한국지열·수열에너지학회논문집
Korean Society for Geothermal and Hydrothermal Energy (KSGHE)
Vol. 19, No. 4, pp. 18~26 (2023)
ISSN 2799-4783 (Print)
ISSN 2799-4805 (Online)
https://doi.org/10.17664/ksghe.2023.19.4.018

노후 보건소의 그린리모델링을 통한 에너지 및 탄소배출 저감효과 분석

Analysis on the Energy and GHG Emissions Reduction Effect of Old Public Health Centers through Green-remodeling

조정흠(Jeong-Heum Cho), 오진환(Jinhwan Oh), 강연주(Yeonju Kang)*, 남유진(Yujin Nam)**†

부산대학교 건축공학과 박사과정, *부산대학교 건축공학과 석사과정, **부산대학교 건축공학과 교수
Ph.D. Candidate, Department of Architecture Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea
**Master Course, Department of Architecture Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea*
***Professor, Department of Architecture Engineering, Pusan National University, Busan 46241, Korea*

Abstract

Green-remodeling is to improve the energy performance of existing buildings that have been aged for more than 15 years since completion. In order to achieve the national greenhouse gas emission reduction plan in the building sector, it is necessary to analyze the carbon reduction effect by considering the internal carbon emissions that may occur during green-remodeling of old buildings. This study analyzed the effects of energy reduction and carbon emission reduction when green-remodeling was applied to old health centers constructed in 1992. When applying green-remodeling, the carbon emission reduction effect considered the embodied carbon emission of the improvement items and the carbon emission at the building operation stage. When applying green-remodeling to existing buildings, energy consumption was reduced by 39.3%, and carbon emissions were reduced by 48.9% after 27 years of green-remodeling. In order to reduce carbon emissions, it was important to apply a renewable system as an item to improve the performance of green-remodeling. In particular, it was confirmed that it is very important to consider the photovoltaic system as a top priority for the carbon emission reduction.

Key words: Green-remodeling(그린리모델링), Building energy(건물 에너지), Energy saving(에너지 절감), Green house gas emissions(온실가스 배출)

†Corresponding author
E-mail: namyujing@pusan.ac.kr
접수일: 2023년 09월 14일; 심사일: 1차:2023년 10월 22일, 채택일: 2023년 11월 28일

1. 서 론

신기후체제인 파리 기후변화 협약(2015) 이후 전세계는 온실가스 배출량을 감축하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. IEA(International Energy Agency)는 “Net Zero by 2050(2021)”을 발표하고 각 분야에서 2050년까지 탄소중립을 실현하기 위한 로드맵을 발표하였다. 탄소중립 로드맵 중 건물부문은 2030년까지 모든 신축건물을, 2040년까지 기존 건물의 50% 이상 리모델링을 통하여 2050년까지 모든 건물의 85% 이상이 탄소중립을 달성하도록 목표를 수립하였다. 미국, 일본, EU 등의 선진국 역시 탄소중립 정책을 수립하였으며, 건물부문의 탄소중립 정책 내용은 매우 유사하다. 탄소중립을 위하여 그린산업 육성, 신재생 이용 확대 및 건물의 에너지 효율개선 등을 통해 온실가스 배출저감과 경제성장을 동시에 추진하는 계획을 수립했다. 우리나라는 2019년 “제2차 기후변화대응 기본계획”을 수립하여 2030년에 온실가스 배출량의 23.1%

를 차지할 것으로 예상되는 건물부문에서 배출량의 32.7%(64.5 백만톤)을 삭감하기로 계획하였다. 그동안 국내 건물과 관련된 법규 및 정책은 주로 신축 건물 위주의 에너지효율 개선에 초점이 있었지만, 신축 건물의 에너지 성능개선만으로는 온실가스 감축 목표를 달성하기 어렵다. 따라서 신축 건물의 제로에너지빌딩 조성과 더불어 준공된지 오래되어 노후된 기존 건물의 에너지 효율을 개선하기 위한 정책을 적극적으로 추진하고 있다. 그 일환으로 한국은 2020년 “Green Newdeal” 정책을 추진하였으며, 주요 추진과제로 그린리모델링, 그린에너지, 친환경 미래모빌리티를 선정하였다. 그 중 그린리모델링은 공공기관 및 취약계층을 우선 대상으로 선정하여 준공 이후 15년 이상 노후된 기존 건물을 단열성능 및 고효율 설비시스템으로 교체하여 에너지 성능을 강화하는 사업이다. 하지만, 그린리모델링은 노후 건물의 단열성능 개선과 고효율 설비로 교체하기 위해선 높은 초기투자비용이 발생하므로 건축주의 접근성을 저해할 수 있다. 이러한 접근성 개선을 위하여 정부는 공공부문에서 그린리모델링의 컨설팅 및 지원을, 민간부문에서는 그린리모델링을 위한 에너지 효율 개선사업의 자금대출 시 이자 일부를 지원하여 그린리모델링의 장벽을 개선하고자 노력하고 있다. 그린리모델링에 대한 중요성과 그 영향력이 증대됨에 따라 노후 건물의 에너지 절감아이템을 패시브, 액티브, 신재생으로 분류하고, 각 아이템에 대한 에너지 절감효과를 분석하는 연구가 활발히 수행되고 있다.

