

기존 공공건물 분석을 통한 ZEB 그린리모델링 적용방안 및 사례 분석

배민정^{1,2} · 안호상³ · 윤성준⁴ · 강재식^{5*}

¹한국건설기술연구원, 전임연구원

²아주대학교 대학원 스마트융합건축학과, 박사수료

³한국건설기술연구원, 연구위원

⁴경기도파주교육지원청 교육시설2팀, 주무관

⁵한국건설기술연구원, 선임연구위원

ZEB Green Remodeling Application Plan and Case-study Through Existing Public Buildings

Bae Minjung^{1,2} · Ahn Hosang³ · Yun Sungjun⁴ · Kang Jaesik^{5*}

¹Research Specialist, Department of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²PhD Student, Department of Smart Convergence Architecture, Ajou University

³Research Fellow, Department of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

⁴Administrative Officer, Educational Facilities Team 2, Gyeonggi-Do Paju Office of Education

⁵Senior Research Fellow, Department of Building Energy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

*Corresponding author: jskang@kict.re.kr

Abstract

Most of the existing buildings in Korea, constructed before the insulation standards for parts were strengthened, are requested by an act to improve the building energy performance grade. In this study, five old public buildings were examined to evaluate their energy efficiency rating using an in-situ analysis of each old public building. Energy efficiency measures were derived to achieve the zero-energy level of the buildings' energy performance based on the energy consumption analysis results using ECO2 and the actual building status survey. It is expected that all buildings to be analyzed will be able to achieve ZEB 5th grade when applying the appropriate remodeling measures considering the characteristics of each building. To effectively reduce greenhouse gas emissions, energy-intensive buildings need to be selected as the target of the green remodeling project as a top priority. In the case of buildings with a 1++ grade, current energy efficiency is excellent to date. Therefore, it is necessary to improve the overall building performance by improving the lack of partial performance.

Keywords: 제로에너지건축물(Zero Energy Building; ZEB), 건축물에너지효율등급(Building Energy Efficiency Rating), 기존 건축물(Existing Building)



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.42, No.6, pp.93-104, December 2022
<https://doi.org/10.7836/kses.2022.42.6.093>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 16 September 2022

Revised: 7 November 2022

Accepted: 7 November 2022

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

건축물의 에너지효율은 시간 경과에 따라 저하되며, 부위별 단열기준이 강화되기 이전에 준공된 국내 노후 건축물의 경우 대부분 건물에너지 성능개선이 필요한 상황이다. 우리 정부는 「2050 탄소중립」 추진전략에 따라 건물부문의 온실가스 감축목표를 이행하고자 신축 건물의 제로에너지(Zero Energy Building; ZEB) 구현과 기존 건물의 그린리모델링 확산을 위해 노력 중이다. 우리나라에서 체계적인 그린리모델링 사업은 2013년도 ‘녹색건축물 조성지원법’에 근거하며(Kim et al., 2021)⁵⁾, 2015년부터는 매년 약 50여개의 건물에 대해 그린리모델링 시범사업의 일환으로 사전 조사, 노후 현황 평가 및 설계 컨설팅이 이루어졌다(Shin, 2021)⁹⁾.

이후, 정부는 2021년부터 노후 공공건물 약 3만동의 건물에너지성능을 제로에너지 수준까지 향상시키는 그린리모델링 사업을 본격적으로 추진하고 있으며 최근 공공부문의 선제적 제로에너지건축물 전환 사업의 일환으로 소규모 노후 공공 건축물에 대한 그린리모델링 사업을 활발하게 수행하고 있다. 그동안 그린리모델링 사업과 관련하여 기존 노후 건축물의 현황 조사 기법(Son et al., 2021)¹⁰⁾, 그린리모델링 적용 효과(Jaegal et al., 2018)⁴⁾와 그린리모델링 설계 영향인자(Kim et al., 2018)⁶⁾ 및 설계방법 분석(Beack et al., 2017; Kim et al., 2021)^{1,7)} 등 다양한 선행연구가 보고되어 왔다. 이제 그린리모델링 사업의 보편적 목표로서 노후 건물의 에너지 성능 개선과 효율 향상, 온실가스 저감과 재실자의 거주환경 쾌적성을 모두 충족함과 동시에 제로에너지 수준까지 건물 에너지 성능을 전환시키는 그린리모델링 사업 모델에 대해 논의가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 서울시 소재 공공부문 노후 건물 5개소를 대상으로 제로에너지 수준의 에너지성능 목표 달성을 위한 개선 방안을 도출하였다. 현재 국내 제로에너지건축물 인증제도는 국가공인 프로그램 ECO2를 이용하여 건축물의 단위면적당 1차에너지소비량을 평가하고 건축물에너지효율등급 1++ 이상, 에너지 자립율 20% 이상, BEMS 또는 원격검침 전자식 계량기 설치 여부를 검토하여 제로에너지 등급을 부여한다. 이에 따라 기존 건축물에 대한 자료수집 및 현장조사를 실시하고 ECO2를 활용하여 건축물에너지효율등급을 평가하였으며, 에너지소요량 분석 결과와 실제 건물 현황 자료를 기반으로 ZEB 5등급 구현 방안을 모색하였다.

