

토지이용 특성과 침수피해면적 간의 관계 분석 : 서울시를 사례로¹⁾

Analyzing Relationships between Land Use Characteristics and Flood Damage Areas: The Case of Seoul

신상영 Shin Sangyoung²⁾, 박창열 Park Changyeol³⁾

Abstract

Changes of rainfall pattern and land use have increased flood disaster risks in urban areas. Using the case of flood damage areas by heavy rainfalls of September 2010 and July 2011 in Seoul, this study analyzes land use factors influencing flood damages based on 239 drainage area units. After examining spatial distributions of flood damage areas in Seoul, the study analyzes the characteristics of land use in flood damage areas. Also, several regression models explore the relationship between flood damage areas and land use characteristics. The analysis finds that flood damage areas are associated with maximum rainfall intensity, flatland or gentle slope, residential-commercial mixed use, commercial and business use, detached housing use, and green and open spaces. The study implies that, while more aggressive adaptational measures to climate change are needed, urban planning measures to reduce flood risk and stormwater runoff would be strongly effective by designating and managing the flood damage areas. Also, the study implies that flood prevention strategies could be customized to local characteristics such as topography, land use and land cover, and drainage systems since both rainfall and flood damage distributions are highly localized. This study suggests that urban planning measures additional to structural flood control measures would be helpful to reduce urban flood risk more fundamentally.

Keywords: Flood Damage, Land Use, Urban Planning, Flood Mitigation Measures

I. 서론

최근 도시지역의 침수피해가 증가하고 있으며 피해 규모 역시 확대되고 있다. 이는 다양한 영향 요인에 의해 강우-유출 특성이 극단적으로 변화하였기 때문으로, 그 변화의 정도는 도시지역에서 더욱 크게 나타

난다. 지속적인 도시화의 영향으로 인한 유역 특성인자의 변화는 유출 규모를 증대시키며, 호우 규모 역시 기후변화와 기상이변으로 인해 극단적으로 변화하고 있다(Schueler and Holland, 1994; IPCC, 2007; Sheng and Wilson, 2008; 유철상 외, 2010; 국토연구원, 2009; 소방방재청, 2010). 일례로, 대표적 고밀화

1) 본 논문은 국토해양부 첨단도시개발사업의 연구비지원(11첨단도시G09)에 의해 수행되었음.

2) 서울연구원 연구위원(제1저자) | Research Fellow, Dept. of Safety and Environment Research, The Seoul Institute | Primary Author | syshin@si.re.kr

3) 서울연구원 초빙부연구위원(교신저자) | Associate Research Fellow, Dept. of Safety and Environment Research, The Seoul Institute | Corresponding Author | changyeol@si.re.kr

도시인 서울의 최근 침수피해 사례를 살펴보면, 침수 피해는 배수시설이 부족하거나 불량한 지역, 저지대와 같은 지형적으로 불리한 지역, 반지하주택 및 지하공간, 도시개발에 따른 불투수 포장면적이 과도한 지역 등에서 빈번히 발생함을 알 수 있다. 이러한 피해지역들에서 보다 주목해야 할 점은 침수피해의 원인이 복합적이긴 하지만, 지역적 여건에 따라 피해원인의 상대적 기여도와 결합 형태에 차이가 있다는 점이다(서울특별시, 2011b; 신상영 외, 2011b; 박창열 외, 2013).

과거의 도시지역 수방대책은 하천제방, 우수관망, 빗물펌프장 등과 같은 구조물적 대책에 집중되어왔지만, 최근 집중호우에 의한 도심지 침수피해의 증가는 유역 전반에 걸친 보다 종합적인 대책이 시급함을 시사한다. 이로 인해 수방대책의 패러다임 역시 불확실한 기상이변에 대응하기 위한 보완적인 수단들을 모색하고, 도시의 건전한 물순환 체계를 회복하기 위한 방향으로 전환되고 있다(국토연구원, 2009; 서울특별시, 2013). 국내외의 수방대책을 살펴보면, 최근에는 장기적인 관점에서 사전예방 차원의 재해저감 및 완화단계에 초점을 둔 비구조적 대책들을 중요시하고 있다. 이와 같은 비구조적 수방대책은 침수피해를 최소화하는 도시계획, 유출저감을 목적으로 한 토지이용관리, 우수유출저감시설 확충 등과 같은 적극적인 대책과 풍수해 보험, 홍수에·경보시스템, 재해지도 작성 등과 같은 소극적 대책으로 구분할 수 있으며, 그 성격에 따라 각 분야에서 활발한 연구가 진행되고 있다.

도시지역 수해와 관련된 문제를 다룬 연구는 피해 현황 및 특성 분석, 홍수취약성 분석, 우수유출저감기술 개발, 수방시설기준 강화, 취약지역의 영향인자 분석, 도시계획 및 토지이용 관리기법 마련 등 매우 다양한 분야에서 찾아볼 수 있다(Walesh, 1989; Schueler and Holland, 1994; Hall et al, 2005;

Rygel et al. 2006; 최충익, 2003; 송재우·임장혁, 2007; 정주철 외, 2007; 한국기술연구원, 2008; 소방방재청, 2009; 유철상 외, 2010; 강상준·조성환, 2011; 강상준·정주철, 2012; 박민규 외, 2012; 박창열 외, 2013; 서울특별시, 2013; 이병재 외, 2013). 그중 도시계획적 수단을 통한 수해관리가 큰 정책적 관심사로 등장하였는데, 지금까지 침수피해를 저감하기 위한 대책으로 도시계획적 대책이 얼마나 효과가 있을 것인가에 대한 실증적 연구는 크게 부족한 실정이다. 특히, 도시계획을 통한 대책들은 주로 시가지구역의 토지이용을 제어하는 것이고, 따라서 사유재산권에 직접적인 영향을 미치지 때문에 이를 적용하기 위해서는 사전에 예상되는 효과와 적용가능성을 명확히 검증할 필요가 있다.

이에 본 논문에서는 서울시의 2010년 9월과 2011년 7월 침수피해를 사례로 도시지역 토지이용 특성과 침수피해지역 간의 관계를 통계적인 분석을 통해 실증적으로 파악하고자 한다. 궁극적으로는 그 관계를 침수피해 저감을 위한 도시계획적 대책의 기초자료로 삼고 정책적 시사점을 도출해 보고자 한다. 이를 위한 본 논문의 내용은 다음과 같은 네 가지인데, 첫째, 서울시의 주요 침수피해지역의 공간적 특성 분석, 둘째, 침수피해지역에 대한 토지이용 관련 영향인자 분석, 셋째, 토지이용 특성과 침수피해지역 간의 관계 분석, 넷째, 분석 결과를 반영한 토지이용상의 정책적 시사점 도출로 설정하고 진행하였다.

II. 배경이론 및 선행연구 검토

1. 배경이론

침수피해에 영향을 미치는 요인은 크게 강우 특성, 유역 특성, 유출의 수리·수문 특성 등으로 구분할 수 있다(그림 1) 참조. 이 중 유역 특성은 지형, 지질

그림 1_ 침수피해에 영향을 미치는 다양한 요인

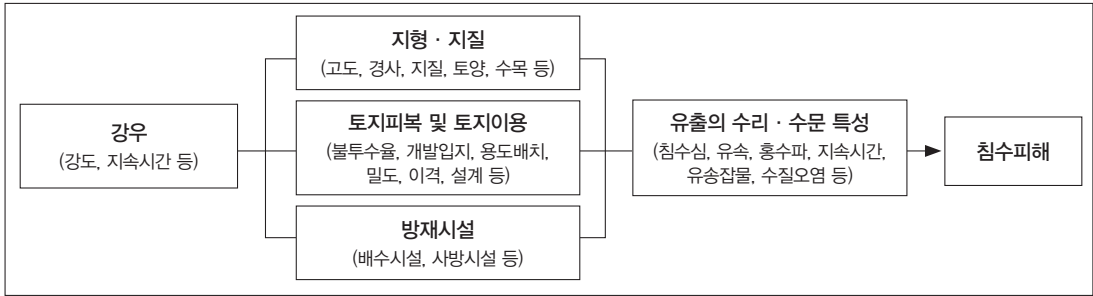
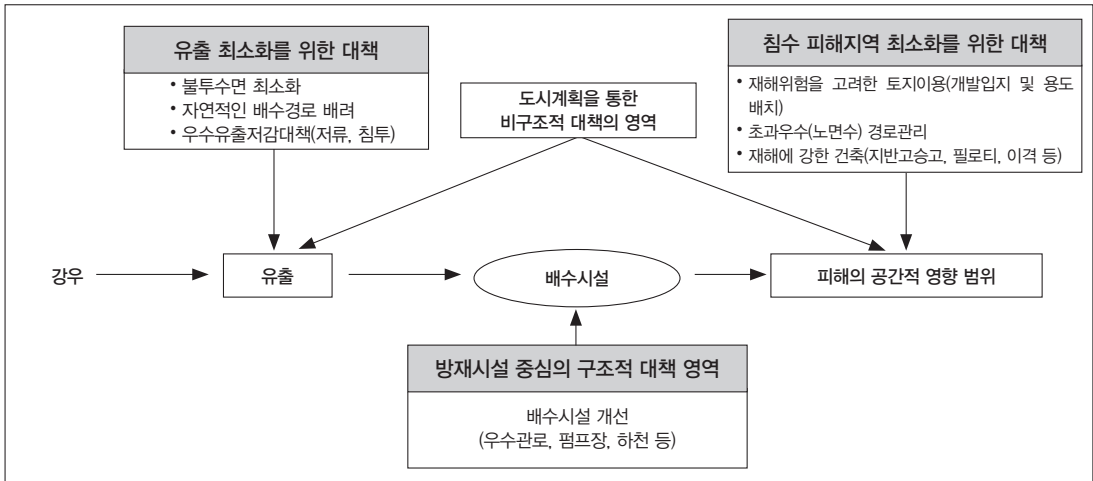


