

창호거치 태양광발전 광선반의 채광 및 에너지성능평가

정유근*

*한국교통대학교 건축공학과

The Study on the Sunlighting and Energy Performance Evaluation of the Photovoltaic Light-Shelf on Windows

Chung Yu-Gun*

*Department of Architectural Engineering, Korea National University of Transportation, Chung-ju, Korea

Abstract

As a horizontal shading and reflecting device, the light-shelf is simple and powerful to improve the uniformity of daylighting illuminance. Also, it is possible to apply photovoltaic modules on the reflection plate of light-shelf. Therefore, the light-shelf is suitable for the comfort indoor visual environment and sustainable energy application. This study aims to evaluate the sunlighting and energy performance of the photovoltaic light-shelf for suggesting the efficient design. For the study, computer simulations are carried on Radiance, Solar-Pro and Energy-Plus programs. As, results, the sunlighting and uniformity ratio are analyzed on the installation conditions. Also, the peak power was shown on 12:30. In this time, the volts are 12.6(V) to 13.9(V) and the currents are 1.3(A) to 2.4(A). the accumulate powers are 207.5(Kw) to 228.3(Kw) between 10:00(am) to 15:00(pm). And the immediate powers were 2.0(W) to 25.3(W).

키 워 드 : 태양광발전, 광선반, 채광성능, 발전성능, 에너지성능

Keywords : Photovoltaic Light-Shelf, Sunlighting Performance, Electric Power, Energy Performance

1. 서 론

유엔기후변화 협약과 같은 국제 환경에 능동적으로 대처하고 에너지 위기에 대처하기 위해 신재생에너지의 개발, 보급 및 확대정책의 지속적인 확대가 요구되고 있다. 특히 전체 에너지사용량의 약 30(%)를 소비하는 건축분야에서 친환경계획 및 대체에너지 이용 등 건물에너지 저감을 위한 다양한 노력이 이루어지고 있다^[1].

광선반은 건축물 창호에 설치되는 단순형태의 채광시스템으로 창가로 입사되는 강한 직사일광을 실 안쪽으로 굴절시켜 실내 시환경 향상 및 에너지를 절약할 수 있는 유용성이 높은 자연광조절장치이다. 또한, 광선반 상부

반사면에 태양광발전 모듈의 설치가 가능해 태양광발전 시스템으로 활용성 또한 높은 것으로 평가되고 있다^[2].

본 연구는 소규모 사무소 건물을 대상으로 창호에 설치된 태양광발전 광선반의 다양한 설치조건에 따른 채광성능, 발전성능 및 실내 냉난방성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 평가하였다. 이를 통하여 소규모 사무소에 적합하고 효율적인 태양광발전 광선반 시스템개발을 위한 기초자료를 제공하는데 연구의 목적이 있다.

사무소 건물에 설치한 태양광발전 광선반의 크기 및 설치조건에 설정을 위해 한국패시브 건축협회(Passive House Institute Korea)에서 제시된 권장각도인 광선반 끝단과 창하부 각도 20o(태양고도 70o일 때 직사일광 차단)을 활용하였다. 또한, 태양광발전 광선반의 채광성능평가를 위해 Radiance 프로그램, 발전성능 평가를 위해 Solar-Pro 프로그램 그리고 실내 냉난방부하 평가를 위해 Energy-Plus 프로그램을 이용한 시뮬레이션을 실시하였다^[3].

교신저자

성명 : 정유근
전화 : +82-43-841-5202
E-mail : ygchung@ut.ac.kr
접수일 : 2013년 9월 9일
수정접수일 : 2013년 9월 24일
채택일 : 2013년 9월 24일

2. 평가시뮬레이션 개요

2.1 평가대상 사무소 및 광선반

태양광발전 광선반이 설치될 소규모 사무소의 크기는 폭 5.4(m), 깊이 5.4(m) 그리고 높이 2.7(m)로 남측 벽에 폭 4.4(m) 및 높이 1.5(m)로 창면적비 45%의 투명 창을 바닥 위 1.0(m)에 설치하였다. 이때, 사무소 실내표면 반사율은 기존 문헌에서 제시된 사무소 실내 반사율 권장치에 따라 천장 85(%), 벽 45(%), 및 바닥 20(%로 설정하였다^[4].

