

그린리모델링 건물에 대한 에너지소비량 및 보정 사례연구

김동일* · 이병호***

*한국감정원 녹색건축처, 부연구위원

**한국감정원 녹색건축처, 부장

A Case Study on Energy Consumption and Calibration of Green Remodeling Buildings

Kim Dongil* · Lee Byeongho***

*Research Fellow, Green Building Center, Korea Appraisal Board

**Department Manager, Green Building Center, Korea Appraisal Board

†Corresponding author: bhlee@kab.co.kr

Abstract

Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT) has increased reduction rate from 18.1% to 32.7% in Building sector compared to BAU of the national greenhouse gas emission according to the 2030 Greenhouse Gas Reduction Road map Amendment. For this purpose, MOLIT has been activating the green remodeling projects for existing buildings. Considering that 15 year old buildings after completion are 74% (5.25 million buildings) among about 7 million existing building stocks in Korea, reduction of building energy consumption by green remodeling is urgently needed. However, it is a major difficulty of activation for green remodeling projects because there are few case studies on Before and After building energy consumption of actual green remodeling projects. Considering that building energy performance and value increase after green remodeling through previous researches, additional studies of the energy consumption assessment on actual green remodeling projects are essential. Therefore, this study aims to propose results on Before and After building energy consumption of actual green remodeling projects.

Keywords: 그린리모델링(Green Remodeling), 건물에너지소비량(Building energy consumption), 계절적 에너지(Seasonal energy), 비계절적 에너지(Non-seasonal energy), 보정기법(Calibration method), 냉방도일(Cooling degree day, CDD_m), 난방도일(Heating degree day, HDD_m)

기호설명

HDD_m : 균형점온도에 대한 월간 난방도일(°C·day)

CDD_m : 균형점온도에 대한 월간 냉방도일(°C·day)

TE_m : 월별 전기 및 가스에너지사용량 합계(EUI, kWh/m²·mth)

EE_m : 월별 전기에너지사용량(EUI, kWh/m²·mth)

EG_m : 월별 가스에너지사용량(EUI, kWh/m²·mth)

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.40, No.5, pp.47-58, October 2020
<https://doi.org/10.7836/kjes.2020.40.5.047>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 16 September 2020

Accepted: 29 October 2020

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.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국토부는 2030 온실가스 감축 로드맵 수정안 발표¹⁾를 통해, 건물부문의 국가 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 감축률을 18.1%에서 32.7%로 상향하였다. 이를 위해 국토부는 건축물 그린리모델링 활성화 등을 추진하고 있으며, 국내 건물 약 700만동 중 준공 후 15년이 지난 노후 건축물이 525만동으로 74%를 차지²⁾ 하는 점을 고려했을 때 그린리모델링을 통한 에너지소비량 절감은 매우 시급하다. 하지만 그린리모델링 사업이 이루어지고 있으나 실제 그린리모델링 전·후 에너지소비량 절감율에 대한 구체적인 분석 및 개선방안 연구 등이 미비하여 사업이 활성화되지 못하는 하나의 요인이 되고 있다. 선행연구³⁾에서 그린리모델링 전·후 에너지 성능개선과 건물가치가 향상되는 것을 고려했을 때 실제로 진행된 그린리모델링 사업 전·후 에너지소비량 절감율을 정확하게 평가하는 기법개발 등 관련연구가 필요하다. 따라서 본 연구는 그린리모델링 사업을 마친 건물을 대상으로 리모델링 전·후 에너지소비량 특성에 따른 사례분석 결과를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 대상 및 방법

연구대상은 한국토지주택공사 그린리모델링 창조센터에서 수행하는 민간건축물 그린리모델링 이차지원사업이 완료된 4개 건물을 대상으로 국가 건축물에너지 통합관리시스템(National Building Energy Integrated Management System, NBEIMS)을 통한 그린리모델링 사업 전·후, 에너지원별로 2년 이상 매월별 에너지소비량데이터가 있는 건물을 대상으로 에너지소요량 기준으로 분석하였다. 연구방법은 그린리모델링에 의한 에너지절감성능 분석을 위해 에너지소비량을 비계절적 에너지와 계절적 에너지소비량으로 구분하고 계절적 에너지를 냉방에너지와 난방에너지로 구분하여 분석하였다. 또한 그린리모델링 전·후 기온변화에 의한 정확한 에너지소비량 절감량을 분석하기 위해 냉난방도일에 따른 건물에너지소비량 보정기법 적용사례를 제시하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 그린리모델링 이차지원사업

정부는 기존건물의 성능개선을 위해 2013년 공공건축물을 시작으로 2014년도 민간이차지원 등 그린리모델링 지원사업을 시작하였다. 이 중 민간 건축물 그린리모델링 이차지원사업은 민간건축물을 대상으로 건축주가 초기 공사비 걱정을 줄이고 냉난방비를 줄이기 위해 에너지 성능개선 공사(단열보완, 창호 성능개선 등)에 민간 금융을 활용할 경우 정부가 이자를 지원함으로써 그린리모델링 사업 활성화를 도모하는데 목적이 있다⁴⁾. 해당 사업은 시행이후 '1120년 8월 기준으로 총 46,497건의 사업이 승인되었다. 본 연구는 그린리모델링 건물을 대상으로 건축물 대장과 에너지소비량데이터 대조작업을 통해 에너지소비량이 있는 건물을 조사하였으며, 그 결과 그린리모델링 이차지원사업 민간건축물 4개 건물이 분석 가능하여 분석사례 대상건물로 지정하였다.

