



## 소규모 주택의 그린 리모델링 도입 타당성 분석

### Feasibility Analysis on the Green-remodeling of Small-scale Housing

염정령\* · 배상무\*\* · 김대영\*\*\* · 남유진\*\*\*\*

Jungryung Yeom\* · Sangmu Bae\*\* · Dae-Young Kim\*\*\* · Yujin Nam\*\*\*\*

\* Graduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (jryeom@pusan.ac.kr)

\*\* Coauthor, Graduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (sangmu\_bae@pusan.ac.kr)

\*\*\* Coauthor, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (dykim2017@pusan.ac.kr)

\*\*\*\* Corresponding author, Professor, Dept. of Architecture, Pusan National Univ., South Korea (namyujin@pusan.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** Recently, various technologies and policies have been introduced in building to reduce the energy demand and to provide a comfort and beneficial residential environment. However, various policies to reduce the heating/cooling load and to improve energy efficiency are mainly applied to new buildings and public institutions. Accordingly, the government is promoting a green-remodeling policy for improving the energy efficiency and performance of aging buildings. In this study, the energy performance evaluation and feasibility analysis on green-remodeling of the small-scale housing was conducted. **Method:** In this study, in order to quantitatively analyze the energy consumption according to the application of green-remodeling design factors, ECO2 program that used for energy evaluation was utilized. Furthermore, feasibility analysis was conducted based on the green-remodeling technologies and results of the energy consumption. **Result:** In order to meet the minimum requirements for green remodeling and receive interest support, the insulation performance conditions differed by region. When the renewable system was installed, the results of economic analysis were different depending on the specific period. Considering the support fund of renewable energy provided by the government, the payback period could be shortened from 4 to 8 years.

#### KEYWORD

그린 리모델링  
소규모 주택  
에너지 성능 평가  
도입 타당성 분석

Green-remodeling  
Small-scale Housing  
Energy Performance Evaluation  
Feasibility Analysis

#### ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 25, 2020

Final revision received Jan. 8, 2021

Accepted Jan. 12, 2021

© 2021. KIEAE all rights reserved.

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경

최근, 건물부문에서는 건축물 에너지 요구량 절감뿐만 아니라 재실자의 쾌적하고 이로운 거주환경을 제공할 수 있는 다양한 기술과 정책이 도입되고 있다. 이에 따라, 정부는 ‘친환경건축물 인증제도’, ‘녹색건축물 조성지원법’ 등의 정책과 규제를 통해 신축건물 및 공공기관을 대상으로 건축 환경 및 경제적으로 우수한 건축물을 구현할 수 있도록 권장하고 있다.

그러나 건축물 냉난방 부하 절감 및 에너지 효율 향상을 위한 각종 정책들은 대부분 신축건물 및 공공기관을 대상으로 적용되기 때문에 기존 건축물의 관리는 소홀히 되고 있다. 특히, 노후화된 기존 건축물은 국토교통부에서 고시한 ‘건축물의 에너지절약설계기준’의 목적과 설계기준에 부합하지 못한 경우가 대부분이기 때문에 에너지 성능측면에서 신축 건물 대비 매우 열악한 수준이다. 이에 따라, 정부에서는 노후화된 기존 건축물의 에너지 성능을 개선과 더불어 친환경 녹색건축물 구현을 목적으로 그린 리모델링(Green-remodeling) 사업을 지속적으로 지원하고 있다. 하지만 구체적인 기준이 마련되어 있지 않고, 지원 정책도 미미하기 때문에 참여가 저조

한 실정이다.

그린 리모델링 사업은 기존 노후화된 건물을 개선시키며 환경적 측면과 경제성 측면이 모두 고려되어야 한다. 이러한 그린 리모델링 사업에 대한 에너지 성능개선 방안과 도입 타당성 분석에 대한 연구는 다양한 관점에서 수행되고 있으며 Table 1.과 같다.

Choi et al.는 사무소 건물의 외피 단열 강화에 따른 에너지 절감 효과를 분석하고 LCC 분석을 통해 그린 리모델링의 경제성을 비교하였다[1]. Jang et al.은 그린 리모델링 사업을 수행하는 업무용 건물을 대상으로 통합외피설계방법론을 제시하고, 이에 대한 에너지 절감효과를 분석하였다[2]. Son & Song은 기존 건축물에 대한

Table 1. Analysis of Previous Researches

Year	Author	Description
2012	Choi et al.	• Energy saving effect and economic analysis of office building
2014	Jang et al.	• Evaluation of energy saving effect and suggestion of integrated envelope design method
2016	Son & Song	• Evaluation of energy saving technology and analysis of business feasibility
2017	Lee & Kim	• Value assessment for a public building according to green-remodeling introduction
2017	Lim et al.	• Analysis on green-remodeling energy saving effect
2018	Lee & Lee	• Economic evaluation analysis of office remodeling and green-remodeling

에너지 성능평가를 통해 적용 가능한 에너지 절약 요소기술을 선정하고, 업무용 건축물의 에너지 성능개선 방안을 제안하였다[3]. Lee & Kim은 공공 건물을 대상으로 그린 리모델링 도입에 따른 에너지 성능개선 및 건축물 가치향상 효과를 분석하였다[4]. Lim et al.은 민간건축물의 주거용 건물을 중심으로 그린 리모델링 도입에 따른 재실자 만족도 및 에너지 성능개선 효과를 조사하였다[5]. Lee & Lee은 임대 오피스 건물을 대상으로 기존 리모델링과 그린 리모델링의 사업성 분석을 수행하였다[6].

