

Working Paper

2011-WP-23

토지이용특성과 침수피해지역 간의 관계 연구

신상영

2011

토지이용특성과 침수피해지역 간의 관계 연구

2011

■ 연구진 ■

연구책임 신 상 영 • 환경안전연구실 연구위원

연구원 김 혜 령 • 환경안전연구실 연구원

이 보고서의 내용은 연구진의 견해로서
서울특별시의 정책과는 다를 수도 있습니다.

요 약

- 침수피해를 저감하기 위한 대책으로 종래 하수도, 펌프장 등 구조적 대책에 더하여 비구조적 대책으로서 도시계획 등을 통한 저감대책에 대한 관심이 높아지고 있음. 그러나 도시계획 및 건축을 통한 침수피해 저감대책은 재산권에 큰 영향을 미치기 때문에 이를 적용하기 위해서는 사전에 예상되는 효과와 적용가능성을 명확히 할 필요가 있으므로, 그 기초로 토지이용과 침수피해의 관계성을 밝힐 필요가 있음.
- 이에 따라 이 연구는 서울시를 대상으로 토지이용특성과 침수피해지역 간의 관계를 실증적으로 분석하여, 침수피해 저감을 위한 토지이용대책의 예상되는 효과를 검토하고 적용방안에 대한 시사점을 얻고자 함.
- 침수피해에 영향을 미치는 요인은 거시적으로 보면, 강우조건, 지형조건, 토지이용조건, 배수시설조건 등으로 구분할 수 있으며, 이러한 요인들의 상호작용이 우수의 수문·수리학적 특성에 영향을 미쳐 침수피해로 나타남.
- 토지이용과의 관계에서 침수피해는 두 가지 측면에서 볼 수 있는바, 하나는 유출특성에 영향을 미침으로써 배수시설에 부담을 주어 침수피해를 야기할 수 있는데, 이는 도시지역의 높은 불투수율, 인공지반 등에 따른 높은 유출량과 유출률, 짧은 도달시간 등으로 인해 침수피해를 발생시킬 수 있음. 다른 하나는 침수피해 가능성을 고려하지 않은 저지대 개발, 지하공간 개발 등으로 인해 배수시설로부터 초과된 유출수가 도로, 주택 등의 침수피해를 야기할 수 있음.

1. 서울의 침수피해지역 분석결과 요약

1) 2010년 9월 및 2011년 7월 침수피해지역 분석결과

- 저지대 측면에서 보면, 2010 9월말 및 2011년 7월말 침수피해지역 모두 하천 하상고 및 하상고+2m 이하인 극저지대 지역의 침수피해율이 상대적으로 높음.

- 경사 측면에서 보면, 경사 2% 미만인 완경사 평탄지역의 침수피해율이 상대적으로 매우 높음.
- 지형습윤지수(TWI) 측면에서 보면, TWI 10 초과 지역에서 침수피해율이 상대적으로 높음.
- 토지피복 측면에서는 불투수율 90% 이상 지역에서 침수피해율이 상대적으로 매우 높으며, 건폐면적률이 높은 지역이 침수피해율도 상대적으로 높음.
- 토지이용 측면에서는 주거상업혼합지, 상업업무시설지, 교통시설지의 침수피해율이 상대적으로 높으며, 주택가는 단독주택지의 침수피해율이 상대적으로 높음.

2) 34개 상습침수지역의 토지이용 특성 및 지역유형

- 서울에서 반복적으로 침수피해가 발생하는 34개 지역을 대상으로 지형적 입지, 토지이용 및 건축, 토지피복, 배수시설용량 등을 나타내는 변수들을 이용하여 군집분석을 실시한 결과, 4개 지역유형이 식별됨.
- 지역유형들을 개략적으로 살펴보면, 유형 I은 주로 상업업무지 비율이 높은 강남구, 종로구 주변에 위치하고, 유형 II와 유형 III은 대부분 하천변 또는 강서구, 양천구와 같은 저지대에 위치해 있으며, 유형 IV는 주로 단독주택지 비율이 높은 구로구, 성북구 등에 위치해 있음.
- 군집분석 결과에 따르면, 지형 특성인자 중 유역면적과 표고는 침수지역을 유형화 하는데 영향력이 미미하지만, 유역 평균경사는 유형별로 그 특성이 뚜렷하게 구분됨. 전체적으로, 하천계획홍수위 이하 지역 비율, 단독주택지 비율, 주거상업혼합용도지 비율, 상업업무지 비율, 교통시설지 비율, 녹지 및 오픈스페이스 비율, 시가화면적 대비 건폐면적률 등이 유형화별로 큰 변별력을 갖는 것으로 나타남. 이들 인자는 평균값의 차이가 크게 나타나고, 평균값이 두드러진 유형에서 변동계수가 상대적으로 작게 나타나는 특성을 보임.
- 한편, 유출곡선지수, 지형습윤지수, 평균불투수율, 시가화면적비율, 하수관거밀도는 유형별로 평균값의 차이가 크지 않고, 변동계수도 상대적으로 작기 때문에 유형을 구분하는데 영향력이 미미할 것으로 보임.

- 상습침수지역의 유형화 분석은 서울시가 이른바 ‘맞춤형’ 수방대책을 추진하는데 기초적인 실마리를 제공해 줄 수 있을 것임.

3) 배수분구 단위 침수면적률에 대한 영향요인 회귀분석 결과

- 2010년 9월 및 2011년 7월 침수피해 기간을 대상으로 서울의 239개 배수분구를 단위로 하여 분구별 침수면적률을 강우, 토지피복, 토지이용, 배수시설용량 등을 나타내는 변수들을 통해 회귀분석을 실시함.
- 배수분구 단위 침수면적률 회귀분석 결과, 2010년 9월 침수피해는 강우강도(시간당), 하천 하상고 이하지역 비율, 주거·상업혼합지역 비율 등이 유의한 영향요인으로 나타남.
- 2011년 7월 침수피해는 모형에 따라 약간의 차이가 있지만, 강우강도(시간당), 하천 하상고 이하 지역 비율, 경사 2% 미만 지역 비율, 불투수 토지피복 비율, 상업·업무지역 비율 등이 유의한 영향요인으로 나타남.
- 두 기간에 공통적으로 유의한 영향을 미치는 요인은 시간당 강우량과 하상고 이하 면적 비율이 해당함.
- 침수피해 방지에 가장 기본적인 역할을 하는 배수시설능력과 관련된 변수들은 침수지역의 지역 간 차이를 설명하는데 유의한 영향이 없는 것으로 나타남.

2. 침수방지를 위한 토지이용상의 정책적 시사점

1) 기본적인 정책방향

- 서울의 침수피해지역에 대한 분석결과는 서울의 지역별 침수가 기후변화와 기상이변에 따른 막대한 집중호우가 가장 근본적인 원인이며, 과도한 저지대 혹은 환경사 지역의 개발, 도시화에 따른 과도한 불투수율 증가와 그에 따른 유출부담 등이 핵심적인 영향변수임을 보여줌. 따라서 기후변화 및 기상이변에 따른 극한 집중호우에 대응한 장기적인 침수대책이 필요하며, 도시공간이 근본적으로 침수피해로부터 안

전할 수 있도록 우수유출 저감을 위한 침투 및 저류기능을 강화하고, 침수에 취약한 저지대 환경사 지역에 대한 정비가 필요함. 특히, 도시공간의 저류 및 침투기능 강화를 위해 외국의 Low Impact Development(LID), ‘Sustainable Urban Drainage System(SUDS), Water Sensitive Urban Design(WSUD) 등과 같이 서울의 특성에 맞는 빗물관리 및 침수방지대책이 적극적으로 도입될 필요가 있음.

- 또한 토지용도상 주거상업혼재지역, 상업업무지역, 단독주택, 도로면 등의 침수피해가 높은 것으로 나타났기 때문에 이들 지역을 중점지구로 설정하여 노면수 관리 및 침수피해 방지대책을 마련할 필요가 있음.
- 다만, 이러한 대책들을 시행할 때 앞서 상습침수지역 유형화 결과에서 보듯이 지역별 지형적 여건, 토지피복, 토지이용 및 건축 특성, 배수시설여건 등에 차이가 있으므로 차등화되고 맞춤형 대책이 필요함.

2) 단계별 수방대책의 방향

- 서울에서 침수방지를 위한 적극적인 대책을 적용하기 어려운 점은 대부분 기성시가지이고 고밀도에 높은 지가를 형성하는 지역이기 때문이라는 것임.
- 따라서 단기적 차원에서는 차수판, 역류방지설비와 같은 건축설비형 침수방지대책이나 빗물받이 정비 및 관리, 하수관거 통수능 확보를 위한 부분적인 개선 등의 물리적 대책을 비롯하여 여름철 우기를 중심으로 주민참여를 기반으로 한 민관협력형 수해방지활동과 같은 비물리적 수방대책활동을 중심으로 할 수밖에 없음.
- 중기적인 차원에서는 침수지역을 포함하는 유역 전체 차원에서 지구내(on-site) 및 지구외(off-site) 저류시설 배치와 침투능력 확대를 위한 투수층 및 생태면적 확대대책이 이루어져야 할 것이며, 침수에 근본적으로 취약한 저지대에 대해서는 건축물 신·개축 시 지반고 승고나 필로티(piloti) 설치와 같은 건축적 대책이 적용되어야 할 것임.
- 장기적인 차원에서는 정비사업(재개발, 재건축 등)이나 마을만들기와 연계한 지구단위 차원의 대책, 근본적인 대책이 필요한 고질적인 침수지역에 대해서는 이전 및 시가지 토지이용 개편, 대심도 저류배수시설과 같은 대규모 배수시설대책 등이 적용되어야 할 것임.

3) 몇 가지 도시계획적 대책 제안

(1) 노면수 관리를 위한 종합계획 도입

- 기후변화에 따라 기존 배수시설능력을 초과하는 집중호우가 빈번해지고, 이에 따라 막대한 유출수가 도로, 택지 등에 범람하여 시민불편과 안전사고 위험, 교통체증과 교통사고 등을 유발하기 때문에 도로, 택지 등의 초과유출수를 잘 관리하는 것만으로도 침수피해를 저감할 수 있음.
- 현재의 개발사업, 개발행위 등에서는 자연적인 노면수 유출경로를 고려한 입지 및 토지이용이 대단히 미흡한데, 노면수 유출경로를 고려한 개발관리를 통해 배수시설에 대한 부담을 줄이고 보다 지속가능한 배수체계를 달성할 수 있을 것임.
- 현재 국내에서는 환경성 검토, 사전재해영향성검토 등의 제도에서 빗물관리나 침수방지를 위해 관련 사항이 포함될 수는 있지만, 노면수 문제를 직접적이고 명시적으로 다루는 제도적 장치는 없음.
- 영국은 최근(2010년) 기존의 홍수위험평가제도(Flood Risk Appraisal), 하천유역관리계획(RBMP : River Basin Management Plan), 지속가능도시배수체계(SUDS : Sustainable Drainage Systems) 등에 더하여 노면수관리계획(SWMP : Surface Water Management Plan) 제도를 새로이 도입하였는데, SWMP는 홍수관리와 지속가능한 배수기반시설의 공급에 초점을 두며, 지자체가 도시계획을 수립할 때 이를 수립토록 하고 있음.
- 서울에서도 도시계획 및 개발관련 지침에 노면수 관리에 대한 규정을 신설하고, 적용대상, 계획수립방법, 노면수 관리방법 등을 담은 지침을 마련토록 함.
- 노면수 관리체계를 마련하고 자연적인 유출경로를 보전하며 관리함으로써 환경친화적인 배수체계를 달성함은 물론 기후변화에 따른 점증하는 재해로 인하여 도로, 택지 등에 범람하는 노면수를 체계적으로 관리하여 시민불편과 안전사고 위험, 교통체증과 교통사고위험 등을 줄이고 배수시설 투자에 대한 부담도 경감할 수 있을 것으로 기대됨.

(2) 지구단위 차원의 침수위험지역 정비를 위한 방재지구 도입

- 고질적인 상습침수지역에 대하여 지구단위 차원의 보다 근본적인 수방대책을 적용하기 위하여 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한 ‘방재지구’ 활용을 활성화하여 건축, 토지이용, 방재시설 등을 일체적으로 정비토록 함.
- 방재지구는 법적으로 지정근거는 있으나, 방재지구로 지정될 경우 지역의 이미지 훼손과 주민반발의 가능성 등으로 인해 조례에서 구체적인 운용기준이 마련되어있지 않아 사실상 사문화되어 있는 실정임.
- 한편, 서울에는 5개의 방재지구가 있고 재개발 또는 재건축이 이루어지고 있는데, 이는 당초 도시계획에 의한 방재지구로 지정된 것이 아니라, 과거 「건축법」에 의한 재해관리구역으로 지정되었다가 재해관리구역이 폐지되면서 방재지구로 통합된 것임(당시 「건축법」상 재해관리구역으로 지정되면 재개발, 재건축 등 정비사업이 가능했음).
- 방재지구 활성화를 위하여 도시계획조례에 방재지구의 지정기준, 정비사업 및 마을만들기와 연계, 침수방지를 위한 규제 및 공공지원 등에 대한 사항을 마련토록 함.

목 차

I. 연구의 개요	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
2. 주요 연구내용	2
II. 토지이용과 침수피해 간의 관계 : 이론적 검토	3
1. 침수피해의 유형	3
2. 침수피해에 영향을 미치는 다양한 요인과 토지이용	5
3. 유출계수와 유출곡선지수(CN)	10
III. 침수피해지역의 토지이용 특성 분석	17
1. 서울의 침수피해지역 현황	17
2. 최근 침수피해지역의 토지이용 특성 분석	20
3. 상습침수지역의 토지이용 특성 및 유형화	25
4. 소결	35
IV. 배수분구 단위 토지이용과 침수피해 간의 관계분석	37
1. 분석대상 및 방법	37
2. 기초통계량	38
3. 상관관계 분석	44
4. 회귀 분석	48
5. 소결	51
V. 결론 : 침수방지를 위한 정책적 시사점	53
1. 분석결과 요약	54
2. 정책적 시사점	55
참고문헌	61

I

연구의 개요

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경

- 침수피해를 저감하기 위한 대책으로 종래 하수도, 펌프장 등 구조적 대책에 더하여 비구조적 대책으로서 도시계획 등을 통한 저감대책에 대한 관심이 높아지고 있으나, 그 효과성에 대한 실증적인 분석은 크게 부족한 실정임.
- 특히, 도시계획 및 건축을 통한 침수피해 저감대책은 재산권에 큰 영향을 미치기 때문에 이를 적용하기 위해서는 사전에 예상되는 효과와 적용가능성을 명확히 할 필요가 있으므로 그 기초로 토지이용과 침수피해의 관계성을 밝힐 필요가 있음.
- ‘강우 - 유출 - 침수피해’ 연쇄과정에서 토지이용(입지, 토지피복, 용도구성, 밀도 등)은 유출특성에 영향을 미침으로써 침수피해를 야기하거나, 침수를 고려하지 않은 입지 및 건축 때문에 배수능력을 초과한 우수로 인하여 침수피해로 연결됨.

2) 연구의 목적

- 서울시를 대상으로 토지이용특성과 침수피해지역 간의 관계를 실증적으로 분석하여, 침수피해 저감을 위한 토지이용대책의 예상되는 효과를 검토하고 적용방안에 대한 시사점을 제시하고자 함.

2. 주요 연구내용

- 서울에서의 토지이용과 침수피해 간의 관계를 분석하고 시사점을 도출하기 위하여 이 연구는 다음과 같은 사항들을 다룸.
- 첫째, 토지이용과 침수피해 간의 관계에 대한 이론적 검토를 통해 침수피해의 유형과 특성, 침수피해의 다양한 원인과 토지이용, 토지이용을 통한 침수방지대책의 유형 등을 다룸.
- 둘째, 서울에서 침수지역의 토지이용 특성을 파악하기 위하여 2010년 9월 및 2011년 7월 침수피해지역 특성분석, 반복적으로 침수피해가 발생하는 상습침수지역의 특성분석 및 유형화 등을 실시함.
- 셋째, 서울의 239개 배수분구를 단위로 2010년 9월 및 2011년 7월 침수피해에 대하여 회귀분석을 하여 주요 영향요인들을 식별함.
- 넷째, 위의 분석결과를 요약하고 침수방지를 위한 토지이용상의 정책적 시사점을 도출함으로써 결론을 맺음.



〈그림 1〉 연구의 흐름

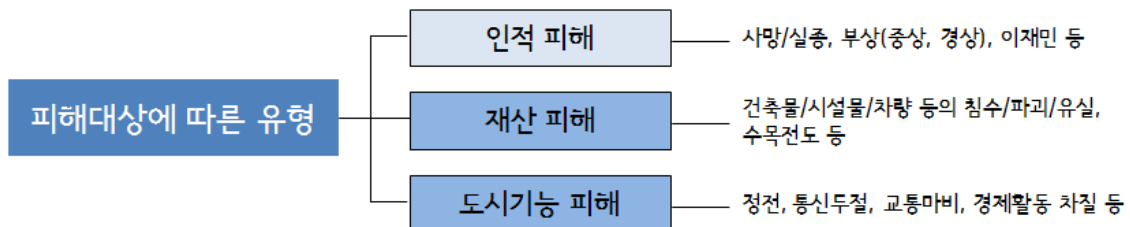
II

토지이용과 침수피해 간의 관계 : 이론적 검토

1. 침수피해의 유형

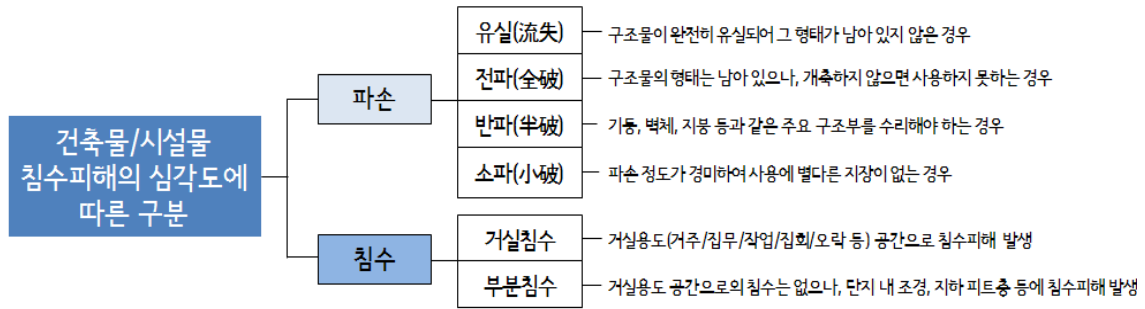
1) 피해대상에 따른 침수피해의 유형

- 침수피해는 피해대상에 따라 인명피해, 재산피해, 도시기능상의 피해 등으로 구분할 수 있으며, 거의 모든 침수피해가 기상조건, 즉 호우나 태풍에 의해 발생하기 때문에 일정수준 예측가능성이 있고, 인명피해보다는 재산피해와 도시기능상의 피해가 주를 이룸.



〈그림 2〉 피해대상에 따른 침수피해의 유형

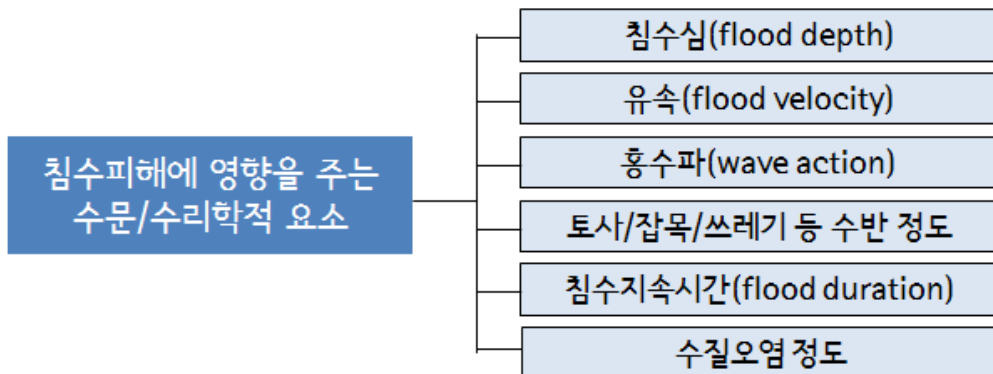
- 침수피해의 주류를 이루는 건축물이나 시설물의 침수는 그 심각도에 따라 크게 파손과 침수로 구분할 수 있음. 파손은 다시 심각도에 따라 유실, 전파, 반파, 소파 등으로 구분되며, 침수도 거실용도 공간의 침수피해 유무에 따라 구분되기도 함.



〈그림 3〉 건축물 및 시설물 침수피해의 심각도에 따른 유형

2) 수문·수리학적 특성과 침수피해

- 침수피해는 대단히 복잡한 요인과 과정에 의해 발생하는데, 유출수의 수문·수리학적 측면의 영향요인으로서는 침수심, 침수지속시간, 유속, 홍수파, 토사·쓰레기·잡목 등의 수반 정도, 수질오염 정도 등을 들 수 있음.



〈그림 4〉 침수피해에 영향을 주는 수문·수리학적 요소

- 침수심은 침수피해에 영향을 가장 기본적인 요인이라고 할 수 있는데, 건물 등 자산의 침수피해 영향을 침수심에 따라 구분하면 다음 표와 같음.
- 침수심의 인간에 대한 영향 측면에서는 일반적으로 침수심 0.5m(성인 무릎 정도의 높이) 이상은 어린이에게 위험할 수 있는 수심으로 보며, 침수심 1m(성인 허리 정도의 높이) 이상은 성인에게도 위험할 수 있는 수심으로 봄.

