

소규모 개인 사무실 공간에서 포토센서 적용조건에 따른 디밍 제어효과 분석

김수영[†], 이지현^{*}

연세대학교 주거환경학과, ^{*}KAIST 문화기술대학원

The Influence of Photosensor Configurations on Control Performance of Daylight Dimming Systems in a Small Private Office

Sooyoung Kim[†], Ji-Hyun Lee^{*}

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

^{}Graduate School of Culture Technology, KAIST, Korea*

(Received January 21, 2011; revision received February 15, 2011)

ABSTRACT: This study examines influences of a daylight dimming control system on the variation of indoor illuminance and lighting energy savings in a small office space. Field measurements and a series of computation were performed for typical types of sky conditions in summer. Results indicate that the daylight illuminance under clear and partly-cloudy sky were close to the target illuminance during a majority of time due to a higher ratio of window to wall. However, the target illuminance was not kept successfully due to the variation of photosensor signals which were strongly influenced by desktop illuminance. The system with partially-shielded conditions succeeded to keep target illuminance under clear sky conditions. The system failed under overcast sky conditions since the electric light output from fixtures caused excessive signals to photosensors due to insufficient daylight on a desktop. Unshielded and fully-shielded conditions were not recommended for effective controls of the systems. The influence of lighting fixtures on photosensors should be minimized to achieve successful lighting controls by daylight dimming systems.

Key words: Daylight dimming system(조광제어), Daylight(주광), Sky conditions(천공조건), Photosensor(포토센서), Lighting fixture(조명기기)

1. 서론

건물에서 주된 에너지소비는 실내 열환경을 쾌적 범위로 유지하는데 필요한 냉방 및 난방에너지와 조명환경을 조성하는데 소요되는 전기조명 에너지로

구분된다. 건물에서 거주자에게 필요한 기타부분의 에너지 소비도 있지만, 사무소등과 같은 상업용 건물에서 냉난방과 조명에너지 부분이 높은 비율을 차지하고 있다. 상업용 건물은 고층으로 건축되고 있으며, 구조적인 장점, 시공적 효율성 및 건축과정에서 발생될 수 있는 환경부하를 절감하기 위하여 유리벽식 구조가 적용되고 있다. 유리벽식 고층구조 건물에서는 외피에 적용되는 유리의 열관류율로 인하여 열손실이 효과적으로 차단되지 않는다. 또한

[†] Corresponding author

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

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

일사의 영향으로 냉방부하가 증가하여 냉방에너지의 소비를 초래한다. 이러한 여건에서 고층구조건물에서 효과적인 에너지소비를 유지하기 위하여 이중외피시스템이 적용되기도 한다.^(1,2)

건물의 전면(facade)이 유리로 건축되는 경우, 주광(daylight)이 효과적으로 실내로 유입된다. 이는 천공조건 및 외피부분에 설치된 차양장치 조건에 따라 변화하지만, 전기조명에 의하여 유지되는 조명환경에 추가적인 자연광원(natural light source)으로 효율적으로 활용된다. 주광을 실내조명환경 유지에 적절히 활용하기 위하여 조광제어시스템(daylight dimming system)이 적용되고 있다. 그러나 이는 다양한 천공조건에서 발생하는 주광의 변화에 기초하여 전기조명을 제어하므로 실내에 필요한 안정적인 조도분포를 유지하기 위하여 디밍 제어 시스템 구성인자는 효과적으로 적용되어야 한다.

조광제어 시스템이 적용되는 경우, 실내의 조도는 포토센서(photosensor) 조건과 디밍 제어기(dimming controller)의 민감도에 따라 조절되는 전기조명 기기의 출력량에 영향을 받으므로 이 변수는 신중히 고려되어야 한다. 특히, 건물전면이 유리로 마감되는 경우 과도한 주광이 유입되는 경우가 발생하므로, 최적조도를 유지하며 조명에너지를 절약하기 위하여 센서위치 및 설정조건에 대한 검토가 필요하다.

이를 위하여 포토센서조건 및 디밍 제어기조건에 따른 제어효율에 대한 연구가 진행되어 왔다.⁽³⁻⁵⁾ 그러나, 이는 특정이론에 기초하여 작성된 알고리즘(algorithm)에 의하여 제한된 천공조건에서 시간단위별로 시뮬레이션에 의하여 이루어져, 짧은 시간간격동안 발생하는 주광변화에 대한 고려는 반영되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 전면이 유리로 마감되어 있는 소규모 사무실 공간을 대상으로 센서 조건에 따른 조광제어 시스템의 제어효과가 분석되어 조명에너지 절약가능성이 검토된다. 다양한 천공조건에서 현장실험이 진행되었으며, 이를 근거로 조명기기의 출력량이 산정되어 분석되었다.

2. 연구 방법

2.1 실험대상 공간

현장실험은 서울에 위치한 OO대학교 건물의 옥

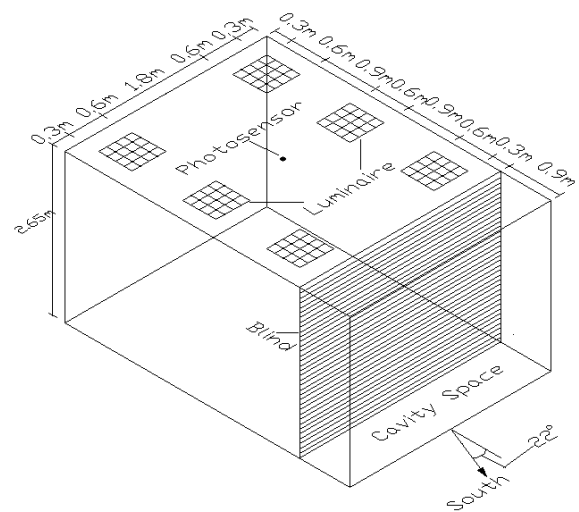


Fig. 1 Full-scale mock-up space.

상에 설치된 실험실(full-scale mock-up) 공간에서 실시되었다. (위도 : 37.10° , 경도 : 126.58°) 실험실의 크기는 폭 3.6 m, 깊이 4.2 m, 높이 2.65 m이며, 소규모 개인 사무실공간조건이 실제 크기로 조성되었다. 현장실험이 이루어진 실험실 공간은 Fig. 1에 나타나 있다.

실험실 공간의 전면은 이중외피구조로 구성되었으며, 외피부분이 유리로 마감되어 벽면에서 유리부분이 차지하는 비율은 100%이었다. 이중외피가 설치된 부분에서 외부외피와 내부외피간의 거리는 0.9 m이며, 이 부분은 공극(cavity)부분으로 설정되었다. 외피에 적용된 유리의 일사 및 조도에 대한 투과율은 각각 34.8% 및 62.1%로 측정되었다. 내부 및 외부 외피를 연결하는 측면부분도 외피에 적용된 동일한 유리로 마감되었다. 실험실 건물의 이중외피 전면부분은 태양의 방위각이 0° 인 정남향에서 동쪽으로 22° 회전되어 위치하였다.

