



재실자 기반 건물 에너지 저감을 위한 키네틱 외피 개발

Development of Kinetic Skin for Energy Saving of User-Based Buildings

이광진* · 류리** · 김용성***

Kwang Jin Lee* · Ri Ryu** · Yong Seong Kim***

* Graduate Student, Dept. of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin Univ., South Korea (godjins12@kookmin.ac.kr)

** Coauthor, Research professor, Dept. of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin Univ., South Korea (ru2551@kookmin.ac.kr)

*** Corresponding author, Professor, Dept. of Architectural Design, Graduate School of Techno Design, Kookmin Univ., South Korea (yongkim@kookmin.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: As the energy consumed by buildings increases, the demand for research and technology development to solve this problem is increasing. Among them, the building envelope system can regulate the influx of climate factors that make up the outside environment into the room. This system is applied to various buildings because it can minimize the use of energy such as lighting. Among them, the BIPV system is a representative eco-friendly envelope system that integrates the solar power generation system and satisfies the function of the envelope and renewable energy generation at the same time. However, the efficiency of PV is generally known to be good at 30 degrees south, and the power generation varies according to region and time. In this regard, this study aims to provide basic data for eco-friendly design by conducting light environment performance evaluation of the outer skin that combines PV with kinetic structure. **Method:** In this study, a 1:1 scale testbed was established for performance evaluation, and PV power generation and lighting power energy were evaluated according to the kinetic skin variables. **Results:** The results of this study are as follows: 1) BIPV power generation was the highest at 20 degrees and 110 degrees, respectively. Due to the angular change through the kinetic structure, the rate of increase in power generation was 140.29% and 16.03%, respectively. 2) The power consumption by indoor lighting device was higher than the standard without installation. However, in both summer and winter, the uniformity increased, and as the angle approached 0 degrees, the lighting energy decreased. 3) From the perspective of saving building energy, each case showed 20 degrees for the lower limbs, 10 degrees for the winter solstice and 10 degrees for the winter solstice. The lower layer is considered to be effective in the installation of shells because of the high energy reduction rate at high angles of PV generation. However, the winter solstice satisfies the average illuminance of 400 lx when the outer shell is not installed, so the energy reduction rate is 10 degrees and 0 degrees, which is the angle that can maximize the inflow of sunlight. Therefore, more research and technology development may be needed to solve the problem of increased energy consumption in the winter solstice.

KEYWORD

키네틱 파사드
BIPV
내부조도
성능평가
에너지저감

Kinetic Facades
BIPV
Indoor Illuminance
Performance Evaluation
Energy Saving

ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 27, 2019
Final revision received Dec. 24, 2019
Accepted Dec. 30, 2019

© 2020 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

1차 에너지의 고갈로 건물부분에서 사용되는 에너지절감을 위한 움직임이 활발히 이뤄지고 있다. 미국의 에너지부에서 발표한 Buildings Energy Data Book에 의하면 건물부분에서 사용되는 에너지 소요량 중 냉난방 에너지 다음으로 조명에너지가 가장 높으며 건물에너지 소요량의 9%를 차지한다고 발표했다[1]. 또한 에너지 문제의 심각성의 부각으로 건축설계를 할 때 친환경성을 지향하며, 이를 위한 연구와 기술개발, 인증제도 기준들이 활발히 진행 중이다 [2-6]. 그중 건물외피시스템은 외부환경을 이루는 기후인자가 실내로 유입되는 것을 조절할 수 있어 냉난방 및 조명 에너지 등의 사용을 최소화 할 수 있어 다양한 건축물에 적용되고 있는 시스템이다.

특히 입면에 적용되는 유리 면적이 확대됨에 따라 열과 빛환경적인 측면에서 에너지 손실이 크다[7]. 이에 건물외피 중 친환경성을 고려한 외피들이 적용되어있으며 그 중 BIPV(Building Integrated Photo Voltaics)시스템은 건축외피에 태양광 발전시스템을 통합하여 외피의 기능과 신재생에너지 발전을 동시에 만족시키는 대표적인 친환경 외피시스템이다. 건물의 지붕 및 입면에 외벽막감재를 PV모듈을 부착하여 외장재로 사용될 수도 있어 고층건물이 많은 국내 도시 환경에 적합한 시스템으로 보여 진다[8]. 그러나 PV의 효율은 일반적으로 정남향 30도가 적정 각도이며, 지역과 시간에 따라 발전량이 차이가 있다[9].

이에 본 연구는 건물에너지 저감을 목적으로 실스케일의 테스트 베드 기반으로 하는 친환경 키네틱 파사드의 성능평가를 통하여 환경에 반응하는 외피의 구동 기준을 마련하며, 이후 제안된 외피시스템의 실효성 검증을 목적으로 한다. 단 본 연구에서 제안하는 친환경 키네틱 파사드의 명칭을 지능형 외피로 통일하였다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 주거공간의 에너지 저감을 위한 PV모듈을 적용 지능형 외피 빛환경 성능평가를 진행하였다. 본 연구를 구성하고 있는 연구의 흐름과 연구방법 및 세부주제는 Fig. 1.에서 보여 지는 절차에 의거하여 진행하였다.

첫 번째, 친환경 키네틱 파사드의 개념 및 친환경관련 선행연구 고찰을 하였으며, 성능평가를 위한 실내 적정 조도기준 및 온도 기준에 대한 국내외 사례를 조사하였다. 두 번째 환경 대응과 재실자 쾌적성을 고려하는 파사드의 작동방식을 분석하여 지능형 외피를 제안하였으며, 실 주거 생활환경에 기인한 지능형 외피 성능평가를 진행하기 위한 테스트베드 구축 및 환경을 설정하였다. 세 번째, 제안한 외피의 설치유무와 각도에 따른 실내 환경 성능평가를 진행하였고, 이에 따른 조명 전력사용량과 PV발전량 도출 및 분석을 통해 진행하였다.

단 본 연구는 외부조도 설정을 인공태양광 조사장치를 활용하여 태양의 고도의 움직임은 반영하지 못하고 성능평가를 진행하였다.