2. 연구 방법 및 대상

본 연구의 방법은 Fig. 1과 같다. 첫 번째, 기존 건축물을 대상으로 건축물 에너지효율등급 평가를 수행하고자 해당 건물의 건축·기계·전기·신재생에너지 부문 도서를 확보한 후 ECO2 요구정보를 수집하였다. 오래전 준공된 기존 건축물의 경우 평가도서가 일부 누락되거나 평가도서 만으로 확인하기 어려운 ECO2 요구정보가 많으므로 이를 보완하고자 현장조사를 동시에 진행하였다. 수집된 요구정보를 기반으로 건축물 에너지효율등급 평가를 수행하고 기존 건축물의 연간 냉난방에너지요구량, 1차에너지소요량 및 CO₂ 배출량 등을 분석하였으며, 건물의 용도, 규모 및 현장조사 결과를 토대로 패시브 건축기술, 액티브 설비기술, 신재생에너지 적용 등 우선 적용이 필요한 개선 방안을 검토하여 제로에너지건축물 인증 획득 가능성을 검토하였다.

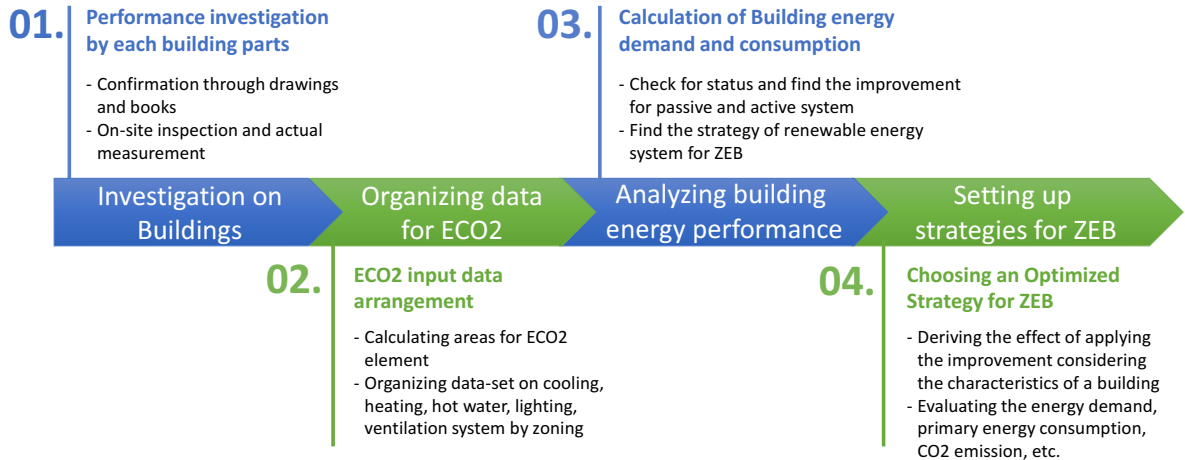


Fig. 1 Method for green remodeling to zero energy level of existing old buildings

연구 대상은 Table 1과 같다. 서울시에 위치한 공공부문 노후 건축물 5개소를 대상으로 수행되었으며, 모든 대상 건물은 1970 ~ 80년대 준공되어 현재까지 사용되고 있다. 1979년 준공된 N 센터는 지하 1층 ~ 지상 3층의 규모로 실사용 용도에 따라 건물이 나뉘어져 있으며, 본 연구에서는 본관 및 교육관 건물을 대상으로 수행한다. 연구 대상 중 가장 큰 연면적의 M 청소년수련관은 1988년 준공 이후 현재까지 3회의 리모델링이 진행되었고, 대상 건물 중 유일하게 신재생에너지 설비가 설치되지 않은 건물이다. B 복지시설은 지하 2층 ~ 지상 3층 규모로 1970년 준공되어 가장 오랫동안 사용되어온 건물이며, Y 복지시설은 지하 1층 ~ 지상 5층 규모로 리모델링 공사를 통해 일부 개보수가 진행되었고 현재 생활관으로 사용 중이다.

Table 1 Target of the public old building

	1	2	3	4	5
Classification	N center (main)	N center (education hall)	M youth training center	B Welfare	Y Welfare (Residence hall)
Total floor area	1,959 m ²	2,623 m ²	6,204 m ²	2,784 m ²	5,857 m ²
Building use	Welfare	Auditorium, Neighborhood living (No.2)	Cultural & assembly, Neighborhood living, Sports	Welfare, Neighborhood living (No.1)	Rehabilitation center
Number of floor	1st basement to 3rd floor	1st basement to 3rd floor	1st basement to 4th floor	2nd basement to 3rd floor	1st basement to 5th floor
Year of construction	1979	1979	1988	1970	1985
Year of remodeling	-	-	2005, 2010, 2020	-	Unable to confirm

