천	15.0374	<.0001			5.4187	0.0406			
용인	13.6442	<.0001			4.9137	0.3428			
방재적 요소 성분		0.03104	<.0001	0.02308	<.0001	0.006509	0.0788	0.01183	<.0001
자연적 요소 성분		0.03059	<.0001	0.02650	<.0001	0.01358	<.0001	0.01684	<.0001
도시화 요소 성분		0.04462	<.0001	0.03126	<.0001	0.005131	0.3950	0.01426	<.0001

모형I의 적용 결과 도시화 요소 성분의 영향력이 0.044로 가장 높았으며 자연적 요소 성분이 0.030이었고 방재적 요소 성분의 경우는 0.031로 기록되어 지난 32년간 경기도 개별시군에서 자연재해저감을 위한 정책이 실효를 거두지 못하였음을 시사하고 있었다. 도시화 효과는 도시적 토지이용면적의 증가와 인구밀도의 증가로 나타났는데 개별 효과를 살펴보았을 때, 물리적 요소로서의 도시적 토지이용면적과 인문적 요소로서의 인구밀도의 계수값의 부호가 상반되는 결과를 보여주었는데 이들에 대한 전체적인 효과는 (+)로 나타나 수해피해를 늘리는 것으로 분석되었다. 한편 지역특성계수를 살펴보면 전체적인 수치가 9에서 15의 범위를 나타냈으며 화성이 9.62로 가장 작은 값을 보여주었고 부천이 15.63으로 가장 높은 값을 나타냈다. 화성의 경우는 15.63에 해당하는 수치만큼 지난 32년 동안 수해를 증가시키는 고정된 요소를 가지고 있었음을 의미한다. 용인을 기준지역으로 살펴보면 대부분의 지역이 (-)값을 가지고 있음을 확인할 수 있으며 상대적으로 용인이 타지역에 비해 수해를 증가시키는 고정적 요소를 가지고 있음을 짐작할 수 있다.

모형 II의 적용 결과 전체적인 모형적합도를 나타내는  $-2 \text{ Res Log Likelihood}$ 의 값이 Fixed Effect Model보다 약간 높은 수치를 보였다. 분석방법은 REML방식에 의하여 이루어졌으며 결과를 해석해보면 도시화요소 성분의 계수값의 0.03으로 가장 높은 수치를

기록했으며 그 다음이 자연적 요소성분으로 나타났고 방재적 요소 성분이 0.02의 값으로 나타났다. 모두 통계적으로 유의미한 값으로 나타났으며 도시화 요소에 의한 수해피해가 가장 컸던 것으로 분석되었다. 다음은 Fixed Effect Model과 Random Effect Model의 선택을 위한 통계량 계산을 위해 TSCSREG를 통해 Hausman Specification Test 결과를 나타낸 것이다. 결과에 따르면 m 값이 2.57로 유의확률 5% 수준에서 Random Effect Model이 주어진 자료를 보다 잘 적합시키는 것으로 분석되었다.

모델 III의 적용 결과 전체적인 모형의 적합도를 나타내는  $-2 \text{ Res Log Likelihood}$ 의 값은 2202.1으로 나타났다. 계수값을 살펴보면 큰 차이는 나지 않지만 자연적 요소성분이 도시화 요소성분보다 수해피해에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 하지만 계수의 유의성이 다소 떨어져 신뢰하기에 무리가 따랐다. 지역특성효과를 나타내는 계수값을 비교해보면 용인을 기준으로 (-)의 값을 보이는 곳은 가평 한 곳뿐이었으며 0에 가까운 값을 보인 곳은 양평으로 나타났다. 모형 I에 비해 모형 III에 있어서 지역특성계수값의 절대값이 작은 이유는 모형 III에서는 시간특성효과를 동시에 고려했기 때문에 이들 효과의 수치가 줄어든 것으로 판단된다.

<표 4>는 모형 II의 시간특성효과를 정리한 것이다. 기준은 2002년으로 되어 있으며 대부분의 계수치가 (-)값을 보이고 있다. (+)의 값을 보인 해는 2000년과 2001년 두 해에 불과했다. 2000년과 2002년의 경우 2000년에 비해서 무엇인지는 정확히 변수로서 측정할 수는 없지만 21개 지역에 공통되는 어떤 요인에 의해서 수해가 더 발생했음을 보여주고 있다. 이는 최근 수해의 복잡성과 다양성을 시사하고 있는 것이기도 하며 향후 방재정책에 대한 투자 역시 이에 맞추어서 확대될 필요가 있겠다.

