

기후변화 대응을 위한 건축물 분야 기상기술 연구동향 및 시사점

2022년 3월

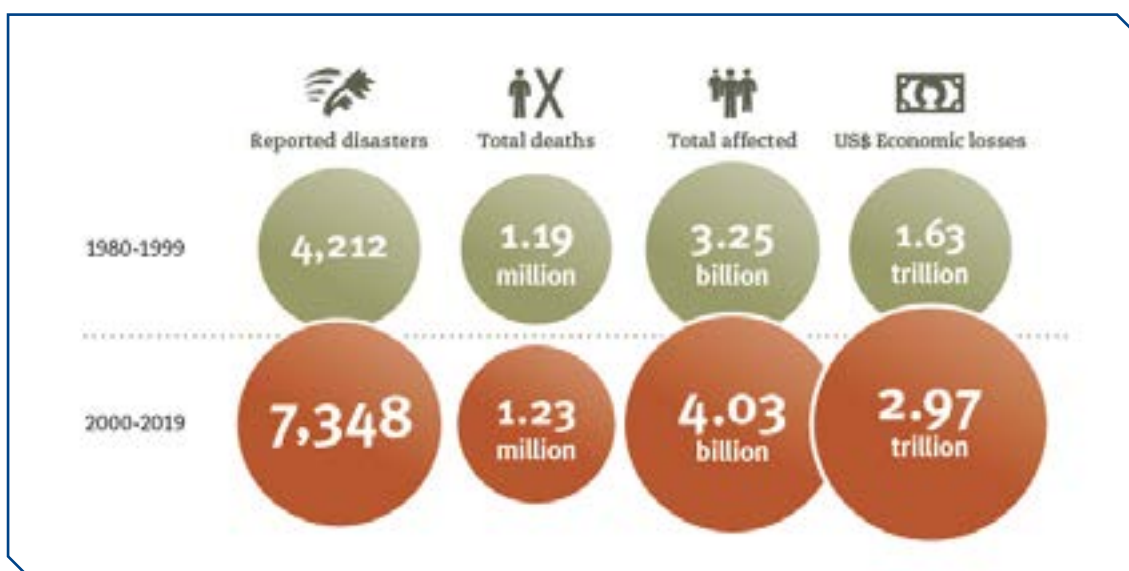
요약문

- 기후변화로 인한 자연재해의 빈도 및 강도가 증가하고 있으며, 이는 주거와 각종 사회인프라 등에 피해를 야기
 - 특히, 건물부문은 강풍, 태풍, 지진 등 기상재해에 직접적인 영향을 받고 있어, 이에 대한 취약성 진단 및 대응기술 수요가 높아지는 추세
- 한편, 건물은 탄소배출원으로 기후변화를 가속화시키는 원인이기도 하여 배출량 감축을 위한 기상기술 및 연구에 대한 고찰이 필요
 - ※ 건물은 우리나라 탄소배출의 약 7.2% 차지(18년 기준)
 - 기상재해에 대한 건물 안전성 향상을 위해 정부는 「건축물관리법」 제정, 노후건축물 점검 등을 시행하고 있으며, 재난대응, 방재, 2050 탄소중립을 위한 정책 추진
- 기상인자와 건물 안전관련 연구는 위험기상의 취약성 지표 및 함수 등이 주를 이루며 위험기상에 대한 예측력 강화와 이에 기반한 경보 시스템 연구는 부족
- 정부는 건물 탄소배출량 감축관련 2050탄소중립 전략(2021.12.)에서 건물 에너지효율성 증대, 건물 에너지 신재생 에너지화 등의 방안을 발표하였으며 기술수요가 확대됨
- 관련 연구로는 기상인자에 따른 건물 에너지 효율 향상 연구가 이루어지고 있으며 건물 에너지의 신재생 에너지화의 기상정보 연관 연구가 부족한 실정
- 건물은 기후변화에 취약한 부문임과 동시에 주요 탄소배출원으로 건물 안전과 에너지 효율 향상 등을 위한 기상융합 연구가 필요

I 서론

□ 기후변화로 인한 자연재해의 빈도·강도가 증가하고 있으며, 이는 각종 사회 인프라 등에 피해를 야기

- 최근 30년 사이의 전지구 평균온도는 1.4℃ 상승하여 폭염, 호우, 홍수 등 자연재해의 강도와 빈도 높아짐
- 기후변화로 인한 폭염, 가뭄 등 극한기상·자연재해는 인명피해, 경제적 손실 등 광범위한 영향을 주었음[그림 1]
 - '80년-'99년 대비 '00년-'19년 재해의 빈도는 약 57% 증가하여 경제적 손실은 1조 34억 증가¹⁾



[그림1] '80년-'99년과 '00년-'19년의 재해 빈도, 인명피해, 경제적 손실 비교

(출처: UNDRR, Human cost of disasters 2000-2019, 2020)

□ 자연재해의 증가는 주거·각종 사회 인프라 등에 피해를 야기

- 건물, 공공·사유시설 등은 위험기상에 따른 피해가 심화되고 있으며 특히 호우, 태풍, 강풍에 따른 피해가 심각한 것으로 나타남[표 1]
 - 기후 위험은 도시, 정착지 등 기반시설의 손상을 확대하며 사회적으로 소외된 주민들의 주거에 영향이 집중되어 있음
 - IPCC WGII 6차 보고서에 따르면 도시는 폭염, 폭우, 대기오염, 열섬 등 극한기상 빈도가 증가되어 주요 인프라 기반시설의 기능 제한이 심화될 것으로 전망

