신재생에너지 보급 시나리오를 통한 건물부문 온실가스 감축 잠재량 분석

정영선^{1†} · 조수현² · 문선희³

¹한국건설기술연구원 건축에너지연구소, 연구위원

²한국건설기술연구원 건축에너지연구소, 학생연구원, 서울시립대학교 건축공학과, 박사과정

³한국건설기술연구원 건축에너지연구소, 박사후연구원

Potential Reduction of Greenhouse Gas Emissions for Buildings by Renewable Energy

Jeong Young-Sun^{1†} · Cho Suhyun² · Moon Sun-Hye³

¹Research Fellow, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²Ph.D. Candidate, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology & University of Seoul

³Researcher, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

[†]Corresponding author: sunj74@kicr.re.kr

Abstract

This study aims to propose a renewable energy scenario for the building sector to reduce greenhouse gas (GHG) emissions and to estimate the potential reduction of emissions in the building sector by 2050, based on this scenario. The types of buildings used for analysis are detached houses, apartments, commercial buildings, and educational buildings. The activity data for the building sector's projection model are building use type, gross floor area of building use, building energy intensity, and GHG emission factor. The prediction of GHG emissions from this scenario is that they will increase steadily from 2020, peak in 2039, and start declining from 2050. The result shows that the potential reduction in emissions will be about 43.1 million tons of CO_{2e} against business as usual, in 2050.

Keywords: 신재생에너지(Renewable energy), 감축 시나리오(Reduction scenario), 건물부문(Building sector), 온실가스(Greenhouse gas), 탄소중립(Carbon neutrality)

기호 및 약어 설명

$E_{i,j}$: 연료(i) 연소에 따른 부문(j)별 온실가스 배출량(ton CO_{2e})

A_{unitj} : 건물용도(j)별 단위 연면적(m²)

$QE_{uniti,j}$: 에너지원(i)별 에너지 원단위(TOE/m²·yr)

GWF_i : 에너지원(i)별 온실가스 배출계수(ton CO_{2e}/TOE)

TOE : 석유환산톤(Ton of oil equivalent)

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.41, No.6, pp.73-84, December 2021
<https://doi.org/10.7836/kjes.2021.41.6.073>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 10 October 2021

Revised: 8 November 2021

Accepted: 11 November 2021

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

하첨자 설명

I : 에너지원(연료)의 종류

j : 건물 용도(단독주택, 공동주택, 상업건물, 교육사회용 건물)

unit : 원단위

1. 서론

국제사회는 기후변화 문제의 심각성에 대한 인식이 확대되면서 현재를 ‘기후위기의 시대’로 명명하고 이를 해결하기 위해 파리협정을 체결하여 신기후체제를 출범시켰다. 최근에는 탄소중립이 전 세계의 이슈가 되어 많은 국가에서 2050년 탄소중립을 선언하고 있다. IPCC는 2100까지 지구 평균온도 상승폭을 1.5℃ 이내로 제한하기 위해 전 세계적으로 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 최소 45%이상 감축해야 하고, 2050년에는 탄소중립(Net-Zero)을 달성하여야 한다고 경고하고 있다. 에너지 분야에서 온실가스 배출량을 줄이는 방법은 에너지공급을 탄소 발생이 제로인 신재생에너지로 전환하여야 하며 온실가스 배출을 동반하는 에너지 사용의 절대량을 줄이는 방법으로 접근하는 것이 필요하다¹⁾. 국내는 ‘제3차 에너지기본계획’과 ‘재생에너지 3020 이행계획’을 통해 재생에너지 발전량의 비중을 2030년까지 20%로 상향하는 계획을 수립하였고, 주택 및 건물에 재생에너지 활용을 확대할 계획이다. 적용 사례를 통한 구현 가능한 제로에너지주택의 에너지 자립화 수준 검토에서도 신재생에너지의 역할이 매우 큰 것을 확인할 수 있으며, 건축물에 적용되는 대표적인 신재생에너지 기술로 태양광, 태양열, 지열연계 히트펌프 시스템, 연료전지 등이 주거용 건물의 제로에너지화에 기여하고 있다²⁾.