1.2. 연구목적 및 방법

그린 리모델링 사업이 활성화됨에 따라 에너지 절약 요소기술에 따른 에너지 절감효과나 요소기술의 경제성 평가에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 대부분의 연구들은 공공기관 또는 업무용 건축물을 대상으로 수행되고 있으며 소규모 주거용 건축물에 대한 연구는 드문 실정이다.

하지만, 2019년 기준 국내 건축물 현황에서 단독주택의 비중은 49.1%를 차지하고 있다[7]. 또한, 2018년 기준 단독주택의 노후화 비율은 20~30년 미만인 26.7%, 30년 이상이 54.7%로 나타났다[8]. 이를 통해, 국내에 현존하는 대다수의 단독주택이 노후화된 것을 알 수 있다. 이에 따라 건축물 초기설계단계에서 건축주, 설계자 및 시공자가 에너지 성능개선 방법에 따른 도입 타당성을 판단할 수 있는 기초자료가 필요할 것이라 판단되었다.

연구방법은 아래의 Fig. 1.과 같다. 그린 리모델링과 관련된 선행 연구를 분석하고, 소규모 주거용 건축물을 대상으로 지역별, 에너지 절약요소별 그린 리모델링 도입에 따른 에너지 절감효과와 경제성 분석을 실시하였다.

본 연구에서는 도입 타당성 분석을 위해 건축물 에너지효율등급에서 사용되는 ECO2 프로그램을 이용하여 에너지 분석을 실시하였고, 리모델링 사업의 초기투자비용 및 시스템 설치 비용을 산정하여 건물의 전생애주기 비용 (Life Cycle Cost)을 도출하였다. 또한, 소규모 단독주택에 적용 가능한 그린 리모델링 요소기술들의 상호 LCC 비교를 통해 경제성 및 도입 타당성을 비교 검토하였다.

2. 그린 리모델링

2.1. 그린 리모델링 사업 개요

그린 리모델링 사업은 기존의 리모델링 개념에서 건축물의 에너지 향상과 효율개선을 통해 온실가스 배출을 저감시키고, 쾌적하고 건강한 거주환경을 제공하여 건축물의 환경적, 경제적 가치를 모두 향상시킬 수 있다. 지원 대상은 기존 건축물에 대하여 에너지 성능개선을 위한 그린 리모델링을 구상 또는 실행 중인 모든 유형의 사업이 해당된다.

그린 리모델링 공사범위는 Table 2.와 같다. 건축물 에너지성능 향상공사는 단열성능 보완, 기밀성 강화, 외부창호 성능개선, 일사조절장치 등으로 필수공사에 해당되며, 이 중 한 가지 이상은 반드시 적용해야한다. 추가지원 가능한 공사로는 기계설비적 요소들로 구성되어 있다. 에너지 관리 장치, 피크부하 저감 장치, 신재생에너지

시스템, 고효율장비 사용 등의 에너지 성능개선 관련공사가 해당된다.

한편, 공공 건축물을 포함하여 민간 건축물까지 그린 리모델링에 대한 사업범위를 확산하기 위해 ‘그린 리모델링 민간이자지원사업’을 추진하고 있다. 이러한 민간 이자지원사업은 초기 사업비에 대한 부담을 저감시키고자 대출금과 이자를 지원하고, 공사 후 절감되는 에너지 비용으로 대출금을 분할·상환하는 제도이다. 이자지원사업에 대한 필수요건으로 건축물 에너지 개선공사 이전 대비 냉난방 요구량을 최소 20% 이상 절감시켜야 한다. 이자지원율은 에너지 시물레이션에 따른 에너지 요구량 또는 소요량(또는 1차 에너지 소요량)에 의한 성능개선 비율로 산정하고 있으며, Table 3.과 같다.

2.2. 그린 리모델링 민간 이자지원사업 현황

그린 리모델링 민간 이자지원사업은 2014년부터 시행되었으며, 2014년 전체 사업금액 557억원에 관하여 352건의 사업이 승인되었다[9]. 2014년 사업시행 초기에는 주거용이 83.5%, 비주거용이

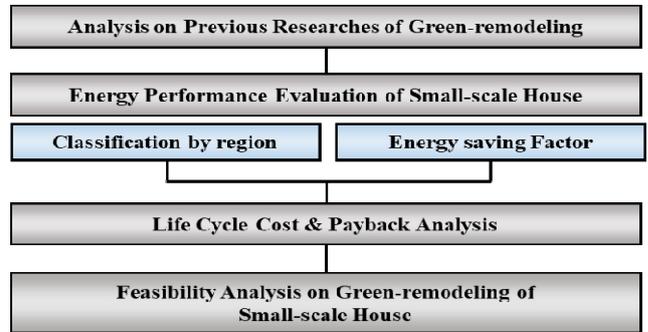


Fig. 1. Flow Chart of the Study Method

Table 2. Green Remodeling Construction Type

Essential construction	Enhancement of cladding performance	Insulation supplementation, Air tightness enhancement, Window performance, Solar radiation control, etc.
additional supportable construction	Energy management devices	Zoning controls, Standby power cut-off, BEMS, Smart meter, etc.
	Peak Load Reduction Device	Energy Storage System (ESS), Ice thermal storage, etc.
	Renewable Energy Construction	Solar, Geothermal, Wind, etc.
	Energy Performance Improvement	High-efficiency cooling and heating systems, LED lighting, etc.

Table 3. Standard of the Interest Support

Energy Performance Improvement Ratio	Interest Support Ratio
30%	3%
25%~29%	2%
20%~24%	1%

16.5%로 나타났으나, 2015년 이후부터 2018년까지 전체 사업 승인 건수에 대해 주거용 비중이 99.8%로, 대부분 주거사업으로 확인되었다.

