

# 광센서 조광제어시스템의 성능평가를 위한 소프트웨어 개발

(Development of software for the system performance of daylight responsive dimming systems)

황민구\* · 최안섭\*\*

(\*세종대학교 건축공학과 석사과정 · \*\*세종대학교 건축공학과 교수)  
(Min-Gu Hwang · An-Seop Choi)

## Abstract

Recently, a drain of energy resources is issued seriously. The daylight responsive dimming systems can reduce electric energy uses. But, we cannot predict amounts of energy-saving and accuracy of system performance. Therefore, the purpose of this study is a development of software for the system performance of daylight responsive dimming systems. The principle of this software based on luminous flux transfer method and finite elements method. The control algorithm of this software and daylight responsive dimming systems use the same algorithm. In addition the advantages of this software are use to same algorithm of daylight responsive dimming systems, electric power-luminous flux data and rates of frequency of sky conditions. Therefore, this software can predict more correct calculation about illuminance and amounts of energy-saving of daylight responsive dimming systems.

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 목적

최근 에너지 고갈 문제가 점점 심각하게 대두되어 짐에 따라 사회 전 분야에 걸쳐 에너지 절약에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 조명분야에서도 이에 맞추어 에너지 절약형 제품이 많이 개발되고 있다. 그 중에서도 주광을 이용하여 인공조명의 광량을 조절하는 조광제어시스템의 개발이 활발하게 이루어져 왔고, 많은 발전을 해 왔다. 그러나 조광제어시스템이 투자비 환원에 대한 불확신과 초기 투자비 증가, 시스템을 위한 정확한 데이터의 부족 등의 문제점 때문에 잘 적용되지 않고 있다[1].

광센서를 이용한 조광제어시스템이 개발됨에 따라 재실자에 대한 시각적 불편감 및 기존의 구역별 점소등방식의 시스템을 벗어나서 비약적인 발전을 하게 되었다. 그러나 기존의 구역별 점소등 방식보다 초기 투자비가 많이 들고 투자비 환원에 대한 불확신의 단점 때문에 광센서 조광제어시스템에 대한 연구는 많이 이루어져 왔으나 적용이 잘 되지 못해 왔다[1]. 따라서 이 시스템 성능의 정확성에 대한 데이터와 경제성에 대한 신뢰성 있는 데이터를 구축할 필요가 있게 되었다.

### 1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 먼저 광센서 조광제어시스템에 대한 선행연구를 토대로 광센서 조광제어시스템의 기본 작동 원리에 대한 이론적 고찰을 수행하고자 한다[2]. 또, 유효요소법에 의한 광속전달법을 이용하는 시뮬레이션 소프트웨어인 LSLcalc 1.0의 제어 알고리즘에 대한 이론 연구를 하고, 인공광원에 의한 조도와 주광에 의한 조도를 합하여 조도값을 계산하고, 계산된 조도값과 가상의 광센서와의 상관성, 조명기구의 광속-소비전력 관계식 및 천공상태 발생 비율을 적용하여 에너지 절약값을 구하는 소프트웨어의 구성 및 작동원리에 대한 연구를 하고자 한다[2].

## 2. 이론적 배경

### 2.1 조광레벨 결정방법

광센서 조광제어시스템의 제어기울기( $M_{CL}$ ) 및 조광레벨( $\delta_{CL}$ ) 관계식은 다음과 같다[3].

$$M_{CL} = \frac{E_D(t_c)}{E_D(t_c) \times S_{EM} - E_{EM} \times S_D(t_c)} \quad (1)$$

$$\delta_{CL} = \frac{1 + M_{CL} \times (S_T(t) - S_{EM})}{1 - M_{CL} \times S_{EM}} \quad (2)$$

$M_{CL}$  = 제어기울기  
 $\delta_{CL}$  = 조광레벨  
 $E_D(t_c)$  = 보정 시 조도값

$S_{EM}$  = 야간에 조명기구 100% ON시 센서시그널값  
 $E_{EM}$  = 야간에 조명기구 100% ON시 작업면의 조도값  
 $S_D(tc)$  = 보정 시 센서시그널값  
 $S_T(t)$  = 현재 센서시그널값

