기본연구보고서 2017-11

신 기후체제 대비 건축물 분야 기후변화 취약성 진단 연구

A Research of the Vulnerability Diagnosis Method
for Buildings on the New International Climate Change Agenda

이은석 Lee, Eunseok
고영호 Ko, Youngho
박성남 Park, Sungnam

aur

기본연구보고서 2017-11

신 기후체제 대비 건축물 분야 기후변화 취약성 진단 연구

A Research of the Vulnerability Diagnosis Method for Buildings
on the New International Climate Change Agenda

지은이	이은석, 고영호, 박성남
펴낸곳	건축도시공간연구소
출판등록	제385-3850000251002008000005호
인쇄	2017년 12월 26일, 발행: 2017년 12월 31일
주소	세종특별자치시 절재로 194, 701호
전화	044-417-9600
팩스	044-417-9608

http://www.auri.re.kr
가격: 10,000원, ISBN:979-11-5659-162-7

연구진

ㅣ연구책임	이은석 부연구위원
ㅣ연구진	고영호 부연구위원
	박성남 부연구위원
ㅣ협동연구진	김태현 한국환경정책평가연구원 부연구위원
	박현주 한국환경정책평가연구원 연구원
	김태현 한국환경정책평가연구원 연구원
	김준현 美 Michigan State University 교수
	박종훈 美 Michigan State University Post Doc.
	김한국 ㈜ Biz-GIS 대표
	황선영 ㈜ Biz-GIS 과장
ㅣ연구보조원	남성우 초빙부연구위원
	지석환 위촉연구원

ㅣ연구심의위원	김상호 선임연구위원
	오성훈 선임연구위원
	김명수 국토연구원 선임연구위원
	강정은 부산대학교 도시공학과 교수
	안용한 한양대학교 건축학과 교수
ㅣ연구자문위원	이동근 서울대학교 생태조경학과 교수
	김경재 건축사사무소 ATELIER KJ 소장
	신상영 서울연구원 연구위원
	윤동근 연세대학교 도시공학과 교수
	정주철 부산대학교 도시공학과 교수

연구요약

Summary

제1장 서론

우리는 늘 접해온 기상재해에 사회적, 물리적, 제도적 방안을 만들며 대비해 왔다. 그러나 최근 빈번한 예상 밖 기상재해라 할 수 있는 이상 기상현상은 그 동안 대비해 온 한계 범위를 뛰어넘고 있다. 특히 자본이 집중되어 있는 도시지역의 피해가 심화되고, 반복적이거나 예상 규모 밖의 피해가 의외의 지역에서 발생한다. 우리 사람은 본능적으로 재해가 발생하면 안전한 장소를 찾아 움직인다. 도시의 여러 가지 목적 중 대표적인 기능은 건축물이 포함된 건조환경(建造環境)을 통해 피난처를 확보하는 것이다. 특히 실내에서 안전함을 기대하곤 한다. 그러나 최근 통계청의 사회조사결과에 따르면, 안전에 대한 인식도 중에서 우리 국민은 건축물과 시설물에서 안전감만을 느끼지 않는다. 건축물도 불안하다. 건조환경에 해당하는 건축물과 시설물은 더 이상 안전함을 대변하지 않는다.

2015년 파리협약 이후 우리나라는 2016년 4월 22일 168 개국이 참여한 기후변화협약 파리협정에 최종 서명했다. 그로인해 국제사회에서 정한 차기 기후변화 정책방향을 공유하고 국가적 목표와 지방에서 실천가능 한 국가 운영체계를 확립해야 한다. 이번 파리협정에서 대표적으로 강조하고 있는 점은 '기후변화 적응'의 이행과 '손실 및 피해' 개념 정립이다. 국가는 기후변화 적응 계획을 수립하고 지방정부의 정책적 이행을 독려하며 결과 모니터링의 의무를 갖는다. 이를 종합한 계획과 이행내용에 관한 보고서를 국제사회에 제출하도록 되어 있다. 손실과 피해에 관해서 국가는 기후변화로 인한 손실과 피해 대응을 어떻게 대비할 것인지와 국제적 협력 강화방안을 모색해야한다.

기후변화 대응정책에는 도시와 건축물에 대한 항목이 별도로 필요하다. 도시생활은 건축물과 밀접하기 때문이다. 사람의 편의에 따라 건물을 짓고 생활하기 위해 인공적으로 환경을 변화시켰기 때문에 자연계와 달리 복잡성이 증가했다. 도시 환경이라 할지라도 예상지 못한 재해와 그 피해에 자유롭지 못하다. 그럼에도 불구하고, 대부분의 사람은 도시에 살며 건축물에서 재해를 피하기도 하고, 그 안에서 피해를 입기도 한다. 피해를

복구하기 위해 임시적으로 머무는 장소 또한 건축물이다. 주요한 경제적 피해와 그에 따른 복구대상에도 도로 등 기반시설과 건축물이 포함된다. 하지만, 우리나라 기후변화 대응정책에는 건축물과 도시환경이 중요하게 다뤄지지 않고 있다.

본 연구를 통해 확인해보고자 하는 연구 질문은 첫째, 특정 자연재해에 대해 반복적인 피해를 받는 건축물의 특성 파악이다. 둘째, 개별 건축물이 갖고 있는 설명 가능한 특징을 파악하고 유사한 특성을 갖는 건축물들의 군집성을 확인하는 것이다. 이는 해당 건축물의 거주자가 반복적인 피해를 입는 이유에 대한 단서를 찾고 향후 건축물이 변경될 수 있는 기회에 피해를 최소화 시킬 수 있는 방향성을 모색하기 위함이다.

제2장 기후변화 적응 정책·연구동향

기후변화 적응정책에서 도시는 건축물이 밀집된 환경으로 인해 적은 일조시간, 열섬에 의한 고온현상, 건조화, 평균 풍속의 저하 등이 발생하며 이로 인한 취약성 증가에 대한 논의가 이뤄지고 있다. 도시가 갖는 사회적 특수성이 존재 하지만, 이러한 취약성 평가 부문은 농업, 어업 등 1차 산업을 대상으로 한 기후변화 취약성과 적응 전략들의 수립 유형의 차이를 제외하고 전반적인 정책적 차별성은 크게 차이를 보이지 않는다.

해외의 주요한 적응 정책을 살펴보면, 회복탄력성 증대 방안, 정부와 지역 간 동반 관계 구축, 최고의 과학기술과 데이터 활용, 커뮤니티의 지속가능성 제고 측면에서 세부적인 전략들이 도출되고 있다. 구체적으로 정책과 전략 수립을 위한 기금과 예산 지원, 대기질 개선, 수자원 및 생태계 보호, 위험지역 조사 및 종합계획 수립을 위한 준비 등 높은 수준의 적응정책이 진행되고 있다.

국내는 「국가 기후변화 적응대책」을 수립하면서 농수산·건강·생태계·인프라 등의 취약성을 분석하기 시작했고, 기후변화 리스크 파악 및 우선순위를 결정하는 등의 과정이 이루어졌다. 또한, 최신기술을 활용한 웹기반의 취약성 평가도구들의 개발과 고도화가 진행되었다. 건축물과 관련해서는 연안 건축물과 침수에 취약한 주거지역에 대한 위험을 평가하고, 대규모 산업단지들에 대한 기후변화 영향 및 취약성 평가체계를 구축하였다. 또한 도시의 취약성 매뉴얼을 제작하여 도시취약성에 건축물을 포함하여 요소들을 도출하는 연구들이 진행되었다.

기후변화에 의한 재해가 피해를 유발하는 사건으로 정의되고, 우리가 생활하는 사회적 영역을 건축물이라고 했을 때, 건축물로 인한 위험과 피해를 최소화하기 위해서는 건축물과 관련한 물리적 환경, 자연환경, 건조 환경과 더불어 사회적 복잡성을 파악해야한

다. 그 결과를 바탕으로 취약성의 정도를 알 수 있게 되며, 예방을 위한 적응체계 구축에 활용할 수 있을 것 이다.

현재 국내 기후변화 적응 정책수립에 활용중인 기후변화 취약성 진단 도구들은 공간적 범위를 행정구역(최대 기초지방자치단체 구역기준)으로 하고 있어 행정구역범위를 넘나드는 환경·지리적 영향에 따른 진단에 한계가 있다. 따라서 취약성을 분석하기 위해 기초분석 단위의 최소화를 고려하되, 기초분석 단위가 갖고 있는 사회적 여건을 파악해야한다. 즉, 시간, 기능, 공간이 인간 활동을 매개로 연결되고 있고, 과거기록은 통계적으로 해석이 가능하므로 기초분석단위가 내포하고 있는 정보를 사회과학적 통계가 적용될 수 있도록 구축해야한다. 이는 적응계획을 수립하는데 근거로 활용 될 수 있다.

즉, 건축물을 중심으로 기후변화 취약성 진단 모형을 고려하기 위해서는 건축물을 통해 설명 가능한 사회적 요소를 규명해야하고, 노출, 민감도, 사회적 대응, 회복탄력성을 설명할 수 있어야 한다. 따라서 연구의 시간적 범위에 해당하는 동안 건축물을 중심으로 사회적 요소들을 파악하고 각각의 관계를 통해 취약성을 설명할 수 있는 기초 데이터베이스 구축이 필요하다.

제3장 기후변화 취약성 분석체계 정립

기후변화 적응에 대한 분류체계는 예상되는 기후영향 유형으로 구분해 단순화해야 한다. 각 유형에 따른 취약성 진단은 공간을 기본 단위로 한다. 높은 해상력을 갖기 위한 방법론은 진단의 공간단위를 행정구역으로 볼 것이 아니라 실제 국민이 생활하는 시설·필지 또는 건축물을 기준 공간단위로 하고, 이를 합한 공간적 분포를 해당 기후변화 영향에 따른 취약영역으로서 파악할 수 있도록 상향식 방법이 적합하다.

기후변화에 따른 영향은 주로 기상현상과 연결된다. 예기치 못한 상황에서 나타나는 태풍·강풍, 폭염, 폭설, 해수면상승, 집중호우, 지속적 기온상승이 대표적이라 할 수 있다. 본 연구는 다양한 기후변화 영향에 의한 기상현상 중 피해를 받는 인구의 수와 사망 등 인명피해를 다수 동반하는 집중호우를 취약성 진단을 위한 대상현상으로 한다.

본 연구에서 적용할 취약성 진단 대상은 집중호우에 따른 침수현상이다. 집중호우에 의한 침수는 환경부에서는 내수배제시설(우오수관)에 의한 침수, 지표면 유출량에 의한 침수, 지하수위 상승에 의한 침수, 내수 및 외수 수위 상승에 의한 침수 등으로 정리하고 있다.

대부분의 국민이 거주와 생산 활동으로 시간을 보내는 주거용 및 비주거용 건축물은 본 연구의 주요 공간적 범위이자 연구대상이다. 건축물은 부동산으로서 가치를 갖고 있으

면서 개인과 공공의 재화가 보호되고 사용되는 공간이다. 경제적 가치가 밀집된 건축물은 피해를 보게 되면 복구에 추가적인 시간과 재화가 투입되어야 한다. 따라서 건축물은 기후변화에 따른 재해에 얼마나 견딜 수 있는지, 또는 반대로 재해에 얼마나 취약한지에 대한 진단대상으로 중요한 가치를 지닌다.

공간적 범위를 건축물로 선정함에 있어 중요한 요소 중 하나는 그 공간이 취약성 진단 대상 재해의 피해를 입은 경험이 존재해야 한다는 것이다. 본 연구는 도시지역이면서, 집중호우에 의한 침수현상을 2회 이상 반복적으로 겪은 피해지역의 건축물을 연구대상으로 한다. 해당 조건을 확인하기 위해서는 건축물이 밀집되어 있는 피해지역의 영역이 기록된 공간 자료가 필수적이다. 전국 침수피해흔적도를 분석해 해당 조건에 합당하는 도시를 선별했다.

지표수침수 위험 건축물 분석의 기본개념은 실제 침수지역이 지닌 건축물의 설명변수를 통해 고유한 특성을 찾아내어 기준으로 삼고, 그 기준과 동일한 건축물 특성을 지닌 건축물의 공간적 분포를 찾는 것이다. 이와 같이 침수지역에 속한 건축물의 특성을 찾는 방법은 사회조사방법론에서 통상적으로 활용되고 있는 다중선형회귀모델 중 최소자승법을 사용하여 침수지역을 설명하는 건축물 설명 변수들의 관계성을 판단한다. 모형의 설명변수의 계수로 설명력이 부족한 특성은 잔차를 통해 확인되는 공간적 분포 패턴을 파악하여 유의 도를 높이는 과정을 거친다.

본 연구에서는 기후변화의 영향중 지표수 침수가 건축물에 미치는 영향성을 진단하는 모형을 만드는 것이므로 건축물이 존재하는 대지 내 주요 건축물의 특징을 중심으로 적용하기로 했다. 따라서 건축물대장상 건축물의 대표성을 설명하는 총괄표제부에 기입되어 있는 정보를 중심으로 지표면 침수 취약성 진단에 활용 가능한 변수를 선정해 기초변수로 사용했다.

건축물대장 표제부 정보 중 누락정도가 가장 적은 데이터 중에서 기후노출, 민감도, 적응능력에 적용 가능한 지표를 선정했다. 침수에 대해 건축물 입지환경을 설명하는 지표를 포함했다. 도시지역의 지표수 침수현상에 영향을 주는 지표수 집적도, 인접 맨홀밀도, 평균 해발고도차를 포함했으며, 적응능력과 관련한 사회적 지표로 공시지가를 추가했다.

제4장 건축물 재해 위험성 분석 및 취약성 진단 적용

본 연구의 재해위험성 분석 및 취약성 진단의 대상과 데이터베이스 구축의 범위는 서울특별시로 했다. 가장 기본이 되는 공간위치 정보는 서울특별시 GIS 정보 중 연속지적도를 사용했다. 이는 테이블로 구성되어 있는 건축물 대장정보를 공간정보화 하기에 중요한 매개 자료이다. 본 연구에 사용된 서울특별시 연속지적 필지 수는 977,955개 이다. 기초 데이터베이스는 기후변화 취약성 설명에 필요한 기후노출, 민감성, 적응능력을 고려해 건축물대장정보, 사회적 정보, 지리적정보로 구분해 수집한 뒤 하나의 데이터베이스로 구성했다.

기후노출대상지역인 침수피해를 입은 지역 내 건축물의 특성을 공간회귀분석을 통해 도출한다. 공간회귀분석 모형은 최소자승법(Ordinary Least Square Method : OLS)을 사용한다. 서울특별시 전역에서 침수피해를 입은 사건을 최대 취약성으로 정의하고 그 값을 '1'로 표출한다. 피해를 입지 않은 지역을 '0'으로 정한다. 최소자승법에 의해 '1'에 해당하는 지역 내 건축물 대장 정보, 사회적 정보, 지리적 정보가 입력된 필지의 특성을 회귀방정식으로 도출한다.

건축물 정보 간 관계성을 바탕으로 공간회귀방정식을 해석하면, 반복 침수피해의 위험성이 높은 서울지역의 건축물은 건폐율 클수록, 용적률이 낮을수록, 가구 수가 클수록, 층수가 낮을수록, 지하층수가 클수록, 건축물 사용기간이 짧을수록, 공시지가가 낮을수록, 인접 맨홀밀도가 클수록, 지표수 집적도가 클수록, 해당 필지의 해발고도가 평균이하일수록 취약성이 큰 것으로 설명할 수 있었다.

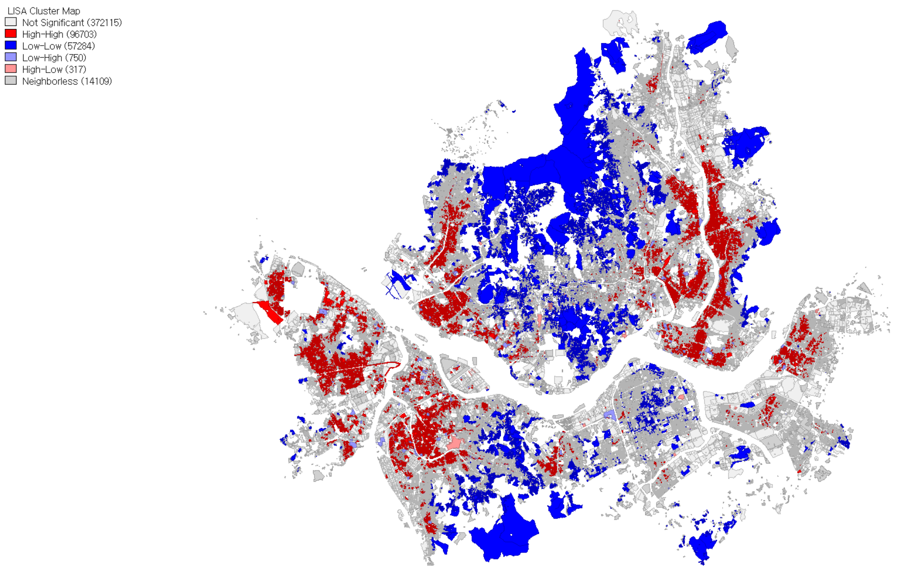
건축물을 중심으로 다룬 본 연구의 반복재해 위험성은 건축물의 생산과 사용, 멸실에 대한 이해를 기반으로 한다. 즉, 건축물은 물리적 요인, 경제적 요인, 사회적 요인, 제도적 요인, 환경적 요인 등이 복잡하게 결부된다는 점이다. 따라서 건축물을 중심으로 다루는 기후변화 취약성 진단 및 평가모형의 유형은 사회적취약성 모델을 선택해야한다.

이미 많은 연구에서 사회취약성 모델을 활용하면 일반인들도 쉽게 기후변화 취약성 지도를 GIS를 활용해 분석하고 사용할 수 있음을 제시하고 있다. 일정 공간 단위를 기준으로 제공되는 공간정보는 사회경제적인 정보들을 다양하게 포함하고 그 분포를 확인할 수 있기 때문에 공간통계 처리가 가능하므로 취약성 분석에 매우 유용하다. 따라서 앞절에서 제시한 건축물 관련 지표들을 활용해 취약성 분석을 실행함에 있어 사회적 취약

성 모델에서 활용하는 과정과 방법을 활용한다면 누구든지 건축물 중심의 기후변화 취약성 진단이 가능할 것이다.

우리는 신 기후체제에서 강조하고 있는 기후변화 '적응'의 요소와, 노출에 따른 '손실과 피해'를 최소화하기 위한 관점을 반영하기 위해서는 취약성이 높은 필지 내 건축은 건축물의 형태나 구성의 조정을 통해 회복탄력성을 확보 할 수 있는 기능을 반드시 갖추어야 한다. 따라서 환경적 요소를 검토하는 과정에서 평균해발고도에 비해 낮은 대지여부를 확인하고, 대지 외부의 지하 관거와 연결된 맨홀의 위치와 우수 유출수의 흐름방향을 고려해 건축물 주출입구의 향을 정하도록 제안할 수 있다. 즉 취약성을 유발하는 공간적 요소로부터 우수유출수의 유입을 최대한 막을 수 있는 건축 형태 구상에 취약성 진단결과를 활용할 수 있다.

본 연구의 기후변화 취약성 진단모형은 집중호우에 취약한 건축물이 입지한 필지를 선별해 내고, 동시에 안전한 필지를 도출 할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 필지단위 결과를 도출하기 때문에 공간적 해상도 또한 매우 높아 지방정부의 정책적 활용성은 다양하다 할 수 있다. 본 취약성 진단모형과 관계된 정책은 취약성을 중점적 대상으로 한 기후변화 적응대책 세부시행계획, 재해취약성을 고려한 도시계획을 비롯해 안전한 지역을 중심으로 재해예방을 위한 저 영향 개발 및 물 순환체계 개선에 관한 정책 사업에도 활용 가능할 것으로 예상한다.



[LISA 분석결과 군집 분석결과로 도출된 위험지역(적색:HH)과 안전지역(청색:LL)]

주제어

반복재해 위험성, 건축물 빅 데이터, 공간회귀모형, 기후변화 적응정책, GIS

차 례 TABLE OF CONTENTS

표차례 LIST OF TABLE

그림차례 TABLE OF FIGURES

그림차례 TABLE OF FIGURES

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구배경 및 필요성

□ 이상 기상현상으로 인한 도시지역의 인명·재산상 피해 증가

우리는 늘 접해온 기상재해에 장시간 사회적, 물리적, 제도적 방안을 만들어 대비해 왔다. 그러나 최근 빈번한 예상 밖 기상재해라 할 수 있는 이상 기상현상은 그 동안의 대비해온 한계범위를 뛰어넘고 있다. 특히 자본이 집중되어 있는 도시지역의 피해가 크며, 피해는 반복적이거나 예상 규모 밖이거나 의외의 지역에서 발생한다. 재해가 발생하면 안전한 장소를 찾아 움직인다. 도시지역은 대표적으로 건축물이 포함된 건조환경(建造環境)이 피난처가 된다. 특히 실내에서 안전함을 기대하곤 한다. 그러나 최근 통계청의 사회조사결과에 따르면, 안전에 대한 인식도 중에서 우리 국민은 건축물과 시설물에서 불안감과 안전감을 동시에 느끼고 있다[1]. 건조 환경에 해당하는 건축물과 시설물은 더 이상 안전함을 대변하지 않는다.

도시지역에서 이상 기상현상은 인명·경제적 피해의 원인으로 지목된다. 특히, 인구와 재화가 밀집된 도시지역일 수 록 그 피해규모는 증가한다. 도시화가 이뤄진 지역일수록

1) 통계청 보도자료(2015.11.16.), 2016년 사회조사 결과 건축물과 시설물은 33.8%가 불안함을 느낀다고 답했으며, 20.7%만 안전함을 느낀다고 답했다.

인구가 많고 토지가격이 높으며 고가의 재화의 유동이 많기 때문이다. 이상 기상현상에 따른 피해 특징을 살펴보면, 경제적 피해가 제일 큰 현상은 침수이며[2], 사망률을 높이는 주요한 현상은 폭염으로 알려져 있다 [3]. 이상 기상현상의 원인은 맥락 적으로 기후변화와 맞닿아 있다. 지구온난화는 기후변화의 원인으로 알려져 있다. 지구 온난화에 따른 지구적 대기흐름은 과거와 다른 패턴을 야기한다. 달라진 패턴은 과거부터 현재까지 축적해 온 기상현상과 관련한 경험의 범위를 넘어서는 현상을 일으킨다. 이런 현상을 이상 기상현상으로 이해한다. 대게 통상적 경험 범위를 넘어서는 강풍, 폭설, 가뭄, 폭우, 해수면 상승 등으로 통용되고 있다.

우리나라 역시 이상기상 현상에서 자유롭지 못하다. 최근 국지성 폭우, 해일, 산사태, 침수, 폭염, 폭설이 빈번해 지고 있으며, 이로 인한 인명과 재산 피해가 적지 않다. 2017년 충청북도 청주시에 내린 22년만의 폭우[4], 인천시 반 지하 밀집지에 집중호우[5], 2016년 부산 해운대구 해일[6], 2016년 인천 소래포구 해안 침수[7], 2014년 강원도 최장기간 폭설[8], 2010년과 2011년 연속 발생했던 서울지역 국지성 폭우 피해와 산사태 등 관측사상 유래 없는 이상 기상현상이 잦아지고 있다.

기후변화를 떠나서 예측 불가능한 자연재해가 도시에서 발생한다면 우리가 안전 처로 여기고 있는 건축물은 피해와 손실을 최소화해야할 수 있어야 한다. 지금 우리가 생활하는 건축물은 재해에 따른 잠재적 위험요소를 함께 지니고 있는 것 또한 현실이다. 건축물의 주요한 기능 중 하나는 재해가 발생한 뒤에 다시 원상태로 빠른 시간 내에 생활 할 수 있도록 우리 삶의 지속성을 담보하는 것이다.

□ 신 기후체제에서 제시된 새로운 패러다임에 따른 방향성 제고

2015년 12월 파리협정에 의한 신 기후체제가 출범함에 따라 기후변화 정책에 대한 국제사회는 새로운 패러다임에 협력해야 한다. 1997년 국제사회는 교토의정서를 통해 온실가스 배출량이 많은 선진 국가를 대상으로 온실가스 감축 의무를 지워 이행을 촉구했었

2) CRED (2016), The Human Cost of Weather Related Disasters 1995-2015, UNISDR, p13

3) 김도우 외 3인 (2014), 우리나라 폭염 인명피해 발생특징, Atmosphere. Korean Meteorological Society, Vol. 24, No. 2 (2014) pp. 225-234

4) 연합뉴스, ‘청주 22년만의 홍수...290mm비, 침수·정전·단수 '아수라장‘', 2017.7.16.일자 보도

5) 연합뉴스, ‘인천 110mm 폭우...사망1명, 주택 등 547곳 침수’, 2017.7.23.일자 보도

6) 허핑턴포스트코리아, 해운대 마린시티 침수피해가 유독 큰 이유는 매우 한국적이다. 2016.10.5.일자 보도

7) 경인일보, '해수면 최고 수준 상승' 소래포구 등 인천 해안지역 이틀째 침수‘, 2016. 10.18.일자 보도

8) 연합뉴스, ‘'역대 최장 폭설‘ 피해 눈덩이처럼 증가... 수백억 예상’, 2014.2.14.일자 보도

다. 그러나 온실가스 배출량의 대부분을 차지하는 국가들이 불참하면서 반쪽짜리 기후변화 정책이 되었다. 교토의정서 이후 국제사회는 10여 년 간 기후변화의 징후들이 복합적으로 보고됨에 따라 기후변화를 인정하고 현재를 위한 '적응'과 미래를 위한 '감축'을 동시에 이행에 대한 필요성을 인식했다. 이러한 이유로 우리나라를 포함한 168개 국가의 대표는 프랑스 파리에서 개최된 제 21차 UN 기후변화 당사국 총회(COP21)에서 새로운 기후변화 아젠다에 동의했다.

2015년 파리협약 이후 우리나라는 2016년 4월 22일 168 개국이 참여한 기후변화협약 파리협정에 최종 서명했다. 따라서 국제사회에서 정한 차기 기후변화 정책방향을 공유하고 국가적 목표와 지방에서 실천가능 한 국가 운영체계를 확립해야 한다. 이번 파리협정에서 대표적으로 강조하고 있는 점은 '기후변화 적응'의 이행과 '손실 및 피해' 개념 정립이다. 국가는 기후변화 적응 계획을 수립하고 지방정부의 정책적 이행을 독려하며 결과를 모니터링 해야 하는 의무를 갖는다. 계획과 이행내용에 관한 보고서를 국제사회에 제출하도록 되어 있다. 손실과 피해에 관해서는 기후변화로 인한 손실과 피해 대응을 어떻게 대비할 것인지와 국제적 협력을 강화함을 제시하고 있다.

기후변화 '적응'과 '손실 및 피해'를 우리생활에 어떤 방식으로 연계해야 할 것인가는 중요한 고민거리가 될 것이다. 우리나라는 미래를 위한 '온실가스 감축'과 현재를 위한 '기후변화 적응'을 동시에 포괄하는 기본체계를 갖춰야 한다. 그 동안 우리나라는 건축물 중심의 온실가스 감축 활동은 다양한 시행착오를 겪으면서 정책과 계획적 체계를 갖춰왔으나, 기후변화 적응과 손실 및 피해는 새로운 준비가 필요하다. 우선적으로 국내 여건을 진단해야 한다. 동시에 국제적 협력체계에 동참하기 위한 개발도상국의 회복력 강화, 적응역량 증진과 같은 활동을 대비해야하는 시점에 와 있다.

[표 1-1] 교토의정서 (COP3, 1997)와 신 기후체제 (COP21, 2015) 비교

구분	교토의정서	파리협약
범위	온실가스 감축에 초점	감축을 포함한 포괄적 대응 (감축, 적응, 재정지원, 기술이전, 역량강화, 투명성 제고)
감축대상국가	37개 선진국 및 EU (미국, 일본, 캐나다, 러시아, 뉴질랜드 불참)	선진·개발도상국 모두 포함
감축목표 설정방식	하향식	상향식
적용시기	1차 : 2008~2012년 2차 : 2013~2020년	2020년 이후 발효

출처 : 유엔기후변화협약(UNFCCC), http://unfccc.int/, 재구성

□ 국가적으로 기후변화 대응 정책 마련하고 있으나 실효적 효과에 의문 제기

우리나라는 2011년부터 지금까지 「국가 기후변화 적응대책」을 시행 중이다. 2011년 시행된 제 1차 대책은 기후변화 적응관련 최초의 법정 국가계획으로 14개 중앙정부 부처가 참여해 국제적 아젠다에 대응하기 위한 10개 부문 87개 세부과제를 만들었다. 국가계획에 의거해 16개 광역지자체 및 33개 기초지자체는 기후변화 적응계획을 시범적으로 수립했다. 현재 시행중인 2차 대책은 2016년부터 2020년까지 적용된다. '기후변화로 인한 위험감소 및 기회의 현실화'를 목표로 '과학적 위험관리', '안전한 사회건설', '산업계 경쟁력 강화', '지속가능한 자연자원관리'를 4대 정책부문으로 정하고, 국내·외 이행 기반 마련과 점검평가를 위한 별도 부문을 만들어 시행중이다[9].

현재 운영 중인 국가 기후변화 적응대책은 도시 및 건축물을 별도 대상으로 규정하고 있지 않다. '안전한 사회건설' 정책 부문에서 '취약지역·시설관리', '재난·재해 관리'가 도시 및 건축물과 연관된다. '취약지역·시설관리'는 자연재해위험개선지구, 하수도정비중점관리지역 지정·관리, 붕괴 위험지역 정비, 연안지역 홍수 취약성 분석 및 침수예상도 작성 등의 내용을 담고 있다. '재난·재해 관리'는 재해 예방형 도시계획 수립기준 마련, 적설하중을 고려한 건축물 설계기준 개선, 상습침수위험지역 관리, 피해저감 및 복구기술 개발·적용 등과 같은 내용이 담겨있다[10].

기후변화 대응정책에는 도시와 건축물에 대한 항목이 별도로 필요하다. 도시생활은 건축물과 밀접하기 때문이다. 사람의 편의에 따라 건물을 짓고 생활하기 위해 인공적으로 환경을 변화시켰기 때문에 자연계와 달리 복잡성이 더 해졌다. 도시 환경이라 할지라도 예상지 못한 재해와 그 피해에 자유롭지 못하다. 그럼에도 불구하고, 대부분의 사람은 도시에 살며 건축물에서 재해를 피하기도 하고, 그 안에서 피해를 입기도 한다. 피해를 복구하기 위해 임시적으로 머무는 장소마저도 건축물이다. 주요한 경제적 피해와 그에 따른 복구대상에도 도로 등 기반시설과 건축물이 포함된다. 하지만, 우리나라 기후변화 대응정책에는 건축물과 도시환경이 중요하게 다뤄지지 않고 있다.

2020년까지 운영될 국가 기후변화 적응대책으로 열거되어 있는 항목이 갖고 있는 공통점은 기후변화 적응대책의 유효한 적용을 위해 세부적 현황 진단과정과 대책 간 개연성을 찾기 어렵다는 것이다. 예를 들면, 현 대책에서 언급하고 있는 피해유형은 이상 기상

---

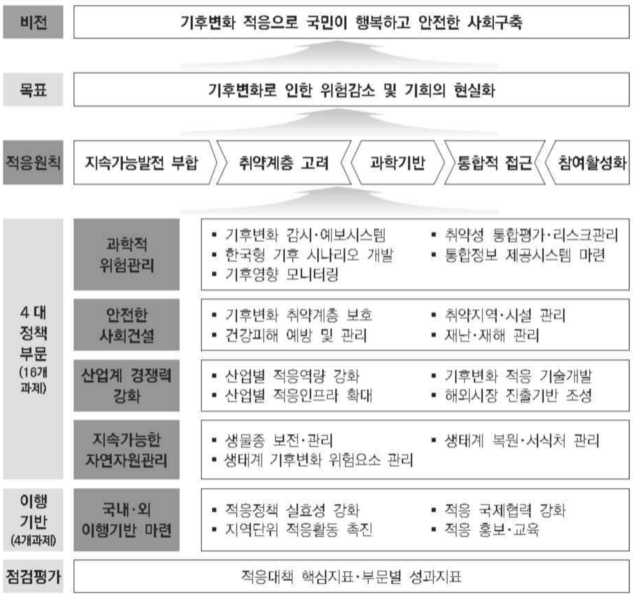
9) 관계부처합동 (2015.12) 제2차 국가 기후변화 적응대책

10) 관계부처합동 (2015.12) 제2차 국가 기후변화 적응대책

현상의 유형 중에서 침수에 국한되어 있어 다른 기후변화에 따른 피해에 대한 대책은 의문이다. 또한, 취약 지역과 취약 시설에 대한 대책은 기 지정된 지역과 시설에 대한 언급만 있을 뿐, 추가로 지정하거나 취소에 필요한 진단과정과 대책 간 개연성은 찾아보기 어렵다.

기후변화 적응계획은 기후변화에 대한 과학적 이해를 기초로 기후변화 유형에 따른 시계열적 시나리오에 기반을 둔 진단이 필수적이다. 예측이 난해한 기후변화 현상에 따른 피해 최소화를 목적으로 갖고 있는 대책이 과학적 진단결과 없이 이행되는 것에 대한 정책운용상 실효성 문제를 제기할 수밖에 없다. 이는 국가계획의 체계를 근간으로 국민을 대상으로 한 지방자치단체의 기후변화 적응계획이 수립되기 때문이다.

종합해 보면, 2015년에 국제사회가 합의한 신 기후체제에서 다룬 온실가스 감축을 포함한 포괄적 대응 항목은 대전제 차원에서 반영되었다. 하지만, 2020년 발효 후 실제적 이행을 대비하고, 사전 준비를 위한 정책이라는 측면에서 성급한 측면이 다소 보이는 대책이다. 더욱이, 파리협약에는 기후변화에 따른 '손실과 피해' 문제를 별도 조항으로 규정하고 있어 보완이 필요하다. 실생활에 중점을 둔 기후변화 양상의 이해, 그 이해에 기초한 현상 진단, 진단결과에 따른 차별화된 정책 적용이 필요하다. 대책의 적용 대상으로 도시와 건축물이 생활환경 및 공간과 관련한 항목에 포함돼야 한다.



[그림 1-1] 제2차 국가기후변화적응대책의 기본운영체계
출처 : 관계부처합동 (2015.12) 제2차 국가기후변화 적응대책 보고서

□ 예측 불가 한 기상재해 위험성을 건축물을 통해 완화할 수 있는 방안 모색

앞서 언급한 바와 같이 기후변화 정책은 국제사회, 국가, 지방정부, 국민에 이르기 까지 하나의 방향성을 공유한 체계를 갖춰야 한다. 특히 기상재해의 위험성을 실생활에서 최소화 할 수 있는 방안을 모색해야 한다. 이러한 실천과제의 결과가 모여 국가적 목표달성에 이바지 할 수 있는 정책체계가 필요하다.

정책체계를 만들기 위해서 우선적으로 이행되어야 할 일은 현재 여건 진단이다. 겪어보지 못해온 기후변화 관련 위험성은 우리가 인지하지 못하고 지나칠 가능성이 높다. 즉, 과거 발생한 자연재해에 초점을 두어서는 충분한 해결안을 얻을 수 없기 때문에 도시화에 의해 인위적으로 변화된 환경조건을 이해하고 그 위험성을 견딜 수 있는 범위를 파악하는 것이 필요하다. 따라서 기후변화 취약성 평가 또는 진단은 정책의 체계를 구축함에 있어 매우 중요하다 (Birkmann et al.,2013;Maskrey 1984; Chambers 1989; Pelling 1997; Birkmann 2006a, b; Adger 2006; IPCC 2007;Oxfam America, 2009).

건축물은 기후변화의 대상으로 설정함에 있어 사회적 수요와 공급에 의해 결정된 인공물이라는 점을 중요하게 인식해야한다. 사회적 수요에 의해 얼마든 변화 가능한 요소이기도 하지만, 반대로 사회적 수요가 없다면 반영구적인 구조물이기도 하다. 신 기후체제에 따른 패러다임의 변화를 건축물의 수요와 공급 논리에서 수용하고 국민 개개인의 삶에 기상재해의 위험성 진단 또는 평가 결과를 바탕으로 최소화 한다면 기후변화 적응과 손실 및 피해 최소화에 대한 국제적 협력을 건축물을 통해 이뤄나갈 수 있을 것이다.

2) 연구목적

(연구필요성) 신 기후체제 아래서 이행해야 할 '기후변화 적응계획'과 '손실 및 피해'에 대한 과업 이행은 단순한 체계로 완성될 수 없다. 기후변화로 말미암아 예상되는 복잡한 현상을 이해하고 현상에 의한 손실과 피해를 최소화 할 수 있는 체계적 계획과 실행이 수반되어야 한다. 따라서 자연과학계에서 연구 중인 우리나라의 기후변화 영향에 대한 연구결과를 바탕으로 국민이 받을 수 있는 영향을 생활환경에 따라 차별적으로 파악해 낼 수 있어야 한다. 이 때 반드시 필요한 과정은 주요 생활환경인 건축물을 중심으로 한 취약성 분석과 진단이다.

(연구대상 및 관점) 취약성 분석과 진단 대상을 공간으로 하면, 기후변화 적응과 손실 및 피해에 대해 건축물을 비롯한 공간의 계획 적정성을 판단하는 근거가 된다. 기후변화 학계는 취약성 분석을 기후노출, 민감도, 적응능력의 변수로 이뤄진 함수로 정의한다. 하지만 취약성 진단 대상이 거주 지역이자 건축물이라면 기후변화 분야에서 정의하는 취약성과는 다소 의미적 차이가 존재할 수 있다. 연구의 배경에서 언급한 바와 같이 건축물은 사회시스템에 의해 구축되므로 사회적 관점에서 접근 할 필요가 있기 때문이다.

(연구 질문) 본 연구를 통해 확인해보고자 하는 연구 질문은 첫째, 특정 자연재해에 대해 반복적인 피해를 받는 건축물의 특성을 파악하는 것이다. 둘째, 개별 건축물이 갖고 있는 설명 가능 한 특징을 파악하고 유사한 특성을 갖는 건축물들이 어떻게 주변지역에 분포하고 있는지를 확인하는 것이다. 이는 해당 건축물의 거주자가 반복적인 피해를 입는 이유에 대한 단서를 찾는 것과 향후 건축물이 변경될 수 있는 기회에 피해를 최소화 시킬 수 있는 방향성을 확인할 수 있는지 파악해 보기 위해서다.

(연구방향) 구체적으로 건축물의 특징을 설명할 수 있는 물리적, 사회적, 환경적 요소들을 찾고 각 요소 간 영향관계를 사회연구방법론을 활용해 파악한다. 요소 간 관계성은 향후 개별 영향요소를 중심으로 건축물의 손실과 피해를 최소화 할 수 있는 방법을 모색하는데 활용해 보고자 한다. 둘째, 실제 반복 피해를 받았던 건축물과 유사한 특성을 갖는 건축물들이 실제로 어떻게 공간적으로 분포하고 있는지 확인해보고자 한다. 이는 위험성을 안고 있는 건축물의 실제에 가까운 분포를 알 수 있게 되므로 제도적 장치를 통해 향후 사회적 노력에 의해 그 위험성과 취약성을 최소화 할 수 있는 대상을 명확히 할 수 있을 것으로 예상한다.

(연구결과 및 활용성) 최종적으로 건축물을 중심으로 한 각종 요인과 세부 요소들을 기후변화의 영향에 대한 취약성 분석 및 진단에 활용가능성을 제안하고자 한다. 이는 정책적 활용성과 연계된다. 건축물을 구성하는데 이해 가능한 요소들을 정보화 하고 이 중 취약성 진단

의 변수인 노출, 민감성, 적응능력과 관계된 변수들을 정리해 제안하고자 한다. 향후 건축물 분야 기후변화 취약성 진단을 함에 있어 기초데이터 구성을 어떻게 해야 하는지에 대한 방향성을 제시하는데 의미를 두며, 신 기후체제에서 강조하고 있는 적응과 손실 및 피해 최소를 건축물을 통해 보완해 나갈 수 있는 건축·도시정책을 수립하는데 논리적 근거로서 활용되길 기대한다. 본 연구의 목적을 정리하면 다음과 같다.

① 첫째, 이상기상현상에 의해 반복 피해를 받는 건축물의 특성과 공간적 분포분석

② 둘째, 건축물 분야 기후변화 취약성 진단 시 활용 가능한 빅-데이터 세트 제안

③ 셋째, 기후변화 적응계획에서 건축물 분야 개별 수립의 필요성 제시 및 정책 활용 방안 제시

(협동연구추진체계 구축) 더불어, 본 연구는 본 주제와 관련한 새로운 융·복합 연구체계와 팀 구성을 시도하는데 목적이 있다. 새로운 기후체제를 이해하고 기후변화분야에서 다루지 않은 건축물을 연구대상으로 하므로 기후변화 취약성과 관련해 개별 전문성을 갖춘 기관과 산·학·연간 융·복합연구를 시도한다. 신 기후체제의 국제적 최신 정보와 취약성 진단 기법에 관한 연구를 미국 미시건주립대학의 School of Planning, Design and Construction 연구 팀에서 담당하고, 국내 기후변화 적응계획 및 정책을 선도하고 있는 한국환경정책평가연구원에서 국내 선진기법과 기초정보의 유형과 범위를 연구했으며, ㈜ Biz-GIS에서 공간정보를 웹지도를 통해 표현할 수 있는 정보체계를 구축했다. 건축도시공간연구소는 연구의 체계를 확립하고 개별 연구팀의 연구결과를 바탕으로 분석에 사용되는 건축물 빅데이터 베이스를 구축해 이상기상에 의한 자연재해 피해를 반복적으로 입는 건축물의 특성을 종합 설명했다.

2. 연구범위 및 방법

1) 연구범위

□ 이상기상 현상에 따른 대상 재해 및 취약성 진단 대상의 공간적 범위

본 연구의 범위는 반복 발생했던 재해와 공간을 연계해 정하고자 한다. 본 연구에서 정한 대상 재해는 최근 수차례 반복된 국지성 호우와 그에 따른 침수다. 침수는 재산상 피해 정도가 가장 많은 재해이면서, 도시화에 의한 인공적 환경변화에 따라 발생유형이 다변화 되고 있어 그 영향을 주목 할 필요가 있다. 우리나라는 기후 특성상 침수의 위험성이 여름–가을철에 걸쳐 존재한다. 더불어 국지성 호우의 빈도와 지속시간, 강우범위가 예측 범위를 넘어서는 이상기상 현상이 빈번해 지고 있다. 과거에 침수피해가 매우 드물던 지역이 큰 피해를 받는 경우도 자주 발생하고 있다. 위와 같은 국지성 호우에 따른 침수는 시기적으로 볼 때 신중한 연구가 필요한 대상이다.

이 침수와 연계한 공간적 범위는 서울특별시내 건축물과 그 분포를 대상으로 한다. 구체적으로 서울특별시 전체 필지 97만 여개 중 건축물이 있는 55만 여개 필지를 대상으로 한다. 서울특별시는 2010년 9월 (시간당 최대 71.0mm), 2011년 7월 (시간당 최대 57.5mm) 두 차례 발생한 집중호우에 따른 침수 피해규모와 공간적 범위를 명확하게 기록 및 공개하고 있어 반복 발생한 재해와 그 피해를 받은 건축물의 특성을 연계해 파악할 수 있는 적합한 대상이라 할 수 있다.

□ 건축물 분야 기후변화 취약성 진단을 위한 시간적 범위

건축물 분야 기후변화 취약성 진단을 위한 시간적 범위는 서울특별시에 국지성 호우에 따른 침수피해기록이 공식적으로 명확하게 남아있는 시점을 기준으로 한다. 대표적으로 서울특별시 세종로 및 광화문 일대에 피해를 입혔던 2010년 9월 21일과 우면산 산사태를 야기했던 2011년 7월 27일을 기후노출에 따른 피해에 대한 시간적 범위로 한다.

건축물과 관련한 공간정보의 기준년도는 피해가 발생했던 2010년과 2011년도 건축물의 정보를 모두 확인 할 수 있도록 2012년을 기준 년도로 한다.

□ 연구의 내용적 범위

본 연구의 내용적 범위는 기후변화 적응계획의 국내외적 동향, 기후변화 적응계획에 적용되는 취약성 진단 방법론의 국내외적 동향, 취약성 진단 모형 적용을 위한 기초데이터 사례 및 구축방법, 집중호우에 따른 침수현상을 중심으로 한 건축물 기후변화 취약성 진단 모형의 개발과 적용결과 도출, 개발한 취약성 진단 모형의 정책적 활용성 검토로 요약할 수 있다.

