

## 실내 주광조도 분포 예측식의 제안 및 검증

### Proposal of the Prediction Equation for Interior Daylight Illuminance

박웅규\* · 박태주\*\* · 강규민\*\*\* · 이상엽\*\*\*\* · 송두삼\*\*\*\*\*†  
Park Woong-Kyu\*, Park Tae-Ju\*\*, Kang Gyu-Min\*\*\*,  
Lee Sang-Yup\*\*\*\* and Song Doosam\*\*\*\*\*†

(Submit date: 2013. 5. 3. Judgment date: 2013. 5. 6. Publication decide date : 2013.6. 24.)

**Abstract :** In these days, most of the office buildings are being required to save energy for maintenance. Lighting system constitutes 20% to 30% of the total annual electrical energy consumption in office buildings. As an energy saving strategy for lighting system, dimming control system based on illuminance sensors came into use. But the system is accompanied with many illuminance sensors to control lighting and needs a lot of initial investment. In this study, the prediction equation for indoor daylighting illuminance distribution is proposed through the review for conventional research results and field measurements. The proposed equation was verified by the comparison between predicted results and field measurement results. The developed prediction equation for daylighting can be used to control the indoor illuminance level with the limited sensor when dimming control system is operated.

**Key Words :** 실내 주광조도 분포(Interior daylight illuminance distributions), 조광제어(Dimming control), 주광(Daylighting), 예측식(Prediction equation)

\*\*\*\*\*† 송두삼(교신저자) : 성균관대학교 건축공학과

E-mail : dssong@skku.edu, Tel : 031-290-7551

\*박웅규 : 성균관대학교 대학원 초고층장대교량학과

\*\*박태주 : 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과

\*\*\*강규민 : 성균관대학교 대학원 건설환경시스템공학과

\*\*\*\*이상엽 : 삼성물산 M&E사업부

\*\*\*\*\*† Song Doosam(corresponding author) : Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University.

E-mail : dssong@skku.edu, Tel : 031-290-7551

\*Park Woong-kyu : Department of Mega Buildings and Bridges, Graduate School, Sungkyunkwan University.

\*\*Park Tae-Ju : Department of Architectural Engineering, Graduate School, Sungkyunkwan University.

\*\*\*Gang Gyu-Min : Department of Architectural Engineering, Graduate School, Sungkyunkwan University.

\*\*\*\*Lee Sang-Yup : Department of M&E, Samsung C&T

### 기 호 설 명

- $E_p$  : p지점의 수평면 조도(lx)
- $E_{TV}$  : 실외 수직면 조도(lx)
- $z$  : 창과 p점의 수평 거리(m)
- $h_p$  : 창 아랫면과 p점의 수직 거리(m)
- $h_w$  : 창 높이(m)
- $W_w$  : 창 너비(m)
- $x_w$  : 창과 좌측 벽과의 거리(m)
- $x_p$  : p점과 좌측 벽과의 거리(m)
- $E_{p,b}$  : 직달일사의 p점 수평면 조도(lx)
- $\tau_w$  : 유리, 블라인드의 가시광선 투과율
- $\theta_i$  : 측정점에서의 태양 입사각(rad)
- $K_b$  : 직달일사의 발광 효율
- $G_b$  : 외부 수평면 직달 조도(lx)
- $\tau_{w(0)}$  : 태양입사각 0때, 가시광선 투과율
- $\theta_i$  : 측정점의 태양 입사각(rad)
- $\theta_s$  : 태양의 고도각(rad)
- $\psi_s$  : 태양의 방위각(rad)
- $\psi_w$  : 창문의 방위각(rad)
- $E_{p,d}$  : 확산일사의 p점 수평면 조도(lx)
- $L$  : p점에서 바라본 창 중앙면 휘도( $kcd/m^2$ )
- $L_z$  : 천정휘도( $kcd/m^2$ )
- $\zeta$  : 천정과 p점사이의 각(rad)
- $Z_0$  : 천정과 태양사이의 각(rad)
- $\gamma$  : 태양과 p점사이의 각(rad)
- $\alpha$  : 태양의 방위각(rad)
- $E_{kh}$  : 외부 수평면 진천공 조도(klx)
- $ZL$  : 천정 휘도상수( $kcd/m^2klx$ )

### 1. 서 론

우리나라의 건물 에너지 소비는 전체 에너지 소비의 약 20~30%를 차지하고 있으며, 이중 오피스 건물의 에너지 소비는 30~40%에 이른다.<sup>1)</sup> 이는 지식산업사회로 전환되는 산업구조의 변화로 더욱 증가할 것으로 예상된다.

