



## 충북 공공건축물 그린리모델링 시그니처 사업 적용에 따른 에너지 절감효과 사례분석

### Case Study on Energy Saving Effects through Application of Green Remodeling Signature Project to Public Buildings in Chungbuk Province

노상태\*

Sang-Tae No\*

\* Professor, Dept. of Architectural Engineering, Korea National Univ. of Transportation, South Korea (stno@ut.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** Starting in 2020, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of KOREA has implemented a green remodeling support project that provides government subsidies for remodeling construction of old public buildings. In addition, a signature project was prepared to invest a large amount of project cost among buildings subject to green remodeling. In this study, we aim to compare the energy saving effects of the S Public Health Center in North Chungcheong Province through the signature project and analyze cost-effectiveness compared to the amount saved. **Method:** An energy evaluation was conducted before and after green remodeling of S Public Health Center using the building energy consumption evaluation program (ECO2-OD). Actual energy usage data was investigated and compared with simulation results. In addition, the amount of energy reduction resulting from the application of green remodeling construction elements was evaluated and a cost-effectiveness analysis was conducted accordingly. **Result:** Among the elements applied to green remodeling, the change element that showed a high impact on energy savings was the replacement of heating equipment, which showed a reduction of about 60% compared to the previous one. When green remodeling element construction was carried out for KRW 127 million, the cost benefit (cost-effectiveness) of the annual energy consumption reduction of 83.6 kWh/m<sup>2</sup>·a was found to be KRW 22,936/kWh·a.

#### KEYWORD

탄소중립  
공공건축물  
그린리모델링

Carbon Neutral  
Public Building  
Green Remodeling

#### ACCEPTANCE INFO

Received Jan. 15, 2024  
Final revision received Jan. 27, 2024  
Accepted Feb. 1, 2024

© 2024. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경

산업화 이후 발생한 기상이변으로 인해 범세계적 환경문제가 야기됨에 따라 1988년 기후변화에 관한 정부 간 협의체(IPCC)가 출범했다. IPCC가 2018년 지구온난화 특별보고서를 승인하면서 파리협정(2016) 의제인 평균 상승온도 1.5°C 제한에 대한 과학적 근거가 마련됐다. IPCC는 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 45% 이상 감축, 2050년에는 온실가스 배출·흡수량의 합이 0(Net-Zero)인 탄소중립을 목표로 제시했다. 이에 파리협정 비준국인 우리나라는 국가 결정 기어 온실가스 감축 목표(NDC)에 따른 방안을 수립하기 위해 UN에 2050 장기 저탄소 발전 전략(LEDS) (관계부처합동, 2020)을 제출하였다[1].

LEDS는 우리나라의 2030년 온실가스 예상 순 배출량을 2017년 기준(667.6백만톤) 24.4% 감축(504.7백만톤)을 목표로 보고 있다. 그중 건물부문의 에너지 효율을 극대화하는 수단으로 2020년부터 공공건축물을 기점으로 기존 건물의 그린리모델링을 활성화할 계획임을 밝혔다. 이와 더불어 탄소중립 시나리오(2050 탄소중립녹색성장위원회, 2021)와 탄소중립 로드맵(국토교통부, 2021)에서는 모든 공공·민간 건물의 단계적 제로에너지 적용을 목표로 하고 있다. 또

Table 1. 2030 enhanced NDC target

Classification	Based on 2018	Expected in 2030	Expected in 2050
Net Greenhouse Gas Emissions	686.3	436.6 (▽40%)	0 (▽100%)
Building Sector Emissions	52.1	35 (▽32.8%)	6.2 (▽88.1%)

\*Unit : Million Tons of CO<sub>2</sub> Equivalent

한, 기후위기의 심각성을 고려하여 2050년 온실가스 순 배출량이 0인 탄소중립을 목표로 Table 1.과 같이 상향된 2030 NDC 감축 목표를 제시했다[2,3].

전국 건축물 현황(국토교통부, 2022) 자료에 따르면 10년 이상의 노후 건축물이 전체 건축물의 73%(연면적 기준)를 차지한다. 이러한 배경으로 건물부문에서 건축물의 에너지절약설계기준을 높여 온실가스 배출량을 감소시키는 그린리모델링에 대한 인식 확산 필요성이 대두되고 있다.

### 1.2. 연구 대상

국토교통부는 2020년부터 노후 공공건축물에 대해 국비지원금을 지원하는 공공건축물 그린리모델링 지원사업을 실시하였다. 지원사업의 일환으로 그린리모델링에 대한 지역별 인식의 저변 확산을 위해 권역별 지역거점 플랫폼을 설치하였고, 그린리모델링 대상

건축물 중 사업비 투자를 강화한 시그니처 사업을 마련하였다.

본 연구에서는 공공건축물 그린리모델링 시그니처 사업 적용에 따른 충북 S 보건지소의 에너지 절감효과 비교와 절감량 대비 비용 효율 분석을 진행하고자 한다. 해당 건물은 준공 후 10년 이상의 노후 공공건축물로 그린리모델링 지원사업 대상이다. 동시에 연면적·사용 인원·상징성 등을 고려해 그린리모델링 혜택과 홍보 효과가 높을 것으로 예상하여 2022년 시그니처 사업에 선정됐다[4].

