

晝光 대응형 可變照明 제어설비의 적용 및 통합성능

(Energy Efficient Lighting Control Facilities Related to Daylight Levels)

김정태* · 김 곤**

(Jeong-Tai Kim · Gon Kim)

요 약

에너지 절약형 광원의 대체와 아울러 최적 운용 기술의 개발만이 건축조명부문에 대한 에너지 절약의 잠재력을 현실화 시킬 수 있다고 판단된다. 광원의 효율을 향상시키는 것은 기술적인 한계와 많은 개발시간이 요구되는 반면에 조명제어의 최적화 기술은 많은 기술이 개발되어 사용되고 있는 상황이므로, 보다 지능적이고 복합적인 시스템 차원에서 효율을 높이기 위한 노력들이 이루어지고 있다. 특히 상업용 건물이나 사무소건물에 있어 고효율 형광등과 전자식 안정기의 도입이후에 에너지 절감방안의 대표적인 것은 조명제어라고 인식하고 있다. 본 연구에서 분석한 일반적인 사무소 공간의 경우, 주광과 인공조명을 통합제어할 때 담천공 조건에서 소등할 수 있는 주광의 유효입사 거리는 창측에서 약 4[m]에서부터, 시간대에 따라 5[m]에 이르는 것으로 나타났다. 이는 실내에 설치된 인공 조명기구의 약 60[%] 이상이 소등될 수 있어 동일한 비율의 조명 에너지가 절감될 수 있는 잠재력을 나타낸다. 입사각과 태양광량의 상호 보완적 특성으로 인하여 주간 내내 일정한 주광의 유효거리가 확보되는 것으로 나타났다. 계절별 소등라인측의 이동범위는 실내에서 자연의 변화를 느끼게 해주는 정도의 바람직한 것으로 허용될 수 있을 것이며, 자연광에 가까운 광색을 가진 광원을 사용함으로써 쾌적한 조명을 유지할 수 있을 것이다

Abstract

To reduce costs and address other practical concern related to architectural lighting, we have been involved in various aspects of advanced daylighting design and control. If we look toward future building trends, we see that the advanced has already successfully deployed such complex lighting control systems. This paper takes a broad view of what advanced manufacturers have done to develop energy efficient lighting control technologies such as sensors, lumen maintenance, time of day scheduling, peak demand reduction and so forth. First of all strategies, daylighting controls would also need to be commissioned to respond to the specific daylighting signature of the zone. To translate the daylight in term of the amount of energy savings, an electric lighting system is designed and automatic on-off control system integrated with the contribution of daylighting has been applied to the operating of the artificial lighting. The lighting analysis program, Lumen-Micro predicts the optimal layout of conventional fluorescent and incandescent lighting fixtures to meet the designed lighting level and calculates unit power density, which translates the demanded amount of lighting energy.

Key Words : Energy efficient lighting, Lighting controls, Lighting energy, Incorporated lighting

* 주저자 : 경희대학교 교수, ** 교신저자 : 강원대학교 부교수
 Tel : 031-201-2539, Fax : 031-202-8181, E-mail : jtkim@khu.ac.kr
 접수일자 : 2005년 9월 29일, 1차심사 : 2005년 9월 30일, 심사완료 : 2005년 10월 20일

1. 서 론

사무소 건물에 대한 수요자의 기대가 다양해짐에 따라 쾌적한 조명환경에 대한 관심이 높아지고 있다. 기술 발전에 따라 시(視) 환경에 대응한 조명계획과 에너지 절약적 측면을 고려한 조명 제어 시스템과 조명설비 기기들이 개발되고 실용화되어 조명 운용에 적용되고 있다. 조명제어는 상업 건물에서 조명 에너지를 절약하기 위한 목적으로 주목을 받아왔으나, 실질적 효과는 다양한 제어 기기의 종류만큼이나 일률적이지는 않다.

