



천공조건에서 포토센서 신호예측 알고리즘의 정확도 검증

Validation of Computation Algorithm for Prediction of Photosensor Signals under Sky Conditions

저자
(Authors) 윤연주, 문진우, 김수영
Younju Yoon, Jin Woo Moon, Sooyoung Kim

출처
(Source) [한국생활환경학회지 22\(4\)](#), 2015.10, 653-662 (10 pages)
[Journal of The Korean Society of Living Environmental System 22\(4\)](#), 2015.10, 653-662 (10 pages)

발행처
(Publisher) [한국생활환경학회](#)
The Korean Society of Living Environmental System

URL <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06544256>

APA Style 윤연주, 문진우, 김수영 (2015). 천공조건에서 포토센서 신호예측 알고리즘의 정확도 검증. 한국생활환경학회지, 22(4), 653-662.

이용정보
(Accessed) 중앙대학교 서울캠퍼스
165.194.26.63
2016/02/02 17:43 (KST)

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다.

이 자료를 원저작자와의 협의 없이 무단게재 할 경우, 저작권법 및 관련법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

The copyright of all works provided by DBpia belongs to the original author(s). Nurimedia is not responsible for contents of each work. Nor does it guarantee the contents.

You might take civil and criminal liabilities according to copyright and other relevant laws if you publish the contents without consultation with the original author(s).

천공조건에서 포토센서 신호예측 알고리즘의 정확도 검증

윤연주¹ · 문진우² · 김수영³

¹삼성물산 건설부문, ²중앙대학교 건축학부, ³연세대학교 실내건축학과

Validation of Computation Algorithm for Prediction of Photosensor Signals under Sky Conditions

Younju Yoon¹, Jin Woo Moon² and Sooyoung Kim³

¹Samsung C&T Corporation, Construction Technology Center, Seoul, Korea

²School of Architecture & Building Science, Chung-Ang University, Seoul, Korea

³Department of Interior Architecture & Built Environment, Yonsei University, Seoul, Korea

Abstract : A theoretical method for the prediction of illuminance under diverse sky conditions was proposed in order to examine the variation of daylight illuminance at photosensors. The method was used to predict the illuminance of photosensor with a full-shielding condition. The prediction results were validated using the results of field measurement under various daylight conditions. Results imply that the predicted values were lower than those of measurement under clear and partly-cloudy sky, but the predicted values were greater under overcast sky. Percent differences between predicted and measured values decreased as the distant between window and photosensor positions increased. The coefficient of determination between predicted and measured global illuminance was greater than 0.9912 under all sky conditions. The correlation between predicted and measured photosensor illuminance was also strong under clear and partly-cloudy sky, but the correlation was weak under overcast sky. Statistical test results showed that the linear regression models between predicted and measured values were acceptable with a significance level of 0.01.

Key words : Theoretical method, Illuminance Sky conditions, Photosensor, Daylight, Percent difference, Correlation

1. 서 론

건축적으로 계획된 건물의 내부 공간에서 유지되는 조명환경은 전기조명에 의하여 주로 유지된다. 이러한 조명환경에서는 공간 내부에 전반적으로 균등한 조도 분포가 유지되지만, 이를 유지하기 위하여 필요한 조명에너지가 소모된다. 전기조명에 소비되는 에너지를 절약하기 위한 자연채광 조건을 향상하기 위하여, 건물의 입면계획을 수립하는 경우 창문을 통한 주광(daylight)의 유입량을 향상시키는 방안이 고려될 수 있다. 계절 및 천공(sky)조건에 영향을 받으며 변화되는 주광이 실내로 유입되는 조건에서 주광과 전기조명

시스템을 연계하여 조명환경을 유지하는 조광제어 시스템(photoelectric dimming control system)은 실내조명 환경유지에 효율적으로 활용되는 것으로 알려져 있다(Kim & Mistrick, 2001; Mistrick, Chen, & Bierman, 2000; Lee, DiBartolomet, & Selkowitz, 1999)

조광제어 시스템에 의하여 주광과 전기조명이 연계되어 제어되는 경우, 유입되는 주광의 변화에 따라 제어되는 전기조명의 출력량은 짧은 시간에 자주 변화하여 공간 사용자에게 시각적인 불쾌감을 초래한다(Vine, Lee, Clear, DiBartolomer & Selkowitz, 1998; Kim & Kim, 2007; Kim, 2010).

조광제어 시스템이 적용되는 경우 발생하는 조명기 출력량의 잦은 변화는 포토센서(photosensor)에서 감지되는 신호의 변화가 좁은 범위이내에서 제어되면 예방될 수 있다. 포토센서에서 감지되는 신호를 적정 범위 이내로 제어하기 위하여 다양한 차단(shielding)

교신저자: 김수영 (우 120-749), 서울특별시 서대문구 연세로 50, 연세대학교 실내건축학과
전화번호 : +82-2-2123-3142
E-mail : sooyoung@yonsei.ac.kr

방법이 포토센서에 적용되어 효율적인 제어효과가 달성되었다(Mistrick & Thongtipaya, 2002; Kim & Kim, 2007).

조광제어 시스템의 포토센서에서 감지되는 빛의 양을 좁은 범위 이내로 제어하는데 사용되는 가장 효율적인 방안은 완전차단(full shielding) 조건이다. 그러나, 이러한 조건이 적용되는 경우, 조명제어 시스템의 에너지 절약성능은 다른 차단조건이 적용되는 경우에 비교하여 저하되는 것으로 나타났다(Kim & Song, 2007; Kim & Kim, 2007).

조광제어 시스템의 포토센서에 완전차단 조건이 적용되는 경우 발생하는 조명환경에 대한 예측은 다양한 연구방법에 의하여 실시되었다(Mistrick & Thongtipaya, 2002; Kim & Song 2007, Kim & Kim, 2007). 특히, 시뮬레이션이 적용되는 경우, 포토센서에서 감지되는 신호(photosensor signal)에 대한 정확도는 사용되는 계산 알고리즘(computation algorithm)에 따라 다양한 범위로 변화된다.

이러한 오차범위를 줄이기 위하여 다양한 시뮬레이션 계산 프로그램이 적용되고 있으나, 계산오차는 각기 다른 범위내에서 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 포토센서 신호 예측시 발생될 수 있는 오차의 범위를 분석하기 위하여 주광조건에서 포토센서 신호예측에 대한 계산 알고리즘이 제안된다. 다양한 외부 주광조건에서 완전차단 조건이 적용되는 경우, 포토센서에서 발생하는 신호에 대한 예측이 실시되었으며, 현장 측정 데이터와 비교되어 예측결과의 오차범위에 대한 검증이 실시되었다.

