

주광량의 변화에 따른 LED조명 제어를 통한 에너지 절감량 분석에 관한 연구

함원태*,**, 채수용*, 한수빈*, 김흥근**, 정학근*

*한국에너지기술연구원(hwt1111@kier.re.kr, sychae@kier.re.kr, sbhan@kier.re.kr, hgjeong@kier.re.kr)

**경북대학교(hwt1111@kier.re.kr, kimhg@knu.ac.kr)

A Study on Energy Savings Analysis by Controlling LED Lighting according to the Change of the Amount of Daylight

Ham, Won-Tae**, Chae, Soo-Yong*, Han, Soo-Bin*, Kim, Heung-Geun**, Jung, Hak-Guen*

*Dept. of Energy Efficiency, Korea Institute of Energy Research

(hwt1111@kier.re.kr, sychae@kier.re.kr, sbhan@kier.re.kr, hgjeong@kier.re.kr),

**Dept. of Electrical Engineering, Kyungpook university(hwt1111@kier.re.kr, kimhg@knu.ac.kr)

Abstract

Currently, the energy consumption of electric lighting in an office building is accounted for more than 30% of the total energy consumption. In order to reduce the energy consumed by the indoor lighting, the daylight as a natural energy resource can play an important role in energy savings. The daylight can have positive impacts on improvement of work efficiency and productivity, and also make people feel more psychologically stable. Moreover, by using the daylight, we can definitely reduce the energy consumption in office buildings. Thus, the purpose of this study is to determine the LED dimming ratio depending on the ratio by calculating the amount of artificial illumination required according to the change of daylight by using the light simulation software that can quantify and visualize the performance of daylight. As a result, the energy savings could be obtained up to 30%.

Keywords : 주광(Daylight), 조명에너지(Lighting energy), 조명제어(Lighting control), 조광제어(Dimming), 태양광 발전(Solar photovoltaic power generation)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

저탄소 녹색성장이라는 정책기조 하에 에너지 사용량의 40%를 차지하는 건축물에 대

한 에너지 절감 요구는 그 어느 때 보다 높다. 이 중 전기조명에 의해 소비되는 에너지는 총 건물에너지 사용량의 30% 이상을 차지하고 있다. 이와 같이 많은 비중을 차지하고 있는 조명에너지 절감을 위해 주광을 이

용한 실내조명에 대한 관심이 높아지고 있다. 자연채광은 무한한 태양에너지 자원과 자연 그대로의 빛을 활용하여 에너지 절감 및 친 환경 조명으로 급속하게 발전하고 있다. 건물에서의 자연광의 활용은 그린설계를 위한 초석이며, 자연채광은 거주자의 만족, 생산성 및 건강을 위해 중요한 역할을 한다. 실제 NREL(National Renewable Energy Laboratory)의 재실자 대상 자연채광의 효과에 대한 연구보고서(2002)에서 거주자의 생산성이 최대 28%까지 상승했고, 자리 비움은 40%까지 감소하였으며, 그 밖에 이직률, 재실자의 두통빈도, 눈의 피로도, 스트레스 감소 등 거주자의 쾌적감과 생산성 증대에 큰 효과를 보이고 있음이 소개된 바 있다. 그러므로 천연에너지원인 주광을 최대한 활용함으로써 조명에너지 절감과 더불어 시환경의 쾌적성 확보에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다.¹⁾

일반적으로 실내에 구비된 조명기구는 이러한 외부 환경의 밝기 변화에도 불구하고 언제나 일정한 조도를 유지하므로 주변이 밝아서 조명기구의 점등이 불필요한 경우에도 점등이 그대로 유지되어 전력이 낭비된다. 현재 건물의 창가에 주광이 있는 경우에는 이와 연동하여 인공조명을 제어함으로써 에너지를 절감할 수 있으며, 조광제어 방식이나 점멸제어방식을 사용하고 있다. 이는 모두 조도센서를 사용하여 필요한 양만큼의 인공조도를 보충해 주는 방식이다. 하지만 신재생 에너지의 이용이 증대됨에 따라 태양광 발전을 활용한 건물 에너지 공급량이 증가하고 있다. 태양광 전력을 이용한 LED조명 구동은 에너지 절감 효과에 있어서 큰 장점을 지닌다. 가장 큰 요인은 LED의 낮은 소비전력이고, 두 번째 요인은 태양광 발전과 LED 모두 DC전원으로 작동한다는 점이다. DC 전원을 직접 사용함으로써 AC 전원으로 변환

시 발생하는 추가적인 손실을 막을 수 있다.

