

주광을 이용한 자동조명제어시스템의 개발

(Development of the Automatic Lighting Control System Using Daylight)

최안섭* · 성민기**

(An-Seop Choi, Min-ki Sung)

1. 서론

인공조명이 처음 사용되었던 시절에 조명의 주목적은 최소한의 생활을 영위하기 위한 시환경 확보였다. 하지만 점차 자원의 공급이 풍부해지고 생활이 윤택해짐에 따라 조명의 목적도 기능적인 방향에서 질적인 방향으로 바뀌어 오고 있다. 그러나 최근들어 자원의 고갈과 환경오염문제 등이 국제문제화되면서 에너지 절약이 모든 분야에서 관심의 초점이 되었다. 이에 따라 조명분야에서도 질적인 향상을 가져오면서 에너지를 절약할 수 있는 방법을 다각적으로 연구하게 되었고, 이러한 방법 중 인간과 가장 친근한 주광을 활용하여 인공조명의 에너지 절약이 가능한 주광센서 연동제어시스템이 두가지 요구를 동시에 만족할 수 있는 방법으로써 개발되어 사용되고 있다.

이 시스템은 실내로 유입되는 주광의 양을 광센서로 감지하여 이에 따라 자동으로 인공조명의 밝기를 조절함으로써 실내조도를 미리 설정해 둔 조도값으로 일정하게 유지시켜주는 시스템이다. 주간에는 실내로 유입되는 주광에 의해 인공조명의 밝기를 줄일 수 있기 때문에 그만큼 전기에너지를 절약할 수가 있다. 그러나, 실제 적용을 할때 기존시스템에서는 실내조도가 설정조도로 유지되지 않는 경우가 발생되기도 하였다[1][2].

본 연구에서는 기존 시스템의 이런 문제점을 해결하고 시스템의 성능을 향상시키고자 소프트웨어를 이용한 제어방식으로 주광센서 연동제어시스템을 개발하였다. 개발된 시스템의 주요 구성요소를 설명하고, 시스템이 설치된 공간에서 측정을 실시하여 설정조도를 일정하게 유지시키는 성능과 에너지 소비량에 대한 절약 성능을 살펴보고자 한다.

2. 시스템 개요

시스템은 그림 2.1에서 보는 바와 같이 광센서/광센서모듈(①), 제어 소프트웨어(②), 통신모듈/파워 서플라이(③), 디밍모듈(④), 전자식 디밍용 안정기(⑤)로 이루어져 있다.

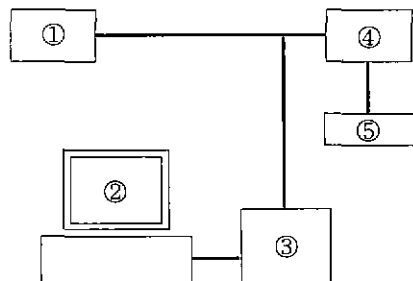


그림 2.1 시스템 개요도

2.1 광센서/광센서모듈

광센서부분은 광탐지를 하는 칩이 내장된 광센서(사진 2.1)와 광센서로부터 탐지된 광속량의 신호처리를 위한 광센서모듈(사진 2.2 오른쪽 부분)로 이루어

*정회원: 삼성건설기술연구소 선임연구원

**정회원: 삼성건설기술연구소 주임연구원

어져 있다. 원하는 곳의 광속량 탐지를 할 수 있도록 광센서의 광탐지 부분을 한 축 방향으로 약 180도 범위에서 움직이게 하였다. 광센서모듈은 광센서로부터 탐지된 광속량을 제어 소프트웨어에 전달하는 역할을 수행한다. 광센서로 탐지되는 조도의 범위는 0 ~ 10,000lux이며, 이것은 4095단계의 신호로 제어 소프트웨어로 전달된다.