시그니처 사업의 지원금액은 Table 2와 같이 공공건축물 그린리모델링 사업 가이드라인(국토교통부, 2022)을 통해 안내되고 있다. 시그니처 사업은 3.3㎡ 당 국비지원금액이 150~280만원인 일반 그린리모델링과는 다른 상향된 국비를 지원받는다[5].

### 1.3. 연구 목적

본 연구의 목적은 건축물 에너지소요량 평가프로그램(ECO2-OD)을 이용하여 S 보건지소의 그린리모델링 전·후 에너지 평가를 실시, 효과를 정량적으로 파악하는 것이다. 아울러 그린리모델링 공사요소별 에너지 감소량을 평가하고 이에 따른 비용·효과 분석을 실시하였다. 이 같은 성능개선 효과 분석 결과는 향후 그린리모델링 지원사업 가치향상의 토대가 되는 기초자료로 활용할 수 있다.

## 2. 공공건축물 그린리모델링 관련 규정 및 사례

### 2.1. 그린리모델링 관련 규정

녹색건축물 조성 지원법(국토교통부, 18469호, 13조)에 따르면 에너지 효율이 낮은 공공건축물에 대하여 에너지 효율 및 성능개선이 필요하다. 녹색건축물 조성 지원법 시행령(국토교통부, 33466호, 12조)에서는 해당 건축물을 대상으로 건축물 에너지효율등급 인증을 추진하고 있다.

S 보건지소의 연면적은 377.1㎡로 에너지효율등급 인증 의무화 대상(난방면적 500㎡ 이상)에 포함되지 않기에 필수사항은 아니지만, 그린리모델링 사업 취지는 노후 공공건축물에 대한 에너지 소비 효율을 높이는 것이다. 그러므로 건축물 에너지효율등급 인증은 그린리모델링 전·후 에너지 소요량에 따른 효율을 확인하는 기준이 된다. 따라서 이전에 실시된 그린리모델링 사업 사례들과 동일하게 ECO2-OD를 이용한 시뮬레이션과 에너지효율등급 인증제도를 기반으로 건축물의 전·후 에너지 변화를 평가할 필요가 있다[6-10].

### 2.2. 기존 그린리모델링 시그니처 사업 사례

그린리모델링 시그니처 사업 평가요소와 건물의 전·후 에너지를 등급 변화를 확인하기 위해 그린리모델링 공사가 진행된 기존 사례를 검토하였다.

Table 2. Government support amount for signature project

Support Program	Classification	Government Support Amount	Support Ratio
Signature Project	Seoul, Central, Public (Island Area)	3 million KRW/3.3㎡ (3.6 million KRW/3.3㎡)	50%
	Others (Island Area)	4.2 million KRW/3.3㎡ (5.04 million KRW/3.3㎡)	70%

Fig. 1.은 2020년 그린리모델링 시그니처 사업 사례인 세종시 SS 보건진료소(공공건축물 그린리모델링 지원사업 가이드라인, 국토교통부, 2023)의 리모델링 전·후 외관 모습이다. 해당 사례는 창호의 변경 및 단열·기밀성능의 강화와 신재생에너지·환기장치 등을 이용한 패시브(Passive)와 액티브(Active) 방법이 모두 사용됐다.

SS 보건진료소의 그린리모델링 적용 요소는 7가지로, Table 3.과 같다. 적용 요소 중 외벽(Exterior wall)·지붕(Roof)·창호(Windows)·냉방장치(Air conditioning)·조명(Lighting)의 5가지 부문은 기존 구성요소를 보강 또는 변경하였고, 신재생(Renewable)·환기(Ventilation) 부분은 신규 요소를 추가하는 방향으로 진행했다. ECO2-OD를 이용한 공사 전·후 시뮬레이션 결과 연간 에너지 요구량은 69.6kWh/㎡·a로 기존 대비 47.6% 감소하였다. 연간 에너지 소요량은 355.4kWh/㎡·a에서 117.4kWh/㎡·a로 67.7%, 연간 1차 에너지 소요량은 67% 감소했다. 그 결과 건축물 에너지효율등급이 기존 3등급에서 1++등급으로 4단계 상승했다[11].

## 3. 그린리모델링 실시 전 조사 및 분석

### 3.1. 대상 건물 개요

본 연구의 시그니처 사업 대상인 S 보건지소(그림 2)는 충북 보은군 삼승면에 존재하는 2개의 공공의료시설 중 하나로, 2006년 준공하여 17년이 지난 노후 건축물로 분류된다. 공공건축물 그린리모델



(a) Before green remodeling (b) After green remodeling

Fig. 1. SS Health Care Center

Table 3. Comparison before and after green remodeling of SS Health Care Center

Classification	Before	After
Exterior Wall and Roof	External insulation	Improved external insulation
Windows	16mm regular double-glazed glass	28mm LowE double-glazed glass
Air Conditioning	EHP	High efficiency EHP
Lighting	Fluorescent lamp	LED
Ventilation	N/A	Heat recovery ventilator
Renewable		Photovoltaic
Energy Demand* (kWh/㎡·a)	132.8	69.6 (▽47.6%)
Energy Consumption* (kWh/㎡·a)	128.7	41.7 (▽67.7%)
Primary Energy Consumption* (kWh/㎡·a)	355.4	117.4 (▽67%)
Energy Efficiency Grade	Grade 3	Grade 1++

\*a : year

링 사업 사전 조사 및 컨설팅 용역(국토교통부, 2022) 결과 상주 인원은 1명, 일일 방문 인원은 5명 내외로 전기에너지만 사용하고 있다. 일부 냉난방기 교체와 내측 창호 추가 등의 개보수 이력이 존재하지만, 겨울철 에너지사용량이 과다하게 나타나고 있다(Fig. 3.). 이외에도 벽체·지반침하 균열, 옥상 방수층 파손 등의 문제점들이 파악되었다[12].

