

광센서 조광제어시스템의 폴링주기 결정에 관한 연구

(A Study on Determination of Polling Period of Daylight Responsive Dimming Systems)

황민구* · 최안섭**

(Min-Gu Hwang · An-Seop Choi)

(*세종대학교 건축공학과 석사과정 · **세종대학교 건축공학과 교수)

Abstract

Recently, energy depleting problem have risen seriously. Many studies of daylight responsive dimming system for saving of lighting energy in office buildings have been done actively. Most of studies are focused on the accuracy. However if the variation of dimming levels is changed too often, occupants would feel uncomfortable. First, illuminance changes which occupants couldn't detect are studied through analyzing foreign studies. Second, workplan illuminance from daylight in each sky condition is measured. Because the dimming level in daylight responsive dimming system is dependent on the workplan illuminance from daylight. In conclusion, the most appropriate polling periods to daylight responsive dimming system for occupant's visual comfort was determined.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

에너지 고갈의 문제가 점점 심도 있게 대두되고 있는 요즘에 효율적인 에너지의 사용은 무엇보다 중요한 일이다. 효율적인 에너지의 사용은 같은 양의 에너지를 더 적절하고 능률적으로 사용하는 것을 말하며, 이런 맥락에서 조명용 에너지의 효율적인 사용은 더욱 중요하다.

최근 건물에서 조명용 에너지를 조광제어시스템으로 절감하고자 하는 노력이 많이 일고 있다. 그 중에서도 광센서 조광제어시스템은 주광을 이용하여 에너지 절감을 극대화하고 최적의 시환경을 제공할 수 있는 시스템으로 손꼽히고 있다[1].

광센서 조광제어시스템의 효율적인 운영을 위해서는 재실자의 시각적 불편감을 줄여 쾌적한 조명환경을 조성하여 줌으로 인해 사용자에게 신뢰감을 주어야 한다. 그러나 기존의 광센서 조광제어시스템은 정확성에만 초점이 맞춰져 있다. 따라서 광센서 조광제어시스템의 정확성과 더불어 재실자에게 시각적 편안함을 주는 안정성에 대한 연구를 통해 광센서 조광제어시스템의 안정적인 적용이 가능해 질 수 있다.

1.2 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 너무 잦은 조광률 변화로 인한 재실자의 시각적 불편감을 줄이기 위해 적정 폴링주기를 정하고자 하였다. 먼저 해외 연구 사례를 바탕으로 재실자가 느낄 수 없는 작업면조도의 변화량을 분석하고자 하였다. 이 분석을 통하여 재실자가 느끼지 못하는 범위의 조도변화폭을 정하고자 하였다.

이와 더불어 광센서 조광제어시스템의 인공조명 조광률 변화에 영향을 미치는 주광의 변화를 천공상대별 및 시간별로 측정하였다. 이를 바탕으로 주광의 변화폭 중 재실자가 느낄 수 있는 변화가 일어나는 시간간격을 찾아 광센서 조광제어시스템의 폴링주기에 적용하고자 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 해외 연구 사례 분석

최근 해외에서는 재실자가 느끼는 조도변화의 정도에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 그 결과 초기조도의 20% 이내의 조도변화는 재실자가 인식하지 못함을 알 수 있었다[2,3].

초기조도에 대해 재실자가 인식할 수 있기 위해서는 두 가지 조건들이 작용한다. 재실자가 초기조도에 대한 기억을 얼마나 오랫동안 하고 있는지와 조도변화의 속도에 따른 것이다. 이에 대한 해외 연구 사례가 있어 이를 분석하였다[4,5]. 표 1은 실험실의 여러 가지 실험변수들을 나타낸 것이다[6]. 방의 크기, 각 벽면의 반사율, 재실

가구 및 등기구 종류, 초기 조도값 및 측정 작업면의 높이 등을 나타낸다.