3. 기존 건축물의 에너지효율등급 평가

3.1 ECO2 요구정보 수집

건축물에너지효율등급 인증평가에는 건축, 기계, 전기 및 신재생에너지부문의 도서일체와 성능증빙서류 등의 자료가 필요하다(Choi et al., 2018)²⁾. 본 연구의 분석 대상은 모두 인증평가용 필요 도서를 확보할 수 있었으나 ECO2 요구정보를 수집하기에 충분하지 않았으므로 현장조사를 통해 이를 보완하였다. 노후 건축물의 패시브 성능 수준 검토를 위해 대지 규모, 방위별 실내 면적, 난방/비난방 공간 면적, 외기 직접/간접 면한 부위별 면적 조사를 실시하였고, 건물 주 용도 이외에도 층별/실별 용도를 추가 조사하고, 장비를 활용하여 창호/단열시

Table 2 The ECO2 input data of existing buildings

Classification			1	2	3	4	5
			N center (main)	N center (education hall)	M youth training center	B Welfare	Y Welfare (Residence hall)
Wall system	Type	U-value [W/m ² ·K]	EPS type.1	EPS type.1	AL panel	EPS type.1	Drivit /Clay tile
	Thickness		50 mm	50 mm	50 mm	75 mm	40 mm /46 mm
Roof system	Type	U-value [W/m ² ·K]	Unable to confirm	Unable to confirm	EPS type.1 no.4	Glasswool panel	Urethane foam
	Thickness		Unable to confirm	Unable to confirm	50 mm	125 mm	125 mm
1st floor system	Type	U-value [W/m ² ·K]	EPS type.1	EPS type.1	EPS type.1 no.4	EPS type.1 no.4	EPS type.1 no.4
	Thickness		50 mm	50 mm	50 mm	50 mm	50 mm
Window system	Glazing system	U-value [W/m ² ·K]	Single /Double	Single	Double	Double /Low-e Double	Double
	Thickness		5 mm /22 mm	5 mm	16 mm	16 mm /22 mm	16 mm
Heating/cooling system	Type	Efficiency	Electric Heat Pump (EHP) 3.24/2.86	Electric Heat Pump (EHP) 0.90/2.76	EHP, Absorption refrigeration system 3.31/3.02	Electric Heat Pump (EHP) 3.61/4.68	Electric Heat Pump (EHP) 3.52/3.41
Hot water system			Gas boiler	Gas boiler	Gas boiler	Electric & gas water heater	Once-through steam boiler, Gas hot water boiler
Lighting system	Light emitting diode (LED)	[W/m ²]	4.98	4.70	6.43	4.83	5.00
Renewable energy system (Sunlight generation, kWp)			47.67	23.83	Not applicable	22.23	40

시스템에 대한 보강 조사를 실시하였다. 또한 도면에 명시된 공조기기 및 냉·난방 설비정보를 확인하고 신설 및 추가된 정보를 수집하였으며, 신재생에너지 시스템이 적용된 건물일 경우 해당 설비 정보를 확인 및 추가 수집하였다. Table 2는 본 연구의 대상 건물에 대한 ECO2 요구정보를 나타낸 것으로 대상 건물의 수집 정보는 현장 실측 및 확인 정보, 건축·기계·전기·신재생에너지 부문 도서일체, 기타자료, 법규수준 순으로 신뢰성을 두고 ECO2 시뮬레이션 모델링에 적용하였다. 또한 건축도서 및 현장조사를 통해 확인된 단열재 유형이 Choi et al. (2021)³⁾에서 보고되었던 시간 경과에 따른 열성능 저하 특성이 있을 경우 KS표준에 명시된 성능 대비 30% 저감된 열전도도 값을 적용하고, 현장조사 시 단열재 적용이 누락된 건물 부위에서는 이를 고려하여 단열성능이 50% 저감된 값을 적용하였다. 창호의 단열성능은 프레임 종류, 두께, 유리 구성 등을 종합적으로 고려하여 「건축물의 에너지절약설계기준」(MOTIE, 2018)⁸⁾ 별표4 창 및 문의 단열성능에 따라 열관류율을 적용하고, 태양열취득률(Solar heat gain coefficient; SHGC)의 경우 측정장비를 통해 측정된 수치를 사용하였다. 건물의 침기량은 적용 창호, 문 등 현장 조사를 통한 건물 현황을 고려하여 20.0 ACH@50Pa의 값으로 일괄 적용하였고, 기계·전기도서 및 현장조사에서도 사용 중인 설비에 대한 사양을 확인 할 수 없는 경우에는 설비 내구연한 또는 설치연도를 고려하여 상용화 효율을 적용하였다.