본 논문에서는 이러한 태양광 발전을 통해 건물에 LED 조명에너지를 공급한다고 가정하였다. 그리고 조도센서 없이 태양광 발전량만으로 주광에 따른 실내 인공조명의 조도 제어 비율을 예측해 보았다. 태양광 발전량의 데이터는 2012년 2월 27일부터 3월 2일까지 발전량을 모니터링 한 값이며, 태양광 모듈은 옥상에 정남향으로 설치되어 있다. 세 가지 천공상태의 날을 기준으로 태양광 발전량과 실내 조도와와의 비율에 따라 조도제어 비율을 결정하고 적용하여 에너지 절감량을 계산하였다.

1.2 연구의 방법

본 연구에서는 2012년 2월27일부터 3월2일까지 대전소재의 모연구원 실험실에서 각 구역별, 시간별 실측한 조도 값을 기초로 하였다. 이렇게 실측한 조도 값과 태양광 발전량 사이의 관계를 분석하여 태양광 발전량의 변화에 따른 LED 조명의 조도제어 비율을 결정하였다. 여기서 기준조도는 사무실 권장조도인 500[lx]로 하였다. 이렇게 계산된 값을 가지고 Relux 2010프로그램을 활용하여 주광의 변화에 따라 인공조명의 조도제어 비율을 달리하여 시뮬레이션하고 에너지 절감량을 예측해 보았다.

시뮬레이션은 천공상태에 따라 청천공(Clear sky), 부분담천공(Partly Cloudly Sky), 담천공(Overcast Sky)의 세 가지 조건으로 나누어서 표1과 같이 실측한 날짜와 동일한 천공상태를 적용하였다. 천공상태는 기상청의 전운량 데이터를 기준으로 하였다.

표 1. 천공상태별 시뮬레이션 기준일

천공상태	시뮬레이션 기준일
청천공(Clear Sky)	2012년 2월 27일
부분담천공(Partly Cloudly Sky)	2012년 2월 28일
담천공(Overcast Sky)	2012년 3월 2일

1) 김민성, 자연채광 시스템의 국내외 현황, Journal of the KGBC 0406 Vol. 12, NO.4, p.12.

2. 실험방법 및 해석

2.1 조도측정방법

조도측정은 그림 1과 같은 너비 6.5[m], 폭 4[m], 높이 2.7[m]의 공간을 6개로 나누어 1[m] 단위로 측정 하였으며, 09:00부터 17:00 까지 1시간 단위로 작업 면 높이인 0.75[m]에서 측정하였다.

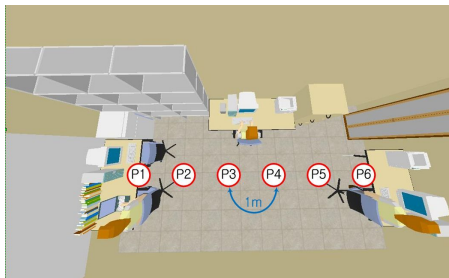


그림 1. 조도측정 공간 및 간격

2.2 내·외부 공간 모델링

모델링 지역은 대전 소재의 모연연구원 실험동을 선정하였으며, 이 위치의 경도는 127.22도, 위도는 36.22도이다. 실내조도 값은 이 실험동의 내부에서 실측한 데이터를 기준으로 하였다. 건물의 외부는 창문이 정남향을 향하고 있고, 그림 2와 같이 층간 높이 3m의 3층 규모의 건물을 모델링 하였다. 그리고 건물의 외장재와 창문의 투과율, 건물 앞쪽의 주변 환경을 고려하였다. 건물의 내부는 그림 3과 같이 실제 사무실 내부와 동일하게 구성하여 벽면과 천장, 바닥면의 반사율이나 그림자에 의한 영향이 적용될 수 있도록 하였다.



그림 2. 건물 외부환경 모델링



그림 3. 건물 내부환경 모델링

2.3 조명기구의 선정 및 배치

시뮬레이션에 사용된 조명기구는 표 2와 같은 사양의 금호전기 IES 배광파일을 사용하였으며, 기구의 수와 배치는 사무실 권장 조도인 500[lx]를 만족하도록 시뮬레이션 후 결정하였다. 기구의 배치는 그림 4와 같다.

