

조광제어 시스템 적용시 실내조도의 변동예측을 위한 포토센서의 주광조도 분석

김 수 영[†]

연세대학교 주거환경학과

Analyses on Photosensor Illuminance for Prediction of Fluctuating Illuminance by Daylight Dimming Control Systems

Sooyoung Kim[†]

Dept. of Housing and Interior Design, Yonsei University, Korea

(Received September 1, 2010; revision received September 20, 2010)

ABSTRACT: This study examines the influence of fluctuating daylight illuminance on daylight dimming control systems. Field measurements were performed for a full-scale mocked-up model under various daylight conditions in winter. Fluctuating ranges for a partially-shielded photosensor were great when the variation of sky ratio was great. When solar altitude was lower the illuminance and fluctuating range of illuminance were great due to the influence of direct components of daylight and the interreflektion between surfaces in rear area of space. It implies that daylight dimming system would not function effectively, unless the desktop illuminance by daylight is enough. Fluctuation ranges of photosensor illuminance were lower than 50 lx under clear sky conditions, but they were greater than 100 lx under partly-cloudy sky conditions. It means that the fluctuation range of electric light output of lighting fixture would greater under the partly-cloudy conditions and cause potential visual annoyance to occupants. Outdoor vertical illuminance reaching the windows would be an effective factor that can be used to predict the fluctuation of photosensor signals for effective controls of daylight dimming system.

Key words: Daylight(주광), Sky ratio(천공비율), Illuminance fluctuation(조도변동), Dimming control(조광제어), Photosensor(포토센서)

1. 서 론

사무실 공간에 적용되는 조광제어 시스템은(day-light dimming control system) 주광을 추가적인 광원으로 활용하여 전기 조명기기를 제어함으로써 조명 에너지 절약에 효과적으로 기여한다.

조광제어 시스템이 적용되는 경우, 조명기기의 출력량(light output)은 포토센서(photosensor)의 위치 및 센서에 적용되는 차단조건(shielding)에 따라 변화된다. 이는 주광 및 전기조명기기에 의하여 유지되는 실내조도가 센서에서 감지되는 신호의 변화에 따라 자주 변화됨을 의미한다.

이러한 조건에 따른 조도의 변화는 조명 설계단계에서 설정된 목표조도를 효과적으로 유지하는데 있어 문제점으로 나타난다. 변화하는 주광조건에서 조광제어 시스템을 적용하여 최적목표조도의 유지

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-2123-3142; fax: +82-2-313-3139

E-mail address: sooyoung@yonsei.ac.kr

및 조명에너지를 절약하기 위하여 포토센서의 위치 및 포토센서에 적용된 차단조건에 대한 연구가 다양하게 이루어져 왔다.⁽¹⁻³⁾

그러나 조광제어 시스템이 적용되는 경우, 가장 중요하게 고려되어야 할 사항은 짧은 시간간격 동안 변화되는 조도의 증감(fluctuation)이다. 이는 조명조건에 노출되어 주어진 업무를 수행하는 재실자에게 시각적 불쾌감(visual discomfort)을 야기한다. 시각적 자극이 심한 경우, 설치된 조광제어 시스템은 사무실 근무자들의 요구에 의하여 제거되는 경우도 있는 것으로 나타났다.⁽⁴⁾

조광제어 시스템이 적용되는 공간에서 조도의 변화는 천공조건(sky condition)의 변화 시 포토센서가 감지하는 신호의 변화에 따라 제어되는 전기조명기기의 출력량의 변화로 인하여 발생된다. 조광제어 시스템을 활용하여 최적조도 유지 및 조명에너지를 절약하기 위하여 센서에서 감지되는 조도증감에 대한 분석이 필요하다. 본 연구에서는 조광제어 시스템에 의한 전기조명기기의 적정제어를 위한 기초자료의 정립을 위하여, 조광제어 시스템이 적용되는 경우 발생하는 실내조도의 변화를 분석한다. 이를 위하여 다양한 주광조건 아래에서 소규모의 개인 사무실크기로 구성된 실험실 공간에 대한 현장실험이 실시되었다.

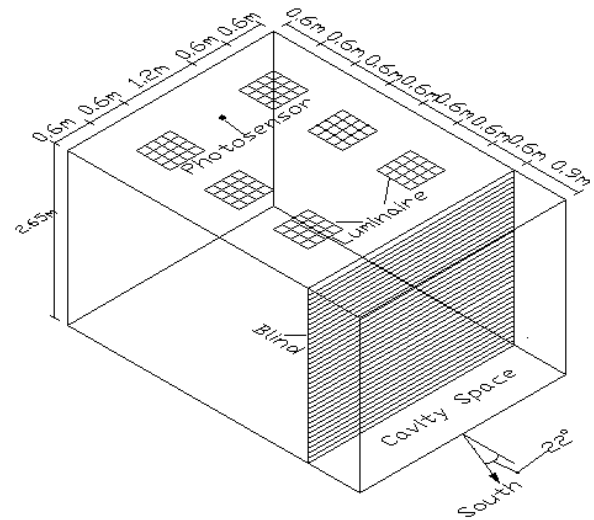


Fig. 1 Tested space.

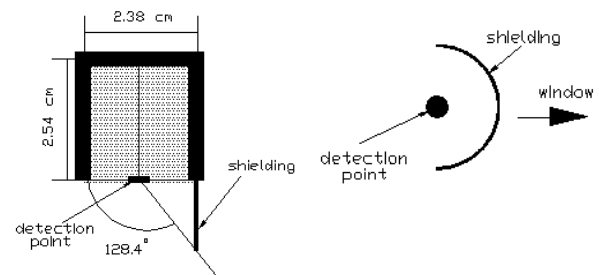


Fig. 2 Photocell shielding condition.

