



건축물 에너지 소비 총량 기반 평가 기준 개선을 위한 국내외 운영제도 평가 - 한국과 미국의 건축물 에너지 성능평가 기준을 중심으로 -

Investigating Domestic and International Total Building Energy Performance Evaluation Systems to Improve Code Compliance in Korea

- With a Focus on Korean and U.S. Codes and Standards -

윤경환* · 이재준** · 김효진*** · 이규남**** · 김철*****

Kyunghwan Yoon* · Jaejoon Lee** · Hyojin Kim*** · Kyu-Nam Rhee**** · Chul Kim*****

* Main author, Graduate Student, Division of Architectural and Fire Protection Engineering, Pukyong National Univ., South Korea (ykh032659@pukyong.ac.kr)

** Coauthor, Undergraduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Pukyong National Univ., South Korea (leej2@pukyong.ac.kr)

*** Coauthor, Professor, School of Architecture, New Jersey Institute of Technology, United States (hyojin.kim@njit.edu)

**** Coauthor, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Pukyong National Univ., South Korea (knrhee@pknu.ac.kr)

***** Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Engineering, Pukyong National Univ., South Korea (chulkim@pknu.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: In Korea, the total building energy consumption evaluation systems regulate total primary energy use in buildings based on energy use intensity. However, simulation errors and result gaps among energy modelers have been observed due to insufficient energy modeling guidelines and a lack of validation methods for simulation tools. Therefore, this study reviewed and investigated domestic and international total building energy consumption evaluation systems, including ASHRAE Standard 90.1 and the International Energy Conservation Code (IECC). **Method:** This study examined the characteristics of the code and certification systems in Korea and the U.S., focusing on system structures, operational procedures, and commonly employed evaluation tools, such as ECO2, EnergyPlus, and eQUEST. The codes and certifications were analyzed in terms of targets, scope, code-compliance procedures, modeling requirements, and minimum simulation tool functions and validation protocols. **Result:** The U.S. codes and standards provide clear code-compliance procedures and modeling requirements, and all code-compliant tools shall meet the minimum functional criteria and be validated against ASHRAE Standard 140. To improve code-compliant simulations in Korea, it is recommended to: (1) establish validation and testing systems for code-compliant simulation software, (2) develop reference models for comparative evaluations, including features that accommodate diverse weather data sources and usage profiles. The findings of this study will contribute to enhancing the reliability of code-compliant simulations and improving the accuracy of building energy modeling.

KEYWORD

건축물 에너지절약설계기준
건축물 에너지소비총량제
에너지 시뮬레이션 프로그램

Building Energy Conservation Design Standards
Total Building Energy Performance Evaluation System
Energy Simulation Program
ASHRAE Standard 90.1
IECC

ACCEPTANCE INFO

Received Dec. 12, 2025

Final revision received Dec. 30, 2025

Accepted Jan. 5, 2026

© 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 기후변화가 점차 심화되면서, 에너지소비를 줄이고 온실가스 배출량을 감축하는 노력이 가속화되고 있다. 세계적으로 산업 및 수송 분야의 에너지소비는 큰 비중을 차지하지만, 건물 부문 역시 상당한 양의 에너지를 사용하고 있어 건물 부문의 온실가스 감축은 기후변화 대응의 핵심 전략으로 주목받아 왔다. 현재 국내 건물의 에너지 성능은 정책적 수단으로서 「건축물의 에너지절약설계 기준」에 의해 규제되고 있으며, 기준 준수(code-compliance)는 EPI (Energy Performance Index) 기반의 규범적 경로(Prescriptive path)와 시뮬레이션에 기반한 단위 면적당 1차 에너지 소요량을 평가하는 성능적 경로(Performance path)인 「건축물 에너지소비총량제」, 그

리고 예외 조항으로서 「제로에너지 건축물 인증제도」로 구분된다 [1]. 현재 건축물 에너지 소비 총량제를 위한 지정된 전용 프로그램은 없으며, 일반적으로 제로에너지 인증 과정에서 기준 준수 프로그램으로 사용되는 ECO2 또는 ECO2-OD가 사용되고 있다. 하지만 총량평가 과정에서 모델러를 위한 명확한 모델링 가이드라인 및 엔지니어링 메뉴얼이 부재하며, 기준준수 프로그램의 경우 ISO 52016 혹은 동등 국제 기준을 적용하면 모두 허용하고 있으나 프로그램의 검증 체계가 구축되어 있지 않다. 따라서 실무 환경에서 수행되는 총량평가 과정에서는 모델러의 시뮬레이션 프로그램 선택, 입력값 구성 방법, 모델링 방식 등에 따라 결과 편차가 발생할 수 있다[2]. 따라서 장기적 측면에서 국내 총량 기반 평가 방식의 신뢰성을 개선하고 제도적 완성을 높이기 위해 개선 방향에 대한 논의가 필요한 실정이다. 우리보다 앞서 총량 기반 평가 방식을 도입한 미국의 American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) Standard 90.1과 International Energy Conservation Code (IECC)는 건물 모델링을 위한 절차 및 요구사항을 명확히 규

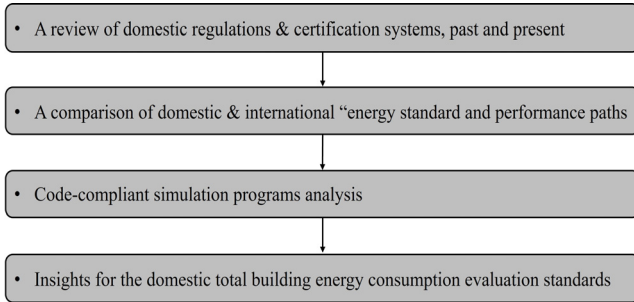


Fig. 1. Research procedure for total building energy consumption evaluation systems

정하고 있으며, 에너지 성능평가용 시뮬레이션 프로그램에 대해 최소 기능 요건을 정의하고 성능 검증 체계 준수를 요구하며, 이를 기반으로 기존 건물 대비 제안 건물의 상대 비교를 통한 건물 에너지 절감을 평가하도록 요구하고 있다[3].

따라서, 본 연구는 국내 총량 기반 건물 에너지 성능평가 체계 개선을 위해 국내외 에너지소비 총량기준 및 인증제도를 분석하고 미국 등 해외 사례로부터 시사점을 도출하여 국내 총량 기반 에너지 평가 제도 개선 방향을 제시하는 것을 목적으로 한다. 본 연구의 결과는 국내 제도 개선을 위한 기초자료를 제공함으로써 국내 총량 기반 평가제도의 절차적 과정을 개선하고 민간 주도의 기준준수 프로그램 개발 및 신뢰성 제고에 기여할 것으로 예상된다.

1.2. 연구 범위 및 방법

본 연구는 국내 총량 기반 건물 에너지 성능평가 체계 개선을 위해 우선 국내 법령과 제도(「건축물의 에너지절약설계기준」, 「제로에너지 건축물 인증제도」, 「건축물 에너지소비총량제」 등)를 검토하고, 비주거 건물을 중심으로 국내 건축물 에너지 성능평가 체계의 구성 및 특징을 정리하였다. 이를 위해 「건축물의 에너지절약설계기준」의 규범적 경로(Prescriptive path)와 성능적 경로(Performance path)의 차이를 비교하였다. 아울러 실무에서 기준준수 프로그램으로 주로 사용되는 시뮬레이션 프로그램(ECO2, ECO2-OD, EnergyPlus, eQUEST 등)의 특성을 분석하고 미국 ASHRAE Standard 90.1, IECC (International Energy Conservation Code) 등의 성능적 경로와 기준준수 프로그램의 요건 및 테스트 방식을 비교하여 국내 총량 기반 평가제도의 개선을 위한 시사점을 도출하였다. Fig. 1.은 본 연구의 수행 과정을 나타낸다.

2. 국내 건축물 에너지소비 총량제도 및 성능평가 체계

2.1. 국내 건축물 에너지절약설계기준 개요

국내 건축물 에너지 절약 기준의 시초는 1979년 건축법 시행규칙을 통해 도입된 단열기준으로, 1970년대 석유 파동으로 인한 국가 에너지 안보와 경제적 부담에 대응하기 위해 마련되었다. 초기 에너지 절약 설계기준은 규범적 경로(Prescriptive path) 형태로, 주로 외피 부위별(벽, 지붕, 바닥 등) 열관류율 기준을 설정하고, 창호 성능

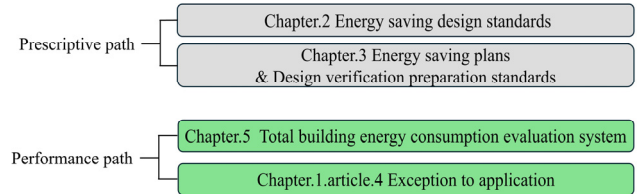


Fig. 2. Building energy conservation design standards

도 제한적 수준에서 관리하였다[4]. 현재의 건축물 에너지 성능 기준은 2001년에 기존의 건물 용도별로 관리되던 「건축물의 에너지절약설계기준」을 통합하면서, 모든 용도의 건축물 외피부터 기계·전기설비, 신재생에너지 활용까지 포함된 종합적 에너지 절약설계 방안으로 제도화되었다. 이후 저탄소 녹색성장 기조가 강화된 2010년대에 들어서 단열 및 기밀 성능이 크게 상향 조정되었으며[5], 최근 개정에는 건축물 에너지효율등급 인증제도와 제로에너지건축물(ZEB) 인증제도의 통합에 따른 변화가 있었다. 이러한 변천 과정을 통해 국내 「건축물의 에너지절약설계기준」은 정부 차원의 탄소 중립 목표 달성을 지원하는 핵심 정책 수단으로 활용되고 있다.

2.2. 국내 건축물 에너지 성능평가 체계

국내 건축물 에너지 성능평가 체계는 「건축물의 에너지절약설계기준」에 근간을 두고 있다. 현재 제도에서 허용되는 국내 비주거 건물의 에너지 성능평가 체계는 Fig. 2.와 같이 크게 1) 규범적 경로와 2) 성능적 경로 두 가지 축으로 운영된다[1].

