

신 기후체제 대응을 위한 건축물의 기후변화 취약성 진단 – 도시침수현상을 중심으로

이은석 부연구위원

배경 및 목적

- 2016년 파리협정에 서명한 우리나라는 신 기후체제의 정책 방향을 국내에 공유하고 국가와 지방에서 실천 가능한 운영체계를 확립해 국제사회에 보고할 의무를 가짐
- 국지성 집중호우를 비롯한 통상적 대응 범위를 넘어선 최근의 이상 기상현상은 무작위적 발생으로 자본과 인구가 집중된 도시지역에 예상 밖의 피해 야기
- 기후변화 취약성 진단을 통해 건축물이 특정 자연재해로 반복적인 피해를 받는 이유를 파악하고, 유사 특성을 갖는 건축물 군의 취약성 정보를 토대로 미래 건축물이 기후변화 등에 따른 재해·재난 안전 기능을 갖추도록 지원

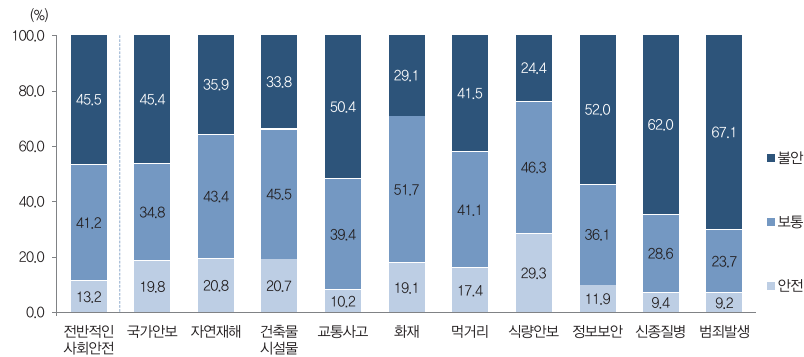
정책제안

- 건축물 단위의 기후변화 재해 취약성 진단 결과를 활용해 각종 취약 요소로부터 손실과 피해를 최소화할 수 있도록 고려된 '기후변화 적응형 건축설계가이드라인' 개발
- 고해상도의 기후변화 취약성 진단 결과를 활용해 '기후변화 적응대책 세부시행계획', '재해취약성을 고려한 도시계획', 재해예방을 위한 '저영향 개발 및 물 순환체계 개선'에 관한 정책 등의 정확성 확보

1 신 기후체제에 따른 건축 부문의 새로운 과제 등장

■ 재해 불안과 ‘건축≠안전’이라는 사회적 인식 변화에 대응 필요

- 통상적 대응 범위를 넘어서는 기상현상과 이에 따른 피해가 심화되고, 건축물과 시설물에 대한 불안감이 증가하는 추세
 - 재해·재난 예방과 대응 방안은 경험에 기초한 예측 결과를 바탕으로 구성하고 있지만, 장소·범위·강도가 예측 범위를 뛰어넘는 이상 기상현상의 증가로 인명·재산상 피해가 심화
 - 건축물의 주요 기능 중 하나는 국민에게 유사시 피난처가 되는 것이나, 국민들은 건축물과 시설물에서 안전감(20.8%)보다 불안감(33.8%)을 크게 느끼고 있음¹⁾



통계청의 2016 사회조사결과 중 안전에 대한 인식도

※ 출처 : 통계청(2016), 2016년 사회조사결과, 11월 15일자 보도자료.

■ ‘기후변화 적응’ 및 ‘손실과 피해 최소화’를 중심에 둔 건축물 분야 신 기후체제 대응 방안 모색 필요

- 2015년 파리협약 이후 우리나라는 2016년 4월 기후변화협약 파리협정에 최종 서명했으며, 국제사회에서 정한 차기 기후변화 정책 방향을 공유하고 국가 및 지방의 실천적 운영체계 확립을 통한 국제적 협력 방안을 모색해야 함
 - 우리나라를 포함한 147개 당사국은 2030년까지의 온실가스 감축목표에 대해 2015년 6월 UN에 자발적기여방안(INDC)을 제출해 국제적 실천 의무를 갖게 됨²⁾

1) 통계청(2016), 2016년 사회조사결과, 11월 15일자 보도자료(안전 분야 조사는 격년으로 발표)