2. 연구 방법

2.1 실험대상 공간

현장실험은 사무소건물의 옥상에 설치된 실험실 공간에서 이루어졌으며, 그 곳의 위도 및 경도는 37.10° 및 126.58°이다. 실험실 공간은 폭 3.6 m, 깊이 4.2 m, 높이 2.65 m로 소규모 개인 사무실공간으로 조성되었다. 실험에 사용된 공간은 Fig.1에 명시되어 있다. 실험실 전면의 전체 부분에 유리로 구성된 이중외피가 설치되어 벽체에서 창호가 차지하는 비율은 100%이었다. 측면부분도 유리로 구성되었으며, 이중외피가 설치된 부분에는 깊이 0.9 m의 공극공간이(cavity space) 구성되어 있었다. 이중외피를 이루고 있는 유리의 일사 및 조도에 대한 투과율은 각각 34.8%와 62.19%이었다. 이중외피의 전면은 정남향에서 동쪽으로 22° 회전되어 설치되었다.

내부외피의 내면에 블라인드(Venetian blind)가 설치되어 실험실 실내에서 블라인드의 각도가 조정되었다. 각 블라인드 슬랫의 폭과 이격거리는 2.54 cm

이었으며, 실험기간동안 블라인드 슬랫은 수평으로 유지되었다. 천정에는 가로 60 cm, 세로 60 cm의 매립형 형광조명기기가 설치되어 직접조명방식의 조건이 설정되었다. 조명기기를 이용하여 설정된 목표조도는 700 lx이었다. 사무실 공간을 조성하기 위하여 바닥에는 사무실용 장판 마감재가 적용되었고, 벽체는 흰색 벽지로 마감되었으며, 천장은 텍스로 마감되었다.

포토센서는 실내외피에서 3.3 m 이격되어 천정에 설치되어 실내바닥을 수직으로 향하도록 설치되었다. 센서에는 부분차단(partially-shielded) 조건이 적용되어 전면의 유리를 통과하여 센서에 직접 도달하는 빛은 차단되었다. 반면, 실험실 공간의 후면 부분에서 센서로 도달되는 빛은 효과적으로 감지되었다. 센서에 적용된 차단조건은 Fig. 2에 나타나 있다.

2.3 데이터 모니터링 조건

실험은 2009년 12월 말부터 매일 실시되었으며, 일일 24시간동안 지속되었다. 천공조건에 따라 변화

하는 외부일사 및 조도의 변화를 분석하기 위하여, 외부에서 전반일사(global irradiance), 확산일사(diffused irradiance), 전반조도(global illuminance), 확산조도(diffused illuminance) 및 이중외피에 도달하는 수직일사와 수직조도가 측정되었다. 이는 천공비율(sky ratio)을 산정하는데 효과적으로 활용되었다.

실내조도변화를 분석하기 위하여, 내부외피에서 0.3 m, 1.2 m 2.1 m 3.0 m 3.9 m 이격된 지점에서 수평면 조도가 측정되었다. 각 벽면중심에서 조도도 측정되어 실내공간에서 조도분포를 분석하는데 활용되었다. 측정기간중 전기조명기기는 작동하지 않는 조건으로 설정하여, 실내에 도달하는 주광의 변화만이 측정되었다. 천정에 설치된 센서의 조도가 측정되어 전기조명기기의 출력량 변화를 예측하기 위한 자료로 사용되었다.

실험에서 조도 및 일사는 L회사에서 생산되는 조도계와 일사계를 이용하여 측정되었으며, 이는 C회사에서 제작된 자동 데이터로거(data logger)를 이용하여 txt 파일로 저장되었다. 사용된 조도센서의 민감도는 20 mA/100 klx로 나타나 있다.⁽⁵⁾ 일사 및 조도는 센서에서 전류로 감지되었으며, 데이터로거는 전압으로 신호를 인식하였다. 따라서 센서와 데이터로거 사이에 저항이 설치되어 센서에서 발생하는 신호는 전압으로 변환되었다. 이러한 변환 과정에는 각 일사 및 조도 센서에 주어진 보정계수(calibration constant)가 적용되어 최종 조도 및 일사는 실제 사용가능한 단위로 변환되었다. 데이터로거의 정확도는 0~40°C의 범위에서 최저 -2.5 mV, 최고 2.5 mV이었다.⁽⁶⁾ 이러한 센서와 데이터로거를 이용하여 조도와 일사는 1분 간격으로 측정되어 저장되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 외부 조도 및 일사의 변화

천공조건의 변화로 인한 외부 일사 및 조도의 변화는 실내의 주광조도 변화에 직접적으로 영향을 주게 되어 이에 대한 분석이 실시되어야 한다.

일사량의 변화에 따라, 천공조건은 3가지 천공상태로 분류되며 이를 구분하기 위하여 천공비율(Sky Ratio, SR)이 사용된다. 이는 전반 일사량중에서 확산 일사량이 차지하는 비율로 표시되며, 그 비율에 근거하여 청천공(SR ≤ 0.3), 부분담천공(0.3 < SR < 0.8), 담천공(SR ≥ 0.8)의 3가지 조건으로 구분된다.⁽⁷⁾

본 연구에서는 천공조건의 변화 및 이에 따른 외부조도의 변화를 파악하기 위하여 일사량의 변화분포에 따른 천공비율이 분석되었다. 측정기간인 동절기 3개월의 각 3일 동안 변화된 전반일사, 확산일사 및 천공비율의 변화는 Fig. 3~Fig. 5에 나타나 있다. 태양으로부터 직접일사 및 천공표면으로부터 유입되는 확산일사량을 같이 포함한 전반일사량은 3개월중 태양고도가 낮은 변화를 보이는 1월에 가장 낮았으며, 태양고도가 증가함에 따라 동반 상승하여 3월에 가장 높은 분포를 보이고 있다. 1월에 최대 663 W/m²를 나타내고 있으며 3월에 최소 113 W/m²에서 최대 966 W/m²의 범위를 보이고 있다. 연중 측정확산일사는 태양으로부터 직접 도달하는 성분이 제외되어, 전반일사에 비교하여 비교적 안정적인 변화분포를 보이고 있다. 전반일사가 안정적으로 증가하는 분포를 보이는 구간에서 확산조도는 태양고도에 상관없이 낮은 것으로 나타났다. 반면 전반일사량의 증감이 심한 구간에서 확산일사의 양은 증가하였다.

