



미세먼지 저감 신축학교 설계안의 에너지효율 분석

Energy Efficiency Analysis of New School Design for Fine Dust Reduction

이성진* · 김종훈** · 김태연***

Sungjin Lee* · Jonghun Kim** · Taeyeon Kim***

* Research Engineer, Energy ICT Convergence Research Dept., Korea Institute of Energy Research, South Korea (sjleeki@kier.re.kr)

** Corresponding author, Senior Researcher, Energy ICT Convergence Research Department, Korea Institute of Energy Research, South Korea (jonghun@kier.re.kr)

*** Coauthor, Professor, Dept. of Architecture and Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (tkim@yonsei.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to suggest an optimal energy efficiency plan for the design of a new school with fine dust reduction. **Method:** To this end, we simulated energy consumption of the existing school design (Case 1) and the new school design plans reflecting three energy saving alternatives (Case 2, Case 3, and Case 4). **Result:** As a result of the simulation analysis using E+, the energy consumption for Case 1 was 59.82kWh/m²·a, Case 2 was 66.43kWh/m²·a, Case 3 was 64.56kWh/m²·a, and Case 4 was 43.18kWh/m²·a. The new school design plan considering passive elements (Case 4) was the most advantageous for energy saving. It was possible to save 27.81% of energy compared to the existing school design. In addition, the passive element that has the greatest impact on energy saving is airtightness performance, and it was thought desirable to design ACH50 below 10. The study results will be useful for energy-saving design of new school building with fine dust reduction.

KEYWORD

학교 설계안
미세먼지 저감
패시브 요소
에너지효율분석
민감도 분석

School design
Fine Dust Reduction
Passive Element
Energy Efficiency Analysis
Sensitivity Analysis

ACCEPTANCE INFO

Received Dec. 8, 2022
Final revision received Jan. 2, 2023
Accepted Jan. 6, 2023

© 2023. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

미세먼지란 지름 10 μ m 이하의 먼지를 의미하며 세계보건기구(WHO)가 미세먼지를 1군 발암물질로 분류하면서 그 위험성과 관심이 널리 알려졌다. 미세먼지는 인체 내 깊숙이 침착되어 호흡기 질환을 유발하며 인체의 면역기능을 떨어뜨린다. 다양하게 발생하는 미세먼지 문제는 성장기 학생들의 건강 측면에 큰 영향을 미치기 때문에, 학교 실내 공기질 개선을 위한 미세먼지 영향도 감소 기술이 주목받고 있다. 이에 미세먼지 저감을 위한 공기 청정기술 도입과 함께 패시브기술을 통한 건축물의 에너지효율화 기술이 제안되고 있다.

기존학교 건축물은 미세먼지에 상대적으로 취약한 구조를 가지며, 교실 증축 및 개축을 위해 기밀성이 낮고 에너지 다소비 형태를 가지고 있다[1]. 또한 미세먼지를 제거하기 위해 환기설비를 가동하거나 HEPA 필터가 적용된 개별 공기청정기를 사용하고 있기 때문에, 에너지소비문제를 근원적으로 해결할 필요가 있다.

미세먼지 저감 신축학교 설계안은 저에너지(Low energy)계획, 미세먼지 프리(Free)계획, 스마트스쿨(Smart school) 특화 계획에 따라, 기존의 국내외 학교 설계안 검토 및 프로그램 분석을 통해 선정하였다[2]. 이 설계안은 기존학교 설계안의 문제점을 개선하고 다양한 형태의 학습

생활공간과 미세먼지 발생방지를 위한 외부 공간을 제공할 수 있도록, ① 구역화되고 전형적 운동장에서 벗어나 중정, 코트야드의 등 자유로운 디자인 적용, ② 교사(School building)를 연결하는 홀(Hall)과 아트리움(Atrium) 포함, ③ 교실과 인접한 소규모 중정을 고려하였다.

본 연구에서는 기존학교 설계안과 미세먼지 저감 신축학교 설계안에 대한 에너지소요량을 분석하고, 최적 에너지효율방안을 제시하는데 그 목적을 두었다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

에너지효율 분석을 위한 시뮬레이션은 EnergyPlus(E+)를 활용해서 수행하였으며, 에너지소요량 계산은 기존학교 설계안(Case 1)과 미세먼지 저감 신축학교 설계안(Case 2, Case 3, Case 4)으로 나누어 수행하였다. Case 1은 국내에 구축된 초등학교 건물의 평면 분석과 통계분석을 기반으로 도출된 설계안으로 비교를 위해 포함하였다. Case 2는 미세먼지 저감 기준(reference) 신축학교 설계안으로 에너지효율 개선을 고려하지 않고 방풍실, 아트리움, 이중외피 등의 미세먼지 저감 요소만을 고려한 설계안이며, Case 3와 Case 4는 각각 미세먼지 저감 기준 신축학교 설계안에 에너지 효율 개선을 위해 최신 법적기준(건축물의 에너지절약설계기준)과 패시브 요소(passive element)를 고려한 설계안이다. 특히, Case 4의 패시브 요소를 고려한 신축학교 설계안의 에너지소요량은 파라메트릭 분석(Parametric Analysis)을 통해 최적조건에서 그 값을 결정하였다.