1) 에너지 관리공단(www.kemco.or.kr), 「기후변화대응 건물에너지 정책 포럼 발표자료」, 2008

한편 오피스 건물은 대부분이 유리 커튼월로 계획되어 외피를 통해 많은 주광(daylighting) 및 일사(Solar radiation)가 유입된다. 이러한 주광 도입을 통해 업무공간의 조명에너지 소비를 낮출 수 있지만, 외주부의 일사유입은 공조에너지의 증가와 함께 시각적 불쾌감(현휘)을 유발할 수 있다. 따라서 오피스 건물에서 일사유입, 주광 도입을 하는 경우에는 적절한 제어가 필요하다. 오피스 건물에서 일사(주광)유입을 조절하는 시스템으로 최근 태양광 위치에 따라 블라인드의 차양 높이를 제어하는 높이제어<sup>2)</sup>, 주광유입에 따라 실내 인공조도 레벨을 조절하는 디밍제어<sup>3)</sup> 등이 적용되고 있다. 그러나 종래의 디밍제어 시스템의 경우, 각 조명기구에 설치되어 있는 조도센서에 기반하여 작업면 조도를 균일하게 하기 위한 인공조명 조도를 제어하는 방식을 취하고 있다 (그림 1)<sup>4)</sup>.

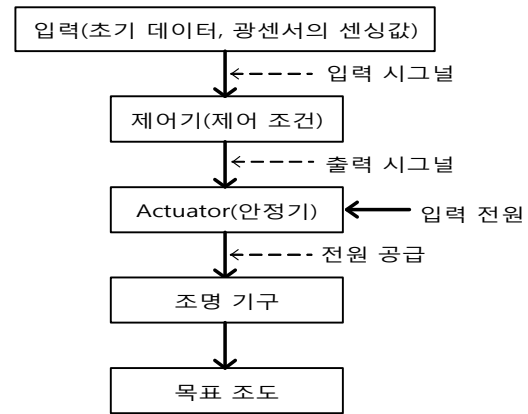


Fig. 1 Conceptual diagram of the daylight responsive dimming system

- 2) 성윤복, 「건물에서 태양 프로파일의 변화 특성을 고려한 블라인드 최적제어 방안」, 한국 태양에너지학회 논문집, 31권, 6호, pp.111~124, 2011
- 3) 김한성 외1, 「소규모 사무공간에서 디밍제어를 이용한 조명에너지 절약에 관한 연구」, 조명·전기설비학회 논문지, 17권, 5호, pp.10~15, 2003
- 4) 이호열, 「자연채광을 고려한 인공조명 제어 시스템」, 설비저널, 35권, 8호, pp.10~15, 2006

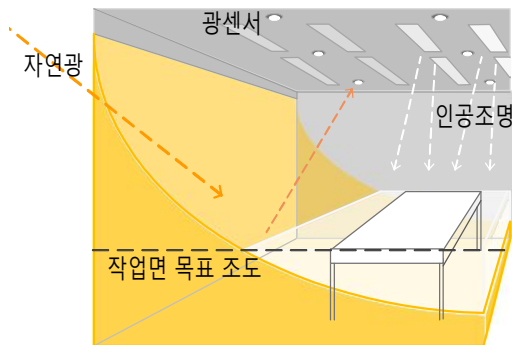


Fig. 2 Image of the daylight responsive dimming system

결과적으로 종래의 디밍제어 시스템을 구현하기 위해서는 많은 조도센서가 필요하게 되고, 이는 초기투자비용의 증가, 디밍 시스템의 보급을 위축시키는 결과를 초래하게 된다<sup>5)</sup>. 한편 디밍제어에 관한 기존 연구들<sup>6)7)</sup>은 광센서의 최적위치, 센서 형태, 광센서 조광제어 시스템의 조명에너지 절감효과 등에 대해 국한되어 있으며, 디밍제어를 보편화하기 위한 연구사례는 아직 보고되어 있지 않다. 디밍제어를 보편화하기 위해서는 초기 투자비용을 절감하기 위한 방안, 조명제어와 공조제어를 연동함으로써 에너지 절감효과를 극대화하는 방안 등에 관한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 디밍제어의 초기 투자비용 절감의 일환으로 주광(晝光)의 입사 조건에 따라 실내 주광조도분포를 예측할 수 있는 식을 개발하고자 한다(그림 3).

