

블라인드PV 시스템의 적용성 검증을 위한 주광 특성 및 일사량 분석 시뮬레이션

(Analysis of Daylight Distributions and Solar Radiation to Verify the Applicability of Blind PV Systems Using Simulation)

홍성관* · 최안섭**

(Seong-Kwan Hong · An-Seop Choi)

Abstract

Daylight provides residents with good visual environment. And available daylight in inside provides positive influence on psychological and physiological aspects. Also, sunlight can be converted directly into electricity using PV(photovoltaic) power generation. This study was to analyze characteristics of daylight distributions, calculate an amount of solar radiation and a PV power generation on the building facade using Radiance and Ecotect simulation programs. Ultimately, the purpose of this study is to verify the applicability of Blind PV systems.

Key Words : Blind PV, Daylight Distributions, Solar Radiation, Radiance, Ecotect

1. 서 론

1.1 연구의 배경

건축물의 입면을 통해 입사하는 주광은 크게 직사일광(Sunlight)과 천공광(Skylight)으로 구분된다. 직사일광은 PV모듈의 발전량에 직접적인 영향을 끼치는 요소로서 태양광발전을 통해 전기에너지로 생산될 수 있고, 천공광은 공간의 시환경을 개선하고 재실자의

심리·생체적인 기능에 긍정적인 영향을 끼친다.

블라인드PV 시스템은 기존의 베네치안 블라인드에 PV를 부착하여 직사일광과 천공광을 모두 활용하는 시스템으로, 직사일광을 이용하여 전기에너지를 생산하고 천공광을 이용하여 조명용 전기에너지를 절감할 수 있는 친환경적인 시스템이다. 블라인드PV 시스템과 더불어 조광제어시스템을 사용할 경우 조명에너지의 절감효과는 향상될 것이며, 조광제어시스템을 이용하여 실내조명을 조광하는 경우에는 기존의 형광등에 비해 정확하고 간편한 조광이 가능한 LED 조명시스템이 적합하다[1]. 본 연구에서는 블라인드PV용 베네치안 블라인드의 제원을 사용하여 주광 특성 평가 및 일사량과 PV 발전량의 산출을 통해 블라인드PV 시스템의 적용성을 검증하였다.

* 주저자 : 세종대학교 건축공학과 박사과정
** 교신저자 : 세종대학교 건축공학과 교수
Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-4331
E-mail : aschoi@sejong.ac.kr
접수일자 : 2010년 11월 16일
1차심사 : 2010년 11월 24일
심사완료 : 2011년 1월 14일

1.2 연구의 목적 및 방법

본 연구의 최종 목적은 블라인드PV 시스템의 적용성을 검증하는 것이다. 이를 위해 건축물의 입면을 통해 입사하는 주광이 실내 빛 환경과 블라인드PV에 미치는 영향을 알아보았다. 시뮬레이션을 통해 공간의 주광 분포특성과 블라인드PV에 입사하는 획득 일사량과 PV 발전량을 산출하였으며, 이를 분석하여 블라인드PV 시스템의 적용성에 관한 검증을 하였다.

본 연구에서는 적용성 검증을 위하여 두 가지의 시뮬레이션 프로그램을 활용하였다. 하나는 조명환경 평가 툴인 Radiance를 사용하였으며, 블라인드의 슬랫(Slat) 각도를 다양화하여 실내의 주광 특성을 분석하였다. 다른 하나는 블라인드PV에 입사하는 획득 일사량이 얼마나 되는지에 대한 분석을 위해 건물 에너지 분석 툴인 Ecotect을 이용하여 시뮬레이션 하였으며 일사량을 바탕으로 PV 발전량을 산출하였다.

2. 이론고찰

2.1 베네치안 블라인드 시스템

베네치안 블라인드는 그림 1과 같이 슬랫의 각도를 조절하여 직사일광을 차단하는 차양장치로, 슬랫의 각도와 곡률에 따라 주광을 실내에 균일하게 입사시킬 수 있기 때문에 다양한 형태로 제작된다. 일반적으로 슬랫의 간격은 직사일광이 새어나오지 않도록 슬랫이 서로 겹쳐지게 제작한다.

본 연구에서는 베네치안 블라인드 중, 현재 시판되고 있는 규격과 동일하게 블라인드PV를 모델링하였으며, 베네치안 블라인드 시스템은 시간의 흐름에 따라 변화하는 직사일광의 일영각을 고려하여 슬랫의 각도를 제어하는 시스템을 말한다. 블라인드의 슬랫 각도 제어는 ① 슬랫을 항상 수평(0°)으로 유지하는 경우, ② 슬랫을 직사일광의 입사각에 수직으로 유지하는 경우, ③ 슬랫에 직사일광이 최소 1회 반사하도록 하는 경우로 설정하여 조절하였다(그림 2).

