

## 소규모 사무실에 적용된 조광제어 시스템의 최적제어를 위한 주광변화 분석

윤 연 주, 백 용 규\*, 김 수 영\*\*†

삼성물산 건설부문 기술연구소, \*서일대학 건축과, \*\*연세대학교 주거환경학과

### Analyses on Daylight Variations for Optimum Controls of Daylight Dimming Systems in a Small Office

Younju Yoon, Yong-Kyu Baik\*, Sooyoung Kim\*\*†

Samsung C&T Corp., Institute of Construction of Technology, Seoul 135-935, Korea

\*Department of Architecture, Seoil College, Seoul 131-702, Korea

\*\*Department of Housing and Interior Design, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

(Received January 19, 2012; revision received March 24, 2012)

**ABSTRACT:** The influence of outdoor sky conditions on photosensor signals were examined to determine an appropriate index that is effectively used for optimum illuminance fluctuation when a daylight dimming system is used for a small office. Field measurements were conducted under various sky conditions. Results indicate that the outdoor global and vertical illuminance fluctuated within narrow ranges under clear and overcast sky conditions. The fluctuation of sky ratio under partly-cloudy sky caused wide ranges of illuminance fluctuation. A partially-shielded photosensor at backwall produced 56% of light output from fixtures controlled by a photosensor at ceiling. This implies that the photosensor at backwall does not always guarantee target illuminance due to the less output. The fluctuation of light output from fixtures were insignificant under clear and overcast sky. The fluctuation range of photosensor illuminance under partly-cloudy sky caused wide fluctuation ranges of light output. Regression result implies that the outdoor vertical illuminance was recommended for an effective index that is used for control of light output.

**Key words:** Photosensor signal(광센서 신호), Illuminance fluctuation(조도변동), Dimming control system(디밍제어 시스템), Sky ratio(천공비율), Vertical illuminance(수직조도)

### 1. 서 론

건물에서 사용되는 전기에너지를 절약하기 위하여 주광(daylight)을 실내로 유입하여 활용하는 방안이 일반적으로 적용된다. 실내로 유입되는 주광은

다양하게 변화하는 천공(sky)조건의 영향을 받으며 건물의 입면디자인에 따라 불규칙하게 변화한다. 또한, 건물이 고층화됨에 따라 건축구조적인 측면에서 건물외피에는 유리벽식 구조가 주로 적용되고 있다. 건물의 전체외피에 유리가 적용되는 유리벽식 구조에서 실내로 유입되는 주광의 영향으로 실내에는 더욱 높은 조도분포가 유지되므로, 주광은 전기조명이외의 추가적인 광원(light source)으로 활용될 수 있다.

† Corresponding author

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

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

자연광원인 주광과 전기조명을 체계적으로 연계하여 조명에너지 절약을 위한 방법으로 조광제어 시스템(daylight dimming control)이 고려되어 왔다.<sup>(1,2)</sup> 그러나, 조광제어 시스템이 적용되는 경우, 포토센서(photosensor)에서 감지되는 빛의 변화에 따라 전기조명 기기의 출력량(light output)이 자주 변화되는 조건에서 실내조도는 형성된다. 이러한 출력량의 변화는 실내조도의 변동을 형성하여 사무실 업무수행에 비효과적인 것으로 알려져 있다.<sup>(3)</sup> 또한, 효율적인 업무를 수행하기 위하여 조도의 변화폭이 크지 않은 조건에서 목표조도가 유지되어야 한다.

따라서 조광제어 시스템이 적용되는 조건에서 안정적인 조도의 변화를 유지하기 위하여, 포토센서에서 감지되는 빛의 변동폭은 안정적인 범위로 유지되어야 한다. 또한, 포토센서에 영향을 주는 외부 천공조건의 변화시, 실내 주광조건의 변화 및 센서에서 발생하는 빛의 변화분포는 분석되어야 한다. 이를 위하여, 본 연구에서는 실험실에서 현장실험이 실시되었다.

2. 연구 방법

2.1 실험 공간

현장실험은 서울에 위치한 대학교 건물의 옥상에 소규모 개인 사무실 공간으로 조성된 실험실(full-scale mock-up)에서 실시되었다(위도 : 37.10°, 경도 : 126.58°). 실험실의 크기는 폭 3.6 m, 길이 4.2 m, 높이 2.65 m이며, 자세한 사항은 Fig. 1~Fig. 2에 나타나 있다. 공간의 전면(facade)에는 이중외피가 설치되어 전면이 유리로 마감되었으며, 실내외피와 실외외피로 구성된 유리발코니(cavity)부분의 옆면도 유리로 마감되었다. 외피에 적용된 유리의 일사 및 조도투과율은 34.8% 및 62.19%이었다. 실험실 공간의 전면은 정남향에서 동쪽으로 22° 회전되어 설치되었다.

유입되는 주광을 제어하기 위하여 내부외피의 내면에 흰색 블라인드(Venetian blind)가 설치되었다. 블라인드 슬랫의 폭 및 슬랫간의 이격거리는 2.54 cm이었으며, 측정기간중 슬랫은 수평으로 유지되었다. 벽면에서 발생하는 반사효과(specular reflection)를 최소화하기 위하여, 벽면에는 흰색계열의 벽지가 설치되었다. 바닥에는 베이지색 계열의 모노룸재질 마감재가 적용되었다.

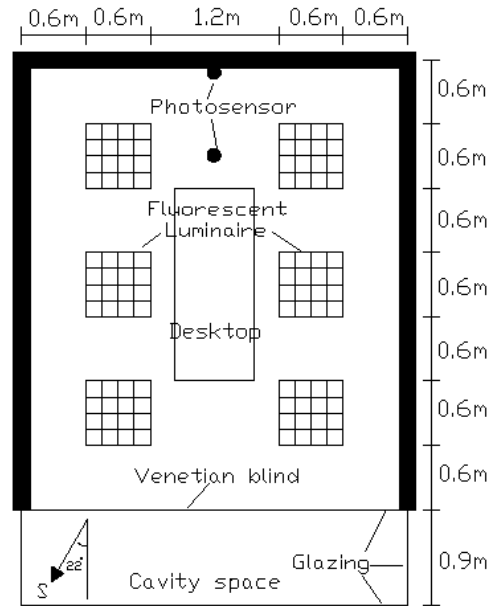


Fig. 1 Plan of full-scale mock-up space.

