



사무용 건물의 에너지 절감을 위한 요소별 성능 분석 및 디자인 전략에 관한 연구

Study of Design Strategy to Reduce Energy Consumption in a Standard Office Building

양자강* · 김철호* · 김강수**

Yang, Ja-Kang* · Kim, Chul-Ho* · Kim, Kang-Soo**

*Department of Architecture, Korea University, Seoul, Korea (neat_jk@korea.ac.kr, kchcd@korea.ac.kr)

** Corresponding author, Department of Architecture, Korea University, Seoul, Korea (kskim@korea.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: Recently energy consumption is rapidly increasing due to continuous development of social evolution in various field. In this situation, there is a lot of effort to reduce this energy consumption in many ways, especially in building energy. Preceding studies already started to analyze the housing area such as zero energy house and passive house by researching annual building energy consumption, but to apply the results of housing to office building is insufficient since it has different consumption tendency. **Method:** In this study, eQuest program was used for simulation and the base model is selected among standard office building in ASHRAE 90.1. Variables are divided into passive and active factors for comparison. **Result:** In passive factors, glazing system showed the highest energy saving rate by 21.3% with triple low-e glass and enhancing wall u-value showed the lowest energy saving rate by 3.6% with 0.15 m²/K. In active factors, VAV system showed 30.9% energy saving rate when compared to CAV system, and heat exchanger showed 10.2% energy saving rate. For regeneration energy part, photovoltaic panel generated 10.4% of base annual energy usage.

© 2016 KIEAE Journal

KEYWORD

에너지 절감
Passive Factor
Active Factor
Wall Insulation
Glazing System
CAV VAV
Heat Exchanger
Photovoltaic Panel
eQuest

ACCEPTANCE INFO

Received November 23, 2015
Final revision received April 4, 2016
Accepted April 7, 2016

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

최근 우리나라는 지속적인 사회발전을 통해 전반적인 분야에서 에너지 소모가 늘어나고 있는 추세이다. 이에 대응하여 에너지 위기를 극복하기 위해 다양한 분야에서 환경 보존과 에너지 절감에 대한 노력이 진행되고 있으며 특히 큰 비중을 차지하고 있는 건물 부문 에너지에 대한 중요성은 더욱 크게 부각되고 있다. 이러한 현 상황에서 현재 우리나라에서도 역시 새로운 국가 비전을 수립해 2020년 까지 BAU(Business As Usual) 대비 30% 감축을 목표로 '저탄소 녹색 성장'을 선언하였고 '건축물의 에너지절약 설계기준'을 개정하는 등 지속적으로 제도적 장치를 구축하고 이에 대해 연구하고 있다.

건축물은 크게 주거 건물과 상업용 건물로 나눌 수 있는데 주거 건물에서는 이미 제로 에너지 하우스, 패시브 하우스 등 연간 에너지 사용을 분석하여 절감하려는 시범적인 주택들이 등장하는 추세이며 그에 관련한 선행 연구도 다수 이루어진 상황이다. 하지만 그 결과를 상업용 건물에 그대로 적용하기에는 에너지 사용 형태가 달라 새로운 분석 자료가 필요한 것으로 사료된다.

또한 건물 에너지를 절감할 수 있는 요소는 Passive 요소와

Active 요소로 구분할 수 있는데 우리나라에서 진행된 연구는 주로 한쪽 분야에 치우쳐져 있어 두 가지 요소를 모두 고려하여 복합적으로 비교하는 연구가 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 표준형 사무소 건물 모델을 대상으로 연간 에너지 성능에 영향을 미치는 요소를 각각 고려하여 그 절감률과 효율에 대해 비교 및 분석하고자 한다. 그리고 각각의 요소가 가지는 절감률에 대해 비교하여 가장 효율적으로 사무소 에너지를 절감할 수 있는 전략을 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 건물 에너지 분석을 위해 동적 시뮬레이션 프로그램인 eQuest 프로그램을 사용하였다. eQuest 프로그램은 DOE에서 개발한 시뮬레이션 프로그램으로 이미 국내외에서 건물의 에너지 성능을 평가하는데 적합한 것으로 평가되었다.

Fig. 1은 본 연구의 흐름을 나타낸 것으로서 중규모 사무소 공간을 기본 모델로 선정하고 실제 사무소 건물에 적용 가능한 요소 기술을 Passive 요소와 Active 요소로 구분하여 각 기술에 따른 건물의 에너지 절감 효과를 분석하였다. Passive 요소는 크게 벽체의 열 관류율, 창호 종류, 창면적비, 기밀성으로 분류하였고 Active 요소는 크게 공기조화시스템의 종류, 현열 교환기, 전열 교환기로 분류하여 진행하였다. 또한 신재생 에너지 요소로 태양광 발전 패널을 적용하였다.

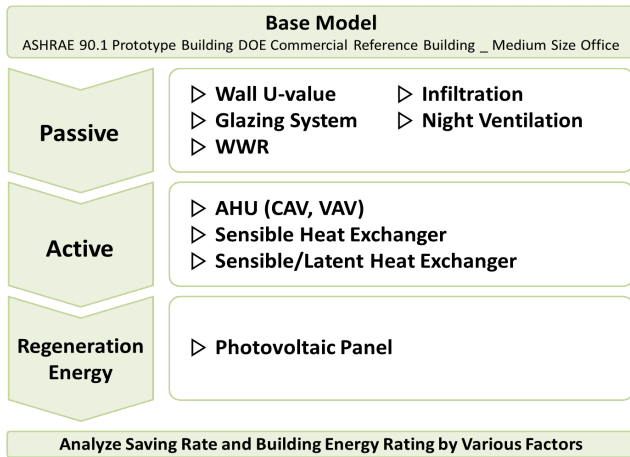


Fig. 1. Flow Chart of This Study

2. 연구의 이론적 고찰

2.1. 선행연구 고찰

국내 연구로 김철호 외 [1][2] 연구 등에서는 High-Performance Buildings 구현을 위한 신기술 개요 및 에너지 절감 효과를 국외 사례를 분석하여 정리하였다. 선행연구를 통해 신기술을 Passive 요소와 Active 요소로 구분한 뒤 각각의 세부 요소별로 평균 절감률을 평가하여 Passive 요소와 Active 요소를 통해 각각 기대할 수 있는 에너지 절감률을 제시하였다. 또한 이진호[3] 연구에서는 베이스 모델을 활용하여 제로 에너지건물 프로세스 전략에 대해 연구하였으며 그 방법으로는 Passive 요소와 Active 요소, 그리고 신재생 에너지를 변수로 하여 각각의 요소별로 연간 에너지 절감률을 비교하였다.

