수해지 분포 특성에 관한 연구 : 경기도 사례를 중심으로

Study on the Distribution Characteristics of Storm Damage Area :
The Case of Gyeonggi-do

강상준* · 정주철**

Kang, Sangjun · Jung, Juchul

Abstract

The main purpose of this study is to address flooding resilient land use management strategy based on the distributional characteristics of storm damage areas in Gyeonggi-do. The employed methods are 1) Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA) to understand the spatial patterns of storm damage areas occurred from 2005 to 2009, 2) Local Indicator of Spatial Association (LISA) to examine spatial autocorrelation existed in storm damage areas for the year of 2009. The results show that 1) crop land damage is very sensitive to heavy precipitation, 2) damaged buildings are found in all over the Gyeonggi areas, but relatively more damages are in the regions closed to the City of Seoul, 3) damaged roads-bridges, streams, and reaches are found in mostly rural areas, 4) building and crop land damage occurs mostly in lowlands with different spatial patterns. These findings imply that 1) it will be useful to consider the average distances and slopes of damaged building and crop lands from streams for the decision making of land use management strategy, 2) further management efforts are required in the north, east, and south regions of Gyeonggi areas to prevent roads-bridge, stream, and reach damages, 3) the present land use pattern needs to be carefully investigated by considering the damage clustered areas for the year of 2009 based on watershed and municipality boundaries.

Keywords :spatial autocorrelation, spatial analysis, land use, storm damage, distance from stream

요 지

본 연구는 경기도의 최근 피해 자료를 이용하여 수해지 특성분석과 이를 반영한 토지이용관리 방안제시에 그 목적을 두고 있다. 연구의 내용적 범위는 크게 네 가지로 첫째, 개괄적인 피해지의 공간적 분포 경향 분석, 둘째 공간자기상관성 분석, 셋째, 하천 이격거리분석, 넷째, 분석결과를 반영한 토지이용관리방안 제시로 설정하고 진행하였다. 연구방법으로는 수해지에 대한 탐색적 공간자료분석(Exploratory Spatial Data Analysis: ESDA)과 자기상관성(Local Indicator of Spatial Autocorrelation: LISA)분석을 통해 진행하였다. 연구결과는 다음과 같다. 첫째, 농경지피해는 집중강우에 민감하며, 둘째, 건물피해의 경우는 서울 인접지역을 중심으로 경기도 전역에 걸쳐 매우 넓게 분포하고 있으며, 셋째, 도로교량과 하천, 그리고 소하천 피해는 교외지역 비율이 높은 곳에서 보다 높은 피해가 발생하고 있다. 넷째, 경기도 주택침수의 경향은 하천변 저지대를 중심으로 발생하고 농경지 침수도 하천변 저지대 중심으로 발생하며 침수피해에 있어서 주택과 농경지는 서로 다른 공간 분포를 보이기 때문에 서로 다른 관리 접근이 필요하다는 것을 보여준다. 수해 피해지 분포특성의 토지이용관리 적용 방안은 다음과 같다. 첫째, 주택피해우려지역과 농경지피해 우려지역으로 구분 후, 경사도와 하천에서부터의 거리를 고려한 '하천변 토지이용 관리 우선지역'의 고려를 제안한다. 둘째, 경기 동부를 중심으로 북부와 남부 지역의 경우 도로교량, 하천, 소하천에 관리역량이 집중될 필요가 있을 것이다. 셋째, 사후대책이기는 하나 2009년 주택 및 농경지 각각의 피해군집 유역 및 행동동에 대한 재해대책 및 토지이용현황에 대한 검토를 해 볼 필요가 있을 것이다.

핵심용어 : 자기상관성, 공간분석, 토지이용, 수해피해, 하천이격거리

1. 서 론

최근 도시화로 인한 지표 불투수면의 증가가 수해 피해의 주요 원인 중 하나로 지적되고 있다. 대표적인 예시로 2010년 서울 및 수도권 지역의 집중호우 피해를 들 수 있다. 특

히 도시화는 집중호우 시 해당지역의 수해를 증대시킬 뿐만 아니라 인근 및 하류지역까지 순간홍수(Flash flooding) 등의 부정적인 외부효과(Negative externality)를 가져온다. 유역 내 물 순환 논의에서 많이 이야기 되듯, 유역 상류지역의 도시화나 개발활동은 해당지역을 비롯한 인근 및 하류지역

*경기개발연구원 연구위원 (E-mail : skang@gri.re.kr)

**정회원 · 교신저자 · 부산대학교 도시공학과 교수 (E-mail : jchung@pusan.ac.kr)

에 수문학적인 부담을 줄 수 있다(강상준, 2010; 강상준 외, 2006). 이는 곧 수해를 경험하는 지역들이 공간적으로 상호상관성이 존재한다는 것을 암시한다고 볼 수 있다. 하지만 수해를 분석함에 있어 인접시군과의 상관관계에 대한 고려가 이루어진 연구는 많지 않은 실정이다. 따라서 수도권 지역의 도시화 양상과 인접시군간의 이해관계 등을 고려할 때, 수해피해 분석에 있어 인접시군과의 공간적 상관관계에 대한 분석은 반드시 고려되어야 할 필요가 있다.

또한, 효과적인 수해관리정책이 정착되기 위해서는 계획적 측면의 접근방식에 대한 지침과 그 지침이 실행되기 위해 필요한 다양한 근거 마련이 이루어져야 한다. 또한 계획지침서가 실제 적용 및 운용되기 위해서는 해당지역의 여건반영이 무엇보다도 중요할 것이다. 어느 지역에 어떠한 형태의 수해가 발생하고 있는지 피해현황에 대한 면밀한 관찰을 통해 피해양상에 어떠한 특성이 존재하는지에 대한 분석과 이를 반영한 수해 대응전략 수립이 바람직하다.

그러나 지금껏 경기도 지역에 대해서는 도시화가 지속되고 있는 최근 2000년도 이후의 수해지역 특성 연구나 토지이용을 고려한 수해관리정책 연구를 찾아보기 어려웠다. 수해피해가 잦은 경기도를 대상으로 한 대응전략 수립을 위해서는 경기도 피해특성 연구가 선행되어야 할 것이며, 다양한 근거 마련의 노력이 매우 중요하다고 할 수 있겠다.

따라서 본 연구는 경기도의 최근 피해 자료를 이용한 수해지 특성분석에 목적을 두고 있다. 연구의 내용적 범위는 크게 세 가지로 첫째, 개괄적인 피해지의 공간적 분포 경향 분석, 둘째 수해지역의 공간적 상관관계파악을 위한 공간자기상관성 분석, 셋째, 하천 이격거리분석으로 설정하고 진행하였다. 연구방법으로는 경기도 수해 현황파악을 위한 문헌 고찰과 자료 및 현장조사, 그리고 수해지에 공간적 상관관계 분석을 위한 GIS를 활용한 탐색적 공간자료분석(Exploratory Spatial Data Analysis: ESDA)을 통해 진행하였다.

연구의 공간적 범위는 경기도 전역이며 분석의 최소단위는 수해지 위치를 포함하여 유역 및 읍면동까지 가능한 다양하고 세부적인 연구진행이 되도록 설정하였다. 유역의 경우 2002년 4월 “물관리 정보 표준화 실무 소위원회”에서 확정된 공통유역인 21개 대권역, 117개 중권역, 840개의 표준유역 중 표준유역을 활용하였다.

시간적 범위는 가용한 자료에 따라 다소 상이하나, 개괄적인 피해지의 공간적 분포경향 분석에 있어서는 2005년부터 2009년까지 최근 5년을 연구의 시간적 범위로 한정하였고, 공간자기상관성분석과 하천 이격거리분석에 있어서는 2009년 7, 8월 호우 기간을 대상으로 하였다.