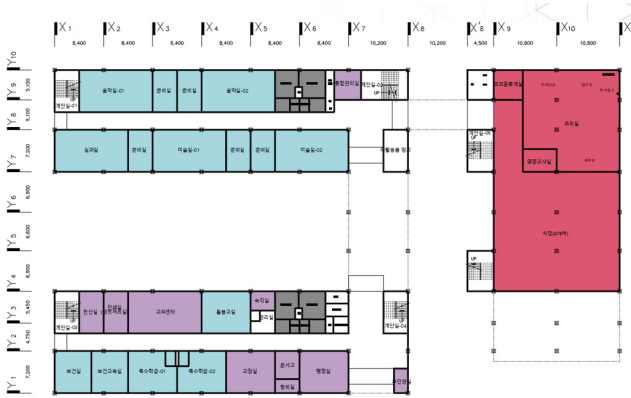


Fig. 1. Floor plan of the existing school design.

Table 1. Characteristics of the existing school design

Building area	3,309m ²
Total floor area	14,800m ²
Number of floors	4 Floors / 1 Basement
Number of classes	38 classes
*A/V ratio	0.27

*Building Surface Area/Volume

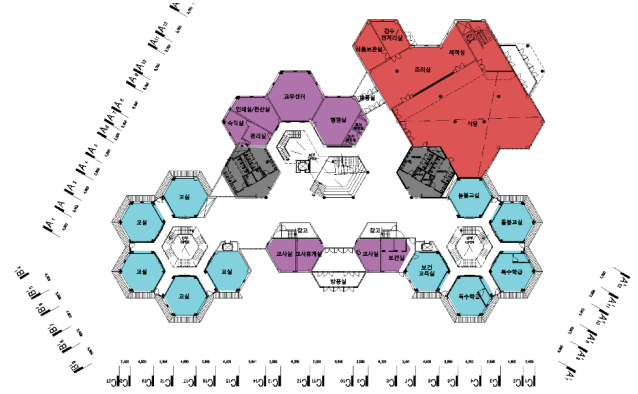


Fig. 2. Floor plan of the new school design.

Table 2. Characteristics of the new school design.

Building area	3,631m ²
Total floor area	14,619m ²
Number of floors	5 Floors / 1 Basement
Number of classes	35 classes
A/V ratio	0.25

내 공용공간이 늘어나 냉난방 공간이 커지며 이에 따른 에너지요구량이 증가하는 단점이 있다. 미세먼지 저감 신축학교 기본 사양은 Table 2.와 같다.

2. 기존학교 및 미세먼지 저감 기준 신축학교의 설계안

2.1. 기존학교 설계안

기존학교 설계안은 국내 초등학교의 설계안 검토를 통해 선정하였다. 대상지역은 미세먼지의 영향이 가장 큰 서울·경기 지역으로 하였으며, 학급 규모 및 스페이스 프로그램은 선행된 초등학교 설계안을 참조[3]하였다. Fig. 1.은 기존학교 평면도이다.

학급 규모 및 스페이스 프로그램은 교육통계서비스(KESS)를 참조하였으며, 지하1층, 지상4층으로 연면적 14,800m²이다. 배치유형은 ‘ㄷ’ 형태로, 학생 수 912명, 교실 수 38개(보통학급 36개, 특수학급 2개)로 이루어져 있다.(Table 1.)

2.2. 미세먼지 저감 기준 신축학교 설계안

신축학교 설계안은 미세먼지 저감 요소를 고려하여 설계되었다. 미세먼지 저감 요소로서, ① 중앙집중식 설계, ② 방풍실 설치, ③ 이중외피 적용, ④ 아트리움 설치, ⑤ 중앙 커뮤니티 공간 조성 등을 포함하였다. Fig. 2.는 신축학교의 평면도이다. 신축학교 설계안은 기존학교와 달리 중앙집중식 냉/난방이 가능하며 방풍실과 이중외피를 통한 고기밀화, 아트리움을 통한 자연환기 및 채광이 가능하다. 또한 미세먼지가 심한 날에는 야외 활동을 지양하고 중앙 커뮤니티 공간을 조성하여 실내 활동이 가능하다는 장점이 있다. 이 밖에도 잔디 운동장, 옥상 녹화, 비오톱 및 미기후 활용과 같은 외부 미세먼지 발생을 최소화 하였으며, 외부에서 교사로 진입하는 “출입문 → 방풍실 → 커뮤니티 공간 → 교실” 공간의 기밀구획 설계로 미세먼지의 유입경로 차단하였으며, 내부 친환경건축자재 선정, 미세먼지 제거 시스템(벽면녹화, 에어샤워) 등을 통해 내부 미세먼지 발생 최소화하였다. 반면 위와 같은 설계요소로 인해 실

