

차양형 BIPV가 적용된 사무소 건물의 외피 최적 설계에 관한 연구

A Study on the Optimum Design of a Facade with Shading-type BIPV in Office Building

박세현* · 강준구** · 방아영*** · 김준태****†

Park Se-Hyeon*, Kang Jun-Gu**, Bang Ah-Young*** and Kim Jun-Tae****†

(Received 1 April 2015 ; accepted 28 April 2015)

Abstract : Zero energy building is a self sufficient building that minimizes energy consumption through passive elements such as insulation, high performance window system and installing of high efficiency HVAC system and uses renewable energy sources. The Korea Government has been strengthening the building energy efficiency standard and code for zero energy building. The building energy performance is determined by the performance of building envelope. Therefore it is important to optimize facade design such as insulation, window properties and shading, that affect the heating and cooling loads. In particular, shading devices are necessary to reduce the cooling load in summer season. Meanwhile, BIPV shading system functions as a renewable energy technology applied in solar control facade system to reduce cooling load and produce electricity simultaneously. Therefore, when installing the BIPV shading system, the length of shadings and angle that affect the electricity production must be considered.

This study focused on the facade design applied with BIPV shading system for maximizing energy saving of the selected standard building. The impact of changing insulation on roof and walls, window properties and length of BIPV shading device on energy performance of the building were investigated. In conclusion, energy consumption and electricity production were analyzed based on building energy simulations using energyplus 8.1 building simulation program and jEPlus+EA optimization tool.

Key Words : 비주거용건물(Non-residential building), 차양형 태양광발전(Shading-type BIPV), 최적설계(Optimised design), 건물에너지모델링(Building energy modelling), 전기생산량 (Electricity generation)

****† 김준태(교신저자) : 공주대학교 건축학부
E-mail : jtkim@kongju.ac.kr, Tel : 041-521-9333
*박세현 : 공주대학교 대학원 건축공학과
**강준구 : 공주대학교 대학원 건축공학과
***방아영 : 공주대학교 대학원 건축공학과

****† Kim Jun-Tae(corresponding author) : Dept. of Architectural Eng., Kongju National University
E-mail : jtkim@kongju.ac.kr, Tel : 041-521-9333
*Park Se-Hyeon : Dept. of Architectural Eng., Kongju National University
**Kang Jun-Gu : Dept. of Architectural Eng., Kongju National University
***Bang Ah-Young : Dept. of Architectural Eng., Kongju National University

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

제로에너지 건물이란 단열 강화, 고효율 창호 및 고효율 설비를 적용하여 에너지 소비량을 최소화하고, 태양광 및 지열 등 신재생에너지를 활용하여 에너지를 자급자족하는 건축물을 말한다. 정부는 제로에너지빌딩을 목표로 에너지 설계기준을 단계적으로 강화하고 있다. 현재 주택은 2017년, 비주택은 2020년까지 냉난방에너지 90% 절감을 목표로 단열기준 강화 및 일사차단 기준 등을 마련 중이다.[1]

최근 지어지는 대형건물의 외피는 커튼월 구조로서 창면적비가 커짐에 따라 열적성능에 불리한 유리가 주재료로 사용된다. 또한 사무소 건물은 특성상 일사 유입이 많은 주간에 주로 운용되기 때문에 냉방에너지가 차지하는 비중이 상당히 크다. 따라서 냉난방부하에 영향을 미치는 외피 설계요소들의 최적설계가 이루어져야하며, 그 중 창호에는 하절기 냉방부하 저감을 위한 일사차단장치의 적용이 요구된다.