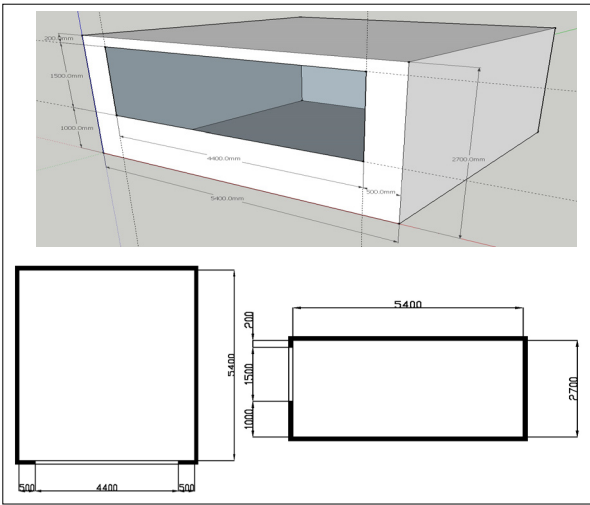


그림 1. 설정된 사무소

태양광발전 광선반의 크기는 한국패시브 건축협회의 권장조건인 광선반 끝단과 창하부 각도 20o(태양고도 70o일 때 직사일광 차단, 폭 360 mm)를 기준으로 광선반 끝단과 창하부 각도 15o(태양고도 75o일 때 직사일광 차단, 폭 170 mm)와 광선반 끝단과 창하부 각도 25o(태양고도 65o일 때 직사일광 차단, 폭 465 mm)로 설정하였고 설치높이는 바닥 위 2.0(m)로 설정하였다.

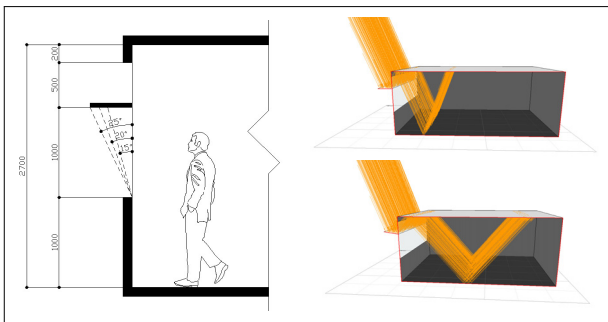


그림 2. 태양광발전 광선반 조건 및 자연광 유입

2.2 시뮬레이션 조건

태양광발전 광선반의 설치에 따른 사무소의 채광성능 평가를 위한 시뮬레이션은 Radiance 프로그램을 활용하였다. 서울지역을 대상으로 청천공 상태에서 하지, 동지 및 춘추분의 태양 남중고도에서 실시하였고 외부기상 조건은 2011 기상청 기상예보를 활용하였다^[5]. 이때, 실내 벽 100(mm) 안쪽으로 바닥 위 700(mm) 지점을 대상으로 모두 100개 지점의 채광조도를 분석하였다.

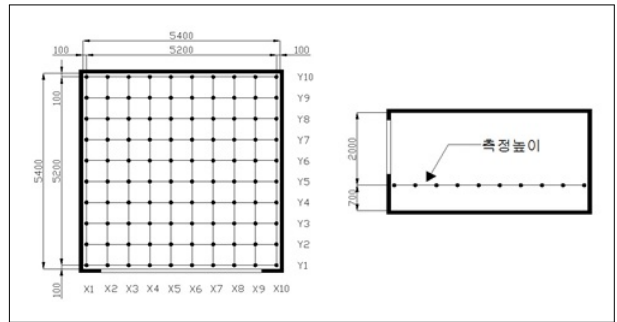


그림 3. 채광성능 평가조건

냉난방에너지 평가는 Energy-Plus 프로그램을 활용하였고 부하계산을 위한 입력조건은 실내 설정온도에 따라 자동제어 되는 IdealLoadAirSystem을 적용하였다. 또한, 실내 설정온도는 건축물에너지절약설계기준에 따라 냉방 26(°C) 및 난방 20(°C)로 실내조도 400(lx, 한국산업규격 조도기준 KS A 3011) 그리고 내부부하는 건축물에너지설계기준을 참조하여 조명 14(W/m²)와 기기 16(W/m²) 그리고 재실자 수는 17(m/인)으로 설정하였다^{[6] [7] [8]}.