1) UNDRR, Human cost of disasters 2000-2019, 2020

- 기후변화에 취약한 주택·건축물·기반시설의 노후화로 인한 피해가 증가할 것으로 예상되어 이를 예방할 수 있는 대책이 필요

[표 1] 2020년도 자연재해 피해현황

(단위: 천원)

구분	인명(명)	이재민(명)	건물	선박	농경지	공공시설	사유시설
호우	44	17,960	31,237,951	459,326	52,652,151	976,251,706	34,570,492
태풍	2	2,206	6,133,400	753,907	3,590,423	198,273,494	13,790,162
풍랑·강풍	-	2	43,000	7,174	400	3,525	265,352
한파	-	-	-	-	-	144,909	-
폭염	29	-	-	-	-	-	-
합계	75	20,168	37,414,351	1,200,407	56,242,974	1,174,673,634	48,626,006

※ 인명피해: 사망·실종자 수(출처: 2020년도 재해연보, 행정안전부)

□ 한편, 건물은 탄소배출원으로 기후변화를 가속화시키는 원인이기도 해 다각적인 접근 필요

- 건물은 국가 온실가스 총 배출량의 약 7%를 차지(2018년 기준)
 - 총 에너지 소비량은 건축물의 연면적 증가, 폭염과 한파 등 이상기후 현상 심화 등의 이유로 지속적으로 증가하고 있음²⁾
 - ※ 직접배출: 건물 난방 취사 등을 위한 화석연료(도시가스, 프로판 등)연소
 - 간접배출: 건물에서 소비되는 전기에너지 발전을 위한 탄소 배출
- 따라서 국토부 2050탄소중립 이행방안에서는 건물부문의 노후건축물에 대해 취약계층의 주택 에너지 효율 향상을 위한 주거개선을 중점을 둠

□ 기상은 건물 안전 및 에너지 효율향상에 필수적인 요인으로 건물분야 기상융합 기술에 대한 선행연구와 기술수요 검토 필요

- 기후변화의 피해대상이면서 이를 가속화시키는 원인인 건물분야 기상융합 기술의 선행연구와 기술수요 검토 필요
 - 홍수, 태풍, 지진 등 위험기상의 건축물 취약성에 대한 예측력 강화와 이에 기반한 경보 시스템 연구 및 수요 검토
 - 2050 탄소중립 전략에 따라 기상인자에 따른 건물 에너지 효율 향상 연구 및 건물 에너지의 신재생 에너지화 연구 및 수요 검토
- 본 보고서는 국내·외 건축물 관련 기상 정책·제도·기술·연구 현황을 분석하여 건축물 기상기술 연구관련 기초자료로 사용하고자 함

2) 국토교통 2050 탄소중립 로드맵, 국토교통부(2021)

II 현황

1 건축물 관련 현황

□ 자연재해의 시설물 피해

- '20년 시설별 총 피해액은 약 1,318,177,372천원으로 건물·공공시설·사유시설 피해액은 전체의 약 96%를 차지[표 2]

※ '20년은 6월 하순부터 8월 중순까지 한반도 전역의 집중호우와 국지성 호우로 도로, 주택, 공공시설물의 피해가 컸음

[표 2] 최근 10년간 시설별 피해액 현황

(단위: 천원)

연도	건물	선박	농경지	공공시설	사유시설	합계
2011	28,136,400	1,800,168	15,404,446	687,095,483	61,763,956	794,200,453
2012	33,372,600	3,795,836	12,834,247	639,342,259	399,864,785	1,089,209,727
2013	1,742,400	130,035	6,735,088	149,792,318	13,737,169	172,137,010
2014	3,665,800	124,623	3,044,203	142,999,425	30,184,617	180,018,668
2015	254,200	305,011	10,299	13,131,644	18,160,990	31,862,144
2016	8,949,680	1,306,950	7,146,222	211,592,180	59,867,442	288,862,474
2017	64,637,000	73,096	13,365,129	103,673,588	5,553,458	187,302,271
2018	6,375,240	300,309	5,233,227	102,047,615	27,327,800	141,284,191
2019	10,223,078	293,127	9,627,595	156,258,644	39,823,430	216,225,874
2020	37,414,351	1,220,407	56,242,974	1,174,673,634	48,626,006	1,318,177,372
합계	194,770,749	9,349,562	129,643,430	3,380,606,790	704,909,653	4,419,280,184

출처: 2020년 재해연보 통계자료-최근 10년간 원인별 피해액 현황

□ 건축물 현황

- '20년 기준 전국 건축물은 약 728만 동으로 주거용 건물은 약 460만 동으로 전체 건축물의 63%를 차지[표 3]
- 주거용 건축물은 30년 이상의 노후건축물이 222만 동으로 전체 노후건축물 중 약 79%를 차지하고 있어서 자연재해 관리 및 예방 필요