구체적으로 기후변화 적응계획의 국내·외적 동향은 우리나라가 국가계획으로서 기후변화 적응계획을 수립함에 있어서 국제적 시류에 맞고, 건축물과 도시지역을 계획 적용대상으로 포함해야 할 당위성을 찾는데 활용한다. 기후변화 적응계획의 중심 목표는 국민의 지속가능한 삶에 두고, 기후변화에 따른 노출 특성이 변화함에 따라 발생 가능한 재해에 대해 피해를 최소화 할 수 있는 정책과 계획이 만들어 질 수 있는 이론적 근거를 확인한다.

기후변화 적응계획에 필요한 취약성 진단 방법은 대상 재해와 진단 대상에 따라 다양하게 존재한다. 취약성 진단 방법과 관련해 국내·외 선행 연구와 적용된 정책 사례를 바탕으로 건축물에 적용 가능한 취약성 진단 방법론을 파악한다. 이어 각 취약성 진단 모형에 활용된 기초데이터 유형을 사례를 통해 파악하고 데이터베이스의 모형 적용 방법을 정리한다.

본 연구의 대상 재해는 집중호우에 의한 침수이고 공간적 범위는 서울특별시다. 서울특별시의 건축물과 건축물이 있는 필지를 대상으로 집중호우에 의한 침수 피해를 입은 도시지역의 건축물의 취약성을 진단하기 위한 모형의 논리체계를 개발한다. 방법론적으로 2010년과 2011년 침수 피해를 입었던 서울시 일부 지역 중 건축물이 존재했던 필지들을 취약성이 매우 높은 것으로 설정해 이와 유사한 특성을 갖는 건축물의 군집 분포를 찾아내는 공간 회귀분석 방법을 시도하고자 한다. 공간 회귀분석결과를 도출하는 과정에서 건축물을 대상으로 한 침수 취약성을 설명할 수 있는 건축물 데이터 셋을 완성하는 것을 목표로 한다.

마지막으로 개발한 취약성 진단 모형과 이를 통해 도출 된 건축물 데이터 셋을 국가 기후변화 적응계획과 지자체 실행계획 등에 정책적으로 활용 가능한 대안을 제안하고자 한다.

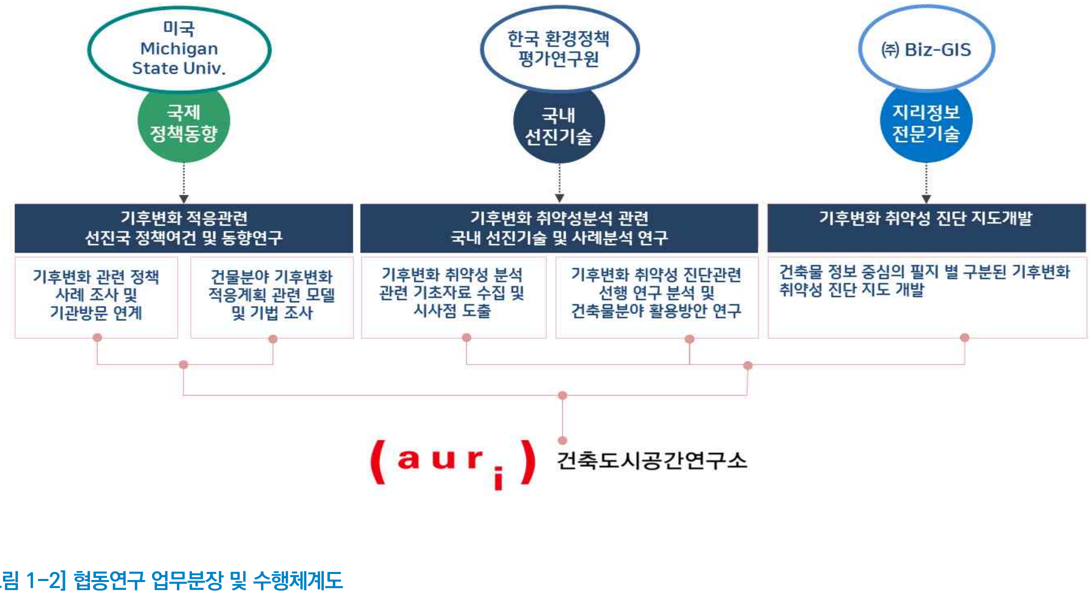
2) 연구방법 : 산·학·연간 협동연구 수행

본 연구는 기후변화 적응계획과 관련한 국제적 동향과 국내 여건을 동시에 살펴본다. 국제적 동향 수준에 맞는 국내 정책적 기준점을 찾기 위한 방법을 모색한다. 국제적으로 운영 중인 기후변화 적응계획의 수준을 파악하고, 적응계획의 기준 틀이 되는 취약성 진

단 및 분석 방법에 대해 살펴본다.

여러 기후변화 영향과 그에 따른 취약성 진단 분석 방법 중 국지성 폭우에 따른 지표수 침수현상에 주목한다. 실제 반복 침수피해를 입었던 건축물과 피해를 보지 않은 건축물의 건축물대장정보와 사회적 정보, 지리적 정보를 종합한 빅 데이터를 기반으로 개별 건축물간 차이를 통해 반복 피해를 입는 건축물의 특성을 파악한다. 나아가 이와 유사한 특성을 갖는 건축물들의 분포양상을 살펴보고 새로운 빅 데이터를 기반으로 한 지리정보화 과정을 통해 기후변화 취약성 진단 또는 분석에 활용가능성을 모색한다.

종합적으로 본 연구결과의 신뢰성을 확보하기 위해서 기후변화와 연계된 국제적 동향과 우리나라의 현재 수준을 점검하고 건축물과 관련한 공간 빅 데이터의 객관적인 분석과 표현을 위한 전문집단의 협업이 필요했다. 따라서 국제적 동향과 해외선진 연구 및 결과검증을 위해 미국 미시건주립대학(MSU) 연구진이 본 연구에 합류 했고, 한국에서 기후변화와 관련한 연구와 정책개발을 선도하고 있는 한국환경정책평가연구원(KEI)의 연구팀이 동참했다. 건축도시공간연구소(AURI)는 이 두 연구팀에서 제공하는 노하우를 바탕으로 건축물 빅 데이터를 활용한 반복 피해지역내 건축물의 특성을 분석하고 결과로 도출된 공간 빅 데이터베이스를 기후변화 취약성 진단에 활용 가능성을 제시한다. 최종적으로 ㈜Biz-GIS가 도출된 빅 데이터 세트를 공간지리정보화 과정을 통해 기술적으로 지도로 표출 할 수 있음을 시도했다. 연구 방법에 따른 협동연구 업무의 수행 내용은 다음과 같다[11].



[그림 1-2] 협동연구 업무분장 및 수행체계도

□ (MSU, AURI) 기후변화 적응계획 관련 국내외적 동향 파악을 위한 관련 문헌 분석

- 미국 미시건 주립대학(Michigan State University) 및 국립 미시건 대학(University of Michigan)의 기후변화 연구팀 방문 및 국제적 동향 논의
  - 기후변화의 영향에 의한 사회적 회복력을 연구하고 있는 미국 미시건주립대학 연구센터를 방문해 취약성 진단 및 분석방법의 실제적 적용을 위한 연구사례 면담 조사
  - 미시건 호수 주변 광역지역을 대상으로 기후변화 영향에 의한 생태적 변화를 연구하는 국립 미시건대의 GRAHAM Research Institution을 방문해 기후변화 적응과 관련한 국제적 동향 논의
- 국·내외 기후변화 적응계획 관련 정책 및 연구 문헌, 웹자료 분석 (MSU)
  - 해외 기후변화 적응계획 관련 국제 협약 및 국가별 정책방향 분석
  - 국내 기후변화 적응계획 관련 정책 운영 방향 분석
- 국내 국가 기후변화 대응 계획 및 하위 정책 자료 분석 (AURI)
  - 「저탄소 녹색성장 기본법」 및 지자체 기후변화 대응계획의 주요 내용분석
  - 기후변화 대응계획의 추진실태 및 신 기후체제 대응을 위한 시사점 도출

□ (KEI,MSU,AURI) 기후변화 취약성 진단 및 분석방법 선행연구 분석

- 국내 기후변화 연구관련 선도기관인 한국환경정책평가연구원과 협력해 건축물분야의 기후변화 적응계획의 필요성과 취약성 진단방향 모색
  - 기후변화 적응계획 수립에 활용함을 목적으로 한국환경정책평가연구원이 개발한 취약성 진단모형인 VESTAP에 적용된 기술내용 공유
  - 기후변화 적응계획에 건축물을 주요하게 다루어야 하는 필요성 도출
- 기후변화 취약성 진단 및 분석을 다룬 선행 모형 및 연구결과 분석 (MSU,KEI)
  - 해외 기후변화 취약성 진단 및 분석 모형의 개요 및 특성 (MSU)
  - 국내 기후변화 취약성 진단 및 분석 모형의 개요 및 특징 (KEI)
- 기후변화 취약성 진단 및 분석에 적용된 기초 데이터베이스 분석 (KEI)
  - 기후변화 유형별 기초 데이터베이스 적용사례 분석

---

11) 연구담당 기관은 미시건주립대학(Michigan State University, MSU), 한국환경정책평가연구원(KEI), 건축도시공간연구소(AURI), ㈜비즈GIS (Biz-GIS)로 칭한다.

□ (AURI, Biz-GIS) 건축물 중심의 반복 재해 위험도 진단모형 개발 및 적용

- 건축물 중심의 기후변화 취약성 진단모형에 대한 상용화 가능성 확인을 위해 ㈜ Biz-GIS사의 웹 기반 GIS 플랫폼에 적용
  - 기후변화 취약성 진단모형의 결과로 도출된 데이터베이스를 웹 서버에 올려 편리한 UI를 을 통해 활용할 수 있는 방안 모색
  - 향후 정책적 활용을 위한 상용화 가능성을 웹기반 GIS 플랫폼에 적용해 확인
- 건축물 중심의 재해 취약성 진단모형 개발을 위한 기초 조건 설정
  - 기후변화에 따른 영향 중 국지성 폭우에 따른 지표수 침수현상 설정
  - 국지성 폭우에 따른 지표수 침수에 반복 피해 건축물의 데이터베이스 구축
  - 공간적 사회조사분석 방법론을 통한 건축물의 집단적 특성 분석 및 해석
- 건축물 빅 데이터 세트의 침수 취약성 진단 활용 및 적용방안
  - 일반 건축물을 대상으로 한 지표수 침수 취약성 진단의 활용 및 한계성 분석
  - 분석 결과를 바탕으로 건축물 중심으로 신 기후체제 패러다임에 적합한 국가 및 지방정부의 정책 대안 제시
  - 기후변화 취약성 분석에 활용가능 한 건축물 빅 데이터의 웹 지도 서비스 구축

3) 연구수행과정

본 연구의 세부적인 연구진행과정과 주요내용은 다음과 같다.

3. 선행연구 검토 및 차별성

2010년은 우리나라의 기후변화 적응에 관한 연구의 기점이라 해도 과언이 아니다. 우리나라 기후변화 적응관련 연구는 2010년 이후 한국환경정책평가연구원이 주도하고 있으며, 취약성 분석관련 연구는 국토연구원이 주도하고 있다. 그러나 두 연구기관의 기후변화에 대한 공간적 범위는 도시, 환경 등 광범위한 공간에 한정하고 있다. 그 공간적 스케일을 사람의 지속가능한 삶을 영위하기 위한 대상물까지 축소하고 있지 못하다. 현 시점까지 건축물을 기후변화 관련 연구의 직접적 대상으로 한 사례는 국내에서 없다.

1) 기후변화 적응관련 연구 및 본 연구와 차별성

현재까지 본 연구과제와 가장 가깝게 연구된 기후변화 적응과 관련한 연구는 공간계획방법, 도시환경 방재분야, 도시규모의 그린인프라 전략, 광역지자체 계획 운영 등을 다뤄 왔다. 한국환경정책평가연구원(이하 KEI) 김동현 외(2013)는 기후변화 적응형 공간계획 방법의 개발과 모의적용 연구를 주제로 외재적 조건인 기후변화를 도시계획을 통해 공간 내에서 내재화 될 수 있는 방법을 찾기 위한 기후변화 적응형 공간계획방법을 개발했다[12]. KEI의 김태현(2014)은 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립 시 도시환경방재분야 공간정보 연계활용방안 연구라는 주제로 법정 공간계획 및 공간정보 현황 분석을 통해 도시, 환경, 방재 분야의 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립에 각 분야 간 공간정보 연계 및 활용방안 제시했다[13]. KEI의 강정은 외(2012)는 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라 전략 수립을 주제로 기후변화로부터 심화되는 부정적인 영향들, 특히 홍수, 열환경, 대기오염으로 발생하는 피해를 줄이고 환경적, 사회·경제적으로 다양한 효과를 지닌 그린인프라를 구축 및 활성화하기 위한 한국형 그린인프라 계획모형을 제안하고 이를 사례지역에 적용한 결과를 도출 했다[14]. 김진아와 윤순진(2014)은 계획요소와 수립과정을 중심으로 광역지자체의 기후변화 적응계획을 평가했다. 이는 우리나라의 16개 광역지자체가 운

12) 김동현 외(2013) 기후변화적응형 공간계획방법의 개발과 모의적용 연구, 한국환경정책평가연구원

13) 김태현 (2014) 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립 시 도시환경방재분야 공간정보 연계활용방안 연구,KEI

14) 강정은 외 (2012) 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라전략 수립, 한국환경정책평가연구원

영하고 있는 기후변화 적응대책 세부시행계획을 대상으로 각 계획의 운영성과를 평가했으며 시사점과 향후 개선방안을 제안하기 위한 의의를 갖는다[15].

현재까지 우리나라의 대표적인 기후변화 적응관련 연구에서 다루고 있는 공간적 범위와 각 연구에서 다루고자 하는 연구방법론을 살펴봤다. 다양한 연구주체가 도시를 연구대상으로 주목하고 있으며, 공간계획을 위한 대안과 실천성에 대한 논의를 지속적으로 제시하고 있다. 다만, 현재까지 도시를 구성하고 있는 요소인 건축물과, 건축물이 기후변화에 대해 어떻게 대응해야할지에 대한 연구는 이뤄지고 있지 못하다. 따라서 본 연구는 건축물과 중심환경을 대상으로 우리가 기후변화에 적응하기 위해 집중해 살펴보아야 할 것이 무엇인지 파악해 내는데 차별성을 둔다.

2) 취약성 분석관련 연구 및 본 연구와 차별성

취약성 분석관련 연구는 기후변화 적응분야의 세부 연구라 할 수 있다. 취약성 분석은 대상에 따라 분석의 범위와 깊이, 유형, 방법론이 매우 다양하게 나올 수 있다. 따라서 지구적 차원의 접근, 국가적 차원의 접근 등 광역적 규모의 연구가 이뤄지고 있다.

우리나라는 국립환경과학원이 2009년~2010년에 걸쳐 GIS 및 웹 기반 취약성파악 및 분석기법 개발을 주제로 기후변화 영향 평가 및 적응대책 수립을 위해 필수적으로 요구되는 기후변화 취약성 파악하고 기후변화 적응대책에 필요한 기초자료를 제공하고 행정경계 단위로 표출하는 결과를 도출 했다[16]. 국토연구원은 2009년부터 2012년까지 기후변화 적응도시 조성방안 연구를 수행했다. 이 연구는 기후변화에 의한 재해취약성을 도시를 대상으로 적응능력을 파악하고 관련된 사업을 발굴해 공간계획에 활용할 수 있는 계획적 요소를 도출하고, 현재 운영 중인 도시 방재기준을 기후변화 적응을 위한 종합적 방안을 제시했다[17]. 국토연구원의 연구는 취약성 분석요소로 재해유형에 따라 건축물을 포함해 분석하고 있으나, 해당 지자체의 행정구역내 건축물 용도의 비율 등을 취약성 평가 인자로 사용하는데 머무르고 있다.

국외에서는 기후변화 취약성 평가에 대한 연구가 활발히 이뤄지고 있다. 이미 현재 활용되고 있는 취약성 평가모델을 분석해 더 나은 수준의 방향성을 모색하는 단계라 할 수 있다. 대표적인 연구결과물로는 Preston, B. 외(2011)의 「Putting vulnerability to

15) 김진아, 윤순진(2014) 광역지자체의 기후변화 적응계획 평가 (계획요소와 수립과정을 중심으로)

16) 국립환경과학원 외 (2009) GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석기법 개발(1),(2), 환경부

17) 국토연구원 (2012) 기후변화 적응도시 조성방안연구, 국토교통부

climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks」을 들 수 있다. 이 연구는 45개의 주요 기후변화 취약성 평가 선행연구 고찰을 통한 기후변화 취약성 평가 연구가 가져야 할 주요 관점 및 특성을 정리했다. 취약성 인자를 물리생물학적, 사회경제학적 인자로 유형화해 평가모델을 물리적 인자 집중형, 사회적 인자 집중형, 통합형, 확장형 등으로 세부 유형화해 분석한 결과를 제시하고 있다[18]. 또 다른 연구로 Polsky, C. 외(2007)의 「Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram」이다. 이 연구는 기후변화의 노출, 민감도, 적응역량의 함수로 표현되는 기후변화 취약성의 분석결과들의 상호 비교 가능토록하기 위한 다이어그램 기법의 개발 및 사례 적용한 연구이다.

취약성 진단연구와 관련해 국내·외에서 사회현상을 대표적인 지표를 통해 이해하고 유형화하기 위한 모형을 비롯한 다양한 연구가 수행되고 있다. 공간적 범위와 대상 또한 다양하다. 우리나라는 아직 기후변화에 따른 사회적 문제까지 연구가 닿고 있지 않지만, 이미 많은 해외국가에서는 진단을 바탕으로 한 사회문제까지 연구의 대상으로 삼고 있다. 이미 IPCC 보고서(2014)에서도 기후변화 적응에 있어서 도시지역의 취약한 거주지 및 주거용 건축물, 생활기반 건축물 등의 체계적 계획과 운영이 중요함을 수차례 언급하고 있다[19]. 따라서 본 연구는 국제적 흐름에 맞춰 국내 선행 연구사례에서 다루지 않은 건축물 정보를 바탕으로 기후변화 취약성을 진단하는 하나의 실험적 모형을 제안 한다.

[표1-2] 선행연구 검토 및 본 연구와 차별성

구 분	선행연구 현황		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
기후변화 적응계획 관련	- 과제명 : 기후변화적응형 공간계획방법의 개발과 모의적용 연구 - 연구자(년도) : 김동현 외(2013) 한국환경정책평가연구원 - 연구목적 : 기후변화라는 외재적 조건이 도시계획이라는 공간계획 내에서 내재화되어 실질적인 적응으로 나타나게 할 수 있는 공간계획방법을 개발	- 관련문헌 검토 - 사례연구 - 공간계획요소 도출 - 공간계획방법 개발	- 연구의 이론적 기반 - 통합적인 기후변화 적응으로서의 공간계획 - 신공간계획 기법을 활용한 기후변화 적응형 공간계획 사례 - 공간계획 요소의 도출과 기후변화 적응 - 기후변화 적응형 공간계획방법의 개발 - 정책적 시사점
	- 과제명 : 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립시 도시환경방재분야 공간정보 연계활용방안 연구 - 연구자(년도) : 김태현 (2014), 한국환경정책평가연구원 - 연구목적 : 도시, 환경, 방재 분야에서 작성되고 있는 법정 공간계획 및 공간정보 현황 분석을 통해 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립 시 도시, 환경, 방재 분야 간 공간정보 연계 및 활용방안 제시	- 정책문헌연구 - 공간정보현황분석 - 분야간 활용방안 도출	- 기후변화 적응대책 및 분야별 공간계획·공간정보 현황 - 국가 기후변화 적응대책(2011~2015) - 분야별 공간계획 및 지침 현황 - 분야별 공간정보 현황 - 분야 간 공간정보 연계·활용방안 - 도시/환경/방재 - 분야 간 공간정보 연계·활용 현황 및 사례 - 분야 간 공간정보 연계 및 활용방안

18) Preston, B. 외 (2011),Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks, Sustainability Science

[표1-2] 선행연구 검토 및 본 연구와 차별성 (계속)

구 분	선행연구 현황		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
기후변화 적응계획 관련	- 과제명 : 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라전략 수립 - 연구자(년도) : 강정은 외(2012) 한국환경정책평가연구원 - 연구목적: 기후변화로부터 심화되는 부정적인 영향들, 특히 홍수, 열환경, 대기오염으로 발생하는 피해를 줄이고 환경적, 사회·경제적으로 다양한 효과를 지닌 그린인프라를 구축 및 활성화하기 위한 한국형 그린인프라 계획모형을 제안하고 이를 사례지역에 적용	- 선행연구 고찰 - 관련 현황 및 주요사례 분석 - 계획모형 구축 - 사례지역 적용 및 분석 - 정책제언	- 기후변화 적응형 도시 - 그린인프라 개념 및 효과 - 그린인프라 관련제도 및 현황 - 국내·외 기후변화 적응형 그린인프라 사례 - 기후변화 적응형 도시를 위한 통합적 그린인프라 계획모형 구축 - 계획모형 구축방향 및 기대효과 - 취약성 평가 방법 - 부문별 취약성 평가지표 선정 - 그린인프라 계획모형 사례지역 적용 - 그린인프라 구축을 위한 정책제언
	- 과제명 : 광역지자체의 기후변화 적응계획 평가 (계획요소와 수립과정을 중심으로) - 연구자(년도): 김진아, 윤순진(2014) - 연구목적 : 16개 광역지자체의 기후변화 적응대책 세부시행계획을 평가하고 시사점 도출 및 향후 개선방향 모색	- 선행연구고찰 - 기후변화 적응계획 평가 분석틀 설정 - 기후변화 적응계획 요소 반영정도 평가 - 계획과정 참여자 수립방식 분석	- 국제기구의 기후변화 적응계획 수립 가이드라인검토 - 기후변화적응계획 수립매뉴얼에 따른 16개 광역지자체 적응계획 평가 - 현재 기후변화 적응현황에 대한 충실도가 낮고 계획수립 참여자의 갈등해소 과정이 미흡해 정책대상자의 범위가 협소하게 수렴됨
취약성 분석관련	- 과제명 : GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석기법 개발(1),(2) - 연구자(년도): 국립환경과학원 외 (2009) - 연구목적 : 기후변화 영향 평가 및 적응 대책 수립을 위해 필수적으로 요구되는 기후변화 취약성 파악하고 기후변화 적응대책에 필요한 기초자료를 제공하고 표출	- 기후변화 적응대책 기초자료 수집 - GIS, WEB 기반 도구 개발 - 기후변화 시나리오별 취약성 지표산출법 개발 및 적용	- 기후변화 적응에 필요한 각 시군구별, 분야별 취약성 지표를 선정 - 개발된 지표를 계산할 수 있도록 GIS 및 WEB 기반의 기후변화 적응 도구 개발 - 각 분야별, 지역별 취약성 지표 계산을 위해 필요한 필수 기초 자료인 기후·대기환경 예측정보 및 사회·경제·지리 정보를 모두 수집 - 기후변화 적응 도구는 기후 예측자료를 이용하여 기후변화시나리오별 취약성 지표가 계산되도록 설계
	- 과제명 : 기후변화 적응도시 조성방안 연구 - 연구자(년도) : 국토연구원 (2012) - 연구목적 : 기후변화에 따른 재해 취약성 경감을 위한 도시 재해 적응능력 사업 발구 및 도시·군계획시설 방재기준 보완이 목적	- 문헌 및 인터넷 조사 - 현장조사 - GIS분석을 통한 도시 기후변화 취약성 분석 - 정책네트워크 구축	- 방재기준 및 도시개발사업 관련 국내외 사례조사 - 재해취약지역 조사 및 해외정책 조사 - GIS 활용 주요 시도 기후노출, 민감도, 재해취약성 도면화 및 취약실대 분석 - 정책반영을 위한 지속적 협의체 운영

19) IPCC, 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.18, 27, 50, 51 .

[표1-2] 선행연구 검토 및 본 연구와 차별성 (계속)

구 분	선행연구 현황		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
취약성 분석관련	- 과제명 : Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks - 연구자(년도) : Preston, B. 외(2011), Sustainability Science - 연구목적 : 45개의 주요 기후변화 취약성 평가 선행연구 고찰을 통한 기후변화 취약성 평가 연구가 가져야 할 주요 관점 및 특성을 정리	- 선행연구 고찰, 분류 및 특성 분석	- 주요 기후변화 취약성 평가 선행연구의 4분류 - 취약성 인자 도출을 위한 평가, 방법론 개발을 위한 평가, 위협요소 도출을 위한 평가, 정책결정을 위한 평가 - 기후변화 취약성 평가 연구의 목적 및 범위 설정의 중요성 - 주요 선행연구에서의 기후변화 취약성 인자 및 취약성 평가 모델 특성 분류 - 평가 모델 특성 : 물리적 인자 집중식(RH), 사회적 인자 집중식(SV), 통합식(PAR), 확장식(EV) - 주요 선행연구에서의 기후변화 취약성 평가 방식 특성 도출 : 최적 해법의 부재, 분석 단위의 다양함 및 local 단위 분석 연구의 빈번함, Top-down, bottom-up 방식의 혼용, Resolution, scale integration·aggregation, temporal dynamics 이슈에 대한 고려 필요
	- 과제명 : Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram - 연구자(년도) : Polsky, C. 외(2007), Global Environmental Change - 연구목적 : 노출, 민감도, 적응역량의 함수로 표현되는 기후변화 취약성의 분석결과들의 상호 비교 가능토록하기 위한 다이어그램 기법의 개발 및 사례 적용	- 선행연구 고찰 - 비교분석방법 개발 - 미국 4개 기후변화 취약성 평사 사업 사례 적용	- 기후변화 취약성 평가 특성 및 단계 고찰 - 기후변화 취약성 평가 결과의 비교법 개발 : VSD(Vulnerability Scoping Diagram) - 미국 4개 기후변화 취약성 평가 지역 사례 대상 VSD 비교법 적용 및 VSD 기법의 효율성 도출
본 연구	- 건축물과 중심환경을 대상으로 우리가 기후변화에 적응하기 위해 집중해 살펴보아야 할 것이 무엇인지 파악해 내는데 차별성 - 국제적 흐름에 맞춰 국내 선행 연구 사례에서 다루지 않은 건축물 정보를 바탕으로 기후변화 취약성을 진단하는 하나의 실험적 모형을 제안	- 국내외적 동향 파악을 위한 관련 문헌 분석 - 기후변화 취약성 진단 및 분석방법 선행연구 분석 - 건축물 중심의 기후변화 취약성 진단모형 개발 및 적용 - 정책 활용을 위한 국내·외기관간 협동연구 추진	- 기후변화 적응계획의 국내외적 동향 - 기후변화 적응계획에 적용되는 취약성 진단 방법론의 국내외적 동향 - 취약성 진단 모형 적용을 위한 기초데이터 사례 및 구축방법 - 집중호우에 따른 침수현상을 중심으로 한 건축물 기후변화 취약성 진단 모형의 개발과 적용결과 도출 - 개발한 취약성 진단 모형의 정책적 활용성 검토

제2장 기후변화 적응 정책·연구동향

1. 기후변화 적응 정책 동향

1) 파리협정에 따른 기후변화 정책 변화[1)]

2015년 신 기후체제로서 파리협정이 채택됨에 따라 기존 기후체제와 차별화된 기후변화 정책이 수립되었다. 파리협정에서는 온실가스 감축 목표로 지구평균온도 상승폭을 산업화 이전과 비교하여 1.5℃까지 제한하기 위한 노력을 추구하며, 기후변화 적응을 위해 적응역량 증진, 회복력 강화, 취약성 저감 등을 목표로 설정하였다. 또한, 온실가스 감축, 기후변화 적응, 지속가능발전, 빈곤퇴치를 위한 재원 마련도 언급하였다.

구체적으로 파리협정에서는 기후변화 적응 이행(제7조)과 손실 및 피해(제8조)를 명시하고 있는데, 적응 이행에서는 협정에 참가한 모든 국가는 국가적응계획 수립·이행 등 기후변화 적응 정책을 적절히 이행하고 관련된 이행내용 등을 보고서로 작성해 제출하도록 한다. 손실 및 피해 부문은 기후변화로 인해 예상되는 손실 및 피해에 대한 대응의

1) 이승준, 안병옥. (2016)「신기후체제의 기후변화 적응 및 손실과 피해에 관한 대응방안」, 한국환경정책평가연구원

중요성을 인정하며, 향후 관련 분야에 대한 국제협력 강화를 주요 골자로 한다.

또한, 인도적 지원을 위한 사항들을 규정·제안함으로써 기후변화 적응에 대한 이행수단을 구체적으로 명시하고 있다. 재원 측면에서 개발도상국의 기후변화 대응을 위한 재원 공급 의무 주체 설정, 지원규모 확대, 투명한 재원 지원을 규정하고 있다. 기술 측면은 감축과 적응의 핵심은 기술이라는 장기 비전을 공유하고, 기술협력 확대와 중장기 전략 마련을 위한 기술 프레임워크 수립을 제안했다. 관련 역량 배양을 위해 선진국은 개발도상국의 효과적인 기후변화 대응역량 증진을 위해 협력하고, 개발도상국의 기후변화 대응역량 배양에 대한 파리 위원회 설립을 제안했다.

우리나라는 신 기후체제에 동참하기 위해 '30년 BAU 대비 37% 감축안(국외감축 포함)을 UN에 제출했고('15.6), 관련된 정부체계와 제도를 개편하고 있다. 국무총리와 경제부총리의 기후변화 대응을 위한 총괄·조정 기능을 강화했으며, 소관 부처가 감축정책을 이행하는 부처책임제를 도입했다('16.6). 또한, 「저탄소 녹색성장 기본법」시행령을 개정해 새롭게 설정된 2030년 37% 감축목표를 반영했다. 또한, 국무조정실이 총괄·조정하고 부문별 소관부처 책임 하에 관계부처 합동으로 2030 기본 로드맵 및 기후변화대응 기본계획을 수립했다('16.12). 앞으로 온실가스 배출권 할당계획('17), 장기 저탄소 발전전략('18) 등의 수립이 진행 또는 예정되어 있다.

신 기후체제 (파리협정)

파리협정은 1997년 채택된 교토의정서(Kyoto Protocol)를 대체하는 신 기후변화체제를 채택한 협정으로 유엔 기후변화협약(UNFCCC)의 이행을 구체화 했다.

'유엔기후변화협약'은 영문으로 'United Nations Framework Convention on Climate Change'로 기후변화 대응에 관한 기본적인 틀을 언급하는 유엔의 기본협약(Framework Convention)이고 그 자체로 국제법적 구속력을 갖는다. 기존 체제의 한계를 극복하고, 선진국 및 개도국이 모두 참여하는 2020년 이후(Post-2020)의 새로운 기후변화협약 체제이다. 교토의정서의 제1차 공약기간(2008~2012)에 대해 제2차 공약기간은 2013~2020년으로 합의되었으며, 2015년에 채택된 파리협정은 교토의정서의 제2차 공약기간이 끝나는 2020년 이후의 기후대응을 염두에 둔 새로운 기후체제다. 파리협정은 기후대응의 상향식 결정방식과 모든 국가에게 적용 가능한 체제로, 의무감축량의 주기적 검토(5년)를 통해 유연한 기후변화 대응과 당사국들의 자발적 참여를 독려하며, 감축과 더불어 적응과 이행수단을 강조하는 등 기존 체제와 차별화

※ 이승준,안영옥 (2016), 19p 재인용

2) 기후변화 적응정책 해외 동향

① 국가 기후변화 적응 정책 사례

□ Belgian National Climate Change Adaptation Strategy, 2010

벨기에의 주요한 기후변화 영향은 해안 도시, 시가지들의 범람에 대한 취약성 증가다. 물 부족과 고온 현상을 중심으로 기후변화의 영향이 발생하는데, 물 부족과 고온 현상은

공중 보건에 심각한 영향을 초래하며 농지와 산림의 개간을 위한 물 관리 문제 발생, 강과 수로의 수위 저하로 내륙으로의 항해의 어려움 등이 주요 취약성이다.

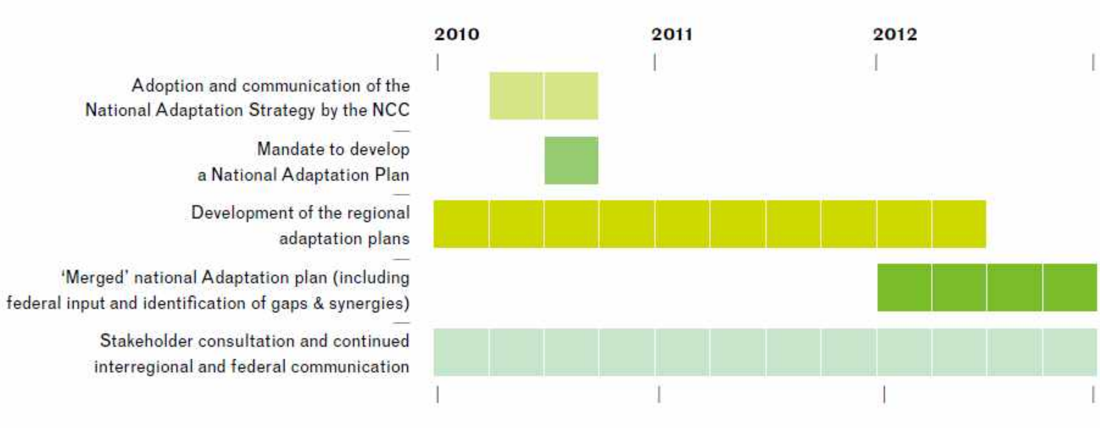
벨기에는 기후변화 적응을 위해 우선적으로 적응정책을 추진할 기구 설립 및 조직화하였다. 국가 차원에서는 Coordination Committee for International Environmental Policy(CCIEP) 산하에 Working Group Adaptation(WGA)을 운영하는데, WGA는 National Adaptation Strategy를 개발한다. 지역 차원에서는 Walloon과 the Flemish 지역에 위원회 및 접촉집단을 설치하고, 기후변화 적응 측정을 위한 자료 교환 및 정보 수집의 역할을 하며, 지역의 적응계획 수립 및 개발전략과 국가 계획을 조율한다.

벨기에는 물과 고온 현상 문제들에 대한 적응과 관리에 초점을 맞춰 기후변화 적응 전략을 추진하였다. 세부적인 전략은 다음과 같다.

- 인간과 자연의 취약성을 줄이고, 건물의 회복탄력성을 증대
- 생태계 보호를 위해 물과 대지 관리
- 기금과 정부기관의 수요 생성
- 기술과 혁신 확산 추진
- 행동적·제도적 무기력의 극복

□ Finland's National Strategy for Adaptation to Climate Change, 2005

핀란드는 기후변화 영향 및 적응 측면에서 자연 자원, 생물 다양성, 산업, 교통, 토지이용, 커뮤니티, 폐기물 관리, 건설업, 보건, 관광업, 보험업에 이르기까지 국가 산업 및 지



[그림 2-1] 벨기에 국가 기후변화 적응계획의 로드맵(2010-2012)
출처 : Belgian National Climate Change Adaptation Strategy 2010, p.48

역 전반에 대한 기후변화 영향이 나타나고 있어 이에 대한 적응 전략을 수립하였다.

첫째, 자연 자원 부문에서는 농업 및 식량 생산에서 대기 오염과 자외선 강화, 벌레와 식물 질병 증가, 관개를 위한 수자원 수요 증가, 극한 이벤트 증가로 곡식의 양과 질에 기후변화 영향을 평가하였다. 이에 대한 적응 전략으로서 생산방식 적응을 위한 기술 개발, 질병 모니터링 시스템 개발, 수자원 보호 가이드라인 개선 평가 등을 전략으로 도출하였다. 산림에서는 토양 붕괴로 인한 수목 약화, 페스트 증가, 수목의 질 저하에 적응하기 위해 국가 산림 프로그램에 기후변화 관점 포함 및 개선, 페스트 및 질병 관리, 숲길 유지관리, 산림 관련 제도 개정 및 평가 등을 전략으로 제시하였다. 어업에서는 수온 상승으로 어획량 감소, 해수의 산소 감소, 더운 여름으로 어업 생산량 저감을 영향으로 파악하고 어량 평가를 위한 모니터링, 수질 보호, 신 어장시설 입지를 고려할 것을 제안하였다. 수자원에서는 극한 이벤트 및 범람 빈도 증가, 수질 악화, 가뭄으로 인한 산소 공급 제한 및 어류 상태 악화에 대한 적응 전략으로 위험 지역 조사 및 종합계획 수립 준비, 범람 관리 구조화, 범람 위험 저감을 위한 토지이용계획을 수립하도록 제시하고 있다.

둘째, 에너지 부문으로 수력에너지 생산 감소, 여름철 강우로 토탄 생산 감소, 여름철 냉방 에너지소비 증가에 따른 기후변화 적응을 장기적안 에너지 계획에 포함시키고, 기후변화 저감 연구와 에너지 세부별 적응 조사를 실시할 것을 전략으로 제안하고 있다.

셋째, 교통 및 커뮤니케이션 부문에서는 철도 붕괴 위험 증가, 범람 및 호우로 인한 도로 및 철도체계 피해에 대한 적응 전략으로 교통 부문 장기 계획에 기후변화 포함, 무선네트워크 보안 강화, 범람 위험지역 조사, 발틱해 빙하 조사, 철도 및 도로 시설물 유지관리 강화를 도출하였다.

넷째, 토지이용, 커뮤니티 및 폐기물 관리 부문으로 수위 변화로 오래된 도시지역은 목자재 건조에 의한 위험 증가가 나타나므로, 이에 대한 적응 전략으로 지역 및 도시 기반시설의 장기 계획에 기후변화 영향평가 추가, 범람, 미기후 등 취약지역의 기후변화 적응 조사, 범람 위험지역 조사, 예보 및 경보 시스템 개발, 토지이용 및 건축법 개정 등을 제시하였다.

마지막으로 건설업 부문에서는 강수 증가로 토양 침식, 바닥표면의 습도 증가로 유지관리 피해 증가가 우려되어, 건설 부문 연구수행 및 장기 계획에 기후변화 추가, 지역적 기후변화 영향 조사, 우수 배관 등 기반시설 정비, 잠재적 풍속 증가 고려한 건물 및 시설 건설, 기존 시설 개선, 태풍과 집관시스템 설계 가이드라인 수립 등을 적응 전략으로 마련할 것을 언급하고 있다.

□ German Strategy for Adaptation to Climate Change, 2008

독일도 다른 국가들과 마찬가지로 사회전반 영역들에 대한 기후변화 영향을 도출하였다. 보건 부문에서는 기후 및 날씨 변화로 인해 전염병 및 비전염적 질병(심장 질환, 알레르기 장애) 증가하고, 극한 기후로 인한 상해 가능성이 확대되며, 본 연구와 연관된 건물 부문에서는 고밀의 건조 환경으로 인해 일조시간이 줄어들고, 고온현상, 건조화, 평균풍속 저하 등이 발생할 가능성을 명시하였다.

수자원 및 해안·연안 보호 부문에서는 극한기후 빈도 증가로 범람, 태풍 및 가뭄이 발생하며, 수자원 이용의 지역적 어려움 발생할 수 있다고 하였다. 또한 수자원 이용에서 복잡한 상호관계 발생으로 홍수관리와 해안가 보호 등의 수자원 관리를 통한 적응 필요성 확대를 강조하고 있다.

토양 부문에서는 양분과 물 순환 체계, 토양 형성 과정(탄소 격리 및 부식)에 영향을 미쳐 중요한 자연 토양의 기능 손상을 미칠 가능성이 있으며, 생물다양성 부문에서는 기후변화로 상호 의지하거나 공동의 서식지를 공유하는 종들의 새로운 결합과 같은 변화들이 발생할 가능성이 있음을 언급하였다.

농업 부문으로 한대지역에서는 고온현상으로 곡식 재배기간이 증가하나, 반대로 온대 또는 건조한 지역의 경우 기후변화 영향이 부정적으로 발생할 가능성이 있다고 하였고, 산림 관리 부문에서는 여름철 고온과 건기의 장기화로 피해를 입고 있으며, 특히 물 공급의 부족과 화재 등에 취약하다고 하였다.

어업 부문에서는 북해와 발틱해를 중심으로 해양생태계가 중장기적으로 변화하고 있으며, 서식지와 식량기반의 어획량에 영향을 미치며, 에너지 산업 부문에서 기온 상승은 열에너지 소비 감소에 영향, 반면 냉방에너지 소비는 증가. 태풍, 가뭄과 같은 극한기후 이벤트들은 에너지설비들의 운영에 부정적인 영향을 미친다고 하였다.

또한 보험업의 경우 지역뿐만 아니라 전 세계적인 기후변화에 영향을 받으며, 극한기후는 도로, 철도, 수상, 항공교통을 어렵게 하고 호우는 시야확보의 어려움과 젖은 도로로 인해 도로교통 정체를 유발시킨다고 문제를 제기하고 있다.

이러한 기후변화 영향의 가능성에 대한 기후변화 적응 전략으로 크게 세 가지를 마련하고 있는데, 그 내용은 다음과 같다.

- 적응전략에 대한 종합적, 분야를 초월한 협의 증진
- 기후변화에 직면한 결과 나열, 분류 및 잠재적 피해 평가
- 적응능력 개발 및 강화를 위한 프레임워크 구축

□ U.S. Climate Change Adaptation Plan, 2012

미국의 기후변화 적응 계획에서는 과학적 문헌과 전문가 평가를 활용하여 잠재적 취약성을 파악하고, 이에 대한 5가지 전략적 목표를 설정하고 있는 것이 특징이다.

첫째, 대기질 개선으로 야생 화재(wild fire)의 강도 및 빈도 변화가 미세먼지(PM) 수준 증가, 기후변화로 실내 공기질 악화 우려, 황, 질소, 수은의 침전으로 생태계 변화 등이 나타난다고 하였다. 그리하여 대류권의 오존 오염 증가 예상 및 호흡기 질환이나 조기 사망 위험 증대되고 있어 연방정부와 지역 기초단체들이 협력하여 현 오존 배출관리 프로그램의 성능을 개선하거나 새로운 관리수단을 만드는 대응이 필요함을 명시하고 있다.

둘째, 수자원 보호 측면으로, 기후변화는 수자원 관련 기반시설에 심각한 영향을 미칠 것으로 예측되고 있고 식수 공급과 수질 악화에 영향을 미칠 것이기 때문에 수질 보전, 습지, 유역, 대양, 수중생태계의 회복과 보전에 대한 위기가 예측되고 있다. 그리하여 수질 기준을 포함하여 수질개선 프로그램들을 실행할 것을 제안하고 있다.

셋째, 태풍의 집중도와 빈도 증가로 범람이 증가하고 있으며, 해수면 상승은 공장지대나 매립지 등으로부터의 오염물질 방출의 원인을 제공하고 있어 커뮤니티 관리 및 지속가능한 개발 증진을 목표로 제시하였다.

넷째, 기후변화로 인한 이러한 화학약품들의 노출이 증가할 것으로 예상되어 화학 제품으로부터 안전 및 공해 방지를 위한 전략이 필요함을 언급하였다.

마지막으로 보건과 환경 보호를 위해 환경 관련법들을 준수하고 범죄에 대비하여 환경법을 강화하는 것을 목표로 설정하였다.

② 광역 기후변화 적응 정책 사례

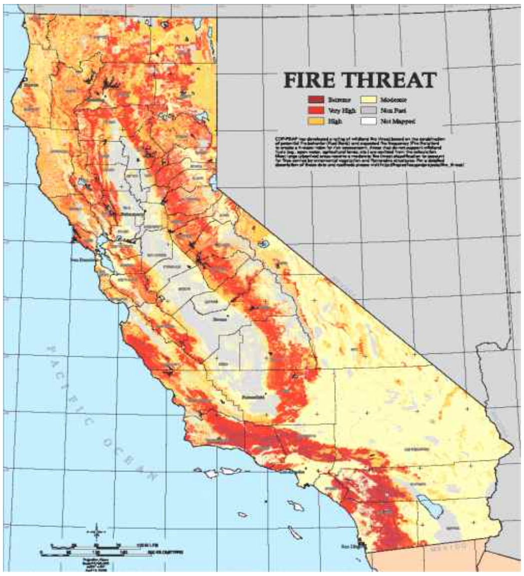
□ 2009 California Climate Adaptation Strategy

지난 세기동안 캘리포니아 해안은 7인치의 해수면이 상승하였고 기반시설들과 물 공급시설, 자원 자원들에 대한 피해가 증가하여 왔다. 캘리포니아 거주민 절반이 해안가에 거주하고 있어 위험은 지속적으로 증가해 왔으며, 기반시설들이 기후위험으로 추가적인 파손에 직면하고 있다.