각월에 발생한 천공비율은 3월을 제외한 두 달의

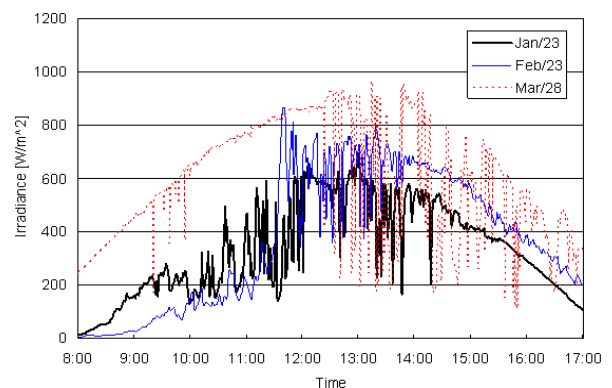


Fig. 3 Variation of global irradiance.

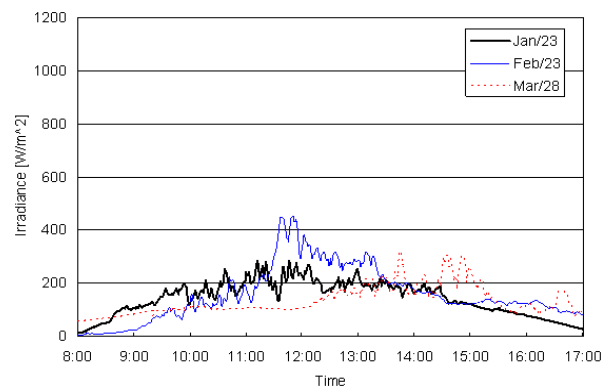


Fig. 4 Variation of diffused irradiance.

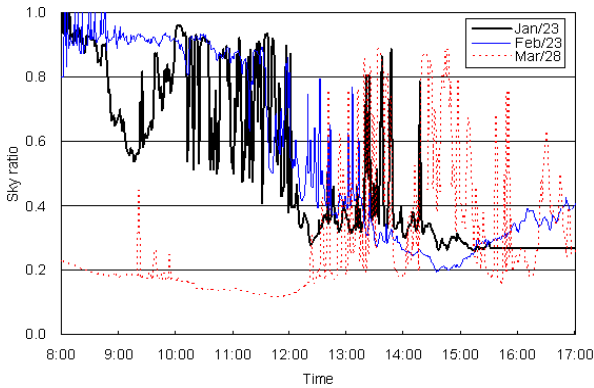


Fig. 5 Variation of sky ratio.

Table 1 Frequency analysis for sky ratio

| Sky Ratio(SR) | Jan./23 | | Feb./22 | | Mar./28 | |
|----------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Freq. | % | Freq. | % | Freq. | % |
| SR <= 0.3 | 157 | 28.97 | 128 | 23.62 | 400 | 73.80 |
| 0.3 < SR < 0.8 | 258 | 47.60 | 205 | 37.82 | 120 | 22.14 |
| SR >= 0.8 | 127 | 23.43 | 209 | 38.56 | 22 | 4.06 |
| Total | 542 | 100.0 | 542 | 100.0 | 542 | 100.0 |

각 일에 전반적으로 부분담천공 조건으로 나타났다. 확산일사량과 전반일사량의 비율에 근거한 각 월의 측정일에 발생된 천공조건 비율의 변화는 Table 1에 있다. 1월과 2월의 경우 부분담천공 조건이 일일 오전 8시부터 오후 5시까지 10시간동안 각각 47.6% 및 37.82%의 시간에 해당하는 동안 나타났으며, 그 이외 시간동안에는 청천공 및 담천공 조건으로 구성되었다. 3월의 경우, 청천공조건이 전반적으로 우세하게 나타났다.

이러한 천공조건의 변화에 영향을 받으며 외부의 전반조도 및 이중외피의 유리면에 도달하는 수직조도는 변화하였다. 각 월의 선정된 날에 발생된 조도의 변화분포는 Fig. 6~Fig. 7에 나타나 있다. 전반조도는 전반일사의 변화분포와 매우 유사한 변화분포를 나타내었다. 태양고도의 변화 및 천공조건의 변화에 따라 조도는 변화하였으며, 3월의 경우 오전 시간대에는 청천공조건에서 높은 조도값을 나타내었다. 12시 40분에 88,000 lx의 최대값을 보이고 있으며 천공조건의 변화됨에 따라 조도는 증감하였다. 1월 및 2월의 오후 시간대에는 청천공조건에서 나타나는 비교적 안정적인 조도의 변화분포를 보이고 있으나, 오전 시간대에는 조도의 증감폭이 현저한 것으로 나타났다.

유리면에 도달하는 수직조도의 경우 청천공조건

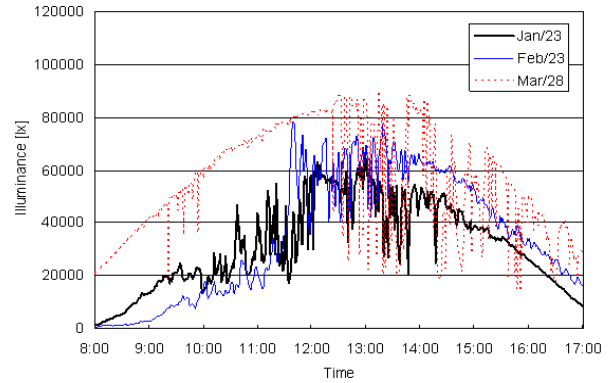


Fig. 6 Variation of global illuminance.

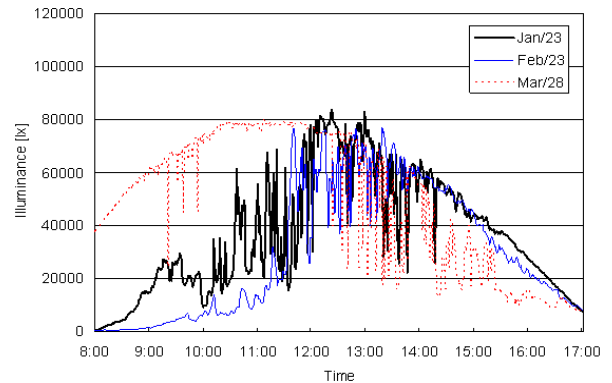


Fig. 7 Variation of vertical illuminance.