일반적으로 조명제어 시스템은 조도, 광색 및 조명 에너지 사용량을 제어한다. 이 시스템은 조광용 디밍 센서와 통합적으로 사용되어 기능성과 에너지 효율성이 동시에 극대화되며, 다양한 조도 수준의 자동 제어는 물론 기기의 노후화로 발생하는 조도 저하의 보상기능 및 조명 기구의 장수명에도 기여한다. 최근의 연구에 의하면 거주자 감지 센서가 내장된 조명기구만으로도 많은 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 보다 효율적으로 조명제어를 운용하기 위해서는 주광통합 기능 및 부하예측 시간관리 기법 등의 포괄적 운용전략과 포괄적으로 연계되어야 한다.

국내외 조명제어기기의 개발은 주로 안정기, 스위치나 제어기와 같은 단품위주로 진행되어 조광기와 같은 보다 시스템적인 설비와의 연계 성능이 떨어지는 문제점이 있다. 특히 건축조명의 개체인 개구부와 조명설계 및 조명제어설비 개발자들이 각기 다른 주체이며 공유 의식 또한 아직 만족스럽지 못한 상태이다. 결과적으로 주광 연계기기들의 성능은 아직도 소비자의 기대를 만족시키지 못하는 수준에 머무르고 있는 실정이다. 물론 이와 같은 문제는 주광이용과 같은 첨단 제어기법을 적극적으로 수용하지 않았던 일반 수요자들의 인식에도 기인한다. 역으로 유리 개구부를 통한 태양열의 과다한 유입을 방지하기 위하여 일사차폐에만 관심을 기울려온 단편적인 경향에도 문제점이 있어왔다. 그럼에도 불구하고 개구부와 주광, 인공조명 및 일사열량 등 조명과 연관된 실내 환경요소들을 통합적으로 관리하는 우수한 통합 제어기법들이 개발되고 있으며, 적은

비용으로 에너지 절약과 아울러 쾌적한 시환경을 창출함으로써 거주자에게 새로운 공간경험을 가능하게 하고 있다.

본 연구는 국내외에서 개발되는 조명제어기기의 종류와 기능을 종류별로 정리하여 다양한 조명제어 기법을 소개하였다. 그리고 일반적인 사무소 공간을 대상으로 인공조명계획을 실시한 후, 답천공 상태에서 주광의 조명효과가 인공조명의 운용전략과 연계되는 경우 기대되는 조명 에너지 절감량을 도출하였다. 또한 주광이 조명원으로 유용한 실내 입사거리를 도출하고 주광과의 연계를 통하여 에너지를 절약할 수 있는 자연채광의 잠재력을 예시하였다.

2. 조명제어 기능과 종류

실내조명의 제어 및 관리기법은 표 1과 같이 크게 조명기구에 공급되는 전력을 제어하는 기술과 개구부를 통해 유입되는 주광을 이용하거나 제어하는 기술 등 크게 두 가지가 있다.

표 1. 조명제어의 시스템적 분류
Table 1. Classification of lighting control systems

제어 시스템	센서 기술	주광 센서
		재실 감지 센서 무선 페이저 제어
	신호처리 기술	통신 프로토콜 설정 센서와 제어장치, 안정기의 결합
		조명 제어 시스템
주광 활용	주광유입장치(광선반 등) 창문 일체식 주광 조절 시스템 실내 주광 조절 장치	
	주광/인공 조명 통합	
		광수송

晝光 대응형 可變照明 제어설비의 적용 및 통합성능

조명제어기법은 기술적으로 조명설비에 공급되는 전력량을 필요에 따라 변화시키는 전기제어 장치와 점멸 장치로 대별되며, 제어 원리나 조명에너지 절감대상에 따라 (1) 입실자 감지식, (2) 주광량 감지식, (3) 광속유지식, (4) 일별 조명계획식, (5) 최대부하절감 방식으로 세분화된다. 주광이용 기법은 광선반 등을 이용하여 공간 후면부에 주광을 유입시키는 광학장치가 있으며 천공 상태 및 외부조도를 모니터링 하여 실내 주광 유입량을 조절하는 조광제어 및 전동 롤 블라인드와 같이 지나친 주광유입을 방지하는 차단재 등이 있다.