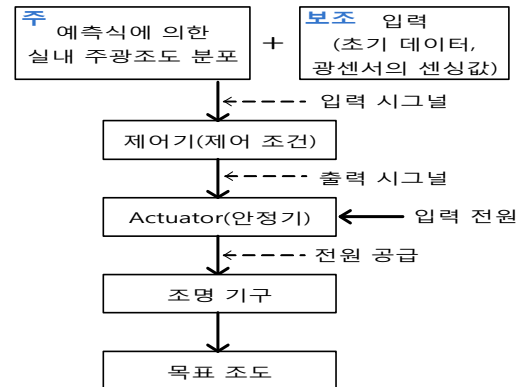


Fig. 3 Conceptual diagram of the daylight responsive dimming system using the prediction equation for interior daylight illuminance

## 2. 기존 실내 주광분포 예측식의 검토

### 2.1 기존 연구의 고찰

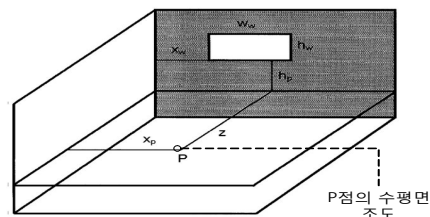


Fig. 4 Concept of the prediction equation for interior daylight illuminance

실내 유입 주광조도를 계산하기 위한 직달 일사와 확산일사를 분리하는 모델<sup>8)</sup>부터 실내의 한 측정점에서 주광조도를 예측할 수 있는 예측식을 제시하고 있다. 그 대표적인 예측식으로 Eero Vartiainen 등<sup>9)</sup>은 실내 주광 조도분포 예측식을 다음과 같이 정의하고 있다.

5) 홍성관, 「광센서 조광제어시스템과 자동롤러셰이딩 시스템의 통합 제어 소프트웨어 개발 및 조명 에너지 절감량 예측 시뮬레이션」, 세종대학교 대학원 석사학위 논문, 2009  
 6) 윤연주 외2, 「소규모 사무실에 적용된 조광제어 시스템의 최적제어를 위한 주광변화 분석」, 대한설비공학회 논문집, 24권, 5호, pp.433~442, 2012  
 7) 박병철 외4, 「친공중류 및 롤러셰이드의 제어된 높이에 따른 주광분포 특성에 관한 연구」, 조명·전기설비학회논문지, 23권, 2호, pp.18~26, 2009

8) Solkol Dervishi, Ardeshir Mdhavi, Computing diffuse fraction of global horizontal solar radiation: A model comparison, Solar Energy, vol.86, pp.1796~1802, 2012  
 9) Eero Vartiainen, Daylighting modelling with the simulation tool Delight, Helsinki University of Technology, Report TKK-F-A799, p.85, 2000

$$E_p = \frac{r_w E_{TV}}{2} \times \left\{ \frac{z}{\sqrt{h_p^2 + z^2}} \left( \tan^{-1} \frac{x_w + w_w - x_p}{\sqrt{h_p^2 + z^2}} + \tan^{-1} \frac{x_p - x_w}{\sqrt{h_p^2 + z^2}} \right) - \frac{z}{\sqrt{(h_p + h_w)^2 + z^2}} \left( \tan^{-1} \frac{x_w + w_w - x_p}{\sqrt{(h_p + h_w)^2 + z^2}} + \tan^{-1} \frac{x_p - x_w}{\sqrt{(h_p + h_w)^2 + z^2}} \right) \right\} \dots\dots\dots (1)$$

기존 예측식은 동서남북 각 창면의 실외 수직면 조도( $E_{TV}$ )와 유리 및 블라인드 투과율( $\tau_w$ ), 실내 측정 위치에 대한 향으로 이루어져 있다. 다음 그림 5와 같이, 기존식에서의 가정은 실외 수직면 조도( $E_{TV}$ ) = 각 창면의  $E_{TV}$ 의 합으로 정의되며, 그리고 실내 각 지점에 대한  $E_{TV}$ 는 일정한 것으로 가정하고 있다.

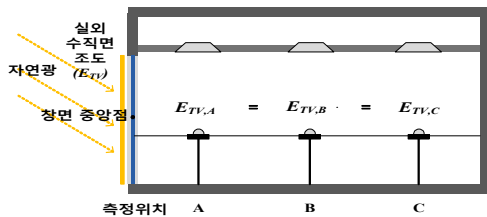


Fig. 5 Concept of the exterior vertical illuminance( $E_{TV}$ )

## 2.2 기존 예측식의 검토

본 연구에서는 기존 예측식의 타당성을 검토하기 위해서 실내 주광분포에 대한 실측을 실시하였다. 실측 내용은 다음과 같다. 측정대상 건물은 경기도 용인시에 위치한 4층 규모의 실험용 건물로써 본 연구와 관련된 실험은 대상건물의 4층 공간에서 이루어 졌다. 대상 공간은 동측, 남측, 북측이 유리커튼월로 마감되어 실내로의 일사유입이 많은 공간이다. 실내 주광조도분포 측정에 관련된 정보는 표 1, 표 2, 표 3, 그림 6과 같다.

