

자연재해·재난 대응을 위한 탄력적 도시설계 연구

A Research of the Resilient Urban Design for Natural Disasters by Climate Change

이은석 Lee, Eunseok
강현미 Kang, Hyunmi
한수경 Han, Sukyoung
지석환 Ji, Seokhwan
윤호선 Yoon, Hoseon

(a u r

기본연구보고서 2019-9

자연재해·재난 대응을 위한 탄력적 도시설계 연구

A Research of the Resilient Urban Design for Natural Disasters by Climate Change

지은이	이은석, 강현미, 한수경, 지석환, 윤호선
펴낸곳	건축도시공간연구소
출판등록	제2015-41호 (등록일 '08. 02. 18.)
인쇄	2019년 10월 28일, 발행: 2019년 10월 31일
주소	세종특별자치시 절재로 194, 701호
전화	044-417-9600
팩스	044-417-9608

<http://www.auri.re.kr>

가격: 21,000원, ISBN:979-11-5659-238-9

이 연구보고서의 내용은 건축도시공간연구소의
자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와 다를 수 있습니다.

연구진

연구책임	이은석 부연구위원
연구진	강현미 부연구위원 한수경 부연구위원 지석환 연구원 윤호선 연구원
외부연구진	권용석 부연구위원 (대구경북연구원) 이현지 연구원 (대구경북연구원) 김경재 소장 (Atelier KJ)
연구보조	고하정 박사 (재단법인 숲과 나눔) 민경훈 박사 (日 국립 치바대학교)

연구심의위원	유광흠 선임연구위원 조상규 연구위원 홍성호 과장 (행정안전부 기후재난대응과) 정주철 교수 (부산대학교 도시공학과) 이병재 책임연구원 (국토연구원)
연구자문위원	강정은 교수 (부산대학교 도시공학과) 길승호 교수 (강원대학교 생태조경디자인학과) 김무한 교수 (공주대학교 환경조경학과) 김세훈 교수 (서울대학교 환경대학원) 김충호 교수 (서울시립대학교 도시공학과) 김태현 연구위원 (한국환경정책평가연구원) 김호길 교수 (청주대학교 환경조경학과) 박재민 교수 (청주대학교 환경조경학과) 성선용 책임연구원 (국토연구원) 신진동 박사 (국립재난안전연구원) 오윤경 연구위원 (한국행정연구원) 이동근 교수 (서울대학교 조경·지역시스템공학부) 이준 부연구위원 (한국교통연구원) 이창우 소장 (한국지역개발연구소) 정지범 교수 (울산과학기술원 도시환경공학부) 최해옥 부연구위원 (과학기술정책연구원)

제1장 서론

하절기에 발생하는 폭염, 폭우가 재난 수준에 이르고 있다. 폭염에 대한 기록을 시작한 1973년 이후 평균 폭염일수는 10.1일이었으나, 2018년 폭염일수는 31.5일로 가장 많았고 역대 최악의 폭염으로 알려진 1994년 31.1일보다 0.4일 이나 더 길었다. 특히, 2018년의 폭염은 장마가 다른 해에 비해 짧고 강우량이 적어 폭염이 일찍 시작되어 길게 지속되었다. 기후변화로 여름철 강수 패턴이 점차 변화하고 있다. 2000년 이후부터는 여름철 강수가 장마기간에 집중되었던 것이 여름철 전 기간으로 확산되면서 강수시기를 정확히 예측할 수 없는 게릴라성 집중호우와 같은 기상이변이 나타나고 있다. 최근 기후변화로 인한 집중호우의 강도가 커지면서 서울시와 같은 대도시 지역에서는 도시홍수에 대한 우려가 커지고 있다.

일반적으로 자연재해 예방은 미래 불확실성을 대비한다. 이를 도시에 적용시킨다면, 대상은 기성시가지와 신규개발지역으로 구분할 수 있다. 기성시가지는 이미 건설되어 완결성을 지니며 현재 이용되는 공간이기 때문에 도시 전반에 걸쳐 재난 예방을 위한 인프라를 설치하고 개선하기에는 현실적인 제약이 크다. 그렇다고 점적인 개선은 도시의 전반적인 체질개선에 큰 도움이 되지 않을 뿐더러 해당 지역의 경제력에 의존하는 경향이 강하다. 따라서 기성시가지는 재난·재해 취약성 진단에 근거한 중장기적인 도시 종합계획 기준이 필요하다. 반면 신규개발지역은 개발이전부터 보유하고 있던 자연적 회복탄력 능력을 도시화로 인해 잃게 되므로 이를 최소화 할 수 있는 도시설계에 대한 정책적 기준이 적용되어야 한다.

도시를 새로 개발하고 유지하며 재생하는 근본적인 목적은 미래 생활에 필요한 생활터

전을 확보하고 개선하기 위함이다. 즉, 도시정책의 기본적인 시제는 미래이다. 그러나 우리나라 도시는 미래에 예상되는 환경적 문제에 대해 충분한 고려가 부족한 상태에 놓여진 채, 시장논리에 근거해 만들어져가고 있다. 대표적인 미래 불확실성인 기후변화를 UN IPCC에서 국제적으로 합의된 기준에 의해 통용되고 있는 기후시나리오를 도시설계 과정에 적극적 도입을 제안하고, 도시설계의 근거로서 현 시점의 도시가 갖는 미래 취약성을 진단할 수 있는 체계를 개발해 제안하고자 한다.

기후변화 영향은 다양성을 가지지만, 인간의 생명과 재산에 직접적인 영향을 주는 것은 자연재해이다. 특히, 서론에서 밝힌 바와 같이 우리나라에서 큰 영향을 주는 하절기 현상인 폭염과 폭우에 따른 침수현상을 본 연구에서는 주시해야 할 자연재해로 본다. 미래에 폭염과 폭우가 우리 도시에 영향을 줄 때, 현재보다 개선될 수 있는 탄력성 증진 요소를 정립하고, 실제 현재 도시의 현황을 근거로 어떤 형태를 갖춰야 하는지 가시적인 도시설계 지침방안을 제안한다.

제2장 탄력성 관련 도시정책 동향

국제사회는 기후변화를 지속가능한 생활을 영위하기에 심각한 위협요인으로 규정하고 있다. 일각에서는 이제 기후변화(Climate change)가 아닌 기후위기(Climate crisis)로 설정하고 보다 강화된 대응방안을 국제사회가 고민해야한다고 하고 있다. 파리협약이 온실가스 배출 감축 중심의 교토협약보다 다차원적인 접근 방식을 갖고 국제사회에 국가별 수준에 맞는 대응방안을 Roll-up 방식으로 지속시키고자 하는 것과 같은 맥락이라 하겠다. 전술한 바와 같이 국제사회는 기후변화에 대해 지속적이고 강도 높은 다차원적 접근방안을 요구하고 있다.

파리협약과 관련된 국가 법정계획에서 우리 실생활과 관련된 건축과 도시를 대상으로 물리적, 사회적 구조에 대한 다각도적인 접근이 필요하다. 이는 SDGs에 그 목표가 구체적으로 설정되어 있으므로 적극 활용해야 한다. 이와 관련한 거버넌스 조직 구성은 센다이 프레임 워크의 기준을 우리나라의 실정에 맞도록 재구조화해 활용해야 할 것이다. 건축과 도시 관련 정책을 입안하는 중앙정부 관련기관은 파리협약, SDGs, 센다이프레임 워크의 역할관계를 참고해 기후변화에 대한 적극적인 대응방안을 마련해야 한다.

탄력성 강화를 전제로 기후변화 취약성 분석체계를 구성하기 위해서는 기후변화에 따

른 자연재해(기후노출), 영향을 받을 것으로 예상되는 대상(민감성), 대상이 갖고 있는 대응 능력(적응능력) 수준에 대한 구조화가 필요하다. 기후변화에 따른 모든 자연재해를 다룰 수 없기 때문에 자연재해 유형별 취약성 분석을 진행하고 결과를 묶어 자연재해 취약성의 다양성을 확보하는 체계를 갖는다.

탄력성 강화를 위한 정책대상을 확인하기 위해서 취약성 분석은 반드시 선행되어야 한다. 기후변화의 영향은 사람이 거주하는 장소에 피해를 야기하기 때문에 취약성 분석결과를 도면 등을 활용해 공간적으로 설명할 수 있어야 한다. 이는 취약한 장소의 위치를 확인하는데 도움이 되며, 민감성과 적응능력의 지표를 확인해 취약 특성에 따른 차별적이며 효율성 높은 정책을 적용 가능하게 하기 때문이다. 탄력성 강화 작업은 국가와 공공에서 취약성 분석을 활용해 적재적소를 찾고, 취약 장소의 민감성과 적응능력을 설명하는 지표를 분석해 정책적 해법을 제시하는 체계를 갖는다.

미래에 우리가 경험한 수준 이상의 자연재해가 언제 올지 모르는 불확실한 상황에 놓여 있기 때문에 현재 상태의 건축과 도시 체계상에서 미래 기후현상에 대한 취약성 진단이 이뤄져야한다. 건축과 도시구조의 맥락에 주목해 탄력성 확보를 정책적으로 추진함에 있어 근거자료로서 취약성 진단 결과를 활용해야 한다. 더불어 미래 기후변화의 예측불가능성은 복합 자연재해와도 연계성이 있다. 하나의 자연재해에 대한 취약성을 진단하기보다 복수의 자연재해를 동시에 조망할 수 있는 취약성 진단법을 개발해야 한다. 추가적으로 향후 IPCC에서 요구하게 될 리스크 평가와 맥락을 맞출 수 있는 체계를 갖춘 취약성 진단 프로세스를 고려해야 할 것이다.

제3장 탄력성 개선을 위한 도시 취약성 진단도구 개발

본 연구는 기후변화의 하절기 영향으로 예측하기 어려운 미래를 가정해 폭염과 폭우에 따른 도시지역의 취약성진단을 목적으로 한다. 취약성에 관한 대전제로서 파리협약과 국제사회에서 공통적으로 합의하고 IPCC에서 정하고 있는 취약성 분석함수식을 따른다. 취약성을 설명하는 변수로서 노출, 민감성, 적응능력을 정하고 각각의 관계는 취약성을 증가시키는 요인과 완화하는 요인으로 구분해 노출과 민감성은 취약성 증가요인으로 양(+)의 관계, 적응능력은 완화하는 요인으로서 음(-)의 관계로 정의한다.

본 연구 대상지역은 ‘대전-세종-청주’ 권역이다. 기존 선행연구들은 대부분 서울 및 수

도권에 집중되어 있거나 부산 등 대도시 중심으로 연구가 이뤄져 왔다. 이 권역은 인구가 260만 명이 넘는 중부권에서 도시 개발의 변화가 큰 권역이며 중심지 기준 20~30km 권역 안에 묶여 있어 상호간 도시세력권에 들어 있다. 그러나 이 권역을 하나의 광역생활권역으로 묶어 연구대상지로 선정한 사례가 기후변화 관련 연구에서 전무하다.

취약성 분석에 노출, 민감성, 적응능력이 유형별로 세부지표로서 설명되어야 한다. 따라서 세부지표들은 우리나라 공식 통계지표이거나 국가 및 공공에서 생산되는 공인 통계수치를 사용한다. 기후변화 예측 시나리오 관련 자료는 「국가기후변화적응센터(한국환경정책평가연구원 운영)」에서 개발해 전국 기후변화 적응계획수립에 기초자료로 활용 중인 VESTAP의 시나리오 자료를 사용한다. VESTAP에서 활용한 자료는 본 연구과제의 대상자연재해인 폭염과 폭우에 따른 홍수를 직간접적으로 설명 가능한 다수의 지표를 2030년, 2040년, 2050년 단위로 정리해 ‘노출’ 지표로 가공해 활용한다.

‘대전-세종-청주’ 권역의 취약성 설명지표는 인구, 건축물, 시설접근성, 경제성이 공간정보로 구축되어 있는 공간통계를 설명지표로 활용한다. 각각의 기 공개되어 있는 공공공간정보는 최소 100m × 100m 격자부터 500m × 500m, 읍면동 단위 까지 공간범위의 다양성이 존재한다. 다양한 위계를 갖는 지표성격에 맞게 공간적 규모를 재분류했다.

기후적 현상은 광범위한 영향에 해당하므로 읍면동 단위를 공간범위의 기준으로 선정하였다. 시설접근성은 주로 도시계획으로 결정되는 병원, 공원, 교육시설 시설에 해당하므로 500m × 500m 격자 공간에서 시설위치를 중심으로 도로를 통한 이동거리를 세분화하여 사용한다. 정밀함이 요구되는 건축물과 인구는 100m × 100m 격자 공간을 기준 공간으로 활용했다. 100m × 100m 격자공간은 취약성 분석결과를 표출하는 기준공간 규모이다. 연구대상지의 100m × 100m 격자공간의 개수는 196,561개 이다. 이 중 건축물이 존재하는 격자공간의 개수는 38,523개다.

현재 건축물과 인구특성을 대상으로 2030년, 2040년, 2050년에 폭염과 홍수의 영향정도를 동시에 적용함으로써 ‘폭염과 홍수에 모두 위험한 지점’, ‘폭염만 위험한 지점’, ‘홍수만 위험한 지점’, ‘폭염과 홍수 모두에 안전한 지점’으로 4개 유형으로 취약성 분석결과를 100m × 100m 단위 공간마다 값을 도출할 수 있도록 한다. 미래의 위험성을 살펴보는 것이기 때문에 2030년의 노출값, 2040년 노출값, 2050년 노출값에 1번이라도 취약성이 높은 것으로 도출되는 단위공간을 모두 합한 것을 탄력성을 고려하기 위한 취약성 분석결과로 규정한다.

통계적 유의성으로 정리된 단위공간에 대해 동일한 기초데이터 베이스에서 폭염과 홍수의 취약성을 병렬적으로 산출하고 단위공간(100m×100m격자)의 폭염과 홍수의 취약성 점수를 쌍대 비교함으로써 공간의 취약특성을 파악한다. 쌍대비교에는 집단의 군집성을 파악할 수 있도록 LISA (Local Indicators of Spatial Association) 분석을 사용한다. 이때, Bivariate Moran's I를 활용했다.

폭염과 홍수 관련 지표들을 하나의 장표에 구성한 뒤 개별 지표별로 Z-score 표준화를 시행해 각각의 값들의 편차를 표준화 한다. Z-score 표준화 결과는 음수와 양수가 혼재된 값들로 정리되기 때문에 정량적 편차를 가늠해 해석하기 어렵다. 따라서 모든 값을 0~1사이 값으로 정리해 경향성을 설명할 수 있도록 Min-Max 표준화를 시행해 비율로 측정된 지표로 표현할 수 있도록 정리한다. 0~1사이 값으로 표준화 된 폭염 그룹과 홍수 그룹의 지표를 행정동을 기준으로 평균값을 도출한다. 각각의 평균값은 2030년, 2040년, 2050년으로 세분화해 폭염과 홍수의 표준화된 정도 값을 구했다.

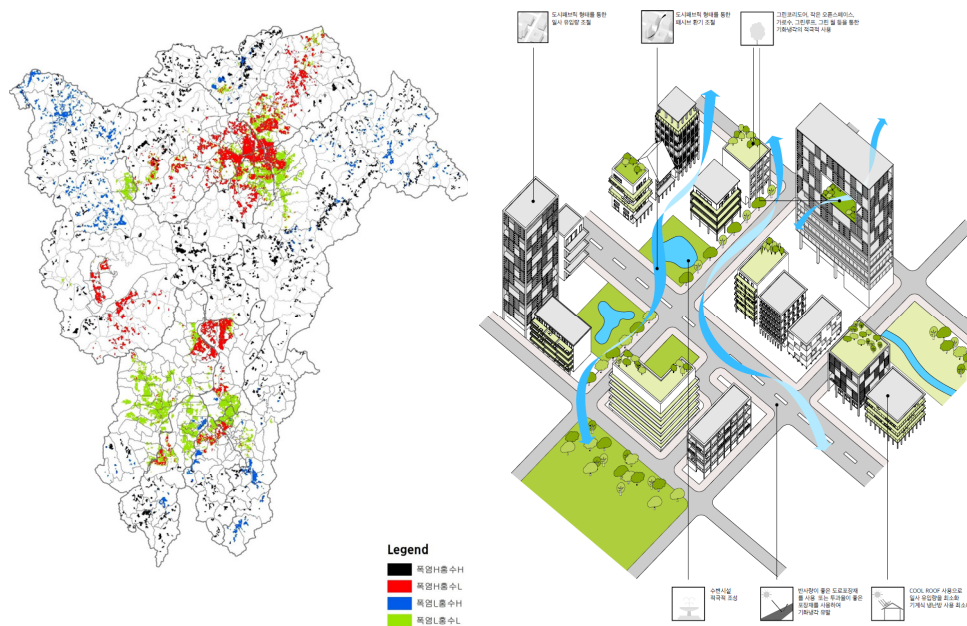
제4장 폭염·홍수 대응 탄력적 도시설계 방안

우리나라 도시설계 관련 정책은 인·허가를 기준으로 작동된다. 도시 개발과 관련한 건제기구로서 인·허가권자는 도시계획위원회, 경관위원회, 건축위원회 등을 설치해 각 관련법에 의해 운영할 수 있다. 해당 위원회는 심의 권한을 갖고 시장논리에 따른 과도한 개발이 이뤄지는 것을 방지하기 위해 법률과 지침에 근거한 조정을 실행할 수 있다. 각종 위원회에서 법률과 지침에 의거해 개발의 범위와 물리적 형태를 조정하고 이를 수용하지 않으면 인·허가권자의 최종 결정을 득하지 못하는 구조를 갖고 있으므로 위원회는 도시설계의 형태를 완성할 수 있는 중요한 기능을 갖는다.

잘못된 입지선정으로 인해 한 도시의 자연재해 취약성은 거의 불가역적인 형태로 가중되는 문제가 발생할 수 있다. 특정 시설이 부정적 환경영향에 대한 충분한 검토가 이루어지기 전에 사안을 결정해 입지하면, 근본적인 예방, 즉 탄력성을 높이는 방안을 적용하기 어렵게 된다. 잘못된 입지선정 문제는 관련 제도가 있다하더라도 미래 기후 영향에 대한 검토가 제대로 이루어지지 않는다면 현재에도 발생할 수 있는 개연성은 충분히 존재한다. 따라서 도시설계를 통한 탄력성을 체계적으로 확립할 수 있도록 취약성 진단을 활용한 공간위계별 프레임워크를 고려해야 한다.

향후 기후변화로 인한 폭염과 침수 문제는 더욱 심각해질 것으로 전망되는 가운데, 향후 환경성평가, 전략영향평가 및 환경영향평가를 통해 도시 내 시설의 입지적정성을 판단하는 과정에서 취약성 가중여부와 정도는 물론 이를 최소화할 수 있는 추가 대안 또한 충분히 검토하는 것이 기초조사단계에서 의무적으로 이뤄져야 한다. 또한 실행계획의 근거가 되는 재해예방에 관한 모호한 개념을 개선해야한다. 이는 도시설계 정책 기준이 되는 지구단위계획수립지침에서 심도 있는 개선에 관한 고려가 필요하다.

취약성 진단을 통해 공간규모에 따라 탄력성을 높이기 위한 지표를 신규개발지역과 기성개발지역의 특성에 따라 차별적으로 설정하고 기술적 사항은 설계를 통해 적용할 수 있도록 체계를 잡을 수 있다. 즉, 도시설계에 탄력성 개념을 적용하기 위해 우선적으로 필요한 과정은 프레임을 갖춰 정책적으로 활용 가능한 제도에 반영하는 것이다. 이를 관련 심의위원회에서 도시설계 승인 과정에 근거로 활용한다면 탄력적인 도시설계에 대한 개념과 인식이 사회적으로 확산 될 것으로 예상된다. 이러한 과정을 도모하기 위해 본 연구는 도시설계 관련 법제도의 개선을 정책대상과 방향으로 개선안을 제안했다.



[그림] 폭염과 홍수 다중 자연재해 미래 취약성 지도화 결과와 폭염 탄력성 개선을 위한 도시설계 예시

주제어

기후변화, 취약성진단, 복합재해, 폭염, 도시홍수, 지구단위계획수립지침, 자연재해대책법, 도시재생법

제1장 서론	1
1. 연구의 배경 및 목적	1
1) 연구배경	1
2) 연구목적	8
2. 연구목표 및 방법	10
1) 연구목표	10
2) 연구 수행방법 및 과정	12
3. 선행연구현황 및 차별성	13
1) 도시정책 분야 연구사례	13
2) 탄력성(Resilience) 분야 연구사례	13
3) 취약성(Vulnerability) 분야 연구사례	16
4) 선행연구를 통한 시사점	18
5) 본 연구의 차별성	19
제2장 탄력성 관련 도시정책 동향	21
1. 탄력성에 대한 국제 사회의 관점과 정책적 함의	21
1) UN 주도하의 국제 정책	21
2) 탄력성 관련 해외 기후변화 적응 정책 현황	28
2. 국내 정책분야의 탄력성에 대한 관점	31
1) 온실가스 감축	31
2) 기후변화 적응 부문	32
3) 탄력성(레질리언스:Resilience) 부문	33
3. 건축·도시정책 분야에서 탄력성의 함의	33
1) 기후변화 대응 전략의 기본으로서 취약성과 탄력성의 관계	33
2) 향후 리스크 평가에 대한 탄력성의 의미	34
제3장 탄력적 도시설계를 위한 도시 취약성 진단도구 개발	37
1. 탄력성 연계 취약성 진단 모형의 개념정립	37
1) 우리나라 주요 자연재해의 경향성	37
2) 개념설정	38
2. 기초변수 및 복합 취약성 분석 논리구조 설정	41
1) 미래 기후노출 변수선정 근거	41

2) 현재 민감성 변수선정 근거	41
3) 현재 적응능력 변수선정 근거	42
4) 취약성 분석 모형의 기본 구조	43
5) 복합 취약성 분석 구조 개념 및 논리구조	45
3. 자연재해 복합 취약성 분석 및 결과	49
1) 연구범위	49
2) 취약성 분석에 적용된 기초 공간정보 현황	51
3) RCP 8.5 시나리오에 따른 폭염 및 폭우 취약성 분석결과 도출	53
4. 탄력성 활용을 위한 취약성 결과 해석	57
1) 취약성 결과에 따른 일반특성 해석	57
2) 탄력적 도시설계 반영을 위한 건축관련 지표 해석	59
3) 취약유형별 현장실태 조사	63
4) 소결	68
제4장 폭염·도시홍수 대응 탄력적 도시설계 방안	69
1. 복합재해 탄력성 확보 원칙	69
1) 복합취약성 분석 지표 활용	69
2) 공간 규모에 따른 재해 유형 별 원칙	70
3) 복합 자연재해 대응을 위한 탄력적 도시설계 원칙	75
2. 복합재해 대응 탄력적 도시설계의 방향	77
1) 기본구상	77
2) 탄력적 도시설계를 위한 디자인 방향	78
3. 탄력적 도시설계의 정책화 방향	88
1) 탄력적 도시설계를 위한 쟁점	88
2) 탄력적 도시설계 개념 도입을 위한 현행 정책 개선방향	91
3) 탄력적 도시설계 원칙을 고려한 관련 법제도 개선안	93
제5장 결론	105
1. 연구요약 및 시사점	105
1) 연구요약	105
2) 시사점	107
2. 연구한계와 향후 연구과제	109
1) 연구의 한계	109
2) 향후 연구과제	109
참고문헌	111
Summary	119
부록. 탄력적 도시설계 인벤토리	123

[표 1-1] 2011~2017년도 연간 재해 원인별 피해액 현황 (단위 : 백만원)	3
[표 1-2] 제2차 국가 기후변화 적응대책 방향별 핵심계획지표	6
[표 1-3] 본 연구과제 관련 최신 주요 선행연구	20
[표 2-1] 교토의정서와 파리협정 비교	22
[표 2-2] 탄력성을 고려한 그린인프라 공간계획모델 기준	30
[표 3-1] 취약성 설명하기 위해 선정 된 지표유형	43
[표 3-2] 연구 범위 개요	50
[표 3-3] 취약성 분석에 적용된 연구대상지 미래 기후노출 공간정보	51
[표 3-4] 취약성 분석에 적용된 연구대상지 주요 공간정보 : 인구, 건축물, 시설	52
[표 3-5] 미래 기후 시나리오에 따른 폭염과 홍수 취약성 분석의 공간정보 결과	53
[표 3-6] '대전-세종-청주' 권역의 폭염홍수 취약특성에 따른 공간지표의 평균값 종합	63
[표 3-7] 취약유형별 실태조사 대상지 위치	63
[표 4-1] 도시설계 탄력성 제고를 위한 공간위계에 따른 취약성 지표 및 설계 원칙 Matrix	76
[표 4-2] 지구단위계획 수립지침 개선안 1 : 총칙 개선	94
[표 4-3] 지구단위계획 수립지침 개선안 2 : 구역지정 일반원칙	95
[표 4-4] 지구단위계획 수립지침 개선안 3 : 계획 수립기준 일반원칙	95
[표 4-5] 지구단위계획 수립지침 개선안 4 : 환경관리	96
[표 4-6] 지구단위계획 수립지침 개선안 5 : 기반시설	97
[표 4-7] 지구단위계획 수립지침 개선안 6 : 교통처리	97
[표 4-8] 지구단위계획 수립지침 개선안 7 : 건축물의 배치와 건축선	98
[표 4-9] 지구단위계획 수립지침 개선안 8 : 건축물의 형태와 색채	99
[표 4-10] 도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법 개선안 : 도시재생전략계획 등	101
[표 4-11] 도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법 시행령 개선안 : 도시재생전략계획 등	102
[표 4-12] 자연재해대책법 개정안 : 책무	103

[그림 1-1] 국내 기후변화 및 자연재해 피해 현황(폭염)	2
[그림 1-2] 최근 10년간 폭염일수와 연평균강수량 변화 추이	4
[그림 1-3] 폭염 관련 키워드 추이 (단위 : 건, 출처 :저자작성)	4
[그림 1-4] 폭우 관련 키워드 추이 (단위 : 건, 출처 : 저자작성)	5
[그림 1-5] 본 연구의 협동연구 체계도	11
[그림 1-6] 연구 수행방법 및 과정	12
[그림 1-7] 탄력적인 도시계획을 위한 체계 개념도	15
[그림 2-1] 파리 협정 목표 이행의 진행단계	23
[그림 2-2] 지속가능한 발전의 통합개념 및 지속가능한 개발목표(SDGs)	24
[그림 2-3] 회복탄력성이 언급된 SDGs 목표들	25
[그림 2-4] 샌다이 프레임워크와 SDGs의 관계	26
[그림 2-5] SDGs, 파리협정 그리고 샌다이 프레임워크의 관계	27
[그림 2-6] 2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵 수정계획 상 감축량 구성 구조	31
[그림 2-7] 제2차 국가기후변화 적응대책 로드맵	32
[그림 3-1] 노출지표 수집에 활용한 VESTAP(https://vestap.kei.re.kr) 접속화면	39
[그림 3-2] 국토정보맵(map.ngii.go.kr)에서 제공하고 있는 국토통계지도(대전광역시) 정보	40
[그림 3-3] 공간 통계정보를 활용한 취약성 분석 모형 기본 설계도	44
[그림 3-4] 미래 폭염과 폭우 취약성을 동시에 공간적으로 파악하기 위한 알고리즘	46
[그림 3-5] 연구 공간적 범위 : 대전광역시-세종특별자치시-청주시 권역	49
[그림 3-6] 신뢰구간 95% 에 해당하는 취약성 지수가 반영된 단위공간의 분포	54
[그림 3-7] 폭염취약성과 홍수취약성의 Moran's I 분포 : 2030(좌), 2040(중), 2050(우)	54
[그림 3-8] 연도별 LISA 분석 결과	55
[그림 3-9] 폭염과 홍수대상 복합 취약성분석 지도	56
[그림 3-10] 취약성 그룹별 자연재해 노출지수의 경향성 비교	57
[그림 3-11] 취약성 그룹별 인구특성 비교	58
[그림 3-12] 취약성 그룹별 개별주택 및 공시지가 경향성 비교	59
[그림 3-13] 취약성 그룹별 해발고도 특성 비교	59
[그림 3-14] 취약성 그룹별 건축물 특성 비교	60
[그림 3-15] 취약성 그룹별 건축물의 주요구조 비교	61
[그림 3-16] 취약성 그룹별 건축물의 주요 용도 비교	61
[그림 3-17] 취약성 그룹별 의료시설, 교육시설, 공원녹지시설의 접근성 비교	62
[그림 3-18] 현장조사 Keymap	63
[그림 3-19] 세종시 부강면의 배수 인프라(좌)와 슬라브형 건축물의 덧댄 지붕 현황(우)	64
[그림 3-20] 청주시 오창읍 일대 유수지공원(좌)과 주동 향에 따른 표면 온도의 차이 비교	64
[그림 3-21] 정남향 및 동남향 주동 표면 온도차(좌), 루버부와 하부온도차	65
[그림 3-22] 대전 신탄진 일대 노후 택지의 옥외 환경 현황	65

[그림 3-23] 청주시 사창동 일대 가로환경(표면적 최대 49.4℃)과 인동간격 현황	66
[그림 3-24] 청주시 양청택지의 건축물(좌) 및 녹지 현황(우)	66
[그림 3-25] 대전시 용문동 일대 건축물 현황	67
[그림 3-26] 대전시 반석동, 지족동 일대 고급 주택단지 및 녹지 현황	67
[그림 3-27] 세종시 조치원 일대 건축물 현황 및 내창천 냉섬 효과 촬영	68
[그림 4-1] 폭염 탄력성 확보를 위한 도시정책 추진 사례	72
[그림 4-2] FReT을 반영한 다양한 변수에 따른 홍수피해 시뮬레이션의 구현사례	74
[그림 4-3] 미국 보스톤의 침수 방재도로의 신도로형 샘플 단면도	74
[그림 4-4] 뉴욕시의 열 취약성 지도, 2080년 해수면 상승에 의한 침수 대응 건축가이드라인	77
[그림 4-5] 영국 BRE 그룹의 홍수 회복탄력성 주택의 실내 및 벽체 에어브릭 가이드라인 예시	77
[그림 4-6] 탄력적 도시설계 기법 적용을 위한 기본구상 스케치 과정	78
[그림 4-7] 폭염 탄력성 개선을 위한 지구규모 설계원칙 적용 방안	79
[그림 4-8] 폭염 탄력성 개선을 위한 주동 향의 설계 방안	80
[그림 4-9] 홍수 탄력성 개선을 위한 유역적 맥락을 활용한 지구규모 설계원칙 적용 도시설계 방안	81
[그림 4-10] 폭염 탄력성 개선을 위한 건축물 설계 원칙 적용 중소형 건물의 디자인 방안	82
[그림 4-11] 폭염 탄력성 개선을 위한 건축물 설계 원칙 적용 중형건물 이상의 디자인 방안	83
[그림 4-12] 폭염 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 건축물 예시도	83
[그림 4-13] 홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 중소형 건축물의 디자인 방안	84
[그림 4-14] 홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 중형이상 건축물의 디자인 방안	85
[그림 4-15] 홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 건축물 예시도	85
[그림 4-16] 폭염-홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 건축물 디자인 방안	86
[그림 4-17] 폭염-홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 건축물 예시도	87
[그림 4-18] 폭염과 홍수취약성이 낮은 양호지역의 건축설계 방향	88

제1장 서론

- 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 연구의 범위 및 목표
 - 3. 선행연구 현황 및 차별성
-

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구배경

① 도시 자연재해 현상의 변화와 위험

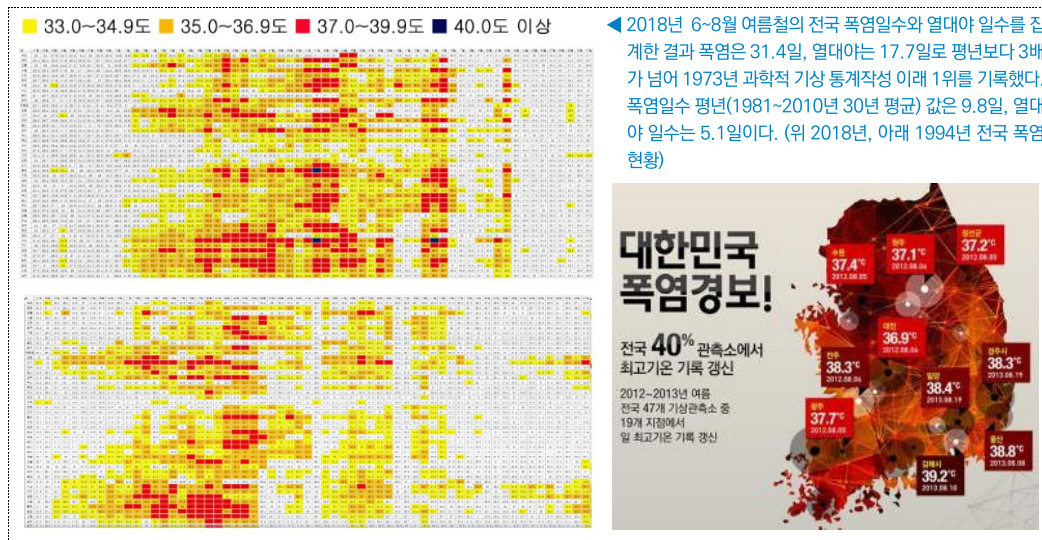
□ 자연재해 발생 원인의 경향성 변화

우리는 일상생활에서 매일 일기예보를 보고 하루의 생활을 준비한다. 계절에 따라 일기예보에서 언급하는 대비방법이 예년과 달라지고 있다. 봄과 가을에는 미세먼지, 여름에는 태풍, 겨울에는 폭설과 한파 등 그 빈도와 대상이 변화하고 있다. 실제로도 2016년 이상기후 보고서(관계부처합동)에 따르면 최근 10년간 대설·한파(북극진동영향), 가뭄, 폭염(역대최고평균기온), 태풍·호우(가을태풍, 최대강수일수 경신)등 이상기상현상에 따라 피해액과 인명피해가 종합적으로 증가하고 있다(관계부처합동, 2016). 특히, 하절기에 발생하는 폭염, 폭우는 재해 수준이거나 그에 버금간다.

폭염에 대한 기록을 시작한 1973년 이후 평균 폭염일수¹⁾는 10.1일이었다. 2018년 폭염일수는 31.5일로 가장 많았고 역대 최악의 폭염으로 알려진 1994년 31.1일보다 0.4일이나 더 길었다.²⁾ 특히, 2018년의 폭염은 장마가 다른 해에 비해 짧고 강우량이 적었

1) 전국 45개 지점 평균값이 모두 일 최고 기온 33℃ 이상시 1일로 집계

던 탓에 폭염이 일찍 시작되고 지속기간도 길었다. 폭염의 원인은 북태평양고기압 위를 티베트고기압이 뒤편에서 한반도가 '열돔(heat dome)' 현상이 나타났고, 태풍도 고기압 세력에 밀려 한반도를 비껴가면서 열돔이 머무는 시간이 길어졌기 때문인 것으로 알려져 있다. 지역적으로는 내륙지방에서 폭염 빈도가 높게 나타났다. 가장 높은 폭염 빈도를 나타낸 지역은 경상북도 의성군으로 2018년에 49일 동안 폭염이 이어졌다. 반면에 가장 낮은 폭염 빈도를 나타낸 지역은 제주도 서귀포시로 단 3일간만 폭염이 나타났다. 안타깝게도 2018년 당시, 온열질환자 4,457명, 사망자 48명에 달하는 인명피해가 발생³⁾했다.



[그림 1-1] 국내 기후변화 및 자연재해 피해 현황(폭염)

출처 : (좌) 이근영(2018), “‘역대급 폭염’ 1994년 여름, 24년 장기집권 마감했다”, 한겨레, 9월3일자

(우) 대한민국 정책브리핑, <http://www.korea.kr/news/graphicsView.do?newsId=148782158>(검색일:2019.12.13.)

여름철 강수 양상도 변화하고 있다. 우리나라는 장마전선이 형성되어 보통 6월말~7월 중순까지 여름장마, 9월에 가을장마가 오는 주기가 통설이었다. 2000년대 이후 장마의 주기가 변화하면서 장마전선의 형태가 변하거나 나타나지 않는 마른장마가 여름에 나타나기 시작했다. 상대적으로 국지성 집중호우의 발생빈도가 높아지고 있다. 많은 전문가들이 이를 이상기상현상으로 보고 있다⁴⁾. 집중호우의 빈도와 강도가 커지면서 서울 시와 같은 대도시 지역은 일시적으로 배수 용량을 넘어서는 도시홍수에 대한 우려가 커

2) 기상자료 개방포털, <https://data.kma.go.kr/climate/heatWave>(검색일:2019.05.31.)

3) 질병관리본부 질병정보통합관리시스템 온열질환 감시체계, <https://is.cdc.go.kr/>(검색일:2019.05.31.)

4) 이희서(2016), “계절성 집중호우 대비와 예방”, 경남도민일보, 7월8일자.

지고 있다. 그와 더불어 태풍의 부상 시기도 길어지고 있다. 2019년은 10월 초까지 태풍 ‘미탁’이 북상해 피해를 입힌 최초의 해이기도 하다.

우리나라의 재해 피해 양상을 보면, 홍수의 원인이 되는 태풍과 집중호우로 발생하는 피해액의 규모는 다른 재해보다 훨씬 높았다. 대표적인 사례로는 2011년 7월에 발생한 ‘백년만의 폭우’로 알려진 수도권 집중호우가 있으며, 산사태로 인한 총 69명(사망 57명, 실종 12명)의 인명피해와 주택파손, 차량침수, 정전 등으로 인한 2,500억 원의 재산 피해가 발생하였다⁵⁾.

[표 1-1] 2011~2017년도 연간 재해 원인별 피해액 현황 (단위 : 백만 원)

구분	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	평균
태풍	209,783	957,850	1,639	5,159	13,615	221,886	-	158,773
호우	506,994	36,675	153,358	138,655	1,232	37,129	101,592	149,403
대설	46,101	19,422	11,000	31,611	13,226	19,335	83	22,624
풍랑	287	-	43	-	339	8,590	605	-
강풍	-	25,491	904	92	3,952	-	3,929	-
지진	-	-	-	-	-	11,401	85,022	9,642

출처 : 행정안전부(2018), 「2017 재해연보」, 동 기관, p.11

□ 언론을 통해 본 자연재해의 위협의 경향

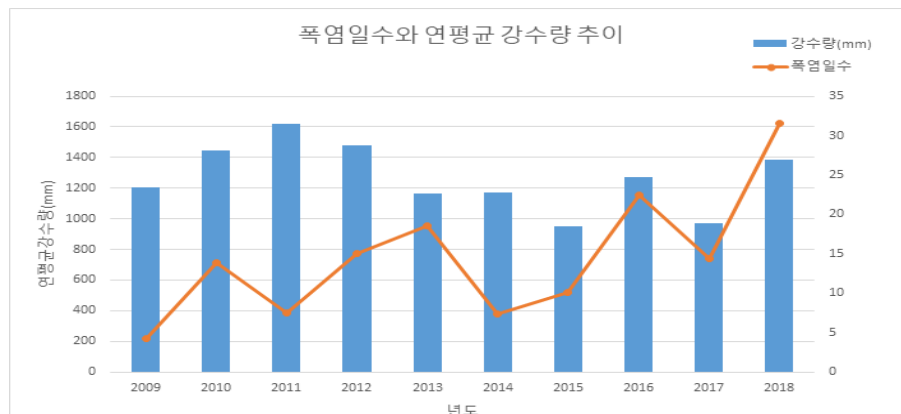
공공에서 집계하는 결과 중심의 통계와 달리 자연 재해의 실시간 민감도를 보기 위해 언론기사 빅데이터 분석을 진행했다. 대상 사건은 여름철 대표 자연재해인 폭염과 폭우(홍수)이다. 폭염과 폭우를 대상으로 키워드 중심으로 빅카인즈(BIGKinds)⁶⁾를 이용하여 10년 치 기사를 살펴봤다. 빅카인즈에서 제공하는 뉴스데이터 중 본 연구에서 중점적으로 다루는 ‘폭염’, ‘폭우’로 각각 검색하여 2009~2018년 기간 동안 중앙지⁷⁾에 한정하여 관련 기사를 추출해봤다. 중복 기사를 제외하고 폭염 15,417건, 폭우 12,659건이 수

5) 기상청(2011)에서 발간한 『최근 20년 사례에서 배우다 : 집중호우 Top10』에서는 주거지 인근에서 발생하는 산사태의 경우 정전, 침수보다 심각한 인명피해를 동반한다고 하였다. 또한, 도심 홍수는 하수도의 하수 처리능력이 순간 강수량을 따라가지 못하는 것을 문제점으로 지적하였다.

6) 빅카인즈(BIGKinds)는 한국언론진흥재단이 2016년부터 운영하고 있는 뉴스 빅데이터로 53개 언론사의 뉴스를 1990년 이후부터 추적하여 분석서비스 제공함. 본 연구에서는 2019년 5~6월에 걸쳐 검색 및 분석을 실시했다. (<https://www.bigkinds.or.kr/v2/news>, 최초검색일 : 2019년 5월 20일.)

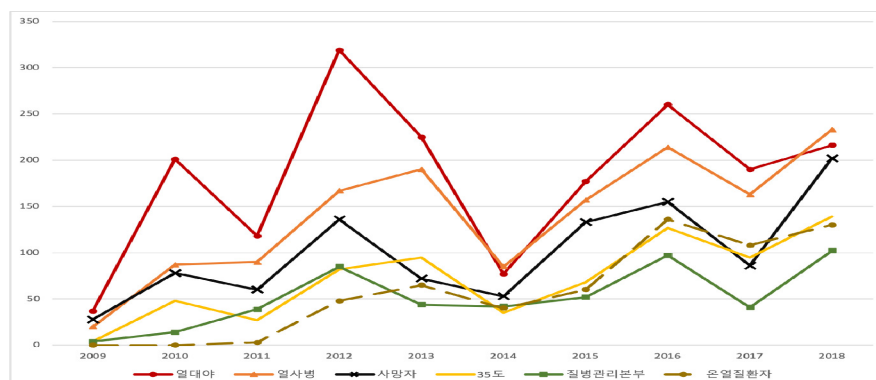
7) 빅카인즈에서 제공하는 중앙지 중 조선일보, 중앙일보, 동아일보는 2018년 이후의 기사만 제공하고 있으므로 제외하고, 경향신문, 국민일보, 내일신문, 문화일보, 서울신문, 세계일보, 한겨레, 한국일보에 대해 검색 및 수집하였다.

집되었으며, ‘폭염’, ‘폭우’ 관련 기사에서 의미를 찾아보기 위해 주요 키워드 빈도를 중심으로 연도별 추이를 살펴보았다. 대조군으로서 동일기간 폭염일수와 연평균 강수량을 기상청 통계자료를 활용해 정리했다(그림1-2). 강수량은 2011년도를 정점으로 다소 정체되고 있지만, 전국적 가뭄이 심했던 2015년 이후로 다시 증가추세이다. 폭염일수는 2009년 5일 이던 것이 2018년 30일을 넘어서는 지속적 증가추세에 있음을 확인 할 수 있다.



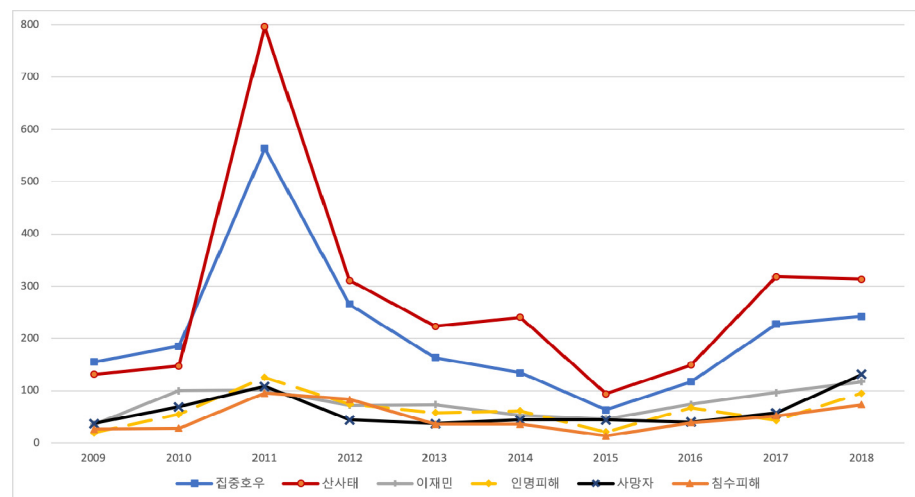
[그림 1-2] 최근 10년간 폭염일수와 연평균강수량 변화 추이
출처 : 기상자료 개방포털(<https://data.kma.go.kr/>, 검색일:2019.05.31.)을 재구성

‘폭염’ 관련 기사에서 가장 많이 쓰인 단어(빈도수 기준)는 폭염, 기상청, 최고기온, 폭염주의보, 열대야, 폭염특보, 열사병 순으로 나타나고 있다. 이 중 꾸준히 언급되고 있는 ‘열대야’, ‘열사병’, ‘온열질환자’ 등의 주요 키워드를 중심으로 10년간 추이를 살펴보았다. 특히, ‘최고기온’, ‘질병관리본부’, ‘온열환자’, ‘열 실신’ 등 인명피해와 관련된 키워드가 2018년에 두드러지게 나타나 당시의 심각성을 확인할 수 있다(그림 1-3).



[그림 1-3] 폭염 관련 키워드 추이 (단위 : 건, 출처 :저자작성)

‘폭우’ 관련 기사에서 가장 많이 쓰인 단어(빈도수 기준)는 산사태, 기상청, 집중호우, 기상청, 시간당, 강수량, 폭우, 태풍 순으로 나타나는데, 이 중 의미를 가지는 주요키워드를 중심으로 10개년 간 추이를 살펴보았다. [그림 1-4] 키워드 추이에 따르면 우면산 산사태가 발생한 2011년은 산사태에 대한 보도와 직접적 원인인 집중호우에 대한 뉴스 키워드의 노출 빈도가 매우 높았다. 이후에도 지속적으로 산사태와 집중호우에 대한 키워드가 자주 노출되고 있다. 폭우와 관련해 ‘집중호우’와 ‘물 폭탄’ 키워드가 증가추세에 있고, 2차 피해인 ‘침수피해’, ‘물난리’, ‘사망자’ 인명피해는 이슈가 발생할 때마다 노출되었고, 2015년 이후 모든 인명피해와 관련한 이슈가 지속적인 증가추세에 있다.



[그림 1-4] 폭우 관련 키워드 추이 (단위 : 건, 출처 : 저자작성)

‘폭염’과 ‘폭우’ 관련 기사에서 공통적으로 ‘기록적’, ‘사망자’, ‘자연재해’, ‘인명피해’, ‘기상이변’, ‘기후변화’ 등의 키워드가 주요 키워드로 도출되었다. 단순히 불편함을 넘어서 인명피해와 관련한 ‘위협’으로서의 보도가 증가하고 있다는 점은 주목해야 한다.

② 자연재해에 대한 현행 정책대응 방향

□ 파리협약과 연계한 국내 기후변화 적응대책 수정

2015년 파리협약 이후 우리나라는 2016년 4월 22일 168개국이 참여한 기후변화 파리협정에 최종 서명했다. 우리나라는 이러한 흐름에 편승하여 기후변화 대응을 위한 다양한 정책을 수립·시행중에 있다. 대표적으로는 2011년 「제1차 국가 기후변화 적응대책」을 수립·시행하고, 2015년 12월 「제2차 국가 기후변화 적응대책(2016-2020)」을 수립했다⁸⁾.

2017년 5월에 출범한 문재인정부는 국가비전에 따른 5대 국정 목표인 ‘내 삶을 책임지는

국가'와 관련된 전략으로서 '국민안전과 생명을 지키는 안심사회'를 마련하였다. 이는 안전관리에 대한 국가책임임을 강화한 것으로 자연재해·재난으로부터 건축·시설물을 이용하는 “국민 대다수가 안전과 생명을 보호받을 수 있는 안심사회 구축”을 강조하였다.

관련 국정과제 : 55. 안전사고 예방 및 재난 안전관리의 국가책임체제 구축

(안전위험요소 제거, 지진 및 화재안전 강화, 스마트 기상정보 연계) 승강기·건설·지하안전과 내진설계, 화재예방, 이상 기후에 따른 재난·재해예방은 하는 건축·시설물에 연관된 분야로서 관련 신기술을 지속적으로 정책을 통해 현장에 반영해야 함

관련 국정과제 : 61. 신기후체제에 대한 건실한 이행체계 구축

(기후적응 역량 제고) 사회 전반의 기후변화 적응 역량 평가 및 점검체계를 구축하기 위해 기후변화 적응 역량 평가를 제도와화하고, 한반도 기후변화 시나리오 생산 및 전국 적응위험지도를 작성해야 함

출처 : 국정기획자문위원회(2017), 「국정운영 5개년 계획」, pp.89, 95.