2) 우리나라는 2030년까지 BAU(951백만 톤) 대비 37%를 감축하는 것으로 목표를 확정해 2015년 6월 30일 UN에 제출

- 기후변화 경각심에 기초해 기후변화 ‘완화’에 초점을 뒀던 교토의정서와 달리, 파리협약에서는 기후변화를 인정하고 ‘완화’에 대한 노력을 하되, 변화에 ‘적응’하고 ‘손실과 피해의 최소화’를 추구하는 협약으로 진화
 - 국가는 기후변화 적응계획을 수립하고 지방정부의 정책적 이행과 독려를 통해 결과를 국제사회에 보고할 의무를 갖게 됨
 - 따라서 건물 분야 온실가스 배출량 저감 활동은 지속하면서, 기존 건축물과 미래 지어질 건축물의 기후변화 적응능력을 고려한 정책 개선이 필요
 - 나아가 실제 기후변화에 따른 재해·재난 시 손실과 피해를 최소화할 수 있는 구체적인 건축 분야의 과제와 전략을 새로이 마련해야 할 시점 도래

기후변화 대응체계 범정부 추진 방향

구분	기존	개편(현재~)
온실가스 감축정책 총괄·조정	환경부	· 범부처 참여 총력체계(국무조정실 총괄, 부문별 소관부처 책임제)
배출권 거래제 운영	기획재정부 총괄, 환경부 운영	· 기획재정부 총괄 강화, 4개 관장부처 운영 (국토교통부, 농림축산식품부, 산업통상자원부, 환경부) ※ 환경부 배출량 인증 전 협의
중장기 전략 수립	온실가스 감축 로드맵 (20년 감축목표 기준)	· 온실가스 감축 로드맵(30년 감축목표 기준) -기후변화대응 기본계획 -2050 저탄소 발전전략
온실가스 감축수단	규제 중심	· 시장, 기술, R&D 병행
지자체 시민사회 협력	형식적 관리	· 실질적 협력(환경부 주관, 부처 협조)

※ 출처 : 국무조정실(2016), “파리협정의 효과적 이행을 위한 기후변화 대응체계 강화”, 2월 25일자 보도자료.

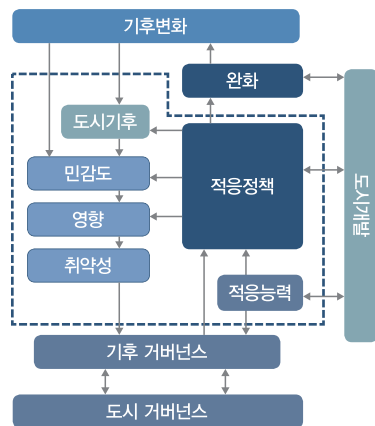
■ 기존 개발시대와 다른 성격을 갖는 건축·도시정책 방향 필요

- 건축·도시에 대한 기후변화 대응정책은 개발을 통한 가치 창출에 초점을 둔 기존 패러다임과 달리, 기존 도시의 가치 위에서 이뤄지는 국민 생활의 지속가능성을 확보하는 방향으로 설정되어야 함
 - 도시는 다수의 건축물로 이뤄져 있고 이를 많은 사람들이 생활터전으로 하고 있어, 예상치 못한 재해가 발생하면 그 피해가 집중될 가능성이 높음
 - 고밀도 도시일수록 자연적 완화기능이 왜곡되므로 비상시 도로망, 배수망, 대피소 등과 함께 기후변화 피해를 완충할 수 있는 건축물의 기능적 요소를 갖춰가는 방향으로 도시·건축정책을 설정할 필요
- 앞으로 건축·도시 분야는 우리나라 기후변화 대응정책 체계에서 중추적 대상이 될 것으로 전망되므로, 기후변화 관련 정책 수요 증가에 따른 기초연구가 필요함
 - 우선 기후변화에 따른 재난·재해 피해 유형별로 반복적 피해를 받는 건축물의 특성을 규정해 취약 정도를 파악하고, 유사 특성을 갖는 건축 군집의 위치 분석 결과를 바탕으로 지역마다 피해를 최소화할 수 있는 차별화된 정책 단서를 도출

