

광센서 조광제어시스템과 자동롤러쉐이딩 시스템을 위한 제어 소프트웨어 개발

(Development of Control Software for Daylight Responsive Dimming Systems and Automated Roller Shading Systems)

홍성관* · 김유신** · 박병철** · 최안섭***

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

(Seong-Kwan Hong · Yu-Sin Kim · Byoung-Chul Park · An-Seop Choi)

Abstract

The purpose of this study is to develop a control software for daylight responsive dimming systems and automated roller shading systems. Developed software in this study is to used determinate sky conditions, calculation of solar profile angle, control height of roller shade, calculation of dimming level(%) for daylight responsive dimming systems.

1. 서론

동롤러쉐이딩 시스템을 사용해야 한다.

1.1 연구의 배경

에너지 자원의 고갈이 점차 심화되고, 유가의 급등으로 세계 각국에서는 고효율 에너지 정책을 실시하고 있다. 건축조명 분야에서는 이러한 추세에 맞게 조명 에너지를 절약하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 미국 에너지성(DOE)와 재생에너지협회(BT)에서는 2025까지 통합제어기술을 이용하여 Zero Energy Building 건립을 추진되고 있는 등 에너지 관련 연구는 세계 각국에서 이루어지고 있다[1].

주광은 우수한 시환경 확보 뿐 아니라 생체·심리학적으로도 많은 장점이 있다. 이러한 주광을 효율적으로 이용할 수 있는 조명시스템으로 광센서 조광제어시스템이 있는데 광센서 조광제어시스템은 실내로 유입되는 주광의 양에 따라 자동으로 인공조명의 밝기를 조절하여 작업면에 균일한 조도를 유지할 수 있는 에너지 절약 시스템이다[2]. 광센서 조광제어시스템은 인공조명의 밝기를 조절하는 시스템으로 주광의 유입량을 조절할 수는 없다. 이러한 단점을 보완하고자 쓰이는 시스템이 자동롤러쉐이딩 시스템이다. 자동롤러쉐이딩 시스템은 기존의 수동형 롤러쉐이드와는 달리 태양의 변화에 맞게 주광의 유입량을 조절할 수 있는 시스템이다. 기존의 수동형 롤러쉐이드는 재실자가 직접 조절하는 방식으로 편의상의 문제로 인하여 처음 조절해 놓은 상태 그대로 두는 경우가 많다. 따라서 롤러쉐이드는 사용자가 수시로 가동하는 수동형 롤러쉐이드가 아닌 자

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구는 광센서 조광제어시스템과 자동롤러쉐이딩 시스템의 선행연구를 기반으로 하여 시스템의 실행에 필요한 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어는 천공상태를 결정하는 소프트웨어, 태양의 일영각을 계산하는 소프트웨어, 롤러쉐이드의 높이를 제어하는 소프트웨어와 광센서 조광제어시스템의 조광을 산정 소프트웨어이다. 본 연구에서는 Visual C++ Ver.6.0 을 이용하여 소프트웨어를 작성하였다.

2. 이론적 배경

2.1 천공 결정방법

천공을 결정하는 방법으로는 일사량, 운량을 이용하는 방법이 있는데 국내의 경우 일사량을 측정하는 곳은 22곳이고 운량과 일조시간 데이터를 측정하는 곳은 각 42, 79곳이다[3]. 기상청에서 발표하는 운량 데이터는 전문가의 목측(目測)에 의해 결정되기 때문에 천공이 명백하게 구분되는 경우를 제외하고 측정하는 지역에 따라 오차가 있다. 따라서 전문가의 목측이 아닌 객관적인 데이터로서 천공을 구분하여야 한다. 일사량 측정값을 이용하는 HCI(Hour Clearness Index)는 해당 지역의 일사량을 직접 측정하기 때문에 운량 데이터로

구분하는 방법에 비해 정확하다. HCI는 Erbs et al. (1982, four U.S. and one Australian station)와 Orgill and Hollands (1977, Canadian stations), 그리고 Reindl et al. (1990, the United States and Europe)에 의해 연구되었으며 본 연구에서는 Erbs et al. 와 Orgill and Hollands의 방법을 사용하였다[4]. 두 천공 구분방법은 다음 식(1)을 사용하여 계산되었지만, K_T 값의 범위에서 차이가 있다(표 1).