그림 2_ 침수피해 저감을 위한 두 가지 토지이용전략



· 토양과 같은 자연적인 조건, 지표면의 불투수포장면, 개발밀도, 용도구성, 건축물·시설물 배치와 같은 토지피복 및 토지이용 조건, 우수관로를 비롯한 방재시설 조건 등으로 구분할 수 있다. 넓은 의미에서의 토지이용이란 토지의 피복 및 기능적 이용 상황을 말하며, 입지, 밀도, 구성, 배치, 형태 등 다양한 차원을 가진다.

침수피해를 줄이기 위한 전략으로서 토지이용의 역할은 두 가지 측면에서 볼 수 있다(〈그림 2〉 참조). 첫째, 우수유출을 최소화하는 토지이용 측면이 있는데, 이는 시가지의 불투수율 또는 유출계수를 낮추거나 침투 및 저류를 통한 유출저감대책을 통해 배수시설에 대한 유출 부담을 최소화함으로써 궁극적

으로 침수피해를 줄이고자 하는 간접적인 접근방법이다. 일반적으로 도시개발에 따른 물순환 왜곡을 자연상태에 가깝게 되돌리고자 하는 저영향개발(Low Impact Development: LID)과 같은 유출저감기법이 이에 해당한다고 볼 수 있다. 둘째, 초과우수로 인한 침수피해를 최소화하는 토지 이용 측면이 있는데, 이는 배수시설용량을 초과하는 집중호우로 인한 피해를 줄이기 위하여 저지대를 비롯한 침수취약 지역을 고려하여 개발입지와 토지이용을 제어하는 보다 직접적인 접근방법이다. 일반적으로 좁은 의미에서 침수피해를 줄이기 위한 전략이란 후자를 지칭하며, 과거 침수피해 지역이나 장래에 예상되는 침수피해 지역을 식별하고, 그에 따라 개발입지를 제한하거나 주

택을 비롯한 취약용도의 배치 또는 이전, 건축물 재배치 및 승고(지반고승고, 필로티) 등의 대책이 동원된다. 도시지역의 침수피해를 줄이기 위해서는 위의 두 가지 전략을 적절히 병행할 필요가 있다.

2. 선행연구 검토

기존의 관련 연구에서 토지이용과 침수피해 지역 간의 관계에 대한 체계적이고 정밀한 통계적 분석은 찾아보기 어렵고, 침수피해 지역의 입지 및 토지이용 특성에 대한 기술적(descriptive) 통계분석에 기초한 단편적인 분석 결과들은 많이 있다. 예컨대, 강상준·박은아(2010)의 경기도 수해지역에 대한 분석에서는 주택침수가 경사 5% 이하의 평탄지, 하천변 100m 이내의 저지대에서 많이 발생함을 보여주고 있다. 강정은 외(2011)는 공원, 완충녹지, 공공공지, 내륙 및 해양습지로 구성되는 그린인프라의 방재효과를 분석하였으며, 그린인프라 면적이 1% 증가하면 홍수 재산피해액이 약 6% 감소하는 것으로 나타났다. 신상영 외(2011a)의 분석에서는 서울시의 상습침수 지역들이 우수관로 통수능력 부족지역뿐만 아니라 주로 하천 계획홍수위 이하 및 하상고에 근접하는 저지대 지역, 반지하주택 및 지하공간, 불투수율 90% 이상 지역 등에서 빈번히 발생함을 보여주고 있다.

도시개발의 입지적 특성과 토지이용이 침수피해에 미치는 영향은 이미 명확해졌다고 인식되고 있기 때문에 지금까지 많은 연구에서 수해위험도 평가 시 이를 평가인자로 고려하고 있다. 예컨대, 서울특별시(2011b)는 서울시의 239개 배수분구를 공간단위로 수해위험도를 Entropy 기법과 다기준의사결정기법의 하나인 PROMETHEE 방법을 통해 평가하였는데, 하천홍수위 2m 이하 지역, 습윤지수(TWI) 10 초과 지역, 경사도 2% 미만 지역, 불투수율, 3층 이하 저층주거지역 비율, 상업지역 비율, 지하공간 및 반지하

건물 비율 등을 평가지표로 포함하고 있다.

한편, 합리식이나 SCS-CN 모델에서 이미 정립된 바와 같이, 토지이용과 유출 특성 간의 관계에 대해서는 많은 시뮬레이션류 연구들이 존재하고 있다. 예컨대, 안소라 외(2008)는 경안천 상류유역을 대상으로 장래 토지이용과 기후변화 시나리오에 따른 유출 특성을 모의하여, 도시화의 영향으로 유출물이 증가함을 확인하였다. 이동근 외(2010)는 과천시 도시기본계획을 사례로 장래 토지이용과 기후변화 시나리오에 따른 유출량 변화를 모의하여, 토지이용이 2% 변화하였을 때 유출수량은 약 4% 정도 증가함을 밝혀냈다.

또한 LID에 대한 관심과 함께 LID 기법 적용에 따른 유출저감효과에 대한 연구도 늘어나고 있다. 예컨대, 박준호 외(2008)는 춘천 거두1지구를 사례로 도시개발 이전, 기존 도시개발방법, LID 적용 시 유출량 변화를 모의한 결과, LID 도시설계 적용으로 기존 개발계획에 의한 도시개발보다 투수면적이 증가하여 총유출량과 침투유출량이 감소함을 확인하였다. 전지홍 외(2009)는 서울시에 소재하는 2개 아파트단지를 대상으로 LID 기법 적용에 따른 유출량 저감효과를 분석하여 LID 선정 가이드라인을 제시하였다.

최근 들어 전통적인 배수시설에 더하여 시가지유역에서의 토지이용 조절을 통한 유출 및 침수피해 저감에 대한 관심이 높아지고, 이에 대한 다양한 측면의 연구들이 늘어나고 있음은 다행스런 일이다. 그러나 상대적인 효과성에 대한 연구는 아직 충분하다고 보기 어렵다. 개발입지 및 토지이용을 조절함으로써 유출을 줄이고 침수피해를 줄일 것으로 예상되는 것은 분명하지만, 그러한 정책이 적용될 경우의 재산권에 대한 제한, 추가적인 비용 등을 고려할 때, 토지이용의 어떤 측면이 침수피해를 줄이는 데 어느 정도 효과적일 것인가를 사전에 충분히 검증할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 토지이용 측면에 중점을 두고 침수피해에 대한 영향요인들을 분석해보고자 한다.

III. 침수피해지역과 토지이용 특성

1. 서울시의 최근 침수피해지역

본 논문에서는 서울시의 239개 배수분구를 대상으로 2010년 9월 말 집중호우와 2011년 7월 말 집중호우 당시의 침수피해 현황과 지역 특성을 분석하고자 한다. 서울시의 침수피해는 하천에 의한 외수침수보다는 시가지 저지대, 배수시설 등에 의한 내수침수가 주류를 이루기 때문에 분석단위로 배수분구(서울시의 경우 239개)는 합리적이라고 사료된다. 서울지역에는 2010년과 2011년에 연이어 기습적인 집중호우에 의한 침수피해가 발생하였는데, 2010년 9월 21일

호우로 인해 강서지역에서 시간당 99mm의 강한 비가 내렸고, 2011년 7월 27일 호우의 경우 관악구에서 시간당 113mm가 내려 기상관측사상 최고치를 기록하였다(<표 1> 참조).