유엔 기후변화협약사무국에 제출된 우리나라 자료에 따르면, 2030년 국가 온실가스 감축목표(Nationally determined contribution, NDC)로 2017년 배출량(7억 910만 톤) 대비 24.4% 감축을 제시했고, 장기 저탄소 발전전략(Long-term low greenhouse gas emission development strategies, LEDS)은 2050년까지 탄소중립을 달성하기 위한 장기 비전과 국가 전략을 제시하였다. 또한 우리 정부는 2050년 온실가스 배출량과 흡수량이 같아 탄소 순배출이 제로가 되는 ‘탄소중립 선언’을 하였고, 국가의 모든 영역에서 탄소중립 사회로 전환하기 위해 2021년 8월에는 ‘2050 탄소중립 시나리오(안)’을 공개하였다. 국가 전체 온실가스 총 배출량의 약 19.6%를 차지³⁾하는 건물부문의 온실가스 감축 목표는 2030년까지 14.4% 감축과 2050년까지 탄소중립 목표에 따라 건물 부문에서 온실가스의 순배출량을 제로로 달성하기 위해서는 획기적으로 배출량을 줄여야 한다⁴⁾.

따라서 본 연구에서는 2050년 탄소중립의 목표 달성을 위해 건물부문에서의 적극적인 온실가스 감축 방안의 마련을 검토하기 위해 건물부문의 신재생에너지의 보급 시나리오를 제시하고 이를 통해 2050년까지의 국내 온실가스 감축 잠재량을 분석하고자 한다.

1.1 연구방법

본 연구에서는 유엔환경계획(United Nations Environment Program, UNEP)에서 제시한 온실가스 감축량 산정 절차에 따라 먼저 국가의 신재생에너지 보급 계획을 검토하여 건물부문에 적용 가능한 신재생에너지 시나리오를 설정하고 이에 따른 2050년의 온실가스 감축 경로(Pathway)와 감축량을 산정하였다. 분석의 기준년도를 2019년으로 설정하고 국내 전체 건물부문에서 발생하는 온실가스 배출 전망을 2050년까지 실시하였다.

신재생에너지 보급 시나리오에 따른 국내 건물부문의 온실가스 배출 감축량을 분석하기 위해 건물부문의 온실가스 배출 분석과 관련한 기존 선행연구와 국내 재생에너지의 현황 등에 관해 고찰하였다.

다음으로 온실가스 배출 요인이 되는 활동 데이터로써 건물의 용도별 연면적과 에너지원단위를 도출하였다. 건물의 연면적은 국가 통계정보를 통해 각 용도별 연면적 데이터를 수집하였다. 용도별 에너지원단위는 국토교통부가 구축한 ‘국가 건물에너지 통합 데이터베이스(DB)’와 국가 에너지통계연보⁵⁾로부터 2015년부터 2019년까지 5년간 구축된 데이터를 활용하여 분석하였다. 이를 통해 건물용도별 단위 면적당 에너지원단위 데이터를 마련한다. 본 연구에서는 건물의 용도를 주거용 건물은 단독주택, 공동주택으로 구분하고, 비주거용 건물은 상업용, 교육사회용 건물로 구분하였다.

건물의 연면적과 에너지원단위를 통해 국내 건물부문에서 소비되는 에너지 소비량을 전망하고 에너지원별 온실가스 배출계수를 적용하여 온실가스 배출량을 산정한다. 이를 통해 2020년부터 2050년까지의 장기 온실가스 배출량을 전망하였다.

다음 단계는 국내 여러 문헌 및 정부의 정책 계획 등에 따른 건물부문 신재생에너지 보급을 통한 온실가스 감축 시나리오를 도출하여야 한다. 본 연구에서는 온실가스 감축 시나리오로 향후 국내 건축물에 적용할 신재생에너지 기술과 정책을 살펴보고 감축 시나리오를 구성하였다. 마지막 단계로 도출된 감축 시나리오의 내용을 온실가스 활동 데이터에 적용함에 따른 2050년 장기 온실가스 감축 잠재량을 도출하고 년도별 감축 추이를 분석하였다.

2. 연구를 위한 예비적 고찰

2.1 선행연구 고찰

본 연구와 관련하여 고찰된 선행연구는 온실가스 산정방법, 온실가스 현황 분석, 온실가스 분석 모형으로 구분하여 진행하였다.

국가 또는 분야별 온실가스 배출량 산정방법으로는 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 가이드라인(GL)으로 1996 IPCC GL과 2006 IPCC GL이 있다. 이 가이드라인은 국제적으로 각 국가가 자국이 배출하는 온실가스 배출량을 목록화하고 산출하는 방법론으로 활용되고 있다. 국내의 관련 기준으로는 ‘온실가스·에너지 목표관리제(환경부)’에 따른 온실가스·에너지 목표관리제 운영 등에 관한 지침(환경부 고시 제2016-255호), 지자체 온

실가스 배출량 산정지침 등이 있다. 본 지침들은 온실가스 관리대상이 되는 개별 업체(사업장)를 대상으로 배출량 산정 방법, 명세서 제출, 이행계획 실적보고 등에 대한 세부사항과 절차만을 제공하고 있다. 이에 국내에서 수행되는 대부분의 온실가스 산정에 관한 연구는 상기의 IPCC 가이드라인과 정부의 지침을 따른 산정방법 및 산정식을 적용하고 있다.