〈표 1〉 택지 및 자산의 침수심에 따른 침수피해의 특성

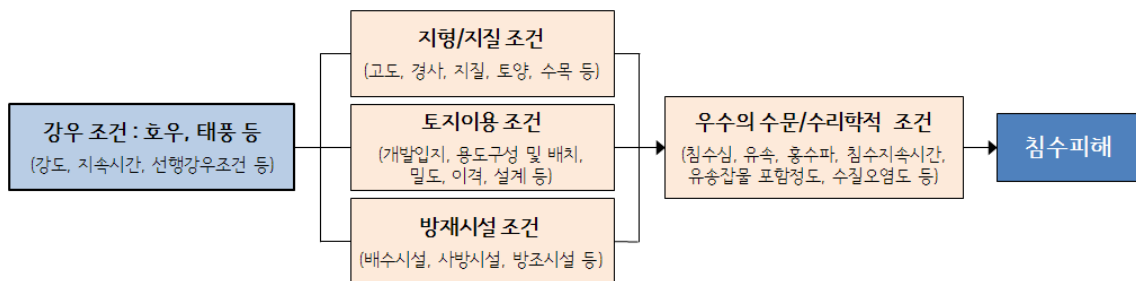
침수심	건물 손상	부대설비 및 부속품 손상	사유재산 손상
지하	• 주요 건물에 최소한의 손상 • 홍수로 불어난 물이 지하실, 창고, 지하로 침투 • 지하부 기초시설 침식	• 지하실, 창고의 전기시설 및 기타 부대설비 손상 • 지하실, 창고 부속품 교체	• 지하실, 창고의 가재 및 가구 손상
지상 50cm까지	• 벽지, 석고라이닝 등 내부 마감재에 손상, 벽지와 라이닝은 벽의 건조를 위해 벗겨내야 할 수 있음 • 바닥과 벽면의 청소 및 건조 필요, 습기문제 발생 • 바닥 합판 교체 • 내·외부 출입문, 요판 손상	• 전기계량기 등 설비 손상 • 가스계량기, 보일러, 전화시설 손상 • 카펫, 바닥재 교체 • 주방 설비 교체 • 세탁기, 가스레인지, 냉장고 교체	• 소파, 기타 가구, 전자제품 손상 • 소규모 가재 손상 • 주방의 찬장 아래 보관한 식품 부패
지상 50cm 이상	• 벽면, 건물구조 손상 가능성 증가	• 고층부 시설, 전기시설 및 전기제품 손상	• 높은 선반에 있는 가재 손상

자료 : CIRIA, Designing for Exceedance in Urban Drainage : Good Practice, 2006

2. 침수피해에 영향을 미치는 다양한 요인과 토지이용

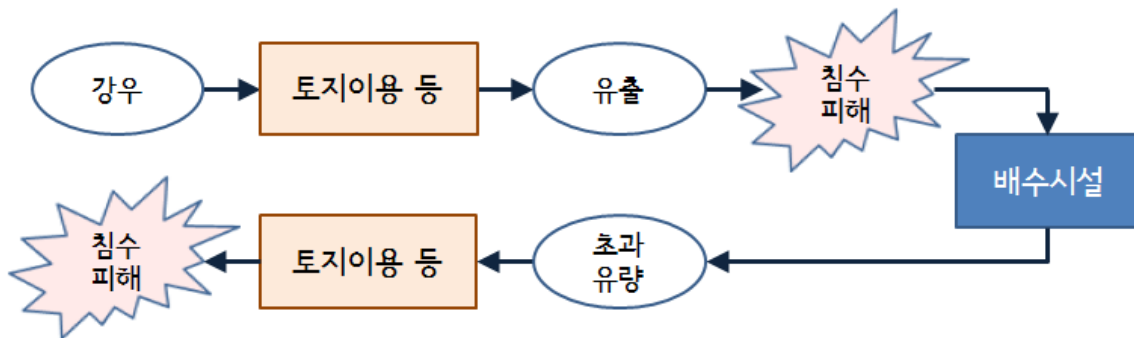
1) ‘강우-유출-침수피해’ 연쇄과정에서 토지이용의 역할

○ 침수피해에 영향을 미치는 요인은 분석의 관점과 정밀도에 따라 다양하게 구분할 수 있으며, 거시적으로 보면 강우조건, 지형조건, 토지이용조건, 배수시설조건 등으로 구분할 수 있으며, 이러한 요인들의 상호작용이 우수의 수문·수리학적 특성에 영향을 미쳐 침수피해로 나타남.

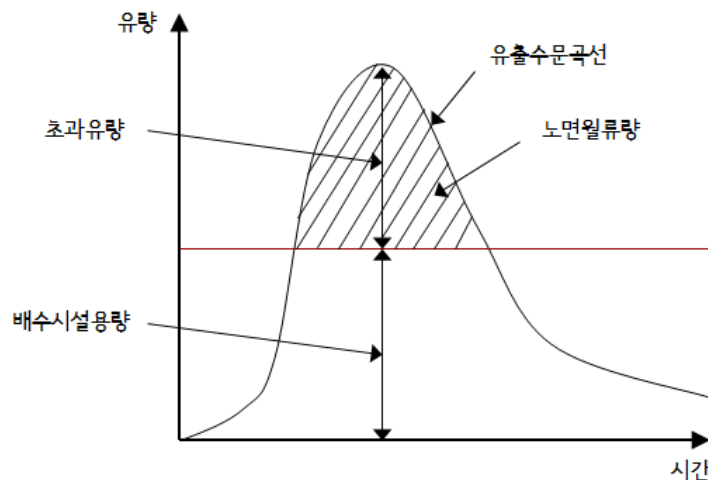


〈그림 5〉 침수피해에 영향을 미치는 다양한 요인

- 토지이용과의 관계에서 침수피해는 두 가지 측면에서 볼 수 있는바, 하나는 유출특성에 영향을 미침으로써 배수시설에 부담을 주어 침수피해를 야기할 수 있는데, 이는 도시지역의 높은 불투수율, 인공지반 등에 따른 높은 유출량과 유출률, 짧은 도달시간 등으로 인해 침수피해를 발생시킬 수 있음.
- 다른 하나는 침수피해 가능성을 고려하지 않은 저지대 개발, 지하공간 개발 등으로 인해 배수시설로부터 초과된 유출수가 도로, 주택 등의 침수피해를 야기할 수 있음.

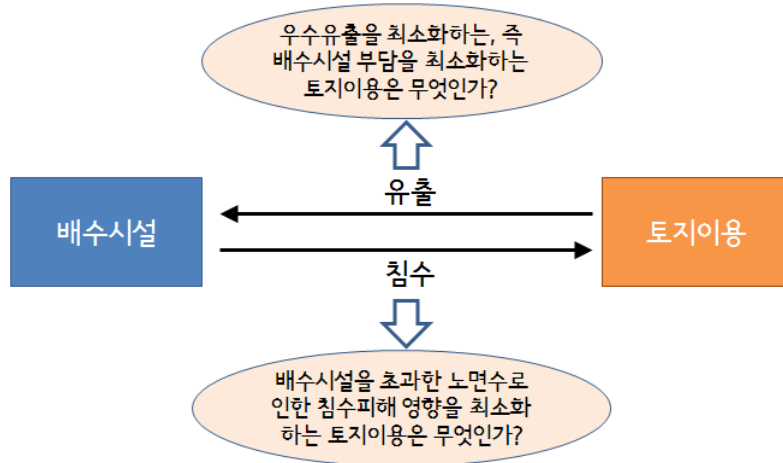


〈그림 6〉 ‘강우-유출-침수피해’ 연쇄과정에서 토지이용의 역할



〈그림 7〉 유출수문곡선에서 침수피해의 필요조건이 되는 배수시설용량을 초과한 월류량 개념도

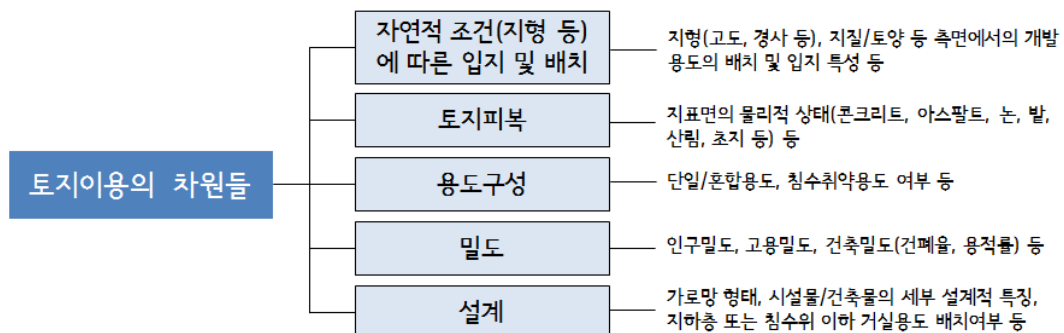
- 따라서 침수피해 최소화를 위한 토지이용의 전략적 관점은 두 가지로 구분될 수 있는바, 하나는 유출을 최소화하는, 즉 배수시설 부담을 최소화하는 토지이용은 무엇인가 하는 것과 다른 하나는 배수시설부터의 초과유량으로 인한 침수피해 영향을 최소화하는 토지이용은 무엇인가 하는 것임.



〈그림 8〉 토지이용과 배수시설 간 관계 측면에서의 침수방지전략의 유형

2) 침수피해를 고려한 토지이용의 차원들

- 침수피해에 영향을 미칠 수 있는 토지이용은 다양한 차원으로 구분할 수 있는데, 지형을 비롯한 자연적 조건과 관련한 입지 및 배치, 토지피복, 용도구성, 밀도, 설계적 특징 등으로 구분할 수 있음.



〈그림 9〉 침수피해에 영향을 미치는 토지이용의 다양한 차원들

- 토지이용(land use)과 토지피복(land cover) 개념은 서로 밀접하게 관련되어 있고 혼용해서 쓰이는 경향이 있음. 토지이용은 당해 토지가 인간에 의해 어떻게 이용되는가를 말하며, 토지피복은 지표면의 물리적 상태, 즉 건물, 시설물, 목초지, 하천·호소 등 생태계 개념을 반영한 것임. 따라서 유사한 토지피복이라도 토지이용은 다를 수 있는데, 창고와 주택은 토지피복이 유사할 수 있지만 토지이용은 차이가 있음.

3) 용도·시설별 침수취약도

○ 한편, 용도·시설별로 침수로부터 받는 잠재적인 영향과 피해가 다를 수 있는데, 영국의 국토·도시계획에서 개발입지와 토지이용을 제어하는 데 있어 홍수위험도에 따른 순차검증제도(Sequential Test) 운영에서 사용하는 용도·시설별 취약도(vulnerability) 분류사례는 다음 표와 같음.

〈표 2〉 영국의 계획체계에서 홍수위험 취약도(Flood Risk Vulnerability)의 분류

취약도 구분	용도·시설의 예
필수인프라 (Essential Infrastructure)	· 필수적인 교통시설(광역대피경로 포함), 전략적인 유틸리티시설(발전시설 등)
취약도 매우 높음 (Highly Vulnerable)	· 홍수 시에도 운영되어야 하는 경찰서, 구조대, 소방서, 지휘센터, 통신시설 · 비상대피시설 · 지하주택 · 영구적인 주거용으로 사용되는 이동식 주택 · 유해물질 보관시설
취약도 중간 (More Vulnerable)	· 병원, 요양시설, 보호시설, 사회복지시설, 교정시설 등 집단주거시설 · 주택, 기숙사, 유흥업소, 호텔 등 · 보건시설, 교육시설 등 비주거용도 · 매립시설, 유해물질 등 폐기물관리시설 · 단기체류지 및 캠핑장(구체적인 예·경보 및 대피계획에 따름)
취약도 낮음 (Less Vulnerable)	· 판매, 금융, 전문서비스, 음식점, 사무실, 일반산업, 보관 및 집배송시설, '취약도 다소 높음 (More Vulnerable)' 용도에 해당하지 않는 비주거시설, 여가시설 · 농업 및 임업용도에 사용하는 토지 및 건물 · 폐기물처리시설(매립 및 유해물질 처리시설 제외) · 광물작업 및 처리시설(토석류 제외) · 상수처리시설, 하수처리시설(오염통제조치를 갖춘 경우)
물과 부합하는 개발용도 (Water-compatible Development)	· 홍수통제시설, 펌프장, 우수이송시설 · 토석 작업장 · 부두, 수운지원시설, 선박관련시설, 어업관련시설 · 군사시설 · 물을 기반으로 한 레크레이션시설(숙박시설 제외) · 어메니티 오픈스페이스, 자연보호, 야외운동 및 레크레이션 등을 위한 필수시설 · 수상구조대시설 · 위 용도에 필요한 요원들을 위한 필수적인 보조주거 및 숙박시설(구체적인 예·경보 및 대피 계획에 따름)

자료 : U.K. Communities and Local Government, Planning Policy Statement 25, Development and Flood Risk, 2006

- 영국에서 운영하는 순차검증제도(Sequential Test)는 개발사업 및 개발행위를 홍수 위험에 따라 가장 위험하지 않은 지역부터 순차적으로 개발토록 유도하는 개발제어장치인데, 이를 위해 앞서의 용도·시설별 홍수 취약도 구분과 함께 홍수위험도 평가(Flood Risk Appraisal)를 실시하여 전국을 홍수위험도에 따라 4가지 홍수구역(Flood Zone)으로 구분함.

〈표 3〉 침수위험 취약도와 침수구역 간의 관계

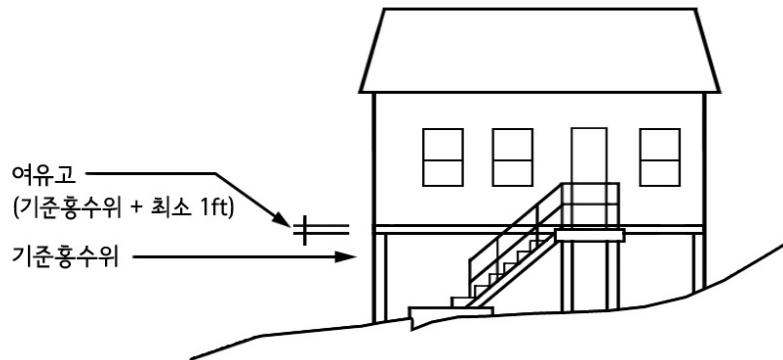
침수위험 취약도		필수인프라	물과 부합하는 개발용도	취약도 매우 높음	취약도 다소 높음	취약도 낮음
홍수 구역	Zone 1 (연간 침수확률 1/1,000 미만)	○	○	○	○	○
	Zone 2 (연간 침수확률 내륙 1/1,000~1/100, 해안 1/1,000~1/200)	○	○	예외검증 필요	○	○
	Zone 3a (연간 침수확률 내륙 1/100 이상, 해안 1/200 이상)	예외검증 필요	○	×	예외검증 필요	○
	Zone 3b (홍수 시 물이 흐르거나 저류되는 지역, 연간 침수확률 1/20 이상, 극한홍수(0.1%)에 대해 설계된 지역)	예외검증 필요	○	×	×	×

주 : ○ 개발에 적합, × 개발 불허

자료 : U.K. Communities and Local Government, Planning Policy Statement 25, Development and Flood Risk, 2006

- 미국은 침수위험지역에 대해서 지방정부의 통상적인 도시계획조례(Zoning 및 Sub-division Ordinance)에 더하여 범람원관리조례(Floodplain Management Ordinance) 등을 통해 개발사업·행위에 대한 심의 강화 및 추가적인 인허가 요건이 부과됨.
- 예컨대, 특별홍수재해구역(SFHA : Special Flood Hazard Area)으로 지정된 지역에서 일어나는 모든 개발 또는 미개발된 부동산의 변경이 수반되는 건축, 굴착, 성토, 절토, 포장, 매립, 준설, 철거, 장비·설비의 적치 등 일체의 인위적 개발행위는 지자체의 엄격한 인·허가 절차를 거쳐야 하는데, 그 중 하나가 건축물과 부대시설·설비가 침수피해를 방어할 수 있도록 적절한 높이(elevation)로 설치되도록 하는 것

임. 즉, 설계홍수위(DFE : Design Flood Elevation)는 조례 및 관계규정에서 정한 홍수위로서 최소기준이 기준홍수위(BFE : Base Flood Elevation)이며, 일반적으로 100년 빈도 홍수위를 말하며, 지자체에 따라 여유고(freeboard)를 둠.

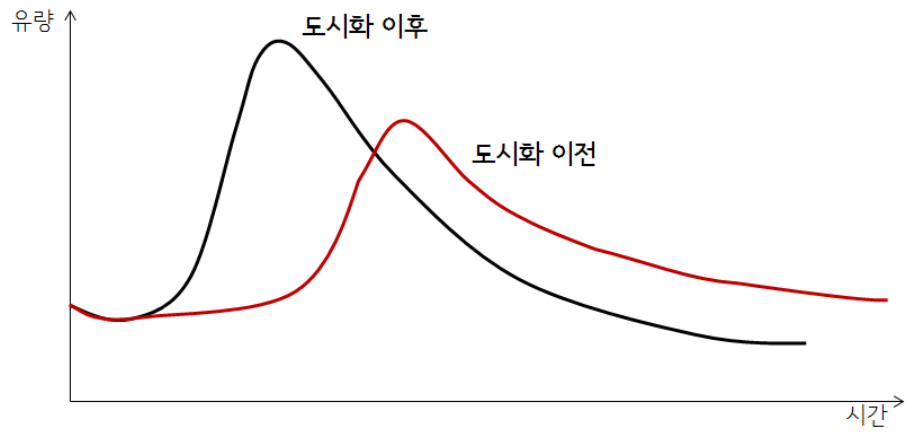


〈그림 10〉 미국의 홍수재해위험지역 내 기준홍수위(100년 빈도) 및 여유고 적용의 개념

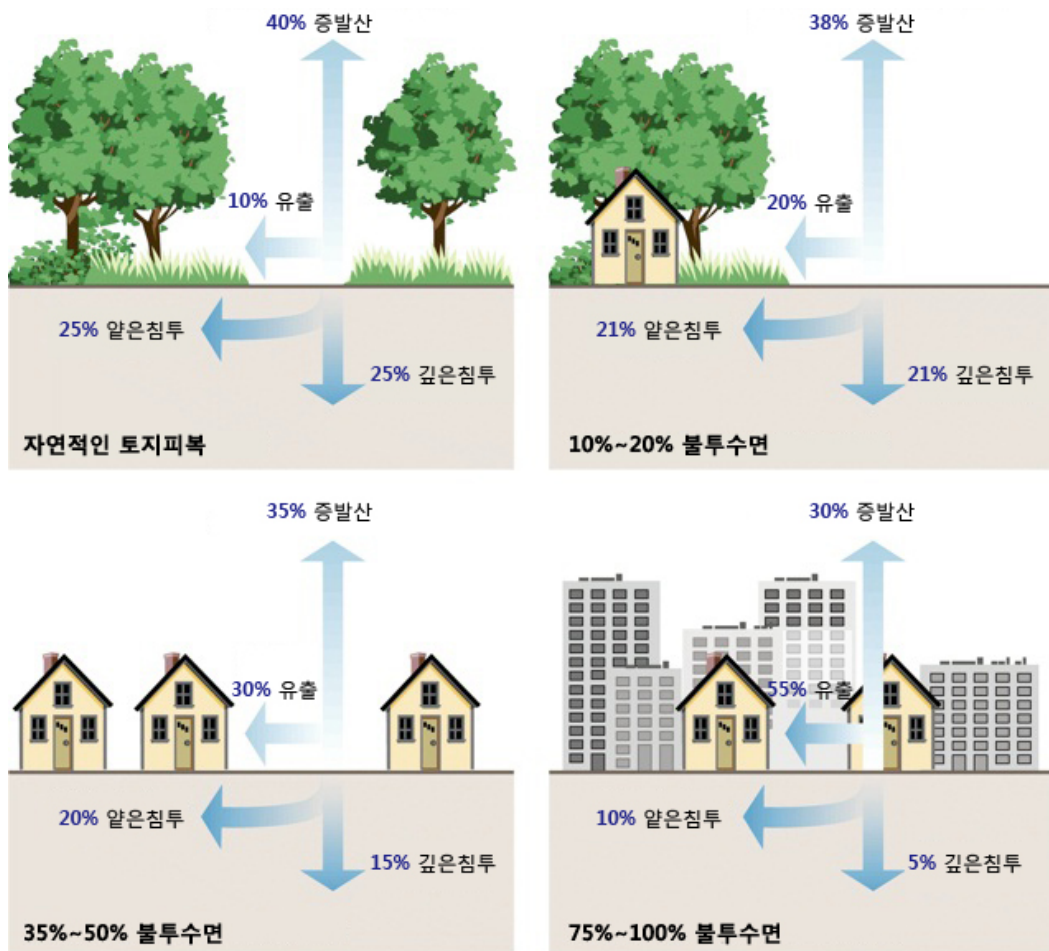
3. 유출계수와 유출곡선지수(CN)

1) 도시화에 따른 유출변화

- 토지이용, 즉 지표면의 특성에 따라 배수시설이 감당해야 하는 유출부담정도가 다른데, 하늘에서 내린 강우는 일부가 땅 속으로 침투되고 다른 일부는 증발산을 통해 대기로 흡수되며, 나머지가 노면과 배수시설에서 감당해야 하는 부분임.
- 도시화에 따른 콘크리트, 아스팔트 등 불투수율의 증가는 일반적으로 침투와 증발산의 비중을 낮추고 유출을 증가시켜 동일한 강우에 대해 배수시설의 부담을 증가시키고 침수위험 또한 높아짐.
- 최근 미국의 저영향개발(LID : Low Impact Development), 영국의 지속가능도시배수시스템(SUDS : Sustainable Urban Drainage Systems), 호주의 빗물관리도시설계(WSUD : Water Sensitive Urban Design) 등의 개념은 이러한 도시화에 따른 유출관리, 수질관리, 빗물 재사용 등에 초점을 두고 있는 설계기법들임.



〈그림 11〉 도시화에 따른 유출수문곡선의 변화



자료 : US FISRWG(1998)

〈그림 12〉 도시화에 따른 불투수층 변화와 우수유출 간의 관계 개념

2) 유출계수

- 침수피해와 관련하여 유출저감을 위한 토지이용의 예상되는 효과를 분석하는 기본적인 지표는 합리식(Rational Formula)에서 사용되는 유출계수(C)와 미국 NRCS에서 개발한 유출곡선지수(CN : Runoff Curve Number)가 있음.
- 유출계수는 소규모 유역의 수공구조물 설계 시 널리 이용되는 합리식의 매개변수이며, 합리식은 적용하기가 간편하여 우수관거 설계에 널리 사용되고 있음.
- 합리식의 기본 개념은 강우(I)가 순간적으로 내리기 시작하여 무한히 지속될 경우 유출량은 유역의 모든 지역이 유역출구의 유출에 기여하는 도달시간(time of concentration, t_c)까지 계속 증가한다는 것이며, 이로 인해 도달시간 이후에는 강우강도와 유역면적(A)을 곱한 IA 만큼 일정하게 유역으로 유입되는 평형상태가 됨. 자연상태의 유역출구에서 발생하는 침투유출량(Q)은 침투, 증발산 등 손실량이 있기 때문에 IA 보다 작은 값이 되며, 이러한 IA 와 Q의 비율을 유출계수(C)라고 함. 합리식에 의한 침투유출량은 다음과 같이 정의됨.

$$Q = 0.2778CIA \quad (1)$$

$$Q = \frac{1}{360}CIA' \quad (2)$$

- 여기서 Q는 유출량(m^3/s), I는 강우강도(mm/hr), A와 A'는 유역면적(km^2 및 ha)을 나타냄.
- 합리식의 적용을 위해서는 기본적으로 유역면적, 유출계수, 그리고 강우강도를 결정해야 함. 이때 유출계수는 유역의 토지이용상태에 따라 결정되는데, 도시 및 농경지역에서의 일반적인 유출계수는 다음 표와 같음.