Yeom et al.[1]은 소규모 주택을 대상으로 그린리모델링의 도입타당성을 분석하기 위하여 패시브 및 액티브 기술요소를 지역별로 고려할 때의 단열강화에 따른 경제성 분석을 수행하였다. Lee et al.[2]은 30년 이사 경과한 소규모 근린생활시설을 대상으로 그린리모델링 수행 시 제로에너지건축물 인증을 고려하여 에너지성능 개선과 비용투자대비 회수기간에 대해 분석하였다. Woo et al.[3]은 그린리모델링 지원사업에 대한 에너지 절감효과를 파악하기 위하여 공공부문의 노후 건물 1,065동을 대상으로 그린리모델링 전·후의 에너지 절감률을 분석하여 그린리모델링 사업의 발전방향을 검토하였다. Lee et al.[4]은 노후 근린생활시설 및 주택을 대상으로 그린리모델링 실증을 통한 에너지 성능 및 열환경 개선효과에 대해 분석하였다. Tajani et al.[5]은 일반 상업시설 또는 업무시설의 에너지 리노베이션이 성능 개선 전·후 경제성 측면에서 부동산 시장에 미치는 영향을 분석하였다. Alabid et al.[6]은 현재 영국에서 온실가스 감축을 위하여 채택된 노후 건물의 energy retrofit 관련 정책에 대하여 검토하고, 단계적으로 개선에 접근할 수 있는 다양한 정책 및 기준이 필요함을 제시하였다. Oliveira et al.[7]은 노후 건물의 개보수 작업 시 여러 카테고리의 환경영향 분석결과를 토대로 구조적 옵션의 기술 및 환경 성능을 평가하기 위한 연구를 수행하였다.

이처럼 기존 연구에서는 그린리모델링의 정책적 측면 또는 에너지 성능개선 전·후에 대한 건물 운영단계에서의 에너지 절감효과 및 탄소배출량 분석에 집중하고 있다. 건물부문의 국가 온실가스 배출량 감축계획을 달성하기 위해서는 기존 노후 건물의 그린리모델링 수행 시 발생될 수 있는 내재 탄소배출량을 고려하여 실제 탄소배출 저감효과를 분석하는 것이 필요하다. 이에 본 연구는 1992년 준공된 노후 보건소를 대상으로 그린리모델링 적용 시 에너지 절감 및 실제 탄소배출 저감효과를 분석하고자 한다. 특히 탄소배출 저감효과는 그린리모델링에서 적용하기 위해 검토된 주요 성능개선 자재들의 내재 탄소배출량과 건물 운영단계에서의 탄소배출량을 고려하여 그린리모델링 시 실제 저감되는 탄소배출량을 분석하였다. 이를 통해 기존 노후 건물의 그린리모델링 적용에 따른 탄소배출 저감효과를 확인하고, 향후 국가 건물부문 에너지 정책 및 온실가스 감축 정책 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 그린리모델링 에너지 성능개선 분석

2.1 그린리모델링 분석대상

본 연구에서는 부산 금정구에 위치한 지상 4층의 보건소를 대상으로 그린리모델링을 수행하였다. 1992년 준공되어 30년 이상 노후된 건물로 재실자의 실내환경 만족도 설문조사 결과, 온열환경 조절 미흡에 따른 에너