국가 온실가스 배출 현황을 제공하는 주요한 보고서로써 환경부 온실가스종합정보센터가 발간하는 ‘국가 온실가스 인벤토리 보고서⁶⁾’가 있으며 국가 전반의 온실가스 배출량 및 특성을 확인할 수 있다. 보고서에 따르면 우리나라는 2018년 기준 온실가스 총배출량(CO_{2e})이 727.6 백만톤이며, 에너지 분야가 86.9%로 가장 비중이 높은 것으로 보고되었다. 건물부문으로서 상업/공공(1A4a)과 가정(1A4b)부문에서는 2018년에 연료연소에 의한 직접 온실가스 배출량이 상업/공공부문은 15.1백만톤, 가정부문은 33.8백만톤으로 보고되었다. 그러나 전력, 지역난방(열)을 포함한 간접배출량은 제외되어 전체 건물의 에너지소비에 의한 온실가스 배출량 및 년도별 추이 등은 확인하기 어렵다. 또한 건물부문의 온실가스 배출 현황 및 특성에 관한 유의미한 연구^{3,7)}가 진행된 바가 있다. 국가 에너지통계와 국가 건물에너지 통합 DB를 기반으로 상기의 국가 온실가스 배출량 산정 방법론을 적용하여 건물부문의 온실가스 총 배출량 추이와 현황, 그리고 건물용도별, 지역별, 준공년도별 온실가스 배출 특성을 분석하여 제시하고 있다.

건물부문 온실가스 감축 분석모형과 관련한 앞선 연구로써 다음과 같은 연구가 있다. 건물부문 에너지 수요 전망을 통해 상향식 및 하향식을 조합한 하이브리드형 모형으로 온실가스 배출량을 전망하고 건물부문 감축량 산정을 위한 감축수단 도출을 위한 시나리오 연구가 있으며, 이 연구는 모형 개발과 시뮬레이션을 통한 시나리오 분석에 그치는 한계를 갖는다⁸⁾. 건물부문 에너지기기의 효율개선 정책방향과 탄소세 정책시나리오로 구성하여 장기 에너지 계획 및 비용 최적화 분석이 가능한 MESSAGE모형을 통해 에너지 소비량 및 온실가스 감축 잠재량, 총비용을 분석하였다⁹⁾. 2035년까지 에너지 절감 및 온실가스 배출량 산정을 위해 장기 에너지 계획 분석 모델인 LEAP모형을 활용하고 특정 단일 건물을 대상으로 온실가스 배출량을 분석하였으나 국가 온실가스 전체에 대한 감축 잠재량 분석이 요구된다^{10,11)}.

2.2 국내 신재생에너지 활용 현황

국내 신재생에너지 생산 및 소비와 관련한 현황은 한국에너지공단의 에너지통계핸드북¹²⁾을 통해 파악할 수 있다. 신재생에너지 공급은 년 8.3% 수준으로 증가하여 총 1차 에너지 공급량에서 차지하는 비율이 2015년에 4.5%에서 2019년에 5.8%로 증가하여 17,688천TOE에 이른다. 최종에너지 소비에 있어서도 국가 에너지 총 소비량 중 신재생에너지는 2015년에 3.5%에서 2019년에 3.9%로 증가하여 8,910천TOE를 감당하는 것으로 보고되었다. 대통령 소속 2050 탄소중립위원회가 2021년 8월에 발표한 ‘2050 탄소중립 시나리오(안)’에서 탄소중립 실현을 위해 2050년 신재생에너지의 발전 비율을 2020년 기준 5.6%에서 시나리오 대안별로 2050년에 70.7%에서 92.4% (에너지원을 재생에너지 및 무탄소 신전원이 포함된 수치)로 증가할 것으로 제시하고 있다.

신재생에너지의 활용 증대는 탄소중립 구현을 위해 매우 중요한 방안이며 화석에너지의 소비를 청정에너지의 활용으로 전환 확대하는 것이다.