전기에너지 사용량을 검토하기 위해 한국전력공사와 건축데이터 민간개방 시스템에서 사용량을 비교한 결과 두 기관의 결과값이 동일한 것을 확인했다. Fig. 3.은 건축데이터 민간개방 시스템에서 조회한 값을 토대로 2020~2022년 3년간 전기에너지 사용량을 그래프로 나타낸 자료이다. 3년간 모두 겨울 1~2월의 전기에너지 사용량이 평균 10,000kWh/월 이상 기록되는 것을 볼 수 있다. 이와 대조적으로 외부 평균 온도가 상대적으로 높을 것으로 예상하는 5~10월의 전기에너지의 사용량은 5,000kWh/월을 넘지 않는다.

### 3.2. 그린리모델링 적용 방향

S 보건지소(Table 4.)가 위치한 충북 보은군 삼승면 지역은 지속적인 인구밀도(2,295명, 22년) 감소와 주 연령층이 60~69세(주민등록 인구통계)라는 특징으로 이용률이 저조하였다. 해당 건물의 그린리모델링 시그니처 사업 방향성 관련하여 자문단(담당 공무원 3인-건축 분야별 전문가 5인) 회의 결과 해당 건물이 지역 의료시설로의 역할이 불가능하다고 판단되었다.

시그니처 사업은 그린리모델링 사업의 취지에서 나아가 그린리모델링 혜택에 대한 지역적 홍보 효과를 높이는 것이 목적이다. 공공



Fig. 2. Exterior view of S health care center

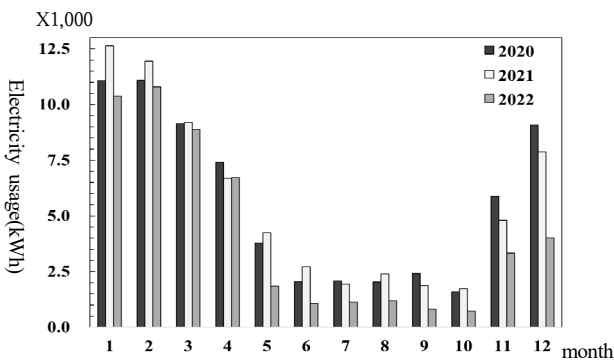


Fig. 3. Actual electricity usage from 2020 to 2022

건축물의 사용가치를 높이기 위해 충북지역 사례인 진천군 D 건강생활지원센터를 참고하여 기존 보건지소 용도에서 어린이 보건 체험관으로 사용 용도를 변경하기로 하였다.

S 보건지소의 그린리모델링 공사 주요 적용 사항은 Table 5.와 같이 기존 단열과 창호의 보강·교체하고 전열교환기·태양광발전설비를 추가 설치하는 것이다. 외부 변경사항으로는 1층 정면 입구와 2층 발코니에 존재하는 임의 증축 구조물인 캐노피와 이용률이 떨어지는 화단을 철거할 예정이다. 내부 공간은 어린이 보건 체험관 용도 변경 취지에 적합하도록 원활한 공간 이용을 위해 내벽 철거를 진행하여 일부 공간을 확장할 예정이다.

## 4. 그린리모델링 적용 전·후 비교

### 4.1. 건물 외관 및 평면도 비교

S 보건지소는 2022년 그린리모델링 시그니처 사업에 선정, 2023년 후반기에 공사가 완공될 예정이다. Fig. 4.는 그린리모델링 전·후 건물 변화의 직관적인 비교를 위해 S 보건지소의 건축도면과 변경사항을 바탕으로 3D 모델링한 자료이다. 건물 정면 기준 남서향을 바라보고 있어 연중 내부로 유입되는 일조량이 많다. 외관에서 확인할 수 있는 변경사항으로 앞에서 언급되었던 임의 증축 구조물인 정면 캐노피(Canopy)와 화단이 제거되었다.

Table 4. Target building overview

Classification	Content
Location	Wonnam-ri, Samseung-myeon, Boeun-gun, Chungcheongbuk-do
Regional District	Natural Green Area
Completion Year	2006 (17 years since construction)
Building Use	Type 1 Neighborhood Living Facility
Scale	2 floors above ground
Total Floor / Building Area	377.1m <sup>2</sup> / 270.55m <sup>2</sup>
Structure	Reinforced Concrete Structure
Energy Source	General, Night-time Power(Electricity)
Operating Hours	Weekdays 09:00~18:00 (Closed on weekends and holidays)

Table 5. Green remodeling implementation details

Classification	Before	After
Purpose of Use	Health Care Center	Children's Health Experience Center
Insulation	Existing wall external insulation	Wall and roof insulation improvement
	Existing Windows	Window replacement
Ventilation	N/A	heat exchanger
Renewable		Photovoltaic
Changes	Ext./Interior	1st and 2nd floor canopy
		1st and 2nd floor interior partition walls
		Ceiling
		Demolition
		Height Adjustment and Reinstallation