국외 연구로 Alexandre[4] 외 연구에서는 미국의 사무소 건물을 바탕으로 최적의 에너지 효율을 낼 수 있는 방안을 연구하였다. 그 방법으로는 서로 다른 기후를 갖는 지역을 선정하여 Passive 요소와 Active 요소를 구분하고 LCC로 그 효율을 분석하였다. 다른 연구로 E. Pikas[5] 외 연구에서는 사무소 건물에서 Passive 요소 및 신재생 에너지를 중심으로 연간 에너지 소비량을 초기투자비와 유지비로 계산하여 그 효율성을 분석하였다.

기 언급한 것처럼 국내 연구에서는 이미 패시브 하우스나 제로 에너지 하우스 등 주거 계획에서는 이미 일부의 연구가 이루어져 왔으나 사무소에 대한 지속적인 연구가 부족한 실정이며 건물의 에너지 소모 경향에 따른 적용의 편의를 위하여 각 요소별 상대적인 절감율을 평가할 수 있도록 연구가 제시 될 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 각각의 요소별로 냉,난방 에너지 및 팬 에너지로 분류하여 각각의 절감률을 검토해 보고자 한다.

2.2. Passive 요소 개요

2.2.1 벽체 열관류율

벽체의 열관류율을 결정하는 요소 중 하나인 단열재는 건물 내부의 열이 전도, 대류, 복사를 통해 다른 한쪽으로 전달되는 것을 차단하거나 크게 줄일 수 있는 재료이며 국토해양부에서 2015년 9월

에 고시한 ‘건축물의 에너지 절감 설계 기준’[6]에서의 열전도율 범위에 따라 단열재를 구분하고 있다. 그 범위는 다음 Table 1과 같다.

Table 1. Thermal Conductivity Scope of Insulation Level

Level	Thermal Conductivity Scope	Insulation Type
	W/mK	References
가	below 0.034	- Extruded Polystyrene Form Insulation 1,2,3,S - Expanded Polystyrene Form Insulation 2-1,2,3,4 - Poly Urethane Form Insulation 1-1,2,3 & 2-1,2,3 - Glass-wool Insulation 48K, 64K, 80K, 96K, 120K - Other Insulations with Thermal Conductivity below 0.034 W/mK (0.029 kcal/mh°C)
나	0.035 ~ 0.040	- Expanded Polystyrene Form Insulation 1-1,2,3 - Mineral-wool Insulation 1,2,3 - Glass-wool Insulation 24K, 32K, 40K - Other Insulations with Thermal Conductivity between 0.035 ~ 0.040 W/mK (0.030 ~ 0.034 kcal/mh°C)
다	0.041 ~ 0.046	- Expanded Polystyrene Form Insulation 1-4 - Other Insulations with Thermal Conductivity between 0.041 ~ 0.046 W/mK (0.035 ~ 0.039 kcal/mh°C)
라	0.047 ~ 0.051	- Other Insulations with Thermal Conductivity between 0.047 ~ 0.051 W/mK (0.040 ~ 0.044 kcal/mh°C)

또한 앞서 언급한 ‘건축물의 에너지 절감 설계 기준’에 의거하여 명시된 지역별 건축물 부위의 열관류율 표 중 외벽에 대한 기준 및 패시브 하우스 기준은 다음 Table 2와 같다.

Table 2. Exterior Wall U-value Standards (Unit - W/m²·K)

Part	Passive House	District		
		Central District	Southern District	Jeju-Island
Exterior Wall	0.15	below 0.270	below 0.340	below 0.440

따라서 본 연구에서 Base Model은 ‘건물 에너지 설계현황 DB 구축 및 고효율 건물설계 가이드라인’[7]에서 제시한 중부지역 평균인 0.38W/m²·K을 적용하고 변수는 0.12W/m²·K 단위로 증감시켜 중부지역 기준과 패시브 하우스 기준을 가변 범위로 선정하였다.

2.2.2 창호 시스템

창호 시스템은 그 종류에 따라 다양한 SHGC (일사열 취득 계수), U-value (열관류율), VLT (가시광선 투과율)을 갖게 되는데 SHGC는 일사열 취득량을 조절하여 냉방에너지에 영향을 주고 U-value는 열의 이동을 차단 및 감소시켜 난방에너지에 영향을 미치며 VLT는 실내 조도를 조절하여 조명에너지에 영향을 미친다[8][9]. 따라서 이 세 가지 요소를 모두 고려하여 해당 건물의 에너지 절감에 유리하게 적용할 필요가 있다. 본 연구에서 활용할 유리의 종류는 LBNL에서 제공하는 Window 7 프로그램을 이용하여 물성치를 계산하였으며 사용한 유리는 선행연구[7]를 참고하여 국내 제품을 사용하였다. 그 물성치는 다음 Table 3과 같다.

Table 3. Glazing System

Glazing System	U-value	SHGC	VT
Double Clear	2.692	0.719	0.789
Double Low E	1.601	0.458	0.698
Double Tint Low E	1.757	0.413	0.511
Triple Low E	1.186	0.445	0.527
Double Clear	6CL - 12A - 6CL		
Double Low E	6ECT - 12A - 6CL		
Double Tint Low E	6ECT - 12A - 6GL		
Triple Low E	6ECT - 10A - 6CL - 10A - 6CL		

2.2.3 WWR

창면적비(Window-to-Wall Ratio)는 벽체 면적에 대한 창문의 면적 비를 의미한다. 현대 건축물에서는 유리 외피를 적용한 사례가 증가하는 추세이며 이는 재실자에게 시각 쾌적성을 제공할 수 있지만 동시에 냉난방 에너지에 취약하다는 단점이 있다. 본 연구에서는 앞서 언급한 ‘건축물의 에너지 절약 설계 기준’에서 권장하는 창면적비인 50%를 Base 모델에 적용하였으며 변수로 20%단위로 창면적비를 증감시켜 그에 따른 에너지 소모량의 변화를 분석하였다.

2.2.4 Infiltration

건축물은 외피를 통해 의도되지 않게 내부로 침기가 유입될 수 있다. 침기는 창호나 벽체 등 외기에 접하는 요소의 기밀성을 강화하여 최소화 할 수 있으며 이는 건축물의 에너지 소비와 환기의 측면에서 중요한 요소이다[10]. 본 연구에서는 기밀성 강화에 의한 침기율 변화와 건축물 에너지와의 상관관계를 알아보기 위해 0.5 ACH를 Base 모델에 적용하였으며 변수로 0.2 ACH 단위로 증감시켜 비교 분석하였다.