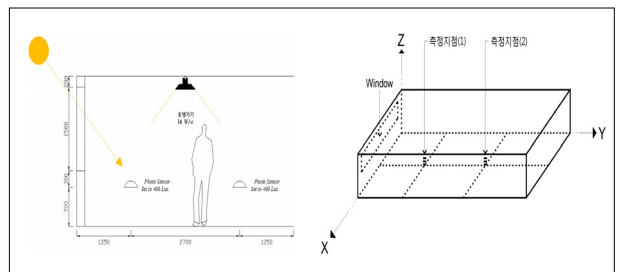


그림 4. 조명부하 설치조건

발전성능 평가는 태양광발전 모듈의 성능평가용 프로그램인 Solar-Pro 프로그램을 활용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 프로그램은 일반적으로 상용화된 다양

한 발전모듈을 제공하고 있으나 본 연구에 적용된 광선반의 크기에 적합한 발전모듈을 제공하지 못하고 있다. 그러므로 다음과 같이 태양광발전 셀을 선정하여 광선반 크기에 따라 셀의 수를 산정하고 이를 프로그램에 Database화하여 시뮬레이션을 진행하였다.

표 1. 선정된 발전 셀 조건

정격출력 (Pmax)	정격전압 (Vmax)	정격전류 (Imax)	개방전압 (Voc)
0.30 W	0.48 V	1.26 A	0.55 V
개방전류 (Isc)	크기 (mm)	무게 (g)	
1.39 A	40 X 50	1.0	

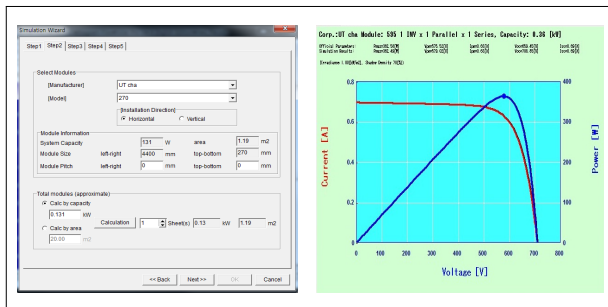


그림 5. 셀 특성 및 I-V 곡선

표 2. 설치조건에 따른 모듈크기 및 특성

	설치각도 15°	설치각도 20°	설치각도 25°
모듈크기 (mm)	270 X 4,400	360 X 4,400	465 X 4,400
설치 셀 수	436	696	872
정격출력 (Pmax)	131.0 W	210.5 W	263.7 W
정격전압 (Vmax)	209.3 V	334.1 V	418.6 V
정격전류 (Imax)	0.63 A	0.63 A	0.63 A
개방전압 (Voc)	239.8 V	382.8 V	479.6 V
개방전류 (Isc)	0.69 A	0.69 A	0.69 A

3. 채광 및 에너지성능 평가

3.1 채광성능 평가

태양광발전 광선반 설치에 따른 채광성능은 채광조도비와 채광균제도를 이용하여 평가하였다. 이 때, 채광조도비는 외부 수평면조도에 대한 실내 측정점의 채광조도

의 비로 채광균제도는 실 최대 채광조도에 대한 최소 채광조도의 비로 설정하였다.

설치조건에 따른 평균 채광조도비는 태양광발전 광선반을 설치하지 않은 경우와 비교하여 실시하였고 태양고도가 높은 하지에 감소하며 동지에는 차이가 없는 것으로 분석되었다. 또한, 광선반 끝단과 창하부 사이의 각도가 증가함에 따라 채광조도비 감소폭이 다소 증가하는 것으로 분석되었다.

표 3. 설치조건에 따른 채광조도비(%)

		미설치	설치각도 15°	설치각도 20°	설치각도 25°
하지	최소	0.79	0.79	0.81	0.82
	최대	37.8	4.70	4.84	4.94
	평균	4.67	1.95	2.02	2.10
추분	최소	1.55	1.42	1.40	1.55
	최대	63.5	23.4	22.3	22.3
	평균	12.5	12.3	7.79	7.70
동지	최소	3.41	3.63	3.67	3.67
	최대	67.3	26.8	27.0	26.7
	평균	29.9	29.7	29.6	29.4

실내 채광균제도를 태양광발전 광선반을 설치하지 않은 경우와 비교하여 평가하면 하지에는 16.8~19.9(%) 추분에는 13.8~16.3(%) 그리고 동지에는 12.2~12.4(%)인 것으로 분석되었다. 또한 채광균제도 증가율이 하지에 가장 높아 태양고도의 영향을 받는 것으로 분석되었다.