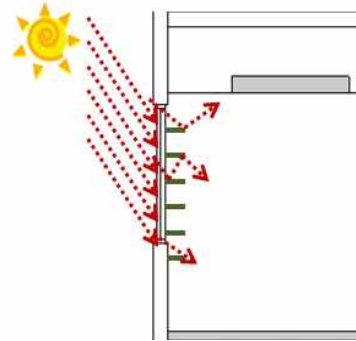


그림 1. 베네치안 블라인드 개념도
Fig. 1. Venetian blind

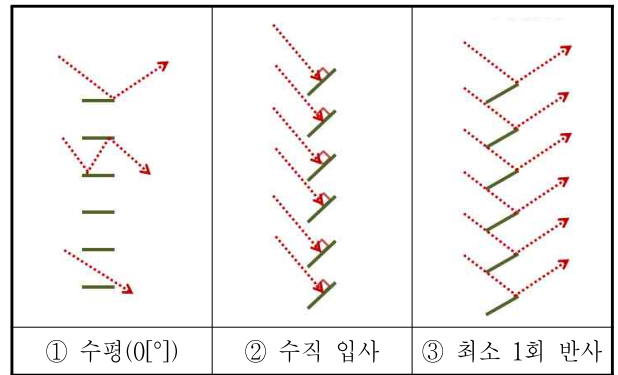


그림 2. 베네치안 블라인드 시스템 개요
Fig. 2. Outline of venetian blind systems

2.2 슬랫각 제어

일영각은 건축물의 입면에 수직인 면에서의 태양 고도를 말한다. 일영각은 직사일광이 건축물 내부에 미치는 영향을 알아보기 위한 척도로 쓰이며 건축물 내부로 향하는 태양의 각도를 계산할 때 사용된다. 본 연구에서는 태양의 일영각이 90°를 초과하거나, 혹은 ‘최소 1회 반사’로 설정하였을 때 일영각이 45°를 초과하여 직사일광이 아닌 천공광이 유입되는 경우에는 블라인드의 슬랫 각도를 0°로 유지하여 천공광을 최대한 유입하도록 모델링하였다. 일영각은 다음 식 (1)을 이용하여 계산되며 그림 3은 일영각의 개념도를 나타낸다[2].

$$\alpha_p = \arctan\left[\frac{\sin\alpha_t}{\cos\alpha_i}\right] \quad (1)$$

여기서,

α_p : 일영각

α_t : 태양고도

α_i : 입사각

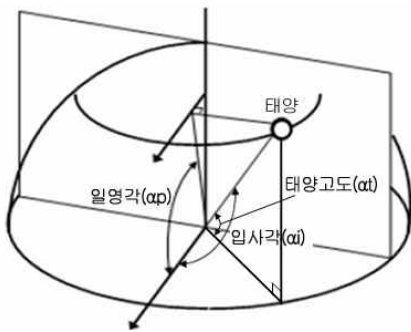


그림 3. 일영각 개념도
Fig. 3. Profile angle

2.3 주광 특성

(1) 조도비(Illuminance ratio)

주광률(Daylight Factor)은 천공의 상태가 담긴공인 경우를 기준으로 외부 천공 조도에 대한 내부 수평면 조도를 의미한다. 그러나 담긴공을 제외한 다른 천공 상태(청천공, 부분담천공)에서는 직사일광이 존재하여 주광률을 이용한 주광 특성 분석이 적합하지 않을 뿐 아니라 태양의 고도가 낮은 동절기에는 실내의 깊숙한 부분까지 직사일광이 접하기 때문에 오차가 커지게 된다[3]. 따라서 외부 전 천공 수평면조도에 대한 내부 작업면 조도를 나타내는 조도비(식 (2))를 사용하는 것이 보다 정확하다.

$$\text{조도비} = \frac{\text{내부 작업면 조도}(E_i)}{\text{외부 전 천공 조도}(E_s)} \times 100(\%) \quad (2)$$

(2) 균제도(Uniformity ratio of illumination)

균제도는 작업면에서의 빛의 균일한 정도를 나타내는 것으로 조도비와 더불어 조명환경의 정량적 평가 지표 중 하나로 사용된다. 균제도를 계산하는 관계식은 작업면의 최대조도(E_{max})에 대한 평균조도(E_{avg}) 또는 최소조도(E_{min})의 비율을 이용한

다. 본 연구에서 사용된 균제도는 작업면의 최소조도를 기준으로 계산하였으며 관계식은 다음 식 (3)과 같다.

$$\text{균제도} = \frac{\text{작업면 최소조도}(E_{min})}{\text{작업면 최대조도}(E_{max})} \times 100(\%) \quad (3)$$

일본조명학회의 Lighting Handbook(1987)에 정의된 권장 균제도는 다음 표 1과 같다[4]. 본 연구는 인공조명을 배제한 상태에서 주광조명만을 이용하였을 때를 분석한 연구로, 모든 작업면에서의 권장 균제도는 1/10 이상이다.

