

베트남 기후 및 경제적 여건을 고려한 건물에너지 패키지 적용에 따른 건물에너지 절감효과 분석

윤태균¹ · 신재윤² · 강석표^{3*}

¹우석대학교 조경건설공학과, 박사과정

²한국건설생활환경시험연구원, 연구원

³우석대학교 조경건설공학과, 부교수

Analysis of Building Energy Reduction by Building Energy Package Regarding Vietnam Environmental Condition and Economic

Yun Tae Gyun¹ · Shin Jae Yoon² · Kang Seok-pyo^{3*}

¹Ph.D. Candidate, Landscape Construction Engineering, Woosuk University

²Researcher, Center of Energy and Materials, Korea Conformity Laboratories

³Associate Professor, Landscape Construction Engineering, Woosuk University

*Corresponding author: ksp0404@woosuk.ac.kr

Abstract

Due to the construction industry, the increase in energy demands from the population, and economic growth in Vietnam, the need for energy efficient buildings has increased. An analysis of Vietnam's regulations and standards related to building energy shows that Vietnam's current technology level is similar to Korea in the 1980s, so it needs to upgrade its technology. Using Korea's advanced energy efficient building technology, it will be possible to satisfy Vietnam's need for energy efficient buildings. In a prior study, the baseline data were calculated using a building energy simulation program with Vietnam's weather data and input values provided by the most recent Vietnam building energy standards (QCVN 09:2017:BXD). Then, the optimized input combination of building energy packages was derived to achieve energy savings of 60% by integrating the building energy simulation program (Energyplus) with a programming language (Python). Vietnam's climate characteristics vary by region, so simulations were run with three sets of weather data (Northern: Hanoi, Central: Da Nang, Southern: Ho Chi Minh). As a result, the optimized input combination could reduce building energy usage by about 55% compared to the baseline model. In this study, building energy savings were analyzed using simulated data by modeling a real example building in Vietnam before the building energy package was installed.

Keywords: 건물에너지 패키지(Building energy package), 베트남(Vietnam), 건물에너지 효율(Building energy efficiency), 시뮬레이션 실증(Simulation Demonstration)

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.42, No.5, pp.63-71, October 2022
<https://doi.org/10.7836/kjes.2022.42.5.063>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 19 September 2022

Accepted: 18 October 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

지속적인 건물에너지 효율화에 관한 관심과 연구가 세계적으로 진행되고 있는 가운데 대한민국 또한 에너지 효율화 향상 기술에 집중한 결과 세계 최고 수준 대비 약 80%로 성숙단계에 이르렀다. 건물 분야에서 에너지 효율화를 4단계로 구분한다면, 첫 번째로 ‘효율 향상’을 위해 건물 외피나 고효율 설비에 초점이 맞춰지고 두 번째는 ‘수요관리’ 기술로서 패시브건축물 설계 또는 건물에너지 제어 및 관리에 집중된다. 효율 향상과 수요관리 기술에 대한 산업계 기반과 제도가 정착되면 다음으로 ‘신재생에너지’라는 키워드에 대한 집중도가 높아진다. 태양광, 태양열, 에너지저장장치(ESS) 등 제로에너지건축물 구현을 위한 기술과 정책이 확산되고, 마지막으로 ‘제로에너지’ 또는 ‘플러스에너지’ 기술을 대상으로 융복합, 디지털 건축 등의 키워드를 중심으로 그린뉴딜 실현을 위한 노력이 수반된다고 볼 수 있다. 국가의 에너지 효율화에 대한 정책 개발과 관심도는 국가 경제 성장률과 밀접한 연관성을 갖는데 선진국의 경제 성장률 또는 소득에 대한 지표를 기반으로 해당 시점에서 추진된 효율화 정책을 분석한다면 보다 효율적으로 산업계와 정책 기반을 마련할 수 있을 것으로 판단된다.