2.1 거주자 감지식 조명제어

거주자 감지식 조명제어는 원천적으로 경비·보안의 목적으로 개발된 것으로 일반적으로 거주자 감지식 조명제어 설비의 이용만으로도 약 45[%]에 이르는 조명에너지가 절감될 수 있다. 매우 단순하고 저렴하며 실내에 사람의 움직임이 감지되면 점등되고 더 이상 감지되지 않으면 점멸하는 방식이다. 감지 기법에 따라 초음파 감지식, 적외선 감지식, 음량 감지식의 세 가지가 있다.

2.2 주광 대응형 제어방식

개구부를 통하여 유입되는 주광의 양에 비례하여 연동적으로 인공조명을 운용하는 조명제어 설비에는 단계별 스위치 점멸방식과 연속조광 방식의 두 가지 종류로 대별된다.

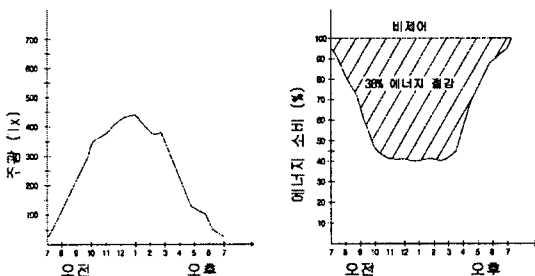


그림 1. 주광 대응형 조명제어의 효율
Fig. 1. Efficiency of Integrated daylighting controls

점멸 스위치 방식은 주광량이 의도된 실내 조도 수준을 만족하는 경우 점멸되는 가장 단순한 방식이다. 다단계 점멸방식은 실내에 주광량이 풍부하여 대부분의 주간에 필요한 조도수준이 주광에 의해 유지될 수 있는 장소에 가장 효율적이며, 연속조광 디밍 방식보다 오히려 효과적이다. 연속조광제어방식은 광센서가 부착되어 있어 연속적으로 주광을 감지하며, 공간 내에 유입되는 주광량에 대응하여 인공 조명량을 결정하기 위한 조광신호를 제어설비와 실시간으로 교환한다. 이 방식은 주광량이 적은 경우에도 에너지 효율을 극대화시키는 장점이 있으며, 일반 안정기가 설치된 형광등기구의 경우 50[%] 정도의 조명에너지를 절약할 수 있고 피크 부하 시에는 더 많은 에너지를 절약할 수 있다(그림 1).

2.3 광속 유지 (lumen maintenance)

모든 인공 광원은 시간이 지남에 따라 발산 광속량이 감소하며 먼지와 같은 이물질이 광원표면에 부착됨으로써 더욱 광속 저하 현상이 일어난다. 이와 같은 광속 저하나 유지보수율을 고려하여 초기 조명은 의도적으로 필요조도를 상회하여 약 120~135[%]의 광속을 제공한다. 이와 같은 관례적 조명 설계는 광원의 초기 생애주기 동안 과다 조명으로 인하여 조명에너지를 낭비하게 된다. 따라서 연속조광제어설비에 유지되어야 할 조도기준을 기억시켜 놓고 조명을 이에 따라 디밍하는 경우 이와 같은 과다 조명을 방지할 수 있다.

2.4 일별조명 계획식(TODS: Time of Day Scheduling)

일별 조명계획은 조명에너지 관리 설비나 프로그램된 타이머와 연계하여 단계별 점멸과 조광 기능을 이용한다. TODS는 장기간 동안 필요한 조도수준을 변경할 뿐만 아니라 단기간동안 연동적으로 조절하기 때문에 조명에너지 절감을 극대화할 수 있다. 만약 업무 일과가 8:00에 시작되는 경우, 출근 전 시간대, 점심시간대, 계획된 휴식시간대 및 업무시간 이후 청소관리자가 오는 시간대에서는 모두 조명량

을 감소시킬 수 있다. TODS를 통한 조명 에너지 절감량은 일반적으로 10~40[%]에 이르고 있다.