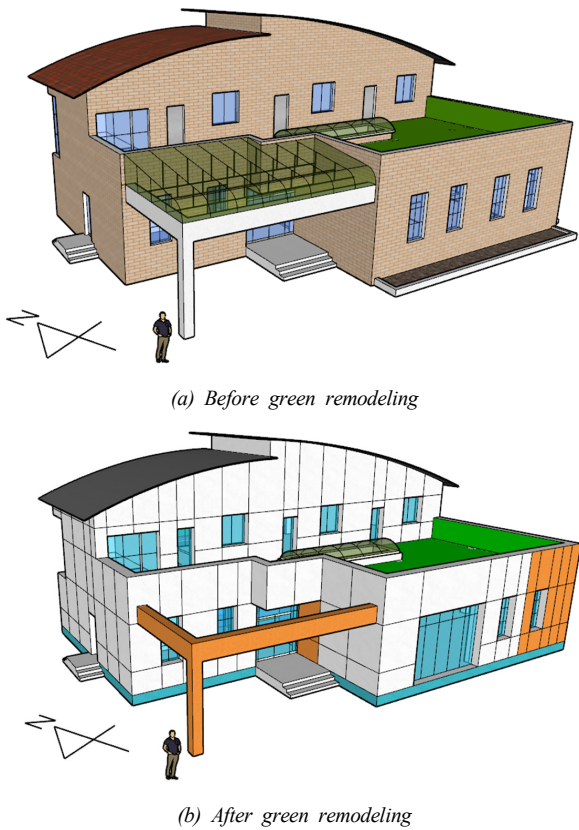


Fig. 4. Building exterior before and after green remodeling

외벽 마감 색상은 어린이 보건 체험관이라는 시그니처 구상 방향에 맞춰 주 이용대상인 어린이의 기호를 고려하여 포인트 색상 디자인을 사용했다. 정면에 추가된 커튼월(4,100mm×3,000mm)은 대형 창을 통해 느낄 수 있는 시각적 개방감과 내부 공간감이 연장되도록 기존 벽체와 창(1,000mm×2,000mm) 일부를 제거 후 설치했다. 단열재와 마감재를 포함 170mm의 외단열 보강이 진행되어 외벽 부분에서 시각적인 차이를 보인다. 그리고 건물 외·내부의 기존 철재와 목재 문이 유리문으로 교체됐다.

이외에도 주차장에는 9kW 용량의 후면통풍형 형태의 태양광발전설비가 약 41.4㎡ 면적으로 설치된다. 건물 배면의 2층 발코니에 존재하던 캐노피 또한 철거되었다. 추가로 우측과 배면에 각 2개씩 존재하는 동일 규격의 기존 창(1,500mm×1,500mm)은 설치 높이(1.5m, 바닥 기준)로 인해 이용성이 떨어졌다. 해당 문제점에 대해 보건지소 담당자의 의견을 반영하여 기존 설치 높이를 변경하기로 했다. 실내 이용자의 접근성이 용이하도록 벽 일부를 철거하고 창(1,500mm×1,900mm) 규격을 교체하여 설치 높이(1.1m, 바닥 기준)를 조절하였다.

Fig. 5.의 리모델링 전·후 평면도를 통해 확인할 수 있는 가장 큰 내부 변화로, 기존 1층과 2층의 내벽이 일부 철거되고 Table 6.와 같이 실내공간이 통합됐다. 이때 확장공사를 통해 기존 7개의 공간이 건강체험실로 통합되면서 기존 비공조존인 X-RAY실·창고의 면적이 공조존으로 변경되었다.

1층 보건요원실은 진료실로 용도가 변경되면서 방풍실과 맞닿는 부분의 벽체 일부를 제거하였다. 제거된 벽체 부분에는 어린이의 시



Fig. 5. Floor plans before and after green remodeling

야에서 진로실 내부공간을 볼 수 있는 창(1,800mm×1800mm)이 출입문의 연장선으로 설치되었다.

2층의 경우 기존에 관사로 사용되던 주거공간의 주방과 욕실을 철거하고 욕실 환기창을 매립 후 영상실로 용도가 변경되었다. 영상실로 사용될 공간의 내부확장으로 가로길이가 3.9m에서 6m로 변경되면서 면적은 19.89㎡에서 30.6㎡로 약 54%가 증가했다.

#### 4.2. 리모델링 전후 에너지 소비량 분석

건축물 에너지 평가프로그램으로는 한국에너지공단에서 제공하는 건축물 효율등급인증 평가프로그램인 ECO2와 ECO2-OD가 있다. 본 연구에서는 그린리모델링 전·후 변경사항에 따른 공조영역의 에너지 소요량 평가를 수행하기 위해 일반적으로 적용되는 ECO2-OD 프로그램을 사용했다.

전·후 비교를 위한 ECO2-OD 공통 입력 요소인 외피면적은 단열재가 존재하는 벽체라는 공통 기준을 적용하였다. 그린리모델링 후 바닥면적은 내부공간 확장을 진행하면서 Fig. 6.과 같이 약 4% 증가한 공조면적으로 비교를 진행했다. 공사 사항으로는 필수공사인 외단열·내단열·창호·난방기기·냉방기기·환기장치·조명장치·신재생에너지 등 8가지 부분과 선택공사인 전기용량 증설이 진행됐다. 필수공사 요소별 에너지 절감효과는 기존 건축물 정보에 특정 요소를 변경 적용하여 ECO2-OD 시뮬레이션을 진행했다.