표 1. 권장 균제도
Table 1. Recommended uniformity ratio of illumination

구분	균제도
천창채광	1/3 이상
주광조명	1/10 이상
인공조명 병용	1/6 이상

2.4 PV 연간 발전량 계산

PV 연간 발전량을 계산하는 방법에는 크게 두 가지가 있다. PV의 발전전력([W])를 이용하는 방법과 획득 일사량에 PV 모듈의 효율([%])을 이용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 계산된 일사량을 이용하여 PV 연간 발전량을 계산하였으며, 계산식은 다음 식 (4)와 같다[5].

$$\begin{aligned} \text{연간 발전량} &= \text{일사량}(Wh/m^2) \quad (4) \\ &\times \text{태양전지면적}(m^2) \times \text{시스템효율}(\%) \end{aligned}$$

여기서,

$$\begin{aligned} \text{시스템 효율} &= \text{태양전지효율}(\%) \times \text{운전온도 영향} \\ &\times \text{배선손실} \times \text{PV직} \cdot \text{교류 변환기 효율} \end{aligned}$$

3. 시뮬레이션 개요 및 분석

3.1 시뮬레이션 개요

본 연구는 주광 특성 평가 및 일사량 산출을 위하여 두 가지의 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 주광 특성 평가를 위해서는 미국 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 개발한 Radiance 프로그램을 사용하였는데, 이 프로그램은 빛의 거동을 물리적으로 시뮬레이션한 결과로부터 조도 및 휘도 분포를 계산하고 가시화하여 빛 환경의 정량적, 정성적 평가가 가능하다[6]. 일사량 산출을 위해서는 영국 Welse School과 호주의 Square one Research가 공동으로 만든 시스템으로 일조, 열, 채광 분석 등 건축의 환경적 요인을 분석하기 위한 Ecotect 프로그램을 사용하였다[7].

시뮬레이션에 사용된 기준공간은 남향과 동향에 창이 위치하고 있으며, 조도계산은 S1E1부터 S6E7 까지 총 42개의 포인트에서 실시하였다. 그림 4와 표 2는 시뮬레이션에 사용된 실의 제원과 시뮬레이션 개요를 나타낸 것이며 본 연구에서 선정된 PV모듈은 현재 시판되어 있는 블라인드PV(M사)이며 효율은 사용환경에 따라 오차가 발생할 수 있다. 표 3은 앞서 설정한 3가지의 슬랫 각도 조절을 위하여 결정된 시간별 슬랫 각도를 나타낸 것이며 표 4는 Ecotect 프로그램 상의 서울의 기상데이터로 시간별 일사량이다.

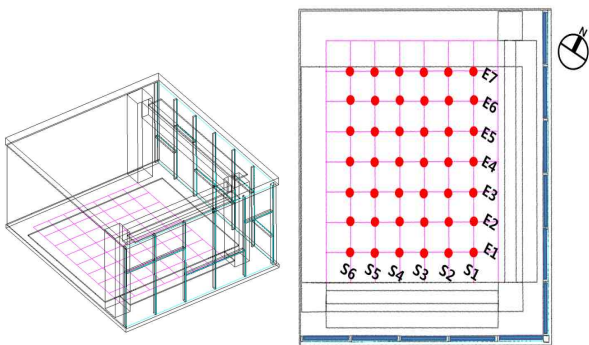


그림 4. 시뮬레이션에 사용된 실의 제원
Fig. 4. Space using computer simulation

표 2. 시뮬레이션 개요

Table 2. Outline of computer simulation

구분	내 용	
건물 위치	위도 37[°]6', 경도 127[°]	
건물 크기[mm]	8,883([w]) x 10,083([l]) x 4,950([h])	
천공 조건	청천공	
건물 입면방위각	-29.5[°](남향) / -119.5[°](북측)	
시간	8시-18시(춘/추분), 8시-19시(하지), 8시 17시(동지)	
재질	반사율/ 투과율	천정,벽체: 65[%], 바닥(나무): 20[%], 프레임: 90[%], 유리: 33[%]
	블라인드	Ref.: 90[%], W: 80[mm], T: 2[mm]
PV면적([m ²])	44.17(동측창), 39.00(남측창)	
시스템 효율 ([%])	PV	6.7(Poly Silicon)
	손실	운전온도: (-)10, 배선손실: (-)2
	변환기	90(PV 직 · 교류 변환)
	유리투과	89