Kim and Kim (2019)에 따르면¹³⁾ 재생에너지원별 기술적 잠재량 입지 지도 데이터 활용으로 우리나라 전국 단위에서 통합된 신재생에너지원으로서 공급 가능한 시장잠재량은 총 689 TWh로 기존 국내 전력 소비량인 510 TWh 대비 120%로 에너지 자립이 가능한 것으로 분석하고 있다. 또한 태양광 > 태양열 > 풍력 > 지열 > 수력 > 바이오매스 순으로 발전 잠재량이 많은 것으로 분석되었다.

신재생에너지 적용으로 현재 구현 가능한 제로에너지주택의 에너지자립화 수준은 실질적으로 거의 완전 제로화 수준까지 달성 가능하다는 것을 저층 주거용 단지 사례를 통해 검토되었다²⁾. 이는 건물부문의 탄소중립 구현을 위한 목표 달성에 신재생에너지 활용의 중요도가 높다고 할 수 있다.

3. 건물부문 온실가스 배출량 산정 모형

3.1 에너지 소비에 의한 온실가스 배출 산정 방법

본 연구에서 건물부문의 배출량 산정은 건축물의 용도별 연면적(m^2)에 건물의 운영 시에 소비되는 모든 에너지원을 대상으로 단위면적당 에너지 원단위(Energy Intensity, $toe/m^2 \cdot yr$)를 적용하고, 에너지원별 온실가스 배출계수를 곱하여 온실가스 배출량을 산정하였다. 따라서 건물부문의 온실가스 배출량 산정식은 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있으며 온실가스 배출량 단위는 CO_2e 가 된다. GWF_i 는 에너지원별 온실가스 배출계수로써 에너지원(연료)의 열량 전환계수, 산화계수, 등가계수, 단위 환산계수를 모두 적용하여 에너지원별로 단일화된 온실가스 배출계수를 나타낸 것이다. 본 연구에서 적용한 에너지원별 온실가스 배출계수(GWF_i)는 건물부문의 온실가스 배출 현황 및 특성을 밝힌 선행연구³⁾의 값을 Table 1과 같이 적용하였다.

$$E_{i,j} = \sum (A_{unit_j} \times QE_{unit_{i,j}}) \times GWF_i \quad (1)$$

Table 1 Greenhouse gas emission factor of energy source

GHG emission factor (ton CO_2e /TOE)	Coal	Oil	City gas	Electricity	Heat
	4.871	3.087	2.343	5.422	2.364

3.2 활동 데이터

건물부문의 온실가스 배출량 산정을 위한 활동 변수는 식(1)과 같이 건물의 용도별 연면적과 에너지 원단위이다. 건축물 용도는 건축법 상 29개의 용도로 구분하지만, 본 연구에서는 주거용 건물은 단독주택, 공동주택으로 용도를 분류하고, 비주거용 건물은 상업용 건물, 교육사회용 건물로 분류하여 연구를 수행하였다. 본 연구에서 구분한 상기의 건축물 용도는 일반적인 주거용 및 비주거용 건물의 대표 건물용도이면서, 에너지 통계연보

의 에너지사용량 데이터와 비교한 결과에 따르면 건축물 통계에서 정의한 주거용(단독주택, 공동주택), 상업용 건물, 교육사회용 건물로 구분한 에너지사용량 결과가 매우 유사하게 나타났기 때문이다.

상기 건축물 용도별에 해당하는 건축물의 연면적 데이터는 국가 건축행정시스템인 세움터¹⁴⁾에 공개된 건축물 현황 데이터베이스를 통해 수집하여 Table 2와 같이 정리하였다.

Table 2 Gross floor area of building use types

Category [Million m ²]		2015	2016	2017	2018	2019
Residential buildings	Detached houses	489.1	495.8	502.7	507.7	509.7
	Apartments	1,165.1	1,203.5	1,215.8	1,264.5	1,307.4
Non-residential buildings	Commercial buildings	722.8	761.4	785.9	814.6	839.9
	Educational buildings	309.0	321.4	329.3	339.4	346.5

(a) Detached houses

(b) Apartments

(c) Commercial buildings

(d) Educational buildings

Fig. 1 Long-term increase in the total floor area of buildings

2020년 이후 미래의 건물 연면적은 통계청의 국가통계포털(KOSIS)에서 제공하는 주요 사회경제지표의 증가를 반영하여 2019년을 기준으로 전망하였다. 주거용 건물(단독주택, 공동주택)은 2047년까지 약 1.11배 증가하는 가구수의 증가율을 반영하여 산출하고, 비주거용 건물(상업용, 교육사회용)은 경제적 활동에 따라 건설

물량이 증가하는 것으로 가정하여 서비스업의 부가가치 증가율이 2035년까지 약 1.47배 증가하므로 이를 연면적에 적용하여 산출하였다. 특히 서비스업의 부가가치의 증가율은 통계값의 증가 추세를 반영하여 2050년까지 약 1.81배 증가할 것으로 본 연구에서 적용하였다.

