



그린리모델링을 통한 노후 근린생활시설 및 주택의 에너지성능 및 열환경 개선 효과 분석

이도형¹ · 김태연¹ · 원종연² · 최동호^{3*}

¹(주)네드 차세대 에너지 디자인 연구소 팀장, ²(주)네드 대표이사,

³대구가톨릭대학교 건축공학과 교수

An Analysis of Energy Performance and Thermal Environment Improvement Effect through Green Remodeling in Deteriorated Neighborhood Facilities and Houses

Lee, Do-Hyung¹ · Kim, Tae-Yeon¹ · Won, Jong-Yeon² · Choi, Dong-Ho^{3*}

¹Manager, Next Generation Energy Design Lab, NED, Seoul, Korea

²CEO, NED, Seoul, Korea

³Professor, Department of Architectural Engineering, Daegu Catholic University, Daegu, Korea

*Corresponding author: Choi, Dong-Ho, Tel: +82-53-850-2733, E-mail: dhchoi2@cu.ac.kr

ABSTRACT

This study analyzed the effects of improving energy performance, thermal comfort, reducing energy costs and carbon emissions through green remodeling for neighborhood facilities and houses that were completed more than 35 years ago. As a result of analyzing the effects of improving the indoor surface temperature of the bedroom on the second floor of the house, in corner of building envelope was improved the most to 16.51°C. The surface temperature in the center of the glass was also improved by 11.77°C, which is expected to significantly improve the discomfort of the occupant due to the influence of cold draft near the window in winter. In addition, it was analyzed that the amount of heat loss had a 44% reduction effect. As a result of the overall analysis of energy performance before and after green remodeling, the energy demand of houses was reduced by 55.7% from 268.8 kWh/m²·yr to 119.2 kWh/m²·yr, and the primary energy consumption was 233.7 kWh/m²·yr at 578.6 kWh/m²·yr. It was reduced by 59.6% in m²·yr. Neighborhood facilities reduced their energy demand by 21.3% from 220.0 kWh/m²·yr to 173.2 kWh/m²·yr, and reduced primary energy consumption by 89.0% from 391.8 kWh/m²·yr to 43.2 kWh/m²·yr. It was confirmed that the rate was 85.23%, which was at the level of a zero-energy building 2nd grade. The recovery period compared to energy cost and cost investment was analyzed to reduce the annual energy cost by 2,159,963 won/year due to green remodeling, and the recovery period compared to cost investment will take a total of 11.1 years based on the material cost.

주요어 : 근린생활시설, 주택, 그린리모델링, 제로에너지건축물, 탄소중립

Keywords: Neighborhood facility, Housing, Green remodeling, Zero energy building, Carbon neutrality

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2022 December, 16(6): 449-464
https://doi.org/10.22696/jkiebs.20220038

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: October 4, 2022

Revised: December 7, 2022

Accepted: December 14, 2022

© 2022 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

지구온난화로 인한 평균온도 상승, 폭염, 태풍, 산불, 해수면 상승 등의 기후변화 문제 대응을 위해 2021년 10월 2050 탄소중립위원회는 「2050 탄소중립 시나리오안」과 「2030 국가 온실가스 감축목표 상향안」을 발표하였다. ‘지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략」으로 5대 기본방향과 부문별 추진 전략을 마련하였다(2050 Carbon Neutrality Commission, 2021). 이는 2018년 대비 2030년 탄소배출량 감축비율을 기존 26.3%에서 40%로 13.7% 상향 조정하는 것을 골자로 하고 있다. 건물 부문의 감축비율은 기존 19.5%에서 32.8%로 13.3% 상향 조정함에 따라 에너지효율 향상, 고효율기기 보급, 수요관리, 스마트 에너지 관리, 청정에너지 보급 확대를 주요 감축 방안으로 제시하였다. 국토교통부는 탄소중립 방안으로 2021년 12월에 「국토교통 2050 탄소중립 로드맵」을 발표하여 탄소배출량 감축을 위한 구체적 실행방안을 마련하였고(MOLIT, 2021a), 이는 신축건축물의 제로에너지건축 조기도입과 등급 상향안 뿐 아니라, 노후화된 기존 건축물을 대상으로 그린리모델링의 확산 계획을 제시하고 있다. 이에 따라 ‘그린리모델링 지역거점 플랫폼’에 참여할 대표기관과 참여기관을 모집하기 시작하여 그린리모델링 확산을 위한 대응책을 마련하였다(MOLIT, 2021b). 그린리모델링 지역거점 플랫폼은 지역별 그린리모델링 사업에 필요한 기술적 지원 뿐만 아니라 지역확산을 위한 교육, 홍보 등의 업무를 수행하며 그린리모델링 시장을 확대할 계획이다.

「서울특별시 도시 및 주거환경정비 조례」에 따르면 공동주택 이외의 건축물 중 철근콘크리트, 철골콘크리트, 철골철근콘크리트 및 강구조 노후건축물은 30년 이상 경과된 건축물로 분류하고 있다(Seoul Special Metropolitan City, 2021). 이에 따라, 그린리모델링이 필요한 노후 건축물 현황을 분석한 결과, 2021년 기준 국내 건축물 현황으로 전체 7,314,264동(40억 5천만㎡) 중 30년 이상 노후화된 건축물의 비율은 건물 동수 기준으로 39.6%, 연면적 기준으로 19.2%를 차지하고 있다. 이 중 서울특별시는 585,636동(5억 8천만㎡) 중 30년 이상 노후화된 건축물의 비율이 건물 동수 기준 50.4%, 연면적 기준 28.5%를 차지하고 있고, Figure 1과 같이 연면적 기준으로는 서울특별시가 전국에서 가장 높은 비율을 나타냈다(MOLIT, 2022a).