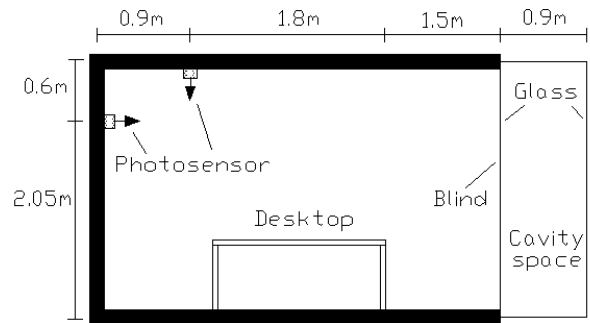


Fig. 2 Section of full-scale mock-up space.

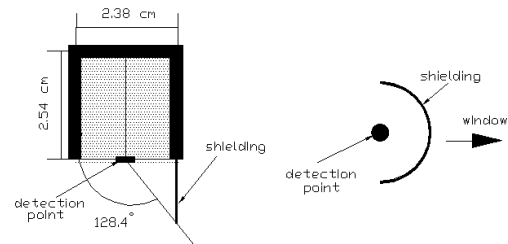


Fig. 3 Partially-shielded photosensor.

가로 0.6 m, 세로 0.6 m 크기의 매립형 형광전등을 천장에 설치하기 위하여, 가로 0.6 m, 세로 0.6 m 크기의 규격화된 흰색 텍스가 천장에 설치되었다. 전기조명기기의 출력량에 영향을 미치는 포토센서에서의 조도변화는 2곳에서 측정되었다. Fig. 2에 나타난 바와 같이, 포토센서는 실내외피에서 3.3 m 이격된 천장에 바닥면과 수직을 이루도록 설치되었다. 또한, 이중외피가 설치된 전면의 반대편인 벽면에 바

탁으로부터 2.05 m 지점에 전면 유리면과 수직을 이루도록 설치되었다. 각 포토센서에 부분차단(partial shielding)조건이 적용되었으며, 차단조건은 Fig. 3에 나타나 있다. 천장에 설치된 포토센서의 경우, 적용된 차단조건으로 인하여 유리면으로부터 입사되는 주광은 차단되었으나, 뒷 벽면에서 반사되는 주광은 센서에서 감지되었다. 벽면에 설치된 포토센서 조건의 경우, 차단부분이 센서의 상단에 설치되어 천장에서 반사되어 센서로 유입되는 주광은 차단되었다.

## 2.2 데이터 모니터링

실험에 필요한 데이터를 위한 현장측정은 2010년 12월부터 1년간 매일 실시되었으며, 데이터는 1분 간격으로 저장되었다. 외부 천공조건을 분석하기 위하여 외부의 수평 전반일사(global irradiance) 및 수평 확산일사(diffused irradiance)가 측정되었다. 외부의 수평 전반조도(global illuminance) 및 수평 확산조도(diffused illuminance)도 측정되었다. 실내로 유입되는 주광의 변화를 분석하기 위하여 이중외피의 유리면에서 수직일사 및 수직조도가 측정되었다.

실내로 유입되는 주광의 변화를 분석하기 위하여 내부외피에서 0.3 m, 1.2 m, 2.1 m, 3.0 m, 3.9 m 이격된 지점에서 수평면 조도가 측정되었다. 각 벽면의 중심점에서 수직조도 및 설치된 포토센서에서의 조도변화도 측정되어 실내조도 변화분포를 분석하는데 활용되었다.

본 연구의 실험에 사용된 데이터 모니터링 시스템은 기존의 연구에 적용된 내용과 동일하다.<sup>(4)</sup> 실험에서 조도 및 일사는 L회사에서 생산되는 조도계와 일사계를 이용하여 측정되었으며, 이는 C회사에서 제작된 자동 데이터로거(data logger)에 의하여 txt 파일로 저장되었다. 사용된 조도센서의 민감도는 20 mA/100 klx이다.<sup>(5)</sup>

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 mV이다.<sup>(6)</sup> 이러한 센서와 데이터로거를 이

용하여 조도와 일사 데이터는 1분 간격으로 측정되어 저장되었다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 천공조건 및 외부 주광조도 변화

외부기상조건의 변화를 나타내는 요인 중 천공조건의 변화에 적용되는 인자가 일사량의 변화분포이다. 전반일사량에서 확산일사량이 차지하는 비율에 근거하여 천공조건(sky condition)이 결정되며, 이는 천공비율(sky ratio, SR)로 명시된다. 천공조건은 그 비율에 근거하여 청천공(Clear sky, SR ≤ 0.3), 부분담천공(Partly cloudy sky, 0.3 < SR < 0.8), 담천공(Overcast sky, SR ≥ 0.8)의 3가지 조건으로 구분된다.<sup>(7)</sup>

본 연구에서 실시된 실험기간동안 측정된 일사량의 분포 중, 위의 3가지 천공조건을 대표할 수 있는 예는 Fig. 4~Fig. 6에 나타나 있다. Fig. 4에 나타난 바와 같이 전반일사량의 분포는 청천공 조건의 경우(6/23), 매우 안정적으로 나타났으며 오전과 오후에 대칭적인 분포를 보이고 있다. 일사량은 데이터가 수집되기 시작한 오전 7시에 224 W/m<sup>2</sup>이며, 태양고도가 증가함에 따라 안정적 분포를 보이며 증가하였다. 일사량은 태양고도가 최고값을 보이는 12시 30분에 905 W/m<sup>2</sup>로 나타났고, 태양고도가 감소함에 따라 안정적으로 감소하여 오후 6시에 243 W/m<sup>2</sup>로 나타났다.

확산일사량도 매우 안정적으로 변화하였으며, 최저 80 W/m<sup>2</sup>에서 최대 157 W/m<sup>2</sup>로 측정되어 77 W/m<sup>2</sup>로 좁은 범위 내에서 변화된 것으로 분석되었다. 이러한 조건은 Fig. 7에 명시된 바와 같이 천공비율이 0.3이하 범위로 존재하는 안정적인 청천공 조건을 유지하였다.