또한 평균기온과 극한의 고온일의 증가, 저온의 야간일 감소, 곡식이 자라는 기간의 장기화되고 이러한 기후변화 영향에 대응하지 않을 경우 막대한 금전적 피해가 발생할 것

으로 예측되었다(UC Berkeley & Next 10 추산 직접적으로 연간 “tens of billions of dollars”의 피해액 발생 예상).

그리하여 캘리포니아는 2008년 ‘California Air Resources Board’에서 「Climate Change Scoping Plan」발표하였다. 온실가스 배출을 2020년까지 1990년도 수준으로 저감하는 내용이다. 적응전략은 기후변화 위험을 파악하고 최고의 과학기술을 활용하며, 데이터를 활용한 효과적인 적응 전략을 개발하고 이해관계자들 간 강한 동반 관계의 구성 등을 주요 내용으로 담고 있다.



[그림 2-2] 캘리포니아 기후변화 취약성 평가: 좌) 산불 위험, 우) 해수면 상승으로 인한 취약성
출처 : 2009 California Climate Adaptation Strategy, p. 35, 68

□ Iowa Climate Change Adaptation & Resilience Report, 2011

아이오와는 기후변화 적응과 관련하여 재난 저감 계획, 종합 커뮤니티 계획 등 다양한 커뮤니티 계획들을 추진하고 있으며, 기후변화 영향에 회복 탄력적으로 대응할 수 있도록 유도하는 정책을 펼치고 있다.

아이오와의 커뮤니티들은 빈번한 홍수범람을 겪고 있는데, 지역의 계획가들은 미래에 대비하고 재난 후 회복을 위한 지역 계획의 접근법으로 1단계, 위험 관리에 대한 고려 및

커뮤니티 계획 실행, 2단계로 각종 계획요소 간 및 정부, 기관 간 시너지효과에 의한 적응 해결책을 발굴하고 있다. 그리하여 커뮤니티 및 지역의 기후적응 계획으로서 다음과 같은 주요 지침들을 선정하였다.

- 지자체가 기후변화 적응의 최선두에 위치
- 토지이용은 커뮤니티와 지역 기후변화 적응 역량의 우선적 결정요소임
- 기후변화 데이터는 지역의 계획가들이 활용 가능하도록 개방 및 배포
- 지역의 계획가들은 기후변화 데이터를 효과적으로 사용하기 위한 능력 향상 필요
- 연방 및 주정부 프로그램들은 기후변화 데이터 이용 및 재해 저감 계획을 개선하는 데 인센티브를 제공해야 함
- 커뮤니티들은 재해 저감 및 종합적 토지이용계획의 수립 과정 통합해야 함
- 연방기관들은 커뮤니티의 회복탄력성과 지속가능성을 위한 사전 재해계획에 기금 지원 필요

③ 도시 기후변화 적응 정책 사례

□ Climate Change Adaptation Plan 2011, Adelaide

호주 서부에 위치한 도시인 Adelaide는 기후변화에 대한 영향으로 극한 고온일의 증가, 연평균 강우량의 감소, 극한의 호우 증가, 그리고 야생의 산불빈도 증가를 예측하고 있다. 그리하여 기후변화 액션 플랜으로서 Adelaide시의 기후변화 영향에 대한 적응과 대응전략을 수립하였다.

[표 2-1] 2030년 Adelaide와 Mt Lofty Ranges의 기후변화 예측

기후변화 항목	현재	2030
35도 이상 극한 고온일 수	17일	23일
연 평균 강우량	553.4mm	-4%
일일 호우 강도(20년 주기)	n/a	+3%
야생산불 날씨	19.5일	24.1일

출처 : CSIRO 2007; Lucas et al, 2007; Adelaide Climate Change Adaptation Plan 2011

Adelaide City Council은 2009년에 LGA Mutual Liability Scheme의 지방정부 기후변화 적응프로그램 참여하고 그 결과로 기후변화 적응 리포트를 작성한다. 그 주요 내용으로 첫째, 기후변화 위험의 인식을 높여 커뮤니티에서 정책결정 능력을 향상시키고 커뮤니케이션과 컨설팅의 일환으로 커뮤니티 회복탄력성 구축, 둘째, 전략계획과 예산책정을 위해 적응 전략들을 수립하고 적응 수단들을 발굴, 셋째, Council의 위기관리 데이터베이스에 기후변화 위기관리 결과들을 포함시키고, 마지막으로 새로운 기후변화 위험들을 파악하고 모든 기존의 위험들을 재분석하기 위해 기후변화 요인들, 운영 환경, 핵심 비즈니스 운영자, 전략 관리, 수용력, 가능성과 다른 관련된 요인들의 변화 고려 차원에서 위기관리를 모니터하고 리뷰하고 있다.

□ Melbourne Climate Change Adaptation Strategy, 2009

기후변화가 진행되면서 멜버른 시에서는 크게 4가지의 잠재적인 극한이벤트의 시나리오가 파악되었다. 바로 강우량의 감소와 가뭄, 극한의 열파와 야생 숲의 화재, 집중 호우와 태풍, 해수면 상승이다. 이들 중 특히 멜버른의 기후변화에서 악화되고 있는 2가지 주요한 기상현상은 극한의 열파와 집중호우로 가뭄과 해수면 상승 이벤트에 비해 잠재적으로 더욱 빈번히 발생하고 있으며, 시민들과 거주자들에게 더 큰 영향을 미칠 가능성이 높은 상황에 처해 있다.

열파(Heatwaves)는 건강 측면에서 가장 주요한 위험이며 열 스트레스 수준의 증가와 극한의 고온에 의한 사망자가 증가하고 있다. 또한 열파에 의한 에어컨디셔너의 과다 이용은 전력 공급 문제와 대규모 정전의 잠재적 가능성을 제공하고 있다. 집중 강우 및 태풍은 전력문제가 발생 가능하며, 이로 인해 대중교통 혼란과 지연이 야기될 수 있다. 이미 현재에도 교통정체로 인해 비상서비스가 지연되고 있다. 가뭄 및 강우량 감소는 멜버른시의 물 공급이 불충분해지는 위험을 발생시키고 멜버른시의 Docklands, Fisherman's Band, Southbank 등이 해수면 상승의 취약성이 예상되어 모든 계획결정과 기반시설 프로그램에 수문학적 모델링 분석을 포함한 평가 반영을 요구하였다.

멜버른시의 기후변화 적응 전략 중 두 가지 핵심은 태풍우를 수집하여 급격한 범람과 물 공급 부족 문제를 해소하는 데 기여하는 것과 열섬효과 저감 측면에서 패시브한 쿨링 효과를 증대시키기 위해 건물 안과 가로 차원의 도시 기온의 저감 수단으로 전체적인 노출면을 감소시키는 전략이다.

□ Vancouver Climate Change Adaptation Strategy, 2011

밴쿠버 시 기후변화 적응 전략의 비전은 기후변화 직면 속에서 밴쿠버시의 가치, 특성, 매력을 유지하면서 살기 좋고 회복탄력적인 도시를 조성하는 것이다. 이러한 전략의 개발과 실행을 위해 기후변화가 예견된 지역적 영향과 관련된 도시기반시설, 프로그램과 서비스에 대한 회복탄력성을 증대시키고, 도시 비즈니스에 기후변화 정보를 포함하여 실행 및 증진하며, 시 공무원들에 대한 인식, 지식, 기술, 자원을 향상시키고 네트워크와 파트너십 개발을 통한 협력 기회를 높이는 목표를 설정하였다.

밴쿠버시 기후변화 적응 전략의 이행을 위한 기본 원칙은 다음과 같다.

- 계획과 분석에서 가장 최신의 과학기술 적용
- 미래에 선택 가능하도록 유연하고 적용 가능한 관리방향 증진
- 기존 프로그램 구성 또는 정책과 완화와 지속가능성 목표 공동 달성을 위해 적응 전략에 대한 우선권 부여
- 총체적으로 새로운 프로젝트들과 기존의 업무들 간 통합을 목표
- 국가 및 지방정부, 정부의 경제기구 간 강력한 네트워크 수립과 관리

[그림 2-3] 밴쿠버 적응계획 수립 과정
출처 : 2011 Vancouver Climate Change Adaptation Strategy, p.7

3) 국내 기후변화 적응분야 정책 동향

① 국가 기후변화 적응 정책

□ 제1차, 2차 국가 기후변화 적응대책

우리나라는 국가 전반의 기온·해수면 상승 등 미래 기후변화 피해를 예측하고 적응대책을 마련하기 위해 2010년에 관계부처 합동으로 「제1차 국가 기후변화 적응대책」을 최초 수립하고, 그 후속으로「제2차 국가 기후변화 적응대책」을 2015년도에 수립하였다. 그리하여 기후 전망자료를 마련하고, 농수산·건강·생태계·인프라 분야의 취약성을 분석하여 관리를 강화하고 지방정부 대책을 수립(17개 광역, 168개 기초)하는 등 성과를 만들어 냈다.

특히 2차 대책('16~'20)은 1차 대책의 성과를 보완·발전시켜 과학적인 기후변화 리스크 분석을 바탕으로 분야별 연계·통합을 강화하였고 국제적으로 적응 중요성이 강조되는 측면과 국내적으로 고령화 가속으로 인한 위험 증가 등 대내외 여건 변화도 반영하였다.

또한 국가 전반의 기후변화 적응 및 취약성과 관련하여 기후변화 리스크[2] 기반 선진화된 적응 관리체계를 마련하도록 추진하였는데 기후변화 리스크 파악->분석->평가->우선순위 설정의 4단계 과정을 거쳐 적응 7개 부문 87개 기후변화 리스크 우선순위 목록을 도출하고, 기후변화 리스크 우선순위를 반영하여, 1차 대책에서 관리하지 못한 리스크 관련 대책의 신규 추가 및 기존 관리 리스크 대책을 강화하였다.

- 7대 기후변화 적응 부문: 건강, 물, 산림/생태계, 국토/연안, 산업/에너지, 농축산, 해양/수산

[표 2-2] 우리나라 기후변화 우선순위 리스크 중 국토/연안 부문

부문	리스크 우선순위
국토/연안	•기온상승, 재해로 인한 도시열섬, 기반시설 기능저하, 연안침식 및 범람 관련 리스크 -이상기후로 인한 공항, 고속도로, 철도 등 교통기반시설 기능저하 및 마비, 제방교량 등 하천시설 및 유통시설(전기공급설비, 방송통신시설 등) 붕괴 -가설건축물, 가로시설물 파손 및 붕괴, 도시홍수열섬 심화, 도시내 물질순환, 에너지흐름 등 생태조절기능 저하, 도시내 서식생물종 단순화 등 생물종 서식여건 악화 -연안침식 및 범람으로 항만어항, 연안건축물, 주거지역 침수 및 환경악화

출처 : 관계부처합동 (2015.12) 제2차 국가기후변화 적응대책 보고서

2) 기후변화 리스크 : 기후변화 영향으로 인하여 자연 및 인간 시스템에 긍정적이거나 부정적인 영향을 줄 수 있는 사건의 발생 가능성과 사건발생으로 인한 결과. 기후변화로 인한 영향의 발생확률(probability)×규모(magnitude)로 정의

비전	기후변화 적응으로 국민이 행복하고 안전한 사회구축	
목표	기후변화로 인한 위험감소 및 기회의 현실화	
4대 정책	1 과학적 위험관리 • 기후변화 감시·예보시스템 • 한국형 기후 시나리오 • 기후영향 모니터링 • 취약성 통합평가 및 통합정보 제공	2 안전한 사회건설 • 기후변화 취약계층 보호 • 건강피해 예방 및 관리 • 취약지역·시설 관리 • 재난·재해 관리
	3 산업계 경쟁력 확보 • 산업별 적응역량 강화 및 인프라 확대 • 기후변화 적응 기술개발 • 해외시장 진출기반 조성	4 지속가능한 자연자원관리 • 생물종 보전·관리 • 생태계 복원·서식처 관리 • 생태계 기후변화 위험요소 관리
이행 기반	5 국내 · 외 이행기반 마련 • 적응정책 실효성 강화 • 지역단위 적응활동 촉진	• 적응 국제협력 강화 • 적응 홍보·교육
점검	적응대책 핵심지표 · 부문별 성과지표	

[그림 2-4] 제2차 국가 기후변화적응대책의 비전과 목표
출처 : 관계부처합동 (2015.12) 제2차 국가기후변화 적응대책 보고서

□ 제 1차 기후변화 대응 기본계획

2016년 우리나라는 신 기후체제 출범에 따라 효율적 기후변화 대응을 위한 국가 차원의 중장기 비전과 정책방향을 제시하고자 「제1차 기후변화대응 기본계획」을 수립했다(2016.12.). 계획은 저탄소녹색성장기본법 제40조에 따른 법정계획으로 정부는 기후변화대응의 기본원칙에 따라 20년을 계획기간으로 5년마다 수립·시행해야한다.

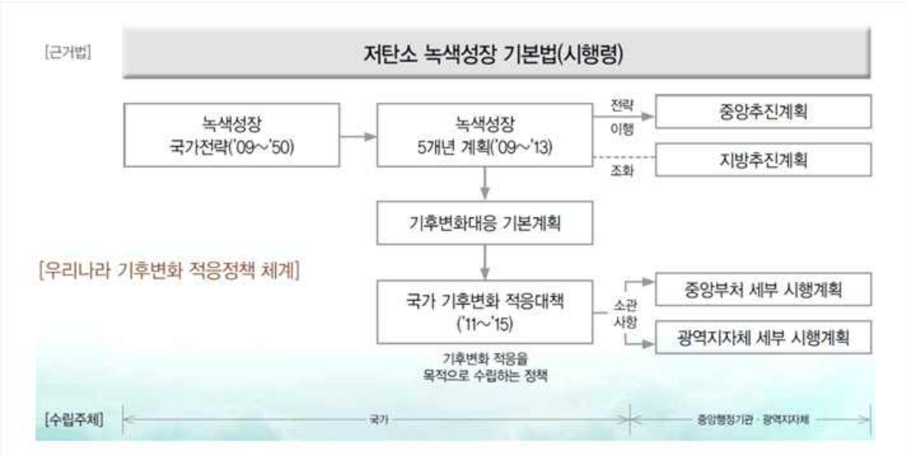
제1차 기후변화대응 기본계획 계획기간은 2017 ~ 2036년으로 장기적인 안목에서 수립하며, 기존 계획(감축정책 실현 중심)과 차별화하여 파리협정에 따른 감축, 참여·적응대책 수립, 재원 지원, 이행점검 등을 포함한 감축, 기후변화 적응, 국제협력 등을 총망라한 종합계획의 성격을 가진다. 특히, 신 기후체제 하 우리나라의 2030 감축목표 달성을 위해 처음으로 업계·협회 등 정책수요자가 참여한 감축 이행계획을 반영함으로써 기후변화 위험 및 영향을 완화하고, 건강·자연 재해 등에 대응하는 적응 대책을 포함하고 있다. 우리나라는 기본계획을 통해 국제사회의 기후변화 대응 노력에 적극 동참함으로써, 저탄소 사회구현에 대한 의지 표명과 국제사회 협력을 강화하는 목적을 달성하고자 한다.

기본계획은 신 기후체제에 부응하는 새로운 성장 패러다임으로 에너지 다소비 경제구

조에서 저탄소 경제체제로 전환하는 것을 제시하고 있다. 또한 기후변화 대응의 선순환 구조로 전환하여 선진 기술을 따라가는 수준의 수동적 대응에서 벗어나, 신기술 및 신산업 집중 지원으로 경쟁력을 강화하고 시장 선도의 기회로 활용하고자 하였다. 이와 더불어 기존의 온실가스 감축 위주의 정책에서 기후변화 적응의 중요성을 부각시키고자 하였다.

분 야	현 재		향후 중장기 전략 방향
대응범위	온실가스 감축		감축·적응·투명성 등 포괄
감축수단	규제중심 (산업계 부담)		과학기술/시장 중심 (산업, 시장 진흥)
대응체계	단편적 대응 (개별부처 차원)	⇒	통합적 대응 (범부처 차원)
이행주체	정부주도 / 산업계 중심		민관협업/ 全부문 노력
평가체계	-		주기적 평가/환류
국제점검	-		5년 단위 이행실적 점검

[그림 2-5] 신기후체제에서 향후 기후변화대응 전략
출처 : 관계부처합동 (2016) 제1차 기후변화대응 기본계획



[그림 2-6] 국내 기후변화 적응정책 체계
출처:http://ccas.kei.re.kr/law/law.do (접속일자: 2017.3.15.)

② 지방 기후변화 적응 정책

□ 광역지방자치단체의 기후변화 적응대책[3)]

2016년 2월 환경부는 제2차 광역지자체 기후변화 적응대책 세부시행계획을 공포했다. 1차 대책의 문제점과 여건전망 등을 고려한 원칙을 재조정 했으며, 이행평가 및 모니터링 체계가 새로 적용됐다. 전국 광역지자체는 5년마다 지역의 중장기적 계획과 전략 및 실행계획을 담아야 한다. 기후변화 적응대책의 대상 분야는 건강, 재난/재해, 해양/수산, 농업, 산림, 생태계, 물 관리 등 총 7개다. 주요 내용은 아래와 같다.

- 기후변화 영향·피해로부터의 완화·예방 및 기회성 창출·촉진
- 경제·사회·환경의 조화와 균형을 이루는 지속가능발전에 기여
- 부적절한 적응 방지 및 적응-감축의 공동편익(Co-benefit) 증진
- 기후변화 취약계층, 취약부문, 취약지역·시설 등 보호·관리
- 기후변화 적응을 활용한 자연자원 보전·관리 및 지역사회 발전 추구
- 최신의 과학적 근거·지식 및 기술 등을 고려한 기후변화 영향·취약성 및 리스크 평가·관리 대응
- 기존 정책의 종합 진단·정비 및 관련정책과의 연계·통합을 통한 시너지 창출
- 적응대책의 효율성, 효과성, 시급성, 형평성 및 탄력성 등 통합적 고려
- 체계적인 모니터링 및 평가·환류를 통해 정책의 실효성 및 유연성 확보
- 주민 등 이해당사자의 참여·소통 및 홍보·교육 기반 강화

3) 환경부 (2016.2.) 제2차 광역지자체 기후변화 적응대책 세부시행계획 수립 지침

2. 기후변화 취약성 분석·진단 연구동향

1) 해외 기후변화 취약성 분석 연구동향

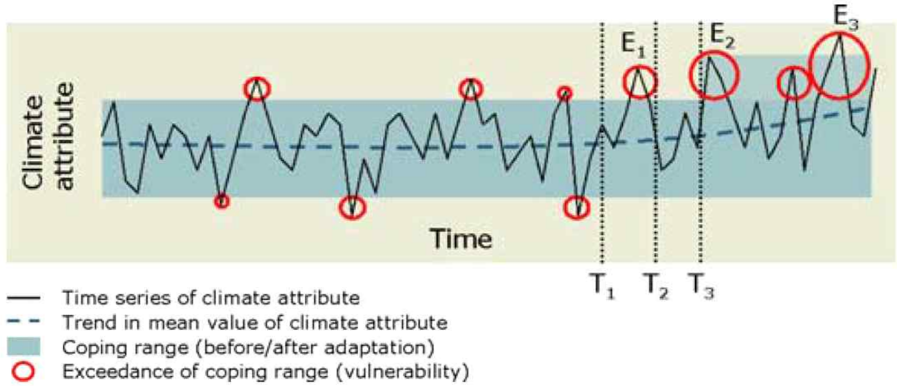
□ IPCC의 기후변화 취약성 연구

기후변화 시나리오에 활용된 주요 변수로 IPCC 5차 보고서에서는 예측한 기후변화 시나리오(RCP)를 분석해 시나리오에서 다루는 기후변화 영향, 거주자의 사회학적 특성과 건물특성 정보를 다음과 같이 선별하고 있다.

- 기후변화 영향 : 과거 30년간 기후극값(온도, 강수, 해수면 높이 등)기록, 기상 이벤트 (홍수, 가뭄, 폭염, 혹한, 태풍) 피해 기록 등
- 거주자의 인구사회학적 특성인자 : 연령, 소득수준, 의료보장수준, 주거상태(월세, 전세, 자가 등), 직장수준, 에너지 사용정보, 가구원수, 의료보험 등 사회보장보험의 수급률, 사망률, 노령화, 주소 등
- 건물특성 : 건물 유형, 건폐율, 용적률, 노후도, 주요구조, 공시지가, 주소

기후변화 주기적 특성을 고려해 적응력을 강화해야하는 최적 시점을 연구한 결과도 있다. Fussel(2007)은 기후변화의 특성과 적응력 강화를 위한 노력의 시기를 다음과 같이 설명하고 있다.

- T1 시점까지 건축물 적응력 강화에 대한 요구가 없으나, E1 과 같은 적응력을 넘어서는 기후변화 이벤트가 발생함
- T2 시점에 건축물 적응력 강화를 위한 노력을 시행하고 T3 시점에 완료한 후, E2 와 같은 이전과 같은 극한의 기후변화 이벤트 발생에 대응함
- E3 와 같은 보다 극한의 기후변화 이벤트 발생에 따라 적응력 강화를 위한 노력의 재시행이 요구됨
- T2 시점에 E3 강도의 기후변화 이벤트를 예상하여 최초의 적응력 강화 증대의 범주를 설정할 수 있다면, 최초의 적응력 강화 노력의 효율성은 증대하게 됨



[그림 2-7] 기후변화 적응력 강화 계획의 시기
출처 : Fussel, H., 2007

□ 취약성 분석모형의 다양한 접근 방법

국내외 선행 연구들에서 제시한 기후변화 취약성 및 그 평가 방법론에서 기후변화 취약성은 기후노출, 시스템의 민감도를 포함하는 잠재영향과 적응역량의 함수(IPCC, 2001; 명수정 외, 2010)로 기후변동과 극한 사상을 포함한 기후변화의 역효과에 의한 시스템이 쉽게 피해를 입거나 대응하지 못하는 정도를 의미한다(IPCC, 2007; 강정은 외, 2012). 이와 함께 취약성을 시작점(starting-point)으로 보는지 아니면 종결점(end-point)으로 보는지에 따라 크게 두 가지 관점으로 구분하고 있다(고재경 외, 2010).

- 민감도: 기후변동이나 변화로 인해 한 시스템이 해롭거나 이로운 영향을 받는 정도
- 노출: 기후변화에 민감한 시스템의 요소가 기후와 접촉되어 있는 정도를 의미
- 적응능력: 기후변화(기후변동과 극한 상황 포함)에 적응, 잠재적인 위험을 완화, 기회로 활용할 수 있거나 결과에 대처할 수 있는 시스템의 능력을 포함하는 개념(IPCC, 2007)

기후변화 취약성 평가는 기후변화 영향에 대한 생물·물리학적 접근을 강조한 하향식 접근법과 기후변화에 대응하기 위한 적응능력이라는 사회·경제학적 접근을 강조한 상향식 접근법으로 크게 구분한다(강정은 외, 2012).

[취약성의 두 가지 관점]

적응전 취약성(pre-vulnerability)

— 시스템 내에 존재하는 사회경제적 요인에 따라 외부 스트레스에 대한 개인이나 지역사회의 대응 능력, 즉 취약성이 다르게 나타남

— 블레이키 외(Blaikie et al.,1994) 등은 취약성을 사회적인 차원에서 '자연 재해의 영향에서 회복할 수 있는 정도를 포함한 개인이나 집단의 노출'로 정의하고 생물·물리적인 요소를 제외(Blaikie et al., 1994

— 켈리와 애드거(Kelly and Adger)도 취약성을 '개인이나 사회집단이 생계와 복지에 영향을 주는 외부적 스트레스에 대처하고 회복하며 적응할 수 있거나 없는 능력'으로 정의(Kelly and Adger, 2000:328)

— 이들이 정한 취약성 분석의 시작은 현재 취약성이며, 그 이유는 현재 사회 시스템이 놓치고 있는 시스템 내부의 취약성에 관심을 갖고 그 정도를 파악해 둠으로서 적응능력의 범위를 확인 할 수 있기 때문

적응후 취약성(post-vulnerability)

— 기후변화에 따른 영향에 적용 가능한 적응 조치가 완료된 이후 남은 영향을 취약성으로 보는 것

— IPCC의 정의가 대표적인데 취약성은 노출, 민감도, 적응능력의 함수로서 기후변동에 대한 시스템의 노출이라는 외부적인 요인과 이러한 스트레스 요인에 대한 민감도, 적응능력이라는 내부적인 요인을 포함

— 또한 적응전 취약성이 사회경제적 취약성에 초점을 맞추는 것에 비해 사회적 취약성과 생물물리적 취약성을 포함한 통합적인 특성을 가짐(Fussel, 2007)

— 미래의 기후위해 시나리오가 분석의 출발점이며, 미래의 기후변화에 대한 적응이 적응능력을 결정한다는 점에서 적응전 취약성과 차이가 있음

하향식 접근법은 주로 기후시나리오와 기후모델을 기반으로 기후변화에 대한 영향을 분석하여 물리적 취약성을 평가하는 모델링 방법으로 장기간의 기후변화 영향을 평가하거나 기후변화 영향의 생·물리학적 측면과 특정 유형의 동적인 상호관계를 살펴보는데 유리하다(강정은 & 이명진,2012). 그러나 인간의 상호작용과 지역의 적응능력을 반영하거나 지역단위의 사회, 경제, 정치, 환경적 여건을 반영하여 실질적인 정책 수립에 활용하기에는 한계를 나타낸다(Dessai & Hulme, 2003).

반대로 상향식 접근법은 지역에 기반을 둔 여러 지표들을 바탕으로 그 시스템의 적응능력을 평가하는 방법으로 지역특성을 반영할 수 있는 장점이 있다. 이러한 특성들 때문에 지표를 활용한 취약성 평가는 도시단위 및 지역단위 분석에 적합하며 정책적 활용도가 높은 편이라 가장 많이 활용되고 있는 방법이다(EU Environment Agency, 2010).

취약성 유발 변수는 물리생물학적(biophysical) 요소와 사회경제적(socioeconomic) 요소로 해당 요소의 성격에 따라 구분 가능하다(Preston, B. 외, 2011). 그 물리생물학적 요소로 기상조건, 자연재해, 지형, 토지피복 등 건축물의 기후변화 적응 취약성을 유발할 수 있는 물리적, 생물학적 또는 생태학적 요소를 구분한다. 또한 사회경제적 요소로 인구, 빈곤, 직업, 성별, 거버넌스 시스템 등 건축물의 기후변화 적응 취약성을 유발할 수 있는 사회적, 경제적 또는 문화적 요소를 유형으로 구분한다.

기후변화 취약성 분석 모델은 두 요소에 관한 집중 여부에 따라 크게 4가지로 구분 가능

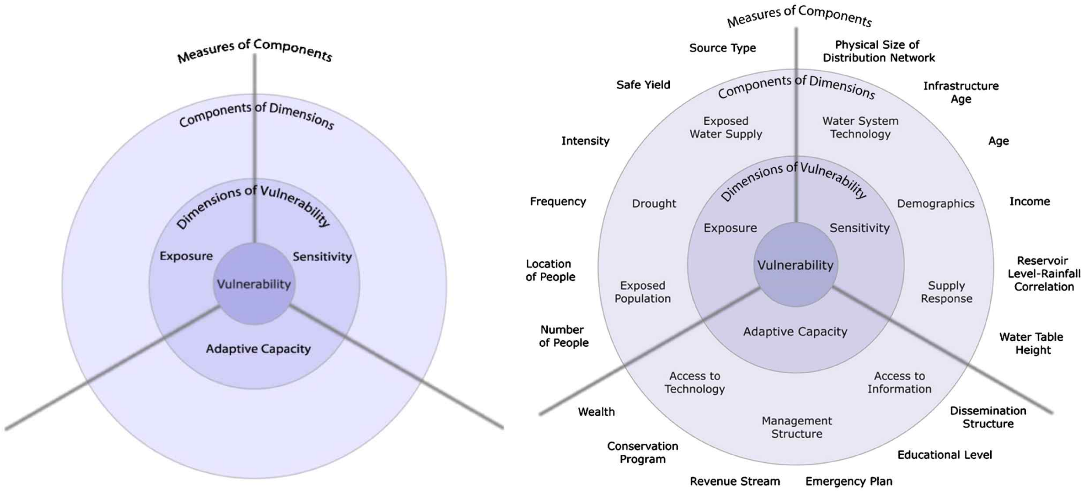
하다(Preston, B. 외, 2011). 첫째, 위험-재해 모델(risk-hazard(RH) model)은 물리생물학적 요소에 집중하여 해당 요소들에 대한 노출(exposure)과 그러한 요소들에 대한 민감도(sensitivity)를 분석하고 해결방안을 도출하는 방식이다. 기존 연구의 약 31%가 이에 해당한다. 둘째, 사회 취약성 모델(social vulnerability(SV) model)로서 인간 및 자연환경에 영향을 주는 정치-사회적 취약성 인자들의 지리적 분포 특성을 분석하고 해당 취약성 유발 인자에 대응하는 방안을 도출하는 방식이다. 기존 연구의 약 7%가 이에 해당한다. 셋째, 통합 분석 모델(pressure-and-release(PAR) model)은 물리생물학적 요소에 대한 노출과 민감도 및 사회경제적 요소의 지리적 분포 특성을 함께 고려하여 기후변화 취약성에 대응하는 방안을 도출하는 방식이다. 기존 연구의 약 51%가 이에 해당하여 가장 보편적으로 이용된다. 넷째, 확장식 취약성 분석 모델(expanded vulnerability(EV) model)로서 서로 다른 공간적·시간적 단위로 발생하는 특정 물리적 요소 및 사회적 요소의 결합을 통해 특수한 상황에서의 기후변화 취약성 분석과 대응 방안을 도출하는 방식이다. 기존 연구의 약 9%가 이에 해당한다.

앞서 언급한 것처럼, 기후변화 취약성(Vulnerability)은 노출(exposure), 민감도(sensitivity), 적응용량(adaptive capacity) 간의 함수 관계에 의해 유발되며, 이러한 유발 변수는 Polsky, C. 외(2007)의 VSD(Vulnerability Scoping Diagram) 기법을 활용하여 구분 가능하다. 즉, 어떠한 건축물의 기후변화 적응 취약성은 임계 치를 넘어서는 기후특성에 건축물이 얼마나 노출되며, 해당 건축물이 기후변화에 얼마나 예민하며, 어떠한 수준의 기후변화 적응 임계 치를 갖느냐에 의해 결정되는 것이다.

이러한 기후변화 취약성 분석을 위한 정형화된 혹은 일반화된 해법과 방법론은 부재하며, 각 연구 주제에 적합한 변수와 방법론을 개발하여 적용하고 있는 실정이며(Preston, B. 외, 2011; Fussel, H., 2007), 건축 부문과 관련되어 있는 기후변화 취약성 유발의 다양한 변수 선택과 건축 부문의 기후변화 적응 취약성을 사실적으로 표현할 수 있는 분석 방법론을 개발·선택할 필요성이 대두되고 있다.

본 연구와 관련해 건축물 및 기타 관련 요소(물리생물학적 요소)와 거주자 및 기타 관련 요소(사회경제적 요소)를 통합적으로 분석하기 위해 통합 분석 모델(PAR model)의 성격을 갖는다. 그리하여 통합 분석 모델(PAR model) 방식을 취하는 기존 연구를 검토하고 해당 모델의 특징을 목록화 및 유형화할 필요가 있다.

- 통합 분석 모델 방식의 대표 연구 사례: O’Brien 외(2004), Preston 외(2009), Acosta-Michlik 외(2008), Sharma 외(2008) 등



[그림 2-8] 취약성 유발 부문(노출, 민감도, 적응용량)에 따른 변수 구분을 위한 VSD 모형(좌), VSD 활용 취약성 유발 변수 구분의 예시(우)
출처 : Polsky, C. 외, 2007

영국에서는 기후변화의 심화로 인해 '복원력(리질리언스)' 개념을 적용하여 관련 법제도, 기준, 지침을 개정하는 작업 중에 있다[4]. 일본은 지역사회 참여를 통한 홍수위험저감 지원시스템(PAFRICS, Participatory Flood Risk Communication Support System)을 구축하고 있고 유럽에서는 초국가 프로젝트인 FRC(Flood Resilient City) 프로젝트를 진행 중이다.

미국에서 진행되고 있는 재해분야 기후변화 적응 관련 대표적인 연구 및 정책 은 미국 주택도시개발부(HUD) 등을 중심으로 수행하고 있는 국가재해복구체계 수립(National Disaster Recovery Framework), 국가재해예방지침(Presidential Policy Directive 8: National Preparedness), 기후변화 대비 및 복원력 대책위원회(Task Force on Climate Preparedness and Resilience) 구성, 디자인에 의한 재건(Rebuild by Design)개최, 10억 달러 국가재해 복원력 경쟁대회($1 Billion National Disaster Resilience Competition) 등이 있다.

기후변화 적응 관련 건축물 관련 정책의 일환으로서 미국은 House elevation project를 수행하고 있다. 초기에는 FEMA 주도로 홍수범람이 많은 지역의 주택 을 평균 홍수수위 이상으로 높여서 지어주는 사업으로, 다른 지역으로의 이주를 고려하지 않는 주민들

4) Department for Environment (2016) Food & Rural Affairs,The Property Flood Resilience Action Plan, 정승현 (2016), 건설환경의 새로운 패러다임, 리질리언스, KICTzine, 11-12월호, pp. 42-43.

에 대한 대책으로 시행되었다. 현재는 많은 주들이 이 사업 을 자체적으로 확대·시행하고 있으며, 허리케인 카트리나의 영향을 받은 뉴올리언즈 대학 등에서 관련 연구를 활발히 진행하고 있다[5]. National Academy of Science는 국가기후평가(National Climate Change Assessment)를 꾸준히 수행하고 있고 2016년에는 Characterizing Risk in Climate Change Assessments 워크숍을 개최하였다[6]. 미국 매사추세스주 보스턴 지역은 기후변화 적응에 대한 연구와 정책, 관련 프로젝트를 활발히 수행하고 있으며, 이와 관련된 정보를 시민들과 공유하고 있다. 관련 보고서와 관련 프로젝트, 취약성 평가 관련 자료는 모두 일반에게 공개되어 있다[7]. 이외에도 기후변화 관련 국제협약인 Sendai Framework for Disaster Reduction 2015-2030은 국가적인 기후변화 적응에 대한 구체적인 목표를 제시하고 있다[8].

2) 국내 기후변화 취약성 분석 모형

□ 기후변화 취약성 평가지원 도구 시스템 (VESTAP)[9]

기후변화 취약성 평가지원 도구 시스템인 (Vulnerability Assessment Tool to Build Climate Change Adaptation Plan, VESTAP)은 웹기반 기후변화 취약성 평가도구로 과거, 현재, 미래에 대한 정량화된 기후변화 취약성 평가결과를 제공함으로써 국내 광역 및 기초지자체가 기후변화 적응대책을 수립하는데 과학적 근거가 되고 있다. VESTAP은 7개 분야 32개 항목(건강(9), 산림(7), 물 관리(3), 생태계(3), 농업(5), 해양/수산(1), 재난/재해(4))에 대한 취약성 평가결과를 제공한다. VESTAP의 시스템 구성은 크게 지표 DB와 결과 표출 도구로 구분할 수 있으며, 지표 DB는 455개의 평가지표와 메타데이터를 포함하고 있다.

구축된 지표 DB는 크게 적용 시점 및 온실가스 감축 정도(RCP 4.5/8.5 등)에 따라 변화하는 변수지표(기상기후 시나리오, 대기환경 시나리오)와 상수지표(인문, 사회 보건 등 통계자료)로 구분한다. 총 455개의 지표는 기후노출, 민감도, 적응능력으로 그룹화 하여 지표 DB로 구성된다.

---

5) http://www.uno.edu/chart/community-elevation-project/index.aspx [2017.4.14. 접속]

6) http://www.nap.edu/23569 [2017.4.14. 접속]

7) https://www.boston.gov/departments/environment/climate-ready-boston#spring2016 [2017.4.14. 접속]

8) http://www.unisdr.org/we/coordinate/sendai-framework [2017.4.14. 접속]

9) VESTAP, https://vestap.kei.re.kr [2017.7.26. 접속]

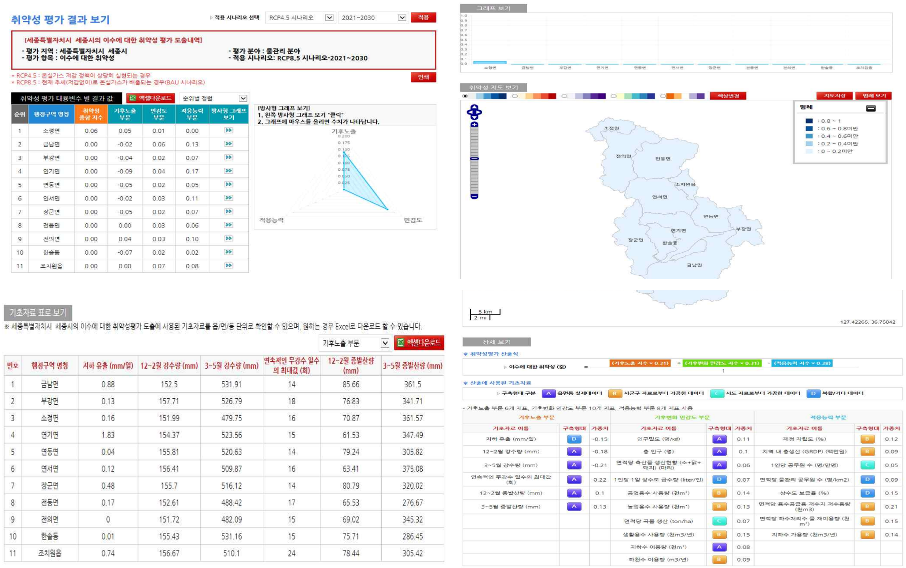
- 기후변화 취약성 평가 방법 : 기후노출, 민감도, 적응능력 지표 및 그에 대한 가중치의 함수(Moss et al., 2001)
- 제시된 각 지표에 대한 가중연산에 따라 최종 취약성 평과결과 도출
- 기후노출: 강수량, 평균기온, 토양수분 등 기후변화자료 등
- 민감도: 육체적/정신적 건강, 연령, 인구, 분야별 생산성 등
- 적응 능력: 위험 분산 능력, 투자 여건, 인적 자원, 환경 역량, 시스템의 적응 의지 등

[표 2-3] 기후변화 취약성 진단 관련 제공자료 항목

명칭 및 URL	제공자료
VESTAP https://vestap.kei.re.kr	-시나리오 DB: 최고기온, 최저기온, 평균기온, 강수량, 풍속, 상대습도 추이에 대한 남한 상세(1km) 및 한반도(12.5km) 기반의 RCP4.5, RCP8.5시나리오 -지표자료: 건강, 재난/재해, 농업, 산림, 해양/수산, 물 관리, 생태계, 감시/예측 8개 분야 455개 데이터 -원시자료: 건강, 재난재해, 농업, 산림, 물 관리, 감시예측

VESTAP의 기후변화 취약성 평가는 기후노출, 기후변화 민감도, 적응능력으로 구분되어 산출 식에 따라 정량적 결과를 도출한다. VESTAP의 기후변화 취약성은 IPCC의 시나리오를 기반으로 RCP 과거관측자료, RCP 4.5시나리오, RCP 8.5시나리오를 기준으로 과거 2001년부터 2050년까지 예측결과를 살펴 볼 수 있도록 설계되어 있다. 지자체별 취약성평가를 조회하기 위해서 아래와 같은 선택 창에서 원하는 데이터 세트를 선택해 평가실행을 하면 된다.

취약성 평가결과는 평가지역, 평가항목, 평가분야, 적용시나리오를 바탕으로 행정구역별 취약성 평가 대용변수별 결과 값을 도출한다. 결과는 방사형 그래프로 볼 수 있다. 취약성은 0에서부터 1사이의 값으로 표현되며, 지도로 확인 가능하다. 구체적으로 산출식, 기초자료로 사용된 기후노출 부문, 기후변화 민감도 부분, 적응능력 부분의 지표를 구축형태와 모형분석에 사용된 가중치를 공개해 확인 가능하다. 각 개별적 기초자료는 엑셀데이터 장표로 다운로드가 가능하다.



[그림 2-9] VESTAP의 취약성 평가결과 화면
출처 https://vestap.kei.re.kr/estimation/estimation_proc.do, [접속일자 : 2017.6.30.]

□ 기후변화 지리정보시스템 : CCGIS, LCCGIS

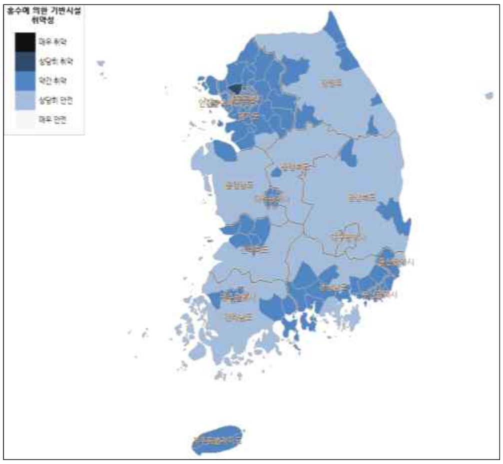
국내 취약성 평가는 국가에서 지자체에 제공한 기후변화 취약성 평가도구인 CCGIS(광역지자체 대상 시·군별 취약성 평가)와 LCCGIS(기초지자체 대상 읍면동별 취약성 평가)을 기준으로 했을 때, 건강·재난/재해·농업·산림·생태계·물 관리·해양/수산업 등 7개 분야로 구분할 수 있다(이경진 & 차정우, 2015). 아래 그림은 CCGIS를 직접 실행해 분석된 결과 다.

[표 2-4] 취약성 평가 프로그램(CCGIS) 평가 지표

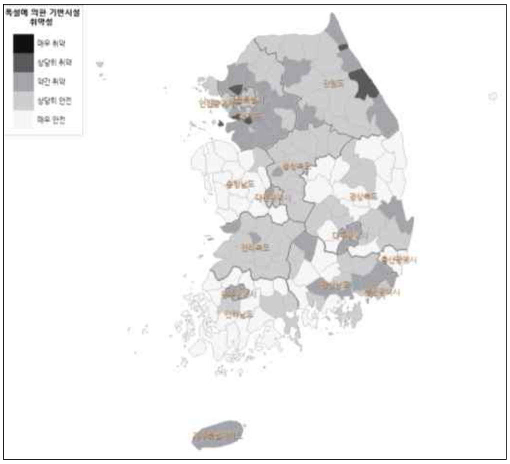
평가 분야	지표
태풍에 의한 건강 취약성	-태풍강풍 기상특보 발효일 -태풍 이재민수
폭염에 의한 건강 취약성	-폭염특보 발효일 -최고기온 31.2℃ 이상 일수
폭설에 의한 기반시설 취약성	-대설 기상특보 발효일 -대설에 의한 공공시설 피해액
해수면상승에 의한 기반시설 취약성	-폭풍해일 기상특보 발효일 -100년빈도 해안침수예상도 상 침수예상 면적
재배/사육 시설의 취약성	-각종 기상재해에 의한 총 축사잠사 피해액 -각종 기상재해에 의한 총 비닐하우스 피해액
가축 생산성의 취약성	-각종 기상재해에 의한 총 가축피해수 -'00~'09년간 가축전염병 발생

평가 분야	지표
집중호우에 의한 산사태 취약성	-호우 기상특보 발효일 -산사태위험지도 상 산사태위험 1-2등급 면적
산불의 취약성	-'00~'09년간 산불피해액 -산불위험지역정보 A-B 등급 면적

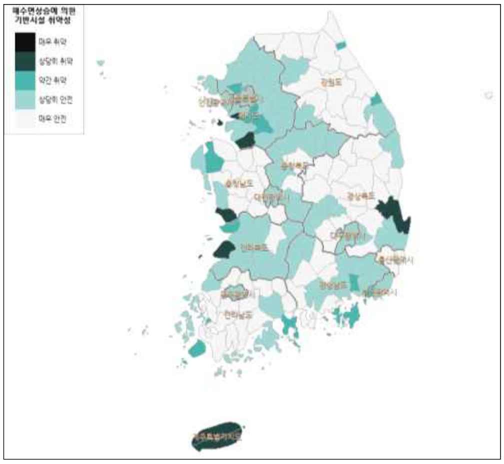
출처 : 이경진·차정우(2015)



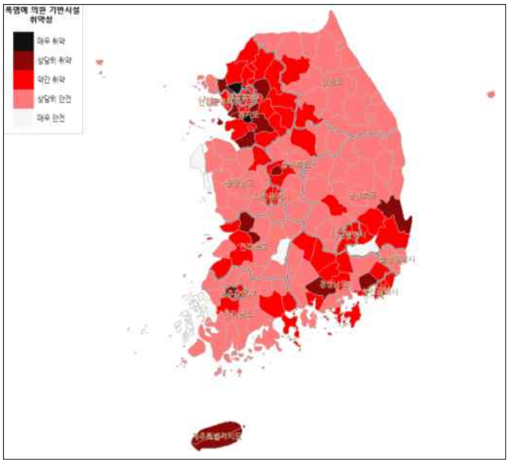
[그림 2-10] 2020년 홍수에 의한 취약성 (CCGIS,RCP 8.5)



[그림 2-11] 2020년 폭설에 의한 취약성 (CCGIS,RCP 8.5)



[그림 2-12] 2020년 해수면상승 취약성 (CCGIS,RCP 8.5)



[그림 2-13]2020년 폭염에 의한 취약성 (CCGIS,RCP 8.5)

□ 도시 기후변화 재해취약성 분석[10)]

국토교통부는 국토의 계획 및 이용에 관한 법률 제20조제2항 및 제27조제3항과 같은 법 시행령 제16조의2, 제21조에 의거 도시·군기본계획 수립시 기후변화 관련 사항과 재해취약성 분석 실시 및 활용을 위한 지침을 마련(2015.5. 제정)하였다. 또한 도시 분야 기후변화 적응 및 재해 등 취약성 분석과 관련하여 지속적인 연구용역들을 추진해 왔으며, '도시 기후변화 재해취약성분석 매뉴얼'(ver.3.0)을 수립하여 활용하고 있다.