내부외피의 내면에 블라인드가(Venetian blind) 설치되어 실내로 유입되는 주광의 분포를 조절하였다. 각 슬랫의 간격과 폭은 2.54 cm이었으며, 슬랫은 수평으로 유지되었다. 벽면은 흰색계열의 벽지로 마감되었으며, 바닥에는 사무실공간에 적용되는 베이지색 계열의 모노룸재질의 마감재가 설치되었다. 천정부부분에는 가로 0.6 m, 세로 0.6 m의 매립형 직접 조명기기가 설치될 수 있도록 사무실 건물에 일반적으로 적용되는 규격화된 흰색계열의 텍스재질로 마감처리 되었다. 조명기기에 의하여 유지되는 책상면의 조도는 750 lx로 설정되어 국제적으로 제안되는 조도기준을 충족하는 것으로 가정되었다.⁽⁶⁾

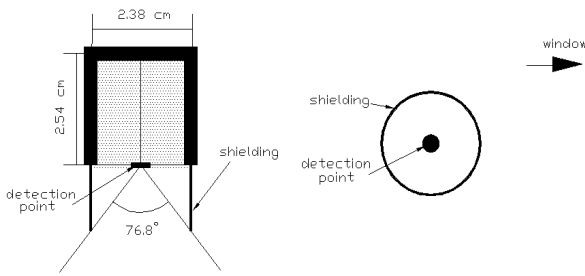


Fig. 2 Fully-shielded photosensor.

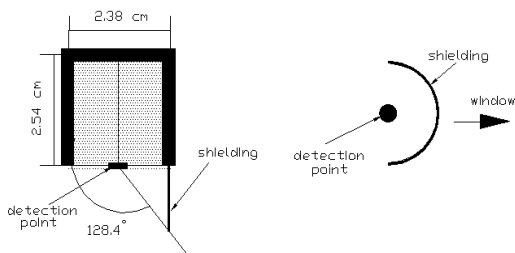


Fig. 3 Partially-shielded photosensor.

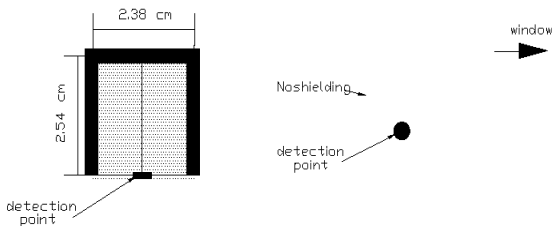


Fig. 4 Unshielded photosensor.

포토센서는 실내공간의 중심점인 내부외피로부터 2.4 m 이격된 지점의 천정에 설치되었다. 포토센서의 차단조건에 따른 디밍시스템의 조명제어효과를 분석하기 위하여 설치된 센서에는 차단없음(unshielded), 부분차단(partially-shielded), 완전차단(full-shielded)의 3가지 조건이 적용되었다. 각각의 차단조건 및 센서가 감지하는 범위는 Fig. 2~Fig. 4에 명시되어 있다.

센서의 감지부분이 실험실 공간에 완전히 노출되는 차단없는 조건의 경우, 창문 및 실의 벽면에서 반사되어 센서로 유입되는 모든 빛을 감지하는 조건으로 설정되었다. 부분차단 조건의 경우, 창호에서 센서로 유입되는 빛은 차단되었다. 그러나 북측 벽면에서 반사되어 유입되는 모든 빛과 동서측의 벽면에서 유입되는 빛은 감지되어 실내벽면의 영향이 고려되었다. 완전차단조건의 경우 바닥에서 반사되는 빛만 감지되어 유리 및 벽면에서 유입되는 빛의 효과는 고려되지 않았다.

2.2 데이터 모니터링 및 조명기기 제어조건

현장실험 조건에서 데이터 수집을 위하여 2010년 6월 1일 부터 8월 31일까지 실험이 매일 실시되었다. 외부에서 변화하는 주광조건을 분석하기 위하여 외부일사 및 조도는 수평부분은 전반일사, 확산일사, 전반조도 및 확산조도로 분류되어 측정되었으며, 이중외피부분에 도달하는 수직 일사 및 조도 변화도 측정되었다. 전반일사 및 확산일사의 변화는 외부의 천공조건 변화를 결정할수 있는 변수로 활용되었다.

내부외피에서 0.3 m, 1.2 m, 2.1 m, 3.0 m, 3.9 m 이격된 지점에서 수평면 조도가 측정되어 실내조도의 변화의 분포로 활용되었다. 각 벽면의 중심점에서 조도의 변화분포 및 천정에 설치된 3개의 포토센서에서 감지되는 조도의 변화도 측정되어 실내조도 변화를 분석하는데 활용되었다. 실내에 유입되는 주광의 변화에 따른 전기조명기기의 제어효율을 분석하기 위하여 측정기간 중 전기조명기기는 작동하지 않는 조건으로 설정되었다. 주광에 의한 포토센서의 조도변화는 조명기기의 출력량을 결정하기 위한 자료로 활용되었다.

본 연구의 실험에 사용된 데이터 모니터링 시스템은 기존의 연구에 적용된 내용과 동일하다.⁽⁷⁾ 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.⁽⁸⁾

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.⁽⁹⁾ 이러한 센서와 데이터로거를 이용하여 조도와 일사는 1분 간격으로 측정되어 저장되었다.

현장실험에서 측정된 포토센서의 조도변화에 기초하여 조명기기의 최종출력량을 계산하기 위하여 디밍제어기의 알고리즘(algorithm)은 선형적인 분포

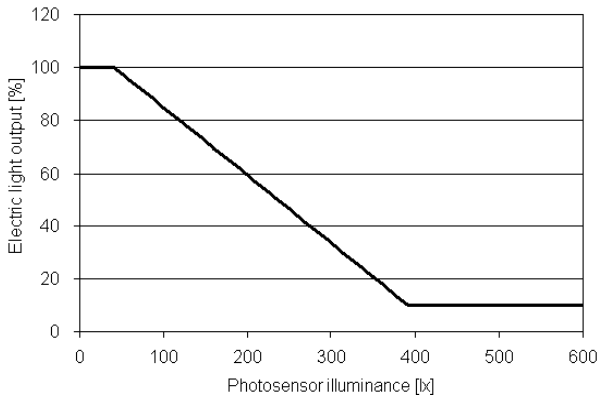


Fig. 5 Dimming control algorithm.

로 변화하는 것으로 가정되었다. 최종적인 출력량은 센서에서 감지되는 빛의 변화에도 영향을 받지만, 제어기의 제어조건에 따라 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 'L' 회사에서 생산된 제어기의 제어조건을 Fig. 5에 나타난 것과 같이 적용하여 조명기기의 최종 출력량을 산정하였다.⁽¹⁰⁾ 포토센서에서 감지되는 조도가 35 lx 이하가 되면 조명기기는 최대의 출력량으로 제어되고, 395 lx 이상이 되는 경우 최소 10%의 출력을 나타내도록 제어되었다.

포토센서의 최종 조도는 주광에 의한 조도변화와 주광에 의한 포토센서에서의 조도에 의하여 변화되는 조명기기의 출력량에 의하여 발생하는 조명에 의한 영향이 가산되어 산정되었다. 변화되는 주광 조건에서 목표조도를 유지하는데 필요한 조명기기의 최적 출력량을 결정하기 위하여 책상면의 주광 조도 변화에 따라 발생하는 조명기기의 출력량이 산정되었다. 이는 책상면 주광조도와 조명출력량간의 차이를 제공한 합의 오차(SSE : Error Sum of Square)를 최소화 하는 선형회귀분석이론에 근거하여 산정되었다. 최종출력조건이 만족되는 경우 책상면에서 조도는 목표조도인 750 lx를 충족하는 것으로 설정되어 적용되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 외부 주광조건 변화

외부에서 주광조도는 천공조건, 계절 및 시간에 따라 변화하며 이는 실내주광조도의 변화에 영향을 미치므로 외부 주광조도의 변화는 분석되어야 한다. 본 연구에서는 6월 1일부터 8월 31일 까지 1분 간격으로 매일 측정된 데이터 중 각 달에서 청천공(clear

sky), 부분 담천공(partly cloudy sky) 및 담천공(overcast sky) 조건의 특성을 나타내는 3일이 선정되어 분석된다. 태양고도가 가장 높은 조건을 나타내는 6월 21일을 기점으로 각 달에서 21일에 가까운 날인 22일 및 23일이 대상으로 선정되었다.