Fig. 5에 나타난 바와 같이 전반 일사량의 분포가 매우 불규칙적으로 변화된 7월 27일의 경우, 전반일사량은 최저 84 W/m<sup>2</sup>에서 최고 1075 W/m<sup>2</sup>로 나타나 일사량의 변화범위는 안정적인 변화분포를 보인 6월 23일의 경우에 비교하여 매우 큰 것으로 나타났다. 확산일사량은 전반 일사량에 비교하여 낮으며, 그 변화폭도 상대적으로 좁은 것으로 나타났다. 이러한 조건에서 Fig. 7에 나타난 바와 같이, 천공비율의 변화폭이 큰 것으로 나타나, 외부일사 및 주광조도가 매우 불규칙하게 변화되는 불안정한

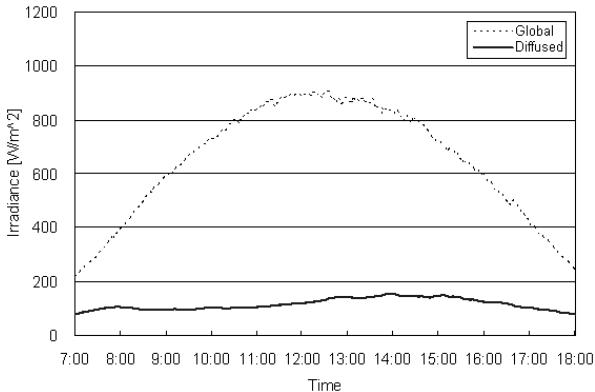


Fig. 4 Variation of irradiance(June/23).

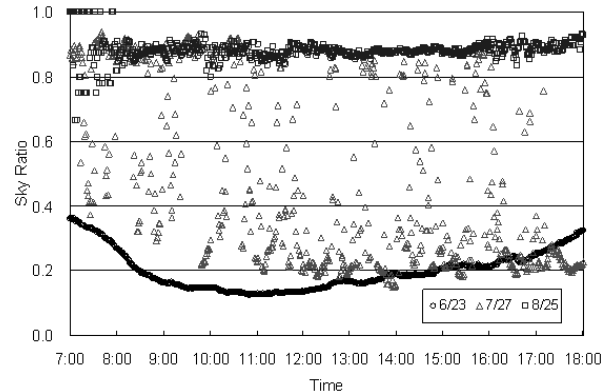


Fig. 7 Sky ratio for the selected day.

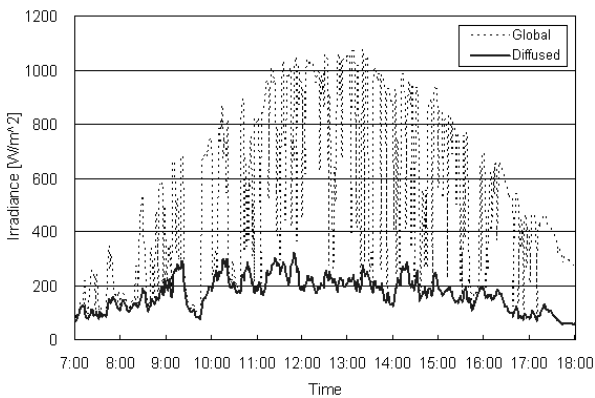


Fig. 5 Variation of irradiance(July/27).

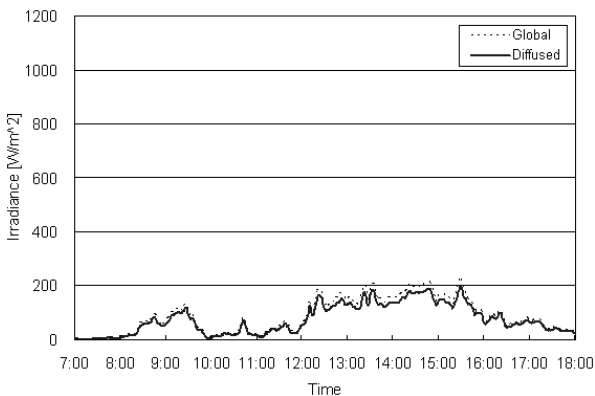


Fig. 6 Variation of irradiance(Aug./25).

부분담천공 조건을 형성하는 것으로 나타났다.

Fig. 6에 나타난 바와 같이, 절대적인 일사량은 낮지만, 안정적인 변화 분포를 보인 8월 25일의 경우 일사량의 변동폭은 최소 3 W/m<sup>2</sup>에서 최대 218 W/m<sup>2</sup>로 나타났다. 또한, 전반일사량과 확산일사량이 유사하게 나타나 Fig. 7에 명시된 바와 같이, 천공비율이 대부분 0.8이상으로 나타난 전형적인 담천공 조건임을 나타낸다. 이러한 조건에서 일사량

의 변화는 안정적이지만, 절대적인 일사량이 적어 실내로 유입되는 주광의 양은 감소된다.

측정기간 중 수집된 청천공, 부분담천공 및 담천공의 천공조건에서 변화되는 외부의 수평 주광조도는 Fig. 8~Fig. 10에 나타나 있다. 주광조도의 변화는 일사량의 변화분포와 전반적으로 유사한 분포를 보이고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 8에 나타난 바와 같이, 청천공 조건에서태양 고도가 증가함에 따라 전반주광조도는 매우 안정적인 변화를 보이면서 최대 94,800 lx까지 증가하였다. 확산주광조도의 변화도 안정적인 것으로 나타났으며, 최대 24,240 lx를 보이고 있다. 두 경우 모두, 시간이 지남에 따른 조도의 변동폭은 2500 lx 이내로 나타났다. 전반조도가 높은 경우 확산조도는 낮게 나타났다. 이는 태양이 구름등에 의하여 가려지지 않아 태양으로부터 발생하는 직사성분의 영향이 높고 천공표면의 영향이 적어 발생한 결과이다.

부분 담천공조건에서 주광조도의 변화는 Fig. 9에 나타난 바와 같이 매우 불규칙적인 것으로 나타났다. 시간이 경과함에 따른 전반조도의 변동폭은 최대 78,550 lx로 매우 넓게 나타났으며, 확산조도의 변화는 전반조도의 변동폭에 비교하여 상대적으로 좁은 범위내에서 존재하는 것으로 분석된다. 넓은 범위내에 존재하는 변동폭은 천공비율에 영향을 받아 발생되어 실내로 유입되는 주광의 변동폭에 영향을 주게 된다. 이는 부분 담천공조건에서 발생하는 실내 주광조도 변화가 청천공 또는 담천공조건에 비교하여 높은 것을 암시한다.

담천공 조건에서 발생하는 외부조도의 변화는 Fig. 10에 나타나 있다. 담천공은 태양이 구름등에 의하여 가려지는 조건에서 발생되므로, 이러한 조건에서 주광조도는 청천공 또는 부분담천공 조건에서

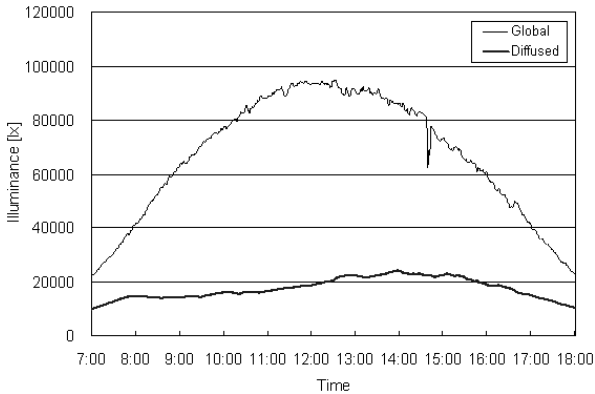


Fig. 8 Variation of illuminance(June/23).