베트남은 현재 신흥국가 중 최고 건설시장 성장률을 나타내는 국가로 2019년부터 2023년까지 연평균 약 7%의 성장이 예측되는 국가이다. 베트남은 에너지 공급의 안정성 확보를 위해 국가에너지개발계획 내 건물에너지효율화 정책을 우선순위로 선정하여 건물에너지효율화 규정 및 지원제도에 대한 대대적인 개편작업이 진행되고 있다¹⁾. 2020년을 기점으로 베트남 경제 수준과 대한민국의 경제 수준을 비교할 때, 베트남은 1980년대 대한민국의 소득수준에 이르기 때문에 에너지 효율화 4단계 중 1단계인 ‘효율 향상’과 2단계인 ‘수요관리’에 대한 집중적인 연구개발이 필요한 시점으로 판단된다.

본 연구에서는 베트남 기후에 최적화된 건물 패키지 요소 기술 개발을 목표로 한다. 이를 위해 본고에서는 건물에너지 냉·난방 부하 요구량을 최소화 할 수 있는 패시브시스템(단열, 창호/필름, 도료)과 액티브시스템(보일러, 냉방기)의 요소 기술 수준에 따른 에너지 절감 성능 최적 패키지 조합을 도출하고자 한다. 이를 위해 EnergyPlus 와 Python 연동 해석방법을 이용하여 요소기술의 성능 수준을 입력 조건으로 변화시켜 연속 부하량을 산출한다.

2. 제도 및 기술 수준 현황

2.1 베트남 건물에너지 효율화 제도

(1) QCVN 09:2017:BXD

베트남 내 건물에너지 효율화 제도는 의무제도와 자율제도로 구분되는데, 가장 대표적인 QCVN 09:2017:BXD는 베트남의 기술규정(National Technical Regulation on Energy Efficiency Buildings)으로 우리나라 건축물의 에너지절약설계기준과 유사한 제도이다²⁾. QCVN은 업무용, 호텔, 병원, 학교, 상업용, 주거용 건축물 중 2,500 m² 이상인 건물에 대하여 외피, 환기 및 공조, 조명 그리고 전기모터 및 급탕기기 등 전기 장비에 대한 의무

규정을 제시하고 있다. QCVN은 2013년 이후 마지막 개정이 2017년에 이루어졌기 때문에 매우 낮은 열성능을 제시하고 있는데, 건물 외피 중 지붕의 경우 열관류율 $1.0 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$, 외벽의 경우 열관류율 $1.79 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ 이하로 규정하고 있다. 베트남의 경우 대다수 건축물에 단열성능을 고려하지 않고 단판 유리를 흔히 사용하며 QCVN은 창면적에 따른 방위별 태양열취득율(SHGC, Solar Heat Gain Coefficient)에 대한 수치를 규정하고 있다³⁾.

(2) VNEEP

VNEEP (Vietnam National Energy Efficiency Program)는 에너지 소비기기 효율화 인증제로서 베트남 시장에 유통되는 에너지 소비기기 중 산업무역부가 결정 및 고시하는 기준을 충족하는 제품에 인증라벨과 등급라벨을 부착하는 제도이다. 에너지 인증라벨 부착 의무대상은 가정용 기기, 사무용 및 상업용 기기, 산업용 기기 그리고 차량으로 구분된다. VNEEP는 2003년 에너지효율 라벨의 개념 등장 이후 베트남 정부의 고효율에너지 제품 소비 확산 정책의 하나로 2013년부터 의무화되어 시행되고 있다.

(3) LOTUS

LOTUS는 2007년 설립된 베트남 그린빌딩위원회(VGBC, Vietnam Green Building Council) 주관으로 LEED, BREEAM 등 친환경 인증 프로그램을 벤치마킹하여 개발된 건물에너지 총량 기반 인증 프로그램이다. 총 10개의 카테고리(Energy, Water, Materials, Ecology, Waste&Pollution, Health&Comfort, Mitigation, Community, Management, Innovation)로 구성되어 있으며 획득한 점수에 따라 5개의 인증등급(Platinum, Gold, Silver, Certified, Uncertified)이 부여된다. LOTUS는 의무규정이 아님에 따라 현재까지 약 20여 건의 프로젝트가 LOTUS 인증을 획득한 것으로 파악된다.