2.2.5 Night Ventilation

야간 환기는 사무소 건물이 운영되지 않은 비 공조 시간인 야간에 외기를 도입하여 구조체의 축열을 식혀 공조 시간의 냉방에너지를 절감할 수 있는 시스템이다[11]. 냉방에너지가 전체 에너지에 큰 비중을 차지하는 사무소 건물에서의 야간 환기 적용은 큰 에너지 절감 효과를 기대할 수 있는데 본 연구에서는 기존의 Base 모델에 야간 환기를 적용할 경우 에너지 소모량의 변화를 분석하였다.

2.3. Active 요소 개요

2.3.1 Air Handling Unit (CAV, VAV)

본 연구에서는 공조시스템으로 CAV system과 VAV system을 비교 대상으로 선정하였다. CAV system은 정풍량 유닛으로 일정한 송풍량으로 실내온도를 제어하는 방식으로 시공이 용이하며 설비비가 저렴하여 현재 많이 이용되고 있는 방식이다. 하지만 정해진 설계 풍량으로 운영되어 팬 에너지 사용량이 크다는 점과 존마다 공조를 분할할 때에는 설비비가 높아진다는 단점이 있는데 이러한 점을 보완한 방식이 VAV system이다. VAV system은 일정한 송풍 온도를 설계 풍량으로 제어하여 실내온도를 제어하는 방식으로 CAV system에 비해 팬 에너지가 절감된다는 이점이 있다[12][13]. 본 연구에서 Base 모델은 CAV system을 적용하였으며 변수인 VAV system은 최

소 풍량을 30%로 설정 하였다. 공기조화 시스템 계통도는 다음 Fig. 2와 같다.

2.3.2 Heat Exchanger (HRV, ERV)

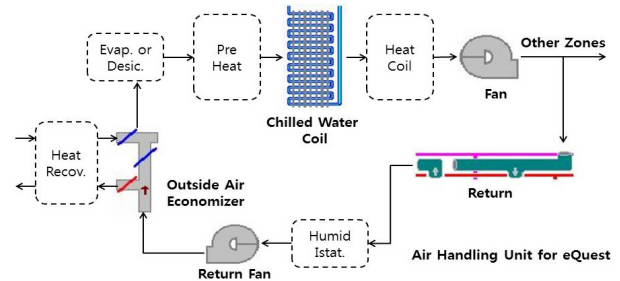


Fig. 2. Air Handling Unit System for eQuest

열 교환기는 건물에서 발생하는 폐열을 외부로 배출시키면서 종류에 따라 온도, 습도를 외부에서 들어오는 공기와 교환시켜 실내조건과 비슷하게 유지함으로써 냉, 난방 에너지를 절감하는 열 회수 장치이다. 그 종류로는 교환 방식에 따라 판형, 로터리형 교환기, 그리고 교환하는 요소에 따라 온도만 교환하는 현열 교환기와 온,습도를 동시에 교환하는 전열 교환기로 구분이 되는데 이러한 열 교환기를 적용함으로써 실내외 온도차가 큰 기간에 냉, 난방 에너지를 절감할 수 있다[14]. 본 연구에서는 판형 열교환기를 기준으로 현열 교환기, 전열 교환기를 비교하여 습도와 에너지 절감률에 관한 비교 및 기기의 교환 효율에 따른 에너지 절감률을 비교 분석하였다. 본 연구에서 활용한 열 교환기의 성능은 국내 제품을 기준으로, 현열 교환기의 현열 교환 효율은 60%를 기준으로 10%씩 향상시켜 에너지를 평가하였고 전열 교환기의 경우는 현열 교환 효율은 70%를 고정값으로 입력하고 잠열 교환 효율을 30%에서 10%씩 향상시켜 에너지를 평가하였다. 열 교환기의 열 교환 흐름도는 다음 Fig. 3과 같다.

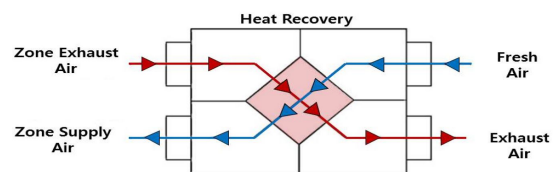


Fig. 3. Heat Exchanger Thermal Exchange Concept

2.4. 신재생 에너지 개요

2.4.1 Photovoltaic Panel

태양광 발전 시스템은 태양에너지를 직접 이용하여 전기를 생산하는 발전 방식이다[15]. 최근 국외에서는 ‘기준가격 의무 구매제’나 ‘요금 상계제’와 같은 태양광 전기사용 장려책을 확대하고 있으며 국내 주택에서도 이미 태양광 패널을 이용하여 전기에너지를 생산하고 있다. 본 연구에서는 선행연구[15]에서 최적 조건으로 분석된

30도 각도의 PV 패널을 Base 모델의 남향에 설치하여 PV 패널이 적용되지 않은 Base 모델에서 PV 패널이 적용된 경우의 생산량을 차감 후 비교 분석하였다.

2.5. 건물에너지 효율등급별 에너지 사용량

건축물 에너지 효율등급이란 건축물의 효율적인 에너지 관리를 위해 에너지 소요량을 평가하는 제도이다[16]. 2013년 법령 변경에 의해 기존의 5개의 항목에서 10개 항목으로 세분화되어 평가가 가능하며 그 항목에 대한 기준은 다음 Table 4와 같다.

Table 4. Building Energy Rating Standard for Office Building

Rating	Annual Primary Energy Consumption per Unit
1+++	$e < 80 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$
1++	$80 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} < e < 140 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$
1+	$140 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} < e < 200 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$
1	$200 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} < e < 260 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$
2	$260 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} < e < 320 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$
3	$320 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} < e < 380 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$
4	$380 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} < e < 450 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$
5	$450 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} < e < 520 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$
6	$520 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} < e < 610 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$
7	$610 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a} < e < 700 \text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$

본 연구에서 활용한 Base 모델은 위의 표를 기준으로 연간 단위면적당 1차 에너지 소요량이 504 kWh/m^2 년으로 계산되어 5등급으로 평가되었다. 1차 에너지 소요량은 단위면적당 2차 에너지 소요량에 환산계수를 곱한 값으로 본 연구에서는 전력 환산계수인 2.75를 곱하여 1차 에너지 소요량을 계산하였다. 이에 본 연구에서는 앞서 선정한 각 요소의 성능 강화를 통해 복합적으로 적용 시 몇 등급으로 성능이 향상되는지 비교 분석하였다.