[표 3] 2020년 건축물 현황

구분	전체합계	주거용	상업용	공업용	문교사회용	기타
10년미만	1,254,371	618,447	289,574	94,264	36,181	215,905
10년~15년 미만	598,277	265,159	145,380	51,933	28,236	107,569
15년~20년 미만	622,923	293,560	156,151	51,622	29,557	92,033
20년~25년 미만	624,496	316,998	136,765	36,589	26,456	107,688
25년~30년 미만	833,438	489,031	158,641	38,034	22,682	125,050
30년~35년 미만	535,672	370,158	108,981	19,136	11,302	26,095
35년 이상	2,284,186	1,848,774	263,468	28,994	29,197	113,753
기타	521,903	401,087	56,131	9,014	15,164	40,507
합계	7,275,266	4,603,214	1,315,091	329,586	198,775	828,600

출처: 대한민국 정책브리핑, 전국건축물 총 7,275,266동(2021)

□ 탄소배출 현황

- 우리나라의 탄소 총 배출량 중 건물은 1억 80백만톤('18년 기준)을 배출
- 화석에너지 사용 등 직접배출은 총 52백만톤, 전기에너지 등 간접배출은 1억 27백만톤으로 간접 배출되는 총 배출량이 '00년 대비 증가추세[표 4]

[표 4] 우리나라 탄소 총 배출량 중 건물 구성비

구분	00년	05년	10년	15년	18년
직접배출(화석E)	13.9%	11.5%	8.5%	7.2%	7.2%(52백만톤)
간접배출(전기E)	10.8%	14.6%	18.1%	16.1%	17.5%(1억 27백만톤)
합계	24.7%	26.1%	26.6%	23.3%	24.7%(1억 80백만톤)

출처: 국토교통 2050 탄소중립 로드맵(2021)

2 관련 정책 및 제도

□ (국외) 미국, EU, 영국, 일본 등 주요국들은 국토·도시 계획에 취약성 분석 및 대응을 통해 건물의 기후변화 취약성을 관리

- (미국) 재난대응 정책 및 제도에서 건물부문의 기후변화 취약성 대응과 관련하여 포괄적으로 다루고 있음
- (유럽연합) 잠재적인 기후변화와 영향을 인지하고 최악의 기후변화 시나리오를 고려한 적응정책을 전개함
 - 가맹국은 의무적으로 지침을 자국법에 반영하게 하여 잠재 위험을 평가
- (영국) 국토·도시 계획체계를 대폭 개편하여 홍수방어를 위한 최상위 계획정책지침 'PPS(Planning Policy Statement) 25 작성'³⁾
 - 도시 계획과정에 홍수 위험 적응대책 선정 시 민감도 검증, 적응적 관리, 탄력적·복원력을 갖춘 설계, 순차적 검증 적용을 고려해야할 원칙으로 제시
 - 집중호우에 의한 내수배제 불량 해결을 위해 지속가능한 도시 배수체계를 적용하여 홍수위험 최소화
- (일본) 지역의 재해위험도 측정에 있어 건물 붕괴위험도와 화재 위험도를 종합한 종합위험도를 측정하는 등 기후변화로 인한 건물부문 재해 위험도 분석이 제도화⁴⁾

□ 한편, 그린빌딩 확대, 건물 리노베이션 등 건물 탄소배출 감축 추진

- (미국) 바이든 정부는 2050년 탄소중립 달성을 위한 장기전략⁵⁾('21년)에서 5대 주요 변화 중 하나로 건물을 포함한 최종사용부문의 전기화(Electrification) 및 기타 청정 연료로의 전환을 제시⁶⁾
- (캐나다) 3개년 연방 인프라 전략을 발표하고 그린빌딩 확대를 위해 20억 캐나다 달러 투자('20년)
 - 캐나다는 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)⁷⁾ 프로젝트 시장 세계 3위로 향후 관련시장 및 기술수요 확대 예상

3) Planning Policy Statement 25: Development and Flood Risk 25, 영국(2020)

4) 대형재해에 대비한 도시복합재난 관리방안연구: 재난관리지도 구축 및 활용을 중심으로, 국토연구원(2019)

5) The White House, The Long-Term Strategy of The United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050(2021)

6) 에너지경제연구원, 2050 탄소중립 달성을 위한 미국의 장기전략(2021)