2 기후변화 적응 건축 · 도시정책의 국내외 동향과 시사점

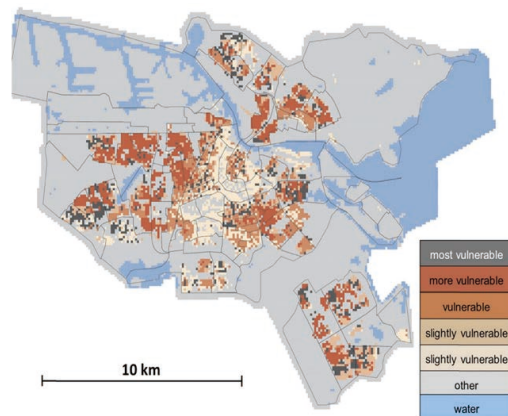
■ 해외 기후변화 적응정책에서 도시와 건축물은 취약성 진단 대상

- 해외에서는 도시에 밀집된 건축물이 적은 일조시간, 열섬과 고온현상, 건조화, 평균 풍속의 저하 등 취약성 증가의 원인이 되는 것으로 인식
 - 건축물 단위의 회복탄력성 증대 방안, 정부와 지역 간 동반 관계 구축, 최고의 과학 기술과 데이터 활용을 통해 커뮤니티의 지속가능성 제고 측면에서 세부적인 전략들이 도출되고 있음
 - 정책 및 전략 수립을 위한 기금과 예산 지원, 대기질 개선, 수자원 및 생태계 보호, 위험지역 조사 및 종합계획 수립을 위한 준비 등 높은 수준의 기후변화 적응정책을 추진



네덜란드 Climate Proof Cities 프로젝트 체계도

※ 출처 : Albers et al(2015) 재구성



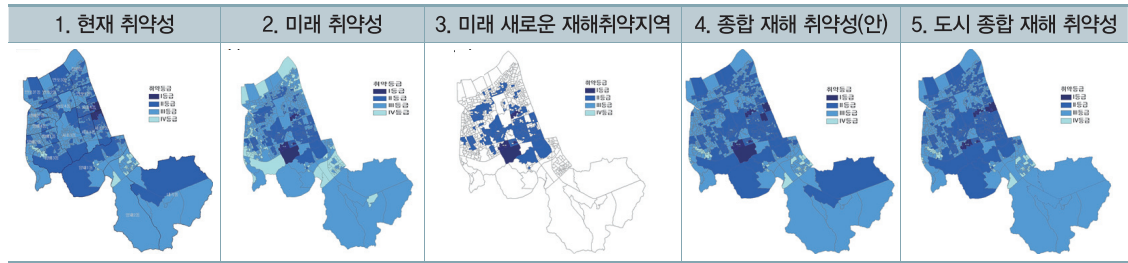
네덜란드 암스테르담의 거주지역 내 폭염취약성 지도

※ 출처 : van der Hoeven and Wandt(2015)

■ 국내 기후변화 적응정책은 포괄적 취약성에 집중

- ‘국가 기후변화 적응대책’에서 농수산 · 건강 · 생태계 · 인프라 등의 취약성을 분석하였고, 기후변화 리스크 파악 및 우선순위를 결정하는 등의 과정이 포함
 - 최신 기술을 활용한 웹 기반의 취약성 평가도구들의 개발과 고도화를 통해 해안 건축물 및 침수에 취약한 주거지역의 위험성 평가와 대규모 산업단지에 대한 기후 변화 영향 및 취약성 평가체계를 종합적으로 구축
 - 건축물을 포함한 도시의 취약성 매뉴얼을 제작해 각종 취약성 설명이 각론적으로 가능하도록 개별 영향요인을 도출하는 연구 진행 중

국토교통부에서 시행 중인 종합 재해 취약성 분석 과정



※ 출처 : 국가도시방재연구센터(2013), 「도시기후변화 재해 취약성 분석 매뉴얼(VER 3.0)」, p23.