3.2 평가 결과

ECO2를 활용하여 대상 건물의 에너지효율등급 평가를 수행한 결과는 Table 3과 같다. 기존 건물 5개소에 대해 이산화탄소 배출량, 1차에너지소요량 및 등급용 1차에너지소요량을 산출하였으며, 신재생에너지 설비가 설치되어 운영 중인 건물을 고려하여 1차에너지소요량 중 신재생에너지 부문만 별도 명시하였다. 첫 번째 대상인 N 센터(본관)은 대상 건물들 중에서 가장 큰 설비용량의 태양광 발전시스템을 사용 중이다. 현행 법규 수준 대비 건물의 패시브 성능 수준이 다소 미흡함에도 불구하고 신재생에너지 부문 1차에너지소요량의 기여도로 인

Table 3 Results of the building energy efficiency calculated by ECO2 program

Classification	CO2 emission [kg/m ² · yr]	Primary energy consumption [kWh/m ² · yr]		Primary energy consumption for grade [kWh/m ² · yr]
		Total	Renewable energy system	
1 N center (main)	27.3	150.6	-76.6	146.8 (1+ grade)
2 N center (education hall)	60.5	299.2	-20.5	295.6 (2 grade)
3 M youth training center	66.7	370.5	-	233.8 (1 grade)
4 B Welfare	38.5	225.6	-31.2	144.7 (1+ grade)
5 Y Welfare (Residence hall)	28.6	165.6	-20.3	121.1 (1++ grade)

해 1+ 등급을 확보할 수 있었고, 에너지 자립율 산정 결과는 33.71%로 산출되었다. N 센터(교육관)은 건축물에 에너지효율 2등급, 에너지 자립율 6.41%에 해당하는 건물로 에너지 다소비형 건물로 판단된다. 또한 ECO2 시뮬레이션 분석 결과 M 청소년수련관은 가장 많은 1차에너지소요량과 이산화탄소 배출량이 산출되었으나, 등급용 1차에너지소요량 환산을 통해 1등급 수준을 충족하는 것으로 분석되었다. 해당 건물은 신재생에너지 설비가 설치되지 않았으며, 향후 ZEB 등급을 위한 그린리모델링 추진할 경우 반드시 이에 대한 고려가 필요하다. B 복지시설도 현행 법규 수준 대비 미흡한 패시브 성능에도 불구하고 신재생에너지 생산량으로 인해 건물에너지효율 1+등급, 에너지 자립율 12.2%로 산출되었고, Y 복지시설 또한 신재생에너지 생산량 기여로 건물에너지효율 1++등급, 에너지 자립율 10.9%로 산출되었다.

여기서 눈여겨 볼 것은 기존 건축물의 실제 사용 용도와 ECO2 프로그램에서 선택 가능한 용도프로필을 일치화 시키는 것이 어렵다는 점이다. N 센터(본관)의 경우 건축물대장 상 주 용도는 사회복지시설이며, 실제로는 사무실, 숙소, 보육지원실 등으로 층별 용도를 규정하여 사용 중이다. M 청소년수련관은 주 용도가 문화및집회 시설, 근린생활시설 및 운동시설로 규정되어 있으며 1층은 수영장을 포함하고, 2,3층은 강의실, 연습실, 4층 일부는 헬스장으로 운영 중이다. 그 밖의 대상 건물에 대해서도 현장 조사를 통해 실제 사용 용도가 모두 조사되었으나 ECO2 프로그램에서 선택 가능한 존(Zone)별 사용프로필이 실제 사용 중인 용도와 일치하는 것이 많지 않아 기존 건축물의 에너지효율등급 평가를 수행하기 위해서는 평가자의 판단에 따라 가장 유사한 프로파일로 적용될 수밖에 없었다. 신축 건축물 평가에 초점이 맞추어져 있던 현행 건축물에너지효율등급 인증제도 및 ZEB 인증제도에서 기존 건축물 평가가 본격적으로 이루어지기 위해서는 평가 과정에서 발생할 수 있는 다양한 문제점의 보완과 개선방안이 필요할 것으로 판단된다.

4. 제로에너지건축물 목표 그린리모델링 적용 방안

4.1 에너지효율등급 및 에너지 자립율 개선 방안 도출

국내 제로에너지건축물 인증제도의 최소 충족기준은 건축물 에너지효율 1++ 등급 이상, 에너지 자립율 20% 이상인면서 BEMS 또는 원격검침 전자식 계량기를 설치하는 것이다. 본 연구에서는 비주거용 건축물 에너지효율 1++ 등급 기준에 해당하는 1차에너지소요량 $140 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$ 미만 충족과 에너지 자립율 20% 이상을 동시에 충족할 수 있는 그린리모델링 적용 방안을 모색하였다. 건축물에너지효율등급은 ECO2를 이용한 계산 결과를 활용하므로, ECO2를 통해 적용 가능한 개선 방안으로서 패시브 성능 개선방안, 조명밀도 개선방안, 신재생에너지 설치방안, 냉난방 설비 교체방안을 설정하였다.

