



정량화 시뮬레이션 모델을 활용한 단계적인 건축물에너지효율등급 향상 방안

Stepwise Technique for Improving Building Energy Efficiency Rating Utilizing Quantified Simulation Model

김기석* · 김유민** · 김종성*** · 오세규****

Kim, Gi-Seok* · Kim, You-Min** · Kim, Jong-Seung*** · Oh, Se-Gyu****

* Green City Institute, Research Engineer (aroo38@nate.com)

** Green City Institute, Principal Research Engineer

*** Green Code City Architecture firm, CEO

**** Corresponding author, School of Architecture Chonnam National Univ., Korea (oskar@jnu.ac.kr)

ABSTRACT

Due to the Climate change and resource shortage by global warming, various problems are rising and getting worse around the world. Many countries are doing the considerable efforts to reduce greenhouse gas emissions. The government of South Korea also plans to decrease greenhouse gas emission, the various pilot projects are underway, which includes obligation of energy efficiency 1st rating and greenhouse gas target management system of public buildings. In particular, luxurious government office buildings and energy-wasting public building have issued and emerged as a social problem. Energy efficiency improvement of the existing public office buildings are becoming an important issue recently.

This study is proposed the step-by-step energy improvement model according to the building energy efficiency rate in order to reduce the energy consumption. To attain this end, I set up a base model by analyzing the current architectural conditions of the existing public office buildings and grasped the specific properties of building energy consumption through energy simulations. Furthermore, I suggested phased reduction prototypes for the reduction target of energy consumption by applying the methods of the zero energy building plan.

This study is expecting that prototypes would give directions when it comes to planning the implementation policy of phased building plan factors, according the building energy consumption reduction goal in the existing public office buildings which are the subject of building energy target management system.

KEYWORD

건축물에너지, 그린리모델링, 정량화, 시뮬레이션

Building energy, Green remodeling, Quantification, Simulation

ACCEPTANCE INFO

Received September 29, 2014

Final revision received December 16, 2014

Accepted December 18, 2014

© 2014 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

화석연료의 고갈과 지구온난화의 영향으로 건물에너지 절감에 대한 관심은 매우 높다. 건축물에서 소비되는 에너지는 한 국가에서 소비되는 에너지 총량의 25~40%를 차지하여, 국가 경제와 지구온난화에 미치는 영향이 상당하다.

때문에 시뮬레이션을 이용한 건축물에너지 성능평가와 개선을 위한 많은 노력들이 진행되고 있다. 건축물 설계단계에서 시뮬레이션을 활용하여 건축물에너지 사용량을 예측하고, 최적 설계에 반영하는 것은 대단히 중요하다.

특히 건축분야의 에너지소비 감축을 위해서는 신축보다 물량이 많은 기존 건축물에 대해 에너지절감 리모델링이 실현되도록 노력해야만 한다. 이를 위해서는 기존 건축물의 에너지소비특성을 정확히

분석하고, 다양한 에너지절감기술들의 효과를 정량적인 데이터로 보여주는 노력이 선행되어야만 한다. 또한 이러한 목표아래 저탄소·저에너지 에너지절감 리모델링을 유도하기 위해서는 공공건축물에서 선도적으로 건물 에너지 효율을 높여나가기 위한 설계기준과 제도를 도입하여 실천수범 하여야 하는 상황이며, 이를 해결하기 위한 방안으로 기존 공공청사에 시범적으로 에너지 절감 리모델링이 도입되어야 할 필요성이 있다.

본 논문은 정량화된 건축물의 데이터를 기반으로 에너지절감기술의 성능을 평가하고, 이를 통해 얻어진 데이터를 정량화데이터로 구축함으로써 효율적으로 건축물에너지효율등급을 향상시키는 방안을 제시하고자 한다.

1.2. 연구방법 및 범위

본 연구에서는 정량화 시뮬레이션모델(SBD, Simulation Based Design)¹⁾을 활용하여 기존 건축물에 적용 가능한 건축물에너지절감

1) 본 논문에서 활용한 SBD는 주거자의 이전 논문(대한건축학회, 2014년 10월)에서 언급

기술을 적용한 후, 건축물에너지소비량에 미치는 각 기술별 특징을 분석하여 데이터를 확보하고, 이를 통해 건축물에너지효율등급2을 향상시키기 위한 효율적인 리모델링 방안을 제시하고자 한다.

건축물 에너지 효율등급에 따라 단계별 에너지 절감 목표를 설정하고 기후분석과 에너지 소비특성에 따른 주요 에너지 절약요소기술과 적용 가능한 신재생에너지 활용기술을 선정하여 시뮬레이션 모델에 적용하였다.

기존의 시뮬레이션 모델과 제안된 요소를 적용한 시뮬레이션의 에너지 소비량을 비교하여 절감량을 산정한 후 이를 건축물 에너지 효율등급에서 제시한 평가기준에 따라 단계별 리모델링 방안을 제시하였다.

2. 정량화시뮬레이션 모델(SBD) 설정

2.1. SBD의 데이터 설정³⁾

SBD는 전국에 분포된 기존 공공청사 중 2007년 이후 에너지 절감 계획 없이 신·개축된 청사⁴⁾를 대상으로 건축개요와 특성을 정리하고, 건축물에너지소비에 영향을 미치는 요소들을 분석하여 이들 데

Table 2. Heat Factor according to Building Space

| Division | Heating Element | | | | |
|------------------|------------------------------|----------------------------|---|-------------|--|
| | Lighting (W/m ²) | Equip. (W/m ²) | Human Heating Elements | | |
| | | | Sensible Heat (Kcal/hr·m ²) | Latent Heat | Occupancy density (pop./m ²) |
| Office Room | 20 | 20 | 59 | 46 | 0.05 |
| Meeting Room | 20 | 5 | 59 | 46 | 0.1 |
| Petitions Office | 59 | 20 | 59 | 71 | 0.3 |
| Lobby | 10 | - | 61 | 58 | 0.1 |
| Corridor | 10 | - | 61 | 58 | 0.1 |

이터를 기반으로 하여 Table 1을 설정하였다.⁵⁾

그 밖에 사용자 운영스케줄은 산업자원부의 실별 운영스케줄을 적용⁶⁾하여, 내부발열요소를 Table 2와 같이 정리하였으며, 평면계획은 실의 공간별 비율에 따른 단일공간으로 각층마다 적용하였다.

2.2. SBD의 에너지 소비 분석

SBD의 에너지소비 구성요소는 조명, 전자기기, 냉방, 난방, 공조, 펌프, 급탕으로 나뉘어 나타난다. 연간 에너지 총 소비량과 단위면적당 에너지 소비량은 각각 15,280.1MWh/yr, 473.8kWh/m²·yr을 나타내었다.