2. 연구 방법

2.1. 시뮬레이션 알고리즘 개발

포토센서의 신호(signal)를 예측하기 위하여 본 연구에서 개발된 계산 알고리즘에는 주광계수(daylight coefficient)를 활용한 연간 시간대별 주광계산법과 포토센서의 민감도 분포에 대한 모델링 방법이 적용된다. 개발된 알고리즘에 대한 이론적인 부분은 기존연구에도 자세히 설명되어 있다(Yoon, Moon & Kim, 2015; Yoon, Moon & Kim, 2015)

연간 시간대별 주광계수법에서 적용되는 주광계수는 145개의 천공조각(sky patch)으로 분할된 반구(hemisphere)형태 천공(sky)중 단일 천공조각의 휘도에 의하여 해당 조도센서에서 계측되는 조도와와의 비율로 정의된다. 균일한 휘도 분포의 천공을 가정하여 145개

의 천공 계수를 도출 한 후, 계산 시간대의 실제 천공에 대한 휘도 분포를 모델링하여 산출된 145개 천공조각 중심의 휘도를 해당되는 천공조각의 주광계수와 곱한 후 합산하면 해당 조도 계산점에서의 천공에 의한 조도가 계산된다.

태양에 의한 조도는 연간 시간대별 태양 조건을 모델링하여 계산될 수 있으나, 계산 대상 태양 조건 경우의 수가 약 4,000여개 이상으로 계산 시간이 많이 소요된다. 따라서, 계산 시간을 단축할 수 있도록, 태양의 직달 성분(조도 계산점에서 태양으로의 직접 시야가 확보되어, 태양에서 직접적으로 입사되는 성분)은 모든 태양 조건별로 계산되고, 태양의 반사 성분(태양에서 실내의 면에서 한 번 이상 반사되어 조도 계산점에 도달한 성분)은 천공의 주광계수 중 반사 성분 해당되는 값(이하 반사성분 주광계수)이 적용되어 계산된다.

태양의 반사성분에 의한 조도 계산은 실제 태양을 포함하는 1개의 천공 조각의 반사 성분 주광계수를 활용하거나, 인접한 4개의 천공조각의 주광계수 활용하는 2가지 방법이 있다. 본 연구에서는 계산의 정확도가 높다고 판명된 4개 천공조각 반사성분을 태양과의 상대적 거리에 따른 가중치를 적용하여 계산하는 방법이 사용되었다. 추가적으로 천공조각과 태양의 공간각도(solid angle)의 크기 차이를 보정하기 위하여 4개의 천공조각의 반사성분 주광계수에 의하여 도출된 조도 값을 72로 나누어 태양의 반사성분에 의한 조도가 도출되었다.

예를 들어, 태양의 반사 성분을 계산하는 경우, 천공이 145개로 구분된 조건에서 95, 96, 116 및 117번에 해당하는 천공조각이 9월 21일 11시부터 13시까지 태양을 인접한 상황에 대한 조건은 Figure 1에 나타나 있다. 오전 11시 조건의 경우, 태양 중심에서 4개의 천공조각인 95, 96, 116 및 117번의 중심까지 거리의 비율은 0.70: 0.58: 1.0: 0.42로 나타난다. 이에 근거하여, 나뉘어진 각각의 천공부분에 할당되는 간접적인 빛의 강도(luminous)의 비율은 각각 21.6%, 26.4%, 15.2%, 36.8%로 할당된다.

계산하고자 하는 시간에 대한 천공의 휘도분포는 해당 지역의 TMY2 기상 데이터의 해당 시간 전반일사(global irradiance)와 직달 일사(direct irradiance)를 입력값으로 사용하는 Perez sky 모델을 기반으로 도출되었다.

위에서 설명된 연간 주광 계산법에서 기본조건으로 가정된 조도센서를 포토센서로 변경하여 계산하면 연

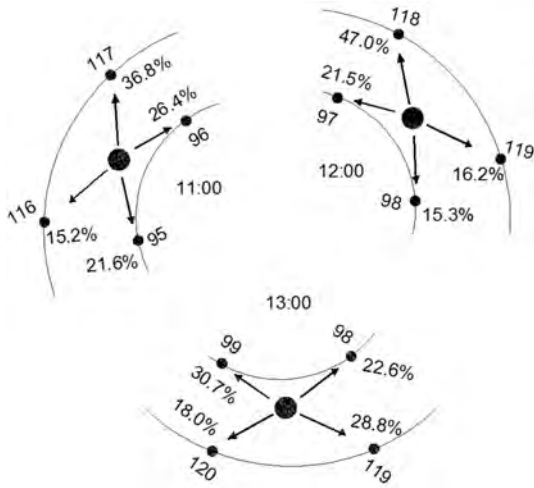


Figure 1. Example of sky patch for daylight coefficient calculation (Sep/21, 11:00-13:00).

간 포토센서 신호가 시간대별로 예측될 수 있다. 조도 센서는 일반적으로 코사인 민감도 분포를 가지고 있으나, 포토센서는 제조회사와 제품별로 각기 고유의 민감도 분포를 가진다. 일반적으로, 센서의 중심에서 천정과 직각된 방향에서의 민감도를 1로 가정하고, 직각선에서 이격된 각도의 코사인 값으로 민감도가 변화된다.

본 연구에서 주광 계수를 계산하기 위하여 사용되는 Radiance 프로그램은 역광선 추적법(Backward Raytracing)을 기반으로 한다. 이 기법은 조도 계산점에서 광선(ray)을 발생 시켜 공간의 물체에서 반사, 투과, 굴절, 확산 및 흡수를 거친 후 최종적으로 광원에 도달하는 광선을 추적하는 방법이다. 따라서, 계산점에서 광선을 발생 시 포토센서의 민감도 분포에 따라 각도별 위치별 발생 비율이 조절되면 조도계산 시 포토센서의 민감도 분포가 고려되어 포토센서의 신호가 계산된다. 이를 위하여 조도계산점에 포토센서 민감도 분포에 따른 투명한 구(sphere)를 설치하고, 연간주광 계산법이 활용되어 포토센서의 신호는 예측된다.