3. 에너지 효율분석방법

3.1. 분석도구

본 연구에서는 학교 설계안의 에너지소요량 계산을 위해 EnergyPlus를 사용하였다. EnergyPlus는 BLAST와 DOE-2의 장점을 결합하여 만든 건물의 동적에너지 분석 및 열부하 시뮬레이션 프로그램이다. 내부 조건에 대해 세부설정이 가능하고, 각 시간별 부하계산에서 인자들 간의 상호작용을 고려할 수 있다. 전달함수법(Transfer function method)과 유한차분법(Finite difference method)을 선택하여 건물 열전달을 계산하며, 건물, 시스템, 플랜트 간의 통합적인 시뮬레이션을 통해 에너지 사용량을 계산한다. 또한 모듈(module) 구조로 유연성을 제공하며, 시간에 따른 계산결과를 실제 건물에서 정밀하게 재현할 수 있다. 개략적인 계산 절차는 Fig. 3.와 같다. 프로그램의 자세한 설명은 EnergyPlus documentation[4]를 참고할 수 있다.

3.2. 에너지소요량 계산방법 및 입력데이터

Fig. 4.는 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 계산절차를 도식화 한 것이다. 미세먼지 신축학교 설계안에 대한 최적 에너지 효율 방안 도출을 위해 Case 1에서는 기존학교 설계안을 대상으로 당시 준공년도의 에너지절약설계기준을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. Case 2는 기존 신축학교 설계안, Case 3은 최신 법적 기준을 적용한 신축학교 설계안, 그리고 Case 4는 패시브 요소를 고려한 신축학교 설계안에 대한 에너지소요량을 계산하였다.

Table 3.은 에너지소요량 계산을 위해 E+ 시뮬레이션에서 사용

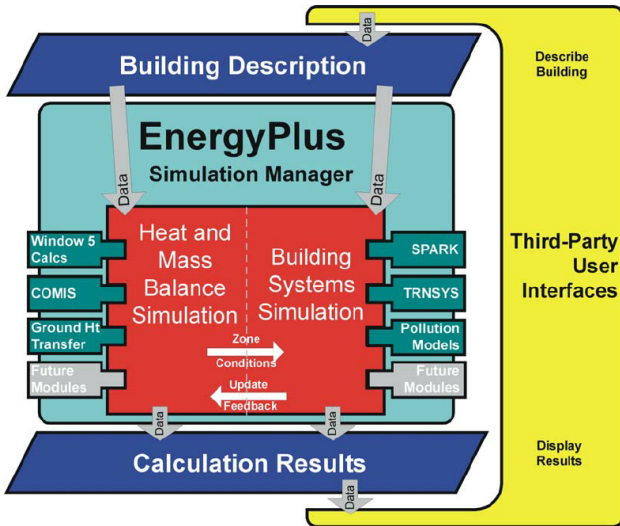


Fig. 3. Schematic diagram of the EnergyPlus simulation.

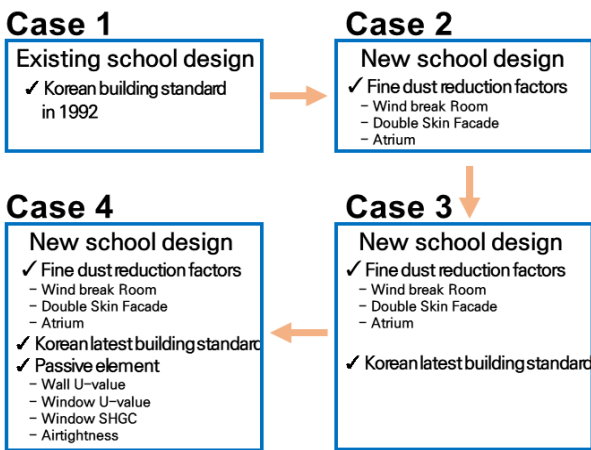


Fig. 4. Calculation process of the energy consumption

한 입력값을 나타낸다. 해석 시뮬레이션 모델의 HVAC 시스템은 시스템 관련 변수에 간섭을 최대한 배제하기 위해 'Ideal Load Air System(이상적인 공조 시스템)'을 적용하였다. 기상데이터는 인천 지역, 냉난방설비는 가스 히트펌프 시스템을 사용, 재실 및 운영 스케줄은 ASHRAE 90.1 학교스케줄을 적용하였다. 외벽 및 창호의 열관류율값은 Case 1과 Case 2의 경우 경기도 소재 초등학교의 준공년도 중간값(1992년도)의 건축물에너지절약설계기준[5]을 준용하였으며, Case 3은 건축물에너지절약설계 최신 기준을 적용하였으며, Case 4는 패시브 하우스 기준[6]을 적용하였다. 기밀성능은 학교 건축물 실측데이터[1]기준(15 ACH₅₀)에서 패시브하우스기준(0.6 ACH₅₀)까지 적용하였다.