$$K_T = \frac{I_T}{I_{Oh}} \quad (1)$$

K_T = HCI(Hour Clearness Index)

I_T = 실제 일사량 측정값

$$I_{Oh} = \text{대기권 밖 수평 일사량}(w/m^2), \\ = I_{SC}[1 + 0.33\cos(\frac{360J}{365}\cos Z)]$$

$$\cos Z = \cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta$$

I_{SC} = 태양상수, $I_{SC}=1350(w/m^2)$

J = Julian date ($1 \leq J \leq 365$)

ϕ = 위도

δ = 적위, $\delta=23.45\sin(360(284+J)/365)$

ω = Hour angle

표 1. 천공의 구분

Table 1. Classification of sky condition

구분	Erbs et al.	Orgill and Hollands
청천공	$K_T > 0.8$	$K_T > 0.75$
부분담천공	$0.22 < K_T \leq 0.8$	$0.35 < K_T \leq 0.75$
담천공	$K_T \leq 0.22$	$K_T \leq 0.35$

2.2 태양 일영각 계산방법

일영각은 건물의 입면에 수직인 면에서의 태양 고도를 말한다. 일영각은 직사일광이 건물 내부에 미치는 영향을 알아보기 위한 척도로 쓰이며 식 (2)를 이용하여 계산된다. 그림 1은 일영각의 개념도를 나타낸다[5].

$$\alpha_p = \arctan\left[\frac{\sin\alpha_i}{\cos\alpha_i}\right] \quad (2)$$

ET = 균시차,

$$= 0.170\sin\left[\frac{4\pi}{373}(J-80)\right] - 0.129\sin\left[\frac{2\pi}{355}(J-8)\right]$$

$$t = \text{태양시}, t = t_s + ET + \frac{12(L-SM)}{\pi}$$

L = 경도

SM = 기준경도

$$\delta = \text{태양적위}, \delta = 0.4093\sin\left[\frac{2\pi}{368}(J-81)\right]$$

α_i = 태양고도,

$$\alpha_i = \arcsin[\sin l \sin\delta - \cos l \cos\delta \cos(\pi/12)]$$

l = 위도

α_s = 태양방위각,

$$= \arctan\left[\frac{\cos\delta \sin(\pi/12)}{\cos l \sin\delta + \sin l \cos\delta \cos(\pi/12)}\right]$$

α_z = 태양입면방위각, $\alpha_z = \alpha_s - \alpha_e$

α_e = 건물입면방위각

α_i = 입사각, $\alpha_i = \arccos(\cos\alpha_s \cos\alpha_z)$

α_p = 일영각

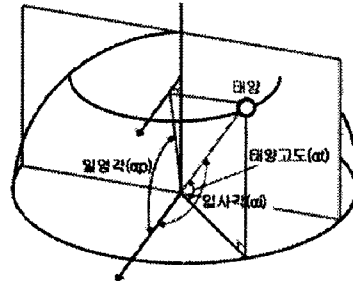


그림 1. 일영각의 개념도

Fig. 1. Diagram of profile angle

2.3 롤러셰이드 높이 제어방법

롤러셰이드의 높이 제어는 일영각을 활용하여 계산된다[6]. 직사일광이 지나치게 유입되는 경우, 롤러셰이드의 높이 제어를 통해 유입되는 깊이를 제한할 수 있다. 또, 사용하는 공간의 가구배치나 동선 등을 고려하여 직사일광의 유입깊이를 설정할 수 있다. 천공이 담천공인 경우에는 직사일광의 유입이 없어서 눈부심을 유발하지 않기 때문에 롤러셰이드를 모두 열어 주광을 최대한 유입한다. 청천공이나 부분담천공의 경우에는 이와 반대로 롤러셰이드 높이를 제어하고 불필요한 직사일광의 유입을 차단한다. 롤러셰이드의 높이를 제어하는 소프트웨어는 다음 식(3)을 사용하며 그림 2는 롤러셰이드 높이제어에 대한 개념도이다.