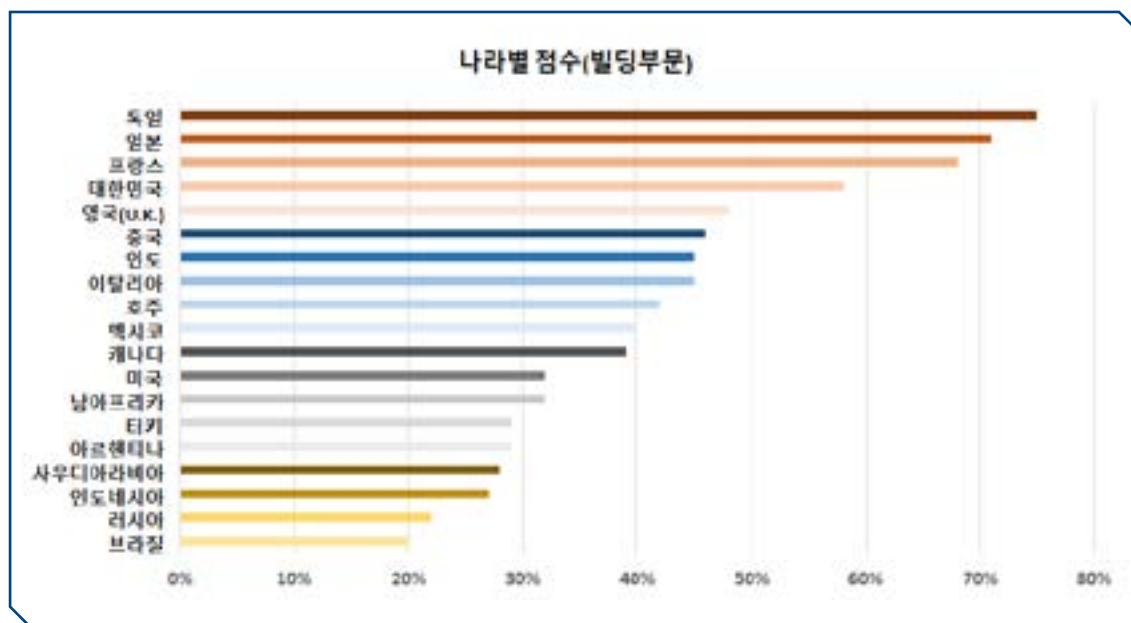
7) '98년 미국 그린빌딩협회(USGBC)에서 처음 개발 및 도입된 개념으로 친환경 건축물을 인증하는 제도.

현재 북미, 유럽을 비롯 전세계 150여개 국에서 건물의 에너지효율과 친환경도를 나타내는 기준으로 사용

- 독일, 일본, 프랑스는 대규모 건물 리노베이션, 히트 펌프, 전기난방 등 탈탄소 전략을 강경하게 추진⁸⁾

※ [그림2]는 국가별 건물 부문 탄소배출 감축 현황을 점수로 표시한 것이며, 우리나라의 건물부문 점수는 58%로 4순위에 위치

- 히트 펌프와 같은 저탄소 기술은 탄소를 제거하는데 중요하지만, 대부분의 국가들은 높은 초기비용을 극복할 수 있는 충분한 정책지원을 제공하지 않음



[그림2] 국가별 건물 부문 탄소 배출 감축 현황을 점수(%)로 표시
(출처: BloombergNEF, G20 Zero-Carbon policy Scoreboard(2021))

- (국내) 자연재해대응관련법과 건물관리관련법으로 이분화 되어 진행, 최근에는 녹색건물, 저탄소 녹색성장 기본법, 우리나라 2050 장기 저탄소 발전전략에 건물부문 에너지 효율 향상 등을 명시
- 제20대 대통령 당선인은 탄소중립 적극추진, 탄소저감 R&D·투자 확대 등 기후위기 대응 지원과 노후화된 건물의 녹색 건물로 재건축·리모델링 등 재정비에 따른 건축물 관련 기술 검토
- 우리나라 2050 장기 저탄소 발전전략은 ‘에너지절감(녹색건축)’과 ‘에너지생산(태양광·지열)’을 통한 에너지 자급자족 실현 추진
 - (녹색건축) 기존 건축물의 그린 리모델링 전환 가속화 및 신규 건축물의 제로 에너지 건물시스템 전면 적용으로 건물 내 에너지 효율 극대화
 - * 에너지 자가생산(태양광패널, 지열·수열), 에너지소비 최소화(단열·기밀 성능 강화)

8) BloombergNEF, G20 Zero-Carbon policy Scoreboard(2021)

- (효율개선) 4차 산업기술을 접목한 건물 에너지 관리시스템 적용 확대, LED 조명 전면 보급 및 가전·사무기기의 에너지 효율 개선
- (생활에너지) 냉·난방, 취사용으로 사용되는 도시 가스의 의존도 감소를 위한 전기 화로(가스렌지 대체) 및 전기·수소히터(가스히터 대체) 확산
- 「국토계획법」은 도시·군 기본 및 관리계획 수립 시, 재해 취약성 분석* 및 결과를 의무적으로 포함해야 하는 것으로 개정됨
 - * 도시 재해위험의 선제적 대응을 위해 자연재해 유형을 6개(폭우, 폭염, 폭설, 강풍, 가뭄, 해수면 상승)로 구분하여 지역별 기후·토지이용 특성을 종합적으로 분석하여 현재·미래의 취약성 평가
- 재해취약성 분석은 현재취약성과 미래취약성으로 구분 및 평가하여 각 기후노출과 도시민감도 평가분석지표를 활용함

[표 5] 도시 재해 위험의 취약성 분석을 위한 「국토계획법」

「국토계획법」

- 제20조(도시·군기본계획 수립을 위한 기초조사 및 공청회) ② 시·도지사, 시장 또는 군수는 제1항에 따른 기초 조사의 내용에 국토교통부장관이 정하는 바에 따라 실시하는 토지의 토양, 입지, 활용가능성 등 토지의 적성에 대한 평가(이하 "토지적성평가"라 한다)와 재해 취약성에 관한 분석(이하 "재해취약성분석"이라 한다)을 포함하여야 한다. <신설 2015. 1. 6.>
- 제27조(도시·군관리계획의 입안을 위한 기초조사 등) ③ 국토교통부장관, 시·도지사, 시장 또는 군수는 제1항에 따른 기초조사의 내용에 토지적성평가와 재해취약성분석을 포함하여야 한다. <개정 2013. 3. 23., 2015. 1. 6.>