본 연구의 대상 건물은 현행 법규 수준 대비 패시브 성능이 미흡하므로 패시브 성능 개선방안은 모두 적용될 필요가 있다. 해당 개선방안에서는 단열 보강공사를 통해 외벽, 지붕 부위의 열관류율 $0.15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 를 충족하는 것으로 고려하였다. 창호 부위는 건축물 에너지절약설계기준에 명시된 중부2지역 공동주택외 기준 $1.5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 를 적용하고, 만약 창호 부위 개선방안을 적용할 경우 건물의 침기량에는 1.5 ACH@50Pa 를 적용하

였다. 대상 건물들은 모두 LED 조명을 사용하고 있으므로 조명밀도 개선방안에서는 별도의 교체공사 없이 건물 관리자의 격등제어 또는 구역별 조명제어를 통해 5 W/m^2 이하로 낮추어 적용한다. 신재생에너지 설치방안에서는 건물 옥상 및 대지 내 공터 면적을 활용한 태양광 발전시스템 신규 시스템 설치와 동일한 대지 내 활용 가능한 기존 태양광 발전시스템의 계통연계 방안을 검토하였다. 태양광 발전시스템의 오프사이트(Off-site) 설치 및 활용 방안은 고려하지 않으며, 신규 및 추가 설치에 요구되는 구조검토는 생략하였다. 또한 대상 건물들은 대부분 전기히트펌프(Electric Heat Pump; EHP)를 사용하고 있으므로 냉난방 설비 교체방안은 EHP 설비 교체로 설정하고, 인버터제어가 가능한 상용화 제품 기준으로 효율(COP) 4.5를 적용하였다.

4.2 개선 방안 적용에 따른 예측 결과

(1) N 센터(본관)

Table 4는 앞서 설정한 그린리모델링 적용 방안에 따른 ECO2 분석 결과를 나타내며, Fig. 2는 본 연구 대상에 대한 그린리모델링 적용 방안별 등급용 1차에너지소요량을 나타낸 것이다. Case 1-1은 N 센터(본관)에 대해 패시브 성능 개선방안이 적용된 결과이고, Case 1-2는 해당 건물에 패시브 성능 개선방안과 신재생에너지

Table 4 Results of N center according to the green remodeling plan for ZEB

Classification		N center (main)		N center (education hall)		
		Case 1-1 Passive performance	Case 1-2 Case 1-1 and renewable energy installation	Case 2-1 Passive performance	Case 2-2 Case 2-1 and renewable energy installation	Case 2-3 Case 2-2 and replacement heating & cooling system
U-value [W/m ² · K]	Wall	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Roof	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
	Window	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Air leakage		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
Lighting system [W/m ²]		4.98	4.98	4.70	4.70	4.70
Efficiency of EHP		3.05	3.05	3.01	3.01	4.50
Sunlight generation	Capacity [kWp]	47.67	33.49	23.83	30.40	29.83
	Area [m ²]	250.88	176.28	125.40	160.00	157.00
Results	CO2 emission [kg/m ² · yr]	18.0	21.8	21.5	20.6	20.10
	Primary energy consumption for grade [kWh/m ² · yr]	93.3	114.6	106.50	101.40	98.80
	Building energy efficiency rating	1++	1++	1++	1++	1++
	Energy independence rate [%]	43.98	30.9	15.70	20.00	20.06

설치방안이 적용된 결과이다. 분석 결과, 패시브 성능 개선 만으로도 기존 건물의 등급용 1차에너지소요량 대비 53.5 kWh/m² · yr 절감이 가능하였고, 건축물 에너지효율등급은 1+에서 1++까지 개선 가능하다. 에너지 자립율은 기존 33.71%에서 43.98%로 10.27% 상향되었으며, 만약 본관에 운영 중인 태양광 발전시스템으로부터 계통연계로 동일 대지 내 위치한 교육관 건물에 최대 14.17kWp 만큼 신재생에너지 생산량을 공급하더라도 본관 건물의 등급용 1차에너지소요량은 114.60 kWh/m² · yr로 기존 대비 21.9% 상향 가능하고, 에너지 자립율은 30.90%를 달성할 수 있다. 따라서 두 가지 케이스 모두 ZEB 5등급을 위한 최소 기준 충족이 가능하다.