2.2 에너지소비량 보정기법

건물에너지에 영향을 미치는 외기온 등 기상조건은 지역별 미기후 요소에 따라 크게 달라지므로 이를 보정하는 것이 필요하다. 선행연구^{5,6)}에서 기후요소인 냉난방도일을 고려한 에너지소비량 보정기법을 소지역 건물군과 개별건물 2가지유형으로 개발하여 에너지소비량을 정확히 측정할 수 있도록 하였다. 따라서 본 연구에서는 그린리모델링 사업을 마친 개별건물을 대상으로 냉난방도일에 따른 에너지소비량 보정기법 적용사례를 제시하여 보정필요성을 제시하고자 한다.

3. 그린리모델링 전·후 건물 에너지소비량 사례분석

3.1 사례분석 건물개요

그린리모델링 시공시범사업 중 국가 건축물에너지 통합관리시스템⁷⁾에서 그린리모델링 전·후 에너지원별로 각각 2년 이상 에너지소비량 데이터가 있는 총 4개 건물⁴⁾을 분석하였으며 그린리모델링 관련 상세개요는 Table 1과 같다.

Table 1 Case study buildings by green remodeling business of Interest Support Program

Category	Year of construction completion	Total floor area (m ²)	Floor	Address	Year of green remodeling completion	Major green remodeling elements
E Office building	1998	1,999.5	1 Basement 10 floor	Seoul Gangnam-gu	2017	Insulation, High efficiency EHP facility, low-e glazing, Natural ventilation, BEMS facility, LED
P Hotel	1976	6,857.6	2 Basement 15 floor	Busan Jung-gu	2017	High efficiency glazing, Inside insulation, EHP (System air-conditioner), LED
I Detached house	1984	146.1	2 floor	Incheon Bujeong-gu	2016	Addition of insulation, Double glazing, High efficiency boiler, LED
K Monastery	2000	1,009.1	1 Basement 2 floor	Gyeongnam Gosung-gun	2016	Inside insulation, AL low-e multi-layer glazing, LED

3.2 비계절적 에너지 산출방법 분석

건물에너지소비량은 냉난방에너지인 계절적 에너지와 조명, 사무기기, 동력 부하 등의 냉난방에너지를 제외한 비계절적 에너지로 구분할 수 있다. 본 연구는 전체 에너지와 계절적 및 비계절적 에너지의 정확한 측정을 위해 비계절적 에너지 산출방법을 두 가지로 제시하여 비교분석하였다. 선행연구⁸⁾에서는 비계절적 에너지를 Change Point Model의 파라미터 산출방법으로 월별 에너지 소비량 중 최저 에너지사용량을 방법으로 하고 있고 이상치가 있는 경우 차순의 낮은 값으로 하였다.

비계절적 에너지소비량 산출을 위해 사례건물별 에너지소비량 데이터를 활용하였으며 두 가지로 산출한 방법은 아래와 같다.

첫 번째 산출방법(이하 4개월 방법)은 사례건물별 전체에너지소비량이 가장 낮은 4개월의 평균값을 비계절적 에너지소비량으로 산출하였다. 4개월을 선택한 이유는 비계절적에너지소비량이 비정상적으로 낮은 값 반영을 막기 위한 것으로 4개 건물을 대상으로 비계절적 에너지소비량이 가장 낮은 값들 중 증가율이 높게 증가하는 것을 제외한 결과 평균적으로 4개월이 분석되었기 때문이다. 사례건물별 그린리모델링 전·후 월별 전체에너지 소비량 평균값 중 가장 낮은 달을 표시한 것은 Table 2와 같다.

Table 2 Estimation method of non-seasonal energy by 4 month per year(EUI, kWh/m²·mth)

	Buiding	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Before green remodeling	E Office building	24.49	25.40	18.62	15.03	7.72	8.51	8.89	8.81	6.08	5.35	6.51	17.12
	P Hotel	28.80	27.88	25.04	22.39	17.15	12.29	13.76	15.05	14.31	11.34	13.74	20.90
	I Detached house	41.55	41.53	25.30	21.18	12.80	8.74	7.59	9.36	8.52	12.73	24.13	37.17
	K Monastery	33.41	37.78	35.72	29.15	18.83	11.14	6.00	7.09	7.22	5.74	13.56	23.19
After green remodeling	Buiding	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
	E Office building	13.34	11.95	9.23	7.54	6.15	7.36	9.20	10.20	7.94	5.96	8.61	11.85
	P Hotel	21.96	19.76	18.16	16.03	15.70	15.78	19.88	20.67	15.86	15.43	16.12	20.74
	I Detached house	26.95	23.71	18.32	13.32	8.07	6.24	5.22	6.92	5.29	6.98	12.56	19.89
K Monastery	27.60	29.85	27.64	20.95	14.21	10.05	8.12	9.30	9.67	7.97	10.91	19.35	

두 번째 산출방법(이하 2개월 방법)은 선행연구 방법⁸⁾을 고려하여 사례건물별 전체에너지소비량 중 가장 낮은 2개월의 평균값을 비계절적 에너지소비량으로 산출하였다. 연간 월에너지 소비량을 2개 선택한 이유는 1개만 선택할 경우, 거주자가 출장 등의 사유로 에너지소비량이 급격히 낮아진 값 반영을 막기 위함이다.