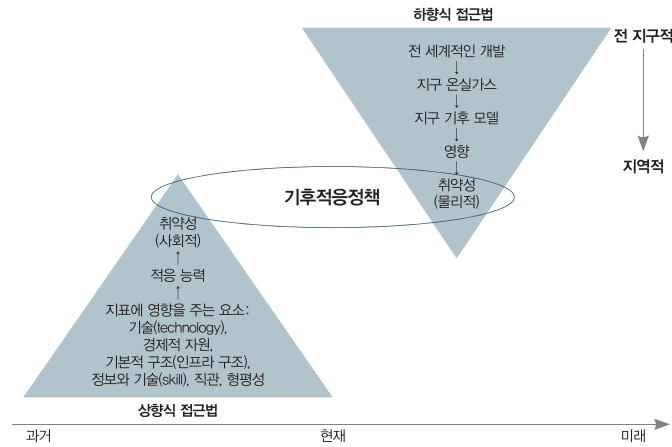
■ 국내외 기후변화 적응정책 동향을 통해 본 취약성 진단의 중요성과 시사점

- 현재 활용 중인 기후변화 취약성 진단 도구들은 공간적 범위를 행정구역으로 하고 있어, 행정구역 범위를 넘나드는 환경·지리적 영향에 따른 진단에 한계
 - 환경적 영향성을 고려해야 하는 기후변화 취약성 분석은 공간적 범위가 행정구역계가 아닌 최소화된 공간 단위가 되어야 하며, 공간 간 결합된 결과 값을 통해 종합적으로 판단해야 하므로 건축물 단위의 취약성 진단과 종합적 분석 방법이 요구됨
 - 건축물 중심의 취약성 분석은 건축물 중심의 사회적 요소를 규명하고 노출, 민감도, 사회적 대응, 회복탄력성을 통일된 양식으로 설명할 수 있어야 하므로 이에 대한 표준 데이터베이스 설계 및 구축이 필요

3 건축물 중심의 기후변화 취약성 분석체계 정립

■ 기후변화 적응계획을 위한 건축물 중심의 취약성 분석 방식의 정의

- 건축물의 기후변화 취약성 분석은 기후변화에 따른 기상현상별로 차별적 방법을 적용해야 하며, 정책의 정확성을 위해 높은 해상도의 취약성 분석 결과 필요
 - 기후변화는 예상 밖의 태풍, 강풍, 폭염, 폭설, 해수면 상승, 집중호우, 지속적 기온 상승 등 기상현상과 연결되며, 발생 지역의 특징에 따라 다양한 피해를 야기하므로 각 기상현상의 유형에 따라 차별적인 취약성 분석이 필요
 - 구체적인 기후변화 적응계획을 작성하기 위해서는 높은 공간해상도를 바탕으로 한 데이터가 필요
- 방법론적으로 공간분석 단위를 행정구역으로 볼 것이 아니라 실제 국민이 생활하는 시설·필지 또는 건축물을 기초 공간 단위로 도출된 분석 결과를 위계에 맞춰 상향식으로 순차 결합하는 방식이 적합



기후변화 적응정책 완성을 위한 상황식 접근법과 하향식 접근법의 틀

※ 출처 : 강정은 · 이명진 (2012), “퍼지모형과 GIS를 활용한 기후변화 홍수취약성 평가-서울시 사례를 중심으로”, 『한국지리정보학회지』 v.15(3), pp. 119-136.

■ 대상 기후현상과 공간 선정: 국지성 집중호우, 도시지역, 건축물

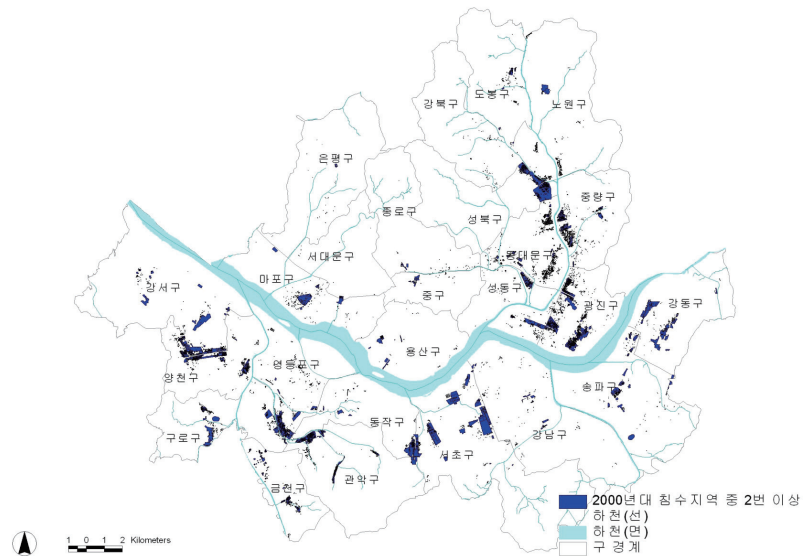
- 기후변화 현상 중 최근 가장 빈발하고 있는 국지성 집중호우와 지표수 침수(Surface water flooding)³⁾가 건축물에 미치는 취약성에 집중함
 - 환경부는 집중호우에 의한 침수를 내수배제시설(우·오수관)에 의한 침수, 지표면 유출량에 의한 침수, 지하수위 상승에 의한 침수, 내수 및 외수 수위 상승에 의한 침수 등으로 정리