- 「저탄소 녹색성장 기본법 시행령」 기후변화 영향과 취약성 평가 등을 포함하여 각 지자체 별 기후변화 대응 종합계획 수립

[표 6] 기후변화 대응정책을 위한 「저탄소녹색성장 기본법 시행령」

「저탄소녹색성장 기본법 시행령」

- 제 38조(기후변화 적응대책의 수립·시행 등) ①환경부장관은 법 제48조4항에 따라 다음 각 호의 사항이 포함된 기후변화 적응대책을 관계 중앙행정기관의 장과의 협의 및 위원회를 거쳐 5년 단위로 수립·시행하여야 한다.
 - ②관계 중앙행정기관의 장, 시·도지사 및 시장·군수·구청장은 제 1항에 따른 기후변화 정책 대응에 따라 소관 시행에 대하여 기후변화 적응 대책 세부 시행계획을 수립·시행한다.

□ 지방자치단체는 4차 산업기술을 적용한 노후 건축물 안전관리 시스템을 구축하여 건축물 취약성 관리

- 지방자치단체들은 우리나라 전체 건축물의 38.7% 차지하고 있는 노후 건축물* ('20년 기준)에 대한 자연재해 관리 및 에너지효율을 중점적으로 추진

* 30년 이상 된 노후건축물은 건축 관련 안전기준이 부재했던 시기에 조성된 건축물로 사용 과정에서 불법 용도변경, 증축 등이 이루어지면서 안전에 더 취약하며 붕괴 위험 높음

- (서울시) 4차 산업기술(사물인터넷, 블록체인, 인공지능 기술)을 적용한 노후 건축물 및 건축 공사장의 '스마트 안전관리 종합계획' 수립⁹⁾

- 의무 안전점검 대상에서 제외돼 있어 안전관리 사각지대로 꼽히는 민간 중·소형 건축공사장과 민간 노후·위험 건축물에 '스마트 안전관리 도입'

* 인공지능, 사물 인터넷, 블록체인 등 4차 산업기술 이용하여 사고·위험요소를 사전에 감지하는 안전관리 방식

- (구로구, 안양시) 노후건축물 안전관리 시스템 구축

- 사물인터넷 감지센서를 시설물에 부착해 기상요소 등 감지센서 자료 활용한 안전관리 점검^[표 7]

[표 7] 사물인터넷 기반 구로구 및 안양시의 안전관리 시스템

지역	내용
구로구 ¹⁰⁾	사물인터넷 감지센서를 시설물에 부착해 기상요소(온도, 습도, 등), 건물의 기울기, 이격, 진동 등의 데이터를 구로구 사물인터넷 자가통신망에 전송해 시설물의 상태를 실시간 원격 점검
안양시 ¹¹⁾	건물의 진동과 균열, 기상요소 등 이상 상황을 감지하는 센서의 데이터 모니터링을 통해 붕괴 등 비상상황이 우려된 경우, 안전 관련 부서에 알려 신속히 대응 <ul style="list-style-type: none"> • IoT 통합 및 빅데이터 플랫폼 등 안양에 마련된 시스템과 연계하여 재난대응 강화를 위한 공동 인프라 구축

9) 내손안에 서울, 시가 위험 탐지...민간 공사장·건축물에 '스마트 안전관리' 도입(2021)

10) 한겨레, 구로구, 사물인터넷으로 위험 시설물 안전관리한다(2021)

11) 연합뉴스, 안양시, 20~30년 노후건축물 106곳에 안전관리 시스템 구축(2022)

Ⅲ 관련 연구동향

① 위험기상의 건축물 취약성 평가

□ 기후변화 취약성의 개념

- 기후변화에 따른 위험기상 피해가 증가함에 따라 재해 취약지역 및 주변지역에 대한 피해 취약성 및 집중적 관리체계 중요
 - 취약성은 취약성을 분석하려는 목적에 따라서 개념적 정의가 다르며 기관별 정의는 [표 8]과 같음

[표 8] 기관별 기후변화 취약성(Vulnerability)의 정의

취약성 평가	내용
IPCC	<ul style="list-style-type: none"> • 기후 다양성과 극한 기후 상황을 포함한 기후 변화의 역효과에 대한 시스템의 민감도 또는 대처할 수 없는 정도
UNDP	<ul style="list-style-type: none"> • 기후 변동이나 스트레스에 대한 노출과 이에 대한 영향, 대처, 회복, 적응능력에 따른 노출단위의 위험에 대한 민감도
UN/ISDR	<ul style="list-style-type: none"> • 물리적, 사회적, 경제적, 환경적 요소나 과정에 의해 결정되는 조건으로 위험의 영향에 대한 지역사회의 민감성을 증가시킴
UNDRO	<ul style="list-style-type: none"> • 일정한 규모의 자연현상에 대한 위험 손실 정도
UKCIP	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 위험상황에서 야기되는 손해의 범위를 뜻함 • IPCC의 정의를 바탕으로 하며, 취약성은 시스템의 민감도뿐 아니라 적응능력에 의해서도 결정됨

