



기본 | 20-32

건물 분야 온실가스 감축을 위한 건물·토지공간 활용 전략

Greenhouse Gas Reduction Strategy in the Building Sector
by Utilising Building Parcels

이정찬, 윤은주, 김희철, 김소윤, 오병철, 이미영, 박종순, 안승만

기본 20-32

건물 분야 온실가스 감축을 위한 건물·토지공간 활용 전략

Greenhouse Gas Reduction Strategy in the Building Sector by Utilising
Building Parcels

이정찬, 윤은주, 김희철, 김소윤, 오병철, 이미영, 박종순, 안승만

■ 저자

이정찬, 윤은주, 김희철, 김소윤, 오병철, 이미영, 박종순, 안승만

■ 연구진

이정찬 국토연구원 부연구위원(연구책임)
윤은주 국토연구원 부연구위원
김소윤 국토연구원 연구원
이미영 국토연구원 부연구위원
박종순 국토연구원 연구위원
안승만 국토연구원 부연구위원

■ 외부연구진

김희철 가천대학교 조교수
오병철 국제기후환경센터 책임연구원
임인혁 제드건축사사무소 연구개발기획실장

■ 연구심의위원

문정호 국토연구원 부원장
김창현 국토연구원 국토환경·자원연구본부장
김선희 국토연구원 선임연구위원
한우석 국토연구원 국가방재연구센터장
이상은 국토연구원 수자원·하천연구센터장

주요 내용 및 정책제안

FINDINGS & SUGGESTIONS



본 연구보고서의 주요 내용

- 1 건물과 토지공간을 복합적으로 활용하여 건물 분야 온실가스 감축 목표 달성을 위한 전략을 제시
- 2 공간단위에서 건물·토지공간을 복합적으로 활용하여 온실가스 감축을 최적화하는 모델을 구축하고 실제 국내 도시공간에 적용 및 분석
 - 건물에너지전산자료 및 행정자료를 결합해 건물별 에너지데이터 구축하고, 국내외 건물 온실가스 에너지 절감기술을 망라하여 대표성 있는 기술을 선별하여 적용
 - 비용 투입 대비 온실가스 감축량을 최대화하는 방향으로 최적화모델 구축
 - 서울시 3개 대상지에 적용하여 건물·토지공간 복합전략의 유효성을 확인
- 3 건물·토지공간을 복합적으로 활용하는 공간단위의 온실가스 감축 전략을 도출함과 동시에 기존 건물 대상 정책의 보완 및 개선 방안을 제시

본 연구보고서의 정책제안

- 1 (공간단위 관리) 필지·블록단위에서의 On-Site 에너지성능 강화
- 2 (의사결정지원도구) 건물·토지공간 기반의 온실가스 감축 최적화 분석도구를 개발해 보급
- 3 (에너지사용계획 강화) 공간의 에너지성능 강화를 위해 공간단위의 에너지이용계획 수립 및 제출 요건 강화
- 4 (제로에너지건축물 로드맵) 로드맵 단계별 적용 시기를 앞당겨 조기 적용
- 5 (그린리모델링 강화) 민간건축물 대상 그린리모델링사업 지원 사항 및 인센티브, 관련 사항에 대한 녹색금융 지원 등 강화
- 6 (배출규제) 건물 용도별로 온실가스 감축경로 및 배출제한 규제 도입



1. 연구의 개요

□ 연구의 배경 및 필요성

- 신기후체제(Post 2020) 돌입으로 2030년까지 BAU대비 온실가스 37%를 감축 이행 의무가 있으나 국내 온실가스 배출량은 지속적으로 증가하여 강력한 감축 추진 필요
- 건물 부문은 비산업분야 중 배출량이 제일 많은 가운데 비용 대비 감축효과가 가장 높아 국가 온실가스 감축목표 달성에 중요한 역할을 차지
- 현재 추진 중인 건물 분야 온실가스 감축수단은 기축 건물 적용에 대한 애로사항이 존재하여 보완적인 감축전략 마련 필요
- 본 연구의 목적은 건물 외부의 토지(필지) 공간을 보완적으로 활용하여 건물 분야 온실가스 감축 목표 달성을 위한 전략방안을 제시하는 것

□ 연구 목적

- 본 연구의 목적은 건물 외부의 토지(필지) 공간을 보완적으로 활용하여 건물 분야 온실가스 감축 목표 달성을 위한 전략방안을 제시하는 것

2. 국내 현황 및 정책 동향

□ 국내 건축물 및 에너지 소비 현황

- 2019년 기준 국내 건축물은 총 7,243,472 동으로 증가 추세에 있고 주로 주거·상업(82%) 용도 및 민간건축물(97% 이상) 소유 중심이며 사용승인 후 30년 이상 건축물(37.8%)이 증가 추세에 있어 에너지성능개선 대응 필요
- 국내 에너지소비량은 증가추세로 건물 분야(가정·상업)는 약 18%가량을 차지하며 마찬가지로 에너지소비량이 매년 지속적으로 증가

□ 국내 정책 동향

- (국가 정책) ‘2030 온실가스 감축 로드맵’ 건물분야 이행계획, 제2차 녹색건축물 기본계획(2020~2024), 「한국판 뉴딜」 종합계획 추진 중
- (법·제도·사업) 환경부는 온실가스 감축, 산업부는 에너지효율화 및 신재생에너지 보급, 국토부는 녹색건축물에 초점

표 1 | 건물 부문 온실가스 감축 관련 제도 및 사업 분포

구분		설계단계	시공단계	사용단계	정보인프라				
		(착공)		(준공)					
성능 개선	환경 성능	●	녹색건축인증		●	○	●	●	◆
		○	예비인증	본인증					
	에너지 성능	○	친환경주택 성능 평가제도						
		●	건축물에너지절약계획서						
		●	건물에너지관리 시스템(BEMS)						
		▲	보급						
		●	건물에너지 효율등급인증						
운영 관리	에너지 관리	●	예비인증	본인증	■	▲	●	■	□
		●	제로에너지건축물 인증						
		▲	예비인증	본인증					
	온실가스 관리								
	온실가스 관리								

자료: 저자 작성

- 공간단위 사업으로는 국토부 녹색건축과가 주관이 되어 2019년 6월부터 ‘지구단위 제로에너지 시범사업’을 통해 에너지자립률 20% 이상의 제로에너지도시를 시범적으로 조성 중(구리갈매 및 북정1지구 대상)

□ 건축물 부문 온실가스 감축 장애 요소

- 국내 건축물의 절대 다수 98% 가량을 차지하는 민간건축물을 대상으로 국내 정책 및 사업확산이 되지 않는 대표적인 장요인은 다음과 같음
 - 초기투자비용 및 투자 대비 경제적 효과(에너지 관점)에 대한 불신
 - 건물 가치 상승 효과에 대한 불신
 - 임대인(투자자)-임차인(수혜자)의 괴리로 인해 사업에 대한 투자 동인 부족
 - 기후변화 대응에 대한 인식 및 동참의 필요성 부재
 - 지역 내 전문가 및 전문인력 부족
 - 관련 산업 및 정책 등에 대한 관련 이해당사자의 낮은 이해 및 인식
 - 건축물 대상 온실가스 배출규제 미미

□ 온실가스 감축 정책 관련 부처 및 전문가 견해

- (정부부처) 건물을 대상으로 하는 정책은 이미 포화상태이며, 건물 외부의 토지공간을 활용하여 공간단위에서 건물의 온실가스를 감축시키는 정책방향 필요
- (전문가) 건물에 대한 연구는 이미 충분히 수행이 되어 새로운 결과를 얻기 힘든 상황이며 현실적으로 적용 가능성 또한 낮은 경향 존재. 공간적으로 접근하여 감축을 보완하는 연구가 필요한 현재까지는 부재한 상황

3. 국외 정책 동향

□ 국외 건물 부문 온실가스 감축 정책 주요 현황

- (유럽) EU는 건물에너지 성능지침(EPBD)을 수립해 회원국들의 건물 에너지 효율향상 지원
 - (영국) 스마트미터기 설치 의무화 추진
 - (독일) 독일재건은행(KfW)의 에너지효율 프로그램 및 스마트미터링 시스템 보급·확산 사업 추진
 - (프랑스) 노후건축물 에너지성능 개선을 위한 금융지원 및 개인주택 대상 무이자 대출 실시
- (중국) 건물 에너지효율 표준 마련 및 건물 대상 신재생에너지 결합 추진
- (미국) ESPM(Energy Star Portfolio Manager) 시스템 운영 및 에너지절약 설계기준 강화

□ 공간적 접근 사례

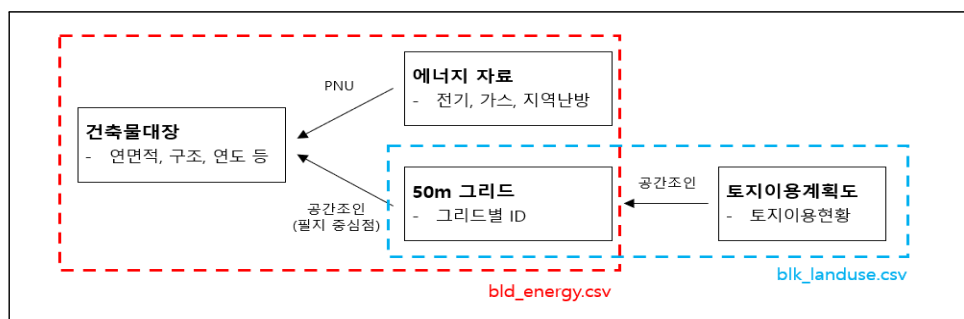
- (캐나다) Surrey시는 커뮤니티 에너지·배출량 계획(Community Energy & Emission Plan, CEEP) 운영을 통해 2040년까지 2007년 대비 온실가스 배출량 47% 감축 목표
 - (CEEPAP Tool) 지자체의 온실가스 목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 정책들을 수립·추진할 수 있도록 분석 및 의사결정 지원 도구를 개발하여 적용
- (노르웨이) Zero Emission Neighbourhoods(ZEN) 프로젝트를 통해 공간단위에서 온실가스 넷제로 달성 목표 추진
- (보스턴) 2050년까지 보스턴을 탄소중립도시로 만들기 위해 기후행동계획(Climate Action Plan)의 일환으로 2020-2024 탄소저감계획(Carbon Reduction Plan) 추진

4. 공간활용 건물 분야 온실가스 감축 최적화 분석

□ 건축물에너지 데이터 구축(전처리 과정)

- 건축물에너지 소비자자료(한국감정원), 건축물대장 및 토지이용계획도 자료(국토교통부)를 결합하여 건축물별 에너지데이터 구축

그림 1 | 자료가공 흐름

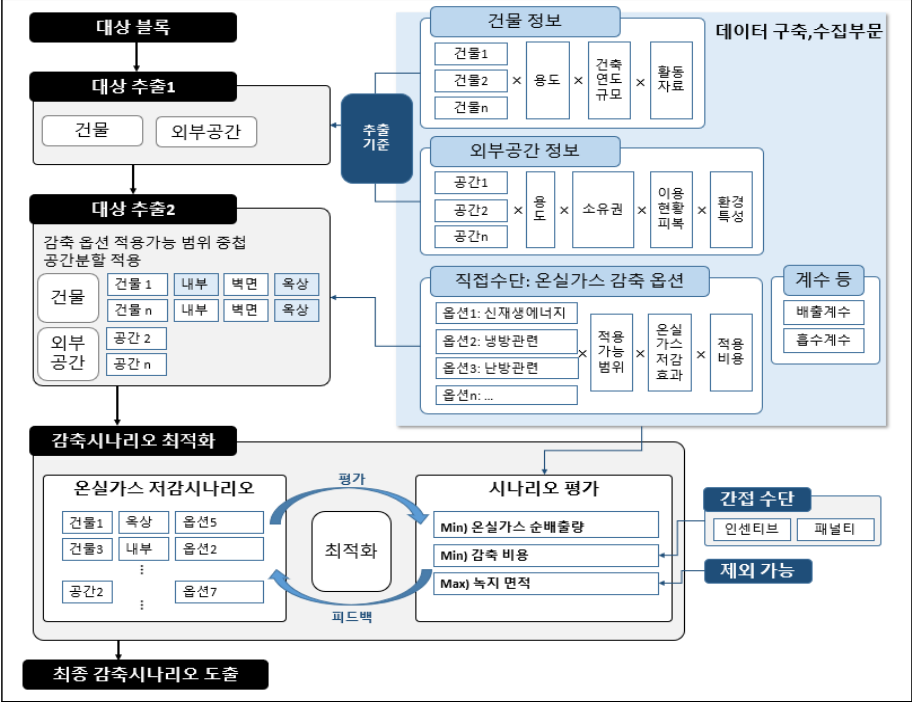


자료: 저자 작성

□ 최적화모델 구축 및 가상공간 적용

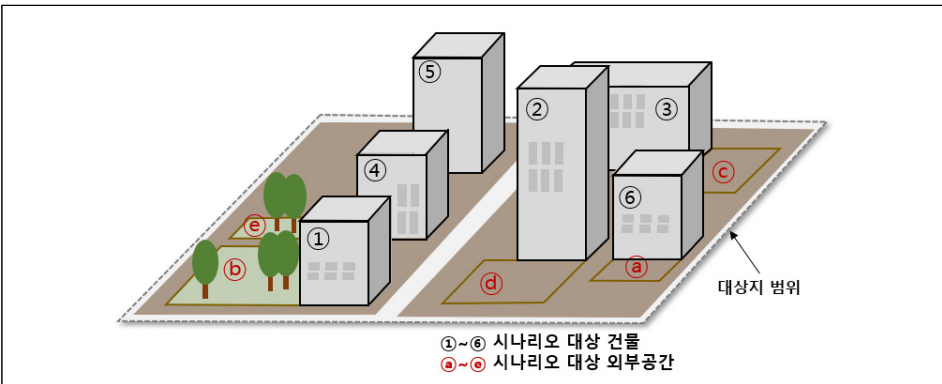
- 공간단위 내 온실가스 관리를 위해 건물과 외부공간을 복합적으로 활용하는 감축시나리오 최적화 모델을 개발
 - (목적함수) 온실가스 순 배출량의 최소화 및 감축옵션 적용비용의 최소화를 동시에 최적화하되 녹지면적의 최대화를 선택적으로 적용
 - (감축옵션) 건물(내부, 벽면, 옥상공간)과 외부공간을 대상으로하여 에너지 절감 18개 기술 및 녹화기술 4개(옥상 3, 녹지대 1)로 구성
 - (구조) 감축시나리오(안) 구성 → 온실가스 감축량 및 감축을 위한 비용의 평가 → 감축시나리오의 피드백 구조를 자동적으로 반복해 최적화해 탐색
- 6개 건물과 5개 외부공간으로 구성된 가상공간을 설계하여 최적화모델 적용
 - 건물과 외부공간에 에너지절감 감축기술 및 녹화기술을 적용
- 가상공간 적용 결과 40~80%의 온실가스 감축 효과를 확인

그림 2 | 감축시나리오 최적화 모델 흐름도



자료: 저자 작성

그림 3 | 감축 시나리오 최적화 모델 개발을 위한 가상공간 설계(건물 6개, 외부공간 5개)



자료: 저자 작성

□ 최적화모델의 실제 공간 적용

- 서울시의 새뜰마을사업 대상지(금천구 시흥5동 ‘암탉 우는 마을’) 및 국토교통부가 노후공동주택 수직중축 리모델링 실증 R&D 추진 중인 민간 아파트단지(삼전 현대아파트, 등촌 부영아파트)를 대상으로 최적화모델 적용
- 적용 결과 새뜰마을사업 대상지는 55%~89%의 온실가스 감축이 확인되었고 리모델링단지 2곳은 온실가스 감축을 넘어 플러스에너지 달성(에너지 부하보다 초과 생산)을 실현해 건물·토지공간의 복합활용 가능성을 확인

5. 정책적 대응 방안

- 필지·블록단위로 에너지절감기술의 On-Site 방식 적용을 통해 공간의 에너지 성능을 강화하도록 함
- 개발 및 정비 시 공간단위의 에너지성능 강화를 위해 에너지이용계획의 수립과 제출 요건을 강화함
- 건물·토지공간을 복합적으로 활용하여 공간의 온실가스 감축을 최적화하는 분석도구를 개발하여 보급함
- 현재 수립되어 있는 제로에너지건축물 의무화 로드맵의 단계별 시기를 앞당겨 조기 적용함
- 건물 용도별로 온실가스 배출량을 제한하는 규제를 도입함
- 민간건축물 그린리모델링 활성화를 위해 간접지원(이자 등)이 아닌 직접지원(보조금, 투자금 등)과 인센티브를 강화하며, 민간 주도 녹색금융을 활성화함
- 주민참여형 방식으로 경쟁심리를 활용해 친환경적인 행태를 제고함

6. 결론 및 향후과제

- (결론) 건물·토지공간을 복합적으로 활용하여 온실가스를 감축하는 전략을 제시
- (과제) 데이터의 질을 높이고 최적화모델을 고도화하는 후속연구 추진 필요

차례

CONTENTS

주요 내용 및 정책제안	iii
요 약	v

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구의 범위 및 방법	8
3. 선행연구 검토 및 차별성	12
4. 연구의 기대효과	16

제2장 국내 현황 및 정책 동향

1. 국내 건축물 및 에너지 소비 현황	21
2. 국내 정책 동향	27
3. 건축물 부문 온실가스 감축 장애 요소 분석	56
4. 온실가스 감축 정책 관련 부처·전문가 의견 조사	59
5. 소결	63

제3장 국외 정책 동향

1. 국외 건물 부문 온실가스 감축 정책 주요 현황	67
2. 공간적 접근 사례	73
3. 소결	81

제4장 공간활용 건물 분야 온실가스 감축 최적화 분석

1. 건물 분야 전산자료 현황	85
2. 건물 온실가스 에너지 절감 기술 데이터	94
3. 공간단위 온실가스 감축 최적화 모델 구축 및 분석	98

제5장 정책적 대응 방안

1. 필지·블록단위 On-Site 에너지성능 강화	153
2. 건물·토지공간 온실가스 감축 최적화 분석도구 보급	155
3. 제로에너지건축물 의무화 로드맵 강화	157
4. 공간 에너지성능 강화를 위한 에너지이용계획 수립·제출 강화	158
5. 건물 용도별 온실가스 배출제한 규제 도입	167
6. 민간건축물 대상 그린리모델링 지원 강화	170
7. 녹색금융 강화	171
8. 인센티브 지원 강화	173
9. 주민참여 방식을 통한 친환경행태 제고	174

제6장 결론 및 향후 과제

1. 결론	181
2. 연구의 한계와 향후 과제	183

참고문헌	185
------------	-----

SUMMARY	193
---------------	-----

부 록	195
-----------	-----

표차례

LIST OF TABLES

〈표 1-1〉 국가 온실가스 배출 추이 및 감축경로 대비 달성도	5
〈표 1-2〉 2030년 국가 온실가스 감축 목표	6
〈표 1-3〉 선행연구 요약 및 차별성	15
〈표 2-1〉 용도별 노후 건축물 현황(2019)	23
〈표 2-2〉 부문별 에너지소비량 추이(2009~2018)	25
〈표 2-3〉 건물 분야 온실가스 감축계획	27
〈표 2-4〉 건물 부문 온실가스 감축 관련 제도 및 사업 분포	33
〈표 2-5〉 녹색건축 인증 세부평가기준 항목	37
〈표 2-6〉 건축물 에너지효율등급 인증등급	41
〈표 2-7〉 제로에너지건축물 인증등급	41
〈표 2-8〉 민간건축물 그린리모델링 이차지원 기준	42
〈표 2-9〉 국가 건물에너지 통합관리시스템 개요	46
〈표 2-10〉 건축행정시스템(세움터)의 보유자료 및 정보현황	51
〈표 2-11〉 제로에너지건축 의무화 로드맵	54
〈표 2-12〉 지구단위 제로에너지 시범사업 대상지 개요	54
〈표 2-13〉 구리갈매역세권 제로에너지도시 기본계획(안) 수립 과정	55
〈표 2-14〉 온실가스 감축 정책 관련 심층인터뷰 수행 일람표	59
〈표 3-1〉 독일 KfW의 에너지효율화 프로그램의 에너지고효율 주택 개보수 재정 지원 현황	70
〈표 3-2〉 독일 KfW의 에너지효율화 프로그램의 융자 금리 구조	70
〈표 3-3〉 CEEP의 전략 구성	75
〈표 3-4〉 보스톤의 건물부문 탄소저감계획 전략 구성	80
〈표 4-1〉 공공건축물에너지소비량 제공정보 항목 및 내용	87
〈표 4-2〉 지번별에너지사용량 제공정보 항목 및 내용	88
〈표 4-3〉 건물통합정보자료 제공정보 항목 및 내용	90
〈표 4-4〉 토지피복도 대분류 및 중분류 항목	92

〈표 4-5〉 가정·상업 건물 에너지절감 기술 요소 및 특성데이터	95
〈표 4-6〉 기술DB 구성 항목 및 정의	95
〈표 4-7〉 기술DB 구성 예(로이단열재)	97
〈표 4-8〉 서울시 건축물대장 주요 정보별 결측치 및 사용여부 판단	99
〈표 4-9〉 기저 및 냉난방 에너지 정의와 산정식	101
〈표 4-10〉 토지이용현황도의 용도지역분류	103
〈표 4-11〉 감축 시나리오 최적화 모델 개발을 위한 가상의 건물 데이터	115
〈표 4-12〉 감축 시나리오 최적화 모델 개발을 위한 가상의 외부공간 데이터	116
〈표 4-13〉 감축 시나리오 최적화 모델 개발을 위한 감축옵션 데이터	118
〈표 4-14〉 가상의 공간에 대한 시뮬레이션 정보	119
〈표 4-15〉 가상공간에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지 고려 안함)	121
〈표 4-16〉 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 A(녹지 고려 안함)	121
〈표 4-17〉 가상공간에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지면적 고려)	124
〈표 4-18〉 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 B(녹지면적 고려)	125
〈표 4-19〉 새들마을사업(암탉 우는 마을) 추진 경과	132
〈표 4-20〉 대상지1에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지면적 고려 안함)	134
〈표 4-21〉 새들마을 사업 대상지 최적의 감축 시나리오 C(녹지 고려 안함)	135
〈표 4-22〉 대상지2(삼전 현대아파트) 개요	138
〈표 4-23〉 대상지2에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지면적 고려 안함)	141
〈표 4-24〉 삼전 현대아파트 최적의 감축 시나리오 D(녹지 고려 안함)	141
〈표 4-25〉 대상지2(삼전 현대아파트) 개요	143
〈표 4-26〉 대상지3에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지면적 고려 안함)	146
〈표 4-27〉 등촌 부영아파트 최적의 감축 시나리오 E(녹지 고려 안함)	147
〈표 5-1〉 대지 외(Off-Site) 신재생에너지 생산·인정제도 개념	155
〈표 5-2〉 대지 외 신재생에너지 생산량 보정계수	155
〈표 5-3〉 동일 블록 내 필지 외 신재생에너지 생산량 보정계수(안)	155

표차례

LIST OF TABLES

〈표 5-4〉 제로에너지건축 의무화 로드맵 강화(안)	158
〈표 5-5〉 에너지 공급계획에 대한 검토 기준	159
〈표 5-6〉 에너지이용효율 향상계획에 대한 검토 기준	160
〈표 5-7〉 에너지이용합리화법 시행령에 따른 에너지사용계획 제출 의무 조항	165
〈표 5-8〉 국토부 그린리모델링 사업에서 에너지 성능개선 비율에 따른 이자지원 기준	170
〈표 5-9〉 국토부 그린리모델링 사업에서 창호 에너지소비 효율등급에 따른 이자지원 기준	170

그림차례

LIST OF FIGURES

〈그림 1-1〉 국가 온실가스 배출 추이	5
〈그림 1-2〉 2030 국가 온실가스 감축 목표 (2030 로드맵)	5
〈그림 1-3〉 부문별 온실가스 관련 경제적 감축 잠재성 (2030년 목표)	7
〈그림 1-4〉 연구 흐름도	11
〈그림 2-1〉 연도별·용도별 건축물 현황	22
〈그림 2-2〉 소유구분별 건축물 현황(2019)	22
〈그림 2-3〉 국내 2018년 에너지밸런스 플로우 (Energy Balance Flow; 투입-산출 균형)	24
〈그림 2-4〉 부문별 에너지소비량 추이(2009~2018)	25
〈그림 2-5〉 국가 전체 에너지소비량 중 부문별 비중 추이(2009~2018)	26
〈그림 2-6〉 건물 부문별 에너지소비 및 비중 추이	26
〈그림 2-7〉 제2차 녹색건축물 기본계획의 비전 및 추진체계	30
〈그림 2-8〉 「한국판 뉴딜」 종합계획에서 건물 분야 해당 내용	32
〈그림 2-9〉 G-SEED, 녹색건축인증시스템	35
〈그림 2-10〉 녹색건축인증의 세부평가기준표	36
〈그림 2-11〉 에너지절약계획서 추진경위 및 내용·절차	39
〈그림 2-12〉 목표관리지원시스템(건물부문 관장기관용)	44
〈그림 2-13〉 에너지목표관리제의 추진절차	45
〈그림 2-14〉 국가 건물에너지 통합관리시스템(Green Together, 그린투게더)	47
〈그림 2-15〉 온실가스 배출권거래제 상쇄제도 추진체계	48
〈그림 2-16〉 배출권거래제 외부사업의 개념 및 상쇄 절차	48
〈그림 2-17〉 한국건축규정 e시스템	49
〈그림 2-18〉 건축행정시스템(세움터)	50
〈그림 2-19〉 건축물 생애이력 관리시스템	52
〈그림 2-20〉 건축데이터 민간개방 시스템	53
〈그림 3-1〉 CEEP의 계획 구조 개념	73

그림차례

LIST OF FIGURES

〈그림 3-2〉 캐나다 Golder사의 CEEMAP Tool	75
〈그림 3-3〉 ZEN center 의 6가지 영역	77
〈그림 3-4〉 ZEN project의 파일럿 지역 위치와 조감도	77
〈그림 3-5〉 Boston의 건물 분야 2030 목표 달성을 위한 전략	79
〈그림 4-1〉 「건축물 에너지온실가스 정보체계 운영규정」에 따른 전산자료 제공 과정	86
〈그림 4-2〉 건물통합정보 예시(서울 송파구)	89
〈그림 4-3〉 용도지역도 예시(서울 송파구)	91
〈그림 4-4〉 토지피복도 예시(서울 송파구)	92
〈그림 4-5〉 자료가공 흐름	98
〈그림 4-6〉 건축물형상과 50m x 50m 격자망 예시	102
〈그림 4-7〉 공간단위 내 온실가스 관리방향 제안	106
〈그림 4-8〉 감축시나리오 최적화 모델 흐름도	107
〈그림 4-9〉 감축 시나리오 최적화 과정	113
〈그림 4-10〉 감축 시나리오 최적화 모델 개발을 위한 가상의 공간 설계	114
〈그림 4-11〉 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 결과 (녹지 고려 안함, 퍼포먼스)	120
〈그림 4-12〉 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 A(녹지 고려 안함)	122
〈그림 4-13〉 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 결과 (녹지면적 고려, 퍼포먼스)	123
〈그림 4-14〉 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 B(녹지면적 고려)	126
〈그림 4-15〉 암탉 우는 마을 위치도	131
〈그림 4-16〉 암탉 우는 마을(금천구 시흥5동) 새뜰마을 사업 계획 도면 (2019.11.29. 기준)	132
〈그림 4-17〉 대상지1: 금천구 새뜰마을 사업대상지	133
〈그림 4-18〉 새뜰마을 사업 대상지 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려 안함) ..	134

〈그림 4-19〉 새뜰마을 사업 대상지 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려)	137
〈그림 4-20〉 대상지 2: 송파구 삼전동 삼전 현대아파트	139
〈그림 4-21〉 삼전 현대아파트 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려 안함)	140
〈그림 4-22〉 삼전 현대아파트 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려)	142
〈그림 4-23〉 대상지 3: 등촌부영아파트	145
〈그림 4-24〉 등촌 부영아파트 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려 안함)	146
〈그림 4-25〉 등촌 부영아파트 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려)	149
〈그림 5-1〉 한국형 OBF 파이낸싱 프로그램 모델 제안	172



CHAPTER 1

서론

1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구의 범위 및 방법	8
3. 선행연구 검토 및 차별성	12
4. 연구의 기대효과	16

01 서론

본 장에서는 건물분야의 온실가스 감축을 위한 건물·토지공간 활용전략의 필요성과 연구목적을 명시하였다. 분석을 위한 범위와 방법을 기술하고 기존연구 검토를 통한 본 연구의 차별성을 부각시켰다. 마지막으로 본 연구를 통한 학술적·정책적 기대효과를 제시하였다.

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경 및 필요성

우리나라는 2021년부터 돌입되는 신기후체제(Post 2020)에 따라 2030년까지 온실가스 37%(BAU 기준) 감축목표를 이행해야 할 의무가 있다(관계부처 합동 2018, 1). 배경은 이렇다. 2015년 12월, 프랑스 파리에서 개최된 UN기후변화협약(UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change) 제21차 당사국총회(COP, Conference of the Parties)에서 2020년 만료되는 교토의정서를 이어갈 신기후체제에 합의하는 ‘파리 협정(Paris Agreement)’이 채택되었다. 온실가스 감축 의무 국가(Annex I parties)로서 주로 선진국(40개국)만 참여했던 교토의정서 체제와는 달리 파리협정 신기후체제에서는 선진국과 개발도상국 모두가 감축 의무를 지니는 보편적 체제로 전환함에 따라 우리나라도 감축 의무 국가 대상이 된 것이다. 감축 목표 또한 하향식(top-down)으로 부여했던 교토의정서 체제와 달리 신기후체제에서는 상향식(bottom-up)으로 국가별 자발적 감축 목표(NDC, Nationally Determined Contribution)를 설정하는 방식으로 전환하였고 우리나라는 NDC를 2030년까지

BAU(850.8백만톤) 대비 37%(314.8백만톤) 감축하는 536.0백만톤으로 설정한 것이다(관계부처 합동 2018, 5).

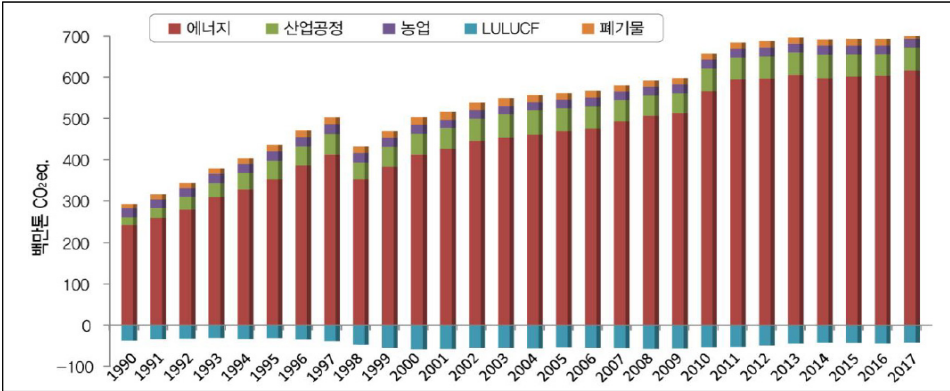
하지만 국내 온실가스 배출량은 지속적으로 증가하고 있어 강력한 감축 전략을 추진할 필요가 있다. 2017년 국가 온실가스 배출량은 709.1백만톤으로 꾸준히 증가하고 있다(그림 1-1). 과거 2020 국가 온실가스 감축 로드맵('14.1월)(관계부처 합동 2014, 10)에서 2020년 BAU 배출전망치(776.1백만톤) 대비 30%의 감축목표(목표 배출량 543백만톤)를 설정했으나 초과배출 중이며 격차 또한 증가하는 추세이다(표 1-1). 2030 국가 온실가스감축 기본로드맵('16.12월, '18.7월)은 파리협정 마련을 위한 감축경로를 설정하고, 한차례 수정을 통해 국내 감축분을 더 강화시켰다. 하지만 현 증가 추세로는 달성 가능 여부가 미지수이다(그림 1-2).

참고로 우리나라는 2019년 12월 저탄소녹색성장기본법 시행령 제25조 개정을 통해 국가 온실가스 감축목표를 BAU 대비가 아니라 특정연도 대비 감축 형식으로 변경하였다. 이에 따라 우리나라는 2030년에 2017년도 대비 온실가스 24.4%를 감축해야 한다. 그러나 최종적인 감축목표 수치인 2030년 536백만톤은 동일하다. 2030년 BAU를 2017년 배출량으로 추정하는 것이기 때문에 2030년 BAU 대비 37% 감축분을 2017년도 배출량에 대한 감축비중(24.4%)으로 변경한 것이기 때문이다.

참고사항

저탄소녹색성장기본법 시행령 제25조(온실가스 감축 국가목표 설정·관리) ① 법 제42조제1항제1호에 따른 온실가스 감축 목표는 2030년의 국가 온실가스배출량을 2017년의 온실가스 총배출량의 1000분의 244만큼 감축하는 것으로 한다.

그림 1-1 | 국가 온실가스 배출 추이



자료: 온실가스종합정보센터(2019, 5)

표 1-1 | 국가 온실가스 배출 추이 및 감축경로 대비 달성도

	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17
총배출량(A) (단위: 백만톤CO2e)	597.6	657.4	682.9	687.1	697.0	691.5	692.3	692.6	709.1
2020 로드맵 감축경로(B) (단위: 백만톤CO2e)						659.1	637.8	621.2	614.3
차이(A/B-1) (단위:%)						4.9%	8.5%	11.5%	15.4%

자료: 관계부처 합동(2014, 25; 2019, 11)을 토대로 저자 작성

그림 1-2 | 2030 국가 온실가스 감축 목표 (2030 로드맵)



자료: 관계부처 합동(2019, 18)

건물 부문은 감축률 목표 중 가장 큰 부문을 차지한다(표 1-2). 2017년 부문별 배출량을 기준으로 산업(392.5백만톤, 55.4%)에 이어 건물(155.0백만톤, 21.9%)은 두 번째 다배출 부문이며 비산업분야에서는 최다 배출 부문이다. 건물 부문은 2030년 BAU 대비 목표 감축률도 32.7%로 최대이며, 산업 부문(20.5%)보다 높아 전체 감축 목표 달성에 있어 그 역할이 매우 중요하다.

표 1-2 | 2030년 국가 온실가스 감축 목표

(단위 : 백만톤 CO₂, %)

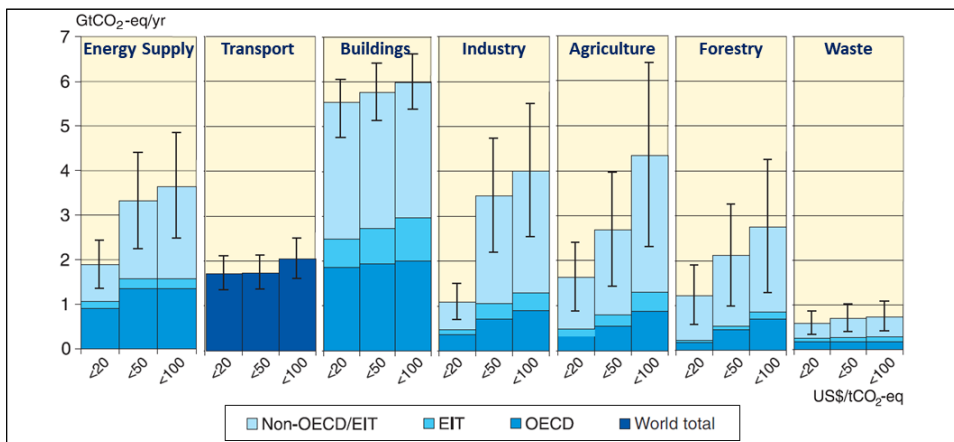
부문		배출량 (‘17)	배출전망 (‘30BAU)	감축목표		
				목표 배출량	BAU대비 감축량(감축률)	주요 감축수단
국내 부문별 목표		-	850.8	574.3	△276.4 ¹ (32.5%)	
배출원 감축	산업	392.5 (55.4%)	481.0	382.4	△98.5 (20.5%)	효율개선, 냉매대체 연·원료전환, 폐열활용
	건물	155.0 (21.9%)	197.2	132.7	△64.5 (32.7%)	단열강화(신규·기존), 설비개선, BEMS 확대
	수송	99.7 (14.1%)	105.2	74.4	△30.8 (29.3%)	친환경차 확대, 연비개선 친환경선박 보급, 바이오디젤
	폐기물	16.8 (2.4%)	15.5	11.0	△4.5 (28.9%)	재활용확대, 메탄가스 회수
	공공(기타)	20.0 (2.8%)	21.0	15.7	△5.3 (25.3%)	LED 조명, 재생에너지 확대
	농축산	20.4 (2.9%)	20.7	19.0	△1.6 (7.9%)	분뇨 에너지화, 논물관리
	탈루 등	4.8 (0.7%)	10.3	7.2	△3.1 (30.5%)	
감축 수단 활용	전환	(253.1)	(333.2) ²	(192.7)	(△140.5) ³ (42.2%)	전원믹스 개선, 수요관리
	E산업/CCUS		-	-	△10.3	탄소포집·활용·저장
국외감축 등			-	-	△38.3 (4.5%)	산림흡수+국제시장활용
감축 수단 활용	산림흡수원	(-41.6)	-	-	△22.1	경제림단지 조성, 도시숲 확대
	국외감축 등		-	-	△16.2	양자협력, SDM
합계		709.1 ⁴	850.8	536.0	△314.8 (37%)	국내(32.5%)+국외(4.5%)

1. 목표배출량은 부문별 배출량 합계에서 전환부문 전원믹스 및 CCUS로 인한 감축량 반영
2. 전환부문은 전기·열 사용에 따라 부문별 배출량에 기 포함, 전체 배출량 합계에서 제외
3. 추가감축잠재량 34.1백만톤을 포함한 것으로 '20년 NDC 제출 전까지 감축목표 및 수단 확정
4. 산림부문 흡수량을 제외하지 않은 총 배출량

자료: 관계부처 협동(2019, 37)의 내용을 바탕으로 저자 재구성

아울러 건물분야는 비용 대비 감축효과가 가장 높은 부문이다. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change)의 분석결과에 따르면 건물 부문의 온실가스 감축 잠재량은 가장 높은 동시에 온실가스 저감에 투여되는 비용은 가장 낮다. 따라서 건물분야의 온실가스 감축은 국가 온실가스 감축의무를 효율적으로 달성하는데 중요하다(그림 1-3).

그림 1-3 | 부문별 온실가스 관련 경제적 감축 잠재성 (2030년 목표)



자료: IPCC (2007, 59)

2) 연구의 목적

본 연구는 파리협정에 따른 온실가스 감축 목표 달성을 위해 가장 주요한 부문이라 할 수 있는 건물 분야에 초점을 맞추고 있다. 더불어 온실가스 감축 목표 달성을 위해 감축 이행계획을 보완할 수 있는 전략방안을 제시하는 것을 목적으로 하고 있다. 2030 온실가스 감축 로드맵에서는 건물부문 감축 목표 달성을 위한 감축수단과 감축이행계획, 수단별 할당 감축량을 이미 제시해 놓은 상태이다. 하지만 주요 수단인 건축물 자체의 에너지 성능 향상, 설비효율 개선 등의 감축수단이 기축 건물에 적용이 어려운 점 등의 이유로 목표에 달성하지 못했을 경우를 대비하여 보완적인 감축전략을 마련할

필요가 있기 때문이다.

이러한 관점에서 건물 외부의 토지(필지) 공간을 보완적으로 활용하여 에너지의 생산·흡수, 효율성 향상 등을 통하여 건물 분야의 온실가스를 감축하는 전략을 제시하는 것을 연구의 최종산출물로 하였다. 최적화모형을 설계한 후 가상공간을 대상으로 하여 건물과 토지공간을 복합적으로 활용해 이론적으로 줄일 수 있는 온실가스 감축량 및 소요 비용을 추정하였다. 아울러 서울시 3개 대상지에 적용해 온실가스 감축효과 및 비용을 분석했다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위 및 정의

(1) 공간적 범위

연구의 공간적 범위는 서울특별시 내 모든 건축물을 대상으로 하여 건축물 에너지 전산자료를 분석하였다. 국토교통부 국가건물에너지통합관리시스템의 건물 에너지사용량 데이터, 세움터의 건축물 데이터 등을 수집·가공한 결과 데이터의 질과 정합성(행정정보와 에너지정보 등) 측면에서 가장 우수하였기 때문이다.

최적화모형을 적용한 실제 대상지는 그린 뉴딜 정책기조(그린리모델링, 에너지복지 등)에 따라 본 정책의 활용가능성을 제고시키기 위해 새뜰마을사업(시흥5동 218번지 일대; 암탉이 우는 마을) 및 노후공동주택 수직증축리모델링의 실증사업(삼전 현대아파트, 등촌 부영아파트) 대상지로 선정했다.

(2) 시간적 범위

통계, 공간정보 등의 데이터 자료는 최신자료를 활용하되 2030년 온실가스 감축목

표가 2017년도 대비 24.4% 감축하는 것이기 때문에 건축물에너지 데이터는 2017년도 자료를 사용하였다.

(3) 내용적 범위

본 연구의 핵심 내용은 다음과 같다.

첫째, 공간(필지)단위에서 건물 외 공간을 활용한 온실가스 감축 최적화모델을 설계·제시했다. 본 모델을 통해 공간의 변화(녹화 등)와 정책수단(온실가스 감축 직접 및 간접 수단)의 변화에 따라 최적화된 온실가스 감축량 및 소요비용 시뮬레이션이 가능하다.

참고사항: 최적화 구조

- 목적함수 (최대화)온실가스 감축량 & (최소화) 감축비용
- 제약조건: 공간범위(건물, 토지공간), 감축옵션별 제약사항(환경적 요구도 등) 등

둘째, 상기 최적화모델을 통해 최적의 감축시나리오를 도출하고 유형을 제시했다. 가상의 공간을 대상으로 건물과 외부공간의 온실가스를 종합적으로 관리하기 위한 최적 감축시나리오를 도출해 제시했다.

셋째, 가상공간 적용 후 실제 서울시 3개 대상지에 해당 모델을 적용하여 최적화된 온실가스 감축량 및 감축비용을 도출하였다.

마지막으로 감축목표 달성을 위한 정책방안을 건축, 도시계획, 금융지원, 인센티브 등 다양한 측면에서 제시하였다.

2) 연구 방법

(1) 국내외 문헌 및 정책 조사

국내 건물 용도별 온실가스 배출량 및 에너지 소비량 현황, 건물 분야 온실가스 감축 관련 정책 현황 등을 통해 국내 현황을 살펴봤다. 아울러 건물부문 관련 기존 온실가스

감축 정책의 한계점 및 개선방향을 전문가 인터뷰를 통하여 도출했다. 또한 해외 주요 국가의 건물 분야의 온실가스 감축정책 현황 등을 조사했다.

(2) 자료 수집 및 분석

건물 용도별 에너지 사용량(국가건물에너지통합관리시스템) 및 온실가스 배출량 분석을 다음과 같이 실행했다. 건물 에너지 사용량 정보는 국가건물에너지통합관리시스템에서, 건축물 위치, 연면적, 층수 등 행정정보는 세움터에서 각각 입수했다. 데이터 전처리 및 격자망을 활용하여 두 데이터를 결합한 후 IPCC 배출계수를 활용하여 건축물 별 온실가스 배출량을 산정하였다.

공간(필지)단위 온실가스 감축 최적화 모델의 구축 및 분석은 다음과 같이 진행했다. 용도 및 건물 특성별로 건축물 외부공간에 대한 감축수단을 통해 최적화 시나리오를 도출할 수 있는 모델을 구축하고, 대표 유형별 가상 공간에 대한 최적화 시나리오 제시했다. 감축수단으로는 (직접수단) 태양광, 연료전지, (간접수단) 녹지, 그린루프 등이 있으며, 목적함수는 온실가스 감축량 최대화, 감축비용 최소화이다.

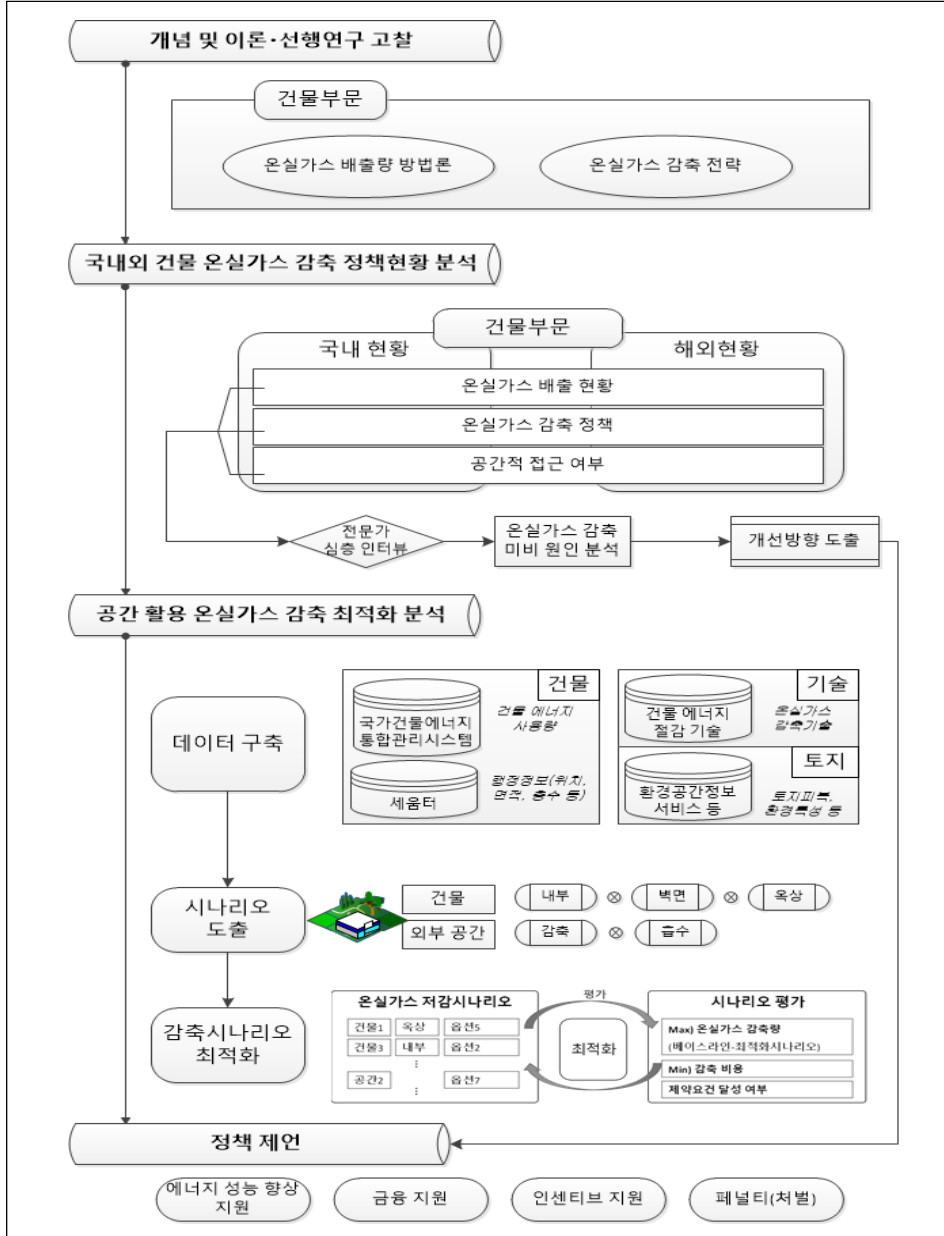
(3) 전문가 자문(자문위원회 등)

에너지, 건물, 온실가스 등 다양한 분야의 전문가들과 연구방법론을 설정하고 데이터 및 모델 분석 등과 관련해 주기적인 자문 및 협의를 추진했다. 특히 기존 건물부문 온실가스 감축정책의 한계점 및 개선방향에 대한 의견을 집중적으로 수렴하였다.

(4) 협동 연구

에너지, 건물, 온실가스 분야의 전문가와 협동연구를 추진하여 연구 완성도 제고했다.

그림 1-4 | 연구 흐름도



자료: 저자 작성

3. 선행연구 검토 및 차별성

1) 선행연구 현황

김승남 외(2014)가 수행한 ‘용도지역제도를 고려한 건물부문 온실가스 배출량 관리 정책 연구’는 건물용도(주거·비주거)별·용도지역별 온실가스 배출특성 및 영향요인 분석을 통해 용도지역별 신축건축물의 이론적 온실가스 감축률과 적정 배출기준(성능기준)을 도출하고, 이를 바탕으로 ‘용도지역별 신축 건축물 에너지 성능규제 차등화 방안’ 및 ‘온실가스 배출량 기반의 토지이용 성능기준’을 제시했다. 토지 개념을 적용하여 건물용도별·용도지역별로 차등화된 온실가스 배출량 규제 방안을 도출하였다는 것에 의의가 있으나, 건물 용도를 주거·비주거용으로만 구분하였다는 점, 신축건물만 대상으로 하였다는 점, 서울시 대상으로 일부 용도지역에 대한 데이터 누락 등 데이터 불완전성 등에 대한 한계점을 명시했다.

김승남, 유광흠(2014)이 수행한 ‘친환경건축물인증제 및 건축물에너지효율등급제의 에너지 및 탄소저감 효과 분석’은 서울시 공동주택을 대상으로 친환경건축물인증제(녹색건축물인증제)와 건축물에너지 효율등급제가 에너지와 탄소배출에 효과를 미치는지 실증 분석을 수행하였다. 건축물에너지효율등급제는 대조군에 비하여 전기 에너지 절감효과를 확인한 반면 녹색건축물인증제는 상대적으로 유의적인 차이를 발견치 못해, 계획지표 평가 중심 제도(녹색건축물인증제)보다는 에너지 성능 평가 중심의 제도(건축물에너지효율등급제)활성화에 집중할 것을 제시하였다.

정영선 외(2014)가 수행한 ‘국가 건물부문 온실가스 감축 전략 분석 연구’는 MESSAGE 모형을 활용하여, 가정 및 상업 부문의 건물에서 발생하는 에너지소비량 및 온실가스 배출량을 전망(2011~2030년)했다. 아울러 녹색건축물 기본계획(‘14. 12월, 국토교통부)의 주요 추진정책에 따라 가정 및 상업부문 감축 시나리오를 설정하고 MESSAGE 모형을 통해 온실가스 감축 잠재량을 분석했다.

박환일 외(2017)가 수행한 ‘온실가스 감축기술의 융합을 통한 산업적 성과 제고방

안 - 건물 부문의 기술융합 보급 활성화 방안'에서는 건물분야에서 온실가스 감축기술 사이의 융합 또는 ICT와의 융합 현황을 파악하고 이와 관련된 산업적 성과를 제고하기 위한 제도·기술·시장 측면에서의 정책개선 방안을 제시했다. 건물분야의 기술융합 및 건물분야 온실가스 감축기술 융합에 대한 특성을 파악하고, '제로에너지 빌딩', 'BEMS 및 HEMS', 'ICT 기반의 에너지 수요관리'에 관한 산업활성화 장애요인 및 개선방안을 제시했다.

홍태훈, 강현웅 외(2018)가 수행한 '제로에너지빌딩 구현을 위한, 공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템 개발'에서는 민간의 기존 공동주택의 그린리모델링 활성화를 위해서 그린리모델링 추진 우선 대상을 선정하고 에너지성능 향상 효과 및 비용 평가를 기반으로 최적의 그린리모델링 요소기술 적용 대안을 제시하여 민간의 그린리모델링 의사결정을 지원하는 시스템 연구개발을 했다. 7대 광역시(서울, 인천, 부산, 광주, 대전, 대구, 울산) 공동주택(아파트, 연립주택, 다세대주택) 및 단독주택의 에너지사용량(2016년) 데이터를 활용하여, 공동주택 그린리모델링 최적 대상 선정 모델(Selection Model for Optimal Multi-family housing, SMOM)과 공동주택 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델(Selection Model for Optimal Technology, SMOT)을 조합해 최종적으로 '공동주택 그린리모델링 최적 의사결정 지원시스템(Decision-making Support for Optimal Green building, DSSOG)을 개발 및 제시했다.

2) 선행연구와 본 연구와의 차별성

본 연구에서는 다음과 같은 점에서 기존 선행연구와 차별성을 지닌다. 우선 신축 또는 기축, 기축의 일부 등과 같은 한정 없이 모든 건물을 대상으로 분석한 점이다. 공간 범위 또한 전국을 대상으로 건물에너지데이터를 구축하였으며 다만 데이터 정밀도가 가장 높은 서울을 중심으로 분석을 집중하였다.

아울러 가장 독창적인 본연구의 특징점은 건축물의 최적화된 온실가스 감축옵션을 분석하기 위해 건물 뿐만 아니라 필지 내 토지공간을 복합적으로 활용하는 방안을 최초

로 제시하였다는 점이다. 기존 개별 건축물 중심 접근에서 필지 단위의 토지공간을 활용하는 접근방식을 통해서 에너지성능 고효율 개선사업이 신축에 비해 상대적으로 어려운 기축 건물에 대해서도 온실가스 감축을 용이하게 할 수 있는 정책을 제시하였다.

표 1-3 | 선행연구 요약 및 차별성

구 분	선행연구와의 차별성		
	연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1 · 과제명: 용도지역제도를 고려한 건물부문 온실가스 배출량 관리 정책 연구 · 연구자: 김승남 외(2014) · 연구목적: 용도지역별 신축 건축물 에너지 성능규제 차등화 방안과 온실가스 배출량 기반의 토지이용 성능기준을 제시	· 문헌분석 · 전문가 자문 · 건물용도별·용도지역별 온실가스배출 특성 및 영향요인 분석	· 토지이용제도를 통한 건물부문 온실가스 감축정책 및 제도 사례연구 · 용도지역별 건축물 온실가스 배출 특성 분석 및 성능기준 마련
	2 · 과제명: 친환경건축물인증제 및 건축물에너지효율등급제의 에너지 및 탄소저감 효과 분석 · 연구자: 김승남·유광홍(2014) · 연구목적: 친환경 인증제의 탄소저감 효과 분석	· 문헌분석 · 기존 제도의 규제수준 변화 분석 · 다중회귀분석	· 건축물 인증제도의 에너지 성능 관련 평가항목 및 평가기준의 변화 검토 · 건축물 인증제도의 에너지 및 탄소저감 효과 분석 · 미기후 조절 변수 및 기후특성 변수의 영향 해석
	3 · 과제명: 국가 건물부문 온실가스 감축 전략 분석 연구 · 연구자: 정영선 외(2014) · 연구목적: 국가 건물부문(가정·상업) 온실가스 감축 전략 제시	· 문헌분석 · MESSAGE모형을 활용한 온실가스 배출 전망 및 감축량 시나리오 분석	· 녹색건축물 활성화 주요 정책과제 검토 · 녹색건축물 기본계획에 따른 정책별·과제별 시나리오 분석 · 건물부문(가정·상업) 온실가스 분석 모형 구축 · 건물부문 온실가스 감축 잠재량 도출
	4 · 과제명: 온실가스 감축기술의 융합을 통한 산업적 성과 제고방안 -건물부문의 기술융합 보급 활성화 방안 · 연구자: 박한일 외(2017) · 연구목적: 국가 온실가스 감축목표 달성을 위해 건물 분야에서 ICT 등 융합기술을 활용하고 산업적 성과를 제고하기 위한 정책방안 제시	· 문헌분석 · 전문가 자문 · 온실가스 감축기술 R&D 투자현황 분석 · 기술융합의 경제적 파급효과 분석 · 전문가 설문조사	· 온실가스 감축기술의 특성과 융합으로 인한 기대효과 분석 · 건물분야에서 온실가스 감축기술의 융합 특성 및 사례 분석 · 건물분야 온실가스 감축기술 관련 산업활성화 제고방안 분석
	5 · 과제명: 제로에너지빌딩 구현을 위한, 공동주택 그린리모델링 최적의 사결정 지원 시스템 개발 · 연구자: 홍태훈, 강현웅 외(2018) · 연구목적: 그린리모델링 활성화 방안으로써 잠재적 그린리모델링 대상 건축물을 발굴하고 사업 참여를 유도할 수 있는 방안 제시	· 공동주택 CO2 배출량 영향요인 분석 · 에너지성능별 공동주택 분류체계 수립 및 평가 기술 개발 · EnergyPlus 시뮬레이션 기반의 다목적 최적화 진화 알고리즘 개발 등	· 그린리모델링 최적대상 선정모델(SMOM) 개발 · 그린리모델링 최적 요소기술 선정 모델(SMOT) 개발 · 그린리모델링 최적 의사결정 지원 시스템(DSSOG)개발
본 연구	· 2030년 목표 달성을 위해 건물용도별로 단계별 감축경로 및 저감량 목표를 제시 · 기존 전략과 제도에 대한 실태 분석 및 개선·실천방안 제시 · 특정 규모 이상의 용도별 건물마다 차등화된 감축경로 제시	· 문헌분석 · 전문가 자문 · 시나리오 분석	· 건물 분야 온실가스 감축을 위한 해외 법적 및 사례 분석 · 건물용도에 대한 단계별 온실가스 배출량 제한수준 제시 및 기대효과 분석

4. 연구의 기대효과

1) 정책적 기대효과

첫째, 공간단위별 건물 및 필지의 온실가스 감축을 통합 고려함으로써 온실가스 감축 수단에 대한 개별 요소의 상호 보완 및 효과성·효율성 증대가 기대된다. 건물의 온실가스 감축정책은 공공기관 또는 신규건물에 집중되어 있고 기존 건물에 적용하는 경우에는 용도 또는 규모, 구조에 따른 한계가 존재하는데 본 연구에 근거하여 건물 외부 공간을 활용하여 건물에 한정된 감축정책의 보완이 가능하다. 건물이라는 점단위에서 필지까지 고려한 면단위로의 확장을 통해 효율성 및 효과성을 높일 수 있으며, 도시계획적 관점에서도 온실가스 감축 및 관리체계 고도화가 가능할 것으로 기대된다.