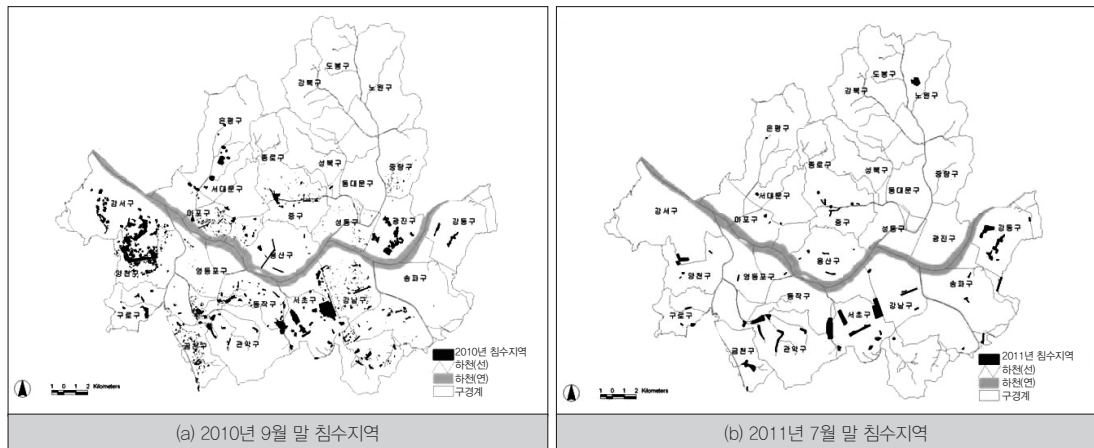
<그림 3>에서 주목할 부분은 침수피해지역들이 공간적으로 상관성이 높다는 점이다(강상준·정주철, 2012; 신상영 외, 2011a; 박창열 외, 2013). 다시 말해, 침수피해 지역이 반복적으로 발생하거나 그 피해가 주변지역으로 전이되는 특성을 갖는 것이다. 2011년의 침수피해 사례를 보면, 침수가 발생한 지역 중 이전에도 침수피해가 있었던 지역의 비율은 전체의 약 1/3 정도로 나타났다. 이는 침수 취약지역에 대한 집중적인 관리가 미흡하며, 이들 지역 특성에 맞

표 1_ 서울시 침수피해 현황

구분		2010년 9월 21일	2011년 7월 27일
강우량 (mm)	1시간	강서 98.5	남현 113.0
	3시간	강서 233.0	남현 203.0
피해특성 및 규모		지하주택 및 단순도로 침수 · 침수 17,905세대 · 부상 1명	주택침수, 토사류 발생 · 침수 14,809세대 · 사망 19명, 실종 2명, 부상 41명

주: 우면산 산사태-사망 16명, 부상 18명(당시 누적 강우량 325mm).
자료: 서울특별시, 2011a.

그림 3_ 서울시의 2010년 9월 말 및 2011년 7월 말 침수피해지역 분포



자료: 서울시, 2011b.

표 2_ 서울시 239개 배수분구의 강우 및 유역 특성

구분	변수	평균	표준편차	변이계수	왜곡도계수
침수면적	2010년 9월 침수면적률(%)	5.7	15.0	262.50	5.32
	2011년 7월 침수면적률(%)	2.8	8.8	309.49	5.38
강우	2010년 9월 시간당 최대 강우량(mm)	69.9	17.8	25.50	-0.78
	2010년 9월 24시간 최대 강우량(mm)	231.7	51.7	22.32	-1.02
	2011년 7월 시간당 최대 강우량(mm)	63.8	12.3	19.22	1.68
	2011년 7월 24시간 최대 강우량(mm)	281.5	27.3	9.71	-0.12
지형	인근 하천 계획홍수위 이하 지역 비율(%)	23.6	30.3	128.71	1.11
	완경사 지역 비율(%)	48.4	25.7	53.07	0.14
토지피복	불투수율(%)	54.0	22.7	41.97	-0.58
토지이용	녹지·오픈스페이스 비율(%)	25.4	23.7	93.29	1.08
	단독주택지 비율(%)	10.4	12.2	116.80	1.52
	공동주택지 비율(%)	11.8	10.1	85.60	1.11
	주거·상업혼재지 비율(%)	16.2	14.7	91.04	1.06
	상업·업무시설지 비율(%)	6.5	7.6	118.31	2.39
	교통시설지 비율(%)	11.1	7.5	67.84	2.51
배수시설	시기화면적 대비 하수관로 연장 비율(m/m ²)	2.9	0.8	27.62	-0.81
	전체 하수관로 연장 대비 부족관거 비율(%)	6.3	5.9	94.39	3.74

는 효율적인 대책 마련이 시급함을 의미한다.

2. 침수피해지역의 영향인자

침수피해는 강우 특성과 유역 특성의 거시적(macro) 요인과 유출의 수리·수문 특성 등 미시적(micro) 요인들이 복합적으로 영향을 미쳐서 발생한다. 본 논문에서는 침수피해에 영향을 미치는 거시적 요인들을 중심으로 배수분구의 강우 및 유역 특성을 나타내고 보이는 변수들을 선정하였다. 본 논문에서 고려한 영향인자들을 239개 배수분구별로 <표 2>에 정리하였다.

1) 침수면적률

종속변수가 될 배수분구별 침수면적률은 배수분구

전체면적에 대한 침수피해면적의 평균비율로 하여 산정하였다(<그림 4> 참조).

239개 배수분구 단위로 침수피해면적을 배수분구 전체면적으로 나눈 침수면적률을 살펴보면, 2010년 9월에는 93개(39%), 2011년 7월에는 165개의 배수분구(69%)가 침수피해가 전혀 없는 것으로 나타나, 침수피해가 매우 국지적이고 통계적으로 극히 불균등한(skewed) 분포형태임을 알 수 있다.

2) 강우 특성

강우 자료는 기상청의 지역별 상세관측자료(AWS)의 30개 측정지점의 10분 단위 관측 자료를 이용하였으며, 60분 집성 강우의 최댓값을 산정하여 이용하였다. 이때 측정지점을 포함하지 않는 배수분구의 강우량은 가장 가까운 측정지점 3개소의 값을 참조하여

그림 4_ 배수분구별 침수면적 비율

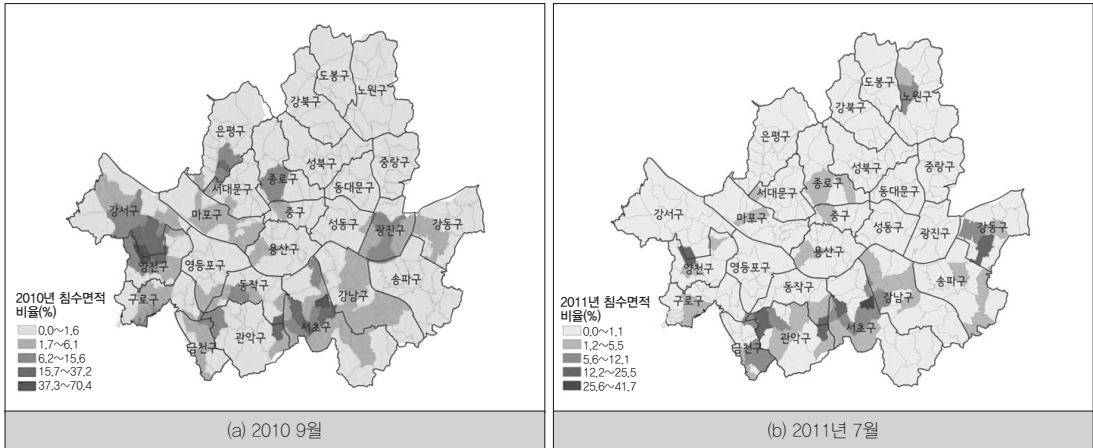
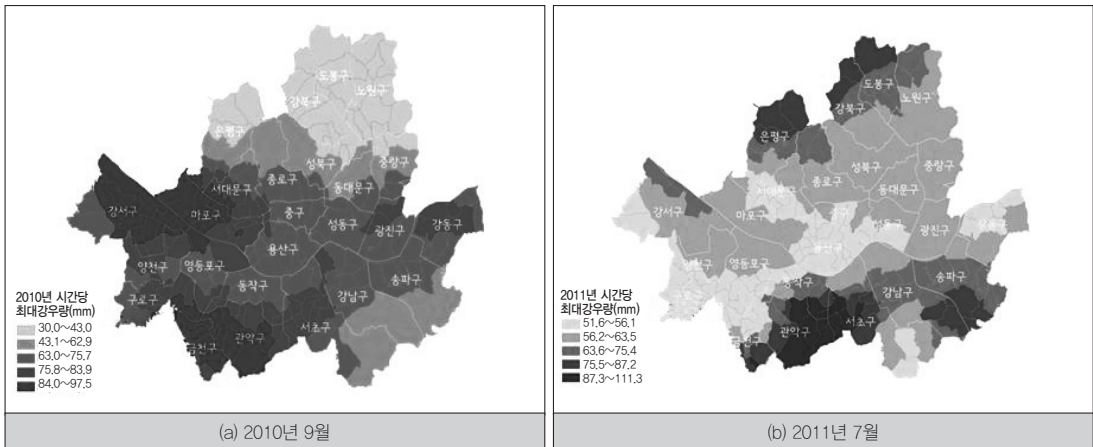


그림 5_ 배수분구별 시간당 최대 강우량



공간내삽(spatial interpolation)을 통해 추정하였다.

