

AVR Microcontroller를 이용한 하이브리드 자연채광시스템의 성능에 관한 기초연구

A Study on the Performance of a Hybrid Daylighting System Using AVR Microcontrollers

임상훈* · 오승진** · 김원식*** · 정해준*** · 천원기***†

Lim Sang Hoon*, Oh Seung Jin**, Kim Won-Sik***, Jeong Hae-Jun***, Chun
Wongee***†

(Received 27 August 2015; accepted 04 December 2015)

Abstract : This paper deals with the design and operation of a hybrid daylighting system that uses natural and artificial lighting to enhance visual comfort in buildings. The system was developed using an AVR micro controller for solar tracking in conjunction with dimming controls, which, acting together, enables the maximum use of natural daylight and also improves energy efficiency in buildings. Experimental results clearly demonstrates the usefulness of the present system capable of enhancing indoor lighting conditions when sufficient daylight is available and distributed appropriately in harmony with artificial lighting.

Key Words : 자연채광시스템(Daylighting System), 태양추적 장치(Solar Tracking System), 디밍 제어 시스템(Dimming Control System), 조명에너지 절감(Illumination Energy Saving)

1. 서 론

지구의 한정된 자원문제, 그리고 환경오염

으로 인한 기후 변화 등에 대한 해결책이 절
실한 만큼 깨끗하고 무한한 부존량을 갖고 있
는 청정한 에너지 자원에 대한 관심이 날로

***† 천원기(교신저자) : 제주대학교 에너지공학과
E-mail : wgchun@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3646
*임상훈 : 한국에너지기술연구원 태양열 연구실
**오승진 : 싱가포르 국립대학 기계공학과
***김원식, 정해준 : 제주대학교 에너지공학과

***† Chun Wongee(corresponding author) : Department of
Nuclear and Energy Engineering, Jeju National University.
E-mail : wgchun@jejunu.ac.kr, Tel : 064-754-3646
*Lim Sang Hoon : Solar Energy Department, Korea Institute
of Energy Research.
**Oh Seung Jin : Department of Mechanical Engineering,
National University of Singapore.
***Kim Won-Sik, Jeong Hae-Jun : Department of Nuclear
and Energy Engineering, Jeju National University.

증대되고 있다. 다양한 청정 에너지원 중에서도 태양에너지는 자원과 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 가장 현실적이고 가능성이 무한한 에너지원이라 할 수 있다.

태양에너지는 에너지 소비의 상당부분을 차지하고 있는 건물에너지의 효율적인 관리에 적지 않은 영향을 미친다. 근래의 건축물들은 대부분 고층이며 거대하고 건축물과 건축물 폭이 좁고 밀접하여 실내공간으로의 자연조명 유입이 어려운 실정이다. 실내로 유입되는 자연조명은 인공조명의 사용량을 감소시킬 수 있어 경제적 효과 뿐 아니라, 재실자의 심리적 안정감이나 생리적 욕구에 지대한 영향을 미친다. 현재, 전 세계적으로 가장 이상적으로 자연조명을 실내공간에 유입하기 위한 연구가 다양하게 진행되고 있다.

일반적으로 현대식건물에서 전기조명에 의해 소비되는 에너지량은 건물의 총 에너지 사용량의 30%이상인 것을 고려할 때, 조명에너지의 절감으로 기대되는 경제적 효과는 다른 에너지 소비원에 비해 크다고 할 수 있으며 쾌적한 실내 조명환경까지 확보할 수 있는 자연채광 시스템이 주목받고 있다.¹⁾²⁾

기존의 자연채광 시스템은 천창 및 측창 등을 이용한 소극적인 태양광 이용 방식이었으나 근래에는 다양한 하드웨어를 이용한 적극적인 방법으로 태양광을 실내로 유입시켜 조명화 하는 기술들이 연구되고 있다. 태양광 추적여부에 따라 고정식과 추적식 시스템으로