Table 1. Simulation Based Design - Input Data

| Element | Classification | Plan Elements | Input Data | Element | Classification | Plan Elements | Input Data | | | |
|--------------|---------------------|------------------------|--|---------------------------|------------------------|------------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Fixed Elem. | Natural Elem. | Weather Data | Seoul Standard Weather Data | Change Elem. | Architectural Plans | Ventilation Plan | Open/Close Plan | Not Apply | | |
| | User Elem. | Operating Schedule | | | | 5 days a week 09:00~18:00 | Ventilation Plan | Open/Close Sensor | Not Apply | |
| | | C/H Operating Schedule | Cooling | | | June. 1 ~ Sep. 30 | External Wall | Heat Insulation Performance | 0.4 kcal/m ² ·h·°C | |
| | | | Heating | | | Nov. 1 ~ Mar. 31 | | | 0.25 kcal/m ² ·h·°C | |
| | Architectural Elem. | Arrangement Plans | Location | | | Seoul, Korea | | | Roof | 0.30 kcal/m ² ·h·°C |
| | | | Area | | | 21,500m ² | Window / Door | Confidential Performance | | |
| | | | Building Placement | | | North | | | SHGC | 5.0 ACH50 |
| | | | Parking Placement | | | South | | | | |
| | | | Building Direction | | | South-Facing (SE 10°) | | | | |
| | Floor Plan | W/D Ratio | 3.5 : 1 | | | Building System | Lighting | FL 32W | | |
| Change Elem. | Architectural Plans | Space Ratio | 45 : 33 : 22 (Business:Non-Business:Public) | Cooling | Turbo-type Freezer | | | | | |
| | | Core Placement | Central Eccentric Core | Heating | Gas Boiler | | | | | |
| | | Gross Floor Area | 34,450m ² | AHU | Single / Fan Coil Unit | | | | | |
| | | Standard Floor Area | 2,650m ² | Pump | Unit Pump System | | | | | |
| | | Floors | 13F / B2F | Heat Recovery | Not Apply | | | | | |
| | | Floor Height | 4.2m | Geothermal System | Not Apply | | | | | |
| | | Ceiling Height | 3.1m | Solar Photovoltaic System | Roof | | Not Apply | | | |
| | | Plenum | 1.1m | | Facade | | Not Apply | | | |
| | | Window/wall Ratio | 65.0 % | | Open Space | | Not Apply | | | |
| | | Daylighting Plan | Eaves Plan | Not Apply | Solar Thermal System | Not Apply | | | | |
| Light Sensor | Not Apply | | Wind Power System | Not Apply | | | | | | |
| | | | Fuel Cell | Not Apply | | | | | | |

된 시뮬레이션 모델로, 정량화된 데이터를 통해 에너지절감 리모델링 계획시 활용하기 위해 제시한 시뮬레이션모델임.

2) 본 연구에서는 언급되는 건축물에너지효율등급은 5등급을 기준으로 적용함 (2013.08.31. 이후 10단계로 조정됨)
3) 국내 제도에서 주로 사용되는 ECO2는 자동조명센서, 차양시스템에 대한 에너지절감량을 확인할 수 없는 점을 보완하고자 Energy Plus Ver.8.0을 활용함.
4) 계획시점이 2007년 이전인 건축물로 관련 법규 및 기준은 2007년 개정 이전인 2001년 기준을 적용함.

5) SBD에 적용한 내부발열요소는 정부청사 에너지 관리 자료집을 기반으로 하여 정리하였으며, 실험연구

6) 박현준, 정부청사 에너지관리 자료집, 행정자치부, 2006, p.36-37

7) 산업자원부, 에너지절약형건물의 성능인증기준-제도 및 보급촉진방안 연구, 2001, p.183-190

SBD 모델 설정을 위한 연구대상인 28개 공공청사의 단위면적당 에너지 소비량 평균(465.8kWh/m²·yr)과 비교해 볼 때 약 1.7% 높은 사용량을 보였다. 이는 타분야의 에너지 성능평가의 오차 허용범위인 5%보다 낮은 오차율을 나타냈다.

SBD에 적용할 에너지 절감요소는 패시브요소(자연채광, 자연환기, 단열성능, 창면적비, SHGC, 기밀성능), 액티브요소(열회수, 공조계획, 조명계획), 신재생에너지요소(태양광, 지열)로 절감요소를 적용하여 시뮬레이션을 진행하였다.⁸⁾

3. 요소별 에너지 절감 성능평가

3.1. 자연채광

1) 시뮬레이션 개요

외부에 자동센서 수평차양막을 설치하여 태양의 고도각에 따라 건축물 내부의 태양광 유입량을 조절하였다. 업무공간과 비업무공간에 적절한 조도 유지와 사용자 유무에 따라 조절되는 조광제어센서를 설치하였다. 업무공간은 창의 크기와 개소를 확대하여 태양광 유입을 늘리고 공간의 종류에 따라 조명의 위치와 높이를 조절하여 설정하였다.

2) 성능평가 결과 분석

조명, 냉·난방에너지 소비량이 Fig 1과 같이 변화됨을 알 수 있었다. 각 에너지 요소별 증감률을 보면 조명에너지 11.1%, 난방에너지 5.2%의 감소율을 나타냈고, 냉방에너지는 1.0% 증가 하였다. 냉·난방에너지 소비의 증감은 태양광에너지 유입으로 인한 영향으로 분석된다.

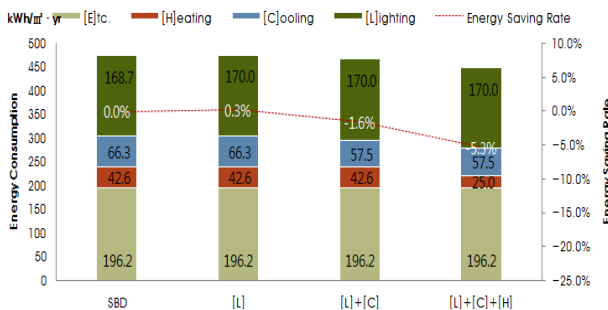


Fig 1. Compare Energy Savings according to the Natural Light

3.2. 자연환기

1) 시뮬레이션 개요

시간과 계절에 따라 조절 가능한 자동개폐시스템을 통해 창호의 개폐율을 조절 하였다. 연평균 개폐율은 약 15%정도를 보였으며, 하·동절기와 간절기 때의 개폐율 차이는 5~20%까지 차이를 가졌다.