따라서 본 연구에서 미래 전망을 위한 건물 용도별 면적 증가는 Fig. 1과 같이 2050년의 건물부문 전체 면적이 기준년도인 2019년의 연면적 대비 약 1.38배 증가한다.

Table 3 Energy intensity of building types [Unit: 10^{-3} TOE/m²·yr]

Type \ Energy source	Coal	Oil	City gas	Electricity	District heat	[Total]
Detached houses	0.6	4.19	11.04	4.59	0.59	21.00
Apartments	0.0	0.70	7.43	3.52	0.09	11.74
Commercial buildings	0.01	1.69	6.37	7.95	0.83	16.84
Educational buildings	0.0	1.02	4.97	4.09	1.07	11.15

다음으로 활동데이터 중 건물 용도별 에너지 원단위 데이터를 국가 건물에너지 통합DB와 에너지통계연보에서 Table 3과 같이 도출하였다. 분석된 데이터는 총 약 726.5만개(145.3만개/년)의 개별 데이터로부터 에너지 원단위 데이터 분포 중 중위값(Median value)을 활용하였다. 에너지원단위 데이터 구축 방법은 국가 건물에너지 통합DB로부터 2015년 1월부터 2019년 12월까지의 모든 건물을 대상으로 에너지 사용량과 연면적 데이터를 수집하였다. 수집된 데이터로부터 산출한 원단위 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 필터링 과정을 거쳐 오류데이터를 제거하였으며 건물용도별 에너지 사용량의 총합을 용도별 연면적 총합으로 나누어 건물 용도별 에너지원단위를 도출하였다. 이는 기존 연구⁷⁾로부터 수립된 방법을 동일하게 적용하여 도출한 것으로 본 연구에 활용된 Table 3에 2015년부터 2019년까지의 에너지 원단위를 나타내었다.

4. 건물부문 재생에너지 보급 시나리오

정부의 대한민국 2050 탄소중립 전략 보고서¹⁵⁾는 우리나라의 탄소중립을 달성하기 위한 장기 비전과 전략 등을 담고 있다. 그러나 온실가스 감축 로드맵 등의 다른 정부 계획이나 보고서와 같이 건물부문에 있어 온실가스 감축 방안과 탄소중립에 이르는 단계별 감축량 등의 내용은 보고서에 제시되지 않았다. 온실가스 감축 이행 방안과 목표 달성을 위한 전략과 실천 방안을 마련하기 위해서는 온실가스 배출량을 보다 객관적이고 과학적인 방법으로 전망하고 다양한 감축 시나리오와 전략에 따른 중장기 미래의 감축 효과를 검토할 필요가 있다.

본 연구는 신재생에너지 활용 및 보급과 관련된 정책 방향을 통해 건물부문에서의 탄소중립을 이루기 위한 온실가스 감축 시나리오를 도출하고자 정부의 재생에너지 3020 이행계획, 제3차 에너지기본계획, 제8차 전력수급기본계획 등을 검토하였다. 우리나라의 2016년 재생에너지 발전량은 6.0 ~ 7.0%로 주요국에 비해 낮으며

로 향후 에너지 신산업 육성과 기후변화에 대응하고자 2030년까지 태양광, 풍력 등의 재생에너지의 설비용량을 63.2 GW (발전량 비중: 30%)로 높일 계획이다. 이어 2040년까지는 재생에너지에 의한 에너지 수급을 30 ~ 35%까지 증가시킬 계획이다. 또한 중장기 전력수요 전망과 전력설비 확충을 위한 국가 전력수급계획으로 화석 연료에 의한 발전을 줄이고 신재생 활용 비중을 2016년 8.8%에서 2025년 23.1%, 2030년에는 33.7%로 증가시킬 계획을 수립하였다.

서울시의 경우, 2050년 서울시 탄소배출 제로를 목표로 건물 태양광 설치 의무화로 2050년 서울시 전 건물에 태양광을 적용하여 2019년 기준으로 건물의 태양광 250MW 설치에서 태양광 5GW 보급 확대, 그린 리모델링 대상 주택의 태양광 설치 의무화, 벽면 또는 경량(베란다) 태양광 설치 지원 확대, 건물 옥상 면적 대비 30% 이상 건물일체형 태양광 발전 시스템(BIPV) 설치, 건물용 연료전지 보급 확대에 대한 전략과 정책과제가 제안되었다¹⁶⁾. 그 외 건물부문의 재생에너지 보급 등 구체적인 추진 전략과 계획 등의 관련 자료는 찾기가 어렵다.