식 (1)에서는 광센서 조광제어시스템의 제어기율기( $M_{CL}$ )를 결정할 하게 된다. 식 (1)을 통하여 결정된 제어기율기( $M_{CL}$ )를 식 (2)에 대입하여 조광레벨( $\delta_{CL}$ )을 결정하게 된다. 식 (1)과 식 (2)는 야간에 주광이 없고 조명기구를 100% 점등했을 경우를 우리가 원하는 목표조도값으로 설정한다는 가정 하에 이루어진 식이다.

그러나 모든 공간은 재실자들이 행하는 작업의 특성에 맞는 적정조도가 필요하다. 적정조도를 그실에 설치된 조명기구의 100% 광량으로 설정하는 것은 재실자에게 시각적 불편감을 줄 뿐만 아니라 시스템의 사용 효율에서도 문제가 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 시스템에 적용하기 위하여 목표 조도에 대하여 보정을 실시하게 되는데, 보정단계에 필요한 관계식은 다음과 같다.

$$S_{EM}(tg) = S_{EM} \times \frac{E_{EM}(tg)}{E_{EM}} \quad (3)$$

$$M_{CL}(c) = \frac{E_D(tc)}{E_D(tc) \times S_{EM}(tg) - E_{EM}(tg) \times S_D(tc)} \quad (4)$$

$$\delta_{CL}(c) = \frac{1 + M_{CL} \times (S_T(t) - S_{EM}(tg))}{1 - M_{CL} \times S_{EM}(tg)} \quad (5)$$

$M_{CL}(c)$  = 보정 후 제어기율기  
 $\delta_{CL}(c)$  = 보정 후 조광레벨  
 $E_D(tc)$  = 보정 시 조도값  
 $S_{EM}$  = 야간에 조명기구 100% ON시 센서시그널값  
 $E_{EM}$  = 야간에 조명기구 100% ON시 작업면의 조도값  
 $S_D(tc)$  = 보정 시 센서시그널값  
 $S_T(t)$  = 현재 센서시그널값  
 $S_{EM}(tg)$  = 보정 후 목표조도값에 상응하는 센서시그널값  
 $E_{EM}(tg)$  = 목표조도값

식 (3)을 통하여 기존의 광센서 조광제어시스템에서 야간에 조명기구를 100% 점등하였을 경우의 작업면조도( $E_{EM}$ )와 각 공간별 적정 목표 조도값( $E_{EM}(tg)$ )과의 상관성에 따른 보정을 실시하였다. 식 (3)을 통한 보정 후 목표조도 값에 상응하는 센서시그널값( $S_{EM}(tg)$ )을 구하게 된다. 이렇게 하여 구해진 값을 가지고 위의 식 (4)에 대입하여 각 공간별 적정조도값으로 보정한 제어기율기( $M_{CL}(c)$ )를 구하고 보정한 제어기율기( $M_{CL}(c)$ )를 식 (5)에 대입하여 조광레벨( $\delta_{CL}(c)$ )을 구하게 된다.

## 2.2 조광레벨-전력량 관계식

그림 1은 소비전력량과 광속의 관계를 이상적으로 나

타낸 그래프이다[4]. 그림 2는 소비전력-광속의 관계를 실제로 측정한 그래프이다[4]. 기존에 조광제어시스템의 에너지 절약값을 계산 할 경우 기존의 그림 1과 같은 이상적인 관계식을 적용 추산하여 왔다. 그러나 그림 2에서 소비전력-광속의 관계가 그림 1의 경우처럼 이상적으로 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서 광센서 조광제어시스템의 에너지 절약값을 보다 정확히 계산하기 위해서는 아래의 그림 2와 같은 조명기구의 소비전력-광속의 관계를 미리 측정한 데이터를 적용하여 계산하여야 한다.