[표 1-2] 제2차 국가 기후변화 적응대책 방향별 핵심계획지표

구분	핵심계획지표
1. 과학적인 기후변화 위험관리 체계 마련	기후변화 감시 및 예보시스템 구축 한국형 기후 시나리오 개발 및 활용기반 마련 기후변화로 인한 생태계 및 건강영향 모니터링 기후변화 취약성 통합평가 및 사회·경제적 리스크관리 기후변화 적응정보 제공시스템 마련
2. 기후변화에 안전한 사회 건설	기후변화 취약계층 보호·지원 기후변화 건강피해 예방 및 관리 강화 기후변화 취약지역·취약시설 피해 최소화 재난·재해 관리 시스템 강화
3. 기후변화를 활용한 산업계 경쟁력 강화	1·2·3차 산업의 기후변화 적응력 강화 산업별 적응인프라 확대 기후변화 적응 기술 개발 적응산업의 해외시장 진출기반 조성
4. 지속가능한 자연자원 관리	생물종 보전 및 관리 생태계 복원 및 생물서식처 관리 생태계 기후변화 위험요소 관리
5. 국내·외 적응정책 이행 기반 마련	적응정책 실효성 강화 지역단위 적응활동 촉진 기후변화 적응 국제협력 강화 적응인식을 생활 속으로 확산

출처 : 관계부처합동(2015.12), 「제2차 국가 기후변화 적응대책」, p.165

8) 관계부처합동(2015.12), 「제2차 국가 기후변화 적응대책」.

□ 국내 정책대응의 한계

앞서 언급한 바와 같이 우리나라는 국제사회의 기후변화 협약에 참여 중으로 국가적 의무를 지고 있다. 특히 파리협약에 참여하는 195개국의 참여 국가 모두가 지구 공동체로서 의무를 지킬 경우에만 지속가능한 국제 사회 완성이 가능하다. 국제사회의 목표이기도 하므로 실천방향이 매우 광범위하다. 광범위한 목표 달성에 위해서는 국가차원의 치밀한 전략이 필요하다. 또한, 지방정부와 국민 개인이 실천 가능한 수준이어야 한다.

우리나라 역시 실천계획으로서 「국가 기후변화 적응대책」이 운영 중이나 중앙정부에 실천역량이 집중되어 지자체와 국민이 참여하기 어려운 수준이다. 이해에 따라서 캠페인성 대책이 될 수 있다는 일부 우려도 있다. 따라서 실행력을 끌어내기 위한 기후변화 실천계획의 전제는 기후변화에 대한 미래 시나리오의 적극적 활용이다. 앞으로 기후변화의 영향은 우리 삶의 영역에 직접적 영향을 주게 될 것이다. 따라서 삶의 영역인 공간적 측면의 미래지향적 정책대응방안이 필요하다. 하지만, 미래지향적 기후변화 대응정책을 만들기 위한 정책부문의 공간적 이해는 다소 부족하다. 앞으로는 공간을 대상으로 기후변화 미래 시나리오를 적용해 현 상태를 점검하는 과정을 체계화해야한다. 그 결과에서 도출되는 이슈를 토대로 중앙정부의 프레임 내에서 지방정부와 개인의 역량에 맞는 수준의 실천계획을 구성할 필요가 있다.

현행 공간 구성정책은 관련법에 따른 계획 또는 지침으로 적용된다. 지침은 다양한 연구를 통한 객관적 근거를 기반으로 작성된다. 기후변화는 지침의 근거에 설정한 시제에 변화를 야기한다. 예를 들면, 현행 「지구단위계획 수립지침」은 기초조사 단계에서 재해취약성 분석 등을 시행하도록 한다. 재해취약성 분석은 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」에서 정한 방식을 따른다. 현행 재해취약성분석은 현재 기후노출과 도시민감도, 미래 기후노출과 민감도를 적용하지만 현재 기후노출과 민감도의 적용 비율이 높고, 대부분 근거 자료를 과거자료에 근거한 추계자료를 대부분 활용하고 있다. 즉, 측정항목은 미래를 염두하고 있지만, 실제 측정지표는 여전히 과거에 준하고 있어 불확실성에 대한 대비에 한계를 갖고 있다.

앞으로 기후변화에 따른 재해는 과거 기록에 근거해 구축된 인프라 시설의 방재능력을 초과하는 일을 야기할 것이다. 과거 기록과 상관없는 재해의 발생은 현행 지침을 무력화시킬 수 있다. 폭우는 배수 시스템의 용량을 일시적으로 초과한다거나, 폭염은 건축물의 단열성능을 넘어서는 열량을 실내로 유입시키는 일 등을 빈번히 발생시킬 것이다. 따라서 현행 방재기준은 변화하는 기상현상과 재해의 강도를 고려해 볼 때 미래 기후변화에

따른 영향을 포함하는 방향으로 조정될 필요성을 갖는다. 더욱이 이러한 자연재해는 국소적 공간에 피해를 야기하는 특성으로 전개가 되고 있어 극한기후 현상이 증가할수록 지역적 편중 또한 심화될 것으로 예측된다.⁹⁾

앞으로 공간계획에 활용되는 재해예방계획은 미래 발생가능성에 대한 정보를 기준으로 설정해야한다. 현행 과거정보를 기준으로 한 공간계획은 재해예방에 무의미 할 가능성이 높다. 그리고 재해에 취약한 계층에 대한 고려도 필요하다. 그러나 현행 공간정책은 국내 정책의 주체 간 보이지 않는 벽에 제약을 받고 있는 현실적인 한계를 안고 있다. 현재 국가 기후변화적응정책으로 주로 시설 및 지역관리, 취약계층 대상 보건·사회적 관리 등에 집중한다고 반론을 제기할 수 있다. 그러나 실행력의 한계로서 선언 수준에 머물러 있다. 치밀하되 복합적인 구조를 가져야하는 공간 대상 자연 재난 및 재해에 대해 시나리오를 기반으로 한 예방과 대응 정책은 아직 이다. 지금 정책의 한계는 지속가능한 물리적 공간을 가시적으로 구성하는 건축·도시 보급을 위한 도시설계 정책을 위한 혁신적 대응 보다는 과거에 기반을 둔 지침에 안정지향적인 수준에 머물고 있는 실정이다.

2) 연구목적

① 자연재해 관련 도시정책 연구의 필요성

□ 미래 불확실성을 고려한 공간개선 정책기준 필요

일반적으로 자연재해 예방은 미래 불확실한 자연피해에 대한 대비를 뜻한다. 이 뜻을 도시에 적용시킨다면, 대표적인 대상은 기성시가지와 신규 개발지역이다. 기성시가지는 이미 건설되어 완결성을 지니며 현재 이용되는 공간이기 때문에 도시 전반에 걸쳐 재난 예방을 위한 인프라를 설치하고 개선하기에는 현실적인 제약이 크다. 그렇다고 점적인 개선은 도시의 전반적인 체질개선에 큰 도움이 되지 않을 뿐더러 해당 지역의 경제력¹⁰⁾에 의존하는 경향이 강하다. 균형 잡힌 대비를 위해서 기성시가지는 재난·재해 취약성 진단에 근거한 중장기적인 도시 마스터 플랜 기준이 필요하다. 반면 신규개발지역은 개발이전부터 보유하고 있던 자연적 회복력을 도시화로 인해 잃게 되므로 이를 최소

9) 관계부처합동(2015.12), 「제2차 국가 기후변화 적응대책」, pp.37~38 참고

10) 박두선 외(2017, pp.342-343)에서는 기후변화 취약성평가 항목 중 하나인 '적응력'을 '잠재적 적응능력'과 '실제적 적응능력'으로 구분하였다. '잠재적 적응능력'은 해당 지방자치단체가 관련 정책 혹은 기술에 투자할 수 있는 잠재성으로 '실질적 적응능력'(취약성 저감에 실질적으로 영향을 미치는 지표)에 대한 추가적인 투자를 할 수 있는 경제력을 의미한다.

화 할 수 있는 도시설계에 대한 정책적 기준이 적용되어야 한다.

□ 건축물을 기준으로 하는 고해상도 진단 모형의 개발 필요

이에 대응하기 위해서는 기 연구되어 있는 거시적 자연재해 취약성 진단 결과를 공간적으로 해석하고 도시설계에 활용할 수 있는 고해상도 진단이 필요하다. 예상되는 다양한 자연재해 취약성을 바탕으로 공간적 해법을 도시계획 및 도시설계 체계에 따라 풀어 낼 수 있는 명확한 공간모형을 모색하기 위해서는 공간의 위치, 시점, 용도 등의 다양성을 고려해 건축물을 기준으로 하는 새로운 모델이 필요한 시점이다.

□ 기후변화 시나리오에 기반을 둔 직관적 도시설계 방안 제시 필요

기후변화 연구가 발전하면서 재해 예방을 위한 다양한 예측 기술이 지속적으로 연구·개발되고 있다. 특히, 재해·재난으로부터의 대응을 위해 다양한 데이터를 실시간으로 수집하고 분석하여 사고 발생을 선제적으로 예방하기 위한 방법이 중요해지고 있다. 이미 전 세계적으로는 다양한 기상 예측 정보와 공간 시뮬레이션 도구를 공개하고 있다. 따라서 이를 활용해 도시 취약지, 취약건물을 대상으로 미래 시나리오에 기반 한 자연재해 피해를 최소화 할 수 있는 가시적이면서도 직관적인 도시설계 방안 제시가 필요하다.

① 연구목적

□ 탄력성 확보를 위한 복수 재해취약성 진단법 개발

도시를 새로 개발하고 유지하며 재생하는 근본적인 목적은 미래 생활에 필요한 지속가능한 생활터전을 확보하고 개선하기 위함이다. 지속가능한 생활터전은 높은 탄력성을 갖추수록 제 기능을 기대 할 수 있다. 탄력성¹¹⁾을 확보하기 위해서 현재 공간이 미래 자연재해에 어떤 취약성을 갖는지 우선 알아야 한다. 그러나 우리나라 도시는 미래에 예상되는 취약성에 대한 충분한 고려가 부족한 상태에 놓여진 채, 시장논리에 근거해 만들어져가고 있다. UN IPCC에서 정한 기후변화 취약성정의를 바탕으로 기후시나리오를 도시설계에 적용하기 위한 과정을 제안한다. 특히 우리나라는 계절적 요인으로 인해 한 장소에 다양한 자연재해 영향이 미칠 가능성이 높다. 따라서 복수 재해에 취약성을 파악할 수 있는 기법을 제시한다.

11) 본 연구에서 탄력성은 Resilience를 의미하며 어원적 개념으로서 라틴어의 'resilio'에 뿌리를 두고 있는 '제자리로 돌아오다'의 개념적 의미를 따른다(Klein, Nicholls, & Thomalla(2003). p.3). 또한, 도시 탄력성 차원에서 '노출된 위험에 대해 잠재적 기초구조와 역량으로 시의적절 한 방식으로 저항, 흡수, 완화해 내는 시스템, 커뮤니티, 사회의 능력이다(<https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>, (접속일자 : 2019.5.15.))'의 정의를 기본개념으로 한다.

□ 자연재해 대응 탄력성 증진을 고려한 도시설계 지침방안 제안

기후변화 영향은 다양하다. 그중에 인간의 생명과 재산에 직접적인 영향을 주는 것은 자연재해이다. 특히, 서론에서 밝힌 바와 같이 우리나라에서 큰 영향을 주는 현상은 폭염과 폭우에 따른 홍수이다. 공교롭게 하절기에 재해인 폭염과 홍수를 본 연구에서는 주시해야 할 자연재해로 본다. 미래에 폭염과 폭우가 우리 도시에 영향을 줄 때, 현재보다 개선될 수 있는 탄력성 증진 요소를 찾고, 실제 현재 도시의 현황을 근거로 어떤 형태를 갖춰야 하는지 가시적인 도시설계 방안을 제안하고자 한다.

2. 연구목표 및 방법

1) 연구목표

① 연구 질문

연구목적에 따른 복수 재해취약성 진단법 개발과 자연재해 탄력성 증진을 고려한 도시설계 지침방안을 고려하기 위해 두 가지 연구 질문을 정했다.

첫 번째 연구 질문은 ‘우리나라 하절기의 대표적인 자연재해·재난인 폭염, 홍수 등 복합재해에 대한 기존 및 신규 도시지역의 탄력성을 증진하기 위해 필요한 진단 과정과 지표는 무엇인가?’이다. 이는 한 번의 취약성 진단을 통해 복합재해에 대한 취약성을 공간적으로 파악하고, 탄력성 확보의 근거로 활용하기 위해 필요한 요소를 찾기 위함이다.

두 번째 연구 질문은 ‘기후변화 적응력 향상을 고려한 탄력적 도시를 구현하기 위해 필요한 현재 도시설계 기준은 무엇이고, 어떤 수정과 보완이 필요한가?’이다. 도시는 법·제도와 정책으로 구현된다. 아직은 고려되고 있지 않은 탄력성을 법과 제도에 포함시켜 정책화 할 수 있는 근거를 마련하기 위해 현행 도시설계 관련 법·제도를 파악하고 개선안을 제안하고자 한다.

② 연구 수행방법

연구수행은 문헌조사, 국내·외 사례조사, 건축·도시·사회 공공 통계자료를 기반으로 한 탄력적 요소 발굴 및 이를 활용한 취약성진단, 미래 기후시나리오상 폭염과 폭우에

대한 기후노출 활용법 도출, 폭우와 폭우에 따른 홍수에 탄력적인 이상적 도시설계안 작성, 복합 재해에 대한 탄력성 확보 원칙 개발 및 관련 법·제도 개선안 제안의 순으로 수행했다. 객관적인 연구 성과를 도출하기 위해 협동연구를 수행했다. 폭염에 대해 전문적인 도시정책을 개발한 대구경북연구원과 폭염과 도시정책 관련 연구를 협력했다. 복합 재해에 대한 탄력적 도시설계의 이상적 원칙과 디자인 예시는 해외에서 실무를 통해 ‘리질리언트’ 건축 및 도시설계 노하우를 갖고 한국에서 활동하고 있는 Atelier KJ와 협업했다.

□ 협동연구 시행

- 폭염관련 정책 전문연구기관 : 대구경북연구원

본 연구 기획 시, 폭염에 대한 도시정책을 수년전부터 발굴하고 제도에 성공한 대구광역시를 주목했다. 대구광역시는 일명 ‘대프리카’라는 키워드로 알려져 있듯 폭염으로 유명하다. 대구광역시는 최근 정책동향 조사에서 폭염 체감도가 경상북도 전체에서 수위에서 벗어났고, 폭염을 관광 주제로 홍보하고 있다. 이러한 결과는 대구광역시 정책연구기관인 대구경북연구원이 연구를 통해 지원하고 있다.

대구경북연구원에서는 최근 ‘환경도시 대구를 위한 도시열섬현상 저감 방안(2015)’, ‘기후변화시대, 대구 대도시권 도시지역 폭염 대응방안연구(2017)’ 등 본 과업에서 요구하는 폭염 취약성분석 연구 및 분석 능력을 보유한 연구진을 확보하고 있으며, 본 연구에서 수행하고자 하는 내용을 선행 수행한 바 있다. 따라서 폭염취약성 분석 및 저감과 대응방안 도출에 대한 연구를 단기간에 수행하고 신뢰성 높은 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단되어 전문 연구기관으로서 협동연구를 제안했다.

- 탄력적 도시·건축설계 전문가 그룹 : Atelier KJ

아틀리에 KJ(Atelier KJ)는 미국 컬럼비아대학에서 건축을 전공한 미국 건축사이자, 미국 Grimshaw Architects 뉴욕, 뉴욕의 리차드 마이어 사무실 등에서 프로페셔널 건축가 겸 마스터 플래너로 활동한 전문가들로 구성된 그룹이다. 이들은 미국연방재난관리청FEMA (Federal Emergency Management Agency)과 재해안전 도시설계, 건축설계과업에 관해 협업한 경험 등 탄력성(Resilience)을 고려한 설계 노하우를 갖추고 있다. 또한, 아틀리에 KJ는 2017년부터 우리연구소 전문가의 일원으로서 기후변화와 지속가능한 도시·건축정책 연구 자문역으로 기여하고 있다.

본 연구진과 협업을 통해 폭염과 홍수의 복합 재난을 전제로 구현할 수 있는 탄력적인 도시와 이를 이루는 건축물의 원칙을 함께 모색하고, 원칙에 입각한 이상적 설계안을 공동 작업을 통해 도출했다.

[그림 1-5] 본 연구의 협동연구 체계도

2) 연구 수행방법 및 과정



[그림 1-6] 연구 수행방법 및 과정

3. 선행연구현황 및 차별성

1) 도시정책 분야 연구사례

국내에서 도시정책 분야의 관련 연구는 2000년대 초반부터 현재까지 꾸준히 진행되어 다수의 연구가 축적되었다. 이 시기의 연구는 도시계획과 방재를 연계하기 위한 계획요소를 두루 고찰하고 계획에 활용할 수 있는 요소를 종합하는 관점에서 진행됐다. 기후변화로 인한 재해 위험이 증증할 것을 전망하고 2000년대 후반부터 재해에 대응하고 예방적 차원에서 통합적 도시 계획적 접근을 모색하는 일련의 연구가 진행되었다.

문채 외(2003)는 일본의 방재도시만들기 운영실태 및 사례분석을 통해 도시와 지구 레벨에서의 마을 만들기 운영 실태를 분석하였다는 점에서 공간단위의 통합적 재해 대응의 시사점을 보여주었다. 김현주 외(2004; 2005)의 연구에서는 우리나라 도시방재계획의 실태와 현황 분석, 일본의 도시방재계획체계에 대한 분석을 바탕으로 우리나라 방재 및 안전계획의 기본방향을 설정하고 도시기본계획에서 방재 및 안전에 대한 고려방안을 제시하였다.

심우배 외(2010)의 연구에서는 효율적인 방재도시계획 수립방안과 방재도시계획 실효성 제고를 위해 부문별 계획 연계방안, 제도개선방안을 본격적으로 제안하였다. 심우배 외(2013)는 2011년 도시계획 수립지침 개정으로 법정도시계획에 도입된 재해 취약성 분석에 초점을 맞추어 제도개선 방안을 구체적으로 도출한 것이 특징이다. 이병재 외(2016)는 재난·재해에 대응하는 현행 도시계획 수단으로서 '방재지구' 등 재해관련 지구·지역의 문제점을 지적하고 개선방안을 제시하였다.

2) 탄력성(Resilience) 분야 연구사례

□ 탄력성(Resilience)의 정의와 도시의 적용개념

탄력성(resilience)은 '되돌아가다'라는 뜻의 라틴어 'resi-lire' 어원에서 파생되었으며, 회복탄력성을 의미한다. 자연재해뿐만 아니라 물리학, 생태학, 사회학, 심리학, 지리학, 교육학, 보건학에 이르기까지 다양한 분야에서 논의되고 있는 개념이다. 생태학자

인 Holling(1973)이 최초로 제시한 리질리언스의 정의는 시스템이 상태변수(state variables), 운전변수(driving variables) 및 매개변수(parameters)의 변화를 흡수하고도 여전히 시스템을 유지할 수 있는 능력을 측정하는 도구로 규정하고 있다.

2000년대에 들어 리질리언스 개념이 도시계획분야로 확장되기 시작하였다. 도시의 리질리언스는 도시가 경험할 수 있는 지진, 쓰나미, 홍수 등의 자연재해, 산업재해뿐만 아니라 기후변화로 일어날 수 있는 사건 등 다양한 관점에서 접근할 수 있다. Gunderson & Holling(2001)는 시스템이 장애를 받았을 때 기능과 통제를 유지하는 능력이라고 언급하였으며, UNDRR은 위협에 노출되어 있는 사회 공동체가 위협 요소의 효과에 저항, 흡수, 복구할 수 있는 능력이라고 하였다¹²⁾.

Meerow et al.(2016)는 Holling의 리질리언스 개념이 등장한 1973년부터 2013년까지 등장한 도시 리질리언스 관련 논문 172개를 분석하였는데, 여러 개념을 종합하여 도시 리질리언스를 ‘도시 리질리언스는 도시 시스템 및 이에 상응하는 사회 생태적, 사회 기술적 네트워크가 시공간을 넘어 교환이 발생했을 때 빠른 속도로도 바람직한 수준의 기능으로 돌아가거나 유지되는 능력, 또는 변화에 적응하는 능력’이라고 정의한다.

□ 도시 규모의 탄력성 연구

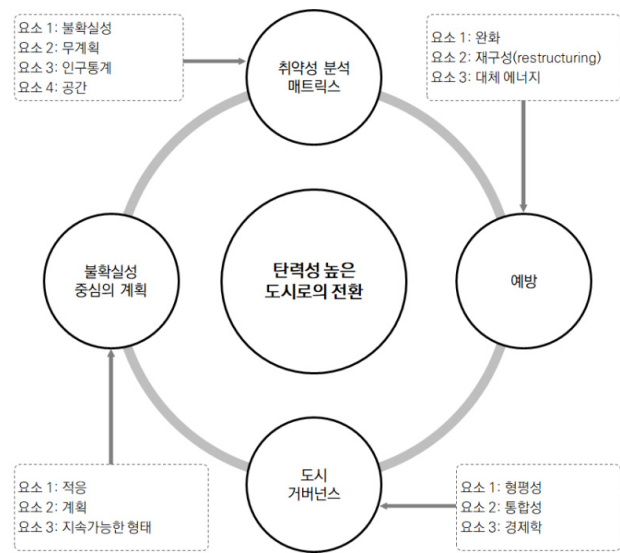
도시의 지속가능성은 탄력성을 기초로 한다. 기후변화는 단순한 위험요소가 아니라 도시체계에 내에 불안요소와 결합될 가능성이 높다. 이를 대비하기 위해서는 탄력성 증진에 대한 평가 또는 진단이 필요하다. 그 결과를 미래 개발에서 지금보다 탄력성이 강화된 도시 계획적 프레임 설정하는데 활용하고 있다(Ayyoob Sharifia & Yoshiki Yamagata(2014)).

탄력성 확보 수단으로서 탄력성을 고려하는데 있어 중요한 공간적 대상은 녹색인프라(Green Infrastructure : GI)이다. GI는 적절하게 배치함으로써 효과를 얻을 수 있다. 즉, 호우관리, 사회적 취약성, 녹지, 대기질, 도시열섬, 조경공간 확보여건 개선 등의 효과를 기대할 수 있다. 탄력성 강화를 위해 도시의 현재 상황을 2차 통계 데이터를 활용해 취약성을 설명하는 지표를 찾고, 지도로 결과를 표현하면 근거로 활용 가능성을 제시하고 있다(Meerow Sara & Joshua P. Newell(2017)).

도시 탄력성은 기후변화와 밀접한 관계이며, 장기적 지속가능성을 고려한 개발에 기후 변화개념에 적용되면, 환경, 경제, 정치적 스트레스와 충격에 대한 통합적 고려를 할 수

12) 출처 : <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology> (접속일자 : 2019.5.15.)

밖에 없다. 이 때 집중해 보아야 할 영역은 도시 생태적 탄력성, 도시 재해와 재난 위험 저감, 도시와 지역경제의 탄력성, 도시정부와 공공 거버넌스다. Robin Leichenko(2011)의 연구에 따르면, 거버넌스에는 다핵성, 투명성, 책임성, 유연성, 포괄성이 탄력성 증진에 영향을 주는 요인이며, 탄력성 증진은 사회, 정책, 경제, 기술혁신과 융합적 관계를 통해 달성 가능하다고 보고 있다(Jabareen, Y.(2013)).



[그림 1-7] 탄력적인 도시계획을 위한 체계 개념도
출처: Yosef Jabareen(2013), "Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk", Cities, v.31, p.223

□ 건축 규모의 탄력성 연구

Serre et al.(2018)은 도시의 홍수 위험관리 개선을 위한 디자인적 방법을 제안하였다. 독일 함부르크의 일대를 대상으로 정량 분석 도구인 DS3 모델을 개발하여 교통인프라, 토지이용(공공장소) 및 건물과 관련된 설계요소가 주변의 홍수 리질리언스에 주요하게 기여했음을 밝혔다. Feliciotti et al.(2016)은 최근의 리질리언스가 도시 설계자에 의해서 표면적으로만 다루어지는 한계를 보완하기 위해서 도시 형태의 요소를 리질리언스와 연계하는 방안을 제안하였다.

도시 형태 및 설계에 관한 이론과 함께 리질리언스와 관련된 이론을 결합한 다섯 가지 프록시(다양성, 중복성, 모듈성, 연결성, 효율성)를 고찰했다. 한국건설기술연구원(KICT)의 정승현(2018)은 홍수피해 대응 정책에 대해서 법과 제도상의 재해대응과 복구의 패러다임을 리질리언스(Resilience)로 전환해야 한다는 것과 홍수의 최종 피해대

상 건조물인 건축물의 침수방어와 탄력성과 연관된 복구성능 향상과 같은 건축물 단위 대응 체계의 필요성 제시하였다.

3) 취약성(Vulnerability) 분야 연구사례

기후변화 취약성 관련 정책연구는 UN IPCC의 4차 평가보고서에서 정의하고 있는 기후변화 취약성을 국내 정책에 적용하기 위한 모델 및 방법론 개발이 주류를 이루고 있다. 기후변화 취약성은 기후변화의 영향이 시스템이 받을 수 있는 정도 또는 대처하지 못하는 정도를 설명하기 때문에 정책을 통해 탄력성 보완대상을 찾는 데 기준으로 활용할 수 있다. 특히 도시는 제도적 시스템이 물리적 공간과 연계되어 유기적으로 작동되어야 하기 때문에 도시에서 기후변화에 따른 취약성을 찾는 것은 중요한 과정이다.

□ ‘지표법’을 활용한 취약성 평가 연구

국립환경과학원(2009; 2010)은 기후노출, 민감도, 적응능력을 정량화한 지표들을 연산하여 기후변화 취약성 지표를 도출하고, 해당 지표를 계산할 수 있는 GIS 및 웹 기반의 기후변화 취약성 평가도구를 개발했다. 국토해양부(2011; 2012)와 심우배(2013)는 기후노출과 도시민감도를 측정하여 도시 종합 재해취약성을 분석하는 일련의 방법론을 구축하고 발전시켰다. 6대 재해(폭우, 폭염, 폭설, 가뭄, 강풍, 해수면상승)별로 집계구 단위의 기후변화 취약성을 분석했다. 명수정 외(2010)는 전국 단위 사회기반시설의 기후변화 취약성 평가 방법론을 개발하여 취약성 지도를 작성했다. 지역 단위 사회기반시설의 기후변화 위험도 진단표를 개발하여 사례지 현장 조사를 기반으로 위험도를 진단했다.

□ 기후변화 미래시나리오를 반영한 취약성 평가 정책연구

한우석 외(2012)는 홍수에 대한 기반시설의 취약성 평가 방법론을 개발하여 전국 시군구 단위에서 분석했다. 홍수 취약지역 내 8개 기반시설¹³⁾을 민감도 변수로 설정하여, 홍수에 대한 기반시설 취약성을 평가했다. 김동현 외(2014; 2016)는 부산시를 대상으로 열파와 홍수에 대한 기후변화 취약장소의 특성을 물리적, 사회적 측면에서 분석하는 방법론을 구축하고 커뮤니티 단위인 마을을 사례로 모의 적용했다.

구유성 외(2015)는 부산광역시의 ‘폭염’ 취약성을 행정동 단위로 평가하고 폭염 취약

13) 도로, 수도공급설비, 전기공급설비, 가스공급설비, 열공급설비, 유류저장 및 송유설비, 하수도, 수질오염 방지시설을 대상으로 했다.

지역을 도출했다. 현재 시점(2012년) 및 미래 시점(2050년, 2100년)의 폭염 취약성을 측정했으며 미래 시점(2050년, 2100년)의 폭염 취약성 지수 산출 시, 기후노출 요인은 기후변화 시나리오(RCP 8.5)를 활용하되 민감도와 적응능력 요인은 현재 시점(2012년) 수준으로 고정하여 도출한 연구를 진행했다.

□ 모형을 활용한 취약성 분석 정책연구

강정은·이명진(2012)은 서울시를 대상으로, 취약성 지표와 퍼지모형을 결합한 방법론(퍼지모형을 활용하여 지표값 통합)을 활용하여 침수 취약지역을 도출했다. 2010년 자료를 활용해 취약성 분석을 실시한 후 2011년 침수지역 자료와 비교하여 분석 결과를 검증하였으며, 이를 위해 SRC(Success Rate Curve) 및 AUC(Area Under the Curve) 방법을 이용했다¹⁴⁾. 권용석 외(2017)는 공간회귀분석 및 퍼지이론을 활용하여, 대구 대도시권을 대상으로 도시지역 내 폭염 취약지역을 도출했다. 폭염 취약지역의 분포를 파악하기 위해, 먼저 공간회귀분석을 통해 ‘지표온도’ 변수와 ‘에너지 사용량, 인구밀도, 정규식생지수, 수변이격거리, 태양복사량’ 변수들 간의 영향관계를 분석했다.

심준석 외(2014)는 부산시를 대상으로 홍수 피해액에 내재된 공간적 특성을 파악하기 위해 지리가중회귀모델(GWR)을 활용하였으며, 분석 결과 도출된 국지적 계수값을 해석하여 피해지역을 유형화했다. 이은석 외(2017)는 회귀분석 및 LISA분석을 활용한 ‘건축물 기후변화 취약성 진단모형’을 개발하여, 서울시를 대상으로 도시지역 내 반복적 침수피해를 받는 건축물의 특성을 파악하고 해당 특성을 갖는 건축물이 위치한 필지 군집을 도출하는 방식으로 침수 취약지역을 도출했다. 이상혁·강정은(2018)이 MCMC(Markov Chain Monte Carlo)를 활용한 베이지안 기법을 적용하여 홍수발생가능성을 평가·검정한 후, 홍수피해의 대상인 인구와 재산 노출 정도를 공간적으로 중첩해 곱함으로써, 현재와 미래의 홍수 리스크를 산정하고 등급화(1~4등급)하여 제시했다.

□ 기후변화 취약성 분야의 향후 연구의 방향성

기후변화 취약성은 IPCC 4차 평가보고서에서 제시되어 국제적으로 기후변화 연구에 활용되고 있다. 2014년 발표된 IPCC 5차 평가 보고서에서 리스크 개념을 중요하게 다루기 시작했다. 이는 취약성보다 강화된 개념으로 기후변화 피해강도와 빈도를 기준으로 한 리스크 평가체제로 전환되어야 할 필요가 있음을 제안했다(안윤정 외 2016).

14) SRC: 취약성 지도에서 얻어진 예측 지수값을 등면적당 침수피해가 발생한 곳의 비율값으로 표현하는 방식
AUC: SRC에 의한 결과검증 곡선의 아래 면적을 구하는 방식으로, 해당 면적이 넓을수록 취약성이 더 정확함을 의미

취약성을 진단하기 위한 모형이 지속적으로 개선되어 확장성과 활용성을 넓히고 있다. 해외 연구들에서 제시하고 있는 취약성 분석 모형은, 취약성 유발 요소로서 물리생물학적 요소 또는 사회경제적 요소¹⁵⁾ 중 어디에 초점을 두느냐에 따라 4가지 유형(위험-재해 모델, 사회 취약성 모델, 통합 분석 모델, 확장된 취약성 분석 모델)으로 구분되어 발전하고 있다(Preston et al., 2011).

4) 선행연구를 통한 시사점

국내 기후변화 취약성 관련 정책연구는 상당히 이른 시기부터 국제적 수준에 기준을 두고 진행되고 있고, 주요한 도시정책에 연구결과를 반영하고 있다. 현재까지 연구 경향은 취약성을 분석하고 구체적으로 파악하는 방법론 개발에 치중되어 있다. 즉, 진단도구를 개발하는데 집중되어 있어 취약성 진단한 결과와 탄력성 증진 연결에 대한 명확한 해법을 제시하는 연구는 드물었다. 기후변화 취약성을 다루는 연구는 공통적으로 IPCC AR4에서 제시한 노출, 민감성, 적응능력에 관한 취약성 분석 함수를 활용하고 있다. 그러나 연구대상과 분야에 따라 노출, 민감성, 적응능력 설명 변수들은 차이가 있다.

도시의 탄력성은 재해에 대응하는 도시 기능을 향상시켜 피해를 최소화 하고, 피해를 입었다 하더라도 빠른 복구와 더 나은 성능을 갖도록 하는 사회적 능력으로 정리할 수 있다. 따라서 탄력성 강화를 전제로 기후변화 취약성 분석체계를 구성하기 위해서는 기후변화에 따른 자연재해(기후노출), 영향을 받을 것으로 예상되는 대상(민감성), 대상이 갖고 있는 대응 능력(적응능력) 수준에 대한 구조화가 필요하다. 기후변화에 따른 모든 자연재해를 다룰 수 없기 때문에 자연재해 유형별 취약성 분석을 진행하고 결과를 묶어 자연재해 취약성의 다양성을 확보하는 체계를 갖춰야 한다. 따라서 탄력성 강화를 위한 정책대상 확인은 취약성 분석을 근거로 하는 체계가 필요하다.

본 연구에서 집중하는 기후변화의 영향은 사람이 거주하는 장소가 대상이다. 그러므로 취약성 분석결과를 도면 등을 활용해 공간적으로 설명할 수 있어야 한다. 이는 취약한 장소의 위치를 확인해 정책대상을 명확히 할 수 있게 한다. 또한, 민감성과 적응능력의 지표를 확인해 취약 특성에 따라 정책을 차별적이며 효율성 높게 적용할 수 있도록 돕는다. 지속가능성 확보를 위한 탄력성 강화 정책은 국가와 공공에서 취약성 분석을 활용해 적재적소를 찾고, 취약 장소의 민감성과 적응능력을 설명하는 지표를 분석해 정책적 해법을 제시하는 체계를 갖는다.

15) 물리생물학적 요소: 기상조건, 자연재해, 지형, 토지피복 등 / 사회경제적 요소: 인구, 성별, 직업, 빈곤, 거버넌스 시스템 등

5) 본 연구의 차별성

① 연구대상의 차별성

본 연구의 대상은 도시설계를 통해 건축물이 기후변화에 따른 자연재해에 대한 탄력성을 확보할 수 있는 물리적 방안과 원칙을 찾는 것이다. 따라서 건축물이 포함된 현재 도시 공간을 연구대상으로 한다. 이 연구대상에 대한 취약성 진단을 탄력성 확보의 객관적 근거로 전제 하므로 취약성을 설명하기 위해 필요한 공간통계와 이를 변수로 적용해 공간단위의 결과를 표현 할 수 있는 취약성 분석 알고리즘이 구체적 연구대상이다. 정리하면, 자연재해에 대한 탄력성 확보를 위한 취약성 분석알고리즘이 적용된 건축·도시공간이 타 연구와 차별적인 연구대상이다.

② 연구방법의 차별성

본 연구방법의 차별성은 현재 도시의 탄력성 확보 원칙을 도출하기 위해 현재 도시 공간 특성을 대상으로 복수의 자연재해 취약성을 미래시나리오에 기반을 둔 결과로서 공간적으로 도출하는 것이다. 많은 선행연구들은 취약성 진단 모형을 개발하고 활용하는데 있어 기후변화 영향에 대한 변수를 과거 발생결과의 추세를 대부분 활용하고 있다.

본 연구는 IPCC의 RPC 8.5 시나리오에 따른 폭염과 폭우가 동일한 공간에 어떤 변화를 갖고 영향을 주는지를 변수로 적용해 모델링 하는데 방법론적 차별성을 갖는다. 또한, 폭염과 폭우에 따른 홍수의 취약성을 4가지로 유형화 하고 각 유형에 따른 도시설계 전략과 원칙을 제시한다. 4가지 취약성이 적용된 대상지를 현장답사를 통해 진단결과의 적정성을 확인한다. 요약하면, 현재 도시의 건축물을 중심으로 미래시나리오에 근거한 복합 재해 취약성을 진단하고 유형화 한 결과가 지도로 표현될 수 있는 방법을 제시한다.

③ 연구결과의 차별성

본 연구 결과는 취약성 진단결과가 탄력성 향상에 어떻게 활용될 수 있는지 확인하고, 도시설계 수준에서 적용되기에 필요한 보완사항이 무엇인지 제시한다. 결과적으로 우리나라에서 도시설계에 영향을 주는 주요 지침에 적용 가능한 정책적 대안을 제시한다. 직관적 도면 중심의 취약성 진단지도와 취약 유형에 따른 건축, 도시 구성 원칙을 도면으로 제시함으로써, 향후 도시설계에 '폼 베이스드 코드(Form Based Code)'의 형식을 통해 실질적 도시설계 관계자들이 도식화된 결과를 바탕으로 미래 재해에 대비할 수 있는 실현성 높은 정책을 도출 할 수 있도록 대안을 제시한다.

[표 1-3] 본 연구과제 관련 최신 주요 선행연구

구분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요연구내용
주요 선행 연구	1 -과제명 : VESTAP 기반 기후변화 취약성 평가 지침 -연구자(년도) : 박두선 외(2017), Journal of Climate Change Research -연구목적 : 폭염에 대한 취약성 평가 예시항목재평가 및 취약성 평가 항목 개발시 참고가능한 통일 기준 제시	-기존사례검토 -VESTAP 기반 권장지침 소개	·취약성 평가 항목 개발을 위한 권장사항 제안 ·구성 지표의 대표성 강화 및 단순화 ·취약성 평가 항목을 일반 및 취약대상별로 세분화 ·잠재적 및 실질적 적응능력 구분 ·권장사항에 따른 취약성 평가(폭염-온열질환, 가뭄-용수, 가뭄)예시항목 제안
	2 -과제명 : 신 기후체제 대비 건축물분야 기후변화 취약성 진단연구 -연구자(년도) : 이은석 외(2017), 건축도시공간연구소 -연구목적 : 2015년 파리협약이후 신 기후체제에서 강조한 기후변화 '적응'과 '손실 및 피해'최소화를 위해 건축물 분야에서 필요한 취약성 진단방법을 찾고 정책적 활용성과 대안을 제시하는 것이 목적	-문헌조사 -사례조사 -취약성 진단을 위한 건축물 빅데이터 체계구축 -건축물분야 기후변화 취약성 진단을 위한 위험성 분석모형 개발 -사례적용 -전문기관과 협동연구 수행	·신 기후체제 관련 이론 및 선행연구 동향 조사, 국내외 기후변화 취약성 진단·분석 방법론 조사 및 분석 ·국내외 기후변화 정보 활용 정부 정책개발 사례 조사 및 시사점 도출 ·서울특별시 내 모든 건축물 대상정보를 기반으로 취약성 진단에 사용 가능한 요소 도출 ·GIS와 건축물 빅데이터를 기후변화에 따른 집중호우 피해에 적용 한 분석 프로세스 및 모형 개발 ·서울시를 대상으로 분석 프로세스 및 모형적용을 통해 취약한 건축물의 군집특성과 안전한 건축물의 군집특성을 밝힘
	3 -과제명 : 기후변화시대, 대구 대도시권 도시지역 폭염 대응방안 연구 -연구자(년도) : 권용석 외(2017), 대구경북연구원 -연구목적 : 열 환경을 악화시키는 요인을 제거하는 저감 방안 모색 및 악화되는 환경에 적응할 수 있는 폭염대응방안 모색	-문헌조사 -위상영상자료 분석 -공간패널 분석	·폭염취약지역 파악을 위한 대구 대도시권 설정 ·공간회귀분석(SLM) 및 fuzzy함수를 적용한 지역 내 폭염취약지역 파악 ·대구 대도시권 폭염 원인 및 대응방안 모색 ·대구 대도시권 도시지역 폭염 대응을 위해 광역단위와 지자체단위로 구분하여 위계별 추진과제 제안
	4 -과제명 : 기후변화 홍수재해 대응을 위한 복원력 제고방안 연구 II -연구자(년도) : 한우석 외(2017), 국토연구원 -연구목적 : 복원력 도시 구현방향 제시	-국내·외 문헌 및 정책 사례 조사 -국내 법·제도 검토 -국내·외 사례(사업)조사 -설문조사 -국제공동연구 수행 -국내외 세미나 개최	·복원력 관련 정책동향 및 복원력 도시개념 ·재해 예방형 도시계획, 방재를 고려한 도시재생사업 등 피해저감능력 강화를 위한 정책개선방향 제언 ·피해회복능력 강화를 위한 방재를 고려한 교통계획, 사전복구계획에 대한 필요성 제언 ·우리나라 복원력 도시 구현을 위한 정책제언 ·복원력 도시 구현을 위해 도시재생 및 교통분야에서의 법·제도 개선방향 도출
본 연구	·국제적으로 합의된 기준에 의해 통용되고 있는 기후 시나리오를 도시설계 과정에 적극적 도입을 제안하고, 도시설계의 근거로서 현 시점의 도시가 갖는 미래 취약성을 진단할 수 있는 체계를 개발 ·미래에 폭염과 폭우가 도시에 영향을 줄 때, 현재보다 개선될 수 있는 탄력성 증진 요소를 정립하고, 실제 현재 도시의 현황을 근거로 어떤 형태를 갖춰야 하는지 지시적인 도시설계 지침방안 제안	-문헌·국내외 사례 조사 -중부 광역도시지역 대상 기후 시나리오(폭염, 폭우), 건축, 도시, 사회관련 빅데이터 유형 파악 및 분석 -탄력성 확보를 위한 도시설계 기법 제시 -전문연구기관과 협동연구 시행 -전문가 자문회의	·도시설계를 통한 탄력성 확보 기준을 취약성 진단으로 전제하여 동일 지역의 복수 재해취약성 진단방법 고안 ·취약성 진단에 사용되는 노출지표는 미래 기후변화 시나리오에 따른 결과를 활용해 현 시점의 도시가 갖는 미래 취약성 진단 방안 제시 ·취약성 진단으로 4개 유형의 결과를 도출하고 유형특성에 따른 이상적 도시설계 원칙과 예시도안 제시 ·본 연구에서 정한 도시설계 원칙을 현행 도시설계 관련 정책에 적용할 수 있는 대안 도출

제2장 탄력성 관련 도시정책 동향

1. 탄력성에 대한 국제 사회의 관점과 정책적 함의
 2. 국내 정책분야의 탄력성에 대한 관점
 3. 건축·도시정책 분야에서 탄력성의 함의
-

1. 탄력성에 대한 국제 사회의 관점과 정책적 함의

1) UN 주도하의 국제 정책

□ 파리협약 체제에 따른 국제적 기후변화 정책 노선의 변화¹⁾

2015년 12월 12일 신 기후체제로서 파리협정이 채택됨에 따라 국제사회는 기후변화에 대한 정책과제의 방향성에 대한 국가정책 전반에 걸친 재정비가 필요하게 됐다. 기존 교토협약에서 주요 온실가스 배출국 국가가 주도하던 체제에서 전 세계 대부분의 국가가 참여하게 되면서 온실가스 감축에 대한 보다 강화된 노력과 더불어 정책적 대상과 범위가 확대됐다. 앞으로 당사국은 감축, 적응, 손실과 피해 최소화, 자원, 기술이전, 역량 배양 및 투명성 등을 국가 정책의 틀로 활용해야 한다.

파리협약이 있었던 제 21차 기후변화 당사국 총회 (COP21) 이후 지속적으로 당사국 총회가 개최되어 세부 시행규칙을 합의해 나가고 있다. 기후변화 대응 기술의 국가적 수준차이를 최소화 하고, 각 국가가 갖고 있는 고유한 특성을 고려해 국가 정책의 균형점을 갖추도록 유도하고 있다. 2018년 12월 폴란드에서 제 24차 기후변화 협약 당사국 총회가 개최되어 탄소시장 의제를 제외한 대부분의 의제에 참여국가가 합의안을 도출했다. 결과물로서 파리협정 이행규칙 (PAWP : Paris Agreement Work Programme)를

1) 환경부(2016), 「교토의정서 이후 신 기후체제 파리협정 길라잡이」, 동 기관, p.19

도출했다. 이 이행규칙에는 2020년부터 본격적으로 시행될 국가별기여방안 (NDCs : Nationally Determined Contributions) 보고서에 기입해야 할 구체적인 기준이 담겨져 있다. 앞으로 각 국가가 달성해야 할 대표적 목표는 다음과 같다²⁾.

- (감축) 지구평균온도 상승폭을 산업화 이전과 비교하여 1.5℃까지 제한하기 위한 노력 추구
- (적응) 기후변화에 대응한 회복력 강화, 취약성 저감, 적응역량 증진
- (재원) 온실가스 감축, 기후변화 적응, 지속가능발전, 빈곤퇴치를 위한 재원 마련

[표 2-1] 교토의정서와 파리협정 비교

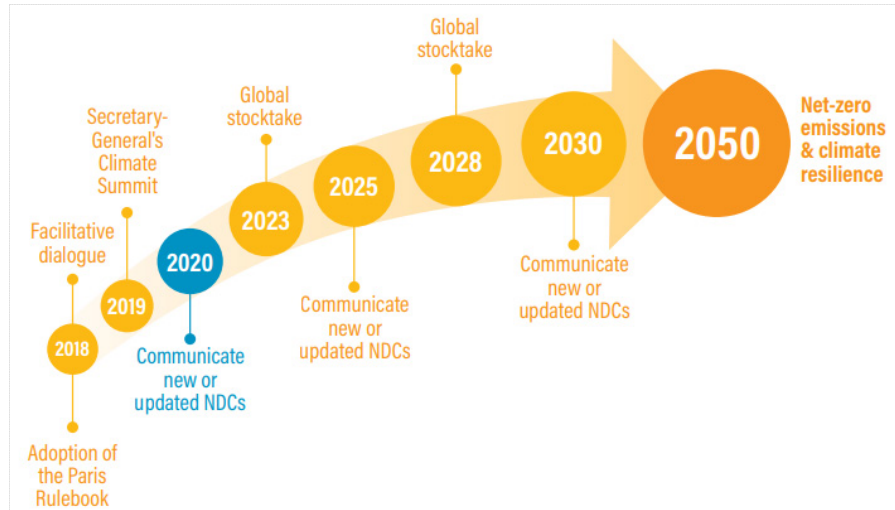
구분	교토의정서(구 기후체제)	파리협정(신 기후체제)
목표	온실가스 배출량 감축 (1차 : 5.2%, 2차 : 18%)	2℃ 목표 1.5℃ 목표 달성 노력
범위	주로 온실가스 감축에 초점	온실가스 감축 + 적응, 손실과 피해 최소화, 재원, 기술이전, 역량배양, 투명성
감축의무국가	주로 선진국	모든 당사국
목표설정방식	하향식	상향식
불이행 징벌	징벌적 (미달성량의 1.3배 다음 공약기간추가)	비징벌적
목표설정기준	특별한 언급 없음	진전원칙
지속가능성	공약기간 종료 시점이 있어 지속가능성에 의문	종료시점을 규정하지 않아 지속가능한 대응 가능
행위자	국가중심	다양한 행위자 참여 독려

출처 : 환경부 (2016) 「교토의정서 이후 신 기후체제 파리협정 길라잡이」, 동 기관, p.30

탄력성과 관련한 파리협정의 내용은 ‘기후변화 적응 이행(제7조)’과 ‘손실 및 피해(제8조)’다. 현 상태에서 기후변화를 인정하고 적응해야 한다는 의미는 과거 경험에 따른 통상적 기준을 높여 기후변화 현상의 예측 불가능성에 대비한다는 것으로 이해할 수 있다. 통상적 기준의 향상은 곧 탄력성 향상과 연계된다. 이러한 맥락은 손실 및 피해와 연결된다. 손실과 피해의 최소화는 예측 범위를 넘어선 자연재해·재난이 지나간 이후에도 정상생활이 그대로 가능하거나, 피해가 있더라도 신속한 복귀가 가능하게 만드는데 목적이 있다. 이는 대부분 경제적 취약계층이 피해 이후 정상생활을 하기 까지 많은 노력과 시간과 비용이 소비됨을 고려한 내용이라 할 수 있다.

2) 최원기(2018), “COP24 기후변화 협상 결과평가: 파리협정 이행규칙 합의안을 중심으로”, 「주요국제문제 분석」, 국립외교원 외교안보연구소, pp.1-2.

따라서, 국제사회는 기후변화를 받아들이고 과거와 다른 재해·재난 양상을 고려해 기후변화에 적응한다는 의미로서 사회적 기준을 만들고 손실과 피해를 최소화 시켜 지속 가능한 생활을 유지할 수 있도록 공조를 약속했다고 이해할 수 있다. 이와 같이, 파리협약에 명시된 기후변화 적응, 손실과 피해 최소화를 위한 사회적 기준의 재설정에는 탄력성 강화와 맥락을 같이 한다.



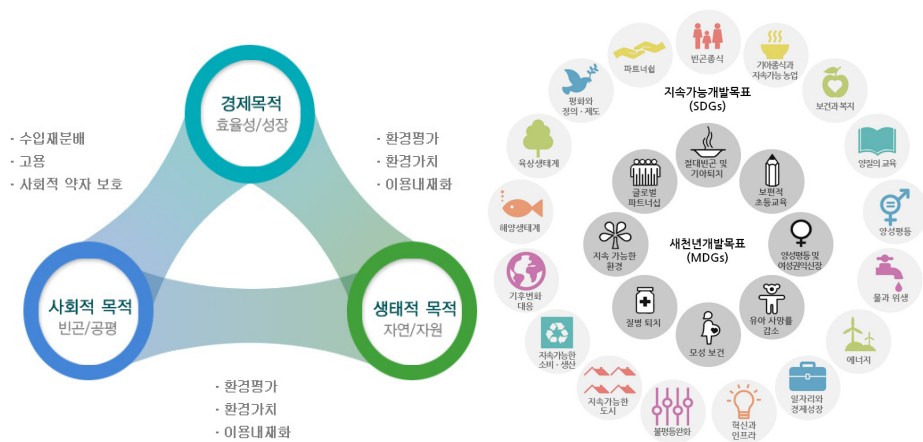
[그림 2-1] 파리 협정 목표 이행의 진행단계

출처 : Fransen Taryn, Eliza Northrop, Kathleen Mogelgaard and Kelly Levin(2017), "Enhancing NDCS BY 2020: Achieving the Goals of the Paris Agreement", World Resources Institute, p.7.