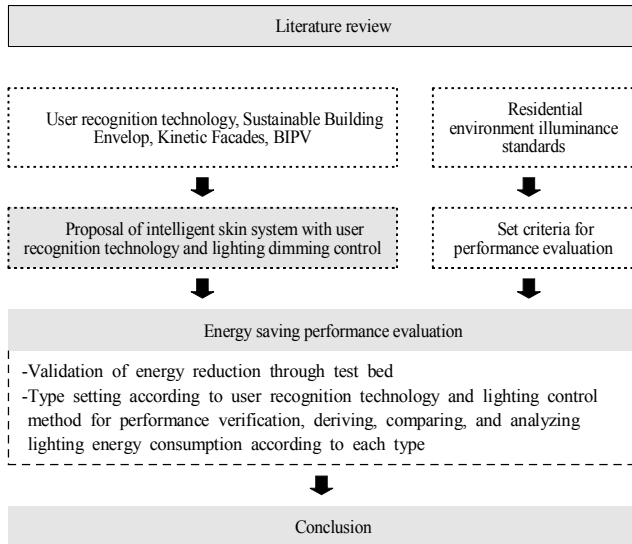


Fig. 1. Flowchart of study

2. 지능형 외피 및 환경설정 고찰

2.1. 친환경 리스펜시브 키네틱 파사드

리스펜스 키네틱 파사드는 리스펜시브 건축의 일부로 환경적 조건이나 사용자의 필요 등에 실시간으로 대응하는 움직이는 외피 시스템이다. 특히 친환경 리스펜시브 키네틱 파사드는 친환경외피의

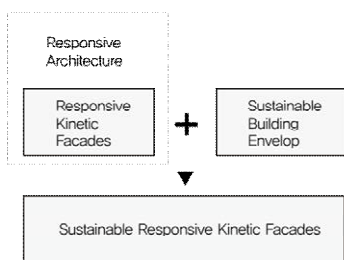


Fig. 2. Sustainable Responsive kinetic facade concept[1]

개념과 결합한 개념이다. 실시간으로 실내 환경에 영향을 주는 다양한 환경 조건들을 조절하며 에너지 절약 등의 친환경 성능을 가진 파사드이며 다이나믹한 입면을 표현할 수 있는 시스템이다[10]. 키네틱 파사드는 전면이 유리로 형성돼 있는 건물 혹은 창호 앞에 이중외피의 구조를 통해 외부환경의 열, 빛 에너지를 조절한다. Fig. 3.에서 나타나듯 이중외피로 구성된 면이 개폐조절절을 통해 실내로 유입되는 빛을 조절하여 실내 환경을 조절과 동시에 디자인요소로 사용된다.



Fig. 3. Examples of kinetic facade

2.2. BIPV 기술의 정의 및 분류

건축물의 외장재의 기능과 전력을 생산하는 PV모듈의 기능을 동시에 수행할 경우 건물일체형 태양광발전 : BIPV(Building Integrated Photovoltaics)로 정의한다. 건축자재로서 건축물의 벽과 지붕 창 면적을 이용하여 전력을 얻을 수 있지만 디자인적 문제, 도시미관 문제, 발전성능 문제, 경제성의 문제등과 같은 장애요소의 해결을 하지 못해 아직까지 적극적인 도입이 힘든 실정이다. 2016년에 공표된 Standardization needs for BIPV - PV Sites EN50583에 따르면 PV모듈의 설치유형에 따라 BIPV에대한 분류를 Table 1.과 같이 총 5개의 영역으로 구분했다[11]. PV모듈은 지붕과 벽체에 고장 부착된 형식이며 지붕형태와 벽체에 의해 각도가 형성된다. 이는 PV의 발전성능이 효율적으로 나오기 적합하지 않다[12]. 또한 태양의 고도에 대응하지 못하는 한계점이 있다. 이에 본 연구는 태양 고도에 대응하지 못하는 BIPV의 한계점을 해결하여 발전효율을 높이는 지능형외피를 제안하였다.

Table 1. Classification of BIPV by Attachment Type[11]

CASE	A	B	C	D	E
Image					

2.3. 실내공간 적정조도 기준 고찰

실내공간의 조도는 목적에 따라 기준 조도가 다르며 거주자의 쾌적성과 조명에너지를 절약할 수 있는 기준이 된다. Table 2.에서 나타나듯 한국의 경우 KS A 3011에서 활동유형에 따라 실내공간 내 조도기준이 명시되어 있다[13]. 이에 본 연구는 작업의 표준조도인 400lx로 설정하였다.

Table 2. standard illuminance of KS A 3011

Type of activity	Scope		
	Min.	Ave.	Max.
Visual Performance according to the degree of general-brightness	300	400	600

3. 지능형 외피 제안 및 성능평가 환경설정

3.1. 친환경 지능형 외피 제안

본 연구는 개폐의 크기로 자연채광을 조절 빛면에 PV 모듈을 결합하여 기존의 고정각도로 이루어진 BIPV의 효율을 높일 수 있는 키네틱 구조를 결합한 형태이다. 조인트 폴딩 방식의 외피로서 수직방향 평행운동을 통한 다양한 순열배치 작동이 가능하며 개폐의 크기로 자연채광을 조절한다.

본 연구에서 제안하는 지능형 외피 작동 절차는 Fig. 3.에서 나타나듯 첫 번째, 재실 자가 입실전 외피는 PV발전양이 높은 각도를 위치한다. 두 번째, 재실자가 입실시 외벽 상단의 센서가 외부환경 및 조도를 수집한다. 세 번째, 실내의 요구조도에 부합하는 기준각도로 작동한다. 단 조광권 확보에 부합하지 않는 각도 유형은 기준각도에 포함시키지 않았다.