구분되며 개별 방식들의 사용용도와 사용목적에서 명확하게 차별화되는 기술이다.³⁾

자연광을 건물 안으로 도입하여 실내조명으로 사용될 경우(자연채광) 실내 환경 및 에너지 절감에 미치는 영향은 이미 널리 알려져 있으며, 이런 자연채광 성능은 설치 지역의 기후와 환경적 특성들에 영향을 받는다. 또한, 실내 빛 환경은 직달광과 확산광(혹은 반사광)에 의해 매우 큰 영향을 받는데, 자연광을 실내 조명원으로 사용하기 위해서는 액티브 기술(주로 직달광을 사용)을 채택하기 이전에 패시브 기술(직달광+확산광)을 먼저 고려해야한다. 이러한 두 기술을 효과적으로 결합함으로써 건물에너지 효율 등급은 개선 될 것이며 실내 시각 환경 및 재실자의 안락함 등 역시 증진된다. 어떤 건물에 적용할 수 있는 하이브리드 자연채광의 최적 결합조건을 찾기 위해서는 무엇보다도 대상 공간의 사용 목적과 기능을 분석한 후 이에 따른 적합한 조명 제어 전략을 선택하여야 한다.

본 연구에서는 자연채광의 효율을 극대화하기 위하여 마이크로컨트롤러 기반의 태양추적 시스템과 디밍 컨트롤러를 활용하여 자연조명과 인공조명이 적용된 하이브리드 자연채광 시스템에 대한 기초연구를 진행하였다.

2. AVR 마이크로 컨트롤러 기반의 태양추적 장치

자연채광 시스템에서 태양에너지 이용을 극대화하기 위해서는 태양을 지속적으로 추적할

1) Han Sang-Pil, A Study on Daylight Control Method for Securing Visual Comfort and Reducing Lighting Loads on Interior Lighting Environment, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.32, No.6, pp.100~105, 2012.

2) Park Byung-Yoon, Choi Chang-Ho, A Study on Daylighting Performance of an Inner Court with Reflecting Mirror System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.31, No.4, pp.112~121, 2011.

3) Sung Tae-Kyung, et al., Performance Evaluation of Applied to Natural Light and Artificial Lighting Hybrid Dimming Control System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.34, No.3, pp.66~74, 2014.

수 있어야 한다. 본 연구에서는 자연채광 시스템의 효율을 극대화하기 위하여 AVR 마이크로 컨트롤러 기반의 태양추적 장치에 대한 연구를 수행하였다. Fig. 1은 AVR 마이크로 컨트롤러를 사용하여 개발된 태양추적 장치의 시스템 구성도를 보여주고 있다.

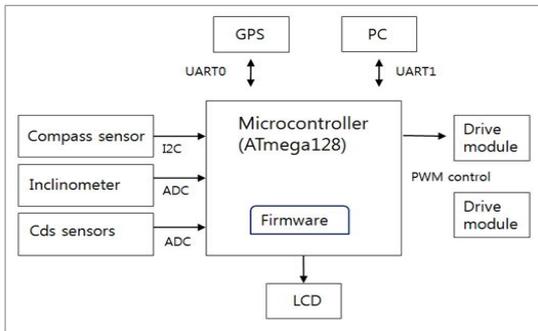


Fig. 1 System configuration (based on AVR Microcontroller)

ATmega128 마이크로 컨트롤러, GPS, 기울기 센서(Inclinometer), 나침반센서(Compass sensor), CdS 센서, 두 개의 스텝모터와 이를 구동하는데 필요한 두 개의 드라이브 모듈로 구성되어 있다. ATmega128은 동기 및 비동기 전송모드에서 전이중 통신이 가능한 UART를 2개 내장하고 있다. UART0은 GPS와 통신하여 GPS로부터 NMEA-0182 프로토콜을 수신한다. 이 NEMA프로토콜 중 시스템에 필요한 신호는 \$GPRMC로 이 필드에서 UTC Time, UTC Date, 경도, 위도 데이터를 분류해 낸다. 이 데이터들을 사용하여 ATmega128은 시스템이 설치된 장소에서의 태양의 고도 및 방위각, 일출 및 일몰시간을 계산한다. UART1은 컴퓨터와 통신하며 ATmega128에서 생성되는 각종 데이터들을 모니터링하고 다운로드 할 수 있다. Fig. 2는 제작된 마이크로 컨트롤러 기반 태양추적 시스템을 보여준다.