'도시 기후변화 재해취약성 분석 매뉴얼'은 도시의 기후변화 재해 취약성을 현재 취약성, 미래 취약성, 도시 종합재해 취약성으로 구분하고 있는데, 현재 취약성은 과거부터 현재(보통 30년)까지의 기상 관측 치에 의한 현재 기후노출(Present Exposure)과 현재의 잠재취약지역과 도시취약구성요소를 중첩한 도시민감도(Present Sensitivity)로 평가하며, 미래 취약성은 기후변화 시나리오(RCP 기반 시나리오)에 의한 미래 기후노출(Future Exposure)과 미래의 도시개발 전망 등을 반영한 도시민감도(Future Sensitivity)로 평가한다. 도시 종합 재해 취약성은 현재 취약성과 미래 취약성 분석에 따른 새로운 취약지역을 고려하며, 현장조사 및 전문가 등의 의견수렴을 결과로 최종 확정한다.

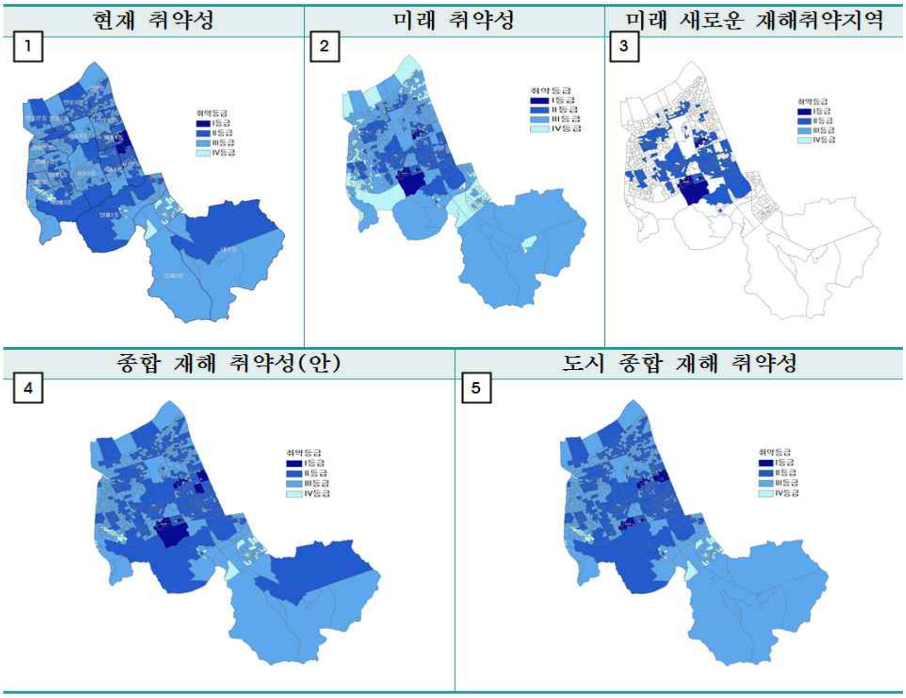
매뉴얼에서의 취약성 분석 방법론으로, 현재 취약성은 현재 기후노출(I~IV)과 현재 도시민감도(I~IV)에 대한 취약성 등급 매트릭스(Matrix) 상의 매칭 등급으로 등급화(I~IV)하여 현재의 재해취약지역(I, II등급) 등급을 도출한다. 대상 지자체 및 인접 시・군의 기상관측자료를 활용하여 공간 보간법(interpolation)을 실시한 후, 결과를 집계구별 기후노출 값으로 부여하고, ArcGIS의 자연적 구분법(Jenks의 최적화방법)에 의해 등급화(I~IV)하는데, 이는 ArcGIS Spatial Analyst의 Zonal Tool을 활용하여 집계구별 기후노출 평균값을 추출하여 구한다. 최종적으로는 ArcGIS에서 각 주제도를 중첩하여 현재와 미래를 종합적으로 고려한 도시 종합 재해 취약성(안)을 마련한 후 현장조사 및 지역의 이해관계자의 의견수렴을 통해 필요시 재해취약지역 등급을 조정하는 방법을 취한다.

매뉴얼에서는 현재 도시민감도 지표중 도시취약성 구성요소로 건축물을 포함하고 있는데, 이에 재해에 취약한 요소들을 다음과 같이 도출하고 있다.

- 폭우: 집계구 내 단독 주택, 반 지하 주택
- 폭염: 보육시설, 요양시설, 경로당, 장애인보호시설, 노숙자쉼터

10) 국가도시방재연구센터 (2013), 도시기후변화 재해 취약성 분석 매뉴얼(VER 3.0), p5

- 폭설: 노후단독 건축물, 비닐하우스, 축사
- 강풍: 고층아파트, 대형건축물, 대형광고물
- 폭우: 집계구 내 단독주택, 반 지하주택



[그림 2-14] 종합 재해 취약성 분석 과정
출처 : 심우배 외 (2013)

□ 국내·외 취약성 분석시스템의 사례 종합

앞서 정리한 국내·외 기후변화 적응 취약성 진단 관련한 사례이외 에도 취약성 분석을 위한 기법들이 존재한다. 국내·외에서 현재 활용되고 있는 취약성 분석시스템 사례를 종합 정리해 보았다.

[표 2-5] 기후변화 적응 취약성 진단 관련 분석기법

분석기법	내용
기후변화 위험 지수 (CRI: Climate Risk Index) (German watch)	• 기후변화로 인해 발생한 폭풍과 홍수, 가뭄 등의 재해에 따른 인명피해나 재산피해를 보험사 Munichre의 NatCatSERVICE 자료를 기초로 종합적으로 평가 • 각 국의 CRI 점수는 4가지 지표의 평균 점수로 산출
취약성·탄력성 지표 원형모형(VRIP)	• 취약성 : 생물·물리적인 민감도, 사회·경제적 적응역량 함수 * 민감도: 인간 정주·기반시설, 식량 안보, 보건, 생태계, 수자원이 포함 * 적응능력: 경제적 능력, 인적자원, 환경역량 • 각 요소는 1~3개의 대리변수로 표현되며, 대리변수는 100을 기준으로 표준화 후 부문별 대리 변수의 기하평균은 민감도 와 적응역량 지수로 산출되고, 민감도 지수와 적응역량지수는 취약성 지수로 계산
기후변화 적응도구	• 16개 부문(건설/토목/건축,보건/건강, 수산업, 농업/축산, 수문/수자원/수질, 관광/레저, 에너지, 원예/임업, 생태계, 교통/통신, 거버넌스/공공부문, 산업, 대기질, 해양생태, 재해, 교육)으로 구분하여 시군구 단위로 분석 • 노출과 민감도 중심으로 기후변화 악영향 평가 예) 기후노출: 일강수량 80mm 이상인 날 수, 민감도 : 10m 이하 저지대 면적 • 적응 능력 평가(사회·경제·지리 통계자료) 예) 적응능력: 제방면적비율, 재정자립도 • 취약성 지수 = 악영향(기후노출+민감도) − 적응능력
기후변화 취약성 평가 지원 도구 시스템 (VESTAP)	• 광역/기초지방정부의 적응 대책 수립 지원이 목적 • 지자체별 건강, 재난/재해, 해양/수산, 생태계, 농업, 물 관리, 산림, 감시예측 8개 분야 및 RCP 과거관측자료, RCP4.5 시나리오, RCP8.5 시나리오에 따라 기후노출, 민감도, 적응능력 및 취약성 종합 지수 제공 • 취약성 종합 지수 = 기후노출 + 민감도 − 적응능력
GIS기반 기후변화 적응도구 (CCGIS)	• 232개 시군구 대상 농업, 산림, 생태계, 보건, 물 관리, 재해, 해양/수산 부문 취약성 평가 • 기후모델 및 대용변수를 이용한 절충형 방법을 기본으로 하향식 방법 결과와 상호 비교·검증 • 취약성 지수 = 기후영향(기후노출, 민감도) − 적응능력
CRAS https://cras.kei.re.kr/main.do	• 민간기업 기후변화 리스크 평가 지원 도구 • 기후변화로 인해 발생할 수 있는 다양한 리스크 정보를 카테고리로 구분하여 리스크의 정의, 전달경로, 비즈니스 영향, 적응옵션 등의 정보 제공 • 진단체크리스트, 미래기후전망자료(RCP Scenario)를 활용하여 기후변화 리스크의 변화와 피해금액 추정 • 폭염, 한파, 호우, 폭설에 따른 매출액, 매출원가, 건축/구축물, 기계/장비, 판매 및 관리비, 재고자산 피해정도를 금액으로 도출

기후변화 위험 지수(CRI: Climate Risk Index)는 기후변화로 인해 발생한 폭풍과 홍수, 가뭄 등의 재해에 따른 인명피해나 재산피해를 보험사 Munichre의 NatCatSERVICE 자료를 기초로 종합적으로 평가한다. 취약성·탄력성 지표 원형모형(VRIP)은 취약성을

인간 정주·기반시설, 생태계, 식량 안보, 보건, 수자원 등을 포함하는 생물·물리적인 민감도와 경제적 능력, 인적자원, 환경역량 등 사회·경제적인 적응역량 함수로 정의한다. 기후변화 적응 도구는 농업/축산, 수문/수자원/수질, 생태계, 해양생태, 원예/임 업, 산업, 보건/건강, 대기질, 수산업, 에너지, 관광/레저, 교육, 재해, 교통/통신, 건설/토목/건축, 거버넌스/공공부문 등 16개 부문으로 구분하여 시군구 단위로 노출과 민감도 중심으로 기후변화 악영향 평가결과에서 사회·경제·지리 통계자료를 바탕으로 평가한 적응 능력을 감하여 취약성 지수를 산출한다.

기후변화 취약성 평가 지원 도구 시스템(VESTAP)은 광역/기초지자체 적응 대책 수립 지원을 위한 기후변화 취약성 평가 도구 시스템으로서 지자체별 건강, 재난/재해, 농업, 산림, 해양/수산, 물 관리, 생태계, 감시예측 8개 분야 및 RCP 과거관측자료, RCP4.5 시나리오, RCP8.5 시나리오에 따라 기후노출, 민감도, 적응능력 및 취약성 종합 지수를 제공한다. GIS기반 기후변화 적응도구(CCGIS)는 232개 시군구 대상 농업, 산림, 생태계, 보건, 물 관리, 재해, 해양/수산 부문 취약성 평가를 위하여 기후모델 및 대용변수를 이용한 절충형 방법을 기본으로 하향식 방법 결과와 상호 비교·검증한다. CRAS는 민간기업 기후변화 리스크 평가 지원 도구로서 기후변화로 인해 발생 할 수 있는 다양한 리스크 정보를 카테고리로 구분하여 리스크의 정의, 전달경로, 비즈니스 영향, 적응옵션 등의 정보를 제공하고 진단체크리스트, 미래기후전망자료(RCP Scenario)를 활용하여 기후변화 리스크의 변화와 피해금액을 추정한다.

한편 국가정보관리 시스템은 도시계획 기초조사항목을 중심으로 사업이 진행되었던 시스템 60개가 존재하며, 이 중 기후변화와 관련된 정보관리 및 시스템은 31개로 분류할 수 있다. 국가정보를 관리하는 시스템은 국토교통부 23개, 환경부 11개, 국민안전처 4개가 있으며 국가정보관리 시스템을 담당하는 15개 기관 중 11개 기관이 기후변화 관련 정보를 관리하고 있다. 이 중 기후와 직접적인 영향이 있거나 관련 지표를 조사하고 있는 정보관리시스템은 국토교통부 15개, 국민안전처 3개, 산림청 3개로 국토교통부가 가장 큰 비중을 차지하고 있다. 이 외에도 농촌진흥청에서는 연구개발을 통해 농업재해 취약성분석을 지원하는 도구로 농업재해 취약성 평가지원 기상자료 처리프로그램(Metsystem)을 구축하고 있다. 이 중 현재 국토교통부에서 제시한 재해취약성분석 시스템의 경우 자료구득의 한계로 인해 미래, 현재 취약성 분석에 어려움 있어 홍수 리질리언스와 관련하여 영국에서 활용되는 체크리스트를 검토할 필요가 있다.

이 외에도 국외에서 복원력(resilience) 개념을 적용하여 개발된 취약성 진단 관련 데이터베이스 및 분석기법 들로는 미국의 기후 복원력 툴킷 (U.S. Climate Resilience

Toolkit), 영국 BRE에서 개발된 QSAND (Quantifying Sustainability in the Aftermath of Natural Disasters), 유럽 지역사회 인도주의 사무국에서 개발한 지역공동체의 재해 복원력 측정 툴킷 (Toolkit for measuring community disaster resilience), 호주의 자연재해 복원력 프로그램, UN-ISDR의 지방정부 재해복원력 자가평가도구(Local Self-Assessment of Progress in Disaster Risk Reduction), 교토대학교, CITYNET, UN-ISDR 공동 개발한 재해완화를 위한 지표(CDRI) 등이 있다.

또한 앞서 정리한 데이터베이스들은 향후 건축물에 대한 취약성 진단을 위한 내용들이 추가되어야 할 것으로 보인다. 이 때, KLIS 등 정부 차원에서 구축한 건축물 및 토지 관련 GIS 데이터에 대한 분석이 유용할 것으로 판단된다.

3. 기후변화 적응정책·취약성 분석에 관한 시사점

1) 기후변화 취약성 관련 정책동향과 시사점

① 기후변화 취약성 관련 정책동향 요약

국가, 광역, 도시 차원에서 수립된 해외의 기후변화 적응 정책들을 살펴보았을 때, 취약성 분야는 크게 수자원, 산림, 절벽과 태풍, 강우에 의한 범람, 해수면 상승 등 자연자원과 인간의 건강 등 보건과 관련된 부문, 전력과 석유 등 에너지 자원, 도로, 철도 등 교통과 하수도 등 기반시설, 기타 금융보험 등 경제적 측면 등으로 분류되어 평가되고 예측이 이루어지고 있다.

본 연구와 관련하여 건물의 경우 고밀의 건조 환경으로 인해 일조시간을 줄어들고, 열섬에 의한 고온현상, 건조화, 평균 풍속의 저하 등이 발생하며 이로 인한 취약성이 주요한 것으로 조사되고 있다. 이러한 취약성 평가 부문은 농업, 어업 등 1차 산업을 대상으로 한 기후변화 취약성과 적응 전략들의 수립 유형의 차이를 제외하고 전반적인 정책적 차별성은 크게 차이를 보이지 않는다.

해외의 주요한 적응 정책으로는 회복탄력성 증대, 정부와 지역 간 동반 관계 구축, 최고의 과학기술과 데이터 활용, 커뮤니티의 지속가능성 제고 측면에서 세부적인 전략들이 도출되고 있다. 구체적으로 정책과 전략 수립을 위한 기금과 예산 지원, 대기질 개선, 수

자원 및 생태계 보호, 위험지역 조사 및 종합계회 수립을 위한 준비 등이 높은 빈도로 적응정책에 반영되고 있다.

국내의 경우 「국가 기후변화 적응대책」을 수립하면서 농수산·건강·생태계·인프라 등의 취약성을 분석하기 시작하였고, 기후변화 리스크 파악 및 우선순위를 결정하는 등의 과정이 이루어졌다. 또한, 최신기술을 활용한 웹기반의 취약성 평가도구들의 개발과 고도화가 진행되었다. 건축물과 관련해서는 연안건축물과 침수에 취약한 주거지역에 대한 리스크를 평가하고, 대규모 산업단지들에 대한 기후변화 영향 및 취약성 평가체계를 구축하였다. 또한 도시의 취약성 매뉴얼을 제작하여 도시취약성에 건축물을 포함하여 요소들을 도출하는 연구들이 진행되었다.

신 기후체제에 대응하기 위해 수립된 「제1차 기후변화대응 기본계획」에서는 온실가스 감축목표 이행계획을 반영하고 기후변화 적응의 중요성과 통합적 대응을 주요 내용으로 담고 있다. 더불어서 건축물의 취약성과 관련하여 기후변화 취약지역의 시설들에 대한 피해 최소화를 위한 취약지역 관리, 적설하중을 고려한 건축물 설계기준 등 재난·재해 관리시스템을 강화하는 것을 과제로 채택하였다.

② 정책동향의 시사점

앞서 언급한 해외의 적응 전략들과 국내의 적응 관련 계획과 정책들은 사회 전반에 걸쳐 취약성을 평가하고 이에 따른 적응을 위한 전략과 행동계획들을 수립하고 있다. 이러한 정책들의 수립된 내용과 동향들은 특히 해외의 경우 지역과 특성에 따른 차별화가 크지 않으며, 전반적으로 다루고 있는 취약성과 전략의 체계들이 크게 다르지 않은 특징을 보인다. 다만, 자연재해 및 기후변화 적응을 바라보는 몇 가지 개념과 관점은 우리가 앞으로 염두에 두어야 할 필요가 있다.

고려해야할 개념과 관점은 사회적 위험의 형성, 위험 및 재해 적응과 대응으로 구분할 수 있다. 우선 사회적 위험성은 신체적, 자산, 인간 및 생계수단과 관련한 요소들이 복합적인 재해영향으로 인해 취약성이 노출 되었을 때 손해, 손상, 손실을 입게 되는 경향을 의미한다(UNDRO 1980, Timmerman 1981; Maskrey 1984; Cardona 1986, 1990; Liverman 1990; Cannon 1994, 2006;UNISDR 2004, 2009, Birkmann 2006a, b, c, Cutter 외 2003, Cutter and Finch 2008, Cutter 외 2008). 사회적 위험성을 해결하기 위해서는 관련한 이해당사자간의 합의가 필요하며, 언제 어디서든 재해, 취약성, 위험성을 인식할 수 있는 폭 넓은 사회적 위험에 대한 이해가 필요하다(Chambers 1989;Cannon 1994;Lavell 1999, Wisner 2006, Carreño et al., 2007a, b;Cardona, 2004).

다음은 위험 및 재해에 대한 관점이다. 우리가 위험을 대하는 것은 시간의 경과에 따라 위험은 변한다는 것을 전제로 해야 한다. 즉, 현재의 위험을 완화하고 미래의 위험을 중재하는 것이 고려되어야 한다. 재해는 물리적 환경, 자연환경, 건조 환경, 인간사회의 복잡성에 의해 더욱 큰 피해가 이어질 수 있지만 완화 또는 멈출 수 있다는 것을 인지해야 한다(Alexander 1993, 2000, Birkmann 2006a, b). 앞으로 위험과 재해를 대함에 있어 탄력성을 동시에 염두에 두어야 한다. 즉, 사회인프라에 대한 회복탄력성은 재해발생 이전으로 사회체계를 회복시키기 위한 과정을 미리 구축해 재구성에 소요되는 역량을 최적화 할 필요가 있다는 점이다.

마지막으로 적응과 대응에 대한 관점이다. 적응은 취약성에 기반을 두되, 그 원인을 파악하고 높은 취약성이 유지되고 있을 때 예상치 못한 재해에 따른 문제를 파악하는데 활용해야한다. 이미 과거의 피해와 복구를 경험하고 이를 구조화 하는 과정에서 사회경제적, 정치적, 문화적 시스템이 피해를 최소화하기 위한 예방적 차원에서 적응과 사건 이후 회복에 걸리는 자원을 최소화하기 위한 대응으로 구분해 인식할 필요가 있다(Kelly and Adger, 2000;Yohe and Tol, 2002;Pelling, 2010).

기후변화에 의한 재해가 피해를 유발하는 사건으로 정의되고, 우리가 생활하는 사회적 영역을 건축물이라고 했을 때, 위험과 피해를 최소화하기 위해서는 건축물과 관련한 물리적 환경, 자연환경, 건조 환경과 더불어 사회적 복잡성을 파악해야한다. 따라서 취약성의 정도를 알 수 있게 되며, 예방을 위한 적응체계 구축에 활용할 수 있을 것 이다.

2) 기후변화 취약성 진단 관련 모형연구와 시사점

① 기후변화 취약성 진단 관련 모형연구 요약

기후변화의 취약성 진단을 위한 모형들은 기본적으로 기후변화 영향 예측 및 분석을 위해 과거 기후극값(온도, 강수, 해수면 높이 등)기록, 기상 이벤트(홍수, 가뭄, 폭염, 혹한, 태풍) 피해 기록 등을 주요인으로 사용하고 있다. IPCC의 시나리오에서는 거주자의 인구사회학적 특성인자들인 연령, 소득수준, 의료보장수준, 주거상태(월세, 전세, 자가 등), 직장수준, 에너지 사용정보, 가구원수, 의료보험 등 사회보장보험의 수급률, 사망률, 노령화, 주소들과 건물 특성인 건물 유형, 건폐율, 용적률, 노후도, 주요구조, 공시지가, 주소 등까지 포함하여 시나리오에 활용하고 있다.

우리나라는 VESTAP을 대표로 하여 지자체의 기후변화 취약성 모형 수립을 지원하고 있으며, CCGIS 등 GIS 기반의 기후변화 적응도구들도 해양/수산, 생태계, 농업, 물 관

리, 산림부문 등 취약성 평가에 활용되고 있다.

이러한 취약성 모형은 기후노출, 시스템의 민감도를 포함하는 잠재영향과 적응역량의 함수(IPCC, 2001; 명수정 외, 2010)관계를 기반으로 하여 시작점(starting-point)/종결점(end-point) 관점에 따른 방식과 생물·물리학적 접근을 강조한 하향식 접근법, 사회·경제학적 접근을 강조한 상향식 접근법 등에 따른 방법론의 차이에 의해 달라지기 때문에 취약성 측면에 따라 차별화가 요구된다.

② 모형연구의 시사점

현재 국내 기후변화 적응 정책수립에 활용중인 기후변화 취약성 진단 도구들은 공간적 범위를 행정구역(최대 기초지방자치단체 구역기준)으로 하고 있어 행정구역범위를 넘나드는 환경·지리적 영향에 따른 진단에 한계가 있다. 따라서 취약성을 분석하기 위해 기초분석 단위의 최소화를 고려하되, 기초분석 단위가 갖고 있는 사회적 여건을 파악해야한다. 즉, 시간, 기능, 공간이 인간 활동을 매개로 연결되고 있고, 과거기록은 통계적으로 해석이 가능하므로 기초분석단위가 내포하고 있는 정보를 사회과학적 통계가 적용될 수 있도록 구축해야한다. 이는 적응계획을 수립하는데 근거로 활용 될 수 있다.

기후변화 적응계획은 장기적으로 현재까지 누적된 기록을 상회하는 재해에 대한 대비를 위해 세워야 한다. 이러한 적응계획을 위한 취약성과 재해 위험 평가는 노출, 민감도, 사회적 대응, 회복탄력성을 중심으로 모형을 구축해야한다(Cardona 1999, 2011; IDEA 2005, Birkmann 2006, Carreño 외 2007a, b, Birkmann & Fernando 2008;Carreño 외. 2012). 노출은 재해발생의 지리적 범위로서 모형에서는 공간화와 시간적 흐름을 동시에 고려할 수 있다. 민감도는 손해와 피해에 관련한 사회적인 위험요소라 할 수 있다. 사회적 대응은 재해발생시 공동체가 적절한 대응을 하기 위한 자원, 자원접근성으로 설명할 수 있다. 회복탄력성은 현재 사회적 시스템을 유지하기 위해 고려해야 하는 적응과정과 규모에 관련한 요소로 설명 가능하다.

즉, 건축물을 중심으로 기후변화 취약성 진단 모형을 고려하기 위해서 건축물을 통해 설명 가능한 사회적 요소를 규명해야하고, 노출, 민감도, 사회적 대응, 회복탄력성을 설명할 수 있어야 한다. 따라서 연구의 시간적 범위에 해당하는 동안 건축물을 중심으로 사회적 요소들을 파악하고 각각의 관계를 통해 취약성을 설명할 수 있는 기초 데이터베이스 구축이 선행되어야 한다.

3) 건축물 분야의 기후변화 취약성 진단모형연구의 방향성

건축물은 사회적 요구에 따라 변화가 가능한 인공물이다. 변화를 하기 위해서는 합리적 사유가 필요하다. 건축물의 변화에는 여러 합리적 사유를 들 수 있지만 본 연구에서는 기후변화에 따른 재해가 반복적 발생을 기본 사유로 전제하고자 한다. 따라서, 건축물의 현재 회복탄력성을 고려해 미래변화에 대한 사전예방적인 기능을 갖출 수 있는 요소를 파악할 수 있어야 한다.

우선적으로 도시지역에서 반복 침수피해를 받은 건축물의 특성을 이미 공개되어 있는 건축물 대장 정보, 입지환경 정보, 사회적 정보를 통한 설명을 시도해 보고자 한다. 나아가 침수를 유발하는 집중호우 범위의 제한성에 의해 미처 드러나지 않아 반복 피해의 위험성을 지닌 유사한 건축물들이 어떻게 분포하고 있는지 확인하고자 한다. 이를 통해 도출된 건축물 빅 데이터 세트를 노출, 민감도, 사회적 대응, 회복탄력성 등으로 유형화하고 기후변화 취약성 진단에 적용가능성과 한계를 파악한다.

결과적으로 반복적 재해 피해를 받은 건축물의 특성을 파악할 수 있는 건축물 중심의 기초 데이터유형을 정리하고, 다른 기후 재해와 연계해 활용할 수 있는 공간분석 방법론의 체계를 정립하고자한다. 더불어 기후변화 취약성 진단 모형 구성 및 정책적용을 위한 기초연구 과정과 결과를 제안하는 것으로 연구의 방향을 잡고자 한다.

제3장 기후변화 취약성 분석체계 정립

1. 기후변화 취약성 분석을 고려한 현황진단의 방향

1) 기후변화 적응을 위한 취약성 진단 방법론의 재구성

기후변화 적응을 위한 취약성 진단은 기후변화에 따라 노출된 영향을 유형화 하고 영향을 받는 명확한 공간적 대상에 대한 민감성과 적응능력을 중심으로 한 정량적 진단에 집중해야한다. IPCC는 적응과 취약성을 다음과 같이 정의하고 있다 "기후변화 적응(Adaptation)은 인간사회에 실제 하거나 예상되는 기후영향에 대해 위험을 완화하거나 유리하게 활용하기 위한 조정 과정이며(IPCC,2012), 취약성(Vulnerability)은 민감하거나 대처하기 어려운 하나의 특정한 기후변화 영향에 대한 정도로서, 지구에 노출된 기후 변인의 비율 또는 규모, 특징에 대한 민감성과 적응능력에 관한 함수이다(IPCC,2001)." 보통 기후변화 취약성은 노출, 민감성, 적응능력의 곱으로 된 함수식으로 활용된다. 취약성 진단의 핵심은 잠재적인 영향과 재해를 기후변화에 대한 위험이 어

떤 장소에서 일어날지 집중하는 것이다. 전 장에서 살펴본 해외사례를 종합해보면, 기후변화에 대비한 재해취약성 분석을 바탕으로 정보관리체계 및 모니터링 기술이 연계된 수준에 도달해 있지만, 아직 우리나라는 재해취약성을 어떻게 도출할 것인가에 대한 분석 자체에 집중된 연구에 머물러 있다[1].

우리나라는 기후변화 적응과 취약성 진단의 분류에 있어 기반을 공간에 둔 기후변화 영향을 고려하고 있지 못하다. 현재 국가 기후변화 적응대책 등에서 재난·재해, 적응산업·에너지, 농업, 산림, 건강, 기후변화감시·예측, 교육·홍보 및 국제협력, 해양·수산업, 물관리, 생태계 등 10개 유형을 정하고 있다. 분야는 나눠져 있지만, 기후영향별 구분이 아닌 행정관리 주체 중심의 분류에 가깝다. 최근 공간에 기초한 취약성 진단이 필요함을 인식하고 CCGIS와 VESTAP 등 결과물이 공간적으로 표현되는 분석 툴이 제시되었지만, 행정구역 단위로 표현되어 그 세밀함은 부족하다.

보다 정확한 기후변화 적응관련 체계를 만들기 위해서, 기후변화 적응 분류체계를 예상되는 기후영향 유형으로 구분해 단순화해야 한다. 각 유형에 따른 취약성 진단은 공간적으로 해야 한다. 높은 해상력을 갖기 위해서 행정구역 단위로 공간을 볼 것이 아니라 실제 국민이 생활하는 시설·필지 또는 건축물을 기준 공간단위로 하고, 이를 합한 공간적 분포를 해당 기후변화 영향에 따른 취약영역으로서 파악할 수 있도록 상향식 방법을 취해야 한다.

[표 3-1] 취약성 진단효율성 제고를 위한 기후변화 적응분류 체계 제안

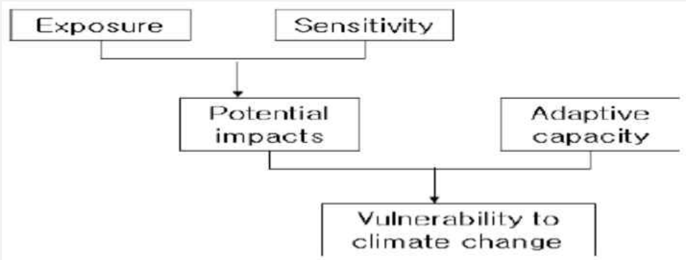
구분	기존	제안
기후변화 적응 적용 대상	재난·재해, 적응산업·에너지, 농업, 산림, 건강, 기후변화감시·예측, 교육·홍보 및 국제협력, 해양·수산업, 물 관리, 생태계	태풍·강풍, 폭염, 폭설, 해수면상승, 집중호우, 평균기온변화
취약성 진단 대상	생명, 재산피해, 산림, 농업·해양 식량자원, 물 관리체계, 생물다양성, 시스템, 사업, 소통	침수, 붕괴, 건강, 생물량 증감, 고립
공간적 범위	행정구역 (광역,기초, 읍면동 등)	건축물, 기반시설, 산업시설, 농업지역, 산림지역, 해안지역의 건축물 또는 시설·필지
취약성진단 집계 방식	하향식	상향식

1) 행정안전부 ((구) 국민안전처)에서 기후변화 현상을 특정하고 피해 산정 및 예측, 평가를 위한 기술개발에 투자하고 있다. 취약성에 대한 공간적 범위를 다룬 연구는 도시공간을 중심으로 국토연구원의 재해 예방형 도시계획 수립을 위한 재해취약성 분석연구가 있고, 건축물을 중심으로는 에너지 소비 및 성능에 관한 연구가 진행된 바 있다.

[**기후변화 취약성** (Vulnerability to Climate Change)]

명수정 외(2009)는 기후변화 취약성이란 한 시스템이 기후의 변이와 극한사상과 같은 기후변화의 부정적인 효과에 대해 쉽게 영향을 받거나 적절히 대처하지 못하는 정도를 의미하는 것으로, 특정 시스템의 기후변화에의 노출 정도와 민감도 및 적응능력의 함수라고 정의(IPCC, 2001b)
즉, 기후변화 취약성이란 기후변화로 인해 부정적인 효과가 발생하였을 때 이에 영향을 받는 정도 또는 이에 대응할 수 없는 정도

※ 취약성 = f(노출, 민감도, 적응능력)



(출처 : IPCC, 2001; 명수정 외, 2010)

2) 취약성 진단의 조건 정립

본 연구는 앞서 제안한 기후변화 적응분류에 따른 취약성 진단대상을 정하고 공간적 범위를 건축물 또는 시설·필지단위에 맞춘 위계에 따라 취약성 진단을 시도한다. 기존의 복잡성이 높고 일반인이 이해하기 어려운 모델 기법도 현재 취약성 진단이 충분히 가능하지만, 기후변화의 현상에 따른 피해를 가정해 건축물을 취약성의 대상으로 정해 살펴보는 방법을 제시하고자 한다. 따라서 취약성 진단을 위한 조건은 다음과 같이 정한다.

① 기후변화 적응 적용대상 중 연구대상 현상 설정

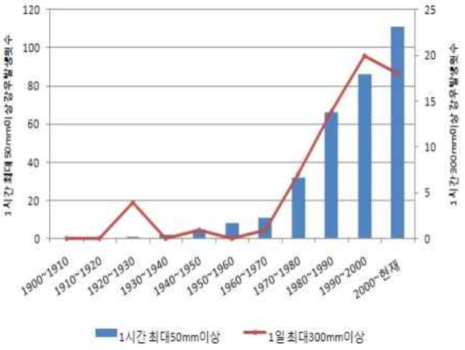
기후변화에 따른 영향은 주로 기상현상과 연결된다. 예기치 못한 상황에서 나타나는 태풍·강풍, 폭염, 폭설, 해수면상승, 집중호우, 지속적 기온상승이 대표적이라 할 수 있다. 본 연구는 다양한 기후변화 영향에 의한 기상현상 중 피해를 받는 인구의 수와 사망 등 인명피해를 다수 동반하는 집중호우를 취약성 진단을 위한 대상현상으로 한다[2].

아래 그림에서 보는 바와 같이 최근 우리나라는 1일 300mm 이상, 시간당 50mm 이상인 집중호우가 전국 기상청 76개 강우측정지점별 합산 통계를 보면 1900년부터 현재까지 증가추세이며, 최근 30년은 그 횟수가 급증 하고 있다[3]. 이와 관련해 기상청은 2017

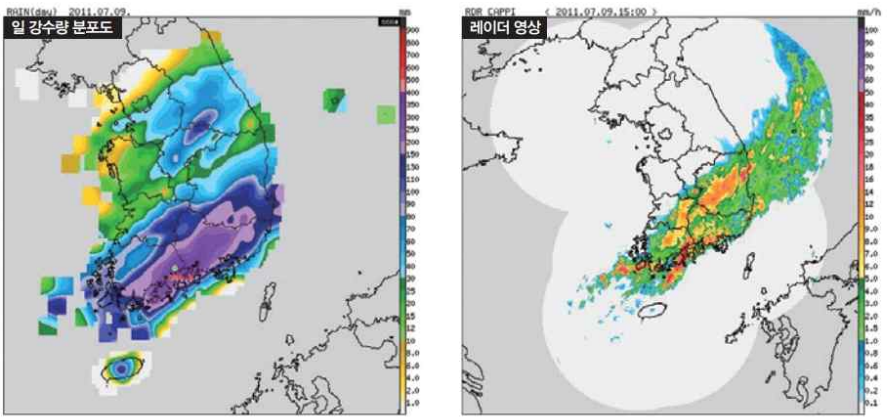
2) CRED (2016), The Human cost of Weather Related Disasters 1995-2015, UNISDR, pp.13-14

년 장마를 국지성 호우형태였으며, 기후변화로 인해 최근 장마가 다양한 형태로 나타나고 있다고 한다. 특히, 2017년 7월 16일은 청주와 천안에 일 강수량 1위를 경신하는 200mm 이상 폭우가 내려 많은 피해를 냈다[4]. 기상청은 최근 기후변화로 인해 북위 30~50도의 한대 제트기류가 일시적으로 남하해 국지적인 호우를 만들어 내고 있다고 설명하고 있다[5].

기간	발생횟수(회)	
	1시간 최대 50mm이상	1일 최대 300mm이상
1900~1910	0	0
1910~1920	0	0
1920~1930	1	4
1930~1940	2	0
1940~1950	5	1
1950~1960	8	0
1960~1970	11	1
1970~1980	32	7
1980~1990	66	14
1990~2000	86	20
2000~현재	111	18



[그림 3-1] 최근 집중호우 발생 추이
출처 : 환경부 (2011.10), 침수대응 하수도 시뮬레이션 가이드라인 마련 연구, p19



[그림 3-2] 2011년 7월 9일 제트기류에 의한 국지성 호우 분포사례
(출처 : 김윤미 (2011.8), 슈퍼장마를 부르는 제트기류, 과학동아 2011년 8월호, p 68)

3) 환경부 (2011.10), 침수대응 하수도 시뮬레이션 가이드라인 마련 연구, p19

4) 기상청 보도자료 (2017.8.3.) 2017년 장마특성

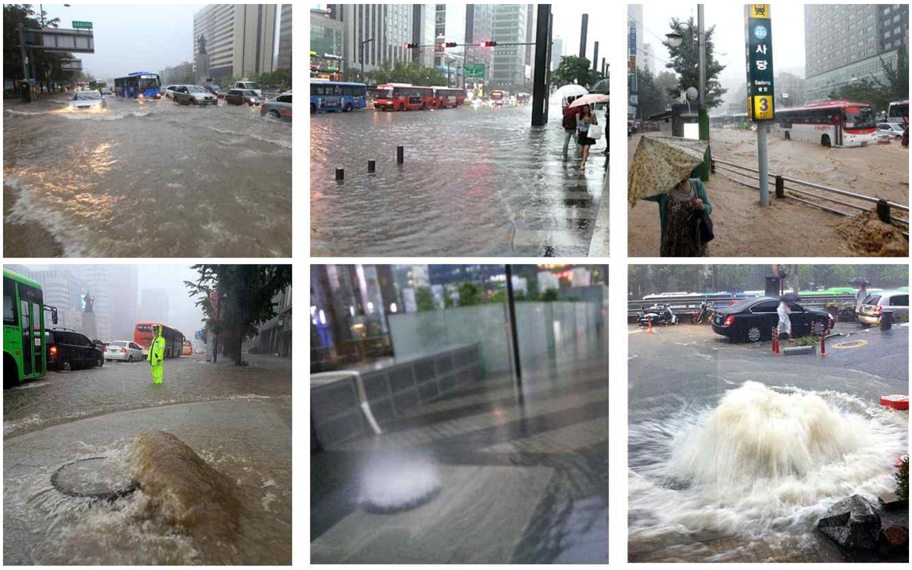
5) 김윤미 (2011.8), 슈퍼장마를 부르는 제트기류, 과학동아 2011년 8월호, pp 66-71

상기 그림에서 보는 바와 같이 장마 발생 패턴이 집중호우의 강수분포가 좁은 장소에 높은 밀도의 폭우를 쏟을 가능성이 높아지고 다양화 되고 있는 점과 시간당 50mm 이상 집중호우의 증가추세를 연계시켜볼 때 주의 깊게 관찰해야 할 기후변화 현상 중 하나이다.

② 취약성 진단대상

취약성 진단대상은 기후변화 현상에 의한 재해중심으로 살펴봐야 한다. 기후변화에 의한 현상은 태풍·강풍, 폭염, 폭설, 해수면상승, 집중호우, 평균기온변화로 정리할 수 있다. 태풍·강풍은 붕괴 및 침수를 야기한다. 폭염은 건강을 악화시키며, 폭설은 고립과 붕괴를 일으킨다. 해수면상승과 집중호우는 침수와 관계되며, 평균기온변화는 건강과 생물량 증감에 영향을 준다. 즉, 기후변화 현상과 재해간의 인과관계가 존재하므로 기후변화 현상에 따른 재해를 취약성의 목적인 대상으로 할 필요가 있다.

본 연구에서 적용할 취약성 진단 대상은 집중호우에 따른 침수현상이다. 집중호우에 의한 침수는 환경부에서는 내수배제시설(우오수관)에 의한 침수, 지표면 유출량에 의한 침수, 지하수위 상승에 의한 침수, 내수 및 외수 수위 상승에 의한 침수 등으로 정리하고 있다[6].



(A) (B) (C)

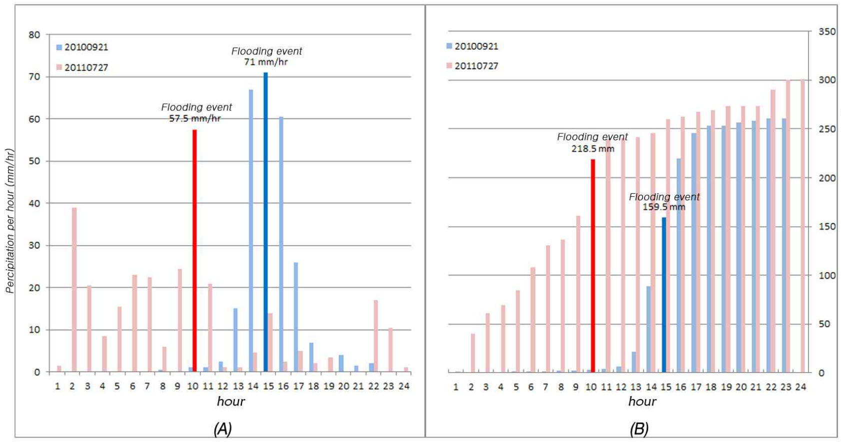
[그림 3-3] 언론에서 보도한 서울시에서 발생한 지표수 침수현상 관련 사진.
출처: 이은석(2015), 물 민감성 그린인프라스트럭처 계획을 위한 적지 모형 개발, 학위논문(박사), 서울대학교 환경대학원 : 협동과정 조경학전공 2015. 8, p10

6) 환경부 (2011.10), 침수대응 하수도 시뮬레이션 가이드라인 마련 연구, pp. 15-18

해외에서는 폭우에 의한 홍수를 지표수 침수(Surface water flooding)라 칭하고 있다. 이는 특히 도시지역에서 발생하는 특수한 유형의 홍수이지만, 개발지역이 확장되며 일반화 되고 있다. 지표수 침수의 특징을 살펴보면, 도시지역에서 발생하는 폭우에 의한 홍수는 불투성의 지표면에서 발생한 지표월류수를 만들어 내며, 이는 곧 지표수침수의 원인이 된다 (Hurford et al., 2012; Ka´zmierczak et al., 2011; Falconer et al., 2009).

지표수침수는 지표면의 상당 비율이 불투수면인 도시에서 집중호우의 시작과 거의 동시에 발생하며, 지속시간이 짧고 국지적이다(Golding,2009). 구체적인 발생 메커니즘은 일시에 배수기반시설로 유입되는 지표수의 유량이 배수기반시설의 총 용량을 넘어서 역류가 시작되고 이미 포화된 도시 지표의 월류수가 만나게 되면 침수피해를 일으키기 시작한다. 침수현상 중간에도 배수시설은 지속적으로 작동하고 있는 상태이므로 강우강도가 줄어들어 지표면에서 배수시설로 들어가는 유입유량이 줄어들면 침수상태는 끝나게 된다. 이 현상은 환경부에서 분류하고 있는 내수배제시설에 의한 침수와 지표면 유출량에 의한 침수의 성격을 함께 포함하는 개념이다.

본 연구에서 다루고자 하는 취약성 진단대상은 시간당 50mm 이상 집중호우에 의한 침수현상 중 도시지역에서 빈번하게 발생하고 있는 지표수 침수현상을 다루고자 한다. 이는 기후변화 의한 현상이 지면에 노출된 사건 의미한다.



