

# 광센서 조광제어시스템에서의 광센서 모델링에 관한 기초적 연구 -RADIANCE 프로그램 활용-

(A Fundamental Study on the Photosensor Modeling for the Daylight Responsive Dimming System  
- Using RADIANCE Program)

홍성관\* · 박병철\*\* · 최안섭\*\*\* · 이정호\*\*\*\*

(\*세종대학교 건축공학과 석사과정 · \*\*세종대학교 건축공학과 박사과정  
\*\*\*세종대학교 건축공학과 교수 · \*\*\*\*삼성건설 기술연구소)  
(Seong-Kwan Hong · Byoung-Chul Park · An-Seop Choi · Jeong-Ho Lee)

## Abstract

The daylight responsive dimming system is an energy saving system that automatically controls lighting output of artificial lighting according to available daylight in inside, as well as keeps uniform workplace illuminance. The basic three components of the daylight responsive dimming system consist of a photosensor, a controller and a dimming ballast. This paper is a fundamental study of photosensor modeling for the daylight responsive dimming system. The correlation between photosensor illuminance on the ceiling and workplace illuminance is an important factor to accuracy of system performance, so that the purpose of this study is to improve accuracy for daylight responsive dimming system. This study performs to derive the optimized conditions of photosensor using the RADIANCE.

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

에너지 자원의 고갈이 심화됨에 따라 신재생 에너지에 대한 관심이 집중되고 있다. 신재생 에너지 중에서 발전 가능성이 가장 큰 분야는 태양광 에너지이며 이에 따라 태양광 에너지를 활용한 연구가 많이 이루어지고 있다. 우리나라의 전체 에너지 사용량 중 건축물에 사용되는 에너지 소비량은 약 23.5%이며 그 중 조명용 에너지 소비는 약 22%이다[1]. 따라서 건축물의 조명용 에너지 절약은 우리나라 전반에 걸쳐 많은 양의 에너지 절약 효과를 가져 올 것이다.

건축조명 분야에서는 에너지 절약형 시스템을 개발 중에 있으며 그 중 주광을 활용한 광센서 조광제어시스템에 대한 연구가 이루어지고 있다. 광센서 조광제어시스템은 실내로 유입되는 주광의 양에 따라 자동으로 인공조명의 밝기를 조절하여 작업면에 균일한 조도를 유지할 수 있는 에너지 절약 시스템이다. 광센서 조광제어시스템의 기본 세 가지 구성요소는 광량을 측정하는 광센서, 시스템의 초기 보정과 조광제어를 위한 제어기, 인공조명을 조광하기 위한 조광용 안정기이다[2]. 이 중 광센서에 관한 연구는 최적 방향성과 위치에 관한 연구

[3]와 광센서 형상 디자인에 관한 연구[4]가 있으나 광센서 모델링에 관한 연구는 미비한 실정이다.

### 1.2 연구의 목적

본 연구는 광센서 조광제어시스템에서 사용되는 광센서 모델링에 관한 기초적 연구이다. 천장의 광센서 조도 값과 작업면 조도 값의 관계는 광센서 조광제어시스템의 정확한 성능을 위한 중요한 요소이다[5]. 본 연구는 천장의 광센서 조도 값과 작업면의 조도 값의 비율을 일정하게 유지할 수 있는 광센서의 모델링을 목적으로 하며 이는 향후 광센서 조광제어시스템에 쓰일 광센서 모델링의 기초자료로 쓰일 것이다.

### 1.3 연구의 방법 및 절차

본 연구는 미국 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 개발한 조명시뮬레이션 소프트웨어인 RADIANCE를 이용한다. AutoCAD 2002를 이용하여 시뮬레이션 공간과 광센서 모델링을 하고 이를 RADIANCE에서 사용 가능한 '\*.rad' 파일로 변환하여 시뮬레이션을 한다. 시뮬레이션에서는 인공조명을 배제한 주광의 유입량을 대상으로 시뮬레이션하며 시뮬레이션 결과를 분석하여 가장 적합한 광센서 모델링을 찾는다.