〈표 4〉 토지이용에 따른 합리식의 유출계수 범위¹⁾

토지이용		유출계수	토지이용		유출계수		
상업지역	도심지역	0.70~0.95	차도 및 보도			0.75~0.85	
	근린지역	0.50~0.70	지붕			0.75~0.95	
주거지역	단독주택2)	0.30~0.50	잔디	사질토	평탄지(2% 이하)	0.05~0.10	
	독립주택단지	0.40~0.60			평균(2~7%)	0.10~0.15	
	연립주택단지	0.60~0.75			경사지(7% 이상)	0.15~0.20	
	교외지역	0.25~0.40		중토	평탄지(2% 이하)	0.13~0.17	
					평균(2~7%)	0.18~0.22	
경사지(7% 이상)					0.25~0.35		
산업지역	산재지역	0.50~0.80	농경지	나지	평탄한 곳	0.30~0.60	
	밀집지역	0.60~0.90			거친 곳	0.20~0.50	
공원, 묘역		0.10~0.25		경작지	사질토	작물 있음	0.30~0.60
운동장		0.20~0.35				작물 없음	0.20~0.50
철로		0.20~0.40			중토	작물 있음	0.20~0.40
미개발 지역		0.10~0.30				작물 없음	0.10~0.25
도로	아스팔트	0.70~0.95			관개 중인 답		0.70~0.80
	콘크리트	0.80~0.95		초지	사질토	0.15~0.45	
					중토	0.05~0.25	
	벽돌	0.70~0.85	산지3)	급경사 산지		0.40~0.80	
				완경사 산지		0.30~0.70	

자료 : Ponce, 1989

- 주 : 1) 유출계수는 재현기간 5~10년에 적용되므로 재현기간이 이보다 길 경우 보정그래프를 이용하여 보정하여야 함.
 2) 단독주택인 경우 미국의 주거상황과 한국의 주거상황이 같지 않으므로 유출계수 추정 시 주의를 요함.
 3) 산지의 경우 유출계수 추정 시 현장조건을 감안한 판단이 필요하며, 유역면적이 작은 지역에서는 비교적 큰 유출계수를 사용하고, 유역면적이 큰 지역에서는 비교적 적은 유출계수를 사용하여 홍수량이 과소 또는 과대 추정되지 않도록 유의함.

○ 위와 같이 유출계수는 보통 간단한 표로 정리하여 사용되고 있으나, 유출계수 산정 시 고려한 변수에 따라 유출계수 값의 크기와 범위가 상당한 차이가 있고, 이에 따라 서울시에서는 「하천설계기준」(한국수자원학회, 2007)과 「하수도시설기준」(한국상하수도협회, 2005)에 정리된 표를 인용하여 서울시 「하수도정비기본계획(변경)보고서」(2009)에 수록하고 있음.

- 서울시의 주거특성을 고려한 유출계수는 다음 표와 같으며, 합리식에 의한 계획우수량을 산정할 때 다음 기준에 의해 유출계수를 결정하도록 하고 있음.
- 유출계수는 대상지역에 내리는 모든 강우에 대해서 동일한 것으로 봄.
 - 유출계수는 어떤 확률강우에 대해서도 동일하게 봄.
 - 유출계수는 유역의 지질, 형상, 식생과 개발상황을 고려하여 결정함.
 - 지역의 용도별 유출계수는 기초 공종별 유출계수를 가중평균하여 결정함.

〈표 5〉 서울시에 적용되는 추천 유출계수 표준 값

지역의 토지용도별 평균 유출계수			토지용도별 기초 유출계수		
상업지역	도심지역	0.70~0.95	도로	아스팔트	0.70~0.95
	근린지역	0.50~0.70		콘크리트	0.80~0.95
주거지역	단독주택지역	0.60~0.75		보도, 주차장	0.75~0.85
	아파트 지역	0.50~0.70		지붕	0.75~0.95
	교외 주거지역	0.30~0.40	농지	논	0.70~0.80
공업지역	밀집하지 않은 지역	0.50~0.80		밭	0.45~0.60
	밀집한 지역	0.60~0.90		운동장	0.20~0.35
녹지·지역	평탄한 공원	0.10~0.25	기타	나대지	0.40~0.60
	급준한 지역	0.75~0.90		수면	1.00
	완만한 지역	0.50~0.75		잔디식재	0.10~0.30

자료 : 서울시, 「하수도정비기본계획(변경)」보고서(2009)

3) 유출곡선지수(CN)

- 유출곡선지수 산정방법은 미국 토양보존국(U.S. Soil Conservation Service(SCS)), 현재는 U.S. Natural Resources Conservation Service(NRCS))에 의해 강우량 중에서 침투량과 유효우량을 분리하기 위한 것임. 이 방법은 침투 및 유효우량의 크기에 영향을 미치는 인자로 토양의 종류, 토지이용상태, 식생의 피복상태, 선행토양함수 조건 등을 고려하여 유효우량을 산정하는 것임. 유출곡선지수 산정방법에 대해 간단히 살펴보면, 먼저 유역에 발생한 총강우량은 다음과 같은 물수지 방정식을 이용하여 설명할 수 있음.

$$P = Q + F + I_a \quad (4)$$

- 여기서 P 는 총강우량(mm), Q 는 직접유출량(mm), F 는 실제보유수량(mm), I_a 는 초기손실(mm)을 나타냄. 이때 SCS-CN 산정방법의 기본개념은 실제 보유수량과 최대 잠재보유수량(S)의 비가 직접유출량과 총강우량(초기손실 고려)의 비와 같다는 비례가정에서 시작하며, 이를 식으로 나타내면 다음과 같음.

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{F}{S} \quad (5)$$

○여기서 초기손실(I_a) 부분은 일반적으로 $0.2S$ 로 나타낼 수 있음. 위 식을 직접유출량에 대한 항으로 재정리하면,

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (6)$$

○즉, 총강우량이 초기손실보다 클 경우에만 직접유출량이 발생하게 됨. 이때 최대잠재보유수량은 유출곡선지수(Curve Number)를 이용하여 다음과 같이 정의됨.

$$S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad \text{or} \quad CN = \frac{254,000}{S + 254} \quad (7)$$

○따라서 유출곡선지수는 지역의 토지이용상태 및 식생피복상태, 그리고 토양의 수문학적 조건에 따라 변하게 됨. 도시지역에 대한 일반적인 유출곡선지수는 다음 표를 이용하여 결정할 수 있음.

○한편, 서울시에 대한 유출곡선지수는 오경두 등(2005)에 의해 토지이용별로 다음 표와 같이 산정된 바 있음.

〈표 6〉 도시지역의 유출곡선지수(AMC-II 조건)

개발상태	토지피복상태		평균불투수율 (%)	토양 종류			
				A	B	C	D
완전히 개발된 도시지역	• 개활지(잔디, 공원, 골프장, 묘지 등)	-불량한 상태(초지피복률 50% 이하)		68	79	86	89
		-보통 상태(초지피복률 50~75%)		49	69	79	84
		-양호한 상태(초지피복률 75% 이상)		39	61	74	80
	• 불투수지역		-포장된 주차장, 지붕, 접근로 등(도로 포함, 도로경계선 불포함)	98	98	98	98
	• 도로	-포장도로 : 곡선길 및 우수거(도로용지 불포함)		98	98	98	98
		-포장도로 : 도로 용지 포함		83	89	92	93
		-자갈도로 : 도로 용지 포함		76	85	89	91
		-흙 도로 : 도로 용지 포함		72	82	87	89
	• 도시지역	-상업 및 사무실 지역	85	89	92	94	95
		-공업지역	72	81	88	91	93
	• 주거지역 (구획지 크기에 따라 구분)	-150평 이하	65	77	85	90	92
		-150~ 300평	38	61	75	83	87
		-300~ 400평	30	57	72	81	86
		-400~ 600평	25	54	70	80	85
		-600~1200평	20	51	68	79	84
		-220~1440평	12	46	65	77	82
개발 중인 도시지역	• 새로 조성된 지역(투수지역만, 식생 없음)			77	86	91	94

자료 : U.S. Dept. of Agriculture and Natural Resources Conservation Service(NRCS), Urban Hydrology for Small Watersheds (TR-55), 1986

〈표 7〉 서울의 토지이용에 따른 유출곡선지수(CN)

토지이용		CN (AMC-II)			
		A	B	C	D
도시화지역	공공용도지역	63	76	84	87
	공업지역	93	95	96	97
	교통시설지역	98	98	98	98
	나지	77	86	86	94
	도시부양시설지역	68	79	96	89
	상업업무지역	94	95	95	97
	주택지역	90	93	78	96
	특수지역	49	67	96	83
	혼합지역	94	95	96	97
비도시화지역	녹지	30	55	70	77
	하천 및 호소	100	100	100	100

자료 : 오경두 등(2005)

III

침수피해지역의 토지이용 특성 분석

1. 서울의 침수피해지역 현황

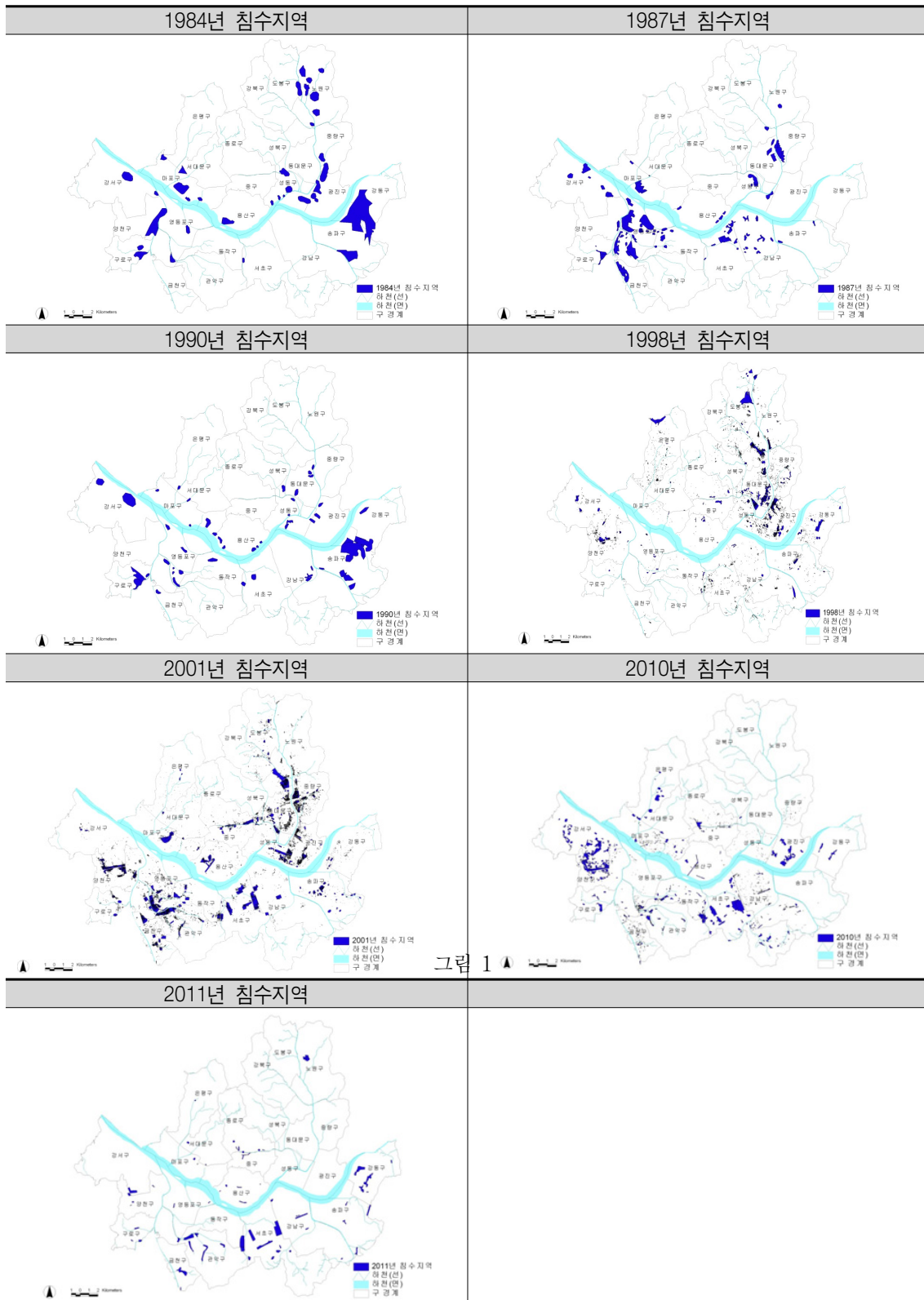
1) 침수피해지역 분포

- 1980년대 이후 서울에서 큰 침수피해가 발생한 시기는 1984년, 1987년, 1990년, 1998년, 2001년, 2010년, 2011년 등임.
- 연도별 시가화지역 대비 침수면적 비율을 살펴보면, 1984년에 약 7.6%로 가장 큰 비중을 보였으며, 2~8% 정도로 나타남.

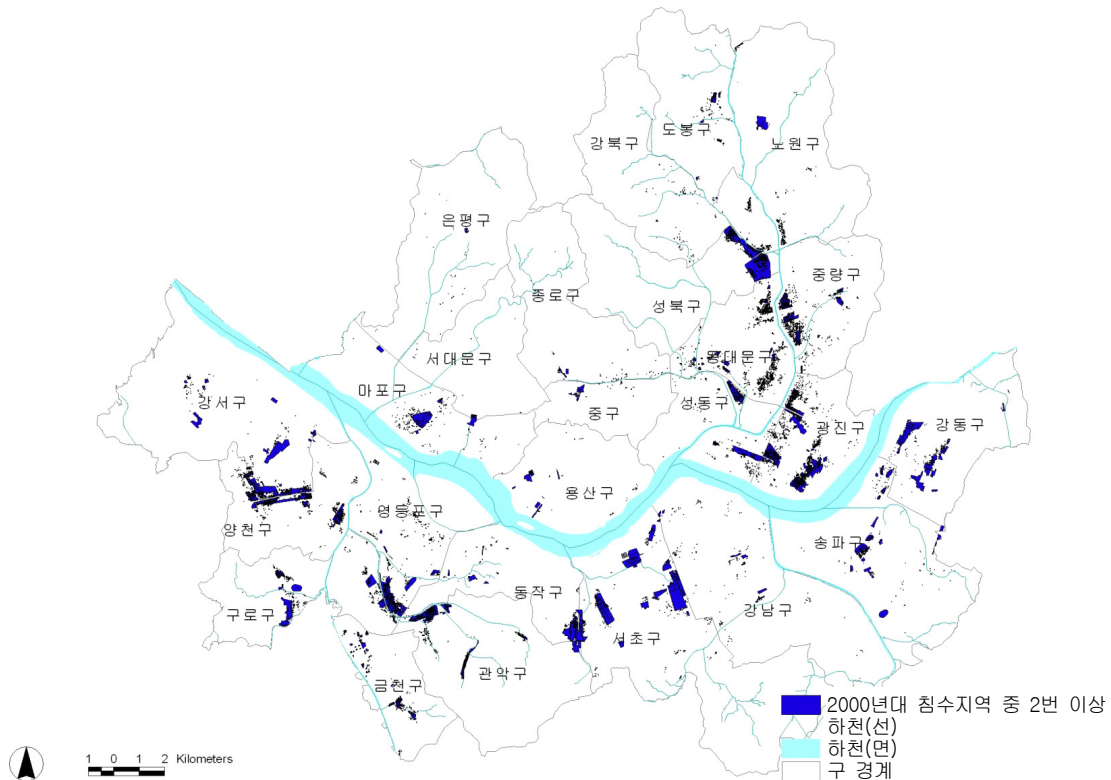
〈표 8〉 서울의 연도별 침수면적과 시가화지역 대비 비율

구분		면적 (ha)	시가화지역 대비 침수면적 비율 (%)
침수지역	2011년	659.4	1.8
	2010년	1,380.8	3.9
	2001년	2,007.4	5.6
	1998년	1,342.7	3.8
	1990년	1,712.5	4.8
	1987년	2,120.7	5.9
	1984년	2,732.9	7.6
시가화지역		35,759.2	

- 침수피해지역은 서울 전역에 걸쳐 분포되어 있으나, 지역적 편차가 크고, 지대가 낮은 서남지역을 비롯하여 중랑천 연변, 강남지역, 강동지역 등에 많이 집중되어 있음. 최근에는 한강이남의 서남, 강남, 강동지역의 침수피해가 두드러짐.



〈그림 13〉 1980년대 이후 서울의 침수지역 분포

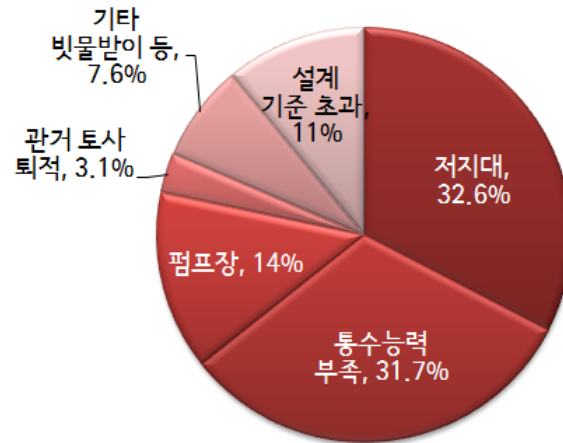


〈그림 14〉 2000년대 이후 침수지역 중 2번 이상(1984년 이후) 침수된 지역 분포

2) 침수피해의 일반적인 특징과 원인

- 서울은 그동안 하천개수사업을 꾸준히 추진하여 하천의 직접적인 범람이나 제방붕괴로 인한 외수에 의한 피해보다 집중호우에 의한 저지대, 반지하주택, 노면부와 같은 취약공간의 침수 내지 하수관거의 용량부족이나 통수능 문제로 인한 내수침수 피해가 주류를 이룸. 그러나 2011년 7월 도립천 연변의 범람과 같이 연속적인 선행강우와 국지적인 집중호우가 서로 작용하여 내수 및 하천 외수에 의한 복합적인 침수피해도 발생함.
- 침수피해의 가장 근본적인 원인인 강우조건은 태풍보다 주로 집중호우에 의한 피해가 주를 이룸.
- 서울의 주요 침수피해지역들을 분석해 보면, 침수피해의 가장 큰 지역적 원인으로 저지대 관련이 32.6%, 하수관거 통수능력 부족이 31.7%를 차지함. 즉 배수시설의 설계용량을 초과하는 강우량이 비교적 단시간에 집중되어 노면수 저지대 집중, 하

수관거의 용량이나 통수능력 부족, 경사불량, 펌프용량 부족, 토사유출에 의한 배수 불량 등이 복합적으로 작용하여 침수피해를 유발함.



〈그림 15〉 서울의 과거 침수피해지역의 주요 지역적 원인

2. 최근 침수피해지역의 토지이용 특성 분석

1) 분석대상 및 방법

- 가장 최근인 2010년 9월말 및 2011년 7월말 침수피해에 대하여 침수피해지역의 토지이용 특성을 분석함.
- 침수피해는 강우, 지형, 토지이용, 배수시설 등 다양한 조건들이 복합적으로 작용하여 나타나지만, 분석은 침수피해지역의 토지이용 특성만을 대상으로 하며, 토지이용 특성 분석은 지형적 측면의 입지 특성, 토지이용, 토지피복 등을 나타내는 거시적(macro) 지표들을 이용하여 수행됨.
- 입지적 측면에서의 침수는 고도나 경사와 같은 지형적 측면이 중요한데, 저지대를 나타내는 변수는 지역별 인근 하천의 계획홍수위 및 하상고를 이용한 하도버퍼링(elevation buffering)방법을 통해서 식별함.
- 경사는 수치고도자료(DEM)를 이용하여 산정하되, 하천유속 확보에 필요한 경사 기준으로 2% 기준을 사용함.

- 지형습윤지수(TWI : topographic wetness index)란 상류지역의 유출기여면적을 해당 지점의 경사로 나눈 값으로, 강우유출현상과 지형특성의 관계를 보여주는 척도이며, 유역의 특정지점에서 상류로부터 내려오는 흐름의 특성과 하류로 통수시킬 수 있는 유하능력을 비교하여 포화되는 정도 또는 침수가능성을 나타내는 지수임. 일반적으로 TWI가 10을 초과하면 국지적인 우수의 집중이 발생하기 쉬운 지역으로 평가됨.
- 토지이용도는 2010년 서울의 비오톱(Biotop)지도의 토지이용현황도를 이용하였고, 토지이용다양도는 용도별 구성자료를 심슨지수(Simpson Index)를 이용하여 산정함.
- 반지하주택 및 지하공간은 2010년 건축물대장 및 지하공공시설물(지하철 · 지하철역, 지하도상가, 지하보도, 지하차도 등) 자료를 이용함.
- 토지피복은 2010년 서울의 Biotop지도에 표기된 불투수율과 시가화지역 대비 건폐면적률을 분석함.

〈표 9〉 침수피해지역의 토지이용 특성을 분석하기 위한 지표

구분	토지이용 지표
지형적 측면의 입지	- 저지대지역 : 하천홍수위 이하 지역, 하천홍수위+2m 이하 지역, 하천하상고 이하 지역, 하천하상고+2m 이하 지역 - 완경사지역 : 경사 2% 미만 지역 - 지형습윤지수(TWI) : TWI 10 초과 지역
토지이용	- 주택(단독, 공동), 상업업무시설, 교통시설, 공원녹지 등 - 반지하주택 및 지하공간 - 토지이용 다양도(Simpson Index)
토지피복	- 불투수율 - 시가화면적 대비 건폐면적률

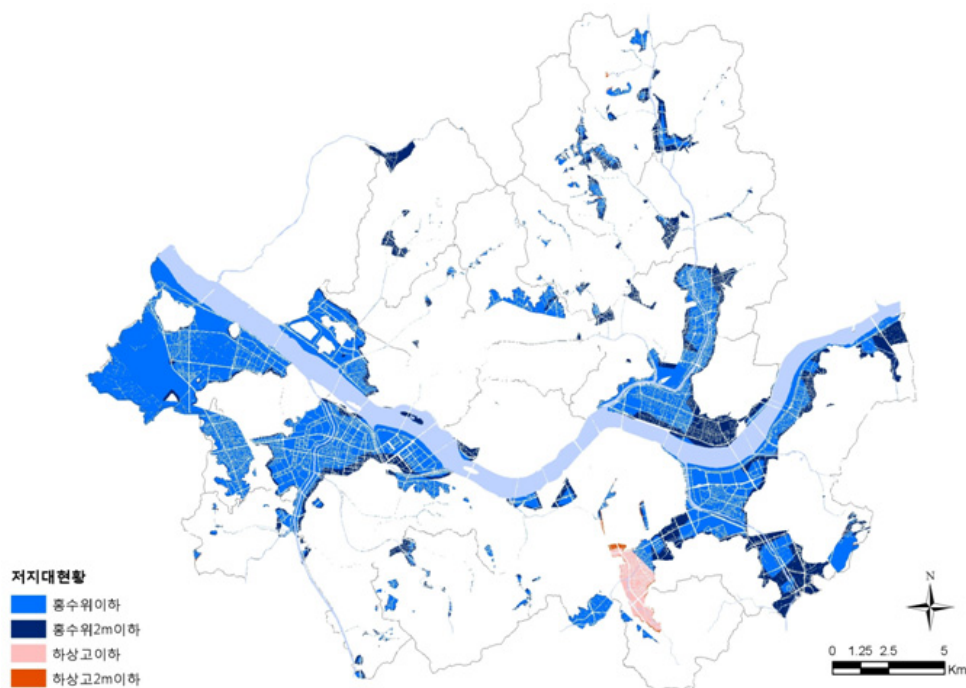
2) 지형적 측면에서의 입지 특성

- 저지대 측면에서 보면, 2010년 9월말 및 2011년 7월말 침수피해지역 모두 하천 하상고 및 하상고+2m 이하인 극저지대 지역의 침수피해율이 상대적으로 높음. 침수 취약성 지표로 일반적으로 사용되는 하천홍수위는 침수지역과 비침수지역 간에 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이는 침수지역이 저지대뿐만 아니라 중 · 상류지역 까지 광범위하게 나타날 수 있음을 시사함.