※ 취약성의 정의는 다양한 기관들에서 '위험'과 '영향'이란 단어가 반복적으로 사용되어, 본 보고서 '지역의 재난 취약성'은 '지역사회가 재난의 위험으로부터 영향을 받는 정도'로 정의함

□ 홍수, 태풍, 지진 등 위험기상의 건축물 취약성 평가 연구

- 기상자료 활용 재난재해의 시설물(건물, 도로, 등)을 지수화 또는 함수를 통한 위험도 평가 연구 수행[표 9]
 - 장기간 기상-통계-재해 자료 이용한 취약성 지표 및 함수(통계적 방법) 분석
- 기상자료는 취약성 지표 및 함수 연구의 필수자료로 사용되어 건축물 취약성 분석에 활용

[표 9] 위험기상의 취약성 지표 및 취약성 함수 연구

방법	취약성 평가	내용
취약성 지표	홍수	<p>Park et al., (2020)</p> <ul style="list-style-type: none"> 재해연보, 기상자료, 통계자료를 GIS 프로그램으로 분석하여 시·군·구의 피해지수와 10개의 리스크 요인 인제(건물, 도로, 하천 등)에 대해 지수화
		<p>Choi et al., (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> 가중화된 5개의 취약성 변수(건축물 위험노출 밀집도, 건축물 용도, 건축물 구조 재료 형태, 노후건축물 분포)를 결합하여 분석
	<p>자연재해 (태풍, 호우, 대설, 풍랑, 강풍)</p>	<p>Lee et al., (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> 재해연보의 시설물 피해현황을 분석하여 연관된 지표 추출 전문가의 정성적 평가 및 요인분석을 통해 지역·인구·시설물(건물, 선박, 농경지, 공공시설 등)로 구분하여 12개의 취약성 지표 선정
취약성 함수	지진	<p>Rossetto et al., (2014)</p> <ul style="list-style-type: none"> 지진에 의한 빌딩, 건물 피해 및 손실 데이터를 정량화하고 통계적으로 접근하여 위험강도 측정 유형에 따른 통계모델 구성
	홍수	<p>Pregolato et al., (2015)</p> <ul style="list-style-type: none"> 홍수에 따라 기존의 경험적 취약성 및 파괴한도 함수에 관한 기술 적용 및 검토
	태풍	<p>Ahn et al., (2019)</p> <ul style="list-style-type: none"> 태풍 매미로 인한 건물 및 시설물 피해 상황을 통계적으로 분석하여 태풍의 재난관리 경로를 토대로 태풍 피해의 특성 확인 총 건물 가치, 총수 등 4가지의 지표로 손실률과 변수와의 관계 분석

② 건축물 안전관리 기술개발

□ 기상자료 활용 건물 안정성 평가 예측 모델

- 건물의 단기부하 예측을 위한 기상예측 모델¹²⁾
 - 건물의 효율적인 운전계획 수립을 위해 기상예보 정보를 활용한 시간대별 외기온도와 수평면 일사량을 예측 모델 개발

[표 10] 건물의 단기부하 예측을 위한 외기온도 및 일사량 예측 모델 개발

예측 변수	내용
시간대별 외기온도	3시간 단위 예보자료 이용한 보간 방법 이용하여 외기온도 예측
일사량	과거 시간별로 측정된 일사량 데이터를 운량 정보에 따라 구분하여 기상청 운량 예보 활용 과거 데이터를 매칭

- 개발된 모델은 기준 오차 범위(RMSE*=-7.1%)로 부하 예측이 가능하여 향후 시스템 운전 계획을 수립하는데 있어 활용 가능

* Root mean square error

- 겨울 폭풍으로 인한 건물 손상 및 피해 영향 예측 시스템¹³⁾
 - 일기예보 모델의 돌풍 예측 정보를 오픈 소스 위험 평가 플랫폼과 연계한 취약성 및 위험 척도·경제적 피해 추정하여 건물 손상·피해 예측
 - 건물 손상 예측정보는 해당지역의 건물 손상 보험 피해 내역과 비교 검증 실시
 - 스위스의 겨울폭풍 등 비상 기상상황에 대응하고 사회·경제적 자원 등 예방 가능

12) 전병기 외 2인, 건물의 단기부하 예측을 위한 기상예측 모델 개발, Journal of the Korean Solar Energy Society, 38, 1(2018)

13) Roosli et al., Towards operational impact forecasting of building damage from winter windstorms in Switzerland, Meteorol Appl. [https://doi.org/10.1002/met.2035\(2021\)](https://doi.org/10.1002/met.2035(2021))

③ 기상정보를 활용한 에너지 효율성 평가 시스템

□ 수치모의 자료를 이용한 건물 에너지 분석¹⁴⁾

- 기상 수치모델 WRF 모형과 건물에너지 시뮬레이션 소프트웨어(EnergyPlus*)이용 부산지역 수치모의 수행

* 건물 에너지 시뮬레이션 소프트웨어로 건물의 설계 초기 단계부터 실시단계까지 모든 단계에서의 사용 및 실 부하, 시스템부하, 플랜트 부하 등의 통합된 시뮬레이션 해석이 가능하며 신재생 에너지 고려가능(미국 에너지부)