2.2 베트남 건물에너지 효율화 기술 수준

국가의 효율화 정책은 산업계의 기술 수준이 반영되기 때문에 베트남의 건물에너지 부문 기술 수준은 대표적인 규정인 QCVN 09:2017:BXD에서 제시하고 있는 건축물의 부위 및 품목별 성능 기준으로 볼 수 있다⁴⁾. 먼저, 건물 외피의 단열성능은 우리나라와 같이 지역 또는 재료별로 구분되지 않고 외벽의 경우 $1.79 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ 이하, 지붕의 경우 $1.00 \text{ W/m}^2\cdot\text{k}$ 이하로만 규정되어 있다. 유리의 SHGC의 경우 창면적비(WWR)에 따라 상이하지만 남향을 기준으로 WWR 20%인 경우 0.9, WWR 100%인 경우 0.22로 규정되어 있다⁵⁾.

또한, 건축물의 용도에 따른 조명밀도를 제시하고 있는데 상업용 건물의 경우 16 W/m^2 , 실내 주차장의 경우 3 W/m^2 로 규정하고 있다. 냉방기기의 종류와 용량에 따른 COP는 2.22 ~ 3.95 수준이고 모터 효율의 경우 최소 77%에서 96%로 규정하고 있다. 베트남의 경제, 정책, 제도 그리고 기술 수준을 국내와 비교할 경우, 제도적으로 베트남 지역별 단열기준 수립 및 강화가 필요하고 기술적으로 냉방부하 대응을 위한 패시브 기술 중심의 고효율 기술개발 및 적용이 필요할 것으로 판단된다.

3. 건물에너지 패키지 제안 및 사전 분석

3.1 베트남 건물에너지 패키지 품목 선정

베트남은 냉방부하 중심의 국가로 맞춤형 건물에너지 효율화 품목 및 기술 수준 선정이 필요하므로 본 연구에서는 단열성능 향상을 위한 단열재, 태양열 부하를 저감 할 수 있는 윈도우 필름, 일사에 의한 축열 저감을 위한 차열도료, 고온다습 환경에서의 대응을 위한 히든레일 알루미늄 창호, 조명, 보일러 등 아래 Table 1과 같이 베트남의 기후 및 경제적 여건을 고려한 건물에너지 패키지를 구성하였다.

Table 1 Building energy package regarding Vietnam climate condition and economic

Item	Purpose
Window & Film	Enhance thermal and optical performance to reduce cooling load
Insulation	Improve thermal performance of building envelope
Paint	Reflex solar radiation by low-emissivity material
Air Conditioner	Apply energy efficient model (higher COP) to improve indoor thermal condition
Lighting	Using LED to reduce lighting energy consumption
Boiler	Replace the water heating systems that has higher efficiency

3.2 베트남 건물에너지 패키지 성능 검토

선정된 건물에너지 패키지가 베트남 현지 기후조건에 적용될 때 기대할 수 있는 에너지 절감 효과를 분석하기 위해 건물에너지 시뮬레이션 프로그램(EnergyPlus)을 활용하여 미국 DOE 표준 상업용 건물을 대상으로 시뮬레이션 분석하였다. Table 2에 DOE 표준 상업용 건물의 입력 조건을 나타낸다.

비교 분석은 QCVN에서 제시하고 있는 수치가 적용된 ‘베이스라인’ 모델과 건물에너지 패키지 모델의 성능 수준이 적용된 ‘패키지 모델’을 구성하였다. ‘베이스라인’의 모델의 입력값은 QCVN에서 제시하고 있는 에너지 성능 조건을 기반으로 구성하였으며, QCVN에서 제시하지 않는 항목의 경우 ASHRAE 90.1^①을 기준으로 적용하였다. 또한, 베트남 실증 건축물에 적용되는 하노이(북부) 표준기상데이터를 활용하였다.