Table. 1 Information of the measurement building

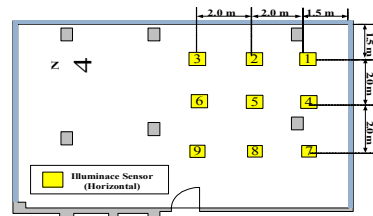
대상 건물	주거성능 실험동, 측정 대상공간은 오피스형 공간.
건물 위치	경기도 용인시 기흥구 중동 (위도37.26°N, 경도 127.16°E)
건물 방위각	반시계방향 9.1°
실 크기	12.2m(넓이)×8.5m(폭)×2.7m(높이)
유리 일사투과율	63%
롤 블라인드 일사투과율	9%

Table. 2 Measurement cases

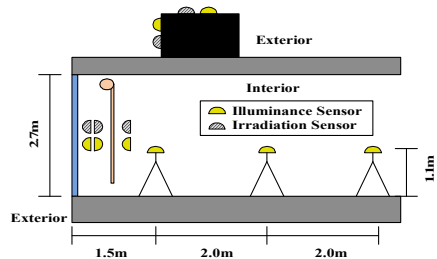
Case	측정일	천공 상태	블라인드 상태	측정시간
1	8월 27일	청천공	개방	8시~18시
2	9월 8일	청천공	폐쇄	10시~16시
3	9월 4일	답천공	개방	8시~18시



(a) Image of the building



(b) Plan (measurement space)



(c) Section (measurement space)

Fig. 6 Information of the measurement space

Table. 3 Measurement equipment

측정요소	측정장비	수량
외부 수평면 전천공 일사량	SP-100MV (Radiation Sensor)	4EA (Sensor)
외부 수직면 전천공 일사량 (북, 남, 동)	XL 100 (Datalogger, 8CH)	1EA
실내 수직면 전천공 일사량 (북, 남, 동)	SP-100MV (Radiation Sensor)	5EA
	MV 1000 (Datalogger, 24CH)	3EA
	CNR1 (Net Radiometer) CR1000(Datalogger)	1EA
실내 수평면 조도	YK-2005LX (Illuminance Sensor)	9EA
실내 수직면 조도	LI-210 (Illuminance Sensor)	9EA
	MV 1000 (DataLogger, 24CH)	3EA

측값 사이에 큰 차이가 발생함을 알 수 있다. 한편 측정점 8번과 같이 직달일사의 영향을 직접 받지 않는 지점의 경우에는 실측값과 예측값의 차이가 크지 않으나 오차가 발생함을 알 수 있다.

위의 결과로부터 기존 Vartiainen의 실내 주광조도 분포 예측식의 한계점은 다음과 같다.

- 기존 실내 주광분포 예측식 (1)은 직달일사의 영향을 고려하고 있지 않음.
- 아울러, 실내 지점별 확산일사( $E_{p,d}$ )의 영향 또는 변화를 고려하지 못함.