Fig. 2.는 그린 리모델링 민간 이자지원사업의 현황을 나타낸다. 민간 이자지원사업에 대해 전체 사업 승인건수 및 사업금액은 지속적으로 증가하는 추세를 나타내고 있다. 2014년 기준 대비 2018년의 전체 사업 승인건수는 약 26배 증가하였다. 주거 사업 건수를 살펴보면 2014년 기준 대비 8,983건 상승으로 32배 증가하였고, 비주거 사업 건수는 2018년 1건으로 미미한 실정이다. 전체 사업금액은 약 1.9배 증가되었으며, 482억 증액되었다.

이처럼, 민간 이자지원사업에 대한 그린 리모델링 사업 승인건수와 사업금액은 지속적으로 증가하고 있으며, 주거용 건축물에 대한 사업이 대부분으로 확인되었다. 그러나 주거용 건축물 중에서 공동주택에 대한 사업이 주로 이루어지고 있으며, 소규모 단독주택에 대한 사업은 현재 미비한 실정이다.

### 3. 에너지 성능 분석

#### 3.1. 시뮬레이션 모델 개요

그린 리모델링 창조센터에서는 그린 리모델링 에너지 평가 프로그램으로 ECO2, ECO2-OD, GR-E를 지정하고 있다. 본 연구에서는 ECO2를 기반으로 요소별 에너지 절약요소에 따라 기존모델과 그린 리모델링 도입 모델의 에너지 소요량을 평가하고 비교 분석하였다.

건축물 에너지 성능해석 모델의 규모는 2018년 기준 통계청에서 제시하는 자료의 평균치를 산정하여 100㎡로 기준을 정하였다[10]. 건물 외피 단열성능은 1.2절의 노후화 현황을 고려하여 30년 전 기준으로 선정하였으며, 1982년 10월 30일 시행된 ‘건축법시행규칙 제19조 건축물의 열손실방지를 위한 조치’를 참고하였다. 그 이외 건축계획과 관련된 요소들은 저소득층 단독주택 표준모델을 참고하여 기존모델에 반영하였다[11]. 실제 모델에 따라 성능에 차이가 있을 수 있으나, 본 논문에서 난방설비는 효율 85%의 등유보일러로 선정하고 조명밀도는 15W/㎡로 설정하였다[12]. 기존모델의 조건은 Table 4.와 Fig. 3.과 같다.

ED(Energy Demand)는 에너지 요구량으로 건축물의 난방, 냉방, 급탕, 조명 부분에서 해당 공간에 필요로 하는 에너지양을 뜻하고, EC(Energy Consumption)는 에너지 소요량으로 에너지 요구량을 만족시키기 위해 건축물의 설비기기에 사용되는 에너지양을 의미한다 [13]. PEC(Primary Energy Consumption)는 1차 에너지 소요량으로 연료의 채취, 가공, 운송, 변환 공급 등의 과정에서 손실분을 포함한 에너지양이다.

Table 4.의 조건으로 시뮬레이션을 진행한 결과는 Table 5.와 같다. 이 때 단열조건은 서울과 울산이 동일하나, 1차 에너지 소요량은 서울이 울산보다 66.5kWh/㎡ 더 높은 결과가 나왔다.

시뮬레이션 모델의 신뢰도를 높이기 위해 그린 리모델링창조센터에서 본 연구의 모델과 유사한 사업사례의 1차 에너지 소요량을 비교하였고, 결과는 오차범위 10% 이내로 확인되었다.

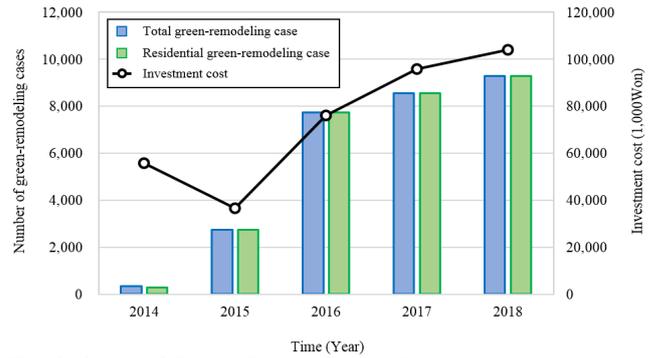


Fig. 2. Status of Private Interest Support Project

Table 4. Simulation Model Condition

Condition	Value		
Location	Seoul		
	Ulsan		
Building type	Residential house		
HVAC Setpoint temperature	Heating 20°C		
	Cooling 26°C		
Operation time	24hour		
Infiltration (1/h)	6		
Floor Area / Height / Ceiling	100㎡ / 2.8m / 2.3m		
Aspect ratio	1:1.69		
Heat transmission rate (W/㎡·K)	Seoul	Roof	0.58
		Floor	1.16
		Wall	0.58
	Ulsan	Window	6.60
		Roof	0.58
		Floor	1.16
Window to Wall Ratio (WWR)	East	10.8%	
	West	2.5%	
	South	24.8%	
	North	18.6%	
Boiler efficiency	85%		
Lighting power density (LPD)	15W/㎡		