## 2. 시뮬레이션 개요 및 결과

### 2.1 시뮬레이션 공간

본 연구에서 사용된 시뮬레이션 공간은 향후 Mock-up 실험과의 데이터 비교를 위하여 일반오피스의 1:2 scale로 모델링하였다. 공간의 크기는 1510(w) × 2870(l) × 1640(h) (창측) / 1570 (창 반대측) (mm)이며 작업면의 높이는 375mm로 설정하였다. 또한 창의 크기는 1290 × 1215 (mm)이며 실내 반사율은 천장과 벽 반사율  $\rho=0.84$ , 바닥 반사율  $\rho=0.26$ , 조도센서받침 반사율  $\rho=0.08$ , 걸레받이 반사율  $\rho=0.12$ 로 하였으며 조도센서는 작업면 높이의 H형 프레임 7곳에 위치하고 있다. 또한, 시뮬레이션 공간의 천장 중앙부 1곳(하향)에 광센서를 설치하고 반사율  $\rho=0$ 로 하여 불필요한 반사를 차단한 광센서 모델링을 하였다. 그림 1은 시뮬레이션 공간을 3D, 입면도, 평면도로 나타냈다.

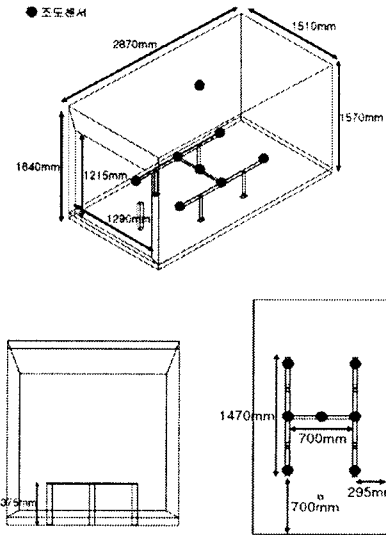


그림 1. 시뮬레이션 공간(3D, 입면, 평면)  
Fig. 1. A space for the simulation

### 2.2 광센서 모델링

광센서는 실내로 유입되는 광량을 측정하는데 주광의 양은 시시각각 변하기 때문에 모델링을 통하여 천장의 조도 값과 작업면의 조도 값을 일정한 비율로 유지시킬 수 있어야 한다. 천장의 광센서 모델링 없이는 광범위한 수광 범위로 인하여 불필요한 빛을 감지할 수 있다. 즉, 광센서 모델링을 통하여 광센서의 수광 범위를 제한함으로써 천공의 급격한 변화에도 천장과 작업면 조도 값의 비율을 일정하게 유지 할 수 있다.

본 연구에서는 광센서 모델링을 다음 그림 2와 같이 하였다. 기본적인 모델링 형태는 원기둥이며 속이 비어 있고 아래 방향이 뚫린 구조이다. 모델링 길이와 원기둥의 지름을 변경하여 수광 범위를 조절하였으며 모델링의 길이는 10mm와 50mm로 나누어 같은 수광 범위 일 때 모델링의 길이에 따른 빛 감지의 변화를 알아보았다. 원기둥의 지름은 실의 상황에 맞게 수광 범위를 정하여 나누었다. 광센서 모델링 중 Model 1은 시뮬레이션 공간의 가로 최대길이인 1510mm까지 수광이 가능하도록 하였으며, Model 2는 시뮬레이션 공간의 세로 최대길이인 2870mm까지 수광이 가능하도록 하였으며, Model 3은 공간의 중심에서 H프레임의 가장 먼 거리까지 수광이 가능하도록 하였다. 또한, 광센서의 방향은 창측을 향한 것(-30°)과 중앙부를 향한 것(0°), 그리고 창 반대측을 향한 것(+30°)으로 나누어 실험하였다. 그림 3은 광센서 모델링에 따라 제한된 광센서 수광 범위를 평면도로 나타낸 것이며 점선은 모델링을 창측으로 30° 회전시켰을 때의 수광 범위이다.

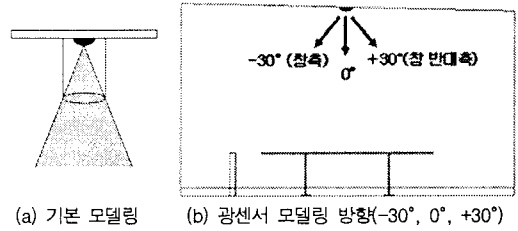


그림 2. 광센서 기본 모델링 및 방향  
Fig. 2. Modeling and direction of the photosensor

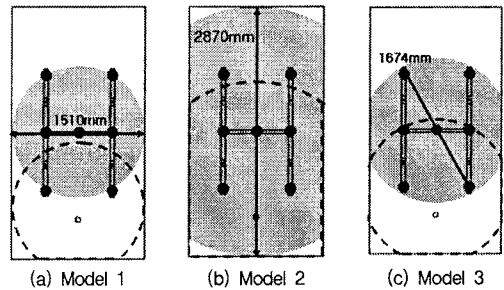


그림 3. 광센서 모델링별 수광 범위(평면도)  
Fig. 3. Three sensing areas of the photosensors

### 2.3 시뮬레이션과 광센서 모델링의 변수

시뮬레이션에서의 변수로는 건물의 방위각, 날짜, 시간, 천공상태가 있으며 광센서 모델링의 변수로는 수광 범위, 길이, 각도가 있다. 각 변수에 대한 정보는 다음 표 1과 같으며 시뮬레이션에 표 1의 다양한 변수들이 적용되었다.