2) 성능평가 결과 분석

자연환기 계획을 적용한 결과 공조에너지, 냉·난방에너지 소비량이 증감되었다. 이는 하·동절기시 유입되는 외부공기가 냉·난방기구의 효

율을 떨어뜨려 발생된 결과로 분석된다. 각 에너지 요소별 증감률은 공조에너지 6.2% 감소, 냉방에너지 0.8%, 난방에너지 0.4% 증가했다.

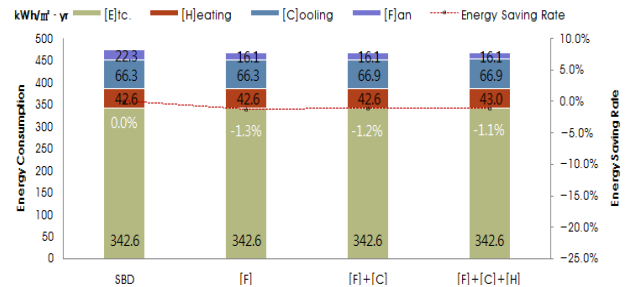


Fig 2 Compare Energy Savings according to the Natural Ventilation

3.3. 단열성능

1) 시뮬레이션 개요

Table 3 Set up Heat Insulation Property Application Standard

Unit : kcal/m²·h·°C

| Division | External Wall | Roof | Lowest Floor | Window |
|----------|---------------|------|--------------|--------|
| SBD | 0.40 | 0.25 | 0.30 | 2.9 |
| 2011 | 0.31 | 0.17 | 0.26 | 1.81 |

SBD의 단열성능은 2001년 법적기준을 적용하였으나, 에너지 절감을 위한 단열성능은 2011년 강화된 개정법안의 단열성능을 기준으로 하여 설정하였다.

2) 성능평가 결과 분석

단열성능의 향상은 Fig 3와 같이 냉·난방에너지 소비량의 절감을 보였다. 단열성능의 개선은 냉방에너지 절감에 비해 난방에너지 절감에 좀 더 높은 효율을 보이는 것으로 나타났다. 요소별 에너지소비 증감률은 냉방에너지 9.2%, 난방에너지 28.8% 감소율을 보였다.

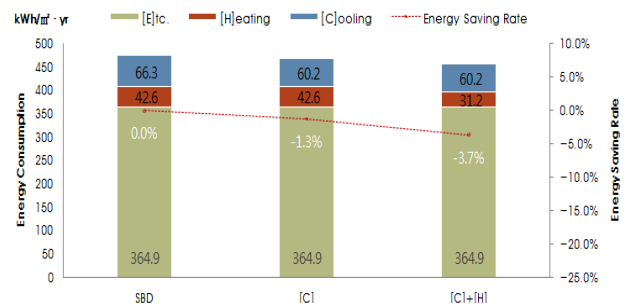


Fig 3. Compare Energy Savings according to the Heat Insulation Property

3.4. 일사열취득계수(SHGC, Solar Heat Gain Coefficient)⁹⁾

1) 시뮬레이션 개요

SBD에 적용된 일사열취득계수는 0.76으로 일반 복층유리를 기준

8) 에너지 절감요소 중 선행논문(대한건축학회, 2014. 10. 제30권)에서 시행된 조명계획, 창면적비, 공조계획, 열회수, 태양광에너지시스템의 성능평가를 인용하여 활용함.

9) 일사열취득계수(SHGC, Solar Heat Gain Coefficient)는 태양열 취득율 0.0에서 1까지의 수치로 나타내며, 0에 가까울수록 태양열 에너지를 취득하지 않고 차단하고, 1에 가까울수록 태양열 에너지를 취득함.

으로 하여 설정하였으며, 에너지 절감을 위해 LOW-E 유리 기준치인 0.31을 적용하여 시뮬레이션을 실행하였다.¹⁰⁾

2) 성능평가 결과 분석

SHGC 값의 감소는 냉방에너지 소비량은 절감된 반면, 난방에너지 소비량은 증가를 나타냈다. 난방에너지 소비량의 증가는 SHGC의 감소로 인해 태양열유입량이 감소되어 동절기 건물내부온도가 낮아졌기 때문인 것으로 분석된다. 요소별 에너지 소비 증감률은 냉방에너지 35.7% 감소, 난방에너지 20.2% 증가를 보였다.

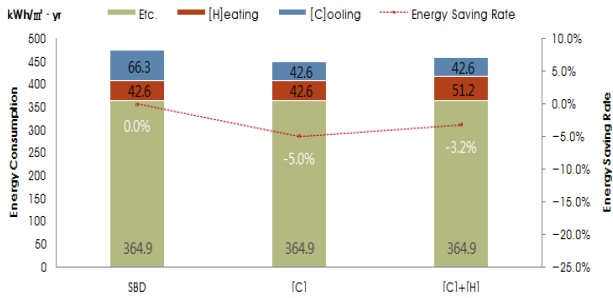


Fig 4. Compare Energy Savings according to the SHGC

3.5. 기밀성능

1) 시뮬레이션 개요

SBD에 적용된 0.7 ACH50은 국내에 기밀성능에 관한 기준이 없는 당시에 설계된 건물을 기준으로 설정되었다. 시뮬레이션에는 2013년 「한국건축친환경설비학회」에서 공시한 성능기준 중 제로에너지건물에 해당하는 기준인 1.5 ACH50 이하의 기밀성능을 적용하였다.

Table 4. Airtightness Standards

| Division | Confidential Criteria | Remark |
|------------------------|-----------------------|----------------------|
| Basic Standard | 5.0 ACH50 or less | |
| Energy Saving Building | 3.0 ACH50 or less | Recommendations |
| Zero Energy Building | 1.5 ACH50 or less | Ventilation Required |

2) 성능평가 결과 분석

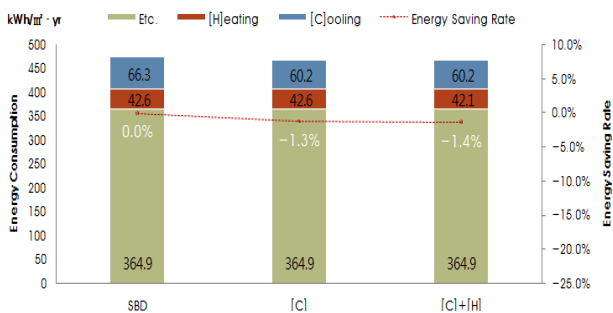


Fig 5. Compare Energy Savings according to the Airtightness

10) 일반적인 SHGC의 변화는 복층유리, LOE-E유리 등 자재 종류에 따라 바뀌기 때문에 자재변화에 따른 열관류율, 기밀성 등 다른부분에 영향을 미치나, 본 연구에서는 SHGC가 에너지성능평가에 미치는 영향을 보이하고자 하였기에 SHGC만 단일 변경하여 적용함.