2. 수해에 관한 연구동향 및 대상지 현황

2.1 수해에 관한 연구동향 및 이슈제기

기존의 수해 관련 연구는 피해현황 분석, 수리수문분석, 안전 및 취약성분석, 재해저감기술개발, 시설기준 강화연구, 토지이용계획을 통한 관리기법, 도시 계획적 대응방안, 기후변화 적응연구 등 매우 다양한 분야에서 폭넓게 진행되고 있다(건설교통부, 2008; 고재경, 2009; 국토해양부, 2008; 소방방재청, 2008; 정주철 외, 2007; 지흥기 외, 2005; 최충익;

2003; 한건연, 2009; 허준행, 2009). 그 중에서도 특히 최근의 기후변화로 인한 자연재해에 대한 우려가 제기됨에 따라 수해를 비롯한 자연재해 취약성분석이나 도시계획차원에서 자연재해 완화·대응방안, 그리고 통합적 방재계획 연구 등이 활발하게 진행되고 있다.

연구동향에 따라 지금까지 진행되고 있는 연구들에서 많이 고려되지는 않았으나 앞으로 좀 더 많은 관심이 필요한 부분들인데 정리해 보면 다음과 같다.

첫째, 수해현황 파악 시 많은 연구가 전체 피해액에 주로 관심을 두고 진행되고 있는데, 피해액은 피해의 크기를 객관적으로 나타낼 수 있는 가장 효과적인 지표이기는 하나, 피해대상지가 가지고 있는 재산 가치와 매우 큰 상관성을 가진다는 점을 고려할 때, 피해액뿐만 아니라 피해발생 빈도나 횟수(Event)에도 많은 관심이 필요할 것이다.

둘째, 구체적으로 어떤 피해가 어떻게 발생하고 있는지 “수해의 속성이나 특징”을 보여주기 위해서는 주택, 농경지, 도로교량, 하천, 소하천피해 등의 “수해유형”에 대한 분석이 필요할 것이다. 즉, 주택피해나 소하천피해가 어떠한 특징을 가지고 있는지 등에 대한 분석은 좀 더 심도 있는 수해 현황파악에 도움이 될 것이다.

셋째, 현재 수해를 포함한 전반적인 자연재해 분야의 많은 연구들이 전국단위를 대상으로 많이 이루어지고 있는 양상을 띠고 있으며, 경기도를 연구대상지로 선정하여 진행한 연구는 많지 않은 실정이다. 따라서 여타 계획이 그러하듯, 경기도 시군 특성을 반영한 수해대응을 위해서는 경기도 시군을 중심으로 한 수해 관련 연구가 좀 더 활성화 될 필요가 있을 것이다.

넷째, 유역 내 물 순환 논의에서 많이 이야기 되듯, 유역 상류지역의 도시화나 개발활동은 해당지역을 비롯한 인근 및 하류지역에 수문학적인 부담을 줄 수 있다(강상준, 2010; 강상준 외, 2006). 이는 곧 경기도 시군들은 공간적으로 상호상관성이 존재한다는 것을 암시한다고 볼 수 있다. 하지만 수해를 분석함에 있어 인접시군과의 상관관계에 대한 고려가 이루어진 연구는 많지 않은 실정이다. 따라서 수도권 지역의 도시화 양상과 인접시군간의 이해관계 등을 고려할 때, 수해피해 분석에 있어 인접시군과의 공간적 상관관계에 대한 분석은 반드시 고려되어야 할 필요가 있다.

2.2 경기도 풍수해 피해 현황

지난 15년간 경기도에서는 72회의 자연재해가 발생하였다. 그 중 2009년에 총 10회 발생하여 1995년에 비해 2배가 늘어났으며, 전체적으로 2000년대에 자연재해 발생빈도가 높은 편이다. 월별로 살펴보면 7~8월 발생건수가 전체의 54.2%(39회)를 차지하여 주로 7~8월에 집중되어 발생했다. 원인별로는 호우가 39회, 태풍이 8회, 강풍 7회, 호우·태풍 4회 등 모두 풍수해로 인한 재해이며, 특히 호우와 호우·태풍에 의한 피해가 전체의 61%로 상당히 높다. 피해액을 항목별로 살펴보면 도로, 하천, 소하천, 수도 등 공공시설의 피해가 가장 크며, 축사, 잠사, 비닐하우스 등 사유시설의 피해도 높은 비중을 차지한다.

지난 15년간 경기도 지역의 풍수해 피해 발생빈도, 특히 호우로 인한 피해빈도가 크게 증가하고 있다는 점에서 비교

적 최근인 2009년의 수해피해 현황이 분석될 필요가 있다고 판단된다.

2009년에는 발생한 10차례의 풍수해는 주로 7~8월 호우에 의한 피해였으며, 특히 7월 11~15일, 8월 11일~12일에 많은 피해가 발생하였다. 2009년 총 피해액을 기준으로 시군별 공간분포를 살펴보면 양평, 이천, 가평, 의왕, 여주 등 경기도 동쪽에서의 피해가 두드러졌다. 주택과 농경지를 중심으로 피해현황을 살펴보면, 7월 11~15일 호우시 주택피해의 경우 안양, 수원, 안산, 군포 등 경기 남서부에서 많이 발생하였고, 농경지피해는 양평, 여주, 이천, 가평 등 경기 남동부에서 주로 발생하였다. 8월 11~12일 호우시 주택피해는 고양시, 양주시에서 많이 발생하였고, 농경지피해는 양주시, 포천시, 연천군에서 많이 발생하였다. 2009년에 발생한 피해하천(국가·지방)의 분포를 살펴보면, 주로 경기 동쪽에서 발생하였다.

3. 수해지 분포에 대한 공간분석

3.1 개괄적인 유형별 풍수해피해지 분석

3.1.1 분석범위와 자료 및 방법

1) 분석 범위

앞서 경기도 풍수해 피해 현황에서 검토하였던 15년간(1995~2009년) 경기도 자연재해는 모두 풍수해에 해당하는데 그 피해액 크기는 공공시설, 사유시설, 농경지, 건물 순이다. 소방방재청에서 구분한 피해유형에 따르면 공공시설에는 도로교량, 하천, 소하천, 수리시설, 소규모 시설, 기타 등이 포함된다. 그 중 유형별 풍수해지 공간분포 분석의 대상으로 공공시설 중 도로교량(m), 하천(m), 소하천(m)과 농경지(ha), 그리고 건물(동)만을 선정하였고, 소규모 시설과 기타는 다소 모호한 의미를 나타내고 있어 분석대상에서 제외하였다.

시간적 범위는 최근 5년간(2005~2009년)이며 유형별 시군 자료는 피해 위치를 나타내는 점형 자료를 구할 수 없어, 시군별 면형 자료로 구축하였다.

이 분석의 목적은 매년 집중호우의 위치, 강도, 빈도, 기간은 다를 수 있으나 1) 피해유형에 따라 타 시군에 비해 상습피해정도가 높은 지역 또는 유사한 피해정도를 보이는 시군을 식별하고, 2) 특정 해의 피해유형 상호간 관계를 살펴보기 위함이다.

2) 자료 및 방법

먼저 호우피해 유형별 피해분포를 살펴보기 위해서 각 유형별 피해정도를 시군별로 GIS를 이용하여 연도별로 자연적 분류법으로 4등분 하여 도면화 하였다. 이때 1) 시군별 피해 유형별 자료를 연도별로 구분하였는데 이는 매년 호우 및 시군이 지닌 특성을 최대한 살리기 위함으로, 앞서 언급한 분석 자료의 집계효과(Aggregation effect)를 줄이기 위함이었다. 또한 2) 공간적 분석단위를 유역으로 하지 않고 시군 등 행정경계로 정한이유는 비록 물 순환의 기본단위가 유역임에는 틀림없으나, 호우피해는 도시화, 인구밀도, 도시행정 등 여러 인문·자연·사회적 환경요소의 상호작용으로 발생한다는 점을 고려할 때, 실질적인 관리단위인 행정경계로 설

정해 보았다. 마지막으로 3) 피해정도를 인접시군과의 상대적 관점에서 분석하기 위해서 피해유형별 분석 자료를 크기 순으로 나열한 후 4등분하였다.