2.2. 현장실험 및 시뮬레이션 조건

외부조건에서 다양하게 변화하는 주광이 포토센서에 감지되는 정도를 분석하기 위하여 현장실험이 실시되었다. 현장실험에서 수집된 데이터는 조건별로 분석되어 시뮬레이션 결과의 검증에 활용되었다. 현장실험에 적용된 공간은 소규모 사무실 조건이 실제크기(full-scale mock-up)로 조성된 실험실 공간이다. 실험실은 서울시에 위치한 건물의 옥상에 설치되었다(위

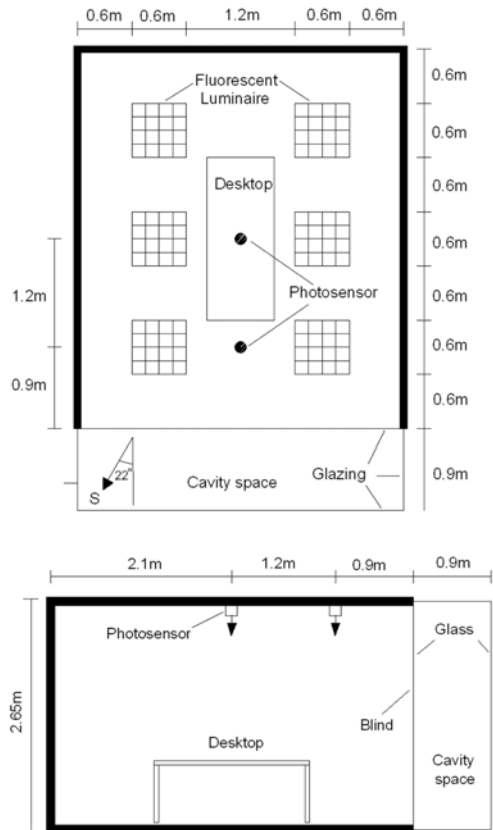


Figure 2. Layout of full-scale mock-up model space (top: plan, bottom: section) (Yoon, Moon & Kim 2015).

도: 37°33'N, 경도: 126°58'E).

실험실 공간에 대한 제원은 Figure 2에 세부적으로 명시되어 있다. 실험실의 폭, 깊이 높이는 각각 3.6 m, 4.2 m, 2.65 m로 구성되었다. 실험실 공간의 전면(facade)에는 이중외피(double skin envelope) 시스템이 설치되어, 주광이 실내로 효과적으로 유입되는 조건으로 형성되었다. 본 실험실은 다양한 조명환경 분석연구를 위한 실험실로 활용되었다(Baik & Kim, 2014; Yoon, Moon & Kim, 2015)

전면에 설치된 이중외피 시스템은 실내 외피(internal envelope), 실외 외피(external envelope) 및 공극(cavity space)으로 이루어져 있다. 공극부분의 측면도 유리로 구성되어 전면을 통하여 외부주광은 효율적으로 입사되는 조건이 형성되었다. 적용된 모든 유리의 일사 및 빛에 대한 투과율은 각각 34.8% 및 62.1%이다. 실험실의 전면은 정남향으로부터 22° 회전되었으며 블라인드는 설치되지 않았다.

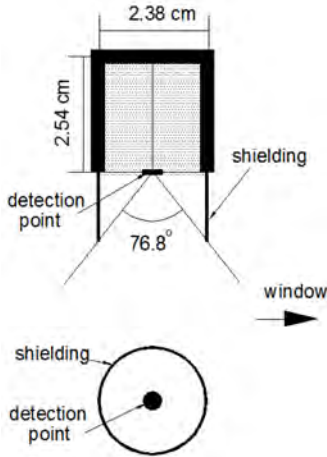


Figure 3. Configuration of photosensor (top: section, bottom: plan) (Kim & Kim, 2007).

포토센서의 설치조건은 Figure 2와 3에 명시되어 있다. 센서는 실내외피에서 각각 0.9 m 및 2.1 m 이격된 두 개 지점의 천장에 설치되었다. 천장에 설치된 센서의 중심은 바닥면과 수직을 형성하는 조건으로 유지되었다. 센서의 감시각도(viewing angle)를 센서중심으로부터 76.8°로 제한하는 완전차단(full shielding) 조건이 센서에 적용되었다. 이러한 조건에서 실내외피에서 2.1 m 이격된 지점에 설치된 센서는 실내 공간의 바닥에서 반사되는 빛만을 감지하는 조건으로 제한되었다.

설정된 조건에서 현장측정은 1년 동안 매일 실시되었으며, 자동 데이터 로깅(data logging) 시스템에 의하여 1분 간격으로 수집된 일일 데이터는 txt 파일형태로 컴퓨터로 전송되었다. 본 연구에서는 실내로 유입되는 주광의 입사각이 낮은 겨울철의 대표적인 천공조건을 고려하기 위하여, 12월의 대표 천공조건 경우에 대한 데이터 분석이 실시되었다. 선정된 대표일은 Table 1에 요약되어 있다.

실험 조건에서 수집된 데이터와 시뮬레이션에서 예측된 결과에 대한 상호 비교 및 검증은 위하여, 실험실 조건은 본 연구에서 제안된 계산 알고리즘에 따라 이론적으로 동일하게 모델링되어 시뮬레이션에 적용되었다. 모델링 된 공간에 대하여 Table 1에 요약된 천공조건이 적용되어 시뮬레이션이 실시되었다. 시뮬레

Table 1. Selected Days for Analysis

| Sky | Clear | Partly cloudy | Overcast |
|-----|-------|---------------|----------|
| Day | Dec/9 | Dec/6 | Dec/5 |

션에 의한 예측결과는 현장실험에서 수집된 데이터와 비교 및 분석되어 검증되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 천공조건 및 주광변화 분포

설정된 측정기간 동안 1분 간격으로 수집된 현장실험 데이터는 천공조건을 분석하기 위한 외부 일사 및 조도로 구성되었다. 외부의 일사는 천공 및 태양으로부터 발생하는 전반일사량(global irradiance)과 천공표면으로부터 발생하는 부분인 확산일사량(diffused irradiance)으로 분류되어 측정되었다. 외부의 조도는 일사량 측정과 동일하게 태양 및 천공조건이 반영될 수 있도록 전반조도(global illuminance) 및 확산조도(diffused illuminance)로 분리되어 측정되었다. 측정된 전반 일사량에 대한 확산 일사량의 비율은 천공조건을 기준에 따라 분류하는데 활용되었다.