[그림 3-4]서울시 2010년 9월 21일(청색), 2011년 7월 27일(적색) 발생한 집중호우 양상의 첨두시간과 강우량(A), 누적강우량의 비교(B)

(출처 : Lee, E.S., Lee, D.K., Kim, S.H. and Lee, K.C. (2016), Design strategies to reduce surface water flooding in a historical district. J Flood Risk Management. doi:10.1111/jfr3.12268)

③ 공간적 범위

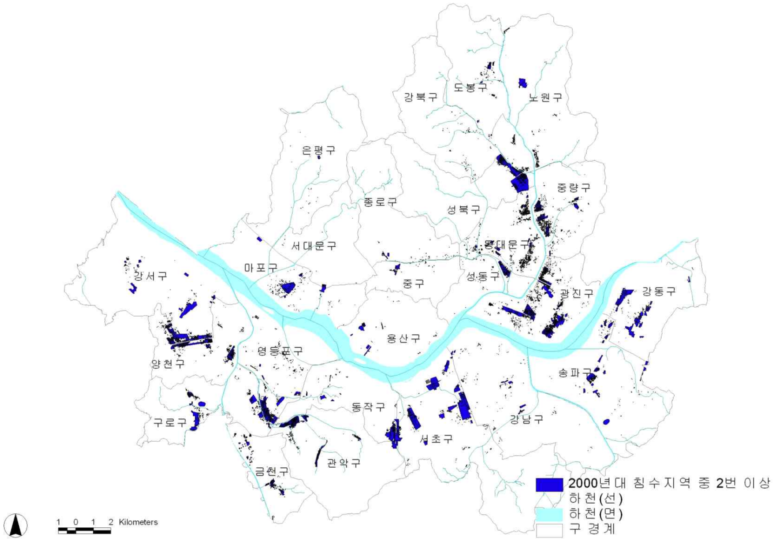
본 연구에서 취약성 진단을 위한 공간적 범위는 기후변화 현상과 취약성 대상 재해가 발생했거나 발생할 가능성이 있는 장소로 정의한다. 즉, 기후현상에 노출된 공간을 뜻한다. 현재까지 많은 연구에서 행정구역단위를 공간의 기본 단위로 설정했다. 행정구역은 정책의 주요 대상이기도 하지만, 행정구역내에서 산발적으로 발생하는 재해를 설명하기에는 공간해상도가 떨어지는 한계점이 있다. 따라서 다양한 계층이 생활하는 건축물, 기반시설, 산업시설, 농업지역, 산림지역, 해안지역 등을 대상으로 공간적 범위를 세분할 필요가 있다.

대부분의 국민이 거주와 생산 활동으로 시간을 보내는 주거용 및 비주거용 건축물은 본 연구의 주요 공간적 범위이자 연구대상이다. 건축물은 부동산으로서 가치를 갖고 있으면서 개인과 공공의 재화가 보호되고 사용되는 공간이다. 경제적 가치가 밀집된 건축물은 피해를 보게 되면 복구에 추가적인 시간과 재화가 투입되어야 한다. 따라서 건축물은 기후변화에 따른 재해에 얼마나 견딜 수 있는지, 또는 반대로 재해에 얼마나 취약한지에 대한 진단대상으로 중요한 가치를 지닌다.

공간적 범위를 건축물로 선정함에 있어 중요한 요소 중 하나는 그 공간이 취약성 진단 대상 재해의 피해를 입은 경험이 존재해야 한다는 것이다. 본 연구에서 주목하고 있는 도시지역이면서, 집중호우에 의한 침수현상을 2회 이상 반복적으로 겪은 피해지역의 건축물을 연구대상으로 한다. 해당 조건을 확인하기 위해서는 건축물이 밀집되어 있는 피해지역의 영역이 기록된 공간 자료가 필수적이다. 전국 침수피해 흔적도를 분석해 해당 조건에 합당하는 도시를 선별했다.

서울특별시는 자체적으로 침수 흔적도를 작성해 공개하고 있다. 서울시는 최근 서울시 전반적으로 국지성호우에 의한 대규모 피해가 발생했던 2010년 9월 21일(시간당 강우량 57.5mm), 2011년 7월 27일(시간당 강우량 71.0mm)의 필지단위 피해를 정밀하게 작성했다. 본 연구는 해당 침수피해 분포가 기록된 공간 자료를 집중호우에 의한 침수현상을 설명하는 주요한 공간자료로 활용한다.

서울시 침수 흔적도에는 침수 건축물의 공간적 분포가 포함되어 있다. 서울시에서 반복적 침수피해를 받는 건축물 취약성은 건축물이 지닌 고유 특성으로 설명가능하다. 건축물은 건축물의 고유 정보를 갖고 있다. 건축물대장은 모든 등록 건축물의 고유정보를 기록한 데이터베이스로 건축물이 지닌 기후변화 민감도와 적응능력을 설명할 수 있는 정보가 담겨있다. 더불어, 건축물이 입지한 환경을 설명할 수 있는 지리적 여건, 기반시설, 사회적 여건을 함께 민감도와 적응능력을 설명할 수 있는 요인으로 활용한다.



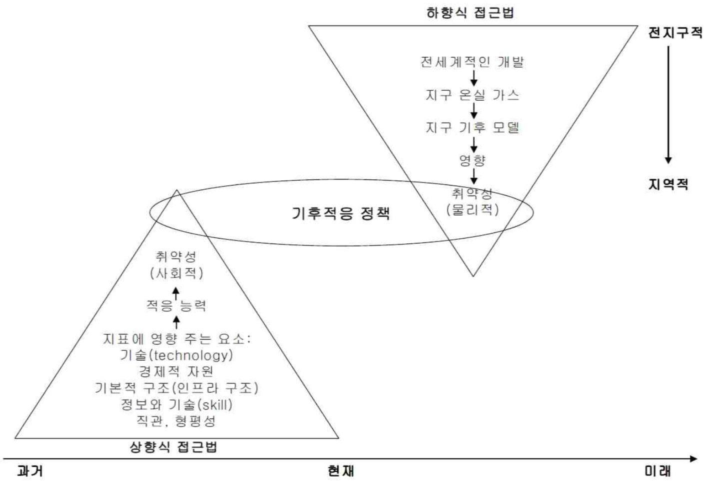
[그림 3-5] 2000년대 이후 침수지역 중 2회 이상 침수된 지역 분포
출처 : 박창열 외 (2013)

④ 취약성 진단 집계방식

본 연구에서 제시하고자 하는 취약성 진단 집계 방식은 상향식이다. 개별 단위 결과를 합한 결과가 군집적 특성을 보일 경우 이를 설명하는 방식을 취하고자 한다. 우선적으로 침수피해를 입은 건축물들의 공통 특징을 파악한다. 기준은 건축물이 입지한 필지의 피해면적 비율이다. 피해 면적률이 1이라면 그 결과 값은 건축물이 집중호우에 의한 반복적 침수에 매우 위험함을 의미하는 것으로 정의한다.

이 결과 값을 바탕으로 대상 도시 전체의 모든 건축물 또는 필지를 대상으로 침수피해를 입었던 건축물들 간의 정합성을 개별적으로 산출한다. 피해를 받은 건축물과 유사한 특성을 갖는 건축물의 분포를 확인하고 정도 차이에 의한 군집적 특성을 파악해 내는 것이다. 군집 패턴을 분석해 유의미한 군집의 공간적 분포를 찾아내면 집중호우에 의한 취약성이 매우 높은 지역과 낮은 지역이 행정경계와 무관한 패턴을 보일 것이다. 결과적으로 그 공간적 패턴은 취약성을 완화하기 위한 정책이 적용될 대상으로 활용할 수 있게 된다.

상향식 접근법은 지구적 규모에서 지역적 규모에 걸친 기후변화 현상이 발생할 것을 기본전제로 한다. 따라서 이미 기후변화 현상이 발생함을 전제로 하기 때문에 기후변화 시나리오의 적용을 통한 변화를 살피는 것 보다 지표에 영향을 주는 요소를 이해하고 이를 적응능력을 향상시킬 수 있는 구조를 만들어 내는 것이 중요하다.



[그림 3-6] 기후변화 적응정책 완성을 위한 상향식 접근법과 하향식 접근법의 틀
출처 : 강정은·이명진, 2012

3) 종합

본 연구는 기존의 기후변화 적응과 취약성 진단 관계와 다른 관계를 설정했다. 연구에서 전개하고자 하는 기후변화 취약성 진단 방법은 노출변수에 대한 정의를 대상공간 전역에 공통적으로 적용함을 전제한다. 따라서 IPCC에서 정의한 기후변화 취약성 진단의 본질적 정의와 다소 차이점을 갖는다. 따라서 높은 정확성을 요구하는 취약성 진단의 용어보다는 연구 설계의 성격에 맞는 표현인 재해 위험성 진단으로 용어를 대체해 사용하고자 한다. 결과적으로 위험성 진단의 결과는 취약성 진단을 위한 사전적 분석으로서도 이해 가능하므로 건축물 분야의 취약성 진단모형을 구성하기 위한 사전적 분석체계로 한계 짓고자 한다.

최대한 기본적 틀은 기후변화 취약성 진단의 틀을 유지하고자 한다. 따라서 기후변화 적응을 위한 유형을 기후변화에 의한 현상에서 출발해 현상에 따른 재해를 진단 대상으로, 재해에 영향을 받는 공간적 범위를 시설중심으로 정한다. 취약성 진단결과를 도출하는 집계방식은 상향식 방법을 취하고자 한다. 구체적 대상은 기후변화 현상 중 집중호우, 취약성 진단 대상 재해는 침수, 공간적 범위는 도시지역의 건축물, 집계방식은 개별 건축물의 재해 위험도를 합산해 군집 분포를 설명하는 것으로 한다.

2. 재해 위험성 진단을 위한 공간분석 체계

1) 지표수 침수피해 위험 건축물 분석 체계

① 기본구조[7)]

지표수침수 위험 건축물 분석의 기본개념은 실제 침수지역이 지닌 건축물의 특성을 설명변수를 통해 고유한 특성으로 정의하고, 그 기준과 동일한 건축물 특성을 지닌 건축물의 공간적 분포를 찾는 것이다. 침수지역이 지닌 건축물의 특성을 찾는 방법은 사회조사방법론에서 통상적으로 활용되고 있는 다중선형회귀모델 중 최소자승법을 사용하여 침수지역을 설명하는 건축물 설명 변수들의 관계성을 판단한다. 모형의 설명변수의 계수로 설명력이 부족한 특성은 잔차를 통해 확인되는 공간적 분포 패턴을 파악하여 유의도를 높이는 과정을 거친다.

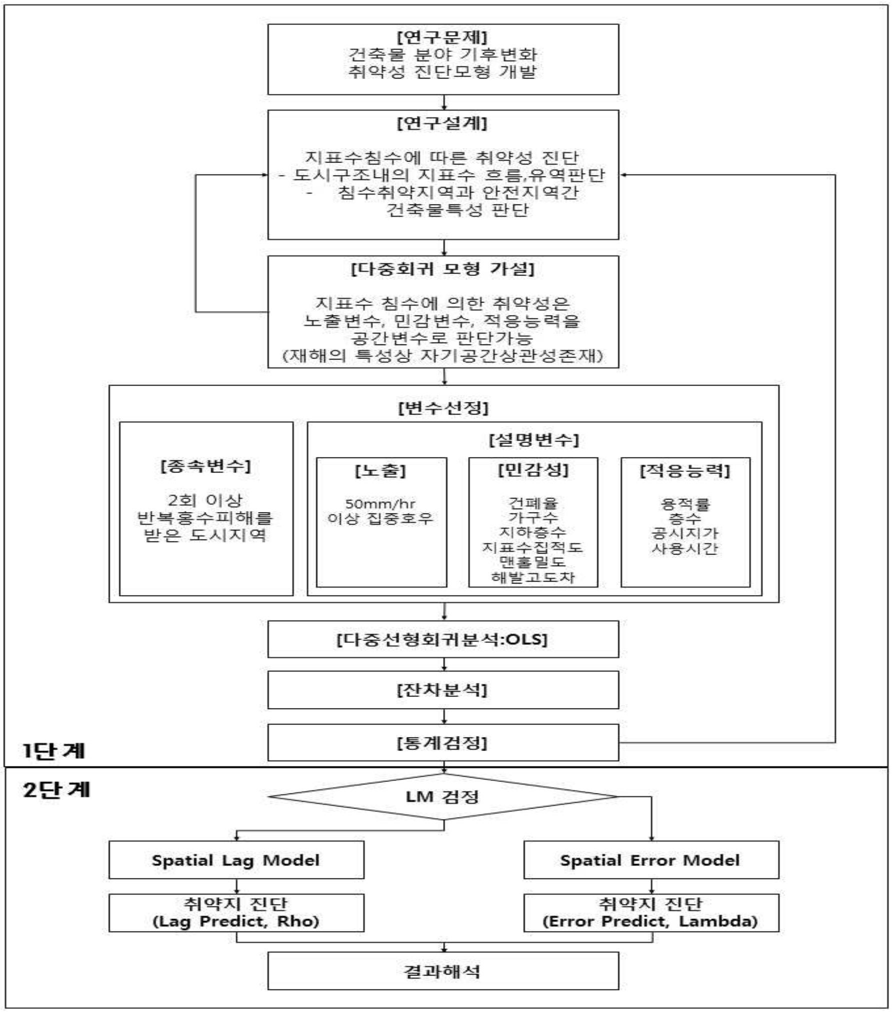
최종적으로 취약한 건축물의 분포를 파악하기 위한 방법은 공간회귀모형을 활용한다. 공간회귀모형은 변수 간 공간적자기상관성이 어디에 위치하느냐에 따라 공간시차모형 또는 공간오차모형을 사용하게 된다. 두 모형을 통해 잔차 값에 내포되어있는 지표수침수 취약성에 관계된 변수 값을 추려내면 선형회귀모형이 도출된다. 이 모형에 건축물이 존재하는 대지의 공간특성을 입력하면 취약지역에 대한 특성을 예측할 수 있게 된다.

구체적으로 공간정보만으로 지표수침수에 대한 취약성을 진단할 수 있는가를 연구문제로 출발하여 지표수를 발생시키는 원리를 근거로 모형을 설계한다. 최소자승법을 적용하기 위해 노출, 민감, 적응의 카테고리에 적용되는 변수들을 설정한다. 종속변수는 2차례 이상 반복 지표수침수의 피해를 받은 지역의 단위면적당 침수면적 값이다. 설명변수 중 노출변수는 시간당 50mm이상 집중호우 사건, 민감성변수는 건폐율, 가구 수, 지하층수, 지표수집적도, 맨홀밀도, 해발고도차 로 한다. 적응변수는 용적률, 층수, 공시지가, 사용시간 등을 사용한다. 각 변수 간의 상호관계성을 최소자승법을 통해 해당 유역 내 침수지역의 특성을 도출한다. 이 결과로 얻어지는 각 변수별 계수와 통계적 유의성을 검토하여 변수를 선별하고 동시에 잔차의 공간적 분포에 대한 크기를 판별한다.

---

7) 이희연, 노승철 (2012) 고급통계분석론-이론과 실습-, 문우사, pp.588-657

두 번째 단계에서는 공간회귀모형을 사용하여 취약지역에 대한 예측 값을 도출하기 위한 과정으로 잔차가 갖고 있는 자기상관 오류를 최소화하여 유의성을 높이는 과정을 진행한다. 이 단계에서는 1단계의 최소자승법 결과에서 얻은 LM 진단을 통해 잔차의 오류를 감소시키는 모형인 공간시차모델 (Spatial LAG Model) 또는 공간 오차모델(Spatial Error Model)에 대한 선택지를 만들고 최적모델을 사용하여 지표수침수 취약지역에 대한 진단 값을 도출한다.



[그림 3-7] 지표수침수 취약지역 진단을 위한 공간회귀모형 과정 및 구조

출처 : 이희연,노승철 (2012) 고급통계분석론-이론과 실습-, 문우사, p 307 (재구성)

② 현황데이터 구조화 방법론

건축물단위의 해상도 높은 기후변화 취약성 진단 결과를 얻으려면 취약성 대상 기후특징을 반영 할 몇 가지 별도의 데이터 구조화 방법이 적용되어야 한다. 본 연구는 집중호우에 대한 침수현상을 공간적으로 설명 가능하도록 도출하는 것이 목적이므로 그와 관련한 구조화 방법론을 정리한다. 첫 번째, 지표에 내린 집중호우가 지형을 따라 고지대에서 저지대로 흘러가는 궤적과 누적 량을 산정하는 것이 중요한 방법 중에 하나다. Rolling Ball Method 와 이를 GIS에 적용시킨 Surface Water Analysis를 정리했다. 또한, 다수의 공간변수를 적용해 나타난 분석·진단 결과의 통계적 유의성과 구조적 정합성을 판별하기 위한 공간통계모형을 정리했다.

- □ Rolling Ball Method

GIS에는 Rolling ball method (Prodanovic,1999)를 활용한 Catchment area 작성법 (Jenson & Domingue,1988; Boonya-aroonnet et al.,2007; Maksimović et al.,2009;Zhou et al.,2010; Leitao, 2013)이 기본 함수로 탑재되어 있다. Rolling ball method는 지리정보 중 해발고도와 경사를 활용한다. 주변에 비해 해발고도가 가장 높은 값들이 연결되어 분수령을 설정하며, 가장 낮은 해발고도 값들을 연결하여 계곡선형을 만들게 되는 논리체계이다(Boonya-aroonnet et al.,2007 ; Maksimovic et al., 2009;Leitao, 2013). Rolling ball method의 시작은 Jenson&Domingue (1988)의 논문이라고 할 수 있다.

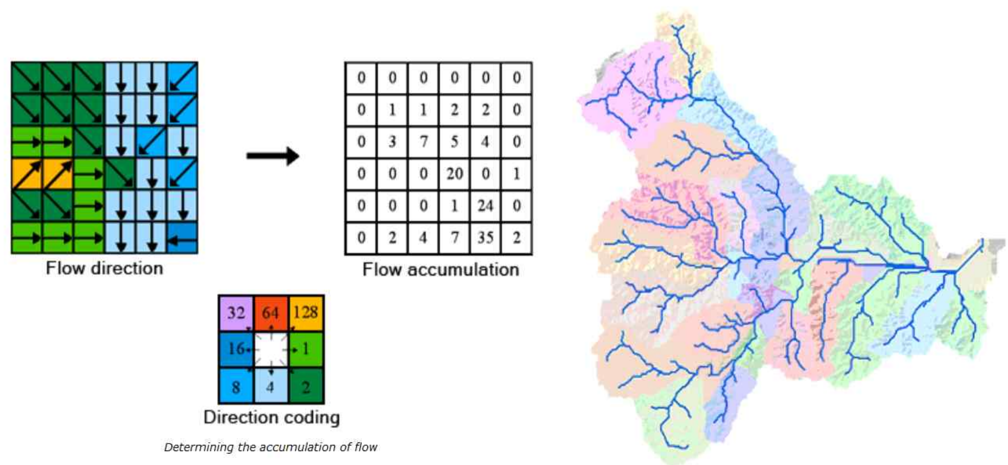
이 연구는 FORTRAN프로그램을 활용하여 래스터와 벡터 공간분석을 하기 위해 수학적 원리를 바탕으로 개발된 것에서 출발한다. 원리는 간단하다. 판지에 정사각형의 방이 있고, 방의 중심에 공이 하나씩 놓여있는 상태에서 출발한다. 공은 물을 의미하며, 공이 있음은 '1' 없음은 '0'으로 표현된다. 판지를 반으로 접으면 경사와 높은 곳, 낮은 곳이 생긴다. 동시에 각 방에 있던 공들은 경사를 따라 낮은 곳으로 몰리게 되는데 공이 있던 방은 공이 빠져나가 0이 되며 그 공은 경사를 따라 낮은 곳에 위치한 인접한 방으로 옮겨지게 되며, 그 방은 인접한 높은 곳에서 이동해 온 복수의 공이 모이게 된다 (Jenson&Domingue,1988; Prodanovic,1999). 경사를 따라 움직이는 물의 이동 원리를 존재의 유무에 따라 코드화 하여 '0'(부재) 과 '1'(존재), 그리고 이 값들이 지형의 연결성에 따라 계산되는 체계를 공의 움직임에 투영해 모형화 한 것이다.

구체적인 작동체계는 모든 픽셀에 물이 존재하여 '1'값을 고르게 갖는 것에서 출발한다. 등고값과 경사도를 기준으로 중심 픽셀 주변 8개의 픽셀을 2의 제곱근 순으로 1(20)

에서부터 128(28)까지 주소를 부여하며, 높낮이에 따라 8개 방위로 Direction을 부여하게 된다.

 이 Direction의 연결성에 의해 기본적으로 각 픽셀마다 기본적으로 입력되어 있는 ‘1’ 값이 이동합산이 된다. 즉, 모든 DEM내 cell을 대상으로 각 1개의 cell을 중심으로 연접한 8개의 cell에 물이 존재하면 1, 존재하지 않으면 0 이라는 조건식을 부여한다. flow direction code 값을 기준으로 해당 cell이 주변 cell과 직접 연결되면 주변 cell로부터 1값을 물려받아 누적 합이 된다. 다만, flow direction code값이 직접 연결되지 않는다면 1값을 물려주고 자동으로 물이 존재하지 않게 되므로 0으로 바뀐다.

 이 연산이 반복적으로 진행되면서 전체 DEM cell에는 지형에 의한 물의 누적 값이 입력된다. 결과적으로 연결성이 길게 이어지면서 해발고도가 낮은 픽셀일 수 록 픽셀에 입력된 합산 값은 커지게 된다. 이 합산된 값은 클수록 지표수가 많이 집적된 의미로 모든 픽셀에 재입력되어 도면으로 표현된다 (Jenson&Domingue,1988).



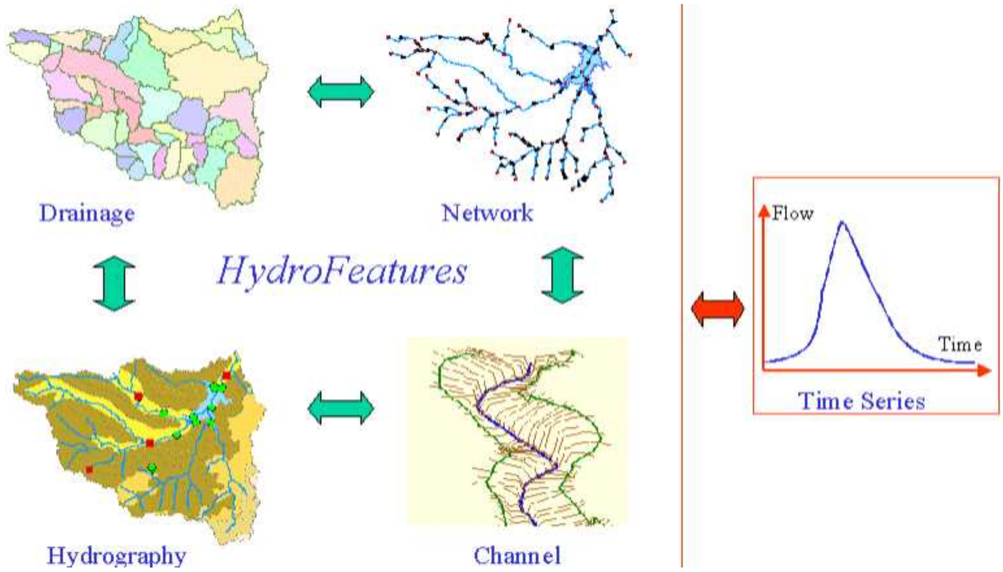
[그림 3-8] Rolling Ball Method의 작동 과정과 분석결과로 산출된 지표수 네트워크 예시
출처 :Jenson&Domingue (1988), ArcGIS 10.1 Help

□ 지표수 분석 (Surface Water Analysis)

본 연구에서 지표수분석을 위해 DEM(Digital Elevation Model)을 구축하기 위해 등고선, 표고점 등 해발고도 정보가 입력된 자료를 활용하여 TIN을 구축하고 DEM을 만드는 방법과, RBM을 활용한 Surface water hydrology를 활용하는 방법으로 구분된다.

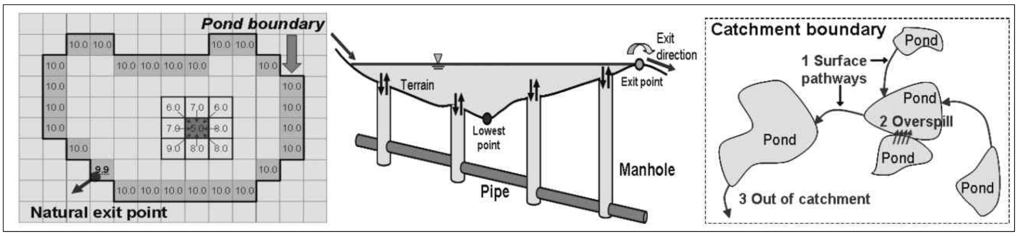
DEM을 구축하는 방법은 통상적으로 등고선 또는 표고점 자료에 GIS의 Create TIN 명령어를 사용하여 구축한 가상의 지형을 레스터이미지로 변환하여 작성하는 방법이 일반적이다. TIN을 변환해 DEM을 작성하고, 이를 지형데이터로 작성해 지표수 분석에 기초정보로 사용한다. ArcGIS에는 RBM 논리구조를 기반으로 한 Hydrology toolset을 기본 명령어 도구로 탑재하고 있다. 이 Toolset을 활용하여 분석할 수 있는 지표수관련 정보는 배수분구(Basin), 지형정보의 보정(Fill), 지표수흐름누적(Flow Accumulation), 지표수방향 (Flow Direction), 지표수 연장(Flow Length), 수계연결망(Stream Link), 지표수계 차수(Stream order) 등이다(이희연&심재헌, 2011).

이 Toolset의 기능을 응용하여 최근 별도의 Extension으로 Arc Hydro가 출시되어 보다 Network, Drainage, Channel, Hydrography, Time series와 관련한 세밀한 분석이 가능하며, GIS를 사용한 다른 분석결과와 호환을 함에 유용하다. 특히 Arc Hydro 는 지표면 상의 물의 흐름을 분석하는데 특화되어 있어 지표수와 관련한 과학적 정보를 얻는데 유용하다. 따라서 본 연구를 통해 개발하는 모형은 Hydrology toolset과 Arc Hydro에 구축되어 있는 명령어를 조합하여 구성하게 된다.



[그림 3-9] Arc Hydro for ArcGIS 10.1을 통해 분석가능한 지표수관련 정보
출처 : Arc Hydro for ArcGIS 10.1 help

DEM을 입력 값으로 하여 Hydrology 관련 명령어인 flow direction(FDR), flow accumulation value(FAC)을 사용한 결과 값 조합하면 watershed, Catchment, watershed linkages, drainage networks, overland path을 지표수를 주제로 한 수문 분석을 할 수 있다. 그 중 유역 분석은 flow direction data set과 raster image (DEM)를 활용하여 Flow accumulation value가 0인 cell들을 선으로 연결하여 영역을 만들게 되며, 연구자가 직접 threshold 값을 입력한 drainage flow값으로 영역의 크기를 결정한다.



[그림 3-10]Rolling ball method의 확장 개념으로 pond를 통해 연결되는 유역연결성에 대한 해석도
(출처 : Boonya-aroonnet et al.,2007)

③ 공간통계모형을 통한 데이터 구조화

본 지표수침수 취약지역 진단모형은 공간회귀모형을 통해 최종 결과 값을 얻는다. 침수지역의 공간특성을 파악하고 취약성에 영향을 주는 것을 설명하는 설명변수의 관계성을 파악하기 위한 기준인 종속변수는 2000년 이후로 2회 이상 지표수침수가 반복적으로 발생한 시가화지역의 단위면적 값이다. 설명변수는 앞서 서술한 노출변수, 민감성변수, 적응능력변수에 해당하는 16개 공간 변수가 된다.

이 공간회귀모형과정은 2단계를 거친다. 1차적으로 설명변수 16개에 대해 공간회귀모형인 최소자승법(OLS)을 실행하여 취약성에 대한 설명변수의 설명력과 잔차의 공간적 특성을 파악한다. 2차로 동일한 변수를 대상으로 잔차의 오류를 최소화 하는 공간시차모형(Spatial lag model) 또는 공간오차모형(Spatial error model)을 활용하여 잔차의 오류를 최소화한 회귀식을 도출한다. 반드시 설명변수별로 포함되어 있는 공간자기상관성을 추출하기 위해 공간가중행렬(Spatial weight matrix)를 작성하여 공간회귀모형에 적용한다. 예측치의 인접지역의 영향정도를 판단하기 위한 값인 Lag 변수 값 또는 Error 변수 값을 얻는다. 검증차원에서 반드시 잔차의 공간자기상관성이 사라졌음을 Moran's I 검정을 통해 확인하는 과정을 거쳐야 한다. 결과적으로 지표수침수 취약성은 13개 변수별로 설명을 위한 계수가 산출되며 선형 회귀식을 구성한다. 지수화 된 13개

현황 변수 값들이 구축된 공간회귀모형식에 대입되어 산출된 통계적 추정치(Predict Value)가 각 건축물이 입지한 지적 별로 산정되어 취약성 진단결과로 표시된다.

모든 변수를 건축물이 위치한 지적별로 취합하는 과정과 결과도면은 표현에 ArcGIS V.10.5을 사용하였으며, 공간회귀모형은 GeoDa V. 1.10 을 사용하여 OLS와 Spatial lag model 또는 Spatial error model의 결과 값을 도출했다.

2) 공간회귀분석을 활용한 유의성 검증체계

본 연구에서는 지표수 침수를 유발하는 공간적 요소들 간의 공간적 관계성에 의해 취약 지역을 판단할 수 있다는 가설을 검증하기 위해 공간회귀분석을 사용한다. 공간회귀분석은 GeoDa V1.6을 사용하여 결과를 산출하고, ArcGIS로 도면화한 결과를 도출한다.

연구의 대상인 지표수 침수현상은 지표수의 흐름 또는 지하관망을 통해 현상이 발생한 지역을 중심으로 주변지역에서 직접적 영향을 받는 공간적자기상관성이 높은 현상임을 고려하여야 한다. 따라서 일차적으로 공간요소 간의 상관성을 알아보기 위해 최소자승법을 적용하여 유의성 높은 변수를 추출하고, 최소자승법에 의해 만들어진 잔차 내부의 공간적 의존성을 해석하여야한다. 공간가중행렬을 사용하여 공간시차모형 또는 공간오차모형을 이용하면, 최소자승법보다 신뢰도 높은 통계적 결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서 사용하는 공간회귀분석은 최소자승법과 공간가중행렬을 사용한 공간시차모형 또는 공간오차모형을 결합한 방법이다.

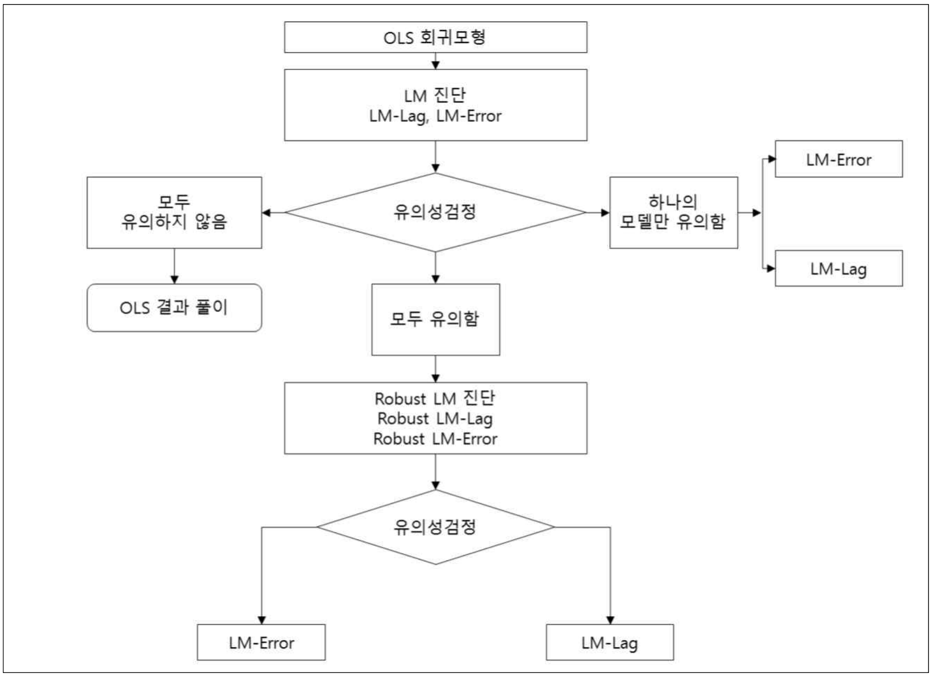
① 최소자승법 (Ordinary Least Square Method : OLS)

최소자승법은 설명변수가 종속변수에 어떠한 영향을 미치고 있는가를 분석하는 대표적인 통계방법이다. 각 변수들 간의 관련성은 수학적 모델을 바탕으로 하여 선정된 변수의 실측데이터로부터 모델을 추정하여 판단할 수 있다. 설명변수가 종속변수에 미치는 영향력의 크기를 측정하여 설명변수 값에 대응되는 종속변수 값을 예측할 수 있다(이희연&노승철, 2012). 본 연구에서는 지표수 침수가 발생한 지역을 실측한 공간적 영역을 종속변수로 설정하고 해당 영역내부를 설명할 수 있는 영향요인들을 설명변수로 설정하여 각 변수들 간의 영향력의 크기를 통해 관계성을 모색한다. 지표수침수가 발생한 영역의 중심에 가까울수록 설명변수들이 관계성이 선형으로 도출됨을 전제로 하여 설명변수가 다수인 다중선형회귀분석의 형태를 사용한다.

도출된 회귀모형에 대한 검정방법은 결정계수(R2), F-검정값, 로그우도, AIC, SC, 다중공선성판단을 위한 상태지수, Jarque-Bera 검정, Breusch-Pagan 검정, Koenker-Bassett 검정 등을 수행한다. 또한 잔차의 등분산성 및 공간적자기상관성을 진단하기 위해 모란지수(Moran's I)를 이용한다. 도출된 다중선형회귀분석결과 잔차의 공간적 특성을 해석해 내기위한 공간회귀모형을 선택하여야 한다. 이때 Robust Lagrange Multiplier 테스트를 사용하여 잔차 해석을 위한 공간회귀모형으로서 공간시차모형 또는 공간오차모형을 결정할 근거를 찾는다(Anselin,2003; Fingleton&Gallo, 2008; Lambert et al., 2010; 이희연&노승철,2012; 이세영&이제승,2014).

② Spatial Lag/Error Model

공간회귀모형은 공간적 자기상관성이 존재하는 공간데이터로 인해 발생하는 회귀결과의 불확실성 또는 편향에 관한 문제를 해결하고 모델의 추정결과에 대한 신뢰도를 높이기 위해 필요하다(Anselin,2003; Fingleton&Gallo, 2008; Lambert et al., 2010; 이희연&노승철,2012; 이세영&이제승, 2014).



[그림 3-11] 적합한 공간회귀 모형을 찾는 과정
출처 : 이희연&노승철, 2012, p610

공간시차모형은 공간적 자기상관성을 갖는 종속변수를 사용하는 경우에 최소자승법의 대안이 된다. 기본개념은 종속변수를 통해 설명하게 되는 대상지역과 인접한 지역의 관측 치에 대한 영향력을 제어하고 주변지역에 의한 영향을 변수로 가공해 새로운 설명변수로 정의하고 이를 회귀모형에 추가하는 것이다. 구체적으로 새롭게 추가된 설명변수는 해당지역의 주변지역으로부터 받는 파급효과를 설명하게 되며, 이웃지역의 관측치를 공간가중행렬로 구축하여 공간시차변수(W)로 변환하여 반영하게 된다(이희연&노승철,2012). 지표수침수가 발생한 A유역에서 취약성이 증가하면 인접한 B유역에서도 취약성이 증가할 수 있음을 설명하는 변수가 된다. 즉, 설명변수에 산발적으로 흩어져있는 공간적 자기상관성을 공간시차변수에 집중시켜 나머지 설명변수의 독립적인 설명력을 찾아내는 것이다. W값이 클수록 대상지역 주변에 파급효과가 있음을 설명하게 된다(Anselin,2003; Fingleton&Gallo, 2008; Lambert et al., 2010).

오차에 공간적 자기상관성이 존재하면 공간오차모형을 사용한다. 공간오차모형은 오차들 중에 존재하는 공간종속성을 통제하고 오차공분산을 만들어 각각의 오차에 적용하여 모형 내에서 공간적 상호작용을 판단하는 것이다. 즉, 오차에 공간가중행렬을 적용한다. 추정결과 공간오차항의 계수는 (λ)값으로 표현된다.(Baltagi et al., 2003; 이희연&노승철,2012).

3. 재해 위험성 진단 활용 건축물 관련 변수 결정

1) 재해 위험성 진단용 변수 선정

건축물 대장은 우리나라 개별 건축물의 전수 정보를 축적하고 있는 빅 데이터다. 건축물 대장정보는 총괄표제부, 표제부, 전유부로 구분해 각각의 개별 건축물 특성정보를 관리한다. 건축물 대장에는 건축물의 신축과 멸실을 비롯해 인허가와 관련된 정보들을 포함하고 건축설비의 구체적인 사항까지 기록되어 기초지자체에서 등록한 정보를 국토교통부가 총괄 관리하고 있다.

본 연구에서는 기후변화의 영향중 지표수 침수가 건축물에 미치는 영향성을 진단하는 모형을 만드는 것이므로 건축되어 있는 대지를 기준으로 대지에 건축되어 있는 주건축물의 특징을 중심으로 적용하기로 했다. 따라서 건축물대장상 건축물의 대표성을 설명

하는 총괄표제부에 기입되어 있는 정보를 중심으로 지표면 침수 취약성 진단에 활용 가능한 변수를 선정하는데 기초 변수로 사용한다.

건축물대장 표제부 정보 중 누락정도가 가장 적은 데이터 중에서 기후노출, 민감도, 적응능력에 적용 가능한 지표를 선정했다. 침수에 대해 건축물 입지환경을 설명하는 지표를 포함했다. 도시지역의 지표수 침수현상에 영향을 주는 지표수 집적도, 인접 맨홀밀도, 평균 해발고도차를 포함했으며, 적응능력과 관련한 사회적 지표로 공시지가를 추가했다.

[표 3-2] 재해위험성 진단에 활용한 건축물 대장 표제부 정보

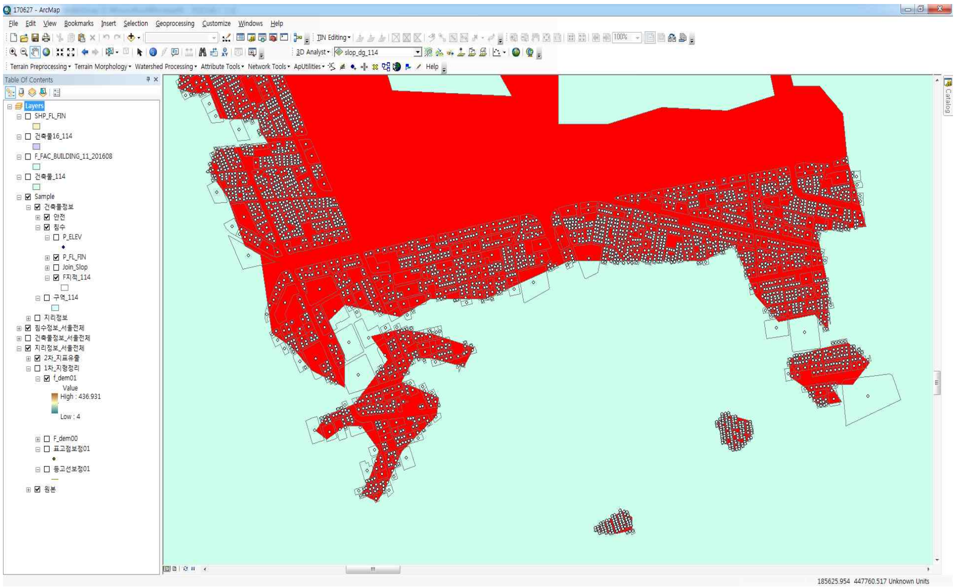
연번	컬럼명	설명
1	FID	필드 아이디
2	PNU	PNU 코드
3	JIBUN	지번
4	PLAT_AREA	대지면적
5	ARCH_AREA	건축면적
6	BC_RAT	건폐율
7	VL_RAT	용적률
8	MAIN_PURPS	주용도
9	STRCT_NM	주요구조
10	FMLY_CNT	가구수
11	GRAND_FLR_C	층수
12	UGRAND_FLR_	지하층수
13	YYYY	기준연도
14	USE_YR	준공연도
15	FLD_AREA	대지내 침수피해면적
16	RA_FLD_A	단위면적당 침수면적
17	JIGA	단위면적당 공시지가
18	Avg_ELEV	평균해발고도
19	FAC_PLAR	단위면적당 지표수집적도
20	MHD_PLAR	단위면적당 맨홀밀도
21	BD_AGE	건축물 사용기간
22	ELEV_GAP	평균해발고도와 대지해발고도 차

2) 재해 위험성 진단을 위한 공간정보변수

① 종속변수

본 재해위험성 진단은 공간회귀모형을 사용하며, 이때 적용하는 종속변수는 지표수침수 발생지역을 사용했다. 단 시간의 집중호우에 의한 침수현상이 반복적으로 발생한 기성도시지역에 한 한다. 대상도시는 서울특별시 이며, 2000년 이후 홍수피해가 2회 이상 발생한 지역 중 지하배수관망의 역류에 의한 침수가 발생한 도심 및 부도심 지역을 대상으로 한다.

이 지역은 서울시의 상습침수지역을 연구한 문헌의 결과를 바탕으로 연구자가 기상청의 통계자료, 신문기사와 서울안전누리의 GIS 자료[8]를 통해 재구성하였다. 종속변수는 단위면적당 침수피해지역의 면적으로 환산 값을 사용한다. 즉, 해당지역이 침수피해범위에 완전히 포함된다면 1, 전혀 포함되지 않는다면 0, 일부가 포함된다면 0~1사이의 비율 값을 적용했다.



[그림 3-12] 건축물이 위치한 필지의 침수피해 비율 산정을 위한 GIS 분석결과

8) http://safecity.seoul.go.kr:8070/scmyn_cf/main.do (접속일자: 2017.6.30.)

② 설명변수

설명변수는 공간지리정보 중에 종속변수인 지표수침수현상을 설명할 수 있는 변수로 선정한다. 다수의 문헌에서 강수패턴의 변화는 기후변화에 기인하며, 이는 지표수 침수와 같은 홍수피해를 증가시키는데 영향을 준다고 하고 있다(IPCC,2001). 지표수 침수에 대한 취약지역을 진단하기 위한 근거를 취약성을 산출하는 함수에서 찾고자 한다. 그 근거는 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 의 기후변화 취약성 산출함수[9]에서 정의한 변수유형에 맞추어 지표수 침수와 유관한 공간지리정보를 선별하여 정리한다.

본 연구에서는 지표수침수를 기후변화에 의한 취약성 분석 대상으로 하여 각 변수유형의 의미에 맞는 세부 요소들을 관련문헌을 통해 정리하였다. 단 변수의 조건은 공간에서 얻을 수 있는 정보로 제한하였다. 이는 지표수침수에 영향을 주는 공간요소의 물리적 관계성을 통해 개별 건축물의 취약 특성을 파악하는 것이 본 연구의 목적이기 때문이다.

각 변수는 지적도를 기준으로 쪼개어 건축물이 입지해 있는 지적면적에 각 변수의 면적을 나눈 값으로 지수화 하였다. 따라서 각 변수의 값은 지적도 모양과 완전히 일치할 경우 1, 일치하지 않을 경우 0으로 나타나도록 하여 각 변수가 차지하는 면적의 비율에 의해 0에서 1 사이 값을 갖도록 하였다.

선행연구와 기존모형에서 활용중인 변수 등을 고려하여 건축물 대장정보중에서 물리적 환경, 지리적 환경, 사회적 여건에 근거한 인자를 변수로 정했다. 물리적 환경에 해당 변수는 건축물의 규모에 따른 영향을 고려한 건축면적, 해당필지의 불투수 면적을 알 수 있는 건폐율, 침수 시 가장 큰 피해를 받게 되는 지하층수, 대지면적, 건축물의 규모를 설명하는 용적률, 건축물의 내구성을 설명하는 주요구조, 침수 피해의 수직적 범위와 완충규모를 가늠할 수 있는 건축물의 층수로 정리했다.

지리적 환경 인자로는 필지가 위치한 지대의 고저 여부를 확인할 수 있는 평균해발고도, 집중호우 시 지표면을 따라 흐르게 될 지표수의 누적 값을 확인할 수 있는 단위면적당 지표수집적도, 지표수 침수의 원인인 지하 관거 역류수의 토출구의 개수와 위치를 파악할 수 있는 단위면적당 인접맨홀 밀도, 월류수의 유입 및 유출 여부를 파악할 수 있는 해발

9) "The degree to which a system is susceptible to, or unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity." (McCarthy, 2001, p. 995)

고도차를 변수로 정했다. 건축물 대장 표제부에 기입된 데이터는 그대로 활용하고, 공간적 분포양상이 정량적 결과 값으로 도출되는 평균해발고도, 지표수집적도, 인접맨홀밀도는 각 데이터 값을 필지면적으로 나눠 단위면적당 지표화 했다. 사회적 여건과 관련한 인자로는 침수 시 피해를 받을 수 있는 사람 수를 추정할 수 있는 가구 수, 침수피해에 따른 경제성을 고려하기 위한 주용도, 건축 허가 시 소방방재법의 적용 수준을 가늠할 수 있는 준공연도, 대상 건축물과 필지의 침수피해의 회복과 관련한 경제적 잠재력을 파악할 수 있는 단위면적당 공시지가, 건축물의 노후정도에 따른 피해수준을 판단할 수 있는 건축물 사용기간을 사회적 여건과 관련된 변수로 활용했다.