표 1. 실험변수
Table 1. Experimental variables

| | |
|--------|----------------------------|
| 방 크기 | 2,286mm × 2,2896mm |
| 반사율 | 벽, 천정 : 75% 바닥 카펫 : 15% |
| 가구 | 서가, 의자, 책상 |
| 등기구 | 직간접 T8형광등×2등×3개 |
| 초기 조도 | 500lx |
| 작업면 높이 | 0.7m |

(1) 기억력에 대한 연구

초기 조도(500lx)에서 목표조도로 변화를 주었을 경우 재실자들이 눈을 감고 있는 시간에 따라 조도의 변화를 인식하는지 여부에 대한 실험을 하였다. 표 2는 초기조도 500lx에서 변화할 목표조도 값과 조도 변화 시 눈감고 있는 시간을 나타낸 것이다. 표 3은 실험 결과를 나타낸 것으로 피실험자들이 눈을 감고 있을 때 조도변화를 수행하여 피실험자들 중 조도변화를 인식하는 비율과 인식하는 조도변화량을 나타낸 것이다.

표 2. 기억력 연구에 대한 실험 조건
Table 2. Experimental conditions for the memory study

| | |
|-------------------|-----------------------------------|
| 변수 | 범위 |
| 목표조도(lx) | 976, 781, 625, 500, 400, 320, 256 |
| 눈감고있는 시간(seconds) | 3, 100 |

표 3. 실험 결과
Table 3. Experimental results

| | |
|------|-------------------------|
| 변수 | 인식 비율 |
| 3초 | 피실험자의 50%가 20%의 조도변화 인식 |
| 100초 | 피실험자의 50%가 30%의 조도변화 인식 |

(2) 조광제어 커브에 대한 연구

조도변화를 수행할 때 재실자에게 영향을 줄 수 있는 또 다른 변수는 조도변화를 어느 정도의 시간간격으로 수행하여야 하는지에 대한 문제로 그에 대한 실험이 조광제어 커브에 대한 연구이다. 이는 조도변화 시 조광제어 커브에 따라 조도변화를 실시하여 재실자의 인식 정도를 조사하는 실험이다. 표 4는 실험 시 변수들을 나타낸 것이다.

실험 결과 조광제어 곡률은 조도변화의 인식에 영향을 미치지 않고, 조도변화 수행 시 재실자의 만족감에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 또한, 조도감소의

인지는 재실자가 업무 중이거나 비업무 중일 경우에 따라 차이가 나지 않는 것으로 나타났다.

표 4. 조광제어 커브 연구에 대한 실험 조건
Table 4. Experimental conditions for the dimming curve study

| | |
|-----------|---|
| 변수 | 범위 |
| 조광제어 곡률 | Linear, 0.4, 0.2, 0.1 |
| 목표 조도(lx) | 833, 752, 679, 613, 554, 500, 451, 408, 368, 332, 300 |
| 업무 상태 | 날말퍼즐, NO work |

2.2 분석결과

외국 선행연구를 분석하여 인간이 느끼지 못하는 조도변화의 범위를 본 연구에 적용 사용하고자 하였다. 표 5는 실험 결과 분석을 통하여 광센서 조광제어시스템에 적용 가능한 변수들을 나타낸 것이다. 조광제어 시 한번에 변화를 줄 수 있는 조도의 폭은 초기 조도의 20%임을 알 수 있고, 조광제어의 속도는 피실험자의 시각적 쾌적함에 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다. 또한, 조도변화의 인식은 재실자의 업무여부에 상관없음을 알 수 있었다[6].

표 5. 실험 결과 분석
Table 5. Analysis of experimental results

| | |
|----------|--------------|
| 제어 가능 조도 | 초기 조도의 20% |
| 적정 제어 속도 | 상관없음 |
| 재실자의 상태 | 업무, 비업무 상관없음 |

광센서 조광제어시스템에 적용하고자 할 경우 재실자가 인식하지 못하는 조도변화의 범위는 초기조도의 20%이지만 시스템의 정확성 측면에서 1회당 조도변화 폭은 그 절반인 10%로 설정하였다.