4. 시뮬레이션 계산 및 결과

4.1. 기존학교 설계안의 에너지소요량 계산

Table 3. 입력값을 적용하여 평가한 기존학교 설계안(Case 1)의 에너지소요량 계산결과는 난방 34.55kWh/m²·a, 냉방 7.49kWh/m²·a, 조명 9.85kWh/m²·a, 기기 7.94kWh/m²·a로 총 59.82kWh/

Table 3. Input data for the simulation cases

	Input	Note
Common	Weather Data : Incheon Korea ASHRAE 90.1 School schedule HVAC : Ideal Load Air System Heating COP : 1.580 Cooling COP : 1.380	ASHRAE 90.1
Case 1 (Existing school)	Wall : 0.58 (W/m ² ·K) Window : 3.37 (W/m ² ·K) SHGC : 0.8 ACH50 : 15	Korean building standards in 1992
Case 2 (New school)	Wall : 0.58 (W/m ² ·K) Window : 3.37 (W/m ² ·K) SHGC : 0.8 ACH50 : 15	Korean building standards in 1992
Case 3 (New school)	Wall : 0.238 (W/m ² ·K) Window : 1.50 (W/m ² ·K) SHGC : 0.8 ACH50 : 15	Korean latest building standards
Case 4 (New school)	Wall : 0.58~0.15 (W/m ² ·K) [0.58, 0.50, 0.41, 0.33, 0.24, 0.15] Window : 3.37~0.8 (W/m ² ·K) [3.37, 2.9, 2.44, 1.97, 1.50, 0.8] SHGC : 0.8~0.2 [0.8, 0.68, 0.56, 0.44, 0.32, 0.2] ACH50 : 15~0.6 [15, 10, 5, 3, 1.5, 0.6]	Passive house standard

Table 4. Energy consumption results of the existing school design

	Case 1				
	Heating	Cooling	Lighting	Appliance	Total
Energy Consumption (kWh/m ² ·a)	34.55	7.49	9.85	7.94	59.82
Ratio	57.8%	12.5%	16.5%	13.3%	100%

m²·a로 계산되었다. 이중에서 용도별 에너지소요량은 난방이 57.8%로 가장 많았으며, 다음으로 조명이 16.5%, 기기부하 13.3%, 냉방 12.5% 순으로 나타났다.(Table 4.)

4.2. 기준 신축학교 설계안의 에너지소요량 계산

기준(Reference) 신축학교 설계안(Case 2)은 미세먼지 저감 요소기술로 방풍실, 아트리움, 이중외피를 고려하였으나 에너지효율개선은 반영하지 않았다. 미세먼지 저감 요소기술을 적용한 신축 학교 설계안(Case 2)의 에너지소요량 계산결과는 난방 36.56kWh/m²·a, 냉방 12.16kWh/m²·a, 조명 10.75kWh/m²·a, 기기 6.97kWh/m²·a 로 총 66.43kWh/m²·a로 계산되었다. 이중에서 용도별 에너지소요량은 난방이 55.0%로 가장 많았으며, 다음으로 냉방이 18.3%, 조명부하 16.2%, 기기 10.5% 순으로 나타났다.(Table 5.) Case 1과 비교하여 신축학교 설계안의 에너지소요량은 약 11.0% 증가하였으며 미세먼지 저감을 위해 적용한 아트리움과 이중외피를 통해 건물 내부로 유입되는 일사가 증가하였

Table 5. Energy consumption result of new school design.

	Case 2				
	Heating	Cooling	Lighting	Appliance	Total
Energy Consumption (kWh/m ² ·a)	36.56	12.16	10.75	6.97	66.43
Ratio	55.0%	18.3%	16.2%	10.5%	100%

Table 6. Energy consumption result of new school design (latest building standards)

(kWh/m ² ·a)	Heating	Cooling	Lighting	Appliance	Total
Existing school	33.61	13.24	10.75	6.97	64.56
Ratio (%)	56.2	22.1	18.0	11.7	100%

기 때문에 분석되었다. 반면 방풍실의 경우 기밀성능을 향상되어 에너지소요량이 절감되지만 건물 전체에 영향은 작은 것으로 분석된다.

4.3. 정부 에너지절약설계기준 신축학교의 에너지소요량 계산

건축물의 에너지절약설계기준이란 건축물의 효율적 관리를 목적으로 외벽 등의 단열기준, 기밀성이 높은 창 및 문 사용, 고효율의 냉·난방설비 및 조명 등 적용하도록 하는 에너지효율적 설계요소를 사용하도록 권장하는 제도이다. 신축학교의 경우 '건축물의 에너지절약설계기준-별표1'의 지역별 열관류율 기준값을 따르는데, 최신 법적기준을 준용하여 단열 및 기밀을 고려한 신축학교 설계안(Case 3)의 에너지소요량을 산출하였다.