[표 3-3] 재해위험성 진단에 사용 된 설명변수 : 물리적 환경 인자

연번	변수명	변수코드	선정사유
1	건축면적	ARCH_AREA	건축물의 규모에 따른 영향을 고려
2	건폐율	BC_RAT	해당필지의 불투수면적 정보
3	대지면적	PLAT_AREA	침수시 재산상 피해범위와 관계
4	용적률	VL_RAT	건축물의 규모를 설명
5	지하층수	UGRAND_FLR_	침수시 가장 큰 피해를 받는 공간규모
6	주요구조	STRCT_NM	건축물의 내구성을 설명
7	층수	GRAND_FLR_C	침수 피해의 수직적 범위와 완충규모를 가늠

사회적 여건과 관련한 인자로는 침수시 피해를 받을 수 있는 사람 수를 추정할 수 있는 가구 수, 침수피해에 따른 경제성을 고려하기 위한 주용도, 건축 허가 시 소방방재법의 적용 수준을 가늠할 수 있는 준공연도, 대상 건축물과 필지의 침수피해의 회복과 관련한 경제적 잠재력을 파악할 수 있는 단위면적당 공시지가, 건축물의 노후정도에 따른 피해수준을 판단할 수 있는 건축물 사용기간을 사회적 여건과 관련된 변수로 활용했다.

[표 3-4] 재해위험성 진단에 사용 된 설명변수 : 지리적·사회적 환경 인자

연번	변수명	변수코드	선정사유
1	평균해발고도	Avg_ELEV	지대의 고저 여부를 확인
2	단위면적당 지표수집적도	FAC_PLAR	지표면을 따라 흐르게 될 지표수의 누적 값을 확인
3	단위면적당 맨홀밀도	MHD_PLAR	지하 관거의 역류수의 토출구의 개수와 위치를 파악
4	평균해발고도와 대지해발고도 차	ELEV_GAP	월류수의 유입 및 유출 여부를 파악
5	주용도	MAIN_PURPS	침수피해에 따른 경제성을 고려
6	가구수	FMLY_CNT	침수 시 피해를 받을 수 있는 사람 수를 추정
7	준공연도	USE_YR	소방방재법의 적용 수준을 가늠
8	단위면적당 공시지가	JIGA	피해의 회복과 관련한 경제적 잠재력을 파악
9	건축물 사용기간	BD_AGE	건축물의 노후정도에 따른 피해수준을 판단

제4장 건축물 재해 위험성 분석 및 취약성 진단 적용

1. 기초 데이터베이스 구성 및 논리구조

1) 기초 데이터베이스 구성 및 정제

전 장에서 정리한 변수와 작성 방법을 통해 서울특별시를 대상으로 한 기초데이터 베이스를 구성했다. 가장 기본이 되는 공간위치 정보는 서울특별시 GIS 정보 중 연속지적도를 사용했다[1]. 이는 테이블로 구성되어 있는 건축물 대장정보를 공간정보로 변환하기 위한 중요한 기초자료이다. 본 연구에 사용된 서울특별시 연속지적 필지 수는 977,955개 이다. 기초 데이터베이스는 기후변화 취약성 설명에 필요한 기후노출, 민감성, 적응능력을 고려해 건축물대장정보, 사회적 정보, 지리적 정보로 구분해 수집한 뒤 하나의 데이터베이스로 구성했다.

① 건축물 대장 정보 입력

서울특별시의 연속지적도를 기반으로 표로 된 속성정보로만 구성되어 있는 건축물대장

1) 연속지적도는 2016년부터 국가공간정보포털에 무료 제공하고 있다.
(출처 : http://market.nsdi.go.kr/goods/detail.do?gno=12771, 접속일자. 2017.7.28.)

정보를 공간정보로 변환했다. 건축물 대장정보는 내용이 매우 방대해 건축물 대장 표제부에 기입되어 있는 대표지번과 대표 건축물 정보를 중심으로 적용했다. 대표지번과 대표건축물 정보의 매칭으로는 개별 건축물의 모든 특성을 반영하는데 한계이므로 본 연구는 1개 필지에 1개 건축물이 존재하는 것으로 제한했다. 따라서 본 연구에 적용된 건축물과 필지 수는 562,579개 이다. 연속 지적도상의 전체 977,955 필지 중 562,579개 필지에 건축물 정보를 입혔다.

건축물 정보를 연속지적도에 입히는 방법은 표제부 정보 중 주소정보를 PNU인 대표지적 코드로 변환했고, 변환한 PNU값과 연속지적도 상의 PNU값을 활용해 연결했다. 따라서, 건축물의 대표성을 설명할 수 있는 28개 항목 정보가 대표지적코드를 통해 연속지적도에 입력했다. 건축물대장 표제부 정보 중 일부 중복되거나 건축물은 존재하는 것으로 파악되나 주요한 정보가 누락된 신뢰성이 떨어지는 필지정보를 2차 정제작업을 통해 제외했다. 최종 정제된 건축물대장 표제부 정보는 총 12개 유형을 사용했다.

[표 4-1] 건축물대장 표제부정보 정제과정 결과

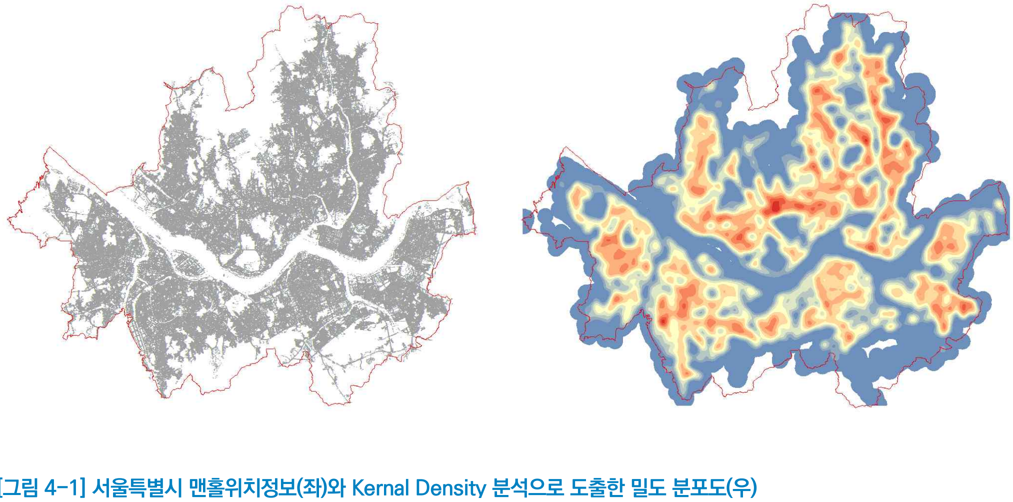
연번	DB 코드값	항목명	정제과정 및 결과		
			1차	2차	최종
1	MGM_BLDRGST_PK	전유부 관리건축물 PK	기각	-	PNU Code(지적)
2	PNU	PNU Code(지적)	○	○	대지면적
3	ADDR	주소	기각	-	건축면적
4	BLD_NM	건물명	기각	-	건폐율
5	DONG_NM	동명	기각	-	용적율
6	PLAT_AREA	대지면적	○	○	동대표용도
7	ARCH_AREA	건축면적	○	○	구조
8	BC_RAT	건폐율	○	○	가구수
9	VL_RAT_ESTM_TOTAREA	용적률_산정_연면적	기각	-	지상층수
10	VL_RAT	용적률	○	○	지하층수
11	TOTAREA	연면적	○	기각	사용승인일
12	MAIN_PURPS_NM_DONG	동대표용도	○	○	연도
13	MAIN_PURPS_NM_FLR	층대표용도	기각	-	
14	PURPS	용도구분	기각	-	
15	STRCT_NM	구조	○	○	
16	ROOF_NM	지붕	기각	-	
17	HHLD_CNT	세대수	○	기각	
18	FMLY_CNT	가구 수	○	○	
19	HO_CNT	호수	○	기각	
20	HEIT	높이	○	기각	
21	GRND_FLR_CNT	지상층수	○	○	
22	UGRND_FLR_CNT	지하층수	○	○	
23	USEAPR_DAY	사용승인일	○	○	
24	YYYY	연도	○	○	
25	MEGA_CD	광역시코드	기각	-	
26	CTY_CD	시군구코드	기각	-	
27	BDONG_CD	법정동코드	기각	-	
28	BLOCK_CD	블럭코드	기각	-	

② 사회적 정보 입력

사회적 정보는 단위면적별 표준공시지가, 도시계획 시설 중 기타기반시설로 분류되어 공개되어 있는 맨홀분포와 2회 이상 침수된 피해지역을 표시한 서울특별시 침수흔적도를 공간정보로 입력했다.

서울특별시 침수흔적도 정보는 이미 공개되어 있는 지리정보를 SHP 파일로 변환해 좌표계 보정작업을 한 후 사용했다. 서울특별시 표준공시지가는 표로 구성된 속성정보로 공개되어 있다. 속성 정보 중 지적 주소 값을 의미하는 PNU가 포함되어 있어 연속지적도와 건축물대장정보가 입력되어 있는 공간 정보 값에 PNU 코드를 활용해 연결했다.

맨홀정보는 각 개별 위치가 측량을 통해 점 데이터로 제공된다. 이는 수치지형도에도 포함되어 있는 정보다. 점 데이터를 사용하기에 정량적 특성을 확인할 수 없으므로 점 데이터의 밀집도를 Arc-GIS의 Kernal Density 분석 방법을 사용해 공간적 밀도 값을 도출했다. 공간 밀도 값을 5m X 5m 단위 매쉬(Mesh) 정보로 변환한 뒤 다시 밀도 값을 갖는 점 데이터로 변환해 개별필지별로 합산시켜 공간정보로 만들었다[2].



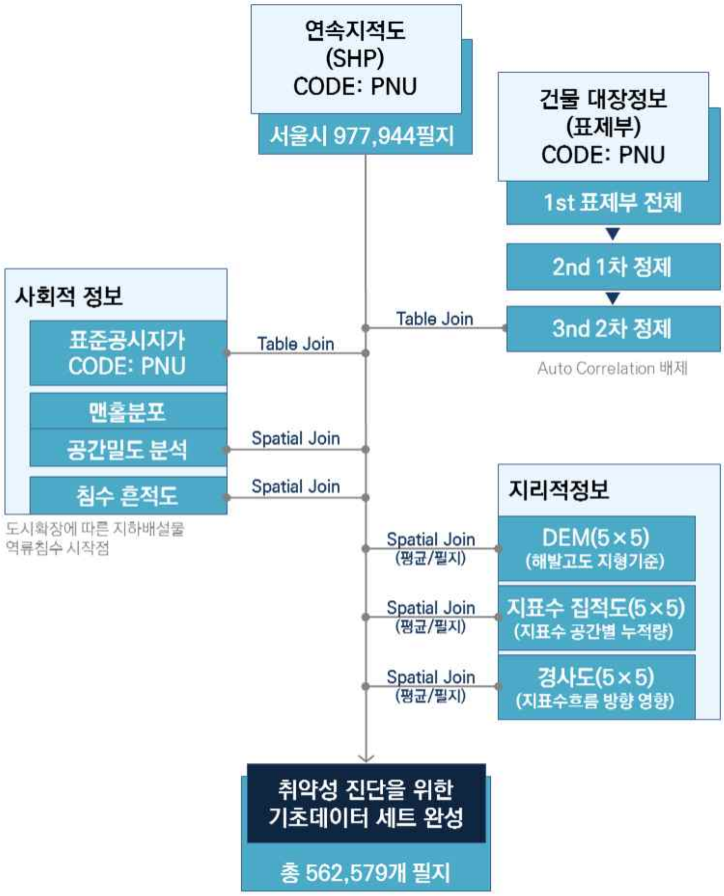
[그림 4-1] 서울특별시 맨홀위치정보(좌)와 Kernal Density 분석으로 도출한 밀도 분포도(우)

2) 본 연구에서 맨홀을 주목한 이유는 역류성 침수의 시작점이 되기 때문이다. 그러나 맨홀 밀도분포를 살펴본 결과 구시가지 일수록 맨홀이 설치된 가로가 조밀하고 그 개수가 많아 밀도가 높게 나타났으며, 계획적으로 개발된 강남일대 지역은 맨홀이 설치된 가로구획이 넓게 구성되어 있고 그 개수가 적어 상대적으로 분포가 낮게 나타났다. 맨홀의 밀도 분포는 시가지 특성을 설명하는 지표로도 이해 가능할 수 있을 것이라 본다.

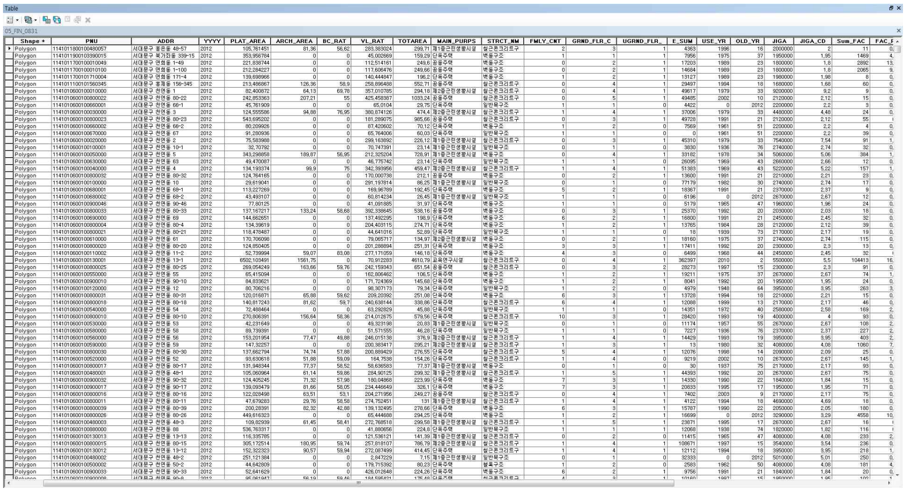
③ 지리적 정보 입력

지리적 정보 입력은 침수에 영향을 주는 공간요소를 변수화하기 위한 작업이 목적이다. 기준은 지형정보다. 따라서 지리적 정보를 생산하기 위해 표고점과 측량 점을 활용해 5m X 5m 해상도의 DEM (Digital Elevation Model)을 구축한 뒤 해발고도, 경사도, 지표수집적도(Flow accumulation)을 분석해 정보화 했다.

해발고도, 경사도, 지표수 집적도는 모두 Raster 이미지로 결과 값이 도출된다. Raster 이미지에 입력되어 있는 값을 기초데이터베이스에 입력하기 위해서는 벡터 값으로 변환해야한다. 따라서 Raster 이미지를 모두 5m X 5m 포인트 데이터로 변환한 뒤 개별필지별로 공간을 기준으로 합산시키는 방법을 사용해 지리적 정보를 입력했다.



[그림 4-2] 건축물 중심의 취약성 진단 모형 구성을 위한 기초데이터 구축 및 정제과정



[그림 4-3] 건축물 재해 위험성 분석을 위한 기초데이터 베이스 구축결과

2) 건축물 재해 위험성 진단의 논리구조

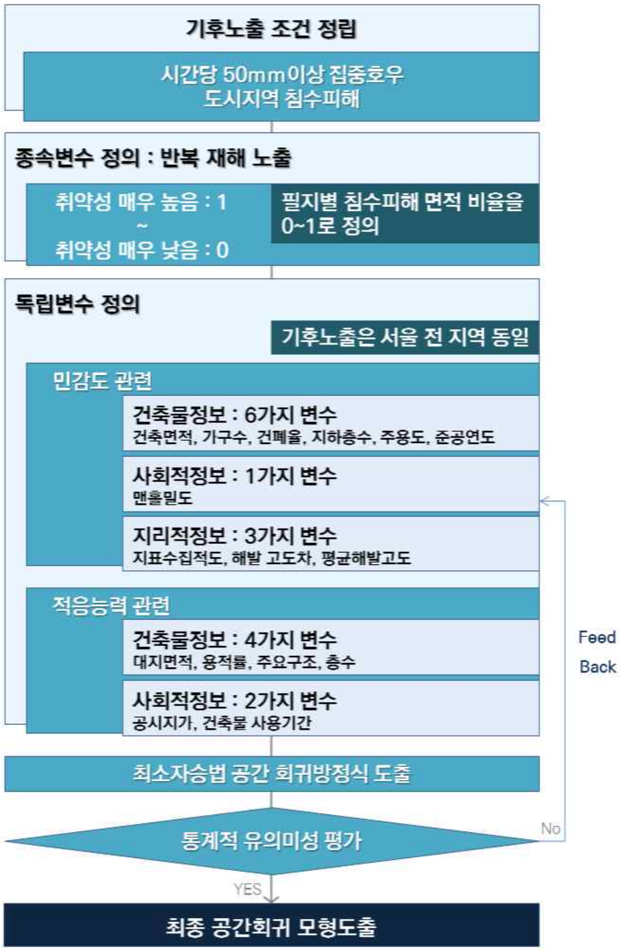
본 연구에서 구현하고자 하는 건축물 재해 위험성 진단은 건축물 정보를 활용한 시간당 50mm 이상 집중호우에 따른 침수피해를 반복적으로 입은 건축물에 대한 위험성이 대상이다. 시간당 50mm이상 집중호우가 내렸을 당시 피해지역을 기후변화에 대한 노출이라 정의한다. 위험성의 근거로서 2회 이상 반복적인 침수피해를 입은 지역 내 건축물을 대상으로 한다 .

우선 기후노출대상지역인 침수피해를 입은 지역 내 건축물의 특성을 공간회귀분석을 통해 도출한다. 공간회귀분석 모형은 최소자승법(Ordinary Least Square Method : OLS)을 사용한다. 서울특별시 전역에서 침수피해를 입은 사건을 최대 취약성으로 정의하고 그 값을 ‘1’로 표출한다. 피해를 입지 않은 지역을 ‘0’으로 정한다. 최소자승법에 의해 ‘1’에 해당하는 지역 내 건축물 대장 정보, 사회적 정보, 지리적 정보가 입력된 필지의 특성을 회귀방정식으로 도출한다.

결과적으로 1개 필지마다 그 특징을 설명하는 16개 변수의 종합 합산된 결과가 ‘1’에 수렴하는 값을 가질수록 취약성이 높은 회귀방정식이 도출된다. 이 회귀방정식을 다시 모든 필지에 적용한다. 모든 필지에 적용된 회귀식의 x_n 값, 즉 16개 변수의 수치데이터는 회귀방정식의 정의역이 되고 각 x_n 항에 대입된 값은 y 값으로 산출하도록 한다. 이때 y 값은 시간당 50mm 이상 집중호우에 따른 침수에 대한 취약성을 예측한 값이 된다.

다시 정리하면, 실제로 특정지역이 침수피해를 반복적으로 입었던 기후현상의 특성을 기후노출 조건으로 결정한다. 그리고 취약성이 매우 높은 상태를 지닌 피해 지역의 기초 데이터 집합에 취약성을 설명하는 대표성을 부여하고 데이터 집합의 고유 특성을 반영한 다차원 공간회귀방정식을 도출한다. 이 다차원 공간회귀방정식이 기후현상에 따른 취약성을 설명하는 모형이 된다.

도출된 공간회귀방정식은 통계적 검증과정을 거쳐 유의미한 변수를 남기고 그렇지 않은 변수군은 기각하는 정제과정을 거쳐야 한다. 변수의 의미가 중복되어 왜곡된 결과를 도출하면 신뢰도가 떨어지기 때문이다. 즉, 다중공선성과 자기상관성을 유발하는 변수를 기각시키는 지속적인 환류과정을 통해 공간회귀방정식의 신뢰도를 높여야 한다.



[그림 4-4] 독립변수별 특성분석을 통한 설명계수 도출을 위한 공간회귀모형 도출과정

[그림 4-5] 최종 공간회귀모형을 활용한 공간패턴 분석과정 및 취약성 진단결과 도출과정

자기상관성 유발계수와 다중공선성을 야기하는 변수들을 기각한 최종적인 공간회귀방정식이 완성되면, 연구대상인 서울시내 모든 필지에 적용한다. 그 결과 시간당 50mm 이상 집중호우에 따른 침수취약성을 예측·설명하는 y값을 도출한다. 취약성을 설명하는 값을 필지별 지리정보로 표현할 수 있다. 그러나 모든 취약성 예측 값이 신뢰도를 갖는다고 확신할 수 없다. 따라서 공간가중행렬(Spatial Weighted Matrix)을 구축하고 공간적 자기상관성 측정을 위한 Moran's I 분석, 국지적 차원의 공간적 연관성 측정(Local Indicator of Spatial Association, LISA)을 시행한다. Moran's I와 LISA 측정과정에서

Z-test를 수행하여 신뢰도 95%이상 통계적 유의성을 갖는 필지들을 추출하게 된다. 이 필지들을 중심으로 LISA 클러스터분석 결과를 얻게 된다.

LISA는 특정지역 주변의 공간적 군집의 특성을 설명하는 결과를 공간적으로 보여준다. 결과 값은 HH, LL, HL, LH로 나오며, 기준은 Moran's I의 산포도를 기준으로 도출된다. HH은 높은 값을 갖는 필지 주변에 높은 값이 군집을 이루는 것을 의미하고, LL은 낮은 값을 갖는 필지 주변에 낮은 값이 군집을 이루는 것을 의미한다. 일반적으로 HL와 LH는 높은 값 주변에 낮은 값이 군집되거나 낮은 값 주변에 높은 값이 군집되는 형태를 설명하는 것으로 이례적 지역으로 결과에서 제외한다.

LISA 분석을 통해 전체 필지 중에서 95%신뢰도를 갖는 필지가 선별된 결과를 바탕으로 HH와 LL 지역을 추출하게 되는데, HH는 취약성이 높은 필지의 군집으로, LL은 취약성이 낮은 필지의 군집으로 설명 할 수 있게 된다. 즉, 서울시 전체 필지 중에서 취약한 건축물이 모여 있는 필지 군집과 안전한 건축물이 모여 있는 필지를 통계적 유의미를 갖는 결과로 도출 할 수 있게 된다.

본 연구에서 수행하고자 하는 건축물 기후변화 취약성 진단모형은 '기초데이터베이스 구축', '최소자승법을 활용한 공간회귀모형 도출', ' LISA 분석을 통한 취약지역 군집분석'이 순차적으로 연결된 통합 모형으로 정의 할 수 있다.

2. 건축물 재해 위험성 분석

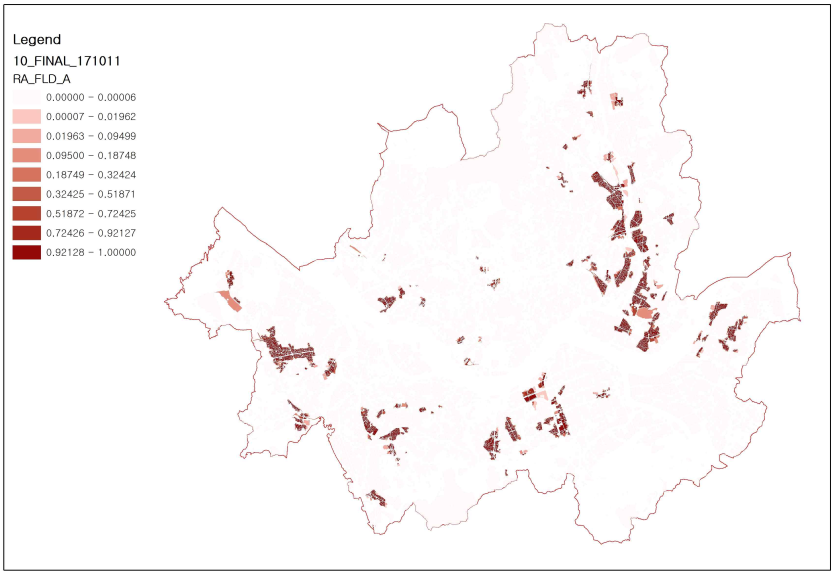
1) 건축물 재해 위험성 진단에 적용된 공간 변수의 특징

독립변수의 자기상관성과 공선성 배제를 위한 수차례 환류과정을 통해 최종적으로 도출된 공간 회귀모형에 사용된 공간 변수는 총 10개가 사용 되었다. 건축물을 설명하는 변수는 건폐율, 용적률, 층수, 지하층수, 가구 수가 사용되었고, 사회적 정보는 공시지가, 건물사용기간, 맨홀밀도가 사용되었으며, 지리적 정보는 지표수 집적도, 평균 해발고도 차가 사용됐다. 회귀방정식의 계수 산출을 위해 필지별 반복 침수피해 면적비율을 0부터 1사이 값으로 산출해 종속변수로 사용했다.

각 독립변수가 필지별로 갖는 차별적 특성은 민감성과 적응능력 변수로 설명하고자 했다. 최소자승법에 사용된 총 10개 공간 변수 중 민감성에 사용된 변수는 '건폐율', '지하층수', '가구 수', '지표수집적도', '평균해발고도 차', '맨홀밀도'가 사용되었으며, 적응능력에 사용된 변수는 '용적률', '층수', '공시지가', '건축물 사용기간'이 적용됐다. 다만, 민감성을 설명하는 '주용도'와 적응능력을 설명하는 '주요구조'는 데이터 범주화가 필요해 특성분석을 위한 별도그룹으로 제외했다.

① 반복재해 위험성 관련 종속변수

반복재해의 위험성을 파악하기 위한 기준으로 시간당 50mm 이상 집중호우로 인해 2회 이상 반복 침수가 일어난 지역 내 건축물이 입지한 대지를 대상으로 공간변수로 했다. 개별 필지 전체 침수피해를 받은 필지가 존재하며 일부 피해를 받은 필지도 존재한다. 필지 내 건축물의 특성을 객관적으로 살펴보기 위해 전혀 피해를 입지 않은 필지까지 종속변수로 포함시켰다. 이는 개념적으로 반복 피해를 받은 대지 내 건축물의 특성을 파악함에 있어 피해를 받지 않은 대지 내 건축물의 특성을 함께 분석함으로서 독립변수의 편향성을 제어하기 위함이다.



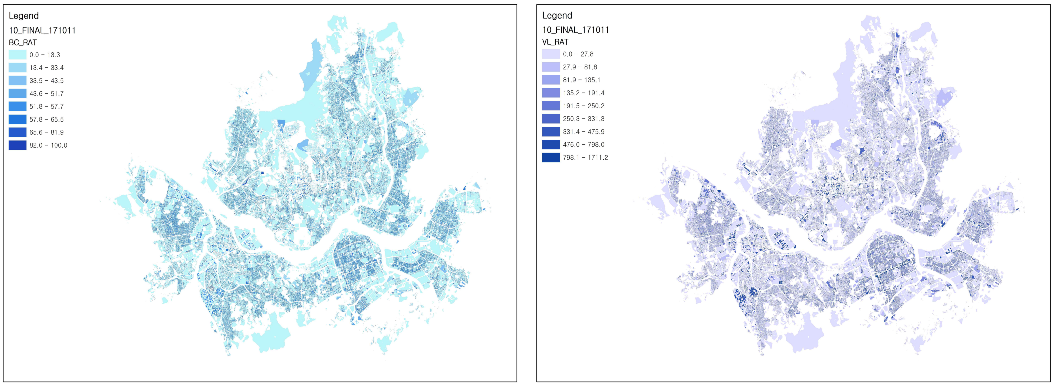
[그림 4-6] 종속변수로 사용한 집중호우에 의한 침수지역의 필지별 비율

② 물리적 환경 관련 변수

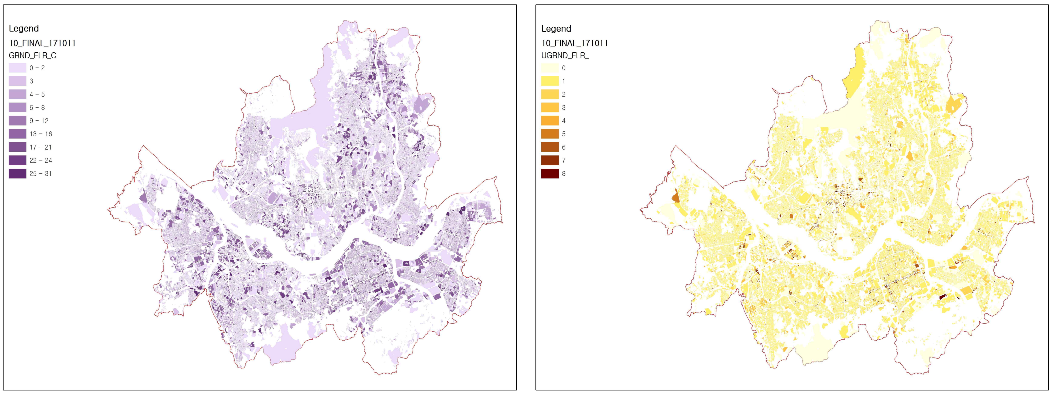
건축물과 관련한 물리적 환경변수로 최종 적용된 것은 '건폐율', '용적률', '주요구조', '층수', '지하층수'이다. 물리적 환경을 설명하는 변수들의 공간적 분포를 그림을 통해 표현하면 다음과 같다. 최초 물리적 환경 변수에 포함했던 대지면적은 건폐율과 자기상관성이 나타나 기각했다. '주요구조'는 정량적 분석에 사용되지 않아 변수로서 적용되지 않았지만, 취약지역 특성을 설명하는데 활용 가능하다.

[표 4-2] 건축물 재해 위험성 진단에 최종 적용된 물리적 환경 관련 변수

연번	변수명	변수코드	변수 선정 사유
1	건폐율	BC_RAT	해당필지의 불투수면적 정보
2	용적률	VL_RAT	건축물의 규모를 설명
3	주요구조	STRCT_NM	건축물의 내구성을 설명
4	층수	GRAND_FLR_C	침수 피해의 수직적 범위와 완충규모를 가늠
5	지하층수	UGRAND_FLR_	침수시 가장 큰 피해를 받는 공간규모



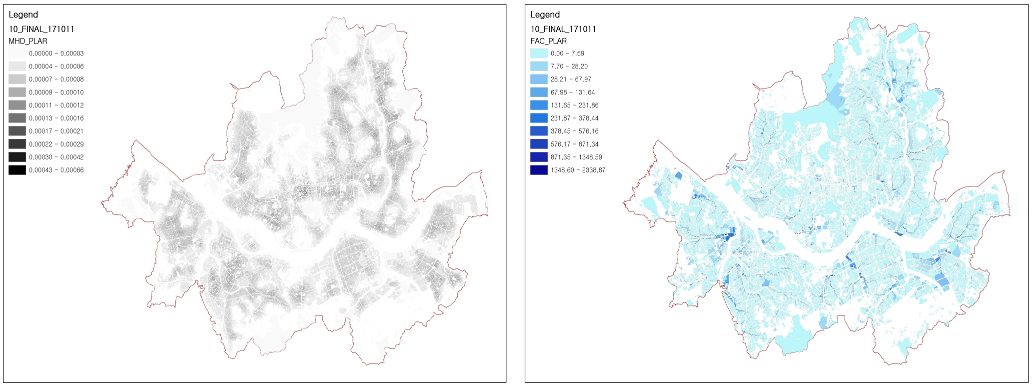
[그림 4-7] 물리적 환경 설명변수로 사용된 건폐율(좌), 용적률(우)의 분포도



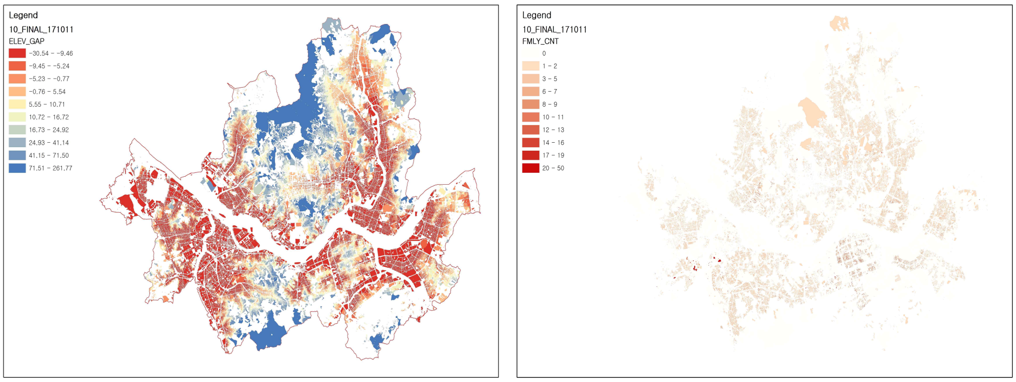
[그림 4-8] 물리적 환경 설명변수로 사용된 층수 분포(좌), 지하층수(우)의 분포도

③ 사회적·지리적 환경 설명변수

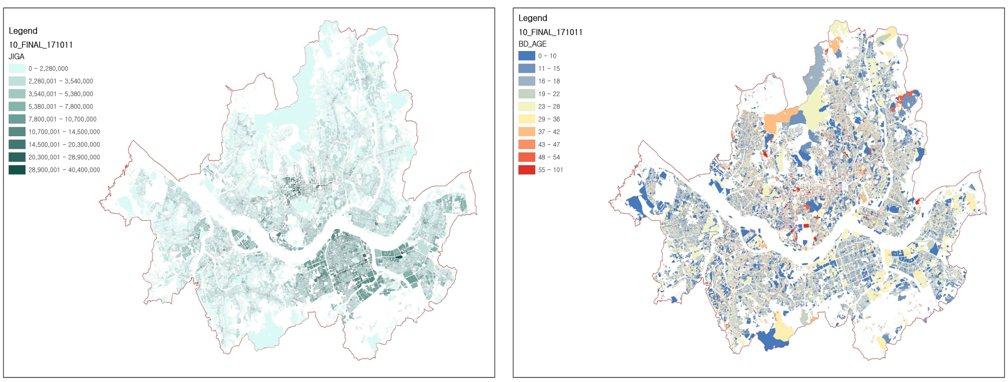
사회적·지리적 환경 설명변수는 '주용도', '가구수', '공시지가', '건축물 사용기간', '지표수집적도', '맨홀밀도', '해발고도차'가 사용됐다. 주 용도는 정량적 분석에 사용할 수 없어 제외되었지만, 취약지역 특성 설명을 하기 위해서 필요한 것으로 판단해 유지했다. 기후변화 적응능력을 설명하는 변수들의 공간적 분포는 다음 그림과 같다.



[그림 4-9] 사회적·지리적 설명변수로 사용된 맨홀밀도 분포(좌)와 지표수 집적도(우)의 분포도



[그림 4-10] 사회적·지리적 설명변수로 사용된 평균 해발고도차(좌)와 가구 수(우)의 분포도



[그림 4-11] 사회적·지리적 설명변수로 사용된 공시지가 분포(좌)와 건축물 사용기간(우)의 분포도

[표 4-3] 건축물 재해 위험성 진단에 최종 적용된 사회적·지리적 환경 관련 변수

연번	변수명	변수코드	변수 선정 사유
1	주용도	MAIN_PURPS	침수피해에 따른 경제성을 고려
2	가구 수	FMLY_CNT	침수시 피해를 받을 수 있는 사람 수를 추정
3	단위면적당 지표수집적도	FAC_PLAR	지표면을 따라 흐르게 될 지표수의 누적 값을 확인
4	단위면적당 맨홀밀도	MHD_PLAR	지하 관거의 역류수의 토출구의 개수와 위치를 파악
5	평균해발고도와 대지해발 고도 차	ELEV_GAP	월류수의 유입 및 유출 여부를 파악
6	단위면적당 공시지가	JIGA	피해의 회복과 관련한 경제적 잠재력을 파악
7	건축물 사용기간	BD_AGE	건축물의 노후정도에 따른 피해수준을 판단

2) 최소자승법을 사용한 공간회귀방정식 결과

실제 침수피해 지역을 종속변수로 두고 최소 자승법을 사용해 연구대상 모든 필지의 데이터베이스를 대상으로 공간회귀방정식을 도출했다. 공간회귀방정식 도출은 GeoDA V. 1.6을 사용했다. 반복 침수에 노출된 건축물의 특성을 설명하는 공간회귀식은 다음과 같다.

$$y = 3.40 \times 10^{-6}x_1 - 1.66 \times 10^{-7}x_2 + 1.85 \times 10^{-5}x_3 - 6.84 \times 10^{-3}x_4 \\ + 0.031x_5 - 2.5 \times 10^{-4}x_6 - 8.08 \times 10^{-9}x_7 + 1027.78x_8 \\ + 8.93 \times 10^{-5}x_9 - 3.6 \times 10 - 3x_{10} + 0.0657$$

Equation 1

(x_1:건폐율, x_2:용적률, x_3:가구 수, x_4:지상층수, x_5:지하층수, x_6:건축물사용기간, x_7:공시지가, x_8:맨홀밀도, x_9 :지표수집적도, x_{10}:평균해발고도차)

건축물 정보 간 관계성을 바탕으로 공간회귀방정식을 해석하면, 반복 침수피해의 위험성이 높은 서울지역의 건축물은 건폐율 클수록, 용적률이 낮을수록, 가구 수가 클수록, 층수가 낮을수록, 지하층수가 클수록, 건축물 사용기간이 짧을수록, 공시지가가 낮을수록, 인접 맨홀밀도가 클수록, 지표수 집적도가 클수록, 해당 필지의 해발고도가 평균이하일수록 취약성이 큰 것으로 설명할 수 있다.

회귀분석 결과 통계적 유의성을 점검하면, 모델의 설명력은 (R-squared)는 0.074474로 다소 낮게 평가되었으나, 모집단의 수가 541,278개 인 것을 감안하면 무리 없는 수치이다. 반면, F-검정결과가 4355.37로 모델이 매우 적합한 것을 설명한다. 변수 간 다중공선성을 판단한 결과(MULTICOLLINEARITY CONDITION)는 11.222857로 다중 공선성은 30이하로 약한 것으로 나타났다. 공간 회귀 방정식에 의해 발생한 오차 항이 정

규분포하면 유의하지 않은 회귀방정식이 된다. 본 회귀방정식의 오차 항은 Jarque-Bera 검정결과 정규분포 할 확률이 0.00000으로 도출되어 회귀방정식은 통계적으로 유의미한 모형으로 설명할 수 있다.

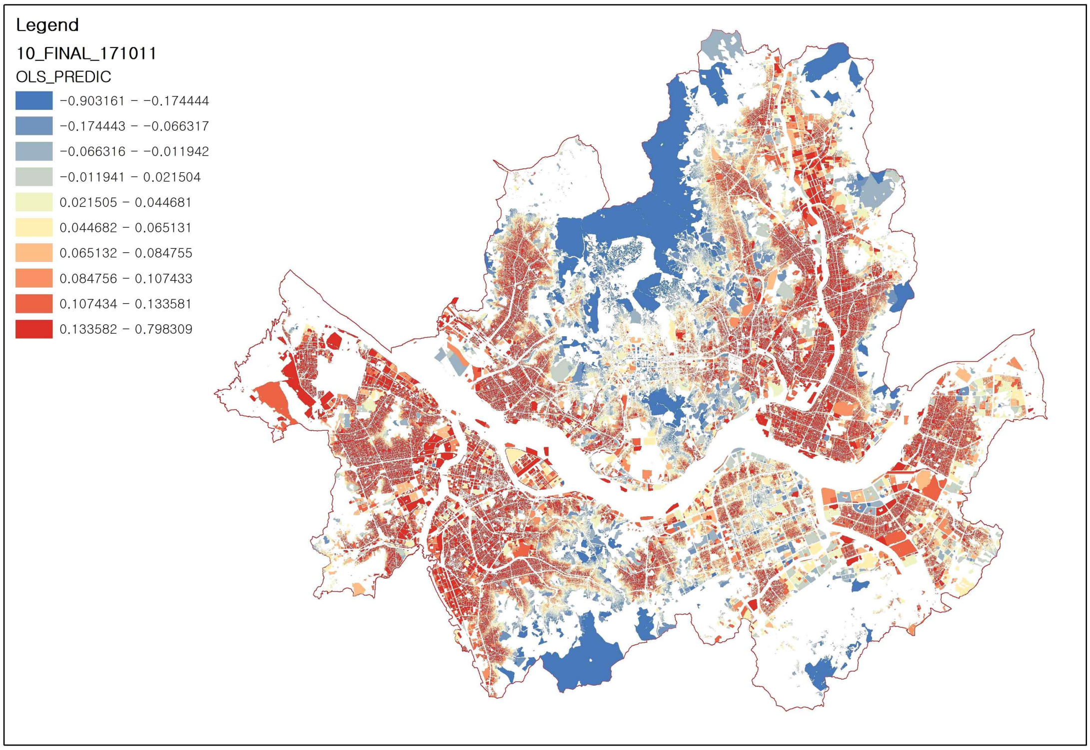
최소자승법을 적용한 공간회귀분석 도출 결과

```
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set            :  08_RESULT01
Dependent Variable  :    RA_FLD_A  Number of Observations:541278
Mean dependent var  :     0.11449  Number of Variables   :   11
S.D. dependent var  :    0.315205  Degrees of Freedom    :541267

R-squared           :    0.074474  F-statistic           :    4355.37
Adjusted R-squared  :    0.074456  Prob(F-statistic)     :          0
Sum squared residual:     49773.1  Log likelihood        :    -122172
Sigma-square        :   0.0919567  Akaike info criterion :     244365
S.E. of regression  :    0.303244  Schwarz criterion     :     244488
Sigma-square ML     :   0.0919548
S.E of regression ML:     0.30324
-----------------------------------------------------------------------------
     Variable     Coefficient     Std.Error    t-Statistic   Probability
-----------------------------------------------------------------------------
 CONSTANT     0.0675777     0.00171944       39.3021     0.00000
 BC_RAT  3.40805e-006   2.19841e-006       1.55024     0.12232
 VL_RAT  -1.66069e-007   4.29031e-007      -0.38708     0.68795
 FMLY_CNT  1.85072e-005   2.66023e-005      0.695696     0.48665
 GRND_FLR_C   -0.00623862    0.000249049      -25.0498     0.00000
 UGRND_FLR_     0.0311546     0.00079836       39.0232     0.00000
 BD_AGE   -0.00025114   2.10741e-005       -11.917     0.00000
 JIGA  -8.98663e-009   1.87446e-010      -47.9426     0.00000
 MHD_PLAR       1023.78        19.0012       53.8797     0.00000
 FAC_PLAR  8.93581e-005   2.76831e-006       32.2789     0.00000
 ELEV_GAP   -0.00367368   2.20309e-005      -166.751     0.00000
-----------------------------------------------------------------------------
REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER   11.222857
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                  DF          VALUE           PROB
Jarque-Bera            2       629861.3337         0.00000

DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                  DF          VALUE           PROB
Breusch-Pagan test    10       14886.1855        0.00000
Koenker-Bassett test  10        5828.8525        0.00000

DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : 08_RESULT01
  (row-standardized weights)
TEST                       MI/DF       VALUE         PROB
Moran's I (error)           0.9495      786.4225       0.00000
Lagrange Multiplier (lag)       1      623878.8228       0.00000
Robust LM (lag)                 1       6003.6196       0.00000
Lagrange Multiplier (error)     1      618441.2017       0.00000
Robust LM (error)               1        565.9985       0.00000
Lagrange Multiplier (SARMA)     2      624444.8213       0.00000
```

3) 공간패턴 분석과정을 통한 취약성 진단결과

① 공간회귀방정식 1차 적용결과

앞서 정리한 회귀방정식을 연구대상 필지 전체에 적용한 결과는 다음과 같이 표와 분포된 도면으로 도출 할 수 있다. 하지만, 그 결과 모두를 신뢰 할 수 없기 때문에 통계적으로 신뢰도 높은 결과 중심으로 정제하는 과정이 필요하다. 이 결과 값은 개별 필지의 건축물 관련 정보 정의역으로 하고 회귀함수에 값을 입력한 y 값의 분포이다. 따라서 y 값은 -1.0 ~ 1 사이 값이 도출되었다. 이는 회귀방정식을 도출할 때 종속변수로서 사용한 반복침수 피해를 입었던 대지면적 비율 값인 0 ~ 1 사이 값과 다른 순수한 산출에 의한 결과 값이다.