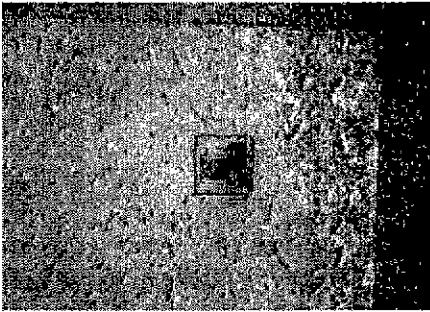


사진 2.1 광센서(천장에 부착)

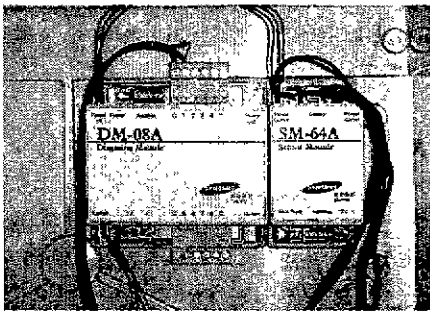


사진 2.2 디밍모듈(왼쪽) 과 광센서모듈(오른쪽)

2.2 제어 소프트웨어

제어 소프트웨어는 C++언어로 제작되어 Borland C++ Builder 1.0으로 컴파일되었다. 초기화면(그림 2.2)에서는 광센서의 어드레스 및 이름을 지정할 수 있으며, 현재의 통신상태(대기, 양호, 불량)를 자동으로 인식하여 나타내 준다. Closed-loop proportional 과 Open-loop proportional 알고리즘을 계산모드에서 선택하여 시스템이 실행되도록 하며, 알고리즘에 사용되는 계산식은 참고문헌 [3]에 나타나 있다. 알고리즘은 사용되는 공간의 특성에 맞도록 적절하게 선택하여 실행하여야 한다. 알고리즘의 계산식에 의한 시스템의 디밍값은 실시간으로 계산값 화면에 계속

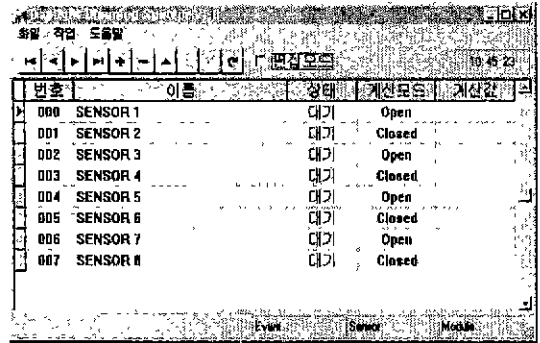


그림 2.2 제어 소프트웨어의 초기화면

나타난다.

Calibration 화면(그림 2.3)의 구성은 다음과 같다. Calibration input에서 디밍값을 계산하기 위한 각 입력값을 제어 소프트웨어의 scan 기능을 통해 직접 얻거나 작업면의 조도측정을 통해 입력할 수 있다. Ballast Property에서는 사용되는 안정기의 특성에 따라 제어용으로 사용되는 저전압의 범위를 지정하고, 제어범위(소비전력 기준)의 최소 및 최대 범위를 입력한다. 이와같은 정보는 일반적으로 안정기 제조업체에서 제공하여 준다.

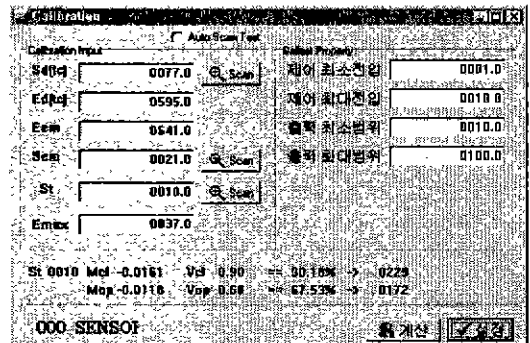


그림 2.3 제어 소프트웨어의 Calibration 화면

조광모듈의 화면(그림 2.4)에서는 각 디밍모듈의 어드레스 및 이름을 지정할 수 있으며, 광센서와 마찬가지로 통신상태를 자동으로 인식하여 나타내 준다. 채널상태에서는 광센서를 각 디밍모듈의 채널별로 지정할 수 있다. 조명시스템을 주광에 의해 자동으로 디밍되기를 원하지 않는 경우, 수동상태에서 원하는 디밍값을 지정하여 수행할 수 있다.