Case 3 신축학교 설계안의 에너지소요량은 64.56kWh이며 단위면적당 에너지소요량은 난방 33.61kWh/m²·a, 냉방 13.24kWh/m²·a, 조명 10.75kWh/m²·a, 기기 6.97kWh/m²·a로 총 57.64kWh/m²·a으로 계산되었다(Table 6.). 이중에서 용도별 에너지소요량은 난방이 56.2%로 가장 많았으며, 다음으로 냉방이 22.1%, 조명 18.0%, 기기부하 11.7% 순으로 나타났다.

Table 7.은 기존학교 설계안 및 기준 신축학교 설계안과 최신 법적기준 적용 설계안의 비교를 보여준다. 최신 법적기준을 적용한 신축학교 설계안 Case 3은 기준 신축학교 Case 2보다 1.87kWh/m²·a만큼 에너지소요량이 줄어들지만, 기존학교 설계안과 비교하면 여전히 높은 에너지소요량을 보이며, 최신 법적기준을 적용하는 것만으론 에너지절감효과는 크지 않음을 알 수 있었다.

4.4. 패시브 요소를 고려한 신축학교 설계안의 에너지소요량 계산

4.3절에서 알 수 있었듯이, 정부의 최신 법적기준 적용 설계안 Case 3은 단열기준만을 고려한 것으로, 신축학교의 에너지소요량을 절감하는 데는 한계가 있었다. 이러한 문제 해결을 위해 본 절에서는 미세먼지 저감 신축학교 설계안의 에너지 효율개선 방안으로 패시브 요소를 고려하였다.

패시브 건축물이란 최소한의 냉난방으로 적절한 실내온도를 유

Table 7. Comparison of the calculated energy consumptions of Case 1, Case 2, and Case 3

	Energy Consumption	Difference	Change ratio
Case 1	59.82 kWh/m ² ·a	-	-
Case 2	66.43 kWh/m ² ·a	+ 6.61	+ 11.0%
Case 3	64.56 kWh/m ² ·a	+ 4.74	+ 7.9%

지할 수 있도록 설계된 건축물을 뜻하며, 액티브 설비와 다른 기밀과 단열성 향상, 고성능 창호, 열교방지 설계 등을 적극 활용하는 건축물을 말한다.

본 연구에서 고려한 패시브 요소는 기밀, 외벽단열, 창호단열, SHGC이다. 또한 입력변수의 민감도를 평가하기 위해 민감도 영향계수(Sensitivity Influence Coefficient)를 다음 식(1) 같이 정의하였다[7].

$$IC = \frac{\Delta OP \div OP_{bc}}{\Delta IP \div IP_{bc}} \tag{1}$$

여기서,

OP : 건물 에너지소요량 [kWh/m²·a]

OP_{bc} : Basecase(1992년 기준)의 건물 에너지소요량 [kWh/m²·a]

IP : 패시브요소 입력변수의 값

IP_{bc} : Basecase(1992년 기준)의 패시브요소 입력변수의 값

IC값은 -1~+1의 값을 가지며, + 값의 경우 입력값(Input)을 증가시킬 경우 출력값(Output)이 증가하는 양의 상관관계를 나타내며, - 값은 음의 상관관계를 나타낸다. 또한 절대값이 1에 가까울수록 민감도가 큰 것을 나타낸다.

패시브 요소에 따른 신축학교 설계안의 에너지소요량 계산은 30년 이전 기준(최소 외피 열관류율 시점)부터 패시브하우스 설계 기준까지 구간으로 나누어 파라미터 분석방법[8]으로 계산하였다. Table 8.은 파라메트릭 분석에 수행한 입력조건을 나타낸다. 입력범위는 외벽 단열의 경우 0.58 - 0.15W/m²·K, 창호의 단열은 3.4 - 0.8W/m²·K, 창호의 SHGC는 0.8 - 0.2(단위없음), 기밀은 15 - 0.6 ACH₅₀의 범위를 가진다.