3.2 시뮬레이션 분석(조도비)

조도비에 대한 시뮬레이션 분석 결과(표 5~7), 전반적으로 실의 내부에서 창으로 향할수록 높은 조도비를 나타냈다. 또한 슬랫의 각도별로는 ‘수평(0[°])’으로 모델링 한 경우가 다른 경우들에 비해 높은 조도비를 나타냈다. 이는 슬랫의 각도를 수평으로 할 경우, 직사 일광이 슬랫의 사이로 통과하기 때문에 전반적으로 높은 조도비를 나타낸 것으로 사료된다. 시간별로는 ‘수평(0[°])’와 ‘최소 1회 반사’의 경우, 오전시간대에 높은 조도비를 나타냈으며, ‘수직 입사’의 경우, 오후 시간대에 높은 조도비를 나타냈다.

표 3. 입면별 슬랫 각도 제어
Table 3. Control on the slat angle

시 간		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
춘 / 추 분	남	일영각(°)	22.66	32.66	40.05	46.28	52.20	52.54	66.22	76.91	-	-	-		
		슬랫 각도(°)	수직 입사	67.34	57.34	49.95	43.73	37.80	37.47	23.78	13.09	0	0	0	
			최소 1회 반사	44.68	24.68	9.90	0	0	0	0	0	0	0	0	
	동	일영각(°)	20.80	40.23	61.74	82.60	-	-	-	-	-	-	-		
		슬랫 각도(°)	수직 입사	69.20	49.78	28.26	7.40	0	0	0	0	0	0	0	
			최소 1회 반사	48.39	9.55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
하 지	남	일영각(°)	57.78	61.09	64.87	69.27	74.58	81.19	89.70	-	-	-	-		
		슬랫 각도(°)	수직 입사	32.22	28.91	25.13	20.73	15.42	8.81	0.30	0	0	0	0	0
			최소 1회 반사	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	동	일영각(°)	32.58	46.86	61.71	76.28	89.84	-	-	-	-	-	-	-	
		슬랫 각도(°)	수직 입사	57.42	43.14	28.29	13.72	0.16	0	0	0	0	0	0	0
			최소 1회 반사	24.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
동 지	남	일영각(°)	2.75	12.59	20.13	26.07	30.91	35.00	38.54	41.67	44.29	42.75			
		슬랫 각도(°)	수직 입사	87.25	77.41	69.87	63.93	59.09	55.00	51.46	48.33	45.71	47.25		
			최소 1회 반사	84.50	64.81	49.74	37.86	28.17	20.00	12.91	6.66	1.42	4.50		
	동	일영각	5.08	33.85	71.99	-	-	-	-	-	-	-			
		슬랫 각도(°)	수직 입사	84.92	56.15	18.01	0	0	0	0	0	0	0		
			최소 1회 반사	79.85	22.30	0	0	0	0	0	0	0	0		

표 4. 기상 데이터(일사량)
Table 4. Weather data(Radiation)

[단위 : W/m²]

시 간		8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
춘 분	직사일광	424	473	504	509	372	203	61	23	0	0	0	
	천공광	138	146	156	144	155	138	124	71	21	0	0	
하 지	직사일광	248	370	483	533	482	492	512	398	293	135	27	0
	천공광	129	158	159	169	179	160	141	151	130	85	58	18
추 분	직사일광	280	318	283	254	282	223	253	205	82	11	0	
	천공광	112	145	158	171	169	141	134	126	90	27	21	
동 지	직사일광	14	62	83	138	185	202	159	60	9	0		
	천공광	63	110	121	135	115	127	110	75	19	0		

블라인드PV 시스템의 적용성 검증을 위한 주광 특성 및 일사량 분석 시뮬레이션

표 5. 조도비(춘/추분)