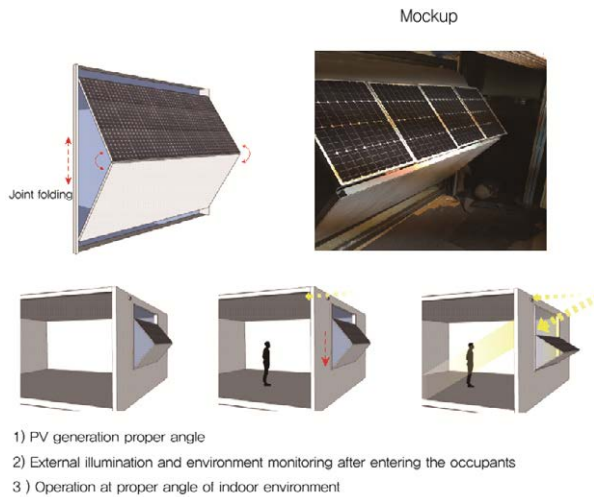


Fig. 3. Kinetic skin concept and control

3.2. 성능평가를 위한 지능형 외피 변인 설정

빛환경 및 냉난방 환경 기반 지능형 외피 성능평가를 진행하기 위한 변인설정은 Table 3.에서 나타나듯 Case 1,2,3로 설정하였으며, Case 1은 지능형 외피 미부착 창호이며 Case 2는 동절기와 하절기의 설정은 차양이 필요 유무에 따른 설정으로 하절기와 동절기의 변인을 달리하였다. Case3는 하절기와 동절기 모두 가운데 중심선 기준으로 각도 변인으로 적용하였고 이는 단순히 지능형외피의 작동 원리가 태양 빛의 경로에 따른 것이 아닌 에너지 저감을 중심으로 외부환경과 내부 환경에 '적응'과 '대응'하면서 유효한 적정 값과 구동 방식의 기준을 제안하고 제안된 외피의 실효성을 확인하는 것을 목적으로 한다.

Table 3. Thermal environment standards of various countries

CASE	1	2	3
Image			

Table 4. Thermal environment standards of various countries

Testbed		
Room size	4.9m(w) × 6.6m(D) × 2.5m(H)	
Wall material	Insulation panel(Thk 100mm)	
Window size	1.9m(W) × 1.7m(H)	
Window material	Type	Pair glass 24mm(6mm+12mm+6mm)
	Thermal transmittance	Summer: 2.83W/m²K Winter: 2.69W/m²K
	Transmissivity	80%
Illuminance sensor	· Sensing element: Silicon photo sensor, with filter · Detection range: 0 ~ 200,000 lx · Precision: ±3%	
Directions	South aspect	
Lighting	· 8 Level dimming(LED type) 4 ea · Dimension(mm) : 600×600 · Dimming Range : 10~100% · Electricity consumption according to the level of dimming lighting control : lv 1(12 W), lv 2(18 W), lv 3(22 W), lv 4(28 W), lv 5(34 W), lv 6(39W), lv 7(43 W), lv 8(51 W)	
PV	Size(mm) : 1,900 ×650 Pmax : 50W Vmp : 18.5V Imp : 2.71A	
View of Testbed		

3.3. 성능평가를 위한 환경 설정

테스트베드는 Table 4.에서 나타나듯 폭4.9m, 길이 6.6m, 높이 2.5m의 크기이다. 지능형외피가 부착되는 창호의 크기는 폭 2.2m 높이 1.8m이다. 국토해양부의 창호 설계 가이드라인에 제시하는 창면적비 40%를 근거하여 조정할 결과이다[14]. 또한, 테스트베드 디밍조명제어는 8단계로 구분되며, LED타입의 조명을 4개소 설치하였다. 조명의 위치는 IES 4점법에 근거하여 설치하였다. 인공태양장치는 광원의 광량, 높이, 각도 설정이 가능한 장비를 설치하여 다양한 외부환경조건을 설정 가능하도록 하였다. 조명센서와 조명 디밍 제어의 위치는 Fig. 4.와 같다.

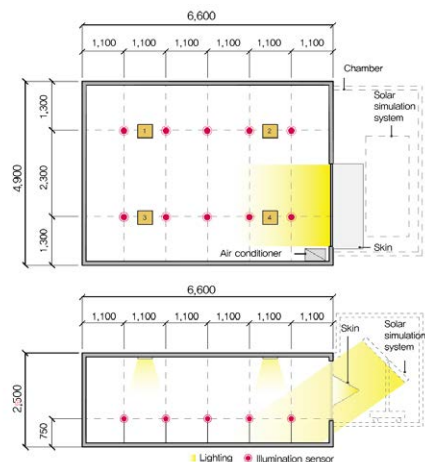


Fig. 4. Plane and section of testbed

3.4. 성능평가를 위한 외부 환경 설정

성능평가를 위한 외부 환경조정은 Fig. 5.에서 나타나듯이 하지, 동지에 대한 시간대별 외부조도[15]를 근거하여 오전 10시부터 15 시까지를 성능평가에 적용하였다. 동지, 하지의 외부조도를 각각 최대 3만lx, 8만lx로 설정하였으며, 최소 2만lx, 7만lx로 성능평가를 위한 외부 조도로 설정하였다.

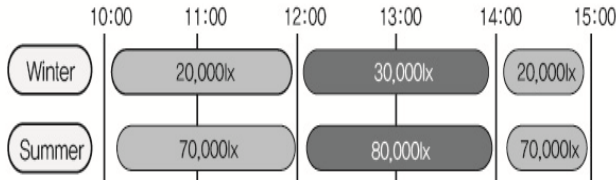


Fig. 5. Set the external illumination for each time zone, summer, winter solstice

4. 에너지 절약을 위한 지능형 외피 성능평가 방법 및 결과

4.1. 지능형 외피 성능평가 방법

지능형 외피의 성능평가 방법은 다음과 같은 절차에 따른다.