측정된 외부 일사량의 변화분포는 Figure 4와 5에 나타나 있다. 청천공(clear sky) 조건의 경우 전반일사량은 안정적인 분포를 보이며 변화되어 최대 510 W/m²로

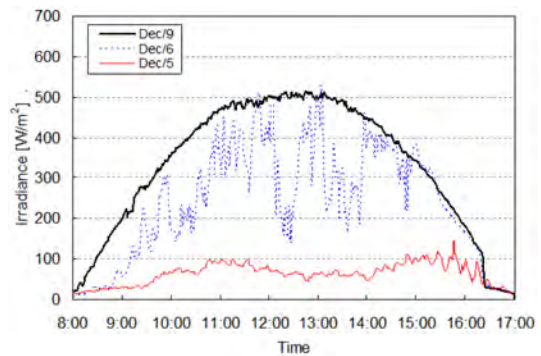


Figure 4. Outdoor global irradiance.

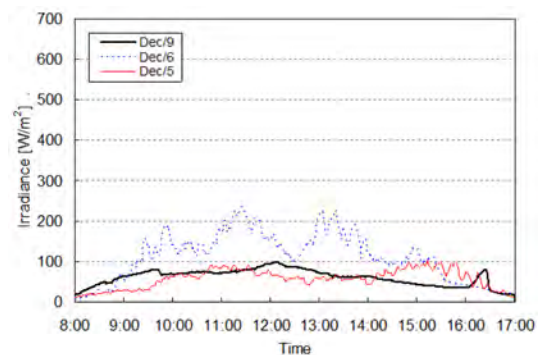


Figure 5. Outdoor diffused irradiance.

나타났다. 오전과 오후 시간대에 전반적인 대칭분포를 보이고 있으며, 태양이 구름에 의하여 가려지는 경우가 발생되지 않는 청천공 조건에서 전형적인 겨울철의 전반 일사 분포를 나타내고 있다. 태양이 구름에 의하여 가려진 후 노출되는 경우가 반복되는 부분 담천공 (partly cloudy sky) 조건에서 일사량의 분포는 불규칙적인 분포를 보이고 있는 것으로 나타났다.

절대적인 일사량 수치는 낮지만, 담천공(overcast sky)조건에서 일사량은 청천공 조건에서와 같이 안정적인 분포를 나타내고 있다. 전반적으로 100 W/m^2 이하의 수치를 나타내고 있으며, 태양으로부터 발생하는 직달 일사(direct irradiance)의 영향은 가장 약한 것으로 분석된다.

확산 일사량은 전반 일사량이 안정적인 변화 분포를 보인 청천공 및 담천공 조건에서 안정적으로 변화되었다. 두 가지 천공조건인 경우, 확산 일사량은 전반적으로 100 W/m^2 이하의 범위에서 변화되었다. 구름에 의하여 태양이 완전히 차단되는 담천공 조건의 경우 천공 표면으로부터 발생하는 일사의 영향으로 인하여 안정적인 분포를 보인 것으로 분석된다. 또한, 태양에 대한 구름의 영향이 없는 청천공 조건의 경우, 태양으로부터 발생하는 직달일사의 영향부분이 배제되고 천공표면에서 발생하는 일사의 영향이 고려되어 안정적인 분포를 보이는 것으로 분석된다. 한편, 전반 일사량의 변화가 불규칙적인 부분 담천공 조건에서 확산 일사량의 변화는 다른 천공 조건에 비교하여 불안정한 분포를 보이고 있다.

전반 일사량에 대한 확산 일사량의 비율을 나타내는 천공비율(sky ratio)은 천공조건을 분류하는 지표로 사용된다. 천공조건에 따라, 청천공, 부분담천공, 담천공으로 천공조건이 분류된다(Rea, 2002). 본 연구에서 측정된 일사량의 변화에 따라 산정된 천공비율은 Figure 6에 나타나 있다. 안정적인 전반 일사량의 분포를 나타내었던 조건의 경우, 태양고도 12° 이상의 구간에서 천공비율은 0.3 미만으로 나타나 전반적으로 청천공 조건으로 분류된다. 반면, 불안정적인 변화 분포를 나타내었던 조건의 경우, 천공비율은 최저 0.23에서 최대 1.0의 범위에서 변화되는 불규칙적인 부분 담천공 조건으로 분류된다.

천공조건에 따라 변화되는 외부 조도분포는 Figure 7과 8에 나타나 있다. 시간이 경과함에 따라 변화되는 태양고도에 따른 조도변화는 청천공의 경우 태양고도가 증가함에 따라 비례적으로 증가하였다. 태양고도가 최대 30.28° 까지 증가하는 경우, 외부의 전반 조도는

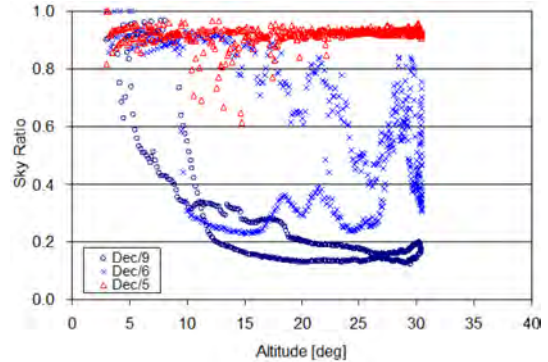


Figure 6. Sky ratio.

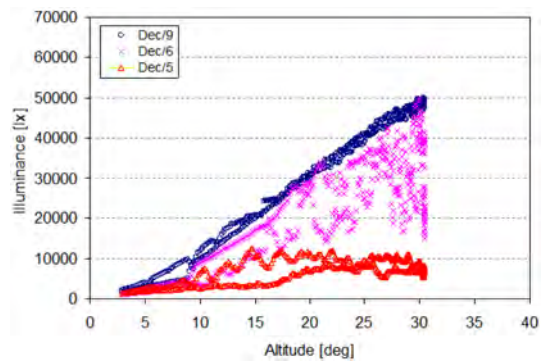


Figure 7. Outdoor global illuminance.

최대 $49,670 \text{ lx}$ 로 나타났다. 반면, 담천공 조건의 경우, 태양고도가 증가하여도 전반조도는 최대 $12,740 \text{ lx}$ 이내에서 변화되는 분포를 보이고 있다. 두 천공조건에서 조도변화는 일사량의 변화분포와 유사한 안정적인 것으로 나타났다. 반면, 부분 담천공 조건의 경우, 동일한 태양고도에서 발생하는 조도의 변화 범위는 청천공 및 담천공 조건에 비교하여 넓은 것으로 나타났다.