□ UN의 지속가능한 발전목표(SDGs)³⁾

UN의 지속가능한 발전목표는 2015년 9월 27일에 채택되었고, 2016년 1월1일부터 시행중으로 2030년까지 국제사회가 당면하고 있는 글로벌 이슈 해결을 목표로 한다. SDGs는 2000년대의 개발도상국의 빈곤 해결에 초점을 맞추었던 MDGs(새천년개발목표)를 계승하는 패러다임이지만, 보다 포괄적이고 범사회적 접근을 요구한다. 17개의 목표와 169개의 세부목표는 빈곤, 경제성장, 보건, 사회 보장 등을 포함한 사회적 이슈의 근본적인 해결을 목표로 한다. SDGs와 MDGs의 차이점은 기후변화 해결 및 환경 보호 강화 등의 목표를 추가하여, 모든 국가의 참여를 유도했다는 점이다.

3) 지속가능발전포털, "지속가능발전목표 SDGs", <http://ncsd.go.kr/unsdgs> (검색일 : 2019.5.15.)



[그림 2-2] 지속가능한 발전의 통합개념 및 지속가능한 개발목표(SDGs)

출처: 지속가능발전포털, “지속가능발전목표 SDGs”, <http://ncsd.go.kr> (검색일 : 2019.5.15.)

탄력성과 관련해서 SDGs의 목표 13조 ‘기후변화 대응’에서는 기후변화에 따른 자연재해에 대한 회복력과 적응력을 명시하고 있다. 이에 따른 대응조치를 국가 정책, 전략 및 계획에 세부적으로 통합하고, 완화, 적응, 조기 경보 등에 관한 교육, 인적·제도적 역량 강화가 필요함을 강조한다. 지표 13.1.3조에서는 ‘국가 재해 위험 감소전략과 연계된 지역 위험 감소 전략’을 채택하고 있는 지방 정부의 비율이 중요한 평가대상으로 명시하고 있다.

국제사회도 자연재해의 위험성과 심각성을 인지하고, 세계 각국에 이행사항에 대해 유엔의 고위급정치포럼 (HLPF: High-Level political forum on sustainable development)에 보고를 권고하고 있다. 또한, 2017년 UN은 COP23(기후변화협약 당사국 총회)에서 SDGs의 목표와 파리협정의 목표와 과정의 연계의 필요성이 아젠다로 논의되었고, 센다이 프레임워크와 SDGs는 국제사회에서 가장 기본이 되고 중요한 협약으로 다루어진다.

목표 13조 이외에도 탄력성은 다른 지표에서도 명시되고 있다. 11조 ‘지속가능한 도시와 공동체’는 물과 관련된 재정, 지속가능성, 제도 및 회복탄력성이 명시되어 있으며, 2조 ‘기아해결’과 13조 ‘해양생태계’에서는 물은 환경, 에너지, 교통, 산업 및 보건 등 자원으로서 기후변화에 영향을 받기 때문에, 도시와 해양생태계의 지속가능성과 회복탄력성의 목표를 달성하기 위해서는 지역, 국가, 세계적인 정책과 연계되어야 함을 제시하고 있다.

Several SDG targets have indicators related to disaster risk reduction

On average, from 1990–2016, disasters:

- affected **185 million people** each year – meaning 48 in every 1,000 people
- killed **44,000** people each year

Disasters cost the region **\$77.2 billion** in 2016 – equivalent to 0.3 per cent of GDP

19 out of 49 countries* are still to report adopting disaster risk reduction strategies in line with the Sendai Framework



TARGET 11-5
Build resilience to environmental, economic and social disasters



TARGET 13-1
Strengthen resilience and adaptive capacity to climate-related disasters



TARGET 11-B
Implement policies for inclusion, resource efficiency and disaster risk reduction



TARGET 2-4
Sustainable food production and resilient agricultural practices

90 million hectares of agricultural land were lost from 2000–2013



TARGET 9-1
Develop sustainable, resilient and inclusive infrastructures

\$26 trillion will be needed to develop sustainable and resilient infrastructure between 2016 and 2030
Climate change adaptation already costs **\$41 billion** each year



TARGET 9-A
Facilitate sustainable infrastructure development for developing countries

\$28 billion in official development assistance was provided for infrastructure in 2015



TARGET 14-2
Protect and restore ecosystems

Only **11 per cent** of marine areas are protected

[그림 2-3] 회복탄력성이 언급된 SDGs 목표들

출처 : UN and Asian Development Bank & United Nations Development Programme (2018), *Transformation towards sustainable and resilient societies in Asia and the Pacific*, Thailand, p.25.

자원으로서 물과 더불어 위험요소로서의 물은 부문별, 제도적, 수문학적, 행정적 경계를 넘기 때문에, 재해에 대한 위험성과 취약성을 포괄적으로 평가할 수 있어, SDGs와 기후변화 정책을 평가 및 예측의 과정을 연계하는 수단으로써 강조되었다. 9조 '산업, 혁신과 인프라'에서는 기후변화 적응을 위해 지속가능하고 재난에 탄력적인 인프라 개발을 강조하고 있다.

[기후변화에 대한 정부 간 패널 내용]

"바다는 따뜻해지고 눈과 얼음은 줄어들었으며 해수면은 상승했다. 1901년부터 2010년까지 전 세계 평균 해수면은 온난화로 얼음이 녹으면서 19cm 상승했다. 북극의 해빙 범위는 1979년 이후 매 10년 동안 줄어들었고, 매 10년마다 107만km²의 얼음 손실이 있었다." (지속가능발전포럼 홈페이지, "지속가능발전목표 SDGs", <http://ncsd.go.kr/unsdgs?content=2>, 검색일: 2019.5.15.)

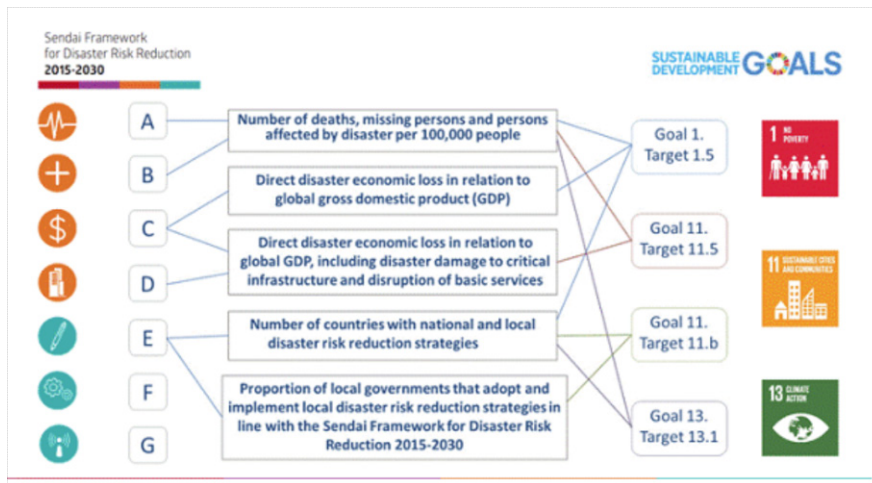
"2016년 평균 지표면 기온은 현대 방식으로 기후를 측정하기 시작했던 1880년 이래 가장 따뜻했다... 온난화는 최근 35년 동안 대부분 진행되었는데, 기온이 가장 높았던 17개의 해 중 16개는 모두 2001년 이후였다." (황선영·김지원(2015), 「청년을 위한 UN과 SDGs 핸드북」, UNESCAP, p.37.)

"지난 2007년부터 남아공 수자원국은 케이프타운의 물 부족 사태를 예측하고, 이를 대비해 해수담수화, 지하수 등으로 수자원을 확보해야 한다고 경고했다. 그러나 인구는 급증하는데도 케이프타운 시 당국은 수자원 개발에 매우 소극적으로 대응하였다. 급기야 2018년 2월 13일 남아공 정부는 3년간 이어진 가뭄의 규모와 심각성을 재평가한 결과를 토대로 국가재난사태를 선포하였다. (오재호(2018) "기후변화시대, 우리의 대응은?" 「에너지포커스」, v. 15(3), 에너지경제연구원, pp.5-6.)

□ 센다이 프레임워크⁴⁾

센다이 프레임워크는 UNDRR (UN Office for Disaster Risk Reduction)의 3차 국제 협약 회의에서 채택됐다. 2030년까지 국제사회가 직면하고 있는 경제, 문화, 환경, 재난 등의 위기를 감소를 목표로 한다. 2차에 진행된 효고 프레임워크⁵⁾에 비해 정책과 국가 재난 거버넌스 관리를 강조한다.

센다이 프레임워크의 재난은 외부적인 요소로부터 발생하는 것뿐만 아니라, 내부적으로 재난에 노출되는 사람 및 자산들의 피해가 지역사회에 미치는 영향까지 고려하는 개념이다. 즉, 개인, 지역사회, 국가 및 그들의 자산 등 여러 분야에 미치는 재난의 위험과 손실에 대한 관리의 중요성을 짚고 있다. 더불어, 모든 재난에 대한 위험 및 손실과 관리에 정책과정에 다양한 이해관계자 및 지역공동체의 참여가 중요하다는 것을 강조한다.



[그림 2-4] 센다이 프레임워크와 SDGs의 관계

출처: UNISDR, 'The sendai Framework and the SDGs', <https://www.unisdr.org> (검색일 :2019.5.17)

센다이 프레임워크는 7대 글로벌 목표와 4대 우선순위로 구성되어 있다. 2017년 2월 유엔총회에서 센다이 프레임워크의 7대 목표의 지표들을 SDGs의 목표의 진행률을 평가에 채택하였다. 평가대상 국가는 2030년까지 물, 교통, 통신, 학교, 병원과 같은 중요

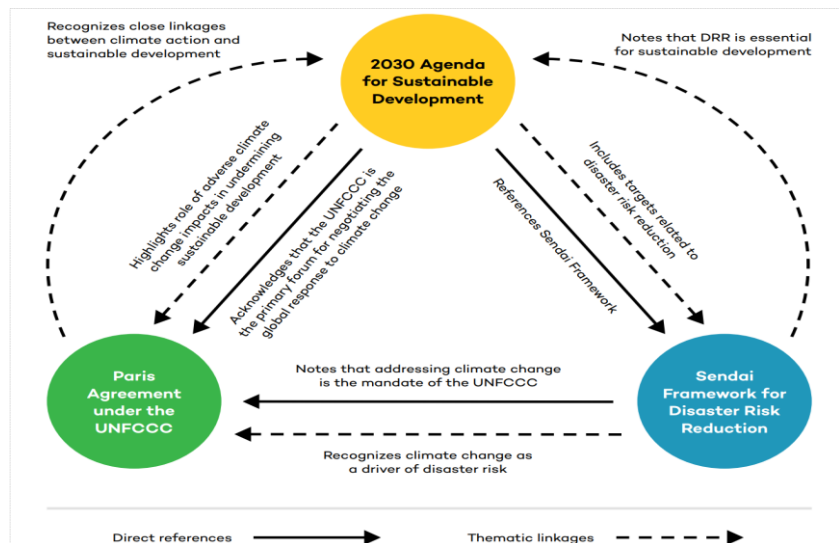
4) United Nations Climate Change Secretariat(2017), *Opportunities and options for integrating climate change adaptation with the Sustainable Development Goals and the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*, UNCCS.

5) 효고 프레임워크 채택(2005~2015) 이후 그 이행에 관한 세계보고서와 국가별, 지역별 추이보고서에 드러난 바와 같이, 국가 기타 재난과 관련된 이해당사자들에 의해 지방적, 국가적, 지역적, 세계적 차원에서 재난위험이 감소되었고, 이는 상당한 위험요인에 있어서 사망률 감소로 이어졌다.

한 기반시설에 대한 척도를 비롯해, 사망률, 피해 인구 수, 경제적 손실, 피해 등 재해 손실을 줄이기 위한 노력을 측정할 수 있다. 센다이 프레임워크는 기후와 관련된 재해뿐만 아니라 광범위하게 탄력성 평가에 효과적으로 활용될 수 있으며, 평가를 통한 7대 개선 목표는 SDGs와 밀접하다.

센다이 프레임워크는 7대 목표를 달성하기 위한 우선순위를 둔다. 이를 위해서 해당 국가는 지역, 국가, 세계적 규모에서 목표 이행을 위해 지역, 국가, 세계적 규모의 재난을 진단 및 평가를 시행한다. 이 평가를 위해 첫 번째 우선순위로서 총체적이고, 포괄적인 재난에 대한 이해기반을 갖춰야 한다. 재난의 위험경감을 위해서 사회적 참여와 협업이 요구된다. 계획과 수단을 집행하기 위한 재난 위험관련 거버넌스는 매우 중요하다. 이 거버넌스는 이해관계자, 지자체, 관련기관으로 구성된다. 이를 통해 재난예방, 경감, 대비, 대응, 복구 계획에 대한 비전과 지침을 설정하게 된다. 그 역할의 중요성으로 2번째 우선순위는 거버넌스다.

탄력성 향상에는 투자가 수반된다. 세 번째 우선순위는 환경, 개인, 지역사회, 국가의 자산을 대상으로 한 공공·민간 투자이다. 이 투자는 경제, 문화, 보건, 환경 분야에 집중된다. 마지막으로 개발과정과 연계한 재해위험 경감활동이 네 번째 우선순위이다. 이 활동은 재난에 대응하기 위한 준비를 재건활동과 함께 진행하며 재난 취약계층의 피해를 최소화 하는데 그 목적이 있다.



[그림 2-5] SDGs, 파리협정 그리고 센다이 프레임워크의 관계

출처: <https://www.iisd.org/project/advancing-alignment-climate-resilient-development>, (접속일자 : 19.7.27)

□ UN 주도의 탄력성 관련 국제 정책동향

종합적으로 최근 시행되고 있는 국제협약은 기후변화에 따른 피해 및 재난의 탄력성을 언급하고 있다. SDGs는 물, 농업, 도시 바다 등 기후변화에 취약한 분야의 기후관련 위험과 피해에 대한 복원력과 적응력 강화를 국가정책에 포함되도록 강조한다, 파리협정은 지속가능한 발전을 위해 기후변화의 역효과에 적응할 수 있는 회복탄력성 강화와 취약성을 감소시키는 것을 목적으로 다루고 있다. 센다이 프레임워크는 재난에 대한 위험 노출을 감소시키고 동시에 새로운 재난에 대해 대응과 복구 준비를 강조한다.

각각의 파리협정, SDGs, 센다이 프레임워크 모두 고유한 특성과 분야가 있다. 그러나 통시적으로 보면, 공통적으로 국가의 정책에 미래위험성을 고려해 인류의 지속가능성을 최대화 하는데 목표를 공유하고 있다. 그림 2-5에서 보는바와 같이 각 체계가 서로 연계되어 작동할 수 있는 구조로 설계되어 있다. 파리협정은 기후변화를 인정하고 현명한 대응체계를 만들고 당사국의 국력의 차이에 의한 역량차를 균형 잡도록 국가 간 정책으로서 협력을 약속한 결과다. SDGs는 실제 우리가 지속가능 할 수 있으려면 반드시 지켜야 할 목표를 구체적으로 제시하고 이를 국가 정책의 주요 키워드로 활용할 수 있는 기준을 제시했다 할 수 있다. 센다이 프레임워크는 작동하기 위한 실행력을 높일 수 있는 거버넌스의 중요성과 역할을 구체적으로 정리했다 할 수 있다.

정리하면, 파리협약은 우리의 변화에 대응해야 할 기후변화에 대한 현실을 자각시켰다면, SDGs는 구체적 목표를 제시했고, 센다이 프레임워크는 목표에 따라 급변하는 현실을 대응하는 작동체계라 할 수 있다. 전술한 UN에서 주도하는 국제정책은 모두 기존의 기준을 탈피해 지속가능한 삶을 영위하기 위한 탄력성을 증대를 공통적 방향으로 갖고 있음으로 요약할 수 있겠다.

2) 탄력성 관련 해외 기후변화 적응 정책 현황

□ 국가와 도시단위 기후변화 적응정책

2000년대 후반에 들어서면서 선진국들은 기후변화 적응전략을 국가차원에서 수립해 운영하기 시작했다. 국가단위 기후변화 적응정책은 지방정부와 연계될 수 있도록 기본 구조를 설계하고 기후변화 적응에 효과적일 수 있는 개별적 정책프로그램을 국가계획에서 제시하고 지방정부가 이를 지역성에 맞도록 조정해 활용하는 구조를 갖는다. 일차

적으로 기후변화 적응정책은 인구가 많이 모여 있는 각 국가의 수도 및 경제활동과 인구 밀도가 높은 도시를 공간적 대상으로 정한다.

일본은 2013년 12월 「국토강인화 기본법」을 공포했다. 이 법은 탄력성 개념이 적용된 법으로서 사전대비를 통해 재난피해를 줄이는 것을 목적으로 제정되었다. 이 법에 따라 2014년 국토강인화기본계획이 수립시행중이다. 이 계획의 핵심은 대비능력을 넘는 재난에 대한 실효적 대응능력 확보이다. 기초지자체의 지역계획이 민간과 주체적 연계체계를 갖추도록 구성되어 있다. 주요 위험, 취약성진단, 대응방안검토, 계획시행과 개선 노력을 주요 프로세스로 다룬다. 4대 기본목표와 8대 사전대비 목표, 그에 따른 반드시 막아야 할 사태를 원칙으로 정하고 있다(함승희(2016)).

영국은 런던을 중심으로 폭염대책, 홍수대책을 건물과 도시시설에 대해 장기적인 기후 변화에 대한 위험도 평가와 적응전략을 2008년 수립했다(심우배 외(2009)). 또한 영국은 홍수위험관리를 위해 PPS (Planning Policy Statement)를 시행해 개발에 따른 홍수 위험을 공간계획 수립과정에서 고려하도록 함으로서 지속가능한 개발이 이뤄지도록 홍수 위험도에 따라 설치 가능한 시설유형을 규정하고 있다(심우배 외(2012)).

연방제를 운영하고 있는 국가는 정책구성 체계에 차이점이 있다. 국가차원의 비전과 목표는 거시적 방향성 수준으로 제시하고 보다 구체적인 기후변화 정책 방향은 주정부에서 일임한다. 주정부의 실천 정책은 중요한 도시를 우선 대상으로 적용하는 구조다. 미국은 연방정부차원에서 전국에 대한 기후영향을 과학적으로 분석해 유형화 한 다음 기후영향에 따른 위험도가 높은 주정부에 계획을 통해 전달한다. 구체적인 예로서 폭염에 대해 취약계층을 보호하기 위해 연방정부차원의 대응계획을 만들어 폭염 위험도가 높은 일리노이, 오히이오, 캘리포니아, 펜실베이니아를 계획에 포함한다. 해당 주정부는 구체적인 폭염 위험 완화정책을 설계하되, 연방정부에서 정한 사항⁶⁾을 공통적으로 포함하는 구조를 갖는다(추장민 외(2010)).

미국 주정부의 사례로서 펜실베이니아 주와 미시건주를 대표적으로 정리해 볼 수 있다. 펜실베이니아는 LAPCC (Local Action Plan for Climate Change), Green Works Plan, Green City Clean Waters 등의 다양한 기후대응정책을 운영한다. LAPCC는 온실가스 배출의 안정적 감축을 위해 기술적 토대와 거버넌스 기반을 구축하는데 목적이 있다. 이는 풍력에너지 도입, 녹색건축물 개발, 음영지대 확보를 위한 도시내 수목 15% 유지, 녹

6) 위험정보 시스템, 폭염대피소, 취약계층 파악, 양로원 등을 대상기관으로 선정하고, 언론을 통한 정보전달, 취약계층 대상 의료, 전기, 수도 등 서비스 제공을 공유한다.

지 및 오픈스페이스의 계획을 담고 있다. Greens Works Plan은 에너지, 환경, 형평성, 경제, 참여 등 5대 부문을 중심으로 폭우관리, 오픈스페이스, 로컬 푸드, 식재계획을 제안한다. 옥상녹화와 투수성 포장재를 활용할 경우 인센티브를 제공한다. Green City Clean Waters는 홍수피해를 최소화하고 고급 물 자원을 확보하기 위한 전략이다. 공간 대상을 가로, 학교, 공공시설, 주차장, 공공 오픈스페이스, 공공기관청사, 주택으로 대상을 명확히 하고 대상에 따른 옥상녹화, 투수포장, 보도확장, 빗물정원, 도시습지 개발을 제안한다(김정곤 외(2014))

미국 미시건주 디트로이트 시는 수단으로서 탄력성을 고려하는데 있어 중요한 공간적 대상은 녹색인프라(Green Infrastructure : GI)로 규정하고 있다. GI는 적정하게 배치 함으로서 효과를 얻을 수 있다. 즉, 호우관리, 사회적 취약성, 녹지, 대기질, 도시열섬, 조경공간 확보여건 개선 등의 효과를 기대할 수 있다. 탄력성 강화를 위해 도시의 현재 상황을 2차 통계 데이터를 활용해 취약성을 설명하는 지표를 찾고, 지도로 결과를 표현하면 근거로 활용 가능함을 제시하고 있다(Sara Meerow, Joshua P. Newell(2017)).

[표 2-2] 탄력성을 고려한 그린인프라 공간계획(GISP Green Infrastructure Spatial Planning) 모델 기준

탄력적 계획 우선순위	생태서비스 카테고리	기준	공간적 속성(지표)
우수관리	규제; 관리운용 (Provisioning)	우수 위험	합리식과 CSO배출구 위치 데이터에 기반한 평균유출계수
사회적 취약성 감축	문화	사회 취약성 지표 (SoVI)	자연재해에 대한 사회적 취약성과 관련 있는 지표의 조합
녹지로의 접근성 향상	문화	공원으로의 접근성 부족	공원 접근성이 낮은 인구
도시 열섬 효과 감축	규제	지표면 온도	평균 지표면 온도
대기 질 개선	규제	대기 오염의 심각도	초미세먼지(PM2.5) 배출량
랜드스케이프 연결성 증대	지원(Supporting)	패치 응집력 지수	야생동물 서식지(forest cover)의 물리적 연결성

출처: Meerow Sara & Joshua.,P. Newell(2017), p.64 재구성

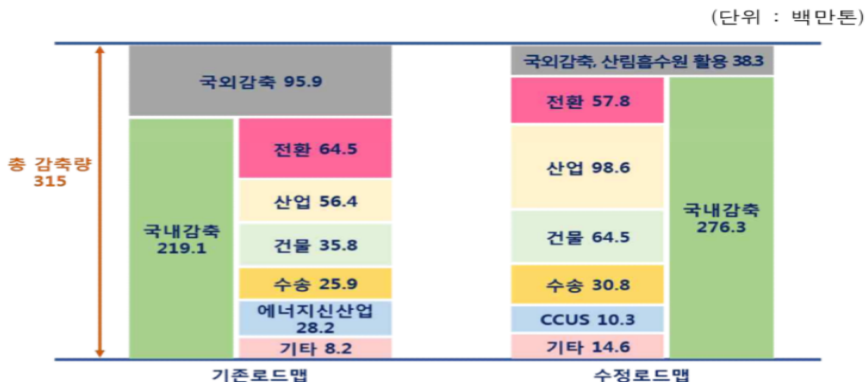
호주는 지속가능한 디자인 가이드라인을 통해 기후변화를 고려한 건축설계 가이드라인을 멜빌시에 적용했다(심우배 외(2009)). 연방정부 차원에서 폭염 취약계층을 위한 정책을 수립했다. 노인, 야외근로자, 운동선수를 대상으로 한 매뉴얼을 만들고 노인과 장애인을 위한 의료출장서비스를 운영한다(추장민 외(2010)).

2. 국내 정책분야의 탄력성에 대한 관점

1) 온실가스 감축

우리나라는 신 기후체제 출범에 동참하기 위해 '30년 BAU 대비 37% 감축안(국외감축 포함)을 UN에 제출하였고('15.6) 이에 따라 정부체제 및 제도를 개편하였다. 먼저 국무총리와 경제부총리의 기후변화 대응 총괄·조정 기능을 강화하고 소관 부처가 감축정책을 이행하는 부처책임제를 도입 '16년 6월에 도입하였다. 또한 「저탄소녹색성장기본법 시행령(약칭: 녹색성장법 시행령)」을 개정(대통령령 제27180호, 2016.5.24., 일부개정)하여 새로이 설정된 2030년 BAU 대비 37% 감축목표를 반영하였다.

국무조정실 총괄·조정, 부문별 소관부처 책임 하에 '제1차 기후변화대응 기본계획'(관계부처 합동, '16.12)을 수립하고 '2030 국가온실가스감축 기본로드맵'을 확정하였다. 이후 국가 온실가스 감축목표의 효과적 달성을 위해 배출권거래제의 종합적 운영기준을 제시하는 '온실가스 배출권 할당계획'(관계부처 합동, '17.12)이 수립되었으며, 최근에는 국제사회에 약속한 국가 온실가스 감축목표 이행력을 높이기 위해 '2030 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본로드맵 수정안'과 '제2차 계획기간 국가배출권 할당 계획 2단계 계획'을 확정('18.7)하였다.

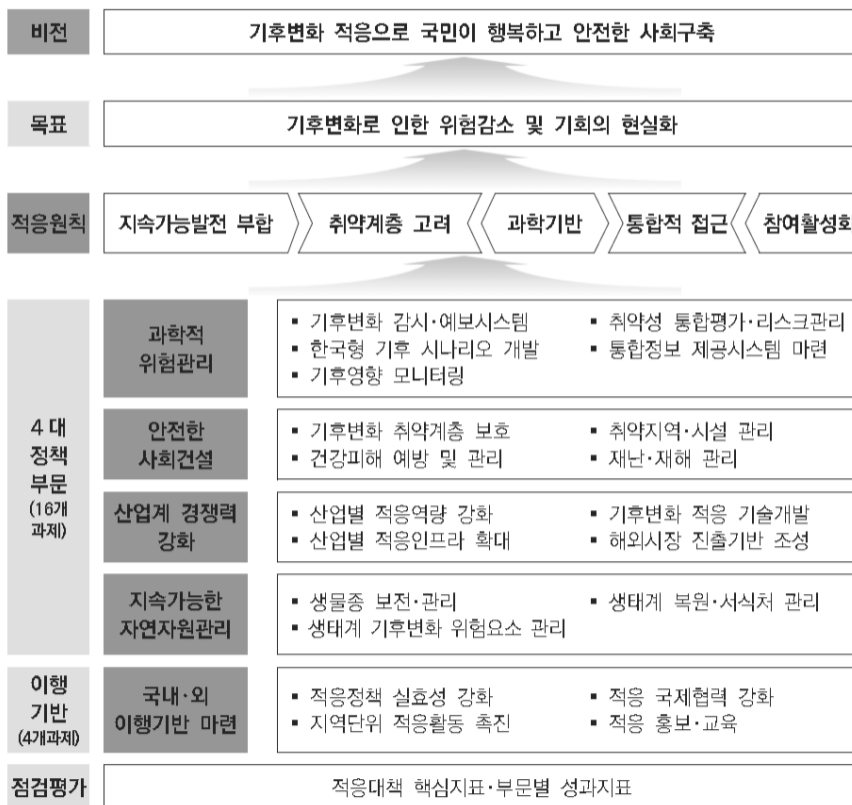


[그림 2-6] 2030 국가 온실가스 감축 기본로드맵 수정계획 상 감축량 구성 구조
출처: 환경부 (2018), 「2030 국가 온실가스 감축로드맵 수정안 이해하기」, 동 기관, p12

2) 기후변화 적응 부문

파리협정에 이행이 명시된 기후변화 적응 분야를 대응하기 위해 기존 선도적으로 운영 중이었던 ‘국가기후변화적응대책’을 강화해 제2차 국가기후변화적응대책을 운영하고 있다. 관계부처합동으로 2010년부터 ‘국가기후변화적응대책’을 「저탄소녹색성장기본법」에 따른 법정계획으로서 정부 및 지자체 세부시행계획 수립을 위해 매 5년마다 수립해야한다.

현재 ‘제2차 국가기후변화적응대책(2016~2020)’이 지속가능발전에 부합, 취약계층을 고려하고 과학적이며 통합적 접근으로 국민의 참여 활성화를 적응원칙으로 정하고 있다. 이 정책은 4대 정책 16개 과제로 시행중에 있다. 4대 정책은 과학적 위험관리, 안전한 사회건설, 산업계 경쟁력 강화, 지속가능한 자연자원관리다.



[그림 2-7] 제2차 국가기후변화 적응대책 로드맵

출처: 관계부처합동(2015), 「제2차 국가기후변화적응대책」, p.59.

3) 탄력성(레질리언스:Resilience) 부문

우리나라 국가정책에서 탄력성을 직접적으로 정책용어로 채택하고 활용하는 중앙정부는 행정안전부이다. 행정안전부는 국민안전처 시기인 2015년 전후로 재해재난에 대해 사후복구 개념과 더불어 사전예방의 개념을 고려하기 위한 키워드로서 회복탄력성(Resilience)을 정책용어로 활용했다. 회복탄력성은 재난 안전사회를 구축하기 위한 선결조건으로 매우 중요한 개념으로 다뤄졌다. 그러나 개념이 응용되기 시작하면서 본래의 의미보다 확장되어 소방관의 심신건강에 대한 복지차원의 개념으로 까지 활용되었다. 사후 회복능력을 설명하는 본래 의미와 달리 개념이 다양하게 혼용되고 있다.

우리나라 도시재생 정책에서는 직접적으로 탄력성을 사용하고 있지 않지만 탄력성의 개념을 활용하고 있다. 슬럼화된 원도심 지역은 사회경제적 약자들이 주로 거주하면서 지가가 높은 도심지역이지만, 낙후된 건축물과 기반시설로 인해 자연재해에 피해를 많이 받는 역설적 현상이 빈번하다. 예로서 대구광역시 2014년부터 원도심지역의 근대 건축물 리노베이션 사업을 도시재생사업으로서 시행 중이다. 건물이 갖는 장소성과 역사성을 유지하되 활용성을 높이는데 필요한 사업비를 지원하고 있다. 이를 도시설계적으로 탄력성 증진 차원까지 확장성을 논의하고 있으며 법제도 정비를 진행 중이다(권용석(2014)).

3. 건축·도시정책 분야에서 탄력성의 함의

1) 기후변화 대응 전략의 기본으로서 취약성과 탄력성의 관계

□ 기후변화 대응에 대한 국제사회와 한국의 시각차

국제사회는 이제 기후변화(Climate change)가 아닌 기후위기(Climate crisis)로 설정하고 보다 강화된 대응방안을 국제사회가 고민해야한다고 하고 있다. 파리협약이 온실가스 배출 감축 중심의 교토협약보다 다차원적인 접근 방식을 갖고 국제사회에 국가별 수준에 맞는 대응방안을 Roll-up 방식으로 지속시키고자 하는 것과 같은 맥락이라 하겠다. 그러나 우리나라는 아직 기후변화에 대한 기초역량 강화의 방향을 온실가스 감축에 정책적 무게를 두고 있다. 2018년 2030 온실가스 감축 로드맵 수정 계획안을 만들어 대

외 의존도가 높던 기존 로드맵을 온실가스 감축 목표치 조정을 한 것 이외에 ‘적응’, ‘손실과 피해최소화’, ‘재정’, ‘투명성’ 등 파리협약에서 요구하고 있는 추가적인 부문에 대한 국가차원의 준비는 아직 모호하다. 2020년 이후 시행될 제2차 기후변화대응 기본계획과 제3차 국가 기후변화 적응대책에서 적극적이고 구체적인 대응방안이 나올 것으로 기대한다.

□ 탄력성을 고려한 취약성 분석의 체계와 의의

탄력성 강화를 전제로 기후변화 취약성 분석체계를 구성하기 위해서는 기후변화에 따른 자연재해(기후노출), 영향을 받을 것으로 예상되는 대상(민감성), 대상이 갖고 있는 대응 능력(적응능력) 수준에 대한 구조화가 필요하다. 각 영역의 설명 지표를 바탕으로 탄력성 강화체계를 구축하기 위해서 다양한 자연재해 유형별 취약성 진단이 진행되어 주기적으로 점검 및 기록되어야 한다. 아직 정부의 정책에는 어떤 주체가 취약성 진단을 하고 탄력성 강화를 위한 사업시행을 수행하는지에 대한 체계가 적용되어 있지 않다.

탄력성을 고려한 취약성 분석체계는 일상적 의료시스템에서 활용하는 진단과 처방, 예방, 재활의 과정과 유사한 흐름이다. 더 나아가 미래 기후변화 시나리오에 입각해 현재 공간의 취약성을 분석하는 것은 과거와 다른 양상의 자연재해가 왔을 때를 가정해 과학적으로 진단한 결과를 토대로 탄력성 강화를 위한 정책을 처방함으로써 손실과 피해를 최소화 할 수 있게 하는 주기적 검진을 행하는 것과 같다고 할 수 있다.

2) 향후 리스크 평가에 대한 탄력성의 의미

□ 미래 과제로서 리스크 평가 대응 방향

IPCC AR5에서 취약성보다 강화된 개념으로 리스크 평가가 제기된 만큼 향후에는 취약성 평가와 더불어 리스크 평가 도입이 요구될 것으로 전망된다. 현재 활용되고 있는 취약성 평가는 노출, 민감도, 적응능력에 대한 가중치를 활용하는 경우가 있다. 이때 가중치를 부여하는 방식이 대부분 전문가의 주관적 평가를 종합해 객관화한 결과를 활용하고 있어 전문가 풀의 차이에 따라 가중치가 변동될 수 있는 한계점을 갖고 있다.

따라서 객관적으로 공개된 기초자료를 활용해 분석 정확도와 논리적 한계점을 최소화한 리스크 평가가 향후 기후변화 영향을 진단하는데 주요한 도구로서 활용될 가능성이 높다 할 수 있다. 리스크 평가가 국내에 정책적으로 활용되기까지 국내 실정에 맞는 연구가 다수 이뤄져야 할 것으로 판단되므로 다소 시일이 걸릴 것으로 예상된다.

□ 건축·도시의 기후변화 탄력성 확보를 위한 함의

선행연구의 동향 분석을 통해 기후변화에 따른 자연재해 위기를 예방적 차원에서 취약성 분석이 중요하게 다뤄지고 있음을 확인했다. 자연재해의 피해는 국민의 생명과 재산의 피해와 직결된다. 대다수의 국민이 건축물에서 거주하고, 도시지역에 모여살기 때문에 건축과 도시의 기후변화 탄력성 확보는 매우 중요한 정책적 대상이라 할 수 있다. 그러나 현재까지 도시계획적 측면에서 취약성 평가를 통해 광범위한 지표와 요소들이 다뤄지고 있지만, 특히 건축물의 현재 상태의 취약성의 관계를 물리적으로 평가한 도시설계에 대한 정책연구 사례는 아직 초기단계다.

도시설계적 관점에서 우리나라 도시는 급속한 도시화에 따라 시장성이 도시와 건축물의 형태를 결정하고 있는 점을 주의 깊게 봐야한다. 자본의 논리에 의해 형성되는 공간은 재화로서의 가치를 중요시 하므로 건축물과 도시가 삶의 공간으로서 갖는 지속가능한 의미와 가치를 뒤로 미룬다. 따라서 불확실성이 높아질 가능성이 높은 기후변화에 대응하기 위해서 도시설계를 통해 건물과 도시가 지속가능한 삶터로서 가치를 확보할 수 있도록 탄력성 확보에 대한 원칙과 방향을 사전에 정해둘 필요가 있다. 이 준비시기를 놓친다면 더 큰 위협에 직면할 가능성 또한 높아질 것이다.

아직 기회는 있다. 국가 차원에서 노후 구 시가지를 중심으로 도시재생정책을 추진하고 있기 때문에 사회적으로 취약한 공간이 개선될 기회가 지속 될 것이다. 도시재생정책은 국가-지자체-개인이 도시공간을 재생하기 위한 역할을 구체적으로 갖춰나가고 있는 대표적인 실행력을 갖춘 도시정책이라 할 수 있다. 다만, 도시재생을 시행함에 있어 기후변화에 대한 탄력성을 고려해 개선사업 방향을 잡는 정책 항목은 아직 이다. 도시재생 사업을 통해 도시 내 낙후지역으로서 취약성이 높은 공간을 개선할 때, 미래 복수의 자연재해에 유형별로 어떤 점이 취약한지를 사전에 파악하고 손실과 피해를 최소화 할 수 있는 공간조성이 이뤄져야 할 것이다.

제3장 탄력적 도시설계를 위한 도시 취약성 진단도구 개발

1. 탄력성 연계 취약성 진단 모형의 개념정립
 2. 기초변수 및 복합 취약성 분석 논리구조 설정
 3. 자연재해 복합 취약성 분석 및 결과
 4. 탄력성 활용을 위한 취약성 결과 해석
-

1. 탄력성 연계 취약성 진단 모형의 개념정립

1) 우리나라 주요 자연재해의 경향성

앞으로 우리나라 도시가 대비해야할 주요 자연재해는 선행 연구에서 많은 논의가 이뤄져 왔다. 2011년 우면산 산사태 이후 기습폭우와 관련한 도시 홍수 대응정책에 리질리언스 개념이 필요하다는 연구가 다수 보고되었고¹⁾, 2018년 최고치를 경신한 폭염은 이후 다양한 원인과 대책에 대해 연구 성과를 도출하고 있음을 선행연구를 통해 확인할 수 있다²⁾. 또한 최근 복합재해에 대한 고민이 필요하다는 연구가 발표되고 있다. 폭우에

1) 도시 홍수와 관련해 기후변화에 따른 강우패턴의 변화, 불투수면적의 증가, 지하시설물 사용 증가, 인구와 산업의 고밀화, 방재정책의 미흡 등 다양한 사회적 관계성이 얽혀 피해가 증가할 것으로 전망한다(한우석 외(2014)). 도시홍수 피해를 최소화하기 위한 대응정책이 필요하며, 법과 제도에 현행 피해복구 우선 정책에서 예방적 측면이 강화된 리질리언스(Resilience)로 개념전환이 요구되고 또한 최종 피해대상인 건축물의 침수방어와 복구성능 탄력적 개념을 통해 향상 시킬 수 있는 건축물 단위 대응체계가 필요하다(정승현(2018)).

2) 뉴스 분석에서 나타난 폭염에 대한 키워드로는 ‘무더위’, ‘기상이변’, ‘사망률’, ‘주의보’, ‘특보’, ‘경보’ 등이 주요하게 나타나 폭염에 대한 피해나 대응에 관한 내용이 많이 보도되는 것을 알 수 있었다(진대용 외(2018)). 과거 한국의 폭염 자료를 근거로 미래의 폭염 분포와 원인을 분석한 사례를 보면, 폭염 위험 기반 발생의 급격한 증가로 폭염의 빈도와 강도가 점차적으로 커질 것을 예상하고 있다(김진아 외(2016)). 폭염

따른 피해 직후 거처가 제 기능을 못하는 상황에서 폭염이 연이어 피해를 줄 수 있다는 가설 또한 가능성이 높은 현상으로 볼 수 있다. 기습 폭우에 따른 도시홍수와 폭염은 우리가 우선적으로 살펴야할 기후변화 영향이자 새로운 경향의 자연재해이다³⁾.

정리하면, 미래에 벌어질 수 있는 피해에 사회적 불안감이 있으며, 늘 생활하는 건축물과 공공시설, 기반시설에서 안정성 확보를 국민들이 요구하고 있는 것이다. 더불어 경제적 취약계층, 고령계층이 주요 인명·재산상 피해 대상이고, 나아가 2차, 3차 피해를 수반하는 복합재해·재난에 대한 예방적 고려까지 필요한 시기가 도래했음을 파악할 수 있다. 앞으로 도시설계를 통해 복합 재해에 대응 할 수 있는 탄력성을 갖출 수 있는 기준이 필요함을 의미한다. 그 기준의 근거는 현 도시상태에 대한 취약성 진단을 객관적 지표로서 활용 해야 한다. 따라서 본 연구는 우선적으로 도시홍수와 폭염을 대상으로 탄력적 도시설계 원칙 확보를 위한 복합재해 취약성 진단법을 제안한다.

2) 개념설정

① 취약성 분석의 틀

□ 기본전제

본 연구는 기후변화의 하절기 영향으로 예측하기 어려운 미래를 가정해 폭염과 폭우에 따른 도시지역의 취약성진단을 목적으로 한다. 취약성에 관한 대전제로서 파리협약과 국제사회에서 공통적으로 합의하고 IPCC에서 정하고 있는 취약성 분석함수식을 따른다⁴⁾. 취약성을 설명하는 변수로서 노출, 민감성, 적응능력을 정하고 각각의 관계는 취약성을 증가시키는 요인과 완화하는 요인으로 구분해 노출과 민감성은 취약성 증가요인으로 양(+)의 관계, 적응능력은 완화하는 요인으로서 음(-)의 관계로 정의한다.

$$\begin{aligned} \text{취약성}(V) &= f(\text{노출}(E), \text{민감성}(S), \text{적응능력}(A)) \\ &= \sum_1^n \text{노출지표} + \sum_1^m \text{민감성지표} - \sum_1^p \text{적응능력지표} \quad \text{수식 3-1} \end{aligned}$$

사망률과 관련해서 폭염이 자주 발생하는 지역일수록 폭염으로 인한 사망률이 높고, 남성(64%)과 노령자(65%)의 비율이 높은 것을 확인하였다(박재은 외(2016)).

3) 현재 자연재해의 특징을 대형화, 복잡화, 초국경화, 미디어와, 정치화의 관점에서 살펴야 한다(정지범 외(2015)). 이는 도시사회의 특징을 자연재해 대응관점에서 살펴야 한다는 뜻이다. 도시가 갖는 사회중추적인 기능의 지속가능성을 위해 국가 및 도시의 핵심시설의 복합재해·재난을 사전에 고려해 영향을 최소화 할 수 있어야 한다(윤동근(2017)).

4) 앞으로 우리나라가 국제사회에 제출해야할 국가별 기여방안 (Nationally Determined Contributions, NDCs)보고서 작성에 대한 활용성을 고려하였다.

- 기후변화 자연재해 현상 : 폭염, 폭우
- 기후변화 노출 기준시점 : MME5s 앙상블 평균 RCP 8.5 시나리오
2030년, 2040년, 2050년
- 민감성과 적응능력 기준 : 2018년
- 취약성 분석 공식 : IPCC AR4 취약성 분석 함수 사용

노출은 기후변화 시나리오에 따른 미래 노출영향을 설명할 수 있는 지표의 합과 평균으로 산출하며, 민감성 지표는 현재 기준 기후노출에 영향을 받을 대상을 설명할 수 있는 정량적 지표의 합과 평균으로 구성한다. 적응능력 지표는 현재 기준 대상이 갖고 있는 기후영향을 완화하거나 피해를 극복할 수 있는 역량을 설명할 수 있는 정량적 지표의 합과 평균으로 구성한다.

② 취약성 분석활용 기후변화 시나리오 및 원자료 선정 기준

□ 미래 기후노출 시나리오 자료

취약성 분석에 노출, 민감성, 적응능력이 유형별로 세부지표로서 설명되어야 한다. 따라서 세부지표들은 우리나라 공식 통계지표이거나 국가 및 공공에서 생산되는 공인 통계수치를 사용한다. 기후변화 예측 시나리오 관련 자료는 「국가기후변화적응센터(한국 환경정책평가연구원 운영)」에서 개발해 전국 기후변화 적응계획수립에 기초자료로 활용 중인 VESTAP⁵⁾의 시나리오 자료를 사용한다. VESTAP에서 활용한 자료는 본 연구과제의 대상자연재해인 폭염과 폭우에 따른 홍수를 직간접적으로 설명 가능한 다수의 지표를 2030년, 2040년, 2050년 단위로 정리해 ‘노출’ 지표로 가공해 활용한다.

[그림 3-1] 노출지표 수집에 활용한 VESTAP(<https://vestap.kei.re.kr>) 접속화면

5) VESTAP(기후변화취약성 평가지원 도구 시스템 (<https://vestap.kei.re.kr>))의 DB정보 중 지표자료정보에서 IPCC WR II에서 규정한 ‘적응제한요소(기후노출)’, ‘적응계획 및 이행’에 해당하는 정보 중 폭염, 홍수와 관련한 지역정보를 엑셀정보로 다운로드 및 가공해 연구에 활용했다.

□ 취약성 분석 원자료 선정 및 기본공간 단위 설정 기준

취약성 분석 원자료는 본 연구진이 자연재해 탄력성 영향 대상, 대상 공간, 증진 요소를 기본 틀로 정해 수집했다. 원자료는 연구결과의 범용화를 염두 해 현재 공개되어 있는 공간 정보데이터를 대상으로 했다. 따라서 영향을 받는 대상으로 인구, 대상공간으로 건축물, 증진요소로서 시설접근성과 경제성을 설명할 수 있는 공간통계정보를 선정했다. 각각 공공 공간정보는 최소 100m × 100m 격자부터 500m × 500m, 읍면동 단위 까지 공간범위의 다양성이 존재한다. 다양한 위계를 갖는 지표성격에 맞게 공간적 규모를 재 분류했다.

기후 노출의 공간적 범위는 영향권이 넓기 때문에 법정 읍면동 단위를 공간범위의 기준으로 선정하였다. 시설접근성은 주로 도시계획으로 결정되는 병원, 공원, 교육시설 시설에 해당하므로 500m × 500m 격자 공간에서 시설위치를 중심으로 도로를 통한 이동 거리를 세분화하여 사용한다. 정밀함이 요구되는 건축물과 인구는 100m × 100m 격자 공간을 기준공간으로 활용했다. 100m × 100m 격자공간은 취약성 분석결과를 표출하는 기본 공간 단위이다.



[그림 3-2] 국토정보맵(map.ngii.go.kr)에서 제공하고 있는 국토통계지도(대전광역시) 정보
출처 : 국토정보플랫폼, <http://map.ngii.go.kr> (검색일 : 2019.5.30.)

2. 기초변수 및 복합 취약성 분석 논리구조 설정

1) 미래 기후노출 변수선정 근거

본 연구는 폭염과 폭우에 따른 도시홍수에 대해 취약성을 1회 분석으로 도출할 수 있는 진단법 개발이 주요 과제이다. 따라서 폭염과 도시홍수의 원인이 되는 폭우를 미래 기후 노출 현상으로 한다. VESTAP은 미래 기후노출은 RCP 8.5 시나리오에 근거한 2030년, 2040년, 2050년 단위로 변화하는 양상을 공간정보화 해 제공하고 있다. 따라서 폭염과 폭우를 설명하는 기초데이터는 모두 기후변화 시나리오 적용이 된 결과로 쓸 수 있다.

폭염을 설명하기 위한 기초자료는 '4-10월 최고기온 30℃ 이상 날 수', '로그값이 적용된 4-10월 일사량의 합', '열지수 32 이상인 날 수', '열파지속지수(HWDI)', '일 최고기온 35℃ 이상 날 수', '체감온도'이다. 각각의 기초자료는 모두 폭염을 설명할 수 있는 정보들로서 VESTAP에서 내려 받아 각각의 데이터를 표준화해 지표로 변환해 활용한다.

폭우를 설명하기 위한 기초자료는 '1일 최대 강수량', '5일 누적 강수량', '연간 강수량', '80mm/일 날의 수', '150mm/일 날의 수'를 기초자료로 선정했다. 해당 정보는 모두 폭우를 설명하는 정보로서 강우강도와 지속시간의 길이를 통해 도시홍수의 영향성을 설명하는데 활용한다. 각각의 지표 역시 VESTAP에서 내려 받아 표준화를 통해 지표로 활용한다.

2) 현재 민감성 변수선정 근거

민감성 지표는 '인구', '건축물', '시설접근성'의 지표를 활용한다. 그러나 폭염과 홍수가 각각 상반된 재해특성을 갖기 때문에 두 재해의 특성을 고려한 민감성 지표 데이터베이스 그룹을 나눠 구성한다.

폭염은 기본적으로 태양열에 의한 열기가 영향을 주는 기작을 이해하고 민감성 지표를 선정한다. 폭염은 재해의 근원이 하늘에 있기 때문에 영향이 상→하로 영향을 주며, 지면에 가까울수록 데워진 지표 열이 반사되는 복사열이 발생해 열기가 더해지는 특성이 있다. 따라서 열기에 노출되는 면적이 넓거나, 시간이 길거나, 견딜 수 있는 체력적 한계성이 약한 대상을 민감성 지표에 포함한다.

반대로 홍수는 폭우가 원인이지만, 강한 우박을 동반하지 않는 이상 폭우에 실린 빗방울이 인명과 재산에 직접적 피해를 야기하지 않는다. 폭우에 의해 누적된 강우는 지표면에 집적되어 하→상 방향으로 영향을 주게 된다. 홍수 피해는 물에 잠기는 현상이 피해와 연결되기 때문에 이를 기준으로 민감성 지표를 선정하는 체계를 갖는다.