광화문에서 발생한 지표수 침수현상

3) 지표수 침수는 내수배제시설의 포화에 따른 역류수와 지표면 유출수가 같은 장소에서 동시에 발생해 짧은 시간에 피해를 일으키는 전형적인 도시형 침수

- 모든 건축물은 부동산 가치를 바탕으로 개인 및 공공의 재화를 보호하는 기능을 기본적으로 보유함
- 건축물 사용공간의 밀도가 높을수록 피해 복구에 소요되는 시간과 재화가 늘어나는 상관성을 보이므로 건축물 취약성은 중요한 연구 대상임
- 객관적인 취약성 분석을 위해 침수현상을 2회 이상 겪은 지역에 대해 공간적 기록으로 작성된 침수피해 흔적도를 검토해 지역과 도시를 선별하고 그 안의 건축물을 취약성 분석 대상으로 함



서울특별시의 2000년대 이후 침수지역 중 2회 이상 침수된 지역 분포

※ 출처 : 박창열 외(2013), “다변량 분석을 이용한 서울의 상습침수지역 유형화”, 『한국방재학회논문집』 v.13(2), pp.245-255.

■ 취약성 분석 방법론 결정과 설명지표 선별

- 사회조사방법론에서 통상적으로 활용되고 있는 다중선형회귀모델 중 최소자승법 (Ordinary Least Square Method: OLS)을 사용하여 침수지역을 설명하는 건축물 설명변수들의 관계성을 판단
 - 지표수 침수 위험 건축물 분석은 실제 침수지역 내 건축물의 설명변수를 통해 고유한 특성을 정의 내리고, 그 기준에 포함되는 특성을 지닌 건축물의 공간적 분포를 찾을
 - 침수지역에 속한 건축물의 특성은 모형 내 설명변수의 계수로 찾아내되, 설명력이 부족한 특성은 잔차를 통해 확인되는 공간적 분포 패턴을 파악하여 유의도를 높임

- 기후변화의 영향 중 지표수 침수가 건축물에 미치는 영향성을 진단하는 모형을 만들기 위해 건축물이 존재하는 대지 내 주요 건축물의 특징을 변수로 적용
 - 건축물대장상 건축물의 대표성을 설명하는 총괄표제부에 기입되어 있는 정보를 중심으로 누락 정도가 가장 적은 데이터를 선정하고 기후노출, 민감도, 적응능력에 적용 가능한 지표를 선정
 - 침수현상을 다루므로 도시지역의 지표수 침수현상에 영향을 주는 지표수 집적도, 인접 맨홀밀도, 평균 해발고도차 등 건축물 입지환경을 설명하는 지표와 적응능력과 관련한 사회적 지표로 공시지가를 추가