‘패키지 모델’에 적용되는 건물에너지 패키지 품목별 에너지성능의 경우 최적의 성능 수치를 도출하기 위해 EnergyPlus와 Python을 연동하여 최소 냉·난방 부하에너지를 만족하는 조합을 분석하였다. 요소 기술의 입력 조건은 창호의 SHGC, 단열재의 열저항, 지붕의 일사흡수율, 보일러 효율 그리고 냉동기의 COP 총 5가지로 아래의 Table 3과 같이 품목별 조정 범위와 간격을 지정하였다. Baseline의 경우 QCVN 09:2017:BXD 참고하여 제시값을 사용하였다.

Python에 의해 5가지 품목에 최적화를 위한 알고리즘으로 다양한 입력값을 산출하여 에너지성능 조합이 도출되면, EnergyPlus에 조합된 수치를 적용하여 냉·난방에너지를 산출하게 되는데, 이와 같은 과정을 500회 반복 시행하도록 코딩하여 최적의 에너지성능 조합을 도출하도록 코딩하였다.

Table 2 DOE standard building and simulation input for base model

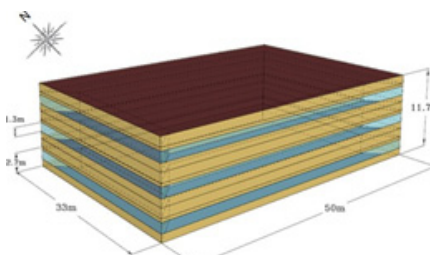
Standard Building		Simulation Input	
		Scale / Area [m ²]	3F / 4,982
		Weather Data	Hanoi (TMY)
		WWR	0.33
		HVAC	VAV+ATU
		Temperature Setpoint [°C]	22 / 24
	Internal Load	People [m ² /per]	18.58
		Light [W/m ²]	11
		Equipment [W/m ²]	11
	Energy Performance	Window U-value [W/m ² ·K]	6.81
		SHGC	N:0.64 / S:0.70 / E&W:0.58
Wall [W/m ² ·K]		1.76	
Roof [W/m ² ·K]		1.0	
[DOE Standard Medium Office Building]	Reflectivity of Roof [%]	30	

Table 3 Extraction range and step for optimal energy performance combination

Item	Adjustment Item	Range		Step
		min	max	
Window (Film)	SHGC	0.1	0.9	0.1
Insulation	Thermal Resistance of Wall	2	0.2	0.05
Paint	Solar Absorptance of Roof	0.1	0.9	0.05
Boiler	Efficiency	0.78	0.99	0.55
HVAC	COP	2.8	4.5	0.1

Table 4 Comparison of simulation result of 'Base Model' and 'Package Model'

Category	Base Model	Package Model
SHGC	N:0.64 / S:070 / E&W:0.58	0.1
Thermal Resistance of Wall [m ² ·K/W]	0.55	0.8
Input Value	Solar Absorptance of Roof [%]	10
	Efficiency of Boiler [%]	91
	COP	4.5
Total Energy Consumption [kWh/m ²]	87.515	39.481

베트남의 기후특성에 맞는 최적 에너지성능 조합과 그에 따른 냉·난방에너지 소비량 검토 결과를 Table 4에 나타낸다. ‘패키지 모델’의 경우 단위면적 당 건물에너지 소비량이 39.48 kWh/m²으로 ‘베이스 모델’에 비해 약 55% 에너지 절감이 가능한 것으로 나타났다. 그러나 해당 결과는 에너지성능에만 초점이 맞추어진 결과로서 SHGC의 경우 0.1인 유리를 사용한다면 가시성이 확보되지 않기 때문에 적용에 제한적이며, 창호의 단열성능

