

쉐이딩 시스템에 따른 인공조명에 의한 조도분포 특성에 관한 연구

(Characteristics of the Illuminance Distributions by Artificial Lighting in Different Shading Systems)

박병철* · 최안섭**

(*세종대학교 건축공학과 박사과정 · **세종대학교 건축공학과 교수)

(Byoung-Chul Park · An-Seop Choi)

Abstract

Daylight responsive dimming system, which is one of the method for utilizing available daylight, continuously adjusts lighting output with an algorithm of the correlation of photosensor signal and workplane illuminance levels. This system must be related with shading systems which are to control penetrating daylight. The purpose of this research is to analyze illuminance distributions by artificial lighting in different shading systems. Lighting power is changed by 5 levels in nighttime for comparing correlation between illuminance and lighting power in different shading systems.

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계적으로 화석에너지 자원의 고갈, 환경오염 문제와 유가상승으로 인한 경제 불안 등으로 자연에너지 및 대체에너지의 개발에 대한 관심이 집중되기 시작하였다. 또한, 한 국가의 총 에너지 소비량 중 건물과 관련한 에너지 소비량이 높은 비중을 차지하고 있는데, 그 중 OECD 국가들의 총 에너지 소비량 중 약 40%는 건물에너지와 연관되어 있다[1].

이와 관련하여 세계 각국, 기관, 연구자들은 다양한 정책과 제안으로 CO₂ 발생량과 에너지 소비량을 줄이기 위해 노력하고 있다[2,3]. 건물과 관련한 에너지 소비량은 이러한 시대적 요구에 의해 건설산업 전반에 걸쳐 친환경 건축기술, 건축물 에너지절감 기술 등이 주요 관심사로 등장하고 있다. 특히, 최근 지속적으로 건설되고 있는 초고층 건축물과 관련한 에너지 절감과 쾌적한 실내 환경을 위한 첨단 시스템의 연구와 적용이 활발하다.

초고층 건축물에서 인공조명과 관련된 에너지 소비량은 총 에너지 소비량에 20% 이상이다[4]. 따라서, 초고층 건축물에 조명용 에너지를 절감할 수 있는 시스템을 적용하면 많은 에너지를 절감할 수 있을 것이다. 조명용 에너지 절감은 고효율의 조명기구를 사용하는 방법, 조명기구의 점소등, 주광을 활용하여 인공조명을 조광하는 방법 등이 있다. 그 중 조광제어는 건물 외피가 주로 유리로 되어있는 초고층 건축물에 적용하면 주광의 활용을 극대화 할 수 있을 것이다.

주광을 활용하는 조광제어시스템의 에너지 절감량은 유용한 주광의 유입량에 따라 결정된다. 본 연구에서 유용한 주광은 재실자에게 불편함을 주지 않는 주광을 말한다. 재실자에게 주광에 의한 시각적 불편감을 차단하기 위하여 창이 있는 실내공간에는 차양시스템을 설치한다. 차양시스템에는 대표적으로 롤러 셰이드, 베니션 블라인드, 커튼 등이 있다.

이러한 차양시스템은 대부분 수동형 시스템으로 재실자가 태양고도가 낮은 오전에 직사일광을 차단하기 위해 셰이드의 높이 및 각도를 제어한 후 오후가 되어도 고정된 상태로 인공조명만을 사용하는 것을 흔히 볼 수 있다. 이러한 수동형 시스템은 유용한 주광의 유입도 차단함으로써 에너지 절감의 가능성을 낮추고 있다. 자동으로 차양시스템을 제어하는 경우에도 외부 환경에 의해 제어되는 것이 아니라 단순히 시간에 의한 높이 제어가 일반적이다. 따라서 조광제어시스템에 의한 에너지 절감량을 향상시키기 위해서는 외부 환경에 반응하는 자동형 차양시스템과의 연계가 중요하다. 본 연구는 광센서 조광제어시스템과 차양시스템의 통합을 위한 연구의 한 부분으로서, 차양시스템의 종류 및 제어단계에 따른 인공조명의 조도분포를 비교하는 것이다.