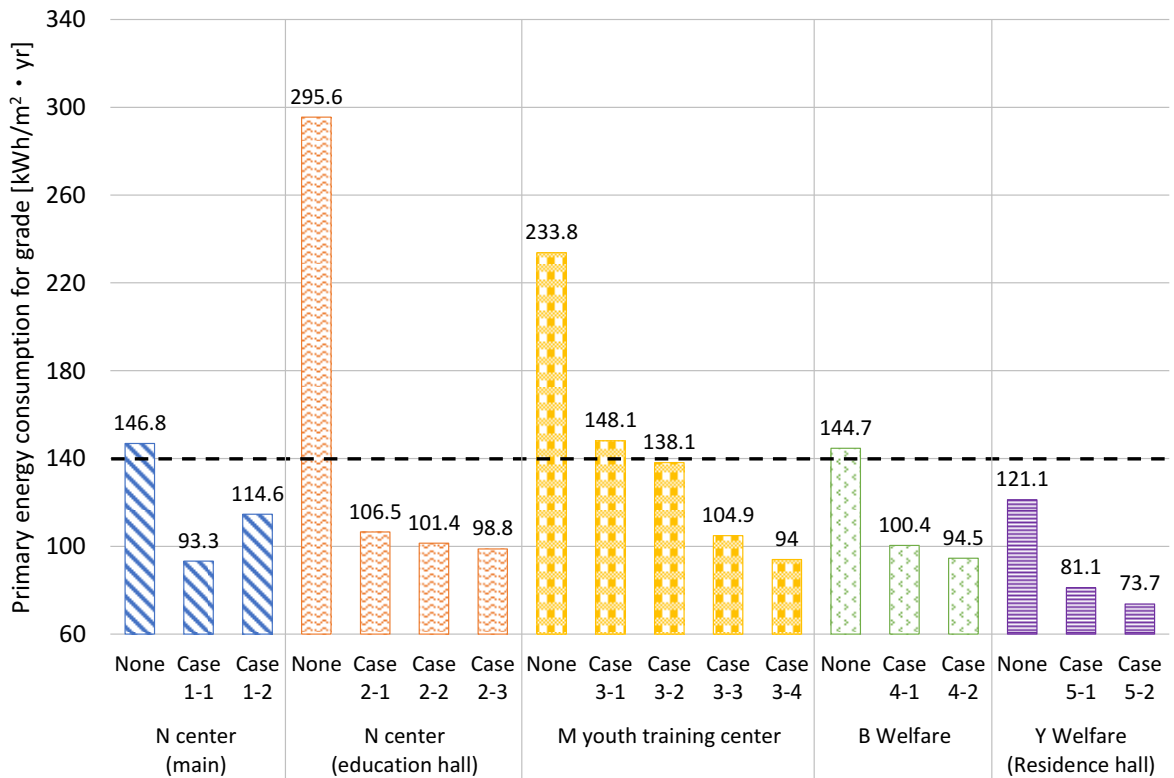


Fig. 2 Calculation results of the primary energy consumption for grade on five existing public buildings according to ZEB Green Remodeling Application Plan

(2) N 센터(교육관)

Table 4의 Case 2-1은 N 센터의 교육관 건물에 대해 패시브 성능 개선방안을 적용한 결과이다. 본관 건물과 마찬가지로 패시브 성능 개선 만으로도 기존 건물 대비 등급용 1차에너지소요량은 189.1 kWh/m² · yr 절감이 가능하였고, 건축물 에너지효율등급은 2등급에서 1++까지 개선 가능하다. 다만 에너지 자립율의 경우 현재 운영 중인 태양광 발전시스템 만으로는 20% 이상을 확보할 수 없어 해당 목표 달성을 위해 필요한 최소 생산량인 6.57kWp 만큼 본관 태양광 발전시스템과 계통 연계한다면 ZEB 5등급 달성이 가능할 것으로 판단된다. Case 2-3은 패시브 성능 개선과 신재생에너지 설치 외에도 냉난방 기기 교체를 통한 효율 개선이 적용된 것으로 기

기 교체로 인한 건물 에너지효율 개선 효과는 그리 크지 않았다.

(3) M 청소년수련관

Table 5는 M 청소년수련관을 대상으로 패시브 성능 개선방안, 조명밀도 개선방안, 신재생에너지 설치방안 및 냉난방 설비 교체방안이 단계적으로 적용된 결과를 나타낸다. 분석 결과, 패시브 성능 개선을 통해 기존 건물 대비 등급용 1차에너지소요량은 85.7 kWh/m² · yr 절감이 가능하였고, 건축물 에너지효율 1등급에서 1+등급 까지 개선 가능하였다. 기존 건물에서 운영 중인 조명밀도 산출값은 6.43 W/m²로, 5.00 W/m² 수준으로 낮춰 운영할 경우 등급용 1차에너지소요량 138.10 kWh/m² · yr, 건물에너지효율 1++등급 달성을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 기존 건물에 패시브 성능 개선과 조명밀도 조정을 적용할 경우 약 40.1%의 건물의 에너지 성능 향상을 기대할 수 있다. 또한 해당 건물은 ZEB 등급 확보를 위해 앞서 논의된 두 가지 개선 방안과 동시에 신재생에너지 시스템 확충이 필요한 상황이며, 태양광 발전시스템을 적용할 경우 최소 발전용량 173.09 kWp 이 확보되어야 에너지 자립율 20% 이상을 달성할 수 있다. Case 3-3은 이와 같은 개선 방안이 모두 적용된 경우이며, ZEB 5등급 달성을 위한 최소 기준을 충족할 수 있으므로 냉난방 시설 교체여부는 필수 적용 항목에서 제외할 수 있다.

