



건물 높이별 엘리베이터 에너지 소비 특성 연구 - VDI 4707-1과 실측 데이터 비교를 통해 -

Comparative Analysis of Elevator Energy Consumption by Building Height - A Study Based on VDI 4707-1 and On-Site Measurements -

강연주* · 김원년** · 최호연*** · 이연주**** · 남유진*****

Yeonju Kang* · Won-Nyeon Kim** · Ho-Yeon Choi*** · Yeon-Joo Lee**** · Yujin Nam*****

* Main author, Researcher, Research Institute of Industrial Technology, Pusan National Univ., South Korea (yjkang@pusan.ac.kr)

** Coauthor, Undergraduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (rla001219@naver.com)

*** Coauthor, Undergraduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (oxford014@naver.com)

**** Coauthor, Undergraduate Student, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ., South Korea (cellojoo0331@naver.com)

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

ABSTRACT

Purpose: This study aims to quantitatively analyze the Energy Performance Gap between standardized elevator energy calculation methods, such as VDI 4707-1, and actual measured values, and to identify the key factors causing this difference. Standardized methods have limitations in accurately reflecting the unique, dynamic operational conditions of actual buildings, which can lead to significant discrepancies. **Method:** Theoretical energy consumption was calculated for four office buildings of varying heights (low-rise to super-tall) based on the VDI 4707-1 standard. These results were then compared with measured, real-world consumption data from prior research. A model calibration was performed by adjusting VDI parameters to match actual building conditions, and a sensitivity analysis was conducted to identify the impact of key variables on total energy consumption. **Result:** The analysis revealed that the standard VDI calculation can overestimate actual energy consumption by more than 17 times, but this prediction error can be significantly reduced through model calibration. Furthermore, the sensitivity analysis confirmed that as building height increases, the influence of ‘travel energy factors’ becomes overwhelmingly greater than that of ‘standby energy factors’. This suggests that a one-size-fits-all approach is inadequate for elevator energy assessment, and the process of calibrating standard models with site-specific data can significantly contribute to establishing effective, building-specific energy-saving strategies.

KEYWORD

엘리베이터
에너지 소비량
민감도 분석

Elevator
Energy Consumption
Sensitivity Analysis

ACCEPTANCE INFO

Received Jun. 25, 2025

Final revision received Jul. 22, 2025

Accepted Jul. 28, 2025

© 2025. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 급속한 인구 증가와 도시화는 지속적인 에너지 수요 증가를 야기하고 있으며, 이 중 건물 부문은 전체 에너지 수요의 약 3분의 1을 차지한다[1]. 특히 건물의 평균 높이와 밀도가 증가함에 따라 수직 이동 수단에 대한 필요성이 증대되어 엘리베이터 사용량과 그에 따른 에너지 수요가 크게 확장되고 있다[2]. 엘리베이터 시스템은 건물 전체 에너지 사용량에서 상당한 부분을 차지하며, 그 비중은 건물의 특성에 따라 적게는 2%에서 많게는 40%에 이를 수 있다[3].

이러한 중요성에도 불구하고, 건물 에너지 소비에 관한 연구는 주로 냉난방 공조 시스템이나 조명, 건물 구조 및 설계에 집중되어 왔다[4~5]. 이에 비해 엘리베이터 시스템의 에너지 소비와 효율에 대한 심층적인 연구가 상대적으로 부족한 실정이다. 현재 엘리베이터의 에너지 성능을 평가하는 데에는 독일의 VDI 4707-1과 국제 표준인 ISO 25745와 같은 제도가 국제적인 기준으로 활용되고 있다[6]. 하

지만 국내의 경우, 이러한 에너지 효율성 평가 제도는 「승강기 안전관리법」과 같이 법으로 강제되는 의무사항이 아니다. 국내 승강기 제도는 한국승강기안전공단(KOELSA)의 관리 아래 안전 검사와 유지보수를 중심으로 운영되어, ‘안전’을 확보하는 데 중점을 두어왔다[7]. 이와 대조적으로 ‘에너지 효율’은 LEED (미국), G-SEED (한국, 녹색건축인증)와 같은 녹색건축인증 제도와 연계하여, 회생제동 장치 등 고효율 제품 채택 시 인센티브를 제공하는 간접적인 방식으로 시장의 자발적 선택을 유도하고 있다[8].