3.3 에너지소비량 총량 분석

그린리모델링 전·후 에너지소비량 데이터 비교를 위해 분석대상 기간은 각 건물별 그린리모델링공사 준공일을 기준으로 준공 전 에너지소비량이 없거나 매우 낮은 구간을 제외하고 그린리모델링 전·후 2년 이상의 에너지소비량 데이터가 있는 동일한 월 기준으로 지정하였다. 분석결과, E업무시설은 그린리모델링 전('14.4 ~ '16.3)과 후('18.4 ~ '20.3), P호텔은 그린리모델링 전('12.9 ~ '14.8)과 후('17.9 ~ '19.8) 2년씩의 데이터가 비교가능하고, P숙박시설과 I시 단독주택은 그린리모델링 전('12.1 ~ '14.12)과 후('17.1 ~ '19.12) 3년씩의 데이터가 비교 가능하였다.

Tables 3-6 및 Figs. 1-4에 월별 전체에너지소비량과 비계절적 에너지소비량 산출방법별로 계절적 및 비계절적 에너지소비량을 구분하여 나타내었으며 모든 월별 에너지소비량은 연간 평균값으로 나타내었다. 건물별 그린리모델링 전·후 계절적 에너지소비량은 전체에너지소비량에서 비계절적 에너지 소비량을 제하는 방법으로 산출하였다. 분석결과, 2가지 비계절적 에너지소비량 산출방법 모두 전체에너지소비총량은 그린리모델링 후 감소하는 것으로 분석되었다.

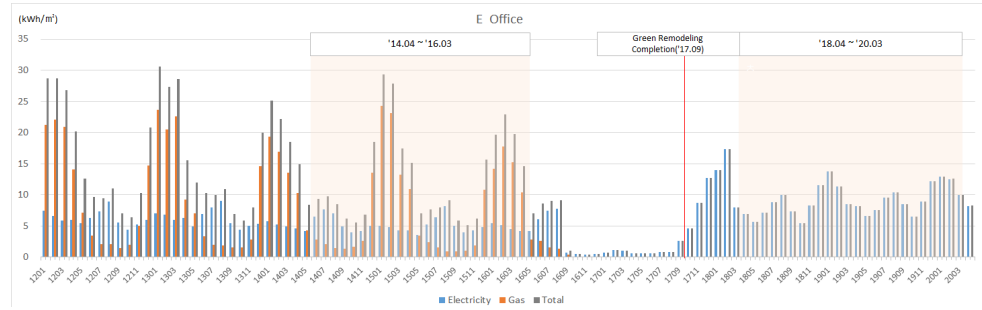


Fig. 1 E office building energy consumption before and after green remodeling (EUI, kWh/m² · mth)

Table 3 E office building energy consumption before and after green remodeling by estimation method of non-climatic energy

		(2years, '14.4 ~ '16.3)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Non-seasonal energy estimation method of 4mth	Before	Total	24.49	25.40	18.62	15.03	7.72	8.51	8.89	8.81	6.41	6.41	6.63	17.12
	Green	Non-seasonal	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41	6.41
	Remodeling	Seasonal	18.07	18.99	12.21	8.62	1.31	2.10	2.48	2.40	0.00	0.00	0.21	10.71
	After Green	Total	13.34	11.95	9.23	7.54	6.75	7.36	9.20	10.20	7.94	6.75	8.61	11.85
	Remodeling	Non-seasonal	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75	6.75
	Remodeling	Seasonal	6.58	5.20	2.48	0.79	0.00	0.61	2.44	3.45	1.18	0.00	1.86	5.10
Non-seasonal energy estimation method of 2mth	Before	Total	24.49	25.40	18.62	15.03	7.72	8.51	8.89	8.81	6.08	5.71	6.51	17.12
	Green	Non-seasonal	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71	5.71
	Remodeling	Seasonal	18.77	19.69	12.91	9.32	2.01	2.80	3.18	3.10	0.36	0.00	0.80	11.41
	After Green	Total	13.34	11.95	9.23	7.54	6.34	7.36	9.20	10.20	7.94	6.28	8.61	11.85
	Remodeling	Non-seasonal	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05	6.05
	Remodeling	Seasonal	7.28	5.90	3.18	1.49	0.28	1.31	3.14	4.14	1.88	0.22	2.56	5.80

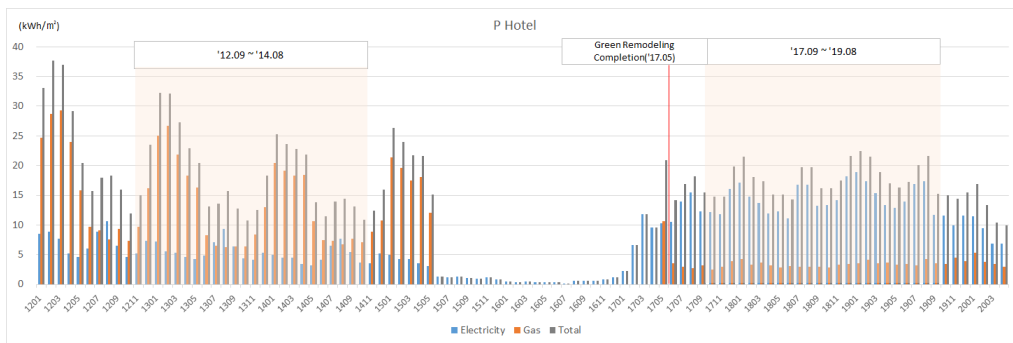


Fig. 2 P hotel energy consumption before and after green remodeling (EUI, kWh/m² · mth)