Table 5. Illuminance ratio by daylight

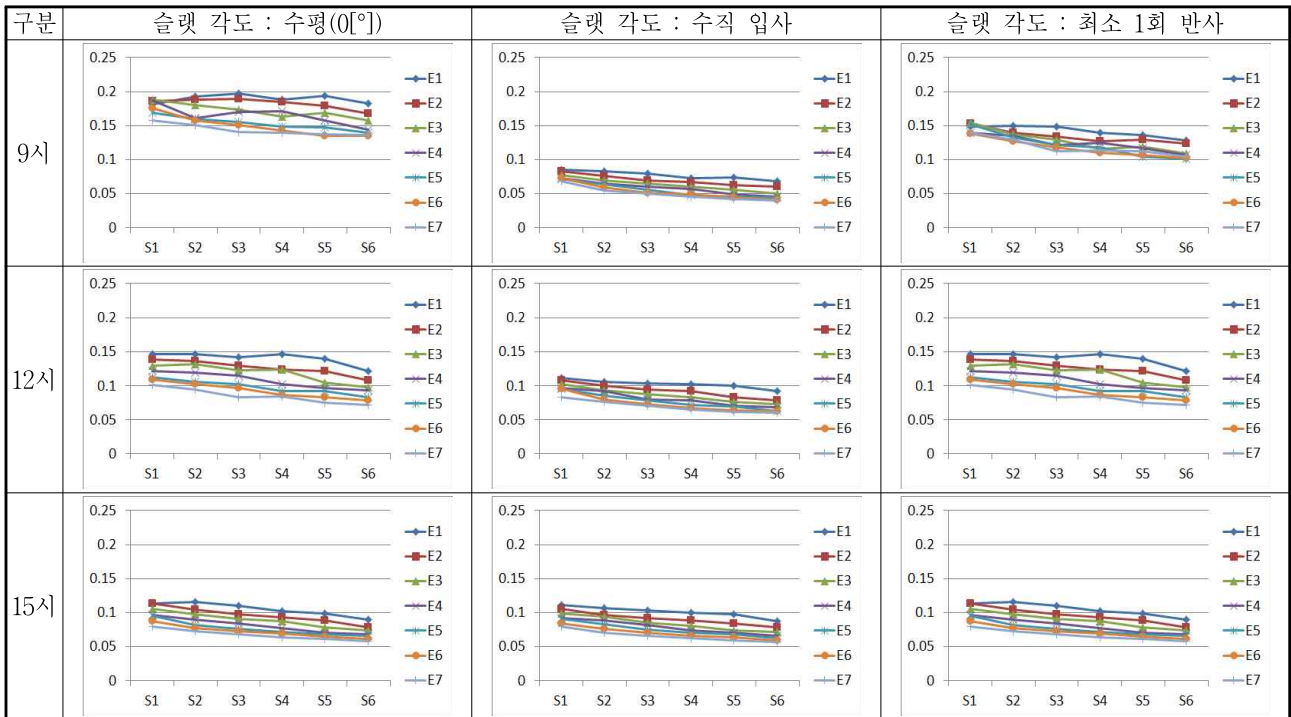


표 6. 조도비(하지)