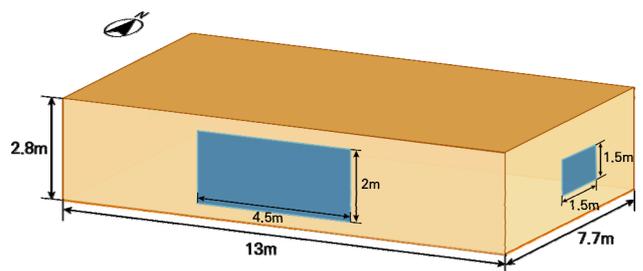


Fig. 3. Simulation Model of Small-scale Residential House

Table 5. Result of Energy Demand and Consumption

		(kWh/㎡·yr)				
		Heating	Cooling	DHW	Lighting	Total
Seoul	ED	153.7	20.4	30.7	27.4	232.2
	EC	225.2	9.2	36.4	27.4	298.3
	PEC	251.8	25.2	40.5	75.3	392.8
Ulsan	ED	111.3	16.7	30.7	27.4	186.1
	EC	169.7	7.5	36.4	27.4	241.0
	PEC	189.9	20.6	40.5	75.3	326.3

### 3.2. Case Study 조건

본 연구에서는 그린 리모델링의 항목으로 패시브 기술인 단열향상과 액티브 기술인 태양광시스템, 지열시스템 도입을 검토하였다. 또한, 지역에 따른 영향을 검토하기 위해 서울과 울산의 단열기준과 기상데이터를 설정하였다.

Table 6.은 Case별 단열조건이며, W는 벽체, R은 지붕, F는 바닥으로 각 부위별 단열재 두께를 나타낸다. 지역별 기후 조건에 따라 단열기준을 고려하여 서울과 울산의 단열 향상 조건에 차이를 두었다. 단열성능이 가장 좋은 Case는 현행 단열기준에 가깝게 설정하였다. 서울은 벽체와 지붕의 단열재를 30mm, 바닥 20mm, 울산은 벽체와 지붕의 단열재를 20mm, 바닥 15mm씩 증가시키고 창호의 열관류율은 두 지역 모두 6.6W/m<sup>2</sup>·K로부터 1W/m<sup>2</sup>·K씩 개선시켰다. 액티브 요소는 가정용으로 상용화된 모델의 사양을 참고하여 태양광시스템은 300W/panel의 모듈 10개 설치, 지열시스템은 난방능력 11.4kW, 냉방능력 11.1kW, 냉난방 COP는 각각 5.29, 3.68의 기기 1대 설치로 가정하였다.

### 3.3. 시뮬레이션 결과

그린 리모델링의 최소 조건을 만족하기 위해서는 냉난방 에너지 요구량을 20% 절감해야한다. Table 7.은 Table 6.의 단열조건에 따른 Case별 냉난방 에너지 요구량 결과이다. 결과를 살펴보면, Case A-1과 Case B-1정도로만 개선시켜도 최소조건인 20%는 만족되는 것으로 나타났다. 하지만, 이는 그린 리모델링의 최소 조건 기준으로 이차지원의 최대 비율인 3%까지는 받지 못하는 한계가 있다. 또한 현행 단열기준에서 현저히 미달되는 수준으로 거주자의 쾌적성과 에너지 유지비 측면에서의 이점은 미미할 것으로 판단된다.

Fig. 4.는 에너지 소요량 결과 그래프이며, 에너지 성능개선 비율에 따라 Table 3.에 의해 이차지원율이 산정된다. Fig. 4.(a)는 서울의 결과이며, A-1에서는 27%, A-2에서는 41%의 에너지 소요량이 절감됨에 따라 각각 2%, 3%의 이차지원을 받을 수 있었다. Fig. 4.(b)는 울산의 결과이며, B-1에서는 B-2에서 각각 24%, 37%의 에

Table 6. Condition of Case Study

	Location	Passive element	Active element
Ref A	Seoul	W50/ R50/ F20	
Case A-1		W80/ R80/ F40	
Case A-2		W110/ R110/ F60	
Case A-3		W140/ R140/ F80	
Case A-4		W170/ R170/ F100	
Case A-5		W200/ R200/ F120	Photovoltaic (PV)
Case A-6		W200/ R200/ F120	Geothermal
Case A-7	W200/ R200/ F120	PV+Geothermal	
Ref B	Ulsan	W50/ R50/ F20	
Case B-1		W70/ R70/ F35	
Case B-2		W90/ R90/ F50	
Case B-3		W110/ R110/ F65	
Case B-4		W130/ R130/ F80	
Case B-5		W150/ R150/ F95	Photovoltaic (PV)
Case B-6		W150/ R150/ F95	Geothermal
Case B-7	W150/ R150/ F95	PV+Geothermal	

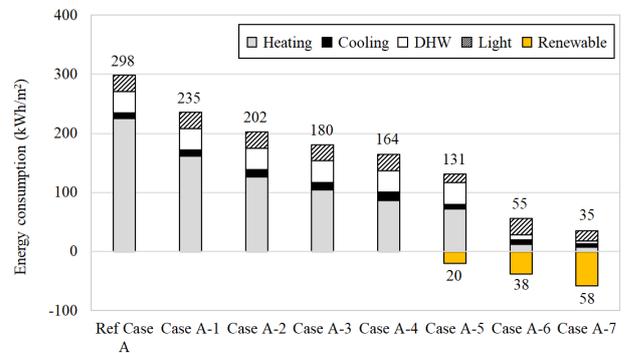
지 소요량이 절감됨에 따라 각각 1%, 3%의 이차지원을 받을 수 있었다.

Case A-5~7와 Case B-5~7에는 액티브 기술 도입에 따른 에너지 생산량을 추가로 나타내었으며, 신재생시스템의 조건이 3.2절과 같을 때 지열시스템을 설치한 경우 태양광시스템을 설치했을 때 보다 1.5배가량 에너지를 많이 생산하였다.