신재생에너지 기술요소인 차양에 적용된 건물일체형 태양광발전시스템 (BIPV : Building Intergrated Photovoltaic System)은 냉방부하를 감소시킬 수 있고 전기를 생산할 수도 있다는 점에서 건물의 일사조절장치로 적용이 가능하다. 태양광발전시스템(PV : Photovoltaic)의 경제성을 높이기 위해서는 PV가 생산하는 발전량이 최대화되도록 설치하는 것이 중요하다. 하지만 건물에 적용할 경우 건설비용, 면적, 일사조절, 열적성능 그리고 심미적 가치 측면 등 다양한 요소가 고려되어야 한다. 따라서 BIPV는 건물의 디자인과 구조 그리고 PV발전량 사이에서 균형 있는 설계가 요구된다.[2]

이에 따라 본 연구에서는 업무용 표준 건물

을 대상으로 차양형 BIPV가 적용된 외피의 건물에너지성과 발전량에 대한 최적화설계를 도출하였다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 업무용 표준건물을 대상으로 BIPV가 적용된 외피의 외벽 및 지붕 단열, 창면적비, 창호 종류, 차양 길이를 설계변수로 설정하여 냉방 및 난방에너지소비량과 조명에너지소비량이 최소화되는 최적설계를 진행하였다. 이를 위해 건물 에너지시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus 8.1과 최적화 툴인 jEPlus+EA를 이용하였다. 최적화방법은 유전자알고리즘을 사용하고, 파레토 최적화 분석방법을 이용하였다.

1.3 차양형 BIPV 연구동향

다양한 논문에서 외부차양과 PV 모듈을 적용하기 위한 연구가 진행되었다. Manzan[3]은 유전자 알고리즘을 통해 기후조건이 다른 트리에스테와 로마 지역에 고정형 차양을 설치하여 성능을 분석하였다. 최적화 설계는 일반유리, 로이유리, 차양 장치의 높이, 폭, 각도 그리고 벽과 떨어진 거리로 수행하였다. 또한 냉방, 난방, 조명에너지소비량이 목적함수로 설정되었다. 트리에스테 지역에서는 차양을 높이 3.11 m, 경사각 11.1°, 길이 1.96 m 그리고 벽과 떨어진 거리 0.086 m로 설치하였을 때 에너지소비량이 약 19% 감소하였다. 로마 지역에서는 높이 3.15 m, 경사각 4.8°, 길이 1.91 m 그리고 벽과 떨어진 거리 0.088 m로 설치하였을 때 에너지소비량이 약 30% 감소하였다. Sun 외 1인[4]은 홍콩 기후조건에서 차양형 BIPV의 구조와 다양한 경사각에 따라 냉방부하 저감과 발전량 조합에 대해 평가하였다. 차양형 BIPV는 두 가지 구조로 나누어

서 분석하였다. 첫 번째 구조는 두 개 층 창호 사이 높이가 고정되고 경사각에 따라 차양의 길이와 PV 모듈면적이 변화하였다. 최적의 경사각도는 높이에 따라 0.5 m에서 30°, 0.8 m와 1.1 m의 경우 40°, 1.4 m와 1.7 m에서 50°로 나타났다. 두 번째 구조는 PV 면적이 고정되고 경사각에 따라 차양의 길이가 변화하였다. 경사각 0° 일 때 냉방부하가 최대로 절감되었으며, 경사각이 커질수록 차양의 길이가 감소하게 되어 냉방부하 절감량이 감소되었다. 또한 발전량을 포함한 PV 단위 면적당 에너지 성능은 차양길이가 0.3 m일 때 비용 대비 더 효율적인 것으로 분석되었다. 이충식 외 2인 [5]은 차양형 BIPV 시스템이 설치된 실과 미 설치된 실을 대상으로 실내외 온도를 측정하여 피크 냉방부하 절감에 미치는 영향 및 BIPV 시스템의 발전량을 분석하였다. 설치 경사각도는 냉난방부하를 고려하여 설치지역의 하지와 동지의 태양고도에 따라 설계하였다. 그 결과 최대 냉방부하는 약 17.1kW가 감소되었으며, 발전용량 25.2kWp인 BIPV 시스템의 연간발전량은 28,000kWh로 나타났다. 이상길 외 3인 [6]은 차양형 BIPV의 설치각과 건물방향에 따른 전기 생산과 냉난방부하를 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 분석하였다. 차양의 돌출길이는 A타입 약 0.1 m, B타입 약 0.5 m 로 설정하였다. 그 결과 B타입의 단위 면적당 에너지성능이 남향에서는 18~24%, 남서향 17~21% 그리고 남동향 10~14% 더 유리한 것으로 나타났다.