Table 6. Illuminance ratio by daylight

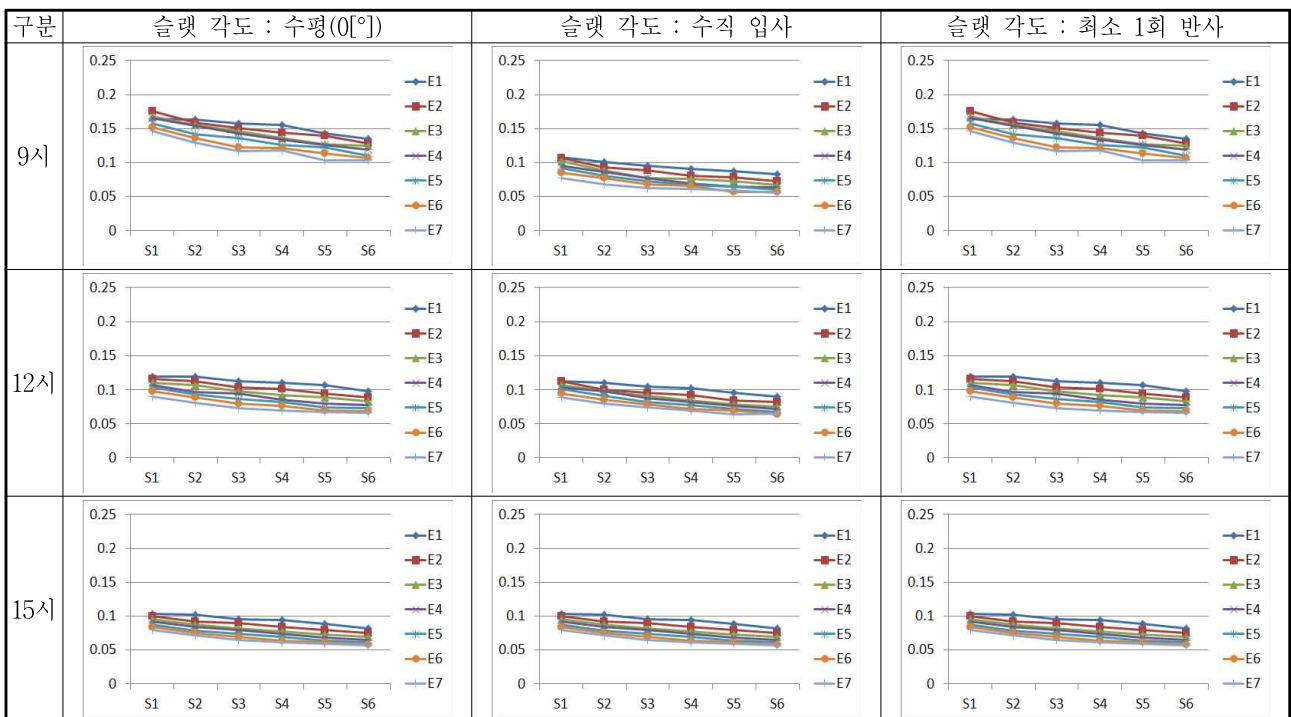
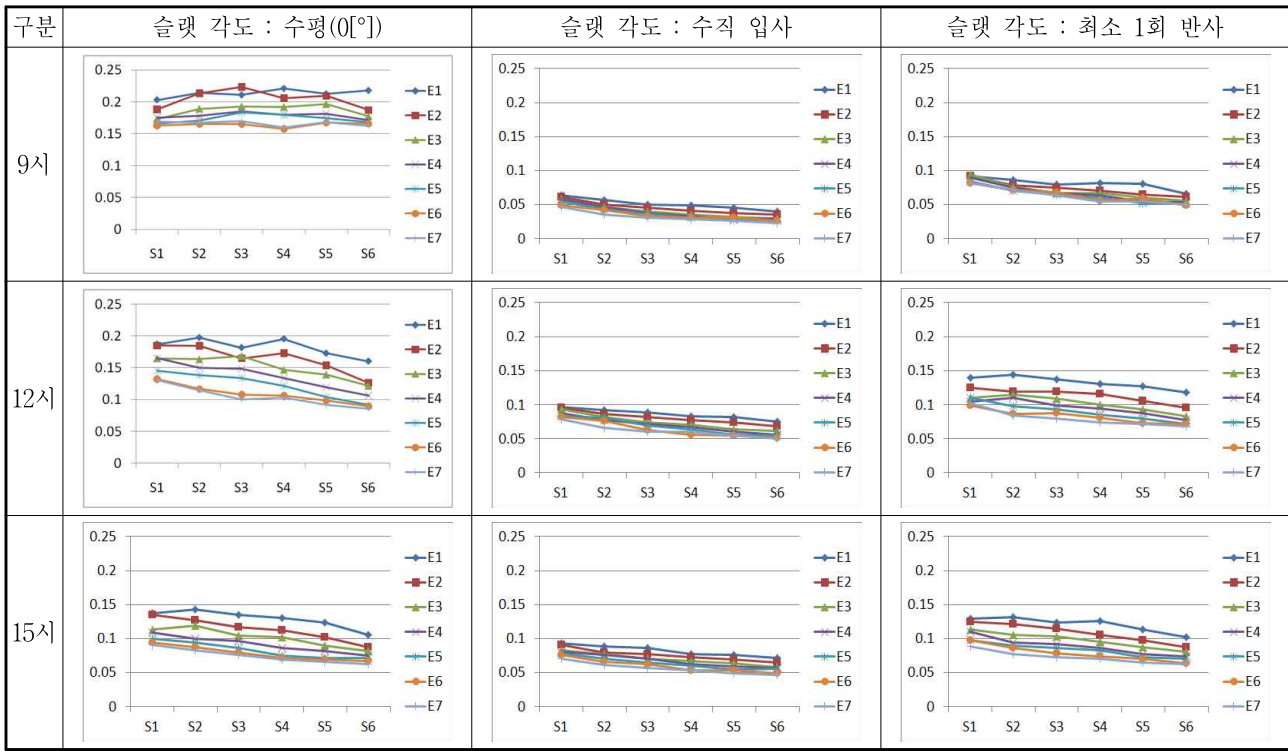


표 7. 조도비(동지)
Table 7. Illuminance ratio by daylight



3.3 시뮬레이션 분석(균제도)

균제도에 대한 시뮬레이션 분석 결과, 모든 경우에 서 일본조명학회의 권장치인 1/10 이상을 만족하는 것으로 나타났다. 균제도를 날짜별로 분석한 결과(표 8), 모든 절기에서 ‘수평(0[°])’의 경우가 높은 균제도를 나타냈고, ‘최소 1회 반사’의 경우는 동지를 제외하고 ‘수직 입사’에 비해 높은 균제도를 나타냈다. 이는 슬랫의 각도를 수평으로 할 경우 직사일광이 실의 안쪽 깊숙이 들어오기 때문에 높은 균제도를 나타낸 것으로 사료된다. 균제도를 시간별로 분석해 본 결과(표 9), 전반적으로 오전시간대에는 ‘수평(0[°])’와 ‘최소 1회 반사’의 경우가 높은 균제도를 나타낸 반면, 오후 시간대에는 ‘수직 입사’의 경우가 높은 균제도를 나타냈다.