Table 7.은 8가지 요소를 각각 단일 적용하여 개별 시뮬레이션한

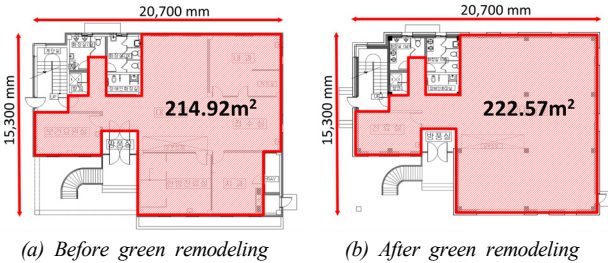


Fig. 6. Air conditioning area input to ECO2-OD before and after green remodeling

Table 6. Changes in the use of interior space before and after green remodeling

Classification	Before Change	After Change
1st Floor	Health Officer's Room	Treatment Room
	Waiting Room·Reception Room	Children's Health Experience Room
	Internal Medicine	
	Oriental Medicine Clinic	
	Dentistry	
	X-RAY Room	
	Storage Room	
2nd Floor	Entrance·Kitchen·Bathroom-1	Video Room-1
	Room-1	Video Room-2
	Entrance·Kitchen·Bathroom-2	
	Room-2	
	Entrance·Kitchen·Bathroom-3	Video Room-3
Room-3		

분석 결과로, 리모델링 전 연간 에너지 소요량 119.4kWh/㎡·a을 기준으로 특정 요소 적용에 따른 에너지 절감률을 산출하였다. 결과에서 가장 높은 절감효과를 보인 요소는 난방기기로 에너지 소요량이 72.2kWh/㎡·a가 줄어들며 기존 대비 약 60%의 절감효과를 보였다. 절감률 2위인 창호는 전체면적이 12%로 증가하였지만, 평균 열관류율이 4.003W/㎡·K에서 1.198W/㎡·K로 약 70% 줄어들면서 에너지 소요량은 21.1kWh/㎡·a 감소를 기록했다. 3순위로는 신규로 추가되는 41.4㎡ 규모의 태양광발전설비로 단일 적용하였을 때 10%인 11.7kWh/㎡·a가 감소했다. 외·내단열 각각의 절감효과는 9%·4%로, 단열재를 통해 총 13%의 절감효과가 나타났다. 벽체 변경사항으로는 단열재와 마감재 포함 170mm가 추가되면서 열관류율이 0.444W/㎡·K에서 0.152W/㎡·K로 65%가 감소했다. 지붕은 기존 단열재인 스티로폼 110mm가 NF 보드 130mm로 교체되면서 열관류율은 0.288W/㎡·K에서 0.148W/㎡·K로 48% 낮아졌다. 신규 설치된 환기기기의 에너지 절감률은 7%로 냉난방 효율이 나타났는데 이는 1층에 냉·난방회수율이 각각 57%·71%와 53%·72%인 풍량 1000CMH, 250CMH의 전열교환기가 설치되면서 나타난 변화이다. 냉방기기는 전체 냉방용량이 37.8kW에서 69.7kW로 약 84%가 증가하였지만, 에너지 절감효과는 1%로 미미하였다. 냉방기기는 창면적 증가에 따른 일사유입 증가로 에너지사용량이 기존보다 증가하였다.

Fig. 7.은 그린리모델링 전·후 S 보건의소의 냉·난방에너지 요구량을 월별로 분석한 그래프이다. 냉·난방에너지 요구량의 월별 양상은 20~22년의 전기에너지 사용량과 비슷한 패턴을 보였다. 리모델링 전 난방에너지 요구량은 1월 23.9kWh/㎡·a, 냉방에너지 요구량은 8월에 3.2kWh/㎡·a로 가장 높았다. 리모델링 후 변화된 난방에너지 요구량은 1월 11kWh/㎡·a, 냉방에너지 요구량은 8월에서 최고 4.7kWh/㎡·a를 기록하였고 난방에너지는 감소, 냉방에너지는 증가했다. 월별 요구량을 합산한 연간 냉·난방에너지의 요구량은 각각 난방에너지 98.1kWh/㎡·a에서 40.4kWh/㎡·a로 59% 감소, 냉방에너지 7.2kWh/㎡·a에서 13.4kWh/㎡·a로 86%가 상승했다. 결과적으로 그린리모델링 후 전체 냉·난방에너지 요구량은 105.3kWh/㎡·a에서 53.8kWh/㎡·a로 약 49% 가량 감소했다.

Table 8.은 앞서 Table 7.에서 개별로 각각 적용했던 그린리모델링 요소들을 동시에 통합 적용하여 그린리모델링 전·후 에너지 소비 총량을 비교한 자료이다. 건물의 연간 에너지 요구량은 그린리모델링 적용 전·후 121.4kWh/㎡·a에서 71.0kWh/㎡·a로 42%가 감소했다.