이 존재하는 3월의 오전시간대에는 안정적으로 증가하였으며, 11시 9분에 최대 2,349 lx를 나타내었다. 이는 실험실 공간이 남쪽으로부터 동쪽으로 22° 회전되어 위치하여 발생되었다. 1월 및 2월의 경우 오전 시간대에는 부분담천공 조건이 형성되어 조도의 증감이 현저하였으며 오후 시간대보다 조도값이 낮게 나타났다. 이는 오전시간대에 이중외피의 표면과 태양이 수직으로 존재하는 조건이 발생하는 시간대이지만, 청천공조건이 형성되지 않아 나타난 것으로 판단된다.

3.2 실내조도변화 및 실외조도와 의 상관관계

실내외피 중심에서 각각 2.1 m 및 3.0 m 이격된 두 지점에서 측정된 책상면 조도의 평균값 분포는 이중외피의 유리면에 수직으로 도달하는 조도의 변화분포와 유사하게 나타났다. 책상면 조도의 평균값 분포는 Fig. 8에 나타나 있다. 책상면의 조도는 2월의 경우 천공비율이 높은 부분담천공 조건이 형성되어 낮게 나타났다. 천공비율이 상대적으로 높은 1월의 경우 책상면 조도는 2월의 조도에 비교하

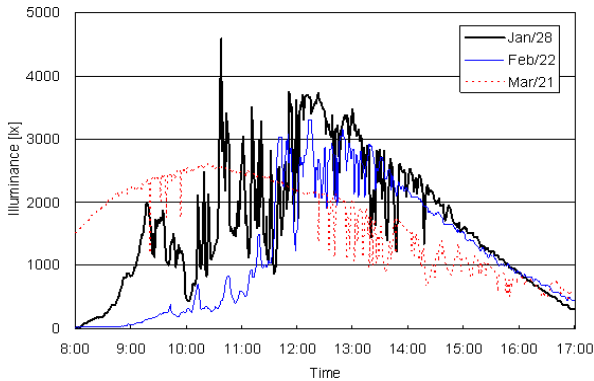


Fig. 8 Variation of desktop illuminance.

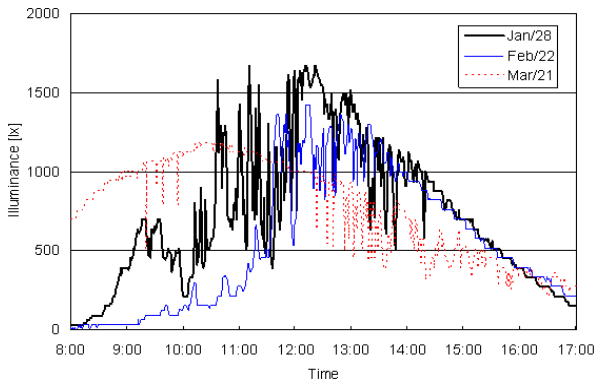


Fig. 9 Variation of photosensor illuminance.

여 높게 나타났다. 청천공 조건이 형성된 3월의 오전 시간대에는 가장 높은 값을 나타내었으나, 부분담천공 조건이 형성되기 시작하면서, 조도는 1월 및 2월보다 낮게 나타났다.

2월의 경우 주광조도는 10시 10분부터 500 lx를 초과하기 시작하였으며, 11시 16분부터 15시 50분까지 1,000 lx를 초과하였다. 3월의 경우 14시 17분부터 1,000 lx 이하의 조도분포를 보이고 있다. 이는 수평브라인드가 설치되어 있고 태양의 고도가 낮게 분포하는 동절기의 경우, 태양으로부터 책상면에 직접 도달하는 직달조도의 영향으로 인하여 발생한 것으로 판단된다. 또한, 소규모 크기의 공간에 전면이 100% 유리로 구성되어 있어 유리를 통한 주광조도의 과다입사 및 실내표면에서의 효과적인 반사작용으로 인하여 높은 조도를 나타낸 것으로 판단된다.

천정면에 설치된 포토센서의 조도변화는 Fig. 9에 나타나 있다. 전반적인 변화분포는 이중외피의 유리면에 도달하는 수직면의 조도보다는 책상면의 조도변화 분포와 더욱 유사하게 나타났다. 이는 유리에 도달한 주광은 2.54 cm 간격으로 수평으로 설치된 블라인드 슬랫에 의하여 반사되어 실내로 도달

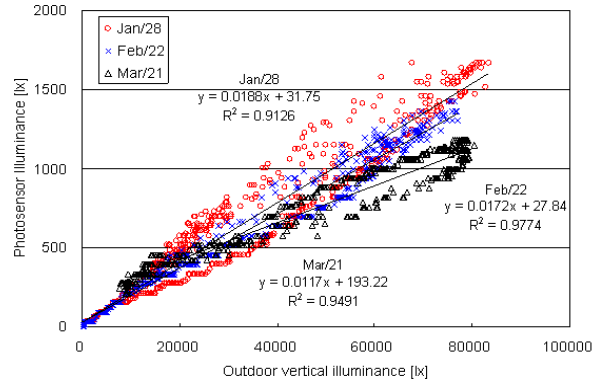


Fig. 10 Relationship between outdoor vertical illuminance and photosensor illuminance.

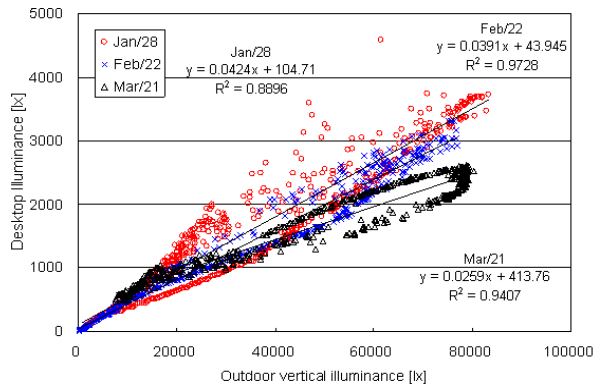


Fig. 11 Relationship between outdoor vertical illuminance and desktop illuminance.