3.1.2 피해분포분석

2005년부터 2009년 5년간 피해유형 및 연도별 피해분포는 아래 그림과 같다(그림 1, 2, 3, 4, 5). 그림의 맨 좌측이 2005년이며, 맨 우측이 2009년을 나타내고 있다. 크기는 자연적 분류법에 의해 A, B, C, D로 구분하였다. 이때 A는 최대, D는 최소값을 나타낸다.

일반적으로 말하길, 우리나라의 경우 국지성 강우특성이 있어, 풍수해는 강우지역의 영향을 많이 받는다고 한다. 즉, 타 시군에 비해 A 시에 집중강우가 있었다면, A 시는 타 시군보다 더 많이 피해가 발생해야 하며 피해유형별 피해지역은 집중강우 지역과 상당부분 일치하는 것이 일반적이라는 것이다. 하지만 2005년부터 2009년까지의 피해분포를 살펴보면 반드시 그렇지는 않다는 것을 알 수 있다.

1) 유형별 피해분포

(1) 농경지피해

피해면적으로 볼 때 농경지 피해정도가 높은 지역은 매년 상이한 분포를 보이고 있다. 피해 양상을 살펴보면 특정 시군에서 타 시군에 비해 넓은 면적의 농경지 피해가 상습적으로 발생하지는 않으며 타 시군에 비해 상대적으로 높은 피해는 매년 몇 개 시군들에 집중되어 발생하는 경향을 보인다.

(2) 건물피해

건물피해는 서울을 포함한 주변지역에서 매우 높은 편이며 서울 인접지역을 중심으로 경기도 전역에 걸쳐 매우 넓게 분포하는 경향을 보인다.

(3) 도로교량피해

타 시군에 비해 비교적 높은 빈도의 도로교량 피해는 경기도 동부지역을 중심으로 북부와 남부를 잇는 양상으로 발생하는 경향을 보인다. 즉 도심비율이 높은 시군보다는 교외

그림 1. 농경지피해 분포(ha)

그림 2. 건물피해 분포(동)

그림 3. 도로교량피해 분포(m)

그림 4. 하천피해 분포(m)

그림 5. 소하천피해 분포(m)

지역 비율이 높은 시군에서 보다 높은 정도의 피해가 발생하는 것으로 보인다.

(4) 하천피해

하천피해는 주로 경기 동부를 중심으로 북부 및 남부 지역이 타 지역보다 높은 피해정도를 보이는 경향이 있다.

2) 연도별 피해유형 상호간 관계

2005년부터 2009년까지 유형별 피해정도를 각 연도별로 피해유형 상호간에 어떠한 양상을 보이는지 살펴보았다. 각 연도별로 다소 상이한 모습을 보이고는 있으나, 각 연도별로 도로교량과 하천, 그리고 소하천 피해는 서로 유사한 분포를 보이고 있는 반면 농경지와 건물 피해는 각각 상이한 분포를 보이고 있다. 즉, 도로교량피해가 높은 시군에서는 하천 및 소하천 피해도 높은 경향을 보이고 있다는 것이다.

이는 곧 집중호우가 발생하는 지역이라 할지라도 모든 유형의 피해가 높게 발생하지 않는다는 것을 보여주고 있는 동시에, 주택 및 농경지 피해 대응은 도로교량, 하천, 그리고 소하천 피해 대응과는 차별화 될 필요가 있음을 시사하고 있다.

3.2 공간자기상관성을 고려한 읍면동 및 구역별 수해피해지 분석

3.2.1 분석범위와 자료 및 방법

1) 분석 범위

수해지는 어떠한 특성을 가진 강우가 어떤 지역에 영향을 미쳤는지가 매우 중요하지만, 그에 못지않게 피해지 상호간의 연관성 역시 매우 중요하다고 할 수 있다. 앞서 ‘유형별 수해지 공간분포’에서 언급하였듯이 피해지 분포는 피해유형에 따라 특정한 양상을 보이기도 한다.

이에 최근자료인 2009년 7~8월의 주택 및 농경지 피해지 개별위치 자료를 이용한 자기상관성분석을 통해 1) 주택피해 측면에서 유사한 속성을 가지고 군집되어있는 읍면동·소유역, 2) 농경지피해 측면에서 유사한 속성을 가지고 군집되어있는 읍면동·소유역을 찾고자 한다. 세부적인 분석에 앞서 해당시기의 강수량과 피해와의 관계를 먼저 검토하였다.

공간자기상관성을 고려한 공간분석을 통해서는 각 유형별로 유사한 속성을 보이는 시군들을 식별할 수 있다. 예컨대 주택피해에 있어서 인접한 A, B, C, D 시 중 오직 A와 B 시만이 높은 신뢰도를 가진 정적(+) 공간자기상관성을 가진다면, 주택피해 정도와 자기상관성 측면에서 볼 때 A와

B 시는 서로 같은 속성을 가지고 있는 이 일대 주택피해의 핵심 군집지역이며 C나 D는 이와 다른 속성을 가진다는 의미이다. 이는 곧 주택피해 대응 및 관리를 위해서는 A시와 B시를 서로 유사한 해결방법으로 함께 보아야 한다는 의미로 해석될 수 있다.

2) 자료 및 방법

본 분석에서는 2009년 7월에서 8월 사이에 발생한 수해로 인한 경기도 내 주택 및 농경지 피해의 위치를 활용하여, 읍면동 및 소유역을 공간적 단위로 분석하였다.

자기상관성분석은 전역적(Global Moran's I) 차원과 지역적(Local Indicator of Spatial Association: LISA) 차원으로 구분할 수 있는데, 전역적 차원(Global Moran's I)과는 달리 지역적 차원(LISA)은 경기도 내 어떤 시군이 높은 신뢰도를 가진 공간자기상관성을 가지고 있는지를 보여줄 수 있기 때문에 지역적 차원의 자기상관성분석(LISA)을 하였다.

LISA는 Global Moran's I를 구성하는 하위단위(지역)의 공간적 자기상관을 측정하며 다음과 같이 표현된다(김재익·권진휘, 2010; Talen and Anselin, 1998).

$$I_i = z_i \sum_j w_{ij} z_j$$

여기서 z_i 는 i 와 j 의 속성값을 표준화한 점수이며, j 는 가중치(w_{ij})를 적용하여 선정된 i 의 인접지역이다. 본 분석에서는 LISA 값을 ArcGIS의 Spatial Statistics 기능을 이용하여 구하였으며, ArcGIS를 이용할 경우 LISA 값은 표준화 점수(Z score)로 환산되어 해석된다. 가중치는 방식에 따라 인접성, 거리 등 여러 가지 방법이 있으나 본 분석에서는 면과 꼭지점 중 어느 하나만 공유하면 인접지역으로 인식하는 방식인 ‘Queen contiguity 방식’이 적용되었다. 이는 공간인접성 가중치 매트릭스 분석 시 가장 많이 사용되는 가중치 방식이다(김영 외, 2004).