첫 번째, 본 연구는 외부환경에 실시간 반응, 대응하는 지능형 외피를 제안, 성능평가를 실시하였다. 각 변인에 따른 실내 조도분포를 기반으로 최소조도, 평균조도, 균제도, PV발전량을 도출하였다. 두 번째, 각 변인에 인하여 도출된 시레 조도값을 근거로 조명 디밍 제어를 하였으며, 400lx 미만의 값이 있을 경우 순차적 조명 제어를 실시하였다. 조명제어는 가장 낮은 조도값을 보이는 실내 조도센서에 근접한 조명부터 순차적 제어를 실시하였고, 모든 조도센서의 값이 400lx를 만족할 경우에 조명제어를 종료하였다. 세 번째, 본 연구는 조명에너지 사용량의 산출을 조명 디밍제어 종료시의 상태를 근거하여 산출하였다. 네 번째, 본 연구에서는 PV의 전력생산량을 시뮬레이션프로그램Solar Pro를 통해 도출하였다. 이는 성능평가하는 10시부터 15시까지의 상이한 전력값을 도출하기 위한 방법으로 진행하였다.

4.2. 성능평가 결과 및 논의

지능형 외피 성능평가 결과는 Table 5.~9., Fig. 6.에서 나타난다. 이에 대한 결과는 다음과 같다.

첫 번째, PV 발전량을 증가는 PV로 입사되는 주광이 수직에 가까워야 바람직하다. Table 6.에서 나타나듯 PV발전량 적정 각도는 동지와 하지 각각 20°, 110°로 도출된다. 이는 하지 및 동지의 고도인 76.5° 및 29.5°와 수직에 근접한 각도임을 알 수 있다. 또한 키네틱 구조를 통한 각도변화로 인하여 발전량 상승률은 수직 고정각도 대비 각각 140.29%, 16.03%로 나타났다

두 번째, 제안된 지능형외피는 개폐 각도에 따라 집광과 발전이 동시에 이루어진다. 조명에너지 소비량은 동지와 하지 동일하게 지능형 외피의 개폐각도가 0°에 가까워질수록 낮은 조명에너지 값이 나타났다. 이는 Table 5.~6.에서 보여 지듯 하지는 재실자의 유무와 관계없이 동지대비 하지는 높은 효율로 나타난다. 또한 동지와 하지 모두 균제도가 증가하였으며 개폐각도가 작은 180°-120°는 조명 디밍제어를 통해 높은 균제도가 나타난다. 그러나 창면적의 2/3 이상을 가리기 때문에 조망권을 침해할 수 있다. 이는 제안된 지능형 외피 설치 시 고려해야 할 부분이다.

세 번째, Fig. 6.과 Table 5.~6.에서 나타나듯 외부조도에 따른 건물에너지 저감에 적합한 각도는 하지 및 동지에 대하여 각각 Case 3의 10°, Case 2의 0°와 Case 3의 10°, Case 2의 30°로 도출되었다. 하지의 경우 Case 2대비 Case 3이 에너지 저감측면에서 유리하게 나타났으며, 동지와는 상반되는 결과이다. 이는 태양광을 실내로 적극적으로 유입하는 변인이기 때문이다. 또한 적각각도로 도출된 각도는 창호 외부에 부착시 조망권에 침해가 적으므로 본 연구에서 제안하는 지능형외피의 실효성을 입증하는 결과이다.

본 연구는 키네틱파사드와 BIPV를 결합한 지능형 외피를 제안하였다. 개폐형태에 따른 채광 및 발전량을 테스트 베드를 통하여 유효성 및 적정 각도를 도출하였다는 점에서 유의미가 하다. 이후 조도에서 국한되지 않고 온도, 습도, 사용자 선호등의 다양한 연구가 요구된다.

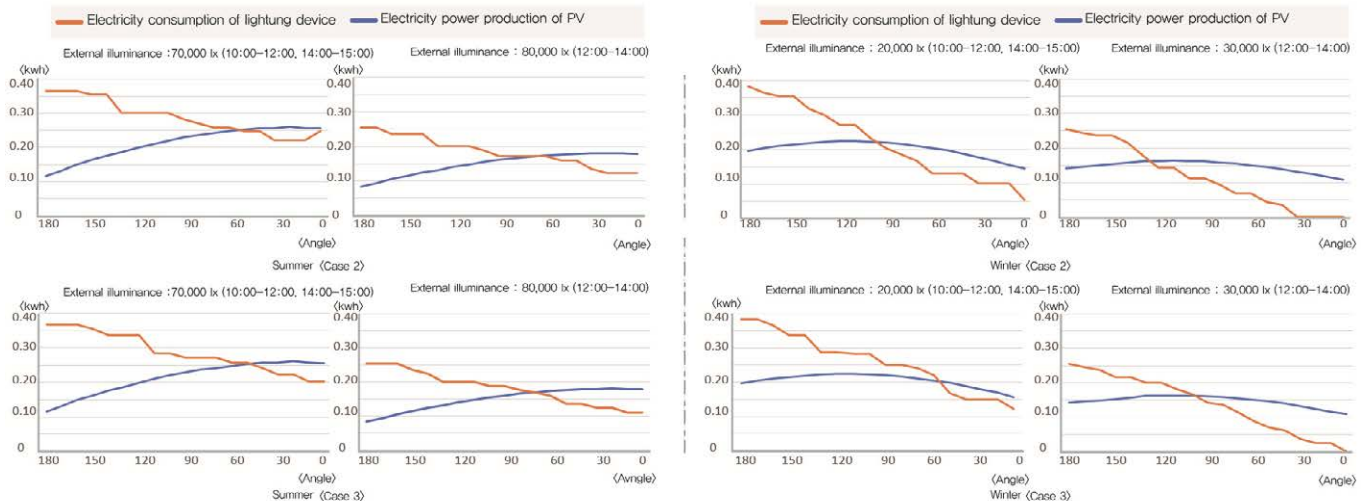


Fig. 6. Set the external illumination for each time zone, summer, wintersolstice

Table 5. Appropriate variables by case according to the energy saving loss rate from 10:00-12:00, 14:00-15:00

Case		Appropriate angle of kinetic facade	Consumption of lighting energy(kwh)	Electric power production of PV(kwh)	Total energy consumption
1	Summer	Not installed	0.149	0	0.149
	Winter	Not installed	0.066	0	0.066
2	Summer	20°	0.222	0.261	-0.039
	Winter	0°	0.146	0.055	-0.091
3	Summer	10°	0.257	0.203	-0.054
	Winter	40°	0.189	0.149	-0.040

Table 6. Appropriate variables by case according to the energy saving loss rate from 12:00-14:00