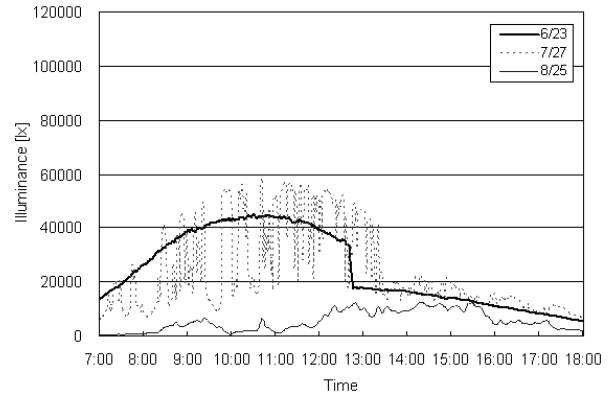


Fig. 11 Outdoor vertical illuminance.

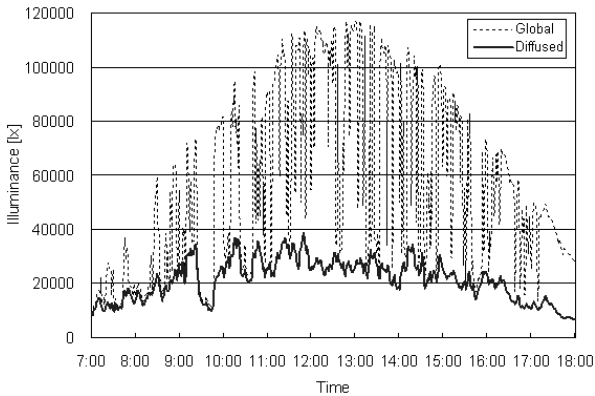


Fig. 9 Variation of illuminance(July/27).

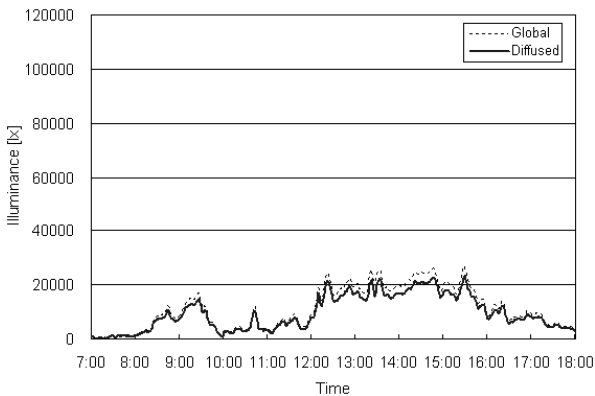


Fig. 10 Variation of illuminance(Aug./25).

나타나는 주광조도 보다 상대적으로 매우 낮은 값을 보이고 있다. 예를 들면, 전반조도 및 확산조도의 최대값은 각각 24,350 lx 및 22,920 lx로 나타났다. 답천공 조건에서 이러한 조도의 변화는 태양으로부터 발생하는 직사성분(direct component)이 구름등에 의하여 현저히 차단되고, 천공표면에서 발생되어 도달하는 천공성분(sky component)이 주로 포

함되어 나타난 결과이다.

각 천공조건별 외부유리면에 입사하는 수직주광조도의 변화는 Fig. 11에 나타나 있다. 일사 및 수평주광조도의 변화분포와 유사한 형태를 보이며 변화하고 있다. 청천공조건의 경우 12시 40분을 기점으로 하여 조도값이 저하되었다. 이는 이중외피가 설치된 건물의 전면이 정남향에서 동쪽으로 22° 회전되어 설치되어 발생된 결과로 판단된다. 수평조도가 불규칙적인 변화를 보였던 부분담천공조건에서 수직조도의 분포는 불안정한 분포를 보이고 있다.

주광조도의 변화에 영향을 미치는 주요한 인자중 하나는 천공조건을 형성하는 천공비율이다. 이 비율이 변동함에 따라 외부 주광조도의 변동이 발생하여 실내에 유입되는 주광의 양이 변화하게 된다. 본 연구에서 천공조건별 대표일로 선정된 6~8월의 각 3일에 대하여, 1분 간격으로 분석된 천공비율 및 이중외피의 외부외피면에서 수직조도 증감변화는 Fig. 12~Fig. 13에 나타나 있다.

조도가 안정적으로 변화된 청천공조건(6/23)의 경우, 시간간격당 천공비율의 증감변화는 0.007이내의 범위내에 존재하여, 그 변동폭이 매우 좁은 것으로 분석되었다. 특히, 일일 측정기간중 68.64%에 해당하는 데이터가 0.001이내의 천공비율 변동범위에 존재하여 매우 안정적인 천공조건이 형성됨을 알 수 있다. 이러한 안정적인 조건에서 외부의 수직조도는 그 변동폭이 좁게 나타나 안정적으로 변화되었다. 측정된 전체 데이터의 93.9%가 900 lx 미만의 조도 변화폭을 나타내고 있어 실내로 유입되는 조도의 변화도 매우 안정적인 것을 암시한다.

부분 담천공(7/27)조건의 경우, 천공비율의 변동폭은 최대 0.681로 나타나 천공조건이 매우 불안정하게 변화된 것으로 분석되었다. 천공비율의 변동

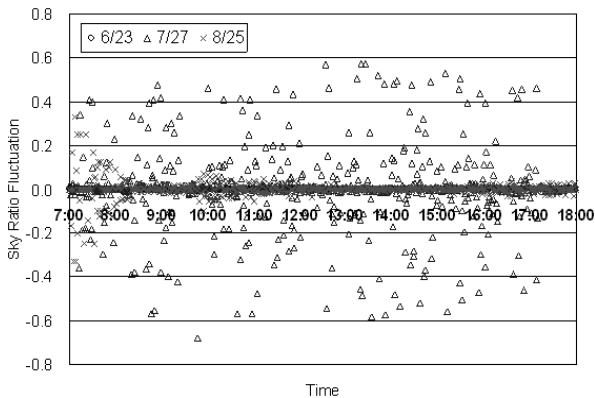


Fig. 12 Fluctuation of sky ratio.