표 2. 조명기구의 사양

소비전력	47[W]
크기	240×240×120[mm], (가로×세로×높이)
광속	2933[lm]

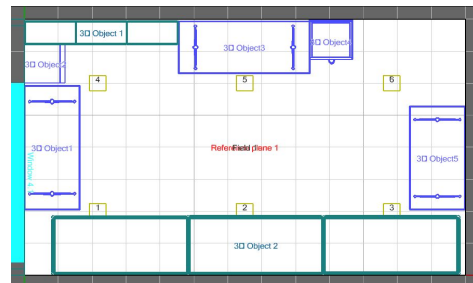


그림 4. 조명기구의 배치

2.4 태양광 발전량과 실내조도의 관계

별도의 조도센서를 사용하지 않고 태양광 발전량을 이용해서 실내 인공조명의 조도제어 비율을 결정하기 위해 2012년 2월27일부터 3월 2일까지 모니터링 한 태양광 발전량과 실측한 실내조도 값을 바탕으로 비율을 분석해 보았다. 여기서 실내조도 값은 주광의 영향을 가장 받지 않는 즉, 인공조도의 양을 가장 많이 필요로 하는 6[m]지점의 값을 기준으로 하였다. 비율의 계산은 태양광 발

전량 ÷ 6[m]지점의 조도 값으로 계산 하였으며, 각 날짜별 시간에 따른 비율을 평균하였다. 그림 5는 태양광 전력의 양이며 그림 6은 6[m]지점 조도 값의 변화이다. 그리고 그림 7은 각 날짜별 비율 값이다.

시간에 따른 PV전력 변화

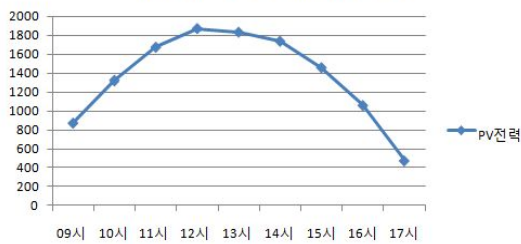


그림 5. 태양광 발전량

시간에 따른 조도 변화(6m지점)

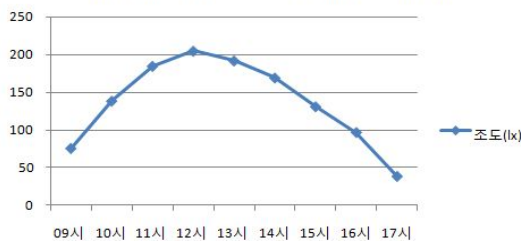


그림 6. 6m지점 조도 값

태양광 발전량과 조도의 비율

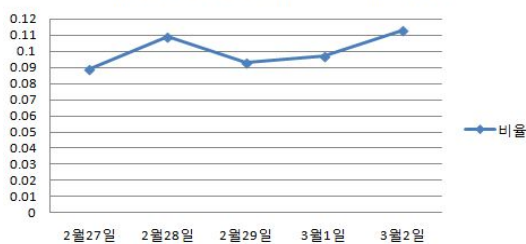


그림 7. 날짜별 비율

그림 7에서 보이는 것과 같이 평균 0.1의 비율로 일정한 것을 볼 수 있다. 그러므로 태양광 발전량을 6[m]지점의 조도 값으로 대체하여 조도제어 비율을 결정할 수 있음을 볼 수 있다.

2.5 조도제어 비율 산출 및 방법

2.5.1 필요조도의 계산방법

시간에 따라 필요한 조도의 양을 계산하고, 시뮬레이션을 통해 조도제어 비율을 찾아서 적용하였다. 단, 주광의 영향을 가장 받지 않는 6m 지점의 조도 값을 기준으로 하였으며, 필요조도의 양은 아래의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\text{필요조도} = \text{권장조도} - (\text{태양광발전량} \times 0.1) \quad (1)$$

실측한 값과 위의 식(1)을 이용하여 계산한 값을 아래의 그림 8과 같이 비교해 보았다.

시간별 필요조도

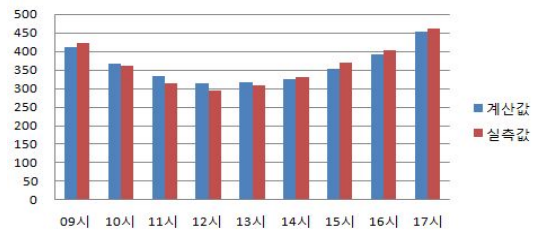


그림 8. 실제 측정된 값과 계산 값의 비교

2.5.2 조도제어 방법

(1) 조명기구 통합 조도제어

이 방법은 요구되는 인공조도의 양에 따라 가장 주광의 영향을 받지 않는 즉, 창 측에서 거리가 가장 먼 6[m]지점을 기준으로 전체 조명기구를 똑같은 비율로 제어하는 방식이다.