Table 5 Results of M youth training center according to the green remodeling plan for ZEB

Classification		Case 3-1	Case 3-2	Case 3-3	Case 3-4
Application plan for improvement		Passive performance	Case 3-1 and adjusting lighting system	Case 3-2 and renewable energy installation	Case 3-3 and replacement heating & cooling system
U-value [W/m ² · K]	Wall	0.15	0.15	0.15	0.15
	Roof	0.15	0.15	0.15	0.15
	Window	1.50	1.50	1.50	1.50
Air leakage		1.5	1.5	1.5	1.5
Lighting system [W/m ²]		6.43	5.00	5.00	5.00
Efficiency of EHP		3.17	3.17	3.17	4.50
Sunlight generation	Capacity [kWp]	-	-	173.09	159.98
	Area [m ²]	-	-	911.00	842.00
Results	CO2 emission [kg/m ² · yr]	47.5	44.9	31.7	33.9
	Primary energy consumption for grade [kWh/m ² · yr]	148.10	138.10	104.90	94.00
	Building energy efficiency rating	1+	1++	1++	1++
	Energy independence rate [%]	-	-	20.03	20.02

(4) B 복지시설

Table 6의 Case 4-1과 Case 4-2는 B 복지시설에 대하여 패시브 성능 개선방안, 신재생에너지 설치방안이 단계적으로 적용된 결과를 나타낸다. 기존 건물은 건축물 에너지효율 1+등급을 충족하는 건물로서, 패시브 성능 개선을 통해 기존 건물 대비 등급용 1차에너지소요량은 $44.3 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$ 절감이 가능하므로 1단계 등급 상향이 가능하다. 다만 패시브 성능 개선을 통해 1차에너지소요량이 절감되더라도 에너지 자립률은 15.01%으로 ZEB 등급을 위한 에너지 자립률 20% 이상 달성을 위해 신재생에너지 시스템 추가 확충이 필요하다. Case 4-1에서 설정된 패시브 성능 수준을 기반으로 최소 29.64 kWp의 태양광 발전시스템의 용량을 확보할 경우 에너지 자립률 20% 달성을 기대할 수 있다.

Table 6 Results of B and Y Welfares according to the green remodeling plan for ZEB

Classification		B Welfare		Y Welfare (residence hall)	
		Case 4-1	Case 4-2	Case 5-1	Case 5-2
Application plan for improvement		Passive performance	Case 4-1 and renewable energy installation	Passive performance	Case 5-1 and renewable energy installation
U-value [W/m ² · K]	Wall	0.15	0.15	0.15	0.15
	Roof	0.15	0.15	0.15	0.15
	Window	1.50	1.50	1.50	1.50
Air leakage		1.5	1.5	1.5	1.5
Lighting system [W/m ²]		4.83	4.83	5.00	5.00
Efficiency of EHP		4.15	4.15	3.47	3.47
Sunlight generation	Capacity [kWp]	22.23	29.64	40.00	58.33
	Area [m ²]	117.02	156.00	210.53	307.00
Results	CO2 emission [kg/m ² · yr]	28.5	26.9	20.0	18.7
	Primary energy consumption for grade [kWh/m ² · yr]	100.40	94.50	81.10	73.70
	Building energy efficiency rating	1++	1++	1++	1+++
	Energy independence rate [%]	15.01	20.00	13.81	20.16

(5) Y 복지시설

Table 6의 Case 5-1과 Case 5-2는 Y 복지시설의 제로에너지 수준의 리모델링 적용 방안에 대한 결과이다. Case 5-1은 패시브 성능 개선에 따른 결과에 해당하며, 기존 건물과 동일한 1++등급이지만 등급용 1차에너지소요량은 $81.10 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$ 로 낮아지는 개선 효과를 확보할 수 있다. 현재 운영 중인 태양광 발전시스템에 의해 에너지 자립률이 10.92%에서 13.81%로 상향되나, 에너지 자립률 20% 이상을 충족하기 위해서는 태양광 발

전시스템 추가 확충이 필요하다. 발전 용량 58.33 kWp를 기준으로 건축물 에너지효율등급 평가를 수행할 경우 1+++등급 확보가 가능해지며, 기존 건물 대비 39.1%의 건물에너지 효율 개선 효과가 있다.

5. 결론

본 연구에서는 각기 다른 용도의 5가지 노후 공공건축물의 현장조사와 이를 토대로 ECO2 에너지효율등급 평가를 진행 및 비교 검토하여 공공 부문 노후 건축물을 대상으로 제로에너지 수준까지 건물 에너지 성능을 향상시키는 그린 리모델링 적용 방안에 대해 논의하였다. 기존 건축물의 ZEB 등급 확보를 위해 현 인증제도에서 규정하는 건축물 에너지효율등급 1++ 이상, 에너지 자립율 20% 이상을 동시에 충족할 수 있도록 ECO2 입력 정보에 기반한 개선 방안을 수립하였고, 개선 방안 단일 적용 및 동시 적용에 따른 ZEB 5등급 달성 가능성을 검토하였다.