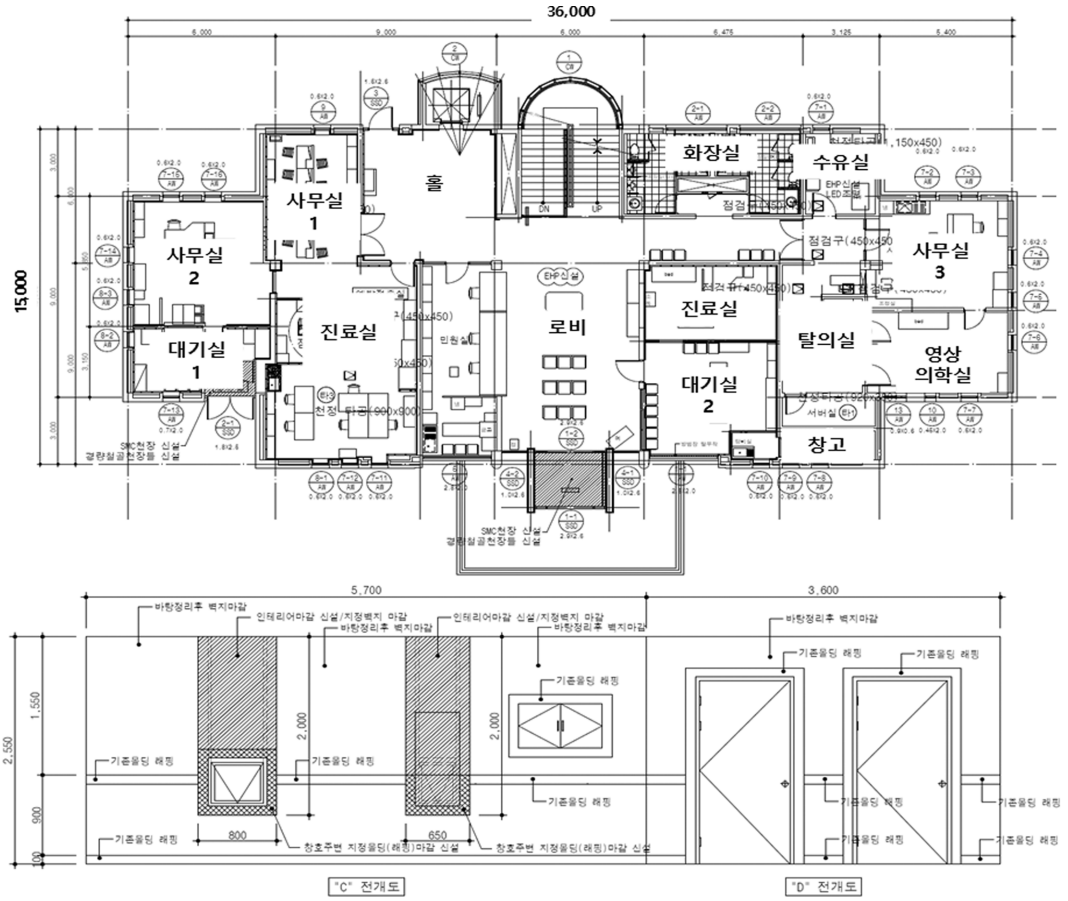

Fig. 1. Example of reference floor plan and Green-remodeling wall envelop details

Table 1. Building summary

Division	Content
Location of site	Geumjeong-gu, Busan
Year of construction completion	1991
Main use	Public Office Building
Total floor area	1,453.36m^2
Number of floors	4F
Main structure	Reinforced concrete and masonry

지 성능 및 실내 쾌적성 저하가 우려되어 단열성능 및 설비 성능 개선을 추진하였다. 연구대상 건물의 기준층 평면도 및 그린리모델링 외피전개도 상세 예시도는 Fig. 1과 같으며, 대상 건물의 개요는 Table 1과 같다.

2.2 에너지 성능개선 기술요소

그린리모델링 전 기존 건물에 적용된 단열 및 창호 성능은 설계도서상 파악이 불가하여 에너지 성능 분

Table 2. Case condition

Division		Baseline (Before GR)	Case 1 (After GR)	Case 2	Case 3	Case 4
Passive	Wall	0.76W/m^{2}K	0.76W/m^{2}K	0.31W/m^{2}K	0.76W/m^{2}K	0.76W/m^{2}K
	Roof	0.52W/m^{2}K	0.52W/m^{2}K	0.18W/m^{2}K	0.52W/m^{2}K	0.52W/m^{2}K
	Floor	0.76W/m^{2}K	0.76W/m^{2}K	0.31W/m^{2}K	0.76W/m^{2}K	0.76W/m^{2}K
	Window & Door	Double-glazed (3.1W/m^{2}K)	24 mm Low-E Double-glazed (1.6W/m^{2}K)	24 mm Low-E Double-glazed (1.6W/m^{2}K)	24 mm Low-E Double-glazed (1.6W/m^{2}K)	24 mm Low-E Double-glazed (1.6W/m^{2}K)
Active	Heating & Cooling	EHP (COP 3.61)	EHP (COP 4.33)	EHP (COP 4.33)	GSHP (COPh 3.62, COPc 4.31)	GSHP (COPh 3.62, COPc 4.31)
	Hotwater	Electric boiler	Electric boiler	Electric boiler	Electric boiler	Electric boiler
	Lighting	Fluorescent+LED 5.16W/m^2	LED Lighting 1.57W/m^2	LED Lighting 1.57W/m^2	LED Lighting 1.57W/m^2	LED Lighting 1.57W/m^2
Renewable	PV	-	-	-	15kW	-
	Geothermal	-	-	-	GSHP 140kW	GSHP 175kW