외부의 확산 조도는 청천공 및 담천공 조건의 경우 각각 최대 $1,206 \text{ lx}$ 및 $9,450 \text{ lx}$ 범위 내에서 안정적으로 변화되었다. 부분 담천공 조건에서 외부 확산 조도는 최대 $23,630 \text{ lx}$ 를 보이며 증감하고 있는 것으로 나타났다.

3.2. 시뮬레이션 예측결과의 검증

본 연구에서 제안된 이론에 기초되어 정립된 시뮬레이션 방법에 따라 계산된 예측값과 현장실험의 결과는 Figure 9 - 14에 나타나 있다. 외부의 전반조도의 경우, Figure 9와 10에 나타난 바와 같이 측정결과와 예측결과는 전반적으로 유사한 변화분포를 보이고 있는 것

으로 나타났다. 모든 천공조건에서 시뮬레이션에 의한 예측값이 측정값에 비교하여 높은 범위를 보이고 있다. 청천공 조건의 경우 오후 1시 부터 3시 30분 사이에 예측결과가 측정결과 보다 낮은 분포를 보이고 있는 경우도 발생되었다.

Figure 11 - 14에 나타난 바와 같이청천공 및 부분 담

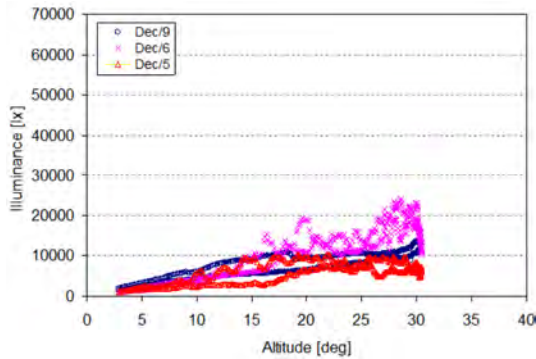


Figure 8. Outdoor diffused illuminance.

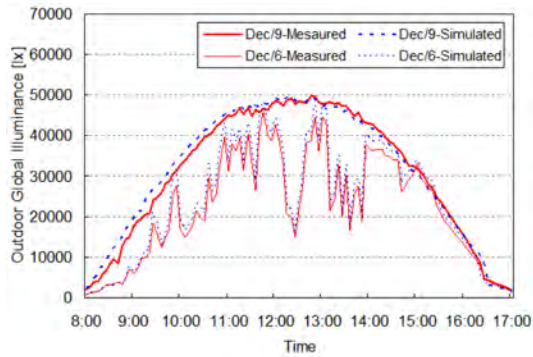


Figure 9. Difference between measured and simulated outdoor global illuminance (clear and partly cloudy sky).

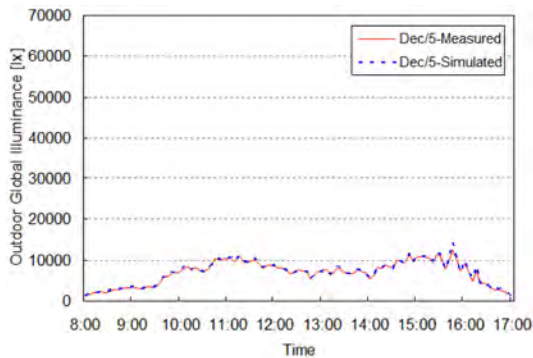


Figure 10. Difference between measured and simulated outdoor global illuminance (overcast sky).

한국생활환경학회지

천공 조건에서 포토센서의 조도에 대한 측정결과는 예측결과에 비교하여 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 반면, 담천공 조건에서는 예측결과가 측정결과 보다 높게 나타났다. 또한, 창가에 근접된 조건(0.9 m 지점)에서 측정결과와 예측결과 사이의 차이는 창가에서 보

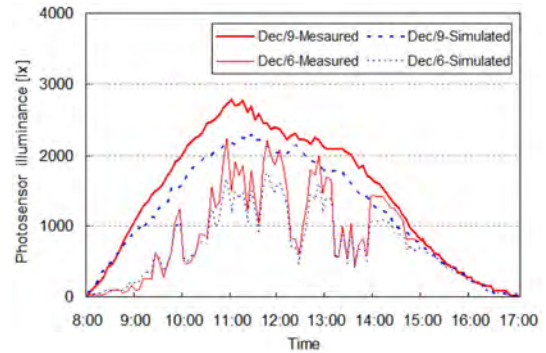


Figure 11. Difference between measured and simulated photosensor illuminance (at 0.9 m, Clear sky, Partly cloudy sky).

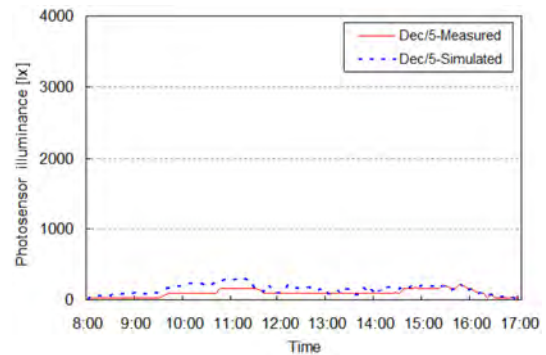


Figure 12. Difference between measured and simulated photosensor illuminance (at 0.9 m, Overcast cloudy sky).

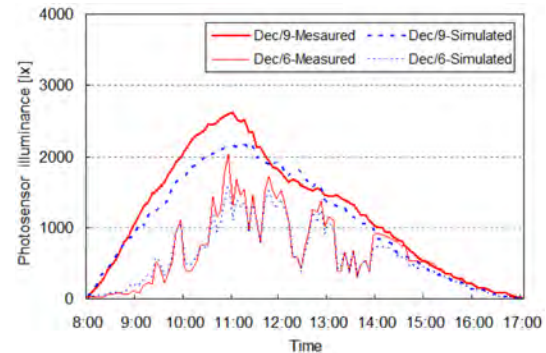


Figure 13. Difference between measured and simulated photosensor illuminance (at 2.1 m, Clear sky, Partly cloudy sky).

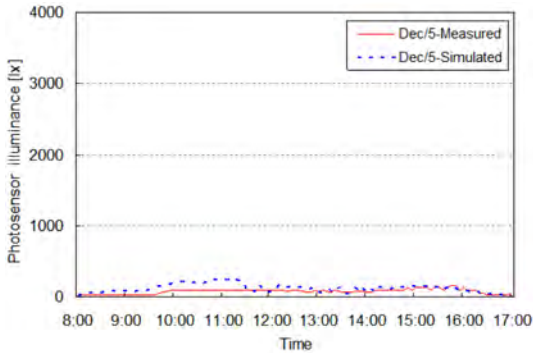


Figure 14. Difference between measured and simulated photosensor illuminance (at 2.1 m, Overcast sky).