<표 4> Two-Way Error Component Regression Model의 Fixed Effect Model(시간특성효과)

year	Estimate	t Value	Pr >  t	year	Estimate	t Value	Pr >  t
1971	-3.6314	-5.57	<.0001	1987	-0.3401	-0.64	0.5256
1972	-2.0987	-3.32	0.0010	1988	-0.7510	-1.27	0.2032
1973	-3.4006	-4.37	<.0001	1989	-3.0386	-4.60	<.0001
1974	-5.0674	-5.76	<.0001	1990	-0.04610	-0.08	0.9371
1975	-2.8072	-4.20	<.0001	1991	-0.4922	-0.94	0.3497
1976	-3.1795	-5.05	<.0001	1992	-1.2808	-1.80	0.0718
1977	-0.9363	-1.52	0.1298	1993	-3.5924	-5.51	<.0001
1978	-2.6455	-4.39	<.0001	1994	-1.3935	-1.91	0.0561
1979	-2.5642	-4.17	<.0001	1995	-1.3952	-2.59	0.0100
1980	-2.0028	-3.28	0.0011	1996	-0.7912	-1.41	0.1591
1981	-3.3698	-5.53	<.0001	1997	-2.0702	-3.30	0.0010
1982	-4.1253	-5.74	<.0001	1998	-0.04362	-0.08	0.9377
1983	-3.0531	-4.61	<.0001	1999	-0.1446	-0.28	0.7834
1984	-0.3429	-0.64	0.5232	2000	0.7300	1.44	0.1505
1985	-4.1757	-6.97	<.0001	2001	2.6155	5.26	<.0001
1986	-2.9286	-5.05	<.0001	2002	0	.	.

모형 IV의 적용결과 전체적인 모형의 적합도를 나타내는  $-2 \text{ Res Log Likelihood}$ 의 값은 2362.6으로 Fixed Effect Model보다 다소 큰 값을 나타내고 있었다. 계수값을 살펴보면 도시화 요소성분이 0.014로서 경기도의 수해피해에 유의미한 영향을 미친 것으로 분석되었고 자연적 요소성분 역시 0.001의 값으로 수해피해에 지난 32년간 의미 있는 영향을 미친 것으로 분석되었다. 한편, Fixed Effect Model과 Random Effect Model의 선택을 위한 통계량 계산을 위해 TSCSREG의 분석과정을 통해 Hausman Specification

Test 결과에 따르면  $m$  값이 8.03로 유의확률 5% 수준에서 Fixed Effect Model이 주어진 자료를 보다 잘 적합시키는 것으로 분석되었다.

### 3. 가설 검증 및 분석 결과의 해석

이상에서 패널 모형을 적용하여 지난 32년간 경기도 개별시군의 수해취약성에 대해 살펴보았다. 이하에서는 설정된 가설에 대한 검증과 정책적 시사점을 도출해보도록 하겠다.

주성분 분석을 활용한 패널분석으로 가설1을 검정한 결과 기본적으로 도시화효과가 수해피해액을 증가시켜왔음을 확인하였다. 이는 지난 32년간 경기도 개별 시군이 도시화에 의해 수해가 증가되었음을 의미하는 것으로 향후 이에 대한 적절한 조치가 필요함을 시사하고 있다. 이는 지난 십수 년간 난개발에 의해 그 성향이 뚜렷하게 나타났을 가능성을 내포하고 있기도 하다. 도시가 성장하고 발전함에 따라 그 만큼 수해에 취약해지는 만큼 이에 대한 준비를 강화시켜야할 필요성이 제기된다.

가설2의 검정을 통해 1차적으로 자연적 요소로서 강수량, 월강우집중도, 하절기 강우집중도가 수해에 유의미한 영향을 미쳤으며 도시화 효과에 의해 피해가 가중되었음을 확인할 수 있었다(모형 III, 모형 IV). 이는 지난 32년간 경기도의 수해 피해가 기본적으로 자연적 요소의 영향을 많이 받은 것으로 해석될 수 있으며 모형 III의 시간특성효과를 볼 때 향후 그 추세는 더욱 뚜렷해질 것으로 보인다. 따라서 첨단 기상관측기술을 도입하여 경보 시스템을 향상시킴으로써 이에 대한 대비를 철저히 할 필요가 있겠다.