표 8. 평균 균제도
Table 8. Average of Uniformity ratio of illumination

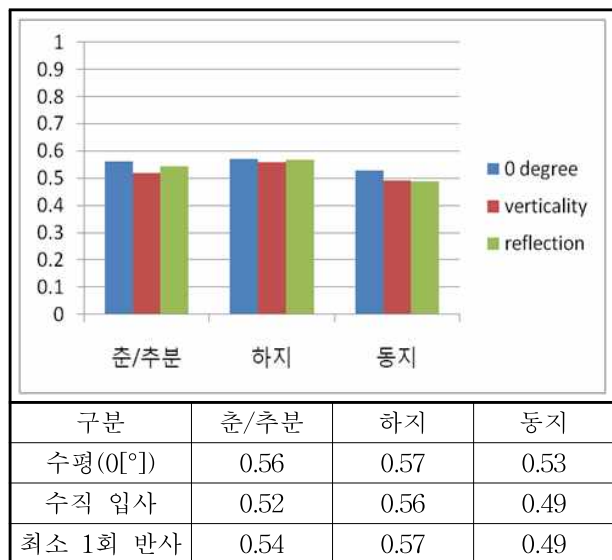
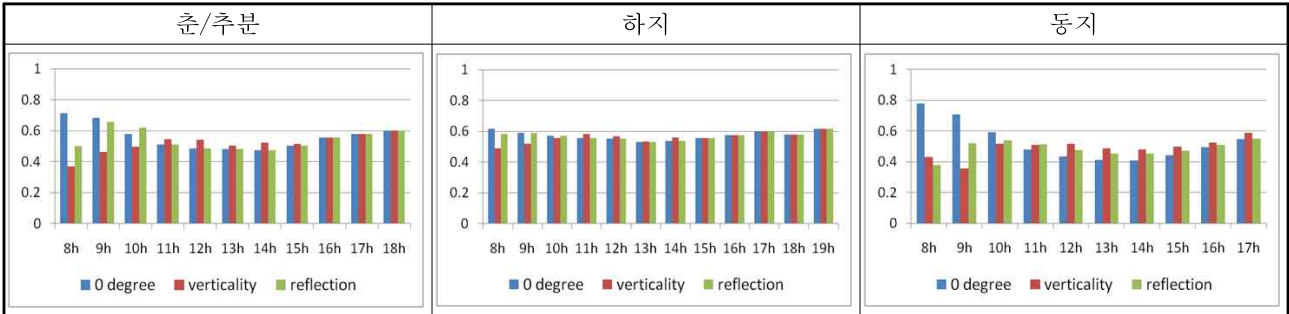


표 9. 시간별 균제도

Table 9. Uniformity ratio of illumination by hours



3.4 시뮬레이션 분석(일사량)

블라인드PV에 입사하는 일사량을 분석하기 위하여 앞서 분석한 주광 특성 결과를 토대로, 모든 절기에서 양질의 조도비와 균제도를 나타낸 ‘수평(0°)’을 기준으로 하여 블라인드PV의 슬랫을 모델링하였다. 일사량에 대한 시뮬레이션 결과(표 10), 슬랫 각도를 ‘수평(0°)’으로 설정한 블라인드PV의 획득 일사량은 날짜별로 보면 춘분의 경우 1877.76[Wh/m²], 하지의 경우 2828.93[Wh/m²], 추분의 경우 1389.65[Wh/m²], 동지의 경우 378.08[Wh/m²]로 산출되었다. 창 방향별로 분석하면, 동향의 경우 915.25[Wh/m²], 남향의 경우 5559.17[Wh/m²]로 산출되었다.