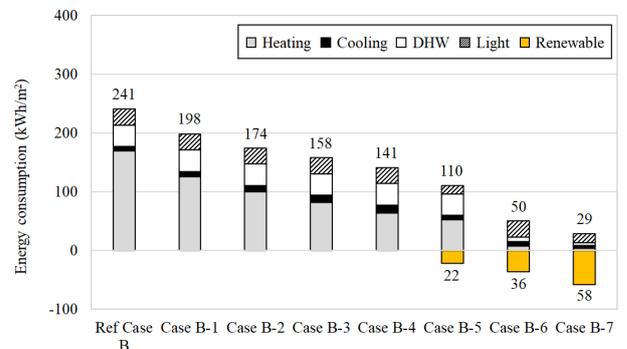
Table 7. Energy Demand of Heating and Cooling

(kWh/m<sup>2</sup>yr)

Location	Case	Total	Energy Savings (%)
Seoul	Ref A	174.10	-
	Case A-1	130.90	43.20 (25%)
	Case A-2	103.50	70.60 (41%)
	Case A-3	88.70	85.40 (49%)
	Case A-4	77.70	96.40 (55%)
	Case A-5	69.60	104.50 (60%)
	Case A-6	69.60	104.50 (60%)
Ulsan	Ref B	128	-
	Case B-1	97.10	31.10 (24%)
	Case B-2	80.20	48.00 (37%)
	Case B-3	69.20	59.00 (46%)
	Case B-4	61.50	66.70 (56%)
	Case B-5	56.50	71.70 (56%)
	Case B-6	56.50	71.70 (56%)
Case B-7	56.50	71.70 (56%)	



(a) Energy consumption of Seoul



(b) Energy consumption of Ulsan

Fig. 4. Energy Consumption According to Green-remodeling Design Factors and Local Climate

## 4. 도입 타당성 분석

### 4.1. 초기투자비용 및 에너지 비용 산출

공사비는 공사범위에 따라 차이가 있지만 본 연구에서는 단열공사, 창호교체, 신재생에너지 시스템 설치에 중점을 두었다. 초기투자비는 그린리모델링 사례의 견적서와 건설공사표준품셈과 시장단가를 조사하여 산출하였다[14].

Table 8.은 가설공사, 철거공사, 방수공사 등 그린 리모델링 공사 수행에 공통적으로 이루어지는 공사비를 나타내며, 공통공사는 Case별로 동일한 것으로 가정하였다.

Table 9.는 Case별 단가 차이가 있는 공사항목으로 단열공사, 창호공사, 신재생에너지 시스템 공사비로 구성된다. Table 9.에서 합계는 Table 8.의 공통공사비와 Table 9.의 Case별 공사비를 합산하여 일반관리비, 이윤, 부가가치세 등을 가중한 총공사비를 의미한다.

Table 10.은 Case별 연간 에너지비용을 나타낸다. 단열조건이 향상됨에 따라 연간 에너지비용이 절감되었으나, 절감률도 줄어들었다. 초기투자비용대비 에너지비용 절감이 가장 큰 것은 지열시스템을 설치한 A-6와 B-6였다. 지열시스템과 태양광시스템 설치 시 에너지 비용은 전기요금으로만 환산하였으며, 한국전력공사[15]에서 제공하는 요금을 적용하였다. 미설치 시 난방 및 급탕비용은 한국석유공사[16]에서 제시하는 국내유가통계를 참고하여 최근 5년 등유비의 평균가로 산출하였다.

신재생에너지 시스템 설치에 따라 생산되는 에너지는 판매하지 않고 소요량에너지가 절감되는 것으로 가정하였다.

### 4.2. 경제성 분석

경제성 분석은 시간 흐름에 따른 화폐가치를 고려해야한다. 본 연구에서는 모든 비용을 현재가치로 환산하는 순현재가치법(NPV, Net Present Value)을 이용했다. 여기서, 현재가치( $P_f$ )를 산출하기 위해 미래발생비용( $F$ )은 연간 에너지비용이 되고, 경과년수( $n$ )에 따라 실질할인율( $i$ )을 적용하여 현재가치로 환산된다.

$$P_f = F \times \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (\text{Eq. 1})$$

실질할인율은 한국은행 금리와 물가상승률을 과거 10년간의 평균값으로 산출하여 -0.03%가 적용되었다[17].

Table 8. Common Cost of Remodeling

(KRW 1,000)

	Material Cost	Labor Cost	Indirect Cost	Total
Temporary construction	7,320	7,880	320	15,520
Demolition construction	5,940	1,485	297	7,722
Plating work	1,440	960	96	2,496
Waterproof construction	5,300	2,000	-	7,300
Painting work	400	600	-	1,000

$$i = \frac{(1+i_n)}{(1+f)} - 1 \quad (\text{Eq. 2})$$

Fig. 5.는 위의 식을 적용하여 건물의 유지기간 동안 초기투자비와 연간 에너지비용이 고려된 누적 비용을 나타낸 것이다.