석 시 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”의 벽체 및 창호의 단열기준을 참고하였다. 패시브 성능은 재실자의 실내환경 만족도에 대한 설문조사를 반영하여 창호 개선을 최우선으로 고려하였다. 창호의 단열성능은 개선 전 일반 복층창(3.1W/m^{2}K, SHGC 0.688)에서 개선 후 로이복층유리(1.8W/m^{2}K, SHGC 0.516)로 교체하였다. 액티브 성능은 노후화된 냉·난방기기(EHP) 및 급탕용 전기온수기를 교체하고, 조명등은 기존 형광등(평균 조명밀도 5.16W/m^2)에서 고효율 LED조명등(평균 조명밀도 1.57W/m^2)로 교체하였다. EHP의 COP는 ‘효율관리기자재 운용규정’ 내 최저소비효율기준을 기준으로 Baseline에 적용하였으며, Case 1과 Case 2는 Baseline에서 20% 개선된 EHP COP를 적용한 것으로 가정하였다. 지열히트펌프의 COP는 KS 표준에서 정의하고 있는 제품의 최저 냉난방 COP 기준으로 조건으로 입력하였다. 한편, 패시브 기술요소 중 “건축물의 에너지절약설계기준”내 남부지역의 벽체 단열성능을 만족하는 단열재 적용방안과 공공기관의 신재생 의무도입비율(2023년 기준 예상에너지사용량의 32% 이상)을 만족하는 신재생 시스템의 도입을 검토하였다. 하지만, 대상 건물에서 편성된 그린리모델링의 한정된 예산으로 인하여 창호의 단열성능 및 열원설비의 에너지효율 개선을 중점적으로 검토하였다. 연구 대상 건물에 그린리모델링 도입 시 성능개선 효과를 분석하기 위해 검토된 기술요소별 적용사항은 Table 2와 같다.

2.3 에너지 성능개선 효과 분석

그린리모델링 도입 시 에너지 성능개선 효과는 ISO 13790 기반의 프로그램을 사용하여 개선공사 전 대비 에너지 요구량 또는 에너지 소요량 또는 1차에너지소요량의 개선비율을 검토한다. 본 연구에서는 기존 건물과 그린리모델링 요소들의 에너지 성능을 비교분석하기 위하여 “건축물의 에너지절약설계기준”내 에너지소비총량을 평가하는 프로그램인 ECO2 OD를 활용하였다. Table 2의 조건으로 대상건물의 에너지 성능개선 효과는 시뮬레이션에서 에너지요구량, 에너지소요량 및 1차에너지소요량을 평가하였으며, 그 결과는 각각 Table 3, Table 4, Table 5 및 Fig. 2와 같다. 시뮬레이션 결과는 난방, 냉방, 급탕, 조명, 환기 및 신재생으로 총 6개 항목을 구분하여 나타나며, 에너지요구량은 건물의 각 부하량을, 에너지소요량은 건물에 적용된 설비들의 효율을 고려한 실제 에너지소비량을, 1차에너지소요량은 각 항목의 연료 채취, 가공, 운송 등의 과정에서 손실분을 포함한 에너지소비량을 의미한다.

Table 3. Analysis results of energy demand (kWh/m^2·yr)

Division	Heating	Cooling	Hotwater	Lighting	Renewable	Total	Saving Rate
Baseline	33.3	24.2	6.1	18.9	0.0	82.5	0.0%
Case 1	29.7	16.1	6.1	5.7	0.0	57.6	30.2%
Case 2	18.6	19.4	6.1	5.7	0.0	49.8	39.6%
Case 3	29.7	16.1	6.1	5.7	0.0	57.6	30.2%
Case 4	29.7	16.1	6.1	5.7	0.0	57.6	30.2%

Table 4. Analysis results of energy consumption (kWh/m^2·yr)

Division	Heating	Cooling	Hotwater	Lighting	Renewable	Total	Saving Rate
Baseline	15.8	9.9	6.1	18.9	-	50.7	0.0%
Case 1	12.9	5.9	6.1	5.7	-	30.6	39.6%
Case 2	8.8	7.1	6.1	5.7	-	27.7	45.4%
Case 3	7.3	3.7	4.0	4.0	–21.0	–2.0	103.9%
Case 4	10.2	5.1	6.1	5.7	–12.5	14.6	71.2%

Table 5. Analysis results of primary energy consumption (kWh/m^2·yr)

Division	Heating	Cooling	Hotwater	Lighting	Renewable	Total	Saving Rate
Baseline	43.4	27.3	18.1	52.0	-	140.8	0.0%
Case 1	35.4	16.2	18.1	15.8	-	85.5	39.3%
Case 2	24.1	19.4	18.1	15.8	-	77.4	45.0%
Case 3	20.1	10.1	12.6	11.0	–36.0	17.8	87.4%
Case 4	28.0	14.0	18.1	15.8	–12.5	63.4	55.0%