본 연구에서 제안하는 국가 건물부문의 재생에너지 보급 시나리오는 앞선 연구²⁾에서 제시한 건물의 대표적인 신재생에너지 기술인 태양광, 태양열, 지열 시스템, 연료전지가 건축물 용도별로 보급되는 것을 전제로 건물에서의 열과 전기에너지 소비량을 대체(절감)하는 것으로 가정하였다. Table 4와 같이 전체 건물의 용도에 대한 재생에너지 보급 계획(전망)을 설정하였다. 이러한 보급률은 앞서 살펴본 정부의 신재생에너지 활성화 정책과 에너지 자립률을 반영한 제로에너지건축물 의무화 로드맵, 기존의 그린홈(신재생에너지주택) 100만호 보급 조성 사업의 사례 등을 종합적으로 검토하여 제안한 것이다. 특히 재생에너지 3020 이행계획에서는 2022년까지 주택 76만호, 2030년까지 주택 156만호에 재생에너지를 보급하고자 하는 계획을 반영하였다. 건물의 신재생에너지 시스템 도입에 따른 에너지 자립률은 5%에서 2050년까지 50% 수준으로 증가하는 것으로 가정하여 시나리오를 구성하였다.

Table 4 Variation data of scenario of renewable system in building types

Building type	Scenario data	2020	2030	2040	2050
Detached houses	Household (10^4 unit)	0.6	11.1	145.3	328.7
	(Penetration rate, %)	(0.1)	(1.7)	(21.2)	(49.3)
	Energy replacement (%)	5	15	37.5	50
Apartments	Household (10^4 unit)	7.8	145.0	369.7	936.5
	(Penetration rate, %)	(0.5)	(8.5)	(21.1)	(54.8)
	Energy replacement (%)	5	20	35	50
Commercial buildings	Floor area (10^4 m ²)	0.9	82.8	210.9	448.6
	(Penetration rate, %)	(0.1)	(7.2)	(15.6)	(29.5)
	Energy replacement (%)	5	15	37.5	50
Educational buildings	Floor area (10^4 m ²)	1.8	35.2	89.2	191.2
	(Penetration rate, %)	(0.25)	(7.5)	(16.0)	(30.5)
	Energy replacement (%)	5	15	40	50

5. 감축 시나리오에 따른 온실가스 감축량 분석 결과

5.1 온실가스 배출 전망

본 연구에서 도출된 건물부문에서의 2020년부터 2050년까지의 온실가스 배출량 전망은 다음 Fig. 2와 같다. 온실가스 산정 모형에서 구분한 건물 용도별과 Table 3과 같이 구성한 건물의 에너지원별 결과로 정리하여 나타내었다.

전망된 온실가스 배출량(Business as usual, CO_{2e})은 2020년에 156.9 백만톤, 2030년에 186.9 백만톤이며, 2050년에는 217.8백만톤으로 2020년 이후 연평균 1.1% 수준으로 증가할 것으로 분석되었다. 2050년의 배출량 결과를 검토하면 단독주택이 17.5%, 공동주택이 25.6%의 비중을 차지하며, 상업용 건물이 45.5%로 비중이 크게 증가하고 교육사회용 건물은 11.4%를 차지하는 것으로 나타났다. 따라서 주거용 건물에서 93.9백만톤이 발생하고, 비주거용 건물에서 124.0백만톤이 발생할 것으로 전망되어 비주거용 건물에서의 배출량이 클 것으로 보인다.

에너지원별 온실가스 배출량 전망 결과(CO_{2e})를 보면, 2050년에 석탄의 배출량은 약 1.7백만톤, 석유의 소비에 의한 배출량은 19.9백만톤, 도시가스에 의한 배출량은 69.5백만톤으로 건물의 온실가스 직접 배출량은 약 91.4백만톤(비중 42.0%)으로 전망된다. 간접 배출량인 전기의 소비에 따른 배출량은 120.8백만톤으로 가장 높고, 지역난방(열)의 소비에 의한 배출량은 5.7백만톤으로 총 간접 배출량은 약 126.5백만톤(비중 58.0%)으로 나타났다. 특히 전기의 사용에 의한 온실가스 배출량의 비중이 55.4%로 높아 건물의 온실가스 감축 및 탄소중립 등의 목표 달성을 위해서는 무엇보다 전력의 온실가스 배출량을 낮출 수 있는 감축 방안의 계획이 필요할 것으로 보인다.