- 경사 측면에서 보면, 경사도 2% 미만인 완경사 평탄지역의 침수피해율이 상대적으로 매우 높음.
- 지형습윤지수(TWI) 측면에서 보면, TWI 10 초과 지역에서 침수피해율이 상대적으로 높음.

〈표 10〉 2011년 7월 및 2010년 9월 침수피해지역의 입지적 특성

구분		서울시 전체		2011년 침수지역		2010년 침수지역	
		면적(천 m ²)	구성비(%)	면적(천 m ²)	구성비(%)	면적(천 m ²)	구성비(%)
저지대	홍수위 이하	109,416.6	18.1	532.3	8.1	2,764.2	20.0
	홍수위+2m 이하	143,575.1	23.7	957.3	14.5	3,239.5	23.5
	하상고 이하	17,371.1	2.9	363.4	5.5	1,280.2	9.3
	하상고+2m 이하	20,807.2	3.4	449.8	6.8	1,379.1	10.0
완경사	경사도 2% 미만	109,416.0	18.1	5,268.5	79.9	9,545.0	69.1
습윤지수	습윤지수 10 초과	280,826.7	46.4	4,296.3	65.1	7,898.7	57.2



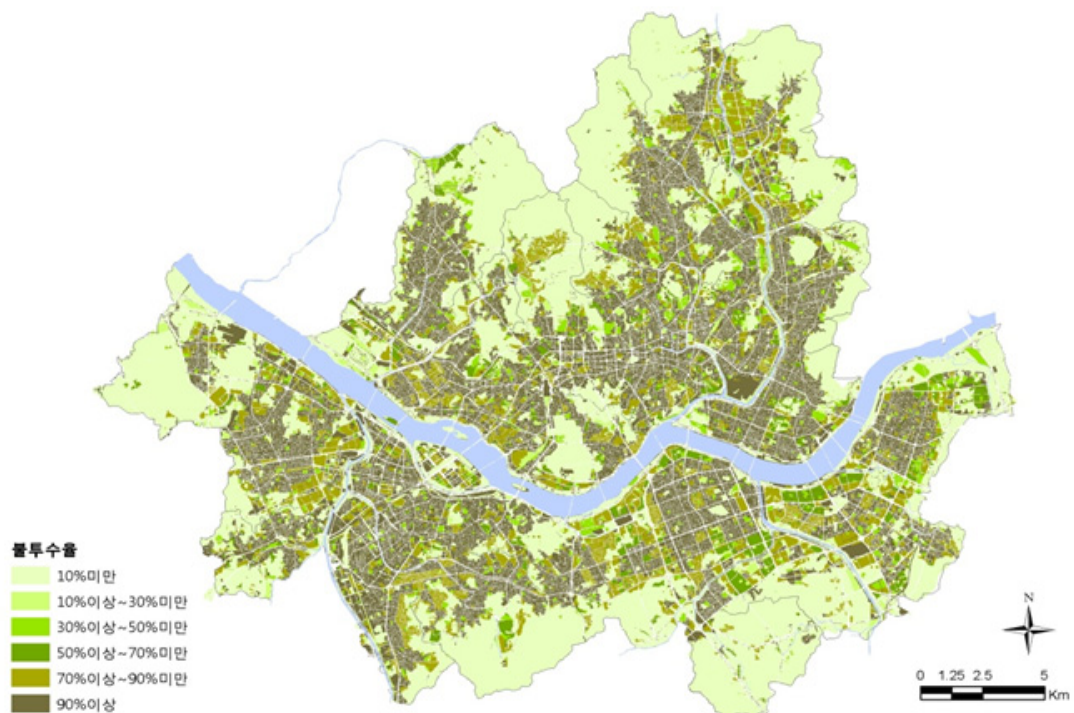
〈그림 16〉 서울의 하도버퍼링방법에 의한 계획홍수위 및 하상고 이하 지역 분포

3) 토지피복 특성

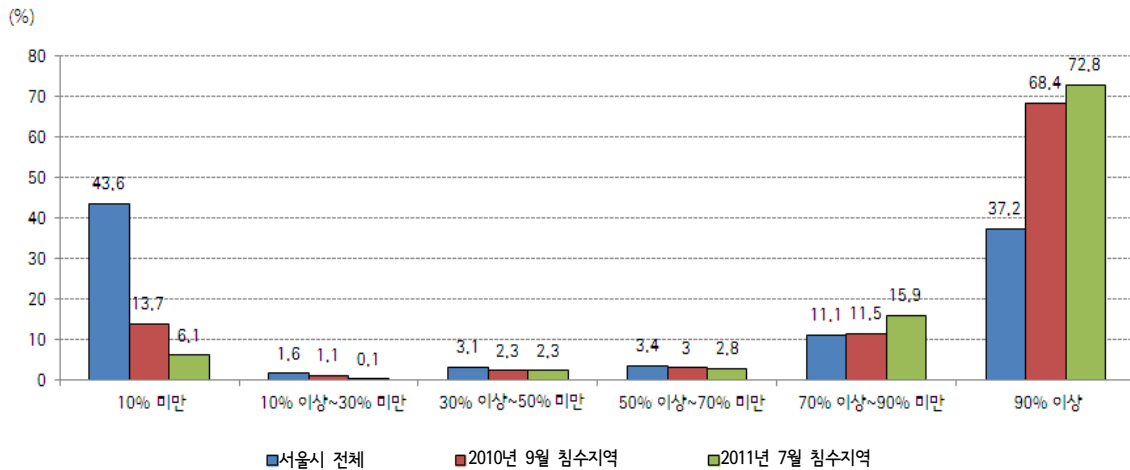
- 2010년 9월말 및 2011년 7월말 침수피해지역은 불투수율 90% 이상 지역에서 상대적으로 매우 높음. 참고로, 서울시 전체 불투수율은 47.7%이며, 시가화 지역만을 한정하면 불투수율은 77.0%임

〈표 11〉 2011년 7월 및 2010년 9월 침수피해지역의 불투수율 특성

불투수율(%)	서울시 전체		2011년 침수지역		2010년 침수지역	
	면적(천 m ²)	구성비(%)	면적(천 m ²)	구성비(%)	면적(천 m ²)	구성비(%)
10% 미만	265,076.5	43.6	396.1	6.1	1,884.70	13.7
10% 이상~30% 미만	9,707.2	1.6	8.55	0.1	157.35	1.1
30% 이상~50% 미만	19,056.2	3.1	151.4	2.3	314.00	2.3
50% 이상~70% 미만	20,759.3	3.4	183.45	2.8	415.20	3.0
70% 이상~90% 미만	67,593.2	11.1	1036.9	15.9	1,576.05	11.5
90% 이상	226,126.4	37.2	4748.65	72.8	9,417.05	68.4
총	-	100.0	-	100.0	-	100.0



〈그림 17〉 서울의 불투수율 분포(2010년)



〈그림 18〉 2011년 7월 및 2010년 9월 침수피해지역의 불투수율 특성

- 침수피해지역을 시가화면적 대비 건폐면적 측면에서 보면, 건폐면적률이 높은 지역이 침수피해율도 상대적으로 높음.

〈표 12〉 2011년 7월 및 2010년 9월 침수피해지역의 시가화면적 대비 건폐면적률

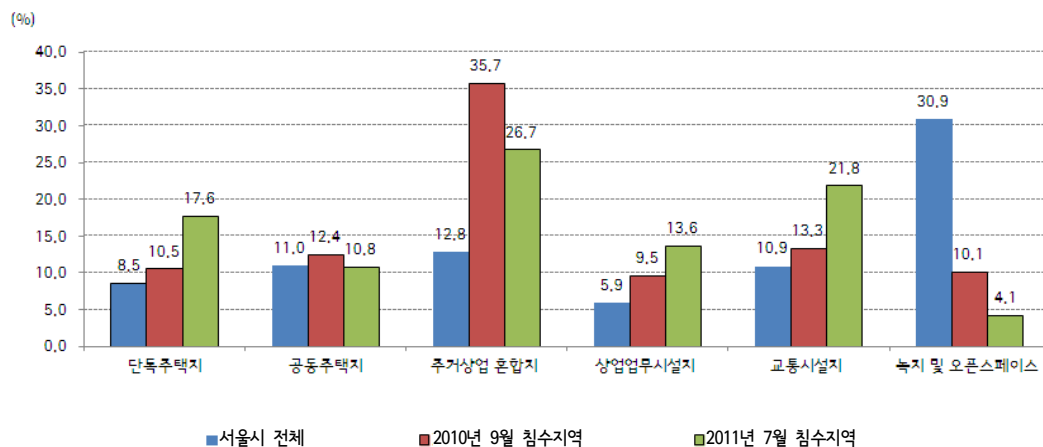
구분	서울시 전체	2011년 침수지역	2010년 침수지역
시가화면적(천 m ²)	357,591.7	6,202.5	12,230.5
건축물바닥면적(천 m ²)	100,039.9	1,912.0	4,124.4
건폐면적률(%)	28.0	30.8	33.7

4) 토지이용 특성

- 2010년 9월말 및 2011년 7월말 침수피해지역은 주거상업혼합지, 상업업무시설지, 교통시설지의 침수피해율이 상대적으로 높으며, 주택가는 단독주택지의 침수피해율이 상대적으로 높음.

〈표 13〉 2011년 7월 및 2010년 9월 침수피해지역의 토지용도 구성

토지이용		서울시 전체		2011년 침수지역		2010년 침수지역	
		면적(천㎡)	구성비(%)	면적(천㎡)	구성비(%)	면적(천㎡)	구성비(%)
주택지	단독주택	51,744.4	8.5	1,150.2	17.6	1,447.2	10.5
	공동주택	67,109.3	11.0	703.9	10.8	1,707.6	12.4
주거상업혼합지		77,752.6	12.8	1,745.3	26.7	4,918.1	35.7
상업업무시설지		35,928.6	5.9	887.7	13.6	1,304.1	9.5
공업지		6,074.0	1.0	9.3	0.1	101.0	0.7
공공용도지		32,786.9	5.4	211.9	3.2	707.1	5.1
교통시설지		66,056.4	10.9	1,420.9	21.8	1,825.2	13.3
도시부양시설지		6,739.6	1.1	6.2	0.1	52.6	0.4
나지		12,240.2	2.0	57.0	0.9	165.7	1.2
특수지역		14,490.7	2.4	10.9	0.2	74.8	0.5
녹지·오픈스페이스		188,179.2	30.9	269.4	4.1	1,389.1	10.1
하천·호소		49,216.8	8.1	52.9	0.8	72.0	0.5
계		-	100.0	-	100.0	-	100.0



〈그림 19〉 2011년 7월 및 2010년 9월 침수피해지역의 주요 토지용도

3. 상습침수지역의 토지이용 특성 및 유형화

1) 서울의 34개 상습침수지역 분포

○ 반복적으로 침수피해가 발생하는 지역으로서, 서울시(2006)가 식별하여 특별 관리하고 있는 34개 지역을 대상으로 입지, 토지이용, 토지피복, 배수시설 등의 특성을 분석하고 지역적 특성에 따라 유형화함.

○서울의 34개 상습침수지역의 분포는 다음 지도에서 표시된 바와 같음.



〈그림 20〉 서울시 34개 상습침수지역 분포

2) 상습침수지역의 특성

- 34개 상습침수지역의 지역적 특성을 요약하면 다음 표와 같음.
- 먼저, 상습침수지역들은 서울시 전체의 평균적인 특성에 비해 경사도가 작고, 시가화면적 비율과 평균불투수율이 높으며, 단독주택지 비율이 높고, 녹지 및 오픈스페이스 비율이 상대적으로 매우 작게 나타남. 이러한 특성들은 동일한 강우조건에서 유출특성을 불리하게 결정짓는 조건에 해당함.
- 각 요소의 상대적인 변동성을 나타내는 변동계수를 살펴보면, 시가화면적 비율, 유출곡선지수, 평균불투수율, 지형습윤지수는 상대적으로 변동계수가 작은 것으로 나타나는데, 이는 대상 상습침수지역들이 대부분 시가화면적 비율이 높기 때문임. 따라서 상습침수지역은 저지대와 같이 침수에 불리한 조건뿐만 아니라 다양한 특성을 반영하고 있음을 시사함.

〈표 14〉 서울의 34개 상습침수지역의 특성별 기초통계량

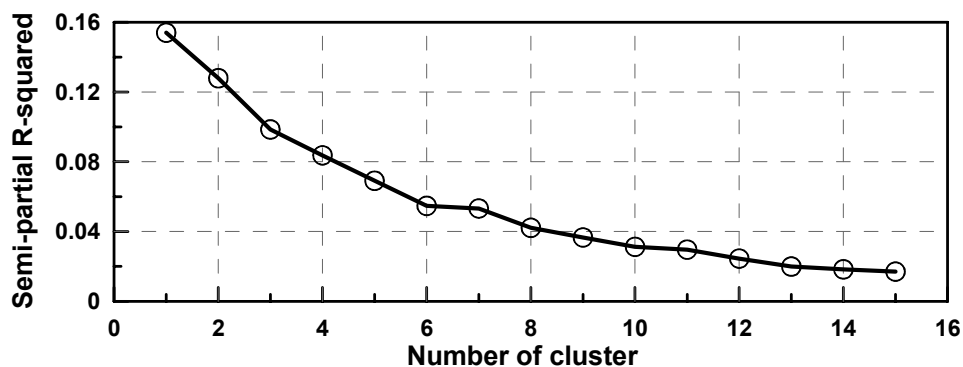
구분	변수	서울 전체 평균	34개 상습침수지역				
			평균값	최대값	최소값	분산	변동계수
	면적(m ²)	6.05E+8	316,206.9	1,143,395.3	23,035.6	7.04E+10	83.94
지형 · 입지	표고(m)	62.1	25.8	45.9	10.0	90.58	36.89
	하천계획홍수위 이하 지역 비율(%)	18.1	14.7	100.0	0.0	797.97	192.09
	하천하상고 이하 지역 비율(%)	2.9	3.5	72.0	0.0	195.65	399.64
	경사(%)	6.3	1.9	8.2	0.0	3.81	103.62
	지형습윤지수(TWI)	11.2	14.1	16.8	9.2	5.56	16.73
	유출곡선지수(CN)	80.2	94.4	98.0	82.3	16.24	4.27
토지 피복	평균불투수율(%)	47.7	87.8	100.0	52.5	91.42	10.89
	시가화면적 비율(%)	59.1	97.1	100.0	71.0	38.80	6.41
	시가화면적대비 건폐면적률(%)	28.0	33.4	48.2	14.0	93.06	28.90
토지 이용	단독주택지 비율(%)	8.5	25.9	96.8	0.0	1127.50	129.60
	공동주택지 비율(%)	11.0	5.9	56.9	0.0	147.42	207.02
	주거상업혼합용도지 비율(%)	12.8	27.3	74.8	0.0	650.19	93.54
	상업업무지 비율(%)	5.9	14.4	67.5	0.0	305.13	121.66
	공공용도 비율(%)	5.4	5.7	52.0	0.0	94.41	169.43
	교통시설지 비율(%)	10.9	15.5	46.0	0.0	118.23	70.35
	녹지 및 오픈스페이스 비율(%)	30.9	2.2	19.8	0.0	19.83	202.84
	하천호소 비율(%)	8.1	0.1	2.3	0.0	0.17	419.26
	시가화면적 대비 건축물 지하연면적 비율(%)	-	34.3	142.7	1.0	583.01	70.34
배수 시설	시가화면적(m ²) 대비 하수관거연장(m) 비율	2.9	4.2	6.0	2.0	0.71	20.09
	하수관거연장 대비 통수능 부족관거비율(%)	6.3	10.4	52.0	0.0	78.92	85.08

3) 군집분석을 이용한 상습침수지역 유형분류

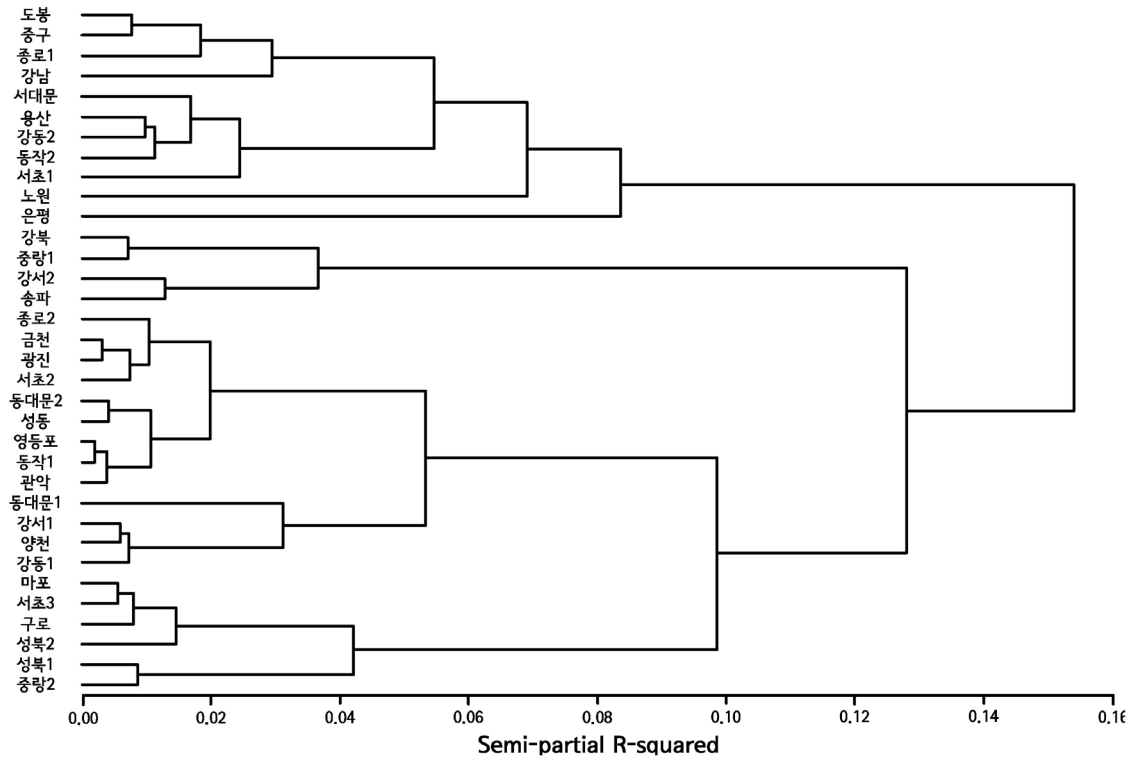
○ 군집분석(cluster analysis)은 관측대상들 간에 어떤 공통 특징을 찾아 비슷한 특징을 갖는 관측치들끼리 군집(cluster)을 형성하는 방법이며, 일반적으로 객체(object)들

간의 유사성(similarity) 또는 거리(distance)에 근거하여 이들을 집단으로 군집화하는 과정임.

- 이 연구에서는 Ward 연결법을 이용하여 군집분석을 수행하였으며, 이 방법은 군집 평균과 개체 간의 편차제곱합(Error Sum of Square : ESS)을 이용하여 군집화 과정에서 발생하는 정보의 손실량을 최소화하기 위한 것임.
- 본격적인 군집분석에 앞서 변수들 간의 다중공선성(multicollinearity) 문제를 해소하기 위하여 각 변수 간의 상관관계를 분석하였으며, 상관성이 크게 나타나는 변수들을 파악하여 분석에서 제외한 13개의 설명변수를 다음과 같이 선정함. 군집분석에 사용된 13개 변수는 경사, 하수관거밀도, 부족관거 비율, 유출곡선지수, 하천계 획홍수위 이하 지역 비율, 지형습윤지수, 단독주택지 비율, 공동주택지 비율, 주거 상업혼합용도지 비율, 상업업무지 비율, 녹지 및 오픈스페이스 비율, 시가화면적대비 건폐면적률, 시가화면적대비 건축물 지하연면적 비율 등임.
- 각 변수는 z-score로 정규화하여 군집분석에 사용함.
- 군집분석 결과는 군집 수에 따라 결정되는 나뭇가지그림(tree diagram) 또는 덴드로그램(dendrogram)을 이용하여 검토할 수 있는데, 상습침수지역에 대한 총 13개 관련인자들을 이용하여 군집분석을 수행한 결과, 군집 단계별 덴드로그램과 군집수에 따른 Semi-partial R-Square 값의 변화를 나타내면 다음 그림과 같음.



〈그림 21〉 군집분석에서 군집 수에 따른 semi-partial R-squared 변화

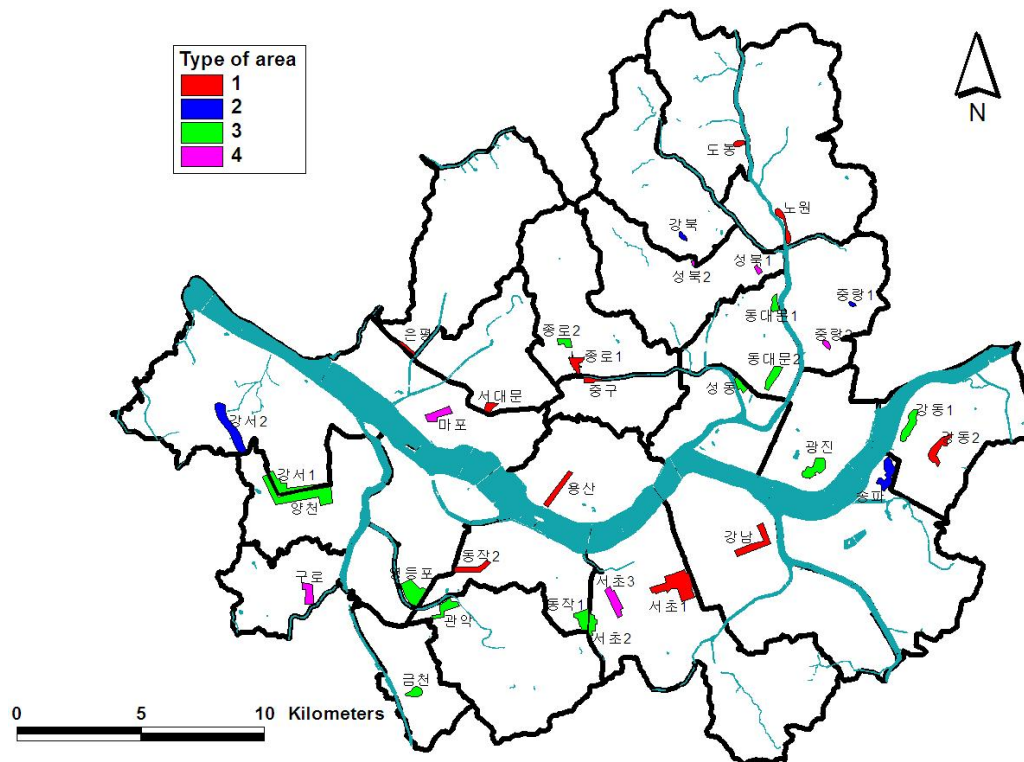


〈그림 22〉 34개 상습침수지역의 군집화에 따른 덴드로그램

○ 위 그림에서 Semi-partial R-Square 값의 기울기 측면에서 통계적으로 적정한 군집 수는 3개인 것으로 나타남. 그러나 군집 수를 3개로 결정할 경우 특정 군집으로 분류되는 지역의 수가 상대적으로 많아지는 문제가 발생하기 때문에 이 연구에서는 군집 수를 4개로 결정함.