Fig. 2 A solar tracking daylighting system based on AVR Microcontroller.

3. 하이브리드 조명 제어 시스템

본 연구에서 개발된 태양조명시스템은 기존 전기 조명설비와 함께 실내 조명원으로 사용될 수 있으며 특히 적절한 디밍 제어시스템을 적용할 경우 건물에너지 절감에 상당한 기여를 할 수 있다. Fig. 3은 제주대학교에 위치한 사무실에 적용 가능한 하이브리드 조명 제어 솔루션의 개념도를 보여주고 있다. 이 사무실은 북향이고 창문을 통하여 유입하는 자연광은 주로 존(Zone)3에 도달한다. 그러므로 존3 영역이 다른 존들에 비하여 상대적으로 자연광의 영향을 많이 받는다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 천정에는 총 4개의 전기조명(형광등)이 설치되어 있으며 근무시간 동안 주광의 유입 유무와는 관계없이 항상 최대 밝기로 작동한다.

본 연구에서 제안하는 하이브리드 조명 기술은 ①창문을 통한 패시브 자연채광 ②광섬유케이블을 이용한 액티브자연채광 ③전기를 이용한 인공조명의 결합기술이라 할 수 있다. 디밍 컨트롤러를 통한 조명 제어 메커니즘은 다음과 같다.

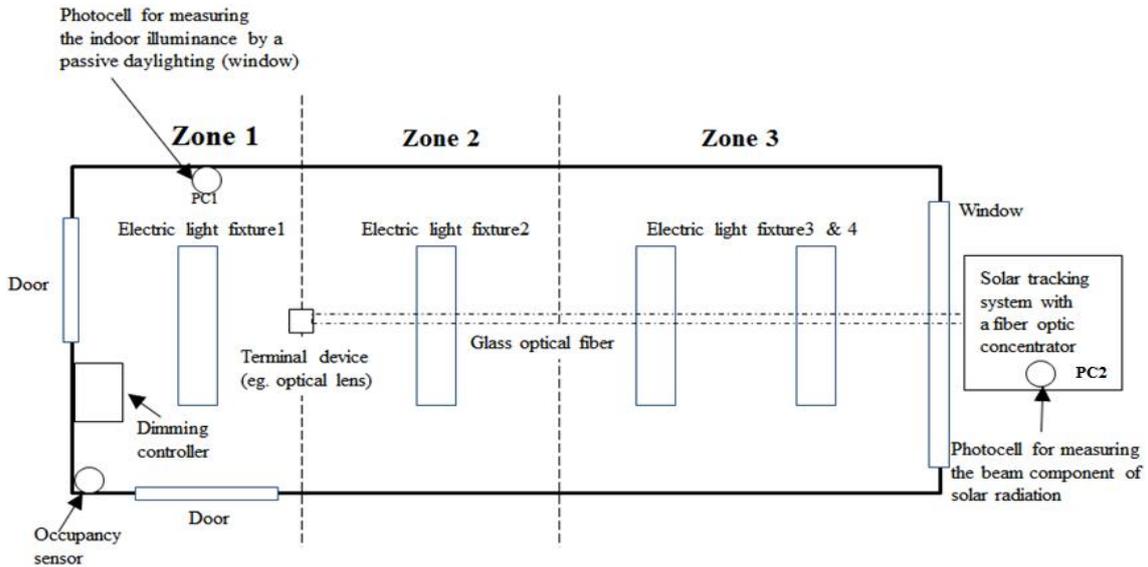


Fig. 3 Schematic diagram of the hybrid light control employed in the present study.