하기 때문에 발생한 것으로 판단된다.

청천공조건이 조성된 3월의 오전 시간대에서 안정적인 변화분포를 보인 반면, 부분담천공 조건이 형성된 1월 및 2월의 오전시간대에서 조도의 증감량이 현저한 것으로 나타났다. 태양고도가 낮은 1월의 경우, 센서에서 감지되는 조도는 3월에 감지되는 조도보다 낮게 나타났다. 이는 센서에서 감지되는 조도의 값은 천공조건 및 태양고도의 영향을 받아 발생한 것으로 분석된다. 태양고도가 낮은 경우, 실내 깊숙이 직사조도가 유입되고 이로 인한 실내에서 반사과정이 발생되어 센서가 감지하는 조도는 증가한다. 센서에 부분차단조건이 적용되어 있어 창문을 통하여 직접 센서부분으로 도달하는 주광은 차단되었으며, 후벽면 및 책상면으로부터 반사되어 도달하는 부분은 효과적으로 감지되어 발생한 것으로 판단된다.

동절기동안 측정된 이중외피 유리면에서의 수직조도와 포토센서 및 책상면의 조도변화 간의 상관관계는 Fig. 10~Fig. 11에 나타나 있다. 유리면에

서의 수직조도는 태양고도가 낮은 1월에 가장 높게 나타났으며, 고도가 높아짐에 따라 차차 감소하는 경향을 보이고 있다. 수직조도가 증가할수록 포토센서의 조도 및 책상면의 조도는 증가하였으며, 수직조도와 포토센서조도 사이의 결정계수(r^2)는 포토센서의 경우 0.9126이상으로 나타나 상관성은 매우 높은 것으로 분석되었다. 수직조도와 책상면의 조도사이의 상관성은 결정계수가 0.8896이상의 범위를 보이고 있지만, 포토센서조도의 경우에 비교하여 상대적으로 낮은 것으로 나타났다. 이는 태양고도가 낮은 경우 책상면은 직접 주광의 영향을 받지않, 포토센서의 경우 부분차단 조건이 적용되어 직사주광의 영향보다 실내표면에서 반사되는 성분의 영향을 받아 발생된 것으로 판단된다.

3.3 실외 및 실내 조도증감 변화

천공조건이 변화함에 따라 실외의 조도는 주어진 시간간격동안 변화하게 된다. 실외조도의 증감으로 인하여 실내조도는 변화하게 되며, 이에 따라 포토센서에서 감지되는 조도는 변화하여 전기조명기기의 최종 출력양도 변화한다. 결과적으로 이러한 조도의 변화는 전기조명기기에 의한 조도변화를 초래한다. 3월 21일에 1분 간격으로 변화된 실외의 전반조도의 증감량과 이중외피의 유리에 도달한 수직조도의 증감량은 Fig. 12~Fig. 13에 나타나 있다.

3월 21일에는 전반적으로 청천공 조건이 우세하게 나타났으나, 부분담천공 조건이 형성되었을 경우, 조도의 증감량이 높게 나타나 선정하여 기술한다. 청천공조건이 형성된 12시전까지의 오전 시간대에서 외부 전반조도의 증감은 최대 4,600 lx로 나타났다. 부분담천공 조건이 조성된 오후시간대에서 증감량은 최대 63,980 lx로 나타나 천공조건의 변화에 따라 전반조도 증감량은 영향을 받는 것으로 나타났다.

실내조도의 변화 분포와 유사했던 이중외피의 표면에 도달하는 수직조도의 증감량은 청천공조건에서 최대 5,980 lx로 나타났으며, 부분담천공 조건이 형성된 시간대에서 최대 49,050 lx로 나타났다. 수직면 조도의 증감량은 전반조도의 증감량의 변화분포와 유사하였다. 그러나 이중외피가 설치된 전면이 남쪽에서 동쪽으로 22° 회전되어 위치하여 오후 시간대에 수직조도의 증감량은 전반조도의 증감량에 비교하여 적게 나타났다. 외부조도의 증감분포는 천공비율(SR)의 변화분포와 매우 유사한 것으로 나타나 천공비율의 변화가 외부조도의 증감에 영향을 주는

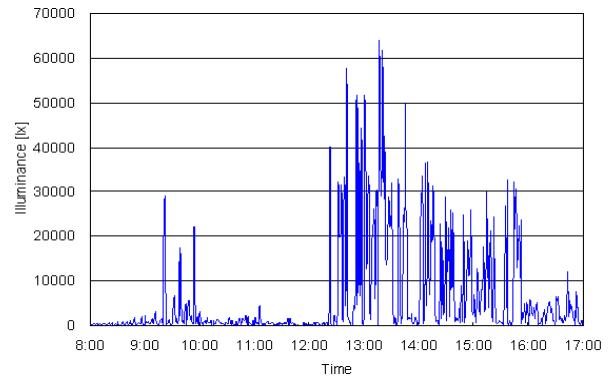


Fig. 12 Global illuminance fluctuation(3/21).

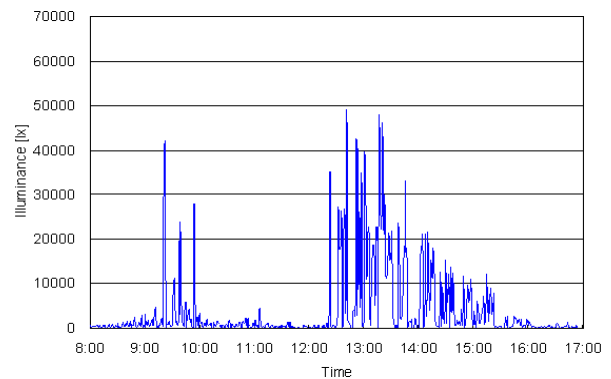


Fig. 13 Vertical illuminance fluctuation(3/21).