「건축물의 에너지절약설계기준」의 규범적 경로는 EPI (Energy Performance Index)(별지1)에 기반한 평가 체계로 부위별 최소 성능(예: 외벽 열관류율, 창호 열관류율, 보일러 열효율 등)을 규정하고 EPI 최소 기준 이상을 획득해야 한다(민간: 65점, 공공: 74점)[1]. EPI 방식은 설계 단계에서 비교적 적용이 간단하지만, 건물의 종합적인 에너지 소요량을 정량화하기에는 한계가 있다. 반면 성능적 경로는 2가지로 1) 건축물 에너지소비총량제(「건축물의 에너지절약설계기준」 제 5장)와 2) 제로에너지건축물 인증제도(예외사항; 제1장 제4조)를 포함한다. 성능적 경로는 시뮬레이션에 기반한 평가법으로 건물의 에너지소비 총량을 규제하며 연간 단위 면적당 1차 에너지 소요량을 기준으로 판단한다. 따라서, 설계자가 일부 규범적 요구사항을 충족하지 않아도 다른 요구사항을 초과 달성하여 에너지 소비 총량에 미치는 영향을 상쇄할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 검증함으로써 유연하게 기준 준수를 확보할 수 있다. 그러나 성능적 경로는 시뮬레이션의 기후조건, 에너지 모델링 방법, 공조시스템 구성 및 설비효율, 평가 프로그램에 따라 결과에 상당한 차이가 발생할 수 있다. Table 1.은 국내 건축물 에너지 성능평가 체계 중 성능적 경로인 건축물 에너지 소비총량제와 제로에너지건축물 인증제도의 특징을 비교한 것이다.

2.3. 국내 건축물 에너지소비총량제

건축물 에너지소비총량제는 「건축물의 에너지절약설계기준」 제 5장[6]에 규정된 성능평가 방식으로 일정 규모(연면적 3,000m² 이상) 및 제한된 용도(업무 및 교육연구 시설만 평가 대상) 건축물만을

Table 1. Comparison of total building energy consumption evaluation system vs. 2025 ZEB certification

	Total Building Energy Consumption Evaluation System ver. 2025 [1]	Zero Energy Building (ZEB) Certification ver. 2025 [8]			
Objectives	Reduce total building energy consumption	Achieve carbon neutrality and expand deployment of renewable energy			
Target buildings	Offices and educational facilities over 3,000m ²	New & existing buildings (all types)			
Mandatory application	Optional	Mandatory for public sector buildings (since 2020) and private sector buildings (since 2025)			
Evaluation levels	Pass / Non-pass	Six-level classification (ZEB Plus to ZEB 5)			
Evaluation metrics	Annual primary energy consumption (kWh/m ² year)	Energy self-sufficiency rate or annual primary energy consumption			
Code-compliance	For offices and educational facilities, • Public buildings: ≤140kWh/m ² year • Private buildings: ≤200kWh/m ² year	Grade	(#1 or #2) and #3 must be satisfied		
			#1	#2 Annual Primary Energy Consumption	#3
			Energy self-sufficiency rate	Residential (kWh/m ² year)	None-residential (kWh/m ² year)
		ZEB Plus	≥120%	<-10	<-70
		ZEB 1	≥100%	<10	<-30
		ZEB 2	≥80%	<30	<10
		ZEB 3	≥60%	<50	<50
Code-compliant simulation tools	Not specified	ZEB 4	≥40%	<70	<90
		ZEB 5	≥20%	<90	<130
		ECO2 or ECO2-OD			
Renewable energy	Optional	Optional			

대상으로 한다. 평가 기준은 단위 면적당 연간 1차 에너지 소요량이며, 민간 건축물의 경우 200kWh/m²·년 미만, 공공건축물은 140kWh/m²·년 미만을 준수해야 한다. 평가 요소는 기기부하(plug load)를 제외한 냉난방, 급탕, 환기, 조명 등 주요 부하요소를 평가한다. 평가에 사용되는 시뮬레이션 프로그램은 ISO 52016 등 국제규격에 부합하도록 제작된 시뮬레이션 프로그램을 사용해야 하며, 지정된 전용 프로그램은 없으나 국제적 수준에서 다양한 시뮬레이션 프로그램의 사용을 허용하고 있다는 점이 특징이다. 현재 국내에서는 ECO2, ECO2-OD가 주로 활용되며 DOE2, EnergyPlus, eQUEST, IES-VE 등 해외 프로그램의 활용도 가능하다[7].

2.4. 제로에너지건축물(ZEB) 인증제도

지난 2001년 도입된 건축물 에너지효율등급 인증제도는 제로에너지빌딩 의무화 계획에 따라 제도적 중복성 해소를 위해 2025년 1월 1일부터 제로에너지건축물(ZEB) 인증제도[8]로 통합되었다. 새롭게 반영된 「제로에너지건축물 인증 기준」(ZEB 인증제도)은 기존 에너지효율등급 인증제도 보다 강화된 기준을 적용하며 에너지 자립률 및 1차 에너지 소요량을 모두 충족해야 했던 기존 제로에너지건축물 인증 기준과 다르게 에너지 자립률 혹은 강화된 등급별 1차 에너지 소요량 기준 중 하나의 충족을 요구한다. 대상 시설은 모든 용도의 신축 및 기존 건축물이며, 에너지 자립률 또는 에너지 소요량 충족 여부에 따라 새롭게 추가된 ZEB Plus 등급부터 ZEB 5등급까지 총 6개의 등급을 부여한다[8]. 기존 ZEB에서 에너지자립률(재생 에너지 20% 이상)이 필수였으나, '또는' 조건으로 변경되면서 도심지 고층 건물 등 1차 에너지 소요량이 높아 신재생에너지 20% 달성

이 어려운 경우에도 기준을 충족할 수 있게 되어 제도적 적용성이 개선되었다.

2.5. 국내 건축물 에너지 성능평가 제도 관련 문헌분석

본 연구에서는 국내 건물 에너지 성능평가 제도와 관련된 문헌을 분석하였다. Table 2.는 최근 국내 건축물 에너지 성능평가 제도 관련 문헌들을 정리한 것이다. 선행연구에 따르면 건물의 에너지 총량 평가 과정에서 실제 건물 에너지 사용량과 예측값 사이의 오차를 줄이기 위해서는 시뮬레이션 입력값이 핵심적인 요인으로 논의되었다. 일례로 시뮬레이션에서 용도 및 시설에 적합한 맞춤형 운영 스케줄(어린이집, 초등학교 교실, 노유자시설 등)을 적용 시 예측오차가 크게 줄어드는 것이 확인되었다[9~11]. 여러 시뮬레이션 입력값 중에서도 재실 스케줄, 침기와 같은 변수는 냉·난방 부하에 미치는 영향이 크며 정확도를 개선하기 위해서는 건물의 실제 사용 방식과 시설 특성을 충실히 반영할 필요가 있다[12,13]. 또한, 국내 건축물 에너지 성능평가 제도의 해석 프로그램에 대해서는 ECO2 같은 월 단위 해석 프로그램과 DesignBuilder, EnergyPlus 등 시간 단위 계산이 가능한 동적 해석 프로그램 간에 냉난방 부하 산정 결과가 상당히 다르다는 문제도 제기된다. 일반적으로 동적 해석 프로그램은 시간 단위로 내부 발열과 재실 스케줄을 세밀하게 반영하므로 상대적으로 정밀도가 높지만, ECO2 등의 준정적 해석 프로그램은 에너지 모델 및 시스템의 단순화 등으로 발코니·실외기실의 열교환 등 복잡한 요소를 충분히 표현하지 못해 난방 부하는 과대평가, 냉방 부하는 과소평가되는 경향이 발생할 수 있다[14,15]. 이런 이유로 선행연구에서는 시뮬레이션 값과 실측값 사이에서 발생하는 에너지성능격차(Energy Performance Gap)를 줄이기 위해, 건물의 실제 외피 성능,

공조설비, 냉난방부하를 세밀하게 입력 데이터에 반영해야 한다고 강조한다[2,11].

한편, 국내 제도와 국제 건축물 평가 인증제도 간의 평가 방식의 차이도 건축물의 에너지 성능평가 과정에서 중요한 이슈다. 일례로 두 건물에 적용된 기술이 동일하더라도 국내의 건물에너지효율등급과 미국의 LEED를 동시에 취득 시 각 기준에서 요구(한국은 ECO2, 미국은 동적 해석프로그램 사용 등)하는 평가 프로그램의 요건과 방식이 달라 이에 따른 결과가 달라질 수 있으며, 민간 현장에서는 프로젝트 목표와 경제성에 따라 인증 우선순위가 바뀔 수도 있다[16]. 이러한 현실을 고려할 때, 단순히 월 단위 정적해석 프로그램을 중심으로 운영되는 국내 에너지 성능평가 제도에서 향후 국내 건축물 평가제도의 신뢰성을 제고하고 제도적 수출을 위해서 해외 기준과의 상호 호환성을 높이는 방안도 검토할 필요가 있다.

마지막으로 최근 정부의 제로에너지 정책에 따라 제로에너지빌딩 기술 패키지를 종합적으로 해석하기 위한 프로그램 정밀도 및 사용자 인터페이스 개선안을 제시하는 연구[20]도 나타나고 있다. 결국 국내 총량기반 건축물 에너지 성능평가 과정에서 신뢰도를 높이기 위해서는 입력 데이터의 정확성을 확보하고 준정적 해석 방식을 보완하며 국제 기준과의 연계를 강화해 제도적·기술적 보완책을 마련하는 과정이 필수적이라고 볼 수 있다.

3. 국외 건축물 에너지 소비 총량 성능평가 체계

3.1. ASHRAE Standard 90.1

국외 대표적인 건축물 에너지 성능평가 기준으로는 미국 ASHRAE에서 제공하고 있는 Standard 90.1이 있다. Standard 90.1은 미국에서 상업용 및 고층 주거 건물에 적용되는 최소 에너지 성능 기준으로 국내의 「건축물의 에너지절약설계기준」과 유사한 에너지 성능규제 역할을 하지만, 동일 버전이 일괄적으로 적용되는 국내와는 달리 주별 혹은 지역별로 다양한 버전의 Standard 90.1이 채택될 수 있다는 점에서 차이가 있다.

ASHRAE의 가장 최신버전인 Standard 90.1-2022[21]의 에너지 성능 기준 준수 방법(code-compliance)은 1) 규범적 경로와 2) 성능적 경로를 모두 포함한다. 우선 규범적 경로는 Section 5~11의 내용에 따라 외피, 설비, 조명 등에 대해 부문별로 최소 요구사항(minimum requirement)을 제시하고 규범의 준수 여부를 확인한다. 반면 성능적 경로(Section 12 Energy Cost Budget method, Normative Appendix G Performance Rating Method)에서는 시뮬레이션에 기반한 ‘기준 건물(Baseline Building)’과 ‘제안 건물(Proposed Building)’의 비교 평가를 통해 총량적 성능 검증을 진행한다.