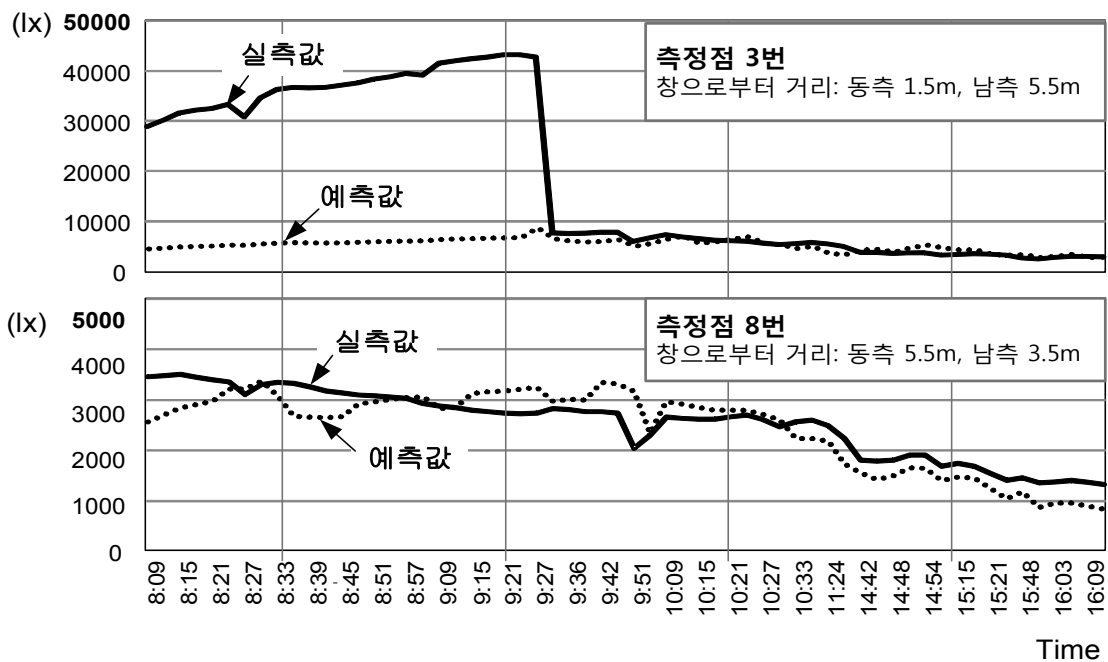


Fig. 7 Comparison between the existing prediction equation & measurement (8/27, Clear sky/Blind open)

Vartiainen의 기존 예측식을 활용하여 예측한 실내 주광조도값과 실측값을 비교한 결과는 그림 7과 같다. 창측에 면한 측정점 3번 지점의 경우, 실내 주광조도가 직달일사의 영향을 직접적으로 받는 오전 중에는 실측값과 예

### 3. 실내 주광조도 분포 예측식의 제안

#### 3.1 실내 주광조도 분포 예측식의 수정

위 2.2 기존 예측식의 검토결과에 따라 실내

주광분포 예측식을 수정하였다.

가. 직달일사의 영향 추가

기존 예측식의 문제점인 직달일사에 대한 부분은 식(2)10)를 추가하여 수정할 수 있다.

$$E_{p,b} = \tau_w(\theta_i) K_b G_b \dots\dots\dots(2)$$

여기서, 유리 및 블라인드의 가시광선 투과율( $\tau_w$ )<sup>10)</sup>은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\tau_w(\theta_i) = 1.018\tau_w(0)\cos\theta_i(1 + \sin^3\theta_i) \dots\dots\dots(3)$$

식 (4)는 태양 위치, 창문방위각<sup>10)</sup>을 정의한다.

$$\cos\theta_i = \cos\theta_s \cos(\psi_s - \psi_w) \dots\dots\dots(4)$$

나. 확산일사에 의한 영향 수정

기존 문헌11)12)을 참고하여 기존 예측식의  $E_{TV}$ 를 측정지점의 휘도(L)로 수정하였다. 그림 8과 같이 휘도(L)는 측정위치마다 창의 중앙점을 바라보는 각도가 다르기 때문에 그 값이 위치마다 차이를 보이게 된다. 휘도는 천공상태에 따라 그 값이 다르게 정의되므로 이를 고려하여 계산한다(식 (6) ~ (8)).

$$E_{p,d} = \frac{r_w L}{2} \times \left\{ \frac{z}{\sqrt{h_p^2 + z^2}} \left( \tan^{-1} \frac{x_w + w_w - x_p}{\sqrt{h_p^2 + z^2}} + \tan^{-1} \frac{x_p - x_w}{\sqrt{h_p^2 + z^2}} \right) - \frac{z}{\sqrt{(h_p + h_w)^2 + z^2}} \left( \tan^{-1} \frac{x_w + w_w - x_p}{\sqrt{(h_p + h_w)^2 + z^2}} + \tan^{-1} \frac{x_p - x_w}{\sqrt{(h_p + h_w)^2 + z^2}} \right) \right\} \dots\dots\dots(5)^{11}$$

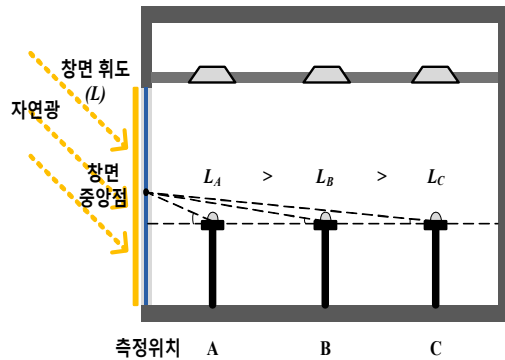


Fig. 8 Concept of window surface luminance(L)

- 천공상태가 Clear sky의 경우<sup>11)</sup>

$$L = L_z \frac{(0.91 + 10e^{-3\gamma} + 0.45\cos^2\gamma)(1 - e^{-0.32/\cos\zeta})}{(0.91 + 10e^{-3Z_0} + 0.45\cos^2Z_0)(1 - e^{-0.32})} \dots\dots\dots(6)$$