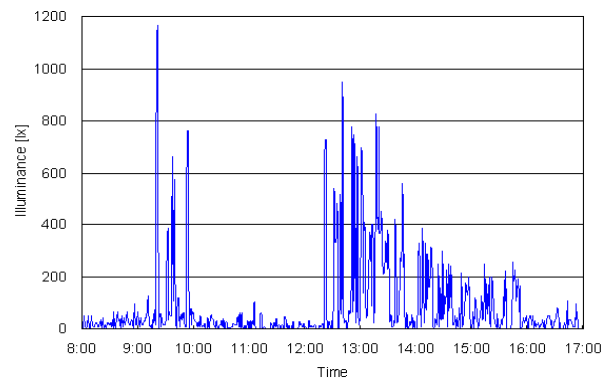


Fig. 14 Desktop illuminance fluctuation(3/21).

중요한 인자인 것으로 판단된다.

책상면 조도의 증감량 변화는 Fig. 14에 나타나 있다. 실내 책상면의 조도증감은 부분담천공 조건의 경우 최대 1,166 lx이었으며, 청천공 조건의 경우 105 lx 미만이었다. 이는 부분담천공조건이 형성되는 경우 책상면에서의 조도변화 범위는 넓어져 실내거주자에게 시각적인 불만족도(visual discomfort)를 초래할 수 있는 범위의 조도증감량에 포함됨을 의미한다.^(8,9)

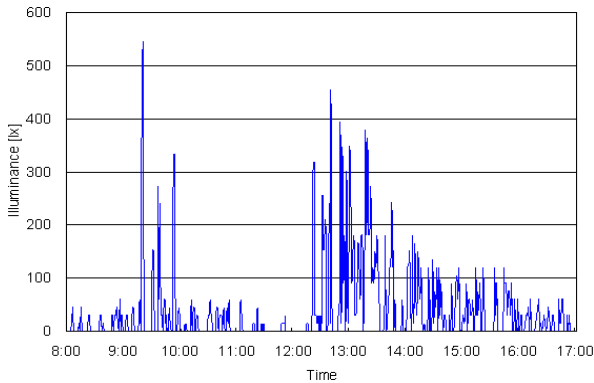


Fig.15 Photosensor illuminance fluctuation (3/21).

Table 2 Frequency analysis for fluctuation of photosensor illuminance

| Fluctuated Range (FR) | Jan./23 | | Feb./22 | | Mar./28 | |
|-----------------------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | Freq. | % | Freq. | % | Freq. | % |
| FR < 50 | 370 | 68.39 | 448 | 82.81 | 418 | 77.29 |
| 50 < FR < 100 | 63 | 11.65 | 43 | 7.95 | 54 | 9.98 |
| 100 < FR < 200 | 40 | 7.58 | 34 | 6.28 | 48 | 8.87 |
| 200 < FR < 300 | 26 | 4.81 | 9 | 1.66 | 8 | 1.48 |
| FR > 300 | 41 | 7.58 | 7 | 1.29 | 13 | 2.50 |
| Total | 541 | 100 | 541 | 100 | 541 | 100 |

조광제어 시스템이 적용되는 경우 가장 중요하게 고려되어야 하는 포토센서에서 감지되는 조도의 증감량의 변화는 Fig. 15에 나타나 있으며, 이에 대한 빈도분석(frequency analysis)는 Table 2에 나타나 있다. 증감량은 부분담천공인 경우 최대 546 lx이었으며, 청천공 조건에서는 최대 61 lx로 나타났다. 이는 조광제어 시스템에 적용되는 제어알고리즘(control algorithm)에 의한 전기조명기기의 출력량 변화폭이 각기 다르다는 것을 암시한다. 따라서 청천공조건에서 조광제어 시스템이 적용되는 경우, 전기조명의 출력량 변화(light output)범위가 좁아져 재실자는 조명조건에 만족하는 확률이 높다는 것을 의미한다. 그러나 부분담천공의 경우 전기조명기기의 출력량의 변화폭이 증가하므로, 조광제어 시스템이 적용되어 실내조명환경이 제어되는 것에 대한 재실자의 만족도는 감소할 수 있음을 의미한다.^(8,9)

3.4 조도증감의 상관관계

조광제어 시스템이 적용되는 경우 실내에서 전기조명에 의한 조도변화는 포토센서에서 감지되는 조

도에 가장 많은 영향을 받는다. 포토센서에서의 조도는 유리를 통하여 유입되는 수직조도의 변화에 영향을 받으므로 이에 관한 분석이 필요하다. 직접적으로 전기조명에서의 출력량의 변화를 결정하는 인자는 포토센서에서의 조도증감량(illuminance fluctuation) 변화이다. 이는 천공비율의 변화에 따른 외부조도의 증감의 변화에 영향을 받는다. 천공비율의 변화에 따른 외부의 전반조도 및 유리면에 입사하는 수직조도사이의 상관관계는 Fig. 16~Fig. 17에 나타나 있다.

천공비율의 변화가 클수록 외부의 조도변화범위는 증가하였으며 그 상관성은 결정계수(r^2)가 최저 0.5 이상으로 나타나 유효한 것으로 분석된다. 전반조도의 증감범위의 경우 상관성이 높게 나타난 원인은 건물이 남쪽에서 동쪽으로 22° 회전되어 상대적으로 직사조도의 영향이 적어서 발생된 것으로 판단된다.

포토센서에서 감지되는 조도의 증감은 유리면에 입사하는 주광의 변화와 책상면 조도의 변화에 따라 변화된다. 건물전면의 유리에 입사하는 수직조도의 증감량과 포토센서의 조도증감량에 관한 상관관계는 Fig. 18에 나타나 있다. 두변수간의 상관성은 결정계수(r^2)가 최고 0.9238으로 나타나 매우 높은 것으로 분석되었다. 이는 전면 유리에 수직으로 입사하는 조도증감량을 사용하여 포토센서의 증감량을 예측하는 경우 발생하는 오차변화(error variation)가 92.38% 감소되는 것을 의미한다.