은 고려하지 않았으므로 벽체 및 창호 단열성능이 향상된다면 보다 높은 에너지 절감효과를 유도할 수 있으므로 전반적인 수치 조정이 필요하다고 판단되었다. 앞서 언급된 바와 같이 ‘패키지 모델’의 에너지성능 조합은 에너지성능에 초점이 맞추어진 결과이기 때문에 산업계의 기술 수준에 대한 고려가 필요하고, 추가적인 에너지 절감이 가능한 요소를 포함하여 건물에너지 패키지에 대한 효과를 재검증할 필요성이 있다고 판단되었다. 이에 현실적인 ‘현장 적용성 중심 모델’ 조건을 제시하였다. ‘현장 적용성 중심 모델’의 품목별 에너지성능은 Table 5 와 같다. ‘현장 적용성 중심 모델’은 ‘패키지 모델’과 비교할 때 베트남의 경제성을 고려하여 창호의 단열성능을 약 60%, 벽체의 단열성능 20% 향상된 수치를 적용하였으며, SHGC의 경우 최대한 냉방부하를 절감시키고 산업계의 기술 수준을 반영할 수 있는 0.2로 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그 외 변경된 사항은 없도록 하여 시뮬레이션을 진행하였다. Fig. 1에 시뮬레이션 조건별 냉방에너지 요구 부하와 난방에너지요구 부하 비를 나타낸다. ‘현장 적용성 중심 모델’은 ‘베이스 모델’과 비교할 경우 약 60% 이상, ‘패키지 모델’보다 약 13% 정도 에너지 절감 효과를 얻을 수 있는 것으로 분석되었다.

Table 5 Energy performance values of ‘Calibration Model’

Category	Package Model	Calibration Model
SHGC	0.1	0.2
U-value of Window [W/m ² ·k]	6.81	2.8
Thermal Resistance of Wall [m ² ·K/W]	0.8	1.0
Solar Absorptance of Roof [%]	10	10
Efficiency of Boiler [%]	91	91
COP	4.5	4.5
Total Energy Consumption [kWh/m ²]	39.481	34.498