3. 시뮬레이션 결과 분석

3.1. Base Model 선정

본 연구에서는 기본 모델로 ASHRAE에서 제공하는 ASHRAE 90.1 Prototype Building DOE Commercial Reference Building 중 중규모 사무소 건물을 선정하였으며 다음 Fig. 4와 같다. 고층 사무소 건물의 일반층 1개층을 대상으로 시뮬레이션을 수행하여 상하부는 열관류가 없는 Adiabatic으로 처리하였다. 위치는 인천으로 설정하고 그에 대한 파일은 IWEC(International Weather for Energy Calculation)에서 제공하는 파일을 이용하였다.

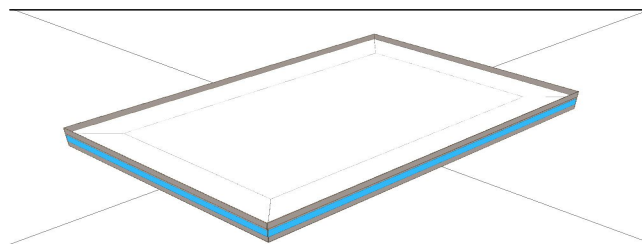


Fig. 4. Prototype Building DOE Commercial Reference Building

기본 모델에 입력된 기본 조건은 다음 Table 5와 같다.

Table 5. Simulation Input (Base Model)

Category	Content	
Usage	Office Building	
Location	Incheon	
Area	50m X 33m X 2.75m	
Axis	South	
Heating Setpoint	20 °C	
Cooling Setpoint	26 °C	
Infiltration	0.5 ACH	
Internal load	Equipment	16 W/m ² (공공청사 에너지 절약 설계 가이드라인 2010 기준)
	Lighting	12 W/m ² (ASHRAE 90.1 2007 기준)

본 연구에서 설정된 변수 중 각 가변 요소에 관한 내용은 다음 Table 6, 7, 8과 같다.

Table 6. Passive System Variables

Passive System	Wall U-Value	Base case	0.38
		Case 2	0.50
		Case 3	0.27
		Case 4	0.15
	Glazing System	Base case	Double Clear
		Case 5	Double Low-E
		Case 6	Double Tint Low-E
		Case 7	Triple Low-E
	WWR	Case 8	30%
		Base case	50%
		Case 9	70%
		Case 10	90%
	Infiltration	Case 11	0.3 ACH
		Base case	0.5 ACH
		Case 12	0.7 ACH
		Case 13	0.9 ACH
	Night Ventilation	Case 14	Applied

Table 7. Active System Variables

Active System	AHU	Base case	CAV
		Case 15	VAV
	HRV [Sensible Heat Exchange Efficient]	Case 16	0.6
		Case 17	0.7
		Case 18	0.8
		Case 19	0.9
	ERV [Sensible/Latent Heat Exchange Efficient]	Case 20	0.7 / 0.3
		Case 21	0.7 / 0.4
		Case 22	0.7 / 0.5
		Case 23	0.7 / 0.6

Table 8. Regeneration Energy Variable

Regeneration Energy	Photovoltaic Panel	Case 24	Applied
---------------------	--------------------	---------	---------

3.2. Passive 요소에 의한 에너지 절감 분석

3.2.1. Wall Insulation

벽체 열관류율 성능에 의한 연간 에너지 소모량에 대한 결과는 다음 Fig. 5와 같다.

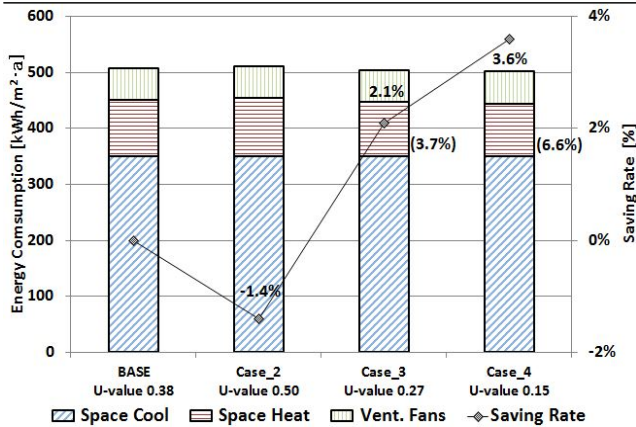


Fig. 5. Annual Energy Consumption by Wall U-values

벽체 열관류율 $0.38W/m^2K$ 를 적용시킨 Base 모델 대비 중부 지역 기준인 $0.27W/m^2K$ 를 적용했을 때 연간 에너지는 2.1% 절감되었고 패시브 하우스 기준인 $0.15W/m^2K$ 를 적용했을 때는 3.6% 절감되는 것으로 평가되었다. 냉방 에너지는 열관류율 변화에 따른 에너지 절감률이 1% 미만으로 거의 차이가 없는 것으로 평가되었고 난방 에너지는 열관류율이 $0.27W/m^2$ 로 낮아졌을 때 3.7%, $0.15W/m^2$ 로 낮아졌을 때는 6.6% 절감되는 것으로 평가되었다.

3.2.2 Glazing System

창호 종류에 따른 연간 에너지 소모량에 대한 결과는 다음 Fig. 6과 같다.

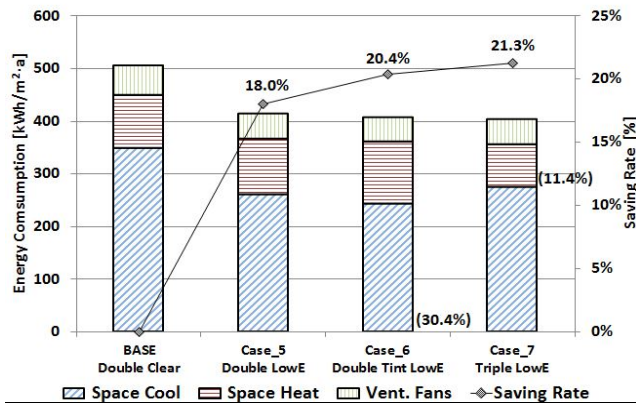


Fig. 6. Annual Energy Consumption by Glazing systems

Double Clear 유리를 적용시킨 Base 모델 대비 Double Low-E 유리를 적용하였을 때 연간 에너지 절감률은 18.0%, Double Tint Low-E를 적용하였을 때는 20.4%, Triple Low-E를 적용하였을 때는 21.3%로 평가되었다. 세 유리 중 SHGC가 0.413으로 가장 낮은 Double Tint Low-E 유리를 적용하였을 때 냉방에너지 절감률이 30.4%로 가장 큰 것으로 평가되었고, U-Value가 1.186으로 가장 낮은 Triple Low-E를 적용하였을 때 난방에너지 절감률이 11.4%로 가장 큰 것으로 평가되었다.

