

# 저에너지건축물 설계를 위한 건축물 단열성능의 효과적 조정과 야간외기 도입에 따른 에너지 시뮬레이션 연구

윤현수<sup>1</sup>, 이태규<sup>2</sup>, 김정욱<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>(주)이쓰리엑스퍼트, <sup>2</sup>상명대학교 일반대학원 에너지그리드학과, <sup>3</sup>상명대학교 전기공학과

## A Study on the Effective Adjustment of Building Insulation Performance and the Application of the Night Purge Ventilation System for Low Energy Building Design

Hyun-Su Yun<sup>1</sup>, Tae-Kyu Lee<sup>2</sup>, Jeong-Uk Kim<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>E3EXPERT

<sup>2</sup>Department of Energy-grid, Graduate School, Sangmyung University

<sup>3\*</sup>Department of Electrical Engineering, Sangmyung University

**요약** 본 연구는 최근 자원고갈 문제에 따른 에너지 절감을 바탕으로 총 에너지 수요에서 높은 비중을 차지하고 있는 건축물 에너지의 수요 감축에 목적을 두었고 국내에서 에너지절약형 건축물 설계를 위해 고시한 단열기준을 보다 효과적으로 조정하기 위한 보완점을 제시하고 에너지절약형 고단열, 고기밀 건축물의 쾌적성 유지의 한계점을 추가 보완하고자 야간외기 환기시스템을 도입하며 종합하여 최종 저에너지건축물 설계모델을 제시하였다. 먼저, 단열성능의 효과적 조정 모델은 건축물의 각 경사면별로 다르게 조정하여 각각의 수요 민감도를 충분히 고려할 수 있는 방법을 제시하고, 야간외기 도입 모델의 경우 건축물의 에너지 성능을 최대도 할 수 있는 모델을 선정하였다. 두 가지 모델을 결합한 최종 저에너지건축물 모델은 결과적으로 대상 건축물의 남, 북의 경사면 단열을 강화한 모델과 야간외기를 통한 환기 시스템을 단시간 운전한 모델이었으며 국내 단열기준에 의거한 Base 모델과 비교할 때 약 6~7%의 절감효과를 보였다. 따라서, 본 연구에서 제시하는 효과적 단열조정법과 야간외기 도입은 저에너지건축물 모델 설계에 있어 수요 민감도 분석 선행의 필요성을 환기시키는 점에서 시사점이 높고 대상 건축물의 건물에너지 수요를 저감할 수 있는 설계모델로 활용도가 높을 것이다.

**Abstract** This study was done to reduce total energy demand based on resource shortage problems and to provide improvement points for more efficient adjustment of the high insulation standards for saving energy in Korea. The demand sensitivity was fully considered by varying the slope of each building. The energy performance of the building was maximized by the introduction of outdoor air at night. A final low-energy building model was developed with the two measures combined, and the short-term operation of the night-fuzzy ventilation system was simulated. The result showed a reduction of about 6 to 7 percent compared to the base model. The results could have many implications in terms of the need to conduct demand sensitivity analyses in architectural design.

**Keywords** : Demand sensitivity, Heat insulation performance, Low energy structure design, Night purge ventilation system, TRNSYS

본 논문은 2018년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술연구원 연구과제(No. 20164030300230)로 수행되었음

\*Corresponding Author : Jeong-Uk Kim(Sangmyung Univ.)