Case		Appropriate angle of kinetic facade	Consumption of lighting energy(kwh)	Electric power production of PV(kwh)	Total energy consumption
1	Summer	Not installed	0.110	0	0.110
	Winter	Not installed	0	0	0
2	Summer	20°	0.181	0.123	-0.058
	Winter	30°	0.000	0.132	-0.132
3	Summer	10°	0.110	0.180	-0.070
	Winter	0°	0	0.109	-0.109

Table 7. Performance evaluation result when not attached

case 1	Summer											
	External illuminance : 70,000 lx (10:00-12:00, 14:00-15:00)					External illuminance : 80,000 lx (12:00-14:00)						
	Angle	Illumination (Ix)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy (kwh)	Electric power production of PV(kwh)	Illumination (Ix)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy (kwh)	Electric power production of PV(kwh)	
Not installed	Ave.	741.93	0.164	1(4)→3(3)	0.149	0	Ave.	890.44	0.165	1(4)→3(4)	0.110	0
case 1	Winter											
	External illuminance : 20,000 lx (10:00-11:00, 14:00-15:00)					External illuminance : 30,000 lx (12:00-14:00)						
	Angle	Illumination (Ix)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy (kwh)	Electric power production of PV(kwh)	Illumination (Ix)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy (kwh)	Electric power production of PV(kwh)	
Not installed	Ave.	2546.18	0.107	1(3)	0.066	0	Ave.	3019.92	0.157	0	0	0

Table 8. Result of performance evaluation at the summer solstice

case 2	Summer										
	External illuminance : 70,000 lx (10:00-12:00, 14:00-15:00)					External illuminance : 80,000 lx (12:00-14:00)					
	Illumination (Ix)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy (kwh)	Electric power production of PV(kwh)	Illumination (Ix)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy (kwh)	Electric power production of PV(kwh)	
Angle	Ave.				Ave.						
	180	6.08	0.092	1(6)→2(4)→3(5)→4(3)	0.366	0.116	7.05	0.050	1(6)→2(4)→3(5)→4(4)	0.255	0.084
	170	5.83	0.105	1(6)→2(4)→3(5)→4(3)	0.366	0.132	8.21	0.049	1(6)→2(4)→3(5)→4(4)	0.255	0.094
	⋮										
	140	52.26	0.099	1(6)→2(4)→3(5)→4(2)	0.355	0.176	42.89	0.120	1(6)→2(4)→3(5)→4(2)	0.236	0.124
	130	90.35	0.135	1(6)→2(4)→3(5)	0.301	0.186	106.62	0.141	1(6)→2(4)→3(5)	0.201	0.132
	120	96.9	0.129	1(6)→2(4)→3(5)	0.301	0.198	104.15	0.107	1(6)→2(4)→3(5)	0.201	0.141
	110	126.98	0.116	1(6)→2(4)→3(5)	0.301	0.210	154.01	0.112	1(6)→2(4)→3(5)	0.201	0.148
	100	134.52	0.115	1(6)→2(4)→3(5)	0.301	0.220	165.38	0.122	1(6)→2(3)→3(5)	0.189	0.155
	90	267.23	0.113	1(5)→2(3)→3(6)	0.283	0.229	302.76	0.118	1(5)→2(2)→3(5)	0.172	0.161
	80	295.76	0.133	1(5)→2(2)→3(6)	0.272	0.236	385.07	0.116	1(5)→2(2)→3(5)	0.172	0.166
	70	370.7	0.120	1(5)→2(2)→3(5)	0.258	0.242	428.82	0.108	1(5)→2(2)→3(5)	0.172	0.17
	60	360.82	0.113	1(5)→2(2)→3(5)	0.258	0.248	411.18	0.107	1(5)→2(2)→3(5)	0.172	0.174
	50	403.96	0.135	1(5)→2(1)→3(5)	0.249	0.253	437.72	0.150	1(5)→2(1)→3(5)	0.160	0.177
	40	408.45	0.152	1(5)→2(1)→3(5)	0.249	0.257	462.78	0.163	1(5)→2(1)→3(5)	0.160	0.179
	30	420.45	0.199	1(4)→2(1)→3(5)	0.222	0.257	500.41	0.186	1(5)→3(5)	0.136	0.180
	20	481.49	0.184	1(4)→2(1)→3(5)	0.222	0.261	541.12	0.192	1(4)→3(5)	0.123	0.181
	10	468.43	0.183	1(4)→2(1)→3(5)	0.222	0.257	574.63	0.176	1(4)→3(5)	0.123	0.180
	0	478.12	0.173	1(5)→2(1)→3(5)	0.249	0.256	583.34	0.139	1(5)→3(4)	0.123	0.178
case 2	Winter										
	External illuminance : 20,000 lx (10:00-12:00, 14:00-15:00)					External illuminance : 30,000 lx (12:00-14:00)					
	Illumination (Ix)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy (kwh)	Electric power production of PV(kwh)	Illumination (Ix)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy(kwh)	Electric power production of PV(kwh)	
Angle	Ave.				Ave.						
	180	2.82	0.398	1(6)→2(4)→3(5)→4(4)	0.383	0.197	4.57	0.133	1(6)→2(4)→3(5)→4(4)	0.255	0.141
	170	14.87	0.089	1(6)→2(4)→3(5)→4(3)	0.366	0.204	22.14	0.192	1(6)→2(4)→3(5)→4(3)	0.244	0.146
	160	33.31	0.166	1(6)→2(4)→3(5)→4(2)	0.355	0.210	28.38	0.119	1(6)→2(4)→3(5)→4(2)	0.237	0.149
	150	36.65	0.271	1(6)→2(4)→3(5)→4(2)	0.355	0.215	47.93	0.316	1(6)→2(4)→3(5)→4(2)	0.237	0.153
	140	77.62	0.186	1(6)→2(4)→3(4)→4(1)	0.318	0.219	92.09	0.385	1(5)→2(4)→3(5)→4(1)	0.216	0.157
	130	173.54	0.168	1(6)→2(4)→3(5)	0.301	0.222	176.24	0.463	1(5)→2(4)→3(4)	0.179	0.162
	120	182.07	0.250	1(5)→2(3)→3(5)	0.271	0.225	237.15	0.535	1(4)→2(3)→3(3)	0.143	0.162
	110	235.91	0.289	1(5)→2(3)→3(5)	0.271	0.224	259.90	0.430	1(4)→2(3)→3(3)	0.143	0.163
	100	303.28	0.260	1(5)→2(3)→3(3)	0.234	0.223	449.00	0.340	1(3)→2(3)→3(1)	0.113	0.162
	90	373.34	0.330	1(4)→2(2)→3(3)	0.204	0.221	575.34	0.322	1(3)→2(3)→3(1)	0.113	0.161
	80	490.85	0.307	1(3)→2(1)→3(4)	0.186	0.217	657.65	0.324	1(3)→2(1)→3(1)	0.093	0.158
	70	607.17	0.300	1(3)→2(1)→3(3)	0.169	0.211	739.53	0.325	1(3)→2(1)	0.069	0.155
	60	588.15	0.269	1(3)→3(3)	0.132	0.205	742.84	0.305	1(3)→2(1)	0.069	0.150
	50	711.41	0.234	1(3)→3(3)	0.132	0.198	877.70	0.294	1(3)	0.044	0.145
	40	1584.37	0.142	1(3)→3(3)	0.132	0.189	1732.21	0.186	1(2)	0.037	0.139
	30	2408.44	0.120	1(3)→3(1)	0.103	0.179	2637.36	0.159	0.00	0.000	0.132
	20	1631.01	0.178	1(3)→3(1)	0.103	0.169	2837.43	0.159	0.00	0.000	0.124
	10	2318.39	0.126	1(3)→3(1)	0.103	0.156	2836.71	0.165	0.00	0.000	0.116
	0	2388.61	0.133	1(2)	0.055	0.146	2879.31	0.173	0.00	0.000	0.109