다 멀리 이격된 조건(2.1 m 지점)에 비교하여 그 차이가 높은 것으로 분석되었다.

이는 천공조건에서 태양으로부터 발생되는 직달조도(direct illuminance)의 비율이 높게 존재하는 청천공 및 부분 담천공 조건에서 시뮬레이션이 실시되는 경우, 태양으로 인한 직달조도 부분에 대한 반영이 충분히 반영되지 않아서 발생된 것으로 판단된다. 본 분석결과는 태양이 고도가 높은 조건에서 다른 차단 조건이 적용되어 분석된 기존의 연구결과와 부분적으로 일치하지 않는다(Yoon, Moon, & Kim, 2015). 예를들면, 부분차단(partial shielding) 조건이 적용된 경우 청천공 조건에서 창가에서 이격된 거리가 멀어짐에 따라 예측 결과가 더욱 높은 분포를 나타내었다(Yoon, Moon, & Kim, 2015).

이러한 결과는 유리의 반대편에 위치한 벽면에서 반사되어 센서로 입사되는 반사 영향으로 인하여 발생된 것으로 분석된다. 그러나, 완전차단 조건이 적용되는 경우 바다면 이외의 다른 부분에서 반사되어 센서로 입사되는 반사성분의 영향이 차단되어 예측결과와 측정결과 사이의 차이를 발생한 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서 적용된 태양고도는 기존연구에서 적용된 태양고도 보다 낮게 분포하고 있으므로, 태양에서 실내로 입사되는 주광의 입사각 조건은 본 연구에서 나타난 예측결과에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 따라서, 완전차단 조건이 포토센서에 적용되어 태양으로부터 발생되는 직달조도로 인하여 발생하는 조도계산 부분에 대한 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

직달 조도의 영향이 없는 조건인 담천공 조건에서 발생된 예측결과와 측정결과의 차이는 부분차단 조건이 적용된 기존연구에서 나타난 변화분포와 유사하다

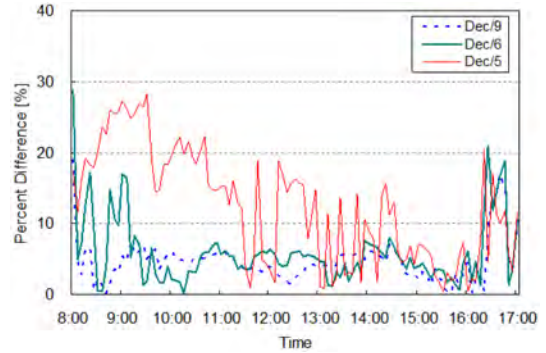


Figure 15. Percent difference of photosensor illuminance (photosensor at 0.9 m).

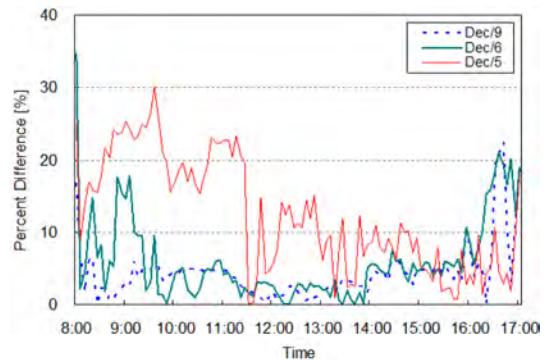


Figure 16. Percent difference of photosensor illuminance (photosensor at 2.1 m).

(Yoon, Moon, & Kim, 2015). 그러나, 본 연구의 결과는 본 연구에서 사용된 태양고도에 비교하여 상대적으로 높은 태양고도 조건에서 차단조건이 적용되지 않은 포토센서(unshielded photosensor)에 대한 분석결과와 유사하지 않은 것으로 나타났다(Yoon, Moon, & Kim, 2015). 태양고도, 천공조건 및 포토센서의 차단조건에 따라 예측결과는 측정결과와 다른 변화 양상을 나타내고 있어, 시뮬레이션 결과를 검증하는데 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

각 조건에서 발생된 예측결과와 측정결과 사이의 차이를 의미하는 지표인 퍼센트 차이(percent difference)는 Figure 15 - 16에 나타나 있다. 퍼센트 차이에 대한 빈도 분석결과는 Table 2에 요약되어 있다. 설치된 두 지점의 포토센서에 대하여 청천공 조건에서 퍼센트 차이는 다른 천공조건에서 발생된 결과에 비교하여 가장 낮은 분포를 보이고 있다. 반면, 담천공 조건에서 예측결과와 측정결과 사이의 퍼센트 차이는 가장 큰 범위를 나타내는것으로 분석되었다. 이는 기존의 연구결과

Table 2. Percent Difference between Photosensor Illuminance by APPSM and Measurement (unit: %)

| Range | Dec/9 | | Dec/6 | | Dec/5 | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.9 m | 2.1 m | 0.9 m | 2.1 m | 0.9 m | 2.1 m |
| X < 5 | 62.39 | 77.06 | 50.46 | 57.80 | 26.61 | 23.85 |
| 5 < X < 10 | 32.11 | 16.51 | 36.70 | 25.69 | 12.84 | 22.02 |
| 10 < X < 15 | 3.67 | 1.83 | 6.42 | 5.50 | 20.18 | 15.60 |
| 15 < X < 20 | 1.83 | 2.75 | 4.59 | 8.26 | 23.85 | 16.51 |
| 20 < X < 25 | 0.00 | 1.83 | 0.92 | 1.83 | 8.26 | 17.43 |
| 25 < X < 30 | 0.00 | 0.00 | 0.92 | 0.00 | 8.26 | 3.67 |
| X > 30 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.92 | 0.00 | 0.92 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

와 일치한다(Yoon, Moon, & Kim 2015; Yoon, Moon, & Kim 2015).

3.3. 상관성 분석

현장실험에 근거한 측정결과와 시뮬레이션에 의한 예측결과를 비교하기 위하여, 선형 회귀분석(linear regression)이 적용되었다. 회귀분석에 적용된 독립변수(independent variable)는 현장에서 1분 간격으로 측정된 포토센서의 조도이며, 종속변수(dependent variable)는 시뮬레이션에 의하여 예측된 포토센서의 조도로 설정되었다. 회귀분석 결과에서 나타난 두 변수 사이의 상관성에 대한 통계적인 검증은 변수분석 방법(ANalysis of VArable, ANOVA)이 적용되어 실시되었다.