① 폭염 민감성 지표

폭염에 민감한 지표는 모두 커질수록 민감성이 높게 설명되는 지표들로 구성한다. '인구' 지표에서 영향을 받는 대상이 사람이기 때문에 인구의 분포와 관련해 '총인구', 열에 견디는 능력이 약한 '유아인구', '초등학생 인구', '고령인구'로 구성했다. 건축물 지표는 노출면적과 관계된 '건폐율', '용적률', '지상층수', '주거용 면적'과 단열기준과 관계된 '사용연도'이다. '시설접근성'은 도보를 비롯한 이동시간이 노출시간과 동일함을 고려하여 '어린이집', '유치원', '초등학교'를 포함했고, 치료가 필요할 경우 이동거리를 고려하여 '종합병원', '응급시설', '병원', '보건소'를 포함했다. 마지막으로 폭염 적응능력과 관계되지만 거리가 멀수록 이동에 노출되는 시간이 증가하므로 '생활권 공원'을 포함했다.

② 홍수 민감성 지표

홍수에 민감한 지표는 폭염과 동일하게 증가할수록 민감성이 높게 설명되는 지표들로 구성한다. 홍수 역시 발생할 경우 이동성이 문제가 되므로 '인구' 지표는 사람이 있는 곳에 피해가 발생하므로 '총인구', 이동성에 문제가 되는 '유아인구', '초등학생인구', '고령인구'를 포함했다. 건축물 지표는 침수에 영향을 받는 지표로 '건폐율', '지하층수', '주거용 면적', '사용연도'를 선정했다.

시설접근성은 폭염과 동일하게 홍수 발생 시 이동거리가 멀수록 홍수 피해에 노출될 가능성이 높고 대피시설로서 교육시설이 활용되므로 '어린이집', '유치원', '초등학교'를 포함했고, 치료가 필요할 경우 이동거리를 고려하여 '종합병원', '응급시설', '병원', '보건소'를 포함했다. 홍수가 발생할 경우 지표유출수를 일시적으로 저류하는 기능을 갖는 생활권공원의 떨어진 거리가 멀수록 민감성에 영향을 주기 때문에 '생활권공원'을 포함한다.

3) 현재 적응능력 변수선정 근거

적응능력을 설명하는 지표는 숫자가 커질수록 적응능력이 증가하는 지표로 구성한다. 따라서 해당공간의 경제성과 지형적 영향성을 고려해 반영한다. 경제성을 설명하는

지표로서 ‘공시지가’와 ‘개별주택가격’을 활용한다. 공시지가는 토지의 가치를 의미하고, 개별주택가격은 건축물 중 주거용도 건축물의 가치를 설명하는 지표로서 토지와 주택의 가치로서 재해현상 이후에 복구할 수 있는 경제적 능력을 설명하는 지표이다. 통상적으로 부동산 가치가 낮은 지역일수록 재해이후 정상생활로 복귀하는 시간이 긴 것으로 알려져 있다. 지형적 영향성은 평균해발고도와 차이 값을 활용한다. 평균해발고도 대비 높은 지역일수록 고지대로서 저지대에 비해 홍수의 피해가 적고, 위요된 지형에서 벗어난 지형일 가능성이 높기 때문에 복사열 또는 열의 정체지역에서 벗어나기 용이하다.

[표 3-1] 취약성 설명하기 위해 선정 된 지표유형

구분		지표	공간단위	출처
자연 재해	폭염	4~10월 최고기온 30℃이상 날 수 로그 값이 적용된 4~10월 일사량의 합 열지수 32 이상인 날 수, 열파지속지수(HWDI) 일 최고기온 35℃ 이상 날 수, 체감온도	읍면동	VESTAP https://vestap.kei.re.kr
	홍수	1일 최대 강수량, 5일 누적 강수량 연간 강수량, 80mm/일 날의 수 150mm/일 날의 수		
인구		총 인구, 생산가능인구, 유아인구, 초등학생 인구, 고령인구	100m × 100m 격자	국가공간정보포털 http://www.nsdi.go.kr http://map.ngii.go.kr
건축물		건폐율, 용적률, 주요구조, 주거용도면적, 주요용도, 지상층수, 지하층수, 사용승인연도		
시설접근성		종합병원, 응급의료, 병원, 보건소, 어린이집, 유치원, 초등학교, 생활권공원	500m × 500m 격자	
경제성		공시지가, 개별주택가격	100m × 100m 격자	
지형요소		평균해발고도 대비 고도차		

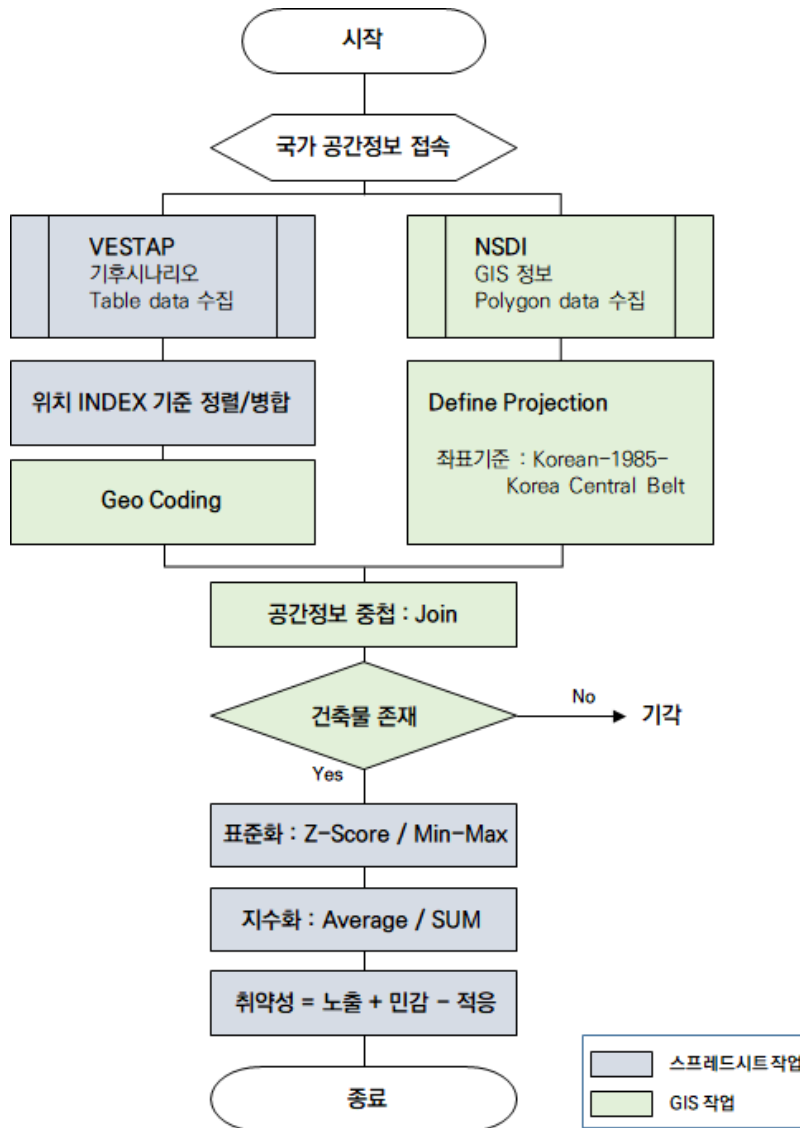
4) 취약성 분석 모형의 기본 구조

① 기본 프레임 설계

현재 건축물과 인구특성을 대상으로 2030년, 2040년, 2050년에 폭염과 홍수의 영향 정도를 동시에 적용함으로써 ‘폭염과 홍수에 모두 위험한 지점(이하: HH그룹)’, ‘폭염만 위험한 지점(이하: HL그룹)’, ‘홍수만 위험한 지점(이하: LH 그룹)’, ‘폭염과 홍수 모두에 안전한 지점(이하: LL 그룹)’으로 4개 유형으로 취약성 분석결과를 100m × 100m 단위 공간마다 값을 도출 할 수 있도록 한다. 미래의 위험성을 살펴보는 것이기 때문에 2030년의 노출값, 2040년 노출값, 2050년 노출값에 1번이라도 취약성이 높은 것으로 도출되는 단위공간을 모두 합한 것을 탄력성을 고려하기 위한 취약성 분석결과로 규정한다.

② 원자료의 표준화를 통한 지표화

VESTAP의 RCP 8.5 시나리오 자료는 각각의 지표자료가 테이블로 구성된 장표 정보로 내려 받게 된다. 따라서 공간정보화하기 위해 행정동 경계가 표현된 공간정보에 지오코딩하는 과정이 필요하다. 공개되어 있는 행정동 경계 지리정보데이터에 각각의 지표값을 하나의 장표로 입력하는 과정을 진행한다. 행정동계에 따라 공간정보로 1차 가공된 미래 기후노출 원자료는 온도값, 지수값, 일수값이 다양한 편차를 갖고 정리된다.



[그림 3-3] 공간 통계정보를 활용한 취약성 분석 모형 기본 설계도

폭염과 폭우 관련 기초정보의 개별 데이터를 대상으로 Z-score 표준화⁶⁾를 시행해 각각의 값들의 편차를 표준화 한다. Z-score 표준화 결과는 음수와 양수가 혼재된 값들로 정리되기 때문에 정량적 편차를 가늠해 해석하기 어렵다. 따라서 모든 값을 0~1사이 값으로 정리해 경향성을 설명할 수 있도록 Min-Max 표준화⁷⁾를 시행해 비율로 측정된 지표로 표현할 수 있도록 정리한다. 0~1사이 값으로 표준화 된 폭염 그룹과 홍수그룹의 지표를 행정동을 기준으로 평균값을 도출한다. 각각의 평균값은 2030년, 2040년, 2050년으로 세분화해 폭염과 폭우의 표준화된 정도 값을 구한다.

$$Z = \frac{Score - Mean}{Standard\ Deviation} \quad \text{수식 3-2 : Z-Score 표준화}$$

$$V_i = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad \text{수식 3-3 : Min-Max 표준화}$$

원자료의 표준화를 통한 지표화 과정은 민감성 설명 원자료, 적응능력 설명 원자료에 공통적으로 적용한다. 결과적으로 본 연구의 취약성 분석에 적용된 변수는 0~1사이 값으로 표준화 되어 지표로 변환된 뒤 사용됐다.

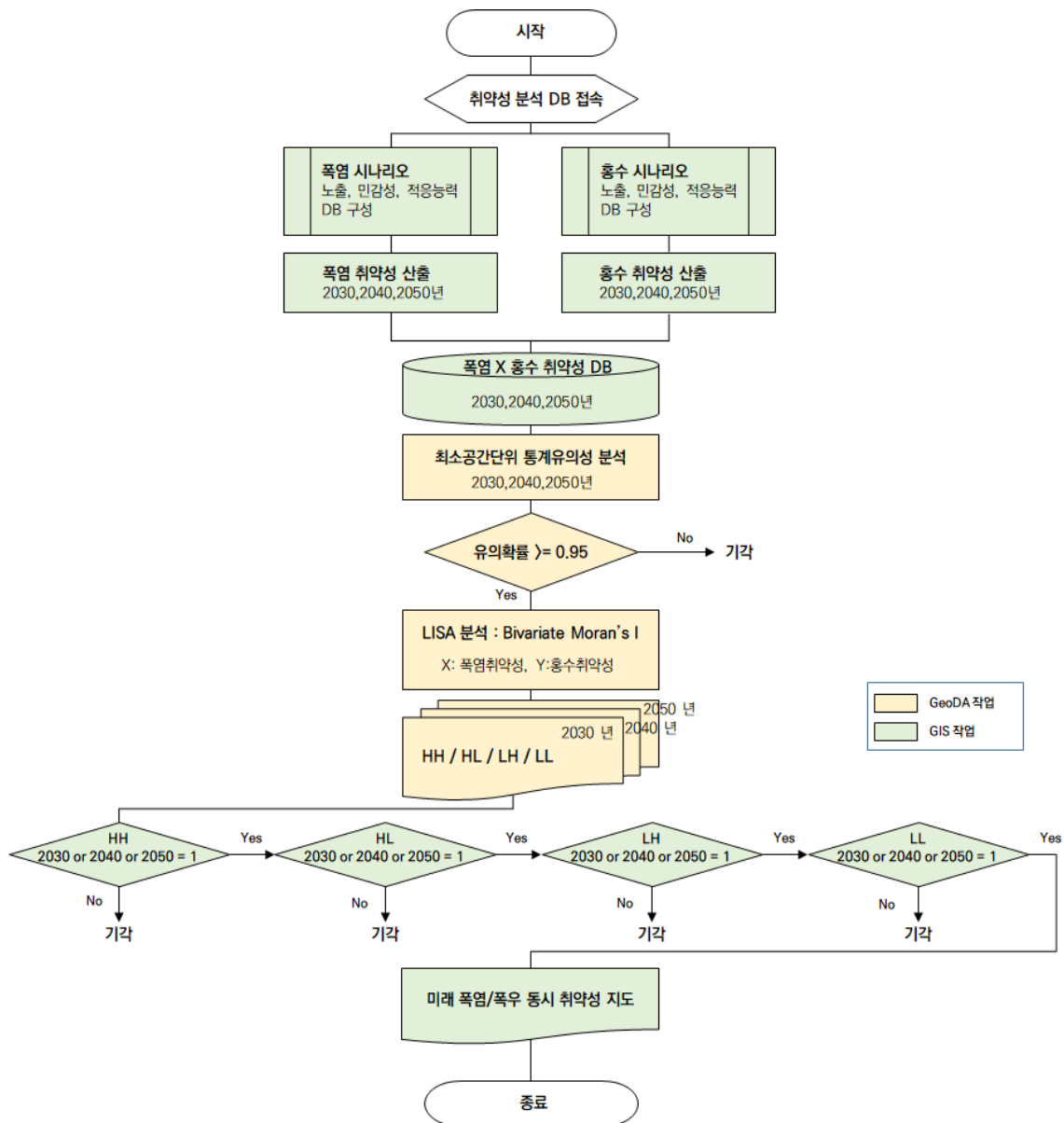
5) 복합 취약성 분석 구조 개념 및 논리구조

□ 복합 취약성 분석 구조의 기본 개념

단일 공간에 복수의 자연재해에 대한 취약성 분석을 위해 두 종류의 취약성 분석 함수를 동시에 적용하는 논리구조가 필요하다. 앞서 민감성 변수선정 근거에서 밝힌바와 같이 폭염과 폭우에 따른 도시홍수가 갖는 피해 특성이 다르기 때문에 차별적인 취약성 분석 함수와 절차가 필요하다. 우선 폭염과 폭우에 따른 도시홍수를 구분해 기후변화 시나리오에 따른 취약성 함수 적용결과를 2030년, 2040년, 2050년 별로 도출한다. 그 결과를 하나의 DB로 구축한 후에 통계적 유의성이 높은 취약성 지수를 도출하고 LISA (Local Indicators of Spatial Association) 분석의 Bivariate Moran's I를 적용해 2개 자연재해에 대한 복합 취약성을 분석하는 논리체계를 구성한다⁸⁾ (그림 3-4).

6) 수식 2 참조

7) 수식 3 참조



[그림 3-4] 미래 폭염과 폭우 취약성을 동시에 공간적으로 파악하기 위한 알고리즘

8) 통계적 유의성과 LISA 분석은 공간통계전문 분석 프로그램인 GeoDA 1.12를 활용한다.

□ 취약성 분석을 위한 적용 함수

폭염과 폭우에 따른 도시홍수 취약성 분석에 활용된 산식은 다음 수식과 같다. 각각 사용된 지표는 0~1 사이 값이 적용되며 값이 커질수록 영향력이 커진다. 즉, 민감성에 해당하는 지표 값이 1에 가까우면 민감성이 높으며, 0에 가까우면 민감성이 낮다. 적응능력에 적용된 지표 또한 동일하나, 적응능력은 전체 모수에 마이너스를 적용해 해당 지표가 커질수록 취약성을 줄이게 된다.

본 연구는 취약성 분석에 각 지표별 가중치를 적용하지 않는다. 최댓값이 1인 지표가 다수 적용되어 기후노출에 대한 노이즈가 발생할 수 있기 때문에 부문별 지표의 평균값을 통해 노이즈를 낮추는 방법을 시행했다. 이와 달리, 통상적으로 취약성 산출에는 가중치를 적용해 개별 변수의 영향력을 보정한다. 하지만 가중치를 결정하는 방법으로 전문가 설문 등을 활용하는데 전문가 집단의 일관성을 유지할 수 없게 되어 매번 다른 가중치가 적용될 수 있다. 결과적으로 취약성 분석의 일관성과 객관성을 잃을 수 있는 위험성이 있다. 따라서 본 연구에서는 복합 취약성 분석의 기준과 틀을 잡기 위한 목적으로 각각의 표준화된 지표가 갖는 그대로의 영향력을 살피고, 취약성 분석의 틀을 구성하는데 연구의 한계를 정한다. 향후 본 분석의 틀을 활용해 가중치에 따른 보정을 할 수 있다.

폭염 피해는 태양 직사광선의 노출 시간에 따라 위험성이 높아진다. 따라서 노출시간과 면적을 고려한 지표를 민감성 지표에 포함한다. 인구 지표는 폭염에 노출되고 취약한 집단을 종합하고, 건축물 지표는 건물의 클수록 폭염 노출 면적이 커지므로, 건폐율과 용적률, 주거면적을 민감성 지표에 포함하고, 단열성능은 새로 지어진 건축물이 높으므로 사용연한이 클수록 민감성이 높아지는 것으로 반영했다. 병원시설은 이동거리가 멀수록 폭염 위급 상황에 대응이 어려워지게 되므로 민감성에 포함한다. 교육시설과 공원은 시설 이용을 위해 이동하는 거리가 멀수록 폭염 노출시간이 길어지므로 민감성에 반영했다. 적응능력은 생산가능인구, 지하층수, 지형적 영향을 고려한 해발고도 차, 재해 취약성을 극복할 수 있는 경제력을 고려한 주택가격과 공시지가를 반영했다.

$$V_{heat} = E_{HY} + \left[\frac{(P_{all} + P_b + P_e + P_o)}{4} + \frac{(B_{CR} + B_{FAR} + B_{RA} + B_F + B_{Age})}{5} \right. \\ \left. + \frac{(H_{GH} + H_{EM} + H_H + H_{PH})}{4} + \frac{(E_{DC} + E_K + E_E + P_{park})}{4} \right] \\ - \left[\frac{(P_p + B_{UF} + L_{gap} + C_H + C_L)}{5} \right]$$

수식 4 미래 폭염 취약성 지수 산출식

$$V_{flood} = E_{FY} + \left[\frac{(P_{all} + P_b + P_e + P_o)}{4} + \frac{(B_{CR} + B_{RA} + B_{UF} + B_{Age})}{4} \right. \\ \left. + \frac{(H_{GH} + H_{EM} + H_H + H_{PH})}{4} + \frac{(E_{DC} + E_K + E_E + P_{park})}{4} \right] \\ - \left[\frac{(P_p + B_F + B_{FAR} + L_{gap} + C_H + C_L)}{6} \right]$$

수식 5 미래 홍수 취약성 지수 산출식

• 변수설명

- V_{heat} : 폭염취약성, V_{flood} : 홍수취약성
- E_{HY} : 미래연도별 폭염 기후노출 지표, E_{FY} : 미래연도별 홍수 기후노출 지표
- P_{all} : 총인구지표, P_b : 유아인구지표, P_e : 초등학생인구지표, P_o : 고령인구지표
 P_p : 생산가능인구지표
- B_{CR} : 건폐율지표, B_{FAR} : 용적률지표, B_{RA} : 주거용면적지표, B_F : 지상층수지표,
 B_{UF} : 지하층수 지표, B_{Age} : 사용연한지표,
- H_{GH} : 종합병원 접근성 지표, H_{EM} : 응급의료시설 접근성 지표, H_H : 일반병원 접근성
지표, H_{PH} : 보건소 접근성 지표
- E_{DC} : 어린이집 접근성 지표, E_K : 유치원 접근성 지표, E_E : 초등학교 접근성지표
- P_{park} : 생활권공원 접근성 지표
- L_{gap} : 평균해발고도와 차이 지표
- C_H : 개별주택가격 지표, C_L : 공시지가 지표

도시홍수 피해는 배수시스템의 역류로 인해 낮은 곳부터 피해를 유발하는 것을 전제로 취약성 분석 함수식을 구성했다. 인구 지표는 폭염과 동일한 목적으로 일반피해자와 취약계층 피해자를 대상으로 적용한다. 홍수시 건축물은 넓고 지하층이 많을수록 피해가 크다. 사용연한이 오래된 건물일수록 배수시스템의 노후화에 따른 피해를 받을 가능성이 높으므로 민감성에 적용한다. 병원과 교육시설, 공원 접근성은 폭염과 동일한 이유를 적용한다. 적응능력은 재해극복 능력을 갖고 있는 생산가능인구, 높은 층수와 용적률은 홍수시 대피를 할 수 있는 공간을 확보하고, 상대적으로 건축물의 규모 대비 피해비용을 적게 가져갈 수 있다. 고도가 높을수록 상류지역에 해당하므로 도시홍수피해가 적을 것으로 볼 수 있고 취약성 극복을 위한 경제력을 고려해 주택가격과 공시지를 적용했다.

3. 자연재해 복합 취약성 분석 및 결과

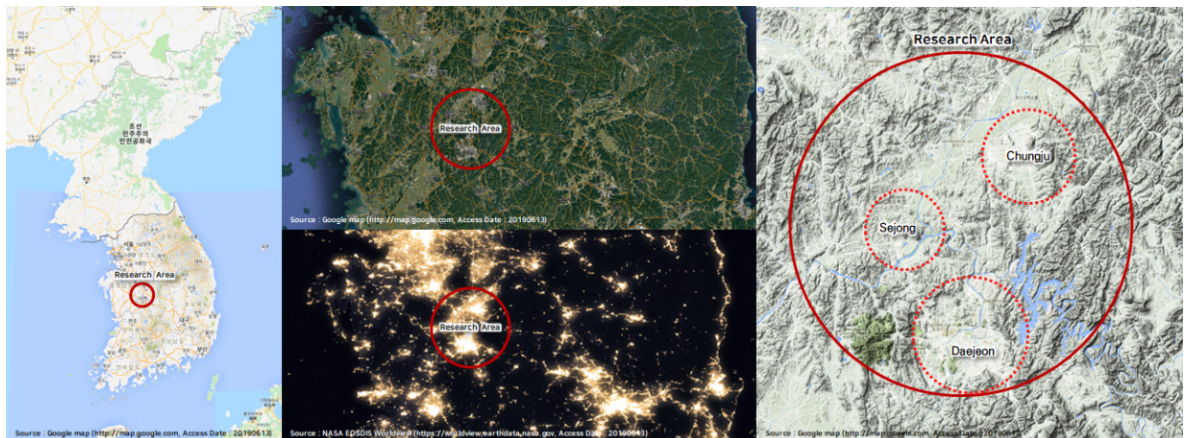
1) 연구범위

□ 시간적 범위

본 연구의 시간적 범위는 정책적 시의성을 고려하여 최근5년(2014-2018)으로 한다. 미래 기후변화 시나리오를 본 연구에 활용하였으므로 미래에 대한 시간적 범위는 2030년, 2040년, 2050년을 포함한다.

□ 공간적 범위

공간적 범위는 하절기 대표적 재난재해인 폭염과 홍수가 최근 발생해 인명피해가 난 지역 중 최근 행정중심복합도시 건설로 대규모 신도시가 조성중인 중부권역의 인구밀집지역으로 선정했다. 중부권역의 동서 축선 상에 해당하는 충청남도, 대전광역시, 충청북도, 경상북도 지역 중에서 인구가 약 265만 명이 밀집되어 도시 연담화가 진행 중인 ‘대전-세종-청주시’ 권역을 공간적 범위로 한다.



[그림 3-5] 연구 공간적 범위 : 대전광역시-세종특별자치시-청주시 권역

출처 : Google map (<http://map.google.com>, 접속일자 : 2019.6.13.), NASA EOSDIS Worldview (<https://worldview.earthdata.nasa.gov>, 접속일자 : 2019.6.13)

해당 권역은 2014년 청원군과 청주시가 통합되고, 2012년 세종특별자치시가 출범되고 행정중심복합도시가 신도시로 건설되면서 기존에 청주시, 대전광역시의 2대 도시핵에서 신규 도시핵이 추가되어 중부권역에 3대 도시핵이 형성되었다. 이 권역은 각각의 도시 중심지간 거리가 직선거리 기준 20~30km에 불과하며, 세종시의 도시핵의 성장으로 인해 우리나라에서 인구변화가 활발한 지역 중 하나다. 또한, 각 도시핵의 간선교통망을 중심으로 도시 기능이 확장될 것으로 전망되므로 기후변화 시나리오에 따른 취약성을 고려한 도시변화를 고찰하기에 적절한 공간으로 사료된다.

[표 3-2] 연구 범위 개요

연구범위	구분	범위
시간적 범위	기후변화 미래 시나리오	IPCC RCP 8.5 시나리오 ⁹⁾ 기준 2030년, 2040년, 2050년
	활용데이터 집계시점	2014.1 ~ 2018. 12월 기준
공간적 범위	광역권역	대전광역시-세종특별자치시-충청북도 청주시
	권역현황	면적 : 1,945.23km ² 인구 : 2,656,345 명
	대전광역시 ¹⁾	면적 : 539.53 km ² 인구 : 1,484,398 명 (19.05 현재)
	세종특별자치시 ²⁾	면적 : 464.9 km ² 인구 : 319,066 명 (19.05 현재)
	충북 청주시 ³⁾	면적 : 940.8 km ² 인구 : 852,881 명 (19.05 현재)
현상적 범위	폭염	4~10월 최고기온 30℃이상 날 수, 4~10월 일사량의 합, 열지수 32이상 날 수, 열파지속지수 (HWDI), 일 최고기온 35℃ 이상 날 수, 체감온도, 관련 언론 보도자료
	홍수	1일 최대 강수량 (mm), 5일 누적강수량, 연간강수량, 80mm/일 날의 횟수, 150mm/일 날의 횟수 관련 언론 보도자료

출처 1) 대전광역시청 홈페이지, www.daejeon.go.kr, (검색일: 2019.6.13.)

2) 세종특별자치시청 홈페이지, www.sejong.go.kr, (검색일: 2019.6.13.)

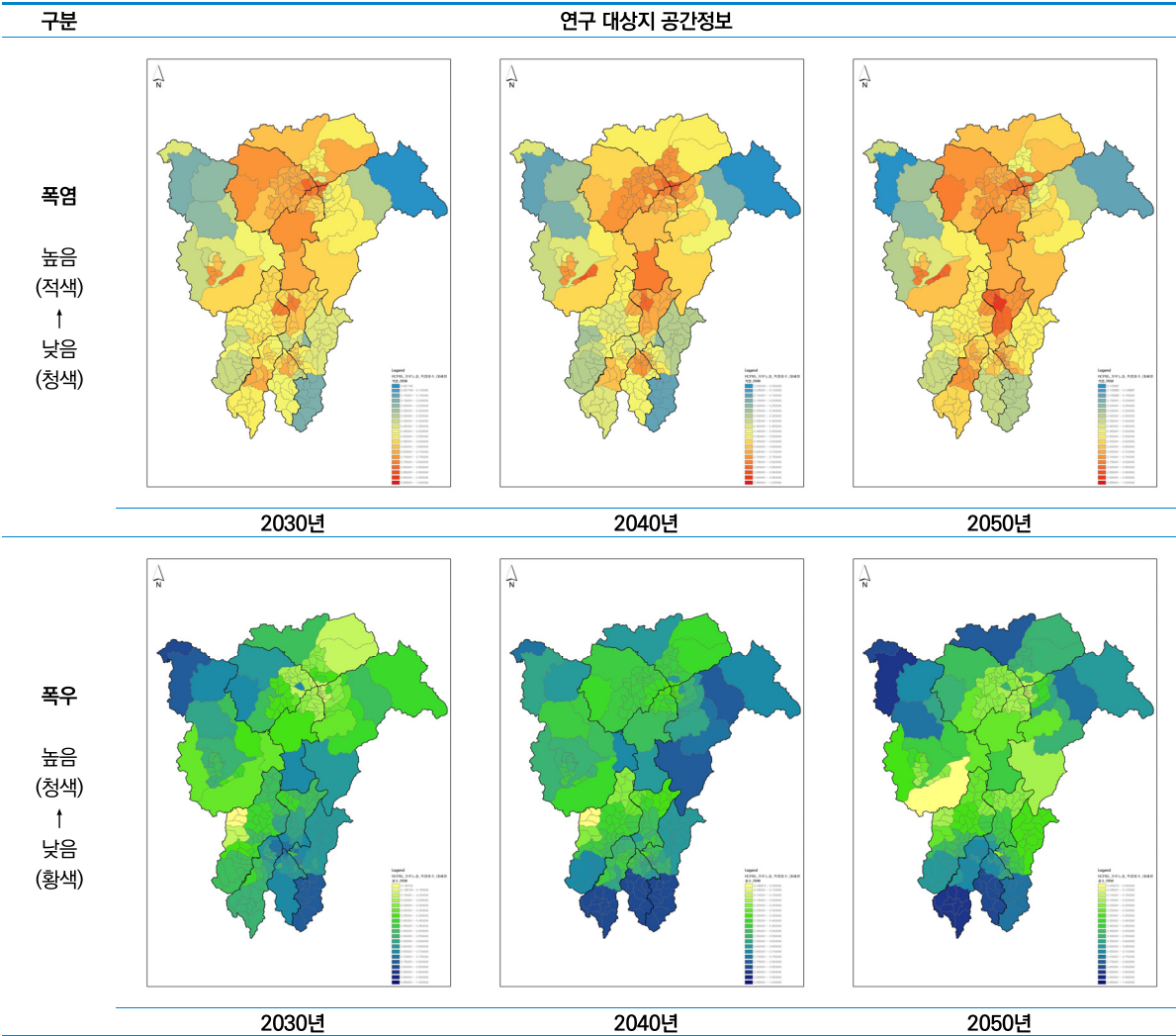
3) 청주시청 홈페이지, www.cheongju.go.kr, (검색일: 2019.6.13.)

9) IPCC 5차 평가보고서(AR5, 2013)에서는 대표농도경로 RCP(Representative Concentration Pathways)를 새로운 시나리오로 사용하며, RCP 시나리오는 최근 온실가스 농도변화 반영 및 최근 예측모델에 맞게 해상도 등을 업데이트 하였다. IPCC 5차보고서에서는 인간 활동이 대기에 미치는 복사량으로 온실가스 농도를 정한다. RCP 8.5시나리오는 현재 추세로 온실가스가 배출되는 경우(BAU 시나리오 임(출처 : 국토환경정보센터. <http://www.neins.go.kr/ltr/ccas/ccas04.asp>(검색일 : 2019.10.02))

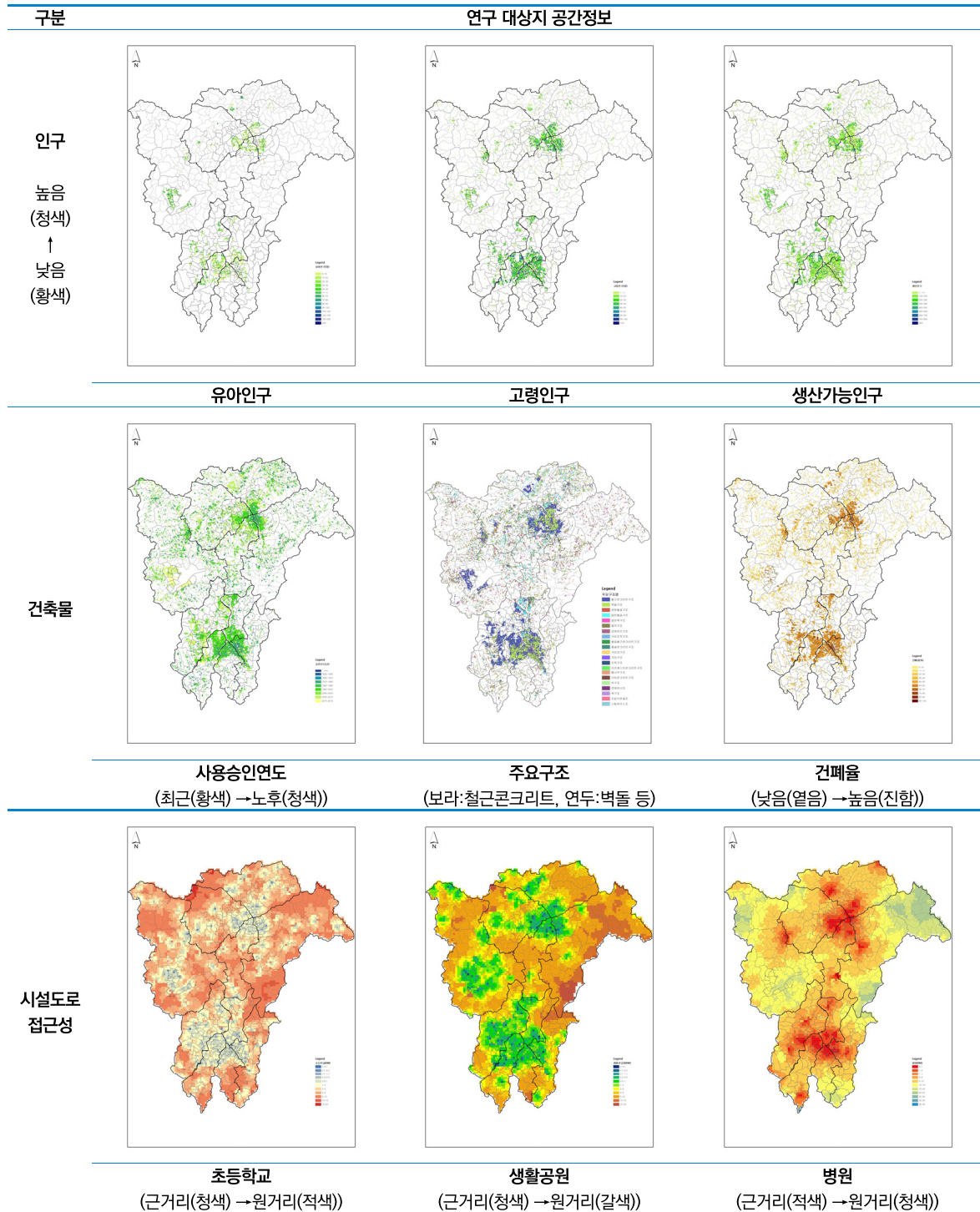
2) 취약성 분석에 적용된 기초 공간정보 현황

연구대상지의 100m × 100m 격자공간의 개수는 196,561개 이다. 이 중 건축물이 존재하는 격자공간의 개수는 38,523개다. 건축물이 존재한 단위공간 (1ha)이 38,523개에 각각의 시나리오 6개(폭염: 2030년, 2040년, 2050년, 폭우 : 2030년, 2040년, 2050년)가 입력되면 231,138개의 데이터가 생성된다. 해당 결과를 얻기 위해 취약성 분석에 사용되는 기초자료는 총 약 288만개 이상의 데이터가 활용된다. 아래 모든 도면에서 서쪽은 세종특별자치시, 동쪽은 청주시, 남쪽은 대전광역시이다.

[표 3-3] 취약성 분석에 적용된 연구대상지 미래 기후노출 공간정보



[표 3-4] 취약성 분석에 적용된 연구대상지 주요 공간정보 : 인구, 건축물, 시설

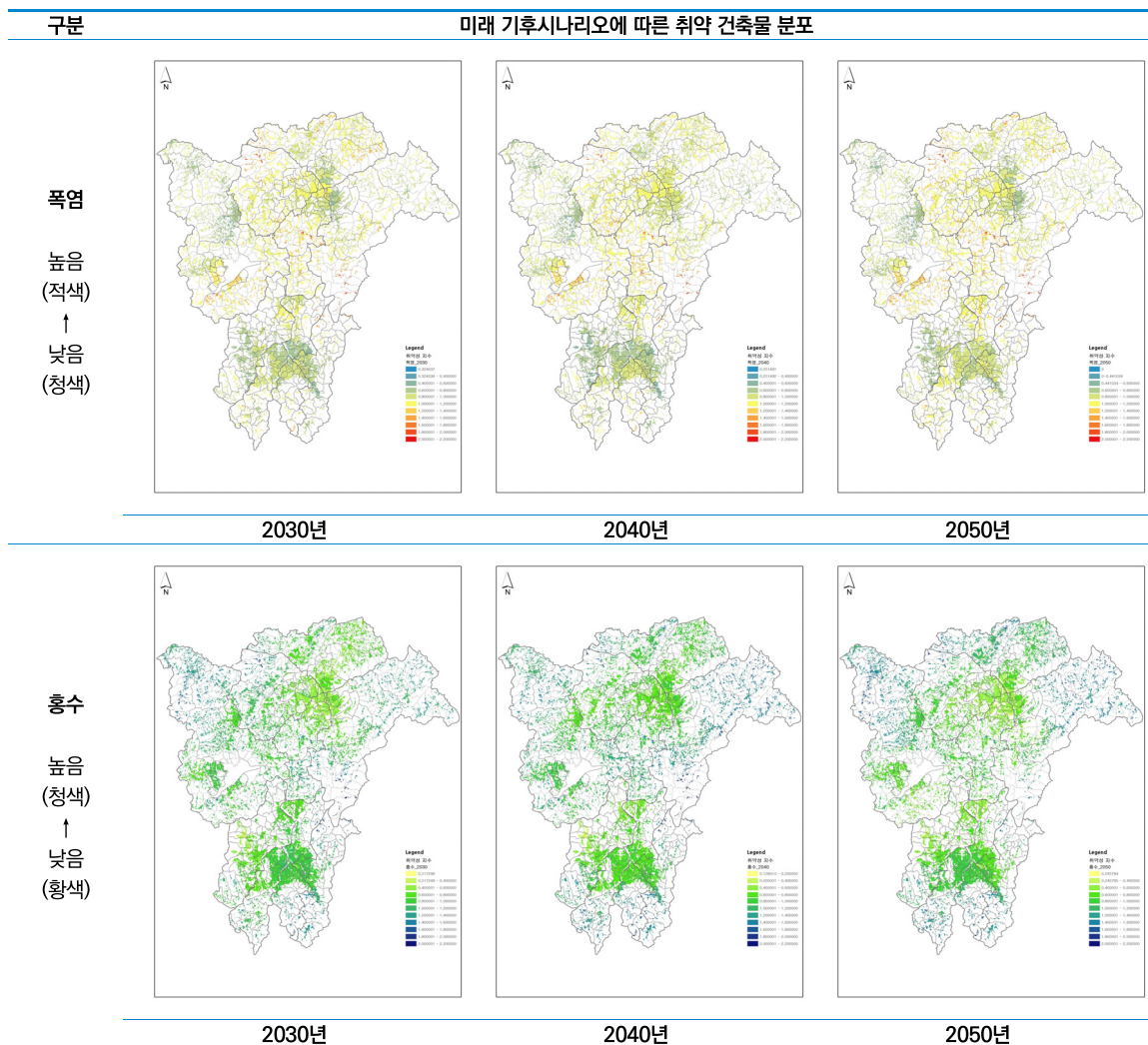


3) RCP 8.5 시나리오에 따른 폭염 및 폭우 취약성 분석결과 도출

□ 1단계 : 시나리오와 재해 유형별 취약성 진단

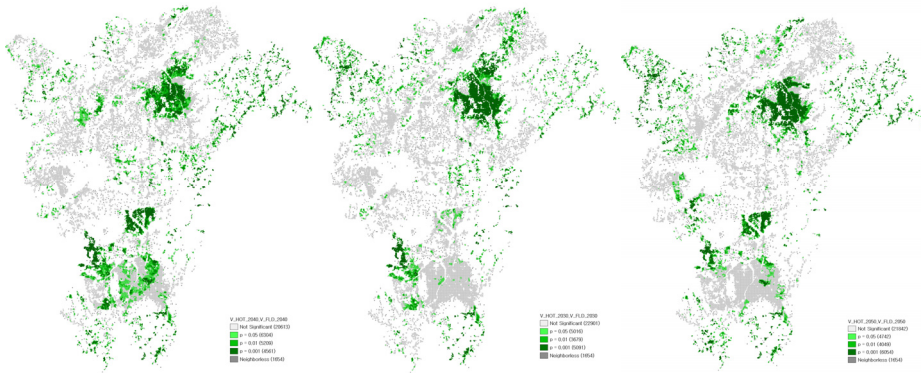
복합 취약성 분석 전단계로서 폭염과 홍수 취약성을 취약성 분석 알고리즘에 적용시키면 건축물이 속한 위치별로 폭염 취약성과 홍수취약성을 도출 할 수 있다. 공간 기준은 건축물이며, 입력된 민감성과 적응능력 지표는 2018년 기준이다. 여기서 가변적인 요소는 기후노출지표로서 폭염과 폭우의 2030년, 2040년, 2050년 시나리오 값이 각각 적용되어 미래 기후노출에 따라 현재 도시공간이 갖는 취약성 변화를 도출한다.

[표 3-5] 미래 기후 시나리오에 따른 폭염과 홍수 취약성 분석의 공간정보 결과



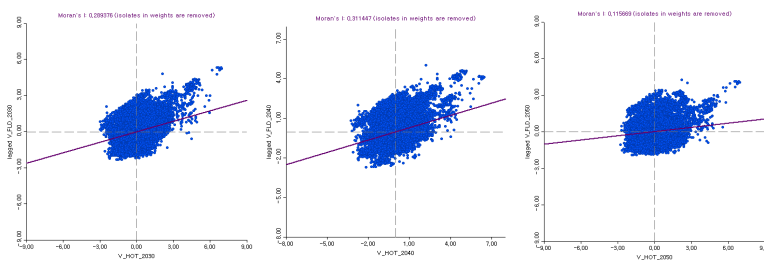
□ 2단계 : 복합재해 취약성 결과 도출

1단계에서 작성된 폭염과 홍수 개별 취약성을 병합하는 과정을 2단계에 시행한다. 병합 전(前)단계에서 각 단위공간의 통계적 유의성을 높이기 위해 단위공간의 취약성 지수 집합을 정규분포곡선에 반영해 신뢰도 95% 구간에 포함되는 단위공간만 최종데이터로 활용한다. 이때 각 연도별 정규분포 곡선이 달라지기 때문에 신뢰도 95% 구간에 포함되는 단위공간 또한 연도별 차이를 갖는다. 본 연구에서는 복합재해 취약성의 최대한의 가능성을 기증해보는 것이 목적이므로 1회 이상 신뢰구간에 들어온 단위공간을 결과도출에 활용한다.



[그림 3-6] 신뢰구간 95%에 해당하는 취약성 지수가 반영된 단위공간의 분포 : 2030(좌), 2040(중), 2050(우)

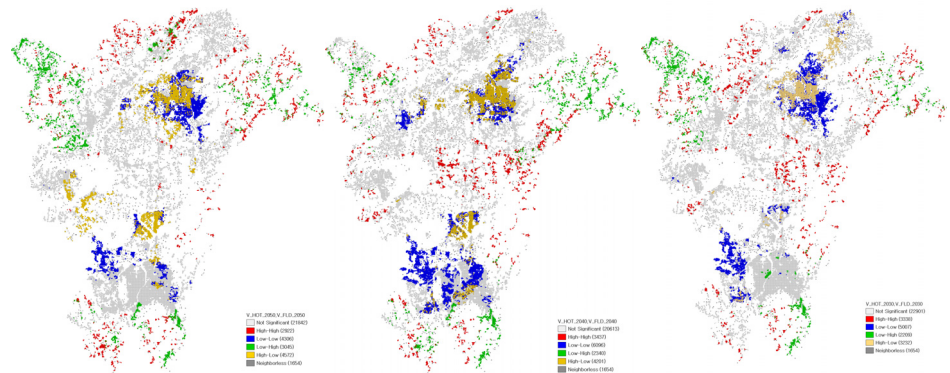
LISA 분석으로서 Bivariate Moran's I를 적용하면 2차원 함수 좌표가 구성된다. X 축은 폭염, Y축은 홍수의 취약성이 되며 축의 교차점은 0,0이 된다. 따라서 우측으로 갈수록 폭염 취약성이 높고, 위 방향으로 갈수록 홍수 취약성이 높게 된다. 본 취약성 진단에 사용된 1ha 단위 최소 공간은 38,523개이다. 복합 취약성은 최소공간단위들이 2차원 좌표의 위치를 기준으로 판정한다.



[그림 3-7] 폭염취약성과 홍수취약성의 Moran's I 분포 : 2030(좌), 2040(중), 2050(우)

Moran's I 분석결과를 보면 단위집단 모두 군집특성을 나타낸다. 군집의 추세를 설명하는 함수의 기울기를 보면 0에 가깝게 도출되어 폭염과 홍수는 상호 변수간 공간적 자기상관성에 적고 무작위성이 높은 경향성을 갖는 것으로 해석할 수 있다. 즉, 폭염과 홍수는 공간은 동일하지만, 폭염과 홍수가 상호 영향을 주는 관계가 아님을 확인할 수 있다. 따라서 폭염과 홍수에 대한 탄력적 도시설계 방안은 독립적으로 구상해도 무방하다 할 수 있다.

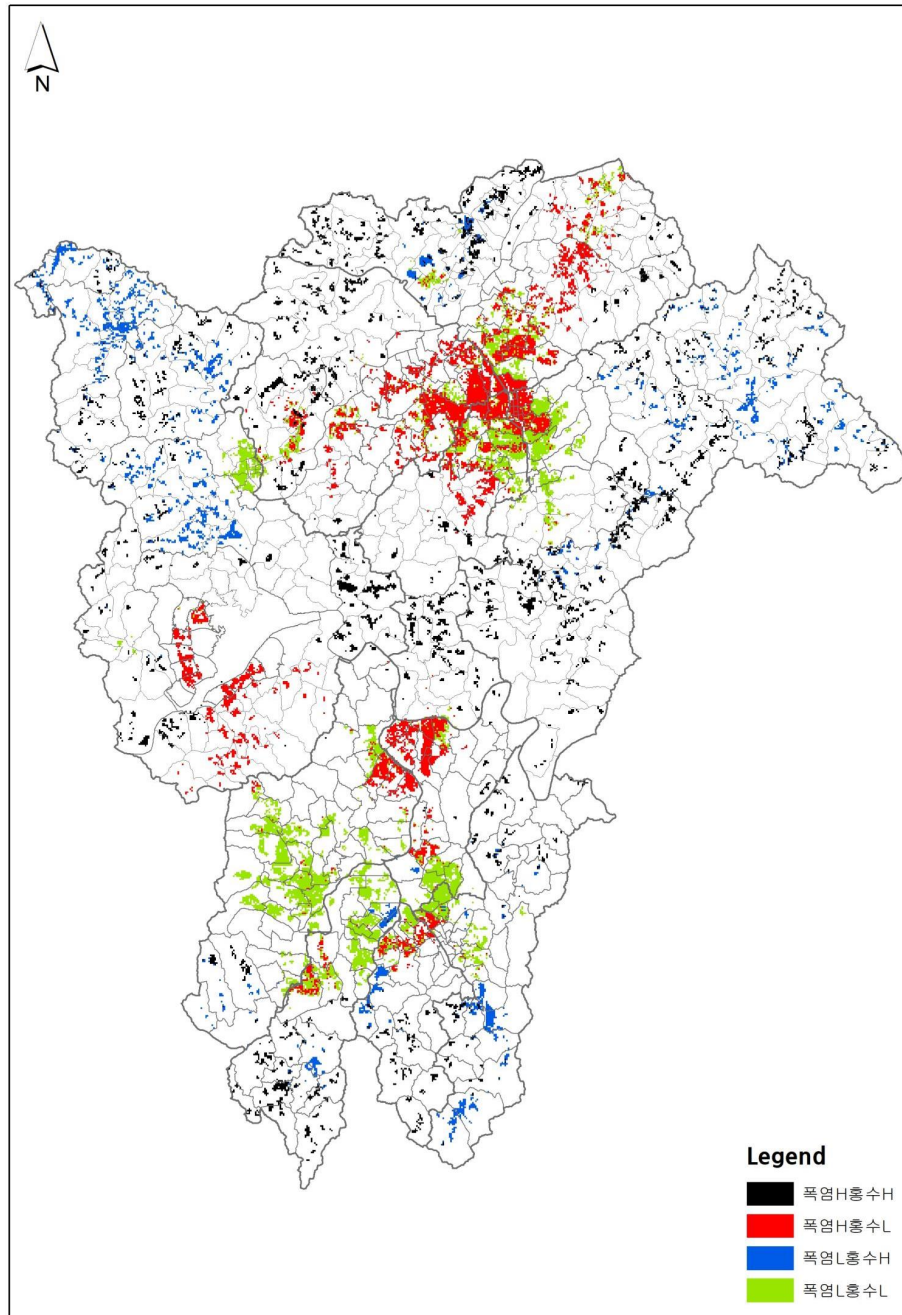
그림 3-8은 Moran's I 사분면으로 구분한 취약특성이 공간적으로 설명된 결과이다. 그림 3-8의 근거는 그림 3-7의 2차 함수좌표에 위치한 개별 값들이다. X축은 폭염, Y축은 홍수취약성이다. 1사분면은 모두 양의 결과로서 폭염, 홍수 둘 다 높음(HH)으로 정리되며, 2사분면은 폭염은 낮고 홍수는 높은 집단(LH)으로 정리된다. 3사분면은 취약성이 모두 낮음(LL)로 설명되고, 4사분면은 폭염은 높고 홍수는 낮은 (HL) 특성을 갖는 집단으로 설명가능하다.