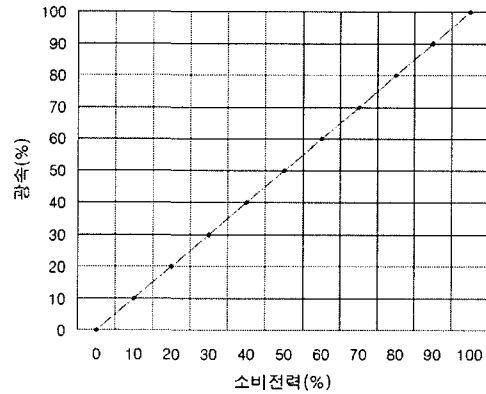


그림 1. 소비전력-광속의 이상적 관계  
 Fig. 1. An ideal relation of power-luminous flux

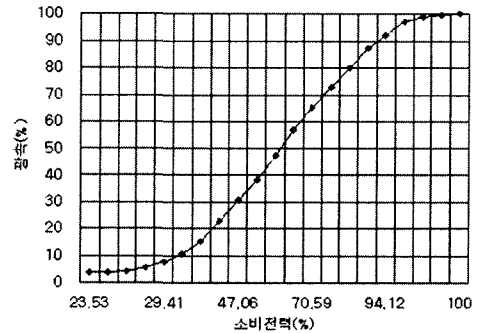


그림 2. 실제 소비전력-광속 관계  
 Fig. 2. A real relation of electric power-luminous flux

## 2.3 천공 발생빈도 계산법

표 1은 기상청에서 제공되는 1971년부터 2000년까지의 30년간의 기상데이터를 일별로 평균한 데이터 중에서 서울지역의 구름의 양을 나타낸 것이다[5]. 표 2는 표 1의 데이터를 가지고 천공에 구름이 전혀 없는 상태를 0으로 하고 구름이 완전히 덮힌 상태를 10으로 규정하여 천공을 다음과 같이 구분하는 sky cover 범칙에 적용하였다[6].

- 청천공 : 1.0 ~ 3.0

- 부분 답천공 : 4.0 ~ 7.0
- 답천공 : 8.0 ~ 10

구름의 양에 따라 청천공, 부분답천공, 답천공의 세가지 천공상태로 구분을 하여 각 월별로 발생 빈도를 계산한 것이다. 이 데이터를 가지고 광센서 조광제어시스템의 에너지 절약요소인 주광의 광량변화를 월별로 알 수 있고, 지역의 기후를 소프트웨어에 반영하여 적용 가능하다.

표 1. 서울지역 평균 운량  
Table 1. Avg. amount of clouds in seoul

서울	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1일	5	3	4	4	6	6	8	6	7	4	4	4
2일	5	3	4	4	5	6	8	7	8	5	3	4
3일	4	4	4	5	6	6	8	7	7	5	4	4
4일	3	4	4	4	5	6	8	7	6	5	5	5
5일	4	4	4	5	4	5	6	7	6	5	5	4
6일	4	4	5	5	5	5	7	7	6	4	4	4
7일	5	4	5	5	5	6	7	7	6	5	4	5
8일	5	4	4	5	5	6	7	7	6	3	4	5
9일	4	4	6	5	5	6	7	7	6	3	5	4
10일	3	4	4	5	5	6	8	6	6	4	5	5
11일	4	4	5	5	5	6	8	5	5	4	5	4
12일	4	4	4	5	5	6	8	6	5	4	5	4
13일	4	4	4	4	6	5	8	5	5	4	5	5
14일	4	4	5	5	5	8	6	6	4	5	5	5
15일	4	5	5	5	5	6	9	7	5	4	4	3
16일	4	4	6	6	6	6	8	7	5	5	5	4
17일	4	5	4	5	4	7	7	6	5	4	5	4
18일	3	5	5	5	6	6	7	6	5	3	4	4
19일	4	4	4	4	6	7	8	7	5	3	5	4
20일	4	4	5	4	5	7	7	7	5	4	4	4
21일	4	4	5	5	5	6	8	6	4	4	4	4
22일	5	5	5	5	4	7	7	6	4	3	4	5
23일	4	4	5	4	5	6	7	7	5	4	4	4
24일	4	4	5	4	6	7	7	7	6	5	4	4
25일	4	5	5	5	6	7	7	7	4	4	4	4
26일	3	4	4	5	6	7	7	7	4	3	4	4
27일	3	4	5	5	5	7	8	7	5	3	4	4
28일	3	5	5	6	6	7	7	6	5	5	4	3
29일	4		6	6	5	6	7	7	5	4	3	3
30일	4		6	6	5	8	7	7	4	4	4	5
31일	4		5		6		6	7		4		4