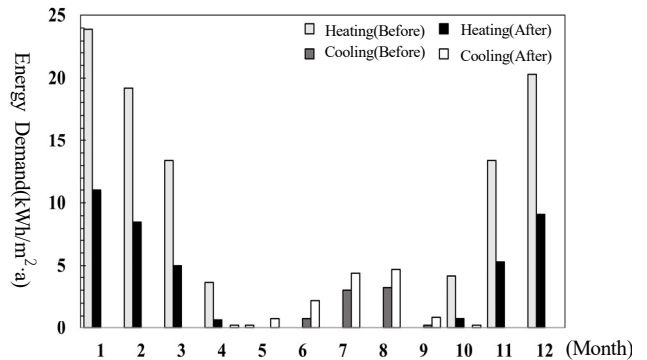


Fig. 7. Monthly cooling and heating energy demand before and after green remodeling

Table 7. Analysis of energy savings by green remodeling application elements

Classification	Composition Before Green Remodeling				Composition After Green Remodeling					Energy Demand* (kWh/m <sup>2</sup> ·a)	Energy Consumption* (kWh/m <sup>2</sup> ·a)	Primary Energy Consumption* (kWh/m <sup>2</sup> ·a)	Energy Saving** (kWh/m <sup>2</sup> ·a)	Energy Saving Rate** (%)
	Existing Elements	Thickness (mm)	λ (W/m·K)	U-value (W/m <sup>2</sup> ·K)	Changed Elements	Thickness (mm)	λ (W/m·K)	U-value (W/m <sup>2</sup> ·K)	Average U-value (W/m <sup>2</sup> ·K)					
External Insulation (Wall)	N/A				Long Brick Tile	15	0.66	0.152	110.1	108.3	319.0	-11.1	▽9%	
					Insulation	155	0.036							
	Red Brick	90	0.96	0.444	Red Brick	90	0.96							
	Styrofoam	65	0.034		Styrofoam	65	0.034							
	Concrete	150	1.6		Concrete	150	1.6							
Mortar	40	1.4	Mortar		40	1.4								
Internal Insulation (Roof)	Concrete	130	1.6	0.288	Concrete	130	1.6	0.148	117.1	115.2	339.8	-4.2	▽4%	
	Styrofoam	110	0.034		NF Board	130	0.02							
Windows and Doors	Existing Elements	Area (m <sup>2</sup> )	U-value (W/m <sup>2</sup> ·K)	Average U-value (W/m <sup>2</sup> ·K)	Changed Elements	Area (m <sup>2</sup> )	U-value (W/m <sup>2</sup> ·K)	Average U-value (W/m <sup>2</sup> ·K)	100.2	98.3	289.1	-21.1	▽18%	
	Window	46.86	3.780	4.003	Window	56.54	1.298	1.198						
	Door	33.26	4.316		Door	33.33	1.028							
Heating Equipment	Existing Elements	Capacity (kW)	Efficiency	number	Changed Elements	Capacity (kW)	Efficiency	number	122.5	47.2	132.2	-72.2	▽60%	
	ESB	28	93%	1	EHP	52.2	6.63(COP)	1						
	EHP	9.2	3(COP)	1	EWH	2.5	100%	1						
	ESH	6	100%	6	EWH	1.5	100%	1						
	ESH	5.3	100%	2	EH	1	100%	2						
ESWH	4.3	90%	2	N/A										
Cooling Equipment	EHP	8.3	3(COP)	2	EHP	46.4	6.63(COP)	1	121.4	117.8	347.8	-1.6	▽1%	
	A/C-1	6	3(COP)	2	A/C	23.3	4.47(COP)	1						
	A/C-2	5.2	3(COP)	1	N/A									
	A/C-3	4	3(COP)	1	N/A									
Ventilation Equipment	Existing Elements	Fan Power (kW)	Airflow (CMH)	number	Changed Elements	Fan Power (kW)	Airflow (CMH)	Efficiency (Cooling/Heating)	number	101.9	110.6	323.4	-8.8	▽7%
	Exhaust Fan	0.028	240	4	Heat Exchanger	0.383	1000	57% / 71%	2					
	Exhaust Fan	0.030	540	2	Heat Exchanger	0.088	250	53% / 72%	1					
	N/A				Exhaust Fan	0.030	210	N/A	4					
Renewable Energy	Existing Elements	Capacity (kW)	Installation Angle(°)	Area (m <sup>2</sup> )	Changed Elements	Capacity (kW)	Installation Angle(°)	Area (m <sup>2</sup> )	121.6	107.7	320.2	-11.7	▽10%	
	N/A				Photovoltaic	9	10	41.437						
Lighting Equipment	Existing Elements	Lighting Power		Lighting Density	Changed Elements	Lighting Power		Lighting Density	122.5	120.5	355.0	1.1	△1%	
	LED-1	40	1,480	3.92	LED-1	40	1,760	4.65						
	LED-2	15			LED-2	25								
	LED-3	12			LED-3	10								

\*a : year

\*\*Based on the energy consumption of 119.4W/m<sup>2</sup>·K·a before green remodeling

ESB: Electricity Storage Boiler EHP: Electricity Heat Pump ESH: Electricity Storage Heater ESWH: Electricity Storage Water Heater EWH: Electricity Water Heater EH: Electricity Heater

Table 8. Comparison of energy consumption before and after green remodeling

Classification	Before Remodeling	After Remodeling
Energy Demand* (kWh/m <sup>2</sup> ·a)	121.4	71.0 (▽42%)
Energy Consumption* (kWh/m <sup>2</sup> ·a)	119.4	35.8 (▽70%)
Primary Energy Consumption* (kWh/m <sup>2</sup> ·a)	352.3	100.4 (▽72%)
CO <sub>2</sub> Emission* (kWh/m <sup>2</sup> ·a)	60.1	17.2 (▽71%)
Energy Efficiency Grade	Grade 3	Grade 1++

\*a : year

연간 에너지 소요량은 119.4kWh/m<sup>2</sup>·a에서 35.8kWh/m<sup>2</sup>·a, 연간 1차 에너지 소요량은 352.3kWh/m<sup>2</sup>·a에서 100.4kWh/m<sup>2</sup>·a로 적어지며 각각 70%와 72%가량 감소했다. 아울러 건물 에너지효율등급은 3등급에서 1++등급으로 4단계 높아진 것을 확인했다.