3. 주광데이터 분석

3.1 천공별 주광데이터

재실자의 시각적 불편감을 제거하기 위해 재실자가 느끼지 못하는 조도변화량 안에서 가장 짧은 풀링주기를 결정하고자 하였는데, 이는 인공조명의 조광률 변동을 유발하는 주광의 광량 변화 폭에 달려 있다. 따라서 실내로 유입되는 주광의 광량을 각 천공상태별로 측정하였다.

그림 1은 실내로 유입되는 주광량을 측정한 S대학교 12층에 있는 북향의 실험실 평면 및 단면을 나타낸 것이다. 선행연구를 통해 광센서 조광제어시스템의 가장

적절한 조광제어구역은 전체 조명기구의 4행 배열 중 창문으로부터 2행까지임을 알 수 있었다[7]. 따라서 적정 조광제어구역의 가운데 지점에 측정 센서를 설치하여 주광의 광량을 측정하였다. 또한 바닥으로부터 0.75m 위치인 작업면에서 조도를 측정하였다.

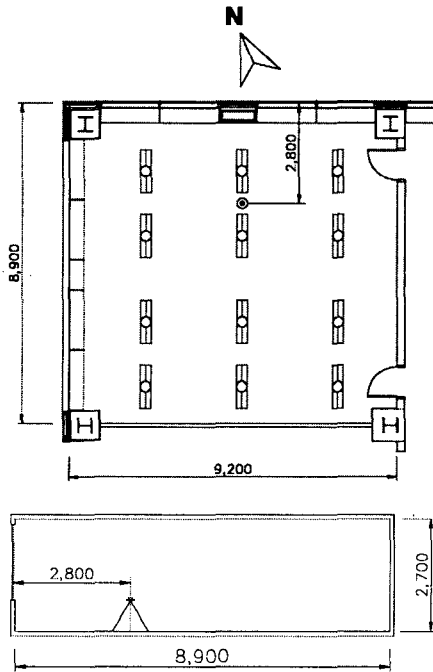


그림 1. 실험실의 평면 및 단면
Fig. 1. Plan and section of experimental room

그림 2는 청천공에서의 시간대별 실내로 유입되는 주광량에 의한 작업면조도를 나타낸 그래프이다. 청천공의 경우 순간적인 주광량의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 그러나 구름양이 많은 담천공으로 갈수록 구름에 의한 순간적인 작업면조도의 변화가 자주 발생하고 그 변화폭도 심해짐을 알 수 있다.

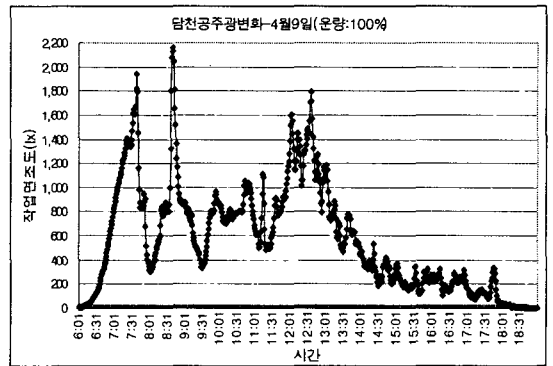
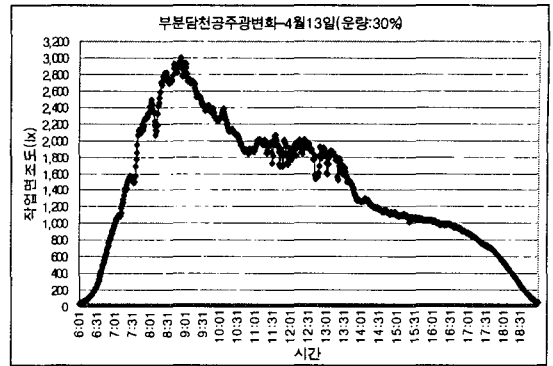
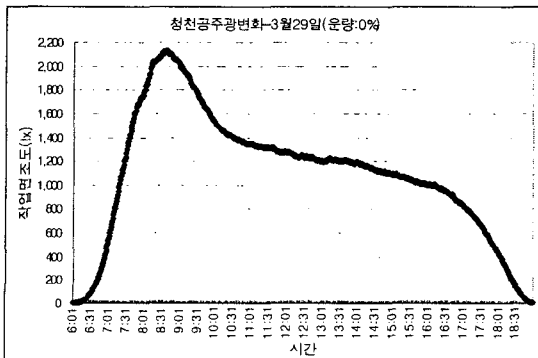