한편, 포토센서 조도의 증감량과 책상면에서 조도의 증감량과의 상관관계는 수직면조도의 증감량과 포토센서조도의 증감량간의 상관성보다 더욱 높게 나타났다. 두 변수간의 상관관계는 Fig. 19에 나타나 있다. 책상면에서의 조도증감량을 사용하여 포토센서의 증감량을 예측하는 경우 오차변화(error variation)는 최대 93.54% 감소되어, 예측값은 더욱 정확하게 결정됨을 의미한다. 따라서 포토센서에서 감지되는 조도의 증감량의 변화는 책상면의 조도증감량을 적용하면 가장 정확하게 예측됨을 의미한다. 그러나 이는 센서를 책상면에 설치하여야 하는 제한점이 있어, 현실적으로 적용하기는 쉽지 않다. 따라서 부분담천공조건에서 천공비율이 변화하여 실내로 유입되는 주광조도의 값이 변화하는 경우, 전기조명기기의 출력량을 효과적으로 제어하기 위하여 건물 전면의 유리에 유입되는 주광의 변화를 정확하게 예측하여 포토센서의 제어를 실시하여야 한다.

포토센서에서 감지되는 조도의 증감량에 영향을

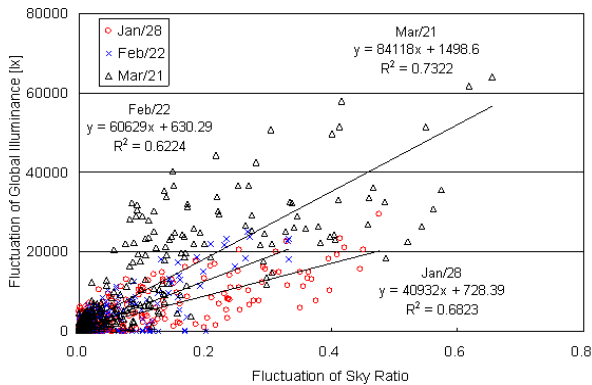


Fig. 16 Relationship between the fluctuation of sky ratio and outdoor global illuminance.

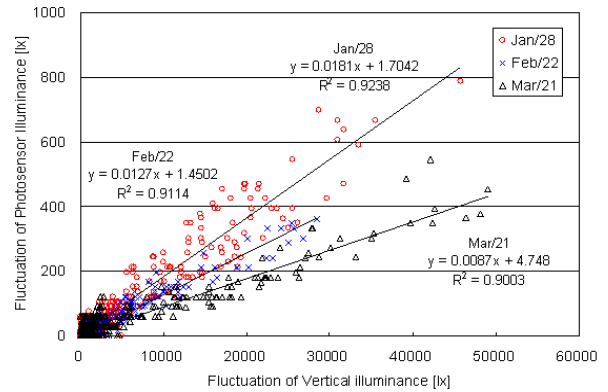


Fig. 18 Relationship between the fluctuation of outdoor vertical and photosensor illuminance.

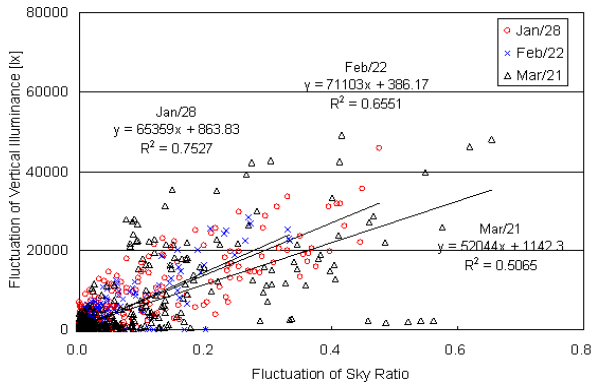


Fig. 17 Relationship between the fluctuation of sky ratio and outdoor vertical illuminance.

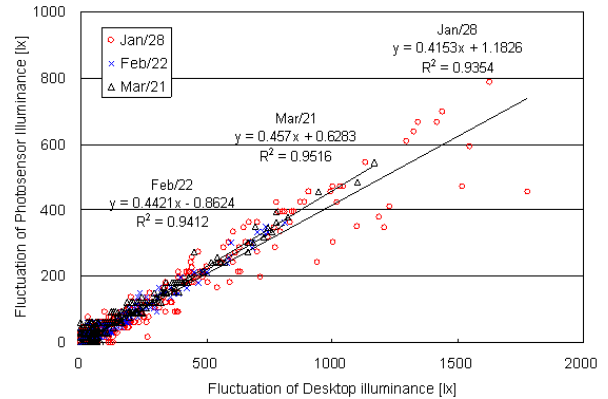


Fig. 19 Relationship between the fluctuation of desktop and photosensor illuminance.

미치는 인자를 분석하기 위하여 다중선형회귀분석 (multiple linear regression)이 실시되어, 포토센서 조도의 증감량에 대한 예측식이 결정되었다. 포토센서 조도의 증감량을 종속변수로 선정하였고, 외부전반조도의 증감량, 전면유리에 입사하는 수직조도의 증감량 및 책상면조도의 증감량을 독립변수로 설정하였다. 모델식의 분석결과는 Table 3에 나타나 있다.