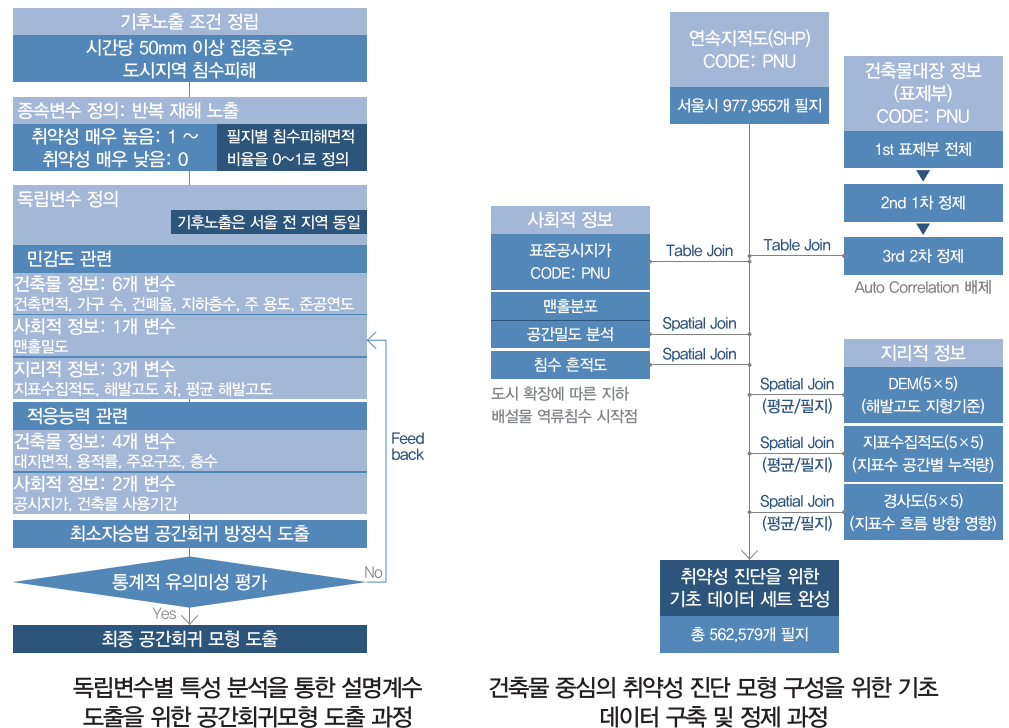
건축물 기후변화 취약성 진단모형에 사용한 변수

정보유형	컬럼명	설명	변수 선정 사유	취약성 분석 적용
코드	FID	필드아이디	-	참고
코드	PNU	PNU 코드	-	참고
코드	JIBUN	지번	-	참고
코드	YYYY	기준연도	연구의 시간적 범위	참고
-	FLD_AREA	대지 내 침수피해면적	실제 반복 피해를 받은 기록	기후노출(중속변수)
-	RA_FLD_A	단위면적당 침수면적	실제 피해의 정도값	기후노출(중속변수)
물리	ARCH_AREA	건축면적	건축물의 규모	민감도
물리	BC_RAT	건폐율	해당 필지의 불투수성	민감도
지리	ELEV_GAP	평균 해발고도와 대지 간 해발고도 차	해당 필지의 상대 해발고도 값	민감도
물리	MAIN_PURPS	주용도	침수 피해에 따른 경제적 피해 정도를 가늠	민감도
사회	FMLY_CNT	가구 수	침수 피해에 영향을 받는 사람 수를 추정	민감도
지리	Avg_ELEV	평균 해발고도	지대의 고저 여부를 확인	민감도
지리	FAC_PLAR	단위면적당 지표수집적도	지표면을 따라 흐르게 될 지표수의 누적 값을 확인	민감도
사회	MHD_PLAR	단위면적당 맨홀밀도	지하관거 역류수의 토출구인 맨홀 개수와 위치 정보	민감도
물리	UGRAND_FLR	지하층수	침수 시 가장 큰 피해를 받는 공간 규모	민감도
물리	USE_YR	준공연도	방재를 위한 제도 적용 수준 가늠	민감도
물리	GRAND_FLR_C	층수	침수 피해의 수직적 범위와 완충 규모를 가늠	적응능력
사회	JIGA	단위면적당 공시지가	피해의 회복과 관련한 경제적 잠재력을 파악	적응능력
물리	VL_RAT	용적률	건축물의 규모를 설명	적응능력
물리	STRCT_NM	주요구조	건축물의 내구성을 설명	적응능력
물리	PLAT_AREA	대지면적	침수 시 재산상 피해 범위와 관계	적응능력
물리	BD_AGE	건축물 사용기간	건축물의 노후 정도에 따른 피해 수준을 판단	적응능력