그림 2. 천공별 주광변화
Fig. 2. Changes of workplane illuminance in sky conditions

3.2 천공별 적정 폴링주기

광센서 조광제어시스템이 제어할 수 있는 최대의 작업면조도는 야간에 인공조명을 100% 점등하였을 경우의 작업면조도이내의 값이다[1]. 본 연구에 사용된 실험실의 경우 주광이 없는 야간에 조명기구를 100% 점등했을 때의 작업면조도는 950lx이다. 또한, 재실자가 인식하지 못하는 작업면조도의 변화폭은 950lx의 20%인 190lx이다. 그러나 20%의 변화량은 재실자의 시각적 편안함만을 고려한 값이므로 정확성을 고려하여 적정 조도변화 폭을 초기조도의 10%인 95lx로 정하였다. 이를 바탕으로 1회 조도변화량을 구한 것이 표 6이다. 표 6은 S대학교 실험실의 경우 적정 폴링주기를 구하기 위한 기준을 나타낸 것이다.

표 6. 조도기준
Table 6. Illuminance standards

| | |
|--------------------------|-----------------------------|
| 조명기구 100% ON 시 작업면조도 | 950lx |
| 재실자가 인식 못하는 작업면조도 변화폭 | $950lx \times 20\% = 190lx$ |
| 정확성을 고려한 적정 조도변화 폭 | $950lx \times 10\% = 95lx$ |

먼저 각 천공상태별로 실내로 유입되는 주광을 1분 간격으로 측정하였다. 이 주광데이터를 오피스 건물의 업무시간인 9시부터 6시까지로 구분하여 분석하였다. 이를 바탕으로 구분한 시간대별(9시-12시, 12시-15시, 15시-18시)로 1분-10분 간격의 주광에 의한 작업면조도 최대 변화량을 계산하였다. 표 7은 적정 폴링주기를 구하기 위해 먼저 각 천공상태별 1분-10분 간격으로 주광량 변화의 최대값을 나타낸 것이다. 특히 청천공의 낮 시간대(12시-15시)에는 주광량의 변화가 거의 없어 10분 간격동안 조도차이가 34lx 정도 밖에 되지 않는다.

표 7. 천공별 작업면조도 변화폭
Table 7. Range of changes of workplan illuminance in sky conditions
단위 : lx

| 청천공 | 시간간격 | 1분 | 2분 | 3분 | 4분 | 5분 | 6분 | 7분 | 8분 | 9분 | 10분 |
|---------|--------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 9시~12시 | 최대 변화량 | 20 | 34 | 49 | 58 | 71 | 86 | 95 | 94 | 101 | 105 |
| 12시~15시 | 최대 변화량 | 9 | 15 | 21 | 25 | 28 | 29 | 29 | 30 | 30 | 34 |
| 15시~18시 | 최대 변화량 | 12 | 21 | 31 | 40 | 49 | 56 | 64 | 72 | 80 | 87 |

| 부분 담천공 | 시간간격 | 1분 | 2분 | 3분 | 4분 | 5분 | 6분 | 7분 | 8분 | 9분 | 10분 |
|-----------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 9시~12시 | 최대 변화량 | 165 | 296 | 305 | 328 | 349 | 320 | 361 | 383 | 362 | 319 |
| 12시~15시 | 최대 변화량 | 192 | 256 | 313 | 347 | 366 | 377 | 392 | 383 | 378 | 417 |
| 15시~18시 | 최대 변화량 | 49 | 55 | 59 | 66 | 72 | 75 | 71 | 75 | 84 | 93 |