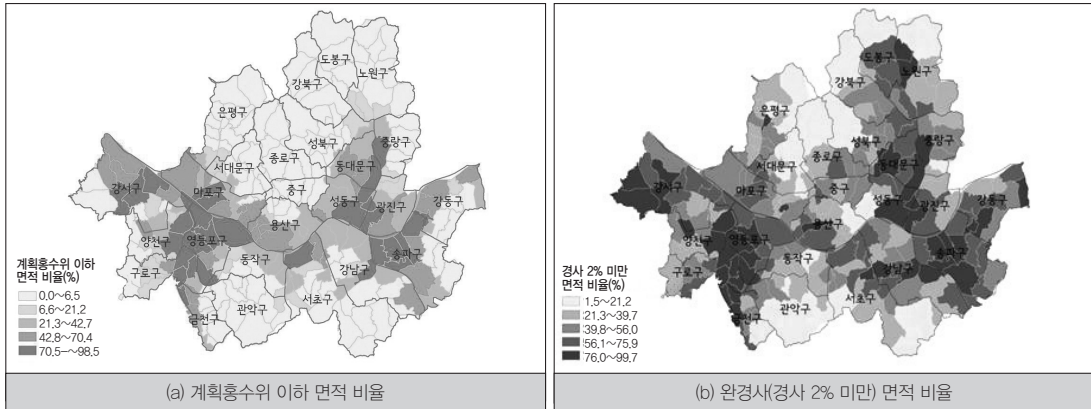
〈그림 5〉에서 살펴볼 수 있듯이, 2010년과 2011년 모두 관악구, 서초구, 금천구에서 집중호우가 크게 발생하였음을 알 수 있다.

3) 지형적 특성

저지대를 나타내는 인근하천 계획홍수위 이하 지역 비율은 서울시 물순환 기본계획 연구(서울시, 2004)의 자료를 이용하였으며, 완경사(경사 2% 미만) 지역은 수치지형도(1:1,000) 자료를 이용하여 산정하였다.

계획홍수위 이하 지역 또는 완경사 지역은 저지대 지역의 특성 중 하나이다. 이러한 지역은 하천홍수 위 상승 시 내수배제 불량으로 침수 위험성이 높아지며, 빗물펌프장 등의 충분한 강제배수시설이 필요한 지역이라고 할 수 있다. 또한 저경사 평탄지 지역은 도시계획 측면에서 양호한 입지조건이 될 수 있지만, 적정 유속 확보의 어려움으로 불리한 우수배제 조건에 해당한다. 〈그림 6〉에서 볼 수 있듯이 서울시의 저지대 지역은 탄천과 중랑천, 안양천 하류부에 위치한 송파구, 광진구, 성동구, 영등포구 등임을 알 수 있다(〈그림 6〉 참조).

그림 6_ 배수분구별 지형적 측면의 입지



4) 토지피복 및 토지이용 특성

토지피복을 나타내는 불투수율과 용도별 토지이용

은 2010년 서울시 biotop자료 내 토지이용 현황도를 이용하여(그림 7) 참조. 먼저 침수피해지역과 불투수율 특성을 살펴보면, 침수피해는 불투수율

그림 7_ 배수분구별 불투수율과 토지이용 특성

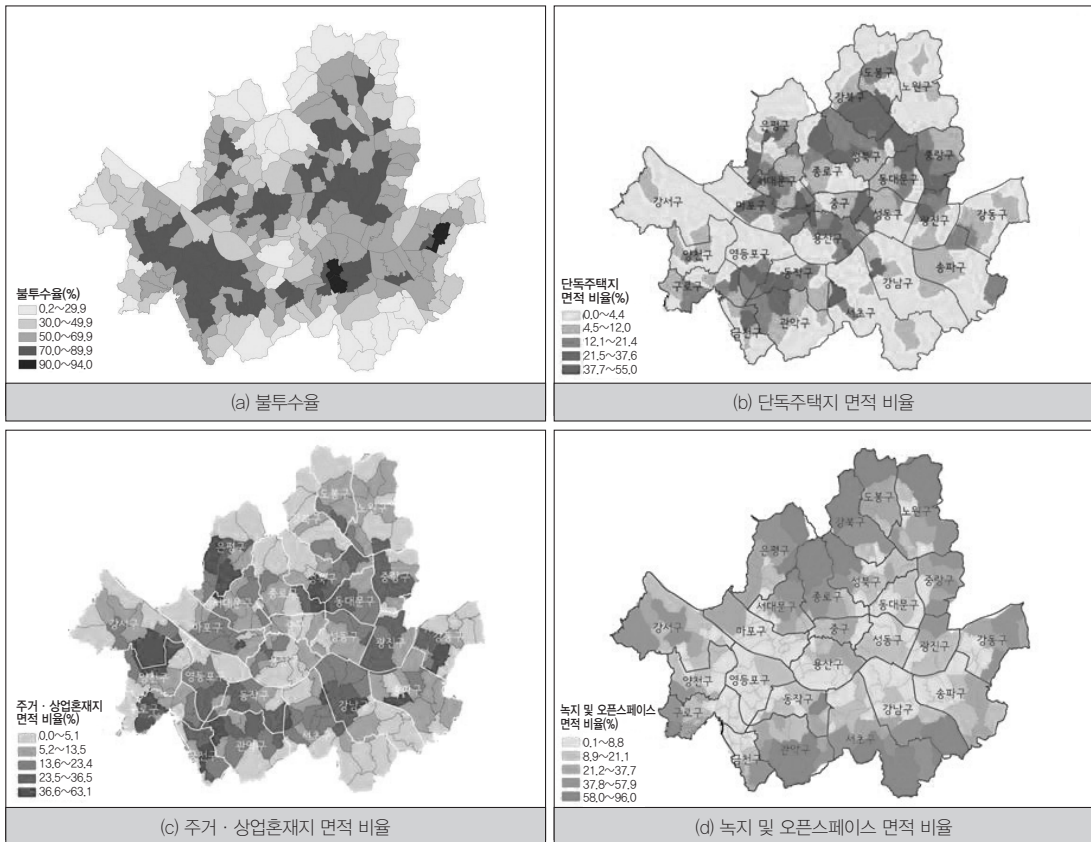
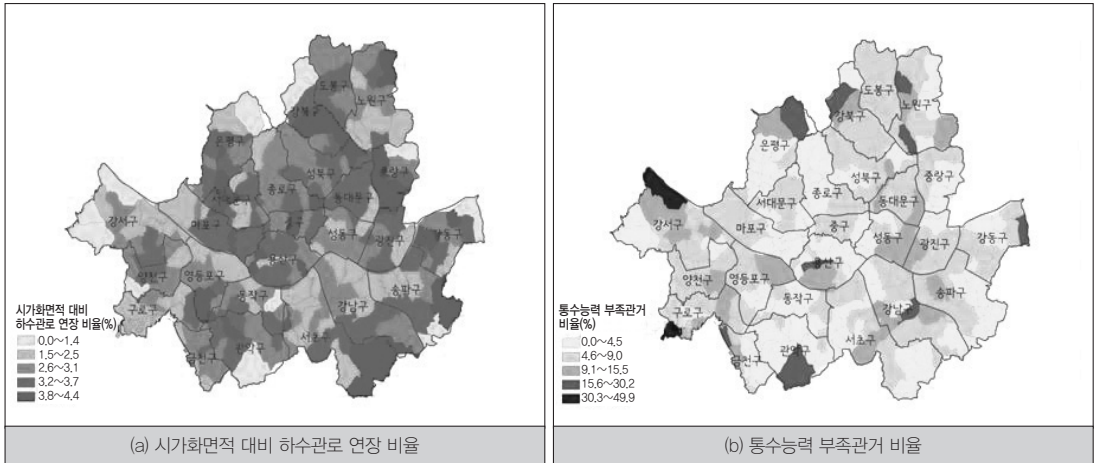


그림 8_ 배수분구별 배수시설 특성



이 90% 이상인 지역에서 상대적으로 매우 높은 것으로 나타났다. 2011년 침수피해의 경우 불투수율이 70~90% 미만인 지역이 전체 침수피해 면적의 15.9%, 90% 이상인 지역에서 72.8%로 나타났다. 다시 말해, 불투수율이 70% 이상인 지역에서 전체 침수피해 면적의 대부분(약 89%)이 나타남을 알 수 있다. 이러한 결과는 침수피해 저감을 위해 불투수율의 관리가 필요함을 시사한다.