표 4. 설치조건에 따른 채광균제도(%) 및 채광조도

		미설치	설치각도 15°	설치각도 20°	설치각도 25°
하지	최소(1x)	693.7	691.4	704.6	718.4
	최대(1x)	33041	4110	3540	3781
	균제도	2.0	16.8	19.9	19.0
추분	최소(1x)	1083	989.2	975.4	924.9
	최대(1x)	44226	7168	6292	5974
	균제도	2.4	13.8	15.5	16.3
동지	최소(1x)	1367	1456	1471	1470
	최대(1x)	11966	11913	11903	118545
	균제도	11.4	12.2	12.3	12.4

자연광에 의한 권장 채광조도비 10(%)^[7]를 기준으로 평가하면 광선반을 설치하지 않은 경우에 동지에서만이 기준을 만족시키는 것으로 분석되었다. 그러나 태양

광발전 광선반의 설치로 모든 경우에서 채광균제도가 10(%) 이상으로 향상되어 쾌적한 실내 시환경 조성이 가능한 것으로 분석되었다.

실 소요조도 400(lx)를 기준으로 조명에너지 성능을 평가한 결과 광선반 끝단과 창하부 각도 15o의 조명에너지 사용량은 7.3(KWh)로 광선반 미설치에 비해 약 10.9(%) , 20o에서는 조명에너지 사용량 7.4(KWh)로 약 9.8(%) 그리고 25o에서 조명에너지 사용량 7.5(KWh)로 약 8.5(%) 감소하는 것으로 분석되었다.

3.2 냉난방에너지 평가

태양광발전 광선반의 설치조건에 따른 사무소 냉난방 에너지 성능은 광선반을 설치하지 않은 경우와 비교하여 실시하였다. 광선반 미설치의 냉방에너지 사용량 1,068(KWh)에 비해 태양광발전 광선반 설치로 냉방에너지 누적사용량은 993~1,017(KWh)인 것으로 분석되었다.

광선반 미설치의 경우와 비교하여 광선반 끝단과 창하부 사이의 설치각도가 증가할수록 감소하고 감소율은 4.8~7.0(%)인 것으로 분석되었다. 이는 설치각도가 증가할수록 광선반 폭이 증가하여 하절기 직사일광을 효과적으로 차단한 결과로 사료된다.

표 5. 냉방에너지 사용량(KWh)

설치각도	최대	평균	누적	변화율(%)
미설치	269.2	85.4	1068.0	
15°	264.5	84.8	1017.1	- 4.8
20°	261.1	83.7	1003.9	- 6.0
25°	258.8	82.8	993.6	- 7.0

광선반을 설치하지 않은 경우의 난방에너지 누적사용량은 447(KWh)로 태양광발전 광선반 설치에 따른 난방에너지 누적사용량은 479~508(KWh)인 것으로 분석되었다. 이 때, 광선반 끝단과 창하부 사이의 설치각도가 증가할수록 난방부하 역시 커지는 것으로 분석되었다.

표 6. 난방에너지 사용량(KWh)

설치각도	최대	평균	누적	변화율(%)
미설치	269.2	85.4	447.9	
15°	172.1	40.0	479.4	+ 7.0
20°	175.7	41.0	492.5	+ 10.0
25°	178.2	42.4	508.3	+ 13.5

광선반 미설치의 경우와 비교하여 광선반 끝단과 창하부 사이의 설치각도에 변화에 따른 증가율은 7.0~13.5(%)인 것으로 분석되었다. 이는 난방부하가 높은 동지에 광선반 설치로 직사일광의 실내 유입이 제한된 결과로 사료된다.

냉난방에너지 사용량을 종합적으로 분석하면 광선반 미설치의 경우에 사용량 1,516(KWh)로 광선반 끝단과 창하부 설치각도 15o에서 1,496(KWh)로 감소율 1.3(%) , 설치각도 20o에서는 에너지사용량 1,499(KWh)로 감소율 1.1(%) 그리고 설치각도 25o에서는 에너지사용량 1,502(KWh)로 감소율은 0.9(%)로 분석되었다.