특정 지표값을 이용한 LISA 분석결과는 HH, HL, LH, LL 네 가지로 나타나는데, HH는 인접지역이 특정 지표값에 있어서 High-High 관계가 있음을, HL는 High-Low, LH는 Low-High, LL는 Low-Low 관계를 보인다는 의미이다. 여기서 HH는 높은 지표값의 (+) 자기상관성을 가지고 군집(Cluster)되었다는 의미이며, LL는 낮은 지표값의 (+) 자기상관성을 가지고 ‘군집’이 된다는 의미이다. 여기서 ‘군집’이란 ‘유사한 속성’을 가지고 있다는 것으로 해석된다.

LISA 분석에 의해 어떤 지역이 HH로 나타날 경우 그 지역이 높은 신뢰도로 ‘군집’되었다고 최종판정하기 위해서는 그 지역은 최소 $P < 0.05$ (95%)와 $Z > 1.96$ 점수를 가지고 있어야 한다. 최종 ‘군집’으로 식별된 지역은 ‘그 일대 군집의 핵심지역(Core of the cluster)’이라고 해석된다.

3.2.2 읍면동 및 구역별 주택피해 공간분석

1) 주택피해지와 일 최대 강수량

일반적으로 강수량은 호우피해에 직접적인 영향을 주는 것으로 알려져 있는데 실제로 강수량과 주택피해를 살펴본 결과 일반적으로 강수량이 높은 지역에서 주택피해가 높게 나타났다¹⁾. 2009년 7월 11~15일 호우의 경우 이천시와 과천

시, 여주군, 수원시, 용인시, 광주시, 화성시의 경기남부에 집중되어 나타났는데, 주택의 피해 또한 경기남부에 집중되어 나타났다. 2009년 8월 11~12일 호우의 경우 김포시, 파주시, 고양시, 양주시, 의정부시, 동두천시, 연천군, 포천군의 경기 북부를 중심으로 강우가 집중되었고, 수해피해 또한 경기 북부를 중심으로 나타났다²⁾. 하지만 이는 기간 내 타 시군 대비 상대적인 크기만을 의미하며, 2009년 수해로 인한 주택 피해가 경기 남부와 북부에서 심했다는 것을 의미하지는 않는다.

다음으로 2009년 7, 8월 주택피해지 위치를 살펴보면, 어느 지역에서 단위면적당 가장 높은 피해가 발생하였는지 7, 8월 자료를 통합하여 주택피해밀도를 만들었다. 주택피해밀도는 Kernel Density 기법을 사용하였다.

기간 내 강수는 경기 남부 지역에 집중되었고 주택피해밀도는 남부 지역 중에서도 수원시, 안양시, 안산시, 광주시에서 높게 나타나고 있다(그림 6).

주: (좌) 점은 주택피해지 위치를 나타냄, (우) 짙은 색은 고밀, 옅은 색은 저밀지역을 나타냄.

그림 6. 2009년 7, 8월 수해로 인한 주택피해지(좌) 및 주택피해밀도(우)

2) 읍면동별 주택피해지와 자기상관성을 고려한 주택피해 관심지역

LISA 분석결과 높은 주택 피해도와 (+) 자기상관성을 가진 군집의 핵심지역(Core of the cluster)인 High-High($P < 0.05$, $Z > 1.96$)로 해석되는 지역은 그림 7과 같다. 결과 해석은 다음과 같다.

그림 7의 확대 그림에서, 비록 붉은 색(High-High)으로 나타나는 모든 읍면동이 높은 주택 피해도를 보이고 있지는 않지만, 주택피해도와 자기상관성을 고려할 때, 서로 유사한 속성을 보이고 있는 지역이란 의미로, 이 일대 수해로 인한 주택피해 관리를 위해서는 붉은 색으로 나타난 모든 읍면동을 함께 중점 검토해야 한다는 것을 의미한다. 여기에는 하남시 3개동(덕풍, 신장, 천현동), 광주시 11개동(송정동, 경안

동, 장지동, 쌍령동, 역동, 초월읍, 실촌읍, 모현면, 오폭읍, 포곡읍, 유방읍), 안양시 6개동(석수동, 비산동, 관양동, 박달동, 안양동, 호계동), 군포시 2개동(산본동, 금정동), 의왕시 2개동(내손동, 의왕시), 안산시 3개동(선부동, 와동, 월파동), 수원시 6개동(고색동, 신동 평동, 세류동, 매탄동, 진안동)이 해당된다.

그림 7. 2009년 7, 8월 수해로 인한 주택피해 등급도(좌) 및 High-High 읍면동(우)

3) 유역별 주택피해지와 자기상관성을 고려한 주택피해 관심지역

LISA 분석결과 높은 주택 피해도와 (+) 자기상관성을 가진 군집의 핵심지역(Core of the cluster)인 High-High($P < 0.05$, $Z > 1.96$)로 해석되는 지역은 그림 8과 같다. 결과 해석은 다음과 같다.

그림 8. 2009년 7, 8월 수해로 인한 주택피해 등급도(좌) 및 High-High 유역

- 1) 분석의 신뢰성을 높이기 위해 기간별로 나누어 확인하였으며, 주로 짧은 시간에 내리는 강우가 피해에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 일최대강수량으로 분포를 확인하였다.
- 2) 식별불가능한 주소지를 제외한 7월 11~15일의 주택피해는 총 1,736건이며, 강수량이 집중되었던 A그룹의 주택피해는 846건, B그룹의 주택피해는 676건으로 87.7%가 A, B그룹에 속하였다. 8월 11~12일의 총 주택피해는 477건이었으며, 이 중 A그룹에 297건(61.7%)이 속하였다.

그림 8에서 높은 주택 피해도를 보이고는 있지만(A 또는 B등급), 붉은 색(High-High)에 포함되지 않는 소유역은 주택 피해도와 자기상관성을 고려할 때, 주변과 서로 다른 속성을 보이고 있기 때문이다. 따라서 이 일대 수해로 인한 주택피해 관리를 위해서는 붉은 색으로 나타난 모든 소유역을 함께 중점 검토해야 한다는 것을 의미한다. 여기서 나타난 소유역들은 총 9개이며(경안천상류, 경안수위표, 탄천상류, 안양천상류, 안양천중류, 황구지천상류, 황구지천하류, 화정천, 반월천), 경안천, 한강서울, 안성천, 시화호 중유역권에 포함된다.

4) 주택피해 관심유역의 경사, 지표 불투수면, 배수펌프장 수해피해와 관련한 주요 요소로서 주택피해가 군집한 유역의 경사와 지표 불투수면을 살펴보았다. 첫째, 경사의 경우 지방자치단체의 조례에 의해 그 기준은 다소 있으나 일반적인 산지관리법상 개발 가능 임야 경사도는 최대 40%(약 25도)정도이다. 일반적으로 경사도 5%(약 2.9도) 이하 지역은 완만한 경사의 평탄지로 개발에 매우 이상적인 입지환경을 보인다. 또한 도로의 배수암거 설계 시 암거경사는 자연경사로 유지하는 것을 기본으로(일반적으로 0.5% 유지권장 최소 0.2% 이상)한다는 점을 볼 때, 완만한 경사지 비율이 높다는 것은 집중강우 시 유역 내 물 고임 가능성이 높다는 것을 의미한다. 일반적으로 ‘고도’는 ‘저지대’라는 용어와 연관되어 수해피해 분석의 주요 요소로 언급되는데, 실제 어떤 지역이 ‘저지대’로 결정되기 위해서는 해당지역의 ‘절대 고도’보다는 인접지역의 고도와 관계를 통한 ‘상대적인 고도’로 결정된다고 할 수 있다. 따라서 상대적인 의미를 나타내기 위해서는 해당지역의 ‘고도’ 보다는 ‘경사’가 ‘인접지역과의 상관성’을 보다 정확히 나타내는 지표로 이용될 수 있을 것이다. 둘째, 불투수면의 경우 경기도 정보화기획단에서 관리하고 있는 ‘2010년 기준 지목’자료에서 대지, 공장, 학교, 도로면적을 추출하여 이를 불투수면으로 가정하고 그 면적을 산출하였다. 일반적으로 지표 불투수면의 증가는 도시 물 순환에 있어 매우 부정적인 대표 지표라 할 수 있다. 특히 Schueler(1994)에 따르면, 하천의 수문기능은 유역 내 불투수면이 5%에서 10% 달할 시 약간의 변화를 보이거나, 25%에 이를 시 큰 변화를 가져온다고 한다.