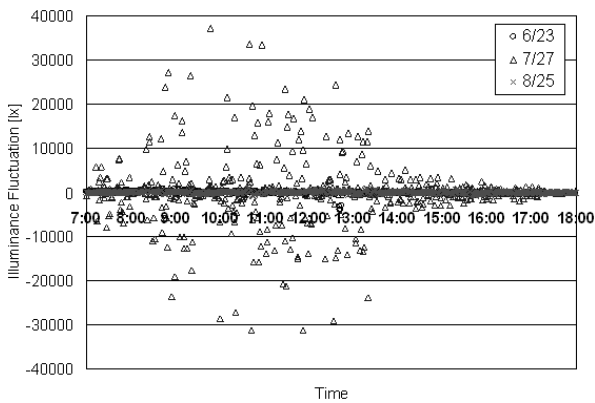


Fig. 13 Fluctuation of outdoor vertical illuminance.

폭이 0.1을 초과하는 경우도 30.45%로 나타났다. 이러한 조건에서 외부 수직면의 조도 변동폭이 최대 37,060 lx로 나타나 실내로 유입되는 주광조도의 변동범위도 넓을 것으로 판단된다.

부분담천공 조건에 비교하여 상대적으로 안정적인 변동범위를 보인 담천공조건의 경우(8/25) 천공비율의 변동폭이 청천공조건의 경우와 유사한 것으로 분석되었다. 천공비율의 변동폭이 최대 0.33으로 나타났으나, 97.12%의 변동폭은 0.1이내에 존재하여 주광조건은 안정적인 변화를 보이며 변화한 것으로 판단된다. 이와 같은 담천공 조건에서 외부의 수직조도는 안정적으로 변화하였다. 최대 변동폭은 968 lx이며, 측정된 데이터의 94.4%는 변동폭 500 lx 이내에 존재하였다.

### 3.2 실내조도 변동

외부천공조건이 천공비율에 따라 변화하면, 외부에서 주광의 분포는 변화하게 되며, 이에 따라 실내

에서 주광조도는 변화하게 된다. 본 연구에서 실험이 진행되어 데이터가 측정된 기간 중 각 천공조건을 대표하는 6~8월의 3일 중 변화된 책상면의 조도와 포토센서의 조도분포는 Fig. 14~Fig. 16에 나타나 있다.

청천공 조건(6/23)에서 책상면 중심의 조도는 최소 254.9 lx, 최대 717.5 lx의 범위내에서 변화하였다. 이중외피가 설치된 전면이 정남향에서 동쪽으로 22° 이동되어 있어, 12시 이후 감소폭이 큰 것으로 나타났다. 책상면에서의 조도의 변동폭은 23.8 lx 이하로 나타나 실내의 주광조도는 안정적인 것으로 분석되었다.

태양고도가 6월(6/23)에 비교하여 낮아지는 7월(7/27)의 부분담천공 조건에서 책상면의 주광조도는 6월에 비교하여 높게 나타났다. 이는 천공조건이 태양의 영향이 상대적으로 감소되는 부분담천공이지만, 유리면에 블라인드 슬랫이 수평으로 설치되었고, 태양고도가 상대적으로 감소되어 발생한 현상으로 판단된다. 천공비율이 변화함에 따라 변동된 실내조도의 최대 범위는 421.5 lx로 나타나 불안정한 것으로 분석되었으며, 변동폭이 150 lx 이상인 경우도 전체 데이터의 8.79%에 해당하였다.

담천공 조건의 경우(8/25), 책상면에서 주광조도의 변화는 371 lx 미만의 분포를 보이고 있으며, 측정시간 경과에 따른 조도의 변화량이 45 lx 미만으로 나타나 매우 안정적으로 변화한 것으로 분석되었다. 이는 태양이 구름으로 인하여 차단되어 태양으로부터 직사조도의 영향이 없으며, 천공표면에서 실내로 유입되는 조도의 영향으로 인하여 나타난 것으로 판단된다.

각 천공조건에서 천장과 북측벽에 설치된 포토센서의 조도는 책상면의 조도변화와 유사한 변화분포를 보이고 있다. 청천공 조건에서 천장에 설치된 센서의 주광조도는 북측벽에 설치된 센서 조도의 53.65%에 해당하는 것으로 분석되었다. 이는 센서에 적용된 부분차단조건에 의하여 유리면에서 천정면에 설치된 센서로 유입되는 주광이 효과적으로 차단되어 발생한 것으로 판단된다.

따라서 포토센서가 후벽면에 설치되는 경우에 천장에 설치되는 경우에 비교하여 전기조명기기의 출력량은 53.65% 감소되는 것을 알 수 있다. 이는 소규모 사무실 공간의 뒷벽면에 설치된 센서가 목표 조도를 유지하는데 필요한 최적의 조명기기 출력량을 유지한다는 기존의 연구결과와는 일치하지 않을 수 있음을 암시한다.<sup>(8)</sup>

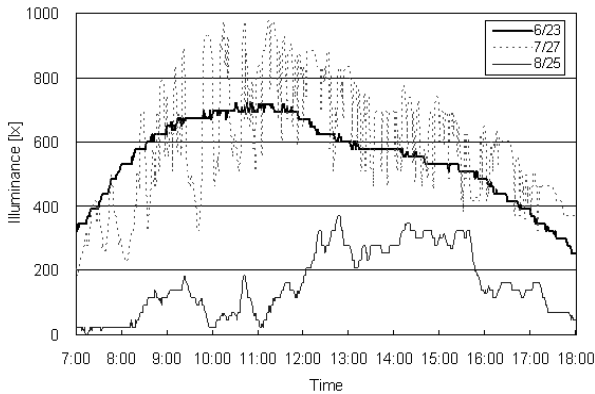


Fig. 14 Desktop illuminance.

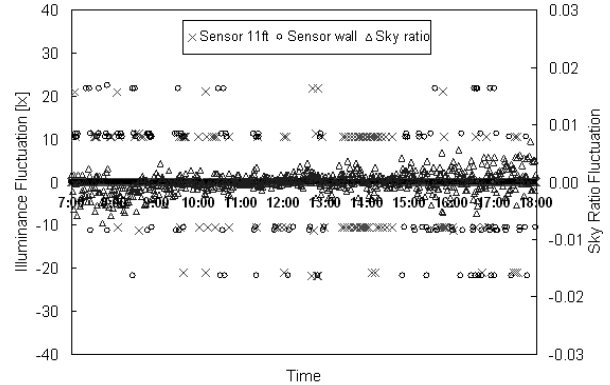


Fig. 17 Fluctuation of photosensor illuminance (6/23, Clear sky).