(2) 영역별 조도제어

이 방법은 그림 9와 같이 총 여섯 개의 조명기구를 2열씩 3개(P1, P2, P3)로 나누어 각각 독립적으로 제어하는 방식이다.

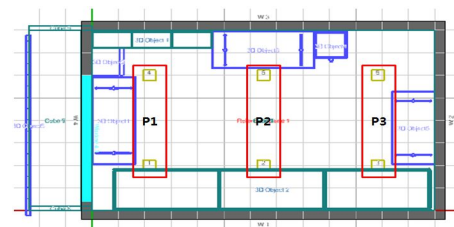


그림 9. 조도제어 영역

P1, P2, P3간의 조명기구 간격은 2[m]이며, P3 조도제어 비율을 기준으로 P1과 P2의 비율은 빛의 역 제곱 법칙에 따라 결정한다. 빛의 역 제곱 법칙이란 그림 10과 같이 빛의 세기가 거리의 제곱에 반비례하는 것을 가리키는 말이다. 만일 P1에서 빛의 세기가 1이라고 하면, 창 축에서 더 떨어진 P2에서 빛의 세기는 P1에서의 1/4이 된다. 즉, P1과 P2 영역에서 동일한 실내 조도를 얻기 위해서는 P2 조명등은 P1 조명등의 4배의 세기로 빛을 조사하면 된다.

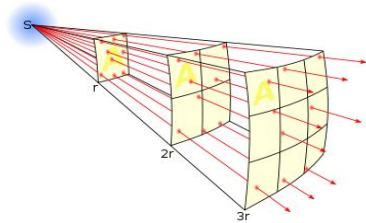


그림 10. 역 제곱의 법칙

2.6 천공상태별 에너지 절감량 비교

실측한 데이터 중에서 각 천공상태에 해당되는 날의 에너지 절감량을 분석하였다. 천공상태는 기상청 데이터의 전운량을 기준으로 분류하였다. 전운량은 0에서 10까지의 수치가 있으며 이 범위에 대한 구름의 양은 표 3과 같다.

표 3. 전운량 수치에 따른 구름의 양

전운량	구름의 양
0 ~ 2	맑음
3 ~ 5	구름조금
6 ~ 8	구름많음
9 ~ 10	흐림

(1) 청천공(Clear Sky)

앞서 언급했던 바와 같이 조도제어 방법을 통합 조명기구 제어와 영역별 제어의 두 가지 방법으로 나누어 소비전력과 거리별 실내 조도를 비교해 보았다.

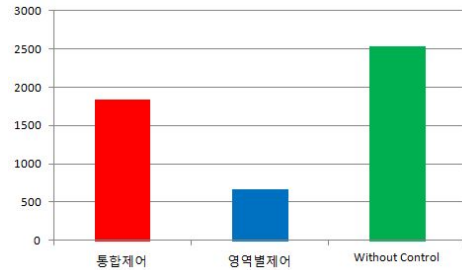


그림 11. 청천공시 소비전력 비교

주광 + 인공조도

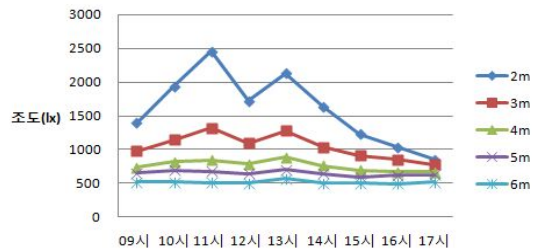


그림 12. 거리별 실내조도(통합제어)

주광 + 인공조도

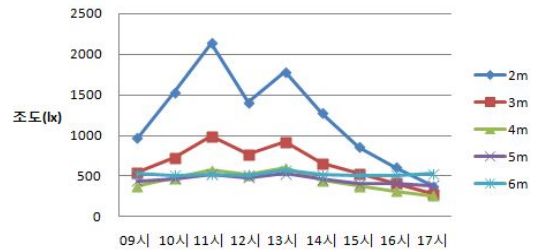


그림 13. 거리별 실내조도(영역별제어)

(2) 부분담천공(Partly Cloudly Sky)