Table 9. Initial Investment Cost of Remodeling

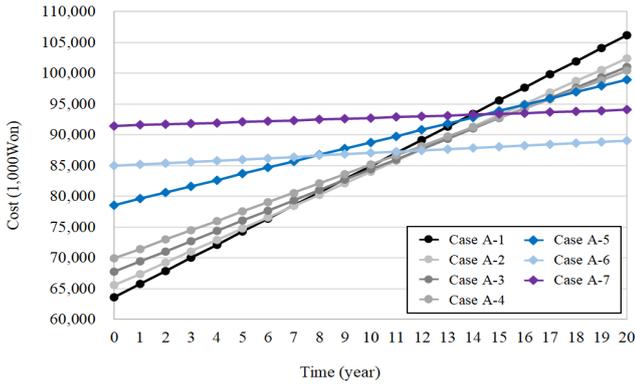
(KRW 1,000)

	Insulation	Window	Renewable system	Total
Case A-1	8,103	1,940	-	63,603
Case A-2	9,106	2,440	-	65,535
Case A-3	10,109	3,140	-	67,723
Case A-4	11,112	3,840	-	69,912
Case A-5	12,115	4,540	5,028	78,562
Case A-6	12,115	4,540	10,000	84,952
Case A-7	12,115	4,540	15,028	91,414
Case B-1	7,788	1,940	-	63,199
Case B-2	8,477	2,440	-	64,726
Case B-3	9,165	3,140	-	66,511
Case B-4	9,854	3,840	-	68,295
Case B-5	10,542	4,540	5,028	76,541
Case B-6	10,542	4,540	10,000	82,931
Case B-7	10,542	4,540	15,028	89,393

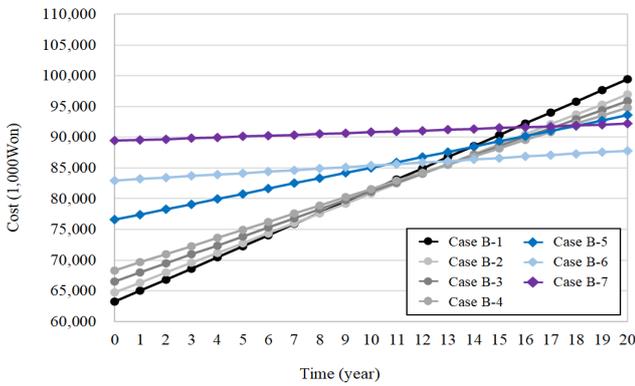
Table 10. Annual Energy Cost of Remodeling Model

(KRW 1,000)

	Heating	Cooling	DHW	Lighting	Total
Ref Case A	1,920	77	310	347	2,655
Case A-1	1,375	88	310	347	2,121
Case A-2	1,078	99	310	348	1,836
Case A-3	885	111	310	349	1,656
Case A-4	735	121	310	350	1,518
Case A-5	610	26	308	69	1,015
Case A-6	30	24	21	128	205
Case A-7	19	15	13	81	129
Ref Case B	1,488	63	310	346	2,168
Case B-1	1,071	76	310	346	1,805
Case B-2	857	87	310	347	1,603
Case B-3	703	100	310	348	1,463
Case B-4	549	113	310	349	1,321
Case B-5	450	23	30	64	847
Case B-6	19	24	69	128	242
Case B-7	11	14	39	73	138



(a) ROI result of Seoul



(b) ROI result of Ulsan

Fig. 5. ROI Result According to Green-remodeling Design Factors and Local Climate

패시브요소만 강화한 Case A-1~4, B-1~4의 누적비용을 비교해보면 10~11년을 기준으로 단기적으로는 초기투자비가 적을수록, 장기적으로는 초기투자비가 클수록 유리한 결과가 나왔다.

신재생에너지 시스템을 설치한 Case A-5~7, B-5~7의 초기투자비용은 최소 단열조건만 설치한 Case A-1, Case B-1과 비교하였을 때, 최대 2,781만원의 차이가 발생한다. 그러나, 태양광시스템 설치에 따른 전력생산과 고효율 지열시스템으로 인해 연간 에너지 비용을 최대 252만원까지 절감시킬 수 있었다.

Case A-5와 B-5는 태양광시스템만 설치하는 경우이며, 각각 16, 18년차부터 단열성능만 강화했을 때 보다 비용측면에서 유리한 양상을 보였다. Case A-6과 B-5는 지열시스템만 설치하는 경우이며, 각각 12, 14년차부터 누적비용이 가장 적게 소비되었다.

서울과 울산을 비교하면 두 지역의 단열조건이 상이함에 따라 초기투자비가 최소 40만원부터 최대 200만원까지 서울이 더 높게 산출되었다. 하지만, 단열조건에 가중치를 두었음에도 Case A-1과 Case B-1의 연간 에너지비용을 비교하면, 서울이 32만원 더 높게 소비되었다. 결과적으로, 그린리모델링 대상 지역에 따라 같은 단열조건일지라도 연간 에너지비용이 상이하게 발생하므로 단열계획 시 이와 같은 조건들을 고려하여야 한다.

### 4.3. 신재생에너지 보조금

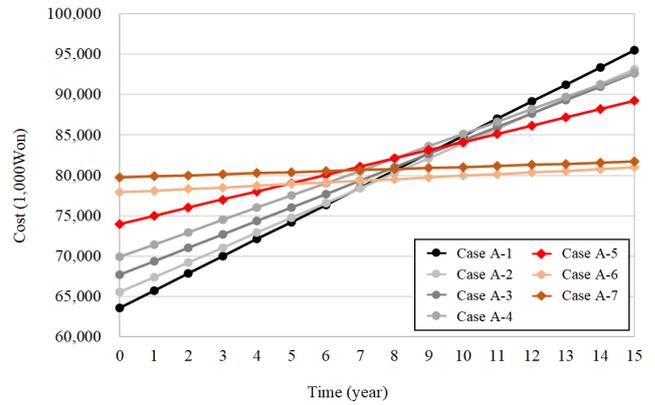
Table 11.은 정부에서 지원하는 신재생에너지 보조금을 나타낸

Table 11. Government Support Fund of Renewable Energy (KRW 1,000)