Table 4 P hotel energy consumption before and after green remodeling by estimation method of non-climatic energy

		(2years, '12.9 ~ '14.8)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Non-seasonal energy estimation method of 4mth	Before	Total	28.80	27.88	25.04	22.39	17.15	12.78	12.78	15.05	14.34	12.78	13.88	20.90
	Green	Non-seasonal	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78	12.78
	Remodeling	Seasonal	16.02	15.10	12.26	9.60	4.37	0.00	0.00	2.27	1.56	0.00	1.10	8.12
	After Green	Total	21.96	19.76	18.16	16.33	15.97	15.69	15.69	20.67	15.96	15.69	16.58	20.74
	Remodeling	Non-climatic	15.69	15.69	15.69	15.69	15.69	15.69	15.69	15.69	15.69	15.69	15.69	15.69
	Remodeling	Climatic	6.27	4.07	2.47	0.64	0.28	0.00	0.00	4.98	0.27	0.00	0.89	5.05
Non-seasonal energy estimation method of 2mth	Before	Total	28.80	27.88	25.04	22.39	17.15	12.44	13.76	15.05	14.31	11.87	13.74	20.90
	Green	Non-seasonal	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81	11.81
	Remodeling	Seasonal	16.99	16.07	13.23	10.57	5.34	0.63	1.95	3.24	2.50	0.06	1.93	9.09
	After Green	Total	21.96	19.76	18.16	16.15	15.80	16.32	19.88	20.67	15.86	15.74	16.40	20.74
	Remodeling	Non-seasonal	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34	15.34
	Remodeling	Seasonal	6.62	4.42	2.82	0.82	0.46	0.98	4.54	5.33	0.53	0.40	1.06	5.41

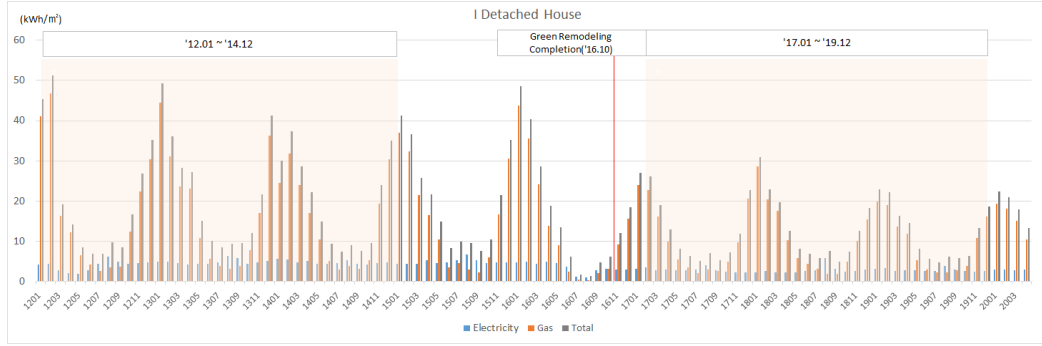


Fig. 3 I detached house energy consumption before and after green remodeling (EUI, kWh/m²·mth)

Table 5 I detached house energy consumption before and after green remodeling by estimation method of non-climatic energy

		(3years, '12.1 ~ '14.12)												
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Non-seasonal energy estimation method of 4mth	Before	Total	41.55	41.53	25.30	21.18	12.84	8.55	8.55	8.55	12.73	24.13	37.17	
	Green	Non-seasonal	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55	8.55	
	Remodeling	Seasonal	33.00	32.98	16.75	12.63	4.29	0.00	0.00	0.00	0.00	4.18	15.58	28.62
	After Green	Total	26.95	23.71	18.32	13.32	8.07	6.35	5.92	6.92	6.98	12.56	19.89	
	Remodeling	Non-seasonal	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	
	Remodeling	Seasonal	21.03	17.79	12.40	7.40	2.16	0.43	0.00	0.00	0.00	1.06	6.64	13.98
Non-seasonal energy estimation method of 2mth	Before	Total	41.55	41.53	25.30	21.18	12.80	9.04	8.00	9.36	8.59	12.73	37.17	
	Green	Non-seasonal	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	7.74	
	Remodeling	Seasonal	33.81	33.79	17.56	13.44	5.06	1.30	0.26	1.62	0.85	4.99	16.39	29.43
	After Green	Total	26.95	23.71	18.32	13.32	8.07	6.24	5.43	6.92	5.42	6.98	12.56	19.89
	Remodeling	Non-seasonal	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	5.22	
	Remodeling	Seasonal	21.73	18.49	13.10	8.10	2.86	1.03	0.22	1.70	0.21	1.76	7.35	14.68