〈표 15〉 34개 상습침수지역 유형별 해당 배수분구

구분	해당 배수분구	포함 지역의 수
유형 I	도봉, 중구, 종로1, 강남, 서대문, 용산, 강동2, 동작2, 서초1, 노원, 은평	11
유형 II	강북, 중랑1, 강서2, 송파	4
유형 III	종로2, 금천, 광진, 서초2, 동대문2, 성동, 영등포, 동작1, 관악, 동대문1, 강서1, 양천, 강동1	13
유형 IV	마포, 서초3, 구로, 성북2, 성북1, 중랑2	6



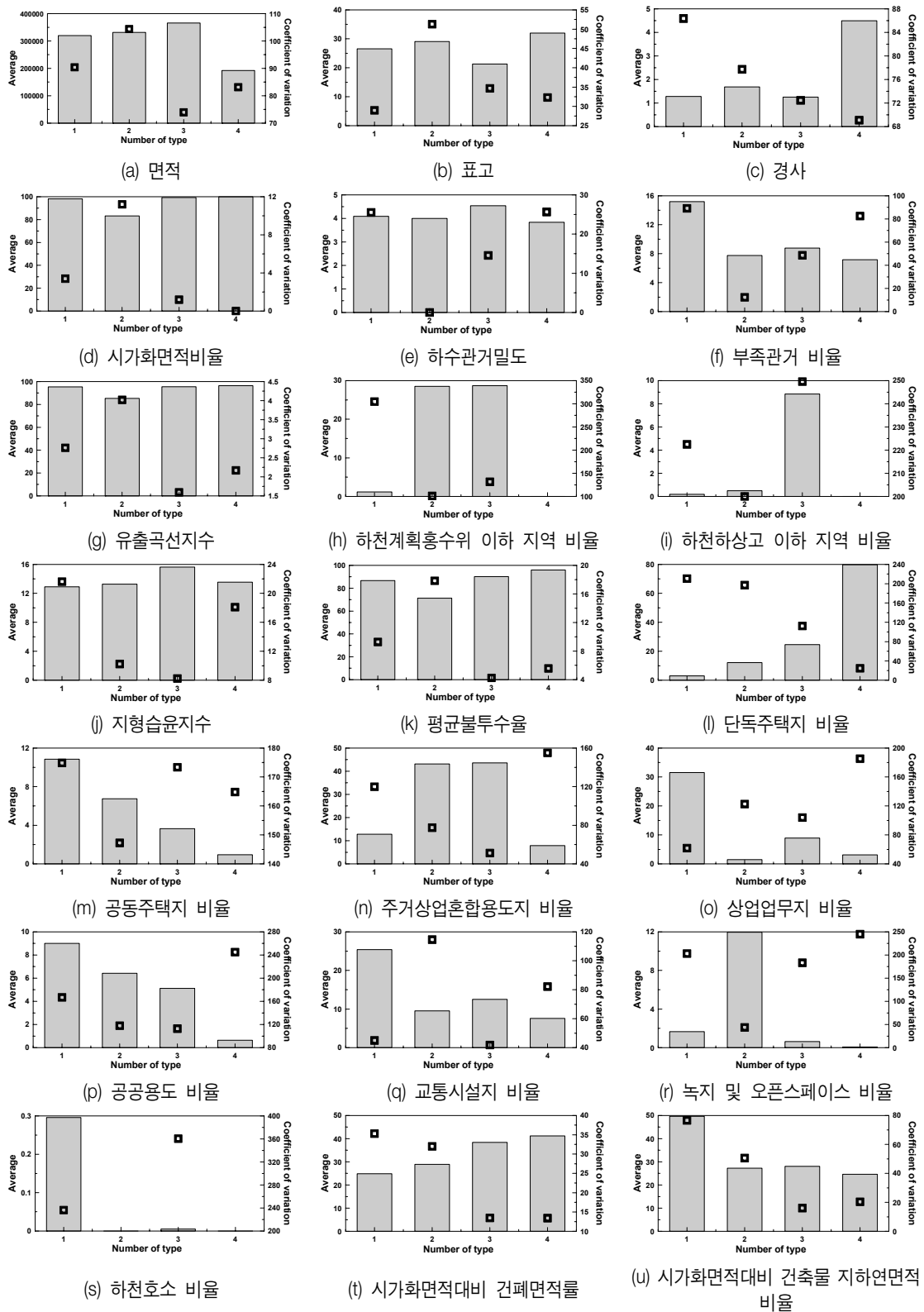
〈그림 23〉 군집분석에 의한 34개 상습침수지역 유형별 분포

4) 4개 상습침수지역 유형의 특성

- 유형화된 결과를 서울 전역에 대해 개략적으로 살펴보면, 유형Ⅰ은 주로 상업업무지 비율이 높은 강남구, 종로구 주변에 위치하고, 유형Ⅱ와 유형Ⅲ은 대부분 하천변 또는 강서구, 양천구와 같은 저지대에 위치해 있으며, 유형Ⅳ는 주로 단독주택지 비율이 높은 구로구, 성북구 등에 위치해 있는 것을 알 수 있음.

〈표 16〉 군집분석에 의한 4개 상습침수지역 유형별 기초통계량

변수명	서울시 전체평균	평균				변동계수			
		유형 I	유형 II	유형 III	유형 IV	유형 I	유형 II	유형 III	유형 IV
면적(m ²)	100	319,785.1	331,210.6	365,826.3	192,135.6	90.4	104.4	73.9	83.1
표고(m)	62.1	26.5	29.0	21.3	32.0	29.0	51.3	34.7	32.3
경사(%)	6.3	1.3	1.7	1.3	4.5	86.4	77.7	72.5	69.1
시가화면적 비율(%)	59.1	98.1	83.3	99.3	100.0	3.4	11.2	1.2	0.0
시가화면적(m ²) 대비 하수관거연장(m) 비율	2.9	4.1	4.0	4.5	3.8	25.5	0.0	14.5	25.6
하수관거연장 대비 통수능력부족관거비율(%)	6.3	15.2	7.8	8.8	7.2	89.1	12.4	48.6	82.5
유출곡선지수	80.2	95.4	85.3	95.5	96.5	2.8	4.0	1.6	2.2
하천계획홍수위 이하 지역 비율(%)	18.1	1.2	28.5	28.7	0.0	304.7	101.1	131.6	-
하천하상고 이하 지역 비율(%)	2.9	0.2	0.5	8.8	0.0	222.5	200.0	249.6	-
지형습윤지수	11.2	12.9	13.3	15.6	13.5	21.6	10.2	8.2	18.1
평균불투수율(%)	47.7	86.7	71.3	90.1	95.9	9.3	17.8	4.2	5.6
단독주택지 비율(%)	8.5	3.0	12.2	24.6	79.8	210.5	197.0	112.4	24.7
공동주택지 비율(%)	11.0	10.8	6.7	3.7	1.0	174.9	147.2	173.4	164.8
주거상업혼합용도지 비율(%)	12.8	12.8	43.1	43.6	7.9	120.0	77.5	51.2	155.0
상업업무지 비율(%)	5.9	31.6	1.5	9.0	3.1	61.7	122.7	104.1	185.3
공공용도 비율(%)	5.4	9.0	6.4	5.1	0.6	166.8	117.9	112.8	244.9
교통시설지 비율(%)	10.9	25.4	9.5	12.5	7.6	45.0	114.6	41.8	82.2
녹지 및 오픈스페이스 비율(%)	30.9	1.7	12.0	0.6	0.1	203.1	43.7	183.2	244.9
하천호소 비율(%)	8.1	0.3	0.0	0.0	0.0	236.4	-	360.6	-
시가화면적 대비 건폐면적률(%)	28.0	24.8	28.9	38.4	41.2	35.3	32.0	13.5	13.4
시가화면적 대비 건축물 지하연면적 비율(%)		49.6	27.3	28.0	24.6	76.6	50.6	16.0	20.4



〈그림 24〉 유형별 인자별 통계특성(bar chart : average value, dot : variation of coefficient)

- 지형 특성인자 중 유역면적과 표고는 침수지역을 유형화하는데 영향력이 미미하지만, 유역 평균경사는 유형별로 그 특성이 뚜렷하게 구분됨. 전체적으로, 하천계획홍수위 이하 지역 비율, 단독주택지 비율, 주거상업혼합용도지 비율, 상업업무지 비율, 교통시설지 비율, 녹지 및 오픈스페이스 비율, 시가화면적 대비 건폐면적률 등이 유형화별로 큰 변별력을 갖는 것으로 나타남. 이들 인자는 평균값의 차이가 크게 나타나고, 평균값이 두드러진 유형에서 변동계수가 상대적으로 작게 나타나는 특성을 보임.
- 한편, 유출곡선지수, 지형습윤지수, 평균불투수율, 시가화면적비율, 하수관거밀도는 유형별로 평균값의 차이가 크지 않고, 변동계수도 상대적으로 작기 때문에 인해 유형을 구분하는데 영향력이 미미할 것으로 보임.

〈표 17〉 34개 상습침수지역 유형별 일반적 특성

유형	지형적 특성	토지피복 특성	토지이용 특성	건축물 특성	배수시설 특성
유형 I	· 대부분 하천호소 비율 높음	-	· 대부분 상업업무지 비율 높음 · 대부분 교통시설지 비율 높음 · 공동주택지 비율 높음	· 평균적으로 시가화면적 대비 건축물 지하연면적 비율 높음	· 부족관거 비율 평균적으로 높음
유형 II	· 대부분 하천계획홍수위 이하 지역에 위치 · 대부분 하천하상고 이하 지역 비율 낮음	· 평균적으로 유출곡선지수 작음 · 평균적으로 평균불투수율 작음	· 대부분 주거상업혼합용도지 비율 높음 · 대부분 녹지 및 오픈스페이스 비율 높음 · 평균적으로 시가화면적 비율 작음	-	· 대부분 부족관거 비율 낮음
유형 III	· 평균적으로 하천하상고 이하 지역 비율 높음 · 대부분 하천계획홍수위 이하 지역에 위치	· 지형습윤지수가 상대적으로 높음	· 대부분 주거상업혼합용도지 비율 높음 · 대부분 높은 습윤지수를 나타냄	· 대부분 시가화면적 대비 건폐면적률 높음	· 평균적으로 하수관거 밀도가 상대적으로 높음
유형 IV	· 유역면적이 상대적으로 작음 · 대부분 유역 평균경사 높음	-	· 대부분 단독주택지 비율 높음	· 대부분 시가화면적 대비 건폐면적률 높음	-

- 주: 1. 지형적 특성 : 면적, 표고, 경사, 하천계획홍수위 이하 지역, 하천하상고 이하 지역
 2. 배수시설 특성 : 하수관거밀도, 부족관거비율
 3. 토지피복 특성 : 유출곡선지수, 지형습윤지수, 평균불투수율
 4. 토지이용 특성 : 단독주택지, 공동주택지, 주거상업혼합용도지, 상업업무지, 공공용도, 교통시설지, 녹지·오픈스페이스, 하천·호소
 5. 건축물 특성 : 시가화면적 대비 건폐면적률, 시가화면적 대비 건축물 지하연면적비율

5) 판별분석을 통한 침수지역 유형화 검증 및 판별함수 유도

- 판별분석(discriminant analysis)은 미리 정의된 그룹의 정보를 근거로 그 그룹에 대한 차이를 분석하고, 특정 그룹으로 분류시키는데 필요한 적정 기준(판별함수)들을 설정하여 어떤 표본이 어떤 그룹에 속할 것인가를 예측하는 기법임.
- 이 연구에서는 Wilks의 λ 와 F 값을 이용하여 유형화된 그룹 간의 동질성 검정을 수행하였으며, 분석 결과를 정리하면 다음 표와 같음.

〈표 18〉 Test of homogeneity for four groups

Wilks λ	F -value	Significance probability
0.00308	8.38	< 0.0001

- 동질성 검정 결과, 군집분석에 의해 유형화된 그룹 간의 판별력은 우수한 것으로 나타남. 먼저 Wilks의 λ 값은 0.003으로 충분히 작아 집단 간의 판별력이 높음을 알 수 있음. 또한 자유도를 고려한 F 값은 8.38로 크고, 이에 대한 유의확률이 유의수준 ($\alpha=0.05$)보다 작아 그룹 간의 차이는 뚜렷하게 나타난 것으로 판단할 수 있음.
- 독립변수들의 상대적인 중요성을 판단하기 위해서는 표준화된 정준판별함수가 주로 이용되는데, 표준화된 정준판별식은 원시자료를 z-score로 변환한 것이며, 이를 통해 각 변수에 할당된 판별계수의 부호와 절대값을 검토하여 판별함수에 더 큰 영향을 미치는 변수를 살펴볼 수 있음. 이 연구에서 유도한 표준화된 정준판별함수는 다음과 같음.
- 표준화된 정준판별함수에서 각 인자의 절대값이 클수록 판별력이 크다는 것을 의미함. 군집분석을 통해 유형화된 결과를 이용하여 정준판별함수를 구해보면, 인자별 계수의 범위는 유출곡선지수>단독주택지 비율>주거상업혼합용도 지역>공동주택지>녹지 및 오픈스페이스 비율 순으로 크게 나타남.
- 따라서 유출곡선지수(CN)의 경우, 평균값의 차이는 미미하지만, 유출조건을 좌우함으로써 침수 발생유무를 결정짓는 중요한 인자로 구별됨을 알 수 있음. 또한 단독주택지, 주거상업혼합용도 지역, 공동주택지의 비율 역시 침수피해의 중요한 결정 인자가 되며, 녹지 및 오픈스페이스 비율 역시 주요 원인이 됨. 따라서 맞춤형 수방

대책을 수립할 때에도 이들 주요 인자들을 어떤 식으로 관리하느냐가 매우 중요한 역할을 하게 될 것임.

〈표 19〉 유형별 표준화된 정준판별함수 비교

Variable	Fisher's linear discriminant function			
	1	2	3	4
상수	-9.75	-42.74	-1.82	-7.98
경사(%)	-0.22	1.28	-1.11	1.96
시가화면적(m ²) 대비 하수관거연장(m) 비율	0.13	1.54	0.43	-2.18
하수관거연장 대비 통수능력부족관거비율(%)	0.40	2.68	-0.58	-1.28
유출곡선지수	11.29	-28.96	0.26	-1.96
하천계획홍수위 이하 지역 비율(%)	-1.72	2.80	0.87	-0.60
지형습윤지수	-1.44	0.77	1.03	-0.12
단독주택지 비율(%)	-14.07	19.02	1.85	9.10
공동주택지 비율(%)	4.79	-10.16	-0.24	-1.47
주거상업혼합용도지 비율(%)	-9.65	13.90	2.51	2.99
상업업무지 비율(%)	-0.60	2.35	0.21	-0.92
녹지 및 오픈스페이스 비율(%)	-1.41	9.56	-0.77	-2.12
시가화면적 대비 건폐면적률(%)	2.28	-1.99	-0.20	-2.43
시가화면적 대비 건축물 지하연면적 비율(%)	0.65	0.12	-0.61	0.05

4. 소결

- 서울의 침수피해지역의 토지이용 특성파악을 위해 가장 최근인 2010년 9월과 2011년 7월 침수피해에 대하여, 그리고 서울시에서 관리하고 있는 34개 상습침수지역에 대해 분석함.
- 침수피해지역은 분석대상에 따라 차이가 있지만, 대체로 하천 하상고 이하의 극저지대 비율이 높고, 경사가 작아 유속 확보가 어려우며, 시가화면적의 비율이 높고 불투수율이 매우 높으며, 토지이용상 주거상업혼합지, 상업업무지, 단독주택지, 교통시설지(도로) 등의 비율이 매우 높은 것으로 나타남.
- 배수시설 측면에서는 통수능 부족관거의 비율이 높은 지역에서 침수피해도 많은

것으로 나타남.

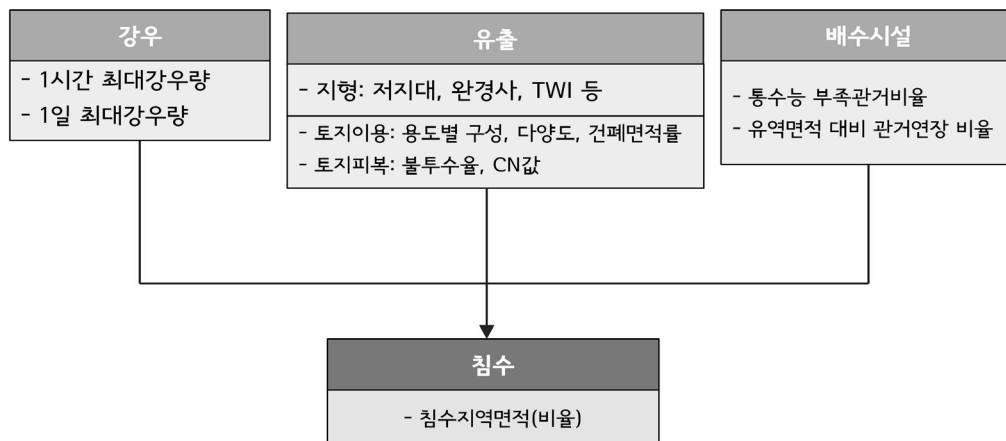
- 따라서 침수피해를 줄이기 위해서는 배수시설의 정비는 물론 도시공간의 불투수율을 줄여 우수유출 부담을 줄이고 저지대 시가지의 내수성(耐水性) 강화를 위한 토지이용 및 건축 측면의 정비가 우선되어야 함을 시사함.

IV

배수분구 단위 토지이용과 침수피해 간의 관계분석

1. 분석대상 및 방법

- 가장 최근인 2010년 9월말 및 2011년 7월말 침수피해에 대하여 서울의 239개 배수분구를 공간단위로 하여 토지이용 특성과 침수피해율 간의 관계를 분석함.
- 분석에 사용된 변수는 배수분구별 침수면적률을 종속변수로 하고, 침수면적률에 영향을 미칠 수 있는 강우량, 토지피복 및 토지이용 특성, 배수시설 특성 등을 독립변수로 함.



〈그림 25〉 배수분구 단위 분석에 사용된 변수들

- 분석방법으로는 우선 배수분구 단위의 평균통계 등 기초적인 분석을 시작으로 그래프분석 등을 시행하고 상관분석과 단계별 회귀분석(Stepwise Regression) 등을 통한 변수들의 검토 및 선별과정을 거침.

- 회귀분석모형으로는 통상적인 OLS 회귀분석을 시작으로 Censored(Tobit) Regression, Ordinal Logistic Regression 등 배수분구별 침수면적률의 통계적 분포를 고려한 다양한 모형을 적용함.

2. 기초통계량

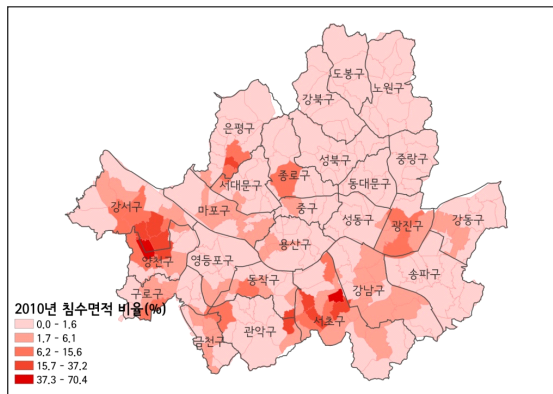
- 배수분구 단위의 침수면적률에 영향을 미치는 요인으로 간주되는 강우, 토지피복 및 토지이용, 배수시설 등 특성을 나타내는 영향변수들의 기초통계량을 살펴보면 다음 표와 같음.

〈표 20〉 서울의 239개 배수분구 단위 기초통계량 요약

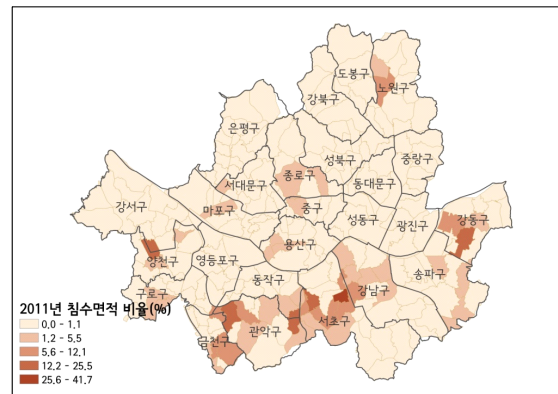
번호	변수	평균값	중위수	표준 편차	왜도 (Skewness)
01	2010년 침수면적 비율(%)	2.9	0.3	7.5	5.3
02	2011년 침수면적 비율(%)	1.4	0.0	4.4	5.4
03	2010년 집중호우 시 시간당 최대강우량(mm)	69.9	73.9	17.8	-0.8
04	2010년 집중호우 시 1일 최대강우량(mm)	231.7	244.4	51.7	-1.0
05	2011년 집중호우 시 시간당 최대강우량(mm)	63.8	60.1	12.3	1.7
06	2011년 집중호우 시 1일 최대강우량(mm)	281.5	277.2	27.3	-0.1
07	하천홍수위 이하 지역 면적비율(%)	14.0	0.8	24.8	2.0
08	하천홍수위+2m 이하 지역 면적비율(%)	19.0	4.3	28.1	1.6
09	하상고 이하 지역 면적비율(%)	2.6	0.0	9.6	5.3
10	하상고+2m 이하 지역 면적비율(%)	3.1	0.1	10.2	4.9
11	경사 2% 미만 지역 면적비율(%)	48.4	46.0	25.7	0.1
12	분구별 평균 지형습윤지수	11.3	11.2	2.2	0.3
13	시가화율(%)	66.0	69.8	24.1	-0.8
14	불투수율	54.0	58.0	22.7	-0.6
15	평균 CN	82.2	85.0	11.5	-1.1
16	건폐면적률(%)	27.5	28.7	9.1	-0.7
17	토지이용 다양도(Simpson Index)	0.7	0.8	0.1	-2.0
18	단독주택지 비율(%)	10.4	5.9	12.2	1.5
19	공동주택지 비율(%)	11.8	9.5	10.1	1.1
20	주거상업혼합지비율(%)	16.2	12.6	14.7	1.1
21	상업업무시설지비율(%)	6.5	4.2	7.6	2.4
22	공공용도지 비율(%)	5.8	4.6	5.0	2.0
23	교통시설지 비율(%)	11.1	10.2	7.5	2.5
24	녹지및오픈스페이스 비율(%)	25.4	16.8	23.7	1.1
25	시가화면적(m ²) 대비 하수관거연장(m) 비율	2.9	3.0	0.8	-0.8
26	하수관거 연장 대비 통수능력부족관거 비율(%)	6.3	5.2	5.9	3.7

1) 배수분구별 침수면적률

○ 2010년 9월과 2011년 7월 집중호우에는 대부분 서울남부지역의 침수피해가 컸음.
특히, 서초구, 강남구, 금천구, 관악구, 양천구 일대는 2010년에 이어 2011년까지 연속적으로 침수면적률이 높게 나타남.