둘째, 건물·토지공간을 복합적으로 활용한 온실가스 최적 감축방안 도출이 가능하여 건물부문의 온실가스 감축 목표 달성을 실현하는데 기여할 것으로 기대된다. 본 연구는 건물과 토지공간을 복합적으로 활용하는 온실가스 감축 최적화모델을 파일럿모델로서 최초로 구축·제시하고 가상공간을 통한 테스트런 및 실제 서울시 3개 대상지 적용을 통해 유효성을 입증하였다. 따라서 향후 국가 차원에서 고도화된 최적화모델을 구축할 수 있는 기본적인 아키텍처를 제공함과 동시에 건물·토지공간을 복합적으로 활용하는 필지·블록 공간단위의 온실가스 감축 정책의 추진 방안을 마련하는 것 가능하다.

셋째, 1기 신도시 재개발 및 3기 신도시 조성 시 에너지자립률을 제고하는 것에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 준공된 지 30년 경과에 들어서는 노후공동주택이 밀집된 1기 신도시(분당, 일산, 평촌, 산본, 중동)의 재개발 시 단순 리모델링이 아닌 그린 리모델링으로 추진할 때 본연구의 최적화모델 활용이 가능하다. 아울러 3기 신도시 조성 시 제로에너지기술 적용을 건물뿐만 아니라 건물 외 토지공간에도 적용하여(녹지, 신재생에너지 설비 구축) 공간 단위에서의 에너지자립률 제고가 가능하다.

마지막으로 건축·공간 부문 그린뉴딜 추진동력 강화가 기대된다. 그린뉴딜 종합계획상 그린리모델링이 공공건축물 대상으로 한정되어 있는데, 본 연구가 이를 확장하여

생활여건이 취약해 개선이 시급한 사회적약자층 밀집지역인 새뜰마을사업 대상지, 사업성이 높지만 민간영역이라 추진에 난항을 겪고 있는 민간영역의 노후공동주택 리모델링단지를 대상으로 온실가스 감축 최적화 모델을 적용함으로써, 그린 뉴딜 사업을 민간영역으로 과감히 확대하는 동시에 그린 뉴딜의 규범(온실가스 감축, 일자리 창출, 불평등해소/에너지복지 강화) 달성을 강화하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2) 학술적 기대효과

공간단위별 온실가스 배출량과 잠재감축량 산정을 위한 데이터와 방법론이 미흡한 상황에서 본 연구는 공간단위 온실가스 감축 최적화 모델 방법론을 개발하고 실제 서울시 대상지에 적용·분석함으로써 향후 학계에서 본 모델을 통한 학술적 논의와 모델 발전에 대한 연구 제시가 기대된다.

아울러 공간별 맞춤형 온실가스 관리 방안을 도출하는 방법론을 제시한 점도 많은 후속연구를 촉발시킬 것으로 기대된다. 온실가스 감축 및 흡수 수단의 최적 구성 비율과 효과를 계량적으로 살펴보고 이에 근거한 공간별 맞춤형 관리 방안을 도출하는 학술적 영역이 확산될 것이다.



CHAPTER 2

국내 현황 및 정책 동향

- 1. 국내 건축물 및 에너지 소비 현황 21
- 2. 국내 정책 동향 27
- 3. 건축물 부문 온실가스 감축 장애 요소 분석 56
- 4. 온실가스 감축 정책 관련 부처·전문가 의견 조사 59
- 5. 소결 63

02 국내 현황 및 정책 동향

본 장에서는 국내 현황 및 정책 동향에 대해서 살펴보았다. 우선 국내 건축물가 에너지 소비 현황에 대해서 살펴보았다. 이후 국내 건물 부문 온실가스 감축 정책 및 관련 법·제도·사업 현황에 대해서 분석하였으며 공간단위에 대한 시범사업도 확인하였다. 이러한 정책에도 불구하고 건축물 부문에서 온실가스가 감축되고 있지 않는 장애요소에 대해 도출하였다. 이후 정부부처와 전문가를 대상으로 하는 심층 인터뷰를 통해서 향후 개선방향에 대한 시사점을 도출하였다.

1. 국내 건축물 및 에너지 소비 현황

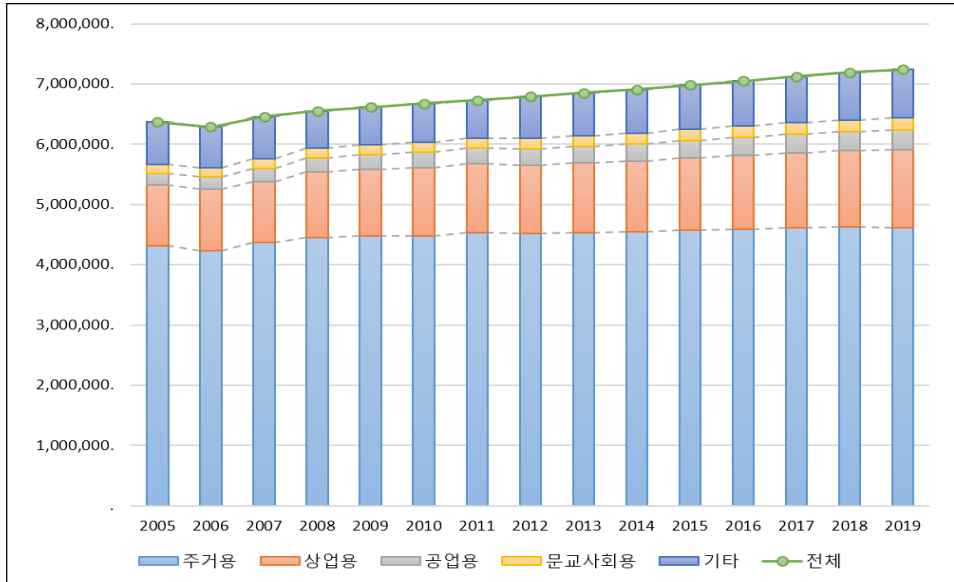
1) 건축물 현황

국토교통부(2020a)에 따르면 2019년 기준 우리나라 건축물은 총 7,243,472개 동으로 꾸준히 증가 중이다. 그 중 수도권(서울, 인천, 경기)의 건축물은 27%(2,013,057동)를 차지한다. 용도별로 건축물의 현황을 살펴보면 주거·상업용이 약 82%를 차지하며 세부적으로는 주거용 63.8%(4,622,111동), 상업용 17.9%(1,294,368동), 공업용 4.5%(323,897동), 문교·사회용¹⁾ 2.7%(196,569동), 기타(지역오기, 미기입 등) 11.1%(806,527동)로 건축물의 용도가 분포되어 있다.

1) 문화 및 집회시설, 의료시설, 교육연구 및 복지시설, 운동시설, 묘지관련시설, 관광휴게시설.

그림 2-1 | 연도별·용도별 건축물 현황

(단위: 동)

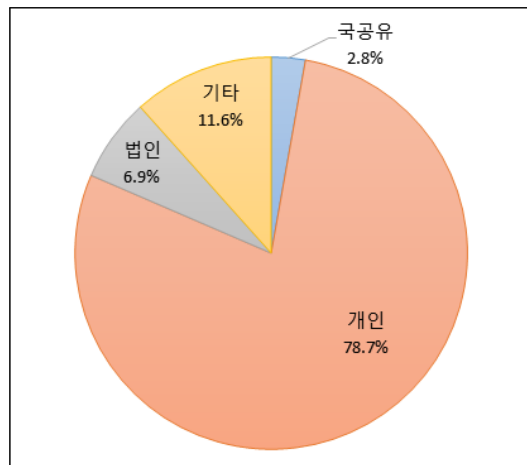


자료: e-나라지표 건축물 현황 데이터를 기반으로 저자 작성
(https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1226)

소유구분별로 건축물의 현황을 살펴보면 민간건축물이 97% 이상을 차지한다. 개인 78.7%(5,700,184동), 법인 6.9%(498,525동), 국공유 2.8%(202,796동), 기타 11.6%(841,966동)로 건축물의 소유가 구분된다.

면적별로 건축물의 현황을 살펴보면 총 연면적 약 38억6,087만㎡(2019)로, 주거·상업이 약 70%를 차지한다. 주거용 47.1%(약 18억

그림 2-2 | 소유구분별 건축물 현황(2019)



자료: e-나라지표 건축물 현황 데이터를 기반으로 저자 작성
(https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1226)

1,739만㎡), 상업용 21.8%(약 8억3,997만㎡), 공업용 10.7%(약 4억1,400만㎡), 문교·사회용 9.0%(약 3억4,646만㎡), 기타 11.5%(약 4억4,304만㎡)로 구분된다. 또한 수도권(서울, 인천, 경기)이 총 연면적의 45%(약 17억4,023만㎡)를 차지하는데 반해 총 동수는 상대적으로 낮은 27%가량을 차지하여 지방에 비해 상대적으로 중·대형 건축물 비중이 높음을 알 수 있다.

사용승인 후 30년 이상 된 노후 건축물은 37.8%(2,738,500동, 2019)로 증가추세를 보이고 있다. 수도권의 노후건축물 용도는 주거용(34.9%), 상업용(26.1%), 문교·사회용(17.6%), 공업용(9.6%), 지방은 주거용(51.5%), 상업용(27.5%), 문교·사회용(20.2%), 공업용(15.9%)으로 분포하고 있어 지방의 경우 상업용보다 주거용 건축물 노후화가 심각함을 알 수 있다.

표 2-1 | 용도별 노후 건축물 현황(2019)

(단위: %)

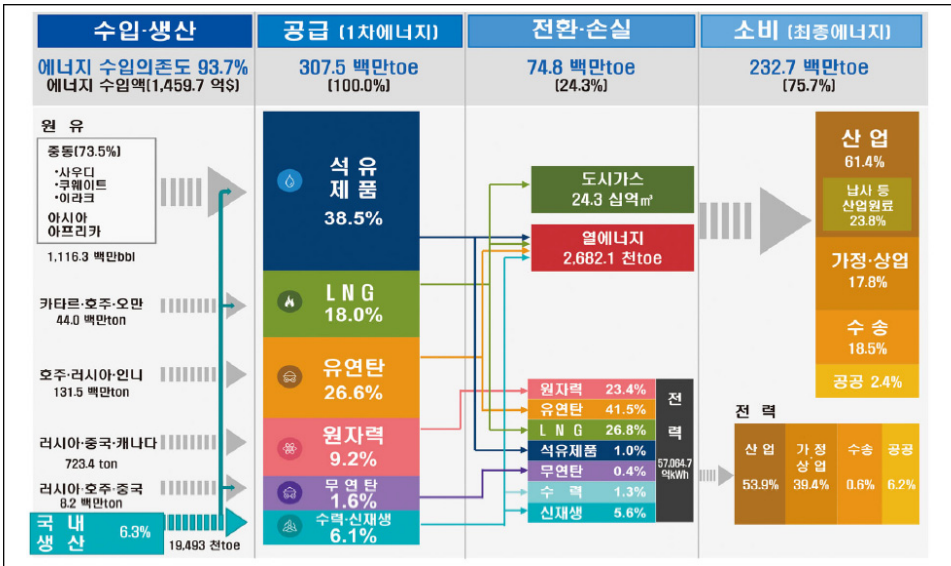
구분		합계		주거용		상업용		공업용		문교·사회용		기타	
		동수	연면적	동수	연면적	동수	연면적	동수	연면적	동수	연면적	동수	연면적
전국	10년 미만	17.4	25.4	13.7	24.3	22.3	27.8	29.9	30.9	19.2	21.4	25.4	23.8
	10~20년 미만	16.9	27.8	12.2	28.0	23.4	28.5	31.7	29.0	29.4	32.1	24.7	20.9
	20~30년 미만	20.5	28.9	18.3	29.4	22.9	24.9	22.0	23.1	24.3	24.4	28.1	43.3
	30년 이상	37.8	15.7	47.0	16.7	27.0	17.5	13.5	14.2	19.4	16.3	16.7	9.3
	기타	7.3	2.2	8.8	1.6	4.4	1.3	2.8	2.8	7.7	5.8	5.1	2.7
수도권	10년 미만	19.2	24.7	16.1	23.2	22.4	27.2	31.1	35.2	18.2	21.7	26.5	19.7
	10~20년 미만	20.9	29.9	16.3	31.3	25.4	30.6	37.8	32.3	31.0	32.8	27.7	17.1
	20~30년 미만	23.5	29.6	24.0	30.5	21.3	23.3	19.1	18.3	25.7	24.4	28.9	54.7
	30년 이상	29.0	14.2	34.9	14.0	26.1	17.7	9.6	12.4	17.6	16.3	10.0	6.4
	기타	7.3	1.5	8.7	1.0	4.9	1.1	2.4	1.8	7.4	4.8	6.8	2.1
지방	10년 미만	16.7	26.0	12.8	25.2	22.2	28.4	29.2	28.4	19.6	21.3	25.1	26.3
	10~20년 미만	15.4	26.0	10.7	25.1	22.4	26.3	28.0	27.1	28.7	31.5	24.0	23.4
	20~30년 미만	19.4	28.3	16.2	28.4	23.7	26.5	23.7	25.9	23.7	24.4	27.9	36.0
	30년 이상	41.2	17.0	51.5	19.1	27.5	17.3	15.9	15.3	20.2	16.3	18.3	11.2
	기타	7.3	2.7	8.9	2.2	4.1	1.4	3.1	3.4	7.9	6.6	4.7	3.1

자료: 국토교통부(2020a, 6)

2) 건축물 에너지 소비 현황

국내 에너지소비량은 꾸준히 증가추세이며 건물 분야(가정·상업)는 약 18% 가량을 차지하고 있다. 2018년도 에너지 소비량은 232.740백만toe로 꾸준히 증가추세이며, 부문별로 살펴보면 산업 61.7%(142.870백만toe), 수송 18.5%(42.959백만toe), 가정·상업 17.8%(23.460·17.883백만toe), 공공 2.4%(5.567백만toe) 순이다.²⁾

그림 2-3 | 국내 2018년 에너지밸런스 플로우(Energy Balance Flow; 투입-산출 균형)



자료: 산업통상자원부·에너지경제연구원(2019, xxiii)

과거 10년간 건물 부문 에너지소비량 추이를 살펴보면 증가추세에서 감소추세로 접어들었다가 다시 더 큰 증가추세로 전환 및 지속 증임을 알 수 있다. 2012년을 기점으로 증가추세에서 감소추세로 전환되었다가 2015년을 기점으로 다시 증가추세로 돌아선 후 현재까지 지속되고 있다.

2) 에너지통계연보에 따라 에너지소비 부문은 '산업·수송·가정·상업·공공' 이상 5개 부문으로 구분하며, 가정부문은 주거용 건축물, 상업부문은 비주거용 건축물의 소비량으로 분류된다.

표 2-2 | 부문별 에너지소비량 추이(2009~2018)

(단위: 백만toe)

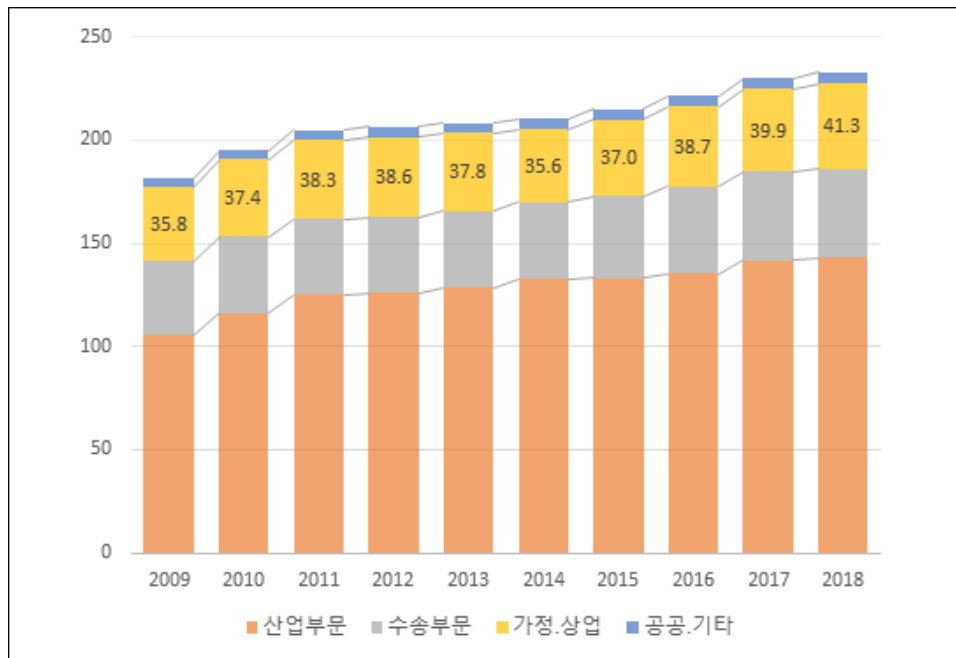
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
산업부문	105.5	116.2	124.9	125.9	128.6	132.6	133.0	135.2	141.9	142.9
수송부문	35.9	36.9	36.8	36.8	37.0	37.2	39.9	42.3	42.8	43.0
가정.상업	35.8	37.4	38.3	38.6	37.8	35.6	37.0	38.7	39.9	41.3
공공.기타	4.3	4.5	4.8	5.2	4.7	4.7	5.1	5.2	5.5	5.6
계	181.5	195.0	204.8	206.5	208.0	210.1	215.0	221.4	230.0	232.7

자료: 국가통계포털(KOSIS) 에너지수급통계, 최종에너지 부문별 소비(검색일: 2020.7.1.)

https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01&parentId=U.1;U.9.2;#337_33701_2.3

그림 2-4 | 부문별 에너지소비량 추이(2009~2018)

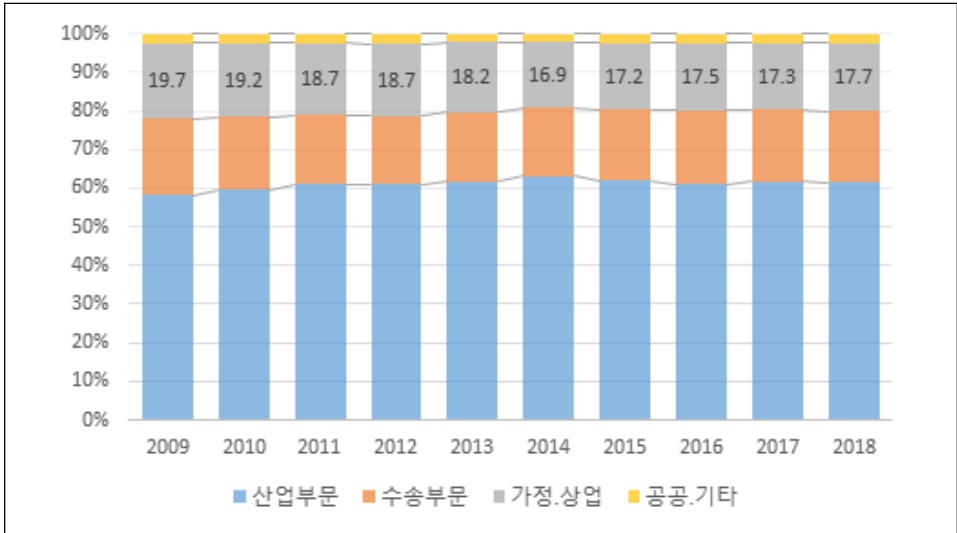
(단위: 백만toe)



자료: 국가통계포털(KOSIS) 에너지수급통계(최종에너지 부문별 소비)를 바탕으로 저자 재구성

그림 2-5 | 국가 전체 에너지소비량 중 부문별 비중 추이(2009~2018)

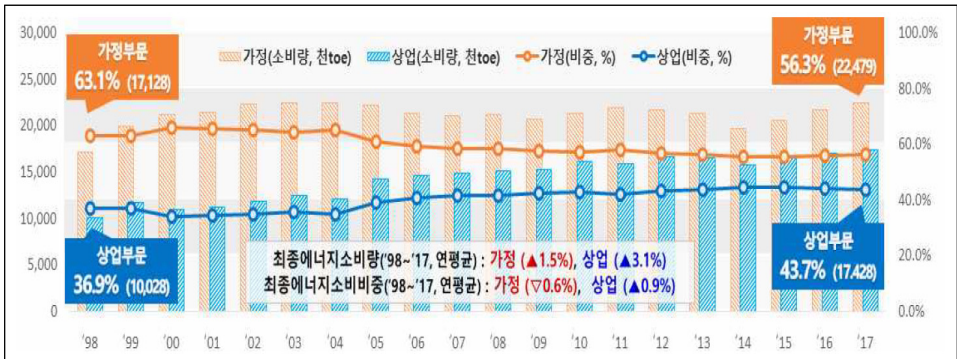
(단위: %)



자료: 국가통계포털(KOSIS) 에너지수급통계(최종에너지 부문별 소비)를 바탕으로 저자 재구성

건물 분야의 에너지소비량 증가는 상업 부문이 견인하고 있다. 가정 부문은 에너지 소비량이 감소 및 정체 추세이나, 상업 부문은 서비스업 확대에 따른 산업구조 변화로 인해 에너지소비량이 지속적으로 증가 추세를 유지하고 있다.

그림 2-6 | 건물 부문별 에너지소비 및 비중 추이



자료: 국토교통부(2019a, 7)

2. 국내 정책 동향

1) 국내 건물 부문 온실가스 감축 정책 현황

(1) 2030 온실가스 감축 로드맵 건물분야 이행계획

본 계획에서는 건축 부문 감축량 64.5백만톤CO₂e을 어떻게 줄일지 감축수단별로 계획을 수립하고 감축량을 할당하였다. 총 4개 감축수단을 설정하였으며 세부적인 내용 및 할당된 감축량은 다음과 같다.

표 2-3 | 건물 분야 온실가스 감축계획

구분			온실가스 배출량(백만톤 CO2e)	
BAU			197.2	
감축량	소계		64.5	
	배출 전망치 조정*		28.5	
	감축수단을 통한 감축량	①신축	5.5	36.0
		②기축	9.6	
		③설비·신재생에너지	15.2	
		④정보·행동	5.8	
감축 후 배출량			132.7	

* GDP, 인구, 에너지가격, 과거배출추이 등의 종합적인 영향으로 감소

자료: 관계부처 합동(2018, 14-16)의 내용을 바탕으로 저자 재구성

① 신축 건축물 허가기준 등 정책 강화를 통해 5.5백만톤 감축

신축 건물에 대한 정책 기준 강화를 통해 감축하는 전략이다. 해당 전략은 다음과 같다.

- 단열 등 에너지 절감 기술 관련 건축물의 에너지절약 설계기준을 개정을 통해 패시브 건축물 수준까지 강화한다.
- 제로에너지건축 인증 의무화와 관련된 「녹색건축물 조성 지원법」 개정 및 제로에너지건축 의무화 대상 등 세부기준 수립 관련 시행령의 개정 추진 등을 통해 제로

에너지건축물³⁾의 의무화를 단계적으로 시행한다.

- 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 기준을 개정하여, 제로에너지건축의 신재생에너지 생산량 인정 범위를 해당 대지外(off-site)로 확대 시행한다.
- ‘에너지절약형 친환경주택의 건설기준’ 성능 수준을 향상시킨다. 우선 소형주택(전용면적 60m² 이하)의 패시브 하우스 수준 의무화 추진 후 신재생에너지를 확대하여 2025년부터 제로에너지주택을 확산한다.

② 기존 건축물 에너지 성능향상을 통해 9.6백만톤 감축

기축 건축물에 대한 전략으로 다음과 같다.

- 에너지 다소비 공공 건축물의 녹색건축물 전환 의무화를 추진한다. 이를 위해 에너지소비량 공개·보고 대상 공공건축물 중 에너지효율이 낮은 건축물의 성능개선을 권고에서 의무화할 수 있도록 「녹색건축물 조성 지원법」을 개정한다.
- 도시재생 연계사업 모델 발굴 등 지역단위 사업으로 확대 추진한다. 녹색건축 특화형 도시재생 사업모델을 발굴 및 제시한다.
- 그린리모델링 활성화를 위한 중장기 방안을 수립 및 시행한다. 민간이자 지원사업 개선, 사업방식 다각화 등 그린리모델링 활성화를 위한 세부추진 계획을 수립한다.
- 민간 노후 건축물 에너지 성능개선 사업기획 지원 및 재정 지원을 확대한다.
- 건축물 에너지성능 개선에 따른 외부감축사업(상쇄)을 추진한다. 특히 현재 대규모에 한정되어 있는 외부감축사업을 확대하여 극소규모형 등 건물부문 외부사업 모델 및 이행 기반의 구축을 추진한다.

③ 설비효율개선 및 신재생에너지 보급확대를 통해 15.2백만톤 감축

설비의 에너지성능을 강화시키고 신재생에너지 보급을 확대하는 전략으로 다음과 같다.

3) 건축물에 필요한 에너지 부하를 최소화하고 신에너지 및 재생에너지를 활용하여 소요량을 최소화하는 녹색건축물

- 가전·사무기기 및 설비와 관련된 에너지 소비효율 등급과 고효율 에너지기자재 인증제도의 품목을 확대하고 효율기준을 단계적으로 강화한다. 특히 에너지 기자재의 최저 에너지성능 기준(MEPS)을 단계적·지속적으로 강화한다.
- 고효율 조명기기(LED 조명) 및 고효율 설비 지원사업 등의 보급을 추진한다. 백열등, 할로겐램프, 형광등, HID 등을 LED 조명으로 대체한다.
- 재생에너지 지원사업을 통한 주택·건물 재생에너지 보급을 확대한다. 특히 3020 재생에너지 이행 계획과 연계한 신재생에너지 건축물 보급을 확대한다.

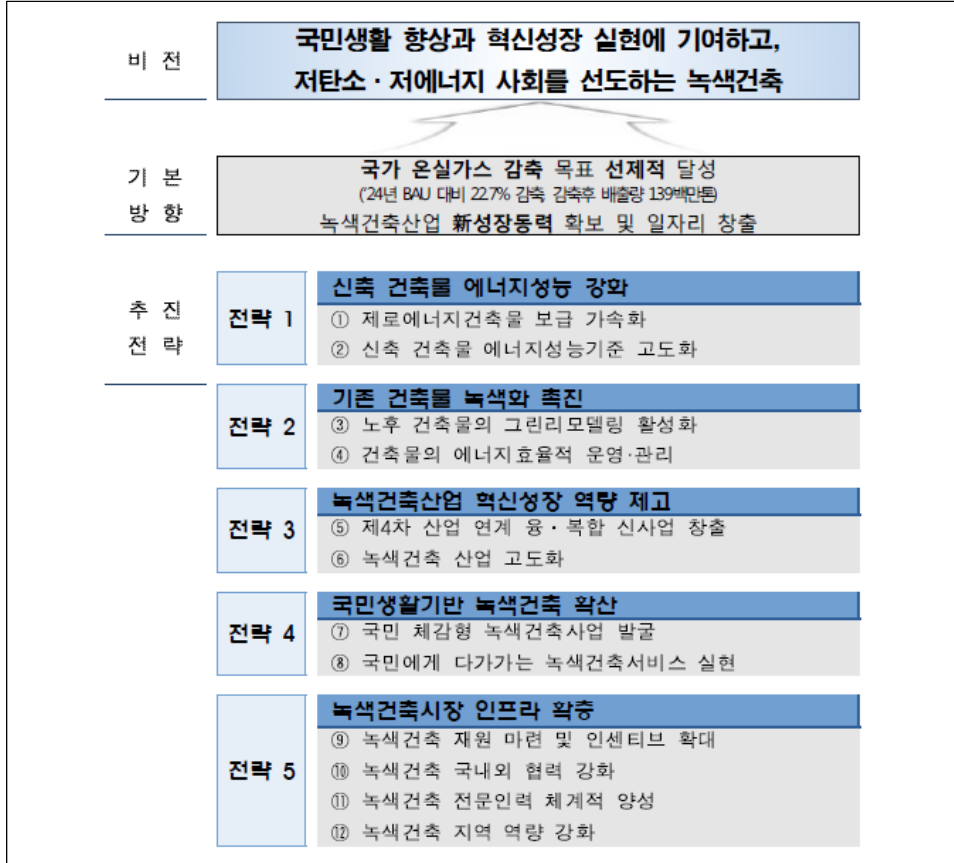
④ 건물에너지 정보인프라 구축 및 소비개선 유도를 통해 5.8백만톤 감축

- 저에너지 건축물 보급·확산을 위한 건축물 에너지데이터 기반 통합지원시스템 개발 및 대국민 서비스를 실시한다. 건물에너지통합관리시스템 운영 서비스를 강화하여 제4차 산업혁명 기반의 데이터 통합관리 및 에너지 케어 서비스 인프라를 개발·고도화한다.
- IoT, 빅데이터 분석을 통한 건물의 기본 에너지 진단 및 에너지효율 개선 방안 등 에너지절약을 위한 맞춤형 서비스를 개발 및 제공한다.
- 운영관리·행태 개선을 유도할 수 있는 건물에너지 성능관리 가이드 온라인 서비스 및 용도별 에너지절약 매뉴얼을 개발한다.
- 건물에너지관리시스템(BEMS) 기술 개발, 공간별·용도별 에너지 사용량 분리 계량 및 모니터링을 확산한다.

(2) 제2차 녹색건축물 기본계획(2020~2024)

‘녹색건축물 조성 지원법’ 제6조(녹색건축물 기본계획의 수립)에 따라 수립되는 5개년 법정계획으로 2019년에 수립되었다. 건물 분야 온실가스 감축 목표의 선제적 달성을 위해 5대 추진전략, 12대 정책과제로 구성되어 있으며, 신축 에너지성능 기준 강화, 기축 에너지성능 향상, 운영관리 활성화, 녹색건축 산업 육성 등에 방점을 두고 있다(국토교통부 2019a).

그림 2-7 | 제2차 녹색건축물 기본계획의 비전 및 추진체계



자료: 국토교통부(2019a, 20)

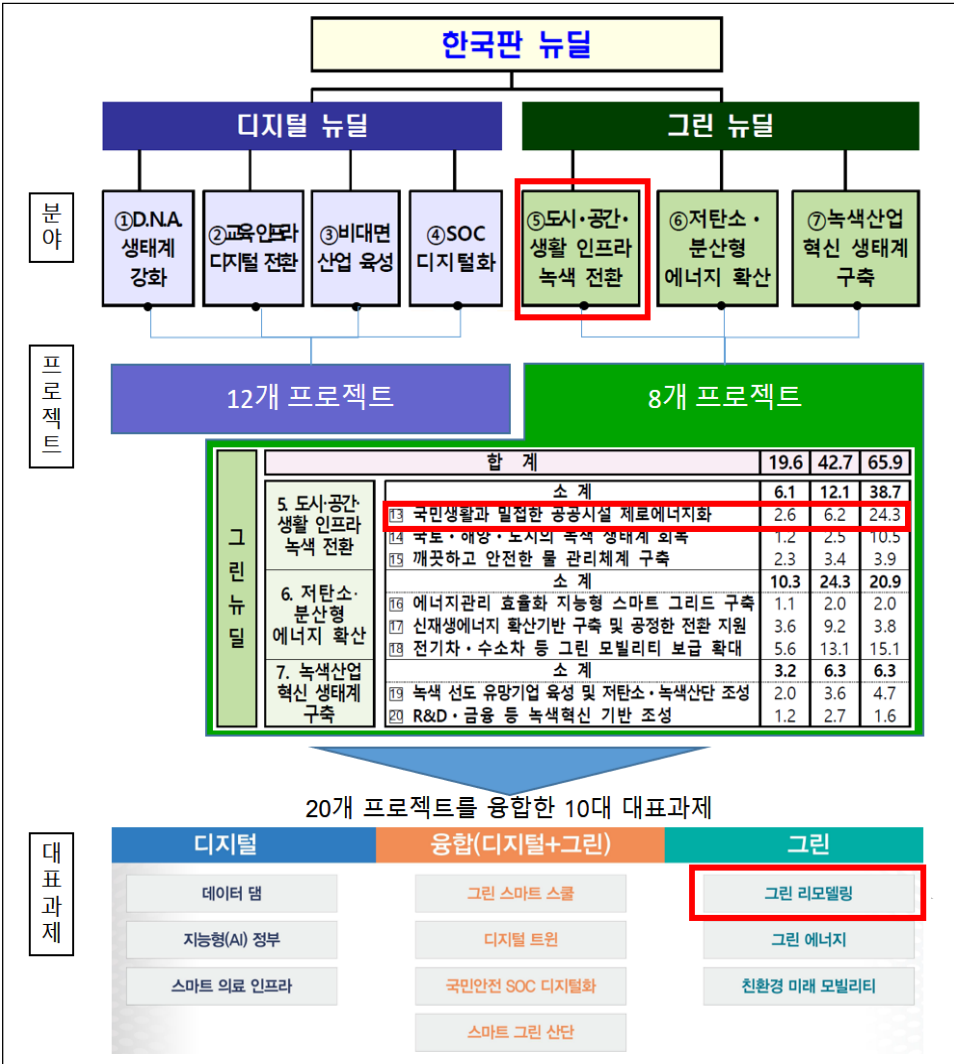
(3) 「한국판 뉴딜」 종합계획 - 그린 뉴딜

문재인 정부는 ‘제7차 비상경제회의-한국판 뉴딜 국민보고대회(2020. 7. 14.)’에서 「한국판 뉴딜」 종합계획(관계부처 합동 2020)을 발표하고 디지털 뉴딜과 함께 그린 뉴딜을 국정전략으로 추진하기 시작했다. 그린 뉴딜 전략은 3개 분야 8개 프로젝트 3개 대표과제(융합 4개 제외)로 구성된다. 이중 건축에 해당하는 부문은, ‘도시·공간·생활 인프라 녹색 전환’ 분야의 ‘국민생활과 밀접한 공공시설 제로에너지화’ 프로젝트

이며, 세부 과제 중 ‘그린 리모델링’ 사업이 대표과제이다.

세부 내용을 살펴보면 그린 리모델링은 공공건축물에 한정하여 신재생에너지 설비 설치, 고성능 단열재 교체 등을 통해 제로에너지 수준으로 에너지 성능 강화를 추진한다. 노후건축물 관련해서는 15년 이상 된 공공임대주택 22.5만호(2025년까지), 어린이집, 보건소, 의료기관과 같은 노유자 대상 공공시설 2,170동(2021년까지)을 대상으로 태양광을 설치하고 고성능 단열재로 교체한다. 신축건축물에 대해서는 고효율 에너지 기자재와 친환경 소재 등을 활용하여 2025년까지 국·공립 어린이집 440개소, 국민체육센터 51개소를 신축한다는 계획이다.

그림 2-8 | 「한국판 뉴딜」 종합계획에서 건물 분야 해당 내용



자료: 관계부처 합동(2020. 18, 19, 29)의 내용을 바탕으로 저자 재구성

2) 국내 건물 부문 온실가스·에너지 관련 법·제도·사업 현황

건물 부문 온실가스 감축 관련 제도 및 사업은 다음과 같이 정리가 가능하다.

표 2-4 | 건물 부문 온실가스 감축 관련 제도 및 사업 분포

구분		설계단계		시공단계		사용단계		정보인프라														
		(착공)		(준공)																		
성능 개선	환경 성능	●	녹색건축인증					●	그린리모델링 사업	○	한국건축규정 e 시스템	○	건축행정시스템(세움터)	○	건축물생애이력시스템	●	국가건물에너지통합관리시스템(그린투게더)	◆	건축데이터 민간개방 시스템			
		예비인증		본인증																		
	○	친환경주택 성능 평가제도																				
	에너지 성능	●	건축물에너지절약계획서																			
		●▲	건물에너지관리 시스템(BEMS) 보급																			
		●	건물에너지 효율등급인증																			
		예비인증		본인증																		
		제로에너지건축물 인증																				
		예비인증		본인증																		
운영 관리	에너지 관리				■	온실가스·에너지 목표관리제(목표 관리시스템)	▲△	공공기관 에너지 이용 합리화	●	국가건물에너지 통합관리시스템												
					▲△	공공기관 에너지 이용 합리화																
					●	국가건물에너지 통합관리시스템																
	온실 가스 관리				■	온실가스·에너지 목표관리제(목표 관리시스템)	□	건물부문 배출권 거래제 외부사업														
					□	건물부문 배출권 거래제 외부사업																

근거법	국토부	● 녹색건축법	○ 건축기본법	○ 건축법	○ 건축물관리법	○ 주택법
	환경부	■ 녹색성장법	□ 배출권거래법			
	산업부	▲ 에너지이용 합리화법	△ 신재생에너지법			
	행안부	◆ 공공데이터법				

자료: 저자 작성

(1) 법

건물 부문의 온실가스 감축, 에너지 성능 강화와 관련된 제도는 주로 환경부, 산업부, 국토부 소관의 법에 근거하여 운영한다.

환경부는 「저탄소 녹색성장 기본법」(이하 ‘녹색성장법’으로 칭함), 「온실가스 배출권의 할당 및 거래에 관한 법률」(이하 ‘배출권거래법’으로 칭함)을 중심으로 하여 주로 건물 부문의 온실가스 배출 관리에 초점을 두고 있으며, 해당 법에 근거한 시행령(규정, 규칙, 기준 등)을 통해서 건물 부문의 온실가스·에너지 목표관리제 및 목표관리시스템, 건물부문 배출권 거래제 외부사업 등을 운영한다.

산업통상자원부(산업부)는 「에너지이용 합리화법」, 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」(이하 ‘신재생에너지법’으로 칭함)을 중심으로 하여 주로 공공기관을 대상으로 에너지의 효율적 이용과 관리, 신재생에너지의 보급에 초점을 두고 있으며, 해당 법에 근거한 시행령을 통해 건물에너지관리시스템(BEMS) 보급, 제로에너지건축물 인증제도, 공공기관 에너지이용 합리화 등을 운영한다.

국토교통부(국토부)는 주로 「녹색건축물 조성 지원법」(이하 ‘녹색건축법’으로 칭함)을 중심으로 녹색건축 관련 제도를 정비하고 있으며 이와 함께 「건축법」, 「건축기본법」, 「건축물관리법」, 「주택법」이 건물 관련 정보 제공 등과 연관되어 있다. 해당 법에 근거한 시행령을 통해 건축물에너지절약계획서, 녹색건축인증제도, 건축물 에너지효율등급 인증제도, 제로에너지건축물 인증제도, 그린리모델링사업, 국가건물에너지통합관리시스템 등을 운영한다.

상기 세 부처 외에 행정안전부(행안부)는 건물 데이터 관련한 법을 소관·운영하고 있다. 「공공데이터의 제공 및 이용 활성화에 관한 법률」(이하 ‘공공데이터법’으로 칭함)에 따라 건축물의 행정정보, 생애이력, 건물에너지 등 건물에 관한 여러 정보를 민간에 개방한다. ‘건축데이터 민간개방 시스템’ 또한 동법에 의해 운영되고 있다.

(2) 제도·사업

건물 부문 온실가스 감축 관련 제도 및 사업은 다음과 같이 정리가 가능하다.

① 녹색건축인증(G-SEED)

녹색건축인증은 건축물의 에너지절감이 온실가스의 배출 저감으로 이어지고 신재생 에너지 활용을 권장하는 인증기준을 마련하여 친환경 효과를 제고하기 위해 도입된 제도이다. 녹색건축물의 유형별 설계지침에서 토지이용, 교통, 에너지, 재료 및 자원, 환경오염, 물순환관리, 유지관리, 생태환경, 실내환경 항목에 대한 친환경성을 평가하여 녹색건축을 인증한다.

그림 2-9 | G-SEED, 녹색건축인증시스템

녹색건축인증
GREEN STANDARD FOR ENERGY AND ENVIRONMENTAL DESIGN

에너지 및 환경오염
건축물에서 에너지 절감이 온실가스의 배출을 저감으로 이어지고, 신·재생에너지 활용을 권장하는 인증기준을 마련하여 친환경 효과를 얻도록 한다.

녹색건축 인증 최우수(그린1등급) 건축물

- 나라기움 삼성동 8동
- 빛마루
- 지방행정연수원
- 방배열린문화센터
- 부산항 국제여객터미널

공지사항

공게자료	주최/보기
2020 녹색건축원마당 컨퍼런스 논문 모집 공고	2020.05.13
(시행) 녹색건축 인증기준 운영세칙(G-SEED 2...	2020.04.30
(재공고) 녹색건축인증 운영세칙 일부개정안(...	2020.04.08
(시행예고) 녹색건축인증 운영세칙 개정안 (G...	2020.03.23
2020년 녹색건축인증전문가(G-SEED ID) 교육...	2020.03.16

자료: G-SEED 녹색건축인증, 검색일: 2020.6.30.

녹색건축인증을 위해 녹색건축인증 심의위원 4인 이상과 설계분야 전문가 1인으로 구성된 녹색건축 계획·설계 심의위원회가 건축물의 친환경성을 세부평가기준(2016-341호)에 따라 건축유형별(신축주거용, 신축 단독주택, 신축비주거용, 기존주거용, 기존비주거용) 공동주택과 일반주택에 대하여 8개 전문분야와 1개 가산항목으로 구분하여 평가한다.

그림 2-10 | 녹색건축인증의 세부평가기준표

인증제 소개

인증제도 개요

관련법규

세부평가기준

▶ 세부평가기준(2016-341)
 ▶ 세부평가기준(2014-709)

신청절차

양식다운로드

첨여설명

인증기관 정보

인증심사 수수료

Home > 인증제 소개 > 세부평가기준(국토부고시 제2016-341호)

세부평가기준(국토부고시 제2016-341호)

건축물의 친환경성을 평가하는 녹색건축인증(G-SEED)입니다.

신축 주거용

신축 단독주택

신축 비주거용

기존 주거용

기존 비주거용

더보기

전문분야	인증항목	구분	배점	일반주택 1)	공동주택 2)
1. 토지이용 및 교통	1.1 기존대지의 생태학적 가치	평가항목	2	●	●
	1.2 과도한 지하개발 지양	평가항목	3	●	●
	1.3 토공사 절성토량 최소화	평가항목	2	●	●
	1.4 일조권 간섭방지 대책의 타당성	평가항목	2	●	●
	1.5 단지 내 보행자 전용도로 조성과 외부보행자 전용도로와의 연결	평가항목	2		●
	1.6 대중교통의 근접성	평가항목	2	●	●
	1.7 자전거주자장 및 자전거도로의 적합성	평가항목	2	●	●
	1.8 생활편의시설의 접근성	평가항목	1	●	●
2. 에너지 및 환경오염	2.1 에너지 성능	필수항목	12	●	●
	2.2 에너지 모니터링 및 관리지원 장치	평가항목	2	●	●
	2.3 신·재생에너지 이용	평가항목	3	●	●

자료: G-SEED 녹색건축인증(2016), 세부평가기준(국토부고시 제2016-341호), 검색일: 2020.6.30.

표 2-5 | 녹색건축 인증 세부평가기준 항목

구분	인증평가항목
1. 토지이용 및 교통 (14점)	기존대지의 생태학적 가치, 과도한 지하개발 지양, 토공사 절성토량 최소화, 일조권 간섭방지 대책의 타당성, 단지 내 보행자 전용도로 조성 및 외부보행자 전용도로와의 연결, 대중교통의 근접성, 자전거주차장 및 자전거도로의 적합성, 생활편의시설의 접근성
2. 에너지 및 환경오염 (20점)	에너지 성능, 에너지 모니터링 및 관리지원 장치, 신·재생에너지 이용, 저탄소 에너지원 기술의 적용, 오존층 보호를 위한 특정물질의 사용 금지
3. 재료 및 자원 (15점)	환경성선언 제품(EPD)의 사용, 저탄소 자재의 사용, 자원순환 자재의 사용, 유해물질 저감 자재 사용, 녹색건축자재 적용 비율, 재활용가능자원 보관시설 설치
4. 물순환 관리 (14점)	빗물관리, 빗물 및 유출지하수 이용, 절수형 기기 사용, 물 사용량 모니터링
5. 유지관리 (9점)	건설현장의 환경관리 계획, 운영·유지관리 문서 및 매뉴얼 제공 사용자 매뉴얼 제공, 녹색건축인증 관련 정보제공
6. 생태환경 (20점)	연계된 녹지축 조성, 자연지반 녹지율, 생태면적률, 비오톱 조성
7. 실내환경 (21점)	실내공기 오염물질 저방출 제품의 적용, 자연 환기성능 확보, 단위세대 환기성능 확보, 자동온도조절장치 설치 수준, 경량충격을 차단성능, 중량충격을 차단성능, 세대 간 경계벽의 차음성능, 교통소음(도로, 철도)에 대한 실내·외 소음도, 화장실 급배수 소음
8. 주택성능분야 (배점 미부여)	내구성, 가변성, 단위세대의 사회적 약자배려, 공용공간의 사회적 약자배려, 커뮤니티 센터 및 시설공간의 조성수준, 세대 내 일조 확보율, 홈네트워크 종합시스템, 방범안전 콘텐츠, 감지 및 경보설비, 제연설비, 내화성능, 수평피난거리, 복도 및 계단 유효너비, 피난설비, 수리용이성 전용부분, 수리용이성 공용부분
ID 혁신적인 설계 (19점)	- 1~6번 항목, 녹색건축전문가, 혁신적 녹색건축계획 및 설계를 평가 - 혁신적 녹색건축 설계 인증항목은 최우수 및 우수 등급 신청건축물만 평가

자료: G-SEED 녹색건축인증(2016), 세부평가기준(국토부고시 제2016-341호), 검색일: 2020.6.30.

② 친환경주택 성능평가제도

공동주택 30세대 이상은 사업승인 신청 시, 친환경주택 에너지 절약계획서 및 증빙자료를 승인권자(지자체장)에게 의무적으로 제출하고, 에너지 관련 전문기관(한국에너지공단 등) 검토에 따라 사업승인 여부 결정한다(자료: 한국에너지공단 홈페이지 - 친환경주택 성능평가). 친환경주택의 성능평가는 ‘에너지절약형 친환경주택의 건설기준(국토교통부고시 제2020-355호)’ 제7조(설계기준)에 따라 난방, 급탕, 열원, 전력 등 단지 내 단위면적당 1차에너지소요량 또는 이산화탄소 배출량을 60% 이상 절감해야 하는 성능기준⁴⁾과 함께 건축·기계·전기부문 에너지절약에 대한 시방기준⁵⁾에 대해 복합적으로 평가를 한다.

4) 에너지절약형 친환경주택의 건설기준 제7조 제2항에 따라 창·단열, 벽체 등 단열, 열원설비, 고단열 고기밀 강재문, 창면적비, 발코니외 축창 단열, 외기에 직접 면하는 창·기밀성능, 조명밀도, 신·재생 에너지설비 설치 등의 요소에 대해 평가

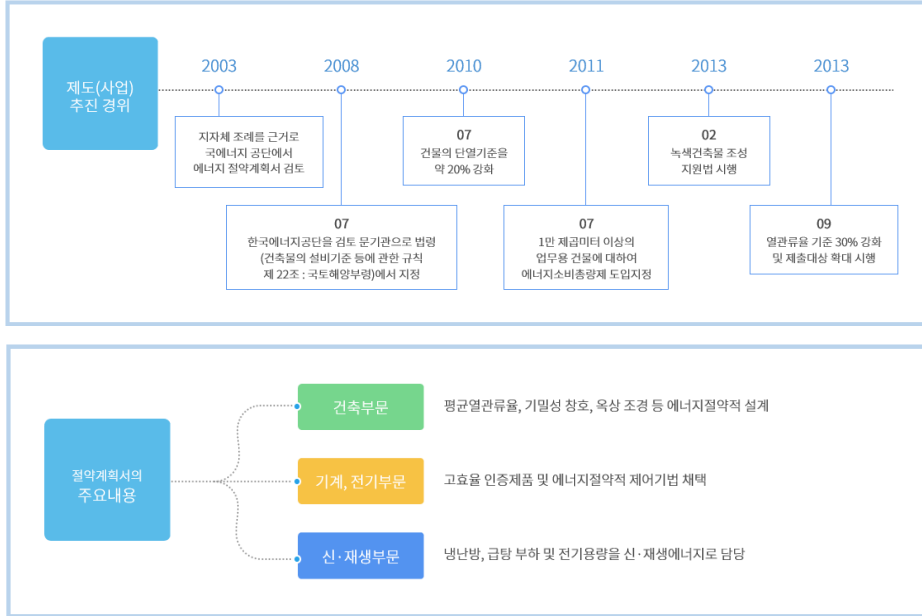
③ 건축물 에너지절약계획서

열손실 방지, 에너지절약형 설비사용 등을 비롯하여 에너지절약 설계에 대한 의무사항 및 에너지성능지표를 규정하여 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위해 도입된 제도로, 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위해 녹색건축법 제14조(에너지 절약계획서 제출) 및 건축물의 에너지절약설계기준(국토교통부고시 제2017-881호)에 따라 일정규모(500m^2) 이상 신축건물은 건축허가 신청시 에너지절약계획서를 제출한다.

제출된 에너지 절약계획서에 대해서는 녹색건축법 제15조(에너지성능지표의 판정)에 따라 한국에너지공단⁵⁾이 에너지 절약계획서의 적정성 여부를 판단한다. 에너지절약 설계기준 의무사항은 전 항목을 채택하여야 하며 에너지성능지표(EPI) 평점합계가 65점 이상(공공기관 건축물은 74점 이상)을 취득해야 지자체에서 건축허가를 결정한다(건축물의 에너지절약설계기준 제14조 및 제15조).

5) 에너지절약형 친환경주택의 건설기준 제7조 제3항에 따른 의무사항

그림 2-11 | 에너지절약계획서 추진경위 및 내용·절차



○ 추진절차



... 에너지관련 전문기관 : 한국에너지공단, 한국시설안전공단, 한국감정원, 한국교육녹색환경연구원, 한국생산성본부인증원, 한국환경건축연구원

자료: 에너지절약통합포탈, 에너지 절약 계획서 안내, 검색일: 2020.6.30.

④ 건물에너지관리시스템(BEMS) 보급

ICT 기술을 활용하여 건물 운영 부문의 에너지이용 효율화를 위해 표준화된 건물에너지관리시스템(BEMS)⁶⁾을 보급하는 제도이다(한국에너지공단 2019, 157). 공공 건축물의 경우 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정(산업통상자원부고시 제 2020-197호) 제6조(신축건축물의 에너지이용 효율화 추진) 제3항에 따라 에너지절약 계획서 제출대상 중 연면적 1만㎡ 이상 신축 또는 별도 증축 시 의무적으로 BEMS를 구축·운영해야 하며 한국에너지공단으로부터 설치확인을 받아야 한다. 민간 건축물은 아직까지 자율에 맡기고 있는 상황이지만 향후 BEMS 사업자등록제도 도입 추진 등을 통해서 BEMS 보급을 활성화해 나아갈 계획이다(여인규 2019).

⑤ 건축물 에너지효율등급 인증제도

녹색건축법 제17조(건축물의 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증) 제1항에 따라서 에너지성능이 높은 건축물 보급을 확대하고 건축물의 효과적인 에너지 관리를 위해 본 인증제도를 실시하고 있다. 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지 건축물 인증기준(국토교통부고시 제2020-574호) 제4조(인증기준 및 등급) 제3항에 근거하여, 건축물 설계도서를 통해 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 등 건축물 운영에 필요한 연간 에너지(통상 건축물 5대 에너지) 소요량을 단위면적 기준⁷⁾으로 평가하고 에너지성능에 따라 10개 등급(1+++, 1++, 1+, 1~7 등급)을 부여 및 인증한다. 이때 주거용 건축물(단독주택 및 공동주택(기숙사 제외))과 주거용 이외의 건축물(주거용 건축물을 제외한 건축물)로 구분하여 다른 기준을 적용한다(표 2-6).

6) 건물에너지관리시스템(BEMS: Building Energy Management System): 쾌적한 실내환경을 유지하고 에너지를 효율적으로 사용하도록 지원하는 제어·관리·운영 통합시스템 (출처: 공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정 제2조(용어의 정의) 제8호)

7) 단위면적당 에너지 소요량 = (난방에너지소요량)/(난방에너지가 요구되는 공간의 바닥면적) + (냉방에너지소요량/냉방에너지가 요구되는 공간의 바닥면적) + (급탕에너지소요량/급탕에너지가 요구되는 공간의 바닥면적) + (조명 에너지소요량/조명에너지가 요구되는 공간의 바닥면적) + (환기에너지소요량/환기에너지가 요구되는 공간의 바닥면적) (출처: 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 기준, 별표 1(건축물 에너지효율등급 인증 기준))

표 2-6 | 건축물 에너지효율등급 인증등급

등급	주거용 건축물	주거용 이외의 건축물
	연간 단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/m ² · 년)	연간 단위면적당 1차에너지소요량 (kWh/m ² · 년)
1+++	60 미만	80 미만
1++	60 이상 90 미만	80 이상 140 미만
1+	90 이상 120 미만	140 이상 200 미만
1	120 이상 150 미만	200 이상 260 미만
2	150 이상 190 미만	260 이상 320 미만
3	190 이상 230 미만	320 이상 380 미만
4	230 이상 270 미만	380 이상 450 미만
5	270 이상 320 미만	450 이상 520 미만
6	320 이상 370 미만	520 이상 610 미만
7	370 이상 420 미만	610 이상 700 미만

※ 주거용 건축물 : 단독주택 및 공동주택(기숙사 제외)

※ 비주거용 건축물 : 주거용 건축물을 제외한 건축물

※ 등외 등급을 받은 건축물의 인증은 등외로 표기한다.

※ 등급산정의 기준이 되는 1차에너지소요량은 용도 등에 따른 보정계수를 반영한 결과이다.

자료: 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증기준, 별표 2(건축물 에너지효율등급 인증등급)

⑥ 제로에너지건축물 인증제도

상기 건축물 에너지효율등급 인증제도와 같이 녹색건축법 제17조(건축물의 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증) 제1항에 따라 에너지성능 우수 건축물 확산 및 건물 부문의 효율적인 에너지 관리를 위해 본 제도를 실시하고 있다. 고단열·고기밀을 통해 건

축물 에너지성능을 극대화하고, 신·재생에너지를 활용하여 외부로부터 유입되는 에너지를 최소화한 건축물을 대상으로 에너지 자립 수준(에너지 자립률)⁸⁾에 따라 5개 등

표 2-7 | 제로에너지건축물 인증등급

ZEB 등급	에너지 자립률
1 등급	에너지자립률 100% 이상
2 등급	에너지자립률 80 이상 ~ 100% 미만
3 등급	에너지자립률 60 이상 ~ 80% 미만
4 등급	에너지자립률 40 이상 ~ 60% 미만
5 등급	에너지자립률 20 이상 ~ 40% 미만

자료: 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증기준, 별표 2의 2(제로에너지건축물 인증등급)

8) 에너지 자립률(%) = (단위면적당 1차 에너지생산량)/(단위면적당 1차에너지소비량) × 100 (출처: 건축물 에너지 효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 기준, 별표 1의2(제로에너지건축물 인증 기준))

급(1~5등급) 부여하며(한국에너지공단 2019, 146), 표 2-7과 같이 제로에너지건축물로 인증을 받기 위해서는 에너지자립률을 최소 20% 이상 달성해야 한다.

⑦ 그린리모델링 사업

그린리모델링이란 노후된 기존건축물의 에너지 성능향상과 효율개선을 통해 온실가스 배출을 줄일 수 있도록 리모델링하는 것으로(그린리모델링창조센터 2018) 녹색건축법 제6장(그린리모델링 활성화)에 근거하여 추진 중이며 한국토지주택공사의 그린리모델링창조센터에 의해 세 가지 세부사업이 운영되고 있다. 첫 번째로 민간이자지원 사업을 통해서 건축주가 냉·난방비 절감을 위한 에너지 성능개선 공사(단열 보완, 창호 성능개선)에 민간금융을 활용할 경우 정부가 이자 일부를 지원하고 있다. 두 번째, 공공건축물의 에너지 성능 개선을 통해 그린리모델링 성공모델을 창출하기 위한 사업으로써 노후 공공건축물 대상으로 에너지 성능개선지원사업(에너지성능 및 환경 평가, 개선방향 설계 및 컨설팅 등)을 실시하고 있다(이정찬 외 2020, 167). 마지막으로 그린리모델링 산업 육성을 위해서 사업자 지정제도를 통해 그린리모델링 사업을 시행할 수 있도록 등록증을 발급(국토교통부 장관)하고 있다(이정찬 외 2020, 167).