표 1. 시뮬레이션과 광센서모델링 변수  
Table 1. Variables on the simulation

건물의 범위각		남향
날짜		춘분, 하지, 추분, 동지
시간		8시~19시 (주광유입이 있을때)
천공상태		청천공, 부분담천공, 담천공
센서 모델링	수광 범위	기본 : 모델링을 하지 않은 경우
		Model 1 : 공간의 가로길이(1510mm)
		Model 2 : 공간의 세로길이(2870mm)
		Model 3 : H프레임까지 가장 먼 거리
길이	10mm, 50mm	
각도	-30°(창측), 0°(하향), +30°(창 반대측)	

## 2.4 시뮬레이션 결과 및 분석

본 연구에서는 천장의 조도 값과 작업면의 조도 값의 관계성을 분석하기 위하여 상관성에 따른 결정계수( $R^2$ )를 사용하였다. 결정계수의 범위는 0에서 1까지이며 1에 가까울수록 상관성이 높다. RADIANCE 시뮬레이션 분석은 광센서 모델링의 방향에 따라 0°, -30°, +30°로 나누어 분류하였으며 본 연구에서는 천공별 광센서 모델링의 결정계수를 알아보고자 천공별로 분류하고 결정계수를 평균 내어 분석하였다. 다음 그림 4는 결정계수를 분석하기에 앞서 천장과 작업면의 조도 값의 관계를 알아보는 그래프로, 청천공 상태에서 광센서 모델링의 방향이 0°인 'Model 2(10mm)'의 예시이다.

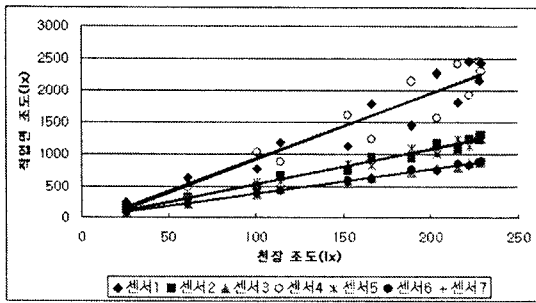


그림 4. 시뮬레이션 결과  
Fig. 4. Results of the simulation

### (1) 광센서 모델링의 방향 : 0° 인 경우

광센서 모델링의 방향이 0°로 공간의 중앙부를 하향 수광하고 있는 경우에는 'Model 2'의 상관성이 가장 좋은 것으로 나타났다. 특히, 청천공에서 'Model 2'가 다른 모델링들에 비하여 천장과 작업면간의 조도비가 일정한 것으로 나타났다. 'Model 1'의 경우도 전반적으로 청천공의 천공상태에서 높은 상관성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 표 2는 광센서 모델링의 방향이 0°일 때, 각 천공별 광센서 모델링의 결정계수를 나타낸 표이다.

표 2. 천공별 결정계수( $R^2$ ) 평균값 (0°일 때)  
Table 2. Coefficient of determination (0°)

모델링	기본	Model 1		Model 2		Model 3		
		10	50	10	50	10	50	
청천공	춘분	0.9596	0.9583	0.9580	0.9612	0.9611	0.9563	0.9485
	하지	0.9821	0.9785	0.9817	0.9827	0.9828	0.9797	0.9714
	추분	0.9617	0.9570	0.9616	0.9632	0.9637	0.9603	0.9575
	동지	0.9368	0.9470	0.9453	0.9385	0.9345	0.9461	0.9446
부분담천공	춘분	0.9672	0.9618	0.9412	0.9684	0.9675	0.9649	0.9616
	하지	0.9184	0.9395	0.9627	0.9397	0.9378	0.9382	0.9370
	추분	0.9657	0.9646	0.9889	0.9654	0.9677	0.9647	0.9483
	동지	0.9891	0.9908	0.9963	0.9890	0.9903	0.9897	0.9909
담천공	춘분	0.9993	0.9976	0.9963	0.9987	0.9985	0.9969	0.9943
	하지	0.999	0.9944	0.9957	0.9973	0.9989	0.9944	0.9988
	추분	0.9965	0.9983	0.9982	0.9986	0.9985	0.9910	0.9980
	동지	0.9994	0.9990	0.9981	0.9990	0.9990	0.9991	0.9965
평균		0.9729	0.9739	0.9744	0.9751	0.9750	0.9734	0.9706

### (2) 광센서 모델링의 방향 : -30° (창측)인 경우

광센서 모델링의 방향이 -30°로 창측을 바라보고 있는 경우는 주광의 유입이 다른 방향을 가리키고 있을 때 보다 많았으며 '기본' 광센서의 결정계수가 가장 높았다. 'Model 2'의 경우는 창측을 가리키고 있을 때 0°일 경우와 비슷하게 상대적으로 높은 결정계수를 나타냈다. 표 3은 광센서 모델링의 방향이 -30°일 때, 각 천공별 광센서 모델링의 결정계수를 나타낸 표이다.