대표일로 선정된 각 일자에 변화하는 태양고도 및 방위각은 이론식에 근거하여 산정되었으며, 일일중 시간에 따른 변화분포는 Fig.6, Fig. 7에 나타나 있다. 연중 태양고도가 가장 높은 6월의 경우 측정이 시작된 오전 7시에 최저 19.63°이며, 태양이 남중하는 조건의 경우 최고 76.39°로 나타나 태양고도는 59.76° 변화되었다. 6월에 비교하여 태양고도가 낮아지는 7월 23일 및 8월 22일의 경우 최고 고도가 각각 73.10° 및 64.57°로 나타나 각 3개월 동안 태양고도는 14.82° 낮아진 것으로 나타났다.

한편, 방위각은 측정이 시작된 오전 7시에 6월의 경우 최대 105.02°, 8월의 경우 최소 94.85°로 변화되었다. 변화된 태양고도 및 방위각은 천공조건이 동일한 경우, 외부주광 조도에 영향을 미치며 및 실내로 유입되는 주광의 입사각 변화로 인하여 실내에서 활용되는 주광조도의 변화에 영향을 준다. 본 연구에서는 위의 3가지 조건에서 변화되는 외부주광 조건의 변화 분포를 기초로 하여 실내에서 변화되는 주광의 변화가 분석된다.

천공조건을 결정하는데 있어서 기초적으로 활용되는 자료는 확산일사(diffused irradiance)가 전반일사(global irradiance)에서 차지하는 비율이다. 이는 천공비율(sky ratio)로 정의되며, 이 비율이 0.3이하인 경우 청천공, 0.8이상인 경우 담천공, 0.3보다 크고 0.8미만인 경우 부분담천공으로 분류된다.⁽⁶⁾ 본 연구에서는 천공조건을 결정하기 위하여 측정된 전반일사 및 확산일사의 분포는 Fig. 8, Fig. 9에 나타나 있다.

전반일사는 6월 23일의 경우 전형적인 여름철 분포를 보이면서 매우 안정적으로 변화하였으며 최대 905 W/m²를 나타내었다. 8월 22일의 경우, 일사량은 오전 7시부터 9시까지를 제외하고 측정 기간 동안 매우 불안정한 분포를 보이며 최대 1015 W/m²의 범위로 변화하였다. 7월 23일의 경우 안정적으로 변화하였으며, 최대 211 W/m²로 낮은 조건을 조성하였다.

태양으로부터 직달일사량을 제외한 천공표면(sky surface)로부터 도달되는 확산일사량은 전반일사량이 안정적인 분포를 보인 6월 23일의 경우 최대 157

W/m^2 의 값을 보이며 측정 기간 동안 매우 안정적으로 변화하였다. 전반일사량이 불안정한 분포를 나타낸 8월 22일의 경우 확산일사량도 불안정한 분포를 보이며 변화하였다. 낮은 전반일사량 분포가 나타났던 7월 23일의 경우 확산일사량은 전반일사량의 변화분포와 유사하게 나타났으며, 그 절대적인 값도 유사한 것으로 분석되었다.

각 측정일에 발생한 천공비율의 변화는 Fig. 10에 나타나 있다. 일사량이 안정적인 분포를 보인 경우, 측정 시작후 40분, 종료전 20분을 제외하고 천공비율이 0.3이하로 나타나 전형적인 청천공 조건이 형성되었다. 7월 23일의 경우 오전 9시 이전의 몇 경우를 제외하고 천공비율이 0.8이상으로 분석되어 전형적인 담천공조건이 조성되었다. 불안정한 일사 분포를 보인 8월 22일의 경우, 대다수의 천공비율은 0.3에서 0.8범위내에서 변화하여 전반적으로 부분담천공 조건이 우세하게 형성되는 것으로 나타났다.

외부에서 주광조도의 변화는 일사의 변화와 유사한 분포를 보이면서 변화하였다. 외부에서 전반조도(global illuminance)는 Fig. 11에 나타나 있다. 청천공조건에서 태양 고도가 최고가 되는 조건의 경우 최고 96100 lx를 나타내며 안정적으로 변화하였다. 부분담천공 조건의 경우 외부조도 변화범위가 매우 넓은 것으로 나타나 실내에서 주광조도는 변화하며 불안정한 분포를 보일 것으로 고려된다. 두 가지 조건에서 실내로 유입되는 주광이 분포하여 조광제어 시스템이 적용되는 경우 주광이 광원으로 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 외부주광조도가 낮은 것으로 나타난 담천공 조건의 경우 외부에서 최대 주광조도는 24,340 lx로 나타나 실내에서 효서 효과적으로 활용되지 않을 것으로 판단된다.

청천공 조건에서 수직조도의 변화는 Fig. 12에 나타나 있다. 건물외피 유리면에 수직으로 입사하는 주광조도(vertical illuminance)는 태양고도의 영향도 받지만 태양의 방위각에 의하여 영향을 받는 것으로 분석되었다. 실험이 실시된 공간이 정남향에서 동측으로 22° 회전되어 위치하고 있어 13시부터 조도값은 저하되어, 이후 안정적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 담천공 및 부분담천공의 경우 태양이 구름에 의하여 가려져 있게 되므로, 수직면 조도는 전반일사 및 전반조도의 분포와 유사하게 변화한 것으로 나타났다. 태양고도가 가장 높은 6월의 청천공 조건보다 태양고도가 낮은 8월의 부분담천

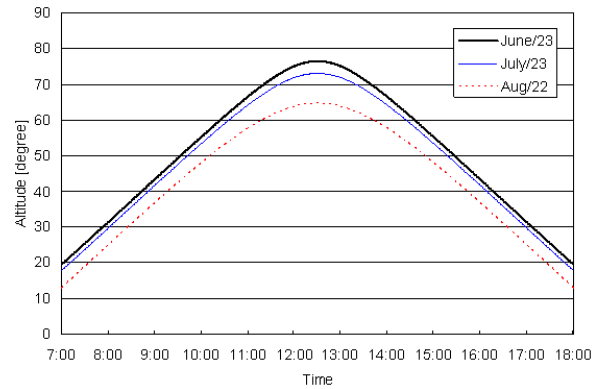


Fig. 6 Solar altitude.

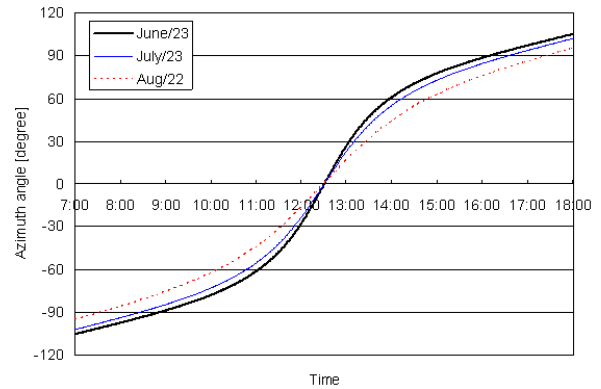


Fig. 7 Solar azimuth.