[그림 3-8] 연도별 LISA 분석 결과

HH(적색 : 폭염&홍수 취약), HL(갈색 : 폭염취약), LH(녹색 : 홍수취약), LL(청색 : 폭염&홍수 취약성 낮음)

그림 3-8의 연도별 취약성 값을 모두 합해 정리하면 2030년, 2040년, 2050년의 폭염과 홍수취약성 특성을 동시에 반영한 건축물 중심의 위치 정보가 그림 3-9와 같이 표현 가능하다. 이 분포지도는 폭염과 홍수에 모두 취약한 지점(HH 그룹), 폭염에 취약한 지점(HL 그룹), 홍수에 취약한 지점(LH 그룹), 폭염과 홍수에 모두 취약하지 않은 그룹(LL 그룹)으로 유형화 가능하며 각 유형이 공간적으로 어디에 분포하는지 직관적으로 확인할 가능하다.



[그림 3-9] 폭염과 홍수대상 복합 취약성분석 지도

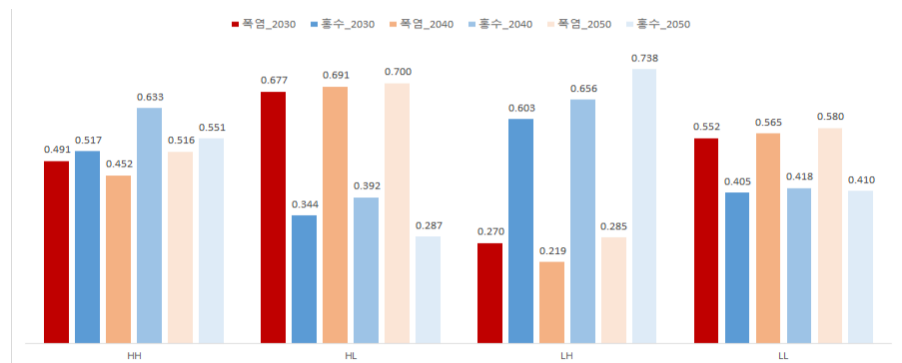
4. 탄력성 활용을 위한 취약성 결과 해석

1) 취약성 결과에 따른 일반특성 해석

탄력적 도시설계에 활용하기 위해서 취약 유형이 표시된 위치 정보도 중요하지만, 어떤 점이 취약성을 유발하고 있는지에 대한 해석이 뒷받침되어야 한다. 개별적인 지점의 취약성을 판단하기에 앞서 복합취약성에 따른 대푯값을 파악함으로써 특정 지점의 취약성 개선의 방향을 설정하는데 참고할 수 있도록 해야 한다. 따라서 복합 취약그룹의 특성을 기술통계를 통해 해석함으로써 탄력적 도시설계를 위한 기초방안을 마련하는 아이디어를 제시하고자 한다. 본 기술통계에 적용된 취약성 진단 결과 값은 전체 38,523개 단위공간 중에 25,467개(66.1%)가 사용되었다.

□ 취약그룹별 복합재해 노출지표 해석

그림 3-10은 취약성 분석결과 설정한 4개 그룹의 복합재해 노출지표를 평균값으로 재해석 한 결과이다. 폭염과 홍수 모두 취약한 HH 그룹(이하: HH 그룹)은 총 5,497개 단위공간이 포함되었다. 이 그룹은 폭염과 홍수의 노출 지수가 큰 편차 없이 동일한 수준으로 집계되었고, 평균이 0.5 내외에서 노출 정도가 설명되었다. 폭염 취약성이 높은 HL 그룹(이하: HL 그룹)은 총 7,144개 단위공간이 집합을 이루고 있다. 폭염 노출 지수가 0.6~0.7 범위에서 평균값이 도출 된 반면, 홍수 노출 은 0.3 범위에서 평균값이 도출되어 폭염대비 홍수노출이 높은 것으로 나타났다.

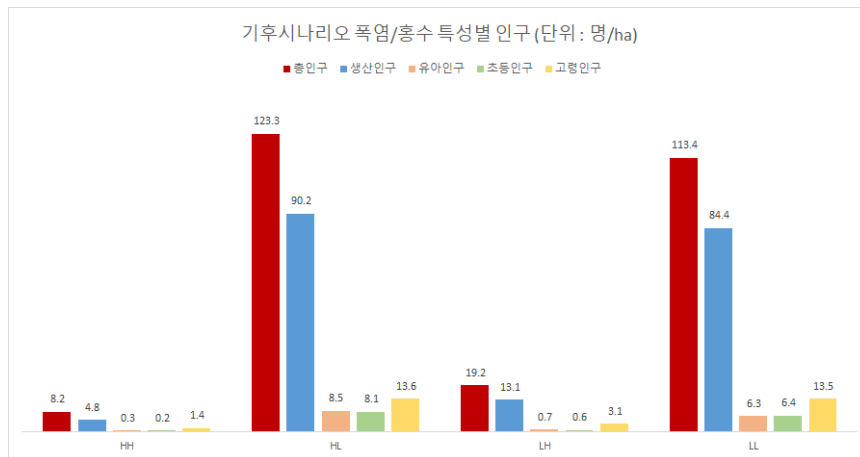


[그림 3-10] 취약성 그룹별 자연재해 노출지수의 경향성 비교

홍수취약성이 높은 LH 그룹(이하: LH 그룹)은 4,000개의 단위공간이 해당되었다. 이 그룹은 폭염에 대한 노출 지수가 0.3 이하에서 평균을 이루고 있고, 홍수에 대한 노출 지수가 0.6~0.7을 상회하는 평균값 차이를 나타내고 있어 그룹의 성격을 잘 설명하고 있다고 해석이 가능하다. 마지막으로 취약성 지수가 모두 낮은 곳으로 분류된 LL 그룹(이하: LL그룹)은 8,826개 단위공간으로 구성되었다. 폭염에 대한 노출 지수 평균이 0.55점대, 홍수에 대한 지수가 0.4점대로 비해 다소 높게 형성되었다.

□ 그룹별 인구특성 해석

취약성 그룹별 인구특성을 그림 3-11과 같이 인구밀도로 해석했다. ‘대전-세종-청주’ 권역에는 HL 그룹과 LL 그룹에 많은 인구가 밀집되어 살고 있는 것으로 해석할 수 있다. HH는 인구밀도가 상대적으로 가장 낮은 그룹에 해당되었다. 홍수 취약성이 높은 LH 그룹이 그보다 약간 높은 인구밀도를 보였지만, HL와 LL 그룹에 비해 적은 수의 인구가 거주하는 것으로 확인됐다. 이 권역은 폭염 취약지역의 고령인구와 유아, 초등학생 인구 밀도가 타 그룹에 비해 높게 나타나고 있다. 따라서 폭염에 대해 취약계층의 관리가 집중적으로 필요가 있다.

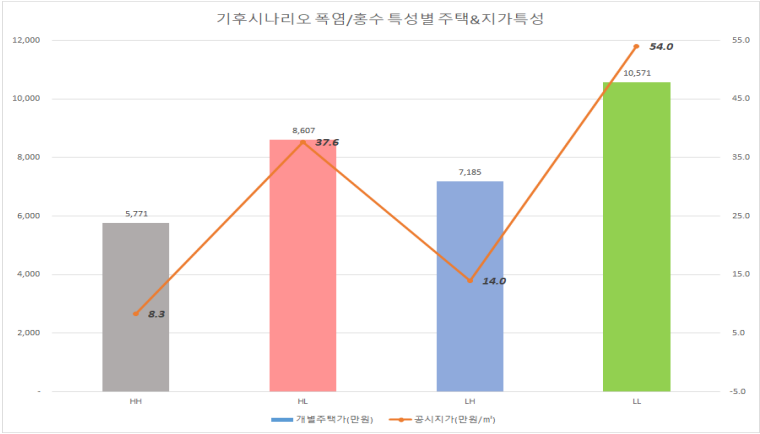


[그림 3-11] 취약성 그룹별 인구특성 비교

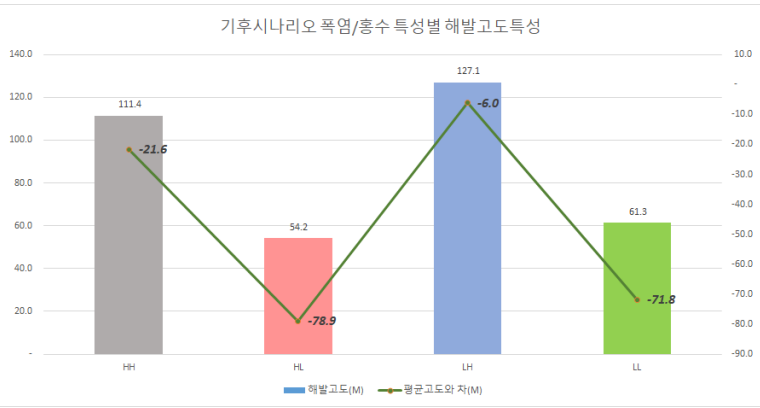
□ 그룹별 경제적 및 지형적 특성

취약성 그룹에 따라 경제력을 간접적으로 확인할 수 있는 개별주택가격과 공시지가의 평균가격을 비교했다. 폭염과 홍수 취약성이 모두 높은 HH 그룹이 평균 개별주택가격과 평균 m^2 당 공시지가 제일 낮은 것으로 분석 되었고, 상대적으로 모든 취약성이 낮은 LL그룹이 높은 평균 개별주택가격과 공시지가 값을 보이고 있었다.

폭염과 홍수의 지형적 영향을 설명하기 위해 단위공간의 해발고도와 연구대상지 전체 권역의 평균 해발고도의 차를 살펴보았다. HL 그룹과 LL 그룹의 해발고도가 낮은 것으로 설명되고 있고, 평균 해발고도와 격차가 크게 나타나는 반면, HH 그룹과 LH 그룹은 해발고도가 높은 곳에 대체적으로 높은 곳에 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 3-12] 취약성 그룹별 개별주택 및 공시지가 경향성 비교



[그림 3-13] 취약성 그룹별 해발고도 특성 비교

2) 탄력적 도시설계 반영을 위한 건축 관련 지표 해석

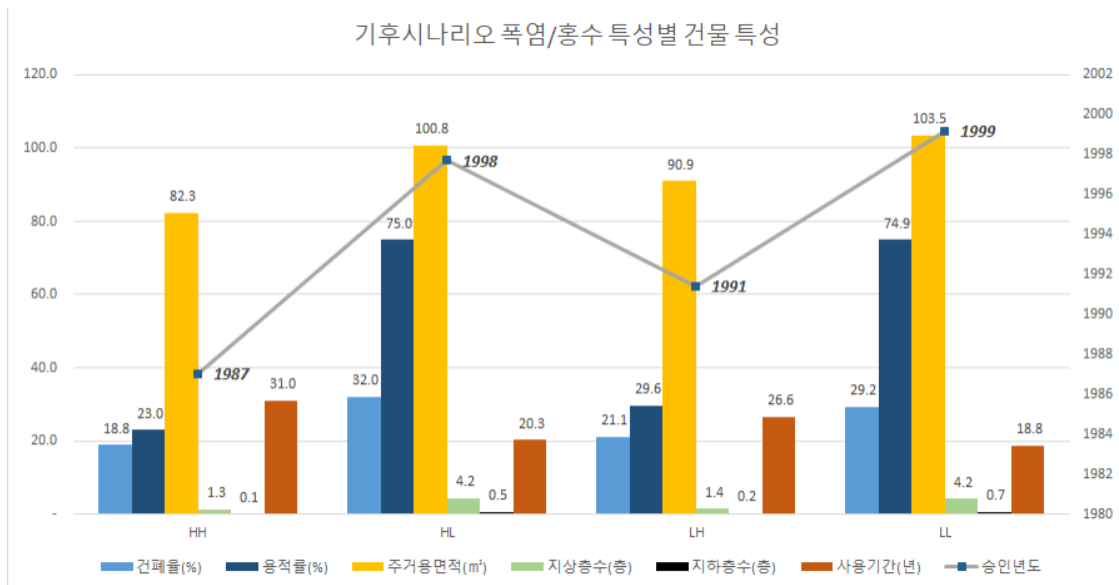
탄력성을 고려한 도시설계적 해법과 연계성을 파악하기 위해 취약그룹별 건축물과 대표적 공공시설의 특성을 정리했다. 건축물의 특성은 건폐율, 용적률, 주거용 면적, 지상층수, 지하층수, 사용기간, 승인년도, 주요구조, 주요용도를 분석했다. 공공시설의 특성은 접근성을 중심으로 정리했다. 그룹별로 특성을 정리하면, 다음과 같다.

□ 그룹별 건축물의 특성

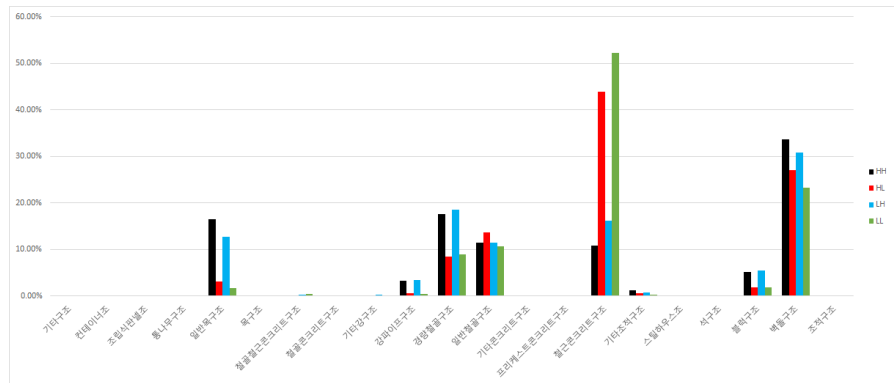
HH 그룹은 건폐율과 용적률이 20%대로 저층 소형건축물의 특징을 나타낸다. 평균 층수 또한 1.3층으로 산출되었다. 주거용면적은 82㎡로 4개 그룹 중 가장 작은 면적을 나타냈다. 평균 건축물의 사용기간은 31년이고 평균 사용승인년도는 1987년으로 정리되었다. HH 그룹의 건축물은 소형 노후건축물로 설명이 가능하며, 주요 구조로는 벽돌구조가 가장 많았으며, 일반목구조와 경량철골조 등이 뒤를 이었다. 주요 용도는 단독주택이 대부분이다.

HL 그룹은 건폐율이 32%, 용적률이 75%대로 고층건물이 주류를 이루며, 평균층수 4.2층 지하층수 0.5층, 사용기간은 20.3년, 평균 주거용면적은 100.8㎡이며, 평균 사용승인년도가 1998년으로 HH 그룹에 비해 11년이 낮았다. 주요 구조는 철근콘크리트 구조가 대부분이며, 벽돌구조와 일반 철골조가 뒤를 이었다. 주요 용도는 단독주택이 가장 많았으며, 공동주택, 제2종, 제1종 근린생활시설, 공장시설로 순으로 분석 되었다.

LH 그룹은 건폐율이 21.1%, 용적률이 29.6%로 HH 보다는 규모적으로 큰 건축물로 평균층수는 1.4층, 사용기간은 26.6년 사용승인년도는 평균 1991년, 주거전용면적은 90.9㎡로 분석됐다. 주요구조는 벽돌구조와 경량철골구조, 철근콘크리트구조, 일반목구조 순이었으며, 주요용도는 단독주택과 제2종 근린생활시설이 주를 이루고 있다.

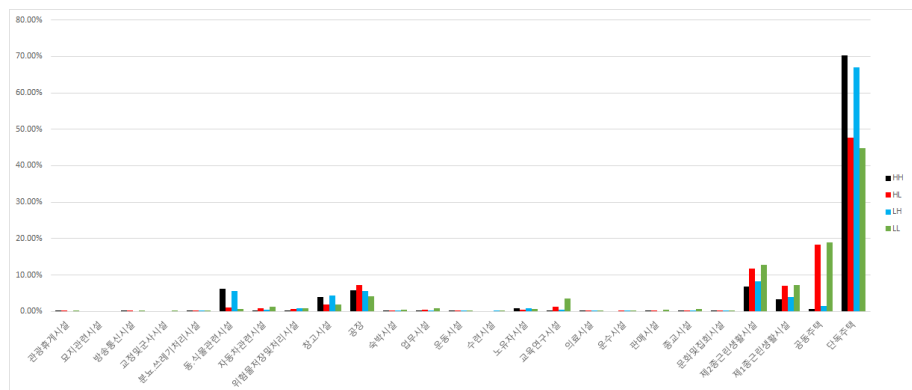


[그림 3-14] 취약성 그룹별 건축물 특성 비교



[그림 3-15] 취약성 그룹별 건축물의 주요구조 비교

LL 그룹은 건폐율이 29.2%, 용적률이 74.9%로 대지내 공지가 다소 넓은 고층건축물이 주를 이루고 있는 것으로 해석된다. 평균 층수는 4.2층, 사용기간은 18.8년으로 4개 그룹 중에서 가장 짧은 사용기간을 나타냈다. 평균 사용승인 연도 또한 1999년으로 가장 최근에 지어진 건축물의 비율이 높은 것으로 해석된다. 평균 주거전용면적은 103.5㎡로 주거용 면적이 가장 높게 분석됐다. 주요구조는 철근콘크리트 구조가 압도적으로 많았으며, 벽돌구조와 일반 철골구조가 뒤를 이었다. 주요용도는 단독주택, 공동주택, 제2종 근린생활 순으로 집계되었다.

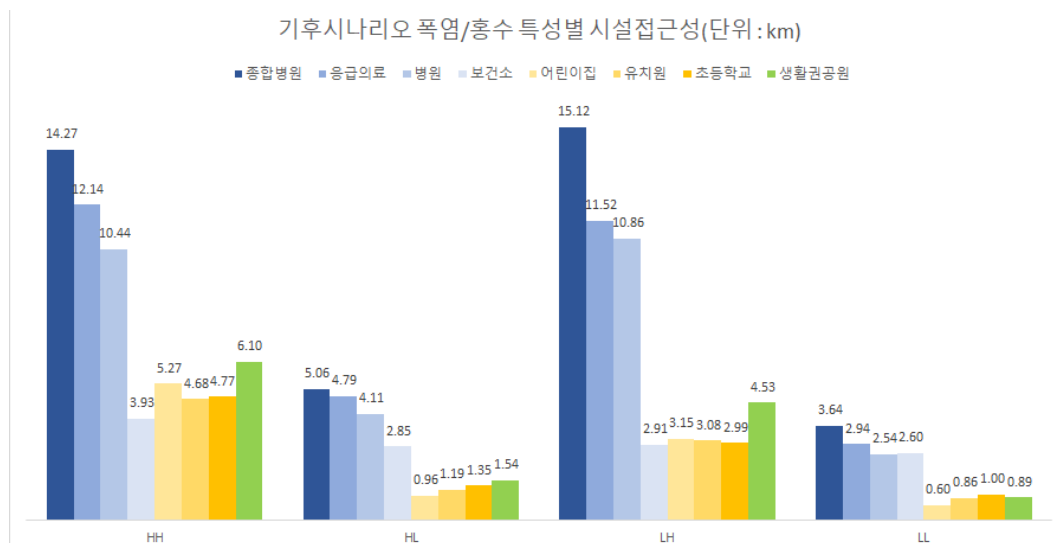


[그림 3-16] 취약성 그룹별 건축물의 주요용도 비교

□ 그룹별 시설접근성 특성

본 연구에서는 도시계획으로 결정할 수 있는 시설들의 취약성별 접근성을 집중 고찰했다. HH 그룹과 LH 그룹은 의료시설의 접근성이 매우 열악한 곳으로 분석되었다. 교육시

설까지의 이동거리역시 HL 지역과 LL 지역대비 3~5배 가량 긴 것으로 나왔으며, 공공 녹지시설의 이용에도 열악한 특징을 나타냈다. 폭염 취약성이 높은 HL 그룹은 상대적으로 시설접근성이 낮은 것으로 보이나 의료시설 접근성이 도보권 밖에 있는 것으로 나타났다. 교육시설 접근성은 양호하지만, LL 그룹과 비교해볼 때 공원시설의 접근성이 떨어지는 것으로 분석됐다. LL 그룹은 의료시설까지의 접근경로가 짧고, 교육시설은 도보권 내에 다수 분포할 것으로 예상되었으며, 단위공간에서 생활권 공원까지 이동거리가 1km가 안될 만큼 공원녹지의 활용 여건이 높은 것으로 정리할 수 있다.



[그림 3-17] 취약성 그룹별 의료시설, 교육시설, 공원녹지시설의 접근성 비교

□ 복합 취약성 분석결과와 탄력적 도시설계 활용성

복합 취약성 분석은 취약성 분석에 사용된 민감성과 적응능력 지표를 통해 도시를 구성하는 건축물과 시설물에 대한 세부적인 특성을 파악하는데 도움이 된다. 예를 들면, 연구 대상지인 ‘대전-세종-청주’ 권역의 폭염과 홍수에 모두 취약한 그룹은 거주자는 적지만, 건축물이 노후도가 높은 벽돌구조의 단독주택 비율이 높고 부동산으로서 경제성이 낮은 특성을 보였다. 병원, 공원, 학교시설 등 주요 시설에 대한 접근성 또한 열악한 특징임을 파악할 수 있었다. 따라서 폭염과 홍수 모두 취약한 지역이 포함된 도시설계를 실행할 경우 노후 단독주택의 성능개선, 주요 시설에 대한 접근성 향상이 기준이 되는 도시설계가 가능할 것이다. 그리고 표 3-6과 같은 총괄 표를 도출함으로써 도시설계 지역의 취약특성에 따른 차별적 탄력성 향상에 대한 개념 설정이 가능할 것이다.

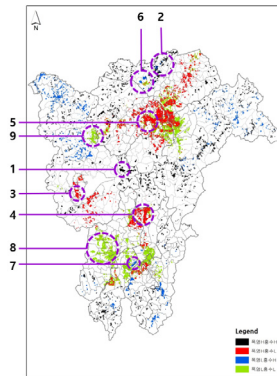
[표 3-6] '대전-세종-청주' 권역의 폭염홍수 취약특성에 따른 공간지표의 평균값 종합

구분		폭염홍수취약 (HH)	폭염취약 (HL)	홍수취약 (LH)	취약성 낮음 (LL)
인구밀도 (인/ha)	총인구	8.2	123.3	19.2	113.4
	생산인구	4.8	90.2	13.1	84.4
	유아인구	0.3	8.5	0.7	6.3
	초등인구	0.2	8.1	0.6	6.4
	고령인구	1.4	13.6	3.1	13.5
건축물지표	건폐율(%)	18.8	32.0	21.1	29.2
	용적률(%)	23.0	75.0	29.6	74.9
	주거용 면적(㎡)	82.3	100.8	90.9	103.5
	지상층수(층)	1.3	4.2	1.4	4.2
	지하층수(층)	0.1	0.5	0.2	0.7
	승인년도	1987	1997	1991	1999
	사용기간(년)	31.0	20.3	26.6	18.8
도로접근성 (단위:Km)	종합병원	14.3	5.1	15.1	3.6
	응급의료	12.1	4.8	11.5	2.9
	병원	10.4	4.1	10.9	2.5
	보건소	3.9	2.9	2.9	2.6
	어린이집	5.3	1.0	3.1	0.6
	유치원	4.7	1.2	3.1	0.9
	초등학교	4.8	1.3	3.0	1.0
	생활권공원	6.1	1.5	4.5	0.9
가치	개별주택가(만원)	5,770	8,607	7,184	10,571
	공시지가(만원/㎡)	8.3	37.6	14.0	54.0
지형	해발고도(M)	111.4	54.2	127.1	61.3

3) 취약유형별 현장실태 조사

□ 실태조사 개요

- 시행일 : 2019.8.14.(폭염경보), 8.28.(폭염경보), 9.27., 9.30.(총 4회)
- 조사장비 : 열화상카메라 (FLIR E8) 1대 및 일반 카메라



[그림 3-18] 현장조사 Keymap

[표 3-7] 취약유형별 실태조사 대상지 위치

취약특성	연번	위치
폭염홍수취약 (HH)	①	세종특별자치시 부강면 일대
	②	충청북도 청주시 청원구 오창읍 2산단로 일대
	③	세종특별자치시 도담동, 다정동 일대
폭염취약 (HL)	④	대전광역시 신탄진 일대
	⑤	충청북도 청주시 서원구 사창동 일대
홍수취약 (LH)	⑥	충청북도 청주시 청원구 양청택지 일대
	⑦	대전광역시 서구 탄방동, 용문동 일대
취약성낮음 (LL)	⑧	대전광역시 유성구 반석동, 지족동 일대
	⑨	세종특별자치시 조치원을 일대

□ 폭염과 홍수 복합재해 취약지역 (HH 그룹)

폭염과 홍수에 복합적으로 취약한 지역은 낮은 저층건축물이 주류를 이루고 병원과 학교, 공원까지 접근성이 떨어진다. 인구밀도가 낮고 생산인구대비 고령인구의 비율이 높다. 주택가격과 지가 모두 낮은 편에 속한다.

세종특별자치시 부강면 일대(①)는 낮은 배후주거지역으로서 지표로 설명된 장소적 특징을 보인다. 공간적 특징으로서 슬래브 건축물의 옥상부에 지붕을 덧대는 사례가 다수 발견되었고, 보행로 하부에 대형 배수관이 매설되어 있다. 이는 배수에 관해 오래전부터 신경을 써 인프라를 구축해왔고, 최근 폭염의 영향을 받아 슬래브 상부에 덧지붕을 얹는 현상이 이뤄지고 있는 것으로 해석할 수 있다.



[그림 3-19] 세종시 부강면의 배수 인프라(좌)와 슬래브형 건축물의 덧댄 지붕 현황(우)

청주시 청원구 오창읍 2산단로 일대(②)는 신규 주거지역이 복합취약성을 보이는 사례이다. 모델에 따른 공간지표로 설명되기에는 외형적으로 차이가 있다. 해당지역은 시나리오에 따라 폭염, 홍수의 기후 노출량이 큰 지역이다. 하류부에 대규모 유수지공원이 설치되어 있어 우수관리가 개발이전부터 필요한 지역임을 신규개발시 반영한 것으로 확인할 수 있다. 그러나 아파트의 규모를 보면 서남향의 주동배치가 주류를 이룬다. 직사광에 장시간 노출될 수 있는 주동배치로 향후 폭염에 대한 취약성이 클 것으로 예상된다. 다만, 주동의 건축물 그늘이 길어 보행환경에 미치는 열기를 차단해 주목을 끈다.

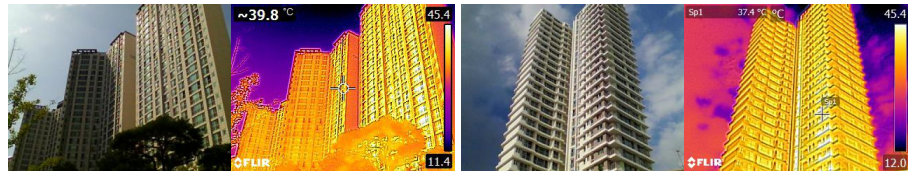


[그림 3-20] 청주시 오창읍 일대 유수지공원(좌)과 주동 향에 따른 표면 온도의 차이 비교 (중, 우)
- 건축물 표면온도 : 최대 46.1°C, 건물 그늘 30.2°C, 최저 19.6°C

□ 폭염 취약지역 (HL 그룹)

폭염에 취약한 지역은 사용기간이 짧은 중층 건축물이 주류를 이루며, 병원, 학교, 공원 접근성이 좋은 편이다. 인구밀도가 높으며 그 중, 유아와 초등학생 인구가 타 취약그룹에 비해 상대적으로 높다. 주택가격과 토지가격이 높은 편에 속한다.

세종특별자치시 도담동, 다정동 일대(③)는 행정중심복합도시 1구역, 2구역에 해당하는 세종 정부중합청사를 둘러싼 신규 고층주택 밀집지역이다. 해당지역은 기후시나리오에 따르면 폭염 노출정도가 높은 지역으로 적응능력에 해당하는 병원, 공원 등이 아직 건설 중에 있어 반영되기 이전 상태다. 대부분 건축물의 주동이 남향 배치를 이루고 고층 주거용 건축물이 많아 직사광선의 노출 시간과 면적이 넓을 것으로 판단되는 지역이다. 일부 실험적 성격으로 동남향 배치로 남중고도의 직사광선을 피하거나, 차양이 달린 외관디자인 주동의 경우 열이 루버부에 집중되는 것을 확인 할 수 있다.



[그림 3-21] 정남향(45.4℃) 및 동남향(37.2℃)주동 표면 온도차(좌), 차양부(45.4℃)와 하부(37.4℃)온도차(우)

대전광역시 신탄진 일대(④)는 중·저층 규모의 노후 및 신축건축물이 혼재되어 있는 지역으로 건폐율이 높은 특징을 보인다. 높은 건폐율은 불투수 포장 면적이 넓고 소규모 녹지가 적은 것으로 이해할 수 있다. 가로수 식재가 불가능한 협소한 도로에 접해 있고, 마당이 있는 노후단독주택이 복층 다세대주택으로 재건축되면서 대부분의 공간이 열기에 취약한 불투수성 재료가 확산하고 있는 상황이다.



[그림 3-22] 대전 신탄진 일대 노후 택지의 옥외 환경 현황

청주시 사창동 일대(⑤)는 청주시의 구도심 지역으로 노후건축물로 밀집되어 있다. 해당지역은 토지가격 대비 주택가격이 상대적으로 낮은 특징을 갖는다. 시장여건에 따라 개발압력이 높아지면 재개발이 쉽게 이뤄질 수 있는 지역이다. 대전 신탄진 지역과 마찬가지로 이면도로와 건축물 사이에 폭염을 완화시킬 녹지를 설치할 공간이 거의 없을 정도로 인동간격이 좁고, 대지를 거의 채운 건축형태가 대부분이다.



[그림 3-23] 청주시 사창동 일대 가로환경(표면적 최대 49.4℃)과 인동간격 현황

□ 홍수 취약지역 (LH 그룹)

홍수 취약지역은 건폐율과 용적률이 비슷한 수준인 노후한 중저층 건축물이 주류를 이루는 지역으로 병원 접근성이 떨어지는 지역이다. 폭염홍수 취약지역에 비해 지가와 주택가격은 다소 높은 특성을 보이며, 낮은 인구밀도와 고령인구의 비율이 생산인구 대비 높은 수준이다.

청주시 양청택지(⑥)는 오창 산업단지의 배후 노후 건축물은 거의 관찰되지 않은 신규 주거지역으로 5층 이하 다세대주택이 주를 이룬다. 이 지역은 기후시나리오에 따르면 홍수 노출정도가 높아지는 특성을 갖고 있으며 지형적으로도 산지 중턱에 주택단지가 형성되어 있어 분산형 빗물관리가 필요한 입지적 특성을 갖는다. 건축적으로 보면 일률적으로 대지를 거의 건축물과 주차장으로 채웠으며, 대지 모서리 일부를 조악한 조경면적으로 할애한 형태를 갖는다. 이 지역의 높은 불투수율은 하류지역의 배수능력에 영향을 줄 것으로 예상된다. 반지하 주거가 다수 존재해 일시적 침수에 취약한 구조이다.



[그림 3-24] 청주시 양청택지의 건축물(좌) 및 녹지 현황(우)

대전시 탄방동, 용문동(⑦) 일대는 현재 용문동 1·2·3구역 주택재건축 정비사업구역으로 지정되어 있다. 전형적인 저지대 노후주택단지로서 도로는 우수 배수를 위한 대형 배관이 매설되어 있음을 자주 확인 할 수 있다. 현재 아파트로 재건축을 추진 중이므로 현 상태에 비해 취약성이 개선될 수 있는 가능성을 갖고 있지만 해당지구의 미래 홍수취약성을 기초조사 과정에서 반영했음을 기대하기 어렵다. 중앙 마을공원에는 아직 이주를 하지 않은 노인들이 휴식을 취하고 있어 지구지정 이전의 모습을 짐작 할 수 있다.

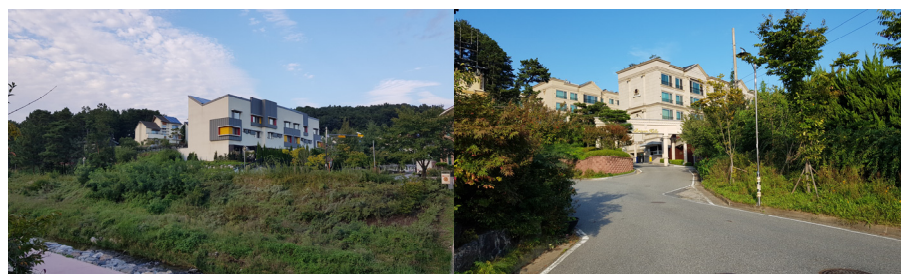


[그림 3-25] 대전시 용문동 일대 건축물 현황

□ 양호지역 (LL 그룹)

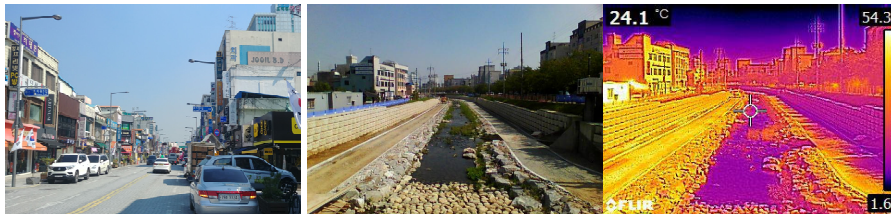
지표상 양호지역은 폭염과 홍수에 취약하지 않은 지역으로 비교적 최근에 지어진 중·고층 건축물이 주를 이루는 지역으로서 단위 주거 면적이 큰 특징을 갖는다. 인구지표상 인구밀도가 높으며, 특히 유아와 초등학생과 고령자의 인구밀도가 상대적으로 균형을 이루고 있다. 이 지역은 학교, 병원, 공원 접근성이 매우 좋은 것으로 설명된다.

대전 유성구 반석동, 지족동(⑧)일대는 대전의 신시가지지역으로 대형병원과 저밀도 고급 단독주택지, 고급 아파트 단지가 주를 이루고 있다. 기후시나리오상 폭염과 홍수 노출에 모두 큰 변동이 없으며, 노후도가 낮고 구릉산지와 공원 등 주변 지원인프라가 양호하다. 특히 반석천 공원이 이 지역을 관통하고 있어 냉섬기능과 폭우시 배수기능을 확보할 수 있는 특징을 갖는다.



[그림 3-26] 대전시 반석동, 지족동 일대 고급 주택단지 및 녹지 현황

세종시 조치원 일대(㉑)는 세종시의 대표적 구시가지로 신규 건축물과 기초인프라가 다양하게 갖춰져 있다. 특히 2개의 대학교가 있어 청년을 상대로 한 개발이 진행되고 있다. 내창천과 조천은 대표적인 냉섬 유발 요소로서 현재 하천변 재정비 사업을 시행하고 있다. 조치원재래시장 상권을 중심으로 유동인구가 많고 인구밀도가 높고 다양하게 형성되어 있다.



[그림 3-27] 세종시 조치원 일대 건축물 현황 및 내창천 냉섬 효과 촬영

4) 소결

이미 공개되어 있는 건축, 도시 관련 공간정보는 현재를 설명하는 지표로 활용가능하다. 그러나 건축과 도시를 개선하는 이유는 미래에 현재보다 나은 정주환경을 만들기 위함이다. 미래에 대한 충분한 대비를 하고 정주환경을 만들고 있는지 되짚어볼 필요가 있다. 오늘날까지 미래 불확실성을 객관적으로 예측을 할 수 있는 방법론이 없었기 때문에 공간계획에서 배제되어온 것이 현실이다. 이제는 다양한 연구 분야에서 노력한 결과로 인해 미래 불확실성에대한 객관적인 자료를 활용할 수 있는 수준 와 있다.

본 현장실태조사에서 정리한 바와 같이 전국의 건축과 도시는 재해에 대한 예방적 측면의 접근 보다는 경제논리 중심의 획일성과 효율성을 추구해 온 것이 현실이다. 본 연구에서 대전-세종-청주권역의 약 38,000ha이상 도시지역의 복합 취약성에 대해 파악하고 현장 검증한 결과 우리나라 도시설계정책에 적용할 만한 유의미한 결과를 확인할 수 있었다.

앞으로 지속가능한 생활을 도시와 건축물에서 누리기 위해서는 미래 자연재해의 영향성을 고려한 계획과 설계가 필요하다. 특히, 복합재해에 대한 피해를 최소화하기 위해서 본 연구에서 다룬바와 같은 복합재해 취약성 진단을 사전에 고려하고 건축과 도시의 공간요소를 배치한다면 그렇지 않은 건축물과 도시에 비해 높은 탄력성을 보유 할 수 있을 것이라 생각 된다. 폭염과 홍수에 대한 탄력적 도시설계 방안은 어떤 기준과 원칙을 갖고 현재 도시설계 정책에 반영할 수 있는지 다음 장에서 고찰한다.

제4장 폭염·도시홍수 대응 탄력적 도시설계 방안

- 1. 복합재해 탄력성 확보 원칙
 - 2. 복합재해 대응 탄력적 도시설계의 방향
 - 3. 탄력적 도시설계의 정책화 방향
-

1. 복합재해 탄력성 확보 원칙

□ 탄력적 도시설계 방안을 위한 원칙의 기본방향

3장에서 노출, 민감성, 적응능력에 사용된 지표는 도시설계에 활용될 수 있는 지표이다. 본 연구는 복합취약성 진단결과로 도출된 폭염·홍수 모두에 취약한 HH그룹, 폭염에 취약한 HL그룹, 홍수에 취약한 LH그룹, 폭염·홍수 모두에 취약하지 않은 LL그룹 등 4개 취약유형을 바탕으로 탄력성을 갖추기 위해 필요한 원칙을 제안하고자 한다. 기본적으로 취약성 분석에 적용된 지표를 대상으로 개선방향을 잡고, 공간적으로 지구규모와 건축물 규모에 적용 가능한 세부 원칙을 발굴한다. 원칙을 적용한 이상적인 예시도면을 통해 원칙의 적용가능성과 지향점을 모색하고자 한다.

1) 복합취약성 분석 지표 활용

복합취약성 진단에 활용한 도시지표는 ‘미래기후노출’, ‘인구’, ‘건축물정보’, ‘시설접근성’, ‘지형’, ‘가격지수’다. 이를 고정지표와 가변지표로 구분하면, ‘미래기후노출’과 ‘인구’, ‘지형’, ‘가격지수’는 불가변지표이고 ‘건축물정보’, ‘시설접근성’은 가변지표로 나눌 수 있다. 탄력성은 역량에 따른 가변성을 전제로 하므로 탄력성의 대상으로 ‘건축물’, ‘시설접근성’을 공간적 위계에 따라 배치 할 수 있다.

본 연구의 복합취약성 분석에 활용한 지표를 중심으로 탄력성 적용의 방향과 원칙의 방향성을 정한다. 신규개발과 기존시가지로 구분해 적용한다. 신규개발지는 기후변화에 따라 재해발생에 대한 불확실성이 높아지면 피해를 받는 인구와 건물의 수와 규모를 적절하게 조절해야 대형피해를 막을 수 있다. 재해가 발생할 경우 필요한 응급의료시설, 병원, 대형병원까지의 접근경로가 짧아야하고, 사전 예방을 위해 보건소와 일반병원의 접근성이 좋아야한다. 또한 공원과 교육시설까지의 접근성을 좋게 하여 이동 중 피해를 최소화 할 수 있도록 한다.

기성시가지는 이미 완성되어 있기 때문에 인구계획과 건축물의 물리적 변화를 직접적으로 제어하기 어렵다. 따라서 소규모 보건소, 교육시설, 공원의 접근성을 향상시켜 적응능력을 높이는 방향으로 공공이 도시설계 기준을 설정해야한다. 건축물은 주로 리모델링을 통해 개선될 가능성이 크다. 따라서 리모델링을 통해 제한적으로 건폐면적과 용적률, 지상층, 주거용 면적을 조정할 수 있다. 또한, 건축인허가를 득한 리모델링일 경우 사용연한을 갱신 할 수 있다. 이러한 방향을 갖고 민감성을 낮추고 적응능력을 높이는 방향으로 기성시가지의 탄력적 도시설계 원칙방향을 잡을 수 있다.

□ 신규도시지역의 공간적 맥락에 따른 탄력성 생성 기준

- 도시규모 : 종합병원, 응급의료시설의 접근성 향상
- 지역규모 : 중소의료시설(일반병원, 보건소), 교육시설(초등학교, 유치원, 어린이집), 생활권공원의 접근성 향상
- 건축물규모 : 건폐율, 용적률, 지상층수, 지하층수, 주거용면적의 제어

□ 기성도시지역의 공간적 맥락에 따른 탄력성 개선 기준

- 지역규모 : 보건소, 어린이집, 생활권 공원의 접근성 향상
- 건축물규모 : 리모델링을 통한 건폐율, 용적률, 지상층, 주거용면적, 사용연한의 개선

2) 공간 규모에 따른 재해 유형 별 원칙

취약성 진단에 활용한 지표는 접근성에 따른 거리와 건축물의 규모와 노후도 등 정량적 척도를 탄력성 향상에 활용할 수 있다. 자연재해는 광역적으로 발생되나 피해는 지점단위로 받기 때문에 취약성 진단결과 도출된 지점의 공간적 맥락에 따라 정량적 개선과 설계에 따른 개선을 동시에 적용해야한다. 설계를 통한 개선은 취약지점의 특성에 따라 물리적으로 대응할 수 있는 다양한 기법의 조합으로 적용 가능하다.

① 폭염에 대한 탄력성 확보

□ 지구단위 규모 폭염 탄력성 확보기준

지구단위 규모에서 폭염에 대한 탄력성을 확보하는 것은 건물의 주된 향, 도로, 건축물의 크기와 인동간격 등 물리적 구조를 어떻게 설계하는가와 밀접하다. 도시구조를 설계하는 단계에서 건물과 수목 등에 의해 일사유입량 조절을 고려함과 동시에 지구내 공기의 흐름이 열섬현상을 완화시킬 수 있도록 배치해야 한다.

구체적으로 녹지의 연결이 중요하다. 녹지네트워크와 오픈스페이스, 가로수와 옥상녹화 및 벽면녹화를 일사량이 강한 지점을 중심으로 적극적 배치를 통해 기화냉각효과를 유도할 수 있어야 한다. 녹지 네트워크와 수경 네트워크를 연계하면 더욱 큰 효과를 기대할 수 있다. 이는 작은 연못, 생태수로, 수영장, 분수, 쿨링포그와 같이 지속적으로 물 순환이 이뤄질 수 있는 시설을 의미한다.

포장재와 건축물의 외장재를 알베도를 고려해 설계에 반영한다. 알베도가 높은 도로포장재와 건축외장재를 활용해 태양복사열의 축적을 막고, 지붕은 옥상녹화와 쿨루프를 사용해 최상층의 냉난방 효율을 증대할 수 있도록 유도한다.

• 지구단위규모 폭염 탄력성 확보 기준

- 도시구조 (향, 도로, 건물, 녹지, 차양막 등) 형태를 통한 일사유입량 조절
- 도시구조 (향, 도로, 건물, 녹지, 차양막 등) 형태를 통한 바람길 조절
- 그린인프라, 소규모 녹지, 가로수, 옥상녹화, 벽면녹화의 네트워크화를 통한 기화냉각의 적극적 사용
- 수경시설 (연못, 생태수로, 수영장, 분수, 쿨링포그 등)의 네트워크 구축
- 알베도가 높은 도로포장재 (COOL PAVEMENT)와 건축외장재를 사용해 태양복사열의 축적 저감
- '쿨 루프' 사용으로 태양 복사열을 저감, 최상층의 냉난방 사용 최소화

□ 건축물 규모 폭염 탄력성 확보 기준

건축물 단위규모에서 보다 세부적으로 기준을 정할 수 있다. 건축물 규모에서는 조경 식재에 의한 그림자를 활용하고, 열 차단 효율이 높은 창호를 사용한다. 태양복사에너지의 건물 내 유입을 최소화하기 위해 직사광선에 노출되는 벽면 외장재의 열 반사율을 높이거나 이중외피, 벽면녹화를 설치하고, 옥상녹화를 설계에 반영한다. 빗물을 적극적으로 활용해 빗물을 저장한 뒤 폭염시 지속적으로 벽면에 분사하는 방법을 적용한다.

[그림 4-1] 폭염 탄력성 확보를 위한 도시정책 추진 사례



살수차 운영



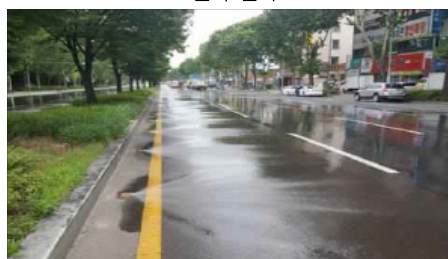
스마트 그늘막 설치



그늘막 설치



동대구역 버스승강장 쿨링포그



달구벌대로 클린로드 운영



차열성포장 시공(시청앞 도로)

[그림 4-1] 폭염 탄력성 확보를 위한 도시정책 추진 사례

출처 : 대구광역시(2019), 「2019년도 폭염대응 종합대책」 추진계획, 내부자료

실내에는 외부열의 유입을 최대한 차단하고 지열과 히트펌프를 결합한 신재생에너지 시스템을 적용해 기존 에어컨 시스템의 에너지 효율성을 개선한다. 수평 루버와 차양을 적극적으로 설치해 직사광선의 유입을 최소화 하고 발코니를 활용해 완충공간을 확보 할 수 있도록 한다. 실내공기질을 고려해 공기의 흐름이 원활히 이뤄질 수 있도록 열기가 제거된 외부공기를 유입할 수 있는 미기후 조절 공기 순환시스템을 적용한다.

- 건축물 규모 폭염 탄력성 확보 기준
 - 조경 식재를 통한 그림자 활용 및 열 차단 효율이 높은 창호 사용
 - 직사광선에 대한 벽·옥상 외장재 반사율 상향 및 이중외피, 벽면·옥상녹화 설계 반영
 - 빗물을 저장한 뒤 폭염 시 지속적으로 건물 벽면에 분사

- 개구부로부터 실내를 향한 외부열 유입을 최대한 차단
- 지열과 히트펌프를 결합한 신재생에너지 시스템 적용 및 기존 에어컨 시스템의 에너지 효율성 개선
- 루버와 차양 설치로 직사광선의 유입 최소화 및 완충공간으로 발코니 확보
- 실내 공기 질을 고려해 외부 열기 차단, 미기후 조절 공기 순환시스템을 적용

② 홍수에 대한 탄력성 확보

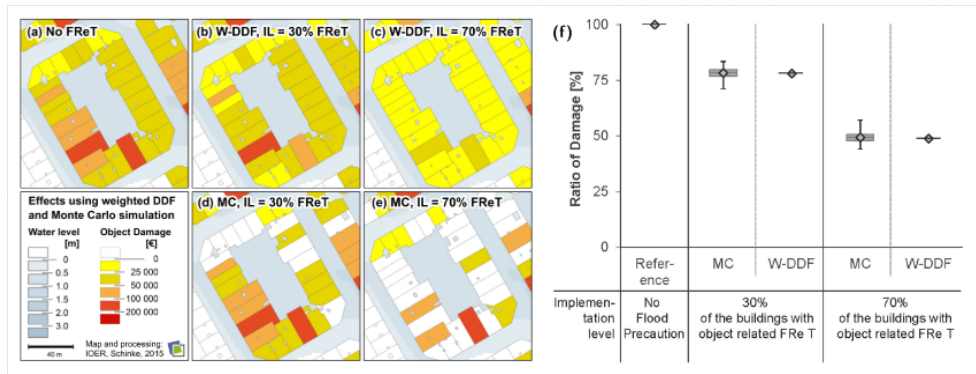
□ 지구단위 규모 홍수 탄력성 확보기준

지구단위 규모에서 침수에 대한 탄력성을 확보를 위해 침수영향범위를 파악해야한다. 과거로부터 축적된 침수피해 정보와 기후변화 시나리오에 따른 미래예측정보를 복합적으로 파악하고 공간정보로 구축해 개발제한의 근거로 활용한다. 기 개발지역은 도로와 공공공지를 활용해 홍수의 흐름과 유량, 속도를 제어할 수 있도록 임시 저류조를 확보한다. 상류지역을 대상으로 할 경우 불투수포장면을 최소화 하고 분산형 빗물 관리시스템을 적용해 하류지역으로 이어지는 지표수 유출을 최소화 한다.