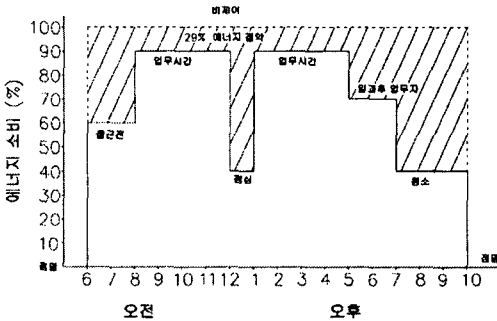


그림 2. 사무소 건물의 시간대별 조명에너지 소비
Fig. 2. lighting energy consumption based on daily schedule in offices

2.5 최대부하절감방식 (PDR: Peak Demand Reduction)

최대부하절감방식은 전기사용요금에 지속적으로 인상될 때, 최대 전기사용량에 누진적으로 높은 요금이 추가되는 경우에 유용한 또 다른 차원의 절약 기법이다. 건물 내의 여러 전기설비가 동시에 작동하여 전기사용이 집중되면서 최대 전기부하가 상승할 때, PDR은 인위적으로 조명 에너지량을 다소 감소시켜 결과적으로 건물 전체의 최대 부하량의 증가를 방지한다.

3. 주광대응 제어설비의 성능평가

3.1 개요

조명제어기법 중에서 거주자 인식센서방식을 제외하고, 가장 건축적이면서 효율적인 주광 대응형 제어방식을 적용 할 경우의 조명에너지 성능평가를 실시하였다. 선행 연구를 통하여 일반적인 사무소 단위공간의 실제 형상을 대상공간으로 선정하였으며, 건축조명 해석용 컴퓨터 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 본 연구를 위하여 주광연계 조명제어시스템이 적용된 성능평가용 공간의 기하학적 형상 및 특성은 그림 3과 같다. 일차적으로

단위공간에 필요한 조도 수준을 확보하기 위하여 조명설계를 실시하였으며, 주광의 연계도를 높이고 보다 밀도 높은 조명기구를 배치하기 위하여 점광원인 백열전구와 콤팩트 형광등기구를 사용하였다.

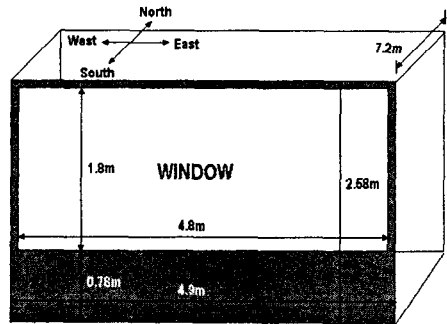


그림 3. 대상 공간의 형상
Fig. 3. Configuration of prototype of the office model

남향을 대상으로 가장 기본적인 자연채광성능평가 조건인 춘추분의 9시, 10시 11시, 12시의 근무시간대별 주광 영향도를 분석하였으며, 이에 다른 인공조명기구의 소등 범위를 설정하여 조명 에너지 절감량을 도출하였다. 성능평가용 해당공간의 물리적, 광학적 변수는 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션 입력 변수 데이터 값
Table 2. Key variables for the daylighting simulation

공간 크기	4.9[m]×7.2[m]×2.58[m]	
일시	시간	9시 / 10시 / 11시 / 12시
	월	3
	일	21
방위	South(정남향)	
창의 투과율	90[%](맑은 유리)	
천공 상태	담천공	
위치	서울 위도 37.5[°], 경도 -126.5[°W]	
반사율	천정	80[%]
	벽	50[%]
	바닥	20[%]


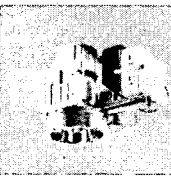
3.2 인공조명기구

유입되는 주광의 수준 및 연동되는 제어시스템의

晝光 대응형 可變照明 제어설비의 적용 및 통합성능

성능을 평가하기 위해서는 대상공간의 인공조명설계가 우선되어야 한다. 공간의 용도와 특성에 관계없이 전반조명에 가장 일반적으로 쓰이는 조명원은 선형 형광등이다. 그러나 본 연구에서는 주광의 연계성능을 보다 효율적으로 분석하기 위하여 표 3과 같이 점광원인 백열등기구와 콤팩트 형광등기구를 이용하여 밀도 높은 조명설치안을 계획하였다.