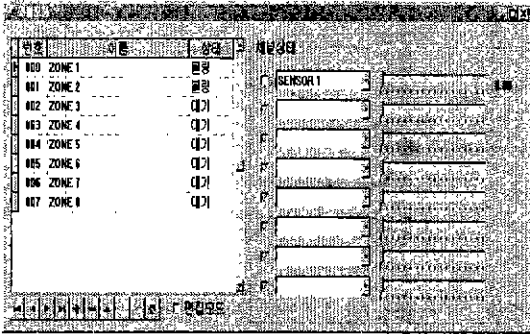


그림 2.4 제어 소프트웨어의 조광모듈화면

그 밖의 부가적 기능으로 시스템이 수행하고 있는 광센서값과 디밍값을 그래프로 나타내 주며 또한, 하루 24시간 동안의 데이터를 Excel 파일 형식으로 저장할 수 있다. 그리고, 모듈과 제어 소프트웨어가 서로 신호를 주고 받는 폴링주기의 조절이 가능하며 일반시스템과 주광센서 연동제어시스템의 전력비용 비교도 가능하다.

2.3 통신모듈/파워 서플라이

통신모듈은 광센서모듈과 제어소프트웨어 간의 통신을 주고 받는데 필요한 인터페이스 역할을 수행하며, 디밍모듈과 제어 소프트웨어간의 인터페이스 기능도 함께 수행한다. RS-485 방식의 통신방식을 사용하여 상호간에 데이터를 주고 받도록 하였다. 파워 서플라이는 각 모듈에 필요한 저전압을 공급하는 역할을 하며, 통신모듈안에 내장이 가능하다.

2.4 디밍모듈

디밍모듈(사진 2.1 왼쪽부분)은 제어 소프트웨어로부터 디밍값을 256단계의 신호값으로 받아, 저전압(1 ~ 10V)으로 전자식 디밍용 안정기로 보내준다. 디밍모듈 1개당 8개의 구역을 8개의 광센서의 값으로 개별제어가 가능하다.

2.5 전자식 디밍용 안정기

안정기는 기존의 전자식 디밍용 안정기를 사용하였으며, 다른 디밍용 안정기도 사용될 수 있다. 1 ~ 10V의 저전압으로 형광등의 광속량을 연속적으로 조절할 수 있다.

3. 측정 및 분석

3.1 측정실험공간 및 개요

개발된 시스템을 평가하기 위해 S건설기술연구소 내의 조명실험실에서 장기간 동안 측정 평가를 수행하였다. 측정공간의 평면이 그림 3.1에 나타나 있다. 남쪽의 전면이 복층의 반사유리(약 11%의 투과율)로 된 창문으로 되어 있다. 전체 조명기구 중 주광의 영향을 많이 받는 창문으로부터 2줄까지의 조명기구만을 디밍되도록 하였고, 나머지 조명기구는 항상 소등 상태에 있도록 하였다. 조명기구는 32W 형광등 3등을 사용하는 파라볼릭 조명기구가 설치되어 있다. 작업면 높이(75cm)의 조도값(측정포인트 A)과 소비전류를 데이터로거에 의해 5초 간격으로 측정하여 5분 동안의 평균값이 저장되도록 하였다. 매일 오전 7시부터 오후 7시까지의 기록이 측정 저장되었으며, 전체 조명시스템은 타이머에 의해 자동으로 점/소등되었다.

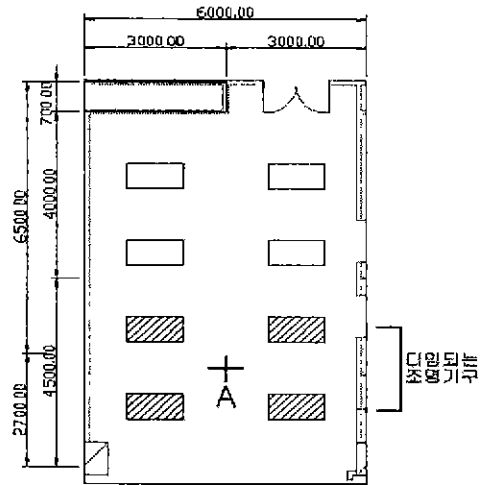


그림 3.1 측정공간의 평면도

시스템의 측정은 각 알고리즘별로 두 가지의 설정조도값으로 실행하여 작업면의 설정조도 유지여부와 소비전류의 추이를 살펴보았다. 광센서는 측정포인트 A의 수직 상부 천장에 설치되어, 사용되는 알고리즘에 따라 광탐지의 방향을 조절할 수 있도록 하였다. (closed-loop: 실내 안쪽, open-loop: 창문쪽)