표 2-8 | 민간건축물 그린리모델링 이자지원 기준

구분		이자지원율	비고
에너지 성능개선	30% 이상	3%	5년 분할상환
	25% 이상 30% 미만	2%	
	20% 이상 25% 미만	1%	
창호 에너지소비 효율 개선	2등급 이상	3%	
	3등급	2%	

자료: LH 그린리모델링창조센터 홈페이지(<https://www.greenremodeling.or.kr>), 이정찬 외(2020, 167)에서 재인용

⑧ (건축물) 온실가스·에너지 목표관리제도 및 목표관리지원시스템

녹색성장법 제42조(기후변화대응 및 에너지의 목표관리)에 따라 국가온실가스 감축 목표 달성을 위한 핵심수단으로 온실가스 다배출 에너지다소비업체에 대해 온실가스 감축 및 에너지 목표를 정하고 관리체계 구축 등을 통해 목표 달성을 효율적으로 유도하는 온실가스·에너지 목표관리제를 시행하고 있다. 본 제도는 녹색성장법 시행령 제29조(관리업체 지정기준 등) 제1항에 따라 해당 연도 1월 1일을 기준으로 최근 3년간 업체의 모든 사업장(기업 단위) 또는 일부 사업장(사업당 단위)에서 발생한 온실가스 배출량 및 에너지 사용량의 연평균 총량이 일정기준 이상인 기업 및 사업장을 관리업체 대상으로 한다. 목표관리제도를 통해 관리업체가 지정연도에 달성해야 할 연간 온실가스 배출량 감축 목표와 화석에너지 소비량 절약 목표를 정부-관리업체 협의로 결정하고 있다(그린투게더 홈페이지-에너지 목표관리⁹⁾; 한국에너지관리공단 2019, 127). 정부는 관리업체가 온실가스 감축 및 에너지 절약 목표를 효율적으로 달성할 수 있도록 이행계획, 관리체계 구축 등을 지원하는 시스템에 해당하는 목표관리지원시스템을 구축·제공하고 있으며 온실가스 인벤토리 구축 및 문서 작성 지원, 현장에 맞는 감축기술 발굴 컨설팅 등 제도이행과 기술적용에 대한 지원 또한 제공하고 있다(한국에너지관리공단 2019, 131). 아울러 목표달성에 대한 강제성을 부과하기 위한 패널티(개선명령, 과태료 등) 조항 또한 마련하고 있다.

9) https://www.greentogether.go.kr/gpi/Green-ReModeling.do?sessionId=nUWUqHKWOZ39szXIP1plqaabDA9pfovghQL5jHGdDx2D39Br4dk3VAPElvPAbPHI.nbemisp1_servlet_engineGbp#



건물부은 환경가관용
목표관리지원시스템

제도정보

에너지정보

알림마당

게시판

FAQ

감축목표설정

관리업체와 합의하여 매년 9월말까지 차년도 목표치를 설정합니다.
신청 이후 목표치에 대한 이의 신청은
고시일로부터 30일 이내에 진행됩니다.

+ 자세히 보기



활동자료조사

명세서제출

관리업체지정

서면조사표작성

감축목표설정

이행계획서작성

이행실적보고서작성

목표관리제 안내

온실가스 감축목표의 효과적 이행

- 목표관리제란?
- 제도운영체계
- 관련법령
- 지정관리업체현황



건물에너지 관련제도

건물에너지와 관련된 제도

- 에너지사용사
- 에너지소비증명제
- 에너지효율등급인증
- 에너지절약실적기준



알림마당

공지사항

- [공지] 코로나바이러스-19 확산에 따른 온실가스에너지 목표관리...
- [공지] 건물부문 2019년 목표이행 관리업체 이행실적보고서 제...
- [공지] 2019년 건물부문 목표관리업체 2019년 명세서 제출...
- [20190703] 2019년 건물부문 관리업체 대상 워크숍 발...
- [자료] 2019년 건물부문 관리업체 이행계획서 작성 실습교육 ...
- [자료] 건축물 온실가스-에너지사용 우수사례 성과공유회 발표자료

+ 더보기

2020-03-12

2020-02-19

2020-02-19

2019-07-11

2019-12-03

2019-12-03

의무불이행 패널티

목표관리 대상업체의 의무 불이행

과태료는 「저탄소 녹색성장 기본법 제64조(과태료)」규정에 따른다.

FAQ

자주묻는 질문과 답변

목표관리지원시스템에 관련된 궁금한 사항을 신속히 확인하실 수 있습니다.

+ 더보기

44

그림 2-13 | 에너지목표관리제의 추진절차



자료: 건물부문 관장기관용 목표관리지원시스템. 목표관리제소개. 검색일: 2020.6.30.

⑨ 공공기관 에너지이용 합리화

에너지이용합리화법 제8조(국가·지방자치단체 등의 에너지이용 효율화조치 등)에 따라 공공기관 에너지이용합리화 추진에 관한 규정(산업통상자원부고시 제2020-197호)에 의거하여 공공기관 건축물의 에너지이용 합리화를 위한 의무 이행사항 및 관리 감독을 추진하고 있다. 본 규정 제3장(건물부문 에너지이용 합리화)의 조항에 따라 신축건축물의 에너지이용 효율화, 에너지진단 및 ESCO 추진, 기존 건축물의 에너지이용

효율화, 신·재생에너지 설비 설치, 에너지 수급 안정 및 효율 향상을 위한 전력수요관리시설 설치, 고효율에너지기자재 사용, 조명기기의 효율적 이용, 대기전력 저감, 적정실내온도 준수 등을 규정 및 관리한다.

⑩ 국가 건물에너지 통합관리시스템(Green Together)

2015년 9월 건축물 에너지 데이터의 통합관리를 통해 건물부문 온실가스 감축목표 이행 기반 마련 및 대국민 정보 제공을 목적으로 구축하였으며, 본 시스템을 통해서 우리집에너지 조회, 이웃집사용량 비교, 에너지평가서 열람, 녹색건축 제도·통계·자료·뉴스 제공, 에너지절약계획서 검토지원, 건물부문 목표관리제 업무지원, 녹색건축 인증 업무지원, 공공건축물 소비량공개 업무지원 등의 기능을 수행하고 있다(국토교통부 2020b, 12).

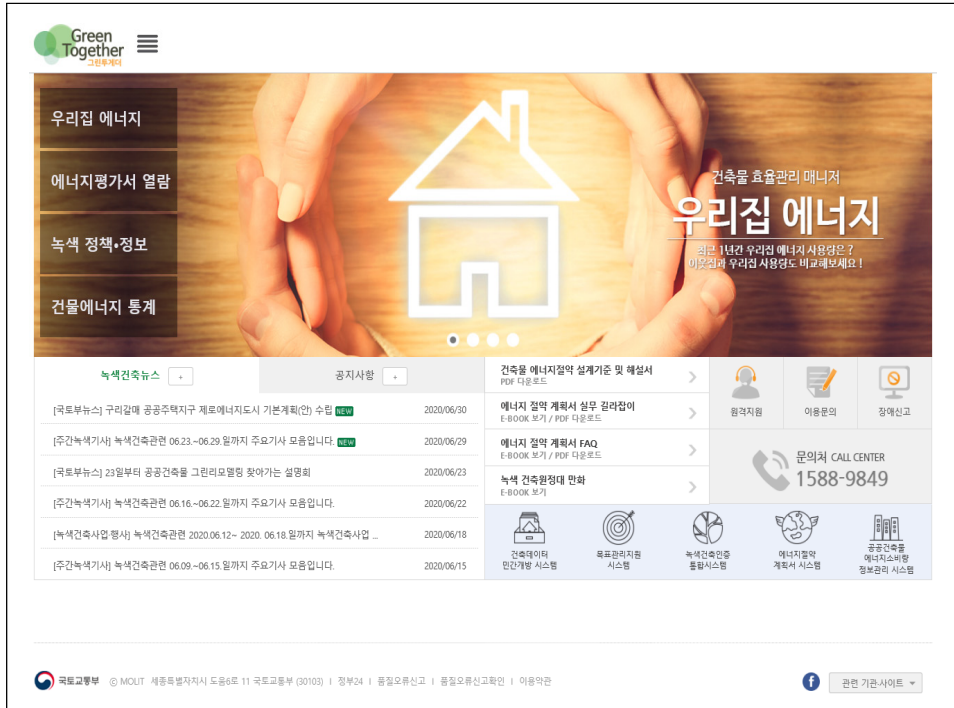
본 시스템은 표 2-9와 같이 전국단위 건축물의 에너지(전기, 도시가스, 지역난방) 월별 사용량, 주거용 건물에너지 사용량, 브이월드(공간정보 오픈플랫폼)의 배경지도, 행정구역경계 등의 자료 및 정보를 제공하고 있다.

표 2-9 | 국가 건물에너지 통합관리시스템 개요

주요기능		- 우리집에너지 조회, 이웃집사용량 비교, 에너지평가서 열람, 녹색건축 제도·통계·자료·뉴스 제공 - 에너지절약계획서 검토지원, 건물부문 목표관리제 업무지원, - 녹색건축인증 업무지원, 공공건축물 소비량공개 업무지원
보유 자료 및 정보	기초 DB	전국단위 건축물의 에너지(전기, 도시가스, 지역난방) 월별 사용량
	통계	주거용 건물에너지 사용량(통계청 승인일자: '18.08.13)
	공간정보	공간정보 오픈플랫폼(브이월드) : 배경지도, 행정구역경계
	분석자료	해당사항 없음
자료 출처		전기·도시가스·지역난방 에너지공급업체(83개소)
연관 통계		공공건축물 에너지소비량, 건축물대장 인증정보

자료: 국토교통부(2020b, 12)

그림 2-14 | 국가 건물에너지 통합관리시스템(Green Together, 그린투게더)



자료: Green Together 그린투게더. 검색일: 2020.6.30.

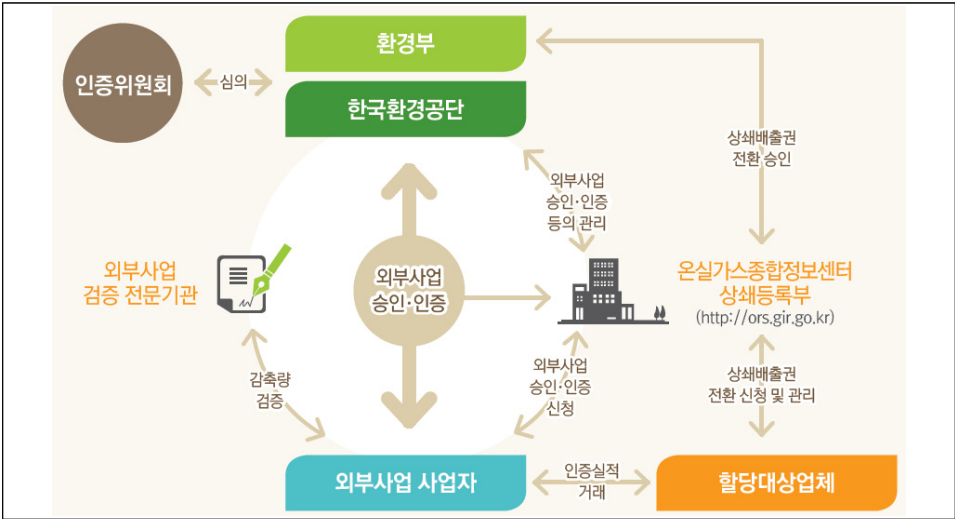
㉑ 건물부문 배출권 거래제 외부사업

본 사업은 배출권거래법 제29조(상쇄) 및 제30조(외부사업 온실가스 감축량의 인정)에 근거하여 추진되는 온실가스 배출권 상쇄제도의 일환이다. 온실가스 배출권거래제 상쇄제도란 외부사업¹⁰⁾ 사업자(외부사업자; 온실가스 배출권 비할당기업)가 외부 사업을 통해 발행받은 인증실적을 배출권거래제 할당대상 업체 등에게 판매하고, 할당 대상업체는 보유 또는 구매한 외부사업 인증실적을 상쇄배출권으로 전환하여 배출권거래제에서 활용할 수 있는 제도이다(온실가스종합정보센터 2015, 2). 산업, 수송과 함께 건물 부문도 외부사업의 대상이 될 수 있으며, 사업장 경계 외부에서 건물을 대상으로

10) 외부사업: 배출권거래제 할당대상업체 조직경계 외부의 배출시설 또는 배출활동 등에서 국제적 기준에 부합하는 방식으로 온실가스를 감축, 흡수 또는 제거하는 사업(온실가스종합정보센터 2015, 5)

로 온실가스를 감축(외부사업)한 실적을 외부사업인증실적(KOC, Korean Offset Credit)으로 인정받을 수 있으며 이를 배출권거래제 시장에서 거래할 수 있다.

그림 2-15 | 온실가스 배출권거래제 상쇄제도 추진체계



자료: 온실가스종합정보센터(2015, 6)

그림 2-16 | 배출권거래제 외부사업의 개념 및 상쇄 절차



자료: 한국에너지공단(2019, 132)

⑫ 한국건축규정 e시스템

건축기본법 제25조(한국건축규정의 공고 등)에 따라 한국건축규정법령정보 제공, 건축행정업무 시 법령을 제공하기 위해 구축된 시스템으로 법령정보, 지번정보를 연계한 건축물 시설기준·규모제한 정보를 제공한다(국토교통부 2020b, 15). 법령정보, 시설기준정보, 규모제한DB를 기초DB로 하여 토지이용규제정보, 국토지리정보원 지도정보(카카오)와 같은 공간정보를 제공하고 지번정보와 토지이용규제정보를 활용한 건축물 규모제한 시뮬레이션이 가능하다.

그림 2-17 | 한국건축규정 e시스템



자료: 한국건축규정e시스템. 검색일: 2020.6.30.

⑬ 건축행정시스템(세움터)

건축행정시스템(세움터)은 건축행정의 복합민원업무를 전자화하여 민간의 인허가 신청과 공공의 인허가, 착공, 분양, 준공 및 사용승인, 철거 등 업무 전반의 원스톱 전자처리와 대국민 정보제공을 위해 마련된 국가표준정보시스템이다. 건축·주택 인허가 관련 총 144종 업무의 온라인 신청 및 처리, 건축물대장 및 건축물현황도 열람·발급, 건축허가통계 및 건축행정정보 개발시스템 제공, 148개 기관, 295개 대상시스템으로 정보연계를 제공이 주요 기능이며, 표 2-10과 같이 인허가, 건축물, 사업자와 관련한 기초DB와 통계 및 월별, 분기별, 연도별 건축인허가 분석자료를 제공한다(국토교통부 2020b, 10-11).

그림 2-18 | 건축행정시스템(세움터)



자료: 건축행정시스템 세움터. 검색일: 2020.6.30.

표 2-10 | 건축행정시스템(세움터)의 보유자료 및 정보현황

구분		보유정보
기초 DB	인허가	- 건축인허가 민원접수 및 처리정보 - 건축허가(신고)대상정보(건축허가(신고), 공작물축조신고, 가설건축물, 철거멸실, 도로대장 등), 건축위원회 심의 - 주택인허가 민원 접수 및 처리 정보 - 주택사업계획승인대상 정보(조합설립인가, 사업계획승인, 행위허가(신고) 등) - 정비사업인허가 민원 접수 및 처리 정보 - 사업시행인가대상 정보(정비구역, 사업시행인가, 관리처분, 분양, 준공, 정비사업전문관리업 등)
	건축물	- 건축물대장 민원 접수 및 처리 정보 - 총괄표제부, 표제부, 전유부, 소유자현황 등 - 건축물현황도면(배치도, 평면도 등) - 위반건축물관리대장
	사업자	- 건축사, 건축사사무소개설신고, 건축사 행정처분 등 - 주택관리사, 주택관리업, 주택임대관리업 등
통계	인허가	- 시도별/용도별/건축구분별/구조별 건축허가현황 (월별) - 시도별/용도별/건축구분별/구조별 착공현황 (월별) - 시도별/용도별/용도별/사업주체별 건축허가현황 (월별) - 시도별/용도별/건축구분별/사업주체별 착공현황 (월별)
	건축물	- 시도별/용도별/층수별/면적별/소유주체별 건축물현황 (년별) - 인구 50만명 이상도시의 용도별/층수별/면적별/소유주체별 건축물현황 (년별)
분석 자료	건축 인허가통계	- 시군구별, 상세용도별 건축허가/착공/준공현황 (월별) - 용도별, 주거용, 상업용, 문교사회용 건축허가/착공/준공현황 (분기별) - 준주택, 규모별, 소유주체별, 고층건축물 건축허가/착공/준공현황 (분기별) - 용도별, 주거용, 상업용, 문교사회용 멸실건축물현황 (분기별)
	인허가통계	- 시군구별, 상세용도별 건축물현황 (년별) - 용도별, 주거용, 상업용 건축물현황 (년별) - 고층건축물, 노후건축물, 멸실건축물 현황 (년별)

자료: 국토교통부(2020b, 10-11)

⑭ 건축물생애이력관리시스템

건축물의 생애 전반에 걸친 이력관리 및 유지관리 점검정보, 각종 법령에 따라 시행되는 전기, 가스, 설비, 구조 등의 점검정보를 건축물 단위로 통합하여 대국민 서비스를 제공하기 위해 2007년에 구축된 것으로 건축법에 따른 건축물 유지관리 점검정보의 제출 및 관리, 건축물 단위의 전기, 가스, 설비, 안전 점검의 점검정보를 통합 제공한다. 건축물 유지관리 점검정보, 건축물 단위의 전기, 가스, 설비, 소방 점검정보, 건축물대상, 건축인허가 정보, 건축물 현황도(이미지) 등을 기초DB로 하여 건축물 용도/노후도/규모별 통계(읍면동 단위), 공적 공간(공개공지, 건축선후퇴)에 대한 정보 등을 제공한다.

그림 2-19 | 건축물 생애이력 관리시스템

자료: 국토교통부. 건축물 생애이력 관리시스템. 검색일: 2020.6.30.

⑮ 건축데이터 민간개방 시스템

건축물 에너지·온실가스 정보체계, 건축행정시스템, 건축물 생애이력관리시스템을 통해 생성된 각종 건축 데이터를 민간에 개방하기 위한 목적으로 2014년 12월에 구축되었으며 자치단체가 직접 관리한다(국토교통부 2020b, 13). 건축행정시스템, 건축물 생애관리시스템, 건축물 에너지·온실가스 정보체계에서 매일 제공되는 개방 데이터와 연계를 통해 건축데이터, 건축물 유지관리, 건물에너지와 관련한 기초DB와 건축인허가, 건축물을 지도상에 표시하는 지도서비스를 제공한다.

그림 2-20 | 건축데이터 민간개방 시스템



자료: 건축데이터개방 건축데이터 민간개방 시스템. 검색일: 2020.6.30.

(3) 공간 단위 사업 - 지구단위 제로에너지 시범사업

앞서 서술한 건물단위 사업과 다르게 공간단위에서 추진하는 사업으로는 국토부 녹색건축과가 주관이 되어 2019년 6월부터 추진 중인 ‘지구단위 제로에너지 시범사업’이 있다. 본 사업은 제로에너지건축 의무화 로드맵에 따른 제로에너지건축의 단계적 확산을 넘어서 지구·도시단위로 제로에너지를 확산시키는 것을 목적으로 한다.

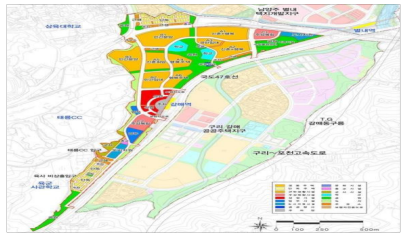
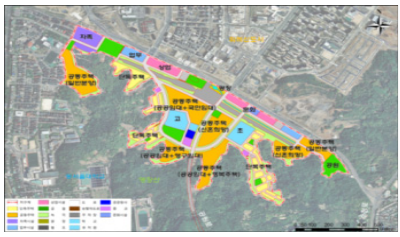
표 2-11 | 제로에너지건축 의무화 로드맵

	'20년	'25년	'30년
기 존	공공건축물 (연면적 5백~3천㎡)	민간·공공건축물 (연면적 5백~5천㎡) 공동주택(30세대 이상)	민간·공공 건축물 (연면적 5백㎡ 이상)
수 정	공공건축물 (연면적 1천㎡ 이상)	공공(5백㎡ 이상) 민간(1천㎡ 이상) 공동주택(30세대 이상)	민간·공공 건축물 (연면적 5백㎡ 이상)

자료: 국토교통부(2019b, 3)

2019년 지구계획승인 사업지를 대상으로 하여 ‘경기도 구리시 갈매역세권 공공주택 지구’와 ‘성남시 복정1 공공주택지구’ 이상 두 곳을 선정해 사업을 추진 중이다.

표 2-12 | 지구단위 제로에너지 시범사업 대상지 개요

구분	경기 구리시 갈매역세권	경기 성남시 복정1지구
사업 대상지		
위치/면적	구리 갈매역 일원 / 798천㎡(24.2만평)	위례신도시 인접 / 578천㎡(17.5만평)
공급물량	총 6,395호(민간 2,569, 공공 3,826)	총 4,388호(민간 1,563, 공공 2,825)

자료: 국토교통부(2020c, 1)

본 사업의 목표는 건물 내외에 태양광 설치를 통해서 사업지구 전체의 에너지자립률을 20% 이상 달성하는 것인데 이는 제로에너지건축물 5등급에 해당하는 수치다. 아파트와 같은 고층건축물의 특성 상 용적률 대비 태양광설비 설치가 가능한 공간이 부족하다보니 확보 가능한 에너지자립률은 7~15% 수준이며 저층 공공건축물의 경우 40% 이상을 목표로 하고 있다. 즉 건축물 별로 7~40% 가량의 에너지자립률을 목표로 하며 지구단위 전체목표인 20%에 미달하는 부분은 공용시설 부지(공원, 자전거도로, 방음벽 등)에 신재생에너지설비를 설치하여 확보하는 전략을 추진 중이다(국토교통부 2019b, 6).

사업대상지 2곳 중 구리갈매 지구가 2020년 6월 제로에너지도시 기본계획(안)을 수립하였다(국토교통부 2020c, 1). 2019년 12월, 지구계획 승인을 받아 토지이용 계획 등을 확정하였으며 이를 근거로 하여 2020년 6월, 제로에너지 도시 개념을 적용한 제로에너지도시(ZET) 기본계획(안)을 마련한 것이다(에너지 관련 여건과 인프라 분석 등을 통해 수립; 표 2-13). 이를 바탕으로 지자체(구리시) 협의를 통해 지구계획 변경 승인 추진할 예정이다.

나머지 사업대상지인 성남북정1지구는 2020년 6월에 지구계획을 승인받았으며 이를 토대로 토지이용계획을 확정된 후 제로에너지도시 기본계획(안)을 수립할 예정이다.

표 2-13 | 구리갈매역세권 제로에너지도시 기본계획(안) 수립 과정

- ① 도시 전체(건축물, 비건축물) 에너지 수요량 예측
 - ①-1. (건축물) 에너지 효율을 고려한 건축물 용도별 에너지 수요량 예측
 - ①-2. (비건축물) 공원, 주차장, 도로 등 도시차원 에너지 수요량 예측
- ② 도시 전체 에너지 공급계획 수립
 - : 설치가능 면적 및 일조량 등을 고려한 태양광 설치용량 산정 (시나리오 분석)
- ③ 도시 전체 에너지 자립률 도출
- ④ 기타 도시차원의 에너지 절감 요소기술 고려
 - : 도시열섬현상 극복 및 미세먼지 저감을 위한 도시 바람길 확보 등

자료: 국토교통부(2020c, 2)

3. 건축물 부문 온실가스 감축 장애 요소 분석

앞서 살펴보았듯이 건축물에 적용 가능한 온실가스 감축사업의 추진 대상은 주로 ‘공공 건축물’과 ‘민간 건축물’로 구분하고 있다. 공공건축물은 공공영역에 포함 및 관리되는 건축물로서 정책 및 사업 추진에 따른 수용성이 상당히 높으며, 실제 다양한 시범사업 등의 Test-bed 역할까지 수행한다. 그 결과 공공건축물의 경우 온실가스 감축을 위한 상당한 사업들이 이미 투입되어 왔으며, 보통 지역 내 공공건축물이 비중이 작기에 큰 폭은 아니지만 온실가스 감축성과도 확보하고 있는 실정이다(녹색기후센터 주관 17개 지자체WG 내부자료). 정부는 공공건축물의 온실가스 감축성과를 통해서 민간 건축물에 관련 정책 및 사업의 확산 또는 적용 등의 견인역할을 기대하고 있다.

그러나 실제로 민간건축물에서의 감축 성과는 미미하며 그 원인은 공공건축물과는 다른, 민간건축물에 태생적으로 내재된 다음과 같은 다양한 장애요소가 원인으로 작용되고 있다(출처: 녹색기후센터 주관 17개 지자체WG 실무자).

① 초기투자비용 및 투자 대비 경제적 효과(에너지 관점)에 대한 불신

가장 근본적인 요소로서, 시설개선을 위한 초기투자비에 대한 부담과 투자회수기간 및 경제적 실효성에 대한 의문(정책/사업 투입 전후 개선될 에너지 성능, 발생될 에너지절감 효과 등)이 기저에 깔려 있고 이에 따라 건물유지관리에 어떠한 영향을 미칠지에 대한 부분 등이 불명확하여 투자 부담으로 작용한다. 특히 가정용의 중소규모의 건물의 경우 에너지 사용량도 크지 않기에 효과에 대한 기대심리도 적게 나타나며 주거자의 행태에 따라 에너지 사용형태가 바뀌어 효과가 적게 나타나는 점도 참여 동인을 감소시키는 원인이라 할 수 있다.

② 건물 가치 상승 효과에 대한 불신

소유주가 에너지성능개선사업에 투자를 해도 건축물의 자산가치를 향상시키거나 또는 건축물의 유지관리에 도움이 되는 효과에 대해서 의문을 갖고 있다. 즉 건축물 리모

텔링 추진 시 온실가스 감축사업, 노후시설 개선 사업 등이 건축물의 가치향상에 미치는 영향은 크지 않다는 인식이 팽배하다.

③ 임대인-임차인 괴리

대부분의 민간건축물이 임대건축으로서 소유주(임대인; 투자자)와 점유자(임차인; 수혜자)가 다르며, 소유주가 사업에 대한 투자를 해도 직접적으로 혜택을 못 받기 때문에 투자 동인이 부족하다. 임차인이 소유주의 허가 아래 투자를 하는 경우도 가능할 수 있으나 장기간에 걸쳐서 투자비를 회수하기가 용이하지 않고 오히려 경우에 따라서는 건물 수선비의 일부를 지불해야 하는 상황이 발생할 수 있어 전적으로 사업 투입의 결정권은 전적으로 임대인에 귀속된다.

④ 기후변화 대응에 대한 인식 및 동참 필요성 부재

기후변화대응을 위한 온실가스 감축이라는 아젠다에 동참하고자 하는 인식과 필요성의 부재가 크다. 국가 혹은 지자체 단위에서 추진 중인 기후변화대응 목표와 전략, 관련 사업 등에 대해서 민간영역에서는 민간과는 관련 없는 내용으로 인식하는 경향이 있다. 공공에서 지속적인 홍보, 교육 등도 정책적으로 수행하고 있지만 민간부분에서의 인식 개선은 크지 않다(예: 같은 대기환경 영역 문제인 미세먼지와 기후변화대응에 대한 문제 인식 온도차).

⑤ 지역 내 전문가 및 전문인력 부족

시공사, 기술자, 전문건축가 등이 존재하고 있지만 실제 지역 내 전문가가 적고 전문인력 또한 부족한 상황이다. 이에 따라 규모가 작고 산발적이어서 수익성이 적고, 명확한 설계절차(진단, 평가, 투입기술 등)가 반영되지 않고 시공을 위한 시공을 하는 경향이 있으며, 향후 하자분쟁 발생이 우려되는 등의 장애요소 또한 뒤따라 발생되고 있다.

⑥ 관련 산업 및 정책 등에 대한 관련 이해당사자의 낮은 이해 및 인식도 등

지자체 공무원의 경우 신재생에너지 보급 및 투자 사업에 대한 낮은 인식을 갖거나, 국비예산이 수립되어도 매칭할 예산에 대한 재정적 한계 등으로 인해 사업예산을 보수적으로 수립하는 경우도 발생되어, 결국 사업물량 혹은 투자물량이 한정적으로 설정하는 상황이다.

민간사업자에 대해서는 ESCO 사업이 일반적으로 에너지효율성 때문에 대형시설에 초점을 맞추고 있어 산발적이며, 동시에 소규모인 중소형 주택 대상 자체가 많지 않다는 점도 장애요소로 작용되고 있다. 신재생에너지 확대로만 접근되고 있어 에너지수요 관리 및 에너지 효율사업에 대한 투자는 거의 없는 상황이며 노후설비 등에 대한 단편적 교체로 기술역행 문제 등이 발생하여 관련 기술이 오히려 하향평준화되는 문제점이 발생되고 있다.

일반 시민에 대해서는 투자자-수혜자 차이 문제, 해당 사업에 대한 인식 및 정보 부족 등이 장애요소로 작용되고 있다. 부차적으로 낮은 에너지가격 책정으로 인한 에너지절약 투자 관심 하락, 전문성이 낮은 업체가 난립하여 사업자에 대한 신뢰도를 높게 평가하지 않는 점들도 민간건축물의 온실가스 감축사업 투자에 대한 위축요소로 작용하고 있다.

⑦ 건축물 대상 온실가스 배출규제 미미

건축물 전체에서 배출권 거래제로 규제하는 대상은 4.8% 수준에 지나지 않고, 비규제 대상이 95%를 차지하고 있어 투자를 활성화하는데 한계가 있다(이충국 2016, 54).

4. 온실가스 감축 정책 관련 부처·전문가 의견 조사

온실가스 감축 정책과 관련하여 어떠한 문제점이 존재하고 향후 개선방향은 어떻게 설정해야 할지 등에 대해서 정부 관계자 및 전문가를 대상으로 총 10회 가량의 심층 인터뷰를 진행하였다(표 2-14). 해당 부문 현장의 목소리를 그대로 전달하기 위해 인용형식으로 축약하여 서술하면 다음과 같다.

표 2-14 | 온실가스 감축 정책 관련 심층인터뷰 수행 일람표

구분		소속	날짜
정부	중앙	국토교통부 녹색건축과/국토정책과	2020.5.22./2020.4.23.
		환경부 온실가스종합정보센터	2020.5.8./2020.6.10.
	지방	광주광역시 국제기후환경센터	2020.6.29.
전문가	연구계	한국건설기술연구원 녹색건축연구센터	2020.5.7.
		건축공간연구원 녹색건축센터	2020.6.10.
	산업계	에코앰파트너스	2020.6.15.
	학계	중앙대학교 사회기반시스템공학부	2020.6.12.
		가천대학교 도시계획조경학부	2020.6.24.

자료: 저자 작성

1) 정부

① 국토교통부 녹색건축과(2020. 5. 22. 국토연구원)

“제2차 녹색건축물 기본계획, 2030 온실가스 로드맵 등을 통해서, 건물 단위에 적용가능한 정책·제도는 현 시점에서 총 망라하여 새로운 정책 추가가 사실상 어려운 상황이다. 건물 외부 토지공간을 활용하여 건물의 온실가스를 감축시키는 정책이 필요하나 현재로서는 전무하다. 몇 가지 유형의 가상공간도 좋고 수치의 정량적 수준이 깊지 않아도 좋으니 개략적으로 토지 공간에 어떠한 감축수단을 적용했을 때 어느 정도 수준의 온실가스 감축이 가능한지 참고할 수 있는 연구자료가 매우 필요하다. 해당 연구결과는 건물 단위에서는 더 이상 추진할 정책 룬이 적기 때문에 향후 정책·제도 도입에 크게 활용될 것이다.”

② 국토교통부 국토정책과(2020. 4. 23. 국토연구원)

“건물 단위에 적용가능한 그린리모델링, 제로에너지빌딩 등의 경우 신도시(1기/3기)에는 적용 가능할 수 있으나 기존도시에는 용이치 않으므로 기존 도시에 적용 가능한 방안 마련이 필요하다. 건물단위 뿐만 아니라 공간단위(주차장 등) 및 공적인 환경(그린인프라 등)을 활용하는 방안 또한 고려가 필요하다.”

③ 환경부 온실가스종합정보센터 감축목표팀(①2020. 5. 8. 국토연구원, ②2020. 6. 10. 온실가스종합정보센터)

“건물을 용도별로 세분화하여 감축경로를 제시하는 연구가 바람직하나 현 데이터 체계상 현실적으로 불가능하다. 건물 부분 배출량 및 감축잠재량 분석은 건설기술연구원, 감정원 등 이미 많은 연구결과들이 존재하여 정책에 반영할 수 있는 새로운 연구결과를 제시하기 힘들 것으로 예상된다. 또한 2030 온실가스 로드맵에 이미 건물 부문 감축에 대한 이행계획이 수립되어 있으며 매년 이행점검을 실시하여 모니터링을 하고 있다.

현장에서 토지 공간 단위에서의 온실가스 저감 분석에 대한 니즈, 공간을 분석하는 국토연의 위치와 역할 등을 고려했을 때 건물단위 보다는 토지공간적으로 접근하는 것이 분석적인 측면이나 연구결과의 정책 반영 측면에서 바람직할 것으로 판단된다.”

④ 국제기후환경센터 기후연구팀(2020. 6. 29. 국제기후환경센터)

“공공건축물과는 달리 민간건축물은 투자에 대한 부담, 낮은 투자 동기, 주인-대리인 문제, 온실가스 감축 동참 필요성에 대한 인식 미흡, 지역 내 전문가/전문인력 부족 등의 문제가 장애요소로 작용한다. 따라서 건축물 자체에 감축 동력은 한계가 있으며 규제에도 재산권침해 등의 요소가 있기 때문에 건축물 외적인 요소를 같이 활용할 필요가 있다. 특히 건축물 자체에 대한 기술 적용보다는 인센티브, 에너지정보 공개 등을 통해 친환경에너지적인 행동을 이끌어 낼 수 있는 정책·제도 추진 필요하다.”

2) 전문가

① 한국건설기술연구원 녹색건축연구센터(2020. 5. 7. 국토연구원)

“「POST-2020 대응 건물부문 온실가스 배출 전망 및 감축 잠재량 분석 기술 개발」 4개년 R&D가 금년(4차 년도)에 완료된다(연구진 컨소시엄: 건기연(책임), 감정원, KAIST, 에코엔파트너스, 에너클). 건축물 에너지사용 및 온실가스 배출량을 분석하기 위한 데이터 체계와 정밀도가 매우 낮다. 본 연구에서 건물 에너지데이터(감정원)와 세움터(국토부) 데이터 결합 및 정제에만 3년이 소요되었다.

건물 단위에서는 복수의 R&D를 통해 이미 감축잠재량이 다양하게 분석되었으며 추가적인 연구가 불필요해 보이며 건물에 적용 가능한 온실가스 감축 기술카드(300여개)까지 구축이 완료된 상황이다.

그러나, 토지 공간 단위에서의 분석이 비어있고 필요하지만, 아직 연구를 수행한 기관이 없는데 국토연구원이 이 영역을 맡아서 추진해 나아가야 할 필요가 있다. 국토연(토지)과 건기연(건물) 조합으로 역할분담을 하여 종합적인 후속 R&D 진행이 필요하리라 판단된다.”

② 건축공간연구원 스마트·녹색연구단 녹색건축센터(2020. 6. 10. 건축공간연구원)

“감정원 데이터 및 세움터 데이터 간의 결합에 있어서 UFID와 PK 간의 정합성이 떨어져 데이터 빌딩에 애로가 있고 그에 따라 정확한 용도 파악 및 분류가 어려워 상당히 오랜 시간이 소요된다.

이미 건물 단위의 에너지 절감 전략은 2020년 1월에 발표된 ‘제2차 녹색건축물 기본계획(2020~2024)’ 등 기존 연구와 정책·제도가 구축되어 있으므로 공간단위에서의 대처 방안이 연구 및 정책적 방향 설정에 있어서 유효할 것으로 판단된다.”

③ 중앙대학교 사회기반시스템공학부(2020. 6. 12. 서울)

“건물단위에서는 온실가스 감축량에 대한 용적률 인상 등의 인센티브 제공이 가능하

며, 토지단위에서는 건폐 이외의 공간에 녹지 혹은 재생가능에너지 설비 설치를 통해 감축을 동반하는 방안 가능하다. 공간적으로 접근하는 것이 도시계획 반영과 활용이 가능해 유용할 것으로 판단된다.”

④ 에코앰파트너스, 고려대 에너지환경대학원(2020. 6. 15. 서울)

“건물에 적용 가능한 신기술·기존기술을 총망라하여 기술카드 DB를 구축하였지만 비용 등의 문제로 단열, 창호를 제외하고는 실질적으로 고효율 기술이 적용되고 있지 않다. 일정 규모 이상의 건물에 대해서는 신기술을 의무적으로 일정 수준 이상 적용하는 방안이 가능할 수 있으나 비용 등의 문제가 여전히 작용될 것으로 판단된다. 감축 산정 관련하여 가장 어려운 부문이 건축이고 정책 추진에 있어서도 마찬가지이다. 공간 활용은 보완적 대안이 될 수 있을 것이다.”

⑤ 가천대학교 도시계획조경학부(2020. 6. 24. 국토연구원)

“용도지역별 건축물의 온실가스 배출특성을 분석하기에 앞서 건축물대장, 건축물 에너지 소비량, 지적도, 용도지역지구도 등 자료의 통합작업이 필요하다. 이 과정에서 PK정보, PNU코드 등 자료의 속성정보 현황에 따라 누락되는 경우가 발생한다. 또한 여러 자료들의 위치 정보가 정확하게 일치하지 않는 경우가 많아 지오코딩 시 좌표를 맞추는 과정에 많은 시간이 소요(2012 서울시 자료 분석의 경우 65만동 중에 위치 정보가 정확하게 일치한 건물은 20만 동 가량으로 1/3 수준)된다.

건물용도 및 규제수준 별 에너지 소비 특성 분석은 USR모형을 활용하여 기저, 냉방, 난방 에너지 소비량에 대한 모형을 구축한다. 모형을 통해 도출된 계수값을 적용하여 규제시나리오별 감축 방향을 도출한다.”

5. 소결

건물 부문에서 온실가스 감축을 위한 다양한 정책·제도·사업을 펼치고 있으나 안타깝게도 온실가스 배출량은 지속적으로 증가 추세에 있다. 가장 큰 원인은 공공건축물에 적용되는 온실가스 감축사업의 정책동력과 성과들이 민간건축물로 확산되고 있지 않다는 점이다.

건물부문 온실가스 감축을 실현하기 위해서는 97% 가량 대다수를 차지하고 있는 민간건축물에서의 사업 추진 및 성과 창출이 필수적이다. 그러나 앞서 살펴본 바와 같이 민간건축물에 온실가스 감축사업이 일어나고 있지 않는 원인으로는 투자비 부담, 투자효과 불신, 전반적인 인식·이해도 부족(공무원, 사업자, 시민-건물주/임차인), 전문가·사업자·전문인력 부족, 감축 강제성(규제) 미비 등 복잡다기한 총체적 장애요소가 존재하고 있다.

이를 해결하여 건물 부문 온실가스 감축을 위해서는 건축물 자체에 대한 감축사업과 함께 건물 외부적인 사업/제도/정책 등이 병행이 될 필요가 있다. 특히 정부부처 및 전문가 공통적으로 강조한 바와 같이 공간 단위에서 건물 외부 공간을 활용하여 건축물 자체(내부)에 대한 온실가스 감축 장애요소를 보완·해결하는 방식이 필요하다.



CHAPTER 3

국외 정책 동향

1. 국외 건물 부문 온실가스 감축 정책 주요 현황 67
2. 공간적 접근 사례 73
3. 소결 81

03 국외 정책 동향

본 장에서는 해외 주요 국가의 정책 동향에 대해서 살펴보았다. 우선 건물 단위에서 온실가스 감축 정책을 추진하는 유럽, 미국, 일본, 중국 등의 사례를 살펴보았다. 이후 건물 단위가 아닌 공간적 접근을 하고 있는 캐나다, 노르웨이, 미국의 지자체 사례를 분석하였다. 건물과 토지공간을 복합적으로 활용하는 사례는 뚜렷하게 나타나지 않았으나 공간단위의 온실가스 감축 최적화모델을 통해 온실가스 감축정책 도출을 지원하는 분석도구의 개발 필요성을 시사점으로 도출하였다.

1. 국외 건물 부문 온실가스 감축 정책 주요 현황

건물 단위에서 온실가스 감축을 위한 유럽, 미국, 일본, 중국 등 주요국가의 정책들을 핵심 사항만 살펴보면 다음과 같다.

(1) 유럽

가. EU

EU는 건물 부문이 EU의 총 에너지소비의 40%를 차지한다는 점에 착안하여 건물의 에너지절약을 높이기 위해 건물에너지 성능지침인 EPBD(Energy Performance of Building Directive¹⁾; Directive 2010/31/EU) 지침을 2002년에 최초로 제정

1) Directive는 유럽연합(EU)의 유럽의회(The parliament)가 가맹국 정부에게 제시하는 법안 지시 문서라 할 수 있다. 윤계형(2011, 114)에 따르면 회원국들이 지시를 국내법에 그대로(verbatim) 편입시키거나 각국의 입법과정을 통해 ‘옮겨 놓도록(translate)’ 하고 있다. 이러한 측면에서 지시는 회원국을 구속하지만 직접적 효력을 가한다는 명시적 규정은 없어서 수용의 정도는 각 회원국의 재량에 맡겨두고 있다고 할 수 있다(윤계형 2011, 114).

(Directive 2002/91/EC)하고 지속적으로 강화 및 개정을 추진하고 있다.

2010년 5월 개정된 EPBD(Energy Performance of Building Directive²⁾; Directive 2010/31/EU³⁾) 지침을 마련하여 ①건물 에너지효율 측정, 최소기준 설정 및 정기 검토, ②신축건물 최소 효율기준, ③냉난방 설비검사 및 평가 등의 조항을 마련하고, EU 회원국들은 EPBD 최저 요건을 충족하기 위해 매년 공공 건축물의 3% 개보수를 의무화하며 반드시 소비자에게 건물 에너지 성능 인증서를 제시하도록 하고 있다(한국에너지공단 2019, 9-10).

2016년 11월에 채택한 EPBD 개정안에서는 2030년까지 에너지효율을 30% 향상시키기 위해서 에너지효율 목표를 세부지표에 따라 구체적으로 설정하였으며 주요 사항으로는 공공건물의 총 연면적 3% 이상 에너지효율 개선 공사 시행 의무화와 더불어 에너지 소매업체 대상 연간 에너지 절감 목표량(매년 판매량의 1.5%), 국가 에너지효율실행계획 수립, 스마트미터 보급 확대 등이 수록되어 있다(한국산업기술진흥원 2018, 1).

2018년 7월 채택한 EPBD 개정안을 채택하였는데 주요 내용으로는 현재 공공건축물 신축에만 해당하는 준제로에너지빌딩(nearly zero-energy building, NZEB) 의무화를 모든 신축 건물 NZEB 의무화(2020. 12. 31. 부터)로 확장하고, 건물에너지 효율 향상을 위한 국내 재정수단을 명시하도록 하였으며, EU 회원국은 본 개정안 내용을 2020년 4월 10일까지 국내법에 의무적으로 반영하도록 하였다(한국에너지공단 2019, 10).

나. 영국

영국은 스마트미터기의 설치를 의무화하는 정책을 펼치고 있다. 2009년 12월 영국 에너지·기후변화부(Department of Energy & Climate Change, DECC)가 발표한 스

2) Directive는 유럽연합(EU)의 유럽의회(The parliament)가 각국 정부에게 제시하는 법안 지시 문서라 할 수 있다. 윤계형(2011, 114)에 따르면 회원국들이 지시를 국내법에 그대로(verbatim) 편입시키거나 각국의 입법과정을 통해 '옮겨 놓도록(translate)' 하고 있다. 이러한 측면에서 지시는 회원국을 구속하지만 직접적 효력을 가한다는 명시적 규정은 없어서 수용의 정도는 각 회원국의 재량에 맡겨두고 있다고 할 수 있다(윤계형 2011, 114).

3) 지침: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:en:PDF>

마트미터 도입 실시 프로그램(Smart metering implementation programme)을 기반으로 하여 사업자(에너지공급사)에게 2020년까지 가정 및 소규모 기업(가정용 수용가 및 소규모 상업용 수용가)을 중심으로 총 5,300만호 스마트미터 보급 계획을 10년간 추진해 왔다(한국스마트그리드협회 2015; 양의석 외 2018: 6) 전반 5년(2011~2015)동안은 기반정비단계(Foundation Stage)로 사업자가 스마트미터 보급을 원활히 추진할 수 있도록 환경을 정비하는 기간으로 활용하였으며, 후반 5년(2015~2020)는 이를 토대로 본격적으로 스마트미터를 보급하는 본격도입단계(Mass Roll-out Stage)를 추진하였다.

본격도입단계에는 2016년부터 ‘스마트미터기 보급 프로그램(Smart meter roll-out programme)’을 수용가(가정 및 소규모기업)를 대상으로 중점 시행하였으며 특히 가정용에 한해서는 사업자가 디스플레이 설치를 의무화하도록 하여 각 가정에서 에너지 사용량(전력/가스)의 실시간 확인이 가능하도록 하였다(한국에너지공단 2019, 13). 아울러 사업자는 가정과 중소기업에 설치한 스마트미터로부터 실시간 에너지 사용 정보를 제공 받고 이를 토대로 수급조절 등을 통해 에너지 절약과 비용 절감 등에 활용하고 있다.

다. 독일

독일은 정부 소유인 독일재건은행의 에너지효율화(Energieeffizient Sanieren) 프로그램과 스마트미터링 시스템 보급·확산에 힘쓰고 있다. KfW 에너지효율화 프로그램은 KfW가 규격화한 에너지고효율 주택(KfW-Effizienzhaus 55/70/85/100/115) 달성을 위한 종합적인 개보수 또는 이와 상관없이 개인적으로 하는 개보수에 대해서 보조금 및 저리융자를 지원해 준다. KfW-Effizienzhaus로 종합 개보수의 경우 최대 120,000 유로, 개인 개보수에 대해서는 50,000 유로까지 융자가 가능하며, 상환기간은 10년에서 최대 30년까지로 장기간에 걸쳐서 저리(0.75%)로 융자받을 수 있다(표 3-1, 표 3-2).

표 3-1 | 독일 KfW의 에너지효율화 프로그램의 에너지고효율 주택 개보수 재정 지원 현황

개보수		정부 용자	대출상환 보조금 비율	공제액
표준 종합 개보수	KfW 에너지효율 주택 55	최대 120,000 유로	40%	최대 48,000 유로
	KfW 에너지효율 주택 70		35%	최대 42,000 유로
	KfW 에너지효율 주택 85		30%	최대 36,000 유로
	KfW 에너지효율 주택 100		27.5%	최대 33,000 유로
	KfW 에너지효율 주택 115		25%	최대 30,000 유로
	KfW 에너지효율 주택 기념건축물		25%	최대 30,000 유로
개별 개보수(단열, 창호, 난방시스템, 신재생에너지 설비, 환기 등)		최대 50,000 유로	20%	최대 10,000 유로

자료: 독일 KfW 홈페이지: 에너지효율화 프로그램([https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kredit-\(151-152\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kredit-(151-152)/))(2020.10.31.접속)

표 3-2 | 독일 KfW의 에너지효율화 프로그램의 용자 금리 구조

상환방식	연이율	대출기간	거치기간*	고정금리
분할상환	0.75%	4~10년	1~2년	10년
	0.75%	11~20년	1~3년	10년
	0.75%	21~30년	1~5년	10년
만기 일시상환	0.75%	4~10년	-	4~10년

*해당기간 동안 원금 상환없이 대출 이자만 상환

자료: 독일 KfW 홈페이지: 에너지효율화 프로그램([https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kredit-\(151-152\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kredit-(151-152)/))(2020.10.31.접속)

스마트미터링 시스템 보급 및 확산 정책은 ‘에너지전환의 디지털화에 관한 법안(Act on the Digitalization of the Energy Transition, 2016. 7. 8.)’ 제정을 통해서 스마트 미터링을 단계별로 추진하고 있다(한국에너지공단 2019, 16). 1단계(2017)는 연간 전력소비량 10,000kWh 이상 소비자를 대상으로, 2단계(2020년)는 연간 전력사용량 6,000kWh 이상 소비자 및 7kW 이상 전기 생산설비 보유 사업자를 대상으로, 3단계(2021년~)는 일반 수용가를 대상으로 확대할 계획이다

라. 프랑스

프랑스 정책금융기관(CDC, Caisse des Dépôts et Consignations)은 노후건축물의 에너지 성능 개선을 목적으로 금융지원을 제공하는 에너지효율화 사업을 운영하고 있

으며, 노후건축물 및 공공주택을 대상으로 에너지 절감 잠재량과 개보수 소요예산을 측정하고, 기술설계 및 자금조달 계획 수립을 지원한다(한국에너지공단 2019, 19). 2015~2016년 동안 5천만 유로를 투자해, 3,300개 가구에 에너지 효율화 프로젝트를 수행했으며, 2020년까지 1억 유로 융자 유치할 계획이다(한국에너지공단 2019, 19).

아울러 프랑스는 개인 주택의 에너지효율 개선을 위해 정부가 3만 유로까지 무이자 로 융자해주는 0% 금리 에코론(Eco-loan) 'PTZ(Eco-Prêt à Taux Zéro %)'를 2009년 4월부터 시행해오고 있다(박기현 외 2011, 70). 대상은 1990년 1월 1일 이전에 지어진 노후주택이며, 최대 3만 유로까지 10년간 제로 금리로 대출을 지원하며, 상환기간을 최장 15년까지 연장하거나 또는 상환비용을 줄이기 위해서 3년으로 줄이는 것도 가능하다(프랑스 Energy Control 홈페이지: PTZ).

(2) 미국

미국은 환경청이 건물의 에너지관리 시스템인 ESPM(Energy Star Portfolio Manager)을 운영하고 있다. ESPM을 통해서 공공·민간 건물을 대상으로 에너지 사용량 관리 및 공개를 의무화하고 있으며 건물 에너지 성능뿐만 아니라 탄소배출량, 물 이용 효율 등에 대한 실시간 에너지·자원 사용 현황 및 패턴 확인, 평가 등이 가능하다(이은석 2016, 29; 한국에너지공단 2019, 26). ESPM을 통해 유사 건물과 원단위 비교 및 사용량 모니터링 가능하여 개별 건축물에 대한 에너지 수준 평가가 가능하다.

건물에 대한 에너지 절약 설계의 기준 또한 강화하고 있다. 3년마다 건축물 설계 및 효율기준을 강화하여 신축 건물의 에너지 효율을 향상시키고 있으며, 캘리포니아주의 경우 2019년 건물 효율기준에 따라 설계된 신축주택의 에너지효율은 2016년 대비 약 47% 높을 것으로 예상되고 있다(한국에너지공단 2019, 26).

(3) 일본

일본은 경제산업성을 중심으로 넷제로에너지하우스(Net Zero Energy House,

ZEH) 보급을 적극적으로 추진 중이다. ZEH는 “외피의 단열성능 등을 대폭 향상시키는 것과 함께 고효율 설비 시스템의 도입에 의해서 실내 환경의 질을 유지시키는 동시에 에너지를 절약하는 것을 기본으로 하며, 재생에너지 도입을 통해 연간 1차 에너지 소비량 지수를 제로로 하는 것을 목표로 하는 주택”으로 정의하고 있다(일본 경제산업성 홈페이지: ZEH). 일반 주택에 비해 최소 20% 이상 에너지 절약이 가능하도록 추진 중이며 ‘ZEH 로드맵(2015.12월)’ 책정을 통해 2020년까지 신축 단독주택의 50% 이상, 2030년까지 모든 신축 주택의 평균을 ZEH로 실현하는 것을 정부 목표로 설정하였다(일본 경제산업성 2015, 7).

일본 환경성은 2014년도부터 2년간 ‘에코튜닝 비즈니스모델 확립 사업’을 추진한 바 있다. 에코튜닝은 환경성이 자체적으로 만든 조어로 ‘저탄소사회의 실현을 위해서 업무용 등의 건축물로부터 배출되는 온실효과가스를 삭감하기 위해 건축물의 쾌적성과 생산성을 확보하면서 설비기기·시스템의 적절한 운용개선을 수행하는 것’을 의미한다(일본 환경성 홈페이지: 에코튜닝 비즈니스모델 확립 사업). 즉 특별한 설비 투자 없이 기존의 설비기기·시스템의 운용상황을 분석하여 더 효율적인 운용방식으로 개선하는 것이며, 이를 통해 감축한 광열비 및 수도비용으로 이익을 창출하는 것이 비즈니스 모델이라 할 수 있다. 에코튜닝 사업이 가능한 ‘에코튜닝 기술자 자격 인정제도’와 ‘에코튜닝 사업자 인정제도’를 운영 중이며 2016년도 이후 해당 인정제도를 운영하는 사무국인 에코튜닝 추진센터를 민간으로 위탁하여 사업을 진행 중이다(일본 에코튜닝 추진센터 홈페이지: 에코튜닝 추진센터란).

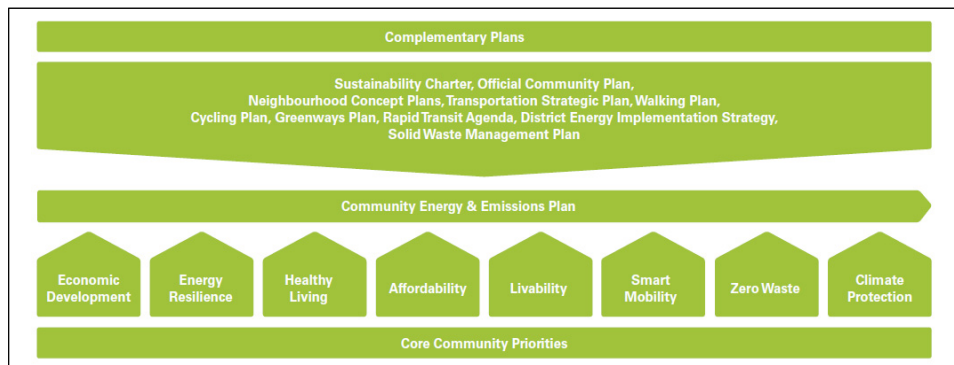
2. 공간적 접근 사례

건물 단위가 아니라 공간 단위에서 온실가스 감축을 위해 접근하는 정책 사례를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 캐나다 City of Surrey의 Community Energy & Emissions Plan(CEEP)

캐나다의 Surrey시는 커뮤니티 단위에서 에너지를 효율화하고 온실가스 배출량을 절감시키기 위한 종합계획(Community Energy & Emissions Plan, CEEP)을 수립해 추진 중에 있다(The City of Surrey 2013). CEEP는 시(市)의 커뮤니티 단위 기후행동전략(Community Climate Action Strategy, CCAS)의 하나로서 에너지 사용량을 줄이고 온실가스 배출을 제한하기 위한 커뮤니티 단위의 가이드를 제시하고 있다.

그림 3-1 | CEEP의 계획 구조 개념



자료: The City of Surrey(2013, 12)

시는 CEEP 추진을 통해 2040년까지 온실가스 배출량을 2007년 대비 47% 감축시키는 것으로 목표로 하고 있다. 이를 위해 현재 캐나다 정부의 액션플랜과 함께 실행함으로써 BAU 기준 1인당 배출량은 47% 감축시키되 커뮤니티 전체 배출량은 41% 감축을 목표로 한다.⁴⁾ 감축목표 달성을 위해 투입될 커뮤니티 전체의 에너지 절감비용은

2030년까지 420 백만 달러(BAU 대비 20% 감소), 2040년까지 832 백만 달러(BAU 대비 31% 감소)로 예측하고 있다(The City of Surrey 2013, 7)

CEEP는 토지이용, 교통, 건축물, 지역에너지, 고형폐기물 이상 5개 분야로 구분하여 추진 전략과 함께 주요 성과목표를 설정하였다(표 3-3). 5가지 분야의 전략들은 커뮤니티 내에서 복합적으로 작용하며, 이러한 복합적 적용을 통해 얻어지는 에너지와 배출량은 CEEMAP Tool을 이용하여 산출한다. CEEMAP은 지자체가 온실가스 목표를 설정하고 이를 달성하기 위한 정책들을 수립·추진할 수 있도록 지원하기 위해 개발된 도구로, 캐나다의 환경, 에너지, 자원 분야의 글로벌 컨설팅회사인 Golder사가 개발하였다. CEEP의 전략분야에 활용 가능하도록 토지이용(land use), 수송(transportation), 건물(buildings), 폐기물(solid waste), 에너지비용(energy costing) 이상 5개로 통합·구성되어 있으며, 해당 모듈마다 스프레드시트와 ArcGIS가 연계되어 토지이용, 도시 구조, 교통 변화, 녹색건물 정책 등이 에너지 소비와 온실가스 배출, 에너지 비용 등에 미치는 영향을 추정하여 제시한다.