- 천공상태가 Partly cloudy sky의 경우<sup>11)</sup>

$$L = L_z \frac{(0.526 + 5e^{-1.5\gamma})(1 - e^{-0.80/\cos\zeta})}{(0.526 + 5e^{-1.5Z_0})(1 - e^{-0.80})} \dots\dots\dots(7)$$

- 천공상태가 Overcast sky의 경우<sup>11)</sup>

$$L = L_z \left( 0.864 \frac{e^{-0.52/\cos\zeta}}{e^{-0.52}} + 0.136 \frac{1 - e^{-0.52/\cos\zeta}}{e^{-0.52}} \right) \dots\dots\dots(8)$$

10) Eero Varitainen, Kimmo Peippo, Peter Lund, Daylight Optimization of Multifunctional Solar Facades, Solar Energy Vol. 68, No. 3, pp.223~235, 2000  
 11) Mark S. Rea, LIGHTING HANDBOOK, IESNA, pp.8-1~28, 2000  
 12) Masanori Shukuya, Environmental Architecture in light and heat by numerical study, Maruzen Co. Ltd., pp.17~84, 1993

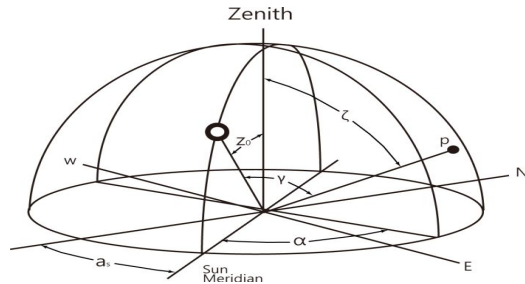


Fig. 9 Sky angles

따라서, 수정된 실내 지점 P의 주광조도 ( $E_p$ )는 다음 식 (11)로 정의된다.

$$E_p = E_{p,b} + E_{p,d} \dots\dots\dots(11)$$

직달일사의 영향에 관한 항( $E_{p,b}$ )은 측정점에 직달일사가 미치지 않는 경우, 이를 제외하고 계산한다.

Table. 4 The sky luminance constant <sup>11)</sup>

Solar Altitude (degrees)	Clear Sky	Partly Cloudy Sky
90	1.034	.637
85	.825	.567
80	.664	.501
75	.541	.457
70	.445	.413
65	.371	.375
60	.314	.343
55	.269	.315
50	.234	.292
45	.206	.272
40	.185	.255
35	.169	.241
30	.156	.230
25	.148	.221
20	.142	.214
15	.139	.209
10	.139	.205
5	.140	.202
0	.144	.201

#### 4. 수정된 실내 주광조도분포 예측식의 검증

수정된 실내 주광조도 분포 예측식으로부터 예측된 각 지점별 실내 주광조도값과 실측값을 비교하여 본 연구를 통해 수정, 제시된 실내 주광분포 예측식의 타당성 검증을 실시하였다.

그림 10 ~ 그림 12는 각 실측조건에 대해 기존 예측식에 의한 실내 주광조도값, 본 연구를 통해 수정된 예측식에 의한 실내 주광조도값을 실측값과의 비교, 검토한 결과를 나타낸다.

그림 10은 청천공, 블라인드 개방조건(8월 27일)에 대해 기존 예측식 및 수정된 예측식에 의한 실내 주광조도 분포와 실측값을 비교한 결과이다.

그림 10과 같이, 수정된 예측식을 통해 예측된 실내 주광 조도값은 직달일사의 영향을 직접 받는 시간과 창측 지점에 대해서도 기존 예측식과 달리 실측값과 매우 일치하는 결과를 보이고 있다. 또한 종래의 예측식에서 실측치와 다소 차이를 보였던 내측 주광조도 분포에서도 확산일사의 영향을 각 지점별로 고려하는 수정된 예측식을 통해 실측값과 일치하는 결과를 보였다.

그림 11의 청천공, 블라인드 폐쇄조건과 그림 12의 담천공 블라인드 개방조건에 대해서도 수정된 예측식은 실측값과 매우 일치하는 결과를 보였다.