성능적 경로 중 Section 12 Energy Cost Budget (ECB) method는 제안 건물의 연간 에너지 비용이, 에너지 크레딧을 반영하여 감소된 기준 건물의 연간 에너지 비용보다 낮을 경우, 절대적 비교를 통해 기준 준수 여부를 평가한다. ECB기준 건물은 해당 표준의 요구사항을 반영하여 제안 건물과 유사하게 모델링한 코드 준수 건물이다. 에너지 크레딧은 기본 규범적 요구 사항을 초과하여 추가적인 절감 효과를 달성할 수 있도록 설계된 제도로, 최신 버전인 Standard

90.1-2022에 새롭게 도입되었다. Section 11.5.1에 따라 건물 유형별·기후대별로 상이한 목표치를 제공하며, 대략 5% 수준의 절감을 목표로 한다.

반면 Appendix G Performance Rating Method (PRM)는 특정 버전, 즉 Standard 90.1-2004로 고정된 성능 수준을 가진 기준 건물과 제안 건물을 비교한다. 또한 Performance Cost Index (PCI)와 같은 지표를 활용하여 상대적 에너지 절감률을 산정할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 PRM은 준수여부 결정을 위한 단순한 비용 비교에 그치지 않고 다양한 설계 옵션 간 비교를 가능하게 하며, 이를 통해 “beyond code” 프로그램(예: LEED[22], ASHRAE Standard 189.1[23])에서 건물 성능을 차등적으로 평가할 수 있다.

Appendix G PRM method의 구성 체계를 살펴보면 우선 에너지 모델링 방법론은 Table G3.1의 요건에 따르게 되어 있으며, 건물 디자인, 공간유형, 스케줄, 건물 외피, HVAC 시스템 등 18개 범주의 요구 기준에 따라 기준 건물과 제안 건물을 모델링해야 한다.

한편, 기준 준수(code-compliance) 판정을 위한 ‘기준 건물(Baseline Building)’과 ‘제안 건물(Proposed Building)’의 비교를 위한 기준 건물의 HVAC 시스템 용량은 sizing run을 이용한 용량 계산이 허용되며 연간기준 냉방 15%, 난방 25%의 여유율을 두고 설계해야 한다(G3.1.2.2). 또한, 건물 전체의 unmet load hour를 연간 300 시간 미만으로 규정하여 건물 내 국부적으로 발생 가능한 냉난방 시스템 용량 부족을 줄이도록 요구하고 있다(G3.2.2.3). 마지막으로 Appendix G method의 기준 준수(code compliance)는 G.1.2.2 (아래 Eq. 1)에 따라 최종 설계안(proposed)과 기준모델의 연간 에너지 비용을 비교하여 PCI를 산정한 후, 건물 유형별·기후대별로 부여된 Building Performance Factor (BPF)를 적용해 결정된 기준 PCI target (PCI)과 비교하여 판정된다. 즉, 기준 PCI target은 특정 건물이 해당 버전의 Standard 90.1의 요구사항을 충족하기 위해 달성해야 하는 에너지 성능 수준을 의미하며, 이는 앞서 기술했듯이 ASHRAE Standard 90.1-2004 수준의 성능을 기준점으로 도출된다. 이러한 절감 목표를 결정하기 위해 Pacific Northwest National Laboratory (PNNL)는 EnergyPlus 기반의 프로토타입 상업용 건물 모델을 활용하여 각 건물 유형과 기후대, 그리고 각 Standard 90.1 버전에 대한 에너지 성능을 시뮬레이션하고, 이를 바탕으로 BPF를 산정하였다[24]. ASHRAE Standard 90.1-2022에서는 기준 PCI target을 산정하기 위해 사용되는 BPF값들을 Table 4.2.1.1에 제공하고 있다(Appendix A. 참조)[21].

$$\text{Performance Cost Index} = \frac{\text{Proposed Building Performance}}{\text{Baseline Building Performance}} \quad (\text{Eq. 1})$$

3.2. IECC

IECC (International Energy Conservation Code)는 미국 ICC (International Code Council)가 제정하는 건물의 에너지절약을 위한 코드(code)로서 3년마다 개정되며 상업용 건물(Commercial Provisions, [CE])과 저층 주거용 건물(Residential Provisions,

Table 2. Literature review on total building energy performance evaluation in Korea

Reference	Research purpose	Research scope	Analyzed factors	Key findings	Implications
Yoon et al. (2011) [12]	To identify the sensitivity of major load factors influencing heating and cooling energy performance.	Using EnergyPlus to analyze the impact of changes in heating and cooling operation schedules, infiltration rates, and outdoor air intake in an actual university building.	Heating and cooling load factors (e.g., schedules, infiltration, ventilation rate, etc.).	- Infiltration had the greatest impact on heating load. - Cooling load is predominantly affected by schedules. - Accurate specification of major load factors is critical for reliable simulation results.	- High uncertainty in infiltration and schedules. - On-site measurements and refined parameter inputs are essential for reducing prediction errors.
Suh et al. (2012) [2]	To discuss data shortages, simulation complexity, and uncertainties encountered in actual building energy analysis.	Energy analysis of an actual building, based on on-site data of building geometry, operational information, and equipment specifications, followed by energy simulation.	Operational data, envelope configuration, uncertainties in converting weather data.	- Continuous comparison/calibration with measured data should be mandatory. - Data shortages and uncertainties can limit accuracy, and strengthening data collection can improve model reliability.	- The accuracy of input data is critical. - A standardized process for obtaining measured data and calibrating the model is needed.
Kim C.S (2015) [17]	To examine the impact from changes of floor plan and window layout on heating and cooling energy performance.	Multi-family housing units with 2-Bay, 3-Bay, and 4-Bay floor plan variations.	Floor plan configuration (i.e., façade width, window area), and presence or absence of balcony windows.	3/4-Bay with balcony windows uses less energy than 2-Bay units. - Even with larger window areas, optimized window performance and plan layout can reduce heating/cooling loads.	Floor plan layout and window performance must be considered together in actual construction to achieve optimal energy savings.
Lee et al. (2015) [15]	To identify discrepancies and causes when using multiple simulation tools in zero-energy building designs.	Zero-energy house complexes were evaluated with various tools (i.e., PHPP, EnergyPlus, e-BESS, ECO2).	Monthly (quasi-steady-state) vs. hourly (dynamic) calculation approaches.	- Substantial differences exist between PHPP/ECO2 (monthly) and EnergyPlus (hourly), leading to varying assessment results of zero-energy achievement. - Different tools can produce disparate results.	- Employing multiple tools complementarily improves both accuracy and convenience. - Understanding each tool's strengths and weaknesses is crucial for practical application.
Cho et al. (2017) [18]	To investigate technical functions of domestic tools (e.g., ECO2, etc.) to address new technologies and propose improvements.	Zero-energy buildings analyzed as "technology packages" (e.g., passive, active, renewables, ESS, BEMS, etc.).	Advanced systems (e.g., multi-heat sources, ESS, BEMS) and the extent to which current evaluation tools can represent advanced systems.	- Tools often lack comprehensive inputs for advanced features (i.e., ESS, multi-heat sources, BEMS). - User interfaces and precision need upgrades.	- Reflecting "technology packages" in simulation is crucial for accuracy. - Renewables and integrated system control logic require further updates.
Cho J.H (2017) [19]	To explore zero energy building definitions and domestic and international building energy performance simulation programs.	Comparative study of domestic vs. foreign energy-performance evaluation programs (i.e., US, Europe, Germany vs. Korea).	Usage profiles, weather data settings, standard efficiency values across different countries.	- Detailed usage profiles and system-based methods (as abroad) are essential. - Korea's limited standardization (e.g., weather data, schedules) leads to discrepancies.	- Refined domestic standard operating conditions would improve reliability. - Lessons from foreign cases could deepen local evaluation methods.
Jeon et al. (2018) [9]	To compare ECO2's prediction accuracy under default vs. real operational schedules.	An actual building where measured operational schedules (i.e., heating, cooling, hot water) are substituted into ECO2.	Operational schedules, measured data.	- Prediction errors dropped from 12~18% to 4~8% when using actual schedules. - Simulation accuracy was greatly improved.	- Underscoring the importance of collecting real operational data. - Ongoing calibration with actual measurements is essential.

Table 2. Literature review on total building energy performance evaluation in Korea (Continued)

Reference	Research purpose	Research scope	Analyzed factors	Key findings	Implications
Kim et al. (2018) [14]	To investigate differences in results between ECO2 (quasi-steady-state) and a dynamic simulator, focusing on annual primary energy use.	Multi-family housing unit energy comparison via ECO2 (static) vs. DesignBuilder (dynamic).	Heating and cooling loads, thermal exchange in balconies, and mechanical spaces, and schedule settings.	- ECO2 tends to show higher heating loads and lower cooling loads. - Overall, ECO2 yields a greater annual primary energy performance.	- Limited ability of ECO2 to model thermal exchange in balconies and mechanical spaces. - Lack of detailed schedule settings leads to potential simulation errors.
Park et al. (2022) [11]	To determine the gap between ECO2's calculated and actual heating performance, and to explore ways to improve reliability.	Performance gaps between ECO2's predicted heating energy and actual performance in domestic buildings.	ECO2 heating estimates vs. measured data, causes of the energy performance gap (EPG), importance of accurate input data.	- Older buildings generally consume more heating energy than ECO2 predicts. - Inaccurate envelope data (i.e., insulation/ airtightness) and non-standard heating (e.g., daycare centers) cause EPG. - Collecting real-world data is key to narrowing the gap.	- Green remodeling accuracy requires customized profiles for elderly and childcare facilities. - Strengthening real envelope data and operational schedule inputs is crucial to reduce EPG.
Jeong et al. (2022) [16]	To assess how variations in Building Energy Efficiency Rating (BEER) vs. LEED criteria lead to different certification outcomes for the same technologies.	Comparing BEER and LEED performance under identical energy conservation measures.	Building envelope insulation and airtightness, high-efficiency HVAC&R, renewables (i.e., solar, geothermal, etc.), credit differences between Korean and U.S. standards.	- Envelope measures offer limited additional savings. - Solar and turbo chillers are favored in LEED due to a higher credit. - Geothermal and fuel cells boost BEER ratings but yield fewer LEED points.	- Domestic rating system focuses on policy, diverging from international standards. - Private projects prioritizing LEED may sacrifice local ratings. - Improving mechanical and renewable evaluation methods could mitigate result imbalances.
Kim et al. (2022) [20]	To address the complexity and structures (i.e., residential vs. non-residential) in BEER, proposing a more user-friendly rating system.	Proposing new BEER evaluation standards using data from the HESS (Household Energy Standing Survey).	Classifying "standard households" by region, housing type, size, year built; comparing each building's performance percentile against the averages.	- Although BEER has improved new building performance for 20 years, it remains cumbersome and unintuitive. - A relative assessment against standard households allows more accessible ratings for the general public.	- Expanding national-scale energy data is necessary to refine household classifications. - Shifting from expert-driven to user-friendly approaches can foster greater public engagement.
Kim et al. (2023) [13]	To examine the impact of varying internal heat gains (i.e., people, equipment, lighting), operating hours, and shading (blinds/louvers) on energy performance.	Using DesignBuilder to investigate the impact of internal gains, schedules, and shading on building energy performance.	Internal heat gains, schedules, shading as key load factors.	- Internal gains and operating schedules exert a major influence on heating/cooling loads. - Shading may be less influential, depending on the conditions.	Multiple factors (i.e., schedules, heat gains) must be considered simultaneously to enhance reliability of simulation results.
Eom et al. (2024) [10]	To investigate the impact of mismatched vs. accurate usage profiles on energy prediction errors for specific building types.	Specific building types (i.e., daycare centers, elementary school classrooms).	Usage profiles (i.e., operation times, occupancy, internal heat gains).	- Over 10% error occurs when using inappropriate profiles. - Aligning profiles with real usage yields results closer to measured data.	- Emphasizing the importance of building-specific schedules. - Occupancy and internal heat gains must be accurate for reliable simulation outcomes.