- 온도, 풍속, 풍향, 상대습도 등 기상 자료 활용한 건물에너지는 난방부하일 때 겨울철 부산 내 지역별로 2~3% 차이가 있으며, 냉방부하는 기존대비 최대 10~30%까지 나타남
- 20~30년간의 장기간의 수치모의 자료를 이용하여 표준기상데이터를 작성하면 실질적인 건물에너지 분석이 가능할 것으로 기대

□ 건물 데이터 이용 건물에너지 절감 연구¹⁵⁾

- 건물 데이터를 목적에 따라 분류하고 건물에너지 사용 절감을 위한 유의미한 데이터 활용의 적용대상별 사례 제시

- 건물에너지 소비 영향 인자(Building Energy Influential Factors, BEIF) 1~4는 독립적으로 정보 활용 가능성이 높은 기본 정보군으로 기상정보*도 이에 해당

* BEIF 1: 건물의 위치 정보와 환경(외기 기상정보**) 그리고 지역지구에 따른 건축 법규 정보를 포함

** 기상청으로 받은 환경정보는 기온, 강수량, 습도 외 건물에너지 사용에 직간접적으로 영향을 주는 25가지 외부 환경지표

- BEIF를 조합하여 거시적 관점(도시 단위 건물 분야 에너지 절감 비용)부터 미시적 관점(대상 건물의 에너지 소비의 주요 인자 도출)의 건물에너지 절감의 대안 제시

□ 사물인터넷 및 빅데이터 분석기술 기반 ‘스마트 에너지관리’

- 기상 정보 수집·분석을 통해 건물 에너지 사용량 최적화 및 건물 이용자에게 쾌적한 실내 환경을 제공하는 건물에너지관리시스템(BEMS)* 개발¹⁶⁾

* 차세대 건물/시설 및 운영 관리를 구현하는 자료 기반의 의사결정 도구

- 공공데이터를 활용해 자동으로 용도별 사용량을 분석하여 에너지 성능 진단 시스템 분석 기술
- 전년도 15분 단위 사용량 데이터에 현재의 기상정보를 반영해서 15분 단위 실시간으로 기준소비량(Weather-adjusted Baseline)을 제공
- 건물관리자는 실시간 소비량을 기준사용량과 비교하여 이상 운전 여부를 파악할 수 있고 실시간으로 기상정보가 반영된 절감성과 확인 가능

※ 각 건물의 과거 2~3년간 외기온도 변화에 따른 에너지사용량 변화 계수(건물특성계수)를 산정해서 적용

14) 이귀목 외 1인, 부산지역에서의 기상수치모의 자료를 이용한 건축물 에너지분석(2014)

15) 조수연 외 1인, 건물데이터를 통한 건물에너지 절감 가능성에 대한 연구(2017)

16) 건설기술연구원, 2050 온실가스 감축목표와 건물부문 탄소중립 정책수단

[표 11] 빅데이터 분석 기반 건물에너지관리시스템 개요도



출처: 빅데이터 분석 기반 건물에너지 관리시스템(한국환경산업기술원, 2015)

□ 민간에서는 IoT 및 빅데이터 기반 에너지 정보 및 통합 진단시스템 기술 개발

- 민간에서는 사물인터넷 기반 기상 정보(온도, 습도, 일사량, 미세먼지 등) 수집·활용하여 실시간 에너지 정보제공

[표 12] 국내 주요 건물에너지관리시스템 기술 내용

기술명	기술내용
템스페이스 제로에너지 자동화 설비제어	기상 정보를 활용하여 건물 에너지 사용을 분석하고 자동화 설비제어를 실시하는 솔루션을 제공함
씨드앤 리프	실시간 날씨 등 기상 데이터 학습을 통해 냉난방 에너지 수요를 예측하고 최적 온도를 유지하는 서비스를 제공함
KEPCO-BEMS	한국 전력이 개발한 에너지관리 시스템으로 다양한 에너지원(건물 내 냉·난방, 태양광 등) 사용정보를 실시간으로 수집 및 분석, 제어하여 최적의 에너지를 제안함으로써 에너지 효율 향상과 비용절감을 위한 에너지 통합 제어시스템

- 빅데이터의 실시간 수집·분석으로 신재생 에너지 발전 분석, 에너지 효율, 초기 설비 조건, 수명 예측, 활동이력 관리 등의 업무를 개선하는 통합진단시스템 개발

[표 13] 국내 주요 인공지능 기반 통합 시스템 기술 내용

기술명	기술내용
아이티 공간 설비고장예측 진단시스템	설비고장예측 진단시스템으로 설비상태 점검 및 수명 관리 시각화 기술 개발

IV 시사점

- 건물은 기후변화에 따른 자연재해 피해에 취약한 부분으로 호우, 강풍, 태풍 등 위험기상에 대한 취약성 진단과 대응 기술 마련이 요구
 - 해외 각국은 국토 및 도시계획에 이러한 부분을 반영하고 있으며, 우리 정부도 저탄소 녹색성장 기본법 시행령 등을 통해 기후변화 영향과 취약성 평가 및 지자체별 기후변화 대응 종합계획 수립을 의무화
 - 이에 따라 지자체들은 전체 건물의 79%를 차지하는 노후건축물에 대한 자연재해 관리 및 에너지효율 향상 등을 중점적으로 추진
 - 기상정보는 건물 자연재해 취약성 평가 및 대응기술 개발에 필수적인 정보로 관련분야에 대한 융합연구 수요 존재