표 10. 일사량 산출
Table 10. Solar radiation

[단위 : Wh/m²]

구분	동향	남향	합계
춘분	349.44	1528.32	1877.76
하지	281.35	2547.58	2828.93
추분	242.65	1147.00	1389.65
동지	41.81	336.27	378.08
합계	915.25	5559.17	

3.5 PV 발전량 계산 결과

블라인드PV에 입사하는 일사량을 활용하여 PV 발

전량을 예측하였다. PV 발전량은 PV 시스템의 복잡성을 최대한 단순화하여 개략적인 수치로 계산되었으며 계수(운전온도/배선 손실, 변환기효율 등)에 따라 오차가 발생 할 수 있다. 다음 표 11은 PV 시스템의 발전량에 영향을 주는 요소들을 반영한 개략적인 PV 발전량을 나타낸 것이다. PV 발전량을 날짜별로 보면 춘분의 경우 3552.12[Wh], 하지의 경우 5291.45[Wh], 추분의 경우 2624.89[Wh], 동지의 경우 708.23[Wh]로 계산되었다. 창 방향별로 분석하면, 동향의 경우 1913.71[Wh], 남향의 경우 10262.98[Wh]가 계산되었다.

표 11. PV 발전량 산출
Table 11. PV power generation

[단위 : Wh]

구분	동향	남향	합계
춘분	730.64	2821.48	3552.12
하지	588.28	4703.17	5291.45
추분	507.36	2117.52	2624.89
동지	87.43	620.81	708.23
합계	1913.71	10262.98	

4. 결 론

본 연구는 Radiance 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 주광 특성(조도비, 균제도)을 분석하고, Ecotect 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 블라인드PV의 획득 일사량을 분석하였다. 마지막으로 획득일사량을 개략적

에 적용하여 PV 발전량을 계산하였다.

주광 특성에 관한 연구 결과 3가지의 슬랫 각도 조절 방법 중 ‘수평(0°)’에서 가장 우수한 주광 분포 특성을 나타냈으며 시간대별로 약간의 차이가 있었다. 이는 태양의 일영각 변화에 따른 슬랫 각도의 제어가 필요함을 의미한다. 또한 주광으로 인하여 실내의 빛 환경이 향상되는 것을 알 수 있었다. 일사량 산출을 통해 PV 발전량을 계산한 결과 하지가 동지에 비해 약 7배 이상, 남향이 동향에 비해 약 5배 이상 높은 수치를 나타냈으며 이러한 결과들을 토대로 계절별, 방향별로 블라인드PV를 설치하고 시스템에 활용할 경우 조명에너지 절감이 효율적으로 가능하다. 또 조광제어시스템이 접목된 LED 조명시스템 적용 시, 블라인드 PV의 슬랫 각도 조절에 따라 실내의 주광 특성이 달라지기 때문에 이를 통합하여 사용한다면 획기적인 조명에너지 절감이 가능하리라 판단된다.

본 연구의 한계로는 블라인드 슬랫 각도의 다양성이 부족한 점, 그리고 슬랫 각도에 따른 조망 확보 및 시 환경 개선을 위해 슬랫 각도를 조절하는 것과 태양광 발전을 위해 블라인드PV를 조절하는 것과의 관계에 관한 연구가 진행되어야 할 것이다. 향후 연구에서는 획득한 일사량을 바탕으로 조명용 전기에너지에 미치는 영향에 관한 연구와 조광제어시스템이 접목된 LED 조명시스템에 관한 연구를 진행할 것이다.

감사의 글

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 “IT융합 스마트조명 고급인력양성사업”의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2010-C6150-1001-0016).

References

- [1] 장인현 외 2, 조광제어에 의한 LED램프의 광특성 측정 데이터 분석, 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, p99-102, 2010.5.
- [2] 최안섭, 주광의 이해와 계산 (특집 : 그린 빌딩과 태양에너지 이용), 한국그린빌딩협의회, 2001.
- [3] 송규동 외 2, RADIANCE 프로그램을 이용한 베네치안 블라인드의 차양특성 분석, 한국생태환경건축학회 논문집, 제5권 제3호, p3-9, 2005.9.
- [4] 일본조명학회, Lighting Handbook, 1987.
- [5] Claudia Luling, 건축과 태양광 발전, 2005.
- [6] 송규동 외 2, RADIANCE 프로그램과 인터넷 환경을 이용한 조명시뮬레이션 시스템 개발, 대한건축학회 논문집, 제19권 제4호, p179-186, 2003.4.
- [7] 이진천, [특집원고] 활용 가능한 BIM 관련 소프트웨어 소개, 한국설비기술협회지, 2010.

◇ 저자소개 ◇



홍성관(洪性觀)

1983년 7월 10일생. 2007년 세종대 건축공학과 졸업. 2009년 세종대 건축공학과 건축환경설비전공 졸업(석사). 현재 세종대 건축공학과 박사과정.



최안섭(崔安燮)

1967년 10월 4일생. 1991년 한양대 건축공학과 졸업. 1993년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템전공 졸업(석사). 1997년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템전공 졸업(박사). 현재 세종대 건축공학과 교수. 본 학회 이사.