이와 같이 차양 및 차양형 BIPV에 관한 연구는 설치 지역 기후조건, 설치 조건에 따른 차양 성능 분석연구가 주를 이루고 있다. 또한 차양의 최적화 설계가 특정 건물만을 위한 분석으로 그 한계점을 가지고 있다. 이에 따라 표준건물을 대상으로 차양의 성능뿐만 아니라

외피의 성능 향상을 고려한 최적화 분석을 통해 건물에너지 측면에서 차양형 BIPV의 연구가 요구된다.

2. 차양형 BIPV 최적 설계

2.1 최적화 개요

2.1.1 최적화 프로세스

다음은 최적화 문제의 일반적인 수학적 설명이다 [7].

$$\text{Minimize : } F(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

$$\text{Subject to : } G(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 \quad x_i \in S_i \quad (2)$$

일반적으로, 최소화하는 목적함수 F와 0 보다 크거나 같아야하는 제약함수 G로 정의된다. 각 설계변수 x_i 는 변수 유형에 따라 정의된 이산 값 또는 경계 값인 특정 값 S_i 에 포함되는 값으로 제한된다. 이러한 최적화 문제는 제약함수의 존재에 따라 구속 및 비구속 최적화로 구분될 수 있다. 또한 목적함수의 개수에 따라 단일목적 또는 다중목적 최적화로 구분될 수 있다.

다중 목적 최적화는 설계영역에서 파레토 솔루션 집합을 찾는 것을 목적으로 한다. Fig. 1 [8]은 두 가지 목적함수에 대한 파레토 최적 솔루션을 설명한 그림이다. 파레토 분석은 설계영역 F에서 솔루션 사이의 지배와 비지배관계를 통해 분석한다. 예를 들어 솔루션 1은 솔루션 2보다 더 작은 목적함수를 갖게 된다. 이때 솔루션 1과 솔루션 2는 지배관계에 있다고 할 수 있다. 솔루션 1과 3을 보면, 솔루션 3은 f_2 에 대해선 더 좋은 값을 가지고 있지만, 솔루션 1은 f_1 에 대해 더 좋은 값을 가지고 있

어 서로 비지배 관계에 있다고 정의한다. 솔루션 1 과 솔루션 3은 비지배되는 최적의 파레토 솔루션이다. 이러한 비지배 솔루션을 연결한 선을 파레토 프론트라고 한다.

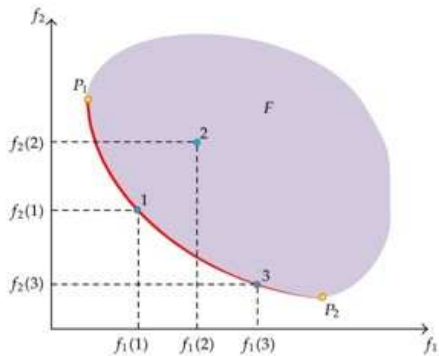


Fig. 1 Example of a two objective space for Pareto optimal solutions.

2.1.2 알고리즘

파레토 최적해들을 효과적으로 탐색하기 위해 최적화 툴로 이용한 jEPlus+EA에서는 NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm - II) 알고리즘을 이용한다.[9] 빠른 비지배분류(fast nondominated sort) 과정, 밀집도 거리 할당(crowding distance assignment) 과정, 밀집도 비교연산자(crowded comparison operator)를 통해 진행된다.