3.2 closed-loop 결과

조명시스템을 디자인할 때 여러가지 요인을 고려하여 일반적으로 필요한 조도값보다 약 30% 정도 더 밝게 디자인한다. 그래서 조명기구를 처음 설치하였을 경우 30% 이상의 불필요한 광속이 조명시스템으로부터 발생되고 있다. 측정공간으로 사용된 실험실의 경우에서도 두 줄만의 조명기구에 의한 조도값이 측정포인트 A(그림 3.1)에서 800lux 이상으로 측정되었다. 이것은 일반적으로 사무공간에 필요한 약 300 ~ 500lux를 상회하는 조도값으로 주광센서 연동제어 시스템을 사용함으로써 그 만큼 불필요한 에너지를 절감할 수 있다는 것을 의미한다. 그래서 이번 실험에서는 디밍되지 않은 인공조명의 조도값인 약 800lux와 사무공간에 적절한 조도값인 약 380lux로 시스템을 보정(calibration)하여 측정 평가를 수행하였다.

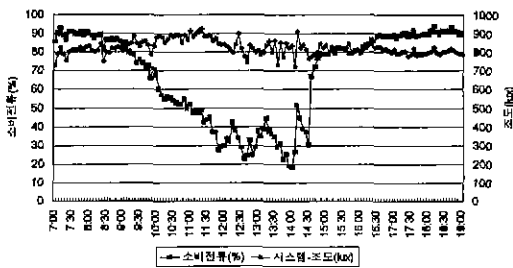


그림 3.2 측정공간의 소비전류 및 조도변화(closed, 800lux)

먼저 설정조도값 800lux의 결과를 그림 3.2에서 살펴보면 대체적으로 800lux를 전후로 작업면의 조도가 잘 유지되었으며, 조도변화의 폭은 설정조도값을 기준으로 약 $\pm 10\%$ 범위에서 이루어졌다. 오전 11시부터 오후 3시 사이의 다소 불규칙한 조도변화는 proportional 알고리즘의 특성에서 유발되는 것으로, proportional 알고리즘은 계속 변화하는 측정값(광센서값)에 대응하여 목표값을 유지하기 위해 기울기에 따라 디밍값을 계속 변화시키기 때문이다. 일몰이 가까워져 천공회로의 변화가 적어지면서 인공조명의 최대값이자 목표값인 800lux를 잘 유지하였다. 이 날(10/11/98)의 결과는 장기간 동안의 여러 결과 중 대표적인 것으로 다른 결과들도 이와 유사하였다. 천공의 상태는 하루종일 청천공이었으며, 하루동안의 평균 디밍값은 약 68.0%(전력소비기준)이었다.

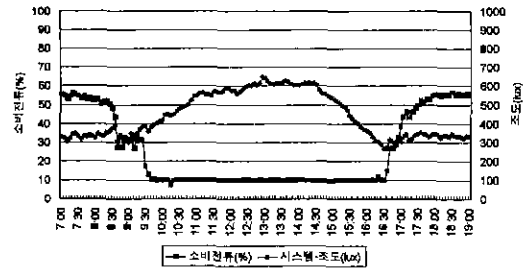


그림 3.3 측정공간의 소비전류 및 조도변화(closed, 380lux)

그림 3.3은 약 380lux로 설정조도값을 정한 결과인데, 대부분의 시간동안에는 주광의 유입이 충분하여 최소값인 약 10%의 디밍값을 유지하였다. 그 밖의 시간동안에는 작업면의 조도가 설정값보다 약간 미달되었으나, 역시 약 -10% 범위안에서 유지되었다. 이날(10/7/98)의 천공상태도 청천공이었으며, 하루동안의 평균 디밍값은 26.8%로, 약 73.2%의 조명용 전기에너지가 절감되었다.

3.3 open-loop 결과

open-loop도 closed-loop과 마찬가지로 약 800lux와 약 380lux의 설정조도값으로 시스템을 실행하였다.

설정조도값 800lux의 결과가 그림 3.4에 나타나 있다. closed-loop과 비교해 보면 작업면의 조도값과 디밍값이 더 높게 유지되었다. 오전 10시부터 오후 4시 사이에는 작업면의 조도가 설정값보다 더 높았으나, 이것은 디밍값이 높게 유지되었기 때문이며, 결과적으로 전기에너지의 절감효과를 떨어뜨렸다. 시스템 자체도 실내로 유입되는 주광에 closed-loop보다 민감하게 반응하여 조도의 변화 폭이 컸다. open-loop에서는 광센서가 탐지하는 광속량과 작업면 조도값의 상관관계가 closed-loop보다 상대적으로 적어 작업면의 조도변화폭이 크게 되었다. 이날(10/17/98)의 천공은 구름이 다소 많이 있었으나 청천공이었으며, 하루동안의 평균 디밍값은 약 75.6%이었다.