1.2 연구의 방법 및 범위

실험은 동일한 조건의 3개의 실로 이루어진 실험실에서 시행되었다. 광센서 조광제어시스템과 자동 쉐이딩 시스템을 통합하기 위한 연구의 일환으로서, 쉐이딩 시스템의 종류와 높이 및 슬랫각의 제어에 따른 인공

조명의 조도분포 변화를 분석하기 위하여, 주광이 없는 야간에 조명기구에 공급되는 전력을 5단계로 제어하여 셰이딩 시스템의 조건에 따른 각 센서의 영향을 조명기구 전력에 대한 비율로 비교·분석하였다. 이러한 결과는 하나의 알고리즘으로 운영되는 통합시스템의 신뢰성 향상을 위한 기초적 자료로 활용될 것이다.

2. 실험개요

본 실험은 동일한 조건을 갖는 3개의 실로 구성된 실험실에서 수행되었다. 실험실은 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에 위치하고 본 연구에서 분석된 데이터는 2008년 3월 22일부터 동년 7월 2일까지의 데이터 중 실험조건을 기준으로 분류하여 분석하였다.

2.1 실험실(Testbed)

3개의 실로 구성된 실험실의 각 실의 크기는 3.05m(W) × 4.57m(D) × 3.35m(H)이고, 각 실의 정남향에는 창문이 있다. 그 크기는 2.71m(W) × 3.02m(H)이고 각 실에는 책상 두 개가 배치되어 있다.

각 실의 실내마감재의 반사율은 천정이 0.86이고 벽체가 0.85이며, 바닥이 0.18이다. 창문유리의 투과율은 0.62이다. 다음의 그림 1은 실험실의 외부와 실의 내부 전경이다.

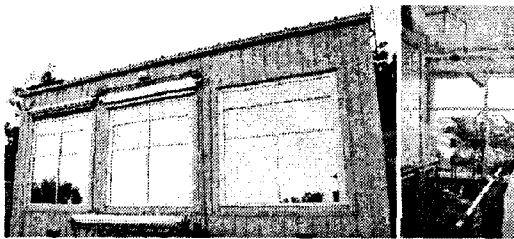


그림 1. 실험실의 외부 전경과 실의 내부
Fig. 1. Exterior and interior view of the testbed

실험실의 각 실에는 16개의 조도센서(LS-210SA, ±1.5% to 7500lx, ±0.15%/°C)가 설치되어 있다. 각 센서는 매분 순간적인 조도값을 측정하고 기록하였다. Lux 1~6번의 바닥으로부터 약 1.22m(4')위의 벽면에 부착되어 있고, 그 중 Lux 1, 3, 5번은 쉴드된(Shielded) 조도센서이며, Lux 2, 4, 6번 글로벌(Global) 조도센서이다. Lux 7과 9번은 쉴드된 조도센서로 바닥으로부터 약 1.22m에 위치하고 실의 정가운데 위치한다. Lux 8번은 바닥으로부터 약 2.44m(8')에 위치한 글로벌 조도센서이고 바닥을 향해 설치되어 있다. Lux 10번은 수직 글로벌 조도센서로

바닥으로부터 약 1.22m 높이 위에서 남향의 창을 향해 설치되어 있다. 마지막으로 Lux 11~16번은 바닥으로부터 약 0.76m(2' 6")위의 작업면에 설치된 글로벌 조도센서이다. 다음 그림 2는 각 센서의 위치이다.

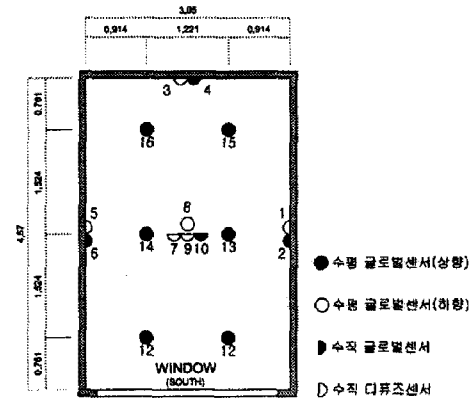


그림 2. 조도센서의 위치
Fig. 2. Sensor positions of the testbed

2.2 실험 조건

셰이딩 시스템의 조건에 따라 인공조명의 전력에 대한 조도분포를 분석하기 위하여, 야간(1:00Am~6:00Am)에 고정된 셰이딩 시스템 조건과 5분단위로 5단계의 전력제어를 반복수행함으로써 데이터를 수집하였다. 5단계 전력제어의 반복수행은 안정기의 안정화의 정도에 따른 오차를 줄이기 위함이다. 다음 그림 3은 5단계의 전력제어에 관한 사례데이터(2008년 3월 22일)이다.