$$h = d \times \tan\alpha_p - h_w \quad (3)$$

h = 셰이딩높이

d = 태양의 유입깊이

α_p = 일영각

h_w = 창틀높이

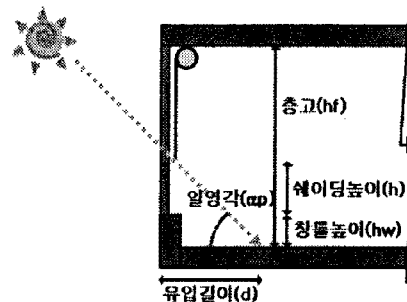


그림 2. 롤러셰이드 높이제어에 관한 개념도

Fig. 2. Diagram of control height of roller shade

2.4 조광을 산정방법

실내로 들어오는 주광의 분포는 시시각각 변화할 뿐 아니라 실내의 인공조명의 분포와는 다르게 나타난다. 따라서 조명 제어방법 중 이러한 변화에 잘 대응하는 크로즈드루프 비례 컨트롤 방법을 사용하였다. 그래프의 제어기율기(M_{CL})와 조광레벨(δ_{CL})은 다음 식(4), (5)와 같다[7].

$$M_{CL} = - \frac{E_D}{(E_{EM} - E_D)S_{EM} + E_{EM}(S_D - S_{EM})} \quad (4)$$

$$\delta_{CL} = M_{CL}(S_T - S_{EM}) + 1 \quad (5)$$

M_{CL} = 제어기율기

S_D = 보정 시 주광에 의한 광센서 신호값

E_D = 보정 시 주광에 의한 작업면 조도값(lx)

S_{EM} = 야간에 조명기구 100% 점등 시 광센서 신호값

E_{EM} = 야간에 조명기구 100% 점등 시 작업면 조도값(lx)

S_T = 현재 광센서 신호값

δ_{CL} = 조광레벨

식 (4)와 (5)는 주간과 야간의 광센서 신호값과 작업면에서의 조도값을 측정하여 입력하는데 롤러셰이드를 사용할 때, 천공의 상태가 변화할 때, 시간에 따른 태양의 변화에 따라 제어기율기도 변화한다. 따라서 기존의 제어기율기에 보정값을 곱하여 새로운 제어기율기로 조광레벨을 결정한다.

$$M_{CL(C_S)} = - \frac{E_D}{(E_{EM} - E_D)S_{EM} + E_{EM}(S_D - S_{EM})} \times C_S \quad (6)$$

$$\delta_{CL(C_S)} = M_{CL(C_S)}(S_T - S_{EM}) + 1 \quad (7)$$

$M_{CL(C_S)}$ = 보정된 제어기율기

$\delta_{CL(C_S)}$ = 보정된 조광레벨

C_S = 제어기율기 보정값

3. 소프트웨어 구성 및 작동원리

3.1 천공상태 결정 S/W

천공상태 결정 소프트웨어의 입력값은 위도, 시간, 날짜 등이 있으며 해당 지역의 실제 일사량 데이터를 사용한다. 천공상태 결정 소프트웨어는 표나 그래프로 천공상태의 확인이 가능하며 그림 3은 천공상태 결정 소프트웨어의 기본 작동화면이다.