배수분구별 침수피해지역과 토지이용 특성을 비교하여 살펴보면, 2011년의 경우 주거·상업혼재지>교통시설지>단독주택지>상업·업무시설지>공동주택지 순으로 침수피해면적이 크게 나타났으며, 2010년 경우는 주거·상업혼재지>교통시설지>공동주택지>단독주택지>녹지·오픈스페이스>상업·업무시설지 순으로 나타났다(그림 4), (그림 7) 참조). 전체적으로 보면, 주거·상업혼재지, 교통시설지, 단독·공동 주택지, 상업·업무시설지에서 침수피해가 대부분 발생하고 있음을 알 수 있다.

5) 배수시설 특성

배수시설 관련인자는 시가화면적 대비 하수관로 연

장 비율과 전체 하수관로 연장 대비 부족관거 연장 비율(간선 30년, 지선 10년 기준)을 이용하였다(그림 8) 참조). 이때 하수관로의 연장은 서울시의 하수관망도 자료를 이용하였으며, 부족관거는 2009년 서울시 하수도정비기본계획 자료를 이용하였다. 서울시의 하수관로 현황을 살펴보면, 전체 하수관로 9,380km 중 기존 설계빈도(지선 5년, 간선 10년)에 의한 통수능력 부족관거는 476km(5.1%)이며, 향후 확률연수 상향(지선 10년, 간선 30년)을 고려하면 618km(6.6%)가 적절한 우수배제능력을 갖추고 있지 못한 것으로 조사된 바 있다(서울특별시, 2009). (그림 8)에서 알 수 있듯이 강서구, 구로구, 관악구, 강남구, 용산구 등이 통수능력 부족관거율이 높은 지역으로 나타났다.

IV. 토지이용과 침수피해 간의 관계 분석

1. 영향인자들의 상관관계

1) 침수면적률과 영향변수들 간의 상관분석

회귀분석에 앞서 본 논문에서 고려한 잠재적 영향변

표 3_ 배수분구 단위 침수면적률과 영향변수 간의 상관분석 결과

지표	2010년 9월 침수면적률(%)	2011년 7월 침수면적률(%)
2010년 9월 시간당 최대 강우량(mm)	0.240*	-
2010년 9월 24시간 최대 강우량(mm)	0.218*	-
2011년 7월 시간당 최대 강우량(mm)	-	0.323*
2011년 7월 24시간 최대 강우량(mm)	-	0.241*
계획홍수위 이하 면적 비율(%)	0.042	-0.019
완경사 면적 비율(%)	0.115	0.119
불투수율(%)	0.192*	0.178*
녹지·오픈스페이스 비율(%)	-0.131	-0.117
단독주택지 비율(%)	-0.042	0.056
공동주택지 비율(%)	0.037	0.037
주거·상업혼재지 비율(%)	0.348*	0.225*
상업·업무시설지 비율(%)	0.014	0.112
교통시설지 비율(%)	-0.001	0.007
시가화면적 대비 하수관로 밀도(m/m ²)	0.030	0.043
하수관로 중 부족관거 연장 비율(%)	-0.056	-0.070

주: * p≤0.01.

수들이 침수피해와 어느 정도 관계가 있는지 파악해 보고자 한다. 이는 종속변수인 침수면적률과 설명변수들 간의 상관관계를 통해 살펴보았다. 그 결과는 <표 3>과 같다.

대상 호우기간의 침수면적률과 잠재적인 영향변수들 간의 상관분석 결과, 2010년 9월 침수피해율의 경우, 주거·상업혼재지 비율, 강우량(1시간, 1일), 불투수율, 녹지·오픈스페이스 비율, 완경사 면적 비율 등과 높은 상관관계를 보이는 것으로 나타났다. 2011년 7월 침수피해율의 경우, 강우량(1시간, 1일), 주거·상업혼재지, 불투수율, 경사 2% 미만 면적 비율, 녹지·오픈스페이스 비율, 상업·업무시설지 등과 높은 상관관계를 보임을 알 수 있다. 따라서 모든 대상 호우기간에 걸쳐 상관성이 높게 나타난 변수는 강우량(1시간, 1일), 주거·상업혼재지 비율, 불투수율, 녹지·오픈스페이스 비율 등인 것으로 나타났다. 즉, 도심지 내 침수피해의 주요 원인은 기본적으로 호우와 토지피복 특성의 변화로 볼 수 있다. 그러나 이들 인자를 이용하여

침수피해율에 대해 모형화할 경우 인자들 간에 발생할 수 있는 다중공선성(multicollinearity) 문제에 주의할 필요가 있다.

2) 영향변수들 간의 상관분석

다변량 통계분석에서 설명변수들에 대한 다중공선성은 실증적인 사례를 다룰 때 일반적으로 나타나는 문제라 할 수 있다. 특히, 본 논문에서와 같이 독립변수의 수가 많은 경우에는 그 영향력이 더욱 크게 나타날 수 있다. 이러한 영향을 최소화하기 위해 각 인자들 간의 상관관계를 살펴보았으며, 이를 통해 상관성이 크게 나타나는 변수들을 파악하여 분석에서 제외하였다. 각 인자들 사이의 상관관계를 살펴본 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4>에서 볼 수 있듯이 많은 변수가 서로 높은 선형적 상관관계를 보임을 알 수 있다. 이러한 이유는 이들 인자가 도시공간 내에서 매우 유기적인 관

표 4 _ 영향인자들 간의 상관분석 결과

구분	계획홍수위 이하 면적 비율 ①	환경사 면적 비율 ②	불투수율 ③	녹지·오픈 스페이스 비율 ④	단독주택지 비율 ⑤	공동주택지 비율 ⑥	주거·상업 혼재지 비율 ⑦	상업·업무 시설지 비율 ⑧	교통시설지 비율 ⑨	하수관로 밀도 ⑩	부족 관거율 ⑪
①	1.0000										
②	0.6475*	1.0000									
③	0.1874*	0.4948*	1.0000								
④	-0.4598*	-0.6445*	-0.8219*	1.0000							
⑤	-0.1968*	-0.1396	0.3619*	-0.2147*	1.0000						
⑥	0.1822*	0.2722*	0.2803*	-0.3239*	-0.1931*	1.0000					
⑦	-0.0209	0.1867*	0.6018*	-0.4054*	0.0219	-0.0720	1.0000				
⑧	0.0633	0.3166*	0.4818*	-0.4011*	-0.0755	-0.0299	0.1037	1.0000			
⑨	0.3882*	0.6643*	0.2265*	-0.4645*	-0.1647	0.1226	-0.0644	0.3090*	1.0000		
⑩	-0.1387	-0.0412	0.4132*	-0.1688*	0.4400*	-0.1035	0.3648*	0.0739	-0.2785*	1.0000	
⑪	0.2515*	0.2105*	-0.1871*	0.0521	-0.2850*	0.0553	-0.2404*	-0.0114	0.0897	-0.4210*	1.0000

주: * p<0.01.

계를 가진 경우가 많기 때문이다. 예를 들어, 불투수율과 녹지·오픈스페이스 비율의 상관계수는 -0.82로 매우 높은 부(-)의 상관관계를 갖는데, 이는 제한된 도시공간 내에서 불투수면적과 녹지·오픈스페이스 면적이 서로 반비례할 수밖에 없기 때문이다. 이에 본 논문에서는 모형에 적용할 변수들 간의 다중공선성 문제를 1차적으로 처리하기 위해 계획홍수위 이하 지역, 환경사 면적, 녹지·오픈스페이스, 단독주택지, 공동주택지, 주거·상업혼재지, 상업·업무시설지, 교통시설지를 대상으로 하였다. 추후 모형의 검증단계에서 2차적인 변수선별 작업을 수행하였다.

2. 분석방법 및 모형 선정

본 논문은 침수피해의 영향인자를 규명하는 데 주안점을 두고 있다. 이를 위해 앞서 살펴본 선행연구에 기초하여, 수집된 변수들을 이용한 다변량 회귀분석을 수행하고자 한다. 분석방법으로는 OLS(Ordinary Least Square)방법에 기초한 다중회귀모형(multiple regression model)과 종속변수의 특성을 고려한 토빗모형(tobit model)을 이용하였다.

1) 다중회귀모형

다중회귀분석은 하나의 종속변수와 두 개 이상의 설명변수와의 선형관계를 파악하는 일반적인 방법으로, 기본적인 형태는 <식 1>과 같다.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$$

<식 1>

여기서 n 은 표본의 수, y_i 는 i 번째 종속변수, x_{ki} 는 i 번째 종속변수의 k 번째 독립변수, β_k 는 다중회귀모형의 매개변수, ε_i 는 오차항을 나타낸다.