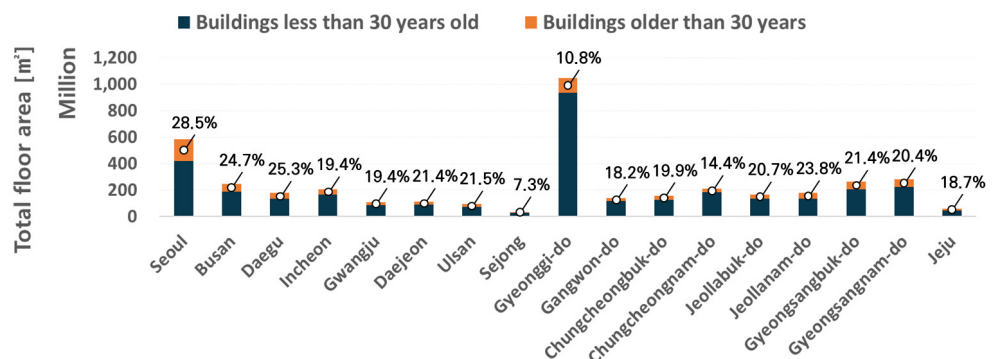


Figure 1. Current status of deteriorated buildings in Korea

그린리모델링 관련 선행연구로 그린리모델링 전·후 에너지 성능 예측이 가능하도록 설계한 후 대안별로 간단 평가계수를 도출하여 기획단계 혹은 계획설계단계에서 시뮬레이션에 소요되는 시간을 단축할 수 있는 방안을 제시한 연구(Lee and Jang, 2021), 단열공사에 한정되어 있지만 공사비 예측 모델 개발을 수행하고 그린리모델링 사업 초기 단계에서 공사비를 예측 가능하도록 하여 건축주, 설계자 등이 활용 가능한 초기 예산 예측 모델을 제시한 연구(Shin et al., 2021), 소규모 근린생활시설의 그린리모델링을 통한 에너지성능 분석과 비용 투자대비 회수기간을 산정한 연구(Lee et al., 2021), 노후화된 소규모 공공건축물을 대상으로 ECO2와 DesignBuilder 프로그램을 활용하여 그린리모델링 전·후 건물에너지성능의 결과 차이를 비교 분석한 연구(Kim et al., 2022) 등 그린리모델링 관련 많은 연구가 진행되고 있다.

본 연구는 준공된지 35년 이상 경과된 근린생활시설과 주택으로 활용하고 있는 소규모 복합건축물을 연구대상으로 선정하여 그린리모델링을 통해 에너지성능 및 열환경 개선, 에너지비용 절감 및 탄소배출량 저감 효과를 분석하였다. 특히, 기존 건축물 중에는 소규모 근린생활시설과 주택 용도 복합건축물 비중이 적지 않아 리모델링 수요 및 관심이 클 것으로 사료된다. 또한 노후 영세한 건물이 많고 리모델링 추진 시 비용문제로 큰 제약요인으로 작용하게 되므로 본 연구에서는 그린리모델링에 적용할 기술요소는 투자비용 대비 성능개선 효과가 상대적으로 큰 것으로 평가받는 기술요소들을 중심으로 적용토록 하였다. 이를 통해 그린리모델링 보급 활성화에 기여할 수 있는 하나의 실용적 사례 연구로 활용되기를 기대하고 있다.

분석 개요

분석 대상

본 연구의 그린리모델링 대상 건축물은 서울 면목동에 위치해 있으며, 지하 1층, 지상 3층 규모로 1층은 근린생활시설, 2~3층은 주택이다. 1985년 준공되어 35년 이상 경과한 건축물로써 노후화로 인해 에너지성능 및 재실자의 쾌적성 저하가 우려되어 에너지 및 환경개선을 위한 그린리모델링을 추진하였다. 세부적인 건축물 개요와 외부전경을 Table 1 및 Figure 2에 나타내었다.

Table 1. Architectural overview

Category	Content
Location of the site	Jungnang-gu, Seoul
Building area	64.17 m ²
Total floor area	267.66 m ²
Main structure	Reinforced concrete and masonry
Main use	Neighborhood facility and housing
Number of floors	B1F, 3F above ground
Year of completion	1985



Figure 2. Building exterior view

그린리모델링 전/후 적용 기술요소 현황

그린리모델링을 위해 적용된 세부 기술요소로는 주택의 경우, 패시브 기술요소로 기존 비드법보온판 1종4호(0.046 W/mK) 30 mm가 벽체에 내단열로 적용되어 있는 상태에서 결로방지 복합단열재(0.029 W/mK) 30 mm 내단열 보강, 경질우레탄보온판 2종2호(0.023 W/mK) 100 mm 외단열 보강을 하였다. 기존 건축물에 적용된 창호 성능은 파악이 불가하여, 에너지성능 분석 시 「건축물의 에너지절약설계기준」의 [별표 4] 창 및 문의 단열성능을 참고하여 일반 단창($6.600 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)을 적용하였고(MOLIT, 2022b), 그린리모델링으로 로이복층 이중창($0.858 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$)으로 교체하였다. 지붕도 기존 비드법보온판 1종4호가 50 mm 적용되어 있는 상태에서 경질우레탄보온판 2종2호 100 mm로 교체하였다. 또한 창면적비를 9.75%에서 14.08%로 확대하여 재실자의 가시적 개방감을 향상시키고자 하였다. 노후화된 냉·난방기기 교체, 기존 형광등(평균 조명밀도 4.66 W/m^2)에서 고효율 LED(평균 조명밀도 3.06 W/m^2)로 교체하였다. 근린생활시설은 일부 벽체 경질우레탄보온판 2종2호 10 mm 외단열 보강과 노후화된 냉·난방기기를 교체하였고, 신·재생에너지로 옥상에 태양광 발전시스템(5.16 kWp)을 신규 적용하였다. 이는 주로 주간시간대에 에너지사용량이 많은 비주거시설의 부하특성과 태양광 발전시스템의 주 발전시간을 고려한 것이다. 기존 건축물에 대한 도면 정보가 없고 냉·난방 기기에 대한 성능 파악이 불가하여, 창호 성능은 준공 당시의 법적 열관류율 수준 적용, 스탠드형 에어컨의 COP는 당시 적용된 사양으로 설정하였다. 그린 리모델링 전/후 각 기술요소별 적용사항은 Table 2, 3과 같다.

Table 2. The application status of existing buildings by technology element


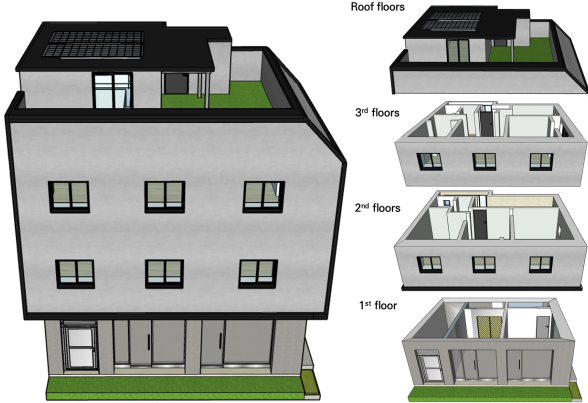
		
Passive system	Insulation	Internal insulation : EPS 30 mm
	Window	Regular single glazing
	Window-to-wall ratio	9.75%
	Average heat transmission coefficient	· Wall : 1.316 W/m ² ·K · Roof : 0.852 W/m ² ·K
Active system	Lighting	Fluorescent lamp
	Average light power density	4.66 W/m ²
	Heating system efficiency (Boiler)	83.1%
	Cooling system COP (EHP)	3.10