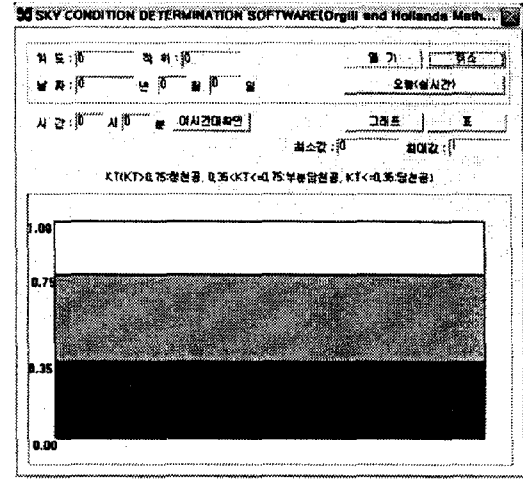


그림 4. 천공상태 결정 S/W 작동화면

Fig. 3. Software on the determination of sky condition

3.2 태양 일영각 계산 S/W

태양 일영각 계산 소프트웨어는 해당 건물의 경도, 위도, 기준경도, 날짜, 시간 등을 입력한다. 입면 방위각은 건물 입면의 법선이 정남에서부터 떨어진 각도를 의미하는데 건물의 향에 따라 변환함으로써 건물이 태양과 접하는 모든 면의 해당 출력값을 산출할 수 있다. 태양 일영각 계산 소프트웨어는 해당일의 태양의 방위각, 고도, 일영각을 출력해주며 일별 데이터, 월별 데이터도 추가적으로 확인할 수 있다. 그림 4는 태양 일영각 계산 소프트웨어의 기본 작동화면이다.

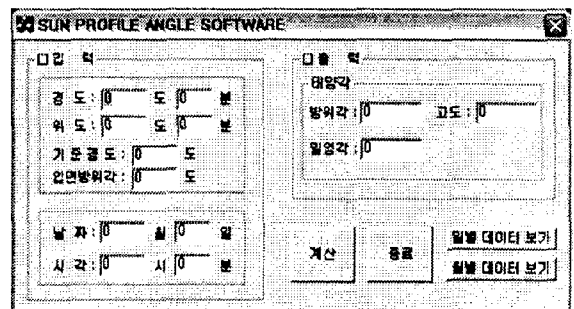


그림 4. 태양 일영각 계산 S/W 작동화면

Fig. 4. Software on the calculation of sun profile angle

3.3 롤러셰이드 높이 제어 S/W

롤러셰이드 높이 제어 소프트웨어는 해당 건물의 지형적 특성(경도, 위도, 기준경도, 입면방위각)과 날짜, 시간, 그리고 태양의 유입깊이, 층고, 창틀높이 등을 입력한다. 롤러셰이드의 높이 단계를 사용자가 선택할 수 있는데 단계별 높이를 직접 입력하여 사용환경에 적합하게 설정할 수 있다. 소프트웨어를 실행하면 롤러셰이드의 높이와 단계가 출력되며 그림 5는 롤러셰이드 높이 제어 소프트웨어의 기본 작동화면이다.

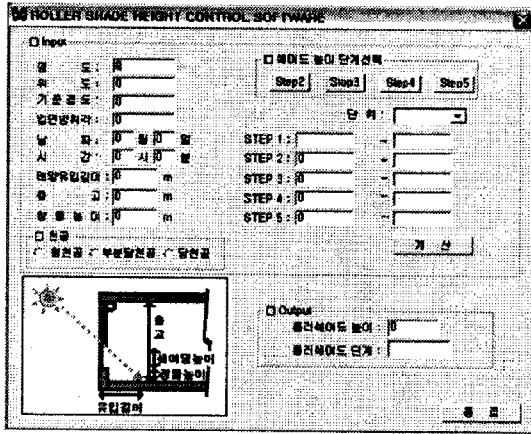


그림 5. 롤러셰이드 높이제어 S/W 작동화면
Fig. 5. Software on the control height of roller shade

3.4 광센서 조광제어시스템의 조광을 산정 S/W

광센서 조광제어시스템의 조광을 산정 소프트웨어는 광센서 신호에 의한 조광레벨 값을 나타내는 그래프로 구성되어 있다. 주간의 주광에 의한 광센서 신호값과 작업면 조도값, 그리고 야간의 조명기구 100% 점등 시 광센서 신호값과 작업면 조도값, 그리고 현재의 광센서 신호값을 입력한다. 제어기울기의 보정을 위해 롤러셰이드, 천공, 시간을 선택하고 새로운 제어기울기로 다시 보정하면 새로운 조광레벨에 의해 목표조도 값이 나오게 되며 그림 6은 조광을 산정 소프트웨어의 기본 작동 화면이다.