Fig. 5.~Fig. 8.은 패시브요소 입력변수에 따른 에너지소요량과 절감률을 나타낸다. 기준 신축학교 설계안의 에너지소요량(Case 2, 66.43kWh/m²·a) 대비, 외벽의 경우 열관류율 변화에 따라 에너지소요량은 65.39kWh/m²·a까지 절감되며 1.6%의 에너지소요량 감축률을 보였다(Fig. 5.). 창호의 경우 열관류율 변화에 따라 에너지소요량은 65.01kWh/m²·a까지 절감되며 2.1%의 에너지소요량 감축률을 보였다(Fig. 6.). 창호의 SHGC 변화에 따라 에너지소요량은 67.05kWh/m²·a까지 상승하며 0.9%의 에너지소요량 증가율을 보였다(Fig. 7.). 기밀성능의 경우 에너지소요량은 47.07kWh/m²·a까지 절감되며 29.2%의 에

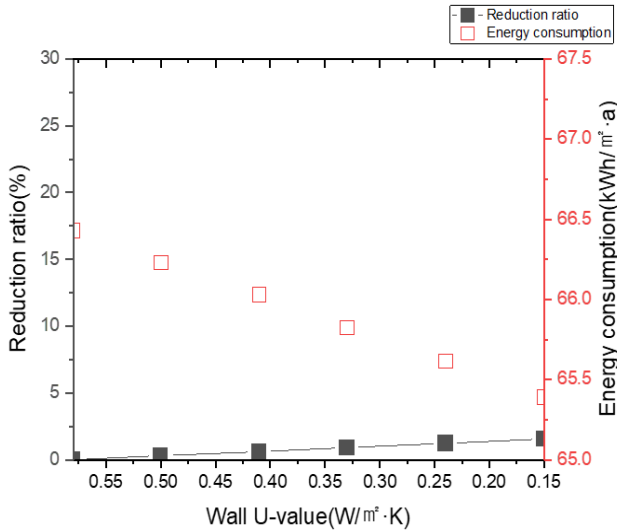


Fig. 5. Energy consumption and saving ratio (Wall U-value)

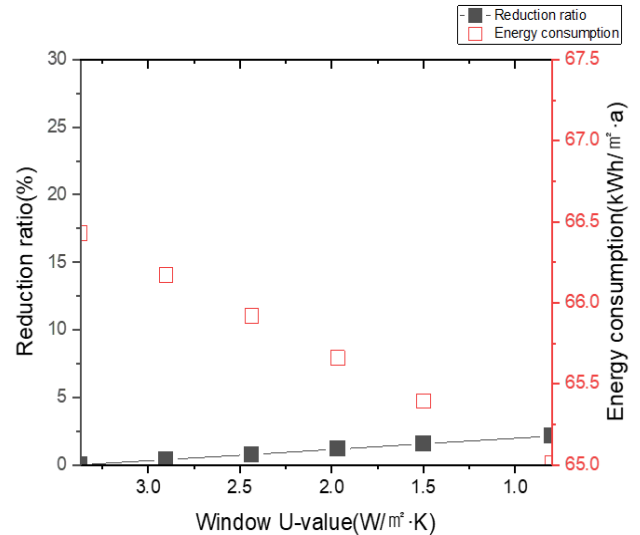


Fig. 6. Energy consumption and saving ratio (Window U-value)

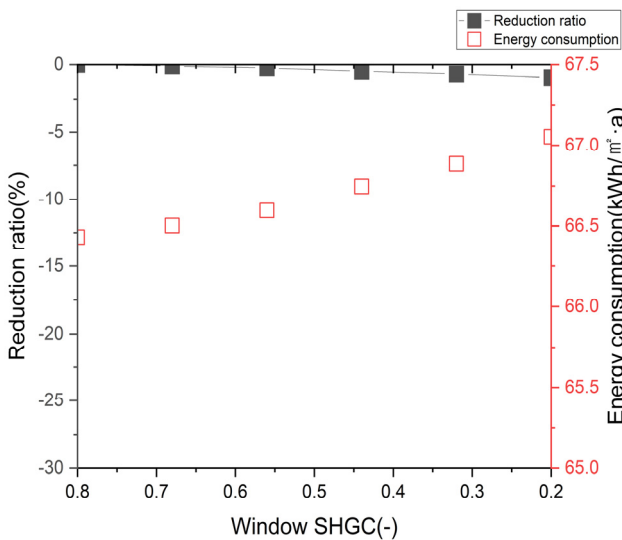


Fig. 7. Energy consumption and saving ratio (Window SHGC)

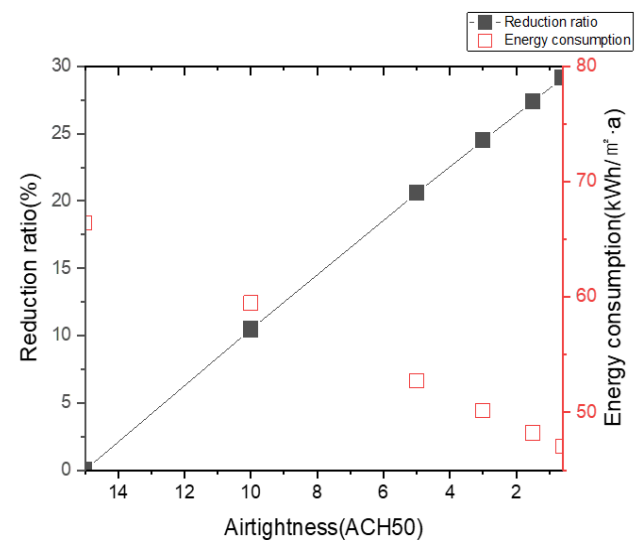


Fig. 8. Energy consumption and saving ratio (Airtightness)

Table 8. Input data of the parametric analysis

	Korean building standards				Passive house	
	1992	-		2022		
Wall U-value	0.58	0.50	0.41	0.33	0.24	0.15
Window U-value	3.37	2.9	2.44	1.97	1.50	0.80
SHGC	0.8	0.68	0.56	0.44	0.32	0.2
Airtightness	15	10	5	3	1.5	0.6

너지소요량 감축률을 보였다(Fig. 8).