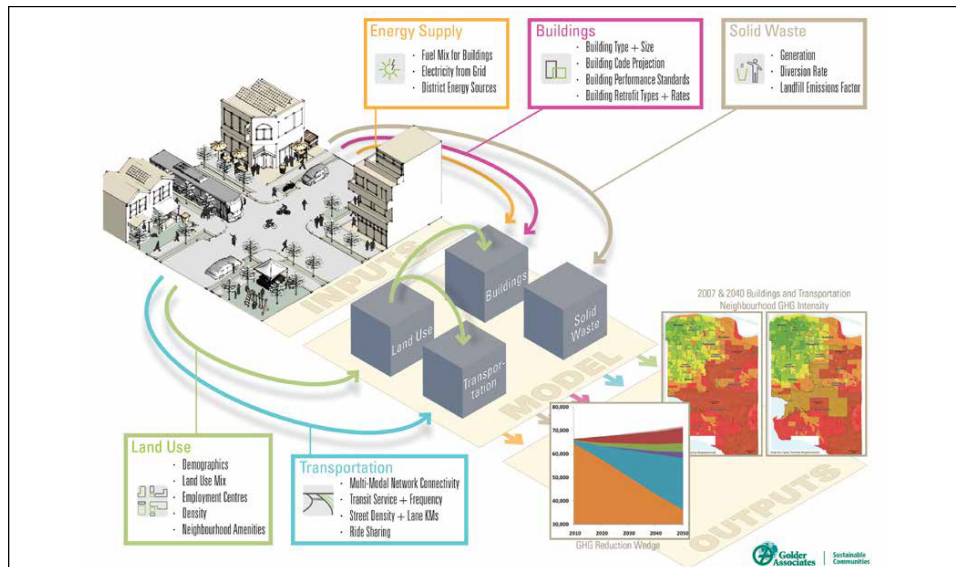
4) 캐나다는 2040년 1인당 에너지 수요가 2007년 대비 29%로 감소할 것으로 예측하고 있다(The City of Surrey 2013, 7).

표 3-3 | CEEP의 전략 구성

전략	주요 목표	
	방향성	성과 지표
토지 이용 (Land use)	다른 분야들의 전략을 지원하는 지속가능한 토지이용의 기반을 마련	주 환승역까지 5분 내로 걸어갈 수 있는 시민의 비율을 2020년까지 10% 증가, 2040년까지 21% 증가
교통 (Transportation)	저탄소 교통수단 옵션(대중교통, 카셰어링 등)으로 전환을 가속화	- 개인 운전 거리를 2020년까지 4% 단축, 2040년까지 9% 단축 - 자전거 이용 거리를 2020년까지 57% 증가, 2040년까지 148% 증가
건물 (Building)	신축 및 기존 건축물의 에너지 효율을 향상시키고 온실가스 배출을 개선	2040년까지 신축 건축물의 에너지 효율을 10% 개선 2040년까지 기존 건물의 연간 교체보수 비율을 1%에서 2%로 증가
지역 에너지 (District energy)	지역 내의 저탄소 에너지 생산을 증가	2020년까지 재생가능에너지 40%, 2040년까지 지역 에너지 요구량의 75%를 재생가능에너지로 충족
고형 폐기물 (Solid waste)	기존의 정책을 지속하며 재활용률을 높이고 매립 폐기물 양을 절감	2020년까지 고형 폐기물의 75%를, 2040년까지 85%를 재활용 및 퇴비로 전환

자료: The City of Surrey(2013, p5-6)의 내용을 바탕으로 저자 재구성

그림 3-2 | 캐나다 Golder사의 CEEMAP Tool



자료: The City of Surrey(2013, 19)

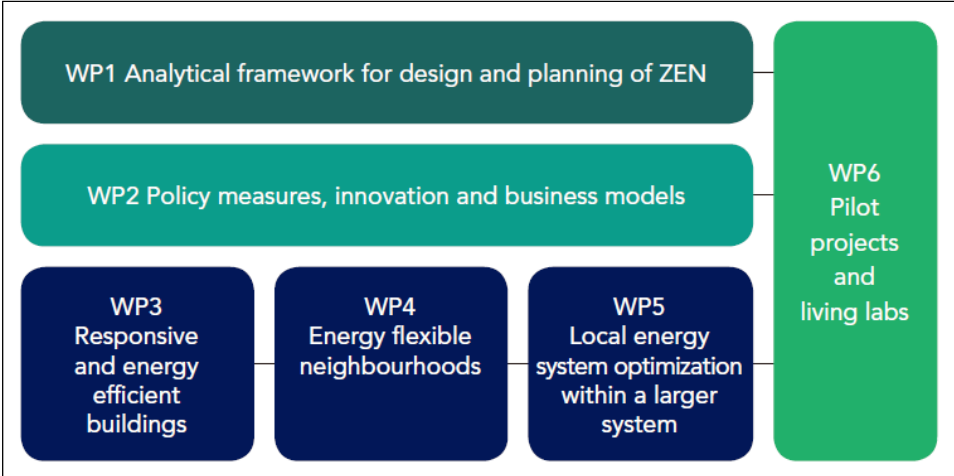
(2) 노르웨이 Zero Emission Neighbourhoods (ZEN)

노르웨이의 Zero Emission Neighbourhoods(ZEN)은 온실가스 배출이 없는 지속가능한 근린환경을 조성함으로써 저탄소사회로 전환하기 위한 프로젝트이다(FME ZEN 2019, 8). 기존 및 신축 건물의 저탄소화, 재생에너지 사용 증가, 건물, 에너지, ICT, 이동시스템, 시민 간의 긍정적인 시너지 창출을 목적으로 하고 있다. 이를 위해 수명주기 모듈, 건물 및 인프라 요소를 포함 할 수 있는 목표 수준에 따라 분석기간 동안 직접 및 간접 온실가스 배출량을 0으로 줄이는 것을 목표로 하고 있다.

ZEN에서 근린환경은 지리적 영역 내에 위치한 관련 인프라와 상호연결된 건물 그룹으로 정의한다. 이에 따라 6가지 작업패키지(WP1~6)를 구성하여 각 단계별로 주요 목표를 설정하고 기술영역간의 협업을 진행한다(그림 3-3; FME ZEN 2019, 8-10). WP1은 도시설계 영역으로 수명주기 GHG 배출을 최소화하기 위해 건물 및 관련 인프라 구성 요소를 계획, 설계 및 운영을 담당한다. WP2는 혁신 및 비즈니스 영역으로 인근 에너지 공급 시스템에서 새로운 재생가능에너지의 상당 부분을 통해 에너지 효율성을 높이고 전력을 공급하는 것을 담당한다. WP3은 건물 영역으로 건물 내 및 건물 간 에너지 흐름을 관리하고 주변 에너지 시스템과 유연하게 교환하는 것을 담당한다. WP4는 연결성 영역으로 지속 가능한 운송 패턴 및 스마트 이동성 시스템 홍보를 담당한다. WP5는 지역 에너지시스템의 최적화 영역으로 총 수명주기 비용과 수명주기 시스템 비용을 최소화하여 경제적 지속 가능성을 고려한 계획, 설계 및 운영을 담당한다. 마지막으로 WP6는 파일럿 프로젝트와 리빙랩 영역으로 시민들에게 양질의 공간을 제공하고 지속 가능한 행동을 자극하기 위한 시설 계획 및 설치 등을 담당한다.

ZEN 개념을 적용하여 노르웨이에서는 9개 지역에 파일럿 프로젝트를 진행 중에 있다(그림 3-4). 각 프로젝트 지역은 주거, 학교, 사무실, 상업 등 서로 다른 기능과 건물 유형으로 구성되어 있으며 서로 다른 이해관계자, 사용자, 공공 및 민간 에너지 네트워크로 구성되어 온실가스 제로 실현을 추진 중이다.

그림 3-3 | ZEN center 의 6가지 영역



자료: FME ZEN(2019, 8)

그림 3-4 | ZEN project의 파일럿 지역 위치와 조감도



자료: Marianne Kjendseth Wiik et al.(2018, 67)

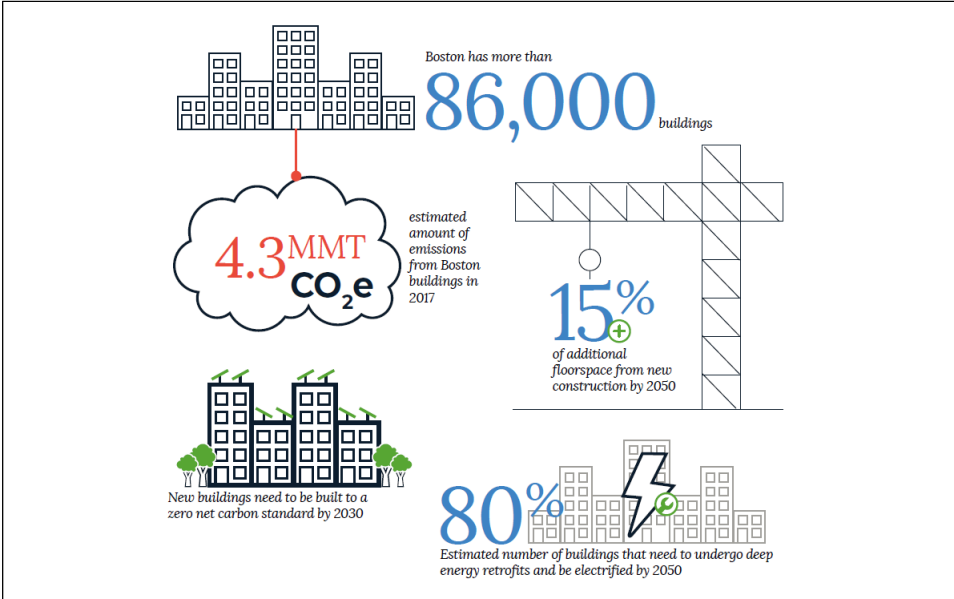
(3) 미국, Boston 2020-2024 Carbon Reduction Plan

미국 보스턴의 2020-2024 탄소저감계획(Carbon Reduction Plan)은 기후행동계획(Climate Action Plan)의 일부로 2050년까지 보스턴을 탄소중립도시로 만들기 위한 프로젝트이다. Carbon Free Boston 보고서(2019)⁵⁾를 바탕으로 하며 건물, 교통 시스템, 에너지 공급 분야에서 온실가스 배출 감축을 가속화하기 위한 전략을 수록하고 있다.

건물분야는 보스턴 탄소 배출량의 71%를 차지하고 있어 배출 감축을 위한 핵심 분야로 설정하고 있다. 건물 분야의 탄소저감 계획 중 주요 내용은 2030년까지 신축 건물에 대해서는 넷제로 건축물(Zero Net Carbon, ZNC)로 전환하고, 기존 건물에 대해서는 30년간 약 80%를 개조하거나 에너지를 전기방식으로 변환하는 것이다. 건축물의 탈탄소화를 이루는 동시에 지역 파트너와 협력하여 주민, 여성, 이주민, 청소년 등에 녹색건물 분야의 직업을 제공할 수 있는 우호적인 규제 또한 계획하고 있다. 또한 시(市)는 ZNC건축법 및 인센티브 프로그램 개선 등 주정부 차원에서 정책을 변경하도록 지원 중에 있다.

5) Boston Green Ribbon Commission, Boston University(2019)

그림 3-5 | Boston의 건물 분야 2030 목표 달성을 위한 전략



자료: Mayor Martin J. Walsh(2019, 34)

보스턴시는 향후 5년간 건물 배출량을 줄이기 위해 신축에 대한 ZNC 기준 강화, 기축 건물의 에너지성능 개선, 녹색건축물 구역(green building zoning)에 대한 ZNC 기준 강화 등 7가지의 전략을 추진하고 있다(표 3-4).

표 3-4 | 보스턴의 건물부문 탄소저감계획 전략 구성

전략	내용
zero net carbon 기준에 맞추어 새로운 도시 건물을 건설	- 도시 활동에 따라 연간 최대 17,000 톤까지의 탄소 배출 저감 가능 - 다른 부문 및 인근 지방 자치 단체에 ZNC 사례를 제공
보스턴시의 자금 지원 주택에 zero net carbon 기준을 적용	- 신축으로 인한 탄소 배출을 방지 - 유지 보수 비용 절감 및 가정 에너지 사용 비용을 절감 - 지역 내 에너지 생산을 통해 재생 에너지에 대한 접근성을 증가
zero net carbon 기준에 녹색 건축물 구역(green building zoning) 요구를 강화	- 연간 총 건물 배출량을 BAU 대비 최대 19%까지 감소 - 미래의 성능 표준 준수를 위한 건물의 에너지 시스템 개조 비용을 절감 - 건물 소유주의 운영비용 절감 및 임차인 및 거주자의 에너지 사용 비용을 절감
도시 건물의 에너지 효율 및 재생 가능 에너지 생성에 투자	1단계 : 연간 도시 탄소 배출량 1% 감소, 연간 에너지 60만 달러 절약 2단계 이상 : 추가 배출 감소 및 에너지 절약 - 소방서 및 학교를 포함한 도시 건물의 난방, 환기 및 에어컨 성능 향상으로 건강 및 편의 혜택을 제공
기존 대형 건물의 탈탄소화를 위한 탄소 배출 성능 표준 개발	- 탄소 배출 방지 - 건물 효율성 향상으로 에너지 절약
탈탄소화를 위한 인력 개발 프로그램을 확대	- 양질의 일자리 창출 및 고용 안정성을 강화 - 지역경제 투자 및 건축 업계의 다양한 인력을 증가 - net zero carbon 건물에 대한 산업 지식과 인력 발전에 따라 개선 된 건물 성능 및 모범 사례를 공유
2050년까지 탄소 중립에 부합하는 주정부 건설 정책을 옹호	- BAU대비 최대 30 만 톤의 연간 탄소 배출을 방지 - 보스턴 가정, 기업 및 기관의 에너지 비용을 절감 - 녹색 일자리 창출 및 부동산 가치를 제고

자료: Mayor Martin J. Walsh(2019, 37-53)

3. 소결

건물 부문의 온실가스 감축을 위해 국가 단위에서의 건물 개별적인 조치를 취하고 있으나 도시 차원에서 건물·토지공간을 복합적으로 활용한 감축 정책을 추진하는 나라는 뚜렷하게 드러나지 않고 있음을 확인하였다. 다만 몇몇 국가에서는 건물·토지공간의 복합적인 활용을 일부 추진하는 것으로 나타났는데 그중 하나인 캐나다 Surrey시는 건축물 에너지 기술 적용, 지역 내 에너지 생산, 토지 이용, 교통체계 개선 등 복합적 활용하여, 커뮤니티나 근린 단위에서 계획 모듈로써 활용하고 있다. 특히 보스톤의 경우 Green Zoning 개념을 도입해 건물과 용도지역간의 연계를 강화하는 점은 벤치마킹 가능하나 정확하게 매칭은 되지 않는다.

캐나다 Surrey의 사례와 같이 지자체로 하여금 공간단위에서 건물과 토지를 동시에 활용하여 최적화된 온실가스 감축정책 도출을 지원하는 분석도구 CEEMAP은 온실가스 감축 정책의 효율성을 높이고, 해당 지자체의 정책입안자로 하여금 정책 의사결정을 지원한다는 차원에서 국내에 대한 적용 유의성이 높다고 할 수 있다.

국내에는 이와 같은 모델이 없는 만큼, 파일럿 단계의 최적화 모델을 구축하고 실제 대상지에 시범적으로 적용하는 것이 필요하다. 이를 위해 우선 필요한 데이터 및 계수, 논리적인 구조 등 파일럿단계로서의 기본적인 아키텍처를 설계해야 한다. 이후, 필지 및 블록 단위에서 건물과 토지공간을 활용해 온실가스 감축비용을 최소화하면서 감축량을 최대화시키는 최적화 모델을 구축해야 한다. 마지막으로 가상공간에 적용하여 타당성을 검증하고 이를 토대로 실제 대상지(서울 등)에 적용하여 유의성을 판단할 필요가 있다.

국내 현황에서 민간건축물 개별 조치에 대한 여러 장애요소와 한계를 확인한 만큼 커뮤니티 및 지구 단위 차원에서 종합적으로 대응하기 위해서는 우선 건물 단위를 주변 토지공간 차원에서 블록단위로 확장하는 방안이 필요하다. 건물에 대한 개별 조치는 녹색건축물 기본계획 방향과 같이 추진하되, 건물 외 공간(필지 조합 등) 단위에서 온실가스 감축 및 흡수 방안을 다양하게 적용하여 최종적으로 건물 부문의 온실가스 감축

목표 실현력을 강화하는 전략으로 나아가야 한다.

근린 블록 단위의 정책 도입 후 최종적으로 커뮤니티 지구에서 도시 전체의 공간 단위로 확장하는 방향이 가능하다. 탄소저감을 위한 탄소배출량 관리를 건물, 교통, 항공, 에너지, 농경지 등의 부문적 중심으로 진행했던 방식의 한계점을 보완하여, 온실가스 저감 계획 및 관리 모델을 국토도시 공간 정책에 도입·활용하는 방안이 필요하며 이를 위해서는 온실가스 데이터(건물, 감축기술, 흡수원 등)에 기반해 최적화된 의사결정을 내릴 수 있는 모델을 도출하고 이에 기반해 정책에 활용하는 방안 또한 보완이 필요하다.

이러한 측면에서 제4장에서는 건물·토지공간을 복합적으로 활용하여 온실가스 배출량을 최적화하는 모델을 구축하고 실제 대상지에 적용함으로써 성과와 가능성에 대해 평가하고자 한다.



CHAPTER 4

공간활용 건물 분야 온실가스 감축 최적화 분석

1. 건물 분야 전산자료 현황 85
2. 건물 온실가스 에너지 절감 기술 데이터 94
3. 공간단위 온실가스 감축 최적화 모델 구축 및 분석 ... 98

04 공간활용 건물 분야 온실가스 감축 최적화 분석

본 장에서는 공간을 활용해 건물 부문의 온실가스 감축을 최적화하는 분석을 수행하였다. 유전자 알고리즘을 활용하여 건물과 외부공간을 복합적으로 활용해 온실가스 감축시나리오를 최적화하는 모델을 설계하였다. 가상공간을 구축하여 테스트를 수행하여 유효성을 확인한 후 실제 서울시 3개 공간 대상지를 선정해 적용한 결과 최소 50~80%의 온실가스 감축효과가 있는 것으로 나타났으며 아파트단지의 경우에는 플러스에너지 실현도 가능하며 공간활용의 유효성을 확인하였다.

1. 건물 분야 전산자료 현황

1) 건물 에너지 및 행정 데이터

(1) 건물에너지데이터(한국감정원)

한국감정원은 건축물대장 정보에 각 개별 건축물의 건물에너지소비정보를 결합한 건물에너지데이터를 제공한다. 공간적으로는 전국에서 개별 지번까지 선택이 가능하며 시간적으로는 연단위자료의 경우 직전연도까지 제공받을 수 있다(당해 월단위자료도 가능). 건축물대장에서 제공하는 정보를 포함하고 있기 때문에 위치, 용도, 면적, 구조, 노후정도 등의 분류가 가능하다.

다만 해당 자료는 자료를 제공받을 수 있는 기관은 한정되어 있다. 「건축물 에너지·온실가스 정보체계 운영규정」 제2조 제3항에 따라 행정기관이나 공공기관이 가능하며

그 외의 기관이나 단체는 중앙행정기관의 심사가 필요하다. 자료를 신청하기 위해서는 국토부 녹색건축과에 공문발송이 필요하며 자료 취득까지 약 1개월 내외의 시간이 소요된다.

「건축물 에너지온실가스 정보체계 운영규정」

제2조(용어의 정의) 이 규정에서 사용하는 용어의 뜻은 다음 각 호와 같다.

...(생략)

3. "전산자료 이용신청 대상기관"이란 전산자료를 이용하기 위하여 국토교통부 또는 지방자치단체에 전산자료 이용신청이 가능한 기관으로서 다음 각 목의 기관을 말한다.

가. 행정기관 : 「전자정부법」 제2조제2호에 따른 행정기관으로 국회·법원·헌법재판소·중앙선거관리위원회의 행정사무를 처리 하는 기관, 중앙행정기관(대통령 소속 기관과 국무총리 소속 기관을 포함한다. 이하 같다.) 및 그 소속 기관, 지방자치단체 등

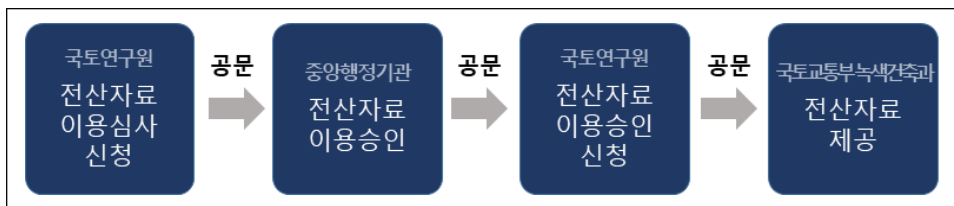
나. 공공기관 : 「전자정부법」 제2조제3호에 따른 공공기관으로서

- 「공공기관의 운영에 관한 법률」 제4조에 따른 법인·단체 또는 기관
- 「지방공기업법」에 따른 지방공사 및 지방공단
- 특별법에 따라 설립된 특수법인
- 「초·중등교육법」, 「고등교육법」 및 그 밖의 다른 법률에 따라 설치된 각급 학교
- 「정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」 제8조제1항에 따른 연구기관
- 「과학기술분야 정부출연연구기관 등의 설립·운영 및 육성에 관한 법률」 제8조제1항에 따른 연구기관

다. 그 밖에 가목 또는 나목의 범위내에서 전산자료의 이용이 필요하다고 중앙행정기관의 심사를 받아 전산자료 보유기관이 인정 또는 승인한 법인·단체 또는 기관

...(생략)

그림 4-1 | 「건축물 에너지·온실가스 정보체계 운영규정」에 따른 전산자료 제공 과정



자료: 저자 작성

(2) 공공건축물에너지소비량(한국시설안전공단)

한국시설안전공단은 공공건축물에 해당하는 건물의 연간 단위면적당 1차 에너지소비량 3개년 평균값을 제공한다. 공간적으로는 전국 약 3,500개의 개별 건축물 단위로 정보를 제공하며 시간적으로는 분기로 나누어 3개년 평균값을 제공한다(2014년 4분기 데이터부터 제공). 「녹색건축물 조성 지원법」제13조의2(공공건축물의 에너지 소비량 공개 등) 및 동법 시행령 제9조의2(공공건축물의 에너지 소비량 공개)에 따라 한국시설안전공단 홈페이지 내 공지사항에 게시된다. 제공되는 정보 구조는 다음과 같다(표 4-1).

표 4-1 | 공공건축물에너지소비량 제공정보 항목 및 내용

항목		내용
구분	지역	중부지역, 남부지역, 제주지역
	용도	문화 및 집회시설, 운수시설, 의료시설, 교육연구시설, 수련시설, 업무시설
	면적	3천㎡이상~5천㎡미만, 5천㎡이상~1만㎡미만, 1만㎡이상
기관명		ex) 문화체육관광부, 서울특별시
건물명		
소재지		지번주소
냉난방면적(㎡)		면적정보
규모	지하	층수
	지상	층수
사용승인연도		YYYY-MM-DD
연간 단위면적당 1차에너지소비량 3개년평균 (kWh/㎡²년)		각 시설별 정보
연간 단위면적당 1차에너지소비량 3개년평균 중간값 (kWh/㎡²년)		동일지역, 동일용도의 면적구분별 중간값

자료: 공공데이터 포털(data.go.kr)에서 제공되는 공공건축물 에너지소비량 자료를 기반으로 저자 작성

(3) 지번별에너지사용량(건축데이터 민간개방시스템)

건축데이터 민간개방시스템에서는 지번별에너지사용량으로 공공건축물에 해당하는 건물의 연간 단위면적당 1차 에너지소비량 3개년의 평균값을 제공한다. 공간적으로는 전국 시군구 읍면동 지번 주소별 정보를 제공하며 시간적으로는 월단위로 제공한다(2011년 1월 데이터부터 가능). 전기사용량, 가스사용량으로 나누어 정보를 제공하며 제공되는 정보 구조는 다음과 같다(표 4-2).

표 4-2 | 지번별에너지사용량 제공정보 항목 및 내용

순번	컬럼명	설명	자료형	길이	비고
1	사용년월		문자	6	
2	순번		숫자	10	
2	시군구코드	수용가 주소정보	문자	5	
3	법정동코드		문자	5	
4	시도명		문자	50	
5	시군구명		문자	50	
6	법정동명		문자	50	
7	대지구분코드		문자	1	
8	본번		문자	4	
9	부번		문자	4	
10	새주소대로코드		문자	12	
11	새주소대로로명		문자	80	
12	새주소지상지하코드		문자	1	
13	새주소지상지하명		문자	10	
14	새주소본번		문자	5	
15	새주소부번		문자	5	
16	사용량	전기, 가스 사용량	숫자	19	kWh 환산

자료: 건축데이터 민간개방시스템(open.eais.go.kr)에서 제공되는 지번별 에너지사용량 자료를 기반으로 저자 작성

(4) 건물통합정보

국토교통부는 연속수치지형도(수치지형도2.0의 건물레이어)의 건물공간정보와 건축행정시스템(세움터)의 건축물대장 속성정보를 건물단위로 통합하여 구축한 공간(토지)기반의 건물통합정보를 제공하고 있다.

그림 4-2 | 건물통합정보 예시(서울 송파구)



자료: 국가공간정보포털(data.nsd.go.kr)

표 4-3 | 건물통합정보자료 제공정보 항목 및 내용

	컬럼명	설명	자료형	길이
1	UFID	UFID	VARCHAR2	28
2	BLD_NM	건물명칭	VARCHAR2	150
3	DONG_NM	동명칭	VARCHAR2	150
4	GRND_FLR	건물통합_지상층수	NUMBER	5
5	UGRND_FLR	건물통합_지하층수	NUMBER	5
6	PNU	토지코드	VARCHAR2 (19)	19
7	ARCHAREA	건물통합건축면적	NUMBER	28,9
8	TOTALAREA	건물통합_연면적	NUMBER	28,9
9	PLATAREA	건물통합대지면적	NUMBER	28,9
10	HEIGHT	건물통합_높이	NUMBER	28,9
11	STRCT_CD	구조	VARCHAR2 (2)	2
12	USABILITY	용도	VARCHAR2 (5)	5
13	BC_RAT	건물통합_건폐율	NUMBER	28,9
14	VL_RAT	건물통합_용적율	NUMBER	28,9
15	BLDRGST_PK	건축물대장_PK	VARCHAR2	28
16	USEAPR_DAY	승인일자	VARCHAR2	8
17	REGIST_DAY	데이터생성_변경일자	VARCHAR2	8
18	GB_CD	구분	VARCHAR2	2
19	VIOL_BD_YN	위반건축물	VARCHAR2	2
20	GEOIDN	참조체계연계키	VARCHAR2	17
21	BLDG_PNU	건물 필지고유번호	VARCHAR2	19
22	BLDG_PNU_YN	건물 필지고유번호 유무	VARCHAR2	1
23	BLD_UNLICENSE	건물 무허가 여부	VARCHAR2	1
24	BD_MGT_SN	도로명주소건물관리번호	VARCHAR2	25
25	SGG_OID	원천오브젝트ID	INTEGER	.
26	COL_ADM_SECT_CD	원천시군구코드	VARCHAR2	5
27	OBJECTID	OBJECTID	INTEGER	.
28	SHAPE	도형ID	ST_GEOMETRY	.

자료: 국가공간정보포털 오픈마켓(data.nsd.go.kr)에서 제공되는 건물통합정보자료를 기반으로 저자 작성

건물별 에너지 현황을 공간단위로 파악하기 위해서는 건물통합정보와 건물에너지 정보의 결합이 필요하며, 건물에너지데이터, 공공건축물에너지소비량, 지번별에너지 사용량 등 자료에 따라 결합 방법이 상이하다. 예를 들면 건물에너지데이터의 경우 건물별 PK코드를 건물통합정보의 PK코드와 결합이 가능하며, 공공건축물에너지소비량 데이터의 경우 지번주소를 코드화 한 후 건물통합정보의 PNU 기준으로 결합이 가능하다. 지번별에너지사용량 데이터는 주소 코드를 건물통합정보의 PNU 기준으로 결합이 가능하다.

건물 에너지 분석에는 PK코드 기준의 결합 방법이 보다 정확도가 높은 경향이 있다. 지번 정보인 PNU코드로 결합 시, 하나의 지번에 2개 이상 건물이 있는 경우 건물별 에너지사용 정보가 왜곡될 우려가 있기 때문이다.

2) 외부공간정보 관련 자료 현황

(1) 용도지역도

용도지역도는 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 따라 도시지역에 대해 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역으로 구분되는 주제도이다. 국토교통부에서 관리하는 자료로 국가공간정보포털에서 제공하며 전국에 대해 제공한다.

그림 4-3 | 용도지역도 예시(서울 송파구)



자료: 국가공간정보포털(data.nsd.go.kr)

(2) 토지피복도

토지피복도는 인공위성영상을 이용하여 숲, 초지, 콘크리트 포장 등 지표면의 물리적 상황을 분류한 도면으로 환경공간정보 자료 중 하나이다. 자료는 7개의 대분류, 22개 항목의 중분류, 41개 항목의 소분류로 구성되어 있다.

환경부에서 관리하는 자료로 환경공간정보서비스에서 제공하며 공간적으로 전국에 대해 입수가 가능하다.

그림 4-4 | 토지피복도 예시(서울 송파구)



자료: 환경공간정보서비스(egis.me.go.kr)

표 4-4 | 토지피복도 대분류 및 중분류 항목

대분류 (7항목)	중분류(22항목)	설명
시가화 건조 지역 (100)	주거지역 (110)	사람이 살고 있거나 살았던 지역으로 단독주택, 연립주택, 아파트 건물 등이 주거지역에 포함되며 주택의 일부가 가게로 사용되는 경우에도 주거지역에 포함한다. 아파트 단지 내 소규모 상업시설은 주거지역에 포함하지만 주변시설은 제외한다.
	공업지역 (120)	대규모 공업시설로 국가관리 공단지역, 농공단지와 같이 제조업에 이용되는 토지와 그 부속시설을 포함한다.
	상업지역 (130)	상가, 시장, 백화점, 서비스업 등과 같은 매매를 위한 건물, 사무실, 은행, 디지털단지 와 같은 업무용 건물이 자리하고 있는 지역을 말한다. 주유소, 가스충전소, 저유소 건물과 부대시설, 대형 할인점, 대형 상가 건물, 농협 직판장 등을 포함한다.
	위락시설지역 (140)	국가 및 지방자치단체에서 지정한 위락단지, 관광단지 내의 건물로 놀이공원, 리조트 및 체육시설을 포함한다. 경마장, 자동차 경주장 및 포장 운동장(인공초지, 우레탄 등)으로 개발된 시설을 말한다. 콘도, 유스호스텔 및 펜션을 포함한다.
	교통지역 (150)	활주로를 포함한 격납고, 승강장 및 관제시설 등 항공운송과 관련된 공항시설을 포함한다. 선박의 정박, 하역시설 및 항구 내 철로와 창고시설 등 해상운송과 관련한 항만시설을 포함한다. 선로, 고가철로, 지선, 역, 기관차고 및 정비시설 등 철도운송과 관련한 철도시설을 포함하고, 역사, 플랫폼, 기관차고, 정비시설, 전차·조차장 및 기타부지는 상업지역으로 분류한다. 아스팔트 및 콘크리트 등으로 포장된 도로와 주차장을 포함하며 1) 도로는 폭 12m 이상, 왕복 4차선, 철도는 2차선 이상 기준으로 분류한다. 2) 고속도로, 국도, 지방도 및 주요 간선도로는 기준 이하도 분류한다. 3) 판독이 불분명하거나 아파트 단지 등 블록 단위 내 도로는 주변 분류 항목에 포함한다.

대분류 (7항목)	중분류(22항목)	설명
		헬기 이·착륙장, 텔레비전·라디오 송수신시설, 차량기지 등의 기타 교통시설을 포함한다.
	공공시설지역 (160)	국가 또는 지방자치단체가 국민생활의 복지증진을 위하여 설치하는 시설로 국·공립 학교, 국·공립병원, 국·공립도서관, 시민회관, 각종 보건 및 후생시설, 공원, 상하수도 시설 등을 포함한다. 환경기초시설과 관련된 토사매립지, 폐기물매립지, 쓰레기매립지, 적치장 등의 매립 시설, 하수종말처리장, 공단폐수처리장, 축산폐수처리장, 농공단지폐수처리장, 간 이오수처리장, 분뇨처리장 등의 취·정수장, 소각장 등을 포함한다. 댐, 발전시설(발전소, 정류소, 변전소)과 부대시설(호안, 제방 포함)을 포함한다. 교육, 교정시설 및 군사시설을 포함하며, 학교는 운동장과 건물을 포함한 외곽경계 선을 확정된 후 건물을 분류한다. 그 밖에 공공용지로 의료와 관련된 병원, 보건소, 행정기관을 포함한다.
농업 지역 (200)	논 (210)	물을 가두어 두고 벼, 미나리, 연근 등 물에서 살 수 있는 작물을 가꾸는 농지를 말하며, 정리된 답, 미정리 답, 농사를 짓지 않아도 경지정리중인 논을 포함한다. 다년간 농사를 짓지 않은 휴경지는 피복 특성에 따라 인공나지, 내륙습지 등으로 분류하며, 논 지역에 조성된 비닐하우스 등은 시설재배지로 분류한다.
	밭 (220)	물을 대지 않고 벼 이외의 작물을 재배하는 토지로 보통작물인 무, 배추 및 시금치 등의 채소와 특수작물을 재배하는 지역과 시설재배지, 과수원 및 기타재배지에 포함 되지 않은 보통작물을 재배하는 지역을 포함한다.
	하우스재배지(230)	비닐, 유리 등 인공적 시설로 된 하우스 재배지를 말한다.
	과수원(240)	사과, 배, 감, 복숭아, 포도, 감귤 등 과수를 재배하는 토지를 말한다.
	기타재배지(250)	원예, 조경재배지, 묘포원, 농원, 농장 및 방목장 내의 시설을 포함하며, 목장 및 방목장 내 초지가 최소 분류기준 크기 이상일 경우 인공초지로 분류한다. 축산과 낙농시설과 정원수 및 가로수 등을 재배하는 지역을 포함한다.
산림 지역 (300)	활엽수림(310)	활엽수림이 전체 임야 면적의 75% 이상을 차지하는 산림지역을 말한다.
	침엽수림(320)	침엽수림이 전체 임야 면적의 75% 이상을 차지하는 산림지역을 말한다.
	혼효림(330)	활엽수림과 침엽수림이 혼재하여 있는 지역을 말한다.
초지 (400)	자연초지(410)	자연적으로 조성된 초지로 산 정상, 능선부의 역세 밭 등을 말한다.
	인공초지(420)	자연초지 이외의 초지로 축산과 낙농을 위해 조성된 초지, 묘지, 가로수 및 스키장의 슬로프, 공원초지 및 골프장 내에서 관리하는 초지를 포함한다.
습지 (500)	내륙습지(510)	항상 습해 있고 우기에는 물이 고이는 지역을 말한다.
	연안습지(520)	연안에 형성된 습지로 갯벌 또는 염전을 말하며 만조시의 해안 경계선으로부터 간조 시의 경계선까지의 지역으로 한다.
나지 (600)	자연 나지(610)	해변 강기슭 및 모래사장 등 식생피복이 없는지역을 말한다.
	인공 나지(620)	자연나지 이외의 식생 피복이 없는 인공적 나지를 말하며 공사장, 공사중 도로, 학교운동장 및 군부대 연병장을 포함한다.
	채광지역 (621)	광산, 채석장 및 기타 광물질 채취장 중 인공적으로 조성된 나지를 포함하며, 채광지역 내 부대시설은 공업지역으로 분류한다.
	운동장(622)	체육을 하기 위해 만들어진 큰 마당으로 나지로 된 모든 운동장을 포함한다. 단, 초지로 된 운동장의 경우 기타초지, 인공 잔디 및 우레탄으로 된 운동장의 경우 문화·체육·휴양시설로 분류한다.
	기타나지	인공적으로 조성된 나지로 채광지역 및 운동장을 제외한 지역을 말한다.

대분류 (7항목)	중분류(22항목)	설명
	(623)	토사로 된 절성토면의 경우 기타나지 항목으로 분류한다. 공사로 인한 나지, 벌채 등으로 인한 산림 내 나지를 포함한다. 비포장 도로·농로·임도 등을 포함한다.
수역 (700)	내륙수(710)	「하천법」제7조 제2항 및 제3항의 국가하천과 지방하천, 「습지보전법」제2조제2호의 내륙습지 중 육지 또는 섬에 있는 호수, 못, 늪 또는 하구(河口) 등을 말하며, 해당 지역 내 물이 있는 지역을 분류한다.
	해양수(720)	해안선으로 구획되는 바다의 일부분으로 영상자료의 촬영시점을 기준으로 물이 있는 지역을 말하며, 하구둑이나 방조제를 경계로 내륙수와 구분한다.

자료: 토지피복도 작성지침(환경부훈령 제1317호, 2018.3.29.) 중 제 13조(중분류 토지피복도 분류항목별 분류기준)

2. 건물 온실가스 에너지 절감 기술 데이터

정부는 「Post-2020 대응 건물부문 온실가스 배출 전망 및 감축 잠재량 분석 기술 개발」 R&D 과제(2017~2020; 연구진-건기연(책임), 감정원, KAIST, 에코엔파트너스, 에너클)를 통해서 Post-2020 신기후체제에 대비한 국가 건물부문 온실가스 감축에 활용할 수 있는 국내외 기존·신 기술들을 총망라하여 ‘건물 온실가스 에너지 절감 기술 데이터 DB’를 구축하였다. 기술 데이터는 정부부처((국토부, 산업부, 환경부)가 발주하여 기관(건기연, 환경에너지공단, 에너지관리공단, 대학, 기업 등)이 수행한 22개 기술보고서, IEA 해외보고서 1개를 포함해 총 23개 문헌을 통해 기술 스크리닝 및 수집했다.

기술 DB 범위 및 분류 체계를 살펴보면 우선 기술범위는 가정·상업건물에 적용되는 기술로 한정(산업용 제외)하되 공통설비 포함했다. 여기서 가정은 주거용 건물에만 적용 가능한 에너지 절감 기술이며 상업은 비주거용 건물에만 적용 가능한 에너지 절감 기술이다. 공통은 산업 및 상업건물에 공통으로 적용되는 에너지 절감 기술이다. 기술 분류는 건물 주요 에너지 소비용도(난방, 냉방, 취사, 조명, 가정·동력)에 따라 7개 범위(난방, 냉방, 취사, 조명, 가전기기, 공통설비, 신재생에너지)로 구성된다(표 4-5).

표 4-5 | 가정·상업 건물 에너지절감 기술 요소 및 특성데이터

가정부문(단독/공동/다세대주택)			상업건물(사무건물/판매/숙박/근린시설)		
용도	에너지소비원(기기)	건물특성데이터	용도	에너지소비원(기기)	건물특성데이터
난방	단열, 가정용보일러, 히트펌프 등	시스템별 에너지 원단위, 면적	난방	단열, 상업용보일러(대형), 히트펌프 등	시스템별 에너지 원단위, 면적
냉방	선풍기, 에어컨, 냉동기	기기당소비전력, 보급률	냉방	선풍기, 에어컨, 냉동기	기기당소비전력, 보급률
취사	가스/전기/전자레인지	에너지원별소비원 단위, 에너지효율	취사	가스/전기/전자레인지	에너지원별소비원 단위, 에너지효율
조명	형광등, LED	기기당소비전력, 보급률	조명	형광등, LED	기기당소비전력, 보급률
가전·동력	TV, 세탁기, 냉장고, 김치냉장고, 발전기, 공조기	기기당소비전력, 보급률	동력·설비	전동기, BEMS, 공조기 등	기기당소비전력, 보급률

자료: 에코엔파트너스 내부 자료(기술DB)

구체적인 항목 구성 및 정의는 다음과 같다(표 4-6).

표 4-6 | 기술DB 구성 항목 및 정의

구분	항목	정의
기본 정보	분류	• 해당기술 범주(난방, 냉방, 온수, 취사, 조명, 가전, 동력, 기타)
	적용건물	• 해당 기술 적용 건물에 따른 분류(가정,산업,공통)
	기술수준	• 기존기술(GT: Generic Technology) : 현재 기준으로 상용화되어 보급된 기술(5%이상) • 신기술(AT: Advanced Technology) : 2018년(또는 기존 연구 수행연도 기준)보급률 5% 미만 기술을 포함하며, 미래보급 가능한 신기술
	기술명	• 해당 기술의 명칭
	기술 개요	• 해당 기술에 대한 기본 설명
	기술 특징	• 다른 기술들과 차별화되는 해당 기술만의 특징점 및 제한 사항, • 기술적 차별성 또는 동향 등 모형시나리오 적용에 참고할 수 있는 기술정보 기술
특성치 정보	사용 에너지원	• 해당 기술에서 사용한 에너지원 정보 • 에너지통계연보의 건물부문(가정·상업·공공) 에너지사용량데이터중 사용 실적이 있는 에너지원정보인용 • (무연탄, 휘발유, 등유, 경유, 경질중유, 중유, 중질중유, JA-1, AVI-G, LPG, 도시가스, 전력, 열, 신재생)
	효율(%)	• 해당 기술의 도입을 통해 얻을 수 있는 에너지 절감 효율(효율 산정에 대한 통일성을 위해 에너지 성능 지표에 따른 효율 산정)

구분	항목	정의
	에너지성능지표	• 해당 기술에 맞는 에너지 성능 효율을 평가할 수 있는 지표 - 용량(Gcal/h), 열관류율(W/㎡K), 소비전력(W) 등
	투자비(백만원)	• 해당 기술 도입을 위한 단위당 투입비용
	투자비 단위	• 기술별 단위당 투자비 입력을 위한 보조항목, 용량, 면적, 대당...
	유지보수비용(백만원)	• 기술 설비 수명기간동안 투입되는 개보수비용
	기술 내구 수명(년)	• 해당 기술이 설치된 날로부터 노후가 진행되어 더 이상 경제적으로 사용 가능 상태로 회복할 수 없게 될 때까지의 기간
	하루사용시간(h/일)	• 해당 기술이 건물에서 사용되는 하루 중 사용 시간
	연간사용시간(h/년)	• 연간 해당 기술을 사용하는 시간
보급 정보	기준연도	• 해당 기술이 현재 보급률을 나타내는 기준이 되는 연도(현재 시점을 의미하 나 과거 데이터만 있을 경우 그 시점을 기재)
	보급률	• 기준연도에 해당 기술이 도입된 보급률(전체 대비 비중, %)
	보급대수	• 기준연도에 해당 기술이 도입된 보급대수(대수)
	기술도입(보급)시기	• 상용화되지 않은 기술의 경우 예상되는 기술도입시기
기타 정보	산출식	• 효율 등 특성치별 산출식 상세 내용
	자료 출처	• 기술별 자료출처(기준연구 원출처 기재)
	적용효과 및 제약사항	• 감축기술 에너지절감 효과, 기술채택시 제약사항

자료: 에코엔파트너스 내부 자료(기술DB)

개별기술(기술카드) 구성 예시는 다음과 같다(표 4-7).

표 4-7 | 기술DB 구성 예(로이단열재)

분류		기술명	
대분류	난방	로이단열재	
중분류	단열		
소분류	단열재		
기술개요			
표면 부식방지코팅처리를 한 고순도의 알루미늄 박판으로 적외선상태의 복사열을 차단하고, 그물망처럼 형성된 폴리에틸렌을 원단의 독립된 공기주머니가 전도열 및 대류열을 차단하는 단열재. 단열재 내부에 밀폐용 격벽구조를 가지며, 최외각 알루미늄은 부식방지를 위해 박막 코팅 처리. 얇고 가벼우며 물성이 부드러워 작업성이 우수하며, 특히 모서리 격일 및 휨 시공이 가능하여 기밀시공이 가능			
적용건물		기술수준	
공통		신기술(AT: Advanced Technology)	

2. 특성지 정보

사용에너지원					
등유	경유	LPG	LNG	전력	기타
-	-	-	-	-	-
구분		특성치		단위	비고
열관류율		0.243		(W/mK)	
열전도율		0.015		(W/mK)	
밀도		-		(kg/m³)	
두께		60.000		(mm)	
기밀성등급		-		-	
비용	투자비	17,092		(V/m²)	
	유지보수비			(V/yr)	
기술내구수명		-		(년)	
이용율		100.00		(%/yr)	
하루사용시간		24		(hr/day)	
연간사용기간		12		(month/yr)	

3. 보급 정보

기준연도(년)	보급률(%/yr)	보급대수(unit/yr)	기술도입(보급)시기(년)
-	-	-	-

4. 기타정보

산출식	
열관류율(W/mK): 기존 기술 DB data의 산출평균값 및 열전도율과 두께의 값으로 산정(열전도율/두께) 열전도율(W/mK): 기존 기술 DB data의 산출평균값 밀도(kg/m³): 기존 기술 DB data의 산출평균값 두께(mm): 기존 기술 DB data의 산출평균값 이용율(%): 건축물의 패시브 기술이므로 100%로 산정 투자비정보: 물가정보 18'9월표 활용 보급정보: 화학경제연구원 보고서 활용	
자료 출처	
기타: 인터넷 검색 및 기술 업체 자료 참고 물가정보: 종합물가정보 18.09월호, 사단법인 한국물가정보	

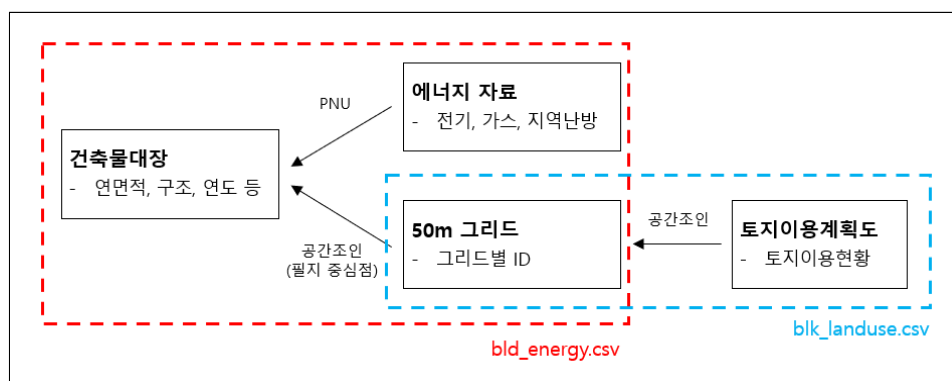
자료: 에코엔파트너스 내부 자료(기술DB)

3. 공간단위 온실가스 감축 최적화 모델 구축 및 분석

1) 건축물에너지 데이터 구축(전처리 과정)

건축물에너지 데이터를 구축하기 위해서는 건축물별 에너지 소비자료, 건축물대장, 토지이용계획도 자료를 전처리하여 통합할 필요성이 있다. 데이터 전처리는 건축물대장 자료를 기준으로 에너지소비자료와 용도지역현황을 결합하는 과정을 거쳤다. 건축물대장과 에너지소비자료는 건축물별 ID인 PNU코드를 활용하여 결합(left join)하고, 토지이용현황은 두 자료 사이의 key value가 존재하지 않기 때문에 GIS를 활용하여 위치기반으로 데이터를 결합하는 공간결합(spatial join)을 활용했다(그림 4-5).

그림 4-5 | 자료가공 흐름



자료: 저자 작성

(1) 건축물대장과 에너지소비자료의 결합(bld_energy)

① (1단계) 건축물대장의 전처리

건축물대장은 주요속성으로 건축물의 주소, 주소 코드, 대지면적, 건축면적, 연면적, 구조, 용도, 층수, 사용승인일 등 다양한 정보를 포함하고 있다. 다만 건축물별로 주요 속성이 구체적으로 기록되어 있는 것은 아니기 때문에, 건축물 에너지 분석에 활

용 가능하도록 주요 변수의 데이터가 기록되어 있거나 또는 결측치가 많지 않은 데이터만을 선정할 필요성이 존재한다. 서울시는 전체 건축물(관측치) 수가 총 621,788 동이며 주요 정보별 결측치 수는 아래 표와 같다(표 4-8).

표 4-8 | 서울시 건축물대장 주요 정보별 결측치 및 사용여부 판단

변수	결측치	사용여부	비고
PK (건축물 ID)	-		
대지면적	289,204 건	X	연속지적도 활용 측정 가능
건축면적	138,705 건	X	연면적과 층수로 추정 가능
건폐율	299,673 건	X	
연면적	386 건	O	
용적률용 연면적	141,537 건	X	추정 가능
용적률	298,458 건	X	추정 가능
건물용도	50 건	O	
건물구조	72 건	O	
지붕구조	582 건	O	
높이	311,153 건	X	
층수	4,408 건	O	
사용승인일	36,323 건	O	

자료: 저자 작성

따라서 건축물대장에 다양한 변수가 있지만 결측치가 많은 변수는 활용대상에서 제외하고 결측치가 적은 변수를 활용하여 산정하는 방식을 취했다. 예컨대, 건축물대장의 건축면적의 결측치가 많아 건축면적을 결측치가 비교적 적은 연면적과 층수 변수를 활용하여 총 연면적을 총 층수로 나눈 값을 건축면적으로 활용할 수 있다.

② (2단계) 에너지소비 자료의 전처리

건물 에너지소비 데이터는 건축물별 전기, 가스, 지역난방 에너지사용량이 월별로 집계되어 있다. 따라서 건축물별 주소정보를 활용하여 PNU를 생성하여 건축물대장 자료와 결합(left_join)이 될 수 있도록 인덱스를 생성했다. 단, 공동주택단지와 같은 집

합건물(1필지에 여러 건축물 존재) 대부분의 경우 해당 건물들에서의 에너지소비 합계가 개별건축물에 기록되어 있어, 1개 필지(1개 PNU)별로 하나의 에너지사용량 기록이 존재하는 문제점이 있어서 이를 보정하기 위해서 집합건물의 경우 연면적의 상대적 비율을 통하여 에너지소비량을 개별 건축물에 할당했다.

에너지소비는 소비유형에 따라 냉방, 난방, 기저에너지로 구분했다. 이때 기저에너지는 냉난방 에너지를 제외한 일상생활에서 반드시 필요한 최소한의 에너지로 정의하고, 우리나라 기후를 고려하여 5월과 10월 사이에 사용한 에너지의 최소값을 기저에너지로 가정했다.

기저에너지를 산정한 이후에는 냉방을 가동할 것이라 기대되는 5~10월 사이의 에너지 소비 데이터에서 기저에너지를 제외한 소비량을 냉방에너지로 가정했다. 난방에너지는 냉방에너지와 동일한 기준을 적용하여 난방이 사용될 것이라 기대되는 11~12월, 1~4월의 에너지 소비량에서 기저에너지 소비량을 제외한 값을 난방에너지로 가정했다.

상기 과정을 통하여 전기 에너지 사용량은 냉방, 난방, 기저에너지 사용량으로 구분하고, 전기 이외 가스와 지역난방은 냉방을 제외한 난방, 기저에너지 사용량으로 구분하여 가공했다.

표 4-9 | 기저 및 냉난방 에너지 정의와 산정식

유형	정의	산정식
기저 에너지	- 전기의 경우 조명, 가전, 사무기기 등에 사용되는 에너지를 포함 - 주상복합 등 공동주택의 경우 공용 면적에서 활용되는 에너지를 포함 - 도시가스와 지역난방의 경우 동절기가 아닌 평시에 활용되는 급탕 에너지와 취사 목적으로 활용되는 도시가스를 포함	- 각 에너지원별로 연중 가장 작은 값을 보이는 시점의 소비량에 12개월을 곱하여 산정 - 전기 기저 = $\min(5\text{월} \sim 10\text{월}) \times 12$ - 도시가스 및 지역난방 기저 = $\min(5\text{월} \sim 10\text{월}) \times 12$ - 총 기저 = 전기 기저 + 도시가스 및 지역난방 기저
냉방 에너지	전기 에너지 중 하절기 냉방에 소비되는 에너지를 의미하며, 하절기 동안 기저 에너지 이상으로 활용되는 에너지를 합산하여 산정	- 냉방 에너지 소비가 있을 것으로 예상되는 기간을 5~10월까지로 가정하고 다음과 같이 냉방 에너지를 산정 - 전기 냉방 = $\text{sum}(5\text{월} \sim 10\text{월}) - 6 \times \min(5 \sim 10\text{월})$
난방 에너지	- 전기, 도시가스, 지역난방 에너지 중 동절기 난방에 소비되는 에너지를 의미하며, 동절기 동안 기저 에너지 이상으로 활용되는 에너지를 합산하여 산정 - 전기의 경우, 전기장판, 온풍기 등의 전열 기구에서 소비되는 에너지를 포함	- 난방 에너지 소비가 발생할 것으로 예상되는 기간을 1~4월, 11~12월로 가정하고, 다음과 같이 난방 에너지를 산정 - 전기 난방 = $\text{sum}(11\text{월} \sim 4\text{월}) - 6 \times \min(5\text{월} \sim 10\text{월})$ - 총 난방 = 전기 난방 + 도시가스 및 지역난방

자료: 김승남 외(2014, 181)

③(3단계) 건축물대장과 에너지 자료의 결합

에너지 자료가 필지주소(PNU)별로 집계가 되어있기 때문에, PNU 기준으로 건축물 대장자료와 에너지소비 자료를 결합했다. 이때 전술하였듯이 집합건물(1필지에 여러 건축물 존재)은 모든 개별 건축물에 단지의 사용량 합계가 조인되는 문제가 발생하므로 이를 해결하기 위해, 단일 필지 내 건축물별 연면적 비율을 활용하여 에너지사용량을 개별 건축물에 분배했다.

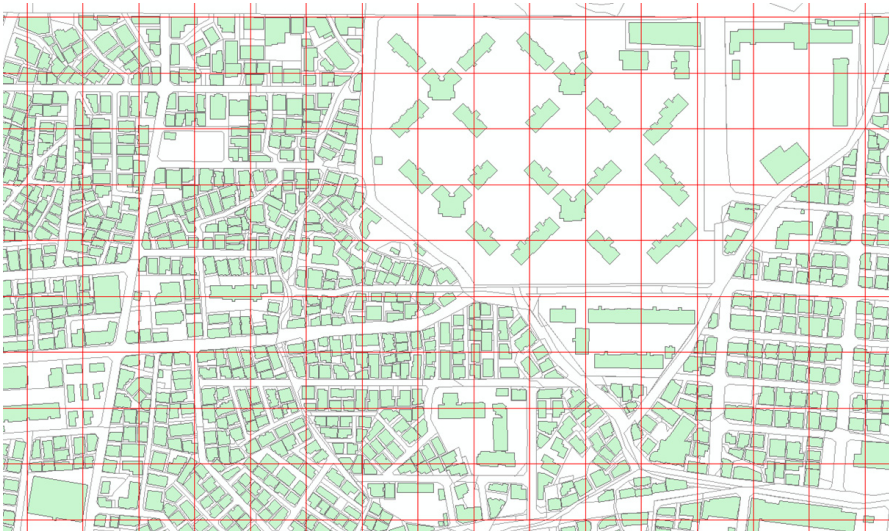
④(4단계) 50mx50m 격자망을 생성

서울시 행정구역을 커버하는 50m×50m의 그리드 블록을 설정하고 ID를 부여하였다. 이는 향후 최적화모델인 유전자알고리즘에 투입되는 데이터의 범위와 형태를 자유롭게 설정하기 위하여 50m×50m 격자망을 생성한 것이며, 격자망에 3단계에서 구축된 데이터를 결합했다. 이때, 에너지 소비 정보가 결합된 건축물대장 자료에 해당 건축물이 어느 격자망에 속해 있는지 알 수 있도록 GIS의 공간결합(spatial join)을 이용했다.

⑤(5단계) 건축물대장자료와 50mx50m 격자망 데이터 결합

연속지적도의 필지 중심점을 기준으로 건축물대장과 격자망을 공간조인을 통하여 데이터를 결합했다. 건축물형상 자료와 격자망을 1대 다(多) 대응으로 공간결합하는 것이 가장 이상적인 방법이지만 구축하고 있는 자료의 한계¹⁾로 불가능했다. 이를 해결하기 위하여 연속지적도의 필지별로 그 중심점이 포함되는 그리드를 매칭시키고 필지의 주소를 활용한 PNU를 이용하여 건축물대장의 건축물별 PNU와 결합하는 방식을 취했다.

그림 4-6 | 건축물형상과 50m x 50m 격자망 예시



자료: 저자 작성

1) 건축물대장 자료는 공간정보가 없는 데이터프레임형태의 자료이고, 건축물형상을 담고 있는 도로명전자주소의 건축물 공간자료에는 건축물대장 자료와 조인이 가능한 ID가 없었다

(2) 격자망과 용도지역 자료 통합(blk_landuse)

건축물 외부 공간에 대한 정보를 반영하기 위하여 용도지역을 활용하였다. 건축물에너지 데이터에 해당지역의 토지이용 정보를 결합하기 위하여 토지이용현황도의 용도지역 정보를 앞에서 구축한 건축물에너지 데이터에 결합하였다. 용도지역 데이터를 결합하는 방식은 앞에서 건축물대장과 에너지소비 자료를 결합한 방식과 동일한 방식을 적용하였다.