2.2 대상건물 개요

본 연구를 위해 선정한 대상건물은 정영선 외 3인[10]의 선행연구의 결과인 국내 비주거용 표준건물로 지하 1층, 지상 7층, 건축면적 약 4,440 m², 연면적 20,838 m² 규모 이다. 창면적비는 약 37%이며, 정남향 건물이다. 건물 외피와 설비 구성은 Table. 1과 같다. 외벽의 열관류율은 0.36 W/m²·K, 지붕의 열관류율은 0.23 W/m²·K이며 창호는 열관류율 2.6 W/

m²·K로 24 mm Low-E 투명복층유리로 설정하였다. 보일러 효율은 91%, 냉동기 성적계수(COP:Coefficient of Performance)는 1.08로 설정하였으며, 공조방식은 외주부는 팬코일유닛(FCU), 내주부는 정풍량(CAV)시스템을 채택하였다. 기상데이터는 서울지역 표준기상데이터를 이용하였다. 그 외 용도프로필은 건축물에너지효율등급 인증제도 운영규정[11]을 참고하였다. Fig. 2는 EnergyPlus 모델링 건물의 형상이다.

Table. 1 Summary of the reference building

Design element	Conditions	
Outline	Building use	Office building
	Number of floors	7 Floors, 1 Basement
	Typical floor area	2,976.9 m ²
	Ceiling height	4.0 m
	Aspect ratio	1 : 1.92
	Window to wall ratio	36.9%
	Orientation	South
Passive	U-value of wall	0.36 W/m ² K
	U-value of roof	0.23 W/m ² K
	U-value of window	2.60 W/m ² K
	Window type	24mm Low-e double glass
	Air tightness	ACH50 1.5
Active	Boiler Efficiency	91.0%
	Chiller COP	1.08
	HVAC system	CAV+FCU

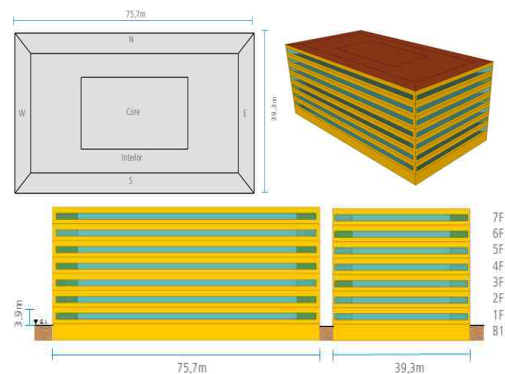


Fig. 2 EnergyPlus building model

2.3 최적화 변수

본 연구에서는 차양형 BIPV가 적용된 사무소 건물의 설계 변수인 외피 및 지붕 단열, 창호종류, 창면적비, 차양길이 등이 목적함수인 냉난방 및 조명에너지소비량을 최소화하도록 최적화하였다. Fig. 3은 차양형 BIPV의 설계 개념이다. 차양형 BIPV를 남측면에 수평으로 설치할 경우 최적의 차양길이(L)를 도출하였다. 이 때 외피 설계 변수도 포함한 최적값이 도출되었다. 또한 설치각도(α)에 따른 건물에너지소비량 및 발전량을 비교분석함으로써 최적 각도를 도출하였다.