[RE]) 평가 기준으로 구분된다. IECC는 미국에서 저층 주택용 에너지 성능 기준으로 널리 채택되고 있으며, 최신버전인 IECC 2024에서는 이전 버전 대비 기밀성, 환기, 재생에너지 활용 등의 요건이 강화되었다[25]. IECC의 에너지 성능 기준 준수 방법(code-compliance)은 ASHRAE Standard 90.1과 유사하며, 1) 규범적 방법(부위별 최소 성능 기준 준수)과 2) 성능적 방법(건물 총 에너지소요량 시뮬레이션)을 모두 허용하고 있다.

최신 IECC 2024의 규범적 방법([CE] Chapter 4, C407 및 [RE] Chapter 4, R405 제외)는 상업용(CE) 및 저층 주거용(RE)별로 기준이 구분되며 주거용 건물에 대해 건물 외피, 기계 설비 및 급탕 시스템, 조명, 재생 에너지 시스템 등에 대한 요구사항을 제시하고 있다. 한편, 상업용 건물에 대해서는 IECC의 자체적 기준 준수와 더불어 ASHRAE Standard 90.1을 대체 준수 경로로 인정한다. 성능적 방법([CE] Chapter 4, C407, [RE] Chapter 4, R405)에서는 총량적 에너지 성능평가를 위한 성능 기준 준수 방법(code-compliance)으로서 IECC 기준 설계를 따른 ‘기준 건물(Baseline Building; IECC에서는 기준 건물을 Standard Reference Design으로 정의)’과 ‘제안 건물(Proposed Building)’의 연간 에너지 비용을 비교하여, 제안 설계가 얼마나 에너지 효율적인지 입증하도록 요구한다. 이때, 제안 설계 건물의 성능 결정에는 냉방, 난방, 급탕, 팬, 조명시스템, 콘센트 사용, 공정 부하가 포함되어 계산되어야 한다(주거용은 냉방, 난방, 기계 환기 및 급탕만 포함). 한편, 상업용 건물(CE)의 기준 준수 판정을 위해서는 제안 설계된 건물이 Table C407.2(1)에 제시된 의무 요구사항을 충족해야 하며, 제안 건물의 연간 에너지 비용은 Eq.4-34(아래 Eq. 2)에 따라 계산된 대비 목표 퍼센티지(즉, PAEC)가 적용된 기준 건물의 연간 에너지 비용보다 낮아야 한다[25].

$$PAEC = 100 \times (0.80 + 0.025 - EC_r / 1000) \quad (\text{Eq. 2})$$

*PAEC = The percentage of the annual energy cost of the standard reference design

*EC_r = Energy efficiency credits required for the building in accordance with C406.1

저층 주거용 건물(RE)의 기준 준수 판정의 경우, 제안 모델은 Table R405.2의 의무 요구사항을 준수하고 Eq.4-2(아래 Eq. 3)와 R402.1.5 및 Table R402.1.2에 따라 산출된 외피 전체 컨덕턴스(total building thermal envelope thermal conductance, TC)가 기준모델(prescriptive reference model)의 TC값 이하를 준수하도록 요구한다. 이때 기준모델의 TC는 규범적 방법인 Table R402.2.1.2에서 제시하는 U-factor와 F-factor를 이용해 산출된 TC에 기후대별 보정계수(CZ 0~2=1.08; CZ 3~8=1.15)를 곱하여 산출한다[25]. 또한, 제안 건물의 연간 에너지 비용은 목표 퍼센티지(난방 및 온수용 연료에 따라 80% 또는 8%, 건물 규모에 따른 추가 5% 절감)

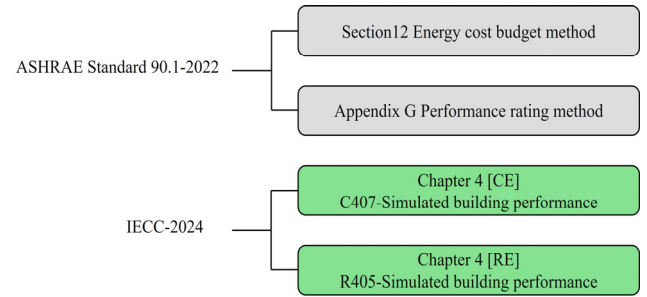


Fig. 3. Total building energy performance evaluation standards in the U.S.

가 적용된 기준 건물의 연간 에너지 비용보다 낮아야 한다.

IECC 2024의 총량적 성능 기반 건물 에너지의 성능평가 과정은 ASHRAE Standard 90.1-2022와 동일하게 ASHRAE Standard 140-2020을 준수하는 컴퓨터 기반 동적 시뮬레이션 프로그램을 사용해야 한다. 시뮬레이션 프로그램은 ASHRAE 90.1-2022와 유사한 기능적 요구사항을 준수해야 한다. 또한, 총량적 성능기반 평가를 위한 건물 모델링 방법을 제시하고 있으며 최소한의 모델링 요건이 다양한 범주(예: 외피 요소, 시스템 요소 등)에 따라 Table C407.4.12(1), Table R405.4.2(1)에 제시되어 있다. 이때, 냉난방 시스템의 용량은 상업용 건물의 경우 ASHRAE Standard 183-2024[26]에 따라, 저층 주거용 건물의 경우 ACCA Manual J[27] 따라 산정한다. Fig. 3은 ASHRAE Standard 90.1-2022와 IECC-2024에서 규정하는 총량적 에너지 성능평가 경로들(paths)을 나타낸다.

3.3. 총량평가 시뮬레이션 프로그램 및 테스트 기준

미국 ASHRAE Standard 90.1-2022의 성능적 평가방법(Section 12 및 Appendix G)에 따르면, 총량적 성능평가에 사용되는 에너지 시뮬레이션 프로그램은 Standard 90.1-2022에서 제시하는 최소 기능 요건(12.4.1.1, G2.2.1)과 시뮬레이션 프로그램의 성능 검증을 위한 테스트 방법(ASHRAE Standard 140, Section 7 및 8 제외)을 준수해야 한다. 이는 총량 평가에 사용되는 시뮬레이션 프로그램의 최소 기능적 신뢰도를 확보하기 위한 것으로, 동적 시뮬레이션 프로그램을 대상으로 ASHRAE Standard 140-2020의 Class I 테스트 절차(Section 5: Class I Test Procedures, Section 6: Class I Output Requirements)에 따라 수행해야 한다. 구체적으로는 건물 외피 및 패브릭 부하 평가(Section 5.2.1, 5.2.2, 5.2.3), 지면 열전달(ground coupling, Section 5.2.4), 냉방 설비 평가(Section 5.3), 난방 설비 평가(Section 5.4) 및 공기 방식 HVAC 설비에 대한 분석적 검증 평가(Section 5.5)를 포함한다. 또한 프로그램의 성능 검증 테스트는 Standard 90.1-2022에 따라 총량 평가에 사용된 프로그램과 동일한 프로그램 버전에 대해 인증되어야 하며, 예를 들어 EnergyPlus 25.1.0 버전으로 총량 평가를 수행하면 Standard 140-2020에서도

$$\text{For Climate Zones } 0 \sim 2 : TC_{\text{Proposed design}} \leq 1.08 \times TC_{\text{Prescriptive reference design}}$$

$$\text{For Climate Zones } 3 \sim 8 : TC_{\text{Proposed design}} \leq 1.15 \times TC_{\text{Prescriptive reference design}}$$

(Eq. 3)

동일한 EnergyPlus 25.1.0 버전으로 테스트를 수행해야 한다.

한편, 미국의 또 다른 총량적 성능평가 기준인 IECC 2024의 경우, 총량적 성능평가를 위해서는 C407.5(상업용 건물)와 R405.5(저층 주거용 건물)의 기준에 따라 승인된 평가 프로그램을 사용하여야 하며, 해당 프로그램은 관련 당국의 승인을 받아야 한다. 상업용 건물의 총량 평가에 사용되는 시뮬레이션 프로그램은 최소 기능 요건(C407.5.1.1: Software tool capabilities)을 충족해야 하고, ASHRAE Standard 140-2020(Section 7, 8 제외)에 따른 시뮬레이션 프로그램의 성능 검증 테스트(C407.5.1.2)를 수행해야 한다. 구체적으로, 시뮬레이션 프로그램의 최소 기능 요건에는 연 8,760시간 계산 능력과 연 8,760시간의 시간 단위 기후 데이터 활용, 10개 이상의 thermal zone 모델링, 시간 단위 스케줄 모델링(제일 스케줄, 조명 사용량, HVAC 장비 가동성, 급탕 사용량 등), 기계 장비의 부분부하 성능 곡선(part-load performance curves), 냉난방 장비의 용량 및 효율 보정곡선(capacity and efficiency correction curves), 그리고 Table C407.4.1(1)에 근거한 검토 체크리스트 제출이 포함된다. 관할 기관 담당자를 위한 검토 체크리스트를 제외하면 IECC 2024는 ASHRAE Standard 90.1-2022의 Section 12.4.1.1 및 G2.2.1에서 제시하는 기준과 거의 동일한 항목을 요구한다고 볼 수 있다.