①(1단계) 50m×50m 격자망 생성

서울시 행정구역을 커버하는 50m×50m의 그리드 블록을 설정하고 ID를 부여했다.

②(2단계) 토지이용계획도의 대중소 분류 사용

서울시의 토지이용계획도는 토지 용도를 38가지로 구분하고 있다(표 4-10).

③(3단계) 50m×50m 격자망과 토지이용현황도 데이터 결합

서울시 토지이용계획도를 50m×50m의 그리드 모양에 맞춰 자른 후, 격자별로 토지이용계획별 면적을 측정했다.

표 4-10 | 토지이용현황도의 용도지역분류

대분류	중분류	소분류	정의(38개)
농지	논	경지정리답	물을 이용하여 벼를 재배하기 위한 토지로 수로가 용수를 공급하는 경지 정리지
		미경지정리답	물을 이용하여 벼를 재배하기 위한 토지로서 주로 계단 형태이며, 경사가 심한 산간지에서 보이며, 관개시설이 없어지거나 미진한 경지
	밭	보통, 특수작물	물을 대지 아니하고 식물을 재배하는 토지로 보통작물인 무, 배추, 시금치 등의 채소와 특수작물인 약초, 인삼, 담배, 대밭, 병발을 포함하며 휴농지 및 간작지를 포함함
		과수원 기타	과실수를 재배하는 토지로 사과, 배, 복숭아, 포도, 감, 밀감, 밤, 호두나무 등 과실수와 묘목밭(유실수, 관상수)을 포함
임지	초지	자연초지	자연적으로 조성된 초지로서 벌목지는 도화상에서는 자연초지로 구분을 하고 현지조사 당시의 상태로 재 구분함
		인공초지	축산과 낙농을 위해 사용되는 초지 및 이를 목적으로 인위적으로 조성한 초지와 도로의 절토부분의 공지 및 공사지역의 사면을 포함하고 목장의 경우 목초지가 있는 경우에 인공초지로 구분
	임목지	침엽수림	전체의2/3이상인 침엽수 위주로 이루어진 산림

대분류	중분류	소분류	정의(38개)
		활엽수림	전체의2/3이상이 활엽수 위주로 이루어진 산림
		혼합수림	침엽수 또는 활엽수가 혼재하는 산림
	기타	골프장	골프를 위하여 조성된 녹지와 해당 부대 시설
		유원지	위락, 휴양 등을 위한 놀이시설이 포함된 대규모 공원(도심지내 소규모 공원은 제외하고 면적이 (100X100 이하의 면적)을 포함함
		공원묘지	사설 또는 공공 공원묘지
		암벽 및 석산	산악지 및 해안가의 바위, 암벽 등을 포함
도시 및 주거지	주거지 및 상업지	일반주택지	5층 미만의 연립, 다세대 및 단독 주택지(단독 주택에 일부가 점포로 사용되는 경우에는 일반주택지에 포함)
		고층주택지	5층 이상의 공동주택으로 아파트 및 해당 부대시설(100x100이하의 면적)을 포함함
		상업, 업무지	상가, 시장, 서비스업 등 매매를 위한 건물이나 은행, 사무실등 업무용 건물이 자리하고 있는 지역 및 부속 주차공간(주택과 상업,업무용 건물이 혼재되어 판매가 어려운 경우 2/3이상의 용도를 차지하는 토지이용으로 일반주택지와 고층 주택지, 상업,업무지를 구분)
		나대지 및 인공녹지	주거 밀집지내 공도로 존재하는 나대지 및 도심지내 소규모 공원 및 녹지, 주거밀집지 및 도심지 내 소규모 공원 및 녹지, 인위적으로 조성된 초지
	교통 시설	도로	6m 이상의 고속도로 및 국도, 지방도, 시,군도와 갯길, 인도포함한 용지를 말하며, 고속 도로상의 휴게소는 도로 부대시설로 간주하고 그 외의 휴게소는 상업시설로 분류함
		철로 및 주변지역	복선 이상의 철로 및 부속용지
		공항	항공기 이착륙을 위한 활주로를 포함한 격납고, 승강장, 관제시설 등이 존재하는 지역
		항만	선박의정박과 물품을 하역하는 시설이 존재하는 지역으로 창고시설 등을 포함
	공업지	공업시설	제조업에 이용되는 토지 및 대규모 공업단지(상업시설과 공업시설이 혼재되어 있는 경우 2/3이상의 시설이 차지하는 토지이용으로 구분)
		공업나지,기타	공업지대 내에 아직 시설이 들어서지 않은 대지, 공장지대 또는 공업단지로 조성된 부지 중 아직 개발되지 않은 최소단위면적 이상의 나대지
	공공 시설물	발전시설	발전소, 변전소, 정류소, 저유조, LNG저장고 등의 발전시설 및 부속시설
		처리장	하수종말처리장, 취.정수장, 우수배제시설, 상수가압펌프장, 분뇨처리장, 폐수처리장 등과 해당 부속시설
		교육, 군사시설	학교와 학교부속시설, 교도소, 수용소, 군사교육시설, 교회수련원, 폐교인 경우에는 다른 용도로 사용하는 경우에는 해당 용도시설로 구분
		공공용지	도청, 시청, 군청, 구청, 기타 관청, 연구소(정부, 공공, 민간등), 병원, 용양소, 교회, 절, 경기장 등의 공공시설
	기타 시설	양어장,양식장	어류 및 어패류, 해조류 등을 양식하기 위해 사용하는 시설 및 용지
		채광지역	석재를 채취하는 지역 및 부대시설을 말함, 골재채취장의 경우에는 레미콘 공장이 있는 경우에는 채석장으로 구분하고 없는 경우에는 공업용지로 구분함
		매립지	폐기물 및 쓰레기 매립지와 집적장, 대규모 소각장
		광천지	지하에서 온수, 약수, 석유류등이 용출되는 용출구와 용출구의 유지를 위한 용지(온천, 광천수 등의 채굴과 유지관리를 위한 시설(온천공, 온수 탱크 등)만으로 판정하고, 위락시설, 복합시설(목욕탕, 놀이 동산)의 경우에는 사용목적에 따라 판정)
		가축사육시설	대단위 양계장, 축사, 폐축사 등이 밀집된 지역
수계	습지	갯벌	조수에 따라 그 범위가 달라질 수 있는 지역으로서 수시로 바닷물이 칠 수 있으며, 염분에 강한 식물들이 존재할 수 있는 지역으로 바닷가의 벌
		염전	바닷가에서 소금 생산에 이용되는 지역
	하천	하천	실폭하천 및 부속토지(일반적으로 하천에서 제방까지를 포함)
		호,소	물이 고여있는 저수지, 늪
	호소	댐	발전과 홍수 예방등을 목적으로 건설된 대단위 저수관제 시설로서 제방 상단의 폭이 6m이상인 조정지 댐과 부대 시설을 포함
	기타	백사장	바닷가의 모래(해변 또는 사빈)등

자료: 국토정보지리원 토지이용현황도 분류항목

2) 최적화 모델 구축 및 가상공간 적용

(1) 감축시나리오 최적화 모델의 배경 및 목적

도시지역에서 공간단위별 온실가스 감축을 통합 고려함으로써 개별 요소의 장단점을 상호 보완하고 효과성 및 효율성 증대할 필요가 있다. 도시는 온실가스 배출에의 기여도가 큰 반면 도시 계획적 관점에서의 온실가스 관리체계는 미흡하기 때문이다. 현재 건물의 온실가스 감축정책은 전체 건물 중 극히 일부인 공공기관 또는 신규건물에 집중되어 있다. 건물의 온실가스 감축정책을 기존 건물에 확대 적용할 때에 소유권, 용도와 규모, 구조 등에 따른 한계점이 복합적으로 발생하기 때문이다. 그러나 온실가스 감축을 특정 공간단위로 확대한다면, 도시 내 다양한 유휴지와 녹지 등을 활용함으로써 이러한 한계점을 보완할 수 있다. 도시 내 유휴지는 녹지대 또는 태양광 패널 등 온실가스 감축 옵션 적용을 위한 물리적 공간으로 활용하는 것이 가능하다. 또한, 도시 녹지는 온실가스 흡수원인 동시에 공간 내 열섬현상을 완화함으로써 에너지 수요를 저감하는 것이 가능하다.

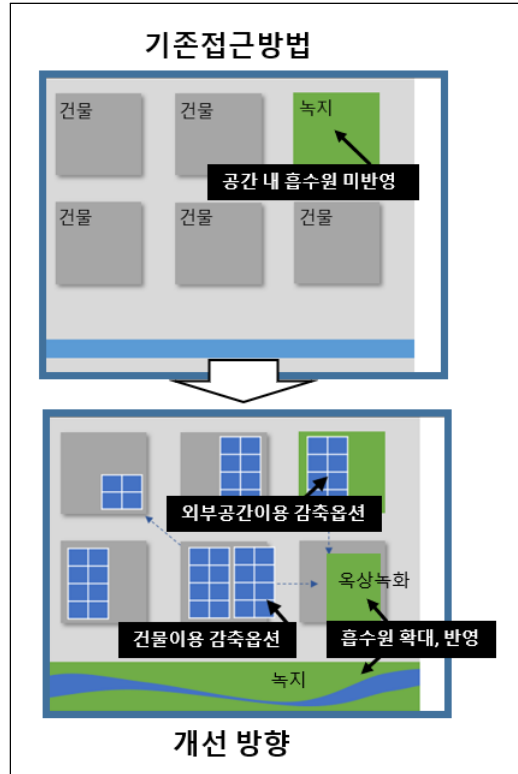
공간단위별 온실가스 감축을 추진하기 위해서는, 공간단위별 온실가스 배출량과 적용 가능한 감축기술의 성능과 비용, 잠재 감축량을 산정하여야 하는데, 이를 위한 데이터와 방법론이 미흡하다. 현재 국가수준에서 건물을 크게 상업과 가정으로 구분하여 온실가스 배출량과 감축잠재량 산정을 산정하고는 있으나 건물 용도별, 규모별 활동자료(에너지 소비량) 구축이 미흡하다. 뿐만 아니라 LULUCF(Land Use, Land-Use Change and Forestry) 분야 중 도시지역에 해당하는 정주지와 기타토지에 대한 온실가스 산정방법론이 아직 구축되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 이러한 데이터 및 방법론적 한계점을 고려하여, 일부 가상의 공간과 데이터를 구축한 다음, 건물과 외부공간의 온실가스 감축시나리오 최적화 모델을 개발하였다. 특정 공간단위에서 비용 대비 온실가스 감축효과를 최대화(또는 감축 목표를 달성할 수 있는)를 목표로, 온실가스 감축을 위해 고려해야 할 요소와 관련 데이터, 감축 옵션의 적용 원칙 등을 하향식(top-down)으로 구조화하였다. 현재 구축되지 않은 활동자료와 배출계수는 유사한 자료를 활용하거나 합리적 범위 내에서 구성된

가상의 데이터로 대체하였다.

해당 최적화 모델의 장점으로서 ①건물과 외부 공간간 각각에 적용 가능한 온실가스 감축옵션의 통합 고려, ②녹지대 조성과 같은 감축옵션에 대해 온실가스 감축과 흡수 효과를 함께 고려, ③제한된 물리적 공간 내에서의 감축옵션 간 상쇄효과(trade-off effect) 고려, ④공간 단위 내 온실가스 배출량과 흡수량을 종합한 순 배출량의 고려 등을 들 수 있다. 향후 도시지역의 건물, 외부공간 관련 데이터와 산정체계가 고도화되는 경우 다양한 실제 공간에 확대 적용함으로써 공간별 맞춤형 도시계획적 온실가스 관리 방향 제안이 가능할 것으로 판단된다.

그림 4-7 | 공간단위 내 온실가스 관리방향 제안

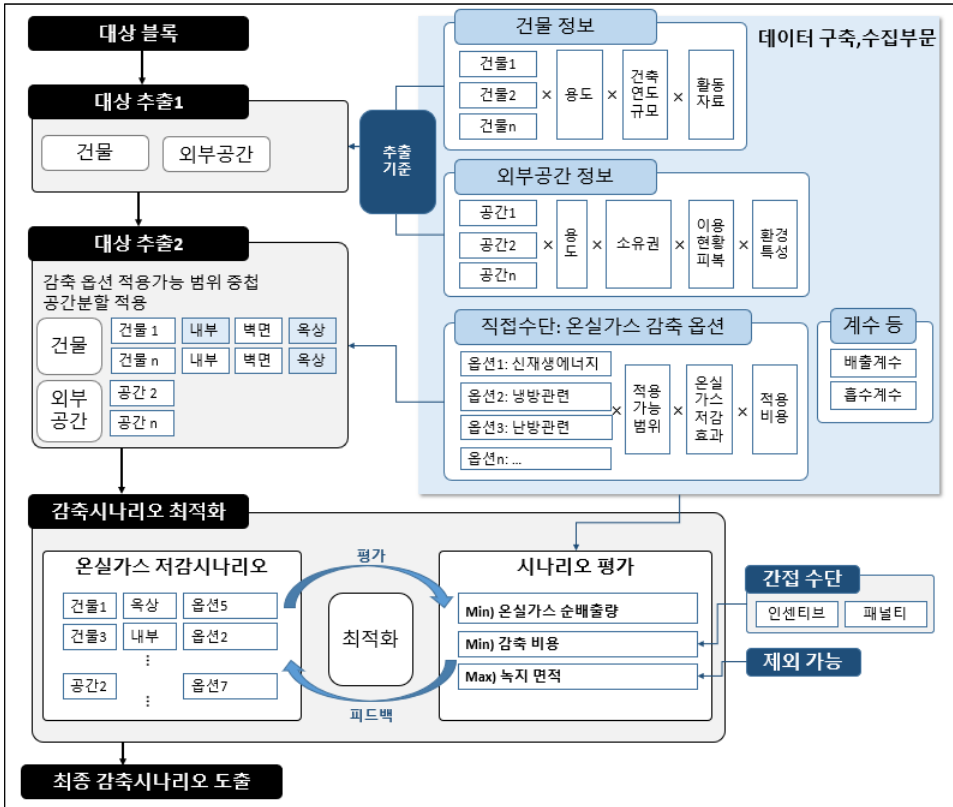


자료: 저자 작성

(2) 감축시나리오 최적화 모델 설계 및 개발

본 연구에서 설계한 감축시나리오 최적화 모델은 공간의 변화, 정책수단의 변화에 대응하여 시뮬레이션 할 수 있는 모델을 지향하였다. 예를 들어, 대상지가 변경되어 건물과 외부공간의 수, 각 건물의 규모와 구조적 특징이 변화하는 경우, 또는 온실가스 감축 관련 신기술이 개발되는 경우 모델의 구조적인 변경 없이 입력 자료만을 변경함으로써 시뮬레이션이 가능하도록 하였다. 모델의 개발과정에서 모델의 타당성과 퍼포먼스를 평가하기에 용이한 가상의 공간과 관련 데이터를 구축 및 적용하였으며, 다음으로는 3개의 실제 공간에 대해 시범 적용하였다.

그림 4-8 | 감축시나리오 최적화 모델 흐름도



자료: 저자 작성

가. 입력 데이터 구조

감축시나리오 최적화 모델에 입력되는 자료는 ① 건물 현황과 에너지 데이터, ② 외부공간 관련 데이터, ③ 기술카드(온실가스 감축옵션), ④ 관련계수로 구분된다. 감축시나리오 최적화모델의 구동을 위해서는 각 데이터가 사전에 정의된 구조에 부합하여야 한다. 구체적으로 관련 계수를 제외한 ①, ②, ③의 각 데이터는 $m \times n$ 의 행렬로 표현되는데, m 은 각 샘플의 수를, n 은 각 샘플이 지니고 있는 정보의 종류를 의미한다. m 은 대상이 되는 공간의 변화 또는 기술카드의 구성에 따라 변화하는 것이 가능한

반면, n 은 항상 고정되어 있다. 다음은 각 데이터별로 항상 확보해야 하는 정보의 종류, n 에 대해 서술하였다.

① **건물 현황과 에너지 데이터:** 건물관련 데이터는 건물 자체의 구조적 특징을 나타내는 데이터와, 건물의 에너지 소비량에 대한 데이터로 구분될 수 있다. 먼저, 건물의 구조적 특징을 나타내는 데이터의 경우 각 건물별 옥상면적(m^2)²⁾, 환경적 특성(1-10)³⁾, 지붕의 구조(1-3)⁴⁾, 건물의 연면적(m^2)으로 구성하였다. 다음으로 건물의 에너지 소비량은 연료별(전력 kwh, 도시가스 m^3), 월별(1-12월) 소비량으로 구성하였다. 입력 자료는 연료별, 월별 에너지소비량으로 구성되나, 최적화 모델의 자동 연산 과정에서 사전에 정의된 가설⁵⁾에 의하여 최적화 모델 내에서 전력-냉방, 전력-난방, 전력-기타(조명포함), 가스-난방, 가스-기타의 용도별로 구분된다.

② **외부 공간 현황:** 외부공간은 감축옵션이 적용 가능한 공간 중 물리적으로 연속된 공간을 하나의 외부공간으로 가정하였다. 외부공간 관련 데이터의 경우, 각 외부공간 별로 전체면적(m^2)⁶⁾, 환경적 특성(1-10)⁷⁾, 현재 피복/이용 현황⁸⁾, (녹지대가 조성된 경우) 수목의 연령⁹⁾의 정보가 구성되어야 한다.

2) 각 건물별 옥상면적은 최적화 연산과정에서 두 개의 공간으로 분할되며, 각 분할된 공간에는 다른 감축기술이 적용될 수 있다.

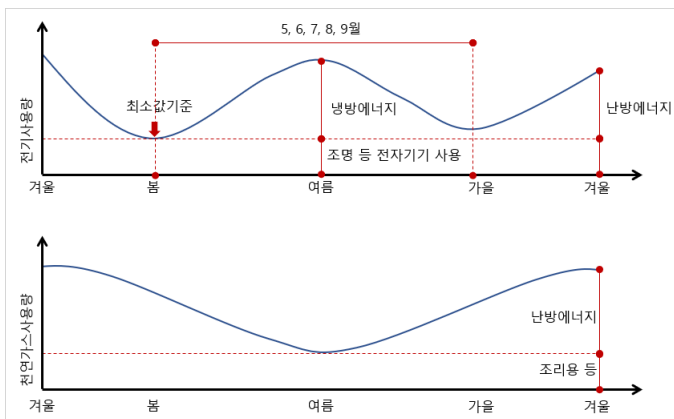
3) 여기에서의 환경적 특성이란 옥상 표면에 드는 일사량 정도를 의미하며, 1에서 10에 근접할수록 일사량이 커지는 것으로 가정하였다. 예를 들어 건물의 환경적 특성이 5인 경우, 기술카드 중 환경적 특성에 대한 최소요구치가 5이한 기술카드만 적용 가능하다. 해당정보는 기존에 구축된 자료가 아니며, 일반적으로 다수의 건물에 대한 옥상 표면의 일사량 자료가 필요한 경우 별도의 시뮬레이션이 필요하다.

4) 지붕의 구조는 크게 세 가지로 구성되는데, 1에서 3에 근접할수록 구조적으로 견고한 것을 의미한다. 기술카드 중 옥상녹화는 지붕 구조에 따라 도입 가능한 종류가 달라지므로, 지붕 구조에 대한 정보를 포함하도록 하였다. 예를 들어 건물의 지붕구조가 1인 경우, 기술카드(옥상녹화) 중 구조적 특성에 대한 최소요구치가 1인 기술카드만 적용 가능하다.

5) 봄, 가을의 전력 사용량을 기저 에너지 사용량(조명, 가전 등)으로 가정하고, 이를 초과하는 여름철 전력량을 냉방에 대한 것으로, 겨울철 전력량을 난방에너지로 산정하였다. 마찬가지로, 천연가스의 사용량 중 여름철 사용량을 기저 에너지 사용량(요리용 등), 이를 초과하는 가스 사용량을 난방에 대한 것으로 산정하였다.

③ **기술카드**: 기술카드 관련 데이터의 경우, 각 기술별로 기술의 분류(단열재, 창호, 히트펌프, 전기냉방기, 조명, 시스템, 신재생, 옥상녹화, 외부녹화), 효과의 분류(냉방, 난방, 조명, 기타, 발전, 흡수 등, 효과 수준(발전량, 에너지 절감률 등), 비용, 기준 단위면적¹⁰⁾, 환경적 요구도(일사량 등)¹¹⁾, 구조적 요구도(지붕 구조 등)¹²⁾에 대한 정보가 구성되어야 한다.

④ **관련 계수**: IPCC 가이드라인(IPCC 1996; 2006)과 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침(환경부고시 제2016-255호)에 따른 온실가스 배출 및 흡수 관련 수식과 계수를 이용하였다. 최근에는 정주지의 고유한 특성을 고려한 계수개발 연구와 제가 진행되고 있어 향후 고도화가 가능하다.



자료: 저자 작성

- 6) 각 외부공간의 면적은 최적화 연산과정에서 두 개의 공간으로 분할되며, 각 분할된 공간에는 다른 감축기술이 적용될 수 있다.
- 7) 건물과 마찬가지로 외부공간에 대한 환경적 특성 정보 역시 일사량의 크기를 의미한다.
- 8) 감축옵션이 적용한 외부공간으로서 나지(0), 혼효림(1), 침엽수림(2), 활엽수림(3)으로 구분된다.
- 9) 수목의 연령은 연(year)로 표현된다.
- 10) 기술카드에 따라 비용이 산정되는 단위가 상이하므로, 해당 정보를 포함하였다. 예를 들어, 냉방기는 50 m²당 1개가 도입되어야 한다면, 기준 단위면적은 50m²를, 비용은 50 m²에 1개소를 도입했을 때의 비용을 입력한다.
- 11) 해당 기술카드가 도입되기 위한, 일사량에 대한 최소 요구도를 의미한다.
- 12) 해당 기술카드가 도입되기 위한, 지붕의 견고함에 대한 최소 요구도를 의미한다.

나. 최적화 목표의 수치화

감축시나리오의 최적화모델은 다음의 세 가지 목표, ① 온실가스 순 배출량의 최소화, ② 감축옵션 적용비용의 최소화, ③ 공간 내 녹지면적의 최대화를 최대한 달성하기 위해 개별 건물과 외부공간에 최적의 기술카드를 할당하는 모델이다. 온실가스 순 배출량과 감축옵션 적용비용 부문은 필수적으로 반영해야 하는 목표인 반면, 녹지면적의 최대화 목표는 필요에 따라 선택적으로 반영할 수 있는 목표에 해당한다. 녹지는 도시의 유일한 온실가스 흡수원인 동시에 건강, 환경, 생태, 사회 부문에 다양한 서비스를 제공하는 대표적인 다기능 기반시설이다. 그러나 온실가스 순배출량과 적용비용의 측면에서만 녹지를 고려하면, 태양광 패널과 같은 다른 감축기술에 그 효과가 미미하기 때문에, 새로운 녹지의 도입 가능성이 낮을 뿐만 아니라 기존의 녹지가 제거되고 다른 감축기술이 도입되는 결과가 도출될 수 있다. 따라서 녹지면적의 최대화를 선택적으로 반영함으로써, 아직 정량화하기 어려운 녹지의 다양성 효용성을 확보하는 것도 가능하도록 설계하였다. 다음에서는 최적화의 세 가지 면적에 대한 명확한 정의와 관련 수식을 제시하였다.

$$\text{Minimize}(f_{co2}, f_{cost}, -f_{green}) \quad \langle \text{수식 1} \rangle$$

① 온실가스 순 배출량의 최소화(연간): 건물별 에너지 소비로 인해 발생하는 온실가스 배출량 합에서 건물옥상 또는 외부공간에 도입된 녹지대가 흡수하는 온실가스량을 제외한 순 배출량을 최소화하는 것을 의미한다.¹³⁾ 건물별로 적용되는 온실가스 감

13) (공간단위의 연간 순배출량 산정) u 는 개별 건물의 옥상(2분할), 시스템, 창호 등의 공간을 지칭하는 단위이다. α_u 는 공간 u 가 기존에 배출하고 있는 온실가스 배출량, $\beta_{m,j}$ 는 u 를 분할한 공간 또는 분야 m 에 감축옵션 j 적용했을 때 감축되는 온실가스 배출량, x_k 는 0 또는 1로 표출되는 변수로서 분할된 공간 m 에 하나의 감축옵션 j 가 적용될 수 있도록 하는 조절 변수이다. α_u (연료 연소에 의한 직접배출량, 전력 및 열사용에 의한 간접배출량, 녹지대 등에 의한 흡수량)와 $\beta_{m,j}$ 은 이산화탄소 등가계수를 적용하여 이산화탄소 상당량(Equivalent)으로 단일화하여 단위를 CO_{2e} (CO_2 equivalent)로 통일하였다.
또한 계산의 용이성을 확보하기 위해, u 에 하나의 감축옵션이 100% 적용되는 것으로 가정하였다.

축읍선에 따라 에너지 소비량이 감소하고, 그에 따른 온실가스 배출량 역시 감소하는 과정을 모두 반영하였다.

② **감축읍선 적용비용의 최소화**: 개별 건물과 외부공간에 적용된 감축읍선에 소요되는 총 비용의 합을 최소화하는 것을 의미한다. 14)

③ **녹지면적의 최대화(선택 가능)**: 개별 건물의 옥상에 도입된 옥상녹화의 면적, 외부 공간에 도입된 녹지대의 면적, 기존의 녹지면적의 합을 최대화 하는 것을 의미한다. 15)

$$f_{co2} = \sum_{u=1}^U \alpha_u - \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \beta_{m,j} x_j$$

14) (공간단위의 감축비용 산정) $\gamma_{m,j}$ 는 분할된 공간 또는 분야 m에 감축읍선 j를 100% 적용했을 때 발생하는 비용, x_k 는 0또는 1로 표출되는 변수로서 분할된 공간 m에 하나의 감축읍선 j가 적용될 수 있도록 하는 조절 변수를 의미한다. $Cost_j$ 는 감축읍선 j와 관련해 밝혀진 단위면적당 또는 개소 당 비용이며, AQ_m 은 분할된 공간 m의 면적 또는 분할된 공간 m에 적용하는 감축읍선 j의 수량을 의미한다.

실제 공간에서는 온실가스 감축을 유도하기 위한 정책적 수단으로서 인센티브 또는 페널티를 부여할 수 있기 때문에, 이를 반영하기 위한 변수 IC (incentive)와 PN (penalty)를 설정하였다.

$$f_{cost} = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \gamma_{m,j} x_j$$

$$\gamma_{m,j} = Cost_j \times AQ_m \times IC \cdot PN$$

15) (공간단위의 녹지면적 산정) $Area_m$ 은 분할된 공간 m의 면적, x_k 는 0또는 1로 표출되는 변수로서 녹지가 적용된 공간(외부공간 또는 건물 옥상)의 면적만 합산될 수 있도록 하는 조절 변수이다.

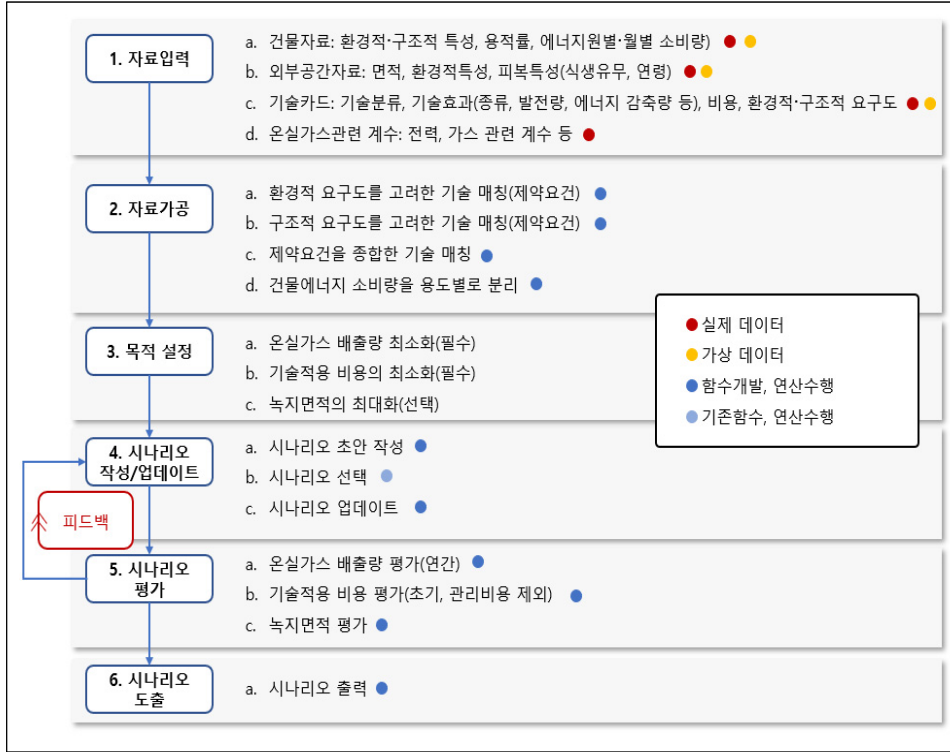
$$f_{green} = \sum_{m=1}^M Area_m x_m$$

다. 최적화 구조와 감축시나리오 출력

앞에서 서술한 데이터를 입력하면, 세 가지 최적화 목표를 달성하기 위해 건물과 외부공간에 최적의 감축옵션을 할당하는 감축시나리오의 최적화모델을 개발했다. 메타휴리스틱 알고리즘 중 가장 빈도높게 적용되고 있는 Deb et al. (2002)의 NSGA II(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II, 비지배정렬유전알고리즘)를 채택하여 본 연구에서 설계한 입력데이터와 최적화목표를 반영할 수 있는 구조로 수정하였다. 최적화 모델은 매틀랩(Matlab) 2020을 이용하여 프로그래밍함으로써 입력, 자료가공, 감축 시나리오 작성 및 업데이트, 감축 시나리오 평가, 최종 감축 시나리오 도출 전 과정을 자동화하였다..

전체의 연산 단계는 크게 ① 감축시나리오(안)의 구성, ② 온실가스 순배출량, 감축옵션 적용비용, 녹지면적 평가, ③ 감축시나리오 선택, ④ 감축시나리오의 수정으로 구분되며, ②, ③, ④의 선순환 과정을 자동적으로 반복하고, 최종적으로 가장 좋은 감축시나리오를 출력한다.

그림 4-9 | 감축 시나리오 최적화 과정



자료: 저자 작성

모든 최적화 시뮬레이션에서 최적의 감축시나리오가 50개씩 도출되도록 설정하였다. 최적화 목표가 ‘온실가스 순배출량의 최소화’, ‘감축옵션 적용비용의 최소화’의 두 가지로 설정하는 경우에는 50개의 다양한 감축옵션 적용비용 수준에서 온실가스 순배출량을 최소화할 수 있는 감축 시나리오(감축옵션 포트폴리오)가 도출되는 것으로 해석할 수 있다. 마찬가지로 최적화 목적에 ‘녹지면적의 최대화’ 까지 포함하는 경우에는 50개의 다양한 비용수준과 녹지면적 규모에서 온실가스 순배출량을 최소화하기 위한 감축 시나리오가 도출된다.

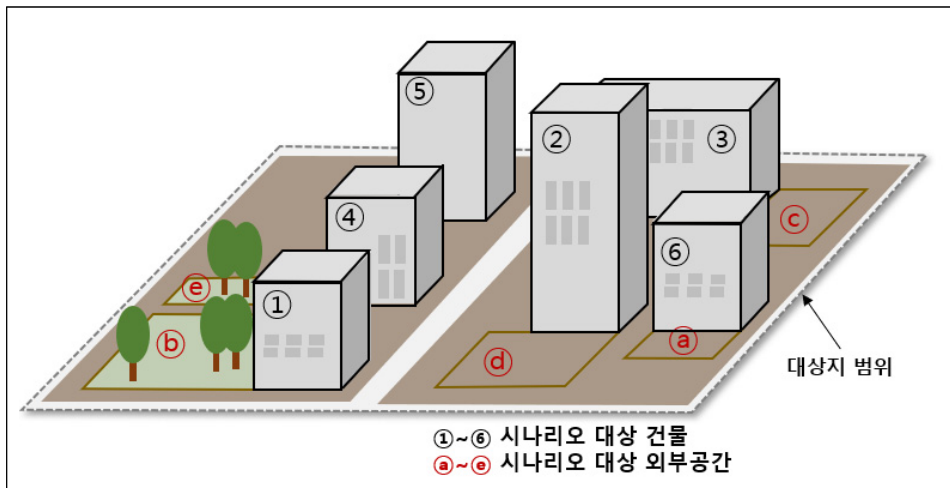
최종 도출된 50개의 감축 시나리오는 선택하기 위한 하나의 대안이 될수 있으며, 의사결정과정을 지원하기 위한 대안의 축소가 요구되는 경우에는 대표성 있는 대안을

선정하거나, 복수의 감축시나리오를 중첩하는 방식 등을 통해 소수의 대안으로 축소하는 것이 가능하다. 그러나 본 연구에서는 감축시나리오를 축소하는 부문은 제외하였으며, 예시로서 하나의 감축시나리오를 선정하여 감축옵션의 구성과 그 퍼포먼스를 고찰하였다.

(3) 감축시나리오 최적화 모델의 가상공간 적용

감축시나리오 최적화 모델을 개발하는 과정에서 대상지와 필요한 입력데이터를 가상으로 구축하여 사용하였으며, 적용 후 최적화 모델에 환류하는 과정을 반복하였다. 가상의 공간은 6개의 건물과 5개의 외부공간으로 구성되었다. 6개의 각 건물에 현재 적용된 감축옵션은 없는 것으로 가정하였고, 5개 외부공간 중 2개의 외부공간에는 녹지대가 조성되어 있는 것으로 가정하였다. 앞서 입력데이터의 구조 부문에서 설명하였듯이, 개별 건물의 옥상과 외부공간은 동일한 면적의 공간 두 개로 분할하였으며, 각 분할된 공간에서는 서로 다른 감축옵션이 적용될 수 있도록 하였다.

그림 4-10 | 감축 시나리오 최적화 모델 개발을 위한 가상의 공간 설계



자료: 저자 작성

각 건물은 입력자료의 구조 부문에서 설명한 것과 같이, 개별 건물에 대해 옥상면적, 환경적 특성 등 사전에 정의된 데이터 정보가 입력되도록 하였다. 옥상면적, 연면적 등은 가상의 공간에 배치한 건물별 규모를 고려하여 구성하였으며, 환경적 특성과 구조적 특성은 해당 범위 내에서 무작위적으로 할당하였다. 5개의 개별 건물에 대해 전력과 천연가스의 월별 소비량 역시 실제 데이터를 참고하여 가상으로 구성되었으며, 각 자료는 최적화 모델 내에서 용도별 소비량으로 변환되어 입력되었다.

표 4-11 | 감축 시나리오 최적화 모델 개발을 위한 가상의 건물 데이터

번호	건물				에너지				
	옥상면적 (㎡)	환경적 특성* (1-10)	구조적 특성** (1-3)	연면적 (㎡)	전력 냉방 (kwh)	전력 난방 (kwh)	전력 기타 (kwh)	가스 난방 (㎡)	가스 기타 (㎡)
1	100	3	1	1000	월별 에너지사용량에 기초하여 자동 연산				
2	100	5	1	2000					
3	200	7	2	2000					
4	100	8	2	1999					
5	100	8	2	1500					
6	100	6	1	1000					

* 환경적 특성: 일사량의 수준으로서 1에서 10에 가까워질수록 일사량이 많아짐

** 구조적 특성: 지붕의 구조를 의미하며 1에서 3에 가까워질수록 견고함

자료: 저자 작성

외부공간 자료 역시 외부공간별로 사전에 정의된 데이터 정보가 입력되도록 하였다. 가상의 공간에서 배치한 외부공간별 규모와 피복 상태를 고려하여 가정하였으며, 환경적 특성은 해당 범위 내에서 무작위적으로 할당하였다.

표 4-12 | 감축 시나리오 최적화 모델 개발을 위한 가상의 외부공간 데이터

번호	외부공간			
	면적 (㎡)	환경적 특성* (1-10)	현재 피복/이용 현황**(0-3)	수종 및 평균수령(연)
a	100	3	0	0
b	500	4	1	10
c	200	5	2	20
d	300	5	0	0
e	150	5	3	30

* 환경적 특성: 일사량의 수준으로서 1에서 10에 가까워질수록 일사량이 많아짐

** 현재 피복/이용현황: 0 나지 1 혼효림 2 침엽수 3 활엽수

자료: 저자 작성

수집된 300개의 감축기술 카드에서 22개를 선정하여 가상의 공간에 적용할 수 있는 것으로 감축옵션으로 가정하였다. 건물부문의 감축옵션은 크게 7개(단열, 창호, 히트 펌프(난방), 전기냉방기(냉방), 조명, 시스템, 신재생에너지 등)로 분류될 수 있는데, 각 분류 별로 대표성, 효과성, 완결성(누락이 없는)을 고려하여 2~3개의 옵션을 선정 하였고, 여기에 건물의 옥상에 도입 가능한 ‘옥상녹화’, 외부공간에 도입할 수 있는 ‘외부녹화’ 옵션을 추가했다. 일부 감축 옵션은 정보가 누락되어 있는 경우가 발생하 였는데, 유사한 옵션의 정보에 기초하여 가정하였다.

아래의 <표 4-13>에서 19-21번 감축옵션에 해당하는 옥상녹화는 순서대로 저관리 경량형, 혼합형, 관리 중량형을 의미한다. 19번 저관리 중량형은 구조적 제약이 있거 나 유지관리가 어려운 건물에 적용하는 옥상녹화 유형으로서 토심 20cm 이하의 토양 에 지피식물이 주로 식재된다. 21번 관리 중량형은 구조적 문제가 없는, 주로 신축인 건물에 적용하는 유형으로, 토심 20cm 이상의 토양에 지피식물, 관목 등이 다양하게 다층으로 식재될 수 있다. 20번 혼합형은 저관리 경량형과 관리 중량형의 혼합형으로 서, 옥상녹화 요구도는 높으나 중량형 옥상녹화의 적용은 어려운 건물에 토심 10~30cm 내외의 토양에 지피식물과 일부 키 작은 관목이 식재된다. 즉, 옥상녹화를 도입하는 데에는 건물 지붕의 구조를 고려해야 한다. 건물관련 데이터에서 각 건물별

구조적 특성(지붕의 견고함)을 3단계로 표현되기 때문에 감축옵션에는 구조적 특성에 대한 최소 요구 수준을 같은 3단계로 표현하여 서로 매칭될 수 있도록 하였다.

또한, 22번 외부녹화의 경우, 온실가스 흡수효과가 상대적으로 좋은 것으로 알려진 20년생 활엽수를 가정하였다. 국립산림과학원(2013, 1)의 탄소흡수량 국가표준에 따르면 1ha의 20년생 활엽수는 연간 약 16.08 tCO₂를 흡수하는 것으로 평가되었다.¹⁶⁾

16) 1ha의 20년생 침엽수는 평균 10.14 tCO₂를 흡수하며, 같은 활엽수더라도 10년생, 30년생은 각각 1ha 당 10.36 tCO₂, 12.14 tCO₂를 흡수함

표 4-13 | 감축 시나리오 최적화 모델 개발을 위한 감축옵션 데이터

구분		효과			비용			
번호	분류	효과 분야	발전량 (kwh)	에너지 절감률 (%)	원단위 비용 (만원)	기준 단위 (㎡, 개소)	환경적 요구도 ^a	구조적 요구도 ^b
1	단열재	냉난방	-	5	2.5	1	0	0
2	단열재	냉난방	-	10	4	1	0	0
3	단열재	냉난방	-	6	3	1	0	0
4	창호	냉난방	-	7	5	1	0	0
5	창호	냉난방	-	8	7	1	0	0
6	히트펌프	난방	-	100	3000	100	0	0
7	히트펌프	난방	-	70	1200	100	0	0
8	히트펌프	난방	-	80	2500	100	0	0
9	전기 냉방기	냉방	-	5	500	50	0	0
10	전기 냉방기	냉방	-	30	700	50	0	0
11	조명	조명	-	60	9.7	10	0	0
12	조명	조명	-	45	6.1	10	0	0
13	시스템	냉난방, 조명, 기타	-	8	0.5	1	0	0
14	시스템	냉난방, 조명, 기타	-	12	1.8	1	0	0
15	시스템	냉난방, 조명, 기타	-	14	3.9	1	0	0
16	신재생	발전	3000	0	200	3	4	0
17	신재생	발전	3200	0	220	3	5	0
18	신재생	발전	3500	0	250	3	6	0
19	옥상녹화	냉난방	-	5	30	1	0	1
20	옥상녹화	냉난방	-	7	50	1	0	2
21	옥상녹화	냉난방	-	10	100	1	0	3
22	녹지대	흡수	-	0	50	4	3	0

a. 감축옵션을 설치할 때에 환경적 특성(일사량)에 대한 최소 요구도로서 1~10의 10단계로 표현되며, 1에서 10에 가까워질수록 많은 일사량이 필요함을 의미한다. 예로서 16번 신재생에너지 옵션은 최소 4단계 이상의 일사량이 있는 곳에만 설치될 수 있음을 의미한다.

b. 감축옵션을 설치할 때에 구조적 특성(일사량)에 대한 최소 요구도로서 1~3의 3단계로 표현되며, 1에서 3에 가까워질수록 견고한 지붕구조가 필요함을 의미한다. 예로서 20번 옥상녹화 옵션은 최소 2단계 이상의 견고한 건물 옥상에만 설치될 수 있음을 의미한다.

자료: 저자 작성

본 연구에서는 최종적으로 가상의 공간에 적용한 결과 정리하였는데, 최적화 목표의 구성에 따라 시뮬레이션1(녹지면적 고려 없음), 시뮬레이션2(녹지면적 최대화 고려)로 구분된다. 각 시뮬레이션에서는 50개의 최적의 감축 시나리오가 도출되었다. 시뮬레이션에 소요되는 시간은 공간의 규모에 따라 다를 수 있으나, 수십 초에서 수분 내이다.

표 4-14 | 가상의 공간에 대한 시뮬레이션 정보

구분	최적화 목적			출력
	온실가스 순배출량	감축옵션 적용비용	녹지면적	
시뮬레이션1	○	○	×	50개 최적의 감축 시나리오
시뮬레이션2	○	○	○	50개 최적의 감축 시나리오

자료: 저자 작성

50개의 감축시나리오 각각에는 건물별/부문별, 외부공간별로 할당된 특정 감축기술의 목록과 함께 공간단위에서의 연간 온실가스 순 배출량과 온실가스 감축옵션의 초기 적용 비용, 총 녹지면적 등이 함께 제공된다. 제한된 물리적 공간 내에서 온실가스 배출량과 비용의 최소화, 녹지면적의 최대화 목적은 서로 상충되기 때문에, 이용자가 어느 목적에 어느 정도의 가중치를 두느냐에 따라 50개 중 선택되는 감축시나리오는 달라질 수 있다. 예로서 감축 부문에 비용을 많이 투입할수록 배출량은 줄어드는데, 이것은 ‘배출량 최소화’와 ‘비용 최소화’ 목적 간의 상쇄관계가 발생을 의미한다. 원하는 비용 수준이 있는 경우, 그 내에 포함되는 감축시나리오를 선택할 수 있으며, 비용에 관계없이 온실가스 배출량을 최소화하는 것이 가장 중요하다면 온실가스 배출량이 가장 적은 감축시나리오를 선택할 수 있을 것이다.

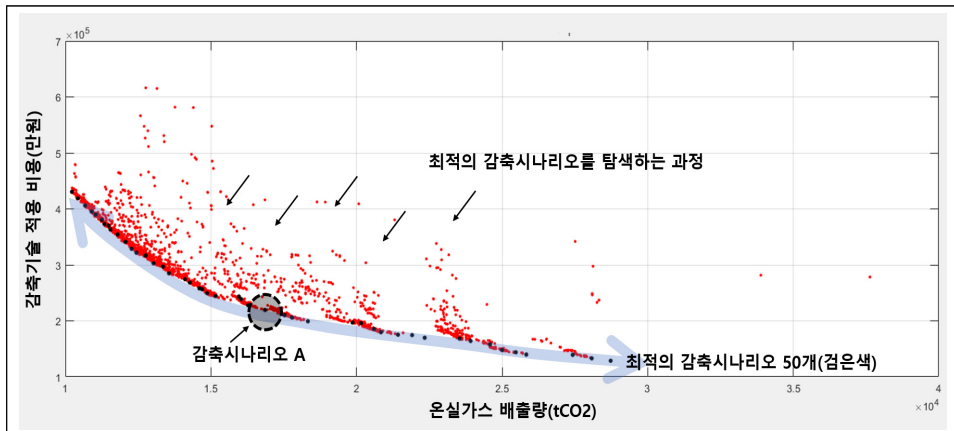
가. 최적화 감축시나리오 결과 1

가상의 공간에 대해 온실가스 순배출량의 최소화, 감축옵션 적용비용의 최소화 목적

을 반영한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다. 아래의 그림에서 나타난 개별 붉은색 점은 최적화 과정에서 탐색된 감축시나리오를 의미하며, 검은색 점은 최종적으로 선택된 50개의 감축시나리오를 의미한다. 최종 선택된 최적의 감축시나리오는 각각의 비용 수준에서 온실가스 순 배출량을 최대한 줄일 수 있는 감축옵션의 조합으로 구성되었다.

온실가스 순 배출량은 연간 1.0에서 2.8만 tCO_{2e} 범위에서, 감축기술 적용비용은 12억에서 62억원의 범위에서 나타났다. 대부분의 감축시나리오가 감축옵션 적용 이전의 연간 온실가스 순 배출량 5.4만 tCO_{2e}의 절반 이상 감축하는 것으로 나타났다.

그림 4-11 | 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 결과(녹지 고려 안함, 퍼포먼스)



자료: 저자 작성

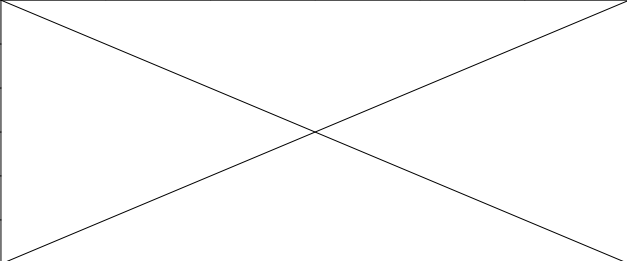
50개의 감축시나리오 중 하나(그림 4-11 중 A)를 선택하여 감축옵션의 구성 특징과 초기비용 수준, 연간 온실가스 순 배출량을 분석하였다. 감축시나리오A의 연간 온실가스 순배출량은 1.7만 tCO_{2e} 정도로 감축옵션 적용 이전보다 약 3.7만 tCO_{2e}을 감축할 수 있는 것으로 나타났으며, 이때의 감축옵션 적용비용은 22억 원 정도 소요된다. 건물 및 외부공간별 감축옵션의 구성을 살펴보면, 태양광발전 등의 신재생에너지 기술이 대부분의 건물 옥상과 일부 외부공간에 적용된 것으로 나타났다. 또한, 탄소 흡수원인 녹지대의 경우 건물 옥상에는 도입되지 않았으나 일부 외부공간에는 도입되었다.

표 4-15 | 가상공간에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지 고려 안함)

구분	값	감축시나리오 A
기존 온실가스 순배출량(만tCO _{2e} /년)	5.41	5.41
감축후 온실가스 순배출량(만tCO _{2e} /년)	1.00~2.80	1.69
감축량(만tCO _{2e} /년)	2.31~4.41	3.72
감축 비중	42.7%~81.5%	68.80%
감축기술 적용비용(억)	12억 ~ 62억	21.9억

자료: 저자 작성

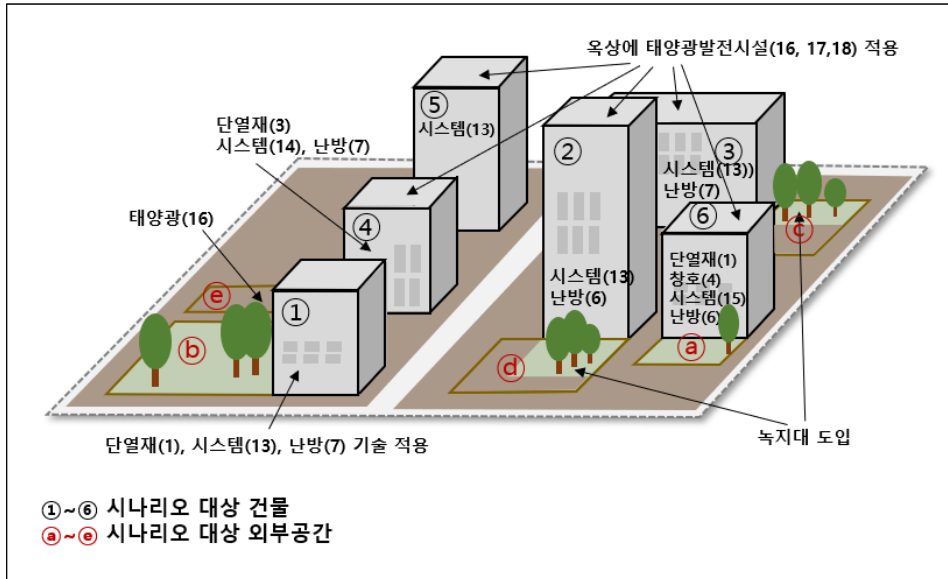
표 4-16 | 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 A(녹지 고려 안함)

건물	옥상1*	옥상2*	단열재	창호	시스템	난방	냉방	조명
건물1	0	0	1	0	13	7	0	0
건물2	0	16	0	0	13	6	0	12
건물3	16	17	0	0	13	7	0	12
건물4	16	17	3	0	14	7	0	12
건물5	18	18	0	0	13	0	0	12
건물6	17	17	1	4	15	6	0	12
외부	분할1*	분할2*						
외부1	22	22						
외부2	0	0						
외부3	22	0						
외부4	22	0						
외부5	16	16						

* 입력데이터에서는 하나의 공간이지만, 최적화 과정에서 같은 규모의 두 공간으로 분할하고 각 공간을 감축옵션과 매칭함으로써 온실가스 감축옵션 적용의 유연성을 확보하였다.

자료: 저자 작성

그림 4-12 | 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 A(녹지 고려 안함)

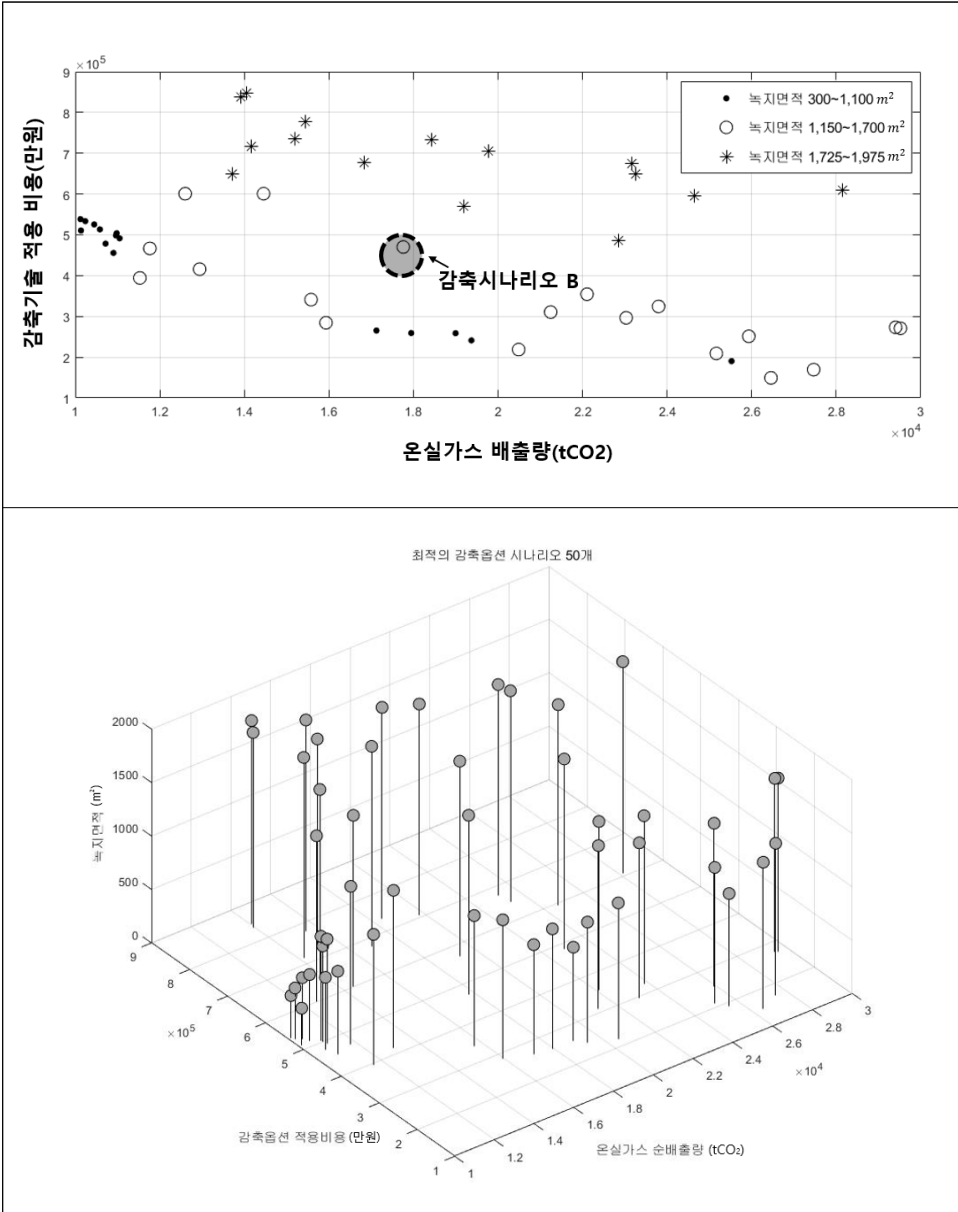


자료: 저자 작성

나. 최적화 감축시나리오 결과 2

가상의 공간에 대해 온실가스 순배출량의 최소화, 감축옵션 적용비용의 최소화, 녹지면적의 최대화 목적을 반영한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다(시뮬레이션1에 녹지면적의 최대화 목적을 추가). 50개의 감축시나리오는 연간 온실가스 순 배출량의 경우 연간 1.0에서 3.2만 tCO_{2e} 범위에서, 감축기술 적용비용은 15억에서 8.8억 원 범위에서 나타났다. 대부분의 감축시나리오가 감축옵션 적용 이전의 연간 온실가스 순 배출량인 5.4만 tCO_{2e}에서 적어도 40% 이상 감축하는 것으로 나타났다.

그림 4-13 | 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 결과(녹지면적 고려, 퍼포먼스)



자료: 저자 작성

50개의 감축시나리오 중 하나(그림 4-13 중 B)를 선택하여 감축옵션의 구성 특징과 초기비용 수준, 연간 온실가스 순 배출량을 분석하였다. 감축시나리오B의 연간 온실가스 순배출량은 1.8만 tCO_{2e} 정도로 감축옵션 적용 이전보다 약 3.6만 tCO_{2e}을 감축할 수 있는 것으로 나타났으며, 이때의 감축기술 적용비용은 45억 원이 소요되었다. 감축시나리오A와 비교하였을 때, 탄소 흡수원인 녹지대가 많이 도입된 것으로 나타났다. 6개 건물 중 절반인 3개 건물의 옥상에 옥상녹화가 적용되었고, 외부 공간은 6개 전체에 녹지가 보전 또는 도입되어 공간 전체 기준으로는 1,650㎡의 녹지가 확보되었다¹⁷⁾. 이것은 시뮬레이션2(감축시나리오 B)에서 공간단위 내에서 녹지면적을 최대화하는 목적을 반영한 데 따른 결과로 해석하였다.

표 4-17 | 가상공간에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지면적 고려)

구분	값	감축시나리오 B
기존 온실가스 순배출량(만tCO _{2e} /년)	5.41	5.41
감축후 온실가스 순배출량(만tCO _{2e} /년)	1.0~3.2	1.77
감축량(만tCO _{2e} /년)	2.21~4.41	3.64
감축 비중	40.9%~81.5%	67.28%
감축기술 적용비용(억)	15억 ~ 88억	45.1억

자료: 저자 작성

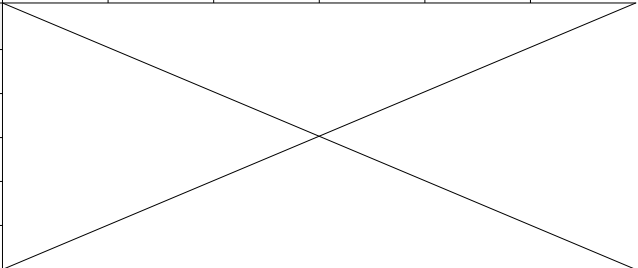
감축시나리오 B의 온실가스 순배출량은 감축시나리오 A(시뮬레이션 1)와 유사한 수준이나, 감축기술의 적용비용은 약 두 배 이상이 소요되는 것으로 나타났다. 감축시나리오 A에 따르면, 공간단위에서 온실가스 순배출량을 줄이기 위해서는 태양광발전 같은 신재생에너지 시설을 설치함으로써 기존의 전력소비를 절감하는 것이 매우 효과적인 전략이다. 그러나 감축시나리오 B에서 녹지면적 확충을 별도의 목적으로 고려하면서, 신재생에너지 시설의 설치할 수 있는 공간 중 상당부분에 녹지가 도입되었다. 즉, 감축시나리오 B에서는 신재생에너지 시설의 설치가 축소된 상황에서 감축시나리오 A

17) 대상공간 중 의사결정을 할 수 없는 영역에서의 녹지면적이 200㎡ 포함된 것으로 가정하였으므로, 의사결정이 가능한 공간 내(건물 6개소 외부공간 5개소)에 한정하면 1,450㎡의 녹지가 확보된 것으로 해석할 수 있다.