4 건축물의 국지성 호우에 대한 위험성 분석 및 취약성 진단 적용

■ 재해위험성 분석을 위한 입력변수와 결과정의 방식

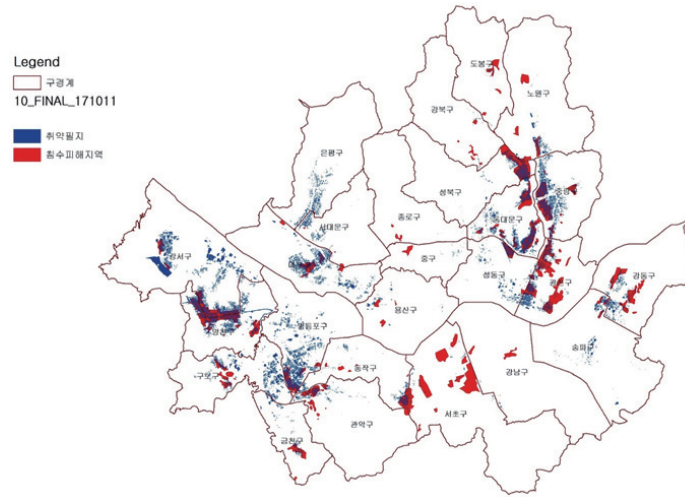
- 서울특별시를 사례지로 재해위험성 분석 및 취약성 진단의 대상과 데이터베이스를 구축했으며, 기초가 되는 공간위치정보는 2016년도 기준 97만 7,955개 필지가 포함된 연속지적도(KLIS)를 사용
 - 연속지적도는 디지털 처리된 지리정보와 테이블로 구성되어 있어 건축물대장정보를 공간정보로 입히기에 중요한 매개 자료임
 - 데이터베이스의 테이블은 기후변화 취약성 설명에 필요한 기후노출, 민감성, 적응 능력을 고려해 건축물대장 정보, 사회적 정보, 지리적 정보로 구성



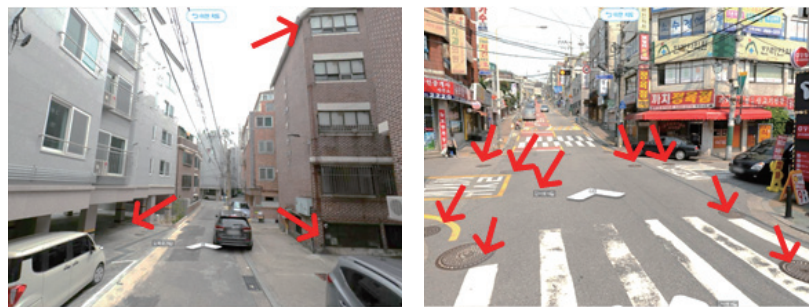
- 기후노출대상지역인 침수 피해를 입은 지역 내 건축물의 특성은 공간회귀분석 중 최소자승법을 통해 도출
 - 서울특별시 전역에서 반복 침수 피해를 입은 사건을 최대 취약성으로 정의하고 그 값을 '1'로 정의했으며, 피해를 입지 않은 지역을 '0'으로 정의함
 - 최소자승법에 의해 '1'에 해당하는 지역 내 건축물대장 정보, 사회적 정보, 지리적 정보가 입력된 필지의 특성을 회귀방정식으로 도출해 설명 가능한 논리체계 구축

■ 서울지역의 국지성 호우에 취약한 건축물의 특징과 분포

- 건축물 정보 간 관계성을 바탕으로 공간회귀 방정식을 해석하면, 반복 침수 피해의 위험성이 높은 서울지역 건축물의 특징을 설명할 수 있음
 - 건폐율이 클수록, 용적률이 낮을수록, 가구 수가 클수록, 층수가 낮을수록, 지하층 수가 클수록, 건축물 사용기간이 짧을수록, 공시지가가 낮을수록, 인접 맨홀밀도가 클수록, 지표수 집적도가 클수록, 해당 필지의 해발고도가 평균 이하일수록 취약성이 큰 경향⁴⁾



반복 침수피해지역(적색)과 국지성 호우에 취약한 건축물이 입지한 필지의 군집(청색)분포 비교



국지성 호우에 취약한 건축물이 밀집된 저지대 지역의 예시
(좌: 건축물의 외형적 특성, 우: 맨홀밀도가 높은 저지대 지역)

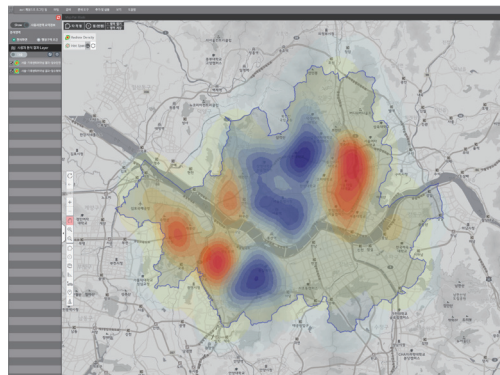
※ 출처 : 다음지도 로드뷰, 2017년 9월 촬영본 갈무리 및 재구성(검색일자: 2018.4.24.)