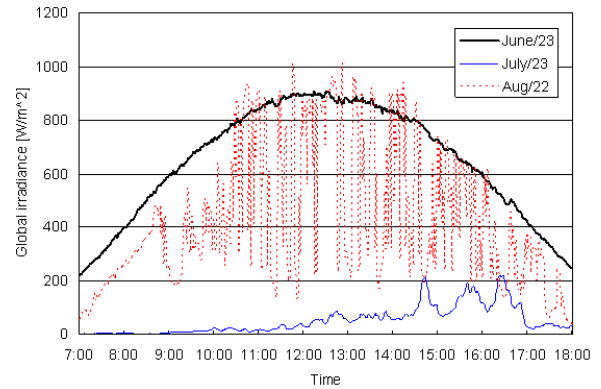


Fig. 8 Outdoor global irradiance.

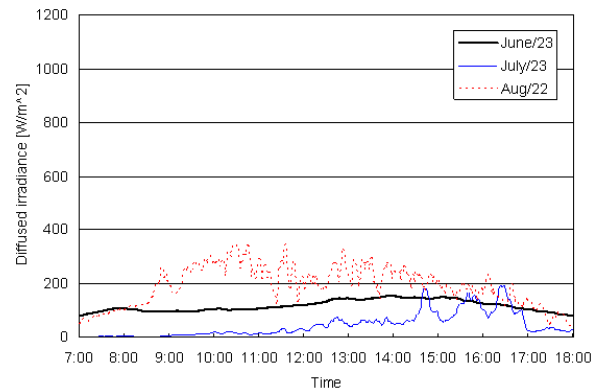


Fig. 9 Outdoor diffused irradiance.

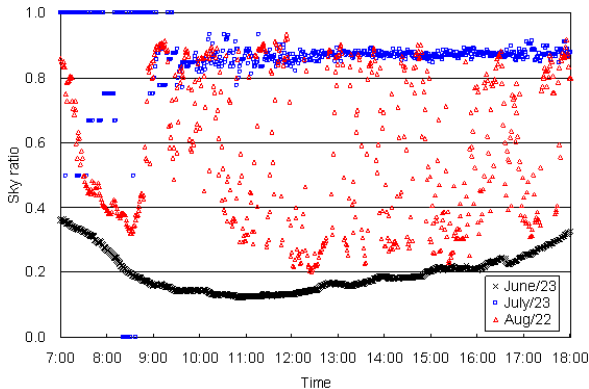


Fig. 10 Sky ratio.

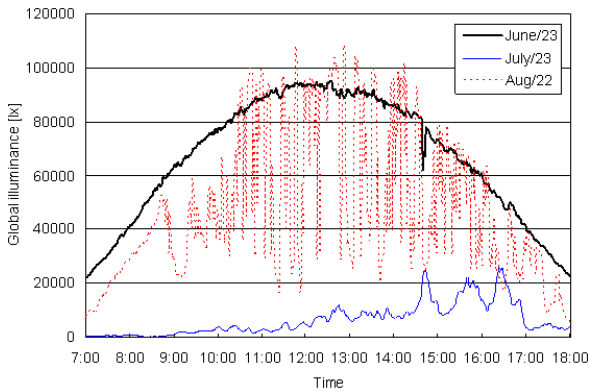


Fig. 11 Outdoor global illuminance.

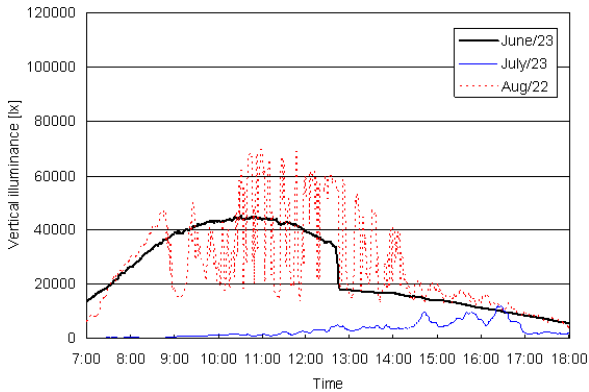


Fig. 12 Outdoor vertical illuminance.

공 조건에서 수직면의 조도는 더욱 높은 것으로 나타났다. 이는 태양고도가 낮아지는 경우 유리면에 수직으로 입사하는 직달성분이 증가하여 발생된 것으로 분석된다. 태양고도가 낮아졌지만, 구름에 의하여 태양이 가려진 담천공조건의 경우 수직면에서 주광조도는 매우 낮은 것으로 나타났다.

3.2 실내조도 변화 및 외부조도와 상관관계

조광제어 시스템이 적용되는 경우 책상면에서의

주광 조도변화는 조명기기의 출력량을 결정하는데 있어 기초적인 자료로 활용된다. 측정기간중 변화된 책상면의 주광조도는 Fig. 13에 나타나 있다. 전반적인 변화분포는 외부의 전반주광조도의 분포와 매우 유사한 것으로 나타났다. 실험이 실시된 실의 전면이 유리로 되어 있고 수평블라인드 조건이 적용되어 청천공 및 부분담천공 조건에서 주광이 효과적으로 유입되어 책상면 주광조도가 목표조도인 750 lx에 유사하게 나타났다.

6월의 경우, 오전 7시 40분 이전 시간대와 16시부터 18시까지를 제외하고 전시간대에 걸쳐 유입된 주광조도는 목표조도를 초과하는 것으로 나타났다. 이러한 분포는 부분담천공 조건에서도 유사한 분포를 보인 것으로 분석된다. 이는 주광만으로 충분한 목표조도가 유지되는 것을 의미하며, 전기조명이 최소의 출력량만 유지하면 조광제어 시스템은 성공적으로 운영되는 것을 의미한다. 주어진 천공조건에서 주광조도가 충분하지 않은 경우, 전기조명기기의 출력량이 최적으로 제어되어야 실내에서 권장되는 목표조도가 유지됨을 의미한다. 따라서, 조광제어 시스템은 담천공 조건에서 보다 청천공 조건에서 더욱 많은 조명에너지를 효과적으로 절약하는 것임을 알 수 있다.

조광제어 시스템이 적용되어 전기조명기기의 출력량을 제어하는 데 있어 가장 우선시 고려되어야 하는 사항이 포토센서에서 감지되는 빛의 양이다. 이는 외부에서 유입되는 주광 및 실내에서 반사되는 주광 또는 전기조명에 의한 빛의 분포에 따라 변화된다. 센서에서 감지되는 빛의 양이 효과적으로 제어되면 조광제어 시스템은 최적으로 제어된다. 센서에 적용된 3가지 차단조건에 따라 포토센서에서 감지된 주광에 의한 조도변화는 Fig. 14~Fig. 16에 나타나 있다.