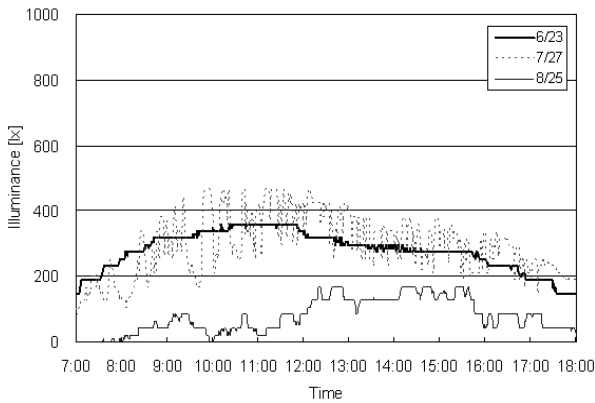


Fig. 15 Photosensor illuminance at ceiling.

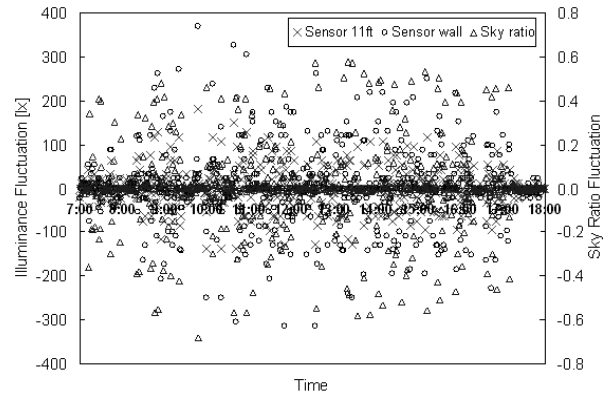


Fig. 18 Fluctuation of photosensor illuminance (7/27, Partly cloudy sky).

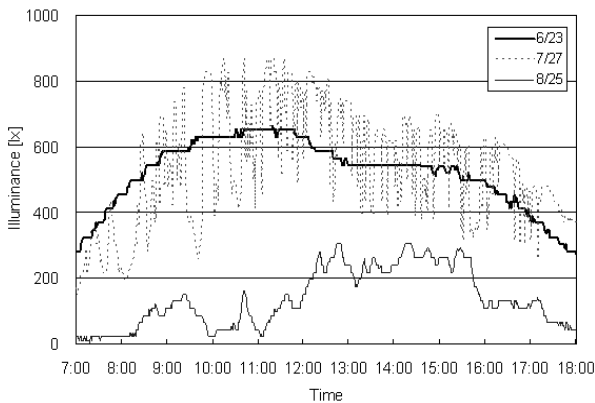


Fig. 16 Photosensor illuminance at backwall.

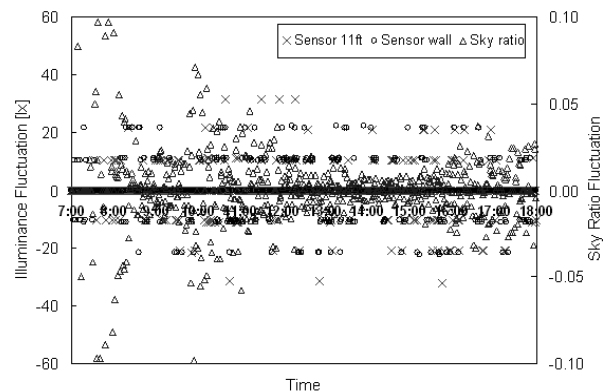


Fig. 19 Fluctuation of photosensor illuminance (8/25, Overcast sky).

각 천공조건에서 발생된 포토센서 조도의 변동폭은 Fig. 17~Fig. 19에 나타나 있다. 청천공 조건(6/23)에서, 천장 및 북측벽에 설치된 센서에서 감지된 조도의 변동폭은 각각 21.7 lx 및 22.4 lx를 초과하지 않는 것으로 분석되었다. 특히, 조도의 변동이 전혀 없는(0.0 lx) 경우도 일일 데이터 중 81.8% 및 80.9%로 분석되었다. 이는 센서에서 감지되는 조도의 변화

폭이 매우 좁아, 조광제어 시스템에 의하여 전기조명이 제어되는 경우 전기조명기기의 출력량이 매우 안정적인 범위내에서 변화할 수 있음을 의미한다. 이는 결과적으로 조도의 변화범위가 좁아져 실내에

서 주어진 사무업무를 수행하는 재실자에게 시각적인 불쾌감(visual discomfort)을 발생하지 않을 수 있음을 암시하며, 기존의 연구결과와 일치할 수 있음을 의미한다.<sup>(3)</sup>

그러나 천공조건이 매우 불안정한 부분 담천공조건(7/27)에서, 센서에서 감지된 조도의 변동폭은 천장 및 뒷벽면에 설치된 센서의 경우, 각각 최대 179.9 lx 및 369.9 lx로 변화된 것으로 분석되었다. 센서에서 감지되는 조도의 변화범위가 넓을수록 조광제어 시스템에 의하여 제어되는 조명기기의 출력량 변화범위는 넓은 것을 의미한다. 이러한 현상은 결과적으로 책상면조도 및 실내조명환경을 불안정하게 유지하는 원인이 되며, 재실자에게 시각적인 불쾌감을 발생할 수 있다는 기존의 연구결과와 일치한다.<sup>(3)</sup>

주광의 영향이 매우 약했던 담천공조건(8/25)의 경우, 포토센서 조도의 변동폭은 천장에 설치된 센서의 경우 32.3 lx, 북측벽에 설치된 경우 22.4 lx로 분석되었다. 이는 포토센서에서 변화되는 조도의 범위에 근거하여 전기조명기기의 출력량이 제어되는 경우, 일반적으로 그 출력량의 변동은 매우 안정적인 것임을 의미한다. 따라서 조광제어 시스템에 의하여 책상면에서 목표조도만 효과적으로 유지되면, 전기조명기기의 출력량 변화에 따른 조도변동으로 인한 시각적인 불쾌감은 발생하지 않는 것임을 의미한다.<sup>(3)</sup>

### 3.3 조도변화의 상관인자 분석

실내에서 주광조도의 변화는 외부에서 변화하는 천공조건 및 외부의 주광조도에 영향을 받으며 변화한다. 따라서 실내에 설치된 포토센서에서 감지되는 주광조도 변동을 효과적으로 예측하여 안정적인 전기조명기기의 출력량을 유지하기 위하여, 외부에서 변화되는 인자와 포토센서 조도사이의 상관성은 분석되어야 한다.