[그림 4-12] 최소자승법에 의해 도출된 반복 침수 피해 위험 필지 분포지도
(청색에 가까울수록 안전하고 적색에 가까울수록 위험도가 높은 것으로 해석 할 수 있음)

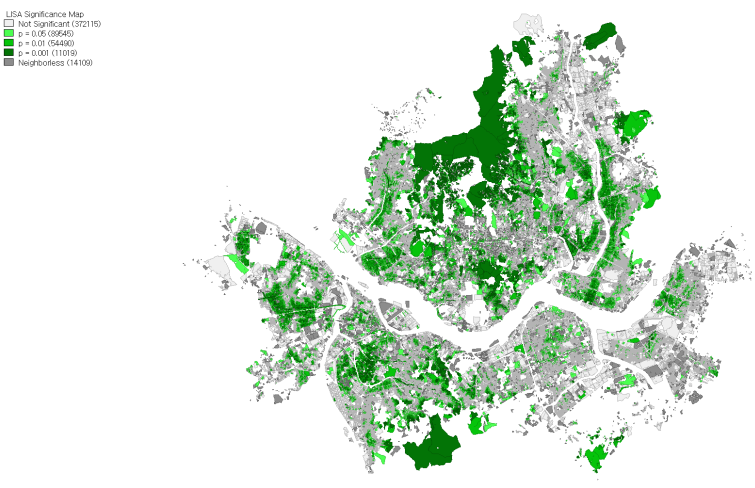
필지별 회귀식이 적용되어 도출된 예측치 결과 표(결과 중 일부 발췌)

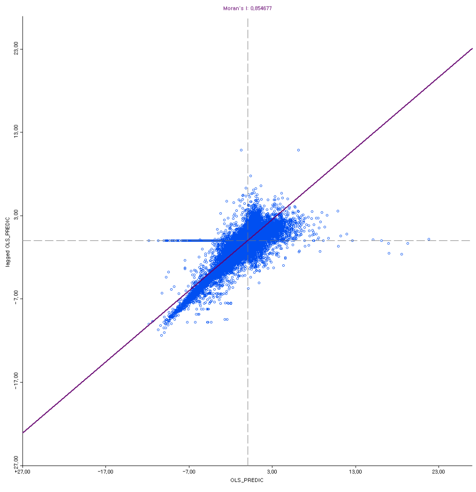
- 회귀식 적용결과 필지별로 침수면적(RA_FLD_A)와 취약성진단 예측치(PREDICTED), 와 예측 치와 실제 데이터 간 차이를 설명하는 잔차(RESIDUAL)이 결과표로 도출된다.

OBS	RA_FLD_A	PREDICTED	RESIDUAL
1	0.00000	0.07812	-0.07812
2	0.00000	0.03687	-0.03687
3	0.00000	0.00356	-0.00356
4	0.00000	0.07830	-0.07830
5	0.00000	0.04839	-0.04839
6	0.00000	0.02877	-0.02877
7	0.00000	0.08316	-0.08316
8	0.00000	0.02172	-0.02172

② 공간적 자기상관성과 국지적 차원의 공간적 연관성 측정결과

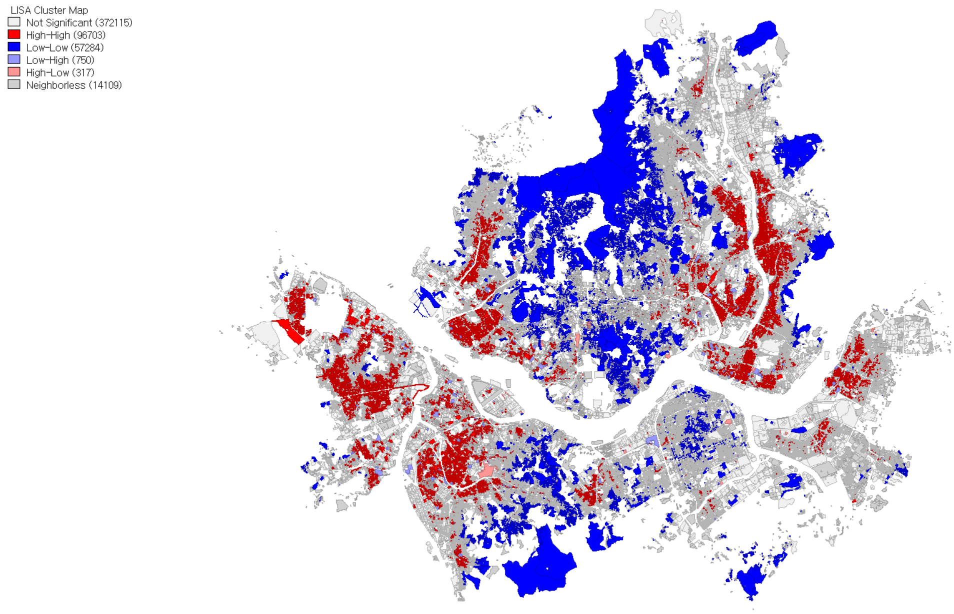
1차 공간회귀방정식 결과를 국지적 차원의 공간적 연관성 측정(LISA)에 적용한다. 결과적으로 통계적으로 신뢰도가 높은 표본이 공간에서 군집을 이루는 형태를 나타낼 수 있다. 이 결과 값은 공간적 자기상관성 분석(Moran’s I) 가 도출한 산포도에 기반 한다. Morans’I 값은 0.854667로 유사한 값을 가진 지역들이 공간적으로 인접해 있음을 설명한다.



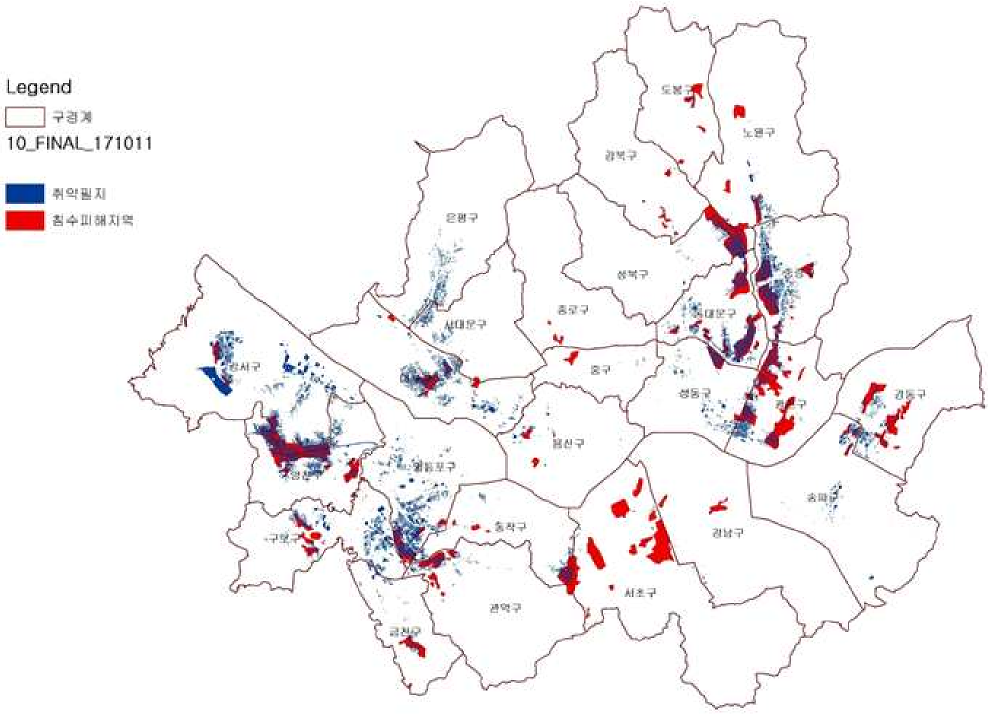


[그림 4-13] 신뢰구간 95%이상 데이터가 선별되어 초록색으로 표현된 결과(좌)와 Moran’s I 산포도 (우)

95% 신뢰도 구간에 포함된 연구대상 필지는 최종 연구대상필지 541,278개중 155,054개 필지다. 이 필지들은 높은 설명력을 갖는 필지라 할 수 있다. 이 필지를 LISA 분석한 결과 상기 도면에서 적색으로 표시된 HH 클러스터에 해당하는 필지는 96,703개 이며, 청색으로 표시된 LL에 해당하는 필지는 57,284개 필지다(그림 4-13). 즉, 95% 이상의 확률로 취약성이 높은 필지는 서울시 전체 건축물이 존재하는 필지 중 96,703개이며, 반대로, 취약성이 낮은 필지는 57,284개 필지다. 결과 검증차원에서 LISA 결과도면에서 HH에 해당하는 필지를 취약지역(남색)으로 정리하고, 기존 침수지역(적색)과 중첩해 확인해 보았다. 그 결과는 아래 그림 4-14 와 같다.



[그림 4-14] LISA 분석결과 군집 분석결과(적색:HH, 청색:LL)



[그림 4-15] 실제 침수지역과 취약지역 간 정합성 비교

회귀모형을 통해 설명한 반복 피해의 위험성이 높은 건축물의 필지의 분포양상을 살펴보면, 실제 피해지역과 다소 일치함을 보인다. 특히 그림 4-15에서 보는바와 같이 서초구와 강남구, 종로구, 도봉구, 강북구, 중구를 제외한 대부분의 지역이 실제 침수피해지역에 비해 광역적인 분포를 보였다. 이 결과 값은 2010년, 2011년에 걸쳐 반복 침수피해를 받았던 2012년 당시 건축물과 유사한 특성을 갖는 건축물의 분포를 실제 침수피해지역과 비교를 통해 정합성을 검토한 것이며, 미래에 대한 예상 값은 아니다.

다만, 2010년, 2011년과 유사한 시간당 50mm 이상의 강우가 위험도가 높은 대지 주변에 내린다고 한다면, 다른 지역에 비해 취약성이 높다고 설명이 가능하므로 주의를 기울여 봐야할 대상이라 할 수 있다.

3. 건축물 재해 위험성 분석 결과 해석

1) 독립변수의 데이터 특성을 통한 진단 모형 검증

최소자승법을 활용한 공간회귀방정식으로 도출된 수식 3을 변수에 적용된 계수의 양수 및 음수의 특성을 고려해 정성적으로 서울특별시 건축물의 기후변화 취약성을 설명했다. 해당 정성적인 설명 내용이 실제 취약한 건축물을 설명하는 변수를 군집성을 통해 얼마나 맞는지 정량적으로 검증해보고자 한다. 다시 한 번 정성적으로 설명한 취약성 특성을 아래와 같이 정리해보겠다.

공간회귀방정식을 통한 서울시 건축물 취약성

건폐율이 클수록, 용적률이 낮을수록, 가구 수가 클수록, 층수가 낮을수록, 지하층수가 클수록, 건축물 사용기간이 짧을수록, 공시지가가 낮을수록, 인접 맨홀밀도가 클수록, 지표수 집적도가 클수록, 해당 필지의 해발고도가 평균이하일수록 집중호우에 의한 침수 취약성이 크다.

LISA 분석을 통해 얻은 취약함을 설명하는 HH 클러스터 96,703개 필지의 독립변수 데이터와 안전함을 설명하는 LL 클러스터 57,284개 필지를 독립변수의 데이터 산포도에 선형 추세 식을 적용한 결과로서 y 절편을 의미하는 상수 값을 쌍대 비교해 어떤 차이가 존재하는지 확인했다.

① 건폐율

취약지역의 건폐율 상수는 32.072(%)이며, 안전지역의 건폐율 상수는 22.319(%)이다. 취약지역은 안전지역에 비해 건폐율이 10%가량 높은 것으로 이는 취약지역은 안전지역에 비해 건축물로 인한 불투수포장이 넓은 것으로 해석 할 수 있다.

② 용적률

취약지역의 용적률 상수는 76.181(%)이며, 안전지역의 용적률 상수는 56.569(%)이다. 취약지역은 안전지역에 비해 용적률이 20%가량 높은 것으로 도출됐다. 이는 회귀식의 상수와 반대되는 결과를 보인다. 실제 데이터 분포의 추세결과 취약지역은 안전지역에 비해 용적률이 큰 것으로 나타났다.

③ 가구 수

취약지역의 가구 수 상수는 1.935(가구)이며, 안전지역의 가구 수 상수는 0.986(가구)이다. 취약지역은 안전지역에 비해 가구 수가 평균적으로 필지당 1가구 가량 많은 것으로 나타났다. 이는 취약지역의 건축물에는 안전지역에 비해 거주 가구 수가 많은 것으로 해석 할 수 있다.

④ 지상층수

취약지역의 지상층수 상수는 2.257(층)이며, 안전지역의 지상층수 상수는 2.245(층)이다. 취약지역은 안전지역에 비해 지상층수가 0.012층 높은 것으로 나타났다. 취약지역의 지상층수와 안전지역의 지상층수는 유사성을 갖는 것으로 해석할 수 있다.

⑤ 지하층수

취약지역의 지하층수의 상수는 0.823(층)이며, 안전지역의 지하층수 상수는 0.655(층)이다. 취약지역은 안전지역에 비해 지하층수가 0.168층 깊은 것으로 나타났다. 이는 취약지역에 개발된 건축물은 안전지역에 비해 지하층을 더 많이 개발했음을 의미한다.

⑥ 건축물 사용기간

취약지역의 건축물 사용기간은 상수는 26.891(년)이며, 안전지역의 건축물 사용기간의 상수는 29.711(년)이다. 취약지역은 안전지역에 비해 상대적으로 약 2.82년 정도 사용기간이 짧은 것으로 나타났다. 이는 신축건축물의 비율이 안전지역에 비해 많음을 의미한다고 볼 수 있다.

⑦ 공시지가

취약지역의 공시지가 상수는 2,304,988(원)이며, 안전지역의 공시지가 상수는 3,122,798(원)이다. 취약지역은 안전지역에 비해 공시지가가 약 817,810원 저렴한 것으로 나타났다. 지가는 곧 필지의 자산 가치를 의미하므로 취약한 지역의 자산가치가 상대적으로 덜 한 것으로 이해할 수 있다.

⑧ 인접 맨홀밀도

취약지역의 맨홀밀도 상수는 약 $9.0x10^{-4}$이며, 안전지역의 맨홀밀도 상수는 $5.0x10^{-4}$이다. 취약지역은 안전지역에 비해 건축물에 인접한 맨홀이 상대적으로 약 1.8배 가까이 많은 것으로 이해할 수 있다.

⑨ 지표수 집적도

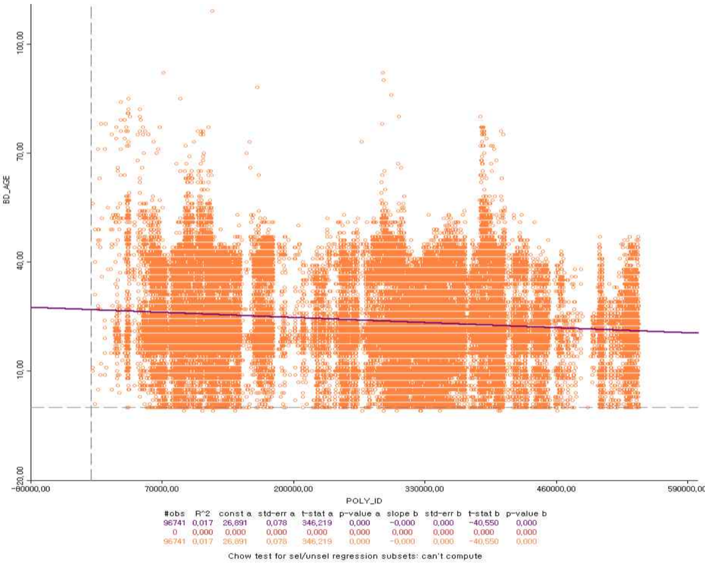
취약지역의 단위 면적당 지표수 집적도 상수는 48.303이며, 안전지역의 단위면적당 지표수 집적도 상수는 2.756이다. 취약지역은 안전지역에 비해 단위면적당 17.5배가량 많은 지표수가 누적되는 것으로 해석할 수 있다.

⑩ 필지의 해발고도 차

취약지역 필지의 전체 평균해발고도 대비 차이 상수는 -13.858(m)이며, 안전지역의 해발고도차 상수는 48.059(m)이다. 취약지역은 안전지역에 비해 평균 해발고도 이하 저지대에 분포하고 있으며 안전지역은 평균 해발고도 이상 지역에 위치하고 있다. 약 61.917m의 해발고도 차이를 평균적으로 갖고 있어 취약지역과 안전 지역 간 입지특성이 확연하게 차이를 보이고 있음을 확인 할 수 있다.

□ 검증결과의 종합

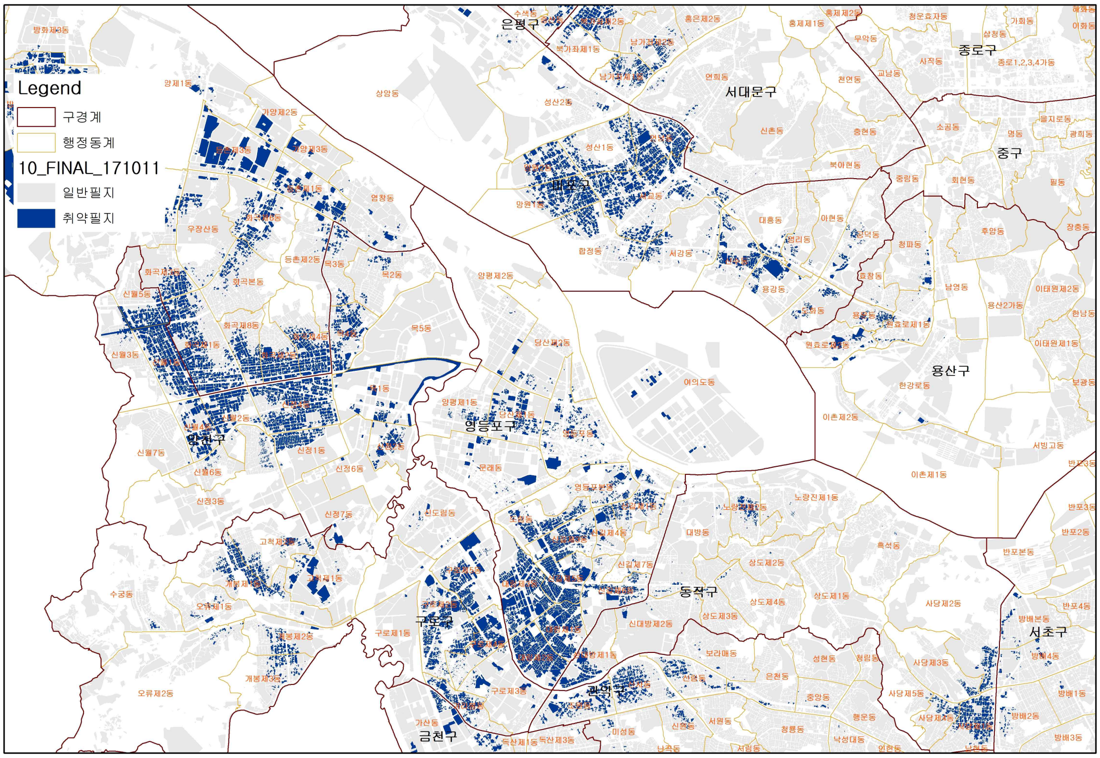
취약성 진단 회귀방정식의 계수를 통해 확인한 취약 건축물의 특성은 실제 데이터의 군집 특성의 평균 추세 식을 통해 확인 한 것과 일부 차이가 존재함을 확인할 수 있었다. 용적률과 지상층수를 제외하고는 모든 독립변수는 취약지역을 설명하는데 회귀방정식의 계수와 동일한 의미를 나타냈다.



[그림 4-16] 취약한 필지 군집의 건축물 사용 기간 산포도와 선형추세 예시

2) 건축물 재해 위험성 분석 결과의 공간 해상력

본 연구에서 도출한 건축물 재해 위험성 분석결과는 개별 필지단위의 공간해상력을 갖는다. 취약필지가 밀집해 있는 서울특별시 강서지역을 확대해 보면 다음 그림과 같다.



[그림 4-17] 기후변화 취약성 진단모형의 공간해상력

그림을 통해 보면, 침수 취약필지의 분호를 지번단위로 확인 가능하다. 현재 자치구 단위로 제공되고 있는 타 취약성 분석결과에 비해 매우 높은 공간해상력을 갖는다. 개별 필지의 공간적 분포를 확인함으로서 행정동 단위로 공간적 차별성을 손쉽게 확인 할 수 있다. 이는 공간계획을 다루는 정책을 수립하거나 운영하는데 있어 취약지역을 관리하는데 효율성을 높일 수 있을 것으로 기대할 만하다.

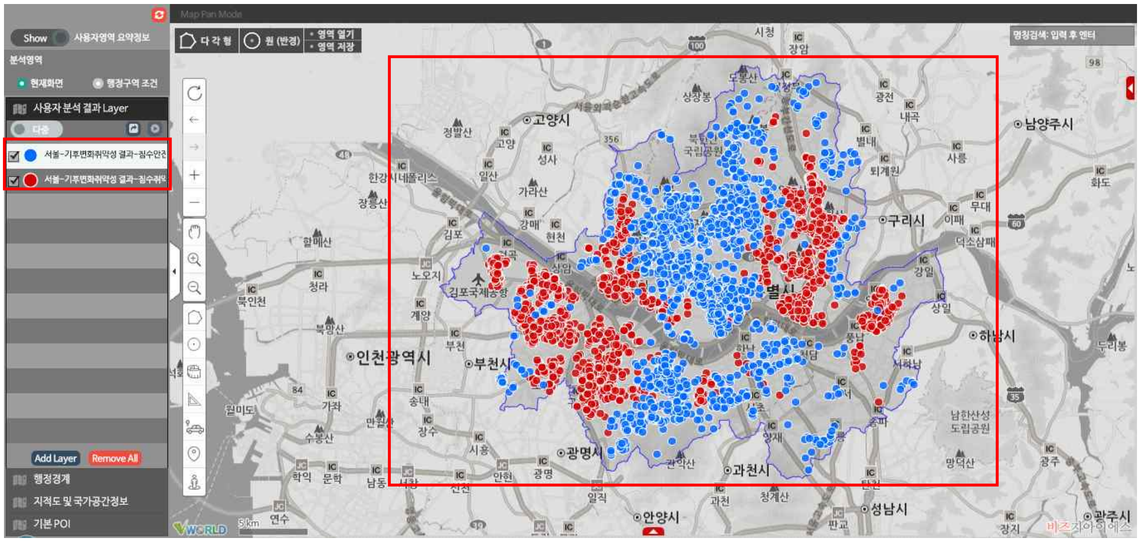
3) 웹 기반 지리정보 시스템을 통한 활용방안

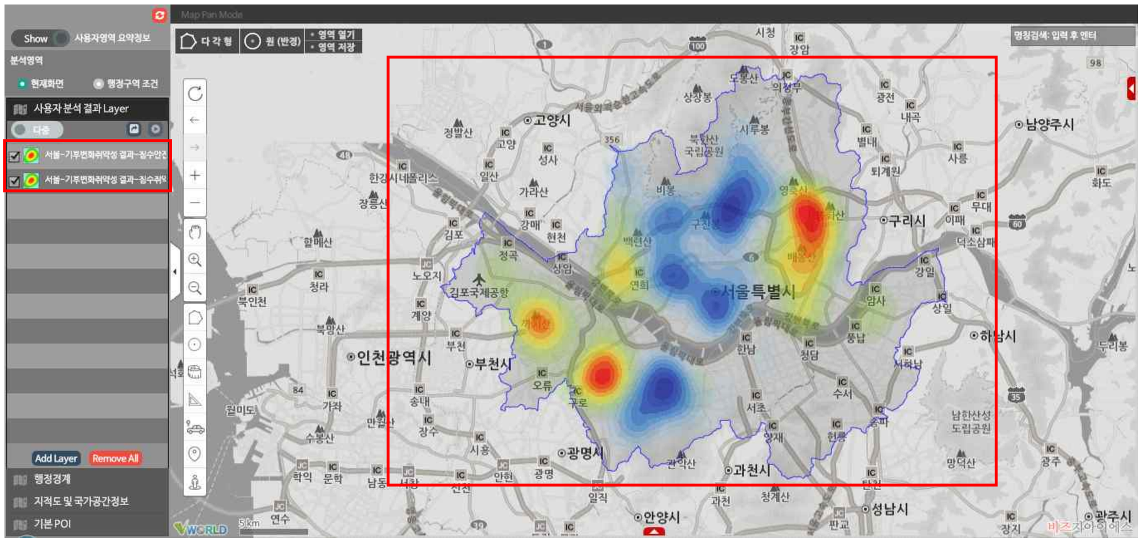
본 연구에서 완성한 건축물 반복 침수피해 위험도 진단모형의 논리구조와 데이터베이스를 바탕으로 웹의 GIS 엔진을 통한 접근과 활용성에 대해 살펴봤다. 웹-GIS 엔진은 ㈜ biz-GIS사의 X-Ray Map 엔진을 활용했다. 향후 활용성을 고려해 항목의 명칭은 기후변화 취약성의 용어를 사영했다. 서울시를 공간적 범위로 하면서, 기후변화취약성 탭을 구성했고, 세부적으로 기후변화취약성결과, OLS결과, 상세보기로 구분했다.

[그림 4-18] 건축물 반복 침수피해 위험도 연구 결과를 활용한 웹-GIS 프로그램

① 기후변화 취약성 결과

기후변화 취약지역과 안전지역을 밀도 및 포인트(지번)단위로 표현한다. 기후변화 취약지역인지 안전지역인지에 대한 간단한 조회 화면으로 구성된다. 침수취약지와 침수안전지역을 동시에 보고자 하는 경우, 각각의 분포(밀도 또는 포인트)를 그린 후 사용자 분석 결과 Layer에 올라온 레이어의 체크박스에 모두 체크하면 아래와 같이 취약지역과 안전지역을 동시에 볼 수 있다. 결과 내용은 다음 그림 4-18과 같다.





[그림 4-19] 밀도 분포결과 도면과 개별 필지별 분포결과 표현 예시 : 청색은 안전, 적색은 취약을 의미

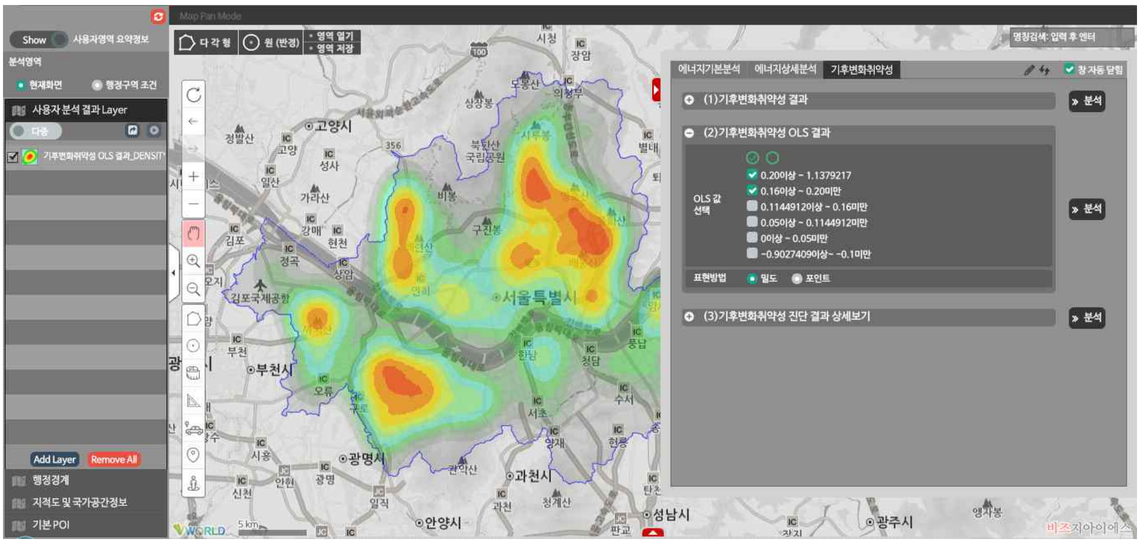
② 기후변화 취약성 OLS 결과

건축물 반복 침수피해 특성을 설명한 회귀분석 결과(OLS)를 아래 화면과 같이 구분하여 밀도 및 포인트로 지도화 할 수 있도록 구현했다. OLS 값 선택 항목은 다중으로 선택할 수 있으며, 이때 OLS 값을 두 개 이상 선택할 경우 'OR' 조건으로 선택되도록 구성했다.

- 예) '0.20이상 ~ 1.1379217' 과 '0.16이상 ~ 0.20미만'을 선택하면 OLS 값이 0.16이상 ~ 1.1379217인 지번이 선택되어 지도화 됨

화면상의 구분 값 기준은 침수취약필지와 안전필지의 OLS 최소 최대치 구간에서 지번 개수의 분포를 기준으로 값을 구분했다.

- 침수취약지번 OLS 결과 MIN 0.1144912~ MAX 1.1379217
- 침수안전지번 OLS 결과 MIN -0.9027409~ MAX 0 .1144261

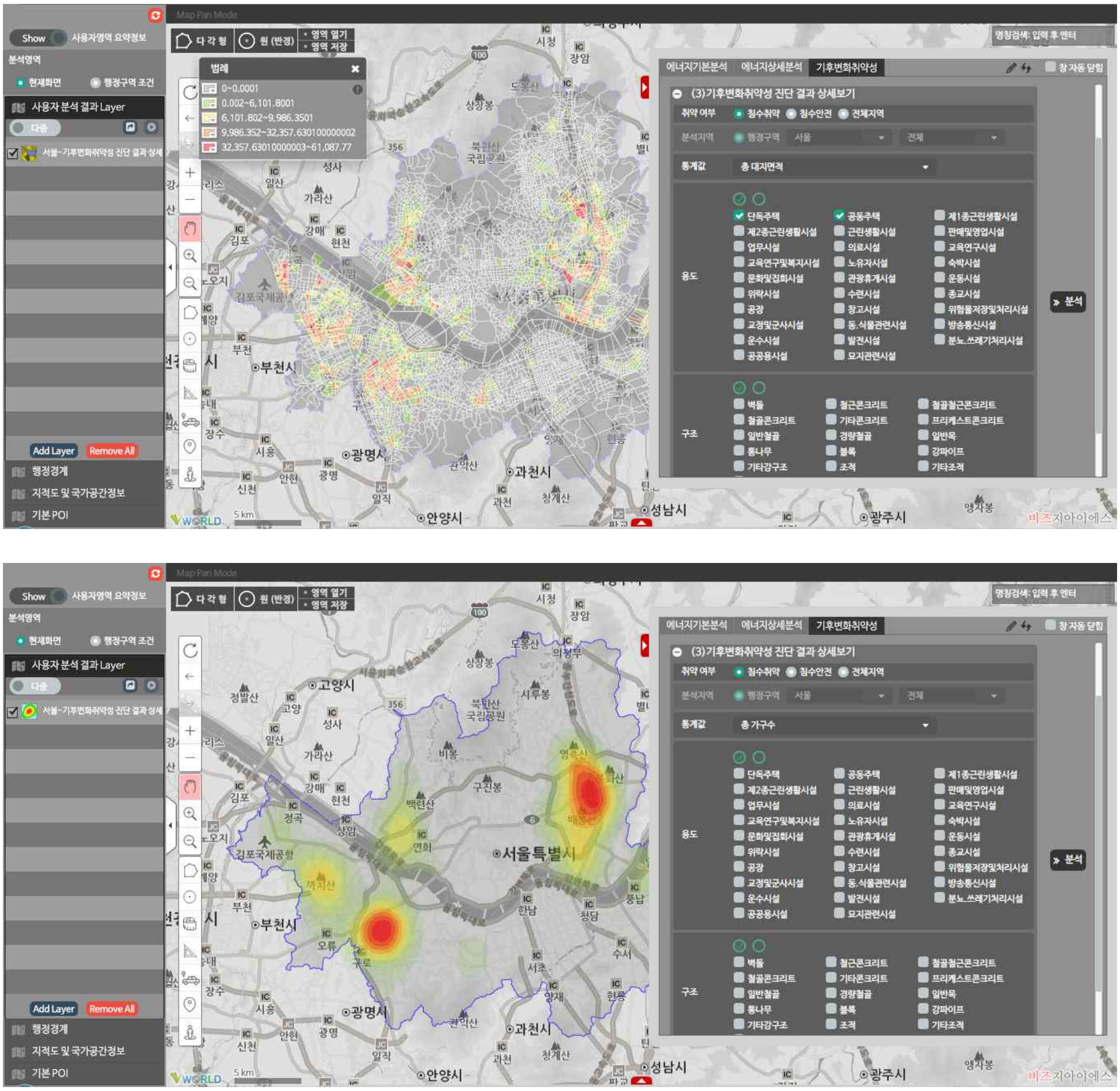


[그림 4-20] 공간회귀분석결과를 선택적으로 조회해 볼 수 있는 항목

③ 기후변화취약성 진단 상세보기

지번의 대표용도 및 구조를 선택하여 침수취약지역 또는 침수안전지역을 확인할 수 있도록 구성했다. 또한 총대지면적, 평균대지면적, 평균해발고도 등의 통계 값을 선택하여 해당 값을 기준으로 지도화할 수 있도록 했다. 분석의 예를 설명하면, 침수취약지역에

속하는 지번 중 대표용도가 단독주택과 공동주택인 곳의 총 대지면적을 블록별로 집계하여 단계구분도로 표현을 할 수 있고, 침수취약지역의 가구 수 밀집도를 표현하고 가구 수를 집계하는 과정 등을 선택적으로 분석할 수 있다.



[그림 4-21] 취약성 진단 상세분석의 시행 예시 : (상) 국가기초구역별 취약지역 중 단독과 공동주택의 밀도분포 파악, (하) 취약지역의 가구의 밀도를 표현하고 가구수를 집계

4. 건축물 분야 기후변화 취약성 진단 적용관련 정책적 함의

1) 건축물 재해위험성 분석 결과의 기후변화 취약성 진단에 적용

① 재해 위험성 분석에 활용된 건축물관련 빅 데이터 세트의 의미

본 연구결과로서 도출된 건축물 관련 빅 데이터는 물리적, 사회적, 지리적 환경을 유형화한 데이터베이스다. 현재는 건축물을 설명하기 위해 필요한 데이터 집단 이지만, 이 데이터를 기초로 기후변화 취약성 진단에 활용 가능성을 살펴보고자 한다. 그러기에 앞서 본 연구에서 사용된 건축물 관련 빅 데이터세트의 개념적 정의를 고찰하고 취약성 진단 시 적용되는 노출, 민감도, 적응능력의 유형[3])으로 재분류 해보고자 한다.

앞서 언급한 바와 같이 본 연구에서 사용된 건축물관련 정보는 모두 정부에서 공개된 공공정보 중 정보적 가치가 있는 정제된 정보를 기반으로 한다. 따라서 기후변화 취약성 진단을 위한 기초 데이터 수집과 가공의 방향성을 고려함에 있어 아래 정리한 의미를 고려하면 도움 될 것이다.

[표 4-4] 건축물 기후변화 취약성 진단모형에 사용한 변수

건축 정보 유형	컬럼명	설명	변수 선정 사유	취약성 분석 적용 안
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 (종속변수)
-	RA_FLD_A	단위면적당 침수면적	실제 피해의 정도값	기후노출 (종속변수)

3) “The degree to which a system is susceptible to, or unable to cope with, adverse effects of climate change, including climate variability and extremes. Vulnerability is a function of the character, magnitude, and rate of climate variation to which a system is exposed, its sensitivity, and its adaptive capacity.” (McCarthy, 2001, p. 995)

건축 정보 유형	컬럼명	설명	변수 선정 사유	취약성 분석 적용 안
물리	ARCH_AREA	건축면적	건축물의 규모	민감도
물리	BC_RAT	건폐율	해당필지의 불투수성	민감도
지리	ELEV_GAP	평균해발고도와 대지 해발고도 차	해당필지의 상대 해발고도 값	민감도
물리	MAIN_PURPS	주용도	침수피해에 따른 경제적 피해정도를 가늠	민감도
사회	FMLY_CNT	가구 수	침수 피해에 영향을 받는 사람 수를 추정	민감도
지리	Avg_ELEV	평균해발고도	지대의 고저 여부를 확인	민감도
지리	FAC_PLAR	단위면적당 지표수집 적도	지표면을 따라 흐르게 될 지표수의 누적 값을 확인	민감도
사회	MHD_PLAR	단위면적당 맨홀밀도	지하 관거의 역류수의 토출구의 개수와 위치를 파악	민감도
물리	UGRAND_FLR	지하층수	침수 시 가장 큰 피해를 받는 공간규모	민감도
물리	USE_YR	준공연도	방재를 위한 제도적용 수준 가늠	민감도
물리	GRAND_FLR_C	층수	침수 피해의 수직적 범위와 완충규모를 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	침수시 재산상 피해범위와 관계	적응능력
물리	BD_AGE	건축물 사용기간	건축물의 노후정도에 따른 피해수준을 판단	적응능력

② 기후변화 취약성 진단에 적용

건축물을 중심으로 다룬 본 연구의 반복재해 위험성은 건축물의 생산과 사용, 멸실에 대한 이해를 기반으로 한다. 즉, 건축물은 물리적 요인, 경제적 요인, 사회적 요인, 제도적 요인, 환경적 요인 등이 복잡하게 결부된다는 점이다. 따라서 건축물을 중심으로 다루는 기후변화 취약성 진단 및 평가모형의 유형은 사회적취약성 모델을 선택해야한다.

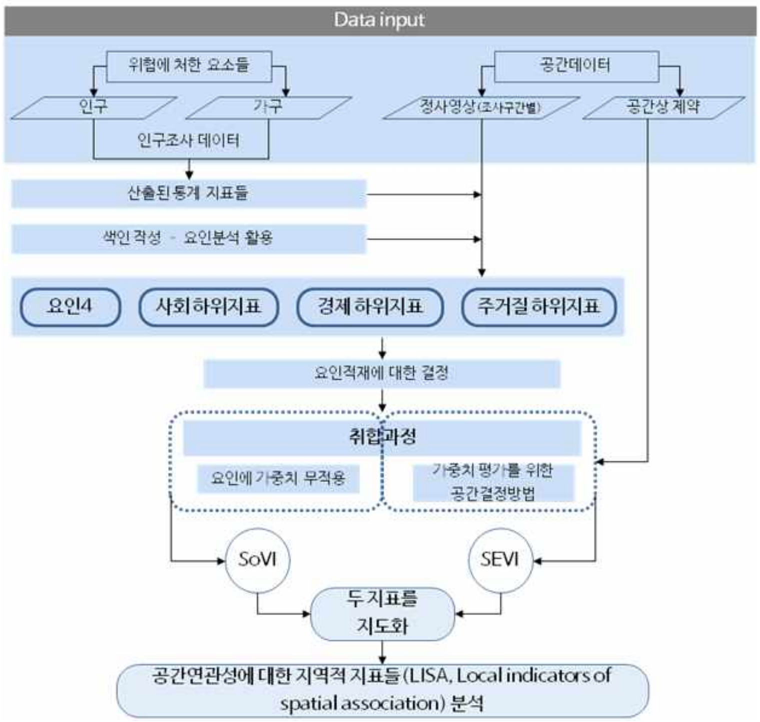
취약성 평가모형의 유형

- 위험-재해 모델(RH)(Risk-hazard models) : 기후변화 영향의 사건, 즉 재난에 노출되고, 노출된 대상들이 기존에 가지고 있었던 대응역량(혹은 능력)에 따라서 그 발생한 재난의 위험도(리스크)의 영향을 이해하는 것을 목표로 한다.
- 사회적 취약성 모델(SV)(Social vulnerability models) : 발생하는 기후변화 영향의 위험성이 물리적인 환경에만 국한되는 것이 아니고, 사회적인 조건, 정치적인 조건과도 매우 밀접한 연관성을 갖는다는 개념을 가진 모델이다.
- 압력 및 방출 모델(PAR)(Pressures-and-release models) : 자연 환경적 요건과 사회 환경적 요건 모두를 고려함으로써 기후영향과 기후재난을 다룸에 있어서 다양한 관점과 영향항목들을 통합하고자 했던 모델.
- 확장된 취약성 모델(EV)(Expanded vulnerability models) : 하나의 고정된 시공간단위에만 국한된 것이 아니라 다양한 시공간단위에서 적용할 수 있는 유연성 높은 모델.

출처 : Preston et al(2011)

사회적 취약성 모델(SV)은 기후영향이 물리적으로 발생했을 때 사회경제적인 여건이 그 취약성의 정도를 결정한다는 것이 기본 전제다. 즉, 인간의 기후변화에 대한 노출수준은 인간이 활동하거나 거주하고 있는 공간의 분포에 달려있다는 것이다. 따라서 기후변화에 매우 취약한 사회경제적인 공간분포도 있으나 반대로 기후변화 영향에 대하여 리스크가 낮은 사회경제적인 공간분포도 있을 수 있다.

사회적 취약성 모델을 연구한 Vincent(2004), Kienberger et al.(2009), Rashed and Weeks (2003), Ebert et al.(2009) 은 일반인들도 보다 쉽게 기후변화 취약성 지도를 GIS를 활용해 분석하고 사용할 수 있음을 제시하고 있다. 일정 공간 단위를 기준으로 제공되는 공간정보에는 사회경제적인 정보들을 다양하게 포함하고 그 분포를 확인할 수 있기 때문에 공간정보 공유를 통한 공간통계 처리가 가능하여 취약성 분석에 매우 유용하다. 따라서 앞 절에서 제시한 건축물 관련 지표들을 활용해 취약성 분석을 실행함에 있어 그림 4-22와 같은 방식으로 사회적 취약성 모델에서 활용하는 과정과 방법을 활용한다면 건축물 중심의 기후변화 취약성 진단이 가능할 것이다.



[그림 4-22] 사회적 취약성 지표 및 취약성 지도를 만드는 전체적인 흐름도의 예
출처 : Armas and Gavris (2013) 재수정

2) 건축물의 회복탄력성 증진을 위한 건축기준에 적용

① 반복 침수피해 지역 내 건축물의 특징

기후변화의 영향에 의해서 재난이 발생하는 장소가 바로 자산이며, 이 자산을 지키기 위해 혹은 회복하기 위해 적응주체들의 활동이 근거를 얻게 되는 것이다. 물론 기후 취약계층이 갖는 자산보다 그렇지 않은 사람들의 자산이 보다 중요하게 여겨지는 것은 사회적 차별에 기인하기도 하며, 회복탄력성도 차별적으로 분포하게 된다. 즉 기후복지를 누리지 못하는 취약계층에게 회복탄력성은 낮을 수밖에 없다(Moser and Satterthwaite, 2010;Pelling, 2003;Satterthwaite et al. 2007).

건축행위의 시작은 대지의 환경적 여건에서 출발한다. 그리고 건축 관련 제도에 의해 건폐율, 지하층, 층수 용적률 등이 정해진다. 이후에 가구 수와 공시지가가 따라오면서 자산이라는 개념을 갖추게 된다. 이 건축과 관련한 작동기작을 이해하고 본 연구에서 도출한 반복침수 피해를 입는 건축물의 특징을 보면, 취약성이 높은 건축물의 회복탄력성 증대를 위해 무엇을 해야 할 지 파악 할 수 있게 된다. 아래 표 4-5는 취약지역의 회복탄력성을 높이기 위한 건축행위의 근거가 될 수 있다.

[표 4-5] 건축물 기후변화 취약성 진단모형에 사용한 변수

설명	건축 정보 유형	정도	취약성 분석 적용 안
건폐율	물리	+	민감도
지하층수	물리	+	민감도
층수	물리	-	적응능력
용적률	물리	-	적응능력
건축물 사용기간	물리	-	적응능력
단위면적당 지표수집적도	지리	+	민감도
평균해발고도와 대지해발고도 차	지리	-	민감도
가구 수	사회	+	민감도
단위면적당 맨홀밀도	사회	+	민감도
단위면적당 공시지가	사회	-	적응능력

② 반복 침수피해를 예방하기 위한 건축기준의 방향

건축행위를 함에 있어 다양한 공간환경적 요인을 검토한다. 본 연구의 결과는 설계과정에서 참고할 수 있는 건축기준에 한정한다. 건축설계 시 검토해야할 다양한 환경적 요인은 기본적으로 검토하되, 해당필지가 반복 침수에 대한 취약성이 높은 필지라고 한다면, 위 표 4-5의 항목을 참조할 필요가 있다.

우리는 신 기후체제에서 강조하고 있는 기후변화 '적응'의 요소와, 노출에 따른 '손실과 피해'를 최소화하기 위한 관점을 반영해 취약성이 높은 필지 내 건축은 건축물의 형태나 구성을 통해 회복탄력성을 확보 할 수 있는 기능을 반드시 갖추어야 한다. 따라서 환경적 요소를 검토하는 과정에서 평균해발고도에 비해 낮은 대지여부를 확인하고, 대지 외부의 지하 관거와 연결된 맨홀의 위치와 우수 유출수의 흐름방향을 고려해 건축물 주출입구의 향을 정하도록 한다. 즉 취약성을 유발하는 공간적 요소로부터 우수유출수의 유입을 최대한 막을 수 있는 건축 형태를 구상해야 한다는 것이다.

특히, 1층과 지하 층을 계획한다면, 경제적 피해가 적을 수 있도록 거실의 용도를 한정할 필요가 있다. 가령 주거용도의 거실을 1층과 지하층에 계획한다면, 이를 최대한 피해야 한다. 나아가 1층의 거실 면적을 최소화 해 공용공간으로 하면서, 층수와 용적률 인센티브를 확보할 수 있는 건축적 접근도 충분히 가능하다.