기밀성능의 향상은 냉·난방에너지 소비량은 Fig 5와 같았으며, 요소별 에너지소비 절감률은 냉방에너지 1.3%, 난방에너지 0.1%를 보였다. 내·외부의 공기흐름을 차단함으로써 냉·난방에너지 소비의 효율을 개선하였으며, 기타에너지소비 개선에는 별다른 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

3.6. 지열에너지 시스템

1) 시뮬레이션 개요

지열에너지 시스템의 최대설치 가능면적¹¹⁾을 분석하여, 12,900㎡에 357개의 천공개수, 152m의 천공 깊이를 산정하여 시뮬레이션 작업을 수행하였다. 적용방법은 직·간접 혼합 이용방법을 적용하였다. 모든 층의 냉방, 난방, 급탕에너지사용 구간과 연계하여 적용하였으며, 에너지 성능평가가 본 연구의 목적임을 감안하여 열원공급의 효율성에 대해서는 배제하고 적용하였다.

2) 성능평가 결과 분석

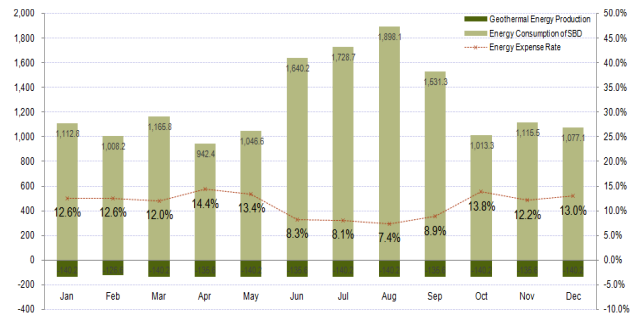


Fig 6. Monthly Energy Production and Burden rate of Geothermal Energy System

지열에너지시스템의 에너지 생산량의 연평균 거의 일정한 수준을 유지하였다. 생산된 에너지는 조명에너지와 하절기 냉방에너지 소비량을 크게 줄여 주는 역할을 하였다. 또한 연중 비슷한 수준의 에너지생산이 가능해 연중 에너지 소비가 거의 일정한 조명에너지 소비량 절감에 큰 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

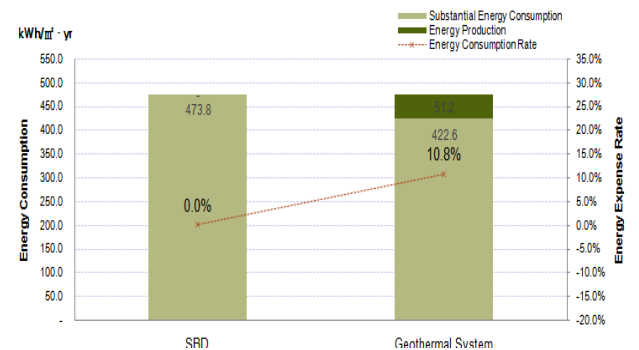


Fig 7. Energy Consumption Per Unit Burden of Geothermal Energy System

11) SBD에서 설정한 대지면적 중 건축면적을 제외한 면적 중 40%에 해당하는 면적에 한해 지열시스템을 적용함.

3.7. 종합분석

본 연구에서는 에너지 절감요소 7가지(자연채광, 자연환기, 단열성능, SHGC, 기밀성능, 태양광, 지열)를 적용하여 시뮬레이션을 진행한 후, 선행연구에서 진행된 4가지(조명계획, 창면적비, 공조계획, 열회수)의 에너지 절감요소 성능평가 데이터를 종합하여 분석하였다.

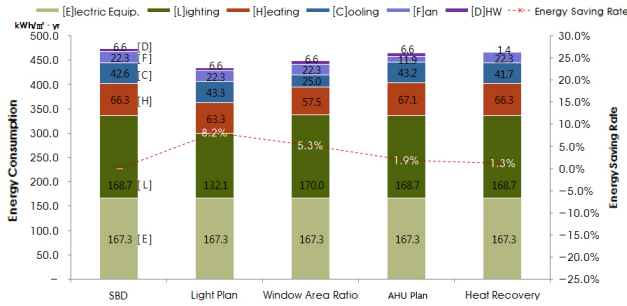


Fig 8 Compare Energy Savings according to Light Plan / Window Area Ratio / Ventilation Plan / Heat Recovery

Table 5. Specific Technical Elements Energy Savings and Reduction Rate

| Division | SBD | Division of Energy-saving Elements | | | |
|--------------------------------------|----------|------------------------------------|--------|----------------------|---|
| | | Passive | Active | New-Renewable Energy | |
| Energy Consumption (kWh/m²·yr) | Lighting | 168.7 | 151.3 | 132.1 | - |
| | Cooling | 66.3 | 23.4 | 64.1 | - |
| | Heating | 42.6 | 20.0 | 43.0 | - |
| | Fan | 22.3 | 16.1 | 11.9 | - |
| | DHW | 6.6 | 6.6 | 1.4 | - |
| | Etc. | 167.3 | 167.3 | 167.3 | - |
| Energy Production (kWh/m²·yr) | - | - | - | 115.2 | |
| Gross Energy Consumption (kWh/m²·yr) | 473.8 | 384.7 | 419.8 | 358.6 | |
| Energy Reduction (kWh/m²·yr) | - | 89.1 | 54.0 | 115.2 | |
| Energy Saving Ratio | - | 18.8 % | 11.4 % | 24.3 % | |

패시브요소(6가지기술요소), 액티브요소(3가지기술요소)의 에너지 절감량은 각각 89.1kWh/m²·yr, 54kWh/m²·yr을 나타냈으며, 이는 총에너지소비량 대비 18.8%, 11.4%에 해당하는 절감률이었다. 신재생에너지(12)는 115.2kWh/m²·yr의 에너지 생산량을 나타냈다.

4. 단계별 건축물에너지효율등급 향상 방안 제시

본 연구에서는 건축물에너지효율등급(13) 5등급부터 1등급까지 각 등급을 기준으로 향상시키는 방안을 단계적으로 4단계로 나누어 제시하고, 1등급 방안 제시 후 하·동절기 전력 최대 피크시에도 건축

12) 신재생에너지를 통해 생산된 에너지량은 에너지절감량으로 역산출하여 적용함.
 13) 건축물에너지효율등급(2013.08.31 이전, 비주거, 단위: kWh/m²·yr) 1등급(250이상~300미만) / 2등급(300~350) / 3등급(350~400) / 4등급(400~450) / 5등급(450~500) / 등급외(500이상)

물에너지효율등급 기준 1등급 수준을 유지하기 위해 여유전력을 추가적으로 설정하는 총 5단계의 단계별 방안을 제시하였다.