Table 3. Applications for each green remodeling technology element


		
Passive system	Insulation	· Internal insulation : Add XPS 30 mm · External insulation : Add external insulation system (Panel + Rigid urethane insulation 100 mm)
	Window	Low-e double-glazed four-track window
	Window-to-wall ratio	14.08%
	Average heat transmission coefficient	· Wall : 0.370 W/m ² ·K · Roof : 0.716 W/m ² ·K
Active system	Lighting	High efficiency LED
	Average light power density	3.06 W/m ²
	Heating system efficiency (Boiler)	93.6%
	Cooling system COP (EHP)	4.42
Renewable energy	Photovoltaic system	5.16 kWp

그린리모델링 기술요소 적용 분석 결과

태양광 발전시스템 적용을 위한 음영 검토

그린리모델링 대상 건물 옥상에 태양광 발전시스템을 적용함에 따라 주변으로부터의 음영 영향에 대한 검토를 위해 일조 시뮬레이션 프로그램인 Sanalyst 4.0을 활용하였다. 적용한 태양광 모듈의 사양은 Table 4에 나타내었으며, 공칭최대출력 430 W, 모듈효율 20.1%의 사양을 가지는 모듈을 12매 설치하는 것으로 실제 설치 조건과 동일하게 모델을 구성하였다. 일조 분석 기준은 「신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침」의 태양광설비 시공기준에 따른 총 일조 5시간 이상을 만족하는 구간을 대상으로 하였고, 이 때 춘·추분 중 일조시간이 가장 짧은 11월 30일을 기준으로 분석하였다(KEA, 2022). 일조 시뮬레이션 결과는 Figure 3, 시간대별 (08시~16시) 태양광 모듈에 미치는 음영 검토 결과는 Figure 4에 나타내었다. 일조 분석 결과, 총 일조시간은 8시간으로 5시간 이상 기준을 충족하는 것으로 확인되었다.

Table 4. Specifications for PV modules

	Category	Substance
	Nominal values of maximum power at STC (Pmax)	430 W
	Nominal values of open circuit voltage at STC (Voc)	49.38 V
	Nominal values of short circuit current at STC (Isc)	10.88 A
	Nominal values of maximum power voltage at STC (Vmax)	41.5 V
	Nominal values of maximum power current at STC (Imax)	10.36 A
	Maximum system voltage (V)	1,000 V
	PV module size (W × H × D)	2,080 mm × 1,030 mm × 35 mm
	Nominal efficiency of module	20.1%

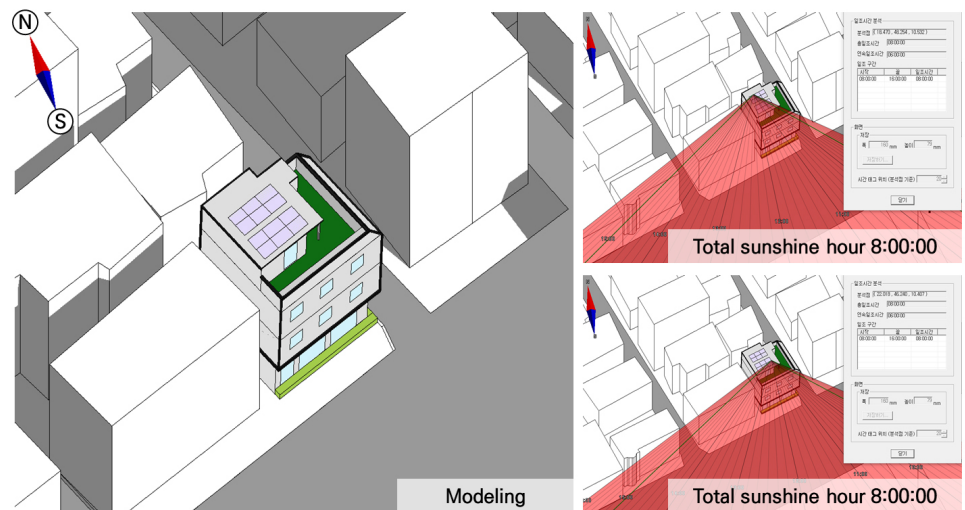


Figure 3. Modeling for sunshine simulation and total sunshine time analysis results