이러한 제도적 배경 속에서, 표준화된 운행 프로파일을 기반으로 하는 VDI 4707과 같은 계산 방식은 실제 건물의 고유한 교통 패턴이나 동적인 운영 특성을 정확하게 반영하는 데 한계가 있다[9]. 이로 인해 표준 계산식에 기반한 예측값과 실제 현장에서 측정된 에너지 소비량 사이에는 상당한 괴리가 발생할 가능성이 크다. 선행연구에 따르면, 실제 에너지 소비량은 건물의 높이, 용도(상업용/주거용), 그리고 실제 운행 빈도와 같은 요인에 의해 더 큰 영향을 받는다[10]. 그럼에도 불구하고, 저층부터 초고층까지 다양한 건물 유형에 걸쳐 표준 계산값과 실측값의 차이를 체계적으로 정량화하고 그 원인을 규명하려는 실증적 연구는 부족한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저층부터 초고층까지 다양한 규모의 건물

을 대상으로, VDI 4707-1 표준을 적용한 에너지 소비량 계산 결과와 선행 연구에서 제시된 실제 측정 소비량을 직접 비교 분석하고자 한다[3]. 또한, VDI 계산식의 주요 변수에 대한 민감도 분석을 수행하여 이론적 에너지 소비량의 핵심 영향인자를 파악하고, 나아가 실제 데이터와의 비교를 통해 두 값의 차이를 유발하는 근본적인 원인을 규명하여 보다 정확한 에너지 소비량 예측 방안의 기초를 마련하는 것을 최종 목적으로 한다. 특히 국내와 같이 승강기 에너지 효율 등급이 아직 의무화되지 않은 제도적 과도기에서, 국제 표준의 유효성을 다각적으로 검토하고 실제 환경과의 차이를 규명하는 본 연구는 향후 실효성 있는 에너지 관련 제도를 수립하는 데 필요한 기초 자료가 될 것이라 사료된다.

1.2. 연구의 방법 및 절차

본 연구는 VDI 표준 계산식을 이용한 이론적 접근과 실측 데이터 기반의 실증적 접근을 결합하여 다음과 같은 4단계의 절차로 수행하였다.

- 1) 연구 대상 선정 및 데이터 수집: 규모가 다른 저층, 중층, 고층, 초고층 오피스 건물을 대상으로 선정하고, 각 건물의 물리적 특성과 엘리베이터 시스템의 기술 사양 데이터를 수집하였다.
- 2) VDI 4707-1 기반 에너지 소비량 계산: 수집한 제원과 정보를 VDI 4707-1 표준 계산식의 입력 변수로 설정하고, 다양한 운행 시나리오에 따른 이론적 에너지 소비량을 산출하였다.
- 3) 비교 데이터 수집: 본 연구의 VDI 계산 결과와 비교 분석하기 위해, 선행 연구에서 제시된 실측 기반 에너지 소비량 데이터를 비교 대상으로 수집 및 선정하였다.
- 4) 비교 분석 및 주요 영향 요인 도출: VDI 계산 결과와 선행 연구의 실측 결과를 정량적으로 비교하여 성능 격차를 분석하고, 민감도 분석을 통해 이론값의 핵심 영향인자를 식별하였다.

2. 연구방법

2.1. 대상 건물 및 엘리베이터 시스템 선정

선정된 연구 대상의 주요 개요 및 엘리베이터 시스템 사양은 Table 1.과 같다. 본 연구는 건물의 수직적 규모가 엘리베이터의 에너지 소비량에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 이를 위해 건물의 용도 변수를 통제하고 규모의 효과를 비교하고자, 동일한 ‘업무시설’이면서 수직적 규모가 뚜렷하게 구분되는 국내의 저층, 중층, 고층 및 초고층 오피스 건물을 연구 대상으로 선정하였다. 특히 엘리베이터 자체의 에너지 효율이 결과에 미치는 영향을 배제하고, 건물 규모와 운행 패턴의 영향을 분석하기 위해, 모든 대상 건물에는 VDI 4707-1 기준 ‘A등급(Class A)’의 고효율 승객용 엘리베이터가 설치된 사례로 한정하였다. 선정된 대상의 건축 개요는 일반건축물대장을, 엘리베이터의 주요 사양은 국가승강기정보센터의 정보를 참조하여 수집하였다[11~12].