표 3. 인공조명설계용 조명기구
Table 3. Description of Lighting fixtures for the office model

조명기구	백열등기구	콤팩트 형광등기구
형상		
램프	백열등	형광등
램프별 Watt	50[W]	20[W]
램프별 lumen	770	1,200
소요 기구 수	45	35

3.3 인공조명설계

인공조명설계는 일반적으로 조명기구의 배광각을 고려하여 천장높이와 건축모듈계획에 맞추어, 배치한다. 또한 입주자의 필요에 따라 칸막이를 이용하는 경우도 있으므로 내부 형상이 변화되는 경우에도 균일한 조도가 유지되도록 균등하게 배치된 전반조명으로 계획하는 것이 합리적이다.

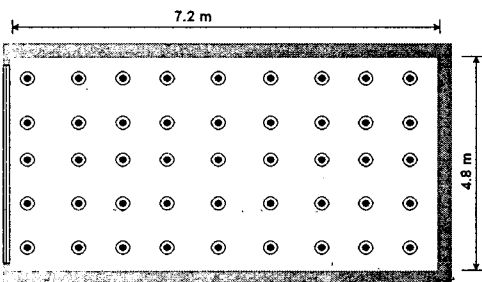


그림 4. 대상 공간의 백열등기구 조명설계안
Fig. 4. Layout of Incandescent lamps within the office

본 연구는 대상 사무소 공간의 작업면 설계조도를 500[lux]로 설정하고, 50[W] 1구 하면 개방형 백열등기구의 레이아웃을 계획한 결과, 모두 45개의 조명기구가 필요하여 건축 공간모듈에 대응한 5×9의 배치를 그림 4와 같이 실시하였다. 동시에 20[W] 1구 하면 개방형 콤팩트 형광등기구를 레이아웃한 결과, 작업면에서 500[lux]를 확보하기 위해서는 모두 35개의 조명기구가 필요하여 건축 공간모듈에 대응한 5×7의 배치를 그림 5와 같이 실시하였다.

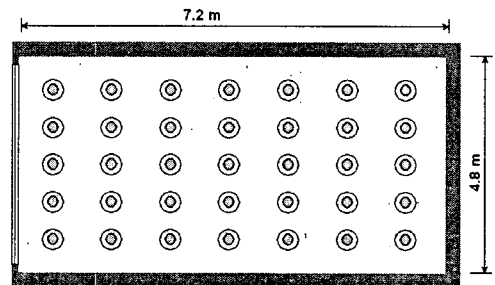


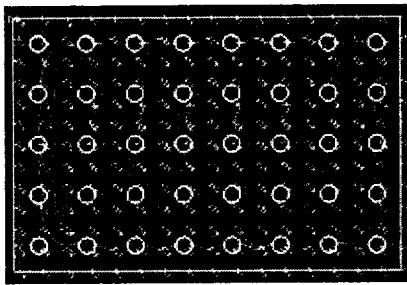
그림 5. 대상 공간의 콤팩트 형광등기구 조명설계안
Fig. 5. Layout of compact fluorescent lamps

4. 주광대응 조명 제어시스템의 성능

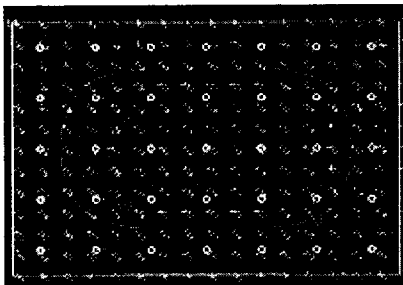
4.1 인공조명설계안 성능분석

설계된 조명계획안의 성능을 평가하기 위하여 건축조명 해석용 프로그램 Lumen-Micro 2000을 사용하였다. 이 프로그램은 조명업계에서 개발된 대부분의 광원 및 조명 기구에 대한 광학자료를 데이터베이스로 제공하며, 인공조명뿐만 아니라 자연채광 기법의 성능평가도 동시에 할 수 있어 상호보완적인 조명계획이 일괄적으로 가능하다. 또한 조도 수준의 평가뿐만 아니라 소요 조명 에너지 및 주광 절감량을 위한 기본 자료도 제시한다.