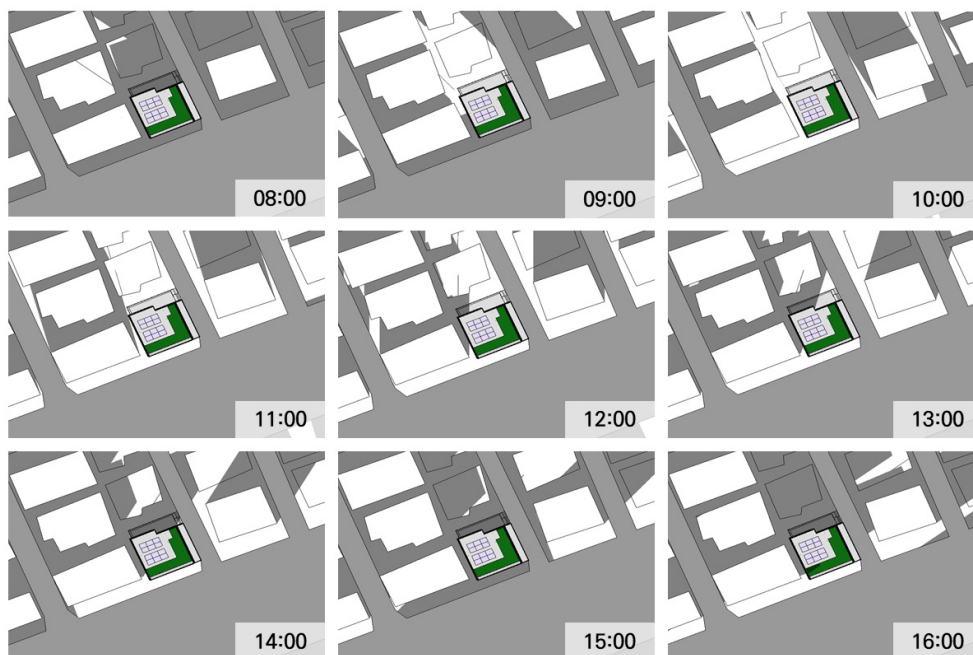


Figure 4. Result of shading analysis by time period

실내 표면온도 및 열손실량 분석 결과

주택은 난방에너지 위주인 건축물로 에너지 뿐만 아니라 재실자의 열적 쾌적성도 동시에 고려되어야 하기 때문에 패시브 기술요소 적용에 따른 개선 효과를 사전 검토하였다. 활용한 시뮬레이션 프로그램은 정상상태 3차원 열전달해석 프로그램인 TRISCO RADCON Module이며, 2층에 위치한 침실을 대상으로 분석하고자 하였다. 설정 조건은 Table 5, 3D 모델링 결과는 Figure 5에 각각 나타내었다. 외기온도 및 실내온도의 설정조건은 「공동주택 결로 방지를 위한 설계기준」의 지역Ⅱ를 기준으로 하였으며(MOLIT, 2016), 실외 및 실내 표면 열전달율은 「건축물의 에너지절약설계기준」의 열관류율 계산 시 적용되는 실내 및 실외측 표면 열전달저항 값을 참고하였다(MOLIT, 2022b).

그린리모델링 전/후 실내온도 및 열손실량 분석 결과는 Figure 6과 같다. 실내온도는 그린리모델링 전 대비 우각부 상부가 16.51℃ 상승하여 가장 크게 개선되었고, 우각부 하부 2.47℃, 창호 프레임 1.81℃, 유리 중앙 11.77℃ 각각 상승한 것으로 해석되었다. 열손실량은 그린리모델링 전 1,304 W에서 그린리모델링 후 729 W로 44% 저감되는 것으로 분석되었다.

Table 5. Setting conditions for heat transfer analysis

Category	Substance
Outdoor temperature	-15℃
Indoor temperature	25℃
Outdoor surface combined heat transfer coefficient	23.25 W/m ² ·K
Indoor surface combined heat transfer coefficient	9.09 W/m ² ·K

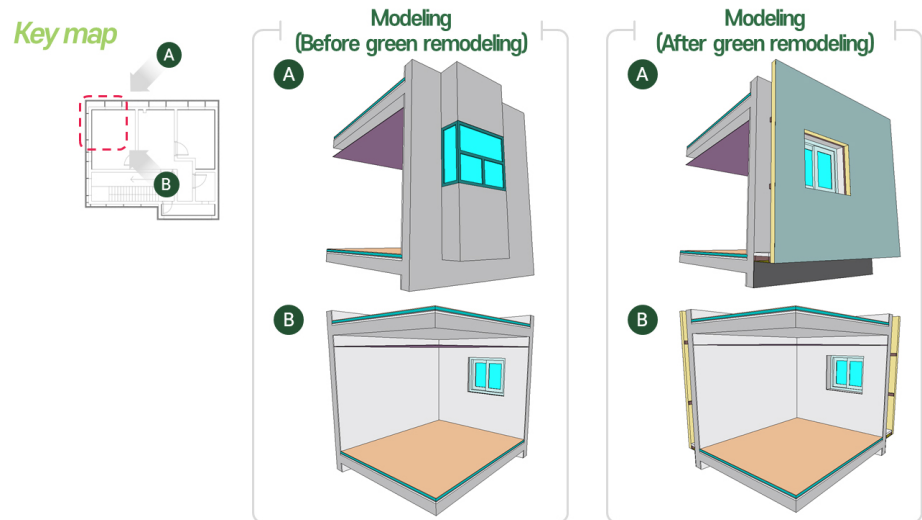


Figure 5. Modeling using a steady-state three dimensional heat transfer analysis program

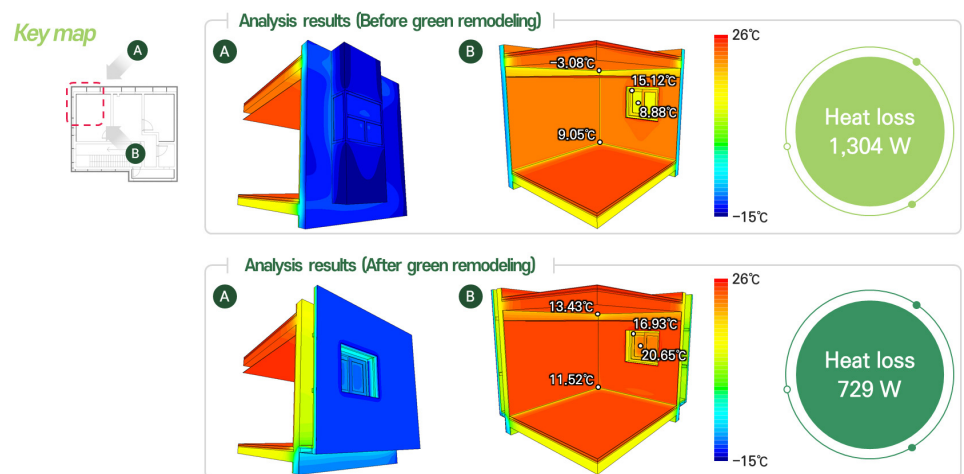


Figure 6. Analysis results of indoor temperature and heat loss

에너지 성능 개선 분석 결과

그린리모델링에 따른 에너지 성능 개선 효과를 분석하기 위해 국내 건축물에너지효율 등급 및 제로에너지건축물 인증 프로그램인 ECO2를 활용하였다. 그린리모델링 전 건축물의 분석 결과를 주택은 Table 6, 근린생활시설은 Table 7에 각각 나타내었다. 1차 에너지소요량 측면에서 주택과 근린생활시설 모두 전체 1차 에너지소요량 중 난방이 가장 큰 비중을 차지하였으며, 주택은 83.9%, 근린생활시설은 68.3%의 비율을 나타내는 것으로 분석되었다. 건축물에너지효율등급은 주택은 등급 외, 근린생활시설은 2등급 수준인 것으로 파악되었다.