전반적으로 차단조건이 적용되지 않은 경우 포토센서의 조도 변화분포는 외부주광 조도의 변화분포와 유사한 것으로 나타났다. 부분차단 조건이 적용되는 경우 센서조도는 안정적인 범위를 유지하고 있으나, 완전차단 조건이 적용되면 센서조도는 외부조도의 변화에 따라 민감하게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 이는 완전차단된 경우 센서는 바닥에서 변화되는 빛만 감지하는 조건이 형성되어 발생된 것으로 분석된다. 부분차단조건의 경우 북측 벽면 및 동, 서측의 벽면의 후반부에서 반사되는 빛도 감지되어 완전차단 조건에 비교하여 상대적으로

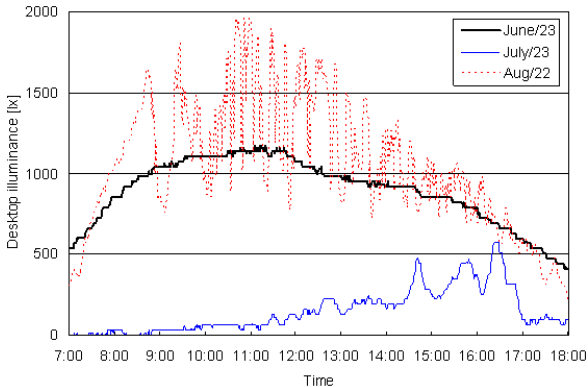


Fig. 13 Desktop illuminance by daylight.

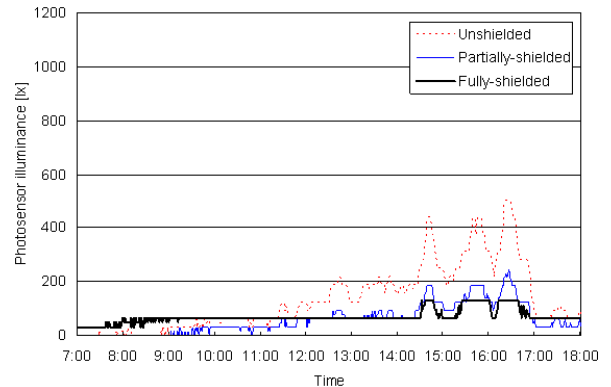


Fig. 15 Photosensor illuminance by daylight (July/23).

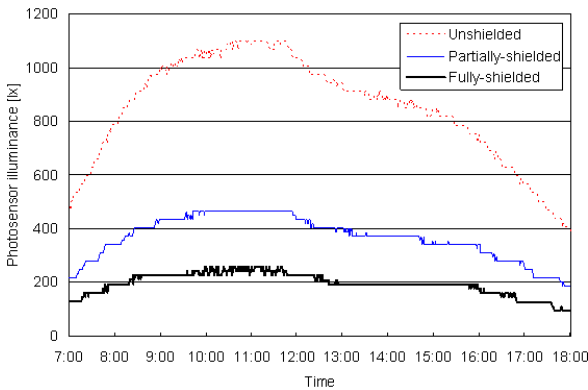


Fig. 14 Photosensor illuminance by daylight (June/23).

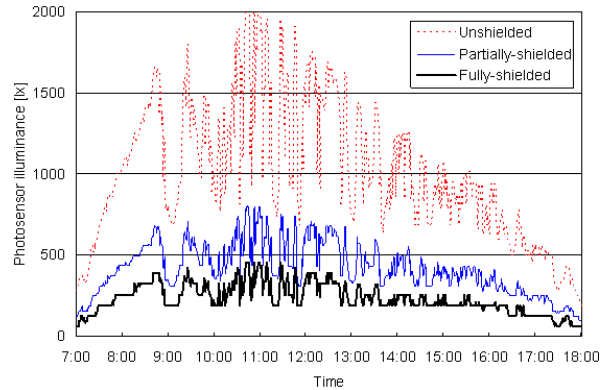


Fig. 16 Photosensor illuminance by daylight (Aug/22).

높은 값을 보이고 있다.

6월의 경우 태양고도가 연중 가장 높게 유지되어 실내로 유입되는 주광은 창가에 집중되므로 포토센서가 감지한 주광조도는 태양고도가 낮아지는 8월에 비교하여 상대적으로 낮은 값을 보이고 있다. 이는 태양고도가 높고 블라인드 슬랫이 수평으로 설치되어 유입되는 주광의 입사각이 커서 발생한 것으로 판단된다. 반면, 태양고도가 감소되면, 포토센서에서 감지되는 주광의 양은 증가 하는 것으로 나타났다. 이러한 변화는 전기조명기기의 출력량에 영향을 주게 되어, 최종적으로 책상면에서 변화하는 조도값을 제어하게 된다. 제안되는 목표조도를 유지하기 위하여 포토센서는 책상면에서 변화하는 주광조도를 고려하여 최적의 제어를 할 수 있도록 설치되어야 한다.

반면, 외부 주광조도의 변화범위가 좁게 나타난 담천공 조건에서 포토센서에 차단조건이 적용되지 않는 경우 포토센서의 조도는 최대 502 lx를 보이고 있으나, 조도는 일일중 전반적으로 낮은 것으로

분석되어 조명기기의 출력량이 많을 것으로 예상된다. 포토센서에 차단조건이 적용됨에 따라 센서조도는 더욱 낮은 값을 보이고 있어 조명에너지 소비가 많을 것으로 예측된다.

포토센서에서 감지되는 조도의 변화는 조명기기의 출력량에 직접적으로 영향을 주므로, 포토센서 조도에 영향을 주는 인자는 분석되어야 한다.

본 연구에서는 유리면에 수직으로 도달하는 주광조도(x)와 포토센서 조도(y)의 상관관계 및 책상면의 주광조도(x)와 포토센서에서의 주광조도(y)간의 상관관계가 선형회귀분석법을 이용하여 예측되었다.

예측된 모델식의 타당성은 ANOVA 테스트를 이용하여 검증되었다. 모델식은 Table 1, Table 2에 요약되어 있으며, 모델식의 분포를 나타내는 한 예는 Fig. 17 명시되어 있다. 전반적으로 모델식의 상관성이 높았으며, 낮은 신뢰도 수준에서 효과적인 것으로 분석되었다. 모델식의 결정계수 (r^2)는 유리면

Table 1 Relationship between outdoor vertical illuminance and photosensor illuminance

Date	Shield	Model	r ²	Sig.
6/23	No	y = 0.0122x+546.48	0.7263	0.00
	Part	y = 0.051x+20.2	0.7596	0.00
	Full	y = 0.0026x+131.77	0.7508	0.00
7/23	No	y = 0.0449x-0.2913	0.9929	0.00
	Part	y = 0.02x+0.0644	0.9738	0.00
	Full	y = 0.0079x+47.04	0.7411	0.00
8/22	No	y = 0.0244x+353.82	0.9126	0.00
	Part	y = 0.009x+183.68	0.8797	0.00
	Full	y = 0.0051x+102.92	0.8639	0.00

Table 2 Relationship between desktop illuminance and photosensor illuminance

Date	Shield	Model	r ²	Sig.
6/23	No	y = 0.9584x-7.7216	0.9936	0.00
	Part	y = 0.3888x-18.889	0.9822	0.00
	Full	y = 0.1939x+22.359	0.9411	0.00
7/23	No	y = 0.8989x-0.2601	0.9888	0.00
	Part	y = 0.4009x+0.0231	0.9715	0.00
	Full	y = 0.158x+47.143	0.7322	0.00
8/22	No	y = 0.1042x-91.538	0.9861	0.00
	Part	y = 0.3978x+9.6445	0.9936	0.00
	Full	y = 0.2231x+6.2348	0.9621	0.00

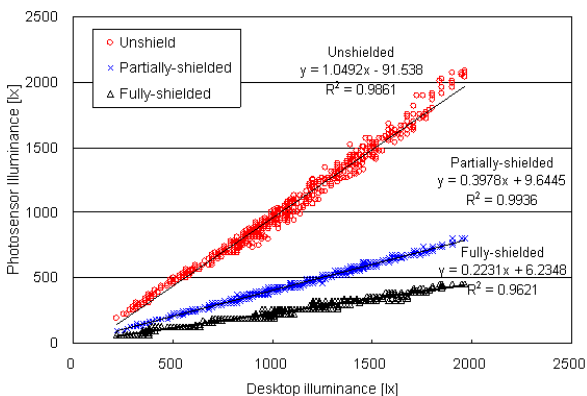


Fig. 17 Relationship between outdoor vertical illuminance and desktop illuminance (Aug/22).