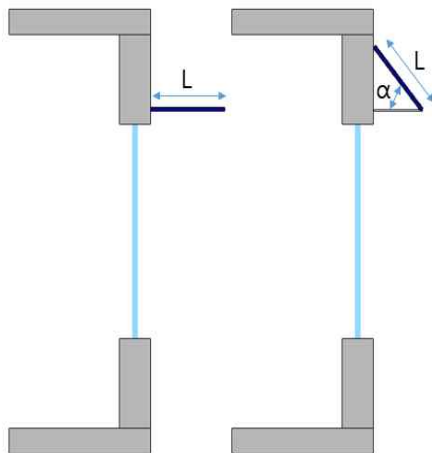


Fig. 3 Design of shading-type BIPV

Table. 2는 외피 설계 변수의 설정 범위 값이다. 단열재는 열전도율 $0.04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ 의 물성 값을 갖는 '나' 등급으로 선정하였으며, 중부 지역 기준으로 현행 법규[12] 수준을 만족하는 최소 두께로 설정하였다. 단열재 두께는 최대 400 mm 까지 20 mm 간격으로 설정하였다. 창면적비는 창 높이를 변화시켜 최소 30%에서 최대 90%까지 10% 간격으로 설정하였다. 차양길이는 최소 100 mm부터 1,000 mm 까지 100 mm 간격으로 설정하였다.

Table. 2 Design variable of facade

Variable	Units	Min.	Max.	Steps
External wall Insulation	mm	140	400	20
External roof Insulation	mm	220	400	20
Window to wall ratio	%	30	90	10
Shading length	mm	100	1,000	100

Table. 3은 창호 종류에 대한 설계변수 값이다. 창호의 열 및 광학적 특성을 분석하는 시뮬레이션 도구인 Window 7 프로그램의 IGDB (International Glazing Database) 데이터를 이용하여 설정하였다. 복층유리 구조를 갖는 총 6가지 유형을 설정하였다. Glazing1, Glazing2 그리고 Glazing3의 열관류율(U-value) 값은 약 $1.6 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 로 비슷하며, Glazing4, Glazing5 그리고 Glazing6은 중공층에 아르곤가스를 주입하여 단열을 강화한 열관류율이 $1.28 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ 인 로이복층유리이다. 일사획득계수(SHGC)와 가시광선투과율(VLT)은 표와 같이 변화를 주었다.

Table. 3 Design variable of window

Glazing Type	IGDB	VLT	SHGC	U-value ($\text{W/m}^2\cdot\text{K}$)	
Low-e Glazing	1	11060	0.596	0.408	1.611
	2	14020	0.378	0.359	1.604
	3	11455	0.276	0.324	1.605
Low-e Argon Glazing	4	11461	0.683	0.468	1.273
	5	11403	0.594	0.368	1.285
	6	4379	0.272	0.360	1.281