표 3. 천공별 결정계수( $R^2$ ) 평균값 (-30°(창측)일 때)  
Table 3. Coefficient of determination (-30°)

모델링	기본	Model 1		Model 2		Model 3		
		10	50	10	50	10	50	
청천공	춘분	0.9596	0.9566	0.9576	0.9585	0.9601	0.9486	0.9409
	하지	0.9808	0.9802	0.9825	0.9819	0.9825	0.9403	0.9423
	추분	0.9627	0.9568	0.9627	0.9590	0.9634	0.9475	0.9510
	동지	0.9376	0.9482	0.9459	0.9388	0.9378	0.9413	0.9419
부분담천공	춘분	0.9654	0.9649	0.9631	0.9666	0.9645	0.9568	0.9581
	하지	0.8903	0.8035	0.7833	0.8642	0.8747	0.7873	0.8204
	추분	0.9655	0.9674	0.9661	0.9672	0.9348	0.9613	0.9611
	동지	0.9880	0.9883	0.9899	0.9880	0.9867	0.9888	0.9895
담천공	춘분	0.9992	0.9956	0.9970	0.9986	0.9987	0.9917	0.9933
	하지	0.9986	0.9971	0.9931	0.9987	0.9987	0.9906	0.9895
	추분	0.9991	0.9964	0.9945	0.9974	0.9990	0.9929	0.9868
	동지	0.9992	0.9970	0.9986	0.9990	0.9992	0.9981	0.9976
평균		0.9705	0.9627	0.9612	0.9682	0.9667	0.9537	0.9560

### (3) 광센서 모델링의 방향 : +30° (창 반대측)인 경우

광센서 모델링의 방향이 +30°로 창 반대측을 가리키고 있는 경우, 'Model 2'의 결정계수가 가장 높은 것으로 나타났다. 창측을 가리키고 있을 때와는 반대로 창

반대측을 가리키고 있을 때는 주광의 유입이 더 적어졌으며 결정계수는 'Model 3'을 제외하고 대부분 높은 편이었다. 표 4는 광센서 모델링의 방향이 +30° 일 때, 각 천공별 광센서 모델링의 결정계수를 나타낸 표이다.

표 4. 천공별 결정계수( $R^2$ ) 평균값 (+30°(창 반대측)일 때)  
Table 4. Coefficient of determination (+30°)

모델링		기본	Model 1		Model 2		Model 3	
길이(mm)		-	10	50	10	50	10	50
청천공	춘분	0.9590	0.9616	0.9590	0.9604	0.9619	0.9559	0.9561
	하지	0.9826	0.9803	0.9785	0.9841	0.9830	0.9479	0.9525
	추분	0.9623	0.9651	0.9634	0.9638	0.9644	0.9580	0.9603
	동지	0.9393	0.9397	0.9465	0.9472	0.9462	0.9388	0.9375
부분담천공	춘분	0.9655	0.9650	0.9625	0.9672	0.9648	0.9670	0.9564
	하지	0.9392	0.9308	0.9326	0.9322	0.9403	0.9193	0.9063
	추분	0.9664	0.9640	0.9634	0.9660	0.9674	0.9631	0.9628
	동지	0.9898	0.9904	0.9908	0.9907	0.9909	0.9863	0.9847
담천공	춘분	0.9992	0.9943	0.9949	0.9981	0.9948	0.9919	0.9876
	하지	0.9987	0.9976	0.9909	0.9961	0.9974	0.9922	0.9886
	추분	0.9990	0.9977	0.9838	0.9974	0.9977	0.9919	0.9942
	동지	0.9995	0.9979	0.9939	0.9987	0.9984	0.9928	0.9964
평균		0.9750	0.9737	0.9717	0.9752	0.9756	0.9671	0.9653

### 3. 결론

본 연구는 천장 조도 값과 작업면 조도 값의 일정한 비율 유지를 위하여 광센서 모델링을 하고 RADIANCE 프로그램을 사용하여 시뮬레이션 분석하였다. 천장과 작업면의 상관관계를 비교하기 위하여 결정계수( $R^2$ )를 사용하였으며 연구 결과는 다음과 같다.