2.2. VDI 4707-1 기반 에너지 소비량 산정 방법

VDI 4707-1:2009는 독일 기술사 협회(Verein Deutscher

Table 1. Building information and corresponding elevator system

Category	Parameter	Low-rise (case 1)	Mid-rise (case 2)	High-rise (case 3)	Supertall (case 4)
Building info	Building name	Shinhan Bank	Hana Financial Investment HQ	East Central Tower	Busan Int'l Finance Center
	Location	Busan, South Korea	Seoul, South Korea	Seoul, South Korea	Busan, South Korea
	Height (m)	43	111	150	289
	Floors (above/below)	9/2	23/5	36/6	63/3
	Gross Floor Area (m ²)	9,301	69,826	100,422	197,869
Elevator system	Manufacturer	Hyundai elevator	Hyundai elevator	Hyundai elevator	Hyundai elevator
	Model name (s)	WBLXGT2	WBLX1 /WBHS1	WBHS1	SUVF
	Number of lifts	2	8	11	19
	Rated load (kg)	1150	750/1600	1350	1600/1800
	Rated speed (m/s)	1.75	1.50/4.00	4	6.0/8.0/9.0

Ingenieure)가 제정한 표준으로, 엘리베이터의 에너지 효율성을 객관적으로 평가하고 비교하기 위한 지침을 제공한다[13]. VDI 4707 가이드라인은 엘리베이터의 연간 총 에너지 요구량(E_{year})을 산정하기 위해, 시스템의 에너지 소비를 주행 에너지(E_{travel})와 대기 에너지($E_{standby}$)로 구분한다. 일일 총 에너지 요구량(E_{day})은 이 두 에너지의 합으로 정의되며(Eq. 1), 이를 연간 값으로 환산하여 최종적인 에너지 요구량을 도출한다.

$$E_{day} = E_{travel} + E_{standby} \tag{Eq. 1}$$

일일 주행 에너지(E_{travel})는 단위 주행 에너지(E_{spec}), 일일 주행 거리(s_{nom}), 정격 하중(Q), 그리고 구동 방식에 따른 하중 계수(k)를 곱하여 산정한다(Eq. 2). 하중 계수(k)는 로프식 엘리베이터의 경우 0.8, 유압식의 경우 1.2가 적용되며, 이는 각 시스템의 에너지 소비 특성을 반영한다.

$$E_{travel} = k \cdot E \cdot s_{nom} \cdot Q \tag{Eq. 2}$$

일일 대기 에너지($E_{standby}$)는 엘리베이터가 운행하지 않는 상태에서 소비되는 전력으로, 측정된 대기 전력(P_{stand})에 하루 24시간에서 실제 사용 시간(t_{usc})을 제외한 대기 시간을 곱하여 계산한다(Eq. 3).

$$E_{standby} = P_{stand} \cdot (24h - t_{usc}) \tag{Eq. 3}$$

계산의 기초가 되는 일일 주행 거리(s_{nom})는 일일 주행 횟수(n_{trip})와 평균 주행 거리(h_f)를 통해 구하거나(Eq. 4), 정격 속도(v_N)와 일일 사용 시간(t_{use})을 통해 추정할 수 있다(Eq. 5).

$$s_{nom} = n_{trip} \cdot h_f \quad (Eq. 4)$$

$$s_{nom} = v_N \cdot t_{use} \quad (Eq. 5)$$

마지막으로, 산출된 일일 총 에너지 요구량(E_{day})에 연간 운행 일수(N)를 곱하여 연간 총 에너지 요구량(E_{year})을 최종적으로 도출한다(Eq. 6).

$$E_{year} = E_{day} \cdot N \quad (Eq. 6)$$

2.3. 엘리베이터 에너지 소비량 계산 시나리오 설정

케이스별 엘리베이터 에너지 소비량 계산 시나리오 설정값은 Table 2와 같다. 사용 범주(Usage Category)는 엘리베이터의 운행 빈도 및 건물 용도에 따라 차등 적용하였다. 저층 오피스의 경우, 최대 10층의 소규모 건물로서 운행 빈도가 비교적 낮고 일정하여 Category 3 (occasionally)으로 설정하였다. 반면, 높이가 100m 이상이며 엘리베이터 이용 빈도가 높은 중층, 고층, 초고층 오피스 빌딩은 VDI 4707 기준표에서 제기한 Category 5 (very frequently)에 부합하여 해당 범주를 일괄 적용하였다[13]. 평균 운행 거리(Average Travel Distance)는 각 건물의 층고와 엘리베이터의 운행 구간을 바탕으로 산출되었다. 특히 여러 뱅크로 구성된 중층 및 초고층 건물은 저층용, 고층용 등 각 그룹의 운행 특성을 반영한 값이 적용되었다. 연간 운행 일수 및 대기 전력은 VDI 4707 표준의 일반적인 조건에 따라 연중무휴 운행(365일)을 가정하였고, 효율 등급 'A'에 해당하는 낮은 대기 전력(50W)을 공통으로 설정하였다. 중층 및 초고층 건물의 '정격 하중'과 '정격 속도'는 저층부, 중간층부, 고층