에 수직으로 입사하는 주광조도 및 책상면에서 변화하는 주광조도를 이용하는 경우 각각 0.7263~0.9929

및 0.7322~0.9936로 나타났다. 이는 포토센서에서 감지된 주광조도 변화를 예측하는데 고려된 각각의 변수를 적용하는 경우 발생하는 오차변화량(error variation)이 각각 72.63%~99.29%, 및 73.22%~99.36% 감소하여 유효하게 적용되는 것을 의미한다.⁽¹¹⁾

책상면의 주광조도와 포토센서의 조도를 예측하는데 있어 분석된 결정계수가 유리면에 수직으로 입사하는 주광조도를 적용하였을 경우 보다 높게 나타났다. 이는 포토센서의 조도를 예측하는데 있어 유리면에 수직으로 도달하는 주광조도 보다는 책상면에서의 주광조도 변화분포를 활용하는 면이 효과적인 것을 의미한다.

3.3 조명기기의 출력량 변화 및 조도분포

조광제어 시스템이 적용되는 경우 실내조도는 조명기기의 출력량 변화에 의하여 영향을 받으므로, 실내의 목표조도를 유지하기 위하여 필요한 최적 출력량과 조광제어 시스템이 적용되었을 경우 조명기기의 실질적인 출력량과의 비교가 필요하다. 본 연구에서 적용된 천공조건 및 포토센서 차단조건에 따른 조명기기의 출력량 변화 분포는 Fig. 18~Fig. 20에 나타나 있다.

그래프에서 실선으로 명시된 부분이 책상면의 주광조도가 변화되는 경우 실내 설정 목표조도인 750 lx를 충족하기 위하여 필요한 최적의 조명 출력량이다. 표시된 각 데이터는 1분 간의 측정간격동안 발생된 주광조도를 근거로 하여 계산된 조명기기의 실질적인 출력량이다. 측정일 동안 완전차단 조건이 적용된 포토센서의 경우 조명기기의 출력량이 최적출력량을 초과하여 과도한 조도가 형성되는 것으로 분석되었다.

책상면의 주광조도가 증가하는 경우 센서에서 감지되는 빛이 감소되어 조명기기의 출력량이 감소되어야 하는데, 완전차단조건이 적용된 경우 포토센서에서 감지되는 조도는 증가하지 않아서 과도한 출력량이 나타난 것으로 분석된다. 이는 차단조건에 의한 포토센서의 감지범위가 바닥면으로 국한되어, 벽면 또는 유리면으로부터 반사되어 입사되는 빛이 포토센서에 감지되지 않아서 발생한 것으로 판단된다.

차단조건이 적용되지 않는 경우, 실질적인 출력량은 과도하게 부족한 것으로 분석되어 목표조도를 유지하는데 실패하는 것으로 나타났다. 이는 완전

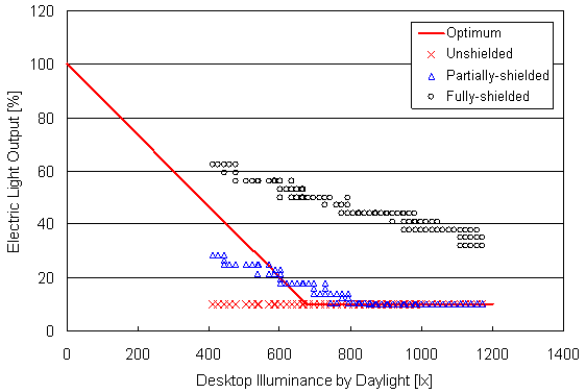


Fig. 18 System control performance(June/23).

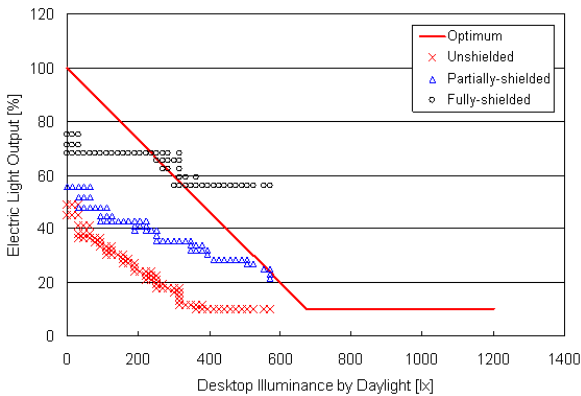


Fig. 19 System control performance(July/23).

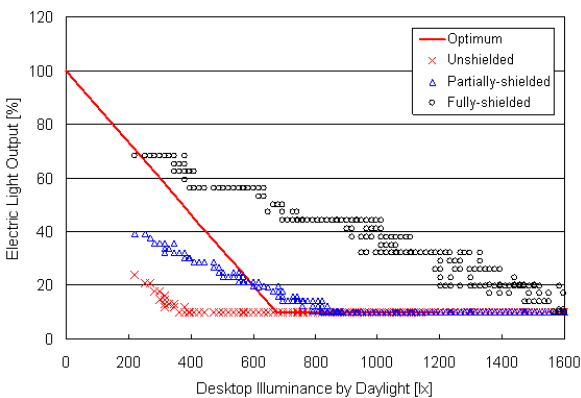


Fig. 20 System control performance(Aug/22).

차단조건과 반대로 책상면의 주광조도 증가와 함께 포토센서에서 감지되는 조도도 증가하여 조명기기에서 과도한 디밍(dimming)이 이루어져 발생한 결과로 판단된다. 이는 책상면에서 변화되는 주광조도의 변화분포가 포토센서에 반영되어 센서의 조도 감지가 적절한 범위내에서 이루어 지지 않는 경우, 최적의 목표조도가 효과적으로 유지될 수 없음을 암시한다.

유리면에서 센서로 직접 입사하는 빛의 효과를 감소하며 벽면에서 반사되는 성분을 감지할 수 있도록 적용된 부분차단 조건의 경우, 양호한 디밍제어 효과를 나타낸 것으로 판단된다. 부분차단 조건의 센서는 책상면에 도달하는 주광조도를 효과적으로 반영한 것으로 판단된다. 그러나 조명기기로부터 발생하는 빛이 과도하게 센서에서 감지되는 경우 디밍 제어는 효과적으로 이루어 질수 없는 경우가 발생된다. 이는 실내에 도달하는 주광의 양이 부족하여, 목표조도의 많은 부분이 조명기에 의하여 유지되는 담천공조건에서 발생되었다.

이러한 조건의 경우, 실내 주광조도는 부족하여 조명기기로부터 많은 출력량이 필요하다. 조명기기의 출력량이 발생되어 센서에 감지되면 출력량은 다시 감소하게 되어 실내에서 요구되는 적절한 목표조도를 유지하는데 실패한 것으로 분석된다. 이는 기존의 연구에서 분석된 내용과 일치하지 않는 사항으로 고려된다.^(3,12) 기존연구에서 고려된 조명기기의 배치가 본 연구에서 고려된 위치와 동일하지 않아 발생된 것으로 판단된다. 또한 기존연구는 단일한 천공조건만을 가정하는 컴퓨터 시뮬레이션에 근거하여 이루어져 이와 같은 차이가 발생된 것으로 판단된다.