녹지의 배치를 집중 호우시 물이 집중되는 곳에 함으로서 자연적 재방 및 방재림의 기능을 할 수 있도록 한다. 노후 취약지역의 개발에 의해 왜곡된 지표수의 흐름을 파악하고 침수경로에 대한 지속적인 모니터링으로 집중호우시 취약지역의 피해를 최소화 할 수 있도록 지속가능한 도시배수 시스템을 구축한다. 침투유량을 제어할 수 있도록 상류지역은 옥상녹화를 의무적으로 설치 할 수 있도록 한다.

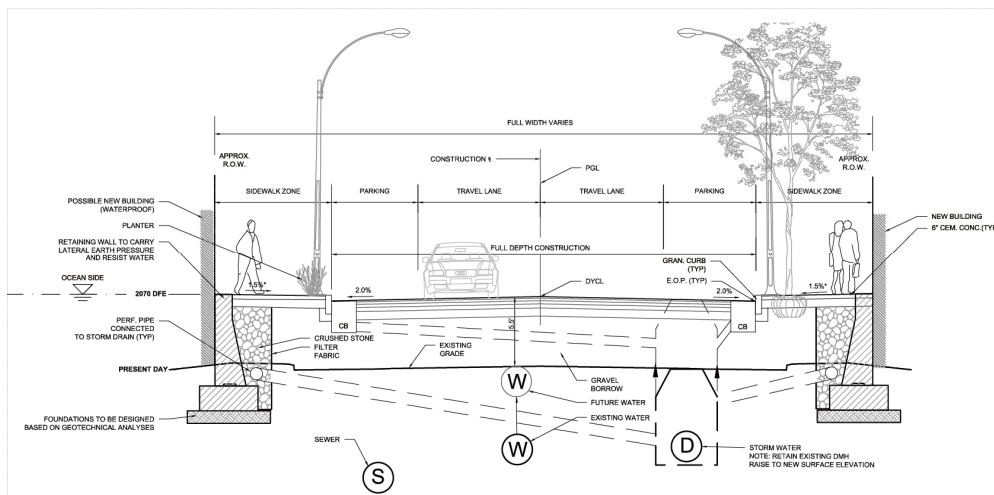
• 지구단위 규모 침수 탄력성 확보 기준

- 침수영향범위를 지속적으로 공간정보로 변환해 데이터로 축적
- 과거로부터 축적된 침수피해 정보와 기후변화 시나리오에 따른 미래예측정보를 공간정보로 구축해 개발제한의 근거로 활용
- 기 개발지역은 도로와 공공공지를 활용해 홍수의 흐름과 유량, 속도를 제어할 수 있도록 임시 저류조 설치
- 상류지역은 불투수포장면을 최소화 하고 분산형 빗물 관리시스템을 적용해 하류지역으로 이어지는 지표수 유출량 최소화 및 침투유량 제어
- 녹지의 배치를 집중호우시 물이 집중되는 곳에 함으로서 자연적 재방 및 방재림의 기능 확보
- 노후 취약지역의 집중호우시 취약지역의 피해를 최소화를 위한 지속가능 도시배수시스템 구축



[그림 4-2] FReT을 반영한 다양한 변수에 따른 홍수피해 시뮬레이션의 구현사례

출처: Schinke Reinhard, Anna Kaidel, Sebastian Golz, Thomaas Naumann, Jose Santos Lopez-Gutierrez and Stephen Gravin(2016), "Analysing the Effects of Flood-Resilience Technologies in Urban Areas Using a Synthetic Model Approach", MDPI, p.10



[그림 4-3] 미국 보스턴의 침수 방재도로의 신도로형 샘플 단면도(not-to-scale)

출처: Boston Public Works Department(2018), *Climate Resilient Design Standards & Guidelines: For protection of public rights-of-way*, City of Boston, p.66.

□ 건축물 규모 홍수 탄력성 확보 기준

단위 건축물 규모에서 탄력성 확보하는 것은 시설설치와 공간배치의 조정이 핵심이다. 시설설치의 경우, 침수피해를 줄이기 위해 배수관을 통한 역류 차단용 원웨이 밸브를 설치하고 지하층이 있는 경우 차수 판을 설치한다. 옥상은 옥상녹화를 설치해 일정시간 이상 빗물을 체류할 수 있도록 하고, 빗물을 저류조에 담아 활용하거나 천천히 유출한다. 침수를 일정시간 막을 수 있는 침수방지 보드, 에어브릭등을 활용해 외벽을 시공한다.

공간배치에 관해, 상습침수지역 또는 침수 취약성이 높은 지역에 건축할 경우는 지하층 개발을 규제하고 1층은 필로티를 사용해 비워둔다. 또한 1층 바닥에 가까운 문 또는 창문 설치를 규제한다. 통상 지하에 설치하는 기계 및 전기 설비실 등은 옥상 또는 상층부에 배치한다. 대지경계 외부에서 빗물이 유입되는 위치를 사전에 파악해 조경공간 및 지하 저류공간으로 활용한다. 외벽에 접착제를 사용해 외장재를 부착하는 시공법을 규제한다.

- 건축물 규모 홍수 탄력성 확보 기준
 - 배수관을 통한 역류 차단용 원-웨이 밸브를 설치
 - 지하층이 있는 경우 차수판 설치
 - 옥상녹화를 설치해 일정시간 이상 빗물 체류기능 확보
 - 빗물 저류조에 담아 활용하거나 유출수 제어
 - 침수를 일정시간 막을 수 있는 침수방지 보드, 에어브릭 외벽시공
 - 상습침수지역 또는 홍수취약성이 높은 지역 건축시 지하층 개발 규제, 1층 필로티 사용
 - 1층 바닥에 가까운 문 또는 창문 설치 규제
 - 지하에 설치하는 기계 및 전기 설비실 등의 옥상 또는 상층부 배치
 - 대지경계 외부에서 빗물이 유입되는 위치를 사전에 파악해 조경공간 및 지하 저류공간으로 활용
 - 외벽에 접착제를 사용해 외장재를 부착하는 시공법을 규제

3) 복합 자연재해 대응을 위한 탄력적 도시설계 원칙

취약성 진단을 통해 공간규모에 따라 탄력성을 높이기 위한 지표를 신규개발지역과 기존개발지역의 특성에 따라 차별적으로 설정하고 기술적 사항은 설계를 통해 적용할 수 있도록 체계를 잡을 수 있다. 즉, 도시설계에 탄력성 개념을 적용하기 위해 우선적으로 필요한 과정은 프레임을 갖춰 정책적으로 활용 가능한 제도에 반영하는 것이다. 이를 관련 심의위원회에서 도시설계 승인 과정에 근거로 활용한다면 탄력적인 도시설계에 대한 개념과 인식이 사회적으로 확산 될 것으로 예상된다. 이러한 과정을 도모하기 위해 본 연구는 다음 표를 탄력적 도시설계를 위한 원칙으로 정한다.

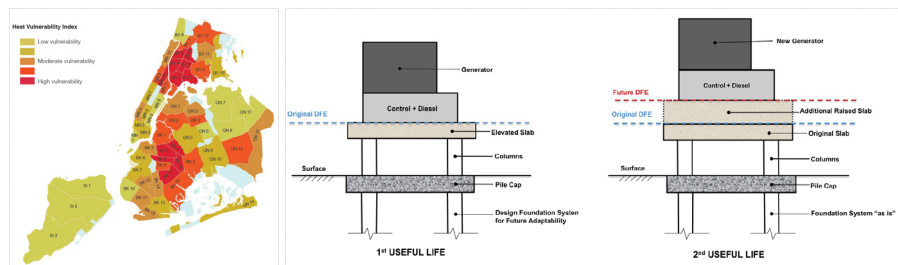
[표 4-1] 도시설계 탄력성 제고를 위한 공간위계에 따른 취약성 지표 및 설계 원칙 Matrix

특성	유형구분	지구단위 규모	건축물
지표	신규 개발지	접근성 (일반병원, 보건소) 접근성 (초등학교, 유치원, 어린이집) 접근성 (생활권공원)	건축물정보 (건폐율, 용적률, 지상층, 지하층, 주거용 면적)
	기성 시가지	접근성 (보건소) 접근성 (어린이집) 접근성 (생활권공원)	건축물정보 (건폐율, 용적률, 지상층, 주거용면적, 사용연한)
폭염		- 도시구조 활용 일사량 조절 - 도시구조 활용 바람길 조절 - 그린인프라보급 : 소규모 녹지, 가로수, 옥상녹화, 벽면녹화의 네트워크화 - 블루네트워크구축: 연못, 생태수로, 수영장, 분수, 쿨링포그 등의 네트워크화 - 차열성 도로포장재, 건축 외장재 사용 - 쿨 루프 지구단위 적용	- 조경식재 그림자 활용 - 열 차단 효율이 높은 창호 사용 - 벽·옥상 외장재 반사율 상향 및 이중외피, 벽면·옥상녹화 설계 반영 - 빗물 저장 뒤 폭염 시 건물 벽면 분사 - 개구부로부터 외부열의 유입 차단 - 지열과 히트펌프를 결합한 시스템 적용 - 루버와 차양 설치로 직사광선의 유입 최소화 - 열 완충공간으로 발코니 확보 - 외부 열기 차단된 외부 공기유입으로 실내 미기후 조절 공기 순환시스템 적용
설계		- 홍수영향범위의 공간데이터로 축적 - 과거 홍수피해 정보와 미래예측정보를 공간 정보로 구축해 개발제한의 근거로 활용 - 도로와 공공공지를 활용해 홍수의 흐름과 유량, 속도를 제어용 임시 저류시설 설치 - 상류지역은 불투수포장면을 최소화 하고 분산형 빗물 관리시스템 적용 - 폭우시 하류의 지표수 유출량 최소화 및 침투 유량을 상류지역과 연계 제어 - 녹지를 집중호우시 지표수가 집중되는 곳에 배치해 자연적 재방 및 방재림의 기능 확보 - 노후·취약지역의 폭우시 피해 최소화를 위한 지속가능 도시배수시스템 적용	- 배수관 역류 차단용 원웨이 밸브 설치 - 지하층 진입구 차수판 설치 - 빗물 체류기능 확보를 위한 옥상녹화 설치 - 빗물 저류조 활용 유출량 제어 - 벽면 침수방지 보드, 에어브릭 등 외벽시공 - 상습침수지역 또는 홍수취약성이 높은 지역에 건축시 지하층 개발을 규제, 1층 필로티 유도 - 지면 이하 문 또는 창문 설치 규제 - 기계 및 전기설비실의 옥상 또는 상층부 배치 - 대지외부에서 빗물이 유입되는 위치를 사전에 파악해 조정공간 및 지하저류조 설치 - 외벽에 접착제를 사용해 외장재를 부착하는 시공법을 규제
홍수			

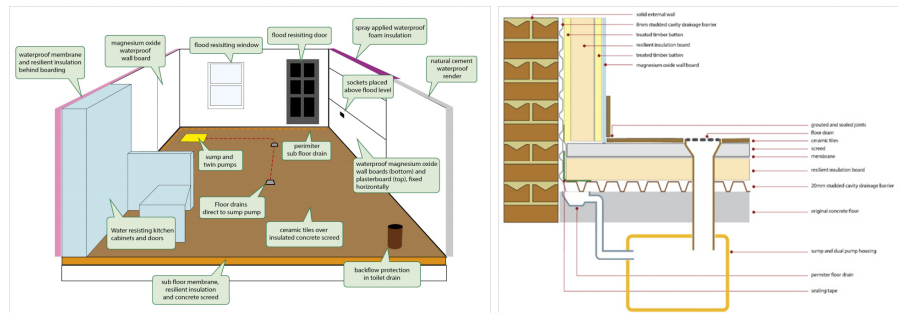
2. 복합재해 대응 탄력적 도시설계의 방향

1) 기본구상

현행 도시설계 관련 지침은 물리적 공간에 대한 3차원적 해석이 필요한 기준이지만, 대부분의 현행 지침은 문장으로 설명하기 때문에 도시설계를 위한 시행지침 작성 시 이해의 충돌 또는 해석이 모호한 상황이 발생한다. 인명과 재산피해와 직접 연결되는 자연재해에 대한 안전성을 확보하기 위해서 직관적 지침이 필요하다. 즉 도시설계에 대한 기본 원칙은 문장으로 설명이 충분하지만, 공간설계와 관련한 사항은 삽도를 활용한 직관적 지침이 효과적이다. 이미 영국과 미국 뉴욕시, 디트로이트시, 보스턴시는 폭염과 홍수에 관한 취약성 진단을 근거로 디자인가이드라인을 삽도중심으로 제작해 운영 중이다.

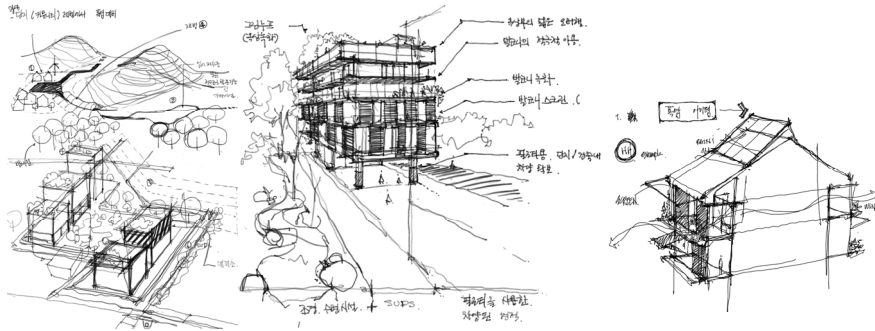


[그림 4-4] 뉴욕시의 열 취약성 지도(좌)와 2080년 해수면 상승에 의한 침수 대응 건축가이드라인(우)
출처: NYC Mayor's office of Recovery and Resiliency(2019), *Climate Resiliency Design Guidelines*, ver.3.0, NYC, p.9, 12.



[그림 4-5] 영국 BRE 그룹의 홍수 회복탄력성 주택의 실내 및 벽체 에어브릭 가이드라인 예시
출처: Garvin Stephen(2017), "Flood Resilient Buildings—towards a mainstream activity", *BRE*, pp.13-14. (2017.7.6.)

따라서 도시설계에 폭염과 홍수에 대한 취약성 진단을 근거로 탄력성 확보방안을 삽도를 중심으로 제안하기 위해 공간디자인과정을 통해 도시설계에 적용 가능한 개선안을 공간규모와 재해유형에 따라 도출한다. 각 삽도는 현행 지구단위계획수립지침 상 개선조항과 연계함을 기본 방향으로 한다.



[그림 4-6] 탄력적 도시설계 기법 적용을 위한 기본구상 스케치 과정
출처: 연구진 직접 작성

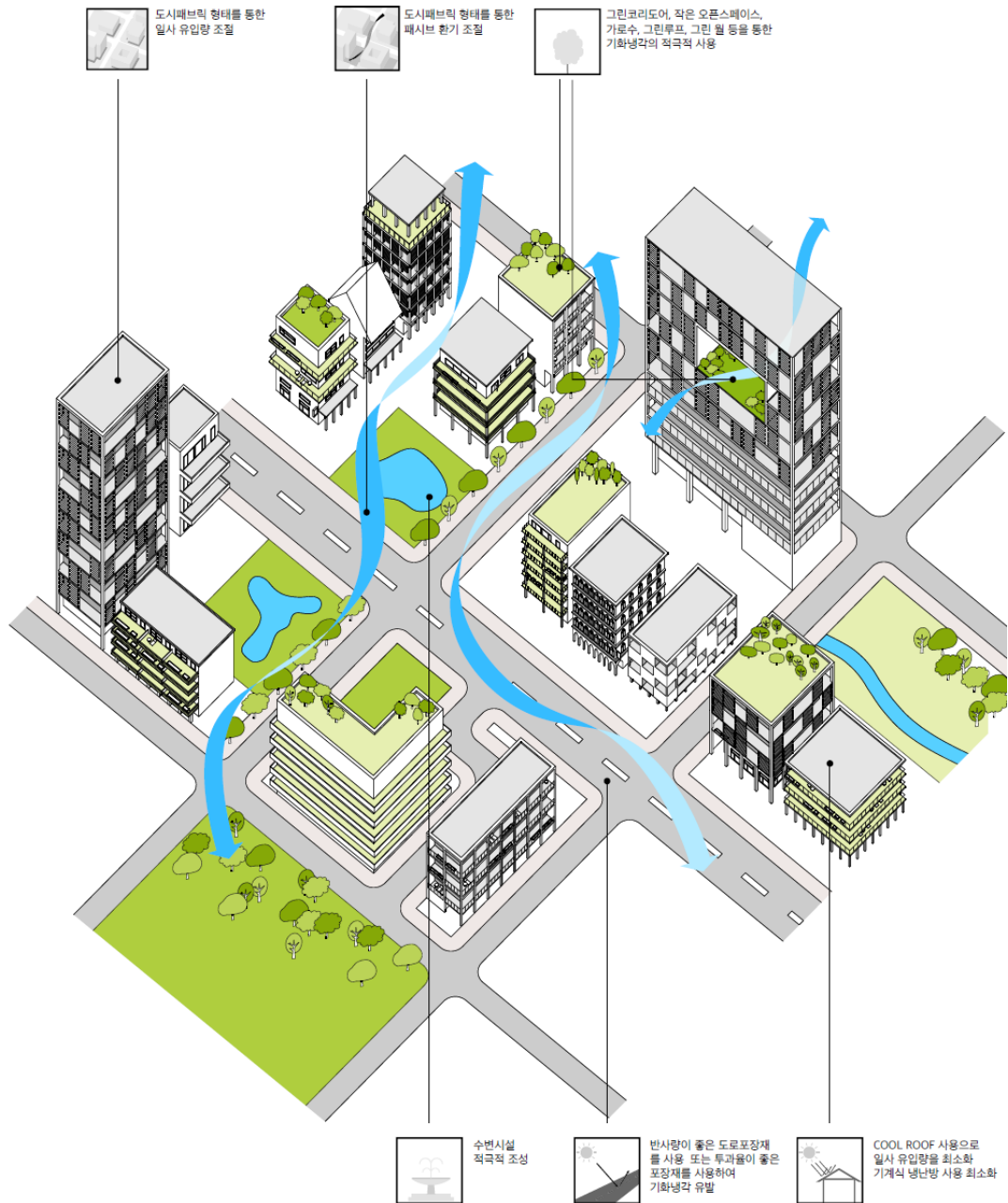
2) 탄력적 도시설계를 위한 디자인 방향

① 지구단위 규모 설계 방향

폭염과 홍수에 각각 유리한 설계기법을 지구단위 규모에서 정리한다. 공간적으로 지구단위규모는 건물, 도로, 녹지, 오픈스페이스의 유기적 결합을 어떻게 폭염과 홍수에 유리한 대응을 할 수 있도록 배치하는 것이 관건이다.

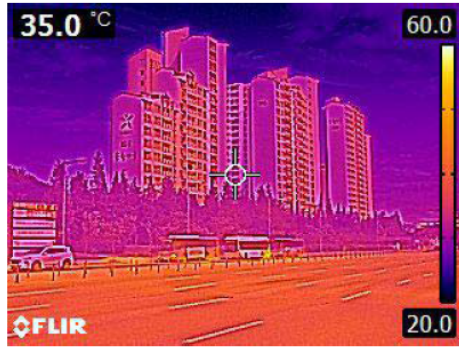
□ 폭염 탄력성 개선 도시설계 방안

폭염 탄력성 개선 도시설계 방안은 기존 도시의 남향, 고층건축물을 밀집한 배치에서 벗어나 ‘환기’와 ‘주동의 향’을 재조정 하는 것이 주안점이다. ‘환기’의 측면에서 지구내 블록을 구성할 때, 혹서기의 주 풍향을 고려한 고층건물의 배치를 고려한다. 건축물 동간 공간에 바람의 흐름이 벤츄리 효과(Venturi effect)에 따라 빨라지는 점을 고려해 블록 내부를 저층건축물로 배치한다. 공기의 흐름이 정지하면 열섬효과로 이어지므로 저층건축물은 옥상녹화를 의무적으로 설치하고 지상부 유휴공간은 그린인프라네트워크와 블루네트워크를 연계해 상시 지표의 온도를 저감시킬 수 있도록 한다. 폭염을 고려하면, ‘주동의 향’은 일조량을 확보하기 위해 개구부를 남향의 동서측에 두는 것에서 ‘남동향’과 ‘남서향’을 향할 수 있도록 한다. 이는 측면외벽을 활용해 일조량의 일부를 차단하는 효과를 기대할 수 있다.

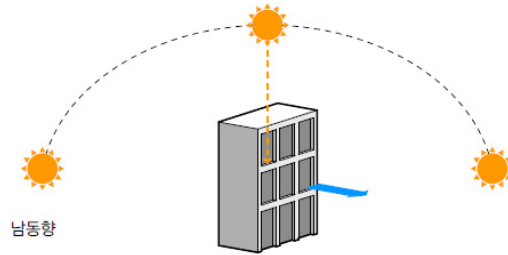
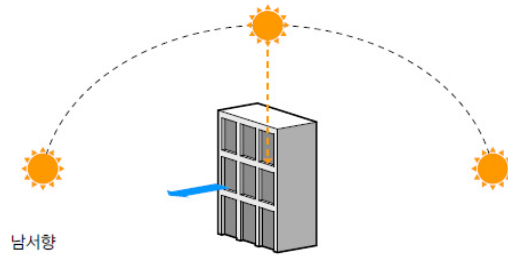
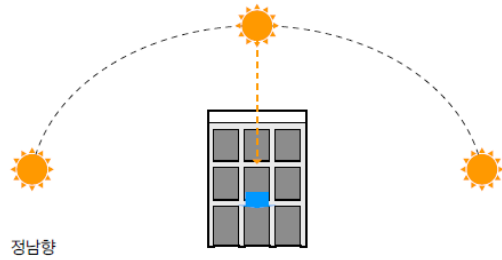


[그림 4-7] 폭염 탄력성 개선을 위한 지구규모 설계원칙 적용 방안
출처: 연구진 직접 작성

적외선 카메라로 촬영한 건물
 -정남향 건물을 촬영, 정남향의 온도와 그렇지 않은 곳이 확연한 차이를 보임



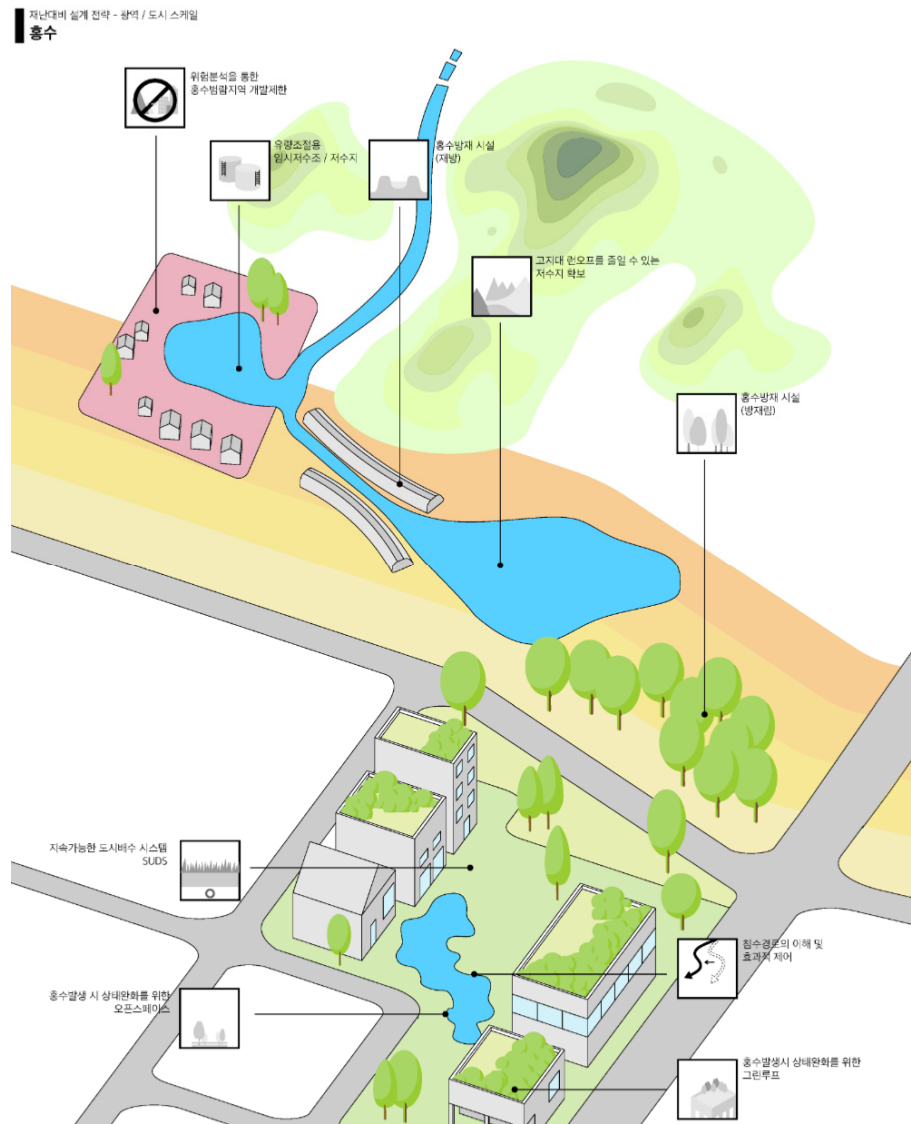
정남향이 아닌 남동향이나 남서향으로 건물을 배치함으로써
 복사열을 효과적으로 제어할 수 있음



[그림 4-8] 폭염 탄력성 개선을 위한 주동 향의 설계 방안
 출처: 연구진 직접 작성

□ 홍수 탄력성 개선 도시설계 방안

도시설계에 홍수 탄력성을 적용하기 위해서 유역에 대한 개념이 적용된다. 상류에서 하류로 이어지는 강우유출수의 흐름을 이해하고 상류에서 최대한 유출량을 분산시켜 하루에 영향을 최소화 시키는 것이 핵심이다. 표4-1 매트릭스의 지구단위규모-홍수 설계 기준을 적용한 도면은 다음 같다.



[그림 4-9] 홍수 탄력성 개선을 위한 유역적 맥락을 활용한 지구규모 설계원칙 적용 도시설계 방안

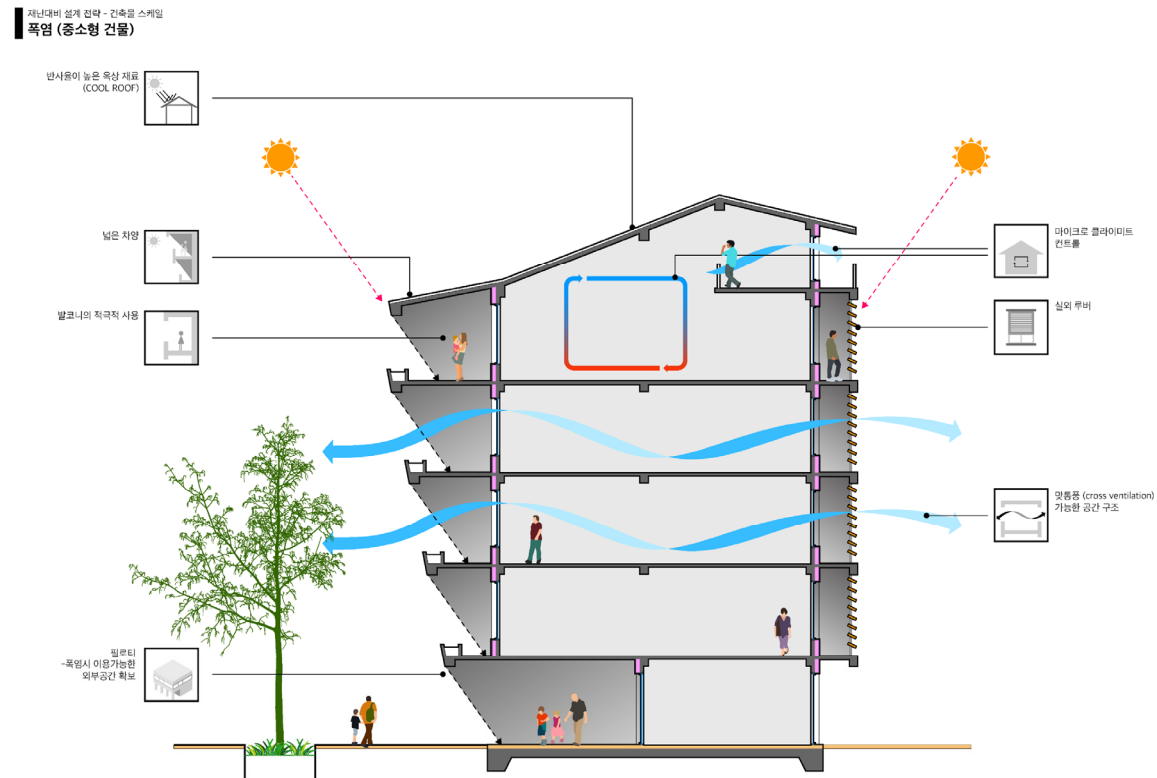
출처: 연구진 직접 작성

② 건축물 규모 설계방향

건축물 규모 설계전략은 취약성 진단결과에 따른 4개 그룹을 대상으로 표4-4 매트릭스의 건축물 규모 설계기준을 따라 정리했다. 유형은 ‘폭염 탄력성 개선형(HL 그룹형)’, ‘홍수 탄력성 개선형(LH 그룹형)’, ‘폭염과 홍수 복합 탄력성 개선형(HH 그룹형)’, 그 외 양호지역(LL 그룹형) 건축설계 전략 등이다. 건축물은 규모에 따라 중소형 건축물과 고층 건축물로 유형을 세분화 했다.

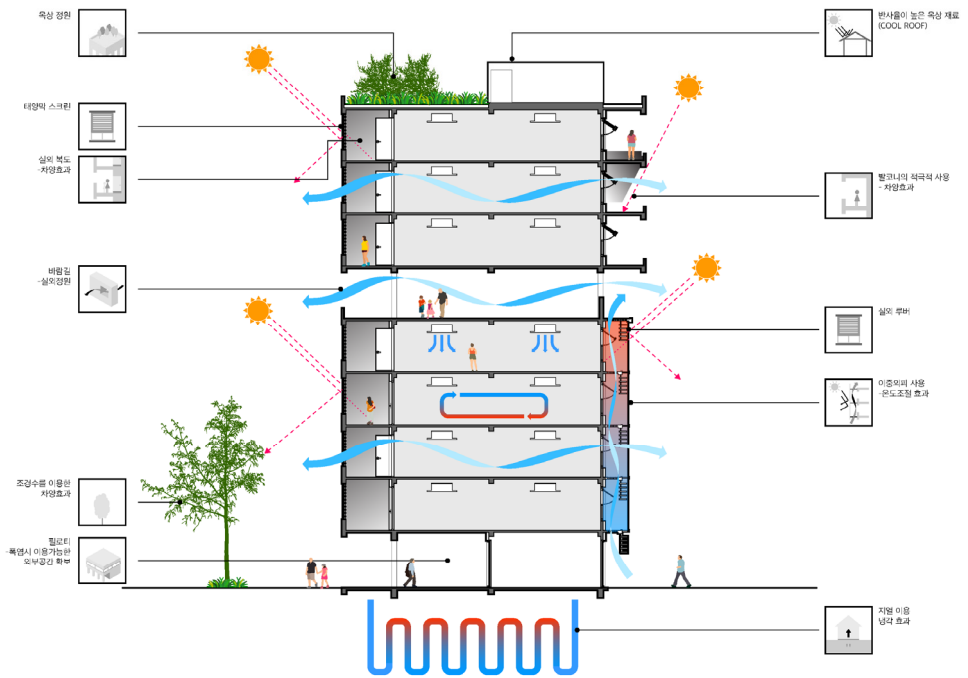
□ 폭염 탄력성 개선 건축 설계 방안

폭염 취약성이 높은 지역에 적용 가능한 건축물의 설비와 공간 배치기법을 종합한 설계 방안을 표 4-1 매트릭스의 건축물-폭염 원칙에 맞춰 시각화 했다. 해당 설계방안은 건축물이 폭염에 탄력성을 높게 가져가기 위해 필요한 설비를 건물의 규모에 따라 모두 배치한 것으로 태양의 방향과는 무관한 개념적 디자인 방안이다.



[그림 4-10] 폭염 탄력성 개선을 위한 건축물 설계 원칙 적용 중소형 건물의 디자인 방안
출처: 연구진 직접 작성

개념도시 설계 전략 - 건축물 스케일
폭염 (중형 건물 이상)



[그림 4-11] 폭염 탄력성 개선을 위한 건축물 설계 원칙 적용 중형건물 이상의 디자인 방안
출처: 연구진 직접 작성



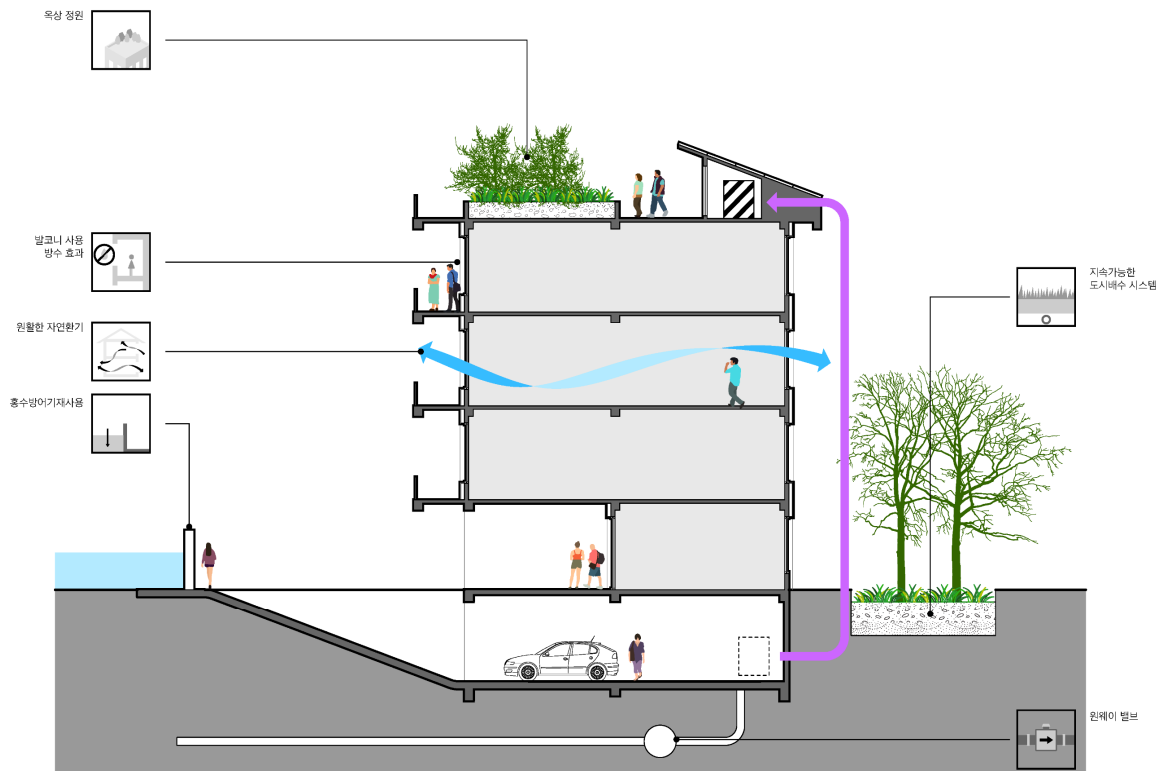
[그림 4-12] 폭염 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 건축물 예시도
출처: 연구진 직접 작성

□ 홍수 탄력성 개선 건축 설계방안

홍수 탄력성 개선 건축설계 전략은 홍수 취약성이 높게 진단된 도시에 적용가능한 건축 설계가이드라인이다. 탄력성을 높이기 위한 설계적 기법을 중소형 건축물과 중형 건축물 이상 규모로 구분해 표 4-1의 매트릭스의 건축물 홍수 원칙을 적용했다. 결과는 다음과 같다.

도시지역의 홍수는 집중호우에 의한 배수 용량초과에 따른 역류성 홍수가 일반적이다. 주로 도로하부의 배관과 이어진 맨홀로부터 유출된 월류수가 인접 건축물의 지하와 1층으로 흘러들어 인명과 재산 피해를 야기한다. 이에 대한 방재시스템을 고려하고, 건축물의 옥상과 인접 녹지를 적절히 활용해 빗물의 체류시간을 최대한 연장할 수 있도록 한다. 이는 하류로 연계되는 유량을 각 건물이 분산해 완화하는 역할을 하기 때문이다.

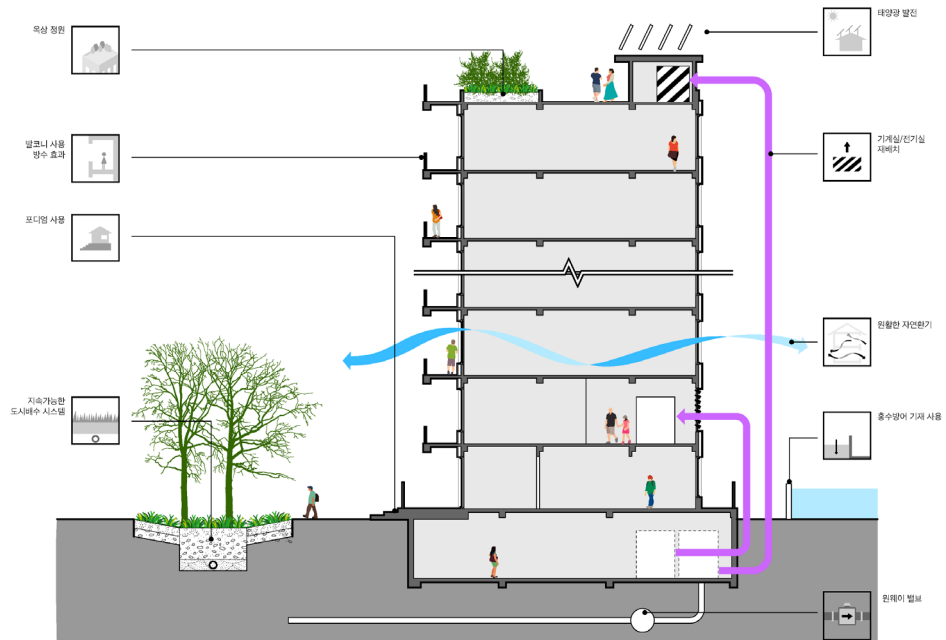
재난대비 설계 전략 - 건축물 스케일
홍수 (중소형 건물)



[그림 4-13] 홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 중소형 건축물의 디자인 방안

출처: 연구진 직접 작성

재난대비 설계 전략 - 건축물 스케일
홍수 (중형 건물 이상)



[그림 4-14] 홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 중형이상 건축물의 디자인 방안
출처: 연구진 직접 작성

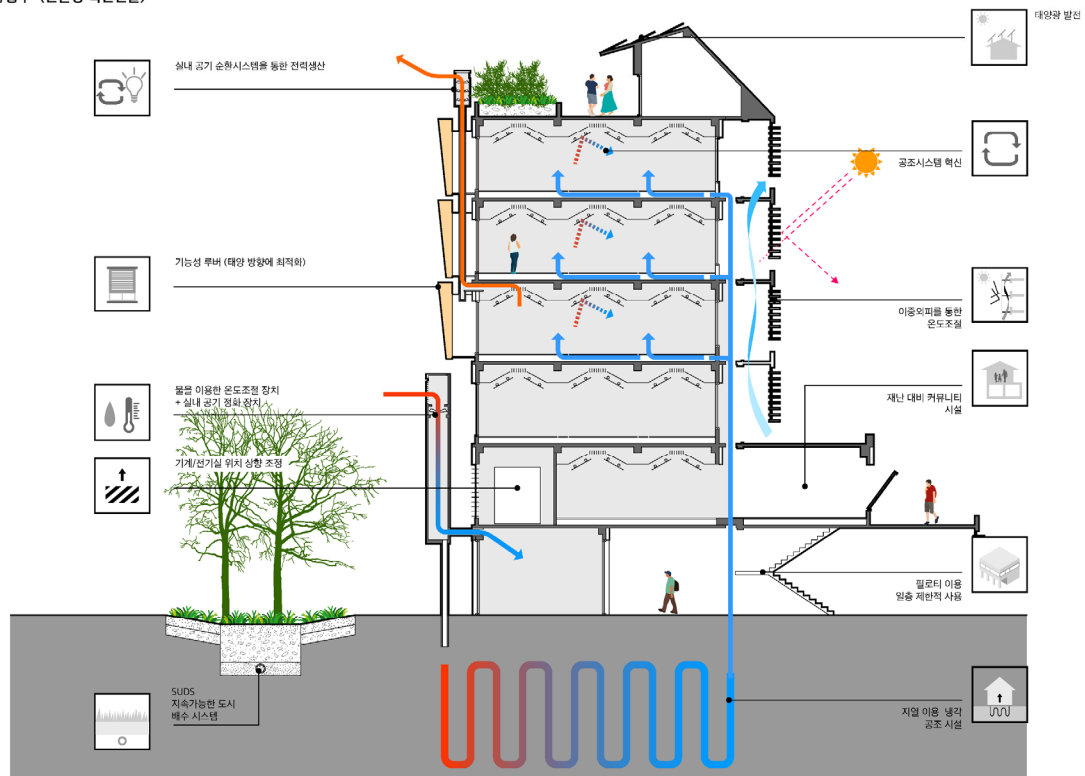


[그림 4-15] 홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 건축물 예시도
출처: 연구진 직접 작성

□ 폭염+홍수 복합재해 탄력성 개선 건축 설계 방안

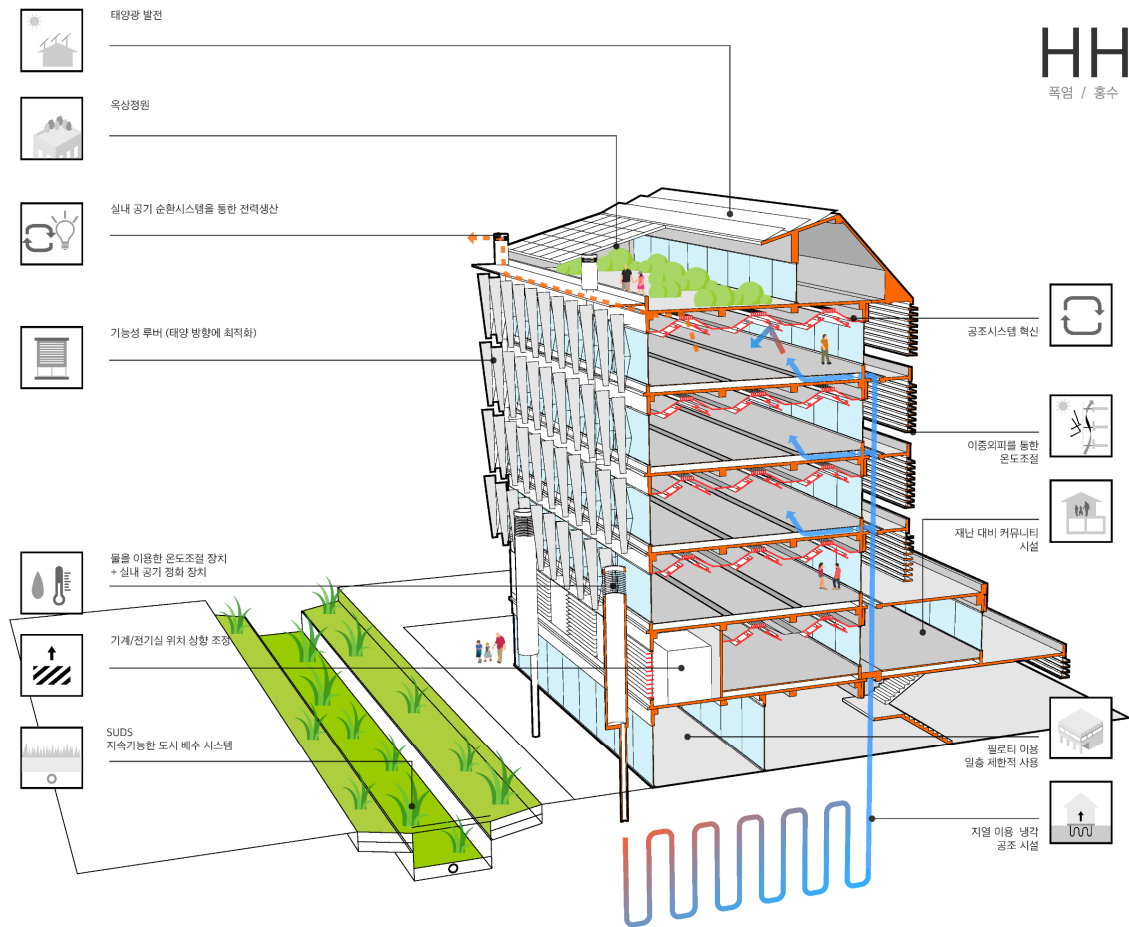
폭염과 홍수에 대한 취약성이 함께 높은 지역은 혁신적인 친환경기술 적용을 제안한다. 해당지역은 폭염과 홍수 두 가지 자연재해에 대한 탄력성을 건축물을 통해 개선하기 위해서 다양한 건축설계 기법이 동시에 적용되어야 한다. 따라서 표4-1 매트릭스의 건축물 규모 폭염과 홍수 설계원칙을 모두 적용했을 때 건축 디자인에 필요한 요소가 무엇인지에 대한 기준이 될 수 있다.

재난대비 설계 전략 - 건축물 스케임
폭염/홍수 (친환경 혁신건물)



[그림 4-16] 폭염-홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 건축물 디자인 방안

출처: 연구진 직접 작성

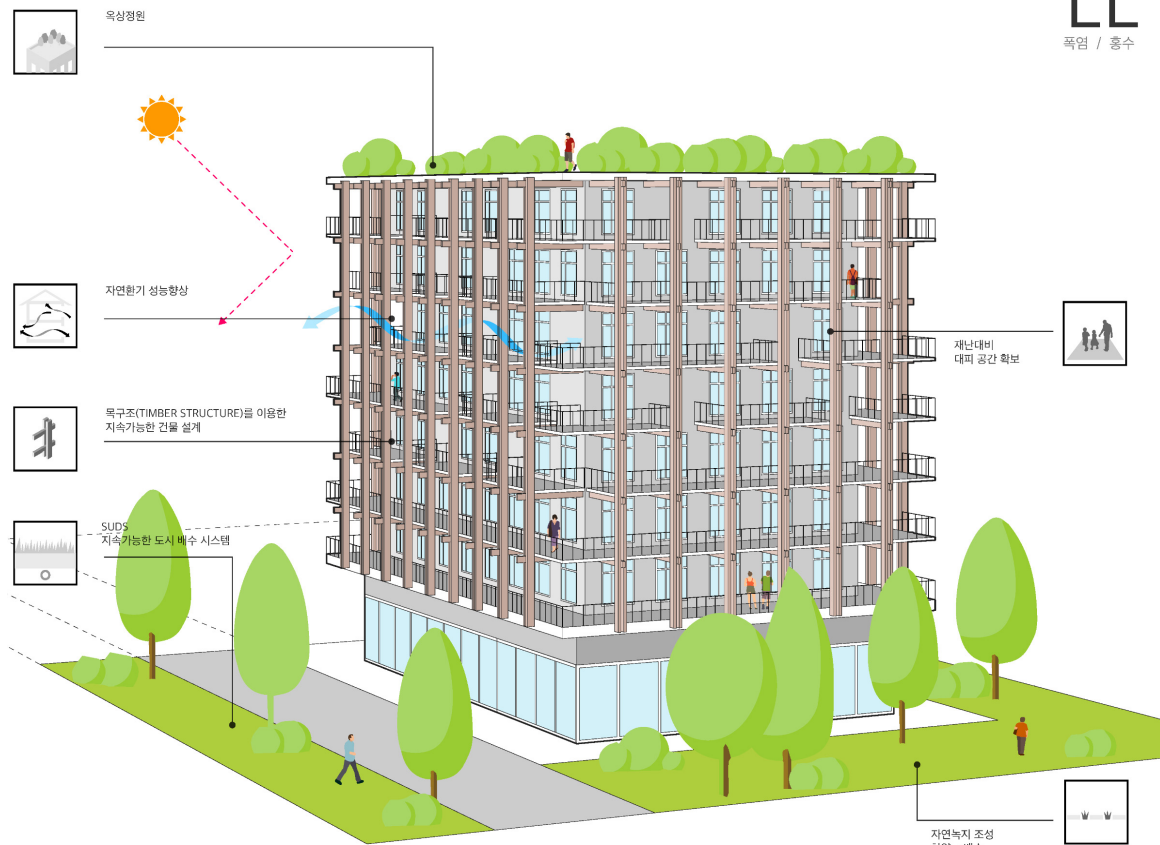


[그림 4-17] 폭염-홍수 탄력성 개선을 위한 건축물 설계원칙 적용 건축물 예시도
출처: 연구진 직접 작성

□ 양호지역 건축설계 방안

양호한 지역은 폭염과 홍수 모두 취약성이 높지 않게 나온 지역이다. 그러나 미래 기후 변화 불확실성에 대한 대비는 필요하다. 이는 전반적으로 높아지는 평균기온과 인접지역의 홍수의 영향을 최소화하기 위한 기능이 필요하므로 양호지역 또한 건축물의 설계 방향 또한 재고되어야 한다.