표 2. 천공상태 발생 비율  
Table 2. Rates of frequency of sky condition

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
청천공	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
부분답천공	28	27	31	30	31	26	8	28	29	31	30	31
답천공	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0

### 3. 소프트웨어 구성 및 작동원리

본 연구에 사용된 소프트웨어 LSLcalc 1.0은 광센서 조광제어시스템의 실제 작동원리를 바탕으로 만들어진 소프트웨어이다. LSLcalc 1.0은 크게 조도계산 부분과 에너지절약값계산 부분으로 나누어진다. 조도계산은 유한요소법에 의한 광속전달법을 사용하여 조도계산을 수행하고, 에너지 절약값을 구할 경우 광센서 조광제어시스템의 작동원리를 그대로 적용하여 시뮬레이션을 하여 계산을 수행하게 된다. 먼저 조도계산 부분과 에너지절약값계산 부분을 선택한 후 시뮬레이션의 기본적인 사항을 입력하게 되는데 그림 3은 그 입력화면을 나타낸

것이다. 시뮬레이션 할 공간, 조도계산 포인트, 조명기구 배치, 창문 위치와 크기 및 특성, 시뮬레이션 공간의 위경도, 시뮬레이션 일시, 천공상태, 광센서의 위치 등을 입력한다.

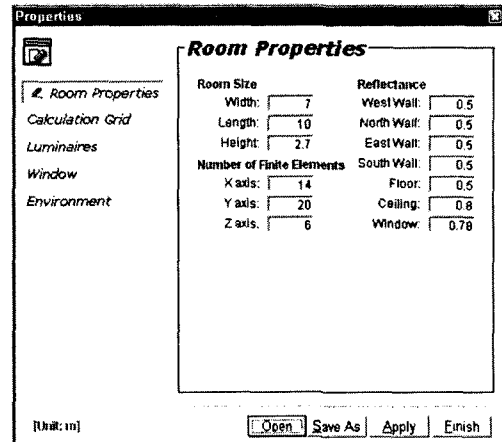


그림 3. 특성 입력 화면  
Fig. 3. An input scene of properties

광센서 조광제어시스템의 기본인 광센서의 각도별 측광량 데이터를 소프트웨어에 적용하여 소프트웨어 상에 실제 광센서의 각도별 측광량 데이터를 적용하여 측광을 하도록 되어있다. 그림 4는 두 번째 단계로써 조명기구의 IES파일과 광센서의 각도별 측광 데이터인 SENSOR 파일을 입력하여 시뮬레이션 시 적용하는 화면이다.

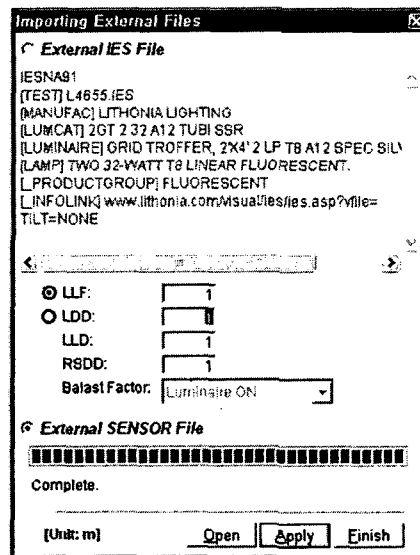


그림 4. IES & 센서 데이터 입력화면  
Fig. 4. An input scene of IES & sensor data

광센서 측광데이터를 통해서, 실제 시스템 실행을 시뮬레이션 하고자 하는 것이다. 즉 이전에는 목표조도와 단순 시뮬레이션 조도값의 차이를 바탕으로 에너지 절감량을 예측하였으나, 실제 광센서를 시뮬레이션 함으로써 광센서에 의한 실제 시뮬레이션 조도값을 계산한다. 이를 통해 실제 에너지 절감량을 계산할 수 있다.