일일 11시간 중 조광제어 시스템에 의하여 유지되는 주광 및 조명기에 의한 책상면조도의 연속적인 변화 분포의 예는 Fig. 21~Fig. 24에 나타나 있다. 부분차단이 적용된 6월 청천공조건의 경우, 실질적인 출력량이 부족한 것으로 나타난 부분은 오전 7시부터 20분간, 오후 5시 이후부터 1시간 동안이므로, 이는 주광이 가용한 하루 11시간의 12.12%에 국한된 시간이다. 이를 제외하고 전 시간대에 걸쳐 책상면의 조도는 목표조도를 초과하여 유지되며, 조명에너지가 절약되는 것으로 분석되었다. 태양고도가 상대적으로 낮아진 8월의 부분담천공 조건에서 부분차단이 적용되는 경우, 오전 7시부터 25분, 오후 4시 40분 이후 1시간 20분 동안 책상면의 목표조도가 유지되지 않았다. 이는 일일 11시간 중 15.9%에 해당한다.

7월 담천공 조건에서 부분차단이 적용되는 경우, 1일 11시간 중 3.63%를 제외한 전 시간동안 목표조도인 750 lx가 유지되지 않는 것으로 나타났다. 이는 디밍시스템의 제어효과 실패로 인하여 조명에너지가 목표조도를 유지하는데 효과적으로 활용되지 않고 낭비되는 것임을 암시한다. 차단조건이 적용

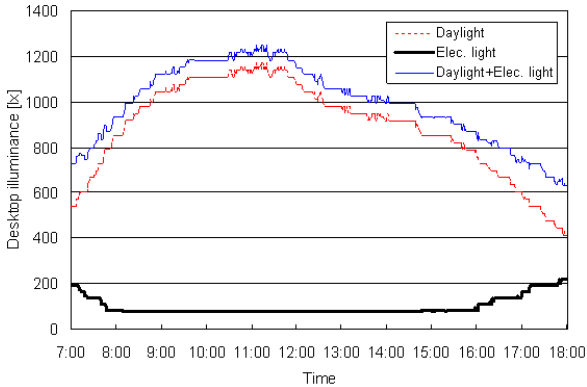


Fig. 21 Desktop illuminance (Partially-shielded, June/23).

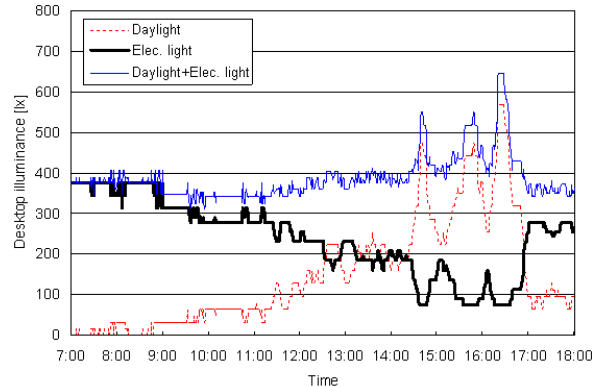


Fig. 24 Desktop illuminance(Unshielded, July/23).

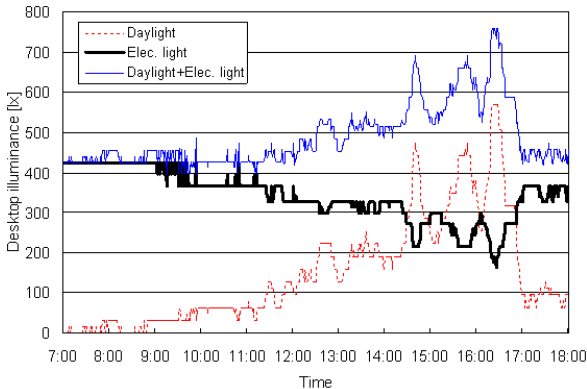


Fig. 22 Desktop illuminance (Partially-shielded, July/23).

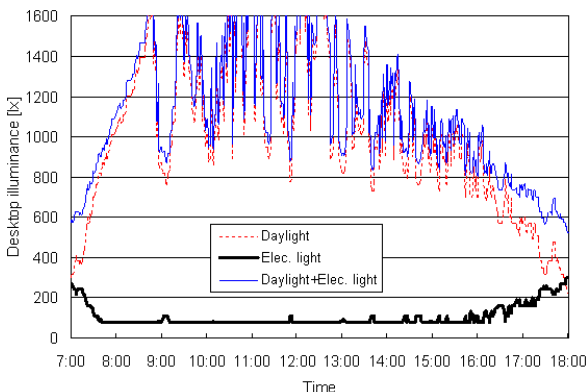


Fig. 23 Desktop illuminance (Partially-shielded, Aug/22).

되지 않은 경우, 센서에서 빛이 과도하게 감지되어 필요이상의 디밍이 이루어져 일일중 전시간 동안 목표조도가 유지되지 않는 것으로 분석되었다. 주광과 조명에 의하여 유지된 책상면 조도는 최소 309.74 lx, 최대 645.31 lx의 범위내에서 변화하였다.

본 연구의 분석에 의하면 여름철 기간 중 부분차단 조건이 적용되어 조광제어 시스템이 운용되는 경우, 담천공 조건을 제외한 모든 천공조건에서 목표조도는 효과적으로 유지되었으며 조명에너지도 절약된 것으로 나타났다. 담천공조건과 같이 주광의 영향보다 조명기기의 영향이 더욱 고려되는 조건인 경우, 포토센서는 전기조명기기로부터 직접 영향을 받지 않는 곳에 설치되어 조명기기의 영향이 최소화 되면, 주광이 효과적으로 활용한 실내 조명 환경이 조성될 것으로 판단된다.

실질적으로 센서의 위치는 계절에 따라 변동이 쉽지 않으므로 센서를 설치한 후, 디밍제어기의 민감도를 조절하는 방법도 고려될 수 있다. 그러나 센서에서 감지되는 빛의 양이 반영되어야 조광제어 시스템이 효과적으로 운용될 것으로 판단되므로 적절한 차단조건과 설치위치를 고려하는 방안이 우선적으로 필요한 것으로 판단된다.

3.4 조명에너지 절약

각 천공조건에서 센서에 차단조건이 적용되어 조광제어 시스템이 디밍제어효과를 유지하는 경우 발생된 조명에너지 출력량이 산정되었으며, 이를 근거로 하여 조명에너지 절약부분이 결정되었다. 결정된 조명 에너지 절약량은 Table 3에 요약되어 있다. 차단조건에 따라 절약부분은 차이가 있으며, 완전차단 조건이 적용되는 경우 에너지 절약은 가장 비효과적인 것으로 나타났다.

그러나 성공적인 에너지 절약은 조광제어 시스템이 효과적으로 운용되어 필요로 하는 목표조도를 유지하고, 재실자에게 시각적인 불만족도(visual dis-

Table 3 Lighting energy savings(unit : %)

Shielding conditions	Date		
	6/23	7/23	8/22
Unshielded	90.00	68.52	89.79
Partially-shielded	87.27	55.28	86.37
Fully-shielded	56.23	32.81	62.96

comfort)를 초래하지 않는 경우에 의미 있는 부분이다. 본 연구에서는 시스템 적용시 조명환경에 대한 재실자의 평가는 이루어 않았으므로, 설정된 목표조도를 최적으로 유지한 부분차단조건의 경우에 국한하여 에너지 소비량이 의미있는 것임을 제안한다. 이 경우 조명에너지 절약효과는 실내의 목표 조도유지에 필요한 최적 조명출력량과 각 조건에서 산출된 실질적인 출력량을 비교하여 분석되었다.