본 연구에서는 6~8월 3개월 동안 측정된 데이터를 근거로 외부인자와 포토센서 조도사이의 상관성 분석이 선형회귀분석을 적용하여 실시되었다. 회귀 분석에는 천장과 북측벽면에 설치된 포토센서의 조도가 각각 종속변수로 설정되었으며, 천공비율, 외부전반조도, 이중외피의 외부면에서 수직면 주광조도가 각각 독립변수로 설정되었다.

각 변수간의 선형회귀 분석분포는 Fig. 20~Fig. 22에 나타나 있으며, 선형회귀 예측모델식에 대한

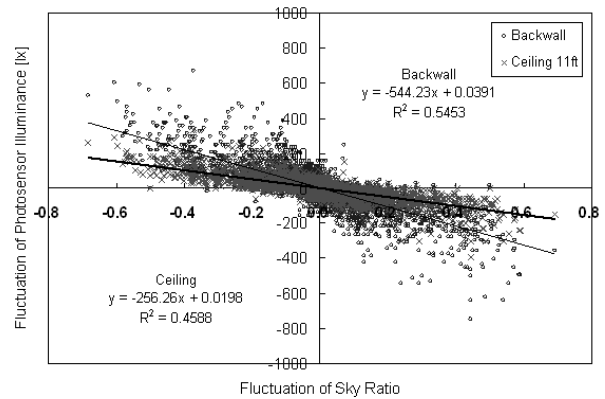


Fig. 20 Relationship between fluctuation of sky ratio and photosensor illuminance.

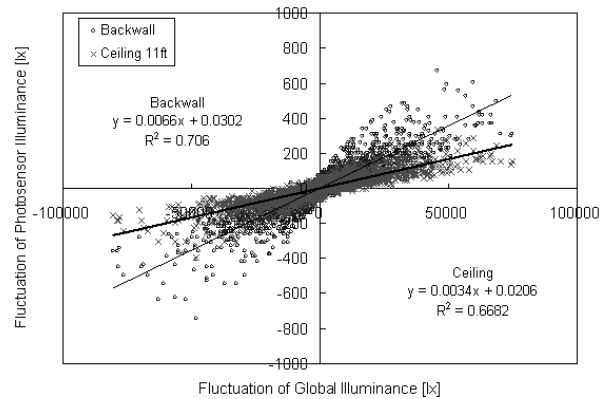


Fig. 21 Relationship between fluctuation of global illuminance and photosensor illuminance.

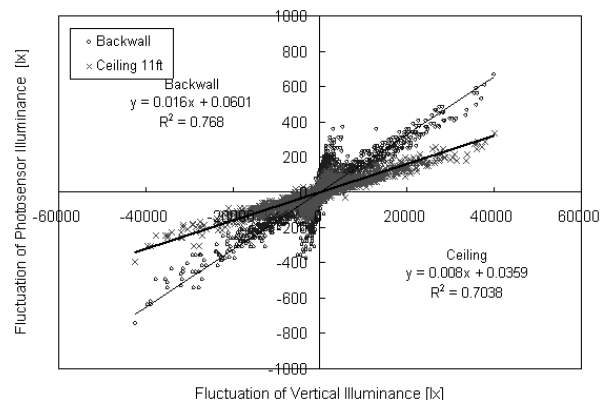


Fig. 22 Relationship between fluctuation of vertical illuminance and photosensor illuminance.

검증결과는 Table 1에 나타나 있다. 전반적으로, 각 조건 변화에 따른 포토센서의 변화에 대한 상관성



Table 1 Relationship between outdoor factor and photosensor illuminance

case	var.	U.C. B	Std.	t	Sig.	ANOVA	
						F test	Sig.
1	C	0.0197	0.14	0.14	0.89	F(1,21112) = 17898	0.00
	S	-256.26	1.92	-133.79	0.00		
2	C	0.0389	0.25	0.15	0.88	F(1,21112) = 25315	0.00
	S	-544.24	3.42	-159.11	0.00		
3	C	0.0206	0.11	0.19	0.85	F(1,21112) = 42529	0.00
	S	0.0034	0.00	206.23	0.00		
4	C	0.0410	0.17	0.24	0.81	F(1,21112) = 78684	0.00
	S	0.0071	0.00	280.51	0.00		
5	C	0.0359	0.10	0.34	0.73	F(1,21112) = 50168	0.00
	S	0.0080	0.00	223.98	0.00		
6	C	0.0733	0.18	0.41	0.68	F(1,21112) = 70631	0.00
	S	0.0163	0.00	265.77	0.00		

where,

- case 1-X : Sky ratio, Y : sensor 11ft
- case 2-X : Sky ratio, Y : sensor at backwall
- case 3-X : Global Illuminance, Y : sensor 11ft
- case 4-X : Global Illuminance, Y : sensor at backwall
- case 5-X : Vertical Illuminance, Y : sensor 11ft
- case 6-X : Vertical Illuminance, Y : sensor at backwall
- U.C. : Unstandardized Coefficient,
- var : variable, S : slope, C : constant

을 나타내는 결정계수( $r^2$ , coefficient of determination)는 0.4588~0.768의 범위로 나타나, 효과적인 상관성이 있는 것으로 판단된다. 포토센서가 천장에 설치되는 경우에 비교하여 뒷벽면에 설치되는 경우 그 상관성이 높게 나타났다.

이는 외부주광 조도변화를 효과적으로 실내에 반영하기 위하여 센서가 후벽면에 설치되면 더욱 효과적인 것임을 암시한다.

한편, 포토센서의 조도는 적용된 세 가지 독립변수 중 외부에서 수직면에 입사하는 주광조도의 변화에 가장 많은 영향을 받는 것으로 분석되었다. 센서가 천장 및 후벽면에 설치되는 경우, 수직면으로 입사하는 주광조도와의 상관성은 그 결정계수가 0.7038와 0.768로 나타나 높은 것으로 분석되었다. 이는 전면 유리에 수직으로 입사하는 조도증감량을 사용하여 각 위치에 적용된 포토센서의 증감량을 예측하는 경우 발생하는 오차변화(error variation)가 70.38% 및 76.8% 감소되는 것을 의미한다.