Tel: +82-2-781-7602 email: jukim@smu.ac.kr

Received July 27, 2018

Revised (1st August 31, 2018, 2nd September 5, 2018, 3rd September 12, 2018)

Accepted October 5, 2018

Published October 31, 2018

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경

최근 자원고갈 문제에 따른 에너지 절감은 전세계적으로 큰 이슈가 되었으며 에너지 총 수요의 25% 이상을 차지하고 있는 건축물의 에너지 수요를 감축하기 위한 다수의 선행연구들이 수행되어왔다[1,2]. 특히, 건축물의 경우 에너지효율등급제도, 제로에너지빌딩인증제도 등과 같은 국내의 제도에 의거 저에너지건축물 설계를 필수조건으로 하고 있다. 대표적으로 한국에너지공단에서는 저에너지건축물 설계를 위한 기준을 건축물의 에너지 절약 설계기준 해설서를 통해 고시하고 있다. 이 설계기준 해설서는 녹색건축물 조성 지원법의 규칙, 규정에 따라 건축물의 효율적인 에너지 관리를 목적으로 한다[3].

건축부문의 에너지 관리를 위해 가장 먼저 고시하고 있는 사항은 건축물의 단열기준이다. 건축물의 단열은 저에너지건축물 설계를 위한 중요한 요소이며 건축물의 설계부터 생애주기 전반적으로 중요하게 고려되어야 한다. 두꺼운 벽체와 고단열 창호를 사용하는 것을 일반적으로 단열성능을 높이는 것으로 판단할 수 있고 더불어 건축물의 열교를 최소화시키는 방식을 채택하는 것이 바람직하다. 열교란 건물 외장재의 구성에 따라 두께나 면적의 변화로 외기와의 열적 교환상태를 이루는 것을 말한다.[4]

건축물의 단열을 평가하는 지표 중 열관류율(U-value)은 외기로부터 유입되거나 내부로부터 유출되는 열에너지의 비율을 나타내는 값으로 한국에너지공단에서는 지역과 건축물 구조에 따라 분류하여 고시하고 있으며, 열관류율의 수치는 낮을수록 단열성능이 우수하다고 평가할 수 있다. 일반적으로 외기와 직접적으로 면하는 지붕이나 외벽체의 경우 열관류율 값을 낮게 유지해야 한다.

또한 국내에서는 지역에 따라 남부지방에 비해 중부지방의 단열기준을 더욱 엄격하게 평가하고 있다. 최근 건축물의 단열기준은 저에너지건축물, 패시브하우스, 제로에너지빌딩의 보급확대에 따라 더 세분화되는 추세이다. 국내의 지역별 단열기준이 기존에는 중부지역, 남부지역, 제주도로 분류하여 열관류율을 고시하였다가 중부1지역, 중부2지역, 남부지역, 제주도로 확장한 것을 한 예로 들 수 있겠다[5-7]. 이처럼 건축물의 단열성능을 중요하게 고려해야 한다는 시사점과 세분화되는 추세를 바

탕으로 본 연구에서는 에너지 관리의 측면에서 열관류율을 중심으로 건축물 단열성능에 대한 효과적 기준마련을 위한 방안을 제시하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법

건축물의 단열기준은 건축물의 외부 환경으로부터의 열적 영향도를 평가하여 건축물에너지 효율을 높이기 위한 방향으로 결정된다. 현재 국내 단열기준은 건축물에너지효율등급제도 등에 의해 규제하고 있으며 꾸준히 강화되고 있다. 하지만, 기존 고기밀 건축물 설계방식과 국내 건축물 설계기준에 따르면 벽체와 창으로 구성된 각 건축물 경사면 단열은 수요에 대한 서로 다른 영향도를 고려하지 않고 전방위에 대해 일관된 기준을 제시하고 있다.

예를 들어, 태양 일사량은 시간에 따라 항별로 모두 다르게 측정될 것이며 결론적으로 각 경사면의 연간 에너지 수요에도 영향을 미칠 것이다. 향후에는 단열기준에 대한 효과적인 기준을 마련하기 위해 항목을 구체화할 필요가 있고[8], 건축물 각 경사면의 단열을 항별 외기와 일사 영향도에 따라 다르게 보장하는 방법도 하나일 것이다. 실제로 S. Y. Song(2009)은 외단열에 따른 연간 건물에너지 부하 절감효과 분석 결과로 열교부위에 따른 단열성능 규정 마련의 필요성과 열교제거를 위한 세부적 기준 및 제도 마련의 필요성을 제시하였다[9]. 이를 토대로 본 연구에서는 각각의 건축물 경사면을 통한 열 유입도를 비교하고 그에 따른 수요의 민감도를 조사하여 수요변화율이 높은 경사면은 단열성능을 보강하고 반대로 수요변화율이 비교적 낮은 경사면은 다소 완화하는 방식을 채택하여 기존 단열기준에 따른 건축물의 수요와 비교하고자 한다.