- 탄소중립의 일환으로 추진 중인 녹색건물 확대 움직임에 따라 건물에너지 효율향상, 건물 소비에너지의 신재생화를 위한 기상융합 연구 필요성 증대
 - 우리나라 2050 장기 저탄소 발전전략은 건물 탄소배출 감축을 위해 ‘에너지절감(녹색건축)’과 ‘에너지생산(태양광·지열)’을 통한 에너지 자급자족 실현을 주요 방안으로 제시
 - 이에 따라 기존 건축물의 그린 리모델링 및 신규 건축물의 제로 에너지시스템 개발을 위한 기상융합 기술의 수요확대 예상

- 건물 재해취약성 관리 및 탄소배출 감소부문에 있어 기상정보 및 예측기술의 중요성을 감안했을 때 향후 보다 실질적인 기상-건물 부문융합 연구 필요
 - 건물 부문 재해 취약성 관련 선행연구는 홍수, 태풍, 지진 등 위험 기상의 건물 취약성 지표 및 함수 등이 주를 이루고 있으며, 자연재해의 예측력 강화를 위한 도심 관측, 경보 시스템 연구는 부족
 - 건물 부문 탄소배출 감축 관련해서는 기상 정보 활용한 에너지 효율 평가연구가 일부 이루어지고 있으나 실적용을 위해서는 보다 응용개발 단계의 연구가 필요할 것으로 사료
 - 건물 에너지의 신재생 에너지화 부분은 특히, 태양광의 경우 일사 등의 기상정보에 대한 의존성이 매우 높음에도 불구하고, 관련 연구가 부족한 실정으로 추후 관련 연구 필요

참고문헌

- 김유민, 2050 온실가스 감축목표와 건물부문 탄소중립 정책수단, 국토연구원(2021).
- 국토교통부, 2050 탄소중립 로드맵(2021).
- 국토연구원, 대형재해에 대비한 도시복합재난 관리방안연구: 재난관리지도 구축 및 활용을 중심으로, 국토연구원 정책지(2019).
- 에너지경제연구원, 2050 탄소중립 달성을 위한 미국의 장기전략(2021).
- 이귀목 외 1인, 부산지역에서의 기상수치모의 자료를 이용한 건축물 에너지분석, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문집, 34, 1(2014).
- 전병기 외 2인, 건물의 단기부하 예측을 위한 기상예측 모델 개발, Journal of the Korean Solar Energy Society, 38, 1(2018).
- 조수연 외 1인, 건물데이터를 통한 건물에너지 절감 가능성에 대한 연구, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 29, 11(2017).
- 한국기상산업기술원, 기상정보활용 신재생에너지 연구동향 분석(2021)
- 한국환경산업기술원, 빅데이터 분석 기반 건물에너지 관리시스템(2015)
- Ahn et al., Analysis of Building Vulnerabilities to Typhoon Disaster Based on Damage Loss Data, J. of Inst. Build. Constr., 19, 6(2019).
- BloombergNEF, G20 Zero-Carbon policy Scoreborad(2021).
- Choi et al., Assessment of Building Vulnerability Index for Natural Disaster Risk Analysis, J. of Korean Soc. Hazard Mitig., 19, 5(2019).
- Lee et al., Natural disaster risk assessment in local governments for estimating disaster management resources, J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 19, No. 1, pp. 331-340(2019).
- Rossetto et al., Guidelines for empirical vulnerability assessment, GEM Technical Report 2014, Global Earthquake Model Foundation(2014).
- Park et al., An Assessment Method for Evaluating Vulnerability to Regional Disasters and Its Application to Disaster due to Heavy Rain Journal of Korean Soc. Hazard Mitig., 20, 1(2020).
- Pregolato et al., A compendium of existing vulnerability and fragility relationships for flood: Preliminary results. Proceedings of 12th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering(2015).
- Roosli et al., Towards operational impact forecasting of building damage from winter windstorms in Switzerland, Meteorol Appl.(2021).
- The British Government, Planning Policy statement 25: Development and Flood Risk 25(2020).
- The White House, The Long-Term Strategy of The United States: Pathways to Net-Zero Greenhouse Gas Emissions by 2050(2021).
- UNDRR, Human cost of disasters 2000-2019(2020).
- 내손안에 서울, 시가 위험 탐지...민간 공사장 건축물에 '스마트 안전관리' 도입(2021)
- 연합뉴스, 안양시, 20~30년 노후건축물 106곳에 안전관리 시스템 구축(2022)
- 한겨레, 구로구, 사물인터넷으로 위험 시설물 안전관리한다(2021)
- 대한민국 정책브리핑, 전국건축물 총 7,275,266동(2021)

작성자	실장 양시은
한국기상산업기술원	과장 이하나
기술혁신본부	대리 박재윤
R&D기획실	대리 한은정