디밍 컨트롤러는 모든 구성요소들을 실시간으로 모니터링하고 제어를 수행한다. 구성요소로는 포토셀, 재실자 센서, 안정기(형광등 밝기 제어)가 있다. 두 개의 포토셀 (PC1과 PC2)는 디밍 컨트롤러에 직접 연결된다. PC1은 존 1의 벽면에 부착되어 패시브 자연채광(창문)을 통하여 유입되는 확산광 및 반사광의 세기를 lux 단위로 측정한다. PC2는 외부에 설치된 태양추적 장치에 장착되어 자연광의 직달성분(DNI: Direct Normal Illuminance)을 측정한다. 포토센서의 측정 범위는 0lux~7,535lux이고 출력은 0~10V이며 빛의 세기에 비례한다. 하지만 흐린 날 최소 외부 조도 값은 20,000lux 정도임을 고려할 때 포토센서의 측정범위가 매우 낮음을 알 수 있다. 또한, 직달성분을 측정해야 하기 때문에 추가적인 장치 구성이 필요하다. Fig. 4와 같이 불투명 필름을 사용하여 직달성분을 1/100로 감소시킬 수 있으며 검은색 원통을 사용하여 확산광 및 반사광을 차단할 수 있다. 직달성분이 0lux에서 100,000lux

로 변환에 따라 포토센서의 출력은 0V에서 10V로 변환다. 또한, 디밍 컨트롤러에서 각각의 안정기로 제어 신호를 0V(최소 출력)에서 10V를 전송하는데 이 값은 $(10-PC2)V$ 이다. 각각의 존의 최대 밝기(10V)는 미리 설정된 형광등의 최대값(L_{max})에 의하여 결정된다. 형광등의 최대값은 디밍 컨트롤러에서 설정하며 10~100%의 값을 갖는다. 즉, 100%로 설정된 형광등은 디밍 컨트롤러에서 10V가 공급될 때 최대광속(Φ_{max})을 발산하고 50%로 설정된 형광등은 $0.5\Phi_{max}$ 을 발산한다.

이 최대값(L_{max})은 하이브리드 디밍 제어의 중요한 파라미터로써 담천공하에서 창문을 통하여 들어오는 주광을 각 존에서 측정한 후 이 결과 값을 반영하여 결정해야 한다. 청천공하에서는 직달성분이 높기 때문에 모든 존의 출력은 최소가 되도록 설정되어야 한다. 단, 청천공하에서는 창문을 통한 눈부심 및 실내의 조도분포 불균일성이 발생할 수 있기 때문에 전동형 차양 장치 설치를 고려할 수 있다.

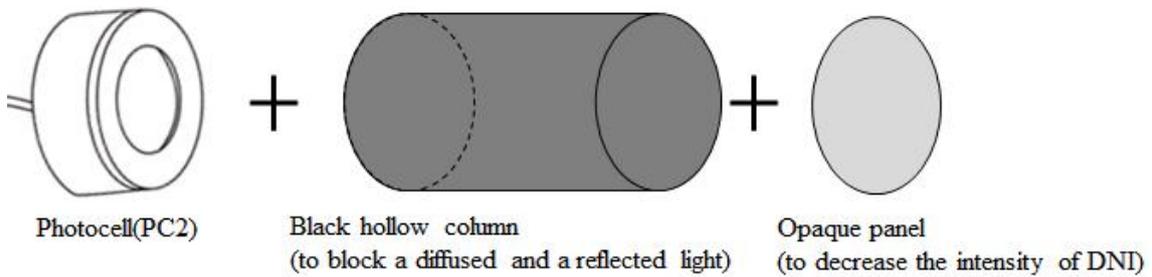


Fig. 4 Schematic diagram of a photocell to measure DNI.

즉, 직달성분(PC2의 출력)에 따라 차양장치기 제어기가 되어야 한다. PC2로부터 측정되는 외부 조도의 직달 성분 값이 특정 값 이하로 떨어질 경우는 디밍 컨트롤러는 존1의 벽에 설치된 포토센서(PC1)의 값에 의하여 형광등의 출력을 조절한다.

4. 기초 실험 결과

본 연구에서는 앞서 제안된 하이브리드 조명 제어 솔루션의 주 파라미터인 직달성분과

디밍 제어신호의 상관관계를 분석하였다. 다른 파라미터의 영향을 제한하기 위하여 암막 커튼은 사용하여 창문을 통하여 입사되는 자연광을 차단하였다.