Table 6. Results of energy performance evaluation of existing building (Housing) [kWh/m²·yr]

	New & renewable energy	Heating	Cooling	Domestic hot water	Lighting	Ventilation	Total
Energy demand	0.0	212.2	14.3	30.7	11.6	0.0	268.8
Energy consumption	0.0	342.0	4.3	36.4	11.6	0.0	394.3
Primary energy consumption	0.0	485.6	11.9	49.2	31.9	0.0	578.6
Primary energy consumption for grade	0.0	380.0	11.9	37.7	31.9	0.0	461.5

Table 7. Results of energy performance evaluation of existing building (Neighborhood facility) [kWh/m²·yr]

	New & renewable energy	Heating	Cooling	Domestic hot water	Lighting	Ventilation	Total
Energy demand	0.0	153.8	30.4	9.0	26.8	0.0	220.0
Energy consumption	0.0	97.3	8.6	9.8	26.8	0.0	142.5
Primary energy consumption	0.0	267.7	23.5	27.0	73.6	0.0	391.8
Primary energy consumption for grade	0.0	220.1	19.3	22.5	49.5	0.0	311.4

가장 큰 비중을 차지하는 난방에너지요구량을 저감하기 위해 패시브 기술요소 적용에 따른 분석 결과를 주택은 Table 8, 근린생활시설은 Table 9에 나타내었다. 주택은 난방 에너지요구량 212.2 kWh/m²·yr에서 66.4 kWh/m²·yr로 68.7% 저감, 총 1차 에너지소요량은 578.6 kWh/m²·yr에서 286.5 kWh/m²·yr로 그린리모델링 전 대비 50.5% 절감되었다. 근린생활시설은 난방 에너지요구량 153.8 kWh/m²·yr에서 105.8 kWh/m²·yr로 31.2% 저감, 총 1차 에너지소요량은 391.8 kWh/m²·yr에서 325.1 kWh/m²·yr로 그린리모델링 전 대비 17.0% 절감되었다. 패시브 기술요소 적용에 따라 1차 에너지소요량은 주택 부문에서 절감효과가 큰 것으로 분석되었다. 건 축물에너지효율등급으로 주택은 3등급, 근린생활시설은 1등급 수준인 것으로 나타났다.

Table 8. Results of passive technology application analysis (Housing) [kWh/m²·yr]

	New & renewable energy	Heating	Cooling	Domestic hot water	Lighting	Ventilation	Total
Energy demand	0.0 (-)	66.4 (-68.7%)	14.3 (-)	30.7 (-)	11.6 (-)	0.0 (-)	123.0 (-54.2%)
Energy consumption	0.0 (-)	146.5 (-57.2%)	4.3 (-)	36.4 (-)	11.6 (-)	0.0 (-)	198.8 (-49.6%)
Primary energy consumption	0.0 (-)	193.5 (-60.2%)	11.9 (-)	49.2 (-)	31.9 (-)	0.0 (-)	286.5 (-50.5%)
Primary energy consumption for grade	0.0 (-)	145.5 (-61.7%)	11.9 (-)	37.7 (-)	31.9 (-)	0.0 (-)	227.0 (-50.8%)

Table 9. Results of passive technology application analysis (Neighborhood facility) [kWh/m²·yr]

	New & renewable energy	Heating	Cooling	Domestic hot water	Lighting	Ventilation	Total
Energy demand	0.0 (-)	105.8 (-31.2%)	31.6 (+3.9%)	9.0 (-)	26.8 (-)	0.0 (-)	173.2 (-21.3%)
Energy consumption	0.0 (-)	72.8 (-25.2%)	8.9 (+3.5%)	9.8 (-)	26.8 (-)	0.0 (-)	118.3 (-17.0%)
Primary energy consumption	0.0 (-)	200.2 (-25.2%)	24.3 (+3.4%)	27.0 (-)	73.6 (-)	0.0 (-)	325.1 (-17.0%)
Primary energy consumption for grade	0.0 (-)	164.6 (-25.2%)	20.0 (+3.6%)	22.5 (-)	49.5 (-)	0.0 (-)	256.6 (-17.6%)

액티브 기술요소 적용 현황으로 주택은 노후 보일러 교체, 스탠드형 에어컨에서 EHP로 교체, 조명밀도 개선이 이루어졌으며, 근린생활시설에 적용되어 있는 전기온수보일러는 유지하고 고효율 냉·난방기기를 교체하였다. Table 10은 주택, Table 11은 근린생활시설의 분석 결과이다. 주택은 실내 발열요소인 조명밀도가 개선됨($4.66 \text{ W/m}^2 \rightarrow 3.06 \text{ W/m}^2$)에 따라 난방 에너지요구량은 $2.2 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$ 만큼 증가하고, 냉방 에너지요구량은 $1.5 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$ 만큼 감소하는 것으로 나타났다. 패시브 기술요소 적용 이후 액티브 기술요소 적용을 통해 1차 에너지소요량 절감률로 주택은 18.4%, 근린생활시설은 10.0%만큼 절감효과가 있는 것으로 분석되었다. 건축물에너지효율등급은 주택 2등급, 근린생활시설 1등급 수준인 것으로 나타났다.

Table 10. Results of active technology application analysis (Housing) [kWh/m²·yr]

	New & renewable energy	Heating	Cooling	Domestic hot water	Lighting	Ventilation	Total
Energy demand	0.0 (-)	68.6 (+3.3%)	12.8 (-10.5%)	30.7 (-)	7.1 (-38.8%)	0.0 (-)	119.2 (-3.1%)
Energy consumption	0.0 (-)	110.9 (-24.3%)	4.9 (+14.0%)	33.0 (-9.3%)	7.1 (-38.8%)	0.0 (-)	155.9 (-21.6%)
Primary energy consumption	0.0 (-)	154.8 (-20.0%)	13.5 (+13.4%)	45.8 (-6.9%)	19.6 (-38.6%)	0.0 (-)	233.7 (-18.4%)
Primary energy consumption for grade	0.0 (-)	120.2 (-17.4%)	13.5 (+13.4%)	35.6 (-5.6%)	19.6 (-38.6%)	0.0 (-)	188.9 (-16.8%)

Table 11. Results of active technology application analysis(Neighborhood facility) [kWh/m²·yr]

	New & renewable energy	Heating	Cooling	Domestic hot water	Lighting	Ventilation	Total
Energy demand	0.0 (-)	105.8 (-)	31.6 (-)	9.0 (-)	26.8 (-)	0.0 (-)	173.2 (-)
Energy consumption	0.0 (-)	62.1 (-14.7%)	7.7 (-13.5%)	9.8 (-)	26.8 (-)	0.0 (-)	106.4 (-10.1%)
Primary energy consumption	0.0 (-)	170.8 (-14.7%)	21.2 (-12.8%)	27.0 (-)	73.6 (-)	0.0 (-)	292.6 (-10.0%)
Primary energy consumption for grade	0.0 (-)	140.5 (-14.6%)	17.4 (-13.0%)	22.5 (-)	49.5 (-)	0.0 (-)	229.9 (-10.4%)

일조 시뮬레이션 분석을 통해 태양광 발전시스템 설치위치의 적정성을 확인한 후 에너지 절감 효과를 분석한 결과, Table 12와 같이 총 1차 에너지소요량은 액티브 기술요소 적용 단계 이후 85.3%에 해당하는 큰 폭의 추가절감 효과를 얻을수 있었다. 이 때, 주간 시간대 비주거 건축물의 에너지사용 및 태양광 모듈의 발전 시간대를 고려하여 근린생활시설 쪽으로 태양광 발전시스템을 연계하는 것으로 설계하였다.