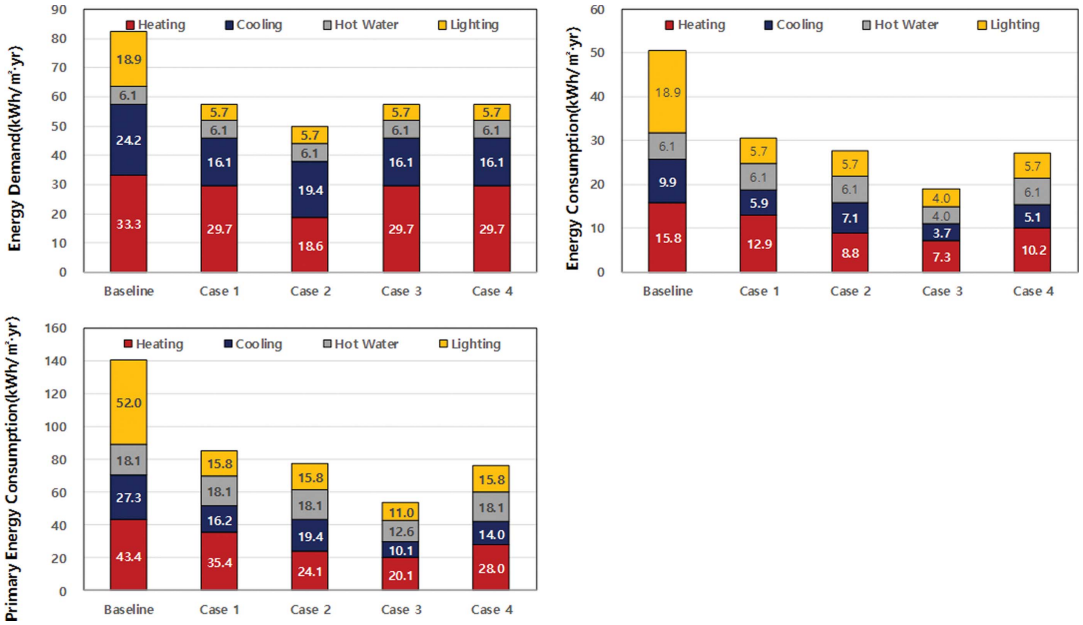

Fig. 2. Analysis results of energy performance after Green-remodeling

그린리모델링 대상건물의 기술요소별 성능개선 전·후를 검토한 결과, 에너지요구량은 개선 전 82.5kWh/m^2·yr에서 개선 후(Case 1) 57.6kWh/m^2·yr으로 약 30.2% 절감되는 것을 확인하였다. 외벽의 단열성능을 함께 개선할 경우(Case 2) 개선 전 대비 약 39.6 % 에너지요구량이 절감되지만, 신재생 시스템은 건물 부하조건이 동일하므로 개선 전 대비 에너지요구량 증감이 없는 것으로 분석되었다. 1차에너지소요량은 개선 전(Baseline) 대비 기술요소별 개선 아이템을 비교할 때 각각 Case 1은 약 39.3%, Case 2는 약 45.0%, Case 3은 약 87.4%, Case 4는 약 55.0% 절감되는 것을 확인하였다. 이때 Case 3 및 Case 4는 신재생 의무비율을 만족하는 태양광 및 지열시스템 적용을 고려한 결과이며, 지열을 단독으로 적용하는 Case 4보다 태양광과 지열을 혼합 적용하는 Case 3에서 에너지소요량이 약 30% 이상 더 절감되는 것을 확인하였다. 한편, Case 1(EHP)과 Case 4(GSHP)의 냉·난방 1차에너지소요량을 비교분석한 결과, Case 1은 51.6kWh/m^2·yr, Case 4는 42.0kWh/m^2·yr로 나타났다. 본 연구에서 사용된 시뮬레이션(ECO2-OD)은 건물에너지 해석을 위한 입력조건 중 설비부문은 용량, 소비동력 및 정격효율 데이터만 고려되며, 열원의 공급온도 변화에 따른 실시간 설비성능을 건물의 에너지성능 해석에 적용하는데 한계가 있다. 따라서 기존의 냉난방시스템을 신재생에너지 시스템으로 대체하더라도 1차에너지소요량 평가결과에서 절감량이 미미한 것을 확인하였다. 연구대상 건물은 에너지를 평가하는 항목 모두 전기에너지를 사용하므로 열원설비에서 전력을 소비하는 지열 시스템을 단독 적용하는 것보다 에너지를 생산하는 태양광 시스템을 적용하는 것이 에너지소요량 절감에 더 효과적인 것으로 분석되었다.