각 단계요소별 에너지 절감 성능평가를 통해 나타난 에너지 소비 절감량을 기준으로 하여 에너지 절감비율이 높은 요소들을 우선적으로 적용하고 난 후, 신·재생에너지기술요소를 적용하는 방법으로 건축물에너지효율등급 향상 방안을 제시하였다. 또한 본 연구에서는 에너지 절감요소 조합에 따라 Table 6과 같이 정의하여 표기하였다.

Table 6. Separated by Applying Energy Saving Elements

| Division | Energy-Saving Elements |
|----------|---|
| SBD | - |
| A Type | Light Plan |
| B Type | A Type + Window/Wall Ratio |
| C Type | B Type + Natural Light Plan |
| D Type | C Type + Insulation |
| E Type | D Type + SHGC |
| F Type | E Type + AHU Plan |
| G Type | F Type + Confidential |
| H Type | G Type + Heat Recovery |
| I Type | H Type + Natural Ventilation |
| J Type | I Type + Geothermal System |
| K Type | J Type + Photovoltaic System (Roof) |
| L Type | K Type + Photovoltaic System (Public Space) |

4.1. 1단계 향상 방안

SBD의 단위면적당 에너지 소비량은 473.8kWh/m²·yr로 건축물에너지효율등급 기준 5등급에 해당한다. 건축물에너지효율등급 4등급 기준인 450kWh/m²·yr 미만으로 에너지소비량을 향상시키기 위해서는 최소 23.8kWh/m²·yr 이상의 에너지 절감량을 필요로 한다.

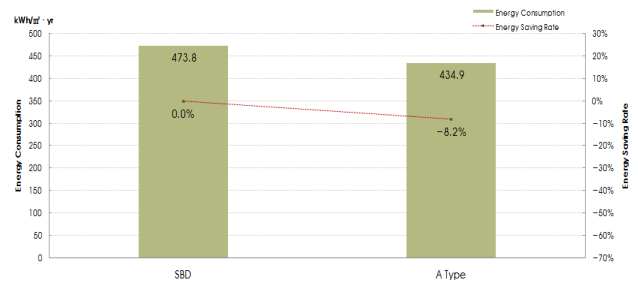


Fig 9. [A Type] of Energy Saving Rate Compared

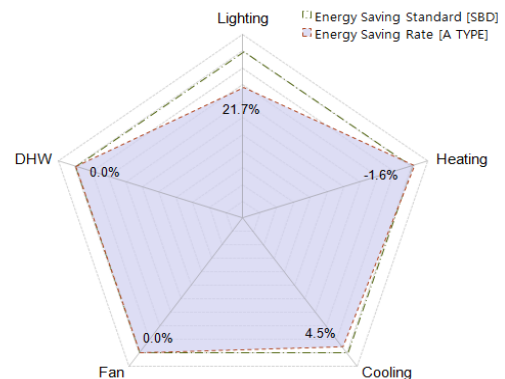


Fig 10. [A Type] Specific Elements Energy Saving Rate

[A Type] 에너지 절감요소의 에너지소비 절감량은 SBD전체에너지 소비량의 8.2%인 38.9kWh/m²·yr로 전체 에너지 소비량은 434.9kWh/m²·yr를 기록하여 건축물에너지효율등급 4등급을 만족하였다.

[B Type]의 건축물에너지소비 절감량은 Fig 11과 같았으며, 또한 4 등급에 해당하는 에너지소비량을 나타냈다.

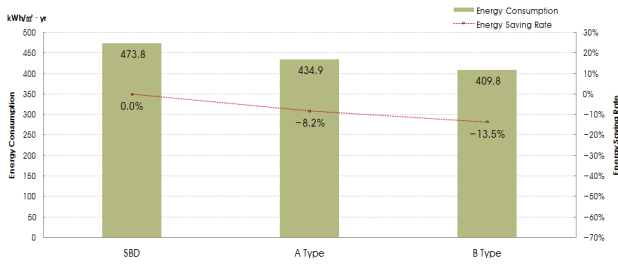


Fig 11. [B Type] of Energy Saving Rate Compared

Table 7. Improving Building Energy Efficiency Rating 4 Rating

| Type | Energy-Saving Elements | kWh/m ² ·yr | Energy Efficiency Rating |
|--------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| SBD | - | 473.8 | 5 Rating |
| A Type | Light Plan | 434.9 | 4 Rating |
| B Type | B Type + W/W Ratio | 409.8 | |

4.2. 2단계 향상 방안

건축물에너지효율등급 3등급은 400kWh/m²·yr미만으로 등급 향상을 위해서는 73.8kWh/m²·yr 이상의 에너지 소비 절감량을 보여야 한다.

[C Type] 에너지 절감요소의 에너지 소비 절감량은 Fig 12과 같이 나타내어, 건축물에너지효율등급 3등급에 해당하는 에너지소비량을 보였다.

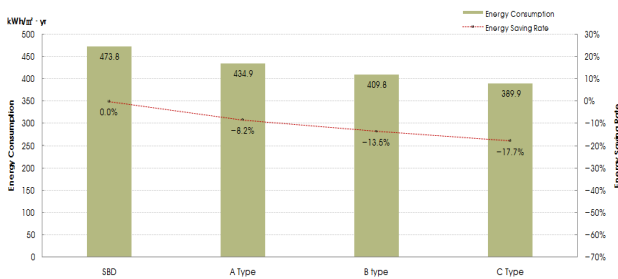


Fig 12. [C Type] of Energy Saving Rate Compared

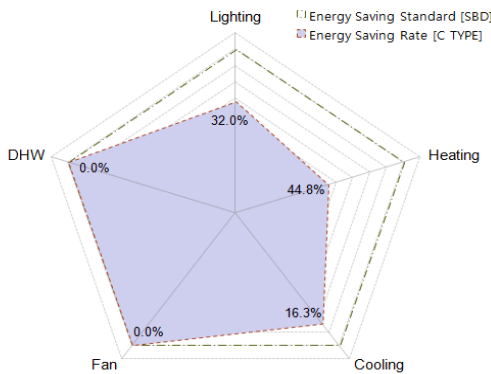


Fig 13. [C Type] Specific Elements Energy Saving Rate

건축물에너지효율등급 3등급은 350kWh/m²·yr이상으로 [E Type] 에너지 절감요소의 에너지 소비 절감량 116.6kWh/m²·yr 적용 시 전체 에너지 소비량은 357.2kWh/m²·yr를 기록하여 3등급을 유지하였다.