가설3의 검정을 통해 패널 분석의 Fixed Effect Model이 적합함을 확인함으로써 각 지역에 맞는 수해관리정책을 수립할 필요성이 있음을 확인하였다(모형 III). 한편, 모형 I에서 지역특성효과에 의한 지역별 계수값이 대부분 10을 넘어 패널 데이터 분석이 매우 효과적이었음을 단적으로 보여주고 있다. 이는 효과적인 수해관리정책을 펴기 위해서는 지역 실정을 가장 잘 파악하고 있는 지방자치단체에서 1차적인 수해관리를 감당할 필요가 있음을 시사하고 있다. 지역별 특성이 수해에 있어서 중요한 요소가 된다면 지방정부에 위험지역을 통제 및 계획할 수 있는 권한을 넘겨주는 것도 고려할 필요가 있겠다.

방재적 요소의 계수값이 모두 (+)로 나타났는데 이는 방재적 요소 주성분에 포함된 도시적 토지이용면적의 비율이 제방면적과 임야면적에 비해 상당히 큰 것에 기인한 것으로 보인다. 하지만, 가장 제1 주성분에서 가장 높은 수치를 기록한 제방면적과 임야면적이 지난 32년간 경기도의 수해방지에 별다른 영향을 미치지 못하였음을 확인할 수 있었다. 이는 수해 피해를 저감하기 위해 계속해서 제방을 쌓았기 때문인 것으로 보이며 쌓은 제방에 의한 저감효과가 크지 않았거나 충분한 제방 시설을 갖추지 않은 것으로 판단된다. 한편, 임야면적의 경우도 제방면적과 마찬가지로 수해 저감에 별 다른 영향을 미치지 못한 것으로 나타났는데 이는 주성분으로의 묶이는 과정에서 그 효과가 감소된 것으로 판단된다.

## V. 결론

본 연구는 도시화에 따른 수해취약성을 실증분석하면서 지난 32년간 경기도 지역에서 도시화는 자연재해를 증가시키는 요인으로 작용하였음을 확인하였다. 이것이 단순히

도시화를 억제시키는 정책을 펴는 것이 합리적인 결론임을 의미하는 것은 아니다. 도시화는 도시생활에 필요한 여러 유익한 혜택을 가져다주기 때문이다. 다만, 과거 도시화가 수해에 부정적인 영향을 미치면서 진행되어왔음을 감안할 때에 향후 도시 개발은 보다 친환경적으로 이루어져야 함을 시사하고 있는 것이다. 자연과 인간이 공존하는 도시화는 더 이상 수해를 증가시키지 않을 수 있으며 오히려 도시민들의 삶의 질 향상에 도움이 될 수 있을 것이다. 아울러 첨단기술 및 장비의 활용과 조직적인 대응은 도시화에 따르는 수해취약성을 극복해줄 수 있는 대안이 될 수 있을 것이다.

본 연구는 다음의 몇 가지 한계를 가지고 있다. 첫째, 경기도 31개 개별시군을 21개 지역으로 통합하는 과정에서 일부 개별 시군에 대한 정보는 얻을 수가 없었다. 이는 32년 패널 데이터를 구축하는 과정에서 발생한 것으로 향후 이를 보완하는 연구가 필요하다. 둘째, 여러 개의 변수를 주성분 분석을 통해 단순화 시켜 패널 모형을 적용하는 과정에서 개별 시군이 가지고 있는 고유한 정보를 활용하지 못한 점이다. 하지만 본 연구는 패널 모형으로 누락된 변수들에 대한 통계적 처리를 통해 복잡한 수해발생과정을 개념적으로 파악하였기에 향후 자연재해관련 연구에 있어서 선행 자료로서의 그 가치를 가진다 하겠다.

## Abstract

# A Empirical Study on the Urban Flood Vulnerability by Urbanization Using Panel Data : In Case of Kyonggi Province

Choi, Choong-Ik

**Keywords** : urbanization, urban flood vulnerability, panel model, environmentally friendly flood control policy, natural disaster

This Study aims to demonstrate urban flood vulnerability by urbanization using panel model in case of Kyonggi Province. The results of this research verify that for the past 32 years(1971-2002) the flood damages in Kyonggi province are primarily influenced by natural factors. At the same time, it is proved that urban flood damages have been increased with urbanization.

On the other hand, the embankment, which was built to control flood in urban areas, have little effect on reducing urban flood damages. These results suggest that urbanization not be controlled, but the paradigm shift in flood control policy be necessary. Considering that urbanization has a negative effect on urban flood damages, hereafter urban areas should be developed in environmentally

friendly ways. In conclusion, flood control policy should be executed being compatible with nature.