#### 4.3. 공사 요소별 에너지 절감에 따른 비용편익분석

S 보건지소 그린리모델링 시그니처 사업의 예산은 6.4억 원으로, 그중 건축과 설비 관련 공사비용은 약 4.9억 원가량이다. 해당 비용에는 공사 과정에서 발생하는 철거비용·인건비용·운송비용·자재비용·경비 등이 복합적으로 포함된다. 해당 사유로 요소별 공사비를 산정하기 위해 명확한 기준이 필요하였고 산정된 공사비의 기준은 다음과 같다.

공사비는 외단열, 내단열, 창호, 냉·난방기기, 공조기기, 신재생에너지로 분류한 6가지 요소에서 기타비용을 제외한 자재·기기 금액만을 산정했다. 조명기기의 경우 유일하게 에너지 소요량이 증가함에 따라 소요량 감소에 따른 비용 분석의 취지에 맞지 않는다고 판단해 제외했다. 이러한 기준으로 산정된 공사비용은 1.27억 원으로 건축·설비 공사비용의 약 25.5%, 총 공사비용의 약 19.9%에 해당한다.

Table 9.는 S 보건지소에 적용된 그린리모델링 요소별 비용편익 즉, 1kWh의 연간 에너지 소요량이 감소하는데 사용된 공사비용을

산출한 결과이다. 요소별 공사비를 합산한 전체 공사비 약 1.27억 원에 대한 면적당 공사비용은 337,158원/m<sup>2</sup>이고, 에너지당 공사비용은 22,936원kWh·a으로 나타났다.

공사비 규모는 외단열 공사(External insulation)가 3.7천만 원으로 공사비용 중 30%로 가장 높았고, 2%인 환기기기(Ventilation) 공사비용 2.2백만 원과 비교하여 약 17배 차이가 났다. 그러나 비용편익(비용대비 효율:Construction cost per energy reduction)은 환기기기가 664원/kWh·a로 전체 중 가장 높고, 14%로 구성 비율 5순위인 내단열(Internal insulation)이 11,291원/kWh·a로 가장 낮은 수치를 보였다. 효율 3순위인 창호(Windows and doors) 공사는 2.4천만 원으로 전체 공사비의 19%가 사용되었고 에너지 감소당 공사비용은 3,023원/kWh·a이 나타났다. 그리고 에너지 절감률에서 60%로 가장 높은 수치를 나타냈던 난방기기(냉방기기 포함)의 공사비는 18%, 에너지 감소당 공사비용은 881원/kWh·a로 2순위의 효율을 보였다. 신재생에너지(Renewable energy)는 에너지의 감소당 공사비용 4,873원/kWh·a로 에너지 감소량 당 공사비 효율은 4순위에 해당한다. 결과적으로 비용편익은 환기기기, 냉·난방기기, 창호, 신재생에너지, 외단열, 내단열 순서로 높았다.

#### 5. 결론

본 연구는 탄소중립을 목표로 시행하는 정부의 공공건축물 그린리모델링 시그니처 지원사업의 사례분석 연구로서 건축물 에너지 절감 효과 분석을 목적으로 연구를 수행하였다. 공사 전반에 걸친 직·간접적인 참여 데이터를 기반으로 ECO2-OD를 이용해 공사 전·후 건축물과 적용 공사별 에너지 변화와 비용대비 효율을 비교하였다.

1) 그린리모델링 적용요소 중 에너지 절감효과에 높은 영향을 보인 변경 요소는 난방기기 교체로, 기존 대비 약 60%의 감소 효과를 보였다. 이는 기존 축열식 전기보일러(28kW)가 대비 효율이 우수한 전기 히트펌프로 (EHP 52.2kW)로 변경되었기 때문이다. 난방기기 다음으로는 창호 변경을 통한 에너지 절감률이 18%, 외단열·내단열 13%, 신재생에너지가 10% 순으로 나타났다. 냉방기기에 의한 감소

Table 9. Analysis of construction cost per energy saving amount by green remodeling element

Classification	Construction Cost (KRW)	Construction Cost per Area** (KRW/m <sup>2</sup> )	Energy Consumption Variation* (kWh/m <sup>2</sup> ·a, Variation Rate)	Construction Cost per Energy Reduction (KRW/kWh·a)	Composition Ratio of Construction Cost (Rank)	Cost-Benefit Rank
External Insulation (Wall)	37,526,315	99,513	-11.1 (▽9%)	8,965	30% (1)	5
Internal Insulation (Roof)	17,882,800	47,422	-4.2 (▽4%)	11,291	14% (5)	6
Windows and Doors	24,055,407	63,791	-21.1 (▽18%)	3,023	19% (2)	3
Cooling and Heating Equipment	23,975,000	63,577	-72.2 (▽60%)	881	18% (3)	2
Ventilation Equipment	2,203,000	5,842	-8.8 (▽7%)	664	2% (6)	1
Renewable Energy	21,500,000	57,014	-11.7 (▽10%)	4,873	17% (4)	4
Total Construction	127,142,522	337,159	-83.6 (▽70%)	22,936	100%	N/A

\*Based on the energy consumption of 119.4W/m<sup>2</sup>·K·a before green remodeling

\*\*Based on the total floor area of the building of 377.1m<sup>2</sup> before green remodeling

량은 1%로 전체 용량이 증가하였음에도 절감량이 미미한데, 이는 창호의 면적변화와 조명용량 증가로 인한 냉방부하 증가가 원인으로 판단된다.