3.3 발전성능 평가

태양광발전 광선반의 설치조건에 따른 발전성능은 선정된 모듈의 정격전력에 대한 비로 평가하였다. 광선반 끝단과 창하부의 각도 15o에서의 월 누적 발전량은 최대 14.3(KWh), 최소 5.7(KWh) 그리고 평균 9.9(KWh)로 평균 전력비는 약 7.6(%)인 것으로 분석되었다.

표 7. 설치각도 15° 발전성능

	전력(KWh)	전압(V)	전류(A)	전력비(%)
1월	7.09	194.4	0.13	5.41
2월	8.27	194.2	0.16	6.31
3월	11.85	187.8	0.19	9.05
4월	13.12	187.6	0.20	9.82
5월	14.29	174.7	0.21	10.91
6월	12.74	170.5	0.18	9.73
7월	10.16	169.1	0.15	7.76
8월	10.37	167.5	0.16	7.92
9월	9.98	173.1	0.17	7.62
10월	9.17	179.2	0.16	7.01
11월	6.41	186.1	0.12	4.89
12월	5.69	191.1	0.11	4.34
누적	119.01			
평균	9.92	179.4	0.16	7.56

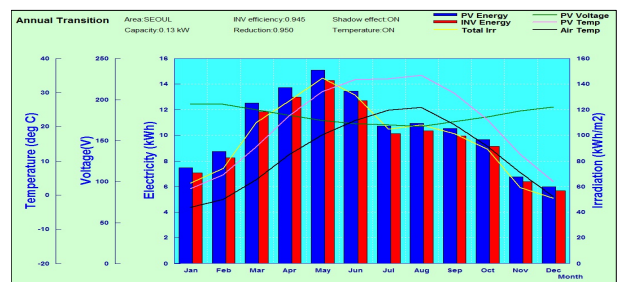


그림 6. 설치각도 15° 발전성능

광선반 끝단과 창하부의 각도 20o에서의 월 누적 발전량은 최대 22.8(KWh), 최소 9.1(KWh) 그리고 평균 15.8(KWh)이며 5월의 발전량이 가장 큰 것으로 분석되었다. 또한, 태양광발전 광선반의 연간 누적 발전량은 189.9(KWh)로 분석되었다.

정격전력에 대한 전력비는 평균 8.6(%)인 것으로 분석되었다. 설치각도 15o의 발전성과 비교할 때 연간 누적발전량은 약 37(%) 그리고 전력비는 약 2(%) 증가하여 이는 설치각도에 따른 광선반 발전면적의 영향으로 판단된다.

표 8. 설치각도 20 발전성능

	전력(KWh)	전압(V)	전류(A)	전력비(%)
1월	11.32	311.2	0.13	5.38
2월	13.21	310.1	0.16	6.28
3월	18.91	299.8	0.19	8.98
4월	20.75	238.5	0.20	9.86
5월	22.82	278.9	0.21	10.84
6월	20.33	272.3	0.18	9.66
7월	16.22	270.1	0.15	7.71
8월	16.56	267.4	0.16	7.86
9월	15.93	276.1	0.17	7.57
10월	16.64	286.1	0.16	6.96
11월	10.22	297.1	0.12	4.60
12월	9.08	305.1	0.11	4.31
누적	189.9			
평균	15.83	288.5	0.16	7.71

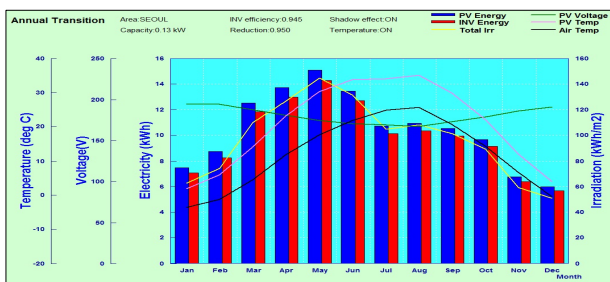


그림 7. 설치각도 20 발전성능

광선반 끝단과 창하부의 각도 25o에서의 월 누적 발전량은 최대 28.6(KWh), 최소 11.4(KWh) 그리고 평균 19.8(KWh)이며 5월의 발전량이 가장 큰 것으로 분석되었다. 또한, 태양광발전 광선반의 연간 누적 발전량은 237.9(KWh)로 분석되었다.