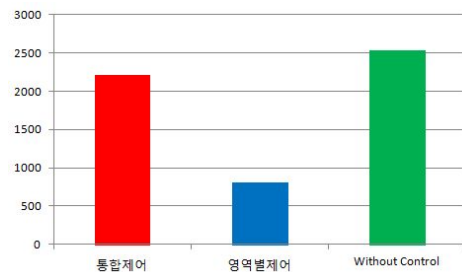


그림 14. 부분담천공시 소비전력 비교

주광 + 인공조도

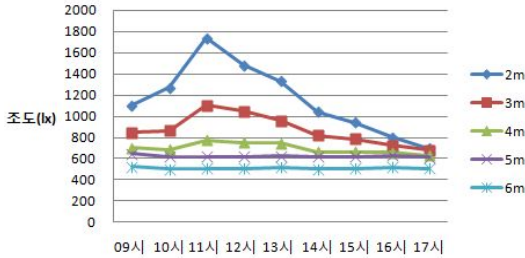


그림 15. 거리별 실내조도(통합제어)

주광 + 인공조도

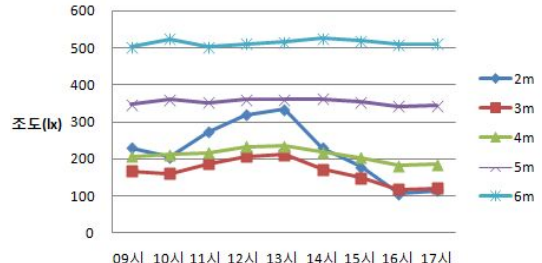


그림 19. 거리별 실내조도(영역별제어)

주광 + 인공조도

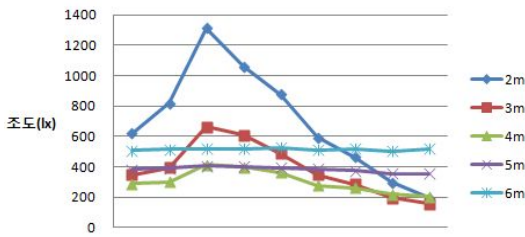


그림 16. 거리별 실내조도(영역별제어)

3. 결 론

본 논문에서는 조도센서 없이 주광의 변화에 따라 필요한 실내조도의 양을 예측하기 위해서 태양광 발전량과 실내 조도와 관계를 분석하고, 시뮬레이션을 통해서 조도제어 비율을 결정하여 에너지 절감량을 예측해 보았다. 그 결과 태양광 발전량을 통해 실내조도를 예측할 수 있음을 증명하였고, 이를 통해 실내 인공조명을 적절히 제어함으로써 에너지 절감량을 예측할 수 있었다. 그러나 통합제어 방식에 비해 영역별제어 방식이 에너지 절감량 면에서 우수하였으나, 천공상태가 부분담천공, 담천공인 날에는 실내 권장조도가 제대로 확보되지 못했다.

향후에는 태양광 모듈 출력의 전압, 전류 특성과 기후 요소를 고려하여 에너지 절감 측면에서 훨씬 우수한 영역별 조도제어 방식에 관한 연구가 요구된다.

(3) 담천공(Overcast Sky)

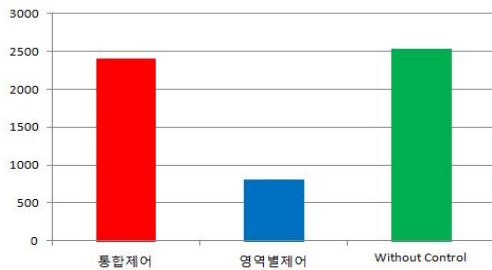


그림 17. 청천공시 소비전력 비교

주광 + 인공조도

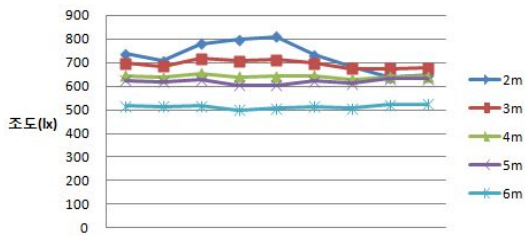


그림 18. 거리별 실내조도(통합제어)

후 기

본 연구는 한국연구재단의 기본연구사업으로 지원을 받아 수행되었음(과제번호 : 2009-0077536)

참 고 문 헌

1. 박윤민, 홍성관, 최안섭, 일사량 분석을 통한 PV모듈 발전량과 시뮬레이션을 이용한 실내 조명에너지 절감량 비교, 조명·전기설비학회논문지, 제24권 제12호 2010. 12.
2. 김민성, 자연채광 시스템의 국내 외 현황, Journal of the KGBC 0406 Vol. 12, NO.4.
3. 장우진 외, 최신 조명환경원론, 문운당, 2007.
4. Relux User's Guide.