2) 그린리모델링 공사 적용 결과 S 보건지소의 연간 냉·난방에너지 요구량은 약 49%가량 감소했다. 연간 에너지 요구량 기존 대비 42%, 연간 에너지 소요량 70%, 연간 1차 에너지 소요량도 각 72% 감소했다.

3) 그린리모델링 요소 공사 1.27억 원을 진행하였을 때 나타나는 연간 에너지 소요량 감소값 83.6kWh/m<sup>2</sup>·a의 비용 편익(비용대비 효율)은 22,936원/kWh·a로 나타났다. 적용요소 중 가장 높은 비용 편익을 보인 공조기기는 에너지 감소량 당 664원/kWh·a, 에너지 절감 효율이 가장 높았던 난방기기는 881원/kWh·a로 적용요소 중 비용 효율 2순위를 기록했다. 가장 낮은 비용 편익은 외단열과 내단열로 각각 8,965원/kWh·a, 11,291원/kWh·a의 결과값을 보여줬다. 비용 편익은 환기기기, 냉·난방기기, 창호, 신재생에너지 순서로 높았고, 외단열·내단열은 전체 공사비의 44%를 차지하고 있지만 비용편익은 낮았다.

이상의 결과로 볼 때 그린리모델링 시그니처 사업을 통해 공공건축물의 에너지 효율이 크게 향상될 수 있는 것과 적용요소별 비용대비 효율을 알 수 있었다. 하지만 이는 ECO2-OD를 이용한 시뮬레이션 상으로 판단한 결과이므로, 직·간접적 영향을 미치는 현실요소 반영에 한계가 존재한다. 향후 실제 에너지사용량 데이터를 조사하여 에너지 절감효과를 실증할 필요가 있다. 시그니처 사업을 담당하고 있는 전국의 각 플랫폼에서 이러한 실증 과정이 성공적으로 수행된다면 그린리모델링 사업의 효과를 객관적으로 검증할 수 있어 사업 적용 확대에 기여할 수 있을 것이다.

## Acknowledgement

본 연구는 2023년 국토안전관리원 연구 지원으로 이루어졌습니다.

이 논문은 2024년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2022R1I1A3064196).

## References

[1] 대한민국정부, 지속가능한 녹색사회 실현을 위한 대한민국 2050 탄소중립 전략, 2020.12. // (The Government of the Republic of Korea, 2050 carbon neutral strategy of the Republic of Korea towards a sustainable and green society, 2020.12.)  
 [2] 2050 탄소중립위원회, 2050 탄소중립 시나리오, 2021.10. // (2050 Carbon Neutrality and Green Growth Commission, 2050 carbon neutral scenario, 2021.10.)  
 [3] 국토교통부, 국토교통 탄소중립 로드맵, 2021.12. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, National transport carbon neutrality roadmap, 2021.12.)  
 [4] 국토안전관리원, 2022년 그린리모델링 지역거점 플랫폼 대표기관 공모 사업계획서, 2022. // (Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Business plan for the 2022 green remodeling regional hub platform call for proposals, 2022.)  
 [5] 국토교통부, 국토안전관리원, 공공건축물 그린리모델링사업 가이드라인, 2022. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Guidelines for green remodeling

projects of public buildings, 2022.)  
 [6] 한국에너지공단, 건축물에너지효율등급인증, 2022. // (Korea Energy Agency, Certification of building energy efficiency ratings, 2022.)  
 [7] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준(국토교통부고시 제2023-104호), 2023.02. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy saving design standards for buildings(MoLIT Notice No. 2023-104), 2023.02.)  
 [8] 국토교통부, 녹색건축물 조성 지원법(법령 제18469호), 2022.03. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Green buildings construction support act(Act No. 18469), 2022.03.)  
 [9] 국토교통부, 녹색건축물 조성 지원법 시행령(대통령령 제33466호), 2023.12. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Enforcement decree of the green buildings construction support act(Presidential Decree No. 33466), 2023.12.)  
 [10] 국토교통부, 산업통상자원부, 건축물 에너지효율등급 인증 및 제로에너지 건축물 인증에 관한 규칙(국토교통부령 제878호, 산업통상자원부령 제430호), 2021.08. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Ministry of Trade, Industry and Energy, Regulations on building energy efficiency rating certification and zero energy building certification (Ordinance of MoLIT No. 878, Ordinance of MoTIE No. 430), 2021.08.)  
 [11] 국토교통부, 국토안전관리원, 공공건축물 그린리모델링 지원사업 가이드라인, 2023. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Guidelines for green remodeling projects of public buildings, 2023.)  
 [12] 국토안전관리원, 2022 공공건축물 그린리모델링 사업 사전조사 및 컨설팅 용역 II(권역2), 2022. // (Korea Authority of Land & Infrastructure Safety, Pre-survey and consulting services for the 2022 green remodeling project of public buildings, 2022.)