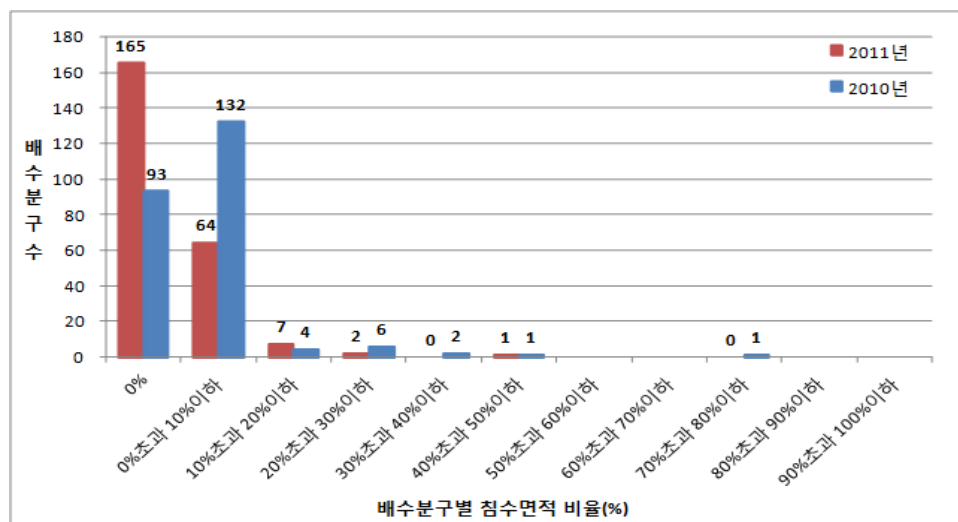


〈그림 26〉 2010년 9월 배수분구별 침수면적률



〈그림 27〉 2011년 7월 배수분구별 침수면적률

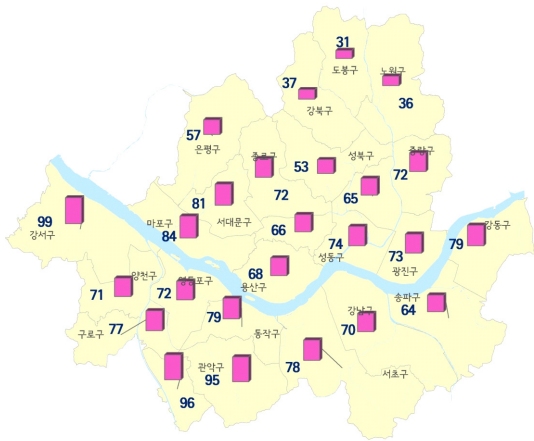
○ 239개 배수분구의 침수면적률을 살펴보면, 2010년 9월에는 93개(약 39%), 2011년 7월에는 165개의 배수분구(약 69%)가 침수피해가 전혀 없는 것으로 나타나, 침수 피해가 배수분구에 따라 매우 한정되어 있고, 이에 따라 통계적 분포가 매우 왜곡되어(skewed) 있음을 알 수 있음.



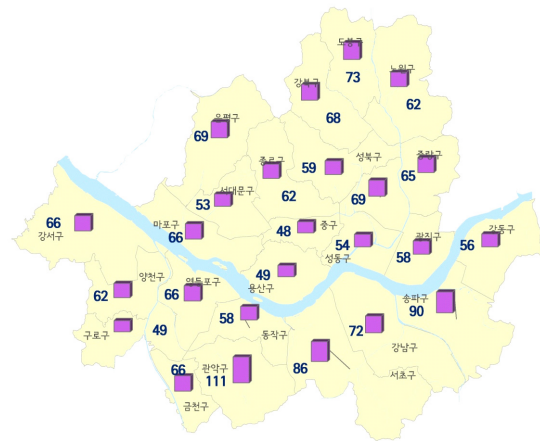
〈그림 28〉 침수면적률에 따른 배수분구수 분포

2) 강우량

- 물리적·비물리적 환경에 따라 침수피해정도가 달라질 수 있으나, 강우량은 침수피해에 영향을 미치는 가장 근본적인 요인임.
- 2010년 9월과 2011년 7월 침수피해는 대부분 국지성 집중호우에 의한 것인데, 한강이남지역의 강우량이 높았으며, 2010년 9월 시간당 최대강우량은 97.5mm(강서)를 기록하였고, 2011년 7월 시간당 최대강우량은 111mm(관악)를 기록함.

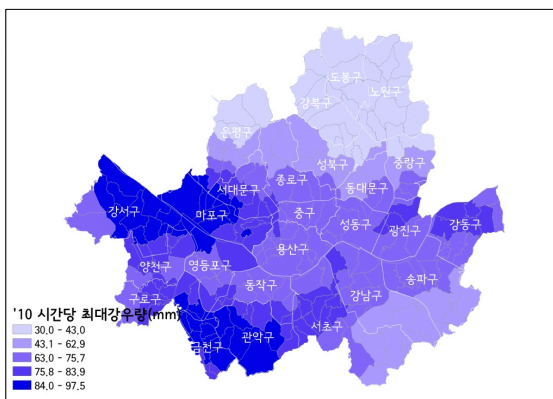


〈그림 29〉 지역별 시간당 최대강우량(2010년 9월)

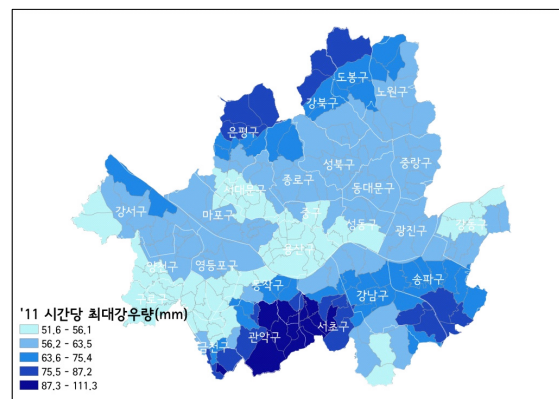


〈그림 30〉 지역별 시간당 최대강우량(2011년 7월)

- 배수분구단위 시간당 최대강우량은 기상청의 AWS(기상자동관측망) 지점자료의 시간당 최대값을 이용하여 GIS의 공간적 내삽법(spatial interpolation)을 통해 추정함.



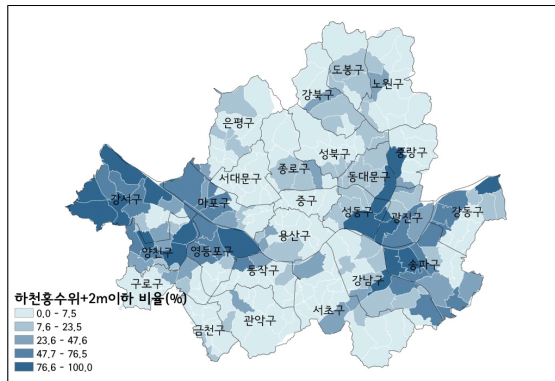
〈그림 31〉 2010년 9월 시간당 최대강우량 추정결과



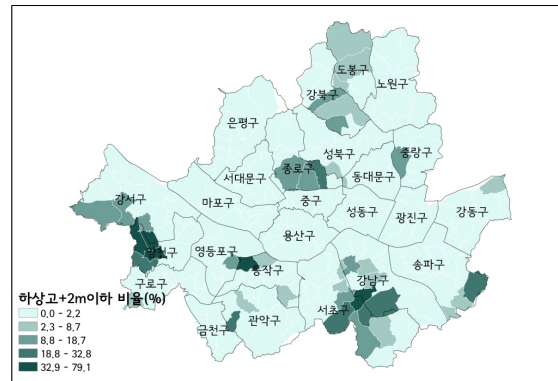
〈그림 32〉 2011년 7월 시간당 최대강우량 추정결과

3) 지형적 측면의 입지

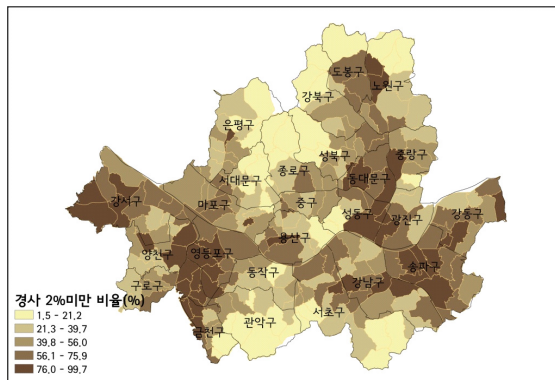
○배수분구 단위 입지적 특성은 지형적 측면에서 하천홍수위 및 하상고 이하 지역 비율, 경사도(2% 미만), 지형습윤지수(TWI) 등의 변수를 통해 분석하였는데, 그 중 몇 가지 변수들의 배수분구별 특성을 지도로 나타내면 다음과 같음.



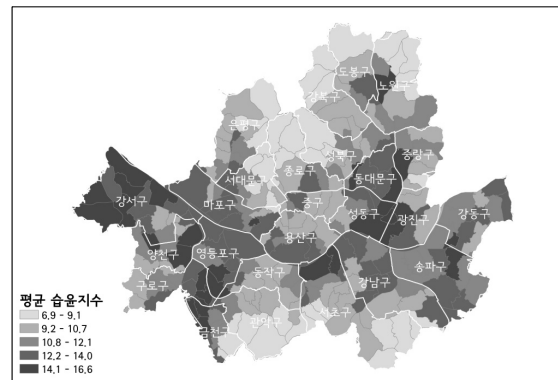
〈그림 33〉 배수분구별 하천홍수위+2m 이하 면적비율



〈그림 34〉 배수분구별 하상고+2m 이하 면적비율



〈그림 35〉 배수분구별 경사 2% 미만 면적비율



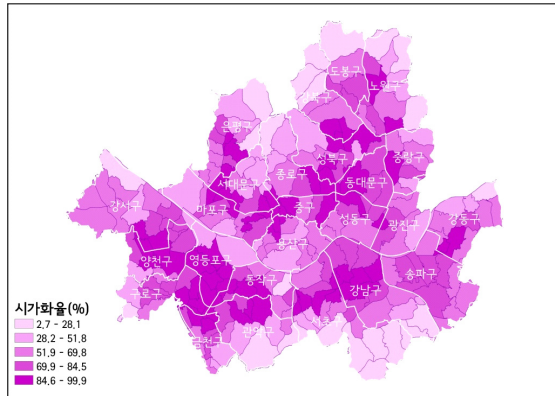
〈그림 36〉 배수분구별 평균 지형습윤지수(TWI)

○저지대 지역은 하천홍수위 상승 시 배수불량으로 침수위험성이 높고 현재 빗물펌프장 등 강제배수시설에 의존하는 지역들인데, 하천홍수위+2m 이하 비율이 가장 높은 지역은 강서구, 영등포구, 성동구, 송파구 등 일대이며, 하상고+2m 이하 비율이 가장 높은 지역은 양천구, 강남구 일대임.

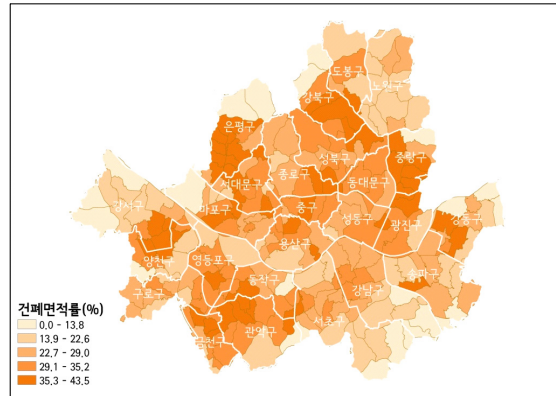
○대부분의 시가화지역이 2% 미만의 완만한 경사를 이루는 저경사 평탄지 지역이며, 이는 양호한 입지조건이 될 수 있지만, 적절한 유속확보의 어려움으로 우수정체에 의한 침수위험이 높음.

4) 토지피복

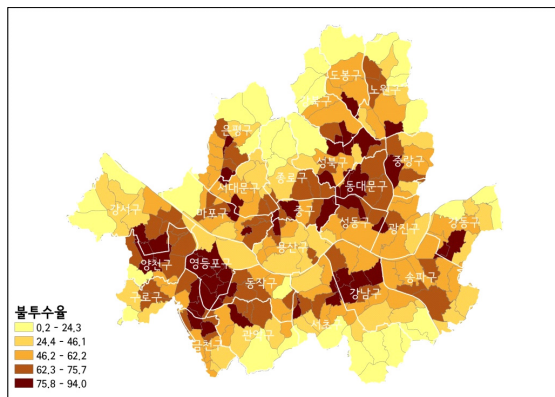
○ 토지피복과 관련되는 시가화율, 건폐면적률, 불투수율, 유출곡선지수(CN) 등의 배수분구별 분포를 나타내면 다음 그림과 같음.



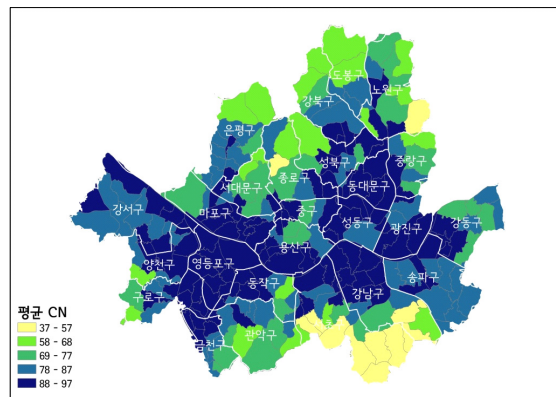
〈그림 37〉 배수분구별 시가화율



〈그림 38〉 배수분구별 평균 건폐면적률



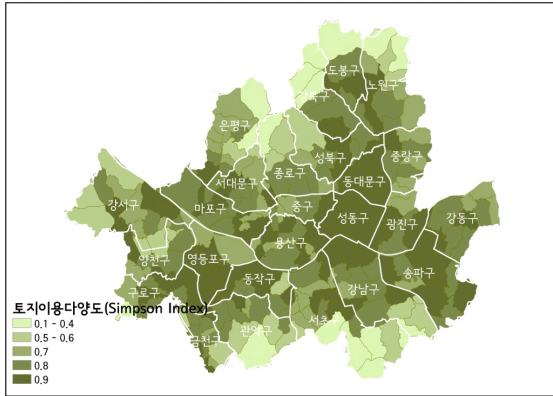
〈그림 39〉 배수분구별 평균 불투수율



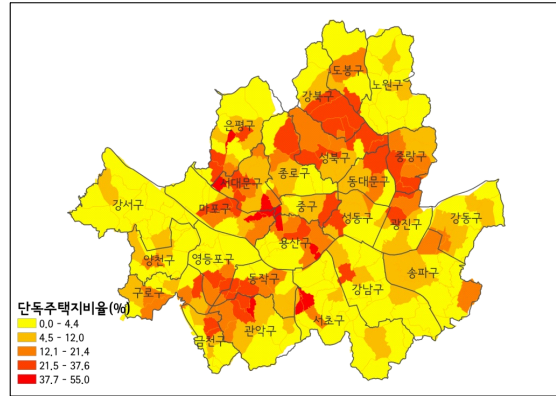
〈그림 40〉 배수분구별 평균 유출곡선지수(CN)

5) 토지이용

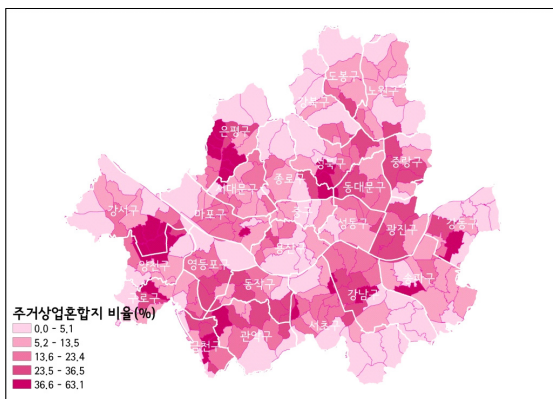
○ 토지이용과 관련되는 용도별 분포, 다양도지수 등 몇 가지 변수들의 배수분구별 분포를 지도로 나타내면 다음과 같음.



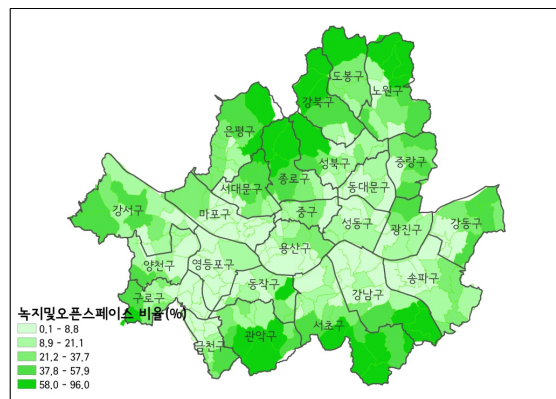
〈그림 41〉 배수분구별 토지이용 다양도(Simpson Index)



〈그림 42〉 배수분구별 단독주택지 면적비율



〈그림 43〉 배수분구별 주거상업혼합지 면적비율

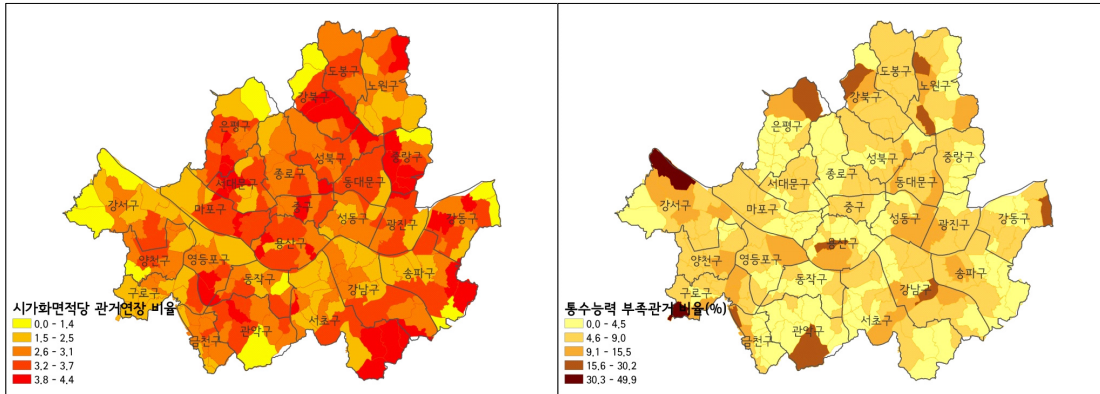


〈그림 44〉 배수분구별 녹지 및 오픈스페이스 면적비율

6) 배수시설

- 침수방지에 가장 기본적인 역할을 담당하는 하수관거의 용량은 배수분구별 시가화 면적 대비 하수관거 연장 비율과 배수분구별 전체 하수관거 연장 대비 부족관거 연장 비율(간선 30년, 지선 10년 기준) 변수를 사용함.
- 서울의 전체 하수관거 9,380km 중 기존 설계빈도(간선 10년, 지선 5년)에 의한 통수능력 부족관거는 476km(5.1%)이며, 향후 확률연수 상향(간선 30년, 지선 10년)을 고려하면 618km(6.6%)가 적절한 우수배제능력을 갖추고 있지 못한 것으로 평가되나, 전반적으로는 비교적 양호한 수준임. 참고로, 서울시는 2009년 『하수도 정비기본계획』에서 기후변화에 대응하여 하수관거를 현행 지선 5년, 간선 10년에서 향후 지선 10년, 간선 30년 빈도로 상향할 계획임.

- 서울에서 통수능력 부족관거율이 높은 지역은 강서구, 구로구 등의 일부지역이 해당함.



〈그림 45〉 배수분구별 시가화면적 대비 하수관거연장 비율

〈그림 46〉 배수분구별 통수능 부족관거 비율

3. 상관관계 분석

1) 침수면적률과 영향변수들 간의 상관분석

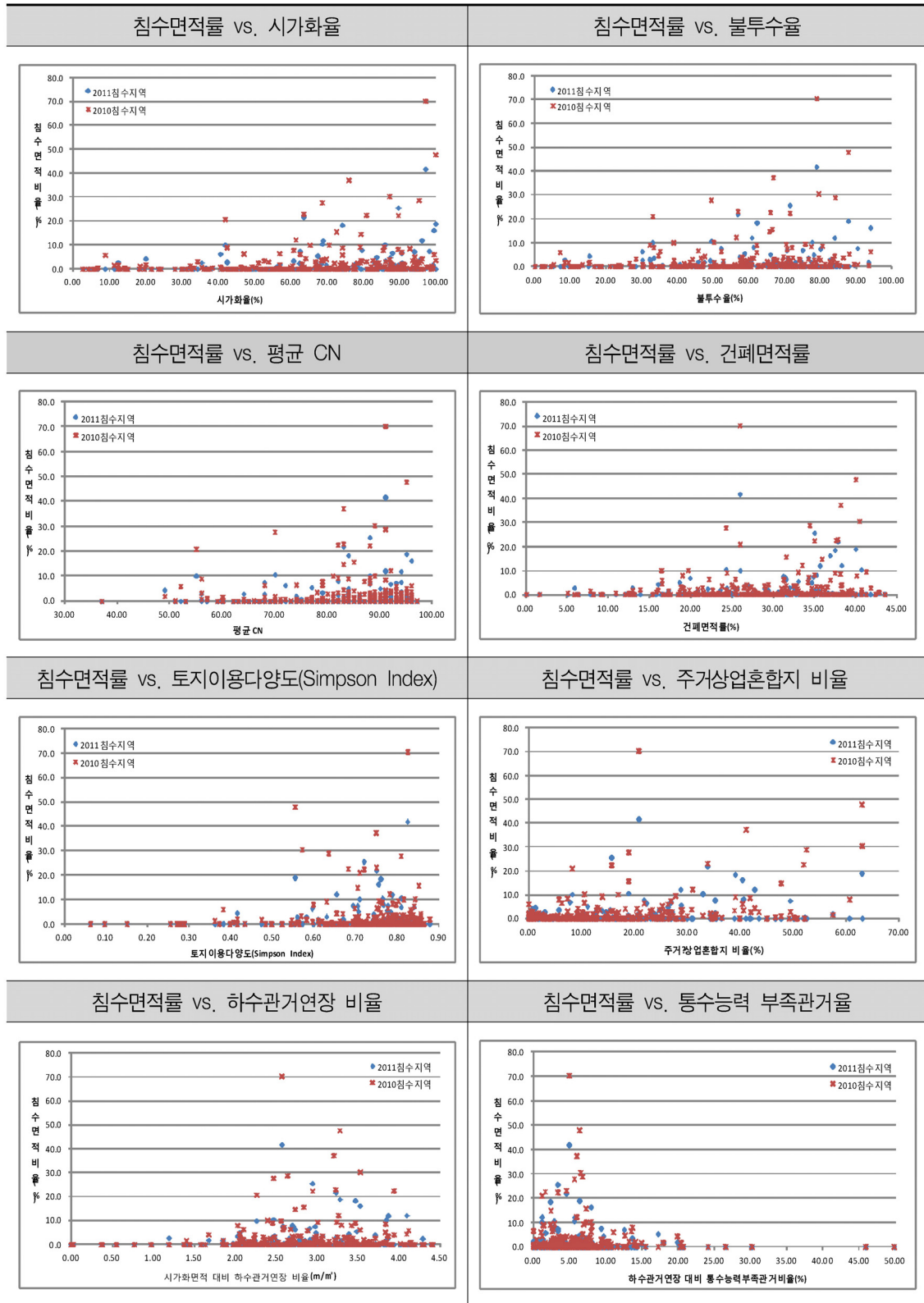
- 배수분구 단위 침수면적률과 잠재적인 영향변수들 간의 상관분석 결과, 2010년 9월 침수피해율은 강우량(1시간, 1일), 하천 하상고 및 하상고+2m 이하 면적 비율, 시가화율, 불투수율, 건폐면적률, 주거상업혼합지 비율, 녹지·오픈스페이스 비율 등과 높은 상관관계를 보임.
- 2011년 7월 침수피해율은, 강우량(1시간, 1일), 시가화율, 불투수율, 건폐면적률, 주거상업혼합지 비율 등과 높은 상관관계를 보임.
- 따라서 두 연도의 침수피해에 공통적으로 상관관계가 높은 변수는 강우량(1시간, 1일), 시가화율, 불투수율, 건폐면적률, 주거상업혼합지 비율 등인 것으로 나타나, 기후변화와 기상이변에 따른 막대한 집중호우, 도시화에 따른 과도한 유출부담 등이 핵심적인 영향변수임을 암시함.