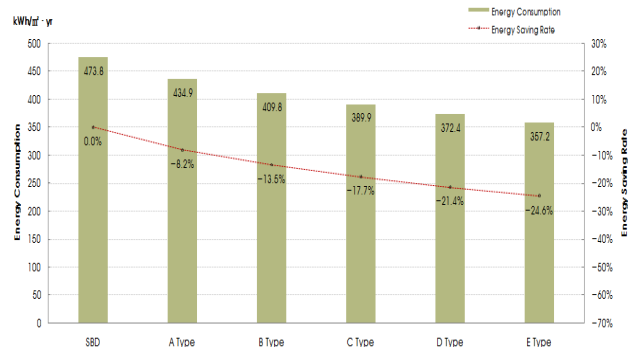


Fig 14. [E Type] of Energy Saving Rate Compared

Table 8. Improving Building Energy Efficiency Rating 3 Rating

| Type | Energy-Saving Elements | kWh/m ² ·yr | Energy Efficiency Rating |
|--------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| B Type | A Type + W/W Ratio | 409.8 | 4 Rating |
| C Type | B Type + Natural Light | 389.9 | 3 Rating |
| D Type | C Type + Insulation | 372.4 | |
| E Type | D Type + SHGC | 357.2 | |

4.3. 3단계 향상 방안

3단계 향상방안은 건축물에너지효율등급 2등급을 만족하도록 향상시키는 방안이다. 2등급 기준은 300kWh/m²·yr이상 350kWh/m²·yr 미만으로 [F Type] 에너지 절감요소가 이에 해당한다.

[F Type] 에너지 절감요소의 에너지 소비 절감량은 125.6kWh/m²·yr로 전체에너지 소비량 348.2kWh/m²·yr를 나타내어 건축물에너지효율등급 2등급 기준을 만족하였다. 절감량과 절감률은 Fig 15과 같았다.

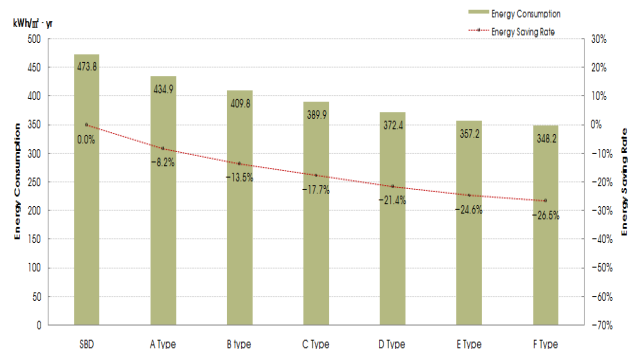


Fig 15. F Type of Energy Saving Rate Compared

[I Type] 에너지 절감요소의 에너지 소비 절감량은 143.6kWh/m²·yr로 전체에너지소비량 대비 30.3%의 절감률을 나타냈다. 이는 전체에너지소비량 330.2kWh/m²·yr에 해당하며 건축물에너지효율등급 2등급을 기록하였다.

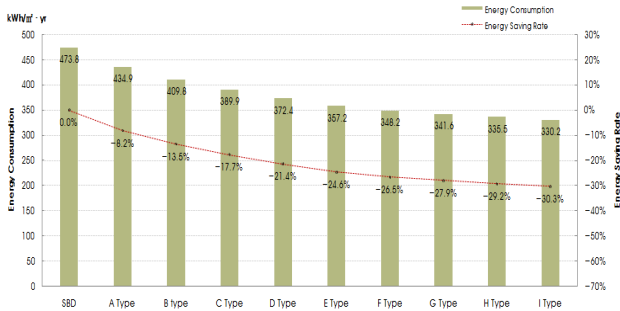


Fig 16. [I Type] of Energy Saving Rate Compared

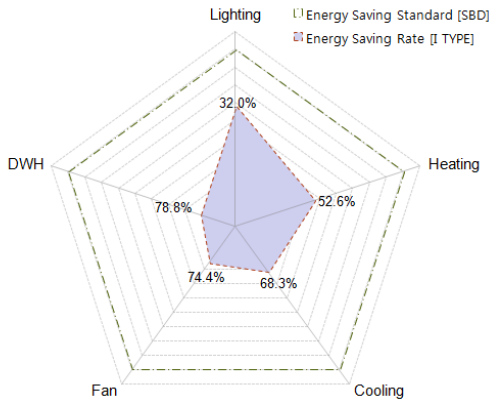


Fig 17. [I Type] Specific elements Energy Saving Rate

Table 9. Improving Building Energy Efficiency Rating 2 Rating

| Type | Energy-Saving Elements | kWh/m²·yr | Energy Efficiency Rating |
|--------|------------------------------|-----------|--------------------------|
| E Type | D Type + SHGC | 357.2 | 3 Rating |
| F Type | E Type + AHU Plan | 348.2 | 2 Rating |
| G Type | F Type + Confidential | 341.6 | |
| H Type | G Type + Heat Recovery | 335.5 | |
| I Type | H Type + Natural Ventilation | 330.2 | |

4.4. 4단계 향상 방안

건축물에너지효율등급 1등급은 300kWh/m²·yr 미만으로 등급향상을 위해서 173.8kWh/m²·yr 이상의 에너지 소비 절감량이 요구된다. [J Type]은 194.7kWh/m²·yr을 기록하여 1등급 기준을 만족하였다.

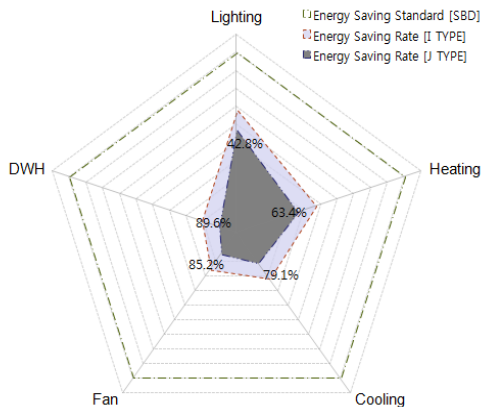


Fig 18. [J Type] specific elements Energy Saving rate

Table 10. Improving Building Energy Efficiency Rating 1 Rating

| Type | Energy-Saving Elements | kWh/m²·yr | Energy Efficiency Rating |
|--------|------------------------------|-----------|--------------------------|
| I Type | H Type + Natural Ventilation | 330.2 | 2 Rating |
| J Type | I Type + Geothermal System | 279.1 | 1 Rating |

전체에너지 소비량 대비 41%의 절감률을 나타내는 것으로 분석되었으나, 전력소비 최대 피크기간인 8월을 기준으로 하면 건축물에너지효율등급 1등급 기준인 300kWh/m²·yr 수준을 유지하지 못했다.