Table 2. Detailed baseline scenario parameters for case study

Category	Parameter	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
Operational profile	VDI 4707 usage category	Category 3	Category 5	Category 5	Category 5
	Average travel distance (m)	24	46	75	92
	Annual operating days	365	365	365	365
	VDI 4707 efficiency class	A	A	A	A
	Standby power (W)	50	50	50	50
	Specific travel power (mWh)	0.56	0.56	0.56	0.56

부 등을 담당하는 각 엘리베이터 그룹의 사양을 함께 표기하였다.

2.4. 민감도 분석 시나리오 설정

본 연구에서는 VDI 4707-1 기반의 에너지 소비량 산출 모델에 사용된 주요 입력 변수들이 최종 결과에 미치는 영향을 정량적으로 평가하기 위해 민감도 분석을 수행하였다. 이 분석은 건물 규모별로 어떤 변수가 에너지 소비에 더 결정적인 영향을 미치는지 식별하여, 효과적인 에너지 절감 전략의 우선순위를 제시하고자 하였다. 분석은 기준 시나리오(Baseline Scenario)의 각 변수를 독립적으로 변경하고, 다른 모든 변수는 고정하는 OAT (One-at-a-Time) 방식을 사용하였다. 각 시나리오에 따라 변화된 변수값을 시뮬레이션 모델에 적용하여 연간 총에너지 소비량의 변화를 측정하였으며, 이를 기준 시나리오의 결과와 비교하여 각 변수의 민감도를 백분율(%)로 산출하였다.

3. 연구결과

3.1. 건물 유형별 엘리베이터 에너지 소비량 분석

Fig. 1.은 각 건물 규모별 엘리베이터의 주요 사양과 그에 따른 1대당 일일 평균 에너지 소비량 및 연간 총 에너지 소비량을 보 나타내며, Fig. 2.는 초고층 건물 내부 조닝에 따른 에너지 소비량을 나타낸다. 본 연구에서는 건물의 규모와 유형을 저층, 중층, 고층, 초고층으로 구분하고, 각 유형에 설치된 엘리베이터의 시스템 사양에 따른 에너지 소비량 특성을 분석하였다. 분석 결과, 건물의 규모가 커지고 수직적 이동 거리가 길어짐에 따라 엘리베이터 에너지 소비량 또한 증가하는 경향을 나타냈다.