Fig. 5는 사무실 북쪽 외부 난간에 설치된 태양추적 장치와 소형 집광기 모듈 및 광섬유 케이블 등을 보여주고 있다. 태양추적기에는 분 측정용 조도센서를 장착하여 감소되기 이전 값을 측정하였다. 디밍 제어용 센서인 PC1 외에 추가로 직달성분 측정용 조도센서를 장착하여 감소되기 이전 값을 측정하였다.

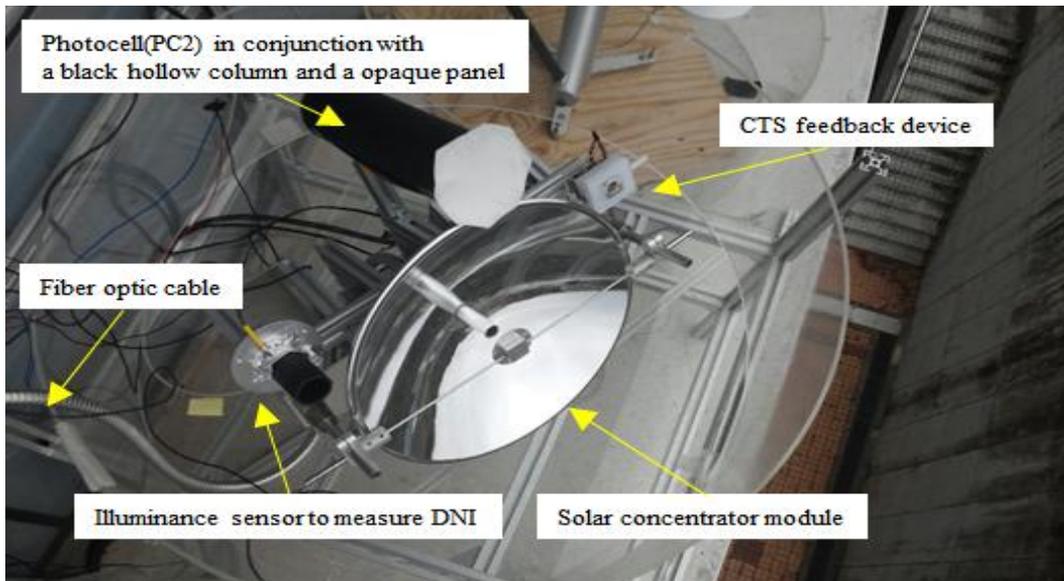


Fig. 5 Major components of the present daylighting system capable of precision solar tracking.

Fig. 6은 직달성분에 따른 PC2의 출력과 디밍 제어 신호의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 PC2의 출력은 직달성분과 비례함을 알 수 있다. 반면, 각 형광등의 안정기로 공급되어지는 전압은 PC2의 출력과 반비례함을 알 수 있다. Fig. 7(a)는 전기조명이 작동을 하지 않고 자연채광에 의해서만 조명이 이루어질 경우의 모습을 보여주고 있다. 천정에

설치된 디퓨저 안에는 어떤 광학장치도 장착되지 않았으며 단지 광섬유케이블의 발산 각도(25°)에 의해서만 확산이 이루어지고 있으며 작업면 대부분에 조사되어 지고 있음을 확인할 수 있다. 측정 당시 평균 조도는 300lux 이었다. Fig. 7(b)는 직달성분이 충분하지 않을 경우 형광등에 의해서만 조명이 이루어지는 것을 보여주고 있다. 이 때 평균조도는 500lux 이었다.