시뮬레이션 실시결과, 계획된 조명안에 의하여 실내에 형성되는 조도의 분포는 그림 6과 같다. 조명기구의 위치에 따라 다소의 불균일한 분포를 보이고 있으나 조명의 방향측면에서 측창에 의한 자연광의 분포에 비해 매우 균질하다. 백열등기구와 콤팩트 형광등기구의 각 조명배치안의 경우 그 성능 지표들은 표 4와 같다.



(a) 백열등기구(Incandescent)



(b) 콤팩트 형광등기구(compact fluorescent)

그림 6. 인공조명에 의한 조도 분포
Fig. 6. Illuminance distribution of the office model

표 4. 인공조명설계 성능분석
Table 4. Lighting performance of the layout

조명기구 종류	백열등기구	콤팩트 형광등기구
형 상		
배치 안	5×9	5×7
소요 전력	62[W]/[m ²]	20.3[W]/[m ²]
작업면 평균조도	547[lux]	511[lux]
작업면 최대조도	642[lux]	651[lux]
작업면 최소조도	228[lux]	243[lux]
최대 / 최소	2.9	2.7
평균 / 최소	2.4	2.1

두 조명기구 모두 점광원이고 고밀도로 배치되었기 때문에 인하여 최소/평균/최대 조도값 사이에 우수한 균제도를 나타내고 있다. 또한 동일한 조도분포를 얻는데 있어 콤팩트 형광등기구의 경우 백열등에 비하여 약 3배 이상의 우수한 에너지 효율을 보이고 있다.

4.2 주광대응 제어시스템의 성능

주광대응 조명제어의 가장 기초적인 기능은 유입되는 자연광량이 실내에 필요한 조도수준을 상회하는 경우 인공조명기구가 점멸, 소등되는 것이다. 분석된 인공조명설계안은 연구대상 공간의 대형 남측 창을 통하여 유입되는 자연광량에 대응하여 연동적으로 제어되어, 통합관리시 성능평가의 기본 인공 조명안으로 이용된다. 사무소 건물의 이용특성상 업무 시간에 해당되는 춘추분 오전에서부터 정오까지 시간대별로 유입되는 주광으로 인하여 인공조명이 소등될 수 있는 자연광의 유효 입사깊이를 산정하였다.

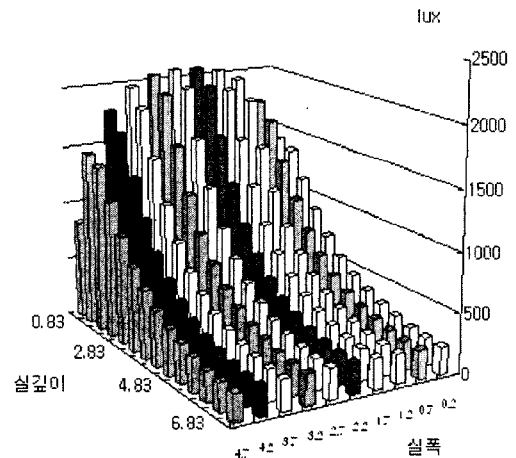


그림 7. 춘추분 9시의 실내주광분포
Fig. 7. Illuminance distribution at 9 am. on equinox

청천공에서는 모든 실내공간의 인공조명이 소등될 수 있을 것으로 판단되는 지극히 이상적인 조건이므로, 결과의 현실성과 적용성을 높이기 위하여 최악의 자연채광 조건인 담천공 상태를 대상으로 실험하였다. 공간내의 주광성능을 공간깊이별로 세분화하여 분석하기 위하여 실내를 창면으로부터 2.4[m]씩 분할하여 창면부, 중간부, 후면부로 나누었다. 창면부는 주광에 의해 인공조명이 모두 소등될 수 있을 것으로 분석되어 중간부와 후면부를 중심으로 유효 주광거리와 소등라인을 분석하였다. 즉 주광으로 인하여 500[lux]가 확보되는 것을 기준으로 설정하였고, 주

晝光 대응형 可變照明 제어설비의 적용 및 통합성능

광과 인공조명의 통합제어의 경우에는 해당 천공조건에서 소등할 수 있는 주광의 유효입사 거리를 도출하였다. 정남향이므로 오후시간대는 오전의 측정치를 대칭적으로 이용하여 유추할 수 있다. 그림 7에 나와 있는 춘추분 오전 9시의 주광분포선과 마찬가지로, 500[lux]를 주광에 의해 상회하는 창으로부터의 실내 깊이는 약 3.8[m] 인 것으로 나타났다. 이른 업무시간의 경우 외부 광량은 부족하나 입사각이 낮으므로 인하여 실내 깊숙이 주광이 도달할 수 있어 효과적인 유효주광거리가 형성되었다.