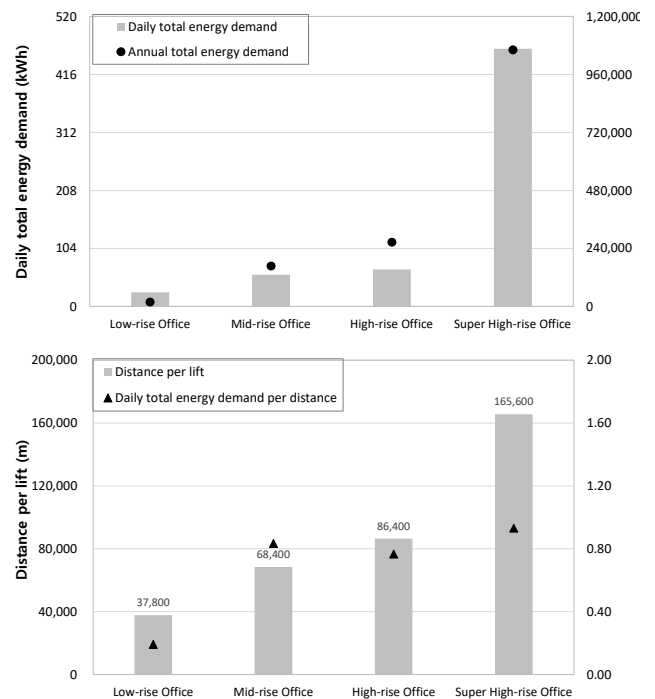


Fig. 1. Energy demand and travel distance by building type

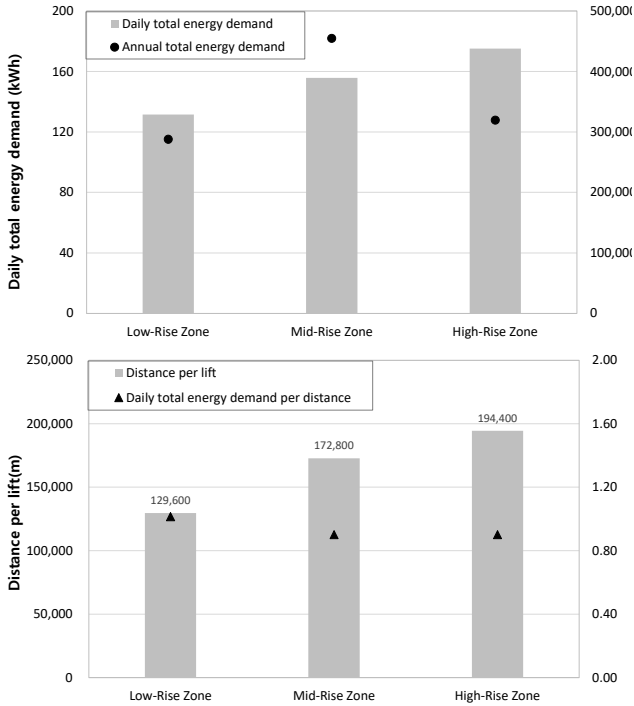


Fig. 2. Energy demand and travel distance of a supertall building

저층 건물에서 초고층 건물로 규모가 커짐에 따라 엘리베이터 1대당 일일 에너지 소비량과 건물의 연간 총 에너지 소비량은 현저히 증가하는 경향을 보였다. 초고층 건물의 연간 총에너지 소비량은 약 1,062,319kWh로, 저층 건물(5,264kWh) 대비 약 200배, 중층 건물(239,269kWh) 대비 약 4.4배 높게 산정되었다. 이는 건물의 고층화가 엘리베이터의 운행 거리, 속도, 필요 대수 증가로 이어져 전체 에너지 소비량을 급증시키는 핵심 요인임을 시사한다.

초고층 건물의 경우, 효율적인 운영을 위해 저층부, 중층부, 고층부로 나누어 운영하는 조닝(Zoning) 시스템을 적용한다. 1대당 일일 에너지 소비량은 운행 거리가 가장 긴 고층부(175.0kWh)에서 가장 높게 나타났다. 하지만 연간 총 에너지 소비량은 중층부(454,728kWh)에서 가장 높은 수치를 보였다. 이는 중층부에 할당된 엘리베이터의 대수(8대)가 다른 존(저층부 6대, 고층부 5대)에 비해 상대적으로 많아, 존 전체의 총 운행 에너지량이 증가했기 때문으로 분석된다. 즉, 개별 엘리베이터의 효율성뿐만 아니라, 해당 구역에 운행되는 엘리베이터의 총 대수가 존 전체의 에너지 소비량을 결정하는 주요 변수로 사료된다.

3.2. VDI 4707 규격 기반의 이론적 에너지 소비량과 실측 데이터의 비교 검증

Table 3.은 본 연구의 초기 산정값과 선행연구의 실측값을 비교하여 그 오차를 나타낸다. Table 4.는 해당 오차를 보정하기 위해 조정된 주요 변수들의 상세 내역이며, Table 5.는 이를 바탕으로 최종 보정된 산정 결과를 나타낸다. VDI 표준 계산 방식은 정격 하중 및 최대 운행 일수 등 동일한 표준 조건을 가정하므로, 실제 건물의 다양한 운행 환경에서 발생하는 에너지 소비량과는 차이를 보일 수 있다.