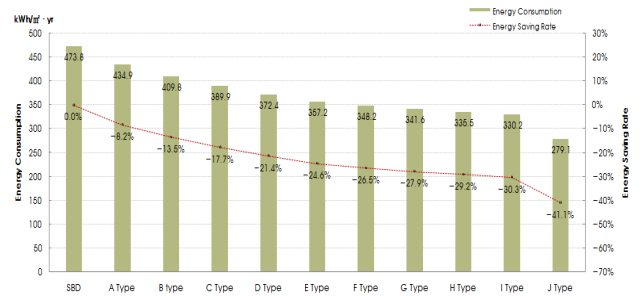


Fig 19. [J Type] of Energy Saving Rate Compared

4.5. 5단계 향상 방안

5단계 향상 방안은 하절기 전력소비 최대 피크기간동안에도 건축물에너지효율등급 1등급을 유지하기 위한 목적으로 설정하였다. [K Type]과 [L Type] 에너지 절감요소의 에너지소비 절감량은 각각 233.1kWh/m²·yr, 258.7kWh/m²·yr를 나타내었다. 이는 전체에너지소비량 대비 49.2%, 54.6%에 해당하는 절감률이며, 건축물에너지효율등급 1등급 기준 300kWh/m²·yr와 비교하여 84.9kWh/m²·yr의 여유전력을 유지하였다.

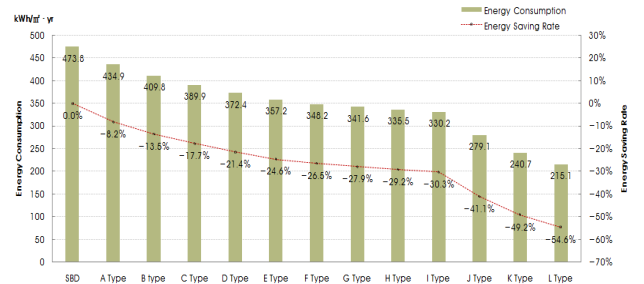


Fig 20. [L Type] of Energy Saving Rate Compared

Table 11. Improving Building Energy Efficiency Rating [1 Rating+ Free Power]

| Type | Energy-Saving Elements | kWh/m²·yr | Energy Efficiency Rating |
|--------|---|-----------|--------------------------|
| J Type | I Type + Geothermal System | 279.1 | 1 Rating |
| K Type | J Type + Photovoltaic System (Roof) | 240.7 | 1 Rating (Free Power) |
| L Type | K Type + Photovoltaic System (Public Space) | 215.1 | |

4.6. 종합분석

본 연구에서 진행된 5단계의 건축물에너지향상방안은 Table 12와 같이 정리할 수 있다.

1단계, [A Type : 조명계획]으로 64.0kWh/m²·yr의 절감량을 보여 에너지 소비량 434.9kWh/m²·yr을 기록하여 4등급 기준을 만족하였다.

2단계, [C Type : 조명계획+창면적비+자연채광]으로 73.8kWh/m²·yr을 절감하여 389.9kWh/m²·yr을 나타내어 3등급 기준을 만족하였다.

3단계, [F Type : 조명계획+창면적비+자연채광+단열성능+SHGC+공조계획]으로 125.6kWh/m²·yr의 절감량을 보여 에너지소비량 348.2kWh/m²·yr을 나타내어 2등급 기준을 만족하였다.

4단계, [J Type : 조명계획+창면적비+자연채광+단열성능+SHGC+공조계획+기밀성능+열회수+자연환기+지열에너지시스템]으로 194.7kWh/m²·yr의 절감량을 보여 에너지 소비량 279.1kWh/m²·yr을 나타내어 1등급을 만족하였다.

m²·yr을 나타내어 1등급을 만족하였다.

5단계, [L Type : 조명계획+창면적비+자연채광+단열성능+SHGC+공조계획+기밀성능+열회수+자연환기+지열에너지시스템+태양광에너지시스템]으로 258.7kWh/m²·yr의 절감량을 보여, 215.1kWh/m²·yr의 에너지 소비량 나타났다.

5. 결론

국내의 건축물에너지효율등급을 기존 공공청사에 적용하여 에너지절감을 위한 리모델링 계획 방안을 데이터정량화 에너지시뮬레이션 모델인 SBD를 활용하여 건축물에너지효율등급 향상 방안을 단계별로 제시하고자 하였다.

건축물에너지소비효율 개선을 위한 건축적요소들을 분류한 후, 리모델링 시 적용 가능한 범위의 에너지절감기술요소를 정량화된 값으로 수치화하여 SBD에 적용 하였다. 에너지소비량과 소비특성을