- 각 천공의 결정계수를 분석하여 보면 담천공이 가장 높고 청천공이 가장 낮은 결과를 나타냈다. 이는 담천공에서는 직사일광의 영향을 받지 않기 때문이며 청천공에서는 주광이 계속 변화하기 때문이다.
- 광센서 모델링의 방향이 시뮬레이션 공간의 중앙부(0°)를 가리키고 있는 경우에는 'Model 2(10mm)', 'Model 2(50mm)', 'Model 1(50mm)', 'Model 1(10mm)'의 순으로 결정계수가 높은 것으로 나타났다. 모델링을 하지 않은 '기본' 광센서의 경우는 모델링을 한 다른 광센서에 비해 낮은 결정계수를 나타냈다.
- 광센서 모델링의 방향이 창측(-30°)을 가리키고 있는 경우에는 '기본' 광센서, 'Model 2(10mm)', 'Model 2(50mm)', 'Model 1(10mm)'의 순으로 결정계수가 높은 것으로 나타났으며 'Model 3'의 경우는 매우 낮은 것으로 나타났다.
- 광센서 모델링의 방향의 창 반대측(+30°)을 가리

키고 있는 경우의 결정계수는 'Model 2(50mm)', 'Model 2(10mm)', '기본' 광센서, 'Model 1(10mm)'순으로 나타났으며 'Model 3'은 이번에도 낮은 결정계수를 나타냈다.

- 위의 결과들을 종합하여 볼 때, 시뮬레이션 공간의 최대 세로길이(2870mm)를 수광범위로 하는 'Model 2'의 모델링이 가장 우수한 것으로 나타났다. 특히 'Model 2'는 청천공에서의 결정계수가 다른 모델링의 결정계수보다 높은 것으로 나타났다. 'Model 3'의 경우는 모든 경우에서 낮은 결정계수를 나타내어 가장 부적당한 모델링으로 나타났다.
- 모델링의 길이(10mm, 50mm)에 따른 차이는 결정계수의 차이가 크지 않아 큰 영향은 끼치지 않는 것으로 보인다.

광센서의 모델링 결과, 모델링을 하지 않은 '기본' 광센서와의 결정계수 차이는 크지 않은 것으로 나타났으나 실제 커튼월 구조의 오피스에서는 주광의 유입이 많고 주광의 변화가 심하기 때문에 더 많은 차이가 나타날 것이다. 또한, 담천공이나 부분 담천공에 비해 청천공에서의 결정계수 차이가 크기 때문에 광센서 모델링 시, 청천공에서의 결과를 더 고려해야 한다. 대부분의 오피스에는 차양 장치(롤스크린, 블라인드 등)가 설치되어 있기 때문에 광센서 조광제어시스템과 더불어 차양 장치의 높이 조절과의 공동적인 연구가 필요하며, 보다 많은 변수(공간의 크기, 센서모델링 모양 등)들을 고려한 시뮬레이션 연구가 이루어져야 한다. 향후 연구에서는 천장의 조도 값과 각 센서 위치별 조도 값의 결정계수 값을 분석할 것이며 모델링 길이와 크기의 수를 늘려 실험할 것이다. 본 연구의 결과는 향후 광센서 조광제어시스템에서 광센서 모델링의 기초적 연구로 쓰일 것이다.

### 감사의 글

본 연구는 삼성건설의 연구비 지원에 의한 연구 결과의 일부이며, 저자의 일부는 『2단계 BK21』의 장학금 지원을 받았음.

### 참 고 문 헌

- (1) 김지연 외, 초고층 건물의 조명에너지 절약을 위한 BIPV적용에 관한 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술대회 논문집, 2007. 4
- (2) 최인섭 외, 광센서 조광제어시스템의 성능향상을 위한 조광용 전자식 안정기 성능평가 연구, 대한건축학회 논문집, 제19권 8호, 2003. 8
- (3) 최인섭 외, 광센서 조광제어시스템의 광센서 최적 방향성과 위치에 관한 평가연구, 대한건축학회 논문집, 제19권 10호, 2003. 10
- (4) 주근탁 외, 광센서 조광제어시스템의 재실변화를 고려한 광센서 형상 디자인, 조명·전기설비학회논문지, 제19권 제5호, 2005. 7
- (5) 최인섭 외, 조명시스템의 자동화를 위한 주광센서 연동제어 시스템의 개발연구, 삼성물산(주), 기술연구소, 1998.12