Table 3. Comparison of annual energy consumption

Category	VDI calculation (kWh/a)	Measured data (kWh/a)	Building information
Low-rise	5,264	6,423	Low-rise Office (LO)
Mid-rise	239,269	13,618	High-rise Office (HO)
High-rise	265,867	14,485	High-rise Residential (HA)
Super-tall	1,062,319	-	-

Table 4. Details of key parameter adjustments for VDI model calibration

Parameter	Value in VDI standard calculation	Value in calibrated model
Number of elevators	10 units	8 units
Rated speed	2.5m/s	1.6m/s
Rated load	1500kg	900kg
Occupancy rate during travel	100%	70%
Usage intensity	5	4
Annual operating days	365 days	250 days

Table 5. Result of calibrated VDI calculation

Analysis scenario	Annual energy consumption (kWh/a)
VDI standard calculation	239,269
Calibrated VDI calculation	18,835
Measured data	13,618

본 연구에서는 VDI 4707 계산 모델의 실제 적용성을 검증하기 위해, 저층 및 고층 건물의 엘리베이터 에너지 소비량을 실측 기반으로 분석한 선행 연구[3]의 결과와 VDI 4707 표준 계산 결과를 비교 분석하였다. 본 연구에서 VDI 4707 표준에 따라 산출한 110.55m 중층 건물의 연간 에너지 소비량은 239,269kWh로 계산되었다. 이를 유사한 제원(높이 108m, 8대 엘리베이터)을 가진 선행연구의 고층 상업용 오피스(HO) 건물의 실측 기반 연간 소비량인 13,617.6kWh와 비교했을 때, 약 17.5배 높은 수치를 보였다. 이는 VDI 4707의 표준 가정이 실제 운행 환경과 상당한 차이가 있음을 나타내었다.

VDI 4707은 연중무휴 24시간 운영을 가정하여 에너지 소비량을 계산하지만, 대상 건물인 고층 상업용 오피스(HO)는 출퇴근 시간(Peak time)에 운행이 집중되고 업무 외 시간, 야간과 주말에는 대기 상태를 유지하는 간헐적 운행 특성을 보인다. 이로 인해 운행이 없는 시간대의 유휴 에너지 소비량까지 모델에 포함되면서, 실측값과 오차를 발생시킨 것으로 판단된다. 따라서 이 오차를 보정하고 모델의 예측 정확도를 높이기 위해, 선행 연구[3]에서 제시된 실제 HO 건물의 운행 스케줄(운행 시간, 피크타임 부하)을 반영하여 VDI 모델의 주요 입력 변수를 조정하였다.

VDI 표준 계산값은 239,269kWh였으나, Table 4.의 실제 운행 조건을 반영하여 모델을 보정한 결과 연간 에너지 소비량은 18,835kWh로 크게 감소하였다. 이는 실측치인 13,617.6kWh와 근사한 수준으로, 초기 오차를 줄였음을 확인하였다.

결과적으로 VDI 4707과 같은 표준화된 계산 방식이 특정 건물의 실제 에너지 소비량을 예측하는 데에는 한계가 있음을 시사한다. 따라서, 특정 건물의 정확한 에너지 성능을 평가하거나 개선 방안을 도출하기 위해서는 표준 모델을 대상 건물의 고유한 운행 특성(실제 교통량, 운행 스케줄, 탑승률)을 반영하여 보정하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

3.3. 엘리베이터 에너지 소비량에 대한 주요 영향 인자 민감도 분석

Table 6.은 엘리베이터 에너지 소비량 민감도 분석에 사용된 주요 변수와 그 조정 내역을 정리한 내용을 나타낸다. Fig. 3.은 민감도 분석 시나리오에 따른 에너지 소비량의 변화를 보여주며, Fig. 4.는 각 영향 인자의 상대적 중요도를 토네이도 차트로 시각화한 결과이다. 엘리베이터의 에너지 소비를 효과적으로 관리하기 위해, 어떤 운영 및 기술적 변수가 가장 큰 영향을 미치는지 식별하고자 민감도 분석을 수행하였다. 분석은 6개의 주요 변수(대기 전력, 일일 대기 시간, 평균 운행 거리, 단위 운행 전력, 일일 운행 시간, 사용 강도)를 기준값 대비 ±10%, ±20%씩 조정하여 연간 총 에너지 소비량의 변화를 관찰하는 방식으로 진행되었다. 분석 결과, 에너지 소비에 영향을 미치는 변수들은 그 영향력의 크기에 따라 두 그룹으로 구분되었다. 운행 에너지 인자(평균 운행 거리, 단위 운행 전력, 일일 운행 시간, 사용 강도)는 대기 에너지 인자(대기 전력, 일일 대기 시간)보다 모든 건물 유형에서 높은 민감도를 보였다. 운행 에너지 관련 변수들은 20% 조정 시 최대 20%에 가까운 총 에너지 변화를 유발한 반면, 대기 에너지 관련 변수들의 영향력은 최대 3.12%에 그쳤다. 이는 엘리베이터 에너지 소비의 대부분이 정지 상태가 아닌, 실제 운행 과정에서 발생함으로 판단된다.

