서울시, 강우보다 유역 특성 중심의 분산형 침수관리 대책 확대 '급선무'

기후변화, 집중형 우수배제체계 중심의 서울시 침수관리에 변화 요구

최근 10년 동안 서울특별시(이하 서울시)에는 2010년, 2011년, 2018년에 큰 침수피해가 발생하였다. 단시간의 집중호우로 서울시 곳곳에서 건물 및 공공시설 침수와 산사태가 발생하였고 큰 재산피해와 인명피해로 이어졌다. 주요 수해 원인은 배수시설의 설계용량을 초과하는 강우로 인한 우수배제 불량, 하수관거 통수능 부족, 저지대 노면수의 집중 등으로 분석되었다.

이에 서울시는 기존 상습침수지역과 2010년, 2011년 집중호우로 발생한 침수피해를 바탕으로 34개의 침수취약지역을 선정하고, 이들 지역에 2011년 3월부터 2023년 12월까지 총사업비 1조 5,300억여 원을 투입하여 하수관거 정비, 펌프장 신설 및 증설, 저류조 신설 등 배수능력을 확충하는 사업을 진행해오고 있으며, 2021년 현재 30개 지역의 정비를 완료한 상태이다.

하지만, 기후변화로 인해 집중형 배수시설의 설계용량을 초과하는 강우의 발생빈도가 증가하고, 극한홍수 발생위험과 기상예측 불확실성이 커짐에 따라, 배수시설의 용량을 증설하는 구조적인 침수대책으로 침수취약지역을 관리하는 집중형 우수배제체계 중심의 침수관리만으로는 안전한 침수대응이 어렵게 되었다.

서울시, 전체 면적은 작아도 자연적·사회경제환경적으로 지역별 편차는 커

유역의 특성에 따른 침수발생 및 피해 특성을 분석한 관련 선행연구를 검토하여 유역의 자연적, 사회환경적 특성을 대표할 수 있는 52개 지표를 선정하고 서울시를 소규모 유역 단위인 163개의 배수분구로 구분하여 지표별 공간적 분포와 특성을 분석하였다.

평균고도, 경사, 저지대면적비, 인구밀도, 주택 수, 시가화면적비, 녹지면적비, 공시지가, 지역내 총생산 등 유역의 자연적, 사회환경적 특성을 대표하는 각종 지표의 서울시 내 공간적 분포를 분석한 결과, 지표별 공간적 분포 특성이 상이했으며, 지표별 최대/최소값의 차이가 수배에서 수백배까지 나타나는 것으로 분석되었다. 특히, 서울시 강우특성을 대표하는 지표들의 지역적 편차도 큰 것으로 분석되었다. 서울시 내외에 산포된 총 40개 기상청관측소의 2010년부터 2019년까지 시간강우자료를 이용하여 서울시 내 강우관련 지표들의 공간적 분포를 분석한 결과, 연평균강우량, 여름철강우량, 일최대강우량 등에서 지역적으로 최대 수백 mm의 강우량 차이가 발생하였다. 서울시 면적은 605km^2로, 뉴욕시(약 1200km^2) 면적의 1/2, 런던(약 1600km^2) 면적의 2/5에 해당하고 서울시가 속한 한강유역의 2.3%에 불과하다. 서울시의 크기는 비록 작지만, 우리나라 제1하천인 한강이 서울시 중앙을 가로지르며 북쪽에는 북한산, 남쪽에는 관악산, 청계산으로 둘러싸여 있고 도심 내 크고 작은 40여 개의 하천들과 언덕들이 많은 지리적 특성과 고도의 도시화에 따른 도심지 지역구조의 복잡한 분화로 인해 기후, 교통, 주거, 행정, 산업 등의 지역적 편차가 크게 나타나고 있다.