본 논문에서 고려한 설명변수는 강우 특성, 지형적 특성, 토지피복 및 토지이용 특성, 배수시설 특성을 포함한다. 본 논문의 주안점은 침수면적률에 대한 정확한 회귀모형을 추정하기보다는 침수피해에 미치는 영향인자를 파악하는 데 있다. 따라서 최적모형의 추정을 위해 복잡한 형태의 함수식을 고려하기보다 기본적인 선형형태의 회귀분석을 실시하여 매개변수 $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ 를 결정하고, 어떠한 특성이 침수피해에 어느 정도의 영향력을 갖는지 규명하고자 한다.

2) 토빗모형

본 논문의 종속변수인 배수분구별 침수피해는 '0' 값을 갖는 비율이 높은 편이다. 이 경우 고려할 수 있는 회귀모형은 중도절단회귀모형(censored regression model), 절단회귀모형(truncated regression model) 등이 있으며, 본 논문에서는 대표적 중도절단회귀모형인 토빗모형을 이용하였다(Tobin, 1958). 토빗모형은 종속변수의 상당수가 '0'인 경우 유용하게 적용 가능한 것으로 알려져 있으며, 토빗모형의 일반적 형태는 <식 2>와 같다.

$$y_i^* = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_k x_{ki} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n$$

$$\begin{cases} y_i = y_i^* & (\text{if } y_i^* > 0) \\ y_i = 0 & (\text{if } y_i^* \leq 0) \end{cases} \quad \langle \text{식 2} \rangle$$

여기서 n 은 표본의 수, y_i 는 i 번째 종속변수, y_i^* 는 '0' 값을 제외한 종속변수, x_{ki} 는 i 번째 종속변수의 k 번째 독립변수, β_k 는 토빗모형의 매개변수, ε_i 는 오차항을 나타낸다. <식 2>에서 볼 수 있듯이, 일반적인 회귀모형과 유사한 형태를 갖지만, 토빗모형에서는 관측된 모든 종속변수가 y_i^* 값이 아니라 점에서 차이가 있다. 다시 말해, $y_i^* > 0$ 인 경우에는 $y_i = y_i^*$ 가 관측되고, $y_i^* \leq 0$ 인 경우에는 $y_i = 0$ 으로 관측된다. 본 논문의 대상 종속변수인 침수피해율 역시 상당수가 '0'을 차지하고 있다(전체 239개 배수분구 중 2010년 9월

39%, 2011년 7월 69%가 침수가 안 된, 즉 침수면적률이 '0'인 것으로 나타남). 이에 본 논문에서는 통상적인 다중회귀모형에 토빗모형을 추가로 고려하여 각각의 특성을 비교하였다.

3. 모형의 변수 선정 및 회귀분석 결과

1) 2010년 9월 침수피해에 대한 회귀분석

다중회귀모형은 독립변수의 수를 최소화하면서 모형의 적합도가 높아야 한다. 이를 위한 변수 선별과정 방법으로 stepwise 방법을 이용하여 최적의 모형을 선정하였다. 분석 과정에서 설명변수들 간에 존재할 수 있는 다중공선성 문제를 확인하기 위해 회귀계수의 분산팽창계수(Variance Inflation Factor: VIF) 값을 추가로 검토하였다. 일반적으로 VIF 값이 10 이상인 경우에는 다중공선성 문제가 발생할 수 있는 것으로 판단한다(Neter et al. 1996).

또한 본 논문에서 고려한 독립변수는 원시자료의 분포형이 왜곡된(skewed) 경우가 많다(<표 2> 참조). 이에 본 논문에서는 원시자료를 그대로 이용한 경우와 원시자료의 제곱근을 변환한 경우를 추가로 고려하였다. 각각에 대한 다중회귀분석 결과는 <표 5>와 같다.

2010년 9월 침수피해에 대한 다중회귀모형의 설

표 5_ 2010년 9월 침수피해에 대한 다중회귀모형 결과

구분	종속변수: 침수면적률					
	원시자료 그대로 이용한 경우			제곱근 변환한 경우		
	계수	p-value	VIF	계수	p-value	VIF
Intercept	-9.487	0.009		-2.202	<.0001	
시간당 최대 강우량(mm)	0.144	0.006	1.05	0.038	<.0001	1.06
주거·상업혼재지 비율(%)	0.316	<.0001	1.05	0.282	<.0001	1.06
모형 적합도	RMSE=13.87 F= 20.66 R ² = 0.149			RMSE=1.65 F= 41.75 R ² = 0.261		

명력은 약 15~26%의 분포를 보임을 알 수 있다. 또한 모형의 유의한 독립변수는 원시자료를 그대로 이용한 경우와 제공근 변환을 한 경우 모두 시간당 최대 강우량과 주거·상업혼재지 비율로 선정되었으며, 이 변수들의 p값은 신뢰수준 99%($\alpha=0.01$) 기준에 유의한 것으로 나타났다. 먼저, 종속변수의 원시자료를 그대로 이용한 경우 채택된 모형의 변수는 종속변수와 모두 정(+)의 관계를 갖는 것으로 분석되었다. 시간당 최대 강우량이 크고, 주거·상업혼재지 비율이 높을수록 침수피해의 면적이 증가하며, 특히, 주거·상업혼재지의 영향력이 더욱 큰 것으로 나타났다. 이러한 결과는 도시화의 정도에 따라 도심지의 침수취약도가 달라질 수 있음을 의미한다. 아울러 모든 변수의 VIF 값이 10 이하로 나타나 변수들 간의 다중공선성 문제는 없는 것으로 나타났다.

〈표 6〉은 다수의 '0' 값이 포함된 침수면적률의 특성을 고려한 토빗모형에 대한 적용 결과를 정리한 것이다. 토빗모형에의 적용 결과를 보면, 모형의 설명력은 제공근을 변환한 경우가 원시자료를 그대로 이용한 경우에 비해 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 또한 모형에서 선정된 독립변수는 모두 통계적으로 유의한 것으로 평가되었다. 〈표 6〉에서 주목할 부분은 원시자료 그대로 이용한 경우 채택된 두 인자의 상대적 영향력이 비슷하지만, 제공근을 변환한 경우 주거

·상업혼재지 비율이 강우에 비해 큰 영향력을 갖는 것으로 나타났다는 점이다. 이러한 특성은 도시지역에서 발생하는 내수침수피해 예방을 위해 토지이용 측면의 노력이 효과적일 수 있음을 의미한다.

2010년 9월 침수피해 사례에 대한 다중회귀모형과 토빗모형의 적용 결과를 전체적으로 보면, 두 경우 모두 설명력은 아주 높진 않지만, 시간당 최대 강우량과 주거·상업혼재지 비율 두 변수만으로 유의한 영향력이 있음을 알 수 있다. 그러나 예상과는 달리 녹지 및 오픈스페이스 비율 인자가 모형에 설명변수로 포함되지 못하였음을 알 수 있다. 그 이유를 단순하게 생각해 보면, 변수 선별 과정에서 다른 요인들과의 다중공선성 문제로 인해 제외되었을 것으로 보인다. 또 다른 이유로는 녹지 및 오픈스페이스의 영향력이 유역 단위에 비해 배수분구 단위에서 다소 축소되었을 것으로 짐작해볼 수 있다.

2) 2011년 7월 침수피해에 대한 회귀분석

앞서 살펴본 바와 같이 2011년 7월 침수피해는 단기간에 발생한 집중호우의 영향이 큰 것으로 알려졌으며, 그 피해지역은 강남구, 서초구, 강동구, 관악구 등 한강 이남 지역에 주로 분포되어 있다. 이와 같은 침수피해 지역을 설명하기 위한 다중회귀분석 결과

표 6_ 2010년 9월 침수피해에 대한 토빗모형 결과

구분	종속변수: 침수면적률			
	원시자료 그대로 이용한 경우		제공근 변환한 경우	
	계수	p-value	계수	p-value
Intercept	-46.894	<.0001	-6.808	<.0001
시간당 최대 강우량(mm)	0.552	<.0001	0.087	<.0001
주거·상업 혼재지 비율(%)	0.427	<.0001	0.386	<.0001
모형 적합도	$\sigma=17.51$ Log Likelihood = -695.67 Pseudo R ² = 0.165		$\sigma=2.16$ Log Likelihood = -383.96 Pseudo R ² = 0.291	

주: *예측치와 관측치의 상관계수의 제곱.

표 7_ 2011년 7월 침수피해에 대한 다중회귀모형 결과

구분	종속변수: 침수면적률					
	원시자료 그대로 이용한 경우			제공근 변환한 경우		
	계수	p-value	VIF	계수	p-value	VIF
Intercept	-20.719	<.0001		-3.028	<.0001	
시간당 최대 강우량(mm)	0.276	<.0001	1.11	0.056	<.0001	1.16
환경사 지역 비율(%)	0.071	0.001	1.16			
단독주택지 비율(%)	0.085	0.052	1.04			
주거·상업혼재지 비율(%)	0.103	0.005	1.05	0.103	0.035	1.30
녹지 및 오픈스페이스 비율(%)				-0.101	0.038	1.83
상업·업무시설지 비율(%)				0.151	0.041	1.34
모형 적합도	RMSE=7.94 F= 14.11(<.0001) R ² = 0.194			RMSE=1.31 F= 20.03(<.0001) R ² = 0.255		

는 <표 7>과 같다.