저층 주거용 건물의 총량 평가에 사용되는 프로그램의 성능 검증 테스트는 R405.5.2에 따라 ASHRAE Standard 140-2022의 Class II, Tier 1 테스트 절차를 따라야 한다. Class II 테스트는 주로 상업용 건물의 기준 준수 프로그램 검증에 이용되는 Class I 테스트와 달리, 건물 부하 계산의 기본 정확성을 확인하는 데 초점을 맞추므로, 주거용 건물의 기준 준수에 사용되는 단순화된 소프트웨어 검증에 적합하다. 또한 저층 주거용 건물의 기준 준수에 사용되는 시뮬레이션 프로그램의 기능 요건(R405.5.1)으로는 제안 설계 입력만으로 기준 설계를 자동 생성할 수 있을 것, R403.7에 따라 기준 설계 주택의 냉난방 장비 용량을 계산할 수 있을 것, 연 8,760시간 계산 능력을 갖출 것, 기후 및 장비 용량에 따른 냉방·난방·환기 장비의 부분부하 성능과 실내외 온도의 시간별 변화를 고려하여 계산할 것, 그리고 Table R405.4.2(1)에 근거해 제안 설계 구성 요소의 특성과 R-value, U-factor, SHGC 등의 성능 등급을 나열한 체크리스트를 포함하는 것이 요구된다.

또한, 기준 준수(code-compliance)를 위한 성능적 평가 프로그램 역시 Appendix G를 기준으로 최소한의 기능적 요건을 충족해야 한다. 구체적으로 연 8,760시간 계산, 시간 단위 스케줄 모델링 기능(제일 스케줄, LPD, EPD, 실내 설정 온·습도, 공조설비 운영 스케줄 등을 주중/주말/공휴일별로 별도 정의 가능), 축열효과 모델링, 10개 이상의 thermal zone 모델링 기능, 기계설비 부분부하 모델링, 기계 냉난방 설비에 대한 냉난방 용량 및 효율 보정곡선, 이코노마이저 및 통합 제어(integrated control) 모델링 기능 등을 포함해야 한다. 이와 같은 기능 요건을 충족하는 시뮬레이션 프로그램은 ASHRAE Standard 140-2020 (Section 7, 8 제외)[28]에서 규정하는 시뮬레이션 기능에 대한 테스트를 준수해야 하며, 이러한 기준을 충족하는 대표적인 프로그램으로는 EnergyPlus, TRNSYS, eQUEST, IES-VE 등을 들 수 있다.

따라서 미국의 총량 평가 시뮬레이션 기준을 종합적으로 고려할 때, ASHRAE Standard 90.1-2022와 IECC 2024는 공통적으로 건물 에너지 시뮬레이션 평가를 위한 총량 평가 프로그램의 최소 기능 요건과 테스트 조건을 정의하고, ASHRAE Standard 140 기반의 성능 검증을 요구함으로써, 기준 준수(code-compliance)를 위한 에너지 시뮬레이션 프로그램의 신뢰성을 제도적으로 확보하고 있다(Appendix A. 참조).

3.4. 기타 해외 건축물 에너지소비 평가 기준 문헌분석

건축물의 탄소 중립 달성을 위한 건물 에너지 효율 개선 노력의 일환으로, 제로에너지 혹은 제로카본 정책이 전 세계적으로 도입됨 및 정립됐으며, 이를 위해 다양한 인증제도와 성능 기준이 운영되고 있다. Table 3.에는 캐나다 NECB 2020[29], 미국 LEED.v4[22], BREEAM-v6[30], 독일 Passive House/PHPP.v10c[31], 호주 NABERS[32]와 같은 주요 해외 에너지 성능 기준 및 인증제도를 각 제도의 평가 목적, 준수 경로, 핵심 지표, 모델링 요구, 계산 규정 및 평가 체계, 그리고 실무적 시사점을 중심으로 비교하였다. 각 인증제도는 해당 국가의 정책 목표, 기후 조건, 시장 메커니즘을 반영하여 서로 다른 평가 경로(예: 상대 개선률, 절대 수요 한계, 설계-운영 연계), 검증 방식(예: 전건물 에너지 시뮬레이션, 현장 실측), 그리고 지표 체계(예: 에너지, 온실가스, 등급화)를 수립하고 있다. 따라서, 국내 총량적 평가 기준의 개선 시에는 이러한 국가별 차이를 파악할 필요가 있다.

먼저 NECB 2020 (National Energy Code of Canada for Buildings 2020)[29]은 캐나다 연방에서 기준으로 사용되는 모델 코드(federal model code)이다. 건물의 최소 에너지 성능(OE1.1)을 규정하고 의무화하여 국가 온실가스(GHG) 감축을 지원한다. 설계자는 Tier 1~4 중 하나를 선택할 수 있으며, Tier 등급은 연간 총 건물 에너지 대비 0~60% 감축(Tier 1: 0% 감축, Tier 2: 25% 감축, Tier 3: 50% 감축, Tier 4: 60% 감축)으로 구분된다. Tier 1은 baseline으로서 최소 기준을 나타내며, 규범적(prescriptive path) 및 총량 기반의 성능적(performance path) 평가가 모두 가능하다. 하지만 Tier 2부터는 시뮬레이션 평가가 의무화된다. 총량 기반의 성능평가는 8,760시간 시뮬레이션과 부분 부하(Part-load)모델링을 요구하며, 총량 평가 프로그램의 기능적 테스트는 ASHRAE Standard 140 기준을 충족해야 한다. Tier 구조 덕분에 지방정부의 단계적 의무화와 인센티브 설계가 용이하지만, 이는 최소한의 에너지 성능에 대한 총량 규제이므로 현재 포함되지 않은 탄소 방출량 규제나 기기부하, 넷제로를 위한 요구사항 등은 향후 보완이 필요하다.

LEED v5[22]는 미국 U.S.GBC (U.S. Green Building Council)에서 운영하는 민간 주도의 친환경 건축물 인증제도로서 현재 전 세계적으로 가장 널리 사용되는 인증제도 중 하나이다. LEED v5가 2025년 4월부터 점진적으로 도입될 예정이며, 이전 버전인 v4.1이 에너지 효율성 중심이었다면, v5는 탄소중립, 삶의 질, 생태적 회복, 사회적 형평성, 회복탄력성 등 보다 포괄적인 지속가능성 요소를 중심으로 평가한다. LEED v5의 주요 카테고리 중 에너지 분야인 EA (Energy and Atmosphere)에서는 필수항목(Prerequisites)과 크레딧(Credits)을 통해 에너지 소비와 온실가스(GHG)를 동시에 저감

Table 3. Comparative analysis of evaluation pathways, modeling requirements, and calculation frameworks in five international building-energy performance standards

Category	Canada NECB 2020[29]	LEED v5[22]	BREEAM NC v7[30]
Evaluation objective	Federal model code → when adopted by provinces/territories, NECB enforces the OE1.1 minimum performance requirement to support national GHG reduction.	Private certification → EA (Energy & Atmosphere) prerequisites+credits targeting simultaneous energy-use and GHG(Greenhouse gas) mitigation.	- Ene 01: Minimize regulated energy/carbon, maximize low-carbon sources - Ene 02: Predict operational energy/carbon with realistic occupancy to reduce the performance gap.
Compliance paths/scope	- Prescriptive/Trade-off path - Performance/Tiered path (Tier 1~4)	EAp2 minimum energy efficiency is achieved via, Whole-building energy simulation (ASHRAE Standard 90.1-2022 Appendix G).	- Fully fitted / Shell & Core: Ene 01+Ene 02 - Shell only: Ene 01 only - Ene 02 exemption: GIA<1,000m² or single-family dwelling. - EU Taxonomy: partial alignment via Ene 01
Key indicators	Annual total building site energy (kWh or GJ) proposed vs. reference designs: Tier 1≤100% Tier 2≤75% Tier 3≤50% Tier 4≤40%	Up to 33 credits for EA: Electrification, peak load reduction, enhanced energy efficiency, renewables, enhanced commissioning, grid interactive, and enhanced refrigerant management	► Ene 01 - EPRINC (Energy Performance Ratio for New Construction): weighted improvement vs reference baseline. - Demand (kWh), Primary energy (kWh/m²), Carbon (kgCO₂e/m²) - Credits: EPRINC 1→9 points (max 9) - Exemplary(+3points): Awarded when low and zero-carbon (LZC) technologies meet≥100% of regulated energy; with additional points by the share of unregulated energy met. ► Ene 02 - OEPCN(Operational Energy Performance Score for New Construction): Predicted EUI (kWh/m²) and CI (kgCO₂e/m²) are scored against benchmarks. - OEPCN=0.5×OEPEUI+0.5×OEPCI - Credits: up to 7 points
Modeling requirements	8,760h simulation - ASHRAE Standard 140 compliant software - Fixed reference-model parameters - all baseline envelope U-values, HVAC efficiencies, lighting/plug schedules, ventilation rates, etc.	- Include both regulated (HVAC, lighting, service hot-water) and unregulated loads (plug/process loads: PCs, kitchen equipment, elevators, etc.). - Account for on-site renewables & electrification	- Ene 01: NCM countries use NCM-approved tools (e.g., UK: Part L 2021; upload BRUKL.inp); otherwise use ASHRAE Standard 140-validated tools with ASHRAE Standard 90.1/90.2 baselines. - Ene 02: TM54:2022 or ASHRAE 209; DSM (IES/TAS/EnergyPlus); Prerequisites include unregulated loads, real occupancy, sensitivity analysis, and three scenarios (i.e., Central/High/Low scenarios).
Calculation rules/rating system	- Use default part-load curves when equipment data are missing. - Proposed & reference schedules shall be identical.	Variable weighting—cost, source energy or GHG—chosen according to improvement percentage.	- Ene 01: Sub-indicator improvements are used to calculate → a weighted EPRINC → 1–9 (+≤3) - Ene 02: Central+25% uncertainty → benchmark scoring → ≤7
Practical implications	- Tier structure allows phased implementation of mandates and incentives. - Current version: Energy metrics only → Future: Needs for complementary GHG metrics. - Mandating Tiers 3-4 supports a Net-Zero-Ready roadmap.	- Adding a GHG metric drives electrification & renewables. - Relative-improvement methods may reduce incentives as codes tighten. - LEED certification is widely used in global ESG (Environmental, Social, and Governance) reporting.	- Separation of Paths: Distinguishes code compliance (Ene 01) from operational prediction (Ene 02). - Gap Reduction: Mandates realistic inputs (e.g., unregulated loads) to minimize the performance gap.