지구온난화에 따라 폭염의 영향이 높아질 것으로 전망 되므로 현재 일반건축물의 설계에 비해 자연환기와 옥상녹화, 발코니와 루버를 활용해 태양복사열을 적절히 제어 할 수 있는 방향으로 개선되어야 한다. 양호지역의 건축 디자인 예시는 다음과 같다.



[그림 4-18] 폭염과 홍수취약성이 낮은 양호지역의 건축설계 방향
출처: 연구진 직접 작성

3. 탄력적 도시설계의 정책화 방향

1) 탄력적 도시설계를 위한 쟁점

① 자연재해를 고려한 도시설계에 대한 인식

도시설계에 대한 많은 정의가 있다. 통상적으로 신규개발과 기존도시의 개선을 위한 공간계획 도구이자 최소한의 기준으로서 의미를 갖는다. 일반적 시각에서 신규개발과 기존도시의 개선은 부동산으로서 토지와 건물이 갖는 경제적 가치가 개선됨을 우선시한다. 이러한 자본과 가치상승에 초점을 둔 도시의 물리적 형태는 거주자의 지속가능한 삶의 질 보다는 자본과 가치에 유리한 방향으로 형성된다.

현실적으로 도시가 사용 단계에 들어간 이후에는 초기 기획과 설계에 관여했던 이해당사자가 대부분 남아 있지 않는다. 사용 중에 자연재해가 발생해 인명·재산피해가 발생하면 자연재해 발생에 대한 고려를 하지 않은 건설 주체는 책임을 지지 않고 국가와 공공, 개인이 그 책임을 그대로 떠안아 사회적 비용이 발생하고 있다. 공공이 개입할 수 있는 도시설계 과정에 자연재해에 대한 취약성을 의무적으로 반영해야 하는 이유다. 취약성을 확인하고 이를 극복할 수 있는 탄력적 요소를 도시설계에 포함해 건축설계와 시공에 적용되도록 하는 과정이 앞으로 우리가 해결해야 할 과제이기도 하다.

□ 공공재로서 도시탄력성 확보 논리의 방향성

도시민의 관점에서 도시와 건물의 물리적 형태는 공공재 성격을 갖는다. 자연재해가 발생했을 때 본능적으로 건물을 비롯한 안전한 공간으로 피신하고 건물과 시설에서 안전함을 누리하고자 하는 행태가 변하지 않는 한 도시설계의 공공성 확보는 시장의 자본논리와 사회적 인식 측면에서 충돌을 피할 수 없다. 현재도 공공영역에서 정한 도시설계 기준을 건축 시 따르도록 도시계획제도가 운영되고 있다.

그럼에도, 시장논리와 공공성간 사회적 합의점을 찾아가는 과정에서 기후변화에 따른 자연재해는 특유의 불확실성을 필요성은 인식하나 제도화되고 있지 못하다. 건축과 도시가 물리적으로 변화하면 최소 20년 이상 사용이 전제되므로 기후변화에 따른 자연재해 영향을 제도적으로 포함하기 위해 객관적 데이터를 지속적으로 축적하고 활용할 수 있는 공공정보체계가 운영될 수 있는 방향으로 전환되어야 한다.

□ 도시탄력성 제고를 위한 프레임워크 부재

아직 우리나라의 도시와 건축 관련 정책과 제도에는 탄력성에 대한 직접적 명시가 된 프레임워크와 운영사례는 거의 없다. 이를 위한 프레임워크의 기본 구조를 구성해보자. 탄력성은 생성과 개선의 개념으로 나눌 수 있다. 도시의 탄력성 생성은 초기 발전단계부터 도시의 구조적인 특성을 계획적인 수단을 통해 미리 관리함으로써 폭염 및 홍수 자연재해로부터의 충격 최소화에 주안점을 둔다. 반면, 도시의 탄력성 개선은 기 성장된 도시의 낙후, 노후한 부분들을 보완, 수정, 대체함으로써 폭염 및 홍수와 같은 자연재해에 노출된 취약성을 보충, 소실된 회복 탄력성을 복원하거나 개선하는데 초점을 둔다.

이를 공간 규모에 따라 도시규모-지구규모-건축물규모로 엮을 수 있다. 이러한 공간적 위계는 국가급 기후변화 정책과 연결이 되어야 하며, 국제사회에서 정한 파리협약의 의무이행 사항과 연결시켜야 한다. 결과적으로 파리협약에서 요구하고 있는 기후변화 적응, 자연재해에 대한 예방을 통한 손실과 피해 최소화에 대한 해법을 입체적으로 연계해 시행하고 그 결과를 국제사회와 공유할 수 있게 된다. 현재 국내 도시 관련 정책에는 이러한 프레임워크가 존재하고 있지 않기 때문에 현행 도시설계 관련 제도 중 핵심적인 정책을 선택해 탄력적 도시설계에 대한 프레임워크 구조를 제안한다.

② 탄력적 도시설계 제도화를 위한 현행 법·제도

현행 우리나라 도시설계는 『국토의 이용 및 계획에 관한 법률(이하:국계법)』이 정한 틀에서 운용된다. 국내에서 신도시, 택지개발지구 등의 도시계획 및 설계와 관련하여 가장 근간이 되고 있는 국계법은 국토의 이용·개발과 보전을 위한 계획의 수립 및 집행 등에 필요한 사항을 정하여 공공복리를 증진시키고 국민의 삶의 질을 향상시키는 것을 목적으로 한다. 이 법을 근거로 하여 「광역도시계획」, 「도시·시기본계획」 및 「지구단위계획」이 포함된 「도시·군관리계획」 등이 수립되고 있으며, 이 중 도시·군 관리계획은 해당 지역의 도시설계를 하는데 있어 실질적으로 법적 효력을 가지고 있는 상위계획이다.

주로 신규 개발과 관련해 도시·군 관리계획을 통해 수립되는 지구단위계획은 「건축법」 등과 더불어 개별필지 내 건축물 설계단위에까지 관여하는 세부시행지침이다. 현재 국내에서는 택지개발지구 등의 개별사업에 관한 「지구단위계획시행지침」을 수립하는데 있어 국토교통부에서 제시하고 있는 「지구단위계획수립지침」을 기반으로 한다.

기존 도시의 재생은 『도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법(이하: 도시재생법)』에서 정한 바를 따른다. 도시재생법은 도시 정비사업, 구도심 활성화 사업, 임대주택 보급사

업, 특별 재난지역에 대한 재생사업 등 기존시가지의 경제·문화·사회적 활력 회복을 위한 공공분야의 사업 지원에 목적을 두고 있다. 도시재생사업은 「도시재생전략계획」, 「도시재생활성화계획」을 기반으로 진행되며 각 계획은 국제법에서 정한 도시·군 기본 계획의 내용과 부합되어야 한다.

대표적으로 도시설계시 참고해야하는 자연재해와 관련한 법·제도는 『자연재해대책법(이하: 자연재해법)』에서 정한 「재해영향성검토」, 「재해영향평가」, 「자연재해저감종합 계획」, 「지구단위홍수방어기준」과, 국제법에 의한 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」이 있다.

□ 도시설계 정책의 운영의 한계

우리나라 도시설계 관련 정책은 인·허가를 기준으로 작동된다. 도시 개발과 관련한 견제기구로서 인·허가권자는 도시계획위원회, 경관위원회, 건축위원회 등을 설치해 각 관련법에 의해 운영할 수 있다. 해당 위원회는 심의 권한을 갖고 시장논리에 따른 과도한 개발이 이뤄지는 것을 방지하기 위해 법률과 지침에 근거한 조정을 실행할 수 있다. 각종 위원회에서 법률과 지침에 의거해 개발의 범위와 물리적 형태를 조정하고 이를 수용하지 않으면 인·허가권자의 최종 결정을 득하지 못하는 구조를 갖고 있으므로 위원회는 도시설계의 형태를 완성할 수 있는 중요한 기능을 갖는다.

이러한 도시정책과 제도가 운영되기 이전에 조성된 무계획적으로 난개발 된 구시가지는 새로운 법률이 적용되지 않으며, 복잡한 정치적 이해관계 따른 압력이 높은 개발사업의 경우 위원회의 심의기능이 제 기능을 다하지 못하는 경우가 크다. 이럴 경우 관련 제도가 있다 하더라도 환경영향에 대한 검토가 제대로 이뤄질 수 없으므로 언제든지 자연재해가 발생할 가능성이 충분하다.

홍수는 오래전부터 많은 경험의 쌓여있어 제도적 위계가 탄탄하다. 그러나 폭염은 1994년 이후 2018년 처음 전국적인 이슈가 된 만큼 제도화되기에 사회적 합의와 시간이 필요하다. 행정안전부는 『재난 및 안전관리 기본법(2018.9 개정)』 개정을 통해 폭염을 주요 재해 중 하나로 명시한 것이 시작점이라 할 수 있다. 그러나 아직 기본법 이하 법 제도상에서 구체적인 폭염의 위험성을 경감하기 위한 기준과 지침은 거의 전무하다. 폭염이 취약한 기초지자체가 자발적으로 폭염피해 예방에 관한 조례를 신설하고 있다¹⁾.

1) 2019년 11월 현재 폭염관련 조례 제정 지자체 : 경상북도, 광주광역시, 대구광역시, 대전광역시, 인천광역시, 전라남도, 부산광역시 중구, 서울특별시 양천구, 군산시, 김천시, 담양군, 속초시, 수원시, 여주시, 평택시 등 19개 지방자치단체가 행정안전부의 정책과 연계해 종합대책 마련의 기준으로 운영하고 있다.

2) 탄력적 도시설계 개념 도입을 위한 현행 정책 개선방향

□ 입지선정 시 환경정보 체계적 활용 제도와

잘못된 입지선정으로 인해 한 도시의 자연재해 취약성은 거의 불가역적인 형태로 가중되는 문제가 발생할 수 있다. 특정 시설이 부정적 환경영향에 대한 충분한 검토가 이루어지기 전에 사안을 결정해 입지하면, 근본적인 예방, 즉 탄력성을 높이는 방안을 적용하기 어렵게 된다. 잘못된 입지선정 문제는 관련 제도가 있다하더라도 미래 기후 영향에 대한 검토가 제대로 이루어지지 않는다면 현재에도 발생할 수 있는 개연성은 충분히 존재한다. 따라서 도시설계를 통한 탄력성을 체계적으로 확립 할 수 있도록 취약성 진단을 활용한 공간위계별 프레임워크를 고려해야 한다.

향후 기후변화로 인한 폭염과 침수 문제는 더욱 심각해질 것으로 전망되는 가운데, 향후 환경성평가, 전략영향평가 및 환경영향평가를 통해 도시 내 시설의 입지적정성을 판단하는 과정에서 취약성 가중여부와 정도는 물론 이를 최소화할 수 있는 추가 대안 또한 충분히 검토하는 것이 기초조사단계에서 의무적으로 이뤄져야 한다. 또한 실행계획의 근거가 되는 재해예방에 관한 모호한 개념을 개선해야한다. 이는 도시설계 정책 기준이 되는 지구단위계획수립지침에서 심도 있는 개선에 관한 고려가 필요하다.

□ 원활한 도시설계 정책 운용을 위한 관련 심의 기준 개선

도시설계가 적용되는 관련 심의절차에 탄력적 도시설계 개념이 적용될 수 있도록 개선이 필요하다. 도시계획심의회는 비록 도시개발사업으로 인한 다양한 문제들을 사전에 점검하여 우려되는 문제들을 최소화하기 위한 목적으로 구성된다. 다만 지금까지의 도시계획심의회는 건축, 교통 분야에 집중된 경향이 강하였으며, 환경적 영향에 대한 검토는 사실상 매우 형식적인 절차에 그쳤다.

재래적인 침수를 비롯해 폭염은 물론 미세먼지 등 신종 자연재해에 대한 우려가 급증하고 있는 이 시점에서 도시계획심의 또한 한층 더 환경 분야에 대해서는 형식적인 절차 관행에서 벗어나 실질적 검토가 이루어질 필요가 있다. 이를 위해서는 도시계획심의를 위한 자료가 기후변화에 따른 영향을 다룬 환경 분야에서 한층 더 보강될 필요가 있다. 그 일환으로 독일 베를린의 환경지도(Umweltatlas)와 같이 도시 전체적으로 주요한 환경적 정보가 주기적으로 공간 데이터로서 축적된 근거자료들이 미리 마련되어 심의자료 작성 시 함께 첨부될 필요가 있다.

□ 도시재생, 복지 등 기존 도시정책과 융·복합 추진

지금까지의 자연재해 대책은 아직까지 주로 자연재난분야 한 곳의 현안으로서 사후 응급, 즉각적인 대응 성격이 강하였다. 하지만 실제 폭염과 침수로 인해 발생하는 피해의 양상이나 범위를 살펴보면, 취약계층 및 취약시설 관리의 관점에서만 보더라도 매우 다양한 분야(주택, 도시, 교통, 복지, 보건 등)들이 연관되어 있고 기후변화 영향에 따라 관련 대책이 중장기적으로 시점이 확대됨에 따라 그 연관성은 더욱 커진다.

탄력성 제고를 위한 중장기적 대책의 효과적 추진을 위해서는 대책을 기존 사업과는 별개로 자체적인 사업을 신규 발굴하기 보다는 타 분야에서 추진 중인 사업들 중 폭염과 침수의 취약성과 연관되는 부분에 대해 연계 협력하는 방식으로 도시설계적 방안을 복합화 할 필요가 있다. 일례로 도시재생사업은 정주환경개선을 목적으로 추진됨에 따라 정주공간의 폭염과 침수 취약성 문제의 해결을 별도의 자체 신규 사업이 아닌 기존 도시재생사업의 큰 틀 안에 정주환경개선의 일환으로서 탄력성 개선을 담아내도록 함으로써 별도의 추가재원을 소요하지 않더라도 도시설계과정에서 정책추진을 원활히 할 수 있을 것이다.

3) 탄력적 도시설계 원칙을 고려한 관련 법·제도 개선안

현행 도시설계 관련 법제도는 탄력성에 대한 개념을 놓고 볼 때 간접적이지 포괄적인 수준에 머물러 있다. 우리나라 도시는 탄력성과는 제도적인 연결성이 약하다. 탄력성을 제도적으로 연결하기 위해 우리나라 도시설계 제도의 유형을 따르는 것이 필요하다. 도시설계는 신규 도시 조성에 관한 제도로서 지구단위계획이 있으며, 기성도시 개선과 관련해 도시재생정책이 운영되고 있다. 재해 영향과 관련해서는 도시운영 과정에서 재해 영향평가를 수행하거나 주요 건축물 관련 시설에 대한 재해예방기준이 도시정책과 연계되어 운영 중이다. 개별법에 의한 분산되어 있는 탄력적 개념을 도시설계를 통해 집약하기 위해서 도시와 관련된 제도의 개선이 필요하다.

본 연구에서는 신규 도시 조성 관련 제도로서 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』과 관련한 「지구단위계획수립지침」, 기성 도시 개선관련 제도로서 현재 도시재생지구 지정 및 사업운영을 통해 기존 도시의 변화를 도모하고 있는 『도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법』에 따른 「도시재생전략계획」을 대상으로 개선안을 제안한다. 그리고 도시와 건축시설물의 복합재해 피해 저감을 위한 다양한 정책이 체계화 되어 있는 『자연재해대책법』을 검토한다.

① 신규 도시조성관련 제도 : 지구단위계획수립지침

□ 지구단위계획의 목적과 이슈

지구단위계획은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제4장 제4절 제49조에서 제52조에 규정되어 있는 내용에 근거하여 도시·군 관리계획으로 결정되고 수립된다. 동법 제49조제1항에 따르면 지구단위계획은 도시의 정비·관리·개발 등 지구단위계획구역의 지정목적, 주거·산업·유통·관광휴양·복합 등 지구단위계획구역의 중심기능, 해당 용도지역의 특성 외에 안전하고 지속가능한 생활권의 조성 등을 고려해 수립하도록 하고 있다. 구체적으로 지구단위계획구역의 토지이용을 합리화하고 그 기능을 증진시키며 경관·미관을 개선하고 양호한 환경을 확보하며, 당해 구역을 체계적·계획적으로 개발·관리하기 위하여 건축물 그 밖의 시설의 용도·종류 및 규모 등에 대한 제한을 완화하거나 건폐율 또는 용적률을 완화하여 수립하는 계획의 성격을 지니고 있다

지구단위계획수립지침에 따르면 지구단위계획은 구역지정과 계획수립으로 구분된다. 지구단위계획구역은 지침 2-1-3에 의해 환경 친화적으로 지정되어야 함을 원칙으로 제시하고 있다. 이때 근거로서 환경성검토²⁾를 시행결과를 제시해야한다. 구역지정은 입지 선정에 해당한다. 환경성 검토는 택지개발사업 등을 위한 지구단위계획 수립 시 지구단위계획구역 지정을 위한 입지적 여건 등을 조사, 검토하는 기준으로 진행된다.

그러나 실제 지구단위계획수립의 기준이 되는 시행지침에서는 이와 직접적으로 연결되는 내용은 없다. 즉, 입지 선정 시 자연재해와 관련성 있는 대부분의 항목을 검토한 환경성검토 결과를 도시설계과정인 계획수립단계에서 연결하지 못한다. 실무적으로는 구체적인 공간계획 수립 시 환경영향평가 등을 통해 별도의 계획을 수립하도록 하고 있는 실정이다. 현행 지구단위계획은 자연재해·재난 대응과 관련해 환경 친화에 대한 통합적인 마스터플랜 수립지침의 부재, 한정된 환경관리 부문 수립지침의 광범위한 내용, 건축물계획 부문과 환경부문이 분리된 수립지침, 건축물 용지별 관련 수립지침의 미비, 계획적 고려에 한정된 한계를 안고 있다. 따라서 신규 도시조성과 관련해 폭염과 도시홍수에 탄력적인 지구단위계획이 수립되도록 지침의 개선안을 제안한다.

2) 환경성 검토는 환경오염, 기후변화, 생태계 및 주민의 생활에 미치는 영향의 원천적 해소 또는 저감을 목표로 하고 있다. 구체적으로 자연환경과 생활환경 환경성 검토로 구분된다. 자연환경의 환경성 검토항목은 기상·기후 및 에너지, 지형, 토양 및 지반, 물 순환, 녹지, 경관, 주요 비오름 및 동·식물 서식지이고, 생활환경의 환경성 검토 항목은 유향 및 여가공간, 대기질, 수질, 소음·진동, 폐기물 등이다. 특히, 게릴라성 호우 등 기상 변화로 인한 재해에 대한 대비 등을 평가하도록 되어 있다.

□ 개선안 1 : 총칙

현 지구단위계획의 성격을 규정하는 총칙에 기후변화에 대한 문구가 존재하지 않는다. 기후변화 대응과 관련한 문구를 추가해 지구단위계획을 통한 도시설계과정에서 자연재해에 대한 대응 명분을 가져갈 수 있도록 한다.

[표 4-2] 지구단위계획 수립지침 개선안 1 : 총칙 개선

구분	제1장 총칙 제2절 지구단위계획의 성격
기정	1-2-1. 지구단위계획은 당해 지구단위계획구역의 토지이용을 합리화하고 그 기능을 증진시키며 경관·미관을 개선하고 양호한 환경을 확보하며, 당해 구역을 체계적·계획적으로 개발·관리하기 위하여 건축물 그 밖의 시설의 용도·종류 및 규모 등에 대한 제한을 완화하거나 건폐율 또는 용적률을 완화하여 수립하는 계획이다. 1-2-6. 지구단위계획은 인간과 자연이 공존하는 환경 친화적 환경을 조성하고 지속가능한 개발 또는 관리가 가능하도록 하기 위한 계획이다 1-2-7. 지구단위계획은 향후 10년 내외에 걸쳐 나타날 사군의 성장발전 등의 여건변화와 향후 5년 내외에 개발이 예상되는 일단의 토지 또는 지역과 그 주변지역의 미래모습을 상정하여 수립하는 계획이다.
변경	1-2-1. 지구단위계획은 당해 지구단위계획구역의 토지이용을 합리화하고 그 기능을 증진시키며 경관·미관을 개선하고 양호한 환경을 확보하며, 변화하는 기후환경에 대응하고 , 당해 구역을 체계적·계획적으로 개발·관리하기 위하여 건축물 그 밖의 시설의 용도·종류 및 규모 등에 대한 제한을 완화하거나 건폐율 또는 용적률을 완화하여 수립하는 계획이다. (수정) 1-2-6. 지구단위계획은 인간과 자연이 공존하는 환경친화적 환경을 조성하고 지속가능한 개발 또는 관리가 가능하도록 하기 위한 계획으로, 특히 지구적 차원의 기후 변화에 대응할 수 있도록 계획을 수립하여야 한다. (수정) 1-2-7. 지구단위계획은 향후 10년 내외에 걸쳐 나타날 시·군의 성장·발전 등의 여건변화와 향후 5년 내외에 개발이 예상되는 일단의 토지 또는 지역과 그 주변지역의 미래모습을 상정하여 수립하는 계획이다. 또한, 향후 장기적인 기후 변화를 예상하며 이에 대한 대응이 가능하도록 지구단위계획 시행지침에 반영되어야 한다. (수정)

□ 개선안 2 : 지구단위계획 구역 지정의 일반원칙

지구단위계획의 공간적 범위를 설정하는데 있어 환경성평가 등 기초조사를 시행하게 된다. 그러나 현행 지구계 지정시 도시의 여건을 종합 판단하는 근거에 기후변화에 따른 취약지역에 대한 사항이 명시되어 있지 않다. 지구단위계획 지구 지정 단계에서부터 취약지역을 인지하고 계획수립에 연계될 수 있도록 근거를 마련할 필요가 있다. 이는 본 연구에서 제안한 기후변화 자연재해 취약성 진단과정을 수행하는데 근거가 된다.

[표 4-3] 지구단위계획 수립지침 개선안 2 : 구역지정 일반원칙

구분	제2장 지구단위계획구역의 지정 및 지구단위계획의 수립 제1절 지구단위계획구역 지정의 일반원칙
기정	2-1-1. 지구단위계획구역의 지정은 ~ 지구단위계획구역을 지정할 때에는 당해 구역 및 주변지역의 토지이용, 경관현황, 교통여건, 관련계획 등을 함께 고려하여 지구단위계획으로 의도하는 목적이 달성될 수 있는지 그 타당성을 면밀히 검토하여야 한다.
변경	2-1-1. 지구단위계획구역의 지정은 ~ 지구단위계획구역을 지정할 때에는 당해 구역 및 주변지역의 토지이용, 경관현황, 교통여건, 관련계획, 기후변화에 따른 예상취약지역 등을 함께 고려하여 지구단위계획으로 의도하는 목적이 달성될 수 있는지 그 타당성을 면밀히 검토하여야 한다. (수정)

□ 개선안 3 : 지구단위계획 수립기준의 일반원칙

현행 지구단위계획 수립의 일반원칙에는 개발의 목적과 용도의 특성, 공동체, 경관이 주요하게 다뤄지고 있으며, 안전하고 지속가능한 생활권 조성이 관련된 원칙으로 명시되어 있지만 구체성이 부족하다. 따라서 기후변화에 따른 자연재해를 고려하고 폭염 및 폭우에 탄력적인 토지이용 및 건축계획 수립 지침이 마련되도록 원칙에 포함시킨다.

[표 4-4] 지구단위계획 수립지침 개선안 3 : 계획 수립기준 일반원칙

구분	제3장 지구단위계획 수립기준(공통) 제1절 일반원칙
기정	3-1-1. 지구단위계획은 다음 각 호의 사항을 고려하여 수립한다. (1) 도시의 정비·관리·보전·개발 등 지구단위계획구역의 지정목적 (2) 주거·산업유통·관광휴양·복합 등 지구단위계획구역의 중심기능 (3) 해당 용도지역의 특성 (4) 지역 공동체의 활성화 (5) 안전하고 지속가능한 생활권의 조성 (6) 해당 지역 및 인근 지역의 토지이용을 고려한 토지이용계획과 건축계획의 조화 (7) 아름답고 조화로운 경관 창출 3-1-2. 지구단위계획에 포함하는 사항은 다음의 기준에 따른다. (1) 지구단위계획은 지구단위계획구역의 지정목적 및 유형에 따라 계획내용의 상세정도에 차등을 두되, 시장·군수는 당해 구역의 지정목적의 달성에 필수적인 항목 이외의 사항에 대해서도 필요시 포함하여야 한다.
변경	3-1-1. 지구단위계획은 다음 각 호의 사항을 고려하여 수립한다. (1) 도시의 정비·관리·보전·개발 등 지구단위계획구역의 지정목적 (중략) (5) 재난·재해 등으로부터 안전하고 지속가능한 생활권의 조성 (수정) (6) 해당 지역 및 인근 지역의 토지이용을 고려한 토지이용계획과 건축계획의 조화 (7) 아름답고 조화로운 경관 창출 (8) 기후변화를 고려한 토지이용계획 및 건축계획 (신설) 3-1-2. 지구단위계획에 포함하는 사항은 다음의 기준에 따른다. (중략) (2) 용지별(건축물 용도)로 폭염, 폭우에 관련된 환경부문 시행지침을 수립하도록 한다. (신설)

□ 개선안 4 : 환경관리

환경관리는 환경관리계획, 에너지 및 자원재활용, 환경오염방지 항목으로 구성된다. 이중 기후변화의 영향과 관련한 항목은 환경계획이다. 환경계획은 환경성검토결과를 기초해 수립하도록 되어있고, 토양, 경관, 수생태계, 야생서식처, 지형을 보존하는 방향으로 설정되어 있다. 그러나 기후변화에 따른 자연재해를 사전에 예측한 결과가 계획안에 반영되기 위한 기준이 현재 없으므로 이에 대한 추가적으로 필요하다.

[표 4-5] 지구단위계획 수립지침 개선안 4 : 환경관리

제3장 지구단위계획 수립기준(공통)	
제4절 환경관리	
구분	3-4-1. 환경관리계획은 도시군관리계획수립지침에 따른 환경성검토 결과에 기초하여 수립하고, 자연환경을 보전하기 위하여 다음 사항을 고려하여 계획을 수립한다. (중략)
기정	(3) 구릉지에는 가급적 자연지형을 살릴 수 있도록 저층 위주로 계획한다.
변경	3-4-1. 환경관리계획은 도시군관리계획수립지침에 따른 환경성검토 결과에 기초하여 수립하고, 자연환경을 보전하기 위하여 다음 사항을 고려하여 계획을 수립한다. (중략) (3) 구릉지에는 가급적 자연지형을 살릴 수 있도록 저층 위주로 계획한다. (4) 기후변화에 따른 자연재해 취약성이 높은 미 개발지역은 개발을 제한한다. (신설)

□ 개선안 5 : 기반시설

홍수에 대한 탄력성을 확보하기 위해서 기반시설 용량에 대한 고려가 필요하다. 기존의 배수관로의 성능을 뛰어 넘는 폭우가 예년과 다르게 발생하고 있기 때문에 생태수로와 같은 보조기능을 할 수 있는 기반시설 설치가 가능하도록 유도해야 한다. 또한, 폭염에 대한 탄력성 확보는 에너지 공급용량과 연계된다. 폭염 발생 시 실내 에어컨의 가동 비율의 증가로 전력소비량이 급증한다. 과거 에어컨 설치를 하지 않았던 기존 지역까지도 폭염을 경험한 이후에는 지속적으로 에어컨을 사용하게 된다. 특히 빌트인 에어컨 보급이 보편적이지 않았던 구시가지의 경우 송전용량을 초과하는 수요발생으로 화재사고가 빈번히 발생하고 있는 여건을 고려해야 한다.

[표 4-6] 지구단위계획 수립지침 개선안 5 : 기반시설

구분	제3장 지구단위계획 수립기준(공통) 제5절 기반시설
기정	3-5-4. 지구단위계획구역에 설치하는 기반시설의 용량을 산정하는 경우에는 다음 사항에 유의한다. (1) 당해 구역의 상주인구 ~ (5) 도시지역의 지역에 수립하는 지구단위계획에서 간선하수도란 대지면적 1㎡당 1일하수량 0.1톤 이상을 당해 대지에 공급할 수 있는 용량의 하수도시설을 말한다
변경	3-5-4. 지구단위계획구역에 설치하는 기반시설의 용량을 산정하는 경우에는 다음 사항에 유의한다. (1) 당해 구역의 상주인구 ~ (5) 도시지역의 지역에 수립하는 지구단위계획에서 간선하수도란 대지면적 1㎡당 1일하수량 0.1톤 이상을 당해 대지에 공급할 수 있는 용량의 하수도시설을 말한다. <u>(6) 폭우로 인한 예상 우수 용량을 검토하여 이에 부합하는 보조 기반시설 용량을 산정하도록 한다. (신설)</u> <u>3-5-9. 기반시설을 계획하는 때에는 폭우 또는 폭염으로 인한 에너지 사용 증가 등을 고려하고 건축물 계획과 연계하여 조성되도록 한다. (신설)</u>

□ 개선안 6 : 교통처리

폭염과 홍수가 발생하였을 때 보행동선에 있는 사람들은 직접적인 인명 사상 피해에 노출된다. 보행동선 계획상 공공보행통로가 긴급 피난동선으로 활용될 수 있도록 기준을 마련해야하며, 폭염에 대비해 직사광선을 차단할 수 있는 녹지대의 설치와 내부 경사를 설치해 폭우시 빗물이 모여 침수를 유발하지 않도록 하는 기준이 보완되어야 한다.

[표 4-7] 지구단위계획 수립지침 개선안 6 : 교통처리

구분	제3장 지구단위계획 수립기준(공통) 제6절 교통처리
기정	3-6-10. 보행동선계획은 다음 사항을 유의하여 수립한다. (8) 공공보행통로를 지정하는 경우에는 다음 사항을 고려하여야 한다. (중략) ② 향후 대지안에 거주하는 주민과 공공보행통로 이용자와의 분쟁발생 요인에 대해 사전분석을 통하여 분쟁이 발생되지 않도록 방안을 강구 하여야 한다. 3-6-11. 보행환경 확보를 위한 시설계획은 다음과 같이 한다. (1) 역사상가학교·공원버스정류장 등과 같이 ~ (4) 주거기능이 포함된 지구단위계획을 수립하는 경우에는 보행자의 안전과 편의를 위하여 보도 또는 보행자전용도로 등이 포함된 교통처리계획을 포함하여야 한다.
변경	3-6-10. 보행동선계획은 다음 사항을 유의하여 수립한다. (8) 공공보행통로를 지정하는 경우에는 다음 사항을 고려하여야 한다. (중략) ② 향후 대지 안에 거주하는 주민과 공공보행통로 이용자와의 분쟁발생 요인에 대해 사전분석을 통하여 분쟁이 발생되지 않도록 방안을 강구 하여야 한다. <u>③ 공동주택 단지 내 공공보행통로 지정 시 전·출입구는 상시 개방될 수 있도록 계획하고 단지 내에서는 담장 등의 차단시설 없이 모든 방향에서 접근이 가능한 계획을 수립하도록 한다. (신설)</u>

3-6-11. 보행환경 확보를 위한 시설계획은 다음과 같이 한다.

(1) 역사상가학교공원버스정류장 등과 같이 ~

(4) 주거기능이 포함된 지구단위계획을 수립하는 경우에는 보행자의 안전과 편의를 위하여 보도 또는 보행자전용도로 등이 포함된 교통처리계획을 포함하여야 한다.

(5) 보행자전용도로에는 폭염에 대비하여 햇빛을 차단할 수 있는 식재나 차양막 등을 설치하도록 하고, 경사도를 두어 폭우 시 우수가 저류되지 않도록 한다. (신설)

□ 개선안 7 : 건축물의 배치와 건축선

건축물의 배치와 건축선의 지정은 탄력성 확보에 큰 영향을 줄 수 있다. 폭염과 홍수 발생시 여유 공간에 대한 개념을 추가해 필로티 구조와 공개공지로서 활용가능성을 확대할 수 있도록 기준을 마련하고, 건폐율·용적률 등 건축물의 규모를 결정할 때 미래 기후에 관한 영향성을 검토한 결과를 참고하도록 명시한다.

[표 4-8] 지구단위계획 수립지침 개선안 7 : 건축물의 배치와 건축선

구분	제3장 지구단위계획 수립기준(공통) 제10절 건축물의 배치와 건축선
기정	3-10-1. 다음과 같은 경우에는 건축지정선·벽면지정선·건축한계선·벽면한계선 등을 지정하여 건축물이 적정하게 배치되도록 할 수 있다 (1) 가로경관이 ~ (중략) (3) 가로경관에 일정한 특성을 부여할 필요가 있는 경우 등 3-10-2. 건축한계선·건축지정선·벽면선 등은 인접가로의 폭, 특성과 관련하여 건폐율·용적률·개발 규모 등을 종합적으로 검토하여 지정하며, 공공시설을 확보하고 보행환경을 개선하는데 적극 활용되도록 한다.
변경	3-10-1. 다음과 같은 경우에는 건축지정선·벽면지정선·건축한계선·벽면한계선 등을 지정하여 건축물이 적정하게 배치되도록 할 수 있다 (1) 가로경관이 ~ (중략) (3) 가로경관에 일정한 특성을 부여할 필요가 있는 경우 등 <u>(4) 홍수 및 폭염 시 대응할 수 있는 여유 공간이 필요할 것으로 예상되는 경우(신설)</u> 3-10-2. 건축한계선·건축지정선·벽면선 등은 인접가로의 폭, 특성과 관련하여 건폐율·용적률·개발 규모, <u>기후변화 시나리오에 따른 영향</u> 등을 종합적으로 검토하여 지정하며, 공공시설을 확보하고 보행환경을 개선하는데 적극 활용되도록 한다. <u>(수정)</u>

□ 개선안 8 : 건축물의 형태와 색채

건축 디자인가이드라인이 적용되기 위해 많은 논의가 필요한 사항이 건축물의 형태와 색채다. 현행 지구단위계획수립지침의 건축물의 형태와 색채는 경관성에 집중되어 있다. 폭염과 홍수에 대한 취약성을 고려하면 전술 한 바와 같이 건축물의 외관, 색채에 대

한 조건이 부여될 수밖에 없다. 폭염 탄력성 개선을 위해서 이중외피, 루버, 차양이 건축물의 외형을 불가피하게 변화시켜야 하며, 홍수 탄력성 개선을 위해서는 저층 필로티와 옥상부 설비실 설치가 불가피 할 수 있다. 건축물의 안전성능의 강화와 건축물의 미학적 관점에서 경관에 대한 가치관의 충돌이 예상되지만, 인명과 재산을 보호를 우선 한다면, 이에 대한 조항의 조정이 필요하다.

[표 4-9] 지구단위계획 수립지침 개선안 8 : 건축물의 형태와 색채

구분	제3장 지구단위계획 수립기준(공통) 제11절 건축물의 형태와 색채
기정	3-11-3. 건축물의 색채는 주위와 조화시킴으로써 연속성 있는 가로경관을 조성하고 지역의 이미지와 특성을 부각시킬 수 있어야 한다. 3-11-6. 옥상부분은 옥외창고로 사용하는 것을 지양하고, 옥탑, 냉각탑의 건축설비는 주요한 도로변과 인근 건물에서 가급적 보이지 않도록 하거나 시각차폐물을 설치하는 것이 바람직하다. 3-11-7. 경관의 향상 또는 장소성을 주는 것이 필요한 지역 또는 건물의 형태·재료 등이 무질서하게 형성되어 가로의 연속성 및 경관의 통일성을 떨어뜨릴 우려가 있는 지역에 대하여는 건축물의 형태 및 외관에 대한 기준을 제시할 수 있다
변경	3-11-3. 건축물의 색채는 주위와 조화시킴으로써 연속성 있는 가로경관을 조성하고 지역의 이미지와 특성을 부각시킬 수 있어야 한다. <u>단, 폭염 취약성이 높은 지역의 건물은 열 차단 성능이 우수한 색채를 우선적으로 고려할 수 있다.(수정)</u> 3-11-6. 옥상부분은 옥외창고로 사용하는 것을 지양하고, 옥탑, 냉각탑의 건축설비는 주요한 도로변과 인근 건물에서 가급적 보이지 않도록 하거나 시각차폐물을 설치하는 것이 바람직하다. <u>단, 홍수 취약지역 내의 건물은 안전을 위해 전력과 관련한 건축설비를 옥상에 설치할 수 있다.(수정)</u> 3-11-7. 경관의 향상 또는 장소성을 주는 것이 필요한 지역 또는 건물의 형태·재료 등이 무질서하게 형성되어 가로의 연속성 및 경관의 통일성을 떨어뜨릴 우려가 있는 지역에 대하여는 건축물의 형태 및 외관에 대한 기준을 제시할 수 있다. <u>단, 폭염 취약성이 높은 지역의 건물은 루버, 차양설치를 우선적으로 고려할 수 있다.(수정)</u> <u>3-11-8. 폭염 등에 대비하여 햇빛 차단시설을 고려하여 형태를 계획하도록 한다. 공동주택의 경우 발코니 확장을 지양하고 발코니 형태가 차양막을 대체할 수 있도록 고려한다.(수정)</u> <u>3-11-9. 저층건축물의 경우 1층부 필로티 공간을 활용하여 폭우시 대비할 수 있는 계획을 강구한다.(수정)</u>

② 기성 도시조성관련 제도 : 『도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법』

□ 도시재생법 목적과 관련 이슈

도시재생법의 목적은 도시의 자생적 성장기반을 확충하고 도시 경쟁력을 높이며, 지역 공동체를 회복하는 등 국민의 삶의 질 향상에 이바지함이다. 도시재생법 제2조 1항에 명시된 도시재생의 정의는 다음과 같다.

“도시재생이란 인구의 감소, 산업구조의 변화, 도시의 무분별한 확장, 주거환경의 노후화 등으로 쇠퇴하는 도시를 지역역량의 강화, 새로운 기능의 도입·창출 및 지역자원의 활용을 통하여 경제적·사회적·물리적·환경적으로 활성화시키는 것을 말한다.”

현행법의 정의상 쇠퇴 도시의 기후변화나 자연재해에 대한 활성화에 대한 명시는 없다. 그러나 광의적으로 보면 '새로운 기능의 도입', '환경적 활성화'는 개연성이 있다. 또한 도시재생법 2조 1항의 7과 8은 도시재생사업의 유형을 정의한다. 그 중 8의 2는 특별재생지역으로서 『재난 및 안전관리 기본법』에 따른 특별재난 지역에 대한 도시재생사업을 실행할 수 있도록 정의되어 있다.

지침적인 도시재생전략계획은 향후 10년을 위한 도시재생전략을 수립하나 도시재생법 제13조에 내용을 보면 기후변화 등과 관련한 미래 자연재해를 대비해야하는 사항은 전무하다. 다만 필요에 따라 도시재생법 제 14조에 따라 필요한 기초조사 정보를 요청하거나 도시재생종합정보체계를 활용할 수 있지만 기후변화에 따른 자연재해는 언급되어 있지 않다. 하위 도시재생활성화계획 또한 마찬가지다. 이에 대한 개선이 필요하다.

쇠퇴도시의 시가지에 대한 활력을 도모하고 중장기 계획을 통해 사업이 진행되지만 미래 기후변화에 따른 재해의 위험성을 고려하고 있지 못하다. 더욱이 기초조사 단계에서도 해당지역에 어떠한 자연재해에 취약한지 점검하는 과정 또한 언급되지 않고 있다. 도시재생사업을 통해 지역을 활성화함을 목적으로 공공의 재원이 투입되는 만큼, 미래의 재해 안전을 대비할 수 있는 기본적인 체계에 대한 고려가 필요하다.

□ 도시재생법 개선안 : 도시재생전략계획의 내용

도시계획 전략계획의 내용 중 여건 분석항목에 변화하는 기후환경에 대비하기 위한 기초조사를 포함하고 기후변화 취약성을 도시재생활성화지역 우선순위 선정 기준에 포함하도록 제안한다. 또한 도시재생활성화 지역 지정 요건에 기후변화 취약성이 높은 지역을 포함할 수 있도록 한다. 관련 사항은 특별법 제13조와 시행령 제16조에 해당한다.

[표 4-10] 도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법 개선안 : 도시재생전략계획 등

구분	제13조 도시재생전략계획의 내용
기정	① 도시재생전략계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다. 1. 계획의 목표 및 범위 2. 목표 달성을 위한 방안 3. 쇠퇴진단 및 물리적·사회적·경제적·문화적 여건 분석 4. 도시재생활성화지역의 지정 또는 변경에 관한 사항 5. 도시재생활성화지역별 우선순위 5의2. 노면전차 등 대중교통시설 및 대중교통수단의 개선·확충을 통한 도시재생활성화지역 간 또는 주변지역과의 연계방안 6. 도시재생지원센터 구성 및 운영 방안 7. 지방정부 재원조달 계획 8. 지원조례, 전담조직 설치 등 지방자치단체 차원의 지원제도 발굴 12. 그 밖에 전략계획수립권자가 도시재생을 위하여 수립하는 사업 계획

	〈중략〉	
	④ 전략계획수립권자가 도시재생전략계획으로 도시재생활성화지역을 지정하려는 경우에는 다음 각 호의 요건 중 2개 이상을 갖추어야 한다.	
	1. 인구가 현저히 감소하는 지역	
	2. 총 사업체 수의 감소 등 산업의 이탈이 발생하는 지역	
	3. 노후주택의 증가 등 주거환경이 악화되는 지역	
	⑤ 제4항에 따른 요건의 세부 기준은 대통령령으로 정한다.	
변경	① 도시재생전략계획에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.	
	1. 계획의 목표 및 범위	
	2. 목표 달성을 위한 방안	
	3. 쇠퇴진단 및 기후변화 취약성 진단 . 물리적 · 사회적 · 경제적 · 문화적 여건 분석	
	4. 도시재생활성화지역의 지정 또는 변경에 관한 사항	
	5. 도시재생활성화지역별 우선순위	
	5의2. 노면전차 등 대중교통시설 및 대중교통수단의 개선 · 확충을 통한 도시재생활성화지역 간 또는 주변지역과의 연계방안	
	6. 도시재생지원센터 구성 및 운영 방안	
	7. 지방정부 자원조달 계획	
	8. 지원조례, 전담조직 설치 등 지방자치단체 차원의 지원제도 발굴	
	12. 그 밖에 전략계획수립권자가 도시재생을 위하여 수립하는 사업 계획	
	〈중략〉	
	④ 전략계획수립권자가 도시재생전략계획으로 도시재생활성화지역을 지정하려는 경우에는 다음 각 호의 요건 중 2개 이상을 갖추어야 한다.	
	1. 인구가 현저히 감소하는 지역	
	2. 총 사업체 수의 감소 등 산업의 이탈이 발생하는 지역	
	3. 노후주택의 증가 등 주거환경이 악화되는 지역	
	4. 노후 구도시 지역 등 기후변화에 따른 재해 취약성이 악화되는 지역	
	⑤ 제4항에 따른 요건의 세부 기준은 대통령령으로 정한다.	

[표 4-11] 도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법 시행령 개선안 : 도시재생전략계획 등

구분	제 16조 도시재생전략계획의 작성기준 및 작성방법
기정	전략계획수립권자는 도시재생전략계획을 작성할 때 다음 각 호의 사항을 고려하여야 한다.
	1. 도시의 쇠퇴를 과학적으로 진단하고, 물리적 · 사회적 · 경제적 · 문화적 현황 자료의 수집 · 분석을 통하여 도시의 잠재력과 성장요인을 도출할 것 2. 도시 내의 각종 계획, 사업, 프로그램, 유형 · 무형의 지역자산을 적극적으로 조사 · 발굴하고, 상호 연계하는 방안을 검토할 것 3. 해당 지방자치단체의 도시재생역량 및 재정여건 등을 고려하여 도시지역(「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제6조제1호에 따른 도시지역을 말한다)을 대상으로 적절한 규모와 개수의 도시재생활성화지역을 지정할 것 4. 도시재생활성화지역별 우선순위는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제19조에 따른 도시 · 군기 본계획 및 시행 중인 각종 계획과의 부합성, 도시재생활성화지역 간 형평성, 도시재생사업추진의 시급성, 주변지역에 미치는 파급효과 등을 고려할 것 5. 도시재생지원센터, 주민협의체 등을 구성할 때에는 주민참여 활성화 및 주민역량 강화 방안을 마련할 것

6. 도시재생전략계획의 목표와 도시재생활성화지역의 지정 개수 및 규모, 도시재생활성화지역별 우선순위 등을 고려하여 자원조달 계획과 연차별 집행계획을 작성할 것
7. 사업시행과정에서의 위험요인을 분석하고, 구체적인 목표, 평가지표, 평가방법 등 성과관리 방안을 마련하여 실현가능한 계획을 제시할 것

전략계획수립권자는 도시재생전략계획을 작성할 때 다음 각 호의 사항을 고려하여야 한다.

1. 도시의 쇠퇴를 과학적으로 진단하고, **기후적**·물리적·사회적·경제적·문화적 현황 자료의 수집·분석을 통하여 도시의 잠재력과 성장요인을 도출할 것
2. 도시 내의 각종 계획, 사업, 프로그램, 유형·무형의 지역자산을 적극적으로 조사·발굴하고, 상호 연계하는 방안을 검토할 것
3. 해당 지방자치단체의 도시재생역량 및 재정여건 등을 고려하여 도시지역(「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제6조제1호에 따른 도시지역을 말한다)을 대상으로 적절한 규모와 개수의 도시재생활성화지역을 지정할 것
- 변경** 4. 도시재생활성화지역별 우선순위는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」 제19조에 따른 도시·군기본계획 및 시행 중인 각종 계획과의 부합성, 도시재생활성화지역 간 형평성, 도시재생사업추진의 시급성, 주변지역에 미치는 파급효과, **기후변화에 따른 재해 취약성** 등을 고려할 것
5. 도시재생지원센터, 주민협의체 등을 구성할 때에는 주민참여 활성화 및 주민역량 강화 방안을 마련할 것
6. 도시재생전략계획의 목표와 도시재생활성화지역의 지정 개수 및 규모, 도시재생활성화지역별 우선순위 등을 고려하여 자원조달 계획과 연차별 집행계획을 작성할 것
7. 사업시행과정에서의 위험요인을 분석하고, 구체적인 목표, 평가지표, 평가방법 등 성과관리 방안을 마련하여 실현가능한 계획을 제시할 것

③ 자연재해 대책 관련 제도 : 『자연재해대책법』

□ 자연재해대책법의 목적과 관련 이슈

『자연재해대책법』은 행정안전부가 총괄하는 법으로서 도시설계와 직접적 관련은 없지만, 재해영향성검토, 재해영향평가, 지구단위 홍수방어 기준 등과 같은 건축물과 시설물에 관련한 기준이 포함되어 있어 검토가 필요하다. 이 법의 목적은 태풍, 홍수 등 자연현상으로 인한 재난으로부터 국토를 보존하고 국민의 생명·신체 및 재산과 주요 기간시설을 보호하기 위하여 자연재해의 예방·복구 및 그 밖의 대책에 관하여 필요한 사항을 규정한다. 이 법은 『재난 및 안전관리기본법』의 하위 법으로서 상위법에서 정한 자연재해까지 포함해 예방관련 정책의 기준이 되고 있다.

재해영향평가는 자연재해에 영향을 미치는 지역·지구지정 등 행정계획과 각종 개발사업의 인허가에 조건부로 수행하도록 되어 있기 때문에 기후변화에 따른 자연재해 예방을 위한 점검을 이 법을 통해 수행할 수 있다. 즉, 신규 사업 대상 지구단위계획구역지정과 기성도시의 주거환경정비사업을 위한 도시재생지구 지정 등 개발관련 행위가 자연재해에 영향을 줄 경우에 협의를 시행해야 한다.

이 법을 통해 행정안전부가 담당하는 책무는 자연재해 경감 협의 및 자연재해위험지구

정비, 풍수해예방 및 대비, 설해대책, 낙뢰대책, 가뭄대책, 재해정보 및 긴급 지원 등이다. 현행 법 상 폭염에 대한 예방과 대비는 책무에서 누락되어 있다. 이는 상위법인 『재난 및 안전관리기본법』의 자연재난 정의에 폭염이 2018년 9월 18일 개정 때 포함되었기 때문이라고 판단된다. 따라서 폭우에 따른 도시홍수에 대한 사항은 풍수해 예방 및 대비 책무에서 다루고 있으므로 폭염에 대한 책무를 포함시킬 필요가 있다.

□ 자연재해대책법 개정안 : 책무

현행 『자연재해대책법』의 책무는 법 제3조에 정의되어 있다. 제3조 2항에 구체적인 책무가 정해져 있으나 폭염에 관한 업무는 명시되어 있지 않다. 향후 폭염에 따른 사망자의 증가를 막기 위해서는 책무에 폭염과 관련한 소관 업무를 포함시킬 필요가 있다. 해당 책무에 의거해 재해영향평가 등에도 폭염에 관련한 예방과 대응방안이 적용될 수 있도록 해야 할 것으로 판단된다.