〈표 21〉 배수분구 단위 침수면적률과 영향변수 간 상관분석 결과

지표	2010년 9월 침수면적률(%)	2011년 7월 침수면적률(%)
2010년 9월 시간당 최대강우량(mm)	0.240**	-
2010년 9월 1일 최대강우량(mm)	0.218**	-
2011년 7월 시간당 최대강우량(mm)	-	0.323**
2011년 7월 1일 최대강우량(mm)	-	0.241**
하천홍수위 이하 면적 비율(%)	0.036	-0.054
하천홍수위+2m 이하 면적 비율(%)	0.007	-0.065
하상고 이하 면적 비율(%)	0.277**	0.118
하상고+2m 이하 면적 비율(%)	0.273**	0.125
경사 2% 미만 면적 비율(%)	0.115	0.119
지형습윤지수(TWI)	0.069	0.014
시가화율(%)	0.193**	0.182**
불투수율(%)	0.192**	0.178**
유출곡선지수(CN)	0.083	0.084
시가화면적 대비 건폐면적률(%)	0.168**	0.139*
토지이용 다양도(Simpson Index)	0.037	0.051
단독주택지 비율(%)	-0.042	0.056
공동주택지 비율(%)	0.037	0.037
주거상업혼합지 비율(%)	0.348**	0.225**
상업업무시설지 비율(%)	0.014	0.112
공공용도지 비율(%)	-0.003	-0.044
교통시설지 비율(%)	-0.001	0.007
녹지·오픈스페이스 비율(%)	-0.131*	-0.117
시가화면적 대비 하수관거연장 비율(m/m ²)	0.030	0.043
하수관거 중 부족관거연장 비율(%)	-0.056	-0.070

** $p \leq 0.01$ * $0.01 < p \leq 0.05$

〈표 22〉 침수면적률과 몇 가지 영향변수들 간의 관계 그래프



2) 영향변수들 간의 상관분석

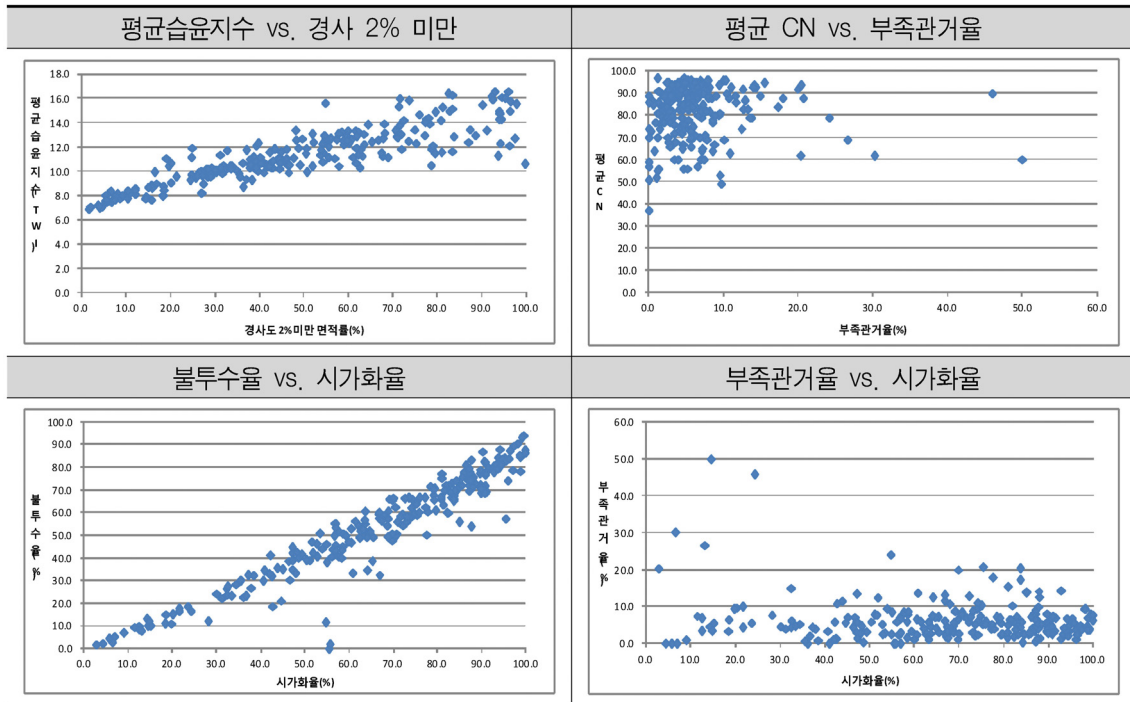
- 배수분구 단위 침수면적률을 설명하기 위한 변수들은 약간의 차이는 있으나, 도시 공간의 유사한 측면들을 나타내기 때문에 정(+) 또는 부(-)의 상관관계가 있을 것으로 예상되며, 회귀분석 시 다중공선성(multicollinearity) 문제를 야기할 수 있음.
- 다음 표에서 보듯이, 많은 변수가 서로 높은 선형적 상관관계를 보임을 알 수 있음.

〈표 23〉 영향변수들 간 상관분석 결과

	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
7 하천홍수위 이하																	
8 하천홍수위+2m 이하	0.963**																
9 하상고 이하	0.277**	0.237**															
10 하상고+2m 이하	0.277**	0.245**	0.988**														
11 경사2% 미만	0.449**	0.49**	0.043	0.046													
12 평균 습윤지수	0.448**	0.477**	0.053	0.051	0.87**												
13 시기화율	0.018	0.021	0.066	0.069	0.578**	0.517**											
14 불투수율	-0.033	-0.032	0.054	0.061	0.495**	0.442**	0.948**										
15 평균 CN	0.242**	0.266**	-0.017	-0.017	0.622**	0.632**	0.796**	0.768**									
16 건폐면적률	-0.279**	-0.285**	0.023	0.037	0.001	-0.018	0.552**	0.689**	0.391**								
17 토지이용 다양도	0.129**	0.155**	0.001	0.007	0.487**	0.495**	0.705**	0.659**	0.625**	0.298**							
18 단독주택지 비율	-0.232**	-0.24**	-0.088	-0.067	-0.14*	-0.086	0.317**	0.362**	0.199**	0.491**	0.18**						
19 공동주택지 비율	0.135*	0.133*	0.092	0.08	0.272**	0.221**	0.344**	0.28**	0.262**	-0.13*	0.375**	-0.193**					
20 주거상업혼합지 비율	-0.104	-0.098	0.115	0.114	0.187**	0.158*	0.555**	0.602**	0.391**	0.655**	0.209**	0.022	-0.072				
21 상업업무지 비율	-0.039	-0.048	-0.005	0	0.317**	0.221**	0.449**	0.482**	0.398**	0.218**	0.329**	-0.076	-0.03	0.104			
22 공공용도지 비율	-0.05	-0.064	0.01	0.01	0.049	0.033	0.298**	0.273**	0.111	0.135*	0.347**	0.009	0.212**	0.029	0.155*		
23 하수관거연장 비율	0.406**	0.403**	0.04	0.031	0.664**	0.574**	0.387**	0.226**	0.473**	-0.228**	0.351**	-0.165*	0.123	-0.064	0.309**	-0.008	
24 부족관거율	-0.206**	-0.225**	-0.016	-0.014	-0.645**	-0.649**	-0.861**	-0.822**	-0.886**	-0.368**	-0.782**	-0.215**	-0.324**	-0.405**	-0.401**	-0.217**	-0.465**

** p≤0.01 * p≤0.05

〈표 24〉 침수면적률과 몇 가지 영향변수들 간의 관계 그래프



4. 회귀 분석

- 배수분구별 침수면적률을 강우, 지형, 토지이용 및 토지피복, 배수시설 등의 특성을 나타내는 변수를 이용하여 회귀분석함으로써 주요 영향요인을 식별함.
- 본격적인 회귀분석 이전에 변수들 간의 다중공선성(multicollinearity) 문제를 해소하기 위하여 상관분석 및 단계별(stepwise) 회귀분석 등을 하여 변수 선별과정을 수행함.
- 침수면적률이 ‘0’인 배수분구가 상당수를 차지하는 분포상의 문제를 고려하기 위하여(전체 239개 배수분구 중 2010년 9월 39%, 2011년 7월 69%가 침수가 안 된, 즉 침수면적률이 ‘0’인 것으로 나타남) 통상적인 선형회귀분석(OLS regression)에 더하여 최대우도비추정방법(maximum likelihood estimation)을 이용한 Censored regression (Tobit model), 침수면적률을 범주화한 Ordinal logistic regression 등 다양한 모형을 적용하여 비교함.

1) 2010년 9월 침수피해에 대한 회귀분석

- 2010년 9월 침수피해의 배수분구별 침수면적률에 대한 회귀분석 결과를 살펴보면, OLS 모형, Tobit 모형, Logistic 모형 모두 강우강도(시간당), 하천 하상고 이하 지역 비율, 주거·상업 혼합지역 비율 등이 유의한 영향요인으로 나타남.
- 침수피해 방지에 가장 기본적인 역할을 하는 배수시설능력과 관련된 변수들은 다 증공선성 검토과정에서 제외됨.

〈표 25〉 2010년 9월 침수피해에 대한 OLS 회귀분석 결과

구분		종속변수	
		분구별 침수면적률 (%)	제곱근 (분구별 침수면적률)
Intercept		-4.902**	-1.330**
강우	시간당 최대강우량(mm)	0.067**	0.026**
지형	하천 하상고 이하 지역 비율(%)	0.182**	0.031**
	경사 2% 미만 지역 비율(%)	0.005	-0.000
용도	주거·상업 혼합지역 비율(%)	0.144**	0.028**
배수분구 수		239	239
모형 적합도		F= 14.93** R ² = 0.203	F= 28.75** R ² = 0.330

*** p=0.01 수준에서 통계적으로 유의, p=0.05 수준에서 통계적으로 유의

〈표 26〉 2010년 9월 침수피해에 대한 Censored Regression(Tobit Model) 결과

구분		종속변수	
		분구별 침수면적률(%)	제곱근 (분구별 침수면적률)
Intercept		-23.661**	-4.456**
강우	시간당 최대강우량(mm)	0.265**	0.060**
지형	하천 하상고 이하 지역 비율(%)	0.223**	0.037**
	경사 2% 미만 지역 비율(%)	0.016	0.001
용도	주거·상업 혼합지역 비율(%)	0.192**	0.036**
_Sigma		8.410**	1.453**
배수분구 수		239	239
모형 적합도		Log Likelihood = -582.13 Pseudo R ² = 0.233***	Log Likelihood = -322.26 Pseudo R ² = 0.353***

** p=0.01 수준에서 통계적으로 유의, * p=0.05 수준에서 통계적으로 유의

*** 예측치와 관측치의 상관계수의 제곱

〈표 27〉 2010년 9월 침수피해에 대한 Ordinal Logistic Regression 결과

구분		종속변수
		0=침수지역률 0%, 1=침수지역률 0% 초과 10% 이하, 2=침수지역률 10% 초과
Intercept		(2) -10.026**, (1) -5.534**
강우	시간당 최대강우량(mm)	0.079**
지형	하천 하상고 이하 지역 비율(%)	0.053**
	경사 2% 미만 지역 비율(%)	0.001
용도	주거·상업 혼합지역 비율(%)	0.040**
배수분구 수		239
모형 적합도		Likelihood Ratio $\chi^2 = 109.93^{**}$ Generalized $R^2 = 0.369$

** p=0.01 수준에서 통계적으로 유의, * p=0.05 수준에서 통계적으로 유의

*** 예측치와 관측치의 상관계수의 제곱

2) 2011년 7월 침수피해에 대한 회귀분석

- 2011년 7월 침수피해는 적용된 모형에 따라 약간의 차이가 있지만, 강우강도(시간당), 하천 하상고 이하 지역 비율, 경사 2% 미만 지역 비율, 불투수 토지피복 비율, 상업·업무지역 비율 등이 유의한 영향요인으로 나타남.
- 2010년 9월 침수피해 분석과 마찬가지로 침수피해 방지에 가장 기본적인 역할을 하는 배수시설능력과 관련된 변수들은 다중공선성 검토과정에서 제외됨.

〈표 28〉 2011년 7월 침수피해에 대한 OLS 회귀분석 결과

구분		종속변수	
		분구별 침수면적률(%)	제곱근 (분구별 침수면적률)
Intercept		-10.774**	-2.786**
강우	시간당 최대강우량(mm)	0.143**	0.041**
지형	하천 하상고 이하 지역 비율(%)	0.074**	0.017**
	하천 계획홍수위 이하 지역 비율(%)	-0.023	
지형	경사 2% 미만 지역 비율(%)	0.035*	0.005
	경사 2% 미만 지역 비율(%)	0.035*	0.005
피복	불투수 토지피복 비율(%)	0.028*	0.008*
용도	상업업무지역 비율(%)		0.020*
	공공시설지역 비율(%)		-0.021
분구 수		239	239
모형 적합도		F= 12.02** $R^2 = 0.205$	F= 15.28** $R^2 = 0.283$

*** p=0.01 수준에서 통계적으로 유의, p=0.05 수준에서 통계적으로 유의

〈표 29〉 2011년 7월 침수피해에 대한 Censored Regression(Tobit Model) 결과

구분		종속변수	
		분구별 침수면적률(%)	제공근 (분구별 침수면적률)
Intercept		-34.240**	-8.308**
강우	시간당 최대강우량(mm)	0.323**	0.085**
지형	하천 하상고 이하 지역 비율(%)	0.188**	0.040**
	하천 계획홍수위 이하 지역 비율(%)	-0.065*	
	경사 2% 미만 지역 비율(%)	0.104**	0.016*
피복	불투수 토지피복 비율(%)	0.082*	0.016
용도	상업업무지역 비율(%)		0.064**
	공공시설지역 비율(%)		-0.035
Sigma		7.385**	1.906**
분구 수		239	239
모형 적합도		Log Likelihood= -332.53 Pseudo R ² = 0.377***	Log Likelihood= -231.30 Pseudo R ² = 0.377***

** p=0.01 수준에서 통계적으로 유의, * p=0.05 수준에서 통계적으로 유의

*** 예측치와 관측치의 상관계수의 제곱

〈표 30〉 2011년 7월 침수피해에 대한 Ordinal Logistic Regression 결과

구분		종속변수
		0=침수지역률 0%, 1=침수지역률 0% 초과 10% 이하, 2=침수지역률 10% 초과
Intercept		(2) -10.701**, (1) -7.842**
강우	시간당 최대강우량(mm)	0.078**
지형	하천 하상고 이하 지역 비율(%)	0.052**
	하천 계획홍수위 이하 지역 비율(%)	-0.014
	경사 2% 미만 지역 비율(%)	0.023**
피복	불투수 토지피복 비율(%)	0.019*
분구 수		239
모형 적합도		Likelihood Ratio $\chi^2=57.47^{**}$ Generalized R ² =0.214

** p=0.01 수준에서 통계적으로 유의, * p=0.05 수준에서 통계적으로 유의

*** 예측치와 관측치의 상관계수의 제곱

5. 소결

- 침수피해에 대한 배수분구 단위 침수면적률 회귀분석 결과, 2010년 9월 침수피해는 강우강도(시간당), 하천 하상고 이하 지역 비율, 주거상업혼합지역 비율 등이 유의한 영향요인으로 나타남.

- 2011년 7월 침수피해는 모형에 따라 약간의 차이가 있지만, 강우강도(시간당), 하천 하상고 이하 지역 비율, 경사 2% 미만 지역 비율, 불투수 토지피복 비율, 상업업무 지역 비율 등이 유의한 영향요인으로 나타남.
- 두 기간에 공통적으로 유의한 영향을 미치는 요인은 시간당 강우량과 하상고 이하 면적 비율이 해당함.
- 침수피해 방지에 가장 기본적인 역할을 하는 배수시설능력과 관련된 변수들은 두 기간 모두에 대해 다중공선성 검토과정에서 제외됨.
- 분석결과는 서울의 지역별 침수가 기후변화와 기상이변에 따른 막대한 집중호우가 가장 근본적인 원인이며, 침수에 취약한 저지대 혹은 완경사 지역의 개발, 도시화에 따른 과도한 불투수율 증가와 그에 따른 유출부담 등이 핵심적인 영향변수임을 보여줌.

〈표 31〉 배수분구 단위 회귀분석에 따른 유의한 영향변수 요약

구분	2010년 9월 침수면적률	2011년 7월 침수면적률
강우	· 강우강도(시간당)	· 강우강도(시간당)
지형·입지	· 하천 하상고 이하 지역 비율	· 하천 하상고 이하 지역 비율 · 경사 2% 미만 지역 비율
토지피복		· 불투수 토지피복 비율
토지이용	· 주거상업혼합지역 비율	

결론 : 침수방지를 위한 정책적 시사점

- 침수피해를 저감하기 위한 대책으로 종래 하수도, 펌프장 등 구조적 대책에 더하여 비구조적 대책으로서 도시계획 등을 통한 저감대책에 대한 관심이 높아지고 있음. 그러나 도시계획 및 건축을 통한 침수피해 저감대책은 재산권에 큰 영향을 미치기 때문에 이를 적용하기 위해서는 사전에 예상되는 효과와 적용가능성을 명확히 할 필요가 있으므로, 그 기초로 토지이용과 침수피해의 관계성을 밝힐 필요가 있음.
- 이에 따라 이 연구는 서울시를 대상으로 토지이용특성과 침수피해지역 간의 관계를 실증적으로 분석하여, 침수피해 저감을 위한 토지이용대책의 예상되는 효과를 검토하고 적용방안에 대한 시사점을 얻고자 함.
- 침수피해에 영향을 미치는 요인은 거시적으로 보면, 강우조건, 지형조건, 토지이용조건, 배수시설조건 등으로 구분할 수 있으며, 이러한 요인들의 상호작용이 우수의 수문·수리학적 특성에 영향을 미쳐 침수피해로 나타남.
- 토지이용과의 관계에서 침수피해는 두 가지 측면에서 볼 수 있는바, 하나는 유출특성에 영향을 미침으로써 배수시설에 부담을 주어 침수피해를 야기할 수 있는데, 이는 도시지역의 높은 불투수율, 인공지반 등에 따른 높은 유출량과 유출률, 짧은 도달시간 등으로 인해 침수피해를 발생시킬 수 있음. 다른 하나는 침수피해 가능성을 고려하지 않은 저지대 개발, 지하공간 개발 등으로 인해 배수시설로부터 초과된 유출수가 도로, 주택 등의 침수피해를 야기할 수 있음.

1. 분석결과 요약

1) 2010년 9월 및 2011년 7월 침수피해지역 분석결과

- 저지대 측면에서 보면, 2010년 9월말 및 2011년 7월말 침수피해지역 모두 하천 하상고 및 하상고+2m 이하인 극저지대 지역의 침수피해율이 상대적으로 높음.
- 경사 측면에서 보면, 경사 2% 미만인 완경사 평탄지역의 침수피해율이 상대적으로 매우 높음.
- 지형습윤지수(TWI) 측면에서 보면, TWI 10 초과 지역에서 침수피해율이 상대적으로 높음.
- 토지피복 측면에서는 불투수율 90% 이상 지역에서 침수피해율이 상대적으로 매우 높으며, 건폐면적률이 높은 지역이 침수피해율도 상대적으로 높음.
- 토지이용 측면에서는 주거상업혼합지, 상업업무시설지, 교통시설지의 침수피해율이 상대적으로 높으며, 주택가는 단독주택지의 침수피해율이 상대적으로 높음.

2) 34개 상습침수지역의 토지이용 특성 및 지역유형

- 서울에서 반복적으로 침수피해가 발생하는 34개 지역을 대상으로 지형적 입지, 토지이용 및 건축, 토지피복, 배수시설용량 등을 나타내는 변수들을 이용하여 군집분석을 실시한 결과, 4개 지역유형이 식별됨.
- 지역유형들을 개략적으로 살펴보면, 유형 I은 주로 상업업무지 비율이 높은 강남구, 종로구 주변에 위치하고, 유형 II와 유형 III은 대부분 하천변 또는 강서구, 양천구와 같은 저지대에 위치해 있으며, 유형 IV는 주로 단독주택지 비율이 높은 구로구, 성북구 등에 위치해 있음.
- 군집분석 결과에 따르면, 지형 특성인자 중 유역면적과 표고는 침수지역을 유형화 하는데 영향력이 미미하지만, 유역 평균경사는 유형별로 그 특성이 뚜렷하게 구분됨. 전체적으로, 하천계획홍수위 이하 지역 비율, 단독주택지 비율, 주거상업혼합용도지 비율, 상업업무지 비율, 교통시설지 비율, 녹지 및 오픈스페이스 비율, 시가화면적 대비 건폐면적률 등이 유형화별로 큰 변별력을 갖는 것으로 나타남. 이들 인자

는 평균값의 차이가 크게 나타나고, 평균값이 두드러진 유형에서 변동계수가 상대적으로 작게 나타나는 특성을 보임.

- 한편, 유출곡선지수, 지형습윤지수, 평균불투수율, 시가화면적비율, 하수관거밀도는 유형별로 평균값의 차이가 크지 않고, 변동계수도 상대적으로 작기 때문에 유형을 구분하는데 영향력이 미미할 것으로 보임.
- 상습침수지역의 유형화 분석은 서울시가 이른바 ‘맞춤형’ 수방대책을 추진하는데 기초적인 실마리를 제공해 줄 수 있을 것임.

3) 배수분구 단위 침수면적률에 대한 영향요인 회귀분석 결과

- 2010년 9월 및 2011년 7월 침수피해 기간을 대상으로 서울의 239개 배수분구를 단위로 하여 분구별 침수면적률을 강우, 토지피복, 토지이용, 배수시설용량 등을 나타내는 변수들을 통해 회귀분석을 실시함.
- 배수분구 단위 침수면적률 회귀분석 결과, 2010년 9월 침수피해는 강우강도(시간당), 하천하상고 이하 지역 비율, 주거상업혼합지역 비율 등이 유의한 영향요인으로 나타남.
- 2011년 7월 침수피해는 모형에 따라 약간의 차이가 있지만, 강우강도(시간당), 하천하상고 이하 지역 비율, 경사 2% 미만 지역 비율, 불투수 토지피복 비율, 상업업무지역 비율 등이 유의한 영향요인으로 나타남.
- 두 기간에 공통적으로 유의한 영향을 미치는 요인은 시간당 강우량과 하상고 이하 면적 비율이 해당함.
- 침수피해 방지에 가장 기본적인 역할을 하는 배수시설능력과 관련된 변수들은 침수지역의 지역 간 차이를 설명하는데 유의한 영향이 없는 것으로 나타남.