다중회귀모형 적용 결과, 모형의 설명력은 약 19~26%인 것으로 나타났다. 또한 종속변수를 원시자료 그대로 이용한 경우 모형의 독립변수는 시간당 최대 강우량, 환경사 지역 비율, 단독주택지, 주거·상업혼재지 비율이 채택되었으며, 종속변수를 제공근 변환한 경우 시간당 최대 강우량, 주거·상업혼재지 비율, 녹지 및 오픈스페이스 비율, 상업·업무시설지 비율이 채택되었다. 두 경우 모두 모형의 변수들의 p값은 신뢰수준 90%($\alpha=0.10$) 기준에 유의한 것으로 나타났다. 이때 두 모형의 공통변수로는 시간당 최대 강우량과 주거·상업혼재지 비율이 선정되었는데, 이러한 결과는 강우조건 외에도 도시화의 정도에 따라 도심지의 침수취약도가 크게 달라질 수 있음을 의미한다.

선정된 독립변수의 특성을 자세히 살펴보면, 채택된 변수는 녹지 및 오픈스페이스 비율을 제외하고 종속변수와 모두 양(+)의 관계를 가짐을 알 수 있다. 즉, 2010년의 경우와 달리 녹지 및 오픈스페이스 지역 비율이 침수피해 발생과 유의한 관계가 있으며, 침수피해 저감을 위해서는 녹지공간의 확보가 중요함을 시사한다. 아울러 2011년 7월의 경우에도 모든 변수의

VIF 값이 10 이하로 나타나 변수들 간의 다중공선성 문제는 없는 것으로 나타났다.

토빗모형을 이용하여 분석한 결과는 <표 8>에 정리하였는데, 종속변수의 제공근 변환 여부와 적용된 모형에 따라 약간의 차이는 있지만, 전체적으로 시간당 최대 강우량, 환경사 지역 비율, 단독주택지 비율, 주거·상업혼재지 비율, 녹지 및 오픈스페이스 비율, 상업·업무시설지 비율 등이 침수피해에 대해 유의한 영향요인으로 나타났다. 본 논문에서 고려한 2개의 호우사상에서 공통 영향요인으로는 최대 강우강도(mm/hr)와 주거·상업혼재지 비율이 선정되었다. 단순하게 보면, 강우강도의 크기는 도시지역 배수시설에 미치는 영향을, 주거·상업혼재지 비율은 고밀화된 기성시가지의 토지 피복특성을 반영하는 것으로 이해할 수 있다. 또한 본 논문에서는 기존 연구에 사용한 시·군·구 단위에 비해 상대적으로 세밀한 배수분구 단위를 이용하였는데, 이로 인해 내수침수피해지역에서의 보다 정밀한 특성을 도출한 것으로 사료된다. 다시 말해, 배수분구 단위로 도출한 침수피해의 영향인자는 기후변화와 기상이변에 의한 집중호우, 도심지에서의 짧은 홍수도달시간, 노후화된 기성시가지(주거·상업혼재지, 단독주택지 등) 등과

표 8_ 2011년 7월 침수피해에 대한 토빗모형 결과

구분	종속변수: 침수면적률			
	원시자료 그대로 이용한 경우		제곱근 변환한 경우	
	계수	p-value	계수	p-value
Intercept	-63.918	<.0001	-9.586	<.0001
시간당 최대 강우량(mm)	0.613	<.0001	0.117	<.0001
완경사 지역 비율(%)	0.218	<.0001		
단독주택지 비율(%)	0.142	0.175		
주거·상업 혼재지 비율(%)	0.229	0.006	0.226	0.080
녹지 및 오픈스페이스 비율(%)			-0.281	0.038
상업·업무시설지 비율(%)			0.564	0.002
모형 적합도	$\sigma = 15.17$ Log Likelihood = -393.10 *Pseudo R ² = 0.309		$\sigma = 2.76$ Log Likelihood = -262.41 *Pseudo R ² = 0.328	

주: *예측치와 관측치의 상관계수의 제곱.

같은 특성이 적절히 반영된 것으로 판단된다.

V. 결론 및 시사점

본 논문에서는 토지이용 측면에서 침수피해에 대한 영향요인들을 분석하였다. 이를 위한 연구 내용은 다음과 같은 네 가지로 첫째, 서울시의 주요 침수피해지역의 공간적 특성 분석, 둘째, 침수피해지역에의 토지이용 관련 영향인자 분석, 셋째, 토지이용 특성과 침수피해지역 간의 관계 분석, 넷째, 분석 결과를 반영한 토지이용상의 정책적 시사점 도출로 설정하고 진행하였다. 침수피해는 서울시의 2010년 9월과 2011년 7월의 집중호우 사례를 대상으로 하였으며, 도시지역 토지이용 특성과 침수피해지역 간의 관계를 다변량 통계분석을 이용하여 모형화하였다. 분석 결과를 요약하고 도시계획적 측면의 정책적 시사점을 도출하면 다음과 같다.

첫째, 침수피해지역은 매우 국지적으로 발생하며, 높은 공간적 상관성을 보인다. 이는 강우패턴이 국지성 집중호우의 특성을 강하게 갖고 있다는 점과 아울러 시가지의 지역적 특성 또한 영향을 미침을 의미한

다. 따라서 침수피해 저감을 위한 수방대책은 강우의 국지성과 유역의 지역적 특성을 보다 적극적으로 반영한 침수취약지역 중심의 선택과 집중, 그리고 이들 지역의 지형적 여건, 토지피복, 토지이용 및 건축 특성, 배수시설여건 등을 고려한 맞춤형 대책이어야 함을 시사한다.

둘째, 2010년과 2011년 침수피해에 가장 압도적인 영향을 미치는 요인은 시간당 최대 강우량으로 표현되는 강우강도인 것으로 나타났다. 즉, 서울시의 지역별 침수피해는 기후변화와 기상이변에 따른 막대한 집중호우 또는 폭우가 가장 근본적인 원인이라는 것이다. 따라서 기후변화는 이미 닦쳐온 현실로 받아들이고 이에 대한 장단기에 걸친 보다 적극적인 수방 대책이 이루어져야 함을 시사한다.

셋째, 침수피해와 관련한 유역 특성에 있어서는 주거·상업혼재지가 가장 큰 관련성을 보이는 가운데, 2011년 강우에서는 완경사지역, 상업·업무시설지, 단독주택지, 녹지 및 오픈스페이스 등도 중요한 영향변수임을 보였다. 이는 주거·상업혼재지, 상업·업무시설지, 단독주택지 등을 중심으로 중점적인 대책지구로 설정하여 '방재지구' 지정 등을 통한 노

면수 관리 및 침수피해 방지대책을 집중적으로 시행할 필요가 있음을 말한다.

또한 주거·상업혼재지를 비롯한 침수취약지역들은 저지대 환경사, 높은 불투수율 등의 특성을 보이는 지역임에 유의할 필요가 있다. 이는 침수취약지역에 대해 침수피해 최소화를 위한 토지이용 및 건축적 대책이 적극적으로 마련되어야 함을 말한다. 서울은 대부분 기성시가지이기 때문에 적극적인 도시계획적 수방대책을 적용하는 제약이 많은 점을 감안하여 단기적으로는 차수판이나 역류방지 설비와 같은 건축설비형 침수방지 대책이나 빗물받이 정비 및 관리, 하수관로의 통수능 확보를 위한 부분적인 개선 등의 물리적 대책을 비롯하여 여름철 우기를 중심으로 주민 참여에 의한 수해방지 활동과 같은 비물리적 수방대책 활동을 강화할 필요가 있다. 중기적으로는 건축물 신·개축 시 지반고승고나 필로티(piloti) 설치와 같은 건축적 대책을 적용하도록 하고, 장기적으로는 정비사업(재개발, 재건축 등)과 연계한 지구단위 차원의 대책, 고질적인 상습침수지역에 대해서는 이전 및 시가지 토지이용 개편 등이 적용되어야 할 것이다.

침수피해지역에서 높은 불투수율을 보인다는 것은 토지피복을 개선하고 유출저감을 위한 저류 및 침투기능을 강화할 필요가 있음을 말해준다. 침수피해지역을 포함하는 유역단위에서의 지구 내(on-site) 및 지구 외(off-site) 저류시설 확보와 침투능력 확대를 위한 투수층 및 생태면적 확대대책이 마련되어야 한다. 외국의 Low Impact Development(LID), Sustainable Urban Drainage System(SUDS), Water Sensitive Urban Design(WSUD) 등과 같이 대상유역 특성에 맞는 빗물관리 및 유출저감대책이 적극적으로 도입될 필요가 있다.