3.2.3 WWR

창 면적 비 (WWR)에 따른 연간 에너지 소모량에 대한 결과는

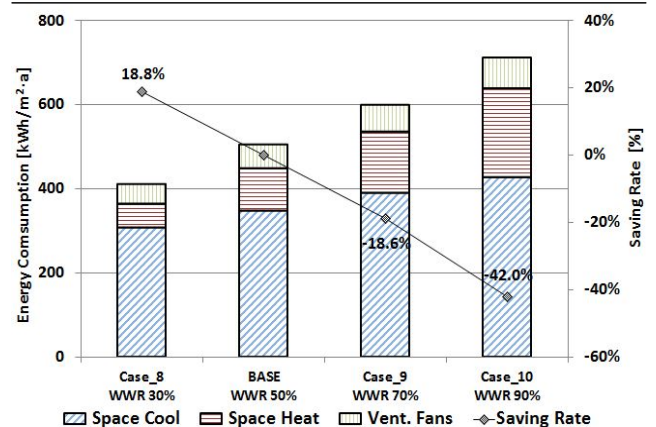


Fig. 7. Annual Energy Consumption by WWR

다음 Fig. 7과 같다.

Base 모델의 창면적비 50%를 기준으로 창 면적비를 30%로 줄였을 때는 연간에너지의 18.8%가 절감되는 것으로 평가되었고 70%로 증가하였을 때는 18.6%, 90%로 증가하였을 때는 42.0% 연간 에너지 소모량이 증가하는 것으로 평가되었다. 창면적비에 대한 냉, 난방 에너지와 팬 에너지는 창면적비가 증가함에 따라 일정하게 증가하였으며 면적비가 20% 증가함에 따라 연간 에너지 소모량도 약 19~23% 씩 증가하는 것으로 평가되었다.

3.2.4 Infiltration

기밀성에 따른 연간 에너지 소모량에 대한 결과는 다음 Fig. 8과 같다.

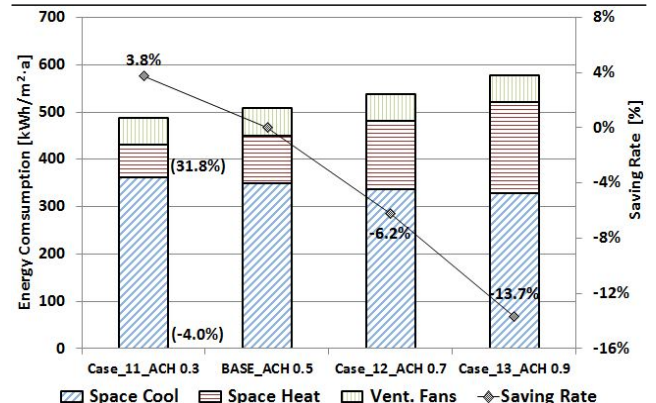


Fig. 8. Annual Energy Consumption by Infiltration

기밀성이 좋아질수록 냉방에너지 소모량은 소폭으로 증가하고 난방에너지 소모량은 크게 감소하여 연간 에너지 소모량은 감소하는 것으로 평가 되었다. Base 모델의 침기율 0.5 ACH를 기준으로 0.3 ACH로 줄일시 난방에너지는 31.8% 감소, 냉방에너지는 4.0% 증가하여 연간 에너지 소모량은 3.8% 절감되는 것으로 평가되었다. 또한 침기율이 0.2씩 감소할수록 냉방에너지는 평균 5~6% 증가하며 난방에너지는 36~38% 감소하여 연간 에너지 소모량은 평균 4~8% 감소하는 것으로 평가되었다.

3.2.5 Night Ventilation

야간 환기를 적용시켰을 때의 연간 에너지 소모량에 대한 결과

는 다음 Fig. 9와 같다.

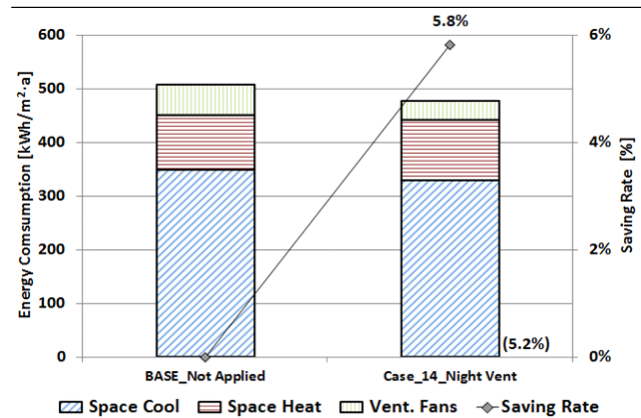


Fig. 9. Annual Energy Consumption by Night Ventilation

Base 모델에 야간환기를 적용시켰을 때 그렇지 않은 Base 모델 대비 냉방에너지에서 5.2% 절감되어 총 연간 에너지에서 5.8% 절감이 되는 것으로 평가되었다. 결과를 절기별로 구분하였을 때 동절기에는 절감률이 거의 없는 것으로 평가되었고 하절기와 일교차가 큰 간절기에 냉방에너지 절감 효과가 큰 것으로 평가되었다.

3.3. Active 요소에 의한 에너지 절감 분석

3.3.1 Air Handling Unit

공조 시스템으로 Base모델에 적용된 CAV system과 VAV system을 적용했을 때 연간 에너지 소모량에 대한 결과는 다음 Fig. 10과 같다.

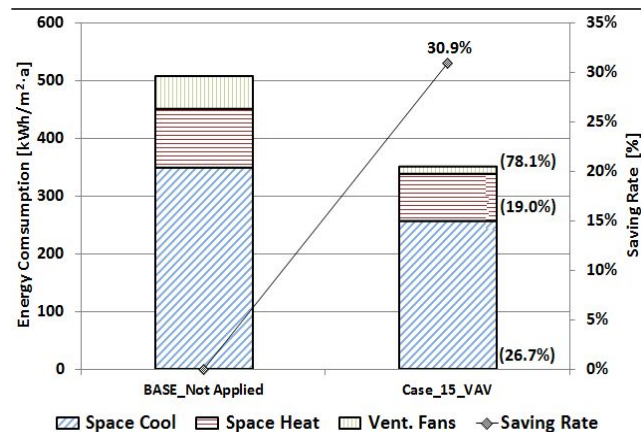


Fig. 10. Annual Energy Consumption by AHU

CAV 대비 VAV 적용 시 팬 에너지는 78.1%로 크게 절감되는 것으로 평가되었고 난방 에너지는 19.0%, 냉방 에너지는 26.7% 절감되는 것으로 평가되었다. 팬 에너지에서 크게 절감되었지만 전체 에너지에서의 팬 에너지 비율이 작아 연간 건물 에너지로 평가하였을 때는 30.9% 절감되는 것으로 평가되었다.