그림 5에서는 시뮬레이션을 수행하는 공간이 필요로 하는 적정조도값인 목표조도값, 공간의 작업면 높이, 시뮬레이션 수행시간, 제어하는 인공조명기구 개수, 소비전력-조광레벨 관계식, 천공상태 발생비율에 대한 데이터를 입력한다. 실제 광센서 조광제어시스템에 사용되는 등기구의 소비전력-조광레벨 관계적인 POWER 파일을 입력하여 광센서 조광제어시스템이 작동하였을 경우 제어되는 조명기구의 실제 소모 전력량을 계산한다. 이는 실제 전력량-조광레벨의 관계식을 적용하여 이상적인 소비전력-조광레벨 관계식이 아닌 더 사실적인 광센서 조광제어시스템의 소비전력량을 계산한다. 또 천공상태 발생 빈도수 데이터인 SKY 파일을 입력하여 지역의 기후를 반영한 광센서 조광제어시스템의 에너지 절감값을 계산하도록 한다.

그림 5. IES & 센서 데이터 입력화면  
Fig. 5. An input scene of IES & sensor data

위의 단계를 모두 거친 후 계산을 하면 각 시간별, 포인트별 조도값 및 각 월별, 1년간 에너지 소비량 및 시스템을 적용하였을 경우가 적용하지 않았을 경우 보다 절약할 수 있는 에너지양을 구할 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구를 통하여 광센서 조광제어시스템의 정확성 및 에너지 절약값에 대한 성능평가를 위한 소프트웨어 프로그램인 LSLcalc 1.0을 개발하였다. LSLcalc 1.0은 광센서 조광제어시스템의 작동원리를 적용하여 개발한 프로그램이기 때문에 기존의 광센서 조광제어시스템의 에너지 절약값을 계산하는 방식보다 더 시스템에 가깝고 현실적인 소프트웨어이다. 그러나 아직 LSLcalc 1.0은 초기 버전으로서 앞으로 여러 가지 변수를 가지고 충분한 시험 및 광센서 조광제어시스템과의 결과값 비교를 하여야 한다. 또한 이론적인 계산의 한계밖에 있는 현실적인 변수들이 광센서 조광제어시스템에는 존재한다. 그런 변수들로 인한 소프트웨어와 광센서 조광제어시스템과의 오차를 줄이기 위한 실제 시스템과의 결과 데이터 비교연구가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 에너지관리공단 2003년 에너지자원 기술개발사업 연구비에 의하여 연구되었음. (과제 번호 2003-E-EL01-P-03)

#### 참고 문헌

- (1) Richard Mistrik, Ching-Hua Chen, Andrew Bierman, and Don Felts, A Comparison of Photosensor-Controlled Electronic Dimming Systems in a small office, JOURNAL of Illuminating Engineering Society, pp.66-80, winter 2000
- (2) 최안섭, A system modeling approach to the analysis of daylight dimming systems. The Pennsylvania State University 박사학위논문, 1997
- (3) 최안섭 외, 조명시스템의 자동화를 위한 주광센서 연동제어시스템의 개발연구, 삼성물산(주) 기술연구소, 1998. 12
- (4) 정봉근, 광센서 조광제어시스템의 조광용 안정기와 광센서의 성능향상을 위한 실험적 연구, 세종대학교 석사학위논문, 2002. 12
- (5) 기상청, [http://www.kma.go.kr/kor/weather/climate/climate\\_06\\_01.jsp](http://www.kma.go.kr/kor/weather/climate/climate_06_01.jsp)
- (6) 정근영, 광센서 조광제어시스템의 광센서 방향성과 위치에 관한 시뮬레이션 연구, 세종대학교 석사학위논문, 2002. 12