또한, 천장 및 설치된 포토센서 조도의 증감량을 예측하기 위한 모델식에 대한 검증결과는 신뢰도 수준(significance level) 0.01이하에서 유효한 것으로

분석되었다( $F(3, 21,112) = 50,168, Sig. = 0.0$ ). 이러한 결과는 유효한 것으로 인정되며 예측모델식은 효과적으로 적용된다. 따라서 포토센서의 변동량을 예측하기 위한 지표로 건물외피에 수직으로 입사하는 주광조도를 선정하여 활용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 조광제어 시스템이 소규모 사무실에 적용되는 경우, 조도변화를 효율적으로 제어하기 위한 지표를 결정하기 위하여 현장실험에 근거한 분석이 이루어졌다. 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 전반일사에 대한 확산일사의 비율로 결정되는 천공비율이 0.3이하 범위로 존재하는 청천공조건의 경우, 태양고도가 증가함에 따라 전반주광조도 및 확산주광조도는 안정적으로 변화하였으며, 변동폭은 2,500 lx이내로 좁게 나타나 실내조도의 변동폭에 심각한 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다. 천공비율의 변동범위가 최대 0.681로 나타난 불안정한 천공조건인 부분담천공 조건에서 주광조도의 변동폭은 최대 78,550 lx로 나타났으며, 이는 실내로 유입되는 주광조도의 변동폭에 영향을 주는 인자로 작용하였다. 천공비율이 대부분 0.8이상으로 나타난 담천공조건에서 천공비율의 변동폭은 최대 0.33으로 분석되었으며, 외부 전반조도의 변동폭은 2,680 lx 미만으로 나타나 실내 주광조도의 변동폭에 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다.

(2) 건물전면에 입사하는 외부수직 조도의 변동폭은 청천공 조건의 경우, 일일 측정된 데이터의 93.9%가 900 lx 미만으로 나타났고, 담천공 조건의 경우, 그 변동폭이 500 lx 이내에 존재하는 매우 안정적인 변화를 보이는 것으로 분석되었다. 이러한 조건에서, 실내로 유입되는 주광조도의 변동폭도 매우 안정적인 것으로 나타났다. 그러나 부분 담천공조건의 경우, 수직조도의 변동폭은 최대 37,060 lx 보이며 불안정하게 변화하였으며, 실내로 유입되는 주광조도의 변동폭도 그에 비례하여 넓게 나타났다.

(3) 청천공, 부분담천공 및 담천공 조건에서 천장에 설치된 센서에서 감지된 주광조도는 뒷벽면에 설치된 센서에서 감지된 조도의 53.65%, 56.12%, 59.08%로 나타났다. 이는 조광제어 시스템에 의하여 제어되는 전기조명기기의 출력량은 포토센서가 부분차단 조건으로 뒷벽면에 설치되는 경우, 천장에 설치

되는 경우에 비교하여 감소되는 것을 암시한다. 따라서 전면이 유리로 마감되어 소규모 공간의 경우 뒷벽면에 부분차단 조건으로 설치된 센서가 목표조도를 유지하는데 필요한 최적의 조명기기 출력량을 유지한다는 기존의 연구결과와는 일치하지 않을 수 있다.<sup>(8)</sup>

(4) 청천공 및 담천공 조건에서, 천장 및 북측벽에 설치된 센서에서 감지된 조도의 변동폭이 32 lx 이내로 좁게 나타났다. 이는 포토센서에서 변화되는 조도의 범위에 근거하여 조광제어 시스템에 의하여 전기조명이 제어되는 경우, 전기조명기기의 출력량이 매우 안정적인 범위내에서 변화할 수 있음을 의미한다. 이러한 경우, 조도의 변화범위가 적어 실내에서 주어진 사무업무를 수행하는 재실자에게 시각적인 불쾌감(visual discomfort)을 발생하지 않을 수 있음을 의미한다.<sup>(3)</sup> 그러나, 부분담천공 조건에서, 천장 및 뒷벽면에 설치된 포토센서에서 감지된 조도의 변동폭이 각각 179.9 lx 및 369.6 lx로 넓게 나타났다. 이는 전기조명 기기의 출력량의 변화가 큰 것을 의미하며, 이에 따라 책상면조도 및 실내조명환경을 불안정하게 유지하는 원인이 되어 재실자에게 시각적인 불쾌감을 발생할 수 있음을 의미한다.<sup>(3)</sup>

(5) 각 조건 변화에 따른 포토센서의 변화에 대한 상관성을 나타내는 결정계수는 포토센서가 천정에 설치되는 경우에 비교하여 공간의 뒷벽인 북측벽면에 설치되는 경우 높게 나타났다. 이는, 외부주광조도변화를 효과적으로 실내에 반영하기 위하여 포토센서는 후벽면에 설치되는 것이 효과적임을 의미한다. 또한, 포토센서의 조도는 외부에서 수직면에 입사하는 주광조도의 변화에 가장 많은 영향을 받는 것으로 분석되었다. 따라서 조광제어 시스템이 적용되어 조명기기를 제어하는 경우, 포토센서에서 감지되는 조도의 변동범위를 예측하기 위하여 건물 외피에 수직으로 입사하는 주광조도의 변화를 지표로 활용하는 것이 효과적인 것으로 판단된다.

본 연구에서는 제한된 조건의 소규모 사무실 공간을 대상으로 특정화된 포토센서의 위치 및 차단 조건에 대한 분석이 이루어 졌다. 보다 다양한 조건이 적용되는 포토센서에 대한 추가적인 분석이 이루어지면 효과적일 것으로 판단된다. 또한, 건물의

전면에 다양하게 설치될 수 있는 브라인드에 대한 조건이 특정화되어 적용되어 연중 태양고도가 가장 높게 분포하는 여름철 측정된 데이터에 근거하여 분석이 이루어졌다. 태양고도가 낮게 분포하는 겨울철조건에서 추가적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

## 후 기

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

## 참고문헌

1. Kim, S. and Mistrick, R., 2001, Recommended daylight conditions for photosensor system calibration in a small office, *Journal of IESNA*, Vol. 30, pp. 176-188.
2. Newsham G., Aries M. Mancini S., and Faye G., 2008, Individual control of electric lighting in a daylight space, *Lighting Research and Technology*, Vol. 40, pp. 25-41.
3. Kim, S. and Kim, J., 2007 Influence of light fluctuation on occupant visual perception, *Building and Environment*, Vol. 42, pp. 2888-2899.
4. 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.
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 9<sup>th</sup> editions, *The Illuminating Engineering Society of North America*.
8. Mistrick, R. and Thongtipaya, J., 1997, Analysis of daylight photocell placement and view in a small office, *The Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, pp. 150-160.