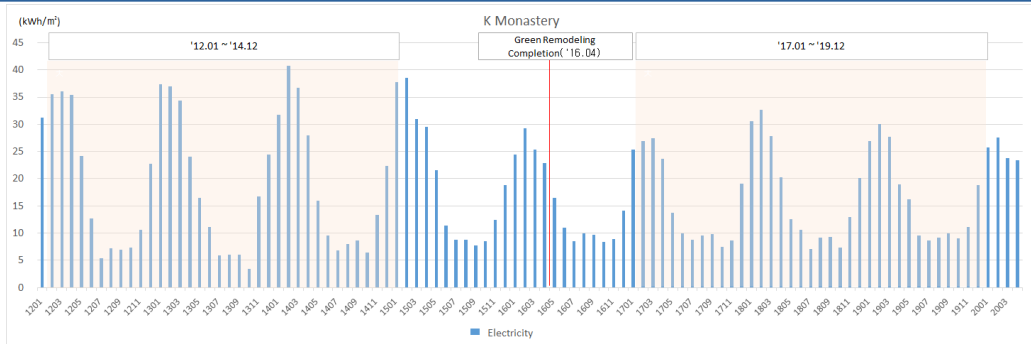


Fig. 4 K monastery energy consumption before and after green remodeling (EUI, kWh/m²·mth)

Table 6 K monastery energy consumption before and after green remodeling by estimation method of non-climatic energy

		(3years, '12.1 ~ '14.12)												
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
Non-seasonal energy estimation method of 4mth	Before	Total	33.41	37.78	35.72	29.15	18.83	11.14	6.59	7.24	7.36	6.80	13.56	23.19
	Green	Non-seasonal	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51	6.51
	Remodeling	Seasonal	26.90	31.27	29.21	22.64	12.32	4.63	0.08	0.72	0.85	0.29	7.04	16.68
	After Green	Total	32.04	34.28	32.07	25.38	18.64	13.20	13.20	13.73	14.10	13.30	15.41	23.79
	Remodeling	Non-seasonal	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20	13.20
	Remodeling	Seasonal	18.84	21.08	18.87	12.18	5.44	0.00	0.00	0.53	0.90	0.10	2.21	10.59
Non-seasonal energy estimation method of 2mth	Before	Total	33.41	37.78	35.72	29.15	18.83	11.14	6.14	7.09	7.22	6.54	13.56	23.19
	Green	Non-seasonal	5.79	5.79	5.79	5.79	5.79	5.79	5.79	5.79	5.79	5.79	5.79	5.79
	Remodeling	Seasonal	27.62	31.99	29.93	23.36	13.04	5.35	0.35	1.30	1.43	0.75	7.77	17.40
	After Green	Total	27.60	29.85	27.64	20.95	14.21	10.05	8.65	9.30	9.67	9.07	10.91	19.35
	Remodeling	Non-seasonal	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02	8.02
	Remodeling	Seasonal	19.58	21.82	19.61	12.93	6.18	2.02	0.62	1.27	1.64	1.05	2.89	11.33

3.4 비계절적 및 계절적 에너지 증감특성 분석

그린리모델링 전·후 비계절적 월에너지소비량과 증감율을 두 가지 비계절적 에너지 산출방법별로 분석한 결과는 Table 7과 같다.

Table 7 Non-seasonal energy consumption before and after green remodeling

Category	Before green remodeling		After green remodeling		Average (%)
	Non-seasonal energy (kWh/m ² · mth)	Non-seasonal energy(kWh/m ² · mth)	Non-seasonal energy increase or decrease(kWh/m ² · mth)		
Non-seasonal energy estimation method of 4mth	E Office building	6.41	6.75	+5.30	+7.97
	P Hotel	12.78	15.69	+22.77	
	I Detached house	8.55	5.92	-30.76	
	K Monastery	6.51	8.76	+34.56	
Non-seasonal energy estimation method of 2mth	E Office building	5.71	6.05	+5.99	+10.45
	P Hotel	11.81	15.34	+29.85	
	I Detached house	7.74	5.22	-32.61	
	K Monastery	5.79	8.02	+38.56	

비계절적 에너지 산출 방법별로 비계절적 에너지소비량을 분석한 결과 I 단독주택만 감소하고 나머지 건물은 증가하여 2가지 산출방법의 증감방향이 같은 것으로 분석되었으며 평균증가율은 4개월 방법이 2개월 방법보다 낮았다. I 단독주택을 제외한 3개 건물은 리모델링 직후 재실인원 증가 혹은 사무기기, 동력 부하 등이 높아져서 비계절적 에너지소비량이 증가한 것으로 추정되며, 4개 건물 모두 전체에너지소비량에 비해 비계절적 에너지가 차지하는 비중이 작아 증가량이 전체에너지소비량에 미치는 영향은 작았다.

다음으로 연간 계절적 에너지소비량과 증감률을 두 가지 비계절적 에너지 산출방법별로 분석한 결과는 Table 8과 같다.