3. 최적화 결과 및 분석

건물에서 외벽의 단열성능은 난방부하, 창호의 성능 및 창면적비는 냉방부하와 조명부하에 영향을 미치게 된다. 차양형 BIPV 설치 시

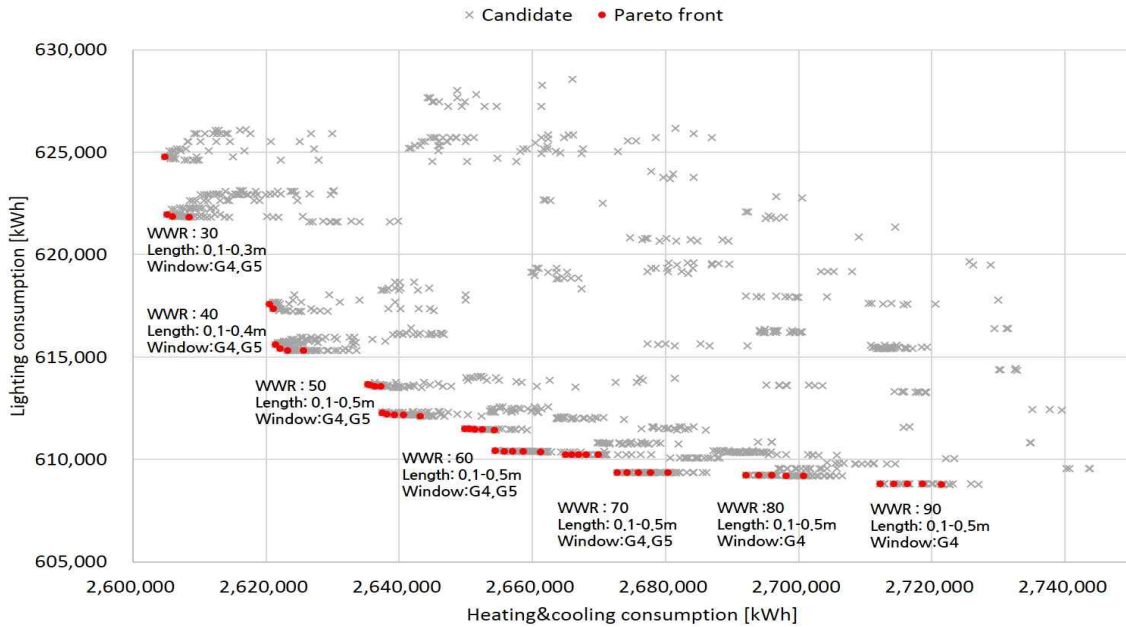


Fig. 4 Pareto front solution

Table. 4 Result of optimal solution

No.	Wall Insulation (m)	Roof Insulation (m)	WWR (%)	Glazing Type	Shading length(m)	Lighting consumption (kWh)	Heating& cooling consumption (kWh)	Installed capacity of PV (kWp)
1	0.4	0.4	30	G4	0.3	621,957.4	2,605,165.1	23.8
2	0.4	0.4	30	G4	0.2	621,866.3	2,605,913.3	15.9
3	0.4	0.4	30	G5	0.3	624,768.7	2,604,821.4	23.8
4	0.4	0.4	30	G4	0.1	621,826.8	2,608,446.2	7.9
5	0.4	0.4	40	G4	0.4	615,615.9	2,621,376.4	31.8
6	0.4	0.4	40	G4	0.3	615,420.7	2,622,139.4	23.8
7	0.4	0.4	40	G5	0.4	617,589.9	2,620,543.0	31.8
8	0.4	0.4	40	G5	0.3	617,368.1	2,621,040.3	23.8
9	0.4	0.4	40	G4	0.2	615,323.3	2,623,218.7	15.9
10	0.4	0.4	40	G4	0.1	615,311.6	2,625,619.4	7.9
11	0.4	0.4	50	G5	0.5	613,664.7	2,635,278.6	39.7
12	0.4	0.4	50	G5	0.4	613,622.7	2,635,664.8	31.8
13	0.4	0.4	50	G4	0.5	612,263.3	2,637,397.8	39.7
.

실내로 유입되는 일사량 저감에 따라 냉방부하는 줄어들고 난방부하는 증가하게 된다. 또한 실내로 유입되는 자연광이 감소하여 실내 조도를 만족하기 위한 조명부하는 증가하게 된다. 따라서 두 목적함수 냉난방에너지소비

량과 조명에너지소비량이 최소화되는 최적의 해를 분석하였다. Fig. 4는 최적화 목적함수인 냉난방에너지소비량과 조명에너지소비량 사이의 최적관계를 보여주는 그래프이다. 최적화 결과 전체 설계안 58,800개 중 최적 설계안

49개의 파레토 최적해가 선정되었다. 설계변수 중 외벽 및 지붕의 단열두께는 400 mm일 때 냉난방에너지소비량이 최소인 것으로 나타났다. 창면적비에서는 최소값 30%일 때 냉난방에너지 소비량이 최소로 나타났고, 최대값 90%일 때 조명에너지소비량이 최소인 것으로 나타났다. 창호에서는 열관류율 1.28 W/m²·K 로이복층유리인 Glazing 4와 Glazing 5가 도출되었다. Glazing 4는 VLT가 높아 조명에너지소비량 측면에서 유리하고, Glazing 5는 SHGC 값이 낮아 냉난방에너지소비량 측면에서 유리한 것으로 분석되었다. 차양길이는 창면적비와 창호 종류에 따라 영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 창면적비 30%일 때 100 mm, 40%일 때 100 mm에서 400 mm, 50%에서 90%일 때 100 mm에서 500 mm인 것으로 나타났다.