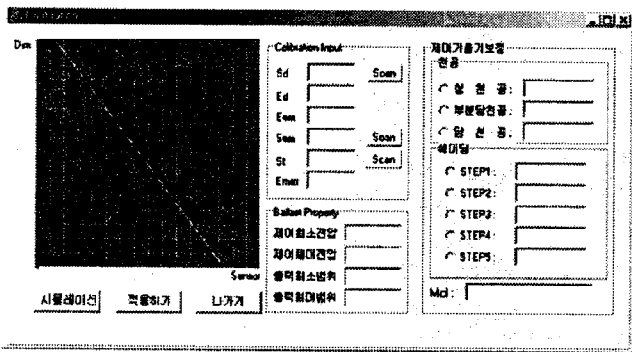


그림 6. 광센서 조광제어시스템의 조광을 산정 S/W 작동화면
Fig. 6. Software on the determination of dimming level

4. 결론

본 연구는 불쾌한 눈부심을 유발하는 직사일광을 차단하고 주광의 유용한 활용을 위하여 광센서 조광제어 시스템과 자동롤러셰이드 시스템의 소프트웨어 개발을 목적으로 하였다. 본 연구에서 개발된 소프트웨어는 다음과 같으며 이를 활용하면 보다 쾌적한 시환경 확보를 가능하게 할 것이다.

- ① 천공상태 결정 소프트웨어 개발
 - 해당 건물의 위도와 날짜, 시간 등을 입력
 - 측정된 일사량 데이터를 사용하여 K_T 산출
 - K_T 의 범위에 따라 천공결정
- ② 태양 일영각 계산 소프트웨어 개발
 - 해당 건물의 경도, 위도, 기준경도, 입면방위각, 날짜, 시간 입력
 - 태양의 방위각, 고도, 일영각이 출력
- ③ 롤러셰이드 높이 제어 소프트웨어 개발
 - 해당 건물의 지형적 특성(경도, 위도, 기준경도, 입면방위각), 날짜, 시간, 태양의 유입깊이, 층고, 창틀높이 입력
 - 롤러셰이드 단계를 선택하면 롤러셰이드의 높이와 단계를 결정
- ④ 광센서 조광제어시스템의 조광을 산정 소프트웨어 개발
 - 광센서 신호값과 조도값 입력
 - 산출된 제어기울기를 롤러셰이드, 천공에 따라 보정
 - 새로운 조광율이 산정되어 목표조도 산출

향후 연구에서는 개발된 소프트웨어를 바탕으로 통합 소프트웨어를 개발시킬 것이다. 그리고 하드웨어와 접목하여 효율적인 시스템 적용성 평가가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 삼성건설의 연구비 지원에 의한 연구결과이며, 저자의 일부는 「2단계 BK21」의 장학금 지원을 받았다.

참고 문헌

- [1] E.S. Lee 외, The New York Times Headquarters Daylighting Mock-Up, Energy and Buildings 38, 2006
- [2] 최안섭 외, 광센서 조광제어시스템의 성능향상을 위한 조광용 전자식 안정기 성능평가 연구, 대한건축학회 논문집, 제19권 8호, 2003. 8
- [3] 유효천 외, 국내 주요도시의 운량데이터를 이용한 전일사 산출 및 비교, 한국태양에너지학회 논문집, 제28권 4호, 2008
- [4] John A. Duffie et al., Solar Engineering of Thermal Processes, Third Edition, JOHN WILEY & SONS, INC
- [5] 최안섭, 주광의 이해와 계산 / 특집: 그린 빌딩과 태양에너지 이용, Journal of the KGBC 1012, 2권, 4호
- [6] 임지선 외, Mock-up 실험을 통한 사무소 건축물의 Roller Shade 높이 제어 최적화에 관한 기초적 연구, 한국태양에너지학회 학술대회, 2008. 4
- [7] 최안섭 외, 광센서 조광제어시스템의 효율적 실행을 위한 제어소프트웨어 및 에너지 절감 예측소프트웨어 개발, 대한건축학회 논문집, 제22권 5호, 2006