Table 8 Seasonal energy consumption before and after green remodeling

Category	Before green remodeling		After green remodeling			Total energy decrease rate (%)	
	Seasonal energy (kWh/m ² · yr)	Seasonal energy (kWh/m ² · yr)	Average (%)	Cooling energy (kWh/m ² · yr)	Heating energy (kWh/m ² · yr)		
Non-seasonal energy estimation method of 4mth	E Office building	154.17	59.38 (-61.49%)	-50.78	13.93→14.14 (+1.50%)	137.2→40.25 (-70.66%)	-28.32
	P Hotel	143.08	60.31 (-57.85%)		7.67→18.35 (+139.1%)	130.97→38.79 (-70.38%)	-2.94
	I Detached house	449.82	251.68 (-44.05%)		0.00→0.00 (-%)	445.12→247.38 (-44.42%)	-38.76
	K Monastery	457.93	276.09 (-39.71%)		0.00→0.00 (-%)	452.10→271.48 (-39.95%)	-14.53
Non-seasonal energy estimation method of 2mth	E Office building	168.68	74.37 (-55.91%)	-48.75	18.87→20.95 (+11.02%)	145.79→52.41 (-64.05%)	-28.32
	P Hotel	163.20	66.80 (-59.07%)		15.38→20.81 (+35.31%)	146.45→43.23 (-70.48%)	-2.94
	I Detached house	475.48	273.67 (-42.44%)		4.85→5.10 (+5.15%)	467.29→267.30 (-42.80%)	-38.76
	K Monastery	480.89	300.13 (-37.59%)		8.18→8.75 (+6.97%)	469.42→289.08 (-38.42%)	-14.53

계절적 에너지소비량을 2가지 방법으로 분석한 결과 모든 건물이 그린리모델링 후 감소하였고 그 중 냉방에너지는 증가하고 난방에너지는 모두 감소하는 것으로 분석되었다. 그런데 계절적 에너지를 냉방 및 난방에너지로 구분하여 분석한 결과, 냉방 혹은 난방에너지 소비량이 0 kWh/m²로 산출되는 개월이 4개월 방법이 19개, 2개월 방법이 1개로 조사되어 4개월 방법이 더 많았다(Tables 3-6 참조). 이는 산출된 비계절적 에너지평균값이 월별 전체에너지 소비량보다 높은 달이 2개월 방법보다 더 많았기 때문으로 분석되었다.

냉방에너지소비량은 4개 건물 모두 그린리모델링 이후 소비량이 증가하였지만 전체소비량에서 차지하는 비율이 낮아 전체에너지 소비량 감소에 미치는 영향은 작은 것으로 분석되었다. 특히, 모든 건물에서 냉방에너지 소비량이 증가하는 것을 통해 그린리모델링 적용기술이 난방에너지에 비해 작은 것이 원인으로 추정된다.

난방에너지소비량은 모두 감소하였지만 특히 E업무시설과 P호텔이 에너지를 보일러에서 전기에너지원인 EHP시스템으로 교체함에 따라 다른 건물에 비해 감소율이 높게 분석되었으며 그린리모델링 후에도 난방에너지 소비량이 전기에너지소비량의 2배 이상 높게 사용되고 있었고 냉방에너지를 많이 쓰지 않는 I 단독주택과 K수도원은 그 차이가 더욱 큰 것으로 분석되었다.

3.5 시뮬레이션 절감량과 실제 절감량 비교분석

그린리모델링 준공 전·후의 분석사례건물의 연간 에너지절감율을 그린리모델링 사업시 에너지시뮬레이션 툴 ECO2로 분석한 에너지절감율의 비교연구는 실제에너지 소비량기준과 동일한 에너지소요량기준으로 절감율을 나타낸 것만 가능하였다. 따라서 비교가능한 P호텔 에너지절감량⁴⁾을 대상으로 분석한 결과는 Table 9와 같다.

Table 9 Comparative analysis of energy simulation and actual energy consumption (P Hotel)

Category	Total (kWh/m ² ·yr)	Seasonal energy			Non-seasonal energy				
		Total (kWh/m ² ·yr)	Heating energy (kWh/m ² ·yr)	Cooling energy (kWh/m ² ·yr)	Total (kWh/m ² ·yr)	Hot water (kWh/m ² ·yr)	Lighting (kWh/m ² ·yr)	Ventilation (kWh/m ² ·yr)	
Energy simulation consumption	Before green remodeling	640.30	284.60	169.60	115.00	355.70	284.00	27.30	44.40
	After green remodeling	239.10	39.30	32.80	6.50	199.80	174.30	14.30	11.20
	Increase or Decrease	-401.20	-245.30	-136.80	-108.50	-155.90	-109.70	-13.00	-33.20
	Increase or Decrease rate (%)	-62.66%	-86.19%	-80.66%	-94.35%	-43.83%	-38.63%	-47.62%	-74.77%
Actual energy consumption	Before green remodeling ('12.09 ~ '14.08)	222.66	80.92	73.23	7.69	141.74	-	-	-
	After green remodeling ('17.09 ~ '19.08)	216.07	32.02	21.61	10.40	184.05	-	-	-
	Increase or Decrease	-6.59	-48.90	-51.62	2.71	42.31	-	-	-
	Increase or Decrease rate (%)	-2.96%	-60.43%	-70.49%	35.24%	29.85%	-	-	-

시뮬레이션과 실제 에너지 소비량의 그린리모델링 전·후를 비교분석한 결과, 시뮬레이션 에너지 절감량(전체, 계절적 및 비계절적, 냉방 및 난방에너지)이 그린리모델링 전 실제 에너지소비량보다 높았고 그린리모델링 후 실제 에너지소비량도 냉방에너지를 제외한 에너지소비량(전체, 계절적 및 비계절적, 난방에너지)도 시뮬레이션 소비량이 더 높았다. 따라서 시뮬레이션 에너지소비량 예측치는 냉방에너지를 제외하고 그린리모델링 전·후 모두 실제에너지데이터보다 높게 측정하고 있었다.