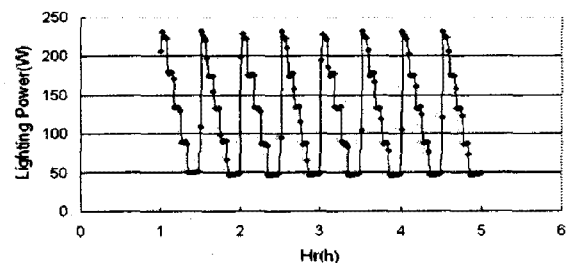


그림 3. 시간별 인공조명 전력
Fig. 3. The cycling data of hourly lighting power

실험에 사용된 각 실의 셰이딩 시스템은 1개사의 롤러셰이드(RS), 4개사의 베니션블라인드(VB_a~VB_d), 1개사의 패널(DP) 그리고 셰이딩 시스템이 없는 조건(None)을 사용하였다. 셰이딩 시스템이 없는 조건은 셰이드의 높이를 최대한 올려놓은 상태를 설정한 것이다. 각 시스템은 독립적이거나, 조합되어 설치되었다. 각 실의 셰이딩 시스템의 조합과 조건은 다음 표 1, 2와 같다.

표 1. 각 실의 셰이딩 시스템의 조합

Table 1. Composition of shading systems in each room

구분	셰이딩 시스템의 조합				
Room A	RS	VB _a	DP+VB _a	-	-
Room B	VB _b	VB _c	VB _d	None	-
Room C	RS	VB _a	VB _d	DP+VB _a	None

표 2. 각 실의 셰이딩 시스템의 조건

Table 2. Condition of shading systems in each room

구분	셰이딩 시스템의 조건	
	높이(m)	슬랫각(°)
RS	0 / 0.81	-
VB _a	0	0, 30, 45
VB _b	0	25(상부), 30(하부)
VB _c	0	0
VB _d	0	35(상부), 0(하부)
DP+VB _a	0	30

3. 데이터 분석 방법

조명기구 전력은 약 45, 85, 135, 175, 220(W)로 제어되고 있다. 셰이딩 시스템에 따른 조명기구의 전력에 대한 16개의 조도센서의 관계를 파악하기 위하여 1차 함수인 아래 식 (1)을 이용하여 각 센서의 관계를 파악하였다.

$$Y_{ij} = K_j \times f(P) \quad (1)$$

$f(P)$: 조명기구 전력과 조도와의 함수

Y_{ij} : 센서 j를 위한 조도값

K_j : 센서 j의 스케일 계수

야간의 데이터 중 형광등의 안정기의 안정화를 고려하여 처음 1시간의 데이터, 매분 측정된 조도값이 순간적인 값으로 전력이 변화하기 시작한 처음 1분째와 마지막 5분째 데이터를 분석에서 제외하였다. 또한, 외부의 일사센서를 이용하여 외부에서 일사량이 감지된 시간의 데이터를 분석에서 제외하였다.

조명기구의 전력이 약 60W(P_{min})이하에서 출력된 광속에 대한 각 센서의 측정값이 0에 근접하고 그 값이 일정하지 않고, 약 220W(P_{max})이상에서의 출력된 광속에 대한 각 센서의 측정값은 일정한 패턴을 형성하지 않고 그 값의 오차가 큼으로서 본 연구에서는 약 60W~220W 사이의 전력에 대한 각 센서의 관계를 함수로 도출하였다. 또한 동일한 실의 다양한 셰이딩 시스템의 조건에 대하여 동일한 함수에 대한 각 센서의 비율계수인 K_j 를 도출하여 비교하였다. 분석은 1차 함수와 2차 함수를 이용하여 분석하였고, 본 연구에서는 오차값이 상대적으로 작은 2차 함수를 적용하였다.