추가적으로 최근 건축물의 고단열, 고기밀 성능으로 인한 문제점도 시사되고 있다. 고단열, 고기밀의 건축물은 외기와 태양 일사의 영향을 차단하여 에너지 효율과 에너지 성능에는 유리할 수 있으나 침기를 완전히 차단하여 환기 기능을 저하하고 따라서, 쾌적한 실내환경 유지에 불리하게 작용할 수 있기에 개선이 필요하다[10]. 따라서, 건축물의 효과적인 단열기준 마련방안 제시와 함께 야간외기 도입을 추가로 제시하고 건축물의 에너지 최소화와 실내환경의 쾌적도 유지성능 향상을 동시에 만족할 수 있는 모델을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 동적 에너지해석 소프트웨어인 TRNSYS를 이용하여 시뮬

레이션 환경을 구성하고 건축물 에너지해석을 위한 TRNSYS TYPE 56과 건물운영환경 조성을 위해 TRNBuild를 이용하여 제시한 방안들에 대한 시뮬레이션을 모델링하고 여러 가지 시뮬레이션 모델의 결과를 비교 분석하여 최적의 에너지 성능을 가지는 종합모델을 도출하고자 한다[11]. TRNSYS는 미국 위스콘신 대학의 SEL(Solar Energy Laboratory)에서 개발한 소프트웨어로 열에너지와 전기에너지 해석에 최적화되어 기계부문, 건축부문, 재생에너지 부문에서 자주 사용되는 툴이다.

## 2. 연구 개요

### 2.1 대상 건축물 선정

시뮬레이션 대상 건축물은 미국 에너지부(Department of Energy, DOE)에서 표준 상업용 건축물로 제공하고 있는 Large Office Building이다. Large Office Building 모델은 아래 Fig. 1(a)와 같은 형태로 12층의 대형 사무용 건축물이다.

국내의 건축물 모델을 활용하여 본 연구에서 제시한 방안들을 적용하는 것이 바람직하나 아직 국내 표준건물로 인정받는 모델이 부재한 관계로 국내의 사무용 건축물과 구조상 유사한 미국의 표준건물로 대체하였다.

Large Office Building은 Fig. 1(b)의 내부구조를 가지며 외주부와 내주부로 구분되어 있다. 또한, 외장재가 커튼월(Curtain Wall) 형태인 건축물로 구조상 창의 비율이 높으며 높은 창면적비에 의해 열 차단에 불리하여 단열성능 조정에 따른 에너지 수요변화가 높고 본 연구에서 제시한 방안을 적용할 때의 결과를 명확히 보여줄 수 있을 것이라 판단하여 시뮬레이션 대상 건축물로 선정하였다.

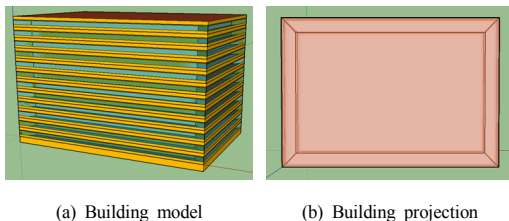


Fig. 1. DOE Large office building model

Table 1. Building information

Category	Condition
Scale	Width : 73.11 [m] Depth : 48.74 [m] Height : 50.00 [m]
Composition	60 zones
Orientation	Full southern aspect
Location	Seoul, KR

### 2.2 건축물의 운영환경 조성

시뮬레이션에 사용하는 건축물 모델은 국내 서울특별시의 한 사무용 건물이라 가정하며 Table 2는 건축물 내부 운영환경을 보여주는 표이다. 건축물의 운영시간은 국내 사무용 건축물임을 고려하여 오전 9시부터 오후 6시로 하였다.