태양과 p점사이의 각  $\gamma$ (rad)은 식(9)와 같이 정의된다.<sup>11)12)</sup>

$$\gamma = \cos^{-1}(\cos Z_0 \cos \zeta + \sin Z_0 \sin \zeta \cos \alpha) \dots\dots\dots(9)$$

천정휘도  $L_z$ (kcd/m<sup>2</sup>)는 식 (10)과 같이 정의되며, 여기서, 천정 휘도 상수(ZL)은 표 4와 같다.<sup>11)12)</sup>

$$L_z = E_{kh} ZL \dots\dots\dots(10)$$

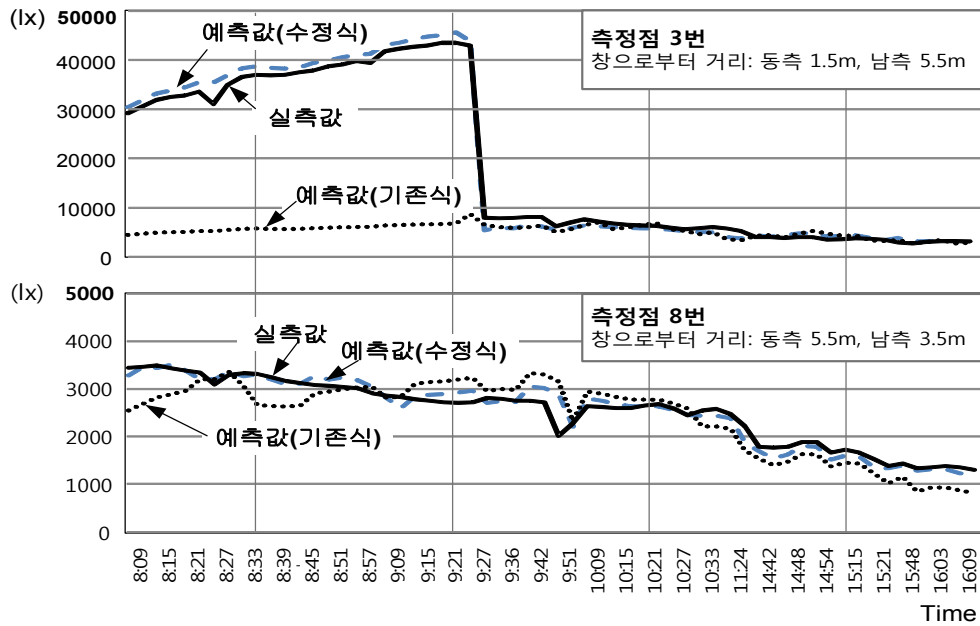


Fig. 10 Comparison between the modified prediction equation & measurement (8/27, Clear sky/Blind open)

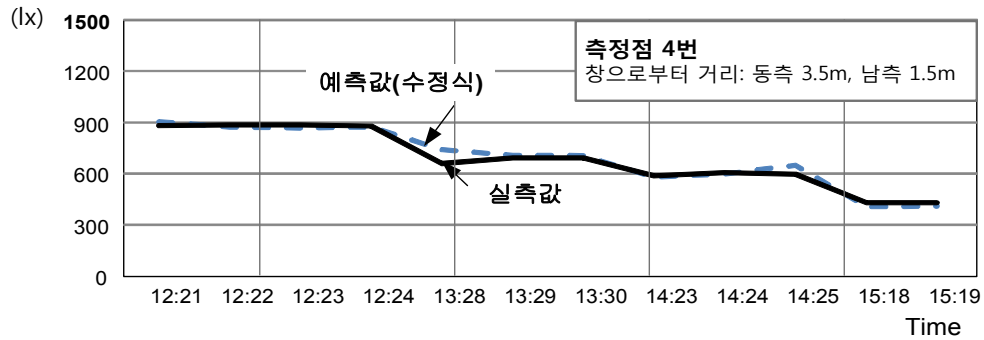


Fig. 11 Comparison between the modified prediction equation & measurement (9/8, Clear sky/Blind close)

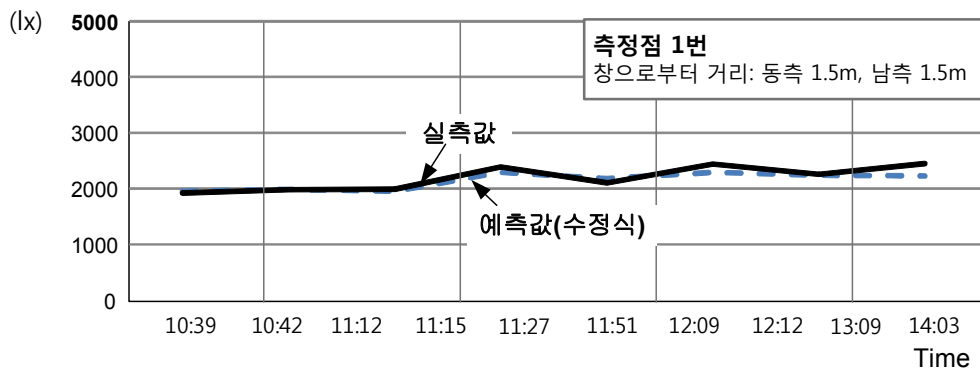


Fig. 12 Comparison between the modified prediction equation & measurement (9/4, Cloudy sky/Blind open)