K_j 를 구하기 위하여 다음의 3단계로 도출하였다.

$$1) P_a = \text{Min}(\text{Max}(P, P_{min}), P_{max})$$

여기서, P 는 측정된 조명기구 전력

$$2) P_b = P_a \times (1 + B \times P_a)$$

$$3) Y_{ij} = K_j \times P_b$$

분석의 틀은 Microsoft Excel 2003을 사용하였고, '해 찾기' 기능을 이용하여 각 실의 셰이딩 시스템별 각 센서의 잔차 제곱의 합이 가장 낮은 값을 찾도록 지정하였다. 그리고 각 K_j 의 표준오차값의 합이 가장 작은 함수를 찾아 K_j 의 값을 비교하였다.

4. 결과

다음의 표 3은 각 실별 셰이딩 시스템에 따른 P_{min} , P_{max} , B 의 값이다. P_{min} 과 P_{max} 가 실별로 상이한 이유는 각 실에 설치된 인공조명의 전력대비 광속이 정확하게 같지 않고, 실의 공간구성도 정확하게 일치하지 않기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 동일하게 구성된 실험실일지라도 각 실별, 셰이딩 시스템별로 구분하여 데이터를 분석하였다.

표 3. 각 실별 P_{min} , P_{max} 와 B

Table 3. P_{min} , P_{max} and B of each room

구분	P_{min}	P_{max}	B
Room A	59.39334	220.04507	0.00114
Room B	58.30020	218.02744	0.00120
Room C	56.37688	218.63552	0.00154

다음의 표 4는 도출된 함수에 대한 표준편차, 결정계수, K_j 와 도출된 2차 함수의 상수 B 에 대한 표준오차값이다. 각 셰이딩 시스템별 도출된 함수의 표준편차가 약 3~9이고 결정계수는 '1'에 근접함으로 도출된 함수의 신뢰성을 보여주고 있다.

셰이딩 시스템별 쉼드된 조도센서의 K_j 의 값은 일정한 패턴이 없는 것을 볼 수 있다. 이는 쉼드된 센서에서 측정된 조도값의 절대값이 작고 글로벌 센서에 비하여 정확도가 결여된 것으로 사료된다.

작업면을 대표하는 센서 Lux 11~16을 기준으로 분석하면, Room A와 Room C의 롤러 셰이드의 경우 다른 시스템에 비하여 작업면조도의 비율이 높은 것을 볼 수 있다. Room C VB_a의 각도별 K_j 의 값을 살펴보면 그 각이 '0°' 일 때 높은 값을 나타내는데 이것은 조광제어시스템의 정확성을 위해 베니션 블라인드의 경우 그 슬랫각의 영향을 반드시 고려해야 할 것으로 사료된다.

표 4. 각 실별 쉐이딩 시스템에 따른 표준편차, 결정계수, K_j 와 상수 B에 대한 K_j 의 표준오차값
Table 4. RMS, R^2 , K_j and of standard error of K_j by different shading systems in each room