Table 9. Result of performance evaluation at the winter solstice

case 3	Summer									
	External illuminance : 20,000 lx (10:00-12:00, 14:00-15:00)					External illuminance : 30,000 lx (12:00-14:00)				
	illumination (lx)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy (kwh)	Electric power production of PV(kwh)	illumination (lx)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Consumption of lighting energy (kwh)	Electric power production of PV(kwh)
Ave.	Ave.									
180	6.13	0.093	1(6)→2(4)→3(5)→4(3)	0.366	0.111	7.05	0.050	1(6)→2(4)→3(5)→4(4)	0.255	0.073
170	14.87	0.089	1(6)→2(4)→3(5)→4(3)	0.366	0.125	22.14	0.192	1(6)→2(4)→3(5)→4(4)	0.255	0.083
⋮										
140	65.9	0.118	1(6)→2(4)→3(5)→4(1)	0.337	0.167	75.59	0.092	1(6)→2(4)→3(5)→4(1)	0.225	0.111
130	75.76	0.123	1(6)→2(4)→3(5)→4(1)	0.337	0.178	94.57	0.127	1(5)→2(4)→3(6)	0.201	0.119
120	106.97	0.133	1(6)→2(4)→3(5)→4(1)	0.337	0.19	96.24	0.149	1(5)→2(4)→3(6)	0.201	0.127
110	151.07	0.144	1(5)→2(3)→3(6)	0.283	0.201	146.95	0.098	1(5)→2(4)→3(6)	0.201	0.135
100	168.56	0.123	1(6)→2(3)→3(5)	0.283	0.211	198.64	0.104	1(5)→2(3)→3(6)	0.189	0.141
90	222.53	0.103	1(6)→2(2)→3(5)	0.272	0.22	262.58	0.090	1(5)→2(3)→3(6)	0.189	0.147
80	270.62	0.113	1(6)→2(2)→3(5)	0.272	0.226	302.24	0.097	1(4)→2(3)→3(6)	0.176	0.152
70	279.24	0.109	1(6)→2(2)→3(5)	0.272	0.232	348.67	0.101	1(5)→2(1)→3(6)	0.169	0.156
60	353.47	0.136	1(5)→2(2)→3(5)	0.258	0.238	437.61	0.142	1(5)→2(1)→3(5)	0.160	0.16
50	403.68	0.117	1(5)→2(2)→3(5)	0.258	0.244	498.64	0.126	1(5)→3(5)	0.136	0.163
40	422.99	0.161	1(5)→2(1)→3(5)	0.241	0.247	554.77	0.165	1(5)→3(5)	0.136	0.165
30	471.33	0.165	1(5)→2(1)→3(4)	0.222	0.248	606.32	0.171	1(5)→3(4)	0.123	0.166
20	503	0.164	1(5)→2(1)→3(4)	0.222	0.253	674.68	0.172	1(5)→3(4)	0.123	0.169
10	525.76	0.181	1(5)→3(5)	0.203	0.248	696.35	0.188	1(4)→3(4)	0.110	0.167
0	601.28	0.170	1(5)→3(5)	0.203	0.247	749.63	0.200	1(4)→3(4)	0.110	0.165
case 3	Winter									
	External illuminance : 20,000 lx (10:00-12:00, 14:00-15:00)					External illuminance : 30,000 lx (12:00-14:00)				
	illumination (lx)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Power consumption (kwh)	Electric power production of PV(kwh)	illumination (lx)	Uniformity ratio	Lighting dimming control : Lighting Number (Dimming level)	Power consumption (kwh)	Electric power production of PV(kwh)
Ave.	Ave.									
180	2.82	0.398	1(6)→2(4)→3(5)→4(4)	0.383	0.197	4.57	0.133	1(6)→2(4)→3(5)→4(4)	0.255	0.141
170	3.59	0.188	1(6)→2(4)→3(5)→4(4)	0.383	0.204	19.59	0.049	1(6)→2(4)→3(5)→4(3)	0.244	0.146
160	27.21	0.203	1(6)→2(4)→3(5)→4(3)	0.366	0.210	29.2	0.195	1(6)→2(4)→3(5)→4(2)	0.237	0.149
150	60.23	0.141	1(6)→2(4)→3(5)→4(1)	0.338	0.215	51.04	0.167	1(6)→2(4)→3(5)→4(1)	0.216	0.153
140	71.94	0.172	1(6)→2(4)→3(5)→4(1)	0.338	0.219	77.62	0.262	1(6)→2(4)→3(5)→4(1)	0.216	0.157
130	93.41	0.186	1(5)→2(4)→3(5)	0.287	0.222	112.94	0.240	1(6)→2(4)→3(5)	0.200	0.162
120	221.37	0.156	1(5)→2(4)→3(5)	0.287	0.225	144.6	0.289	1(6)→2(4)→3(5)	0.200	0.162
110	210.05	0.137	1(6)→2(3)→3(5)	0.284	0.224	184.56	0.313	1(5)→2(3)→3(5)	0.181	0.163
100	266.23	0.149	1(6)→2(3)→3(5)	0.284	0.223	247.59	0.344	1(5)→2(3)→3(4)	0.167	0.162
90	362.22	0.162	1(4)→2(3)→3(5)	0.251	0.221	394.84	0.280	1(2)→2(2)→3(5)	0.141	0.161
80	430.33	0.141	1(4)→2(3)→3(5)	0.251	0.217	432.84	0.328	1(3)→2(2)→3(4)	0.136	0.158
70	541.27	0.147	1(4)→2(2)→3(5)	0.240	0.211	546.45	0.286	1(3)→2(1)→3(3)	0.113	0.155
60	573.99	0.177	1(4)→2(2)→3(4)	0.221	0.205	638.15	0.302	1(3)→3(3)	0.088	0.150
50	696.38	0.129	1(5)→3(3)	0.168	0.198	696.77	0.305	1(1)→3(3)	0.069	0.145
40	687.5	0.185	1(4)→3(3)	0.149	0.189	782.77	0.380	1(2)→3(1)	0.061	0.139
30	781.26	0.196	1(4)→3(3)	0.149	0.179	841.51	0.385	1(2)	0.037	0.132
20	874.22	0.188	1(4)→3(3)	0.149	0.169	904.49	0.401	1(1)	0.025	0.124
10	886.34	0.198	1(3)→3(2)	0.121	0.156	960.04	0.405	1(1)	0.025	0.116
0	911.69	0.255	1(3)→3(3)	0.132	0.146	1049.41	0.402	0.00	0.000	0.109