Table. 4는 연간에너지소비량이 최소인 순으로 나타낸 파레토 최적해 중 일부이다. 이중 동일한 창면적비 30%를 갖는 설계안 1부터 4까지 살펴보면, 조명에너지소비량이 최소인 설계안 4는 VLT가 높은 Glazing 4와 차양길이 100 mm의 설계변수를 갖는 것으로 나타났다. 또한 냉난방에너지소비량이 최소인 설계안 3은 SHGC 값이 낮은 Glazing 5와 차양길이 300 mm의 설계변수를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 설계안은 조명에너지소비량과 냉난방에너지소비량 중 설계목적에 따라 선택할 수 있을 것으로 판단된다. 차양형 BIPV의 적용 분석은 차양에 PV모듈을 최대한 설치할 수 있는 설계안을 선택하여 진행하였다. 설계안 11은 차양길이가 500 mm로 PV 모듈을 약 40 kWp 용량으로 설치 가능하다. PV 모듈은 발전효율 15%로 적용하였다. 설계안 11을 대상으로 차양형 BIPV를 설치각도 0°에서 60°사이로 설치하였다. Fig. 5는 차양형 BIPV 설

치 각도별 에너지소비량과 발전량 변화를 비교 분석한 그래프이다. 그 결과 설치각도 0°에서 60°로 증가할수록 에너지소비량은 증가하는 것으로 나타났다. 또한 발전량은 40°까지 증가하다가 그 이후 감소하는 것으로 분석되었다.

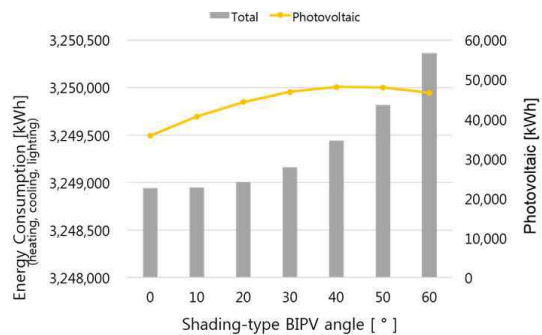


Fig. 5 Annual electricity generation and energy consumption according to tilt angle

Table. 5는 차양형 BIPV 설치 각도별 에너지소비량과 발전량을 나타낸 표이다. 에너지소비량 측면에서는 각도 변화에 따른 차양길이가 500 mm에서 250 mm까지 줄어들면서 조명에너지소비량은 감소하고 냉난방에너지소비량은 증가되었다. 특히 30°이상에서는 차양길이의 변화폭이 증가하기 때문에 에너지소비량도 크게 증가하였다. 냉난방에너지소비량 증가는 차양길이가 짧아질수록 냉방에너지의 증가량이 난방에너지 감소량보다 크기 때문인 것으로 파악되었다. 이는 건물의 에너지소비 특성에 따라 냉방 에너지소비량이 난방 에너지소비량보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 또한 건물 외피의 최적설계를 통해 단열성능과 창호의 성능이 향상되어 차양 설치로 인한 일사량 변화가 냉난방에너지소비량에 미치는 영향이 적기 때문인 것으로 분석되었다. PV의 연간 발전량은 수평으로 설치하였을 때 보다

40° 설치 시 약 34% 증가되었다. 또한 발전량이 최적인 경사각으로 설치하는 것이 각도 변화에 따른 차양길이 감소로 에너지소비량이 증가되었지만, 발전량이 더 크게 증가하여 건물의 전체에너지소비량 측면에서 유리할 것으로 판단된다.