각 패시브요소 입력변수의 IC는 외벽 열관류율은 0.021, 창호 열관류율은 0.028, 창호 SHGC는 -0.012, 기밀성능은 0.304의 값을 나타냈으며, 이는 기밀성능 > 창호 열관류율 > 외벽 열관류율 > 창호 SHGC 순서로 영향도가 큰 것으로 분석되었다.

5. 토의

본 연구에서는 미세먼지 신축학교 설계안에 대한 최적 에너지 효율 방안 도출을 위해 기존 학교 설계안(Case 1), 기준 신축학교 설계안(Case 2), 정부 기준 에너지절약설계기준 신축학교 설계안(Case 3), 패시브 요소를 고려한 신축학교 설계안(Case 4)에 대한 에너지소요량을 계산하고 그 결과를 비교·분석 하였다.

Fig. 9.에서 보는 바와 같이, 기존 학교 설계안의 에너지소요량은 59.82kWh/m²·a, 같은 입력조건인 기준 신축학교 설계안의 에너지소요량은 66.43kWh/m²·a이었는데, 이는 미세먼지 저감 요소들의 적용으로 에너지소요량이 증가하였기 때문이다. 기준 신축학교 설계안에서 최신 법적기준을 적용한 신축학교 설계안의 에너지소요량은 64.56kWh/m²·a으로 에너지소요량이 감소하였으나 크게 절감된 않았으며, 이는 법적기준으로 적용된 에너지절약설계기준이 외피에 대한 단열수준만을 요구하고 있기 때문에 그 영향도가 낮기 때

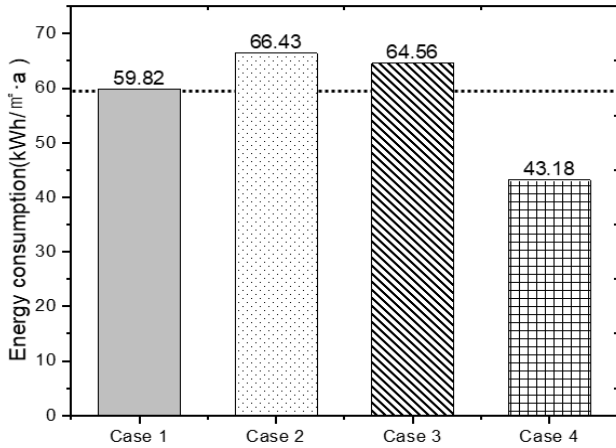


Fig. 9. Comparison of the energy consumption by cases

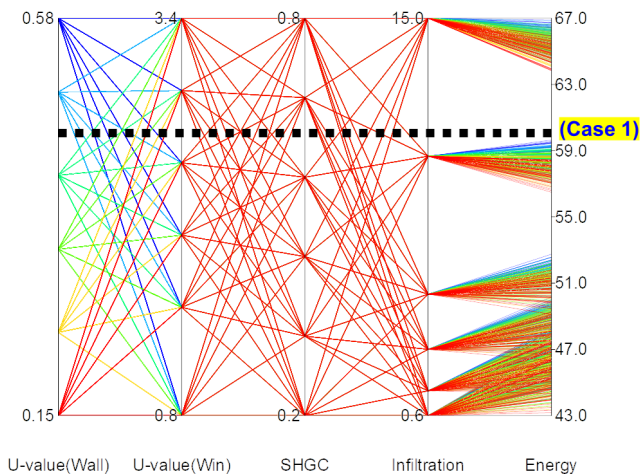


Fig. 10. Comparison of monthly electricity use for space cooling

문이다. 여기에 패시브 요소를 고려한 신축학교 설계안의 에너지소요량은 최대 43.18kWh/m²·a 까지 줄일 수 있음을 확인하였다.