### 참고문헌

1. 국립방재연구소, 『국토 및 도시계획상의 방재제도 개선 연구』, 2000.
2. 국립방재연구소, 『수해가 지역경제에 미치는 영향에 관한 기초연구』, 2003
3. 국립방재연구소, 『재해영향평가제도 대상사업 및 적용규모 개선방안』, 2000
4. 김광목, 『도시하천의 치수대책 및 관리방안 연구 -서울시를 중심으로-』, 국토개발연구원(현 국토연구원), 1991
5. 김재한, “우리나라 홍수와 그 대책”, 『제5회 방재행정세미나 자료집』, 국립방재연구소, 2000
6. 김추윤, 서철수, 지종덕, 『도시계획론』, 책과길, 1998
7. 심재현, 『재해영향평가제 도입방안 연구: 홍수수해 영향평가를 중심으로』, 한국지방행정연구원, 1994
8. 이재길 외, “방재도시계획-수재해를 중심으로”, 도시정보, 통권 199호, 1998.
9. 이종원, 『계량경제학』, 박영사, 2001.
10. 양병이, “도시화가 주변지역에 미치는 영향에 관한 연구”, 서울대학교 석사학위논문, 1970.
11. 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남, “도시화 영향을 고려한 우수지 계획모형”, 한국수문학회지, 제24권 제4호, 1991, pp. 73-83.
12. 정동국, 이범희, “도시유출모형을 이용한 도시화 유역의 유출해석”, 한국수자원학회지, 제36권 제1호, 2003, pp. 75-85.
13. 최충익, “도시적 토지이용의 변화가 도시의 자연재해 취약성에 미치는 영향에 관한 연구”, 대한국토·도시계획학회지, 통권 127호, 2003, pp. 35-48.
14. 최충익, “패널모형을 이용한 도시지역 수해결정요인에 관한 고찰”, 서울대학교 박사학위논문, 2004
15. Ashenfelter, Orley, "Statistics and Econometrics: Methods and Applications", John Wiley & Sons, Inc., 2003
16. Burby, R. J. and May, P. J., "Intergovernmental environmental planning: Addressing the commitment conundrum", *Journal of Environmental Planning and Management*, Jan 1998, Vol. 41. Issue. 1, pp. 95-110.
17. Changnon, S. A., et al., "Human factors explain the increased losses from weather and climate extremes", *Bulletin of the American Meteorological Society*. Boston: Mar 2000, Vol. 81, Iss. 3, pp. 437-442.
18. Changnon, Ed., "The Great Flood of 1993", *Causes, Impacts, and Responses*, Westview Press, 1996, p. 332.
19. Changnon, S. A., "Removing the confusion over droughts and floods: The interface between scientists and policy makers", *Water Int.*, 1980, pp. 10-18.
20. Comerio, M. C., *Disaster Hits Home*, University of California Press in Berkeley and Los Angeles & University of California Press in London, 1998
21. David K.C. Jones, *Environmental Hazards*, 1993.
22. Gerald A. Meehl, et al., "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 2000, Vol. 81, No. 3, pp. 413-416.
23. Godschalk, D. R., "Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities", *Natural Hazards Review*, Aug. 2003, pp. 136-143.
24. Hamburger, T., "Floods renew interest in climate changes: Is global warming causing more precipitation?", *Minneapolis Star-Tribune*, 1997, p. 13A
25. Hollis, E. G., "The effect of urbanization on floods in the Canon's Brook, Harlow, Essex", *Institute of British Geographers Special Publication*, 1974, No. 6, pp. 123-139.

26. Hoyt, W., and W.B. Langbein, *Floods*, Princeton University Press, 1955
27. IPCC, *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge University Press, 1996
28. Kinosita, T. and Sonda, "Changes of runoff due to urbanization", *International Association of Scientific Hydrology Publication* 85, 1969, pp. 787–796.
29. Lundgren, L. W., *Environmental Geology*, Prentice Hall, Inc., pp. 171–206.
30. Pielke, R. A. and Downton, M. W., "Precipitation and Damaging Floods: Trends in the United States, 1932–97", *Journal of Climate*. Boston: Oct 15, 2000, Vol. 13, Iss. 20, pp. 3625–3637.
31. Renshaw, E. F., *Toward Responsible Government: An Economic Appraisal of Federal Investment in Water Resources Programs*, Idyia Press, 1957
32. Smith, D. I., "Greenhouse climatic change and flood damages, the implications", *Climate Change*, Vol. 25, 1993, pp. 319–333.
33. Trenberth, K. E., "Global warming: It's happening", *Natural Science*, 1997
34. White, G. F., et al., "Changes in Urban Occupance of Flood Plains in the United States", *University of Chicago Press*, 1958
35. Wohl, E. E., *Inland Flood Hazards: human, riparian, and aquatic communities*, Cambridge University Press, 2000

K C I