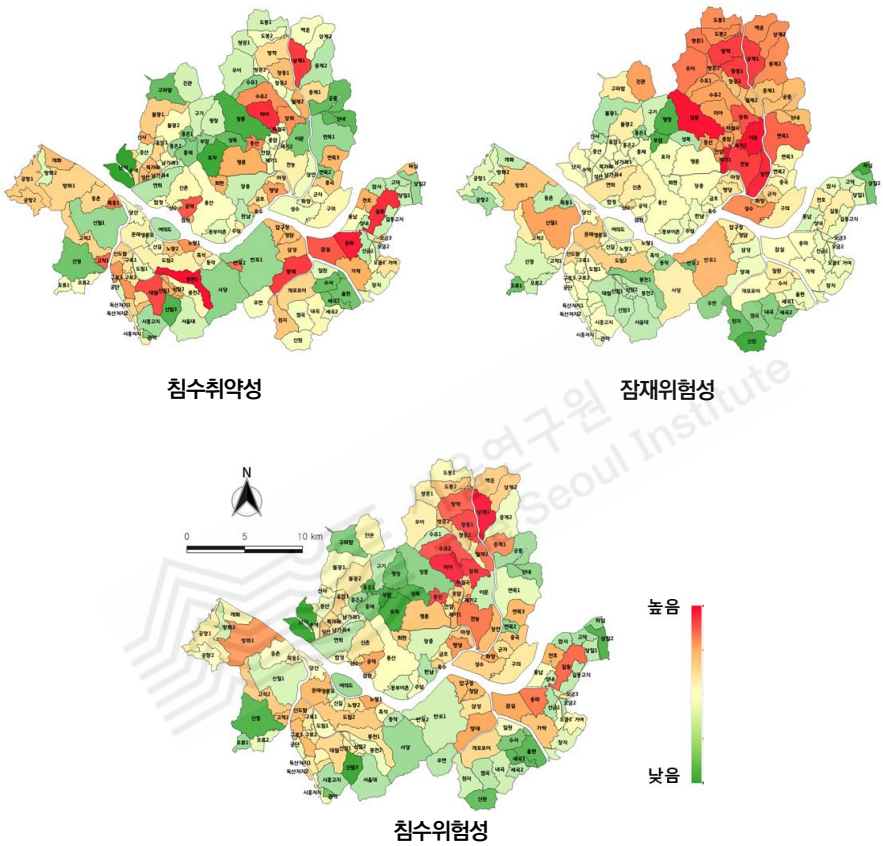
유역 특성·강우 시공간 분포 고려한 침수위험성 평가 결과, 서울시 동북권 높아

침수의 사전적 의미는 자연재해로 건물, 도로, 지반 등이 물에 잠기는 현상이며, 홍수는 비가 많이 와서 강이나 개천에 갑자기 불은 물, 혹은 하천의 물이 한계를 넘어 범람하는 현상을 의미한다. 침수는 홍수로 인해 발생한 피해현상이므로, 홍수는 재난, 그리고 침수는 재난에 의한 재해에 해당한다고 할 수 있다. 그러므로, 의미상으로 홍수위험성과 침수위험성은 구분될 필요가 있다. 서울시에서 최근 10년간 발생한 수해의 원인은 내수배제 불량으로 인한 침수피해였다. 따라서, 서울시는 하천범람에 의한 홍수발생 위험보다는 침수발생 및 피해의 위험성이 크다고 할 수 있다.

일반적으로, 저지대 평탄한 지형이며 가구 수 및 사회기반시설이 많고 방재능력이 적은 유역은 침수발생과 피해에 취약하다고 판단할 수 있다. 그리고, 강우량이 많고 과거 침수피해이력이 있으며 침수위험지구로 지정된 유역은 침수발생 가능성이 높다고 할 수 있다. 이와 같이, 우리는 경험적으로 유역의 특성을 통해 침수발생 가능성이 높은지, 침수피해에 취약한지를 판단할 수 있다. 본 연구에서도 침수위험에 대한 유역특성 기반의 경험적 판단 방식에 위험성 평가 개념을 적용하여 서울시의 침수위험성을

평가하였다.

유역의 자연적, 사회환경적 특성을 대표하는 52개 지표들을 침수발생 및 피해에 대한 영향을 고려하여 자연-강우, 자연-지형, 사회-경제, 사회-환경, 사회-행정, 시설-방재시설, 시설-기반시설, 침수-과거피해, 침수-위험지구 등 9개 그룹으로 분류하고, 그룹별로 지표들의 유사성에 따라 서울시 163개 배수분구를 유형화하였다.