3.3.2 Sensible Heat Exchanger

열 교환기 중 현열 교환기를 적용했을 때 현열 교환 효율에 따른 연간 에너지 소모량에 대한 결과는 다음 Fig. 11과 같다.

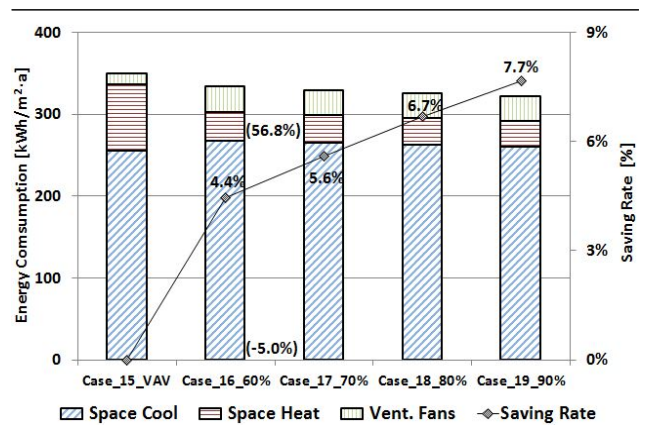


Fig. 11. Annual Energy Consumption by HRVs

VAV system을 기준으로 현열 교환 효율이 증가할수록 난방 에너지는 감소하는 경향을 나타냈으며 냉방 에너지와 팬 에너지는 증가하는 경향을 나타냈다. VAV system 대비 60% 현열 교환기를 적용하였을 경우 난방 에너지는 56.8%로 크게 감소하였고 냉방에너지는 5.0% 정도 증가하여 연간 에너지를 비교하였을 때 4.4% 절감되는 것으로 평가되었다. 현열 교환 효율을 10%씩 증가하여 비교하였을 때 약 1.2%씩 추가 절감 되는 것으로 평가되었고 그 결과 90% 현열 교환 효율을 적용하였을 때 7.7% 절감 되는 것으로 평가되었다.

3.3.3 Sensible/Latent Heat Exchanger

열 교환기 중 전열 교환기를 적용했을 때 현열 및 잠열 교환 효율에 따른 연간 에너지 소모량은 다음 Fig. 12와 같다.

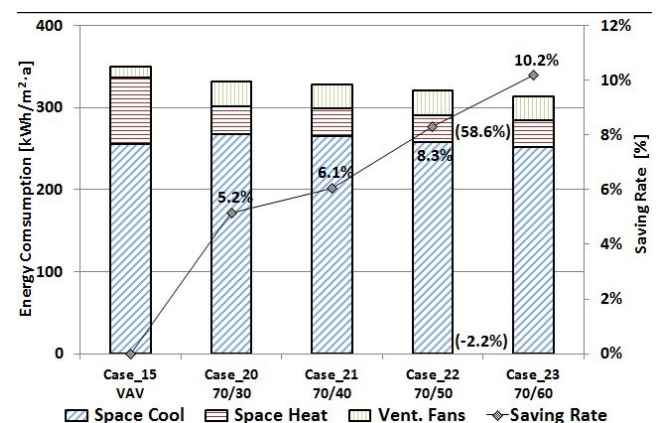


Fig. 12. Annual Energy Consumption by ERVs

VAV system 대비 현열 교환 효율 70%, 잠열 교환 효율 50% 전열 교환기 적용 시(Case 22) 난방 에너지는 58.6%로 현열 교환기(Case 17)보다 약 2.0% 더 감소하였다. 냉방 에너지는 VAV system(Case 15) 보다 2.2% 증가하는 것으로 평가되며, 연간 에너지로 비교하였을 때 10.2% 감소하여 현열 교환기(Case 17)를 사용했을 때 보다 2.5% 더 절감되는 것으로 평가되었다. 잠열 교환 효율은 10% 증가 할수록 1.5% 더 절감되는 것으로 평가되었는데 이는 난방에너지의 절감률이 커질 뿐만 아니라 냉방에너지도 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

3.4. 신재생 에너지에 의한 에너지 효과 분석

3.4.1 Photovoltaic Pannel

지붕에 PV 패널을 적용했을 때 연간 에너지 소모량에 대한 결과는 다음 Fig. 13과 같다.

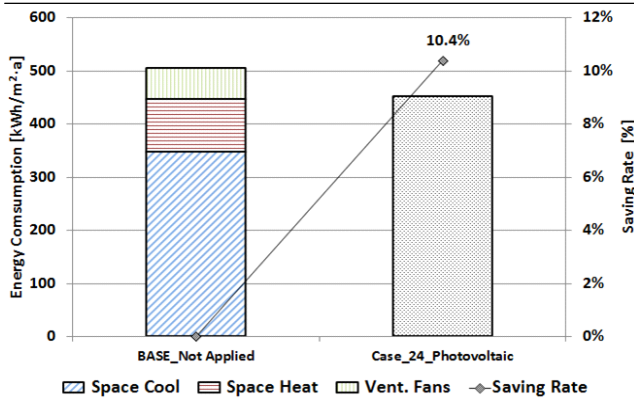


Fig. 13. Annual Energy Consumption by Applying PV

CAV system을 기준으로 옥상에 PV 패널을 적용하였을 시 연간 에너지의 총 10.4%가 생산되는 것으로 평가되었다. 이를 절기별로 구분하였을 때 하절기에 약 3.5%가 생산되었고 동절기에 약 2.8%가 생산되어 동절기보다 하절기에 더 많은 에너지가 생산 가능한 것으로 평가되었다.

3.5. 전체 요소별 연간 건물 에너지 분석

Fig. 14는 Base 모델을 바탕으로 비교한 각 요소별 에너지 절감률을 나타낸 그래프이다.

Base 모델 대비 단열재의 성능을 향상시켜 열관류율을 $0.15\text{W/m}^2\text{K}$ 로 낮췄을 때 최대 3.6%의 절감을 기대할 수 있고, Triple Low-E 유리를 적용하였을 때는 최대 21.3%의 연간 에너지 절감을 기대할 수 있다. 또한 야간 환기를 적용할 경우 추가적으로 5.8%의 절감을 기대할 수 있다.

이를 종합 하였을 때 Passive 요소에서의 High-performance

system을 적용하였을 때 최대 27.3%의 연간 에너지 절감을 기대할 수 있다.