Table 12. Results of renewable energy application analysis (Neighborhood facility) [kWh/m²·yr]

	New & renewable energy	Heating	Cooling	Domestic hot water	Lighting	Ventilation	Total
Energy demand	0.0 (-)	105.8 (-)	31.6 (-)	9.0 (-)	26.8 (-)	0.0 (-)	173.2 (-)
Energy consumption	-90.7 (-)	9.2 (-85.2%)	1.1 (-85.7%)	1.4 (-85.7%)	4.0 (-85.1%)	0.0 (-)	15.7 (-85.2%)
Primary energy consumption	-249.3 (-)	25.2 (-85.2%)	3.1 (-85.4%)	4.0 (-85.2%)	10.9 (-85.2%)	0.0 (-)	43.2 (-85.2%)
Primary energy consumption for grade	0.0 (-)	20.7 (-85.3%)	2.6 (-85.1%)	3.3 (-85.3%)	7.3 (-85.3%)	0.0 (-)	33.9 (-85.3%)
Energy independent rate				85.23%			

기술요소 단계별 1차 에너지소요량 절감량 및 이산화탄소 저감량 검토 결과는 Figure 7, Figure 8과 같다. 그린리모델링 전/후에 대한 1차 에너지소요량 분석 결과, 주택은 난방 485.6 kWh/m²·yr에서 154.8 kWh/m²·yr로 68.1%, 급탕 49.2 kWh/m²·yr에서 45.8 kWh/m²·yr로 6.9% 절감, 조명 31.9 kWh/m²·yr에서 19.6 kWh/m²·yr로 38.6% 절감되었고, 냉방은 11.9 kWh/m²·yr에서 13.5 kWh/m²·yr로 13.4% 증가하는 것으로 분석되었다. 냉방이 증가한 원인으로 기존 거실에만 설치되어 있던 스탠드형 에어컨에서 각 실마다 EHP를 설치하였기 때문이다. 총 1차 에너지소요량은 그린리모델링 전 578.6 kWh/m²·yr 대비 그린리모델링 후 233.7 kWh/m²·yr로 59.6% 절감 효과를 나타냈다. 근린생활시설은 난방 267.7 kWh/m²·yr에서 25.2 kWh/m²·yr로 90.6%, 냉방 23.5 kWh/m²·yr에서 3.1 kWh/m²·yr로 86.8%, 급탕 27.0 kWh/m²·yr에서 4.0 kWh/m²·yr로 85.2%, 조명 73.6 kWh/m²·yr에서 10.9 kWh/m²·yr로 85.2%의 큰 폭의 절감효과를 확인할 수 있었다. 총 1차 에너지소요량은 그린리모델링 전 391.8 kWh/m²·yr 대비 그린리모델링 후 43.2 kWh/m²·yr로 89.0%의 현격한 절감 효과를 나타냈다. 또한 근린생활시설은 에너지자립률 85.23%로 제로에너지건축물 2등급 수준으로 나타났다. 이산화탄소 저감량으로 주택은 103.1 kgCO₂/m²·yr에서 41.6 kgCO₂/m²·yr로 59.7%, 근린생활시설은 66.9 kgCO₂/m²·yr에서 7.4 kgCO₂/m²·yr로 88.9%만큼 저감할 수 있었다.

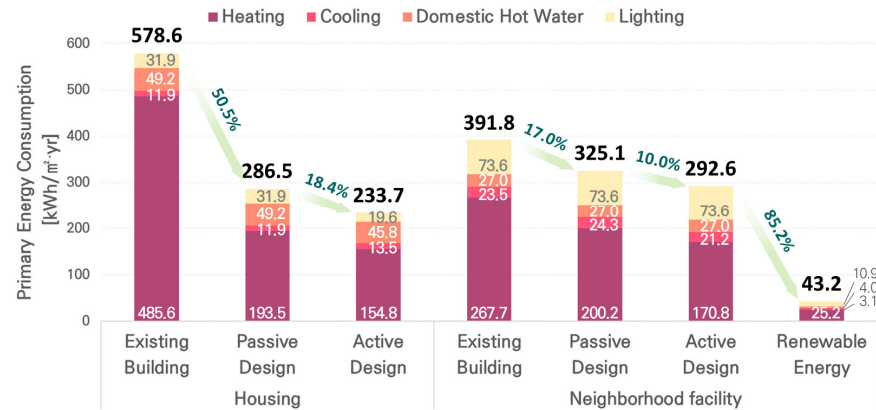


Figure 7. Comprehensive analysis of effectiveness of applying technology step by step (Primary energy consumption)

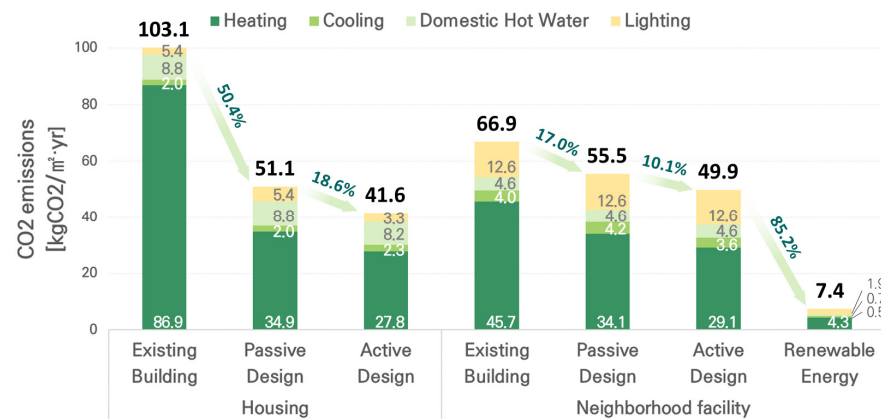


Figure 8. Comprehensive analysis of effectiveness of applying technology step by step (CO2 emissions)