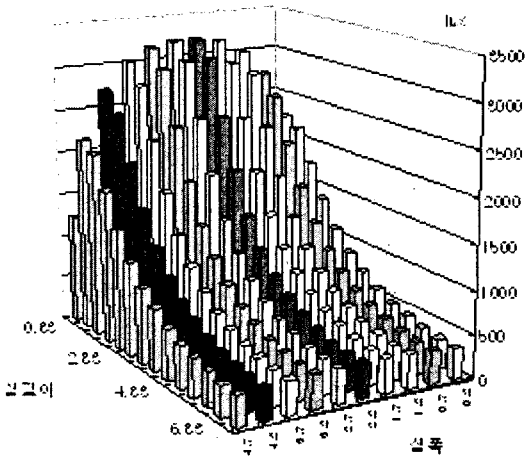


그림 8. 춘추분 12시의 실내주광분포
Fig. 8. Illuminance distribution at noon on equinox

그림 8과 같이 태양고도가 높은 정오시간대의 경우 입사각이 높아 실내 깊숙이 주광이 도달할 수 있는 조건은 아니었으나, 상대적으로 광량이 많아 유효 주광거리는 창으로부터 5.3[m]에 이르는 것으로 분석되었다. 결국 입사각과 태양광량의 상호 보완적 특성으로 인하여 주간 내내 일정한 유효주광거리가 확보되는 것으로 나타났다.

표 5는 시간별 주광연계 조명에너지 성능을 종합적으로 정리한 것이다. 이 표에서 보듯이 주광과 연계된 조명제어시스템의 성능지표들과 같이, 담천공시 춘추분의 유효주광입사거리는 약 3.8[m]에서 5.3[m]에 이르는 것으로 나타났다. 유효 주광거리가 3.8[m]인 경우 백열등의 경우 약 20개의 등이 소등될

수 있으며, 콤팩트 등기구의 경우 15개의 등기구가 소등되어 단위시간당 각각 1,000[W], 300[W]의 조명 에너지가 절약될 수 있는 것으로 나타났다. 아울러 5[m]의 주광유효거리가 형성되는 경우, 백열등의 경우 약 30개의 등이 소등될 수 있으며 콤팩트 등기구의 경우 25개의 등기구가 소등되어 단위시간당 각각 1,500[W], 500[W]의 조명에너지가 절약될 수 있는 것으로 분석되었다.

표 5. 시간별 주광연계 성능분석 (춘추분)
Table 5. Hourly performance of daylight integration on equinox

측정시간	9시	10시	11시	12시
소등범위	3.8[m]	4.3[m]	4.8[m]	5.3[m]
소등 조명기구수	백열등	20	25	30
	콤팩트 형광등	15	15	20
절감량	백열등	1,000[W]	1,250[W]	1,500[W]
	콤팩트 형광등	300[W]	300[W]	400[W]
	평균 조도([lux])	795	1008	1,153
최소 조도([lux])	230	290	330	
최대 조도([lux])	2,130	2,700	3,090	
최대 / 최소	9.3	9.3	9	
평균 / 최소	3.5	3.5	3	

5. 결론

조명기술의 개발과 관련하여 선진국의 경우, 에너지 절약형 광원의 대체와 아울러 최적 운용 기술의 개발만이 건물이 가지고 있는 에너지 절약의 잠재력을 현실화시킬 수 있다고 판단하고 있다. 왜냐하면 광원의 효율을 향상시키는 것은 기술적인 한계와 많은 개발시간이 요구된다. 반면에 조명제어의 최적화 기술은 많은 기술이 개발되어 사용되고 있는 상황이므로, 보다 지능적이고 복합적인 시스템 차원에서 효율을 높이기 위한 노력들이 이루어지고 있다. 특히 상업용 건물이나 사무소건물에 있어 고효율 형광등과 전자식 안정기의 도입이후에 에너지 절감방안의 대표적인 것은 조명제어라고 인식하고 있다.