Table 2. Internal environment of building

Category	Condition
Heating	Set temperature : 20℃(Hum1) : 40%)
Cooling	Set temperature : 26℃(Hum : 50%)
Ventilation	0.3 N ( 1 time operation per 3 hours)
Gain	Person (ASHRAE standard) Lights (SIA2024) Electrical Equipment (SIA2024)
Schedule	Workday(Mon~Fri) 09:00~18:00

1) Hum : Relative humidity [%]

### 2.3 시뮬레이션 기상데이터

건축물에 직접적인 영향을 미치는 주변 외기를 조성하기 위해 미국의 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 제공하는 TMY2(Typical meteorological year 2) 포맷의 규격화된 기상데이터를 사용하였다. TMY2 포맷의 기상데이터는 특정 연도의 1년 치 데이터를 사용하는 방식이 아닌 30년간의 기상데이터를 바탕으로 대표 월, 일을 선정하여 1년 치 데이터를 구성되며 이전의 TMY 포맷의 태양 일사에 대한 데이터를 보완하였고 TRNSYS와 PVSOL, PVscout, PVSyst 등에서 활용된다. 또한, 연구의 목적과 통일성을 갖추기 위해 국내 서울특별시의 연간 기상데이터를 활용하였다.

### 2.4 경사면의 열관류율 기준

건축물의 효과적인 단열성능 조정에 대한 비교 평가를 위해 각 경사면의 열관류율의 기준 선정이 선행되어야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 국내의 건축물에너지절약설계기준을 참조하여 건축물 외장재의 단열기준으로 채택하고 그를 토대로 에너지 수요에 대한 수요 민감도 분석을 수행하였다.

## 3. 에너지 시뮬레이션 수행

### 3.1 단열성능에 대한 수요 민감도 분석 모델

건축물의 각 경사면은 수요에 영향을 주는 인자에 따라 서로 다른 민감도를 보인다. 특히, 본 연구에서는 건축물 외장재의 열관류율 값 조정으로 건축물 각 경사면의 단열성능을 강화 또는 완화하여 에너지 관리에 있어 그 효용성을 평가하고자 한다[12].

Table 3. Simulation models for heat insulation

TYPE	Condition
Base	Korean Criteria
Case 1	Eastern slope 20% Reinforced
Case 2	Southern slope 20% Reinforced
Case 3	Western slope 20% Reinforced
Case 4	Northern slope 20% Reinforced
Case 5	Eastern slope 20% loosen
Case 6	Southern slope 20% loosen
Case 7	Western slope 20% loosen
Case 8	Northern slope 20% loosen

먼저, Table 3의 내용과 같이 Base 모델을 기준으로 총 4방위의 경사면에 대한 단열조정이 각기 다른 시뮬레이션 Case 모델을 생성하였다. 또한, Case 모델들은 열관류율에 의한 수요 민감도만을 고려하기 위해 모두 Table 1의 건축물 운영환경을 갖고 있으며 그에 따른 연간 에너지 수요량 시뮬레이션 결과는 아래 Table 4와 같았다.

Table 4. Annual HVAC demand of each simulation models

TYPE	Annual Energy Demand[kJ]		
	Heating	Cooling	Total
Base	775,351,329	205,269,990	980,621,320
Case 1	769,578,539	195,604,614	965,183,154
Case 2	770,944,902	189,222,453	960,167,355
Case 3	769,065,522	195,375,742	964,441,265
Case 4	761,367,173	197,909,954	959,277,127
Case 5	825,908,628	165,181,139	991,089,768
Case 6	876,026,217	147,014,409	1,023,040,626
Case 7	825,497,570	164,236,535	989,734,105
Case 8	831,321,359	173,454,508	1,004,775,867

Table 4의 결과를 바탕으로 아래 Fig. 2, 3에 각각의 Case 모델별 에너지 수요변화 민감도를 나타내었다.