3. 탄소배출 저감효과 분석

3.1 분석 개요

본 연구에서는 노후 건물을 대상으로 그린리모델링 수행 시 발생되는 탄소배출량을 정량적으로 분석하기 위해 검토된 그린리모델링 기술요소별 내재 탄소배출량과 시뮬레이션을 통해 산출된 운영단계에서의 에너지소요량에 따른 탄소배출량을 산출하였다. 기술요소별 내재 탄소배출량 산출 시 적용된 탄소배출계수는 선행연구[8, 9] 및 IEA 보고서[10]를 참고하여 산출하였다. 한편, 자재 운반/시공 및 폐기물에서 발생되는 환경영향은 고려하지 않고, 전생애주기에서 가장 큰 비중을 차지하는 생산, 건물운영단계의 탄소배출량만 고려하는 것으로 설정하였다. 건물 운영단계에서의 탄소배출량은 '공공부문 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침'의 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O)를 대상으로 각 온실가스의 온난화지수 값을 이용하여 산출하였다. 연구대상 건물의 모든 에너지원은 전력을 사용하므로 온실가스별 배출계수는 환경부에서 공고한 전력배출계수를 이용하였다. Table 6은 온실가스별 온난화지수 및 전력의 온실가스별 배출계수를 나타낸다.

3.2 탄소배출량 저감효과 분석

Table 7은 그린리모델링의 에너지 성능개선 기술요소별 자재들의 탄소배출량을 나타낸다. 이를 바탕으로 각 Case에서 검토된 패시브 요소(단열재 및 창호) 및 액티브 요소(EHP, 태양광 및 GSHP)의 탄소배출

Table 6. The global warming index of greenhouse gas and electricity power emission factor

Division	Global warming index	Electricity power emission factor
CO_2	1	0.4747tCO_2/MWh
CH_4	21	0.0125kgCH_4/MWh
N_2O	310	0.0100kgN_2O/MWh

Table 7. Carbon emissions of technology component materials

Division		Capacity	Embodied carbon coefficient	Carbon emission
Passive item	Glass	27,439.2kg	0.59kgCO_2eq/kg	16,189.1kgCO_2eq
	Insulation	2,345.2kg	4.26kgCO_2eq/kg	9,990.6kgCO_2eq
Active item	EHP	175kW (49.8RT)	84.6kgCO_2eq/RT	4,213.1kgCO_2eq
	LED light	37EA (15W)	6.2kgCO_2eq/EA	229.4kgCO_2eq
		43EA (40W)	6.2kgCO_2eq/EA	266.6kgCO_2eq
	GSHP	140kW (39.8RT)	84.6kgCO_2eq/RT	3,367.1kgCO_2eq
	GSHP	175kW (49.8RT)	84.6kgCO_2eq/RT	4,213.1kgCO_2eq
	GHEX	14EA (3RT)	510.1kgCO_2eq/EA	7,141.4kgCO_2eq
	PV	15kW	672.4kgCO_2eq/kW	10,086.0kgCO_2eq

Table 8. Analysis results of GHG emissions (tCO_2eq)

Division	Construction [A]	Building operation after Green-remodeling					Total [A+B]	Saving rate [A+B]/[C]
		1 year	2 years	3 years	…	27 years [B]		
Baseline	-	35.2	70.5	105.7	…	951.1[C]	951.1	-
Case 1	20.9	17.2	34.5	51.7	…	465.2	486.1	48.9%
Case 2	30.9	15.8	31.7	47.5	…	427.7	458.6	51.8%
Case 3	37.3	–0.2	–0.4	–0.6	…	–5.6	31.7	96.7%
Case 4	29.4	10.1	20.3	30.4	…	273.9	303.2	68.1%

량을 산출하였으며, 그 결과는 Table 8과 같다. 본 분석에 사용된 데이터 중 패시브 기술요소 및 액티브 요소의 히트펌프, 지중열교환기, 태양광 시스템은 참고문헌을 토대로 산출되었으며, LED 조명등은 IEA EBC에서 발간한 보고서를 토대로 산출하였다. 패시브 기술요소의 탄소배출량 검토결과 내재 탄소배출량이 단열재가 유리보다 높지만, 연구대상 건물의 성능개선을 위한 물량 대입 시 창호의 탄소배출량이 단열재보다 많은 것을 확인하였다. 이는 창호의 경우 전면 교체를 진행하였으나, 단열재는 기존 설치된 단열재에 법적 단열기준을 만족하기 위해 단열재 추가 시 창호 대비 자재 필요물량이 적으므로 탄소배출량이 창호(16,189.1kgCO_2eq)보다 단열재(9,906.6kgCO_2eq)가 적은 것으로 나타났다. 액티브 기술요소는 태양광(PV) 시스템의 탄소배출량이 10,086.0kgCO_2eq로 가장 높게 나타났으며, LED 조명등의 탄소배출량이 총 496.0kgCO_2eq로 가장 적게 나타났다.