정격전력에 대한 전력비는 평균 7.6(%)인 것으로 분석되었다. 설치각도에 따른 변화는 설치각도 15o에 비

해 누적 발전량은 약 50(%) 증가하는 것으로 분석되었으나 전력비의 변화가 작아 이는 설치각도에 따른 광선반 발전면적의 영향으로 판단된다.

표 9. 설치각도 25 발전성능

	전력(KWh)	전압(V)	전류(A)	전력비(%)
1월	14.18	389.9	0.13	5.38
2월	16.54	388.5	0.16	6.27
3월	23.69	375.6	0.19	8.98
4월	26.01	361.5	0.21	9.86
5월	28.58	349.4	0.21	10.84
6월	25.47	341.1	0.18	9.66
7월	20.32	338.3	0.15	7.71
8월	20.73	335.1	0.16	7.86
9월	19.95	345.9	0.17	7.57
10월	18.34	358.4	0.16	6.96
11월	12.81	372.1	0.12	4.85
12월	11.38	382.1	0.11	4.32
누적	237.98			
평균	19.83	361.5	0.16	7.62

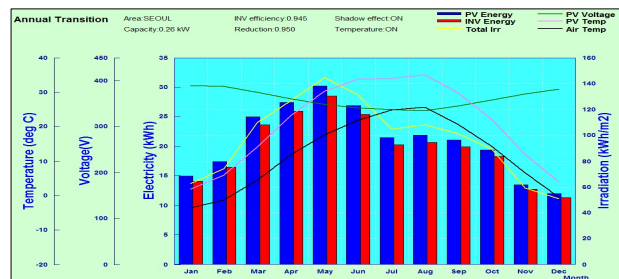


그림 8. 설치각도 25 발전성능

4. 결 론

연구는 건축물 창호에 거치 가능한 태양광발전 광선반 시스템 개발을 위한 기초연구로 설치조건에 따른 다양한 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 평가하였다. 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 한국패시브 건축협회의 권장 광선반 크기를 바탕으로 제안된 태양광발전 광선반의 채광성능을 분석한 결과 하지의 직사일광 유입을 차단 효과가 높고 동지에는 미흡한 것으로 분석되었다. 그러나 채광균제도가 모든 경우에서 권장치 10(%)이상으로 향상되는 것으로 분석되었다. 또한, 조명에너

지 사용량을 설치조건에 따라 8~10(%) 절약되는 것으로 분석되었다.

- (2) 태양광발전 광선반 설치조건에 따른 냉난방에너지는 설치각도가 커질수록 냉방에너지의 감소와 난방에너지가 증가하는 것으로 분석되었고 미설치의 경우와 비교하여 0.9~1.3(%)의 냉난방에너지가 감소하는 것으로 분석되었다.
- (3) 태양광발전 광선반의 발전성능은 설치조건 변화에 따른 발전면적의 변화에 따라 발전량이 결정되며 정격전력에 대한 전력비는 약 7.5(%)로 다소 부족한 것으로 분석되었다.

연구결과 개발될 태양광발전 광선반의 성능 및 발전효율을 향상시키기 위해서는 발전면적을 최대화하며 태양의 위치와 연동하여 광선반 크기(설치각도)를 변화시킬 수 있는 가변형 장치의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2011년도 한국교통대학교 교원해외파견연구교수지원비의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

1. 2011년 에너지기술연구원 에너지기술보고서, <http://www.keei.re.kr>
2. 임교열, 정유근. 창호형 태양광 발전장치 설계 및 기초성능 평가, 한국친환경설비학회, 2010, 12 201-209
3. 한국패시브건축협회. <http://www.phiko.co.kr>
4. 윤동원. 건축환경실험, 1994
5. 기상청 기상연보, 발간번호 11-13600000-000 016-10, 2011.
6. 국토해양부. 건축물에너지절약설계기준, 2012.
7. 기술표준원. 한국산업규격조도기준 KS A 3011.
8. 이현우, 이시내. 사무소 건물에서 수평형 광선반을 이용한 빛환경 개선, 한국생활환경학회지, 2011(18-1), 145-152.
9. 김정태, 정유근. 창호일체형 광선반 채광시스템의 채광성능 평가, 한국생태환경건축학회(27); 2007. 10, 41-46.
10. DOE Energy Plus 7.2 Reference, 2012.