선형 회귀분석에 의한 측정결과와 예측결과에 대한 상관성은 Figure 17-19에 명시되어 있다. 전반적으로, 측정결과와 예측결과와의 상관성은 높은 것으로 나타났다. 외부의 전반조도의 경우, 측정 및 예측결과 사이의 결정계수(r^2 , coefficient of determination)는 0.9912 ~ 0.9978의 범위내에서 변화되어 두 변수사이의 상관성이 매우 높은 것으로 분석되었다. 이는 천공조건이 변화하는 경우에도 이론에 의한 예측결과가 현장측정 결과와 일치하는 정도가 높음을 의미한다.

포토센서의 조도에 대한 상관성은 외부 전반조도에 대하여 분석된 상관성에 비교하여 상대적으로 약한 것으로 나타났다. 청천공 및 부분 담천공 조건에서 결정계수는 0.97 이상으로 분석되었다. 이는 포토센서에 차단조건이 적용되지 않은 조건(no-shielding)과 부분 차단조건(partial shielding)이 적용된 경우에 대하여 분석된 기존의 결과와 유사한 경향을 나타내고 있다(Yoon, Moon, & Kim 2015; Yoon, Moon, & Kim 2015).

한국생활환경학회지

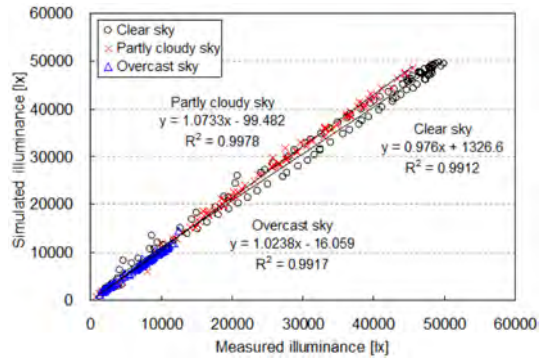


Figure 17. Correlation between prediction and measurement (Global illuminance).

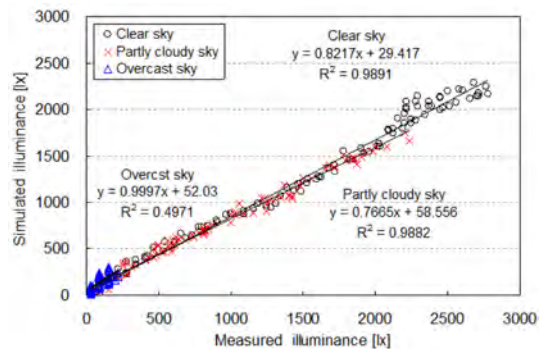


Figure 18. Correlation between prediction and measurement (Photosensor at 0.9 m).

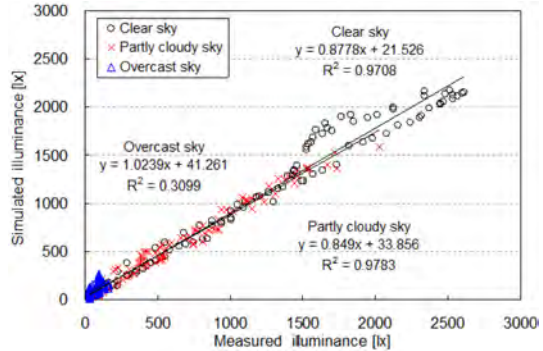


Figure 19. Correlation between prediction and measurement (Photosensor at 2.1 m).

그러나, 담천공 조건에서 결정계수는 0.5 미만으로 나타나 측정결과와 예측결과 사이의 상관성은 상대적으로 약한 것으로 분석되어, 기존 연구결과와는 다른 차이를 보이고 있다(Yoon, Moon, & Kim 2015; Yoon, Moon, & Kim 2015). 이는 본 연구에서 제안된 방법인 시뮬레이션에 의한 예측의 정확도를 향상하기 위하여,

Table 3. Linear regression analysis for relationship between simulation and measurement

| Illuminance | Day | Variable | Unstandardized Coefficient | | t | Sig. | ANOVA | | r ² |
|----------------------|------|----------|----------------------------|------------|--------|------|---------------------|------|----------------|
| | | | B | Std. error | | | F test | Sig. | |
| Global | 12/9 | Constant | 1326.6 | 308.49 | 4.30 | 0.00 | F(1,107) = 12067.96 | 0.00 | 0.9912 |
| | | Slope | 0.9760 | 0.01 | 109.8 | 0.00 | | | |
| | 12/6 | Constant | -99.48 | 124.24 | -0.80 | 0.43 | F(1,107) = 48698.65 | 0.00 | |
| | | Slope | 1.0733 | 0.00 | 220.68 | 0.00 | | | |
| | 12/5 | Constant | -16.06 | 68.20 | -0.24 | 0.81 | F(1,107) = 12783.94 | 0.00 | |
| | | Slope | 1.0238 | 0.01 | 113.07 | 0.00 | | | |
| Photosensor at 0.9 m | 12/9 | Constant | 29.42 | 14.06 | 2.09 | 0.04 | F(1,107) = 9743.83 | 0.00 | 0.9891 |
| | | Slope | 0.8217 | 0.01 | 98.71 | 0.00 | | | |
| | 12/6 | Constant | 58.56 | 8.37 | 7.00 | 0.00 | F(1,107) = 8958.87 | 0.00 | |
| | | Slope | 0.7665 | 0.01 | 94.65 | 0.00 | | | |
| | 12/5 | Constant | 52.04 | 10.53 | 4.94 | 0.00 | F(1,107) = 105.77 | 0.00 | |
| | | Slope | 0.9997 | 0.10 | 10.28 | 0.00 | | | |
| Photosensor at 2.1 m | 12/9 | Constant | 21.53 | 21.05 | 1.02 | 0.31 | F(1,107) = 3560.26 | 0.00 | 0.9708 |
| | | Slope | 0.8778 | 0.01 | 59.67 | 0.00 | | | |
| | 12/6 | Constant | 33.86 | 9.75 | 3.47 | 0.00 | F(1,107) = 4817.48 | 0.00 | |
| | | Slope | 0.8490 | 0.01 | 69.41 | 0.00 | | | |
| | 12/5 | Constant | 41.26 | 12.78 | 3.23 | 0.00 | F(1,107) = 48.07 | 0.00 | |
| | | Slope | 1.0239 | 0.15 | 6.93 | 0.00 | | | |

포토센서의 감지각도(viewing angle)가 좁은 범위로 제한되는 완전차단 조건에 대하여 예측되는 포토센서의 조도에 대한 추가적인 검증이 필요함을 의미한다.