본 연구에서 분석한 일반적인 사무소 공간의 경우, 주광과 인공조명을 통합제어할 때 담천공 조건에서 소등할 수 있는 주광의 유효입사 거리는 창측에서

약 4[m]에서부터, 시간대에 따라 5[m]에 이르는 것으로 나타났다. 이는 실내에 설치된 인공조명기구의 약 60[%] 이상이 소등될 수 있어 동일한 비율의 조명 에너지가 절감될 수 있는 잠재력을 나타낸다. 이른 오전의 경우 외부 광량은 부족하나 입사각이 낮기 때문에 효과적인 주광유효거리가 형성되었으며, 반면에 태양고도가 높은 정오시간대의 경우에는 상대적으로 광량이 많아 유효 주광거리가 확장되는 것으로 분석되었다.

결국 입사각과 태양광량의 상호 보완적 특성으로 인하여 주간 내내 일정한 주광의 유효거리가 확보되는 것으로 나타났다. 춘추분의 경우에는 약 1.5[m] 정도의 범위에서 소등라인이 이동하는 것으로 나타나 실내 조명환경에 큰 변화가 발생하지 않았다. 이는 실내에서 자연의 변화를 느끼게 해주는 정도의 바람직한 것으로 허용될 수 있을 것이며, 자연광에 가까운 광색을 가진 광원을 사용함으로써 쾌적한 조명을 유지할 수 있을 것이다.

이 논문은 과학기술부 국가지정연구실사업(과제번호 M1-0300-00-0258)의 지원에 의해서 연구되었음.

References

[1] Lee, J. W., et. al, Electricity and Lighting for Interior, Dongil, 1997.
 [2] Kim, J. T., et. al, Building Service System, Kimoodang, 2002.
 [3] Park, D. et. al., Guidebook for the Design and Installation of Lighting System, U-JAE, 1999.
 [4] Editorial department, Lighting controls for energy conservation, Lighting and Interiors, Vol.58, pp.104-117, 1998.

[5] Editorial department, Lighting and building management, Lighting and Interiors, Vol.43, pp.124-129, 1995.
 [6] Boyer, L.L. Multiple Validation of Annual Energy Savings Analysis Techniques for Preliminary Daylighting Design, Proc. 2nd International Daylighting Conference, Long Beach, 1986.
 [7] Hunt, D.R.C. Improved Daylight Data for Predicting Energy Savings from Photoelectric Controls, Lighting Research and Technology, Vol. 11, No. 1, The Chartered Institution of Building Services Engineers, UK. pp. 9-23. 1979.
 [8] IESNA, IES Recommended Procedure for Lighting Energy Limit Determination for Buildings, Journal of IES, IESNA, New York, N.Y., Vol(24:1), pp.188-207, 1995.
 [9] Lighting Technologies, Lumen Micro 7 User's Guide. 1998.
 [10] Littlefair, P.J. Predicting Annual Lighting Use in Daylight Buildings, Building and Environment, Vol. 25, pp. 43-54, 1990.

◇ 저자소개 ◇

김정태 (金正泰)

1953년 1월 18일생. 1977년 연세대학교 건축공학과 졸업. 같은 대학에서 1979년 공학석사. 1985년 공학박사 학위를 취득. 1986~1987년 영국 캠브리지대학교 박사 후 연구원. 현재 경희대학교 건축공학과 교수 겸 채광 조명시스템연구센터(과학기술부 국가지정연구실)센터장.
 Tel : (031)201-2539.
 E-mail : jtkim@khu.ac.kr

김 곤 (金 坤)

1964년생. 1986년 한양대학교 건축학과 졸업. 1988년 연세대학교 건축공학과 공학석사. 1993년 Texas A&M University 건축학석사(M.Arch). 1996년 Texas A&M University 건축학 박사(Ph. D). 현재 국립 강원대학교 건축학부 부교수.
 Tel : (033) 250-6224.
 E-mail: gonkim@kangwon.ac.kr