Table. 3 Comparative analysis of evaluation pathways, modeling requirements, and calculation frameworks in five international building-energy performance standards (Continued)

Category	Passive House v10[31]	NABERS (Australia)[32]
Evaluation objective	Maximum requirements for heating and cooling demands, and PER (Primary Energy Renewable) deliver ultra-low-energy, comfortable buildings.	Annual energy and GHG performance calculations at design stage for target-setting and use in contracts and leasing.
Compliance paths/scope	For a building to be considered a Passive House, it must meet heating/cooling/primary energy demand, and airtightness.	8,760h simulation using an on-line code compliant calculator → 0~6 Star rating - Dynamic simulation & Off-Axis Risk Test & independent 12-month performance review
Key indicators	- Heating/cooling demand $\leq 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$ - Heating load $\leq 10 \text{ W/m}^2$ - Airtightness $n_{50} \leq 0.6/\text{h}$ - PER $\leq 60/45/30 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{yr}$ (Classic/Plus/Premium)	- Commitment minimums: Office Base ≥ 5 Star - NCC JV1 compliance ≥ 5.5 Star. 0 – 6 Star rating accompanied by annual energy, GHG, and energy-per-area metrics
Modeling requirements	≥ 10-year local climate data 8,760h load calculation - On-site airtightness & ventilation testing	- ASHRAE Standard 140 compliant simulation program - Detailed HVAC & window inputs - Equipment part-load curves
Calculation rules/rating system	- Pass/Fail evaluation - Plus/Premium classes require on-site PV. - The “Cooling” sheet auto-sets climate limits and checks annual cooling load - Overheating frequency is shown using traffic-lights (i.e., green/orange/red)	- Off-site renewable energy excluded. - Apply a modelling margin of 20~25% to the base-case annual energy before calculation; off-axis risk models are calculated without an add to it margin. - At least two models required (Base & Off-Axis).
Practical implications	- Fixed demand limits provide clear targets regardless of climate and building size - Mandatory early coordination of passive-design strategies.	Closes the design-to-operation “performance gap” through Independent Design Review and risk testing, reducing long-term energy cost risks for owners and tenants.

하도록 설계되었다. LEED의 총량적 에너지 평가(EAp2)는 ASHRAE 90.1 Appendix G PRM 방법을 활용하며, 전 건물(whole building)의 에너지 성능평가를 위한 동적 시뮬레이션을 사용한다. 또한 새로 도입된 v5에서는 총량적 평가 기준에 해당하는 최소 에너지 효율의 성능평가 기준으로 ASHRAE Standard 90.1-2016에서 90.1-2022 버전으로 업데이트(옵션 2: 28년 이후 등록 프로젝트는 옵션 2 준수 필수; 이전 프로젝트는 선택 가능)하여 1차 에너지 사용 집약도(EUI) 기준을 강화한 것이 특징이다. 아울러, 건물의 운영 탄소 저감 및 탈탄소화 계획(EAp1), 전기화(EAc1), 최대부하 저감(EAc2) 등의 항목이 추가되었다.

영국의 BREEAM은 BRE (Building Research Establishment)에서 운영하는 녹색건축물 인증제도로 가장 최신버전인 NC v7 (New Construction)[30]은 2025년 7월 발표되었다. NC v7은 기존 v6와 비교하여 전생애 탄소배출, 생물다양성과 생태계, 회복탄력성, 재료 선택 등에 초점을 두고 있으며 EU Taxonomy[33]의 일관성을 강화하였다. 에너지 총량적 평가 측면에서 NC v7의 특징은 건축물 설계 시 예측 성능과 실제 사용 후 평가에서 나타나는 성능 격차(performance gap)를 기존 v6보다 줄였다는 점이다. 이를 위해 디자인 단계와 사용 후 평가를 시행하고, 실시간 모니터링 시스템을 구축하여 사용 후 12개월 및 24개월에 예측 모델에 대한 재보정을 실시하는 피드백 과정을 포함한다[34]. 또한, v7의 “Ene 02 – Prediction of operational energy and carbon”에서는 Guidance Note GN53[35]를 통해 예측 모델을 활용한 운영 에너지 및 탄소 배출량 산출 절차를 규정하고 있다. 영국의 에너지 성능평가에 사용되는 틀은 National Calculation Methodology (NCM)[36]에 따른

계산이 가능해야 하며, 성능평가를 위한 기준 모델(reference)을 정의하고 있다. BREEAM 내 사용되는 틀은 NCM을 준수하여 “approved” 혹은 “recognized” 되어야 하며, 현재 UK 버전에서 승인된 총량 평가 시뮬레이션 프로그램은 총 15종류(APACHE, BECON, CARNOT, DesignBuilder, DOE-2, ESP-r, EnergyPlus, HAMLab, Hevacomp Simulator, HVACSIM+, IDA ICE (v5.1 이후), SIMBAD, SPARK, TAS, TRNSYS)[35]로 동적 및 정적 시뮬레이션 모두 승인되었다. 다만 최근 BREEAM의 v7에 대한 답변 문서[37]에서는 동적 시뮬레이션을 이용한 예측을 권장하고 있으며 Ene 04: Low carbon design (passive design analysis)에서는 향후 동적 시뮬레이션을 의무화할 예정임을 밝히고 있다.

독일의 PHI (Passive House Institute)에서 운영하는 Passive House/PHPP v10c[31]은 주택의 설계, 시공, 운영 단계에서 에너지 소비량을 최소화하고 실내 쾌적성을 높이기 위한 인증제도로 정량적·정성적 조건을 모두 포함한다. 총량적 성능 기반 평가를 채택하고 있으며, 평가 시 PHPP (Passive House Planning Package) 시뮬레이션 프로그램 사용을 요구한다. 평가지표로는 재생 1차에너지 수요(PER: Primary Energy Renewable) 등을 사용하며, 이는 냉방, 난방, 급탕, 조명, 기기 등 건물 전체 운영에 사용되는 에너지를 재생 가능 1차 에너지 기준으로 산정한 값이다. 신축 건물은 (1) Classic, (2) Plus, (3) Premium 등급으로 리트로핏은 EnerPHit 등급으로 구분되며, 등급 간 차이는 PER 상한과 현장 PV 발전량 기준으로 결정된다. 또한, 월-시간 복합 PHPP 계산, 블로워도어-환기 시험, ‘as-built’ PHPP 재확인 등이 필수로 요구된다.

마지막으로 호주 NABERS[32]는 NSW (New South Wales)

Government에서 운영하며 호주 전역에서 사용되는 인증제도로 설계값이 아닌 “운영 성능(Operational performance)”에 기반한 평가를 수행한다. 설계 단계에서는 Commitment Agreement를 체결하여 운영 후 Star 등급(0~6)을 보증한다. 평가 영역은 Energy, Water, Waste, Indoor Environment, Carbon Neutral, Resilience 등으로 구성된다. Office Base Building은 최소 5 Star (National construction code JV1 compliance 5.5 Star)를 목표로 하며, 8,760시간 시뮬레이션(Base model)·20~25% 모델링 Margin·최소 4개 Off-Axis risk model 제출이 의무화된다. 최종 인증을 받기 위해서는 준공 후 12개월 동안의 실측 데이터를 바탕으로 목표 Star 등급을 충족해야 하며, 결과는 Star 등급과 함께 연간 에너지, GHG, EUI와 병기되어 임대 계약이나 그린본드에 활용될 수 있다.

기타 해외 건축물 에너지소비 평가 기준을 종합하면 해외 건물 에너지소비 총량 평가 체계는 기준모델(baseline)에 대한 상대평가에 기반한 평가 체계(NECB, LEED, BREEAM)와 절대기준에 기반한 평가 체계(Passive House), 운전 단계를 평가하는 ‘설계-운영’ 연계 기반의 평가 체계(NABERS, BREEAM)로 구분된다. 최신 해외 제도 및 인증제도의 변화를 고려할 때 시사점은 1) 에너지 및 재생에너지, 탄소배출에 대한 평가 강화, 2) 예측 에너지와 실제 사용 에너지 간의 성능 격차(performance gap) 저감 및 사용 후 평가 강조, 3) 에너지 모델링 및 인증 체계 구축 등과 같다. 이러한 시사점은 국내 건축물의 에너지 절약 체계와 총량적 평가 체계의 개선을 위한 방향성을 제시한다.

4. 국내외 총량평가 기준 비교 및 시사점

본 장은 국내외 건축물 에너지소비 총량 평가 제도 및 관련 연구를 바탕으로 국내 제도를 종합적으로 진단하고, 해외 사례와의 비교를 통해 시사점을 제안하였다. 이를 통해, 국내 총량적 평가 체계가 더욱 실효성 있는 건물 에너지 평가 제도로 발전하기 위한 기초를 제공하고자 한다(Appendix A. 참고).

- 현재 국내 에너지소비 총량 평가제도(예: 건축물의 에너지소비총량제)의 준수 기준(code-compliance)은 제안된 건물의 다양한 기후 지역, 규모 및 공간 프로그램, 재질 및 운영상의 다양성 등을 충분히 반영하기 어려운 일률적인 기준선(예: 공공건축물 140kWh/m²·년 미만, 민간 건축물 200kWh/m²·년 미만)을 적용하고 있어 건물별 특성과 다양성을 반영하는 데 한계가 있다[38]. 미국의 ASHRAE Standard 90.1과 IECC 사례, 그리고 그 외의 국가에서는 기준모델과 제안 모델 간의 상호 비교 방법(Baseline vs. Proposed)을 적용하고 있는데, 이는 건물 용도별 단일 기준에 따른 평가 방법의 한계를 해소하기 위한 방법으로 검토될 수 있다. 또한, 현행 국내 건축물 에너지소비 총량제는 교육 및 업무시설을 대상으로 적용되며, 냉난방 등 5가지 주요 부하만을 평가한다. 따라서 평가 대상이 되는 건물의 용도를 확대하고, 주요 부하 요소를 포함한 건물 전체의 부하(Whole building loads)에 대한 고려, 탄소배출 평가를 포함한 종합적인 평가 체계로 전환할 필요가 있다.
- 현재 국내 기준에서 에너지 해석 방법은 ISO 52016 등 국제 기준

의 사용을 허용하고 있으나, 총량 평가를 위한 시뮬레이션 프로그램 인증 체계나 시뮬레이션 프로그램 간의 결과 편차를 줄이기 위한 최소 기능 요구사항, 명확한 검증 체계가 부재하다[7]. 이에 비해, 미국 ASHRAE Standard 90.1은 계산 정확도 측면에서 시간 단위 동적 모델링을 요구하며, Standard 140을 통한 시뮬레이션 프로그램 기능 검증(Class 1)을 필수로 하고 있다. 그러나 현재 국내 총량 평가 프로그램인 ECO2는 Standard 140 테스트 시, 월 단위 계산법만 적용 가능하므로 시간 단위 시뮬레이션이 필요한 Class I이 아닌 Class II 방법으로도만 검증할 수 있다. 따라서 현재 ECO2는 외피 성능에 대한 테스트만 제한적으로 수행 가능하다. 더욱이, Standard 140은 성능평가를 위한 기후 지역이 미국 네바다주 라스베이거스와 콜로라도주 볼더로 고정되어 있어, 이를 기반으로 한 국내 총량 평가 프로그램의 검증에는 한계가 있다. 또한 Standard 140의 테스트 케이스(BESTEST)들은 국내에서 주로 사용되는 VRF 시스템이나 온돌에 대한 평가는 불가능하다. 따라서 국내 총량 평가 프로그램의 기능을 최소한으로 검증할 수 있는 별도의 검증 체계 개발이 필요하다.