표 1. 주택피해 군집유역의 경사 및 불투수면적 비율

유역	경사(%)					불투수면적(%)
	40 이상	40 ~20	20 ~10	10 ~5	5 이하	
경안천상류	16.8	38.1	17.9	9.4	17.8	7.8
경안수위표	17.9	40.3	15.6	8.2	18.1	8.5
탄천상류	10.4	38.5	19.4	10.8	20.8	26.6
안양천상류	12.5	28.4	16.6	12.0	30.4	26.0
안양천중류	12.2	22.6	15.2	11.8	38.1	22.9
황구지천상류	2.8	14.0	13.5	14.7	55.0	33.0
황구지천하류	0.8	12.8	20.4	19.2	46.7	16.2
화정천	4.4	7.8	17.9	10.4	59.5	35.6
반월천	7.9	24.5	21.2	14.1	32.3	9.4

일반화는 불가능하지만, 주택피해가 군집한 유역의 불투수면 정도(25% 이상)와 경사(5% 이하의 비율)를 살펴본 결과, 총 9개의 주택피해 관심유역 중 5개 유역이 지표 불투수면적이 25% 이상이었으며, 6개 유역이 경사 5% 이하 비율이 높아, 주택피해가 높은 유역들은 경사 5% 이하 비율이 높은 반면, 불투수 면적과는 눈에 띄는 경향을 보이고 있지 않다고 할 수 있다.

그밖에 피해유역의 배수펌프장(2010년 경기도 재난관리과 자료) 현황을 보면, 주택피해가 높은 지역에 해당하는 시군에서도 20년이나 30년 설계빈도의 배수펌프장이 운영되고 있으며, 과천시의 경우는 하수도정비 등을 통해 배수펌프장 없이도 원활한 배수체계를 수립하여 2010년 현재 배수펌프장을 운영하지 않아, 배수펌프장과 피해유역과의 관계를 설명하기에는 무리가 있다.

표 2. 주택피해 군집시군 및 유역의 배수펌프장 현황

해당 주요 시군	배수펌프장		해당유역
	지자체		
	개소	설계빈도(년)×개소	
광주시	3	20×3	경안수위표
용인시	-	-	경안천상류, 탄천상류
의왕시	-	-	안양천상류
군포시	-	-	안양천상류
안양시	4	20×3, 30×1	안양천상류 · 중류
수원시	4	10×1, 20×3	황구지천상류
화성시	3	5×1, 10×1, 20×1	황구지천하류
안산시	-	-	화정천, 반월천

3.2.3. 읍면동 및 유역별 농경지피해지 공간분석

1) 농경지피해지와 일 최대 강수량

강수량과 농경지피해를 검토한 결과 일반적으로 강수량이 높은 지역에서 농경지피해가 높게 나타났다. 7월 11~15일 호우의 경우 이천시와 과천시, 여주군, 수원시, 용인시, 광주시, 화성시의 경기남부에 집중되어 나타났는데, 농경지의 피해 또한 경기남부에 집중되어 나타났으며, 8월 11~12일 호우의 경우 김포시, 파주시, 고양시, 양주시, 의정부시, 동두천시, 연천군, 포천군의 경기 북부를 중심으로 강우가 집중, 농경지 피해 또한 경기 북부를 중심으로 나타났다³⁾. 하지만 이 역시 해당 기간 내 타 시군 대비 상대적인 크기를 나타낸 것으로 2009년 농경지피해가 경기 북부와 남부에서 심했다는 것을 의미하지는 않는다.

다음으로 2009년 7, 8월 농경지피해지 위치를 살펴보면, 어느 지역에서 단위면적당 가장 높은 피해가 발생하였는지 7, 8월 자료를 통합하여 농경지피해밀도를 만들었다. 농경지피해밀도 역시 Kernel Density 기법을 사용하였다.

기간 내 강수는 경기 남부 지역에 집중되었고 농경지피해밀도는 남부 지역 중에서도 여주군, 이천시, 양평군에서 높게 나타나고 있다(그림 9).

3) 식별불가능한 주소지를 제외한 7월 11~15일의 농경지 피해는 총 1,140건이며, 강수량이 집중되었던 A그룹의 농경지 피해는 805건, B그룹의 주택피해는 304건으로 97.3%가 A, B그룹에 속하였다. 8월 11~12일의 총 농경지 피해는 11건이었으며, A그룹에 9건 81.8%가 집중되었다.

그림 9. 2009년 7, 8월 수해로 인한 농경지피해지 및 농경지피해 밀도

2) 읍면동별 농경지피해지와 자기상관성을 고려한 농경지 피해 관심지역

LISA 분석결과 높은 농경지 피해도와 (+) 자기상관성을 가진 군집의 핵심지역(Core of the cluster)인 High-High($P < 0.05$, $Z > 1.96$)로 해석되는 지역은 그림 10과 같다. 결과 해석은 다음과 같다.

그림 10의 우측지도에서 붉은 색(High-High)으로 나타나는 읍면동은 비록 모두 높은 농경지 피해도를 보이고 있지는 않지만, 농경지피해도와 자기상관성을 고려할 때, 서로 유사한 속성을 보이고 있는 지역이란 의미로, 이 일대 수해로 인한 농경지피해 관리를 위해서는 붉은 색으로 나타난 모든 읍면동을 함께 중점 검토해야 한다는 것을 의미한다. 여기에는 가평군 1개(설악면), 양평군 8개(서종면, 양서면, 강상면, 개군면, 지평면, 양동면, 청운면, 단월면), 광주시 4개(남종면, 퇴촌면, 실촌읍, 도척면), 용인시 1개(양지면), 이천시 5개(백사면, 신둔면, 마장면, 호법면, 부발읍), 여주군 8개(산북면, 금사면, 홍천면, 능서면, 대신면, 여주읍, 가남면, 점동면), 수원시 2개(비봉면, 봉담읍)가 해당된다.

그림 10. 2009년 7, 8월 수해로 인한 농경지피해 등급도(좌) 및 High-High 읍면동(우)

3) 유역별 농경지피해지와 자기상관성을 고려한 농경지피해 관심지역

LISA 분석결과 높은 농경지 피해도와 (+) 자기상관성을 가진 군집의 핵심지역(Core of the cluster)인 High-High($P < 0.05$, $Z > 1.96$)로 해석되는 지역은 그림 11과 같다.

그림 11. 2009년 7, 8월 수해로 인한 농경지피해 등급도(좌) 및 High-High 유역

그림 11의 우측지도에서 붉은 색(High-High)으로 나타나는 읍면동은 비록 모두 높은 농경지피해도를 보이고 있지는 않지만, 농경지피해도와 자기상관성을 고려할 때, 서로 유사한 속성을 보이고 있는 지역이란 의미이다. 따라서 이 일대 수해로 인한 농경지피해 관리를 위해서는 붉은 색으로 나타난 모든 소유역을 함께 중점 검토해야 한다는 것을 의미한다. 여기서 나타난 소유역들은 동일한 중유역권에 포함된다. 여기서 나타난 소유역들은 총 10개이며(여주수위표, 양화천합류점, 양화천, 곡수천, 북하천상류, 북하천중류, 북하천하류, 흑천합류점, 남한강하류, 경안천상류), 경안천, 남한강하류 중 유역권에 포함된다.