Fig. 2. Comparison of energy demand by reinforcing heat insulation

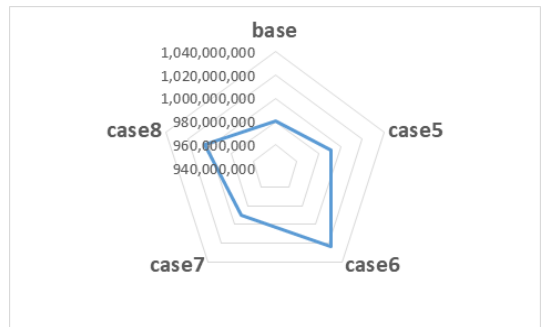


Fig. 3. Comparison of energy demand by easing heat insulation

**Table 5.** Rate of demand change in each simulation models

TYPE	Rate of changing Demand	Condition
Base	-	Korean Criteria
Case 1	1.57%	Eastern slope 20% Reinforced
Case 2	2.09%	Southern slope 20% Reinforced
Case 3	1.65%	Western slope 20% Reinforced
Case 4	2.18%	Northern slope 20% Reinforced
Case 5	-1.07%	Eastern slope 20% loosen
Case 6	-4.33%	Southern slope 20% loosen
Case 7	-0.93%	Western slope 20% loosen
Case 8	-2.46%	Northern slope 20% loosen

결과적으로 Case 2, Case 4, Case 6, Case 8의 에너지 수요변화율이 높고 다시 말해 본 연구에서 활용한 건축물 모델에서는 남쪽 경사면과 북쪽 경사면의 열관류율 조정에 따른 민감도가 높기 때문에 남, 북 경사면의 열관류율 기준과 동, 서의 기준을 남, 북의 경사면 열관류율은 강화하고 동, 서의 열관류율은 완화하는 방식으로 그 기준을 다르게 세울 필요가 있다.

### 3.2 야간외기(Night Purge) 도입 모델

나이트 퍼지는 야간에 외기의 공기를 실내로 유입시켜 실내온도를 낮추고 건축물의 냉방에너지 수요 절감에 효과적인 환기 시스템이다. 나이트 퍼지는 특히 야간에 공기를 유입시키므로 가동시간에 따라 수요에 대한 영향도가 다르며 앞서 단열성능 조정에 따른 수요 민감도를 분석했듯이 나이트 퍼지 도입도 마찬가지로 설비 가동시간에 따른 수요변화를 여러 Case에 대해 비교해보고 에너지 관리를 위한 최적 모델을 선정할 필요가 있다.

**Table 6.** Conditions of simulation models for night purge

TYPE	Condition
Base	0.3N
Case 1	Operating time (11:00pm ~ 8:00am) 9 hours
Case 2	Operating time (12:00am ~ 8:00am) 8 hours
Case 3	Operating time (1:00am ~ 8:00am) 7 hours
Case 4	Operating time (2:00am ~ 8:00am) 6 hours
Case 5	Operating time (3:00am ~ 8:00am) 5 hours
Case 6	Operating time (4:00am ~ 8:00am) 4 hours
Case 7	Operating time (5:00am ~ 8:00am) 3 hours
Case 8	Operating time (6:00am ~ 8:00am) 2 hours

따라서, Table 6과 같이 나이트 퍼지 환기 시스템의 가동시간을 조정하여 Case 모델들을 생성하였고 시뮬레이션을 통한 에너지 수요량 데이터를 취득하였다. 결과는 아래 Table 7과 같이 나타났다.

각 Case 모델들로부터 취득한 수요량을 Base 모델과 비교하여 수요변화를 분석하고 Table 7에 정리하였다.