- 본 연구 대상인 공공 노후 건축물은 에너지효율 2등급부터 1++등급까지 다양하였으며, 대부분 현행 법규 수준에 못 미치는 패시브 성능 수준으로 건물이 운영되어 부위별 단일 성능 보강이 필수적으로 요구되었음. 이외에도 조명밀도 조정, 신재생에너지 시스템 설치 및 냉난방 설비 교체 방안을 건물 에너지 소비 특성에 기반하여 적용할 경우 모두 ZEB 5등급을 충분히 달성할 수 있을 것으로 판단됨.
- 실효적 온실가스 감축을 위해서는 에너지다소비형 건물이 우선적으로 그린리모델링 사업 대상으로 선정되어야 하며, 이미 에너지효율이 우수한 1++ 등급 건물의 경우 부분성능개선 중심으로, 2등급 이하 건물은 단계적으로 전면성능개선 사업이 추진되어야 함. 다만 본 연구 사례를 통해 분석된 바와 같이 운영 중인 태양광 발전시스템이 등급별 1차에너지소요량에 대해 높은 기여도를 갖는 경우라면 이러한 그린리모델링 추진 방향이 수정될 필요가 있음.
- 현 건축물 에너지효율등급 평가 제도에서는 신축 건축물과 마찬가지로 평가용 필요 도서 및 성능증빙자료를 토대로 수행하게 되는데 기존 건축물의 특성상 평가 자료가 충분하지 않으므로 기존 건축물의 그린리모델링 사업 시 필수 조건으로서 현장조사가 반드시 선행되어야 설계도서와 현장상황과의 괴리, 건물용도와 실사용행태의 차이 등이 반영되어 보다 신뢰도가 높은 평가결과를 얻을 수 있음.
- 본 연구에서는 정부의 선제적 제로에너지건축물 전환 사업을 위한 기초자료로서 활용되고자 최소 수준인 ZEB 5등급을 목표로 설정하였으며, 현행 ZEB 인증제도가 국가 공인프로그램 ECO2를 활용한 건물에너지 성능 평가결과를 활용한다는 점에서 ECO2에 입력 가능한 개선 방안 중심으로 그린리모델링 방안이 수립되었다는 한계가 있음. 본격적인 제로에너지 목표 그린리모델링 사업 모델 확대를 위해서는 비용 인자를 포함하는 개선 방안과 그에 따른 다양한 ZEB 목표 등급 검토 연구가 필요함.

후기

이 논문은 2022년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구입니다(No. 20202020800360).

REFERENCES

1. Beack, S. and Kim, H., A Study on eco-friendly Remodeling Design Method for the old-age Housing - Focused on Eco-friendly Simulation Program, Fall Conference of Architectural Institute of Korea, Vol. 37, No. 2, pp. 48-49, October 2017, Jeju, Republic of Korea.
2. Choi, S., Seo, J., Kim, J., Lee, H., Kim, Y., Park, C., and Lee, H., Proposal for an Improvement Plan of Energy Efficiency Rating Method of Existing Buildings - Focused on single-detached houses, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 12, No. 4, pp. 419-432, 2018, <https://doi.org/10.12972/jkiaebbs.20180036>.
3. Choi, H., Huh, J., Kang, J., Choi, G., and Ahn, H., Performance of the Building Insulation according to Accelerated Laboratory Methods, Journal of the Korean Society of Living Environmental System, Vol. 28, No. 2, pp. 189-198, 2021, <http://dx.doi.org/10.21086/ksles.2021.4.28.2.189>.
4. Jaegal, S. and Choi, J., An Analysis on the Remodeling Effectiveness of Old Public Library Building : Focused on Daegu B Public, Summer Conference of Korean Library and Information Science Society, pp. 238-246, June 2018, Busan, Republic of Korea.
5. Kim, J., Bae, M., Kang, J., and Kwon, H., Improving Design Technique on Energy Efficiency of Existing Small-scale Buildings based on the Green Remodeling Project, J. Korean Soc. Living Environ. Sys., Vol. 28, No. 6, pp. 547-560, 2021, <http://dx.doi.org/10.21086/ksles.2021.12.28.6.547>.
6. Kim, J., Jo, S., Kim, C., Jang, H., and Kim, S., Analysis of Design Parameters Affecting Zero Energy Buildings based on the Building Energy Efficiency Rating Certified Buildings - Focused on Educational Research Facilities -, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 12, No. 4, pp. 387-399, 2018, <https://doi.org/10.12972/jkiaebbs.20180033>.
7. Kim, S., Seo, W. and Kim, J., Automated and Quantitative Data Extraction of Walls and Slabs from Before-and After-Remodeling Floor Plans, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 37, No. 3, pp. 41-50, 2021, <https://doi.org/10.5659/JAIK.2021.37.3.41>.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Code for the Building Energy Saving Designs, No. 2017-881, 2018.
9. Shin, K., Optimized Technology and Application Process for Green Remodeling in Public Buildings, Review of Architecture and Building Science, Vol. 65, No. 6, pp. 35-38, 2021.
10. Son, J., Aum, T., and Hong, J., Improving Field Measurements of the Energy Performance for Green Remodeling of the Public Buildings, Spring Conference of Architectural Institute of Korea, Vol. 41, No. 1, pp. 341-342, April 2021, Jeju, Republic of Korea.