4) 농경지피해 관심유역의 경사, 지표 불투수면, 배수펌프장 수해피해와 관련한 주요 요소로서 농경지피해가 군집한 유역의 경사와 지표 불투수면을 살펴보았다. 농경지 피해 역시 주택지 피해 분석과 마찬가지로 대체적인 경향을 기술할 수 있으나 일반화하는 어렵다. 따라서 농경지피해 관심유역의 경사 및 지표 불투수면의 경향을 보면, 총 10개의 농경지피해

표 3. 농경지피해 군집유역의 경사 및 불투수면적 비율

유역	경사(%)					불투수면적(%)
	40 이상	40 ~20	20 ~10	10 ~5	5 이하	
여주수위표	3.8	21.7	25.2	19.6	29.6	6.4
양화천합류점	1.7	12.8	27.0	23.0	35.6	7.4
양화천	0.9	8.4	20.6	30.1	40.0	7.1
곡수천	9.1	26.0	24.1	13.0	27.8	4.0
북하천상류	7.6	26.4	25.1	16.1	24.9	7.2
북하천중류	8.3	15.7	16.6	18.1	41.2	11.7
북하천하류	3.4	8.5	16.7	24.5	46.9	7.7
흑천합류점	22.5	30.8	16.2	8.7	21.8	3.8
남한강하류	26.3	41.5	14.2	5.3	12.7	2.9
경안천상류	16.8	38.1	17.9	9.4	17.8	7.8

관심구역 중 불투수면적비는 10개 구역 모두 25% 이하이며, 6개의 구역이 경사 5% 이하 비율이 높아, 농경지피해가 높은 구역들은 경사나 불투수면적과는 눈에 띄는 경향을 보이고 있지 않다고 할 수 있다.

그밖에 피해구역의 배수펌프장(2010년 경기도 내부자료) 현황을 보면, 주택피해와 마찬가지로, 농경지피해가 높은 지역에 해당하는 시군에서도 20년 설계빈도의 배수펌프장이 운영되고 지자체 뿐 아니라 농어촌공사에 의한 펌프장도 운영되고 있어, 배수펌프장과 피해구역과의 관계를 설명하기에는 무리가 있다.

표 4. 농경지피해 군집시군 및 구역의 배수펌프장 현황

해당 주요 시군	배수펌프장				해당구역
	지자체		농어촌공사		
	개 소	설계빈도 (년)×개소	개 소	설계빈도 (년)×개소	
여주군	2	20×1, 미확인×1	1	20×1	여주수위표, 양화천 합류점, 양화천, 곡수천, 흑천합류점
이천시	5	10×4, 20×1	2	20×2	북하천상류, 북하천 중류, 북하천하류
광주시	3	20×3	-	-	북하천상류, 남한강하류
용인시	-	-	-	-	북하천상류, 경안천상류
양평군	7	10×2, 20×5	-	-	남한강하류
수원시	4	10×1, 20×3	-	-	황구지천상류

3.3 하천 이격거리를 고려한 수해피해지 분석

3.3.1 분석범위, 자료 및 방법

1) 분석범위

서울시의 침수피해 특성을 살펴보면 침수주택은 대부분 하천변 저지대에 위치하고 있다(심우배, 2008). 그렇다면 경기도의 침수피해 특성 역시 1) 서울시와 유사한 양상을 보이는지에 대한 검토를 해 볼 필요가 있으며, 만일 경기도 도시침수피해가 서울시와 유사한 양상을 보인다면, 2) 하천에서부터 침수피해지까지의 이격거리에 있어서는 의미 있는 거리는 어느 정도 될 것인지 확인해 볼 필요가 있을 것이다.

일반적으로 구역 내 가장 표고가 낮은 곳에 하천이 입지하게 되고, 구역 및 하천변 경사가 완만할 경우 대부분의 저지대는 하천변에 입지하게 된다는 점을 고려할 때, 사실상 본 분석은 하천으로부터 침수로 인한 수해지들의 이격거리와 거리별 피해빈도에 대한 패턴을 살펴보는 것이 될 것이다.

하천이격거리를 고려한 수해지 분석은 주택피해지와 농경지피해지 두 가지 모두에 대해 진행하였으며, 이들은 상호 다른 지역에 분포하는 등 상이한 특성을 보이고 있으므로, 각각 하천변에서부터 1,000m까지 구간별로 살펴보았다.

2) 자료 및 방법

하천으로부터의 거리를 측정하기 위해서는 먼저 경기도 지역의 국가 및 지방하천을 비롯한 세류하천을 나타내는 도면

이 필요하다. 따라서 가장 먼저 세류하천 자료가 필요한데 이는 DEM(Digital Elevation Model) 자료를 통해 추출할 수도 있으나, 본 연구에서는 보다 세밀한 하천을 나타내기 위해서 1) 국가 및 지방하천도와 2) 2010년 기준의 지적도에서 ‘천’으로 구분된 지역을 추출하여 세류하천 자료를 구축하였다.

3.3.2 하천 이격거리별 주택 피해

경기도의 2009년 7~8월 호우에 의한 전체 주택피해수는 1,783호⁴⁾이다. 피해원인을 살펴보면 침수가 1,754호(98.37%)로 높은 비중을 차지하고, 그밖에 하천범람, 산사태, 건물붕괴, 축대붕괴, 옹벽붕괴 등의 피해도 있으나 그 비율은 매우 낮다. 하천범람이 차지하는 비중은 0.62%로 매우 낮다.

표 5. 2009년 7~8월 수해에 의한 주택피해

구분	침수	하천범람	건물붕괴	산사태	옹벽붕괴	축대붕괴	기타	계
피해주택수(호)	1,754	11	3	5	1	3	6	1,783
비율(%)	98.37	0.62	0.17	0.28	0.05	0.17	0.34	100

1) 하천변에서 부터 1,000m까지 100m 단위 10구간 구분 시 먼저 하천 이격거리 1,000m 이상의 지역에서 피해가 있는 66호의 주택을 제외한 총 1,717호를 대상으로 측정하였는데, 100m 단위로 10구간 구분 시 0~100m 미만의 주택피해는 662호(38%)인데 반해 100~200m 미만의 피해 주택수는 313호로 약 1/2가량 감소하여 사실상 100m 미만에서 가장 많은 피해가 발생하였다. 이를 추세선을 통해 살펴보면 대략적으로 하천의 이격거리가 100m 증가할수록 약 55호의 주택피해가 감소하였다.

그림 12. 하천 이격거리별 피해 주택수(100m 구간)

2) 하천변에서 부터 1,000m까지 50m 단위 20구간 구분 시 보다 세밀하게 살펴보기 위해서 이격거리 구간을 50m 단위로 살펴보았는데, 하천 이격거리가 50m 증가할수록 약 13호의 주택피해가 감소하였다. 특히 0~50m 미만, 50~100m 미만 사이에 위치한 주택의 경우 피해가 비슷하게 나타나 하천변에서부터 50m는 큰 의미를 보이지 않는다.

4) 신고된 주소지가 기준이며, 정확히 식별되지 않은 주소지 제외하였음. 경기도 재난관리과 자료에서 발췌.

그림 13. 하천 이격거리별 피해 주택수(50m 구간)

3) 하천 이격거리별 주택피해 결과

하천변에서 50m, 100m 단위로 이격거리 분석결과는 1) 경기도 주택침수의 경향은 서울시와 유사하게 하천변 저지대를 중심으로 발생하며, 2) 하천에서부터 침수피해지까지의 이격거리에 있어서는 중요한 거리는 약 100m 정도라는 것을 나타낸다. 이는 경기도의 2009년 7~8월 호우에 의한 주택침수의 분포에 의하면, 주택침수에 대한 높은 관심·관리가 필요한 지역은 하천변 100m 이내 지역이라는 것을 의미한다.