에너지비용 및 투자비용 대비 회수기간 분석 결과

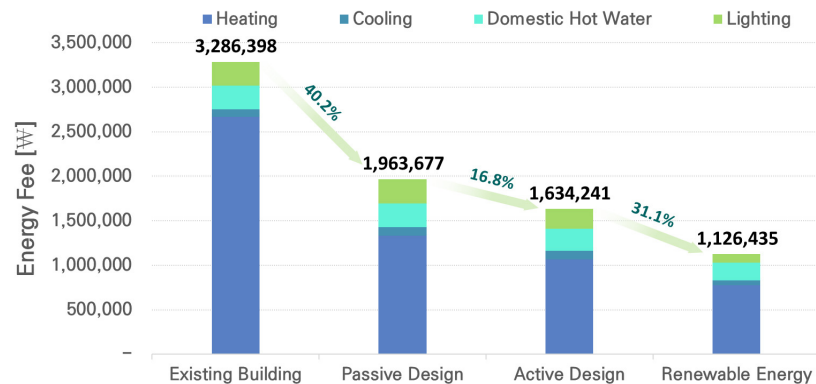
연간 발생하는 예상 에너지비용을 산출하기 위해 한국전력공사 전기요금 단가 기준으로 주택은 2021년 1월 1일부로 적용된 주택용 전력(저압) 요금을 Table 13과 같이 적용하였고, 근린생활시설은 2021년 4월 1일부로 적용된 일반용 전력(갑) 고압B 선택Ⅱ 요금을 Table 14와 같이 적용하였다. 이 때, 기본요금은 제외하고 산정하였다. 주택에 적용된 가스는 2022년 3월 1일부로 적용된 서울시 도시가스요금 14.2243원/MJ를 적용하였다. 에너지비용 산정 결과, Figure 9와 같이 그린리모델링 전 3,286,398원/년에서 패시브 기술요소 적용으로 1,963,677원/년, 액티브 기술요소 추가 적용으로 1,634,241원/년, 신재생에너지 추가 적용으로 1,126,435원/년으로 연간 총 2,159,963원/년을 절감할 수 있는 것으로 분석되었다.

Table 13. Applied electricity unit fee (Housing)

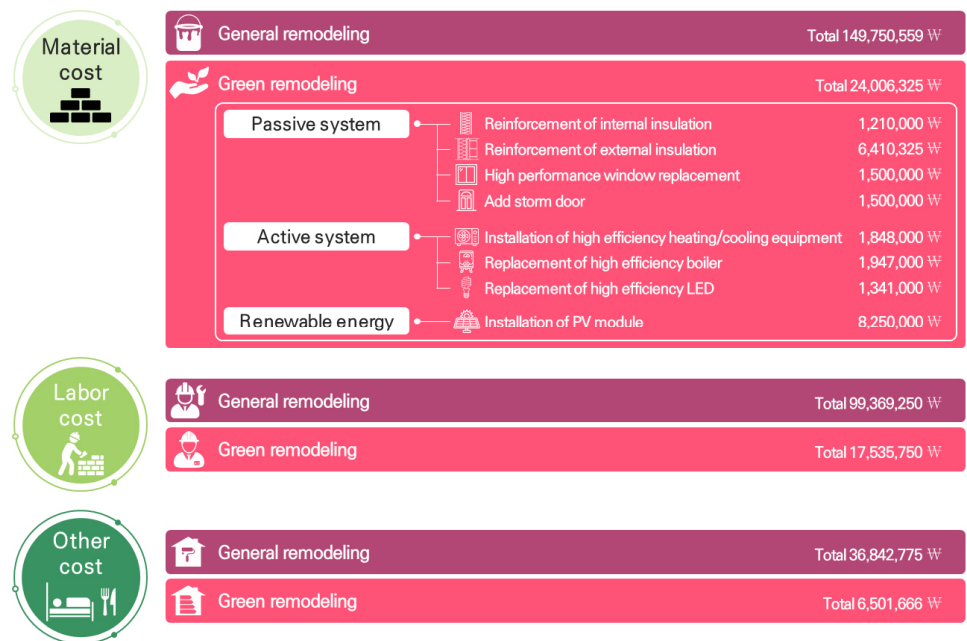
Category	Content
Summer season (Jul.-Aug.)	88.3 ₩/kWh
Other season (Jan.-Jun., Sep.-Dec.)	88.3 ₩/kWh

Table 14. Applied electricity unit fee (Neighborhood facility)

Category	Content
Summer season (Jun.-Aug.)	108.4 ₩/kWh
Spring and fall season (Mar.-May, Sep.-Oct.)	65.4 ₩/kWh
Winter season (Nov.-Feb.)	95.2 ₩/kWh

**Figure 9.** Energy fee calculation results

해당 건물에 투입된 리모델링 공사비는 Figure 10과 같고, 단위면적당 공사비는 총 1,676,700 원/㎡ 중 그린리모델링 공사비는 259,900원/㎡으로 15.5%를 차지하는 것으로 파악되었다. 그린 리모델링 공사비 중 총 재료비 24,006,325원 중 패시브 기술요소 10,620,325원(44.2%), 액티브 기술요소 5,136,000원(21.4%), 신재생에너지 8,250,000원(34.4%)만큼 소요되었다.

**Figure 10.** Status of remodeling construction costs

그린리모델링 공사비 중 재료비와 에너지 절감비용을 고려하여 투자비용 회수기간을 산정한 결과, Figure 11과 같이 패시브 기술요소 4.9년, 액티브 기술요소 2.4년, 신재생에너지 3.8년으로 총 11.1년이 소요될 것으로 분석되었다.

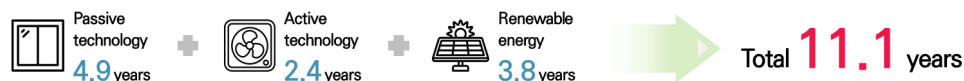


Figure 11. Investment payback period calculation result

결론

본 연구는 ECO2를 활용하여 준공된지 35년 이상 경과한 소규모 근린생활시설 및 주택 복합건축물을 대상으로 그린리모델링 효과를 재실환경 및 에너지성능 개선과 투자비용 대비 회수기간에 대해 분석하였다.