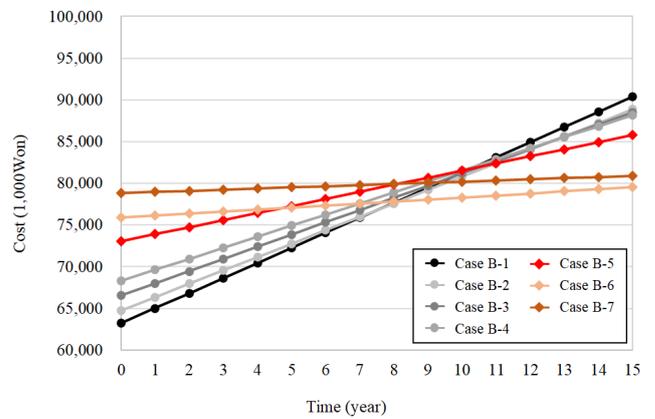
	Type	General module	Low-carbon module
PV	~2.0kW	1,037/kW	1,244/kW
	2.0kW~3.0kW	838/kW	1,005/kW
Geothermal	~10.5kW	691/kW	
	10.5kW~17.5kW	637/kW	

Table 12. Local Government Support Fund of PV System (KRW 1,000)

	Type	General module
Seoul	~3.0kW	700/kW
Ulsan	~3.0kW	3,514/kW



(a) ROI result of Seoul (considered support fund)



(b) ROI result of Ulsan (considered support fund)

Fig. 6. ROI Result Considering Support Fund

다. 2020년 정부보조금 지원 기준에 따르면 태양광시스템 3kW 설치 시 838천원/kW, 지열시스템 10.5kW~17.5kW 설치 시 637천원/kW를 지원하였다.

Table 12.는 태양광시스템 설치 시 지자체에서 지원하는 보조금을 나타낸다. 2020년 울산에서는 단독주택 태양광시스템 지원사업으로 3kW 설치 시 보조금 3,514천원을 지원하여 자부담금 1,514천원에 설치할 수 있었다.

Fig. 6.은 Fig. 5.에서 신재생에너지 보조금을 고려한 결과이다. 태양광시스템을 설치한 A-5, B-5와 단열조건만 강화한 Case

A-1~4, B-1~4의 누적비용을 비교하면, 각각 10년, 11년차부터 태양광시스템을 도입한 Case의 비용이 더 절감되기 시작하였다. 이는 Fig. 5.에서 지원금을 고려하지 않았을 때보다 6~7년이 단축되었다. 그 밖에도 지원금을 고려하여 지열시스템을 설치했을 경우 4~5년, 태양광시스템과 지열시스템을 함께 설치했을 경우 7~8년이 단축되었다.

## 5. 결론

본 연구는 소규모 주택에서의 그린 리모델링 도입타당성을 분석하고자 하였으며 패시브요소와 액티브요소를 지역별로 고려하여 단열강화에 따른 NPV 분석을 수행하였다. 본 연구의 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

(1) 서울과 울산 두 지역의 기존모델 단열조건을 벽체 및 지붕 50mm, 바닥 20mm라고 가정하였을 때, 지역별 그린 리모델링 최소 요구조건인 냉난방 에너지 요구량 20% 저감을 충족시키기 위한 단열성능 개선조건은 다음과 같다. 서울은 벽체 및 지붕 30mm, 바닥 20mm, 울산은 벽체 및 지붕 20mm, 바닥 15mm, 창호는 두 지역 모두 열관류율 1W/m<sup>2</sup>·K를 개선하여도 그린 리모델링 최소 요구조건을 만족시킬 수 있었다.

그린 리모델링 도입에 따른 이자지원율 3% 이상 받기 위해서는 단위면적당 에너지 소요량이 30% 이상 절감되어야 한다. 이 때 서울은 벽체 및 지붕 60mm, 바닥 40mm, 울산은 벽체 및 지붕 40mm, 바닥 30mm의 단열재를 추가하고 창호는 두 지역 모두 2W/m<sup>2</sup>·K를 개선해야 했다.

한편, 단열성능만 향상된 Case들의 20년간 비용을 비교한 결과, 단열재를 두껍게 할수록 연간에너지비용은 줄었으나 절감 비율도 함께 줄어들었다. 결과적으로 약 15년을 기점으로 단기적으로는 초기투자비용이 적을수록, 장기적으로는 초기투자비용을 높여 건물의 단열성능을 높일수록 경제적으로 유리한 결과를 나타내었다.

(2) 신재생시스템은 태양광시스템, 지열시스템, 태양광+지열시스템 세 가지로 분류하였다. 서울의 경우 8년, 울산의 경우 11년을 기점으로 이전에는 태양광시스템을 설치했을 때 비용이 가장 낮아 경제적이었으나, 그 이후 장기적으로는 지열시스템을 설치했을 때 비용을 가장 줄일 수 있었다. 지열시스템만 설치했을 때와 태양광+지열시스템을 설치했을 때를 비교하면 연간에너지비용의 상승률이 둘 다 크지 않기 때문에 초기투자비용이 상대적으로 적은 지열시스템 설치가 더 경제적이었다.

(3) 정부와 지자체에서 제공하는 신재생에너지 보조금을 고려할 경우, 투자비 회수기간이 태양광시스템 설치 시 6~7년, 지열시스템 설치 시 4~5년, 태양광시스템과 지열시스템을 함께 설치 시 7~8년을 단축시킬 수 있었다.

그린 리모델링에 대한 인식이 점차 확산되고 필요성이 강조됨에 따라 다양한 정책과 지원들이 쏟아지고 있다. 하지만 그린 리모델링 사업 자체의 초기투자비가 적지 않기 때문에 보편화시키기에는 한계점이 있을 것이라 판단된다. 추후, 사업의 확대를 위해서는 초기 설치 단가를 줄일 수 있는 방안과 지역별, 요소별 등에 따라 그린리모델링 가이드 개발도 필요할 것이다.