본 분석을 통해 건물의 규모가 커질수록 대기 에너지 인자의 상대적 중요성이 감소하는 것으로 확인되었다. 저층 건물의 경우, 대기 전력을 20% 절감하면 총 에너지를 3.12% 줄일 수 있어 유의미한 전략으로 판단된다. 하지만 건물이 고층화될수록 운행 에너지의 비중이 커짐에 따라 대기 전력의 영향력은 미미해지는 것으로 나타났다. 실제로 초고층 건물에서 대기 전력 절감의 기여도는 0.13% 수준에 불과하였으며, 운행 에너지 인자와의 영향력 격차는 약 150배까지 벌어지는 것으로 확인되었다.

4. 결론

본 연구는 저층부터 초고층까지 다양한 규모의 오피스 건물에 설치된 엘리베이터를 대상으로, 독일의 VDI 4707-1 표준에 기반한 이론적 에너지 소비량과 선행 연구의 실측 데이터를 비교 분석하였다. 또한, 주요 변수에 대한 민감도 분석을 통해 에너지 소비에 결정적인 영향을 미치는 요인을 규명하고, 이를 바탕으로 효과적인 에너지 절감 전략의 방향성을 제시하고자 하였다.

연구의 주요 결론은 다음과 같다.

첫째, 표준 계산 모델과 실측 에너지 소비량 간에는 차이가 있으며, 특히 고층 건물에서는 VDI 4707 기반 이론값이 실제보다 약

Table 6. Parameters and variation ranges for sensitivity analysis

Category	Analysis parameter	Variation range
Standby parameters	Standby demand (W/lift)	Baseline ±10%, ±20%
	Time of standby (h/day)	Baseline ±10%, ±20%
Travel parameters	Average distance/trip (m)	Baseline ±10%, ±20%
	Specific travel demand (Wh/m)	Baseline ±10%, ±20%
	Usage intensity	Baseline ±10%, ±20%
	Time of usage (m/s)	Baseline ±10%, ±20%

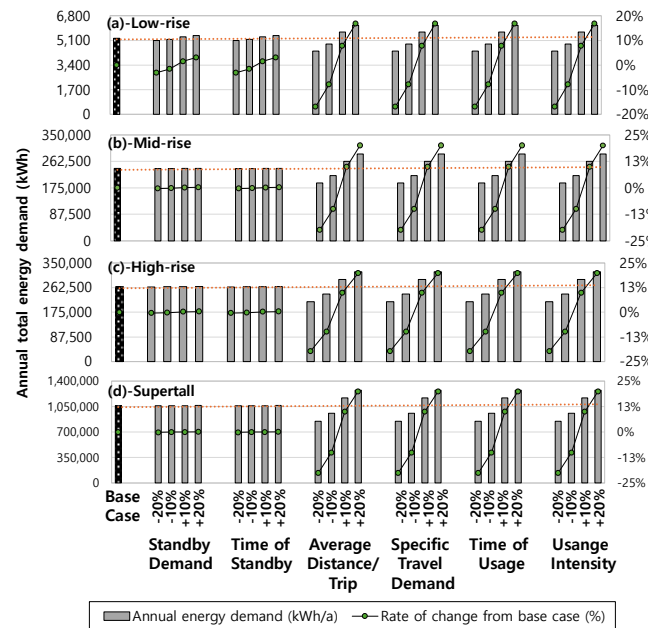


Fig. 3. Sensitivity analysis by building type

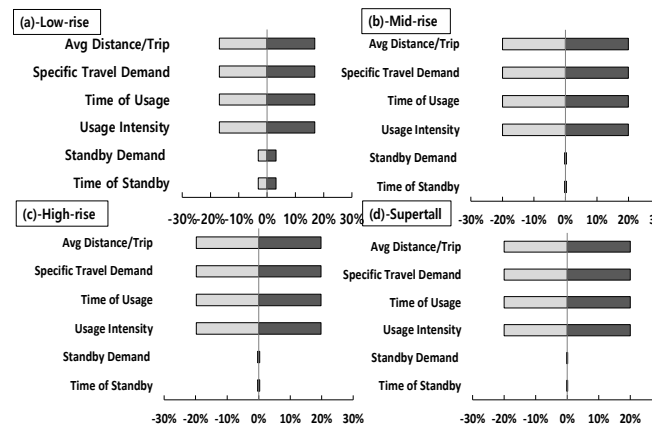


Fig. 4. Key drivers of lift energy consumption by building type

18.5배 높은 소비량을 산정해 과대평가되는 경향이 나타났다. 이는 표준이 정격 하중 및 연중무휴 운행 등 보수적인 조건을 가정했기 때문이라 판단된다.