그림 3.5는 약 380lux로 설정조도값을 정한 결과인데, closed-loop 결과와 마찬가지로 대부분의 시간동안에 최소값인 약 10%의 디밍값을 유지하였다. 그 밖의 시간동안에는 작업면의 조도가 설정값에 미달되었고, 오전 9시를 전후로 해서는 300lux 미만으로

도 유지되었다. 이날(10/21/98)의 천공상태는 하루종일 청천공이었으며, 하루동안의 평균 디밍값은 약 23.4%이었다. 평균 디밍값이 closed-loop 결과보다 적은 것은 작업면의 조도값이 설정조도값보다 낮게 유지되었기 때문이다.

작업면의 조도가 설정값으로 계속 유지되는가는 시스템 보정시에 사용되는 각 입력값들에 의해 영향을 받는다. 그리고 이러한 입력값들이 천공상태의 변화나 계절에 따른 태양고도 변화를 정확하게 반영하고 있지 못하기 때문에 조도의 변화가 발생하는 것이다.

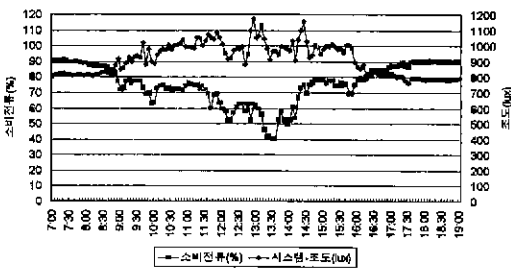


그림 3.4 측정공간의 소비전류 및 조도변화(open, 800lux)

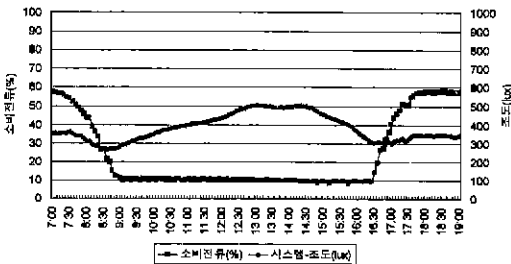


그림 3.5 측정공간의 소비전류 및 조도변화(open, 380lux)

4. 결 론

이상에서, 개발된 주광센서 연동제어시스템을 구성요소별로 간략히 소개하였으며, 설정조도 유지 성능과 에너지 절약 성능을 실험을 통해 살펴보았다.

실험을 통해 얻은 결과는 다음과 같다.

- 프로그래밍이 가능한 제어 소프트웨어로 시스템을 제어함으로써 시스템 기능에 유연성을 부여하였고, 지속적인 성능향상을 가져올 수 있도록 하였다.

- 외부의 계속적인 주광변화에도 작업면의 조도가 설정조도값의 약 $\pm 10\%$ 범위에서 유지되었다.
- 인공조명을 고려하지 않은 open-loop 알고리즘에서보다 인공조명을 고려한 closed-loop 알고리즘에서 설정조도 유지 성능이 우수한 것으로 나타났다.
- 본 시스템을 사용할 경우 이번 실험이 실시된 공간에서는 약 70% 이상의 조명용 전기에너지 절감이 가능했으며, 전체 조명기구 중 50%가 디밍되었으므로 측정공간 전체로 보면 약 35% 이상까지 절감이 가능한 것으로 나타났다.

앞으로, 하드웨어의 원활한 데이터전송, 소프트웨어의 빠른 처리속도 등으로 조도값의 변화를 조금 더 안정적으로 제어할 수 있도록 하는 기술개발이 과제로 남았다.

참 고 문 헌

- [1] 최안섭, "주광센서 연동제어시스템의 분석을 위한 컴퓨터 수치모델의 개발 및 검증", 대한건축학회논문집, Vol. 13(9), pp.173-184, 1997.
- [2] 최안섭, "시뮬레이션과 현장측정을 통한 주광센서 연동제어시스템의 실행분석 연구", 대한건축학회논문집, Vol. 13(10), pp.181-192, 1997.
- [3] F. Rubinstein et al, "Improving the performance of photo-electrically controlled lighting systems", Journal of the Illuminating Engineering Society, Vol.18(1), pp.7,0-94, 1989.