본 연구에서 분석된 대상 건물의 운영단계 시 발생되는 탄소배출량과 성능개선 기술요소별 탄소배출량을 종합하여 노후 건물의 그린리모델링 기술요소별 탄소배출량을 분석하였다. 건물 운영단계의 탄소배출량은 그린리모델링 후 27년간 운영 시 국내 기후계획에 따른 탄소배출 저감률을 달성할 수 있는지 검토하였다. Table 8은 각 건물 운영 년차에 따른 탄소배출량 산출 결과를 나타내고, 1년차 및 27년차 건물 운용 시 결과를 Fig. 3과 같이 도출하였다.

그린리모델링 후 탄소배출량은 건물 운영단계 시 절감되는 탄소배출량보다 성능개선 기술요소를 적용할 때 자재에서 발생하는 탄소배출량이 더 많으므로 총 탄소배출량에서는 절감되지 않는 것으로 나타났다. 하지만, 개선 전(Baseline) 35.2tCO_2eq 대비 탄소배출량이 가장 많은 Case 2(46.7tCO_2eq)에서 그린리모델링 2년 후부터 탄소배출량이 개선 전(Baseline) 70.5tCO_2eq 대비 Case 2는 62.6tCO_2eq로 약 11.2% 절감되는 것을 확인하였다. 그린리모델링에 따른 건물 운영 27년 후 탄소배출량은 개선 전 대비 Case 1에서 48.1%, Case 2는 50.6%, Case 3은 95.3%, Case 4는 67.0% 절감되어 성능개선 기술요소로 액티브 기술요소가 탄소배출이 더 많이 절감되는 것으로 분석되었다. 따라서 국가 온실가스 감축목표 중 건물부문의 탄소배출 감축목

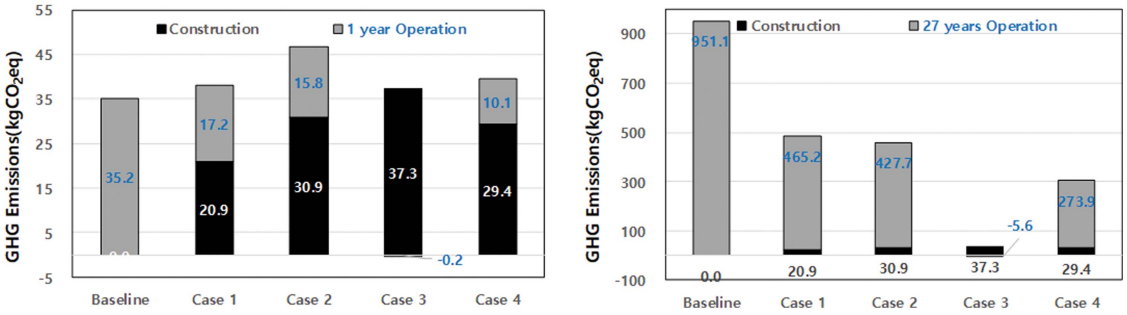

Fig. 3. Analysis results of GHG emissions comparison with building operation 1 year and 27 years

표는 대상건물의 그린리모델링 후 7년차에서 탄소배출량이 약 36.3% 이상 절감되어 국가 탄소배출 감축 목표(기준년도 대비 32.8% 이상)를 달성하는 것으로 나타났다. 한편, 노후건물의 그린리모델링 수행결과(Case 1)와 기술요소별 추가 성능개선 효과를 비교해보면, 법적 단열기준을 만족하는 성능개선 조건(Case 2)보다 법적 의무비율을 만족하는 신재생 시스템 추가를 고려하는 조건(Case 3, Case 4)에서 탄소배출 절감율이 약 16% 이상 더 높은 것을 확인하였다. 따라서 건물 운영 시 장기적인 측면에서 건물의 에너지요구량에 영향을 미치는 패시브 기술요소보다 건물 운영단계에서 에너지소요량에 영향을 미치는 액티브 기술요소를 개선하는 것이 탄소배출 절감효과에 더 효과적인 것을 확인하였다. 성능개선 기술요소 중 신재생 시스템 적용에 대해 비교해보면, 지열을 단독으로 적용하는 Case 4보다 태양광과 지열을 융합하여 적용하는 Case 3에서 탄소배출량은 27년간 건물 운영 시 최대 28% 이상 절감률이 큰 것으로 나타났다. 이는 그린리모델링 시 에너지 및 탄소배출 절감 측면에서 냉·난방설비를 대체할 수 있는 지열 시스템보다 태양광을 우선적으로 고려하는 것이 중요한 것을 확인하였다.