시뮬레이션과 실제에너지 소비량의 증감율을 분석한 결과, 시뮬레이션의 에너지 절감율이 실제 에너지소비량절감율보다 컸으며 실제 에너지소비량에서 냉방에너지와 비계절적 에너지는 시뮬레이션 절감율과 반대로 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 시뮬레이션의 에너지소비량이 실제 에너지소비량데이터보다 리모델링 전·후 예측치와 절감율을 모두 높게 측정하고 있어 실제데이터와 차이가 있는 것으로 분석되었다. 하지만 시뮬레이션과 실제 에너지소비량 비교분석이 1개 사례건물인 것이 분석결과의 한계로 볼 수 있으며, 비계절적 에너지의 경우 시뮬레이션은 급탕, 조명, 환기에너지만 포함되었고 실제 비계절적 에너지데이터는 이외 콘센트부하 등이 포함될 수 있기 때문에 비계절적 에너지는 분석값의 신뢰성은 낮은 것으로 추정된다.

4. 그린리모델링 전·후 건물에너지소비량 보정사례 분석

그린리모델링의 정확한 에너지절감 효과분석을 위해 그린리모델링 건물 4개를 대상으로 냉난방도일⁹⁾에 따른 월별 전체에너지 소비량의 회귀분석을 한 결과 회귀계수가 유의미한 사례는 Table 10과 같이 E업무시설만 해당되었다.

Table 10 Verification result of calibration coefficients with HDDm/CDDm and EUI in green remodeling building

Model	Unsatandardized coefficients		Standardized coefficients beta	t	Sig.
	B	Std. error			
(Constant)	4.873	1.768		2.756	.010
1 HDD _m	.032	.005	.997	6.627	.000
CDD _m	.018	.010	.276	1.831	.048

a. Dependent variable: Total energy consumption before Green Remodeling('14.04 - '16.03)

Model	Unsatandardized coefficients		Standardized coefficients beta	t	Sig.
	B	Std. error			
(Constant)	5.240	.439		11.944	.000
2 HDD _m	.014	.001	1.229	10.902	.000
CDD _m	.015	.002	.724	6.423	.000

a. Dependent variable: Total energy consumption after Green Remodeling ('18.04 - '20.03)

$$TE_m (Before Green Remodeling) = 4.873 + 0.032 + HDD_m + 0.018 + CDD_m \tag{1}$$

$$TE_m (After Green Remodeling) = 5.240 + 0.014 \times HDD_m + 0.015 \times CDD_m \tag{2}$$

E업무시설을 대상으로 그린리모델링 전('14.4 ~ '16.3)과 후('18.4 ~ '20.3)의 냉난방도일에 따른 전체에너

지소비량의 보정계수 값을 분석한 결과 유의수준 0.05범위에서 검정통계량 t분석을 한 결과 P값이 0.05이하로 유의미하였으며, 보정계수를 활용하여 산출한 그린리모델링 전과 후의 각 보정식은 식(1), 식(2)와 같다. 그린리모델링 전 대비 후의 난방도일이 136.6°C·day감소하고 냉방도일이 155.7°C·day증가하여 그린리모델링 후 보정식에 적용한 결과, 그린리모델링 후 전체에너지소비량 218.67 kWh/m²보다 -0.42 kWh/m²가 소량 낮아졌다. 따라서 냉난방도일을 고려했을 때 그린리모델링을 통해 에너지절감효과가 더 큰 것으로 분석되었다.

그린리모델링 전 후의 보정식을 비교분석한 결과, 리모델링 전 난방도일 계수값(B)이 .032로 높아 겨울철 기온이 내려갈수록 에너지소비량 증가폭이 컸으나 그린리모델링 후 0.14로 낮아져 증가폭이 낮아진 것으로 나타났다. 이는 리모델링 전 가스보일러가 외기온에 따라 에너지소비량 증가율이 높는데 비해 리모델링 후 EHP시스템은 외기온에 따라 전기에너지소비량 증가율이 낮아진 것과 단열재 설치 등의 효과로 추정되었다.

5. 결론

본 연구는 실제 그린리모델링사업을 통해 시공이 완료된 4개 건물을 대상으로 그린리모델링 전·후 에너지소비량을 비교분석하였다.

그린리모델링 전·후 계절적 에너지 소비량의 정확한 분석을 위해 비계절적 에너지 소비량 산출방법을 4개월과 2개월의 2가지 방법으로 비교분석하였다. 그린리모델링 후 비계절적 에너지는 2가지 방법 모두 I 단독주택을 제외하고 증가하고, 계절적 에너지와 난방에너지는 모두 감소하고 냉방에너지는 모두 증가하여 산출방법별 증감방향은 동일하였다. 하지만 계절적 에너지를 냉방 혹은 난방에너지로 자세히 구분한 경우 4개월 방법이 2개월 방법보다 계절적 에너지소비량이 산출되지 않는 달이 더 많은 것으로 분석되었다.

다음으로 연간 전체에너지를 계절적 및 비계절에너지, 냉방 및 난방에너지로 구분하여 비교분석하였으며 분석결과는 Table 11과 같다.