둘째, VDI 표준 계산 모델에 실제 운행 데이터를 반영해 입력값을

보정하면 예측 정확도가 크게 향상된다. 예를 들어, 중층 건물의 연간 소비량은 VDI 표준 조건에서는 239,269kWh로 계산되었으나, 엘리베이터 대수, 속도, 하중, 실제 운행일수 등을 실제 조건으로 조정 시 18,835kWh로 줄어들어 실측값(13,618kWh)과의 오차율이 약 38%로 개선되었다.

셋째, 민감도 분석 결과, 엘리베이터 소비에 영향을 주는 변수는 운행 에너지 인자와 대기 에너지 인자로 나뉘며, 이 중 운행 인자는 20% 변화 시 건물의 규모와 관계없이 19.78%의 소비량 변동을 보여 가장 민감하게 반응하였다. 반면, 대기 인자의 영향은 건물 규모에 따라 달라져, 저층 건물에서는 3.12%의 변동을 보였지만 초고층 건물에는 0.13%로 감소하였다. 이는 고층 및 초고층 건물일수록 운행 과정 자체의 효율 개선이, 저층 건물일수록 대기 에너지 효율 개선이 효과적인 전략일 것으로 판단된다.

마지막으로, 본 연구가 건물 높이별 엘리베이터 에너지 소비 특성이라는 특정 영역을 심층적으로 규명하였다면, 향후 연구에서는 엘리베이터 시스템의 에너지 소비가 건물 전체의 총 에너지 부하에서 차지하는 상대적 비중을 명확히 하고, HVAC 시스템, 조명 등 다른 주요 에너지 소비원과의 복합적인 상호작용을 통합적으로 분석할 예정이다.

Acknowledgement

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

References

- [1] International Energy Agency (IEA), Tracking Clean Energy Progress 2023, IEA, 2023.
- [2] T. Tukia et al., Modeling the aggregated power consumption of elevators – The New York city case study, *Applied Energy*, 251, 2019, 113356.
- [3] J.H. Ang, et al., Comprehensive energy consumption of elevator systems based on hybrid approach of measurement and calculation in low- and high-rise buildings of tropical climate towards energy efficiency, *Sustainability*, 14(8), 2022, 4779.
- [4] Y. Yan et al., Transfer learning and source domain restructuring-based BiLSTM approach for building energy consumption prediction, *International Journal of Green Energy*, 22(3), 2024, pp.536-550.
- [5] S.A. Aghili, et al., Artificial intelligence approaches to energy management in HVAC systems: A systematic review, *Buildings*, 15(7), April 2025.
- [6] R. Kaya, C.O. Azeloğlu, Technical and economical comparison of hydraulic and traction elevators with VDI 2225 method, *Gazi Journal of Engineering Sciences*, 10(2), 2024, pp.245-254.
- [7] Republic of Korea, Elevator Safety Management Act, Act No. 19553.
- [8] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Green Standard for Architecture (G-SEED), MOLIT Notice No. 2023-480, 2023.
- [9] T. Tukia et al., Explicit method to predict annual elevator energy consumption in recurring passenger traffic conditions, *Journal of Building Engineering*, 8, 2016, pp.179-188.
- [10] R. Peters, R. Smith, and E. Evans, The appraisal of lift passenger demand in modern office buildings, *building services engineering Research & Technology*, 32(2), 2011, pp.159-170.
- [11] Government24, Application for Issuance/Viewing of the General Building Ledger, <https://www.gov.kr/mw/AA020InfoCappView.do?CappBizCD=15000000098>.
- [12] Korea Elevator Safety Agency (KOELSA), National Elevator Information Center, www.elevator.go.kr.

- [13] Association of German engineers (VDI), VDI 4707: Lifts - Energy efficiency, Düsseldorf: VDI, 2007.