## Acknowledgement

이 논문은 2018년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2018R1D1A3A03001306).

## Reference

- [1] 최선우 외 3인, 사무소 건물의 외피 리모델링에 따른 에너지절감효과 및 경제성 분석, 한국: 한국생태학회 논문집, 2012.12, pp.85-92. // (S.W. Choi et al, The energy saving effect and economic assessment of office building according to the building envelope remodeling, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2012. 12, pp.85-92.)
- [2] 장향인 외 4인, 통합외피설계방법을 이용한 업무용 건물의 그린 리모델링, 한국: 한국건축친환경설비학회 논문집, 2014.2, pp.21-29. // (H.I. Jang et al, Green remodeling of office buildings using integrated envelope design method, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 2014.2, pp.21-29.)
- [3] 손원득, 송영학, 그린 리모델링의 에너지 절약기법 및 건축물 가치향상 평가에 관한 연구, 한국: 한국건축친환경설비학회 논문집, 2016.4, pp.152-158. // (W.T. Son, Y.H. Song, A study on energy saving and value evaluation method with building green retrofit, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 2016.4, pp.152-158.)
- [4] 이병호, 김동일, 공공건물 그린 리모델링 효과 및 건물 가치평가에 관한 연구, 한국: 한국건축친환경설비학회 논문집, 2017.4, pp.155-161. // (B.H. Lee, D.I. Kim, A study on green retrofit effects and value assessment for a public building, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 2017, pp.155-161.)
- [5] 임지혜, 한학규, 강동렬, 그린 리모델링 현황과 만족도 및 에너지 절감효과 분석-주거용 건축물의 창호교체를 중심으로, 대한건축학회 논문집, 2017.9, pp.75-80. // (J.H. Lim, H.G. Han, D.R. Kang, Analysis on green remodeling status, Satisfaction and energy saving effect - Focusing on window replacing of residential buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2017.9, pp.75-80.)
- [6] 이성호, 이재수, 생애주기를 고려한 오피스 건물의 리모델링과 그린 리모델링의 경제성 평가 연구-서울시 강남업무지구의 임대오피스 사례, 대한건축학회 논문집, 2018.3, pp.23-34. // (S.H. Lee, J.S. Lee, An Economic Evaluation Study of Office Remodeling and Green-remodeling Projects-A Simulation Approach to a Rental Office in GBD, Seoul, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, 2018, pp.23-34.)
- [7] 국토교통부, 2019년 건축물 현황통계, <http://www.molit.go.kr>, 2020.08. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2019 building status statistics, <http://www.molit.go.kr>, 2020.08.)
- [8] 통계청, 주택의 종류 및 노후기간별 주택, <http://kostat.go.kr>, 2020.08. // (National Statistical Office, Housing by type and age, <http://kostat.go.kr>, 2020.08.)
- [9] 그린 리모델링창조센터 한국토지주택공사, 민간이자지원사업 사업사례, [www.greenremodeling.or.kr](http://www.greenremodeling.or.kr), 2020.08.10. // (Green Remodeling Creation Center Korea Land & Housing business case of Corporation, private interest support project, [www.greenremodeling.or.kr](http://www.greenremodeling.or.kr), 2020. 08. 10.)
- [10] 통계청, 연면적 및 대지면적별 단독주택\_시도, <http://kostat.go.kr>, 2020.08. // (National Statistical Office, Detached House by Total Area and Land Area, <http://kostat.go.kr>, 2020.08.)
- [11] 김정화, 저소득층 단독주택 난방에너지 기준 및 개선, UST, 2015.02. // (J.H. Kim, Heating Energy Baseline and Saving Model Development of Detached Houses for Low-income Households, UST, 2015.02.)
- [12] 김원석, 이명주, 저소득층 장애인 주택 주거환경 및 에너지 효율 개선을 위한 개보수 사례 연구. 대한건축학회 논문집 - 계획계, 제31권 제1호, 2015, pp.57-64. // (W.S. Kim, M.J. Lee, The Research on Energy Performance Improvement Renovation Case Studies for the Physically Disabled Low-Income Home Owners, Journal of the Architectural

- Institute of Korea Planning&Design 31(1), 2015.1, pp.57-64.)
- [13] 법제처, 에너지절약형 친환경주택의 건설기준, [www.moleg.go.kr](http://www.moleg.go.kr), 2020.09. // (The Ministry of Government Legislation, standards for construction of energy-saving eco-friendly houses, [www.moleg.go.kr](http://www.moleg.go.kr), 2020.09.)
  - [14] 건설기술정보시스템, 2020 건설공사 표준품셈, [www.codil.or.kr](http://www.codil.or.kr), 2020.09. // (Construction Technology Information System, Construction work standards, [www.codil.or.kr](http://www.codil.or.kr), 2020.09.)
  - [15] 한국전력공사, 전기요금표, <http://cyber.kepco.co.kr>, 2020.10. // (Korea Electric Power Corporation, electricity bill, Korea Electric Power Corporation, electricity billm 2020.10.)
  - [16] Opinet, 등유가격, <https://www.opinet.co.kr>, 2020.10. // (Opinet, Kerosene price, <https://www.opinet.co.kr>, 2020.10.)
  - [17] 한국은행, 기준금리, <https://www.bok.or.kr>, 2020.10. // (Bank of Korea, Base Rate, <https://www.bok.or.kr>, 2020.10.)