구분		K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8	K_9	K_{10}	K_{11}	K_{12}	K_{13}	K_{14}	K_{15}	K_{16}	RMS	R^2	
Rm A	RS	K_j	0.1996	1.9522	0.0074	1.6470	0.1927	2.0446	0.0275	0.6620	0.1312	1.3766	2.4436	2.5108	3.0146	3.0916	2.8585	2.8316	4.1647	0.9987
	H=0.81	St.error	0.0009	0.0013	0.0004	0.0011	0.0009	0.0013	0.0005	0.0006	0.0005	0.0009	0.0014	0.0014	0.0019	0.0020	0.0019	0.0018		
	VB _a	K_j	0.1931	1.8896	0.0037	1.5867	0.1859	1.9729	0.0088	0.6365	0.0647	1.2284	2.2688	2.3166	2.9525	3.0326	2.8223	2.7969	3.2892	0.9992
	A=30	St.error	0.0004	0.0006	0.0002	0.0005	0.0005	0.0006	0.0002	0.0003	0.0002	0.0004	0.0006	0.0005	0.0006	0.0007	0.0006	0.0006		
	DP+VB _a	K_j	0.1598	1.9335	0.0002	1.6107	0.1496	2.0022	0.0013	0.6251	0.0855	1.3527	2.3872	2.4552	3.0195	3.0803	2.8409	2.8026	3.5683	0.9989
	A=30	St.error	0.0023	0.0029	0.0002	0.0025	0.0024	0.0027	0.0003	0.0018	0.0018	0.0022	0.0022	0.0019	0.0021	0.0021	0.0019	0.0020		
Rm B	VB _b	K_j	0.1190	1.9158	0.0003	1.6575	0.1031	1.8478	0.0007	0.5913	0.0640	1.2177	2.2273	2.2648	2.9343	3.0251	2.9323	2.8117	5.1130	0.9980
	upA=25, lwA=30	St.error	0.0012	0.0016	0.0001	0.0014	0.0011	0.0017	0.0001	0.0009	0.0005	0.0007	0.0011	0.0011	0.0013	0.0014	0.0013	0.0012		
	VB _b	K_j	0.0431	1.7319	0.0003	1.5004	0.0276	1.6366	0.0009	0.4765	0.0083	1.0448	2.0451	2.0669	2.7579	2.8445	2.7923	2.6925	8.6584	0.9932
	A=0	St.error	0.0041	0.0127	0.0002	0.0098	0.0030	0.0126	0.0005	0.0052	0.0014	0.0025	0.0056	0.0047	0.0045	0.0040	0.0048	0.0040		
	VB _b	K_j	0.0400	1.7714	0.0003	1.5257	0.0352	1.6718	0.0000	0.4669	0.0117	1.0960	2.1172	2.1383	2.8300	2.9263	2.8559	2.7460	8.9878	0.9928
	upA=35, lwA=0	St.error	0.0050	0.0155	0.0002	0.0152	0.0043	0.0167	0.0000	0.0077	0.0026	0.0036	0.0063	0.0062	0.0077	0.0069	0.0086	0.0085		
None	K_j	0.1152	1.8736	0.0009	1.6306	0.1013	1.8120	0.0014	0.5385	0.0758	1.1893	2.2003	2.2404	2.9352	2.9681	2.8870	2.7683	5.1283	0.9980	
	St.error	0.0017	0.0025	0.0002	0.0023	0.0016	0.0025	0.0002	0.0014	0.0007	0.0009	0.0014	0.0015	0.0019	0.0016	0.0015	0.0015			
Rm C	RS	K_j	0.1789	1.8418	0.0165	1.6800	0.1885	1.9128	0.0329	0.6303	0.1087	1.2864	2.3167	2.2932	2.8222	2.8253	2.7870	2.4332	6.3867	0.9967
	H=0	St.error	0.0023	0.0039	0.0012	0.0044	0.0020	0.0044	0.0019	0.0018	0.0012	0.0025	0.0042	0.0043	0.0053	0.0053	0.0048	0.0043		
	RS	K_j	0.1783	1.8345	0.0107	1.6622	0.1881	1.9031	0.0284	0.6228	0.1086	1.2601	2.3057	2.2813	2.8315	2.8163	2.7400	2.4228	5.8850	0.9975
	H=0.81	St.error	0.0014	0.0020	0.0007	0.0024	0.0013	0.0024	0.0011	0.0010	0.0008	0.0015	0.0025	0.0026	0.0031	0.0030	0.0028	0.0025		
	VB _a	K_j	0.1062	1.8196	0.0021	1.6064	0.1116	1.8709	0.0089	0.5778	0.0797	1.3025	2.3009	2.2591	2.8073	2.8041	2.7896	2.4259	7.8256	0.9951
	A=0	St.error	0.0065	0.0091	0.0016	0.0129	0.0060	0.0121	0.0026	0.0053	0.0032	0.0025	0.0060	0.0059	0.0059	0.0051	0.0057	0.0054		
	VB _a	K_j	0.0799	1.7175	0.0043	1.5269	0.1140	1.7618	0.0012	0.5407	0.0294	1.1253	2.1433	2.1199	2.7153	2.7366	2.7104	2.3669	9.0530	0.9932
	A=30	St.error	0.0079	0.0160	0.0021	0.0179	0.0095	0.0180	0.0008	0.0058	0.0039	0.0050	0.0087	0.0081	0.0092	0.0090	0.0108	0.0079		
	VB _a	K_j	0.0867	1.7334	0.0000	1.5148	0.1147	1.7767	0.0043	0.5543	0.0196	1.1223	2.1683	2.1337	2.7296	2.7281	2.7331	2.3748	8.4733	0.9938
	A=45	St.error	0.0060	0.0115	0.0000	0.0146	0.0063	0.0119	0.0019	0.0058	0.0027	0.0033	0.0066	0.0072	0.0085	0.0073	0.0087	0.0076		
	VB _a	K_j	0.1690	1.7848	0.0075	1.5966	0.1801	1.8308	0.0113	0.5647	0.0324	1.0671	2.1325	2.0849	2.7633	2.7659	2.7581	2.4240	6.6361	0.9966
	upA=35, lwA=0	St.error	0.0009	0.0012	0.0003	0.0015	0.0008	0.0014	0.0004	0.0006	0.0004	0.0006	0.0029	0.0011	0.0014	0.0013	0.0014	0.0012		
	DP+VB _a	K_j	0.1762	1.8390	0.0100	1.6557	0.1884	1.8985	0.0131	0.5941	0.0808	1.2471	2.2780	2.2546	2.8527	2.8455	2.7628	2.4307	5.4641	0.9978
	A=30	St.error	0.0011	0.0014	0.0005	0.0018	0.0010	0.0016	0.0006	0.0007	0.0006	0.0009	0.0016	0.0016	0.0020	0.0019	0.0019	0.0016		
	None	K_j	0.1658	1.7503	0.0127	1.5744	0.1758	1.8141	0.0166	0.5683	0.0579	1.1098	2.1244	2.1021	2.7138	2.7161	2.6916	2.3645	4.9429	0.9981
	St.error	0.0016	0.0017	0.0007	0.0024	0.0015	0.0020	0.0009	0.0010	0.0009	0.0011	0.0019	0.0020	0.0021	0.0020	0.0023	0.0018			