Fig. 2 Outlook of greenhouse gas emissions in building sector (2020 ~ 2050)

5.2 감축 잠재량 분석

건물의 운영단계에서 소비되는 에너지를 대체하여 에너지 자립률을 높이기 위해 4장과 같이 신재생에너지 시스템 보급 확대에 따른 온실가스 감축 시나리오를 설정하고 적용한 결과, Fig. 3과 같이 2020년에 156.4백만톤, 2030년에 180.9백만톤 배출하고 2050년에는 174.8백만톤을 배출하는 것으로 전망되었다. 감축 시나리오에 의한 온실가스 배출량은 2020년 이후 증가하다가 2039년에 187.7백만톤으로 정점을 이루고, 이후 낮아지면서 2050년에는 2020년 대비 약 18.1백만톤이 증가하여 약 11.6%의 증가가 이루어질 것으로 분석되었다.

Fig. 3 Potential reduction of GHG emissions for building sector by renewable energy scenario

따라서 본 연구의 재생에너지 보급 시나리오에 따른 2050년의 온실가스 감축 잠재량은 5.1절의 기준 배출 전망치(Business as usual)와 비교하여 나타낼 수 있다. 본 연구에서 제시한 감축 시나리오에 의한 감축 잠재량은 2050년에 43.1백만톤으로 감축률은 약 19.8%로 분석된다. 온실가스 감축이 가장 많이 발생할 것으로 기대되는 건물의 용도는 Fig. 3의 (b)와 같이 공동주택으로 2050년에 약 15.3백만톤, 상업용 건물부문에서는 약 14.6백만톤으로 나타났다. 향후 보다 높은 온실가스 감축 효과를 도출하기 위해서는 단독주택에 대한 재생에너지 시스템 보급 방안을 보다 적극적으로 검토할 필요가 있다. 또한 본 연구의 시나리오에서 제시한 재생에너지 외에 수소 및 바이오 에너지 활용, 표층 및 하천수 등을 열원으로 하는 수열에너지 등의 신에너지를 건축물의 에너지원으로 보다 적극적으로 활용할 수 있는 방안이나 관련 기술 개발이 필요하다.

6. 결론

국내 건물부문에서의 온실가스 감축의 잠재적인 가능성을 검토하기 위해 중장기적으로 국내 건축물에 적용할 신재생에너지 보급 시나리오를 구성하고 시나리오에 따른 건물부문의 2050년까지 장기 온실가스 감축 잠재량을 도출하여 분석하였다. 본 연구를 통해 도출된 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 건축물의 용도를 단독주택, 공동주택, 상업용 건물, 교육사회용 건물로 구분하고, 온실가스 배출의 활동 변수로 각 건물의 용도와 용도별 연면적, 건물 용도별 에너지원단위를 설정하여 전망 모형을 구축하였다.

2050년까지의 온실가스 배출량을 전망한 결과에 따르면, 2050년에는 217.8백만톤 CO_{2e}로 2020년 이후 연평균 1.1% 수준으로 증가할 것으로 전망되었다. 주거용 건물에서 93.9백만톤 CO_{2e}, 비주거용 건물에서 124.0백만톤 CO_{2e}이 배출되는 결과를 제시하였다.

(2) 제안된 국가 건물부문의 신재생에너지 보급 시나리오는 태양광, 태양열, 지열 시스템 등의 재생에너지가 건축물에 보급되는 것을 전제로 건물의 운영에너지를 절감하는 것을 가정하고, 정부의 재생에너지 보급 계획과 재생에너지 3020 이행계획 등을 참고하여 제시하였다. 따라서 건물에 보급되는 신재생에너지 시스템은 2020년 추정치인 약 0.3%수준에서 2050년에는 40%수준으로 적용이 증가하고, 건물에서의 재생에너지 시스템 도입에 따른 에너지 자립률은 5%에서 2050년까지 50% 수준으로 증가하는 시나리오를 도출하였다.

(3) Fig. 3과 같이 본 연구의 건물부문의 재생에너지 보급 시나리오의 온실가스 배출량의 분석 결과에 따르면 온실가스 배출량은 2020년 이후 증가하다가 2039년에 정점을 이루고, 이후 낮아지면서 2050년에는 2020년 대비 약 18.1백만톤 CO_{2e}가 증가(11.6%)할 것으로 전망되었다. 또한 제시된 시나리오에 의한 감축 잠재량은 기준 배출 전망치 대비 2050년에 약 43.1백만톤 CO_{2e}로 감축률은 약 19.8%로 분석되었다.