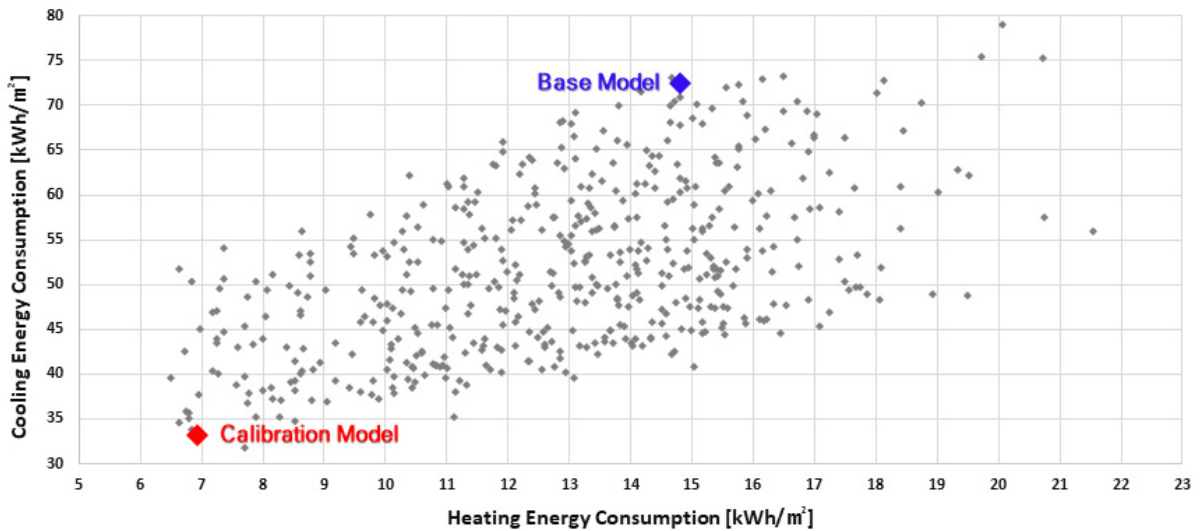


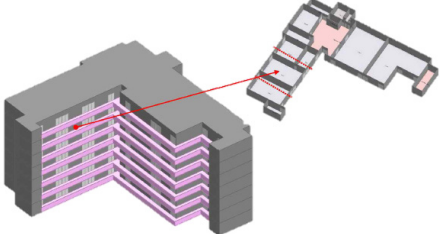
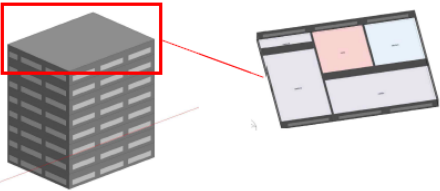
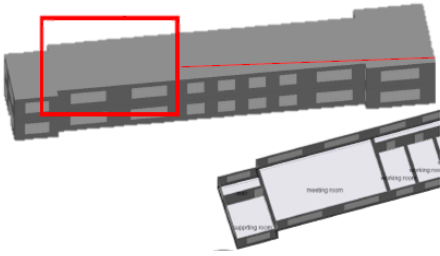
Fig. 1 Building energy consumption of 500 combination models

4. 실증 건축물 대상 에너지 절감량 분석

본 연구의 최종 목적은 베트남 현지 실증 건축물에 제안된 건물에너지 패키지를 적용하여 에너지 절감효과를 분석하는 것으로, 실증 시공이 진행되기 전 실증 건축물에 대한 에너지 절감효과를 분석하였다. 각 건물의 해석 조건은 베트남 현지의 공동연구 3개 기관에서 제공받은 기본데이터값을 적용하였다. Table 6과 같이 실증 건축물 모델링을 통해 시뮬레이션 결과를 도출하였다. 실증대상 건축물은 베트남 정부 출연 연구소들과 대학교로 건물 전체에 대한 개보수가 제한적이기 때문에 사이트별 1개 실 규모로 선정되었다. 실증 사이트 A, B, C의 연면적은 각각 93.6 m², 359.0 m², 122.4 m²로 강의실, 연구실 그리고 회의실로 구성되어 있다.

실증대상 건축물들은 평균 30년 이상 된 노후 건축물들로 준공 당시의 자료로는 건축물의 부위별 열 성능 또는 기계설비의 에너지성능을 파악할 수 없었으며 현재의 에너지성능을 추정하는데 제한적이었다.

Table 6 Input condition for each simulation model

Site	Category	Before Application	After Application	
 <p>[Site A]</p>	Wall [W/m ² ·K]	1.264	0.500	
	Roof [W/m ² ·K]	3.515	0.440	
	Floor [W/m ² ·K]	3.515	4.049	
	Window [W/m ² ·K]	5.300	2.800	
	Setpoint [°C]	22 / 24	22 / 24	
	Light Density [W/m ²]	5.0	5.0	
	COP	2.0	2.0	
	Energy Consumption [kWh/m ² ·yr]	258.61	148.06	
	 <p>[Site B]</p>	Wall [W/m ² ·K]	1.264	0.500
		Roof [W/m ² ·K]	3.515	0.440
Floor [W/m ² ·K]		3.515	0.440	
Window [W/m ² ·K]		5.300	2.800	
Setpoint [°C]		22 / 24	22 / 24	
Light Density [W/m ²]		5.0	5.0	
COP		2.0	2.0	
Energy Consumption [kWh/m ² ·yr]		254.58	126.51	
 <p>[Site C]</p>		Wall [W/m ² ·K]	0.904	0.500
		Roof [W/m ² ·K]	4.489	0.440
	Floor [W/m ² ·K]	4.489	4.489	
	Window [W/m ² ·K]	5.300	2.800	
	Setpoint [°C]	22 / 24	22 / 24	
	Light Density [W/m ²]	5.0	5.0	
	COP	2.0	2.0	
	Energy Consumption [kWh/m ² ·yr]	251.90	92.00	