만큼의 온실가스 감축효과를 위해 건물 내에 더 많은 감축옵션이 적용되었고, 그로 인해 감축옵션 적용비용이 큰 폭으로 상승한 것으로 해석했다.

이것은 온실가스의 감축과 비용에만 중점을 두는 경우, 녹지를 확대하는 전략은 경제성이 다소 낮다는 것을 의미한다. 그러나 이것은 도시 녹지의 다양한 혜택 중 탄소의 흡수만을 고려한 데에서 기인한 것이다. 도시 녹지의 다양한 혜택을 정량화하여 반영한다면, 녹지의 경제적 효과가 어느 정도 보정될 수 있을 것으로 예상된다. 예를 들어, 도시의 외부공간이나 옥상에 도입된 녹지는 도시 열섬(urban heat island)을 완화시키는 효과가 있어 여름철 전력소비를 저감할 수 있으나, 본 연구에서는 연구의 내용적 범위와 정량화의 어려움 등을 고려하여 연구에서 제외하였다.

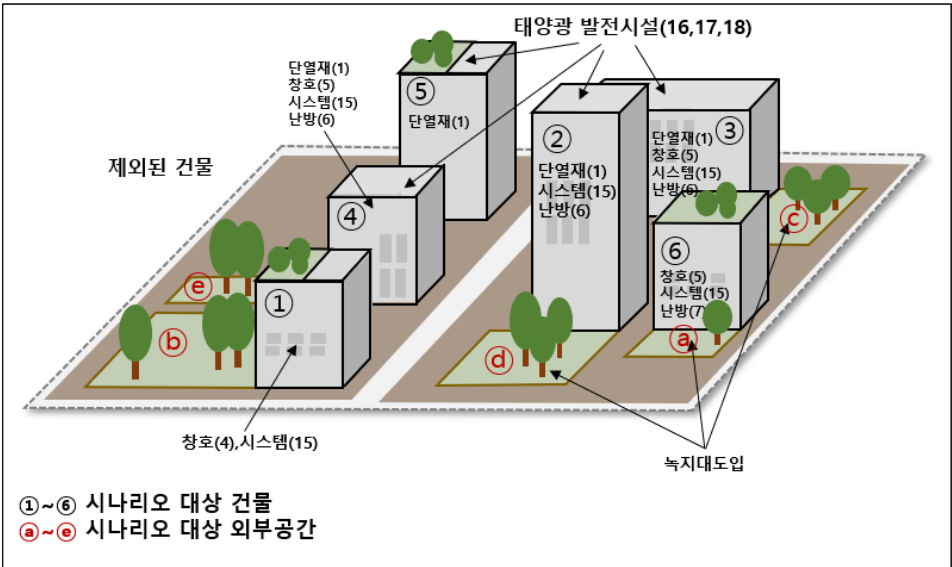
표 4-18 | 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 B(녹지면적 고려)

건물	옥상1*	옥상2*	단열재	창호	시스템	난방	냉방	조명
건물1	0	19	0	4	15	0	0	11
건물2	17	17	1	0	15	6	0	12
건물3	16	18	1	5	15	6	0	11
건물4	18	16	1	5	15	6	0	0
건물5	17	20	1	0	0	0	0	11
건물6	19	19	0	5	15	7	0	12
외부	분할1*	분할2*						
외부1	22	22						
외부2	0	0						
외부3	22	22						
외부4	22	22						
외부5	0	0						

* 입력데이터에서는 하나의 공간이지만, 최적화 과정에서 같은 규모의 두 공간으로 분할하고 각 공간을 감축옵션과 매칭 함으로써 온실가스 감축옵션 적용의 유연성을 확보하였다.

자료: 저자 작성

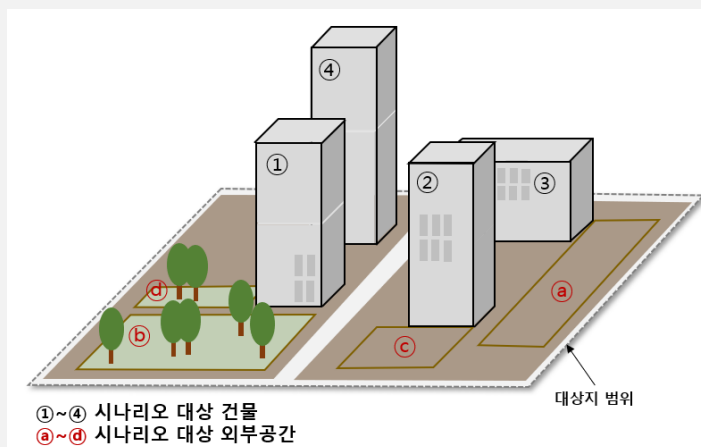
그림 4-14 | 가상공간에 대한 최적의 감축 시나리오 B(녹지면적 고려)



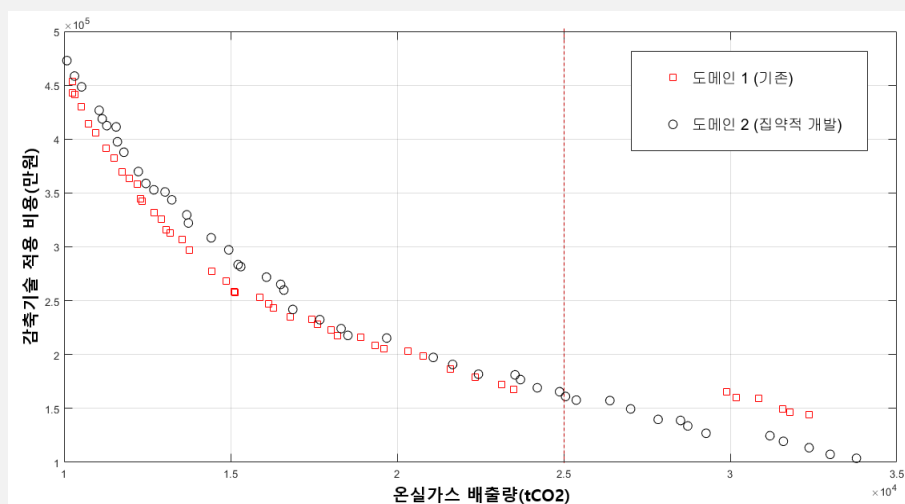
자료: 저자 작성

※ (참고사항) 집약적 개발에 따른 감축시나리오 변화 비교

(집약적 개발을 가정한 가상공간) 가상의 공간단위에서 2개의 건물을 제거하는 대신 다른 건물의 용적을 높이는 것(연면적은 동일하게 유지)을 가정하여 50개의 최적의 감축시나리오를 도출하였음 이에 따라 기존의 가상공간에서 확보한 외부공간 1,250㎡ 보다 넓은 1,650㎡의 외부공간을 확보함



(녹지를 고려하지 않은 시뮬레이션 결과) 연간 온실가스 순배출량 2.5×10^5 CO_{2e} 이상의 수준에서는 집약적 개발을 하는 경우, 같은 양의 온실가스 감축하는데 더 적은 비용이 소요됨. 반면, 연간 온실가스 순배출량 2.5×10^5 CO_{2e} 이하 수준에서는 집약적 개발을 하는 경우 일부 더 많은 비용이 소요될 수도 있음.



3) 실제 서울시 공간 적용

감축시나리오 최적화 모델을 3곳의 실제 공간에 시범 적용하였다. 건물과 외부공간 관련 데이터는 실제 데이터에 근거하여 사전에 정의된 구조에 맞도록 가공되었다. 환경적특성은 기 구축된 자료가 없으므로 무작위적으로 할당하였다. 또한 감축 옵션(기술카드) 관련 데이터는 가상의 공간에서 적용된 22개의 감축옵션 정보를 그대로 적용하였다. 앞서 설명하였듯이 감축옵션 정보 중 누락된 부분은 가정하였기 때문에, 개별 시뮬레이션 결과의 수치(온실가스 순배출량, 감축옵션 적용비용) 자체에 중점을 두기보다는 대상지간 특성에 따른 차이, 감축옵션 할당 특성 등에 중점을 둘 필요가 있다.

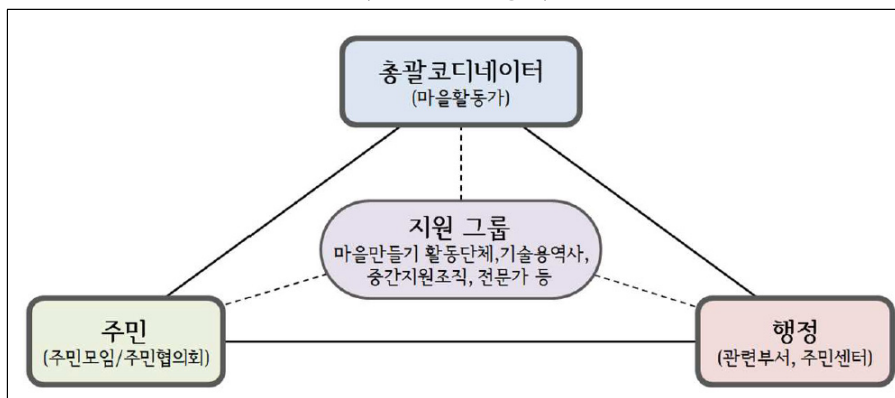
감축시나리오 최적화 모델 적용 대상지로서, 정부의 그린뉴딜 정책기조에 맞춰서 새뜰마을사업 대상지 및 노후공동주택 리모델링 추진단지를 선정하였다. 우선 사회적 약자층의 주거공간에 대한 에너지성능을 제고하여 에너지복지를 향상시키고 주거환경 및 삶의 질을 향상시키는 차원에서 새뜰마을사업 대상지를 적용 대상으로 선정하였다. 아울러 현재 공공시설 중심으로 추진되고 있는 그린리모델링을 민간 시장으로 확대하기 위하여 실제 리모델링을 추진하고 있는 민간아파트단지를 대상으로 그린리모델링으로의 전환을 유도하기 위해 민간의 노후공동주택 리모델링 추진단지를 적용대상으로 선정하였다.

〈참고: 새뜰마을사업¹⁸⁾〉

- 새뜰마을사업은 최저 주거기준 미달 수준의 생활환경 취약지역에 대해 기초생활인프라를 정비하고 노후된 주택환경을 개선하며 일자리·복지 등 마을공동체 활성화를 도모하는 사업임
 - 단기적으로는 재해위험, 위생환경, 주택상태 등 취약환경을 개선하고 주민참여를 통한 마을만들기 기반을 구축하고자 함
 - 중장기적으로는 사업 이후에 지속가능한 지역재생이 활성화될 수 있도록 함
- 주거환경개선사업, 주택 재개발 사업, 도시재생 뉴딜사업 등 기존의 지원사업과는 달리 종합적 지원사업, 주민참여 사업, 민·관 협력사업 이라는 성격을 가짐
 - 실질적 주거여건 개선을 위해 기존 관련 사업에서 지원되지 않은 집수리 지원사업 및 마을공동체

- 지원사업을 지원
- 계획수립, 지역 문제점 및 개선사항 발굴, 일자리 창출 등 모든과정에 주민참여
 - 비영리 단체(민간기업, 공공기관의 사회공헌사업, 해비타트 등)의 활동을 적극 유도
- 빈곤계층이 밀집하고 주거환경 및 인프라가 취약한 지역을 대상으로 선정지원되며, '13년도 전국 354개 달동네·쪽방촌에 대한 생활실태 조사 결과를 바탕으로 선정된 3개 조건 중 2개 항목 이상이 해당하는 지역을 위주로 함
- 4m 미만의 불량도로에 접한 주택 비율이 50% 이상
 - 30년 이상 노후주택 비율이 70% 이상
 - 하수도, 도시가스 미설치 비율이 30% 이상
- 5가지 사업유형에 대해 지원됨
- 안전확보 : 산사태, 상습침수 등 안전을 위협하는 재해예방사업, 노후시설 보수, CCTV 설치 등
 - 생활·위생인프라 정비 : 상하수도 정비, 재래식 화장실 개량, 공동생활공간 조성 등
 - 일자리·문화, 복지 등 휴먼케어 : 일자리 창출, 육아보육, 청소년 상담, 소외계층 취업, 노인돌봄, 건강관리 등 마을공동체 활성화사업 지원
 - 노후·위험주택 정비 : 주거여건 개선, 노후불량주택 안전문제 개선 등 지원
 - 주민역량강화 : 주민공동체 활성화, 주민참여 확대, 사업이후 자활 등을 위한 주민역량 강화 지원
- 총괄코디네이터와 지원 그룹이 전문가로서의 역할을 수행하며 마스터플랜을 직접적으로 수립하고, 지역 주민은 주민협의회 등을 통해 사업에 참여하며 행정부서가 사업의 시행자 역할을 수행함

〈사업추진조직 구성 예〉



자료: 임정민 외(2016, 95)

〈참고: 노후공동주택 수직증축 리모델링 실증사업¹⁹⁾〉

- 국토교통기술 연구개발사업의 일환으로 노후 공동주택의 리모델링 활성화를 위한 비용 고효율 기술개발 및 실증단지 구축을 통하여 국민 주거환경 개선과 유지관리 대의 새로운 건설시장을 창출하기 위하여 2015년 7월 착수한 '저비용 고효율의 노후공동주택 수직증축 리모델링 기술개발 및 실증 연구단'에서 노후 공동주택 수직증축 리모델링 실증을 위한 단지를 공모·선정하여 실증하는 사업
- 실증단지 공모 내용
 - '설계진행단지'와 '착공예정단지'의 2개 유형으로 구분하여 선정
 - 선정된 수직증축 리모델링 사업 단지에 대해 단지조건을 고려한 실증기술 적용 협상을 통해 다음의 국가 R&D 과제의 기술 적용 및 검증에 소요되는 예산 및 공공목적에 필요한 단지 지원 예산을 지원

〈실증단지 공모사업 내용〉

사업명	과제명	총 연구기간	실증단지 유형	정부출연금(천원)	공고 기간
주거환경 연구사업	저비용·고효율의 노후 공동주택 수직증축 리모델링 기술개발 및 실증	'15.07~'22.07 (총8개년차)	노후 공동주택 2~3개층 수직증축 리모델링 사업	최대 6,800,000 이내 ※ 2020년(3,180,000) 2021년(2,180,000) 2022년(1,440,000)	60일

자료: 아주대 산학협력단(2019, 1)

- 금년 상반기에 공모를 통해서 설계진행단지 2곳과 착공예정단지 1곳이 선정됨
 - 설계진행단지: 삼전 현대아파트, 등촌 부영아파트
 - 착공예정단지: 잠원 한신로얄아파트
- 착공예정단지는 이미 설계가 완료되어 착공이 예정되어 있기 때문에 변경 불가능하지만 설계진행단지는 향후 설계에 반영이 가능하므로 리모델링을 그린리모델링으로 추진시 효과를 분석하고 실제 설계에 참고하도록 유도하기 위해 설계진행단지로 선택함이 바람직함

18) '새들마을사업(주거 취약지역 개조사업) 안내'에서 주요내용 발췌

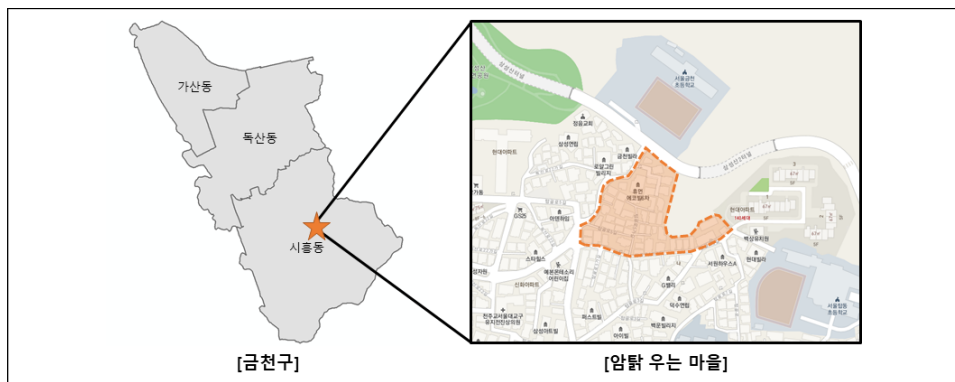
19) 아주대 산학협력단(2019)에서 주요 내용 발췌

(1) 새뜰마을사업 대상지: 금천구 시흥5동 (암탉 우는 마을)

가. 대상지 개요

금천구 시흥5동의 새뜰마을사업은 2017. 1월부터 2020. 12월까지 4년간 진행되는 사업으로 위치는 서울특별시 금천구 시흥5동 218번지 일대이다(금천구청 2017, 1). 약 10,000㎡(제1종일반주거지역) 규모에 사업비 2,457백만원(국비 1,720, 시비 221, 구비 516)을 투입하여 생활환경 개선, 주거환경 개선, 주민역량 강화 및 마을 공동체 확대 등을 추진하고 있으며, 사업은 금천구청 경제환경국 도시재생과에서 담당하고 있다(전계서, 1).

그림 4-15 | 암탉 우는 마을 위치도



자료: 저자작성

사업대상지는 10년간 재정비촉진구역으로 지정되었으나 장기간 방치된 후 2016년 12월 해제됐다. 69가구의 148명이 대상지역에 거주하고 있는데 기반시설이 전무하여 주거환경이 열악하다. 특히 4m 미만의 불량도로에 접한 주택 비율이 68%이며, 30년 이상 노후주택 비율이 70%이다(전계서, 1).

새뜰마을사업 내용은 크게 다섯 가지 방향, ① 안전확보(노후시설(축대, 담장 등) 보수, CCTV 및 방범시설물 설치 등), ② 생활·위생인프라 정비(다목적 커뮤니티시설

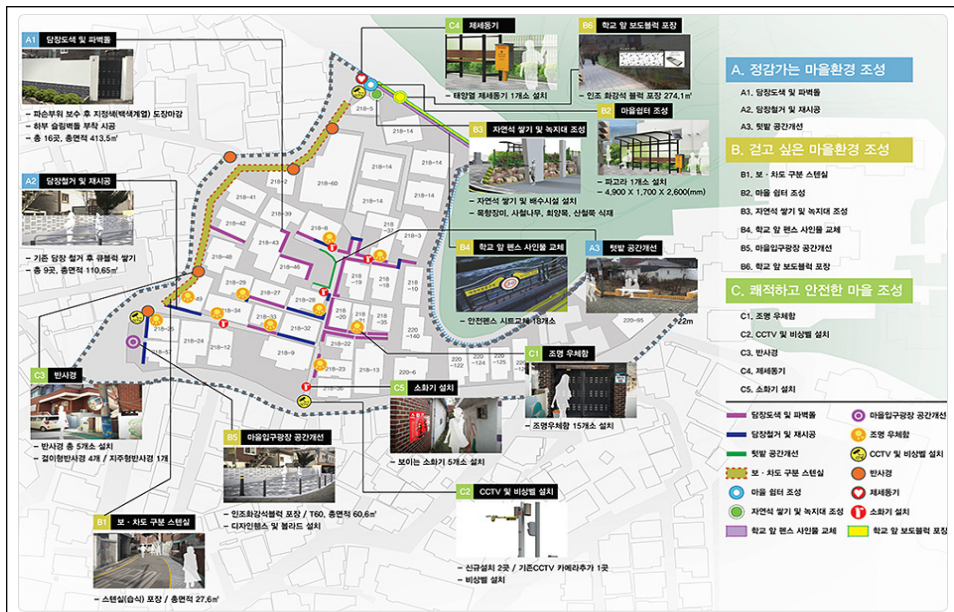
조성, 생활기반시설 설치·개량 등), ③휴먼케어(공동체 활동을 통한 마을개선, 사회적 경제 활성화 등), ④주택정비지원(주거여건 개선, 노후불량주택 안전문제 개선 등), ⑤주민역량강화(주민공동체 활성화, 주민참여 확대, 주민역량 강화 지원 등)으로 추진 되고 있다(전계서, 1).

표 4-19 | 새들마을사업(암탉 우는 마을) 추진 경과

연도	추진내용
2017	사업대상지역 선정 이후 주민설명회, 현장 컨설팅 등 진행
2018	마스터플랜수립용역 착수, 기초현황조사 및 설문조사, 주민설명회(4회) 및 주민워크숍(5회) 개최, 꽃심기 등 주민참여 프로그램 운영, 집수리 지원사업 시행 등
2019	마을활동가 채용, 디자인 기본 및 실시설계 용역 수행, 마스터플랜 변경, 주민참여 프로그램 운영(캘리그라피, 도자기, 생태공예, 독서지도 운영), 기록화사업 용역 착수 등
2020	주민공동이용시설 부지 매입 및 설계용역 진행 중

자료: 금천구청(2017)을 토대로 저자 정리

그림 4-16 | 암탉 우는 마을(금천구 시흥5동) 새들마을 사업 계획 도면(2019.11.29. 기준)

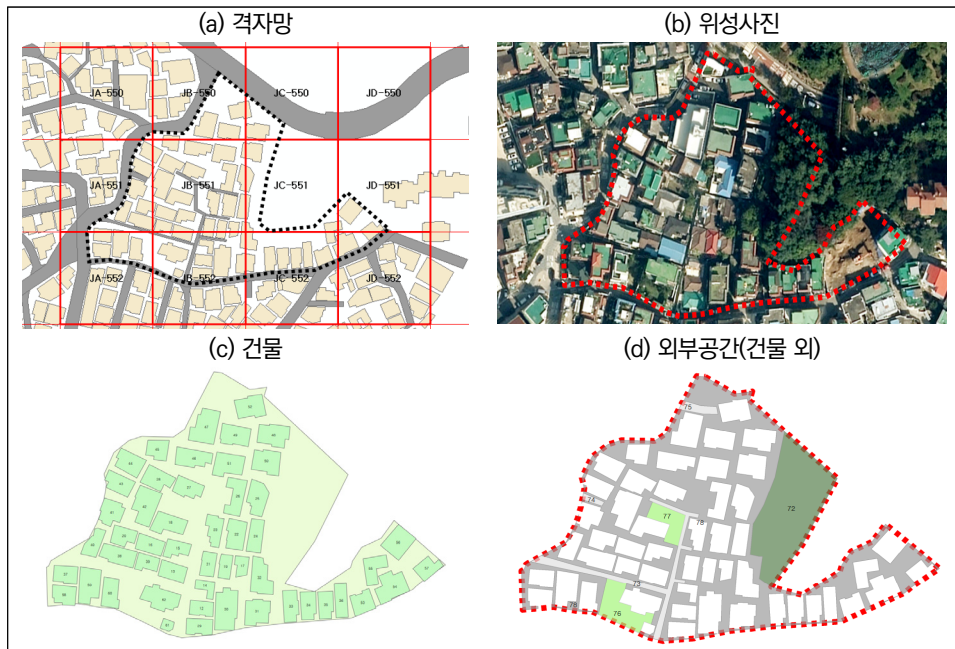


자료: 금천구청 홈페이지(2020.10.08. 검색, <https://www.geumcheon.go.kr/portal/contents.do?key=898>)

나. 대상지 적용

대상지에 포함되는 건물은 49개이나, 이 중 거주하지 않거나 데이터 오류 등으로 인해 전력데이터가 확보되지 않은 6개의 건물을 제외한 43개의 건물을 대상으로 하였다. 감축옵션이 적용될 수 있는 외부공간은 총 6개소, 8,904㎡가 추출되었다. 구체적으로는 건물주변의 포장된 공간, 도로의 일부, 기존에 조성된 침엽수림 등이 포함되었다.

그림 4-17 | 대상지1: 금천구 새들마을 사업대상지

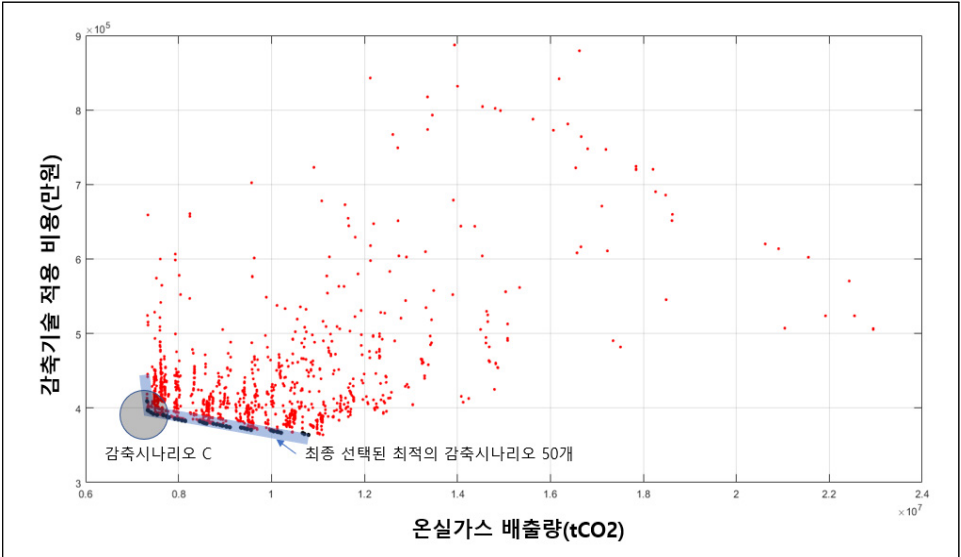


자료: (a),(b),(d) 저자작성; (c) 카카오맵(map.kakao.com)

연간 온실가스 순배출량 최소화, 감축옵션 적용비용의 최소화를 반영한 시뮬레이션 결과, 최종 선택된 50개의 감축시나리오는 연간 온실가스 순배출량이 6백만 tCO_{2e}에서 24백만 tCO_{2e} 범위에서, 감축옵션 적용 비용은 30억에서 90억원 범위에서 나타났다.

감축옵션을 적용하기 이전의 온실가스 순배출량이 5.3 천만 tCO_{2e}임을 고려했을 때, 모든 감축시나리오에는 적어도 3 천만 tCO_{2e} 이상 감축할 수 있는 것으로 나타났다. 특이 사항으로서, 감축시나리오 C(7.3 백만 tCO_{2e}, 40억원)에서 변곡점이 나타났는데, 이는 온실가스를 7.3 백만 tCO_{2e} 이하로 감축할 때, 감축량 당 단위비용이 기하급수적으로 급증함을 의미한다.

그림 4-18 | 새뜰마을 사업 대상지 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려 안함)



자료: 저자작성

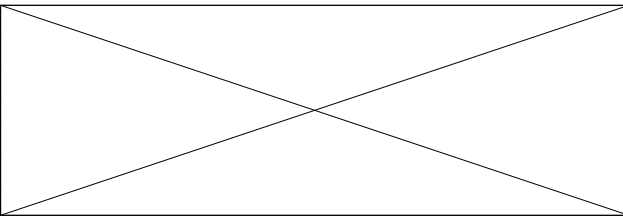
표 4-20 | 대상지1에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지면적 고려 안함)

구분	값	감축시나리오 C
기존 온실가스 순배출량(백만tCO _{2e} /년)	53	53
감축후 온실가스 순배출량(백만tCO _{2e} /년)	6 ~ 24	7.3
감축량(백만tCO _{2e} /년)	29 ~ 47	45.7
감축 비중	55%~89%	86.2%
감축기술 적용비용	30억 ~ 90억	40억

자료: 저자작성

표 4-21 | 새뜰마을 사업 대상지 최적의 감축 시나리오 C(녹지 고려 안함)

건물	옥상1*	옥상2*	단열재	창호	시스템	난방	냉방	조명
건물1	16	16	2	4	13	7	0	11
건물2	20	0	0	5	15	7	9	12
건물3	16	16	1	4	15	6	0	12
건물4	0	0	0	0	14	6	0	0
건물5	19	19	0	0	15	6	9	11
건물6	17	16	1	4	14	6	0	12
건물7	0	18	3	4	15	6	10	0
건물8	0	0	1	5	14	7	10	0
건물9	0	0	2	4	15	6	9	11
건물10	20	18	1	4	0	6	10	11
건물11	18	0	0	4	15	7	9	12
건물12	0	19	0	4	13	0	9	11
건물13	0	19	0	5	0	7	10	0
건물14	0	0	3	0	15	7	10	12
건물15	17	20	2	4	15	6	10	12
건물16	17	17	3	4	13	7	9	0
건물17	16	20	2	0	13	8	10	12
건물18	19	19	3	4	15	6	10	12
건물19	18	19	3	4	14	6	10	12
건물20	18	0	1	0	13	0	0	12
건물21	16	0	0	4	15	6	9	12
건물22	19	16	0	5	13	6	0	11
건물23	19	16	0	4	15	6	10	0
건물24	17	18	1	4	14	6	0	12
건물25	16	16	2	0	15	6	0	12
건물26	16	17	2	5	14	6	0	12
건물27	18	19	1	4	15	6	0	0
건물28	0	16	0	4	15	6	0	12
건물29	0	17	1	0	15	6	9	0
건물30	16	0	0	0	15	6	0	11
건물31	16	16	2	0	15	6	0	0
건물32	16	17	0	5	15	6	0	0
건물33	17	0	3	0	15	6	0	0
건물34	17	16	3	0	13	6	0	0
건물35	0	17	3	0	15	6	0	11
건물36	17	17	3	0	13	6	0	0
건물37	18	16	1	4	15	6	0	12
건물38	17	18	1	5	14	6	10	11
건물39	0	0	0	5	0	0	0	0
건물40	0	18	1	4	13	0	10	0
건물41	16	0	0	4	0	0	9	12
건물42	17	16	3	0	0	6	9	11
건물43	16	17	2	5	14	7	9	12

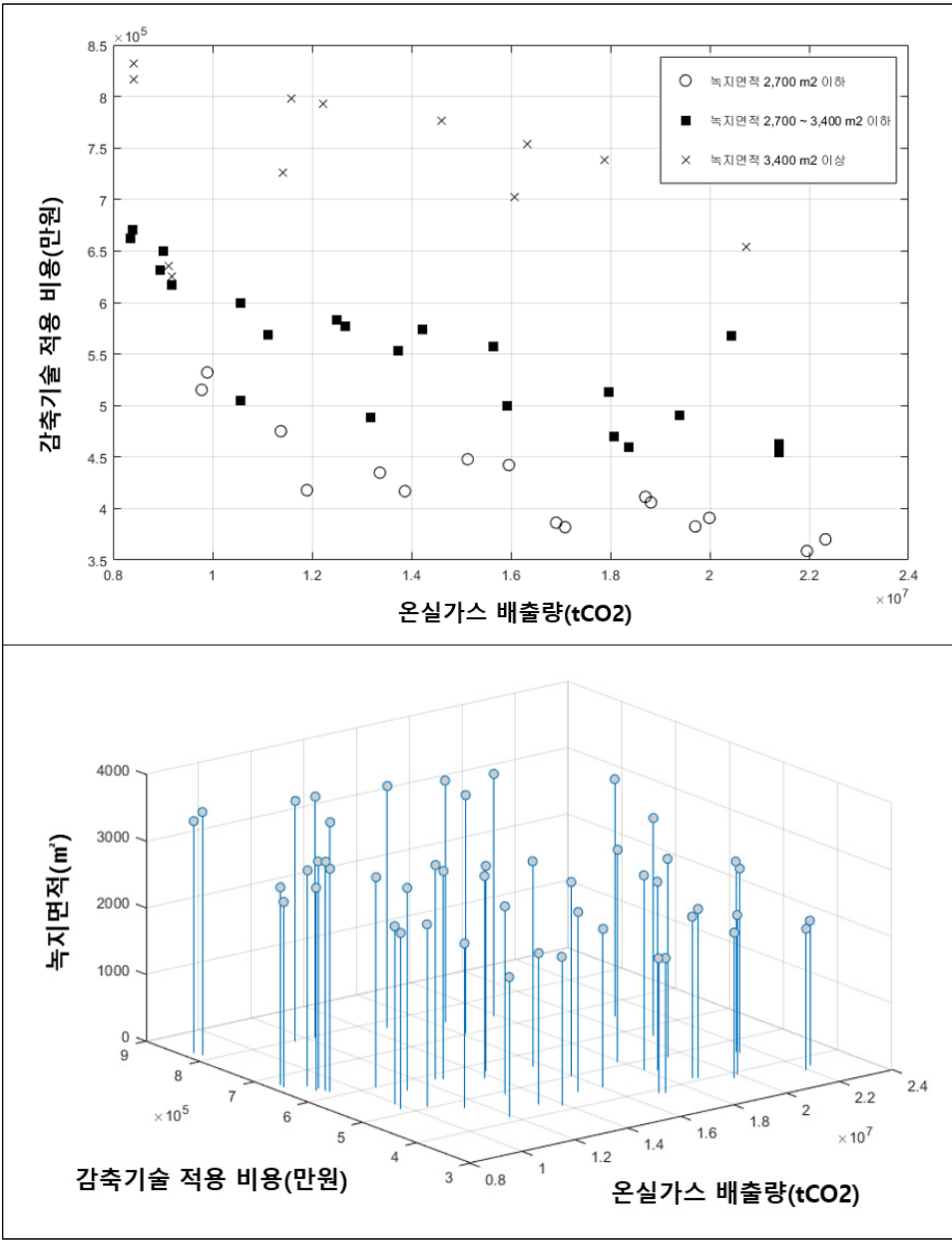
외부	분할1*	분할2*	
외부1	0	0	
외부2	0	22	
외부3	22	0	
외부4	22	16	
외부5	0	16	
외부6	0	0	

* 입력데이터에서는 하나의 공간이지만, 최적화 과정에서 같은 규모의 두 공간으로 분할하고 각 공간을 감축옵션과 매칭 함으로써 온실가스 감축옵션 적용의 유연성을 확보하였다.

자료: 저자작성

위의 시뮬레이션에 녹지면적의 최대화까지 반영한 결과, 최종 선택된 50개 감축시나리오의 감축옵션 적용비용의 범위와 연간 온실가스 순배출량 증가하는 방향으로 크게 변화했다. 가상공간에 적용한 결과와 같이, 녹지면적의 확충에 비례하여 온실가스 순배출량과 적용옵션 감축비용이 증가하는 것으로 나타났다.

그림 4-19 | 새뜰마을 사업 대상지 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려)



자료: 저자작성

(2) 노후공동주택 수직증축 리모델링 실증단지①: 삼전 현대아파트

가. 대상지 개요

삼전 현대아파트의 대상지 개요는 다음과 같다.

표 4-22 | 대상지2(삼전 현대아파트) 개요

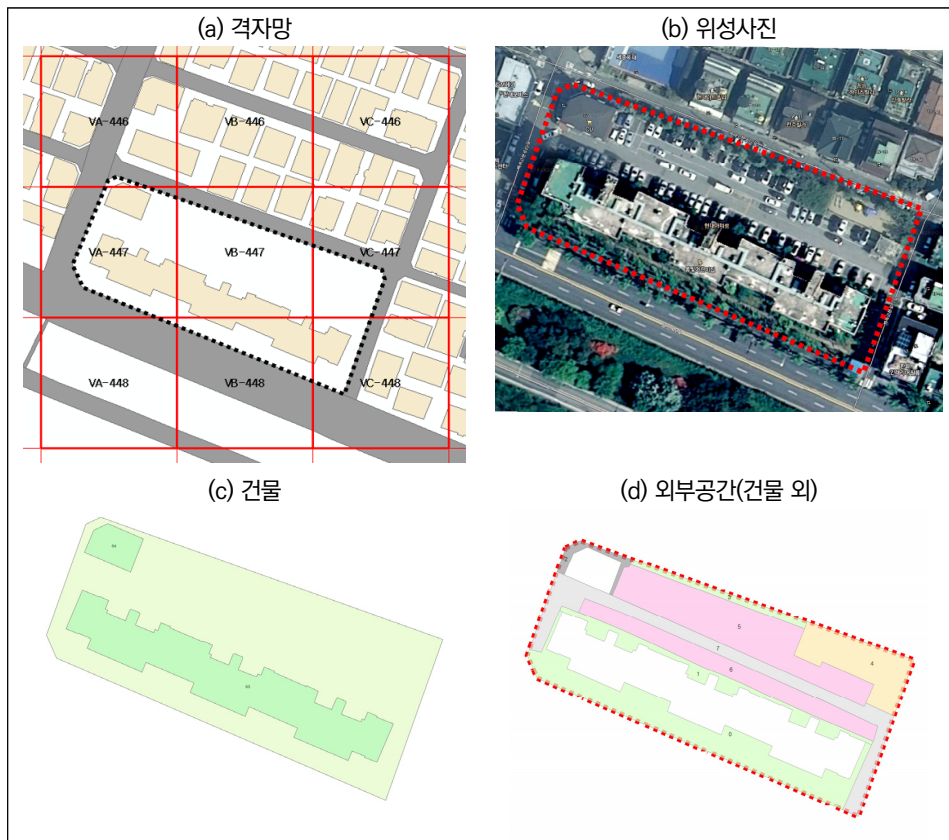
항목	내용
실증단지 공모유형	설계진행단지
위치	서울 송파구 삼전동
준공시점	1989년(31년 경과)
지역/지구	제2종 일반주거지역
대지면적/연면적	5,086.80m ² / 12,995.36m ²
용적율/건폐율(%)	222.03 / 24.96
세대수	120세대
규모(층수)	지하 1층/ 지상 10층 (1개동)
세대당 주차대수	0.45대(총 54대)
리모델링사업 진행단계	시공사 선정 완료 후 1차 안전진단 준비 중
최종허가(착공) 예상시점	2022년 하반기 예정
시공사	GS건설
단지전경	

자료: 노후공동주택 수직증축리모델링 연구단(아주대학교) 내부자료(2020)

나. 대상지 적용

대상지에 포함되는 건물은 2개이며, 공통적으로 가스사용량에 대한 데이터가 누락되어 전력사용에 대해서만 시뮬레이션을 적용했다. 외부공간은 총 7개소. 5,087㎡가 추출되었다. 구체적으로는 건물주변의 포장된 공간, 놀이터 및 도로 일부, 완충 초지, 주차장 일부 등이 포함되었다. 실제 완충초지의 경우 광합성의 과정에서 온실가스를 일부 흡수할 수 있으나 그 구체적인 양 등에 대해서는 알려진 바가 미흡하여 흡수량 산정에는 제외되었다.

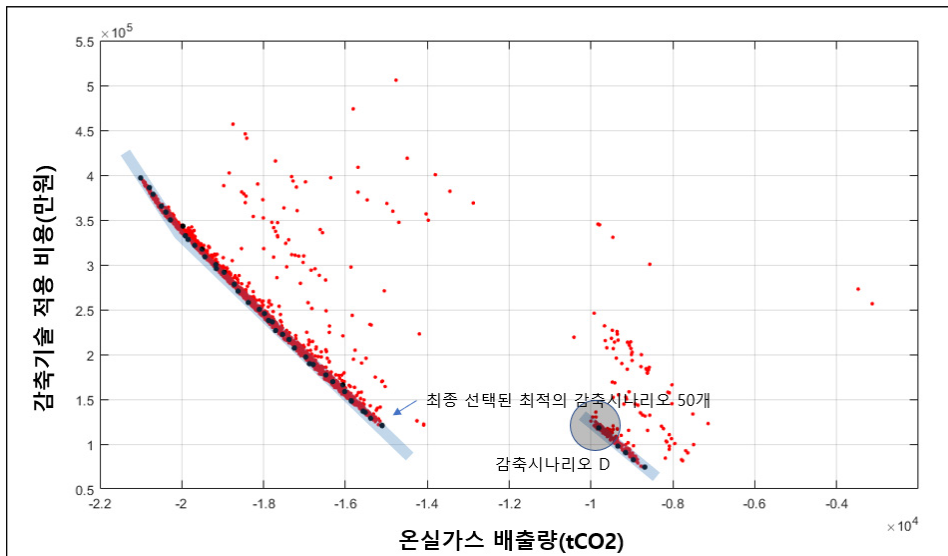
그림 4-20 | 대상지 2: 송파구 삼전동 삼전 현대아파트



자료: (a),(b),(d) 저자작성; (c) 카카오맵(map.kakao.com)

연간 온실가스 순배출량 최소화, 감축옵션 적용비용의 최소화를 반영한 시뮬레이션 결과, 최종 선택된 50개의 감축시나리오의 연간 온실가스 순배출량이 -2.1만 tCO_{2e} 에서 -9천 tCO_{2e} 범위에서 나타났는데, 음의 값은 에너지 소비량보다 생산량이 더 많아 실제 온실가스 배출이 발생하지 않은 것으로 해석될 수 있다. 감축옵션 적용 비용은 7.4억원에서 40억원 범위에서 나타났다. 감축옵션을 적용하기 이전의 온실가스 순배출량은 749 tCO_{2e}으로, 다른 대상지에 비해 배출량이 적은 반면 신재생에너지를 도입하기 위한 공간은 충분한 데 영향을 받은 것으로 판단된다. 또한 다른 대상지와는 달리 데이터 구축 미비의 문제로 전력에 대한 소비량만을 반영했음을 고려할 필요가 있다.

그림 4-21 | 삼전 현대아파트 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려 안함)



자료: 저자작성

표 4-23 | 대상지2에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지면적 고려 안함)

구분	값	감축시나리오 D
기존 온실가스 순배출량(tCO _{2e} /년)	749	749
감축후 온실가스 순배출량(tCO _{2e} /년)	- (9,000~21,000)	-10,000
감축량(tCO _{2e} /년) (플러스에너지)	9,749 ~ 21,749	10,749
감축 비중	1,300%~2,300%	1,435%
감축기술 적용비용	7.4억 ~ 40억	12억

자료: 저자 작성

표 4-24 | 삼전 현대아파트 최적의 감축 시나리오 D(녹지 고려 안함)

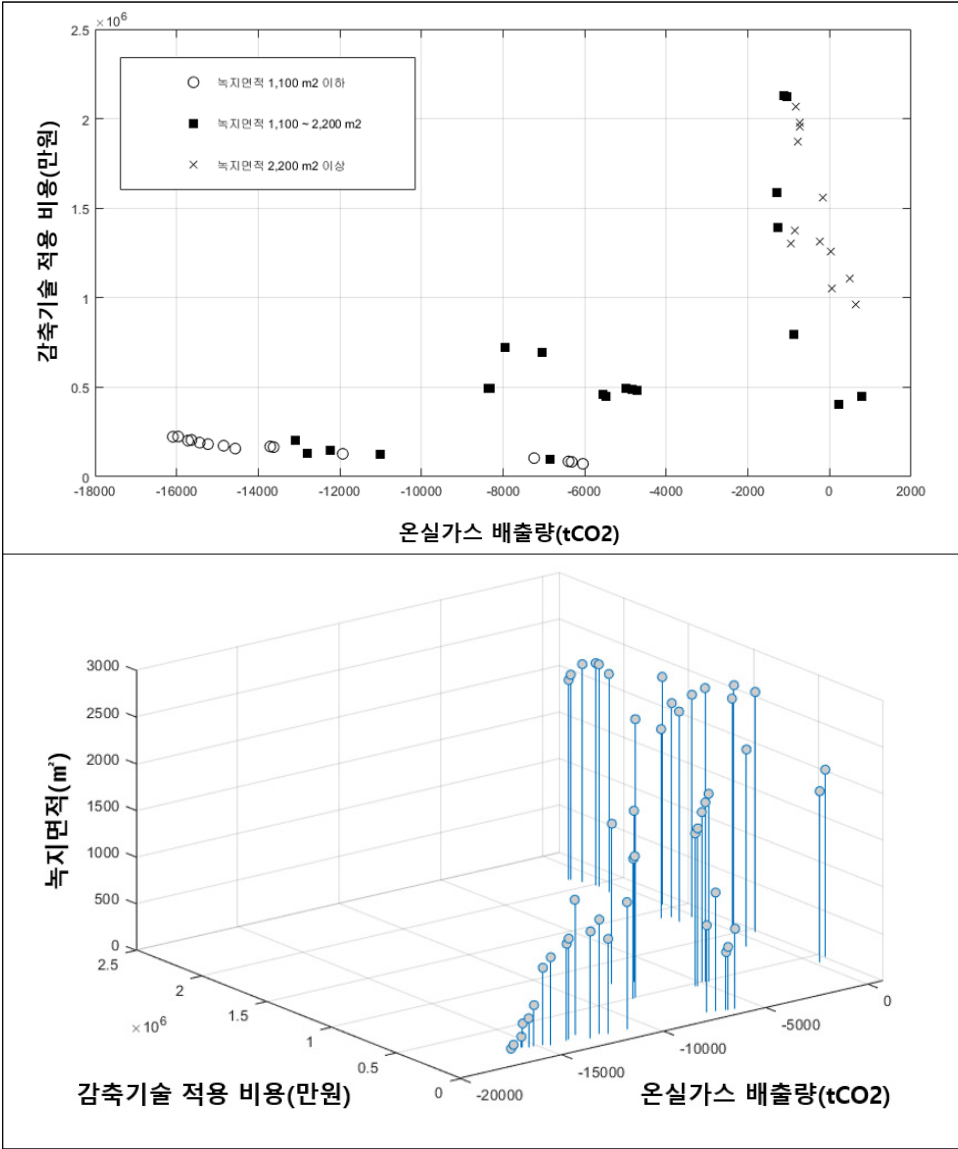
건물	옥상1*	옥상2*	단열재	창호	시스템	난방	냉방	조명
건물1	18	0	0	0	0	0	0	0
건물2	18	18	0	0	0	0	0	12
외부	분할1*	분할2*						
외부1	0	0						
외부2	0	16						
외부3	16	18						
외부4	22	17						
외부5	22	0						
외부6	0	17						
외부7	22	0						
외부8	0	0						

* 입력데이터에서는 하나의 공간이지만, 최적화 과정에서 같은 규모의 두 공간으로 분할하고 각 공간을 감축옵션과 매칭 함으로써 온실가스 감축옵션 적용의 유연성을 확보하였다.

자료: 저자작성

위의 시뮬레이션에 녹지면적의 최대화까지 반영한 결과, 최종 선택된 50개 감축시나리오의 감축옵션 적용비용의 범위와 연간 온실가스 순배출량 증가하는 방향으로 크게 변화했다. 가상공간에 적용한 결과와 같이, 녹지면적의 확충에 비례하여 온실가스 순배출량과 적용옵션 감축비용이 증가하는 것으로 나타났다.

그림 4-22 | 삼전 현대아파트 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려)



자료: 저자작성

(3) 노후공동주택 수직증축 리모델링 실증단지②: 등촌 부영아파트

가. 대상지 개요

등촌 부영아파트의 대상지 개요는 다음과 같다.

표 4-25 | 대상지2(삼전 현대아파트) 개요

항목	내용
실증단지 공모유형	설계진행단지
위치	서울 강서구 등촌동
준공시점	1994년(26년 경과)
지역/지구	제3종 일반주거지역
대지면적/연면적	33,200.00m ² / 89,742.28m ²
용적율/건폐율(%)	219.93 / 19.32
세대수	712세대
규모(층수)	지하 3층/ 지상 15층 (7개동)
세대당 주차대수	0.98대(총 698대)
리모델링사업 진행단계	1차 안전 진단 통과 후 심의 준비 중
최종허가(착공) 예상시점	2023년 상반기 예정
시공사	포스코건설
단지전경	

자료: 노후공동주택 수직증축리모델링 연구단(아주대학교) 내부자료(2020)

나. 대상지 적용

대상지에 포함되는 건물은 9개이며, 공통적으로 가스사용량에 대한 데이터가 누락되어 있고 지역난방을 사용했다. 본 연구에서 시범적으로 개발한 모델에서는 전력과 가스 부문(지역난방 제외)만을 고려하도록 설계되어 있어 해당 대상지의 전력 사용에 대해서만 시뮬레이션을 적용했다. 외부공간은 총 64개소, 33,194㎡가 추출되었다. 구체적으로는 건물주변의 포장된 공간, 놀이터 및 도로 일부, 완충 초지, 주차장 일부 등이 포함되었다. 실제 완충초지의 경우 광합성의 과정에서 온실가스를 일부 흡수할 수 있으나 그 구체적인 양 등에 대해서는 알려진 바가 미흡하여 흡수량 산정에는 제외되었다.

그림 4-23 | 대상지 3: 등촌부영아파트

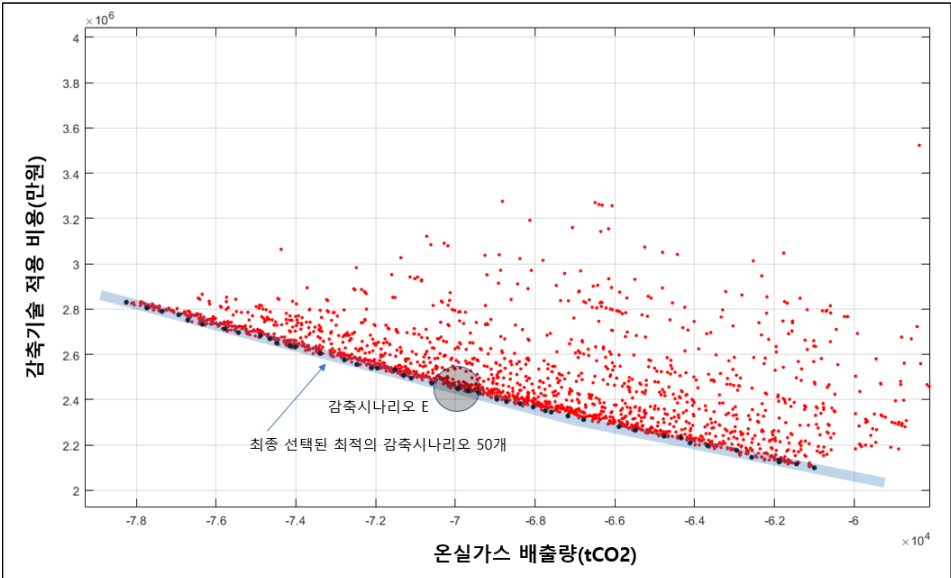


자료: (a),(b),(d) 저자작성; (c) 카카오맵(map.kakao.com)

연간 온실가스 순배출량 최소화, 감축옵션 적용비용의 최소화를 반영한 시뮬레이션 결과, 최종 선택된 50개의 감축시나리오는 연간 온실가스 순 배출량이 -7.8 만 tCO_{2e} ~ -6.1 만 tCO_{2e} 범위에서, 감축옵션 적용 비용은 210억원에서 283억원의 범위에서 나타났다. 두 번째 실제대상지인 삼전 현대아파트처럼 건물의 옥상 및 외부공간에 신

재생에너지 관련 옵션을 적극 적용함으로써 최종 선택된 모든 감축시나리오의 연간 온실가스 순 배출량이 음수의 값으로 나타났다. 즉, 감축옵션 적용 이전 온실가스 순배출량 4.6천 tCO_{2e}를 모두 상쇄하고 남을 정도의 에너지를 생산하거나 흡수하는 것으로 해석할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 지역난방 및 가스사용으로 인한 온실가스 배출량은 포함되어 있지 않기 때문에, 실제 기저 배출량은 이보다 증가하여 순 배출량이 증가할 가능성이 있다.

그림 4-24 | 등촌 부영아파트 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려 안함)



자료: 저자작성

표 4-26 | 대상지3에 대한 감축시나리오의 퍼포먼스(녹지면적 고려 안함)

구분	값	감축시나리오 E
기존 온실가스 순배출량(tCO _{2e} /년)	4,550	4,550
감축후 온실가스 순배출량(tCO _{2e} /년)	- (61,000~78,000)	-80,729
감축량(tCO _{2e} /년) (플러스에너지)	65,550 ~ 82,550	85,279
감축 비중	1,440%~1,8105%	1,874%
감축기술 적용비용	210억 ~ 283억	250억

자료: 저자 작성

표 4-27 | 등촌 부영아파트 최적의 감축 시나리오 E(녹지 고려 안함)

건물	옥상1*	옥상2*	단열재	창호	시스템	난방	냉방	조명
건물1	18	18	0	4	13	7	9	11
건물2	17	17	1	0	13	0	0	12
건물3	16	16	1	0	14	0	9	0
건물4	16	16	0	4	13	7	0	12
건물5	18	17	3	4	13	7	0	12
건물6	18	18	0	4	13	0	9	12
건물7	17	18	1	4	13	0	0	0
건물8	17	17	1	0	13	0	0	11
건물9	18	18	1	0	14	7	9	12
외부	분할1*	분할2*						
외부1	22	17						
외부2	16	22						
외부3	17	16						
외부4	18	22						
외부5	17	22						
외부6	16	16						
외부7	16	18						
외부8	0	16						
외부9	16	0						
외부10	0	16						
외부11	0	0						
외부12	16	22						
외부13	0	0						
외부14	16	0						
외부15	0	16						
외부16	0	0						
외부17	0	17						
외부18	0	0						
외부19	16	0						
외부20	0	22						
외부21	22	16						
외부22	16	17						
외부23	17	17						
외부24	16	18						
외부25	18	18						
외부26	22	17						
외부27	18	18						
외부28	0	22						
외부29	16	0						
외부30	18	16						
외부31	0	0						
외부32	0	0						
외부33	22	17						
외부34	22	18						

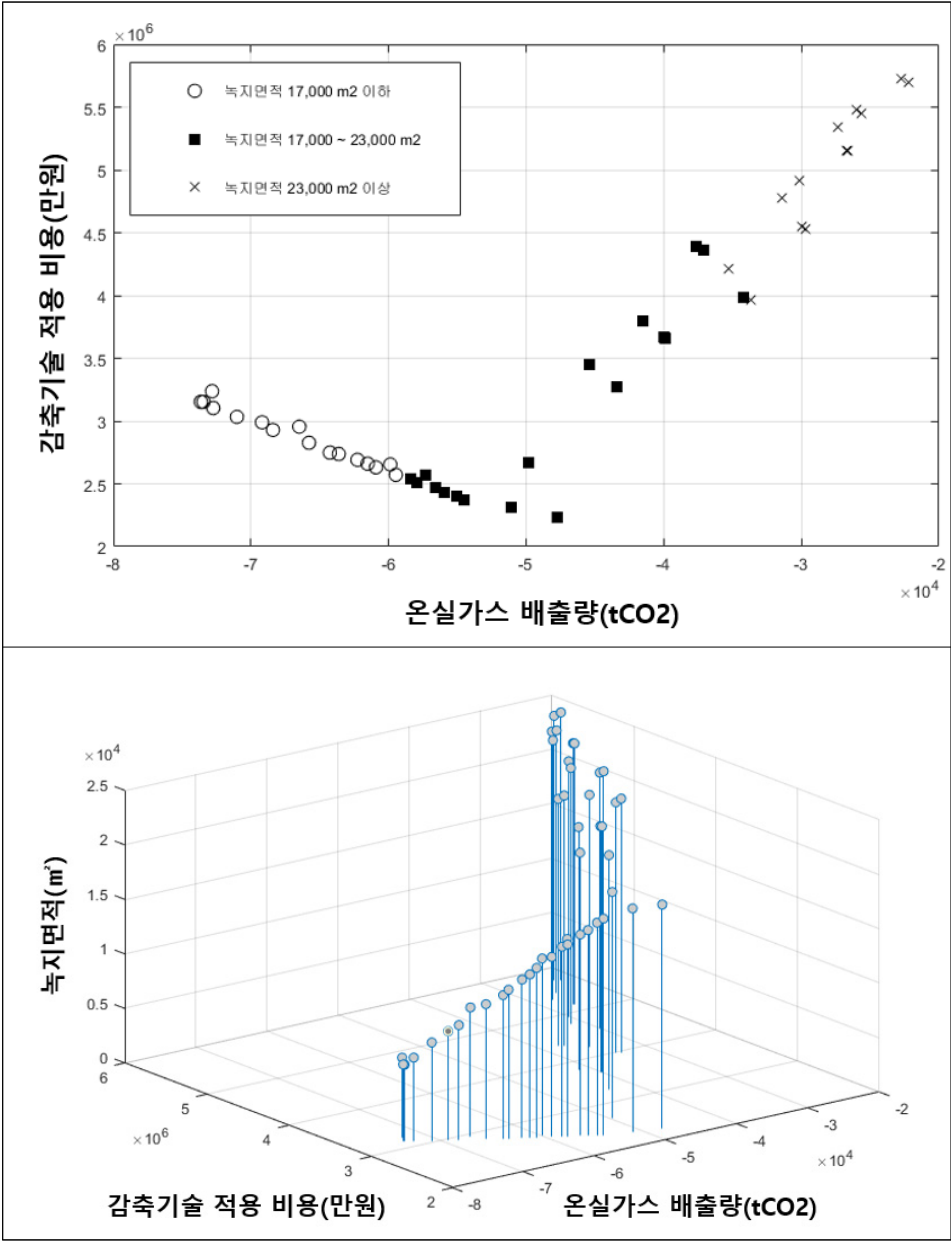
외부35	0	16
외부36	22	16
외부37	22	22
외부38	0	18
외부39	22	17
외부40	16	17
외부41	16	16
외부42	18	18
외부43	16	17
외부44	22	22
외부45	22	0
외부46	22	22
외부47	0	16
외부48	0	17
외부49	22	0
외부50	17	17
외부51	17	16
외부52	17	18
외부53	0	22
외부54	18	16
외부55	0	17
외부56	16	16
외부57	16	17
외부58	17	16
외부59	0	16
외부60	18	17
외부61	0	22
외부62	18	17
외부63	0	0
외부64	22	22

* 입력데이터에서는 하나의 공간이지만, 최적화 과정에서 같은 규모의 두 공간으로 분할하고 각 공간을 감축옵션과 매칭함으로써 온실가스 감축옵션 적용의 유연성을 확보하였다.