Table 12. According to the TYPE of Energy Simulation Result

| Division | Energy-Saving Elements | | Building Energy Simulation Output Data | | | | | | | |
|----------|---|--|--|-------------|---------|---------|-------|------|-------|-------|
| | | | Division | Lighting | Heating | Cooling | Fan | DWH | Sum | |
| SBD | - | | ① | Consumption | 168.7 | 66.3 | 42.6 | 22.3 | 6.6 | 306.5 |
| 1 Rating | A Type | Light Plan | ① | Consumption | 150 | 67.3 | 40.4 | 22.3 | 6.6 | 286.6 |
| | | | ② | Reduction | 18.7 | -1 | 2.2 | - | - | 19.9 |
| | | | ③ | Sving Rate | 11% | -2% | 5% | 0% | 0% | 6% |
| | B Type | [A Type] Energy Saving Elements + W/W Ratio | ① | Consumption | 150.3 | 65.2 | 36.1 | 22.3 | 6.6 | 280.5 |
| | | | ② | Reduction | 18.4 | 1.1 | 6.5 | - | - | 26.0 |
| | | | ③ | Sving Rate | 11% | 2% | 15% | 0% | 0% | 8% |
| 2 Rating | C Type | [B Type] Energy Saving Elements + Natural Light | ① | Consumption | 150.3 | 41.5 | 44.7 | 22.3 | 6.6 | 265.4 |
| | | | ② | Reduction | 18.4 | 24.8 | - 2.1 | - | - | 41.1 |
| | | | ③ | Sving Rate | 11% | 37% | -5% | 0% | 0% | 13% |
| | D Type | [C Type] Energy Saving Elements + Insulation | ① | Consumption | 150.3 | 35.4 | 44.1 | 22.3 | 6.6 | 258.7 |
| | | | ② | Reduction | 18.4 | 30.9 | - 1.5 | - | - | 47.8 |
| | | | ③ | Sving Rate | 11% | 47% | -4% | 0% | 0% | 16% |
| E Type | [D Type] Energy Saving Elements + SHGC | ① | Consumption | 113.7 | 32.4 | 44.8 | 22.3 | 6.6 | 219.8 | |
| | | ② | Reduction | 55 | 33.9 | - 2.2 | - | - | 86.7 | |
| | | ③ | Sving Rate | 33% | 51% | -5% | 0% | 0% | 28% | |
| 3 Rating | F Type | [E Type] Energy Saving Elements + Ventilation Plan | ① | Consumption | 113.7 | 32.7 | 28.9 | 22.3 | 6.6 | 204.2 |
| | | | ② | Reduction | 55 | 33.6 | 13.7 | - | - | 102.3 |
| | | | ③ | Sving Rate | 33% | 51% | 32% | 0% | 0% | 33% |
| | G Type | [F Type] Energy Saving Elements + Confidential | ① | Consumption | 113.7 | 32.7 | 28.9 | 22.3 | 6.6 | 204.2 |
| | | | ② | Reduction | 55 | 33.6 | 13.7 | - | - | 102.3 |
| | | | ③ | Sving Rate | 33% | 51% | 32% | 0% | 0% | 33% |
| | H Type | [G Type] Energy Saving Elements + Heat Recovery | ① | Consumption | 113.7 | 33.3 | 29.3 | 16.0 | 6.6 | 198.9 |
| | | | ② | Reduction | 55 | 33 | 13.3 | 6.3 | - | 107.6 |
| | | | ③ | Sving Rate | 33% | 50% | 31% | 28% | 0% | 35% |
| I Type | [H Type] Energy Saving Elements + Natural Ventilation | ① | Consumption | 113.7 | 34.1 | 29.9 | 5.6 | 6.6 | 189.9 | |
| | | ② | Reduction | 55 | 32.2 | 12.7 | 16.7 | - | 116.6 | |
| | | ③ | Sving Rate | 33% | 49% | 30% | 75% | 0% | 38% | |
| 4 Rating | J Type | [I Type] Energy Saving Elements + Geothermal System | ① | Consumption | 113.7 | 34.1 | 29.9 | 5.6 | 6.6 | 189.9 |
| | | | ② | Reduction | 55 | 32.2 | 12.7 | 16.7 | - | 116.6 |
| | | | ③ | Sving Rate | 33% | 49% | 30% | 75% | 0% | 38% |
| 5 Rating | K Type | [J Type] Energy Saving Elements + Photovoltaic System (Roof) | ① | Consumption | 113.7 | 34.1 | 29.9 | 5.6 | 0.5 | 183.8 |
| | | | ② | Reduction | 55 | 32.2 | 12.7 | 16.7 | 6.1 | 122.7 |
| | | | ③ | Sving Rate | 33% | 49% | 30% | 75% | 92% | 40% |
| | L Type | [K Type] Energy Saving Elements + Photovoltaic System (Public Space) | ① | Consumption | 113.7 | 34.1 | 29.9 | 5.6 | 0.5 | 183.8 |
| | | | ② | Reduction | 55 | 32.2 | 12.7 | 16.7 | 6.1 | 122.7 |
| | | | ③ | Sving Rate | 33% | 49% | 30% | 75% | 92% | 40% |

※ ① Consumption(kWh/m²·yr) : Per Unit Building Energy Consumption,
 ③ Saving Rate(%) : Per Unit Building Energy Saving Rate

② Reduction(kWh/m²·yr) : Per Unit Building Energy Reduction,

SBD를 기준으로 개선 전·후를 비교 분석하여 각각의 에너지절감기 술요소가 건축물에너지소비에 미치는 영향을 분석하여 그 값들을 데이터화 하였다.

이러한 과정을 통해 분류된 건축물 에너지소비에 영향을 미치는 42개의 요소들이, 조명, 냉·난방, 공조, 급탕에 미치는 영향이 서로 다름을 확인하였으며, 에너지절감 성능 개선정도를 정량화 하여 데이터를 구축하였다. 구축된 정량화데이터를 통해 5단계에 걸쳐 단계별로 건축물에너지향상방안을 제시하였으며, 이를 통해 기존 건축물 에너지효율등급 5등급의 SBD를 에너지소비 최대 피크시에도 1등급을 유지할 수 있는 수준까지 건축물에너지성능을 향상시켰다.

시뮬레이션 작업을 통해 제시한 이 방안은 기존 공공청사의 에너지 절감을 위한 리모델링시 사전계획을 수립할 수 있을 것으로 보이며, 향후 건축물에너지 절감 계획을 수립하는데 있어 방향성을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] 김기석, 공공청사 그린리모델링을 위한 데이터 정량화 시뮬레이션 모델링 관한 연구, 대한건축학회논문집 계획계 제30권 제10호, 2014. / Kim Gi-seok, A Study on data quantification Simulation Model for Public office Green Remodeling, Paper of AIK, Vol 30. No.10, 2014.
- [2] 김성욱, 공동주택 에너지 운영비용의 상관분석을 통한 친환경 계획요인에 관한 연구, 대한건축학회논문집 제26권 제7호, 2010. / Kim, Sung-Wook, A Study on the Eco-Friendly Plan Factors based on the Correlation of Energy Running Cost in Apartment Housing, Paper of AIK, Vol 26. No7, 2010.
- [3] 박진철, 제로에너지빌딩의 에너지효율 성능에 관한 연구, 한국건축친환경설비학회 논문집 제4권 제3호, 2010. / Park Jin-chul, A Study on Energy Efficiency Evaluation of Zero Energy Building, Paper of KIAEBS, Vol 4. No3, 2010
- [4] 김민석, 녹색리모델링 활성화를 위한 개선방안 연구, 한국건설관리학회, 2011 / Kim Min-seok, A Study on the Improvement for Green Remodeling, KICEM. 2011.
- [5] 박정규, 건물요소와 에너지사용량의 상관분석을 통한 업무용 건축물의 친환경 설계에 관한 연구, 한양대석사논문, 2012 / Park Jung-gyu, A study on sustainable office building according to the correlations between building elements and energy consumption, Hanyang University Masters Thesis. 2012.
- [6] 김승민, 공공업무시설의 제로에미션 계획에 관한 연구, 중앙대 석사논문, 2012. / Kim, Seung-Min, A Study on Zero Emission Design Strategies in Public Office Building, Chung-ang University Master's Thesis, 2012.
- [7] 김기석, 공공청사의 건축물에너지효율등급 향상을 위한 단계별 리모델링에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문, 2014 / Kim Gi-seok, A study on stepwise remodeling for public buildings to improve a class of energy efficiency, Chonnam University Master's Thesis. 2014.