Fig. 4는 각 비교 Case들의 에너지 수요량과 Base 모델의 에너지 수요량을 비교한 그림이다.

**Table 7.** Annual HVAC demand of each simulation models

TYPE	Annual Energy Demand[kJ]		
	Heating	Cooling	Total
Base	775,351,329	205,269,990	980,621,320
Case 1	955,814,957	184,378,398	1,140,193,355
Case 2	927,724,407	186,361,698	1,114,086,105
Case 3	897,947,525	188,767,996	1,086,715,521
Case 4	867,588,977	191,640,915	1,059,229,892
Case 5	835,144,258	195,023,243	1,030,167,501
Case 6	803,065,851	198,986,462	1,002,052,312
Case 7	767,310,165	203,576,051	970,886,216
Case 8	734,956,782	208,828,784	943,785,566

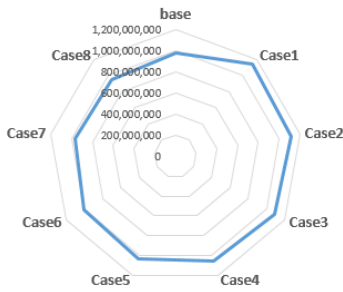


Fig. 4. Comparison of Energy demand by Night Purge

Table 8. Rate of demand change in each simulation models

TYPE	Rate of changing Demand	Condition
Base	-	0.3N
Case 1	11.02%	Operating time (11:00pm ~ 8:00am) 9hours
Case 2	8.48%	Operating time (12:00am ~ 8:00am) 8hours
Case 3	5.82%	Operating time (1:00am ~ 8:00am) 7hours
Case 4	3.14%	Operating time (2:00am ~ 8:00am) 6hours
Case 5	0.31%	Operating time (3:00am ~ 8:00am) 5hours
Case 6	-2.43%	Operating time (4:00am ~ 8:00am) 4hours
Case 7	-5.46%	Operating time (5:00am ~ 8:00am) 3hours
Case 8	-8.10%	Operating time (6:00am ~ 8:00am) 2hours

결과적으로, 나이트 퍼지 환기 시스템을 적용한 Case 1 ~ Case 8 모델들은 냉방에너지 수요를 절감시키는 효과가 있었다. 하지만 나이트 퍼지 환기 시스템의 가동시간이 긴 Case 1 ~ Case 6 모델들은 모두 겨울철 난방에는 불리하였고 Case 7과 Case 8 모델만이 난방과 냉방에 모두 효과적이었다. 결과적으로 각 Case 모델들의 수요 절감량에 따라 도입 시 가장 효과적인 Case 8을 단열 성능 조정 최종 모델에 도입할 Case로 선정하였다.

### 3.3 저에너지건축물 최종 모델

본 연구의 최종모델은 수요 민감도를 분석하였을 때 건축물의 남, 북 경사면에 대한 열관류율을 보강하고 동, 서 경사면에 대한 열관류율을 완화한 단열성능 조절 모델과 에너지 관리에서 가장 효과적이었던 야간외기 도입 모델을 종합하여 최종 시뮬레이션 모델을 선정하였다.

Table 9. Conditions of final simulation models

TYPE	Category	
	Heat insulation	Night Purge
Case 1	Southern 10% Reinforced Northern 10% Reinforced Eastern 10% Loosen Western 10% Loosen	Operating time (6:00am ~ 8:00am) 2hours
Case 2	Southern 20% Reinforced Northern 20% Reinforced Eastern 20% Loosen Western 20% Loosen	
Case 3	Southern 30% Reinforced Northern 30% Reinforced Eastern 30% Loosen Western 30% Loosen	