[그림 1] 유역 특성에 따른 서울시 침수취약성, 잠재위험성, 침수위험성 평가 결과

9개 그룹별 유형을 분석한 결과에서 자연-지형 그룹은 해당 그룹에 포함된 지표들의 유사성 분석을 통해 평균고도가 높고 경사가 급한 지형, 평균경사와 저지대면적비가 높은 지형, 저지대면적비가 높고 평탄한 지형 등의 유형특성에 따라 163개 배수분구가 분류되었다. 시설-방재시설 그룹에서는 면적당 하수관망 밀도는 높으나 빗물펌프장 및 유수지 용량이 적은 유역, 하수관망 밀도와 통수능 부족구간이 높은 유역, 하수

관망 밀도는 비교적 적으나 빗물펌프장 및 유수지 용량이 큰 유역 등의 유형으로 배수분구가 분류되었다.

서울시의 유역특성을 나타내는 9개 그룹의 유형특성별로 침수발생 및 피해에 영향을 미치는 정도를 점수화하여, 침수발생 및 피해에 불리한 유역의 공간적 취약성을 나타내는 침수취약성과 침수발생 가능성에 대한 잠재위험성을 각각 평가한 후 이들을 종합하여 침수위험성을 평가하였다.

유역특성에 따른 서울시 침수위험성을 평가한 결과, 침수발생 및 피해에 불리한 유역의 공간적 취약성이 높은 배수분구로는 봉천1, 송파, 길동, 미아, 상계1, 양재 등의 순으로 나타났으며, 침수발생에 대한 잠재적 위험성이 높은 배수분구는 이문, 정릉, 제기1, 장안, 전농, 방학 등의 순으로 분석되었다. 침수발생에 대한 잠재적 위험성과 침수피해에 불리한 공간적 취약성이 상대적으로 높아 침수위험성이 큰 배수분구는 상계1, 미아, 장위, 창동1, 동선, 수유2, 방학, 길동, 월계2, 전농 등의 순이었다.

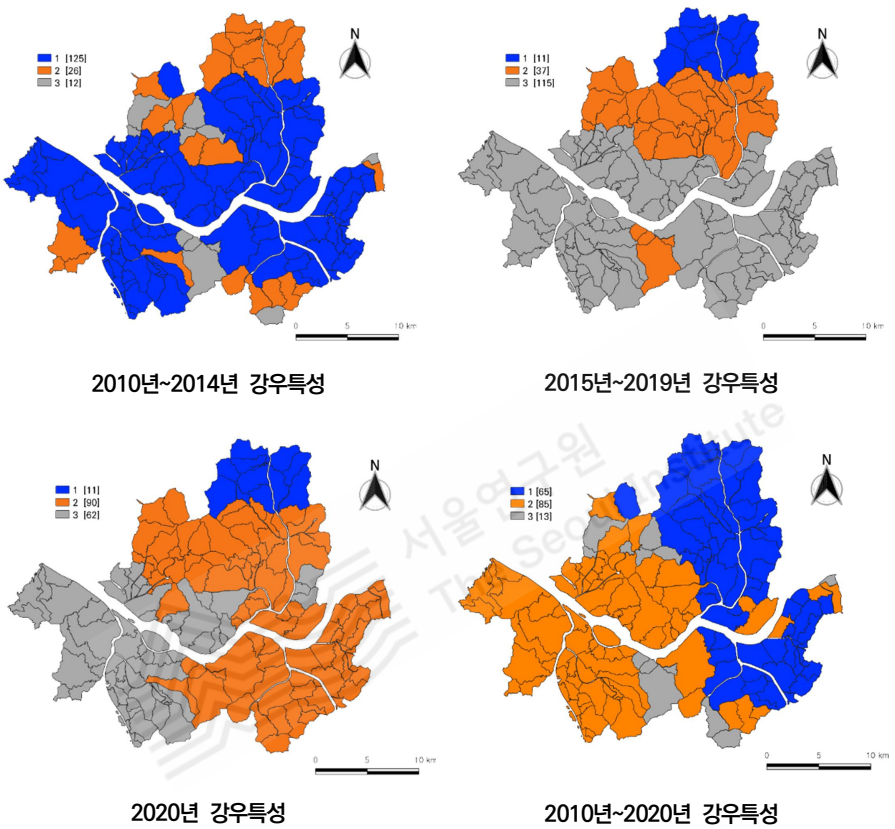
강우특성 급변, 침수위험성 평가 모호성 키우고 기존 대책의 실효성 떨어뜨려