Table 11 Energy consumption by non-seasonal energy estimation method of 2mth before and after Green Remodeling

Category	Total energy consumption before green remodeling (kWh/m ² ·yr)	Total energy consumption after green remodeling				
		Total energy (kWh/m ² ·yr)	Non-seasonal Energy (kWh/m ² ·yr)	Seasonal energy		
				Total (kWh/m ² ·yr)	Cooling energy (kWh/m ² ·yr)	Heating energy (kWh/m ² ·yr)
E Office building	305.05	218.67 (-28.32%)	5.71→6.05 (+5.99%)	168.68→74.37 (-55.91%)	18.87→20.95 (+11.02%)	145.79→52.41 (-64.05%)
P Hotel	445.31	432.20 (-2.94%)	11.81→15.34 (+29.85%)	163.20→ 66.80 (-59.07%)	15.38→20.81 (+35.31%)	146.45→43.23 (-70.48%)
I Detached house	751.75	460.40 (-38.76%)	7.74→5.22 (-32.61%)	475.48→273.67 (-42.44%)	4.85→5.10 (+5.15%)	467.29→267.30 (-42.80%)
K Monastery	686.52	586.81 (-14.53%)	5.79→8.02 (+38.56%)	480.89→300.13 (-37.59%)	8.18→8.75 (+6.97%)	469.42→289.08 (-38.42%)

Measuring method of energy reduction rates by simulation tool on 4 buildings is different

E Office: -38% (Demand), P Hotel: -62.6% (Consumption), I Detached house: -65.4% (Primary energy consumption),

K Monastery: -39.3% (Thermal transmittance improvement rates)

계절적 에너지는 4개 건물 모두 감소하였고 비계절적 에너지소비량은 1 단독주택만 감소하고 모두 증가하였다. 하지만 비계절적 에너지소비량이 전체에너지소비량에서 차지하는 비율이 낮아 전체에너지 소비량은 모두 감소였다. 비계절적 에너지 소비량 증가는 4개 건물 모두 그린리모델링 후 사무기기, 동력 부하 등이 늘어 증가한 것으로 추정되었다. 계절적 에너지를 난방에너지와 냉방에너지로 구분하여 분석한 결과 모든 건물이 난방에너지는 감소하고 냉방에너지는 증가하였다. 난방에너지 감소량이 냉방에너지 증가량보다 커서 전체 에너지는 감소하였고 그린리모델링 후에도 난방에너지소비량이 냉방에너지보다 전체에너지소비량에서 차지하는 비율이 높게 분석되었다. 냉방에너지소비량이 증가한 것은 모든 건물이 냉방에너지관련 그린리모델링 적용기술이 난방에너지에 비해 작은 것이 주원인으로 추정되었다.

시뮬레이션으로 분석한 에너지소비량과 실제 에너지 소비량의 그린리모델링 전·후를 비교분석한 결과, 시뮬레이션이 실제 에너지소비량보다 그린리모델링 전·후 에너지소비량 예측값과 절감율을 모두 높게 측정하고 있어 실제데이터와 차이가 있는 것으로 분석되었다. 하지만 시뮬레이션과 실제 에너지소비량 비교분석 결과가 1개 사례건물로 한정된 것이 분석결과의 한계로 판단된다.

또한 그린리모델링의 정확한 에너지 절감효과 분석을 위해 사례건물 중 업무시설을 대상으로 냉난방도일에 따른 에너지소비량을 보정하였다. 그 결과, 그린리모델링 전 전체에너지소비량을 기준으로 리모델링 후 에너지 소비량이 보정값만큼 감소하여 그린리모델링의 에너지절감효과가 더 크게 나타났다. 따라서 추후 그린리모델링 및 건물에너지절감기술의 정확한 효과분석을 위해 외기온을 고려한 에너지소비량보정기법 적용이 필요한 것으로 분석되었다.

본 연구는 그린리모델링 후 건물에너지 절감량에 대한 사례연구로 사례건물이 작은 한계를 가지고 있다. 하지만 추후 그린리모델링 준공 후 에너지소비량이 2년 이상있는 더 많은 사례를 추가하여 정확도를 높인 분석결과를 제시할 예정이다.

후기

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : 20AUDP-B099686-06).

REFERENCES

1. Ministry concerned, 2030 greenhouse gas reduction road map amendment, Government's Press Release, 2018.
2. Woo, S. J., A Study on the Improvement of Green Remodeling Certification System for Activating Green Remodeling of Existing Buildings, Vol. 3, No. 7, p. 1, 2017.
3. Lee, B. H. and Kim, D. I. A Study on Green Retrofit Effects and Value Assessment for a Public Building, Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 11, No. 2, pp. 155-160, 2017.
4. Green Remodeling (<https://www.Green Remodeling.or.kr>)
5. Kim, D. I. and Lee, B. H., The Development of the Calibration Method of Building Energy Consumption by

- HDDm and CDDm, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 38, No. 6, pp. 15-25, 2018.
6. Kim, D. I. and Lee, B. H., Development and Application of the Calibration Method of Individual Building Energy Consumption, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.41, No. 1, pp. 15-23, 2020.
 7. GreenTogether (<http://www.greentogether.go.kr>)
 8. Yoon, J. H., Classification of Energy Consumption Patterns in University Buildings Using Change Point Model and Analysis According to Energy Impact Factors, Architectural Institute of Korea, Vol. 33, No. 11, p.73, 2017.
 9. Meteorological office, Automatic Weather Observation Data(<https://www.data.kma.go.kr>)