결과상 신축건축물의 피해가 높은 이유를 보면, 건폐율이 높고 용적률이 상대적으로 낮은 대지에 꽉 찬 형태의 소규모 건축물이라고 설명되고 있다. 즉, 기존 저밀도 소규모 건축물이 재건축 되면서 건축면적을 키우는 과정에서 이러한 위험성 또한 동시에 상승된 것으로 판단된다. 건축물은 적절한 피난처로서 모든 사람들의 안전과 복지 및 보호를 보장해야 한다. 주택 및 등 건축 시스템의 부지선정 및 설계가 충분한 고려와 전문적인 지식 안에서 제대로 되지못하면, 지역사회 및 도시 전체에 전반적인 리스크, 취약성, 회복력에 악영향을 미칠 수 있다.

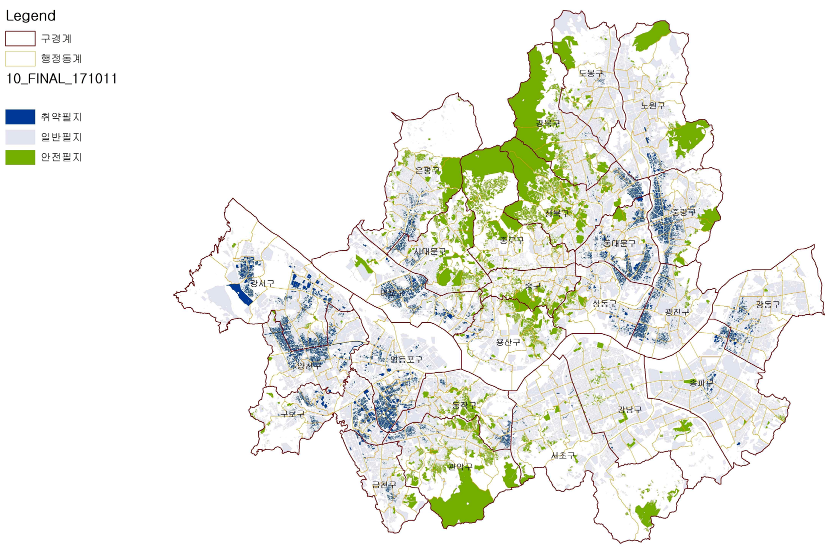
특히 주택은 건축주의 경제적 규모가 작아 건축비를 가급적 최소화 하려는 경향이 있어 기후변화 영향에 대체적으로 취약하다. 이런 연유로 폭풍, 해일이나 홍수로 인한 물리적 손상이 클 수밖에 없고, 극심한 열이나 추위에 대처할 수없는 상황에 이를 수 있는 건축 유형이므로 특히 취약지역 내 주택에 대한 건축기준은 이러한 재해위험성을 반드시 고려해야 할 것이다.

3) 신 기후체제 대응 건축물분야 기후변화 적응정책에 활용

① 광역적 활용방법

개인과 가구는 적응에 수동적일 수밖에 없는데 반해, 지방정부와 지역단체와 같은 적응 주체는 보다 적극적인 적응역량을 갖는다. 이들은 기후변화 영향에 따른 도시의 재난과 취약성에 대한 많은 직간접적인 경험과 다양한 자산에 접근할 수 있는 역량, 위험평가를 위한 지식 등 관련 정보들을 가지고 있다. 이를 활용하여 기후적응을 위한 예방 및 대응 계획 (토지이용, 건물관리, 시스템 관리, 응급관리 등)을 공동으로 연합하여 수행하는 주체가 된다(Satterthwaite et al., 2009).

본 연구의 기후변화 취약성 진단모형은 집중호우에 취약한 건축물이 입지한 필지를 선별해 내고, 동시에 안전한 필지를 도출 할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한 필지단위 결과를 도출하기 때문에 공간적 해상도 또한 매우 높아 지방정부의 정책적 활용성은 다양하다 할 수 있다. 본 취약성 진단모형과 관계된 정책은 취약성을 중점적 대상으로 한 기후변화 적응대책 세부시행계획, 재해취약성을 고려한 도시계획을 비롯해 안전한 지역을 중심으로 재해예방을 위한 저 영향 개발 및 물 순환체계 개선에 관한 정책 사업에도 활용 가능하다.



[그림 4-23] 서울시 전체 규모에서 정리한 취약지역과 안전지역의 분포

서울시 전체적으로 보면, 저 영향 개발 등을 통한 예방에 집중해야할 자치구와 피해 최소화에 집중해야할 자치구를 구분해 낼 수 있다. 위 그림을 통해 설명하면 이해하기 쉽다. 취약한 지역이 두드러진 자치구와 그렇지 않은 자치구를 우선 선별할 수 있다. 취약한 지역이 밀집된 자치구는 강서구, 양천구, 은평구, 마포구, 영등포구, 구로구, 금천구, 동대문구, 중랑구, 광진구, 강동구, 송파구 등이다. 반대로 안전한 필지가 모여 있는 자치구는 종로구, 성북구, 강북구, 도봉구, 서대문구, 용산구, 중구, 동작구, 관악구, 서초구, 강남구 등이다.

즉, 서울시 입장에서 보면, 자치구가 기후변화에 따른 집중호우와 침수에 대응하는 방식을 구분해 적용할 수 있다. 정리하면, 취약한 지역이 밀집되어 있는 자치구는 피해 최소화를 위한 재해관리 대책 중심으로 정책을 장려하고, 안전한 지역이 밀집되어 있는 자치구는 분산형 빗물관리 시스템 또는 저 영향 개발을 위한 요소 중심의 정책을 장려할 수 있다.

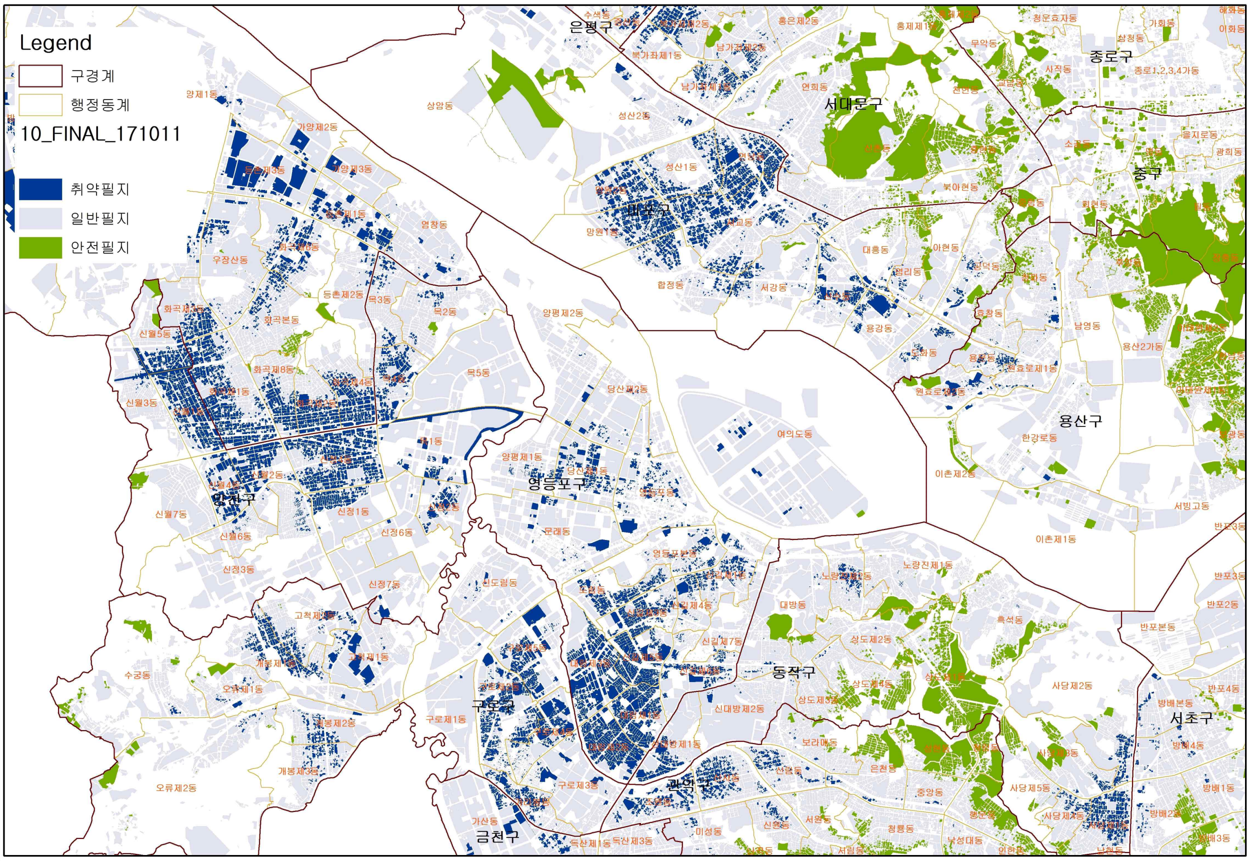
본 연구를 통해 제시한 건축물 정보를 활용한 기후변화 취약성 진단모형은 현재 대국민 공개된 정보와 공개된 소프트웨어인 GeoDA V.1.6을 활용해 구축한 모형이다. 따라서 본 연구에서 제시한 논리구조와 방법을 활용하면 얼마든지 본 연구와 같은 결과를 도출할 수 있다.

② 자치구 규모의 활용방법

본 진단모형의 장점인 높은 해상력을 활용하면 자치구 규모의 정책운영에도 유용할 것으로 예상된다. 필지단위의 해상력을 갖기 때문에 취약성이 높은 필지가 집적되어있는 행정동과 안전한 필지가 밀집한 행정동을 대상으로 차별적 예산 집행이 가능하게 된다. 특히 재해예방 차원에서 침수 취약성이 높은 필지를 중심으로 관리대장 작성이 가능하게 된다. 즉, 집중호우에 의한 갑작스런 침수가 발생했을 때 초기대응의 속도를 높일 수 있으며, 취약대상이 명료하기 때문에 지속적인 모니터링을 운영할 수 있기도 하다.

자치구에서 기후변화 적응대책에 따른 침수예방을 위한 정책을 집행함에 있어 저 영향 개발을 장려해야할 행정동 피해최소화를 해야 할 행정동을 명료하게 구분할 수 있게 되므로 예산집행 항목의 효율성 또한 제고 할 수 있을 것으로 판단된다. 더 나아가면, 안전한 지역과 취약 지역 간 연계 정책을 구사할 수도 있다. 대체적으로 침수에 취약한 지역의 상류지역에 안전한 필지 클러스터가 위치하고 있으므로 하류지역의 피해를 저감할 수 있는 분산형 빗물관리 사업을 추진하면 피해복구비에 들어갈 재원을 인센티브로 활용할 수 있게 되고, 침수 취약성이 높은 지역은 특별 관리를 통해 경제적 피해를 최소화

할 수 있는 기회를 얻게 될 수 있을 것으로 생각된다. 아래 그림을 확인하면 자치구내 행정동 별로 취약한 동과 안전한 동으로 쉽게 구분할 수 있다. 더불어 취약한 행정동과 안전한 행정동 간 정책적 연계에 활용 가능한 것을 용이하게 이해할 수 있다.



[그림 4-24] 자치구의 차별화 된 행정동 정책운영에 적용가능한 수준의 침수 취약필지와 안전필지의 공간정보

제5장 결론

1. 연구와 정책적 의의

1) 연구의 종합적 의의

본 연구는 이상 기상현상에 의한 재해 피해를 반복적으로 입는 건축물이 존재하는 필지를 공간적 범위로 해당 건축물의 빅 데이터를 공간정보화해 공간적 특성을 파악하고, 그 결과를 신 기후체제의 방향성과 연계시켜 해석해보고자 했다. 이러한 목표를 달성하기 위해 미국, 한국의 전문가 집단이 협동연구팀을 구축해 연구를 수행했다.

신 기후체제에서 추구하고자 하는 기후변화 '적응'의 요소와, 노출에 따른 '손실과 피해'를 최소화하기 위한 목표를 달성하기 위해서는 위험과 취약성에 대한 진단이 선행되어야 한다. 현재 지구적 규모에서 국가적 규모에 따른 기후변화 위험성과 취약성 진단이 하향식으로 이뤄지고 있지만 그 정밀함에 있어 많을 오류를 안고 있는 것이 현실이다. 따라서 본 연구에서는 상향식으로 위험성과 취약성을 진단하기 위한 연구체계를 구성해

연구를 시도하고 그 결과를 제안했다.

건축물이 갖고 있는 특징을 파악하기 위해서 건축물과 관련된 복잡한 사회적 기작을 이해할 필요가 있었고, 그 이해를 바탕으로 물리적, 사회적, 지리적 요소를 기반으로 건축물관련 데이터베이스를 구축 할 수 있었다. 다행히 이는 기후변화 취약성 진단의 선행연구에서도 유사한 맥락이 있어 건축물의 사회적 특징을 활용해 기후변화 사회적 취약성 진단모델과도 연계가 가능함을 파악했다.

본 연구 결과가 갖는 의미는 기후변화에 따른 이상 기상 현상의 발생 빈도가 증가할 것임을 전제로 반복적인 재해 피해를 입는 대상을 건축물로 본 것이다. 연구과정에서 데이터 정제의 한계로 인해 개별 필지가 갖는 대표 건축물을 중심으로 살펴본 한계는 존재하지만, 재해 위험성과 나아가 취약성으로 설명가능 한 건축물 관련 기초 데이터베이스를 약 56만 여개 필지의 경향성을 분석해 도출했다는데 의미가 있다. 결과적으로 총 900여만 개의 데이터가 구축되었다. 본 연구를 통해 구축된 건축물 중심의 데이터베이스는 현재 2012년도 1개 시점에 한하지만, 동일한 연구방법을 시도한다면 다양한 연도별 특성을 파악할 수 있다. 나아가 서울뿐만 아니라 전국단위 반복 재해 위험성에 대한 분석 또한 가능할 것으로 생각된다.

건축과 도시를 연구하는 분야에서 정책을 만들기에 앞서 현재 상황에 대한 객관적 진단과 연구는 앞으로 필수적으로 이행되어야 한다. 그런 차원에서 본 연구는 일반적으로 당연하다고 여겨지는 현상을 구체적 변수를 활용한 공간 빅 데이터의 분석을 통해 명확한 설명이 가능할 수 있음을 시도했다. 이는 건축물 단위에서 기후변화 취약성 분석의 기초가 되고 구체적으로 건축의 위험성을 최소화함과 동시에 회복탄력성을 증가시키기 위해 반드시 살펴봐야할 대상을 명료화 하는 것에 의의가 있다. 건축물의 재해위험성의 개선은 행정구역, 나아가 도시지역의 기후변화에 의한 '적응'능력을 키우고 '손실 과 피해'를 최소화 할 수 있는 내재적 힘을 키우는데 도움이 될 것이다.

2) 정책적 의의

현재 우리나라는 기후변화와 관련된 지방정부의 정책은 활성화 되고 있지 않다. 서울시 조례를 통해 살펴보면, 기후변화 적응, 물 순환, 재해예방과 관련한 정책은 기후변화 대응관련조례, 물 순환, 물 재생, 재난 및 안전관련 관리조례를 운영 중이다. 전체 25개 자치구 중 기후변화 관련 조례는 7곳, 물 순환 관련조례는 1곳, 재난 및 안전관리 조례는 25곳이 제정해 운영 중 이다. 이중 건축물과 관련된 조례는 재난 및 안전관리 조례가 있지만, 특정 재난이 발생한 이후의 대처를 위한 기준이 위주이며, 기후변화 적응능력 향

상을 위해 건축 설계에 영향을 주는 강제적 조항은 존재하지 않는다. 이는 현재 재해예방 정책을 위한 현황 실태분석이 충분히 이뤄지지 못했기 때문이라 할 수 있다.

파리협약에 따라 국제적 의무이행이 요구 되고, 지방정부에서 실행을 하지 못한다면 국가는 정책 실천에 탄력을 받기 어렵다. 과거 재해발생 이후 사후조치에 대한 시스템을 중심으로 정책이 마련되었다면, 파리협약 협정서를 출발점으로 손실과 피해를 최소화할 수 있는 예방적 정책이 본격적으로 마련되어야 한다. 국가적 하향식 접근 방법도 필요하지만, 구체적인 기초데이터를 구축하기 위해서는 지방정부의 노력을 빌어 상향식 접근방법을 기후변화 정책을 통해 추진해야 할 시점이다.

기후변화 정책은 공간을 기반으로 현황을 파악하고 취약성을 진단한 결과를 바탕으로 발생가능 한 위험에 대한 사전적 대비를 해야 하므로 이때 건축물은 상향식 정책 방향에 있어 시발점이 될 것이다. 신 기후체제에서 기후변화 정책에서 건축물은 기초정보수집과 정책적용에 중요한 요소로 다뤄져야 할 것이다.

2. 연구의 한계 및 향후 연구과제

본 연구는 기후변화를 주제로 하고 있지만, 구체적으로 집중호우에 의한 도시침수피해를 연구대상으로 하고 있다. 사실에 기초한 연구를 진행하기 위해 2012년도 1개 시점을 기준으로 연구했기 때문에 시간적 연속성을 논해야하는 기후변화를 주제로 삼기에 한계가 있다. 또한, 본 연구는 건축물을 주요 대상으로 다뤘다. 건축물은 그 동안 온실가스 배출량 저감을 위한 대상으로 연구되어 왔지만, 기후변화 적응의 대상으로는 다뤄지지 않았다. 본 연구에서 건축물을 기후변화 적응연구에 건축물 관련 빅 데이터를 활용함으로 시도를 해본 것이다. 따라서 선행연구를 통한 연구방법론, 변수선정의 근거를 제시하기 현실적으로 어려운 점을 한계점으로 갖고 있다.

건축물 관련정보는 모두 정부로부터 공개된 로우데이터에서 출발해 다양한 정제과정을 거쳐 본 연구결과 도출에 사용되었다. 정제과정에서 많은 데이터 군이 기각되었는데 대부분 건축물 관련 데이터의 신뢰성이 떨어지거나 누락된 정보가 많아 분석에 활용함에 있어 대표성을 담보할 수 없었기 때문이다. 따라서 본 연구에서 활용된 건축물 대장 표제부 정보의 일부가 건축물의 특성을 모두 설명한다고 하기 어렵다. 향후 건축물관련 데이터의 수준이 향상된다면 보다 풍부한 건축적 특징을 설명할 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구에서 기후변화 취약성 진단은 침수에 한정 된 반복재해 위험성 분석으로 갈음했다. IPCC에서 제시하고 있는 기후변화 취약성 진단의 범위를 적용하기에 본 연구에서 설정한 연구의 범위 중 노출에 대한 변수화 과정에 해석 차이가 존재했기 때문이다. 따라서 향후 연구에서 노출에 대한 공간적 변수를 정의해 보다면 보다 명확한 기후변화 취약성 진단결과를 도출 할 수 있을 것으로 예상한다.

연구 진행과정에서 최소자승법 도출한 침수에 반복적인 피해를 은 건축물의 회귀방정식과 통계적 결과 치에 대한 객관성에 대한 의견이 존재했다. 본 연구에 활용한 데이터의 수량이 900만 건 이상에 달하기 때문에 유의미함을 설명하는 지표의 수치가 다소 떨어지게 나왔기 때문이다. 데이터의 수량이 많기 때문에 발생하는 통상적인 문제로 현상을 설명하는데 무리가 없다는 내부 연구진의 판단에 따라 건축물의 특성을 설명하기 위한 변수간 자기상관성을 최대한 배제시켜 변수 간 독립성을 찾는데 초점을 맞췄다. 객관성을 높이기 위해 LISA분석을 통해 유의확률 95%이상 결과 값만 반복 침수피해를 받는 건축물을 설명하기 위한 근거로 활용했다.

향후 관련 연구를 진행함에 있어 위에서 언급한 빅 데이터 처리기법에 대한 연구를 보완해 통계적 표준화와 유의성과 객관성을 고도화 할 수 있도록 노력해야 한다.

참고문헌

References

1) 학술지 및 단행본

Acosta-Michlik L, Espaldon V (2008) Assessing vulnerability of selected farming communities in the Philippines based on a behavioural model of agent's adaptation to global environmental change. Glob Environ Change 18:554–563

Adger WN (2006) Vulnerability. Glob Environ Change 16(3):268–281

Alexander DE (1993) Natural disasters. UCL Press Limited, London

Anselin, L. (2003). Spatial externalities, spatial multipliers, and spatial econometrics. International regional science review, 26(2), 153-166.

Armas, I. and Gavris, A., (2013). Social vulnerability assessment using spatial multi-criteria analysis (SEVI model) and the Social Vulnerability Index (SoVI model)-a case study for Bucharest, Romania. Natural hazards and earth system sciences, 13(6), p.1481.

Baltagi, B. H., Song, S. H., & Koh, W. (2003). Testing panel data regression models with spatial error correlation. Journal of Econometrics, 117(1), 123-150.

Birkmann J (2006b) Measuring vulnerability to promote disaster-resilient societies: conceptual frameworks and definitions. In: Birkmann J (ed) Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies. United Nations University Press, Tokyo, pp 9–54

Birkmann J (2006c) Indicators and criteria for measuring vulnerability: theoretical bases and requirements. In: Birkmann J (ed) Measuring vulnerability to natural hazards—towards disaster resilient societies. United Nations University Press, Tokyo, pp 55–77

Birkmann J (ed) (2006a) Measuring vulnerability to natural hazards—towards disaster resilient societies. United Nations University Press, Tokyo

Birkmann J, Fernando N (2008) Measuring revealed and emergent vulnerabilities of coastal communities to tsunamis in Sri Lanka. Disasters 32(1):82–104

Birkmann, J. and Wisner, B. (2006) Measuring the un-measurable, The challenge of vulnerability, SOURCE, 5/2006, available at: http://www.ehs.unu.edu/file/get/3962 (last access: 27 April 2013)

Birkmann, J., Cardona, O.D., Carreño, M.L., Barbat, A.H., Pelling, M., Schneiderbauer, S., Kienberger, S., Keiler, M., Alexander, D., Zeil, P. and Welle, T., (2013) Framing vulnerability, risk and societal responses: the MOVE framework. Natural hazards, 67(2), pp.193-211.

Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I. ., and Wisner, B. (2004) At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters, Routledge, London, 2nd Edn.

Boonya-Aroonnet, S., Maksimovic, C., Prodanovic, D., Djordjevic, S. (2007) Urban pluvial flooding: Development of GIS based pathway model for surface flooding and interface with surcharged sewer model. Proceedings of NOVATECH 2007,481-488.

Cannon T (1994) Vulnerability analysis and the explanation of 'natural' disasters. In: Varley A (ed) Disasters, development and environment. Wiley, Chichester, pp 13–29

Cannon T (2006) Vulnerability analysis, livelihoods and disasters. In: Ammann WJ, Dannenmann S, Vulliet L (eds) Risk 21: coping with risks due to natural hazards in the 21st century. Taylor and Francis Group plc, London, pp 41–49

Cardona OD (1999) Environmental management and disaster prevention: two related topics. In: Fernandez MA (ed) Cities at risk: environmental degradation, urban risks and disasters in Latin America. A/H Editorial, La RED, US AID, Quito, pp 77–102

Cardona OD (2004) The need for rethinking the concepts of vulnerability and risk from a holistic perspective: a necessary review and criticism for effective risk management. In: Bankoff G, Frerks G, Hilhorst D (eds) Mapping vulnerability: disasters, development and people. Publishers, London, pp 37–51

Cardona OD (2011) Disaster risk and vulnerability: notions and measurement of human and environmental insecurity. In: Brauch HG, Oswald Spring U, Mesjasz C, Grin J, Kameri-Mbote P, Chourou B, Dunay P, Birkmann J (eds) Coping with global environmental change, disasters and security—threats, challenges, vulnerabilities and risks. Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace, vol 5. Springer, Berlin

Carreño ML, Cardona OD, Barbat AH (2007a) Urban seismic risk evaluation: a holistic approach. Nat Hazards 40(1):137–172

Carreño ML, Cardona OD, Barbat AH (2007b) Disaster risk management performance index. Nat Hazards 41(1):1–20

Carreño ML, Cardona OD, Barbat AH (2012) New methodology for urban seismic risk assessment from a holistic perspective. Bull Earthq Eng 10(2):547–565

Chambers Robert (1989) Vulnerability, coping and policy. Inst Dev Stud Bull 20(2):1–7

CRED (2016), The Human Cost of Weather Related Disasters 1995-2015, UNISDR, p13

CSIRO 2007; Lucas et al, 2007; Adelaide Climate Change Adaptation Plan 2011

Cutter S, Barnes L, Berry M, Burton C, Evans E, Tate E, Webb J (2008) A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. Glob Environ Change 18(4):598–606

Cutter S, Boruff BJ, Shirley WL (2003) Social vulnerability to environmental hazards. Soc Sci Q 84(2003):242–261

Cutter S, Finch C (2008) Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. PNAS 105(7):2301–2306

Ebert, A., Kerle, N. and Stein, A., (2009) Urban social vulnerability assessment with physical proxies and spatial metrics derived from air-and spaceborne imagery and GIS data. Natural hazards, 48(2), pp.275-294.

Falconer, R. H., Cobby, D., Smyth, P., Astle, G., Dent, J., & Golding, B. (2009). Pluvial flooding: new approaches in flood warning, mapping and risk management. Journal of Flood Risk Management, 2(3), 198-208.

Fingleton, B., & Le Gallo, J. (2008). Estimating spatial models with endogenous variables, a spatial lag and spatially dependent disturbances: Finite sample properties*. Papers in Regional Science, 87(3), 319-339.

Fussel, H. M. (2007), "Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons." Sustainability Science 2(2): 265-275.

Golding, B. W. (2009). Long lead time flood warnings: reality or fantasy? Meteorological Applications, 16(1), 3-12.

Hurford, A. P., Priest, S. J., Parker, D. J., & Lumbroso, D. M. (2012). The effectiveness of extreme rainfall alerts in predicting surface water flooding in England and Wales. International Journal of Climatology, 32(11), 1768-1774.

IDEA (2005) Indicators of disaster risk and risk management—main technical report. English and Spanish edition, National University of Colombia/Manizales, Institute of Environmental Studies/IDEA, Inter-American Development Bank, Washington, DC. Available from: http://idea.unalmzl.edu.co

IPCC (2007) Assessing key vulnerabilities and the risk from climate change. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, van der Linden PJ, Hanson CE (eds) Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability, contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 7–22

IPCC (2012) Managing the risk of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Special report of the intergovernmental panel on climate change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), (2001). Technical summary: climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability. A Report of Working Group II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC, (2014) Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp.18, 27, 50, 51 .

Jenson, S., & Domingue, J. (1988) Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Photogrammetric engineering and remote sensing, 54(11), 1593-1600.

Kaźmierczak, A. and G. Cavan (2011), "Surface water flooding risk to urban communities: Analysis of vulnerability, hazard and exposure." Landscape and Urban Planning 103(2): 185-197.

Kelly PM, Adger WN (2000) Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. Clim Change 47(4):325–352

Kienberger S, Lang S, Zeil P (2009) Spatial vulnerability units—expert-based spatial modelling of socioeconomic vulnerability in the Salzach catchment, Austria. Nat Hazards Earth Syst Sci 9:767–778

Lambert, D. M., Brown, J. P., & Florax, R. J. G. M. (2010). A two-step estimator for a spatial lag model of counts: Theory, small sample performance and an application. Regional Science and Urban Economics, 40(4), 241-252.

Lavell A (1999) Environmental degradation, risks and urban disasters. issues and concepts: towards the definition of a research agenda. In: Fernandez MA (ed) Cities at risk: environmental degradation, urban risks and disasters in Latin America. A/H Editorial, La RED, US AID, Quito, pp 19–58

Lee, E.S., Lee, D.K., Kim, S.H. and Lee, K.C. (2016), Design strategies to reduce surface water flooding in a historical district. J Flood Risk Management. doi:10.1111/jfr3.12268

Leitao, J. P. (2013) Enhanced DEM-based flow path delineation methods for urban flood modelling. Journal of Hydroinformatics, 15(2), 568-579.

Liverman DM (1990) Chapter 26—vulnerability to global environmental change. In: Kasperson RE, Dow K, Golding D, Kasperson JX (eds) Understanding global environmental change: the contributions of risk analysis and management. Clark University, Worcester, pp 27–44

Maksimović, Č., Prodanović, D., Boonya-Aroonnet, S., Leitão, J. P., Djordjević, S., & Allitt, R. (2009). Overland flow and pathway analysis for modelling of urban pluvial flooding. Journal of Hydraulic Research, 47(4), 512-523.

Maskrey A (1984) Community based hazard mitigation. Disasters mitigation program implementation. Virginia Polytechnic Institute, Virginia

McCarney, P., (2009) City indicators on climate change: Implications for policy leverage and governance. In World Bank's 5th Urban Research Symposium Cities and Climate Change: Responding to an Urgent Agenda, Marseille, France.

Moser, C., & Satterthwaite, D. (2010). Towards pro-poor adaptation to climate change in the urban centers of low- and middle-income countries. In R. Mearns & A. Norton (Eds.), Social dimensions of climate change: Equity and vulnerabiity in a warming world (pp. 231–258). Washington, DC: World Bank.

O'Brien KL, Leichenko R, Kelkar U, Venema H, Aandahl G, Tompkins H, Javed A, Bhadwal S, Barg S, Nygaard L, West J (2004) Mapping multiple stressors: climate change and economic globalisation in India. Glob Environ Change 14:303–313

Oxfam America (2009) Exposed—social vulnerability and climate change in the US. Southeast Press, Boston

Pelling M (1997) What determines vulnerability to floods; a case study in Georgetown. Guyana, Environ Urban 9(1):203–226

Pelling M (2010) Adaptation to climate change: from resilience to transformation. Routledge, London

Pelling, M. (2003). The vulnerability of cities: Natural disasters and social resilience. London: Earthscan.

Preston BL, Brooke C, Measham TG, Smith T, Gorddard R (2009) Igniting change in local government: lessons learned from a bushfire vulnerability assessment. Mitig Adapt Strateg Glob Change 14:251–283

Preston, B. L., E. J. Yuen and R. M. Westaway (2011), "Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks." Sustainability Science 6(2): 177-202.

Prodanovic, D. (1999) Improvements of Hydroinformatic Methods in Analysis of Flow From Urban Catchments. Thesis(Ph D), University of Belgrade.

Rashed, T. and Weeks, J., (2003) Exploring the spatial association between measures from satellite imagery and patterns of urban vulnerability to earthquake hazards. Int Arch Photogramm Remote Sens Spat Inf Sci, 34(7), p.W9.

Satterthwaite, D., Dodman, D., & Bicknell, J. (2009). Conclusions: Local development and adaptation. In J. Bicknell, D. Dodman, & D. Satterthwaite (Eds.), Adapting cities to climate change: Understanding and addressing the development challenges (pp. 359–383). London: Earthscan

Satterthwaite, D., Huq, S., Pelling, M., Reid, H., & Lankao, P.R. (2007). Adapting to climate change in urban areas: The possibilites and constraints in low- and middle-income nations. International Institute for Environment and Development, Discussion Paper.

Sharma U, Patwardhan A (2008) Methodology for identifying vulnerability hotspots to tropical cyclone hazard in India. Mitig Adapt Strateg Glob Change 13:703–717

Timmerman P (1981) Vulnerability, resilience and the collapse of society. Environmental monograph no. 1. Institute for Environmental Studies, University of Toronto, Toronto

UNDRO (1980) Natural disasters and vulnerability analysis. Report of experts group meeting of 9–12 July 1979, Geneva

UNISDR (2004) Living with risk. UNISDR, Geneva

UNISDR (2009) Terminology on disaster risk reduction, Geneva. Available from: http://unisdr.org/eng/library/lib-terminology-eng.htm

Wisner B, Blaikie P, Cannon T, Davis I (2004) At risk, natural hazards. People's Vulnerability and Disasters, Routledge

Yohe G, Tol RSJ (2002) Indicators for social and economic coping capacity: moving toward a working definition of adaptive capacity. Glob Environ Change 12(1):25–40

Zhou, Y., Wang, Y., Gold, A. J., & August, P. V. (2010). Modeling watershed rainfall–runoff relations using impervious surface-area data with high spatial resolution. Hydrogeology journal, 18(6), 1413-1423.

강정은 외 (2012) 기후변화 적응형 도시구현을 위한 그린인프라전략 수립, 한국환경정책평가연구원

강정은, 이명진 (2012), "퍼지모형과 GIS 를 활용한 기후변화 홍수취약성 평가–서울시 사례를 중심으로." 한국지리정보학회지 15(3): 119-136.

고재경, 김희선 (2010), "지방자치단체 기후변화 취약성 평가에 관한 연구." 환경정책 18(2): 79-105.

국가도시방재연구센터 (2013), 도시기후변화 재해 취약성 분석 매뉴얼(VER 3.0), p5

국립환경과학원 외 (2009) GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석기법 개발(1),(2), 환경부

국토연구원 (2012) 기후변화 적응도시 조성방안연구, 국토교통부

기상청 보도자료 (2017.8.3.) 2017년 장마특성

김동현 외(2013) 기후변화적응형 공간계획방법의 개발과 모의적용 연구, 한국환경정책평가연구원

김윤미 (2011.8), 슈퍼장마를 부르는 제트기류, 과학동아 2011년 8월호, pp 66-71

김진아, 윤순진(2014) 광역지자체의 기후변화 적응계획 평가 (계획요소와 수립과정을 중심으로), 한국사회와 행정연구 제25권 제2호, 2014.08, 29-51

김태현 (2014) 기후변화 적응을 위한 공간계획 수립시 도시환경방재분야 공간정보 연계활용 방안 연구,KEI

명수정, 이동규, 신상희, 조광우, 이희선 (2009)「기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응방안 연구1, 한국환경정책·평가연구원.

박창열, 신상영, 손은정. (2013). 다변량 분석을 이용한 서울의 상습침수지역 유형화. 한국방재학회논문집.

이경진·차정우(2015) 지방자치단체 적응대책을 위한 기후변화 취약성 평가, 기후연구, Vol.10No.1[2015], 13-24

이세영, 이제승. (2014). “어린이 · 노인 보행자 교통안전을 위한 근린환경요인.” 한국도시설계학회지 도시설계, 15(6), 5-15.

이승준, 안병옥. (2016)「신기후체제의 기후변화 적응 및 손실과 피해에 관한 대응방안」, 한국환경정책평가연구원.

이은석 (2015), 물 민감성 그린인프라스트럭처 계획을 위한 적지 모형 개발, 학위논문(박사), 서울대학교 환경대학원 : 협동과정 조경학전공 2015. 8

이희연,노승철 (2012) 고급통계분석론-이론과 실습-, 문우사, pp.588-657

환경부 (2011.10), 침수대응 하수도 시뮬레이션 가이드라인 마련 연구, p19

2) 기타 참고자료

Arc Hydro for ArcGIS 10.1 help)

ArcGIS 10.1 Help

통계청 보도자료(2015.11.16.), 2016년 사회조사 결과

연합뉴스, ‘청주 22년만의 홍수…290mm비, 침수·정전·단수 ’아수라장‘’, 2017.7.16.일자보도

연합뉴스, ‘인천 110mm 폭우…사망1명,주택 등 547곳 침수’, 2017.7.23.일자 보도

허핑턴포스트코리아, 해운대 마린시티 침수피해가 유독 큰 이유는 매우 한국적이다. 2016.10.5.일자 보도

경인일보, '해수면 최고 수준 상승' 소래포구 등 인천 해안지역 이틀째 침수‘, 2016. 10.18일자 보도

연합뉴스, ‘'역대 최장 폭설‘ 피해 눈덩이처럼 증가… 수백억 예상’, 2014.2.14

유엔기후변화협약(UNFCCC), http://unfccc.int/

VESTAP, https://vestap.kei.re.kr (접속일자 : 2017.7.26.)

http://market.nsdi.go.kr/goods/detail.do?gno=12771, (접속일자. 2017.7.28.)

http://safecity.seoul.go.kr:8070/scmyn_cf/main.do (접속일자: 2017.6.30.)

http://www.nap.edu/23569 (접속일자 : 2017.4.14.)

http://www.unisdr.org/we/coordinate/sendai-framework (접속일자 : 2017.4.14.)

http://www.uno.edu/chart/community-elevation-project/index.aspx (접속일자 : 2017.4.14.)

https://vestap.kei.re.kr/estimation/estimation_main.do, (접속일자 : 2017.6.30.)

https://www.boston.gov/departments/environment/climate-ready-boston#spring2016 (접속일자 : 2017.4.14.)

A Research of the Vulnerability Diagnosis Method for Buildings on the New International Climate Change Agenda

SUMMARY

Chapter 1: Introduction

For the long time we have prepared social, physical and institutional measures for climate disasters. When a disaster occurs, people try to find a safe place. In the urban area, the built environment including the typical buildings becomes the refuge. Indoor space is especially expected to be safe. The climate disasters, however, frequently exceeds the expectations of those measures and the limits been prepared for the past. This means that built environment such as buildings and facilities is no longer considered as safe space.

After the Paris Agreement of 2015, Korea signed the Paris Agreement on Climate Change on April 22, 2016 with 168 participant countries. This means that Korea needs to follow the direction of the next climate change policy of the international community. Korea also has to establish a national target and an operating system that is practicable for local governments.

Climate change policy needs to include requirements for cities and buildings

separately. However, Korean policies and measures to deal with climate change do not consider with buildings and the urban environment.

The research questions of this study are as follows: First, this research identifies characteristics of the buildings that are repeatedly affected by specific natural disaster. Second, after the explanatory characteristics of an individual building are identified, this research reveals how buildings with similar characteristics are distributed in the surrounding area.

Chapter 2: The Trend of Climate Change Adaptation Policy and Research

In the climate change adaptation policy, the overall climate change vulnerability diagnosis for buildings does not represent significant difference from other subjects' climate change vulnerability diagnosis except for differences in the types of climate change adaptation strategies for primary industries such as agriculture and fisheries.

Major overseas adaptation policies have provided detailed strategies in terms of increasing resilience, partnerships between governments and regions, utilization of scientific technologies and data, and enhancing community sustainability. In Korea, the risk of residential areas to flooding and coastal structures has been assessed. Climate change impact and vulnerability assessment systems for large industrial complexes have also been prepared.

Assuming the disaster caused by climate change as an event and the buildings as the social space, the social complexity and the physical, natural, and built environment are necessarily considered with the minimization of the risks and damages.

The climate change vulnerability diagnosis methods currently applied for domestic climate change adaptation policy use the administrative district for their spatial range. Actual impact and effect of climate change, however, cross the range of the administrative area so to be limited to have effective diagnosis results. Assessment of the vulnerability, therefore, necessarily considers the minimization of the basic analysis unit, understanding the social condition of the analysis unit. The climate change vulnerability diagnostic modeling for buildings is to explain the exposure, sensitivity, social response and resilience, identifying the social elements buildings represent.

Chapter 3: Establishment of Climate Change Vulnerability Analysis System

Spatial vulnerability diagnosis with a high resolution can be accomplished not by considering the administrative district as a spatial unit but by taking a facility, a parcel or a building where citizens actually live as a spatial reference unit. When this spatial reference units are distributed in a certain area, it represents a climate change vulnerable area. As a result, this type of vulnerability diagnosis takes a bottom-up approach.

This research takes heavy rainfall as the subject phenomenon of climate change vulnerability diagnosis for buildings. Among various weather phenomena caused by climate change in Korea heavy rainfall accompanies many casualties such as deaths and life damages. The subject of vulnerability diagnosis applied to this study is, therefore, flooding due to heavy rainfall. Residential and non-residential buildings, where most people spend their time for habitation and production activities, are the main spatial extent of this research. This research also focuses on the buildings in the damaged areas that have experienced repeated floods due to heavy rainfall.

The basic concept of surface water flood building analysis is to find the spatial distribution of building that is characterized through the standardized explanatory variables of buildings in the flooded area. In case of several buildings in a parcel, this research apply the characteristics of the main building of a parcel to that parcel in order to have effective modeling to diagnose the influence of the surface water flood on buildings.

Among the least degree of missing information in the building register, this research selected indicators applicable to climate exposure, sensitivity, and adaptive capacity. An explanatory indicator of building location environment for flooding is included. The surface water density, adjacent manhole density, and elevation of the average sea level are included to represent the influence of surface water flood in urban areas. The officially assessed individual land price is also added as a social indicator related to adaptation capacity.

Chapter 4: Analysis of Risk and Vulnerability of Buildings

A basic database was constructed for Seoul Metropolitan Government. A basic database consists of the building register, social data, and geographical data to consider explanatory information of climate change vulnerability such as climate exposure, sensitivity, and adaptation capacity.

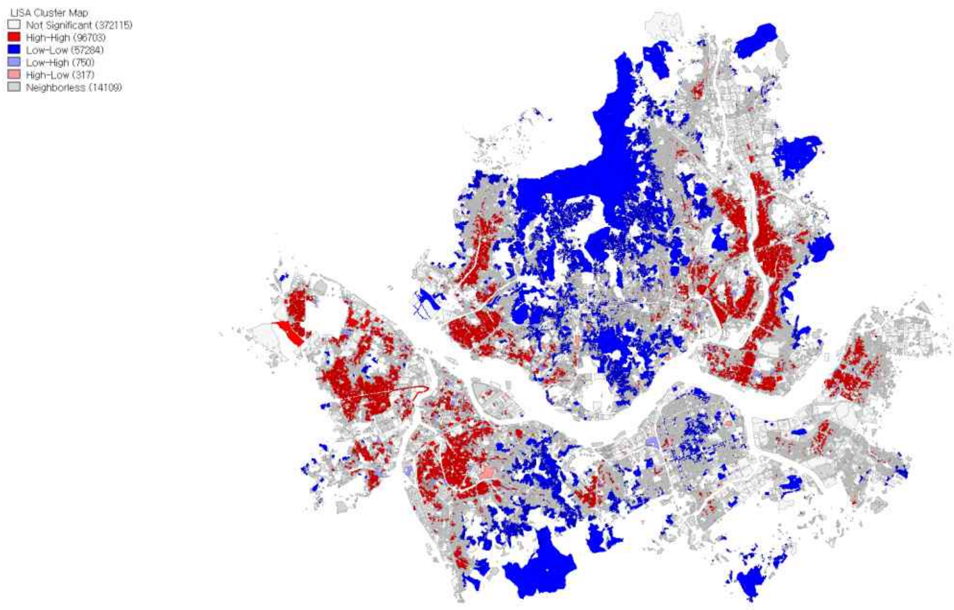
Characteristics of the buildings in flooded areas affected by climate exposure are extracted through spatial regression analysis. The spatial regression model uses the OLS(Ordinary Least Square) method.

The spatial regression analysis based on the relationship between building information reveals that buildings located in Seoul with high risk of repetitive flooding damage have greater climate change vulnerability when the building coverage ratio is higher, the floor area ratio is lower, the number of households is larger, the number of floors is lower, the number of underground floors is larger, the period of building use is shorter, the official land price is lower, the adjacent manhole density is higher, the surface water concentration is higher, and the average sea level of parcels is lower.

Buildings are complex combination of physical, economic, social, institutional, and environmental factors. The type of climate change vulnerability diagnosis and assessment model to deal with buildings, therefore, should select the social vulnerability model. The social vulnerability model suggests that the general public can analyze and utilize climate change vulnerability maps more easily using GIS. Since the spatial information based on a certain spatial unit includes various socioeconomic information and its distribution can be identified, it is very useful for analyzing the vulnerability by enabling spatial statistical processing through sharing of spatial information.

Buildings in the parcel with high vulnerability should have the ability to secure resilience through the form and composition of the building, considering the elements of climate change 'adaptation' and the minimization of 'loss and damage' by exposure. The climate change vulnerability diagnosis model of this research has the advantage in selecting parcels where vulnerable buildings to heavy rainfall and at the same time in deriving safe parcels. Since the diagnosis results based on the parcel unit and the high spatial resolution, the policy utilization by local governments can be various.

The policy related to the vulnerability diagnosis model of this research can be the urban planning and the detailed planning for the climate change adaptation when they focus on climate change vulnerability, and can be the low impact development project and the water circulation improvement project for climate change prevention when they focus on derived safe areas.



[The vulnerable area(red: HH) and safe area(blue: LL) as the result of LISA analysis]

Keywords

Repetitive disaster risk by climate change, big data related to buildings, spatial regression modeling, climate change adaptation policy, GIS

부록.

Appendix

1. 협동연구 결과 목차 :한국환경정책평가연구원

연구자 : 김태현 박사, 김태현 연구원, 박현주 연구원

2. 협동연구 결과 목차 : Michigan State University

연구자 : 김준현 교수, 박종훈 박사