CAV system이 적용된 Base 모델 대비 VAV system을 적용하였을 때 연간 에너지는 30.9% 절감 되는 것을 기대할 수 있고 추가적으로 현열 교환기를 적용하였을 때 최대 38.6%, 전열 교환기를 적용하였을 때 최대 41.3% 절감을 기대할 수 있다. 이를 종합 하였을 때 Active 요소에서의 고성능 기술을 적용하였을 때 최대 41.3%의 연간 에너지 절감을 기대할 수 있다.

신재생 에너지로 PV 패널을 설치할 경우 설치하지 않은 Base 모델 대비 연간 에너지의 약 10.4%를 생산을 기대할 수 있다.

각각의 요소를 조합하였을 때의 절감률을 확인하기 위해 위의 변수를 이용하여 6가지 조합(Combination 1~6)을 선정하였으며 Table 9는 각 조합에 적용된 요소를 나타낸 것이다.

Table 9. Combinations Variables

	Category	Content
Combination 1	Wall U-Value	0.27 W/m²K
	Glazing System	Double Low E
	Infiltration	0.5 ACH
	Night Ventilation	Not Applied
Combination 2	Wall U-Value	0.15 W/m²K
	Glazing System	Triple Low E
	Infiltration	0.3 ACH
	Night Ventilation	Applied
Combination 3	AHU	VAV system
	Recovery System	HRV 70%
Combination 4	AHU	VAV system
	Recovery System	ERV 70% / 50%
Combination 5	Wall U-Value	0.27 W/m²K
	Glazing System	Double Low E
	Infiltration	0.3 ACH
	Night Ventilation	Not Applied
	AHU	VAV system
Combination 6	Recovery System	HRV 70%
	PV Panel	Applied

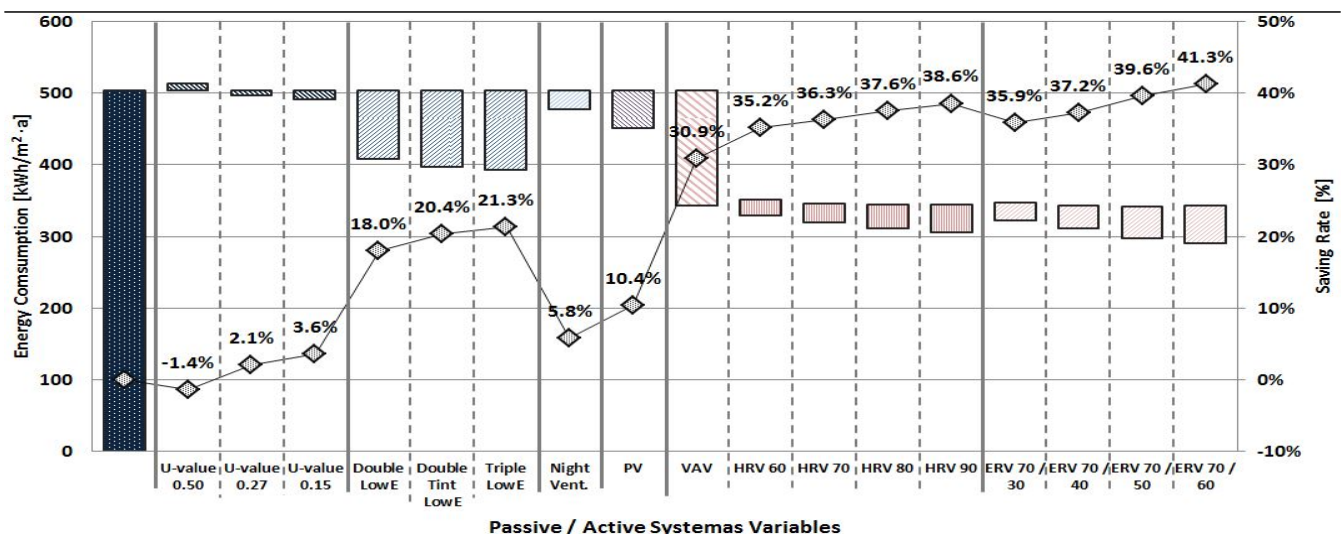


Fig. 14. Total Annual Energy Consumption

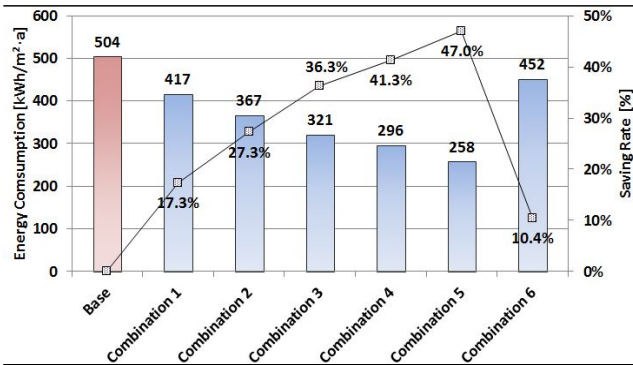


Fig. 15. Annual Energy Consumption by Combination

Combination 1은 시뮬레이션에 사용된 Passive 요소의 변수 중 평균값을 적용한 조합이며 Combination 2는 시뮬레이션에 사용된 Passive 요소의 변수 중 가장 큰 절감률을 나타낸 경우를 적용한 조합이다. Combination 3은 Active 요소의 변수 중 평균값을 적용한 조합이며 Combination 4는 Active 요소의 변수 중 가장 큰 절감률을 나타낸 경우를 적용한 조합이다. Combination 5는 Passive와 Active 요소의 평균값을 동시에 적용한 경우의 조합을 의미하며 Combination 6은 PV Panel 만을 적용했을 시를 의미한다. 각 조합에 대한 에너지 소모량에 대한 결과는 다음 Fig. 15와 같다.

Combination 1과 2에 관한 결과를 비교했을 때 Base 모델 대비 Passive 요소를 통하여 평균 17.3% 절감이 가능하며 최대 27.3% 까지 절감이 가능한 것으로 평가되었다. 또한 Combination 3과 4에 관한 결과를 비교했을 때 Base 모델 대비 Active 요소를 통하여 평균 36.3% 절감이 가능하며 최대 41.3%까지 절감이 가능한 것으로 평가되었다. Combination 5의 결과에서 Passive와 Active 요소에 대한 평균값을 동시에 적용할 경우 47.0%로 가장 큰 절감률을 보였으며 이는 고성능의 Active 요소를 적용한 Combination 4보다 더 효율적인 것으로 평가되었다. 또한 Combination 6의 결과에서 PV를 통하여 10.4%의 에너지를 생산할 수 있으므로 각 조합의 경우 PV 적용 시 10.4%가 더 절감될 수 있는 것으로 평가되었다.