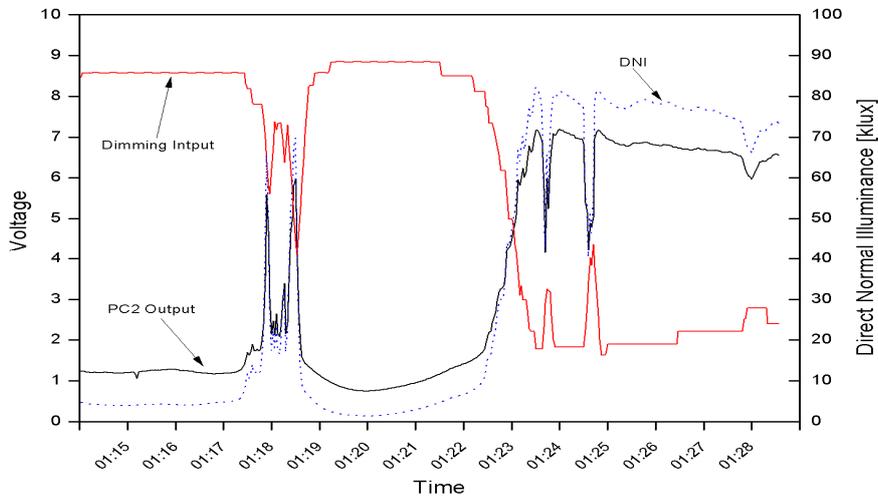
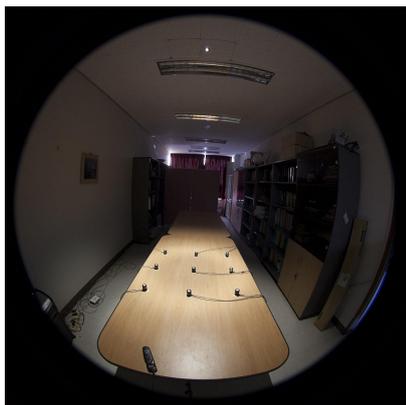
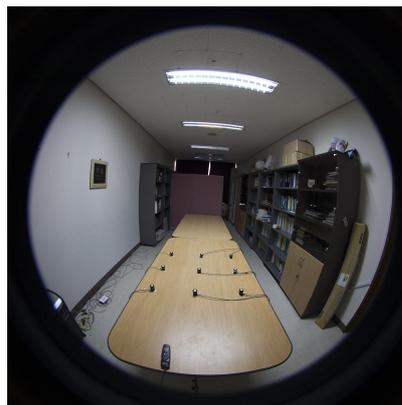


Fig. 6 Interrelation between dimming input and PC2 output along with DNI.



(a)



(b)

Fig. 7 Photographs taken when the space was lit:
(a) Lit only by solar daylighting (b) Lit only by electric lighting

5. 결 론

본 연구의 하이브리드 조명시스템은 광섬유 케이블을 이용한 액티브자연채광과 전기를 이용한 인공조명의 결합기술에 그 기반을 두고 있으며, 포토센서 출력과 직달성분의 상관관계 분석을 통한 기초 실험으로 그 성능을 입증하였다. 자연채광에 의한 조명이 이루어질 경우 작업면의 평균 조도는 300lux, 전기에 의한 조명이 이루어질 경우 작업면의 평균 조도는 500lux로 측정되었으며, 전기조명과 병행하여 효과적으로 작동할 수 있음을 확인하였다. 향후, 담천공과 담천공하에서 효율적으로 작동하는 제어 알고리즘을 개발하고, 보다 많은 파라미터들과의 상관관계를 분석하면 본 기술의 최적화 적용에 한층 더 다가갈 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Science, ICT & Future Planning (No. 2014R1A2A1A11050878)

Reference

1. Han Sang-Pil, A Study on Daylight Control Method for Securing Visual Comfort and Reducing Lighting Loads on Interior Lighting Environment, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 32, No. 6, pp.100-105, 2012.
2. Park Byung-Yoon. Choi Chang-Ho, A Study on Daylighting Performance of an Inner Court with Reflecting Mirror System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 4, pp.112-121, 2011.
3. Sung Tae-Kyung. et al., Performance Evaluation of Applied to Natural Light and Artificial Lighting Hybrid Dimming Control System, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 34, No. 3, pp.66-74, 2014.
4. Seung Jin Oh. et al., Development of an AVR MCU-based Solar Tracker, Journal of Energy Engineering, Vol. 20, No. 4, pp.353-357, 2011.