Table. 5 Simulation result according to the PV shading angle

Shading Angle (°)	Shading length (mm)	Lighting consumption (kWh)	Heating & cooling consumption (kWh)	Photovoltaic (kWh)
0	500	613,664.67	2,635,279.24	35,832.74
10	490	613,650.03	2,635,299.54	40,626.34
20	470	613,635.95	2,635,370.29	44,317.56
30	430	613,634.30	2,635,528.16	46,854.04
40	380	613,622.11	2,635,819.07	48,114.06
50	320	613,614.43	2,636,200.41	48,020.85
60	250	613,564.94	2,636,796.04	46,627.72

4. 결 론

본 연구는 업무용 표준 건물을 대상으로 냉난방에너지소비량과 조명에너지소비량 최소화를 목적으로 외피 디자인을 최적화하였다. 또한 차양형 BIPV를 적용하여 설치 각도 변화에 따른 에너지소비량과 발전량을 분석하였다.

최적화 결과 전체 설계안 58,800개 중 최적 설계안 49개의 파레토 최적해가 도출되었다. 이 중 설계목적에 따라 설계안을 선택할 수 있을 것으로 판단된다.

차양형 BIPV의 설치 각도 변화에 따른 발전량 및 에너지소비량 변화를 비교하였다. 분석결과, 발전량이 최대가 되는 설치 경사각도는 40°이며, 이때 차양 길이의 감소로 인해 에너지소비량은 증가하였다. 하지만 경사각도의 변화에 따른 증가되는 발전량이 더 크기 때문에 건물의 전체에너지소비량은 감소하였다.

따라서 차양형 BIPV는 최대 발전량을 고려하여 설치하는 것이 더 유리한 것으로 판단된다. 하지만 건물의 외피 성능 및 구조에 따라 일사획득에너지의 차이가 발생하기 때문에 일사부하가 냉방부하에 미치는 영향이 큰 건물의 경우 차양길이 감소에 따른 에너지 증가량과 발전량 사이의 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(20134010200540)과 2009년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원사업으로 수행된 기초연구사업 연구임(2009-0093825).

Reference

1. Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Activation Plan of Zero Energy Building Response to Climate Change, 2014.
2. Kiss, G. and Kinkead, J., Building Intergrated Photovoltaics, NREL/TP-472-7851, 1993.
3. Manzan, M., Genetic optimization of external fixed shading devices, Energy and Buildings, vol. 72, pp. 431-440, 2014.
4. Sun, L. L. and Yang, H. X., Impacts of the shading-type building-integrated photovoltaic claddings on electricity generation and cooling load component through shaded windows, Energy and Buildings, Vol. 42, pp. 455-460, 2010.
5. Lee, C. S., Lee, E. J. and Lee, C. G., A Study on the reduction effect of peak cooling load on the sunshade effect of BIPV system, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 28, No. 5, pp. 14-20, 2008.
6. Lee, S. G., Kang G. H., Yu, G. J. and Kim, J. T., Study on the optimum angle of BIPV(shading

- device) considering cooling and heating loads, Journal of the Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 12, No. 1, pp. 213-218, 2012.
7. Wang, W., Rivard, H. and Zmeureanu, R., An object-oriented framework for simulation-based green building design optimization with genetic algorithms, Advanced Engineering Informatics, Vol. 19, pp. 5-23, 2005.
 8. Zhang, W. H. and Gao, T., A min-max method with adaptive weightings for uniformly spaced Pareto optimum points, Computers & Structures, Vol. 84, No. 28, pp. 1760-1769, 2006.
 9. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T., A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 6, No. 2, pp. 182-197, 2002.
 10. Jeong, Y. S., Jung, H.K., Jang, H.K. and Yu, K.H., A Study on the reference building based on the building design trends for non-residential buildings, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 34, No. 3, pp. 1-11, 2014.
 11. Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea Building Energy Efficiency Standard and Code, No. 2013-149, 2013.
 12. Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Energy Saving Designing Standard, MOLIT notice No. 2014-947, 2014.