4) 쉽게 풀이하면, '서울의 맨홀이 많은 저지대이자 비가 오면 물이 자주 고이는 지역 내에서 땅값이 상대적으로 낮은 대지를 거의 채워 비교적 최근에 지은 지하층이 있는 저층 다가구(다세대) 건축물'로 설명할 수 있으나, 이는 학술적 연구를 통해 도출한 일반화된 결과로 실제 현상과 지역적 차이, 특성별 차이에 대한 구체적 연구가 추가 수행되어야 함

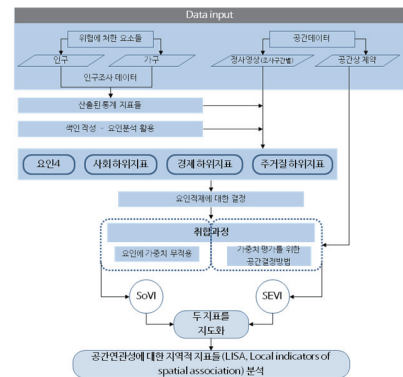
5 정책적 함의

■ 사회적 취약성 모델과 공간정보를 결합한 기후변화 재해 취약성 분석의 활용성

- 건축물은 물리적·경제적·사회적·제도적·환경적 요인이 복잡하게 결부되므로, 건축물을 중심으로 다루는 기후변화 취약성 진단 및 평가모형은 사회적 취약성 모델에 해당
- 이미 많은 연구에서 사회 취약성 모델을 활용하면 일반인들도 쉽게 기후변화 취약성 지도를 GIS를 활용해 분석하고 사용할 수 있음을 제시
 - 인접 공간정보끼리 결합된 소규모 공간정보는 사회경제적인 정보들을 다양하게 포함하고 공간통계 처리가 가능하므로 그 분포를 확인할 수 있어 취약성 분석에 유용
 - 건축물 관련 지표들을 활용해 취약성 분석을 실행함에 있어 사회적 취약성 모델에서 활용하는 과정과 방법을 활용한다면 누구든 건축물 기후변화 취약성 진단 가능



웹 GIS를 활용한 취약 건축물 밀집도(적색)와 안전 건축물 밀집도(청색) 분석



사회적 취약성 모델 지도 작성 흐름도

※ 출처 : Armas and Gavris(2013) 재수정.

■ 취약성을 고려한 기후변화 적응형 건축물 보급 정책의 시작점

- 신 기후체제에서 강조하고 있는 기후변화 ‘적응’의 요소와 노출에 따른 ‘손실과 피해’를 최소화하기 위한 관점을 반영하기 위해서는, 취약성이 높은 필지 내 건축물에 대해 형태나 구성의 조정을 통해 회복탄력성을 확보해야 함
 - 취약성을 유발하는 공간적 요소로부터 건축물이 회복탄력성을 발휘할 수 있도록 건축설계 가이드라인 개발

- 건축 설계 시 취약성 진단 결과를 통해 환경적 요소를 검토하는 과정에서 평균 해발 고도에 비해 낮은 대지 여부를 확인하고, 대지 외부의 지하관거와 연결된 맨홀의 위치와 우수 유출수의 흐름 방향을 고려해 건축물 주출입구의 위치를 정하도록 제안
- 향후 기후변화 적응정책이 건축물 분야에 반영되기 위해서는 기후변화 취약성 진단 모형을 활용하여 집중호우에 취약한 건축물이 입지한 필지를 선별하고, 동시에 안전한 필지를 분리하는 것이 바람직함
- 정책적 판단의 정확성을 높이기 위해서 고해상도의 기후변화 취약성 진단 결과를 ‘기후변화 적응대책 세부시행계획’, ‘재해취약성을 고려한 도시계획’, 재해예방을 위한 ‘저영향 개발 및 물 순환체계 개선’에 관한 정책사업에 적용

이은석 부연구위원 (044-417-9672, enlee@auri.re.kr)