패시브 요소를 고려한 신축학교 설계안은 외벽 단열, 창호 단열, 창호 SHGC, 기밀성능을 조합하여 기존 신축학교(Case 2, 66.43kWh/m²·a) 대비 34.9% 가량 절감할 수 있었다. 하지만 실제 시공에서 모든 패시브 요소를 최고수준으로 적용하는 것은 효율적 측면에서 낭비적이며 이에 관련하여 영향도가 높은 요소를 먼저 고려하는 것이 바람직하다. 에너지소요량에 대한 패시브요소의 민감도를 분석 결과 기밀성능 > 창호 단열 > 외벽 단열 > 창호 SHGC 순으로 영향도가 큰 것으로 높은 것으로 나타났으며 최적 에너지효율 설계를 위해서 민감도 순서에서 따라 우선적으로 고려되어야 한다.

Fig. 10.은 패시브 요소(외벽 및 창호 U-value, 창호 SHGC, Airtightness)의 조합에 따른 에너지소요량 계산치를 나타낸 병렬좌표 플롯(Parallel Coordinates Plot)이다. 이 플롯은 다변수 데이터를 표시하는 데이터 시각화 기술로써, 여러 변수간의 관계를 나타내는데 효과적이다[8]. 신축학교 설계안의 에너지소요량을 기존 학교 설계안(Case 1, 59.82kWh/m²·a) 이하로 낮추기 위해서는 기밀성능(Airtightness)은 ACH₅₀ 10이하로 설계되어야 한다. ACH₅₀을 10이하로 설계할 경우, 기밀성능을 제외한 패시브 요소의 영향도는 ‘창호 SHGC > 창호 단열 > 외벽 단열’의 결과를 보였다. 이것은 기밀성능

이 좋은 건축물에서는 단열성능을 향상하는 것보다 냉방에너지 절감과 관련된 창호 SHGC 감소가 더 중요한 것을 의미한다. 따라서 신축학교 설계안에서는 U-value와 SHGC를 동시에 낮출 수 있는 고성능 창호를 활용하는 것이 에너지 절감에 효과적일 것으로 사료된다.

6. 결론

본 논문에서는 미세먼지 저감 신축학교 설계안에 대한 최적 에너지효율 방안 수립을 위해 기존 학교설계안(Case 1), 기존 신축학교 설계안(Case 2), 법적기준 신축학교 설계안(Case 3), 그리고 패시브 요소를 고려한 신축학교 설계안(Case 4)의 에너지소요량 계산과 에너지효율 분석을 수행하였다.

그 결과 Case 1의 에너지소요량은 59.82kWh/m²·a, Case 2의 에너지소요량은 66.43kWh/m²·a, Case 3의 에너지소요량은 64.56 kWh/m²·a, Case 4의 에너지소요량은 43.18kWh/m²·a 으로 계산되었다. 신축학교 설계안은 기존 학교 설계안 대비 최대 27.81%의 에너지절감이 가능하지만, 효율성을 고려하여 기밀성능을 ACH₅₀ 10 이하로 설계해야하며, 영향도가 높은 기밀성능 > 창호 단열 > 외벽 단열 > 창호 SHGC 순으로 설계하는 것이 바람직하다.

향후 연구에서는 에너지 절감 요소들의 비용대비 에너지절감효과를 반영한 경제성 분석을 수행하고, 비선형 모델에 효과적인 전역 민감도 분석(Global Sensitivity Analysis)를 활용하여 입력변수의 중요도를 정량화를 수행할 계획이다. 본 연구결과는 향후 학교 건물의 에너지 절약적인 설계단계에서 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019M3E7A1113089).

References

- [1] 박원출, 이지연, 이정재, 학교 교실 기밀성능 측정 및 미세먼지 유입 차단방안에 관한 연구, 한국: 대한건축학회, 제36권 제8호, 2020, pp.101-106. // (H.C. Park, J.Y. Lee, J.J. Lee, A study on the measurement of air-tightness performance and measures to prevent fine dust inflow of school classrooms, Korea: Journal of the Architectural Institute Of Korea, 36(8), 2020, pp.101-106.)
- [2] 한국에너지기술연구원, 에너지환경통합형 학교 미세먼지 관리기술개발 사업-학교 에너지 부하 저감 방안 개발 및 청정공조환기시스템 성능 표준화 연구개발보고서, 2021. // (KIER, Development of school energy load reduction and standardization of clean-air conditioning ventilation system performance R&D report, 2021.)
- [3] Korea Educational Stastics Service, Educational statistics, Available online : <https://kess.vedi.re.kr/index>, 2022.
- [4] U.S Department of Energy, EnergyPlus documentation-GettingStarted, EnergyPlus documentation v22.2.0, 2022.
- [5] 국토교통부, 건축물의 에너지절약설계기준, 국토교통부 고시 제2022-52호, 2022. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea building energy efficiency standard and code, MOLIT notice No. 2022-52, 2022.)
- [6] PHI, Certification Criteria for Residential Passive House Buildings, 2012.
- [7] J.C. Lam, Sensitivity analysis and energy Conservation, measures implications, Energy Conversion and Management, 2008.
- [8] V.Zeferina et al., Sensitivity analysis of cooling demand applied to a large office building, Energy and Buildings, 235, 2021.