2. 정책적 시사점

1) 기본적인 정책방향

- 서울의 침수피해지역에 대한 분석결과는 서울의 지역별 침수가 기후변화와 기상이변에 따른 막대한 집중호우가 가장 근본적인 원인이며, 과도한 저지대 혹은 환경사

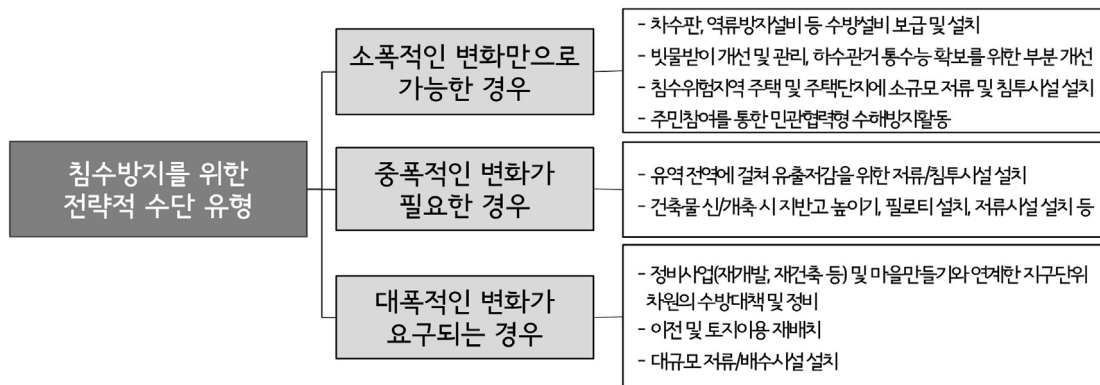
지역의 개발, 도시화에 따른 과도한 불투수율 증가와 그에 따른 유출부담 등이 핵심적인 영향변수임을 보여줌. 따라서 기후변화 및 기상이변에 따른 극한 집중호우에 대응한 장기적인 침수대책이 필요하며, 도시공간이 근본적으로 침수피해로부터 안전할 수 있도록 우수유출 저감을 위한 침투 및 저류기능을 강화하고, 침수에 취약한 저지대 환경사 지역에 대한 정비가 필요함. 특히, 도시공간의 저류 및 침투기능 강화를 위해 외국의 Low Impact Development(LID), ‘Sustainable Urban Drainage System(SUDS), Water Sensitive Urban Design(WSUD) 등과 같이 서울의 특성에 맞는 빗물관리 및 침수방지대책이 적극적으로 도입될 필요가 있음.

- 또한 토지용도상 주거상업혼재지역, 상업업무지역, 단독주택, 도로면 등의 침수피해가 높은 것으로 나타났기 때문에 이들 지역을 중점지구로 설정하여 노면수 관리 및 침수피해 방지대책을 마련할 필요가 있음.
- 다만, 이러한 대책들을 시행할 때 앞서 상습침수지역 유형화 결과에서 보듯이 지역별 지형적 여건, 토지피복, 토지이용 및 건축 특성, 배수시설여건 등에 차이가 있으므로 차등화되고 맞춤형 대책이 필요함.

2) 단계별 수방대책의 방향

- 서울에서 침수방지를 위한 적극적인 대책을 적용하기 어려운 점은 대부분 기성시가지이고, 고밀도에 높은 지가를 형성하는 지역이기 때문이라는 것임.
- 따라서 단기적 차원에서는 차수판, 역류방지설비와 같은 건축설비형 침수방지대책이나 빗물받이 정비 및 관리, 하수관거 통수능 확보를 위한 부분적인 개선 등의 물리적 대책을 비롯하여 여름철 우기를 중심으로 주민참여를 기반으로 한 민관협력형 수해방지활동과 같은 비물리적 수방대책활동을 중심으로 할 수밖에 없음.
- 중기적인 차원에서는 침수지역을 포함하는 유역 전체 차원에서 지구내(on-site) 및 지구외(off-site) 저류시설 배치와 침투능력 확대를 위한 투수층 및 생태면적 확대대책이 이루어져야 할 것이며, 침수에 근본적으로 취약한 저지대에 대해서는 건축물 신·개축 시 지반고 승고나 필로티(piloti) 설치와 같은 건축적 대책이 적용되어야 할 것임.

- 장기적인 차원에서는 정비사업(재개발, 재건축 등)이나 마을만들기와 연계한 지구단위 차원의 대책, 근본적인 대책이 필요한 고질적인 침수지역에 대해서는 이전 및 시가지 토지이용 개편, 대심도 저류배수시설과 같은 대규모 배수시설대책 등이 적용되어야 할 것임.



〈그림 47〉 기성시가지 침수방지를 위한 대책의 유형

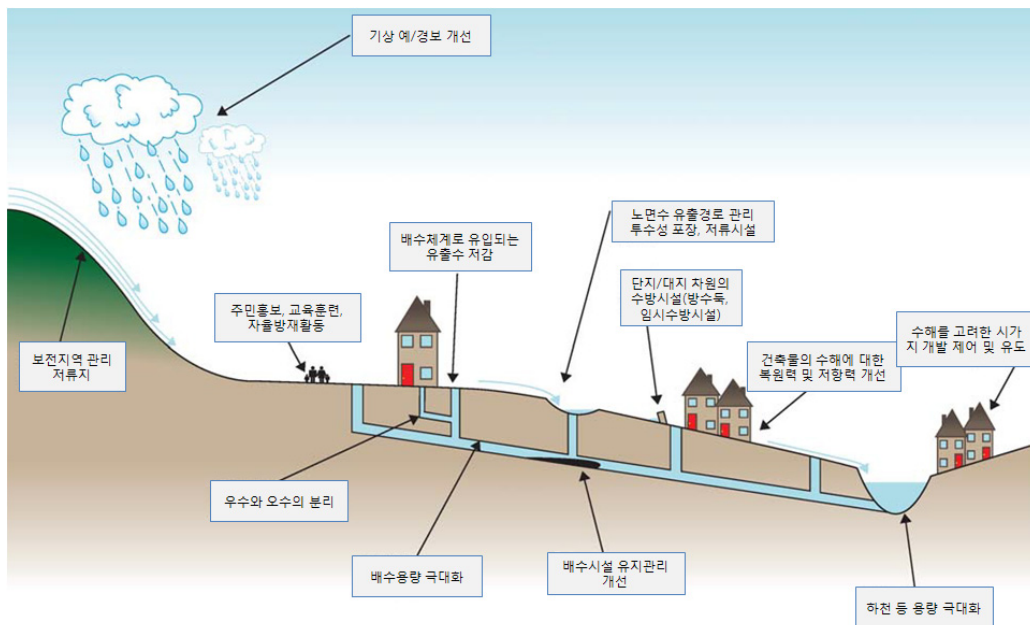
3) 몇 가지 도시계획적 대책 제안

(1) 노면수 관리를 위한 종합계획 도입

- 기후변화에 따라 기존 배수시설능력을 초과하는 집중호우가 빈번해지고, 이에 따라 막대한 유출수가 도로, 택지 등에 범람하여 시민불편과 안전사고 위험, 교통체증과 교통사고 등을 유발하기 때문에 도로, 택지 등의 초과유출수를 잘 관리하는 것만으로 침수피해를 저감할 수 있음.
- 현재의 개발사업, 개발행위 등에서는 자연적인 노면수 유출경로를 고려한 입지 및 토지이용이 대단히 미흡한데, 노면수 유출경로를 고려한 개발관리를 통해 배수시설에 대한 부담을 줄이고 보다 지속가능한 배수체계를 달성할 수 있을 것임.
- 현재 국내에서는 환경성 검토, 사전재해영향성검토 등의 제도에서 빗물관리나 침수방지를 위해 관련 사항이 포함될 수는 있지만, 노면수 문제를 직접적이고 명시적으로 다루는 제도적 장치는 없음.
- 영국은 최근(2010년) 기존의 홍수위험평가제도(Flood Risk Appraisal), 하천유역관

리계획(RBMP : River Basin Management Plan), 지속가능도시배수체계(SUDS : Sustainable Drainage Systems) 등에 더하여 노면수관리계획(SWMP : Surface Water Management Plan) 제도를 새로이 도입함. SWMP는 홍수관리와 지속가능한 배수기반시설의 공급에 초점을 두며, 도시계획을 수립하는 지방계획기구(LPA : Local Planning Authority)는 홍수 및 물관리 문제에 대처하기 위하여 도시계획서(LDD : Local Development Documents) 내의 부속계획서류로서 SWMP를 수립함.

- 서울에서도 도시계획 및 개발관련 지침에 노면수 관리에 대한 규정을 신설하고, 적용대상, 계획수립방법, 노면수 관리방법 등을 담은 지침을 마련토록 함.
- 노면수 관리체계를 마련하고 자연적인 유출경로를 보전하며 관리함으로써 환경친화적인 배수체계를 달성함은 물론 기후변화에 따른 점증하는 재해로 인하여 도로, 택지 등에 범람하는 노면수를 체계적으로 관리하여 시민불편과 안전사고 위험, 교통체증과 교통사고위험 등을 줄이고 배수시설 투자에 대한 부담도 경감할 수 있을 것으로 기대됨.



자료 : Defra(2010), Surface Water Management Plan Technical Guidance

〈그림 48〉 영국의 종합적인 노면수관리대책 적용 예시도

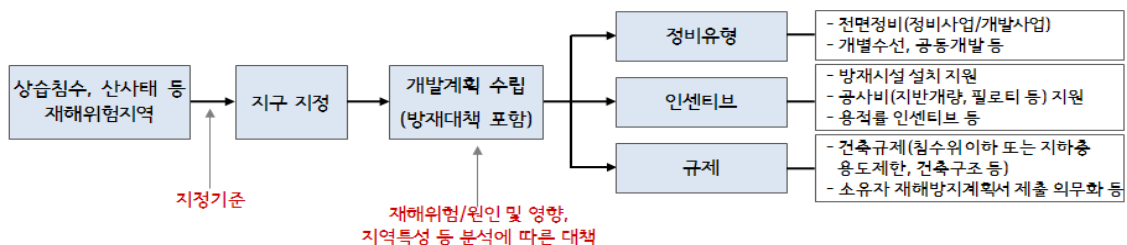
(2) 지구단위 차원의 침수위험지역 정비를 위한 방재지구 도입

- 고질적인 상습침수지역에 대하여 지구단위 차원의 보다 근본적인 수방대책을 적용하기 위하여 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 의한 ‘방재지구’ 활용을 활성화하여 건축, 토지이용, 방재시설 등을 일체적으로 정비토록 함.
- 방재지구는 법적으로 지정근거는 있으나, 방재지구로 지정될 경우 지역의 이미지 훼손과 주민반발의 가능성 등으로 인해 조례에서 구체적인 운용기준이 마련되어 있지 않아 사실상 사문화되어 있는 실정임.
- 한편, 서울에는 현재 5개 지구가 방재지구로 지정되어 재개발 또는 재건축이 이루어지고 있는데, 이는 당초 도시계획에 의한 방재지구로 지정된 것이 아니라, 과거 『건축법』에 의한 재해관리구역으로 지정되었다가 재해관리구역이 폐지되면서 방재지구로 통합된 것임(당시 『건축법』상 재해관리구역으로 지정되면 재개발, 재건축 등 정비사업이 가능했음).

〈표 32〉 서울시 방재지구 지정 현황(2010년 9월 기준)

위치	면적(m ²)	지정일	정비사업 유형
노원구 월계동 487-17일대	14,704.0	'05.4.11 (서고 519호)	재건축
성동구 용답동 108-1일대	73,392.9	'06.6.7 (서고 900호)	재개발
구로구 개봉동 90-22일대	42,863.0	'05.7.5 (서고 942호)	재건축
구로구 개봉동 138-2일대	31,840.2	'06.6.7 (서고 901호)	재개발
구로구 개봉동 133-11일대	40,870.0	'06.6.7 (서고 902호)	재건축
계	203,670.1		

- 방재지구 활성화를 위하여 도시계획조례에 방재지구의 지정기준, 정비사업 및 마을만들기와 연계, 침수방지를 위한 규제 및 공공지원 등에 대한 사항을 마련토록 함.



〈그림 49〉 재해위험지역 정비를 위하여 방재지구 이용 활성화를 위한 개념도식

참고문헌

- 경기개발연구원, 2005, 「경기도 주거지개발 시 빗물관리 및 도입방안에 관한 연구」
- 경기개발연구원, 2010, 「수해지 분포특성에 따른 토지이용 관리방안」
- 경기개발연구원, 2011, 「도심형 빗물저류공간 조성을 위한 기초연구」
- 경기개발연구원, 2011, 「산사태 위험지의 특성분석 및 체계적 관리방안」
- 구자용 외, 2008, 「분산형 빗물관리시스템의 설계 및 유지관리 가이드라인 개발」, 서울
시립대학교 서울지역환경기술개발센터
- 국가과학기술자문회의, 2007, 「기후변화의 현황과 전망」
- 국립기상연구소, 2009, 「기후변화 이해하기 I, II, III」
- 국립방재연구소, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 「우수유출저감시설 설치기법 연구 I, II,
III, IV, V」
- 국립방재연구원, 2011.12, 「풍수해분야 도시방재계획 및 관리를 위한 제도개선」
- 국립환경과학원, 2010, 「친환경적 유역관리를 위한 친환경적 유역관리를 위한 친환경적
유역관리를 위한 저영향개발(LID)기법」
- 국토연구원, 2008, 「재해에 안전한 도시조성을 위한 방재도시계획 수립방안 연구」
- 국토연구원, 2009, 2010, 「기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구 I, II」
- 국토해양부, 2006, 「도시홍수관리를 위한 제도개선방안 연구」
- 권준희 외, 2010, “LID 기법 적용에 의한 SCS-CN값 변화가 강우유출특성에 미치는 영
향 분석”, 「환경영향평가」, 제19권, 제1호, pp, 49-57
- 김형수 외, 2011, 「기후변화에 따른 방재기준 가이드라인」
- 대한주택공사, 2004, 「공동단지내 우수저류침투시설 적용을 위한 타당성 조사연구」
- 박경재, 2011, “저영향개발(LID)기법의 도로에의 적용방안 및 효과 분석연구-울산광역시
시 사례중심”, 부산대학교 석사학위논문
- 서울시정개발연구원, 2004, 「서울시 침수피해 저감을 위한 우수저류시설 적용 방안」

서울시정개발연구원, 2005, 「서울시 지하공간 침수방지대책 및 대피체계수립 방안-지하철 침수방지대책을 중심으로」

서울시정개발연구원, 2010, 「기상이변에 대한 서울시 취약지역 대응방안」

서울특별시, 2004, 「극한강우시 침수예상지역 대피계획 수립」

서울특별시, 2006, 「서울시 상습침수지역 설정기준 및 관리방안 연구」, 서울시정개발연구원

서울특별시, 2011, 「기후변화 대응 서울시 수방정책 시민대토론회 결과보고서」

서울특별시, 2011, 「서울시 재난위험도 평가 및 활용방안」, 서울시정개발연구원

소방방재청 자연재해저감기술개발사업단, 2009, 「통합내배수 침수방어기술 개발」, 서울시정개발연구원

소방방재청 자연재해저감기술개발사업단, 2010, 「지구단위 홍수재해 정보시스템 및 침수피해저감기술 개발」

소방방재청, 2010, 「기후변화를 고려한 도시방재성능 목표 설정 방안 연구보고서」

신상영 외, 2011, “기상이변에 대응한 서울의 수해방지전략”, SDI 정책리포트, 제96호

오경두 외, 2005, “도시유역 CN 산정 연구”, 「한국수자원학회 논문집」, 한국수자원학회, 제38권, 제12호, pp.1009-1020

유창열 외, 2009, “도시지역 유출해석 및 우수저류시설 설계-구례군 설계사례를 중심으로”, 「한국방재학회지」, Vol.9(4), pp.49-53

이동근 외, 2006, 「옥상녹화의 우수유출량 저감효과에 관한 연구」

전지홍 외, 2009, “LID-IMPs 선정 가이드라인 제시와 아파트단지에서의 LID 설계”, 「한국물환경학회지」, 제25권, 제6호, pp.886-895

한국건설기술연구원, 2004, 「우수저류 및 활용 기술 개발」

한국건설기술연구원, 「건축물 우수저류침투시설 지침(안)」

- 한국도로공사, 2010, 「도로 시설물 배수시스템 개선연구」
- 한국방재협회, 2010, 「기후변화로 인한 도시홍수 피해실태 분석 및 새로운 방재패러다임 설정을 위한 연구」
- 한국환경정책·평가연구원, 2009, 「신도시의 물순환 건전화를 위한 그린인프라 조성 기준에 대한 연구」
- 한국환경정책·평가연구원, 2010, 「수변지역 도시재생에 있어 저영향개발기법(LID)의 적용방안 및 효과」
- 행정자치부, 2003, 2004, 「대표시험유역과 저류·침투시설 운영을 통한 재해저감기법 개선 1, 2」, 국립방재연구소
- 환경부, 2009, 「기후변화 적응을 위한 한국형 그린인프라 구축방안 연구-도시 물 순환체계 중심으로」
- LH공사, 2003, 「개발사업에 따른 재해의 효율적 저감방안 연구-저류지 유형별(On-line/Off-line) 채택 방안」
- LH공사, 2011, 「LID기술을 이용한 홍수저감 효과분석(Ⅰ)」
- Abhas K Jha, Robin Bloch, Jessica Lamond, 2012, Cities and Flooding A Guide to Integrated Urban Flood Risk Management for the 21st Century, The World
- AUS, Healthy Waterways, 2006, Water Sensitive Urban Design Technical Design Guidelines for South East Queensland
- AUS, Healthy Waterways, 2009, Concept Design Guidelines for Water Sensitive Urban Design
- AUS, Healthy Waterways, 2010, A Business Case for Best Practice Urban Stormwater Management : Case Studies
- AUS, Healthy Waterways, 2010, Multiple Uses of Open Spaces Discussion Paper

Australian Green House Office, 2007, Climate Change Adaptation Actions for Local Government

British Columbia, 2002, Stormwater Planning : A Guidebook for British Columbia

Carolyn K., Sheila O., Margaret W., Adam S., 2011, The Role of Land Use in Adaptation to Increased Precipitation and Flooding : A Case Study in Wisconsin's Lower Fox River Basin, RFF

CIRIA, 2004, Development and Flood Risk : Guidance for the Construction Industry (C624)

CIRIA, 2004, Drainage of Development Sites : A Guide (X108)

CIRIA, 2006, Designing for Exceedance in Urban Drainage : Good Practice (C635)

CIRIA, 2006, Sustainable Water Management in Land Use Planning (C630)

CIRIA, 2007, The SUDS Manual (C697)

City of Portland, Sustainable Stormwater Management - Green Street Projects, City of Portland, Oregon

City of Santa Rosa, 2011.8, Storm Water Low Impact Development Technical Design Manual

Committee on Disaster Research in the Social Sciences : Future Challenges and Opportunities, National Research Council, 2006, Facing Hazards and Disasters : Understanding Human Dimensions

Edward, 2007, Urban Planning for Climate Change

EPA, 2007, Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development(LID) Strategies and Practices

EPA, 2009, Sustain-A Framework for Placement of Best Management Practices in Urban Watersheds to Protect Water Quality, EPA Report

Heinz Center, 2007, A Survey of Climate Change Adaptation Planning

IPCC, Working Group II, 2007, Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability, The 4th Assessment Report

John Wiley & Sons, 2006, Planning and Urban Design Standards. American Planning Association, Inc : New York

Joint Steering Committee for Water Sensitive Cities, 2009, Evaluating Options for Water Sensitive Urban Design : A National Guide

Lossman, L. A., 2004, Stormwater Management User's Manual, Version 5.0, United States Environmental Protection Agency,

Mayor of London, 2008, The London Climate Change Adaptation Strategy

New Jersey Dep. of Environmental Protection, 2004.4, New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual

New South Wales Goverment, 1986, Floodplain Development Manual

New York City Panel on Climate Change, 2010, Climate Change Adaptation in New York City, Annals of the New York Academy of Sciences

North Central Texas Council of Government, 2006, Integrated Stormwater Management : Design Manual for Site Development

Office of Public Works, 2009, The Planning System and Flood Risk Management Guidelines for Planning Authorities

OPW, 2009, The Planning System and Flood Risk Management

OPW, 2009, The Planning System and Flood Risk Management Guidelines for Planning Authorities

Prince George's County, Maryland, Department of Environmental Resources, 1999.6, Low-Impact Development Design Strategies : An Integrated Design Approach

- Seattle Public Utilities, 2009, Rain Wise Managing Storm Water at Home
- Shaw R., Colley M., and Connell R., 2007, Climate Change Adaptation by Design : A Guide for Sustainable Communities, TCPA(Town and Country Planning Association)
- The World Bank, 2009, Climate Resilient Cities
- Three Regions Climate Change Group, 2007, Adapting to Climate Change : A Case Study Companion to the Checklist for Development
- Tony W., Peter B., Sara L., 2000.8, Water Sensitive Road Design - Design Options for Improving Stormwater Quality of Road Runoff, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology
- U.K. Communities and Local Government, 2006, Development and Flood Risk : A Practice Guide Companion to PPS 25 'Living Draft'
- U.K. Communities and Local Government, 2006, Planning Policy Statement 25 : Development and Flood Risk
- U.K. Communities and Local Government, 2006, Planning Policy Statement : Planning and Climate Change, Supplement to Planning Policy Statement 1(Consultation)
- U.K. Dept. of Communities and Local Government, 2006, Code for Sustainable Homes : A Step-Change in Sustainable Homes Building Practice
- U.K. ODPM, 2003, Preparing for Floods : Interim Guidance for Improving the Flood Resistance of Domestic and Small Business Properties
- U.S. Dept. of Transportation, 2001, Urban Drainage Design Manual
- U.S. Federal Emergency Management Agency, 1998, Homeowner's Guide to Retrofitting : Six Ways to Protect Your House from Flooding

- U.S. Maryland Dept. of the Environment, 2006, Maryland Floodplain Manager's Handbook
- U.S. SCS, 1986, Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release No, 55 (TR-55), U,S Department of Agriculture U.S. Government Printing Office, Washington, D,C,
- UNFCCC, 2007, Climate Change : Impacts, Vulnerabilities and Adaptation in Developing Countries
- UN-ISDR, 2008, Climate Change and Disaster Risk Reduction
- 日本 国土交通省, 1998, 災害に強い都市づくりガイドライン
- 日本 国土交通省, 2001, 地下空間における浸水対策ガイドライン
- 日本 国土交通省, 2004, 流域と一体となった総合治水対策
- 日本 日本都市計画學會 編, 2004, 都市計画マニュアルII

Working Paper
2011-WP-23

토지이용특성과 침수피해지역 간의 관계 연구

발 행 인 서울시정개발연구원장

발 행 일 2012년 2월 15일

발 행 처 서울시정개발연구원

137-071 서울시 서초구 남부순환로 340길 57

전화 (02)2149-1234 팩스 (02)2149-1025

비매품 ISBN 978-89-8052-896-7 93530

본 출판물의 판권은 서울시정개발연구원에 속합니다,