- (1) 주택 2층 침실의 실내 표면온도 개선 효과를 분석한 결과, 우각부 상부가 16.51℃로 가장 크게 개선되었다. 유리 중앙의 표면온도도 11.77℃만큼 개선되어 그린리모델링 전 동절기에 단열성능 저하에 따른 창측 냉복사 영향으로 인한 재실자의 열적 불쾌적성이 크게 개선될 것으로 판단된다. 또한 열손실량은 44% 저감 효과가 있는 것으로 분석되었다.
- (2) 기존 건축물의 에너지성능 분석 결과, 전체 에너지요구량 주택 부문 268.8 kWh/m²·yr, 근린생활시설 부문 220.0 kWh/m²·yr 중 난방 에너지요구량이 차지하는 비중으로 주택은 212.2 kWh/m²·yr로 78.9%, 근린생활시설은 153.8 kWh/m²·yr로 69.9%를 나타내어 가장 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다. 또한 건축물에너지효율등급으로 주택은 등급 외, 근린생활시설은 2등급 수준인 것으로 나타났다.
- (3) 기존 건축물의 난방 에너지요구량이 높은 이유로 준공 당시 적용된 창호 성능, 외벽 단열재 성능 및 두께 등의 단열규정이 극히 낮은 수준이었고, 적용된 단열재의 노후화로 인한 경년열화가 발생되었기 때문으로 사료된다. 난방 에너지요구량을 고려하여 주택은 고성능 창호로의 교체, 창면적비 개선, 내단열 및 외단열 보강을 하였고, 근린생활시설은 일부 외단열 보강을 하였다. 이에 따라, 주택은 난방 에너지요구량 68.7% 저감, 1차 에너지소요량 50.5%가 절감되었고, 근린생활시설은 난방 에너지요구량 31.2% 저감, 1차 에너지소요량 17.0%가 절감되었다. 건축물에너지효율등급으로 주택은 3등급, 근린생활시설은 1등급 수준인 것으로 분석되었다.
- (4) 액티브 기술요소로 냉·난방 설비를 효율이 높은 고효율 설비로 교체하였고, 주택은 추가적으로 기존 형광등에서 전면 LED로 교체하였다. 주택은 조명밀도가 개선되었지만 실내 발열요소의 감소로 인해 난방 에너지요구량은 증가, 냉방 에너지요구량은 감소하는 것으로 나타났다. 패시브 기술요소 적용 이후 액티브 기술요소 적용을 통해 주택의 1차 에너지소요량은 18.4%, 근린생활시설은 10.0%의 절감 효과를 얻을 수 있었다. 건축물 에너지효율등급으로 주택은 2등급, 근린생활시설은 1등급 수준인 것으로 분석되었다.

- (5) 비주거 건축물의 에너지사용 및 태양광 모듈의 발전 시간대를 고려하여 근린생활시설에 태양광 발전시스템을 연계토록 하였다. 일조 시뮬레이션 분석을 통해 태양광 발전시스템 설치의 적정성을 검토한 결과, 총 일조 8시간 이상으로 「신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 지침」의 태양광설비 시공기준인 총 일조시간 5시간 이상 요건을 충족하였다. 1차 에너지소요량은 액티브 기술요소 적용 단계 이후 85.3%의 큰 추가 절감 효과를 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.
- (6) 그린리모델링 전/후 에너지 성능을 전반적으로 분석한 결과, 주택은 에너지요구량 268.8 kWh/m²·yr에서 119.2 kWh/m²·yr로 55.7% 저감, 1차 에너지소요량 578.6 kWh/m²·yr에서 233.7 kWh/m²·yr로 59.6%가 절감되었다. 근린생활시설은 에너지요구량 220.0 kWh/m²·yr에서 173.2 kWh/m²·yr로 21.3% 저감, 1차 에너지소요량 391.8 kWh/m²·yr에서 43.2 kWh/m²·yr로 89.0%가 절감되었고, 에너지자립률은 85.23%로 제로에너지건축물 2등급 수준인 것으로 확인되었다.
- (7) 에너지비용 및 투자비용 회수기간을 분석한 결과, 그린리모델링으로 얻을 수 있는 연간 발생하는 에너지비용은 2,159,963원/년으로 분석되었고, 그린리모델링을 위해 투입된 비용의 회수기간은 재료비 기준 총 11.1년이 소요될 것으로 분석되었다.
- (8) 이상과 같이 본 연구에서는 소규모 노후 근린생활시설 및 주택의 그린리모델링을 통한 실내환경 개선, 에너지성능 개선, 투자비용 회수기간을 해석하여 이에 따른 효과를 정량적으로 도출하였다. 그린리모델링 전 건물 용도의 특성에 맞춰 에너지 사용에 대한 사전 검토를 통하여 개선되어야 되는 부분을 도출하고 개선에 따른 효과를 분석해야 과도한 공사비를 방지할 수 있을 것으로 판단하여 본 연구를 수행하였다. 이를 통해 국내 소규모 건축물의 그린리모델링 활성화에 이바지할 수 있는 하나의 사례로 활용될 수 있기를 기대한다.
- (9) 향후 수행할 연구로 본 건물의 에너지사용량 데이터 실측 및 실내환경 실측값을 활용하여 건물 사용단계에서의 그린리모델링 효과를 분석하고자 한다.

References

1. Kim, J.H., Yu, J.S., Kim, J.H., Kim, J.T. (2022). Energy Performance Analysis of Green-Remodeling for Public Buildings under 500 m². Korean Solar Energy Society, 42(3), 87-101.
2. Lee, D.H., Byun, S.Y., Won, J.Y., Choi, D.H. (2021). An Analysis of Energy Performance Improvement Effect through Green Remodeling of Small Neighborhood Facilities. Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 15(5), 459-473.
3. Lee, J.G., Jang, H.I. (2021). Standard Model and Simple Evaluation Coefficient by Type of Non Residential Public Building for Green Remodeling Energy Performance Analysis. Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 15(5), 419-430.

4. Shin, H.R., Lee, S.E., Hong, E.B., Jang, Y.E., Lim, J.Y. (2021). Development of Construction Cost Prediction Model for Retrofit of Net-Zero Energy Building at the Insulation Work Phase. *Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, 15(6), 794-805.
5. 2050 Carbon Neutrality Commission. (2021). 2050 Carbon Neutrality, Last Chance for Future Survival. Press Release.
6. Korea Energy Agency (KEA). (2022). Guidelines for Support, etc. of New and Renewable Energy Facilities.
7. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2016). Condensation Prevention Standard in Residential Buildings.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2021a). Announcement of 「National Land Transportation 2050 Carbon Neutral Roadmap」 to realize carbon neutrality in living areas and means of transportation. Press Release.
9. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2021b). Expanding regional networks for sustainable green remodeling. Press Release.
10. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2022a). A total of 7,314,264 buildings across the country / 4.05 billion square meters. Press Release.
11. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2022b). Energy Conservation Design Criteria for Buildings.
12. Seoul Special Metropolitan City. (2021). Seoul Special Metropolitan City Ordinance on the Maintenance and Improvement of Urban Areas and Dwelling Conditions for Residents.