5. 결론

광센서 조광제어시스템과 쉐이딩 시스템의 통합에 있어 쉐이딩 시스템의 작동에 따른 실내 조도분포의 변화는 중요한 요소이다. 본 연구는 특성이 다른 쉐이딩 시스템에 따른 인공조명의 조도분포에 대한 영향을 비율로서 비교·분석하였다. 분석결과 롤러 쉐이드의 경우 다른 쉐이딩 시스템에 비해 높은 비율의 K_j 값을 나타내고, 베니션 블라인드의 슬랫각에 따라 그 비율이 변화하는 것을 확인하였다.

따라서, 쉐이딩 시스템과 광센서 조광제어시스템의 통합에 있어, 보다 정확한 알고리즘을 위해 쉐이딩 시스템의 종류 및 변화에 따른 인공조명 주광분포에 대한 정보가 반영되어야 할 것이다. 향후 쉐이딩 시스템과 천공 및 태양 위치에 따른 주광분포 변화를 분석하여 이를 통합시스템에 반영할 것이다.

감사의 글

본 연구는 미국 로렌스버클리국립연구소(Lawrence Berkeley National Laboratory)의 Windows Testbed

Facility에서 수행된 실험의 데이터를 이용한 것으로 LBNL의 R.D. Clear, E.S. Lee, S.E. Selkowitz, D.L. DiBartolomeo와 K. Konis에게 감사하며, 특히 통계적인 데이터 분석에 큰 도움을 준 R.D. Clear에게 감사드립니다(본 연구의 저자의 일부는 2단계 BK21 사업의 장학금 지원을 받았음).

참고 문헌

- [1] B. C. Park, et al., "Characteristics of Daylight Distributions in Different Shading Systems for Daylight Responsive Dimming System Performance", 7th International Conference on Sustainable Energy Technologies, Vol. 2, pp 1815~1822, 2008.
- [2] IEA IEA Energy Efficiency Policy Recommendations to the G8 2007 Summit, Heiligendamm, 2007
- [3] Francis Allard & Mirela Robitu, European Energy Performance of Buildings Directive at EPIC 2006 AIV Conference, Lyon, 20-22 November 2006. EPBD Buildings Platform. EU.
- [4] 김지연 외, "초고층건물의 조명에너지 절약을 위한 BIPV적용에 관한 연구", 한국태양에너지학회 춘계학술 발표회 논문집, p124-130, 2007. 4