세 가지 독립변수가 적용된 모델식에 대한 검증 결과는 신뢰도 수준 0.01이하에서 유효한 것으로 분석되었다($F(3,1622) = 10,907.5$, Sig. = 0.0). 모델식에서 고려된 세 가지 독립변수와 포토센서 조도의 증감량의 상관성은 결정계수(r^2)가 0.9527로 나타나 매우 높은 것으로 분석되었다. 이는 세 개의 독립변수를 적용하여 포토센서의 조도증감을 예측하는 경우, 포토센서 조도의 증감량에 대한 변화량(variation)이 95.27% 감소하는 것을 의미한다. 이러한 분석결과는 유효한 값으로 인정되며 예측모델식은 효과적으

Table 3 Multiple regression for fluctuating photosensor illuminance

| Illuminance Fluctuation | U.C | | t | Sig. |
|-------------------------|---|------|-------|------|
| | B | S.E | | |
| Constant | 0.431 | 0.57 | 0.75 | 0.45 |
| Desktop | 0.324 | 0.01 | 57.56 | 0.00 |
| Vertical | 0.005 | 0.00 | 16.09 | 0.00 |
| Global | -0.001 | 0.00 | -6.76 | 0.00 |
| ANOVA | $r^2 = 0.9527$, $F(3,1622) = 10,907.54$, Sig. = 0.00 | | | |

로 적용된다.⁽¹⁰⁾

모델식에 의하면, 포토센서에서 조도의 증감량은 적용된 세 개의 독립변수에 의하여 각기 영향을 받는 것으로 나타났으나, 책상면 조도의 증감량 및 유리면에 입사하는 수직면조도의 증감량에 민감하게

영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 전기조명 기기가 조광제어 시스템에 의하여 제어되는 소규모 사무실 공간에서 포토센서의 조도변화에 근거하여 전기조명기기의 출력량을 효과적으로 조절하기 위하여, 책상면의 조도 및 유리면에 수직으로 입사하는 조도의 증감량이 제어의 기준으로 설정되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 소규모 사무실공간을 대상으로 조광제어 시스템이 적용되는 경우 포토센서에서 감지되는 조도의 변화량이 분석되었다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 외부전반 조도 및 건물의 전면에 유입되는 수직주광 조도는 천공비율(sky ratio)의 증감에 따라 다양하게 변화하였다. 천공비율의 증감이 큰 경우 외부에서 주광조도의 변화폭은 높아 실내책상면의 조도변화의 증감량도 크게 발생하였다. 이는 소규모 크기의 공간에 전면이 100% 유리로 구성되어 있어, 유리를 통한 주광조도의 입사 및 실내표면에서의 효과적인 반사작용으로 인하여 나타난 것으로 판단된다.

(2) 태양고도가 낮은 경우 실내의 깊은 부분까지 직사조도가 유입되고 이로 인한 실내에서 반사과정으로 인하여 포토센서가 감지하는 조도는 태양고도가 높은 경우에 비교하여 높게 나타났다. 이는 포토센서에 부분차단조건이 적용되어 있어 창문을 통하여 직접 센서부분으로 도달하는 주광은 차단되었으며, 후벽면 및 책상면으로부터 반사되어 도달하는 부분은 효과적으로 감지되어 발생된 것으로 판단된다. 이러한 경우, 주광에 의한 책상면의 조도가 충분히 유지되지 않으면, 조광제어 시스템을 적용하는 경우 전기조명기기가 과도하게 디밍(dimming)되어 책상면에서 목표조도를 유지할 수 없을 것으로 판단된다.

(3) 포토센서에서 감지되는 조도의 증감량은 부분담천공에서는 100 lx이상으로 크게 나타났으며, 청천공 조건에서 변화폭은 50 lx이하로 이 매우 좁게 다양하게 나타났다. 이는 조광제어 시스템의 제어기에 적용되는 제어알고리즘(control algorithm)에 의한 전기조명기기의 출력량 변화범위가 청천공조건에서 안정적인 것임을 의미한다. 이러한 조건의 경우 재실자는 조명조건에 만족하는 확률이 높다는 것을 암시한다. 그러나 부분담천공의 경우 전기조명

기기의 출력량의 변화폭이 증가하므로, 조광제어 시스템이 적용되어 실내조명환경이 제어되는 것에 대한 재실자의 만족도는 감소할 수 있음을 의미한다.

(4) 포토센서에서 감지되는 조도의 증감량의 변화는 책상면조도의 증감량과 상관성이 매우 높은 것으로 나타났다. 이는 가장 효과적인 센서의 위치가 책상면임을 암시한다. 그러나 센서를 책상면에 설치하여 조명기기를 제어하는 점에서 현실적으로 한계점이 있으므로, 전기조명기기의 출력량의 변화범위를 효과적으로 제어하기 위하여, 건물 전면의 유리에 유입되는 주광의 증감범위를 포토센서의 제어에 적용하는 것을 제안한다.

5. 연구의 한계점 및 향후연구

본 연구에서는 제한된 동절기 기간동안 실시된 현장 측정데이터중 대표일의 자료를 근거로 분석이 이루어졌다. 태양고도의 변화는 계절별에 따라 매우 다르게 나타나며, 천공비율의 변화도 변화하게 된다. 동일한 천공비율조건에서도 주광조도는 변화할 수 있으므로 보다 다양한 주광조건 및 포토센서조건에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 2008년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2008-313-D01160).

참고문헌

1. Kim, S. and Mistrick, R., 2001, Recommended daylight conditions for photosensor system calibration in a small office, The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America, pp. 176-188.
2. Kim, S., Alzoubi, H. and Ihm, B., 2009, Determining photosensor settings for optimum energy saving of suspended lighting systems in a small double-skinned office, International Journal of Energy Research, pp. 618-630.
3. Mistrick, R. and Thongtipaya, J., 1997, Analysis of daylight photocell placement and view in a small office, The Journal of the Illuminating Engineering Society of North America,

- pp. 150-160.
4. Love, J., 1993, Field performance of daylighting system with photoelectric controls, Proceedings of the Illuminating Engineering Society of North America annual Conference TX, USA.
 5. Li_COR Inc., 2005, Li-COR sensor instruction manual.
 6. Campbell Scientific Inc. 2000, CR 23X Micro logger operator's manual.
 7. Rea, M., 2002, IESNA Handbook 9th editions, The Illuminating Engineering Society of North America.
 8. Kim, S. and Kim, J., 2007 Influence of light fluctuation on occupant visual perception, Building and Environment, Vol. 42, pp. 2888-2899.
 9. Kim, S. and Kim, J., 2007 The Effect of Fluctuating Illuminance on Visual Sensation in a Small Office Environment, Indoor and Built Environment, Vol. 16, pp. 331-343.
 10. Neter, M. Kutner, Jachtsheim, C. and Wasserman, W., 1996, Applied linear statistical models, WBC McGraw-Hill New York.