이밖에, 주택피해지 위치를 살펴본바 경기도 주택침수는 하천변에 가까울수록 피해가 크지만 그 원인은 하천범람보다는 대다수가 내수침수라는 것을 보여주는데 이는 전국의 상습피해지구의 원인 중 내수가 약 73%이고 외수에 의한 침수가 약 27%라는 기존의 연구결과(심재현·김영복, 2006)를 뒷받침하고 있다. 내수침수를 설명하기 위해서는 저지대, 경사, 표고, 배수시설, 토지이용관리 뿐만 아니라 내수침수를 일으키는 여러 요소들에 대한 설명이 필요하다.

3.3.3 하천 이격거리별 농경지 피해

경기도의 2009년 7~8월 호우에 의한 전체 농경지피해수는 1,151호⁵⁾이다. 피해원인을 살펴보면 침수가 504호(43.79%)로 높은 비중을 차지하나, 주택피해와는 달리, 하천범람에 의한 피해도 213호(18.51%)에 달한다. 그밖에 하천범람, 산사태, 건물붕괴, 축대붕괴, 옹벽붕괴 등에 의한 피해도 나타나고 있다.

표 6. 2009년 7~8월 호우에 의한 농경지 피해

구분	침수	하천범람	하천급류	제방붕괴	산사태	축대붕괴	옹벽붕괴	기타	계
피해농경지(호)	504	213	73	54	29	6	2	270	1,151
비율(%)	43.79	18.51	6.34	4.69	2.52	0.52	0.17	23.46	100

1) 하천변에서 부터 1,000m까지 100m 단위 10구간 구분 시 먼저 하천 이격거리 1,000m 이상의 지역에서 피해가 있는 농경지 50호를 제외한 총 1,101호를 대상으로 측정하였는데, 100m 단위로 10구간 구분 시 0~100m 미만의 피해 농경지

5) 신고된 주소지가 기준이며, 정확히 식별되지 않은 주소지 제외하였음. 경기도 재난관리과 자료에서 발췌.

는 473호인데 반해 100~200m 미만인 피해 농경지는 131호로 약 3배 이상의 차이를 보인다. 추세선으로 보면, 하천으로부터의 이격거리가 100m 증가할 때마다 33호의 농경지 피해가 감소하고 있어 주택피해와 마찬가지로 하천으로부터의 이격거리가 100m 미만일 때 농경지 피해가 높은 것으로 나타난다. 이는 무엇보다도 100m 이내에 농경지가 많이 입지하고 있기 때문이며 한 예로 농경지피해가 많은 관심유역 내 토지이용 비율에서도 잘 나타난다.

그림 14. 하천 이격거리별 피해 농경지수(100m구간)

그림 15. 하천에서 100m 이내 토지이용 비율(농경지 피해 관심유역)

2) 하천변에서 부터 1,000m까지 50m 단위 20구간 구분 시보다 세밀하게 살펴보기 위해서 이격거리 구간을 50m 단위로 살펴보았는데, 하천으로부터 이격거리 50m 미만에서 피해(314호)와 50~100m 미만(159호)에서의 피해는 약 2배 가까이 나타나고 있다. 100m 미만에서 농경지 피해가 총 473호라는 점을 고려할 때 하천변에서부터 50m까지의 관리가 중요하다는 것을 의미한다.

그림 16. 하천 이격거리별 피해 농경지수(50m 구간)

3) 하천 이격거리별 농경지피해 결과

하천변에서 50m, 100m 단위로 이격거리 분석결과, 농경지 피해에 있어서는 하천에서부터 50m 까지가 매우 중요하다는 것을 나타내고 있다. 이는 침수피해에 있어서 주택과 농경지는 서로 다른 공간패턴을 보이고 있음을 의미한다.

4. 공간분석 결과에 따른 분포특성

수해지 분포분석은 크게 세 종류로 1) 개괄적인 수해피해지 분석, 2) 공간자기상관성 분석, 3) 하천 이격거리 분석으로 수행하였으며 결과를 종합해 보면 다음과 같다.

첫째, 2005~2009년까지 개괄적인 수해피해지 분포 경향은 아래의 표로 정리될 수 있다.

표 7. 유형별 피해분포와 주요 공간분포 경향

피해유형	주요 공간분포
농경지 피해	<ul style="list-style-type: none"> 특정 시군에서 타 시군에 비해 넓은 면적의 농경지 피해가 상습적으로 발생하지는 않음 타 시군에 비해 상대적으로 높은 피해는 매년 몇 개 시군들에 집중되어 발생
건물피해	<ul style="list-style-type: none"> 서울을 포함한 주변지역에서 매우 높은 편임 서울 인접지역을 중심으로 경기도 전역에 걸쳐 매우 넓게 분포
도로교량 피해	<ul style="list-style-type: none"> 경기도 동부지역을 중심으로 북부와 남부를 잇는 양상 교외지역 비율이 높은 시군에서 보다 높은 정도의 피해가 발생
하천피해	<ul style="list-style-type: none"> 경기 동부를 중심으로 북부 및 남부지역이 타 지역 보다 높은 피해정도
소하천 피해	<ul style="list-style-type: none"> 경기 동부를 중심으로 북부 및 남부지역이 타 지역 보다 높은 피해정도

둘째, 2009년 7~8월 수해지 자료를 이용한 공간자기상관성 분석에서 도출된 결과로는 1) 일반적으로 강수량이 높은 지역에서 침수 피해가 높게 나타나며 주택과 농경지의 피해지 밀도는 서로 다른 공간 분포를 보인다(주택은 수원, 안양, 안산, 광주에서 농경지는 여주, 이천, 양평 중심), 2) 피해정도가 높고 서로 군집을 이룬 지역은 주택피해의 경우 유역내 완만한 경사의 평탄지에 해당하는 경사 5% 이하의 비율이 높은 경향을 보이고 있으며, 농경지피해는 경사나 불투수면과 눈에 띄는 경향을 보이지 않는다, 3) 피해시군의 배수펌프장 설계빈도나 개소와의 관계설명은 무리가 있었다.

셋째, 하천이격거리 분석에 따른 결과로 1) 경기도 주택침수의 경향은 서울시와 유사하게 하천변 저지대를 중심으로 발생하고 농경지 침수도 하천변 저지대 중심으로 발생한다, 2) 주택침수에 대한 높은 관심·관리가 필요한 지역은 하천변 약 100m 이내 지역이며, 농경지침수는 하천에서부터 약 50m 정도까지이다. 이는 침수피해에 있어서 주택과 농경지는 서로 다른 공간 분포를 보이며, 이에 서로 다른 관리 접근이 필요함을 의미하고 있다.

분석 결과를 종합하면 그림 17과 같이 나타낼 수 있다.

5. 결론 및 정책제언

수해 피해지 분포특성을 고려한 수해대응측면의 토지이용

주 : 1) 단위별 피해분포란 주택(동), 농경지(ha), 도로교량(m), 하천(m) 등 각 항목의 단위별 피해규모를 의미하며 피해액과는 다른 분포를 보이게 된다. 연도별 피해분포란 최근 5년간의 피해 자료를 합하거나 평균을 낸 값이 아니라, 매년 피해항목별로 타 지역에 비해 피해 규모가 큰 지역의 분포를 의미한다. 예를 들면, 경기 동부지역은 미터(m) 기준으로, 최근 5년간 매년 타 지역에 비해 상대적으로 큰 규모의 도로교량, 하천, 소하천피해를 보이고 있다.

2) 주택 및 농경지 피해 핵심유역은 2009년 한해만의 현황을 나타낸 것으로, 그 일대가 상습적인 핵심유역이란 것을 의미하는 것은 아님.