조광제어 시스템에 의한 조명에너지 절약은 부분차단 조건이 적용되는 경우, 6월의 청천공 조건에서 87.27%, 8월 부분담천공 조건에서 86.37%로 나타나 매우 효과적인 것으로 판단된다. 소규모 사무실공간에서 벽면에서 유리가 차지하는 비율이 높은 경우 주광의 유입이 발생될 수 있어, 이는 조광제어 시스템에 효과적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 과도한 주광은 재실자의 시각적인 만족도에 영향을 미칠 수 있으므로 조광제어 시스템이 적용되는 경우, 조명 에너지 소비량은 재실자가 시각적으로 만족하는 범위 내에서 논의되어야 더욱 효과적일 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 여름철 3개월 동안 소규모사무실 공간을 대상으로 조광제어 시스템에 의한 조명에너지 절약효과에 대한 분석이 이루어졌다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

1) 조광제어 시스템이 적용되는 경우 전기조명기기의 출력량을 결정하는데 있어 기초적인 자료로 활용되는 책상면에서의 주광 조도변화는 외부전반주광조도의 분포와 매우 유사한 것으로 나타났다. 실험이 실시된 모델실의 전면이 유리로 구성되어 있고 블라인드가 수평으로 설치되어 있어, 주광이 효과적으로 유입되어 청천공 및 부분담천공 조건에서는 책상면 주광조도가 설정된 목표조도에 근접하였다. 이는 조광제어 시스템이 효과적으로 적용될 수

있는 주광 여건을 설정하는 것으로 판단된다.

2) 차단조건이 적용되지 않은 경우 포토센서의 조도변화분포는 외부주광 조도의 변화분포와 유사한 것으로 나타났다. 부분차단조건이 적용되는 경우 센서조도는 안정적인 범위를 유지하고 있어 조도변화가 안정적으로 유지되었다. 그러나 완전차단조건이 적용되면 센서조도는 외부조도의 변화에 따라 민감하게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 부분차단조건의 경우 북측벽면 및 동, 서측의 벽면의 후반부에서 반사되는 빛도 감지되어 완전차단조건에 비교하여 상대적으로 높은 값을 보이며 변화한 것으로 판단된다.

3) 유리면에 수직으로 도달하는 주광조도와 포토센서의 주광조도의 상관관계 및 책상면의 주광조도와 포토센서에서의 주광조도간의 상관식은 낮은 신뢰도 수준에서 효과적인 것으로 분석되었다. 책상면의 주광조도와 포토센서의 조도를 예측하는데 있어 분석된 결정계수가 유리면에 수직으로 입사하는 주광조도를 적용하였을 경우 보다 높게 나타났다. 이는 포토센서의 조도를 예측하는데 있어 유리면에 수직으로 도달하는 주광조도 보다는 책상면에서의 주광조도 변화분포를 활용하는 면이 효과적인 것을 의미한다.

4) 완전 차단조건이 적용된 경우, 차단조건에 의한 포토센서의 감지범위가 바닥면으로 국한되어, 포토센서에서 감지되는 조도는 증가하지 않아서 과도한 출력량이 나타난 것으로 분석된다. 차단조건이 적용되지 않는 경우 실질적인 출력량은 과도하게 부족한 것으로 분석되어 목표조도를 유지하는데 실패하는 것으로 나타났다. 유리면에서 센서로 직접 입사하는 빛의 효과를 감소하며, 벽면부분에서 반사되는 성분을 감지할 수 있도록 적용된 부분차단조건의 경우, 양호한 디밍제어 효과를 나타낸 것으로 판단된다. 이는 책상면에서 변화되는 주광조도의 변화분포가 포토센서에 반영되어 센서의 조도감지가 적절한 범위내에서 이루어 지지 않는 경우, 최적의 목표조도가 효과적으로 유지될 수 없음을 암시한다.

5) 부분차단 조건이 적용되어 조광제어 시스템이 여름철 기간 중 운용되는 경우, 담천공 조건을 제외한 모든 천공조건에서 실내목표조도는 효과적으로 유지되었으며 조명에너지도 86.3% 절약된 것으로 나타났다. 담천공조건과 같이 주광의 영향보다 조명기기의 영향이 센서에서 감지되는 조도에 더욱 고려되는 조건인 경우, 포토센서는 전기조명기기로 부터 직접 영향을 받지 않는 곳에 설치되어 조명기기

로부터 영향을 최소화 하여야 할 것으로 판단된다.

5. 연구의 한계점 및 향후연구

본 연구에서 분석된 내용은 제한된 기간 동안 진행된 현장시험 데이터에 근거한다. 불규칙하며 다양하게 변화하는 외부기상 조건 중 모든 데이터가 고려되지 않고, 여름철 3개월 동안 대표적인 천공조건을 나타내는 특정일에 대한 데이터가 사용되었으므로, 외부기상조건이 변화되면 연구결과의 수치는 변화될 수 있다.

조광제어 시스템이 조명에너지를 절약하는데 매우 효과적인 것으로 분석되었으나, 이는 절대적인 절약량에 자료에 근거한다. 성공적인 조명에너지 절약을 위하여 조광제어 시스템은 목표조도를 유지하고, 재실자에게 시각적인 불만족도를 초래하지 않아야 하므로 재실자가 시각적으로 만족하는 범위 내에서 조명 에너지 소비량이 분석되는 연구가 필요할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 것임(2010-0004575).

참고문헌

1. Lee, E., Selkowitz, S., Bazjanac, V., and Kohler, C., 2002, High performance commercial building facades, LBNL, USA.
2. Hawkes, D. and Forster, W., 2002, Energy efficient buildings : Architecture-engineering and environment, W. Norton and Company, Inc., New York, USA.
3. Kim, S. and Mistrick, R., 2001, Recommended daylight conditios for photosensor system calibration in a small office, Journal of IESNA, Vol. 30, pp. 176-188.
4. Kim, S. and Song, K., 2007, Determining photosensor conditions of a daylighting dimming control system using different double-skin envelope configurations, Indoor and Built Environment, Vol. 16, pp. 411-425.
5. Kim, S., Alzoubi, H. and Ihm, P., 2009, Determining photosensor settings for iptimum energy saving of suspended lighting systems in a small double-skinned office, International Journal of Energy Research, Vol. 33, pp. 618-630.
6. Rea, M., 2002, IESNA Handbook 9th editions, The Illuminating Engineering Society of North America, USA.
7. Kim, S. and Kim, J., 2007, The impact of daylight fluctuation on a daylight dimming control system in a small office, Energy and Buildings, Vol. 39, pp. 935-944.
8. Li_Cor Inc., 2005, Li-Cor sensor instruction manual.
9. Campbell Scientific Inc. 2000, CR 23X Micro logger operator's manual.
10. Lutron Ltd., 2002, MW-LC2 Dimming control system mannual.
11. Neter, J., Kutner, M., Nachtsheim, S., and Wasserman., W., 1996, Applied liner statistical models, WBC McGraw-Hill New York.
12. Kim, S. and Yum, S., 2005, Optimum contorl of a photoelectric dimming system in a small office with a double skin envelope, Architectural Research, Vol. 7, pp. 47-54.