기후변화로 인해 최근 10년간 서울시의 강우특성이 시공간적으로 크게 변화한 것으로 분석되었다. 서울시에 큰 침수피해를 준 2010년과 2011년을 포함하는 과거 5년(2010년~2014년)의 자연-강우의 공간적 분포는 서울 도심권에서 총강우량과 단기강우량이 모두 큰 특성([그림 2]의 파란색 표시 지역)을 보였으나, 최근 5년(2015년~2019년)의 강우특성 분포는 도심권 대부분에서 총강우량과 단기강우량이 가장 적은 특성(회색 표시 지역)으로 변했다.

강우특성 분석 시, 강우자료의 시간적 범위에 따라 분석결과가 조금씩 달라지는 것은 일반적이다. 하지만, 강우특성의 시공간적인 급격한 변화는 강우자료의 시간적 범위 설정에 따른 강우특성 분석결과의 큰 변동성을 야기한다. 즉, 강우특성 분석 시점을 어떻게 설정하느냐에 따라 침수발생 위험이 높은 지역이 바뀌기 때문에 침수위험성 평가결과가 모호해진다.

또한, 강우특성의 시공간적인 급격한 변화는 불과 몇 년 전에는 높은 강우량으로 인해 침수발생 위험이 높거나 실제 침수가 발생했던 지역이 현재는 강우량이 적고 침수위험이 낮은 지역으로 바뀌는, 현재의 강우특성과 과거 침수피해지역 간의 비대칭을 유발하게 된다. 서울시 34개 침수취약지역을 포함하는 33개 배수분구 중 과거 침수이력

및 위험지구 등과 관련된 노출 지수가 높은 배수분구는 17개이지만, 이 중 침수발생에 유리한 강우특성에 해당하는 위해성이 높은 배수분구는 단 5개인 것으로 분석되었다. 이러한 비대칭성은 과거 강우사상과 침수피해이력을 바탕으로 침수발생 위험을 평가하여 위험지역을 선정하고 관리하는 현재의 침수관리 대책의 실효성을 저하시키게 된다.



[그림 2] 최근 10년간 서울시 강우특성의 시공간적 변화

‘침수피해 가중’ 유역내 취약성 점차로 개선해가는 침수관리 대책 확대 필요

지난 2020년 여름 집중호우로 인해 전국적으로 1조 원 이상의 재산피해가 발생하였으나, 재해위험지구로 설정된 894개 지구에서 집중호우 및 피해가 발생하지 않은 사실은, 앞서 분석한 바와 같이 현재의 침수관리 대책이 강우특성의 시공간적 변화에 적절하게 대응하기 어렵다는 것을 단적으로 보여주고 있다.

더욱이, 10~30년 빈도로 구축된 서울시 우수배제체계의 설계용량을 초과하는 강우의 발생빈도가 증가하고 있기 때문에 서울시와 같이 인구밀도와 교통량, 그리고 전역에 분포된 주요 기반시설 및 지하시설 등 침수발생 시 피해를 확대시킬 수 있는 요인들의 밀도가 높은 지역은 침수가 발생하더라도 신속하게 회복 및 복구하여 도시의 기능을 수행할 수 있도록 하는 리질리언스(resilience) 측면의 침수관리가 매우 중요하다.

그러므로, 불확실성이 큰 강우특성에 기반한 침수위험지역관리보다는 유역 내 침수발생 및 피해를 가중시키는 취약성을 중심으로 한 위험성 평가와, 이를 기반으로 소규모 유역단위로 유역 내 취약요인을 점차 개선해나가는 지구단위 저영향개발 계획 등의 도시계획적 전략의 확대 및 침수취약지역의 체계적 관리, 그리고 소규모 침수방지시설, 저영향개발(LID)시설 확충 등 분산형 침수관리 대책의 확대를 통해 서울시의 침수대응 및 관리 역량을 높이고 기후변화에 대한 적응력을 향상시켜야 하겠다.