## 5. 결 론

본 연구에서는 주광을 이용한 디밍제어를 효율적으로 실시하기 위해 주광(晝光)의 입사 조건에 따라 실내 주광조도 분포를 예측할 수 있는 예측식을 제안하고자 하였다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- (1) 본 연구에서는 기존의 실내 주광조도 분포 예측식에 대해 그 타당성을 실측결과와의 비교를 통해 검토하였다. 검토결과 기존의 실내 주광조도분포 예측식은 직달일사의 영향을 고려하고 있지 못하는 점, 실내 지점별 확산일사의 영향의 차이를 고려하지 못하는 점 등의 한계점을 가짐으로써 기존 예측식에 의한 예측값은 실측치와 많은 차이를 보였다.
- (2) 본 연구에서는 기존 예측식에 직달일사( $E_{p,b}$ )의 영향을 추가하고, 아울러 각 지점에서의 각 창면의 휘도를 고려함으로써 각 지점에서의 확산일사( $E_{p,d}$ )의 영향을 보완하는 수정된 예측식을 제안하였다.
- (3) 천공상태, 블라인드 개폐조건 등에 대해 수정된 예측식의 예측결과, 실측치의 실내 주광 조도값과 비교한 결과, 수정된 예측식을 통해 예측된 실내 주광 조도값은 다양한 조건에 대해서 실측치와 매우 일치하는 결과를 보였다.
- (4) 본 연구를 통해 개발되는 실내 주광조도 분포 예측식을 이용할 경우, 기존 디밍제어에서 과도한 광센서로 인한 초기투자비용 상승의 문제를 해결할 수 있을 것으로 판단된다.
- (5) 추후 연구로써 본 연구를 통해 수정된 실내 주광조도 분포 예측식의 정확도를 향상시키기 위한 다양한 건물조건, 일사조건에 대한 실험으로 예측식을 보완할 계획이다.

## 후 기

"이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2005-0049406 )."

## 참 고 문 헌

1. KEMCO(www.kemco.or.kr), "The Forum of Building Energy Policy by Climate Change", 2008
2. Seong, Y. B., "Optimum Blind Control Considering Characteristics of Solar Profile Angle Curve", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.31, No.6, pp.111~123, 2011
3. Kim, H. S., Kim, K. S., "A Study on Lighting Energy Conservation in a Small Office Space with Daylight Dimming Control System", Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.17, No.5, pp.15~17, 2003
4. Lee, H. Y., "The Lighting Control System with the Consideration of Daylighting", Journal of SAREK, Vol.35, No.8, pp.10~15, 2006
5. Hong, S. K., "Development of Integration Control Software and Simulation for Prediction of Lighting Energy Savings for Daylight Responsive Dimming Systems and Automated Roller Shading Systems", Master Dissertation, Sejong University, 2009
6. Yoon, Y. J., Baik, Y. K., Kim, S. Y., "Analyses on Daylight Variations for Optimum

- Controls of Daylight Dimming Systems in a Small Office”, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration engineering, Vol.24, No.5, pp.433~442, 2012
7. Park, B. C., Lim, J. S., Kim, Y. S., Lee, J. H, Choi, A. S., “A Study on the Characteristics of Daylight Distributions by Different Sky Conditions and Controlled Roller Shade Heights”, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, Vol.23, No.2, pp.18~26, 2009
  8. Solkol Dervishi, Ardeshir Mdhavi, “Computing diffuse fraction of global horizontal solar radiation: A model comparison”, Solar Energy, Vol.86, pp.1796~1802, 2012
  9. Eero Vartiainen, “Daylighting modelling with the simulation tool Delight”, Helsinki University of Technology, Report TKK-F-A799, p.85, 2000
  10. Eero Varitiainen, Kimmo Peippo, Peter Lund, “Daylight Optimization of Multifunctional Solar Facades”, Solar Energy, Vol. 68, No. 3, pp. 223~235, 2000
  11. Mark S. Rea, LIGHTING HANDBOOK, IESNA, pp. 8-1~28, 2000
  12. Masanori Shukuya, “Environmental Architecture in light and heat by numerical study”, Maruzen Co. Ltd., pp.17~84, 1993