자료: 저자작성

위의 시뮬레이션에 녹지면적의 최대화까지 반영한 결과, 최종 선택된 50개 감축시나리오의 감축옵션 적용비용의 범위와 연간 온실가스 순배출량이 증가하는 방향으로 크게 변화했다. 가상공간에 적용한 결과와 같이, 녹지면적의 확충에 비례하여 온실가스 순배출량과 적용옵션 감축비용이 증가하는 것으로 나타났다. 특히 일부 감축시나리오는 녹지면적을 고려하지 않은 감축시나리오의 최대 비용보다 3배 이상 높은 비용이 소요되는 것으로 나타났다.

그림 4-25 | 등촌 부영아파트 최적의 감축 시나리오 50개(녹지 고려)



자료: 저자작성



CHAPTER 5

정책적 대응 방안

1. 필지·블록단위 On-Site 에너지성능 강화 153
2. 건물·토지공간 온실가스 감축 최적화 분석도구 보급 ... 155
3. 제로에너지건축물 의무화 로드맵 강화 157
4. 공간 에너지성능 강화를 위한 에너지이용계획
수립·제출 강화 158
5. 건물 용도별 온실가스 배출제한 규제 도입 167
6. 민간건축물 대상 그린리모델링 지원 강화 170
7. 녹색금융 강화 171
8. 인센티브 지원 강화 173
9. 주민참여 방식을 통한 친환경행태 제고 174

05 정책적 대응 방안

본 장에서는 앞서 분석한 내용을 토대로 정책적 대응 방안을 제시하였다. 필지·블록단위 On-Site 에너지성능 강화, 건물·토지공간 온실가스 감축 최적화 분석도구 보급, 제로에너지건축물 의무화 로드맵 단계 조기 실현, 공간 에너지성능 강화를 위한 에너지이용계획 수립 및 제출 강화, 건물 용도별 온실가스 배출제한 규제 도입, 민간건축물 그린리모델링 활성화를 위한 녹색금융 및 인센티브 지원 강화, 주민참여를 통한 경쟁심리를 활용해 친환경행태 제고 등을 제안하였다.

1. 필지·블록단위 On-Site 에너지성능 강화

기존 건물단위에서 필지, 더 나아가 블록 단위와 같은 공간단위로 에너지 성능을 강화시킬 필요가 있다. 우선 개별필지 관련해서는, 건물의 물리적 한계로 신재생에너지 설치가 비효율적이거나 불가능한 문제를 해결하기 위해 기존의 건물단위 접근에서 필지 내(On-Site) 건물 외의 토지공간을 활용하여 건물의 온실가스 배출량을 감축하며 다음과 같은 순서대로 에너지성능 개선기술 적용을 검토한다. 첫 번째 단계로 건물에 최대한 패시브 기술을 적용하는 것이 필요하다. 기존 건물의 부위별 에너지성능을 확인하고, 외벽 및 지붕 등의 단열 강화, 고단열 창호 교체 등 패시브 기술을 최대한 적용하여 건물 자체의 냉난방에너지 부하량을 감소시킨다. 두 번째 단계로 토지 공간에 액티브 기술이나 녹지를 적용하여 온실가스를 감축하는 단계가 필요하다. 첫 번째 단계에서 건물 자체의 에너지부하량을 감소시킨 후, 고효율 설비를 적용하여 에너지효율을 최적화해야 한다. 마지막으로 필요한 최소한의 에너지를 건축물과 대지 내 공간에 태양광 패널 등 신재생에너지 설비 기반의 액티브 기술을 적용하여 에너지자립률 제고

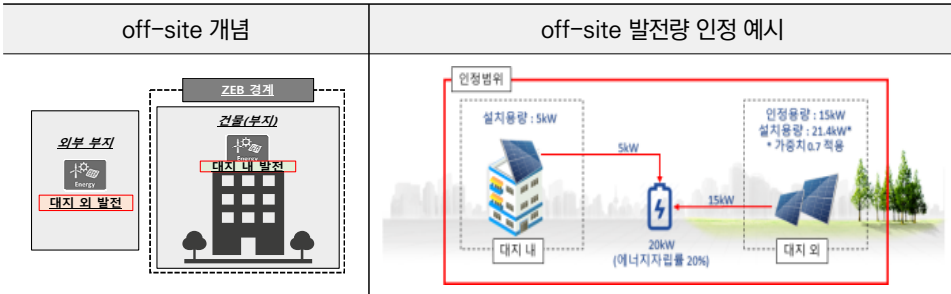
를 통한 건물 온실가스 배출량을 감축시키는 것이다. 토지 공간에 대해서도 액티브 기술 적용이 힘든 상황이라면 녹지 조성을 통한 흡수·상쇄를 통해서 온실가스 배출량을 감축시킨다.

블록 단위에서는 해당 필지에서 건물 및 토지공간에 액티브 기술 적용이 물리적으로 불가능할 시 해당 필지가 속한 블록 단위(인근 타 필지 공간)를 우선적으로 하여 액티브 기술을 적용해 온실가스 배출량을 감축시키는 방안이 가능하다. 상기 필지 내(On-Site) 토지공간에서 액티브기술 적용이 불가할 경우 동일 블록 내 액티브 기술 적용이 가능한 타 필지의 토지공간을 대상으로 액티브 기술을 적용하며 신재생에너지 설비를 최대용량을 구축하는 방안이 가능하다. 이때 필지 기준으로 보면 Off-Site이나 블록 기준으로 보면 On-Site라 할 수 있다.

정부는 2019년 3월 ‘건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 기준’ 개정을 통해서 대지 외(Off-Site) 신재생에너지 생산·인정제도를 도입함으로써 물리적 한계로 On-Site 신재생에너지설비 설치가 비효율적이거나 불가능한 문제를 해결하였으나 특정사업자 등을 제외하고서는 Off-Site 부지 마련이 쉽지 않다. 또한 해당 공간 자체의 에너지자립률 제고 및 온실가스 배출량 감축 차원에서 Off-Site 범위를 동일 블록 단위 내로 한정하는 전략을 취해 블록 내(On-Site) 신재생에너지 생산·인정제도 신규 추진할 필요가 있다.

이러한 관점에서 Off-Site가 아닌, 동일 블록단위 On-Site 차원에서 에너지자립률을 높이고 온실가스 배출량을 감축시킨다는 우위성을 인정하고 진정한 지구단위 더 나아가 도시단위의 제로에너지 확대를 강화하기 위해, 현재 작동 중인 대지 외 신재생에너지 생산량 보정계수(표 5-2)보다 더 높은 보정 계수(안)(표 5-3) 도입이 가능하다.

표 5-1 | 대지 외(Off-Site) 신재생에너지 생산·인정제도 개념



자료: 국토교통부(2019b, 3)

표 5-2 | 대지 외 신재생에너지 생산량 보정계수

대지 내 에너지자립률	10% 미만	10% 이상~15% 미만	15% 이상~20% 미만	20% 이상
대지 외 생산량 가중치	0.7	0.8	0.9	1.0

자료: 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증기준, 별표 1의2(제로에너지건축물 인증 기준)

표 5-3 | 동일 블록 내 필지 외 신재생에너지 생산량 보정계수(안)

필지 내 에너지자립률	10% 미만	10% 이상~15% 미만	15% 이상~20% 미만	20% 이상
필지 외 생산량 가중치	1.0			

자료: 저자작성

2. 건물·토지공간 온실가스 감축 최적화 분석도구 보급

제4장에서 본 연구진이 개발한 최적화 모델과 같이, 건물 정보(주소 등)를 입력하면 해당 건물 및 외부공간에 적용 가능한 최적 감축시나리오를 분석·제시하여 사용자(건물주 등)로 하여금 온실가스 감축 의사결정을 지원하는 도구를 개발하여 보급해야 한다.

우선 건물주는 해당 분석도구를 통해서 본인의 건물에서 사용되고 있는 에너지사용

량 및 이에 근거한 온실가스 배출량의 파악이 가능하다. 아울러 감축비용은 최소화하면서 온실가스 감축량을 최대화시킬 수 있는 건물·토지공간 대상 감축기술 최적해 꾸러미(패키지)를 제시하여 건물주로 하여금 온실가스 감축의무 대응력 강화 및 자발적인 감축 의사결정을 지원할 수 있다.

마찬가지로 제4장에서 블록 단위로 최적화모델을 적용하여 최적 감축시나리오를 분석하였듯이, 지자체는 분석도구를 통해서 특정 블록을 선택했을 시 건물·토지공간에 각각 적용 가능한 최적 감축시나리오를 분석·제시하여 정책 의사결정을 지원할 수 있다. 제3장에서 살펴본 캐나다 Surrey시의 CEEMAP Tool 활용 사례와 같이, 지자체 보급 및 교육 등을 통해 효율적인 온실가스 감축정책 의사결정(감축비용 최소화 및 감축량 최대화)을 지원하는 것이 가능하다.

이를 실현하기 위해서는 건축물대장, 건물에너지데이터 등 건물 관련 데이터베이스의 고도화 및 데이터품질 제고가 급선무이다. 각 데이터베이스의 데이터가 정확하고 일관적이며 결측치 없이 유효한, 데이터무결성 제고가 필요하다(표 4-8 참조). 아울러 건물의 에너지데이터(감정원)와 행정정보(세움터) 데이터 간의 정합성을 높여 상호 데이터 결합의 용이성 제고 및 이에 따른 데이터 구축 소요 시간 최소화가 필요하다.¹⁾

아울러 공간 단위(필지·블록) 온실가스 인벤토리 구축을 위해 정주지 부문의 온실가스 배출량의 관리체계를 강화해야 한다. 토지부문 온실가스 배출량 및 흡수량을 산정하는 ‘토지이용, 토지이용변화 및 임업(Land-use, Land-use change and Forestry; LULUCF)’ 부문에 대해서 IPCC(2006)는 산림지, 농경지, 초지, 습지, 정주지, 기타 토지 등 6개의 토지이용 항목으로 구분하고 있다. 그러나 우리나라의 경우 해외 주요국²⁾과는 달리 산림지, 농경지, 초지, 습지와는 달리 정주지 항목에 대해서만 온실가스 배출·흡수량을 미산정하고 있는 상황이다. 건물과 토지공간이 결합된 도시 공간 단위에서의 인벤토리 구축을 위해서는 건물과는 달리 현재 인벤토리 구축체계가 전혀 마련

1) 감정원은 UFID(Unique Feature Identifier, 공간정보참조체계), 세움터는 건축물 PK(Primary Key)를 사용하여 데이터 식별체계가 상이하다.

2) 미국, 일본, 호주, 뉴질랜드는 정주지 관련 활동자료 수집, 고유계수 개발, 통계자료 구축 등을 통해 정주지 항목 인벤토리 구축 중이다.

되어 있지 않은 정주지 항목에 대해서 온실가스 산정 기술 개발 및 이에 근거한 배출·흡수량 데이터의 구축이 시급하다.

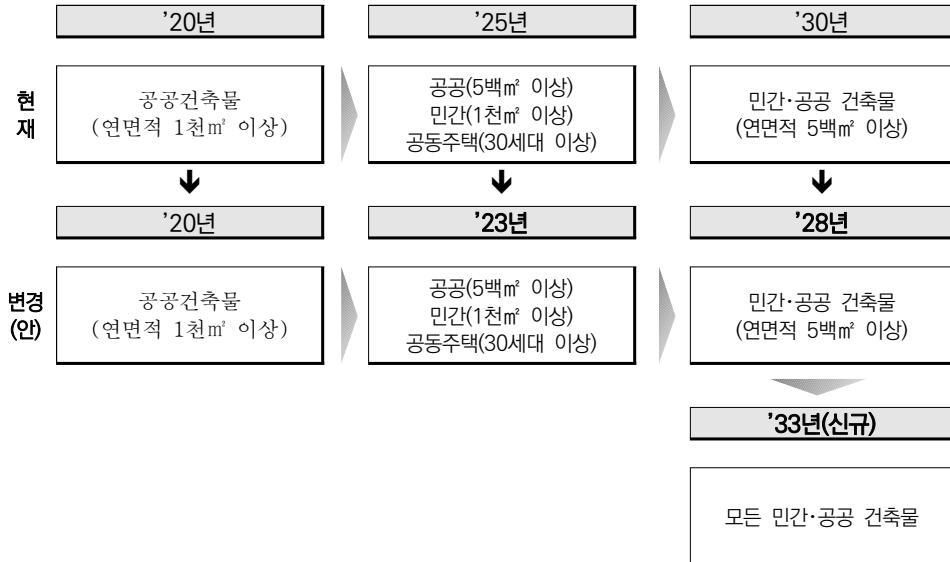
마지막으로 덧붙이면 도시관리계획 수립지침, 저탄소·녹색도시 조성을 위한 도시·군계획수립 지침 등 공간계획에 토지공간을 활용한 온실가스 감축 조항을 추가하는 방법이 있을 수 있다. 그러나 이는 위에서 언급한대로 분석도구 개발 및 보급이 우선되어야만 현실성 있는 대안이 될 수 있다.

3. 제로에너지건축물 의무화 로드맵 강화

현재 추진 중인 제로에너지건축물 의무화 로드맵의 단계별 적용 시기를 현행에서 2년씩 앞당겨 조기 적용할 필요가 있다. 예를 들면 녹색건축법 시행령 제12조(건축물의 에너지효율등급 인증 및 제로에너지건축물 인증 대상 건축물 등)를 개정하여, 2025년, 2030년에 제로에너지건축물 의무화 조항들을 각각 2023년, 2028년으로 앞당기고, 현재 제도권의 건축물인 연면적 500m² 이상의 건축물까지 모두 포함시켜 2033년에 모든 민간·공공 건축물을 대상으로 제로에너지건축 의무화 적용하는 방안이 가능하다. 현재 제로에너지건축물 관련 법규가 시행되면 해당 법규가 시행된 이후 인허가 접수대상부터 법규가 적용되므로 실제 관련 법규의 영향을 받은 건축물이 준공되고 입주하는 시점은 2년 이상 경과된 후부터 적용된다고 볼 수 있다. 따라서 의무화 로드맵에 따른 온실가스 감축을 적시에 적용하기 위해서는 조기 시행이 필요하다.

제로에너지건축물 의무화 적용 시, 앞서 제1절에서 제시한 블록 내(On-Site) 신재생에너지 생산·인정제도와 연계하여 제로에너지건축물을 유도하는 방안도 가능할 것이다. 예를 들면 신재생에너지 생산량에 대한 보정계수를 블록 내에 한해서 필지 내 On-Site와 동일하게 모두 1로 적용하는 인센티브를 제공하는 방안이 고려 가능하다.

표 5-4 | 제로에너지건축 의무화 로드맵 강화(안)



자료: 저자작성

4. 공간 에너지성능 강화를 위한 에너지이용계획 수립·제출 강화

건물과 토지가 결합된 공간 단위의 에너지성능을 강화하여 건물 부문의 온실가스 감축목표 달성 동력을 강화해야 한다. 현재 사업자가 일정규모 이상의 에너지를 사용하는 사업을 실시하거나 시설을 설치해야 하는 경우 에너지이용합리화법(제10조제1항)에 따라 에너지 공급·수요 예측 및 에너지소비로 인한 온실가스 배출량을 분석하고 에너지효율 향상과 이로 인한 온실가스 배출 감소 등을 계획하는 ‘에너지사용계획’ 제출(산업부)의 의무가 있다.

제10조(에너지사용계획의 협의) ① 도시개발사업이나 산업단지개발사업 등 대통령령으로 정하는 일정규모 이상의 에너지를 사용하는 사업을 실시하거나 시설을 설치하려는 자(이하 "사업주관자"라 한다)는 그 사업의 실시와 시설의 설치로 에너지수급에 미칠 영향과 에너지소비로 인한 온실가스(이산화탄소만을 말한다)의 배출에 미칠 영향을 분석하고, 소요에너지의 공급계획 및 에너지의 합리적 사용과 그 평가에 관한 계획(이하 "**에너지사용계획**"이라 한다)을 수립하여, 그 사업의 실시 또는 시설의 설치 전에 산업통상자원부장관에게 제출하여야 한다.
(②~⑥ 생략)

에너지사용계획에는 동법 시행령(제20조 제1항 제1~8호)에 따라 크게 8가지 사항을 의무적으로 포함하여야 한다.

제21조(에너지사용계획의 내용 등) ① 법 제10조제1항에 따른 에너지사용계획(이하 "**에너지사용계획**"이라 한다)에는 다음 각 호의 사항이 포함되어야 한다.

1. 사업의 개요
2. 에너지 수요예측 및 공급계획
3. 에너지 수급에 미치게 될 영향 분석
4. 에너지 소비가 온실가스(이산화탄소만 해당한다)의 배출에 미치게 될 영향 분석
5. 에너지이용 효율 향상 방안
6. 에너지이용의 합리화를 통한 온실가스(이산화탄소만 해당한다)의 배출감소 방안
7. 사후관리계획
8. 그 밖에 에너지이용 효율 향상을 위하여 필요하다고 산업통상자원부장관이 정하는 사항

(②~③ 생략)

에너지사용계획의 내용(제1~8호)의 내용은 동법 시행규칙의 행정규칙(고시) 중 하나인 ‘에너지사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정(산업통상자원부고시 제 2018-19호)’의 별표2(계획서의 검토기준)에 따라 검토가 이뤄지며 에너지사용계획의 중심이라 할 수 있는 에너지 공급계획 및 에너지이용효율 향상계획(동법 시행령 제21조 제5호에 해당)의 검토 기준은 다음과 같다(표 5-5, 5-6).

표 5-5 | 에너지 공급계획에 대한 검토 기준

부문	검토내용
가. 집단에너지 공급 계획	○ 집단에너지공급타당성 검토결과 타당성이 있다고 판정되어 사업지내에 집단에너지시설을 신규로 건설할 계획이 있을 경우에는 위치, 건설시기, 기술적 타당성, 건설비 및 재원조달방안, 경제성 등에 관하여 세부적으로 검토·기술하였는가? ○ 집단에너지공급 대상규모 미달지역은 사업지주변의 집단에너지 공급시설, 산업단지 등 에너지다소비처 또는 주택단지 등과 연계하거나, 또는 자가 열병합발전을 도입하는 방안을 검토하여 제시하였는가?
나. 에너지공급설비 및 수단	○ 연료 및 열의 공급 망 확보를 위한 대책은 마련되었는가? - 사업지내 연료 및 열의 공급 망 체계(송유관, 가스관, 열수송관 등)는 기술되어 있으며, 그 적정성을 검토 분석하여 확충의 필요성은 제시되어 있는가?

부문	검토내용
	- 사업지내 연료공급을 위한 철도, 도로 등 수송체계는 충분히 확보되었는가? ○ 전력공급의 송전선로는 확보되었는가? - 전력의 송전선로를 기술하였으며, 그 적정성을 검토 분석하여 확충의 필요성을 제시하였는가? ○ 에너지공급방법(집단에너지공급, 중앙난방, 개별난방 등)과 선정된 사유는 제시되어 있는가? ○ 도시가스 배관망은 사업지내 공급에 충분하게 확보되었는가? ○ 연료, 가스, 전력 및 집단에너지 등 공급사와의 안정공급 협의내용은 첨부되어 있는가?
다. 연료 및 열의 공급계획	○ 투입연료는 환경부 고시에 의한 연료사용규제 등에 따른 법적 측면과 기술적 측면을 고려한 경제성 및 온실가스 저감대책을 감안하여 선정하였는가? ○ 예측된 열량 수요를 만족하는 공급체계의 적정성 검토가 제시되었으며, 또는 개별난방을 선택한 경우 그 이유는 명확하고 타당한가? ○ 열 손실률을 반영한 연료의 연간 공급량이 산정되었으며, 또한 에너지소비의 각 단계에서 적용한 열손실을 산정과정은 제시되었는가? ○ 연료의 수송, 저장, 처리에 관한 건설계획은 위치, 건설시기, 기술적 타당성 등에 관해 기술되어 있는가?
라. 전력공급계획	○ 전력공급계획이 합리적으로 작성되었으며, 전력수요와 공급계획간 적정성이 고려되었는가? - 전력공급 대상 선정, 변전·배전시설 등의 용량, 위치 등은 적절한가? ○ 수전전력용량에 따른 적정 수전전압은 검토하였는가?
마. 긴급 및 비상시 에너지공급대책	○ 사업지구의 비상시 에너지공급방안(비상연료저장 수송방안, 대체연료사용방안, 비상발전기 확보대책 등)을 제시하였는가? ○ 침묵 전력부하의 영향 및 대책은 제시되어 있는가?
바. 에너지원별 종합 수요 표	○ 사업지구에 소요되는 에너지의 종류별 종합수요 표를 작성하였는가? - 포화년도까지 연도별 에너지 수요 표는 제시되었는가?

자료: 에너지사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정(산업통상자원부고시 제2018-19호), 별표 2(계획서의 검토기준)

표 5-6 | 에너지이용효율 향상계획에 대한 검토 기준

부문	검토내용
가. 토지이용 및 시설배치의 효율화 방안	○ 에너지수요를 최소화하기 위한 토지이용계획과 시설배치계획이 적절하며, 제시된 계획의 근거 또는 평가자료 내용이 포함되었는가? - 열 흐름을 고려하고 집단에너지공급 및 잉여폐열이용이 가능토록 토지이용계획 및 시설 배치계획이 수립되어 있는가? ○ 수송에너지 절감방안은 적합하게 검토되었는가? - 교통량 처리의 효율성을 높이기 위하여 도로, 항만, 철도, 공항 등의 연계체계에 의한 종합적인 교통망 체계를 구축하였는가? - 합리적인 시설기능별 배치로 발생 교통량을 최소화하였는가? - 차량이용을 줄이기 위한 대중교통, 자전거, 도보 등으로 유인할 수 있는 조치를 강구(자전거 전용도로, 환승주차장, 자전거 보관대 설치 등) 하였는가? ○ 태양열, 바람 등 자연에너지를 고려한 토지이용계획을 검토하였는가? - 사업지구 기후에 적합한 자연형 건물(태양열, 태양광, 바람, 지열 등을 이용하는 건물)을 설치하도록 되어 있는가? - 태양열 취득이 효율적이 되도록 건물이 배치되어 있는가? - 자연통풍을 고려하여 건물이 배치되어 있는가? [도시개발 및 관광단지개발] ○ 주거지역과 상업지역 및 사업장과의 거리를 최소화하도록 계획되어 있는가? ○ 전용주거지역의 개발밀도는 태양에너지 활용 및 집단에너지도입을 고려하여 설정되어

부문	검토내용						
	있는가? - 도로계획은 주민들이 대중교통수단을 편리하고도 많이 이용할 수 있도록 하고 자가용의 사용을 줄이도록 되어 있는가? - 자전거 전용도로는 설치 계획되어 있는가? - 사업지구 내 도로는 자동차를 위한 것보다는 보행자 및 자전거 이용자 중심으로 설계 - 사업지구뿐만 아니라 주변지역과 연계되는 자전거도로 확보 - 건물주변 식재는 여름철 기온을 낮추고, 겨울철 복서품을 완화할 수 있도록, 남쪽에는 활엽수, 북쪽에는 상록수를 식재하도록 계획되어 있는가? - 북쪽유리창문의 표면적을 제한하여 에너지손실을 상대적으로 낮게 하고, 남쪽 유리 창문을 넓게 하여 태양열의 이용을 늘리도록 되어 있는가? [산업단지개발 및 에너지개발] - 산업단지 위치, 규모, 유치업종, 배후도시 등 산업단지의 특성에 따라 기능설정 및 공간배치가 계획되어 있는가? - 생산, 생산지원, 연구개발, 주거, 휴식 등 기능별로 합리적 배치가 되어 있는가? - 에너지시설의 용도, 운전조건, 운전의 편의성 및 운전효율 등에 따라 최적배치 되었으며, 각 설비부문별 최적배치 효과분석자료는 제시되어 있는가? - 토지이용계획 및 업종배치계획은 합리적으로 계획되어 있는가? - 자연조건 및 기 설치된 이용 가능한 시설(항만, 철도, 간선도로, 배수로, 발전소, 변전소, 저유소, 기타에너지 공급시설 등)을 최대한 활용하도록 계획되어 있는가? - 지원기능은 단지중심부의 접근이 양호한 지역에 배치되어 있는가? - 단지 내 화물교통량을 최소화하기 위하여 고무, 화학, 1차 금속, 비금속 업종 등 대규모 공장을 간선도로변에 배치하고, 중소규모단위 공장업종은 집분산 도로변에 배치되어 있는가? - 배후도시 및 기존산업단지와 원활하게 연계되도록 계획되어 있는가? [철도, 공항 및 항만건설] - 전체의 교통체계를 고려하여 주거 밀집지역과 인근역과의 이동거리가 최소화하도록 계획되어 있는가? - 지하철의 경우 역사 내 동선거리를 최소화함으로써 냉방, 난방부하의 최소화를 고려하였는가? - 기존의 지상대중교통 정류장과 공항, 지하철 또는 철도 정류장의 연계이동거리가 최소화 되도록 계획되어 있는가? - 자가용의 사용을 줄일 수 있도록 공항, 역세권 주변에 공용 주차장 확보를 고려하였는가? - 지하철 역사주변에 환승주차장 및 자전거 보관소를 설치하도록 되어 있는가? <tr> <td>나. 에너지이용효율 향상설비 도입 계획</td><td> - 법령 등에 의해 의무화된 설치시설을 적시하여 누락됨이 없도록 하였는가? - 사업별, 부문별 및 업종별로 적용 가능한 에너지이용효율향상설비에 대한 설치계획은 적합한가? - 에너지이용효율향상설비에 대한 경제성 분석이 적합하게 되어 있는가? - 기대효과(에너지 절감량, 절감금액), 투자비, 투자비회수기간 등 </td></tr> <tr> <td>다. 폐열회수 및 활용 계획</td><td> - 부문별, 용도별 폐열발생량과 회수활용 가능한 폐열 예측은 적정하며 근거자료는 제시되었는가? - 폐열회수 관련시설(설비의 종류, 방법, 용량 등)의 설치 계획 등에 관해 기술되었는가? - 폐열회수 활용에 따른 경제성 분석 및 에너지절감효과는 제시되었는가? </td></tr> <tr> <td>라. 신·재생에너지 이용계획</td><td> - 해당사업에서의 이용 가능한 신·재생에너지가 빠짐없이 기술되었는가? - 지역적, 기술적 여건을 감안하여 가용한 신·재생에너지의 기술적 타당성은 검토되었는가? - 신·재생에너지원별 특성에 따라 사업 및 지역적 여건과 연계한 이용방안 및 시설계획 등이 제시되었는가? - 폐기물의 성상별 발생량 예측 및 처리방안은 제시되었는가? </td></tr>	나. 에너지이용효율 향상설비 도입 계획	- 법령 등에 의해 의무화된 설치시설을 적시하여 누락됨이 없도록 하였는가? - 사업별, 부문별 및 업종별로 적용 가능한 에너지이용효율향상설비에 대한 설치계획은 적합한가? - 에너지이용효율향상설비에 대한 경제성 분석이 적합하게 되어 있는가? - 기대효과(에너지 절감량, 절감금액), 투자비, 투자비회수기간 등	다. 폐열회수 및 활용 계획	- 부문별, 용도별 폐열발생량과 회수활용 가능한 폐열 예측은 적정하며 근거자료는 제시되었는가? - 폐열회수 관련시설(설비의 종류, 방법, 용량 등)의 설치 계획 등에 관해 기술되었는가? - 폐열회수 활용에 따른 경제성 분석 및 에너지절감효과는 제시되었는가?	라. 신·재생에너지 이용계획	- 해당사업에서의 이용 가능한 신·재생에너지가 빠짐없이 기술되었는가? - 지역적, 기술적 여건을 감안하여 가용한 신·재생에너지의 기술적 타당성은 검토되었는가? - 신·재생에너지원별 특성에 따라 사업 및 지역적 여건과 연계한 이용방안 및 시설계획 등이 제시되었는가? - 폐기물의 성상별 발생량 예측 및 처리방안은 제시되었는가?
나. 에너지이용효율 향상설비 도입 계획	- 법령 등에 의해 의무화된 설치시설을 적시하여 누락됨이 없도록 하였는가? - 사업별, 부문별 및 업종별로 적용 가능한 에너지이용효율향상설비에 대한 설치계획은 적합한가? - 에너지이용효율향상설비에 대한 경제성 분석이 적합하게 되어 있는가? - 기대효과(에너지 절감량, 절감금액), 투자비, 투자비회수기간 등						
다. 폐열회수 및 활용 계획	- 부문별, 용도별 폐열발생량과 회수활용 가능한 폐열 예측은 적정하며 근거자료는 제시되었는가? - 폐열회수 관련시설(설비의 종류, 방법, 용량 등)의 설치 계획 등에 관해 기술되었는가? - 폐열회수 활용에 따른 경제성 분석 및 에너지절감효과는 제시되었는가?						
라. 신·재생에너지 이용계획	- 해당사업에서의 이용 가능한 신·재생에너지가 빠짐없이 기술되었는가? - 지역적, 기술적 여건을 감안하여 가용한 신·재생에너지의 기술적 타당성은 검토되었는가? - 신·재생에너지원별 특성에 따라 사업 및 지역적 여건과 연계한 이용방안 및 시설계획 등이 제시되었는가? - 폐기물의 성상별 발생량 예측 및 처리방안은 제시되었는가?						

부문	검토내용
	- 폐기물의 종류(주거지역 폐기물, 기타시설 폐기물 등), 성상별로 구분하여 일일 및 연간 예상발생량이 예측되었으며, 사업의 실시 및 시설의 설치에 따라 발생하는 쓰레기 등 폐기물의 활용방안 및 처분계획에 관한 방안은 강구되었는가? ○ 폐기물을 에너지로 이용 시 경제성을 분석하여 제시되었는가? - 폐기물발생량의 최소화 및 처리에 따른 비용의 계량화 자료는 제시되었는가? ○ 소각열 등 폐기물의 에너지이용에 따른 구체적인 활용방안 및 관련시설의 건설계획은 제시되었는가?
마. 에너지(열 및 전력)부하 평준화 계획	○ 에너지(열 및 전력)부하 평준화를 위해 부문별, 용도별로 구분하여 구체적이고 적극적인 방안을 수립하였으며, 평준화 방안에 따른 경제성과 기대효과는 제시되었는가?

자료: 에너지사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정(산업통상자원부고시 제2018-19호), 별표 2(계획서의 검토기준)

상기 에너지공급계획의 검토 부문 중 하나로 ‘신재생에너지 공급 계획’을 신규로 추가할 필요가 있다. 현재는 신재생에너지 분야는 에너지공급계획이 아닌 에너지효율 향상계획 즉, 신재생에너지를 해당 사업지구의 공식적인 에너지공급 설비가 아닌 에너지효율을 향상시키는 수단으로서만 인식하고 있다. 그러나 향후 제로에너지건축물에서 제로에너지도시, 즉 공간단위에서 에너지자립률을 높이기 위해서는 신재생에너지에 기반한 에너지공급이 필수(최소 5등급 수준의 20% 이상)적이다. 따라서 ‘신재생에너지 공급 계획’ 부문을 신규로 추가하고 안전하고 합리적이며 효율적인 신재생에너지 공급에 대한 검토 기준의 정립이 필요하다. 특히 검토 기준 항목 중 총 에너지자립률 20% 이상을 달성했는지에 대한 검토조항 설정이 고려 가능하다.

아울러, 태양광에너지와 같은 신재생에너지의 공급계획 수립 시, 필지 내 건물 외 공간을 충분히 활용하여 태양광 설치용량을 산정하였는지에 대한 검토조항 설정이 고려 가능하다.

(신규부문)사. 신재생에너지 공급 계획 - 신재생에너지의 충분한 공급을 통해 사업지구의 에너지자립률을 최소기준(20%) 이상 달성하였는가? 정주지 태양광의 경우 건물 외 토지공간 등을 활용해 설치용량을 최대화하였는가? 등

에너지이용효율 향상계획의 검토부문 ‘가. 토지이용 및 시설배치의 효율화 방안(밀줄)’ 및 ‘라. 신·재생에너지 이용계획’ 또한 개선이 필요하다. 우선 ‘가. 토지이용 및

시설배치의 효율화 방안’에서 태양광의 경우 현재 태양열 취득이 효율적인 건물 배치 여부에 대한 검토기준만 마련이 되어 있는데 태양광을 같이 추가하여 건물배치에 태양광 설치요건을 강화할 필요가 있다.³⁾

태양열 취득이 효율적이 되도록 건물이 배치되어 있는가?

→ **태양열·태양광** -----

‘라. 신·재생에너지 이용계획’에 대해서는 에너지공급계획으로 인해 특정 비중(예: 20%) 이상 체계적으로 공급될 신재생에너지의 이용방안에 대해서 다음과 같이 검토기준을 강화할 필요가 있다.

신·재생에너지원별 특성에 따라 사업 및 지역적 여건과 연계한 이용방안 및 시설 계획 등이 제시되었는가?

→ **에너지공급계획에 따라 공급되는 20% 이상의 신·재생에너지원별** -----

도시사업과 관련해서는 에너지사용계획 제출 의무 대상을 강화(에너지이용합리화법 시행령 제20조; 표 5-7)하여 공간 단위에서의 에너지성능 및 온실가스 감축을 강화할 필요가 있다. 현재 시행령 제20조의 제1항 제1호에서 토지를 중심으로 하는 평면적인 사업인 도시개발사업(도시개발법 제2조제1항제2호)만 에너지사용계획을 제출하도록 하고 있는데 이뿐만 아니라 토지와 건물 모두 대상으로 하는 입체적인 사업인 정비사업을 추가할 필요가 있다. 여기서 도시정비사업은 도시정비법 제2조제2호에 따른 주거환경개선사업, 재개발사업, 재건축사업 등을 말한다.

도시개발사업 → 도시개발사업 및 정비사업

3) 태양열 발전은 난방·온수와 같은 열에너지 생산 중심이며 태양광은 전기에너지가 생산의 중심이다.

아울러 시행령 제2·3항과 관련하여 현재 에너지사용계획 제출 의무 대상인 에너지 단위(공공사업자 연 2,500 TOE 또는 1천만 KWh, 민간사업자 연 5,000 TOE 또는 2천만 KWh) 기준을 개정하여 에너지 사용 단위에 더해 면적 기준을 제3호로 새롭게 추가할 필요가 있다. 예를 들면 면적 1만 제곱미터 이상이 가능한데 이는 도시개발법 시행령 제2조(도시개발구역의 지정대상지역 및 규모) 제1호에 근거하여 도시지역에서 지정할 수 있는 최소 규모기준(주거지역·사업지역: 1만 제곱미터 이상)에 근거한다. 다만 이를 실시하기 위해서는 굉장히 큰 비용과 시간이 소요될 수 있기 때문에 이를 지원할 수 있는 분석도구 개발 및 제공, 재정·행정적 지원 마련이 우선되어야 한다.⁴⁾

신규추가: 3. 면적 1만 제곱미터 이상*

4) 100㎡ 주택기준 연간 전력사용량은 3,300 kWh/년으로 가정할 시 제2항에서 제시한 연간 1천만 킬로와트시 이상의 전력을 사용하는 주택사업은 약 3,000세대 규모의 대단지이며 이는 연면적 기준으로 약 30만㎡ 주거단지 사업으로 판단이 가능함.

표 5-7 | 에너지이용합리화법 시행령에 따른 에너지사용계획 제출 의무 조항

제20조(에너지사용계획의 제출 등) ① 법 제10조제1항에 따라 에너지사용계획을 수립하여 산업통상자원부장관에게 제출하여야 하는 사업주관자는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사업을 실시하려는 자로 한다. 1. 도시개발사업 2. 산업단지개발사업 3. 에너지개발사업 4. 항만건설사업 5. 철도건설사업 6. 공항건설사업 7. 관광단지개발사업 8. 개발촉진지구개발사업 또는 지역총합개발사업 ② 법 제10조제1항에 따라 에너지사용계획을 수립하여 산업통상자원부장관에게 제출하여야 하는 공공사업주관자(법 제10조제2항에 따른 공공사업주관자를 말한다. 이하 같다)는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 시설을 설치하려는 자로 한다. 1. 연간 2천5백 톤오이 이상의 연료 및 열을 사용하는 시설 2. 연간 1천만 킬로와트시 이상의 전력을 사용하는 시설 ③ 법 제10조제1항에 따라 에너지사용계획을 수립하여 산업통상자원부장관에게 제출하여야 하는 민간사업주관자(법 제10조제2항에 따른 민간사업주관자를 말한다. 이하 같다)는 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 시설을 설치하려는 자로 한다. 1. 연간 5천 톤오이 이상의 연료 및 열을 사용하는 시설 2. 연간 2천만 킬로와트시 이상의 전력을 사용하는 시설 (4~⑤ 생략)	
--	--

자료: 에너지이용 합리화법 시행령

〈참고: 에너지사용계획 협의 제도 현황〉

- 에너지 저소비형 국토개발유도 및 에너지절약형설비 설치를 통한 고효율기기 보급을 촉진하기 위해 1991년 12월 14일에 에너지사용계획 협의제도를 도입(한국에너지공단 2016, 145)
- 현재 협의대상으로 지정하는 국토개발사업의 면적기준은 2002년 3월 25일에, 건축물의 에너지사용량 기준은 2006년 6월 22일에 최종적으로 결정된 후 14~19년간 한 번도 업데이트되지 않음
 - 신기후체제, 그린 뉴딜 등 온실가스 감축과 친환경·에너지 전환에 대한 국가·글로벌 정책기조에 부합하고 있지 못함

〈에너지사용계획의 협의대상 사업〉

분류		사업주관자	
		공공	민간
국토개발사업	도시개발	개발면적 30만㎡ 이상	개발면적 60만㎡ 이상 <i>*물류단지는 40만㎡이상</i>
	산업단지개발	개발면적 15만㎡이상	개발면적 30만㎡이상
	관광단지개발	관광시설계획면적 30만㎡이상	관광시설계획면적 50만㎡이상
에너지개발사업	에너지개발	• (광산)채광면적 250만㎡이상/ • (전기)발전용량 : 2만kW이상/ • (가스)가스사업(천연가스 인수·저장·생산·공급 설비 및 그 부대시설 설치 공사)	
사회간접자본 시설사업	항만 건설	하역능력 1백만ton/년 이상	
	철도 건설	선로길이 10km이상	
	공항 건설	개발면적 40만㎡이상	
기타 건설사업	건축물, 공장, 기타 시설	연료사용 2.5천toe/년 이상, 전력사용 1천만kWh/년 이상	연료사용 5천toe/년 이상, 전력사용 2천만kWh/년 이상

자료: 에너지이용 합리화법 시행령 별표 1(에너지사용계획의 협의대상사업 등의 범위 및 제출 시기); 한국에너지공단(2016, 145) 재인용

5. 건물 용도별 온실가스 배출제한 규제 도입

현재 우리나라가 처한 상황을 보면 2030년까지 현실상 불가능하다고 예측되는 NDC 37%를 반드시 감축해야 하고, 아울러 BAU 기준 감축이라는 점과 5년마다 감축목표를 강화한다는 파리협정에 근거할 때 2025년에 NDC가 더 강화될 확률이 높은 상황이라는 점을 감안해 볼 때, 온실가스 감축목표 달성은 국가 난제에 해당한다.

따라서 건물 용도별로 감축경로를 달리하는 온실가스 배출제한 규제 도입을 고려할 필요가 있다. 투입 비용 대비 온실가스 감축역량이 제일 큰 건물 부문을 중심으로 온실가스 배출제한량을 규제하며, 건물 용도별 구조, 에너지시스템 등 특성이 다른 점을 감안하여 차등화된 감축경로를 마련하는 방안이 가능하다.

적용대상에 대해서는, 2025년부터 연면적 1,000m² 이상인 모든 건축물(공공·민간, 신축·기축)은 제로에너지빌딩이어야 하기 때문에 해당 건물은 어차피 에너지전환을 추진해야 한다는 점, 모든 건물을 대상으로 하기보다 에너지를 더 많이 소비하는 건물을 대상으로 한다는 점을 고려할 때, 기본적으로 연면적 1,000m² 이상의 중대형 건물을 대상으로 하되, 규제대상을 최소화한다는 차원에서 2,000m² 또는 3,000m² 이상으로 축소시키는 방안도 고려할 필요가 있다.

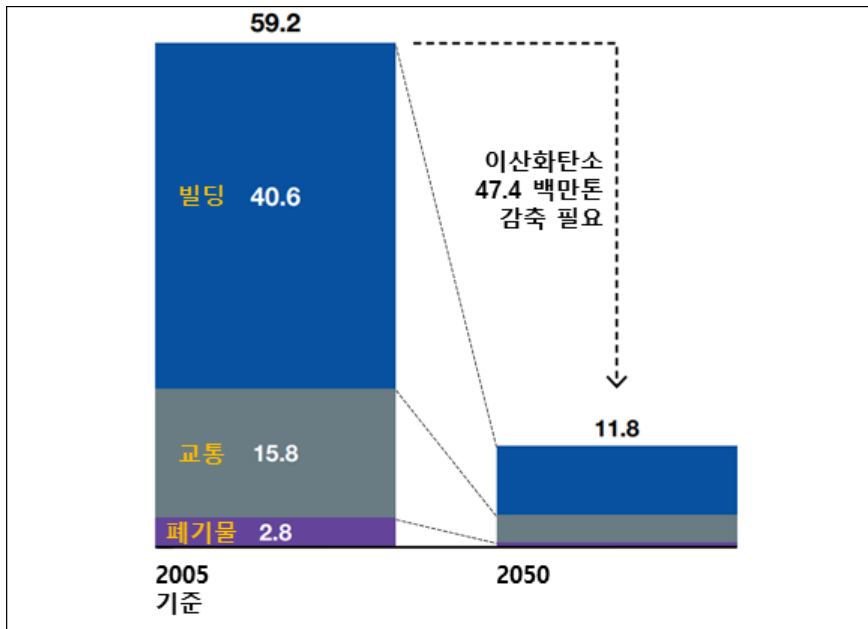
감축목표 설정에 대해서는, NDC를 반드시 달성한다는 점, 아울러 NDC가 2017년 대비 24.4%에서 더 강화될 수 있다는 점(예: 2017년 대비 30% 감축 등), 정책적 드라이브를 추진해 사회에 온실가스 감축에 대한 인식 전파 및 녹색경제 전환 무브먼트를 확산한다는 점 등을 고려해, 현재 건물 부문 감축 목표인 2030 BAU 대비 32.7%(2017년 대비 41.6%)보다 더 높은 목표치(예: 2017년 대비 50% 이상 등)로 설정할 필요가 있다.

해당 감축목표 달성까지의 경로인 감축경로 관련해서는, 국가건물에너지통합관리시스템, 세움터 등의 데이터를 활용하여 백캐스팅 방식으로 건물 용도별로 온실가스 배출에 대한 시나리오 분석을 통해 제시가 가능하다. 이에 대해서는 뉴욕시가 2019년 4월에 제정한 기후활성화법(Climate Mobilization Act)을 참고할 필요가 있다.

〈참고: 뉴욕시 사례⁵⁾〉

- 뉴욕시는 2014년 시법66(Local Law 66, 별칭 80x50 law) 제정을 통해 2050년까지 온실가스 배출량을 2005년 대비 80% 감축 결정

〈뉴욕시의 시법 66에 따른 80X50 감축 목표〉



자료: New York City Government(2016, 16); 이정찬(2019, 24) 재인용

- 온실가스 7할 가량이 빌딩에서 배출(2013)
 - 빌딩 71%, 도로·교통 21%, 탈루성 배출 6% 등
 - 특히, 중대형 빌딩은 뉴욕시 온실가스 배출량의 1/3 가량 차지
 - * 중대형 빌딩 연면적 25,000ft²/2,322.6m²/702.6평 이상
- 80x50 목표 달성을 위해 빌딩 중 중대형빌딩을 맞춰 강력한 온실가스 배출 법적 규제 제정 (**후방예측(backcasting) 방식**)
 - 2019.4월, 기후활성화법(Climate Mobilization Act) 제정을 통해 뉴욕시 모든 중대형 빌딩을 대상으로 2005년 대비 2030년까지 온실가스 40%, 2050년까지 80% 감축 의무화
 - 공공건물 대상으로는 2025년까지 40%, 2030년까지 50% 감축이라는 더 공격적인 목표 설정

- (규제) 빌딩 코드(건물 용도)별 단위면적당 온실가스 배출제한량을 설정하였으며, 각 용도별 특성에 따라 다른 감축경로 설정
 - * 1단계(2024-2029) → 2단계(2030-2034) → 3단계 파이널(2050)
- (지원) 재생에너지 설비 설치, 옥상 녹화(그린 루프), 녹색금융(PACE프로그램) 등의 금전적 지원 및 세제혜택 등의 지원책도 법적으로 마련

〈건물 용도(빌딩 코드)별 온실가스 배출제한량 (단위: tCO_{2e}/ft2/년)〉

빌딩 용도	2024-2029	2030-2034	2050
I-2(병원), B(실험실, 재난응급실, 헬스케어), H (고위험 시설)	0.02381	0.01193	0.0014
M(상업)	0.01181	0.00403	
I-1(노인생활지원시설)	0.01138	0.00598	
A(집합시설)	0.01074	0.0042	
R-1(호텔, 기숙사)	0.00987	0.00526	
B(비즈니스)	0.00846	0.00453	
E(교육), I-4(어린이집, 보육원)	0.00758	0.00344	
R-2(거주, 다가구)	0.00675	0.00407	
F(공장, 공업)	0.00574	0.00167	
S(창고), U(주차)	0.00426	0.00110	

자료: 이정찬(2019, 27)

6. 민간건축물 대상 그린리모델링 지원 강화

현재 LH그린리모델링창조센터가 민간건축물을 대상으로 에너지컨설팅 및 이자 2차 보전 등을 통해 그린리모델링을 지원하고 있는데 그린리모델링에 투자하는 민간건축물 지원을 현재보다 강화할 필요가 있다.

우선 에너지컨설팅 지원 관련해서는, 국가가 지정한 그린리모델링 사업자 등으로 하여금 현재 소유 건물의 에너지성능을 진단하고 해당 결과를 바탕으로 향후 어느 정도 수준까지 에너지성능을 향상시켜 온실가스 배출을 감축시킬수 있는지, 아울러 액티브/패시브 기술을 적용할 수 있는지 등에 대한 컨설팅을 추가해 제공할 필요가 있다.

그린리모델링 사업 관련해서도 현재 국토부가 지원 중인 그린리모델링 사업의 지원 범위를 확장하고 지원 규모 또한 강화해야 할 필요가 있다. 현재 민간건축물은 그린리모델링 추진 시 민간금융 대출금의 이자 일부를 지원하고 있는데(표 5-8, 5-9) 이자 지원 규모를 더 강화시키거나 에너지컨설팅 비용을 저가 또는 무상으로 지원(현재 공공건축물에 한해서만 무상 지원)하는 방안이 고려 가능하다.

표 5-8 | 국토부 그린리모델링 사업에서 에너지 성능개선 비율에 따른 이자지원 기준

에너지 성능개선 비율*	이자지원율	비 고
30% 이상	3%	(필수요건) 개선공사 이전 대비 에너지 성능개선 비율 중 냉 · 난방 에너지 요구량 최소 20% 이상 절감
25% 이상 ~ 30% 미만	2%	
20% 이상 ~ 25% 미만	1%	

* 에너지 성능개선 비율은 개선공사 이전 대비 에너지 요구량 또는 에너지 소요량(또는 1차 에너지 소요량)의 성능개선 비율로 정함

자료: 한국토지주택공사 그린리모델링창조센터. 민간이자지원사업 개요. 검색일: 2020. 3. 5.

표 5-9 | 국토부 그린리모델링 사업에서 창호 에너지소비 효율등급에 따른 이자지원 기준

창호 에너지소비 효율등급	이자지원율	비 고
2등급 이상	3%	(필수요건) 외주부창* 전체 적용 [1㎡ 미만 창호 제외]
3등급	2%	

* 에너지 시뮬레이션이 어려운 공동주택(아파트, 다세대, 연립주택)에 한해 창호에너지소비 효율등급에 따른 이자지원 기준 적용 가능

자료: 한국토지주택공사 그린리모델링창조센터. 민간이자지원사업 개요. 검색일: 2020. 3. 5.

마지막으로 민간건축물을 대상으로 이자비용 같은 이차 보전이 아닌 보조금과 같은 직접적인 공공재정 투자를 고려해 봐야 한다. 현재 공적 재원의 사유화(사유가치 증진) 위배에 따라 기재부 등의 반대입장에 의해 공공건축물에 한정하여 재정을 투입하고 있지만, 사회복지, 기후복지적 관점에서 민간건축물 그린리모델링에 직접적으로 재정을 투자·지원하는 방안을 고려해야 한다.

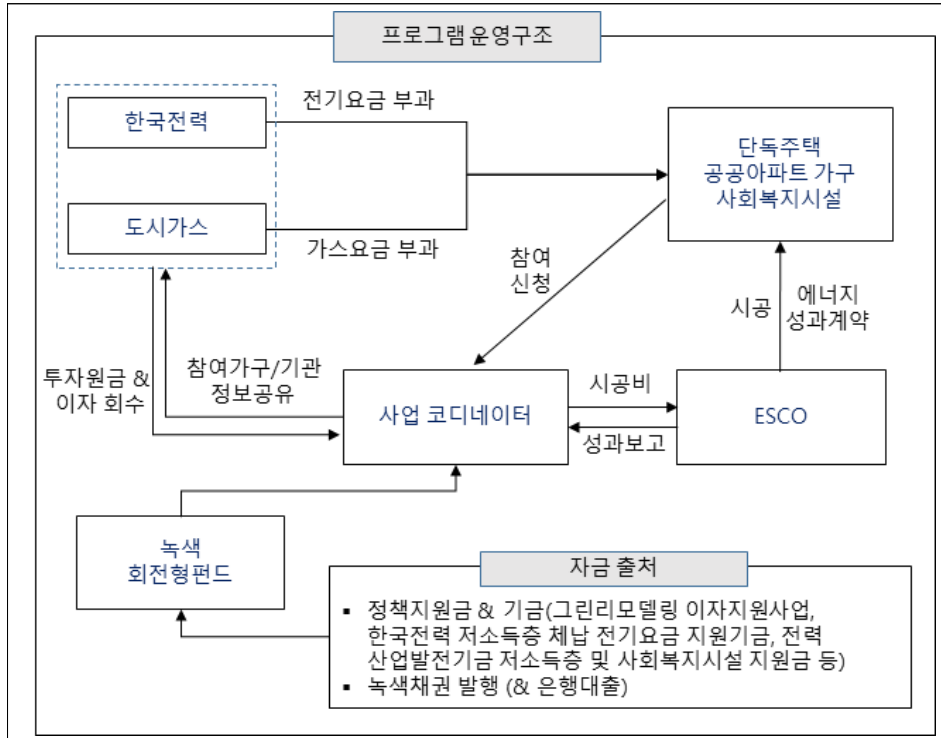
7. 녹색금융 강화

에너지성능개선 공사, 그린리모델링, 재생에너지설비 설치 등의 시공에는 많은 공사비가 투입되어 비용적 부담이 크기 때문에 초기비용 마련 및 장기 상환 등에 대한 지원이 필요할 것으로 예상된다. 이정찬 외(2020)에서는 1기 신도시의 공동주택 전체를 대상으로 하여 그린리모델링 추진 시 소요되는 비용을 개략적 추정한 결과, 에너지성능개선 사업비는 단위면적당 14~19만원/m² 수준으로 나타났다. 이에 준하여 1,000m² 빌딩의 에너지성능개선 사업비를 계산하면 1억4천~1.9천 만원의 비용이 소요될 것으로 추정되며, 감축경로의 에너지성능수준 만족도는 이보다 훨씬 높기 때문에 최소 2억 이상이 투입될 것으로 예상된다.

하지만 이 모든 금액을 공공재원에서 지원하기에는 재원의 한계 및 낮은 당위성(사유재산 증가에 공적재원 활용 지양)으로 인해 쉽지 않으며, 따라서 민간 투자·금융 주도의 재원을 조달하는 녹색금융 방식 추진이 시급하다.

우리나라에 도입 가능한 녹색금융 방식으로는 요금납부식 금융(On-bill Financing, OBF), 에너지절약전문기업(Energy Service Company, ESCO) 금융, 지속가능에너지 공사(Sustainable Energy Utility, SEU) 금융 등 3가지 모델이 민간주도로 가능할 것으로 분석되고 있다(이정찬 외, 2020). 특히, 상기 세 가지 모델의 장점만을 조합하여 제시된 ‘한국형 OBF 파이낸싱 모델’은 지자체 차원에서 지역에너지공사를 활용하여 자율적으로 추진 가능할 것으로 제시되고 있어 도입 고려가 가능하다(이정찬 외, 2020).

그림 5-1 | 한국형 OBF 파이낸싱 프로그램 모델 제안



자료: 이정찬 외(2020, 131)

건축물 에너지감축 및 온실가스 감축을 기반으로 하는 녹색금융이 활성화되기 위해서는 거대한 자본이 투자되고 장기간에 걸쳐 회수되는 사업인 만큼 리스크를 최소화해야 한다. 건축물 에너지절감 예측의 오차, 잦은 제도의 변화와 에너지가격 변동 등 불확실성을 최소화해야 녹색금융 활성화가 가능하기 때문에 공공기관에서 리스크를 관리하는 녹색건축 기술보증 등의 상품을 개발할 필요가 있다.

8. 인센티브 지원 강화

일정 수준 이상 온실가스 감축을 달성한 건물주에 한해서는 잉여 달성분에 직접적인 비용적 보상과 같은 인센티브를 제공하여 온실가스 감축에 대한 동인을 제고할 필요가 있다. 인센티브 방식으로는 우선 세제감면 방식이 가능하다. 미국 오바마 정부가 추진했던 신재생에너지발전설비투자세액공제(Business Energy Investment Tax Credit, ITC) 또는 신재생에너지생산세액공제(Renewable Electricity Production Tax Credit, PTC)와 같은 세제혜택 사례를 참고하여, 에너지성능개선투자세액공제, 재생에너지생산세액공제, 부동산세 감면 등의 세제감면 혜택을 제공할 필요가 있다(장현숙 2012).

또한 온실가스 배출권 제공을 통해 수익을 창출하도록 하는 방안도 가능하다. 온실가스 잉여 감축분에 해당하는 양만큼의 배출권을 건물주에게 제공하고 건물주는 이를 배출권 시장에 참여하여 온실가스 감축이 필요한 사업자 또는 건물주에게 판매가 가능하도록 허용하여 수익권을 제공하는 방식이다. 특히 앞서 불력단위의 에너지자립 및 온실가스 감축 방안을 동일하게 적용하여 불력단위의 온실배출권 거래방안을 검토할 필요가 있다. 이를 통해 건축주가 아닌 구역단위의 민간 에너지구역(블럭)사업자를 신사업으로 양성하는 방안이 필요하다.

아울러, 투자비 일부를 장기간 환급하는 이른바 그린리모델링 사업 투자금 환급제도를 도입하는 방안도 가능하다. 그린리모델링 사업비의 일정수준(예 50%) 이상을 연금형식 등을 통해 장기간 동안 건물주에게 환급함으로써 그린리모델링 및 에너지성능개선 등에 대한 투자매력도를 높이는 동시에 그린리모델링에 대한 인식을 긍정적으로 전환하는 것이 가능할 것으로 판단된다. 매매가 일어났을 경우에도 새로운 주인이 환급금을 받을 수 있도록 하여 판매자(전주인)뿐만 아니라 구매자(새주인) 또한 친환경건축물 구입에 따른 혜택 및 가치에 대한 인식을 긍정적으로 전환하는 것이 가능하다.