4. 결 론

본 연구에서는 준공된지 20년 이상 경과한 노후 보건소를 대상으로 그린리모델링 수행 시 성능개선 조건별 에너지 및 탄소배출량 절감효과를 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 연구대상 건물의 에너지성능을 분석한 결과 에너지요구량은 82.5kWh/m^2·yr, 에너지소요량은 50.7 kWh/m^2·yr로 나타났다. 기존 건물의 그린리모델링 수행 시 에너지요구량은 57.6kWh/m^2·yr, 에너지소요량은 30.6kWh/m^2·yr로 기존 건물 대비 에너지요구량은 30.2%, 에너지소요량은 39.6% 절감되는 것으로 나타났다.

(2) 기존 건물의 에너지 성능개선에 대한 Case Study 분석결과, 기존 건물 대비 1차에너지소요량은 Case 1(창호단열+열원설비 개선)은 39.3%, Case 2(외벽 및 창호의 단열+열원설비 개선)는 45.0%, Case 3(Case 1+태양광+지열)은 87.4%, Case 4(Case 1+지열)는 55.0% 절감되는 것으로 나타났다. 이는 노후 건물의 그린리모델링 수행 시 타 기술요소에 비해 신재생 시스템 추가가 중요한 것을 확인하였으며, 특히 태양광 시스템을 함께 고려할 때 에너지소요량이 더 절감되는 것으로 분석되었다.

(3) 그린리모델링 수행 조건에 따른 자재별 내재 탄소배출량을 고려하여 건물 운영단계에서 실제 탄소배출량을 분석한 결과, 그린리모델링 후 27년 경과 시 탄소배출량은 최대 96.7% 절감되는 것을 확인하였다. 따라서 탄소배출량을 절감하기 위한 기술요소로 에너지를 생산하는 신재생 시스템 적용이 매우 중요한 것을 확인하였다.

하지만, 본 연구결과는 노후 보건소 1개소를 대상으로 그린리모델링의 탄소배출 효과 분석을 수행하였기 때문에 공공부문의 그린리모델링 수행에 따른 실제 탄소배출 영향도에 일반화하여 고려하기에는 한계

점이 있다. 따라서 향후 지역별 기후조건, 재실자 프로파일 및 기기 부분부하 특성 등을 고려한 분석이 필요하며 동적 해석 시뮬레이션을 이용하여 보다 정밀하고 상세한 분석을 실시할 예정이다.

후 기

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1A2C2014259).

References

1. Yeom, J. R., Bae, S. M., Kim, D. Y., and Nam, Y. J., 2021, Feasibility analysis on the green-remodeling of small-scale Housing, Korean J. of KIEAE, Vol. 21, No. 1, pp. 73-80.
2. Lee, D. H., Byun, S. Y., Won, J. Y., and Choi, D. H., 2021, An analysis of energy performance improvement effect through green remodeling of small neighborhood facilities, Korean J. of KIAEBS, Vol. 15, No. 5, pp. 459-473.
3. Woo, S. J. and Lee, S. Y., 2022, An analysis of energy saving effect of green remodeling in public builidngs for Net-Zero - in case of public daycare center, public health center, public health institution, Korean J. of KIEAE, Vol. 22, No. 5, pp. 19-26.
4. Lee, D. H., Kim, T. Y., Won, J. Y., and Choi, D. H., 2022, An analysis of energy performance and thermal environment improvement effect through green remodeling in deteriorated neighborhood facilities and houses, Korean J. of KIAEBS, Vol. 16, No. 6, pp. 449-464.
5. Tajani, F., Morano, P., Di Liddo, F., Doko, E. M., Ghaddar, N., and Ghali, K., 2022, A model for the assessment of the economic benefits associated with energy retrofitting interventions: An application to existing buildings in the Italian territory, International Journal of Applied Sciences, Vol. 12, 3385.
6. Alabid, J., Bennadji, A., and Seddiki, M., 2022, A review on the energy retrofit policies and improvements of the UK existing buildings, challenges and benefits, International Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 159, 112161.
7. Oliveira, R. A. F., Lopes, J. P., and Abreu, M. I., 2021, Sustainability perspective to support decision making in structural retrofitting of buildings: A case study. International Journal of Systems, Vol. 9, 78.
8. Kang, Y. J., Bae, S. M., Chae, H. B., and Nam, Y. J., 2023, Life cycle analysis of photovoltaic-geothermal hybrid system for a small office, Korean J. of SAREK, Vol. 35, No. 5, pp. 215-223.
9. Cho, J. H., Bae, S. M., and Nam Y. J., 2023, Analysis of the energy and economic effects of green remodeling for old buildings: A case study of public daycare centers in South Korea, International Journal of Energies, Vol. 16, 4961.
10. International Energy Agency Energy in Buildings communities Programme, 2016, Evaluation of Embodied Energy and CO_{2eq} for Building Construction (Annex 57).