5. 결론

본 연구는 지능형 외피의 유효성을 위하여 미부착시 대비에 따른 성능평가를 테스트 베드를 통해 진행하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫 번째, PV발전량 적정 각도는 동지와 하지 각각 20°, 110°로 도출된다. 이는 하지 및 동지의 고도인 76.5° 및 29.5°와 수직에 근접한 각도임을 알 수 있다. 또한 키네틱 구조적용을 통한 각도변화로 인한 발전량 상승률은 기존 BIPV 수직고정각도 대비 각각 140.29%, 16.03%로 나타났다. PV 발전량은 동지 대비 하지가 4~10% 높게 나타난다. 이는 하지 대비 동지는 각도에 따른 발전성능의 차이가 미비한 반면 하지는 140.29%효율의 차이가 있다.

두 번째, 조명에너지 소비량은 동지와 하지 동일하게 지능형 외피의 개폐각도가 0°에 가까워질수록 낮은 조명에너지 값이 나타났다. 또한 동지와 하지 모두 규제도가 증가하였다.

세 번째, 건물에너지 저감에 적합한 각도는 하지 및 동지에 대하여 각각 Case 3의 10°, Case 2의 0°와 Case 3의 10°, Case 2의 30°로 도출되었다. 하지의 경우 Case 2대비 Case 3이 에너지 저감측면에서 유리하게 나타났으며, 동지와는 상반되는 결과이다. 이는 태양광을 실내로 적극적으로 유입하는 변인이 하지와 동지모두 동일한 것을 나타낸다.

네 번째, PV 발전량은 동지 대비 하지가 4~10% 높게 나타난다. 이는 하지 대비 동지는 각도에 따른 발전성능의 차이가 미비한 반면 하지는 140.29%효율의 차이가 있다. 또한 하지는 PV적정 각도와 건물 에너지 저감 측면에서 도출된 적정 각도는 10°의 차이를 보였고, 동지는 90° 차이를 보이며 다소 높은 오차율이 있었다. 그러나 PV 발전이 하지대비 큰 폭으로 차이가 없고 하지대비 조명에너지 사용이 적어 본 연구에서 제안하는 지능형외피의 실효성을 입증하는 결과이다.

본 연구는 제안한 지능형 외피가 실생활 기반 테스트 베드를 통해 성능평가를 진행하였다는 점에서 유의미하다. 개폐개념의 외피가 빛 환경 측면에서만 진행되었던 부분, 냉난방 부하 또는 환기량 등에 대한 영향 관계를 고려하지 않은 점과 키네틱 파사드의 개폐의 사용되는 전력의 소요량을 제외하였다는 것은 본 연구의 한계이다. 향후 연구에는 실내 환경에 있어 빛 환경 및 냉난방환경에서 진행해야 할 것이다. 특히 다양한 방위각 및 사용자 선호 등을 고려한 다양한 연구가 요구된다.

Acknowledgement

This research was supported by the National Research Foundation(NRF) grant funded by the Korea government (grant number NRF-2017R1D1A1B03029732).