넷째, 침수피해지역에 대한 회귀분석에서 배수시설여건은 유의한 변수에서 제외되었는데, 이는 서울

시가 비교적 양호한 배수시설을 갖추었다는 점을 반증하는 한편, 배수시설의 단순한 양적인 충족 정도보다는 배수체계의 전반적인 효율성이나 국지적인 관리상태 등이 보다 중요한 요소일지 모른다는 점을 시사하며, 보다 정밀한 배수능력 분석이 필요함을 말해준다. 아울러 침수피해에 대한 강우강도의 압도적인 영향력을 고려할 때 하수관로를 비롯한 내수배제시설의 개선과 확충은 지속적으로 이루어져야 할 사항을 강조할 필요가 있다.

끝으로, 본 논문에서는 2개의 호우사상에 대한 침수피해를 분석하였는데, 시기에 따라 침수피해에 영향을 미치는 설명변수가 다르고 그 영향력에 차이가 있음을 볼 수 있었다. 이는 시기에 따른 강우패턴의 차이에 의한 것이기는 하나, 지속적인 영향요인들의 식별을 통해 보다 적절한 정책적 시사점을 마련해 나가야 함을 시사한다. 따라서 향후 다양한 호우사상에 대한 지속적인 연구가 이뤄진다면, 도시지역의 침수피해를 저감하는 데 기여할 수 있을 것이다.

참고문헌 •••••

강상준·박은아. 2010. 수해지 분포특성에 따른 토지이용 관리 방안. 경기: 경기개발연구원.
강상준·정주철. 2012. “수해지 분포 특성에 관한 연구: 경기도 사례를 중심으로”. 대한토목학회논문집 제32권 제5호, pp507-517.
강상준·조성한. 2011. 도심형 빗물저류공간 조성을 위한 기초연구. 경기: 경기개발연구원.
강정은·이명진·구유성·조광우·이재욱. 2011. 기후변화 적응형 도시 리뉴얼 전략 수립: 그린인프라의 방재효과 및 적용방안. 서울: 한국환경정책·평가연구원.
국토연구원. 2009. 기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구. 경기: 국토연구원.
박민규·송영석·김상단·박무종. 2012. “수해취약성인자를 이용한 고위험 도시침수지역의 평가기법에 대한 연구”. 한국방재학회논문집 제12권 제2호, pp245-253.
박준호·유용구·박영곤·윤희택·김종건·박윤식·전지홍·

임경재. 2008. "SWMM을 이용한 춘천 거두 1지구의 LID 개념 적용으로 인한 유출 감소 특성 분석". 한국물환경학회지 제24권 제6호. pp806-816.

박창열 · 신상영 · 손은정. 2013. "다변량 분석을 이용한 서울의 상습침수지역 유형화". 한국방재학회논문집 제13권 제2호. pp245-255.

서울시. 2004. 서울시 물순환 기본계획 연구.

_____. 2009. 서울시 하수도정비기본계획(변경) 보고서.

_____. 2011a. 기후변화 대응 서울시 수방정책 시민대토론회 결과보고서.

_____. 2011b. 2011년 서울시 재난위험도 평가 및 활용방안.

_____. 2013. 서울시 빗물관리 기본계획(보완).

소방방재청. 2009. 내배수 침수재해 저감기술 개발-내배수 홍수분담 최적화기술 개발.

_____. 2010. 기후변화를 고려한 도시방재성능 목표 설정 방안 연구. 서울 : 소방방재청.

송재우 · 임장혁. 2007. "강우강도에 따른 침투-저류시스템의 우수유출저감효과에 관한 실험 연구". 한국방재학회논문집 제7권 제4호. pp85-95.

신상영 · 박민규 · 이석민. 2011a. "기상이변에 대응한 서울의 수해방지전략". SDI 정책리포트 제96호. pp1-23.

_____. 2011b. "서울의 침수피해특성과 수방정책방향". 한국방재학회지 제11권 제3호. pp4-10.

안소라 · 이용준 · 박근에 · 김성준. 2008. "미래 토지이용 및 기후변화에 따른 하천유역의 유출특성 분석". 대한토목학회 논문집 제28권 제2B호. pp215-224.

유철상 · 김대하 · 박상형 · 김병수 · 박창열. 2010. "서울지점 강우자료에 나타난 도시화의 간섭 분석". 한국수자원학회 논문집. 제40권 제8호. pp629-641.

이동근 · 성선용 · 정휘철. 2010. "기후변화 시나리오 및 토지이용 변화에 따른 유출수 변화량 산정". 국토계획 제45권 제5호. pp241-248.

이병재 · 김원현 · 송주일 · 심우배. 2013. "공간분석을 통한 중소도시 수해특성 및 도시계획적 대응방안 연구". 한국위기관리논집 제9권 제6호. pp45-64.

전지홍 · 김정진 · 최동혁 · 한재용 · 김태동. 2009. "LID-IMP 선정 가이드라인 제시와 아파트단지에서의 LID 설계". 한국물환경학회지 제25권 제6호. pp886-895.

정주철 · 이상범 · 사공희 · 이지현 · 이달별. 2007. 자연친화적인 자연재해완화정책에 관한 연구. 서울 : 한국환경정책·평가연구원.

최충익. 2003. "도시적 토지이용의 변화가 도시의 자연재해 취약성에 미치는 영향에 관한 연구". 국토계획 제38권 제2호. pp35-48.

한국건설기술연구원. 2008. 이상기후에 대비한 시설기준 강화 연구보고서. 경기 : 국토해양부.

Hall, J. W., Sayers, P. B. and Dawson, R. J. 2005. "National-Scale Assessment of Current and Future Flood Risk in England and Wales". *Natural Hazard* vol.36, no.1-2. pp147-164.

IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge, UK and New York, USA : Cambridge University Press.

Neter, J., Kunter, M. H., Nachtsheim, C. J. and Wasserman, W. 1996. *Applied Linear Statistical Models*. Illinois, USA : Irwin, Chicago.

Rygel, L., O'Sullivan, D., and Yarnal, B. 2006. "A Method for Constructing a Social Vulnerability Index: An Application to Hurricane Storm Surges in a Developed Country". *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* vol.11, Issue.3. pp741-764.

Schueler, T. R. and Holland, H. K. 1994. "The Importance of Imperviousness". *Watershed Protection Techniques* vol.1, no.3. pp100-111.

Sheng, J. and Wilson, J. P. 2008. "Watershed Urbanization and Changing Flood Behavior across the Los Angeles Metropolitan Region". *Natural Hazards* vol.48, no.1. pp41-57.

Tobin, J. 1958. "Estimation of Relationships for Limited Dependent Variables". *Econometrica* vol.26, no.1. pp24-36.

Walesh, S. G. 1989. *Urban Surface Water Management*. New York : John Wiley and Sons, Inc.

- 논문 접수일: 2014. 2. 26
- 심사 시작일: 2014. 3. 26
- 심사 완료일: 2014. 4. 7

요약

주제어: 침수피해, 토지이용, 도시계획, 수방대책

최근 강우와 토지이용 특성의 변화로 도시지역의 재해위험은 크게 악화되고 있다. 본 논문에서는 서울의 2010년 9월과 2011년 7월 집중호우에 의한 침수피해를 사례로, 토지이용 측면에서의 침수피해 영향요인들을 분석하였다. 연구 내용은 크게 ① 침수피해 지역의 공간적 특성 분석, ② 침수피해지역에의 토지이용 관련 영향인자 분석, ③ 토지이용 특성과 침수피해지역 간의 관계 분석, ④ 분석 결과를 반영한 토지이용상의 정책적 시사점 도출로 구분된다. 분석 결과, 영향인자 중 시간당 최대 강우량이 침수피해에 대하여 일관되게 가장 큰 영향을 미치는 가운데, 시가지 유역 특성에 있어서는 환경사 지역, 주거·상업 혼재지, 상업·업무 시설지, 단독주택지, 녹지 및 오픈스

페이스 등이 유의한 영향을 미침을 알 수 있었다. 분석 결과는 도시지역의 침수피해 방지를 위해서는 기후변화에 대응한 장단기의 전방위적인 대책이 필요함은 물론, 이들 침수피해지역들을 중점대책지구로 설정하여 저지대 환경사 지역 정비, 유출저감을 위한 저류·침투시설대책 등 도시계획적 대책이 적극적으로 마련되어야 하며, 강우와 침수피해가 국지적 특성을 가짐을 고려하여 지역 특성을 고려한 맞춤형 수방대책이 이루어져야 함을 시사한다. 또한 본 논문은 전통적인 방재시설 중심의 구조물 대책에 더하여 도시계획적 대책을 고려함으로써 침수재해에 보다 안전하고, 점증하는 기상이변에 보다 탄력적으로 대응할 수 있을 것임을 시사한다.