따라서 건물 외피의 에너지성능의 경우 베트남 현지 기관에서 추정하는 수치를 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 그 결과, 기존 대비 A, B, C 사이트별 에너지 절감 효과는 각각 42.7%, 50.3%, 63.5%로 나타났다. 본 시뮬레이션 결과는 정확한 입력값 확보에 제한적이었으며 냉방기기의 경우 초기에 제안된 COP 4.5 이상의 제품 수급 가능 여부에 관한 결정이 이루어지지 않았기 때문에 초기 시뮬레이션 결과와 비교할 때 에너지 절감량이 낮게 나타나는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구는 베트남 정부의 건물에너지 효율화에 대한 관심도가 증가하고 건설시장의 지속적인 성장이 예측됨에 따라 관련 제도 개정을 지원하고 국내에서 제안하는 건물에너지 패키지가 적용될 경우 기대할 수 있는 건물에너지 절감량 분석을 실시하였다.

건물에너지 시뮬레이션(EnergyPlus)와 Python 프로그램 연동 시뮬레이션을 통해 건물에너지 패키지의 최적 에너지성능 수치를 산정하였고, 베이스라인 모델을 이용하여 베트남 기후에서의 냉난방 에너지 요구량을 산출하였으며, 패키지 요소기술(창호필름, 단열효율, 지붕도료, 보일러효율, 냉방기 성능효율) 성능 수준에 따라 최적 냉난방 에너지요구량 기술 수준을 도출하였다. 베이스라인 대비 에너지 요구량은 약 60%로 절감효과가 나타났다.

또한, 패키지 요소기술에 대한 영향도는 저비용 외피단열 기술로 설치가 용이하고 인건비 절감을 할 수 있는 ‘창유리 필름’과 높은 열반사 성능으로 건축물의 표면온도를 저감시켜 냉방부하 절감을 위한 ‘열반사도료’가 우선순위로 냉방부하 절감에 핵심 품목으로 분석되었다.

제안된 건물패키지 기술수준을 베트남 현지 3개 실증 건축물 적용 시 에너지 절감량을 분석하였으며, 기존 에너지 요구량 대비 패키지기술 적용시의 에너지 요구량 분석 결과 평균 약 52%의 에너지 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다.

실증 사이트는 평균 30년 이상의 노후 건축물로 수집할 수 있는 정보가 한정적이기 때문에 다양한 변수가 존재하지만, 실증을 통한 데이터를 비교할 경우보다 높은 에너지 절감량을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 향후, 패키지 모델 성능 수준 기술을 베트남 현지 실증건물에 도입하여 실증 전·후 에너지사용량, 실내환경 변화 등의 데이터 비교 분석을 통해 에너지 절감 효과를 검증하고자 한다.

후기

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20208510010080).

REFERENCES

1. Le, V. T., Low Energy Housing for the Hot Humid Climate of Vietnam: The Value of a Passive House Approach, Doctoral thesis, University of Huddersfield, <http://eprints.hud.ac.uk/id/eprint/35600>.
2. Choi, M. H., Shin, S. Y., Shin, J. Y., and Sung, U. J., A Study on Cooling Load Reduction of Building Insulation Package Considering Climate Condition in Vietnam, *Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol. 14, No. 1, pp. 1-9.
3. Cho, K. J. and Cho, D. W., Effect Analysis on Building Energy Consumption of Solar Control Windows reflecting the Climate Characteristics of Vietnam - Focusing on Climate and Standard Application in Northern, *Korean Institute of Ecological Architecture and Environment*, Vol. 17, No. 6, pp. 81-88, <http://dx.doi.org/10.12813/kieae.2017.17.6.081>.
4. Mohd Pauzi, N., Kah Yeow, P., Hang Go, Z., and Hadibarata, T., Overview on the Implementation of Green Building Design in Malaysia, Singapore, Vietnam and Thailand, *International Journal of Advanced Research in Technology and Innovation*, Vol. 3, No. 3, pp. 35-48, <https://myjms.mohe.gov.my/index.php/ijarti/article/view/15046>.
5. QCVN 09:2017/BXD, National Technical Regulation on Energy Efficiency Buildings, 2017.
6. ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1, American Society of Heating, Refrigerating And A-C Engineers Fdn, 2019.