본 연구는 건물부문에서 기존에 구체적으로 제시되지 못한 시나리오 기반의 온실가스 감축에 대한 분석 결과를 제시하였다는 측면에서 의미를 가지며, 전망 모형을 주요 활동자료 및 변수로 용도별 에너지원단위와 연면적 전망으로 단순화하여 구성함으로써 분석 결과와 그 의미를 쉽게 파악할 수 있는 강점을 갖는다. 반면, 분석의 결과가 상세한 활동자료 및 다양한 요인으로 구성되지 않아 보다 상세하게 건물 용도별 특성을 반영한 온실가스 배출 전망과 감축량을 비교하기에는 다소 한계를 갖는다.

따라서 향후 연구로 건물부문의 온실가스 배출량 산정을 위한 활동자료(사회경제적 지표, 건물용도, 에너지 용도 등)와 변수(연면적 및 원단위 증감 요인, 온실가스 배출계수, 기술발전 등), 감축 시나리오(정책과제, 정부 계획, 투자비용 등)에 대해 보다 상세히 검토하여 개선할 필요가 있다. 이를 통해 미래 온실가스 배출 전망 결과에 대한 불확실성을 낮추고, 탄소중립 달성을 위한 건물부문의 전략 수립을 위한 정책 지원 자료로 활용이 가능할 것이다.

후 기

본 연구는 국토교통부, 국토교통과학기술진흥원의 지원으로 일부 수행되었음(과제번호 : 20HSCT-B157909-02).

REFERENCES

1. Park, J. S., Measures for Using Renewable Energy to Realize Carbon Neutrality, Planning and Policy, 2021. 9, pp.35-44, 2021.
2. Yoon, J. H., The Role and Practical Contribution of Renewable Energy Technologies in Actual Zero Energy Building, The Magazine of Korean Solar Energy Society, Vol. 14. No. 1, pp. 24-32, 2016.

3. Jeong, Y. S. and Kim, T. H., Estimation and Feature of Greenhouse Gas Emission in Building Sector by National Energy Statistic, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 35, No. 7, pp. 187-195, 2019.
4. Ministry of Land Infrastructure and Transportation (MOLIT), MOLIT News-Green Buildings Activity Plan for 2050 Carbon Neutrality, Republic of Korea, 2021.
5. Korea Energy Economic Institute (KEEI), 2020 Yearbook of Energy Statistics, Ulsan, Korea, 2020.
6. Greenhouse Gas Inventory & Research Center (GIR), 2020 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, Seoul, Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea (www.gir.go.kr), 2020.
7. Ji, C., Choi, M., Gwon, O., Jung, H., and Shin, S. (2020). Greenhouse Gas Emission from Building Sector Based on National Building Energy Database, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 36, No. 4, pp. 143-152, 2020.
8. Ha, S., A Study on the Establishment of Baseline and Reduction Estimation Model for Developing National Greenhouse Gas Reduction Scenario, Ph.D. Dissertation, Hanyang University, 2020.
9. Yun, S., GHG Mitigation Scenario Analysis in Building Sector using Energy System Model, The Korean Society of Climate Change Research, Vol. 5, No. 2, pp. 153-163, 2014.
10. Yoon, Y., Analysis of GHG Reduction Scenarios on Building Using the LEAP Model: Seoul Main Customs Building Demonstration Project, The Korean Society of Climate Change Research, Vol. 7, No. 3, pp. 341-349, 2016.
11. Jeong, Y., Assessment of Alternative Scenarios for CO₂ Reduction Potential in the Residential Building Sector, Sustainability, Vol. 9, No. 394, pp. 1-16, 2017.
12. Korea Energy Agency, 2020 Energy Statistics Handbook, 2020. http://www.energy.or.kr/web/kem_home_new/upfile/energy2020/ecatalog5.html. last accessed on the 26th September 2021.
13. Kim, J. Y. and Kim, H. G., Assessment of Energy Self-Sufficiency Ratio Based on Renewable Market Potentials for Unit Local Government, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 39, No. 6, pp. 137-151, 2019.
14. Ministry of Land Infrastructure and Transportation (MOLIT), Electronic Architectural Administration Information System. <http://cloud.eais.go.kr>. last accessed on the 27th September 2021.
15. Korean Government. 2050 Carbon Neutral Strategy of the Republic of Korea Towards a Sustainable and Green Society, The government of Republic of Korea, Republic of Korea, 2020.
16. Yu, J. M., Hwang, I. C., and Kim, J. A., Policy Suggestions for Seoul's Climate Neutrality, The Seoul Institute, pp. 63-65, 2020.