4. 결론

본 연구에 대한 결론은 다음과 같다.

(1) Passive 요소에서 벽체 단열 성능 강화, 창호의 성능 강화, 기밀성 강화, 야간 환기 적용 등을 동시에 고려하였을 때 본 연구에서 선정한 Base 모델 대비 평균 17.3%에서 최대 27.3%의 에너지가 절감되었다. 건물에너지 효율등급 (업무용 건축물 기준)은 5등급(504 kWh/m²·년)으로 평가되었던 Base 모델 대비 3등급(367 kWh/m²·년)으로 향상이 가능한 것으로 평가되었다. 각 요소 중 가장 절감률이 우수했던 항목은 창호 성능으로 Triple Low-E 유리를 적용할 때 연간 에너지가 최대 21.3% 절감이 가능한 것으로 평가되었다.

(2) Active 요소에서 VAV system, 현열 및 전열 교환기 적용

을 동시에 고려하였을 때 본 연구에서 선정한 Base 모델 대비 연간 에너지는 평균 36.3%에서 최대 41.3%까지 절감되었다. 건물에너지 효율등급이 기준 5등급(504 kWh/m²·년)으로 평가되는 Base 모델 대비 2등급(296 kWh/m²·년)으로 향상이 가능한 것으로 평가되었다. 각 요소 중 가장 절감률이 우수했던 항목은 AHU 항목으로 VAV system을 적용할 때 최대 30.9% 절감이 가능하며 가장 효율적인 것으로 평가되었다.

(3) Passive 요소와 Active 요소 중 본 연구에서 활용한 평균값을 동시에 고려하였을 때 Base 모델 대비 47.0%가 절감되었다. 건물에너지 효율 등급 5등급(504 kWh/m²·년)으로 평가되었던 Base 모델 대비 1등급(258 kWh/m²·년)으로 향상이 가능한 것으로 평가되었다. 이는 Passive 요소를 통하여 얻을 수 있는 최대 절감률과 Active 요소를 통하여 얻을 수 있는 최대 절감률보다 높은 것으로 두 항목을 동시에 적용할 경우 더 효율적인 것으로 평가되었다.

(4) PV panel을 적용 시 연간 10.4%의 에너지가 생산 가능하여 이를 연간 에너지 소모량에 추가할 시 건물에너지 효율등급을 한 등급씩 올릴 수 있는 것으로 평가되었다.

결론을 종합하여 볼 때 Passive 요소에 비해 Active 요소를 적용했을 때 에너지 절감률이 더 큰 것으로 평가되었다. Active 요소에 고성능 기술을 적용시키는 것으로는 건물에너지 효율등급을 2등급으로 만족시킬 수 있다. 또한 평균 성능의 Active 요소를 적용하더라도 Passive 요소를 동시에 강화할 경우에는 1등급으로 평가가 가능한 것으로 평가되었다. 마지막으로 각 요소별로 절기 및 외부 조건에 따라 다른 절감률을 나타낼 수 있는데 이를 요소별로 세부 분석하여 더 큰 건물 에너지 절감을 위한 연구가 추후에 필요할 것으로 보인다.

Acknowledgements

이 논문은 2015년도 국토교통부 도시건축연구개발사업의 연구비 지원에 의해 수행된 연구임(15AUDP-B079104-02)

Reference

- [1] 김철호, 양자강, 김강수 외 High-Performance Buildings 구현을 위한 신기술 개요 및 에너지 절감 효과 분석, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집, 2015. 06. // (Kim, Chul-Ho, Yang, Ja-Kang, Kim, Kang-Soo, Analysis of New Technologies for Energy Conservation in High-Performance Buildings, SAREK 2015 Summer Annual Conference, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 2015. 06.)
- [2] 박두용, 김철호, 김강수 외 Analysis of Energy Performance and Green Strategies in the Foreign High-Performance Buildings, 한국생태환경건축학회 논문집, 2015. 06. // (Park, Doo-Yong, Kim, Chul-Ho, Kim, Kang-Soo, Analysis of Energy Performance and Green Strategies in the Foreign High-Performance Buildings, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, 2015. 06.)
- [3] 송영학, 이진호, 베이스 모델을 이용한 제로에너지건물 프로세스 전략 연구, 대한건축학회 논문집, 2012. 09. // (Song, Young-Hak, Lee, Keon-Ho, A Study of Zero Energy Building Process Strategy using Base Model, Architectural Ins
- [4] Alexandre Deneuve, Comparative evaluation of optimal energy efficiency designs for French and US Office buildings, Energy and Buildings, Volume 93, 2015

- [5] E. Pikas, Cost optimal and nearly zero energy buildings solutions for office buildings, *Energy and Buildings*, Volume 74, 2014
- [6] 건축물의 에너지 절약 설계 기준, 국토교통부, 2015 .9 // Energy Saving Design Standards of Buildings, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2015, 9
- [7] 건물에너지 설계현황 DB 구축 및 고효율 건물설계 가이드라인 개발, 에너지관리공단, 2010 .10 // Establishing Data Base of Building Energy Design Situation and Developing High Efficiency Building Design Guide Line, Korea Energy Agency, 2010, 10
- [8] W.J. Hee, The role of window glazing on daylighting and energy saving in buildings, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 42, 2015
- [9] Snehashis Ghoshal, Advance Glazing System – Energy Efficiency Approach for Buildings a Review, *Energy Procedia*, Volume 54, 2014
- [10] Guiyuan Han, Different modeling strategies of infiltration rates for an office building to improve accuracy of building energy simulations, *Energy and Buildings*, Volume 86, 2015
- [11] Zhaojun Wang, Night ventilation control strategies in office buildings, *Solar Energy*, Volume 83, 2009
- [12] Ivan Korolija, Regression models for prediction UK office building energy consumption from heating and cooling demands, *Energy and Buildings*, Volume 59, 2013
- [13] Tolga N. Aynur, Simulation of a VAV air conditioning system in an existing building for the cooling mode, *Energy and Buildings*, Volume 41, 2009
- [14] Guohui Gan, Simulation of dynamic interactions of the earth-air heat exchanger with soil and atmosphere for preheating of ventilation air, *Applied Energy*, Volume 158, 2015
- [15] J. Antonanzas, Towards the optimization of convective losses in photovoltaic-thermal panels, *Solar Energy*, Volume 116, 2015
- [16] 건축물 에너지효율등급 인증 기준, 국토교통부, 2013 // Building Energy Efficiency Rating System Standard, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2013