| 담천공 | 시간간격 | 1분 | 2분 | 3분 | 4분 | 5분 | 6분 | 7분 | 8분 | 9분 | 10분 |
|---------|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 9시~12시 | 최대 변화량 | 219 | 432 | 552 | 597 | 624 | 624 | 598 | 583 | 589 | 596 |
| 12시~15시 | 최대 변화량 | 151 | 297 | 394 | 490 | 586 | 660 | 726 | 730 | 650 | 565 |
| 15시~18시 | 최대 변화량 | 89 | 152 | 189 | 224 | 253 | 269 | 275 | 279 | 286 | 293 |

위의 표 7의 결과값을 바탕으로 천공상태별 및 시간대별로 최적의 폴링주기와 모든 천공상태에 적용 가능한 적정 폴링주기를 나타낸 것이 표 8이다. 표 8에서 모든 천공상태에 가장 최적의 폴링주기는 25초-30초임을 알 수 있었다.

표 8. 적정 폴링주기
Table 8. Optimum polling periods

| 시간대 | 청천공 | 부분 담천공 | 담천공 | 시간대별 | 적정 폴링주기 |
|---------|-------|-----------|-----|------|-------------|
| 9시~12시 | 7분 | 34초 | 26초 | 26초 | 25초 -30초 |
| 12시~15시 | 10분이상 | 29초 | 37초 | 29초 | |
| 15시~18시 | 10분 | 10분 | 1분 | 1분 | |

4. 결론 및 향후 연구과제

본 연구를 통하여 북향의 창문을 가진 오피스 공간에 창가로부터 2행의 조명기구를 조광 제어할 경우 천공상태에 관계없이 가장 적정한 폴링주기를 찾았다. 이는 광센서 조광제어시스템이 잘 적용되지 않고 있는 이유 중의 하나인 신뢰감에 대한 부분의 개선방법이 될 것이며 재실자에게 불안감을 덜어주고 시스템의 안정성을 높일 수 있을 것이다.

그러나 본 연구의 성과를 발전시켜 향후 광센서 조광 제어시스템의 가이드라인으로 활용하기 위해서는 더 많은 계절별, 천공별 주광량에 대한 데이터와 모든 향의 사무실에 대한 주광량의 실내 분포에 대한 데이터 측정량이 필요하다. 또한, 이를 바탕으로 광센서 조광제어시스템에 적용하여 실질적인 시스템의 안정성에 대한 검증단계가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단 2003년 에너지자원 기술개발사업 연구비에 의하여 연구되었음. (과제번호 2003-E-EL01-P-04)

참고 문헌

- (1) 최안섭 외, 조명시스템의 자동화를 위한 주광센서 연동 제어 시스템의 개발연구, 삼성물산(주) 기술연구소, 1998.2.
- (2) Krzysztof M. Kryszczuk, Detection of Slow Light Level Reduction, IESNA conference Proceedings, pp.315-322, 2001
- (3) Krzysztof M. Kryszczuk and Peter R. Boyce, Detection of Slow Light Level Reduction, JOURNAL of Illuminating Engineering Society, pp.3-10, summer 2002
- (4) Shikakura, T., Morikawa, H. and Nakamura, Y., Research on the Perception of Lighting Fluctuation in a Luminous Offices Environment, JOURNAL of Illuminating Engineering Institute of Japan, pp.346-351, 2001
- (5) Shikakura, T., Morikawa, H. and Nakamura, Y., Perception of Lighting Fluctuation in Office Lighting Environment, JOURNAL of light & Visual Environment, pp.75-82, 2003
- (6) Yukio Akashi and Jason Neches, Detectability and Acceptability of Illuminance Reduction for Load Shedding, JOURNAL of Illuminating Engineering Society, pp.3-13, winter 2004
- (7) 최안섭 외, 광센서 조광제어시스템의 효율적 적용을 위한 조광제어구역 결정에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 2004. 10