그림 17. 연도 및 단위별 피해규모에 따른 분포경향(2005~2009년)과 주택 및 농경지 핵심유역(2009년)

관리방안은 다음과 같다.

첫째, 하천 이격거리 분석에 따른 결과를 바탕으로 하천변 토지이용 관리 우선지역을 선정하여 관리가 필요하다. 경기도의 주택침수와 농경지 침수는 모두 하천변 저지대를 중심으로 발생하므로 이에 따른 하천변 저지대에 대한 유역별 관리가 실행되어야 하겠다.

농경지 피해의 경우 피해가 가장 집중되는 하천에서부터 50m 구간, 그 다음으로 높은 피해를 보이는 50~100m 구간, 그리고 100m 이상으로 최소 세 구간을 나누어 관리하는 것이 효율적일 것이다. 또한 주택피해의 경우 경사 5%이하 비율이 높은 유역을 중심으로 피해가 가장 집중되는 하천변에서 100m까지 구간, 그리고 100m 이상으로 최소 두 구간으로 구분하여 관리하는 것이 효과적일 것이다.

둘째, 경기 동부를 중심으로 북부와 남부를 잇는 지역의 경

표 8. 수해지 분포특성 적용 시 관리 우선지역

구분	고려사항		관리우선순위
주택 피해 대응	경사도 5% 이하	하천변 100m 이내	1 - 높음
		하천변 100m 이상	2 - 보통
	경사도 5% 이상	하천변 100m 이내	2 - 보통
		하천변 100m 이상	3 - 낮음
농경지피해 대응	하천변 50m 이내		1 - 높음
	하천변 50~100m 이내		2 - 보통
	하천변 100m 이상		3 - 낮음

우 도로교량, 하천, 소하천에 대한 관리가 필요하다. 이들 유형은 유형별 피해분포 분석 결과 타 지역보다 높은 피해정도가 나타났으며 이에 따라 관리역량이 집중될 필요가 있다.

셋째, 사후대책이기는 하나 2009년 주택 및 농경지 각각의 피해균집 구역 및 행정동에 대한 재해대책 및 토지이용현황에 대한 검토를 해 볼 필요가 있다. 특히, 이러한 ‘핵심구역’은 상호 ‘유사한 속성’을 보이고 있다는 점을 고려할 때, 향후 집중강우 발생 시 2009년 피해와 유사한 양상을 보일 가능성이 높으므로, 이 지역들에 대한 피해원인 검토가 필요할 것이다.

침수피해에 있어 주택과 농경지는 서로 다른 공간 분포를 보인다. 이는 주택피해가 집중되는 서울 인접 지역에는 고밀의 주택이 입지하며, 농경지피해가 집중되는 경기 동부와 남부에는 농경지 비율이 상대적으로 높기 때문이나 이에 대한 일반화는 추후 연구를 통해 심도 깊은 논의가 필요할 것이다.

본 연구에서는 경기도 일대를 사례로, 수해지 공간자료를 이용하여 다양한 형태의 탐색적 공간자료분석을 진행하였으나, 도출된 공간적 양상에 대한 원인규명에는 한계를 보이고 있다. 하지만, 주택 및 농경지 피해에 있어 관심이 필요한 지역을 구분 하는 등의 결과는 시사하는 바가 크다고 판단된다.

지금껏 경기도를 대상으로 한 수해피해에 대한 연구가 미흡했다는 점과 2010년 9월 집중호우에 의한 수도권 침수피해를 볼 때, 향후 장기적 측면에서의 피해사전대응을 위해서는 관거 정비 등의 시설측면과 더불어 토지이용 측면의 다양한 계획 및 근거마련에 대한 연구가 지속적으로 진행될 필요가 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참고문헌

강상준(2010) Impact of BMP Allocation on Discharge and Avoided Costs in an Urbanized Watershed. **환경정책연구**, 한국환경정책평가연구원, 제9권 제24호, pp. 83-107.
 강상준 · 안창우(2006) Impact of Land Use Change on Discharge Regime and Water Quality in a Small Watershed. **국토연구**, 국토연구원, 제50권, pp. 3-18.
 건설교통부(2008) **기후변화대비 국가 물안보 확보방안**. 연구보고서, 건설교통부.
 고재경(2009) **경기도 기후변화 취약성 평가 연구**. 연구보고서, 경

기개발연구원.
 국토해양부(2008) **이상기후에 대비한 시설기준 강화 연구보고서**. 국토해양부.
 김영 외(2004) 공간적 자기상관분석을 이용한 지방 연담도시의 도시공간구조 비교분석 및 상호작용분석. **대한국토·도시계획학회지**, 대한국토·도시계획학회, 제39권 제6호, pp. 7-22.
 김재익 · 권진휘(2010) 대도시권의 중심도시와 하위지역간 상호연관관계의 특성 : 대구광역시와 경상북도의 관계를 중심으로. **대한국토·도시계획학회지**, 대한국토·도시계획학회, 제45권 제1호, pp. 139-153.
 소방방재청(2009) **2008 재난연감**. 소방방재청.
 소방방재청(1995-2009) **재해연보**. 소방방재청.
 심우배(2008) 우리나라 도시침수피해 특성과 대응과제. **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제41권 제9호, pp. 41-46.
 심재현 · 김영복(2006) 전국 상습수해지구 현황과 대책. **방재연구**, 국립방재교육연구원, 제8권 제1호, pp. 79-94.
 정주철 외(2007) **자연친화적인 자연재해완화정책에 관한 연구**. 연구보고서, 한국환경정책평가연구원.
 지흥기 외(2005) **지구단위 홍수방어계획 수립방향**. 제10회 방재안전 세미나 자료집(5월 27일).
 최충익(2003) 도시적 토지이용의 변화가 도시의 자연재해취약성에 미치는 영향에 관한 연구 : 경기도를 사례로. **대한국토계획학회지**, 대한국토·도시계획학회, 제38권 제2호, pp. 35-48.
 한건연(2009) **선진기술을 활용한 차세대 홍수방어기술 개발**. 제14회 방재안전 세미나 자료집(6월 30일).
 허준행(2009) **강우예측을 통한 홍수기 댐운영 효율화 추진**. 제14회 방재안전 세미나 자료집(6월 30일).
 Anselin, L. et al. (1993) Spatial analyses of crime, *Criminal Justice* 2000.
 Anselin, L. (1995) Local indicator of spatial association, *Geographical Analysis*, Vol. 27, No. 2, pp. 93-115.
 Anselin, L. (2002) Exploring spatial data with DynESDA2, *Center for Spatially Integrated Social Science*. IL.
 Geis, D. E. (2000) By design: The disaster resistant and quality of life community, *Natural Hazards Review*, Vol. 1, No. 3, pp. 151-160.
 Godschalk, D. R. (2003) Urban Hazard Mitigation: Creating Resilient Cities. *Natural Hazards Review*, Vol. 4, No. 3, pp. 136-143
 Philip, R. et al. (2003) Greening development to protect watersheds: Does new urbanism make a difference?, *Journal of the American Planning Association*, Vol. 69, No. 4, pp. 397-413.
 Schueler, T. R. (1994) The importance of imperviousness, *Water Protection Techniques*, Vol. 1, No. 3, pp. 100-111.
 Stevens, M. R., Berke, P. R., and Song, Y. (2010) Creating disaster resilient communities: Evaluating the promise and performance of new urbanism, *Journal of Landscape and Urban Planning*, Vol. 94, pp. 105-115.
 Talen, E. and Anselin, L. (1998). Assessing spatial equity: An evaluation of measures of accessibility of public playgrounds. *Environment and Planning A*, Vol. 30, pp. 595-613.

(접수일: 2011.8.8/심사일: 2011.9.13/심사완료일: 2012.7.4)