[표 4-12] 자연재해대책법 개정안 : 책무

구분	제3조 책무
	② 기본법 제3조제5호에 따른 재난관리책임기관(이하 "재난관리책임기관"이라 한다)의 장은 자연재해 예방을 위하여 다음 각 호의 소관 업무에 해당하는 조치를 하여야 한다. 1. 자연재해 경감 협의 및 자연재해위험개선지구 정비 등 가. 자연재해 원인 조사 및 분석 나. 자연재해위험개선지구 지정·관리 다. 자연재해저감 종합계획 및 시행계획의 수립 2. 풍수해 예방 및 대비 가. 삭제 <2017. 10. 24.> 나. 수방기준 제정·운영 다. 우수유출저감시설 설치 기준 제정·운영 라. 내풍(耐風)설계기준 제정·운영 마. 그 밖에 풍수해 예방에 필요한 사항 3. 설해(雪害)대책 가. 설해 예방대책 나. 각종 제설자재 및 물자 비축 다. 그 밖에 설해 예방에 필요한 사항 4. 낙뢰대책 가. 낙뢰피해 예방대책 나. 각 유관기관 지원·협조 체제 구축 다. 그 밖에 낙뢰피해 예방에 필요한 사항 5. 가뭄대책 가. 상습가뭄재해지역 해소를 위한 중·장기대책 나. 가뭄 극복을 위한 시설 관리·유지 다. 빗물모으기시설을 활용한 가뭄 극복대책 라. 그 밖에 가뭄대책에 필요한 사항
기정	

6. 재해정보 및 긴급지원
 - 가. 재해 예방 정보체계 구축
 - 나. 재해정보 관리·전달 체계 구축
 - 다. 재해 대비 긴급지원체계 구축
 - 라. 비상대처계획 수립
7. 그 밖에 자연재해 예방을 위하여 재난관리책임기관의 장이 필요하다고 인정하는 사항
 - ② 기본법 제3조제5호에 따른 재난관리책임기관(이하 "재난관리책임기관"이라 한다)의 장은 자연재해 예방을 위하여 다음 각 호의 소관 업무에 해당하는 조치를 하여야 한다.
 1. 자연재해 경감 협의 및 자연재해위험개선헌지구 정비 등
〈중략〉
 2. 풍수해 예방 및 대비
〈중략〉
 3. 설해(雪害)대책
〈중략〉
 4. 낙뢰대책
〈중략〉
 5. 가뭄대책
〈중략〉

□ 탄력적 도시설계 적용을 위한 법·제도 개선안

현행 도시설계 관련 법·제도는 해외의 유사제도에서 대부분 도입하고 있는 기후변화, 자연재해, 탄력성에 대한 직접적 기술 및 제도적 연결성이 미흡한 실정이다. 즉, 우리나라는 아직 기본적인 개념을 정립하지 않고 있다 해도 과언이 아니다. 전 장에서 제안한 다

양한 건축 및 도시 설계적 기법이 구현되기 위한 기준을 제시하기에 앞서, 본 연구에서는 신규도시, 기성도시를 대상으로 기후변화, 자연재해, 탄력성에 대한 개념이 정책화할 수 있는 법·제도의 기본적 조항 개선안을 제안할 수밖에 없었다. 현시점에서 우리나라의 탄력적 도시설계 정책화를 위한 관련 법·제도 개선안 방향은 다음과 같다.

[표 4-13] 탄력적 도시설계 정책화를 위한 관련 법·제도 개선 방향

구분	근거법	대상 제도	개선방향
신규도시	국토의 계획 및 이용에 관한 법률	지구단위계획 수립지침	• 총칙, 계획수립기준 일반원칙, 기후변화 관련 사항 개선 • 구역지정 일반원칙, 환경관리 중 기후변화 예상취약지역 고려 • 새로운 기후를 대비할 수 있는 기반시설 설치기준 개선 • 위급 상황시 신속한 대피를 위한 교통시설 기준 개선 • 건축물의 기후변화 탄력성 향상을 위한 공간배치, 형태 개선
기성도시	도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법	도시재생전략계획	• 도시재생전략계획 대상 선정시 기후변화 취약성 진단 포함 • 도시재생활성화 지역 지정시 기후변화에 따른 재해취약지 포함 • 도시재생전략계획 작성시 도시 쇠퇴와 더불어 기후문제에 대한 잠재력 확인 • 도시재생 우선순위 결정시 기후변화 취약성 고려
자연재해	자연재해대책법	자연재해 소관업무 조치대상	• 기존 자연재해영향평가와 도시 관련 사업 연계체계 유지 • 자연재해대책 책임기관의 기본적 책무 중 폭염대책 추가

□ 탄력적 도시설계 완성을 위한 단계별 개선 방향

현행 우리나라 도시설계 제도상 탄력성 개념의 도입과 확장을 위해 단계적 접근이 필요하다. 우선, 본 연구가 시행된 시점을 기준으로 향후 기후변화에 따라 영향을 줄 수 있는 자연재해의 목록을 현실화 하고, 신규도시 조성과 기성도시의 재생 시 기후변화에 따른 자연재해에 대한 취약성과 이를 근거로 한 탄력적 계획기준을 적용할 수 있도록 개념 정립이 필요하다. 이후, 기후변화 시나리오상 자연재해의 유형과 강도에 따른 취약성을 체계적으로 분류해 기성도시의 물리적 구조의 한계성 해소와 신규 개발지의 자연재해 취약한 환경적 특성을 사전에 고려한 계획 가이드라인이 구축되어야 한다. 궁극적으로 건축물의 구체적 설계방향이 묘사된 탄력적 도시설계 기준이 자연재해 취약지의 특성에 따라 적용되고 지속적인 피드백을 통해 개선될 수 있도록 진행되어야 한다.

- 1단계 : 기후변화에 따른 자연재해 목록 현실화, 기성·신규도시 조성계획 및 지침에 탄력성 개념 정립
- 2단계 : 자연재해 유형·강도에 따른 취약성을 고려한 탄력적 가이드라인 구축
- 3단계 : 자연재해 피해 최소화를 고려한 구체적 설계방향이 묘사된 탄력적 도시설계 기준 보급

제5장 결론

- 1. 연구요약 및 시사점
 - 2. 연구의 한계와 향후 연구과제
-

1. 연구요약 및 시사점

1) 연구요약

본 연구는 기후변화에 따른 자연재해의 불확실성을 도시설계에 반영할 수 있는 방법을 개발하는데 목적이 있다. 자연재해에 따른 불확실성은 과거 피해이력을 참고해 도시와 건물 설계하는 기존의 방식의 변화를 야기한다. 예측이 불가하고 대형화 되고 있는 최근의 기후변화에 따른 자연재해에 대해 적응할 수 있는 대안은 탄력성(Resilience)에서 찾을 수 있다. 도시와 건축분야에서의 탄력성은 직관적으로 물리적 공간의 회복력에 대한 시각으로 이해할 수 있다.

그러나, 본 연구에서는 건물과 도시가 자연재해에 노출이 되었더라도 도시와 건축물을 기반으로 생활하는 국민이 삶의 패턴에 영향을 최소화 하는데 초점을 뒀다. 도시와 건물이 자연재해에 사전 예방적으로 작동해 국민의 인명과 재산피해를 최소화 할 수 있는 이

상적 도시설계 과정을 고안했다. 자연재해 유형에 따른 취약성 진단결과를 매트릭스로 만들고 취약지역에 맞는 도시구조와 건축물을 도식화한 설계 기준을 고려하는 절차를 제시했다.

국제사회에서 정립한 기후변화 정책의 노선과 맞추기 위해 IPCC가 정한 기후변화 취약성 함수를 모델링에 활용했다. 함수에 적용되는 변수는 지역의 상황과 대상에 따라 합리적으로 정할 수 있기 때문에, 본 연구에서는 도시설계를 통해 구현되는 물리적 공간이 탄력적인 기능을 발휘하기 위해 필요한 지표를 선별해 활용했다.

취약성 진단에 활용한 기후 노출은 기후변화에 따른 하절기 자연재해로서 폭염과 홍수이다. 폭염과 홍수에 취약한 지역을 사전에 파악할 수 있다면, 탄력성 개선을 위한 대상과 방법을 효율적으로 적용할 수 있게 된다. 폭염과 홍수에 대한 취약성을 별도로 진단할 수 있지만, 미래에는 동일한 지점에 복합재해가 발생 할 가능성이 높기 때문에 폭염과 홍수에 대한 취약성을 동시에 진단하는 방법의 고안을 시도했다. 진단 결과에 따라 폭염과 홍수에 대한 취약성을 유형화할 수 있었으며, 유형에 따른 공간적 분포를 지도화할 수 있었다. 민감성은 영향을 받는 인구와 건축물 관련 정보를 지표화 했으며, 적응능력은 인명피해와 관련된 시설까지의 도로접근성, 완충역할을 하는 공원의 접근성 등을 활용했다.

연구 대상지를 대전-세종-청주를 하나의 권역으로 묶어 광역지역을 대상으로 취약성을 진단해 취약한 지점에 대한 공간적 분포와 지역적 특성을 함께 비교했다. 결과에 따르면 폭염과 홍수 모두 취약한 건축물 군집지역, 폭염 취약성이 높은 건축물 군집지역, 홍수 취약성이 높은 건축물 군집지역, 폭염과 홍수에 취약성이 낮은 군집지역으로 구분해 공간적 분포를 확인 할 수 있었다. 실제 현장조사를 통해 각각의 군집 유형이 폭염과 홍수에 반응하고 있는 현상을 확인했다. 정성적인 확인이지만 시설물과 건축물의 조성상태를 미뤄 해석한 결과 일정 부분 취약성에 노출되어 있음을 확인할 수 있었다.

기후변화에 따른 폭염과 홍수 취약성의 특성에 따라 도시와 건물이 탄력성을 갖추기 위해 필요한 요소를 정리했다. 취약성 진단 특성을 고려해 신규개발지를 대상으로 한 탄력성 생성과 개선요소를 공간적 위계에 따라 구분했다. 취약성 진단에 활용된 지표를 탄력성 생성과 개선에 활용하면, 지구규모에서는 주요 커뮤니티 시설의 접근성을 높이는 것으로 정리할 수 있으며, 건물규모에서는 신축시 적용 가능한 지표와 리모델링을 통해 개선가능한 지표로 정리할 수 있었다. 그러나 각각의 지표가 1ha 공간규모에 맞춰 적용되어 지표 향상을 통한 직접적 효과를 도출하는데 한계가 있었다. 따라서 폭염과 홍수에 설계적으로 적용 가능한 기법을 추가 정리해 융·복합적 접근을 시도했다.

폭염과 홍수에 탄력성을 갖추기 위해 필요한 이상적인 도시와 건축물에 대한 디자인을 매트릭스를 활용해 도출했다. 각각의 디자인은 취약성 진단유형과 연계된 결과로 도출했다. 지구규모에서 폭염과 홍수에 탄력성을 고려해야할 요소를 갖춘 공간배치를 도면으로 정리했다. 건축규모는 폭염-홍수 취약지역의 4가지 유형에 따라 건축물 규모에 따라 적용 가능한 시설을 적용한 예시도를 작성했다. 각각의 예시도는 미래 폭염과 홍수의 영향이 높아질 것을 전제로 한 이상적 건축 예시 안으로 도출했다. 그렇기 때문에 현존하는 건축물의 유형과 외형적 특성에 차이점을 보인다.

하절기 주요 자연재해에 대한 탄력성을 갖춘 건축물과 도시 구현에 대한 가시적 성과를 기준으로 현행 우리나라 도시설계 제도에 정책적으로 어떤 영역을 변화해야 할 것인지 고찰했다. 우리나라 대표적인 도시설계 제도인 지구단위계획수립지침을 대상으로 했다. 지구단위계획수립지침은 신규개발지역과 기성시가지의 재정비를 위한 세부적 도시설계 지침의 기준이 된다. 따라서 현행 도시설계 제도상 기후변화에 대한 고려가 어느 수준에 와 있는지 확인 할 수 있는 대표적 정책이므로 연구의 대상으로 정했다. 현행 지구단위계획수립지침은 기후변화에 대한 위험성을 온전히 반영하고 있지 않다. 총칙에서부터 구역지정기준, 지구단위계획 수립기준 일반원칙, 환경관리, 기반시설, 교통처리, 건축물의 배치와 건축선, 건축물의 형태와 색채에 이르는 전반적인 사항에 기후변화에 따른 자연재해 위험성을 고려한 조문은 거의 전무하다. 이에 대한 지침 조문 개정안을 정리했다.

지구단위계획수립지침은 도시개발과 재정비를 위한 전반적인 프로세스와 타법에 의한 제도까지 연계되어 있다. 지구단위계획수립지침을 대상으로 정책적 개선안을 도출하는 과정에서 비단 지구단위계획 뿐만 아니라 도시 재정비, 방재를 위한 지구 지정 등 다양한 도시설계가 필요한 정책영역에 기후변화 인식, 취약성 진단, 진단결과에 근거한 디자인 방안과 사후관리의 과정이 담겨야할 필요성이 있음을 확인했다. 향후 이에 대한 다각도적인 정책연구가 후속연구로 진행되어야 할 것이다.

2) 시사점

지역이 갖는 기후변화 영향에 따른 취약성을 기본적으로 진단하는 것은 도시와 건물을 탄력적으로 변화시키기 위해 중요하다. 외부의 영향이 없다면 탄력성이 의미가 없기 때문이다. 본 연구에서 주목한 기후변화의 영향과 취약성, 탄력성이 서로 연결되어야 한다는 점이다. 따라서 기후변화 영향은 인위적으로 변경시킬 수 없는 자연적 현상이고, 취약성은 현재 상태를 설명한다.

향후 도시와 건축에 적용되는 탄력성은 기후변화 영향과 취약성을 이해한 해법과 연결되어야 한다. 통상적으로 도시설계는 현재 거주환경을 개선하고 미래에 안정적인 삶을 유지하는 것이 목적이다. 따라서 영향 측면에서 미래 자연재해에 대한 불확실성을 과거로부터 누적된 정보에 기반을 둔 시나리오로 대체할 것을 고려해야 한다. 그렇다면 현재 상태를 설명하는 취약성 또한 달리 진단될 수 있기 때문에 도시설계의 방향성 또한 변화가 수반된다.

해외사례 분석결과 2050년 이후 미래 시나리오를 적용해 변화할 수 있는 공간 여건을 시뮬레이션하고 최소한의 위험요소까지 반영한 공간 규제를 도면에 근거해 제시하고 있다. 우리나라 도시설계 정책체계는 아직 기후변화에 대한 기본개념 조차 설정되어 있지 못한 상태이다. 대부분 도시설계와 건축설계 기준은 문장으로 서술되어 있고, 불법과 합법을 나누는 기준에 관한 문장이 대부분이기 때문에 해석의 편차 또한 큰 상태다. 본 연구는 당장의 설계 가이드라인을 결과물로 도출한 것이 아니다. 우리가 폭염과 홍수와 같은 특정 계절의 복합 자연재해가 과거와 다른 방식으로 전개될 수 있는 일말의 가능성을 전제로 도시와 건축을 설계한다면 현재 통용되고 있는 최신의 기술로서 어떻게 보일 수 있을지를 문장이 아닌 도면으로 표현한 것이다.

본 연구에서 제시하는 탄력적 도시설계방안은 자연재해 영향에 따라 거주민의 생활이 무너지지 않고 지속가능할 수 있도록 도시와 건물이 작동하는데 주안점을 뒀다. 정책적 대상을 도시설계에 두고, 자연재해 발생에 따른 기능을 위해 필요한 요소와 공간적 조합이 어떻게 이뤄질 수 있는지 정리했다. 향후 공간정책의 방향은 미래에 대한 다양한 예측 중 자연재해에 대한 취약성을 진단을 필수적으로 해야 한다. 그리고 폭염과 홍수와 같은 자연재해가 발생하더라도 원래 생활을 그대로 할 수 있도록 도시와 건물이 작동해야 한다. 이러한 개념이 탄력적 도시설계로서 정착되어야 한다. 이러한 내용을 담은 도면으로 정책기준을 제시함으로써 정책실무자와 민간 설계가들이 공간적 개념을 갖춘 성과물을 만들 수 있도록 해야 할 것이다.

정책 개선 대상을 찾는 과정에서 국내 도시계획 및 설계 정책이 갖는 자연재해에 대한 수준을 확인 할 수 있었다. 도시화가 진행되기 오래전부터 홍수에 대한 대비방안과 정책적 해법이 발전되어 온 것은 확인할 수 있다. 그러나 폭염에 대한 대비와 고려는 거의 정책화 되어 있지 않다. 기후변화는 기본적으로 온난화를 전제로 한다. 따라서 우리나라의 기후대가 고온대로 변화하는 과정에서 발생할 수 있는 폭염에 대한 대비책 마련이 중요하게 고민되어야 할 시점이다. 본 연구에서 제시한 폭염에 대한 취약성 진단은 도시가 갖는 폭염에 대한 취약성을 판별하는데 기본적 사고의 출발로서 활용 할 수 있을 것으로 기대한다.

2. 연구한계와 향후 연구과제

1) 연구의 한계

본 연구는 기후변화에 따른 자연재해를 고려해 도시설계 과정에 탄력성을 반영하는 포괄적 프로세스를 도시 및 건축정책 분야에 제안하고자 했다. 따라서 기후변화에 따른 자연재해, 물리적 공간의 탄력성, 취약성진단, 특성분석, 공간적 해법, 정책대상의 변경안 제언 등 기존 도시설계 과정과 다른 시각으로 연구를 시도했다. 전반적인 요소들 간 합리적 연계를 고려해 연구를 수행하는데 목적을 두었기 때문에 각론적으로 세밀함이 다소 부족하다. 또한 탄력적인 도시설계에 대한 명제에서부터 과정에 이르는 시도는 국내에서 깊이 있게 진행된 바가 없기 때문에 연구진과 전문가의 의견수렴을 통해 정립해나가는 과정을 진행했다. 따라서 물리적 공간에 대한 탄력성을 기후변화 재해취약성과 연계하는 논리와 이를 근거로 한 공간적 해법의 합목적성은 아직 토론의 여지가 남아있다. 구체적으로 취약성진단에 활용된 지표와 지표별 영향력 보정에 대한 가중치는 앞으로 깊이 있는 고찰이 필요하다.

정책 대상의 선정에 있어서 한계가 있다. 정책 개선대상이 지구단위계획수립지침에 한정된 것은 신규개발지역에 국한되거나, 신규 지구단위계획지구가 활성화되고 있지 못한 상황에서 포괄적인 도시설계에 적용할 수 있는 대안임에도 불구하고 정책 대상의 한계에 따라 스스로 제한을 하는 의견이 다수 있다. 본 연구진은 다양한 도시설계 관련 정책이 있지만, 건축물과 도시의 맥락을 연결시킬 수 있는 현행 정책을 모색하는 과정에서 지구단위계획수립지침을 하나의 예로서 적용한 것이다. 비단 지구단위계획수립지침 뿐만 아니라 상위 도시계획체계에서 기후변화에 대한 고려가 거의 전무한 상황이기 때문에 향후 연구의 기본 바탕이 되길 바란다.

2) 향후 연구과제

본 연구의 주요 키워드인 탄력성은 대상에 따라 정의가 다양하게 논의될 수 있다. 특히 도시는 사회학적인 기능이 탄력성과 관계를 맺고 있으며, 사회적 역량에 따라 본 연구에서 다룬 물리적 기능의 향상보다 큰 탄력성 개선효과를 가져올 수 있음을 고려해야한다.

탄력성을 가늠하기 위해 취약성을 활용했고, 취약성에서 인구와 지가 등 사회학적인 지표를 적용했지만, 정밀성이 떨어진다. 향후 연구과제로서 취약성을 진단함에 있어 도시가 갖고 있는 사회적 역량에 대한 지표를 발굴해 적용해 볼 필요가 있다.

본 연구에서 다른 취약성 진단의 고도화는 지속적으로 연구해야 할 대상이다. 취약성 진단은 공개되어 있는 통계데이터를 기반으로 취약성을 진단해내는 것으로 주기적으로 진단 결과를 수집한다면, 취약한 지역의 개선효과와 취약성이 높아지는 곳을 점검해 낼 수 있는 도구가 될 것이다. 폭염과 홍수에 국한 되는 것이 아니라 기후노출 변수에 다양한 기후변화에 따른 자연재해 영향요인을 적용한다면 미래 시나리오에 따른 현재 취약성을 파악하고 사전 대비를 위한 근거로서 활용 가능 할 것이다.

기후변화 미래 시나리오를 자연재해 취약성 진단에 활용하는 과정은 도시와 건축정책을 포함하여 예방 안전을 다루는 정책에 적용할 수 있도록 후속 연구가 이어져야 한다. 취약성 진단을 근거로 신규 개발지역의 입지적정성과 공간 디자인의 기준을 만들고, 노후 시가지의 취약성을 개선하기 위한 지구지정의 근거로 활용하는 것은 앞으로 지속가능한 도시와 건축물을 조성하는데 기초가 될 수 있어야 한다. 자연재해 예방과 관련된 지구지정, 지구 내 개발행위 규제를 만드는데 합리성을 갖출 수 있는 연구결과가 축적되길 바란다.

-
- 강정은·이명진 (2012), “퍼지모형과 GIS를 활용한 기후변화 홍수취약성 평가 - 서울시 사례를 중심으로”, 『한국지리정보학회지』, v.15(3), pp.119-136.
- 관계부처합동(2015), 「제2차 국가 기후변화 적응대책」.
- 구유성·김자은·김지숙·이성호 (2015), “폭염 취약성평가를 통한 도시의 적응능력 향상: 부산 광역시를 중심으로”, 『한국지역개발학회지』, v.27(5), pp.331-347.
- 국가공간정보포털, <http://www.nsdi.go.kr>
- 국립환경과학원 (2009), 「GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석기법 개발(I)」, 동 기관.
- 국립환경과학원 (2010), 「GIS 및 WEB 기반 취약성 파악 및 분석기법 개발(II)」, 동 기관.
- 국정기획자문위원회(2017), 「문재인 정부 국정운영 5개년 계획」.
- 국토정보플랫폼, <http://map.ngii.go.kr>
- 국토해양부 (2011), 「기후변화 적응도시 조성 방안 연구(1차년도)」, 동 기관.
- 국토해양부 (2012), 「기후변화 적응도시 조성 방안 연구(2차년도)」, 동 기관.
- 국토환경정보센터, <http://www.neins.go.kr/ltr/ccas/ccas04.asp>
- 권용석(2014), 「대구 도시재생사업의 효과적 추진을 위한 사유재산 활용방안」, 대구경북연구원.
- 권용석(2015), 「환경도시 대구를 위한 도시열섬현상 저감 방안」, 대구경북연구원.
- 권용석·정근우·최용준(2017), 「기후변화시대, 대구 대도시권 도시지역 폭염 대응방안 연구」, 대구경북연구원.
- 기상자료개방포털, <https://data.kma.go.kr/>
- 기상청(2012), 「최근 20년 사례에서 배우다 : 집중호우 Top10」, 동 기관
- 기후변화 취약성 평가지원 도구 시스템, <https://vestap.kei.re.kr/>

- 김동현·서혜정 (2016), “커뮤니티의 기후변화 취약성 평가를 위한 방법과 적용 - 부산광역시 새발마을과 필봉오름마을을 대상으로”, 「국토계획」, v.51(2), pp.229-253.
- 김동현·이정호·이명진·서혜정·정주철·강정은·김종성 (2014), 「기후변화 적응형 공간계획방법의 개발과 모의적용 연구(II)」, 한국환경정책·평가연구원.
- 김정곤·임주호·이상준·이영환·권혁삼·이성희 (2014) 「기후변화 적응 도시 모델 및 적용기법 개발」, 한국토지주택공사 토지주택연구원.
- 김진아·김규량·Cameron C. Lee·Scott C. Sheridan·Laurence S. Kalkstein·김백조(2016), “한반도 미래 폭염의 발생 분포 및 종관패턴 분석”, 「기후연구」, 11(1), pp.15-27.
- 김현주(2005), “우리나라 도시계획에서 방재계획 부문의 현황과 개선 방향”, 「국토계획」, v.40(2), 대한국토도시계획학회, pp.65-79.
- 김현주·안재찬(2004), 「도시기본계획의 방재 및 안전부문에 관한 연구(I)」, 국립방재연구소.
- 대구광역시(2019), 「2019년도 폭염대응 종합대책 추진계획」, 내부자료
- 대전시청 홈페이지, <https://www.daejeon.go.kr>
- 「도시 기후변화 재해취약성분석 및 활용에 관한 지침」 국토교통부 훈령 제707호(2016.5.11., 제정)
- 「도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법」 법률 제 16562호(2019.8.27., 일부개정)
- 「도시재생 활성화 및 지원에 관한 특별법 시행령」 대통령령 제 30217호(2019.11.26., 일부개정)
- 명수정·김지영·신상희·안병옥(2010), 「기후변화 적응 강화를 위한 사회기반시설의 취약성 분석 및 대응 방안 연구(II)」, 한국환경정책·평가연구원.
- 문채·윤혜철·조판기(2003), 「도시방재에 관한 연구: 일본의 사례를 중심으로」, 국토연구원.
- 박두선·박보영·정은화 (2017), VESTAP 기반 기후변화 취약성 평가 지침, 「한국기후변화학회지」, v.8(4), pp.339-346.
- 박재은·허보영·선우영(2016), “폭염에 의한 지역별 인명피해 발생에 관한 연구”, 「한국방재학회논문집」, v.16(1), pp.103-109.
- 「자연재해대책법」 법률 제16057호(2018. 12. 24., 타법개정).
- 「재난 및 안전관리 기본법」 법률 제16666호(2019. 12. 3., 일부개정).
- 빅카인즈, <https://www.bigkinds.or.kr/v2/news>
- 세종시청 홈페이지, <https://www.sejong.go.kr>
- 심우배 (2013), 「도시의 기후변화 재해 취약성 분석 발전방안 연구」, 국토연구원.
- 심우배·김걸·지승희 (2010), 「기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구(II)」, 국토연구원.
- 심우배·왕광익·이범현·차정우·김학열 (2009), 「기후변화에 안전한 재해통합대응 도시 구축방안 연구(I)」, 국토연구원.
- 심우배·한우석·김승중·지승희·유재환 (2012), 「기후변화 적응도시 조성방안 연구-도시별 재해취약 특성 분석 및 적응능력 제고방안 연구(2차년도)」, 국토해양부.

- 심준석·김지숙·이성호 (2014), “지리가중회귀모델을 이용한 도시홍수 피해지역의 지역적 공간특성 분석”, 「환경영향평가」, v.23(1), pp.39-50.
- 안윤정·강영은·박창석 (2016), “기후변화에 따른 폭염 관심지역(Hot spot) 평가 지표 개발 및 적용”, 「국토계획」, v.51(4), pp.199-209.
- 오재호(2018) ”‘기후변화시대, 우리의 대응은?’“, 「에너지포커스」, v. 15(3), 에너지경제연구원, pp.5-6.
- 윤동근(2017), “도시 핵심시설의 복합재난 유형 및 대비 방안”, 「국토」, 국토연구원, v. 430(-), pp.6-12.
- 이근영(2018), “‘역대급 폭염’ 1994년 여름, 24년 장기집권 마감했다.”, 한겨레, 9월3일자.
- 이병재·김명수·김수진·차은혜(2016), 「재해예방형 도시계획을 위한 재해관련 지구·구역의 활용방안 연구」, 국토연구원.
- 이상혁·강정은(2018), “도시계획 적용을 위한 도시홍수 취약성 및 리스크 평가”, 「국토계획」, v.53(5), 대한국토도시계획학회, pp.185-206.
- 이은석·고영호·박성남(2017), 「신 기후체제 대비 건축물 분야 기후변화 취약성 진단 연구」, 건축도시공간연구소.
- 이희서(2016), “제릴라성 집중호우 대비와 예방”, 경남도민일보, 7월8일자.
- 정승현(2018), “홍수피해 저감을 위한 재해복원 기술과 정책”, 「국토」, 국토연구원, pp.12-18.
- 정지범·오윤경·허준영·황미영(2015), 「대형복합재난 법적기반 구축 연구」, 한국행정연구원.
- 「지구단위계획수립지침」 국토교통부훈령 제1131호(2018. 12. 21., 일부개정).
- 지속가능발전포털, ‘지속가능발전목표 SDGs’, http://ncsd.go.kr/app/sub02/20_tab3.do.
- 진대용·강성원·최희선·한국진·김도연(2018), 「기후환경 이슈 분석을 위한 텍스트 마이닝 활용방안 연구」, 한국환경정책평가연구원.
- 질병관리본부 질병보건통합관리시스템 온열질환 감시체계, <https://is.cdc.go.kr/>
- 최원기(2018), “COP24 기후변화 협상 결과평가 : 파리협정 이행규칙 합의안을 중심으로”, 「주요국제문제분석」, 국립외교원 외교안보연구소, pp.1-2.
- 청주시청 홈페이지, <https://www.cheongju.go.kr>
- 추장민·공성용·백승아(2010), 「저소득계층의 기후변화 적응역량 강화를 위한 정책방안 연구 I」, 한국환경정책·평가연구원.
- 한우석·박태선(2014), 「도시홍수 방재체계의 문제점 진단 및 정책방향」, 국토연구원.
- 한우석·심우배·이병재·유재환 (2012), “기후변화에 따른 홍수에 대한 지자체 기반시설 취약성 평가 방법 제시”, 한국기후변화학회지, v.3(1), 25-37.
- 한우석·육동형·구형수·강진국(2017), 「기후변화 홍수재해 대응을 위한 복원력 제고방안 연구 (II)」, 국토연구원.
- 함승희(2016), “일본의 국토강인화(国土強靱化) 추진계획과 시사점”, 「월간교통」, v.11, 한국교통연구원, pp.17-22.

행정안전부(2018), 「2017 재해 연보」, 동 기관.

환경부(2018), 「2030 국가 온실가스 감축로드맵 수정안 이해하기」, 동 기관.

환경부(2016), 「교토의정서 이후 신 기후체제 파리협정 길라잡이」, 동 기관.

황선영·김지원(2015), 「청년을 위한 UN과 SDGs 핸드북」, UNESCAP.

Alessandra Feliciotti, Ombretta Romice and Sergio Porta(2016), "Design for change: five proxies for resilience in the urban form", *Open House International*, v.41, pp.23-30.

Ayyoob Sharifi, Yoshiki Yamagata(2014), "Resilient Urban Planning: Major Principles and Criteria", *Energy Procedia*, v.61, Elsevier, pp.1491-1495.

Boston Public Works Department(2018), *Climate Resilient Design Standards & Guidelines: For protection of public rights-of-way*, City of Boston.

Damien Serre, bruno barroca, Mireia Balsells and Vincent Becue(2018), "Contributing to urban resilience to floods with neighbourhood design: the case of Am Sandtorkai/Dalmannkai in Hamburg", *Journal of Flood Risk Management*, v.11, Wiley, p.69-83.

Fransen Taryn, Eliza Northrop, Kathleen Mogelgaard and Kelly Levin(2017), "Enhancing NDCS BY 2020: Achieving the Goals of the Paris Agreement", World Resources Institute, p.7.

Garvin Stephen(2017), "Flood Resilient Buildings-towards a mainstream activity", *BRE*(2017.7.6.)

Gunderson Lance and Holling Crawford Stanley(2002), *Panarchy: Understanding Transformations in Systems of Humans and Nature*, Island Press.

Google map, <http://map.google.com>

Holling Crawford Stanley(1973), "Resilience and stability of ecological systems", *Annual Review of Ecology and Systematics*, v.4, pp.1-23.

IISD, 'International Institute for Sustainable Development', <https://www.iisd.org/project/advancing-alignment-climate-resilient-development>

Yosef Jabareen(2013), "Planning the resilient city: Concepts and strategies for coping with climate change and environmental risk", *Cities*, v.31, pp.220-229.

Meerow Sara & Joshua. P. Newel(2017), "Spatial planning for multi functional green infrastructure: Growing resilience in Detroit", *Landscape and Urban Planning*, v.159, pp.62-75.

NASA 'EOSDIS Worldview', <https://worldview.earthdata.nasa.gov>

NYC Mayor's office of Recovery and Resiliency(2019), *Climate Resiliency Design Guidelines*, ver.3.0, NYC.

- Preston Benjamin, Emma Yuen and Richard Westaway(2011), "Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks", *Sustainability Science*, v.6(2), pp.177-202.
- Richard Klein, Robert Nicholls and Frank Thomalla(2003), "Resilience to natural hazards: How useful is this concept?", *Global environmental change part B: environmental hazards*, v.5(1), pp.35-45.
- Robin Leichenko(2011), "Climate change and urban resilience", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v.3, Elsevier, pp.164-168.
- Schinke Reinhard, Anna Kaidel, Sebastian Golz, Thomaas Naumann, Jose Santos Lopez-Gutierrez and Stephen Gravin(2016), "Analysing the Effects of Flood-Resilience Technologies in Urban Areas Using a Synthetic Model Approach", *MDPI*.
- UN and Asian Development Bank & United Nations Development Programme (2018), *Transformation towards sustainable and resilient societies in Asia and the Pacific*, Thailand.
- United Nations Climate Change Secretariat(2017), *Opportunities and options for integrating climate change adaptation with the Sustainable Development Goals and the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030*, UNCCS.
- Klein, R. J., Nicholls, R. J., & Thomalla, F. (2003). Resilience to natural hazards: How useful is this concept?. *Global environmental change part B: environmental hazards*, 5(1), 35-45.
- UNDRR, 'Terminology', <https://www.unisdr.org/we/inform/terminology>
- UNISDR, 'The Sendai Framework and the SDGs', <https://www.unisdr.org/>

A Research of the Resilient Urban Design for Natural Disasters by Climate Change

SUMMARY

Lee, Eunseok
Kang, Hyunmi
Han, Sukyoung
Ji, Seokhwan
Yoon, Hoseon

Heatwaves and heavy rains that occur in summer are reaching disaster levels. The average heat wave has been 10.1 days since 1973 when the record of heat waves began, but 2018 had the highest heat wave of 31.5 days and 0.4 days longer than the 31.1 day of 1994, known as the worst heat wave ever. In particular, the heat wave in 2018 was shorter and rainier than other years, so the heat wave started early and lasted longer. Due to climate change, summer precipitation patterns are gradually changing. Since 2000, the concentration of summer precipitation during the rainy season has spread throughout the summer months, resulting in meteorological abnormalities such as guerrilla heavy rains, which cannot accurately predict the precipitation time. In recent years, as the intensity of heavy rains has increased due to climate change, concerns about urban flooding have increased in large urban areas such as Seoul.

The fundamental purpose of the development, maintenance and renewal of the city is to secure and improve the living conditions necessary for future life. In other words, the basic tense of urban policy is the future. However, Korea's cities are being created based

on market logic, with insufficient consideration for the future environmental problems. It is proposed to actively introduce climate scenarios, which are the representative future uncertainties, to the urban design process, which are commonly used by the internationally agreed standards of the UN IPCC, and to diagnose future vulnerabilities of cities at the present time as a basis for urban design. I would like to develop and propose an existing system.

Climate change impacts are diverse, but natural disasters have a direct impact on human life and property. In particular, as mentioned in the introduction, the phenomenon of flooding caused by heatwaves and heavy rains, which are the major summer phenomena in Korea, is considered as a natural disaster to be observed in this study. When heat waves and heavy rains affect our city in the future, we will establish resilience enhancement factors that can be improved from the present, and suggest a visual urban design guideline that should be shaped based on the current state of the city.

This study aims at diagnosing the vulnerability of urban areas due to heat waves and heavy rains assuming a future that is difficult to predict due to the summer effects of climate change. As a precautionary measure on vulnerability, the Paris Convention and the international community agree in common and follow the vulnerability analysis function formulated by the IPCC. Exposure, sensitivity and adaptability are defined as variables describing vulnerability, and each relationship is classified into factors that increase and mitigate vulnerability, and exposure and sensitivity are positive factors and vulnerability to adaptability is increased. It is defined as a negative relationship as a factor.

This study area is 'Daejeon-Sejong-Cheongju' area. Most of the previous studies have been concentrated in Seoul and the metropolitan area or have been conducted mainly in large cities such as Busan. This region is a region with a large change in urban development in the central region with a population of more than 2.6 million, and it is contained within the urban power zone because it is bound within the 20-30 km zone by the center. However, there are no cases of climate change-related studies that have selected this area as a research area by combining it into a wide-area living area.

By applying the effects of heat waves and floods at the same time on 2030, 2040, and 2050 for buildings and population characteristics, 'hazardous spots for both heat waves and floods', 'hazardous spots for floods', and 'hazardous spots for floods' In addition,

four types of 'safe spots for both heat waves and floods' can be used to derive the vulnerability analysis results every $100\text{m} \times 100\text{m}$ unit space. As it examines future risks, it is defined as the result of vulnerability analysis to consider the elasticity of the sum of 2030 exposure value, 2040 exposure value, and 2050 exposure value in the unit space that is found to have high vulnerability.

In the same basic database, the vulnerability of heat waves and floods is calculated in parallel in the same basic database and the vulnerability scores of the heat waves and floods in the unit space ($100\text{m} \times 100\text{m}$ grid) are compared. do. Pair contrast bridges use LISA (Local Indicators of Spatial Association) analysis to identify group clusters. At this time, Bivariate Moran 's I was used.

The urban design policy in Korea operates based on the permit and permission. As a check-up body related to urban development, licensees and permit holders may establish urban planning committees, landscape committees, building committees, etc. and operate them according to their respective laws. The Commission may have jurisdiction and implement coordination based on laws and guidelines to prevent overdevelopment of market logic. Since the committees have a structure to adjust the scope and physical form of development in accordance with the law and guidelines and fail to accept it, the committee does not have the final decision of license holders. Have

Poor location can lead to the problem that a city's natural disaster vulnerabilities are aggravated in almost irreversible form. If a facility decides on a location before a full review of the negative environmental impacts is made, it is difficult to apply fundamental prevention or resilience measures. The problem of incorrect location selection is that there is a good chance that it can happen even if there is a relevant system, and the future climate impacts are not properly reviewed. Therefore, in order to systematically establish resilience through urban design, a framework for each spatial hierarchy using vulnerability diagnosis should be considered.

The heat wave and flooding problem due to climate change is expected to become more serious in the future, and in the process of judging the location adequacy of facilities in the city through environmental assessment, strategic impact assessment and environmental impact assessment, the degree of vulnerability and degree of vulnerability will be Further review of alternatives that can be minimized should also be mandatory at the baseline stage. It should also improve the ambiguity about disaster prevention that

underlies the plan of action. This requires consideration of in-depth improvements in the district unit planning guidelines, which are the criteria for urban design policy.

Through vulnerability diagnosis, indicators to increase resilience according to the size of space can be set differently according to the characteristics of new and established development zones, and the system can be designed to apply technical matters through design. In other words, the first step to apply the concept of resilience to urban design is to have a frame and reflect it in a policy that can be used in a policy. If this is used by the relevant deliberation committee as the basis for the urban design approval process, it is expected that the concept and perception of flexible urban design will spread to society. In order to promote such a process, this study proposes an improvement plan of the district unit planning guidelines to the policy targets and directions.

Keywords :

Climate Change, Vulnerability Diagnosis, Composite Disaster, Heat Wave, Flood, District plan, Building plan

부록. 탄력적 도시설계 인벤토리

Appendix

1. 도시설계 활용 인벤토리

2. 폭염 피해 저감을 위한 대구광역시 정책 인벤토리

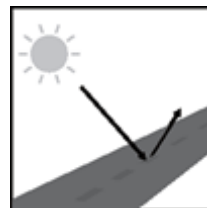
1. 도시설계 활용 인벤토리¹⁾

1) 지구 규모

□ 폭염



도시구조 활용 바람길 조절



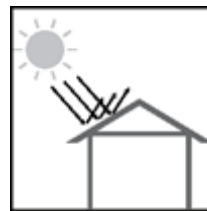
차열성 도로포장재, 건축 외장재
사용



도시구조 활용 일사량 조절



그린인프라보급 : 소규모 녹지,
가로수,
옥상녹화, 벽면녹화의 네트워크화



쿨 루프 지구단위 적용



블루네트워크구축: 연못, 생태수로,
수영장, 분수, 쿨링포그 등의
네트워크화

1) 본 내용은 연구진이 직접 작성한 것으로 제4장에서 제안한 도시설계안 및 건축 계획안에 적용된 인벤토리를 확대해 설명하기 위한 자료임

□ 홍수



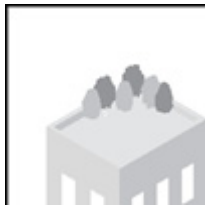
홍수영향범위의 공간데이터로 축적



과거 홍수피해 정보와 미래예측정보를 공간정보로 구축해 개발제한의 근거로 활용



도로와 공공공지를 활용해 홍수의 흐름과 유량, 속도를 제어용 임시 저류시설 설치



상류지역은 불투수포장면을 최소화하고 분산형 빗물 관리시스템 적용



폭우시 하류의 지표수 유출량 최소화 및 침투유량을 상류지역과 연계 제어



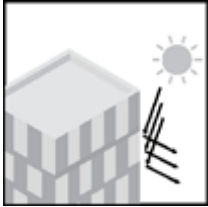
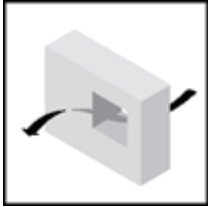
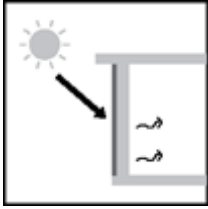
녹지를 집중호우시 지표수가 집중되는 곳에 배치해 자연적 재방 및 방재림의 기능 확보



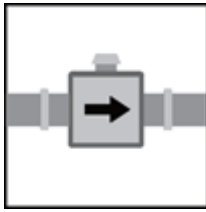
노후·취약지역의 폭우시 피해 최소화
화를 위한 지속가능 도시배수시스템 적용

2) 건축물 규모

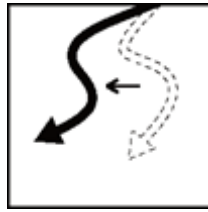
□ 폭염

		
조경식재 그림자 활용	열 차단 효율이 높은 창호 사용	벽·옥상 외장재 반사율 향상 및 이중외피, 벽면·옥상녹화 설계 반영
		
빗물 저장 뒤 폭염 시 건물 벽면 분사	개구부로부터 외부열의 유입 차단	지열과 히트펌프를 결합한 시스템 적용
		
루버와 차양 설치로 직사광선의 유입 최소화	열 완충공간으로 발코니 확보	외부 열기 차단된 외부 공기유입으로 실내 미기후 조절 공기 순환시스템 적용

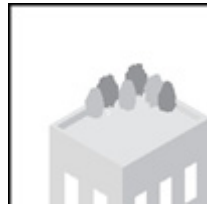
□ 홍수



배수관 역류 차단용 원웨이 밸브 설치



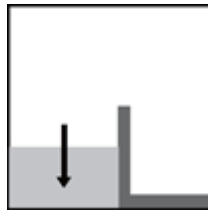
지하층 진입구 차수판 설치



빗물 체류기능 확보를 위한 옥상녹화 설치



빗물 저류조 활용 유출량 제어



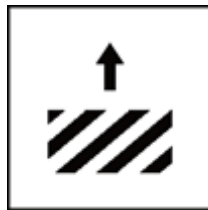
벽면 침수방지 보드, 에어브릭 등 외벽시공



상습침수지역 또는 홍수취약성이 높은 지역에 건축시 지하층 개발을 규제, 1층 필로티 유도



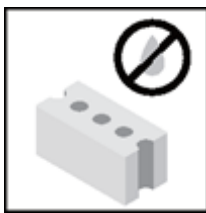
지면 이하 문 또는 창문 설치 규제



기계 및 전기설비실의 옥상 또는 상층부 배치



대지외부에서 빗물이 유입되는 위치를 사전에 파악해 조경공간 및 지하저류조 설치



외벽에 접착제를 사용해 외장재를 부착하는 시공법을 규제

3) 추가 예시도

□ 폭염 취약성이 높은 지역의 건축규모 인벤토리 적용 예



128 자연재해·재난 탄력성 확보를 위한 도시설계 연구



2. 폭염피해 저감을 위한 대구광역시 정책 사례

1) 취약계층 보호활동

대구광역시 취약계층 보호활동 현황 (2018년 현재)

◇ 재난도우미 및 취약계층 안내문자 발송(287,333명)
◇ 병입수돗물 제공 봉사활동 : 다중집합장소 20개소, 자원봉사자 2,815명, 병입 수돗물 211,000병
◇ 건설현장 등 실외작업장 무더위 휴식시간제 운영(12,113명 이용)
◇ 폭염대응 행동요령 홍보(2018년 실적)
◇ 라디오 공익 캠페인 실시 (CBS라디오, 7.23~8.22. 1일 3회)
◇ 주간 라디오 재난안전 브리핑 활용 (TBN 대구교통방송, 6월 ~ 10월)
◇ 언론 보도자료 배부 (재난단계별 행동요령, 기상상황 발생 시 유의사항 등)
◇ 전광판 활용 행동요령 표출 (폭염시 시민행동요령 홍보, 5월~10월)
◇ 재해전광판 : 7개소(남구3, 북구2, 달성군3)
◇ 버스전광판 : 2500여개소(관리부서 : 버스운영과)
◇ 도시철도역사 전광판 : 300여개소(관리기관 : 대구도시철도공사)
◇ 민방위 경보단말기 활용 69개소 폭염대비 행동요령방송
◇ 홈페이지, SNS 활용 홍보(폭염 시 시민행동요령, 재난관련 정보. 대구시 홈페이지)
◇ 폭염홍보물품 제작 배부(2018. 8)
◇ 물티슈 2,500개, 홍보전단 10,000부, 부채 5,000개, 쿨토시 1,500개 배부

자료: 「2019년도 폭염대응 종합대책」추진계획(대구광역시, 2019)

대구광역시 재난도우미 구성 현황 (2018년 현재)

지역	폭염 취약계층(명)										
계	계	독거노인	거동 불편자	기타	계	건강 보건 전문 인력	노인 돌봄미	사회 복지사	이·통 장	공무원	지역 자율 방재단
계	15,369	12,544	2,825	0	2,733	72	570	45	522	321	957
중구	1,513	1,383	130	-	307	7	35	5	162	22	29
동구	5,091	3,427	1,664	-	661	8	58	-	235	82	262
서구	1,325	1,325	-	-	311	8	53	-	-	-	250
남구	1,316	1,230	86	-	425	9	48	4	38	26	295
북구	2,069	1,369	700	-	282	12	55	1	64	71	75
수성구	1,545	1,370	175	-	349	7	176	23	23	24	46
달서구	1,820	1,790	30	-	285	10	63	12	-	76	-
달성군	690	650	40	-	113	11	82	-	-	20	-

자료: 「2019년도 폭염대응 종합대책」추진계획(대구광역시, 2019)

2) 열섬현상 완화 및 폭염대응시설 운영

대구광역시 폭염저감시설 현황 (2018년 현재)

- ◇ 횡단보도 그늘막 설치 운영 : 230개소(고정형 142, 스마트 87, 막구조 1)
- ◇ 수경시설 가동(191개소)
- ◇ 도시철도 1·2호선 역사 무더위 힐링센터 운영(61개소)
- ◇ 도시철도 3호선 승강장 고객대기실 냉방 운영(12개역 18개소)
- ◇ 도심 야영장(산격대교 잔디광장) 운영 (50면 이용)
- ◇ 차열성 포장 시범사업 시행 (건설본부)
- ◇ 장소 : 대구시청 앞 도로 및 주차장 일부 (면적 1,764m²)
- ◇ 효과 : 노면온도 저감 평균 6℃저감 (3℃~12℃)

자료: 「2019년도 폭염대응 종합대책」추진계획(대구광역시, 2019)

대구광역시 폭염경감시설 운영 (2019년 현재)

구분		계	기설치	2019 계획	세 부 내 용
쿨링포그		65개소	33개소	32개소	공원 등 다중집합장소, 재래시장(4) ※달성군(군비) 자체설치 포함
그늘막 (753)	고정형	131개소	115개소	16개소	중구(10), 남구(2) 북구(4)
	스마트	40개소	6개소	34개소	동구(10), 서구(8), 남구(6), 수성구(5) 달성군(5)
	막구조	1개소	1개소	-	불로시장 어울림극장
수목		581주	274주	307주	동구(207), 서구(100)
바닥분수		40개소	39개소	1개소	동구 혁신도시공원내
쿨루프	공공	48개소	46개소	2개소	동구 장애인재활센터, 도원119안전센터
	민간	74개소	36개소	38개소	대구지속가능발전협의회 추진
물놀이장		17개소	13개소	4개소	(2018년 추가) 북구 한강공원, 달성군 국가산단2호공원 (2019년 신설) 북구 신기공원, 수성구 신매공원
차열성포장		3개소	2개소	1개소	(시청앞 도로 및 주차장, 신당네거리) 두류공원내 문화예술회관 앞 도로 (2,100㎡)
쿨음수대		1개소	1개소	-	신천 둔치 (대봉교~수성교)
쿨린로드		2개소	2개소	-	(달구벌대로 9.1km) (현충로 0.9km)
도심야영장		16개소	16개소	-	금호강 산격대교 상류 잔디광장(50면) 등 16개소 (공공12, 사설6)
수경시설		213개소	213개소	-	도심공원 내 분수 등

자료 : 「2019년도 폭염대응 종합대책」추진계획(대구광역시, 2019)