Table 10. Annual HVAC demand of final simulation models

TYPE	Annual Energy Demand[kJ]		
	Heating	Cooling	Total
Base	775,351,329	205,269,990	980,621,320
Case 1	638,121,151	367,734,777	1,005,855,928
Case 2	816,988,343	103,785,808	920,774,151
Case 3	786,482,474	128,528,700	915,011,174

## 4. 연구 결과

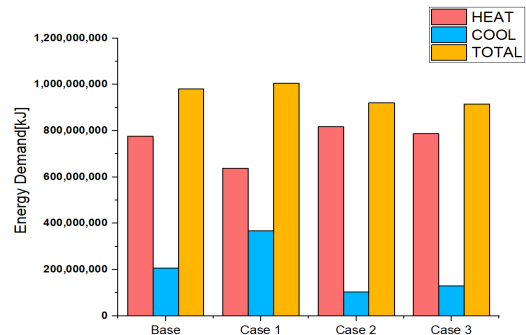


Fig. 5. Comparison of energy demand of final models

최종모델의 시뮬레이션 조건은 Table 9와 같고 총 세 가지의 최종 모델을 시뮬레이션 한 결과는 Table 10에 정리하였다.

먼저, Case 1은 단열성능을 10% 조정한 모델이며 Base 모델에 비해 난방에너지 수요가 감소했지만 냉방 에너지 수요의 증가로 인해 총 수요량은 가장 높게 나타났다. 난방에너지 수요는 약 18%의 절감율을 보인 반면, 냉방에너지 수요는 약 79% 증가한 결과였다.

하지만, 단열성능을 20%, 30%로 상대적으로 크게 조정한 Case 2와 Case 3의 경우 난방에너지의 수요가 소폭 증가하였고 냉방에너지 수요가 크게 줄어 총 에너지 수요량의 절감을 나타냈다. 난방에너지 수요는 각각 5%, 1% 증가하였으며, 냉방에너지 수요는 약 49%, 37%의 절감율을 보였다.

결론적으로 Case 2와 Case 3 모델은 연간 약 6~7%의 수요 절감을 기대할 수 있었고 저에너지건축물을 위한 모델로서 고려될 수 있을 것으로 사료된다.

## 5. 결론

저에너지건축물 설계를 위해 본 연구에서 제시한 두 가지 방안 적용에 따른 연구 결과는 종합적으로 다음과 같았다.

- (1) 건축물 단열성능의 기준을 보다 효과적으로 제시하기 위함으로 건축물 각 향별 경사면에 대한 에너지 수요의 변화율을 도출하고 그에 따른 민감도를 조사하여 시뮬레이션한 결과 대상 건축물은 남, 북의 경사면에 대한 민감도가 높았고 따라서 남, 북의 경사면에 대한 열관류율 기준을 강화하고 동, 서에 대한 열관류율 기준을 완화하였다.
- (2) 고단열, 고기밀 건축물 설계에 따른 건축물 내부 쾌적도 향상을 기대할 수 있는 방안으로 야간외기를 도입하여 보완하고 그에 따른 에너지 수요 절감을 동시에 기대할 수 있었다.
- (3) 저에너지건축물을 위한 최적의 단열성능을 가진 모델과 최적의 야간외기 도입 시스템 모델을 적절히 조합하여 본 연구의 최종 모델로 선정하였으며 결과적으로 기존의 Base 모델 대비 연간 약 6~7%의 에너지 수요 절감을 할 수 있었다.

에너지 관리에 있어서 본 연구에서 제시한 외기 도입의 경우 재생에너지 도입 등의 다른 액티브적 요소와 대체할 수 있는 사항이라고 할 수 있지만 수요 민감도를 활용한 건축물 경사면 별 단열조정 기법은 충분히 건축물 설계단계에서 고려할 수 있을 사항이라는 점에서 시사점이 높다.