변수 분석방법(ANOVA)에 의하여 분석된 회귀식에 대한 검증결과는 Table 3에 요약되어 있다. 전반적으로 검증결과는 0.01 이하의 신뢰도 수준에서 효과적인 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 기존의 연구결과와 유사한 경향을 보이는 것으로 분석된다 (Yoon, Moon, & Kim 2015; Yoon, Moon, & Kim 2015). 본 연구에서 적용된 회귀분석에 의한 상관식은 주어진 통계적인 기준을 만족하므로, 포토센서에서 감지되는 조도에 대한 예측결과와 측정결과 사이의 상관성 분석에 효율적으로 적용될 수 있음을 의미한다.

4. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 조광제어 시스템의 포토센서에서 발생하는 신호에 대한 신뢰도 있는 예측결과를 제시하기 위하여, 시뮬레이션 예측 기법이 제안되었다. 다양한 주광조건에서 예측기법에 의하여 예측된 결과는 현장 측정결과와 비교되어 검증되었다. 연구결과의 요약은

다음과 같다.

1. 포토센서의 조도에 대한 예측결과는 청천공 및 부분 담천공 조건에서 측정결과에 비교하여 낮은 것으로 분석되었으며, 담천공 조건에서 예측결과는 측정결과보다 높은 것으로 분석되었다. 창가에서 설치지점 사이의 이격거리가 증가함에 따라 포토센서의 조도에 대한 예측결과와 측정결과와의 차이는 감소되는 것으로 나타났다. 포토센서 조도에 대한 예측결과와 측정결과 사이의 차이를 의미하는 퍼센트 차이(percent difference)는 청천공 조건에서 가장 낮은 것으로 분석되었으며, 담천공 조건에서 가장 높은 것으로 분석되었다.

2. 외부 전반 조도의 경우, 모든 천공조건에서 시물레이션에 의한 예측값이 측정값에 비교하여 전반적으로 높은 범위를 나타내는 것으로 분석되었다. 외부의 전반조도에 대한 예측결과와 측정결과 사이의 상관성을 의미하는 결정계수는 0.9912~0.9978의 범위내에서 변화되어 두 변수 사이의 상관성이 매우 높은 것으로 분석되었다. 이는 천공조건이 변화하는 경우에도 이론에 의한 예측결과가 현장측정 결과와 일치하는 정도가 높음을 의미한다.

3 포토센서의 조도에 대한 상관성은 외부 전반조도

에 대하여 분석된 상관성에 비교하여 상대적으로 약한 것으로 나타났다. 청천공 및 부분 담천공 조건에서 결정계수는 0.97 이상으로 분석되었다. 그러나, 담천공 조건에서 결정계수는 0.5 미만으로 나타나 측정결과와 예측결과 사이의 상관성은 상대적으로 약한 것으로 분석되었다. 시뮬레이션에 의한 예측의 정확도를 향상하기 위하여 포토센서의 감지각도가 좁은 범위로 제한되는 완전차단 조건에서 감지되는 포토센서의 조도에 대한 추가적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

4. 변수분석(ANOVA) 방법에 의하여 분석된 회귀식에 대한 검증결과는 0.01 이하의 신뢰도 수준에서 효과적인 것으로 나타났다. 회귀분석에 의한 상관식은 설정된 통계적인 기준을 만족하므로, 포토센서에서 감지되는 조도에 대한 예측결과와 측정결과 사이의 상관성 분석에 효율적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 포토센서의 조도예측에 대한 시뮬레이션 예측기법이 이론에 기초되어 제안되었으며, 제한된 조건에서 실시된 현장측정의 결과와 비교되어 예측에 대한 정확도가 검증되었다. 현장측정에 사용된 공간과 조건이 동일하게 예측기법에 의하여 모델링되었지만, 현실적인 측면에서 발생하는 모든 변수가 정확하게 모델링에 반영되기에는 제한점이 있다. 향후 연구에서는 보다 다양한 조건에서 발생하는 예측 및 측정 결과의 상호간에 대한 오차를 최대한 감소할 수 있는 방안이 필요할 것으로 사료된다.

감사의 말

본 연구는 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2014R1A2A1A11051162).

REFERENCES

- Kim, S. (2010). *The influence of illuminance variation by a daylight dimming control system on visual comfort under clear sky conditions*, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, 22(8), 553-556.
- Kim, S. & Kim, J. J. (2007). *Influence of light fluctuation on occupants' visual perception*, *Building and Environment*, 42, 2888-2899.
- Kim, S. & Kim, J. J. (2007). *The impact of daylight fluctuation on a daylight dimming control system in a small office*, *Energy and Buildings*, 39,935-944.
- Kim, S. & Mictrick, R. (2001). *Recommended daylight conditions for photosensor system calibration in a small office*, *Journal of IESNA*, 30,176-188.
- Lee, E., DiBartolomet, D., & Selkowitz, S. (1999). *The effect of Venetian blinds on daylight photoelectric control performance*, *Journal of IESNA, Winter*, 3-23.
- Mistrick R., Chen C., & Bierman A. (2000). *A comparison of photosensor-controlled electronic dimming system performance in a small office*, *Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 29,66-80.
- Mistrick, R. & Thongtipaya, J. (2002). *Analysis of daylight photocell placement and view in a small office*, *Journal of IESNA, Summer*, 150-160.
- Kim, S. & Song, K. D. (2007). *Determining photosensor conditions of a daylighting dimming control system using different double-skin envelope configurations*, *Indoor and Built Environment*, 16, 411-425.
- Vine E., Lee E., Clear R., DiBartolomer D. & Selkowitz S. (1998). *Office worker responses to an automate Venetian blind and electric lighting system; a pilot study*, *Energy and Buildings*, 28, 205-218.
- Yoon, Y, Moon J., & Kim S. (2015). *Analysis of prediction accuracy for photosensor signals of daylight dimming control system*, *Journal of Korean Society of Living Environment System*, 22, 254-262.
- Yoon, Y, Moon J., & Kim S. (2015). *Prediction method for daylight illuminance of photosensor in a small office*, *Journal of Korean Society of Living Environment System*, 22, 30-37.
- 투 고 일: 2015. 6. 12
수정접수일: 2015. 7. 20
게재승인일: 2015. 10. 27