9. 주민참여 방식을 통한 친환경행태 제고(건설적인 경쟁심리 활용)

1) 지역/커뮤니티 공동체 내 상호 에너지사용량 통계데이터 공유

(1) 가정

가정 부문의 친환경적인 행태 제고를 통해 온실가스를 감축하는 방법으로, 커뮤니티 내 가정 대 가정, 즉 동일 규모의 세대의 에너지사용량 상호 공개하여 개인 간 에너지절감 경쟁을 촉발하는 방식이 가능하다. ‘같은 세대 같은 규모의 다른 집보다 우리 집의 에너지사용량이 많이 나오는 게 싫다’라는 심리를 이용하여 자발적인 에너지절감 노력 투입 및 그로 인한 성과에 만족을 느낄 수 있도록 유도하고, 에너지절감 행동에 대한 긍정적 인식을 확립시킴으로써 최종적으로 친환경적 행태(eco-friendly behaviour) 양식을 체화하도록 하는 방식이다.

지역 내 커뮤니티 간 경쟁도 가능하다. 아파트단지 별로 에너지사용량을 상호 공개하여 단체 간 에너지절감 경쟁을 촉발하는 것이다. 지역 내 인근 아파트단지들이 상호 에너지사용량(단위면적당)을 공개하여 단체적인 에너지절감 경쟁을 촉발한다. 에너지사용량이 많이 나오는 단지의 경우 경쟁심리에 의해 개인의 에너지절감적 행동뿐만 아니라 부동산 가치하락 방지 심리 등에 의해 단지 차원에서 자발적인 에너지성능개선사업 관심과 추진을 유도하는 것이 가능하다.

추가적으로 제로에너지 주택에서의 상호 에너지사용량 통계데이터의 공유는 높은 에너지절감 효과로 인해 발생할 수 있는 도덕적 해이(에너지 과다 사용, 불필요한 낭비 등)를 방지하는 효과가 있을 수 있다.

(2) 상업

마찬가지로 상업 부문에 대해 같은 방식의 적용이 가능할 것으로 판단된다. 우선 점포 단위에서 점포 대 점포 즉 상가/건물 내 동일 규모 점포의 에너지사용량 상호 공개하여 개인 간 에너지절감 경쟁을 촉발하는 방식이다. ‘같은 건물 공간 내 같은 규모의 다른 점포보다 우리 점포의 에너지사용량이 많이 나오는 게 싫다’는 심리를 이용하여, 자발적인 에너지절감 노력 투입 및 그로 인한 성과에 만족을 느낄 수 있도록 유도하고, 에너지절감 행동에 대한 긍정적 인식을 확립시켜, 최종적으로 친환경적 행태 (eco-friendly behavior) 양식을 체화하도록 하는 방식이다.

지역 내 건물 단위에서 건물 대 건물 즉 건물별로 에너지사용량을 상호 공개하여 단체(소유자, 점유자) 간 에너지절감 경쟁을 촉발하는 방식도 고려 가능하다. 지역 내 인근 상업건물들이 상호 에너지사용량(단위면적당)을 공개하여 단체적인 에너지절감 경쟁을 촉발하도록 하는 것이다. 에너지사용량이 많이 나오는 건물의 경우 경쟁심리 의해 개인의 에너지절감적 행동뿐만 아니라 부동산 가치하락(임대료, 매매가 등) 방지 심리 등에 의해 건물 차원(소유자 포함)에서 자발적인 에너지성능개선사업 관심과 추진을 유도한다.

〈참고: 광주시 사례⁶⁾〉

- 광주광역시시는 전국최초로 '저탄소 녹색아파트 조성사업(2010~)'을 광주시 특화사업을 추진
 - 공동주택이 자발적 경쟁에 의한 저탄소 녹색아파트를 조성토록 하여, 단순히 공동주택의 에너지 절약뿐만 아니라 지역단위 생태문화 형성 등 온실가스 감축운동을 활성화할 수 있는 범시민 운동의 성격 보유
 - 아파트단지들이 사업에 참여하여 각 가정에서 전기, 수도 등 에너지 절감량과 음식물 쓰레기 감축량을 경쟁하여 감축량이 높은 순으로 인센티브 차등 지급 및 녹색 우수아파트 인증 현판 제공
 - 2010~2019년까지 215개 우수아파트가 선정됐으며 이를 통해 1만2,728톤 온실가스 발생 감축효과 창출

〈평가체계(2018년도 기준)〉

구분	평가항목	평가내용	비고
저탄소부문(70점)	① 에너지절약	전기(40), 음식물(10), 가스(10), 상수도(10)	정량 평가
	② 음식물쓰레기 줄이기	음식물(55), 전기(5), 가스(5), 상수도(5)	
녹색실천부문(20점)	테마사업 성과평가, 캠페인 및 홍보실적, 실천노력 독창성, 주민참여 노력정도		정성 평가
공통부문(10점)	탄소은행 가입, 온실가스 진단 컨설팅 진단 세대수		정량 평가

기타 가중치 적용 항목(교육 참여 실적) 최대 10점 이내

자료: 광주광역시(2019)

〈우수아파트 인센티브 체계(2018)〉

구분	소계	에너지절약 부문	음식물쓰레기
대상	2개소, 3,000만원	1개소, 1,500만원	1개소, 1,500만원
최우수상	4개소, 4,000만원	2개소, 각 1,000만원	2개소, 각 1,000만원
우수상	10개소, 8,000만원	5개소, 각 800만원	5개소, 각 800만원
장려상	16개소, 8,000만원	8개소, 각 500만원	8개소, 각 500만원
사상총계	32개소, 23,000만원	16개소, 11,500만원	16개소, 11,500만원
참여현황	52개소	26개소	26개소

자료: 광주광역시(2019)

6) 광주광역시 홈페이지(저탄소 녹색아파트 조성사업)에서 주요내용 발췌
(<https://www.gwangju.go.kr/envi/contentsView.do?pageld=envi226>)

2) 자체적 모니터링을 위한 정보인프라 구축·지원

에너지 및 온실가스 배출 현황을 자발적으로 모니터링 할 수 있는 체계를 구축해 제공할 필요가 있다. 현재 에너지나 온실가스 규제가 이미 제시되었거나 추가적으로 제시가 논의되고 있는 상황에서 건물주가 자신의 건물에서 배출되는 온실가스 배출량을 정기적 또는 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템이 구축되어 있지 않아 규제 대응에 애로가 있다.

따라서 에너지를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 기존 시스템(BEMS 등) 보급, 신규 시스템 개발(기존 시스템 적용 불가 시), 대안적 간이방법 개발 등을 통해 국민이 자가 또는 소유건물에 대해 에너지를 실시간 또는 준실시간으로 예측할 수 있도록 해야 할 필요가 있다.

우선 빌딩에너지관리시스템(BEMS)와 관련하여, 연면적 1,000m² 이상인 모든 건물은 신축 시 BEMS 구축 의무화하며, 기축의 경우 진단을 통해 BEMS 구축 가능 시 구축을 의무화할 필요가 있다.

다만 BEMS 구축이 불가능한 기축 건물에 한해서는 스마트미터기 등을 통해 각각의 에너지에 대한 용량을 실시간으로 모니터링하여 데이터를 수집한 다음 온실가스 배출량을 통합적으로 계산해주는 시스템을 개발하고 보급해야 한다. 예를 들면, 각 에너지 공사가 스마트미터기 설치를 의무화하도록 하고, 아울러 각 사가 설치한 스마트미터기를 통해 수집한 데이터를 행정기관 공유를 의무화하도록 하는 방식이 고려 가능하다.

마지막으로 BEMS도 스마트미터기도 적용이 불가능할 경우 고지서 방식을 활용하는 방안이 가능하다. 에너지공사가 고지서 발행 시, 현재는 에너지사용량에 대한 수치만 제공하고 있는데, 앞으로 온실가스 월 배출량에 대한 내용도 제공하도록 하여 BEMS 나 스마트미터기 설치가 불가능 할 경우, 국민들이 요금고지서를 통해서라도 매달 온실가스 배출량을 확인할 수 있도록 할 수 있다.



CHAPTER 6

결론 및 향후 과제

- 1. 결론 181
- 2. 연구의 한계와 향후 과제 182

06 결론 및 향후 과제

본 장에서는 연구의 주요내용과 함께 정책방안들을 요약해 결론으로 제시하였다. 아울러 본 연구의 한계와 연구결과의 제한적인 부분들에 대해 언급하였다. 또한 향후 추진이 필요한 연구방향에 대해서도 제시하였다.

1. 결론

우리나라는 파리협약에 따른 신기후체제와 날로 심각해지는 기후위기 등에 대응하여 국가를 저탄소경제로 전환하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 대표적으로 2020년 7월에 한국판 뉴딜 종합계획을 통해서 그린 뉴딜을 본격적으로 추진하기 시작했으며 2020년 10월 28일 문재인 대통령은 2050년 탄소중립을 선언한 바 있다. 이러한 국내 외 정세에 따라 국가의 온실가스 감축 목표 달성을 위해서는 산업 분야 다음으로 가장 많은 비중을 차지하는 동시에 여러 애로사항으로 인해 감축이 어려운 건물 분야에 대해서 어떻게 온실가스를 효과적으로 감축할 수 있을 것인가가 매우 중요하다.

이에 따라 본 연구는 건물 분야 온실가스 감축 목표를 달성하기 위한 전략을 도출하였다. 우선 기존에 건축 분야에서 온실가스 감축을 위한 많은 정책적 노력을 기울였음에도 불구하고 왜 감축이 안 되고 있는지 원인을 분석하였다. 그 결과 97% 이상을 차지하고 있는 민간건축물에 대한 정책 적용이 사실상 어려운 여러 장애요인을 파악하였으며, 이를 해결하기 위해서 기존 건물을 대상으로 하는 정책 외에 건물 외의 공간까지 활용하는 복합적인 정책 추진이 필요함을 인지하게 되었다. 이에 따라 건물과 필지

내 토지공간을 복합적으로 활용하여 건물 분야 온실가스 감축을 위한 전략을 도출하고자 노력하였다. 이를 위해 실제 건물과 토지공간의 복합적인 전략이 가능한지 가늠하기 위해 최적화모델을 구축하여 가상공간에 테스트로 적용한 후 실제 서울시 대상지 적용을 통해서 건물·토지공간 복합적인 활용을 통해 온실가스 감축 효과가 매우 큰 것을 확인하였다.

본 연구가 제시하고자 하는 요지는 다음과 같다.

첫째, 건물 분야 온실가스 감축을 위해서 기존 건물을 대상으로 하는 정책 추진 방식에서 벗어나 건물과 함께 토지공간을 복합적으로 활용하는 전략 추진으로 전환해야 한다. 건물에 따라서 물리적으로 에너지성능개선이 어려운 경우가 있기 때문에 건물 외의 공간에 신재생에너지설비 설치를 통한 에너지생산 또는 녹지 조성을 통한 온실가스 상쇄 및 감축이 필요하다.

둘째, 커뮤니티와 같은 공간단위에서 온실가스 감축을 위한 최적화 의사결정 지원도구를 개발해 개인, 지자체 등에 보급할 필요가 있다. 건물주나 지자체로 하여금 본인의 건물이나 해당 지자체 공간에 있어서 건물과 토지공간에 어떠한 감축 옵션을 적용해야 비용 대비 최대 온실가스 감축량을 달성할 수 있는지 파악이 가능하도록 해야 한다.

셋째, 위에 언급된 두 가지 내용을 실현하기 위해서는 정확한 데이터 구축이 필요하다. 현재 구축된 건물에너지데이터 및 행정정보는 데이터 정밀도와 일관적인 체계성에 있어서 보완이 매우 시급하다. 데이터가 있어야 시스템 운영이 가능하고 이를 통해 정확한 정책의사결정이 가능하다. 데이터의 양 구축보다는 질 제고를 위한 정책적 노력이 필요하다.

2. 연구의 한계와 향후 과제

본 연구는 건물과 토지를 복합적으로 활용하여 건물 분야 온실가스 감축 목표를 달성하는 전략을 선도적으로 제시하였다. 특히 건물과 토지공간에 적용가능한 신규·기존 기술을 망라하여 비용 대비 최대 온실가스 감축 잠재량을 분석하는 최적화모델을 국내 최초로 설계하여 서울시 실제 3개 대상지에 적용해 개략적인 투입비용 및 감축잠재량을 도출한 점은 본 연구의 가장 큰 독창성(originality)이자 핵심 성과라 할 수 있다.

그러나 선도적인 연구인만큼 한계점도 존재한다. 우선 모델과 관련하여 투입 데이터에 대한 한계가 명백하다. 에너지절감 기술의 경우 국내 R&D 연구단이 수집하여 구축한 300개 기술카드를 활용하였으나 실제 모델을 통한 시뮬레이션 단계에까지 활용할 수 있는 기술은 10% 미만이었다. 아울러 감정원과 국토부가 구축한 건물에너지데이터 및 건축물 행정정보 또한 결측치, 이상치 등으로 인해 제거 또는 보정 등의 절차가 필요했다. 모델의 알고리즘에 대해서도 각 건물에 대한 기술 적용 가능성을 판별하는 환경적 요구도와 구조적 요구도를 정성적으로 판단하여 객관성 및 신뢰성에 한계점이 존재한다.

상기 한계점을 보완하여 향후에는 보다 정교한 최적화모델을 도출하고 이를 실제 대상지에 적용하는 연구가 필요하다. 아울러 현재 건물 중심의 온실가스 감축전략을 도출하는 것에서 지구단위 더 나아가 도시 단위로 온실가스 감축을 추진하는 정책 연구가 필요하다. 예컨대 제로에너지도시, 탄소중립도시 추진 정책 및 전략에 대해 연구를 시작하여 공간적인 관점에서 온실가스 감축 방안을 논의해야 할 필요가 있다.

참고문헌

REFERENCE



【인용문헌】

- 관계부처 합동. 2014. 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵('14. 1월).
- 관계부처 합동. 2016. 국가 온실가스감축 기본로드맵('16. 12월).
- 관계부처 합동. 2018. 2030년 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 기본 로드맵 수정안 ('18. 7월).
- 관계부처 합동. 2019. 제2차 기후변화대응 기본계획('19. 10월).
- 관계부처 합동. 2020. 「한국판 뉴딜」종합계획: 선도국가로 도약하는 대한민국 대전환.
- 광주광역시. 2019. 저탄소 녹색아파트 조성사업 지방보조금 사업자모집 공고(안). 공고 제2019-1호.
- 국립산림과학원. 2013. 주요 산림수종의 표준 탄소흡수량 - 정부 3.0 국민의 눈높이에 맞춘 표준 탄소흡수량. 서울: 국립산림과학원.
- 국토교통부. 2019a. 제2차 녹색건축물 기본계획(2020~2024).
- 국토교통부. 2019b. 6. 21. 제로에너지건축, 건축을 넘어 도시로! 이제 시작합니다: 국토교통부, 제로에너지건축 보급 확산 방안 발표. 보도자료.
- 국토교통부. 2020a. 2. 27. 전국 건축물 총 7,243,272동 / 38억 6천만 m²: 전년 대비 동수 0.7% 증가, 연면적 2.8% 증가. 보도자료.
- 국토교통부. 2020b. 정보화시스템 가이드북.
- 국토교통부. 2020c. 6. 29. 구리갈매 공공주택지구 제로에너지도시 기본계획(안) 수립: 25년 제로에너지 민간 건축물 의무화 도입 앞서 확산 추진. 보도자료.
- 그린리모델링창조센터. 2018. 그린리모델링 리플렛. 진주: 한국토지주택공사.
<https://www.greenremodeling.or.kr/intro/int1000.asp>
- 금천구청. 2017. 정책실명제 중점관리 대상사업 사업관리이력서(2017. 9.).

[https://www.geumcheon.go.kr/portal/selectBbsNttView.do? key = 420&bb
sNo = 582&nttNo = 117627](https://www.geumcheon.go.kr/portal/selectBbsNttView.do?key=420&bb
sNo=582&nttNo=117627)

- 김승남, 유광흠. 2014. 친환경건축물인증제 및 건축물에너지효율등급제의 에너지 및 탄소저감 효과 분석: 서울시 공동주택 단지를 중심으로. 한국도시설계학회지 도시설계 15, no. 2: pp. 81-102. 한국도시설계학회
- 김승남, 조상규, 김영현. 2014. 용도지역제도를 고려한 건물부문 온실가스 배출량 관리 정책 연구. 건축도시공간연구소.
- 박기현, 임재규, 임기추, 황영식, 윤희정. 2011. 건물에너지 효율개선을 위한 재정지원 방안. 울산: 에너지경제연구원.
- 박환일, 박찬수, 우청원, 유인혜, 이일수. 2017. 온실가스 감축기술의 융합을 통한 산업적 성과 제고방안: 건물 부문의 기술융합 보급 활성화 방안. 정책연구 2017-18. 과학기술정책연구원.
- 산업통상자원부, 에너지경제연구원. 2019 에너지통계연보.
- 아주대 산학협력단. 2019. '노후 공동주택 수직증축 리모델링 실증단지' 공모(공모 안내서).
- 양의석, 김아름, 김비아. 2018. 영국의 에너지·기후변화 정책기조와 청정성장 전략. 세계 에너지시장 인사이트, 제18-4호: 3-16. 울산: 에너지경제연구원.
- 윤계형. 2011. 유럽연합의 입법절차와 영향평가. 입법평가연구, 제5호: 109-134.
- 온실가스종합정보센터. 2015. 온실가스 배출권거래제 상쇄제도(리플렛). 서울: 온실가스종합정보센터.
- <https://ors.gir.go.kr/home/board/read.do? pagerOffset = 30&maxPageItems = 10&maxIndexPages = 10&searchKey = &searchValue = &menuId = 2&boardId = 4&boardMasterId = 4>
- 온실가스종합정보센터. 2019. 2019 국가 온실가스 인벤토리 보고서. 서울: 온실가스종합정보센터.
- 이만기, 김승수, 남지희, 문기환, 이종희, 김후곤, 정주용. 2011. MESSAGE 모형을

-
- 이용한 부문별 온실가스 감축잠재량 분석. 온실가스종합정보센터.
- 이은석. 2016. 녹색건축 정책의 키스톤(keystone), 건물에너지 데이터. 건축과 도시공간, 22(2016-06): 15-29. 세종: 건축공간연구원.
- 이정찬, 박종순, 안승만, 조만석, 성선용, 이유진, 임인혁, 서정석. 2020. 친환경·에너지 전환도시를 위한 그린 뉴딜 추진 방안 연구. 기본20-05. 세종: 국토연구원.
- 이정찬. 2019. 뉴욕시 그린뉴딜 정책 및 시사점: One NYC 2050 및 기후활성화법(Climature Mobilization Act)을 중심으로. WP 19-02. 세종: 국토연구원.
- 이충국. 2016. 건물부문 배출권거래제 현안진단 및 온실가스 감축 활성화 방안. 부동산포커스, 제97호: pp. 46-54. 한국감정원 부동산연구원.
- 임정민, 이영환, 김홍주, 조필규, 최원철, 박보근, 황영호. 2016. 새뜰마을사업 추진체계 및 평가방안 연구. 연구지원 2016-32호. 대전: 한국토지주택공사 토지주택연구원.
- 일본 경제산업성. 2015. ZEH 보급을 위해서~앞으로의 시책 전개~(ZEH로드맵 개요판).
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/zeh_report/pdf/report_160212_ja.pdf
- 장현숙. 2012. 미국 신재생가능에너지 시장 진출전략. 에너지포커스 가을호, 101-116. 울산: 에너지경제연구원.
- 정영선, 김경우, 정해권, 최소영, 전의찬. 2014. 국가 건물부문 온실가스 감축 전략 분석 연구(2차년도). KICT 2014-161. 고양: 한국건설기술연구원.
- 한국산업기술진흥원. 2018. 유럽 에너지 효율 우수 사례. 글로벌기술협력기반육성사업(GT) 심층분석보고서, GT2018-EU02. 서울: 한국산업기술진흥원.
- 한국에너지공단. 2019. 2019 KEA 에너지 편람. 울산: 한국에너지공단.
- 한국에너지공단. 2016. 2016 Korea Energy Handbook 대한민국 에너지 편람. 울산: 한국에너지공단.
- 홍태훈, 강현웅. 2018. 제로에너지빌딩 구현을 위한, 공동주택 그린리모델링 최적 의사

-
- 결정 지원 시스템 개발. 안양: 국토교통과학기술진흥원.
- Boston Green Ribbon Commission, Boston University. 2019. Carbon Free Boston: Summary Report 2019.
<https://www.greenribboncommission.org/wp-content/uploads/2019/01/Carbon-Free-Boston-Report-web.pdf>
- Deb, K., Paratap, A., Agarwal, S., Meyarivan, T. 2002. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6, no.2: 182-197.
- IPCC. 1996. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. International Panel on Climate Change, United Nations Environment Programme. International Energy Agency, Japan.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. International Panel on Climate Change. Institute for global environmental strategies, Japan.
- IPCC. 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 104 pp.
- Mayor Martin J. Walsh. 2019. City of Boston Climate Action Plan: 2019 Update. City of Boston.
- Marianne Kjendseth Wiik, Selamawit Mamo Fufa, Daniela Baer, Igor Sartori, Inger Andresen. 2018. The ZEN Definition – A Guideline for the ZEN Pilot Areas Version 1.0. ZEN Report No. 11. Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities (FME ZEN).
- New York City Government. 2016. New York City's Roadmap to 80X50.
<https://www1.nyc.gov/assets/sustainability/downloads/pdf/publications/New>

-
- %20York%20City's%20Roadmap%20to%2080%20x%2050_Final. pdf (2020년 7월 1일 검색)
- FME ZEN(Research Centre on Zero Emission Neighbourhoods in Smart Cities). 2019. Annual Report 2018.
- The City of Surrey. 2013. Community Energy & Emissions Plan
- Wall, M. B. 1996. A Genetic Algorithm for Resource-Constrained Scheduling. Massachusetts Institute of Technology(Dissertation).
- Yoon, E. J., Kim, B., Lee, D.K. 2019. Multi-objective planning model for urban greening based on optimization algorithms. Urban Forestry & Urban Greening 40: 183-194.
- Yoon, E. J., Lee, D.K., Kim, H.G., Kim, H.R., Jung, E., Yoon, H. 2017. Multi-Objective Land-Use Allocation Considering Landslide Risk under Climate Change: Case Study in Pyeongchang-gun, Korea. Sustainability 9, 2306.

【인터넷 자료】

건물부문 관장기관용 목표관리지원시스템.

<https://tmss.greentogether.go.kr/cmm/selectMain.do>. (2020년 6월 30일 검색)

건물부문 관장기관용 목표관리지원시스템. 목표관리제소개.

<https://tmss.greentogether.go.kr/gnr/selectAboutTmss.do>. (2020년 6월 30일 검색)

건축데이터 민간개방 시스템. <https://open.eais.go.kr>. (2020년 6월 30일 검색)

건축행정시스템 세움터. <https://cloud.eais.go.kr/#anchor1>. (2020년 6월 30일 검색)

공공데이터 포털. <https://www.data.go.kr/data>. (2020년 6월 30일 검색)

광주광역시 홈페이지: 저탄소 녹색아파트 조성사업.

<https://www.gwangju.go.kr/envi/contentsView.do? pageId=envi226> (2020년 10월 31일 검색)

국가공간정보포털. <http://data.nsdi.go.kr>. (2020년 6월 30일 검색)

국가통계포털(KOSIS) 에너지수급통계, 최종에너지 부문별 소비.

https://kosis.kr/statisticsList/statisticsListIndex.do? menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01&parentId=U.1;U_9.2;#337_33701_2.3 (2020년 7월 30일 검색)

국토교통부. 건축물 생애이력 관리시스템.

<https://blcm.go.kr/cmm/main/mainPage.do>. (2020년 6월 30일 검색)

국토정보지리원 토지이용현황도 분류항목.

<http://data.nsdi.go.kr/dataset/20190801ds00001> (2020년 5월 1일 검색)

그린투게더(Green Together) - 에너지 목표관리

https://www.greentogether.go.kr/gpi/Green-ReModeling.do;jsessionid=nUWUqHKWOZ39szXIP1pIqaabDA9pfovghQL5jHGdDx2D39Br4dk3VAPEIvPAbPHI.nbemisp1_servlet_engineGbp# (2020년 6월 30일 검색)

그린투게더(Green Together). <https://www.greentogether.go.kr/main.do>. (2020년 6월 30일 검색)

금천구청 홈페이지: 시흥5동 새뜰마을사업

<https://www.geumcheon.go.kr/portal/contents.do? key=898> (2020년 10월 8일 검색)

독일 KfW 홈페이지: 에너지효율화 프로그램

[https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kredit-\(151-152\)/](https://www.kfw.de/inlandsfoerderung/Privatpersonen/Bestandsimmobilien/Finanzierungsangebote/Energieeffizient-Sanieren-Kredit-(151-152)/) (2020년 10월 31일 검색)

에너지절약통합포털. 에너지 절약 계획서 안내.

http://build.energy.or.kr/EP/plan_01.do. (2020년 6월 30일 검색)

여인규. 2019. 내년 ‘BEMS 사업자등록제도’ 도입추진. kharn, 9월 8일.
<https://www.kharn.kr/news/article.html?no=10645>

일본 경제산업성 홈페이지: ZEH
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/hoosing/index03.html (2020년 6월 30일 검색)

일본 에코튜닝 추진센터 홈페이지: 에코튜닝 추진센터란
<https://www.j-bma.or.jp/eco-tuning/center/> (2020년 10월 31일 검색)

일본 환경성 홈페이지: 에코튜닝 비즈니스모델 확립 사업
<http://www.env.go.jp/earth/ecotuning/index.html> (2020년 6월 30일 검색)

프랑스 Energy Control 홈페이지: PTZ
<https://www.energy-control.fr/eco-pre-t-a-taux-0/> (2020년 10월 31일 검색)

한국건축규정시스템. <http://xn--z69alsok680gd0firm.kr/>. (2020년 6월 30일 검색)

한국스마트그리드협회. 2015. 해외 전력업계의 스마트미터 활용대책(2). 8월 26일.
http://www.ksga.org/sub3/pds_read_newsletter.asp?ID=3104&read=46&article2=1&ForumID=0&kind=2 (2020년 8월 30일 검색)

한국에너지공단 - 친환경주택 성능평가.
http://www.energy.or.kr/web/kem_home_new/ener_efficiency/building_04.asp.
(2020년 6월 30일 검색)

한국토지주택공사 그린리모델링창조센터. 민간이자지원사업 개요.
<https://www.greenremodeling.or.kr/support/sup1000.asp>. (2020년 6월 30일 검색)

환경공간정보서비스. <https://egis.me.go.kr/main.do>. (2020년 6월 30일 검색)

e-나라지표 건축물 현황 데이터.
https://www.index.go.kr/potal/main/EachDtlPageDetail.do?idx_cd=1226.
(2020년 6월 26일 검색)

G-SEED 녹색건축인증. 2016. 세부평가기준(국토부고시 제2016-341호).

<https://gseed.greentogether.go.kr/sys/cis/actionDetlEstmStd2016.do>. (2020년 6월 30일 검색)

G-SEED 녹색건축인증.

<https://gseed.greentogether.go.kr/sys/gms/selectGreenMain.do>. (2020년 6월 30일 검색)

【 내부자료 】

노후공동주택 수직증축리모델링 연구단(아주대학교). 2020. 노후공동주택

리모델링연구단 실증단지 공모 신청단지 분석자료. (내부자료)

에코앰파트너스. 2020. 건물 온실가스 에너지 절감 기술 데이터 DB. (내부자료)

SUMMARY



Greenhouse Gas Reduction Strategy in the Building Sector by Utilising Building Parcels

Lee Jungchan, Yoon Eunjoo, Kim Heechul, Kim Soyeon, Oh Byungchul,
Lee Meeyoung, Park Jongsun, An Seungman

Key words: Greenhouse gas mitigation, Carbon neutral, Building sector emission
Multi-objective Optimisation, Genetic Algorithms, Green new deal

The Republic of Korea is currently facing an important situation of having to make a breakthrough in response to globally occurring economic, social and environmental trends.

New climate regime (Post 2020) by Paris Agreement 2015 obligates Republic of Korea to reduce Greenhouse gas (GHG) emissions by 37% compared to BAU by 2030, but domestic GHG emissions continue to increase, hence requiring strong reductions. The building sector has the highest cost-effectiveness reduction among non-industrial sectors, and plays an important role in achieving the national GHG reduction target. There are, nonetheless, manifold difficulties in applying current GHG reduction measures to existing buildings, which demands complementary reduction strategy. This study aims to propose those complementary strategic plan for achieving the goal of reducing greenhouse gas emissions in the building sector by utilising the land (parcel)

space outside the building.

Chapter 2 examined the current status and policy trends in Korea. First, the energy consumption status of domestic buildings was analysed. Then the domestic building sector's GHG reduction policy and the current status of related laws, systems, and projects were analysed including pilot projects in the space level. In spite of these policies, the reason why greenhouse gases are not being reduced in the building sector was derived. Furthermore, through in-depth interviews with government ministries and experts, implications for future improvement directions were drawn.

Chapter 3 reviewed the policy trends of major overseas countries including Europe, the United States, Japan, and China that promote greenhouse gas reduction policies at the building level. It was remarkable that specific local governments in Canada, Norway, and the United States are taking spatial approaches rather than building units. Those cases support the necessity of developing an analysis tool, which is space-level GHG reduction optimisation model, to assist framing GHG reduction policies.

Chapter 4 conducted analysis of optimising the reduction of greenhouse gases in the building sector utilising buildings' parcel space. A model that maximise the greenhouse gas reduction while minimising reduction costs was designed by using a genetic algorithm in combination with building units and external spaces. Applying the model to three target areas in Seoul, it was found that there was at least 50 to 80% of greenhouse gas reduction effect, which confirms effects of utilising external space of buildings.

Chapter 5, as a conclusion, proposed available complementary improvements for current policies, which utilise outer space of building to optimise GHG reduction in building sector.

부 록

APPENDIX



▣ 부록1: 온실가스 순배출량 산정 관련 계수

부록 1| 천연가스 관련 온실가스 계수

구분		값
Conversion factor(CF)		0.9028
Emission factor(EF)	CO2 (tCO2/TJ)	55.82
	CH4(tCH4/TJ)	0.005
	N20(tN20/TJ)	0.0001

자료: 정영선, 김태형(2019, 191)

부록 2| 전력 관련 온실가스 계수

구분		값
Conversion factor(CF)		1
Emission factor(EF)	CO2 (tCO2/TJ)	0.4653
	CH4(tCH4/TJ)	0.0054
	N20(tN20/TJ)	0.0027

자료: 정영선, 김태형(2019, 191)

부록 3| 지구온난화지수(Global warming potential, 기후변화협약)

구분	값
CO2	1
CH4	21
N20	310

자료: 정영선, 김태형(2019, 191)

부록 4| 수종별 면적당 온실가스 흡수량 (단위: tCO₂/ha)

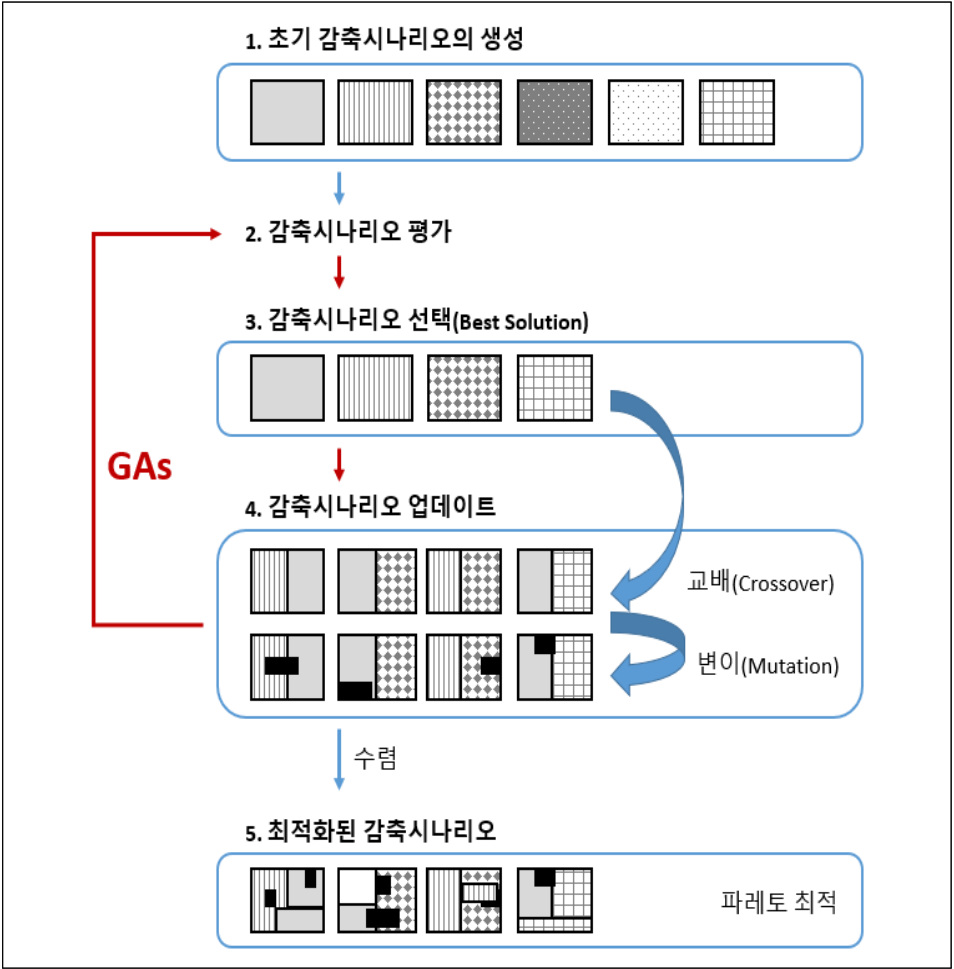
수종	연령(년)					
	10	20	30	40	50	60
혼효림	6.91	11.62	10.74	8.27	6.79	5.76
침엽수림	5.76	10.14	7.42	7.42	5.85	4.79
활엽수림	10.36	16.08	10.81	10.81	9.62	8.65

자료: 국립산림과학원(2013, 1)

■ 부록2: 감축시나리오 최적화 모델 방법론 (유전알고리즘 기반)

- 국외에서는 공간상에 다양한 가치를 반영하기 위해 다목적 최적화 알고리즘 (Multi-objective Optimization)을 적용하고 있음. Genetic Algorithms(유전 알고리즘, 이하 GAs)은 그 중에서도 가장 역사가 길고 빈도 높게 적용되는 방법론으로, 다양한 목적에 대해 충분히 만족스러운 계획안을 합리적인 시간 내에 탐색 할 수 있는 것으로 알려져 있으며 장점으로서는,
 - 목적 간 상쇄 효과와 시너지 효과를 내재하는 것이 가능하며,
 - 반복적인 시뮬레이션에서 일관성 있는 결과를 도출할 수 있고,
 - 의사결정자의 판단기준, 선호도 변화를 반영하는 파라미터 값에 따른 반복적 시뮬레이션 역시 가능하다는 장점이 있음
- GAs는 자연선택에 기초하여 글로벌 최적(global optimum)에 충분히 가까운 해를 찾는 메타휴리스틱(meta-heuristic) 계열의 알고리즘임. 본 연구에서 다루고 있는 감축시나리오 작성의 문제와 연계한다면, GAs는 의사결정이 가능한 경우의 수 중, 사전에 결정된 제약요건을 만족시키는 시나리오 중(feasible scenario) 비용 대비 감축 효과가 가장 큰 감축시나리오를 찾아내는 최적화 알고리즘으로도 정의 할 수 있음
- GAs의 과정은 크게 ① 초기 감축시나리오 생성, ② 감축시나리오 평가, ③ 감축시나리오 선택, ④ 감축시나리오 업데이트(GAs는 새로운 감축시나리오를 생성하는 기작으로서 crossover, mutation 등의 전략을 사용)로 구분되며, 비용과 온실가스 감축 측면에서 더 이상 좋은 해가 도출되지 않는 수렴의 패턴이 나타날 때까지 ②, ③, ④의 단계를 반복함(positive feedback loop)

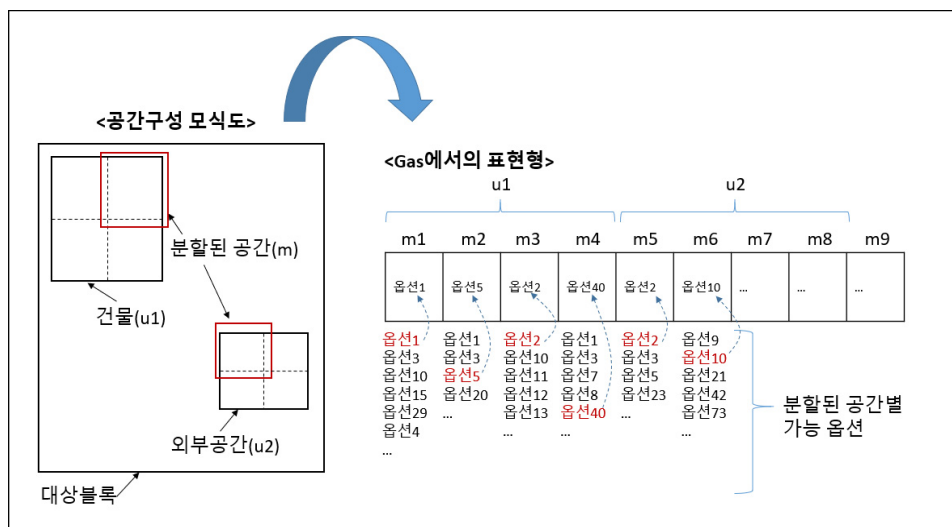
부록 5 | GAs의 주요 흐름도



자료: 저자 작성

- 최적화를 진행하기 이전 단계로서 감축시나리오를 GAs에 적합한 표현형으로 어떻게 구현할 것인가를 결정할 필요가 있음

부록 6 | GAs 표현형 예시



자료: 저자 작성

① 초기 감축시나리오의 생성(Initialization)

- 최적화가 진행되기 위한 감축시나리오 초안이 작성되는 단계임. 탐색의 영역을 충분히 넓히기 위해 랜덤으로 10~200개 범위 내에서 생성해야 하며, 정확한 규모 (generation size)는 모델을 구축한 다음 민감도 테스트를 통해 결정될 예정임.
- 또한 랜덤으로 생성하더라도 감축옵션별 적용되기 위한 기준(물리적·환경적)과 의사결정대상의 특성이 상호 연계될 수 있도록 하고 그 외 의사결정자가 설정한 제약요건(녹지비율 또는 건물의 에너지 소비 특성에 따른 우선 감축옵션)을 만족시키도록 함으로써, 실현가능한 감축시나리오(feasible solution)로 구성되도록 함

② 감축시나리오 평가(fitness evaluation)

- 감축시나리오 최적화의 목적은 ‘온실가스 배출량의 최소화’와 ‘감축옵션 적용 비용의 최소화’로 설정되었으며, 개별 감축시나리오는 각 목적을 표현하는 수식을 통해 평가되어, 두 개의 적합도 값을 지님(f_{co2} : 온실가스 배출량, f_{cost} : 감축옵션 적용 비용)

$$Minimize(f_{co2}, f_{cost}) \quad \langle \text{수식 1} \rangle$$

A. 온실가스 순 감축량 평가 부분

- 아래 수식에서, U는 의사결정이 가능한 건물과 외부공간의 수이며, M은 의사결정을 내릴 수 있도록 분할된 공간의 수이고($M \geq U$), J는 분할된 공간 m에 대해 적용 가능한 감축옵션의 수를 의미함. 또한, α_u 는 공간 u가 기존에 배출하고 있는 온실가스 양이며, $\beta_{m,j}$ 는 분할된 공간 i에 감축옵션을 적용했을 때 감축되는 온실가스 배출량임. α_u 와 $\beta_{m,j}$ 은 이산화탄소 등가계수를 적용하여 이산화탄소 상당량(Equivalent)으로 단일화 하여 단위를 CO_{2e} (CO_2 equivalent)로 통일함.
- α_u 는 공간 u가 기존에 배출하고 있는 온실가스 양이며, $\beta_{m,j}$ 는 분할된 공간 i에 감축옵션을 적용했을 때 감축되는 온실가스 배출량임. α_u 와 $\beta_{m,j}$ 은 이산화탄소 등가계수를 적용하여 이산화탄소 상당량(Equivalent)으로 단일화 하여 단위를 CO_{2e} (CO_2 equivalent)로 통일함.
- x_k 는 0또는 1로 표출되는 변수로서, 분할된 공간 m에 하나의 감축옵션 k가 적용될 수 있도록 하는 조절 변수임*

*계산의 용이성을 확보하기 위해, 개별 분할된 공간에는 하나의 감축옵션이 100% 적용되는 것으로 가정하였음. 하나의 건물 u에 여러 감축옵션을 적용하고자 하는 경우, 건물 u를 충분한 수의 공간으로 분할할 필요가 있음

$$f_{co2} = \sum_{u=1}^U \alpha_u - \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \beta_{m,j} x_j \quad \langle \text{수식 2} \rangle$$

$$x_j \in \{0,1\}; \sum_{j=1}^J x_j = 1 \quad \langle \text{수식 3} \rangle$$

- 기본적으로 α_u 는 IPCC 가이드라인(IPCC 1996; 2006)과 온실가스·에너지 목표 관리 운영 등에 관한 지침(환경부고시 제2016-255호)에 따른 수식을 이용하였으며, 공간 u가 건물일 때에는 연료연소에 의한 온실가스 직접 배출량 $\alpha_{u,1}$ 과 전력 및 열사용에 의한 온실가스 간접 배출량 $\alpha_{u,2}$ 을 각각 구하여 합산하였음.

$$\alpha_u = \alpha_{u,1} + \alpha_{u,2} \quad \langle \text{수식 4} \rangle$$

- 공간 u가 건물이며, 연료 연소에 의한 직접 배출이 있는 경우,

$$\alpha_{u,1} = \sum Q_i \times (EC_i \times EF_i \times f_i \times F_{eq,i}) \times K \quad \langle \text{수식 5} \rangle$$

Q_i = 연료별사용량($L, kWh, kcal$ 등)
 EC_i = 연료별 열량 전환계수
 EF_i = 연료별 온실가스배출계수
 f_i = 연료별 산화계수
 $F_{eq,i}$ = 온실가스별 CO_2 등가계수(GWP)
 K = 단위 환산계수

- 공간 u가 건물이며, 전력과 열 사용에 의한 간접 배출이 있는 경우,

$$\alpha_{u,2} = \sum Q_i \times (EF_i \times F_i) \times K \quad \langle \text{수식 6} \rangle$$

Q_i = 연료별사용량($L, kWh, kcal$ 등)
 EF_i = 연료별 온실가스배출계수
 f_i = 연료별 산화계수
 $F_{eq,i}$ = 온실가스별 CO_2 등가계수(GWP)
 K = 단위 환산계수

- 공간 u가 건물이 아닌 외부공간이며, 수목이 없는 경우 기존의 온실가스 배출량 α_u 을 0값으로 처리하며, N 종류의 수목이 있는 경우에는 아래의 수식처럼 수목

별로 온실가스 흡수량을 계산하여 합산함

$$\alpha_u = - \sum_{n=1}^N \Delta V_n \times D_n \times BEF_n \times (1 + R_n) \times CF \times 44/12 \quad \langle \text{수식 7} \rangle$$

ΔV_n = 임목 순생장량 (m^3)
 D_n = 목재기본밀도
 BEF_n = 바이오매스 확장계수
 R_n = 뿌리함량비
 CF = 탄소전환계수 ($IPCC$ 기본값은 0.5)
 $44/12$ = 이산화탄소 전환계수

- 분할된 공간 m 에 감축옵션 j 적용하여 얻는 온실가스 감축효과 $\beta_{m,j}$ 는 아래의 수식을 적용하여 계산함. PF_j 는 감축옵션 j 와 관련해 밝혀진 단위면적당 또는 개소당 온실가스감축효과를 의미하며, AQ_m 은 분할된 공간 m 의 면적 또는 분할된 공간 m 에 적용하는 감축옵션 j 의 수량을 의미함. 또한, 같은 감축옵션이더라도 대상 공간의 특성에 따라 온실가스 감축의 효과가 달라질 수 있으므로 별도의 변수 CT 를 통해 조정될 수 있도록 하였음

$$\beta_{m,j} = PF_j \times AQ_m \times CT \quad \langle \text{수식 8} \rangle$$

B. 감축 비용 평가 부분

- 아래 수식에서, M 과 J 는 <수식 2>와 동일한 의미를 갖으며, $\gamma_{m,j}$ 는 분할된 공간 m 에 감축옵션 j 를 100% 적용했을 때 발생하는 비용을 의미함. $Cost_j$ 는 감축옵션 j 와 관련해 밝혀진 단위면적당 또는 개소당 비용이며, AQ_m 은 분할된 공간 m 의 면적 또는 분할된 공간 m 에 적용하는 감축옵션 j 의 수량을 의미함. 또한, 실제 공간에서는 온실가스 감축을 유도하기 위한 정책적 수단으로서 인센티브 또는 페널티를 부여하기 때문에, 이를 반영하기 위한 변수 IC (incentive)와 PN (penalty)를 설정하였음

$$f_{\text{cost}} = \sum_{m=1}^M \sum_{j=1}^J \gamma_{m,j} x_j \quad \langle \text{수식 9} \rangle$$

$$\gamma_{m,j} = Cost_j \times A Q_m \times IC \cdot PN \quad \langle \text{수식 10} \rangle$$

C. Goal programming

- 위에서 산출된 f_{co2} 와 f_{cost} 의 값은 최적화 과정에서 좋고 나쁨의 기준이 되는 적합도 값(fitness value)으로 적용될 수 있으나, 최적화 목적이 온실가스 배출량의 최소화 또는 비용의 최소화가 아닌, 특정 배출량과 비용 수준에 있는 경우 Goal programming을 적용할 수 있음. Goal programming에서는 사전에 의사결정자가 설정된 목표치를 중심으로 각 목적에 대한 평가값 f_{co2} 와 f_{cost} 를 목표치에 가까운 시나리오와 그렇지 않은 시나리오 간 격차가 확대되도록 표준화하여 적합도 값($fitness_{co2}$, $fitness_{cost}$)을 재 산정함
- 아래의 수식에서 f_{cost} 는 개별 감축시나리오에 <수식9>을 적용하여 산정한 값이며, I_{cost} 는 의사결정자가 의도한 목표값을, W_{cost} 는 최적화 과정에서 밝혀진 값 중, 가장 나쁜 값을 의미함
- f_{co2} 에 대한 목표치가 있을 때에도 <수식 11>과 같은 구조로 적용할 수 있음
- 상수 p 는 목표 값으로 최적화가 유도될 수 있도록 가하는 압력(selection pressure)에 해당하며, 모델 구축 후 2~11의 범위 내에서 민감도 테스트를 통해 결정될 수 있음

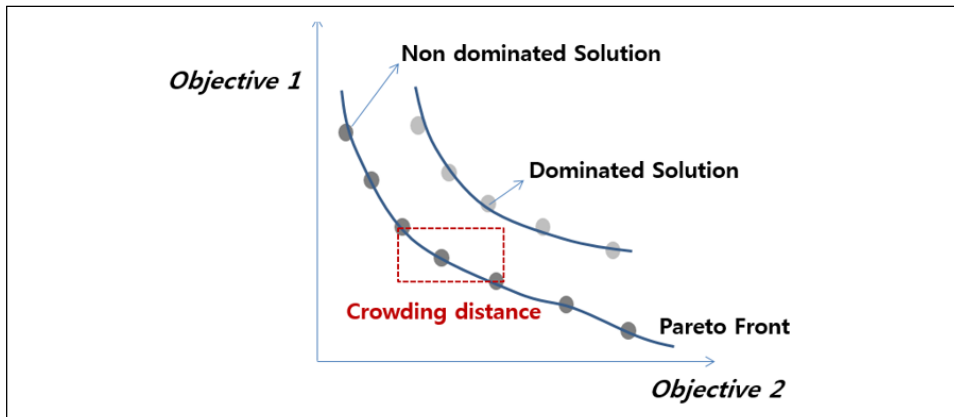
$$fitness_{cost} = \left[\frac{f_{cost} - I_{cost}}{W_{cost} - I_{cost}} \right]^p \quad \langle \text{수식 11} \rangle$$

③ 감축시나리오 선택(Selection)

- 일련의 감축시나리오에 대해 온실가스 배출량과 감축옵션 적용비용의 적합도 값을 산출한 다음, 상대적으로 우수한 대안을 확률적으로 선택하는 단계임
- 단목적 최적화의 경우 개별 적합도 값을 합산하여 사용할 수 있으나, 척도를 단일화 하는 문제, 가중치 설정의 문제 등이 발생할 수 있음

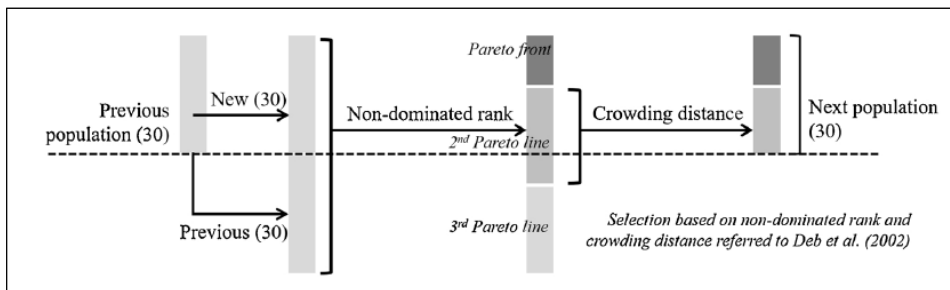
- 따라서 본 연구에서는 개별 목적을 개별 축으로 설정하고, 파레토 최적에 해당하는 감축 시나리오를 선정하는 방식을 적용하였음
- 구체적으로는 Dep et al. (2002)이 제안한 NSGA II(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II, 비지배정렬유전알고리즘)의 선택전략을 채택함

부록 7| NSGAII에서의 선택 전략 개념도



자료: Yoon et al.(2017, 7)

부록 8| NSGA II의 선택전략 흐름도(예시)



자료: Yoon et al.(2019, 193)

- NSGA II의 대표적 선택전략으로서 ‘non-domination rank’와 ‘crowding distance’가 있음. NSGA II에서는 이전의 최적화 루프에서 먼저,

‘non-domination rank’ 전략에서는 모든 감축시나리오의 비지배된(dominate), 지배된(dominated) 관계를 평가하고, 다른 시나리오에 대해 지배된 횟수(non-domination rank)를 고려하여 해당 시나리오가 파레토 프론트 라인으로부터 몇 번째 열에 있는지를 파악함. 만약 선택해야 하는 감축시나리오의 수가 N 개라고 했을 때, N 개 이상이 될 때까지 파레토 프론트(Pareto front)부터 순차적으로 선택해 나감(1, 2, ..., m).

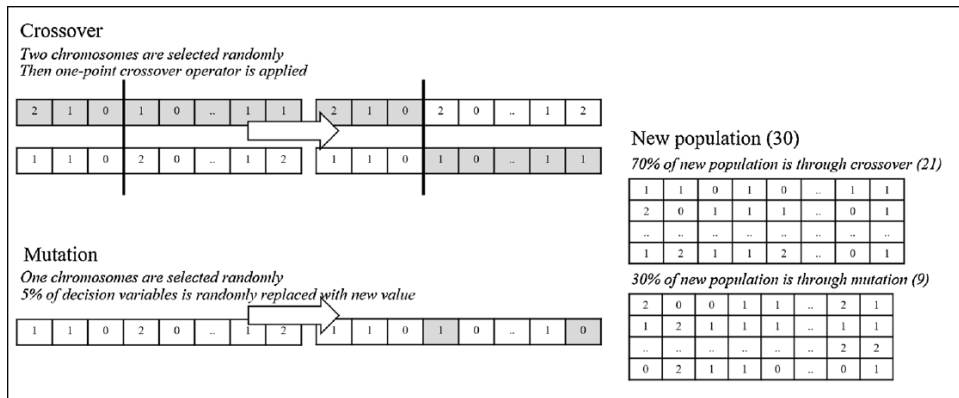
- 열을 기준으로 선택하기 때문에, 정확히 N 개를 선택하기 위해서는 마지막에 선택된 m 번째 열에서 필요한 수만 재 선택하기 위한 기준이 필요함
- NSGA II에서는 그 기준으로서 ‘crowding distance’의 개념을 적용함. 위의 그림에서처럼 ‘crowding distance’는 개별 감축시나리오에서 적합도 값을 기준으로 가장 가까운 위치에 있는 다른 두 개의 감축시나리오 간 거리임.
- 즉, m 번째 열에 있는 감축시나리오 각각에 대해 ‘crowding distance’를 계산한 다음 그 크기가 큰 순서부터 재 정렬하여 필요한 수의 시나리오를 선택함.
- 여기에서 감축시나리오의 ‘crowding distance’가 크다는 의미는, 해당 시나리오가 다른 시나리오와 차별성 있는 적합도 값(혹은 퍼포먼스)을 나타냄을 의미하여, 이러한 선택전략이 축적되었을 때 보다 다양한 선택지가 있는 최적화 결과를 얻을 수 있음

④ 감축시나리오 업데이트

- GAs는 파풀레이션에 기초한 최적화 알고리즘(population based optimization)이며, 감축시나리오의 업데이트 역시 복수의 감축시나리오를 결합하는 방식을 채택하며, 이를 교배(crossover)전략으로 지칭함
- 복수의 감축시나리오를 결합하여 새로운 감축시나리오를 생성하기 위한 방법에는 여러 종류가 있으며, 그 중 대표적인 방식이 두 개의 감축시나리오 상에 임의의 한 지점을 선정하고 그 지점을 기준으로 교차하여 이어 붙이는 방식임(one-point crossover operator)

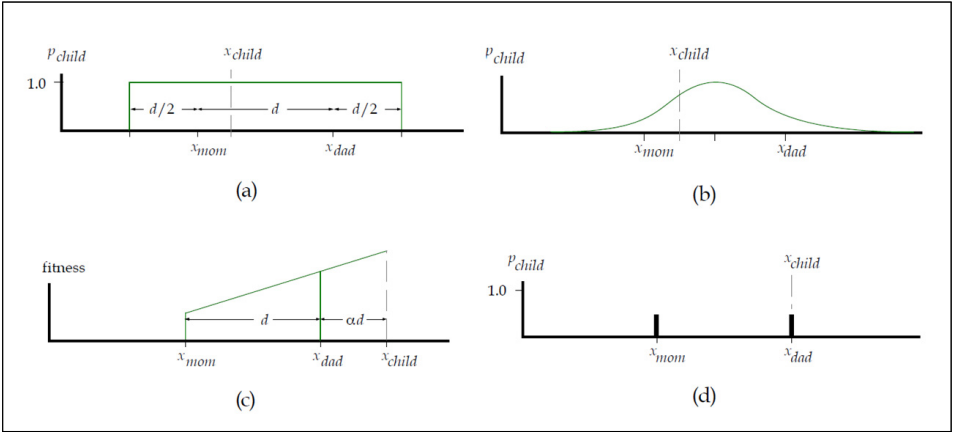
- 그 외에도 선택된 두 가지 시나리오 값 간의 거리에 기초하여 교배시키는 방식(부록 10a), 값 간의 평균치에 기초하여 일부 변이시키는 방식(부록 10b), 외삽의 방식으로 교배시키는 방식(부록 10c), 무작위 적으로 둘 중 하나의 값을 선택하는 방식(부록 10d) 등으로 구분할 수 있음. 그러나 이러한 방식은 감축 시나리오에 직접적으로 적용되기는 어려우며, 문제의 표현형에 맞도록 재해석하는 것이 필요
- 일부 연구에서는 최적화의 단계에 따라 임의로 선택되는 지점의 수를 조절함으로써 로컬 옵티멈(local optimum)으로 설익은 수렴이 발생하는 것을 방지하기도 함(adaptive operator)
- o 기존에 보유하고 있는 감축시나리오만을 이용하여 새로운 감축시나리오를 생성하는 경우(교배, crossover), 충분한 영역의 경우의 수를 탐색하지 못할 가능성이 존재함. 따라서 GAs에서는 일부 감축시나리오에 대해 기존의 감축옵션을 새로운 감축옵션으로 변경하는 변이(mutation) 전략을 적용함

부록 9 | GAs에서 감축시나리오의 업데이트를 위한 교배 및 변이 전략(예시)



자료: Yoon et al.(2019, 193)

부록 10 | 감축시나리오 업데이트를 위한 교배 전략(예시)



자료: Wall(1996, 38)

기본 20-32

건물 분야 온실가스 감축을 위한 건물·토지공간 활용전략

저 자 이정찬, 윤은주, 김희철, 김소윤, 오병철, 이미영, 박종순, 안승만

발 행 인 강현수

발 행 처 국토연구원

출판등록 제2017-9호

발 행 2020년 11월 30일

주 소 세종특별자치시 국책연구원로 5

전 화 044-960-0114

팩 스 044-211-4760

가 격 7,000원

I S B N 979-11-5898-599-8

홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2020, 국토연구원

이 연구보고서를 인용하실 때는 다음과 같은 사항을 기재해주시시오.

이정찬, 윤은주, 김희철, 김소윤, 오병철, 이미영, 박종순, 안승만. 2020. 건물 분야 온실가스 감축을 위한 건물·토지공간 활용전략. 세종: 국토연구원.

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

이 연구보고서는 한국출판인협회에서 제공한 KoPub 서체와 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체 등이 적용되어 있습니다.