Reference

[1] Department of Energy, "2011 Buildings Energy Data Book", 2011.
 [2] 배지운, "영국의 지속가능한 교육환경을 위한 친환경 학교 디자인에 관한

연구", 대한건축학회, 제35권 제4호, 2019, pp.81-91. // (J.Y. Bae, A Study on Eco-School Design for Sustainable Education Environment in the UK - Focused on BREEAM Certification Projects, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Vol.35, No.4, 2019, pp.81-91.)
 [3] 이세원, 이경선, 김수란, "교육시설 친환경 인증에서 실내 빛환경 항목 개선 방안"에 관한 연구", 설비공학논문집, 제34권 제5호, 2018, pp.61-69. // (S.W. Lee, K.S. Lee, S.R. Kim, A Study on the Improvement Method of Indoor Light Environment Items in Environmental Certification for Educational Facilities - Focusing on G-SEED, LEED, BREEAM, CASBEE -, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Vol.34, No.5, 2018, pp.61-69.)
 [4] 최유창, "타공반사판 적용 외부형 광선반의 조명에너지 성능평가에 관한 연구", 국민대학교 테크노디자인전문대학원 석사학위논문, 2016. // (Y.C. Choi, Evaluation of the Application of an External Perforated Reflector on a Light-Shelf, A master's thesis of Graduate School of Techno Design Kookmin University, 2016.02.)
 [5] 차기욱, 문현준, 김호정, 홍원화, 백용규, "가변형 차양장치 적용에 따른 절기 냉방부하 저감 및 빛환경 개선효과 분석", 한국생활환경학회, 제24권 제6호, 2017, pp.810-823. // (G.W. Cha, H.J. Moon, H.J. Kim, W.H. Hong, Y.K. Baik, Analysis on the Reduction of Cooling Load and Improvement of Visual Environment by applying a Kinetic Shading Device in Summer, Journal of The Korean Society of Living Environmental System Vol.24, No.6, 2017, pp.810-823.)
 [6] 김상훈, 이행우, 김용성, "실거주환경 기반 빛환경 에너지 성능평가 방법 제안 연구", 한국디지털건축인테리어학회, 제13권 제4호, 2019, pp.33-39. // (S.H. Gim, H.W. Lee, J.H. Seo, A Study to Suggest a Method to Evaluate Light Environment Energy Performance based on Actual Residence Environments, Journal of the Korean Digital Architecture Interior Association Vol.13 No.4, 2019, pp.33-39.)
 [7] 권순현, 이행우, 서장후, 김용성, "주거공간 내 사용자인식기술 및 조명 디밍제어 적용 광선반 시스템 성능평가 연구", 대한건축학회, 제30권 제2호, 2014, pp.285-294. // (S.H. Kwon, H.W. Lee, J.H. Seo, Y.S. Kim, A Study on Light Shelf System Performance Evaluation Applying User Awareness and Dimming Control in Housing, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Vol.30, No.2, 2014, pp.285-294.)
 [8] 이상문, 허정호, "BIPV시스템의 건물적용 실증에 대한 구성요소별 발전성능 분석", 한국태양에너지학회, 제36권 제2호, 2016, pp.53-63. // (S.M. Lee, J.H. Huh, A study on the performance of various BIPV modules applied in a real building demonstration, Journal of the Korean Solar Energy Society Vol.36, No.2, 2016, pp.53-63.)
 [9] 김진철, 김경남, "태양광시스템의 지역별 최적 방향 및 각도 연구-SAM을 활용한 시뮬레이션 사례분석", 한국신재생에너지학회, 제14권 제56호, 2018, pp.9-20. // (J.C. Kim, K.N. Kim, Study on the Regional Differences of Optimal Orientation and Tilt Angle for Photovoltaic Systems : Simulations by a System Advisor Model, Journal of the New & Renewable Energy Vol.14, No.56, 2018, pp.9-20.)
 [10] 이경선, 유다운, "리스펜시브 키네틱 파사드의 친환경성에 대한 연구", 대한건축학회, 제28권 제6호, 2012, pp.85-96. // (K.S. Lee, D.E. Yoo, A Study on the Sustainability of the Environmentally Responsive Kinetic Facades, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design Vol.28, No.6, 2012, pp.85-96.)
 [11] Standardization needs for BIPV, www.pvsites.eu. 2019.07.06.
 [12] 서영석, "건물일체형 태양광시스템(BIPV)의 발전성능평가 및 실내조명 에너지 절약에 관한 연구", 단국대학교 석사학위논문, 2011. // (Y.S. Seo, Study on the indoor lighting for Energy Saving and Evaluation of Power Performance applied BIPV System. A master's thesis for Dankook University, 2011.02.)
 [13] 이정은, "주거공간의 삶의 질 향상을 위한 건강조명시스템 개발 및 적용방안", 세종대학교 석사학위논문, 2005. // (J.E. Lee, Development and application of health lighting plan for quality of life in residential areas. A master's thesis for Sejong University, 2015.02.)
 [14] 김상훈, 이행우, 서장후, 김용성, "에너지 저감을 위한 주거공간 내 위치인식기술 적용 광선반 시스템 개발연구", 설비공학논문집, 제26권 제6호, 2014, pp.275-286. // (S.H. Kim, H.W. Lee, J.H. Seo, Y.S. Kim, A Study on Light-Shelf System using Location-Awareness Technology for Energy Saving in Residential Space. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.26, No.6, 2014, pp.275-286.)
 [15] 전강민, 이행우, 서장후, 김용성, "빛환경 및 냉난방환경 기반 광선반성능평가 연구", 한국생태환경건축학회, 제16권 제5호, 2016, pp.47-55. // (K.M.

- Jeon, H.W. Lee, J.H. Seo, Y.S. Kim, Performance Evaluation of Light-Shelf based on Light Environment and Air Conditioner Environment. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol.16, No.5, 2016, pp.47-55.)
- [16] 양영권, 강인성, 정민희, 문지우, 박진철, “오피스 건물의 실내 환경 실태 조사”, 한국생태환경건축학회, 제16권 제 3호, 2016, pp.71-76. // (Y.K. Yang, I.S. Kang, M.H. Chung, J.W. Moon, J.C. Park, The Field Survey of Indoor Environment of the Office Building. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol.16, No.3, 2016, pp.71-76.)
- [17] 김철호, 김강수, “베네시안 블라인드가 적용된 오피스 건물의 외피 투과체 계획을 위한 열·빛 환경 평가에 대한 연구”, 한국생태환경건축학회, 제15권 제6호, 2015, pp.101-109. // (C.H. Kim, K.S. Kim, Evaluation of Thermal and Visual Environment for the Glazing and Shading Device in an Office Building with Installed of Venetian Blind. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol.15, No.6, 2015, pp.101-109.)