- 우리나라는 영국의 National Calculation Methodology (NCM)와 같은 국가별 계산 방법 기준이 부재하여 ISO 등 국제 기준을 인용하고 있으며 이에 따라 총량 평가 프로그램 개발자에 따라 프로그램의 기능과 결과에 차이가 발생할 수 있다. 구체적으로 한국의 주요 총량 기반 기준 준수 평가 프로그램(ECO2, ECO2-OD)은 ISO 52016 국제 표준을 기반으로 월단위 평가 방식을 중심으로 에너지 성능을 평가하는 반면, 미국은 최소 기능 요건을 반영한 동적 시뮬레이션을 의무화하고 Standard 140을 통한 프로그램 성능 검증 체계를 적용함으로써 다양한 평가 프로그램의 활용이 가능하다. 이에 따라, 국내 ECO2 프로그램은 월 단위 용도 프로파일 에 따른 공간별 실제 사용 패턴과 다양성을 충분히 반영하지 못하는 한계를 갖고 있으며[39], 이로 인해 동적 평가 프로그램과 결과 차이를 발생시킬 수 있다. 한편, 에너지 모델링 가이드라인의 부재는 건물 에너지 총량 평가 과정에서 기준 준수 평가 프로그램(ECO2, EnergyPlus, DOE-2 등) 선정, 모델링 스케줄 설정, HVAC 시스템 구성, 신재생 에너지 설비 입력 등의 요소에서 평가자에 따라 입력값 구성 및 모델링 방법이 상이하게 나타날 수 있음을 의미한다. 따라서 예측값과 실측값 간 성능 격차를 줄이기 위한 절차적 정의가 필요할 것으로 보인다. 이를 위해, 기준 준수 시뮬레이션 모델링의 정의 및 표준화와 평가 프로그램 검증 체계 도입은 국내 건물 에너지총량제의 신뢰성을 개선하고, 에너지 효율 평가 시스템을 국제적 수준으로 향상시키는 핵심적 역할을 할 것으로 기대된다.
- 국내 에너지소비총량제도는 건물의 기획 단계 중심으로 성능평가를 진행함으로써 사용 후 실시간 에너지 모니터링 및 POE(Post-Occupancy Evaluation)는 고려되지 않는다. 이로 인해, 제로에너지건물 도입 등에 따른 에너지 절감 효과 확인과 시뮬레이션 예측 및 실측 간 차이를 축소할 기회가 부족[40]하다는 한계가 있다. 따라서, 총량 기반 평가제도에서 BEMS 기반 에너지 모니터링 의무화 및 POE 도입을 통해 시뮬레이션과 실제 사용간 불일치를 지속적으로 줄여나갈 필요가 있다.

종합하면, 국내 에너지 총량 평가 기준은 제도의 평가 기준과 운영 방향 측면에서 지속적인 체계화가 필요하다. 미국의 사례와 같이 건축물 에너지 총량 평가 제도의 세부체계(예: Standard 90.1 ECB 및 Appendix G PRM)와 기준준수 프로그램 평가 체계(ASHRAE Standard 140)의 별도 구축 및 운영은 평가 체계의 최소 신뢰성을 확보하는 장치로서 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 정부의 2050 제로에너지 건축물 도입 정책을 성공적으로 지원하고 제도의 신뢰성과 투명성을 높이기 위해, 장기적으로 기준준수 시뮬레이션의 계산방법, 모델링 가이드라인 및 프로그램 평가 체계를 개발 및 도입할 필요가 있다.

5. 결론

국내 건축물 에너지소비 총량제는 국가의 온실가스 감축과 건물의 에너지 효율 개선을 위한 최소한의 기준을 제시한다는 점에서 국가 에너지 효율 정책에서 중요한 역할을 수행한다. 하지만 현재의 제도는 평가 기준의 구체적 체계와 기준준수 프로그램의 선정 및 검증, 에너지 모델링 방법 등에 대한 구체적인 지침이 부족하고 기준준수 프로그램에 대한 전문적 인증 장치도 미흡하다는 한계가 있다. 이에 본 연구는 미국의 건축물 에너지 총량기반 평가제도를 중심으로 국외 제도를 분석함으로써 국내 제도 개선을 위한 시사점을 도출하였다.

본 연구의 성과는 최근 정부의 건물 에너지 성능 개선 정책과 연계되어 향후 국내 건축물 에너지소비 총량제의 평가 체계 개선을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 구체적으로 시뮬레이션 프로그램 평가 기준 도입, 기준 건물(Baseline) 모델을 통한 상호 평가 방식 개발, 기후 데이터의 다변화와 용도 프로파일 개선 방안 도출, 사후 모니터링 및 피드백 절차 강화 등이 제안될 수 있다. 이를 통해, 향후 국내 건축물의 에너지 절약 정책 체계화와 건축 부문 온실가스 감축 및 에너지비용 절감에 기여할 것으로 기대된다.

Acknowledgement

이 연구는 2025년도 한국연구재단 연구비 지원에 의한 결과의 일부임(과제번호: RS-2024-00391692).

References

- [1] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, 2025. // (MOLIT, Building energy conservation design standards, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2025.)
- [2] 서원준, 박철수, 건물 에너지 진단을 위한 시뮬레이션 적용시 쟁점과 한계, 대한건축학회 논문집-계획계, 제28권 제1호, 2012, pp.273-283. // (W.J. Seo, C.S. Park, Issues and limitations in applying simulation for building energy diagnostics, Journal of the Architectural Institute of Korea-Planning & Design, 28(1), 2012, pp.273-283.)
- [3] J. Zhang et al., Energy and energy cost savings analysis of the IECC for commercial buildings, Pacific Northwest National Laboratory, 2013.08. DOI: 10.2172/1094956
- [4] 국토교통부, 건축법, 1979. // (MOLIT, Building Act, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 1979.)
- [5] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준 해설서, 2023. // (MOLIT, Commentary on the building energy conservation design standards, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2023.)
- [6] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, 제5장 건축물 에너지소비총량제, 2025. // (MOLIT, Building energy conservation design standards, Ch.5 Total energy consumption system for buildings, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2025.)
- [7] 이승주 외 4인, 준정적 건물에너지 해석 평가 도구의 쟁점들—국내 건축물 에너지효율등급 인증평가 프로그램(ECO2)을 중심으로—, 대한건축학회논문집, 제40권 제1호, 2024.01, pp.169-176. // (S.J. Lee et al., Issues and recommendations for quasi steady-state building energy analysis: Focusing on a domestic building energy efficiency rating program (ECO2), Journal of the Architectural Institute of Korea, 40(1), 2024.01, pp.169-176.)
- [8] 국토교통부, 제로에너지건축물 인증에 관한 규칙, 2025. // (MOLIT, Rules on zero energy building certification, Korea: Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2025.)
- [9] 전병기 외 5인, ECO2 운영프로파일 보정을 통한 에너지 사용량 비교에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제12권 제3호, 2018, pp.223-234. // (B.K. Jeon et al., Energy use comparison via ECO2 operating profile calibration, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 12(3), 2018, pp.223-234.)
- [10] 엄해정, 박소민, 송두삼, ECO2 프로그램에서 건물 용도프로파일 에너지 성능 분석 결과에 미치는 영향, 설비공학논문집, 제36권 제7호, 2024, pp.332-341. DOI: 10.6110/KJACR.2024.36.7.332 // (H.J. Eom, S.M. Park, D.S. Song, Effect of building usage profiles on energy performance analysis in the ECO2 program, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 36(7), 2024, pp.332-341. DOI: 10.6110/KJACR.2024.36.7.332)
- [11] 박소민, 송두삼, 국내 건물에너지성능평가 프로그램 예측치와 실제 난방에너지 소비량의 차이 분석, 한국: 대한설비공학회 학술발표대회 논문집, 2022, pp.901-904. // (S.M. Park, D.S. Song, Differences between predicted and actual heating energy use in domestic BEP programs, Korea: Proceedings of SAREK, 2022, pp.901-904.)
- [12] 윤갑천, 전종욱, 김강수, 에너지시뮬레이션에서의 부하요소가 건물에너지사용량에 미치는 영향 분석, KIEAE Journal, 제11권 제4호, 2011, pp.71-78. // (G.C. Yoon, J.W. Jeon, K.S. Kim, Impact of load factors in energy simulation on building energy use, KIEAE Journal, 11(4), 2011, pp.71-78.)
- [13] 김민홍, 김은석, 윤나리, 에너지 해석 프로그램에 따른 에너지소요량 변화 분석—DesignBuilder를 이용한 ECO2의 결과 해석 확장, 한국: 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2023, pp.905-908. // (M.H. Kim, E.S. Kim, N.R. Yoon, Energy demand variation by analysis programs—Extending ECO2 results with DesignBuilder, Korea: Proceedings of AIK, 2023, pp.905-908.)
- [14] 김신혜, 광영훈, 김창성, 에코2와 디자인빌더 프로그램을 이용한 공동주택 에너지 성능 비교 분석, KIEAE Journal, 제18권 제5호, 2018, pp.47-54. // (S.H. Kim, Y.H. Kwak, C.S. Kim, Comparative energy performance of multi-family housing using ECO2 and DesignBuilder, KIEAE Journal, 18(5), 2018, pp.47-54.)
- [15] 이혜린, 김미연, 김형근, 제로에너지 주택단지 성능평가를 위한 국내외 에너지 성능평가 도구의 비교분석 연구, 한국: 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2015, pp.257-258. // (H.R. Lee, M.Y. Kim, H.G. Kim, Comparative analysis of BEP tools for ZEH complexes, Korea: Proceedings of AIK, 2015, pp.257-258.)
- [16] 정석준, 김선혜, 동일한 에너지절감조치에 대한 건축물 에너지효율등급 인증과 LEED 친환경건축물 인증의 에너지 성능 비교분석, 대한건축학회논문집, 제38권 제11호, 2022, pp.269-277. // (S.J. Jeong, S.H. Kim, Comparative energy performance: Korea BEER vs. LEED under identical ECMs, Journal of the Architectural Institute of Korea, 38(11), 2022, pp.269-277.)
- [17] 김창성, ECO2 프로그램을 이용한 공동주택의 단위세대 평면 형태에 따른 에너지 효율 평가, KIEAE Journal, 제15권 제5호, 2015, pp.89-94. // (C.S. Kim, Energy efficiency by unit plan types using ECO2, KIEAE Journal, 15(5), 2015, pp.89-94.)
- [18] 조수 외 3인, 제로에너지빌딩의 기술 패키지 적용을 위한 에너지성능 평가 도구 비교분석 및 개선방안 제안, 한국건축친환경설비학회 논문집, 제11권 제4호, 2017, pp.319-330. // (S. Cho et al., Comparative analysis of ZEB toolkits and improvement proposals, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 11(4), 2017, pp.319-330.)
- [19] 조정훈, 국내외 건축물 에너지 성능평가 기준 및 평가도에 관한 고찰, 한국: 발행처 미상, 2017. // (J.H. Cho, A review of building energy performance standards and tools (domestic/international), Korea:

- publisher unknown, 2017.)
- [20] 김혜진, 서동현, 건축물에너지효율등급 평가기준 개선에 관한 연구, 한국: 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2022, pp.383-386. // (H.J. Kim, D.H. Seo, Improving the evaluation criteria of the building energy efficiency rating, Korea: Proceedings of AIK, 2022, pp.383-386.)
 - [21] ASHRAE, ANSI/ASHRAE/IES standard 90.1-2022, Energy standard for sites and buildings except low-rise residential buildings, ASHRAE/IES, 2022.
 - [22] USGBC, LEED BD+C: New construction v4, U.S. Green Building Council, 2025.
 - [23] ANSI/ASHRAE/IES standard 189.1-2023, Standard for the design of high-performance green buildings except low-rise residential buildings, ASHRAE/IES, 2023.
 - [24] M.I. Rosenberg, P.R. Hart, Developing performance cost index targets for ASHRAE standard 90.1 appendix g—performance rating method, No. PNNL-25202, Pacific Northwest National Lab (PNNL), 2016.
 - [25] ICC, International energy conservation code (IECC) 2024, International Code Council, 2024.
 - [26] ANSI/ASHRAE/IES standard 183-2024, Peak cooling and heating load calculations in buildings except low-rise residential buildings (ANSI approved; ACCA co-sponsored), ASHRAE/IES, 2024.
 - [27] Air Conditioning Contractors of America, Manual J: Residential load calculation, 8th ed., Arlington: ACCA, 2016.
 - [28] ANSI/ASHRAE standard 140-2020, Method of test for evaluating building performance simulation software, ASHRAE, 2020.
 - [29] National Research Council Canada, National energy code of Canada for buildings (NECB) 2020, 2020.
 - [30] BRE, BREEAM international V7: New construction, 2025.
 - [31] Passive House Institute, Criteria for buildings: Passive house • EnerPHit • PHI low energy building, Version 10c, 2023.
 - [32] NABERS, Handbook: Estimating NABERS ratings, Version 3.2, 2024.
 - [33] European Union, Regulation (EU) 2020/852 and amending regulation (EU) 2019/2088, 2020.
 - [34] BRE, The transition to BREEAM version 7, 2025.
 - [35] BRE, BREEAM GN53—Energy modelling and predicted operational energy performance score in Ene 02, 2025.
 - [36] UK Government, National Calculation Methodology (NCM) modelling guide (for buildings other than dwellings in England), HM Government, 2021.
 - [37] BRE, BREEAM V7 consultation document—Proposed changes to energy, carbon science, and BREEAM criteria, 2025.
 - [38] 양시원, 김선숙, 에너지 사용량 평가방법 분석을 통한 건축물에너지소비증명제도 개선방향, 대한건축학회논문집, 제30권 제12호, 2014.12, pp.307-314. // (S.W. Yang, S.S. Kim, Improving Korea's building energy performance disclosure via operational rating methods, Journal of the Architectural Institute of Korea, 30(12), 2014.12, pp.307-314.)
 - [39] 엄혜정, 박소민, 송두삼, 건물에너지성능분석시 용도프로필의 영향 분석, 한국: 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2023, pp.690-693. // (H.J. Eom, S.M. Park, D.S. Song, Effect of usage profiles on building energy performance analysis, Korea: Proceedings of SAREK Summer Conference, 2023, pp.690-693.)
 - [40] 최태숙, 건축물 유지관리를 위한 통합관리시스템 구성에 관한 연구, 한국생활환경학회지, 제22권 제5호, 2015, pp.696-704. // (T.S. Choi, Integrated management system for building O&M, Journal of the Korean Society of Living Environmental System, 22(5), 2015, pp.696-704.)

Appendix

Appendix A. Comparative analysis of total building energy performance evaluation systems in Korea and the United States

		Building Energy Conservation Design Standards (2025)	ASHRAE Standard 90.1-2022	IECC 2024
Type		• Code	• Model Standard (written to be adoptable as code)	• Model Code
Related authority		• Ministry of Land, Infrastructure and Transport (Central Government agency)	• ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers)	• ICC (International Code Council)
Performance paths		• Chapter 5. Total Building Energy Consumption System • Chapter 1. Exception to application	• Section 12. Energy Cost Budget (ECB) Method, • Normative Appendix G, Performance Rating Method (PRM)	• Chapter [CE] 4, Section C407: Simulated Building Performance • Chapter [RE] 4, Section R405: Simulated Building Performance
Target buildings		• Business facilities, educational and research buildings (chap.5), all building types (chap.1)	• Residential and commercial buildings excluding low-rise residential buildings	• Residential facilities, commercial facilities
Evaluation methods	Calculation methods	• ISO 52016 or equivalent international calculation methods	• Dynamic calculation methods	• Dynamic calculation method
	Evaluation factors	• Annual primary energy use per area for cooling, heating, hot water, ventilation, and lighting	• Whole buildings energy cost	• Whole buildings energy performance
	Code-compliance	• For total energy performance evaluation, primary energy EUI requirements (Chap.5) • Private building: Annual EUI less than 200kWh/m ² • Public institution building: Annual EUI less than 140kWh/m ² or a ZEB rating (exceptions) (Chap.1)	• ECB • The proposed design's annual energy cost must be lower than the baseline design's adjusted energy cost budget, which accounts for the value of the required energy credits. • PRM • The proposed design's PCI must fall below the target PCI (PCIt), where corresponds to the building energy cost at the Standard 90.1-2004 baseline, and PCI 0 represents a net-zero energy cost building.	• Compliance requires that the proposed building's annual energy cost be less than or equal to the adjusted annual energy cost of the baseline design, calculated by applying the target percentage (i.e., PAEC).
Evaluation programs	Evaluation tool	• Computer-based simulation programs	• Computer-based simulation programs (e.g., DOE-2, EnergyPlus)	• Use performance analysis software tools to calculate the annual energy performance of all building component that differentiate (for Chap.4) between the reference design and the proposed design.
	Evaluate program functional requirements	• Not specified	For both ECB and PRM 1. 8,760 hours per year 2. Reflecting hourly data for occupancy, lighting power, other equipment power, thermostat set point, humidity set point, and HVAC system operation 3. Effect of thermal mass 4. Ten or more thermal zones 5. Part load performance curves modeling for mechanical equipment 6. Capacity and efficiency correction curves for mechanical heating and cooling equipment 7. Air economizers with integrated control functions 8. Budget or baseline building design characteristics as defined in the standard	1. 8,760 hours per year 2. Climatic data for one year reflecting approved hourly data for temperature, solar radiation, humidity, and wind speed 3. Ten or more thermal zones 4. Effect of thermal mass 5. Reflecting hourly data for occupancy, lighting power, power load, thermostat settings, mechanical ventilation, HVAC equipment availability, hot water usage, and all process loads 6. Part-load performance curves for mechanical equipment 7. Capacity and efficiency correction curves for mechanical heating and cooling equipment 8. Printed code official inspection checklist for proposed design components listed in Table C407.4.1.1(1)

Appendix A. Comparative analysis of total building energy performance evaluation systems in Korea and the United States (Continued)

		Building Energy Conservation Design Standards (2025)	ASHRAE Standard 90.1-2022	IECC 2024
Evaluation program testing method		• No program testing criteria of adopting authorities	• ASHRAE Standard 140-2020, adopted by the related authorities	• ASHRAE Standard 140-2020, adopted by the related authorities
Energy modeling methods	Climate data	• No requirements	• User choice of several available data sources	• User choice of several available data sources
	Baseline models	• No reference models	• Table 12.5.1, Table G3.1	• Table C407.4.1(1), Table R405.4.2(1)
	Modeling requirements	• No building energy modeling requirements	• Proposed design and baseline design modeling requirements for 18 categories: building modeling, additions and alterations, space use classification, schedules, building envelope, lighting, thermal blocks, HVAC systems, hot water systems, receptacle and other loads, modeling restrictions to the simulation program, exterior conditions, distribution transformers, elevators, refrigeration equipment, and on-site renewable energy	• Proposed design and baseline design modeling requirements for 20 categories: space use classification, roofs, walls (above-grade, below-grade), floors (above-grade, slab-on-grade), opaque doors, vertical windows, skylights, lighting (interior, exterior), internal gains, schedules, outdoor air flow, heating systems, cooling systems, hot water systems, energy recovery, fan power, on-site renewable energy
	HVAC system capacity calculation methods	• No requirements	• Per G3.2.2.2, HVAC capacities for the baseline building design shall be based on sizing runs for each orientation and shall be oversized by 15% for cooling and 25% for heating	• Heating and cooling capacities must not exceed the design loads, which shall be calculated based on ASHRAE Standard 183 for commercial buildings, ACCA Manual J for residential buildings, or by approved equivalent computational methods