## References

- [1] S. M. Seo, J. C. Park, E. K. Rhee, "An Analysis of Thermal Loads Depending on Korea Building Insulation Standard and the Optimum Insulation Standard", *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol.31, No.5, pp.146-155, 2011.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.7836/kses.2011.31.5.146>
- [2] J. S. Kang, G. S. Choi, K. W. Kim, S. E. Lee, "Study on the Test Methods and Performance Criterion of High Insulated Door", *Proceedings of The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea 2009 Summer Conference*, pp.618-622, June, 2009.
- [3] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Explanation of Building Energy Conservation Design Criteria", pp.3-7, 2017, Announced by Korea Energy Agency.
- [4] H. D. Jeon, "Status of External Thermal Bridges Blocking Technology", *Journal of Construction technology Ssangyong of Building Construction*, pp.70-5, 2018.
- [5] D. W. Kim, K. S. Chung, Y. I. Kim, S. M. Kim, "A Comparative Study on Heating Energy Consumption for Apartment Based on the Annually Strengthened Criteria of Insulation", *Journal of Energy Engineering*, Vol.22, No.2, pp.83-89, 2013.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.5855/ENERGY.2013.22.2.083>
- [6] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Explanation of Building Energy Conservation Design Criteria", pp.20-6, 2017. Announced by Korea Energy Agency.
- [7] S. Cho, U. J. Sung, M. Y. Rim, S. H. Kim, "A Fundamental Study on the Technical Package in Zero Energy Building", *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol.12, No.3, pp.253-263, 2018.  
DOI: <https://dx.doi.org/10.12972/jkiaebbs.20180022>
- [8] K. Lee, J. H. Seo, S. Y. Choo, "A Study on Analysis of Architectural Design Elements for Energy Saving Based on BIM - Focused on Energy Performance Analysis of Tower Type Buildings using Revit -", *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Vol.20, No.1, pp.59-66, 2018.
- [9] S. Y. Song, B. K. Koo, B. I. Lee, "Analysis of Annual Heating Load Reduction Effect for Thermal Bridge-free Externally Insulated Apartment Buildings Using the Steady-state Method", *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning&Design*, Vol.25, No.8,

pp.365-372, 2009.

- [10] G. S. Choi, Y. S. Jeong, J. S. Kang, S. E. Lee, Y. Y. Jeong, "An Optimized Design and Simulation Analysis of Natural Ventilation Window System classified by Apartment type", *AIK Authority Conference*, pp.685-8, 2009.
- [11] K. J. Seo, "Analytical Study on the Effects of Energy Use Factors on the Energy Consumption of a Building", *Unpublished doctor's thesis*, Korea University, pp.39-50, 2001.
- [12] G. W. Choi, "Energy consumption change study according to the envelope insulation change using building energy data", *Unpublished master's thesis*, Yonsei University, pp.34-40, 2017.

---

**김 정 욱(Jeong-Uk Kim)**

[정회원]



- 1987년 2월 : 서울대학교 제어계측 공학과 (공학사)
- 1989년 2월 : KAIST 전기및전자 공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 : KAIST 전기및전자 공학과 (공학박사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

BAS/BEMS, 신재생에너지, 기계학습, 건물에너지관리

---

**윤 현 수(Hyun-Su Yun)**

[정회원]



- 2009년 2월 : 인천대학교 전자공학과 (공학사)
- 2012년 2월 ~ 현재 : ㈜이쓰리엑스퍼트 실장 (책임연구원)
- 2017년 2월 ~ 현재 : 상명대학교 일반대학원 에너지그리드학과 석사과정 (전력및에너지전공)

<관심분야>

건물에너지, 신재생에너지, 에너지자원, 에너지수요관리

---

**이 태 규(Tae-Kyu Lee)**

[정회원]



- 2016년 2월 : 상명대학교 에너지그리드학과 (공학사)
- 2017년 3월 : 상명대학교 그린에너지연구소 (연구원)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 일반대학원 에너지그리드학과 석사과정(전력및에너지전공)

<관심분야>

제로에너지빌딩, 신재생에너지, 스마트시티, 기계학습